

การพัฒนาระบบติดตามสถานะสินค้าในกระบวนการขนส่ง จากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สู่คลังสินค้า

Product Tracking System Development for Transportation Process from Automobile Parts Factory to The Warehouse

วิมุตติพันธ์ พลมัน¹ และบัญชา วัฒนะ^{2*}

Wimuttiphun Ponmun¹ and Buncha Wattana^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University

²หน่วยวิจัยวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²Electrical and Computer Engineering Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasarakham University

*Corresponding author: buncha.w@msu.ac.th

Received: November 25, 2024

Revised: December 20, 2024

Accepted: December 26, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลและติดตามสถานะการขนส่งสินค้า ที่ช่วยแก้ปัญหาทางด้านข้อมูลให้สามารถติดตามและสอกลับสินค้าในกระบวนการได้ และ (2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพและข้อจำกัดของระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าที่ได้มีการพัฒนาขึ้น โดยมีการเก็บข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นจากกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากความเกี่ยวข้องกับกระบวนการและประสบการณ์ทำงาน ดำเนินการพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) พัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ด้วยสถาปัตยกรรมแบบ Single Page Application: SPA ร่วมกับสถาปัตยกรรมแบบ Serverless มีการทดสอบระบบด้วยการทดสอบฟังก์ชัน (functional test) เพื่อตรวจสอบความสามารถของระบบ และทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (performance test) โดยการทำการ Load test Capacity test Stress test และ Availability test ซึ่งมีการประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ Throughput (req/sec) Response time (ms) Resource usage โดยนำมาวิเคราะห์หากรณีที่เลวร้ายที่สุดของระบบด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 และเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ผลการวิจัยพบว่า จากการทดสอบฟังก์ชันโดยประเมินความคาดหวังต่อระบบ 15 หัวข้อใน 7 ฟังก์ชัน ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตาม 15 หัวข้อประเมิน ซึ่งคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) จึงสามารถแก้ปัญหาทางด้านข้อมูล ติดตามและสอกลับสินค้าในกระบวนการขนส่งได้จริง ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหาทางด้านข้อมูลในกระบวนการได้มากกว่า 36,521.22 บาทต่อปี และช่วยลดเวลาสินค้ารอคอยการขนส่งจากระบบเดิมลง 190.41 นาทีต่อรายการ หรือคิดเป็นร้อยละ 5.98 ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการดีขึ้น นอกจากนี้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้โหลดการทำงานปัจจุบัน จากการทดสอบประสิทธิภาพซึ่งรองรับการขยายขนาดของระบบได้ 800% ก่อนจะได้รับผลกระทบเรื่องประสิทธิภาพของระบบ

คำสำคัญ: การจัดการข้อมูล กระบวนการขนส่งสินค้า เว็บแอปพลิเคชัน ประสิทธิภาพของระบบ

Abstract

This research aimed to develop a web application with the objectives of (1) designing and developing a system for recording and tracking the status of product shipments to address data-related issues, enabling tracking and traceability within the process, and (2) evaluating the system's performance and limitations. Data collection involved identifying issues from a purposively selected sample group based on relevance to the process and work experience. The system was developed following the Software Development Life Cycle (SDLC) as a Single Page Application (SPA) with a serverless architecture. Functional tests were conducted to verify system capabilities, while performance tests, including Load, Capacity, Stress, and Availability tests, were carried out to assess system performance across three metrics: Throughput (req/sec), Response Time (ms), and Resource Usage. Performance was analyzed under worst-case scenarios using the 90th and 95th percentiles. Results indicated that the system met the expectations in all 15 evaluation criteria across 7 functions, achieving 100% compliance, and demonstrated its effectiveness in resolving data management issues. The developed system reduced data-related costs by over 36,521.22 baht annually and minimized shipment waiting time by 190.41 minutes per shipment, equivalent to a 5.98% reduction. Furthermore, the system exhibited efficient performance under current loads, supporting scalability up to 800% before experiencing any performance degradation, thereby enhancing the overall efficiency of the shipment process.

Keywords: data management, transportation process, web application, system performance



บทนำ

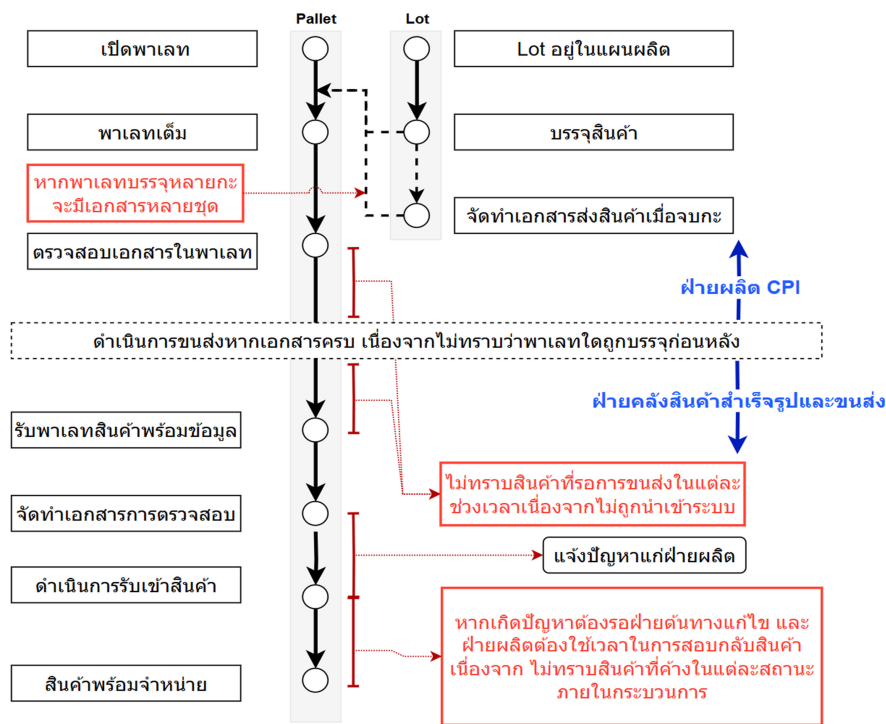
โลกในศตวรรษที่ 21 เกิดการเปลี่ยนแปลงจากศตวรรษก่อนหน้าเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม ซึ่งอดีตขับเคลื่อนด้วยมนุษย์เป็นหลักถูกแทนที่ด้วยการประยุกต์ใช้นวัตกรรมและข้อมูล (Phanthali, 2020) ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างองค์กรที่มีการประยุกต์และไม่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ดังนั้นองค์กรจึงต้องปรับตัวโดยการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ในธุรกิจ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในตลาด (Ferràs-Hernández et al., 2017) โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีการแข่งขันภายในตลาดรุนแรง การนำข้อมูลที่เกิดขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการทำงานเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันจึงเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งส่งผลต่อความอยู่รอดของธุรกิจในการแข่งขันสูง

จากการศึกษากระบวนการขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ พบว่ากระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

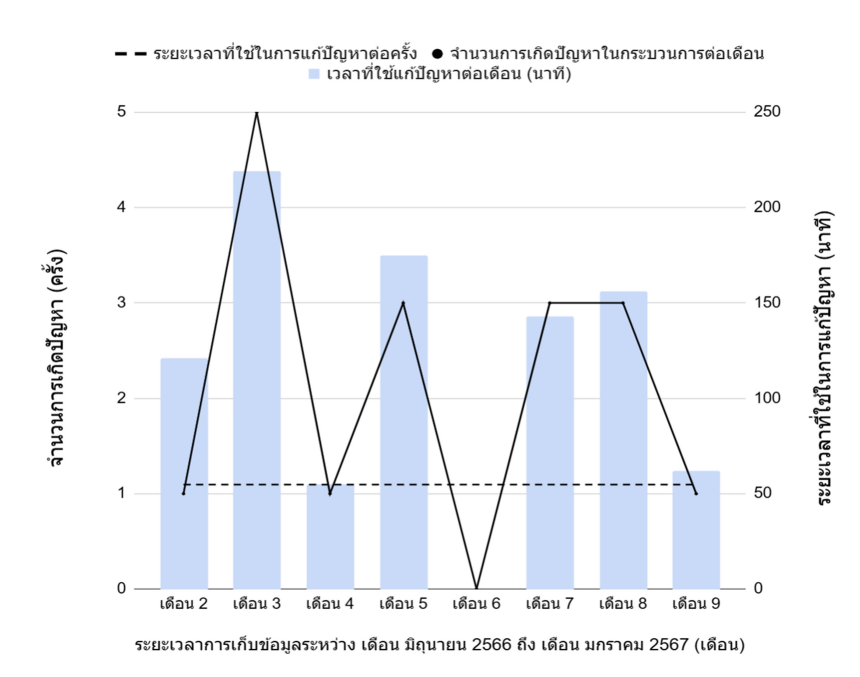
สู่คลังสินค้า ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างสองหน่วยงาน คือ ฝ่ายผลิต ทำหน้าที่ผลิตและขนส่งสินค้าเข้าสู่คลัง และฝ่ายคลังสินค้าทำหน้าที่ตรวจสอบรับเข้าและจัดเก็บสินค้าเพื่อการจำหน่าย พบปัญหาได้แก่ การไม่สามารถติดตามสินค้าในกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงได้ และการสอกลับสินค้าในกระบวนการทำได้ยาก จากการบันทึกข้อมูลในปัจจุบันไม่สอดคล้องกับการทำงานที่เกิดขึ้นจริง และมีเอกสารที่ใช้ในกระบวนการมากเกินไปจนเกิดความจำป็น ดังแสดงในภาพ 1 ซึ่งปัญหาข้างต้นมีต้นเหตุจากไม่มีการวางโครงสร้างในการสร้าง จัดเก็บ และจัดการข้อมูลระหว่างหน่วยงานอย่างเป็นระบบ ทำให้เกิดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลตามมา ซึ่งส่งผลถึงโอกาสเกิดความผิดพลาดในการขนส่งสินค้าจากข้อมูลที่ไม่เป็นระบบเพิ่มขึ้นสามารถสรุปจำนวนและเวลาที่ใช้ในการแก้ไขดังแสดงในภาพ 2 เมื่อเกิดปัญหาในกระบวนการขนส่งจะไม่สามารถรับเข้าสินค้าได้จนกว่าปัญหาจะถูกแก้ไข ซึ่งใช้เวลาในการแก้ไขเฉลี่ย 54.76 นาทีต่อปัญหา และเกิดปัญหาเฉลี่ย 2.1 ปัญหาต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนที่ใช้จัดการปัญหา 50,567.84 บาทต่อปี อีกทั้ง

ยังมีค่าเสียโอกาสจากสินค้าที่พร้อมจำหน่ายได้ช้าลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ของธุรกิจ และในอนาคตจำนวนและความหลากหลายของสินค้าที่ผ่านกระบวนการขนส่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดและมีต้นทุนใน

กระบวนการสูงขึ้นตามมา จึงต้องมีการจัดการกระบวนการและข้อมูลภายในกระบวนการขนส่งอย่างเป็นระบบ เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดเพิ่มขึ้นในอนาคตและลดต้นทุนดังกล่าว



