

ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยลีน ชิกล์ซิกม่า และลีนอัตโนมัติ Production Improvement Steps: Lean, Six Sigma and Lean Automation

ประภัสสร ตันติพันธุ์วดี^{1*,2} อาณัติ ศิริปัญญา² พชรพงศ์ ปัญญาคุณานนท์² พศิษฐ์ ธนาโชติอนันต์กุล²

นันทชัย ว่องปฏิเวธ³ สุจินต์ พวงมาลัย³ และ สิริวัฒน์ ไวยนิตย³

Prapassorn Tantiphanwadi^{1*,2}, Anut Siripanya², Pacharappong Panyakunanon², Pasidth Thanachotanankul²

Nantachai Wongpatiwate³, Suchinda Phwngmalay³ and Siriwat Waiyanit³

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน นครปฐม 73140

²LASI SI Designer (Warrior), Gen. 5 สถาบันไทย-เยอรมัน คล้ายน้ำไท กรุงเทพฯ 10110

³สถาบันไทย-เยอรมัน อ.เมือง ชลบุรี 20000

^{1*}Division of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140

²LASI SI Designer (Warrior), Gen. 5, Thai-German Institute, Klongnamtai, Bangkok 10110

³Thai-German Institute, Muang, Chonburi 20000

* Corresponding author e-mail: prapassorn.tan@ku.th

(Received: April 30, 2020, Revised: August 31, 2020, Accepted: November 15, 2020)

บทคัดย่อ

เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง โรงงานหลายแห่งต้องการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้เป็นแบบอัตโนมัติ เช่น นำหุ่นยนต์แขนกลมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างเต็มที่ก่อให้เกิดความสูญเสียเปล่า งานวิจัยฉบับนี้จึงออกแบบขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิต เริ่มต้นด้วยกิจกรรมการผลิตแบบลีนซึ่งทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพและไหลอย่างต่อเนื่อง ต่อมา กิจกรรมชิกล์ซิกม่าซึ่งนำสถิติเข้ามาช่วยทำให้กระบวนการผลิตสามารถให้ผลผลิตที่มีความแปรปรวนต่ำและควบคุมได้เหมาะสมเพียงพอต่อการพัฒนาด้วยกิจกรรมลีนอัตโนมัติ ซึ่งต้องการทั้งการจัดการการผลิตที่ดีและอุปกรณ์ที่อยู่ในสภาพพร้อมรวมถึงวัตถุดิบที่ต้องอยู่ในข้อกำหนด โดยมีทั้งหมด 15 ขั้นตอนเพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินโครงการ ขั้นตอนนี้ได้นำไปใช้กับกรณีศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นโลหะของชิ้นส่วนประกอบของรถยนต์ ซึ่งประกอบด้วยสามกระบวนการหลัก คือ การปั๊ม การขึ้นรูป และการเจาะ ผลลัพธ์ของการปรับปรุงได้ปรับเปลี่ยนเป็นกระบวนการผลิตแบบลีนกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อชิ้นงานลดลง 55.1% และค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรของกระบวนการปั๊มเพิ่มขึ้น 15.2%

คำสำคัญ: การผลิตแบบลีน, ชิกล์ซิกม่า, ลีนอัตโนมัติ, ลีนกึ่งอัตโนมัติ

Abstract

With the effort of cost reduction, manufacturers attempted to be more automated. Some of them brought automated equipment, such as robot arm, into production line but were unable to gain successful implementation causing loss due to unused machine. The research is aimed to develop improvement steps based on activities of lean manufacturing that brings continuous and productive production line. Six sigma activity with statistical application brings production line to be less variability and more control enough for lean automation activity. The last activity requires smooth operations of production control, equipment maintenance and raw materials. The 15-steps assure for the projects that follow will be successful. A case study is implemented on three production processes, stamping, forming and piercing. Its result is the transformation into lean semi-automation processes that cycle time is reduced by 55.1% and overall equipment effectiveness index is increased by 15.2%.

Keywords: Lean manufacturing, Six Sigma, Lean automation, Lean semi-automation

1. บทนำ

ในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตที่เป็นอยู่ให้เป็นแบบอัตโนมัติมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง โรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งได้ซื้ออุปกรณ์ทำงานแบบอัตโนมัติ เช่น หุ่นยนต์แขนกล มาทำหน้าที่แทนพนักงานในกระบวนการผลิต เช่น แขนกลสำหรับการเชื่อม แขนกลสำหรับการประกอบ ซึ่งค่อนข้างไม่สำเร็จเป็นส่วนใหญ่ การผลิตจึงยังคงเป็นแบบเดิมและอุปกรณ์เหล่านี้ ไม่ได้ถูกใช้งานหรือใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดความสูญเปล่า เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือออกแบบขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยขั้นตอนจะเริ่มต้นด้วย กิจกรรมการปรับปรุงการผลิตแบบลีนซึ่งทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพและไหลอย่างต่อเนื่อง ตามด้วยกิจกรรมซิกส์ซิกม่า ซึ่งนำสถิติเข้ามาช่วยทำให้แต่ละกระบวนการย่อยมีความแปรปรวนต่ำและสามารถวัดความสามารถได้ส่งผลให้ผลิตผลที่ออกมาจากแต่ละกระบวนการมีคุณภาพตามข้อกำหนด ซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับการปรับเปลี่ยนกระบวนการไปเป็นแบบลีนอัตโนมัติที่ต้องการทั้งการจัดการการผลิตที่ดี การบำรุงรักษาอุปกรณ์และเครื่องจักรในสภาพพร้อมใช้งานเสมอ รวมถึงวัดดูและผลิตผลจากแต่ละกระบวนการก่อนหน้าต้องอยู่ในข้อกำหนดเสมอ

ในหัวข้อที่ 2 ได้นำเสนอแนวคิดและการทบทวนวรรณกรรมที่มีความเกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 3 นำเสนอแนวคิดขั้นตอน กิจกรรมแบบลีน ซิกส์ซิกม่า และลีนอัตโนมัติ หัวข้อที่ 4 มีกรณีศึกษาที่โรงงานแห่งหนึ่ง จากนั้นในหัวข้อที่ 5 เป็นผลวิจัย และสรุปผลวิจัยในหัวข้อที่ 6

2. แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดของกิจกรรมในการปรับปรุงกระบวนการผลิตทั้งหมด เป็นไปเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตให้ได้มากที่สุด แนวคิดที่จะกล่าวถึงมีอยู่ 3 แนวคิดใหญ่ๆ คือ การปรับปรุงการผลิตแบบลีน ซิกส์ซิกม่า และลีนอัตโนมัติ ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยดัชนีตัววัด ดังต่อไปนี้

2.1 ดัชนีการวัด (Index) และแผนภูมิ

ในทุกๆกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วโลก จะใช้ดัชนีวัดความสามารถที่มีสูตรการคำนวณและความหมายเหมือนกัน ซึ่งขอสรุปในส่วนที่นำมาใช้งาน (Dennis, 2015; Montgomery, 2013; LASI Trainers, 2020) ดังต่อไปนี้

Takt time คือ อัตราที่สินค้าต้องถูกผลิตเพื่อให้ทันต่อความต้องการของลูกค้า มีหน่วยเป็นเวลาต่อหน่วยสินค้า

$$T.T = \frac{\text{เวลาทำงานปกติสุทธิ}}{\text{จำนวนสินค้าที่ต้องการ}} \quad (1)$$

Cycle time คือ เวลาที่ใช้ในการผลิตหรือทำงานต่อชิ้นงานหนึ่งชิ้น มีหน่วยเป็นเวลา ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละกระบวนการผลิต

Lead time คือ ระยะเวลาในการรอคอยสินค้า หลังจากที่ได้สั่งซื้อได้ตกลงส่งสินค้าจากผู้ขายเรียบร้อยแล้ว มีหน่วยเป็นเวลา

WIP (Work-In-Process) คือ ผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตที่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ หรือสินค้าค้างคลังที่อยู่ในกระบวนการผลิต

$$WIP = \text{Throughput rate} \times \text{Lead time} \quad (2)$$

เมื่อ Throughput rate คือ อัตราการไหลของจำนวนผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยเวลาของกระบวนการนั้นๆ

ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness; OEE) คือ ตัวเลขที่ใช้บ่งบอกสมรรถนะของเครื่องจักรที่ใช้ผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ ดังนี้

$$OEE = \text{Availability} \times \text{Performance rate} \times \text{Quality rate} \quad (3)$$

เมื่อ Availability (เวลาปฏิบัติงานที่มีอยู่) คือ สัดส่วนของเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องผลิต

$$A = \frac{(\text{เวลาเดินเครื่อง} - \text{เวลาที่เครื่องจักรหยุด})}{\text{เวลาเดินเครื่อง}} \times 100 \quad (4)$$

ต่อมา Performance rate (ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง) คือ สัดส่วนของเวลาที่เครื่องสามารถทำงานได้

$$P = \frac{\text{เวลาทำงานสุทธิ}}{\text{เวลาทำงาน}} \times 100 \quad (5)$$

และ Quality rate (อัตราคุณภาพ) คือ สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ดีที่เครื่องจักรผลิตได้

$$Q = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ดี}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่เครื่องผลิตทั้งหมด}} \times 100 \quad (6)$$

ตารางงานมาตรฐานผสม (Standardized Work Combination Table) คือ ตารางระบุเวลางานมาตรฐานของคนและเครื่องจักร

แผนภูมิแท่งรวมงาน (Yamazumi chart) คือ แผนภูมิแท่งของงานย่อยที่กระทำโดยพนักงาน 1 คน โดยในแผนภูมิจะแสดงจำนวนแท่งของพนักงานทั้งหมดในการผลิตของแต่ละกระบวนการหลัก

ดัชนีวัดความสามารถกระบวนการ (Process capability; C_{pk}) คือ ความสามารถของกระบวนการผลิตเทียบกับข้อกำหนด (Specification) ความสามารถของกระบวนการที่ยอมรับได้ ควรมีค่า $C_{pk} \geq 1.33$ ขึ้นไป

$$C_{pk} = \min \left(\frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \right) \quad (7)$$

Part per million; PPM คืออัตราส่วนของจำนวนของเสียต่อ 1 ล้านชิ้น เช่น ความสามารถของกระบวนการที่ $C_{pk} = 2$ จะเรียกเป็นกระบวนการ 6σ ซึ่งมีของเสีย 3.4 ppm หรือ 3.4 ชิ้นใน 1 ล้านชิ้น

