

การศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่ง ณ ปัจจุบันภายใน คลังสินค้า

ชนินทร์ กันสิทธิ์¹, อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์^{2*} และ ศิวิกา ดุษฎีโหนด³

Received: 04 November 2024; Revised: 21 December 2024; Accepted: 22 December 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบุตำแหน่ง ณ ปัจจุบัน (RTLS) ในการปรับปรุงการจัดการคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การออกแบบการทดลองและเก็บข้อมูลใน Smart logistics lab: ทดลองจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเกิดปัญหาคอขวด (Congestion) จากนั้นนำข้อมูลจาก RTLS มาวิเคราะห์และปรับปรุงการทำงานด้วยการจำลองสถานการณ์ร่วมกับ TSP Strategy model 2) การวิเคราะห์คิว (Queuing analysis): วิเคราะห์หาจุดคอขวดและออกแบบผังคลังสินค้าใหม่ (Redesign layout) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานภายในคลังสินค้า ผลการทดลอง ชี้ให้เห็นว่าการนำข้อมูลจาก RTLS มาประยุกต์ใช้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการคลังสินค้าได้จริง ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ข้อมูลจาก RTLS ช่วยให้เห็นปัญหาการแออัด (Congestion) ซึ่งนำไปสู่การทดลองจำลองสถานการณ์หลายรูปแบบและการจัดการพื้นที่ที่ใช้สอย (Space utilization) อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้ยังถูกนำไปใช้ในการจำลองสถานการณ์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการปรับปรุงงานคลังสินค้า สำหรับข้อจำกัดสำคัญ ของงานวิจัยนี้คือข้อจำกัดด้านพื้นที่ ซึ่งทำให้จำเป็นต้องใช้พื้นที่และกระบวนการทำงานจริงเพื่อให้เห็นประโยชน์ของ RTLS ได้อย่างเต็มที่

คำสำคัญ: การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RTLS, การวิเคราะห์ข้อมูลคลังสินค้า, การวิเคราะห์ความแออัด, การปรับปรุงคลังสินค้า

* ที่อยู่ E-mail ผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding Author): akkaranan.pon@nida.ac.th

^{1, 2, 3} สาขาวิชาโลจิสติกส์อำนวยการและการจัดการห่วงโซ่อุปทาน คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Exploring the Use of Real-Time Location Systems (RTLS) to Improve Warehouse Management

Chanin Kansith¹, Akkaranan Phongsatornwiwat^{2*} and Siwiga Dusadenode³

Received: 04 November 2024; Revised: 21 December 2024; Accepted: 22 December 2024

Abstract

This research investigates the application of Real-Time Location System (RTLS) technology for enhancing warehouse management efficiency. The study was conducted in two phases. The first is Experimental Design and Data Collection within a Smart Logistics Laboratory: Various scenarios were simulated to assess the impact of RTLS on congestion patterns. The collected data was subsequently analyzed and utilized to improve workflow through simulations incorporating the Traveling Salesman Problem (TSP) Strategy model. The second is Queuing Analysis and Layout Optimization. It proposes to identify Bottlenecks within the warehouse were identified through queuing analysis, and warehouse layouts were redesigned to optimize operational processes. The results of the experiment demonstrate the efficacy of applying RTLS data to significantly improve warehouse management efficiency. For instance, the analysis of RTLS data facilitated the identification of congestion issues, which led to the development of multiple scenario simulations and the implementation of efficient space utilization strategies. Additionally, the acquired data was utilized in simulations to ascertain optimal solutions for enhancing warehouse workflow. A primary limitation of this research was the constraint imposed by limited space. Consequently, future research should consider utilizing actual warehouse spaces and processes to thoroughly evaluate the potential benefits of RTLS implementation.

Keywords: Application of RTLS Technology, Warehouse Data Analytics, Congestion Analysis, Warehouse Improvement

* E-mail Address (Corresponding Author): akkaranan@as.nida.ac.th

^{1,2,3} Smart Logistics and Supply Chain Management, Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบอัตโนมัติได้กลายเป็นปัจจัยขับเคลื่อนที่สำคัญในการปฏิรูปการบริหารจัดการคลังสินค้าสมัยใหม่ (Modern Warehouse Management) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน ลดต้นทุนการจัดการ และยกระดับความแม่นยำในกระบวนการต่างๆ กระบวนการหลักในการบริหารคลังสินค้าประกอบด้วย 5 ขั้นตอนที่มีความเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ เริ่มจากการรับสินค้า (Receiving) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการ ครอบคลุมการตรวจสอบเอกสาร การตรวจนับจำนวน และการประเมินคุณภาพสินค้า ต่อด้วยการจัดเก็บสินค้า (Put-away) ที่เป็นการเคลื่อนย้ายสินค้าจากพื้นที่รับสินค้าไปยังตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสม โดยใช้ระบบการจัดการตำแหน่งจัดเก็บ จากนั้นเป็นขั้นตอนการจัดเก็บ (Storage) ที่เน้นการบริหารพื้นที่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ตามด้วยการหยิบสินค้า (Order-Picking) ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า และขั้นตอนสุดท้ายคือการจัดส่ง (Shipping-Preparation และ Shipping) ที่รวมถึงการตรวจสอบความถูกต้อง การบรรจุหีบห่อ และการส่งมอบสินค้า การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ในแต่ละกระบวนการ เช่น ระบบบริหารจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management System: WMS) ระบบจัดเก็บและเรียกคืนอัตโนมัติ (Automated Storage and Retrieval System: AS/RS) และเทคโนโลยีการระบุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) ช่วยเพิ่มความรวดเร็ว ความแม่นยำ และความสามารถในการติดตามสถานะสินค้าแบบเรียลไทม์ ส่งผลให้การบริหารคลังสินค้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดียิ่งขึ้น (Khan et al., 2022)

ซึ่งแต่ละกระบวนการที่กล่าวมามักพบปัญหาในภายในคลังสินค้า เช่นการเกิดความแออัดในการดำเนินงาน (Congestion) กันในช่องทางเดิน (Aisle Lane) เนื่องจากเกิดการรบกวน หรือจัดเก็บสินค้าที่ตำแหน่งจัดวางสินค้า (Storage Location) เดียวกัน การที่พนักงานมีการทำงานซ้ำซ้อน (Double Handling) ที่ทำให้เกิดการทำงานซ้ำซ้อนกัน และพฤติกรรมของพนักงานหยิบสินค้า (Human Behavior) ทำให้เกิดการหยิบของผิด หาสินค้าไม่เจอ และทำให้เกิดเวลาเดินหยิบสินค้าที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า (non-value travelling time) เพราะไม่ทราบตำแหน่งของสินค้า ว่าจัดเก็บอยู่ที่ไหน ฯลฯ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรม ได้แก่ Wi-Fi UWB BLE (Bluetooth Low Energy) RFID VSLAM GPS และ 5G (Khan et al., 2022; Halawa et al., 2020; & Sahara et al., 2022). แสดงในรูปภาพที่ 1

State-Of-The-Art RTLS technologies based on 15 companies surveyed in March 2017.

Attributes	UWB	RFID	Wi-Fi	Vision systems
Price (USD)	15,000-33,000	36,000-48,000	15,000-55,000	50,000-75,000
Accuracy (m)	0.1-0.3	1-2	5-15	<0.1
Scalability	Easy	Easy	Easy	Hard
Temp. range (C)	-20-55	-40-85	-30-85	> -10
3D localization	Accurate	Not accurate	Not accurate	Accurate
Ease of deployment	Moderate	Moderate	Easy accurate	Hard
Energy consumption	Efficient	Efficient	Efficient	Efficient
Location reporting rate	<100 Hz	<4 Hz	NA	<1 Hz
Signal penetration	Low	Low	Low	NA

รูปภาพที่ 1 เปรียบเทียบเทคโนโลยี 4 ประเภทที่ใช้ภายในคลังสินค้าของอุตสาหกรรม มี.ค. 2017 (Halawa et al., 2020)

จากรูปภาพที่ 1 แสดงตารางเปรียบเทียบเทคโนโลยี State-Of-The-Art RTLS (Real-Time Location System) ที่สำรวจจาก 15 บริษัทในเดือนมีนาคม 2017 (Halawa et al., 2020). โดยเปรียบเทียบ 4 เทคโนโลยีหลัก ได้แก่ UWB (Ultra-Wideband) ที่มีราคา 15,000-23,000 USD มีความแม่นยำ 0.1-0.5 เมตร ทำงานในช่วงอุณหภูมิมิ -20 ถึง 55 องศา มีการใช้งาน 3D ปานกลาง ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และไม่จำเป็นต้องมีการมองเห็นในแนวตรง ถัดมาคือ RFID ที่มีราคา 30,000-40,000 USD ความแม่นยำ 1-3 เมตร ทำงานในช่วงอุณหภูมิกว้างที่สุดคือ -40 ถึง 85 องศา การใช้งาน 3D ไม่แม่นยำ ใช้พลังงานมีประสิทธิภาพ และไม่จำเป็นต้องมีการมองเห็นในแนวตรง สำหรับ Wi-Fi มีราคา 15,000-55,000 USD มีความแม่นยำต่ำที่สุดคือมากกว่า 5 เมตร ทำงานในช่วงอุณหภูมิมิ -30 ถึง 85 องศา การใช้งาน 3D ไม่แม่นยำ ใช้พลังงานมีประสิทธิภาพ และไม่ระบุเรื่องการมองเห็นในแนวตรง ส่วนเทคโนโลยีสุดท้ายคือ Vision