ภาพ 1 กระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า



ภาพ 2 กราฟแสดงจำนวนการเกิดปัญหาและระยะเวลาการแก้ไขปัญหาในกระบวนการขนส่งสินค้า

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในปัจจุบันพบว่า มีหลายเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาและสร้างมาตรฐานในการจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบได้ เช่น ในงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาระบบสื่อสารด้านโลจิสติกส์การผลิตด้วยยูทิลเวิร์คสเปซ เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างหน่วยงานให้ทราบสถานะของสินค้า โดยมีการรอกและส่งข้อมูลผ่านยูทิลเวิร์คสเปซ พบว่า ระบบช่วยในการสื่อสารข้อมูลระหว่างฝ่ายและบุคลากรที่เกี่ยวข้องมีระดับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด (Athikulrat et al., 2023) แต่มีข้อสังเกตที่ระบบอาจเกิดข้อผิดพลาดจากข้อมูลที่ไม่ถูกต้องถูกนำเข้าระบบ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ไม่สามารถกำหนดการตรวจสอบที่ซับซ้อนได้ นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบบริหารจัดการข้อมูลผู้ขาย กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อช่วยแก้ปัญหาในการบันทึกข้อมูล และบันทึกข้อมูลไว้อย่างเป็นระบบ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า ระบบที่พัฒนาในรูปแบบดังกล่าว มีข้อมูลที่เก็บไว้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ และผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานอยู่ในระดับดีมาก (Somsar, 2018) และงานวิจัยที่ทำการออกแบบระบบเก็บและประมวลผลข้อมูลลูกค้าที่ซื้อรถยนต์ใหม่เพื่อแก้ปัญหาข้อมูลล่าช้า ข้อมูลไม่ครบถ้วน ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า ได้รับข้อมูลเร็วขึ้นจากเดิมใช้เวลาเฉลี่ย 108 วันเหลือ 0 วัน ข้อมูลครบถ้วนมากขึ้น ลดต้นทุนการดำเนินงานจาก 1,440,000 บาทต่อปี เหลือ 55,000 บาทต่อปี โดยมีค่าพัฒนาระบบ 450,000 บาทในปีแรก (Pranee, 2018) และงานวิจัยที่พัฒนาระบบการจัดการในโรงพยาบาล (hospital management system) เพื่อจัดการการดำเนินงานตั้งแต่การลงทะเบียนผู้ป่วย จัดลำดับการรักษา จนถึงการจัดการชำระเงินไว้ภายในระบบเดียวกัน โดยพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถช่วยลดภาระค่าใช้จ่าย และความยุ่งยากจากระบบเดิมได้จริง (Babu et al., 2023) และงานวิจัยที่พัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อช่วยวางแผนกำลังการผลิตในอุตสาหกรรมแผงวงจรรวม เนื่องจากระบบเดิมใช้ไฟล์เอ็กเซลกระจาย จัดกระจ่าย ทำให้ต้องใช้เวลานานในการรวบรวมข้อมูลและคำนวณแผนการผลิต หลังจากพัฒนาระบบใหม่ พบว่า เวลาการทำงานลดลงจาก 5 ชั่วโมงเหลือเพียง 15 นาที ซึ่งลดเวลาทำงานได้ถึง 95%

และข้อมูลที่ได้มีความถูกต้อง 100% (Leelaprute et al., 2018) และงานวิจัยที่พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์สำนักงาน โดยแก้ไขปัญหาความผิดพลาดจากการจัดบันทึกข้อมูลในสมุดรายงานและความล่าช้าในการตรวจสอบสต็อกวัสดุ ก่อนการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันระยะเวลาในการเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์อยู่ระหว่าง 5.8 ถึง 12.3 นาทีต่อครั้ง ซึ่งเฉลี่ยใช้เวลาทั้งวันประมาณ 87 ถึง 184.5 นาที หลังจากการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน พบว่า เวลาในการเบิกจ่ายลดลงเหลือ 3 นาทีต่อครั้ง หรือ 45 นาทีต่อวัน ลดลง 48.28% นอกจากนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้กระดาษสมุดบันทึกได้ 1,680 บาทต่อปี (Orsuwan et al., 2023)

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า การใช้เว็บแอปพลิเคชันในการสร้างระบบจัดการข้อมูลสามารถสร้างระบบที่มีความยืดหยุ่น เทคโนโลยีไม่ซับซ้อนต่อการใช้งาน และสามารถจัดการข้อมูลได้ครบถ้วนจริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลและติดตามสถานะการขนส่งสินค้าในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งช่วยสร้างมาตรฐานการบันทึกข้อมูลและใช้ข้อมูลในการวางแผนการขนส่ง รวมถึงการตรวจสอบสถานะสินค้าได้ ทั้งนี้ การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันให้มีประสิทธิภาพจะช่วยให้ผู้ใช้ทำงานได้อย่างราบรื่น โดยใช้หลักการวางแผนพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) เพื่อให้ขั้นตอนการพัฒนาดำเนินอย่างเป็นระบบ (Al-Ahmad et al., 2020) และต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเพื่อให้ทราบข้อจำกัดของระบบที่พัฒนาขึ้นและหาแนวทางป้องกันปัญหาที่อาจทำให้ระบบทำงานผิดพลาดจนระบบล้มเหลว ซึ่งสามารถสรุปความแตกต่างของงานวิจัยก่อนหน้ากับงานวิจัยได้ดังตาราง 1

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ออกแบบและพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลและติดตามสถานะการขนส่งสินค้า เพื่อแก้ปัญหาทางด้านข้อมูลให้สามารถติดตามและสอบถามกลับสินค้า ในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้าได้
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและข้อจำกัดของระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าที่ได้มีการพัฒนาขึ้น

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ข้อมูล (data) คือ ค่าของข้อเท็จจริง (fact) ที่สะท้อนคุณสมบัติหรือปริมาณสิ่งที่อยู่ในโลกจริง ซึ่งที่ถูกจัดเก็บไว้ในรูปแบบที่สามารถสื่อสารได้ง่ายขึ้น เช่น รูปภาพ ตัวเลข ตัวอักษร เป็นต้น (Jain, 2023) โดยวงจรชีวิตของข้อมูล (data life cycle) จะเริ่มตั้งแต่การสร้างและจัดเก็บ จนถึงจัดการข้อมูลที่ไม่ใช้งาน (Wing, 2019) เพื่อให้ข้อมูลสามารถสะท้อนข้อเท็จจริงได้ ข้อมูลนั้น ๆ จำเป็นต้องมีความถูกต้อง คุณภาพ และความน่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการวงจรชีวิตข้อมูลอย่างเป็นระบบในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อสร้างข้อมูลที่มีคุณภาพ

2. เว็บแอปพลิเคชัน (web application) หมายถึง โปรแกรมที่สามารถเข้าถึงและทำงานผ่านอินเทอร์เน็ต เบราวเซอร์ (internet browser) โดยไม่ต้องติดตั้งในอุปกรณ์ รองรับการใช้งานได้ทุกอุปกรณ์และระบบปฏิบัติการ

การเนื่องจากทำงานบนเบราว์เซอร์ ระบบเว็บแอปพลิเคชันประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ Web-Server ทำหน้าที่ประมวลผลหลัก และ Client-server ที่แสดงผลและรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน (Ambore, 2021; Jutamaneeroj, 2021) โดยโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันแบ่งได้เป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ Progressive Web Apps: PWA Static Site Generation: SSG Server-Side Rendering: SSR และ Single Page Application: SPA โดยเปรียบเทียบความแตกต่างได้ดังตาราง 2 และสามารถแบ่งสถาปัตยกรรมของ Web-Server เป็น Monolithic Microservices และ Serverless โดยเปรียบเทียบความแตกต่างได้ดังตาราง 3 (Andersson, 2023) ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมจึงควรคำนึงถึงประสิทธิภาพ ต้นทุน และขีดความสามารถของระบบ

ตาราง 1

สรุปความแตกต่างของการวิจัย

หัวข้อ	Athikulrat	Babu	Leelaprute	Pranee	Orsuwan	Somsar	การวิจัยนี้
ในอุตสาหกรรมการผลิต	/	X	X	X	X	/	/
แก้ปัญหาด้านข้อมูล	/	X	/	/	/	/	/
พัฒนาระบบการทำงาน	/	/	/	/	/	/	/
รูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน	X	/	/	/	/	/	/
ใช้หลักการ SDLC	X	X	X	X	/	/	/
มีการทดสอบประสิทธิภาพ	X	X	X	X	X	X	/

ตาราง 2

การเปรียบเทียบความแตกต่างของสถาปัตยกรรมเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งตามภาพรวมการทำงานของระบบ

หัวข้อ	SSG	SSR	SPA	PWA
สามารถทำงานแบบออฟไลน์	X	X	X	/
สามารถแสดงผลข้อมูลที่อัปเดตแบบ Real time	X	X	/	X
สามารถโหลดครั้งแรกได้อย่างรวดเร็ว	/	/	X	/
ประสิทธิภาพการทำงานหลังโหลดสูง	/	X	/	/
สามารถใช้งาน API ร่วมกับแอปพลิเคชันจากมือถือ	X	X	/	/
ความซับซ้อนในการพัฒนาน้อย	/	X	/	X
ต้นทุนในการพัฒนา	ต่ำ	สูง	ปานกลาง	สูง

ตาราง 3

การเปรียบเทียบความแตกต่างของสถาปัตยกรรมเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งตามโครงสร้างฝั่งเซิร์ฟเวอร์

หัวข้อ	Monolithic	Serverless	Microservices
สามารถพัฒนาแอปพลิเคชันแยกเป็นอิสระจากส่วนอื่น	X	X	/
มีความยืดหยุ่นในการขยายระบบ	X	/	/
ระยะเวลาในการพัฒนาต่ำ	X	/	/
มีความง่ายและสะดวกในการบำรุงรักษา	/	/	X
ขนาดของระบบที่เหมาะสม	เล็ก	กลาง-ใหญ่	กลาง-ใหญ่

3. วงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Life Cycle: SDLC) คือ ขั้นตอนการพัฒนากระบวนการอย่างมีระเบียบ ตั้งแต่เริ่มวางแผนจนถึงการดูแลรักษา เพื่อให้การพัฒนาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Hossain, 2023) โดยประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนได้แก่ (1) การวางแผนการพัฒนาซอฟต์แวร์ (planning) เป็นขั้นตอนที่ทำการศึกษาระบบการทำงาน สรรวจปัญหาและความต้องการเพื่อใช้ในการวางแผนการพัฒนาระบบ (2) การวิเคราะห์โครงการ (analysis) เป็นขั้นตอนที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ปัญหา และความต้องการที่รวบรวมมา เพื่อหาขีดความสามารถที่ระบบต้องทำได้ในการแก้ไขปัญหา (3) การออกแบบระบบ (design) จะเป็นการออกแบบรายละเอียดซอฟต์แวร์ ฐานข้อมูล และโครงสร้างของระบบ ตามการวิเคราะห์ปัญหาและความต้องการ (4) การพัฒนาซอฟต์แวร์ (development) เป็นขั้นตอนการสร้างซอฟต์แวร์ตามแบบที่กำหนด (5) การทดสอบและนำไปใช้งาน (testing and integration) หลังจากพัฒนาระบบเสร็จจำเป็นต้องทดสอบระบบเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการทดลองด้านต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง (6) การบำรุงรักษาซอฟต์แวร์ (maintenance) เมื่อระบบผ่านการใช้งานไปสักระยะ อาจจะมีข้อผิดพลาดของระบบเพิ่มเติม หากสามารถแก้ไขได้จะดำเนินการแก้ไขระบบเดิม แต่หากไม่สามารถแก้ไขระบบเดิมเพื่อแก้ไขปัญหาก็จำเป็นต้องพัฒนาซอฟต์แวร์เพิ่มเติมตามวงจรพัฒนาระบบอีกครั้ง

4. การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ สามารถแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ การทดสอบฟังก์ชัน (functional test) เพื่อทดสอบขีดความสามารถที่ระบบทำได้ การทดสอบความปลอดภัย (security test) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบเว็บในการป้องกันการเข้าถึงที่ไม่พึงประสงค์จากผู้ใช้ที่ไม่ได้รับอนุญาต การทดสอบการใช้งาน (usability test) เพื่อตรวจสอบการใช้งานระบบจากมุมมองผู้ใช้งาน การทดสอบประสิทธิภาพ (performance test) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบกรณีต่าง ๆ ซึ่งเป็นการทดสอบที่สำคัญในการป้องกันการล้มเหลวของ

