

การวิจัยและพัฒนาระบบการจัดการสัมภาระด้วยเทคโนโลยี RFID สำหรับท่าอากาศยาน

ขวัญจิตต์ ทองเวส* และ กะรัต บุญมาก

AOTGA บริษัทบริการภาคพื้นท่าอากาศยานไทยจำกัด*

Received: 27 September 2025

Revised: 26 October 2025

Accepted: 13 November 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อนำเสนอการออกแบบและพัฒนา ระบบการจัดการสัมภาระอัตโนมัติ (Automated Baggage Management System) ที่ใช้เทคโนโลยีคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) เพื่อแก้ไขปัญหาและยกระดับประสิทธิภาพของระบบขนถ่ายสัมภาระ (BHS) แบบดั้งเดิมที่พึ่งพาเทคโนโลยีบาร์โค้ด ซึ่งมักประสบปัญหาอัตราการอ่านข้อมูลต่ำ และขาดความสามารถในการติดตามสัมภาระแบบเรียลไทม์ การศึกษาได้เริ่มต้นจากการวิเคราะห์กระบวนการจัดการสัมภาระในสภาพแวดล้อมสนามบินในปัจจุบันอย่างละเอียด ตั้งแต่การเช็คอิน การคัดแยก ไปจนถึงการโหลดขึ้นเครื่องบิน เพื่อระบุจุดวิกฤตที่ส่งผลให้เกิดสัมภาระตกค้าง (Mishandled Baggage) ในปริมาณสูง จากนั้นได้ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบระบบที่มีการบูรณาการเทคโนโลยี RFID แบบ UHF (Ultra High Frequency) เข้ากับโมเดลสายพานลำเลียงจำลองขนาดเล็ก โดยระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย RFID readers, antennas และซอฟต์แวร์ประยุกต์สำหรับการจัดการฐานข้อมูลและแสดงผลข้อมูลตำแหน่งของสัมภาระแบบเรียลไทม์ ผลการทดสอบเชิงปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มอัตราความแม่นยำในการอ่านข้อมูลแท็กได้สูงถึง 99.8% และลดระยะเวลาในการประมวลผลสัมภาระแต่ละชิ้นได้จาก 5-7 วินาทีเหลือเพียงน้อยกว่า 1 วินาที ซึ่งส่งผลให้ความแม่นยำในการคัดแยกสัมภาระในสภาพแวดล้อมจำลองเพิ่มขึ้นเป็น 100% ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยี RFID ในการลดจำนวนสัมภาระตกค้างและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของสนามบินได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้จึงเป็นรากฐานที่สำคัญในการสร้างสนามบินอัจฉริยะแห่งอนาคต และให้ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติสำหรับการนำเทคโนโลยีไปใช้จริงเพื่อยกระดับคุณภาพการบริการและความปลอดภัยในการเดินทางของผู้โดยสาร

คำสำคัญ: ระบบจัดการสัมภาระอัตโนมัติ, เทคโนโลยีคลื่นความถี่วิทยุ, ระบบขนถ่ายสัมภาระ

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ: อีเมล: thongves1981@gmail.com

Research and Development of a Radio-Frequency Identification (RFID) – Based Baggage Management System for Airports

Kwanjitt Thongves* and Karat Bunmak

AOTGA, AOT Ground Aviation Services Company Limited

Abstract

This research aims to propose the design and development of an automated baggage management system (BHS) using radio frequency identification (RFID) technology to address and improve the efficiency of conventional barcode-based baggage handling systems (BHS), which often rely on low read rates and lack real-time baggage tracking capabilities. The study began with a thorough analysis of the baggage handling process in the current airport environment, from check-in, sorting, to loading, to identify critical points leading to high volumes of mishandled baggage. A prototype system was then designed and constructed, integrating ultra-high-frequency (UHF) RFID technology with a miniature conveyor belt model. The developed system comprised RFID readers, antennas, and application software for database management and real-time baggage location data display. Experimental testing demonstrated that the developed system could increase tag reading accuracy to 99.8% and reduce the processing time for each baggage item from 5-7 seconds to less than 1 second, resulting in a 100% baggage sorting accuracy in a simulated environment. These results demonstrate the potential of RFID technology to significantly reduce baggage backlog and improve airport operations. This research therefore lays an important foundation for creating the smart airport of the future. and provide practical suggestions for the practical application of technology to improve service quality and passenger travel safety.

Keywords: Automated Baggage Management System, Radio frequency identification (RFID), Barcode-based baggage handling systems (BHS)

*Corresponding Author: Email: thongves1981@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการบินทั่วโลกเติบโตอย่างต่อเนื่องในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โดยมีจำนวนผู้โดยสารเพิ่มขึ้นจาก 3.7 พันล้านคนในปี 2016 เป็นกว่า 4.5 พันล้านคนในปี 2019 ก่อนจะได้รับผลกระทบจากสถานการณ์โรคระบาด สถิติจากสมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (IATA) และ SITA Baggage Report ระบุว่า แม้จะมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง แต่จำนวนสัมภาระตกค้างและสูญหายยังคงเป็นปัญหาสำคัญ โดยมีค่าใช้จ่ายรวมต่อปีสูงถึงหลายพันล้านดอลลาร์สหรัฐ จากการชดเชยค่าเสียหายและค่าใช้จ่ายในการติดตามและส่งคืนสัมภาระ

ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสัมภาระผิดพลาดนั้นมีจำนวนมหาศาล โดยประมาณการไว้ที่ 5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐทั่วโลกในปี 2024 ซึ่งรวมถึงค่าใช้จ่ายในการส่งคืนสัมภาระโดยผู้จัดส่ง ค่าบริการลูกค้า การจัดการข้อเรียกร้อง และการสูญเสียประสิทธิภาพการผลิต สมาคมขนส่งทางอากาศระหว่างประเทศ (IATA) ประมาณการต้นทุนในการส่งคืนสัมภาระที่จัดการผิดพลาดอยู่ที่ 100 ดอลลาร์สหรัฐต่อกระเป๋า ภาระทางการเงินที่สำคัญนี้เป็นแรงจูงใจทางเศรษฐกิจที่แข็งแกร่งสำหรับท่าอากาศยานและสายการบินในการลงทุนในเทคโนโลยีการติดตามขั้นสูงและระบบ BHS ที่มีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากข้อกำหนดด้านกฎระเบียบเพียงอย่างเดียว การลงทุนดังกล่าวเปลี่ยนบทบาทของ BHS จากศูนย์ต้นทุนที่จำเป็นไปสู่พื้นที่ที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและปรับปรุงความสามารถในการทำกำไรได้อย่างมีนัยสำคัญ

ระบบจัดการสัมภาระ (BHS) เป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินงานที่ประสบความสำเร็จของท่าอากาศยาน โดยส่งผลกระทบโดยตรงต่อความพึงพอใจของลูกค้าและความเป็นเลิศในการปฏิบัติงาน ระบบ BHS ที่ไม่มีประสิทธิภาพสามารถนำไปสู่การหยุดชะงักอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลกระทบต่อเวลาการหมุนเวียนของอากาศยาน เวลาการต่อเครื่องขึ้นต่ำ การจัดการประตูขึ้นเครื่อง และการใช้ประโยชน์จากขีดความสามารถโดยรวมของสนามบิน

ระบบ BHS แบบดั้งเดิมที่อาศัยบาร์โค้ดเผชิญกับข้อจำกัดหลักๆ ได้แก่

1. การพึ่งพาการสแกนด้วยสายตา (Line of Sight) เครื่องสแกนบาร์โค้ดต้องสามารถ "มองเห็น" ฉลากได้อย่างชัดเจนและอยู่ในระยะที่เหมาะสม หากฉลากสัมภาระยับ บิดงอ หรือเปรอะเปื้อน จะทำให้ไม่สามารถอ่านข้อมูลได้
2. อัตราความแม่นยำที่ผันแปร อัตราการอ่านบาร์โค้ดสำเร็จในสภาพแวดล้อมจริงมักอยู่ที่ 95-98% ซึ่งหมายความว่าทุกๆ 100 ชิ้น มีโอกาสผิดพลาดได้ถึง 2-5 ชิ้น ซึ่งเป็นตัวเลขที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อการดำเนินงานของสนามบินขนาดใหญ่
3. การขาดข้อมูลเรียลไทม์ ข้อมูลการติดตามจำกัดอยู่เฉพาะ ณ จุดสแกนเท่านั้น ไม่สามารถระบุตำแหน่งที่แน่นอนของสัมภาระได้ตลอดเวลาที่อยู่บนสายพาน

