

การวิเคราะห์ต้นทุนรายปีของการปรับปรุงกระบวนการขนส่งชิ้นส่วนหรือการผลิต ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

Annual Cost Analysis for Work in Process Transferring Improvement in an Automotive Parts Factory

ไวภูณัฐ โอหมพรมณูวัฒน์ นระเกณต์ พุ่มชูศรี*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน จ.กรุงเทพมหานคร 10330

Waigoon Ohmpornnuwat Naragain Phumchusri*

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Patumwan, Bangkok 10330

Tel : 0-2218-6814 E-mail: naragain.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอแบบจำลองในการวิเคราะห์ต้นทุนรายปีของการปรับปรุงกระบวนการขนส่งชิ้นส่วนในสายการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในโรงงานกรณีศึกษาซึ่งประสบปัญหาการขนส่งชิ้นส่วนล่าช้าในปัจจุบัน โดยสร้างแนวทาง 3 แนวทางในการปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานปัจจุบัน ได้แก่ การขนส่งชิ้นส่วนด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบ การขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติ และการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งร่วมกับระบบซีเฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยงานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองเพื่อหาจำนวนทรัพยากรน้อยที่สุดที่ยังสามารถทำให้การขนส่งชิ้นส่วนให้มีประสิทธิภาพสำหรับแต่ละทางเลือก เพื่อคำนวณหาต้นทุนเฉลี่ยรายปีและผลประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุง เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการปรับปรุงการขนส่ง จากผลของงานวิจัยนี้พบว่า การขนส่งแนวทางพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติร่วมกับระบบซีเฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นแนวทางที่คุ้มค่ากว่าแนวทางการปรับปรุงอื่น โดยมีต้นทุนเฉลี่ยรวมรายปีเท่ากับ 560,510.46 บาทต่อปี โดยสามารถลดปัญหาระยะเวลาการสูญเสียภายในการขนส่งด้วยพนักงานได้ทั้งหมดและสามารถลดต้นทุนการทำงานได้เท่ากับ 87,489.54 บาทต่อปี

คำหลัก การวิเคราะห์ต้นทุนรายปี การสร้างแบบจำลอง การปรับปรุงกระบวนการขนส่ง

Abstract

The objective of this research is to propose annual cost analysis models for work in process transferring improvement in a case-study automotive parts factory, currently having work in process transferring delays. This paper considers three alternative methods to improve the current process: personnel carriers system, automatic guide vehicle and automatic guide vehicle with radio-frequency identification. We present simulation models to identify the minimum number of resources that can deliver efficient work in process transferring for each alternative option. Then we propose methods to find annual cost and benefit for improving option to calculate and compare in the most valuable option. We found that transferring by automatic guide vehicle with radio-frequency identification is the most valuable option, compared to others, with the total annual cost is 560,510.46 Bath. This option can reduce all delay transferring time by human and provide 87,489.54 Baht annual saving to the case-study factory.

Keywords: Annual cost analysis, simulation, transferring improvement

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตอะไหล่ชิ้นส่วนยานยนต์ตามคำสั่งซื้อจากทางลูกค้า ในกระบวนการผลิตการจัดส่งชิ้นส่วนเข้าสู่การผลิตเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความจำเป็นสำหรับการผลิต เพื่อให้การผลิตไม่เกิดความล่าช้าต่อคำสั่งซื้อจากลูกค้า ซึ่งกระทบความเชื่อมั่น อีกทั้งความต้องการในการลดต้นทุนของทางโรงงานในระยะยาว ดังนั้นจึงเกิดการสร้างแนวทางการปรับปรุงการขนส่ง และเนื่องจากแนวทางการปรับปรุงเกิดขึ้นหลายแนวทาง จึงมีการคัดเลือกแนวทางการขนส่ง ซึ่งจะพิจารณาจากต้นทุน งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงวิธีขนส่งชิ้นส่วนเข้าสู่กระบวนการผลิตและวิเคราะห์ความต้นทุนรายปีของแต่ละแนวทางการปรับปรุง เพื่อเลือกวิธีที่มีความคุ้มค่าที่สุด

การทำงานในปัจจุบันจะใช้พนักงานจำนวน 4 คนในการขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิตเข้าสู่กระบวนการผลิต แสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยตัวอย่างชิ้นส่วนรอการผลิตแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 การขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิตในปัจจุบัน

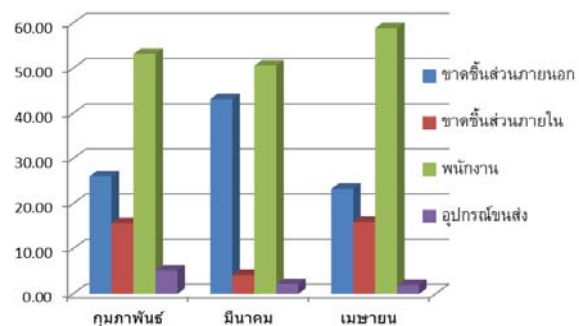


รูปที่ 2 ตัวอย่างชิ้นส่วนรอการผลิต

จากการทำงานในปัจจุบันพบปัญหาและระยะเวลาที่สูญเสียในการขนส่งชิ้นส่วนเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนปี 2555 ได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งแบ่งระยะเวลาสูญเสียที่เกิดจากพนักงานได้เท่ากับ 673 นาที 709 นาที และ 759 นาที ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบระยะเวลาสูญเสียรวมได้ 53.16% 50.57% และ 58.82% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับระยะเวลาสูญเสียประเภทอื่นแสดงได้ดังรูปที่ 3 พบว่าความสูญเสียที่เกิดจากการทำงานของพนักงานมีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุด

ตารางที่ 1 ปัญหาจากการทำงานและระยะเวลาที่สูญเสียภายในการขนส่งชิ้นส่วนเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนปี 2555

ปัญหา	ระยะเวลาสูญเสีย		
	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
1. ขาดชิ้นส่วนภายนอกโรงงาน	330 นาที	605 นาที	300 นาที
2. ขาดชิ้นส่วนภายในโรงงาน	198 นาที	58 นาที	205 นาที
3. พนักงานไม่เพียงพอ	149 นาที	163 นาที	237 นาที
4. พนักงานขนส่งผิดตำแหน่ง	446 นาที	472 นาที	452 นาที
5. พนักงานไม่ทราบตำแหน่งขนส่ง	38 นาที	39 นาที	30 นาที
6. จำนวนชิ้นส่วนไม่ครบถ้วน	40 นาที	35 นาที	40 นาที
7. อุปกรณ์ขนส่งชำรุด	65 นาที	30 นาที	25 นาที
รวมระยะเวลาสูญเสีย	1266 นาที	1402 นาที	1289 นาที



รูปที่ 3 แผนภูมิเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียแต่ละสาเหตุ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทำงานในสภาพปัจจุบัน การขนส่งชิ้นส่วนจากคลังจัดเก็บเข้าสู่กระบวนการผลิตใช้พนักงานในการขนส่ง [1] การศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลของกระบวนการทำงานขนส่งชิ้นส่วนโดยการใช้พาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติ ทำให้เกิดแนวคิดในการปรับเปลี่ยนลักษณะการทำงานจากเดิมที่ขนส่งชิ้นส่วนด้วยพนักงานมาเป็นระบบเครื่องจักรกลอัตโนมัติ พร้อมวิเคราะห์วิธีการขนส่งชิ้นส่วนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยเครื่องจักรกลอัตโนมัติสามารถใช้งานแบบอัตโนมัติด้วยการใช้พาหนะขนส่ง

ชิ้นส่วนอัตโนมัติแทนที่การทำงานด้วยพนักงาน เกิดแนวทางการปรับปรุงลักษณะวิธีการทำงานในปัจจุบัน

การสร้างแนวทางการปรับปรุง [2] เสนอกลยุทธ์และวิธีการออกแบบเส้นทาง สำหรับระบบการวิ่งของพาหนะขนส่งสินค้าอัตโนมัติเพื่อส่งสินค้ายังจุดเป้าหมาย [3] และสร้างเส้นทางวิ่งของพาหนะขนส่งสินค้าอัตโนมัติด้วยการกำหนดเส้นทางวิ่งที่หลากหลาย เป็นการสร้างแนวทางในการสร้างเส้นทางวิ่งของพาหนะขนส่งสินค้าอัตโนมัติที่เป็นลักษณะมากกว่า 1 วงรูปการวิ่ง

การออกแบบแนวคิดการควบคุมพาหนะขนส่งอัตโนมัติเพื่อขนส่งสินค้ามากกว่า 1 วงรูปการวิ่ง [4-5] การใช้ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID) ร่วมกับพาหนะขนส่งสินค้าอัตโนมัติ ใช้ในการกำหนดเส้นทางและวงรูปการวิ่งด้วยวิธีการเคลื่อนที่ผ่านจุดที่ต้องการให้รับรู้เพื่อการเปลี่ยนแปลงสถานะการสั่งการเพื่อแบ่งจุดจอดที่ต้องการในกรณีหลากหลายจุดจอดจากการขนส่งสินค้าหลายจุด

