



การศึกษาข้อจำกัดทางกฎหมายและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับ
การใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAVs) ในการสนับสนุนการตรวจสอบ
สัญญาณเครื่องช่วยการเดินอากาศ (NAVAIDs)

โดย

ทักษ์ดนัย วุฒิเสน

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ
คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2567

LEGAL CONSTRAINTS AND ECONOMIC FEASIBILITY OF USING
UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) FOR NAVIGATION
AIDS (NAVAIDS) FLIGHT INSPECTION

BY

TAKDANAI WUTHISEN

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARTS
BUSINESS ECONOMICS
FACULTY OF ECONOMICS
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2024

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะเศรษฐศาสตร์

การค้นคว้าอิสระ

ของ

ทักษ์ดนัย วุฒิเสน

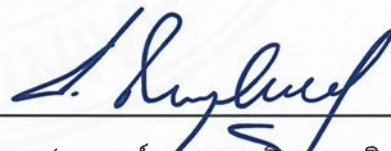
เรื่อง

การศึกษาข้อกำหนดทางกฎหมายและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับ
การใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAVs) ในการสนับสนุนการตรวจสอบ
สัญญาณเครื่องช่วยการเดินอากาศ (NAVAIDS)

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต (เศรษฐศาสตร์ธุรกิจ)

เมื่อ วันที่ 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2568

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ



(อาจารย์ ดร. ศุภฉัย จิตการณ)

กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมคะเน ยอดพราหมณ์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. พิระ เจริญพร)

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การศึกษาข้อจำกัดทางกฎหมายและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAVs) ในการสนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณเครื่องช่วยการเดินอากาศ (NAVAIDs)
ชื่อผู้เขียน	ทักษ์ดนัย วุฒิเสน
ชื่อปริญญา	เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	เศรษฐศาสตร์ธุรกิจ เศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	อาจารย์ ดร. ศุภฤทธิ ถาวรยุติการต์
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อจำกัดทางกฎหมายและวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)) มาใช้สนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณเครื่องช่วยการเดินอากาศ (Navigation Aids (NAVAIDs)) ประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) ชนิด PAPI และประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ (Radio Navigation Aids) ได้แก่ DVOR, DME และ ILS ที่ติดตั้งใช้งานในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์สองประการ ได้แก่ การศึกษาและวิเคราะห์ข้อจำกัดทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย เปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล เพื่อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการกำกับดูแลให้เหมาะสม และการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้ UAV สำหรับการตรวจสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการพิจารณานำมาใช้งานจริง

ผลการศึกษาพบว่า การนำ UAV มาใช้ปฏิบัติงานสามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานได้ทั้งในด้านต้นทุนพลังงาน ค่าบำรุงรักษา และค่าดำเนินการที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงาน ลดผลกระทบต่อการจราจรทางอากาศ รวมถึงช่วยลดมลภาวะทางเสียงและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio (B/C Ratio)) แสดงให้เห็นว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูง โดยมีค่าอยู่ที่ 4.80 อย่างไรก็ตาม การศึกษายังพบข้อจำกัดที่สำคัญคือ กรอบกฎหมายและข้อกำหนดในประเทศไทยยังไม่ครอบคลุมเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดช่องว่างในการกำกับดูแลที่ต้องได้รับการ

แก้ไขปรับปรุง ทั้งนี้ แม้ว่าภาพรวมของผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จะอยู่ในระดับที่ดี แต่การเปลี่ยนผ่านไปสู่การใช้ UAV อย่างเต็มรูปแบบ อาจจำเป็นต้องใช้ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง ทั้งในด้านอุปกรณ์ เทคโนโลยีสนับสนุน การฝึกอบรมบุคลากร และการปรับปรุงแนวทางปฏิบัติให้สอดคล้องกับข้อกำหนดและมาตรฐาน ส่งผลให้ค่า B/C Ratio ในระยะเริ่มต้น อาจอยู่ในระดับที่ต่ำถึงประมาณ 0.7 ซึ่งเป็นลักษณะของปรากฏการณ์ J-Curve Effect กล่าวคือ การมีต้นทุนสูงและผลตอบแทนที่ต่ำในช่วงเริ่มต้น ก่อนที่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อระบบมีเสถียรภาพและพร้อมใช้งานจริงในบริบทที่เปลี่ยนแปลงไป

ดังนั้น จึงเป็นข้อเสนอแนะของงานศึกษาสำหรับหน่วยงานกำกับดูแลที่ควรพัฒนารอบการกำกับดูแล รวมถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการบิน UAV ที่ชัดเจน เหมาะสมสำหรับภารกิจที่ซับซ้อนในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้ประเทศไทยสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยี UAV ในการตรวจสอบสัญญาณเครื่องช่วยการเดินอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย เป็นการเสริมสร้างความสามารถทางการแข่งขันและยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยด้านการบินของประเทศในระดับสากลต่อไป

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ, เครื่องช่วยการเดินอากาศ, การบินทดสอบ

Independent Study Title	LEGAL CONSTRAINTS AND ECONOMIC FEASIBILITY OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) FOR NAVIGATION AIDS (NAVAIDS) FLIGHT INSPECTION
Author	Takdanai Wuthisen
Degree	Master of Arts
Major Field/Faculty/University	Business Economics Economics Thammasat University
Independent Study Advisor	Supruet Thavornyutikarn, Ph.D
Academic Year	2024

ABSTRACT

This Independent Study aims to study legal constraints and conduct an economic feasibility analysis on the utilization of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to support the flight inspection of Navigation Aids (NAVAIDs), specifically Visual Aids (PAPI) and Radio Navigation Aids (DVOR, DME, and ILS) installed and operational in Thailand. The study has two main objectives: first, to identify gaps in Thailand's current aviation regulations by comparing them with international standards and propose recommendations to improve regulatory oversight; second, to evaluate the economic benefits of adopting UAV compared to conventional flight inspection aircraft, providing evidence to support practical UAV implementation.

The study reveals that the use of UAV in flight inspection significantly reduces operational costs, including energy consumption, maintenance, and associated operational expenditures. Additionally, the use of UAV enhances operational flexibility, minimizes disruption to Air Traffic Management, and decreases noise pollution and greenhouse gas emissions such as Carbon Dioxide (CO₂). The economic evaluation demonstrates a high benefit-cost ratio (B/C Ratio) of 4.80, indicating economic advantages. However, the study identifies critical regulatory gaps

in Thailand, as current regulations have not fully addressed emerging technologies, creating challenges in effective oversight. Furthermore, the study also recognizes that transitioning to Flight Inspection using UAV requires considerable initial investment, including equipment acquisition, system integration, personnel training, and procedural adaptation to comply with regulations and relevant standards. As a result, the initial B/C Ratio may fall as low as 0.7, reflecting high upfront costs and low short-term returns which reflects the characteristic of the J-Curve Effect, where value realization increases gradually once the system stabilizes and becomes operationally integrated.

Therefore, the study recommends that regulatory authorities establish clear guidelines and regulations specifically for UAV operations used in complex tasks. Implementing these recommendations will help Thailand effectively apply UAV technology for NAVAIDs inspections, improving operational efficiency, enhancing aviation safety standards, and better aligning with international standards.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Navigation Aids (NAVAIDs), Flight Inspection

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา คำแนะนำ และความช่วยเหลือจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลายท่าน ซึ่งมีส่วนสำคัญในการสนับสนุนให้การศึกษาครั้งนี้ประสบความสำเร็จ ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ ดร.ศุภฤติ ถาวรฤติการต์ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมคะเน ยอดพราหมณ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมถึงมุมมองและแนวทางการศึกษาที่เหมาะสม ทำให้การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

ขอขอบคุณ นายปิยทัศน์ ชลชาติบริสุทธิ์ เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ส่วนงานเครื่องช่วยการเดินอากาศ บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี โดยสละเวลาอันมีค่าในการให้ข้อมูลที่เป็นอย่างเป็นประโยชน์และจำเป็นต่อการศึกษาในครั้งนี้

นอกจากนี้ ขอขอบคุณหัวหน้างาน ที่ได้กรุณาให้ความเข้าใจ และให้การสนับสนุนในการทำงานควบคู่ไปกับการศึกษาระดับปริญญาโท จนทำให้การดำเนินงานศึกษานี้เป็นไปด้วยความราบรื่น รวมถึงเพื่อน ๆ และบุคคลใกล้ชิดทุกคนที่ให้อกำลังใจ คอยสนับสนุนและให้คำปรึกษา ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านอุปสรรคต่าง ๆ และมีกำลังใจในการทำงานศึกษาจนประสบความสำเร็จ

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานด้านการบิน และเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา ค้นคว้าวิจัยต่อไปในอนาคต ทั้งนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ทักษ์ดนัย วุฒิเสน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
1.3 นิยามศัพท์และคำจำกัดความ	5
1.3.1 พระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ. 2497 และที่แก้ไขเพิ่มเติม	5
1.3.2 ประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่องหลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. 2558	6
1.3.3 ประกาศสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย เรื่องการขอและการออกใบอนุญาตจัดตั้งเครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศ พ.ศ. 2563 และที่แก้ไขเพิ่มเติม	6
1.3.4 ชนิดของการทำการบินทดสอบ	6
1.4 ขอบเขตการศึกษา	7
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	7

บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 แนวคิดของระบบช่วยการเดินอากาศ	13
2.1.1 PAPI (Precision Approach Path Indicator)	13
2.1.2 DVOR (Doppler VHF Omnidirectional Range)	13
2.1.3 DME (Distance Measuring Equipment)	14
2.1.4 ILS (Localizer)	15
2.1.5 ILS (Glide Path)	15
2.2 แนวคิดเรื่องการบินทดสอบ	16
2.3 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDs แต่ละประเภทด้วยอากาศยานขนาดเล็ก	18
2.3.1 PAPI	18
2.3.2 DVOR	20
2.3.3 DME	23
2.3.4 Localizer และ Glide Path	23
2.4 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDs แต่ละประเภทด้วย UAV	26
2.4.1 PAPI	26
2.4.2 DVOR	27
2.4.3 DME	29
2.4.4 ILS (Localizer และ Glide Path)	29
2.5 แนวคิดด้านมาตรฐานและกฎหมายการเดินอากาศที่เกี่ยวข้อง	30
2.5.1 อนุสัญญาว่าด้วยการบินพลเรือนระหว่างประเทศ หรืออนุสัญญาชิคาโก (Convention on International Civil Aviation หรือ Chicago Convention)	31
2.5.2 ICAO Standards and Recommended Practices (SARPs)	32
2.5.3 กฎหมายด้านบริการการเดินอากาศของไทย ที่เกี่ยวข้องกับ NAVAIDs	34
2.5.4 กฎหมายอากาศยานไร้คนขับ	36
2.5.5 สรุปภาพรวมกฎหมายด้าน UAV ของประเทศไทย	40
2.6 แนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์	41
2.6.1 การวิเคราะห์และประเมินโครงการ	41
2.6.2 การวิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	42

2.6.3 การใช้งาน UAV ในการทำการบินทดสอบ NAVAIDs	43
2.6.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการบินทดสอบด้วย UAV (Cost Analysis)	44
2.7 แนวคิดด้านสิ่งแวดล้อมด้านการบิน	47
2.8 Pacing Problem	48
2.9 สรุปการทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	49
 บทที่ 3 วิธีการศึกษา	 52
3.1 แนวทางการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์	53
3.1.1 การรวบรวมข้อมูล	53
3.1.2 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	54
3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	54
3.1.4 ข้อคำถามที่เกี่ยวข้อง	54
3.2 แนวทางการศึกษาด้านมาตรฐานและกฎหมาย	55
3.2.1 การรวบรวมข้อมูล	55
3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	56
3.2.3 ข้อคำถามที่เกี่ยวข้อง	56
3.3 ข้อกำหนดของการศึกษา	57
3.3.1 ข้อกำหนดด้านข้อมูล	57
3.3.2 ข้อกำหนดด้านกฎหมาย	57
3.3.3 ข้อกำหนดด้านการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	57
 บทที่ 4 ผลการศึกษา	 58
4.1 ผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์	58
4.1.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDs	58
4.1.2 ข้อมูลด้านต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการบินทดสอบ NAVAIDs	62
4.1.3 ข้อมูลด้านผลประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับการบินทดสอบ NAVAIDs	65
4.1.4 การคำนวณหาความคุ้มค่าในการนำ UAV มาใช้บินทดสอบ (Best Case Scenario)	69

4.1.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) (Worst Case Scenario)	71
4.2 ผลการศึกษาด้านกฎหมาย	78
4.2.1 สรุปผลการศึกษาวิธีการกำกับดูแลการบินทดสอบและการรับรองผล การบินทดสอบของประเทศต่าง ๆ มาตรฐานและกฎหมายเกี่ยวกับการ บินทดสอบ NAVAIDs และ UAV	78
4.2.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำกับดูแลของแต่ละประเทศ	80
4.2.3 Gap Analysis ของกฎหมายไทย และกฎหมายสากล	81
บทที่ 5 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	83
5.1 อภิปรายผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์	84
5.1.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพด้านต้นทุน (Cost Efficiency)	84
5.1.2 ประสิทธิภาพการดำเนินงานและความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงาน (Enhanced Operational Efficiency and Flexibility)	87
5.1.3 การส่งเสริมความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม (Contribution to Environmental Sustainability)	88
5.1.4 ข้อจำกัดและความท้าทายด้านเศรษฐศาสตร์	90
5.1.5 บทสรุปการอภิปรายผลการศึกษาในมิติทางด้านเศรษฐศาสตร์	91
5.2 อภิปรายผลการศึกษาด้านกฎหมาย	92
5.2.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของกลไกการกำกับในปัจจุบัน (Current Regulation Gap Analysis)	92
5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงกฎหมายและกลไกกำกับดูแล (Recommendations for Regulatory Reformation)	94
5.3 การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและการกำหนดกลไกการ กำกับดูแลที่เหมาะสม	96
รายการอ้างอิง	98

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ PAPI ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก	18
2.2 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ DVOR ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก	21
2.3 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ ILS ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก	24
2.4 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ PAPI ด้วย UAV	27
2.5 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ DVOR ด้วย UAV	28
2.6 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ ILS ด้วย UAV	29
2.7 ความแตกต่างระหว่างการประเมินโครงการทางการเงิน และการประเมินโครงการทางเศรษฐศาสตร์	41
2.8 อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) แยกประเภทตามรูปแบบอากาศยาน	44
2.9 อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทำการบินทดสอบแยกตามประเภทของอากาศยาน	45
2.10 อัตราค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงในการทำการบินทดสอบแยกตามประเภทของอากาศยาน	45
2.11 ค่าใช้จ่ายในการทำการสอบเทียบอุปกรณ์ระบบ Flight Inspection System	46
4.1 จำนวนเครื่องช่วยการเดินอากาศที่ติดตั้งและให้บริการแก่สาธารณะในประเทศไทย	57
4.2 จำนวนครั้งที่บินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศ ชนิด PAPI, DVOR/DME, และ ILS/DME ในวงรอบ 1 ปี และ 5 ปี	58
4.3 วิธีปฏิบัติการบินที่สามารถนำ UAV มาใช้สนับสนุนหรือทดแทนการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กได้	59
4.4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศด้วยอากาศยานขนาดเล็ก และ UAV	60
4.5 จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กเพียงอย่างเดียว, UAV เพียงอย่างเดียว, และเมื่อใช้ทั้ง 2 รูปแบบ	60
4.6 ต้นทุนที่ใช้สำหรับการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศด้วยอากาศยานขนาดเล็ก	61
4.7 ต้นทุน UAV และอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการตรวจสอบ	62
4.8 เปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้สำหรับการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศด้วย UAV	63

4.9 ประโยชน์ที่คิดเป็นตัวเงินจากการลดการปล่อย CO ₂ ที่ได้จากการนำ UAV มาใช้ สนับสนุนการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศ	65
4.10 Aircraft Movement ใน 4 สนามบินหลัก	66
4.11 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ความต่อเนื่องในการใช้งานระบบ ILS/DME ใน 4 สนามบินหลัก	67
4.12 ต้นทุน UAV และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ	71
4.13 ระบบ NAVAIDS ที่ติดตั้งใช้งานใน 7 สนามบินที่มี Aircraft Movement สูงที่สุด	72
4.14 ระยะเวลาที่ทำการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กเพียงอย่างเดียว	72
4.15 ระยะเวลาที่ทำการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กร่วมกับ UAV และการใช้ UAV ในการบินทดสอบ	73
4.16 ต้นทุนเชื้อเพลิงและค่าบำรุงรักษาในกรณี Worst Case Scenario	73
4.17 เปรียบเทียบความแตกต่างของต้นทุนกรณี Worst Case Scenario	74
4.18 การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กรณี Worst Case Scenario	75

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 สถิติจำนวนผู้โดยสารระหว่างปี 2014 - 2023	2
1.2 สถิติจำนวนเที่ยวบินระหว่างปี 2014 - 2023	2
1.3 สถิติปริมาณการขนส่งสินค้าระหว่างปี 2014 - 2023	3
1.4 เครื่องบินทดสอบ และระบบ FIS ที่ติดตั้งบนเครื่องบินทดสอบ	4
2.1 ช่วงการบิน (Phases of Flight)	9
2.2 เส้นทางบินที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยอ้างอิงระบบช่วยการเดินอากาศ	10
2.3 Instrument Approach Chart ที่ออกแบบจากระบบ ILS และ DME เพื่อใช้ในการลงจอดสำหรับ Runway 01 สนามบินสุวรรณภูมิ	11
2.4 การทำงานของระบบ DVOR	14
2.5 การทำงานของระบบ DME	14
2.6 การทำงานของระบบ Localizer	15
2.7 การทำงานของระบบ Glide Path	16
2.8 J-Curve Effect	50

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ

คำเต็ม/คำจำกัดความ

กพท.	สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย
บวท.	บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด
ANS	Air Navigation Services
ATC	Air Traffic Controller
ATS	Air Traffic Service
CAAT	The Civil Aviation Authority of Thailand
CASA	Civil Aviation Safety Authority
CNS	Communication, Navigation, and Surveillance
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DME	Distance Measuring Equipment
DVOR	Doppler VHF Omnidirectional Range
EASA	European Union Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FIS	Flight Inspection System
GNSS	Global Navigation Satellite System
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFPD	Instrument Flight Procedure Design
ILS	Instrument Landing System
JCAB	Japan Civil Aviation Bureau
KOCA	Korea Office of Civil Aviation
MOS-CNS	Manual of Standards – Communication, Navigation, and Surveillance Services
NAVAIDs	Navigation Aids
NDB	Non-Directional Beacon

PAPI	Precision Approach Path Indicator
SAR	Search and Rescue
SARPs	Standards and Recommended Practices
UAVs	Unmanned Aerial Vehicles



บทที่ 1

บทนำ

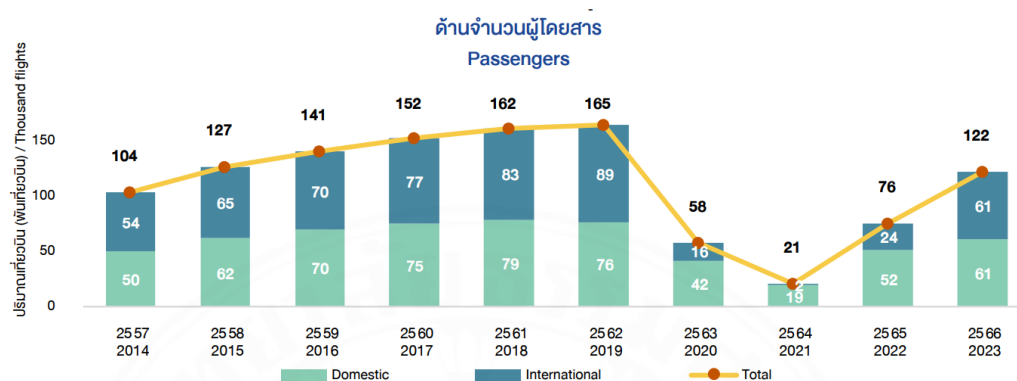
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

บริการจราจรทางอากาศ (Air Traffic Services (ATS)) เป็น 1 ใน 6 ประเภทของบริการการเดินอากาศ (Air Navigation Services (ANS)) ที่เป็หัวใจสำคัญในการสนับสนุนให้เกิดการเคลื่อนย้ายผู้โดยสารและสินค้าทางอากาศด้วยความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ และด้วยความซับซ้อนของบริการการเดินอากาศ ทำให้บริการการเดินอากาศมีลักษณะเป็น Common-pool Resource หรือเป็นทรัพยากรที่มีการใช้งานร่วมกันหลายฝ่าย โดยในบริบทของการเดินอากาศ หมายถึงการใช้งานน่านฟ้า เส้นทางบิน สนามบิน สัญญาณระบบการสื่อสาร หรือสัญญาณระบบช่วยการเดินอากาศ ร่วมกัน โดยที่ทรัพยากรดังกล่าวมีอยู่อย่างจำกัดและควรถูกจัดสรรการใช้งานอย่างเหมาะสม ซึ่งหากขาดการกำกับดูแลที่ดี อาจทำให้เกิดการใช้งานที่เกินขอบเขต หรือไม่ถูกต้องเหมาะสม นำไปสู่ผลกระทบต่อความปลอดภัยในการเดินอากาศและประสิทธิภาพโดยรวมของอุตสาหกรรมการบินได้

การขนส่งทางอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยส่งเสริมและขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะในภาคการท่องเที่ยวที่เป็นแหล่งรายได้สำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะภายหลังการฟื้นตัวของอุตสาหกรรมการบินในปี พ.ศ. 2566 ที่มีจำนวนเที่ยวบินและจำนวนผู้โดยสารฟื้นตัวกลับมาได้ถึงร้อยละ 74 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2562 ก่อนการระบาดของโควิด-19 (สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2566) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการฟื้นตัวอย่างรวดเร็วและแสดงถึงความพร้อมของอุตสาหกรรมการบินในการรับมือกับการเพิ่มขึ้นของนักท่องเที่ยวต่างชาติที่มีจำนวนถึง 28.2 ล้านคน ซึ่งไม่เพียงเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับธุรกิจการบินเท่านั้น แต่ยังเป็นการกระจายรายได้สู่ภาคส่วนอื่น ๆ เช่น โรงแรม ร้านอาหาร ธุรกิจการค้า และบริการท่องเที่ยวอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้เกิดการจ้างงานและการพัฒนาเศรษฐกิจในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ ทั้งนี้ การเติบโตและการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ จำเป็นต้องมีการพัฒนาบริการการเดินอากาศ ซึ่งนับเป็นหนึ่งในโครงสร้างพื้นฐานทางด้านการบินให้ดียิ่งขึ้น โดยยังคงคงไว้ซึ่งมาตรฐานความปลอดภัยควบคู่ไปกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจด้วย

ภาพที่ 1.1

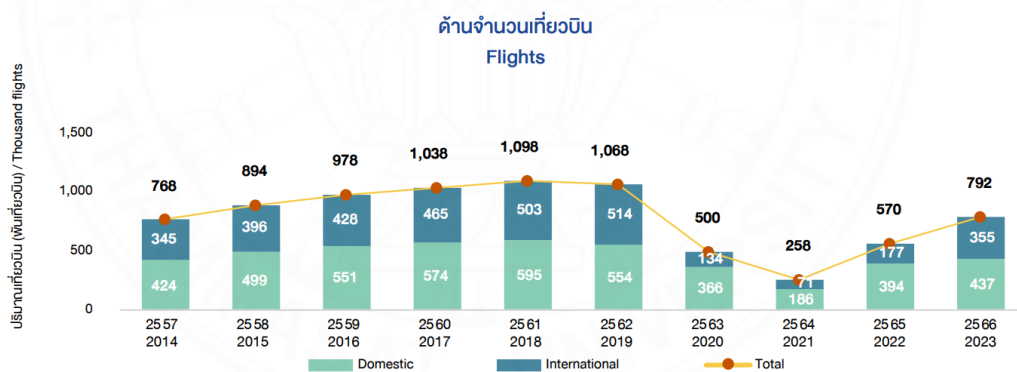
สถิติจำนวนผู้โดยสารระหว่างปี 2557-2566



หมายเหตุ: จากรายงานประจำปี 2566, โดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2567

ภาพที่ 1.2

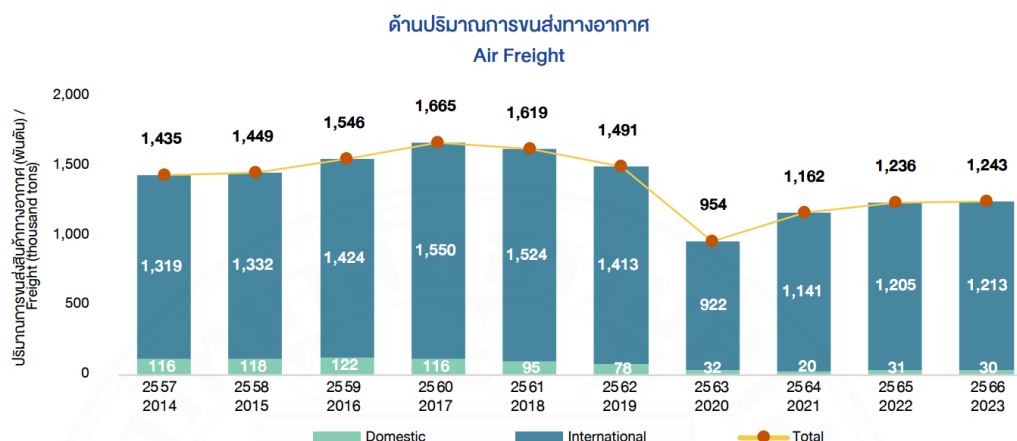
สถิติจำนวนเที่ยวบินระหว่างปี 2557-2566



หมายเหตุ: จากรายงานประจำปี 2566, โดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2567

ภาพที่ 1.3

สถิติปริมาณการขนส่งสินค้าทางอากาศปี 2557-2566



หมายเหตุ: จากรายงานประจำปี 2566, โดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2567

การเดินอากาศ ไม่ได้จำกัดเพียงเฉพาะพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง หรือประเทศใดประเทศหนึ่งเท่านั้น แต่เป็นปัจจัยสำคัญในการเชื่อมโยงผู้คนจากหลากหลายพื้นที่ทั่วโลกเข้าด้วยกัน ดังนั้น เพื่อให้การเดินอากาศเป็นไปด้วยความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานสากลที่ทุกประเทศต้องปฏิบัติตาม โดยหนึ่งในกรอบความร่วมมือและข้อตกลงที่สำคัญที่ทำให้การเดินอากาศเป็นไปได้อย่างปลอดภัย เป็นมาตรฐานเดียวกัน และสอดคล้องกันทั่วโลก คือ อนุสัญญาชิคาโก (Chicago Convention) หรือ Convention on International Civil Aviation ที่จัดทำขึ้นในปี ค.ศ. 1944 ซึ่งได้กำหนดหลักการและแนวทางสำหรับการบินพลเรือนระหว่างประเทศเอาไว้ โดยอนุสัญญานี้มีเป้าหมายหลักในการส่งเสริมความปลอดภัย ความมั่นคง และความมีประสิทธิภาพของการเดินอากาศทั่วโลก โดยมีการจัดตั้งองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ หรือ International Civil Aviation Organization (ICAO) ขึ้น เพื่อเป็นองค์กรกำหนดมาตรฐานและข้อแนะนำในด้านการบิน (Standards and Recommended Practices (SARPs)) ที่ประเทศสมาชิกต้องปฏิบัติตาม เพื่อให้มั่นใจว่าการให้บริการการเดินอากาศเป็นไปตามมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก

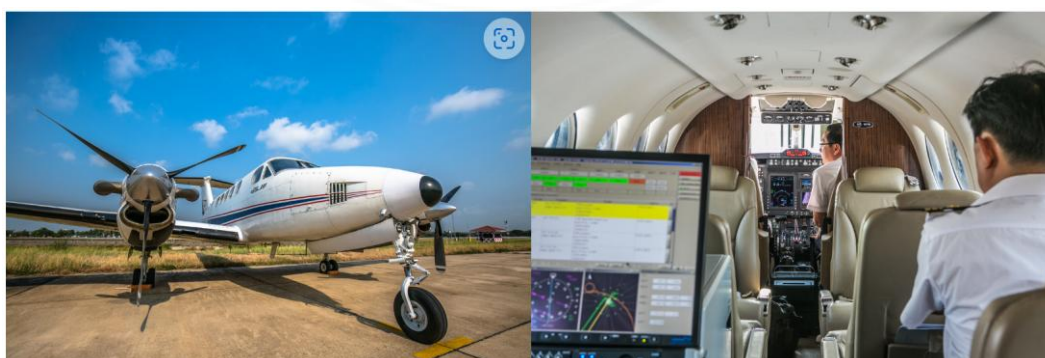
เครื่องช่วยการเดินอากาศ (Navigation Aids (NAVAIDs)) ทั้งประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) และประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ (Radio Aids) นับเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญต่อการบริการการเดินอากาศ ที่ช่วยให้นักบินสามารถทำการบินบนน่านฟ้าได้อย่างปลอดภัย โดยที่ NAVAIDs ทุกเครื่อง จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณทั้งภาคพื้นและภาคอากาศ (Ground and Flight Inspection) เพื่อให้สามารถให้บริการได้ตามมาตรฐานความปลอดภัยตามที่

กำหนดในเอกสาร ICAO Annex 10 Aeronautical Telecommunications, Volume 1: Radio Navigation Aids และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการบินทดสอบในเอกสาร ICAO Doc 8071 Manual on Testing of Radio Navigation Aids Volume 1 สำหรับประเภท Radio Aids รวมถึง ICAO Annex 14 Aerodromes, Volume 1: Aerodrome Design and Operations และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการบินทดสอบในเอกสาร ICAO Doc 8071 Manual on Testing of Radio Navigation Aids Volume 2 สำหรับประเภท Visual Aids ซึ่งประเทศไทย โดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย หรือ CAAT ได้นำมาตรฐานดังกล่าวข้างต้น มาจัดทำเป็นกฎหมายที่กำหนดให้ผู้ให้บริการ NAVAIDs ต้องให้บริการให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลนี้ด้วย

การบินทดสอบ NAVAIDs ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ต้องอาศัยเครื่องบินเล็กในการบินทดสอบสัญญาณ โดยมีวงรอบในการบินทดสอบทุก 6 เดือน หรือ 1 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดของ NAVAIDs ซึ่งเป็นหนึ่งในต้นทุนการดำเนินงานของผู้ให้บริการเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก (UAV) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “โดรน” ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในหลายๆ กิจกรรม ซึ่งรวมถึงการนำ UAV มาช่วยสนับสนุนการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วย โดยการใช้ UAV จะเกิดประโยชน์ต่อการดำเนินงานในหลาย ๆ กิจกรรม เช่น ลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา, ลดค่าใช้จ่ายในการใช้นักบินทดสอบ, ลดค่าใช้จ่ายสำหรับการจอดเครื่องบินและการใช้งานเส้นทางบิน, ลดการปล่อยคาร์บอน, เพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบ, และเพิ่มประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นในการปฏิบัติการบิน เป็นต้น ซึ่งนับเป็นการควบคุมต้นทุนการดำเนินงาน ขณะที่ยังคงประสิทธิภาพความปลอดภัยไว้ในขณะเดียวกันด้วย

ภาพที่ 1.4

เครื่องบินทดสอบ และระบบ FIS ที่ติดตั้งบนเครื่องบินทดสอบ



หมายเหตุ: Flight Inspection, โดยบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด, 2567
(<https://www.aerothai.co.th/business/en/services/flight-inspection>)

ทั้งนี้ ในปัจจุบัน กฎระเบียบของประเทศไทยมีการรองรับการขึ้นทะเบียนผู้บังคับหรือปล่อย UAV เพื่อใช้สำหรับการทำกิจกรรมต่าง ๆ อยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม กฎระเบียบของประเทศไทยยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องการรับรองผลการบินทดสอบด้วย UAV ที่ยังไม่มีกฎหมายรองรับที่ชัดเจน ในขณะนี้ ซึ่งการศึกษานี้ นับเป็นการช่วยให้หน่วยงานผู้ให้บริการ NAVAIDS หน่วยบินทดสอบ และหน่วยงานกำกับดูแล เตรียมความพร้อมในการปรับตัวเข้ากับเทคโนโลยีด้านการบินที่กำลังเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงเป็นการพัฒนาบทบาทของประเทศไทยในการเป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีการบินทดสอบในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อเสนอแนะแนวทางการจัดทำและปรับปรุงกฎหมาย รวมถึงพัฒนากลไกการกำกับดูแลในการตรวจสอบความถูกต้องของ NAVAIDS ด้วย UAV
2. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าของการใช้ UAV ในทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนการตรวจสอบความถูกต้องของ NAVAIDS เปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม

1.3 นิยามศัพท์และคำจำกัดความ

งานศึกษานี้ใช้นิยามศัพท์และคำจำกัดความ ซึ่งอ้างอิงจากแหล่งที่มาดังนี้

1.3.1 พระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ. 2497 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

อากาศยาน หมายความว่า เครื่องทั้งสิ้นซึ่งทรงตัวในบรรยากาศ โดยปฏิบัติการแห่งอากาศ เว้นแต่วัตถุซึ่งระบุงเว้นไว้ในกฎกระทรวง

บริการจราจรทางอากาศ หมายความว่า บริการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลสำหรับเที่ยวบิน การเฝ้าระวังและแจ้งเตือน การแนะนำจราจรทางอากาศ หรือการควบคุมการจราจรทางอากาศในพื้นที่ควบคุมเขตประชิดสนามบิน และบริเวณสนามบิน

1.3.2 ประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่องหลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขในการ บังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. 2558

อากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก หมายความว่า อากาศยานที่ควบคุมการบินโดยผู้ควบคุมการบินอยู่ภายนอกอากาศยานและใช้ระบบควบคุมอากาศยาน ทั้งนี้ ไม่รวมถึงเครื่องบินเล็กซึ่งใช้เป็นเครื่องบินเล่นตามกฎกระทรวงกำหนดวัตถุซึ่งไม่เป็นอากาศยาน พ.ศ. 2548

ระบบควบคุมอากาศยาน หมายความว่า ชุดอุปกรณ์อันประกอบด้วยเครื่อง เชื่อมโยงคำสั่ง ควบคุมหรือบังคับอากาศยาน รวมทั้งสถานีหรือสถานที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์เหล่านี้หรือ เครื่องมือที่ใช้ควบคุมการบินจากภายนอกและตัวอากาศยานด้วย

1.3.3 ประกาศสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย เรื่องการขอและการออก ใบอนุญาตติดตั้งเครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศ พ.ศ. 2563 และที่แก้ไขเพิ่มเติม

เครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศ ประเภททัศนวิสัย หมายความว่า เครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศด้วยทัศนวิสัยที่ใช้ในการส่งข้อมูลข่าวสาร หรือการนำทาง โดยแสงจากภาคพื้นดินไปยังนักบินแบ่งออกเป็นอุปกรณ์บอกทิศทาง และอุปกรณ์ให้สัญญาณ (Indicators and Signaling devices) เครื่องหมาย (Markings) ไฟสนามบิน (Lights) ป้ายสัญลักษณ์ (Signs) และวัตถุที่ใช้เป็นเครื่องหมาย (Markers)

เครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศ ประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ หมายความว่าระบบสัญญาณวิทยุภาคพื้นดิน หรือสัญญาณวิทยุจากดาวเทียมที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการ ระบุตำแหน่ง การนำร่อง และการนำร่องแก่อากาศยาน โดยแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

1. Non-Directional Radio Beacon (NDB)
2. VHF Omnidirectional Radio Range (DVOR)
3. Distance Measuring Equipment (DME)
4. Instrument Landing System (ILS)
5. GNSS Augmentation System

1.3.4 ชนิดของการทำการบินทดสอบ

เว็บไซต์บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด (www.aerothai.co.th, 2567) ระบุชนิดของการทำการบินทดสอบไว้ดังนี้

1. Commissioning เป็นการบินทดสอบเพื่อวิเคราะห์และประเมินผลการ ทำงานของระบบ NAVAIDs ที่ติดตั้งเสร็จใหม่ อย่างละเอียด ก่อนประกาศเปิดใช้งานอย่างเป็นทางการ ต่อไป

2. Periodic เป็นการบินทดสอบระบบ NAVAIDs ชนิดต่าง ๆ ตามรอบเวลา กำหนด เพื่อตรวจสอบการทำงานของ NAVAIDs เหล่านั้นว่ายังคงทำงานถูกต้องเหมือนเดิม ถึงจะสามารถเปิดใช้งานต่อไปได้

3. Special เป็นการบินทดสอบในกรณีพิเศษ เช่น หลังเครื่องบินเกิดอุบัติเหตุ หรือมีการร้องขอให้ไปทำบินทดสอบนอกแผนอื่น ๆ เป็นต้น

