

05

การประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลด การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินขนาดกลาง เพื่อสนับสนุนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSION REDUCTION MEASURES AT MEDIUM-SIZED AIRPORTS IN SUPPORT OF NET ZERO EMISSIONS

กนกนุช ลออรอก^{a,✉} ธิญญรัตน์ คำพระ^a และ กฤษ วงศ์เจริญ^a

^aหลักสูตรการจัดการมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการการบิน สถาบันการบินพลเรือน

Kanoknut La-or-ek^{a,✉}, Thanyarat Khamproh^a and Krit Wongcharern^a

^aMaster of Management Program in Aviation Management, Civil Aviation Training Center

✉ Kanoknut.b@gmail.com

วันที่รับ (received) 15 พ.ค. 2569 วันที่แก้ไข (revised) 21 มิ.ย. 2569 วันที่ตอบรับ (accepted) 23 มิ.ย. 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินขนาดกลางที่ได้รับการรับรอง Airport Carbon Accreditation (ACA) Level 5 และเสนอแนวทางการพัฒนาสนามบินสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ โดยประเมินประสิทธิภาพของมาตรการด้วยวิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ จากสนามบินขนาดกลาง 4 แห่ง ได้แก่ สนามบินไครสต์เชิร์ช (นิวซีแลนด์) สนามบินแอดิเลด (ออสเตรเลีย) สนามบินมาเดรา (โปรตุเกส) และสนามบินกอเทนเบิร์ก แลนด์เวทเทอร์ (สวีเดน)

มาตรการพลังงานและพลังงานทดแทนมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้โดยตรงและยังมีประสิทธิภาพสูงได้สมมติฐานที่ต่างกัน ขณะที่มาตรการการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและห่วงโซ่มูลค่ามีการใช้มากที่สุด แต่มีข้อจำกัดด้านการควบคุมและมีความอ่อนไหว ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่ามาตรการที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงที่มีความเป็นไปได้ในการดำเนินงานสูงและสามารถขยายผลได้ จะมีระดับประสิทธิภาพสูงสุด

องค์ความรู้ครั้งนี้เป็นแนวทางการพัฒนาสนามบินขนาดกลางสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ โดยลำดับความสำคัญและประสิทธิภาพของมาตรการ ซึ่งมีการศึกษาจำกัด ซึ่งใช้ในการสนับสนุนการกำหนดนโยบาย การวางแผนลงทุนและกลยุทธ์ของสนามบินขนาดกลาง

คำสำคัญ : ก๊าซเรือนกระจก การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ สนามบินขนาดกลาง การรับรองมาตรฐานคาร์บอนของสนามบิน

Abstract

This research aims to evaluate the effectiveness of greenhouse gas (GHG) mitigation measures in medium-sized airports certified with Airport Carbon Accreditation (ACA) Level 5, and to propose development guidelines for transitioning airports toward net-zero emissions. The effectiveness of these measures was evaluated using a multi-criteria decision-making (MCDM) approach across four medium-sized airports: Christchurch Airport (New Zealand), Adelaide Airport (Australia), Madeira Airport (Portugal), and Gothenburg Landvetter Airport (Sweden).

The findings revealed that energy and renewable energy measures achieved the highest effectiveness, as they directly reduce GHG emissions and maintain high robustness under various scenarios. While the stakeholder and value chain engagement measure was the most widely implemented, it had limitations regarding control and sensitivity. The findings indicate that measures providing direct GHG reductions, combined with high operational feasibility and scalability, yield the highest level of effectiveness.

This body of knowledge provides a development pathway for medium-sized airports toward net-zero emissions by establishing the priorities and effectiveness of mitigation measures—an area previously subject to limited research. These insights can be utilized to support policy formulation, investment planning, and strategic planning for medium-sized airports.

Keywords : Greenhouse Gas Emission, Net Zero Emissions, Medium-Sized Airports, Airport Carbon Accreditation

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจในระดับนานาชาติ โดยภาคการบินถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดห่วงโซ่คุณค่าของอุตสาหกรรมการบิน ทั้งจากการปฏิบัติการของอากาศยานและการดำเนินงานของสนามบิน ทั้งนี้ ภาคการบินมีส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 2-3 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ทั่วโลก (International Civil Aviation Organization, 2022) ส่งผลให้องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization: ICAO) กำหนดเป้าหมายเชิงแรงบันดาลใจระยะยาว (Long-Term Global Aspirational Goal: LTAG) เพื่อให้การบินระหว่างประเทศบรรลุการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2593 ภายใต้กรอบความตกลงปารีส และกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)

ในระดับสนามบิน สภาท่าอากาศยานสากล (Airports Council International: ACI) ได้พัฒนาโปรแกรม Airport Carbon Accreditation (ACA) เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินอย่างเป็นระบบ โดยสนามบินที่ได้รับการรับรอง ACA Level 5 ซึ่งเป็นระดับสูงสุดของโปรแกรม จะต้องแสดงให้เห็นถึงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานของตนเอง ควบคู่กับการดำเนินงานร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อสนับสนุนการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม ระดับการเข้าร่วมโปรแกรม ACA ของสนามบินยังมีความแตกต่างกันระหว่างภูมิภาค โดยภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกมีสัดส่วนสนามบินที่ได้รับการรับรองเพียงร้อยละ 19.92 ของสนามบินสมาชิก ACI ทั้งหมด ขณะที่ภูมิภาคยุโรปมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 48.19 และเป็นภูมิภาคที่มีจำนวนสนามบินได้รับการรับรอง ACA Level 5 มากที่สุดของโลก ความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนถึงบริบทและระดับความพร้อมด้านความยั่งยืนที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค จึงนับเป็นประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการศึกษามาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินที่มีผลการดำเนินงานด้านการบริหารจัดการคาร์บอนในระดับสูงภายใต้บริบทของทั้งสองภูมิภาค ขณะเดียวกันงานวิจัยที่ผ่านมาได้ชี้ให้เห็นว่า การดำเนินมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินยังเผชิญข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน การลงทุน และการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายภาคส่วน (El Zein et al., 2025)

ทั้งนี้ งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นสนามบินขนาดใหญ่ เนื่องจากมีความพร้อมด้านข้อมูลและทรัพยากรมากกว่า (Greer et al., 2020; Jia et al., 2024) ขณะที่สนามบินขนาดกลางยังเผชิญข้อจำกัดด้านทรัพยากรงบประมาณ และข้อมูล ซึ่งส่งผลต่อการนำมาตรการไปใช้และการตัดสินใจลงทุน (Mancinelli et al., 2021; Monsalud et al., 2014) นอกจากนี้ ยังขาดการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นระบบภายใต้เกณฑ์การพิจารณาหลายมิติ โดยเฉพาะในบริบทของสนามบินขนาดกลางที่ได้รับการรับรอง ACA Level 5

