

การจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตรถกึ่งพ่วง

Simulation Modeling to Increasing the Efficiency Semi-trailer Production

ธนพันธ์ คงทอง (Thanapan Kongthong)* ดร.เชษฐา ชำนาญหล่อ (Dr.Chettha Chamnanlor)^{1**}

(Received: June 1, 2020; Revised: July 23, 2020; Accepted: July 29, 2020)

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete event simulation) สำหรับการผลิตรถบรรทุกกึ่งพ่วงในบริษัทกรณีศึกษา เนื่องจากการดำเนินการผลิตรถบรรทุกกึ่งพ่วง 2 ประเภทในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งทำให้ไม่สามารถส่งผลิตภัณฑ์ได้ตามกำหนด ดังนั้นการเปรียบเทียบพฤติกรรมของระบบเพื่อกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจึงได้รับการมุ่งเน้นศึกษา แบบจำลองสถานการณ์ได้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอารีนา (Arena) และทำการทดสอบความถูกต้องเพื่อให้สามารถใช้แทนระบบการผลิตจริงได้ นอกจากนี้ การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตที่เป็นไปได้มี 3 แนวทาง ได้แก่ การแชร์ทรัพยากร การเพิ่มอุปกรณ์พิเศษในจุดคอขวด และการรวมสายการผลิต ก็ได้ถูกจำลองสถานการณ์ขึ้นเช่นเดียวกัน ผลจากการเปรียบเทียบทุกสถานการณ์ แสดงให้เห็นว่า แนวทางที่นำเสนอสามารถเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์รถบรรทุกกึ่งพ่วงทั้ง 2 ประเภทได้จากเดือนละ 40 คัน เป็นเดือนละ 48 คัน

ABSTRACT

This article aims to design and develop a discrete event simulation for the production of semi-trailers in a case-study company. Since the current production of two semi-trailer types is not enough to meet the customer demands, it could not deliver the products on time. The comparison of system behavior, to determine the appropriated approach to increase the production efficiency, is therefore studied. The simulation model has been built using a software program such as Arena, and validated and verified for accuracy so that it can be used as the real production system. In addition, the possible improvement of production efficiency in three ways such as resource sharing, adding the special equipment to the bottleneck point, and production line merging was also simulated. The comparison of all situation results shown that the proposed approach can increase the number of semi-trailers of both types from 40 trucks per month to 48 trucks per month.

คำสำคัญ: การจำลองสถานการณ์ การปรับปรุงประสิทธิภาพ การผลิตรถกึ่งพ่วง

Keywords: Simulation modeling, Efficiency improvement, Semi-trailer production

¹ Corresponding author: chettha@eng.src.ku.ac.th

*อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน ส่งผลให้อุตสาหกรรมทางด้านโลจิสติกส์มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพทางการแข่งขันมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องล้วนแล้วแต่เป็นกลไกที่สำคัญต่อการขับเคลื่อนทั้งสิ้น แม้แต่อุตสาหกรรมที่สนับสนุน เช่น การผลิตยานพาหนะสำหรับการบรรทุกขนส่ง เป็นต้น ซึ่งบริษัทการศึกษาเป็นผู้ผลิตรถบรรทุกขนส่งที่สำคัญรายหนึ่ง ดำเนินการผลิตรถบรรทุกขนส่งหลายประเภทตามคำสั่งซื้อ (Make-to-order) ซึ่งมีปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละเดือนแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม บริษัทรถบรรทุกศึกษาคำสั่งประสบปัญหาการผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ทันตามกำหนดส่งมอบ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์รถบรรทุกกึ่งพ่วง 2 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุกกึ่งพ่วงแบบก้างปลา และรถบรรทุกกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบ

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณขอคำสั่งซื้อและการส่งมอบย้อนหลัง 14 เดือน ดังตารางที่ 1 ในช่วงระยะเวลาเดือนมกราคม 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2561 พบว่า บริษัทรถบรรทุกศึกษาไม่สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์รถบรรทุกกึ่งพ่วงแบบก้างปลาตามกำหนด จำนวน 40 คัน จากขอคำสั่งซื้อทั้งหมด 295 คัน คิดเป็น 13.6% และไม่สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์รถบรรทุกกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบตามกำหนด จำนวน 60 คัน จากขอคำสั่งซื้อทั้งหมด 320 คัน คิดเป็น 18.8% โดยจากการวิเคราะห์สถานการณ์การผลิตในปัจจุบัน พบว่า ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์มีการดำเนินการแยกส่วนกันอย่างชัดเจนในแต่ละสายการผลิต ในขณะที่ ปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรการผลิต เช่น เครื่องจักรและอุปกรณ์จับยึดพิเศษ (Jig & Fixture) ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยมุ่งเน้นการกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการใช้ทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น การพิจารณาใช้พื้นที่ คน เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ร่วมกัน การพิจารณาการไหลในกระบวนการรวมถึงการทำงานที่เหมาะสม เป็นต้น เพื่อลดเวลารอคอยในระบบและเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิต อย่างไรก็ตาม การดำเนินการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงในสายการผลิตดังที่กล่าวมาข้างต้น จำเป็นต้องทำการตัดสินใจภายใต้การลงทุนที่เหมาะสม ดังนั้น การจำลองสถานการณ์ (Simulation) ในคอมพิวเตอร์จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบสภาพการทำงานปัจจุบันและวิธีการที่เหมาะสมตามแนวทางต่างๆ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในตัดสินใจและการดำเนินการปรับปรุงจริงได้

ทบทวนวรรณกรรม

การกำหนดแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานภายในสายการผลิต โรงงาน หรือแม้แต่องค์กรต่างๆ ผ่านการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง (Virtual modeling) ถือเป็นหนึ่งในวิธีการที่เหมาะสมที่ช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งได้รับความสนใจศึกษาจากหลายๆ งานวิจัย อาทิเช่น การปรับปรุงการผลิต เช่น การจำลองสถานการณ์ในการวางแผนที่เหมาะสมเพื่อลดระยะทางการขนย้ายระหว่างสถานีงานในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ [1] การจำลองสถานการณ์การผลิตที่มีการจัดวางตำแหน่งเครื่องจักรใหม่ในกรณีศึกษาของโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป เพื่อช่วยเพิ่มผลผลิต ลดเวลาการรอคอยระหว่างการผลิต [2] การใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตประตูไม้บานเลื่อน โดยประยุกต์ใช้หลักการปรับปรุงการทำงาน (ECRS) และการวางแผนโรงงานอย่างมีระบบเพื่อลดเวลาการผลิตรวมต่อชุดให้น้อยลง [3] การศึกษาการจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและลดเวลาในการเคลื่อนที่ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการจัดการวัสดุอีกด้วย [4] การพัฒนาการออกแบบ การดำเนินงาน และการบำรุงรักษาระบบการผลิตยานยนต์บนการจำลองสถานการณ์ โดยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบผลของอัตราความสำเร็จและเวลาที่ใช้ในการประกอบ [5]

การประยุกต์ใช้โปรแกรม SIMUL8 จำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องของกรณีศึกษาสายการผลิตยานยนต์ที่ซับซ้อน โดยได้มีการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ (Systematic analysis) เพื่อระบุพื้นที่ที่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากแรงงานและกำลังการผลิต [6]

