

การวิเคราะห์เชิงวิพากษ์ว่าด้วยความท้าทายและแนวทางการบูรณาการกระเป๋าเอกสาร
อิเล็กทรอนิกส์ (EFB) เพื่อยกระดับประสิทธิภาพและความปลอดภัย
ในการปฏิบัติการบินยุคดิจิทัล

A Critical Analysis of Challenges and Integration Guidelines for Electronic Flight
Bags (EFB) to Enhance Operational Efficiency and Aviation Safety in the Digital Era

ชวกิจ เกศจุฑารัตน์^{1*} และ ทิพาพรรณ พิมพ์พันธ์²
(Chavakit Ketjutarat^{1*} and Tiphaphan Pimphaphan²)

^{1,2}กองวิชาวิทยาการการบิน, สถาบันการบินพลเรือน กรุงเทพมหานคร

^{1,2}Aviation Science Management Division, Civil Aviation Training Center
, Bangkok, Thailand

*Corresponding author. E-mail address: Chavakit@catc.or.th

Article history:

Received 12 December 2025 Revised 3 February 2026

Accepted 5 February 2026 SIMILARITY INDEX = 0.00 %

บทคัดย่อ

การบูรณาการของกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์กับระบบการจัดการบินได้กลายเป็นส่วนหนึ่งใน
อุตสาหกรรมการบินดิจิทัล ซึ่งมีผลกระทบต่อภาระงานของนักบิน ประสิทธิภาพในการบิน และความปลอดภัย
ในการบิน แต่การเชื่อมต่อกับกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์กับระบบโครงสร้างของสถาปัตยกรรมเครื่องบิน
รุ่นเก่ายังคงเป็นอุปสรรคในส่วนของสถาปัตยกรรมระบบ มาตรฐานการสื่อสารข้อมูล และความปลอดภัยทาง
ไซเบอร์

บทความนี้มีเป้าหมายเพื่อสังเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมและข้อจำกัดทางเทคนิคในการใช้ กระเป๋า
เอกสารอิเล็กทรอนิกส์กับระบบจัดการการบิน ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัย และอีกทั้ง
คือภัยคุกคามจากช่องว่างทางไซเบอร์กับกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่มีสถาปัตยกรรมเปิด บทความวิชาการ
นี้ใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ กระเป๋าเอกสาร
อิเล็กทรอนิกส์กับระบบจัดการการบิน สามารถลดภาระงานของนักบินลงได้เกือบร้อยละ 15-17 และลด
ข้อผิดพลาดในการคำนวณประสิทธิภาพได้มากกว่าร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับกระเป๋าเอกสารแบบดั้งเดิม โดยที่
มาตรฐานการบูรณาการที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอสำหรับเทคโนโลยีล่าสุด เช่น กระเป๋าเอกสาร
อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้คลาวด์และการประสานข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านดาวเทียม

ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอกรอบการบูรณาการ 3 ชั้นเพื่อส่งเสริมสถาปัตยกรรมกระเป๋าเอกสาร
อิเล็กทรอนิกส์ที่ปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และยั่งยืนสำหรับการออกแบบในอนาคต

คำสำคัญ: กระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ การบูรณาการระบบการบิน ระบบอากาศยานรุ่นเก่า
ความปลอดภัยทางไซเบอร์ ประสิทธิภาพการปฏิบัติการ

Abstract

Integration of Electronic Flight Bags (EFBs) with core aircraft systems has emerged as part of the digital aviation strategic agenda because it has proven to be instrumental for pilot cognitive workload, operational efficiency, and flight safety. Nonetheless, there are critical issues with system architecture, fragmented data communication standards, as well as cybersecurity risks when considering EFB integration in legacy aircraft.

This paper is a critical evaluation of the technical barriers for Electronic Flight Bags (EFB) – Flight Management System (FMS) integration focusing on their impact on efficiency, aviation safety, and cybersecurity of open-architecture Electronic Flight Bags (EFB) environments. A Systematic Literature Review was performed to synthesize findings from both peer-reviewed literature and regulatory guidance. The study found that the integrated Electronic Flight Bags (EFB) – Flight Management System (FMS) architectures can reduce the pilot cognitive workload by about 15–17 percentage and decrease human error in flight performance calculations by more than 30 percent compared with paper-based operations. Regardless, the analysis shows that implementation standards for the current data integration models are not enough to meet new paradigms like cloud-based Electronic Flight Bags (EFB) platforms and real-time satellite-enabled data synchronization.

To overcome these limitations, this paper develops a three-layer system-level integration framework focused on data interoperability, decision-support integration, and cybersecurity governance. The proposed framework both offers practical guidance and theoretical framework to ensure the long-term sustainability of development in digital aviation systems.

Keywords: Electronic Flight Bag, Aviation System Integration, Legacy Aircraft, Cybersecurity, Operational Efficiency

1. บทนำ

ในศตวรรษที่ 21 ข้อมูลเป็นทรัพยากรเชิงกลยุทธ์ที่จำเป็นสำหรับความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความยั่งยืนของการดำเนินงานด้านการบิน การเปลี่ยนแปลงจากการดำเนินงานที่เน้นเอกสารไปสู่การดำเนินงานที่เน้นข้อมูลมากขึ้นได้บังคับให้อุตสาหกรรมการบินต้องมีการบูรณาการระบบ Electronic Flight Bag (EFB) อย่างรวดเร็วและกว้างขวาง ระบบ Electronic Flight Bag (EFB) ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อเป็นทรัพย์สินดิจิทัลที่ง่ายต่อการเก็บเอกสารการบิน แต่ปัจจุบันได้เปลี่ยนแปลงส่วนสำคัญของการออกแบบการดำเนินงานด้านการบินให้มีความร่วมสมัย ซึ่งต้องการข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินงานและการสื่อสารข้อมูลแบบเรียลไทม์กับอากาศยานและระบบภาคพื้นดิน อย่างไรก็ตาม Electronic Flight Bag (EFB) ได้มีการพัฒนาอย่างมาก แต่การบูรณาการระบบ Electronic Flight Bag (EFB) กับระบบการบินที่มีอยู่เป็นข้อจำกัดที่สำคัญ ระบบและโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องบินส่วนใหญ่ยังคงรักษาสถาปัตยกรรมที่ล้าสมัยซึ่งไม่สามารถนำมาใช้สนับสนุนเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลร่วมสมัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นการชิงโครโนซ์ข้อมูลแบบเรียลไทม์หรือการบูรณาการเครือข่ายดาวเทียม ผลที่ตามมาคือการกระจายตัวของข้อมูล และในบางกรณี นักบินต้องพึ่งพาการตรวจสอบและป้อนข้อมูลด้วยตนเองในช่วงเวลาที่สำคัญของการดำเนินงาน ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้ภาระงานในห้องนักบินหนักขึ้น แต่ยังเพิ่มโอกาสในการเกิดข้อผิดพลาดของมนุษย์อีกด้วย