Systems มีราคาสูงที่สุดที่ 50,000-75,000 USD แต่ให้ความแม่นยำสูง 0.1-1 เมตร ทำงานในอุณหภูมิที่สูงกว่า -10 องศา มีความแม่นยำในการใช้งาน 3D ใช้พลังงานมีประสิทธิภาพ และจำเป็นต้องมีการมองเห็นในแนวตรงที่ 4 Hz โดยสรุปแล้ว UWB มีความแม่นยำสูงที่สุดและราคาต่ำกว่า Vision Systems ในขณะที่ RFID มีช่วงอุณหภูมิทำงานกว้างที่สุด Wi-Fi มีความแม่นยำต่ำที่สุดแต่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และ Vision Systems แม้จะมีราคาสูงที่สุดแต่ให้ความแม่นยำสูงและสามารถทำงานแบบ 3D ได้ดี

จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้นำเทคโนโลยี RTLS มาช่วยแก้ไขปัญหาเหล่านี้ RTLS สามารถติดตามสถานะได้ทั้งพนักงานหยิบสินค้า (Picker) หรือพาหนะในการหยิบสินค้า (Vehicle) แบบ Real-time มีความแม่นยำและได้ข้อมูลที่ต้องการกว่า RFID เพิ่มความปลอดภัยในการทำงานของพนักงาน และ RTLS Locator ยังมีจำนวนมาก ทำให้มีความแม่นยำในการติดตามมากขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จาก RTLS สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางเดิน ออกแบบคลังสินค้า เพื่อให้การดำเนินงานภายในคลังสินค้านั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากเทคโนโลยี RTLS เป็นเทคโนโลยีใหม่ มีราคาสูง [4] และยังไม่มีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ทำให้การประยุกต์ใช้กับธุรกิจอื่นๆ หรือการใช้งานในระยะยาวเป็นไปได้ยาก ต่างจาก RFID ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป เพราะวราคาราคาถูกกว่า

จากเหตุผลดังกล่าว วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยี RTLS สำหรับการวางแผน และปรับปรุงกระบวนการในคลังสินค้า เช่น ติดตามและระบุตำแหน่งสิ่งของที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น พนักงานเดินหยิบสินค้า ภายในอาคารแบบ Real time จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์การไหล รวมถึงการจัดการ layout เนื่องจากเทคโนโลยี RTLS มีประโยชน์ที่หลากหลาย แต่เป็นเทคโนโลยีใหม่ และยังไม่มีการนำมาใช้ในประเทศไทย การนำไปประยุกต์ในการจัดการคลังสินค้าจึงเป็นส่วนสำคัญ (Contribution) ของการศึกษาในครั้งนี้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบและการจัดการคลังสินค้า

การจัดการคลังสินค้า (Warehouse management) การจัดการคลังสินค้าเป็นการบริหารจัดการคลังสินค้าและพื้นที่ในคลังสินค้าให้มีกระบวนการ และมีการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพให้เพียงพอกับความจุในการจัดเก็บ โดยลดการสูญเสียที่เกิดจากการดำเนินงานในคลังสินค้า และการจัดวางอย่างเหมาะสมเช่น การรับ การหยิบ การจัดเก็บ การเคลื่อนย้าย (กัญญา ภักฐะธำ, 2559)

2.1.1 วัตถุประสงค์ของการจัดการคลังสินค้า

เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลต่อต้นทุนในการดำเนินธุรกิจ นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์อื่นๆ อีก เช่น เพื่อลดระยะทางในเคลื่อนที่งานภายในคลังสินค้าเพื่อใช้พื้นที่ให้เต็มความจุในการจัดเก็บ เพื่อสร้างความมั่นใจว่าแรงงาน เครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำงานต่างๆ มีเพียงพอ เพื่อสร้างความพึงพอใจแก่ผู้ทำงานในการเคลื่อนย้ายสินค้าทั้งการ รับเข้า-จ่ายออก โดยใช้ปริมาณมากสั่งซื้อจากลูกค้ากำหนด และเพื่อให้สามารถวางแผนใช้ทรัพยากรต่างๆได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด (กัญญา ภักฐะธำ, 2559)

2.1.2 การจัดผังในคลังสินค้า (Warehouse Layout)

เป็นส่วนสำคัญหนึ่งในการบริหารจัดการคลังสินค้า เพราะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้า และต้นทุนในการดำเนินงาน โดยการเลือกรูปแบบของการจัดผังคลังสินค้าที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพนั้น ควรต้องมีการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาดพื้นที่ของคลังสินค้า ความสะดวกรวดเร็วในการหยิบสินค้า โดยประสิทธิภาพของการจัดผังคลังสินค้าวัดได้จากการใช้พื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดในการจัดเก็บสินค้าให้ได้ในปริมาณมากที่สุด และใช้เวลาหาสินค้าที่ต้องการน้อยที่สุด (Halawa et al., 2020; Sahara et al., 2022)

การกำหนดสถานที่จัดเก็บเป็นพื้นฐานในการปรับปรุงการดำเนินการหยิบสินค้าตามออเดอร์การหยิบของคลังสินค้า เนื่องจากสถานที่จัดเก็บส่งผลโดยตรงต่อเวลาเดินทาง ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเดินทางคิดเป็น 55% ของกิจกรรม

ของการหีบสินค้า (Khan et al., 2022) ซึ่งวิธีการกำหนดพื้นที่จัดเก็บคลังสินค้าที่หลากหลายนั้นแบ่งเป็น การกำหนดพื้นที่จัดเก็บแบบสุ่ม แบบเฉพาะเจาะจง แบบ class-based และแบบเก็บตามความสัมพันธ์ของสินค้า (Sahara et al., 2022)

2.2 ตัวแบบ Traveling salesman problem (TSP)

ปัญหาการเดินทางของพนักงาน (Traveling salesman problem, TSP) ตัวแบบปัญหา TSP นิยมใช้ในการตัดสินใจหาเส้นทางเดินทางเมื่อมีจุดหรือสถานที่ที่ต้องเดินทางไป k จุด โดยการเดินทางจะเริ่มจากสถานที่ใดสถานที่หนึ่งและเส้นทางเดินทางต้องผ่านทุกโหนดที่ k จุดเพียง โหนดละ 1 ครั้ง และท้ายที่สุดจะกลับมายังโหนดเริ่มต้นเหมือนการเดินทางรอบ ข้อจำกัดของปัญหานี้สามารถแสดงตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา TSP ได้ดังนี้ (ชินานนท์ เผ่ากันสิทธิ์, 2563)

ดัชนี

i, j โหนดที่ i หรือ j โดยที่ $i, j = 0, 1, 2, \dots, k$

พารามิเตอร์

C_{ij} ระยะทางในการเดินทางจากโหนด i ไปโหนด j
 T จำนวนโหนดที่อยู่ในเส้นทาง
 W จำนวนโหนดทั้งหมด
 k จำนวนโหนด

ตัวแปรตัดสินใจ

$X_{ij} = 1$ เมื่อมีการเดินทางจาก i ไป j
 $= 0$ เมื่อไม่มีการเดินทางจาก i ไป j

สมการเป้าหมาย

ระยะทางเดินที่สั้นที่สุด และใช้เวลาน้อยที่สุด

$$\text{Min} \sum_i^k \sum_j^k C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

เงื่อนไขบังคับ

- เมื่อออกจากจุด i เท่ากับ 1 และสามารถออกได้เพียง 1 ครั้งเท่านั้น

$$\sum_j^k X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

- การเดินทางเข้าจุด i ใดๆ ต้องมีค่าเท่ากับ 1 (ณ จุดใดๆ สามารถเดินทางเข้าได้เพียงครั้งเดียว) ดังสมการที่

$$\sum_i^k X_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (3)$$

- ในการเดินให้ครบทุกจุดนั้น ต้องไม่มีการเดินซ้ำที่จุดเดิม และจะต้องเดินกลับไปจุดเริ่มต้นในท้ายที่สุด

$$\sum_{i,j \in T} X_{ij} \leq |T| - 1 \quad (4)$$

$$T \in W, 2 \leq |T| \leq k - 2 \quad (5)$$

ในการระบุตำแหน่งเพื่อที่จะใช้ข้อมูลระยะทาง ถ้าเป็นการระบุตำแหน่งภายนอกจะใช้ข้อมูล (latitude, longitude) เนื่องจากในการศึกษาการเดินทางในคลังสินค้า จึงจำเป็นต้องใช้ RTLS ในการเก็บข้อมูลตำแหน่ง และระยะทางที่ใช้ภายในคลังสินค้า (Khan et al., 2022; Halawa et al., 2020; Sahara et al., 2022). ดังนั้น การประยุกต์ใช้

