

การปรับปรุงผังโรงงานและกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคทาง วิศวกรรมอุตสาหกรรม กรณีศึกษาโรงงานผลิตหลอดไฟแอลอีดีตัวอย่าง Process and Plant Layout Improvement using Industrial Engineering Techniques: A Case Study Sample LED Light Factory

ชูศักดิ์ พรสิงห์ และสรชัย อำพุทรา

หน่วยวิจัยการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

จินตศักดิ์ กาญจนอนันท์ และภัทรเวช ธาราเวชรักษ์*

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ตำบลจอมบึง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 70150

Choosak Pornsing, Sanchai Amphutsa,

Engineering Management Research Unit, Department of Industrial Engineering and Management,

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus,

Rachamakka Nai Road, Muang, Nakhon Pathom 73000

Jintasak Kanchana-anothai and Patrawet Tharawetcharak*

Department of Manufacturing Technology, Faculty of Industrial Technology,

Muban Chombueng Rajabhat University, Chombueng, Ratchaburi 70150

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงผังโรงงานและกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพื่อรองรับ
คำสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้นของโรงงานผลิตหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีกรณีศึกษา โดยใช้หลักการ ECRS เพื่อกำจัดขั้นตอน
การทำงานที่ไม่จำเป็นออก เช่น งานที่เป็นจุดคอขวด ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย การเคลื่อนไหวที่เกินความ
จำเป็น และระยะทางในการขนย้ายวัตถุดิบ การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์ความต้องการและปัญหาของ
โรงงานเพื่อใช้ในการออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (systematic layout planning, SLP) โดยเก็บข้อมูลของ
แต่ละสถานีนงาน เช่น รอบเวลาการผลิต (cycle time) และรอบเวลาความต้องการ (takt time) เพื่อจัดสมดุล

*ผู้รับผิดชอบบทความ : patrawet1990@gmail.com

สายการผลิต (line balancing) จากนั้นออกแบบกระบวนการผลิต การแก้ปัญหาโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือการจัดการทางวิศวกรรม และการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม ผลจากการปรับปรุงผังโรงงานพบว่าระยะทางการขนย้ายวัตถุดิบลดลง 622 เมตร หรือร้อยละ 40.17 และรอบเวลาในการขนย้ายวัตถุดิบลดลง 620 วินาที หรือร้อยละ 49.60 ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการผลิตเฉลี่ย 717 ชุด/เดือน จาก 1,683 ชุด/เดือน เป็น 2,433 ชุด/เดือน กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 2,400 ชิ้น/เดือน จาก 1,600 ชิ้น/เดือน ต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุง 3,892,240 บาท และมีอัตราผลตอบแทนการลงทุน 41.63 % โดยสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 2.4 เดือน

คำสำคัญ : การเพิ่มผลผลิต; การจัดสมดุลสายการผลิต; การออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ

Abstract

The aim of this study is to improve plant layout and manufacturing process for more ordering of LED bulb light factory by using ECRS technique for eliminating the non-value-added activities, such as the bottleneck process, time delay, unnecessary motion and the long-range material handling problem. The study started with the analysis of demand and LED bulb light factory problems for the systematic layout planning (SLP). Then, collected data of each workstation such as the cycle time and takt time for the assembly line balancing were performed. After that, this research had designed the process, solving the problem by applying industrial engineering tools, and engineering economic analysis. The results of plant layout improvement showed that, the range of material handling is decreased by 622 second or 40.17 %, and the cycle time of material handling is decreased 620 second or 49.60 %. From the improvement of production process, there found that can increase average productivity by about 717 pieces/month for 1,683 pieces/month. The production capacity is increased to 2,400 pieces/month for 1,600 pieces/month. The investment cost of 3,892,240 baht and the return of investment rate is 41.63 % with 2.4 months payback period.

Keywords: productivity; line balancing; systematic layout planning

1. บทนำ

ปี ค.ศ. 2015 ตลาดของหลอดไฟแบบแอลอีดี (light emitting diode, LED) ทั่วโลกเติบโตร้อยละ 26 มีมูลค่าการตลาด 25.7 ล้านเหรียญสหรัฐ โดยคาดว่า ในปี ค.ศ. 2016 ตลาดของหลอดไฟแบบแอลอีดีจะเติบโตเพิ่มขึ้นร้อยละ 31 มีมูลค่าการตลาดโดยรวมเป็น

82.1 ล้านเหรียญสหรัฐ โดยยุโรปเป็นตลาดหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีที่ใหญ่ที่สุดเป็นอันดับ 1 มีอัตราการเติบโตร้อยละ 23 ประเทศจีนอัตราการเติบโตร้อยละ 21 อันดับ 3 สหรัฐอเมริกาอัตราการเติบโตร้อยละ 19 อันดับ 4 ญี่ปุ่นอัตราการเจริญเติบโตร้อยละ 9 มีตลาดเกิดใหม่ในฝั่งของเอเชียแปซิฟิกซึ่งอัตราการ

เติบโตอยู่ที่ร้อยละ 6 โดยที่ตะวันออกกลางและละตินอเมริกามีอัตราการเติบโตรวมร้อยละ 22

สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ. 2559 ศูนย์วิจัยกสิกรไทย คาดว่าตลาดหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีจะมีมูลค่าประมาณ 4,980-5,150 ล้านบาท ซึ่งมีอัตราการเติบโตสูงถึงร้อยละ 33.5-38.1 จากอัตราการเติบโตขึ้นจากร้อยละ 27.7 ในปี พ.ศ. 2558 ที่มีมูลค่าตลาดอยู่ที่ 3,730 ล้านบาท ทั้งนี้มูลค่าตลาดหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีในปี พ.ศ. 2559 คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 23.0 ของมูลค่าหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีทั้งหมด มีมูลค่า 21,970-22,380 ล้านบาท ซึ่งมีอัตราการเติบโตขยายตัวร้อยละ 6-8 จากปี พ.ศ. 2558 มีมูลค่าตลาด 20,720 ล้านบาท ซึ่งหลอดไฟแบบแอลอีดีสามารถเพิ่มสัดส่วนในตลาดหลอดไฟขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง [1] และคาดว่าภายในปี พ.ศ. 2563 หลอดไฟแอลอีดีจะมีสัดส่วนร้อยละ 50 ของหลอดไฟทั้งหมด และจะมีอัตราการเติบโตเป็นร้อยละ 80 ของหลอดไฟทั้งหมดภายในปี พ.ศ. 2568 หรืออีก 10 ปีข้างหน้า