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. การศึกษาข้อจำกัดทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน UAV เพื่อใช้ทดแทนหรือสนับสนุนการบินทดสอบ NAVAIDs ประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) ได้แก่ PAPI และประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ ได้แก่ DVOR, ILS, และ DME

2. การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ UAV มาทดแทนหรือสนับสนุนการบินทดสอบระบบช่วยการเดินอากาศ โดยใช้ข้อมูลทางการเงินของการบินทดสอบแบบ Periodic Flight Inspection ของ NAVAIDs ประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) ได้แก่ PAPI และประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ ได้แก่ DVOR, ILS, และ DME ในกรอบเวลา 5 ปี

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เพื่อให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนากฎหมาย รวมถึงวิธีปฏิบัติในการบินทดสอบ NAVAIDs ทั้งจากมุมมองของหน่วยงานผู้ดำเนินการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs และหน่วยงานกำกับดูแล

2. เพื่อทราบความคุ้มค่าของการลงทุนใน UAV เพื่อสนับสนุนหรือทดแทนการใช้เครื่องบินเล็กในการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs รวมถึงผลประโยชน์ทางสังคมที่อาจเกิดขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่อง “การศึกษาข้อจำกัดทางกฎหมายและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAVs) ในการสนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณเครื่องช่วยการเดินอากาศ (NAVAIDs)” มีแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัย รวมถึงเอกสารบทความต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยสรุป ดังนี้

2.1 แนวคิดทางเทคนิคของ NAVAIDs

2.1.1 PAPI (Precision Approach Path Indicator)

2.1.2 DVOR (Doppler VHF Omnidirectional Range)

2.1.3 DME (Distance Measuring Equipment)

2.1.4 ILS (Localizer)

2.1.5 ILS (Glide Path)

2.2 แนวคิดด้านการบินทดสอบ

2.3 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDs แต่ละประเภทด้วยอากาศยานขนาดเล็ก

2.4 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDs แต่ละประเภทด้วย UAV

2.5 แนวคิดด้านมาตรฐานและกฎหมายการเดินอากาศที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 อนุสัญญาว่าด้วยการบินพลเรือนระหว่างประเทศ หรืออนุสัญญาชิคาโก (Convention on International Civil Aviation หรือ Chicago Convention) ICAO Standards and Recommended Practices (SARPs)

2.5.2 กฎหมายด้านบริการการเดินอากาศของไทย

2.5.3 กฎหมายด้านอากาศยานไร้คนขับ

2.6 แนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์

2.6.1 การวิเคราะห์และประเมินโครงการ

2.6.2 การวิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2.6.3 การใช้งานอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในการทำการบินทดสอบ (Flight Inspection) เครื่องช่วยการเดินอากาศ

2.6.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการบินทดสอบด้วย UAV (Cost Analysis)

2.7 แนวคิดด้านสิ่งแวดล้อมด้านการบิน

2.9 Pacing Problem

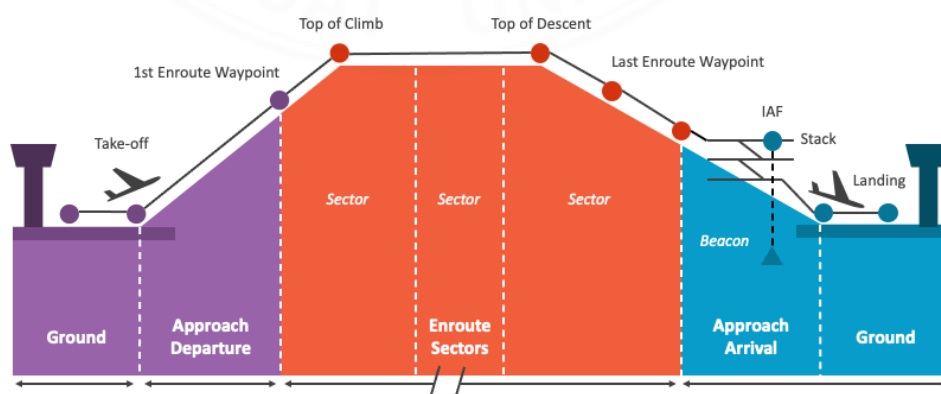
2.9 สรุปการทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

หัวใจสำคัญของอุตสาหกรรมการบินที่จะขนส่งผู้โดยสารรวมถึงสินค้าจากต้นทางไปจนถึงจุดหมายปลายทางได้ คือเรื่องความปลอดภัยในการเดินอากาศ (Aviation Safety) โดยในการปฏิบัติการบิน 1 เที่ยวบิน อากาศยานต้องอาศัยบริการการเดินอากาศ ที่มีความปลอดภัยตามมาตรฐานในการปฏิบัติการบินทุกช่วงของการบิน (Phases of flight) ซึ่งประกอบไปด้วยบริการต่าง ๆ ได้แก่ บริการจราจรทางอากาศ (Air Traffic Services (ATS)), บริการระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน (Communication, Navigation, and Surveillance Services (CNS)), และบริการออกแบบวิธีปฏิบัติการบินด้วยเครื่องวัดประกอบการบิน (Instrument Flight Procedure Design (IFPD)) ซึ่งบริการข้างต้น ล้วนแต่จะต้องพึ่งพา NAVAIDs ในรูปแบบต่าง ๆ ในการให้บริการ ทั้งประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) ได้แก่ PAPI และประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ (Radio Aids) ที่เป็นระบบช่วยการเดินอากาศที่ใช้สัญญาณอ้างอิงจากภาคพื้นดิน (Conventional NAVAIDs) เช่น Doppler VHF Omnidirectional Range (DVOR), Instrument Landing System (ILS), และ Distance Measuring Equipment (DME) เป็นต้น หรือระบบช่วยการเดินอากาศที่มีการอ้างอิงสัญญาณดาวเทียม (GNSS Augmentation System) เช่น Ground-Based Augmentation System (GBAS) และ Satellite-Based Augmentation System (SBAS) เป็นต้น โดยที่ระบบช่วยการเดินอากาศ เป็นระบบที่ช่วยนักบินในการวางแผนการบิน (Planning) ช่วยให้อากาศยานสามารถรับรู้ตำแหน่งของตนเอง (Positioning) และรับรู้เส้นทางที่กำลังทำการบิน (Guidance) ได้

ภาพที่ 2.1

ช่วงการบิน (Phases of Flight)

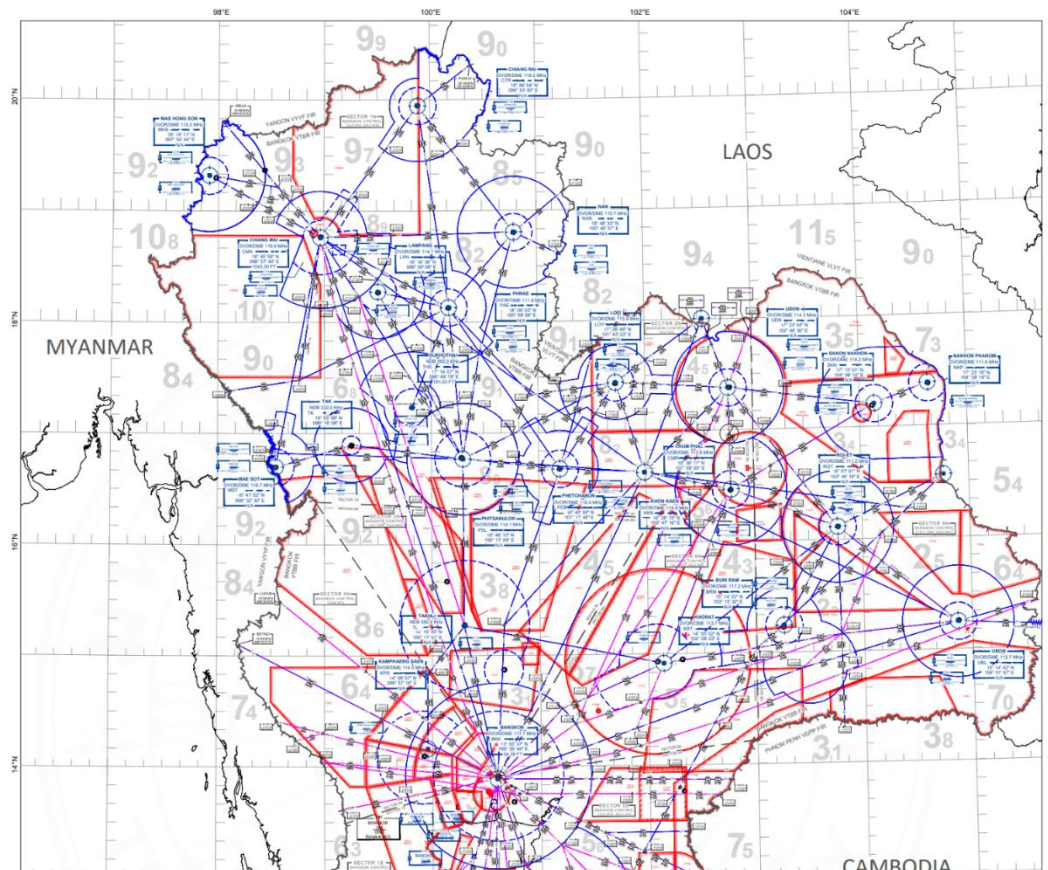
FLIGHT PHASES



หมายเหตุ: Flight Phases, โดย collide, 2024,
(<https://www.collidu.com/presentation-flight-phases>)

ภาพที่ 2.2

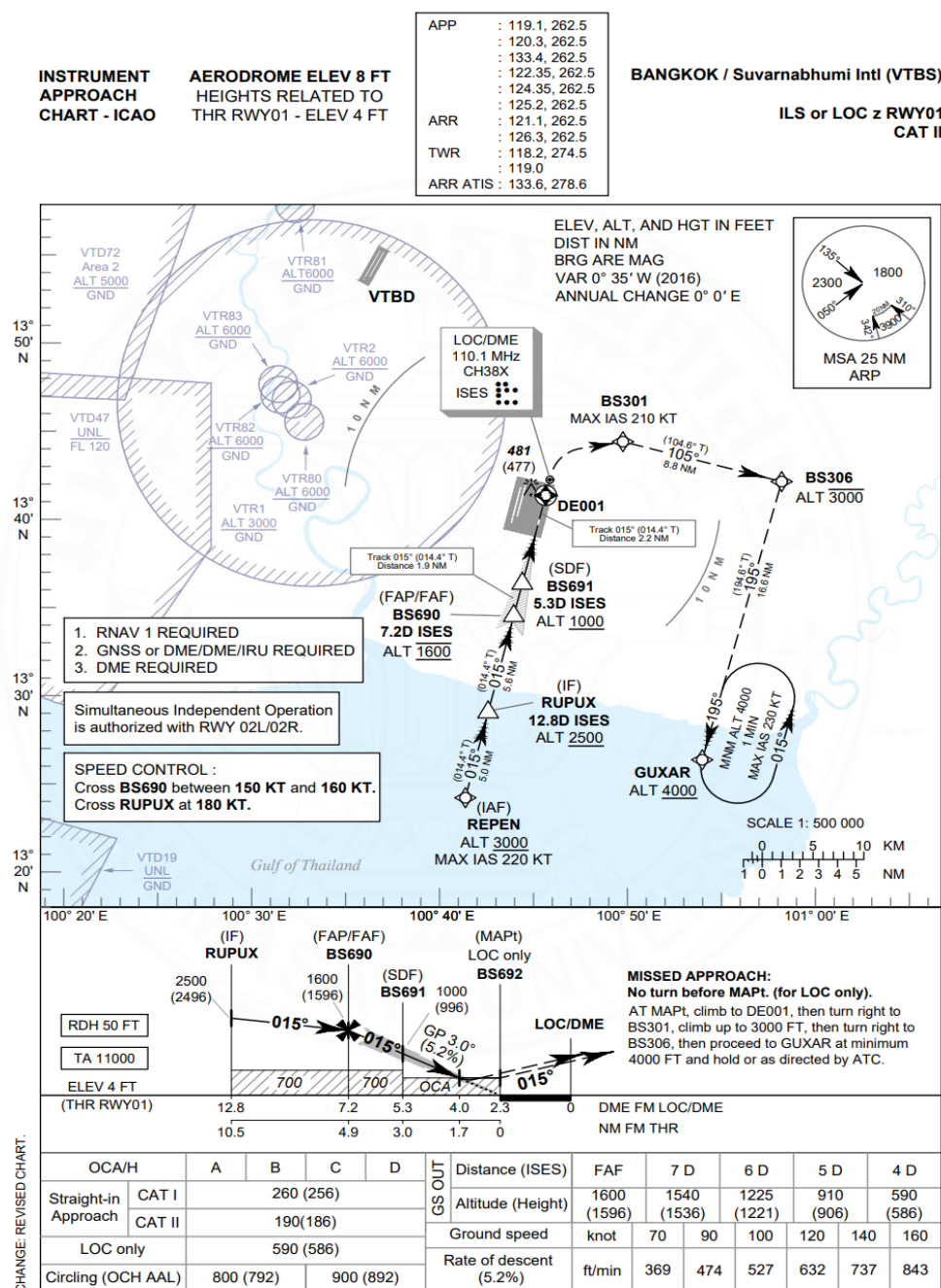
เส้นทางบินที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยอ้างอิงระบบช่วยการเดินอากาศ



หมายเหตุ: ENROUTE CHART, เอกสารแถลงข่าวการบิน (AIP-THAILAND) AIRAC AIP AMENDMENT 09/24, โดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2567, (<https://aip.caat.or.th/2024-10-31-AIRAC/html/index-en-GB.html>)

ภาพที่ 2.3

Instrument Approach Chart ที่ออกแบบจากระบบ ILS และ DME เพื่อใช้ในการลงจอดสำหรับ Runway 01 สนามบินสุวรรณภูมิ



หมายเหตุ: Instrument Approach Chart ILS or LOC z RWY 01 CAT II, เอกสารแถลงข่าวการบิน (AIP-THAILAND) AIRAC AIP AMENDMENT 09/24, โดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2024 (<https://aip.caat.or.th/2024-10-31-AIRAC/html/index-en-GB.html>)

เพื่อให้การเดินทางจากต้นทางไปยังจุดหมายปลายทางเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยทางการบิน จึงจำเป็นต้องพึ่งพาบริการจราจรทางอากาศที่มีประสิทธิภาพ และระบบสนับสนุนที่สำคัญอย่าง NAVAIDs ที่จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำทั้งทางภาคพื้นดินที่ดำเนินการโดยวิศวกร และภาคอากาศที่ดำเนินการด้วยการบินทดสอบ ซึ่งทำให้ NAVAIDs มีความพร้อมใช้งาน (Service Availability) ต่ออากาศยานตลอดเวลา โดยผู้ให้บริการ NAVAIDs จำเป็นต้องดำเนินการตรวจสอบ NAVAIDs อย่างสม่ำเสมอตามวงจรที่กำหนด ซึ่งหากขาดการตรวจสอบและเฝ้าระวังอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ ที่อาจส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติการณ์ต่ออากาศยาน (Incidents and Accidents) รวมถึงชีวิตและทรัพย์สินของผู้โดยสารได้ ดังนั้น การตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของ NAVAIDs ทั้งภาคพื้นดินและภาคอากาศนับเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากเป็นข้อกำหนดตามกฎหมายที่ผู้ให้บริการ NAVAIDs ต้องดำเนินการ และเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อการเดินทางในภาพรวม

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ NAVAIDs ประเภททัศนวิสัยในสนามบินทั่วประเทศกว่า 36 แห่ง รวมถึง NAVAIDs ประเภทระบบช่วยการเดินอากาศกว่า 92 ระบบ ซึ่งทุกระบบ จำเป็นต้องได้รับการบินทดสอบเพื่อทดสอบความถูกต้องของสัญญาณที่ออกอากาศอย่างน้อยปีละ 1 – 2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับชนิดของ NAVAIDs โดยในปัจจุบัน ผู้ทำการบินทดสอบ จะใช้อากาศยานขนาดเล็กประสิทธิภาพสูงที่ติดตั้งระบบ Flight Inspection System (FIS) ในการทำการบินทดสอบ และจะทำการบินทดสอบตามมาตรฐาน ICAO ที่มีการกำหนดวิธีการบินทดสอบ NAVAIDs แต่ละชนิด รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่ต้องตรวจวัดเอาไว้ด้วย

การดำเนินการตรวจสอบดังกล่าว เป็นการดำเนินการตามข้อกำหนดของมาตรฐานสากล รวมถึงกฎหมายของประเทศ ซึ่งนับเป็นภาระต้นทุนการดำเนินงานที่ผู้ให้บริการต้องรับไว้ โดยต้นทุนในการดำเนินการตรวจสอบภาคพื้นดินและภาคอากาศ อาจแจกแจงได้อย่างน้อยดังนี้

1. การตรวจสอบภาคพื้นดิน เช่น ค่าอะไหล่สำรองสำหรับการบำรุงรักษาระบบ/อุปกรณ์ตามวงจร, ค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมและคงความสามารถของพนักงาน และค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปปฏิบัติงาน เป็นต้น
2. การตรวจสอบภาคอากาศ เช่น ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง, ค่าบำรุงรักษาอากาศยานตามวงจร, ค่าใบอนุญาตผู้ประจำหน้าที่ของผู้ปฏิบัติหน้าที่ตรวจสอบสัญญาณ (นักบิน และ Panel Operator), ค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมและคงความสามารถของพนักงาน และค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปปฏิบัติงาน เป็นต้น

2.1 แนวคิดของเครื่องช่วยการเดินอากาศ

เครื่องช่วยการเดินอากาศ (NAVAIDs) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีบทบาทอย่างยิ่งในการสนับสนุนความปลอดภัยและประสิทธิภาพของการเดินอากาศ โดยเฉพาะในช่วงเวลาวิกฤต (Critical Phase) ของการบิน ได้แก่ การนำเครื่องบินขึ้น (Take-off) และการลงจอด (Landing) ซึ่งเป็นช่วงที่ต้องอาศัยความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลนำร่องอย่างสูง ระบบช่วยการเดินอากาศที่สำคัญและนำมาใช้ในการศึกษานี้ ประกอบไปด้วย PAPI (Precision Approach Path Indicator), DVOR (Doppler VHF Omnidirectional Range), DME (Distance Measuring Equipment), และ ILS (Instrument Landing System) โดยระบบเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้นักบินสามารถปฏิบัติการบินได้อย่างปลอดภัย แต่ยังมีส่วนสำคัญในการลดอุบัติเหตุทางการบินที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการนำเครื่องขึ้นและลงจอด ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ระบบดังกล่าวจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม และบินทดสอบ (Flight Inspection) เพื่อยืนยันความถูกต้องของสัญญาณที่ใช้งานเป็นประจำ เพื่อให้มั่นใจว่า NAVAIDs ที่มีติดตั้งใช้งาน จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนด โดย ICAO และหน่วยงานกำกับดูแลในระดับประเทศ

2.1.1 PAPI (Precision Approach Path Indicator)

เป็นระบบไฟสัญญาณช่วยบอกแนวลาดมุมร่อนทางสายตาที่ปลายทางวิ่ง ประกอบด้วยหลอดไฟความเข้มสูงเรียงเป็นแถว (โดยทั่วไป 4 ดวง) ข้างทางวิ่ง โดยแต่ละดวงถูกปรับมุมก้มเงยของลำแสงอย่างแม่นยำ แสงที่นักบินมองเห็นจะแบ่งเป็นสองสีคือ ขาว และ แดง ขึ้นอยู่กับมุมมองของอากาศยานเมื่อเทียบกับระนาบมุมร่อนที่กำหนด โดยหากอากาศยานอยู่บนมุมร่อนที่ถูกต้องนักบินจะเห็นไฟขาวและแดงอย่างละเท่า ๆ กัน (เช่น แสดงสีขาว 2 ดวง และแสดงสีแดง 2 ดวง สำหรับระบบไฟ PAPI ที่มี 4 ดวง) และหากเครื่องบินอยู่ต่ำเกินไปจะเห็นไฟเป็นสีแดงมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากสูงเกินไปจะเห็นไฟสีขาวมากขึ้น หลักการนี้ช่วยให้นักบินปรับระดับอากาศยานเพื่อกลับเข้าสู่มุมร่อนที่เหมาะสม กล่าวได้ว่า PAPI เป็นอุปกรณ์ที่ให้ข้อมูลมุมร่อนที่ชัดเจนและเข้าใจง่าย ซึ่งช่วยป้องกันการร่อนลงก่อนทางวิ่งหรือเกินจากระยะที่กำหนดได้

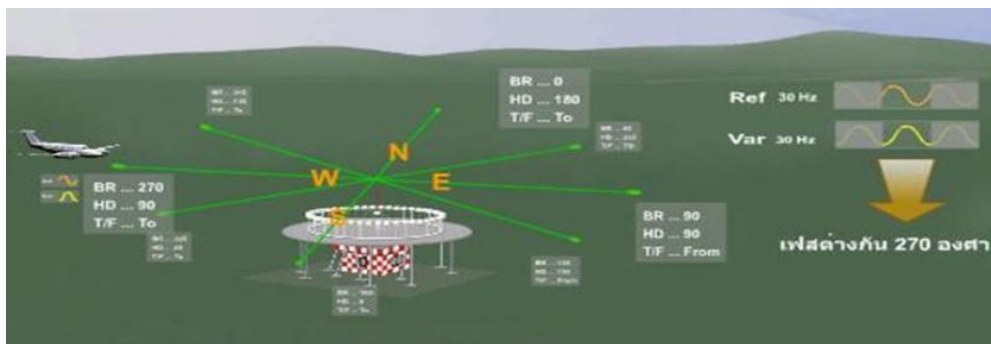
2.1.2 DVOR (Doppler VHF Omnidirectional Range)

DVOR เป็นระบบที่ใช้คลื่นวิทยุความถี่สูง (VHF) เพื่อให้นักบินทราบทิศทางที่สัมพันธ์กับสถานีภาคพื้น โดยระบบจะส่งสัญญาณวิทยุโดยออกอากาศแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional) ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณ 2 สัญญาณคือ Reference Signal และ Variable

Signal ซึ่งระบบนี้เหมาะสำหรับการนำทางในระยะกลางถึงไกล โดยระยะการครอบคลุมขึ้นอยู่กับความสูงของอากาศยานและกำลังส่งของสถานี DVOR

ภาพที่ 2.4

การทำงานของระบบ DVOR



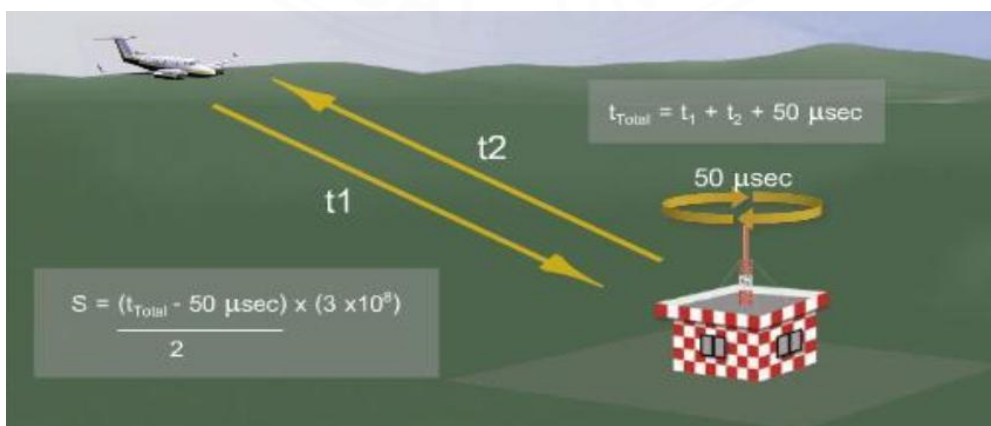
หมายเหตุ: จากระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ, โดยบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด, 2567, (<https://www.aerothai.co.th/th/services/ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ>)

2.1.3 DME (Distance Measuring Equipment)

DME เป็นระบบที่ใช้ในการวัดระยะทางระหว่างอากาศยานกับสถานีภาคพื้น โดยใช้หลักการของความแตกต่างของเวลาที่สัญญาณวิทยุส่งไปกลับระหว่างเครื่องส่งสัญญาณในอากาศยานและสถานีภาคพื้น โดยสถานี DME จะตอบกลับด้วยสัญญาณที่มีระยะเวลาแตกต่างออกไป ซึ่งมักใช้งานร่วมกับระบบ DVOR หรือ ILS

ภาพที่ 2.5

การทำงานของระบบ DME



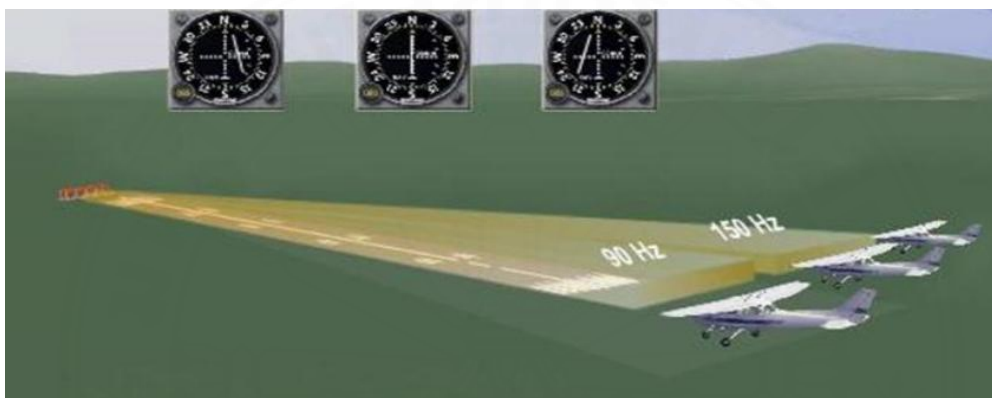
หมายเหตุ: จากระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ, โดยบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด, 2567, (<https://www.aerothai.co.th/th/services/ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ>)

2.1.4 ILS (Localizer)

Localizer เป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบ Instrument Landing System (ILS) ทำหน้าที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับแนวศูนย์กลางของรันเวย์ (Centerline) แก่นักบิน (Horizontal Guidance) โดยส่งสัญญาณที่แสดงทิศทางทางซ้ายหรือขวาของแนวถึงกลางทางวิ่ง ซึ่งทำให้อากาศยานสามารถบินเข้าสู่สนามบินได้แม่นยำมากขึ้นในช่วงการลงจอด โดยเฉพาะในสภาพอากาศที่มีทัศนวิสัยต่ำ

ภาพที่ 2.6

การทำงานของระบบ Localizer



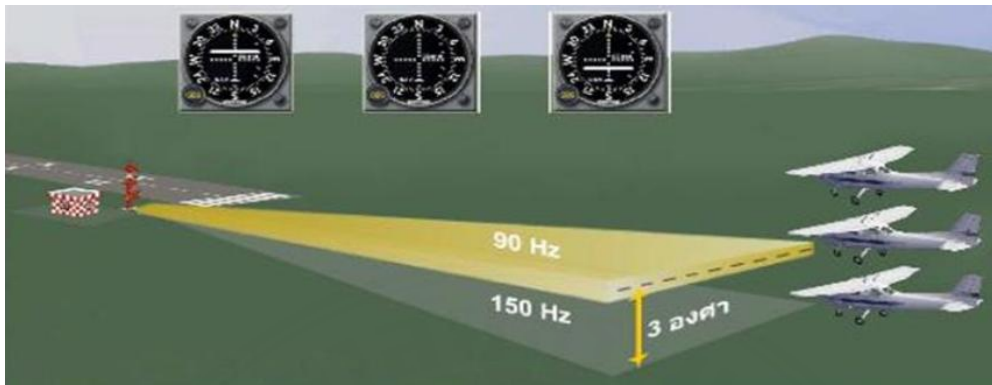
หมายเหตุ: จากระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ, โดยบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด, 2567, (<https://www.aerothai.co.th/th/services/ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ>)

2.1.5 ILS (Glide Path)

Glide Path ทำงานร่วมกับ Localizer ในระบบ ILS โดยให้ข้อมูลเกี่ยวกับมุมร่อน (Approach Angle) ที่เหมาะสมสำหรับการลงจอด (Vertical Guidance) โดยสัญญาณ Glide Path จะช่วยให้นักบินทราบว่าอากาศยานอยู่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับเส้นทางการลงจอดที่ปลอดภัย โดยทั่วไป มุมร่อนที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 3 องศา ซึ่งจะช่วยนักบินในการลงจอดในทัศนวิสัยที่ไม่สามารถมองเห็นพื้นรันเวย์ได้อย่างชัดเจน

ภาพที่ 2.7

การทำงานของระบบ Glide Path



หมายเหตุ: จากระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ, โดยบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด, 2567, (<https://www.aerothai.co.th/th/services/ระบบเครื่องช่วยการเดินอากาศ>)

2.2 แนวคิดเรื่องการบินทดสอบ

เอกสาร ICAO Doc 8071 ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยใช้ข้อมูลและประสบการณ์จากประเทศสมาชิก ICAO ซึ่งเป็นส่วนเสริมที่ช่วยให้ประเทศสมาชิกสามารถปฏิบัติตามมาตรฐานและข้อแนะนำ (SARPs) ที่กำหนดใน Annex 10 Volume 1 ได้อย่างครบถ้วนถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการบินทดสอบ NAVAIDs เพื่อให้มั่นใจว่าสัญญาณและการให้บริการของ NAVAIDs เป็นไปตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้ โดยที่ชนิดของการบินทดสอบ (บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด, 2567) อาจแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1. Commissioning เป็นการบินทดสอบเพื่อวิเคราะห์และประเมินผลการทำงานของระบบ NAVAIDs ที่ติดตั้งเสร็จใหม่ อย่างละเอียด ก่อนประกาศเปิดใช้งานอย่างเป็นทางการต่อไป
2. Periodic เป็นการบินทดสอบระบบ NAVAIDs ชนิดต่าง ๆ ตามรอบเวลายำหนด เพื่อตรวจสอบการทำงานของ NAVAIDs เหล่านั้นว่ายังคงทำงานถูกต้องเหมือนเดิม ถึงจะสามารถเปิดใช้งานต่อไปได้
3. Special Request เป็นการบินทดสอบในกรณีพิเศษ เช่น หลังเครื่องบินเกิดอุบัติเหตุ หรือมีการร้องขอให้ไปทำบินทดสอบนอกแผนอื่น ๆ

โดยบริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด (บวท.) ซึ่งเป็นผู้ให้บริการระบบช่วยการเดินอากาศ รวมถึงการบินทดสอบ NAVAIDs ที่มีติดตั้งและใช้งานในประเทศไทย จะใช้อากาศยาน Beechcraft King Air 350 (King Air) ในการบินทดสอบ

กฎหมายที่มีในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับด้านการบินทดสอบ มีเพียงระเบียบของกรมการขนส่งทางอากาศ ว่าด้วยใบรับรองผู้ปฏิบัติการทดสอบเครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศ พ.ศ. 2551 ซึ่ง กพท. ยังใช้กฎหมายนี้อยู่เรื่อยมาอย่างต่อเนื่อง โดยกฎหมายฉบับดังกล่าวเป็นเพียงการใช้รับรองเฉพาะตัวบุคคลดังนี้

1. นักบินทดสอบ และนักบินทดสอบผู้ช่วย ซึ่งต้องมีใบอนุญาตนักบินพาณิชย์ขึ้นไป
2. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานทดสอบภาคอากาศ (Panel Operator) สำหรับวิเคราะห์ค่าที่ได้จากระบบ FIS

3. ครูการบินทดสอบ และครูงานทดสอบภาคอากาศ

ซึ่งผู้ทำการบินทดสอบ จะทำการบินทดสอบด้วยเครื่องบินทดสอบ และนำส่งรายงานผลการบินทดสอบให้ กพท. รับรอง เพื่อยืนยันคุณภาพและความถูกต้องของสัญญาณ NAVAIDs โดยยังไม่มีกฎหมายส่วนใดที่กล่าวถึง หรือรองรับไว้สำหรับการใช้ UAV ในการบินทดสอบ

ทั้งนี้ ในปัจจุบัน หลายประเทศเริ่มมีการศึกษาการใช้ UAV มาสนับสนุนการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs และกลายเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในระดับสากล โดย KAVICS (2023) ได้พัฒนาระบบตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs ที่ใช้ UAV ประกอบกับอุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณ เช่น PIR361 (ผลิตโดย KAVICS, Korea), PNA-200 (โดย Canard Drones, Spain), และ EVSF1000 (โดย Rohde & Schwarz, Germany) เป็นต้น เพื่อใช้วัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในรูปแบบเดียวกันกับที่ดำเนินการด้วยอากาศยานขนาดเล็ก โดยที่การใช้อุปกรณ์ข้างต้น รวมถึง UAV ทำให้สามารถบินตรวจสอบได้ทั้งในแนวราบและแนวดิ่งตามตำแหน่งทำสอบที่กำหนดตามมาตรฐาน ICAO Doc 8071 ได้อย่างครบถ้วน ซึ่งผลการศึกษาและทดสอบแสดงให้เห็นว่าการสอบเทียบระบบ PAPI ด้วย UAV สามารถให้ผลแม่นยำและเสถียรกว่าการวัดด้วยอุปกรณ์ Clinometer จากภาคพื้น โดยเฉพาะในกรณีที่สภาพพื้นที่ลาดเอียงหรือมีสิ่งกีดขวาง อีกทั้งยังช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงานได้มากกว่าร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับการบินด้วยอากาศยานขนาดเล็ก นอกจากนี้ สำหรับ NAVAIDs ชนิด ILS, DVOR, และ DME ยังสามารถดำเนินการบินทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญได้ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัย รวมถึงลดภาระการควบคุมจราจรทางอากาศในระหว่างปฏิบัติการบินทดสอบ

นอกจากนี้ UAV ยังสามารถทำหน้าที่เป็นระบบ "Pre-flight calibration" สำหรับสนามบินที่อยู่ระหว่างการติดตั้งระบบ NAVAIDs โดยช่วยให้สามารถตรวจสอบสัญญาณเบื้องต้นได้ทันทีหลังจากติดตั้งอุปกรณ์แล้วเสร็จ โดยไม่จำเป็นต้องรอการปฏิบัติการจากอากาศยานขนาดเล็ก จึงเป็นการเสริมประสิทธิภาพในการประเมินความถูกต้องของสัญญาณ NAVAIDs ซึ่งเป็นไปตามข้อเสนอของ ICAO Doc 8071 ที่สนับสนุนให้มีการใช้อุปกรณ์ภาคพื้นหรือ UAV เพื่อเสริมการตรวจสอบนอกเหนือจากการบินทดสอบตามรอบเวลาปกติ (Periodic Inspection)

2.3 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDs แต่ละประเภทด้วยอากาศยานขนาดเล็ก

2.3.1 PAPI

การบินทดสอบ PAPI มีวิธีการบินทดสอบและขั้นตอนการปฏิบัติโดยสรุป ดังนี้

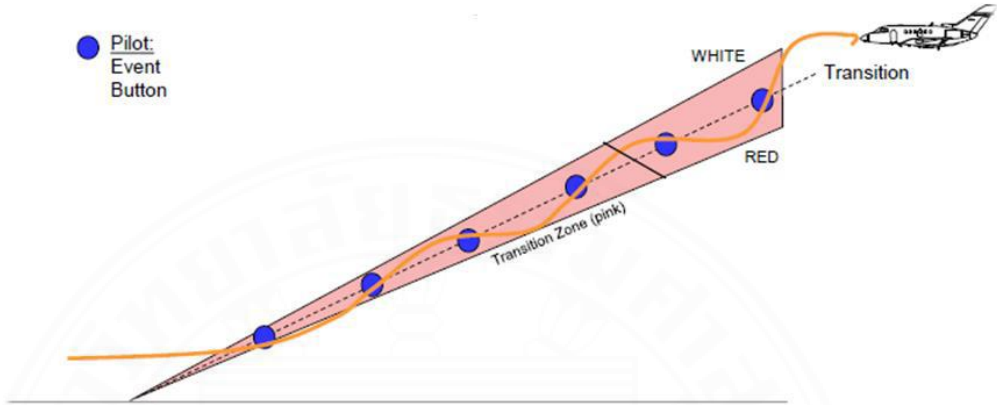
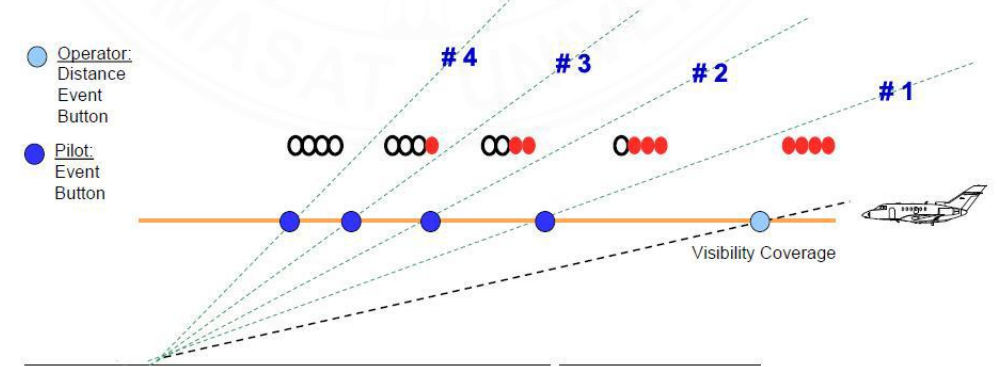
ตารางที่ 2.1

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ PAPI ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
1	Multiple Transition Method	Glide Path Angle	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟที่ปล่อยออกมาจากแต่ละโคม ว่ามีความถูกต้องตามมาตรฐานกำหนดหรือไม่ โดยทำการบินเข้าสู่ทางวิ่ง และเปลี่ยนท่าทางการบิน (Pitch) ขึ้น – ลง เพียงเล็กน้อย และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟ
		Symmetry	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟคู่ที่ 1 – 4 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงพร้อมกันหรือไม่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูง หรือ Glide Path Angle

ตารางที่ 2.1

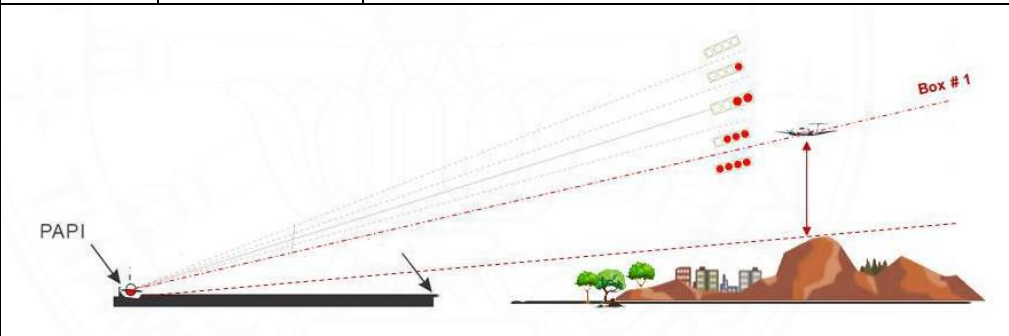
วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ PAPI ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
			
2	Level Run	Glide Path Angle	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟที่ปล่อยออกมาจากแต่ละโคม ว่ามีความถูกต้องตามมาตรฐานกำหนดหรือไม่ โดยทำการบินแบบคงความสูงไว้ที่ระดับเดียว และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ
		Symmetry	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟคู่ที่ 1 – 4 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงพร้อมกันหรือไม่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูง หรือ Glide Path Angle
			

ตารางที่ 2.1

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ PAPI ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
3	Angular Coverage	Width	เพื่อตรวจสอบความกว้างของระบบไฟ PAPI ในพื้นที่ใช้งานด้าน Lateral Area โดยการบินตั้งฉากกับทางวิ่ง
4	Low Approach	Co-incidence	เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของมุมร่อนของเครื่องช่วยฯ ประเภททัศนวิสัย ชนิด PAPI และเครื่องช่วยฯ ประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ ชนิด ILS
		Obstacle Clearance (Fly ability)	เพื่อยืนยันความปลอดภัยในการปฏิบัติการบินจากความสูงของสิ่งกีดขวางภาคพื้นดิน
		System Identification	เพื่อตรวจสอบความชัดเจนในการแสดงผลของแสงไฟแต่ละดวง



หมายเหตุ: จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน บวท.