TSP model ในการหา heuristic สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินภายในคลังสินค้า โดยมีการจำกัดในการเดินให้ครบทุกโหนดแล้วกลับมาที่เดิม (ชินานันท์ เผ่ากันสิทธิ์ภักดี, 2563) โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กรณี คือ 1.) ระยะทางของ layout ปกติ 2.) ระยะทางหลัง redesign layout จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลจากการใช้อัลกอริทึมแบบประหยัดและฟังก์ชันวิธีการเชิงวิวัฒนาการ เพื่อหาว่า redesign layout นั้นช่วยให้การเดินภายในคลังสินค้านั้นมีระยะทาง และ การใช้เวลาที่สั้นลงกว่าระยะทางที่ใช้เดินใน layout ปกติ

2.3 ทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory) และตัวแบบแถวคอย (Queuing Model)

2.3.1 องค์ประกอบพื้นฐานในของทฤษฎีแถวคอย

ต้องนึกถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบการรอคอยเป็นหลัก (“Queuing Theory”, n.d.) เช่น

1) การเข้ามาของลูกค้านั้น เป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน ดังนั้นการมาของลูกค้าย่อมจะเป็นรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการในช่วงเวลาหนึ่ง หรือการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาระหว่างการมาของลูกค้า

2.) ระยะเวลาการให้บริการเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน เพราะโดยทั่วไป ลูกค้าแต่ละรายจะใช้เวลาในการรับบริการไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาในการให้บริการ หรือการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนลูกค้าที่เสร็จจากการรับบริการในช่วงเวลาหนึ่ง

3) สถานะบริการ โดยทั่วไปนั้นประกอบไปด้วยรูปแบบของแถวคอย และจำนวนผู้ให้บริการ ดังนั้นการจัดรูปแบบของแถวคอยให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับสถานที่ให้บริการ ประเภทของลูกค้า หรือสภาพแวดล้อม เช่น การเข้ามาของลูกค้า โดยปกติแล้วการเข้ามาของลูกค้าเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน และยากที่บอกว่าลูกค้าจะมาเมื่อใด และมีจำนวนเท่าใด ดังนั้นการกล่าวถึงการมาของลูกค้าจะเป็นแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการในช่วงเวลาหนึ่ง หรือการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาระหว่างการเข้ามาของลูกค้า

4) มีเกณฑ์การให้บริการ จำเป็นต้องมีเกณฑ์ในการให้บริการกับลูกค้า เช่น มาก่อนได้รับบริการก่อน (First Come First Served) หรือการให้บริการแบบสุ่ม (Service in Random Order) เป็นต้น

5) จำนวนลูกค้าที่มีได้ในระบบแถวคอย

2.3.2 ลักษณะของแถวคอย

รูปแบบของแถวคอยมีดังนี้ แถวคอยแบบช่องทางเดียว ขั้นตอนเดียว มีแถวคอยแถวเดียว (Single Channel and Single Phase System) แถวคอยแบบช่องทางเดียว หลายขั้นตอน (Single channel and Multiple Phase System) แถวคอยแบบหลายช่องทาง ขั้นตอนเดียว (Multiple Channel and Single Phase System) และแถวคอยแบบหลายช่องทาง หลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนมีจุดให้บริการหลายจุด (Multiple Channel and Multiple Phase System)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จินตนา สีหาพงษ์ (2556) ศึกษาเกี่ยวกับระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารของวัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ ของใช้ พนักงาน และผู้ป่วย ในกรณีที่นำออกไปนอกพื้นที่ หรือถูกขโมย สามารถติดตามแบบเรียลไทม์ และความแม่นยำระดับเซนติเมตรโดยใช้เทคโนโลยี Bluetooth 5.1 แบบ AOA (Angle of Arrival) โดยระบบประกอบด้วยส่วน 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ฮาร์ดแวร์สำหรับใช้ในระบบฯ จำนวน 1 ชุด และส่วนที่ 2 ซอฟต์แวร์ระบบฯ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์จะมีตัวรับสัญญาณ (Receive Node) ที่จะต้องนำไปติดตั้งให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ หรือห้องต่างๆ ในบริเวณอาคาร โดยคำนึงถึงระดับสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการค้นหา และตัว Tag ที่ติดกับอุปกรณ์ หรือบุคคลทำหน้าที่ส่งสัญญาณ ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ระบบฯ ประกอบไปด้วย การแสดงผลทางแผนที่ (Map) เพื่อใช้ในการค้นหา และการจัดการอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Administration) โดยผลการทดสอบระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตรนั้น

มีความแม่นยำในระดับเซนติเมตร โดยมีผลการทดลองค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยจากสถานที่ทดสอบครั้งที่ 1 ประมาณ 67.1 เซนติเมตร และครั้งที่ 2 ประมาณ 40.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าสัญญาณ Bluetooth ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน 300-500 เซนติเมตร และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย (In Gyu Lee et al., 2020)

ระบบการระบุตำแหน่งแบบ real time ช่วยสามารถติดตามวัตถุในพื้นที่นั้นๆ ได้ ปัจจุบันได้มีเทคโนโลยี และผู้ให้บริการจำนวนมากขึ้น นอกเหนือจากการใช้งาน เช่น การดูแลสุขภาพและการขนส่งทั่วไป RTLS ยังมีศักยภาพที่น่าสนใจในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต บางกรณีสามารถพบได้ในการวิจัย และการปฏิบัติในอุตสาหกรรม โดยบทความนี้มีเป้าหมายเพื่อให้เห็นภาพรวมโครงสร้างและความเข้าใจร่วมกันเกี่ยวกับศักยภาพและความท้าทายของเทคโนโลยี ด้วยเหตุนี้ การออกแบบของโซลูชันของ RTLS จึงถูกนำมาใช้งาน (Sebastian Thiede, 2021) เนื่องจากระบบระบุตำแหน่งแบบ real time (RTLS) สามารถระบุตำแหน่งและติดตาม forklift และอุปกรณ์เคลื่อนที่อื่นๆ ในคลังสินค้าได้นั้น (Halawa et al., 2020) การรวม RTLS ประยุกต์ใช้กับระบบข้อมูล จึงมีศักยภาพที่สำคัญในการเพิ่มความปลอดภัย และปรับปรุงประสิทธิภาพด้านคลังสินค้า โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเห็นถึงประโยชน์จากเทคโนโลยี RTLS เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในคลังสินค้าและ ประสิทธิภาพการดำเนินงานผ่านกรณีศึกษาจริงของคลังสินค้า โดยการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 เฟส (Phase) เพื่อแนะนำการใช้เทคโนโลยี RTLS ในคลังสินค้า

ระยะแรก คือการประเมินเทคโนโลยี RTLS ว่ามีการวิจัยในตลาดเพื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยี RTLS ที่แตกต่างกัน และผลลัพธ์ของขั้นตอนนี้ชี้ให้เห็นว่าความถี่ Ultra width band (UWB) เป็นเทคโนโลยีที่ดีที่สุดสำหรับการวางตำแหน่งภายในอาคารและการติดตามในคลังสินค้า

ระยะที่สอง คือการนำเทคโนโลยีมาใช้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา RTLS เข้ากับระบบปฏิบัติการคลังสินค้าอื่นๆ ที่มีอยู่ได้แก่ ระบบการจัดการคลังสินค้า (WMS) และระบบการจัดการกลุ่มรถยก (FFMS)

ขั้นตอนสุดท้ายคือ หลังการใช้งาน ซึ่งมีการเสนอวิธีการและเครื่องมือการแสดงผลหลายวิธีเพื่อจัดการกับปัญหาด้านความปลอดภัย และการปฏิบัติงาน ใช้คลังสินค้าจริงในสหรัฐอเมริกาเป็นกรณีศึกษาในการประเมินงานที่เสนอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูล RTLS

ผลลัพธ์ที่ได้ชี้ให้เห็นว่ากรอบงานที่นำเสนอมีประสิทธิภาพที่ดีในการพัฒนาการดำเนินงานในคลังสินค้าปัจจุบัน และพัฒนาให้ก้าวหน้าไปอีกขั้นเพื่อการเป็นคลังสินค้าอัจฉริยะ (Halawa et al., 2020; Sebastian Thiede, 2021)

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

กล่าวถึงการออกแบบแผนผังในตัวโปรแกรม SEWIO เพื่อใช้งานตรวจติดตามด้วยเทคโนโลยี RTLS และการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.1 การออกแบบการทดลอง

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย RTLS Tags จำนวน 2 ตัว Anchors จำนวน 4 ตัว ดังแสดงในรูปภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โปรแกรม RTLS ของ SEWIO Smart logistics lab พนักงานหยิบสินค้า (Pickers) จำนวน 2 คน และ Excel Solver สำหรับการหาคำตอบใน simulation และ optimization