ข้อสังเกตนี้ได้รับการสนับสนุนเพิ่มเติมจากการศึกษาของ (Roscoe et al., 2016) กล่าวว่า การขาดการบูรณาการเต็มรูปแบบระหว่างระบบ Electronic Flight Bag (EFB) และระบบเครื่องบินเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของนักบิน การศึกษานี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าอุตสาหกรรมการบินที่ไม่จัดระบบการเชื่อมต่อระหว่างระบบข้อมูลเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสำคัญ 2 ประการ: คือ 1. ความเสียหายทางเศรษฐกิจที่เกิดจากการจัดการเชื้อเพลิงที่ผิดพลาด และ 2. ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยเนื่องจากข้อมูลที่ล้าสมัยหรือไม่สอดคล้องกัน ซึ่งผู้บริหารสายการบินและหน่วยงานที่กำกับดูแลไม่สามารถมองข้ามได้ ยิ่งไปกว่านั้น การเปลี่ยนแปลงนโยบายและมาตรฐานระหว่างประเทศกำลังเพิ่มความยากลำบาก ตามที่ (European Union Aviation Safety Agency, 2024) มาตรฐานใหม่ที่มีข้อกำหนดพื้นฐานโดยเฉพาะใน Connectivity 2.0 และการชิงโครโนซ์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านระบบดาวเทียมจะมีความสำคัญในการดำเนินงานของเครื่องบินตั้งแต่ปี 2025 ถึง 2026 ซึ่งต้องการโครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยีและสถาปัตยกรรมข้อมูลที่ไม่อยู่ในระบบปัจจุบัน ในขณะที่ความก้าวหน้าเหล่านี้เกินกว่ากรอบการจำแนกประเภท Electronic Flight Bag (EFB) แบบดั้งเดิมของ Federal Aviation Administration (FAA) ซึ่งพิจารณาเพียงความเข้ากันได้ของฮาร์ดแวร์ระหว่างฮาร์ดแวร์และเครื่องบิน (ประเภท A, B และ C) และไม่สามารถแก้ไขความซับซ้อนของการเชื่อมต่อข้อมูลสมัยใหม่ได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของบทความนี้คือการตรวจสอบอย่างเป็นระบบถึงความท้าทายที่เผชิญในการเปลี่ยนแปลง Electronic Flight Bag (EFB) จากเครื่องมือสนับสนุนการดำเนินงานไปสู่แพลตฟอร์มข้อมูลที่บูรณาการอย่างเต็มที่ ทั้งในด้านเทคนิคและนโยบาย พร้อมกับกลยุทธ์ที่เป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหาการบูรณาการเหล่านี้เพื่อสร้างความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความพร้อมที่ดีขึ้นของอุตสาหกรรมการบินในการรับมือกับสภาพแวดล้อมการดำเนินงานในอนาคต

วัตถุประสงค์ของบทความวิชาการ

1. เพื่อวิเคราะห์อุปสรรคทางสถาปัตยกรรมและเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการระบบ Electronic Flight Bag (EFB) กับ Flight Management System (FMS) ในรุ่นเครื่องบินเก่า
2. เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบด้านการปฏิบัติการของการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ต่อประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง ความปลอดภัย และภาระงานของนักบิน
3. เพื่อวิจารณ์ความท้าทายด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ในระบบ Electronic Flight Bag (EFB) ที่มีสถาปัตยกรรมเปิด
4. เพื่อสังเคราะห์กรอบแนวคิดแบบบูรณาการที่อธิบายการไหลของข้อมูลระหว่าง Electronic Flight Bag (EFB) และ Flight Management System (FMS) ในบริบทของการบินสมัยใหม่

แนวทางการเขียนบทความวิชาการ

วิธีการเขียนบทความวิชาการเป็นการระบุรูปแบบ ความชัดเจน และช่องว่างความรู้โดยใช้การสังเคราะห์เชิงพรรณนาและการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบไว้ดังนี้

2.การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ใช้วิธีการสังเคราะห์เชิงพรรณนาโดยใช้กรอบโครงสร้างของความท้าทายพื้นฐาน 5 ประการ ดังนี้ (1) มาตรฐานและการจำแนกระบบ Electronic Flight Bag (EFB); (2) รูปแบบทางเทคนิคของการบูรณาการระบบ; (3) ผลกระทบต่อการปฏิบัติการบิน; (4) ความเสี่ยงและข้อจำกัดของการใช้งาน; (5) การพัฒนาในอนาคต ทั้งนี้การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบจะกล่าวถึงความแตกต่างทางโครงสร้างและการทำงานใน EFB แบบดั้งเดิมเทียบกับแบบบูรณาการเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่คล้ายกัน

2.1 การวิเคราะห์การศึกษาเชิงเปรียบเทียบของแนวทางการบูรณาการ EFB

การจัดระเบียบและโครงสร้างของการเชื่อมโยงระหว่าง Electronic Flight Bag (EFB) และ Flight Management System (FMS) ในเครื่องบินเก่าและใหม่ ความสัมพันธ์สองทางระหว่าง และ Flight Management System (FMS) เป็นเครื่องมือสำคัญในการลดข้อผิดพลาดของการเชื่อมต่อของมนุษย์ที่อาจคุกคามประสิทธิภาพของการวางแผนการบินสำหรับการตัดสินใจที่เกิดจากมนุษย์และการปรับปรุงกระบวนการควบคุมการบิน (Federal Aviation Administration, 2024) สถาปัตยกรรมการสื่อสารแบบปิดและโปรโตคอลเฉพาะของผู้ผลิต รุ่นเครื่องบินเก่าอาจมีข้อจำกัดบางประการในการทำงานร่วมกับระบบกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ โครงสร้างเหล่านี้ยังนำเสนอถึงภัยคุกคามด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์โดยไม่มีการควบคุมระบบและการแก้ไขความปลอดภัย (True et al., 2021) ในทางกลับกัน รุ่นเครื่องบินใหม่ยอมรับสถาปัตยกรรมที่เปิดกว้างมากขึ้น ส่งผลให้ข้อมูล EFB สามารถบูรณาการได้อย่างรวดเร็วและปลอดภัย

2.2 แนวคิด Connectivity 2.0 และการชิงโครไนซ์ข้อมูลแบบเรียลไทม์

การเชื่อมต่อแบบบูรณาการ เป็นการใช้เทคโนโลยีการชิงโครไนซ์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่ใช้ดาวเทียมเป็นแนวหน้าของการบินในปี 2025-2026 (European Union Aviation Safety Agency, 2024) เทคโนโลยี Electronic Flight Bag (EFB) ถูกใช้เพื่อตีความและวิเคราะห์ข้อมูลสำคัญ เช่น สภาพอากาศ เส้นทางการบิน และประสิทธิภาพการบินแบบไดนามิก เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการปฏิบัติการของนักบิน ทำให้ระบบ

