การเพิ่มประสิทธิภาพด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
Enhancing Aerodynamic Efficiency to Reduce Environmental Impact

สุฐิต ห่วงสุวรรณ[1] เขมณัฏฐ์ อำนวยวรชัย[1]* สุกัญญา สมมณีดวง[1]
สุธาสินี รูปแก้ว[1] กมล น้อยทองเล็ก[1] และอนิรุทธิ์ ต่ายขาว[2]
Sutit Huangsuwan[1], Khemmanat Aumnuaworachai[1]*, Sukanya Sommaneedoung[1],
Suthasinee Roopkaew[1], Kamol Noithonglek[1] and Anirut Taikhao[2]
[1]คณะการบิน มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[1]School of Aviation, Eastern Asia University
[2]สำนักวิชาการ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
[2]Academic Office, Eastern Asia University
*Corresponding author: lalita@eau.ac.th
Received: February 21, 2025
Revised: June 4, 2025
Accepted: June 9, 2025

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการบินเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจโลก แต่ปัจจุบันยังต้องเผชิญกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์เกี่ยวกับการพัฒนาอากาศพลศาสตร์ในอุตสาหกรรมการบิน โดยมุ่งเน้นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์ส่งผลทางบวกในการเพิ่มประสิทธิภาพของการบินและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการบินไปสู่เป้าหมาย Net Zero Emissions ภายในปี 2050

คำสำคัญ: อากาศพลศาสตร์ การบินที่ยั่งยืน ประสิทธิภาพการบิน ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Abstract

The aviation industry plays a crucial role in driving the global economy but currently faces environmental challenges from greenhouse gas emissions. This article presents an analysis of aerodynamic development in the aviation industry, focusing on the study of aerodynamic efficiency improvements to reduce environmental impact. The analysis results indicate that aerodynamic technology has positive effects on enhancing flight efficiency and reducing environmental impact, serving as a key driver for the aviation industry to achieve Net Zero Emissions targets by 2050.

Keyword: aerodynamics, sustainable aviation, flight efficiency, environmental impact

บทนำ

อุตสาหกรรมการบินเป็นอุตสาหกรรมสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจโลก โดยมีบทบาทหลักในการเชื่อมโยงประเทศต่าง ๆ ผ่านการขนส่งผู้โดยสารและสินค้า แม้ว่าในช่วงการระบาดของโควิด-19 อุตสาหกรรมการบินจะได้รับผลกระทบอย่างหนัก ส่งผลให้เกิดการขาดทุนสะสมกว่า 180 พันล้านดอลลาร์ในช่วงปี ค.ศ. 2020-2022 แต่ในปี ค.ศ. 2022 สถานการณ์เริ่มดีขึ้นเมื่อประเทศต่าง ๆ ทยอยผ่อนคลายหรือยกเลิกข้อจำกัดการเดินทาง ส่งผลให้ความต้องการเดินทางทางอากาศกลับมาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้ว่าจำนวนผู้โดยสารทั่วโลกจะยังไม่กลับสู่ระดับก่อนเกิดโรคระบาดอย่างเต็มที่ แต่คาดการณ์ว่าอุตสาหกรรมการบินจะฟื้นตัวอย่างสมบูรณ์ภายในปี ค.ศ. 2024-2025 (IATA, 2023)

การเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์ทั่วโลกได้ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนจากข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2018 - 2023 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ยกเว้นในช่วงวิกฤตการแพร่ระบาดของโควิด-19 ดังรายละเอียดแสดงในตาราง 1

นอกจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยตรง ยังมีมลพิษอื่น ๆ ที่มีปริมาณน้อยกว่าแต่มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ซึ่งประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) โดยสารเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการก่อตัวของโอโซน (O_3) ในชั้นโทรโพสเฟียร์ และส่งผลต่อคุณภาพอากาศบริเวณสนามบินอย่างมาก ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_X) ที่ปล่อยออกมานั้นส่งผลโดยตรงต่อการก่อตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอนที่ไหม้ไม่หมด (UHCs) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้คุณภาพอากาศลดลง และอนุภาคเขม่า (soot) ที่สามารถเร่งการก่อตัวของไอน้ำควบแน่น (contrails) และเมฆเซอร์รัส (Cirrus Clouds) ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลกระทบทางตรงต่อภาวะโลกร้อนซึ่งแม้ว่าอุตสาหกรรมการบินจะคิดเป็นเพียง 2.5% ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ทั่วโลก แต่เมื่อรวมผลกระทบมลพิษต่าง ๆ แล้ว พบว่า มีส่วนทำให้เกิดภาวะโลกร้อนถึง ประมาณ 3.5–4% (Nelson & Reddy, 2017; Overton, 2022; Ritchie, 2024) และเป็นไปตามที่ International Civil Aviation Organization (ICAO) (2023) รายงานว่า การบินพาณิชย์มีส่วนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 2-3 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของโลก และภายในปี ค.ศ. 2030 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 3-4

จากประเด็นดังกล่าว ICAO ได้กำหนดเป้าหมายใหม่ภายใต้โครงการ Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation: CORSIA ที่จะ

ควบคุมปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสายการบินให้ไม่เกิน 85% ของระดับปี ค.ศ. 2019 เพื่อเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ระดับ Net Zero ภายในปี ค. ศ. 2050 ทั้งนี้ IATA (2023) จึงได้กำหนดแผนการดำเนินงานที่สำคัญเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยการพัฒนาเชื้อเพลิงการบินยั่งยืน (SAF) การวิจัยเทคโนโลยีอากาศยานใหม่ การปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน และการดำเนินโครงการชดเชยคาร์บอน โดยตั้งเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ภายในปี 2050

การเคลื่อนที่ของอากาศยานขึ้นอยู่กับหลักการของแรงสี่แรงในการบิน ได้แก่ แรงยก (lift) แรงต้าน (drag) แรงขับ (thrust) และแรงโน้มถ่วง (weight) ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของอากาศพลศาสตร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบิน เครื่องยนต์ต้องใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อสร้างแรงขับให้เพียงพอในการเอาชนะแรงต้าน ขณะเดียวกันต้องสร้างแรงยกมากพอเพื่อต้านแรงโน้มถ่วงของเครื่องบิน หากน้ำหนักเครื่องบินเพิ่มขึ้น จะต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการสร้างทั้งแรงขับและแรงยก ดังนั้นการบริหารจัดการแรงทั้งสี่อย่างสมดุลผ่านการออกแบบที่ลดแรงต้าน การใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา การจัดการน้ำหนักบรรทุกและเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบิน ลดการใช้พลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Luo, Eng, Tang, Ma, Su & Bugeda, 2024)

บทความนี้มุ่งเน้นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพด้านอากาศพลศาสตร์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการบินไปสู่เป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ภายในปี 2050

ตาราง 1

ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์ทั่วโลก (ค.ศ.2018 – 2023)

ปี ค.ศ.	การปล่อย CO_2 (ล้านตันเมตริก)	ร้อยละเมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2019	หมายเหตุ	แหล่งอ้างอิง
2018	918	99.8	2.4% ของการปล่อย CO_2 จากเชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วโลกในปีเดียวกัน	Graver, Zhang & Rutherford, 2019
2019	920	100	ระดับสูงสุดก่อนโควิด-19	Overton, 2022
2020	495 - 600	50 - 65	ผลกระทบจากโควิด-19	Graver, Rutherford & Zheng, 2020
2021	650 - 700	70 - 76	เริ่มฟื้นตัว	International Energy Agency [IEA], 2023; Ukpanah, 2024
2022	800 - 850	87 - 92	ฟื้นตัวต่อเนื่อง	International Energy Agency [IEA], 2023
2023	900 - 950	98 - 103	เกือบกลับสู่ภาวะปกติ	International Energy Agency [IEA], 2023
				International Energy Agency [IEA], 2023

