วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม ถึง มีนาคม 2569

การใช้เทคโนโลยีโดรนในการจัดส่งสินค้าแบบ Last Mile Delivery ในระยะทางและเวลาที่จำกัด

USING DRONE TECHNOLOGY FOR LAST MILE DELIVERY WITHIN LIMITED DISTANCES AND TIMES

รัฏฐพล เลิศประเสริฐเวช, พชร กิจจาเจริญชัย*

Rutthapon Lertprasertwate, Patchara Kitjacharoenchai*

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics, Burapha University

*Corresponding Author e-Mail: rlrutthapon@gmail.com

(Received: 2025, November 18; Revised: 2026, January 17; Accepted: 2026, January 29)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระยะเวลาในการจัดส่งสินค้าระหว่างเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ และรถขนส่งสินค้า ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน และเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าขั้นสุดท้าย การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบผสมผสานเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยใช้การคำนวณระยะทางและสร้างแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม Arena เพื่อจำลองการปฏิบัติงานในพื้นที่ อ.เมือง จ.ชลบุรี ในระยะทาง 5 กิโลเมตร ตลอดระยะเวลา 1 ปี ผลการวิจัยพบว่าภายใต้สภาพแวดล้อมปกติ โดรนสามารถจัดส่งสินค้าได้รวดเร็วกว่ารถขนส่งประมาณ 24% เนื่องจากใช้เส้นทางการบินแบบการกระจัด (Displacement) ซึ่งปราศจากอุปสรรคการจราจรทางบก อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของโดรนมีความเปราะบางสูงต่อสภาพอากาศ โดยเฉพาะในสภาวะฝนตกหนัก โดรน "ไม่สามารถขนส่งสินค้าได้" ในขณะที่รถขนส่งยังคงปฏิบัติงานได้แม้จะล่าช้า ผลการจำลองสถานการณ์ยังชี้ให้เห็นว่า แม้โดรนจะมีความคล่องตัวสูง (มีสินค้าคงค้างในระบบ (WIP) เฉลี่ยต่ำกว่ารถขนส่ง 28 เท่า) แต่ปัญหาคอขวดที่แท้จริงของระบบโลจิสติกส์โดยรวมคือ ขั้นตอนการจัดการคำสั่งซื้อ (Order WIP) ซึ่งมีปริมาณสะสมสูงสุดถึง 59,792 ชิ้น ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งจึงไม่สามารถพึ่งพาเพียงการเปลี่ยนพาหนะ แต่จำเป็นต้องใช้รูปแบบการขนส่งแบบผสมผสานและต้องปรับปรุงกระบวนการจัดการคำสั่งซื้อภายในองค์กรเป็นลำดับแรก

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ; การจัดส่งสินค้าขั้นสุดท้าย; ประสิทธิภาพการขนส่ง

ABSTRACT

This research aimed to examine and compare the time-based delivery efficiency between unmanned aerial vehicle (Drone) technology and cargo trucks under different environmental conditions, and to identify strategies for optimizing Last Mile Delivery (LMD) operations. This study employs a mixed-method approach, integrating qualitative analysis with quantitative simulation. A Discrete Event Simulation (DES) model was developed using Arena software to simulate LMD operations within a 5-kilometer radius in Mueang Chonburi District, Thailand, over a one-year period. The findings indicate that under normal conditions, drones deliver approximately 24% faster than trucks. This advantage is attributed to the drone's use of displacement (direct-path) flight, which avoids ground-based traffic obstacles. However, drone performance is highly vulnerable to weather; operations are halted during heavy rain, whereas trucks remain resilient, albeit with delays. The simulation revealed that while drones exhibit high agility (WIP 28 times lower than trucks), the primary bottleneck in the overall logistics system is the "Order Work-In-Process (Order WIP)", which accumulated a maximum of 59,792 items. Therefore, optimizing LMD requires more than just a change of vehicle; it necessitates a hybrid transport model and, critically, the preliminary improvement of internal order management processes.

Keywords: drone; Last Mile Delivery; transport efficiency

บทนำ

การขนส่งสินค้าในขั้นตอนสุดท้ายหรือ Last Mile Delivery (LMD) ได้กลายเป็นสมรภูมิการแข่งขันที่สำคัญที่สุดในยุคที่ธุรกิจอีคอมเมิร์ซเติบโตอย่างก้าวกระโดด LMD คือกระบวนการเคลื่อนย้ายสินค้าจากศูนย์กระจายการขนส่งแห่งสุดท้ายไปยังปลายทางที่กำหนด ซึ่งความท้าทายหลักคือการส่งมอบสินค้าให้ถึงมือลูกค้าอย่างรวดเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ หรือที่เรียกว่า "สงครามการขนส่งแบบ Last Mile Delivery" ในประเทศไทยนั้นการขนส่งหลักยังคงพึ่งพารถขนส่งสินค้า (cargo truck) เป็นหลัก ซึ่งต้องเผชิญกับปัญหาคอขวด (bottleneck) และอุปสรรคทางกายภาพที่ควบคุมไม่ได้ ปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ การจราจรติดขัด, อุบัติเหตุทางรถยนต์, และความล่าช้าจากสัญญาณไฟจราจร ปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการขนส่ง ทำให้ผู้รับสินค้าได้รับสินค้าล่าช้ากว่ากำหนดเวลา และลดความน่าเชื่อถือของบริการ