ระบบเมื่อเจอกับสถานการณ์ที่ไม่คาดถึง การทดสอบความเข้ากันได้ (compatibility test) เพื่อตรวจสอบว่าระบบสามารถเข้าถึงและใช้งานได้จากต่างอุปกรณ์หรือไม่ และการทดสอบโครงสร้าง (structural test) เพื่อทดสอบการไหลของข้อมูลภายในระบบซึ่งจะทำให้เห็นปัญหาข้อผิดพลาดที่อาจทำให้ระบบประสิทธิภาพลดลง (Al-Ahmad et al., 2020)

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการวิจัยตามหลักวงจรการพัฒนาระบบโดยมีรายละเอียด ข้อมูล เครื่องมือ และวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

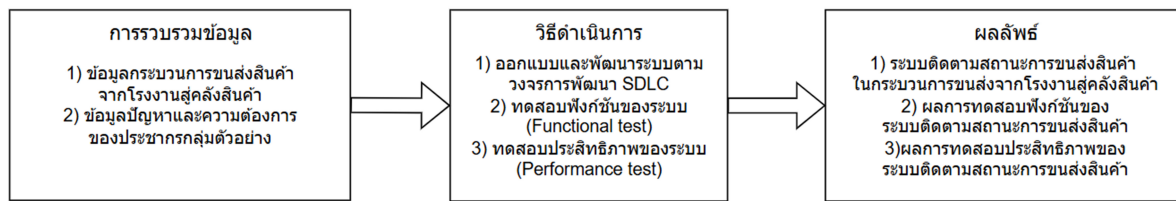
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย คือ พนักงานที่ปฏิบัติงานในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า 5 ตำแหน่ง จำนวนทั้งหมด 12 คน โดยใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเป้าหมายทุกระดับ ตั้งแต่ระดับผู้ควบคุมกระบวนการ ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่นำข้อมูลไปใช้งาน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการและปัญหาที่เกิดโดยตรง ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่บรรจุสินค้า 6 คน หัวหน้าหน่วยบรรจุสินค้า 2 คน เจ้าหน้าที่ขนส่ง 2 คน เจ้าหน้าที่ธุรการฝ่ายผลิต 1 คน เจ้าหน้าที่ธุรการฝ่ายคลังสินค้า 1 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบด้วย (1) ระบบติดตามสถานะสินค้าในกระบวนการขนส่งจากโรงงานสู่คลังสินค้า (2) K6 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพระบบ (3) matplotlib ไลบรารีใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบ (4) Docker เป็นเครื่องมือที่ใช้จำลองสภาพแวดล้อมการทำงานจริง (5) NumPy ไลบรารี เป็นเครื่องมือใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (6) pandas ไลบรารี ใช้ในการจัดการข้อมูลที่มีโครงสร้าง เช่น ข้อมูลในรูปแบบดาตาเฟรม (data frame)

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพ 3 กรอบแนวคิดการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการดังกล่าว ที่ปฏิบัติงานมาไม่น้อยกว่า 1 ปี จำนวน 12 คน โดยแบ่งตามระดับการศึกษาได้เป็น จบการศึกษาระดับอุดมศึกษาจำนวน 3 คน ระดับมัธยมศึกษาจำนวน 8 คน และระดับประถมศึกษาจำนวน 1 คน โดยสอบถามด้วยคำถามปลายเปิดเพื่อสอบถามถึงปัญหาที่พบเจอในการทำงานปัจจุบันโดยตรง เก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 15 ถึง 23 มกราคม 2567 และทำการรวบรวมข้อมูลปัญหาทางด้านข้อมูล ที่เคยเกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สู่คลังสินค้านานาชาติย้อนหลังระหว่างเดือนมิถุนายน 2566 ถึง เดือนมกราคม 2567 เป็นระยะเวลา 8 เดือน

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบติดตามสถานะสินค้า ทางผู้วิจัยได้นำเอาหลักการทางสถิติมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ การหาค่าเฉลี่ย เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยรวม การหาค่าขอบเขตความผิดพลาด เพื่อแสดงการกระจายตัวของข้อมูลรอบค่าเฉลี่ย การหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 และ 95 เพื่อแสดงถึงความเสถียรและค่าที่เลวร้ายที่สุดที่อาจเป็นไปได้ ทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของระบบกรณีเลวร้ายที่สุดที่ผู้ใช้งานต้องเผชิญ

การออกแบบและพัฒนาระบบ

โดยงานวิจัยได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) ได้ดังภาพ 4 และมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวางแผนการพัฒนาซอฟต์แวร์ (planning) จะเริ่มจากศึกษากระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้าเพื่อทำความเข้าใจการทำงาน จากนั้นทำการสัมภาษณ์พนักงานในกระบวนการโดยตรงในรูปแบบคำถามปลายเปิด เพื่อรับทราบปัญหาที่เกิดขึ้นใน

กระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตาราง 3 โดยมีผู้เกี่ยวข้องกับกระบวนการได้แก่ User 1 คือ เจ้าหน้าที่บรรจุสินค้า User 2 คือ หัวหน้าหน่วยบรรจุสินค้า User 3 คือ เจ้าหน้าที่ขนส่ง User 4 คือ เจ้าหน้าที่ธุรการฝ่ายผลิต และ User 5 คือ เจ้าหน้าที่ธุรการฝ่ายคลังสินค้า จากนั้นทำการสอบถามข้อมูลปัญหาที่เคยเกิดขึ้นในกระบวนการย้อนหลังระหว่าง เดือนมิถุนายน 2566 ถึง เดือนมกราคม 2567 เป็นระยะเวลา 8 เดือน ซึ่งสามารถสรุปปัญหาที่พบได้ดังตาราง 4

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์โครงการ (analysis) จากตาราง 4 พบว่า เจ้าหน้าที่ทุกตำแหน่งต้องเผชิญกับปัญหาข้อมูลที่ซับซ้อน มีปริมาณมาก และขาดความชัดเจนทำให้มีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดในการทำงาน และเจ้าหน้าที่มากกว่าครึ่งต้องรับภาระงานเพิ่มขึ้นจากการจัดการข้อมูล นอกจากนี้เจ้าหน้าที่ 2 ใน 5 ตำแหน่งไม่ได้รับข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต้องใช้ จากตาราง 5 ยังพบปัญหาข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกับการขนส่งจริงและรูปแบบข้อมูลที่ทำให้กระบวนการทำงานล้มเหลว ดังนั้น ระบบที่พัฒนาควรเพิ่มฟังก์ชันการบันทึกข้อมูลที่จำเป็น ลดความซับซ้อนในการจัดการข้อมูล และสร้างโครงสร้างข้อมูลที่ชัดเจน โดยเฉพาะในส่วนของการตรวจสอบข้อมูล ซึ่งต้องเพิ่มการตรวจสอบข้อมูลก่อนถูกนำเข้าระบบด้วย

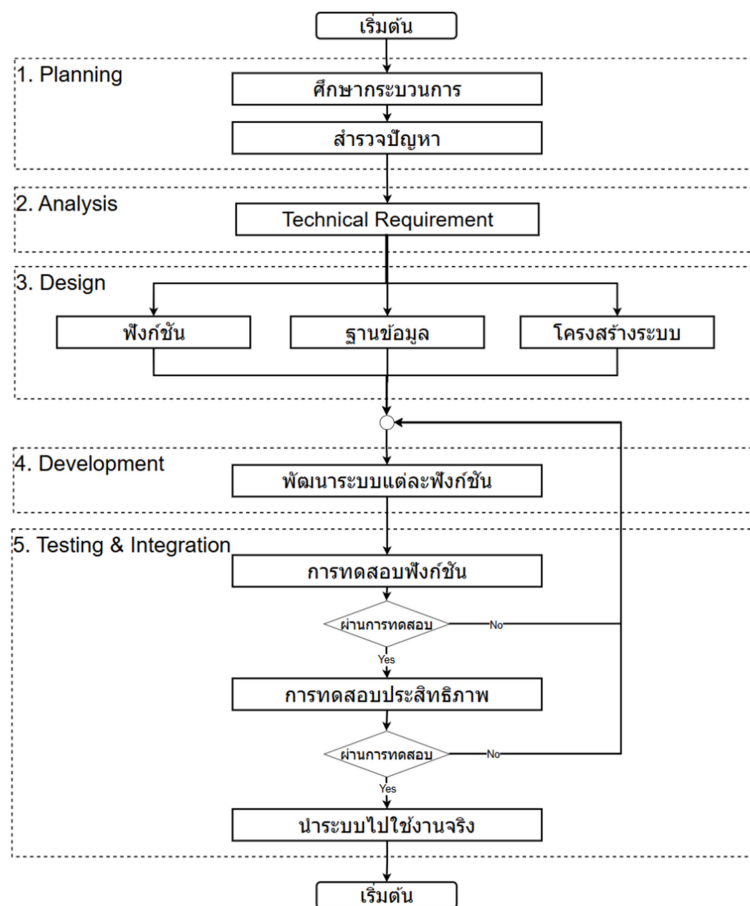
ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบระบบ (design) จากข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์จึงทำการออกแบบระบบ 3 ส่วน ได้แก่

1) ฟังก์ชันการทำงานในระบบติดตามสถานะสินค้า เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอระบบบันทึกข้อมูลและติดตามสินค้า โดยระบบสามารถแบ่งออกเป็น ส่วนตามฟังก์ชันการทำงานได้เป็น 7 ฟังก์ชัน ประกอบด้วย (1) ฟังก์ชันนำข้อมูลเข้าระบบ คือ ฟังก์ชันที่ผู้ใช้งานข้อมูลที่จำเป็น ตัวอย่างเช่น ข้อมูลแผนการบรรจุสินค้าเข้าสู่ระบบ เพื่อให้มีข้อมูลพื้นฐานในการทำงาน (2) ฟังก์ชันบันทึกข้อมูลบรรจุสินค้า คือ ฟังก์ชันสำหรับบันทึกข้อมูลการบรรจุสินค้า โดยเจ้าหน้าที่จะสแกนบาร์โค้ดกล่องสินค้า

และพาเลทที่สินค้าถูกบรรจุอยู่ เพื่อให้สามารถติดตามสินค้าในแต่ละพาเลทได้ ซึ่งมีการเก็บประวัติที่ใช้ในการสอกลับสินค้าได้ (3) ฟังก์ชันจัดการข้อมูล คือ ฟังก์ชันสำหรับตรวจสอบและแก้ไขข้อมูลบรรจุสินค้า หากพบข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลเจ้าหน้าที่สามารถส่งคำร้องขอแก้ไขผ่านระบบเพื่อให้หัวหน้าทำการอนุมัติได้ (4) ฟังก์ชันจัดการกระบวนการขนส่ง คือ ฟังก์ชันที่นำข้อมูลพาเลทสินค้าซึ่งพร้อมขนส่งมาจัดลำดับโดยหัวหน้าหน่วย ทำให้สามารถวางแผนการขนส่งได้อย่างเป็นระบบ และลดความเสี่ยงที่จะเกิดพาเลทสินค้าตกหล่น โดยมีการบันทึกประวัติการจัดลำดับทำให้สอกลับการขนส่งได้ (5) ฟังก์ชันส่งต่อข้อมูลและรายงาน คือ ฟังก์ชันที่ช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบข้อมูลสินค้าที่จะถูกขนส่งในแต่ละรอบและดึงข้อมูลมาใช้งานได้ ซึ่งช่วยให้เจ้าหน้าที่ธุรการคลังสินค้าสามารถเตรียมรับเข้าสินค้าล่วงหน้า รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิตสามารถนำข้อมูลไปใช้ต่อกับระบบภายในฝ่าย (6) ฟังก์ชันยืนยันการรับเข้าสินค้า จะถูกใช้งานโดยเจ้าหน้าที่ธุรการคลังสินค้าที่ใช้ในการยืนยันการรับเข้าเมื่อสินค้าถูกขนส่ง

