การปรับปรุงผังการผลิตสำหรับแผนกเย็บผ้า กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสื้อผ้าแห่งหนึ่ง

นายนพรุจ บุญเสริม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2568
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การปรับปรุงผังการผลิตสำหรับแผนกเย็บผ้า กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสื้อผ้าแห่งหนึ่ง

นายนพรุจ บุญเสริม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2568
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ใบรับรองโครงร่างวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การปรับปรุงผังการผลิตสำหรับแผนกเย็บผ้า กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสื้อผ้าแห่งหนึ่ง

โดย นายนพรุจ บุญเสริม

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ จันทร์วิพัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรวิชญ์ สว่างนพ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยธัช เผือกสามัญ)

ชื่อ : นายนพรุจ บุญเสริม
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การปรับปรุงผังการผลิตสำหรับแผนกเย็บผ้า
กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสื้อผ้าแห่งหนึ่ง

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรวิชญ์ สว่างนพ
ปีการศึกษา : 2568

บทคัดย่อ

ผังการผลิตมีส่วนสำคัญในการควบคุมการไหลของวัสดุและการจัดการการผลิต งานวิจัยนี้ศึกษาโรงงานผลิตเสื้อผ้าแบบตามคำสั่งซื้อของลูกค้า โดยมีผลิตภัณฑ์หลัก 3 กลุ่ม ได้แก่ เสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้น และกางเกงขายาว ผังการผลิตของแผนกเย็บประกอบเสื้อผ้ามีลักษณะเป็นกริด ตาราง คล้ายการวางโต๊ะในห้องเรียน ส่งผลให้การไหลของวัสดุซับซ้อน สวนทางกัน มีระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุที่มากและทำให้การติดตามสถานะการทำงานลำบาก จากข้อมูลพบว่าระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุสำหรับเสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้น และกางเกงขายาว อยู่ที่ 82.7 เมตร 65.1 เมตร และ 84.9 เมตร ตามลำดับ การวิเคราะห์กระบวนการผลิตพบว่าขั้นตอนการผลิตสามารถจัดลำดับกลุ่มงานได้เป็นเซลลูล่าร์ 3 เซลล์ ได้แก่ เซลล์เตรียมชิ้นส่วน เซลล์งานประกอบ และเซลล์เก็บงานสุดท้าย โดยนำเสนอวิธีการเปลี่ยนผังการผลิตเป็นผังแบบตัว U เซลลูล่าร์ ที่สามารถรองรับการผลิตของทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุลดลงเหลือ 23.5 เมตร 26.1 เมตร และ 24.4 เมตร คิดเป็นการลดระยะการขนส่ง 71.58 เปอร์เซ็นต์ 59.91 เปอร์เซ็นต์ และ 71.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผังการผลิตแบบใหม่นอกจากจะลดระยะทางไหลของวัสดุแล้ว ยังช่วยให้การติดตามสถานการณ์ทำงานง่ายยิ่งขึ้น จากนั้นทำการสร้างกรอบการจัดการข้อมูลและตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงาน โดยมีเป้าหมายเพื่อหมุนเวียนการทำงานของพนักงานเพื่อเพิ่มพูนความสามารถด้วยกลไกการเรียนรู้ พัฒนาความชำนาญจากการทำงานซ้ำ

มีจำนวนทั้งสิ้น 203 หน้า

คำสำคัญ : ผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์ ปัญหาการจัดสรรงาน การผลิตเสื้อผ้า

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Name : Mr. Nopruj Boonserm
Thesis Title : Improvement of Production Layout for Sewing Department: A Case Study of Garment Manufacturer
Major Field : Industrial Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thesis Advisor :Assistant Professor Dr. Siravit Swangnop
Academic Year : 2025

ABSTRACT

The production layout plays a crucial role in controlling material flow and managing production operations. This research focuses on a made-to-order garment manufacturing factory producing three main product groups: long-sleeve shirts, short-sleeve shirts, and trousers. The existing sewing department layout is organized in a grid-like pattern arrangements, resulting in complex and counter-flowing material movement, excessive transportation distances, and difficulties in monitoring work progress. Data analysis revealed that the material travel distances for long-sleeve shirts, short-sleeve shirts, and trousers were 82.7 meters, 65.1 meters, and 84.9 meters, respectively. An analysis of the production process indicated that the operations could be systematically grouped into three cellular work units: the Part Preparation Cell, the Body Assembly Cell, and the Finishing Task Cell. The study proposes a design for U-shaped cellular production layout capable of accommodating all three distinct product types. This redesigned layout reduces material travel distances to 23.5 meters, 26.1 meters, and 24.4 meters for long-sleeve shirts, short-sleeve shirts, and trousers, respectively. The result represents reductions of 71.58%, 59.91%, and 71.26%. Furthermore, minimizing material handling distances, the proposed layout enhances visibility and ease of monitoring production status. Subsequently, a data management framework and a mathematical model for worker assignment were developed to facilitate job

rotation and enhance worker proficiency through the learning effect derived from repetitive task performance.

Total 203 pages

Keywords: Cellular layout, Assignment problem, Garment manufacturer

_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ เรื่อง การปรับปรุงผังการผลิตสำหรับแผนกเย็บผ้า กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสื้อผ้าแห่งหนึ่ง ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องกราบขอบคุณความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรวิชญ์ สว่างนพ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยธัช เผือกสามัญ กรรมการวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณอย่างสูงที่สละเวลามอบคำปรึกษา คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย การชี้แนะและวิพากย์ข้อบกพร่องในการงานวิจัยทุกขั้นตอน อันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาร บุญเสริม คณะเศษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง รวมถึงผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน ผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อวิจารณ์ แก้ไข สละเวลาในการตรวจทาน พินิจเล่มวิทยานิพนธ์และบทความวิจัยเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบคุณโรงงานผลิตเสื้อผ้ากรณีศึกษา ผู้จัดการ วิศวกรอุตสาหการประจำสายการผลิต หัวหน้าแผนกเย็บ และพนักงานผู้ปฏิบัติงานทุกท่าน สำหรับข้อมูลและเทคนิครายละเอียดในสายการผลิตเย็บผ้า รวมถึงการช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังขอขอบคุณเพื่อน และรุ่นพี่ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการสำหรับคำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการร่าง เขียน จัดทำและดำเนินวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา สำหรับการอบรมสั่งสอน กำลังใจ และการสนับสนุน รวมถึงเป็นที่ปรึกษาจนสำเร็จการศึกษา ครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ตลอดมา จนสามารถนำความรู้มาวิจัยและประยุกต์ให้เกิดผลประโยชน์เป็นงานวิจัยฉบับนี้

ด้วยความขอบคุณและศรัทธา

นพรุจ บุญเสริม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค

กิตติกรรมประกาศ จ

สารบัญ ฉ

สารบัญตาราง ญ

สารบัญรูปภาพ ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ของผลวิจัย 3

1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย 4

บทที่ 2 การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) 5

2.1.1 ประวัติของลีน 5

2.1.2 ความสูญเปล่าในกระบวนการ (7 Waste / Muda) 7

2.1.3 เครื่องมือในการสะท้อนภาพกระบวนการ (Process Visualization Tool) 8

2.2 การวางผังการผลิต (Production Plant Layout) 16

2.2.1 ประเภทของผังการผลิต (Production Plant Layout Categories) 16

2.3 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของตารางการผลิต 20

2.3.1 ประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และผลิตภาพ 20

2.3.2 อัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization) 22

2.4 ปัญหาการจัดสรรพนักงาน (Worker Assignment Problem) 22

2.4.1 ปัญหาการจัดสรรแบบง่าย (Simple Assignment Problem) 22

2.4.2 รูปแบบทั่วไปของปัญหาการจัดสรร (Generalized Assignment Problem) 23

2.4.3 ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

(Mixed Integer Linear Programming : MILP) 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.4 วิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดสรร 24

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางผังการผลิต 26

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม 31

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 35

3.1 ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการที่ศึกษา 38

3.2 ผังการผลิตปัจจุบัน ตำแหน่งที่ตั้งเครื่องจักรและผู้ปฏิบัติงาน 39

3.3 รูปแบบกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ 40

3.3.1 แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว

(Precedence Diagram for Long Sleeve Shirt) 40

3.3.2 แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น

(Precedence Diagram for Short Sleeve Shirt) 44

3.3.3 แผนภาพลำดับการผลิตของกางเกงขายาว

(Precedence Diagram for Trousers) 47

3.4 แผนภาพสปาเก็ตตี้ของผลิตภัณฑ์ (Spaghetti Diagram) 50

3.4.1 แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 50

(Spaghetti Diagram for Long Sleeve Shirt) 50

3.4.2 แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น 54

(Spaghetti Diagram for Short Sleeve Shirt) 54

3.4.3 แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตกางเกงขายาว 57

(Spaghetti Diagram for Trouser) 57

3.5 Yamazumi Chart 60

3.5.1 Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนยาว 60

3.5.2 Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนสั้น 64

3.5.3 Yamazumi Chart ของกางเกงขายาว 67

3.6 การปรับปรุงผังการผลิต (Kaizen Production Plant Layout) 71

3.6.1 แผนผังสายธารคุณค่าของเสื้อช็อปแขนยาวที่จะปรับปรุงเป็น

ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ 72

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.2 แผนผังสายธารคุณค่าของเสื้อช็อปแขนสั้นที่จะปรับปรุงเป็นผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ 73