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินขนาดกลาง เพื่อสนับสนุนการพัฒนาสนามบินสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Analysis: MCDA) ร่วมกับการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เพื่อประเมินและจัดลำดับความสำคัญของมาตรการภายใต้เกณฑ์การพิจารณาหลายมิติ การศึกษานี้แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา เนื่องจากมุ่งวิเคราะห์สนามบินขนาดกลางที่ได้รับการรับรอง ACA Level 5 และประเมินมาตรการภายใต้กรอบการประเมินที่เป็นระบบ ซึ่งช่วยเติมเต็มช่องว่างองค์ความรู้ด้านการจัดลำดับความสำคัญของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับสนามบินขนาดกลาง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินขนาดกลางที่ได้รับการรับรอง ACA Level 5 ในภูมิภาคยุโรปและเอเชียแปซิฟิก
2. เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาสนามบินขนาดกลางสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์

บทวนวรรณกรรม

แนวคิดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินอ้างอิงกรอบ Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) ซึ่งแบ่งการปล่อยออกเป็น 3 Scope ประกอบด้วย Scope 1 การปล่อยโดยตรงจากกิจกรรมที่สนามบินควบคุมได้ Scope 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานที่ซื้อจากภายนอกมาใช้ในการดำเนินงาน และ Scope 3 การปล่อยทางอ้อมจากกิจกรรมในห่วงโซ่มูลค่า (World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development, 2004) โดยกรอบดังกล่าวได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของสนามบินในระดับสากล รวมถึงโปรแกรม ACA ของ ACI ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการรับรองการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของสนามบินตั้งแต่การจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย จนถึงการมุ่งสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในระดับ ACA Level 5 (Airports Council International, 2023; Airports Council International, n.d.) โดยแนวคิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Greenhouse Gas Emissions) หมายถึง สถานะที่ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์มีความสมดุลกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกกำจัดหรือดูดกลืนออกจากชั้นบรรยากาศภายในเวลาที่กำหนด ซึ่งการบรรลุเป้าหมายดังกล่าวต้องอาศัยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิดให้เหลือน้อยที่สุด ควบคู่กับการจัดการการปล่อยที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เพื่อให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022) แนวคิดดังกล่าวแตกต่างจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วไป ซึ่งมุ่งเน้นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระดับฐานหรือเป้าหมายที่กำหนด ขณะที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) มุ่งให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิทั้งหมดมีค่าเท่ากับศูนย์ในระยะยาว

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มหลัก ได้แก่ มาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทน มาตรการด้านยานพาหนะและอุปกรณ์ภาคพื้น มาตรการด้านการจัดการของเสีย มาตรการด้านการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและห่วงโซ่มูลค่า และมาตรการด้านการชดเชยหรือกำจัดคาร์บอน โดยมาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทนได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในวรรณกรรม เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานใน Scope 1 และ Scope 2 ซึ่งสนามบินสามารถควบคุมได้โดยตรง (Baxter et al., 2019; Baxter, 2021; Baxter, 2023) เช่น สนามบินแอตแลนติกสามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ประมาณร้อยละ 10 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของสนามบิน และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 915 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี (Baxter et al., 2019) ขณะที่มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของอาคารสามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณร้อยละ 20–30 และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณร้อยละ 15–30 สะท้อนให้เห็นว่ามาตรการด้านพลังงานสามารถสร้างผลลัพธ์เชิงปริมาณได้อย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม (Mizrak et al., 2025)

ในทางตรงกันข้าม วรรณกรรมส่วนใหญ่ระบุว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน Scope 3 เป็นแหล่งการปล่อยที่มีสัดส่วนสูงที่สุดในภาพรวมของสนามบิน เนื่องจากครอบคลุมกิจกรรมของอากาศยาน การเดินทางของผู้โดยสารและพนักงาน ตลอดจนกิจกรรมของผู้ประกอบการและผู้ให้บริการภายในสนามบิน (Dimitriou &

Karagkouni, 2022; Tchiwilá et al., 2025) อย่างไรก็ตาม มาตรการใน Scope 3 ต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายภาคส่วน จึงมีข้อจำกัดด้านการควบคุมและมีความซับซ้อนในการดำเนินงานมากกว่า มาตรการที่สนามบินสามารถควบคุมได้โดยตรง สำหรับสนามบินขนาดเล็กถึงขนาดกลาง การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานและการใช้พลังงานสะอาดยังคงเป็นแนวทางสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากเป็นมาตรการที่มีความเป็นไปได้ในการดำเนินงานสูงและสอดคล้องกับข้อจำกัดด้านทรัพยากรของสนามบิน (Mancinelli et al., 2021)

ขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร ระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่างได้รับการระบุว่าเป็นแนวทางสำคัญในการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบิน (Baxter, 2021; Baxter, 2023) ในทางตรงกันข้าม มาตรการใน Scope 3 แม้จะมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมสูงกว่า โดยในการสร้างความยั่งยืนขององค์กรต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายภาคส่วนและการดำเนินงานข้ามขอบเขตขององค์กร จึงมีข้อจำกัดด้านการควบคุมและความซับซ้อนในการดำเนินงานมากกว่า (Dimitriou & Karagkouni, 2022; Schaltegger & Burritt, 2018)

แม้ว่างานวิจัยที่ผ่านมาได้รายงานแนวทางและผลการดำเนินงานของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหลายประเภท แต่ส่วนใหญ่มุ่งศึกษามาตรการแต่ละประเภทแยกจากกัน และยังขาดการประเมินเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมาตรการอย่างเป็นระบบภายใต้เกณฑ์การพิจารณาหลายมิติ โดยเฉพาะในบริบทของสนามบินขนาดกลางที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรและการลงทุน (Dimitriou & Karagkouni, 2022; Mancinelli et al., 2021) ดังนั้น การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (MCDA) จึงเป็นแนวทางที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินและจัดลำดับความสำคัญของมาตรการภายใต้เกณฑ์การพิจารณาที่หลากหลาย เพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบายและการวางแผนการลงทุนด้านความยั่งยืนของสนามบินอย่างเป็นระบบ

วิธีการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์เอกสาร (Documentary Research) โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เอกสารเชิงคุณภาพ (Qualitative Document Analysis) เพื่อวิเคราะห์และสังเคราะห์มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินจากข้อมูลทฤษฎี ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ข้อมูลรายงานด้านสิ่งแวดล้อมของกลุ่มสนามบินตัวอย่างที่เผยแพร่ระหว่าง พ.ศ. 2560–2568 โดยมีขั้นตอนหลักในการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. การคัดเลือกสนามบินใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดเกณฑ์ให้เป็นสนามบินที่ได้รับการรับรอง ACA Level 5 อย่างเป็นทางการ เป็นสนามบินขนาดกลางตามการจัดประเภทสนามบินของ ACI โดยมีจำนวนผู้โดยสารระหว่าง 1–10 ล้านคนต่อปี และมีการเปิดเผยข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมและมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ สนามบินขนาดกลางในภูมิภาคเอเชียมีเพียง 2 แห่ง ได้แก่ สนามบินแอตเลต (ADL) ประเทศออสเตรเลีย และสนามบินโครสต์เชิร์ช (CHC) ประเทศนิวซีแลนด์ ซึ่งถูกคัดเลือกเป็นสนามบินตัวอย่างในการวิจัย ขณะที่ภูมิภาคยุโรปมีสนามบินที่เข้าเกณฑ์จำนวน 5 แห่ง จาก 3 ประเทศ ประกอบด้วย ประเทศเนเธอร์แลนด์ ประเทศโปรตุเกส และประเทศสวีเดน ผู้วิจัยจึงคัดเลือกสนามบินมาเดรา (FNC) ประเทศโปรตุเกส และสนามบินกอเทนเบิร์ก แลนด์เวทเทอร์ (GOT) ประเทศสวีเดน ซึ่งมีการเปิดเผยข้อมูลอย่างต่อเนื่องและสามารถเข้าถึงข้อมูลได้เป็นสนามบินกรณีศึกษา

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ซึ่งได้ดำเนินการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อสังเคราะห์มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยดำเนินการกำหนดรหัสข้อมูล (Coding) ด้วยแนวทางเชิงอุปนัย (Inductive Coding) ซึ่งสร้างรหัสจากข้อมูลจริงที่ปรากฏในเอกสาร

จากนั้นใช้การวิเคราะห์เชิงธีม (Thematic Analysis) เพื่อจัดกลุ่มมาตรการที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยมาตรการที่ถูกสังเคราะห์จากสนามบินกรณีศึกษาทั้ง 4 แห่งจำนวน 89 มาตรการ ถูกแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม มาตรการหลัก ได้แก่ 1) มาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทน 2) มาตรการด้านยานพาหนะและอุปกรณ์ภาคพื้น 3) มาตรการด้านการจัดการของเสียและทรัพยากร 4) มาตรการด้านการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและห่วงโซ่คุณค่า และ 5) มาตรการด้านการชดเชยและการกำจัดคาร์บอน พร้อมจำแนกมาตรการตามขอบเขตการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามกรอบ GHG Protocol (Scope 1, Scope 2 และ Scope 3) ดังตารางที่ 1 เพื่อให้การวิเคราะห์เป็นระบบและสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้

ตารางที่ 1: สรุปจำนวนกลุ่มมาตรการหลักของกลุ่มสนามบินตัวอย่าง

กลุ่มมาตรการ (Theme)	Scope	CHC	ADL	FNC	GOT	รวม
มาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทน	2	6	9	9	5	29
มาตรการด้านยานพาหนะและอุปกรณ์ภาคพื้น	1	2	3	3	2	10
มาตรการด้านการจัดการของเสียและทรัพยากร	3	5	5	4	4	18
มาตรการด้านการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและห่วงโซ่คุณค่า	3	8	6	5	9	28
มาตรการด้านการชดเชยและการกำจัดคาร์บอน	1,2*	2	1	1	0	4
รวม		23	24	22	20	89

หมายเหตุ: มาตรการด้านการชดเชยและการกำจัดคาร์บอนจัดอยู่ใน Scope 1 กรณี ชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคงเหลือจากการดำเนินงานของสนามบินที่อยู่ภายใต้การควบคุมโดยตรง และ Scope 2 กรณีชดเชยหรือใช้กับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากภายนอก

3.การประเมินประสิทธิภาพของมาตรการ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ 2 ขั้นตอนหลัก ประกอบด้วย

3.1 การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Analysis: MCDA) เป็นวิธีการที่ใช้ประเมินและเปรียบเทียบทางเลือกภายใต้หลายเกณฑ์ที่มีความสำคัญแตกต่างกัน โดยพิจารณาทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพพร้อมกัน เพื่อจัดลำดับความเหมาะสมของทางเลือกอย่างเป็นระบบ (Salabun et al., 2020) ในการศึกษาครั้งนี้การใช้การให้คะแนนเชิงคุณภาพ (Qualitative Scoring) ด้วยมาตราส่วน 3 ระดับ ได้แก่ ต่ำ (1 คะแนน) ปานกลาง (2 คะแนน) และ สูง (3 คะแนน) เพื่อเปรียบเทียบมาตรการภายใต้กรอบการประเมินเดียวกัน ก่อนคำนวณคะแนนถ่วงน้ำหนักรวม (Weighted Score) เพื่อจัดระดับประสิทธิภาพของมาตรการ วิธีดังกล่าวเป็นแนวทางที่นิยมใช้ในการประเมินด้านความยั่งยืนและ การวิเคราะห์เชิงนโยบายที่มีความไม่แน่นอนหรือข้อมูลไม่สมบูรณ์ (Zanghelini et al., 2018)

ทั้งนี้ เกณฑ์การประเมินถูกกำหนดจากการสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจำนวน 25 เรื่อง และกำหนดค่าน้ำหนักจากข้อมูลของการปรากฏของเกณฑ์ในวรรณกรรม ก่อนแปลงเป็นค่าน้ำหนักเชิงสัมพัทธ์ พบการกล่าวถึงเกณฑ์การประเมินทั้ง 5 ด้าน รวม 73 ครั้ง โดยศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้รับการกล่าวถึงมากที่สุด จำนวน 24 ครั้ง (ร้อยละ 33) รองลงมา ได้แก่ ศักยภาพในการขยายผลระยะยาว จำนวน 17 ครั้ง (ร้อยละ 23) ความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน จำนวน 16 ครั้ง (ร้อยละ 22) ระดับการควบคุมของสนามบิน จำนวน 9 ครั้ง (ร้อยละ 12) และความถี่ของการนำมาตรการไปใช้ จำนวน 7 ครั้ง (ร้อยละ 10) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: สรุปเกณฑ์การประเมินและการให้คะแนน