ศูนย์วิจัยกสิกรไทยอ้างอิง (ฐานเศรษฐกิจ) ประเมินว่า หากภาคครัวเรือนและภาคธุรกิจเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีในสัดส่วนร้อยละ 50 ของหลอดไฟส่องสว่างที่มีอยู่เดิม จะทำให้ประเทศไทยสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายของการใช้กระแสไฟฟ้าสำหรับการส่องสว่างมูลค่าสูงถึง 40,949.9 ล้านบาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 29.4 ของค่าใช้จ่ายของการใช้กระแสไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่างทั้งหมด อุตสาหกรรมการผลิตหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีจึงมีอัตราการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง [2] จากปัจจัยการส่งเสริมด้านการประหยัดพลังงานของภาครัฐและภาคเอกชน การแข่งขันทางการตลาดที่สูงขึ้น ทำให้องค์กรผู้ผลิตหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีต้องปรับปรุงพัฒนาในทุก ๆ ด้าน ทั้งการผลิต การขนส่ง การตลาด รวมถึง

การจัดการทรัพยากรหรือวัตถุดิบที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมถึงการลงทุนในอุตสาหกรรมเพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันและมุ่งสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า สิ่งเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการจัดการบริหารอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อไม่ก่อให้เกิดปัญหาขึ้นได้ในระบบการผลิต ทั้งนี้เพราะว่าบริษัทมักสนใจอยู่กับการขยายการผลิตเพียงด้านเดียว โดยไม่คำนึงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตอยู่ในระดับที่สูง

โรงงานตัวอย่างสำหรับการศึกษาในครั้งนี้เป็นโรงงานผลิตหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีที่มียอดขายโดยเฉลี่ยประมาณ 100 ล้านบาทต่อปี [3] ซึ่งปัจจุบันการวางแผนผังและออกแบบกระบวนการผลิตยังไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้นทุนในกระบวนการผลิตสูงและยอดการผลิตได้ต่ำเมื่อเทียบกับคำสั่งซื้อ สร้างความไม่ไว้วางใจและความไม่พึงพอใจให้กับลูกค้า ด้วยเหตุผลนี้จึงจำเป็นต้องหาแนวทางพัฒนาและแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ตอบสนองกับคำสั่งซื้อที่มีอยู่ในปัจจุบัน และคาดว่าคำสั่งซื้อจะเพิ่มมากขึ้นตามการขยายตัวของตลาดตามที่กล่าวข้างต้น

นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่ได้ปรับปรุงกระบวนการผลิต และลดความสูญเสียจากกระบวนการผลิตร่องเท้ารุ่น HIGH VOLLEY V (M) [4] ซึ่งมีปริมาณการสั่งซื้อ และจำนวนชั่วโมงการผลิตมากที่สุดในปัจจุบัน โดยการจัดสมดุลสายการผลิต ตลอดจนลดงานที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มต่อตัวผลิตภัณฑ์ และได้ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ชนิด ในการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การศึกษาทางเทคนิคการจัดสมดุลการผลิตด้วยหลักการ ECRS ผลคือทำให้สายการผลิตสามารถผลิตตามเป้า 50 วินาทีต่อคู่สายการผลิตมีความสมดุลเพิ่มขึ้น และสามารถทำต้นทุนในการผลิตลดลงจากคู่ละ 5.43 บาท เหลือเพียงคู่ละ 0.49 บาท ยิ่งไปกว่านั้น ยังได้มีงานวิจัยที่ได้

นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดผังโรงงานเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการผลิต [5] จนพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดต้นทุนการผลิตสูงมาจากโรงงานขาดการวางแผนโรงงานอย่างเป็นระบบจึงได้วางแผนใหม่ในลักษณะรูปตัวยู ทำให้กระบวนการผลิตเกิดความต่อเนื่อง สามารถลดเวลาในการผลิตลงได้อย่างเห็นได้ชัด ยิ่งไปกว่านั้น ยังพบงานวิจัยที่ออกแบบผังโรงงานใหม่เพื่อรองรับกับการขยายกำลังผลิตในอนาคต [6] โรงการปรับปรุงผังโรงงานให้เป็นระบบมากขึ้น โดยการวิเคราะห์หลักการไหลของวัสดุในกระบวนการผลิต และการประเมินสายการผลิตเพื่อคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสายการผลิตที่เหมาะสมที่สุดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แรงงานเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 46.54 เป็นร้อยละ 66.75 และเวลาร้างงานที่เกิดขึ้นในสายการผลิตลดลงจากร้อยละ 53.46 เหลือเพียงร้อยละ 33.25

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการปรับปรุงผังโรงงานและกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดี โดยใช้หลักการออกแบบผังโรงงานอย่างมีระบบ (systematic layout planning, SLP) [7] และการจัดสมดุลสายการผลิต (line balancing) [8] เพื่อออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสามารถรองรับปริมาณคำสั่งซื้อที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต [9,10]

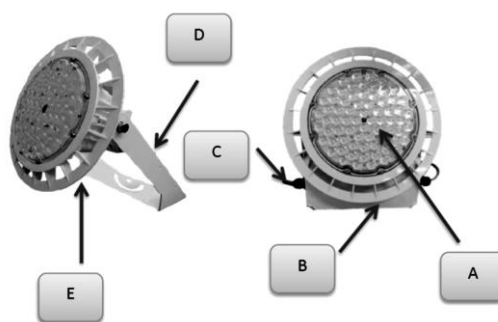
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของโรงงาน

เก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของโรงงานเพื่อศึกษาสภาพปัญหาที่มีอยู่ในปัจจุบัน

2.1.1 การเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่เลือกมาศึกษาในกระบวนการผลิตมี 2 ผลิตภัณฑ์ ซึ่งมียอดสั่งซื้อจำนวนมากกว่ารุ่นผลิตภัณฑ์อื่น คือ หลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีรุ่น N400-A ขนาดแรงดัน