แรง 4 แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน

การเคลื่อนที่ของเครื่องบินในอากาศขึ้นอยู่กับแรง 4 แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของอากาศพลศาสตร์ (aerodynamics) ได้แก่ แรงยก (lift) แรงต้าน (drag) แรงขับ (thrust) และแรงโน้มถ่วง (weight) ดังภาพ 1 แรง 4 แรงนี้ต้องทำงานร่วมกันเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องบินในขณะบิน การทำความเข้าใจและบริหารจัดการสมดุลของแรง 4 แรง จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบอากาศยานที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

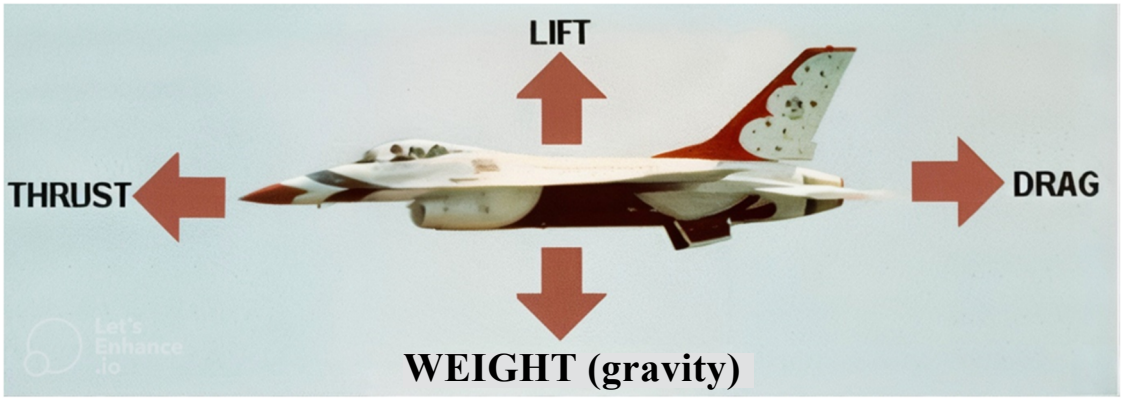
แรงยก (lift) เป็นแรงที่ทำให้เครื่องบินสามารถลอยอยู่ในอากาศได้ แม้ว่าจะมีน้ำหนักหลายสิบตัน ซึ่งเป็นแรงที่มีทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก แรงยกเกิดจากหลักการทางอากาศพลศาสตร์ของปีกเครื่องบิน โดยทั่วไปจะกระทำในทิศทางดันขึ้นใต้ท้องปีก หลักการทำงานของแรงยกเกิดจากอากาศที่ไหลผ่านปีกของเครื่องบิน ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดัน กล่าวคือ บริเวณด้านบนของปีกจะมีแรงดันอากาศต่ำ ขณะที่ด้านล่างของปีกจะมีแรงดันอากาศสูง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงยกขึ้น โดยเครื่องบินต้องได้รับการออกแบบรูปทรงแอร์ฟอยล์ของปีกให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถสร้างแรงยกได้เพียงพอสำหรับการบิน (Golovkin et al., 2018; Tasananakajit, 2019) ซึ่งหลักการของแรงยกสามารถอธิบายได้ตามแนวคิดสำคัญ 2 แนวคิด คือ (1) หลักการของแบร์นูลลี (Bernoulli's Principle) ที่ระบุว่า อากาศที่ไหลผ่านด้านบนของปีกต้องเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้ความดันอากาศลดลง ขณะที่อากาศด้านล่างเคลื่อนที่ช้ากว่าและมีความดันสูงกว่า ความแตกต่างของความดันนี้ทำให้เกิดแรงยก ดังภาพ 2 และ (2) กฎข้อที่ 3 ของนิวตัน (Newton's Third Law) คือ อากาศที่ถูกปีกเบี่ยงลงล่างจะสร้างแรงปฏิกิริยาในทิศขึ้นบน ส่งผลให้เกิดแรงยก (D M. Arif, n.d.)

แรงต้าน (Drag) เป็นแรงที่ต้านทานการเคลื่อนที่ของเครื่องบินเมื่อผ่านอากาศ โดยมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของเครื่องบินเสมอ แรงต้านเป็นหนึ่งในแรงสำคัญที่มีผลต่อการบิน โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) แรงต้านแบบพาราไซต์ (Parasite Drag) เกิดจากแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อพื้นผิวของเครื่องบิน ซึ่งรวมถึง แรงต้านจากความหนืดของอากาศ (skin friction drag) และแรงต้านจากความต้านทานรูปร่าง (form drag) ซึ่งเกิดจากการที่อากาศต้องไหลผ่านโครงสร้างของเครื่องบิน แรงต้านประเภทนี้สามารถลดลงได้โดยการออกแบบตัวเครื่องให้มีความเพรียวลมและใช้วัสดุที่มีผิวเรียบเพื่อลดแรงเสียดทาน และ (2) แรงต้านแบบอินดิวซ์ เกิดขึ้นเนื่องจากการสร้างแรงยกของปีกเครื่องบิน ซึ่งทำให้เกิดกระแสหมุนวนบริเวณปลายปีก เป็นสาเหตุหลักของแรงต้านขณะบิน วิธีลดแรงต้านประเภทนี้สามารถทำได้โดยการออกแบบปีกให้มีสัดส่วนที่เหมาะสม (high aspect ratio) หรือใช้ปีกแบบปลายงอน (winglets) เพื่อลดกระแสหมุนวนบริเวณปลายปีก แรงต้านส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบินของเครื่องบินโดยตรง หากแรงต้านเพิ่มขึ้น เครื่องบินต้องใช้แรงขับ (thrust) มากขึ้นเพื่อต่อสู้กับแรงนี้ ทำให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น (Golovkin et al., 2018; Raymer, 2018; Stephan et al., 2023)

แรงขับ (thrust) เป็นแรงที่ทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์กังหันก๊าซหรือใบพัดของอากาศยาน หลักการทำงานของแรงขับสามารถอธิบายได้ด้วยกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน ซึ่งระบุว่าทุกแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ในกรณีของเครื่องบิน เมื่อเครื่องยนต์ปล่อยก๊าซไอพ่นหรือดันอากาศไปทางด้านหลังหรือแรงกิริยา จะเกิดแรงปฏิกิริยาที่ผลักให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แรงขับนี้มีทิศทางตรงข้ามกับแรงต้านและขนานกับลำตัวของเครื่องบินเสมอ การควบคุมความเร็วของเครื่องบินขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับและแรงต้าน โดยเครื่องบินจะเริ่มเคลื่อนที่เมื่อแรงขับมีค่าเท่ากับแรงต้าน สำหรับการบินด้วยความเร็วคงที่ จำเป็นต้องควบคุมให้แรงขับและแรงต้านมีค่าเท่ากันตลอดเวลา หากต้องการเปลี่ยนแปลงความเร็ว นักบินจะต้องปรับกำลังของเครื่องยนต์ กล่าวคือ การลดความเร็วทำได้โดยลดกำลังเครื่องยนต์เพื่อให้แรงต้านมีค่ามากกว่าแรงขับ ในทางกลับกัน การเพิ่มความเร็วทำได้โดยเพิ่มกำลังเครื่องยนต์เพื่อให้แรงขับมีค่ามากกว่าแรงต้าน (Tasananakajit, 2019; Federal Aviation Administration,