เพื่อตอบสนองต่อความท้าทายเหล่านี้ อุตสาหกรรมโลจิสติกส์ทั่วโลกจึงหันมาให้ความสนใจ "เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ" (Unmanned Aerial Vehicle-UAV) หรือ "โดรน" (drone) ในฐานะเครื่องมือที่จะเข้ามาปฏิวัติการจัดส่งสินค้า เทคโนโลยีโดรน ซึ่งมีวิวัฒนาการมาอย่างยาวนานนับตั้งแต่แนวคิดของ

Nikola Tesla และการพัฒนาเป็นเป้าฝึกทางอากาศในสงครามโลกครั้งที่ 1 ได้เปลี่ยนบทบาทจากการใช้งานทางการทหาร มาสู่ภาคพลเรือนและโลจิสติกส์อย่างเต็มรูปแบบ บริษัทระดับโลกได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพนี้อย่างชัดเจน เช่น การที่ Amazon (Prime Air) ได้รับการอนุมัติจาก FAA ให้เริ่มใช้โดรนส่งสินค้าในสหรัฐฯ (ไทยพีบีเอส, ออนไลน์, 2565) หรือกรณีในประเทศจีนที่มีการนำโดรนมาใช้ขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักมากข้ามทะเลในระยะทางกว่า 100 กิโลเมตร (ผู้จัดการออนไลน์, ออนไลน์, 2562)

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic review) ยืนยันว่าศักยภาพของโดรนในการลดต้นทุน, ลดระยะเวลาในการส่งมอบ, และลดการใช้พลังงานนั้นได้รับการยืนยันในงานวิจัยหลายชิ้น (Persson, 2021, p. 10) อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีนี้ยังไม่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากความท้าทายด้านกฎระเบียบของราชการ ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญที่ต้องพิจารณา และกรอบกฎหมายเฉพาะสำหรับการขนส่งทางอากาศด้วยโดรนในประเทศไทยก็ยังต้องมีการพัฒนาเพื่อรองรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ (พรพล เทศทอง, 2564, หน้า 146)

ด้วยช่องว่างระหว่างศักยภาพของเทคโนโลยีที่ได้รับการพิสูจน์แล้วในระดับสากล กับข้อจำกัดในการนำมาใช้จริงในบริบทของประเทศไทย ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความจำเป็นในการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงปฏิบัติการอย่างเป็นรูปธรรม การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้าน "ระยะเวลา" ในการจัดส่งสินค้าระหว่างโดรนและรถขนส่งสินค้า ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น สภาวะปกติ และสภาวะฝนตก โดยทำการจำลองสถานการณ์ในพื้นที่จริง (อำเภอเมืองชลบุรี) เพื่อค้นหาแนวทางการขนส่งสินค้าไปยังผู้รับให้รวดเร็วที่สุด และเสนอเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง LMD ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการส่งสินค้าระหว่างโดรนและรถขนส่งสินค้าในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังผู้รับสินค้า

สมมติฐานของการวิจัย

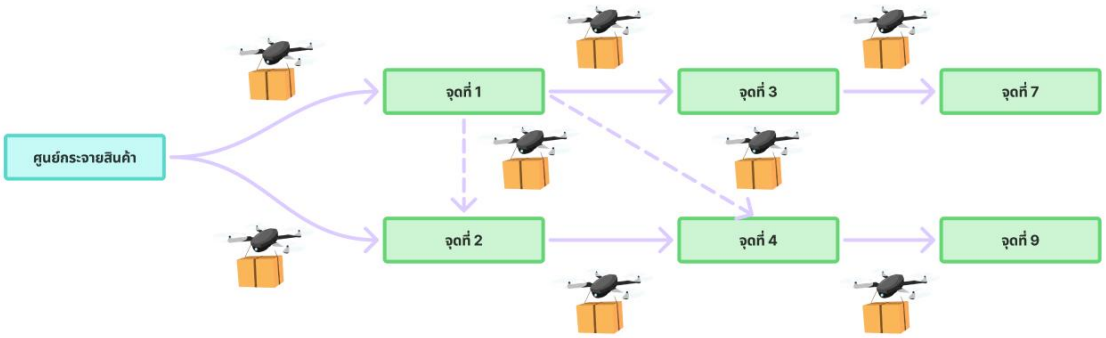
การนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (drone) มาช่วยในการจัดส่งสินค้า จะสามารถทำให้ลูกค้าได้รับสินค้าที่รวดเร็ว แต่จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป หากเป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับนั้นอาจจะไม่สามารถตอบโจทย์กับลูกค้ามากนัก

จะแตกต่างกับการนำรถขนส่งสินค้ามาใช้ในการขนส่งอาจจะทำให้ผู้รับ ได้รับสินค้าที่ล่าช้าเนื่องจากปัจจัยที่ทำให้ล่าช้าคือ การจราจรติดขัดหรือต้องจำกัดความเร็วในการขนส่ง หากเจอสภาพอากาศที่สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไปจะทำให้ยิ่งล่าช้าเข้าไปอีก แต่รถขนส่งสินค้าก็อาจจะยังคงนำส่งสินค้าได้เหมือนเดิมแต่อาจจะได้รับสินค้าที่ล่าช้า