สามารถเข้าถึงข้อมูลสำคัญ เพิ่มความเข้าใจของนักบินและการตัดสินใจในการปฏิบัติการ โดยเฉพาะเครื่องบินรุ่นเก่ายังไม่สามารถรองรับโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมด การประมวลผล หรือมาตรการความปลอดภัยทางไซเบอร์สำหรับ Connectivity 2.0 ซึ่งจำกัดการใช้งานจริงของเทคโนโลยีนี้ในทางปฏิบัติ

2.3 ปัจจัยความล้มเหลวของการบูรณาการระบบ EFB

การบูรณาการระบบ EFB สามารถเกิดความล้มเหลวที่สำคัญตามที่กำหนดในโดยอ้างอิงจากการวิเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องโดยสามารถสรุปให้เป็นประเด็นได้ดังนี้ (1) การขาดมาตรฐานการสื่อสารระหว่างกัน (2) คุณลักษณะโครงสร้างและความสามารถในการบินเก่า; (3) ความล่าช้าของข้อมูลในการส่งแบบเรียลไทม์; และ (4) การไม่ปฏิบัติตามการจัดการความปลอดภัยทางไซเบอร์หรือการจัดการความเสี่ยง (International Civil Aviation Organization, 2018) ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกับการปฏิบัติการบินส่งผลโดยตรง โดยเฉพาะความน่าเชื่อถือ ความปลอดภัย และประสิทธิภาพของระบบ Electronic Flight Bag (EFB)

2.4 การวิเคราะห์และสังเคราะห์เนื้อหา (Synthesis & Analysis)

การสังเคราะห์และการวิเคราะห์ ผู้ศึกษามุ่งเน้นในส่วนนี้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของกลยุทธ์การบูรณาการระบบ Electronic Flight Bag (EFB) ที่แตกต่างกันของผู้ผลิตเครื่องบินและการปฏิบัติการของสายการบินจากการรายงานเชิงเส้นไปจนถึงการสังเคราะห์ความรู้

2.5 การเปรียบเทียบแนวทางการบูรณาการ EFB ระหว่างผู้ผลิตอากาศยาน

การเปรียบเทียบวิธีการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ที่แตกต่างกันโดยผู้ผลิตเครื่องบิน การเปรียบเทียบรูปแบบการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ระหว่างผู้ผลิตเครื่องบินแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างทางสถาปัตยกรรมระหว่างผู้ผลิตเครื่องบินชั้นสูง (Airbus, 2021) เช่น ระหว่าง Airbus และ Boeing Airbus มีโมเดลที่เชื่อมต่อและสนับสนุนการเชื่อมต่อข้อมูลแบบรวมศูนย์การเชื่อมต่อแบบเปิดกับ Electronic Flight Bag (EFB) ในขณะที่ Boeing ใช้การแยกระบบเพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากความปลอดภัยทางไซเบอร์ (Blessing, 2024) ความแตกต่างเหล่านี้สะท้อนถึงธรรมชาติที่ยืดหยุ่นของข้อมูลและระดับการควบคุมความปลอดภัย

2.6 ข้อจำกัดของการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ในบริบทสายการบินที่แตกต่างกัน

อุปสรรคของการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ในบริบทของสายการบิน บริบทการปฏิบัติการเฉพาะที่สายการบินดำเนินการมีผลต่อความสำเร็จของการบูรณาการ EFB ในด้านต้นทุน ข้อจำกัดด้านงบประมาณและโครงสร้างพื้นฐานเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการลงทุนในระบบการเชื่อมต่อขั้นสูงและมาตรการความปลอดภัยทางไซเบอร์ ในทางตรงกันข้าม สายการบินบริการเต็มรูปแบบจะพิจารณา Electronic Flight Bags (EFB) เป็นส่วนหนึ่งของระบบการจัดการการบินแบบบูรณาการ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของระบบ การจัดการข้อมูลและภาระงานของนักบินกลายเป็นปัญหา (Roscoe et al., 2016)

2.7 การสังเคราะห์ปัจจัยความล้มเหลวเชิงระบบ

จากการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ สามารถสังเคราะห์เหตุผลความล้มเหลวเบื้องต้นได้ 4 ปัจจัยสำหรับการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ได้แก่ (1) รูปแบบข้อมูลที่ไม่สม่ำเสมอระหว่างระบบอากาศและ

ภาคพื้นดิน, (2) ไม่มีมาตรฐานที่สม่ำเสมอของการทำงานร่วมกันของข้อมูล, (3) ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ในระบบสถาปัตยกรรมเปิด, และ (4) การออกแบบอินเทอร์เน็ตเฟสที่ไม่สอดคล้องกับทฤษฎีปัจจัยมนุษย์ ปัจจัยเหล่านี้เป็นผลมาจากความล้มเหลวในการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ที่ไม่ได้เกิดจากเทคโนโลยีเดียว แต่เกิดจากหลายเหตุการณ์ที่มีการออกแบบและการจัดการระบบมีความไม่สม่ำเสมอและไม่ได้ได้รับการจัดการการสังเคราะห์นี้ให้พื้นฐานสำคัญในการออกแบบกรอบการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) 3 ระดับในส่วนถัดไปเพื่อกำหนดการไหลของข้อมูลและความเสี่ยงของระบบในระดับสถาปัตยกรรมการบินดิจิทัล

3. กรอบการทำงาน 3 ระดับของการบูรณาการ EFB

ในการศึกษานี้ ผู้ศึกษาได้จัดทำกรอบการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) เป็น 3 ระดับที่ออกแบบมาเพื่อท้าทายการจำแนกประเภท Electronic Flight Bag (EFB) แบบเก่า โดยที่ประเภท A B และC มุ่งเน้นที่สถาปัตยกรรมของการไหลของข้อมูลและการบูรณาการของระบบเพื่อจัดการความปลอดภัย (Ates, 2017)

3.1 สถาปัตยกรรมกรอบ โมเดลถูกแบ่งออกเป็น 3 ชั้นหลัก

โดยแบ่งเป็น ชั้นการได้มาและการประมวลผลข้อมูล ชั้นการบูรณาการและการสนับสนุนการตัดสินใจ และชั้นการกำกับดูแลและความปลอดภัยทางไซเบอร์ที่อธิบายวิธีการทำงานของระบบ Electronic Flight Bag (EFB) จากการรวบรวมข้อมูลไปจนถึงการกำกับดูแลนโยบายตามตารางดังนี้

ตารางที่ 1 กรอบแนวคิดการบูรณาการกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ แบบสามชั้นและบทบาทเชิงระบบ