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ [6] มาใช้เพื่อช่วยวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมในจำนวนรอบการขนส่งอ้อยจากไร่เข้าสู่โรงงานน้ำตาล เกิดการใช้แบบจำลองสถานการณ์ค่าที่เหมาะสมของแนวทาง [7] การสร้างแบบจำลองขึ้นมาโดยใช้โปรแกรมอาร์นา (Arena) เป็นโปรแกรมของคอมพิวเตอร์ที่ช่วยเหลือในการสร้างแบบจำลองขึ้นมาและสามารถคำนวณค่าของทรัพยากรที่เหมาะสมสำหรับแต่ละแนวทางในการปรับปรุงได้ โดยแบบจำลองต้องทราบถึงค่าการกระจายตัวของข้อมูลและค่าทางสถิติ [8] กล่าวถึงวิธีการกระจายตัวของข้อมูลที่สถิติในรูปแบบต่างๆ และการตรวจสอบค่าของวิธีการกระจายของข้อมูลเมื่อได้ค่าของการกระจายของข้อมูลจากการทดสอบจึงทำการออกแบบจำลองขึ้น [9] โดยสร้างแบบจำลองขึ้นมาในแนวทางของเส้นทางวิ่งมีวงรูปมากกว่า 1 วงรูป เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของแนวทางการปรับปรุง

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย [10-11] ต้องทราบถึงโครงสร้างองค์ประกอบของต้นทุนการว่าจ้างพนักงาน และโครงสร้างต้นทุนของค่าใช้จ่ายส่วนต่างๆของพาหนะขนส่งอัตโนมัติและการประมาณค่าใช้จ่ายโปรแกรมกับระบบควบคุมพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติ [12] เมื่อรวบรวมโครงสร้างของต้นทุนในแต่ละแนวทาง จึงเปรียบเทียบโดยลักษณะของแนวทางการปรับปรุงเป็นแบบโครงการกีดกัน (mutuality exclusive project)

เนื่องจากการปรับปรุงในแต่ละแนวทางไม่สามารถที่จะกระทำร่วมกันได้ เพื่อเปรียบเทียบให้ได้ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมระยะยาวที่น้อยที่สุด

การเปรียบเทียบแนวทางในการปรับปรุง [13] การใช้อัตราส่วนระหว่างผลประโยชน์ต่อต้นทุน ในการใช้ประเมินความคุ้มค่าของโครงการในการสร้างหลังคาฉนวนกันความร้อน เพื่อเทียบกับความเหมาะสมในการลงทุน ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเปรียบเทียบโครงการในแต่ละแนวทาง เพื่อเทียบกับลักษณะการทำงานในปัจจุบัน ว่ามีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมและได้รับประโยชน์จากการปรับปรุงอย่างไร เพื่อคัดเลือกแนวทางในการทำงานที่จะก่อให้เกิดความคุ้มค่าสำหรับการลงทุน การปรับปรุงกระบวนการมากที่สุด

ผลจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบถึงแนวทางในการขนส่งรูปแบบต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงวิธีการขนส่งและวิเคราะห์ต้นทุน เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายระยะยาวที่ต่ำที่สุดเพื่อการลดต้นทุนของโรงงาน

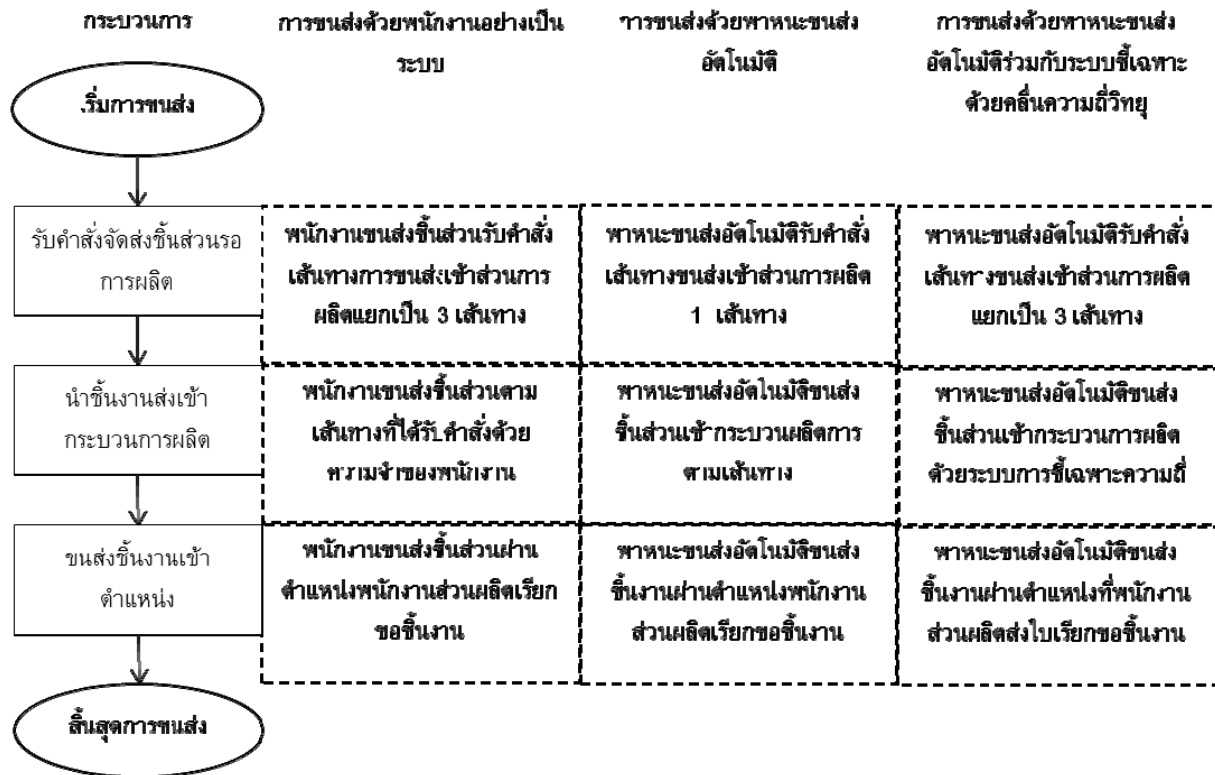
3. ขั้นตอนการทำวิจัย

3.1. สร้างแนวทางแก้ปัญหา

เนื่องจากปัญหาที่พบเกิดในกระบวนการขนส่งงานวิจัยจะศึกษาการขนส่งระหว่างคลังจัดเก็บถึงส่วนผลิต กำหนดเส้นทางขนส่งเป็นลักษณะแบบเส้นทางวิ่งทางเดียวในทุกแนวทางการปรับปรุง สามารถแบ่งแนวทางการขนส่งได้ทั้งสิ้น 3 แนวทาง คือ การขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบ การขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ และขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยเลือกแนวทางที่คุ้มค่าและเหมาะสมที่สุด ด้วยการวิเคราะห์จำนวนทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละแนวทาง เพื่อให้ทันภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ และเนื่องจากข้อจำกัดของการบรรทุกน้ำหนัก จึงกำหนดขอบเขตชิ้นส่วนบรรจุประเภทกล่องและขนส่งใน 1 รอบการบรรทุกได้ไม่เกิน 6 กล่อง โดยการทำงานปัจจุบันมีจำนวนกล่องเพื่อขนส่งผลิตเท่ากับ 1,488 กล่อง ซึ่งจะใช้จำนวนการขนส่งทั้งหมด 248 รอบการขนส่ง การพิจารณาแนวทางใช้การวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างผลประโยชน์ต่อต้นทุนและต้นทุนใช้แบบค่าเฉลี่ยรายปี โดยกำหนดอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนที่ 15 เปอร์เซ็นต์ คงที่ จากนโยบายของทางโรงงาน

ในกรณีศึกษาที่กำหนดค่าอัตราต้นทุนต่อสินทรัพย์ของการลงทุน (Return on Capital Employed ,ROCE) ไว้ที่ร้อยละ 15 เพื่อวิเคราะห์แนวทางการขนส่งที่คุ้มค่าสูงสุด

สามารถแสดงถึงข้อแตกต่างของลักษณะการทำงานแนวทางการปรับปรุงทั้ง 3 แนวทางได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะการขนส่งของแนวทางการปรับปรุงการขนส่ง 3 แนวทาง

3.2. สร้างแบบจำลองการขนส่ง

ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมอารีนา ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับสร้างแบบจำลองในการทำงานของระบบต่างๆ ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะใช้หาจำนวนทรัพยากรที่น้อยที่สุดที่ต้องการในแต่ละแนวทางการปรับปรุง ภายใต้หลักเกณฑ์ดังนี้