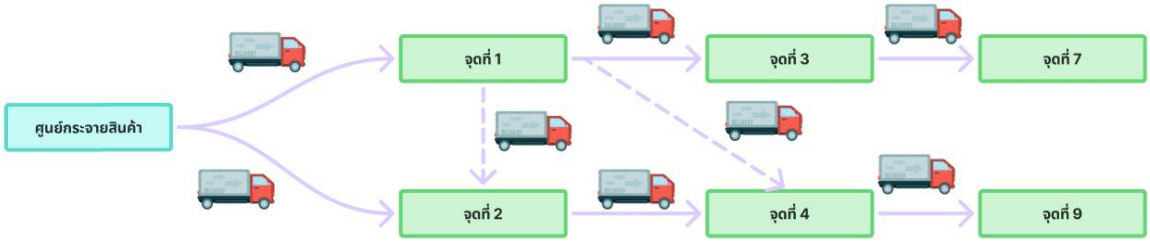
ถ้าใน 1 ปีสภาพแวดล้อมเป็นใจตลอดทั้งปีการขนส่งโดย เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (drone) จะตอบโจทย์ได้มากกว่า และทำให้ผู้ได้รับสินค้านั้นมีความพึงพอใจอย่างมาก เนื่องจากผู้รับสินค้าจะได้รับสินค้าที่รวดเร็ว

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยนี้ตั้งอยู่บนกรอบแนวคิดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบการขนส่งสองรูปแบบ (โดรนและรถขนส่ง) โดยมีตัวแปรหลักคือ "เวลา" (T) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของตัวแปร "ระยะทาง" (S) และ "ความเร็ว" (V) ภายใต้ตัวแปรแทรกซ้อนคือ "สภาพแวดล้อม" (เช่น ฝนตก)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างการบินของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการเดินรถของรถขนส่งสินค้า

ปัจจัยเปรียบเทียบเชิงแนวคิด ความแตกต่างพื้นฐานของพาหนะทั้งสองประเภท

- เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (drone) เน้นความคล่องตัว (agility) และบินในเส้นทางแบบการกระจัด (displacement) ซึ่งเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง

- รถขนส่งสินค้า (cargo truck) เน้นปริมาณบรรทุก (capacity) และความทนทานต่อสภาพอากาศ เคลื่อนที่ตามเส้นทางถนน ซึ่งมีระยะทางยาวกว่าและมีอุปสรรคของการจราจร

กรอบการวิเคราะห์เชิงปริมาณ การวิเคราะห์เวลาในการจัดส่งเบื้องต้น คำนวณโดยใช้สูตรการหาอัตราความเร็วพื้นฐาน โดยแปลงความเร็ว (V) จากกิโลเมตร/ชั่วโมง เป็น เมตร/วินาที และระยะทาง (S) เป็นเมตร เพื่อหาเวลา (T) เป็นวินาที

$$T = \frac{S}{V}$$

แบบจำลองแนวคิดเชิงกระบวนการ การวิจัยใช้แบบจำลองกระบวนการ (ดังแผนภาพในเอกสารวิจัย) ในการเก็บข้อมูลและสร้างแบบจำลองสถานการณ์ มีขั้นตอนดังนี้ 1) จุดเริ่มต้น 2) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของพาหนะทั้งสองชนิด 3) ทำการหาเส้นทาง (S) โดยโดรนใช้การกระจัด และรถขนส่งใช้เส้นทางถนน 4) นำมาเข้าสูตรการคำนวณ (T=S/V) เพื่อหาระยะเวลาจัดส่งเบื้องต้น 5) ทำการทดลองในโปรแกรมจำลองสถานการณ์ (เอกสารระบุ Simio แต่ในบทที่ 4 ใช้วิเคราะห์ด้วย Arena ซึ่งเอกสารสรุปยืนยันว่าใช้ Arena) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อมและจุดคอขวดของระบบ และ 6) จุดสิ้นสุด (ได้ผลลัพธ์และข้อสรุป)

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบผสมผสาน (mixed methods) ทั้งเชิงคุณภาพ (การทบทวนวรรณกรรม) และเชิงปริมาณ (การคำนวณและจำลองสถานการณ์)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เป็นข้อมูลการจำลองสถานการณ์ครอบคลุมระยะเวลา 1 ปี (366 วัน) โดยอ้างอิงข้อมูลปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ.2566 ศึกษาการจัดส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังปลายทางในระยะทาง 5 กิโลเมตร ในพื้นที่จังหวัดชลบุรี อำเภอเมืองชลบุรี

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) เว็บแอปพลิเคชัน "google maps": ใช้สำหรับค้นหาและวัดระยะทาง (S) ตามเส้นทางถนนจริง สำหรับการขนส่งด้วยรถขนส่งสินค้า 2) แอปพลิเคชัน "LING": ใช้สำหรับวัดระยะทางแบบการกระจัด (Displacement) (S) ซึ่งเป็นเส้นทางบินตรงของโดรน และ 3) โปรแกรม "Arena": เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยใช้สร้างแบบจำลองสถานการณ์แบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation: DES) เพื่อจำลองการขนส่งตลอด 1 ปี และวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยหน่วงเวลา (delay factor) จากสภาพอากาศ

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ข้อมูลทุติยภูมิ รวบรวมจากเอกสาร บทความวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ LMD, เทคโนโลยีโดรน และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

2. ข้อมูลปฐมภูมิ ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรระยะทาง และการกำหนดค่าตัวแปรในแบบจำลอง Arena รวมถึง

- ระยะทาง (S) ตารางระยะทางระหว่างจุดส่ง 10 จุด สำหรับโดรน (การกระจัด) และรถขนส่ง (ตามถนน)

- ปัจจัยสภาพอากาศ กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ฝนตกและฝนตกหนักในแต่ละเดือน

- ค่าหน่วงเวลา (delay factor) กำหนดค่าหน่วงเวลาของพาหนะตามสภาพอากาศ (เช่น ฝนตกหนัก โดรน "ไม่สามารถขนส่งสินค้าได้" รถขนส่งหน่วงเวลา 40%)