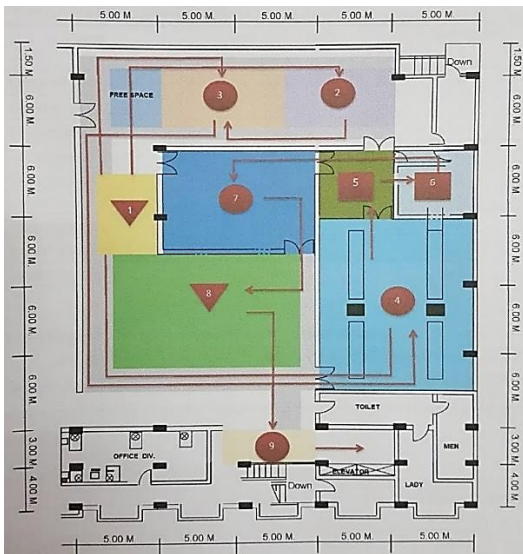
ไฟฟ้า AC220 V ขนาดความถี่ทางไฟฟ้า 50/60 Hz ขนาดกำลังไฟฟ้า 100W(AC220 V) และหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีรุ่น N700-A ขนาดแรงดันไฟฟ้า AC220 V ขนาดความถี่ทางไฟฟ้า 50/60 Hz ขนาดกำลังไฟฟ้า 149W(AC220 V) ซึ่งหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ มีส่วนประกอบหลักทั้งหมด 5 ส่วน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของหลอดไฟแอลอีดี 5 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) A คือ LED chip จะเป็นส่วนของหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดี ทำหน้าที่เปล่งแสงส่องสว่างเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้า (2) B คือ driver จะทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อไปขับหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีให้เกิดการเปล่งแสงสว่างขึ้น ซึ่งชุด driver จะมีกำลังวัตต์ทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ การออกแบบขนาดกำลังไฟฟ้าของชุด driver สำหรับการผลิตจะมีขนาดกำลังวัตต์ไฟฟ้า 100 Watt และ 149 Watt (3) C คือ harness เป็นอุปกรณ์สำหรับต่อแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 V เพื่อเข้าสู่ชุด driver (4) D คือ arm เป็นอุปกรณ์สำหรับยึดติดชิ้นงานเข้ากับผนังห้อง และ (5) E คือ body เป็นชุดประกอบส่วนต่าง ๆ ของหลอดไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีเข้าไว้ด้วยกันและทำหน้าที่ระบายความร้อนในขณะเปิดใช้งาน

2.1.2 ข้อมูลผังโรงงานและแผนกในกระบวนการผลิต

การวิจัยนี้ได้แบ่งหน้าที่และพื้นที่ปฏิบัติงานของกระบวนการผลิตแต่ละแผนกเป็น 9 แผนก ซึ่งมีหน้าที่และพื้นที่การปฏิบัติงานต่างกัน (รูปที่ 2) ดังนี้



รูปที่ 2 ผังโรงงานและแผนกในกระบวนการผลิต

(1) แผนกคลังวัตถุดิบ มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 24 ตารางเมตร ทำหน้าที่จัดเก็บวัตถุดิบสำหรับแจกจ่ายให้กับแผนกต่าง ๆ

(2) แผนกบัดกรี PCB มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 35 ตารางเมตร ทำหน้าที่บัดกรีสายไฟเข้ากับแผงวงจรขับเคลื่อน (driver)

(3) แผนกผสมน้ำยา มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 35 ตารางเมตร ทำหน้าที่ผสมน้ำยา urethane resin เพื่อป้องกันน้ำและระบายความร้อนให้ driver

(4) แผนกประกอบชิ้นงาน มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 130 ตารางเมตร ทำหน้าที่ประกอบตัวโครงหลอดไฟแบบแอลอีดี

(5) แผนกทดสอบ มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 30 ตารางเมตร ทำหน้าที่วัดและทดสอบค่าทางไฟฟ้า

ตามเกณฑ์มาตรฐาน

(6) แผนกตรวจสอบ มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 30 ตารางเมตร ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานและทดสอบการเปิดปิดไฟ

(7) แผนกบรรจุงาน มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 90 ตารางเมตร ทำหน้าที่บรรจุชิ้นงานสำเร็จรูปในกล่องขึ้นรูป

(8) แผนกคลังสินค้าสำเร็จรูป มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 72 ตารางเมตร ทำหน้าที่จัดเก็บงานสำเร็จรูปสำหรับรอการจัดส่ง

(9) แผนกจัดส่งสินค้า มีพื้นที่ปฏิบัติงาน 20 ตารางเมตร ทำหน้าที่จัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า

การศึกษาข้อมูลผังโรงงานก่อนการปรับปรุง พบว่าเส้นทางและระยะการไหลของวัสดุและชิ้นงานมีเส้นทางซับซ้อนและระยะไกลเกินไปสำหรับแผนกที่มีความถี่ในการขนย้ายระหว่างกัน ทำให้เสียเวลาในการขนถ่ายชิ้นงาน นอกจากนี้ข้อมูลความสามารถในการผลิตเปรียบเทียบกับความต้องการของลูกค้าในปี พ.ศ. 2559 พบว่าผลิตได้ไม่ทันต่อคำสั่งซื้อของลูกค้า เกิดการทำงานล่วงเวลา ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

2.1.3 การศึกษากระบวนการผลิต

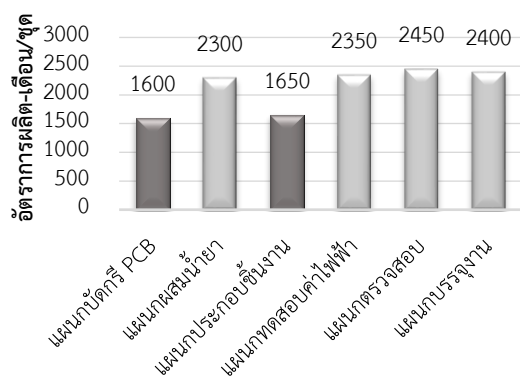
การศึกษากิจกรรมการผลิตพบว่า มีกระบวนการที่เป็นจุดคอขวดของกระบวนการผลิต ได้แก่ กระบวนการบัดกรีตะกั่ว (soldering) และกระบวนการประกอบงาน (assembly line) ดังรูปที่ 3

2.1.3.1 กระบวนการบัดกรีตะกั่ว (soldering)

(1) ศึกษาประสิทธิภาพสายการผลิต (line efficiency) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$E = \left(\sum_{c=1}^n \frac{Tc}{mc} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ E คือ ประสิทธิภาพการผลิต; m คือ จำนวนสถานีทำงาน; c คือ รอบเวลาการผลิตสูงสุด; Tc คือ รอบเวลาการผลิต



รูปที่ 3 อัตราการผลิตต่อเดือนของแผนกต่าง ๆ

(2) การคำนวณรอบเวลาความต้องการของลูกค้า (takt time) เพื่อเปรียบเทียบกับรอบเวลาในการผลิต (cycle time) จากสมการที่ 2

$$Takt\ time = \frac{Available\ Time}{Customer\ Demand} \quad (2)$$

เมื่อ *Available Time* คือ เวลาทำงานสุทธิต่อวัน; *Customer Demand* คือ จำนวนชิ้นงานที่ต้องการต่อวัน