ยิ่งไปกว่านั้น บางงานวิจัยมีการนำแบบจำลองเหตุการณ์ที่ไม่ต่อเนื่อง (DES) มาใช้ในการแก้ปัญหาค่าความซับซ้อนของระบบการผลิตที่ยืดหยุ่น (Flexible manufacturing system: FMS) เพื่อแสดงให้เห็นว่า การกำหนดค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการจัดลำดับความสำคัญของวัตถุประสงค์ ได้แก่ อัตราประโยชน์และปริมาณงานที่ได้ นอกจากนี้ ยังได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของข้อจำกัดและการตั้งค่าที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด [7] มีการนำเสนอวิธีการแบบ DES ในการจำลองสถานการณ์การปรับปรุงการผลิตแบบลีน (Lean manufacturing) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหลังจากใช้เครื่องมือการประเมินแบบลีน (Lean assessment tool: LAT) ซึ่งช่วยให้สามารถออกแบบและปรับปรุงได้อย่างเป็นระบบ [8] มีการจำลองเหตุการณ์แบบไม่ต่อเนื่องสำหรับเซลล์การผลิต (Production cell) ที่อยู่ในโรงงานผลิตรถยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรงผลิตรถถังและประตูหน้าซ้ายเพื่อวิเคราะห์ระบบก่อนที่จะสร้างระบบจริงในอนาคต โดยสมมติฐานบางข้อมาจากประสบการณ์ [9] มีการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมแฟล็กซิม (FlexSim) มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำเร็จ เพื่อจัดสรรจำนวนพนักงานในสายการผลิตดังกล่าวให้เหมาะสมกับอัตราการผลิต และปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาทั้ง 2 ลักษณะการจัดวางสายการผลิต ได้แก่ การจัดวางสายการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง และการจัดวางสายการผลิตแบบต่อเนื่อง เพื่อลดต้นทุนด้านแรงงานและอัตราประโยชน์ของพนักงาน [10]

นอกจากนี้ เทคนิคการจำลองสถานการณ์ยังได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการปรับปรุงการทำงานในองค์กรที่มุ่งเน้นการให้บริการอีกด้วย อาทิเช่น การจำลองสถานการณ์การให้บริการของคลินิกกุมารเวชและอายุรกรรม ตึกผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลพัทลุง [11] และการจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลแหลมฉบัง [12] ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพส่วนใหญ่มุ่งเน้นที่การลดเวลาในระบบ และลดเวลาการรอคอย ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่ช่วยในการตัดสินใจในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานภายในองค์กรต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่มุ่งเน้นการผลิต โรงพยาบาลที่มุ่งเน้นการให้บริการ และหน่วยงานอื่นๆ ที่มีสถานการณ์การดำเนินงานแบบไม่ต่อเนื่อง เป็นต้น

วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การศึกษาสถานการณ์ในปัจจุบัน (2) การเก็บรวบรวมข้อมูล (3) การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล (4) การสร้างแบบจำลองการผลิต (5) การทดสอบแบบจำลอง (6) การกำหนดจำนวนรอบประมวลผลซ้ำ และ (7) แนวทางการปรับปรุง โดยมีการอธิบายรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ ดังนี้

การศึกษาสถานการณ์ในปัจจุบัน

จากการศึกษาสถานการณ์การผลิตในปัจจุบัน พบว่า การจัดวางสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ (Facilities) เป็นแบบตามกระบวนการผลิต (Process Layout) ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 แต่มีการกำหนดการผลิตแยกกันระหว่างสายการประกอบรถถังพ่วงแบบกึ่งปลา และสายการประกอบรถถังพ่วงแบบพื้นเรียบ โดยทั้งสองผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

กระบวนการผลิตรถถังพ่วงแบบกึ่งปลา เริ่มต้นจากการนำ โครงรถตามความยาวตัวถัง (Chassis) เปล่าเข้ากระบวนการประกอบ ทำการประกอบคานท้าย คานกลาง คานหน้า เชื่อมบังคานและช่องเสา ใส่เพลลา ขาค้ำ และกันชน

ตรวจสอบความเรียบร้อยของงานเหล็กและรอยเชื่อม ขัดสี ฟันสี ติดตั้งระบบไฟฟ้า ลม เบรก และใส่ยาง ตั้งศูนย์ล้อ ตรวจสอบคุณภาพ และนำรถที่ผ่านการตรวจสอบไปเก็บที่โกดังเก็บสินค้า

ในขณะที่ กระบวนการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบ เริ่มต้นจากการนำโครงรถตามความยาวตัวถัง (Chassis) เปล่า เข้ากระบวนการประกอบ ทำการเชื่อมบังคานและช่องเสา เชื่อมประกอบบังคานและเต้าเทิร์น ตรวจสอบคุณภาพ ใส่เพลาลมุน พื้น และขาเท้า ตรวจสอบคุณภาพ ประกอบบังโคลน กันชน และลักษณะต่างๆ ที่ลูกค้ากำหนด ขัดสี ฟันสี รอยพื้น ตรวจสอบรายละเอียด ฟันสีจริง เก็บรายละเอียด ติดตั้งระบบไฟฟ้า ลม เบรก และใส่ยาง ตั้งศูนย์ล้อ ตรวจสอบคุณภาพ และนำรถที่ผ่านการตรวจสอบไปเก็บที่โกดังเก็บสินค้า

จากการวิเคราะห์เบื้องต้น พบว่า ในแต่ละเดือนคำสั่งซื้อจากลูกค้ามีปริมาณที่แตกต่างกันมาก ในขณะที่ ยังมีการใช้ประโยชน์จากปัจจัยการผลิตอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ มีปัญหาการหยุดชะงักของสายการผลิตซึ่งทำให้เกิดการรอคอยจำนวนมาก ทำให้ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์รถกึ่งพ่วงทั้ง 2 ประเภทไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ส่งผลไม่ทันกำหนด และสูญเสียค่าปรับค่าล่วงเวลาก่อนจ้างมาก

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ได้ทำการสำรวจทั้ง 2 สายการผลิต เพื่อดูลักษณะทั่วไปและรายละเอียดของกิจกรรมการผลิตในแต่ละสถานีงาน รวมทั้งทำการเก็บและรวบรวมข้อมูลจากบริษัทรถจักรยานยนต์ ย้อนหลังในช่วงเวลา 14 เดือน ระหว่างเดือนมกราคม 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนการผลิตและกระบวนการไหลของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ข้อมูลเวลาการทำงานของคนและเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด กำลังการผลิตในแต่ละสายการผลิต ข้อมูลขนาดพื้นที่การทำงาน รวมทั้งปริมาณยอดคำสั่งซื้อจากลูกค้าและการส่งมอบสินค้า

การวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูล

ขั้นตอนนี้มีความสำคัญต่อการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง เนื่องจากค่าตัวแปรต่างๆ ต้องมาจากการแจกแจงที่เหมาะสมและสะท้อนถึงพฤติกรรมจริงๆ ที่เกิดขึ้นในระบบการผลิต โดยใช้ฟังก์ชันตัววิเคราะห์ข้อมูลรับเข้า (Input Analyzer) ของโปรแกรมสำเร็จรูปอารีนา (Arena) มาช่วยในการประมวลผลข้อมูลเวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละขั้นตอน ซึ่งมีการทดสอบสมมติฐานภายใต้ความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) โดยมีรายละเอียดดังนี้ 1) สมมติฐานหลัก (H_0) หมายถึง ข้อมูลมีการแจกแจงตามการแจกแจงที่ทดสอบ และ 2) สมมติฐานรอง (H_1) หมายถึง ข้อมูลไม่มีการแจกแจงตามการแจกแจงที่ทดสอบ