ตารางที่ 1 ชุดข้อมูลปริมาณน้ำฝน (ตัวอย่างชุดข้อมูลปริมาณน้ำฝน)

กำหนดค่าปริมาณน้ำฝนปี พ.ศ.2566		
เดือน	เปอร์เซ็นฝนตก	ฝนตกหนัก
มกราคม	12.50	0.00
กุมภาพันธ์	14.30	3.57
มีนาคม	16.70	0.00
เมษายน	31.40	0.00
พฤษภาคม	39.40	0.00
มิถุนายน	66.70	0.00
กรกฎาคม	75.00	6.45
สิงหาคม	43.20	3.22
กันยายน	93.30	0.00
ตุลาคม	77.40	3.22
พฤศจิกายน	45.20	0.00
ธันวาคม	12.50	0.00

ตารางที่ 2 กำหนดค่าหน่วงเวลาการเดินทาง

กำหนดค่าหน่วงเวลา		
หัวข้อ	โดรน	รถขนส่ง
ฝนไม่ตก	0.00%	0.00%
ฝนตกปานกลาง	10.00%	20.00%
ฝนตกหนัก	ไม่สามารถขนส่งสินค้าได้	40.00%

ตารางที่ 3 ชุดข้อมูลระยะทางของโดรน (ตัวอย่างชุดข้อมูลระยะทางของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและรถขนส่งสินค้า)

กำหนดระยะทางของโดรน		
จุดเริ่มต้น	จุดหมายปลายทาง	ระยะทาง
จุดที่ 1	จุดที่ 1	0
จุดที่ 1	จุดที่ 2	2120
จุดที่ 1	จุดที่ 3	4850
จุดที่ 1	จุดที่ 4	3220
จุดที่ 1	จุดที่ 5	2740

ตารางที่ 4 ชุดข้อมูลระยะทางของรถขนส่ง

กำหนดระยะทางของรถขนส่ง		
จุดเริ่มต้น	จุดเริ่มต้น	จุดเริ่มต้น
จุดที่ 1	จุดที่ 1	จุดที่ 1
จุดที่ 1	จุดที่ 1	จุดที่ 1
จุดที่ 1	จุดที่ 1	จุดที่ 1
จุดที่ 1	จุดที่ 1	จุดที่ 1
จุดที่ 1	จุดที่ 1	จุดที่ 1

ขั้นตอนการดำเนินงาน มีดังนี้

1. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลของรถขนส่งสินค้าและเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ เพื่อนำมาวิเคราะห์ศักยภาพของยานพาหนะทั้ง 2

2. กำหนดเส้นทางการเดินทางของรถขนส่งสินค้าและเส้นทางการบินของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุด

3. วิเคราะห์และหาค่าจำนวนปริมาณน้ำฝน เพื่อนำมาใช้ในการคำนวนร่วมกับการเดินทางของรถขนส่งสินค้าและเส้นทางการบินของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ

4. คำนวนระยะเวลาการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าและเส้นทางการบินของเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดทั้งหมด 10 จุด

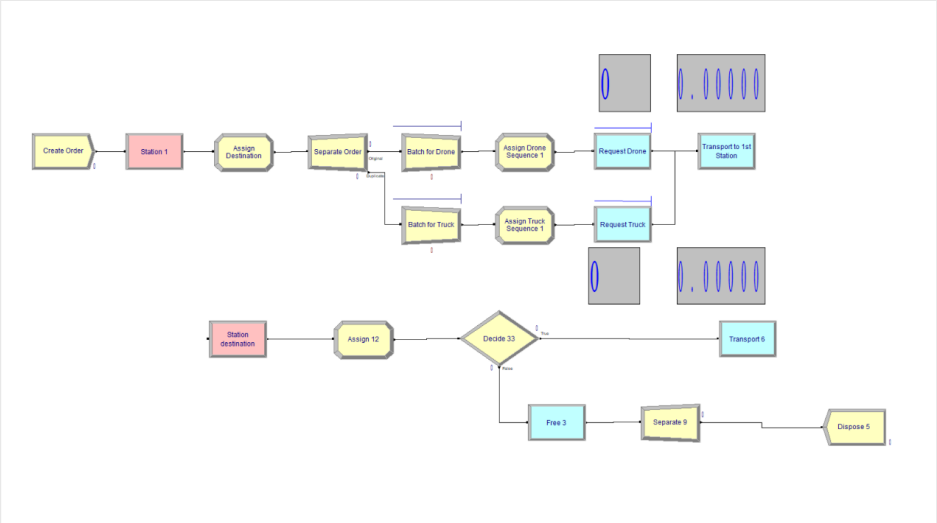
5. นำจำนวนที่ได้จากการคำนวณทั้งหมด ทั้งระยะเวลา ระยะทาง และปริมาณน้ำฝน นำมาสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Arena

6. รันข้อมูลออกมาทั้งหมดผ่านโปรแกรม Arena

7. แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการรันข้อมูลผ่านโปรแกรม โดยรันข้อมูลทั้งหมด 366 วัน

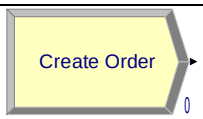
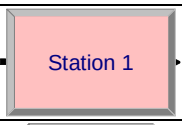
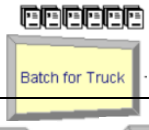
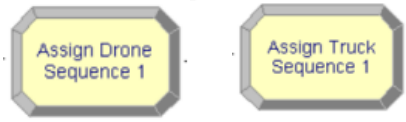
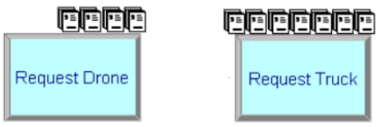
รูปแบบการสร้างแบบจำลอง นำข้อมูลที่กำหนดเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Arena โดยแบ่งแบบจำลองเป็น 2 กลุ่ม คือแบบจำลองของการขนส่งสินค้าระหว่างโดรนและรถขนส่งสินค้า และแบบจำลองของสภาพอากาศ