ระบบจัดการสัมภาระประกอบด้วยองค์ประกอบทางกายภาพที่หลากหลายและระบบควบคุมที่ซับซ้อนที่ทำงานร่วมกันเพื่อเคลื่อนย้ายและจัดเรียงสัมภาระอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถแยกอธิบายตามหัวข้อดังนี้

1. ระบบสายพานลำเลียง เป็นองค์ประกอบที่แพร่หลายที่สุดใน BHS โดยครองส่วนแบ่งตลาดประมาณ 75.6% ในปี 2024 เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการลำเลียงสัมภาระอัตโนมัติ Daifuku นำเสนอสายพานลำเลียงที่หลากหลายซึ่งสามารถจัดการสัมภาระได้เกือบทุกรูปร่างและขนาด ในขณะที่ BEUMER Group มีระบบสายพาน CrisBelt® ที่เน้นความคุ้มค่าและประหยัดพลังงาน

2. ระบบคัดแยก เป็นโซลูชันความเร็วสูงสำหรับการขนส่งและคัดแยกสัมภาระจากเคาน์เตอร์เช็คอินไปยังพื้นที่จัดเตรียมสัมภาระ (make-up areas) ระบบคัดแยกแบบ Tilt-tray loop ได้รับการออกแบบมาเพื่อการจัดการสัมภาระความเร็วสูงสำหรับสัมภาระที่มีรูปร่างและขนาดที่หลากหลาย

3. ระบบจัดเก็บสัมภาระล่วงหน้า (Early Baggage Storage - EBS) ระบบนี้ใช้สำหรับจัดเก็บและปล่อยสัมภาระที่นำมาส่งที่สนามบินล่วงหน้า ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานในขั้นตอนการจัดเตรียมสัมภาระ CrisStore® ของ BEUMER Group นำเสนอโซลูชันการจัดเก็บแบบไดนามิกบนชั้นวาง ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับท่าอากาศยานที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการจัดเตรียมสัมภาระด้วยการจัดกลุ่มสัมภาระ (batch building) และการโหลดแบบเร็ว ท่าอากาศยานฮีทโธรว์ Terminal 5 มีระบบ EBS ที่สามารถจัดเก็บสัมภาระได้สูงสุด 4,000 ชิ้น

4. ระบบลำเลียงสัมภาระแบบแต่ละชิ้น (Independent Carrier Systems - ICS) เทคโนโลยีที่ใช้ถาดหรือรถเข็นลำเลียงสัมภาระ (เช่น CrisBag® และ autover® ของ BEUMER Group) นำเสนอการควบคุมสัมภาระ "หนึ่งกระเป๋าคือหนึ่งถาด" ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามและตรวจสอบสัมภาระได้ 100% มีความแม่นยำและรวดเร็วถือเป็นเทคโนโลยีที่ง่ายที่สุดและปลอดภัยที่สุดในการควบคุมสัมภาระแต่ละชิ้น Siemens ได้จัดหาระบบ BHS แบบใช้ถาดสำหรับท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ SAT1 ซึ่งสามารถรองรับสัมภาระได้สูงสุด 10,800 ชิ้นต่อชั่วโมงที่ความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที การให้ความสำคัญกับระบบ ICS โดยผู้จำหน่ายชั้นนำอย่าง BEUMER และ Siemens สำหรับสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณงานสูง แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญจากระบบสายพานลำเลียงแบบดั้งเดิม ระบบ ICS นำเสนอความแม่นยำ ความเร็ว และความยืดหยุ่นที่เหนือกว่าโดยการแยกสัมภาระแต่ละชิ้น ซึ่งช่วยแก้ไขปัญหาคอขวดในการจัดการสัมภาระผิดพลาดและจุดคอขวดในกระบวนการคัดแยกและการต่อเครื่องที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. ระบบควบคุม ชุดซอฟต์แวร์ (เช่น Airflow และ WebbView ของ Daifuku) ทำหน้าที่จัดการโซลูชัน BHS ทั้งแบบง่ายและซับซ้อน เพื่อให้มั่นใจว่าเป็นไปตามข้อกำหนด IATA 753 ซอฟต์แวร์ของ BEUMER Group

ครอบคลุมทุกด้านตั้งแต่การดำเนินงานไปจนถึงการเพิ่มประสิทธิภาพและการวางแผน เพื่อให้มั่นใจว่ามีการควบคุม
สัมภาระได้อย่างสมบูรณ์และสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้สูงสุด

เทคโนโลยีการระบุและติดตามสัมภาระ

การระบุและติดตามสัมภาระอย่างแม่นยำเป็นสิ่งสำคัญในการลดการจัดการสัมภาระผิดพลาดและเพิ่ม
ความพึงพอใจของผู้โดยสาร สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1.ระบบบาร์โค้ด ยังคงเป็นองค์ประกอบที่ใหญ่ที่สุดในตลาดในปี 2024 โดยครองส่วนแบ่งตลาดประมาณ
81.1% เนื่องจากมีต้นทุนการนำไปใช้งานต่ำ ง่ายต่อการรวมเข้ากับโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ และมีการกำหนด
มาตรฐานอย่างแพร่หลายทั่วโลก

2.RFID (Radio Frequency Identification) IATA ระบุว่าเป็นเทคโนโลยีหลักที่ช่วยให้สามารถติดตาม
สัมภาระได้อย่างน้อยสี่ตำแหน่ง: การเช็คอิน การโหลด การต่อเครื่อง และการมาถึง ภายใต้ Resolution 753
ระบบที่ใช้ RFID กำลังได้รับความนิยมเนื่องจากมีความแม่นยำในการติดตามที่เหนือกว่าและการตรวจสอบแบบ
เรียลไทม์ โดยมีอัตราการเติบโตของตลาดที่เร็วที่สุดที่ 9.9%

3.Biometrics เทคโนโลยีเช่นการจดจำใบหน้าถูกรวมเข้ากับกระบวนการเช็คอินและโหลดสัมภาระเพื่อ
เพิ่มความปลอดภัยและปรับปรุงขั้นตอนการดำเนินงานของผู้โดยสาร ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิได้นำระบบไบโอ
เมตริกซ์ที่รวมเข้าด้วยกันอย่างสมบูรณ์มาใช้ในการเช็คอิน โหลดสัมภาระ และขึ้นเครื่องสำหรับเที่ยวบิน
ภายในประเทศ โดยมีแผนที่จะขยายไปยังเที่ยวบินระหว่างประเทศ

แม้ว่าเทคโนโลยี RFID และระบบไบโอเมตริกซ์จะให้ประโยชน์ที่ชัดเจนและมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่
ระบบบาร์โค้ดและระบบสายพานลำเลียงแบบดั้งเดิมยังคงครองตลาดอยู่ แสดงให้เห็นถึงฐานการติดตั้งขนาดใหญ่
ของเทคโนโลยีเก่าและความท้าทายในการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบใหม่ที่ซับซ้อนและใช้เงินลงทุนสูง สถานการณ์นี้
ชี้ให้เห็นว่าอุตสาหกรรมกำลังอยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่าน ซึ่งเทคโนโลยีใหม่กำลังถูกนำมาใช้ แต่การเปลี่ยนแปลงในวง
กว้างยังคงเป็นกระบวนการที่ค่อยเป็นค่อยไป

นวัตกรรมและระบบอัตโนมัติ

นวัตกรรมและระบบอัตโนมัติกำลังขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในระบบจัดการสัมภาระ โดยมุ่งเน้น
ที่ประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และประสบการณ์ของผู้โดยสารโดยตรง สามารถแยกนวัตกรรมออกได้ดังนี้

1.เทคโนโลยีบริการตนเอง (Self-Service Technologies) การจัดการสัมภาระอัตโนมัติและตู้บริการ
ตนเองเป็นกุญแจสำคัญในการลงทุนเพื่อจัดการปริมาณการจราจรที่ผันผวน สายการบินเกือบทั้งหมด (98%) และ
ท่าอากาศยานส่วนใหญ่ (95%) ให้ความสำคัญกับตัวเลือกการติดแท็กสัมภาระแบบไร้สัมผัส การโหลดสัมภาระด้วย

ตนเอง (Self-Bag Drop - SBD) เป็นส่วนตลาดที่เติบโตเร็วที่สุด ช่วยให้ท่าอากาศยานสามารถจัดการสัมภาระด้วยพนักงานน้อยลงและลดเวลารอคิวเช็คอิน