จากผลการทดสอบการแจกแจง ดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นการแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลบ้าง ข้อมูล เช่น การขนย้ายชิ้นส่วนต่างๆ ไปที่หน่วยผลิตแบบก้างปลา จะเห็นได้ว่า มีรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ มีค่า P-Value = 0.15 ซึ่งมีความมากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ดังนั้น ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ซึ่งแสดงว่าข้อมูลข้างต้นที่นำมาทดสอบมีการแจกแจงแบบที่ต้องการทดสอบ ดังนั้นข้อมูลเวลาในแต่ละกระบวนการทั้งหมด 28 ข้อมูล จะถูกทำการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 2 และ 3

การสร้างแบบจำลองการผลิต

แบบจำลองสถานการณ์การผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภท ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปอารีนา (Arena) บนพื้นฐานของข้อมูลจริงจากบริษัทรถจักรยานยนต์ เนื่องจากในปัจจุบันมีการแบ่งแยกการดำเนินการออกเป็น 2 สายการผลิต ดังนั้น การสร้างและเชื่อมต่อ โมดูล (Modules) ต่างๆ จึงแบ่งออกเป็น 3 โมเดลย่อย (Sub-models) ได้แก่ 1) แบบจำลองย่อยสำหรับการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบ 2) แบบจำลองย่อยสำหรับการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบก้างปลา และ 3) แบบจำลองย่อยสำหรับแผนกฟันสีและแผนกประกอบสุดท้าย ดังแสดงในภาพที่ 4 – 6 ตามลำดับ

การทดสอบแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้งหมดที่สร้างขึ้น ทั้งการตรวจสอบองค์ประกอบภายในของแบบจำลองที่โปรแกรมขึ้น และการทดสอบพฤติกรรมจากแบบจำลองเทียบกับพฤติกรรมจริง ซึ่งวิธีการทางสถิติได้นำมาใช้ในการตรวจสอบที่นัยสำคัญ 0.05 โดยมีการกำหนดสมมติฐานสำหรับการทดสอบ ดังนี้ 1) สมมติฐานหลัก (H_0) กำหนดให้แบบจำลองสถานการณ์มีความแตกต่างกับระบบจริง และ 2) สมมติฐานรอง (H_1) กำหนดให้แบบจำลองสถานการณ์ไม่มีความแตกต่างกับระบบจริง ดังนั้น การทดสอบสมมติฐานที่เกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์รถถังพวงแบบพื้นเรียบ สามารถกำหนดสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

1) กรณีการทดสอบสมมติฐานที่เกี่ยวกับการผลิตรถถังพวงแบบพื้นเรียบ

สมมติฐานหลัก กำหนดให้เวลาในระบบของแบบจำลองสถานการณ์การผลิตรถถังพวงแบบพื้นเรียบเท่ากับ 3,360 นาที ($H_0: \mu = 3,360$)

สมมติฐานรอง กำหนดให้เวลาในระบบของแบบจำลองสถานการณ์การผลิตรถถังพวงแบบพื้นเรียบไม่เท่ากับ 3,360 นาที ($H_1: \mu \neq 3,360$)

2) กรณีการทดสอบสมมติฐานที่เกี่ยวกับการผลิตรถถังพวงแบบก้างปลา

สมมติฐานหลัก กำหนดให้เวลาในระบบของแบบจำลองสถานการณ์การผลิตรถถังพวงแบบก้างปลาเท่ากับ 2,880 นาที ($H_0: \mu = 2,880$)

สมมติฐานรอง กำหนดให้เวลาในระบบของแบบจำลองสถานการณ์การผลิตรถถังพวงแบบก้างปลาไม่เท่ากับ 2,880 นาที ($H_1: \mu \neq 2,880$)

ผลการทดสอบสมมติฐาน ดังภาพที่ 7 ในกรณีการผลิตรถถังพวงพื้นเรียบ พบว่า ค่า $P = 0.881$ มีค่ามากกว่า ค่า $P\text{-Value} = 0.05$ จึงยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้น เวลาในระบบของแบบจำลองสถานการณ์การผลิตรถถังพวงแบบพื้นเรียบเท่ากับ 3,360 นาที และสรุปว่าแบบจำลองสถานการณ์นี้สามารถใช้เป็นค่าเวลาตัวแทนของระบบจริงได้ ในขณะที่กรณีการผลิตรถถังพวงแบบก้างปลา พบว่า ค่า $P = 0.098$ มีค่ามากกว่า ค่า $P\text{-Value} = 0.05$ จึงยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้น เวลาในระบบของแบบจำลองสถานการณ์การผลิตรถถังพวงแบบก้างปลาเท่ากับ 2,880 นาที และสรุปว่าแบบจำลองสถานการณ์นี้สามารถใช้เป็นค่าเวลาตัวแทนของระบบจริงได้

การกำหนดจำนวนรอบประมวลผลซ้ำ

การกำหนดจำนวนรอบประมวลผลซ้ำที่เหมาะสมตามทฤษฎี [13] จะต้องมีการกำหนดค่าความแม่นยำ (ϵ) ของระบบเพื่อหาจำนวนรอบทำซ้ำที่เหมาะสมซึ่งค่าครึ่งช่วงความเชื่อมั่นควรไม่เกิน 10% ซึ่งแบบจำลองสถานการณ์นี้กำหนดระดับความแม่นยำ 5% และกำหนดรอบทำซ้ำเริ่มต้น 10 รอบ จำนวนรอบในการประมวลผลสามารถทำได้โดยการกำหนดรอบการประมวลผลเริ่มต้น (R_0) แล้วทำการประมวลผล จากนั้นนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้ (S_0) จากการประมวลผล มาคำนวณหาจำนวนรอบที่เหมาะสม ดังนี้

$$\epsilon = \frac{\text{Half Width}}{\text{Average}} \times 100\%$$

$$R \geq \left(\frac{t_{1-\alpha/2} \times S_0}{\epsilon} \right)^2$$

จากค่าครึ่งช่วงความเชื่อมั่น (*Half Width*) ของเวลาการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบเท่ากับ 80.92 และค่าเฉลี่ยของเวลาการผลิต (*Average*) เท่ากับ 3365.51 นาที เมื่อคำนวณระดับความแม่นยำ

$$\text{จะได้ } \varepsilon = (80.92 / 3365.51) \times 100\%$$

$$\varepsilon = 2.404\% \text{ ของค่าเฉลี่ย } (\sim 3\%) < \varepsilon$$

สรุปได้ว่า จากครึ่งช่วงความเชื่อมั่นจำนวนรอบทำซ้ำเบื้องต้น มีค่าน้อยกว่า ครึ่งช่วงความเชื่อมั่นที่กำหนดไว้ ดังนั้นจำนวนรอบทำซ้ำ 10 รอบเพียงพอแล้ว

จากค่าครึ่งช่วงความเชื่อมั่น (*Half Width*) ของการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบก้างปลา เท่ากับ 115.80 และค่าเฉลี่ยของเวลาการผลิต (*Average*) เท่ากับ 2785.37 นาที เมื่อคำนวณระดับความแม่นยำ

$$\text{จะได้ } \varepsilon = (115.80 / 2785.37) \times 100\%$$

$$\varepsilon = 4.157\% \text{ ของค่าเฉลี่ย } (\sim 5\%) < \varepsilon$$

สรุปได้ว่า จากครึ่งช่วงความเชื่อมั่นจำนวนรอบทำซ้ำเบื้องต้น มีค่าน้อยกว่าครึ่งช่วงความเชื่อมั่นที่กำหนดไว้ ดังนั้นจำนวนรอบทำซ้ำ 10 รอบเพียงพอแล้ว

แนวทางการแก้ไขปัญหา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาหาแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมโดยการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อไม่ให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นทั้งในทางด้านบุคลากร เครื่องมือ และอุปกรณ์ ดังนั้น แนวทางต่างๆ จึงให้ความสำคัญต่อการใช้ทรัพยากรร่วมกันของการผลิตรถกึ่งพ่วงทั้ง 2 สายการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