2.2 การปรับปรุงการผลิตด้วยแนวคิดแบบลีน

เป็นแนวคิดหรือเทคนิคที่ใช้กำจัดความสูญเสียด้านเวลาและคุณภาพของกระบวนการผลิต (Dennis, 2015; LASI Trainers, 2020) ซึ่งเน้นไปที่ความเร็ว หรือเวลานำ (Lead time) ที่สั้นที่สุด รวมถึงแนวทางปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง (ไคเซ็น) โดยไม่เน้นการลงทุนในเทคโนโลยีขั้นสูง แต่มุ่งเน้นการปรับปรุงโดยมีพนักงานเป็นตัวขับเคลื่อนสำคัญ และมุ่งเน้นการไหลของงานเป็นหลัก

2.2.1 คุณลักษณะการผลิตแบบลีน

เป็นการการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) ซึ่งผลิตหรือการส่งมอบสิ่งของที่ต้องการ ในเวลาที่ต้องการ ด้วยจำนวนที่ต้องการ ซึ่งประกอบด้วย

ก) การไหลของวัสดุเป็นแบบดึง (Pull Method) หมายถึง การผลิตสินค้าเมื่อมีความต้องการ ทำให้มีจำนวนสินค้าคงคลังต่ำ

ข) ผลิตจำนวนน้อยในแต่ละครั้ง (Small Lot Size Production) หมายถึง การกำหนดขนาดของการผลิตจำนวนน้อย ทำให้มีสินค้าคงคลังต่ำ

ค) ขจัดความสูญเปล่า (Waste; Muda) ในการผลิต 7 ประการ ได้แก่ การผลิตมากเกินไป การรอคอย การขนส่งระยะทางที่มากเกินไป กระบวนการผลิตที่ขาดประสิทธิภาพ การมีวัสดุหรือสินค้าคงคลังเก็บไว้มากเกินความจำเป็น การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น และ ของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิต

ง) ต้องมีการจัดสมดุลการไหลในสายการผลิต โดยจัดให้แต่ละสถานีงานมีภาระงานเท่ากัน

จ) เป็นกระบวนการที่มีการไหลแบบต่อเนื่อง โดยมี WIP หรือบัฟเฟอร์น้อยที่สุด

ข) มีกิจกรรมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อลดความสูญเสีย ที่เรียกว่ากิจกรรมไคเซ็น

2.2.2 การวางแผนการผลิตภายในโรงงาน ควรจะถูกปรับเรียบ (Level production) เพื่อลดความสูญเสีย โดยเฉพาะสินค้าคงคลัง

2.2.3 กระบวนการผลิตแบบเรียนรู้ด้วยตนเอง (Autonomous process) เป็นกระบวนการผลิตที่ถูกออกแบบให้มีการทำงานแบบหยุดได้ด้วยตนเอง (Automatic stop function) เพื่อสร้างและรักษาคุณภาพให้มีในผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอนการผลิต

เครื่องมือที่นำมาใช้ในการปรับปรุงแบบลีน สามารถสรุปได้ในตารางที่ 1 ซึ่งเมื่อได้ดำเนินการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ก็จะสามารถลดความสูญเสียและความสูญเปล่าลงได้เหลือน้อยที่สุด กิจกรรมที่เหลืออยู่ก็จะเหลือประเภทมีคุณค่า (Value added) และไม่มีคุณค่า (Non-value added) แต่ยังคงต้องมี

ตารางที่ 1 เครื่องมือในการปรับปรุงแบบลีน

กิจกรรม	เครื่องมือ
การควบคุมการผลิต	Value Stream Mapping, Work- In- Process, Pull Operation, Production leveling, Mixed-Model Scheduling, Small lot size, Inventory Management
กระบวนการผลิต	Just- In- Time, Continuous production line, Kanban, Pokayoke (Mistake-Proofing), Muda & Waste reduction, Line Balancing, Standardized Combination Work, Yamazumi chart, Spaghetti chart, Work Study, Visual Control, Standard Work Instruction
คุณภาพในกระบวนการผลิต	กระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ (Autonomous Processes), ระบบแจ้งเตือนแบบอัตโนมัติ เช่น หลอดไฟ 3 สี แจ้งด้วยเสียง เป็นต้น ระบบตรวจสอบอัตโนมัติ หรือ Mistake-Proofing
เครื่องจักร	การปรับปรุง OEE, Muda & Waste reduction, Karakuri, Single Minute Exchange of Dies (SMED)
การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง	กิจกรรม Kaizen, กิจกรรม QCC, กิจกรรม TPM, 5ส, QC 7 tools, Multi-Skilled Workforces

2.3 ซิกส์ซิกม่า (Six Sigma)

กิจกรรมซิกส์ซิกม่า เริ่มต้นจากการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตของบริษัทโมโตโรล่า สหรัฐอเมริกา (Montgomery, 2013; Sony Corporation, 2000) ซึ่งมีความพยายามนำสถิติมาใช้วิเคราะห์และตัดสินใจในการแก้ปัญหา และได้ตั้งเป้าหมายให้กระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงมีความสามารถของกระบวนการเป็นซิกส์ซิกม่า ($c_{pk} = 2.0$) ซึ่งมีของเสียอยู่ที่ 3.4 ชิ้นจาก 1 ล้านชิ้น หรือ 3.4 ppm (Part per million) นอกเหนือจากการใช้เครื่องมือทางสถิติ แนวทางแก้ปัญหาก็ได้ถูกจัดการขึ้นเป็นมาตรฐานผ่านทางวิธีการ DMAIC และมีเครื่องมือทางสถิติและการจัดการ ดังแสดงในตารางที่ 2 ดังในรายละเอียด ดังนี้

แนวทางแก้ปัญหาคุณภาพ DMAIC

2.3.1 Define (ระบุปัญหา)

เป็นขั้นตอนในการใช้เครื่องมือระบุหัวข้อหรือปัญหาที่จะนำมาทำโครงการ ซึ่งต้องเป็นหัวข้อที่มีผลกระทบสูงกับความต้องการของลูกค้าหรือความต้องการของบริษัท

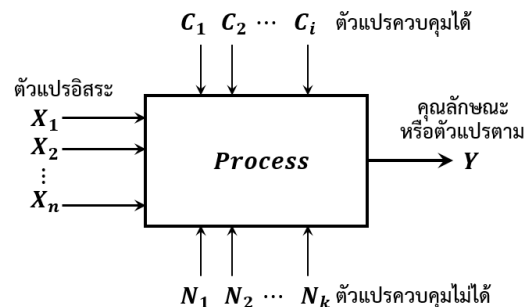
2.3.2 Measure (ตัววัด)

เป็นขั้นตอนในการใช้เครื่องมือระบุกระบวนการผลิตที่เป็นแหล่งกำเนิดของปัญหา และกระบวนการผลิตที่มีส่วนร่วมในปัญหา จากนั้นในกระบวนการที่เป็นแหล่งกำเนิด ให้ระบุตัววัดหรือตัวตอบสนอง (Response) ซึ่งมีสัญลักษณ์เป็น Y สามารถมีได้หลายตัว ต้องทำการวัดเก็บข้อมูล ดูการกระจาย ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบกับข้อกำหนด (Specification) ซึ่งเป็นค่าที่จะสะท้อนความเป็นจริง ณ ปัจจุบัน (Baseline)

2.3.3 Analyze (วิเคราะห์)

เป็นการระบุตัวแปรหรือปัจจัยจากกระบวนการผลิตที่เป็นแหล่งของปัญหาและที่มีส่วนร่วมทั้งหมดที่ผลต่อตัวตอบสนอง จากนั้นหาวิธีการที่เป็นมาตรฐานควบคุมทุกปัจจัยปัจจัยที่ได้รับการควบคุมแล้วมีสัญลักษณ์เป็น c เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุมแล้วก็ใช้วิธีการทางสถิติหรือเครื่องมืออื่นๆในการวิเคราะห์ คัดเลือกปัจจัยที่มีผลอย่างยั่งยืน (Critical factors) ซึ่งควรจะมีย่านอยู่ประมาณ 3-5 ปัจจัยซึ่งมีสัญลักษณ์เป็น x จากปัจจัยที่ควบคุมได้ทั้งหมด และจะมีปัจจัยบางตัวที่ส่งผลเล็กน้อยต่อกระบวนการเราเรียกว่า สิ่งรบกวน (Noise) ซึ่งมีสัญลักษณ์ n เครื่องมือทางสถิติที่โดดเด่น ได้แก่ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment;

DOE) ซึ่งช่วยตัดสินใจการคัดกรองปัจจัย x ด้วยแนวทางสถิติ หลังจากการวิเคราะห์เสร็จสิ้น เราสามารถสรุปปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการโดยใช้แผนภูมิกระบวนการ IPO ได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 3 แผนภูมิ IPO แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือตัวแปร

2.3.4 Improve (ปรับปรุงให้ดีขึ้น)

ในขั้นตอนนี้ เป็นการหาวิธีการแก้ปัญหา หรือเป็นการหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสม (Optimal Conditions) ใหม่ให้กับปัจจัย x ซึ่งจะต้องส่งผลให้ค่าตอบสนอง Y ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในการค้นหาเงื่อนไขที่เหมาะสม เครื่องมือทางสถิติที่โดดเด่น ได้แก่ DOE การหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) เป็นต้น นอกจากนี้ เมื่อได้เงื่อนไขที่เหมาะสมแล้ว ก็สามารถนำมาทำการจำลอง (Simulation) เพื่อดูความเป็นไปได้ ต่อมาทำการยืนยันผลการทดลอง เมื่อได้ผลลัพธ์ที่มั่นใจแล้วจึงค่อยนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง

2.3.5 Control (ควบคุม)

ปัจจัยที่มีผลอย่างยั่งยืน 3-5 ปัจจัยและตัววัดการตอบสนอง จำเป็นต้องได้รับการควบคุมซึ่งสามารถทำได้โดยใช้แผนภูมิควบคุม (Control charts) เพื่อดูอย่างต่อเนื่องเป็นอย่างน้อย 1-3 เดือน จึงถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่ควบคุมได้

2.4 ลีนอัตโนมัติ (Lean Automation)

ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงแบบลีนอัตโนมัติ (LASI Trainers, 2020; Department of Industrial Promotion and Denso International Asia, 2019) การปรับปรุงแบบลีนและซิกส์ซิกม่า ควรทำให้ความสามารถของกระบวนการผลิตเป็นไปตามเป้าหมาย หรือมากกว่าหกซิกม่า ($c_{pk} \geq 2.0$) ความสูญเสีย และความสูญเสียที่ยังเหลือจะ

ตารางที่ 2 เครื่องมือในกิจกรรมซิกซ์ซิกมา

ขั้นตอน	เครื่องมือ
Define	Project charter, Process map & Flow chart, QFD chart, Multivariate analysis
Measure	Process map & flow chart, Cause & effect analysis, Process capability analysis, Gage R&R, SPC and process control plans
Analyze	Hypothesis test, Confidential interval, Regression analysis, Other multivariate methods, Failure Mode and Effect Analysis, SPC and process control plans, Design of Experiments
Improve	Failure Mode and Effect Analysis, Design of Experiments, Simulation, Optimization
Control	SPC and process control plans