2.3.2 DVOR

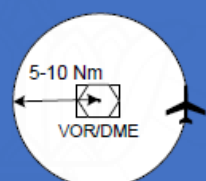
การบินทดสอบ DVOR มีวิธีการบินทดสอบและขั้นตอนการปฏิบัติโดยสรุป ดังนี้

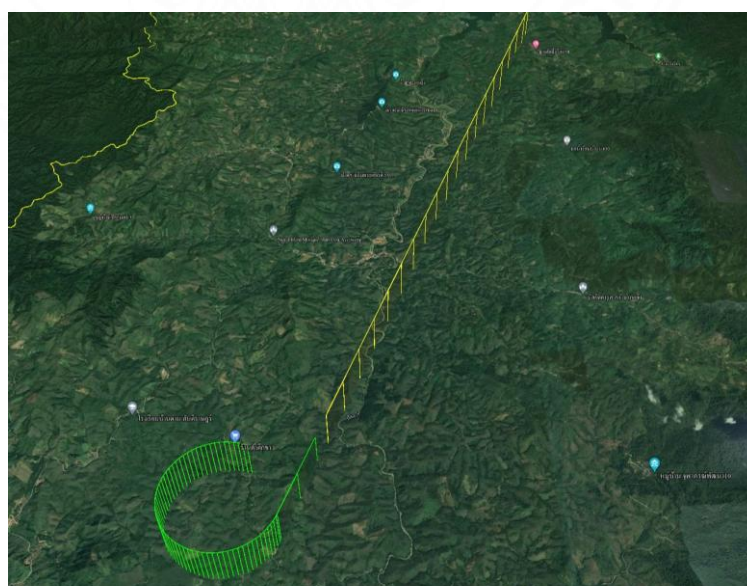
ตารางที่ 2.2

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ DVOR ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
1	Close Orbit	Rotation	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ DVOR Radial เมื่อตำแหน่งเครื่องบินเปลี่ยนไปขณะทำการบินแบบ Orbit (บินเป็นวงกลมรอบสถานี) โดยอาจทำการบินทวนเข็มนาฬิกา หรือตามเข็มนาฬิกา ณ ความสูงหนึ่งตามความเหมาะสม
		Pattern Accuracy	เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคุณภาพของสัญญาณ DVOR ในค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ Alignment, Bends, Roughness, และ Scalloping โดยอาจทำการบินทวนเข็มนาฬิกา หรือตามเข็มนาฬิกา รอบสถานี DVOR ณ ความสูงหนึ่งตามความเหมาะสม

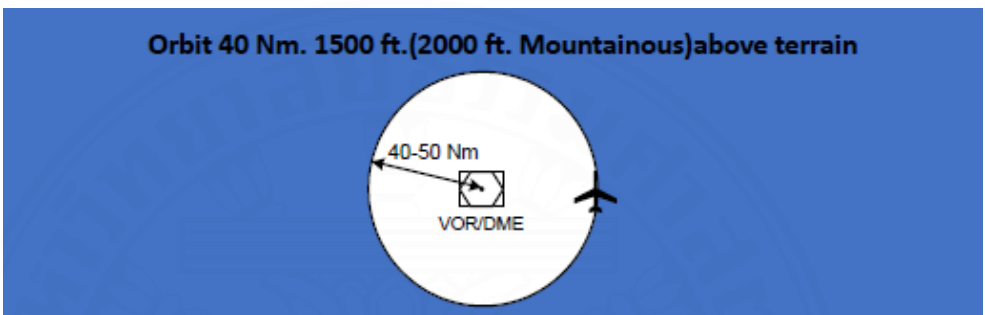
Orbit 5-10 Nm and beyond or @ elevation angle 4° - 6°





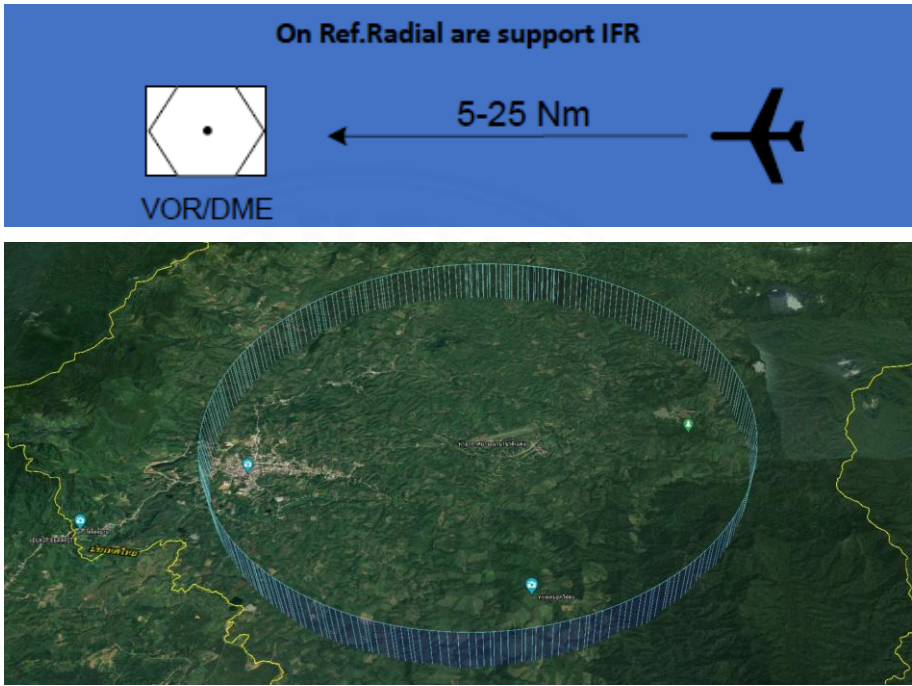
ตารางที่ 2.2

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ DVOR ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
2	Orbit (for Coverage check)	Coverage	เพื่อตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณว่ามีความครอบคลุมพื้นที่ที่มีความต้องการใช้งานหรือไม่
			
3	Radial	Identification	เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ชัดเจน และต่อเนื่องของสัญญาณแสดงชื่อสถานี ที่ส่งออกมาเป็น Morse Code โดยสามารถทำการบินร่วมกับวิธีปฏิบัติใดก็ได้
		Modulation	เพื่อตรวจสอบระดับของการ Modulation ระหว่างสัญญาณ 9960 Hz, 30 Hz Reference, 30 Hz Variable เปรียบเทียบกับสัญญาณ RF Carrier
		Sensing	เพื่อตรวจสอบการแสดงทิศทางที่ถูกต้องของ DVOR Radial โดยจะทำการบิน Inbound หรือ Outbound ให้ตำแหน่งเครื่องบินอยู่บน Radial ที่ทราบแน่นอน ณ ความสูงหนึ่งตามความเหมาะสม
		Pattern Accuracy	เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคุณภาพของสัญญาณ DVOR ในค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ Alignment, Bends, Roughness, และ Scalloping โดยจะทำการบิน Inbound หรือ Outbound ให้ตำแหน่งเครื่องบินอยู่บน Radial ที่ทราบแน่นอน ณ ความสูงหนึ่งตามความเหมาะสม

ตารางที่ 2.2

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ DVOR ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
			

หมายเหตุ: จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน บวท.

2.3.3 DME

ระบบ DME มักจะติดตั้งใช้งานร่วมกับระบบอื่น ๆ เช่น ILS และ DVOR เป็นต้น ดังนั้น การบินทดสอบระบบ DME จะดำเนินการไปพร้อมกับการบินทดสอบระบบที่ถูกติดตั้งไว้อยู่ด้วย โดยมีการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น Identification, Coverage, และ Accuracy เป็นต้น

2.3.4 Localizer และ Glide Path

การบินทดสอบ Localizer และ Glide Path มีวิธีการบินทดสอบและขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

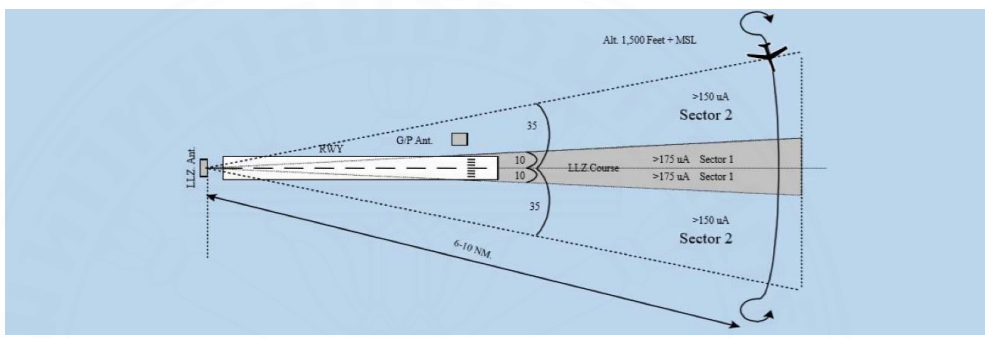
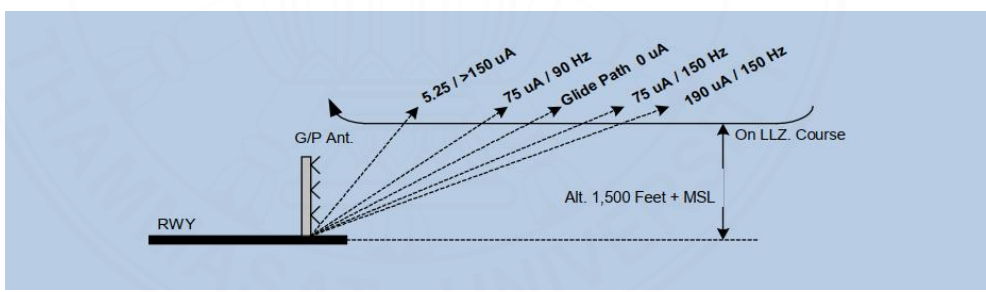
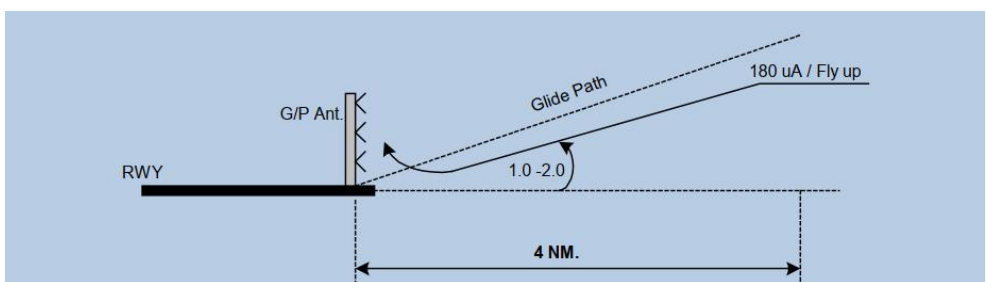
ตารางที่ 2.3

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ ILS ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
1	Centerline Approach	Modulation Depth	เพื่อตรวจสอบค่า Modulation ของสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz เทียบกับสัญญาณ RF Carrier ทั้ง Localizer และ Glide Path
		Course Alignment Accuracy and Structure	เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคุณภาพของสัญญาณ Localizer Course และการรบกวนจากสิ่งแวดล้อม โดยรอบ โดยจะทำการบิน On course ตาม Glide Path Angle ที่เหมาะสมก่อน แล้วจึงบินรักษาระดับ (Level Run) ณ ความสูงหนึ่ง
2	Arc	Course Width	เพื่อตรวจสอบความครอบคลุมของสัญญาณ โดยการบินเป็นแนวโค้ง (Arc) ตั้งฉากกับทางวิ่ง
		Displacement Sensitivity	เพื่อตรวจสอบความสมมาตรของสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz ที่ประกอบกันเป็น Course Structure Width ของสัญญาณ Localizer

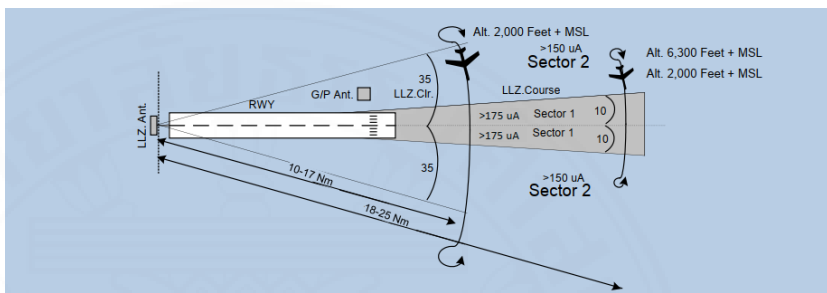
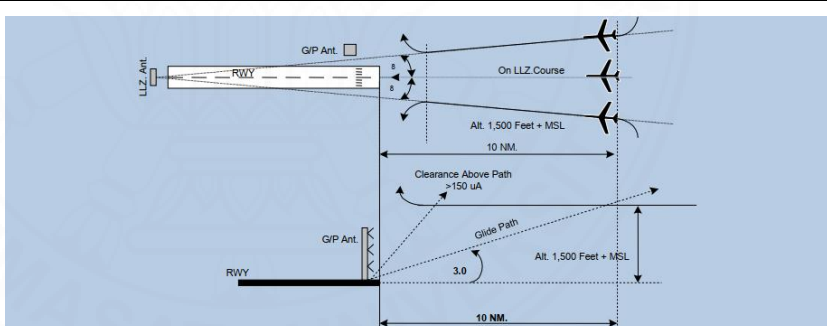
ตารางที่ 2.3

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ ILS ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
		Off-Course Clearance and DDM Clearance	เพื่อตรวจสอบสัญญาณ Off-Course Clearance และ DDM Linear ว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ โดยจะบิน Arc ผ่าน Sector 1 และ Sector 2 ของสัญญาณ Localizer
			
3	Level Run	Displacement Sensitivity	เพื่อตรวจสอบความสมมาตรของสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz
			
4	Clearance	Obstruction Clearance	เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยในการทำการบิน (Flyability) จากสิ่งกีดขวาง โดยจะทำการบินต่ำกว่า Glide Path Angle (Below Path)
			

ตารางที่ 2.3

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ ILS ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก (ต่อ)

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
5	Coverage	Localizer Coverage	เพื่อตรวจสอบ Usable Distance หรือระยะที่สามารถใช้งานได้ โดยจะทำการบินที่ขอบของสัญญาณที่ให้บริการ
			 The diagram illustrates the Localizer Coverage for an ILS. It shows the Localizer (LZ) Antenna (LZ Ant.) and the Runway (RWY). The coverage is divided into Sector 1 and Sector 2. Sector 1 is defined by a signal strength of >175 uA and a distance of 10-17 Nm. Sector 2 is defined by a signal strength of >150 uA and a distance of 18-29 Nm. The diagram also shows the Localizer (LZ) Course and the Localizer (LZ) Clearance (LZ Clr.) at Alt. 2,000 Feet + MSL. The signal strength thresholds are >175 uA for Sector 1 and >150 uA for Sector 2. The altitudes are Alt. 2,000 Feet + MSL for Sector 1 and Alt. 6,300 Feet + MSL for Sector 2.
		Glide Path Coverage	เพื่อตรวจสอบ Usable Distance หรือระยะที่สามารถใช้งานได้ โดยจะทำการบินที่ขอบของสัญญาณที่ให้บริการ
			 The diagram illustrates the Glide Path Coverage for an ILS. It shows the Glide Path (GP) Antenna (GP Ant.) and the Runway (RWY). The glide path is defined by a signal strength of >150 uA and a distance of 10 NM. The diagram also shows the clearance above the path at Alt. 1,500 Feet + MSL. The signal strength threshold is >150 uA. The altitudes are Alt. 1,500 Feet + MSL for the glide path and Alt. 1,500 Feet + MSL for the clearance above the path.

หมายเหตุ: จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน บพท.

2.4 วิธีปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDs แต่ละประเภทด้วย UAV

2.4.1 PAPI

การใช้ UAV บินทดสอบระบบ PAPI โดยปกติมักจะดำเนินการที่ระยะห่างประมาณ 500 – 1,000 เมตรจากหัวทางวิ่ง ที่ความสูง 0 – 150 ฟุต โดยสามารถสรุปวิธีปฏิบัติการบินทดสอบที่สามารถทำได้ ตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 2.4

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ PAPI ด้วย UAV

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
1	Transition	Glide Path Angle	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟที่ปล่อยออกมาจากแต่ละโคม ว่ามีความถูกต้องตามมาตรฐานกำหนดหรือไม่ โดยทำการบินเข้าสู่ทางวิ่ง และเปลี่ยนท่าทางการบิน (Pitch) ขึ้น – ลง เพียงเล็กน้อย และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟ
		Symmetry	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟคู่ที่ 1 – 4 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงพร้อมกันหรือไม่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูง หรือ Glide Path Angle
2	Level Run	Glide Path Angle	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟที่ปล่อยออกมาจากแต่ละโคม ว่ามีความถูกต้องตามมาตรฐานกำหนดหรือไม่ โดยทำการบินแบบคงความสูงไว้ที่ระดับเดียว และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ
		Symmetry	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของแสงไฟคู่ที่ 1 – 4 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงพร้อมกันหรือไม่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูง หรือ Glide Path Angle
3	Angular Coverage	Width	เพื่อตรวจสอบความกว้างของระบบไฟ PAPI ในพื้นที่ใช้งานด้าน Lateral Area โดยการบินตั้งฉากกับทางวิ่ง

หมายเหตุ: จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน บวท.

2.4.2 DVOR

การใช้ UAV บินทดสอบระบบ DVOR โดยปกติมักจะดำเนินการที่ระยะห่างประมาณ 100 - 150 เมตรจากกึ่งกลางสถานี ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ยังไม่สามารถทำการบินในระยะไกลเหมือนกับอากาศยานขนาดเล็กได้ โดยสามารถสรุปวิธีปฏิบัติการบินทดสอบที่สามารถทำได้ตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 2.5

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ DVOR ด้วย UAV

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
1	Close Orbit	Rotation	เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของ DVOR Radial เมื่อตำแหน่งเครื่องบินเปลี่ยนไปขณะทำการบินแบบ Orbit (บินเป็นวงกลมรอบสถานี) โดยอาจทำการบินทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา ณ ความสูงหนึ่งตามความเหมาะสม
		Pattern Accuracy	เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคุณภาพของสัญญาณ DVOR ในค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ Alignment, Bends, Roughness, และ Scalloping โดยอาจทำการบินทวนเข็มนาฬิกา หรือตามเข็มนาฬิกา รอบสถานี DVOR ณ ความสูงหนึ่งตามความเหมาะสม
2	Radial	Identification	เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ชัดเจน และต่อเนื่องของสัญญาณแสดงชื่อสถานี ที่ส่งออกมาเป็น Morse Code โดยสามารถทำการบินร่วมกับวิธีปฏิบัติใดก็ได้
		Modulation	เพื่อตรวจสอบระดับของการ Modulation ระหว่างสัญญาณ 9960 Hz, 30 Hz Reference, 30 Hz Variable เปรียบเทียบกับสัญญาณ RF Carrier
		Sensing	เพื่อตรวจสอบการแสดงทิศทางที่ถูกต้องของ DVOR Radial โดยจะทำการบิน Inbound หรือ Outbound ให้ตำแหน่งเครื่องบินอยู่บน Radial ที่ทราบแน่นอน ณ ความสูงหนึ่งตามความเหมาะสม
		Pattern Accuracy	เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคุณภาพของสัญญาณ DVOR ในค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ Alignment, Bends, Roughness, และ Scalloping โดยจะทำการบิน Inbound หรือ Outbound ให้ตำแหน่งเครื่องบินอยู่บน Radial ที่ทราบแน่นอน ณ ความสูงหนึ่งตามความเหมาะสม

หมายเหตุ: จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน บวท.

2.4.3 DME

ระบบ DME มักจะติดตั้งใช้งานร่วมกับระบบอื่น ๆ เช่น ILS หรือ DVOR เป็นต้น ดังนั้น การบินทดสอบระบบ DME จะดำเนินการไปพร้อมกับการบินทดสอบระบบที่ถูกติดตั้งไว้อยู่ด้วย โดยมีการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น Identification, Coverage, และ Accuracy เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังคงมีข้อจำกัดสำหรับระยะทางที่ใช้ในการบินทดสอบ ซึ่งจะเป็นไปตามการบินทดสอบระบบที่ DME ไปติดตั้งอยู่ด้วย

2.4.4 ILS (Localizer และ Glide Path)

การใช้ UAV บินทดสอบระบบ Localizer และ Glide Path โดยปกติมักจะดำเนินการที่ระยะประมาณ 300 – 1,000 เมตรจากหัวทางวิ่ง ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ยังไม่สามารถทำการบินในระยะไกลเหมือนกับอากาศยานขนาดเล็กได้ โดยสามารถสรุปวิธีปฏิบัติการบินทดสอบที่สามารถทำได้ ตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 2.6

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ ILS ด้วย UAV

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
1	Centerline Approach	Modulation Depth	เพื่อตรวจสอบค่า Modulation ของสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz เทียบกับสัญญาณ RF Carrier ทั้ง Localizer และ Glide Path
		Course Alignment Accuracy and Structure	เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและคุณภาพของสัญญาณ Localizer Course และการรบกวนจากสิ่งแวดล้อม โดยรอบ โดยจะทำการบิน On course ตาม Glide Path Angle ที่เหมาะสมก่อน แล้วจึงบินรักษาระดับ (Level Run) ณ ความสูงหนึ่ง

ตารางที่ 2.6

วิธีปฏิบัติการบินทดสอบระบบ ILS ด้วย UAV (ต่อ)

ลำดับ	วิธีปฏิบัติ	ค่าที่วัดได้	จุดประสงค์
2	Arc	Course Width	เพื่อตรวจสอบความครอบคลุมของสัญญาณ โดยการบินเป็นแนวโค้ง (Arc) ตั้งฉากกับทางวิ่ง
		Displacement Sensitivity	เพื่อตรวจสอบความสมมาตรของสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz ที่ประกอบกันเป็น Course Structure Width ของสัญญาณ Localizer
		Off-Course Clearance and DDM Clearance	เพื่อตรวจสอบสัญญาณ Off-Course Clearance และ DDM Linear ว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ โดยจะบิน Arc ผ่าน Sector 1 และ Sector 2 ของสัญญาณ Localizer
3	Level Run	Displacement Sensitivity	เพื่อตรวจสอบความสมมาตรของสัญญาณ 90 Hz และ 150 Hz ที่ประกอบกันเป็น Course Structure Width ของ Glide Path

หมายเหตุ: จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน บวท.

2.5 แนวคิดด้านมาตรฐานและกฎหมายการเดินอากาศที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการปฏิบัติการบินโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภารกิจที่ซับซ้อนดังเช่นการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศ (Flight Inspection) ตามที่กล่าวถึงในหัวข้อข้างต้น เพื่อให้สามารถให้บริการการเดินอากาศได้อย่างปลอดภัย ไม่ได้อาศัยเพียงความก้าวหน้าในเทคโนโลยีและประสิทธิภาพของ NAVAIDs ประเภทต่าง ๆ เท่านั้น แต่ยังคงอยู่ภายใต้กรอบของกฎหมายและมาตรฐานที่รัดกุม เพื่อให้สามารถให้บริการด้วยความปลอดภัย มีประสิทธิภาพ สอดคล้องและเป็นไปตามมาตรฐานเดียวกันของการเดินอากาศระหว่างประเทศ เนื่องจากอุตสาหกรรมการบิน เป็นกิจกรรมที่เชื่อมโยงระหว่างประเทศ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีหลักปฏิบัติที่เป็นสากลและสอดคล้องกัน ในบริบทนี้อนุสัญญาว่าด้วยการบินพลเรือนระหว่างประเทศ หรืออนุสัญญาชิคาโก (Convention on International Civil Aviation หรือ Chicago Convention) และ ICAO SARPs มีบทบาทสำคัญในการกำหนดมาตรฐานและแนวปฏิบัติที่ครอบคลุมในทุกมิติของการบินพลเรือน ไม่ว่าจะเป็นการออกใบอนุญาตบุคลากรการบิน (Personnel Licensing) ความสมควรเดินอากาศ (Airworthiness) ไป

จนถึงบริการการเดินอากาศ (Air Navigation Services) ซึ่งรวมถึงมาตรฐานของ NAVAIDs ที่ใช้ในการตรวจสอบด้วย โดยสาระสำคัญของ SARPs คือการสร้างกรอบปฏิบัติที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งเน้นไปที่ความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความสามารถในการทำงานร่วมกันระหว่างระบบการบินของแต่ละประเทศสมาชิก ซึ่งทำให้มั่นใจได้ว่าสภาพแวดล้อมทางการบิน จะได้รับการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม และน่าเชื่อถือสำหรับการเดินอากาศอย่างปลอดภัย

จากมาตรฐานสากลที่กำหนดโดย ICAO แต่ละประเทศสมาชิกมีหน้าที่นำข้อกำหนดและมาตรฐานดังกล่าว ไปปรับใช้และจัดทำเป็นกฎหมายระดับประเทศ เพื่อให้สอดคล้องกับบริบทและสภาพแวดล้อมของแต่ละประเทศ ซึ่งในประเทศไทย มาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการ NAVAIDs เหล่านี้ จะถูกผนวกเข้ากับกฎหมายด้านบริการการเดินอากาศ เพื่อกำกับดูแลบริการการเดินอากาศในด้านต่าง ๆ ภายในเขตแกลงข่าวการบินกรุงเทพ (Bangkok Flight Information Region: Bangkok FIR) ให้เป็นไปด้วยความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการใช้งาน UAV ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการนำ UAV มาใช้ในการกิจที่สำคัญอย่างการตรวจสอบ NAVAIDs ซึ่งเป็นเรื่องใหม่ที่ต้องมีกฎเกณฑ์ที่ชัดเจนและเฉพาะเจาะจงเพื่อกำกับดูแลให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย จึงนำไปสู่การพัฒนากฎหมายด้านอากาศยานไร้คนขับ เพื่อวางกรอบการปฏิบัติงานที่ปลอดภัย และสามารถรวมเข้ากับน่านฟ้าที่มีใช้งานอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การปฏิบัติตามทั้งข้อกำหนดทางเทคนิคที่ระบุไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ และการยึดโยงกับข้อกำหนดและมาตรฐานต่าง ๆ จึงเป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมการบินให้ก้าวหน้าไปพร้อมกับการคงไว้ซึ่งความปลอดภัยสูงสุดในการปฏิบัติการบิน

2.5.1 อนุสัญญาว่าด้วยการบินพลเรือนระหว่างประเทศ หรืออนุสัญญาชิคาโก (Convention on International Civil Aviation หรือ Chicago Convention)

อนุสัญญาชิคาโก เกิดขึ้นจากการประชุมระดับนานาชาติที่จัดขึ้นในเมืองชิคาโก ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อวันที่ 7 ธันวาคม ค.ศ. 1944 ในช่วงที่โลกกำลังฟื้นตัวจากสงครามโลกครั้งที่สอง โดยมีประเทศต่าง ๆ กว่า 50 ประเทศ ซึ่งรวมถึงประเทศไทย เข้าร่วมเพื่อกำหนดแนวทางและมาตรฐานการบินระหว่างประเทศ ส่งเสริมให้การเดินอากาศเป็นไปอย่างปลอดภัยและมีมาตรฐานเดียวกัน ป้องกันปัญหาความขัดแย้งและเพิ่มความร่วมมือระหว่างประเทศในด้านการเดินอากาศ นอกจากนี้ อนุสัญญาชิคาโก ยังเป็นที่มาของการจัดตั้ง ICAO เพื่อเป็นหน่วยงานกลางที่จัดทำมาตรฐานความปลอดภัย การรักษาความปลอดภัยด้านการบินและส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีรวมถึงกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการบินด้วย

โดยที่อนุสัญญาชิคาโกได้กำหนดบทบาทหน้าที่ของ ICAO ในการกำหนดมาตรฐานและพัฒนาแนวปฏิบัติที่เกี่ยวกับความปลอดภัย และการรักษาความปลอดภัยทางการบิน ซึ่งถูกระบุเป็น SARPs โดยมีภาคผนวกในมาตรฐานด้านต่าง ๆ ทั้งหมด 19 ฉบับ (ICAO Annexes) ที่ประเทศสมาชิกต้องนำไปจัดทำเป็นกฎหมายและปฏิบัติตาม

2.5.2 ICAO Standards and Recommended Practices (SARPs)

ICAO SARPs ถูกแบ่งออกเป็น 19 Annexes ที่มีเนื้อหาทางเทคนิคที่เฉพาะเจาะจงลงไปในแต่ละเรื่อง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ICAO Annex 1 Personnel Licensing

กล่าวถึงมาตรฐานคุณสมบัติของบุคลากรประเภทต่าง ๆ ในด้านการบิน เช่น นักบิน (Pilot), เจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ (Air Traffic Controller: ATC), และวิศวกรอากาศยาน (Licensed Engineer) เป็นต้น

2. ICAO Annex 2 Rule of the Air

กล่าวถึงกฎในการปฏิบัติการบินของอากาศยาน เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น และทำให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติการบิน ซึ่งต้องเป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลก

3. ICAO Annex 3 Meteorological Service for International Air Navigation

กล่าวถึงมาตรฐานด้านการให้บริการข้อมูลอุตุนิยมวิทยาการบินเพื่อให้นักบินและเจ้าหน้าที่ควบคุมจราจรทางอากาศ รับทราบข้อมูลสภาพอากาศที่เป็นปัจจุบัน เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการปฏิบัติหน้าที่

4. ICAO Annex 4 Aeronautical Charts

กล่าวถึงมาตรฐานในการจัดทำแผนภูมิการบินรูปแบบต่าง ๆ เพื่อช่วยในการวางแผนและการนำทาง รวมถึงการระบุตำแหน่งที่ถูกต้องในระหว่างปฏิบัติการบิน

5. ICAO Annex 5 Units of Measurement to be Used in Air and Ground Operations

กล่าวถึงมาตรฐานในการใช้หน่วยวัดสากล เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันในการปฏิบัติการบิน

6. ICAO Annex 6 Operation of Aircraft

กล่าวถึงมาตรฐานการปฏิบัติการของอากาศยานของผู้ทำการบิน

7. ICAO Annex 7 Aircraft Nationality and Registration Marks

กล่าวถึงมาตรฐานการจดทะเบียนอากาศยานและการกำหนดเครื่องหมายประจำอากาศยานที่ต้องติดอยู่บนตัวอากาศยาน

8. ICAO Annex 8 Airworthiness of Aircraft

กล่าวถึงมาตรฐานของอากาศยาน รวมถึงการตรวจสอบและรับรองความพร้อมของอากาศยานว่ามีความสมควรเดินอากาศ หรือความพร้อมในการทำการบิน

9. ICAO Annex 9 Facilitation

กล่าวถึงมาตรฐานการอำนวยความสะดวกในการบิน

10. ICAO Annex 10 Aeronautical Telecommunications

กล่าวถึงมาตรฐานของระบบการสื่อสารทางไกล ซึ่งในที่นี้คือระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน (Communication, Navigation, and Surveillance (CNS)) ซึ่งเป็นข้อมูลทางเทคนิคของระบบ/อุปกรณ์แต่ละชนิด

11. ICAO Annex 11 Air Traffic Services

กล่าวถึงมาตรฐานบริการควบคุมจราจรทางอากาศ

12. ICAO Annex 12 Search and Rescue (SAR)

กล่าวถึงมาตรฐานการค้นหาและช่วยเหลือในกรณีที่อากาศยานประสบอุบัติเหตุหรือสูญหาย เพื่อช่วยเหลือชีวิตของผู้ที่อยู่บนอากาศยาน

13. ICAO Annex 13 Aircraft Accident and Incident Investigation

กล่าวถึงมาตรฐานการสอบสวนเหตุการณ์อุบัติเหตุและอุบัติการณ์ของอากาศยาน เพื่อระบุสาเหตุและเสนอแนะแนวทางการป้องกันอุบัติเหตุและอุบัติการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

14. ICAO Annex 14 Aerodromes

กล่าวถึงมาตรฐานทางกายภาพของสนามบิน รวมถึงการก่อสร้างและการบำรุงรักษาทางกายภาพของสนามบิน

15. ICAO Annex 15 Aeronautical Information Services

กล่าวถึงมาตรฐานในการจัดทำข้อมูลด้านการบินประเภทต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้อง และปลอดภัยของการเดินอากาศ

16. ICAO Annex 16 Environmental Protection

กล่าวถึงมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมทางการบิน เพื่อบรรเทาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดจากอุตสาหกรรมการบิน

17. ICAO Annex 17 Security

กล่าวถึงมาตรฐานการรักษาความปลอดภัยด้านการบินพลเรือน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกระทำผิดกฎหมายด้านการบิน (Unlawful Acts)

18. ICAO Annex 18 The Safe Transport of Dangerous Goods by Air

กล่าวถึงมาตรฐานความปลอดภัยในการขนส่งสินค้าที่อาจเป็นอันตรายในการขนส่งทางอากาศ

19. ICAO Annex 19 Safety Management

กล่าวถึงมาตรฐานการจัดทำระบบบริหารความปลอดภัย รวมถึงการบรรเทาความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้การเดินทางทางอากาศเป็นไปด้วยความปลอดภัย