3.6.3 แผนผังสายธารคุณค่าของกางเกงขายาวที่จะปรับปรุงเป็นผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ 74

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย 75

4.1 การจัดสมดุลการผลิต จัดสรรงานย่อยให้แก่สถานีงานและสร้างแผนภูมิ Yamazumi 75

4.1.1 การจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว 76

4.1.2 การจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น 80

4.1.3 การจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาว 84

4.2 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงาน ตามแผนภูมิ Yamazumi 87

4.2.1 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานตามแผนภูมิ Yamazumi ของเสื้อช็อปแขนยาว 89

4.2.2 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานตามแผนภูมิ Yamazumi ของเสื้อช็อปแขนสั้น 92

4.2.3 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานตามแผนภูมิ Yamazumi ของกางเกงขายาว 95

4.3 การจำแนกประเภทสถานีงาน 97

4.3.1 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์สถานีงานของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 98

4.3.2 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์สถานีงานของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น 99

4.3.3 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์สถานีงานของการผลิตกางเกงขายาว 99

4.4 การสร้างผังสายการเย็บประกอบเสื้อผ้า 100

4.5 การบูรณาการผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าเข้ากับผังสายการเย็บประกอบ 101

4.5.1 การควบรวมการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นเข้ากับผังสายการเย็บประกอบ 102

4.5.2 การควบรวมการผลิตกางเกงขายาวเข้ากับผังสายการเย็บประกอบ 103

4.6 การวางผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ลงในพื้นที่ผังโรงงานจริง 104

บทที่ 5 การจัดสรรพนักงานโดยคำนึงถึงทักษะการทำงานและการเรียนรู้ 109

5.1 ปัญหาการจัดสรรพนักงาน 109

5.2 กรอบการวิเคราะห์ปัญหาการจัดสรรพนักงาน 109

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.1 สมมุติฐานในกรอบการวิเคราะห์ปัญหาการจัดสรรพนักงาน 110

5.3 การรวบรวมข้อมูลเพื่อการจัดสรรพนักงาน 111

5.3.1 การรวบรวมข้อมูลรอบเวลาการผลิตและค่า Takt Time 111

5.3.2 การรวบรวมข้อมูลตารางเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงานของพนักงาน (Skill Matrix) 113

5.3.1 การรวบรวมข้อมูลตารางทักษะที่ต้องใช้ในแต่ละสถานีงาน 119

5.4 สมมุติฐานของตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ 120

5.5 ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ 120

5.6 การทดสอบตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์และการจำลองข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ 124

5.6.1 ผลการหาคำตอบการจัดสรรพนักงาน 17 คนจากข้อมูลที่เก็บมาจริง 125

5.6.2 ผลลัพธ์ของการเรียนรู้และปรับลดเวลาการทำงานของพนักงาน 145

5.6.3 ผลของระยะเวลาในการคำนวนหาคำตอบการจัดสรรพนักงาน 152

5.7 อภิปรายผลการทดสอบตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 154

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 156

6.1 สรุปผลการวิจัย 156

6.2 ข้อเสนอแนะ 161

บรรณานุกรม 162

ภาคผนวก 170

1.1 โค้ดโปรแกรม IBM ILOG CPLEX เพื่อการจัดสรรพนักงาน 170

1.2 โปรแกรมไพทอนในการสุ่มค่าเมทริกซ์ทักษะการทำงานของพนักงาน 196

ประวัติผู้เขียน 204

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 แสดงขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 4

ตารางที่ 2-1 ตารางสัญลักษณ์ทั่วไปของแผนผังสายธารคุณค่า 14

ตารางที่ 3-1 แสดงสัญลักษณ์ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิการไหลกระบวนการผลิต เสื้อช็อปแขนยาว 42

ตารางที่ 3-2 แสดงสัญลักษณ์ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิการไหลกระบวนการผลิต เสื้อช็อปแขนสั้น 45

ตารางที่ 3-3 แสดงสัญลักษณ์ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิการไหลกระบวนการผลิต กางเกงขายาว 48

ตารางที่ 3-4 แสดงสัญลักษณ์ของแผนภาพสปาเก็ตตี้ของเสื้อช็อปแขนยาว 51

ตารางที่ 3-5 แสดงสัญลักษณ์ของแผนภาพสปาเก็ตตี้ของเสื้อช็อปแขนสั้น 55

ตารางที่ 3-6 แสดงสัญลักษณ์ของแผนภาพสปาเก็ตตี้ของกางเกงขายาว 58

ตารางที่ 3-7 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 61

ตารางที่ 3-8 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น 64

ตารางที่ 3-9 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart ของการผลิตกางเกงขายาว 67

ตารางที่ 4-1 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 76

ตารางที่ 4-2 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น 80

ตารางที่ 4-3 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตกางเกงขายาว 84

ตารางที่ 5-1 ตารางข้อมูลรอบเวลาการผลิตและค่า Takt time 112

ตารางที่ 5-2 ตารางจำนวนพนักงานที่ต้องการในแต่ละสถานีงาน 113

ตารางที่ 5-3 ตารางเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงานของพนักงาน (Skill Matrix) 114

ตารางที่ 5-4 ตารางทักษะที่ต้องใช้ในแต่ละสถานีงาน 119

ตารางที่ 5-5 สรุปผลการหาผลเฉลยการจัดสรรพนักงานจำนวน 17 คน จากข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวม 3 ล็อตผลิตภัณฑ์ 127

ตารางที่ 5-6 สรุปผลการหาผลเฉลยการจัดสรรพนักงานจำนวน 17 คน จากข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวม 6 ล็อตผลิตภัณฑ์ 130

ตารางที่ 5-7 สรุปผลการหาผลเฉลยการจัดสรรพนักงานจำนวน 17 คน จากข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวม 9 ล็อตผลิตภัณฑ์ 136

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5-8 เปรียบเทียบเวลาการทำงานงานก่อนและล็อตการผลิตสุดท้าย
ของการจัดสรรพนักงาน 17 คน จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจริง 3 ล็อตการผลิต 146
ตารางที่ 5-9 เปรียบเทียบเวลาการทำงานงานก่อนและล็อตการผลิตสุดท้าย
ของการจัดสรรพนักงาน 17 คน จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจริง 6 ล็อตการผลิต 148
ตารางที่ 5-10 เปรียบเทียบเวลาการทำงานงานก่อนและล็อตการผลิตสุดท้าย
ของการจัดสรรพนักงาน 17 คน จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจริง 9 ล็อตการผลิต 150
ตารางที่ 5-11 สรุปเวลาเฉลี่ยผลการหาผลเฉลยในแต่ละการทดลอง 152
ตารางที่ 6-1 สรุปกรอบและผลลัพธ์แต่ละระยะของงานวิจัย 156
ตารางที่ 6-2 สรุปขั้นตอนการออกแบบผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์สำหรับแผนกเย็บผ้า 157

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างแผนภาพลำดับการผลิต (Precedent Diagram) 8
ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างแผนภูมิสปาเก็ตตี้ (Spaghetti Diagram) 9
ภาพที่ 2-3 ตัวอย่าง Yamazumi Chart 10
ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างแผนผังสายธารคุณค่า 15
ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างการวางผังการผลิตตามกระบวนการ 17
ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างการวางผังการผลิตตามผลิตภัณฑ์ 18
ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างการวางผังการผลิตแบบผลิตภัณฑ์อยู่กับที่ 19
ภาพที่ 2-8 ตัวอย่างการวางผังการผลิตแบบผลิตกลุ่ม 20
ภาพที่ 3-1 แผนภูมิลำดับระเบียบวิธีวิจัย 37
ภาพที่ 3-2 ผังโรงงานปัจจุบันตำแหน่งเครื่องจักรและผู้ปฏิบัติงาน 39
ภาพที่ 3-3 แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว 41
ภาพที่ 3-4 แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น 44
ภาพที่ 3-5 แผนภาพลำดับการผลิตของกางเกงขายาว 47
ภาพที่ 3-6 แผนภาพสปาเก็ตตี้การผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว 50
ภาพที่ 3-7 แผนภาพสปาเก็ตตี้การผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น 54
ภาพที่ 3-8 แผนภาพสปาเก็ตตี้การผลิตของกางเกงขายาว 57
ภาพที่ 3-9 Yamazumi Chart ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 60
ภาพที่ 3-10 Yamazumi Chart ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น 64
ภาพที่ 3-11 Yamazumi Chart ของการผลิตกางเกงขายาว 67
ภาพที่ 3-12 แผนผังสายธารคุณค่าของเสื้อช็อปแขนยาวที่จะปรับปรุง 72
ภาพที่ 3-13 แผนผังสายธารคุณค่าของเสื้อช็อปแขนสั้นที่จะปรับปรุง 73
ภาพที่ 3-14 แผนผังสายธารคุณค่าของกางเกงขายาวที่จะปรับปรุง 74
ภาพที่ 4-1 Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 76
ภาพที่ 4-2 Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น 80
ภาพที่ 4-3 Yamazumi Chart หลังการจัดดุลสายการของการผลิตกางเกงขายาว 84
ภาพที่ 4-4 แสดงการจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานเข้ากับสถานีงานของเสื้อช็อปแขนยาว 89
ภาพที่ 4-5 แสดงการจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานเข้ากับสถานีงานของเสื้อช็อปแขนสั้น 92
ภาพที่ 4-6 แสดงการจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานเข้ากับสถานีงานของกางเกงขายาว 95