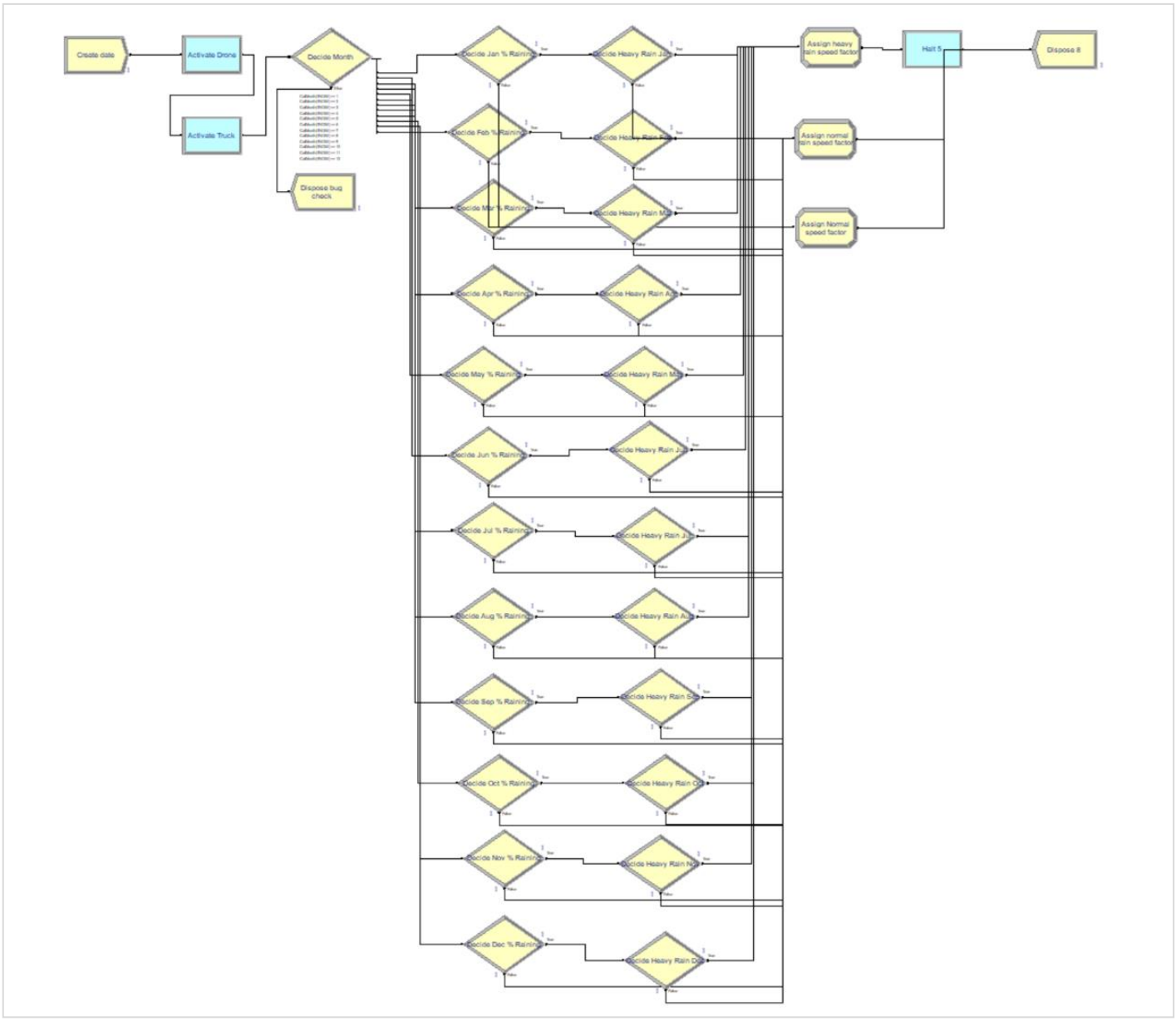
แบบจำลองการขนส่งสินค้า สีเหลือง หมายถึง module ทั่วไป, สีชมพู หมายถึง module สำหรับการเดินทาง และสีฟ้า หมายถึง module สำหรับการขนถ่าย



ภาพที่ 3 แบบจำลองการขนส่งสินค้า

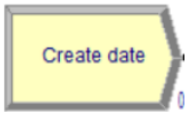
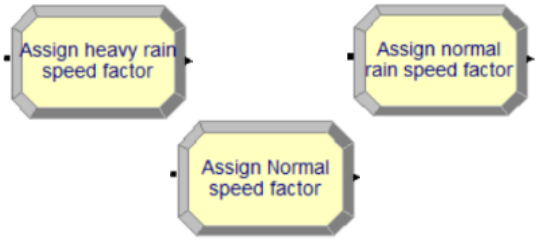
ตารางที่ 5 อธิบายข้อมูล โมเดล การขนส่งสินค้า