เกณฑ์การประเมิน	น้ำหนัก (%)	3 คะแนน (สูง)	2 คะแนน (ปานกลาง)	1 คะแนน (ต่ำ)
เกณฑ์ 1 ศักยภาพในการลด การปล่อยก๊าซเรือน กระจก	33	ลดการปล่อยก๊าซเรือน กระจกในที่แหล่งกำเนิด โดยตรงและส่งผลกระทบต่อ ลดการปล่อยในวงกว้าง	สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือน กระจกได้โดยตรง แต่มีผลกระทบ เฉพาะบางกิจกรรมหรือบางส่วน ของการดำเนินงาน	ลดการปล่อยทางอ้อม หรือเป็นมาตรการเชิง นโยบาย/การรณรงค์ซึ่ง ไม่ส่งผลกระทบต่อผลการ ปล่อยโดยตรงในเชิง ปริมาณ
		0.99 คะแนน	0.66 คะแนน	0.33 คะแนน
เกณฑ์ 2 ศักยภาพในการ ขยายผลระยะยาว	23	มีศักยภาพในการขยายผล ในระดับอุตสาหกรรม และ สนับสนุนการเปลี่ยนผ่าน ระยะยาว	มีศักยภาพในการขยายผลในระดับ องค์กรหรือหลายหน่วยงาน	มีศักยภาพในการขยาย ผลจำกัดเฉพาะกิจกรรม หรือพื้นที่ดำเนินงาน
		0.69 คะแนน	0.46 คะแนน	0.23 คะแนน
เกณฑ์ 3 ความเป็นไปได้ใน การดำเนินงาน	22	เทคโนโลยีพร้อมใช้งาน สามารถดำเนินการได้ง่าย และมีความเสี่ยงในการ ดำเนินงานต่ำ	เทคโนโลยีพร้อมใช้งาน แต่ใช้เงิน ลงทุนสูง หรือมีความจำเป็นต้อง ปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานเพิ่มเติม	เทคโนโลยียังไม่แพร่ หลาย หรือมีความเสี่ยง ในการดำเนินงานสูง
		0.66 คะแนน	0.44 คะแนน	0.22 คะแนน
เกณฑ์ 4 ระดับการควบคุม ของสมาคม	12	สมาคมบังคับควบคุมได้ โดยตรง	ต้องร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ภายในสมาคม	ขึ้นอยู่กับผู้มีส่วนได้ส่วน เสียภายนอกสมาคม
		0.36 คะแนน	0.24 คะแนน	0.12 คะแนน
เกณฑ์ 5 ความถี่ของการใช้ มาตรการ	10	ความถี่ 7 ครั้งขึ้นไป	ความถี่ 4-6 ครั้ง	ความถี่ 1-3 ครั้ง
		0.30 คะแนน	0.20 คะแนน	คะแนน

3.2 การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักของเกณฑ์การประเมินในหลายกรณีสมมติฐาน เพื่อทดสอบความอ่อนไหวของผลการจัดลำดับและตรวจสอบความคงทนของผลการประเมินภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน ก่อนนำผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมาสังเคราะห์และสรุปผล

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์การประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการคำนวณคะแนนถ่วงน้ำหนักรวม (Weighted Score) โดยมีเกณฑ์การจัดระดับประสิทธิภาพของมาตรการไว้ 4 ระดับ ได้แก่ ระดับสูงมาก มีคะแนนอยู่ในช่วง 2.50 – 3.00 ระดับสูง มีคะแนนอยู่ในช่วง 2.00 – 2.49 ระดับปานกลาง มีคะแนนอยู่ในช่วง 1.50 – 1.99 และ ระดับต่ำ มีคะแนนอยู่ในช่วง 1.00 – 1.49 พบว่ามาตรการมีระดับประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีคะแนนรวมอยู่ในช่วง 1.35 ถึง 2.88

ตารางที่ 3: สรุปการให้คะแนนมาตรการในแต่ละเกณฑ์การประเมิน

ลำดับ	มาตรการ	เกณฑ์ 1 (33%)	เกณฑ์ 2 (23%)	เกณฑ์ 3 (22%)	เกณฑ์ 4 (12%)	เกณฑ์ 5 (10%)	คะแนนถ่วง น้ำหนักรวม	ระดับ ประสิทธิภาพ
มาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทน								
1	การใช้พลังงานหมุนเวียน	3	3	3	2	3	2.88	สูงมาก
2	การปรับปรุงการดำเนินงานระบบอาคาร	3	2	3	3	3	2.77	สูงมาก
3	การเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในอาคาร	3	1	3	3	3	2.54	สูงมาก
4	การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	3	2	3	2	1	2.45	สูง
5	การบริหารจัดการพลังงาน	2	2	3	3	2	2.34	สูง
มาตรการด้านยานพาหนะและอุปกรณ์ภาคพื้น								
6	การใช้อุปกรณ์ภาคพื้นเป็นไฟฟ้า	3	3	3	2	1	2.68	สูงมาก
7	การใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียน	3	2	3	2	1	2.45	สูง
8	การใช้น้ำมันพาหนะไฟฟ้า	3	2	3	2	2	2.55	สูงมาก
9	การส่งเสริมเทคโนโลยียานยนต์ด้านยานพาหนะ	1	3	1	1	1	1.46	ต่ำ
มาตรการด้านการจัดการของเสียและทรัพยากร								
10	การคัดแยกขยะ	1	2	2	3	1	1.69	ปานกลาง
11	การจัดการการใช้น้ำ	1	2	3	2	1	1.79	ปานกลาง
12	การจัดการของเสีย	1	2	2	2	2	1.67	ปานกลาง
13	การนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำ	1	2	2	2	1	1.57	ปานกลาง
14	การเปลี่ยนเป็นวัสดุที่ยั่งยืน	1	2	2	2	1	1.57	ปานกลาง
15	การรีไซเคิลโดยการแปรรูปของเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	1	2	2	2	2	1.67	ปานกลาง
มาตรการด้านการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและห่วงโซ่อุปทาน								
16	การจัดการการเดินทางของผู้โดยสารและพนักงาน	1	2	1	2	1	1.35	ต่ำ
17	การเตรียมโครงสร้างพื้นฐาน/สถานีชาร์จและสิ่งอำนวยความสะดวก	2	3	3	2	2	2.45	สูง
18	การสร้างความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	1	3	1	2	1	1.58	ปานกลาง
19	การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิง SAF	2	3	1	1	3	1.99	ปานกลาง
20	การส่งเสริมเทคโนโลยียานยนต์สนับสนุนผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	1	3	1	1	1	1.46	ต่ำ
21	ข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมในโครงการก่อสร้าง	1	3	3	2	1	2.02	ปานกลาง
22	ค่าธรรมเนียมขึ้นบินตามผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ	1	3	2	1	1	1.68	ปานกลาง
23	โครงสร้างพื้นฐานการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า/อุปกรณ์ภาคพื้นไฟฟ้า	2	3	2	2	2	2.23	สูง
มาตรการด้านการชดเชยและการกำจัดคาร์บอน								
24	การซื้อคาร์บอนเครดิต	1	1	2	3	1	1.46	ต่ำ
25	การซื้อพลังงานสะอาด	3	3	3	3	1	2.80	สูงมาก

จากตารางที่ 3 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์การประเมินประสิทธิภาพของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้ดังนี้

1.1 มาตรการที่มีประสิทธิภาพระดับสูงมาก

มาตรการในกลุ่มนี้มีคะแนนรวมอยู่ในช่วงประมาณ 2.50–2.88 โดยเป็นกลุ่มที่มีผลการประเมินสูงที่สุด ได้แก่