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4-7 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์ของสถานีงานสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 98
ภาพที่ 4-8 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์ของสถานีงานสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น 99
ภาพที่ 4-9 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์ของสถานีงานสายการผลิตกางเกงขายาว 99
ภาพที่ 4-10 การสร้างสายการผลิตแบบเซลลูล่าร์ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 100
ภาพที่ 4-11 การควบรวมการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น ลงไปในผังการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว 102
ภาพที่ 4-12 การควบรวมการผลิตกางเกงขายาว ลงไปในผังการผลิตเสื้อผ้า 103
ภาพที่ 4-13 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของงานของเสื้อช็อปแขนยาว 105
ภาพที่ 4-14 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของงานของเสื้อช็อปแขนสั้น 106
ภาพที่ 4-15 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของงานของกางเกงขายาว 107
ภาพที่ 4-16 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของทุกผลิตภัณฑ์ 107
ภาพที่ 4-17 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงระยะการออกแบบ 108
ภาพที่ 5-1 กรอบการนำเข้าข้อมูล การจัดเก็บข้อมูลและตัวแบบทางคณิตศาสตร์ 110
ภาพที่ 5-2 ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (กรณีพนักงาน 17 คน) 152
ภาพที่ 5-3 ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (กรณีพนักงาน 34 คน) 153
ภาพที่ 5-4 ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (กรณีพนักงาน 68 คน) 153

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศไทย ในปีพ.ศ.2565 จากสถิติการส่งออกอุตสาหกรรมสิ่งทอมีมูลค่ากว่า 6,850.1 ล้านดอลลาร์ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าร้อยละ 5.0 เมื่อเจาะลึกลงไปในกลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มชั้นนอก มีมูลค่าการส่งออกกว่า 2,411.9 ล้านดอลลาร์ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าร้อยละ 5.3 โดยประเทศสำคัญที่เป็นฐานการส่งออกของประเทศไทย ได้แก่ ญี่ปุ่น สาธารณรัฐอินโดนีเซีย สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม สหรัฐอเมริกา และสาธารณรัฐอินเดีย

ยิ่งกว่านั้นอุตสาหกรรมสิ่งทอยังเป็นแหล่งรองรับแรงงานเป็นจำนวนมาก โดยในปีพ.ศ.2565 สถิติจำนวนโรงงานสิ่งทอทั่วประเทศไทยมีจำนวนกว่า 2,679 โรงงาน และมีแรงงานอยู่ภายในระบบอุตสาหกรรมสิ่งทอกว่า 405,965 คน ด้วยความที่อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นงานที่ต้องใช้ความแม่นยำและความเที่ยงตรงเป็นอย่างสูง ซึ่งเครื่องจักรที่มีศักยภาพสูงขนาดนั้นมีราคาที่แพงเกินไป ที่ผู้ประกอบการขนาดเล็กและผู้ประกอบการขนาดกลางจะรับได้ ทำให้อุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยยังคงต้องพึ่งพิงแรงงานฝีมือซึ่งเป็นคน เป็นหลัก

โรงงานเสื้อผ้าแห่งนี้ เป็นโรงงานที่ผลิตเสื้อผ้าโดยผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to order) มีการผลิตเสื้อผ้าหลากหลายแบบ ทั้งกางเกงขายาว, เสื้อช็อปแขนยาว และเสื้อช็อปแขนสั้น แต่ละผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนการผลิต การใช้ชนิดเครื่องจักรเย็บผ้า และผู้ปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปหากสายการผลิตปกติเป็นเส้นตรง (Straight Line Layout) เช่น การผลิตเสื้อช็อปแขนยาวใช้พนักงาน 17 คน ทั้งสิ้น 17 โต๊ะจักรเย็บผ้า หากจัดระยะห่างระหว่างโต๊ะ 1 เมตร ระยะทางการเคลื่อนที่รวมก็ควรเป็น 17 เมตร

แต่จากการลงพื้นที่สำรวจและศึกษาผังการผลิตของโรงงาน พบว่า ผังโรงงานจัดโต๊ะจักรเย็บจัดผังในรูปคล้าย ตารางโต๊ะห้องเรียน ซึ่งไม่สอดคล้องกับทิศทางการไหลของวัสดุในกระบวนการผลิต ส่งผลให้ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างมาก จากการติดตามวัสดุและคำนวณระยะทางการไหลของผลิตภัณฑ์เสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้นและกางเกงขายาว มีระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุ 82.7 เมตร, 65.1 เมตร และ 84.9 เมตร ตามลำดับ เส้นทางการไหลของวัสดุอย่างละเอียดแสดงในแผนภาพสปาเก็ตตี้ของแต่ละผลิตภัณฑ์ในบทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย ผังดังกล่างทำให้เกิดระยะทางที่ยาวกว่าผังการผลิตเชิงเส้นหลายเท่าตัว สภาพดังกล่าวจึงสร้างความสูญเปล่าจากการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น

การจัดโต๊ะจักรเย็บผ้าในรูปแบบตารางโต๊ะเรียนนี้ ในมุมมองของการจัดการผลิต หัวหน้าแผนกเย็บต้องค่อยกำกับ สอดส่อง ติดตามและคอยบอกพนักงานผลิตตลอดว่า ชิ้นส่วนนี้ผลิตเสร็จแล้วต้องส่งให้พนักงานคนใดต่อ ด้วยตัวเองเสมอ

ด้วยเหตุผลของความสูญเปล่าจากการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น และมุมมองความยุ่งยากในการจัดการ แนวคิดการปรับผังการผลิตให้เกิด การไหลของวัสดุที่มีประสิทธิภาพ (Streamlined Flow) จึงถูกนำมาพัฒนาเป็นแนวทางการออกแบบผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์ (Cellular Production Layout) สำหรับแผนกเย็บผ้า โดยผังที่ออกแบบใหม่นี้จะรวมการผลิตของผลิตภัณฑ์ทั้งสามชนิดไว้ในพื้นที่เดียวกัน แบ่งพื้นที่การทำงานออกเป็นเซลล์ย่อย (Work Cells) ตามกลุ่มลักษณะงาน ได้แก่ เซลล์เตรียมชิ้นส่วน เซลล์ประกอบตัวเสื้อ และเซลล์งานปิดท้าย เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการเคลื่อนย้ายวัสดุ และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตได้อย่างยืดหยุ่นเมื่อมีการเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์

นอกจากประเด็นของผังการผลิตแล้ว การจัดสรรพนักงานยังเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ในแต่ละโต๊ะจักรเย็บต้องใช้พนักงานที่มีทักษะฝีมือเฉพาะด้าน การจัดสรรพนักงานในปัจจุบันอาศัยประสบการณ์ของหัวหน้าแผนกเย็บเป็นหลัก โดยมักจัดให้พนักงานที่มีความชำนาญสูงรับงานก่อน ขณะที่พนักงานใหม่หรือทักษะต่ำมักไม่ได้รับโอกาสฝึกฝนในงานอื่น ทำให้ขาดการหมุนเวียนงาน (Job Rotation) และเกิดปัญหาความไม่สมดุลของทักษะในระยะยาว นอกจากนี้ เมื่อมีการเปลี่ยนการทำงานของพนักงานยังอาจเกิดความไม่มั่นใจว่าจะสามารถผลิตงานได้ทันตามกำหนดเวลาส่งมอบหรือไม่

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ผนวกแนวทางการปรับปรุงผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์เข้ากับ กรอบการจัดการข้อมูลและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงาน โดยใช้ผังการผลิตเซลล์ลูล่าร์ที่ออกแบบใหม่เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวมีเป้าหมายให้เกิดการหมุนเวียนพนักงานอย่างเป็นระบบภายใต้ข้อจำกัดของเวลาผ่านค่า Takt Time และการจัดสรรจำนวนพนักงานในแต่ละสถานีงาน พร้อมทั้งผนวกกลไกของการเรียนรู้ (Learning Effect) เพื่อให้เวลาทักษะของพนักงานลดลงทุกครั้งที่เกิดการทำงานซ้ำ ส่งผลให้พนักงานสามารถพัฒนาทักษะและทำงานได้ใกล้เคียงเวลามาตรฐานมากยิ่งขึ้น

โดยสรุปงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนากระบวนการสร้างผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์ที่สามารถรองรับการผลิตเสื้อผ้าหลายชนิดได้ในพื้นที่เดียวกัน และพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรและหมุนเวียนพนักงาน โดยมีการพิจารณาความสามารถด้านทักษะและกลไกการเรียนรู้ของพนักงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดความสูญเปล่า และสร้างความยืดหยุ่นให้กับระบบการผลิตของโรงงาน

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงผังการผลิตของแผนกเย็บผ้าเพื่อลดระยะทางการไหลของวัสดุ

1.2.2 เพื่อพัฒนากรอบการจัดการข้อมูลและตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรพนักงานเข้าสู่สายการผลิตโดยคำนึงถึงการเรียนรู้ผ่านการทำงานซ้ำและการหมุนเวียนพัฒนาทักษะของพนักงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการกระบวนการผลิตเสื้อผ้า ได้แก่ผลิตภัณฑ์กางเกงขายาว เสื้อช็อปแขนยาวและเสื้อช็อปแขนสั้น โดยใช้ข้อมูลกระบวนการทำงาน การไหลของวัสดุ และผังการผลิต โดยสำรวจสภาพการผลิต ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ.2566 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2567

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นและกำหนดหัวข้อปัญหา

1.4.2 เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

1.4.2.1 รวบรวมข้อมูลผังการผลิตปัจจุบัน ขั้นตอนการทำงาน เส้นทางการไหลของวัสดุ และระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุ

1.4.2.2 รวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตในแต่ละสถานีงาน

1.4.2.3 รวบรวมข้อมูลหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานเย็บผ้า

1.4.3 เสนอแนวทางปรับปรุงผังการผลิต

1.4.4 วิเคราะห์ผลลัพธ์การปรับปรุงผังการผลิตใหม่

1.4.5 สร้างกรอบการจัดการข้อมูลและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรพนักงาน

1.4.6 สรุปผลและนำเสนอแนวทางการแก้ไขปรับปรุง

1.5 ประโยชน์ของผลวิจัย

ได้แนวทางในการปรับปรุงระบบการผลิต โดยมีการเคลื่อนย้ายวัสดุลดลง จัดการไหลของชิ้นงานให้มีระเบียบ ไม่ซับซ้อน ส่งผลให้ง่ายต่อการจัดการและลดเวลาการผลิตลง

ได้กรอบการจัดการข้อมูลและตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงาน ส่งผลให้มีการพัฒนาทักษะการทำงานของพนักงานผ่านกลไกการเรียนรู้และการเวียนสถานีงาน ในขณะที่ยังคงส่งมอบงานได้ตามกำหนดเวลาส่งมอบ

1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1-1 แสดงขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2024								2025			
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค	พ.ย	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย
1. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นและกำหนดปัญหา	←	→										
2. เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล		←	—	→								
3. สอบหัวข้อวิทยานิพนธ์				←	→							
4. ออกแบบผังโรงงานปรับปรุงใหม่			←	—	—	—	→					
5. การออกแบบและพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์						←	—	—	→			
6. สอบความก้าวหน้าวิทยานิพนธ์							←	→				
7. สรุปนำเสนอแนวทางแก้ไข									←	—	→	

บทที่ 2
การทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing)

Lean Manufacturing หรือในอีกชื่อหนึ่ง Toyota Production System (TPS) เป็นระบบการผลิตแบบเฉพาะตัวที่คิดค้นโดยบริษัทผลิตรถยนต์โตโยต้า รวมถึงเป็นปรัชญาในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตอยู่เสมอ ด้วยระบบ TPS ทำให้โตโยต้ากลายเป็นผู้ผลิตรถยนต์ชั้นนำของโลก

Lean ได้ถูกตีพิมพ์เป็นหนังสือ “The Machine that Changed the World” โดย James P. Womack, Daniel Roos และ Daniel T. Jones ในปี 1996 เป็นการเผยแพร่ปรัชญาแห่ง Lean ให้เป็นที่รู้จักภายนอกโตโยต้า โดยผลลัพธ์ท้ายสุดที่ต้องการจากการใช้ระบบ Lean คือ

1. สินค้ากำหนดตามความต้องการของลูกค้า (Customer Value)
2. กำหนดการไหลสายธารคุณค่า (Value Stream)
3. การผลิตมีความไหลลื่น (Production Flow)
4. ทำให้การผลิตถูก “ดึง” ตามความต้องการของลูกค้า (Pull System)
5. คอยพัฒนาตัวเองอยู่เสมอ (Continues Improvement)

ผู้ผลิตที่มี “Lean” หมายถึงผู้ผลิตมีแนวคิดการผลิตสินค้าอย่าง “ลื่นไหล” ผ่านกระบวนการที่ไม่ติดขัดและ “ก่อให้เกิดคุณค่า” ที่เกิดจากการ “ดึง” ตามจังหวะความต้องการของลูกค้า

2.1.1 ประวัติของลีน

ซาคิจิ โตโยดะ อยู่ในยุคที่รัฐบาลญี่ปุ่นสนับสนุนวิสาหกิจทอผ้าเป็นอุตสาหกรรมหลัก โดยซาคิจิ โตโยดะ เรียนรู้วิชาช่างไม้จากบิดา ซาคิจิได้เห็นครอบครัวต้องนั่งลำบากในการทอผ้า จึงได้นำความรู้วิชาช่างไม้มาออกแบบและสร้างเครื่องทอผ้า รวมถึงได้นำเครื่องจักรไอน้ำมือสองมาเป็นเครื่องต้นกำลังให้กับเครื่องทอผ้า ทำให้กลายเป็นเครื่องทอผ้าอัตโนมัติ ด้วยแนวทางในการลงมือทำด้วยตัวเอง ซาคิจิได้ร่างหลักการสำคัญให้กับ TPS คือ Genchi Genbatsu หลักวิชาว่าด้วยการพัฒนาตัวเองอย่างต่อเนื่อง สังเกตให้เห็นด้วยตาตนเอง เพื่อให้เข้าใจถึงรากของปัญหา ไม่ได้ดูแค่เพียงผิวภายนอก

แม้กระนั้นซาคิจิก็ยังคงพัฒนาเครื่องทอผ้าพลังงานเครื่องยนต์ไอน้ำของเขาต่อไป โดยเขาคิดค้นกลไกที่สามารถทำให้เครื่องทอผ้าหยุดทำงานเมื่อเส้นด้ายขาด กลไกนี้ถูกต่อยอดเป็นหนึ่ง ในเสาหลักของปรัชญา TPS คือ Jidoka หมายถึง “ความอัตโนมัติที่คงสัมผัสของมนุษย์” ซึ่งในภาคปฏิบัติคือการออกแบบอุปกรณ์หรือกระบวนการที่สามารถตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานและสามารถหยุด

การผลิตได้ทันที่ความผิดพลาดเกิดขึ้น ในสายการการผลิตโตโยต้า เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้น สายการผลิตทั้งสายต้องหยุดชะงัก เพื่อให้จัดการกับปัญหาได้ก่อนที่จะผลิตของเสียออกไป

คิอิจิโร โตโยดะ รุ่นลูกของซาคิจิ เดินทางไปอังกฤษเพื่อขายสิทธิบัตรสิ่งที่พ่อเขาคิดค้นได้ให้บริษัท Platt Brother ซึ่งเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์ปั่นด้ายและทอผ้าชั้นนำ เขาได้นำเงินจากการขายสิทธิบัตรมาจัดตั้งบริษัท Toyota Motor Corporation ในช่วงการก่อตั้งบริษัทยังคงผลิตรถได้มีคุณภาพต่ำ คิอิจิโรจึงเดินทางไปศึกษาระบบการผลิตรถยนต์แบบ Assembly Line ทีบริษัท Ford และ บริษัท GM คิอิจิโรมองเห็นว่าตลาดรถยนต์ของญี่ปุ่นมีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะผลิตแบบ Mass Production ได้ คิอิจิโรได้ไอเดียการซื้อของในซุปเปอร์มาเก็ตที่อเมริกา ที่พนักงานจะเติมสินค้าเมื่อมีสินค้าถูกหยิบออกไป ซึ่งสิ่งนี้ได้ต่อยอดพัฒนาเป็นระบบ Kanban Pull System และ Just in Time

เออิจิ โตโยดะ รับช่วงต่อบริษัทจากคิอิจิโร ซึ่งเป็นช่วงที่ญี่ปุ่นแพ้สงครามโลกครั้งที่ 2 พอดี เออิจิมองว่า บริษัทจะอยู่รอดได้นั้น ต้องประยุกต์ระบบการผลิตของ Ford ให้ได้ระบบการผลิตที่มีคุณภาพสูง ต้นทุนต่ำ เวลาในการส่งมอบน้อย และผลิตในปริมาณที่หลากหลาย เออิจิจึงเดินทางไปยังโรงงานของ Ford ที่อเมริกาอีกครั้ง ซึ่งพบว่าการผลิตของ Ford ไม่ได้มีความแตกต่างจากเดิม เขามองเห็นว่า การผลิตไม่ไหลลื่นมีการหลุดชะงัก การผลิตที่ละมากๆ ทำให้มี Stock Inventory เป็นจำนวนมากและมีการผลิตที่มากเกินไป (Over Production)