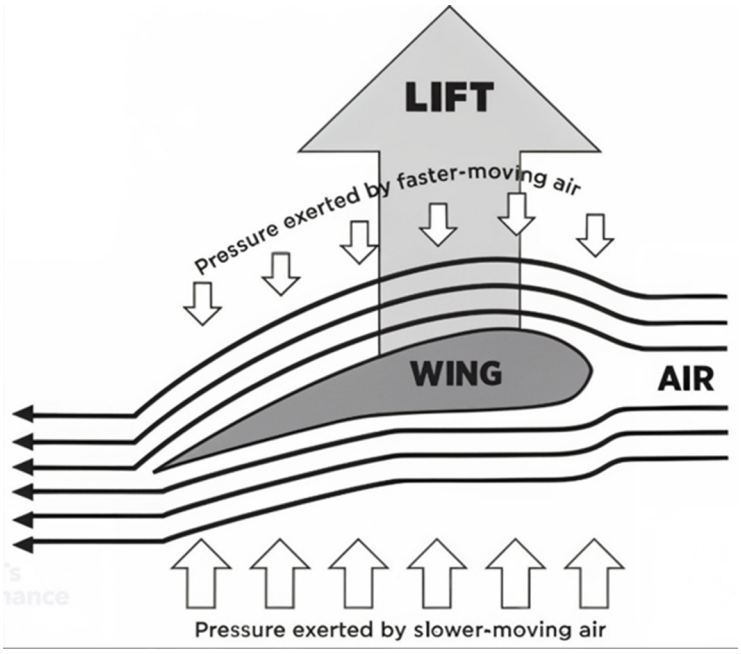
n.d.) ซึ่งแรงขับสำหรับเครื่องบินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) แรงขับจากเครื่องยนต์ไอพ่นและแรงขับจากใบพัด โดยเครื่องยนต์ไอพ่นใช้หลักการปล่อยไอพ่นออกจากเครื่องยนต์ที่ความเร็วสูง พบได้ในเครื่องบินพาณิชย์และเครื่องบินรบ (2) แรงขับจากใบพัดใช้เครื่องยนต์ลูกสูบหรือเทอร์โบพร็อปในการขับเคลื่อนใบพัดเพื่อดึงและผลักอากาศ มักพบในเครื่องบินขนาดเล็กและเครื่องบินโดยสารแบบใบพัด นอกจากนี้ การศึกษาวิจัยของ Usubamatov and Zhumaev (2018) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแรงต่าง ๆ เช่น แรงเฉื่อยและแรงไจโรสโคปิกที่ส่งผลต่อใบพัด ยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของใบพัดในงานอากาศยานอีกด้วย

แรงโน้มถ่วง (weight) เป็นแรงที่ดึงวัตถุทุกชนิดลงสู่ศูนย์กลางของโลก และในบริบทของการบิน แรงโน้มถ่วงจะทำหน้าที่เป็นแรงที่ต่อต้านแรงยก (lift) ของเครื่องบิน แรงโน้มถ่วงของเครื่องบินขึ้นอยู่กับมวลของเครื่องบินและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีค่าประมาณ 9.81 m/s^2 บนพื้นผิวโลก เครื่องบินต้องสร้างแรงยกที่เพียงพอจากปีกเพื่อเอาชนะแรงโน้มถ่วงและทำให้เครื่องบินสามารถบินอยู่ในอากาศได้ ซึ่งแรงโน้มถ่วง (weight) มีหลักการสำคัญที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบของแรงโน้มถ่วงต่อการบิน ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's Laws of Motion) และสมการแรงยกของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Lift Equation) (Washmuth, 2023) ซึ่งแรงโน้มถ่วงมีผลต่อแรงยกและแรงต้านที่กระทำต่อเครื่องบิน ซึ่งส่งผลต่อเส้นทางการบินและประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง การเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วง เช่น ในระหว่างการบินแบบพาราโบลา สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดการตอบสนองที่เร็วขึ้นหรือช้าลง ขึ้นอยู่กับสภาวะแรงโน้มถ่วง (Crevecoeur et al., 2014)



ภาพ 1 แรง 4 แรงของเครื่องบิน

Note. From "*Principles of flying*," by Thaitechniques.com, n.d. (https://www.thaitechnics.com/fly/principle_t.html) Copyright by Thai Technics.Com



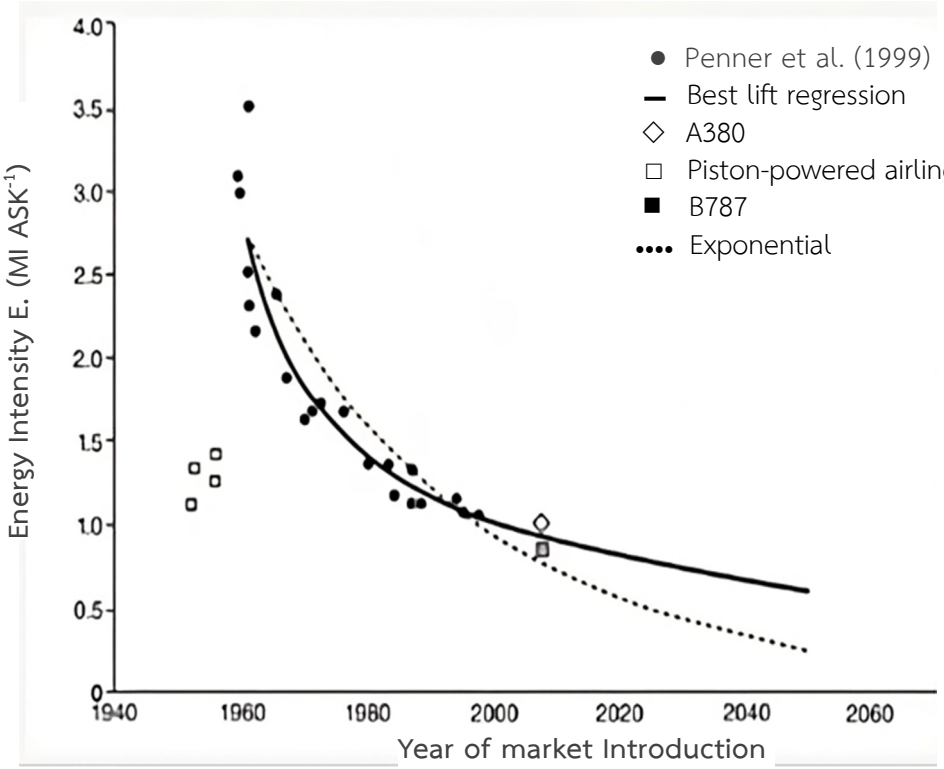
ภาพ 2 แรงยกตามหลักการของแบร์นูลลี

Note. From "*Science World Resources: Lift*," by Science World, 2015 (https://www.scienceworld.ca/stories/science-world-resources-lift/) Copyright 2015 by Science World