รายละเอียดการสร้างแบบจำลองการขนส่งสินค้า	
สัญลักษณ์	รายละเอียด
	เป็นการสร้าง Order เข้ามายังในระบบ
	หลังจากสร้าง Order เสร็จเรียบร้อยแล้ว Order จะถูกส่งเข้ามายัง Station ที่ 1
	เป็นการกำหนดว่าสินค้าจะถูกส่งไปยังปลายทางไหน
	เป็นการแยกสินค้าออกเป็น 2 ส่วน เพื่อที่จะส่งให้กับรถขนส่งสินค้าและโดรน
	1 คำสั่งซื้อ จะถูกส่งไปยังโดรนซึ่ง สินค้า จะต้องครบ 10 ชิ้น โดรนถึงจะเริ่ม ออกไปส่งสินค้า
	1 คำสั่งซื้อ จะถูกส่งไปยังรถขนส่ง ซึ่งสินค้าจะต้องครบ 10 ชิ้น โดรนถึงจะเริ่ม ออกไปส่งสินค้า
	เป็นการจัดลำดับการส่งสินค้า ทั้งโดรนและรถขนส่งสินค้า
	ความเร็วที่จะมีผลต่อการ เปลี่ยนแปลงความเร็วตามสภาพแวดล้อม
	การจัดลำดับการขนส่งสินค้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง
	การตั้งค่าระยะทางจากจุดหนึ่งไป ยังอีกจุดหนึ่ง



ภาพที่ 4 แบบจำลองสภาพอากาศ

ตารางที่ 6 อธิบายข้อมูล โมเดล สภาพอากาศ

รายละเอียดการสร้างแบบจำลองสภาพอากาศ	
สัญลักษณ์	รายละเอียด
	การสร้างข้อมูลในแต่ลวันตาม สภาพอาการ โดยข้อมูลจะถูกสร้างวันต่อวัน
	สร้างข้อมูลเดือนออกมาใน 1 ปี
	เปอร์เซ็นของฝนตกในแต่ละเดือน หากฝนตกจะไปทางขวา แต่หากไม่ตกจะลงไปด้านล่าง
	จำนวนฝนตกในแต่ละเดือน
	ค่าความแรงของฝนตกเนื่องจากสภาพอากาศจะมีผลต่อการใช้ความเร็วของทั้งโดรนและรถขนส่ง โดยสภาพฝนตกแบบออกเป็น 3 แบบคือ ฝนตกหนัก, ฝนตกปานกลาง และฝนไม่ตก
	เป็นการชะงักของการขนส่งของโดรน เนื่องจากโดรนไม่สามารถบินในสภาพ อากาศที่ฝนตกหนักได้

การวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ ใช้สูตร T = S/V) เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งในสถานการณ์ตัวอย่าง (สภาพปกติและสภาพฝนตก)

2. การวิเคราะห์เชิงจำลองสถานการณ์ (Arena) วิเคราะห์ผลลัพธ์ (Output) จากการจำลองสถานการณ์ 1 ปี โดยมุ่งเน้นที่ตัวชี้วัด 3 ประการหลัก เพื่อระบุจุดคอขวดของระบบ

Number In (สินค้าที่เข้าสู่ระบบ)

Number Out (สินค้าที่นำส่งสำเร็จ)

Work-In-Process (WIP - สินค้าคงค้างในระบบ)

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ ผลจากการคำนวณเปรียบเทียบ และผลจากแบบจำลองสถานการณ์ มีรายละเอียดดังนี้

ผลการเปรียบเทียบเชิงคำนวณ การเปรียบเทียบการขนส่งจากจุด A ไป B (ศูนย์กระจายสินค้าไป ม.บูรพา) ที่ความเร็วเท่ากัน (90 กม./ชม.)

สภาพแวดล้อมปกติ

รถขนส่ง ใช้ระยะทาง (S) 11 กม. ใช้เวลา (T) 7.333 นาที

โดรน ใช้ระยะทางการกระจัด (S) 8.337 กม. ใช้เวลา (T) 5.5580 นาที

สรุป โดรนใช้เวลาเร็วกว่า 1.775 นาที หรือเร็วกว่าประมาณ 24%

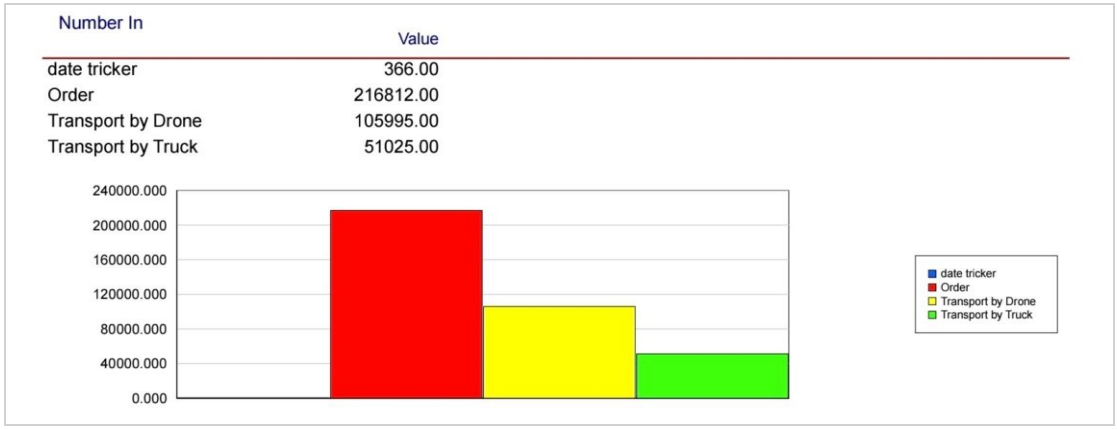
สภาพแวดล้อมที่มีฝนตก

รถขนส่ง ลดความเร็วเหลือ 50 กม./ชม. ใช้เวลา (T) 13.2 นาที (เพิ่มขึ้น 80% จากปกติ)