ชั้นสถาปัตยกรรม	องค์ประกอบหลัก	บทบาทเชิงหน้าที่	ความเสี่ยงสำคัญ	ผลกระทบ
Data Acquisition & Processing	FMS, Weather Data, Airport DB, AOC	รวบรวมและประมวลผลข้อมูลเรียลไทม์	Data latency, data integrity	ข้อมูลล้าสมัยนำไปสู่การตัดสินใจผิดพลาด
Integration & Decision-support	Electronic Flight Bags Applications, Performance Tools	วิเคราะห์ข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจนักบิน	Interoperability, HMI overload	ภาระงานเพิ่มขึ้นความผิดพลาดจากมนุษย์
Governance & Cybersecurity	Access control, Encryption, Compliance	ควบคุมความปลอดภัยและการกำกับดูแล	Cyberattack, policy mismatch	ความเสี่ยงด้านความปลอดภัยเชิงระบบ

ที่มา จากการสังเคราะห์ของผู้ศึกษา

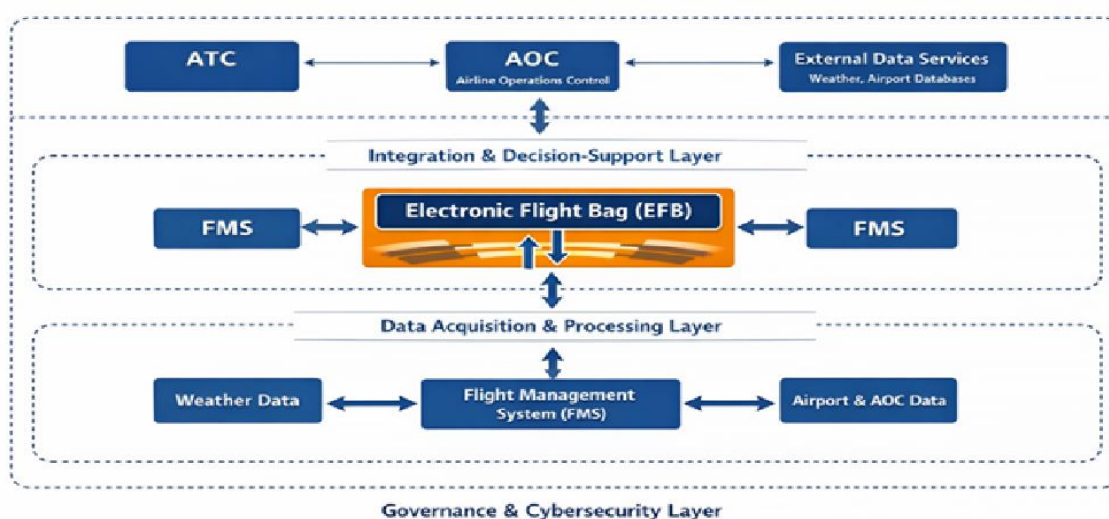
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบข้อกำหนดทางเทคนิคระหว่าง EFB แบบดั้งเดิมกับระบบบูรณาการ

มิติการเปรียบเทียบ	EFB แบบดั้งเดิม (Class 1-2)	ระบบบูรณาการ (Class 3 + Connected)
สถาปัตยกรรมข้อมูล	Standalone, Offline Database	Cloud-synced, Real-time Data Pipeline
ความต้องการ Bandwidth	ไม่มี (0 Mbps)	2-5 Mbps per aircraft (satellite link)
Data Latency	N/A	< 500 ms (Critical for weather updates)
โปรโตคอลการสื่อสาร	ARINC 429 (One-way, 12.5-100 kbps)	ARINC 664/AFDX (Full-duplex, 10-100 Mbps)
ความซับซ้อนของ Certification	DO-178B Level D-E	DO-178C Level A-B + DO-326A/DO-327A (Cybersecurity)
การจัดการ Software Updates	Manual, Pre-flight Installation	OTA (Over-The-Air), Incremental Patch
ข้อกำหนด Cybersecurity	Minimal (Air-gapped)	NIST CSF + EASA CS-25.1302 Compliance

ที่มา จากการสังเคราะห์ของผู้ศึกษา

3.2 การไหลของข้อมูลและจุดเสี่ยงในระดับระบบ

ข้อมูลเรียลไทม์ถูกส่งจากการจัดการการบิน การเฝ้าระวังสภาพอากาศ ศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการสายการบิน (ACC) และข้อมูลเครือข่ายภาคพื้นดินหรือดาวเทียมที่ถูกประมวลผลถูกนำเสนอให้กับ Electronic Flight Bag (EFB) เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ไหลออกจาก EFB ผ่านระบบเดียว ดังนั้นการสื่อสารสองทางระหว่าง Electronic Flight Bag (EFB) และ Flight Management System (FMS) เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดความจำเป็นที่นักบินจะต้องป้อนข้อมูลด้วยตนเอง (Federal Aviation Administration, 2024) และเพื่ออำนวยความสะดวกในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างภาคอากาศและภาคพื้นดิน (Mondoloni et al., 2023)



แผนภาพที่ 1 การไหลของข้อมูลและจุดเสี่ยงในระดับระบบ

3.3 การวิเคราะห์ผลกระทบเชิงปฏิบัติการ: หลักฐานจากงานวิจัยเชิงประจักษ์

งานวิจัยของ (Ricardianto et al., 2023) ที่ศึกษาการนำระบบ Electronic Flight Bag (EFB) มาใช้ในสายการบินพาณิชย์ขนาดกลางในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยกำหนด (n=450 flights, 6 เดือน) พบว่าการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) กับระบบ Flight Management System (FMS) (Sweet et al., 2017) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่วัดผลได้ออกเป็น 3 มิติหลัก

มิติที่ 1 ประสิทธิภาพการปฏิบัติการ (Operational Efficiency) ระยะเวลาในการเตรียมเอกสารก่อนบิน (Pre-flight Documentation) ลดลง 18.3 นาทีต่อเที่ยวบิน (จาก 45 นาที เหลือแค่ 26.7 นาที, $p < 0.01$) การคำนวณน้ำหนักและสมดุล (Weight & Balance Calculation) มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น 34% เมื่อเทียบกับการคำนวณด้วยตนเอง การปรับเปลี่ยนแผนการบิน (Flight Plan Revision) ในระหว่างเที่ยวบินทำได้เร็วขึ้นกว่า 42% โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องหลีกเลี่ยงสภาพอากาศเลวร้าย

มิติที่ 2 ความปลอดภัย (Safety Enhancement) อุบัติการณ์จากการป้อนข้อมูลผิดพลาดใน Flight Management System (FMS) (Data Entry Error) ลดลงกว่า ร้อยละ 67 (จาก 12 incident ต่อ 1,000 เที่ยวบิน เหลือ 4 incident) การใช้ข้อมูลสภาพอากาศที่ล้าสมัย (Outdated Weather Data) ลดลงเกือบสิ้นเชิง (จาก ร้อยละ 8 ของเที่ยวบินเหลือร้อยละ 0.5) เนื่องจากการอัปเดตแบบเรียลไทม์