การพัฒนาอากาศพลศาสตร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบิน

อุตสาหกรรมการบินในปัจจุบันต้องประสบกับปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แม้ว่าความต้องการการเดินทางทางอากาศจะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ภาคการบินจำเป็นต้องพัฒนาแนวทางที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้ประสิทธิภาพ ซึ่งหนึ่งในแนวทางหลักคือการบูรณาการพัฒนาอากาศพลศาสตร์ร่วมกับเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบินและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการปรับปรุงทางเทคโนโลยีส่วนใหญ่ที่มุ่งเน้นการลดการใช้เชื้อเพลิงจะเน้นไปที่น้ำหนักโครงสร้าง อากาศพลศาสตร์ หรือประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ การลดน้ำหนักโครงสร้างของอากาศยานและการลดแรงต้านเพื่อเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน ล้วนช่วยลดกำลังการขับเคลื่อนและการใช้เชื้อเพลิง ขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์ช่วยลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สำหรับการบิน (Bows-Larkin, 2014; Agarwal, Collier, Schäfer & Seabridge, 2016)

อย่างไรก็ตามการพัฒนาเหล่านี้กำลังประสบปัญหากับข้อจำกัดด้านผลตอบแทนที่ลดลง (Diminishing Returns) ซึ่งเกิดจากการที่เทคโนโลยีในภาคการบินเริ่มเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว กล่าวคือ แม้จะมีการลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติม ผลที่ได้กลับลดลงตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มในภาพ 3 ที่แสดงถึง ความหนาแน่นของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการบินตั้งแต่การเริ่มต้นของอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์จนถึงการคาดการณ์ในปี ค.ศ. 2050 โดยเส้นถดถอยแบบ best-fit ชี้ให้เห็นว่า อัตราการปรับปรุงประสิทธิภาพเชื้อเพลิงของอากาศยานมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทคโนโลยีเข้าสู่ช่วงที่มีความซับซ้อนและข้อจำกัดเพิ่มขึ้น (Peeters, Williams & Haan, 2009; Agarwal et al., 2016)



ภาพ 3 แนวโน้มความหนาแน่นของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการบินตั้งแต่การเริ่มต้นของอุตสาหกรรมการบินพาณิชย์จนถึงการคาดการณ์ในปี ค.ศ. 2050

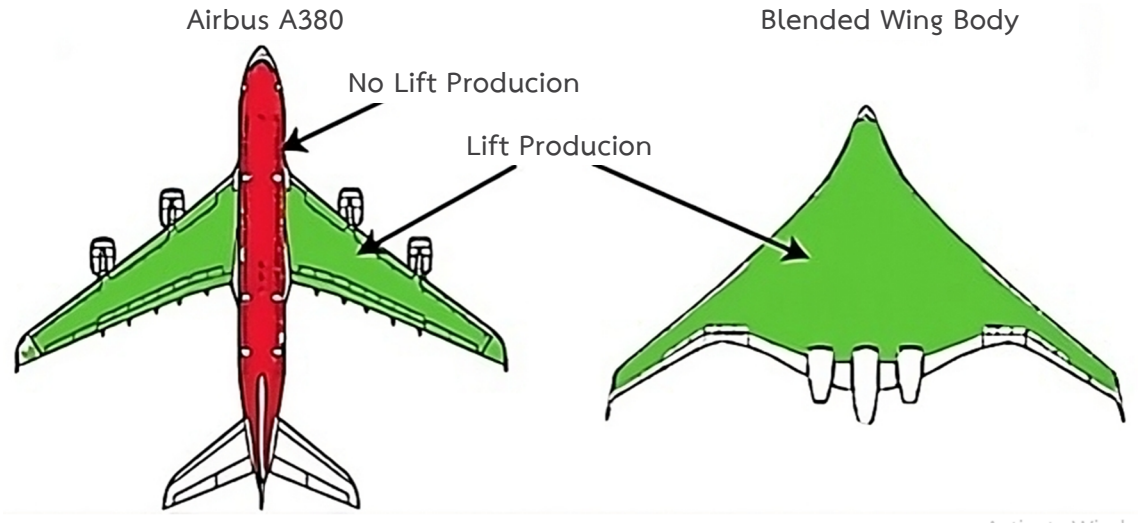
Note. From *Green aviation* (p. 7), by R. Agarwal, F. Collier, A. Schäfe and A. Seabridge, 2016. Copyright 2016 by Wiley

แม้ว่าเครื่องบินรุ่นใหม่จะมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรุ่นเดิม แต่ความท้าทายที่สำคัญ คือ การเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีดังกล่าวมีแนวโน้มว่าจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ภายในระยะเวลาที่สอดคล้องกับเป้าหมายด้านการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาในด้านอากาศพลศาสตร์จึงจำเป็นต้องมุ่งเน้นการบูรณาการเทคโนโลยีจากหลากหลายแนวทางอย่างเป็นระบบ เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีนัยสำคัญต่อการลดการใช้พลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยแนวทางหลักของการพัฒนาเหล่านี้สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) การออกแบบปีกให้มีประสิทธิภาพสูง (2) การพัฒนาวัสดุศาสตร์และโครงสร้างอากาศยาน และ (3) การปรับปรุงระบบขับเคลื่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การออกแบบปีกให้มีประสิทธิภาพสูง

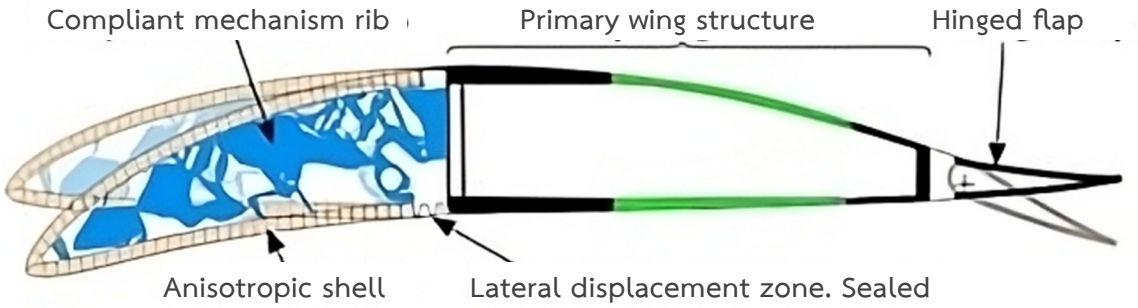
การออกแบบปีกเครื่องบินเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพอากาศพลศาสตร์ เทคโนโลยี Blended Wing-Body: BWB เป็นนวัตกรรมที่โดดเด่นซึ่งผสมผสานปีกเข้ากับลำตัวเครื่องบินอย่างลงตัว โดยไม่มีจุดแยกที่ชัดเจนระหว่างปีกกับลำตัว ทำให้เกิดรูปทรงที่เหมือนสามเหลี่ยมบินขนาดใหญ่ ดังแสดงภาพ 4 การออกแบบลักษณะดังกล่าวช่วยกระจายแรงยกไปทั่วพื้นผิวทั้งหมด ลดการก่อตัวของ wingtip vortices ที่เป็นสาเหตุหลักของแรงต้านเหนี่ยวนำ นอกจากนี้ พื้นผิวที่ใหญ่ขึ้นช่วยกระจายน้ำหนักและสร้างแรงยกได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ขณะที่การผสมผสานโครงสร้างลดพื้นผิวรวมที่สัมผัสอากาศ ส่งผลให้แรงต้านแบบพาราไซต์ลดลง จากการศึกษาของ Marino and Sabatini (2014) พบว่า BWB สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงได้ 15-20% เมื่อเทียบกับเครื่องบินแบบดั้งเดิม และเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้านได้ถึง 25%