โดรน จะไม่สามารถตอบโจทย์การขนส่งได้ดีเท่าที่ควร เนื่องจากความเสี่ยงต่อความเสียหายจากน้ำฝนหรือลม

ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองสถานการณ์ Arena 1 ปี (366 วัน) วิเคราะห์ประสิทธิภาพและจุดคอขวดของระบบพบว่า

ประสิทธิภาพของโดรน (transport by drone) โดรนมีความคล่องตัวสูงมาก สามารถจัดการงานได้เกือบจะสมบูรณ์ (สินค้าเข้า 105,995 ชิ้น ส่งสำเร็จ 105,754 ชิ้น) โดยมีสินค้าคงค้างในกระบวนการ (WIP) เฉลี่ยเพียง 99.19 ชิ้น และสูงสุดเพียง 257.00 ชิ้น



ภาพที่ 5 สินค้าที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้โดรนและรถขนส่งนำไปส่งให้ลูกค้า

ตารางที่ 7 สรุปข้อมูลสินค้าที่เข้าสู่ระบบ

สินค้าที่เข้าสู่ระบบ	
จำนวนวัน	366 วัน
จำนวนสินค้า	216,812 ชิ้น
การขนส่งโดยโดรน	105,995 ชิ้น
การขนส่งโดยรถขนส่ง	51,025 ชิ้น

Number Out	Value
date tricker	366.00
Order	157020.00
Transport by Drone	105754.00
Transport by Truck	45287.00

ภาพที่ 6 สินค้าที่ถูกนำออกไปส่งให้กับลูกค้า และนำส่งให้กับลูกค้าเสร็จสมบูรณ์แล้ว

ตารางที่ 8 สรุปข้อมูลสินค้าที่นำส่งสำเร็จ

สินค้าที่นำส่งสำเร็จ	
จำนวนวัน	366 วัน
จำนวนสินค้า	157,020 ชิ้น
การขนส่งโดยโดรน	105,754 ชิ้น
การขนส่งโดยรถขนส่ง	45,287 ชิ้น

ปัญหาคอขวดของรถขนส่ง (transport by truck) รถขนส่งเป็นจุดคอขวดใหญ่ในการขนส่งทางบกอย่างชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีสินค้าคงค้าง (WIP) เฉลี่ยสูงถึง 2,860.86 ชิ้น และสูงสุด 5,748.00 ชิ้น ทำให้ค่า WIP ของรถขนส่งสูงกว่าโดรนประมาณ 28 เท่า (2,860.86/99.19)

ปัญหาคอขวดที่แท้จริงของระบบ (order) ผลลัพธ์คือ ปริมาณสินค้าคงค้างใน "order" (กระบวนการจัดการคำสั่งซื้อก่อนการขนส่ง) เป็นขั้นตอนนี้มีค่า WIP เฉลี่ย 29,609.54 ชิ้น และมีค่าสูงถึง 59,792.00 ชิ้น โดยค่า WIP สูงสุดใน order (59,792 ชิ้น) สูงกว่า WIP ของรถขนส่ง (5,748 ชิ้น) และโดรน (257 ชิ้น) ซึ่งทั้งหมดนี้คือจุดคอขวดของทั้งหมดในระบบ

WIP	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
date tricker	0.00	(Insufficient)	0.00	1.0000
Order	29609.54	(Correlated)	0.00	59792.00
Transport by Drone	99.19	(Correlated)	0.00	257.00
Transport by Truck	2860.86	(Correlated)	0.00	5748.00

ภาพที่ 7 จำนวนสินค้าที่ยังค้างอยู่ในระบบ

ตารางที่ 9 สรุปข้อมูลสินค้าคงค้างในระบบ

สินค้าคงค้างในระบบ		
จำนวนวัน	เฉลี่ย = 0 วัน	สูงสุด = 1 วัน
จำนวนสินค้า	เฉลี่ย = 29,609.54 ชิ้น	สูงสุด = 59,792 ชิ้น
การขนส่งโดยโดรน	เฉลี่ย = 99.19 ชิ้น	สูงสุด = 257 ชิ้น
การขนส่งโดยรถขนส่ง	เฉลี่ย = 2,860.86 ชิ้น	สูงสุด = 5,748 ชิ้น

อภิปรายผล

ผลการวิจัยยืนยันสมมติฐานที่ว่าโดรนสามารถเพิ่มความรวดเร็วในการจัดส่งสินค้า แต่ประสิทธิภาพนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมอย่างมาก

1. การพิสูจน์ของโดรนในการแก้ปัญหา LMD ผลการวิจัยที่โดรนเร็วกว่ารถขนส่ง 24% ยืนยันว่าโดรนสามารถแก้ปัญหา LMD ที่เกิดจากอุปสรรคทางบก (การจราจร, สัญญาณไฟ) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยการบินแบบการกระจัดหรือบินตรงข้ามอุปสรรค (displacement) สอดคล้องกับ Desloovere (2020, pp. 10, 26, 33-34) ที่ระบุว่าโดรนเป็นเทคโนโลยี LMD ที่ดีเยี่ยมในการลดเวลาและต้นทุน