การศึกษพบว่าสถานี wire soldering driver ของกระบวนการบัดกรีตะกั่วมีประสิทธิภาพสายการผลิต 68.18 % ค่าเวลารอบเวลาในการผลิต (cycle time) 330 วินาที ซึ่งสูงกว่าที่ต่ำกว่าความต้องการของลูกค้า (takt time) ที่มีค่า 211.20 วินาที และสูงกว่าสถานีอื่นในกระบวนการเดียวกัน ผลผลิตที่ได้ต่อเดือนก่อนการปรับปรุงจากการเก็บข้อมูลเฉลี่ย 1,600 ชิ้น/เดือน และเป้าหมายในปัจจุบันลูกค้าเพิ่มคำสั่งซื้อที่ความต้องการ 2,500 ชุด/เดือน จึงต้องมีการทำงานล่วงเวลาของพนักงาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น

2.1.3.2 กระบวนการประกอบงาน (assembly line)

การศึกษประสิทธิภาพสายการผลิต (line efficiency) พบว่ากระบวนการประกอบงานมีประสิทธิภาพสายการผลิต 63.75 % ค่าเวลารอบเวลา

ในการผลิต (cycle time) 320 วินาที ซึ่งสูงกว่ารอบความต้องการของลูกค้า (takt time) ที่มีค่า 211.20 วินาที ผลผลิตที่ได้ต่อเดือนก่อนการปรับปรุง 1,650 ชิ้น/เดือน และเป้าหมายปัจจุบันต้องการเพิ่มผลผลิตตามคำสั่งซื้อที่ 2,500 ชุด/เดือน จึงต้องมีการทำงานล่วงเวลาของพนักงาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น

2.2 การออกแบบผังกระบวนการผลิตและการจัดสมดุลการผลิต

2.2.1 การออกแบบผังกระบวนการผลิต

ใช้หลักการออกแบบวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (systematic layout planning, SLP) ในออกแบบการจัดกระบวนการผลิต เช่น การไหลของวัตถุดิบ สถานีงานประกอบงาน ความสัมพันธ์และความถี่ในการขนย้ายวัสดุระหว่างแผนก พื้นที่การทำงาน ทำให้การออกแบบผังโรงงานที่ได้เป็นระบบและมาตรฐานจะช่วยลดระยะทางการเคลื่อนย้ายงานและเวลาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น และช่วยลดต้นทุนด้านการผลิต [11] การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระบวนการผลิตที่ได้จากข้อมูลความสัมพันธ์และความถี่ในการขนย้ายวัสดุและชิ้นงานระหว่างแผนกต่าง ๆ ซึ่งบ่งบอกถึงความถี่ในการขนย้ายนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแผนกโดยใช้แผนภูมิความสัมพันธ์และแผนภาพความสัมพันธ์ (relationship chart and relationship diagram) [12] ในการหาจำนวนรวมของความสัมพันธ์ทั้งหมดจากสมการที่ 3

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (3)$$

เมื่อ *N* คือ จำนวนรวมของความสัมพันธ์ทั้งหมด; *n* คือ จำนวนแผนกทั้งหมด

การคำนวณจะได้จำนวนรวมของความสัมพันธ์ 36 รหัส ซึ่งใช้ในการออกแบบแผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรม โดยอาศัยเกณฑ์ในการกำหนดระดับความสัมพันธ์สำหรับการหาค่าความสัมพันธ์ ดัง

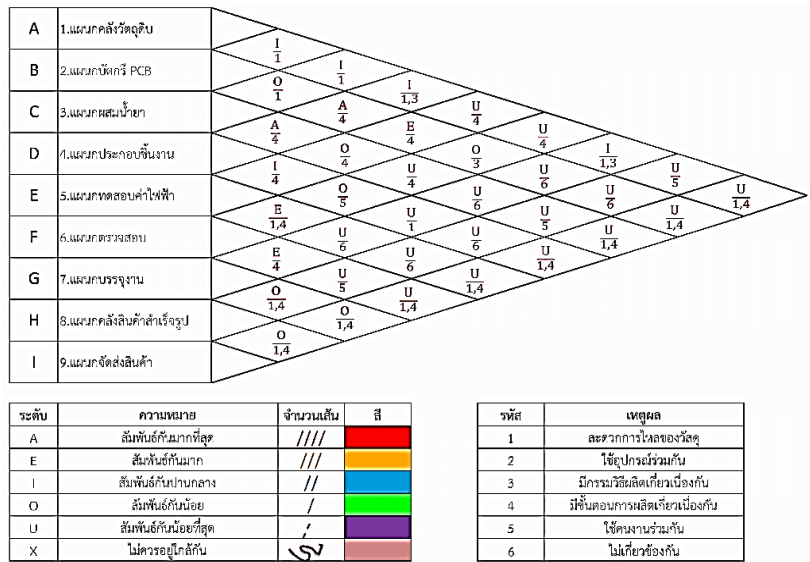
ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การกำหนดระดับความสัมพันธ์

ระดับ	ความหมาย	เกณฑ์การกำหนดระดับ	วิธีการคำนวณ	จำนวนระดับความสัมพันธ์
A	สัมพันธ์กันมากที่สุด	2-5 %	$5 \times 36 = 1.4$	2
E	สัมพันธ์กันมาก	3-10 %	$10 \times 36 = 2.8$	3
I	สัมพันธ์กันปานกลาง	5-15 %	$15 \times 36 = 4.2$	5
O	สัมพันธ์กันน้อย	10-25 %	$20 \times 36 = 7.2$	7
U	สัมพันธ์กันน้อยที่สุด	ปริมาณที่เหลือของกิจกรรม		19
X	ไม่ควรอยู่ใกล้กัน	ตามข้อจำกัดของกิจกรรม		