แนวทางที่ 1 การกำหนดให้ทรัพยากรบุคลากรและเครื่องมือในทั้ง 2 สายการผลิตที่ทำงานเหมือนกัน สามารถแชร์ (*Sharing*) ร่วมกันได้ ดังนั้น เครื่องมือและอุปกรณ์บางส่วนจะถูกกำหนดให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ นอกเหนือจากนี้ จะกำหนดให้ประจำในแต่ละสายการผลิต แนวทางนี้กำหนดขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการกำลังการผลิตไม่เพียงพอในสถานการณ์การผลิตของบริษัทการศึกษา

แนวทางที่ 2 การวิเคราะห์และเพิ่มกำลังการผลิตที่จุดคอขวดซึ่งทำให้เกิดการหยุดชะงักจากการรอคอย นอกจากการนำทรัพยากรที่มีอยู่เดิมมาใช้งานร่วมกันแล้ว ยังมีการพิจารณาเพิ่มอุปกรณ์ช่วยจับยึดพิเศษ (*Jig & Fixture*) เช่น ตัวจิกหมุน ซึ่งจะช่วยลดเวลาการทำงานต่อชิ้นลงได้

แนวทางที่ 3 การพิจารณารวม (*Merging*) สายการประกอบทั้งสองเข้าด้วยกัน รวมงานที่มีกระบวนการเหมือนกันเข้าด้วยกันเป็นสถานีเดียว เพื่อรองรับปริมาณคำสั่งซื้อที่ไม่เท่ากันในแต่ละเดือนให้สามารถผลิตรถกึ่งพ่วงได้ตามความต้องการของลูกค้า โดยมีการจัดลำดับงานก่อนหลังที่เหมาะสม

โดยทั้ง 3 แนวทางจะถูกประมวลผลผ่านแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้น ซึ่งต้องมีการปรับค่าทรัพยากรนำเข้าตามลักษณะที่กำหนดในแต่ละแนวทาง เช่น จำนวนทรัพยากรบุคคล เครื่องมือและอุปกรณ์ ทั้งที่กำหนดให้ใช้งานร่วมกันได้ และที่กำหนดให้ประจำในแต่ละสายการผลิต ซึ่งได้มีการสรุปข้อมูลไว้ในตารางที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบจากทั้ง 3 แนวทาง ทั้งการแชร์ทรัพยากรร่วมกัน การเพิ่มอุปกรณ์จับยึดพิเศษ ณ จุดคอขวด และการรวมสายการผลิตทั้งสองเข้าด้วยกัน โดยได้มีการเปรียบเทียบค่าของเวลาในระบบและค่าของจำนวนรถที่ผลิตได้ ซึ่งที่ได้จากแนวทางที่นำเสนอและสถานการณ์การผลิตในปัจจุบัน ผลลัพธ์ทั้งหมดได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 – 6 ตามลำดับ

ผลลัพธ์จากตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบที่ผลิตได้ พบว่าแนวทางที่ 3 มีจำนวนที่ผลิตได้สูงที่สุดคือ 24.50 คัน และเมื่อเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นจำนวนรถที่ผลิตได้ของแนวทางที่ 3 ซึ่งมีค่าระหว่าง 22.18 และ 26.82 มีค่ามากกว่าระบบปัจจุบันซึ่งมีค่าระหว่าง 18.19 และ 21.41 อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบเวลาที่รถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบอยู่ในระบบของแนวทางที่ 3 ซึ่งมีค่าระหว่าง 3,004.03 ถึง 3,050.50 นั้นมีค่าน้อยกว่าระบบปัจจุบันซึ่งมีค่าระหว่าง 3,284.59 และ 3,446.43 อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกแนวทางที่ 3 ซึ่งสามารถเพิ่มทั้งผลผลิตและลดเวลาในระบบ

นอกจากนี้ ผลลัพธ์จากตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่รถกึ่งพ่วงแบบก้างปลาอยู่ในระบบของแนวทางที่ 3 ซึ่งมีค่าระหว่าง 2,513.36 ถึง 2,561.12 นั้นมีค่าน้อยกว่าระบบปัจจุบันซึ่งมีค่าระหว่าง 2,669.60 และ 2,901.20 อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนรถกึ่งพ่วงแบบก้างปลาที่ผลิตได้ พบว่าแนวทางที่ 3 มีจำนวนที่ผลิตได้สูงที่สุดคือ 24.10 คัน ถึงแม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่นจำนวนรถที่ผลิตของแนวทางที่ 3 ซึ่งมีค่าระหว่าง 20.78 และ 27.42 จะมีค่าไม่แตกต่างกับระบบปัจจุบันซึ่งมีค่าระหว่าง 19.32 และ 24.48 อย่างมีนัยสำคัญ แต่เนื่องจากเวลาที่อยู่ในระบบลดลงอย่างมีนัยสำคัญจึงเลือกแนวทางที่ 3

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ของสายการผลิตเพื่อลดเวลาในระบบและปรับปรุงการผลิตรถกึ่งพ่วงที่เกิดขึ้นในบริษัทรถจักรยาน โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำทรัพยากรต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการผลิตมารวมกัน มีการจัดลำดับงานก่อนหลังที่เหมาะสม รวมทั้งมีการรวมกระบวนการผลิตที่เหมือนกันมารวมกัน เพื่อรองรับปริมาณคำสั่งซื้อที่ไม่เท่ากันในแต่ละเดือนให้สามารถผลิตรถกึ่งพ่วงทั้งสองสายการผลิตได้ทันตามความต้องการของลูกค้า จากผลการจำลองสถานการณ์การผลิตตามแนวทางที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า สามารถช่วยลดเวลาการผลิตของรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบลงได้ จากใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 3,365.51 นาที เหลือ 3,050.50 นาที ซึ่งคิดเป็น 9.36% สามารถเพิ่มกำลังการผลิตจาก 19.8 คัน เป็น 24.5 คัน โดยเฉลี่ย คิดเป็น 23.74% และในกรณีการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบก้างปลาสามารถช่วยลดเวลาการรอคอยเฉลี่ยลงได้จาก 2,785.4 นาที เหลือ 2,537.24 นาที คิดเป็น 8.11% และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้จาก 21.9 คัน เป็น 24.1 คัน โดยเฉลี่ย คิดเป็น 10.05% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จำนวนผลิตภัณฑ์รถกึ่งพ่วงทั้ง 2 ประเภทเพิ่มขึ้นจากเดือนละ 40 คัน เป็นเดือนละ 48 คัน