ไทอิจิ โอโนะ ผู้จัดการโรงงาน ได้รับมอบหมายจาก เออิจิ โตโยดะ ให้หาวิธีที่ทำให้ Toyota ผลิตได้ Productivity ระดับเดียวกับ Ford แต่ไม่ต้องผลิตแบบ Mass Production โดยแนวคิดของไทอิจิคือการผลิตแบบ Continues Flow แบบ Assembly Line เป็นสิ่งที่ควรทำ แต่ควรทำเป็นแบบ One Piece Flow ที่ยืดหยุ่นได้ตามความต้องการของลูกค้า

การที่ไทอิจิลงมาคลุกคลีกับสายการผลิต ลงมามองให้เห็นถึงปัญหา เข้าใจปัญหาและปรับปรุงกระบวนการอยู่เสมอซึ่งเป็นหลักการ Kaizen การทำงานเป็นกลุ่ม เก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลแก้ปัญหา จัดการตัวเองและคนในกลุ่ม ส่งเสริมการระดมสมอง ความคิดต่างๆ ก่อนจะลงมือปรับปรุงกระบวนการให้ดียิ่งขึ้น (Liker, 2004 : 15), (Tarantino, 2022 : 21-29)

2.1.2 ความสูญเปล่าในกระบวนการ (7 Waste / Muda)

ความสูญเปล่าหรือกิจกรรมใดๆที่บริโภคทรัพยากรเข้าไปแต่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแก่ลูกค้าทั้งภายในและภายนอกบริษัท (Non-Value Added Activity) โดยมีทั้งสิ้น 7 หมวดหมู่ (Santos, Wysk and Torres, 2006 : 7-8), (Irani, 2020 : 187) ได้แก่

1. Over Production การผลิตที่มากเกินจำเป็น หรือผลิตก่อนจะมีคำสั่งผลิต ซึ่งทำให้เกิดของเสียในการผลิต การใช้งานพนักงาน ก่อให้เกิดสต็อกสินค้าที่ไม่จำเป็น เสียทั้งพื้นที่จัดเก็บ ต้นทุนจมและค่าใช้จ่ายในการผลิตและจัดเก็บที่ไม่จำเป็น

2. Waiting การรอคอย เช่นการรอคอยวัตถุดิบทำให้ไม่สามารถผลิตได้ การรอคอยที่เกิดจากคอขวด (Bottle Neck Process) ในกระบวนการ

3. Unnecessary Transportation การขนถ่ายสินค้า หรือ Work in Process ในระยะทางยาวๆ การเคลื่อนย้ายที่ขนไปขนมา ไป-กลับบ่อยๆ ทำให้เสียเวลา และโอกาสในการผลิต

4. Excesses Inventory การมีวัตถุดิบ Stock ที่มากเกินความจำเป็น การมี Work in Process ที่มากเกินไป หรือการมีสินค้าสำเร็จที่มากเกินไป การมีสินค้าในที่ใดๆล้วนทำให้เกินการใช้พื้นที่ มีต้นทุนในการเก็บรักษา รวมถึงทำให้เวลาในการส่งมอบ (Lead Time) นาน มีความเสี่ยงในการหมดอายุของสินค้า

การมี Inventory จะช่วยแก้ปัญหา สมดุลของการผลิต ความไม่แน่นอนในการส่งวัตถุดิบ หรือเหตุการณ์ไม่คาดฝันเช่น Break Down ได้ ทว่าในทางกลับกัน การมี Inventory ที่มากเกินไป ก็เป็นความสูญเปล่าเช่นกัน

5. Unnecessary Movement การเคลื่อนไหวใดๆของพนักงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าในการทำงาน เช่น การค้นหา การเอื้อมมือ การจัดเรียงเครื่องมือวัตถุดิบ การเล็งตำแหน่ง การจัดท่าทาง ล้วนแต่เป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าของงาน

6. Defect การผลิตของเสีย ชิ้นงานหรือสินค้าชำรุด การผลิตสินค้าที่ไม่ตรงตามแบบของลูกค้า เป็นการใช้งานทรัพยากร วัตถุดิบ เวลาและแรงงานคนแต่ไม่ได้ผลลัพธ์ที่ดีกลับมา

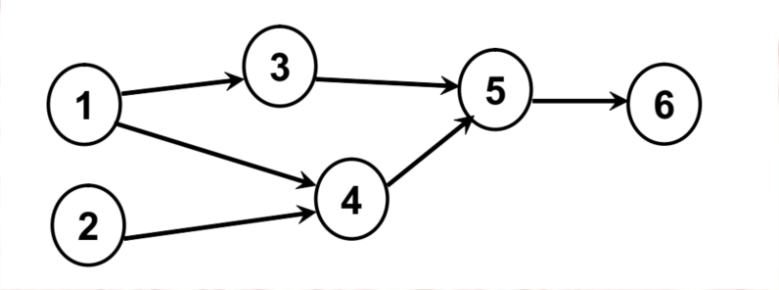
7. Over Processing ขั้นตอนที่ไม่จำเป็น กระบวนการที่ไม่จำเป็นต้องมี กิจกรรมตรวจสอบบางอย่างที่โรงงานทำแต่ลูกค้าไม่ได้สนใจ เป็นความสูญเปล่าในระบบการผลิตที่วิเคราะห์และบ่งชี้ได้ยาก โดยทั่วไปปรับปรุงได้โดยการลด Element บางอย่างออก

ไทอิจิ โอโนะ ให้ความสำคัญกับ Over Production หรือการผลิตที่มากเกินไป มากที่สุด เพราะการผลิตที่มากเกินไปจะนำมาซึ่ง ความสูญเปล่าชนิดอื่นๆ เช่น Excess Inventory จากการที่ต้องเก็บ Stock ที่มาก Unnecessary Transportation เนื่องจากเพิ่มภาระให้กับสายการผลิต หรือการผลิตมากไปนำมาซึ่ง Defect ของเสียที่มากตามตัว

2.1.3 เครื่องมือในการสะท้อนภาพกระบวนการ (Process Visualization Tool)
กลุ่มเครื่องมือ แผนภูมิหรือแผนภาพที่ช่วยให้เห็นภาพรวมของกระบวนการทำงาน

2.1.3.1 Precedent Diagram

แผนภาพลำดับการผลิต (Precedent Diagram) เป็นเครื่องมือแสดงความสัมพันธ์ของงาน แสดงระยะเวลาการทำงาน งานใดที่ต้องทำก่อนหน้า โดย Precedent Diagram แสดงงานในรูปของ Node และลูกศร (Arrow) แสดงความสัมพันธ์ของงาน ช่วยให้นักวิเคราะห์มองเห็นลำดับการทำงานที่ต้องเสร็จสิ้นเสียก่อน

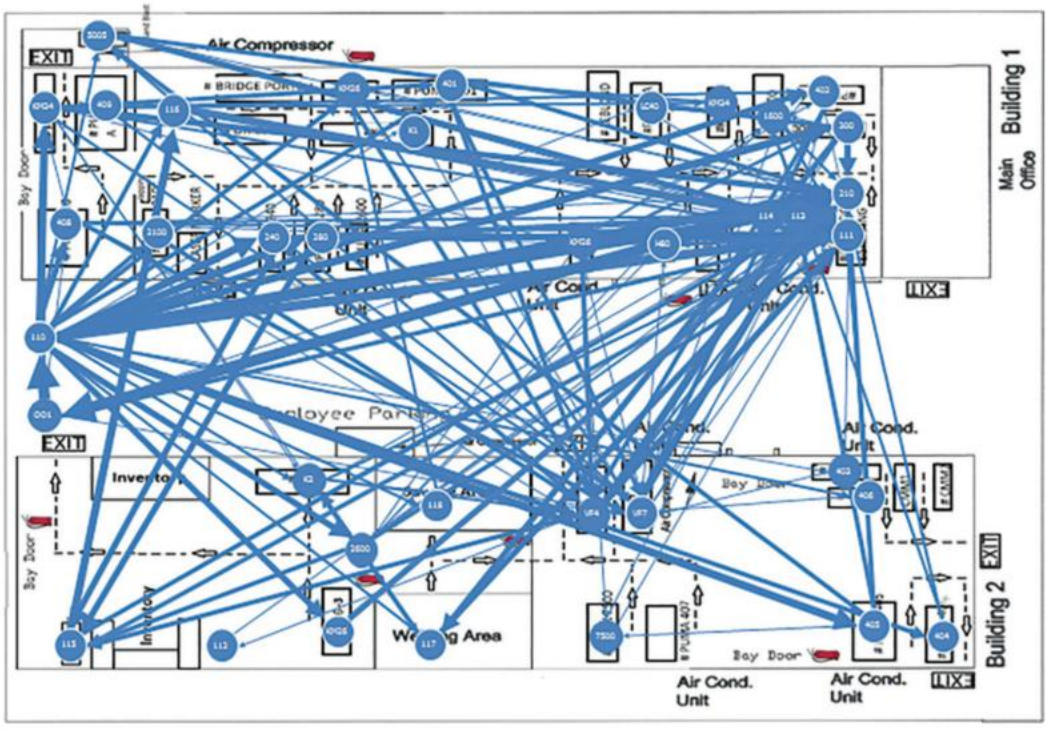


ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างแผนภาพลำดับการผลิต (Precedent Diagram)
(Brahim and Alain, 2006 : 17)