- ขนส่งชิ้นส่วนครบจำนวนเรียกขอจากส่วนผลิต
- จำนวนกล่องรอการขนส่งในกระบวนการขนส่งไม่เกิน 150 กล่องชิ้นส่วนต่อวัน จากข้อจำกัดพื้นที่การวางกล่องชิ้นส่วนรอการผลิตภายในคลังจัดเก็บ

สามารถอธิบายเส้นทางการขนส่งแต่ละแนวทางได้ดังต่อไปนี้

1) แนวทางการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่แบบ 3 เส้นทาง ใช้สำหรับแนวทางการขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบและแนวทางขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ แผนผังเส้นทางการขนส่งแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังเส้นทางแนวทางการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่แบบ 3 เส้นทาง

จากรูปที่ 5 เส้นทางเคลื่อนที่ที่จะถูกแบ่งออกเป็น 3 เส้นทาง ตามสีที่กำหนด โดยในแต่ละเส้นทางจะมีระยะทางและเวลาที่ใช้ในการขนส่งที่แตกต่างกัน โดยครอบคลุมในทุกจุดการขนส่งในส่วนการผลิต

2) แนวทางการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่แบบ 1 เส้นทาง ใช้สำหรับแนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ แผนผังเส้นทางการขนส่งแสดงได้ดังรูปที่ 6



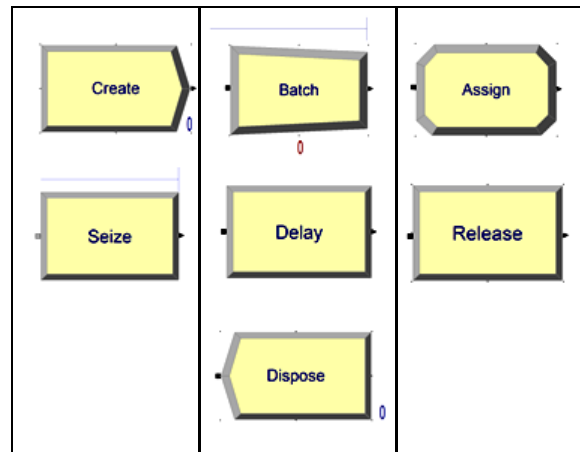
รูปที่ 6 แผนผังเส้นทางการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่แบบ 1 เส้นทาง

จากรูปที่ 6 เส้นทางการเคลื่อนที่จะมีเพียง 1 เส้นทางรอบส่วนการผลิต เพื่อให้ครอบคลุมในทุกจุดการขนส่งในส่วนการผลิต

สำหรับการสร้างตัวแบบจำลองใช้โมดูลทั้งหมด 7 ประเภท ได้แก่

- โมดูลสร้าง (create module) ใช้สร้างตัวแทนหน่วยเรียกขอชิ้นส่วนการผลิต
- โมดูลรวมตัว (batch module) ใช้รวมกล่องชิ้นส่วนสำหรับจัดส่งให้มีจำนวนทั้งสิ้น 6 กล่องชิ้นส่วน
- โมดูลกำหนดค่า (assign module) ใช้กำหนดค่าเฉพาะตัวของกล่องชิ้นส่วน
- โมดูลใช้งานทรัพยากร (seize module) ใช้สำหรับเรียกขอทรัพยากร เพื่อขนส่งชิ้นส่วนเข้ากระบวนการผลิต
- โมดูลการหน่วงเวลา (delay module) ใช้เป็นระยะเวลาการทำงานของทรัพยากรสำหรับการขนส่งชิ้นส่วนเข้ากระบวนการผลิต
- โมดูลเลิกใช้ทรัพยากร (release module) ใช้ยกเลิกการใช้งานทรัพยากร เมื่อทรัพยากรทำงานในแบบจำลองอย่างสมบูรณ์ คือการขนส่งชิ้นส่วนเสร็จสิ้น
- โมดูลสิ้นสุด (dispose module) ใช้สำหรับการสิ้นสุดการขนส่งของกล่องขนส่ง โดยจัดเก็บข้อมูลและนำกล่องที่สร้างจากโมดูลสร้างออกจากระบบการจำลอง

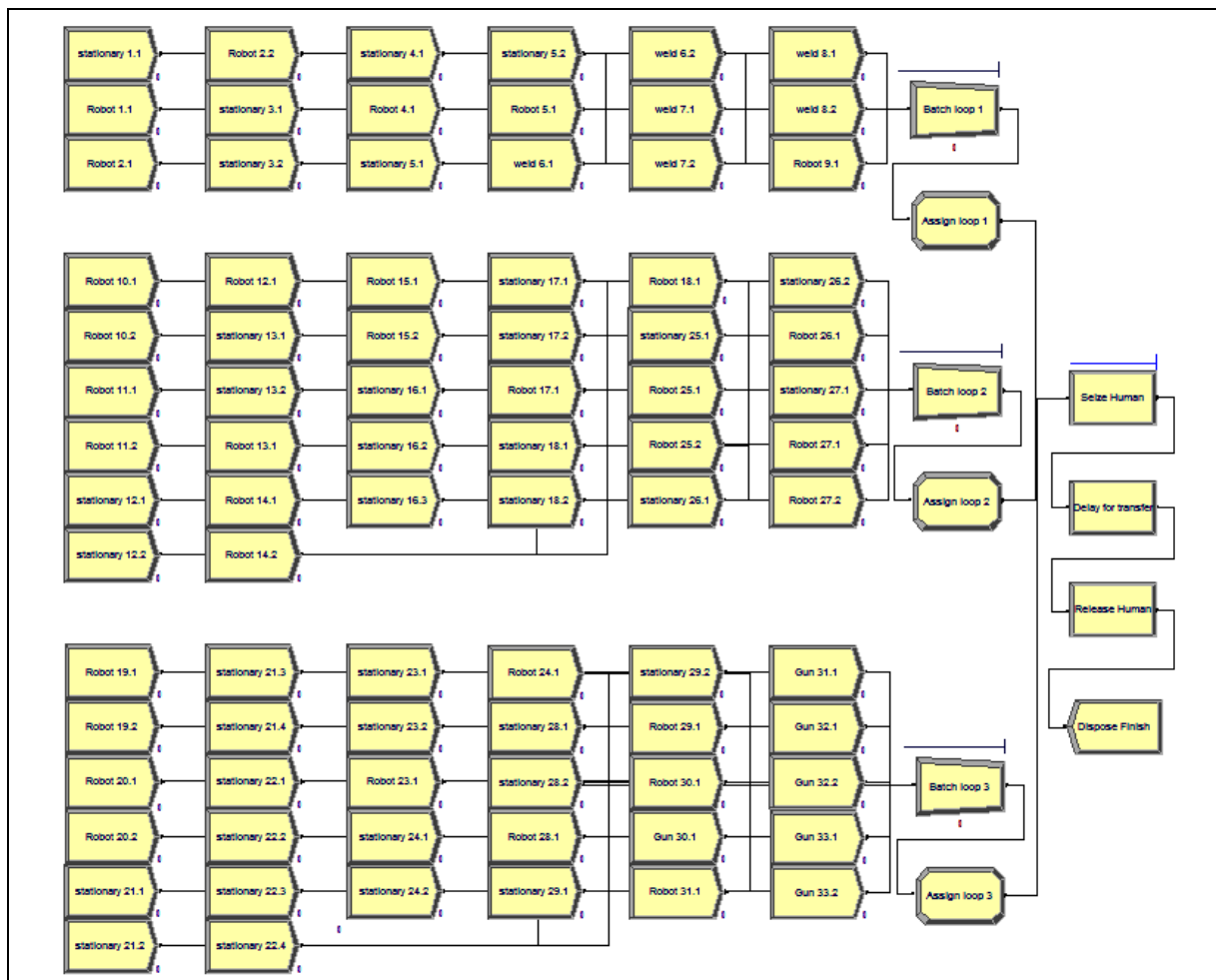
ลักษณะโมดูลประเภทต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ลักษณะโมดูลประเภทต่างๆ