เป็นกิจกรรมที่ไม่มีคุณค่า (Non-value Added) ที่เกี่ยวกับเครื่องจักร เป็นส่วนใหญ่ การมองหาความสูญเสียเหล่านี้ กระบวนการผลิตจะถูกบูรณาการด้วยดิจิทัลเทคโนโลยี ซึ่งมีการใช้ระบบอัตโนมัติ รวมถึงการใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing; IoT) เชื่อมโยงสัมพันธ์กัน ซึ่งเมื่อพบเจอ ก็จะถูกกำจัดด้วยกิจกรรมไคเซ็นอย่างต่อเนื่อง โดยมีจุดประสงค์สุดท้ายเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานและพนักงานดูแลน้อยที่สุด องค์ประกอบต่าง ๆ สำหรับระบบบูรณาการการผลิตแบบอัตโนมัติ ได้แก่

2.4.1 ความสูญเสีย (loss) ที่เกี่ยวเนื่องกับเครื่องจักร

ดัชนีชี้วัดที่โดดเด่นคือประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness; OEE) ซึ่งมีความสูญเสีย 8 ประการที่เกี่ยวเนื่องกับค่า OEE ดังนี้

2.4.1.1 ความสูญเสียที่เกี่ยวเนื่องกับเวลาปฏิบัติงานที่มีอยู่ (Availability) ได้แก่ ความล้มเหลวของเครื่องจักร การเตรียมพร้อมและการปรับแต่ง การเปลี่ยนอุปกรณ์ขณะทำงาน การหยุดการทำงานของเครื่อง และการเริ่มต้นผลิต

2.4.1.2 ความสูญเสียที่เกี่ยวเนื่องกับประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance rate) ได้แก่ การหยุดเล็กน้อย และการลดความเร็วเครื่อง

2.4.1.3 ความสูญเสียที่เกี่ยวเนื่องกับอัตราคุณภาพ (Quality rate) ได้แก่ ของเสียและการซ่อม

2.4.2 อุปกรณ์ด้านเมคคาทรอนิกส์

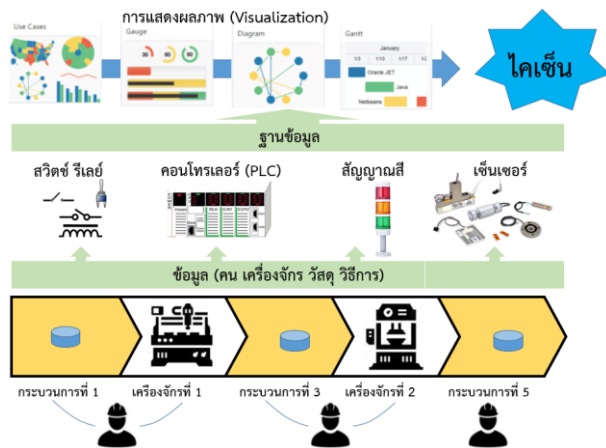
ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ ได้แก่ เครื่องจักรต่างๆ อุปกรณ์ที่ใช้ลม อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซ็นเซอร์ อุปกรณ์แสดงผล อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆ ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เทคโนโลยีอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิต

อุปกรณ์	เครื่องมือ
เครื่องจักร	เครื่องจักรที่สามารถซื้อได้ทั่วไปตามแคตตาล็อก เช่น เครื่อง CNC หรือเครื่องที่ถูกสร้างขึ้นตามสั่ง
อุปกรณ์	ใช้ลม ได้แก่ ระบายลม โซลินอยด์ ตัวกรอง ตัวควบคุม (Regulator) มอเตอร์ เป็นต้น ใช้ไฟฟ้า/ควบคุม ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า ระบายลม ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นต้น อุปกรณ์ทำงาน ได้แก่ แขนกลประเภทต่างๆ หัวจับ หัวเจาะ หัวเชื่อม เป็นต้น ใช้แสดงผล ได้แก่ แผงการควบคุมการทำงาน สัมผัส แสง อุปกรณ์แสดงผล เป็นต้น
เคลื่อนย้าย/ลำเลียง	ได้แก่ ระบบรถอัตโนมัติ (AGV) ตัวเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ ตัวลำเลียงวัตถุ สายพาน เป็นต้น
เซ็นเซอร์	ใช้ตรวจวัดหรือตรวจจับเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น ตรวจการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ตรวจคุณภาพของก๊าซ ตรวจคุณภาพคว้น อินฟราเรดเซ็นเซอร์ ตรวจวัดระดับ ตรวจจับภาพ ตรวจจับแสง ตรวจจับการเคลื่อนไหว เป็นต้น
การเชื่อมต่อ	เทคโนโลยีเชื่อมต่อ ได้แก่ อินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) บลูทูธ (Bluetooth) เครือข่ายตาข่าย (Mesh networks) เครือข่ายเซลล์ลาร์ (Cellular networks) เทคโนโลยี LPWAN เป็นต้น
IoT	IoT แพลตฟอร์ม เป็นซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับมา ซึ่งแพลตฟอร์มมีหลากหลาย เช่น Google Cloud, IRI Voracity, Particle, Salesforce IoT Cloud, ThinkWorx, IBM Watson IoT, Amazon AWS IoT Core, Microsoft Azure IoT Suite, Samsung Artik Cloud, Oracle IoT, Cisco IoT Cloud Connect, Altair SmartWorks เป็นต้น

2.4.3 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

หรือ Internet of Things (IoT) คือการที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ต โดยไม่ต้องป้อนข้อมูล ข้อมูลจากกระบวนการผลิตหรือสิ่ง (Things) ซึ่งประกอบไปด้วย คน (Man) เครื่องจักร (machine) วัสดุ (Material) วิธีการ (Method) นี้จะถูกนำเก็บในฐานข้อมูล (Data Storage) ซึ่งจะมีการประมวลผลออกมาเป็นแผนภูมิทางสถิติประเภทต่าง ๆ หรือวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นต้น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ก็สามารถนำมาแสดงเป็นภาพ (Visualization) ให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดหรือนำไปปรับปรุงหรือไคเซ็นได้อย่างทันที แผนภูมิของการทำอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเป็นไปดังรูปที่ 2 และในส่วนเทคโนโลยีการเชื่อมต่อ ได้ระบุไว้ในตารางที่ 3



รูปที่ 2 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ในกระบวนการผลิต
(Sony, 2018)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิจกรรมการผลิตแบบลีนและซิกส์ซิกมา ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและทำให้อุตสาหกรรมยุค 3.0 เฟื่องฟูไปทั่วโลก อีกทั้งยังคงเป็นพื้นฐานให้การปรับปรุงการผลิตก่อนที่จะก้าวไปยังการผลิตแบบลีนอัตโนมัติ หรืออุตสาหกรรมยุค 4.0 ซึ่งการทบทวนวรรณกรรมนี้ จะเป็นการนำเอาแนวคิดและเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เพิ่งจะเกิดขึ้นที่นำมาใช้ในกิจกรรมเหล่านี้

การผลิตแบบลีนได้ถูกนำมาเรียบเรียงเพื่อนำไปใช้งานได้ง่าย (Dennis, 2015) ซึ่งนำไปใช้ในหลายๆ อุตสาหกรรม ด้านโรงงานอุตสาหกรรม (Issarapong et al., 2019) หรือการบริการ เช่น อุตสาหกรรมดูแลสุขภาพ (Healthcare) ที่นำไปใช้ได้อย่างโดดเด่นทั่วโลก (Antony et al., 2019) แนวคิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องของลีนได้ถูกนำไปใช้ในการลดต้นทุนการดำเนินงานและอื่นๆ ตามเป้าหมายที่ผู้บริหารตั้งไว้ นอกจากนี้การพัฒนาเครื่องมือเทคโนโลยีใหม่ๆ สำหรับการปรับปรุงแบบลีนมีเข้ามาอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในเครื่องมือที่แพร่หลายคือสายธารคุณค่า (Value stream mapping; VSM) ซึ่งเป็นแผนภูมิการไหลของข้อมูล วัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ เริ่มตั้งแต่การวางใบสั่งซื้อจากลูกค้าจนกระทั่งลูกค้าได้รับผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาการใช้สายธารคุณค่าในการปรับปรุงแบบลีน มีทั้งการลดความสูญเปล่า (Waste) (Kumar et al., 2018) การลด WIP (Nihlah & Immawan, 2018) ระหว่างกระบวนการผลิต การลดเวลานำ (Lead time) (Saraswat et al., 2015) และใช้เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness; OEE) (Dadashnejad & Valmohammadi, 2019)

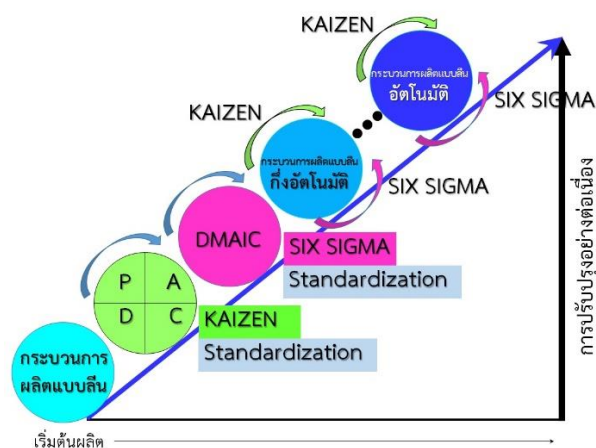
สำหรับกิจกรรมซิกส์ซิกมา ซึ่งเริ่มต้นที่บริษัทโมโตโรล่าในสหรัฐอเมริกา ได้ถูกยอมรับและนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เป็น

การนำเครื่องมือทางสถิติมาปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต โดยล่าสุด (Hakimi et al., 2018) ได้นำ DMAIC ไปปรับปรุงคุณภาพในโรงงานผลิตโดยเกียรต์ด้วยการใช้เครื่องมือ DOE ในปัจจุบันกิจกรรมได้ถูกขยายขอบเขตไปสู่สิ่งซึ่งเรียกว่า ลีนซิกส์ซิกมา (Montgomery, 2013) ซึ่งเป็นการผสมผสานแนวคิดแบบลีนและสถิติลงไปใน DMAIC และล่าสุดได้มีการพิจารณาแนวคิดด้านคุณภาพในยุคอุตสาหกรรมอัตโนมัติ (Park et al., 2017) จะมุ่งเน้นไปทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data) เช่น วิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ในกิจกรรมโคเซ็น หรือการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการตรวจสอบแบบอัตโนมัติ เป็นต้น

และในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ได้มีการพูดถึงการทำกิจกรรมระบบอัตโนมัติ (Automation system) หลังจากทำกิจกรรมปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบลีน (Lawton, 2007) มาตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1990 แล้ว คำศัพท์ ลีนอัตโนมัติ (Kolberg & Zuhlke, 2015) ได้ถูกนิยามขึ้นมาว่าหมายถึงการบูรณาการร่วมกันระหว่างการผลิตแบบลีนและเทคโนโลยีอัตโนมัติ ซึ่งก่อให้เกิดการผลิตที่มีทั้งความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น การออกแบบระบบอัตโนมัติได้ถูกนำเสนอจากหลายบริษัท บริษัททางทวีปยุโรปมีแนวคิดการออกแบบเป็นของใหม่ที่น่าสนใจของเก่า ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายอย่างมหาศาล ในขณะที่บริษัทในประเทศญี่ปุ่น เช่นบริษัทเดนิโซ (Yamazaki et al., 2016) ได้นำเสนอเป็นการปรับปรุงจากกระบวนการผลิตที่มีอยู่แล้วโดยมุ่งเน้นลดความสูญเปล่าและสูญเสียของเครื่องจักรให้มากขึ้น โดยเป็นการออกแบบระบบการผลิตแบบลีนอัตโนมัติแทน ซึ่งค่าใช้จ่ายจะไม่สูงเท่ากับแนวคิดของทางยุโรป อย่างไรก็ตามแนวคิดของการออกแบบระบบการผลิตแบบลีนอัตโนมัตินี้ได้ถูกนำไปศึกษาในหลายประเทศเช่นกัน (Nafais, 2017; Sony, 2018) สำหรับในประเทศไทย กิจกรรมนี้ได้มีการถ่ายทอดความรู้ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างกระทรวงเศรษฐกิจการค้าและอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น (METI) และ กระทรวงอุตสาหกรรม (MOI) ผ่านทางการอบรมในหลักสูตร LASI SI Designer (Warrior) Training (LASI Trainers, 2020) ให้กับผู้ประกอบการในภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย

3. วิธีวิจัย

เป็นการสร้างขั้นตอนแนวคิดอย่างเป็นระบบในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยเริ่มจาก ลีน ซิกส์ซิกมา ลีนกึ่งอัตโนมัติ และสุดท้ายลีนอัตโนมัติแบบเต็มรูปแบบ ตามลำดับ โดยมีแผนภูมิวงล้อเป็นดังในรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงล้อการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนเริ่มดังนี้

ขั้นที่ 1 L-Define (ระบุคุณค่า)

แนวคิด 1.1 ระบุกระบวนการผลิตที่ต้องการปรับปรุงซึ่งสอดคล้องกับผลกำไรของบริษัทหรือความต้องการของลูกค้า

แนวคิด 1.2 ระบุกระบวนการย่อยที่ต้องปรับปรุงในสายธารคุณค่าสอดคล้องไปกับเป้าหมายทางตัวเลขของบริษัทหรือลูกค้า
เครื่องมือ: แผนภูมิทางสถิติ พาเรโต การวิเคราะห์หลายตัวแปร การวิเคราะห์ต้นทุน สายธารคุณค่า (Value Stream Mapping; VSM) ดัชนีตัววัดดังในหัวข้อ 2.1 การคำนวณการเงิน

ขั้นที่ 2 L-Measure (ดัชนีวัดค่าพื้นฐาน)

แนวคิด 2.1 ระบุดัชนีตัววัดในสายธารคุณค่า (VSM)

แนวคิด 2.2 ทวนสอบระบบการวัดทั้งคนและเครื่องมือวัด

แนวคิด 2.3 ทำการวัดดัชนีตัววัดในแต่ละกระบวนการย่อยใน VSM ซึ่งเป็นค่าพื้นฐาน (Baseline) และตั้งเป้าหมายให้สอดคล้องเป้าหมายของบริษัทหรือลูกค้า

เครื่องมือ: Gage R&R ดัชนีตัววัดดังในหัวข้อ 2.1 ซึ่งดัชนีหลัก ได้แก่ Lead time, Takt time, Cycle time, WIP, OEE, VSM ตารางงานมาตรฐานผสม (Standardized Work Combination Table) แผนภูมิแท่งรวมงาน (Yamazumi chart) และ แผนภูมิและข้อมูลทางสถิติต่างๆ

ขั้นที่ 3 L-Analyze (วิเคราะห์)

แนวคิด 3.1 วิเคราะห์หาความสูญเสียเปล่า (7 Wastes) และความสูญเสีย (8 losses) ของทุกกระบวนการใน VSM

เครื่องมือ: 7 Wastes, 8 losses, เครื่องมือวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ได้แก่ แผนภูมิการไหล แผนภูมิสเปกตัม แผนผังก้างปลา, การศึกษางาน (Work study), การวางผังโรงงานและการขนถ่ายวัสดุ (Plant layout and material handling),

วิศวกรรมคุณค่า (Value engineering) การวิเคราะห์การดำเนินงาน เป็นต้น

แนวคิด 3.2 วิเคราะห์ตารางงานมาตรฐานผสมและสมดุลกระบวนการผลิต

เครื่องมือ: ตารางงานมาตรฐานผสม สมดุลกระบวนการผลิต

แนวคิด 3.3 วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตแบบลีน

เครื่องมือ: คุณลักษณะการผลิตแบบลีน ดังในหัวข้อที่ 2.2.1 ได้แก่ การไหลแบบดึง (Pull method) ผลิตจำนวนน้อย (Small lot size) สมดุลการไหล (Line balancing) สินค้าคงคลังน้อย (Small WIP) การผลิตแบบปรับเรียบ (Level Production) กระบวนการผลิตแบบเรียนรู้ด้วยตนเอง (Autonomous process) และ กิจกรรมการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องหรือไคเซ็น

ขั้นที่ 4 L-Improve (แนวทางแก้ปัญหา)

แนวคิด 4.1 เสนอแนวทางแก้ปัญหาและเงื่อนไขที่เหมาะสมใหม่ที่ดัชนีตัววัดได้ตามเป้าหมาย

แนวคิด 4.2 ทำการจำลอง (Simulation) โดยการใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อดูค่าดัชนีการวัดได้ตามเป้าหมายหรือไม่

เครื่องมือ: แผนการปรับปรุงไคเซ็น ดัชนีตัววัด ตารางงานมาตรฐานผสม แผนภูมิแท่งรวมงาน ซอฟต์แวร์สายธารคุณค่า เป็นต้น

แนวคิด 4.3 ทำการทดสอบและยืนยันในกระบวนการผลิตจริง

ขั้นที่ 5 L-Control (ควบคุม)

แนวคิด 5.1 นำไปปฏิบัติในกระบวนการผลิต

แนวคิด 5.2 สร้างระบบควบคุมด้วยข้อมูลและภาพสำหรับดัชนีตัววัดหรือตัวแปรหลักอื่นๆ

เครื่องมือ: คู่มือทำงานที่เป็นมาตรฐาน แผนภูมิควบคุม แผนภูมิแสดงด้วยภาพ

การปรับปรุงการผลิตแบบลีน จะสามารถลดความสูญเสียและความสูญเสียเปล่าได้เหลือน้อยที่สุด กิจกรรมที่เสียอยู่ก็จะเหลือประเภทที่มีคุณค่า (Value added) และไม่มีคุณค่า (Non-value added) เช่นการตรวจสอบ เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องที่ได้ผลผลิต (Productivity) ตามเป้าหมาย เวลาที่ใช้ในการผลิตลดลง วัสดุคงคลังลดลง และของเสียในกระบวนการผลิตลดลง

อย่างไรก็ตามความแปรปรวน (Variance) ของกระบวนการผลิตเป็นสิ่งที่กำจัดได้ยากและต้องการเครื่องมือในการเฝ้าติดตาม โดยเฉพาะเมื่อต้องพัฒนาไปเป็นกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ ความเที่ยงตรง (Accuracy) และความแม่นยำ

(Precision) ของกระบวนการเป็นสิ่งจำเป็นที่สุด จึงต้องจำกัดความแปรปรวนให้มากที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนถัดมาจึงต้องใช้กิจกรรมซิกซ์ซิกม่าที่ใช้เครื่องมือทางสถิติในการแก้ปัญหาคุณภาพและลดความความแปรปรวนในทุกกระบวนการ ซึ่งขั้นตอนมีดังนี้

ขั้นที่ 6 Define (ระบุปัญหา)

แนวคิด 6.1 ระบุปัญหาคุณภาพ ได้แก่ ของเสียในกระบวนการผลิต ของเสียหรือปัญหาที่ร้องเรียนจากลูกค้า

แนวคิด 6.2 ระบุกระบวนการที่มีความสามารถน้อยกว่าหกซิกม่าหรือ $c_{pk} < 2.0$

เครื่องมือ: ข้อมูลและแผนภาพทางสถิติ c_p , c_{pk}

ขั้นที่ 7 Measure (ตัววัด)

แนวคิด 7.1 ระบุคุณลักษณะที่เป็นปัญหาหรือคำตอบสนอง (ตัวแปรตาม: Y)

แนวคิด 7.2 ทวนสอบระบบการวัด (Measuring System Analysis; MSA)

แนวคิด 7.3 ทำการวัดคุณลักษณะของตัวแปรตาม: Y เพื่อเป็นค่าพื้นฐาน (Baseline) และตั้งเป้าหมายที่สอดคล้องกับบริษัทหรือลูกค้า

เครื่องมือ: แผนภูมิการไหล (Process flow) แผนภูมิแกงปลา ข้อมูลและแผนภาพทางสถิติ แผนภูมิการกระจายแบบจำลองการถดถอย (Regression model) c_p , c_{pk} ฮิสโตแกรม ระบบการวัด (MSA)

ขั้นที่ 8 Analyze (วิเคราะห์)

แนวคิด 8.1 รวบรวมปัจจัยทั้งหมดในแผนภูมิการไหล ที่มีผลต่อความแปรปรวนของคุณลักษณะ Y

แนวคิด 8.2 วิเคราะห์ปัจจัยหลัก (ตัวแปรอิสระ: X 's) ที่มีผลต่อความแปรปรวนของคุณลักษณะ Y

เครื่องมือ: แผนภูมิการไหล แผนผังแกงปลา แผนภูมิ IPO (Input-process-output), FMEA (Failure mode effect analysis), ANOVA, DOE

ในขั้นตอนนี้ต้องทำให้ปัจจัยต่างๆในกระบวนการอยู่ในสถานะควบคุมได้ (ตัวแปรควบคุม: C) สำหรับตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Noise: N) ควรจะส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะ Y น้อยที่สุด ดังในแผนภาพ IPO ในรูปที่ 1

ขั้นที่ 9 Improve (ปรับปรุง)

แนวคิด 9.1 หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลัก (X 's) และคุณลักษณะ Y