ถึงคลัง โดยบันทึกประวัติการขนส่งและตรวจสอบความถูกต้องของสินค้า จากนั้นจะทำการยืนยันในระบบเพื่อยืนยันการรับเข้าและสิ้นสุดกระบวนการขนส่ง (7) ฟังก์ชันมอนิเตอร์กระบวนการ เป็นฟังก์ชันที่รวบรวมประวัติการทำงานทั้งกระบวนการ ตั้งแต่การบรรจุจนถึงการยืนยันรับเข้าสินค้า ซึ่งจะสามารถตรวจสอบรายการสินค้าที่มีปัญหาว่าบรรจุครบหรือไม่ หรือเกิดการสูญหายในกระบวนการใด จากฟังก์ชันการทำงานที่ได้มีการออกแบบสามารถนำมาจัดทำเป็นแผนภาพยูสเคส (use case diagram) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับฟังก์ชันการทำงานของระบบได้ตามที่แสดงในภาพ 5

2) ฐานข้อมูลระบบติดตามสถานะสินค้า เพื่อให้ระบบสามารถติดตามสถานะสินค้าได้ทั้งในระดับกล่องสินค้า ระดับพาเลทสินค้า ระดับล็อตการผลิต และระดับรอบการขนส่ง ซึ่งกระบวนการทำงานเดิมไม่รองรับทางผู้วิจัยจึงทำการออกแบบฐานข้อมูลใหม่ซึ่งมีโครงสร้างของฐานข้อมูลดังภาพ 6



ภาพ 4 การออกแบบและพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์

ตาราง 4

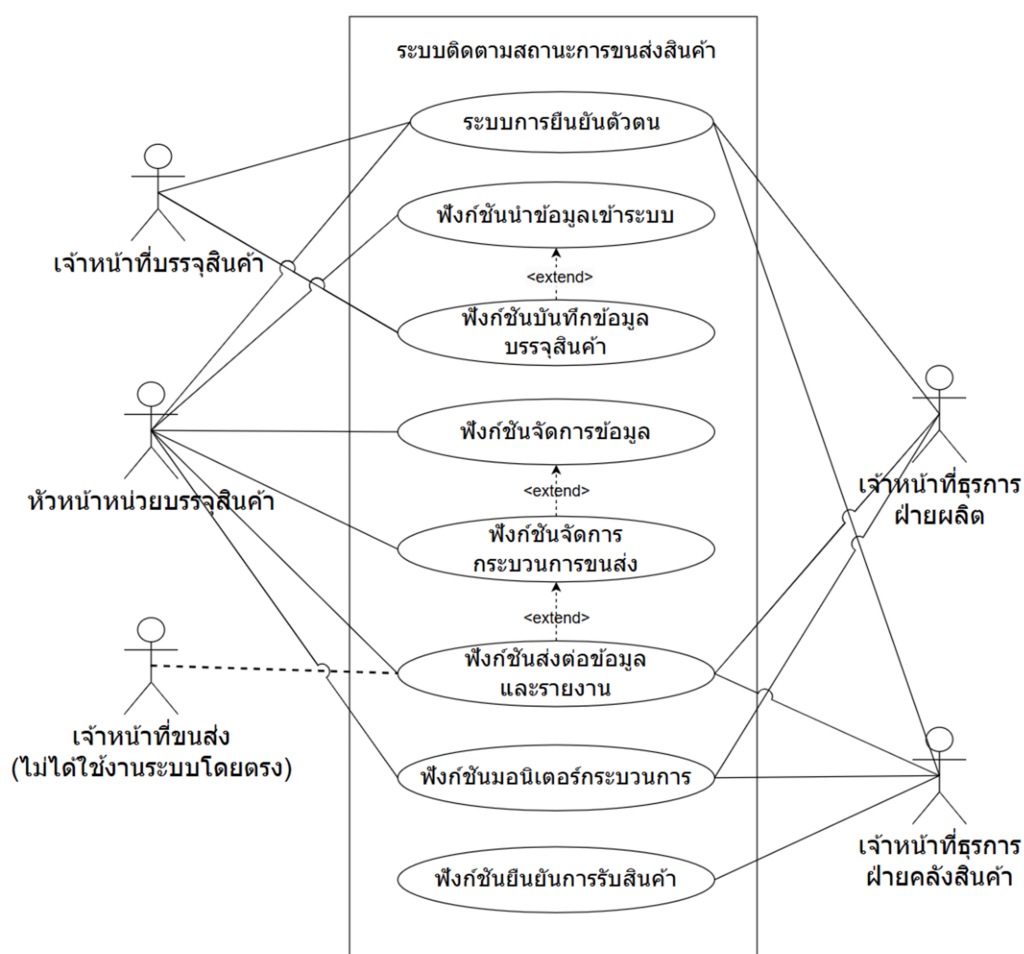
ตารางสรุปปัญหาจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า

หัวข้อปัญหา	User 1	User 2	User 3	User 4	User 5
ข้อมูลที่ซับซ้อนและไม่ชัดเจนทำให้เกิดการทำงานผิดพลาด	/	/	/	/	/
ข้อมูลที่ซับซ้อนและไม่ชัดเจนทำให้ภาระงานเพิ่มขึ้น		/		/	/
ไม่ได้รับข้อมูลที่ต้องการใช้งาน				/	/

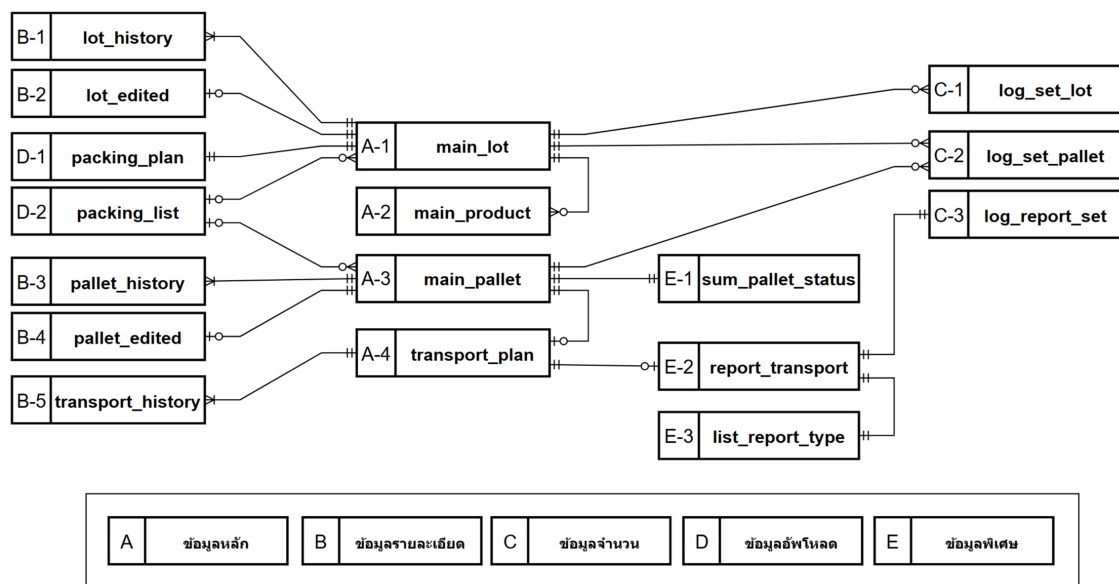
ตาราง 5

ตารางสรุปปัญหาด้านข้อมูลในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้า ระยะเวลา 8 เดือนย้อนหลัง

หัวข้อปัญหา	จำนวนที่เกิด (ครั้ง)
ข้อมูลถูกส่งไม่ตรงกับจำนวนที่สินค้าที่ขนส่งจริง	7
ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่ไม่ถูกต้องทำให้ไม่สามารถใช้งานได้	6
เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานล้มเหลวทำให้กระทบกระบวนการ	3
ข้อมูลสินค้าที่ถูกยกเลิกไม่ถูกนำออกจากการดำเนินงาน	1



ภาพ 5 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้า



ภาพ 6 โครงสร้างฐานข้อมูลระบบติดตามสถานะสินค้า

จากภาพ 6 จะสามารถแบ่งประเภทของตารางเก็บข้อมูลในระบบได้เป็น 5 กลุ่มตาราง ได้แก่ (A) ตารางข้อมูลหลัก ทำหน้าที่เป็นตารางที่ใช้เข้าถึงข้อมูลอื่น ๆ (B) ตารางข้อมูลรายละเอียด ทำหน้าที่เก็บข้อมูลรายละเอียดที่ไม่เกี่ยวข้องกับข้อมูลในระดับอื่น ๆ เช่น ข้อมูลการแก้ไขและข้อมูลบันทึกประวัติ (C) ตารางข้อมูลจำนวน ทำหน้าที่เก็บจำนวนสินค้าที่อยู่ในแต่ละระดับ เพราะเป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบจำนวนสินค้าจึงแยกออกมาเก็บเป็นตารางเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการ (D) ตารางข้อมูลอินพุต/เอาต์พุต คือ ตารางที่เก็บข้อมูลที่มาจากการอัปเดตเข้าระบบจากผู้ใช้งาน ได้แก่ ข้อมูลแผนการบรรจุ และข้อมูลรายละเอียดการบรรจุ (E) ตารางข้อมูลพิเศษ คือ ตารางซึ่งไม่ได้จัดอยู่ในสี่กลุ่มแรกและสร้างขึ้นมาเพื่อจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น ตารางที่เก็บรวบรวมสถานะของในแต่ละพาเลทล่าสุดไว้ เพื่อลดเวลาในการค้นหาข้อมูลช่วยให้ระบบทำงานได้รวดเร็วขึ้น เป็นต้น

3) โครงสร้างระบบติดตามสถานะสินค้า (system structure) จากตาราง 2 และตาราง 3 เมื่อมาวิเคราะห์ข้อจำกัดของระบบที่ถูกพัฒนาเพื่อใช้งานในกระบวนการผลิตจะต้องมีความมั่นคงสูง คือ เมื่อมีส่วนใดของระบบล้มเหลวส่วนอื่นต้องไม่ได้รับผลกระทบ สามารถเปลี่ยนไปใช้ฐานข้อมูลแบบคลาวด์ได้ในอนาคต ประมวลผลได้รวดเร็วในขณะโปรแกรมทำงาน รองรับการผลิตข้อมูลจำนวนมาก ส่งข้อมูลไปยังระบบอื่นได้ และใช้ต้นทุนการพัฒนาไม่สูง จากข้อกำหนด

ดังกล่าวจึงเลือกสถาปัตยกรรมของระบบเป็นแบบ Single Page Application: SPA เนื่องจากต้องการลดภาระการประมวลผลของฝั่งเซิร์ฟเวอร์และใช้เวลาในการประมวลผลต่ำ นอกจากนี้ยังใช้ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาไม่สูงมากนัก ในฝั่งของเซิร์ฟเวอร์เลือกสถาปัตยกรรมแบบ Serverless Architecture เพื่อแยกส่วนของการประมวลผลออกเป็นส่วนย่อย หากส่วนใดส่วนหนึ่งในการประมวลผลล้มเหลวจะไม่กระทบต่อการประมวลผลของส่วนอื่น นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนไปใช้ฐานข้อมูลระบบคลาวด์ได้ในอนาคต จึงสามารถสรุปโครงสร้างของระบบได้ดังภาพ 7 นอกจากนี้ระบบมีการจัดการสิทธิ์การเข้าถึง (access control) ตามบทบาทและหน้าที่ของผู้ใช้งานซึ่งความเกี่ยวข้องระหว่างผู้ใช้และฟังก์ชันดังภาพ 5 โดยตรวจสอบสิทธิ์ก่อนแสดงผลบนฝั่ง Client-side ทำให้ผู้ใช้เห็นเฉพาะฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องและสามารถใช้งานได้ตามนั้น นอกจากนี้ ระบบใช้ SSL Protocol เพื่อเข้ารหัสข้อมูล (encryption) และ JWT สำหรับยืนยันตัวตน (authentication) และตรวจสอบสิทธิ์การเข้าถึง (authorization) ระหว่าง Client-side และ Server-side เพื่อป้องกันการดักฟังข้อมูลและการปลอมตัวเป็น Client-side จึงสามารถสรุปการป้องกันจากผู้ไม่หวังดีได้ดังภาพ 8