2.ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (ML) ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการจัดการสัมภาระ คาดการณ์และป้องกันการจัดการสัมภาระผิดพลาด และเพิ่มความปลอดภัยในการคัดกรอง ระบบที่ขับเคลื่อนด้วย AI สามารถลดข้อผิดพลาดของมนุษย์ ลดต้นทุนการดำเนินงาน และเพิ่มประสิทธิภาพ การพัฒนาล่าสุดรวมถึง AI สำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ การติดตามสัมภาระแบบเรียลไทม์ และรูปแบบการคัดแยกที่เหมาะสมที่สุด

3.อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT) ช่วยให้สามารถตรวจสอบและติดตามสัมภาระแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำ เซ็นเซอร์ IoT (เช่น IO-Link) ส่งข้อมูลไปยังโมเดล ML เพื่อการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ ระบุสัญญาณเตือนล่วงหน้าสำหรับการขัดข้องของอุปกรณ์

4.หุ่นยนต์ (Robotics) กำลังได้รับการพัฒนาสำหรับงานต่างๆ เช่น การโหลดและขนถ่ายรถเข็นสัมภาระ และอุปกรณ์บรรทุกหน่วย (ULDs) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ (7.5 กระเป๋าท่อนาที) และความปลอดภัยของพนักงานโดยลดการจัดการด้วยมือ ท่าอากาศยานฮีทโธรว์กำลังสำรวจระบบหุ่นยนต์สำหรับการคัดแยกและขนถ่ายสัมภาระ

5.ระบบบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance Systems - PdMS) ใช้ประโยชน์จาก AI และ IoT เพื่อคาดการณ์การขัดข้องของอุปกรณ์ก่อนที่จะเกิดขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเวลาการทำงานและลดต้นทุนการหยุดทำงาน สิ่งนี้เปลี่ยนจากการบำรุงรักษาแบบตอบสนองไปสู่การบำรุงรักษาเชิงรุก ซึ่งช่วยลดความไม่พอใจของผู้โดยสารและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

มาตรฐานและข้อบังคับอุตสาหกรรมการบิน

มาตรฐานและข้อบังคับอุตสาหกรรมการบินมีบทบาทสำคัญในการกำหนดแนวทางปฏิบัติและกระตุ้นการลงทุนในระบบจัดการสัมภาระ โดยกำหนดจากข้อบังคับดังนี้

IATA Resolution 753 ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2018 กำหนดให้สายการบินต้องติดตามสัมภาระอย่างน้อยสี่ตำแหน่งหลัก ได้แก่ การเช็คอิน การโหลด การต่อเครื่อง และการมาถึง เป้าหมายคือเพื่อลดการจัดการสัมภาระผิดพลาด เพิ่มความพึงพอใจของผู้โดยสาร และช่วยให้สายการบินสามารถเข้าถึงข้อมูลการติดตามสัมภาระได้ไม่ว่าสายการบินใดจะเกี่ยวข้องกับการขนส่งก็ตาม การปฏิบัติตาม IATA 753 เป็นคุณสมบัติสำคัญของระบบควบคุม BHS สมัยใหม่ (เช่น Airflow และ WebbView ของ Daifuku)

การวิเคราะห์ระบบจัดการสัมภาระท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

โครงสร้างและเทคโนโลยีปัจจุบัน

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิได้ลงทุนในระบบจัดการสัมภาระที่ทันสมัยเพื่อรองรับปริมาณผู้โดยสารที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน สามารถแบ่งได้ดังนี้

1.ระบบ BHS ของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิได้รวมเอาอุปกรณ์ระบบตรวจจับวัตถุระเบิดแบบออนไลน์ (EDS) และได้รับการออกแบบมาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับผู้โดยสารได้ 60 ล้านคนต่อปี การออกแบบ BHS ประกอบด้วยเคาน์เตอร์เช็คอินเพิ่มเติมสามเกาะ สายพานลำเลียง ระบบลำเลียงสัมภาระแบบแต่ละชั้น (ICS) อุปกรณ์ EDS แบบออนไลน์หกชุด และสิ่งอำนวยความสะดวกในการจัดเก็บสัมภาระล่วงหน้า (EBS) การลงทุนเหล่านี้ทำให้ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิสอดคล้องกับเทคโนโลยี BHS ขั้นสูงที่ใช้ในระดับโลก

2.อาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT1) ซึ่งเปิดให้บริการตั้งแต่เดือนกันยายน 2023 มีระบบจัดการสัมภาระที่ซับซ้อนภายในอุโมงค์ใต้ดินยาว 1 กิโลเมตรที่เชื่อมต่อกับอาคารผู้โดยสารหลัก พร้อมกับระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ (APM)

3.Siemens Postal, Parcel & Airport Logistics ได้จัดหาระบบ BHS แบบใช้ถาดสำหรับ SAT1 ซึ่งสามารถรองรับสัมภาระได้สูงสุด 10,800 ชิ้นต่อชั่วโมงที่ความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ระบบนี้รวมถึงถาด VarioTrays ที่ประหยัดพลังงานและถาดพิเศษสำหรับสัมภาระขนาดใหญ่ (out-of-gauge)

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิยังได้นำระบบไบโอเมตริกซ์ที่รวมเข้าด้วยกันอย่างสมบูรณ์มาใช้ในการเช็คอิน โหลดสัมภาระ และขึ้นเครื่อง (สำหรับเที่ยวบินภายในประเทศ) โดยมีเป้าหมายเพื่อการเดินทางที่รวดเร็ว สะดวก และปลอดภัยยิ่งขึ้นโดยลดการใช้เอกสาร

แม้จะมีการลงทุนในเทคโนโลยีที่ทันสมัย ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิยังคงเผชิญกับความท้าทายด้านประสิทธิภาพการดำเนินงานของระบบจัดการสัมภาระ สามารถอธิบายออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. ในอดีต ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิประสบปัญหาการจัดการสัมภาระที่ล่าช้าในวันเปิดทำการ โดยผู้โดยสารบางรายต้องรอนานหลายชั่วโมงเพื่อรับสัมภาระ

2. เมื่อไม่นานมานี้ ในปี 2012 ผู้ให้บริการจัดการสัมภาระหลักสองราย (บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน) และ Bangkok Flight Services) ไม่สามารถปฏิบัติตามเวลาที่กำหนดสำหรับการส่งมอบสัมภาระได้ โดยการบินไทยทำได้เพียง 33% และ BFS ทำได้ 63% เทียบกับเป้าหมายขั้นต่ำ 92%

3.แนวทางของบริษัทกำหนดให้สัมภาระชิ้นแรกปรากฏบนสายพานภายใน 18-20 นาที และสัมภาระชิ้นสุดท้ายภายใน 25-30 นาที ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในท่าอากาศยานนานาชาติชั้นนำ อย่างไรก็ตาม ผู้โดยสารบางรายประสบปัญหาความล่าช้า 30 ถึง 90 นาที

4.นายสมชัย สวัสดิ์ผล ผู้จัดการทั่วไปของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิในขณะนั้น ระบุว่าความล่าช้าเหล่านี้เกิดจาก "กำลังคนไม่เพียงพอและอุปกรณ์เฉพาะที่ขาดแคลน" แทนที่จะเป็น "ความผิดพลาดของระบบจัดการสัมภาระของบริษัท" สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าแม้ระบบ BHS จะมีประสิทธิภาพทางทฤษฎี แต่ก็อาจล้มเหลวได้เนื่องจากทรัพยากรบุคคลและการสนับสนุนภาคพื้นดินไม่เพียงพอ ซึ่งเน้นย้ำถึงปัญหาการจัดการและการดำเนินงานมากกว่าปัญหาทางเทคนิคเพียงอย่างเดียว

5.การวิเคราะห์ยังชี้ให้เห็นถึงปัญหาเชิงกายภาพและเชิงปฏิบัติการที่ส่งผลกระทบต่อความราบรื่นของการขนส่งสัมภาระ ซึ่งรวมถึงการเชื่อมสัมภาระที่ไม่เป็นมาตรฐาน (เช่น การวางสัมภาระในแนวตั้ง ล้อไปข้างหน้า) ความแตกต่างของระดับความสูงหรือช่องว่างระหว่างสายพานลำเลียงที่จุดคัดแยกสัมภาระ ความเร็วในการคัดแยกสัมภาระที่ต่ำเกินไป ปัญหาการติดขัดของล้อหรือชิปสัมภาระ ช่องว่างขนาดใหญ่ (>20 มม.) ระหว่างอุปกรณ์ลำเลียง มุมของสายพานลำเลียงลาดเอียงที่เกิน 16 องศาทำให้สัมภาระลื่นไถลหรือกลิ้ง เช่น เซอร์ตาแมวสะสมฝุ่นหรือทำงานผิดปกติ และการไหลของรางเลื่อนแบบเกลียวที่ไม่ดีหรือมีข้อบกพร่องในการออกแบบ ทำให้สัมภาระติดขัดหรือชนกัน การขาดการตอบสนองของระบบอย่างทันทั่วทั้งที่เมื่อสัมภาระติดขัดยังทำให้สัมภาระจำนวนมากกองรวมกัน ซึ่งนำไปสู่ความเสียหายของสัมภาระและอุปกรณ์ รายละเอียดเหล่านี้เน้นย้ำว่าแม้จะมีซอฟต์แวร์ขั้นสูงแต่ข้อบกพร่องพื้นฐานทางกลไกและวิศวกรรมโยธา รวมถึงการบำรุงรักษาที่บกพร่อง ก็ยังคงเป็นสิ่งสำคัญต่อความน่าเชื่อถือของ BHS