มิติที่ 3 ภาระงานของนักบิน (Cognitive Workload) คะแนน NASA-TLX (Task Load Index) ลดลงร้อยละ 15.7 โดยเฉพาะในมิติ Mental Demand และ Temporal Demand อย่างไรก็ตาม พบว่า Frustration Level เพิ่มขึ้นในช่วง 2 เดือนแรก (Initial Adaptation Period) ก่อนจะลดลงต่ำกว่าระดับเดิม

การวิเคราะห์เชิงวิพากษ์ถึงแม้ว่าผลลัพธ์จะเป็นบวกในภาพรวม แต่การศึกษาของ (Ricardianto et al., 2023) ชี้ให้ว่ยังคงพบปัญหาสำคัญอยู่ 2 ประการ ได้แก่ (1) ปัญหา Over-reliance on Automation โดยนักบินร้อยละ 23 รายงานว่าพึ่งพาข้อมูลจาก EFB มากเกินไปจนขาดการตรวจสอบข้อมูลด้วย Manual Cross-check และ (2) System Dependency Risk เมื่อระบบ EFB ชัดข้อง นักบินบางคนใช้เวลาเกินกว่า 8 นาทีในการปรับตัวกลับไปใช้เอกสารกระดาษสำรอง ซึ่งอาจเป็นอันตรายในสถานการณ์ฉุกเฉิน (Sweet et al., 2017)

3.4 การบูรณาการในอากาศยานรุ่นเก่า (Legacy Aircraft Integration)

งานวิจัยของ Carroll et al. (2021) วิเคราะห์เกี่ยวกับ Retrofit Electronic Flight Bag (EFB) ในอากาศยาน Boeing 737-800 รุ่นเก่า (ผลิตปี 2008-2012) ของสายการบินในยุโรป พบว่า การบูรณาการในอากาศยานแบบดั้งเดิมเผชิญความท้าทายเฉพาะที่แตกต่างจากอากาศยานรุ่นใหม่อย่างมีนัยสำคัญ ปัญหาหลักที่พบ

1. Incompatibility ของโปรโตคอลการสื่อสาร อากาศยานรุ่นเก่าใช้ ARINC 429 (One-way, 12.5-100 kbps) ซึ่งไม่รองรับการส่งข้อมูลแบบ Full-duplex จำเป็นต้องติดตั้ง Data Concentrator Unit เพิ่มเติม ส่งผลให้ต้นทุนการติดตั้งเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 145 จากที่ประมาณการไว้ (Kultur & Bilge, 2021)

2. Certification Complexity กระบวนการรับรอง Supplemental Type Certificate (STC) ใช้เวลาเฉลี่ย 14-18 เดือน เนื่องจากต้องพิสูจน์ว่าการเพิ่มระบบ Electronic Flight Bag (EFB) ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบความปลอดภัยหลัก (Safety-Critical Systems) (Koczo, 2013)

3. Maintenance Training Gap ช่างซ่อมบำรุงต้องได้รับการฝึกอบรมเพิ่มเติมเฉลี่ย 120 ชั่วโมง สายการบินจำนวนมากประเมินต้นทุนด้านนี้ต่ำเกินไปในระยะเริ่มต้น โดยข้อค้นพบที่สำคัญ (Ates, 2017) ชี้ให้เห็นว่าอัตราความสำเร็จของ Retrofit Electronic Flight Bag (EFB) อยู่ที่ร้อยละ 62 หากพิจารณาจากเกณฑ์ "เสร็จตาม

กำหนดเวลาและงบประมาณ" โดยปัจจัยที่ทำให้ Retrofit Electronic Flight Bag (EFB) ล้มเหลวมักมาจาก (1) การประเมินความซับซ้อนทางเทคนิคต่ำเกินไป (2) การขาดการสนับสนุนจากผู้ผลิตอากาศยานรุ่นเก่า และ (3) การขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญทั้งด้าน Avionics และ IT Security

3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิผลในบริบทที่แตกต่างกัน (Comparative Effectiveness Analysis)

การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่างการนำ Electronic Flight Bag (EFB) ไปใช้ในสายการบินพาณิชย์ขนาดใหญ่ (Full-Service Carrier) และสายการบินต้นทุนต่ำ (Low-Cost Carrier) แสดงให้เห็นความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การใช้ EFB ในบริบทที่แตกต่างกัน

ตัวชี้วัด	Full-Service Carrier (n=850 flights)	Low-Cost Carrier (n=920 flights)	Significance
Fuel Saving per Flight	2.8% ($\pm 0.4\%$)	1.9% ($\pm 0.6\%$)	$p < 0.05$
Turn-around Time Reduction	12 นาที (± 3 นาที)	6 นาที (± 4 นาที)	$p < 0.01$
Error Rate Reduction	68%	45%	$p < 0.05$
Pilot Satisfaction Score (1-10)	8.2 (± 0.9)	6.7 (± 1.3)	$p < 0.01$
System Downtime (hours/month)	2.1	5.8	$p < 0.01$

ที่มา: สังเคราะห์จาก (Banks et al., 2023; Suppiah et al., 2020)

การตีความผลการวิเคราะห์

ความแตกต่างดังกล่าวสะท้อนถึงปัจจัยโครงสร้างพื้นฐาน 3 ประการ

1. ความซับซ้อนของการปฏิบัติการ สายการบินเต็มรูปแบบมีเที่ยวบินพิสัยไกลและการเชื่อมต่อเที่ยวบินที่ซับซ้อนกว่า ทำให้ได้ประโยชน์จากการปรับแผนการบินแบบเรียลไทม์มากกว่า
2. การลงทุนในโครงสร้างพื้นฐาน สายการบินเต็มรูปแบบมักลงทุนใน Ground Infrastructure (เช่น AOC Data Center, Satellite Communication) ที่รองรับการทำงานของ Electronic Flight Bag (EFB) ได้ดีกว่า ส่งผลให้ระบบมีความเสถียรมากกว่า
3. ทัศนคติและการยอมรับของนักบิน นักบินในสายการบินเต็มรูปแบบ ส่วนใหญ่มีประสบการณ์การบินเฉลี่ยที่สูงกว่าสายการบินต้นทุนต่ำและได้รับการฝึกอบรม Recurrent Training ที่ครอบคลุมกว่า ส่งผลให้การยอมรับเทคโนโลยีใหม่สูงกว่า