วิธีการสร้างตัวแบบจำลองแต่ละแนวทางการขนส่งแสดงได้ดังนี้

1) แนวทางการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่แบบ 3 เส้นทาง ลำดับการสร้างตัวแบบจำลอง จะใช้โมดูลสร้าง 82 โมดูลเท่ากับจำนวนจุดเรียกในส่วนผลิต ซึ่งแบ่งได้ทั้งหมด 3 กลุ่มตามเส้นทางการขนส่ง ในแต่ละกลุ่มเชื่อมต่อโมดูลรวมตัว รวมเท่ากับ 3 โมดูล และกำหนดค่าโมดูลรวมตัวให้จำนวน 6 กล่องชิ้นส่วนมีค่าเท่ากับ 1 กลุ่มชิ้นส่วน จากนั้นเชื่อมต่อกับโมดูลกำหนดค่าเพื่อรับค่ามากำหนดค่าเฉพาะของกลุ่ม ได้แก่ ระยะเวลาการขนส่งแต่ละวงการเคลื่อนที่ เมื่อกำหนดค่าของกลุ่มเรียบร้อยแล้วจะเชื่อมต่อกับโมดูลใช้งานทรัพยากรสำหรับเรียกขอทรัพยากร โดยกำหนดไว้ที่ 1 หน่วยทรัพยากรต่อ 1 กลุ่มและต่อกับโมดูลการทำงานของทรัพยากรเพื่อประมวลผลระยะเวลาขนส่งชิ้นส่วน เมื่อทรัพยากรทำงานจนครบระยะเวลา โมดูลปลดปล่อยทรัพยากรจะปลดปล่อยสถานะของทรัพยากรให้สามารถรับงานได้ต่อไปได้และสิ้นสุดการทำงานโดยนำกล่องชิ้นงานออกนอกระบบด้วยโมดูลสิ้นสุด ตัวแบบจำลองการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 8 โดยในการเคลื่อนที่แบบ 3 เส้นทางจะใช้กับแนวทางการขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบและแนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติรวมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งมีข้อแตกต่างระหว่าง 2 แนวทางการปรับปรุงนี้ได้แก่ ค่าของข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งชิ้นส่วนในแต่ละเส้นทางการเคลื่อนที่ โดยมีระยะเวลาที่ใช้แตกต่างกันในแต่ละแนวทางการปรับปรุง



รูปที่ 8 ตัวแบบจำลองแนวทางการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่แบบ 3 เส้นทาง

2) แนวทางการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่แบบ 1 เส้นทาง ลำดับการสร้างตัวแบบจำลองจะใช้โมดูลสร้าง 82 โมดูลเท่ากับจำนวนจุดเรียกในส่วนผลิต โดยทั้ง 82 สร้างจะเชื่อมต่อโมดูลรวมตัวและกำหนดค่าโมดูลรวมตัวให้จำนวน 6 กล้องขึ้นส่วนมีค่าเท่ากับ 1 กลุ่มขึ้นส่วน จากนั้นเชื่อมต่อกับโมดูลกำหนดค่าเพื่อกำหนดค่าเฉพาะของกลุ่ม ได้แก่ ระยะเวลาการขนส่งในวงจรเคลื่อนที่เมื่อกำหนดค่าของกลุ่มเรียบร้อยแล้วจะเชื่อมต่อกับโมดูลใช้งานทรัพยากรสำหรับเรียกขอทรัพยากร โดยกำหนดไว้ที่ 1 หน่วยทรัพยากรต่อ 1 กลุ่มและต่อกับโมดูลการทำงานของทรัพยากรเพื่อประมวลผลระยะเวลาขนส่งขึ้นส่วนเมื่อทรัพยากรทำงานจนครบระยะเวลา โมดูลปลดปล่อยทรัพยากรจะปลดปล่อยสถานะของทรัพยากรให้สามารถรับงานได้ต่อไปได้และสิ้นสุดการทำงานโดยนำกล้องขึ้นงานออกนอกกระบวนด้วยโมดูลสิ้นสุดตัวแบบจำลองการปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 9 โดยในการเคลื่อนที่แบบ 1 เส้นทางจะใช้เฉพาะกับแนวทางการปรับปรุงแบบการ

ขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ

ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองประกอบด้วยระยะเวลาเรียกขึ้นงานจากส่วนการผลิตและระยะเวลาจัดส่งขึ้นส่วนแต่ละแนวทาง ซึ่งจะวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของแต่ละข้อมูลเพื่อใช้ในการประมวลผลต่อไป

3.3. การเปรียบเทียบต้นทุน

การเปรียบเทียบต้นทุนขององค์กรที่ลดลงกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพื่อการปรับปรุงแต่ละแนวทางเป็นการคำนวณถึงการค่าใช้จ่ายระยะยาวที่น้อยที่สุด ซึ่งเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์การลงทุนในระยะยาว ได้แก่ การคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน แต่เนื่องจากผลประโยชน์ของแนวทางการปรับปรุงมีค่าเท่ากัน ซึ่งไม่มีผลความแตกต่างที่จำเป็นสำหรับการนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ ดังนั้นจึงใช้การเปรียบเทียบเฉพาะต้นทุนค่าใช้จ่ายระหว่างแต่ละแนวทางการปรับปรุง พร้อมเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าใช้จ่ายที่

ลดได้จากการทำงานในปัจจุบัน ซึ่งการวิเคราะห์จะ
พิจารณาค่าของต้นทุนของการผลิตของแต่ละแนว

ทางการปรับปรุงพารามิเตอร์ของแต่ละแนวทางการ
ปรับปรุงแสดงได้ดังตารางที่ 2



รูปที่ 9 ตัวแบบจำลองแนวทางการขนส่งด้วยการเคลื่อนที่แบบ 1 เส้นทาง

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของต้นทุนของแต่ละแนวทางการปรับปรุง

พนักงาน	รถขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติ แบบทั่วไป	รถขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติ ร่วมกับระบบชี้เฉพาะ ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ
ค่าจ้างพนักงาน	ค่าใช้จ่ายโครงสร้างรถขนส่ง ชิ้นส่วนอัตโนมัติ	ค่าใช้จ่ายโครงสร้างรถขนส่ง ชิ้นส่วนอัตโนมัติ
ค่ารักษาพยาบาล	ค่าโปรแกรมควบคุมรถขนส่ง ชิ้นส่วนอัตโนมัติ	ค่าโปรแกรมควบคุมรถขนส่ง ชิ้นส่วนอัตโนมัติ
เบี้ยขยันพนักงาน	ค่าบำรุงรักษาโครงสร้าง	ค่าใช้จ่ายสำหรับระบบ ควบคุมตำแหน่ง
ค่าชุดยูนิฟอร์ม	ค่าบำรุงรักษาโปรแกรม	ค่าบำรุงรักษาโครงสร้าง
ค่ารถรับส่งพนักงาน	ค่าแบตเตอรี่ไฟฟ้า	ค่าบำรุงรักษาโปรแกรม
ค่าอาหาร		ค่าแบตเตอรี่ไฟฟ้า

ฟังก์ชันต้นทุนสร้างได้ตามแนวทางการทำงานดังนี้

1) แนวทางการขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็น
ระบบกำหนดตัวแปรของพารามิเตอร์ ดังนี้

X_1 = ค่าจ้างพนักงาน

X_2 = ค่ารักษาพยาบาล

X_3 = เบี้ยขยัน

X_4 = ค่าเครื่องแบบพนักงาน

X_5 = ค่ารถรับส่ง

X_6 = ค่าอาหาร

โดย X_1 ถึง X_6 เป็นค่าจ้างและค่าใช้จ่ายรายปีต่อ
พนักงานแต่ละคน สร้างเป็นฟังก์ชันต้นทุนการผลิต
ได้ดังสมการต่อไปนี้

กำหนด C_a = ต้นทุนการผลิตในปีที่ a โดย a
เท่ากับ 0 ถึง 10

Rms = จำนวนทรัพยากรพนักงานที่ใช้
ดังนั้น

$$C_a = Rms \sum_{i=1}^6 X_i \quad (1)$$

2) แนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ
กำหนดตัวแปรของพารามิเตอร์ดังนี้

Y_1 = ค่าโครงสร้างรถอัตโนมัติ

Y_2 = ค่าโปรแกรมควบคุมรถอัตโนมัติ

Y_3 = ค่าบำรุงรักษาโครงสร้าง

Y_4 = ค่าบำรุงรักษาโปรแกรม

Y_5 = ค่าแบตเตอรี่ไฟฟ้า

กำหนด C_b = ต้นทุนการผลิตในปีที่ b โดย b
เท่ากับ 0 ถึง 10

Ras = จำนวนทรัพยากรพาหนะขนส่ง
ชั้นส่วนที่ใช้

ดังนั้น

$$C_b = Ras \sum_{i=1}^2 Y_n; b = 0$$

$$C_b = Ras \sum_{i=3}^5 Y_n; b = 2, 4, 6, 8$$

$$C_b = Ras \sum_{i=3}^4 Y_n; b = 1, 3, 5, 7, 9, 10 \quad (2)$$

ลักษณะของโครงสร้างพาหนะขนส่งอัตโนมัติ
แสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 พาหนะขนส่งอัตโนมัติ

3) แนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ
ร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ กำหนด
ตัวแปรของพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

Z_1 = ค่าโครงสร้างรถอัตโนมัติ

Z_2 = ค่าโปรแกรมควบคุมรถอัตโนมัติ

Z_3 = ค่าระบบควบคุมตำแหน่ง

Z_4 = ค่าบำรุงรักษาโครงสร้าง

Z_5 = ค่าบำรุงรักษาโปรแกรม

Z_6 = ค่าแบตเตอรี่ไฟฟ้า

กำหนด C_c = ต้นทุนการผลิตในปีที่ c โดย c
เท่ากับ 0 ถึง 10

Rar = จำนวนทรัพยากรพาหนะขนส่ง
ชั้นส่วนที่ใช้

ดังนั้น

$$C_c = Ras \sum_{i=1}^3 Y_n; c = 0$$

$$C_c = Ras \sum_{i=4}^6 Y_n; c = 2, 4, 6, 8$$

$$C_c = Ras \sum_{i=4}^5 Y_n; c = 1, 2, 5, 7, 9, 10 \quad (3)$$

อุปกรณ์ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุแสดงได้
ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 อุปกรณ์ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