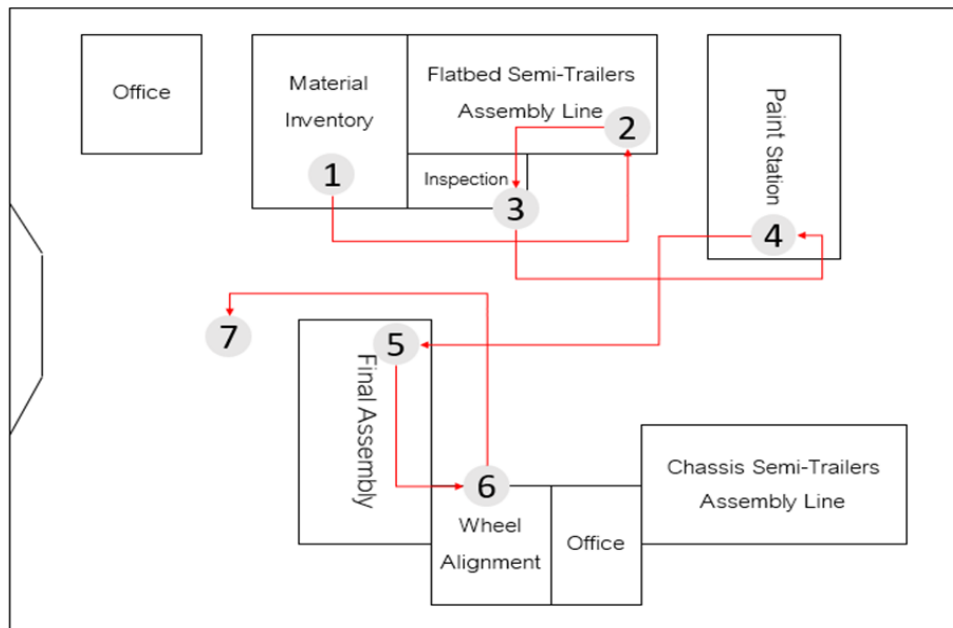
จากผลของการศึกษาที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่า แนวทางที่กำหนดขึ้นสำหรับการปรับปรุงการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สามารถดำเนินการผ่านแบบจำลองสถานการณ์ได้อย่างเหมาะสม ในขณะที่การศึกษาในลำดับถัดไป ควรให้ความสำคัญต่อการพัฒนาการทำงานเพื่อเพิ่มอัตราประโยชน์ (Utilization) ของสถานียานต่างๆ ให้มีความสมดุล และควรมีการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติในขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถของการผลิตโดยรวมมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

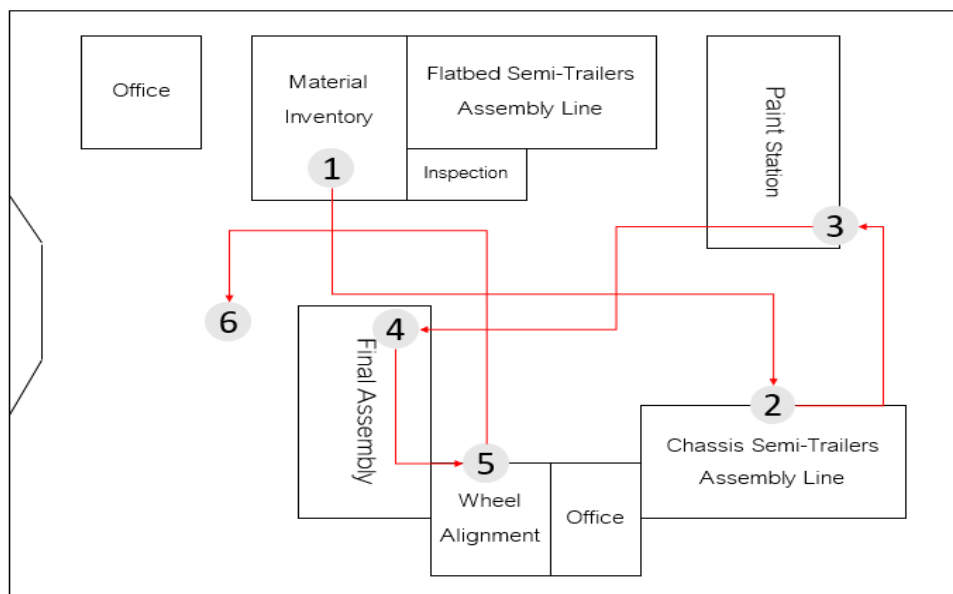
ขอขอบคุณบริษัทรถจักรยานที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ และขอขอบคุณ คุณพัฒนา มณฑาทอง คุณวชิรา พุทธาผาย และคุณกฤษณา งามเอกอุดมพงศ์ ที่ช่วยเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับกรณีศึกษา นอกจากนี้ ขอขอบคุณ กลุ่มวิจัยการจัดการการผลิตและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนทรัพยากรต่างๆ ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

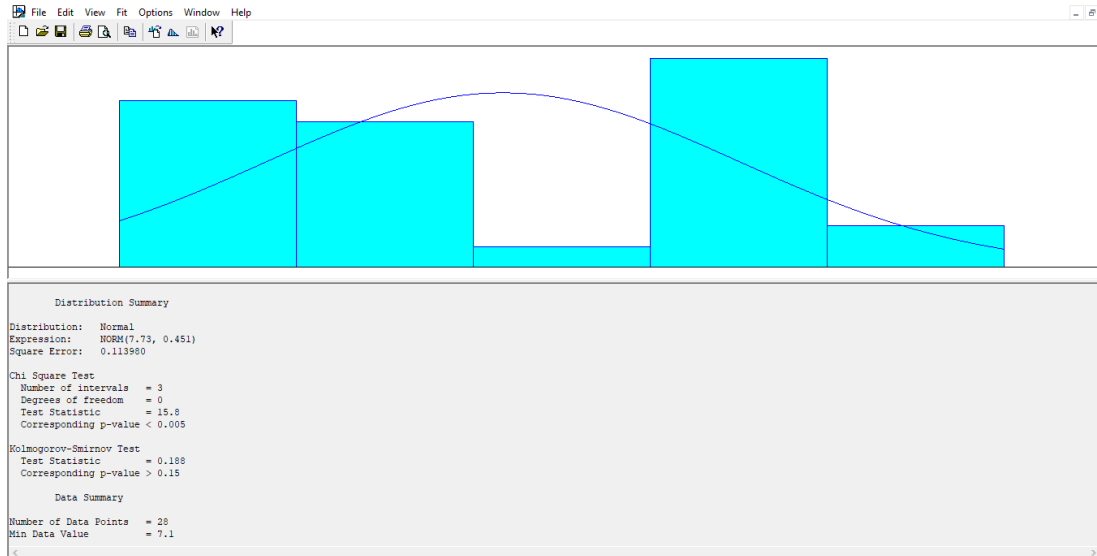
1. Samanphan W. Plant Layout Design for Reducing Transfer Distance between Work Stations in Hard Disk Drive Industry by Using Simulation [MEng thesis]. Bangkok: Kasetsart University; 2012. Thai.
2. Ua-areemit S. Improvement of Process Layout Using Simulation: Case Study of Garment Factory [MSci thesis]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2007. Thai.
3. Chantarasamai K, Lasunon O. Plant Layout Design and Process Improvement in Wood Sliding Door Manufacture. Naresuan University Journal: Science and Technology. 2017; 25(3): 146-155. Thai.
4. Suhardini D, Septiani W, Fauziah S. Design and Simulation Plant Layout Using Systematic Layout Planning. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017; 277: 1-8.
5. Tahar RBM, Adham AAJ. Design and Analysis of Automobiles Manufacturing System based on Simulation Model. Modern Applied Science. 2010; 4(7): 130-134.
6. Baraka JM, Naicker AK, Singh R. Discrete Event Simulation Modeling to Improve Productivity on An Automotive Production Line. Proceedings of CIE42; 2012 July 16-18; Cape Town, South Africa, p.124(1-12).
7. Rybicka J, Tiwari A, Enticott S. Testing a Flexible Manufacturing System Facility Production Capacity through Discrete Event Simulation: Automotive Case Study. International Scholarly and Scientific Research & Innovation. 2016; 10(4): 668-672.
8. Omogbai O, Salonitis K. Manufacturing System Lean Improvement Design using Discrete Event Simulation. Procedia CIRP. 2016; 57: 195-200.
9. Garriz C, Domingo R. Simulation, through Discrete Events, of Industrial Processes in Productive Environments. Procedia Manufacturing. 2017; 13, 1074-1081.
10. Saengkularb W, Tharmmaphornphilas W. Simulation Model for Operator Allocation In Head Gimbal Assembly Line. Engineering Journal Chiang Mai University. 2019; 26(1): 207-226. Thai.
11. Rattanaubol S, Srisuwannapa C. Simulation for Improving Service Effectiveness of Pediatric and Medical Clinics in Outpatient building of Phatthalung Hospital. Journal of Science Ladkrabang. 2013; 22(1): 107-116. Thai.
12. Chamnanlor C, Suksan K, Saibunna J. Simulation to Improve Service Performance of Outpatient Department in Laem Chabang Hospital. SWU Engineering Journal. 2018; 13(1): 1-6. Thai.
13. Banks J, Carson JS, Nelson BL, Nicol DM. Discrete-event system simulation. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall; 2005.