การสังเคราะห์จากการวิเคราะห์หลักฐานเชิงประจักษ์ข้างต้น สามารถสังเคราะห์ได้ดังนี้

1. Success Factor ไม่ได้อยู่ที่เทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว

Roscoe et al., (2016) ชี้ให้เห็นตรงกันว่า ความสำเร็จของการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ขึ้นอยู่กับระบบสังคม-เทคนิค (Socio-Technical System) ที่ครบถ้วน ได้แก่ เทคโนโลยี (Hardware/Software), กระบวนการ (Procedures), บุคลากร (Training) และวัฒนธรรมองค์กร (Safety Culture) การมุ่งเน้นเพียงการติดตั้งอุปกรณ์โดยขาดการปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานและการฝึกอบรมที่เพียงพอ มักนำไปสู่ความล้มเหลว งานวิจัยของ (Sweet et al., 2017) พบว่าการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ที่ล้มเหลวร้อยละ 38 มีสาเหตุหลักมาจากการละเลยมิติด้านการจัดการเปลี่ยนแปลง (Change Management) และ

การขาดการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูงที่ไม่ใช่จากข้อบกพร่องทางเทคนิคของระบบ ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิด Socio-Technical Systems Theory ที่ระบุว่า ระบบที่ซับซ้อนต้องอาศัยการปรับสมดุลระหว่างองค์ประกอบทางสังคมและทางเทคนิคอย่างพร้อมเพรียง (Stouffer et al., 2023)

2 Transition Period เป็นช่วงเวลาวิกฤต

ทุกกรณีศึกษาพบว่า ช่วง 2-4 เดือนแรกหลังการนำ Electronic Flight Bag (EFB) มาใช้เป็นช่วงที่เสี่ยงต่อความผิดพลาดของมนุษย์ (Human Error) เนื่องจากนักบินยังไม่สามารถปรับตัว (Endsley, 2019) องค์กรควรเตรียมมาตรการเฝ้าระวังเพิ่มเติม (Enhanced Monitoring) และกระบวนการตรวจสอบซ้ำ (Double-check Procedures) นอกจากนี้การศึกษาของ (Sweet et al., 2017) พบว่า ระดับความหงุดหงิด (Frustration Level) ของนักบินเพิ่มขึ้นร้อยละ 28 ในช่วง 2 เดือนแรก ก่อนจะลดลงต่ำกว่าระดับเดิมร้อยละ 12 ภายหลัง 4 เดือน ผลการศึกษานี้สะท้อนถึงความสำคัญของ Learning Curve และการให้การสนับสนุนที่เข้มข้นในระยะเริ่มต้น นอกจากนี้ (Babb, 2017) พบว่า สายการบินที่จัดให้มี Peer Mentoring Program (นักบินที่มีประสบการณ์ช่วยเหลือนักบินที่เพิ่งเริ่มใช้ระบบ) สามารถลดระยะเวลา Transition Period ลงเหลือเพียง 6-8 สัปดาห์ เทียบกับ 12-16 สัปดาห์ในสายการบินที่ไม่มีโปรแกรมดังกล่าว

3 One-Size-Fits-All Approach ใช้ไม่ได้

ความแตกต่างในผลลัพธ์ระหว่างสายการบินประเภทต่างๆ และระหว่างอากาศยานรุ่นเก่ากับรุ่นใหม่ ชี้ให้เห็นว่า การบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ต้องปรับแต่งตามบริบทเฉพาะ (Skaves, 2011) การนำแนวทางจากสายการบินหนึ่งไปใช้กับอีกสายการบินหนึ่งโดยตรง ทำให้ไม่ประสบความสำเร็จ การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่างสายการบินเต็มรูปแบบ (Full-Service Carrier) และสายการบินต้นทุนต่ำ (Low-Cost Carrier) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ในทุกตัวชี้วัด ไปจนถึงอัตราความพึงพอใจของนักบิน (Ricardianto et al., 2023) ความแตกต่างเหล่านี้สะท้อนถึงปัจจัยโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ความพร้อมของระบบสื่อสารดาวเทียม การลงทุนในศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ (AOC) และระดับความซับซ้อนของเครือข่ายเส้นทางบิน นอกจากนี้ (Carroll et al., 2021). พบว่าการบูรณาการกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ในอากาศยานรุ่นเก่ามีอัตราความสำเร็จเพียงร้อยละ 62 เมื่อวัดจากเกณฑ์การเสร็จสิ้นตามกำหนดเวลาและงบประมาณ เทียบกับร้อยละ 89 ในอากาศยานรุ่นใหม่ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับระบบดิจิทัลตั้งแต่แรก ข้อค้นพบนี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นในการประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์อย่างรอบคอบก่อนการตัดสินใจลงทุน (Malik & Indriyanto, 2023)

การสังเคราะห์ทั้ง 3 ประการข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ที่ประสบความสำเร็จต้องอาศัย (1) การมองระบบในมิติองค์รวม (Holistic System Perspective) (2) การจัดการความเสี่ยงในช่วงเปลี่ยนผ่าน (Transition Risk Management) และ (3) การปรับแต่งตามบริบทเฉพาะขององค์กร (Context-Aware Customization) ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการพัฒนากลยุทธ์การนำระบบไปใช้ที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน (International Civil Aviation Organization, 2018)

4. ผลกระทบเชิงปฏิบัติและข้อเสนอแนะ

ผลกระทบทางปฏิบัติและคำแนะนำ การทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาเชิงวิเคราะห์กรอบแนวคิดเผยให้เห็นว่าการบูรณาการระบบ Electronic Flight Bag (EFB) ที่ประสบความสำเร็จจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างเป็นระบบใน 3 ระดับพื้นฐาน

4.1 การจัดการด้านเทคนิคและสถาปัตยกรรม ด้วยการใช้งานแอปพลิเคชัน Electronic Flight Bag (EFB) อย่างเต็มรูปแบบและแผนการดำเนินการอย่างเต็มรูปแบบ สายการบินควรลงทุนที่มีการวางแผน เพื่อช่วยให้นักบินเรียนรู้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ควรใช้งาน Electronic Flight Bag (EFB) แบบพกพาก่อน (Class 1) ขั้นตอนที่สองคือเวอร์ชันที่อัปเดตของ Electronic Flight Bag (EFB) (Class 2, เชื่อมต่อและพกพาได้) และ ขั้นตอนที่สามคือระบบ Electronic Flight Bag (EFB) ใหม่ที่ติดตั้งและบูรณาการกับระบบกลาง (Class 3) วิธีการนี้สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการลงทุนและสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ตามลำดับขั้นตอนไป (Ates, 2017) นอกจากนี้ ควรมีการจัดเตรียมโปรโตคอลการสื่อสารมาตรฐานสากล (เช่น ARINC 664 Part 7 (AFDX) ใน รุ่นเครื่องบินใหม่, อินเทอร์เน็ตเวย์สำหรับเครื่องบินรุ่นเก่าผ่าน ARINC 429) เพื่อการทำงานร่วมกันระหว่าง ระบบต่างๆ