ทั้งนี้ ICAO ได้มีการกำหนดแนวปฏิบัติในการบินทดสอบ NAVAIDs ประเภทต่าง ๆ ในเอกสาร ICAO Doc 8071 มาตรฐานด้านการบินทดสอบที่กำหนดในเอกสาร ICAO Doc 8071 Edition ที่ 5 มีผลบังคับใช้ในปี ค.ศ. 2018 ได้มีการระบุแนวคิดที่ยอมรับการใช้งาน UAV สำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs เรียบร้อยแล้ว ทั้งการตรวจสอบภาคพื้น (Ground Inspection) และภาคอากาศ (Flight Inspection) โดยเป็นการใช้ UAV เพื่อทำการตรวจวัดค่าเบื้องต้น (Pre-Calibration) ก่อนที่จะทำการบินทดสอบอีกครั้ง ซึ่งจะสามารถทำให้ลดจำนวนเที่ยวบินทดสอบลงได้ อีกทั้งผู้ให้บริการ NAVAIDs ยังสามารถพิจารณาขยายรอบเวลาการบินทดสอบออกไปได้อีกด้วย ซึ่งนับเป็นการพัฒนามาตรฐานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบ NAVAIDs และการใช้งานห้วงอากาศในภาพรวม โดยที่ยังคงความปลอดภัยให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Acceptable Level of Safety)

2.5.3 กฎหมายด้านการบริการการเดินทางทางอากาศของไทย ที่เกี่ยวข้องกับ NAVAIDs

2.5.3.1 กฎหมายหลักด้านการบิน

ในปัจจุบัน สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (กพท.) หรือ The Civil Aviation Authority of Thailand (CAAT) เป็นองค์กรที่จัดตั้งขึ้นตามพระราชกำหนดการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2558 เพื่อกำกับ ดูแล ส่งเสริม และพัฒนากิจการการบินพลเรือน ทั้งในด้านนิรภัย การรักษาความปลอดภัย การรักษาสิ่งแวดล้อม การอำนวยความสะดวกในการขนส่งทางอากาศ เศรษฐกิจ การขนส่งทางอากาศ และด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจการการบินพลเรือนให้เป็นไปตามกฎหมายและมาตรฐานสากล โดยที่ กพท. ได้ดำเนินการปรับปรุงกฎหมายหลักคือ พระราชบัญญัติการเดินอากาศ (ฉบับที่ 14) พ.ศ. 2562 ที่ได้มีการเพิ่มเติมข้อกำหนดด้านการกำกับดูแลการบริการการเดินทางทางอากาศในหมวด 1/2 โดยแบ่งการบริการการเดินทางทางอากาศออกเป็น 6 ด้าน ได้แก่

1. บริการการจัดการจราจรทางอากาศ
2. บริการระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน
3. บริการอุตุนิยมวิทยาการบิน

4. บริการข่าวสารการบิน
5. บริการการออกแบบวิธีปฏิบัติการบินด้วยเครื่องวัดประกอบการบิน
6. บริการค้นหาและช่วยเหลือผู้ประสบภัย

โดยที่มาตรา 15/17 กำหนดให้ผู้อำนวยความสะดวกสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (ผอ.กพท.) มีอำนาจออกข้อบังคับเกี่ยวกับมาตรฐานบริการการเดินอากาศทั้ง 6 ด้านข้างต้น รวมถึงมาตรา 15/18 ระบุว่า “ห้ามมิให้บุคคลใดจัดให้มีบริการการเดินอากาศสำหรับบริเวณห้วงอากาศเหนือพื้นดิน และพื้นน้ำภายในเขตภูมิอากาศข่าวสารการบินในราชอาณาจักร เว้นแต่ได้รับใบรับรองในเรื่องนั้นจากผู้อำนวยการ...” กล่าวคือ การให้บริการการเดินอากาศทั้ง 6 ด้านข้างต้น ต้องได้รับการรับรองตามกฎหมาย ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานสากลของ ICAO

2.5.3.2 กฎหมายลำดับรองด้านการบิน

- (1) ข้อกำหนด กพท. ฉบับที่ 37 ว่าด้วยมาตรฐานสนามบิน

หมวดที่ 5 “ระบบไฟนำร่องลงด้วยสายตา” ในข้อกำหนดดังกล่าว กล่าวถึงมาตรฐานและข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของเครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศประเภททัศนวิสัย (Visual Aids) ชนิด PAPI

- (2) ข้อบังคับ กพท. ฉบับที่ 18 ว่าด้วยมาตรฐานบริการการเดินอากาศ ด้านระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน

ข้อบังคับดังกล่าว กล่าวถึงการให้อำนาจ ผอ.กพท. กำหนดมาตรฐานการบริการการเดินอากาศด้านระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน ให้เป็นไปตามคู่มือมาตรฐานการบริการการเดินอากาศ ด้านระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน (Manual of Standards – Communication, Navigation, and Surveillance Services (MOS-CNS)) ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ในเอกสาร ICAO Annex 10 แนบท้ายอนุสัญญาว่าด้วยการบินพลเรือนระหว่างประเทศ

- (3) ระเบียบ กพท. ว่าด้วยคู่มือมาตรฐานบริการการเดินอากาศ ด้านระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน พ.ศ. 2563

ระเบียบดังกล่าว กล่าวถึงการให้มาตรฐานการบริการการเดินอากาศ ด้านระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน ให้เป็นไปตาม MOS-CNS แนบท้ายระเบียบฉบับนี้

- (4) คู่มือมาตรฐานการบริการการเดินอากาศ ด้านระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน (Manual of Standards – Communication, Navigation, and Surveillance Services หรือ MOS-CNS)

โดยที่ MOS-CNS เป็นคู่มือที่ระบุถึงข้อกำหนด และมาตรฐาน ที่ผู้ให้บริการ CNS ต้องปฏิบัติตาม โดยมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานของระบบ/อุปกรณ์ ดังนี้

1. ข้อ 3.1.2 “The CNSP shall be able to demonstrate that its working methods and operating procedures are compliant with the standards of Annex 10 to the Chicago Convention on aeronautical telecommunications in the following, ...”

2. ข้อ 7.3 “The CNSP shall conduct the periodic ground and if necessary, flight inspection with the appropriate interval period, which specified in the ICAO Doc 8071 or manufacturer technical manuals in order to ensure that the CNS facility meet services standards in the CAAT approved operations manual.”

กล่าวคือผู้ให้บริการ CNS ต้องให้บริการระบบ CNS ให้เป็นไปตาม มาตรฐานที่กำหนดไว้ใน ICAO Annex 10 และต้องจัดให้มีการตรวจสอบสัญญาณที่ให้บริการทั้งทาง ภาคพื้น และภาคอากาศ (หากจำเป็น) โดยอ้างอิงมาตรฐานตามเอกสาร ICAO Doc 8071 หรือคู่มือผู้ผลิต

2.5.4 กฎหมายอากาศยานไร้คนขับ

2.5.4.1 กฎหมายของประเทศไทย

การใช้งาน UAV หรือ โดรน ในประเทศไทยถูกกำกับดูแลโดยหน่วยงาน กำกับดูแลอย่าง กพท. ที่ได้ออกกฎหมายและระเบียบที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อความปลอดภัย ในการเดินอากาศ และการรักษาความปลอดภัย โดยมีกฎหมายหลักที่เกี่ยวข้องคือ พระราชบัญญัติ การเดินอากาศ พ.ศ. 2497 ซึ่งได้รับการแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการเดินอากาศ (ฉบับที่ 14) พ.ศ. 2562 เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป ที่มีข้อบังคับ เกี่ยวกับการขึ้นทะเบียนอากาศยาน การออกใบอนุญาตนักบิน การกำกับดูแลความปลอดภัยของ การบิน และการกำหนดพื้นที่หวงห้ามสำหรับการบิน โดยผู้ขออนุญาตต้องดำเนินการให้เป็นไป ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด

(1) ประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่อง หลักเกณฑ์การขออนุญาต และ เงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน พ.ศ. 2558 มีการกำหนดหลักเกณฑ์ และเงื่อนไขในการใช้งาน UAV ดังนี้

1. การขึ้นทะเบียนอากาศยาน: อากาศยานไร้คนขับที่มีน้ำหนักเกิน 2 กิโลกรัม ต้องขึ้นทะเบียนกับ กพท.

2. การขออนุญาตก่อนการบิน: ห้ามทำการบินในพื้นที่หวงห้าม เขตจำกัดหรือเขตอันตรายบริเวณใกล้สนามบิน (ภายในระยะ 9 กิโลเมตรหรือ 5 ไมล์ทะเล) เว้นแต่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

3. เงื่อนไขในการบิน: ผู้บังคับอากาศยานไร้คนขับต้องรักษาระดับความสูงไม่เกิน 90 เมตรเหนือพื้นดิน ต้องรักษาระยะห่างจากบุคคล สถานที่ราชการ และสถานที่สำคัญตามที่กำหนด รวมถึงต้องไม่บินในลักษณะที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยของบุคคล หรือทรัพย์สิน

(2) ประกาศ กพท. เรื่อง แนวทางในการพิจารณาอนุญาตให้อากาศยานซึ่งไม่มีนักบินทำการบินภายในระยะเก้ากิโลเมตร (ห้าไมล์ทะเล) จากสนามบินหรือที่ขึ้นลงชั่วคราวของอากาศยาน พ.ศ. 2561 มีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการอนุญาตและเงื่อนไขเพิ่มเติมสำหรับการบินในพื้นที่หวงห้าม โดยมีสาระสำคัญดังนี้:

1. ผู้มีอำนาจอนุญาต: สำหรับสนามบินที่ใช้เฉพาะการบินพลเรือน ให้เจ้าของหรือผู้ดำเนินการสนามบินเป็นผู้มีอำนาจอนุญาต ส่วนสนามบินที่ใช้ร่วมกันระหว่างทหารและพลเรือน การอนุญาตขึ้นอยู่กับความตกลงระหว่างส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง.

2. จุดอ้างอิงระยะ 9 กิโลเมตร: วัดจากเส้นกึ่งกลางทางวิ่งของสนามบินหรือที่ขึ้นลงชั่วคราวของอากาศยานนั้น.

3. หลักเกณฑ์และเงื่อนไขสำหรับการอนุญาต: ผู้ขออนุญาตต้องแจ้งเหตุผลหรือความจำเป็นในการบินในพื้นที่ดังกล่าว และต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขที่กำหนด เช่น การใช้ความสูงไม่เกินที่กำหนดในแต่ละระยะทางจากสนามบิน การได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของพื้นที่ และการมีหนังสือรับรองความรับผิดชอบต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น

(3) ประกาศ กพท. เรื่อง การอนุญาตให้อากาศยานซึ่งไม่มีนักบินบินเข้าพื้นที่หวงห้ามเฉพาะ VT R1 Bangkok City พ.ศ. 2566 มีการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมสำหรับการอนุญาตบินในพื้นที่หวงห้ามเฉพาะ VT R1 Bangkok City ดังนี้

1. การแจ้งข้อมูลการบิน: ผู้บังคับอากาศยานต้องแจ้งข้อมูลการทำการบินตามแบบที่กำหนดก่อนการบินไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง.

2. การปฏิบัติตามเงื่อนไขเพิ่มเติม: ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนด เพื่อความปลอดภัยต่อการบินและความมั่นคงของประเทศ เช่น ห้ามบินเหนือพื้นที่ที่มีการชุมนุมหรือสถานที่ราชการสำคัญ เป็นต้น

2.5.4.2 ข้อกำหนดของ European Union Aviation Safety Agency (EASA) เกี่ยวกับ UAV

EASA ได้ออกข้อกำหนด Regulation (EU) 2019/947 และ Regulation (EU) 2019/945 เพื่อส่งเสริมการใช้งาน UAV อย่างปลอดภัยและมีมาตรฐาน โดยเฉพาะการบิน UAV ในลักษณะที่มีความเสี่ยงสูง อาทิ การทำ Flight Inspection ซึ่งเป็นการตรวจสอบระบบช่วยการเดินอากาศ ที่ต้องการความแม่นยำและความปลอดภัยสูง

(1) หมวดหมู่ของการปฏิบัติการบิน

EASA แบ่งประเภทการบินของ UAV ออกเป็น 3 หมวดหมู่ตามความเสี่ยง ได้แก่

1. Open Category คือการใช้งานที่มีความเสี่ยงต่ำ ไม่ต้องได้รับอนุญาตล่วงหน้าจากหน่วยงานกำกับดูแล เช่น การบินเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจหรือการถ่ายภาพทั่วไป เป็นต้น

2. Specific Category คือการใช้งานที่มีความเสี่ยงปานกลางถึงสูง เช่น การบินในพื้นที่ควบคุม และการบินเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะ เป็นต้น โดยผู้ปฏิบัติการต้องยื่นคำขออนุญาตปฏิบัติการ (Operational Authorization) พร้อมรายงานการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Specific Operations Risk Assessment (SORA)) และต้องได้รับการอนุมัติจากหน่วยงานกำกับดูแล

3. Certified Category คือการใช้งานที่มีความเสี่ยงสูงมาก เทียบเท่ากับการใช้งานอากาศยานโดยทั่วไป เช่น การขนส่งสินค้าหรือผู้โดยสารที่มีขนาดใหญ่ โดยต้องมีการรับรองทั้งอากาศยาน (Type Certification) นักบินและผู้ปฏิบัติการบิน

(2) การใช้งาน UAV สำหรับการบินทดสอบ

การบินทดสอบ NAVAIDs ถูกจัดอยู่ในหมวดหมู่ที่เป็น Specific ของกฎหมายข้างต้น โดยต้องมีการดำเนินการดังนี้

1. การวิเคราะห์ความเสี่ยง: ผู้ปฏิบัติการต้องยื่นรายงาน SORA เพื่อประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละภารกิจ เป็นต้น

2. การขออนุญาตปฏิบัติการ: ผู้ปฏิบัติการต้องส่งแผนปฏิบัติการที่ระบุวัตถุประสงค์ พื้นที่ปฏิบัติการ และมาตรการด้านความปลอดภัยเพื่อขออนุญาต

3. การรับรอง UAV: UAV ที่ใช้สำหรับการทำ Flight Inspection ต้องได้รับการรับรองมาตรฐานอากาศยานที่เหมาะสม (Airworthiness Certification) และติดตั้งระบบตรวจสอบระยะไกล (Remote Identification) ด้วย

(3) มาตรฐานความปลอดภัย

EASA ให้ความสำคัญกับการสร้างมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับการใช้ UAV โดยกำหนดให้ผู้ปฏิบัติการบินต้องปฏิบัติตามแนวทางการจัดการความเสี่ยงอย่างเป็นระบบ รวมถึงมีการกำกับดูแลพื้นที่การบิน (Geographical Zones) เพื่อป้องกันการรบกวนการจราจรทางอากาศและลดความเสี่ยงต่อบุคคลและทรัพย์สินด้วย

2.5.4.3 ตัวอย่างการกำกับดูแลของประเทศอื่น ๆ

ฉัตรวิช จรุงภักดิ์พงษ์ (2564) ได้ศึกษาเชิงเปรียบเทียบของการกำกับดูแลการใช้งาน UAV ในแต่ละประเทศที่มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะในแง่ของกฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย วัตถุประสงค์การใช้งาน และลักษณะเฉพาะของพื้นที่ที่สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) กฎหมายของประเทศญี่ปุ่น โดยการกำกับดูแลของ Japan Civil Aviation Bureau (JCAB)

ประเทศญี่ปุ่นกำกับดูแลการใช้งาน UAV ภายใต้กฎหมายหลักคือ Civil Aeronautics Act โดยกำหนดให้ผู้ปฏิบัติการบินต้องขอใบอนุญาตก่อนการบินในพื้นที่ควบคุม เช่น รอบสนามบินหรือพื้นที่ชุมชน เป็นต้น โดยที่ผู้ปฏิบัติการบินต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมผ่านการอบรมและต้องมีการตรวจสอบอากาศยานเพื่อความปลอดภัยก่อนการบิน นอกจากนี้กฎระเบียบของประเทศญี่ปุ่นยังมีความเข้มงวดมาก เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นได้มีการกำหนดว่าห้ามทำการบิน UAV ภายในระยะ 300 เมตรโดยรอบสนามบินสำคัญโดยไม่ได้รับอนุญาต ดังนั้นการอนุญาตจะถูกตรวจสอบอย่างละเอียดจาก JCAB โดยผู้ขออนุญาตจะต้องนำเสนอแผนการบิน ช่วงเวลาปฏิบัติการบิน ขอบเขตพื้นที่การบิน และมาตรการด้านความปลอดภัย เพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่เกิดผลกระทบต่อความปลอดภัยในการปฏิบัติการบินภายในพื้นที่ควบคุม

(2) กฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการกำกับดูแลของ Federal Aviation Administration (FAA)

FAA กำหนดให้ทุกการบิน UAV ต้องมีการขึ้นทะเบียนและปฏิบัติตามข้อกำหนด FAA Part 107 สำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ FAA ยังอนุญาตให้ผู้ปฏิบัติการบิน สามารถยื่นขอการยกเว้นข้อกำหนดบางประการได้ เช่น การบินในเวลากลางคืน และการบินเหนือบุคคล เป็นต้น เมื่อมีการวางแผนและมาตรการลดความเสี่ยงที่เหมาะสม

(3) กฎหมายของประเทศออสเตรเลีย โดยการกำกับดูแลของ Civil Aviation Safety Authority (CASA)

CASA ได้มีการแบ่งประเภทการบินออกตามความเสี่ยง เช่น การบินเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ และการบินเชิงพาณิชย์ เป็นต้น โดย CASA ยังกำหนดให้ผู้ปฏิบัติการบินต้องผ่านการทดสอบ และได้รับการรับรองก่อนการปฏิบัติการบิน รวมถึงมีการให้ความสำคัญกับการรายงานอุบัติเหตุหรือเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการบินด้วย

(4) กฎหมายของประเทศเกาหลีใต้ โดยการกำกับดูแลของ Korea Office of Civil Aviation (KOCA)

Teale, J. (2019) ได้ศึกษากรอบการกำกับดูแลของประเทศเกาหลีใต้ ซึ่งนับเป็นประเทศที่มีพัฒนาการทางกฎหมายและนโยบายด้านการใช้ UAV ที่มีความก้าวหน้าอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านการสนับสนุนการใช้งานเชิงพาณิชย์และการทดสอบเทคโนโลยีใหม่ ๆ รวมถึงการนำ UAV มาใช้ในการบินทดสอบ NAVAIDs โดยอยู่ภายใต้การกำกับของกระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน และคมนาคม (MOLIT) ผ่านสำนักงานการบินพลเรือนเกาหลี (KOCA) ซึ่งเป็นผู้กำหนดนโยบายความปลอดภัยการบินพลเรือน กฎหมายของเกาหลีใต้กำหนดให้ผู้ใช้งาน UAV ที่มีน้ำหนักเกิน 250 กรัม ต้องลงทะเบียนและในกรณีที่ใช้งานเชิงพาณิชย์หรือเพื่อกิจกรรมพิเศษจะต้องมีใบอนุญาตนักบิน UAV โดยผ่านการทดสอบอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ ยังมีการกำหนดพื้นที่ห้ามบินที่ครอบคลุม โดยเฉพาะในเขตเมืองหลวง อย่างไรก็ตาม ยังมีการจัดพื้นที่เพื่อจุดประสงค์ในการทดสอบ UAV แบบเฉพาะกิจ (Testbed) เพื่อสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยี ทั้งยังสามารถขออนุญาตเป็นกรณีพิเศษเพื่อบินในพื้นที่ห้ามบินผ่านระบบออนไลน์ได้ ซึ่งช่วยลดขั้นตอนและเวลาอย่างมีนัยสำคัญ

KAVICS ได้พัฒนาระบบ UAV สำหรับการทดสอบ NAVAIDs ที่สามารถทำการบินทดสอบเบื้องต้น (Pre-Flight Calibration) ได้จริง โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ICAO Doc 8071 เช่นเดียวกับประเทศในยุโรป การดำเนินการลักษณะนี้สะท้อนให้เห็นว่าเกาหลีใต้ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการควบคุม UAV เท่านั้น แต่ยังมีการปรับปรุงนโยบายและพัฒนาช่องทางเพื่อรองรับการดำเนินกิจกรรมรูปแบบใหม่ ๆ อย่างเป็นระบบ ซึ่งรวมถึงความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนในโครงการวิจัยและทดลอง UAV สำหรับการตรวจสอบทางอากาศ โดยที่ยังต้องมีระบบยืนยันและรับรองผลการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ICAO และอยู่ภายใต้การพิจารณาและกำกับดูแลของ KOCA ทั้งในด้านความแม่นยำของผลการวัดและความปลอดภัยของการบินในพื้นที่หวงห้าม

2.5.5 สรุปภาพรวมกฎหมายด้าน UAV ของประเทศไทย

จากการศึกษาเปรียบเทียบกฎหมายด้าน UAV ของประเทศไทย กับประเทศอื่น เช่น ญี่ปุ่น, สหรัฐอเมริกา, และออสเตรเลีย เป็นต้น พบว่าประเทศเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงกฎหมายและระเบียบให้สอดคล้องกับเทคโนโลยี UAV มากขึ้น ทำให้การนำ UAV มาใช้ในการกิจเฉพาะ

เป็นไปได้สะดวกมากยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับประเทศไทยที่ยังมีข้อจำกัดด้านกฎหมาย การกำกับดูแล รวมถึงแนวปฏิบัติที่ไม่เอื้อต่อการพัฒนาเทคโนโลยีไปข้างหน้าเท่าที่ควร ดังนั้นการปรับปรุงกฎหมาย และระเบียบให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีและความต้องการปัจจุบันเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อส่งเสริมการใช้งาน UAV อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในประเทศไทย

2.6 แนวคิดด้านเศรษฐศาสตร์

2.6.1 การวิเคราะห์และประเมินโครงการ

เรวดี จรุงรัตนพงศ์ (2558) ได้ระบุว่าการวิเคราะห์โครงการทางการเงิน (Financial Cost – Benefit Analysis) และการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Cost – Benefit Analysis) ต่างมีเป้าหมายร่วมกันคือการวิเคราะห์เพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์โครงการทางการเงิน จะครอบคลุมเฉพาะปัจจัยทางบัญชีเท่านั้น แต่การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์จะมีครอบคลุมถึงความคุ้มค่าต่อสังคมด้วย เช่น การวิเคราะห์ประโยชน์ที่เกิดขึ้นต่อสังคม (Social Benefit), การวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นต่อสังคม (Social Cost), และการประเมินต้นทุนค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) เป็นต้น โดยความแตกต่างของประเด็นในการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.7

ความแตกต่างระหว่างการประเมินโครงการทางการเงิน และการประเมินโครงการทางเศรษฐศาสตร์

ประเด็น	การวิเคราะห์โครงการทางการเงิน	การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์
1. วัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์	เป็นการวิเคราะห์เพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้มีความคุ้มค่ามากที่สุด เพื่อตอบคำถามว่า ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนในทางบัญชีหรือไม่ โดยพิจารณาเพียงมูลค่าที่มีอยู่ในตลาดเท่านั้น	เป็นการวิเคราะห์เพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้มีความคุ้มค่ามากที่สุด เพื่อตอบคำถามว่า โครงการดังกล่าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่ โดยพิจารณาครอบคลุมถึงมูลค่าที่ไม่มีอยู่ในตลาดด้วย

ตารางที่ 2.7

ความแตกต่างระหว่างการประเมินโครงการทางการเงิน และการประเมินโครงการทางเศรษฐศาสตร์
(ต่อ)

ประเด็น	การวิเคราะห์โครงการทางการเงิน	การวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์
2. มูลค่าทรัพยากรในการวิเคราะห์ 2.1 ประเด็นเรื่องภาษี และเงินอุดหนุน	ใช้ราคาตลาดในประเทศ โดยไม่สนใจว่าราคาดังกล่าวถูกแทรกแซงโดยภาษีหรือเงินอุดหนุนหรือไม่	ใช้ราคาที่ไม่รวมภาษี หรือเงินอุดหนุน เพราะมองภาษีและเงินอุดหนุนเป็นเพียงเงินโอน (transfer) ไม่มีผลต่อเงินในระบบโดยรวม
2.2 ต้นทุนค่าเสียโอกาส	ไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนค่าเสียโอกาสของทรัพยากร	คำนึงถึงต้นทุนค่าเสียโอกาสของทรัพยากร
2.3 ผลกระทบภายนอก	ไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบภายนอกทั้งทางบวกและทางลบของโครงการ	คำนึงถึงผลกระทบภายนอกทั้งทางบวกและทางลบของโครงการ
3. อัตราคิดลด	ใช้อัตราคิดลดเอกชน	ใช้อัตราคิดลดของสังคม

หมายเหตุ: จากการสรุปโดยผู้วิจัย

2.6.2 การวิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

เยาเวศ ทับพันธุ์ (2541) ได้ระบุว่าการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สามารถทำได้หลายรูปแบบ ได้แก่

1. การวิเคราะห์ต้นทุน - ผลประโยชน์ (Cost – Benefit Analysis) เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินเปรียบเทียบความคุ้มค่าของโครงการ โดยเป็นการนำต้นทุน (Cost) และประโยชน์ (Benefit) ที่ได้ของโครงการมาคิดให้อยู่ในรูปของตัวเงิน เพื่อเปรียบเทียบประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งนับเป็นหนึ่งในวิธีที่สมบูรณ์ที่สุดตามแนวคิดเรื่องการประเมินโครงการ อย่างไรก็ตามการนำวิธีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการประเมินโครงการอาจมีข้อจำกัดบางประการ อาทิ โครงการอาจให้ประโยชน์ต่อสังคม (Social Benefit) ที่อยู่ในรูปที่จับต้องไม่ได้
2. การวิเคราะห์ต้นทุนต่ำสุด (Cost Minimization Analysis) เป็นวิธีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้เปรียบเทียบต้นทุนของทางเลือกในการดำเนินโครงการรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน หรือเทียบเท่ากัน กล่าวคือเป็นวิธีการที่มีวัตถุประสงค์ในการเลือกทางเลือก

ที่มีต้นทุนต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้อาจไม่เหมาะสมกับโครงการที่มีผลลัพธ์ของทางเลือกแตกต่างกัน และยังเป็นวิธีที่ไม่พิจารณาถึงด้านของผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการด้วย

3. การวิเคราะห์ประสิทธิผลของต้นทุน (Cost Effectiveness Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มุ่งเน้นประสิทธิผลของโครงการเป็นสำคัญ กล่าวคือเป็นวิธีการประเมินที่มีการเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ในการเลือกทางเลือกต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายเดียวกัน ซึ่งวิธีนี้นับเป็นการลดข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนต่ำสุด เนื่องจากโครงการที่นำมาเปรียบเทียบนั้นไม่จำเป็นต้องมีผลลัพธ์ที่เหมือนกัน เพียงแค่ให้มีเป้าหมายของโครงการอย่างเดียวกันเท่านั้น จึงสามารถเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ในรูปแบบที่แตกต่างกันได้

4. การวิเคราะห์ต้นทุน - อรรถประโยชน์ (Cost - Utility Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์รูปแบบเดียวกันกับวิธีการวิเคราะห์ต้นทุน - ผลประโยชน์ (Cost - Benefit Analysis) เพียงแต่เป็นการเปลี่ยนแปลงจากการวิเคราะห์ผลประโยชน์ในรูปของตัวเงินเป็นอรรถประโยชน์หรือความพึงพอใจ

2.6.3 การใช้งาน UAV ในการทำการบินทดสอบ NAVAIDs

Civil Aviation Flight University of China (2019) ได้ศึกษาเรื่องความเป็นไปได้ รวมถึงการประเมินความเสี่ยงและความปลอดภัยของการใช้ UAV ในการทำการบินทดสอบในประเทศจีน ซึ่งในปี 2019 สำนักงานการบินพลเรือนของประเทศจีน (Civil Aviation Authority of China (CAAC)) ประสบความสำเร็จในการทดลองใช้ UAV เพื่อบินทดสอบระบบ PAPI เป็นครั้งแรก โดยได้อธิบายข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการบินทดสอบ และองค์ประกอบของการบินทดสอบด้วย UAV ไว้ดังนี้

2.6.3.1 ประเภทของการบินทดสอบโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. Production Inspection หรือ Commissioning Inspection คือการทำการบินทดสอบเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญทั้งหมดภายหลังจากการติดตั้งใหม่ ย้ายตำแหน่งที่ตั้ง หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสามารถหรือประสิทธิภาพของระบบช่วยการเดินอากาศนั้น ๆ เพื่อขอรับรองการให้บริการจากหน่วยงานกำกับดูแล

2. Surveillance Inspection คือการทำการบินทดสอบภายหลังจากที่ผ่านการรับรอง (verified) ด้วยการทำการ Production Inspection แล้ว ซึ่งจะดำเนินการโดยหน่วยงานกำกับดูแล

3. Periodic Inspection คือการทำการบินทดสอบตามรอบเวลาที่กำหนด เพื่อทำให้มั่นใจว่าระบบนั้น จะยังมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญตามมาตรฐานที่กำหนด หรือเป็น

การคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพของระบบ และความต่อเนื่องของการให้บริการ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วรอบเวลาของการทำการบินทดสอบจะดำเนินการทุก 90 – 1,080 วัน (1.5 เดือน – 3 ปี) ขึ้นกับแต่ละระบบที่ให้บริการ

4. Special Inspection คือ การทำการบินทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ ภายหลังจากการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ เช่น การเปลี่ยนอุปกรณ์บางส่วนของระบบ หรือการซ่อมแซม เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการให้บริการ

2.6.3.2 องค์ประกอบของการบินทดสอบด้วย UAV สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. Air Segment (ภาคอากาศ) ประกอบด้วย UAV, Multi-mode receivers (อุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณ), และอุปกรณ์ประมวลผลที่สามารถประมวลผลสัญญาณนำร่องของระบบ GPS, Instrument Landing System (ILS), VHF-Omni Directional Range (DVOR) และ Distant Measuring Equipment (DME) ได้

2. Ground Segment (ภาคพื้น) ประกอบด้วย UAV control station, อุปกรณ์ประมวลผลและวิเคราะห์สัญญาณ, GPS precise positioning station (สถานีอ้างอิง GPS หรือ จุดอ้างอิง), และระบบส่งสัญญาณ

2.6.4 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการบินทดสอบด้วย UAV (Cost Analysis)

Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications de Dakar (2021) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำการบินทดสอบ ซึ่งได้มีการรวบรวมข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างการใช้อากาศยานขนาดเล็กแบบต่าง ๆ และ UAV ในหลายด้านดังนี้

2.6.4.1 อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.8 แสดงอัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กรูปแบบต่าง ๆ (ลำดับที่ 1 – 4) รวมถึง UAV (ลำดับที่ 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ด้วยระยะเวลาในการทำการบินทดสอบที่เท่ากัน UAV จะมีอัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงต่อชั่วโมงที่ต่ำมากเพียง 21 Liter/hour ซึ่งต่ำกว่าการใช้อากาศยานขนาดเล็กประเภทอื่นอย่างน้อย 10 เท่า และมีอัตราการปล่อย CO₂ เพียง 15 kg ซึ่งต่ำกว่าการใช้อากาศยานขนาดเล็กประเภทอื่นอย่างน้อย 17 เท่า

ตารางที่ 2.8

อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แยกประเภทตามรูปแบบอากาศยาน

No.	Type of In-Flight Calibration	VOR/DME Calibration Duration	ILS/DME Calibration Duration	PAPI Calibration Duration	Fuel consumption (liter/hour of flight)	Observations (kg/hr)
1	ATR 42-300	1 hr	3 hrs	1 hr	641	510
2	BEECH King Air 200	1 hr	3 hrs	1 hr	378	300
3	CESSNA Sovereign Plus	1 hr	3 hrs	1 hr	725	576
4	DA42MPP	1 hr	3 hrs	1 hr	326	259
5	Drone SKY-Y Finmeccanica	1 hr	3 hrs	1 hr	21	15

หมายเหตุ: Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications de Dakar (2021).

Real Time and Post-Processing Flight Inspection by Drone.

2.6.4.2 การปล่อย CO_2 ต่อการทำการบินทดสอบแบบ Periodic Inspection

ตารางที่ 2.9 แสดงอัตราการปล่อย CO_2 ต่อการทำการบินทดสอบแบบ Periodic แบ่งแยกตามประเภทของอากาศยานขนาดเล็กแบบต่าง ๆ (ลำดับที่ 1 – 4) รวมถึง UAV (ลำดับที่ 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ UAV ในการทำบินทดสอบระบบช่วยการเดินอากาศโดยรวมทั้ง Visual Aids (PAPI) และ Radio Aids (DVOR/DME และ ILS/DME) จะมีการปล่อย CO_2 น้อยกว่าอากาศยานขนาดเล็กที่ปล่อย CO_2 ต่ำที่สุดอยู่ที่อย่างน้อย 20 เท่า

ตารางที่ 2.9

อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทำการบินทดสอบแยกตามประเภทของอากาศยาน

No	Type of In-Flight Calibration	CO ₂ release for NAVAIDs in kg (during Periodic Flight Calibration)			Total CO ₂ emissions for NAVAIDs in kg
		VOR/DME	ILS/DME	PAPI	
1	ATR 42-300	1606.5	4819.5	1607	8033
2	BEECH King Air 200	945	2835	945	4725
3	CESSNA Sovereign Plus	1814.4	4611.5	1537	7962.2
4	DA42MPP	815.85	2447.55	815.85	4087.65
5	Drone SKY-Y Finmeccanica	47.25	141.5	47.25	236

หมายเหตุ: Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications de Dakar (2021).

Real Time and Post-Processing Flight Inspection by Drone.

2.6.4.3 ค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงในการทำการบินทดสอบ

ตารางที่ 2.10 แสดงค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยในการทำการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กแบบต่าง ๆ (ลำดับที่ 1 – 4) รวมถึง UAV (ลำดับที่ 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ UAV ในการทำบินทดสอบระบบช่วยการเดินอากาศโดยรวม จะมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าการใช้อากาศยานขนาดเล็กอย่างน้อยร้อยละ 25

ตารางที่ 2.10

อัตราค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงในการทำการบินทดสอบแยกตามประเภทของอากาศยาน

No.	Type of In-Flight Calibration	VOR/DME Calibration Duration	ILS/DME Calibration Duration	PAPI Calibration Duration	Cost per flight hour (in Euro)	Total Cost
1	ATR 42-300	1 hr	3 hrs	1 hr	5,000	25,000
2	BEECH King Air 200	1 hr	3 hrs	1 hr	5,000	25,000
3	CESSNA Sovereign Plus	1 hr	3 hrs	1 hr	5,000	25,000
4	DA42MPP	1 hr	3 hrs	1 hr	2,000	10,000
5	Drone SKY-Y Finmeccanica	1 hr	3 hrs	1 hr	1,500	7,500

หมายเหตุ: Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications de Dakar (2021).

Real Time and Post-Processing Flight Inspection by Drone.

2.6.4.4 ค่าใช้จ่ายในการทำการสอบเทียบ (Calibration) อุปกรณ์ระบบ Flight Inspection System

ตารางที่ 2.11 แสดงค่าใช้จ่ายในการทำการสอบเทียบอุปกรณ์ระบบ Flight Inspection System ที่ติดตั้งเข้ากับอากาศยานรูปแบบต่าง ๆ รวมถึง UAV ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายในการสอบเทียบของระบบที่ติดตั้งใน UAV เมื่อเปรียบเทียบกับอากาศยานรูปแบบอื่น ๆ จะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าอย่างน้อย 10 เท่า

ตารางที่ 2.11

ค่าใช้จ่ายในการทำการสอบเทียบอุปกรณ์ระบบ Flight Inspection System

No	Type of In-Flight Calibration	Cost of acquisition (in million US Dollar)	Price Calibration Bench (in million US Dollar)
1	ATR 42-300	22	2 – 3
2	BEECH King Air 200	8	2 – 3
3	CESSNA Sovereign Plus	30	2 – 3
4	DA42MPP	2 - 3	2 – 3
5	Drone SKY-Y Finmeccanica	1.5 - 2	0.2

หมายเหตุ: Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications de Dakar (2021).

Real Time and Post-Processing Flight Inspection by Drone.