2.1.3.2 Spaghetti Diagram

แผนภูมิสปาเก็ตตี้ เป็นหนึ่งในเครื่องมือช่วยวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis Tool) โดยแสดงการไหลของงาน เส้นทางการไหลในแต่ละกิจกรรมว่าผ่านขั้นตอนไหนและเดินทางอย่างไร แผนภูมิสปาเก็ตตี้มักจะดูการไหลของสิ่งที่เป็นกายภาพ (Physically Tracing) ไม่ว่าจะเป็นการไหลของชิ้นงานหรือคน ที่เคลื่อนที่ภายในพื้นที่ปฏิบัติงาน การเดินทางจะแสดงในรูปเส้นโค้งวิ่งไป-มา จึงเป็นที่มาของชื่อแผนภูมิสปาเก็ตตี้ (Irani, 2020 : 62), (KareKatti and Tiwari, 2021 : 39)

สามารถช่วยในการบ่งชี้ Unnecessary Transportation Waste หรือความสูญเปล่าจากการขนย้ายได้ ทำให้เห็นถึงระยะทาง ความถี่ในการเดินทาง ความคับคั่งของการไหล รวมถึงช่วยในการวิเคราะห์ผังการผลิตได้



ภาพที่ 2-2 ตัวอย่างแผนภูมิสปาเก็ตตี้ (Spaghetti Diagram)
(Shahrukh, 2020 : 32)

2.1.3.3 From-to Chart

เมื่อการเคลื่อนที่ระหว่างสถานีงานมีความหลากหลาย หรือซับซ้อนขึ้น หรืออาจมองถึงจำนวนสินค้าที่เคลื่อนที่ไปแต่ละแผนก แผนภูมิจาก-ถึง (From to Chat) เป็นตารางที่อาจแสดงระยะทางการขนส่ง หรือปริมาณการขนย้าย เช่น จำนวนเที่ยวในการขน ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ซึ่งแผนภูมิจาก-ถึงจะแสดงให้เห็นว่าแผนกหรือสถานีงานใดควรอยู่ใกล้กัน

2.1.3.4 Yamazumi Chart

Yamazumi Chart เป็นหนึ่งในเครื่องมือสะท้อนความสมดุลของกระบวนการผลิต เป็นหนึ่งในเครื่องมือของระบบการผลิตแบบ Lean และการจัดสมดุลการผลิต (Line Balancing) ช่วยชี้ให้เห็นถึงโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการหรือการจัดสรรงานใหม่

เป้าหมายของ Yamazumi Chart คือดูความสมดุลของงานหรือสถานีงานในไลน์การผลิต ช่วยสะท้อนความไม่สมดุลของภาระงาน รวมถึงช่วยบ่งชี้สถานีงานที่เป็นคอขวด (Bottle neck Station) ในกระบวนการ

Yamazumi Chart จะแสดงในรูปกราฟแท่งหรือ Bar Chart โดยแต่ละแท่งแทน รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ของสถานีงานนั้นๆ หากแท่งรอบเวลาการผลิตสั้น แสดงถึงภาระงานในสถานีงาน

นั้นที่น้อย ในทางตรงกันข้าม หากแท่งรอบเวลาการผลิตสูง แสดงถึงภาระงานสถานีงานที่มากและอาจเป็นคอขวดของกระบวนการผลิต

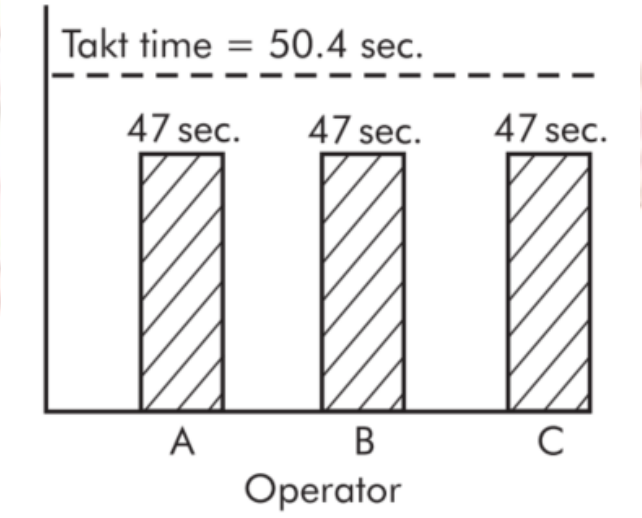
2.1.3.4.1 คอขวด หรือ Bottle Neck คือกระบวนการที่ขัดขวางกระบวนการผลิตของสถานีงานนี้ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของสถานีงานถัดไป ทำให้สถานีงานถัดไปต้องรอคอยสถานีงานคอขวดนี้

2.1.3.4.2 รอบเวลาการทำงาน หรือ Cycle Time คือ รอบเวลาที่ได้จากการจับเวลาการทำงานในขั้นตอนหนึ่งหรือสถานีงานหนึ่ง ซึ่งจะวนเป็นรอบในการทำงานแต่ละงาน

2.1.3.4.3 Takt Time มาจากภาษาเยอรมันแปลว่า จังหวะ (Rhythm) หมายถึงอัตราความต้องการของลูกค้า Takt Time ถูกใช้ในการกำหนด “จังหวะ” ความเร็วของการผลิต และใช้ในการเปรียบเทียบกับจังหวะของการผลิตแต่ละขั้นตอนว่าในแต่ละขั้นตอนเร็วหรือช้าเกินไป

Takt Time คล้ายกับ Conductor ในวงดุริยางค์ที่คอยกำกับจังหวะให้กับการผลิตในแต่ละสถานีงาน หากสถานีงานใดไม่ทำตามจังหวะของ Takt Time ก็จะทำให้เกิด Waiting หรือ Over Production (เพราะทำเร็วไป) สูตรการคำนวณ Takt Time แสดงดังต่อไปนี้ (Allen, Robinson and Stewart, 2001: 91)

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Production Time}}{\text{The amount of Customer demand}} \quad (2\text{-}1)$$



ภาพที่ 2-3 ตัวอย่าง Yamazumi Chart

(Allen, Robinson and Stewart, 2001: 94)

2.1.3.4.4 การคำนวณจำนวนสถานีงานในอุดมคติ

(Theoretical number of work station)

การจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing) เป็นการจัดสรรงานย่อยในแต่ละสถานีงานเพื่อให้เกิดความสมดุล เท่าเทียมกันอย่างมากที่สุด ลดรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) เพื่อให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น

การคำนวณสถานีงานในอุดมคติ เป็นหนึ่งในขั้นตอนของการทำการจัดสมดุลสายการผลิต หากคำนวณแล้วมีทศนิยมให้ทำการปัดขึ้นเสมอ เพราะหากทำการปัดลงแสดงว่าสถานีงานต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี ผลกระทบคือ Overload สถานีงานแล้วจะทำผลิตไม่ทัน โดยสูตรการคำนวณสถานีงานในอุดมคติมีสูตรการคำนวณดังนี้ (Santos, Wysk and Torres, 2006 : 59)

$$\text{Number of Theoretical Work Station} = \frac{\text{Total Production Time}}{\text{Takt Time}} \quad (2\text{-}2)$$

2.1.3.4.5 การคำนวณ Lead Time หรือเวลานำ

Lead Time หรือ เวลานำ อ้างอิงถึงเวลาทั้งหมดตั้งแต่นำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตจนถึงเวลาที่ของชิ้นนั้นเสร็จสิ้นกระบวนการ โดยมีสูตรการคำนวณคือ ค่าสูงสุดของรอบเวลาการผลิตคูณกับจำนวนสถานีงานในสายการผลิต (KareKatti and Tiwari, 2021 : 31) แสดงได้ดังนี้

$$\text{Lead Time} = \text{Max(Cycle Time)} \times \text{Number of Workstation} \quad (2\text{-}3)$$

2.1.3.5 Value Stream Mapping

แผนผังสายธารคุณค่า หรือ Value Stream Mapping (VSM) เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ช่วยในการปรับปรุงการผลิตเข้าสู่ระบบลีน แผนผังสายธารคุณค่าสามารถแสดงให้เห็นภาพรวมการไหลของกระบวนการตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุด ช่วยให้เห็นความสูญเสียในกระบวนการผลิตพร้อมๆกับดูประสิทธิภาพของกระบวนการไปด้วย (Peter and Jenifer, 2015 : 5), (KareKatti andTiwari, 2021 : 43)