รูปภาพที่ 1 RTLS Tags 2 ตัว



รูปภาพที่ 2 Anchors 4 ตัว

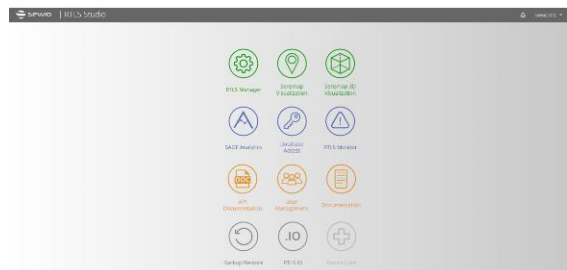


รูปภาพที่ 3 Flow Rack ประเภท Carton pick area

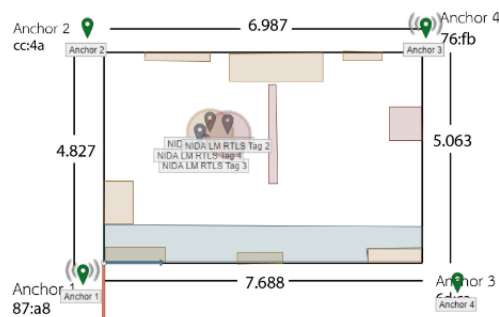


รูปภาพที่ 4 Shelf : Piece pick area

กำหนดขนาดของพื้นที่ ประกอบด้วยตำแหน่งของ Anchor ในแต่ละจุด โดยกำหนดขนาดเป็นความกว้าง ยาว ของพื้นที่ ทดลอง และความสูงของ Anchor ลงในโปรแกรม SEWIO ได้ดังรูปภาพที่ 5 และ 6



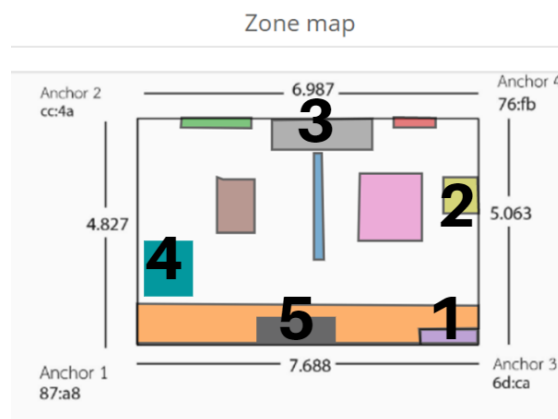
รูปภาพที่ 5 หน้าต่าง SEWIO



รูปภาพที่ 6 ขนาดของพื้นที่ทดลอง (เมตร)

การออกแบบรูปแบบกระบวนการหยิบภายในคลังสินค้าเริ่มต้นดังรูปภาพที่ 7

1. I/O สำหรับ Reserve Area
2. Shelf: Piece restock/retrieve Area
3. Flow Rack: Carton restock/retrieve Area
4. Packing Area
5. Assign tasks Area



รูปภาพที่ 7 รูปแบบกระบวนการหยิบภายในคลังสินค้า

3.1.2 การกำหนดเส้นทางการเดิน

การเดินเก็บข้อมูล จำเป็นต้องใช้ผู้ทดลอง 2 คน โดยแต่ละคน ถูกแบ่งออกเป็น Picker 1 และ Picker 2 โดยมีการเดินภายในเวลา 5 นาที และมีการกำหนด service time ในแต่ละจุด (Node) โดย Picker 1 และ Picker 2 มีจุดเริ่มต้นที่เดียวกันคือ I/O

3.2 การเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลตำแหน่งของ picker จาก RTLS ขณะทำงานในคลังสินค้านั้น โดยใช้โปรแกรม SEWIO ในการเก็บข้อมูลจาก RTLS โดยมีพื้นที่จำกัดในการทดลอง และ ข้อมูลที่ได้มีความสัมพันธ์กันระหว่าง (x, y) และระยะทาง(เมตร) โดยสามารถแบ่ง Framework ได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

3.2.1 การประเมินผลตัวชี้วัดของเทคโนโลยี RTLS

แสดงให้เห็นในรูปที่ 1 ว่าเทคโนโลยีทั้ง 4 ที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมนี้มีการเปรียบเทียบตามเกณฑ์หลายประการ เช่น ราคา ความแม่นยำ ความสามารถในการปรับระดับ และความง่ายต่อการใช้งาน เป็นพื้นฐานในการเลือกตัวชี้วัดของ RTLS ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ในการทดลองนี้เลือกตัวชี้วัด ระยะทาง ความเร็ว และ service time

3.2.2 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RTLS

การใช้ข้อมูลจาก RTLS มาพัฒนาในด้านความปลอดภัย และเพิ่มประสิทธิภาพภายในคลังสินค้า จากข้อมูลตำแหน่งของ picker ขณะทำงาน สามารถนำข้อมูลที่ได้มา noise filtering เพื่อปรับเส้นทางการเดิน และ service time ในจุด (Node) ไม่ให้เกิด congestion และปรับปรุง layout ซึ่งส่งผลให้สามารถลด total time ในกระบวนการ โดยกำหนดให้ (x_i, y_i) เป็นตำแหน่งที่ i และ S เป็นระยะทางในแต่ละจุด (Node) และเปรียบเทียบผลการทดลอง

3.2.3 วิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยี RTLS

การเกิด Congestion เป็นประเด็นหลักที่ต้องการ การออกแบบการจัดวาง layout และเส้นทางการเดินใหม่ ในการทดลองนี้มุ่งเน้นถึงประโยชน์ของการใช้เทคโนโลยี RTLS โดยจำลองปัญหาการเกิด Congestion ขึ้นในคลังสินค้า ซึ่งใช้ข้อมูลจาก RTLS เข้ามาช่วยในการบริหารจัดการระบบคลังสินค้าให้มีความเหมาะสมมากขึ้น

การเกิด Congestion ขึ้นอยู่ด้วยกัน 3 ประการสำคัญ

1) การที่พนักงาน 2 คนอยู่ใน aisle เดียวกัน หรือ มาถึงพร้อมกันแล้วเกิดการรอ ($\text{total time} = \text{total average service time} + \text{total average waiting time}$)

2) พฤติกรรมของพนักงานที่เกิดการหยุดอยู่กับที่ หรือความเร็วเคลื่อนที่ช้าลง เช่น หาส่งไม่เจอ

3) การใช้ Space utilization ไม่เหมาะสมทำให้การเดินไม่มีประสิทธิภาพ โดยใช้เวลา และระยะทางเพิ่มขึ้น เมื่อทำการปรับปรุงข้อมูลแล้ว สามารถนำข้อมูลที่ได้มา Simulation เพื่อจำลองการเกิดปัญหา Congestion โดยแบบจำลองการ simulation เป็น 2 ส่วน คือ ก่อน และหลัง redesign layout ใช้แบบจำลองการจัดการเส้นทาง TSP Strategy model และแบบจำลองแถวคอย Queuing model เพื่อหาค่าความมั่นใจ 95% ของ waiting time in queue และ time in system

4. การทดลอง และผลการทดลอง

การทดลองจัดทำขึ้นที่บริเวณของ Smart Logistics Lab ของสาขาโลจิสติกส์อัจฉริยะและการจัดการห่วงโซ่อุปทาน คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (นิด้า) แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ประกอบด้วย 1) การเดินแบบ Invisibility ที่เกิด Congestion 2) การเดินแบบ visibility ไม่เกิด Congestion และ 3) การเดินแบบ visibility โดยการ Redesign Layout

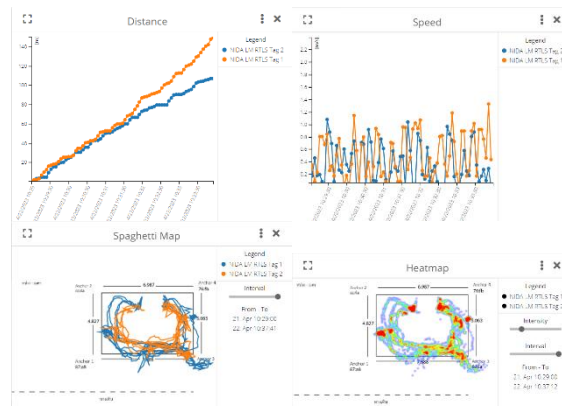
การแสดงผลการทดลอง โดยข้อมูลที่ได้ในแต่ละส่วนจะถูกนำไปประยุกต์เพื่อหาประสิทธิภาพ และวิเคราะห์ในแต่ละ framework

4.1 การทดลอง และผลการทดลอง

ขั้นตอนแรกทำการจำลองการทำงานในคลังสินค้า โดยมีกระบวนการทำงาน ดังนี้ Receiving Put-away Storage Order-Picking Shipping-Preparation และ Shipping โดยใช้เวลาดทดลองทั้งหมด 5 นาที การทดลองแบ่งออกเป็น 3 Scenario ด้วยกัน แสดงดังต่อไปนี้

4.1.1 การทดลองที่ 1 : การเดินแบบ Invisibility ที่เกิด Congestion

การเดินแบบ Invisibility คือข้อมูลก่อนที่ทราบผลจาก RTLS เมื่อทำการทดลองเสร็จ ให้เข้ามาที่เมนู Sage analysis เพื่อเลือกแสดงตัวเลือกผลลัพธ์การทำงาน โดยเลือกแสดงดังนี้