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าการใช้ UAV ในการทำการบินทดสอบจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารต้นทุนของหน่วยบินทดสอบ อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทำการบินทดสอบที่มีปริมาณน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางของนานาชาติประเทศที่จะช่วยกันลดภาวะโลกร้อนโดยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วย

2.7 แนวคิดด้านสิ่งแวดล้อมด้านการบิน

ICAO ได้จัดตั้งโครงการ Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) ขึ้นในปี ค.ศ. 2016 เพื่อเป็นแนวทางและกลไกในการบริหารจัดการกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมการบินระหว่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง CO₂ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งนี้ CORSIA เป็นเครื่องมือที่อยู่ภายใต้นโยบาย “Carbon Neutral Growth” โดยมีเป้าหมายให้ปริมาณการปล่อย CO₂ จากเที่ยวบินระหว่างประเทศ ไม่เพิ่มขึ้นจากระดับ CO₂ ในปี ค.ศ. 2019 โดยการใช้มาตรการชดเชยคาร์บอน ผ่านการจัดซื้อ CORSIA - eligible emissions units จากตลาดโลกที่ผ่านการรับรอง (ICAO, 2022)

แนวทางของ CORSIA กำหนดให้สายการบินที่ปฏิบัติการระหว่างประเทศต้องดำเนินการใน 3 ด้าน ได้แก่ การตรวจวัดและรายงานการปล่อย CO₂ (Monitoring, Reporting and Verification (MRV)), การจัดหาและชดเชยคาร์บอนเครดิตสำหรับปริมาณ CO₂ ส่วนเกิน, และการส่งเสริมการใช้

เชื้อเพลิงการบินที่ยั่งยืน (Sustainable Aviation Fuels – SAF) (ICAO, 2023) นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ CORSIA ยังมีบทบาทสำคัญในฐานะราคามาตรฐานคาร์บอน (Carbon Shadow Price) ที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการลดการปล่อย CO₂ ในโครงการต่าง ๆ รวมถึงการนำ UAV มาใช้ทดแทนอากาศยานขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงสำหรับการปฏิบัติการบิน อาทิ การตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs โดยที่ MSCI ได้มีการระบุราคาคาร์บอนในตลาด CORSIA อยู่ในช่วงประมาณ 18 – 51 ดอลลาร์สหรัฐฯ ต่อ CO₂ หนึ่งตัน ใน Phase I (ค.ศ. 2024 – 2026) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 27 – 91 ดอลลาร์ฯ ในช่วง Phase II (ค.ศ. 2033 – 2035) ซึ่งสามารถนำมาใช้ประเมินผลประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อมในรูปตัวเงินได้ (ICAO, 2023; MSCI, 2024) ดังนั้นการนำ UAV มาสนับสนุนการใช้อากาศยานขนาดเล็กในการบินทดสอบจึงไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนเชิงปฏิบัติการเท่านั้น แต่ยังเกิดประโยชน์ต่อสังคมจากการลดการปล่อย CO₂ ได้อย่างเป็นรูปธรรมภายใต้กรอบความร่วมมือสากลอย่าง CORSIA อีกด้วย

2.8 Pacing Problem

Marchant (2021) ได้ระบุว่าในปัจจุบัน ภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต้องเผชิญกับความท้าทายของการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว เช่น อากาศยานไร้คนขับ, Artificial Intelligence (AI), และระบบดิจิทัลขั้นสูงต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งได้รับการพัฒนาและนำมาใช้เพื่อประโยชน์ทางธุรกิจ รวมถึงนำมาใช้ชีวิตประจำวัน อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกัน การกำหนดนโยบายหรือกรอบกฎหมายของภาครัฐ กลับมีความล่าช้าในการปรับตัวให้เท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ ในสถานะที่เทคโนโลยีมีความก้าวหน้าไปเร็วกว่ากรอบการกำกับดูแลของสังคม ถูกเรียกว่า “Pacing Problem” นั่นคือการเกิดช่องว่างระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยี กับการตอบสนองของกรอบกฎหมายและการกำกับดูแล จนอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของการกำกับดูแลความปลอดภัยและการส่งเสริมนวัตกรรม

ในบริบทของอุตสาหกรรมการบิน Pacing Problem มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากอุตสาหกรรมการบินนับเป็นอุตสาหกรรมที่เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทสูง และส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยสาธารณะ โดยที่กฎระเบียบและมาตรฐานทางด้านการบิน มักจะถูกจัดทำอย่างรอบคอบและใช้ระยะเวลานานจนกว่าจะรองรับเทคโนโลยีใหม่ได้ ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีทางด้านการบินใหม่ ๆ อาทิ โดรนเพื่อการพาณิชย์, ระบบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องบินขั้นสูง (Advanced Avionics System), และการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการควบคุมจราจรทางอากาศ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วเช่นกัน ดังนั้น การสร้างสมดุลระหว่างการส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีทางการบินกับการรักษามาตรฐานความปลอดภัยให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้จึงเป็นความท้าทายที่สำคัญยิ่งต่ออุตสาหกรรมการบิน

Tech Liberation Front (2018) ระบุถึงปัจจัย 3 ด้านหลักที่ขับเคลื่อน Pacing Problem ได้แก่

1. ปัจจัยด้านเทคโนโลยี

เป็นปัจจัยจากการที่ขีดความสามารถทางเทคโนโลยีขยายตัวอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เช่น การพัฒนาชิปประมวลผลที่เร็วขึ้น, เซ็นเซอร์ที่ถูกลง, และระบบคลาวด์ที่เก็บข้อมูลได้มากขึ้น เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้ เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ขึ้นอย่างรวดเร็ว

2. ปัจจัยด้านสังคม

เป็นปัจจัยจากการที่ผู้คนในสังคมยอมรับและปรับตัวใช้เทคโนโลยีใหม่ในชีวิตประจำวันอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังเกิดความคาดหวังว่าเทคโนโลยีใหม่จะก้าวหน้ามากขึ้นเรื่อย ๆ และจะมีเทคโนโลยีใหม่ที่ดียิ่งขึ้นออกมาอย่างต่อเนื่อง ยิ่งเป็นแรงกระตุ้นให้นวัตกรรมหรือเทคโนโลยีใหม่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

3. ปัจจัยด้านนโยบาย

เป็นปัจจัยจากการที่ฝ่ายรัฐบาลมีแนวโน้มต่อการปรับตัวทางเทคโนโลยีที่ล่าช้า จนอาจเกิดภาวะที่กระบวนการทางนิติบัญญัติหรือหน่วยงานกำกับดูแลขาดความคล่องตัวในการทบทวนและปรับปรุงกฎระเบียบให้ทันสมัย ส่งผลให้ไม่สามารถปรับตัวต่อเทคโนโลยีได้อย่างทันทั่วถึง ซึ่งรวมไปถึงระบบราชการที่ซับซ้อนและล่าช้า หรือการขาดความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีของผู้กำหนดนโยบายเช่นกัน

2.9 สรุปการทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

NAVAIDs ที่กล่าวถึงข้างต้น ได้แก่ PAPI, DVOR/DME, และ ILS/DME ล้วนมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในด้านความปลอดภัยของการเดินอากาศในหลาย Phase of Flight โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่สำคัญและมีความเสี่ยงสูง (Critical Phase) อย่างการนำเครื่องบินขึ้นและลงจอด ซึ่งระบบเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณด้วยกระบวนการบินอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มั่นใจในความถูกต้องแม่นยำของสัญญาณที่ให้บริการ

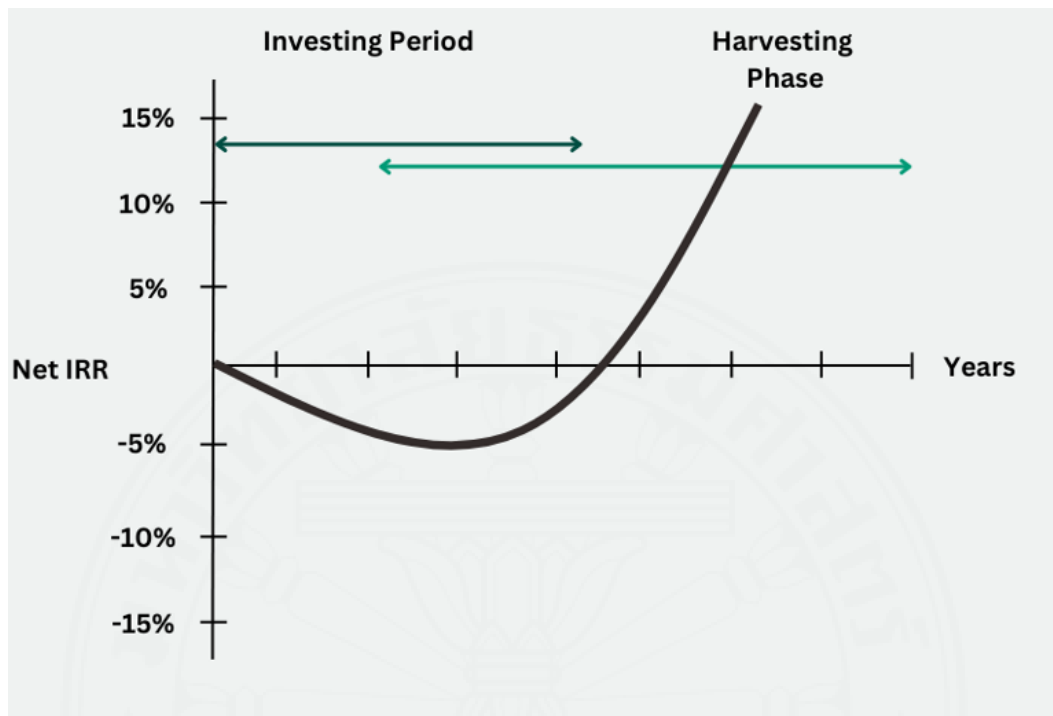
ทั้งนี้ การศึกษาข้างต้นชี้ให้เห็นถึงวิวัฒนาการของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการบินทดสอบระบบช่วยการเดินอากาศ ซึ่งมีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว อย่างเช่นการนำ UAV หรืออากาศยานไร้คนขับเข้ามาใช้ทดแทนหรือสนับสนุนการบินทดสอบแบบดั้งเดิม (Conventional) ซึ่งสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานโดยรวม เพิ่มความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการปฏิบัติการบิน แต่ยังคงไว้ซึ่งความปลอดภัย และยังให้ประโยชน์แก่สังคมด้วย

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการนำ UAV มาใช้งาน จะมีข้อได้เปรียบที่ชัดเจนหลายประการ แต่การนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาปรับใช้อย่างเต็มรูปแบบ จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างทันทีทันใด จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมในหัวข้อก่อนหน้านี้ พบว่าการนำ UAV มาใช้ในการบินทดสอบ จำเป็นต้องคำนึงถึงบริบททางกฎหมายและมาตรฐานสากลที่กำหนดโดย รวมถึงข้อกำหนดระดับประเทศที่เกี่ยวข้องด้วย เพื่อสร้างความมั่นใจในความถูกต้องของการดำเนินงานและได้รับการรับรองจากหน่วยงานกำกับดูแล

นอกจากนี้ เมื่อกล่าวถึงบริบทด้านเศรษฐศาสตร์ของการนำ UAV มาใช้ในกิจกรรมการบินทดสอบนั้น สิ่งที่มีส่วนเกี่ยวข้องควรคำนึงถึงเพิ่มเติมคือ แนวคิด “J-Curve Effect” ซึ่งอธิบายได้ด้วยเส้นโค้งที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์เมื่อเวลาผ่านไป โดยมีช่วงที่ผลลัพธ์อาจดูไม่คุ้มค่าในช่วงเริ่มต้นก่อนจะดีขึ้นในระยะยาว ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงเปรียบเทียบเพื่ออธิบายพลวัตของการลงทุนในโครงการขนาดใหญ่ การนำเทคโนโลยีใหม่มาปรับใช้ หรือการเปลี่ยนแปลงเชิงนโยบายในบริบทอื่น ๆ ได้เช่นกัน (Rogers, 2003) โดยในบริบทของการศึกษาฉบับนี้อาจเป็นการลงทุนเพื่อการจัดซื้อ UAV ที่มีประสิทธิภาพสูง ต้นทุนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบที่เกี่ยวข้อง ต้นทุนการฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากร ตลอดจนค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงมาตรฐานและการปฏิบัติตามระเบียบที่เกี่ยวข้องที่สูงในช่วงแรกของการนำ UAV เข้ามาใช้งาน จนอาจทำให้เกิดผลกระทบหรือความไม่คุ้มค่าในระยะสั้น ซึ่งเป็นช่วงที่องค์กรอาจเผชิญกับต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นและประสิทธิภาพการดำเนินงานที่ยังต้องปรับปรุง แต่หลังจากนั้น เมื่อองค์กรมีการปรับตัวอย่างสมบูรณ์ มีประสบการณ์ในการใช้งาน UAV อย่างเต็มรูปแบบ และมีบุคลากรที่มีทักษะความชำนาญเพียงพอแล้ว ผลตอบแทนในระยะยาวทั้งในแง่ของความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะเริ่มปรากฏให้เห็นได้อย่างชัดเจน

ดังนั้น การปรับเปลี่ยนสู่เทคโนโลยี UAV เพื่อสนับสนุนกิจกรรมการบินทดสอบระบบช่วยการเดินอากาศ จำเป็นต้องมีการพิจารณาและวางแผนอย่างรอบคอบและครอบคลุมในหลายมิติพร้อมกัน ได้แก่ มิติทางเทคนิค, มิติด้านความปลอดภัย, มิติทางกฎหมายและมาตรฐานสากล, และมิติด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะช่วยให้การเปลี่ยนผ่านสู่เทคโนโลยีใหม่นี้สามารถดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดในระยะยาว อันเป็นไปตามวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาที่ต้องการวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ในการนำ UAV มาใช้ในการบินทดสอบ NAVAIDS ในประเทศไทยให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากลที่กำหนดโดย ICAO และกฎหมายที่เกี่ยวข้องของประเทศต่อไป

ภาพที่ 2.8

J-Curve Effect

หมายเหตุ: Connection Capital, Understanding the J-curve effect in private equity (ไม่ปรากฏปี) (<https://www.connectioncapital.co.uk/understanding-alternatives/private-markets-and-alternative-investments-the-fundamentals/understanding-the-j-curve-effect-in-private-equity/>)

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

การพัฒนาเทคโนโลยีทางการบินในปัจจุบันมักได้รับแรงผลักดันจากการเติบโตทางเศรษฐกิจ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้โดยสาร และการขยายตัวของการขนส่งสินค้าทางอากาศ ส่งผลให้ต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีและการดำเนินงานในการให้บริการการเดินอากาศให้สอดคล้องกับเศรษฐกิจและความต้องการที่ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการใช้งาน UAV นับเป็นตัวเลือกที่มีความน่าสนใจในการนำมาสนับสนุนการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสัญญาณระบบช่วยการเดินอากาศ อย่างไรก็ตาม การใช้งาน UAV ยังคงมีข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน อาทิ ด้านมาตรฐาน และข้อกฎหมายที่ยังไม่รองรับกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว

ดังนั้น งานศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษา 2 ด้านหลักที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการใช้ UAV ในการสนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณระบบช่วยการเดินอากาศ ได้แก่

1. การศึกษาด้านมาตรฐานและกฎหมาย: การศึกษาข้อจำกัดทางกฎหมายของประเทศไทยเชิงคุณภาพ โดยการเปรียบเทียบ Best Practices ของกฎหมายหรือมาตรฐานของประเทศที่มีความก้าวหน้าในวิธีการกำกับดูแลการใช้งาน UAV สำหรับการตรวจสอบสัญญาณระบบช่วยการเดินอากาศ เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการจัดทำ ปรับปรุงกฎหมาย และพัฒนากลไกการกำกับดูแลในการตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณระบบช่วยการเดินอากาศ โดยใช้ UAV ให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

2. การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์: การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้งาน UAV เพื่อสนับสนุนให้ผู้ให้บริการการเดินอากาศในประเทศไทยนำเทคโนโลยีการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs ด้วย UAV มาใช้งาน

ทั้งนี้ การเก็บข้อมูลในงานศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานของ บพท. ซึ่งเป็นหน่วยงานเดียวที่ให้บริการ NAVAIDs ประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ และเป็นผู้ดำเนินการบินทดสอบ NAVAIDs ในประเทศไทย โดยเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานดังกล่าว เป็นผู้เชี่ยวชาญโดยตรงในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปฏิบัติงานด้วย (UAV) รวมถึงเป็นเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานด้านการให้บริการระบบช่วยการเดินอากาศโดยตรง โดยข้อมูลที่ได้รับจากการสัมภาษณ์ ครอบคลุมประเด็นที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ในด้านการปฏิบัติการบินเชิงเทคนิค (Technical Operations) ด้านเศรษฐศาสตร์เฉพาะในส่วนที่สามารถเปิดเผยข้อมูลได้ และด้านกฎหมายที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเก็บข้อมูลสำหรับศึกษานี้ ใช้แหล่งข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญเพียงคนเดียว ผู้วิจัยจึงได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบข้อมูล

ที่ได้จากการสัมภาษณ์ กับข้อมูลทุติยภูมิในเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ เช่น มาตรฐาน, ข้อกำหนด, และกฎหมายที่ใช้งานจากองค์การการบินของประเทศต่าง ๆ

3.1 แนวทางการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์

เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ UAV เพื่อนำมาสนับสนุนหรือทดแทนอากาศยานด้วยวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันในการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของสัญญาณ NAVAIDs

3.1.1 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ อ้างอิงจากข้อมูลการดำเนินงานการบินทดสอบของ บวท. ซึ่งเป็นหน่วยงานเดียวที่ให้บริการ NAVAIDs ประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ และเป็นผู้ดำเนินการบินทดสอบ NAVAIDs ในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลการดำเนินงานในส่วนที่เกี่ยวข้องในรอบระยะเวลา 5 ปี ทั้งนี้ สำหรับข้อมูลที่จำเป็นต้องประเมินค่าออกมาเป็นตัวเงิน (Shadow Pricing) จะใช้วิธีการเทียบเคียงจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากเป็นข้อมูลภายในของ บวท. ที่ไม่สามารถนำมาเผยแพร่ได้ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1.1.1 ข้อมูลวิธีปฏิบัติการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กในปัจจุบัน

รวบรวมวิธีปฏิบัติการบินทดสอบสำหรับ NAVAIDs ประเภทต่าง ๆ ที่ บวท. ดำเนินการในปัจจุบัน โดยมุ่งเน้นการทดสอบตามรอบเวลา (Periodic Flight Inspection) โดยใช้อากาศยานรุ่น Beechcraft King Air 350 ในการทำการบินทดสอบ

3.1.1.2 ข้อมูลต้นทุนการบินทดสอบด้วยวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

รวบรวมข้อมูลต้นทุนการดำเนินงานจากสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน และการทบทวนวรรณกรรม เช่น ค่าเชื้อเพลิง, ค่าบำรุงรักษาอากาศยาน, และค่าดำเนินการอื่นที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

3.1.1.3 ข้อมูลต้นทุนการใช้ UAV

รวบรวมข้อมูลต้นทุนการดำเนินงานจากสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน และการทบทวนวรรณกรรม เช่น ค่าอุปกรณ์, ค่าอบรมผู้ปฏิบัติการบินทดสอบ, ค่าบำรุงรักษา UAV, และค่าใช้จ่ายอื่นที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

3.1.2 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

รวบรวมข้อมูลที่เป็นตัวเงินด้านสิ่งแวดล้อมจากการทบทวนวรรณกรรมในเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้ UAV และการใช้อากาศยานแบบดั้งเดิม เช่น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง, เสียงรบกวนบริเวณสนามบิน, และการปล่อย CO₂ เป็นต้น

3.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.3.1 การวิเคราะห์ต้นทุน - ผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis) ในส่วนของผลประโยชน์ด้านการดำเนินงานในแต่ละปี

เปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ในการลงทุนใน UAV สำหรับการสนับสนุนการดำเนินงานในการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDS โดยพิจารณาในแง่ต้นทุนการดำเนินการ ซึ่ง Cost-Benefit Ratio (B/C ratio) เป็นอัตราส่วนที่ใช้ในการประเมินโครงการซึ่งแสดงถึงมูลค่าของการลงทุนเมื่อเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุน กับต้นทุนที่เสียไป โดยพิจารณาเฉพาะมุมมองทางการเงิน (Financial) สามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ตามสมการด้านล่างนี้

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\sum_{t=0}^{n-1} \frac{B_t}{(1-r)^t}}{\sum_{t=0}^{n-1} \frac{C_t}{(1-r)^t}} \quad (3.1)$$

ทั้งนี้ B/C ratio ที่ได้จากการคำนวณตามสมการข้างต้น สามารถแปลความได้ดังนี้

- B/C ratio > 1 หมายถึงโครงการจะสร้างผลประโยชน์ได้มากกว่าต้นทุนที่ลงทุนไป ทำให้มีความน่าสนใจในการลงทุน
- B/C ratio < 1 หมายถึงโครงการจะสร้างประโยชน์ได้น้อยกว่าต้นทุนที่ลงทุนไป ทำให้ความไม่สนใจในการลงทุน

3.1.3.2 การวิเคราะห์ผลกระทบทางสังคม (Social Impact Analysis)

ประเมินผลกระทบเชิงบวกที่เกิดขึ้นเพิ่มเติมจากข้อ 3.2.2.1 ซึ่งรวมถึงผลประโยชน์ทางสังคมด้วย เช่น การลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง การลดเสียงรบกวนบริเวณสนามบิน หรือการลดการปล่อย CO₂ เป็นต้น โดยการวิเคราะห์นั้น สามารถทำได้โดยเอาผลประโยชน์ทางสังคม (Social Benefits) เข้าไปเป็นปัจจัยในการคำนวณตามสมการในข้อ 3.1.3.1 ด้วย

3.1.4 ข้อคำถามที่เกี่ยวข้อง

1. วิธีการปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDS ด้วยอากาศยานขนาดเล็กที่ปฏิบัติในปัจจุบัน (Conventional Methods) เป็นอย่างไร
2. วิธีการปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDS ด้วย UAV เป็นอย่างไร

3. วิธีการปฏิบัติการบินด้วย UAV สามารถทดแทนการปฏิบัติการบินด้วยอากาศยานขนาดเล็กได้อย่างไรบ้าง รวมถึงข้อจำกัดในการใช้งาน UAV เพื่อจุดประสงค์ดังกล่าวเป็นอย่างไร

4. การใช้ UAV มาสนับสนุนการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อย่างไร

3.2 แนวทางการศึกษาด้านมาตรฐานและกฎหมาย

เพื่อจัดทำข้อเสนอแนะในการปรับปรุงกฎหมายและระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน UAV ในการสนับสนุนการบินทดสอบ NAVAIDs ให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย

3.2.1 การรวบรวมข้อมูล

3.2.1.1 เอกสารและกฎหมายระหว่างประเทศ

1. ศึกษาอนุสัญญาชิคาโก (Chicago Convention) ซึ่งเป็นกรอบกฎหมายระหว่างประเทศที่กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการบินพลเรือน รวมถึงเอกสารมาตรฐานและข้อแนะนำ (SARPs) ของ ICAO Annex 10 ที่เป็นมาตรฐานของ NAVAIDs และ ICAO Doc 8071 ที่เป็นข้อแนะนำเกี่ยวกับการทดสอบภาคพื้นและภาคอากาศของ NAVAIDs โดยมุ่งเน้นประเด็นศึกษาในข้อกำหนดของการใช้ UAV ในการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs

2. ศึกษามาตรฐานของหน่วยงานการบินในต่างประเทศที่เป็นผู้นำในอุตสาหกรรม (Best Practices) เช่น EASA และ FAA เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับแนวทางการกำกับดูแลการอนุญาตให้ใช้งาน UAV สำหรับการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs รวมถึงการรับรองผลบินทดสอบที่ใช้ UAV ด้วย

3.2.1.2 กฎหมายในประเทศไทย

1. ศึกษาและวิเคราะห์พระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ. 2497 และที่แก้ไขเพิ่มเติม รวมถึงกฎหมายของประเทศไทยที่ออกโดยสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย เกี่ยวกับการใช้งาน UAV ในเขตพื้นที่ควบคุม การตรวจสอบภาคอากาศของ NAVAIDs ด้วย UAV และการรับรองผลการบินทดสอบที่ใช้ UAV

2. ศึกษากรอบกฎหมายหรือวิธีปฏิบัติเพิ่มเติม เช่น ข้อกำหนดเกี่ยวกับการรับรอง UAV และการควบคุมการใช้งาน UAV ในพื้นที่สนามบิน เป็นต้น

3.2.1.3 เปรียบเทียบกฎหมายระหว่างประเทศ

ใช้วิธีการศึกษาเชิงเปรียบเทียบ (Comparative Analysis) เพื่อศึกษาแนวทาง (Best Practices) การกำกับดูแลการใช้งาน UAV สำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs ที่ใช้ในประเทศที่เป็นผู้นำในอุตสาหกรรม เช่น สหรัฐอเมริกา, ยุโรป, ญี่ปุ่น, เกาหลี และออสเตรเลีย เป็นต้น โดยพิจารณาความเหมาะสมในการนำมาปรับใช้ในบริบทของประเทศไทย

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.2.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบ (Comparative Analysis)

เปรียบเทียบข้อจำกัดทางกฎหมายของประเทศไทยในปัจจุบันกับกฎหมายของประเทศอื่น เพื่อระบุจุดอ่อนและช่องว่าง (Gap Analysis) ในกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้ UAV ในการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs

3.2.2.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)

ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญกฎหมายด้านการกำกับดูแลการให้บริการ NAVAIDs และแนวคิดการใช้ UAV สำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs รวมถึงตัวแทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้มุมมองเชิงลึกเกี่ยวกับข้อจำกัดและโอกาสในการปรับปรุงกฎหมาย

3.2.2.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของกฎหมาย (Regulatory Impact Analysis)

วิเคราะห์ผลกระทบของกฎหมายปัจจุบันที่มีต่อการใช้งาน UAV ต่อการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs และรับรองผลบินทดสอบที่ใช้ UAV รวมถึงผลกระทบด้านต้นทุนและการดำเนินงานของผู้ให้บริการ

3.2.3 ข้อคำถามที่เกี่ยวข้อง

1. มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน UAV สำหรับการใช้งานโดยทั่วไป และการใช้งานสำหรับภารกิจเฉพาะ อาทิ การบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs เป็นอย่างไร
2. ข้อจำกัดของกฎหมายในปัจจุบันสำหรับการใช้งาน UAV ในการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs เป็นอย่างไร
3. แนวปฏิบัติของหน่วยงานกำกับดูแลประเทศต่าง ๆ สำหรับการใช้งาน UAV สำหรับการใช้งานโดยทั่วไป และการใช้งานสำหรับภารกิจเฉพาะ อาทิ การบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs เป็นอย่างไร

3.3 ข้อจำกัดของการศึกษา

3.3.1 ข้อจำกัดด้านข้อมูล

1. การเข้าถึงข้อมูลต้นทุนและกระบวนการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอาจมีข้อจำกัด และเป็นข้อมูลที่อาจไม่สามารถเปิดเผยได้
2. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ UAV ในประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในวงกว้าง

3.3.2 ข้อจำกัดด้านกฎหมาย

การประเมินความเหมาะสมของกฎหมายจำเป็นต้องพิจารณาทั้งบริบทในประเทศไทยและแนวทางของประเทศอื่น ๆ ร่วมด้วย ซึ่งอาจมีการปรับเปลี่ยนได้ในอนาคต

3.3.3 ข้อจำกัดด้านการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ Cost - Benefit Analysis อาจต้องพึ่งพาข้อมูลจากกรณีศึกษาต่างประเทศ ซึ่งอาจมีความแตกต่างจากบริบทในประเทศไทย รวมถึงผลประโยชน์ที่เป็นตัวเงินสำหรับปัจจัยบางประเภท เช่น มลภาวะทางเสียง (Noise) และ CO₂ เป็นต้น อาจต้องพิจารณามูลค่าจากการทำ Shadow Pricing ซึ่งอาจส่งผลต่อผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ได้

บทที่ 4

ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเสนอแนะแนวทางในด้านการปรับปรุงกฎระเบียบที่ใช้ในประเทศไทย รวมถึงด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการนำ UAV มาใช้ในการสนับสนุนการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs ที่มีให้บริการในประเทศไทย โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานของ บวท. ในส่วนงานที่ให้บริการ NAVAIDs ถึงกระบวนการที่ใช้ในการบินทดสอบ NAVAIDs แต่ละระบบในปัจจุบัน รวมถึงการศึกษาข้อจำกัดด้านกฎหมายต่อการใช้งาน UAV สำหรับการบินทดสอบ ซึ่งเป็นการศึกษากฎหมายของประเทศไทย ที่ออกโดย กพท. ที่เป็นหน่วยงานกำกับดูแลด้านการบินพลเรือนของประเทศ รวมถึงกฎหมายและมาตรฐานสากล ของประเทศอื่น ๆ ร่วมด้วย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์

4.1.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการบินทดสอบ NAVAIDs

4.1.1.1 จำนวนระบบ NAVAIDs ที่นำมาใช้ในการศึกษา

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสัมภาษณ์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ NAVAIDs ที่มีติดตั้งและให้บริการในประเทศไทย รวมถึงข้อมูล NAVAIDs ที่ระบุอยู่ในเอกสารแถลงข่าวการบิน (AIP-THAILAND) โดยได้รวบรวมข้อมูล NAVAIDs ประเภททัศนวิสัย ชนิด PAPI และ NAVAIDs ประเภทระบบช่วยการเดินอากาศ ชนิด DVOR, ILS, และ DME ที่มีการติดตั้งและให้บริการในประเทศไทยโดยสามารถแจกแจงข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ได้ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

จำนวนเครื่องช่วยการเดินอากาศที่ติดตั้งและให้บริการแก่สาธารณะในประเทศไทย

ประเภทของ NAVAIDs	จำนวนระบบ
1. PAPI	62
2. DVOR/DME	36
3. ILS/DME	30

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และข้อมูลจากเอกสารแถลงข่าวการบิน (AIP-THAILAND)

4.1.1.2 การบินทดสอบระบบ NAVAIDs ที่นำมาใช้ในการศึกษา

ตามมาตรฐาน ICAO Doc 8071 กำหนดให้ NAVAIDs ประเภทต่าง ๆ ต้องได้รับการบินทดสอบตามรอบเวลา โดยสามารถสรุปจำนวนครั้งที่ต้องทำการบินทดสอบแบบ Periodic จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานของ บวท. ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

จำนวนครั้งที่บินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศ ชนิด PAPI, DVOR/DME, และ ILS/DME ในวงรอบ 1 ปี และ 5 ปี

ประเภทของ NAVAIDs	จำนวนครั้งที่บินทดสอบ ต่อปี (สำหรับ 1 ระบบ)	รวมจำนวนครั้งที่บิน ทดสอบต่อ 1 ปี	รวมจำนวนครั้งที่บิน ทดสอบต่อ 5 ปี
1. PAPI	1	62	310
2. DVOR/DME	1	36	180
3. ILS/DME	2	60	300

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

4.1.1.3 วิธีปฏิบัติการบินด้วยอากาศยานขนาดเล็ก และ UAV

จากการสรุปของผู้วิจัย เห็นว่า UAV สามารถนำมาสนับสนุนการบินทดสอบในวิธีปฏิบัติการส่วนใหญ่ได้ และสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญได้ทุกค่า อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ และพลังงานที่ใช้จําน ทำให้ UAV ยังไม่เหมาะสมกับการทำการปฏิบัติการบินในระยะไกลได้ อีกทั้งการบินโดยทั่วไป ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ (Human Factor) เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้อย่างน้อยที่สุด ยังคงต้องมีการบินทดสอบด้วย King Air เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยในการปฏิบัติการบิน (Flyability) หรือการทดสอบ Obstacle Clearance อยู่ด้วย โดยสามารถเปรียบเทียบวิธีการปฏิบัติการบินทดสอบที่สามารถทำได้ด้วย King Air และ UAV ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

วิธีปฏิบัติการบินที่สามารถนำ UAV มาใช้สนับสนุนหรือทดแทนการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กได้

ประเภทของ NAVAIDs	วิธีปฏิบัติการบิน	การใช้ UAV ทดแทน King Air
1. PAPI	Transition	ได้ (ระยะใกล้)
	Level Run	ได้ (ระยะใกล้)
	Angular Coverage	ได้ (ระยะใกล้)
	Clearance	ไม่ได้
2. DVOR/DME	Close Orbit	ได้
	Orbit (for coverage check)	ไม่ได้
	Radial	ได้ (ระยะใกล้)
3. ILS/DME	Centerline Approach	ได้ (ระยะใกล้)
	Arc	ได้ (ระยะใกล้)
	Level Run	ได้ (ระยะใกล้)
	Clearance	ไม่ได้
	Coverage	ไม่ได้

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

4.1.1.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการบินทดสอบ NAVAIDs

จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน และจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุประยะเวลาการบินทดสอบด้วย King Air ที่ใช้สำหรับแต่ละระบบ เปรียบเทียบกับระยะเวลาการบินทดสอบด้วย UAV รวมถึงระยะเวลาที่สามารถประหยัดได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4

เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศด้วยอากาศยานขนาดเล็ก และ UAV

ประเภทของ NAVAIDs	ระยะเวลา บินทดสอบ ด้วย King Air	ระยะเวลาบิน ทดสอบด้วย UAV	ระยะเวลาบินทดสอบด้วย King Air เมื่อนำ UAV มาร่วมใช้งานด้วย	เวลาที่ ประหยัดได้
1. PAPI	1 ชั่วโมง	0.2 ชั่วโมง	0.2 ชั่วโมง	ร้อยละ 80
2. DVOR/DME	2.5 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	ร้อยละ 60
3. ILS/DME	3 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	ร้อยละ 67

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

ทั้งนี้ เมื่อคิดเป็นจำนวนชั่วโมงบินที่ใช้สำหรับการบินทดสอบด้วย King Air และ UAV รวมถึงกรณีระยะเวลาที่ใช้ King Air เมื่อมีการนำ UAV มาใช้งานร่วมด้วยแล้ว สามารถแสดงจำนวนชั่วโมงบินตลอดระยะเวลา 5 ปี ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กเพียงอย่างเดียว, UAV เพียงอย่างเดียว, และเมื่อใช้ทั้ง 2 รูปแบบ

ประเภทของ NAVAIDs	จำนวนครั้งที่บิน ทดสอบ	ระยะเวลาบิน ทดสอบ ด้วย King Air	ระยะเวลาบิน ทดสอบด้วย UAV	ระยะเวลาบิน ทดสอบด้วย King Air เมื่อนำ UAV มาร่วมใช้งานด้วย
1. PAPI	310	310 ชั่วโมง	62 ชั่วโมง	62 ชั่วโมง
2. DVOR/DME	180	450 ชั่วโมง	180 ชั่วโมง	180 ชั่วโมง
3. ILS/DME	300	900 ชั่วโมง	300 ชั่วโมง	300 ชั่วโมง
รวม		1,660 ชั่วโมง	542 ชั่วโมง	542 ชั่วโมง

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัย

4.1.2 ข้อมูลด้านต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการบินทดสอบ NAVAIDs

4.1.2.1 ต้นทุนค่าดำเนินการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก

ต้นทุนที่ใช้สำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วย King Air ที่ผู้วิจัยได้จากการสัมภาษณ์เฉพาะข้อมูลที่สามารถเปิดเผยได้ รวมถึงจากการทบทวนวรรณกรรม ประกอบด้วย ต้นทุนเชื้อเพลิง, ต้นทุนค่าบำรุงรักษาอากาศยาน, และต้นทุนค่าสอบเทียบระบบ Flight Inspection System (FIS) โดยสามารถแจกแจงเป็นค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงและต่อปี รวมถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในรอบเวลา 5 ปี ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

ต้นทุนที่ใช้สำหรับการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศด้วยอากาศยานขนาดเล็ก

ประเภทของต้นทุน	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ King Air (USD)	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ King Air เพียงอย่างเดียวในระยะเวลา 5 ปี (USD)	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ King Air เมื่อใช้ UAV ร่วมด้วย ในระยะเวลา 5 ปี (USD)
1. ต้นทุนเชื้อเพลิง	854 ต่อชั่วโมง	$854 \times (1,660)$ $= 1,417,640$	$854 \times (542)$ $= 462,868$
2. ค่าบำรุงรักษา	1,215 ต่อชั่วโมง	$1,215 \times (1,660)$ $= 2,016,900$	$1,215 \times (542)$ $= 658,530$
3. ค่าสอบเทียบ (Calibration) สำหรับระบบ Flight Inspection System	8,000 ต่อปี	$8,000 \times 5$ $= 40,000$	$8,000 \times 5$ $= 40,000$
รวม		3,474,540	1,161,398

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

อย่างไรก็ตาม จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน พบว่าต้นทุนในการดำเนินการส่วนอื่น ๆ ที่เป็นค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับคน เช่น ค่าตอบแทนผู้ปฏิบัติงานทั้งภาคพื้นและภาคอากาศ, ค่าฝึกอบรม, หรือค่าใช้จ่ายประกอบการดำเนินงานในส่วนอื่น ๆ เป็นต้น ไม่สามารถเปิดเผยได้ เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีความอ่อนไหวและอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของบริษัท

4.1.2.2 ต้นทุนการลงทุนในการจัดหา UAV มาใช้ในการปฏิบัติงาน

ต้นทุนในการจัดซื้อระบบ/อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับ UAV สามารถแจกแจงได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7

ต้นทุน UAV และอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการตรวจสอบ

ประเภทของระบบ/อุปกรณ์	ค่าใช้จ่าย (USD)
1. UAV (DJI M600 Pro)	12,000
2. TB47S Battery	3,600
3. Spectrum Analyzer	45000
4. VHF/UHF Antenna	400
5. RTK GNSS	300
6. Ground Control Station และ Software	1,500
รวม	59,200