ประโยชน์ของแผนผังสายธารคุณค่า มีดังต่อไปนี้

1. ช่วยให้เห็นภาพรวมของกระบวนการ ทำความเข้าใจกระบวนการผลิตคุณค่า

2. ฉายภาพการไหลของวัสดุ ตั้งแต่นำวัตถุดิบจนกระทั้งถึงผลิตภัณฑ์สำเร็จ แสดงให้เห็นอุปสรรคที่ขัดขวางการไหลลื่นของกระบวนการผลิต

3. บางครั้งช่วยนำทาง บ่งชี้เบาะแสถึงต้นต่อของปัญหา (Root Cause) ของความสูญเสียภายในกระบวนการ

4. ในกรณีที่แผนผังสายธารคุณค่า ร่วมกันเขียนโดยตัวแทนของแต่ละแผนก จะช่วยให้เห็นถึงกระบวนการต่างๆอย่างละเอียด พบความสำคัญของแต่ละกระบวนการ ช่วยในการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ร่วมกัน (Cross Functional)

5. ในแผนผังสายธารคุณค่านอกจากแสดงการไหลของวัสดุ ยังแสดงถึงการไหลของข้อมูลด้วย แสดงให้เห็นถึงโอกาสเกิดความผิดพลาด ความล่าช้า หรือโอกาสในการปรับปรุงระบบการรับ-ส่งข้อมูล (Information Processing)

การสร้างผังสายธารคุณค่า มีขั้นตอนดังต่อนี้

1. เลือกผลิตภัณฑ์ที่จะเขียนผังสายธารคุณค่า (Selecting Product) บางโรงงานอาจมีหลายผลิตภัณฑ์ ก็ควรเลือกผลิตภัณฑ์หลักที่เป็นสัดส่วนมากในการผลิต หรือผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าให้ความสำคัญ

2. เขียนแผนผังสายธารคุณค่าของสถานะปัจจุบัน และรวบรวมข้อมูล (Current State Drawing) โดยผังสารธารคุณค่ามีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

2.1 การไหลของวัสดุ Material Flow แสดงการไหลวัสดุซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตั้งแต่วัตถุดิบ ผ่านแต่ละกระบวนการ จนได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จ ในแต่ละกระบวนการมีกล่องข้อมูลแสดงสมรรถนะของกระบวนการ เช่น รอบเวลาผลิตแต่ละขั้นตอน, จำนวนพนักงานที่ทำงานในแต่ละขั้นตอน, อัตราผลผลิต (Yield), การใช้ประโยชน์ (Utilization), เวลาที่มีในการผลิตทั้งหมด (Available Time) ฯลฯ

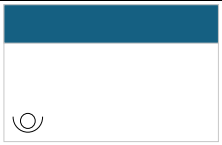
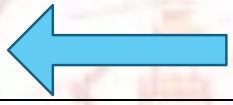
2.2 การไหลของข้อมูล Information Flow แสดงการรับส่งต่อข้อมูล โดยเริ่มเขียนตั้งแต่การรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า สืบย้อนกลับผ่านการวางแผน จัดลำดับงาน และสิ้นสุดที่คำสั่งผลิตแต่ละสถานีงาน (Production Control Signal) โดยทั่วไปการไหลของข้อมูล มักจะสวนทางกับการไหลของวัสดุ

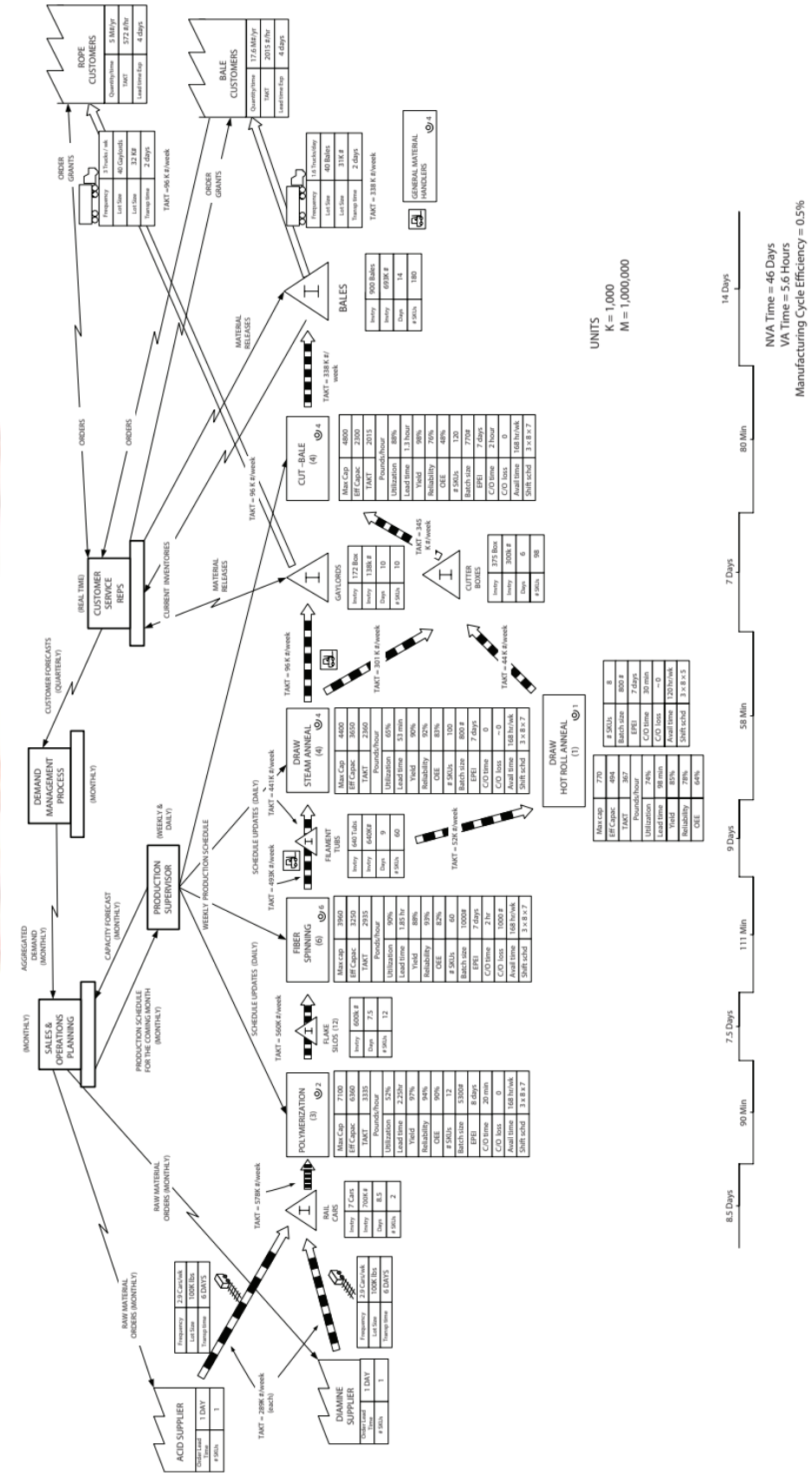
2.3 เส้นเวลา Time Line แสดงเวลาเพิ่มมูลค่า (Value-add Time) และเวลาที่ไม่ได้ก่อให้เกิดมูลค่า (Non-value-add Time) โดยเส้นเวลาจะอยู่ด้านล่างของผังสายธารคุณค่า แสดงในรูปกราฟสี่เหลี่ยม มักเป็นตัวชี้วัดความสูญเสียในระบบ หรือแสดงผลกระทบที่เกิดจากความสูญเสีย ซึ่งต้องพิจารณาร่วมกับการไหลของวัสดุและการไหลของข้อมูล

3. การวิเคราะห์ผังสายธารคุณค่าของสถานะปัจจุบัน (Current State Map Analysis) เป็นการนำผังสายธารคุณค่าที่เขียนเสร็จแล้ว มาวิเคราะห์ถึงปัญหาหรือความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยหลักแล้วจะพยายามกำจัดกิจกรรมที่ไม่ได้สร้างมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์และลูกค้าออกจากสายการผลิต เพื่อให้มีสายการผลิตมีคุณภาพเพิ่มขึ้น ตัวอย่างปัญหาที่อาจพบได้จากการวิเคราะห์ปัญหา เช่น ความสูญเปล่าจากการขนส่งจากการขนส่งจำนวนเที่ยวมาก งานรอผลิตคงค้างมาก สถานีงานหรือกระบวนการที่เป็นคอขวดของสายการผลิต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะจำเพาะของแต่ละสายการผลิต

4. การนำเสนอแผนผังสายธารคุณค่าในอนาคต (Future State Mapping) หลังจากที่วิเคราะห์ปัญหาของสายการผลิตแล้ว ก็อาจใช้แนวทางการระดมสมองช่วยเขียนแนวคิดในการปรับปรุงสายการผลิต หรือนำแนวทางการจำลองสถานการณ์ของสายการผลิตปรับปรุงใหม่มาร่วมนำเสนอด้วยก็ได้ ผังสายธารคุณค่าในอนาคตทำขึ้นเพื่อนำเสนอให้แก่ผู้บังคับบัญชาให้เห็นถึงการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นและลงมือทำจริง ซึ่งเมื่อลงมือทำการปรับปรุงแล้วสายธารคุณค่าในอนาคตก็จะกลายเป็นสายธารคุณค่าในปัจจุบันแล้ววัฏจักรการพัฒนาก็จะเริ่มขึ้นใหม่