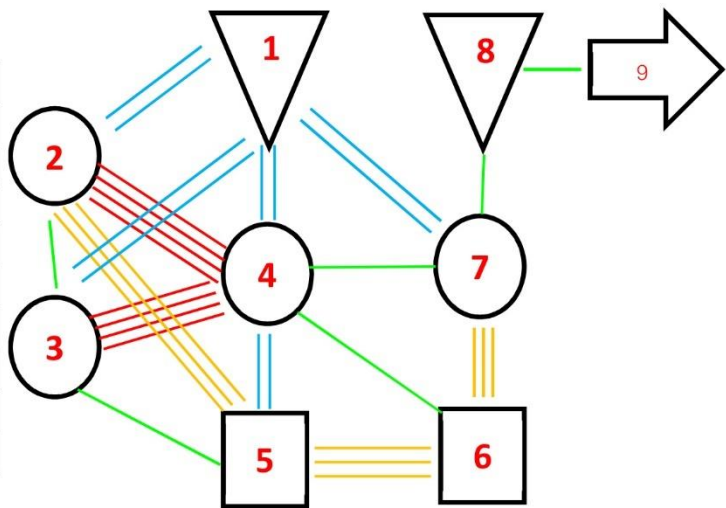
ข้อมูลในตารางที่ 1 นำวิเคราะห์หา ระดับความสัมพันธ์ของแต่ละแผนก โดยการกำหนด ระดับความสัมพันธ์ลงในแผนภูมิความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4 สามารถหาค่าความสัมพันธ์กันของแต่ละแผนกมากที่สุดในระดับ A มี 2 คู่แผนก คือ 2-4 และ 2-3 สัมพันธ์ กันมากในระดับ E มี 3 คู่แผนก คือ 2-5, 5-6 และ 6-7 สัมพันธ์กันปานกลางในระดับ I มี 5 คู่แผนก คือ 1-2, 1-3, 1-7, 1-4 และ 4-5 สัมพันธ์กันน้อยในระดับ O มี 7 คู่แผนก คือ 2-3, 2-6, 3-5, 4-6, 7-8, 7-9 และ 8-9

และสัมพันธ์กันน้อยที่สุดในระดับ U มี 19 คู่แผนก คือ 1-5, 1-6, 1-8, 1-9, 2-7, 2-8, 2-9, 3-6, 3-7, 3-8, 3-9, 4-7, 4-8, 4-9, 5-7, 5-8, 5-9, 6-8 และ 6-9 ข้อมูลระดับความสัมพันธ์ของกิจกรรมแต่ละแผนกจะ นำไปเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 5 โดยใช้ สัญลักษณ์ความสัมพันธ์แสดงกิจกรรมในกระบวนการ ผลิตประกอบการเขียนแผนภาพเพื่อนำไปออกแบบผัง โรงงานต่อไป

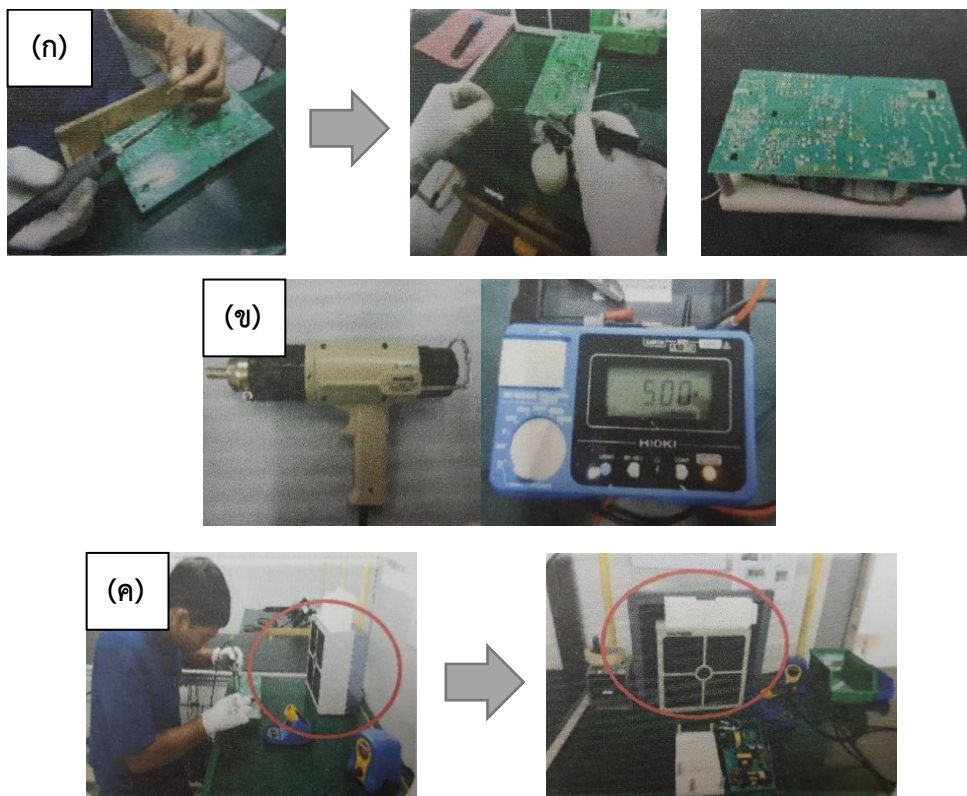


รูปที่ 4 แผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรม

แผนก
1. แผนกคลังวัสดุดิบ
2. แผนกบัดกรี PCB
3. แผนกผสมน้ำยา
4. แผนกประกอบชิ้นงาน
5. แผนกทดสอบ
6. แผนกตรวจสอบ
7. แผนกบรรจุงาน
8. แผนกคลังสินค้าสำเร็จรูป
9. แผนกจัดส่งสินค้า



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละแผนกในกระบวนการผลิต



รูปที่ 6 การปรับปรุงขั้นตอน wire soldering driver ของกระบวนการบัดกรีตะกั่ว

2.3 การปรับปรุงกระบวนการบัดกรีตะกั่ว
(soldering)

การปรับปรุงขั้นตอน wire soldering
driver ของกระบวนการบัดกรีตะกั่ว โดยการปรับปรุง

สายการผลิตด้วยหลักการ ECRS ในการกำจัดขั้นตอนการทำงานบางส่วนที่ไม่จำเป็นออก (eliminate) รวมขั้นตอนการทำงานที่มีการปฏิบัติใกล้เคียงกัน เป็นขั้นตอนเดียว (combine) จัดลำดับขั้นของงานใหม่ (rearrange) และปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้ง่ายขึ้น (simplify) [13] ซึ่งได้กำหนดแนวทางในการปรับปรุงดังนี้

2.3.1 ออกแบบอุปกรณ์จับยึด (fixture) ให้พนักงานในสถานีบัดกรีตะกั่วช่วยในการปฏิบัติงานให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานง่ายขึ้น ช่วยลดความเมื่อยล้าให้กับพนักงาน และลดเวลาในปฏิบัติงาน ดังรูป