แนวคิด 9.2 หาเงื่อนไขที่เหมาะสม (Optimal conditions) ของปัจจัยหลัก (X 's)

แนวคิด 9.3 ทดสอบเพื่อยืนยันเงื่อนไขในกระบวนการผลิตจริง

เครื่องมือ: FMEA (Failure mode effect analysis), ANOVA, DOE, Optimization software, ข้อมูลและแผนภาพทางสถิติ

ในขั้นตอนนี้ เครื่องมือที่ได้กล่าวมาสามารถให้รูปแบบของความสัมพันธ์ได้ เช่น ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงเส้นเชิงพหุ ซึ่งมีรูปแบบเป็นดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n \quad (8)$$

สำหรับกรณีที่ใช้แผนภูมิ FMEA ในการวิเคราะห์หาปัจจัยหลัก (X 's) ในแผนภูมินี้มีค่าดัชนีลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) เป็นตัวบ่งชี้บอกถึงลำดับที่ต้องแก้ไขก่อนหรือหลัง ปัจจัยหลัก (X 's) สามารถหาได้จากค่า RPN นี้

ขั้นที่ 10 Control (ควบคุม)

แนวคิด 10.1 นำไปปฏิบัติในกระบวนการผลิต

แนวคิด 10.2 สร้างระบบควบคุมด้วยข้อมูลและภาพสำหรับดัชนีตัววัดหรือตัวแปรหลักอื่นๆ

เครื่องมือ: คู่มือทำงานที่เป็นมาตรฐาน แผนภูมิควบคุม (Control charts) แผนภูมิแสดงด้วยภาพ

เมื่อมาถึงขั้นตอนนี้ทุกกระบวนการผลิตควรจะมีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ $c_{pk} \geq 2.0$ ขึ้นไป รวมถึงทุกตัวแปรหลัก X 's และ ตัวแปรตาม Y ดังในรูปที่ 1 ควรได้รับการควบคุมและติดตามด้วยแผนภูมิควบคุม (Control Chart) กิจกรรมที่เหลืออยู่ก็จะเหลือประเภทที่มีคุณค่า (Value added) และไม่มีคุณค่า (Non-value added) แต่ยังคงต้องมี เช่น การตรวจสอบ เป็นต้น กระบวนการทั้งหมดจะเป็นต้นแบบของการออกแบบ กระบวนการผลิตแบบสลิ้ออัตโนมัติ ที่มีขั้นตอนเริ่มต้นดังนี้

ขั้นที่ 11 D-Define (กำหนด)

แนวคิด 11.1 กำหนดเป้าหมาย ค่าใช้จ่าย เวลาต้นทุน

เครื่องมือ: Takt time, Cycle time, OEE, VSM, ROI

ขั้นที่ 12 D-Measure (กำหนด)

แนวคิด 12.1 ระบุกระบวนการที่ต้องทำเป็นระบบอัตโนมัติ

แนวคิด: 12.2 ระบุขั้นตอนการทำงานอย่างกว้างๆ รวมถึงเป้าหมายของดัชนีตัววัดในกระบวนการนั้นๆ

เครื่องมือ: Takt time, Cycle time, OEE, VSM ตารางงานมาตรฐานผสม แผนภูมิแท่งรวมงาน

ขั้นที่ 13 D-Analyze (วิเคราะห์)

แนวคิด 13.1 ออกแบบขั้นตอนการทำงานย่อย

แนวคิด 13.2 เลือกสรรอุปกรณ์เครื่องจักรสำหรับแต่ละขั้นตอนย่อย

แนวคิด 13.3 ออกแบบการบูรณาการระบบผลิตแบบอัตโนมัติ (ทางด้านแมคคาทรอนิกส์และ IoT)

เครื่องมือ: เครื่องมือวิเคราะห์ทางวิศวกรรม Takt time, Cycle time อุปกรณ์ทางด้านแมคคาทรอนิกส์และ IoT

ขั้นที่ 14 D-Design (แนวคิดการออกแบบ)

แนวคิด 14.1 ได้แนวคิดการออกแบบ (Automated concept Design)

แนวคิด 14.2 ทดสอบด้วยการใช้ซอฟต์แวร์การจำลอง

แนวคิด 14.3 ทดสอบในกระบวนการผลิตจริง (Physical Simulation)

เครื่องมือ: ซอฟต์แวร์การจำลอง Takt time, Cycle time, OEE, VSM

ขั้นที่ 15 D-Implement (ปฏิบัติ)

แนวคิด 15.1 แบ่งแนวคิดการออกแบบ ออกเป็นการปฏิบัติ เป็นกระบวนการกึ่งอัตโนมัติหลายขั้นตอน

แนวคิด 15.2 ลงมือปฏิบัติในแต่ละขั้นตอน ตามด้วยกิจกรรมอื่น (ขั้นที่ 1-5) และซิกซ์ซิกมา (ขั้นที่ 6-10)

เครื่องมือ: Takt time, Cycle time, OEE, VSM

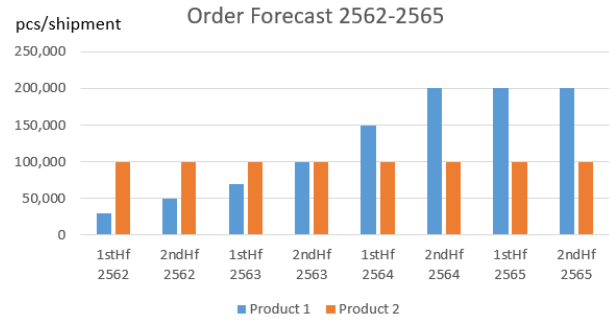
อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่หลากหลายมาทำงานร่วมกัน ความสูญเสีย (Waste) และความสูญเสีย (Losses) ที่เกิดขึ้นก็จะเกี่ยวเนื่องกับการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องจักรเหล่านี้เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นกิจกรรมด้านการบำรุงรักษาเครื่องจักรจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งสะท้อนผ่านดัชนีวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness; OEE) ดังในหัวข้อ 2.4.1

4. กรณีศึกษา

เป็นการศึกษาชิ้นส่วนงานขึ้นรูป (Thanachotanankul et al., 2020) ซึ่งเป็นกระบวนการขึ้นรูปแผ่นโลหะชิ้นส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้าที่จะส่งต่อไปยังส่วนงานเชื่อมซึ่งเป็นส่วนงานถัดไป ผู้บริหารต้องการให้ปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลผลิต (Productivity) และลดความสูญเสีย รองรับคำสั่งซื้อที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งทีมงานได้ใช้ขั้นตอนในการปรับปรุงดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 L-Define (ระบุคุณค่า)

ลูกค้าของบริษัทผลิตรถยนต์ไฟฟ้าได้ส่งความต้องการของ Product 1 ล่วงหน้า 3 ปีดังในรูปที่ 4 เพื่อให้ทางโรงงานได้ปรับปรุงความสามารถของกระบวนการผลิต



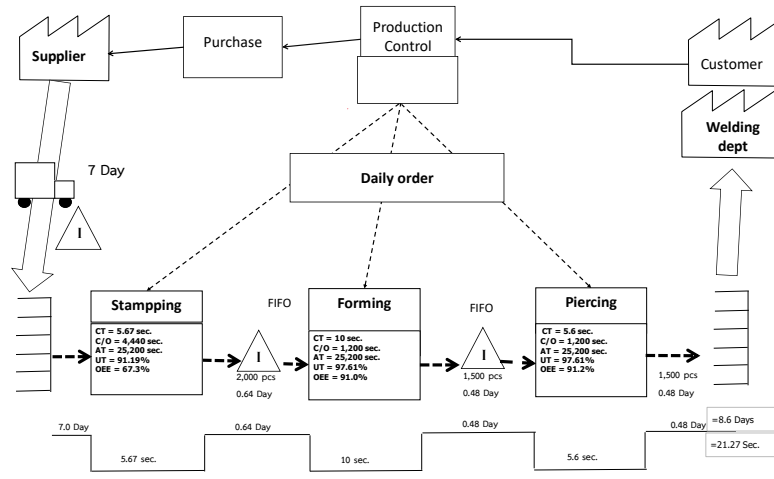
รูปที่ 4 ปริมาณการสั่งซื้อจากลูกค้า

ด้วยปริมาณคำสั่งซื้อที่มากขึ้น กระบวนการขึ้นรูปของ Product 1 ซึ่งประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก การปั๊ม (Stamping) การขึ้นรูป (Forming) และ การเจาะ (Piercing) ตามลำดับ จะต้องปรับเปลี่ยนค่าดัชนีการวัดใหม่ให้สอดคล้อง อันได้แก่ Lead time, Takt time, Cycle time, OEE เป็นต้น ขั้นที่ 2 L-Measure (ดัชนีวัดค่าพื้นฐาน)

ทำการวัดดัชนีตัววัดในแต่ละกระบวนการย่อยใน VSM ดังในรูปที่ 5 ได้แก่ Lead time, Cycle time, WIP ระหว่างกระบวนการ และ OEE จากนั้นจัดทำตารางงานมาตรฐานผสมดังในรูปที่ 6 ที่มี Takt time 9.13 วินาที และ Cycle time 10.00 วินาที แผนภูมิแท่งรวมงาน ดังในรูปที่ 7 ซึ่ง Cycle time มีค่ามากกว่า Takt time และค่า OEE ดังในตารางที่ 4 ซึ่งกระบวนการปั๊มมีค่า 67.3% เป็นค่าพื้นฐาน (Baseline) และตั้งเป้าหมายการปรับปรุงให้สอดคล้องเป้าหมายของบริษัทหรือลูกค้า

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีประสิทธิภาพเครื่องจักรก่อนปรับปรุง (OEE)

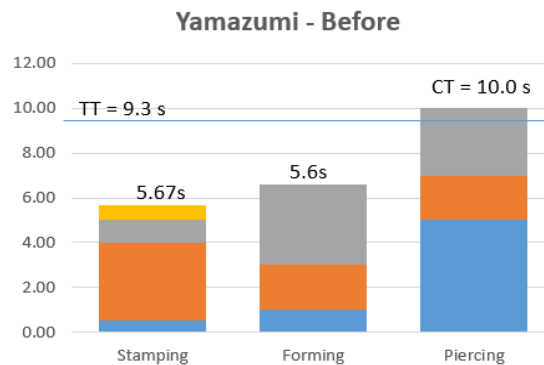
	Stamping	Forming	Piercing
A	67.7%	92.7%	92.9%
P	99.4%	98.1%	98.1%
Q	100%	100%	100%
OEE	67.3%	91.0%	91.2%



รูปที่ 5 สายธารคุณค่าก่อนปรับปรุง

LoGO		Before Standardized Work Combination Table																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Part	No. Description	Needed Units per Shift	Unit	Date: December 20,2019	Required Units per Shift:	xxx' sec	 Hand Walk Auto																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Process		Takt Time	Sec	Area:	Press Line	Takt Time: 9.13 sec																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Sequence		Work Elements			Hand	Auto	Walk	Seconds																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	Process Stamping																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</