เทคโนโลยี Morphing Wing เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการบิน โดยช่วยให้ปีกเครื่องบินสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ตามสภาวะการบินที่แตกต่างกัน การปรับความยาว ความกว้าง มุมโค้ง หรือมุมกวาดของปีกตามเงื่อนไขการบิน ทำให้ปีกสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกระยะของการบิน ในระหว่างขึ้น-ลง ปีกจะปรับเป็นรูปร่างที่เหมาะสำหรับสร้างแรงยกสูงสุด และลดแรงต้านในช่วงบินระดับ (cruise) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเปลี่ยนรูปร่างยังช่วยป้องกันการแยกตัวของกระแสอากาศ ดังภาพ 5 ทำให้การไหลเป็นไปอย่างราบรื่น การทำงานของระบบประกอบด้วยสองโหมดหลัก ได้แก่ โหมดปรับความโค้งของ Flap โดยรวม เพื่อเพิ่มแรงยก และโหมดควบคุมปลาย Flap เพื่อควบคุมโหลดและการทรงตัวของเครื่องบิน โดยระบบได้รับการออกแบบให้ปลอดภัย ส่งผลให้เทคโนโลยีนี้มีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการบิน ลดการใช้พลังงาน และสนับสนุนการพัฒนาอากาศยานที่ยั่งยืนในอนาคต (Pecora, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Dong and Arief (2025) แสดงให้เห็นว่า Morphing Wing สามารถเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้านได้ 25% และเพิ่มความสามารถในการควบคุมได้ถึง 40%



ภาพ 4 การเปรียบเทียบการสร้างแรงยกของเครื่องบินแบบ Airbus 380 และ Blended Wing-Body

Note. From “Advanced lightweight aircraft design configurations for green operations,” by M. Marino and R. Sabatini, 2014, *Conference: Practical Responses to Climate Change (PRCC) 2014. Engineers Australia Convention 2014 At: Melbourne, Australia*. Copyright 2014 by Engineers Australia



ภาพ 5 โครงสร้างของ Morphing Wing

Note. From “*Aerodynamic design of a morphing wing sailplane*,” by J. Achleitner, K. Rohde-Brandenburger, P. Rogalla von Bieberstein, F. Sturm and M. Hornung, 2019, https://doi.org/10.2514/6.2019-2816

นอกจากนี้เทคโนโลยี Active Flow Control: AFC เป็นระบบที่ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยในการควบคุมการไหลของอากาศรอบปีกเครื่องบิน โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์ของอากาศยาน เทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยเทคนิคหลากหลาย เช่น Synthetic Jets ซึ่งทำหน้าที่สร้างกระแสอากาศขนาดเล็กในตำแหน่งสำคัญบนผิวปีก เพื่อเติมพลังงานให้กับชั้นขอบของการไหล (boundary layer) และป้องกันการแยกตัวของกระแสอากาศ อีกเทคนิคหนึ่ง คือ Laminar Flow Control ซึ่งมุ่งควบคุมให้การไหลของอากาศบนผิวปีกมีลักษณะเรียบที่สุด เพื่อลดแรงเสียดทานและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ส่วน Circulation Control เป็นเทคนิคที่เป่าอากาศออกจากช่องรอยแยกบนปีก เพื่อเพิ่มการหมุนเวียนของอากาศบริเวณขอบปีก ทำให้แรงยกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Salunkhe, Wu and Tang (2020) พบว่า การใช้ Slotted Synthetic Jets สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์แรงยกได้ถึง 35.6% และลดแรงต้านได้ 33%

1. การพัฒนาวัสดุศาสตร์และโครงสร้างอากาศยาน

การพัฒนาวัสดุศาสตร์มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการบินและลดผลกระทบต่อโลกหนึ่งในตัวอย่างสำคัญ คือ การออกแบบและพัฒนาเครื่องบิน Boeing 787 Dreamliner ซึ่งถือเป็นจุดเปลี่ยนของการนำวัสดุศาสตร์ขั้นสูงมาใช้ในอุตสาหกรรมการบินอย่างเป็นระบบ โดย Boeing 787 Dreamliner การใช้วัสดุผสมขั้นสูงเป็นนวัตกรรมที่ได้รับการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการบิน โดยเฉพาะพลาสติกเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber Reinforced Plastic :CFRP) ในสัดส่วนที่สูงถึง 50% ของน้ำหนักเครื่องบินและ 80% ของปริมาตรส่งผลให้น้ำหนักรวมของเครื่องบินลดลงอย่างมาก น้ำหนักที่เบาลงนี้เป็นปัจจัยหลักที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งโดยตรงหมายถึง การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษอื่น ๆ ลดลง นอกจากนี้การที่วัสดุผสมมีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อน และลดความจำเป็นในการบำรุงรักษาบ่อยครั้งเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียม ยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการซ่อมบำรุงตลอดวงจรชีวิตของเครื่องบิน (Ramakrishnan, 2024)

การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (additive manufacturing) ถือเป็นหนึ่งในเทคนิคการผลิตสมัยใหม่ที่มีบทบาทสำคัญต่อการออกแบบและพัฒนาอากาศยานให้มีน้ำหนักเบาลง ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานอย่างรอบด้าน เทคนิคนี้เป็นแนวทางสำคัญในการสร้างชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนสูงและมีโครงสร้างน้ำหนักเบา โดยสามารถผลิตชิ้นงานจากวัสดุผสมหรือวัสดุหลายชนิดได้ภายในชิ้นเดียว ทำให้ลดการใช้วัสดุส่วนเกิน เพิ่มความแข็งแรงในบริเวณที่จำเป็น และลดน้ำหนักรวมของโครงสร้างอากาศยานได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนำไปสู่การลดการใช้พลังงาน เพิ่มระยะทางการบิน และสนับสนุนเป้าหมายด้านความยั่งยืนและการลดการปล่อยมลพิษในอุตสาหกรรมการบินในอนาคต (Kumar & Bairwa, 2023) อย่างไรก็ตาม Luo (2024) ได้แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าวัสดุน้ำหนักเบาจะช่วยลดน้ำหนักของเครื่องบิน แต่ก็อาจทำให้ความแข็งของโครงสร้างลดลงและเกิด Vibration และ Aeroelastic Effects เพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องพัฒนากลยุทธ์การควบคุมขั้นสูง ที่สามารถลดผลกระทบจากการออกแบบน้ำหนักเบาและรักษาเสถียรภาพของอากาศยาน ซึ่งรวมถึงการใช้ Active Vibration Control Systems เพื่อลดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นระหว่างการบิน และ Adaptive Control Algorithms ที่สามารถปรับพารามิเตอร์แบบเรียลไทม์ให้เหมาะสมกับสภาวะการบินและโครงสร้างอากาศยาน การบูรณาการแนวทางเหล่านี้จะช่วยให้สามารถใช้วัสดุน้ำหนักเบาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่กระทบต่อความแข็งแรงและเสถียรภาพของอากาศยาน