รูปภาพที่ 8 ผลการทดลองจากการทดลองที่ 1

รูปภาพที่ 8 แสดงผลการทดลองที่ 1 ประกอบด้วย 4 กราฟย่อย ได้แก่ กราฟ Distance ที่แสดงการเปรียบเทียบระยะทางระหว่าง 2 เส้น (สีส้มและสีน้ำเงิน) โดยเส้นกราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามเวลา และเส้นสีส้มมีค่าระยะทางสูงกว่าเส้นสีน้ำเงินเล็กน้อย ถัดมาเป็นกราฟ Speed ที่แสดงการเปรียบเทียบความเร็วระหว่าง 2 เส้น ซึ่งมีความผันผวนสูงแสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอ โดยค่าความเร็วอยู่ในช่วงประมาณ 0-1.5 หน่วย ส่วน Spaghetti Map แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ในรูปแบบ 2 มิติ ที่มีการวนซ้ำของเส้นทางในบางพื้นที่และแสดงพื้นที่ที่การเคลื่อนที่ทั้งหมดของการทดลอง และสุดท้ายคือกราฟ Heatmap ที่แสดงความหนาแน่นของการเคลื่อนที่ในพื้นที่ต่างๆ โดยใช้สีแสดงระดับความเข้มข้นของการเคลื่อนที่ ซึ่งสีแดงแสดงพื้นที่ที่มีการเคลื่อนที่หนาแน่น และสีน้ำเงินแสดงพื้นที่ที่มีการเคลื่อนที่น้อย โดยรวมแล้ว กราฟทั้ง 4 ช่วยให้เห็นภาพรวมของการเคลื่อนที่ในการทดลอง ทั้งในแง่ของระยะทาง ความเร็ว รูปแบบการเคลื่อนที่ และความหนาแน่นของการใช้พื้นที่ในการทดลอง จากผลการทดลองแบบที่ 1 สามารถสรุปได้เป็นตารางเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 1

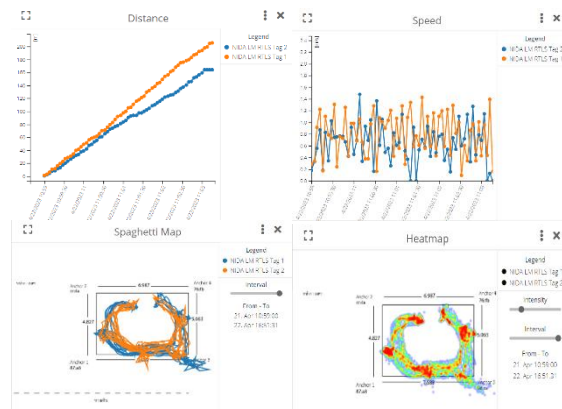
ตารางที่ 1 ผลการทดลองแบบที่ 1

	ค่าเฉลี่ย (s)	
	Picker 1	Picker 2
ระยะทาง (m)	91.760	89.071
ความเร็ว (m/s)	0.653	0.614
Service time (s)	32	40

จากข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นถึง ระยะทาง และความเร็วของ picker ที่น้อยมาก อันเนื่องจาก congestion และ double handling ของพนักงาน และ human behavior อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการ congestion

4.1.2 การทดลองที่ 2 : การเดินแบบ visibility ไม่เกิด Congestion

หลังจากที่เราทราบถึงปัญหา congestion จากข้อมูล RTLS โดยการมุ่งเน้นไปที่การลด service time ทำให้ waiting time นั้นลดลงไปด้วย ดังนั้นการเดินในแต่ละกระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังข้อมูลต่อไปนี้



รูปภาพที่ 9 ผลการทดลองจากการทดลองที่ 2

รูปภาพที่ 9 แสดงผลการทดลองที่ 2 ประกอบด้วยกราฟ 4 รูปแบบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยกราฟ Distance แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของระยะทางตามเวลาของ 2 เส้น โดยในช่วงแรกเส้นทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงหลังเส้นสีส้มมีค่าระยะทางสูงกว่าเส้นสีน้ำเงินอย่างชัดเจน สำหรับกราฟ Speed แสดงความเร็วที่มีความผันผวนสูงตลอดช่วงการทดลอง มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง ในส่วนของ Spaghetti Map แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ในพื้นที่ 2 มิติ ซึ่งมีรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนและมีการวนซ้ำในบางพื้นที่ คล้ายกับการทดลองที่ 1 และสุดท้าย Heatmap แสดงความหนาแน่นของการเคลื่อนที่โดยใช้สีแสดงระดับความเข้ม พื้นที่สีแดงแสดงบริเวณที่มีการเคลื่อนที่หนาแน่น ขณะที่สีน้ำเงินแสดงบริเวณที่มีการเคลื่อนที่น้อย จากภาพรวมของกราฟทั้ง 4 แสดงให้เห็นว่าการทดลองที่ 2 มีรูปแบบการเคลื่อนที่ที่คล้ายคลึงกับการทดลองที่ 1 แต่มีความแตกต่างในแง่ของระยะทางที่เพิ่มขึ้นระหว่างเส้นทั้งสองที่ชัดเจนกว่า จากผลการทดลองแบบที่ 2 สามารถสรุปได้เป็นตารางเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองแบบที่ 2

	ค่าเฉลี่ย (s)	
	Picker 1	Picker 2
ระยะทาง (m)	104.673	85.261
ความเร็ว (m/s)	0.793	0.633
Service time (s)	16	36

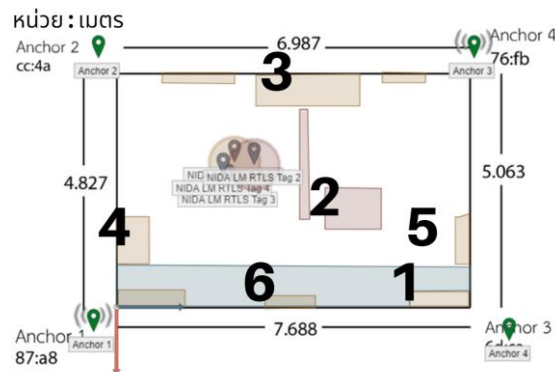
ข้อสังเกตพบว่า จากการทดลองที่ 1 ใน spaghetti map จะเห็นได้ถึงการเกิด congestion เนื่องจาก double handling ของ picker และ human behavior เมื่อทราบถึงปัญหา ทำให้การทดลองที่ 2 มุ่งเน้นไปที่การลด service time ทำให้ waiting time ลดลงไป เพื่อลดการเกิด congestion ในการรอหยิบสินค้า

4.1.3 การทดลองที่ 3 : การเดินแบบ visibility โดยการ Redesign Layout

จากการทดลอง 1 และ 2 ที่ไม่มีการ Redesign layout สังเกตได้ว่า heatmap และ spaghetti map ว่าไม่สามารถใช้ Space Utilization ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นทางผู้ทดลองจึงได้จัดเรียง Shelf ที่มีหน้าที่ restock และ picking มาวางไว้ใกล้ทางเดิน และเพิ่ม Assign tasks area อีก 1 ตัวเพื่อเลี่ยงการเกิด waiting time in queue นานในกรณีที่ Picker 1 และ 2 มารอใช้บริการพร้อมกัน ทั้ง 2 กระบวนการนี้วางไว้ใกล้ I/O เพื่อลดระยะทาง และไวต่อการ restock และ picking

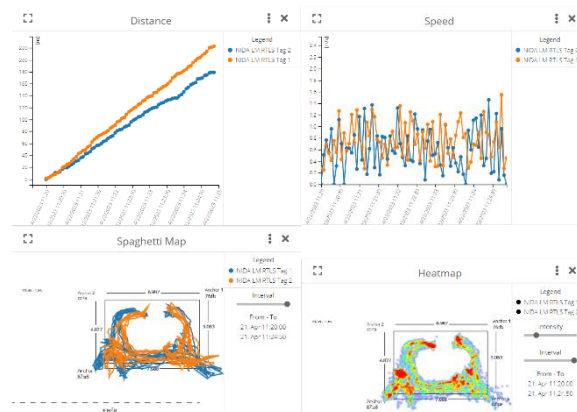
กำหนดรูปแบบกระบวนการหยิบภายในคลังสินค้า

1. I/O สำหรับ Reserve Area
2. Shelf: Piece restock/retrieve Area
3. Flow Rack: Carton restock/retrieve Area
4. Packing Area
5. Assign tasks Area 1
6. Assign tasks Area 2



รูปภาพที่ 10 ผังและตำแหน่งการเดินหลังจาก Redesign layout

ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้



รูปภาพที่ 11 ผลการทดลองจากการทดลองที่ 3

รูปภาพที่ 11 แสดงผลการทดลองที่ 3 ประกอบด้วยกราฟแสดงผล 4 รูปแบบ โดยกราฟ Distance แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะทางตามเวลาของ 2 เส้น เห็นได้ชัดว่าเส้นสีส้มมีค่าระยะทางเพิ่มขึ้นสูงกว่าเส้นสีน้ำเงินอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงครึ่งหลังของการทดลอง ส่วนกราฟ Speed แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่มีความผันผวนสูงของทั้งสองเส้น มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงสลับกันตลอดช่วงเวลา ในส่วนของ Spaghetti Map แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ในพื้นที่ 2 มิติ ที่มีความซับซ้อนและมีการวนซ้ำในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะบริเวณด้านล่างของแผนที่ที่มีความหนาแน่นของเส้นทางมากกว่าบริเวณอื่น และสุดท้าย Heatmap แสดงความหนาแน่นของการเคลื่อนที่ผ่านการใช้สี โดยพื้นที่สีแดงแสดงบริเวณที่มีการเคลื่อนที่หนาแน่นสูง และสีน้ำเงินแสดงบริเวณที่มีการเคลื่อนที่น้อย ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบที่เห็น