จากฟังก์ชันต้นทุนหาต้นทุนต่อหน่วยทรัพยากรได้ดังนี้
แนวทางที่ 1 พนักงานขนส่งอย่างเป็นระบบมีต้นทุนการ
ผลิตต่อหน่วยทุกปีเท่ากับ 162,900 บาท ตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง
10 โดยได้ข้อมูลมาจากค่าจ้างพนักงานและค่าสวัสดิการ
ภายในโรงงาน

แนวทางที่ 2 พาหนะขนส่งอัตโนมัติมีต้นทุนการผลิตต่อ
หน่วยเริ่มต้นเท่ากับ 507,800 บาท ต้นทุนปีที่ 2, 4, 6, 8
เท่ากับ 54,200 บาท ต้นทุนปีอื่นๆ เท่ากับ 36,200 บาท
โดยได้ข้อมูลจากใบเสนอราคา

แนวทางที่ 3 พาหนะขนส่งอัตโนมัติมีต้นทุนการผลิตต่อ
หน่วยเริ่มต้นเท่ากับ 655,500 บาท ต้นทุนปีที่ 2, 4, 6, 8
เท่ากับ 66,700 บาท โดยได้ข้อมูลจากใบเสนอราคา

สามารถแสดงตารางกระแสเงินสดได้ดังตารางที่ 3

เมื่อคำนวณต้นทุนต่อหน่วยแล้ว จะนำไปคำนวณ
กับจำนวนทรัพยากรที่ได้ในโปรแกรมแบบจำลอง เพื่อให้
ได้ต้นทุนการผลิตในแต่ละปีการผลิต สำหรับเปรียบเทียบ
แนวทางการปรับปรุงที่มีความคุ้มค่าสูงสุด

ตารางที่ 3 ตารางกระแสเงินสดแนวทางการปรับปรุง

ต้นทุนการปรับปรุง	มูลค่าต้นทุน
1. ขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบ	
- ค่าจ้างพนักงาน	109,500.00 บาท/ปี
- ค่ารักษาพยาบาล	6,000.00 บาท/ปี
- เบี้ยขยันพนักงาน	8,400.00 บาท/ปี
- ค่าชุดเครื่องแบบพนักงาน	2,500.00 บาท/ปี
- ค่ารถรับส่งพนักงาน	21,900.00 บาท/ปี
- ค่าอาหารพนักงาน	14,600.00 บาท/ปี
2. ขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ	
- โครงสร้างพาหนะขนส่งอัตโนมัติ	215,000.00 บาท
- โปรแกรมควบคุมพาหนะขนส่งอัตโนมัติ	292,800.00 บาท
- ค่าบำรุงรักษาโครงสร้าง	21,500.00 บาท/ปี
- ค่าบำรุงรักษาโปรแกรม	14,700.00 บาท/ปี
- ค่าแบตเตอรี่ไฟฟ้า	18,000.00 บาท/ปี
3. ขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ	
- โครงสร้างพาหนะขนส่งอัตโนมัติ	230,000.00 บาท
- โปรแกรมควบคุมพาหนะขนส่งอัตโนมัติ	336,500.00 บาท
- ระบบควบคุมตำแหน่ง	89,000.00 บาท
- ค่าบำรุงรักษาโครงสร้าง	31,900.00 บาท/ปี
- ค่าบำรุงรักษาโปรแกรม	16,800.00 บาท/ปี
- ค่าแบตเตอรี่ไฟฟ้า	18,000.00 บาท/ปี

4. ผลการวิจัย

ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองต้องวิเคราะห์ลักษณะการกระจายข้อมูล ด้วยโปรแกรมสแตตฟิต (Stat-Fit) เป็นโปรแกรมการหาค่าทางสถิติ ที่สามารถหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน รวมถึงหาลักษณะการกระจายของข้อมูลที่เป็นไปได้และใกล้เคียงกับชุดข้อมูลที่สุ่ม ในงานวิจัยนี้จะนำมาใช้ประมวลผลลักษณะการกระจายของข้อมูลเป็นประเภทไหน มีค่าสำหรับประมวลผลเท่าไร

การวิเคราะห์ลักษณะการกระจายกำหนดค่าพื้นฐาน เป็นการกระจายแบบต่อเนื่อง (continuous distribution) และค่าข้อมูลต่ำที่สุด (lowest value) เท่ากับข้อมูลที่จัดเก็บผลลัพธ์น้อยที่สุด และกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ (level of significance) ในทุกชุดข้อมูลของการวิเคราะห์การกระจายไว้ที่ 0.05 โดยวิธีการประมวลผลลักษณะการกระจายมีอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ระยะเวลาการเรียกขอชิ้นส่วนและระยะเวลาการจัดส่งชิ้นส่วน ซึ่งมีวิธีการประมวลแบบเดียวกัน โดยที่ชุดข้อมูลของระยะเวลาจะถูก

จัดเก็บจำนวน 100 ค่า แสดงตัวอย่างได้ดังตารางที่ 4

เมื่อออโต้ฟิต (Auto-Fit) หมายถึงการประมวลผล การกระจายของชุดข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแสดงได้ดังรูปที่ 12

Auto::Fit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Triangular(3.65e+003, 3.85e+003, 3.77e+003)	100	do not reject
Weibull(3.65e+003, 2.37, 115)	5.18	do not reject
Power Function(3.65e+003, 3.84e+003, 1.32)	3.38	do not reject
Beta(3.65e+003, 3.9e+003, 2.17, 3.02)	2.01	do not reject
LogLogistic(3.65e+003, 2.97, 96.2)	0.14	reject
Rayleigh(3.65e+003, 79.7)	9.38e-002	reject
Pearson 5(3.65e+003, 0.555, 15.6)	0.	reject
Lognormal(3.65e+003, 4.47, 0.8)	0.	reject
Uniform(3.65e+003, 3.84e+003)	0.	reject
Johnson SB	no fit	reject

รูปที่ 12 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการประมวลผล

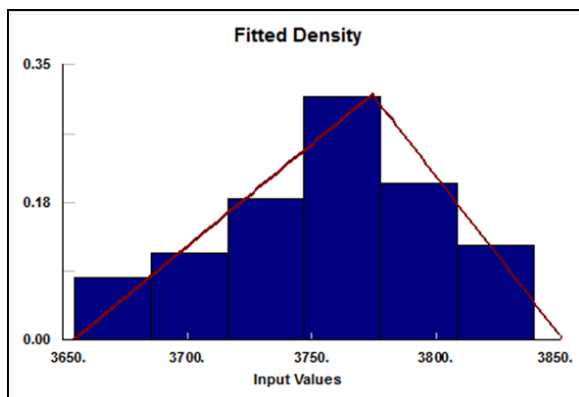
ตารางที่ 4 ตัวอย่างชุดข้อมูลระยะเวลา

ชื่อหมายเลขเครื่องจักร รุ่นยนต์ 4.1							
ครั้งที่	ระยะเวลาเรียกขอชิ้นส่วน (วินาที)	ครั้งที่	ระยะเวลาเรียกขอชิ้นส่วน (วินาที)	ครั้งที่	ระยะเวลาเรียกขอชิ้นส่วน (วินาที)	ครั้งที่	ระยะเวลาเรียกขอชิ้นส่วน (วินาที)
1	3758.13	26	3762.48	51	3707.62	76	3805.95
2	3764.79	27	3717.53	52	3680.98	77	3771.26
3	3749.50	28	3756.19	53	3812.85	78	3777.06
4	3710.33	29	3701.38	54	3748.18	79	3825.92
5	3726.55	30	3752.63	55	3780.14	80	3773.32
6	3836.58	31	3807.57	56	3752.22	81	3750.90
7	3839.05	32	3690.99	57	3759.78	82	3751.82
8	3746.02	33	3746.02	58	3686.61	83	3776.24
9	3708.99	34	3695.61	59	3683.47	84	3778.17
10	3743.27	35	3667.89	60	3791.69	85	3790.67
11	3789.34	36	3654.47	61	3771.39	86	3802.88
12	3737.98	37	3762.14	62	3784.73	87	3684.64
13	3662.65	38	3740.33	63	3775.84	88	3775.30
14	3673.66	39	3741.76	64	3793.43	89	3772.80
15	3716.93	40	3726.94	65	3770.75	90	3696.26
16	3777.89	41	3803.96	66	3743.49	91	3662.65
17	3770.25	42	3710.99	67	3773.97	92	3725.63
18	3816.53	43	3819.34	68	3811.79	93	3791.01
19	3805.95	44	3759.56	69	3735.32	94	3770.00
20	3829.02	45	3736.32	70	3772.15	95	3790.50
21	3828.09	46	3758.13	71	3836.58	96	3745.92
22	3805.73	47	3800.40	72	3768.51	97	3802.25
23	3830.00	48	3750.90	73	3703.10	98	3748.79
24	3715.27	49	3762.02	74	3718.85	99	3785.04
25	3745.29	50	3788.84	75	3723.35	100	3828.55