2. การปรับปรุงระบบขับเคลื่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ด้านระบบขับเคลื่อนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอากาศยานสมัยใหม่มุ่งเน้นการผสมผสานเทคโนโลยีที่ทันสมัย โดยเฉพาะการบูรณาการระบบ Hybrid-Electric Propulsion ร่วมกับเทคโนโลยี Boundary Layer Ingestion: BLI ซึ่งเป็นแนวคิดที่ช่วยลดแรงต้านและเพิ่มประสิทธิภาพแรงขับ เทคโนโลยีนี้ช่วยให้อากาศยานสามารถลดการใช้เชื้อเพลิง ปรับปรุงสมรรถนะด้านอากาศพลศาสตร์ และเพิ่มความยั่งยืนของระบบขับเคลื่อน จากการศึกษาของ Bilyaz and Perçin (2024) พบว่า ระบบ BLI สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 15% เมื่อเทียบกับระบบดั้งเดิม เนื่องจากการนำอากาศจาก boundary

layer ซึ่งมีความเร็วต่ำกว่ามวลอากาศโดยรอบ มาใช้ในการสร้างแรงขับ ซึ่งวิธีนี้ช่วยให้เครื่องยนต์ต้องใช้พลังงานน้อยลงในการเร่งอากาศเข้าสู่ระบบ ส่งผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนของอากาศยาน นอกจากนี้ Lengyel-Kampmann, Charroin and Meyer (2024) ยังพบว่า BLI สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อน ส่งผลให้ลดการใช้เชื้อเพลิงและปรับปรุงสมรรถนะโดยรวมของอากาศยาน นอกจากนี้มีการศึกษาการนำ BLI ไปใช้กับอากาศยานที่มีการออกแบบ Blended Wing-Body: BWB ยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการลงจอด เนื่องจากสามารถควบคุมแรงขับได้อย่างแม่นยำโดยไม่จำเป็นต้องปรับความเร็วรอบของใบพัด ซึ่งช่วยลดความไม่แน่นอนระหว่างการลงจอด (Yu, Tao & Tang, 2024)

เทคโนโลยี Distributed Electric Propulsion : DEP หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาเพื่อตอบสนองความท้าทายเหล่านี้ DEP คือ ระบบขับเคลื่อนที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กหลายตัว ติดตั้งกระจายอยู่ตามโครงสร้างของอากาศยาน เช่น ปีกหรือลำตัว ซึ่งต่างจากเครื่องบินทั่วไปที่มักพึ่งพาเครื่องยนต์ขนาดใหญ่เพียงไม่กี่ตัว ระบบ DEP ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอากาศยานในหลายด้าน เริ่มจากการเพิ่มแรงยก (lift) โดยเฉพาะช่วงวิ่งขึ้นและลงจอด ซึ่งสามารถใช้ปรากฏการณ์ “Blown Wing” ที่แรงลมจากใบพัดช่วยเพิ่มการไหลเวียนของอากาศเหนือปีก ทำให้เครื่องบินสามารถวิ่งขึ้นบนรันเวย์ที่สั้นลงได้อย่างปลอดภัย (Nagel, 2025) และสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ไฟฟ้า งานวิจัยในวารสาร Sustainability รายงานว่า อากาศยานที่ใช้ DEP ร่วมกับระบบขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Zhang, Roumeliotis & Zolotas, 2022)

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประสิทธิภาพการบิน

การพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์ในปัจจุบันทำให้ส่งผลกระทบด้านบวก นั่นคือ การเพิ่มประสิทธิภาพด้านการบินและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถจำแนกผลกระทบที่สำคัญได้ 3 ด้านหลัก ดังนี้

1. การลดการใช้เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในต้นทุนที่สำคัญของอุตสาหกรรมการบิน และเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการศึกษาของ Wen (2024) ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีการออกแบบ Laminar Flow Control เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการบินสมัยใหม่ เป็นการประยุกต์แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการควบคุมการไหลของอากาศบนผิวปีกเครื่องบิน โดยเทคโนโลยีนี้ทำงานโดยการดูดอากาศผ่านรูเล็ก ๆ บนผิวปีก เพื่อรักษาลักษณะการไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow) ซึ่งเป็นการไหลที่เรียบและมีระเบียบ แทนการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ที่สร้างแรงต้านมากกว่า ผลลัพธ์ที่ได้คือการลดแรงต้านแบบ Viscous Drag ได้ถึง 60% และสามารถลดแรงต้านรวมของเครื่องบินได้ถึง 30% สิ่งที่น่าสนใจของเทคโนโลยี LFC คือ ไม่เพียงแต่ช่วยลดแรงต้าน แต่ยังช่วยรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพของแรงยกอีกด้วย การไหลแบบลามินาร์บริเวณชั้นขอบ (boundary layer) ช่วยให้การไหลของอากาศเหนือปีกมีเสถียรภาพมากขึ้น ส่งผลให้สามารถรักษาแรงยกไว้ได้ดีกว่าการไหลแบบปั่นป่วน นอกจากนี้ เมื่อแรงต้านลดลง เครื่องยนต์จึงต้องผลิตแรงขับน้อยลงเพื่อรักษาความเร็วการบิน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการประหยัดเชื้อเพลิง นอกจากนี้ ระบบขับเคลื่อนแบบ Boundary Layer Ingesting: BLI ยังช่วยประหยัดพลังงานได้ประมาณ 15% (Bilyaz & Perçin, 2024)

2. การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพัฒนาระบบขับเคลื่อนและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอากาศยานสมัยใหม่มุ่งเน้นการผสมผสานเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น ระบบ Boundary Layer Ingestion: BLI เป็นหนึ่งในนวัตกรรมที่โดดเด่น โดยมีการทำงานผ่านการนำอากาศจากชั้น Boundary Layer การศึกษาของ Bilyaz and Perçin (2024) พบว่า ระบบนี้สามารถประหยัดพลังงานได้ 15% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบขับเคลื่อนแบบดั้งเดิมส่งผลให้การใช้เชื้อเพลิงลดลงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามไปด้วย ไม่เพียงแต่เท่านั้น ระบบ BLI ยังช่วยลดการปล่อยมลพิษในรูปแบบอื่น ๆ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคเขม่า ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพของมนุษย์ นอกจากนี้ การ

ศึกษาของ Lengyel-Kampmann et al. (2024) ยังพบว่า ระบบ BLI ช่วยปรับปรุงสมรรถนะโดยรวมของอากาศยาน และเพิ่มเสถียรภาพในการลงจอด ขณะเดียวกันระบบ Distributed Electric Propulsion: DEP ได้ปฏิวัติแนวคิดการขับเคลื่อนอากาศยานด้วยการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็กหลายตัวที่กระจายตัวตามโครงสร้างของเครื่องบิน แทนการพึ่งพาเครื่องยนต์ขนาดใหญ่เพียงไม่กี่ตัว การศึกษาของ Zhang et al. (2022) พบว่า DEP ร่วมกับระบบขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ เทคโนโลยีนี้ไม่เพียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสร้างแรงยกในช่วงวิ่งขึ้นและลงจอด ซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องบินปล่อยมลพิษมากที่สุด แต่ยังเปิดโอกาสให้ใช้พลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ไฟฟ้า ตามที่ Nagel (2025) ระบุว่า เทคโนโลยีนี้ช่วยให้เครื่องบินสามารถวิ่งขึ้นบนรันเวย์ที่สั้นลงได้อย่างปลอดภัย เมื่อนำมาใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานสะอาด ระบบ DEP สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เกือบ 100% ในบางช่วงการบิน

3. การเพิ่มประสิทธิภาพการบิน การพัฒนาอากาศพลศาสตร์นอกเหนือลดการใช้พลังงาน และยังช่วยเพิ่มสมรรถนะของอากาศยานและเพิ่มประสิทธิภาพการบินมากขึ้น จากการศึกษาของ Dong and Arief (2025) เทคโนโลยี Morphing Wing เทคโนโลยีนี้สามารถเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน (Lift-to-Drag Ratio) ได้ 25% ทำให้เพิ่มความสามารถในการควบคุมถึง 40% และการพัฒนาระบบขับเคลื่อนแบบ Hybrid-Electric Propulsion ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบินโดยการเพิ่มอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน (lift-to-drag ratio) และค่าสัมประสิทธิ์แรงยก (lift coefficient) เทคโนโลยีเหล่านี้มีส่วนช่วยลดเสียงรบกวนและมลพิษ ซึ่งช่วยในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และบรรเทาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมการบิน (Shi, Zhou & Wu, 2021)

นอกเหนือจากพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์ การผสมผสานการใช้เชื้อเพลิงทางเลือก (alternative fuels) เช่น Sustainable Aviation Fuel: SAF เชื้อเพลิงไฮโดรเจน และระบบนำทางขั้นสูง (Advanced Navigation Systems) มีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบของอุตสาหกรรมการบินต่อสิ่งแวดล้อม (Budd & Budd, 2013) การพัฒนาและบูรณาการเทคโนโลยีเหล่านี้จะเป็นกุญแจสำคัญในการทำให้อุตสาหกรรมการบินก้าวไปสู่ “Net Zero Emissions” ภายในปี ค.ศ. 2050 และเป็นก้าวสำคัญในการสร้างอนาคตที่ยั่งยืนสำหรับการขนส่งทางอากาศ

แนวโน้มและข้อจำกัดการพัฒนาอากาศพลศาสตร์เพื่อการบินที่ยั่งยืน

การพัฒนาอากาศพลศาสตร์เพื่อการบินที่ยั่งยืนเป็นเรื่องที่สำคัญในการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมการบิน หนึ่งในแนวโน้มสำคัญคือการใช้แนวคิด การออกแบบหลายสาขาวิชาแบบบูรณาการ (Multidisciplinary Design Optimization: MDO) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบินในหลายด้าน รวมถึงอากาศพลศาสตร์ โครงสร้างเครื่องบิน ระบบขับเคลื่อน และวงจรชีวิตของเครื่องบิน ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องบินที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและไฮโดรเจน (Pustina, Blandino, Ciottoli & Mastroddi, 2023) แนวทางนี้สามารถช่วยลดแรงต้านอากาศและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อน อย่างไรก็ตามการพัฒนาการบินที่ยั่งยืนกำลังเผชิญกับข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับอากาศพลศาสตร์ โดยเฉพาะการออกแบบปีกและประสิทธิภาพอากาศพลศาสตร์ เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบิน อัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน (lift-to-drag ratio) มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องบินอย่างมาก งานวิจัยของ Luo (2024) พบว่า NACA 4412 เป็นแอร์ฟอยล์ที่ช่วยลดแรงต้านและเพิ่มประสิทธิภาพการบินได้ดี ในขณะที่ NACA 0012 ช่วยให้เครื่องบินมีเสถียรภาพทางอากาศพลศาสตร์ในช่วงความเร็วสูง นอกเหนือจากนี้การเปลี่ยนผ่านการใช้เชื้อเพลิงแบบดั้งเดิมไปสู่การใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน เนื่องจากไฮโดรเจนมีความหนาแน่นพลังงานต่อปริมาตรต่ำกว่าเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม การใช้ไฮโดรเจนในรูปแบบแก๊สอาจเพิ่มแรงต้านถึงกว่า 67% เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงทั่วไป (Zhang, Lee & Qiao, 2023) ในขณะที่เชื้อเพลิงอากาศยานหมุนเวียน (RJF) ก็ประสบปัญหาด้านความยั่งยืนในแง่ของความพร้อมใช้ของทรัพยากร (Chong & Ng, 2023)

แม้ความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์และการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกช่วยส่งเสริมการบินที่ยั่งยืน แต่ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญทั้งด้านต้นทุนโครงสร้างพื้นฐาน ความทนทานของวัสดุน้ำหนักเบา และข้อจำกัดด้านพลังงาน เพื่อให้การเปลี่ยนผ่านไปสู่การบินที่ใช้พลังงานสะอาดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นโยบายสนับสนุนและโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม จะเป็นกุญแจสำคัญในการผลักดันอุตสาหกรรมการบินไปสู่ “Net Zero Emissions” ภายในปี ค.ศ. 2050 ดังนั้นความร่วมมือระหว่าง รัฐบาล อุตสาหกรรมการบิน และหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้การพัฒนาเทคโนโลยีอากาศพลศาสตร์สามารถนำมาใช้อย่างแพร่หลายและยั่งยืนในอนาคต

สรุป

แรง 4 แรงที่กระทำต่อเครื่องบิน ได้แก่ แรงยก (lift) แรงต้าน (drag) แรงขับ (thrust) และแรงโน้มถ่วง (weight) เป็นพื้นฐานสำคัญของอากาศพลศาสตร์ ซึ่งแรงเหล่านี้ต้องมีความสมดุลเพื่อให้เครื่องบินสามารถบินได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย การทำความเข้าใจเกี่ยวกับแรงทั้งสี่ ได้แก่ แรงยกช่วยให้การออกแบบปีกของเครื่องบินให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อลดแรงต้าน ในขณะที่การพัฒนาเครื่องยนต์และระบบขับเคลื่อนสามารถช่วยเพิ่มแรงขับเพื่อลดการใช้พลังงานและเชื้อเพลิง เทคโนโลยีด้านอากาศพลศาสตร์ที่ทันสมัย ได้แก่ การออกแบบปีกแบบ Blended Wing-Body: BWB การใช้วัสดุน้ำหนักเบา และระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า มีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเพิ่มประสิทธิภาพการบิน แนวโน้มของอุตสาหกรรมการบินกำลังก้าวเข้าสู่ยุคของการพัฒนาเครื่องบินที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานและการปล่อยมลพิษ เทคโนโลยีการพัฒนาอากาศพลศาสตร์ ได้แก่ Sustainable Aviation Fuel: SAF Hybrid-Electric Propulsion และการออกแบบเทคโนโลยีต่าง ๆ จะเป็นกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการบินไปสู่เป้าหมาย “Net Zero Emissions” ภายในปี ค.ศ. 2050 ดังนั้น ความก้าวหน้าทางด้านอากาศพลศาสตร์ไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบินเท่านั้น แต่ยังเป็นแนวทางสำคัญในการทำให้อุตสาหกรรมการบินยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

References

Arif, D. M. (n.d.). *Ch03-Physics for aviation*. Retrieve from https://www.academia.edu/34115617/Ch03_Physics_for_Aviation

Achleitner, J., Rohde-Brandenburger, K., Rogalla von Bieberstein, P., Sturm, F., & Hornung, M. (2019). Aerodynamic design of a morphing wing sailplane. *AIAA Aviation 2019 Forum, Dallas, Texas*. Texas: American Institute of Aeronautics and Astronautics

Agarwal, R., Collier, F., Schäfer, A., & Seabridge, A. (2016). *Green aviation*. USA: Wiley & Sons, Inc.