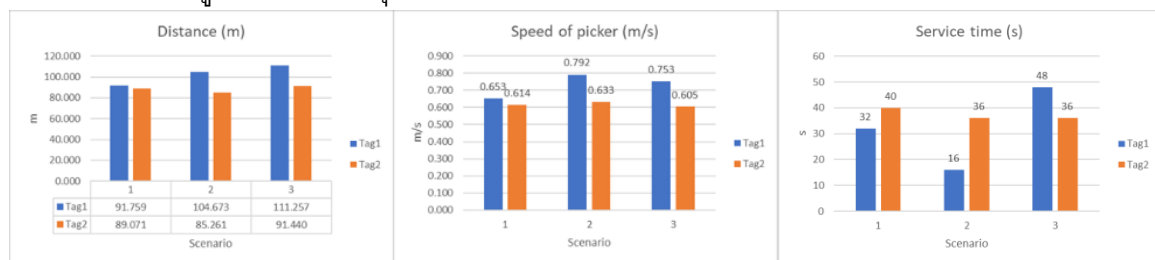
ใน Spaghetti Map โดยเฉพาะในบริเวณด้านล่างของพื้นที่ที่มีความเข้มข้นของสีสูงกว่าบริเวณอื่น จากผลการทดลองแบบที่ 3 แสดงสามารถสรุปได้เป็นตารางเปรียบเทียบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองแบบที่ 3

	ค่าเฉลี่ย (s)	
	Picker 1	Picker 2
ระยะทาง (m)	111.257	91.440
ความเร็ว (m/s)	0.753	0.605
Service time (s)	48	36

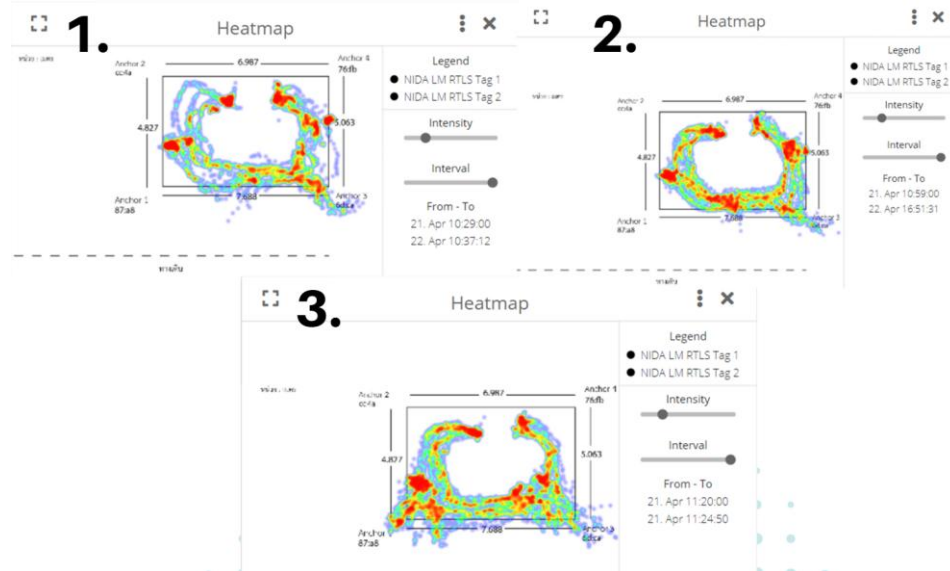
4.1.4 การประเมินผลตัวชี้วัด

จากการทดลองทั้ง 3 รูปแบบสามารถสรุปเปรียบเทียบตัวชี้วัดจากการทดลอง ได้ดังนี้



รูปภาพที่ 12 การเปรียบเทียบตัวชี้วัดทั้ง 3 การทดลอง

จากการทดลองทั้ง 3 สามารถสรุปได้ว่า เมื่อทราบตำแหน่งของ picker และนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงทำให้กระบวนการทำงานในคลังสินค้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น สังเกตได้จาก ระยะทาง ความเร็ว และ service time ที่เพิ่มขึ้น เพราะว่า picker สามารถทำงานได้ไวขึ้น โดยที่ไม่มีการเกิด noise ส่งผลให้ labor efficiency เพิ่มขึ้น



รูปภาพที่ 13 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้ space efficiency ทั้ง 3 การทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการเดินของ picker ทำให้ทราบว่า การใช้ space utilization ปกติ นั้น ไม่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำการจัด layout ใหม่ ทำให้ใช้ space utilization ได้ดีกว่า scenario 1 และ 2 โดยทั้งหมดคือการใช้ข้อมูลจาก dash board ในส่วนถัดไปจะเป็นการใช้ข้อมูลเพื่อประยุกต์ปรับปรุงงาน ดังแสดงในรูปภาพที่ 13

4.2 การประยุกต์ใช้ RTLS ร่วมกับการ Simulation

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้จาก RTLS ไปปรับปรุงงาน โดยการ Simulation และ redesign layout สามารถช่วยให้กระบวนการภายในคลังสินค้ามีความเหมาะสมมากขึ้น

4.2.1 การประยุกต์ใช้ตัวแบบ TSP

เป็นวิธีการหาที่ Optimal Solution ที่สุด วัตถุประสงค์คือ วางแผนเส้นทางการเดินไปทุกจุดด้วยระยะทางที่สั้นที่สุด ในการเดินภายในคลังสินค้า โดยกำหนดว่าเมื่อเสร็จแล้วต้องกลับมาที่จุด I/O

นำข้อมูล Distance ที่ได้จาก Tag มาใช้ Solver เพื่อหาเส้นทางการเดินที่สั้นที่สุด โดยข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1 TSP Solver ของ layout ปกติ

2 TSP Solver ของ layout หลัง redesign

โดยสมการของ TSP มีดังนี้

Objective function

$$\sum_i^k \sum_j^k C_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

Constrain

$$\sum_j^k X_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_i^k X_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (8)$$

กำหนดให้

C_{ij}	ระยะทางในการเดินจากโหนด i ไปโหนด j
T	จำนวนโหนดที่อยู่ในเส้นทาง
W	จำนวนโหนดทั้งหมด
k	จำนวนโหนด
i, j	โหนดที่ i หรือ j โดยที่ $i, j = 0, 1, 2, \dots, k$

$$\sum_{i,j \in T}^k X_{ij} \leq |T| - 1 \quad T \in W, 2 \leq |T| \leq k - 2 \quad (9)$$

Decision variable

x_{ij}	= 1 เมื่อมีการเดินทางจาก i ไป j
	= 0 เมื่อไม่มีการเดินทางจาก i ไป j

4.2.1.1 TSP Solver ของ Layout ปกติ

จากการทดลองความเร็วเฉลี่ยของ Picker 1 และ 2 ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเร็วเฉลี่ยของ Picker ที่ Layout ปกติ

	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
Picker 1	0.453
Picker 2	0.478
Total	0.466

ระยะทางที่ได้จากโหนด 1 ไป โหนด 6 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตาราง matrix ระยะทางจากโหนด 1 ไป โหนด 6

		1	2	3	4	5	6
Reserve area I/O	1	0	4.253	7.638	14.707	15.943	21.567
Piece Pick/Restock area	2	4.253	0	0.735	11.268	15.553	16.450
Carton restocks	3	7.638	0.735	0	7.656	12.467	14.212
Assign tasks	4	14.707	11.268	7.656	0	1.916	5.427
Packing area	5	15.943	15.553	12.467	1.916	0	14.914
Carton Pick	6	21.567	16.450	14.212	5.427	14.914	0

ผลลัพธ์ที่ได้หลัง Solver

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์จากการรัน TSP Solver ของ Layout ปกติ

Order	Place	Distance (m)	Duration (s)
1	Reserve area I/O		
2	Piece Pick/Restock area	4.253	9.135
3	Carton Restock	0.735	1.579
6	Carton Pick	14.212	30.529
4	Assign Task	5.427	11.658
5	Packing area	1.916	4.115
1	Reserve area I/O	15.943	34.248
Total Distance		42.486	91.264

ระยะทางที่ heuristics เท่ากับ 42.486 เมตร จากการเดินโดยไม่ซ้ำจุดเดิม และกลับมายังตำแหน่ง I/O ความเร็วเฉลี่ยของ Picker ที่ 0.465530048 m/s คือการเดินจากโหนด 1 2 3 6 4 5 และ 1 ตามลำดับ

4.2.1.2 TSP Solver ของ Layout หลัง Redesign

จากการทดลองความเร็วเฉลี่ยของ Picker 1 และ 2 ได้ดังนี้

ตารางที่ 7 ความเร็วเฉลี่ยของ Picker ของ Layout หลัง Redesign

	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
Picker 1	0.753
Picker 2	0.605
Total	0.679