ที่ 6ก

2.3.2 เพิ่มเครื่องมือสำหรับกระบวนการบัดกรีตะกั่ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยทำการเพิ่มเครื่องเป่าลมร้อน (heat gun) เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า (Watt meter) และเพิ่มท่อดูดควันตะกั่ว ดังรูปที่ 6ข

2.3.3 ฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานทดแทนกันได้ จัดทำเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานแบบละเอียดเพื่อใช้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 6ค



รูปที่ 7 การปรับปรุงกระบวนการประกอบงานโดยใช้หลักการ ECRS

2.4 การปรับปรุงกระบวนการประกอบงาน (assembly line)

การปรับปรุงกระบวนการประกอบงาน (assembly line) ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงสายการผลิต และจัดสมดุลกระบวนการผลิต (line balancing) โดยเลือกใช้วิธีเกณฑ์น้ำหนักตำแหน่ง (ranked positional weight) ปรับปรุงกระบวนการประกอบงาน [10]

2.4.1 การปรับปรุงกระบวนการประกอบงานโดยใช้หลักการ ECRS ซึ่งได้กำหนดแนวทางในการปรับปรุง ดังนี้

(1) การปรับปรุงกระบวนการย่อย (work element) โดยการปรับปรุงสายการผลิตใช้หลักการ ECRS ซึ่งในกระบวนการนี้จะออกแบบจัดทำอุปกรณ์จับยึด (fixture) ให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้ง่ายขึ้น ช่วยลดความเมื่อยล้าให้กับพนักงาน และลดเวลาในปฏิบัติงาน รวมทั้งช่วยให้งานมีการไหลที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 7ก

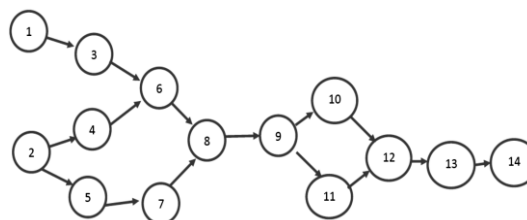
(2) การปรับปรุงกระบวนการโดยเพิ่มเครื่องมือเสริมในสายการประกอบ เนื่องจากงานมีความซับซ้อนในขั้นตอนประกอบจำเป็นต้องมีเครื่องมือช่วย ได้แก่ เครื่องตัดและย่ำสายไฟ เพิ่มเครื่องบัดกรี ตะกั่วสำหรับซ่อมงานในสายประกอบงาน และเครื่องวัดค่าทางไฟฟ้าของสายการประกอบงาน ดังรูปที่ 7ข

(3) การปรับปรุงสถานที่และสายการผลิตให้งานมีความต่อเนื่องการเคลื่อนย้ายระหว่างสถานีการทำงาน ดังรูปที่ 7ค

(4) ฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานตามเอกสารมาตรฐาน จัดทำเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานแบบละเอียดเพื่อใช้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง

2.4.2 การปรับปรุงกระบวนการประกอบงานโดยใช้ RPW

เริ่มจากนำข้อมูลรอบเวลาในการผลิตของงานย่อยในกระบวนการผลิตมาเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ลำดับก่อนหลัง (precedence diagram) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภาพความสัมพันธ์ลำดับก่อนหลังของการผลิต

แผนภาพความสัมพันธ์ลำดับก่อนหลังของการผลิต (precedence diagram) นำมาหาค่าตำแหน่งน้ำหนัก (ranked positional weight, RPW) ของแต่ละงานย่อยในกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 2 โดยการรวมค่าเวลามาตรฐานของส่วนงานนั้น ๆ เข้ากับค่าเวลามาตรฐานของส่วนงานทั้งหมดที่ตามหลังในข่ายของแนวลูกศรของผังลำดับงาน เช่น $RPW_{12} = 2.67 + 1.00 + 2.27 = 5.94$

หลังจากได้ค่าตำแหน่งน้ำหนัก (RPW) ของแต่ละงานย่อยในกระบวนการผลิต นำมาจัดเรียงลำดับตำแหน่งน้ำหนักของงานย่อยจากมากไปหาน้อย จากนั้นกำหนดสถานีการทำงานโดยไม่ให้รอบเวลาการผลิต (cycle time) ของแต่ละงานย่อยเกินรอบเวลาความต้องการ (takt time) ดังตารางที่ 3

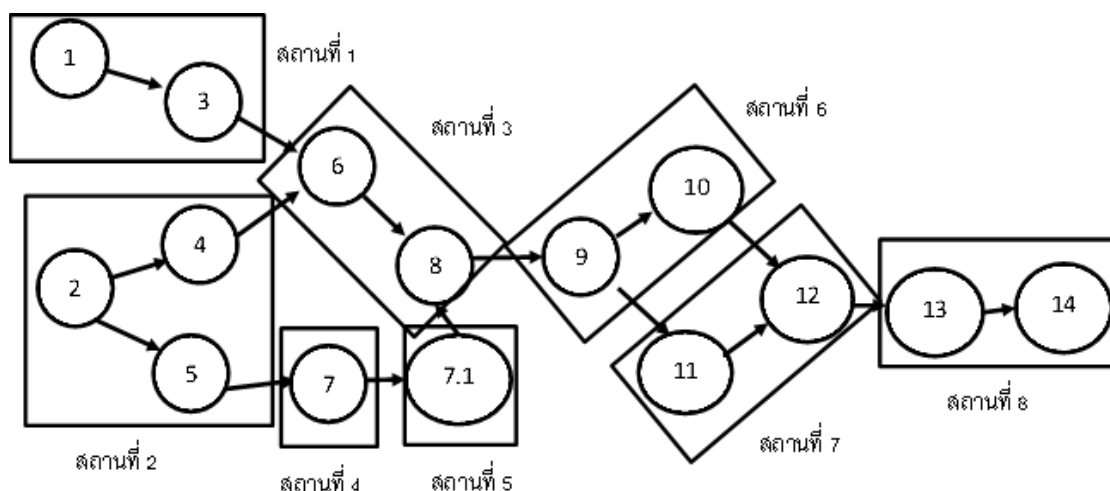
เมื่อจัดสมดุลการผลิตของกระบวนการประกอบงาน (assembly line) แล้วจึงนำข้อมูลมาทำการเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ลำดับก่อนหลังของการผลิต (precedence diagram) เพื่อลำดับค่ารอบเวลาในการผลิต (cycle time) และกำหนดสถานีการทำงาน ดังรูปที่ 9