4.2 การจัดการความเสี่ยงด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ DO-326A และ DO-327A องค์การการบิน ควรดำเนินการประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ (CRA) เพื่อเตรียมการสำหรับขั้นตอนการ ออกแบบระบบ โดยเฉพาะเมื่อกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวข้องกับระบบที่มีความสำคัญต่อความ ปลอดภัย เช่น Flight Management System และ ACARS (Federal Aviation Administration, 2015) ควรใช้สถาปัตยกรรมแบบ Zero-Trust และการเข้ารหัสแบบ end-to-end เพื่อทดสอบการเจาะเข้าระบบควร ทำอย่างน้อยทุก 6 เดือน และควรเขียนแผนการตอบสนองต่อเหตุการณ์เพื่อรับมือกับการโจมตีทางไซเบอร์ การแยกเครือข่ายของระบบ Electronic Flight Bag (EFB) และระบบควบคุมการบินเป็นสิ่งสำคัญและไม่ควร ละเลย (Federal Aviation Administration, 2014)

4.3 การจัดการการเปลี่ยนแปลงปัจจัยมนุษย์และแผนการจัดการการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะพนักงานที่ ไม่ได้เรียนรู้และไม่มีทักษะในการใช้ในกรณีฉุกเฉิน เมื่อใช้ Electronic Flight Bag (EFB) ในสภาพแวดล้อมจริง การ รับรู้สถานการณ์ของนักบินอาจถูกจำกัดเนื่องจากการพึ่งพาข้อมูลไม่ได้รับการวิเคราะห์ งานวิจัย (Ates, 2017) แนะนำว่าบริษัทควรให้นักบินได้รับการฝึกอบรมที่ครอบคลุมเพียงพอในช่วงแรกที่ใช้กระเป๋าเอกสาร อิเล็กทรอนิกส์รวมถึงการฝึกอบรมนักบินเกี่ยวกับการดำเนินการฉุกเฉินและการจัดการภาระงาน ก่อนที่ กระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์จะถูกรวมเข้ากับสภาพแวดล้อมการปฏิบัติงานจริง มีความจำเป็นที่หน่วยงาน กำกับดูแลจะต้องสำรวจแนวคิดของระบบการจำแนกประเภท Electronic Flight Bag (EFB) ให้เข้ากันได้กับ เทคโนโลยีที่มีอยู่และสนับสนุนการใช้ EFB บนคลาวด์และระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ใช้ AI นอกจากนี้ จำเป็นต้องส่งเสริมการสร้างระบบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลทั่วไปสำหรับทุกรุ่น ผู้ผลิต และหมายเลข เครื่องบินเพื่อลดความซับซ้อนและความยืดหยุ่นสำหรับสายการบินเนื่องจากทำให้สายการบินสามารถลด ต้นทุนได้

5. บทสรุป

ในยุคดิจิทัลนี้การบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) กับระบบการบินหลักเป็นสิ่งจำเป็นที่หลีกเลี่ยง ไม่ได้ การบูรณาการนี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อเกิดความสม่ำเสมอของข้อมูลและการบูรณาการระบบ อีกทั้งการปฏิบัติด้าน ความปลอดภัยทางไซเบอร์ทั้ง 3 ด้าน เมื่อศึกษาจากวรรณกรรมและเอกสารที่จัดตั้งขึ้นอื่นๆ ผู้ศึกษาพบว่า Flight Management System (FMS) ที่บูรณาการเข้ากับกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ Electronic Flight Bag (EFB) ส่งผล ให้เกิดประโยชน์โดยตรง โดยเฉพาะการลดภาระงานของนักบินลงถึงร้อยละ 15-17 และลดข้อผิดพลาดในการคำนวณ ประสิทธิภาพการบินลงถึงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับกระเป๋ابินที่ใช้กระดาษ (Federal Aviation Administration, 2024) การศึกษาด้วยการทบทวนวรรณกรรมอย่างครอบคลุมเกี่ยวกับ การบูรณาการระบบการจัดการการบิน

กับกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์และปัญหาปัจจุบันกับสถาปัตยกรรมและมาตรฐานของระบบ ในปัจจุบัน ปัญหาหลักของการบูรณาการ Electronic Flight Bag (EFB) ยังคงอยู่ที่รุ่นเครื่องบินที่ล้าสมัย ที่ใช้สถาปัตยกรรมปิดที่มีโปรโตคอลการสื่อสารเฉพาะผู้ผลิตซึ่งทำให้การใช้งานกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง การขาดมาตรฐานการสื่อสารทำให้ระบบไม่เข้ากันและขัดขวางการดำเนินงานสำหรับสายการบินหลายแห่งที่ใช้เครื่องบินรุ่นต่างๆ การเข้าถึงระบบ กระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการสื่อสารแบบเรียลไทม์ให้ช่องทางแก่ผู้โจมตีทางไซเบอร์ในการใช้ประโยชน์ การใช้มัลแวร์ การขโมยข้อมูล งานวิจัยเชิงประจักษ์จำกัดได้ทำเกี่ยวกับระบบ Electronic Flight Bag (EFB) แบบเปิดที่ปลอดภัยเพื่อแจ้งการออกแบบมาตรการตอบโต้ที่มีประสิทธิภาพ การยอมรับเทคโนโลยีเป็นไปอย่างช้า มาตรฐานการบูรณาการในปัจจุบันไม่ดีพอสำหรับเทคโนโลยีใหม่ๆ เช่น แพลตฟอร์มกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์บนคลาวด์ การซิงโครไนซ์ข้อมูลแบบเรียลไทม์กับดาวเทียมและความต้องการการเชื่อมต่อพื้นฐาน 2.0 ในปี 2025-2026 ของ EASA นอกจากนี้ยังไม่สนับสนุนเทคโนโลยีใหม่ในระบบการจำแนกประเภทกระเป๋าเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ มาตรฐานของ FAA (ประเภท A, B, C) (Álvarez & De Oliveira, 2025) ไม่มีการบูรณาการเทคโนโลยีใหม่ในลักษณะเดียวกันสำหรับผู้ผลิตเครื่องบิน การเปรียบเทียบ Airbus (เครื่องบินที่เชื่อมต่อแบบเปิด) กับ Boeing (การแบ่งส่วนระบบเพื่อความปลอดภัย) ได้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ยืดหยุ่นกับระบบต่างๆ พร้อมกับการควบคุมความปลอดภัยเพื่อป้องกันภัยคุกคาม เป็นการอภิปรายในอุตสาหกรรมที่สมควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม องค์การการบินควรเริ่มสร้างมาตรฐานความปลอดภัยทางไซเบอร์เพื่อปกป้องระบบ Electronic Flight Bag (EFB) ที่เชื่อมต่อและอาจจะเป็นภัยคุกคามทางอิเล็กทรอนิกส์ สายการบินควรตรวจสอบระบบเหล่านี้ต่อภาระงานทางจิตของนักบินเมื่อดำเนินการในสภาพแวดล้อมการบินจริง บทความนี้ช่วยให้สายการบินมีความจำเป็นต้องลงทุนใน Electronic Flight Bag (EFB) เพื่อให้พนักงานและสายการบินสามารถดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- Airbus. (2021). **Airbus and Delta Tech Ops welcome GE Digital into the Aviation Digital Alliance.** [Online], Retrieved September 10, 2025, from <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2021-07-airbus-and-delta-techops-welcome-ge-digital-into-the-aviation>
- Álvarez, P. C., & De Oliveira, Í. R. (2025). **Advancing operational efficiency: Airspace users' perspective on trajectory-based operations.** Proceedings of the 2025 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS) (pp. 1–9). Brussels, Belgium. <https://doi.org/10.1109/ICNS65417.2025.10976949>
- Ates, S. S. (2017). **Electronic Flight Bag in the Operation of Airline Companies: Application in Turkey.** Computer Science and Information Technology, 5(4), 128 - 134. <https://doi.org/10.13189/csit.2017.050402>
- Babb, T. (2017). Professional Pilot Commercial Off-the-Shelf (COTS) EFB Usage, Policies and Reliability. **International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace**, 4, 8. <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2017.1159>