รูปที่ 6 ตารางงานมาตรฐานผสมก่อนปรับปรุง



รูปที่ 7 แผนภูมิแท่งรวมงานก่อนปรับปรุง

ขั้นที่ 3 L-Analyze (วิเคราะห์)

วิเคราะห์คุณลักษณะการผลิตแบบสั้น หาความสูญเสีย (7 Wastes) ของทุกกระบวนการใน VSM วิเคราะห์ตารางงานมาตรฐานผสมและสมดุลกระบวนการผลิต

จากข้อมูล OEE พบว่ากระบวนการปั๊ม มีค่าต่ำสุดโดยเฉพาะค่าเวลาปฏิบัติงานที่มีอยู่ (Availability) 67.7% เมื่อนำข้อมูลการปฏิบัติงานดังในตารางที่ 5 มาวิเคราะห์พบว่าเวลาที่เครื่องจักรหยุด (Down time) คิดเป็น 80.9% ได้แก่ รอพนักงาน รอวัตถุดิบ เวลาเตรียมการเริ่มต้นผลิต และรอแผนผลิต ซึ่งต้องระดมสมองทำไคเซ็นต่อไป

ตารางที่ 5 ตารางเวลาที่เครื่องหยุดทำงาน
OEE analysis - Stamping

Down time	Time (s)	Down %	Accum %
รอพนักงาน	1,660	33.4	33.4
รอวัตถุดิบ	1,085	21.8	55.2
เวลา set up	770	15.5	70.7
รอแผนผลิต	510	10.3	80.9
รอภาชนะ	355	7.1	88.0
ของเสีย	285	5.7	93.8
การทำงาน	280	5.6	99.4
รอโพลีคลิฟ	15	0.3	99.7
เครื่องจักร	15	0.3	100.0
รวม	4,975	100.0	100.0

จากการลงพื้นที่ดูกระบวนการผลิตทั้ง 3 กระบวนการและเมื่อเปรียบเทียบการผลิต ณ ปัจจุบันกับคุณลักษณะแบบสั้นสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 6 ซึ่งพบว่าในหลายกิจกรรมที่ 2, 3, 4 และ 5 จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง ในขณะที่ความสูญเสีย (Wastes) ที่ตรวจพบสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 7 จะพบว่าในหลายหัวข้อ 2, 3, 4 และ 5 จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง ซึ่งต้องระดมสมองทำไคเซ็นต่อไป

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบการผลิต ณ ปัจจุบันกับคุณลักษณะแบบสั้น

คุณลักษณะ การผลิตแบบสั้น	ลักษณะการผลิต ณ ปัจจุบัน		
	Stamping	Forming	Piercing
1. ผลิตแบบทันเวลา	ไม่	ไม่	ไม่
2. จำนวนผลิต	มาก	มาก	มาก
3. ขจัดความสูญเสีย	มีค่อนข้างมาก	มีค่อนข้างมาก	มีค่อนข้างมาก
4. จัดสมดุลการไหล	5.67 s	5.60 s	10.0 s
5. กระบวนการไหลแบบต่อเนื่อง	ผลิตแล้วหยุดเป็นช่วงๆ	ผลิตแล้วหยุดเป็นช่วงๆ	ผลิตแล้วหยุดเป็นช่วงๆ
6. กิจกรรมไคเซ็น	1 ครั้ง / เดือน	1 ครั้ง / เดือน	1 ครั้ง / เดือน
7. มีการผลิตแบบปรับ	ใช่	ใช่	ใช่

ตารางที่ 7 ความสูญเสีย (7 Wastes)

Waste	กระบวนการผลิต ณ. ปัจจุบัน		
	Stamping	Forming	Piercing
1. การผลิตมากเกินไป	ใช่	ใช่	ใช่
2. การรอคอย	หยุดเครื่องเพื่อให้นักงานจัดเรียงชิ้นงาน	หยุดเครื่องเพื่อให้นักงานจัดเรียงชิ้นงาน	หยุดเครื่องเพื่อให้นักงานจัดเรียงชิ้นงาน
3. ระยะทางขนส่งมากเกินไป	สถานที่เก็บอยู่ไกล	สถานที่เก็บอยู่ไกล	สถานที่เก็บอยู่ไกล
4. กระบวนการขาดประสิทธิภาพ	มีหลายขั้นตอนการทำงานต้องหยุดเครื่อง	การไหลและเอาชิ้นงานเข้าออกต้องหยุดเครื่อง	การไหลและเอาชิ้นงานเข้าออกต้องหยุดเครื่อง
5. WIP มากเกินไป	2,000 ชิ้น	2,000 ชิ้น	2,000 ชิ้น
6. การเคลื่อนไหวยที่ไม่จำเป็น	สถานที่จัดเรียงอยู่ไกลจากจุดที่เครื่องทำงาน	ไม่มี	ไม่มี
7. ของเสีย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

ขั้นที่ 4 L-Improve (แนวทางแก้ปัญหา)

เสนอแนวทางแก้ปัญหาและเงื่อนไขที่เหมาะสมใหม่ ที่ดัชนีตัววัดได้ตามเป้าหมาย ทำการจำลอง ทำการทดสอบและยืนยันในกระบวนการผลิตจริง

จากการระดมสมอง แนวทางแก้ปัญหาแบบการปรับปรุง (Improvement) หรือระยะแรก ซึ่งเน้นสามารถทำได้ในทันที เพื่อเพิ่มผลผลิต (Productivity) ลดเวลาหยุดเครื่อง ลด WIP ระหว่างกระบวนการ ได้ถูกรวบรวมในแบบฟอร์มไคเซ็น ดังในตารางที่ 8

ขั้นที่ 5 L-Control (ควบคุม)

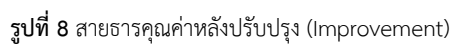
นำแนวความคิดการปรับปรุง (Improvement) ไปปฏิบัติในกระบวนการผลิตและสร้างระบบควบคุมด้วยข้อมูลและภาพ

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการเขียนมาตรฐานการทำงาน และยืนยันดัชนีตัววัดและแผนภูมิต่างๆ ดังในรูปที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ

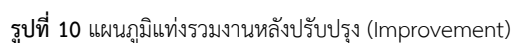
ในกระบวนการปั๊ม หลังจากทำการปรับปรุง ค่าดัชนีตัววัด Lead time ลดลงเหลือ 7.51 วัน Cycle time ลดลงเหลือ 5.67 วินาที, ค่า OEE ของกระบวนการปั๊ม เพิ่มขึ้นเป็น 73.39% WIP ระหว่างกระบวนการปั๊มและกระบวนการขึ้นรูป ลดลงเหลือ 100 ชิ้น และ ระหว่างกระบวนการขึ้นรูปและกระบวนการเจาะ ลดลงเหลือ 5 ชิ้น

ตารางที่ 8 แบบฟอร์ม Kaizen Action Plan

KAIZEN ACTION PLAN						Department: <u> Xxxxx </u>
						Person in charge: <u> Mr. Xxxxxx </u>
No.	Implement Date		Kaizen Action items		Person in charge	Remark
	Start	Finish	Problem	Countermeasure		
1	กพ. 2563	พค. 2563	เครื่อง 500 ต้น: เมื่อผลิตชิ้นงานครบ 30 ชิ้น พนักงานจะหยุดเครื่องเพื่อนำชิ้นงานใส่ตะกร้า 57 วินาที	1. ทำการเดินเครื่องโดยไม่มีการหยุดพัก 2. เพิ่มพนักงานในการรับและจัดเรียงชิ้นงาน	Mr. Xxxx	ปรับปรุงแบบสิ้น (Improvement)
	มีค. 2563	On-going		3. นำระบบรับชิ้นงานแทนพนักงาน, โหลดและอันโหลดแบบอัตโนมัติ 4. ติดตั้งสายพานลำเลียงให้ชิ้นงานไหลอัตโนมัติ	Mr. Xxxx	Semi- Automation
2	กพ. 2563	มีค. 2563	เครื่อง 500 ต้น: พนักงานใช้เวลาเปลี่ยนแม่พิมพ์ 75 นาที	1. ติดตั้ง Stopper ช่วยกำหนดตำแหน่งในการ Setting แม่พิมพ์บน Bolster	Mr. Xxxx	ปรับปรุงแบบสิ้น (Improvement)
	On-going	On-going		2. ออกแบบระบบการเปลี่ยนแม่พิมพ์แบบกึ่งอัตโนมัติ	Mr. Xxxx	Semi- Automation
3	กพ. 2563	พค. 2563	เครื่อง 500 ต้น: เครื่องต้องหยุดเนื่องจาก Scrap ไม่ไหลออกจากแม่พิมพ์ระหว่างทำงาน	เพิ่มอุปกรณ์ Vibrator เพื่อให้เกิดการเขย่าของถาดและชิ้นงาน	Mr. Xxxx	ปรับปรุงแบบสิ้น (Improvement)
4	มีค. 2563	On-going	มี WIP ระหว่างกระบวนการจำนวนมาก	1. ลดจำนวน WIP ลง 1.1 ระหว่าง Press และ Forming ลดจาก 1,500 เป็น 100 ชิ้น 1.2 ระหว่าง Forming และ Piercing ลดจาก 1,500 เป็น 5 ชิ้น 2. เพิ่มพนักงานและจำนวนรอบในการเคลื่อนย้าย WIP	Mr. Xxxx	ปรับปรุงแบบสิ้น (Improvement)
	On-going	On-going		3. ปรับกระบวนการผลิตให้มีการไหลแบบต่อเนื่อง 3.1 ออกแบบแผนผัง (Layout) ให้กระบวนการไหลแบบต่อเนื่อง จากเครื่อง Press, Forming, Piercing และลูกค้ำ Welding 3.2 ติดตั้งสายพานลำเลียงให้ชิ้นงานไหลอัตโนมัติ	Mr. Xxxx	Semi- Automation



รูปที่ 9 ตารางงานมาตรฐานผสมหลังปรับปรุง (Improvement)



สำหรับขั้นตอนการทำงานในกระบวนการขึ้นรูปและกระบวนการเจาะ มีการปรับปรุงโดยลดเวลาทำงานลงเหลือ 5.0 และ 5.0 วินาที ตามลำดับ ทำให้ Cycle time เดิมอยู่ที่กระบวนการเจาะ ย้ายไปอยู่ที่กระบวนการปั๊ม ที่เวลา 5.67 วินาที ทำให้เหลือช่องว่างเมื่อเทียบเวลากับ Takt time เป็น $9.13 - 5.67 = 3.46$ วินาที ซึ่งสามารถรองรับการเพิ่มยอดการผลิตได้ทันที