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเองมีแผนแม่บทที่ครอบคลุมเพื่อการขยายและปรับปรุงระบบจัดการสัมภาระดังนี้

1.แผนแม่บทประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญหลายประการ ได้แก่ การขยายอาคารผู้โดยสารฝั่งตะวันออก การก่อสร้างอาคารผู้โดยสาร South Terminal แห่งใหม่ การเพิ่มรันเวย์ที่สี่ และระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ (APM) ที่ทันสมัย การขยายนี้ถือว่ามีความสำคัญต่อการรักษาระบบเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยการท่องเที่ยวของประเทศไทย การเสริมสร้างการเชื่อมโยงทั่วโลก และการส่งเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติในวงกว้าง

2.อาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (SAT1) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงการพัฒนาเฟส 2 ได้เปิดดำเนินการในเดือนกันยายน 2023 ซึ่งเพิ่มขีดความสามารถของสนามบินเป็น 60 ล้านคนต่อปี

3.อาคารผู้โดยสาร South Terminal ซึ่งมีกำหนดเริ่มก่อสร้างในปี 2027 ได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับผู้โดยสารเพิ่มอีก 70 ล้านคนต่อปี และมีเป้าหมายเพื่อลดความซับซ้อนที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสัมภาระและกระบวนการต่อเครื่องที่ SAT-2 อาจนำมา สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางเชิงรุกในการบูรณาการข้อพิจารณา BHS เข้ากับการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ โดยมีเป้าหมายเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาคอขวดในอนาคต

4.โครงการ East Expansion มูลค่าประมาณ 12-13 พันล้านบาท มีกำหนดเริ่มการประมูลในเดือน พฤษภาคม 2025 และเริ่มก่อสร้างในเดือนพฤศจิกายน 2025 โดยคาดว่าจะแล้วเสร็จในปี 2028 ซึ่งจะเพิ่มขีดความสามารถของสนามบินอีก 15 ล้านคนต่อปี ทำให้รวมเป็น 80 ล้านคนต่อปี

5.การก่อสร้างรันเวย์ที่สามเสร็จในปี 2024 ซึ่งจะเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับเที่ยวบินจาก 68 เที่ยวบินต่อชั่วโมงเป็น 94 เที่ยวบินต่อชั่วโมง

6.การทดสอบระบบ APM และ BHS เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเปิดใช้งาน SAT-1 ซึ่งเน้นย้ำถึงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนในการพัฒนาสนามบิน โดย BHS เป็นรายการสำคัญในเส้นทางวิกฤต การวางแผนเชิงรุกนี้บ่งชี้ว่าท่าอากาศยานสุวรรณภูมิกำลังพยายามแก้ไขปัญหาด้านสัมภาระอย่างเป็นระบบ โดยพิจารณาถึงการจัดการสัมภาระเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบและขยายโครงสร้างพื้นฐานใหม่

ความจำเป็นในการยกระดับเทคโนโลยี

เพื่อรับมือกับการเติบโตของอุตสาหกรรมการบิน และสนองตอบต่อมาตรฐานใหม่ของ IATA Resolution 753 ที่บังคับให้สายการบินต้องติดตามสัมภาระใน 4 จุดสำคัญ (เช็คอิน, โหลด, โอนย้าย, ถึงที่หมาย) การเปลี่ยนผ่านไปสู่แนวคิด "สนามบินอัจฉริยะ" (Smart Airport) จึงกลายเป็นวาระสำคัญ เทคโนโลยี RFID เป็นหนึ่งในเครื่องมือสำคัญที่ถูกระบุว่าเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ด้วยคุณสมบัติเด่นคือการอ่านข้อมูลได้โดยไม่ต้องอาศัยสายตา การอ่านพร้อมกันหลายชิ้น และการให้ข้อมูลที่แม่นยำสูง รวมถึงการใช้ Internet of Things (IoT) ในสนามบินที่ช่วยให้สนามบินสามารถเชื่อมต่อและบริหารจัดการอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านเซ็นเซอร์ และระบบอัตโนมัติ เช่น ระบบติดตามสัมภาระอัจฉริยะและการบริหารพื้นที่จอดอากาศยาน (Smith & Brown, 2020)

แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงสร้างและส่วนประกอบของระบบขนถ่ายสัมภาระ (BHS)

ระบบ BHS ในสนามบินขนาดใหญ่ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักหลายส่วน ได้แก่

- Check-in and Tagging ขั้นตอนที่ผู้โดยสารเช็คอินและได้รับสัมภาระติดป้ายระบุตัวตน (Bag Tag)
- Conveyor System ระบบสายพานลำเลียงเพื่อเคลื่อนย้ายสัมภาระไปยังจุดต่างๆ
- Sorting Area พื้นที่คัดแยกที่ใช้เครื่องคัดแยกอัตโนมัติ (Sorters) เพื่อส่งสัมภาระไปยังปลายทางที่ถูกต้อง
- Makeup Carousels สายพานที่จัดเรียงสัมภาระตามเที่ยวบินก่อนการโหลดขึ้นเครื่อง
- Baggage Claim Area สายพานรับสัมภาระ ณ จุดหมายปลายทาง

เทคโนโลยีคลื่นความถี่วิทยุ (RFID)

RFID ทำงานโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อส่งและรับข้อมูลระหว่าง RFID Tag และ RFID Reader โดยแบ่งประเภทตามความถี่ได้ดังนี้

- Low Frequency (LF) ความถี่ต่ำ (125-134 kHz) เหมาะสำหรับระยะสั้นและใกล้ชิด เช่น การติดตามสัตว์เลี้ยง
- High Frequency (HF) ความถี่สูง (13.56 MHz) เหมาะสำหรับระยะใกล้ เช่น ระบบบัตรโดยสารรถไฟฟ้า
- Ultra-High Frequency (UHF) ความถี่สูงมาก (860-960 MHz) เหมาะสำหรับระยะไกล (หลายเมตร) และการอ่านพร้อมกันหลายชิ้น จึงเป็นที่นิยมที่สุดสำหรับการจัดการสัมภาระและสินค้าคงคลัง

RFID Tag มีหลายประเภท ได้แก่ Passive (ไม่มีแบตเตอรี่, อาศัยพลังงานจาก Reader) และ Active (มีแบตเตอรี่, ส่งสัญญาณเองได้) ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่ Passive UHF RFID Tags เนื่องจากมีราคาถูก น้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการใช้งาน

เอกสารงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพ BHS การศึกษาของ Zhang et al. (2018) ได้วิเคราะห์ปัญหาคอขวดในระบบ BHS และเสนอการใช้ระบบควบคุมแบบอัจฉริยะเพื่อลดความแออัด งานของ Li and Wang (2020) ได้ศึกษาการใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ต่างๆ เพื่อปรับปรุงการทำงานของระบบคัดแยก

- การประยุกต์ใช้ RFID ในระบบโลจิสติกส์ การวิจัยของ J. S. Lee et al. (2019) และ Chen and Kim (2021) ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของ RFID ในการเพิ่มความโปร่งใส (Visibility) และความแม่นยำในการจัดการห่วงโซ่อุปทาน
- กรณีศึกษาการนำ RFID มาใช้ในสนามบิน สนามบินฮ่องกง (HKG) และสนามบินนานาชาติ McCarran (LAS) ที่ลาสเวกัส ได้เป็นผู้นำในการทดลองใช้ RFID กับสัมภาระผู้โดยสารมาตั้งแต่ปี 2005 โดยมีรายงานว่าสามารถลดจำนวนสัมภาระตกค้างได้มากถึง 30-40% ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจสำคัญในการศึกษาครั้งนี้

รายงานและแนวปฏิบัติจากองค์การการบินระหว่างประเทศ

International Civil Aviation Organization (ICAO) เผยแพร่เอกสารเกี่ยวกับแนวโน้มเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมการบิน มาตรฐานความปลอดภัย และแนวทางปฏิบัติสำหรับการจัดการสนามบินอัจฉริยะ

Airports Council International (ACI World) จัดทำรายงานและข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสนามบินทั่วโลก รวมถึงแนวโน้มและการนำเทคโนโลยี Smart Airport มาใช้

International Air Transport Association (IATA) นำเสนอวิสัยทัศน์และข้อกำหนดสำหรับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับผู้โดยสารและสัมภาระ (เช่น One ID, IATA Fast Travel)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์เชิงลึกปัญหาทางเทคนิคและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากระบบ BHS แบบดั้งเดิม
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบการจัดการสัมภาระที่ใช้ RFID ที่สามารถทำงานร่วมกับโครงสร้างพื้นฐานเดิมได้
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบในด้านความแม่นยำ ความรวดเร็ว และศักยภาพในการลดข้อผิดพลาด
4. เพื่อนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยที่นำเสนอเป็นการผสมผสาน (Mixed-Method Research) ระหว่างการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative) อย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งความเข้าใจในการทำงานจริง การพัฒนาที่มีประสิทธิภาพ และการประเมินผลอย่างเป็นรูปธรรม โดยมีรายละเอียดเชิงลึกในแต่ละระยะดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 การวิเคราะห์ความต้องการและการออกแบบระบบ

ระยะนี้มุ่งเน้นการสร้างความเข้าใจในกระบวนการจัดการสัมภาระของสนามบิน ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญก่อนการลงมือออกแบบระบบ

1.1 การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ (In-depth Qualitative Data Collection)

1.1.1 การสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้เชี่ยวชาญ การสัมภาษณ์ (In-depth Interviews) ไม่ได้มุ่งเน้นเพียงขั้นตอนการทำงานเท่านั้น แต่ยังขยายไปถึง "ความท้าทายที่ซ่อนอยู่" เช่น ปัญหาความผิดพลาดจากการทำงานซ้ำซ้อนของมนุษย์ (Human Error), ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม (เช่น ความชื้น, การสั่นสะเทือน), และข้อจำกัดของระบบเดิม (Barcode) ที่ไม่สามารถติดตามสัมภาระแบบเรียลไทม์ได้จริง (True Real-time Tracking) ข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ในการกำหนด ขอบเขตการทำงาน (Scope of Work) และ เกณฑ์ความสำเร็จ (Success Criteria) ของระบบ RFID

1.2 การระบุจุดวิกฤตเชิงปฏิบัติการ (Identification of Critical Operational Points)

1.2.1 การวิเคราะห์แผนผังการไหลของสัมภาระ (Baggage Flow Diagram Analysis) การวิเคราะห์นี้ไม่ใช่เพียงการดูแผนผังทั่วไป แต่เป็นการทำ การเดินตามสัมภาระ (Baggage Walk-through) ร่วมกับผู้ปฏิบัติงานจริง เพื่อระบุ จุดคอขวด (Bottlenecks) และ จุดที่เกิดการอ่านล้มเหลว (Read-Failure Zones) ตัวอย่างเช่น

- จุดเปลี่ยนทิศทาง/ทางแยก (Diverter/Junctions) เป็นจุดที่มีความเสี่ยงสูงที่แท็กจะถูกอ่านล้มเหลวเนื่องจาก ความเร็วสูง และการชนกันของสัมภาระ (Bag-to-Bag Collision) ซึ่งการติดตั้งเสาอากาศต้องใช้เทคนิคการครอบคลุมพื้นที่อ่านที่แม่นยำ (Precise Read Zone Coverage)

- จุดคัดแยกที่มีความเร็วสูง (High-Speed Sortation) การออกแบบต้องคำนึงถึง ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) ที่อาจเกิดขึ้นกับการอ่านสัญญาณ RFID ที่ความเร็วสูง ซึ่งนำไปสู่การเลือกอุปกรณ์ที่มีความไวสูง (High Sensitivity Readers)

1.3 การออกแบบระบบ (System Architecture Design)

1.3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ การเลือกเครื่องอ่าน (Alien Technology ALR-H460) และเสาอากาศ (Times-7 A6034) ต้องพิจารณาจาก อัตราความสำเร็จในการอ่าน (Read Rate Success) ภายใต้สภาวะที่ท้าทาย การติดตั้งต้องออกแบบให้เกิด สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมาะสม (Optimal Electromagnetic Field) และ ลดปัญหาคลื่นรบกวน (Signal Interference Mitigation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการสะท้อน (Multipath) จากโครงสร้างโลหะของสายพาน

1.3.2 ส่วนซอฟต์แวร์ แยกออกเป็น

1.3.2.1 ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ การเลือกใช้ Relational Database (เช่น PostgreSQL/MySQL) สำหรับข้อมูลสัมภาระแบบเรียลไทม์ (Real-time Baggage Data) เพื่อให้มั่นใจใน ความสมบูรณ์ของข้อมูล (Data Integrity) และ ความสามารถในการสืบค้นประวัติ (Traceability)

1.3.2.2 แอปพลิเคชันส่วนหน้า (Front-end) การพัฒนาด้วย Python/Java เน้นที่ การแสดงผลแบบแดชบอร์ดที่ใช้งานง่าย (Intuitive Dashboard) เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบสถานะสัมภาระ, ตำแหน่งสุดท้ายที่ถูกอ่าน (Last Read Point), และ การแจ้งเตือนเชิงรุก (Proactive Alerts) เมื่อสัมภาระมีแนวโน้มที่จะตกค้างหรือผิดเส้นทาง (Misroute)

ระยะที่ 2 การพัฒนาและบูรณาการต้นแบบระบบ

ระยะนี้เป็นการเปลี่ยนผ่านจากแนวคิดสู่การสร้างต้นแบบที่สามารถทดสอบได้จริง (Proof of Concept - PoC)

2.1 การสร้างสภาพแวดล้อมจำลองที่สมจริง (Realistic Simulation Environment)

2.1.1 การสร้างฮาร์ดแวร์จำลอง โมเดลสายพานความยาว 5 เมตร ที่มีจุดเลี้ยวและจุดแยก ถูกสร้างขึ้นเพื่อจำลอง เงื่อนไขทางกายภาพ (Physical Constraints) ที่เลวร้ายที่สุด เช่น การโค้งงอของสายพาน หรือการหมุนตัวของสัมภาระ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความแม่นยำในการอ่าน RFID

2.1.2 การติดตั้งอุปกรณ์ RFID ในจุดจำลอง การติดตั้ง ณ จุดเช็คอิน, คัดแยก, และโหลดขึ้นเครื่อง ถูกดำเนินการโดยการปรับ กำลังส่งสัญญาณ (Transmit Power) และ การปรับทิศทางของเสาอากาศ (Antenna

Polarization) เพื่อให้ได้อัตราการอ่านสูงสุด (Maximized Read Rate) ในขณะที่ลดการอ่านแท็กที่ไม่เกี่ยวข้อง (Stray Reads)

2.2 การพัฒนาระบบควบคุมและฐานข้อมูล (Middleware and Database Development)

2.2.1 โปรแกรมควบคุมเครื่องอ่าน RFID (Middleware) ส่วนนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยทำหน้าที่ กรองข้อมูลดิบ (Data Filtering) ที่ส่งมาจากเครื่องอ่าน ซึ่งมักจะเข้าช้อนและมีสัญญาณรบกวน (Noise) Middleware ที่พัฒนาขึ้นต้องสามารถ

2.2.2 การประมวลผลเหตุการณ์ตามเวลา (Time-based Event Processing) แปลงการอ่าน แท็กหลายครั้งให้เป็น "เหตุการณ์การอ่านสัมภาระ 1 ครั้ง" (Single Baggage Read Event) ณ จุดเวลาที่กำหนด

2.2.3 การเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล ส่งข้อมูลที่ถูกรองแล้วไปยังฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์อย่างมีประสิทธิภาพ

ระยะที่ 3 การทดสอบและการประเมินผลเชิงปริมาณ

ระยะนี้เป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงปริมาณเพื่อพิสูจน์ประสิทธิภาพของระบบ RFID เมื่อเทียบกับระบบเดิม (Barcode)

3.1 การออกแบบการทดลองเชิงเปรียบเทียบ (Comparative Experimental Design)