ระยะทางที่ได้จากโหนด 1 ไป โหนด 7 แสดงดังตาราง

ตารางที่ 8 ตาราง matrix ระยะทางจากโหนด 1 ไป โหนด 6

		1	2	3	4	5	6	7
Reserve area I/O	1	0	0.371	10.898	20.336	28.205	30.676	33.438
Assign Tasks 1	2	0.3712	0	3.709	1.562	8.099	10.759	12.056
Piece Pick/Restock area	3	10.898	0.448	6.3104	0.448	4.999	11.752	12.056
Carton Restock	4	20.336	1.562	0.448	0	6.832	11.982	15.937
Assign Tasks2	5	28.205	8.099	4.999	6.832	0	0.408	3.152
Packing area	6	30.676	10.759	11.752	11.982	0.408	0	0.979
Carton Pick	7	33.438	12.056	12.056	15.937	3.152	0.979	0

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์จากการรัน TSP Solver ของ Redesign layout

Order	Place	Distance (m)	Duration (s)
1	Reserve area I/O		
4	Carton restocks	6.310	13.555
5	Assign taks2	6.83	14.675
6	Packing area	0.408	0.877
7	Carton Pick	0.980	2.104
3	Piece Pick/Restock area	12.056	25.897
2	Assign tasks 1	0.448	0.963
1	Reserve area I/O	2.505	5.382
Total Distance		29.539	63.453

ระยะทางที่ heuristics เท่ากับ 26.539 เมตร จากการเดินโดยไม่ซ้ำจุดเดิม และกลับมายังตำแหน่ง I/O ความเร็วเฉลี่ยของ Picker ที่ 0.679 m/s คือการเดินจากโหนด 1 4 5 6 7 3 2 และ 1 ตามลำดับ

จากข้อมูล RTLS ที่ประยุกต์ใช้ด้วย TSP model เปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี การจัดเรียง layout ใหม่สามารถช่วยให้ระยะทางการเดิน และเวลาของ picker สั้นลง ทำให้สามารถทำ operation ถัดไปได้ไวขึ้น

4.2.2 การประยุกต์ใช้ RTLS ร่วมกับการ Queuing models

เปรียบเทียบ waiting time in queue และ service time ทั้งหมด โดยค่าความน่าจะเป็นของแต่ละโหนดมีค่าเท่ากัน กล่าวคือทุกโหนดสามารถมีโอกาสเกิดการหยิบได้เท่ากัน

การทำ Bootstrapping เพื่อหาค่าความมั่นใจ โดยทำการ Sampling data เป็นจำนวน 250 และ หาค่าเฉลี่ยของ waiting time in queue และ service time ทั้งหมดจากการทำ replication ทั้งหมด 100 ครั้ง ซึ่งยิ่งค่าเยอะจะสามารถมั่นใจได้ว่ามีค่าความน่าเชื่อถือมาก โดยการสุ่มค่าของความน่าจะเป็นอย่างละเท่าๆ กันทั้ง arrival time และ service time จะใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสมของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง (Cumulative Distribution Function: CDF) จากข้อมูล arrival time และ service time ที่ได้จากการทดลองแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย แบ่งการ Simulation เป็น 2 แบบ

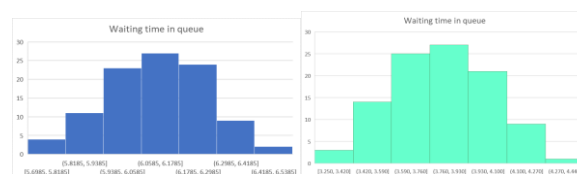
1. แบบที่ 1 Layout ปกติ
2. แบบที่ 2 Redesign layout

สามารถสรุปค่าต่างๆ ได้ดังนี้

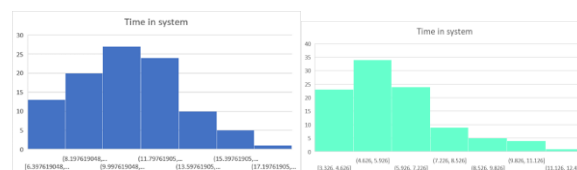
ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยผลลัพธ์ของการ sampling data จำนวน 250 ครั้ง

แบบที่ 1 Layout ปกติ	Avg time between order	58.237 sec
	Avg waiting time	6.089 sec
	# of Order to be picking	0.105
	Avg. time in system	9.256 sec
แบบที่ 2 Redesign Layout	Avg time between order	38.143 sec
	Avg waiting time	3.513 sec
	# of Order to be picking	0.092
	Avg. time in system	3.791 sec

จากนั้นทำการ Replicate ค่า arrival time และ service time ที่ $n = 100$ (จำนวน n ยิ่งมาก ทำให้กราฟที่ได้ นั้นมีความเป็น normal distribution มากขึ้น) โดยใช้ what-if analysis และสามารถ plot กราฟ histogram ได้ดังนี้ โดย distribution นั้นเป็น normal distribution เนื่องจากเราใช้การ sample ค่ามาจาก sample size ในการหา confidence interval เราจึงใช้ T distribution



รูปภาพที่ 14 T-distribution : waiting time in queue แบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปภาพที่ 15 T-distribution : Time in system แบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

เมื่อทราบว่าข้อมูลที่ทำการ sample นั้นมีการกระจายตัวแบบ normal เป็น T-distribution จึงอยากทราบว่าที่ confidence interval = 95% มี waiting time และ time in system ควรอยู่ในช่วงไหน จากสมการในการหา confidence interval = 95%

$$\mu = \bar{x} + t.multiplier\left(\frac{\sigma}{\text{sample}}\right) \quad (10)$$

$$\text{โดย} \quad df = n-1 \quad (11)$$

ตารางที่ 11 วิธีการหา confidence interval 95 %

If confidence interval = 95%		
	Layout เดิม	Layout หลัง redesign
Average waiting time		
Mean =AVERAGE (waiting time n = 100)	6.109	3.787
Stdev = STDEV.S(waiting time n = 100)	0.174	0.222
Average time in system		
Mean =AVERAGE (time in system n = 100)	10.770	5.867
Stdev = STDEV.S(time in system n = 100)	2.568	1.727
Sample	250	
T-multiplier =T.INV (2.5%,250-1)	-1.970	

สามารถหา mean ของ population จากช่วง Upper-Lower bound ดังนี้

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบช่วง confidence interval 95 % ของทั้ง 2 แบบ

μ of Population in range at confidence interval 95 %				
	Waiting time in queue (s)		Time in system (s)	
	Upper bound	Lower bound	Upper bound	Lower bound
Layout เดิม	6.131	6.088	11.090	10.450
Layout หลัง redesign	3.815	3.760	6.082	5.652

ดังนั้นที่ confidence interval 95 % แบบที่ 1 layout ปกติต้องมี Waiting time in queue ในช่วง 6.088 ถึง 6.131 และ Time in system ในช่วง 10.450 ถึง 11.09 วินาที และ แบบที่ 2 Redesign layout ต้องมี Waiting time in queue ในช่วง 3.760 ถึง 3.815 และ Time in system ในช่วง 5.652 ถึง 6.082 วินาที

5. สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

การศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RTLS ระบุตำแหน่งแบบ Real Time ภายในคลังสินค้า จำลองมุ่งเน้นที่จะศึกษาประโยชน์ที่ได้จากข้อมูลเทคโนโลยี RTLS และการประยุกต์ใช้โดยอาศัยทฤษฎีแบบจำลองต่างๆ เข้ามาช่วยเพื่อให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด สรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