ในแผนภูมิแท่งรวมงานหลังปรับปรุง ดังในรูปที่ 10 ซึ่งมี Takt time และ Cycle time ต่างกันค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ ทางโรงงานยังคงต้องการให้คงไว้ที่ 3 กระบวนการเช่นเดิม แต่รอยอดสั่งผลิตที่เพิ่มขึ้นแทน

ขั้นตอนถัดไปจะต้องดูในเรื่องความสามารถของกระบวนการทั้ง 3 กระบวนการ ในกรณีนี้ ไม่มีของเสียที่เกิดจากทั้ง 3 กระบวนการ (OEE มี Quality = 100%) ค่าดัชนีกระบวนการ $C_{pk} \geq 2.0$ ในทุกกระบวนการ จึงมายังขั้นตอนสินอัตโนมัติ ขั้นที่ 11-15 ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 11 D-Define (กำหนด)

กำหนดเป้าหมาย เวลาต้นทุน

รองรับยอดคำสั่งซื้อที่จะเพิ่มในอีก 2 ปีข้างหน้า ด้วยเวลาต้นทุนภายใน 1 ปี

ขั้นที่ 12 D-Measure (ระบุ)

ระบุกระบวนการที่ต้องทำเป็นระบบอัตโนมัติ ระบุขั้นตอนการทำงานอย่างกว้างๆ รวมถึงเป้าหมายของดัชนีตัววัดในกระบวนการนั้นๆ

ลด Takt time ให้ห่างจาก Cycle time 9.3 วินาทีประมาณ 10-15% หรือ 7.5 วินาที เพิ่ม OEE ด้วยการลดเวลาการเปลี่ยนแม่พิมพ์ ลดพนักงานที่ต้องเสริมเพื่อให้กระบวนการผลิตไหลอย่างต่อเนื่อง

ขั้นที่ 13 D-Analyze (วิเคราะห์)

ออกแบบขั้นตอนการทำงานย่อย เลือกสรรอุปกรณ์เครื่องจักรสำหรับแต่ละขั้นตอนย่อย ออกแบบการบูรณาการระบบผลิตแบบอัตโนมัติ

หลังจากที่ได้ปรึกษากับทางทีมบริหารถึงต้นทุนและความจำเป็น ตกผลึกได้ว่าควรจะเป็นเพียงกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automation line) โดยจะมีพนักงานประจำเครื่องลดลงเหลือเพียงเครื่องละ 1 คน ลดการขนย้ายชิ้นงานในแต่ละกระบวนการ มีการผลิตที่ไหลอย่างต่อเนื่อง และสุดท้ายเพิ่มค่า OEE ของกระบวนการปั๊มด้วยการออกแบบการเปลี่ยนแม่พิมพ์แบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งจะต้องลดเวลาเปลี่ยนให้เหลือ 24 นาที หรือเพิ่ม OEE ของกระบวนการนี้เป็น 82.5% ซึ่งแนวทางปฏิบัติปรับเปลี่ยนเป็นกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติมีอยู่ในแบบฟอร์มไคเซ็น ดังในตารางที่ 8

ขั้นที่ 14 D-Design (แนวคิดการออกแบบ)

ได้แนวคิดการออกแบบ (Automated concept Design) ทดสอบด้วยการใช้ซอฟต์แวร์แบบจำลอง และทดสอบในกระบวนการผลิตจริง

หลังจากได้แนวคิดการออกแบบของระบบบูรณาการของทั้ง 3 กระบวนการผลิตในมุมมองทางด้านแมคคาทรอนิกส์ ควรทดสอบด้วยการใส่พารามิเตอร์ เช่น Cycle time, WIP ระหว่างกระบวนการลงในซอฟต์แวร์การจำลอง ซึ่งในปรับปรุงนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ Gdfindi ของสาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบโลจิสติกส์ สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ได้ผลลัพธ์ดังในรูปที่ 11

Production Line Parameters

Process Name	Station Name	Work Time (sec)	Initial Input Inventory
Stamping	Stamping_1	5.00	0.00
Buffer 1	Stamp_WIP	0.00	100.00
Forming	Forming_2	3.00	0.00
Buffer 2	form_WIP	0.00	5.00
Piercing	Piercing_3	3.00	0.00

Production Rendering Result

Production Avg (/hour)	Production Min (/hour)	Production Max (/hour)
656.4	656.4	656.40

Station Name	Operation Rate Avg	Inventory Avg
Stamping_1	82.50	1.00
Stamp_WIP	0.00	0.00
Forming_2	91.05	12.92
form_WIP	0.00	0.00
Piercing_3	91.17	1.90

รูปที่ 11 ผลลัพธ์การจำลองการไหลด้วยซอฟต์แวร์ Gdfindi

ด้วยซอฟต์แวร์จำลอง เมื่อใส่ค่าพารามิเตอร์ Cycle time ของแต่ละกระบวนการ และค่า WIP เริ่มต้น จะได้ค่าประมาณยอดผลิตต่อชั่วโมงที่ 656.4 ชิ้นซึ่งเป็นไปตาม Takt time ค่าใหม่ที่ได้ปรับ รวมถึงค่า WIP เฉลี่ยระหว่างกระบวนการผลิตลดลงเป็น 1, 13 และ 2 ชิ้นตามลำดับ ซึ่งเราสามารถทำนายได้ก่อนลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งกระบวนการปรับปรุงต่อจากนี้จะอยู่ในระหว่างดำเนินการ

ขั้นที่ 15 D-Implement (ปฏิบัติ)

แบ่งแนวคิดการออกแบบ ออกเป็นการปฏิบัติเป็นกระบวนการกึ่งอัตโนมัติหลายขั้นตอน

จากแนวทางปฏิบัติปรับเปลี่ยนเป็นกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติมีอยู่ 3 หัวข้อหลัก โดยเราสามารถแบ่งปฏิบัติเป็น 3 ช่วง จากตารางที่ 8 เริ่มด้วยในกระบวนการปั๊ม (Stamping) ในข้อ 3. นำระบบรับชิ้นงานแทนพนักงาน, นำเข้า (Load) และนำออก (Unload) แบบอัตโนมัติ และ ข้อ 4. ติดตั้งสายพาน

ลำเลียงให้ชิ้นงานไหลอัตโนมัติ เมื่อกระบวนการนิ่งแล้วก็เริ่มปฏิบัติในหัวข้อที่ 3 ซึ่งเป็นการไหลอย่างต่อเนื่องของทั้ง 3 กระบวนการ ข้อ 3.1 ออกแบบแผนผัง (Layout) ให้กระบวนการไหลแบบต่อเนื่อง จากกระบวนการป้อน กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการเจาะ และลูกค้ำซึ่งคือกระบวนการเชื่อม ข้อ 3.2 ติดตั้งสายพานลำเลียงให้ชิ้นงานไหลอัตโนมัติ และสุดท้าย หัวข้อที่ 2 ติดตั้งระบบการเปลี่ยนแม่พิมพ์แบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับกระบวนการป้อนซึ่งทำให้ค่าดัชนี OEE เพิ่มขึ้นเป็น 82.5%

5. ผลวิจัย

การดำเนินงานตามขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 14 ได้เสร็จสิ้นอยู่ที่การทำการจำลองโดยซอฟต์แวร์สำหรับกระบวนการกึ่งอัตโนมัติ ขั้นตอนที่เหลือคือขั้นตอนที่ 14 และขั้นตอนที่ 15 ขึ้นอยู่กับความพร้อมของทางผู้ประกอบการในการดำเนินการต่อ แผนการปรับปรุงเป็นไปตามแบบฟอร์มไคเซ็นดังในตารางที่ 8 และผลลัพธ์ที่ได้ถูกสรุปดังในตารางที่ 9 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

จากการปรับปรุงการผลิตแบบสลับ ตามขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 5 เป็นการลดความสูญเสียเปล่าให้มากที่สุด ซึ่งสรุปกิจกรรมได้ดังนี้

☐ ทำการเดินเครื่องป้อนโดยไม่มีกรวางแผนการหยุดระหว่างผลิต

☐ ลดจำนวน WIP ระหว่างกระบวนการป้อน การขึ้นรูปและการเจาะ

☐ เพิ่มพนักงานขนย้ายชิ้นงาน (WIP) ระหว่างกระบวนการทำให้การผลิตเกิดการไหลต่อเนื่อง

☐ ลดเวลาการเตรียม (Set-up time) ด้วยการติดตั้งตัวหยุด (Stopper) และแก้ไขการหยุดทำงานของเครื่องจักร (Breakdown time) ด้วยการเพิ่มอุปกรณ์การสั่น (Vibrator)

ผลลัพธ์ของการปรับปรุง (Improvement) สามารถลด Cycle time ลงจาก 10.00 วินาที เป็น 5.67 วินาที ลด WIP

ระหว่างกระบวนการลงจาก 2,000 ชิ้น เป็น 100 ชิ้น ค่าดัชนี OEE ของกระบวนการป้อน เพิ่มขึ้นจาก 67.3% เป็น 73.3% โดยการเคลื่อนชิ้นงานระหว่างกระบวนการจำเป็นต้องใช้พนักงานและทำให้มีผลผลิต (Productivity) เพิ่มขึ้น 44% โดยมีงบลงทุน 4.36 หมื่นบาท (ไม่ได้รวมค่าใช้จ่ายของพนักงานที่มาช่วยขนย้าย)

ต่อมาเป็นการปรับปรุงด้านคุณภาพ โดยการใช้ซีคัสชิกม่ากับกระบวนการที่มีค่าดัชนีความสามารถ $C_{pk} < 2.0$ เนื่องจากทั้ง 3 กระบวนการมีของเสียเป็นศูนย์ จึงไม่ต้องทำขั้นตอนที่ 6 ถึงขั้นตอนที่ 10

ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นแบบอัตโนมัติตามขั้นตอนที่ 11 ถึง ขั้นตอนี่15 ทางโรงงานเลือกตามค่าผลตอบแทนการลงทุน (ROI) ซึ่งปรับปรุงให้เป็นกระบวนการกึ่งอัตโนมัติที่มีการไหลแบบต่อเนื่องของผลิตภัณฑ์ ลดพนักงานที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ แต่ยังคงพนักงานประจำเครื่องอยู่ และลดเวลาของการเปลี่ยนแม่พิมพ์ลง ทีมงานนำเสนอแผนปรับปรุงที่ผ่านการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ดังในขั้นตอนที่ 14 ซึ่งสรุปกิจกรรมได้ดังนี้

☐ นำระบบรับชิ้นงานแบบนำเข้าและนำออกแบบอัตโนมัติ (Automated Karakuri) แทนการทำงานของพนักงาน