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสืบหาข้อมูลในตลาด

การคำนวณจำนวนแบตเตอรี่ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการนำ UAV มาสนับสนุนการบินทดสอบตามที่ระบุในข้อ 2 ของตารางที่ 4.7 นั้น ใช้ข้อมูลประกอบการคำนวณดังนี้

- จำนวนชั่วโมงที่สามารถใช้งานได้ของแบตเตอรี่ 1 ก้อน
 - 1 เทียบบินใช้แบตเตอรี่ 6 ก้อน
 - 1 เทียบบินใช้เวลาประมาณ 20 นาที (0.3 ชั่วโมง)
 - Life Cycle ประมาณ 200 รอบการชาร์จ
 - สามารถใช้ได้ประมาณ $0.3 \times 200 = 60$ ชั่วโมงต่อแบตเตอรี่ 1 ก้อน
- จำนวนแบตเตอรี่ที่จำเป็นต่อการใช้งานบินทดสอบในรอบเวลา 5 ปี
 - ในรอบเวลา 5 ปี จะมีการใช้งาน UAV ประมาณ 568 ชั่วโมง (จากตารางที่ 4.5)
 - แบตเตอรี่ 1 ก้อนสามารถใช้งานอย่างเต็มประสิทธิภาพได้ประมาณ 60 ชั่วโมง

- จำนวนแบตเตอรี่ที่ต้องใช้งานทั้งหมด ประมาณ 568/60 ก้อน หรือประมาณ 60 ก้อน

3. ผลจากการสืบหาค่าแบตเตอรี่ที่มีขายในตลาด มีราคาประมาณ 60 USD ต่อ 1 ก้อน ดังนั้น สำหรับแบตเตอรี่ 60 ก้อน จึงมีราคาประมาณ 3,600 USD

4.1.2.3 ต้นทุนค่าดำเนินการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วย UAV

ต้นทุนที่ใช้สำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วย UAV ที่ผู้วิจัยได้จากการสัมภาษณ์ข้อมูลที่สามารถเปิดเผยได้ รวมถึงจากการทบทวนวรรณกรรม โดยต้นทุนที่มีนัยสำคัญต่อการคำนวณประกอบด้วยต้นทุนค่าบำรุงรักษาอากาศยานที่ดำเนินการทุก 20 ชั่วโมงการบิน และต้นทุนค่าสอบเทียบระบบ Flight Inspection System (FIS) โดยสามารถแจกแจงเป็นค่าใช้จ่ายต่อชั่วโมงและต่อปี รวมถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในรอบเวลา 5 ปี ได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8

เปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้สำหรับการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศด้วย UAV

ประเภทของต้นทุน	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ UAV (USD)	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ UAV ในระยะเวลา 5 ปี (USD)
1. ค่าบำรุงรักษา	42 ต่อชั่วโมง	$42 \times (62+180+300)$ = 22,764
2. ค่าสอบเทียบ (Calibration) สำหรับระบบ Flight Inspection System	1,500 ต่อปี	$1,500 \times 5$ = 7,500
รวม		30,264

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ การทบทวนวรรณกรรม และการสืบหาค่าในตลาด

4.1.2.4 ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากปัจจัยจากสภาพแวดล้อมของการปฏิบัติการบิน

จากข้อมูลย้อนหลังในปี พ.ศ. 2567 พบว่าเที่ยวบินภายในประเทศของไทยที่ล่าช้า หรือต้องมีการเปลี่ยนเส้นทาง ที่มีสาเหตุจากสภาพอากาศหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการบิน มีสัดส่วนค่อนข้างต่ำ โดยจากรายงานของกรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงเดือนเมษายน - กรกฎาคม 2567 ระบุว่าเที่ยวบินที่มีความล่าช้าเนื่องจากสภาพอากาศ มีจำนวน 30 เที่ยวบิน จากทั้งหมด 8,417 เที่ยวบิน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.35 ของเที่ยวบินทั้งหมดเท่านั้น

(กรมอุตุนิยมวิทยา, 2567) จึงสะท้อนให้เห็นว่าสัดส่วนของเที่ยวบินที่ล่าช้าเนื่องจากสภาพอากาศมีสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำ และไม่มีนัยสำคัญต่อการนำมาประเมินความคุ้มค่าของการใช้ UAV เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs ทั้งนี้ หากเกิดสถานการณ์ที่ทำให้ไม่สามารถปฏิบัติการบินด้วย UAV ได้ หน่วยงานให้บริการ ย่อมจะต้องมีแผนหรือวิธีปฏิบัติรองรับไว้อยู่แล้ว

4.1.3 ข้อมูลด้านผลประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับการบินทดสอบ NAVAIDs

4.1.3.1 ผลประโยชน์ด้านการลดต้นทุนในการปฏิบัติการบินทดสอบ

จากตารางที่ 4.6 สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้ถึงผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการนำ UAV มาใช้สำหรับการบินทดสอบร่วมกับ King Air ซึ่งประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิง, ค่าบำรุงรักษา, และค่าสอบเทียบ (Calibration) สำหรับระบบ Flight Inspection System รวมทั้งสิ้น

$$3,474,540 - 1,161,398 = 2,313,142 \text{ USD} \quad (4.1)$$

4.1.3.2 ผลประโยชน์ด้านการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

นอกจากนี้ จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า King Air จะปล่อย CO₂ ประมาณ 500 กก./ชม. ในขณะที่ UAV ไม่มีการปล่อย CO₂ เนื่องจากใช้พลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ประเมินราคาของ Carbon Credits สำหรับอุตสาหกรรมการบินในสภาวะการณปัจจุบันแล้ว (MSCI Carbon Markets, 2024) มีค่าอยู่ที่ประมาณ 50 USD/tCO₂ จากค่าเฉลี่ยที่อยู่ระหว่าง 18 – 91 USD/tCO₂ ดังนั้นจึงสามารถประเมินและสรุปผลประโยชน์ที่ได้รับจากการนำ UAV มาใช้สนับสนุนหรือทดแทนสำหรับการบินทดสอบ ได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9

ประโยชน์ที่คิดเป็นต้นทุนจากการลดการปล่อย CO₂ ที่ได้จากการนำ UAV มาใช้สนับสนุนการบินทดสอบเครื่องช่วยการเดินอากาศ

ประเภทของ NAVAIDs	จำนวน ครั้งที่บิน ทดสอบใน เวลา 5 ปี	จำนวน ชั่วโมงที่ บิน ทดสอบ ต่อครั้ง	จำนวนชั่วโมงที่ บินทดสอบต่อครั้ง เมื่อนำ UAV มาร่วมใช้งานด้วย	ปริมาณ CO ₂ ต่อชั่วโมง ที่ลดลงได้ในระยะเวลา 5 ปี	มูลค่าที่ เป็นต้นทุน (USD)
1. PAPI	310	1	0.2 ชั่วโมง	$310 \times (1 - 0.2) \times 500$ = 124,000 กก. หรือ 124 ตัน	6,200
2. DVOR/DME	180	2.5	1 ชั่วโมง	$180 \times (2.5 - 1) \times 500$ = 135,000 กก. หรือ 135 ตัน	6,750
3. ILS/DME	300	3	1 ชั่วโมง	$300 \times (3 - 2) \times 500$ = 300,000 กก. หรือ 300 ตัน	15,000
รวม				559,000 กก. หรือ 559 ตัน	27,950

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

4.1.3.3 ผลประโยชน์จากความสามารถในการใช้งานระบบ ILS ได้อย่างต่อเนื่อง

ระบบนำร่อง ILS/DME นับเป็นระบบที่ช่วยการลงจอดที่มีความแม่นยำทั้งในแนวราบ และแนวดิ่ง (Precision Approach) ที่ช่วยให้อากาศยานสามารถลงจอดได้อย่างปลอดภัยภายใต้สภาพทัศนวิสัยแปรปรวน เช่น ทัศนวิสัยต่ำ, ฝนตกหนัก, หรือพายุ เป็นต้น ซึ่งในขณะที่ทำการบินทดสอบสัญญาณ ระบบดังกล่าวจะถูกปิดการให้บริการชั่วคราว ซึ่งอาจส่งผลให้เที่ยวบินต่าง ๆ ไม่สามารถลงจอดได้ตามแผนการบิน อาจทำให้ต้องบินวนรอบบนน่านฟ้า (Holding) และก่อให้เกิดความล่าช้า (Delay) ได้ในที่สุด

จากเอกสาร ICAO Doc 8092 ระบุว่า ความล่าช้าของเที่ยวบินที่เกิดขึ้นจากปัจจัยด้านระบบช่วยการเดินอากาศ สามารถประเมินต้นทุนได้ในอัตราประมาณ 5,000 ถึง 6,000

ดอลลาร์สหรัฐต่อชั่วโมงต่อเที่ยวบิน ซึ่งครอบคลุมต้นทุนเชื้อเพลิง, ลูกเรือ, ค่าบำรุงรักษา, ความล่าช้าของเที่ยวบินถัดไป และค่าเสียโอกาสของผู้โดยสาร ซึ่งตัวเลขดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิเคราะห์ของ Eurocontrol (2019) ซึ่งระบุว่าเที่ยวบินที่ได้รับผลกระทบจากการไม่สามารถใช้งานระบบนำร่องในสภาพอากาศเลวร้าย จะมีความล่าช้าเฉลี่ย 10 – 20 นาทีต่อเที่ยวบิน หรือประมาณ 0.17–0.33 ชั่วโมงต่อเที่ยวบิน โดยเมื่อคิดเป็นตัวเงิน จะทำให้ต้นทุนความล่าช้าเฉลี่ยอยู่ที่ ประมาณ 850 ถึง 2,000 ดอลลาร์สหรัฐต่อเที่ยวบิน ต่อเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบ

จากการศึกษาสถิติการขนส่งทางอากาศปี พ.ศ. 2567 พบว่าสนามบินในประเทศไทยที่มีการติดตั้งระบบ ILS/DME ใช้งาน มีปริมาณการจราจรทางอากาศ และ Aircraft Movement มากที่สุด 4 อันดับแรก ได้แก่ สนามบินสุวรรณภูมิ สนามบินดอนเมือง สนามบินภูเก็ต และสนามบินเชียงใหม่ ซึ่งหากสามารถลดระยะเวลาการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กในสนามบินเหล่านี้ได้ ย่อมอาจที่จะลดความล่าช้าที่จะเกิดในเที่ยวบินที่มายังสนามบินเหล่านี้ได้เช่นกัน โดยสถิติ Aircraft Movement ในปี พ.ศ. 2567 ของสนามบินข้างต้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10

Aircraft Movement ใน 4 สนามบินหลัก

สนามบิน	Aircraft Movement	Aircraft Movement (เฉลี่ยต่อชั่วโมง)
สนามบินสุวรรณภูมิ	356,398	41
สนามบินดอนเมือง	203,082	23
สนามบินภูเก็ต	103,459	12
สนามบินเชียงใหม่	59,381	7

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

หากพิจารณาการนำ UAV มาสนับสนุนการบินทดสอบ ILS/DME ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาการปิดให้บริการ หรือเป็นการเพิ่มความต่อเนื่องในการให้บริการระบบ ILS/DME จะสามารถคำนวณผลประโยชน์ที่ได้จากการนำ UAV มาสนับสนุนการบินทดสอบ โดยใช้ค่าอ้างอิงตามเอกสาร ICAO Doc 8092 ที่แสดงต้นทุนความล่าช้าของเที่ยวบินอันเป็นผลมาจากการไม่สามารถใช้งานระบบนำร่องได้ โดยมีค่ากลางอยู่ที่ 5,500 ดอลลาร์สหรัฐต่อชั่วโมงต่อเที่ยวบิน และตามข้อมูลจาก Eurocontrol (2019) ความล่าช้าโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการไม่สามารถใช้ระบบช่วยการลงจอดในสภาพอากาศเลวร้าย อยู่ในช่วง 10 – 20 นาทีต่อเที่ยวบิน ในขณะที่ ICAO (2019)

ประเมินว่าความล่าช้าเฉลี่ยอาจอยู่ที่ 10 – 15 นาทีในสนามบินที่มีความหนาแน่นสูง ดังนั้นงานศึกษานี้จึงเลือกใช้ค่ากลางที่ 15 นาทีต่อเที่ยวบิน หรือ 0.25 ชั่วโมงต่อเที่ยวบิน ในการคำนวณต้นทุนความล่าช้า ซึ่งจะมีค่าเป็น $(5,500 \times 0.25)$ 1,375 ดอลลาร์สหรัฐต่อเที่ยวบิน รวมถึงจากตารางที่ 4.4 ที่แสดงระยะเวลาการปิดให้บริการเพื่อบินทดสอบระบบ ILS/DME ที่สามารถลดลงได้ 1 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบจากการบินทดสอบอากาศยานขนาดเล็กเพียงอย่างเดียวซึ่งใช้เวลา 3 ชั่วโมง และการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กร่วมกับ UAV จะอยู่ที่ 2 ชั่วโมง โดยสามารถแสดงรายละเอียดผลประโยชน์ที่ได้ ตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ความต่อเนื่องในการใช้งานระบบ ILS/DME ใน 4 สนามบินหลัก

สนามบิน	จำนวนระบบ ILS/DME	ระยะเวลาการเปิดให้บริการได้เพิ่มขึ้น (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่เปิดให้บริการได้เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 5 ปี ปีละ 2 ครั้ง (ชั่วโมง)	Aircraft Movement (เฉลี่ยต่อชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ตลอดระยะเวลา 5 ปี
สนามบินสุวรรณภูมิ	4	4	40	41	2,255,000
สนามบินดอนเมือง	3	3	30	23	948,750
สนามบินภูเก็ต	1	1	20	12	330,000
สนามบินเชียงใหม่	1	1	20	7	192,500
รวม					3,726,250

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

4.1.3.4 ผลประโยชน์จากการลดมลภาวะทางเสียง (Noise)

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า UAV ส่งเสียงรบกวนต่ำกว่า King Air อย่างชัดเจนประมาณ 15 – 20 เดซิเบล (dB) หรือมากกว่านั้น ในสภาพภารกิจเดียวกัน โดยที่การลดลงของระดับเสียงในขนาดนี้นับว่ามีความแตกต่างอย่างมาก เนื่องจากค่าเดซิเบลเป็นลอการิทึม

โดยที่การลดลง 3 dB หมายถึงพลังงานเสียงที่ลดลงไปครึ่งหนึ่ง ดังนั้น การลดลงไปประมาณ 15 - 20 dB หมายถึงพลังงานเสียงลดลงถึงประมาณร้อยละ 99 และส่งผลต่อระดับเสียงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ ลดลงอย่างมาก อย่างไรก็ตาม การแปลงมูลค่าการลดลงของเสียงรบกวนเป็นตัวเงินนั้น อาจไม่สามารถใช้ได้ในงานศึกษานี้ เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการศึกษานั้นมีความครอบคลุมเขตสนามบินทั่วประเทศ ซึ่งไม่สามารถทราบขอบเขตที่แน่ชัดของพื้นที่โดยรอบสนามบิน และข้อมูลประชากรที่อาศัยในแต่ละพื้นที่ซึ่งมีความแตกต่างกันทั่วประเทศได้ อย่างไรก็ตาม จากที่ได้กล่าวถึงข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ UAV ทดแทน King Air นั้น สามารถสร้างผลประโยชน์ให้แก่ชุมชนหรือประชาชนที่อาศัยบริเวณใกล้เคียงพื้นที่สนามบินได้อย่างมาก

4.1.4 การคำนวณหาความคุ้มค่าในการนำ UAV มาใช้บินทดสอบ (Best Case Scenario)

จากการศึกษาข้อมูลเชิงเปรียบเทียบข้างต้น สามารถแสดงได้อย่างชัดเจนว่าการนำ UAV มาใช้ในการกิจการบินทดสอบ NAVAIDs สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ในหลายด้านอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ UAV สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ และยังให้ประโยชน์ในแง่ของระยะเวลาการดำเนินงานที่ลดลง ความเสี่ยงและความซับซ้อนของวิธีปฏิบัติที่ลดลง อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในเชิงการบริหารจัดการต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Cost-Saving) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยที่มีการติดตั้ง NAVAIDs เพื่อให้บริการจำนวนมาก

ทั้งนี้ เพื่อประเมินถึงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเป็นรูปธรรม ผู้วิจัยได้ดำเนินการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) ด้วยอัตราคิดลดที่ร้อยละ 5 ซึ่งเป็นแนวทางตามมาตรฐานของ ICAO (ICAO, 2013) และธนาคารโลก (World Bank, 2016) ที่แนะนำให้ใช้ระหว่างร้อยละ 3 – 5 สำหรับโครงการสาธารณะและโครงสร้างพื้นฐานการบิน โดยสามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\sum_{t=0}^{n-1} \frac{B_t}{(1-r)^t}}{\sum_{t=0}^{n-1} \frac{C_t}{(1-r)^t}} \quad (4.2)$$

โดยสามารถจำแนกต้นทุนและผลประโยชน์ออกเป็น

- 1) ต้นทุน UAV รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบที่ลงทุนในปีที่ 1 คิดเป็น 59,200 USD
- 2) ต้นทุนตลอดระยะเวลา 5 ปี
 - ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับ King Air คิดเป็น 466,284 USD
 - ค่าบำรุงรักษา King Air คิดเป็น 663,390 USD
 - ค่าบำรุงรักษา UAV คิดเป็น 22,764 USD
 - ค่าสอบเทียบระบบ FIS สำหรับ King Air คิดเป็น 40,000 USD

- ค่าสอบเทียบระบบ FIS สำหรับ UAV คิดเป็น 7,500 USD

ดังนั้น ต้นทุน (Cost) ที่เกิดขึ้นกับโครงการในระยะเวลา 5 ปี คิดเป็น 1,199,938 USD โดยคิดออกมาเป็นค่าเฉลี่ยต่อปีได้เป็น 239,988 USD

3) ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลา 5 ปี

- ค่าเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา และค่าสอบเทียบระบบ FIS ที่ลดลงคิดเป็น 2,313,142 USD
- การปล่อย CO₂ ที่ลดลงคิดเป็น 27,950 USD
- การลดความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งานระบบ ILS/DME คิดเป็น 3,726,250 USD

ดังนั้น ผลประโยชน์ (Benefit) ที่เกิดขึ้นกับโครงการในระยะเวลา 5 ปี คิดเป็น 6,067,342 USD โดยคิดออกมาเป็นค่าเฉลี่ยต่อปีได้เป็น 1,213,468 USD

$$\frac{B}{C}ratio = \frac{\frac{1,213,468}{(1-0.05)^0} + \frac{1,213,468}{(1-0.05)^1} + \frac{1,213,468}{(1-0.05)^2} + \frac{1,213,468}{(1-0.05)^3} + \frac{1,213,468}{(1-0.05)^4}}{59,200 + \frac{239,988}{(1-5)^0} + \frac{239,988}{(1-5)^1} + \frac{239,988}{(1-5)^2} + \frac{239,988}{(1-5)^3} + \frac{239,988}{(1-5)^4}} = 4.80 \quad (4.3)$$

ผลลัพธ์ของการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) เท่ากับ 4.80 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการนำ UAV มาใช้เพื่อสนับสนุนการบินทดสอบ NAVAIDs ที่ติดตั้งและให้บริการในประเทศไทย มีความคุ้มค่าอย่างสูงในเชิงเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือ ทุก 1 ดอลลาร์ที่ลงทุน จะก่อให้เกิดผลตอบแทนสุทธิกลับมาถึง 4.80 ดอลลาร์ ในมูลค่าปัจจุบันหลังจากคิดลดด้วยอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 5 โดยที่ผลประโยชน์ที่นี้ ไม่ได้จำกัดเฉพาะในแง่ของการลดต้นทุนจากการดำเนินการบินทดสอบด้วย King Air เท่านั้น แต่ยังครอบคลุมถึงผลประโยชน์ที่เกิดกับสังคมและสิ่งแวดล้อมด้วย (Social and environmental externalities) ที่มีนัยสำคัญต่ออุตสาหกรรมการบินและการบริหารจัดการสนามบินในระดับประเทศ โดยเฉพาะในยุคปัจจุบันที่นโยบายด้านการลดคาร์บอน (Decarbonization) และความยั่งยืน (Sustainability) กลายเป็นหัวใจสำคัญของภาครัฐและภาคอุตสาหกรรมทั่วโลก จากการคำนวณพบว่า โครงการนี้สามารถลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้ถึง 559 ตัน ซึ่งแปลงเป็นเงินได้กว่า 27,950 USD เมื่ออิงจากราคาตลาดของคาร์บอนเครดิตที่สอดคล้องกับมาตรฐานของ ICAO ภายใต้โครงการ CORSIA

ในภาพรวม จึงสามารถสรุปได้ว่า ผลประโยชน์จากการนำ UAV มาใช้เพื่อสนับสนุนการบินทดสอบ NAVAIDs ที่ติดตั้งและให้บริการในประเทศไทยนี้ ไม่ได้เป็นเพียงการประหยัด (Cost Saving) ในเชิงบัญชีเท่านั้น แต่ยังรวมถึงผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Benefits) และผลลัพธ์ในเชิงยุทธศาสตร์และการปฏิบัติงาน (Strategic and

Operational Benefits) ที่สามารถช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น รวดเร็ว และความแม่นยำในการตรวจสอบ NAVAIDs ซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของความปลอดภัยในการเดินอากาศ

4.1.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) (Worst Case Scenario)

เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อย่างรอบด้าน และความน่าเชื่อถือของการศึกษาในกรณีการนำ UAV มาใช้สนับสนุนในการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs ผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการจัดทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) โดยในกรณีแรกนี้ (Worst Case Scenario 1) จะพิจารณาตัวแปรที่อาจมีผลต่อผลการวิเคราะห์ B/C Ratio ในหัวข้อที่ 4.1.4 ในประเด็นต่าง ๆ เช่น ประสิทธิภาพการใช้งานของ UAV, และปัจจัยจากข้อจำกัดทางกฎหมาย ความเหมาะสมในการปฏิบัติการบินซึ่งอาจส่งผลต่อการให้บริการจราจรทางอากาศ เป็นต้น

4.1.5.1 ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากปัจจัยของประสิทธิภาพการใช้งาน UAV

Petritoli et al. (2018) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับอัตราการขัดข้องของ UAV ที่มีลักษณะเป็น Multicopter พบว่า อัตราความล้มเหลวของ UAV โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 1 ครั้งต่อ 1,000 ชั่วโมงการบิน โดยที่อัตราความล้มเหลวของอากาศยานพาณิชย์ที่อยู่ประมาณ 1 ครั้งต่อ 100,000 ชั่วโมงการบิน ซึ่งสูงกว่ากัน 100 เท่า และอีกมุมหนึ่งระบุว่าถึงแม้ระบบของ UAV จะมีความซับซ้อนและมีระบบสำรอง (Redundancy) ไว้แล้ว ก็ยังคงมีอัตราการขัดข้องสูงถึงร้อยละ 25 อย่างไรก็ตาม UAV ที่ผู้วิจัยได้เลือกมาศึกษาในครั้งนี้ คือ DJI M600 Pro ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) และลดโอกาสในการเกิดการขัดข้องโดยมีระบบสำรอง (Redundancy) ในส่วนต่าง ๆ โดย M600 เป็น UAV แบบ Hexacopter (6 ใบพัด) ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติการบินมากขึ้น เช่น กรณีที่มอเตอร์เกิดขัดข้องไป 1 ตัว UAV ยังสามารถทรงตัวบินต่อไปได้ เป็นต้น

นอกจากนี้ UAV ยังมีข้อจำกัดในด้านของระยะเวลาทำการบินจากการใช้แบตเตอรี่ 1 ชุด ซึ่งระยะเวลาในการทำการบิน 1 ครั้งจะอยู่ที่ประมาณ 20 นาที ทำให้เกิดระยะเวลา Downtime ที่จำเป็นต้องสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ ซึ่งทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่อง และความไม่พร้อมในการปฏิบัติการบินด้วย

ดังนั้น เพื่อให้เกิดความปลอดภัย ความต่อเนื่อง (Continuity) และความพร้อม (Availability) ของการปฏิบัติการบินทดสอบด้วย UAV รวมถึงความต่อเนื่องที่จะนำ NAVAIDs ประเภทต่าง ๆ กลับมาให้บริการได้อย่างต่อเนื่องภายหลังจากการบินทดสอบ ผู้วิจัยเห็นว่าหน่วยให้บริการบินทดสอบ อาจลงทุนในอุปกรณ์ รวมถึงส่วนควบที่สำคัญที่ส่งผลต่อความต่อเนื่องในการปฏิบัติการบินเพิ่มเติมได้แก่ การลงทุนใน UAV เพิ่มเติมอีก 1 ชุด และแบตเตอรี่อีก 1 ชุด รวมถึงเพิ่มเติมวงรอบการบำรุงรักษาอีกร้อยละ 25 ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจากเดิม 42

USD ต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็น 52.5 USD ต่อชั่วโมง โดยสามารถสรุปต้นทุนในการลงทุนจัดหา UAV ได้ตามตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12

ต้นทุน UAV และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ

ประเภทของระบบ/อุปกรณ์	ค่าใช้จ่าย (USD)
1. UAV (DJI M600 Pro) (จำนวน 2 ชุด)	$12,000 \times 2 = 24,000$
2. TB47S Battery (จำนวน 2 ชุด)	$3,600 \times 2 = 7,200$
3. Spectrum Analyzer	45000
4. VHF/UHF Antenna	400
5. RTK GNSS	300
6. Ground Control Station และ Software	1,500
รวม	78,400

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

4.1.5.2 ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากปัจจัยจากข้อจำกัดทางกฎหมาย และความเหมาะสมในการปฏิบัติการบินซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อให้บริการจราจรทางอากาศ

จากการวิเคราะห์ประกาศ กพท. เรื่อง แนวทางการพิจารณาอนุญาตให้อากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก ทำการบินภายในระยะเก้ากิโลเมตร (ห้าไมล์ทะเล) จากสนามบินหรือที่ขึ้นลงชั่วคราว พ.ศ. 2561 และประกาศ กพท. เรื่อง การอนุญาตให้อากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอกบินเข้าพื้นที่หวงห้ามเฉพาะ VT R1 Bangkok City พ.ศ. 2566 พบว่าการขออนุญาตบิน UAV ในพื้นที่ที่อยู่ใกล้สนามบินมีข้อจำกัดสูง โดยเฉพาะพื้นที่สนามบินในกรุงเทพมหานคร และกระบวนการอนุญาตที่ต้องได้รับความยินยอมจากหลายหน่วยงาน อีกทั้ง (สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย, 2567) จากการศึกษาสถิติการขนส่งทางอากาศปี พ.ศ. 2567 พบว่าสนามบินในประเทศไทยที่มี Aircraft Movement เกิน 50 Movement ต่อวัน รวมถึงความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศสูงสุด 7 อันดับแรก ได้แก่ สนามบินสุวรรณภูมิ สนามบินดอนเมือง สนามบินภูเก็ต สนามบินเชียงใหม่ สนามบินสมุย สนามบินหาดใหญ่ และสนามบินกระบี่ ซึ่งสนามบินเหล่านี้ อาจยังไม่เหมาะสมกับการทดลองการปฏิบัติการบินทดสอบด้วย UAV ในระยะแรก เนื่องจากการทดสอบเทคโนโลยีใหม่ อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานการให้บริการจราจรทางอากาศ รวมถึงอาจเกิดความเสี่ยง

ปลอดภัยต่อการเดินอากาศได้ ผู้วิจัยจึงเห็นว่าในทางปฏิบัติ NAVAIDs ที่ติดตั้งในสนามบินหลักเหล่านี้ อาจยังคงต้องทำการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กเพียงอย่างเดียวไปก่อน ซึ่งสามารถสรุปจำนวน NAVAIDs ที่ติดตั้ง ณ สนามบินข้างต้นได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13

ระบบ NAVAIDs ที่ติดตั้งใช้งานใน 7 สนามบินที่มี Aircraft Movement สูงที่สุด

ประเภทของ NAVAIDs	จำนวนระบบ							รวม
	สุวรรณภูมิ	ดอนเมือง	ภูเก็ต	เชียงใหม่	สมุย	หาดใหญ่	กระบี่	
1. PAPI	6	4	2	2	2	2	2	20
2. DVOR/DME	1	1	1	1	1	1	1	7
3. ILS/DME	4	3	1	1	-	1	1	11

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์ และการทบทวนวรรณกรรม

จากข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปจำนวนครั้ง และระยะเวลาที่ทำการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กเพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้พึ่งพาการสนับสนุนการใช้งาน UAV และการใช้อากาศยานขนาดเล็กควบคู่กับการใช้งาน UAV โดยการเปรียบเทียบข้อมูลจากตารางที่ 4.5 ได้ดังตารางที่ 4.14 และตารางที่ 4.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14

ระยะเวลาที่ทำการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กเพียงอย่างเดียว

ประเภทของ NAVAIDs	จำนวนครั้งที่บิน ทดสอบต่อปี (สำหรับ 1 ระบบ)	ระยะเวลาที่ บินทดสอบ ต่อ 1 ครั้ง (ชั่วโมง)	รวมจำนวน ครั้งที่บิน ทดสอบต่อ 1 ปี	รวมจำนวน ครั้งที่บิน ทดสอบต่อ 5 ปี	ระยะเวลาที่ บินทดสอบ ต่อ 5 ปี (ชั่วโมง)
1. PAPI	1	1	20	100	100
2. DVOR/DME	1	2.5	7	35	87.5
3. ILS/DME	2	3	11	110	330
รวม					517.5

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัย

ตารางที่ 4.15

ระยะเวลาที่ทำการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็กร่วมกับ UAV และการใช้ UAV ในการบินทดสอบ

ประเภทของ NAVAIDs	จำนวนครั้งที่บิน ทดสอบต่อปี (สำหรับ 1 ระบบ)	ระยะเวลาที่ บินทดสอบ ต่อ 1 ครั้ง (ชั่วโมง)	รวมจำนวน ครั้งที่บิน ทดสอบต่อ 1 ปี	รวมจำนวน ครั้งที่บิน ทดสอบต่อ 5 ปี	ระยะเวลาที่ บินทดสอบ ต่อ 5 ปี (ชั่วโมง)
1. PAPI	1	0.2	42	210	42
2. DVOR/DME	1	1	29	145	145
3. ILS/DME	2	1	49	245	245
รวม					432

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัย

ซึ่งสามารถแสดงเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลา 5 ปี โดยอ้างอิงต้นทุนของการใช้อากาศยานขนาดเล็กจากตารางที่ 4.6 และต้นทุนของการใช้ UAV จากตารางที่ 4.8 และ 4.15 โดยสามารถแสดงต้นทุนที่เกิดขึ้นได้ตามตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16

ต้นทุนเชื้อเพลิงและค่าบำรุงรักษาในกรณี Worst Case Scenario

ประเภทของต้นทุน	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ King Air เพียงอย่างเดียว (USD)	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ King Air เมื่อใช้ UAV ร่วมด้วย (USD)	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ UAV (USD)
1. ต้นทุนเชื้อเพลิง	854 x (517.5) = 441,945	854 x (432) = 368,928	ไม่มีนัยสำคัญ
2. ค่าบำรุงรักษา	1,215 x (517.5) = 628,763	1,215 x (432) = 524,880	52.5 x (432) = 22,680
รวม	1,070,708	893,808	22,680
รวมต้นทุนทั้งหมด	1,987,196		

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัย

4.1.5.3 ผลประโยชน์ด้านการลดต้นทุนในการปฏิบัติการบินทดสอบ

จากตารางที่ 4.6 สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้ถึงผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการนำ UAV มาใช้สำหรับการบินทดสอบร่วมกับ King Air ซึ่งประกอบด้วยค่าเชื้อเพลิง, ค่าบำรุงรักษา, และค่าสอบเทียบ (Calibration) สำหรับระบบ Flight Inspection System ที่สามารถประหยัดได้สำหรับการใช้ King Air รวมทั้งสิ้น 1,470,024 USD ซึ่งสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17

เปรียบเทียบความแตกต่างของต้นทุนกรณี Worst Case Scenario

ประเภทของต้นทุน	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ King Air เพียงอย่างเดียวในระยะเวลา 5 ปี (USD)	ค่าใช้จ่ายจากการใช้ King Air สำหรับ Worst Case Scenario (USD)
1. ต้นทุนเชื้อเพลิง	1,417,640	810,873
2. ค่าบำรุงรักษา	2,016,900	1,153,643
3. ค่าสอบเทียบ (Calibration) สำหรับระบบ Flight Inspection System	40,000	40,000
รวม	3,474,540	2,004,516

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัย

4.1.5.4 ผลประโยชน์ด้านการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

สำหรับ Worst Case Scenario สามารถแสดงผลประโยชน์ของการลดการปล่อย CO₂ โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงจากหัวข้อที่ 4.1.3.2 ที่แสดงว่า King Air จะปล่อย CO₂ ประมาณ 500 กก./ชม. และราคาของ Carbon Credits สำหรับอุตสาหกรรมการบิน มีค่าอยู่ที่ประมาณ 50 USD/tCO₂ ดังแสดงได้ตามตารางที่ 4.18 ดังนี้

ตารางที่ 4.18

การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กรณี Worst Case Scenario

ระยะเวลาที่บิน ทดสอบด้วย King Air เพียงอย่างเดียว	ระยะเวลาที่บิน ทดสอบด้วย King Air สำหรับ Worst Case Scenario	ระยะเวลา ของการใช้ King Air ที่ ประหยัดได้	ปริมาณ CO ₂ ต่อ ชั่วโมงที่ลดลง	มูลค่าที่เป็นตัว เงิน (USD)
1,660	949.5	710.5	710.5 × 500 = 355,250 กก. หรือ 355.25 ตัน	17,762.5

หมายเหตุ: จากการสรุปผลของผู้วิจัย และการทบทวนวรรณกรรม

4.1.5.5 ผลประโยชน์จากความสามารถในการใช้งานระบบ ILS ได้อย่างต่อเนื่อง

สำหรับ Worst Case Scenario นี้ จะไม่ได้นำ 4.1.5.5 ที่เป็นผลประโยชน์จากความสามารถในการใช้งานระบบ ILS ได้อย่างต่อเนื่อง มาเป็นปัจจัยในการคำนวณด้วย เนื่องจากเหตุผลตามข้อ 4.1.5.2 ที่พิจารณาแล้วว่า จะยังคงใช้อากาศยานขนาดเล็กบินทดสอบระบบ NAVAIDS ในสนามบินที่มี Aircraft Movement และมีความหนาแน่นของการจราจรทางอากาศสูง เพื่อความปลอดภัยในการเดินอากาศในช่วงการทดลองใช้งาน

4.1.5.6 B/C Ratio สำหรับ Worst Case Scenario

สำหรับการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ในกรณี Worst Case Scenario นี้ ที่นำปัจจัยตามที่กล่าวถึงข้างต้น มาคำนวณ B/C Ratio ด้วยนั้น สามารถแสดงได้ดังนี้

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\sum_{t=0}^{n-1} \frac{B_t}{(1-r)^t}}{\sum_{t=0}^{n-1} \frac{C_t}{(1-r)^t}} \quad (4.4)$$

โดยสามารถจำแนกต้นทุนและผลประโยชน์ออกเป็น

- 1) ต้นทุน UAV รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบที่ลงทุนในปีที่ 1 คิดเป็น 78,400 USD
- 2) ต้นทุนตลอดระยะเวลา 5 ปี
 - ต้นทุนจากตารางที่ 4.16 คิดเป็น 1,987,196 USD
 - ค่าสอบเทียบระบบ FIS สำหรับ King Air คิดเป็น 40,000 USD

- ค่าสอบเทียบระบบ FIS สำหรับ UAV คิดเป็น 7,500 USD
 ดังนั้น ต้นทุน (Cost) ที่เกิดขึ้นกับโครงการในระยะเวลา 5 ปี คิดเป็น 2,034,696 USD โดยคิดออกมาเป็นค่าเฉลี่ยต่อปีได้เป็น 406,939 USD

3) ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลา 5 ปี

- ค่าเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา และค่าสอบเทียบระบบ FIS ที่ลดลง คิดเป็น 1,470,024 USD
 - การปล่อย CO₂ ที่ลดลง คิดเป็น 17,762.5 USD
 ดังนั้น ผลประโยชน์ (Benefit) ที่เกิดขึ้นกับโครงการในระยะเวลา 5 ปี คิดเป็น 1,487,786.5 USD โดยคิดออกมาเป็นค่าเฉลี่ยต่อปีได้เป็น 297,557 USD

$$\frac{B}{C} \text{ ratio} = \frac{\frac{297,557}{(1-0.05)^0} + \frac{297,557}{(1-0.05)^1} + \frac{297,557}{(1-0.05)^2} + \frac{297,557}{(1-0.05)^3} + \frac{297,557}{(1-0.05)^4}}{78,400 + \frac{406,939}{(1-5)^0} + \frac{406,939}{(1-5)^1} + \frac{406,939}{(1-5)^2} + \frac{406,939}{(1-5)^3} + \frac{406,939}{(1-5)^4}} = 0.70 \quad (4.5)$$