ภาพที่ 1 แผนผังการไหลของการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบ



ภาพที่ 2 แผนผังการไหลของการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบก้างปลา



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลขั้นตอนการขนย้ายชิ้นส่วนต่างๆ ไปที่หน่วยผลิตแบบกึ่งปลา

ตารางที่ 1 ยอดคำสั่งซื้อและจัดส่งสินค้าในรอบ 14 เดือน (รถกึ่งพ่วงทั้ง 2 ประเภท)

เดือน	รถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบ		รถกึ่งพ่วงแบบกึ่งปลา	
	คำสั่งซื้อ (คัน)	ส่งมอบไม่ทัน (คัน)	คำสั่งซื้อ (คัน)	ส่งมอบไม่ทัน (คัน)
ม.ค. - มี.ค. 2560	59	17	7	0
เม.ย. - มิ.ย. 2560	61	15	28	11
ก.ค. - ก.ย. 2560	71	1	75	7
ต.ค. - ธ.ค. 2560	98	22	78	17
ม.ค. 2561	14	4	54	3
ก.พ. 2561	17	1	53	2

ตารางที่ 2 ค่าเวลาเฉลี่ยและการแจกแจงของงานย่อยในการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบ

ลำดับ	งานย่อย	การแจกแจง	P-value	ลำดับ	งานย่อย	การแจกแจง	P-value
1	ขนย้ายเหล็กโครงรถ (chassis) ไปที่หน่วยผลิตพื้นเรียบ	NORM(7.29, 0.295)	0.135	35	ยกโครงพื้นเรียบลงจากจึก	NORM(3.31, 0.149)	0.112
2	ใช้รถเคลื่อนย้ายถังแก๊สไปวางบนจึก	NORM(2.3, 0.129)	0.0879	36	วัดตำแหน่งของถังแก๊ส	NORM(8.31, 0.168)	0.0907
3	ยกคานหน้าและเหล็กเส้นไปวางบนจุดที่ต้องเชื่อม	NORM(5.27, 0.456)	0.182	37	เจาะถังแก๊สข้างเพื่อติดไฟสะท้อนแสง	TRIA(11, 12.4, 12.7)	0.233
4	ยกโครงรถคันต่างๆ ไปใส่ในจุดที่ต้องทำการเชื่อม	NORM(27.5, 1.21)	0.185	38	เชื่อมกันชน	NORM(30.9, 0.467)	0.219
5	เชื่อมประกอบคานทั้งหมดให้ติดกับโครงรถ	NORM(72.1, 3.86)	0.16	39	เชื่อมกับรายละเอียดพื้นเรียบ	NORM(20.7, 0.498)	0.214
6	ตรวจสอบความเรียบร้อยของรอยเชื่อม	NORM(11.4, 1.08)	0.156	40	เชื่อมรอยเชื่อมให้เรียบ	NORM(36.4, 0.801)	0.172
7	เชื่อมกับรายละเอียด	NORM(24.5, 1.21)	0.159	41	ตัดเหล็กส่วนที่เกินออกและเชื่อมกับรายละเอียด	NORM(7.26, 0.152)	0.168
8	นำตัวและหมอนรองไปที่จุดเชื่อมและตรวจวัด	NORM(36.2, 0.488)	0.205	42	ย้ายไปร่นหน้าไปวางบนโครงพื้นเรียบ	NORM(43.7, 0.936)	0.173
9	เชื่อมคานและหมอนรองคาน	NORM(12.2, 0.527)	0.162	43	ติดตั้งและเชื่อมไปร่นหน้าเข้ากับโครงรถ	NORM(61.6, 1.05)	0.142
10	ย้ายโครงรถที่ประกอบเสร็จไปที่จุดพักด้วยจึกเคลื่อนที่	NORM(3.29, 0.221)	0.0966	44	ติดตั้งและเชื่อมเพลาคันล้อ	NORM(38, 0.471)	0.242
11	เชื่อมโครงพื้นเรียบส่วนบนให้แข็งแรง	NORM(67, 1.35)	0.14	45	นำล้อเข้ามาใส่ 2 ล้อ	NORM(7.28, 0.177)	0.191
12	เช็ททำความสะอาดรอยเชื่อม	NORM(8.47, 0.474)	0.199	46	ย้ายรถไปที่สำหรับตรวจสอบคุณภาพ	NORM(3.24, 0.156)	0.104
13	พลิกโถ่งพื้นเรียบ 180 องศาด้วยจึกหมุน	NORM(7.41, 0.32)	0.215	47	ตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมและความเที่ยงตรง	NORM(58.3, 1.86)	0.155
14	เชื่อมกับรายละเอียดคาน	4 + GAMM(0.226, 2.48)	0.134	48	ขนย้ายไปสถานีถัดไป	NORM(7.76, 0.439)	0.198
15	ใส่หัวข้าง	3 + GAMM(0.327, 1.64)	0.181	49	ขัดสนิมและตกแต่งจากรอยเชื่อม	NORM(231.9, 14)	0.0878
16	ตรวจสอบความเที่ยงตรงของหัวข้าง	NORM(3.31, 0.142)	0.122	50	ทำความสะอาดพื้นผิว	NORM(32.1, 1.21)	0.183
17	เชื่อมหัวข้าง	NORM(9.24, 0.153)	0.141	51	ทาสีพื้น	NORM(131.1, 5.73)	0.121
18	เชื่อมสามเหลี่ยมรองคาน	NORM(21.6, 1.21)	0.169	52	รอสีแห้ง	NORM(154, 2.89)	0.114
19	เชื่อมคานใต้พื้น	NORM(144, 1.98)	0.108	53	ตรวจสอบความเรียบร้อยของพื้นผิวและสีรองพื้น	NORM(162, 1.41)	0.19
20	นำขั้วไฟฟ้าข้างมาติดตั้งและทำการเชื่อมติดกับโครง	NORM(13.3, 0.169)	0.122	54	แปะกระดาษหีบบริเวณที่ต้องการสีที่แตกต่าง	NORM(44.5, 0.816)	0.18
21	นำเพลามาติดตั้ง 1 เพล และทำการเชื่อมให้ติด	NORM(34.1, 0.586)	0.217	55	ทาสีจริง	NORM(152, 4.4)	0.146
22	เชื่อมขั้วไฟฟ้าข้างและโครงพื้นเรียบส่วนบน	NORM(34.9, 0.543)	0.164	56	รอสีจริงแห้ง	NORM(449, 6.5)	0.103

ตารางที่ 2 ค่าเวลาเฉลี่ยและการแจกแจงของงานย่อยในการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบ (ต่อ)