☐ ติดตั้งสายพานลำเลียงให้ชิ้นงานไหลอัตโนมัติ

☐ ออกแบบระบบเปลี่ยนแม่พิมพ์แบบกึ่งอัตโนมัติ

☐ ออกแบบแผนผัง (Layout) ให้เป็นกระบวนการไหลแบบต่อเนื่องทั้ง 3 กระบวนการ

ผลลัพธ์ของการปรับเปลี่ยนเป็นกระบวนการกึ่งอัตโนมัติสามารถลด Cycle time ลงจาก 5.67 วินาที เป็น 5.00 วินาที ค่าดัชนี OEE ของกระบวนการป้อน เพิ่มขึ้นจาก 73.3% เป็น 82.5% และทำให้มีผลผลิต (Productivity) เพิ่มขึ้นจาก 44% เป็น 79% โดยมีงบลงทุน 1.32 ล้านบาท

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์ที่ได้ตามขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 14

คุณลักษณะการผลิตแบบสลิ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	กึ่งอัตโนมัติ
1. ผลิตแบบทันเวลาพอดี	ผลิตตามแผน	ผลิตตามแผน	ผลิตตามแผน
2. จำนวนผลิตต่อล๊อตน้อย	เยอะ	เยอะ	เยอะ
3. ขจัดความสูญเปล่า	มีค่อนข้างมาก	ลดลง	ลดลง
4. จัดสมดุลการไหล	CT = 10 วินาที	CT = 5.67 วินาที	CT = 5.0 วินาที
5. กระบวนการไหลแบบต่อเนื่อง	ผลิตแล้วหยุดเป็นช่วงๆ	ผลิตต่อเนื่องแต่ยังไม่สม่ำเสมอ	ผลิตต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอ
6. กิจกรรมไคเซ็น	ทุกเดือน	ทุกเดือน	ทุกเดือน
7. มีการผลิตแบบปรับเรียบ	แบบปรับเรียบ	แบบปรับเรียบ	แบบปรับเรียบ
Waste / Loss	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	กึ่งอัตโนมัติ
1. การผลิตมากเกินไป	ผลิตตามแผน	ผลิตตามแผน	ผลิตตามแผน
2. การรอคอย	หยุดเครื่องเพื่อให้พนักงาน จัดเรียงชิ้นงาน	พนักงานขนย้ายชิ้นงาน	ชิ้นงานถูกลำเลียงบนสายพาน
3. การขนส่งระยะทางมากเกินไป	สถานที่เก็บอยู่ไกล	สถานที่เก็บอยู่ไกล	ไม่มีเนื่องจากปรับ Layout และใช้สายพานลำเลียง
4. กระบวนการขาดประสิทธิภาพ	มีหลายขั้นตอนการทำงานที่ ต้องหยุดเครื่อง	ยังเหลือการลดเวลาในการ เปลี่ยนแม่พิมพ์	ลดเวลาโดยใช้การเปลี่ยน แม่พิมพ์แบบอัตโนมัติ
5. WIP มากเกินไป	2,000 ชิ้น	100 ชิ้น	100 ชิ้น
6. การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น	สถานที่จัดเรียงอยู่ไกลจากจุด Stamp	มีพนักงานเคลื่อนย้ายชิ้นงาน	ไม่มีโดยชิ้นงานถูกลำเลียงบน สายพาน
7. ของเสียในกระบวนการ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ดัชนีวัด (หลัก)	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	กึ่งอัตโนมัติ
Cycle time	10 วินาที	5.67 วินาที	5.0 วินาที
Inventory (Avg)	2,000 ชิ้น	100 ชิ้น	100 ชิ้น
OEE (Stamping)	67.3%	73.3%	82.5%
เวลาปฏิบัติงาน (A)	67.7%	73.7%	83.0%
ประสิทธิภาพเครื่องจักร (P)	99.4%	99.4%	99.4%
คุณภาพ (Q)	100.0%	100.0%	100.0%

6. สรุปผลวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการใช้การผลิตแบบลีน ตามด้วยการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการด้วยการใช้ชีกซ์จิกม่า แล้วจึงออกแบบเป็นกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ ได้ถูกส่งเคราะห์เพื่อนำไปปฏิบัติประกอบไปด้วย 15 ขั้นตอน ทั้งนี้ก็เพื่อให้เข้าไปเป็นกรอบแนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างประสบความสำเร็จมากที่สุด ขั้นตอนนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นโลหะของชิ้นส่วนของส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ ประกอบด้วย กระบวนการขึ้นรูป และการเจาะ ตามลำดับ ผลลัพธ์จากการนำขั้นตอนไปใช้แบ่งเป็น 2 ระยะ ในระยะแรก การปรับปรุงสามารถปรับเปลี่ยนให้กระบวนการผลิตมีการไหลอย่างต่อเนื่อง สามารถลดความสูญเสียและความสูญเปล่า เช่นการหยุดไลน์การผลิต ลด WIP ระหว่างกระบวนการลง 95% ลด Cycle time ลง 43.3% ค่าดัชนี OEE ของกระบวนการขึ้นรูป เพิ่มขึ้น 6.0% โดยมีงบลงทุน 4.36 ล้านบาท ในระยะถัดมา การปรับเปลี่ยนเป็นกระบวนการขึ้นรูปอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการเสนอแผนงานที่ผ่านการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ สามารถลด Cycle time ลงอีก 11.8% และค่าดัชนี OEE ของกระบวนการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นอีก 9.2% โดยมีงบลงทุน 1.32 ล้านบาท

ขั้นตอนการปรับปรุงทั้ง 15 ขั้นตอนเป็นแนวทางหลักที่มีตัววัดในทุกขั้นตอน โดยเฉพาะดัชนีการวัดความสามารถของกระบวนการผลิต ซึ่งบ่งบอกถึงความแปรปรวนของกระบวนการที่ต้องมีให้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการออกแบบระบบแบบอัตโนมัติ (ขั้นตอนที่ 12 ถึงขั้นตอนที่ 14) สามารถที่จะปรับปรุงให้มีรายละเอียดในขั้นตอนการออกแบบระบบบูรณาการ (System Integration) ได้มากขึ้นต่อไป

การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตจากสถานะปัจจุบันหรือยุคอุตสาหกรรม 3.0 ไปเป็นกระบวนการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติหรือแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและจะเป็นประโยชน์อย่างมากกับผลิตภัณฑ์ที่มีคำสั่งซื้อปริมาณมากและค่อนข้างคงที่ อีกทั้งบุคลากรทั้งวิศวกรและพนักงานประจำเครื่องจักรจำเป็นต้องมีความรู้ด้านเทคนิคค่อนข้างดี ผู้ประกอบจึงควรเตรียมความพร้อมในทุกๆ ด้านก่อนจะทำการปรับเปลี่ยน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับจากการเข้าอบรมหลักสูตร LASI SI Designer (Warrior) รุ่นที่ 5 และขอขอบคุณประสบการณ์ที่ได้รับจากทีมกลุ่มที่ 1 ในหลักสูตรนี้เช่นกัน ซึ่งจัดอบรมโดยสถาบันไทย-เยอรมัน ศูนย์กล้วยน้ำไท กรุงเทพฯ

8. เอกสารอ้างอิง

- Antony, J., Suder, V.M., Sreedharan, R., Chakraborty, A. & Gunasekaran, A. (2019). A systematic review of lean in healthcare: a global prospective. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 36, 1370-1391.
- Dadashnejad, A. & Valmohammadi, C. (2019). Investigating the effect of value stream mapping on overall equipment effectiveness: a case study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30, 466-482.
- Dennis, P. (2015). *Lean production simplified* (3rd ed.). CRC Press.
- Department of Industrial Promotion and Denso International Asia. (2019). *Primary Course of Lean Automation System Integrators (LASI)*. Industrial Promotion Center Region 9.
- Hakimi, S. Zahraee, S.M. & Rohani, J.M. (2018). Application of Six-Sigma DMAIC methodology in plain yogurt production process. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9, 562-578.
- Issarapong, N., Taengphukieo, R., To-on, P., Chareatrachai, U. & Khumla, P. (2019). Production time reduction using lean manufacturing concepts: a case study of radial tire manufacturing. *Apheit Journals*, 1, 76-90.
- Kolberg, D. & Zuhlke, D. (2015). Lean automation enabled by industry 4.0 technologies. IFAC-PapersOnline, 1870-1875.
- Kumar, S., Kumar, A. & Singh, B. (2018). Process improvement through Lean-Kaizen using value stream map: a cause study in India. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96, 2687-2698.
- LASI Trainers. (2020). *LASI SI Designer (Warrior) Training*, Gen. 5. Thai-German Institute (Bangkok center), Klongnamtai.

- Lawton, T. (2007). *Implementing automation after making lean improvements*. <https://ui.customsearch.ai/hosted?q=implement%20atuomation&customCoNfig=4165927293&market=en-us&safesearch=moderate>.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to statistical quality control* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Nafais, S. (2017). *Automated lean manufacturing*. https://www.researchgate.net/publication/317042141_Automated_Lean_Manufacturing
- Nihlah, Z. & Immawan, T. (2018). Lean manufacturing: waste reduction using value stream mapping. *Proceedings of the 3rd international conference on energy, environmental, and information system held in Semarang* 14-15 August 2018 (pp. 1-6). Indonesia.
- Park, S.H., Shin, W.S., Park, Y.H. & Lee, Y. (2017). Building a new culture for quality management in the era of the fourth industrial revolution. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28, 934-945.
- Saraswat, P., Kumar, D. & Sain, K.S. (2015). Reduction of work in process inventory and production lead time in a bearing industry using value stream mapping tool. *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 6, 27-35.
- Sony Corporation. (2000). *Sony Six Sigma Trainer Course*. Sony Corporation.
- Sony, M. (2018). Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research*, 6, 416-432.
- Thanachotanankul, P., Siripanya, A., Panyakunanont, P. & Tantiphanwadi, P. (2020). *LASI SI Designer (Warrior), Gen. 5, Group 1's Paper*. Thai-German Institute (Bangkok center), Klongnamtai.
- Yamazaki, Y., Takata, S., Onari, H., Kojima, F & Kato, S. (2016). Lean automation system responding to the changing market. *Proceedings of the 49th CIRP conference on manufacturing systems held in Stuttgart* 25-27 May 2016, (pp. 201-206). Germany.

9. ประวัติผู้แต่ง

ดร.ประภัสสร ตันดิพันธ์วุฒิ



สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขา
วิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ปัจจุบัน
ดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชา
วิศวกรรมอุตสาหการ-โลจิสติกส์ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
งานวิจัยที่สนใจ การปรับปรุงแบบสินค้า ชีตชีค
ชีกมา สินค้าอัตโนมัติ วิทยาศาสตร์ข้อมูล (Data
Science) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep
learning) ด้านการควบคุมคุณภาพและการ
สุ่มตรวจสอบ การตรวจสอบแบบอัตโนมัติโดย
ใช้การประมวลผลภาพทางดิจิทัล