การใช้พลังงานหมุนเวียน (2.88) การซื้อพลังงานสะอาด (2.80) การปรับปรุงการดำเนินงานของระบบอาคาร (2.77) การใช้อุปกรณ์ภาคพื้นเป็นไฟฟ้า (2.68) การใชยานพาหนะไฟฟ้า (2.55) และการเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในอาคาร (2.54)

มาตรการในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นมาตรการด้านพลังงานและการใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะร่วมคือสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้โดยตรง และอยู่ภายใต้การควบคุมของสนามบินในระดับสูง ส่งผลให้มีคะแนนในหลายเกณฑ์อยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะเกณฑ์ด้านศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน

1.2 มาตรการที่มีประสิทธิภาพระดับสูง

มาตรการในกลุ่มนี้มีคะแนนรวมอยู่ในช่วงประมาณ 2.23–2.45 ได้แก่ การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (2.45) การใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียน (2.45) โครงสร้างพื้นฐานการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า/อุปกรณ์ภาคพื้นไฟฟ้า (2.23) และการบริหารจัดการพลังงาน (2.34)

มาตรการในกลุ่มนี้ยังคงเป็นมาตรการด้านพลังงานและโครงสร้างพื้นฐานเป็นหลัก แต่มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความพร้อมของเทคโนโลยีหรือการลงทุนที่จำเป็น ทำให้คะแนนบางเกณฑ์ไม่ถึงระดับสูงสุด ส่งผลให้คะแนนรวมอยู่ในระดับรองลงมา

1.3 มาตรการที่มีประสิทธิภาพระดับปานกลาง

มาตรการส่วนใหญ่ของการศึกษาอยู่ในกลุ่มนี้ โดยมีคะแนนอยู่ในช่วงประมาณ 1.57–2.02 ได้แก่ ข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมในโครงการก่อสร้าง (2.02) การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงการบินยั่งยืน (1.99) การจัดการการใช้น้ำ (1.79) การคัดแยกขยะ (1.69) การจัดการของเสีย (1.67) การรีไซเคิลโดยการแปรรูปของเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (1.67) การสร้างความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (1.58) การนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำ (1.57) การเปลี่ยนเป็นวัสดุที่ยั่งยืน (1.57)

มาตรการในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากรและมาตรการเชิงระบบใน Scope 3 ซึ่งแม้จะมีบทบาทสำคัญในด้านความยั่งยืน แต่มีข้อจำกัดในการควบคุมของสนามบิน และมักให้ผลการลดการปล่อยทางอ้อม ส่งผลให้คะแนนโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง

1.4 มาตรการที่มีประสิทธิภาพระดับต่ำ

มาตรการในกลุ่มนี้มีคะแนนต่ำกว่า 1.50 ได้แก่ การส่งเสริมเทคโนโลยีอนาคตด้านยานพาหนะ (1.46) การส่งเสริมเทคโนโลยีอนาคตสำหรับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (1.46) การซื้อคาร์บอนเครดิต (1.46) การจัดการการเดินทางของผู้โดยสารและพนักงาน (1.35)

มาตรการเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นมาตรการเชิงนโยบายหรือมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและเทคโนโลยีในอนาคต ซึ่งแม้จะมีศักยภาพในระยะยาว แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านความเป็นไปได้ในการดำเนินงานและระดับการควบคุมในบริบทปัจจุบัน

2.ผลการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของประสิทธิภาพมาตรการการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผู้วิจัยกำหนดกรณีทดสอบเพิ่มเติมจากกรณีฐานโดยปรับค่าน้ำหนักของเกณฑ์การประเมินในแต่ละกรณี เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของคะแนนถ่วงน้ำหนักรวม (Weighted Score) และลำดับประสิทธิภาพของมาตรการภายใต้สมมติฐานที่แตกต่างกัน โดยได้ทดสอบความไวทั้งหมด 4 กรณีประกอบด้วย

2.1 กรณีที่ 1 – ให้น้ำหนักเท่ากันทุกเกณฑ์ อยู่ที่ร้อยละ 20 เพื่อทดสอบผลการประเมินภายใต้เงื่อนไขที่ทุกเกณฑ์มีความสำคัญเท่ากัน

2.2 กรณีที่ 2 – เน้นศักยภาพในการขยายผลระยะยาว โดยให้น้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 35 เพื่อทดสอบผลการประเมินภายใต้สมมติฐานที่ให้ความสำคัญกับความสามารถของมาตรการในการพัฒนาและต่อยอดในระยะยาว

2.3 กรณีที่ 3 – เน้นระดับการควบคุมของสนามบิน โดยให้น้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 35 เพื่อสะท้อนมุมมองที่ให้ความสำคัญกับมาตรการที่สนามบินสามารถควบคุมและดำเนินการได้โดยตรง

2.4 กรณีที่ 4 – เน้นความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน โดยให้น้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 35 เพื่อทดสอบผลการประเมินภายใต้เงื่อนไขที่ให้ความสำคัญกับความพร้อมและความสามารถในการนำมาตรการไปปฏิบัติจริงของสนามบิน

โดยในกรณี 2-4 ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่เหลือจะถูกปรับลดและเฉลี่ยใหม่ให้ผลรวมของทุกเกณฑ์ยังคงเท่ากับร้อยละ 100

ตารางที่ 4: สรุปผลวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis)

มาตรการ	กรณีฐาน	กรณีที่ 1-เฉลี่ยน้ำหนักเท่ากัน	กรณีที่ 2 - เน้นศักยภาพการขยายผล	กรณีที่ 3 - เน้นระดับการควบคุมของสนามบิน	กรณีที่ 4 - เน้นความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน
มาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทน					
การใช้พลังงานหมุนเวียน	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก
การปรับปรุงการดำเนินงานระบบอาคาร	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก
การเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในอาคาร	สูงมาก	สูงมาก	สูง	สูงมาก	สูงมาก
การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล	สูง	สูง	สูง	สูงมาก	สูง
การบริหารจัดการพลังงาน	สูง	สูง	สูง	สูง	สูงมาก
มาตรการด้านยานพาหนะและอุปกรณ์ภาคพื้น					
การใช้อุปกรณ์ภาคพื้นเป็นไฟฟ้า	สูงมาก	สูง	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก
การใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียน	สูง	สูง	สูง	สูงมาก	สูง
การใช้น้ำมันไฟฟ้า	สูงมาก	สูง	สูง	สูงมาก	สูง
การส่งเสริมเทคโนโลยีอนาคตด้านยานพาหนะ	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ

มาตรการ	กรณีฐาน	กรณีที่ 1-เฉลี่ยน้ำ หนักเท่ากัน	กรณีที่ 2 - เน้นศักยภาพ การขยายผล	กรณีที่ 3 -เน้นระดับ การควบคุม ของสนามบิน	กรณีที่ 4 - เน้นความเป็น ไปได้ในการ ดำเนินงาน
มาตรการด้านการจัดการของเสียและทรัพยากร					
การคัดแยกขยะ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง
การจัดการการใช้น้ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
การจัดการของเสีย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
การนำวัสดุที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
การเปลี่ยนเป็นวัสดุที่ยั่งยืน	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
การใช้เชื้อเพลิงโดยการปรับปรุงของเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
มาตรการด้านการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและห่วงโซ่มูลค่า					
การจัดการการเดินทางของผู้โดยสารและพนักงาน	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง
การเตรียมโครงสร้างพื้นฐาน/สถานีชาร์จและ สิ่งอำนวยความสะดวก	สูง	สูง	สูงมาก	สูงมาก	สูง
การสร้างความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ปานกลาง
การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงการบินยั่งยืน	ปานกลาง	สูง	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง
การส่งเสริมเทคโนโลยีอนาคตสนับสนุน ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ
ข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมในโครงการก่อสร้าง	ปานกลาง	สูง	สูง	สูง	สูง
ค่าธรรมเนียมขึ้นบินตามผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
โครงสร้างพื้นฐานการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า/อุปกรณ์ ภาคพื้นไฟฟ้า	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
มาตรการด้านการชดเชยและการกำจัดคาร์บอน					
การซื้อคาร์บอนเครดิต	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง
การซื้อพลังงานสะอาด	สูง	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก

ผลการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า มาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทน รวมถึงมาตรการด้านยานพาหนะและอุปกรณ์ภาคพื้น มีระดับความสำคัญสูงอย่างต่อเนื่องในหลายกรณีสมมติฐาน เนื่องจากสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้โดยตรง มีความเป็นไปได้ในการดำเนินงานสูง และอยู่ภายใต้การควบคุมของสนามบิน ขณะที่มาตรการด้านการจัดการของเสียและทรัพยากรมีระดับความสำคัญปานกลางอย่างสม่ำเสมอ โดยมีบทบาทสนับสนุนด้านความยั่งยืนและเศรษฐกิจหมุนเวียนมากกว่าการลดการปล่อยโดยตรง ส่วนมาตรการด้านการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ห่วงโซ่มูลค่า และการชดเชยคาร์บอน มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักมากกว่า เนื่องจากขึ้นอยู่กับความร่วมมือและปัจจัยภายนอก อย่างไรก็ตาม มาตรการบางประเภท เช่น การใช้ SAF และการจัดหาไฟฟ้าสะอาด ยังคงมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาว โดยเฉพาะใน Scope 3 ของภาคการบิน

3.สรุปผลการศึกษาการเสนอแนวทางการพัฒนาสนามบินขนาดกลางสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่ามาตรการมีระดับประสิทธิภาพแตกต่างกัน ดังนั้น การพัฒนาสนามบินขนาดกลางสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์จึงควรดำเนินการอย่างเป็นลำดับ โดยคำนึงถึงทั้งศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความพร้อมในการดำเนินงานควบคู่กัน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้ดังนี้

3.1 ระยะที่ 1 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานของสนามบิน

ในระยะเริ่มต้น สนามบินควรให้ความสำคัญกับมาตรการที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้โดยตรงและอยู่ภายใต้การควบคุมของสนามบิน ได้แก่ การใช้พลังงานหมุนเวียน การซื้อพลังงานสะอาด การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบอาคาร การเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในอาคารเป็นอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน ตลอดจนการชดเชยยานพาหนะและอุปกรณ์ภาคพื้นเป็นไฟฟ้า มาตรการดังกล่าวมีความเป็นไปได้ในการดำเนินงานสูง สามารถสร้างผลลัพธ์เชิงปริมาณได้อย่างชัดเจน และมีบทบาทสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน Scope 1 และ Scope 2

3.2 ระยะที่ 2 การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบสนับสนุน

ภายหลังจากการดำเนินมาตรการพื้นฐานด้านพลังงาน สนามบินควรพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบสนับสนุนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาว เช่น การบริหารจัดการพลังงาน การลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล การใช้เชื้อเพลิงหมุนเวียน และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับยานพาหนะและอุปกรณ์ไฟฟ้า แม้มาตรการเหล่านี้จะต้องอาศัยการลงทุนเพิ่มเติม แต่มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบพลังงานคาร์บอนต่ำของสนามบิน

3.3 ระยะที่ 3 การขยายผลสู่การบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน Scope 3

เมื่อสนามบินสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานของตนเองได้ในระดับหนึ่งแล้ว ควรขยายบทบาทไปสู่การบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน Scope 3 ผ่านการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงการบินยั่งยืน การจัดการของเสีย การรีไซเคิล การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และการสร้างความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบสนามบิน แม้มาตรการเหล่านี้จะมีข้อจำกัดด้านการควบคุมและต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายภาคส่วน แต่มีความสำคัญต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวม และการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว

3.4 ระยะที่ 4 การเตรียมความพร้อมสำหรับการเปลี่ยนผ่านในอนาคต

นอกจากมาตรการที่สามารถดำเนินการได้ในปัจจุบันแล้ว สนามบินควรเตรียมความพร้อมสำหรับการเปลี่ยนผ่านในระยะยาวผ่านการติดตามและสนับสนุนเทคโนโลยีใหม่ การส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้โดยสารและพนักงาน รวมถึงการพัฒนากลไกเชิงนโยบายและความร่วมมือในระดับอุตสาหกรรม แม้มาตรการเหล่านี้จะยังไม่สามารถสร้างผลลัพธ์เชิงปริมาณได้อย่างชัดเจนในระยะสั้น แต่มีบทบาทสำคัญในการวางรากฐานสำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต

โดยสรุป การพัฒนาสนามบินขนาดกลางสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ควรเริ่มจากมาตรการที่สามารถลดการปล่อยได้โดยตรงและอยู่ภายใต้การควบคุมของสนามบิน ก่อนขยายไปสู่มาตรการที่ต้องอาศัยการลงทุนเพิ่มเติมและความร่วมมือจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในห่วงโซ่มูลค่า ทั้งนี้ การบรรลุเป้าหมายดังกล่าวไม่ได้ขึ้นอยู่กับมาตรการใดมาตรการหนึ่ง แต่เกิดจากการดำเนินมาตรการอย่างเหมาะสมตามลำดับความสำคัญและศักยภาพในการดำเนินงาน เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์อย่างเป็นระบบ

อภิปรายผล

1. การประเมินประสิทธิภาพมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินขนาดกลางที่ได้รับการรับรอง ACA Level 5 ในภูมิภาคยุโรปและเอเชียแปซิฟิก