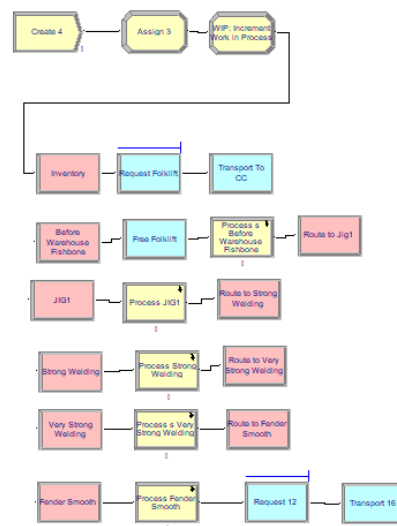
ลำดับ	งานย่อย	การแจกแจง	P-value	ลำดับ	งานย่อย	การแจกแจง	P-value
23	เจียรไนลบคม	NORM(5.28, 0.152)	0.109	57	ย้ายรถไปสถานีถัดไป	NORM(6.31, 0.151)	0.123
24	นำเหล็กแผ่นไปวางบนโครงพื้นเรียบ	NORM(21.9, 1.01)	0.165	58	ติดตั้งระบบลม-बरก	NORM(74, 2.5)	0.177
25	เชื่อมเหล็กแผ่นให้ติดกับโครงพื้นเรียบ	NORM(71.2, 0.832)	0.199	59	เก็บรายละเอียดสี	NORM(25.9, 1.15)	0.164
26	ย้ายไปสถานีถัดไป	NORM(0.484, 0.0501)	0.0955	60	ติดตั้งเกียร์และไฟสะท้อนแสง	NORM(44, 1.22)	0.179
27	วัดตำแหน่งที่จะติดตั้งส่วนควบต่าง ๆ	7 + GAMM(0.356, 1.81)	0.19	61	ตรวจสอบคุณภาพ	NORM(41, 2.53)	0.0791
28	ทำการเชื่อมขางับโคลนล้อ	NORM(38.1, 0.486)	0.184	62	ติดตั้งหลอดไฟและสายไฟ	NORM(204, 2.8)	0.139
29	เชื่อมคอกท้าย	NORM(41, 0.425)	0.244	63	ติดตั้งบังโคลนล้อ	NORM(59.6, 1.15)	0.236
30	เชื่อมเก็บรายละเอียดเท้าข้าง	NORM(4.77, 0.517)	0.206	64	ติดตั้งล้อและล้อสำรอง	NORM(64.2, 2.6)	0.131
31	หาสีขอบพื้นเรียบ(บริเวณที่ต้องทำการเชื่อม)	NORM(17, 0.491)	0.219	65	ตรวจสอบระบบลม-बरก และระบบไฟฟ้า	NORM(74.4, 3.31)	0.142
32	ติดตั้งกับดักเครื่องมือ	NORM(37.2, 0.655)	0.162	66	ตั้งศูนย์ล้อ	NORM(49.1, 2.63)	0.125
33	เชื่อมพื้นเรียบ (auto)	NORM(143, 5.33)	0.136				
34	เชื่อมเก็บรายละเอียดส่วนล่าง	NORM(5.3, 0.139)	0.118	67	เคลื่อนย้ายรถไปจุดพักรอสำหรับรถคู่มาจับ	NORM(2.27, 0.161)	0.116

ตารางที่ 3 ค่าเวลาเฉลี่ยและการแจกแจงของงานย่อยในการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบก้างปลา

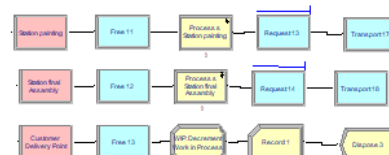
ลำดับ	งานย่อย	การแจกแจง	P-value	ลำดับ	งานย่อย	การแจกแจง	P-value
1	ขนย้ายชิ้นส่วนต่าง ๆ ไปที่หน่วยผลิตก้างปลา	NORM(7.73, 0.451)	0.188	31	เจียรไนโคลนให้เรียบ	NORM(8.13, 1.29)	0.168
2	วัดระยะที่ต้องนำตัวมาวาง	NORM(2.77, 0.447)	0.196	32	เชื่อมกันชนข้าง	TRIA(4, 4.24, 6.44)	0.238
3	ตัดชิ้นงานที่เกินขนาดออก	NORM(5.64, 0.427)	0.224	33	เจียรรอยเชื่อมและเชื่อมโครงรถส่วนหน้าใต้ท้องรถ	NORM(144, 5.52)	0.148
4	นำตัวไปวางในระนาบที่วัด	NORM(1.99, 0.752)	0.203	34	วัดระยะห่างคานทั้ง 3 อีกครั้ง (เชื่อมแข็งแรง)	NORM(7.37, 1.29)	0.182
5	ตรวจสอบความเที่ยงตรงของตำแหน่งตัว	NORM(8.32, 0.756)	0.146	35	เจียรรอยเชื่อมรอบคานต่างๆ เชื่อมเป็นประหว่งตัว	NORM(31.7, 2.03)	0.158
6	สวมท่อเชื่อมด้านและนำสามเหลี่ยมตัวไปโครงที่ติดตั้งเชื่อม	NORM(6.23, 0.801)	0.132	36	เชื่อมสามเหลี่ยมรับคาน	NORM(19.9, 2.39)	0.124
7	ย้ายโครงรถ (chassis) ไปวางบนจิก	NORM(8.46, 0.819)	0.209	37	เชื่อมตรงกลางของโครงรถเพื่อรองรับการใส่เพล	NORM(78.9, 2.04)	0.136
8	วัดระยะที่ต้องนำคานหน้า กลาง และท้ายมาสอด	NORM(14.2, 0.71)	0.149	38	ประกอบเพลและใส่เพล	NORM(38, 1.8)	0.167
9	เจาะโครงรถเป็นรูปตัว I ที่ตำแหน่งที่วัด บริเวณคาน	NORM(18.4, 0.801)	0.21	39	ตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมและความเที่ยงตรง	NORM(18.5, 2.19)	0.108
10	นำคานหน้าและท้ายมาสอดที่โครงรถ เชื่อมแข็งแรง	NORM(16.9, 1.38)	0.127	40	ขนย้ายไปสถานีถัดไป	NORM(3.48, 0.87)	0.146
11	นำสามเหลี่ยมรองด้านมาติดให้พอดีกับโครงรถ ทาสี	NORM(6.25, 0.678)	0.179	41	ขัดสนิมและสะเก็ดจากรอยเชื่อม	165 + GAMM(7.16, 1.09)	0.113
12	เชื่อมสามเหลี่ยมรองตัวกับคานหน้าและคานท้าย	NORM(14.3, 1.07)	0.201	42	ทำความสะอาดพื้นผิว	NORM(27.5, 3.98)	0.0767
13	เตรียมคานกลาง	NORM(3.28, 0.7)	0.164	43	พ่นสีพื้น	NORM(97, 4.19)	0.148
14	สอดคานกลางกับโครงรถ	NORM(5.52, 0.988)	0.24	44	โรยสีพื้นแห้ง	NORM(135, 7.25)	0.158
15	เชื่อมคานกลางกับโครงรถ	NORM(16.7, 1.75)	0.161	45	ตรวจสอบความเรียบร้อยของพื้นผิวและสีของพื้น	NORM(95.6, 2.98)	0.182
16	ย้ายโครงรถมาสถานีงานที่ 2 โดยใช้รถ	NORM(4.17, 0.697)	0.18	46	แปะกระดาษทับบริเวณที่ต้องการสีที่แตกต่าง	NORM(130, 2.82)	0.111
17	เชื่อมตัวแบบแข็งแรง	NORM(31.3, 2.73)	0.137	47	พ่นสีจริง	NORM(26.7, 4.74)	0.176
18	เชื่อมคานและสามเหลี่ยมค้ำคาน	NORM(30.3, 3.51)	0.147	48	โรยสีจริงแห้ง	NORM(453, 10.3)	0.143
19	พลิกโครงรถโดยใช้รถ	NORM(6.26, 0.88)	0.173	49	ย้ายรถไปสถานีถัดไป	NORM(6.95, 0.818)	0.149
20	เชื่อมโครงรถอีกครั้ง	NORM(80.4, 3.27)	0.128	50	ติดตั้งระบบลม-बरก	70 + GAMM(3.35, 1.55)	0.171
21	วัดระยะที่ต้องใช้ขางับโคลนและนำมาติดตั้งตำแหน่งที่วัด	NORM(12.8, 1.55)	0.14	51	เก็บรายละเอียดสี	NORM(28.5, 2.36)	0.187
22	เชื่อมขางับโคลนให้พอดีกับโครงรถ	NORM(42.8, 4.73)	0.167	52	ติดตั้งเกียร์และไฟสะท้อนแสง	NORM(44.2, 3.16)	0.145
23	ย้ายโครงรถที่เชื่อมคาน ขางับโคลนไปอีกสถานีงาน	NORM(4.28, 0.948)	0.151	53	ตรวจสอบคุณภาพ	NORM(40, 3.41)	0.145
24	เชื่อมโครงและเก็บรอยเชื่อมด้านหน้า	NORM(27.8, 4.7)	0.117	54	ติดตั้งหลอดไฟและสายไฟ	NORM(205, 3.16)	0.113
25	เชื่อมคานกลาง	TRIA(13, 14.7, 17.4)	0.21	55	ติดตั้งบังโคลนล้อ	NORM(57, 3.58)	0.118
26	เชื่อมตัว สามเหลี่ยมค้ำ และแป้นเท้า ให้แข็งแรงรอบตัว	TRIA(40, 51.8, 56)	0.192	56	ติดตั้งล้อและล้อสำรอง	NORM(67.5, 4.41)	0.163
27	เจียรไน เก็บรอยเชื่อมให้เรียบ	NORM(50.7, 2.74)	0.137	57	ตรวจสอบระบบลม-बरก และระบบไฟฟ้า	NORM(75, 2.38)	0.097
28	เชื่อมคานท้าย เชื่อมใส่ไฟท้าย เชื่อมกันชนท้าย	NORM(22.6, 1.75)	0.111	58	ตั้งศูนย์ล้อ	NORM(50.3, 3.03)	0.0978
29	ตรวจสอบรอยเชื่อมและรายละเอียดชิ้นแต่ละส่วน	NORM(28.8, 2.12)	0.142				
30	ย้ายโครงรถไปสถานีงานต่อไป	1 + GAMM(0.737, 1.59)	0.185	59	เคลื่อนย้ายรถไปจุดพักรอสำหรับรถคู่มาจับ	NORM(4.43, 0.993)	0.146