2. ความไม่คงทน นำไปสู่รูปแบบ Hybrid ในความเป็นจริงถึงแม้โดรนจะเร็ว แต่ก็มีความไม่คงทนสูง การที่โดรน "ไม่สามารถขนส่งสินค้าได้" ในสภาวะฝนตกหนัก ถือว่าเป็นข้อจำกัดซึ่งในประเทศไทยนั้นมีฤดูฝนที่ยาวนาน ในทางกลับกัน รถขนส่งแม้จะช้ากว่าและมี WIP สูง แต่ก็สามารถที่จะขนส่งสินค้าได้ในทุกสภาพอากาศและยังสามารถทำหน้าที่ที่เป็น **กลไกสร้างความทนทานต่อความล้มเหลว (resilience)** ของระบบ นอกจากนี้ ข้อจำกัดทางกฎหมายไทยที่อนุญาตน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 25 กิโลกรัม ยังจำกัดการใช้งานโดรน ดังนั้นการประยุกต์ใช้โดรนจึงไม่สามารถแทนที่รถขนส่งได้ทั้งหมด แต่ต้องใช้ในรูปแบบ **การขนส่งแบบผสมผสาน (truck-drone hybrid routing)** สอดคล้องกับ Kitjacharoenchai (2020, pp. 19, 26, 87)

3. การค้นพบปัญหาคอขวดที่แท้จริง (order WIP) ประเด็นสำคัญที่สำคัญที่สุดคือ การที่จุดคอขวดที่ใหญ่ที่สุดไม่ได้อยู่ที่ยานพาหนะ แต่อยู่ที่กระบวนการจัดการคำสั่งซื้อ (order WIP) ที่มีค่าสะสมสูงสุด แสดงให้เห็นว่า การลงทุนในเทคโนโลยีโดรนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะไม่เกิดประโยชน์ หากกระบวนการ

ภายใน เช่น การคัดแยก, การบรรจุ, การจัดกลุ่มคำสั่งซื้อ ยังคงล่าช้าและเป็นคอขวด องค์กรต้องแก้ปัญหาคอขวดภายในนี้ก่อน เพื่อให้สามารถป้อนงานให้โดรนและรถขนส่งได้อย่างรวดเร็ว

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ผู้ประกอบการควรพัฒนาระบบการตัดสินใจอัตโนมัติ (Mode Selection Matrix) เพื่อเลือกว่าจะใช้โดรนหรือรถขนส่ง โดยพิจารณาปัจจัยแบบ real-time ได้แก่ สภาพอากาศ, น้ำหนักสินค้า และความเร่งด่วน

2. ควรมีการลงทุนในระบบอัตโนมัติหรือปรับปรุงกระบวนการจัดการคลังสินค้า เพื่อลดปริมาณสินค้าคงค้างในขั้นตอนการจัดการคำสั่งซื้อ (order WIP) ซึ่งเป็นจุดคอขวดที่ใหญ่ที่สุดของระบบการขนส่ง

3. องค์กรควรลงทุนในการพัฒนาโดรนที่มีคุณสมบัติทนทานต่อสภาพอากาศ เช่น กันน้ำ และพัฒนาจุดรับ-ส่งสินค้าปลายทางที่ปลอดภัยและแม่นยำ เช่น การใช้ QR code หรือ barcode ที่ระเบียงสำหรับการนำทางด้วยภาพ (visual navigation)

4. ผู้ประกอบการต้องปฏิบัติตามกฎหมายการเดินอากาศของไทยอย่างเคร่งครัด โดยเฉพาะข้อจำกัดด้านน้ำหนักรวมไม่เกิน 25 กิโลกรัม

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. งานวิจัยนี้เน้นมิติของเวลา (T) การวิจัยในอนาคตควรเพิ่มมิติของต้นทุน (C) โดยวิเคราะห์ต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ (Total Cost of Ownership)

2. ควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบ AI ที่สามารถพยากรณ์สภาพอากาศ และทำการสลับโหมดการขนส่งแบบอัตโนมัติ (dynamic mode switching) เช่น การสั่งให้รถขนส่งรับงานแทนโดรนล่วงหน้าเมื่อตรวจพบโอกาสฝนตกหนัก เพื่อรักษาประสิทธิภาพการจัดส่งโดยรวม

3. ควรมีการศึกษาแนวทางการปรับปรุงข้อบังคับทางกฎหมายของไทย เพื่อรองรับการขนส่งเชิงพาณิชย์ในอนาคต เช่น การพิจารณาเพิ่มเพดานน้ำหนักบรรทุกของโดรน

บรรณานุกรม

ไทยพีบีเอส. (2565, 26 มิถุนายน). ***Amazon เตรียมใช้โดรนส่งของ Prime Air ส่งสินค้าในสหรัฐฯ*** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: https://www.thaipbs.or.th/news/content/316742 [2568, 1 กันยายน].

ผู้จัดการออนไลน์. (2562, 7 กรกฎาคม). ***ไปรษณีย์จีนใช้โดรนส่งพัสดุข้ามทะเลไกล 100 กม. ถึงที่หมายใน 50 นาที*** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: https://mgronline.com/china/detail/9620000064331 [2568, 1 กันยายน].

พรพล เทศทอง. (2564). การพัฒนากฎหมายโดรนขนส่งทางอากาศของประเทศไทย: ศึกษากรณีการขนส่งทางอากาศภายในประเทศ. ***วารสารรามคำแหง ฉบับนิติศาสตร์***, ***10***(2), หน้า 131-172.

Desloovere, W. (2020). ***An evaluation of the potential to use drone deliveries as last-mile logistics: In Jämtland***. Östersund: Mid Sweden University.

Kitjacharoenchai, P. (2020). ***Optimization models and analysis of truck-drone hybrid routing for last mile delivery***. Doctor of Philosophy, Industrial Engineering, School of Industrial Engineering West Lafayette, Indiana.

Persson, E. (2021). ***A systematic literature review on drones'application in last-mile delivery***. Master Thesis, Department of Industrial Design, Industrial Management and Mechanical Engineering, Faculty of engineering and sustainable development Gavle university.