ตารางที่ 2 ค่าตำแหน่งน้ำหนักของแต่ละงานย่อย RPW

Element No.	Element Description	Te (Min)	RPW
1	Diode bridge wire to cable bush	1.00	17.13
2	O-ring to aluminium CASE-A	0.40	20.93
3	Assembly O-ring to cable wire and cover cable	2.37	16.13
4	Assembly diode bridge wire to wire ground	1.43	15.19
5	Affix screw cover to aluminium body CASE-B	1.67	17.43
6	Assembly aluminium body to case-A and bridge wire cable	1.67	13.76
7	Assembly aluminium body CASE-A to LED plate	3.67	15.76
8	Assembly arm and support plate to CASE-A	1.84	12.09
9	O-ring to CASE-B and affix cover	1.35	10.25
10	Assembly CASE-B to arm	2.13	8.07
11	O-ring to LED aluminium plate	0.83	6.77
12	Wire cable and affix LED light to LED aluminium plate	2.67	5.94
13	Middle inspection	1.00	3.27
14	Assembly lens to LED aluminium plate	2.27	2.27
Total ΣTe		24.3	

ตารางที่ 3 สถานีการทำงานสมดุลของกระบวนการประกอบงาน

Station	Element No.	Element Description	Te (Min)	ΣTe	Takt time
1	2	O-ring to aluminium CASE-A	0.40	3.50	3.52
	4	Assembly diode bridge wire to wire gound	1.43		
	5	Affix screw cover to aluminium body CASE-B	1.67		
2	1	Diode bridge wire to cable bush	1.00	3.37	
	3	Assembly O-ring to cable wire and cover cable	2.37		
3	6	Assembly aluminium body to case-A and bridge wire cable	1.67	3.51	
	8	Assembly arm and support plate to CASE-A	1.84		
4	7	Assembly aluminium body CASE-A to LED plate	2.00	2.00	
5	7.1	Assembly LED plate	1.67	1.67	
6	9	O-ring to CASE-B and affix cover	1.35	3.48	
	10	Assembly CASE-B to arm	2.13		
7	11	O-ring to LED aluminium plate	0.83	3.50	
	12	Wire cable and affix LED light to LED aluminium plate	2.67		
8	13	Middle inspection	1.00	3.27	
	14	Assembly lens to LED aluminium plate	2.27		
Total ΣTe			4.30		



รูปที่ 9 แผนภาพความสัมพันธ์ลำดับก่อนหลังของการผลิต

ผลการจัดสมดุลกระบวนการผลิตแบบหาค่าน้ำหนักตำแหน่ง (RPW) นำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพสายการผลิต และหาค่าการสูญเสียการสมดุล ดังสมการที่ 4

$$d = \frac{nTc - Twc}{nTc} \quad (4)$$

เมื่อ d คือ ค่าการสูญเสียการสมดุล; n คือ จำนวนสถานีงาน; Tc คือ รอบเวลาความต้องการของลูกค้า; Twc คือ รอบเวลาการผลิตรวม

2.5 การคำนวณผลิตภาพการผลิต

คำนวณอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นภายหลังได้รับการปรับปรุง ดังสมการที่ 5

$$Rp = \frac{Da}{50SH} \quad (5)$$

เมื่อ Rp คือ อัตราการผลิตต่อชั่วโมง (units/hr); Da คือ ปริมาณความต้องการผลิตสินค้าต่อปี (units/yr); S คือ จำนวนกะต่อสัปดาห์ (shift/week); H คือ จำนวนชั่วโมงต่อกะ (hr/shift)

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการออกแบบผังโรงงานของกระบวนการผลิต

ผลการออกแบบผังโรงงานตามหลักการการออกแบบวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (systematic layout planning, SLP) โดยอาศัยข้อมูลระดับความสัมพันธ์ของของแต่ละแผนก สามารถลดระยะทางและรอบเวลาการขนส่งวัสดุ ดังตารางที่ 4 ตามการปรับปรุงผังโรงงานใหม่

3.2 ผลการปรับปรุงกระบวนการบัดกรีตะกั่ว

ผลการปรับปรุงกระบวนการบัดกรีตะกั่ว (soldering) โดยใช้หลักการ ECRS สามารถลดรอบเวลาการผลิตรวม (cycle time) ในทุกสถานีการผลิตลงได้ 440 วินาที คิดเป็น 48.89 % ซึ่งคำนวณร้อยละเปรียบเทียบกับเวลาการผลิตก่อนปรับปรุง นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มผลผลิตต่อเดือนขึ้น 800 ชิ้น/เดือน และอัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 96.00 % ดังตารางที่ 5

3.3 ผลการปรับปรุงกระบวนการประกอบงาน

ผลการปรับปรุงกระบวนการประกอบงาน (assembly line) โดยใช้หลักการ ECRS และการจัดสมดุลกระบวนการผลิตเกณฑ์น้ำหนักตำแหน่ง

(ranked positional weight) พบว่าสามารถลดรอบ เป็น 2,400 ชิ้น/เดือน ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น
 เวลาการผลิต (cycle time) ลง 60 % และอัตราผลิต เป็น 86.54 % สามารถลดพนักงานลงได้ 2 คน และลด
 ภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดือนละ 1,650 ชิ้น/เดือน สถานีการทำงานลงได้ 2 สถานี ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบระยะทางขนส่งก่อนและหลังปรับปรุง

ปัจจัยเปรียบเทียบ	ผังโรงงาน			
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ลดลง	ลดลง (%)
การเปรียบเทียบระยะทางขนส่งวัสดุ (เมตร)	1,648	986	662	40.17
การเปรียบเทียบเวลาการขนส่งวัสดุ (วินาที)	1,250	630	620	49.60

ตารางที่ 5 ผลการปรับปรุงกระบวนการบัดกรีตะกั่ว

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลต่าง
รอบเวลาการผลิตรวม (cycle time) (วินาที)	900	460	440
รอบเวลาความต้องการ (task time) (วินาที)	211.20	211.20	-
จำนวนพนักงาน (คน)	5	5	-
ประสิทธิภาพการผลิตภาพการผลิต (%)	68.18	83.33	15.15
อัตราผลิตภาพการผลิต (%)	64.00	96.00	32.00
ผลผลิตที่ได้ต่อเดือน (ชิ้น)	16,00	2,400	800
ราคาผลิตภัณฑ์ (บาท)	7,800	7,800	-
มูลค่าผลิตภัณฑ์รวม (บาท)	12,480,000	18,720,000	6,240,000