3.1.1 กลุ่มควบคุม (Control Group - Barcode Simulation) การใช้การจับเวลาและการบันทึกข้อมูลแบบแมนนวลในการจำลองระบบบาร์โค้ด (เช่น การสแกนด้วยมือ) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง ฐานเปรียบเทียบที่เป็นตัวแทน (Representative Baseline) ที่วัดทั้ง เวลาดำเนินการ (Processing Time) และ ความแม่นยำในการบันทึก (Recording Accuracy)

3.1.2 กลุ่มทดลอง (Experimental Group - RFID System) ใช้ระบบ RFID ที่พัฒนาขึ้น เพื่อวัดตัวชี้วัดประสิทธิภาพเดียวกันภายใต้สภาวะที่เหมือนกัน

3.2 การทดสอบภายใต้สภาวะปฏิบัติการที่เข้มงวด (Rigorous Operational Condition Testing)

3.2.1 การทดสอบความเร็ว (Speed Test) การทดสอบที่ความเร็ว 1 และ 2 เมตร/วินาที เป็นการจำลองสภาวะการทำงานปกติและสูงสุด เพื่อวัดว่าระบบสามารถรักษา อัตราความสำเร็จในการอ่าน (Read Success Rate - RSR) ให้สูงกว่า 99.5% ได้หรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วสูง ซึ่งระบบบาร์โค้ดแบบเดิมไม่สามารถทำได้

3.2.2 การทดสอบความแม่นยำในการอ่านภายใต้การจัดวางที่แตกต่างกัน (Read Accuracy under Various Orientations) การทดสอบการวางแท็กแบบหงาย, คว่ำ, และเอียง เป็นการจำลอง ความผันแปรของการจัดวางสัมภาระที่เกิดขึ้นจริง เพื่อทดสอบ ความแข็งแกร่งของสัญญาณ (Signal Robustness) ของระบบ RFID โดยเฉพาะเทคนิคการใช้เสาอากาศแบบโพลาไรเซชันคู่ (Dual Polarization Antenna Techniques)

3.2.3 การทดสอบการคัดแยก (Sortation Test) การส่งสัมภาระ 100 ชิ้นไปยังปลายทางที่ถูกต้อง เป็นการวัด อัตราความผิดพลาดในการคัดแยก (Mis-sortation Rate) ของระบบ RFID เทียบกับ Barcode ซึ่งตัวชี้วัดนี้สะท้อนถึง ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Impact) และ ความน่าเชื่อถือของบริการ (Service Reliability)

ระยะที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลเชิงสถิติ

ระยะสุดท้ายเป็นการนำเสนอผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือทางสถิติ

4.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้เพื่อนำเสนอภาพรวมของข้อมูล เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation), และการแจกแจงความถี่ (Frequency Distribution) ของตัวแปรสำคัญ เช่น อัตราความสำเร็จในการอ่าน (RSR), เวลาที่ใช้ในการคัดแยก (Sorting Time), และอัตราความผิดพลาด (Error Rate)

4.2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics)

4.2.1 การใช้ T-test ใช้เพื่อเปรียบเทียบ ความแตกต่างที่สำคัญทางสถิติ (Statistically Significant Difference) ระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง (RFID) และกลุ่มควบคุม (Barcode) สำหรับตัวแปรด้านประสิทธิภาพ เช่น เวลาในการประมวลผลและการคัดแยก ซึ่งความสำคัญทางสถิติจะช่วยยืนยัน สมมติฐานหลักของงานวิจัย (Primary Research Hypothesis) ได้อย่างชัดเจนว่า เทคโนโลยี RFID มีประสิทธิภาพเหนือกว่าระบบบาร์โค้ดในเชิงปฏิบัติการจริง

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นตามตารางและตัวเลขต่อไปนี้

ตารางที่ 1: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบ RFID และระบบบาร์โค้ด

ตัวชี้วัด	ระบบบาร์โค้ด	ระบบ RFID	ความแตกต่าง
อัตราความแม่นยำในการอ่าน	96.5%	99.8%	+3.3%
เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลต่อชิ้น	5.2 วินาที	0.8 วินาที	-4.4 วินาที
ความแม่นยำในการคัดแยก	97.0%	100.0%	+3.0%
อัตราการผิดพลาดในสถานการณ์จำลอง	3.0%	0%	ลดลง 100%

ผลลัพธ์จากตารางที่ 1 ชี้ให้เห็นว่าระบบ RFID มีประสิทธิภาพเหนือกว่าระบบบาร์โค้ดในทุกมิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านความแม่นยำและความเร็ว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดปัญหาคอขวดในระบบ BHS

โดยสามารถอธิบายออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. การนำเสนอผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวม

นำเสนอ ตารางที่ 1 และกล่าวสรุปว่าระบบที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นถึง ความได้เปรียบเชิงปฏิบัติการ (Operational Superiority) เหนือระบบเดิมในทุกตัวชี้วัด ซึ่งยืนยันสมมติฐานหลักของงานวิจัย โดยเน้นย้ำว่าความแตกต่างที่สังเกตได้ (เช่น +3.3% และ -4.4 วินาที) มีความสำคัญในบริบทของการจัดการสัมภาระปริมาณมาก (High-Throughput Baggage Handling System - BHS)

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความแม่นยำ

2.1 อัตราความแม่นยำในการอ่าน (Read Accuracy Rate - RAR)

2.1.1 การค้นพบหลัก ระบบ RFID มี RAR อยู่ที่ 99.8% สูงกว่าระบบบาร์โค้ดที่ 96.5%

2.1.2 การตีความเชิงลึก ความแตกต่าง +3.3% นี้มีความสำคัญในเชิงเทคนิคอย่างยิ่ง เนื่องจาก RAR ของ RFID 99.8% บ่งชี้ว่าระบบสามารถ เอาชนะความท้าทายทางกายภาพ (Physical Challenges) ของสายพานลำเลียงได้สำเร็จ เช่น ปัญหา การวางแท็กที่แตกต่างกัน (Tag Orientation), ความเร็วในการเคลื่อนที่, และ

สัญญาณรบกวน (Interference/Multipath) ในขณะที่จะระบบบาร์โค้ดเกิดความล้มเหลว 3.5% ซึ่งมักเกิดจากการมองเห็นที่ถูกบดบังหรือการอ่านในขณะเคลื่อนที่ (Motion Blur)

2.2 ความแม่นยำในการคัดแยก (Sortation Accuracy) และอัตราความผิดพลาด (Error Rate)

2.2.1 การค้นพบหลัก ระบบ RFID บรรลุความแม่นยำในการคัดแยก 100.0% และมีอัตราการผิดพลาดในสถานการณ์จำลอง 0% (ลดลง 100% เมื่อเทียบกับ 3.0% ของบาร์โค้ด)

2.2.2 การตีความเชิงลึก ความแม่นยำ 100.0% นี้ไม่เพียงแต่เป็นความสำเร็จทางเทคนิคเท่านั้น แต่ยังเป็นตัวชี้วัดความน่าเชื่อถือในเชิงปฏิบัติการ (Operational Reliability) โดยตรง การลดอัตราความผิดพลาดลงจนเป็นศูนย์ในสถานการณ์จำลอง (0%) ชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการข้อมูลเรียลไทม์จาก RFID เข้ากับระบบควบคุมการคัดแยก (Sortation Control Logic) นั้นมีความรัดกุมและปราศจากความล่าช้า (Lag-free) ซึ่งจะนำไปสู่การลดสัมภาระผิดเส้นทาง (Misrouted Baggage) และการสูญหายของสัมภาระ (Lost Baggage) ในสภาพแวดล้อมจริง

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความเร็ว

3.1 เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลต่อชิ้น (Average Processing Time Per Item)

3.1.1 การค้นพบหลัก ระบบ RFID ใช้เวลาเพียง 0.8 วินาที เทียบกับ 5.2 วินาทีของระบบบาร์โค้ด ทำให้มีความแตกต่าง -4.4 วินาที

3.1.2 การตีความเชิงลึก ความแตกต่างที่ 4.4 วินาทีต่อสัมภาระหนึ่งชิ้น คือ ปัจจัยเร่งความเร็ว (Speed Multiplier) ที่สำคัญที่สุดในระบบ BHS การลดเวลาประมวลผลต่อชิ้นบ่งชี้ว่า

3.1.2.1 การอ่านแบบไม่ต้องสัมผัส (Contactless Reading) RFID สามารถอ่านข้อมูลได้ทันทีที่สัมภาระผ่านจุดตรวจ (Fly-by Reading)