แม้ว่าผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ภายใต้กรณีสมมุติ Worst Case Scenario จะสะท้อนให้เห็นว่าโครงการมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C Ratio) เท่ากับ 0.70 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานทางเศรษฐศาสตร์ที่มองว่าความคุ้มค่าจะต้องได้ B/C Ratio มากกว่า 1 อย่างไรก็ตาม ข้อสรุปข้างต้น อาจไม่นำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า การนำ UAV มาใช้ในสนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDS เป็นแนวทางที่ไม่เหมาะสม หากพิจารณาในบริบทของการดำเนินโครงการในระยะเริ่มต้น หรือช่วงการวิจัยและพัฒนา (Research and Development Stage)

โครงการในลักษณะการบุกเบิกเทคโนโลยีใหม่โดยเฉพาะโครงการในภาครัฐและโครงสร้างพื้นฐาน มักจะมีการลงทุนสูงในช่วงต้น ซึ่งรวมถึงต้นทุนคงที่ด้านอุปกรณ์เทคโนโลยี การดำเนินการ และต้นทุนทางกฎหมายหรือข้อจำกัดเชิงนโยบาย เช่น ความไม่ชัดเจนของกรอบกฎหมายในการอนุญาตให้ UAV ปฏิบัติการบิน รวมถึงการรับรองผลบินทดสอบด้วย

การประเมินความคุ้มค่าในกรณี Worst Case Scenario นี้ จึงอาจตีความได้ภายใต้กรอบแนวคิดของ J-Curve Effect กล่าวคือในระยะแรกของการดำเนินโครงการ อาจมีผลตอบแทนสุทธิต่ำกว่าต้นทุน เนื่องจากในทางปฏิบัติแล้ว ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนผ่าน (Transition Period) ได้แก่ ความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานทางเทคนิค, การลงทุนด้านบุคลากร, การฝึกอบรม, การสร้างการยอมรับในองค์กร, และการพัฒนากระบวนการกฎหมายที่รองรับอย่างชัดเจน ซึ่งอาจทำให้จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีเดิมนั่นคือการใช้อากาศยานขนาดเล็กควบคู่ไปกับการใช้งาน UAV ในรูปแบบ Hybrid ในช่วงแรก โดยอาจใช้ระยะเวลา 3 – 5 ปี

เมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยหน่วยให้บริการบินทดสอบต้องแสดงให้เห็นหน่วยงานกำกับดูแลได้มั่นใจในวิธีการปฏิบัติงาน รวมถึงขั้นตอนการปรับปรุงกฎหมายหรือวิธีปฏิบัติที่เกี่ยวข้องด้วย อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาดังกล่าวนับเป็นช่วงที่มีความสำคัญ (Window of Opportunity) หากสามารถวางแผนจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะสามารถลดผลกระทบในระยะเริ่มแรกได้ และเร่งให้เกิดการยอมรับและใช้ประโยชน์จาก UAV ได้อย่างเต็มศักยภาพในเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้ เมื่อโครงการผ่านช่วง Transition Period ในแง่ของการปรับตัว การเรียนรู้เชิงระบบ และการยกระดับความสามารถของบุคลากรรวมถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องแล้ว โครงการจะมีแนวโน้มสร้างผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่ดีและสูงขึ้นได้ในระยะถัดไป

ตัวอย่างที่ปรากฏในงานศึกษานี้ ภายใต้ Base Case Scenario พบว่า อัตราส่วน B/C Ratio มีค่าเท่ากับ 4.80 ซึ่งถือเป็นระดับที่คุ้มค่าอย่างมีนัยสำคัญและสะท้อนถึงศักยภาพของโครงการในระยะกลางถึงระยะยาว หากได้รับการสนับสนุนอย่างเหมาะสม

4.2 ผลการศึกษาด้านกฎหมาย

4.2.1 สรุปผลการศึกษาวิธีการกำกับดูแลการบินทดสอบและการรับรองผลการบินทดสอบของประเทศต่าง ๆ มาตรฐานและกฎหมายเกี่ยวกับการบินทดสอบ NAVAIDs และ UAV

จากการศึกษามาตรฐาน และกฎระเบียบ ที่ใช้สำหรับการอนุญาตการบิน UAV ของประเทศต่าง ๆ ในบทที่ 2 พบว่าประเทศต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการกำกับดูแลด้านการบินสูง แม้ว่าจะมีกรอบพื้นฐานของกฎหมาย รวมถึงความยืดหยุ่นในการกำกับดูแลที่แตกต่างกัน แต่ทุกประเทศมีการพัฒนาปรับปรุงกฎระเบียบให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีใหม่ดังเช่นการใช้งาน UAV สำหรับการใช้งานในกิจกรรมรูปแบบต่าง ๆ โดยยังคงระดับความปลอดภัยให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (Acceptable Level of Safety) ซึ่งสามารถสรุปผลออกมาเป็นประเด็นสำคัญได้ดังนี้

4.2.1.1 การอนุญาตการใช้งาน UAV (Operation Approval)

ทุกประเทศมีการออกข้อกำหนดเรื่องการบิน UAV มาใช้งานในเขตพื้นที่สนามบิน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการปฏิบัติการบินโดยทั่วไป จึงจำเป็นต้องมีการขออนุญาตในการดำเนินกิจกรรมเฉพาะเรื่อง (Case by case) อย่างไรก็ตาม มีเพียงประเทศในภูมิภาคยุโรปที่วางกรอบการดำเนินงานให้ผู้ที่ต้องการทำการบิน UAV ต้องจัดทำประเมินความเสี่ยง (SORA) อย่างเป็นขั้นตอน รวมถึงต้องมีมาตรการบรรเทาความเสี่ยง (Mitigation Measure) ประกอบการพิจารณาอนุญาตของหน่วยงานกำกับดูแลของแต่ละประเทศ (National Aviation Authority (NAA)) ด้วย ซึ่งในภูมิภาคยุโรปได้มีการนำ UAV มาใช้ในการบินทดสอบ NAVAIDs จริงแล้วในบาง

ประเทศ อาทิ อิตาลี ที่ดำเนินการโดยบริษัท ENAV นอกจากนี้ ประเทศอื่น ๆ เช่น ไทย (โดย กพท.), สิงคโปร์ (โดย CAAS), เกาหลี (โดย KOCA), และสหรัฐอเมริกา (โดย FAA) เป็นต้น จะต้องมีการส่งคำขอไปยังหน่วยงานกำกับดูแลเพื่อพิจารณาตรวจสอบแผนการบินอย่างละเอียดก่อนการอนุมัติเป็นรายกรณี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสี่ยงต่อการจราจรทางอากาศ รวมถึงการปฏิบัติการบินในภาพรวม

4.2.1.2 คุณสมบัติของผู้ปฏิบัติงาน (Personnel Licensing)

ประเทศส่วนใหญ่ จัดให้มีระบบใบอนุญาตหรือการรับรองผู้ควบคุม UAV เช่น ระบบ Remote Pilot ของ FAA, RePL ของ CASA, และ EASA Certificate เป็นต้น โดยผู้ที่ จะทำการบินทดสอบ NAVAIDs จะต้องถือใบอนุญาตของแต่ละประเทศ และต้องเป็นผู้ได้รับการฝึกอบรมอย่างเหมาะสม มีความรู้ความสามารถ และประสบการณ์ในการปฏิบัติการบิน UAV นอกจากนี้ ยังต้องมีบุคลากรหรือทีมงานที่สนับสนุนในการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs ด้วย เช่น วิศวกรเครื่องช่วยการเดินอากาศ, และผู้สังเกตการณ์สำหรับตรวจสอบสถานะแวดล้อมการบิน UAV เป็นต้น

4.2.1.3 มาตรฐานของอุปกรณ์ และวิธีปฏิบัติ (Equipment Standards)

การทดสอบสัญญาณ NAVAIDs จะได้รับการยอมรับก็ต่อเมื่อสามารถ พิสูจน์ได้ว่าผลการทดสอบที่ได้จากการบินทดสอบด้วย UAV มีความถูกต้องแม่นยำตามมาตรฐานที่ กำหนด และตามผลที่ได้จากวิธีการบินทดสอบด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม นั่นคือการใช้อากาศยานขนาดเล็กในการบินทดสอบ ดังนั้น ทุกประเทศจึงกำหนดให้อุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณ NAVAIDs แต่ละประเภท จำเป็นต้องได้รับการรับรอง เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณที่ติดตั้งใช้งาน บนอากาศยาน เพียงแต่เป็นการนำอุปกรณ์วัดสัญญาณดังกล่าวมาติดตั้งบน UAV แทน อีกทั้งยังต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) อย่างสม่ำเสมอตามรอบเวลาที่กำหนด

4.2.1.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Flight Inspection Procedures)

UAV จำเป็นต้องยึดขั้นตอนการปฏิบัติการบินเช่นเดียวกันกับการบิน ทดสอบ NAVAIDs ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ อาจทำให้ ไม่สามารถทำการบินได้ในวิสัย หรือระยะที่ไกลได้มากดังเช่นอากาศยานขนาดเล็ก จึงเป็นข้อสรุป ตามตารางที่ 4.3 ว่า UAV สามารถนำมาสนับสนุนการบินทดสอบ NAVAIDs ได้เป็นส่วนใหญ่ภายใน วิสัยที่ทำได้เท่านั้น

4.2.1.5 การทำวิธีการบินทดสอบแบบคู่ขนาน (Shadow Operation)

ในระยะเริ่มแรกของการพัฒนาการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วย UAV ของประเทศต่าง ๆ มักให้ผู้ทำการบินทดสอบหรือหน่วยงานบินทดสอบ จะต้องจัดทำผลการศึกษา เปรียบเทียบระหว่างการบินทดสอบสัญญาณด้วย UAV และการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็ก

ว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ และข้อจำกัดในการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาอนุญาตให้สามารถนำ UAV มาสนับสนุนการบินทดสอบ NAVAIDs จริงได้ในอนาคต

4.2.1.6 การรับรองผลการบินทดสอบ NAVAIDs (Certified Flight Inspection Report)

ประเทศโดยส่วนใหญ่ยังคงรับรองผลการบินทดสอบ NAVAIDs ที่ดำเนินการด้วยอากาศยานขนาดเล็กที่มีการติดตั้งระบบ FIS ที่ได้รับการรับรอง เพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยเป็นการตรวจสอบมาตรฐานของค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญให้เป็นไปตามที่กำหนดในเอกสาร ICAO Annex 10 อย่างไรก็ตาม บางประเทศดังเช่นในภูมิภาคยุโรป ได้มีการยอมรับให้สามารถนำ UAV มาใช้งานสนับสนุนการบินทดสอบ NAVAIDs ควบคู่กับการใช้งานอากาศยานขนาดเล็กได้ ซึ่งท้ายที่สุดแล้ว การตรวจสอบและรับรองผลการบินทดสอบยังคงเหมือนเดิม นั่นคือการตรวจสอบผลการบินทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดในเอกสาร ICAO Annex 10

4.2.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำกับดูแลของแต่ละประเทศ

4.2.2.1 ประเทศไทย กำกับดูแลโดย กพท.

กฎหมายมีความล้าหลังเนื่องจากการพิจารณาอนุญาตให้ทำการปฏิบัติการบินด้วย UAV ยังต้องอาศัยดุลยพินิจ และยังไม่มีควมคืบหน้าในการพัฒนากฎหมายด้าน UAV มากนักเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ความล่าช้านี้ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการเดินอากาศน้อย เนื่องจากกฎหมายกำหนดไม่ให้มีการปฏิบัติการบิน UAV ในพื้นที่ห้ามทำการบิน อาทิ พื้นที่สนามบิน ซึ่งในขณะเดียวกันประเทศไทยจะขาดโอกาสในการพัฒนานวัตกรรมใหม่และยังไม่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพในการดำเนินงานได้เมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ

4.2.2.2 ประเทศสหรัฐอเมริกา กำกับดูแลโดย FAA

มีกฎหมายที่รองรับการใช้งาน UAV ที่กำหนดใน Code of Federal Regulations (CFR) Title 14 Part 107 Small Unmanned Aircraft Systems เพื่อทำให้มั่นใจว่าผู้ปฏิบัติการบิน UAV จะดำเนินการด้วยความปลอดภัย เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติการบิน UAV เพื่อบินทดสอบ NAVAIDs ยังคงมีความซับซ้อนอยู่อันเป็นผลมาจากขั้นตอนการดำเนินงานของ FAA ที่มีการพิจารณาอนุญาตหลายขั้นตอน จึงทำให้มีความคล่องตัวในการใช้งาน UAV สำหรับการบินทดสอบน้อย

4.2.2.3 สหภาพยุโรป กำกับดูแลโดย EASA

EASA มีการพัฒนากฎระเบียบที่ทันสมัยและยืดหยุ่นตามความเสี่ยงที่เกิดขึ้น (Performance-Based Regulation) โดยมีการแบ่งกิจกรรมการบินตามความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

ซึ่งส่งผลให้ประเทศภายในสหภาพยุโรป เริ่มมีการใช้งาน UAV สำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs ได้จริงในทางปฏิบัติแล้ว โดยยังคงความปลอดภัยเอาไว้ เนื่องจาก EASA และ NAA มีการประเมินความเสี่ยงที่เหมาะสมตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งนับได้ว่าเป็นการพัฒนากฎระเบียบได้สอดคล้องกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว

4.2.2.4 ประเทศออสเตรเลีย กำกับดูแลโดย CASA

แม้ว่าจะไม่มีกฎหมายที่เฉพาะเจาะจงในกรณีการใช้ UAV เพื่อทำการบินทดสอบ NAVAIDs อย่างไรก็ตาม ประเทศออสเตรเลียมีพื้นฐานของระบบการอนุญาตการใช้งาน UAV ที่ดีอยู่แล้ว จึงทำให้มีความพร้อมในแง่ของโครงสร้างการกำกับดูแล

4.2.2.5 ประเทศเกาหลี กำกับดูแลโดย KOCA

KOCA มีการสนับสนุนการใช้งาน UAV ที่ชัดเจน ทำให้เกิดการทดลองหรือศึกษาการใช้งาน UAV สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ อย่างหลากหลาย อีกทั้งยังมีเทคโนโลยี UAV ที่ค่อนข้างก้าวหน้า โดย KOCA มีการจำกัดพื้นที่ที่ส่งเสริมให้มีการทดสอบการใช้งาน UAV ในกิจกรรมต่าง ๆ และมีผลงานนำเสนอในเวทีระดับสากลอยู่ด้วย ซึ่งนับเป็นประเทศที่มีความพร้อมในการกำกับดูแล UAV สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการนำ UAV มาใช้ในการปฏิบัติงานจริงในปัจจุบัน มีเพียงการศึกษาเท่านั้น

4.2.3 Gap Analysis ของกฎหมายไทย และกฎหมายสากล

4.2.3.1 กรอบกฎหมายของไทยที่ไม่ทันสมัย

กรอบกฎหมายของไทยยังคงอยู่ในรูปแบบดั้งเดิม ที่เป็นการให้ผู้ให้บริการต่าง ๆ สามารถทำได้ตามที่กฎหมายกำหนดเท่านั้น (Prescriptive-Based Regulation) ซึ่งแตกต่างจากประเทศอื่น ๆ ที่ยังสามารถดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ได้หากมีการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัย (Safety Risk Assessment) ที่เพียงพอ รวมถึงการจัดให้มีมาตรการบรรเทาความเสี่ยงอย่างเหมาะสม (Risk Mitigation Measure) หรือเป็นการจัดทำกฎหมายที่ยืดหยุ่นตามประสิทธิภาพของผู้ให้บริการประเภทต่าง ๆ (Performance-Based Regulation) ที่เป็นแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนากฎหมายให้เท่าทันกับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ดังเช่น EASA ที่มีการพัฒนากรอบกฎหมายในรูปแบบ Performance-Based Regulation จึงทำให้ผู้ที่ต้องการดำเนินกิจกรรมประเภทต่าง ๆ ด้วย UAV ต้องมีการประเมินตนเองตามความเสี่ยงของกิจกรรม (Risk-Based Approach) และจัดทำวิธีปฏิบัติรวมถึงแนวทางลดความเสี่ยงที่เหมาะสม เพื่อประกอบการพิจารณาอนุญาตของหน่วยงานกำกับดูแล

4.2.3.2 ระบบการอนุญาตผู้ปฏิบัติการบิน

ประเทศไทย ยังไม่มีระบบ Remote Pilot License หรือการรับรองผู้ปฏิบัติการบิน UAV แบบมืออาชีพ โดยมีเพียงการลงทะเบียน UAV และการปฏิบัติตามข้อบังคับทั่วไป ซึ่งไม่เพียงพอต่อภารกิจที่มีความซับซ้อนดังเช่นการบินทดสอบ NAVAIDs ที่ต้องการทักษะและประสบการณ์ที่เหมาะสม

4.2.3.3 ขั้นตอนการอนุญาต

การขออนุญาตบิน UAV ในประเทศไทย ยังคงมีความซับซ้อนอยู่มาก ซึ่งต้องมีการติดต่อ กพท. ในการขออนุญาตบินเป็นรายกรณี โดยหาก UAV ที่ใช้งานมีลักษณะที่มีน้ำหนักหรือขนาดใหญ่ อาจต้องมีการขออนุมัติโดยรัฐมนตรีด้วย อีกทั้งยังไม่มีข้อกำหนดกรอบเวลาในการพิจารณา และแนวปฏิบัติที่ชัดเจนที่จะสามารถรองรับกิจกรรมรูปแบบพิเศษดังเช่นการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วย UAV ซึ่งไม่ใช่กิจกรรมการใช้ UAV โดยทั่วไป ซึ่งอาจส่งผลถึงแรงจูงใจในการพัฒนาเทคโนโลยีของภาคเอกชนในการลงทุนที่เกี่ยวข้องกับ UAV

4.2.3.4 มาตรฐานการทดสอบและการรับรองผลการบินทดสอบ

ประเทศไทยยังไม่มีกฎหมายที่ชัดเจนในเรื่องการรับรองผลการบินทดสอบเป็นการเฉพาะ โดยมีเพียงการรับรองตัวบุคคลที่ปฏิบัติการบินทดสอบ รวมถึงผู้ทำการบินทดสอบในอากาศยานขนาดเล็กเท่านั้น

4.2.3.5 ความร่วมมือระหว่างหน่วยงานกำกับดูแลและผู้ให้บริการ

ในประเทศที่มีการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วย UAV ในทางปฏิบัติจริงแล้ว อาทิ ประเทศอิตาลี ประสบความสำเร็จได้ด้วยการบูรณาการ และความร่วมมือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เช่น ผู้ให้บริการการเดินอากาศ, สนามบิน, ผู้ให้บริการจราจรทางอากาศ, หน่วยงานกำกับดูแลด้านความถี่วิทยุ, และหน่วยงานกำกับดูแลด้านการบิน เป็นต้น ซึ่งเป็นผลให้เทคโนโลยีสามารถเกิดขึ้นจริงได้ในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม การพัฒนานโยบายที่ไม่ชัดเจนในประเทศไทย อาจส่งผลให้ผู้ให้บริการไม่กล้าที่จะลงทุนในเทคโนโลยีใหม่มากนัก

บทที่ 5

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้จัดทำขึ้นระหว่างที่มีบริบทของการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วในอุตสาหกรรมการบินพลเรือน ซึ่ง UAV ได้กลายเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงการดำเนินงานหรือการให้บริการในหลายภาคส่วน รวมถึงกิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างต่อความปลอดภัยในการเดินอากาศ นั่นคือ การตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณ NAVAIDS ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของบริการจราจรทางอากาศที่สำคัญที่ทำให้การจราจรทางอากาศเป็นไปอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การประเมินความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการนำ UAV มาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมดังกล่าวในบริบทของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์หลักสองประการที่ต้องดำเนินการควบคู่ไปด้วยกัน กล่าวคือ ประการแรก เพื่อวิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้ UAV มาเพื่อสนับสนุนหรือทดแทนการใช้งานอากาศยานขนาดเล็ก หรือวิธีการแบบดั้งเดิม (Conventional) ที่เป็นแนวปฏิบัติมาตรฐานในปัจจุบัน และประการที่สอง เพื่อสำรวจและวิเคราะห์ข้อจำกัด อุปสรรค และช่องว่างทางกฎหมายและกฎระเบียบ (Regulatory Constraints) ที่เกี่ยวข้องกับการนำ UAV มาใช้ในกิจกรรมดังกล่าว พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงหรือพัฒนากลไกการกำกับดูแลให้มีความเหมาะสมและเอื้อต่อการนำเทคโนโลยีมาใช้ประโยชน์อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษาที่ได้รวบรวม วิเคราะห์ และนำเสนออย่างละเอียดในบทที่ 4 ถือเป็นการศึกษาที่สะท้อนให้เห็นถึงพลวัตระหว่างการพัฒนาศักยภาพรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี ประโยชน์เชิงเศรษฐศาสตร์ และความท้าทายเชิงกฎหมาย โดยในบทที่ 5 นี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวมาอภิปรายเพิ่มเติม โดยพิจารณาความเชื่อมโยงผลการศึกษาในแต่ละมิติ เริ่มต้นจากการอภิปรายผลในมิติเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้เห็นถึงประโยชน์ที่อาจเกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรมต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลัก ได้แก่ ผู้ให้บริการการเดินอากาศ (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บวท. ในฐานะผู้ให้บริการการเดินอากาศหลักของประเทศไทย), ประชาชนผู้ใช้บริการ, และสังคมโดยรวม จากนั้นจึงเป็นการอภิปรายผลการศึกษาในมิติทางกฎหมาย ซึ่งจะพิจารณาถึงความท้าทาย ข้อจำกัด และเสนอแนะแนวทางในการพัฒนากลไกการกำกับดูแลที่จำเป็น เพื่อให้การนำเทคโนโลยี UAV มาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการปฏิบัติการบินทดสอบ สามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่นและปลอดภัย การอภิปรายในทั้งสองมิติจะถูกสังเคราะห์เข้าด้วยกันและจัดทำเป็นข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและการปฏิบัติ

5.1 อภิปรายผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์

5.1.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพด้านต้นทุน (Cost Efficiency)

จากการศึกษาการเปรียบเทียบต้นทุนในการดำเนินงานสำหรับการนำ UAV มาใช้สนับสนุนหรือทดแทนการใช้อากาศยานขนาดเล็ก สำหรับการบินทดสอบความถูกต้องของสัญญาณ NAVAIDS พบว่าหน่วยงานให้บริการการบินทดสอบ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้ต้นทุนได้อย่างมากในหลายมิติ เมื่อมีการตัดสินใจนำ UAV เข้ามาผนวกในการปฏิบัติงานด้วย โดยสามารถอธิบายได้ในประเด็นดังต่อไปนี้

5.1.1.1 ต้นทุนพลังงาน (Energy Costs)

ต้นทุนการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน นับเป็นปัจจัยที่แสดงให้เห็นความแตกต่างของประสิทธิภาพในการปรับปรุงต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างชัดเจนที่สุด โดย UAV ที่ใช้ในการศึกษาส่วนใหญ่จะขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีต้นทุนต่อหน่วยพลังงานต่ำกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงอากาศยาน (Aviation Fuel) อย่างมาก ดังนั้น การลดการพึ่งพาน้ำมันอากาศยานไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานในปัจจุบัน แต่ยังช่วยลดความเสี่ยงจากความผันผวนของราคาระบบพลังงานในอนาคต ซึ่งจะสร้างความมั่นคงทางในการควบคุมต้นทุนในระยะยาวได้ โดยการคำนวณต้นทุนพลังงานต่อชั่วโมงบินที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในบทที่ 4 เป็นตัวชี้วัดเชิงปริมาณที่สนับสนุนข้อสรุปนี้ได้อย่างเห็นได้ชัด

5.1.1.2 ต้นทุนด้านการบำรุงรักษา (Maintenance Costs)

โครงสร้างทางด้านวิศวกรรมของ UAV มักมีความซับซ้อนน้อยกว่าอากาศยานโดยทั่วไป อีกทั้งชิ้นส่วนที่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษา ยังมีจำนวนที่น้อยกว่าอากาศยานโดยทั่วไปอย่างมาก ส่งผลให้วงจรรอบของการบำรุงรักษา (Scheduled Maintenance) ของ UAV มีความถี่ที่น้อยกว่า และใช้เวลาน้อยกว่าอากาศยานขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนในการบำรุงรักษา อาทิ ค่าอะไหล่และค่าแรง อย่างมีนัยสำคัญ โดยผลการศึกษาในบทที่ 4 ได้เปรียบเทียบการบำรุงรักษาอากาศยานตามมาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของต้นทุนการบำรุงรักษาระหว่าง UAV และอากาศยานขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ และแม้ว่า UAV อาจจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาในส่วนที่เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หรือแบตเตอรี่ที่บ่อยกว่า อย่างไรก็ตาม คาดว่าต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost) ย่อมต่ำกว่าอากาศยานขนาดเล็กเป็นอย่างมาก

5.1.1.3 ต้นทุนด้านบุคลากร (Personnel Costs)

แม้ว่าในการศึกษาฉบับนี้ จะไม่ได้ลงรายละเอียดเป็นตัวเงินที่แน่ชัดสำหรับค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับบุคลากร แต่สามารถอนุมานได้ว่า การปฏิบัติการบินทดสอบสัญญาณ

NAVAIDs ด้วยอากาศยานขนาดเล็ก จะมีต้นทุนด้านบุคลากรที่ต่ำกว่าการใช้ UAV ในการบินทดสอบ สัญญาณ NAVAIDs อย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน โดยที่การปฏิบัติการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็ก จำเป็นจะต้องมีบุคลากรที่มีความสามารถเฉพาะทางที่สูง ซึ่งประกอบด้วย ผู้ควบคุมอากาศยาน (Pilot), นักบินผู้ช่วย (Co-Pilot), และเจ้าหน้าที่ตรวจสอบสัญญาณ (Panel Operator) เพื่อวิเคราะห์ สัญญาณ NAVAIDs แบบ Realtime เมื่อเปรียบเทียบกับปฏิบัติการบินทดสอบด้วย UAV ที่จะต้องมีผู้ควบคุมอากาศยานระยะไกล (Remote Pilot) และผู้สังเกตการณ์ (Observer) เพื่อดูแล สภาพแวดล้อมของการบิน รวมถึงอาจมีบุคลากรภาคพื้นทางเทคนิคอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องด้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายที่จะได้มาซึ่งบุคลากรที่ปฏิบัติงานกับ UAV นั้น ย่อมต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่จะได้มาซึ่งบุคลากร ที่จะปฏิบัติการบินกับอากาศยาน ซึ่งอาจประกอบด้วยค่าฝึกอบรมการปฏิบัติการบิน, ค่าใช้จ่ายเพื่อ คงความสามารถของบุคลากร, ค่าใบอนุญาตตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง, และค่าตอบแทนแก่บุคลากรแต่ละประเภทด้วย ดังนั้น ปัจจัยค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร เป็นปัจจัยที่ผู้ให้บริการในประเทศไทย ควรนำไปประเมินประกอบการลงทุนหรือเปลี่ยนแปลงการดำเนินงานด้วยเช่นกัน

5.1.1.4 ต้นทุนค่าเสื่อมราคาและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (Depreciation and Other Costs)

แม้ว่าในการศึกษาฉบับนี้ จะไม่ได้กล่าวถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก รวมถึงค่าใช้จ่ายคงที่ในส่วนอื่น เนื่องจากกรอบเวลาของการศึกษานั้น ใช้ระยะเวลาเพียง 5 ปี ซึ่งไม่ครอบคลุมอายุการใช้งาน (Life Cycle) ของอากาศยานขนาดเล็ก และ UAV ซึ่งไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม สำหรับค่าใช้จ่ายเริ่มแรกของการจัดหาอากาศยานขนาดเล็กที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม สำหรับการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs นั้น ถือเป็นต้นทุนจม (Sunk Cost) ที่สูงมาก รวมถึง ค่าใช้จ่ายอื่นที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น ค่าประกันภัย, ค่าธรรมเนียมการจอดอากาศยาน, และค่าใช้จ่ายตามกฎหมายต่าง ๆ เป็นต้น และแม้ว่า UAV สมรรถนะสูงที่มีการติดตั้งระบบอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs จะมีราคาสูง แต่โดยทั่วไปแล้ว ต้นทุนของ UAV ตลอดอายุการใช้งาน ยังคงต่ำกว่าอากาศยานขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งหากมีการใช้งานในปริมาณที่มากพอ จะยิ่งช่วยให้ต้นทุนต่อหน่วยลดลงตามไปอีกด้วย

จากการอภิปรายผลข้างต้นนั้น ไม่ได้เป็นเพียงแต่การประหยัดต้นทุนทาง บัญชีเพียงเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในหลายระดับเช่นกัน อาทิ

1. ผู้ให้บริการการเดินอากาศ (Air Navigation Service Provider: ANSP)

การปรับปรุงประสิทธิภาพการบริหารต้นทุนสำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรทางการเงิน รวมถึงงบประมาณที่สามารถประหยัดได้ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาการดำเนินงานในส่วนอื่น ๆ ทดแทนได้อีก อาทิ

- การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการเดินอากาศที่ทันสมัยรูปแบบอื่น ๆ เช่น ระบบการสื่อสาร ระบบช่วยการเดินอากาศ และระบบติดตามอากาศยาน หรือระบบบริหารการจัดการจราจรทางอากาศรูปแบบใหม่ เช่น Remote Tower เป็นต้น เพื่อเป็นการยกระดับขีดความสามารถของการให้บริการการเดินอากาศภายใต้่านฟ้าไทย หรือเขตแกลงข่าวการบินกรุงเทพ (Bangkok FIR)

- การพัฒนาบุคลากรเพื่อรองรับกับเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว

- การเพิ่มความสามารถในการแข่งขันและการเสริมสร้างภาพลักษณ์ของความเป็นผู้นำผู้ให้บริการการเดินอากาศของประเทศและในเวทีระดับสากล

2. ระดับประเทศ (National Level)

การที่หน่วยงานให้บริการการเดินอากาศของไทย ซึ่งเป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ย่อมหมายถึงการใช้ทรัพยากรของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลประโยชน์ต่อประเทศชาติ อาทิ

- การจัดสรรงบประมาณของรัฐ ที่สามารถนำไปพัฒนาด้านอื่น ๆ ของประเทศได้

- การมีโครงสร้างพื้นฐานบริการการเดินอากาศที่ทันสมัย ปลอดภัย และมีการบริหารต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นปัจจัยสำคัญในการดึงดูดสายการบิน ส่งเสริมการท่องเที่ยวและการขนส่งทางอากาศ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาและขับเคลื่อนเศรษฐกิจของ ไทย ที่พึ่งพาการท่องเที่ยวเป็นหลัก ดังนั้น การปรับปรุงประสิทธิภาพต้นทุนการบริหารจัดการในการรักษามาตรฐานความปลอดภัยของการให้บริการเครื่องช่วยการเดินอากาศของประเทศ จึงเป็น การลงทุนทางอ้อมเพื่อสนับสนุนการเติบโตทางเศรษฐกิจ

- การนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพมาใช้ในการให้บริการการเดินอากาศ นับเป็นการสะท้อนถึงวิสัยทัศน์และความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของ ประเทศ ซึ่งส่งผลต่อภาพลักษณ์และความน่าเชื่อถือในสายตาของต่างประเทศได้

3. ผู้ใช้บริการ หรือประชาชนโดยทั่วไป (Public and Service Users)

แม้ว่าการนำ UAV มาใช้งานทดแทนหรือสนับสนุนการบินทดสอบ สัญญาณ NAVAIDS จะไม่ได้ส่งผลทางตรงอย่างเห็นได้ชัดต่อผู้ให้บริการโดยทั่วไป เช่น ค่าตัวโดยสาร เครื่องบินที่ปรับลดลง เป็นต้น แต่ประชาชน ยังคงได้รับประโยชน์ในระยะยาวที่มีความสำคัญเช่นกัน อาทิ

- ความปลอดภัยในการเดินทางโดยเครื่องบิน ที่อาศัยความถูกต้องและแม่นยำในประสิทธิภาพของ NAVAIDs ซึ่งลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติเหตุนในการเดินอากาศ
- การลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นประโยชน์สาธารณะที่ประชาชนได้รับร่วมกัน

5.1.2 ประสิทธิภาพการดำเนินงานและความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงาน (Enhanced Operational Efficiency and Flexibility)

5.1.2.1 ระยะเวลาในการเตรียมการที่ลดลง (Reduced Preparation Time)

กระบวนการเตรียมการสำหรับอากาศยานขนาดเล็กสำหรับการบินทดสอบมักมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบสภาพอากาศยาน การวางแผนเส้นทางการบินและวิธีการตรวจสอบ การเติมเชื้อเพลิง และการประสานงานกับหน่วยควบคุมการจราจรทางอากาศ อย่างไรก็ตาม สำหรับ UAV สามารถเตรียมพร้อมสำหรับการปฏิบัติการบินได้ในระยะเวลาที่น้อยลงมาก รวมถึงสามารถขนย้ายไปยังพื้นที่ปฏิบัติงานอื่น เช่น บริเวณหัวทางวิ่งอื่นสำหรับระบบ PAPI, และพื้นที่ใกล้เคียงสถานี DVOR และ ILS เป็นต้น โดยไม่ต้องพึ่งพาการบินขึ้นลงเสมอไป จึงส่งผลให้มีความคล่องตัวในกรณีที่ต้องการตรวจสอบ NAVAIDs ทั้งในสถานการณ์ทั่วไปหรือการตรวจสอบแบบเร่งด่วนนอกเหนือจากการตรวจสอบตามวงจรปกติ (Periodic Inspection) เช่น หลังเหตุการณ์ภัยธรรมชาติ, เมื่อมีรายงานความผิดปกติของสัญญาณ, และสำหรับการตรวจสอบภายหลังการซ่อมบำรุง เป็นต้น

5.1.2.2 การลดผลกระทบต่อการจราจรทางอากาศ (Minimize Disruption to Air Traffic)

การบินทดสอบ NAVAIDs ด้วยอากาศยานเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบินทดสอบระบบ ILS ซึ่งจำเป็นต้องมีการบินในแนวร่อน (Glide Path) และแนวตรงเข้าสู่ทางวิ่ง (Localizer Course) จำนวนหลายครั้งส่งผลให้ต้องมีการปิดหรือจำกัดการใช้งานทางวิ่งและห้วงอากาศในบริเวณสนามบินในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อตารางการบินของสายการบิน ซึ่งอาจทำให้เกิดความล่าช้า (Delays) การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการบินวนรอ (Holding) และเพิ่มภาระงานให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมการจราจรทางอากาศได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสนามบินที่มีปริมาณการจราจรทางอากาศสูง เช่น สนามบินสุวรรณภูมิ, สนามบินดอนเมือง, สนามบินเชียงใหม่, และสนามบินภูเก็ต เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สำหรับ UAV ซึ่งโดยทั่วไปจะปฏิบัติการบินในระดับความสูงที่ต่ำกว่า มีขนาดเล็กกว่า และอาจใช้รูปแบบการบินที่แตกต่างกัน สามารถลดผลกระทบต่อการจราจรทางอากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าการใช้ UAV จำเป็นจะต้องมีการปิดหรือจำกัด

การใช้งานห้วงอากาศเช่นกัน แต่ UAV จะใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่า ช่วยให้การบริหารจัดการจราจรทางอากาศโดยรวม (Air Traffic Flow Management: ATFM) มีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดต้นทุนทางอ้อมที่เกิดจากความล่าช้าของการทำการบินโดยสายการบินต่าง ๆ

5.1.2.3 ความสามารถในการเข้าถึงและการปฏิบัติงานในพื้นที่จำกัด (Accessibility to Constrained Areas)

NAVAIDs บางประเภทอาจติดตั้งอยู่ในภูมิประเทศที่มีความซับซ้อนหรือมีสิ่งกีดขวางในบริเวณใกล้เคียง ที่จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด ซึ่งทำให้การบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็ก มีความเสี่ยงหรือไม่สามารถปฏิบัติการบินได้สะดวกดังเช่น UAV ที่มีขนาดเล็กกว่า และมีความคล่องตัวสูงกว่า และสามารถเข้าถึงพื้นที่ที่จำกัดได้ง่ายกว่า ซึ่งจะสามารถบินในระดับความสูงต่ำ หรือสามารถบินใกล้กับสายอากาศ (Antenna) ได้มากขึ้น เพื่อเก็บข้อมูลการแพร่กระจายสัญญาณในบริเวณใกล้เคียง หรือทำการตรวจสอบด้วยภาพ (Visual Inspection) ของอุปกรณ์ภาคพื้นดินได้โดยตรง ซึ่งอาจช่วยเสริมประสิทธิภาพการตรวจสอบได้ในภาพรวม