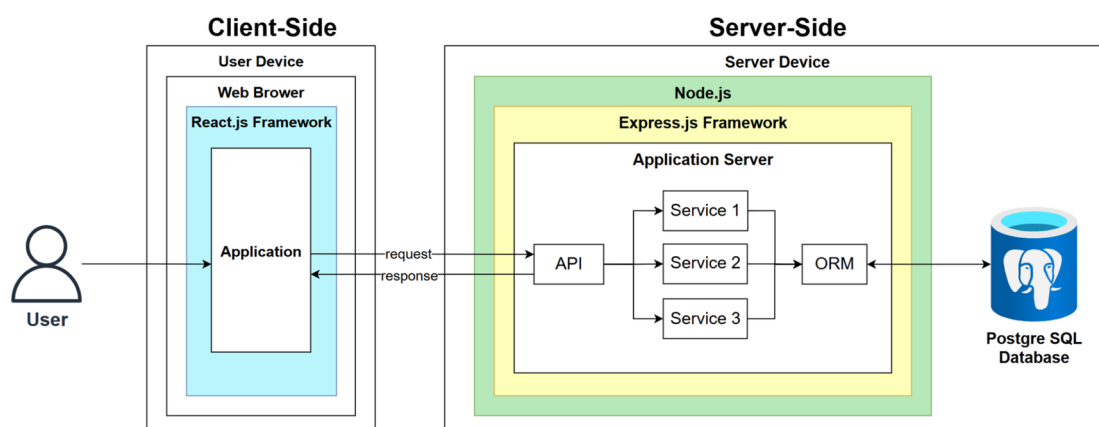
ขั้นตอนที่ 4 การพัฒนาซอฟต์แวร์ (development) ดำเนินการพัฒนาแบบทั้ง 7 ฟังก์ชันตามแผนภายใต้โครงสร้างของระบบที่ออกแบบไว้ เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างครบถ้วนและตอบสนองต่อความต้องการได้

ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบและนำไปใช้งาน (testing & integration) ในงานวิจัยได้ทำการทดสอบฟังก์ชัน (functional test) เพื่อตรวจสอบว่าระบบทำงานได้ตามการออกแบบ และการทดสอบประสิทธิภาพ (performance test) เพื่อตรวจสอบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในภาวะต่าง ๆ ที่กำหนด

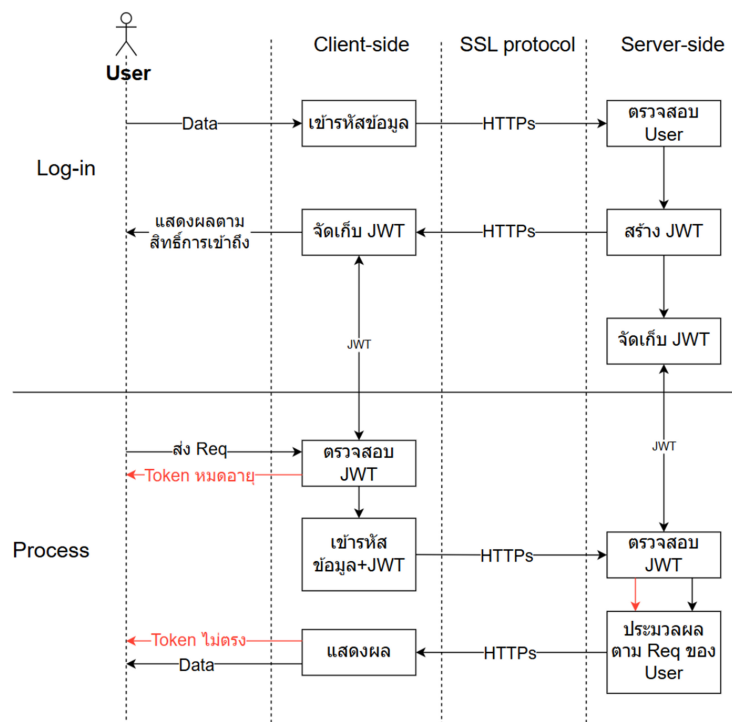
1) การทดสอบฟังก์ชัน ทำการตรวจสอบระบบที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบกับขอบเขตความสามารถที่ระบบควรทำได้เพื่อแก้ปัญหาที่ตั้งไว้ โดยผู้พัฒนาร่วมกับหัวหน้าหน่วยงานทำการตรวจสอบผ่านรายการตรวจสอบ (checklist)

2) การทดสอบประสิทธิภาพ ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (performance test) ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ได้แก่ Load test เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบในสถานการณ์ที่สนใจ Capacity test เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบภายใต้เงื่อนไขการใช้งานจริง Stress test เพื่อหาจุดสูงสุดที่ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก่อนระบบล้มเหลว และ Availability test ทดสอบความผิดปกติในการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพเมื่อระบบทำงานต่อเนื่อง (Patil, 2012) โดยเมื่อเปรียบเทียบเครื่องมือที่ใช้ทดสอบระบบที่เป็นที่นิยมได้แก่ jMeter และ K6 พบว่า K6 มีประสิทธิภาพโดยรวม ความง่ายในการใช้งาน และใช้ทรัพยากรน้อยกว่า jMeter (Chandrasekhar,

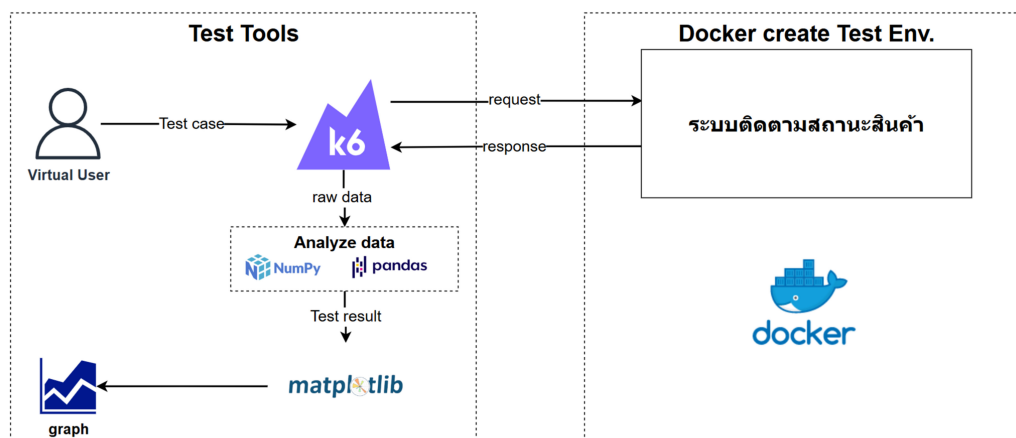
2021) จึงเลือกใช้เครื่องมือ K6 ทำการทดสอบ ใช้ Numpy โลบรารี Pandas โลบรารี และ matplotlib โลบรารี ในการวิเคราะห์และแสดงผลการทดสอบในรูปแบบกราฟ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลและมีเครื่องมือช่วยในการคำนวณข้อมูลซึ่งง่ายต่อการใช้งาน และเนื่องจากขณะทดสอบได้ทำการทดสอบบนอุปกรณ์ที่มีสเปกแตกต่างจากสเปกของเซิร์ฟเวอร์ จึงต้องมีการกำหนดสภาพแวดล้อมการทดสอบ (test environment) ด้วย Docker เพราะเป็นเครื่องมือที่สามารถกำหนดการตั้งค่าต่าง ๆ ได้ง่ายผ่านไฟล์ .yaml เพียงไฟล์เดียว ทั้งยังเป็นเครื่องมือที่ใช้การติดตั้งโปรแกรมบนเซิร์ฟเวอร์จริงในขั้นต่อไป จึงเหมาะสมในการใช้ทำการกำหนดสภาพแวดล้อมการทดสอบให้เหมือนกับสภาพแวดล้อมจริง อ้างอิงจาก สเปกของเซิร์ฟเวอร์จริง คือ CPU 8 core 8 tread RAM 16 GB และ memory 100 GB จึงสามารถสรุปเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพได้ดังภาพ 9 โดยการทดสอบในแต่ละสถานการณ์จะประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ Throughput (req/sec) หรือจำนวนคำขอที่ระบบสามารถตอบสนองได้ Response time (ms) หรือเวลาที่รอระหว่างเซิร์ฟเวอร์ประมวลผล Resource Usage หรือทรัพยากรที่ระบบใช้ในการประมวลผลได้แก่ CPU (%) และ RAM (MB) (Jugo, 2014) ซึ่งได้มีการวัดหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 90 และ 95 เพื่อหากรณีที่เลวร้ายที่สุดที่เกิดขึ้นได้



ภาพ 7 โครงสร้างระบบติดตามสถานะสินค้า (system structure)



ภาพ 8 การเข้ารหัสข้อมูลและจำกัดสิทธิ์การใช้งานของระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้า



ภาพ 9 การทดสอบประสิทธิภาพ (performance test)

ผลการวิจัย

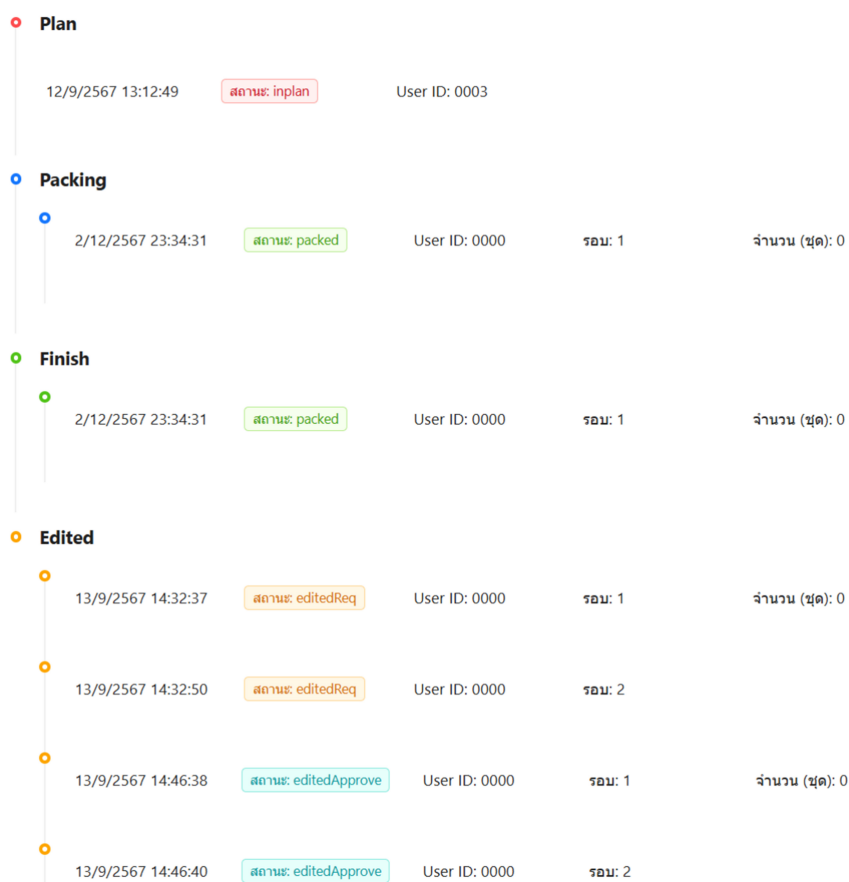
1. ผลการทดสอบฟังก์ชัน (functional test) ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบฟังก์ชันการใช้งานระบบ โดยตรวจสอบขีดความสามารถของระบบที่คาดหวังกับระบบจริงที่ได้มีการพัฒนา โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 2 รูปแบบย่อย คือ ประเมินความสามารถ และประเมินความถูกต้อง โดยการประเมินความสามารถมีคำตอบเป็นสามารถทำได้