Bilyaz, I. S., & Percin, Ö. B. (2024). *Aerodynamic measurements and benefit quantification of a boundary layer ingested propulsion system. AIAA 2024-1199, Embedded Inlets and Fan Distortion Effects*. Retrieved from https://doi.org/10.2514/6.2024-1199

Bows-Larkin, A. (2014). All adrift: Aviation, shipping and climate change policy. *Climate Policy, 15*(6), 681–702. https://doi.org/10.1080/14693062.2014.965125

Budd, L., & Budd, T. (2013). *Environmental technology and the future of flight. In Sustainable aviation futures (Transport and sustainability Vol. 4). Emerald Group Publishing Limited*. Retrieved from https://doi.org/10.1108/S2044-9941(2013)0000004004

Chong, C. T., & Ng, J. H. (2023). Limitations to sustainable renewable jet fuels production attributed to cost than energy-water-food resource availability. *Nat Commun, 14*, 8156. https://doi.org/10.1038/s41467-023-44049-6

Crevecoeur, F., McIntyre, J., Thonnard, J. L., & Lefèvre, P. (2014). Gravity-dependent estimates of object mass underlie the generation of motor commands for horizontal limb movements. *Journal of Neurophysiology, 112*(2), 384–392. https://doi.org/10.1152/JN.00061.2014

Dong, C., & Arief, M. M. (2025). Morphing wing designs in commercial aviation. *arXiv, 2502*, 07182. https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.07182

Federal Aviation Administration. (n.d.). *Chapter 5 – Aerodynamics of flight*. Retrieve from https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/07_phak_ch5_0.pdf

Golovkin, M. A., Efremov, A. A., Makhnev, M. S., & Setukha, A. V. (2018). Calculation methods for estimating the rotary derivatives of forces and moments acting on the aircraft. *Russ. Aeronaut, 61*(4), 547–554. https://doi.org/10.3103/S1068799818040074

Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). *CO_2 emissions from commercial aviation, 2018 (working paper 2019-16).* Retrieved from https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT_CO2-commercl-aviation-2018_20190918.pdf

Graver, B., Rutherford, D, & Zhang, K. (2020). *CO_2 emissions from commercial aviation: 2013, 2018, and 2019*. Retrieved from https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf

International Air Transport Association. (2023). *Annual review 2023*. Retrieved from https://www.iata.org/contentassets/c81222d96c9a4e0bb4ff6ced0126f0bb/annual-review-2023.pdf

International Civil Aviation Organization. (2023). *Long-term aspirational goal for international aviation.* Retrieved from https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/LTAG.aspx

International Energy Agency. (2023). *Aviation*. Retrieved from https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation

Kumar, R., & Bairwa, K. N. (2023). A review: Aeronautical components and systems should have their weight reduced throughout the design process. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science, 9*(3), 10-14. http://dx.doi.org/10.22161/ijaems.93.3

Lengyel-Kampmann, T., Charroin, G., & Meyer, R. (2024). Experimental and numerical investigation of the counter-rotating DLR Turbo Fan Stage CRISPmulti with boundary layer ingestion. *ASME Turbo Expo 2024: Turbomachinery Technical Conference and Exposition* (pp. 1-13). UK: ASME

Luo, S. (2024). Numerical study on the relationship between lift-to-drag ratio and airfoil of gliders in high-speed cruising conditions. *Highlights in Science, Engineering and Technology, 93*, 65-75. https://doi.org/10.54097/02a7ej10

Luo, S., Eng, T. Z., Tang, Z., Ma, Q., Su, J., & Bugeda, G. (2024). Multidisciplinary optimization of aircraft aerodynamics for distributed propulsion configurations. *Applied Sciences, 14*(17), 7781. https://doi.org/10.3390/app14177781

Marino, M., & Sabatini, R. (2014). Advanced lightweight aircraft design configurations for green operations. *Conference: Practical Responses to Climate Change (PRCC) 2014*. Australia: Engineers Australia

Nagel, L. (2025). *Distributed electric propulsion (DEP) in 2025. Tyto Robotics*. Retrieved from https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/distributed-electric-propulsion

Nelson, E. S., & Reddy, D. R. (2017). *Green aviation: Reduction of environmental impact through aircraft technology and alternative fuels*. London: CRC Press.

Overton, J. (2022). *The growth in greenhouse gas emissions from commercial aviation (Updated 2022)*. Retrieved from Environmental and Energy Study Institute. https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-the-growth-in-greenhouse-gas-emissions-from-commercial-aviation

Pecora, R. (2021). Morphing wing flaps for large civil aircraft: Evolution of a smart technology across the Clean Sky program. *Chinese Journal of Aeronautics, 34*(7), 13–28. https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.08.004

Peeters, P. M., Williams, V., & Haan, A. (2009). Technical and management reduction potentials. In P. J. Upham & S. Gössling (Eds.), *Climate change and aviation: Issues, challenges and solutions* (p. 293). UK: Earthscan.

Pustina, L., Blandino, M., Ciottoli, P. P., & Mastroddi, F. (2023). Towards multidisciplinary design optimization of next-generation green aircraft, *Materials Research Proceedings, 37*, 440-443. https://doi.org/10.21741/9781644902813-97

Ramakrishnan, P. N. (2024). Composite materials, metals, and ceramics used in the Boeing 787: Materials overview. *Journal of Research in Science and Engineering (JRSE), 6*(8). 57-62. https://doi.org/10.53469/jrse.2024.06(07).13

Raymer, D. P. (2018). *Aircraft design: A conceptual approach* (6th ed.). Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Ritchie, H. (2024, April 8). *What share of global CO_2 emissions come from aviation? Our World in Data.* Retrieved from https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions

Salunkhe, P., Wu, Y., & Tang, H. (2020). Aerodynamic performance improvement of a wing model using an array of slotted synthetic jets. *ASME Journal of Fluids Engineering, 142*(10), 101204. https://doi.org/10.1115/1.4047397

Science World. (2015). *Science world resources: Lift.* Retrieve from https://www.scienceworld.ca/stories/science-world-resources-lift/

Shi, J., Zhou, J., & Wu, L. (2021). Aerodynamic investigation of a general aviation aircraft with distributed electric propulsion. *2021 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)* (pp. 672–676). China: IEEE

Stephan, R. A., Stumpf, E., Ruhland, J., & Breitsamter, C. (2023). A modeling approach for trailing edge flap forces and moments in the preliminary aircraft design stage. *AIAA AVIATION 2023 Forum.* San Diego, CA: American Institute of Aeronautics and Astronautics

Thaitechniques.com. (n.d.). *Principles of flight*. Retrieve from https://www.thaitechnics.com/fly/principle_t.html (in Thai)

Thansonanakarachitta, P. (2019). *Did you know? There are 4 forces acting on an airplane at all times.* Retrieved from https://www.scimath.org/article-physics/item/9812-4 (in Thai)

Ukpanah, I. (2024). *Aviation emissions environmental impact. GreenMatch*. Retrieved from https://www.greenmatch.co.uk/blog/aviation-environmental-impact

Usubamatov, R., & Zhumaev, T. (2018). Inertial forces acting on a propeller of aircraft. *The Open Aerospace Engineering Journal, 7*(1), 1–13. https://doi.org/10.2174/1874146001807010001

Washmuth, D. (2023). *Four forces of flight. Overview & Aerodynamics*. Retrieve from https://study.com/academy/lesson/airplanes-force-thrust-drag-lift-weight.html

Wen, S. (2024). Current status and application of laminar flow control airfoil design technology. *Highlights in Science, Engineering and Technology, 120*, 357-363. https://doi.org/10.54097/06qsfh56

Yu, M., Tao, Z., Li, H., & Tang, P. (2024). Optimizing the landing stability of blended-wing-body aircraft with distributed electric boundary-layer ingestion propulsors through a novel thrust control configuration. *Applied Sciences, 14*(18), 8546. https://doi.org/10.3390/app14188546

Zhang, J., Roumeliotis, I., & Zolotas, A. (2022). Sustainable aviation electrification: A comprehensive review of electric propulsion system architectures, energy management, and control. *Sustainability, 14*(10), 5880. https://doi.org/10.3390/su14105880

Zhang, S., Lee, D. E., & Qiao, L. (2023). Assessing the drag implications of hydrogen fuel utilization in small aircraft: A preliminary numerical analysis. *arXiv preprint arXiv, 2310*, 01265. https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.01265