ตารางที่ 6 การปรับปรุงกระบวนการประกอบงาน

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลต่าง
รอบเวลาการผลิต (cycle time) (วินาที)	2040	1458	582
รอบเวลาความต้องการ (takt time) (วินาที)	211.20	211.20	211.20
จำนวนพนักงาน (คน)	10	8	2
จำนวนสถานีงาน	10	8	2
ประสิทธิภาพการผลิต (%)	63.75	86.54	22.79
ผลผลิตที่ได้ต่อเดือน (ชิ้น)	1650	2400	750
ราคาผลิตภัณฑ์ (บาท)	7,800	7,800	7,800
มูลค่าผลิตภัณฑ์รวม (บาท)	12,870,000	18,720,000	5,850,000

3.4 ผลของผลิดภาพภายหลังการปรับปรุง
 ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าสามารถเพิ่มอัตราภาพการผลิตจริง โดยการเก็บข้อมูล 3 เดือน ก่อนและหลัง ซึ่งก่อนการปรับปรุงมีผลผลิตเฉลี่ยต่อ

เดือนประมาณ 1,683 ชุด/เดือน และหลังการปรับปรุงมีผลผลิตเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 2,433 ชุด/เดือน อัตราภาพของผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 717 ชุด/เดือน ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบข้อมูลการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง

เดือน	เดือน	อัตราการผลิตที่ได้จริง (ชุด)		
ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	จำนวน	จำนวน	ผลต่าง
พฤศจิกายน 2559	กุมภาพันธ์ 2560	1650	2400	650
ธันวาคม 2559	มีนาคม 2560	1700	2400	700
มกราคม 2560	เมษายน 2560	1700	2500	800
ค่าเฉลี่ย/เดือน		1683	2433	717

4. สรุปผลการดำเนินงาน

การออกแบบผังโรงงานอย่างมีระบบ (systematic layout planning, SLP) สามารถลดระยะทางการขนย้ายวัสดุได้ 662 เมตร คิดเป็น 40.17 % และรอบเวลาในการขนย้ายชิ้นงานลดลง 620 วินาที คิดเป็น 49.60 % สำหรับการปรับปรุงในส่วนของกระบวนการผลิต ผลการปรับปรุงกระบวนการบัดกรี ตะกั่วโดยใช้หลักการ ECRS พบว่าสามารถลดรอบเวลารวมการผลิต (cycle time) ลดลงได้ 440 วินาที และประสิทธิภาพผลิดภาพการผลิตขึ้นเป็น 83.33 % อัตราผลิดภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดือนละ 1,600 ชิ้น/เดือน เป็น 2,400 ชิ้น/เดือน การปรับปรุงกระบวนการประกอบงานโดยใช้หลักการ ECERS และการจัดสมดุลกระบวนการผลิตโดยใช้เกณฑ์น้ำหนักตำแหน่ง (ranked positional weight) พบว่าสามารถลดรอบเวลารวมการผลิต (cycle time) ลงได้ 582 วินาที และอัตราผลิดภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดือนละ 1,650 ชิ้น/เดือน สามารถเพิ่มกำลังการผลิตเป็น 2,400 ชิ้น/เดือน เพิ่มประสิทธิภาพผลิดภาพการผลิตคิดเป็น

86.54 % สามารถลดพนักงานลง 2 คน และลดสถานการณ์การทำงานลงได้ 2 สถานี ผลที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าสามารถเพิ่มอัตราภาพการผลิตจริง โดยการเก็บข้อมูล 3 เดือนก่อนการปรับปรุงมีผลผลิตเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 1,683 ชุด/เดือน หลังการปรับปรุงมีผลผลิตเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 2,433 ชุด/เดือน เพิ่มอัตราภาพของผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 717 ชุด/เดือน ระยะเวลาการคืนทุน 2.4 เดือน หรือ 2 เดือน 12 วัน ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน 1,620,340 บาท/ปี ดังนั้นการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตของการวิจัยครั้งนี้สามารถรองรับปริมาณคำสั่งซื้อที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตเป็นอย่างดี

5. รายการอ้างอิง

- [1] Kasikornresearch, Business Analysis: LED Light Market, Available Source: <https://www.kasikornresearch.com/th/KEconAnalysis/Pages/ViewSummary.aspx?docid=35388>, December 17, 2016.

- [2] Academic Affairs, LED Bulbs: Innovative Conservation and Energy Saving, The Secretariat of The House of Representatives, Available Source: <https://www.parliament.go.th>, December 17, 2016.
- [3] Treesad, S., 1999, Plant Layout and Design, Bangkok Thailand: Technology Promotion Association, Thailand-Japan.
- [4] Jongjun, Y., 2012, Line balancing for reducing waste of producing shoes process, Industrial Engineering Network Conference.
- [5] Promsuwan, S. and YangKamonsing, C., 2007, Study on the optimization of plant layout: A case study of K Furniture Co., Ltd., Proceedings of the 2nd UTCC Graduate Research Conference 2007: Multi-disciplinary Research Papers, University of the Thai Chamber of Commerce, Bangkok.
- [6] Design and Layout of Photovoltaic Silicon Photovoltaic Module Capacity of 10 Megawatts per Year: A Case Study of Solar Power Plant of NSTDA, Available Source: <https://libdoc.dpu.ac.th/mtext/article/431917.pdf>, December 20, 2017.
- [7] Klomjit, P., 2014, Industrial Plant Design for Safety and Productivity, SE-ED, Bangkok.
- [8] Jongjun, Y., 2012, Line balancing for reducing waste of producing shoes process, Proceedings of IE Network Conference 2012, Phetchaburi.
- [9] Klomjit, P., 2014, Productivity Improvement: Principle and Practice, SE-ED, Bangkok.
- [10] Phitak, P., 2009, The Study of Production Process for Productivity Improvement: A Case Study of Bottle Washing Industry, M.Eng. Thesis, Prince of Songkla University, Songkla.
- [11] Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M. and Pilati, F., 2016, Including material exposure and part attributes in the manual assembly line balancing problem, IFAC 49: 926-931.
- [12] Groover, M.P., 2002, Automation, Production Systems, and Computer-integrated Manufacturing, 2nd Ed., Emerald Group Publishing Ltd., Bingley.
- [13] Meyers, F.E. and Stephens, M.P., 2005, Manufacturing Facilities Design and Material Handling, 3rd Ed., Pearson Education, Inc., New Jersey.
- [14] Lam, N.T., Toi, L.M. and Tuyen, V.T.T., 2016, Lean line balancing for an electronics assembly line, Procedia CIRP 40: 437-442.