หรือไม่ จะถูกทดลองใช้งานและประเมินโดยหัวหน้าฝ่ายงานที่เกี่ยวข้องร่วมกับผู้พัฒนาระบบ เช่น การประเมินฟังก์ชันมอนิเตอร์กระบวนการ ในหัวข้อ “สามารถตรวจสอบสถานะของสินค้าในกระบวนการได้” จากภาพ 10 ซึ่งประวัติของสินค้าตั้งแต่ถูกนำแผนเข้าระบบ ถูกบรรจุจนถึงรายละเอียดการแก้ไขยอดสินค้า ถูกแสดงออกมาในรูปแบบแยกสถานะ โดยมีข้อมูลผู้ดำเนินการและเวลา

ที่ลงบันทึกในแต่ละครั้ง เพื่อใช้ตรวจสอบสถานะของสินค้า ในกระบวนการได้จริงและง่ายต่อการตรวจสอบที่มาของสินค้า จึงถูกประเมินโดยหัวหน้าผู้ดูแลเป็น “ผ่าน” การประเมินความถูกต้องจะมีตอบเป็นทำงานถูกหรือผิด ซึ่งทำการทดสอบโดยใส่อินพุตที่ทำให้ผลลัพธ์ถูกต้องจำนวน 3 ครั้ง และใส่อินพุตที่ทำให้ผลลัพธ์ผิดจำนวน 3 ครั้งเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ เช่น การประเมินฟังก์ชันบันทึกข้อมูลบรรจุสินค้า ในหัวข้อ “ตรวจจับสินค้าที่ไม่ตรงกับล็อตผลิตและแจ้งเตือนได้ถูกต้อง” จากตาราง 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถตรวจจับสินค้าที่ไม่ถูกต้องการผลิตได้ถูกต้องทุกครั้ง จึงประเมินเป็น “ผ่าน” เมื่อประเมินทั้ง 7 ฟังก์ชัน รวมทั้งหมด 15 หัวข้อ พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนดทั้งหมด 15 หัวข้อ ซึ่งคิดเป็น 100% โดยรายละเอียดการทดสอบฟังก์ชันแสดงดังตาราง 7

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพ (performance test) ได้ทำการทดสอบหลายประเภท ได้แก่ Load test Capacity test Stress test และ Availability test และได้ประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ Throughput (req/sec) Response time (ms) และ Resource Usage ซึ่งรวมถึงการใช้ CPU (%) และ RAM (MB) (Jugo, 2014) ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

1) เมื่อทดสอบด้วยการทำ Load Test ตามค่าเฉลี่ยที่ถูกใช้งานจริงเป็นเวลา 10 นาที ผลการทดสอบแสดงดังภาพ 11 เมื่อระบบมีโหลดสูงสุด 12 req/sec จากกราฟที่ 1 พบว่า Throughput (avg.) มีค่า 10.93 req/sec จากกราฟที่ 2 Response Time P(95) มีค่า 31.18 ms และ Resource Usage จากกราฟที่ 3 ใช้ CPU (avg.) ในการประมวลผลที่ 2.97% และ จากกราฟที่ 4 ใช้ RAM (avg.) ที่ 44.34 MB



ภาพ 10 หน้าต่างแสดงการติดตามสถานะของสินค้าในล็อตเป้าหมาย ของฟังก์ชันมอนิเตอร์กระบวนการ

ตาราง 6

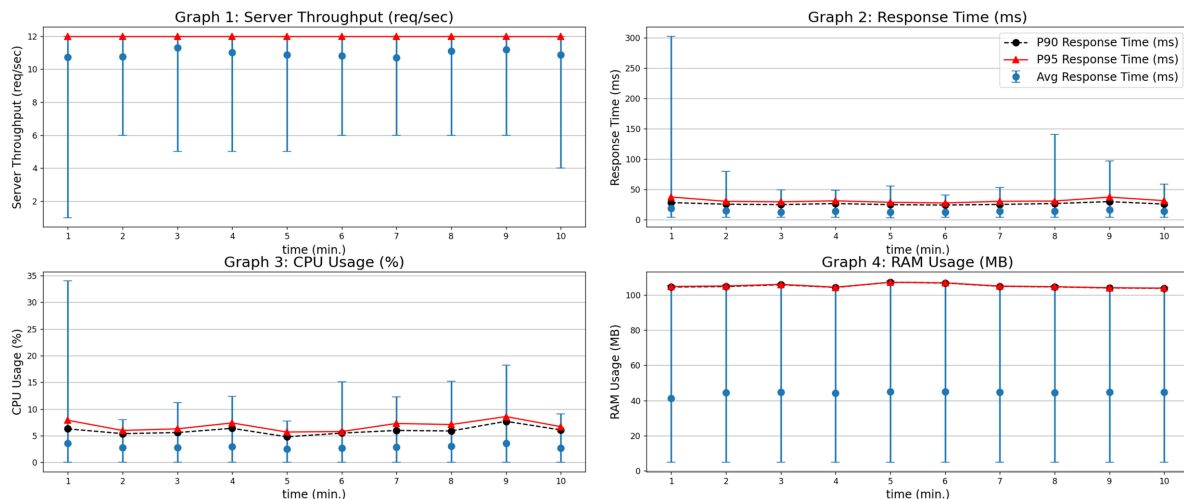
การทดสอบตรวจจับสินค้าที่ไม่ตรงล็อตผลิต ของฟังก์ชันบันทึกข้อมูลบรรจุสินค้า

ครั้ง	ข้อมูลอินพุต	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผลลัพธ์
1	ถูกล็อต	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
2	ผิดล็อต	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด
3	ถูกล็อต	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
4	ผิดล็อต	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด
5	ถูกล็อต	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
6	ผิดล็อต	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด	แจ้งเตือนผิดล็อตผิด

ตาราง 7

สรุปผลการทดสอบฟังก์ชัน (Functional Test) ระบบติดตามสถานะสินค้า

ลำดับ	ฟังก์ชัน	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผลการทดสอบ
1	ฟังก์ชันนำข้อมูลเข้าระบบ	อัปโหลดข้อมูลที่เกี่ยวข้องในรูปแบบ Excel เข้าระบบได้ถูกต้อง	ผ่าน
		ตรวจจบบรรยากาศและไม่ได้ถูกต้องที่ถูกอัปโหลดเข้าระบบได้	ผ่าน
2	ฟังก์ชันบันทึกข้อมูลบรรจุสินค้า	อ่านบาร์โค้ดกล่องสินค้าได้ถูกต้อง	ผ่าน
		ตรวจจับสินค้าที่ไม่ตรงกับล็อตผลิตและแจ้งเตือนได้ถูกต้อง	ผ่าน
3	ฟังก์ชันจัดการข้อมูล	ตรวจสอบประวัติการบรรจุสินค้าและการแก้ไขได้	ผ่าน
		ตรวจสอบยอดการบรรจุรายวันได้	ผ่าน
4	ฟังก์ชันจัดการกระบวนการขนส่ง	ตรวจสอบรายการพาเลทที่ไม่ถูกจัดในแผนการขนส่งได้	ผ่าน
		เรียงลำดับพาเลทที่บรรจุเสร็จก่อนหลังเพื่อช่วยจัดลำดับได้	ผ่าน
5	ฟังก์ชันส่งต่อข้อมูลและรายงาน	ตรวจสอบสินค้าที่รอการขนส่งในแต่ละพาเลทได้	ผ่าน
		ตรวจสอบสินค้าในแต่ละรอบการขนส่งได้	ผ่าน
6	ฟังก์ชันยืนยันการรับสินค้า	สามารถบันทึกประวัติรายการสินค้าที่ถูกรับเข้าสำเร็จ	ผ่าน
		สามารถบันทึกปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งเข้าระบบได้	ผ่าน
7	ฟังก์ชันมอนิเตอร์กระบวนการ	สามารถตรวจสอบสถานะของสินค้าในกระบวนการได้	ผ่าน
		สามารถติดตามสถานะแต่ละพาเลทในกระบวนการได้	ผ่าน
		สามารถติดตามสถานะแต่ละรอบการขนส่งได้	ผ่าน



ภาพ 11 ผลการทดสอบ Load test ที่ 100% ของ Peak load เป็นเวลา 10 นาที

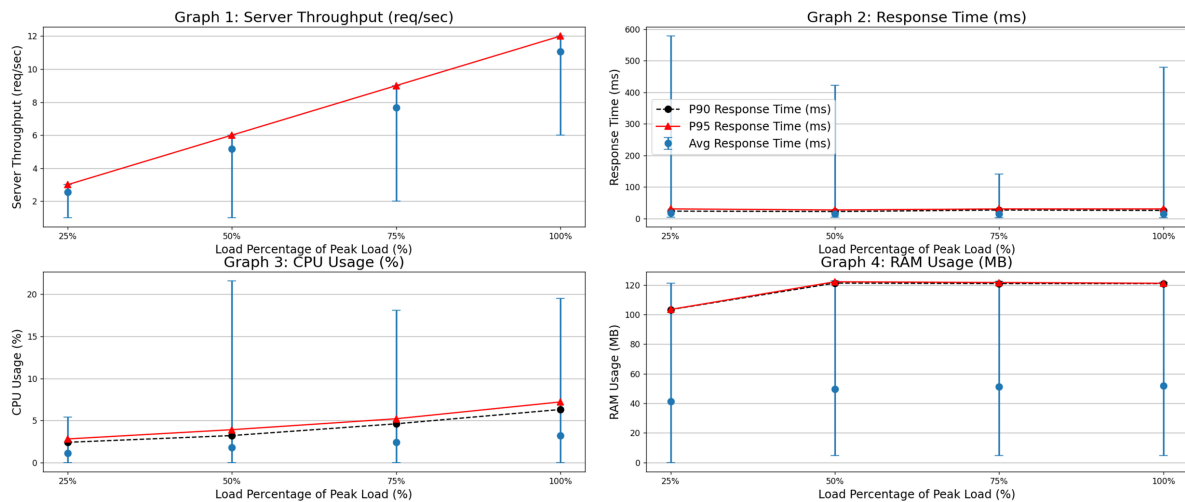
2) เมื่อทดสอบด้วย Capacity Test โดยกำหนดจำนวนโหนดในระดับที่ต่างกันจากน้อยไปจนถึง peak load โดยใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาทีต่อระดับ ได้ผลการทดสอบดังภาพ 12 ในกราฟแกน X คือ จำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นจากน้อยไปมากตั้งแต่ 25% 50% 75% และ 100% ของ peak load และแกน Y คือ หัวข้อประเมินแต่ละด้าน จากกราฟที่ 1 และ 2 พบว่า ระบบสามารถตอบสนองคำขอของผู้ใช้งานได้ทันเวลาเมื่อโหนดเพิ่มขึ้น โดยมี response time คงที่จากค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ 95 ในกราฟที่ 2 พบว่า response time ส่วนใหญ่ ไม่เกิน 30.34 ms และจากกราฟที่ 3 และ 4 มีการใช้ CPU สูงสุดที่ 3.2% และ RAM เพียง 121.7 MB