สำหรับการออกแบบการทดลองในครั้งนี้ ทำให้เห็นถึงแนวทางการใช้ข้อมูลจาก RTLS มาประยุกต์ใช้ให้มีประสิทธิภาพ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาก dashboard เช่น heatmap แสดงถึงการใช้สอยพื้นที่ (space utilization) และความถี่โดยตัวชี้วัดวัดประสิทธิภาพได้จากการเปรียบเทียบจาก ระยะทาง ความเร็ว และ service time ที่ได้ และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ด้วยการ simulation เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการปรับปรุงงานคลังสินค้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดที่สำคัญสำหรับงานวิจัยนี้คือ มีพื้นที่อยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องใช้พื้นที่ และกระบวนการทำงานจริง เพื่อดูประโยชน์จากการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้ยังไม่เพียงพอ ในอนาคตเพื่อที่จะปรับปรุง และพัฒนาประสิทธิภาพในการจัดการ และการบริการคลังสินค้าให้ทันสมัย จึงเสนอแนวทางการพัฒนา เช่น นำอุปกรณ์เคลื่อนย้าย AGVs มาใช้งานร่วมกับ RTLS เพื่อทำให้กระบวนการในคลังสินค้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น และการใช้กล้องร่วมกับการทำ deep learning มาช่วยจัดการท่าระบบ IOT เพื่อศึกษาต่อยอดในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Halawa, F., Dauod, H., Lee, I. G., Li, Y., Yoon, S. W., & Chung, S. H. (2020). Introduction of a real time location system to enhance the warehouse safety and operational efficiency. **International Journal of Production Economics**, 224, 107541. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107541>
- Ketmaneechairat, H., & Soiraya, B. (2565). ระบบติดตามตำแหน่งภายในอาคารแบบเรียลไทม์ระดับเซนติเมตร. **The Journal of Industrial Technology**, 18(3), 47-68.
- Khan, M. G., Huda, N. U., & Zaman, U. K. U. (2022). Smart warehouse management system: Architecture, real-time implementation and prototype design. **Machines**, 10(2), 150. <https://doi.org/10.3390/machines10020150>
- Lee, I. G., Chung, S. H., & Yoon, S. W. (2020). Two-stage storage assignment to minimize travel time and congestion for warehouse order picking operations. **Department of Systems Science and Industrial Engineering**, Binghamton University.
- Sahara, C. R., & Amer, A. M. (2022). Real-time data integration of an internet-of-things-based smart warehouse: A case study. **International Journal of Pervasive Computing and Communications**, 18(5), 622-644. <https://doi.org/10.1108/IJPC-12-2021-0167>
- Thiede, S., Sullivan, B., Damgrave, R., & Lutters, E. (2021). **Real time locating system for human centered production planning and monitoring**. Graz University of Technology.
- กัญญา ภักฐะยา. (2559). การจัดการคลังสินค้าของบริษัท โลอ้อน (ประเทศไทย) จำกัด. **Journal of Logistics and Supply Chain Management Ramkhamhaeng**, 3(1), 2559.
- จินตนา สีหาพงษ์. (2556). RFID เทคโนโลยีอัจฉริยะกับการจัดการคลังสินค้ายุคใหม่. **PAYAP UNIVERSITY JOURNAL**, 23(2), 47-62.

- ชินานันท์ เผ่ากันสีห์ภัก. (2563). แบบจำลองสถานการณ์เพื่อการจัดตารางขนส่งที่เหมาะสมสำหรับ
คลังสินค้าแบบทันเวลาพอดีภายใต้ความไม่แน่นอนด้านเวลาการขนส่ง. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บงกช เสวตไพศาลกุล. (2563). การปรับปรุงตำแหน่งการวางชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์ในคลังสินค้า. วิศวกรรมศาสตร์
มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

8. ภาคผนวก

8.1 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากระบบ RTLS

ตัวอย่างข้อมูลระยะทาง (m)

	A	B
1	Value	Time(UTC)
2	0	2023-04-22 04:20:00.0
3	2.050492851	2023-04-22 04:20:04.0
4	5.113557532	2023-04-22 04:20:08.0
5	7.341683841	2023-04-22 04:20:12.0
6	11.16832006	2023-04-22 04:20:16.0
7	11.16832006	2023-04-22 04:20:20.0
8	12.43518914	2023-04-22 04:20:24.0
9	16.89592888	2023-04-22 04:20:28.0
10	19.70281146	2023-04-22 04:20:32.0
11	19.70281146	2023-04-22 04:20:36.0
12	22.19207954	2023-04-22 04:20:40.0
13	24.68450128	2023-04-22 04:20:44.0
14	26.87294847	2023-04-22 04:20:48.0
15	30.27246491	2023-04-22 04:20:52.0
16	31.33260264	2023-04-22 04:20:56.0
17	36.00895348	2023-04-22 04:21:00.0
18	37.68888509	2023-04-22 04:21:04.0
19	42.93230941	2023-04-22 04:21:08.0
20	43.62657161	2023-04-22 04:21:12.0
21	46.08073153	2023-04-22 04:21:16.0
22	51.56377473	2023-04-22 04:21:20.0
23	52.73658386	2023-04-22 04:21:24.0
24	56.0876775	2023-04-22 04:21:28.0
25	56.76311103	2023-04-22 04:21:32.0
26	60.07195952	2023-04-22 04:21:36.0

NIDA LM RTLS Tag 2 NIDA LM RTLS Tag 1

ตัวอย่างข้อมูลความเร็ว (m/s)

	A	B
1	Value	Time(UTC)
2	0	2023-04-22 04:20:00.0
3	0.512623213	2023-04-22 04:20:04.0
4	0.76576617	2023-04-22 04:20:08.0
5	0.557031577	2023-04-22 04:20:12.0
6	0.956659054	2023-04-22 04:20:16.0
7	0	2023-04-22 04:20:20.0
8	0.31671727	2023-04-22 04:20:24.0
9	1.115184934	2023-04-22 04:20:28.0
10	0.701720646	2023-04-22 04:20:32.0
11	0	2023-04-22 04:20:36.0
12	0.622317018	2023-04-22 04:20:40.0
13	0.623105436	2023-04-22 04:20:44.0
14	0.547111797	2023-04-22 04:20:48.0
15	0.849879111	2023-04-22 04:20:52.0
16	0.265034432	2023-04-22 04:20:56.0
17	1.169087709	2023-04-22 04:21:00.0
18	0.419982903	2023-04-22 04:21:04.0
19	1.31085608	2023-04-22 04:21:08.0
20	0.17356555	2023-04-22 04:21:12.0
21	0.613539981	2023-04-22 04:21:16.0
22	1.3707608	2023-04-22 04:21:20.0
23	0.293202281	2023-04-22 04:21:24.0
24	0.837773411	2023-04-22 04:21:28.0
25	0.168858381	2023-04-22 04:21:32.0
26	0.827212124	2023-04-22 04:21:36.0

NIDA LM RTLS Tag 2 NIDA LM RTLS Tag 1

ตัวอย่างข้อมูล spaghetti map (x, y)

	A	B	C	D	E	F
X	Y	Time(UTC)				
	6.57	-0.46	2023-04-22 04:20:00.009000			
	6.49	-0.57	2023-04-22 04:20:00.154000			
	6.43	-0.62	2023-04-22 04:20:00.288000			
	6.3	-0.64	2023-04-22 04:20:00.334000			
	6.18	-0.66	2023-04-22 04:20:00.414000			
	6.05	-0.68	2023-04-22 04:20:00.550000			
	5.96	-0.68	2023-04-22 04:20:00.589000			
	5.84	-0.7	2023-04-22 04:20:00.689000			
	5.74	-0.7	2023-04-22 04:20:00.789000			
	5.54	-0.76	2023-04-22 04:20:00.970000			
	5.5	-0.77	2023-04-22 04:20:00.994000			
	5.41	-0.78	2023-04-22 04:20:01.069000			
	5.3	-0.83	2023-04-22 04:20:01.189000			
	5.17	-0.83	2023-04-22 04:20:01.314000			
	4.97	-0.77	2023-04-22 04:20:01.495000			
	4.85	-0.81	2023-04-22 04:20:01.629000			
	4.7	-0.89	2023-04-22 04:20:01.809000			
	4.61	-0.93	2023-04-22 04:20:01.909000			
	4.69	-0.95	2023-04-22 04:20:01.950000			
	4.61	-1	2023-04-22 04:20:02.109000			
	4.53	-1.06	2023-04-22 04:20:02.234000			
	4.54	-1.08	2023-04-22 04:20:02.369000			
	4.48	-1.1	2023-04-22 04:20:02.494000			
	4.49	-1.12	2023-04-22 04:20:02.589000			
	4.58	-1.12	2023-04-22 04:20:02.694000			
NIDA LM RTLS Tag 1						NIDA LM RTLS Tag 2

ตัวอย่างข้อมูล heatmap (x, y)

	A	B	C	D	E	F
1 X	Y	Time(UTC)				
2	6.57	-0.46	2023-04-22 04:20:00.009000			
3	6.49	-0.57	2023-04-22 04:20:00.154000			
4	6.43	-0.62	2023-04-22 04:20:00.288000			
5	6.3	-0.64	2023-04-22 04:20:00.334000			
6	6.18	-0.66	2023-04-22 04:20:00.414000			
7	6.05	-0.68	2023-04-22 04:20:00.550000			
8	5.96	-0.68	2023-04-22 04:20:00.589000			
9	5.84	-0.7	2023-04-22 04:20:00.689000			
10	5.74	-0.7	2023-04-22 04:20:00.789000			
11	5.54	-0.76	2023-04-22 04:20:00.970000			
12	5.5	-0.77	2023-04-22 04:20:00.994000			
13	5.41	-0.78	2023-04-22 04:20:01.069000			
14	5.3	-0.83	2023-04-22 04:20:01.189000			
15	5.17	-0.83	2023-04-22 04:20:01.314000			
16	4.97	-0.77	2023-04-22 04:20:01.495000			
17	4.85	-0.81	2023-04-22 04:20:01.629000			
18	4.7	-0.89	2023-04-22 04:20:01.809000			
19	4.61	-0.93	2023-04-22 04:20:01.909000			
20	4.69	-0.95	2023-04-22 04:20:01.950000			
21	4.61	-1	2023-04-22 04:20:02.109000			
22	4.53	-1.06	2023-04-22 04:20:02.234000			
23	4.54	-1.08	2023-04-22 04:20:02.369000			
24	4.48	-1.1	2023-04-22 04:20:02.494000			
25	4.49	-1.12	2023-04-22 04:20:02.589000			
26	4.58	-1.12	2023-04-22 04:20:02.694000			
NIDA LM RTLS Tag 1						NIDA LM RTLS Tag 2