ผลการศึกษาสະท้อนให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่ได้ขึ้นอยู่กับศักยภาพในการลดการปล่อยเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน ระดับการควบคุมของสนามบิน และศักยภาพในการขยายผลในระยะยาว สะท้อนว่ามาตรการที่สามารถดำเนินการได้จริง มีความพร้อมทางเทคโนโลยี และอยู่ภายใต้ขอบเขตการบริหารจัดการของสนามบิน มักมีความเหมาะสมต่อการนำไปปฏิบัติมากกว่ามาตรการที่ต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงเชิงระบบหรือความร่วมมือจากหลายภาคส่วน สอดคล้องกับ Lakhout et al. (2025) และ Thakur (2019) ที่ระบุว่า การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานและการใช้พลังงานสะอาดเป็นกลไกสำคัญในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของสนามบิน

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยด้านความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน ระดับการควบคุมของสนามบิน และศักยภาพในการขยายผลระยะยาว มีบทบาทสำคัญต่อการจัดลำดับความสำคัญของมาตรการ สะท้อนว่าการตัดสินใจของสนามบินขนาดกลางต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านทรัพยากรงบประมาณ และศักยภาพในการดำเนินงานจริงควบคู่กับผลลัพธ์ด้านสิ่งแวดล้อม

ผลดังกล่าวสะท้อนข้อจำกัดเชิงโครงสร้างของการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคการบิน เนื่องจากแหล่งการปล่อยที่สำคัญจำนวนมากอยู่นอกขอบเขตการควบคุมของสนามบิน ส่งผลให้การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน Scope 3 ต้องอาศัยกลไกความร่วมมือและการกำกับดูแลร่วมระหว่างหลายภาคส่วนมากกว่าการดำเนินการโดยสนามบินเพียงฝ่ายเดียว ซึ่งสอดคล้องกับ Dimitriou and Karagkouni (2022) และ Tchiwilá et al. (2025) ขณะเดียวกัน ความคงที่ของผลการประเมินภายใต้สมมติฐานที่แตกต่างกันยังสะท้อนให้เห็นว่ามาตรการที่สนามบินสามารถควบคุมและดำเนินการได้โดยตรงมีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในบริบทของสนามบินขนาดกลาง แม้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดในการดำเนินงานจะแตกต่างกันก็ตาม

นอกจากนี้ มาตรการด้านการชดเชยคาร์บอน การจัดซื้อพลังงานสะอาด และมาตรการที่ต้องอาศัยความร่วมมือจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียภายนอกได้รับคะแนนต่ำกว่ามาตรการด้านพลังงาน แม้ว่าจะมีบทบาทสำคัญต่อการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ทั้งนี้เนื่องจากมาตรการดังกล่าวไม่ได้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แหล่งกำเนิดโดยตรง หรือมีข้อจำกัดด้านการควบคุมและความเป็นไปได้ในการดำเนินงานเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรการที่สนามบินสามารถบริหารจัดการได้เอง ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของสนามบินขนาดกลางจำเป็นต้องอาศัยทั้งมาตรการลดการปล่อยโดยตรงและมาตรการสนับสนุนในลักษณะเสริมกัน มากกว่าการพึ่งพามาตรการใดมาตรการหนึ่ง องค์ความรู้นี้ช่วยเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยเดิมที่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือศึกษาในบริบทของสนามบินขนาดใหญ่เป็นหลัก

โดยภาพรวม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การจัดลำดับความสำคัญของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับสนามบินขนาดกลางควรคำนึงถึงทั้งศักยภาพในการลดการปล่อย ความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน และระดับการควบคุมของสนามบินควบคู่กัน ทั้งนี้ แม้มาตรการด้านพลังงานจะเป็น

กลไกหลักในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะสั้นและระยะกลาง แต่การบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาวยังจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและมาตรการสนับสนุนในระดับระบบควบคู่กันไป

2. การเสนอแนวทางการพัฒนาสนามบินขนาดกลางสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาสนามบินขนาดกลางสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ควรดำเนินการตามลำดับความสำคัญของมาตรการ โดยเริ่มจากมาตรการที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้โดยตรงและอยู่ภายใต้การควบคุมของสนามบิน ก่อนขยายไปสู่มาตรการที่ต้องอาศัยการลงทุนและความร่วมมือจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายภาคส่วน ซึ่งสอดคล้องกับ Couto and Baltazar (2025) ที่เสนอว่าการพัฒนาสนามบินอย่างยั่งยืนต้องอาศัยการวางแผนและการบูรณาการมาตรการหลายมิติอย่างเป็นระบบ

ผลการศึกษายังสะท้อนให้เห็นว่า มาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทนควรได้รับการดำเนินการเป็นลำดับแรก เนื่องจากสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้โดยตรง มีความพร้อมทางเทคโนโลยี และสามารถติดตามผลการดำเนินงานได้อย่างชัดเจน โดย Baxter et al. (2019) พบว่า การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของสนามบินแอตเลตสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 10 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของสนามบิน และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 915 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ขณะที่ Mizrak et al. (2025) รายงานว่าการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของอาคารสามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณร้อยละ 20–30 และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณร้อยละ 15–30

ขณะเดียวกัน มาตรการด้านโครงสร้างพื้นฐาน การจัดการทรัพยากร และการสร้างความร่วมมือกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียยังมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ แม้จะต้องอาศัยการลงทุนและความร่วมมือในระดับที่สูงกว่า (Melgar et al., 2024; Nadeem & Umar, 2024; Gómez Comendador et al., 2019) โดยภาพรวม การบรรลุเป้าหมายดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการดำเนินมาตรการหลายระดับควบคู่กัน มากกว่าการพึ่งพามาตรการใดมาตรการหนึ่งเพียงลำพัง

สำหรับบริบทของประเทศไทย ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า สนามบินขนาดกลางที่มีจำนวนผู้โดยสารระหว่าง 1-10 ล้านคนต่อปี เช่น ท่าอากาศยานแม่ฟ้าหลวง เชียงราย ท่าอากาศยานหาดใหญ่ ท่าอากาศยานนานาชาติกระบี่ และท่าอากาศยานนานาชาติสมุย เป็นต้น ควรให้ความสำคัญกับมาตรการด้านพลังงานและพลังงานทดแทนเป็นลำดับแรก เนื่องจากเป็นมาตรการที่สามารถดำเนินการได้ภายใต้ขอบเขตการควบคุมของสนามบินและให้ผลลัพธ์เชิงประจักษ์ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขณะที่มาตรการใน Scope 3 เช่น การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงการบินยั่งยืน (SAF) หรือการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทางของผู้โดยสาร ควรได้รับการผลักดันผ่านความร่วมมือระหว่างสนามบิน สายการบิน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของภาคการบินไทยในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้