ภาพที่ 4 แบบจำลองย่อยสำหรับการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบพื้นเรียบ



ภาพที่ 5 แบบจำลองย่อยสำหรับการผลิตรถกึ่งพ่วงแบบก้างปลา



ภาพที่ 6 แบบจำลองย่อยสำหรับแผนกพ่นสีและแผนกประกอบสุดท้าย

One-Sample T: Total FB							
Test of mu = 3360 vs not = 3360							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
Total FB	10	3365.5	113.1	35.8	(3284.6, 3446.4)	0.15	0.881
One-Sample T: Total CC							
Test of mu = 2880 vs not = 2880							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
Total CC	10	2785.4	161.9	51.2	(2669.6, 2901.2)	-1.85	0.098

ภาพที่ 7 การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของเวลาในระบบของแบบจำลองสถานการณ์กับระบบจริง

ตารางที่ 4 จำนวนทรัพยากรแต่ละสายการผลิตของแต่ละแนวทางปรับปรุง

ทรัพยากร (หน่วย)	จำนวนทรัพยากร				
	แนวทางที่ 1		แนวทางที่ 2		รวมสายการผลิต รถกึ่งพ่วง ทั้งสองแบบ
	สายการผลิต รถกึ่งพ่วง พื้นเรียบ	สายการผลิต รถกึ่งพ่วง ก้างปลา	สายการผลิต รถกึ่งพ่วง พื้นเรียบ	สายการผลิต รถกึ่งพ่วง ก้างปลา	
พนักงานเชื่อม (คน)	14	14	14	14	28
พนักงานขับรถโฟล์คลิฟต์ (คน)		2		2	2
พนักงานสถานีประกอบสุดท้าย (คน)		7		7	7
พนักงานตรวจสอบคุณภาพ (คน)		3		3	3
พนักงานสถานีพ่นสี (คน)		18		18	18
เครื่องเชื่อม (เครื่อง)	12	12	12	12	24
สกรูไดรเวอร์ (เครื่อง)	3	3	3	3	6
เครื่องตัดเหล็ก (เครื่อง)	10	10	10	10	20
เครื่องเจาะ (เครื่อง)	0	10	0	10	10
เครื่องเจียรไน (เครื่อง)	12	12	12	12	24
จิกสำหรับวางโครงงานเชื่อมคาน (อัน)	2	2	3	3	4
ค้อนปอนด์ (ค้อน)	2	2	2	2	4
ดัดบีมคร (อัน)	5	5	5	5	10
เครน (ตัว)	1	1	1	1	2
ซ็อกเขียนกระดาน (ค้อน)	60	60	60	60	120
เครื่องบีบลม (เครื่อง)		6		6	6
บล็อกลม (เครื่อง)		3		3	3
รถขนย้ายรถกึ่งพ่วงไปจุดรับรถ (คัน)		1		1	1
เครื่องเชื่อมอัตโนมัติ (เครื่อง)	1	0	1	0	1
จิกเคลื่อนที่ (อัน)	1	2	2	2	4
จิกหมุน (อัน)	1	0	3	0	4
ห้องพ่นสี (ห้อง)		6		6	6
ห้องประกอบสุดท้าย (ห้อง)		6		6	6



ตารางที่ 5 ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์การผลิตกิ่งฟุ้งแบบพื้นเรียบ

ตัวชี้วัด	ระบบเดิม		แนวทางที่ 1		แนวทางที่ 2		แนวทางที่ 3	
	ค่าเฉลี่ย	ครึ่งช่วง ความเชื่อมั่น	ค่าเฉลี่ย	ครึ่งช่วง ความเชื่อมั่น	ค่าเฉลี่ย	ครึ่งช่วง ความเชื่อมั่น	ค่าเฉลี่ย	ครึ่งช่วง ความเชื่อมั่น
เวลาในระบบ (นาที)	3,365.51	80.92	3,078.64	55.33	3,001.36	36.91	3,050.5	46.47
จำนวนรถที่ผลิตได้ (คัน)	19.80	1.61	24.10	4.28	21.10	2.93	24.50	2.32

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์การผลิตกิ่งฟุ้งแบบก้างปลา

ตัวชี้วัด	ระบบเดิม		แนวทางที่ 1		แนวทางที่ 2		แนวทางที่ 3	
	ค่าเฉลี่ย	ครึ่งช่วง ความเชื่อมั่น	ค่าเฉลี่ย	ครึ่งช่วง ความเชื่อมั่น	ค่าเฉลี่ย	ครึ่งช่วง ความเชื่อมั่น	ค่าเฉลี่ย	ครึ่งช่วง ความเชื่อมั่น
เวลาในระบบ (นาที)	2,785.37	115.80	2,577.58	31.11	2,572.68	32.14	2537.24	23.88
จำนวนรถที่ผลิตได้ (คัน)	21.90	2.58	22.80	1.96	22.60	1.82	24.10	3.32