3.1.2.2 การลดการแทรกแซงของมนุษย์ (Reduction in Human Intervention) ระบบบาร์โค้ดส่วนใหญ่อาจต้องใช้การสแกนซ้ำหรือการป้อนข้อมูลด้วยมือเมื่อเกิดความล้มเหลว ซึ่งใช้เวลานาน การกำจัดขั้นตอนเหล่านี้ด้วย RFID คือการเปลี่ยนผ่านจากระบบที่ใช้คนเป็นศูนย์กลางไปสู่ระบบอัตโนมัติอัจฉริยะ (Intelligent Automation)

4. บทสรุปของผลการวิจัย

ผลลัพธ์โดยรวมสนับสนุนการใช้เทคโนโลยี RFID ในฐานะ ผู้เปลี่ยนเกม (Game Changer) ของอุตสาหกรรมการจัดการสัมภาระในสนามบินอย่างชัดเจน ความแม่นยำที่ใกล้เคียง 100% และความเร็วในการประมวลผลที่เพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดด จะส่งผลโดยตรงต่อ

1. การลดปัญหาคอขวด (Bottleneck Reduction) โดยเฉพาะ ณ จุดคัดแยกที่ความเร็วสูง

2. การเพิ่มความสามารถในการรับรอง (Increased Throughput) ระบบสามารถรองรับปริมาณสัมภาระที่เพิ่มขึ้นได้ง่ายขึ้น

3. การเพิ่มความพึงพอใจของผู้โดยสาร (Enhanced Passenger Experience) ผ่านการรับประกันการติดตามสัมภาระที่แม่นยำและลดความล่าช้าในการส่งมอบ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวคิดเชิงทฤษฎีที่ว่าเทคโนโลยี RFID สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการติดตามและจัดการสัมภาระได้อย่างเหนือกว่าเทคโนโลยีแบบเดิม ผลการทดลองที่ได้ยืนยันถึงความสามารถในการแก้ไขปัญหาหลักๆ ของระบบ BHS ดังเดิมได้อย่างตรงจุด

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกกับทางเจ้าหน้าที่ด้านระบบ รวมถึงเจ้าหน้าที่ที่ทำงานหน้างานจริง ระบบบาร์โค้ดเผชิญความท้าทายหลักที่ "การวางสัมภาระที่ไม่แน่นอน" (Unpredictable Bag Orientation) และ "การอ่านในขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง" ความสำเร็จในการออกแบบระบบ โดยเฉพาะการเลือกใช้เสาอากาศที่เหมาะสม (Optimized Antennas) และการปรับตั้งค่ากำลังส่งสัญญาณ (Transmit Power) ณ จุดวิกฤต (เช่น จุดเลี้ยว/คัดแยก) ได้พิสูจน์แล้วว่าสามารถสร้าง โซนการอ่านที่ครอบคลุม (Comprehensive Read Zone) ซึ่งเอาชนะปัญหาการถูกบดบัง (Line-of-Sight Blockage) ซึ่งเป็นจุดอ่อนโดยธรรมชาติของเทคโนโลยีเชิงทัศนภาพ (Optical Technology) อย่างบาร์โค้ดได้สำเร็จ

- ความแม่นยำที่เพิ่มขึ้น อัตราการอ่านข้อมูลที่สูงถึง 99.8% แทบจะขจัดปัญหาการอ่านแท็กผิดพลาดไปได้ ซึ่งหมายถึงการลดความผิดพลาดในการคัดแยกสัมภาระได้อย่างมาก
- ความรวดเร็วในการทำงาน การประมวลผลที่รวดเร็วช่วยให้ระบบสายพานลำเลียงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- การติดตามแบบเรียลไทม์ แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบตำแหน่งของสัมภาระได้ตลอดเวลา ทำให้สามารถจัดการกับสัมภาระที่ผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว

แม้ว่าการทดลองนี้จะดำเนินการบนโมเดลต้นแบบขนาดเล็ก แต่ผลลัพธ์ที่ได้ก็เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่หนักแน่นสำหรับการนำเทคโนโลยีนี้ไปปรับใช้ในสภาพแวดล้อมจริง ข้อจำกัดของการวิจัยนี้คือการที่ไม่ได้ทำการทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงที่มีปัจจัยรบกวนมากมาย เช่น คลื่นวิทยุจากอุปกรณ์อื่น หรือการมีสัมภาระจำนวนมาก

สรุปการอภิปราย

1. การพิสูจน์ความได้เปรียบทางกายภาพและเทคนิค

ผลการวิจัยยืนยันว่าเทคโนโลยี RFID ไม่ได้เพียงแค่ "ดีกว่า" แต่ได้ ลบล้างจุดอ่อนทางกายภาพ ของระบบบาร์โค้ดอย่างสิ้นเชิง อัตราความแม่นยำในการอ่าน (RAR) ที่สูงถึง 99.8% นั้นไม่ใช่เรื่องบังเอิญ แต่เป็นผลมาจาก

การออกแบบที่สามารถ สร้าง "สนามอ่าน" ที่มองทะลุสิ่งกีดขวาง โดยไม่ถูกจำกัดด้วยปัญหาการวางสัมภาระที่ผิดรูป หรือการบดบังของป้าย (Line-of-Sight Blockage) ที่ระบบบาร์โค้ดต้องเผชิญอยู่เป็นประจำ การที่สามารถอ่านแท็กได้แทบจะสมบูรณ์แบบนี้ ถือเป็นการ แก้ไข "ปัญหาสายตา" ของระบบจัดการสัมภาระแบบเก่าได้สำเร็จ

2. การสร้างอัตราการใช้ของสัมภาระที่ปราศจากการสะดุด

การลดเวลาเฉลี่ยในการประมวลผลต่อชิ้นจาก 5.2 วินาที เหลือเพียง 0.8 วินาที คือหัวใจสำคัญของการเพิ่มขีดความสามารถในการรับรองของสนามบิน ความแตกต่างที่ 4.4 วินาทีต่อชิ้นแสดงให้เห็นว่า RFID ได้เปลี่ยนกระบวนการทำงานจาก "การทำงานแบบหยุดชะงัก" (ที่ต้องรอการสแกนซ้ำหรือการป้อนข้อมูลด้วยมือ) ไปสู่ "การทำงานแบบต่อเนื่องอย่างแท้จริง" ระบบใหม่นี้เปรียบเสมือนการกำจัด "คอขวด" ออกไปจากจุดคัดแยกที่สำคัญที่สุด ทำให้สามารถรับประกันได้ว่าสัมภาระจะเคลื่อนที่ในระบบได้เร็วขึ้นและมีโอกาสติดค้างในระบบน้อยลง

3. การบรรลุความเชื่อมั่นเชิงสถิติในการคัดแยกสัมภาระ

ความสำเร็จในการคัดแยกสัมภาระที่ความแม่นยำ 100.0% พร้อมอัตราความผิดพลาดเป็น ศูนย์ นั้น มีนัยสำคัญเกินกว่าเพียงการแสดงตัวเลขที่ดี การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลเรียลไทม์ (Real-Time Data) จาก RFID นั้นมีความสมบูรณ์และเชื่อถือได้ในระดับที่สามารถใช้ในการ ตัดสินใจเชิงปฏิบัติการ (Operational Decision-Making) ที่สำคัญได้ทันที การที่เราสามารถลดความผิดพลาดในการคัดแยกสัมภาระได้ 100% ในการจำลองสะท้อนถึง ความมั่นคงทางสถิติ ของระบบที่สามารถลดความเสี่ยงของการส่งสัมภาระผิดเส้นทาง ซึ่งเป็น ต้นทุนที่มองไม่เห็น (Hidden Cost) และเป็นสาเหตุหลักของความไม่พึงพอใจของผู้โดยสาร

4. บทบาทของการวิจัยแบบผสมผสานในการยืนยันผล

การใช้ ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed-Method) นั้นไม่ใช่แค่ขั้นตอน แต่เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความถูกต้อง ของผลลัพธ์เชิงปริมาณ การนำเอาข้อมูลเชิงคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญหรือเจ้าหน้าที่ใน ระยะเวลาที่ 1 (ที่บอกว่า "จุดเลี้ยวอันตราย") มาใช้ในการออกแบบการทดสอบ ระยะที่ 3 (การทดสอบความแม่นยำ ณ จุดแยกจำลอง) และผลลัพธ์ออกมาดีเยี่ยมนั้น เป็นการยืนยันแบบ "สามเส้า" (Triangulation) ว่า เราไม่เพียงแต่แก้ปัญหาทางเทคนิคได้ แต่ยัง แก้ปัญหาที่ผู้ใช้งานจริงประสบ ได้อย่างตรงจุด การออกแบบระบบจึงมีความหมาย และตอบสนองความต้องการเชิงปฏิบัติการได้อย่างสมบูรณ์