ผลลัพธ์การประมวลผลแสดงลักษณะการกระจายที่เป็นไปได้ทั้งหมด จากในส่วนการยอมรับ (acceptance) เมื่อข้อมูลยอมรับการกระจายลักษณะดังกล่าวจะขึ้นข้อความไม่ปฏิเสธ (do not reject) และเมื่อข้อมูลไม่ยอมรับการกระจายลักษณะดังกล่าวได้ ข้อมูลจะขึ้นข้อความปฏิเสธ (reject) ผลการประมวลผลจะแสดงตามลำดับลักษณะการกระจายที่ใกล้เคียงกับข้อมูล จากข้อมูลตัวอย่างพบว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายที่เป็นไป

ได้ 4 ลักษณะ ได้แก่ แบบสามเหลี่ยม (triangular distribution) แบบไวบูล (weibull distribution) แบบฟังก์ชันกำลัง (power function distribution) และแบบเบต้า (beta distribution) โดยลักษณะการกระจายแบบสามเหลี่ยมมีความเหมาะสมมากที่สุด แผนภูมิกราฟการกระจายแบบสามเหลี่ยมแสดงไว้ดังรูปที่ 13

จากนั้นตรวจสอบข้อมูลการกระจายแบบสามเหลี่ยมด้วยแบบการทดสอบ 2 แบบ คือ แบบโคโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) และแบบแอนเดอร์สัน-ดาร์ลิง (Anderson-Darling) ข้อมูลการกระจายแบบสามเหลี่ยมแสดงไว้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 13 ตัวอย่างแผนภูมิกราฟการกระจายแบบสามเหลี่ยม

Triangular	
minimum =	3654. [fixed]
maximum =	3851.11
mode =	3774.24
Kolmogorov-Smirnov	
data points	100
ks stat	5.11e-002
alpha	5.e-002
ks stat(100,5.e-002)	0.134
p-value	0.944
result	DO NOT REJECT
Anderson-Darling	
data points	100
ad stat	0.666
alpha	5.e-002
ad stat(5.e-002)	2.49
p-value	0.588
result	DO NOT REJECT

รูปที่ 14 ตัวอย่างการทดสอบการกระจายแบบสามเหลี่ยม

จากข้อมูลผลลัพธ์ การทดสอบทั้งสองรูปแบบสามารถยอมรับลักษณะของการกระจาย จึงเก็บบันทึกค่าข้อมูลของลักษณะการกระจายตัว ได้แก่ ค่าต่ำสุด (minimum) ค่าสูงสุด (maximum) และค่ากลางของข้อมูล (mode) เช่น จากตัวอย่างข้อมูลข้างต้นได้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 3,654 ค่าสูงสุดเท่ากับ 3,851 และค่ากลางของข้อมูลเท่ากับ 3,774 ซึ่งข้อมูลต่อไปนี้จะนำไปใช้สำหรับเป็นค่าข้อมูลนำเข้าของการสร้างแบบจำลอง

การวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของข้อมูล

ประกอบไปด้วย 7 ชุดข้อมูลการส่งชิ้นส่วน และ 82 ชุดข้อมูลการเรียกขอชิ้นส่วน โดยการประมวลผลลักษณะการกระจายของทุกชุดข้อมูล ให้ผลลัพธ์การกระจายแบบสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นลักษณะการกระจายที่ให้ผลยอมรับในทุกชุดข้อมูล โดยข้อมูลดังกล่าวจะนำไปใช้สำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าของการสร้างแบบจำลอง

4.1. ผลการวิจัยด้านทรัพยากร

การวิจัยด้านทรัพยากรคือ การหาจำนวนพนักงานหรือพาหนะอัตโนมัติที่ใช้เพื่อขนส่งชิ้นส่วน โดยข้อมูลนำเข้าและประมวลผลของแบบจำลอง สามารถแสดงผลการวิจัยด้านทรัพยากรได้ดังนี้

4.1.1. แนวทางการขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบ

ทรัพยากรคือจำนวนพนักงาน การประมวลผลแบบจำลองแสดงผลการประมวลผลเฉลี่ยได้ดังรูปที่ 15

ARENA Simulation Results					
Master - License: STUDENT					
Output Summary for 30 Replications					
OUTPUTS					
Identifier	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
box.NumberIn	1735.9	.20450	1733.0	1736.0	30
box.NumberOut	1731.1	1.2181	1729.0	1736.0	30
Human.NumberSeized	247.96	.06817	247.00	248.00	30
Human.NumberScheduled	5.0000	(Insuf)	5.0000	5.0000	30
Human.ScheduledUtilization	.58639	4.1334E-04	.58425	.58890	30
System.NumberOut	247.30	.17402	247.00	248.00	30

รูปที่ 15 ผลลัพธ์เฉลี่ยการประมวลผลแนวทางการขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบ

การประมวลผลแบบจำลอง พบว่าจำนวนพนักงานที่เหมาะสมขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิตมีจำนวนเท่ากับ 5 คน

4.1.2. แนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ

ทรัพยากรคือจำนวนพาหนะขนส่งอัตโนมัติ การประมวลผลแบบจำลองแสดงผลทรัพยากรการประมวลผลเฉลี่ยได้ดังรูปที่ 16

การประมวลผลแบบจำลอง พบว่าจำนวนพาหนะอัตโนมัติที่เหมาะสมขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิตมีจำนวนเท่ากับ 4 คัน

4.1.3. แนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ

ร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทรัพยากรคือจำนวนพาหนะขนส่งอัตโนมัติ การประมวลผลแบบจำลองแสดงผลทรัพยากรการประมวลผลเฉลี่ย

ได้ดังรูปที่ 17

การประมวลผลแบบจำลอง พบว่าจำนวนพาหนะอัตโนมัติที่เหมาะสมขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิตมีจำนวนเท่ากับ 3 คัน

ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลนำเข้าการวิจัยต้นทุนเพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการปรับปรุง

ARENA Simulation Results					
Master - License: STUDENT					
Output Summary for 30 Replications					
OUTPUTS					
Identifier	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
box.NumberIn	1488.0	.00000	1488.0	1488.0	30
box.NumberOut	1485.4	1.1290	1482.0	1488.0	30
AGV.NumberSeized	248.00	.00000	248.00	248.00	30
AGV.NumberScheduled	4.0000	(Insuf)	4.0000	4.0000	30
AGV.ScheduledUtilization	.69327	4.4141E-04	.69097	.69517	30
System.NumberOut	247.56	.18818	247.00	248.00	30

รูปที่ 16 ผลลัพธ์เฉลี่ยการประมวลผลแนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ

ARENA Simulation Results					
Master - License: STUDENT					
Output Summary for 30 Replications					
OUTPUTS					
Identifier	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
box.NumberIn	1735.9	.20450	1733.0	1736.0	30
box.NumberOut	1733.4	1.2809	1729.0	1736.0	30
AGV.NumberSeized	247.96	.06817	247.00	248.00	30
AGV.NumberScheduled	3.0000	(Insuf)	3.0000	3.0000	30
AGV.ScheduledUtilization	.64108	5.2886E-04	.63838	.64337	30
System.NumberOut	247.83	.18300	247.00	248.00	30

รูปที่ 17 ผลลัพธ์เฉลี่ยการประมวลผลแนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

4.2. ผลการวิจัยด้านต้นทุน

จากฟังก์ชันต้นทุนข้างต้น ได้กำหนดอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่ 15 เปอร์เซ็นต์ต่อปี เพื่อหามูลค่าค่าเฉลี่ยต้นทุนสุทธิรายปี โดยอายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะกำหนดไว้ที่ 2 ปี และอายุการใช้งานของพาหนะขนส่งอัตโนมัติจะกำหนดไว้ที่ 10 ปี โดยใช้สูตรดังนี้

สูตรการหาค่าเฉลี่ยต้นทุนรายปีจากมูลค่าอนาคต

$$A = F(A/F, i\%, n) \quad (4)$$

สูตรการหามูลค่าในปัจจุบันจากค่าเฉลี่ยต้นทุนสุทธิรายปี

$$P = A(P/A, i\%, n) \quad (5)$$

สูตรการหาค่าเฉลี่ยต้นทุนสุทธิรายปีจากมูลค่าในปัจจุบัน

$$A = P(A/P, i\%, n) \quad (6)$$

สูตรการหามูลค่าในปัจจุบันจากมูลค่าในอนาคต

$$P = F(P/F, i\%, n) \quad (7)$$

ที่มา : [14] หนังสือเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

4.2.1. กำหนดต้นทุนต่อหน่วยทรัพยากรแต่ละแนวทาง

4.2.1.1. การทำงานในปัจจุบันและแนวทางการขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบ

- ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยพนักงานปีที่ 1 ถึง 10 เท่ากับ 162,900 บาท