3) เมื่อทดสอบด้วย Stress Test ที่ 100% 125% 150% 200% 400% 800% และ 1000% ของ peak load โดยใช้เวลาในการทดสอบ 5 นาทีต่อระดับ ได้ผลการทดสอบดังภาพ 13 จากกราฟที่ 1 และ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโหนด ระบบจะใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมากขึ้นในการรักษา response time ให้คงที่ แต่จากกราฟที่ 2 3 และ 4 พบว่า เมื่อโหนดเพิ่มขึ้นถึง 800% ของ peak load ระบบจะไม่สามารถรักษา response time ให้คงที่ได้ เนื่องจากมีทรัพยากรไม่เพียงพอในบางช่วงเวลา ดังนั้นจุดที่ระบบจะเริ่มช้าและได้รับผลกระทบด้านประสิทธิภาพคือที่ 800% ของ peak load ปัจจุบัน หรือ เป็นจำนวน 96 req/sec

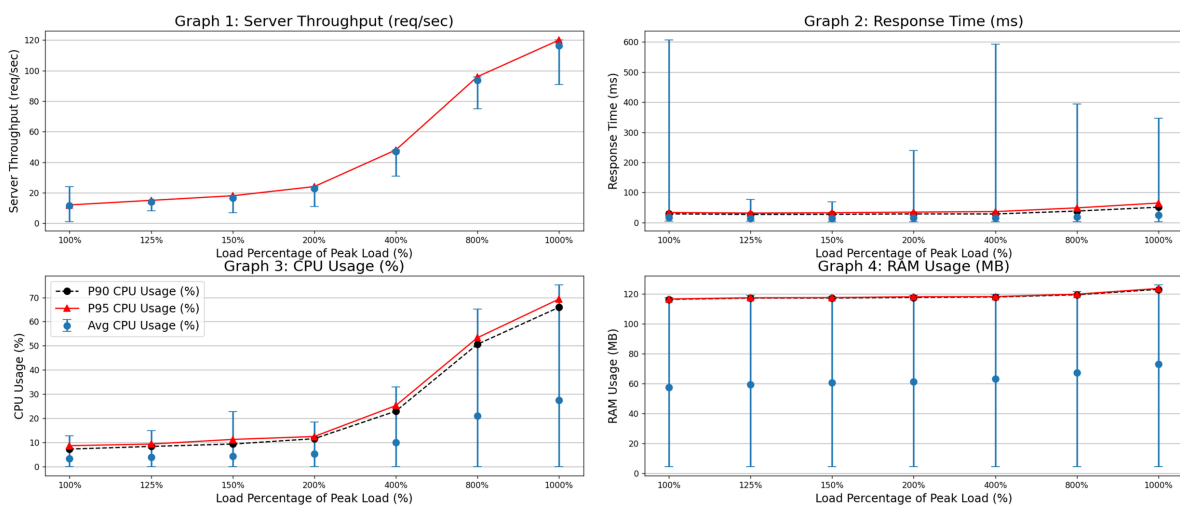
4) เมื่อทดสอบด้วย Availability Test หรือ Strength Test จากกราฟที่ 1 และ 2 พบว่า หลังจากระบบทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 120 นาที ที่ peak load ระบบสามารถรักษา

Throughput และ Response time ให้คงที่ได้ แต่จากกราฟที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่า มีการเพิ่มขึ้นของทรัพยากรที่ใช้ในการประมวลผลเล็กน้อย โดยใช้ CPU เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 0.06 ต่อนาทีและ RAM เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 0.12 ต่อนาที จากการทำงานปกติ ซึ่งไม่กระทบการทำงานโดยรวมของระบบเนื่องจากในการทำงานจริงจะไม่ทำงานที่ peak load ตลอดเวลา ดังที่แสดงในภาพ 14

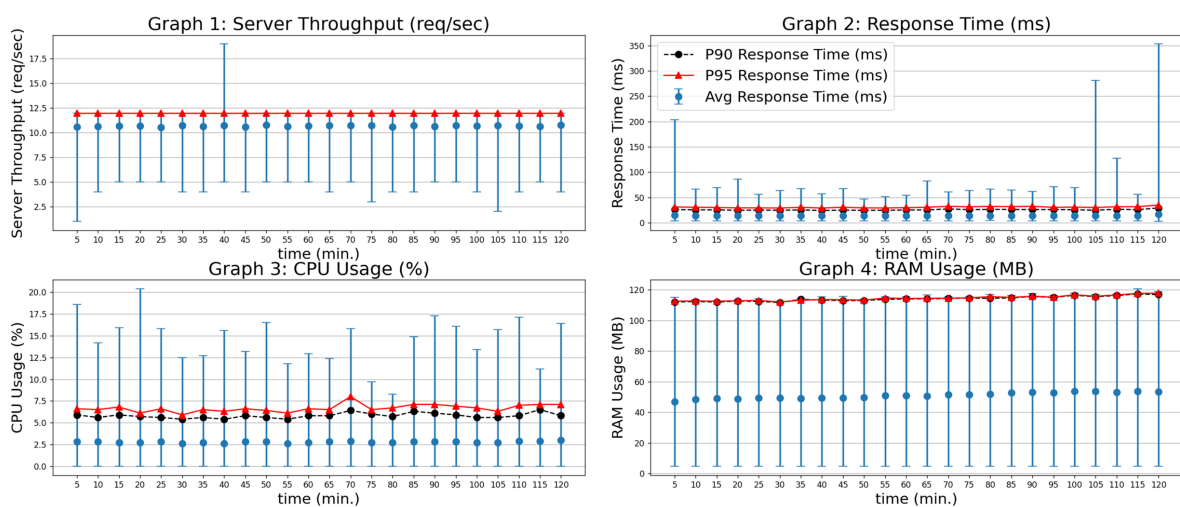
3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดการสินค้าในกระบวนการขนส่ง ระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ โดยหากสามารถจัดการกระบวนการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ สินค้าที่บรรจุเสร็จสิ้นจะมีเวลารอการขนส่งที่ต่ำ นับจากบรรจุเสร็จสิ้นจนถึงถูกขนส่งไปที่คลังสินค้า ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาที่สินค้ารอการขนส่ง จำนวน 100 รายการจากทั้งสองระบบ จากนั้นนำมาสร้างเป็นกราฟระฆังคว่ำ (bell curve) เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยและการกระจายตัวของเวลารอการขนส่งในแต่ละรายการระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ได้ดังภาพ 15 พบว่า การขนส่งในระบบเดิมสินค้าที่บรรจุเสร็จจะต้องรอการขนส่งเป็นเวลาเฉลี่ย 3186.68 นาที หรือ 2.21 วัน แต่ในส่วนกราฟการขนส่งในระบบใหม่มีเวลาเฉลี่ยที่สินค้ารอขนส่งอยู่ที่ 2996.27 นาที หรือ 2.08 วัน ซึ่งสินค้ามีเวลาการรอขนส่งลดลงจากระบบเดิม 190.41 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 5.98 หากเปรียบเทียบการกระจายตัวของเวลาที่ใช้จะพบว่าระบบเดิม มีช่วงการกระจายตัวที่กว้างกว่าระบบใหม่ ประมาณร้อยละ 38 กล่าวคือ การคาดการณ์ว่าสินค้าที่บรรจุเสร็จสิ้นจะถูกขนส่งในอีกกี่วันทำได้ยากตามไปด้วย



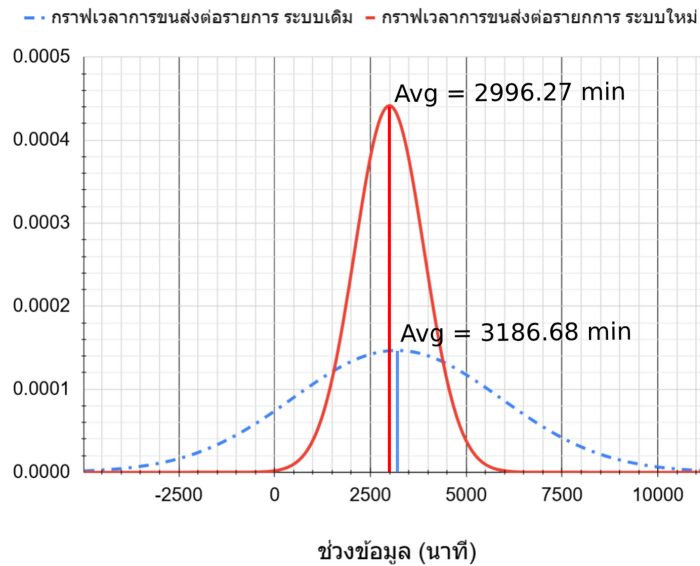
ภาพ 12 ผลการทดสอบ Capacity test ที่ 25% 50% 75% 100% ของ Peak load



ภาพ 13 ผลการทดสอบ Stress test ที่ 100% 125% 150% 200% 400% 800% 1000% ของ Peak load



ภาพ 14 ผลการทดสอบ Availability test ที่ 100% ของ Peak load เป็นเวลา 120 นาที



ภาพ 15 กราฟ Bell Curve เปรียบเทียบการกระจายตัวของสินค้าที่รอการขนส่ง ระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่

การอภิปรายผล

ผลการวิจัยและพัฒนาระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สู่คลังสินค้าสามารถสรุปและอภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. ระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยเลือกใช้สถาปัตยกรรมแบบ Single Page Application: SPA ในการออกแบบโดยภาพรวม และเลือกใช้สถาปัตยกรรมแบบ Serverless ในการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันส่วนการประมวลผล สามารถทำงานได้ตามความคาดหวังในทุกข้อที่ทดสอบ จำนวน 15 หัวข้อ เช่น การตรวจสอบก่อนบันทึกข้อมูลในฟังก์ชันบันทึกข้อมูลการบรรจุสินค้าหรือการบันทึกประวัติการเปลี่ยนแปลงยอดสินค้าตลอดทั้งกระบวนการในทุกฟังก์ชันจึงสามารถติดตามการแก้ไขเปลี่ยนแปลงของสินค้าได้ตลอดกระบวนการ เป็นต้น นั่นทำให้ระบบสามารถสร้างมาตรฐานการบันทึกข้อมูล จัดระเบียบข้อมูล ติดตามสถานะสินค้า สถานะการผลิต และสถานะการขนส่งได้ในระบบเดียว ดังนั้นระบบที่พัฒนาจึงสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับการส่งต่อข้อมูล จัดการข้อมูลและติดตามสถานะสินค้าในกระบวนการขนส่งสินค้าจากโรงงานสู่คลังสินค้าอย่างเป็นระบบได้ตามวัตถุประสงค์

2. จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (performance test) ทั้ง 4 กรณี ประกอบด้วย Load test Capacity test Stress test และ Availability test พบว่าระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถทำงานภายใต้โหลดปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และตอบสนองคำขอได้อย่างรวดเร็วจากผลการทดสอบ Load test และ Capacity test ที่แสดงให้เห็นว่า Response time และใช้ Resource อยู่ในระดับต่ำโดย Throughput สูง นอกจากนี้ระบบสามารถทำงานต่อเนื่องได้อย่างเสถียร และไม่มีผลกระทบต่อผู้ใช้งานจาก Availability test แต่เมื่อระบบทำงานที่โหลดสูงสุดเป็นเวลานานจะทำให้ใช้ Resource มากขึ้นในการประมวลผลนั้นอาจทำให้ความเสถียรลดลง ซึ่งมีการแก้ไข คือ การตั้งค่าการทำงานของเซิร์ฟเวอร์ให้รีสตาร์ทเมื่อใช้ทรัพยากรมากเกินไป 70 เพื่อล้างแคชภายในระบบทำให้แก้ปัญหาเรื่องความหน่วงของระบบเมื่อทำงานต่อเนื่องได้ โดยเมื่อโหลดมากกว่า 800% ของ Peak load ปัจจุบัน ผู้ใช้งานจะเริ่มได้รับผลกระทบเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบจาก Response time ที่เพิ่มมากขึ้นจึงควรมีการพัฒนาเพิ่มเติมเมื่อมีการใช้งานมากเกินไปกว่า 96 req/sec ซึ่งโหลดของระบบจะถูกมอนิเตอร์โดยผู้ดูแลระบบ หากมีโหลดเกินขอบเขตที่ระบบรับได้สามารถให้ผู้ใช้งานส่วนหนึ่งสลับไปใช้งานผ่านเซิร์ฟเวอร์สำรองเพื่อลดโหลดการทำงานของระบบหลัก