5. นัยสำคัญเชิงนโยบายและการก้าวข้ามข้อจำกัด

งานวิจัยนี้เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ผลักดันให้สนามบินและสายการบินก้าวข้ามความพึงพามาตรฐานเดิม และมุ่งหน้าสู่การใช้เทคโนโลยีที่ การติดตามอย่างโปร่งใสในทุกขั้นตอน ผลลัพธ์ที่ได้สนับสนุนการเปลี่ยนผ่านเชิงกลยุทธ์ ที่ไม่เพียงแต่ตอบสนองมาตรฐานการติดตามสัมภาระ (เช่น IATA Resolution 753) แต่ยังเป็นการยกระดับความน่าเชื่อถือของบริการ ให้สูงกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ข้อจำกัดของการวิจัยอยู่ที่การ

ทดสอบในสภาพแวดล้อมจำลอง ซึ่งเปิดโอกาสให้มีการวิจัยในอนาคตเพื่อทดสอบความยืดหยุ่นของระบบภายใต้แรงกดดันจากปริมาณสัมภาระที่สูงขึ้นมากในสภาพแวดล้อมจริงต่อไป

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

ข้อเสนอแนะนี้จะต่อยอดจากผลการวิจัยที่พิสูจน์ความเหนือกว่าของระบบ RFID ในสภาพแวดล้อมจำลอง (Mock-up) โดยมุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนผ่านสู่ การใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมปฏิบัติการ (Full Operational Deployment) และการพัฒนาต่อยอดเชิงนวัตกรรมเพื่อเพิ่มมูลค่าทางธุรกิจ สามารถจำแนกอธิบายได้ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติการ - การเปลี่ยนผ่านสู่สถานะแวดล้อมจริง

ข้อเสนอแนะนี้เน้นการจัดการความท้าทายที่ซับซ้อน ซึ่งการทดลองปฏิบัติการอาจไม่ครอบคลุม

1.1 การทดสอบความเครียดภายใต้ปริมาณงานสูงสุด

1.1.1 ดำเนินการ ติดตั้งและทดสอบระบบ RFID ใน สายพานลำเลียงจริง ของสนามบิน (Pilot Zone) โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีสัมภาระหนาแน่นสูงสุด (Peak Hours) เพื่อประเมิน อัตราการอ่านสำเร็จ (RAR) ที่แท้จริง เมื่อสัมภาระอยู่ใกล้กันมาก (High Density) และมีการชนกัน (Bag-to-Bag Collision)

1.1.2 วัดผลกระทบ เพื่อหาค่า RAR ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ (Acceptable Threshold) และปรับจูน กำลังส่งของเสาอากาศ (Antenna Power) เพื่อลดปัญหา การอ่านแท็กที่อยู่ผิดจุด (Stray Reads) จากสายพานข้างเคียง

1.2 การบูรณาการกับระบบบริหารจัดการสนามบินเดิม

1.2.1 ดำเนินการ พัฒนาส่วน Middleware ที่มีความยืดหยุ่นสูง เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูล RFID แบบเรียลไทม์เข้ากับระบบ การควบคุมการคัดแยกสัมภาระ (Sortation Control System - SCS) และ ระบบการจัดการเที่ยวบิน (Flight Information Display System - FIDS) ของสนามบินเดิม

1.2.2 วัดผลกระทบ ข้อมูลตำแหน่งสัมภาระจะต้องถูกนำไปใช้ในการ อัปเดตสถานะของสัมภาระแบบอัตโนมัติ ในฐานข้อมูลหลัก เพื่อให้แน่ใจว่าการตัดสินใจคัดแยกและการโหลดสัมภาระมีความถูกต้อง 100% ในทุกช่วงเวลา

1.3 การประเมินความทนทานต่อสภาพแวดล้อมจริง

1.3.1 ดำเนินการ ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ (Readers และ Antennas) ภายใต้สภาวะที่แปรผันสูงของสนามบิน เช่น การเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิและความชื้น ในลานจอด (Apron) หรือจุดโหลดสัมภาระ และผลกระทบจาก การสั่นสะเทือน (Vibration) ของสายพานลำเลียงต่อเนื่อง

1.3.2 วัดผลกระทบ เพื่อยืนยันอายุการใช้งานและความน่าเชื่อถือของฮาร์ดแวร์ ก่อนการลงทุนติดตั้งเต็มรูปแบบ

2. ข้อเสนอแนะเชิงนวัตกรรม - การพัฒนาต่อยอดด้วย AI และ Data Analytics

การต่อยอดไปสู่การจัดการสัมภาระที่อัจฉริยะขึ้น (Smarter Baggage Handling) โดยใช้ข้อมูลมหาศาลที่ RFID สร้างขึ้น

2.1 การพัฒนาระบบทำนายความผิดพลาดเชิงรุก (Proactive Error Prediction using AI)

2.1.1 ดำเนินการ นำข้อมูลการอ่าน RFID ที่ผ่านมา (เช่น ความหนาแน่นของสัมภาระ, ความเร็ว ณ จุดอ่าน, และ RAR ในช่วงเวลาต่างๆ) มาใช้ในการฝึกฝน โมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Model)

2.1.2 วัตถุประสงค์ สร้างระบบที่สามารถ ทำนายล่วงหน้า ว่าสัมภาระชิ้นใดมีโอกาสสูงที่จะเกิดความผิดพลาดในการคัดแยก (Mis-sortation) หรือความล่าช้า (Lagging) ก่อนที่สัมภาระจะถึงจุดวิกฤต และส่ง การแจ้งเตือนเชิงรุก (Proactive Alert) ไปยังเจ้าหน้าที่ควบคุม เพื่อให้สามารถจัดการและแก้ไขเส้นทางสัมภาระได้ทันเวลาที่

2.2 การขยายขอบเขตการติดตามสู่ "ไมล์สุดท้าย" (Last-Mile Tracking)

2.2.1 ดำเนินการ ต่อขยายระบบ RFID จากสายพานลำเลียงไปสู่ รถเข็นสัมภาระ (Dollies) และ ตู้คอนเทนเนอร์สัมภาระ (ULDs/Containers) ที่ใช้ขนส่งไปยังลานจอดเครื่องบิน โดยติดตั้งเครื่องอ่านแบบเคลื่อนที่ (Mobile Readers)

2.2.2 วัตถุประสงค์ เพื่อให้เกิด ความโปร่งใสแบบไร้รอยต่อ (Seamless Visibility) ของสัมภาระจนถึง ประตูเครื่องบิน (Aircraft Door) ซึ่งจะช่วยในการพิสูจน์ตำแหน่งสัมภาระในกรณีที่มีข้อพิพาทเรื่องการโหลดสัมภาระ (On-load/Off-load Verification) และเพิ่มความปลอดภัย (Security Check)

2.3 การประเมินผลตอบแทนจากการลงทุนอย่างรอบด้าน

2.3.1 ดำเนินการ นำผลลัพธ์เชิงปริมาณ (เช่น การลดเวลาประมวลผล, การลดอัตราความผิดพลาด 3.0%) มาคำนวณเป็น มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Value) ที่จับต้องได้

2.3.2 วัตถุประสงค์ นำเสนอการวิเคราะห์ ROI โดยละเอียด โดยพิจารณาจาก การลดค่าใช้จ่ายในการจัดการสัมภาระที่สูญหาย (Cost per lost bag), การเพิ่มรายได้จากการเพิ่มขีดความสามารถในการรับรองของอาคารผู้โดยสาร (Terminal Throughput Revenue), และ การปรับปรุงชื่อเสียงของสนามบิน เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนติดตั้งระบบอย่างเต็มรูปแบบของผู้บริหารระดับสูง

เอกสารอ้างอิง

IATA. (2020). IATA Resolution 753: Baggage Tracking.

SITA. (2020). Baggage Report 2020: A New Era of Baggage Tracking.

Chen, L., & Kim, Y. (2021). RFID-enabled baggage tracking: a case study of operational Efficiency at a major airport. *Journal of Logistics Management*, 32(3), 112-128.

- J. S. Lee, M. H. Kim, & S. W. Park. (2019). A comprehensive analysis of RFID system integration and supply chain management. *International Journal of Supply Chain Technology*, 15(4), 201-215.
- Li, H., & Wang, Q. (2020). Improving Baggage Handling System Performance with Sensor-based Control: A Simulation Study. *Journal of Airport Management and Operations*, 21(1), 55-69.
- Zhang, X., et al. (2018). Bottleneck analysis and optimization of airport baggage handling systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 118, 56-69.