ซึ่งข้อมูลเป็นต้นทุนเฉลี่ยรายปี โดยจะนำข้อมูลดังกล่าวคำนวณรวมกับจำนวนพนักงาน

4.2.1.2. แนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ

- ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเริ่มต้นเท่ากับ 507,800 บาท
- ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยปีที่ 2,4,6,8 เท่ากับ 54,200 บาท
- ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยปีที่ 1,3,5,7,9,10 เท่ากับ 36,200 บาท

คำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วยได้ดังนี้

- 1) กระจายค่าต้นทุนที่เพิ่ม 18,000 จาก ปีที่ 2 ปีที่ 4 ปีที่ 6 และปีที่ 8 ย้อนหลังไปทั้งสิ้น 2 ปี จากสมการที่ (4) ได้ว่า $A = 18,000 (A/F, 15\%, 2)$

$$A = 8,371.80 \text{ บาท}$$

จะได้ค่าต้นทุนในปีที่ 1 ถึงปีที่ 8 จาก 36,200.00 รวมกับ 8,371.80 เท่ากับ 44,571.80 บาท

- 2) รวมค่าต้นทุนปีที่ 1 ถึง 8 มาปีที่ 0 จากสมการที่ (5) ได้ว่า $P = 44,571.80 (P/A, 15\%, 8)$

$$P = 199,993.67 \text{ บาท}$$

- 3) ย้ายมูลค่าปีที่ 9 และ 10 มาปีที่ 0 จากสมการที่ (7) ได้ว่า $P = 36,200.00 (P/F, 15\%, 9) + 36,200.00 (P/F, 15\%, 10)$

$$P = 19,240.30 \text{ บาท}$$

จะได้ค่าที่ปีที่ 0 จาก 507,800.00, 199,993.67 และ 19,240.30 รวมเท่ากับ 727,033.97 บาท

4) กระจายค่าต้นทุนปีที่ 0 เป็นค่าเฉลี่ยต้นทุนสุทธิปีที่ 1 ถึงปีที่ 10 จากสมการที่ (6) ได้ว่า

$$A = 727,033.97 (A/P, 15\%, 10)$$

$$A = 144,897.87 \text{ บาท}$$

จากการคำนวณพบว่าพาหนะขนส่งอัตโนมัติมีต้นทุนเฉลี่ยรายปีต่อหน่วยเท่ากับ 144,897.87 บาท

4.2.1.3. แนวทางการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

- ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเริ่มต้นเท่ากับ 655,500 บาท
- ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยปีที่ 2,4,6,8 เท่ากับ 66,700 บาท
- ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยปีที่ 1,3,5,7,9,10 เท่ากับ 48,700 บาท

1) กระจายค่าต้นทุนที่เพิ่ม 18,000 จาก ปีที่ 2 ปีที่ 4 ปีที่ 6 และปีที่ 8 ย้อนหลังไปทั้งสิ้น 2 ปี จากสมการที่ (4) ได้ว่า

$$A = 18,000 (A/F, 15\%, 2)$$

$$A = 8,371.80 \text{ บาท}$$

จะได้ค่าต้นทุนในปีที่ 1 ถึงปีที่ 8 จาก 48,700.00 รวมกับ 8,371.80 เท่ากับ 57,071.80 บาท

2) รวมค่าต้นทุนปีที่ 1 ถึง 8 มาปีที่ 0 จากสมการที่ (5) ได้ว่า

$$P = 57,071.80 (P/A, 15\%, 8)$$

$$P = 256,081.17 \text{ บาท}$$

3) ย้ายมูลค่าปีที่ 9 และ 10 มาปีที่ 0 จากสมการที่ (7) ได้ว่า

$$P = 48,700.00 (P/F, 15\%, 9) +$$

$$48,700.00 (P/F, 15\%, 10)$$

$$P = 25,884.05 \text{ บาท}$$

จะได้ค่าที่ปีที่ 0 จาก 655,500.00, 256,081.17 และ 25,884.05 รวมเท่ากับ 937,465.22 บาท

4) กระจายต้นทุนปีที่ 0 เป็นค่าเฉลี่ยต้นทุนสุทธิปีที่ 1 ถึงปีที่ 10 จากสมการที่ (6) ได้ว่า

$$A = 937,465.22 (A/P, 15\%, 10)$$

$$A = 186,836.82 \text{ บาท}$$

จากการคำนวณพบว่าพาหนะขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุมีต้นทุนเฉลี่ยรายปีต่อหน่วยเท่ากับ 186,836.82 บาท

4.2.2. คำนวณต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีของแต่ละแนวทาง

เมื่อหาต้นทุนต่อหน่วยของแต่ละแนวทางการปรับปรุง จะนำมาหาต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีโดยนำข้อมูลข้างต้นมาคำนวณตามสูตร โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

C เท่ากับ ต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีแต่ละแนวทาง

A เท่ากับ ต้นทุนเฉลี่ยรายปีแต่ละแนวทางต่อหน่วย

R เท่ากับ จำนวนทรัพยากร

สูตรสูตรดังนี้

$$C = A * R \quad (8)$$

เมื่อนำมาคำนวณผลจะได้ผลดังนี้

- ลักษณะการทำงานปัจจุบัน ใช้พนักงานจำนวน 4 คนในการทำงาน คิดต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 648,000.00 บาท
- แนวทางขนส่งด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบ ใช้พนักงานจำนวน 5 คนในการทำงาน คิดต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 814,500.00 บาท
- แนวทางขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ ใช้พาหนะขนส่งอัตโนมัติจำนวน 4 คันในการทำงาน คิดต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 579,591.48 บาท
- แนวทางขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ใช้พาหนะขนส่งอัตโนมัติจำนวน 3 คันในการทำงานมีต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 560,510.46 บาท

4.3. ผลการวิจัยด้านผลประโยชน์

เนื่องจากแนวทางการปรับปรุงการขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิต ได้ผลลัพธ์ในส่วนของผลประโยชน์จากการปรับปรุงที่เท่ากันในทุกแนวทางการปรับปรุง ได้แก่ การที่ทุกแนวทางการปรับปรุงสามารถขนส่งชิ้นส่วนได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยทำให้ประสิทธิภาพการทำงานบรรลุถึงวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงกระบวนการขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิต ซึ่งทำให้การขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิตสามารถส่งได้ทันต่อเวลาการขนส่งภายในรอบของวัน

ประสิทธิภาพในการขนส่งชิ้นส่วนได้ทันต่อเวลาการขนส่งภายในรอบของวันสามารถพิจารณาได้จากผลการประมวลของแบบจำลองจากรูปที่ 17 ถึง 19 โดยสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- รูปที่ 17 แนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบพบว่าค่าจำนวนข้อมูลที่ออกจากระบบ (system.numberout) แสดงถึงจำนวนรอบที่แนวทางการปรับปรุงทำงานสามารถขนส่งได้ภายในระยะเวลาการทำงาน มีค่าเฉลี่ยจากการประมวลผลแบบจำลอง 30 ครั้งเท่ากับ 247.30

- รูปที่ 18 แนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะ

ขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติ พบว่าค่าจำนวนข้อมูลที่ออกจากระบบ (system.numberout) แสดงถึงจำนวนรอบที่แนวทางการปรับปรุงทำงานสามารถขนส่งได้ภายในระยะเวลาการทำงาน มีค่าเฉลี่ยจากการประมวลผลแบบจำลอง 30 ครั้งเท่ากับ 247.56

- รูปที่ 19 แนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติรวมกับการใช้ระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ พบว่าค่าจำนวนข้อมูลที่ออกจากระบบ (system.numberout) แสดงถึงจำนวนรอบที่แนวทางการปรับปรุงทำงานสามารถขนส่งได้ภายในระยะเวลาการทำงาน มีค่าเฉลี่ยจากการประมวลผลแบบจำลอง 30 ครั้งเท่ากับ 247.63

จากผลการประมวลพบว่าทั้ง 3 แนวทางการปรับปรุง ให้ผลค่าจำนวนข้อมูลที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 247.00 ถึง 248.00 ซึ่งหมายความว่าแนวทางการปรับปรุงทุกแนวทางสามารถขนส่งชิ้นส่วนได้ทั้งหมดภายในการขนส่งต่อวัน เนื่องจากจำนวนกล่องที่ต้องการให้ขนส่งมีจำนวน 1,488 กล่องต่อวัน คิดจำนวนรอบการขนส่งเท่ากับ 248 รอบการขนส่ง จึงให้ข้อสรุปว่าแนวทางการปรับปรุงทั้ง 3 แนวทาง บรรลุวัตถุประสงค์ในหัวข้อการขนส่งชิ้นส่วนรอบการผลิตให้ทันภายในระยะเวลาดังกล่าว โดยเมื่อเกิดการปรับปรุงด้วยแนวทางการทำงานทั้ง 3 แนวทางจะไม่ทำให้เกิดระยะเวลาสูญเสียในกระบวนการ