ส่งเสริมการประยุกต์ใช้มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสนามบินผ่านการกำหนดกลไกเชิงวิทยาศาสตร์ เช่น เงินอุดหนุน สิทธิประโยชน์ทางภาษี หรือโครงสร้างค่าธรรมเนียมที่สะท้อนผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อสนับสนุนการลงทุนในเทคโนโลยีสะอาด ควบคู่กับการส่งเสริมความร่วมมือเชิงนโยบายระหว่างสนามบิน สายการบิน และผู้ให้บริการภาคพื้นในการดำเนินมาตรการใน Scope 3 ที่เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานหรือผู้มีส่วนได้เสียที่ดำเนินงานในสนามบิน เช่น การใช้เชื้อเพลิงการบินยั่งยืน (SAF) นอกจากนี้ ควรจัดให้มีระบบติดตามและประเมินผล การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุก Scope พร้อมกำหนดตัวชี้วัด (KPI) ที่เหมาะสม เช่น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อผู้โดยสาร เพื่อใช้ในการติดตามผลและปรับปรุงมาตรการอย่างต่อเนื่อง

2. ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

งานวิจัยในอนาคตควรศึกษาประสิทธิภาพเชิงปริมาณของมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อประเมินปริมาณการลดการปล่อย ต้นทุน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และระยะเวลาคืนทุนของแต่ละมาตรการ อันจะช่วยสนับสนุนการตัดสินใจด้านนโยบายและการลงทุนของสนามบินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ควรขยายการศึกษาไปสู่การเปรียบเทียบสนามบินขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ รวมถึงการประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดด้าน Carbon Performance เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของขนาดสนามบินต่อการเลือกใช้และประสิทธิภาพของมาตรการ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเข้มแข็งขององค์ความรู้และสนับสนุนการกำหนดแนวทางการพัฒนาสนามบินสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Airports Council International. (2023). *Airport carbon accreditation offset guidance document*. Airport Carbon Accreditation. <https://www.airportcarbonaccreditation.org/wp-content/uploads/2023/12/ACA-Offset-Guidance-Document-FINAL-09112023-1.pdf>
- Airports Council International. (n.d.). *Accredited airports*. Airport Carbon Accreditation. <https://www.airportcarbonaccreditation.org/accredited-airports>
- Baxter, G. (2021). An assessment of sustainable energy management at a major Scandinavian hub airport: The case of Oslo Airport Gardermoen. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 6(6), 328–337. <https://doi.org/10.22161/ijeab.66.37>
- Baxter, G. (2023). An assessment of sustainable energy management at a major United Kingdom based hub airport: A case study of London Gatwick Airport. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 8(1), 1–23. <https://doi.org/10.22161/ijeab.82.1>
- Baxter, G., Srisaeng, P., & Wild, G. (2019). Environmentally sustainable airport energy management using solar power technology: The case of Adelaide Airport, Australia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 9(1), 81–100. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2019.9\(1\).07](https://doi.org/10.7708/ijtte.2019.9(1).07)
- Couto, J., & Baltazar, M. E. (2025). *Sustainable airport development: A literature review. Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202503.2103.v1>
- Dimitriou, D., & Karagkouni, A. (2022). Airports' sustainability strategy: Evaluation framework upon environmental awareness. *Frontiers in Sustainability*, 3, 880718. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.880718>
- El Zein, M., Karimipannah, T., & Ameen, A. (2025). Airports - Energy and sustainability perspectives. *Energies*, 18, 1360. <https://doi.org/10.3390/en18061360>
- Greer, F., Rakas, J., & Horvath, A. (2020). Airports and environmental sustainability: A comprehensive review. *Environmental Research Letters*, 15(10), 103007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb42a>
- Gómez Comendador, V. F., Valdés, R. M. A., & Lisker, B. (2019). A holistic approach to the environmental certification of green airports. *Sustainability*, 11(15), 4043. <https://doi.org/10.3390/su11154043>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

- International Civil Aviation Organization. (2022). *Long-term global aspirational goal (L TAG) for international aviation of net-zero carbon emissions by 2050*. https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Special-Supplement-on-LTAG.pdf
- Jia, X., Macário, R., & Buyle, S. (2024). How do airports align with sustainability? An analysis of the world's 150 busiest airports. *Sustainable Development*, 32(6), 7409–7433. <https://doi.org/10.1002/sd.3029>
- Lakhout, A., Abdalla, G. M. T., Elsadig, E. H. O., Al-Rashed, W. S., Abdel-Magid, I., Ben Messaoud, A., Yassin, A. H. A., Sayed, O. A., Elsayy, M. B., & Hayder, G. (2025). Sustainable airport planning using a multi-criteria decision-making approach with fuzzy logic and GIS integration. *Buildings*, 15(10), 1749. <https://doi.org/10.3390/buildings15101749>
- Mancinelli, E., Canestrari, F., Graziani, A., Rizza, U., & Passerini, G. (2021). Sustainable performances of small to medium-sized airports in the Adriatic Region. *Sustainability*, 13, 13156. <https://doi.org/10.3390/su132313156>
- Melgar, S., Torres-Polo, M., & Tobon, S. (2024). Airport infrastructure development: A comprehensive impact review. *International Journal of Professional Business Review*, 9(1), e04166. <https://doi.org/10.26668/businessreview/2024.v9i1.4166>
- Mizrak, F., Mizrak, K. C., & Karakaya, T. (2025). Optimizing net-zero energy strategies in airports through a hybrid multi-method framework. *Scientific Reports*, 15, 17372. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12438-0>
- Monsalud, A., Ho, D., & Rakas, J. (2014). Greenhouse gas emissions mitigation strategies within the airport sustainability evaluation process. *Sustainable Cities and Society*, 14, 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.07.003>
- Nadeem, N., & Umar, H. (2024). *Airport sustainability: A life cycle assessment of environmental practices*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19972.33921>
- Salabun, W., Watróbski, J., & Shekhovtsov, A. (2020). Are MCDA methods benchmarkable? A comparative study of TOPSIS, VIKOR, COPRAS, and PROMETHEE II methods. *Symmetry*, 12(9), 1549. <https://doi.org/10.3390/sym12091549>
- Schaltegger, S., & Burritt, R. (2018). Business cases and corporate engagement with sustainability: Differentiating ethical motivations. *Journal of Business Ethics*, 147(2), 241–259. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2938-0>
- Tchiwilá, M. B., Rakas, J., Hendrickson, T. P., & Nikolić, M. (2025). A model for selecting the best sustainable airport technology alternatives. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 5, 041001. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ae14a6>

- Thakur, R. (2019). *Green airport: An innovation in air transportation* [Master's thesis]. Jaypee University of Information Technology.
- World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard* (Rev. ed.). <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>
- Zanghelini, G. M., Cherubini, E., & Soares, S. R. (2018). How Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) is aiding Life Cycle Assessment (LCA) in results interpretation. *Journal of Cleaner Production*, 172, 609–622. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.230>