5.1.2.4 การทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ และการลดภาระงาน (Automation System and Workload Reduction)

ด้วยเทคโนโลยี UAV ในปัจจุบัน มีการพัฒนาการทำงานในรูปแบบอัตโนมัติมากขึ้น ดังเช่นระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ (Autopilot) ที่ทันสมัย ซึ่งช่วยให้ UAV สามารถบินตามเส้นทางที่กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะช่วยลดภาระของผู้ควบคุม UAV และเพิ่มความสม่ำเสมอ (Consistency) หรือรูปแบบ (Pattern) ของการเก็บข้อมูลได้ อีกทั้งในอนาคตระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence (AI)) อาจเข้ามามีบทบาทในการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการประมวลผลและสนับสนุนการตัดสินใจในการตรวจสอบระบบอุปกรณ์ได้รวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น

5.1.3 การส่งเสริมความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม (Contribution to Environmental Sustainability)

ปัจจุบัน ประชาคมโลกให้ความสำคัญกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างมาก ซึ่งอุตสาหกรรมการบินเอง มีส่วนอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การนำ UAV มาใช้ทดแทนหรือสนับสนุนการตรวจสอบ NAVAIDs นับเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญและเป็นการส่งเสริมเป้าหมายด้านความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมได้ อาทิ

5.1.3.1 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Reduction of Greenhouse Gas Emissions)

UAV ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจะไม่มี การปล่อยก๊าซ CO₂ และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ในขณะที่ปฏิบัติการบิน เมื่อเปรียบเทียบกับอากาศยานขนาดเล็ก หรืออากาศยานโดยทั่วไป ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในและมีการเผาไหม้เชื้อเพลิง และมีการปล่อย CO₂ ออกมาเป็นจำนวนมาก จากผลการศึกษาในบทที่ 4 ปริมาณ CO₂ ที่สามารถลดได้จากการใช้งาน UAV ทดแทน หรือสนับสนุนอากาศยานขนาดเล็ก คิดออกมาได้เป็นปริมาณที่มีนัยสำคัญเมื่อพิจารณาจากจำนวนเที่ยวบินทดสอบที่ต้องดำเนินการเป็นประจำทุกปีตามรอบการบินทดสอบเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งการลดการปล่อย CO₂ นี้ มีความสอดคล้องโดยตรงกับพันธกรณีของประเทศไทยภายใต้ข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) และนโยบายระดับชาติที่มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อย CO₂ สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับแนวทางของ ICAO ภายใต้แผน CORSIA ซึ่งแม้จะมุ่งเน้นไปที่การปฏิบัติการบินระหว่างประเทศเป็นหลัก แต่ก็สะท้อนถึงทิศทางของอุตสาหกรรมการบินในภาพรวมที่พยายามลด Carbon Footprint ลง ดังนั้น การที่ผู้ให้บริการการบินสามารถแสดงให้เห็นถึงความพยายามในการลดการปล่อย CO₂ ในการดำเนินงานได้ จะช่วยเสริมสร้างภาพลักษณ์องค์กร รวมถึงภาพลักษณ์ของประเทศต่ออุตสาหกรรมการบินในเวทีระดับสากล ที่แสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

5.1.3.2 การลดมลพิษทางอากาศและทางเสียง (Reduction of Air and Noise Pollution)

นอกเหนือจาก CO₂ แล้ว เครื่องยนต์ของอากาศยานโดยทั่วไป ยังปล่อยมลพิษทางอากาศอื่น ๆ อีก ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพของประชาชนในบริเวณใกล้เคียงสนามบิน ดังนั้น การใช้ UAV ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า จะมีส่วนช่วยในการกำจัดหรือบรรเทาปัญหามลพิษเหล่านี้ได้โดยตรง นอกจากนี้ UAV โดยทั่วไปมีระดับเสียงรบกวน (Noise Level) ต่ำกว่าอากาศยานอย่างมาก ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบทางเสียงต่อชุมชนที่อาศัยอยู่รอบสนามบิน ทำให้การปฏิบัติการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDS สามารถทำได้โดยมีการปล่อยเสียงรบกวนลดลง

5.1.4 ข้อจำกัดและความท้าทายด้านเศรษฐศาสตร์

5.1.4.1 ข้อจำกัดทางเทคนิคและขีดความสามารถของ UAV ในปัจจุบัน (Current Technological Limitations and Capability Gaps)

1. ด้านระยะเวลาปฏิบัติการบิน (Flight Time) โดยที่ UAV ส่วนใหญ่ในปัจจุบัน อาจยังมีระยะเวลาที่สามารถทำการบินที่จำกัด ทำให้ไม่สามารถปฏิบัติการกิจที่ต้องใช้เวลานานต่อเนื่องได้เท่ากับการใช้งานอากาศยานขนาดเล็ก
2. ความสามารถในการบรรทุก (Payload Capacity) ระบบอุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDS บางชนิดอาจมีน้ำหนักหรือขนาดที่เกินกว่าขีดความสามารถในการบรรทุกของ UAV โดยทั่วไป
3. ความทนทานต่อสภาพอากาศ (Weather Tolerance) ของ UAV ที่อาจมีความอ่อนไหวต่อสภาพอากาศที่รุนแรงมากกว่าอากาศยานโดยทั่วไป
4. ความน่าเชื่อถือของระบบสื่อสารและระบบควบคุม (Communication and Control Link Reliability) เป็นอีกข้อจำกัดที่ควรคำนึงถึง โดยเฉพาะเสถียรภาพในการปฏิบัติการบินในสภาพแวดล้อมที่อาจมีการรบกวนทางความถี่ (Radio Frequency Interference: RFI) สูง เช่น บริเวณสนามบิน, และบริเวณที่มีการจราจรทางบกที่หนาแน่น เป็นต้น
5. ข้อจำกัดข้างต้น อาจอนุมานได้ว่าในระยะแรกหรือระยะกลาง UAV อาจยังไม่สามารถทดแทนอากาศยานขนาดเล็กได้อย่างสมบูรณ์ในการปฏิบัติการบินทุกภารกิจ อย่างไรก็ตาม UAV จะเข้ามามีบทบาทในการสนับสนุน (Support) หรือส่งเสริม (Complement) มากกว่า โดยจะสามารถนำมาใช้งานในส่วนที่เหมาะสมกับขีดความสามารถของ UAV ได้ เช่น การตรวจสอบ PAPI, Ground Check, และการตรวจสอบความถูกต้องในเบื้องต้น (Preliminary Checks) ก่อนการทำการบินทดสอบด้วยอากาศยานขนาดเล็ก เป็นต้น

5.1.4.2 ต้นทุนในการบูรณาการและการบริหารความเปลี่ยนแปลง (Integration and Change Management Costs)

การนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้งาน ไม่ได้เป็นเพียงแต่การจัดซื้ออุปกรณ์มาใช้งานเท่านั้น แต่ยังเป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงาน วัฒนธรรมองค์กร ทักษะของบุคลากร หรือหน้าที่ความรับผิดชอบของบุคลากร ซึ่งล้วนแต่มีต้นทุนแฝงที่จำเป็นต้องพิจารณา อีกทั้งยังทำให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้นในช่วงแรก อาทิ

1. การปรับปรุงกระบวนการทำงาน ที่จำเป็นต้องมีการทบทวนและปรับปรุงคู่มือการดำเนินงาน หรือขั้นตอนการปฏิบัติงานบินทดสอบ การวางแผน การวิเคราะห์ข้อมูล

และการรายงานผล ให้สอดคล้องกับการนำ UAV มาใช้งาน และสอดคล้องกับกฎหมายและมาตรฐานที่กำหนดไว้

2. การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากร (Training and Skill Development): ต้องมีการลงทุนในการฝึกอบรมผู้ควบคุม UAV ช่างเทคนิค และนักวิเคราะห์ข้อมูล ให้มีความรู้ความชำนาญเพียงพอ

3. การพัฒนาระบบสนับสนุน (Supporting System Development) ที่อาจต้องมีการพัฒนาระบบสารสนเทศ หรือพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อรองรับการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลที่ได้จาก UAV

4. การบริหารการยอมรับการเปลี่ยนแปลง (Managing Resistance to Change) ของบุคลากรที่คุ้นเคยกับวิธีการทำงานแบบดั้งเดิมที่อาจไม่ยอมรับต่อการเปลี่ยนแปลง จึงจำเป็นต้องมีการสื่อสารและบริหารจัดการความเปลี่ยนแปลงอย่างเหมาะสม

5.1.5 บทสรุปการอภิปรายผลการศึกษาในมิติทางด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่า การนำ UAV มาใช้ทดแทนหรือสนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการสร้างความคุ้มค่าและคุณค่าทางเศรษฐกิจในระยะยาว โดยสามารถลดภาระต้นทุนการดำเนินงาน เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน และส่งเสริมความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ยังพบว่าการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่การใช้ UAV มาบินทดสอบอย่างเต็มรูปแบบนั้น มักจะเผชิญกับปัญหาด้านทุนการลงทุนที่สูงขึ้นในช่วงเริ่มแรกที่ต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก ทั้งในการจัดหาอุปกรณ์ UAV ที่เหมาะสม การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคนิค และการจัดการอบรมพัฒนาบุคลากรให้พร้อมรับการเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในช่วงแรกมีค่าสูงในระยะสั้น ก่อนที่จะได้รับผลตอบแทนกลับมามีความชัดเจนในระยะยาว

ทั้งนี้ ประโยชน์จากการลงทุนดังกล่าวนี้ไม่ได้จำกัดแต่เพียงผู้ให้บริการการบินอากาศโดยตรงเท่านั้น แต่ยังสามารถสร้างประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของประเทศและสังคมในวงกว้างได้ด้วย ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจำเป็นต้องมีการวางแผนเชิงกลยุทธ์ที่รอบคอบ รวมถึงการประเมินความคุ้มค่าที่ชัดเจนทั้งในมิติของเทคโนโลยี บุคลากร และต้นทุนที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเปลี่ยนผ่านที่องค์กรอาจเผชิญกับแรงต้านและความท้าทายทางด้านต้นทุนระยะสั้นที่สูงขึ้น ดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้น การวางแผนบริหารจัดการต้นทุนและการสร้างความเข้าใจในช่วงเริ่มต้นนี้ จะมีส่วนสำคัญอย่างมากในการบรรเทาผลกระทบเชิงลบ และนำไปสู่การใช้งาน UAV สำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดในระยะยาว

นอกจากนี้ การลงทุนเพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจนี้ไม่สามารถแยกขาดออกจากบริบททางกฎหมายและข้อกำหนดเชิงเทคนิคที่เกี่ยวข้องได้ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องดำเนินการไปพร้อมกันอย่างสมดุล เพื่อสร้างความมั่นใจว่าการลงทุนและการเปลี่ยนแปลงสู่เทคโนโลยีใหม่จะสามารถบรรลุเป้าหมายทั้งในมิติทางเศรษฐศาสตร์ ความปลอดภัย และการปฏิบัติตามกฎระเบียบ ข้อบังคับรวมถึงมาตรฐานสากลได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งจะเป็นประเด็นในการอภิปรายในส่วนต่อไป

5.2 อภิปรายผลการศึกษาด้านกฎหมาย

ในขณะที่ผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ได้แสดงให้เห็นถึงถึงโอกาสและศักยภาพของการนำ UAV มาใช้ทดแทนหรือสนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs ทั้งนี้ ผลการศึกษาในมิติทางกฎหมายและกฎระเบียบที่นำเสนอในบทที่ 4 ได้แสดงให้เห็นถึงความท้าทาย อุปสรรค ข้อจำกัด และความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนากลไกการกำกับดูแลที่เหมาะสม เพื่อรองรับการนำเทคโนโลยีใหม่นี้มาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยสาธารณะ การอภิปรายในส่วนนี้จะเจาะลึกถึงประเด็นข้อจำกัดทางกฎหมายที่ระบุไว้ในการศึกษา วิเคราะห์ความท้าทายในการปรับปรุงกฎระเบียบ และนำเสนอข้อเสนอแนะที่เป็นรูปธรรม

5.2.1 การวิเคราะห์ความแตกต่างของกลไกการกำกับในปัจจุบัน (Current Regulation Gap Analysis)

กลไกการกำกับดูแลการใช้งาน UAV ในประเทศไทยที่ใช้งานในปัจจุบันคือ พระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ. 2497 และที่แก้ไขเพิ่มเติม รวมถึงประกาศและข้อบังคับต่าง ๆ ที่ออกโดย กพท. ซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลด้านการบินพลเรือนหลัก โดยกฎระเบียบเหล่านี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดการความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน UAV ทั่วไป เช่น การรักษาความปลอดภัย, การคุ้มครองความเป็นส่วนตัว, และการป้องกันการรบกวนการจราจรทางอากาศ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กฎระเบียบที่มีในปัจจุบัน ยังไม่มีความเฉพาะเจาะจงเพียงพอสำหรับการรองรับการใช้งาน UAV ในกิจกรรมที่มีความซับซ้อนในหลากหลายระดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการบินทดสอบ NAVAIDs ซึ่งช่องว่างและความไม่ชัดเจนเหล่านี้ เป็นข้อจำกัดสำคัญที่เป็นอุปสรรคต่อการนำ UAV มาใช้อย่างถูกต้องตามกฎหมาย โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ยังไม่มีข้อกำหนดเฉพาะทาง สำหรับ UAV ในการดำเนินกิจกรรมพิเศษ (Lack of Specific Regulations for Special Mission UAVs) โดยที่ กฎระเบียบในปัจจุบัน มักแบ่งประเภท UAV ตามน้ำหนักหรือลักษณะการใช้งานทั่วไป เช่น เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ, เพื่อการถ่ายภาพ, และเพื่อการเกษตร เป็นต้น แต่ยังไม่มีความชัดเจนหรือข้อกำหนดที่ชัดเจนสำหรับ UAV ที่ใช้ในกิจกรรมที่มีลักษณะเฉพาะ และมีความเสี่ยงสูงต่อความปลอดภัยด้านการบินโดยรวม อาทิ การบินทดสอบ ซึ่งจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานที่เข้มงวดกว่าการใช้งาน UAV โดยทั่วไป ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ความสมควรเดินอากาศของตัวอากาศยาน ไปจนถึงความสามารถของผู้ควบคุมอากาศยานด้วย

2. ความไม่ชัดเจนในการรับรองประเภทและความสมควรเดินอากาศ (Ambiguity in Type Certification and Airworthiness) เนื่องจาก อากาศยานแบบมีคนขับที่ใช้ในการบินเชิงพาณิชย์โดยทั่วไป จำเป็นต้องผ่านกระบวนการรับรองประเภท (Type Certification) และต้องได้รับการดูแลรักษาให้อยู่ในสภาพสมควรเดินอากาศตามมาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตาม สำหรับ UAV ที่จะใช้ในกิจกรรมการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs นั้น ยังไม่มีความชัดเจนในกระบวนการรับรอง ในแง่ของมาตรฐานของระบบอุปกรณ์ที่ติดตั้งบน UAV เช่น เครื่องรับสัญญาณ, ชุดอุปกรณ์ควบคุม, และความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น

3. มาตรฐานคุณสมบัติและการออกใบอนุญาตผู้ควบคุมระยะไกล (Remote Pilot Qualification and Licensing Standards) โดยเฉพาะการควบคุม UAV ในกิจกรรมที่มีความซับซ้อนและมีความเสี่ยงสูง จำเป็นจะต้องมีผู้ควบคุมที่มีความรู้ความเข้าใจในด้านต่าง ๆ เช่น การปฏิบัติการบินด้วย UAV, หลักการทำงานของ NAVAIDs, ขั้นตอนการบินทดสอบตามมาตรฐาน ICAO, และกฎจราจรทางอากาศ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ควบคุมมีขีดความสามารถเพียงพอที่จะปฏิบัติการบินได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ

4. ข้อกำหนดด้านการปฏิบัติการบินและการบริหารจัดการความเสี่ยง (Operational Standards and Safety Risk Management Requirements) สำหรับการบินทดสอบ NAVAIDs ด้วย UAV จำเป็นจะต้องมีขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Standard Operating Procedures (SOPs)) ที่ชัดเจนและครอบคลุมตั้งแต่การวางแผนภารกิจ (Mission Planning) การประเมินและบริหารจัดการความเสี่ยง (Safety Risk Management - SRM) การปฏิบัติการบินในสถานการณ์ฉุกเฉิน (Emergency Procedures), การบำรุงรักษา UAV และอุปกรณ์ (Maintenance Procedures) ไปจนถึงการบันทึกข้อมูลของสัญญาณและการรายงานผลการบินทดสอบ NAVAIDs โดยที่กฎระเบียบปัจจุบันอาจยังไม่มีข้อกำหนดที่ละเอียดเพียงพอสำหรับกิจกรรมนี้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการพัฒนาต่อไป

5. ความท้าทายในการใช้งาน UAV กับระบบบริหารจัดการจราจรทางอากาศในปัจจุบัน (Challenges in Air Traffic Management Integration) โดยที่การปฏิบัติการบินของ UAV โดยเฉพาะในบริเวณสนามบินซึ่งมีการจราจรทางอากาศหนาแน่น จำเป็นต้องมีกลไกในการบูรณาการการจัดการจราจรทางอากาศระหว่าง UAV และอากาศยานเข้าด้วยกัน เพื่อให้การปฏิบัติการบินของอากาศยาน และการดำเนินกิจกรรมด้วย UAV สามารถดำเนินไปได้อย่างปลอดภัย ทั้งนี้ แนวคิดเรื่องระบบบริหารจัดการจราจรสำหรับอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Traffic Management (UTM)) กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนาในระดับสากล ซึ่งหน่วยงานกำกับดูแล ควรต้องติดตามการพัฒนาอย่างใกล้ชิด

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงกฎหมายและกลไกกำกับดูแล (Recommendations for Regulatory Reformation)

เพื่อให้การนำ UAV มาใช้ทดแทนหรือสนับสนุนการตรวจสอบสัญญาณ NAVAIDs สามารถเกิดขึ้นได้จริงอย่างเป็นรูปธรรม เป็นไปด้วยความปลอดภัย และก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงมีข้อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงกฎหมายและกลไกกำกับดูแล ดังนี้

1. การปรับปรุงกฎหมายลำดับรอง ซึ่งกำหนดหลักเกณฑ์ เงื่อนไข และมาตรฐานสำหรับการใช้ UAV ในกิจกรรมที่มีความซับซ้อน และมีผลต่อความปลอดภัยในการปฏิบัติการบิน และการเดินอากาศ เช่น การบินทดสอบ NAVAIDs, การตรวจสอบโครงสร้างพื้นฐานสนามบิน, การค้นหาและช่วยเหลือทางอากาศ, และกิจกรรมอื่น ๆ เป็นต้น โดยเนื้อหาสำคัญอาจประกอบด้วย

- การจำแนกประเภทภารกิจและความเสี่ยง (Mission Categorization and Risk Classification) โดยมีการกำหนดระดับความเสี่ยงของภารกิจที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปสู่การพัฒนากลไกการกำกับดูแลที่เหมาะสมตามระดับความเสี่ยง (Risk-Based Approach)

- มาตรฐานความสมควรเดินอากาศสำหรับ UAV ที่เป็นการกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำของการออกแบบ การผลิต และการบำรุงรักษาสำหรับ UAV และส่วนประกอบสำคัญอื่น ๆ เช่น ระบบควบคุม, ระบบสื่อสาร, และแบตเตอรี่ เป็นต้น สำหรับกิจกรรมที่มีความซับซ้อนแตกต่างกัน โดยพิจารณาตามความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและลักษณะการใช้งานในประเทศ

- ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วง (Payload Requirements) ที่เป็นการกำหนดมาตรฐานความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือ โดยการสอบเทียบ (Calibration) ระบบและอุปกรณ์ที่ติดตั้งบน UAV เพื่อให้ผลการตรวจสอบเป็นที่ยอมรับ

- มาตรฐานคุณสมบัติและการออกใบอนุญาตผู้ควบคุม UAV (Remote Pilot Licensing Standards) ที่เป็นการกำหนดหลักสูตรการฝึกอบรมเฉพาะทางที่ครอบคลุมด้านต่าง ๆ เช่น ทักษะการบิน UAV, ความรู้ด้าน NAVAIDs, ขั้นตอนการบินทดสอบ, กฎหมายและกฎ

จราจรทางอากาศที่เกี่ยวข้อง, และการบริหารจัดการความเสี่ยง เป็นต้น นอกจากนี้ อาจรวมถึงการกำหนดเกณฑ์การสอบทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และกระบวนการออกใบอนุญาตประเภทใหม่สำหรับผู้ควบคุม UAV ในกิจกรรมที่มีความซับซ้อน

- ข้อกำหนดสำหรับหน่วยงานให้บริการบินทดสอบ (Operator Certification Requirements) ที่เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์สำหรับหน่วยงานหรือองค์กรที่จะปฏิบัติกิจกรรมลักษณะนี้ ควรต้องได้รับการรับรองจาก กพท. โดยต้องแสดงให้เห็นว่ามีระบบการบริหารจัดการความปลอดภัยที่เหมาะสม

- ข้อกำหนดด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ (Cybersecurity Requirements): กำหนดมาตรการป้องกันการเข้าถึงหรือควบคุมระบบ UAV โดยไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการปฏิบัติการ

2. การจัดให้มีกระบวนการรับรองและกลไกการกำกับดูแลที่มีประสิทธิภาพ (Establishment of Efficient Certification and Safety Oversight Processes) โดยที่หน่วยงานกำกับดูแลอย่าง กพท. ควรพัฒนาศักยภาพและจัดสรรทรัพยากรให้เพียงพอสำหรับการดำเนินกิจกรรมการตามกระบวนการรับรอง (Certification) และการกำกับดูแล (Oversight) ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบการปฏิบัติตามมาตรฐานอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติตามกฎระเบียบอย่างเคร่งครัด

3. การส่งเสริมโครงการนำร่องและการวิจัย (Promotion of Pilot Projects and Operational Research) ตามพระราชกำหนดการบินพลเรือน พ.ศ. 2558 กำหนดให้ กพท. มีหน้าที่ในการกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุน กิจกรรมการบินพลเรือน ซึ่งรวมถึงการวิจัยพัฒนาในด้านการบินด้วย ดังนั้น กพท. ควรสนับสนุนให้มีการศึกษาดำเนินโครงการนำร่อง (Pilot Project) เพื่อทดลองใช้ UAV ในการตรวจสอบ NAVAIDs ในสภาพแวดล้อมการทำงานจริงภายใต้การควบคุมอย่างใกล้ชิด โดยที่โครงการนำร่องนี้จะป็นฐานข้อมูลเชิงปฏิบัติที่สำคัญ (Operational Data) สำหรับการประเมินประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือในการใช้งาน UAV เพื่อสนับสนุนการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs รวมถึงปัญหาอุปสรรคที่อาจพบเจอระหว่างการทดสอบ

4. การสร้างกลไกการมีส่วนร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder Engagement) นับเป็นกลไกสำคัญสำหรับการพัฒนากฎระเบียบและการนำเทคโนโลยีไปใช้ ซึ่งควรผ่านกลไกการปรึกษาหารือและการมีส่วนร่วมอย่างใกล้ชิดกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักทั้งหมด เพื่อให้ได้แนวทางที่รอบด้าน เป็นที่ยอมรับ และสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง

5. การทบทวนและปรับปรุงกฎระเบียบอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement of Regulations) โดยในปัจจุบัน เทคโนโลยี UAV มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึง

มาตรฐานสากลที่อยู่ระหว่างการพัฒนา ดังนั้นกฎระเบียบที่พัฒนาออกมาจึงต้องมีการทบทวน และปรับปรุงเป็นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี นวัตกรรม และ มาตรฐานสากลที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

5.3 การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและการกำหนดกลไกการกำกับดูแลที่เหมาะสม

การอภิปรายผลข้างต้นสะท้อนให้เห็นถึงสองมิติหลัก ได้แก่ มิติทางเศรษฐศาสตร์และ มิติทางกฎหมาย ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่สามารถแยกกันได้อย่างชัดเจน ในมิติหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึง ศักยภาพในการนำ UAV มาใช้ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการดำเนินงาน รวมถึงยังส่งเสริมความยั่งยืนทาง สิ่งแวดล้อม ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมการบินและ การพัฒนาเศรษฐกิจในภาพรวม ถึงแม้ว่าหน่วยให้บริการจำเป็นต้องเผชิญกับปรากฏการณ์ J-Curve Effect ที่ในช่วงแรกมักจะต้องเผชิญกับภาระต้นทุนที่สูงกว่าการใช้เทคโนโลยีเดิม ทั้งในแง่ของ การลงทุนในอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากร รวมถึงการรับมือกับการจัดการด้าน กฎระเบียบและมาตรฐานที่จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลให้ช่วงแรกของการเปลี่ยนผ่านอาจไม่แสดง ผลตอบแทนเชิงบวกในทันที แต่เมื่อเวลาผ่านไป ต้นทุนโดยรวมจะลดลงและเกิดผลตอบแทนที่ชัดเจน มากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาปรับใช้งาน ในขณะเดียวกัน มิติทาง กฎหมายแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัด ความไม่ชัดเจน และช่องว่างของกฎระเบียบในปัจจุบันที่ยังไม่รองรับ กับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้มั่นใจว่าการนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้งานจะยังคงความ ปลอดภัยในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการเดินอากาศ ซึ่งความสัมพันธ์ลักษณะนี้ นับเป็น ภาวะ Pacing Problem หรือภาวะที่ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีดำเนินไปเร็วกว่าการจัดให้มีกรอบ ของกฎหมายในการปรับตัวตามให้ทันตามการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการแสวงหาจุดสมดุล (Equilibrium) ระหว่างการส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมใหม่ขึ้นและนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว (Fostering Innovation) กับ การกำกับดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อปกป้องประโยชน์สาธารณะและความ ปลอดภัยในการให้บริการ จึงเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างยิ่งสำหรับหน่วยงานกำกับดูแลของไทย ทั้งนี้ จากผล การศึกษาจึงสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ความเป็นไปได้ของการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ ดังเช่นการนำ UAV มาใช้สำหรับกิจกรรมเฉพาะทางเช่นนี้ จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้หากปราศจากกรอบของกฎหมาย และการกำกับดูแลที่เอื้อต่อการพัฒนาเทคโนโลยี ในขณะเดียวกัน การพัฒนากฎหมายที่เข้มงวด หรือ ล่าช้า และไม่สอดคล้องกันในทางปฏิบัติ อาจเป็นอุปสรรคที่ไม่สามารถได้ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ

จากเทคโนโลยีได้ ดังนั้น ข้อเสนอแนะในการพัฒนาทั้งสองมิติ จึงต้องการการบูรณาการเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม ดังนี้

1. การใช้ผลการศึกษาของประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นแรงผลักดัน (Economic Benefits as a Driving Force) ที่แสดงให้เห็นถึงการประหยัดต้นทุนและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน มาใช้เป็นเหตุผลสำคัญในการผลักดันให้เกิดการปรับปรุงแก้ไขกฎระเบียบที่จำเป็น นอกจากนี้ การสื่อสารให้ผู้รับผิดชอบได้รับทราบถึงประโยชน์ที่เป็นรูปธรรมเหล่านี้ จะช่วยสร้างแรงสนับสนุนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายขึ้น

2. การใช้กรอบกฎหมายเป็นเครื่องมือสร้างความเชื่อมั่น (Legal Framework as an Enabling and Trust-Building Tool) เนื่องจากการพัฒนากฎระเบียบที่ชัดเจน รัดกุม และสอดคล้องกับมาตรฐานสากล นับเป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการสร้างความมั่นใจให้กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้อง ทั้งหน่วยงานผู้ให้บริการและหน่วยงานกำกับดูแล รวมถึงสาธารณชน

3. การกำหนดมาตรฐานที่สมเหตุสมผลและปฏิบัติได้ (Setting Reasonable and Achievable Standards) ควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของการประเมินความเสี่ยงอย่างเป็นระบบ (Risk-Based Approach) และพิจารณาถึงขีดความสามารถของเทคโนโลยีในปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคต ดังนั้น การกำหนดมาตรฐานที่เข้มงวดหรือไม่สามารถปฏิบัติได้ อาจกลายเป็นการกีดกันการนำเทคโนโลยีมาใช้โดยไม่จำเป็น ในขณะเดียวกัน การคำนึงถึงความปลอดภัย นับเป็นเรื่องที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เช่นกัน

ดังนั้น ในบริบทนี้ กพท. ซึ่งเป็นหน่วยงานกำกับดูแลหลักด้านการบินของประเทศ จึงควรมีบทบาทสำคัญในการ ขับเคลื่อนให้เกิดความชัดเจนทางกฎหมายและการสนับสนุนเชิงนโยบาย เพื่อให้เกิดการใช้งาน UAV ในรูปแบบใหม่ ๆ อย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะในภารกิจที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยการบิน และเป็นภารกิจที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อบุคคลภายนอกหรือสาธารณชน ดังเช่นการนำ UAV มาใช้ทดแทนหรือสนับสนุนการบินทดสอบสัญญาณ NAVAIDs นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องได้รับความร่วมมืออย่างใกล้ชิดจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ซึ่งท้ายที่สุดจะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการดำเนินงาน เศรษฐกิจ ความยั่งยืนของอุตสาหกรรมการบินและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยทางการบินของประเทศ

รายการอ้างอิง

กฎหมายและมาตรฐาน

กระทรวงคมนาคม. (2558). ประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่องหลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. 2558. (ประกาศฉบับลงวันที่ 2 กรกฎาคม 2558). กรุงเทพมหานคร: ผู้แต่ง. พระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ. 2497 (2497, กันยายน 14).

ราชกิจจานุเบกษา, 71 (58)

พระราชบัญญัติการเดินอากาศ (ฉบับที่ 14) พ.ศ. 2562. (2562, พฤษภาคม 25).

ราชกิจจานุเบกษา, 136 (68ก)

สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (2563). ประกาศสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย เรื่องการขอและการออกใบอนุญาตเครื่องอำนวยความสะดวกในการเดินอากาศ พ.ศ. 2563. (ประกาศ ฉบับลงวันที่ 2 เมษายน 2563). กรุงเทพมหานคร: ผู้แต่ง

บทความวารสาร

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). การวิเคราะห์อุตุนิยมวิทยาการบิน: สนามบินเชียงใหม่ เดือนเมษายน – กรกฎาคม 2567. สืบค้นเมื่อ 4 มิถุนายน 2568
จาก https://cmmet.tmd.go.th/Aeromet/KM_AeroMet/KM2024/Aug_2024/21Aug2024.pdf

เยาวเรศ ทับพันธุ. (2541). การประเมินโครงการตามแนวทางเศรษฐศาสตร์.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เรวดี จรุงรัตนพงศ์. (2558). การวิเคราะห์โครงการ: มุมมองทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์.
สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 เมษายน 2567,

จาก <https://www.stou.ac.th/stouonline/LOM/data/sec/Lom14/home.html>

สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (2567). รายงานประจำปี 2566, สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2567,
จาก <https://www.caat.or.th/wp-content/uploads/2021/09/CAAT-รายงานประจำปี-2566.pdf>

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

บริษัท วิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด. *บินทดสอบ*. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2567,
จาก <https://www.aerothai.co.th/business/th/services/บินทดสอบ>

Articles

- Bryniczka, A., Rzucidło, A., & Banczyk, (2023). The use of UAV in PAPI system inspections. *Safety & Defense*. <https://doi.org/10.37105/sd.203>
- Civil Aviation Department, Hong Kong, China. (2566). WP/33 - FEASIBILITY STUDY AND TRIAL OF USING DRONE TO ENHANCE EFFICIENCY IN FLIGHT INSPECTIONS AT THE HONG KONG INTERNATIONAL AIRPORT, <https://www.icao.int/APAC/Meetings/Pages/2023-CNS-SG-27.aspx>
- Civil Aviation Flight University of China (2019). Research on Flight Inspection Using Unmanned Aircraft. https://www.researchgate.net/publication/334427025_Research_on_Flight_Inspection_Using_Unmanned_Aircraft
- Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications de Dakar (2021). Real Time and PostProcessing Flight Inspection by Drone. https://www.astesj.com/publications/ASTESJ_060310.pdf
- EUROCONTROL. (2018). European delay cost reference values. <https://www.eurocontrol.int/publication/european-delay-cost-reference-values>
- EUROCONTROL (2019). Performance Review Report: An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2018. <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-06/pr-2018.pdf>
- EUROCONTROL (2024). Cost of noise. In EUROCONTROL Standard Inputs for Economic Analyses (Release 10). https://ansperformance.eu/economics/cba/standard-inputs/chapters/cost_of_noise.html

International Civil Aviation Organization. (2022). CORSIA: Introduction and Status.

International Civil Aviation Organization.

<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA>

International Civil Aviation Organization. (2022). CORSIA Implementation Elements.

International Civil Aviation Organization.

<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/implementation-elements.aspx>

International Civil Aviation Organization. (2023). CORSIA Eligible Emissions Units.

International Civil Aviation Organization.

<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/Emissions-Units.aspx>

International Committee for Airspace Standards and Coordination. (2024). Drones

ahead: How tech combined with pressure for efficiency will affect the flight inspection service community.

https://icasc.co/wp-content/uploads/2024/08/Drones-Ahead_How-Tech-Combined-with-Pressure-for-Efficiency-Will-Affect-FI-Service-Community.pdf

Intersoft Electronics. (2024). CNS Drone SkyRF® measurement system maturity evolution ongoing.

<https://intersoft-electronics.com/wp-content/uploads/2024/06/2024-06-21d-CNS-Drone-skyRF-measurement-system-maturity-evolution-ongoing.pdf>

Kavics. (2021). Drone-based navigation aid measurement (PIR361) ICAO UAS/RPAS Workshop 2.

<https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2021/UASRPAS/P08-UASRPASW2-KAVICS.pdf>

Marchant, G. E., Allenby, B. R., & Herkert, J. R. (Eds.). (2011). The Growing Gap

Between Emerging Technologies and Legal-Ethical Oversight: The Pacing Problem. Springer.

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1356-7_13

MSCI Carbon Markets. (2024, November). CORSIA-eligible carbon credit pricing and projections: Phase I and II demand outlook.

<https://www.msci.com/research-and-insights/paper/corsia-costs-and-implications-for-the-airline-industry>

Nextech. (n.d.). *Drone noise levels*. Nextech. Retrieved April 10, 2025, from https://nextech.online/drone-noise-evels/?utm_source=other&utm_medium=referral

Petritoli, E., et al. (2018). Reliability and Maintenance Analysis of Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6165073>

Teale, J. (2019). Flying a Drone in South Korea: The Complete Guide.

<https://jasonteale.com/blog/2019/03/flying-a-drone-in-south-korea/>

Tech Liberation Front (2018). The Pacing Problem, the Collingridge Dilemma & Technological Determinism.

<https://techliberation.com/2018/08/16/the-pacing-problem-the-collingridge-dilemma-technological-determinism/>

World Bank. (2016). *Discounting Costs and Benefits in Economic Analysis*.

<https://documents.worldbank.org/>

Others

CANARD Drones. (2023). *PAPI & NAVAIDs Drone Flight Testing Solutions*.

<https://canarddrones.com>

Candrone. (n.d.). *How to perform maintenance on the DJI Matrice 600 Pro drone*,

Retrieved May 20, 2025, from <https://candrone.com/blogs/news/how-to-perform-maintenance-on-the-dji-matrice-600-pro-drone>

CURSIR LLC. (2022). Unmanned Aircraft System for Flight Inspection – Technical Datasheet. Retrieved March 15, 2025, from <https://cursir.com>

DJI. (n.d.). *Matrice 600 Pro – Specs, FAQs and downloads*. DJI, Retrieved May 20, 2025, from <https://www.dji.com/support/product/matrice600-pro>

DJI. (n.d.). M600 Intelligent Flight Battery safety guidelines, Retrieved May 20, 2025, from https://dl.djicdn.com/downloads/m600/en/M600_Intelligent_Flight_Battery_Safety_Guidelines_en.pdf

Guardian Jet. (n.d.). *Beech King Air 350 aircraft brochure*. Retrieved May 20, 2025, from <https://www.guardianjet.com/jet-aircraft-online-tools/aircraft-brochure.cfm?m=Beech-King-Air-350-16>

Rohde & Schwarz. (n.d.). *R&S®EVSD1000 VHF/UHF nav/drone analyzer*. Rohde & Schwarz, Retrieved May 20, 2025, from https://www.rohde-schwarz.com/us/products/test-and-measurement/navigation-analyzers/rs-evsd1000-vhf-uhf-nav-drone-analyzer_63493-1168962.html

Volatus Drones. (n.d.). *Matrice 600 series maintenance service* Retrieved May 20, 2025, from <https://volatusdrones.ca/products/matrice-600-series-maintenance-service>