ดังนั้นการคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงที่มีความคุ้มค่ามากที่สุด จึงสามารถพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบต้นทุนต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีเท่ากับของแต่ละแนวทางการปรับปรุง ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

4.4. ผลการวิจัยการเปรียบเทียบต้นทุนรายปี

จากผลการวิจัยข้างต้นได้ต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีแต่ละแนวทางการปรับปรุงการทำงานและต้นทุนลักษณะการทำงานในปัจจุบันได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีแต่ละแนวทางการปรับปรุง

แนวทางการปรับปรุง	ต้นทุนการขนส่งต่อปี
แนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบ	814,500.00 บาท
แนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติ	579,591.48 บาท
แนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติรวมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ	560,510.46 บาท
การทำงานในลักษณะปัจจุบัน	648,000.00 บาท

จากตารางพบว่าแนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติรวมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ มีต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับแนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพนักงานอย่างเป็นระบบและแนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติ ดังนั้นจึงพบได้ว่าแนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติรวมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุมีความคุ้มค่าสำหรับการปรับปรุงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแนวทางอื่น

อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีของแนวทางการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพาหนะขนส่งชิ้นส่วนอัตโนมัติรวมกับระบบชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุและต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีของการทำงานในลักษณะปัจจุบันพบว่า มีต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีที่น้อยกว่า ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ในหัวข้อการลดต้นทุนในการขนส่งชิ้นส่วนรอบการผลิตภายในโรงงาน โดยข้อมูลของการวิจัยดังกล่าวจะนำไปสรุปผลในลำดับถัดไป

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนำเสนอแบบจำลองในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการปรับปรุงกระบวนการขนส่งชิ้นส่วนในสายการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในโรงงานกรณีศึกษาซึ่งประสบปัญหาในปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาสูญเสียในการขนส่งชิ้นส่วนด้วยพนักงานทั้งหมดและลดต้นทุนระยะยาวของโรงงาน ซึ่งแบ่งแนวทางปรับปรุงได้ 3 แนวทาง ได้แก่ (1) การขนส่งด้วย

พนักงานอย่างเป็นระบบ (2) การขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติ มีลักษณะการเคลื่อนที่เป็น 1 วงเคลื่อนที่ใหญ่ (3) การขนส่งด้วยรถขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบทำงานซึ่งเฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ มีลักษณะการเคลื่อนที่เป็น 3 วงเคลื่อนที่

จากการใช้โปรแกรมการสร้างแบบจำลองอาร์นา เพื่อหาจำนวนทรัพยากรที่ใช้สำหรับขนส่งชิ้นส่วนในแต่ละแนวทางสรุปได้ว่า แนวทางที่ 1, 2 และ 3 ใช้จำนวนทรัพยากรเท่ากับ 5, 4 และ 3 หน่วยทรัพยากรตามลำดับ

จากการคำนวณต้นทุนของแต่ละปีในแต่ละแนวทางสรุปได้ว่า แนวทางที่ 1, 2 และ 3 มีค่าเฉลี่ยต้นทุนรายปีต่อหน่วยทรัพยากรได้เท่ากับ 162,900.00, 144,897.87 และ 186,836.82 บาทต่อปีตามลำดับ

เมื่อนำค่าเฉลี่ยต้นทุนรายปีต่อหน่วยทรัพยากรรวมกับจำนวนของทรัพยากรแต่ละแนวทาง จะได้ผลรวมของค่าเฉลี่ยต้นทุนรายปีแต่ละแนวทางการขนส่ง สรุปได้ว่า แนวทางที่ 1, 2 และ 3 มีต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 814,500.00, 579,591.48 และ 560,510.46 บาทต่อปีตามลำดับ

จากการหาผลประโยชน์ของแต่ละแนวทางการปรับปรุง สรุปได้ว่าแนวทางการปรับปรุงทั้ง 3 แนวทางสามารถขนส่งชิ้นส่วนได้ทั้งหมดภายในการขนส่งต่อวัน โดยสามารถขนส่งชิ้นส่วนได้ครบถ้วนตามจำนวนรอบที่ต้องการต่อวันซึ่งเท่ากับ 248 รอบต่อวัน ลดระยะเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการขนส่งด้วยพนักงานได้ทั้งหมดโดยแนวทางที่ 1, 2 และ 3 มีรอบการขนส่งชิ้นส่วนต่อวันเท่ากับ 247.30 247.56 และ 247.68 ตามลำดับ ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ของการขนส่งชิ้นส่วนรอการผลิตให้ทันภายในระยะเวลาดังกล่าว

การเปรียบเทียบแนวทางการปรับปรุงจึงเปรียบเทียบจากต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีที่น้อยที่สุดพบว่าแนวทางการปรับปรุงแบบที่ 3 เป็นแนวทางที่มีต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับทางแนวทางอื่นๆ พร้อมทั้งยังมีต้นทุนรวมเฉลี่ยรายปีที่น้อยกว่าลักษณะการทำงานในปัจจุบันซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ของการลดต้นทุน

ดังนั้นการขนส่งด้วยพาหนะขนส่งอัตโนมัติร่วมกับระบบการซึ่งเฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุจึงมีความคุ้มค่าในการขนส่งชิ้นส่วนมากที่สุด โดยสามารถลดปัญหาระยะเวลาการสูญเสียภายในการขนส่งและสามารถลด

ต้นทุนการทำงานได้เท่ากับ 87,489.54 บาทต่อปี

งานวิจัยนี้สามารถเป็นพื้นฐานในการต่อยอดสำหรับการเลือกแนวทางการปรับปรุง เพื่อสร้างแนวทางการขนส่งที่มีความเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมดังกล่าว โดยที่ในงานวิจัยยังมีข้อจำกัดต่างๆ ได้แก่ จำนวนกล่องขนส่งชิ้นส่วนต่อรอบ หรือลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่แบบทางเดียว และการพิจารณาเฉพาะระยะเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นจากพนักงานเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์รูปแบบลักษณะการทำงานที่ได้นำเสนอไว้ เพื่อใช้ประโยชน์ต่อการสร้างรูปแบบการทำงานอื่นได้ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ในการประมวลผลหาจำนวนทรัพยากรที่ต้องการใช้สำหรับการทำงานที่เพียงพอต่อประสิทธิภาพการขนส่งชิ้นส่วน เปรียบเทียบรูปแบบให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด มีความคุ้มค่าในการลงทุนสูงสุด สำหรับอุตสาหกรรมอื่นที่มีการขนส่งชิ้นส่วนลักษณะคล้ายคลึงกันต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Arthaya, Bagus.; Sitorus, Hotna M.; and Wibisono, Yogi Y. 2008. The development of database and HCI system for automated guided vehicle in web-based monitoring environment. Journal of Information and Computing Science 4, 3: 305-312.
- [2] Seifert, R.W.; Kay, M.G.; and Wilson, J.R. 1998. Evaluation of AGV routing strategies using hierarchical simulation. International Journal of Production Research 7, 36: 1961-1976.
- [3] รจนาฏ ไกรปัญญาพงศ์. 2541. การควบคุมการปฏิบัติงานของพาหนะขนส่งวัสดุแบบอัตโนมัติที่สามารถรับภาระได้ 2 หน่วย ในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] Wen, W. 2010. An intelligent traffic management expert system with RFID Technology. Expert Systems with Applications, 37: 3024-3035.

- [5] Liang Hou, Jiang.; and Gin Chen, Ting. 2011. An RFID-based Shopping Service System for retailers. *Advanced Engineering Informatics*, 25: 103-115.
- [6] คมกฤษณ์ จิระสวัสดิ์. 2546. แบบจำลองสถานการณ์เพื่อการวิเคราะห์การขนส่งอ้อยจากไร่เข้าสู่โรงงานน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. 2551. คู่มือการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [8] จรัส ทรัพย์เสริม. 2552. การออกแบบค่าเพื่อทางสถิติด้วย Simulation. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : Quality Production.
- [9] Fu Hsueh, Che. 2010. A simulation study of a bi-directional load-exchangeable automated guided. *Computers & Industrial Engineering*, 58: 594-601.
- [10] Sbordone, Argia M. 2002. Prices and unit labor costs : a new test of price stickiness. *Journal of Monetary Economics*, 49: 265-292.
- [11] Dai, James B.; and Lee, Neville K.S. 2012. Economic feasibility analysis of flexible material handling systems: A case study in the apparel industry. *International Journal Production Economics*, 136: 28-36.
- [12] Martino, Simone.; and Parson, Lindsay M. 2012. A comparison between manganese nodules and cobalt crust economics in a scenario of mutual exclusivity. *Marine Policy*, 36: 790-800.
- [13] Shen, Ling ; Wang, Liang ; and Du, Bo. 2011. Economic Cost-Benefit Analysis on Roof Greening Project of the Urban Building. *IEEE Journal*, 11: 3450-3452.
- [14] บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์. 2555. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : World Rights Sale.