ซึ่งช่วยแก้ปัญหาได้เบื้องต้นระหว่างรอการขยายระบบ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้โหลดปัจจุบัน และมีความสามารถรองรับการขยายตัวได้มากถึง 8 เท่าของโหลดปัจจุบัน ก่อนที่ต้องปรับปรุงระบบอีกครั้ง การทดสอบประสิทธิภาพ ทำให้ทราบประสิทธิภาพและข้อจำกัดของระบบจริง จึงสามารถหาแนวทางการป้องกันระบบก่อนเกิดปัญหาได้ตามวัตถุประสงค์

นอกจากฟังก์ชันหลักที่ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาและจัดการข้อมูลภายในกระบวนการแล้ว ยังมีระบบภายในที่ช่วยสนับสนุนการทำงานของระบบหลักให้มีความมั่นคงและน่าเชื่อถือ ซึ่งถูกดูแลโดยผู้ดูแลระบบ คือ ระบบป้องกันข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในฟังก์ชันหลัก โดยในฟังก์ชันหลักจะมีการป้องกันการนำเข้าข้อมูลที่ไม่ถูกต้องเพื่อป้องกันปัญหาในเบื้องต้น หากเกิดข้อผิดพลาดจากการประมวลผลในฝั่งเซิร์ฟเวอร์ของระบบซึ่งไม่ทำให้เซิร์ฟเวอร์ล้มเหลว จะมีการบันทึกข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นและย้อนกลับธุรกรรมที่ไม่สมบูรณ์ (rollback transaction) เพื่อป้องกันข้อมูลที่ผิดพลาดถูกบันทึกเข้าฐานข้อมูล แต่หากข้อผิดพลาดดังกล่าวทำให้ระบบล้มเหลวจำเป็นต้องให้ผู้ดูแลระบบเข้ามาแทรกแซง โดยสลับไปใช้เซิร์ฟเวอร์สำรองแทนในระหว่างแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหลัก

ผลกระทบที่เกิดจากระบบติดตามสถานะการขนส่งสินค้าต่อธุรกิจ โดยการที่ระบบสามารถช่วยในการติดตามสอบถามสินค้าที่มีปัญหาภายในกระบวนการได้ ทำให้ลดเวลาในการแก้ปัญหาด้านข้อมูลจาก 54.76 นาทีต่อปัญหา เหลือเพียง 15 นาทีต่อปัญหา ซึ่งคิดเป็นต้นทุนโดยตรงที่ลดได้มากกว่า 36,521.22 บาทต่อปี หรือ 4 ใน 5 ของระบบเดิม นอกจากนี้ระบบยังช่วยลดเวลาที่สินค้ารอคอยการขนส่งจากระบบเดิมลง 190.41 นาทีต่อรายการ หรือคิดเป็นร้อยละ 5.98 ซึ่งส่งผลให้กระบวนการสามารถจัดส่งสินค้าได้จำนวนรอบที่มากขึ้นในระยะเวลาเท่าเดิม กระบวนการขนส่งจึงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และการที่สามารถคาดการณ์เวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้าได้แม่นยำมากขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของเวลารอการขนส่งสินค้าในกระบวนการใหม่ลดลง ทำให้ฝ่ายคลังสินค้าสามารถวางแผนในการจัดการสินค้าที่จะเข้าสู่คลังได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ใช้ต้นทุนในการบริหารจัดการคลังสินค้าต่ำในทางอ้อม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบติดตามสถานะสินค้าที่พัฒนาขึ้น

เพื่อใช้ตรวจสอบ ติดตาม และจัดการกระบวนการขนส่งระหว่างโรงงานสู่คลังสินค้า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษา อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดกลาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานและลดต้นทุนที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

หลังจากดำเนินการวิจัยทางผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาระบบในอนาคต ดังนี้

1. ระบบติดตามสถานะสินค้าที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้จัดการกระบวนการขนส่งในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ให้ความสำคัญกับเวลาและประสิทธิภาพในกระบวนการขนส่งได้ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ที่ให้ความสำคัญด้านเวลาการขนส่งเพื่อรักษาความสดใหม่ของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ จึงต้องติดตามสถานะการขนส่งของสินค้าอย่างใกล้ชิดซึ่งสามารถใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นในการติดตามและจัดการกระบวนการได้อย่างไร้ที่ติตาม ระบบยังมีข้อจำกัด ที่ต้องกำหนดจุดหมายปลายทางที่ชัดเจน และไม่มีฟังก์ชันคำนวณระยะทางแบบเปลี่ยนแปลงได้ตามปลายทาง ซึ่งอาจไม่เหมาะกับการจัดส่งที่ไม่มีจุดหมายปลายทางที่แน่นอน เนื่องจากฟังก์ชันการคำนวณประสิทธิภาพการขนส่งไม่รองรับการคำนวณเวลาในการขนส่งที่แตกต่างกัน หรือในอุตสาหกรรมด้านโลจิสติกส์ที่มีการขนส่งสินค้าแบบ Door-to-Door ซึ่งจะมีปลายทางการขนส่งเปลี่ยนไปตามลูกค้า เป็นต้น

2. เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณและเวลาในการพัฒนาจึงได้พัฒนาระบบให้ผู้ปฏิบัติงานเป็นคนนำเข้าข้อมูลและใช้เทคโนโลยีซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำในการติดตามสินค้าในอนาคตสามารถพัฒนาระบบโดยการนำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการติดตามพาเลทสินค้าเพื่อให้สามารถตรวจสอบและบันทึกข้อมูลในการขนส่ง รวมถึงการรับสินค้าเข้าคลังแบบอัตโนมัติ และลดข้อผิดพลาดในการกรอกข้อมูลได้ ซึ่งสามารถพัฒนาระบบเดิมต่อไปได้เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถทำงานร่วมกับระบบ IoT ได้ และสามารถทำการทดสอบระบบหาจุดที่เป็นปัญหาของระบบเพื่อทำการพัฒนาให้ระบบสามารถรองรับโหลดให้มากขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรทุกท่านจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้มอบความรู้และแนะแนวทางการศึกษาในการทำงาน

วิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาและบุคลากรที่เกี่ยวข้องที่ให้ความอนุเคราะห์ สนับสนุนทุนวิจัย และมอบข้อมูลที่เป็นประโยชน์ จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี



References

- Al-Ahmad, B., & Debei, K. A. (2020). Survey of testing methods for web applications. *European International Journal of Science and Technology*, 9(12), 1-22. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Bilal_Al-Ahmad/publication/348000478_Survey_of_Testing_Methods_for_Web_Applications/links/5fec692a92851c13fed40a1c/Survey-of-Testing-Methods-for-Web-Applications.pdf
- Ambore, S. (2021). *Web application development: Full & detailed guide for 2022*. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/web-application-development-full-detailed-guide-2022-sham-ambore/>
- Andersson, M. (2023). *The importance of web application architecture: Understanding factors influencing decision-making and identifying potential improvements for effective web development* (Bachelor's thesis). Karlstad University. Karlstad.
- Athikulrat, K., & Jangruksakul, S. (2023). Design and implementation of industrial logistics communication system with google workspace: A case study hitech Pattana Industry Co., Ltd. *Journal of Professional Routine to Research*, 10, 55-66. Retrieved from <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jpr2r/article/view/263676/178517> (in Thai)
- Babu, A. C., Teja, V. N. C. S., Reddy, A. D., Kumar, E. N., & Srinivas, V. (2023). Web based hospital management system. *2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)* (pp. 1109-1113). Coimbatore, India: IEEE
- Chandrasekhar, A. K., & Chandran, A. S. (2021). Comparative analysis of load testing tools. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, 9(6), 758-764. Retrieved from <https://ijcrt.org/papers/IJCRT2106814.pdf>
- Ferràs-Hernández, X., Tarrats-Pons, E., & Arimany-Serrat, N. (2017). Disruption in the automotive industry: A Cambrian moment. *Business Horizons*, 60(6), 855-863. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.07.011>
- Hossain, M. I. (2023). Software Development Life Cycle (SDLC) Methodologies for information systems project management. *International Journal for Multidisciplinary Research*, 5(5), 6223. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i05.6223>

- Jain, M. (2023). *Understanding data: Definition, importance, and its four key aspects*. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-data-definition-importance-its-four-key-manas-jain/>
- Jugo, I., Kermek, D., & Mestrovic, A. (2014). Analysis and evaluation of web application. *14th International Conference, ICWE 2014, Toulouse, France, July 1-4, 2014, Proceedings* (pp. 40-56). Toulouse, France: Université Paul Sabatier
- Jutamaneeroj, D. (2021). *Development of web application using decision based learning to enhance pre-clinic medical student's evaluate reasoning* (Master's Thesis). Chulalongkorn University. Bangkok (in Thai)
- Leelaprute, P., & Churchart, N. (2018). Development of system and database for capacity planning in integrated circuit manufacturing. *UTK Research Journal*, 12(2), 136–147. Retrieved from <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/rmutk/article/view/143793/117471> (in Thai)
- Katruksa, S., & Kullimratchai, P. (2024). Application of artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference systems in the electrical power system. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 18(1), 1–19. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/266469> (in Thai)
- Pantupon, T., Chotibhawaris, T., & Buddeejeen, J. (2021). Improvement of nut and screw placement in warehouse with ABC analysis. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 15(3), 201–210. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/249752> (in Thai)
- Orsuwan, P., & Tati, S. (2023). Web application development for efficient and paperless disbursement of office supplies. Case study 9th armoured regiment, 4th infantry division. *Journal of Logistics and Digital Supply Chain*, 1(3), 52-67. Retrieved from <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JLDSC/article/view/1259/1091> (in Thai)
- Patil, S, S., & Joshi, S, D. (2012). Identification of performance improving factors for web application by performance testing. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(8), 433-436. Retrieved from https://www.ijetae.com/files/Volume2Issue8/IJETAE_0812_74.pdf
- Pengsomboon, W., Thanawasien, S., & Sujarae, A. (2019). Transportation system design for transporting heavy and oversize goods. *EAU Heritage Journal Science and Technology (Online)*, 13(3), 106–118. retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/231616> (in Thai)
- Phanthali, P. (2020). Social changes in the 21st century. *Buddhism in Mekong Region Journal*, 3(2), 44-55. Retrieved from <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/bmrj/article/view/251411> (in Thai)

- Piromrit, S., & Tinapron, S. (2014). Data center design for organization functions and scale. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 6(2), 30–38. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/25721> (in Thai)
- Pranee, P. (2018). *A design of customer surveying and data processing system of new car buyers* (Master's Thesis). Chulalongkorn University. Bangkok (in Thai)
- Somsar, P. (2018). *Supplier information management systems Case study auto parts manufacturing company* (Master's Thesis). Burapha University. Chon Buri (in Thai)
- Tangsongjitakul, C., Jairueng, S., Hirunwat, A., & Ruekkasaem, L. (2024). Supplier selection using analytic hierarchy process for installation fire protection system in high-rise building. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 18(2), 152–170. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/268196> (in Thai)
- Wing, J. M. (2019). The data life cycle. *Harvard data science review*, 1(1), 198882622. <https://doi.org/10.1162/99608f92.e26845b4>