- Banks, V. A., Griffin, T. G. C., Parnell, K. J., Plant, K. L., Wynne, R. A., & Stanton, N. A. (2023). Increasing connectivity: Using operator event sequence diagrams to assess the integration of new technology within the flight deck. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, **34**(1), 53–62.
<https://doi.org/10.1002/hfm.21010>
- Blessing, A. (2024). Cybersecurity as an extension of safety management in business aviation. **International Journal of Science and Research Archive**. **13**(1), Article 2054.
<https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.13.1.2054>
- Carroll, M., Rebensky, S., Wilt, D., Pittorie, W., Hunt, L., Chaparro, M., & Sanchez, P. (2021). Integrating Uncertified Information from the Electronic Flight Bag into the Aircraft Panel: Impacts on Pilot Response. **International Journal of Human-Computer Interaction**, **37**(7), 630–641. <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1854001>
- Endsley, M. R. (2019). Situation awareness. **Human Factors**, **61**(1), 5–15.
<https://doi.org/10.1002/9781119636113.ch17>
- European Union Aviation Safety Agency. (2024). **AMC 20-25A: Airworthiness considerations for Electronic Flight Bags**. [Online], Retrieved November 16, 2025 from <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-acceptable-means-0?page=19>
- Federal Aviation Administration. (2014). **Advisory Circular 120-76D: Guidelines for the certification, airworthiness, and operational use of electronic flight bags**. Federal Aviation Administration. [Online], Retrieved September 10, 2025 from https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-76D.pdf
- Federal Aviation Administration. (2015). Aviation Rulemaking Advisory Committee (ARAC) **Aircraft System Information Security/Protection (ASISP) Working Group (ARAC-ASISP-T1-20150203R)**. U.S. Federal Aviation Administration. [Online], Retrieved September 9, 2025 from https://www.faa.gov/regulations_policies/rulemaking/committees/documents/media/ARACasisp-T1-20150203R.pdf
- Federal Aviation Administration. (2024). **Advisory circular 120-76E: Guidelines for the certification, airworthiness, and operational use of electronic flight bags**. [Online], Retrieved November 16, 2025 from https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.current/documentNumber/120-76
- International Civil Aviation Organization. (2018). **Manual on electronic flight bags (EFBs) (Doc 10020)**. [Online], Retrieved November 16, 2025 from <https://news.ncac.mn/uploads/bookSubject/2022-11/637dd0247055d.pdf>

- Koczo, S. (2013). **Analysis of operational hazards and safety requirements for Traffic Aware Strategic Aircrew Requests (TASAR)** (NASA Technical Reports Server No. 20130013846). National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center.
- Kultur, O. R., & Bilge, H. S. (2021). **Comparative analysis of next generation aircraft data networks**. In Proceedings of the IEEE EUROCON 2021 – 19th International Conference on Smart Technologies (pp. 317–320). IEEE.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9535577>
- Malik, R., & Indriyanto, T. (2023). **Development of Electronic Flight Bag application for small turboprop aircraft weight and balance calculation**. [Online], Retrieved September 10, 2025 from https://www.researchgate.net/publication/377462254_Development_of_Electronic_Flight_Bag_Application_for_Small_Turboprop_Aircraft_Weight_and_Balance_Calculation
- Mondoloni, S., Kamine, S., Steinbach, K., Bowman, S., Zheng, L., & Cady, M. (2023). **Application of the connected aircraft for trajectory information exchange**. In Proceedings of the 2023 IEEE/AIAA 42nd Digital Avionics Systems Conference (DASC) (pp. 1–8).
<https://doi.org/10.1109/DASC58513.2023.10311256>
- Ricardianto, P., Wibisono, E., Adi, E. N., Suryaningsih, L., Rusmiyati, C., Winarnoc, E., Udiati, T., Rafia, S., Kurnia Sinta, A., & Endri, E. (2023). The influence of implementing electronic flight bag application on aviation safety mediated by the optimization of human resources. *Uncertain Supply Chain Management*, 11, 1485-1494.
<https://doi.org/10.5267/j.uscm.2023.7.020>
- Roscoe, D., Vivona, R., Woods, S., Karr, D., & Wing, D. (2016). **Deploying a route optimization EFB application for commercial airline operational trials**. In 2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC) (pp. 1-7). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/DASC.2016.7778037>
- Skaves, P. (2011). **Electronic flight bag (EFB) policy and guidance**. In 2011 IEEE/AIAA 30th Digital Avionics Systems Conference (pp. 8D1-1–8D1-11).
<https://doi.org/10.1109/DASC.2011.6096150>
- Stouffer, K., Pillitteri, V., Lightman, S., Abrams, M., & Hahn, A. (2023). **Guide to industrial control systems security** (NIST Special Publication No. 800-82 Rev. 3). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r3>
- Suppiah, S., Liu, D., Lee, S., Dattel, A., & Vincenzi, D. (2020). Impact of electronic flight bag (EFB) on single pilot performance and workload. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 7(4). <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2020.1531>

- Sweet, J., Vu, K.-P. L., Battiste, V., & Strybel, T. Z. (2017). **The comparative benefits and hazards of EFBs and paper documents in the cockpit.** Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 61(1), 99–100. <https://doi.org/10.1177/1541931213601490>
- True, W., Kilbourne, T., Roy, A., & Ghazavi, N. (2021). **Cybersecurity for flight deck data exchange.** In Proceedings of the 2021 IEEE/AIAA 40th Digital Avionics Systems Conference (DASC) (pp. 1–13). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC52595.2021.9594376>