ตารางที่ 2-1 ตารางสัญลักษณ์ทั่วไปของแผนผังสายธารคุณค่า

สัญลักษณ์	ความหมายของสัญลักษณ์	ประเภทการไหล
	กล่องขั้นตอนหลัก (Process Box) พร้อมสัญลักษณ์จำนวนพนักงาน	การไหลของวัสดุ
	กล่อง Supplier หรือ Customer	การไหลของวัสดุ
	คลังสินค้า คลังวัสดุ Inventory	การไหลของวัสดุ
	ลูกศรการขนส่ง (Shipment Arrow)	การไหลของวัสดุ
	ลูกศรการส่งแบบดันออก (Push Arrow)	การไหลของวัสดุ
	รถบรรทุกขนส่ง (Shipment Truck)	การไหลของวัสดุ
	แผนก หรือ ส่วนควบคุมการผลิต	การไหลของข้อมูล
	การส่งข้อมูลทางตรง เช่น การเดินไปบอกกล่าว การส่งเอกสารกระดาษ	การไหลของข้อมูล
	การส่งข้อมูลทางอิเล็กทรอนิค เช่น การส่ง E-mail	การไหลของข้อมูล
	ใบคัมบังการผลิต (Production Kanban)	การไหลของข้อมูล
	การดึง (Pull) ทางตรง	การไหลของข้อมูล



ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างแผนผังสายธารคุณค่า (Peter and Jenifer, 2015 : page 3)

2.2 การวางผังการผลิต (Production Plant Layout)

การวางผังโรงงานเป็นกระบวนการในการจัดวางเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ พนักงาน วัตถุดิบ และสิ่งอำนวยความสะดวกในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้โรงงานดำเนินการและประกอบกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย (กล่อมจิตร, 2012)

หลักการขั้นพื้นฐานในการวางผังโรงงาน ประกอบด้วยการรวมกิจกรรมทั้งหมดของโรงงาน ให้มีการเคลื่อนที่สั้นที่สุด การไหลวัสดุต่อเนื่อง ใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัย และยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน

2.2.1 ประเภทของผังการผลิต (Production Plant Layout Categories)

ประเภทผังการผลิตสามารถจำแนกได้ตามตามรูปแบบการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน หรือการจัดวางเครื่องจักร โดยแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก

1. ผังแบบกระบวนการ (Process Layout)
2. ผังตามผลิตภัณฑ์ (Product Layout)
3. ผังแบบที่ผลิตภัณฑ์อยู่กับที่ (Fixed Product Layout)
4. ผังแบบกลุ่ม (Group Layout)

2.2.1.1 ผังการผลิตแบบกระบวนการ (Process Layout)

การวางผังตามกระบวนการผลิต เป็นการนำเครื่องจักรที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ใช้งานเหมือนเหมือนกัน รวมไว้ในพื้นที่ส่วนเดียวกันของโรงงาน

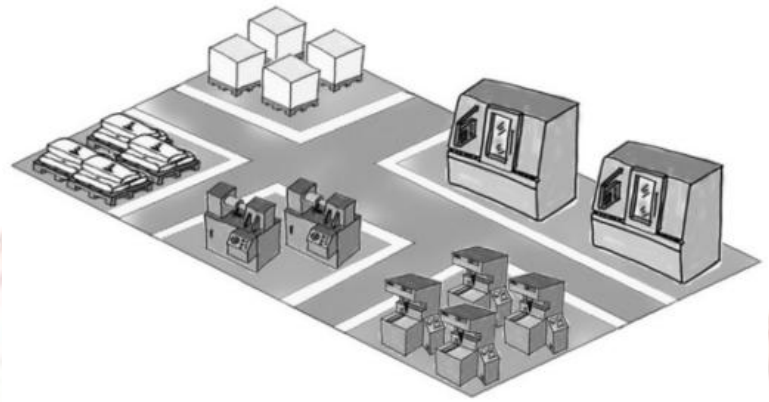
ข้อดีของผังโรงงานตามกระบวนการผลิต

1. เครื่องจักรมีชั่วโมงการใช้งานสูง โดยเฉพาะในกรณีผลิตสินค้าแต่ละแบบมีปริมาณไม่สูงมาก จะสามารถจัดตารางการผลิต (Production Scheduling) ให้กับเครื่องจักรได้
2. ถ้าเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งหยุดทำงาน ก็สามารถโยกงานให้กับเครื่องจักรตัวข้างเคียงทดแทนการทำงานได้
3. ถ้ามีการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ อาจจะต้องซื้อหรือปรับปรุงเครื่องจักรเท่าที่จำเป็นก็พอ

ข้อเสียของผังการผลิตตามกระบวนการผลิต

1. การขนถ่ายวัสดุมีความยุ่งยากเพราะจัดเป็นแผนกงานอาจจะมีปัญหาในเรื่องเส้นทางการขนย้ายวัสดุ
2. การสั่งการและการประสานงานไม่ค่อยสัมพันธ์กัน ประสิทธิภาพของแต่ละแผนกไม่เท่ากัน ทำให้มี Work in Process คงค้างเยอะมาก

3. ใช้เวลาในการฝึกอบรมพนักงานใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์ หรือมีเครื่องจักรเข้าใหม่



ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างการวางผังการผลิตตามกระบวนการ
(Santos, Wysk and Torres, 2006 : 26)

2.2.1.2 ผังการผลิตแบบตามชนิดผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

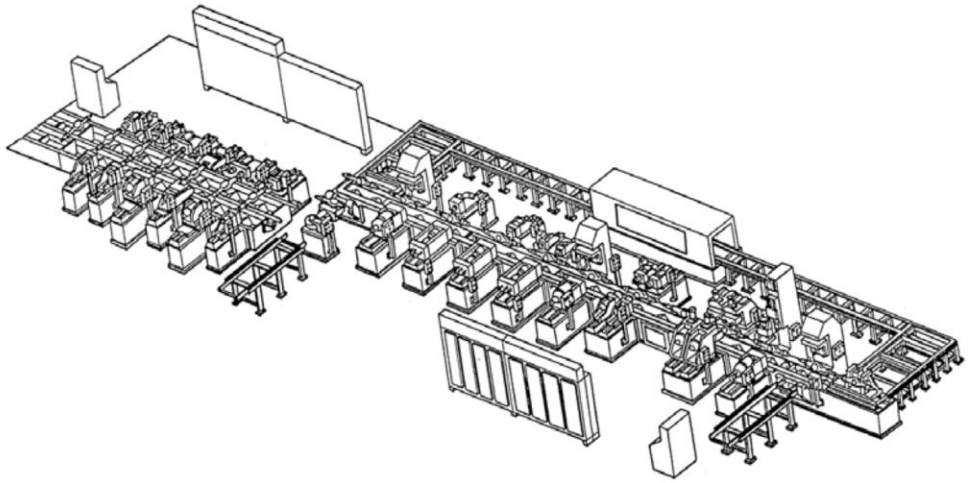
การวางผังตามชนิดภัณฑ์ เป็นการการจัดเรียงเครื่องจักรตามลำดับขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ การจัดเรียงผังโรงงานแบบนี้เรียกอีกชื่อว่า Line Layout โรงงานแบบนี้มักจะผลิตสินค้าชนิดเดียว มีลักษณะสินค้าที่คล้ายคลึงกัน การดำเนินการผลิตแบบต่อเนื่อง

ข้อดีของผังผลิตตามผลิตภัณฑ์

1. การขนย้ายวัสดุทำได้ในระยะเวลาสั้นๆ เนื่องจากระยะทางระหว่างเครื่องจักรสั้น และไม่มีการขนย้ายวัตถุดิบย้อนทางเดิน
2. ในการผลิตจำนวนมากๆ อัตราการใช้งานเครื่องจักรจะมาก
3. Work In Process ณ สถานีงานต่างๆน้อย
4. ไม่จำเป็นต้องอบรมพนักงานบ่อยๆ
5. ต้นทุนการผลิตต่อชิ้นถูกเพราะผลิตจำนวนมาก ได้ Economies of Scale
6. การไหลของชิ้นงานรวดเร็ว

ข้อเสียของผังการผลิตตามกระบวนการผลิต

1. จำนวนเงินลงทุนในการซื้อเครื่องจักรสูง
2. การหยุดการผลิตของเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่ง กระบวนการผลิตทั้งไลน์จะหยุดชะงัก
3. การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ที่ผลิต จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรจะส่งผลต่อทั้งไลน์การผลิต



ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างการวางผังการผลิตตามผลิตภัณฑ์
(Black and Steve, 2003 : 4)

2.2.1.3 ผังการผลิตแบบชิ้นงานอยู่กับที่ (Fixed Product Layout)

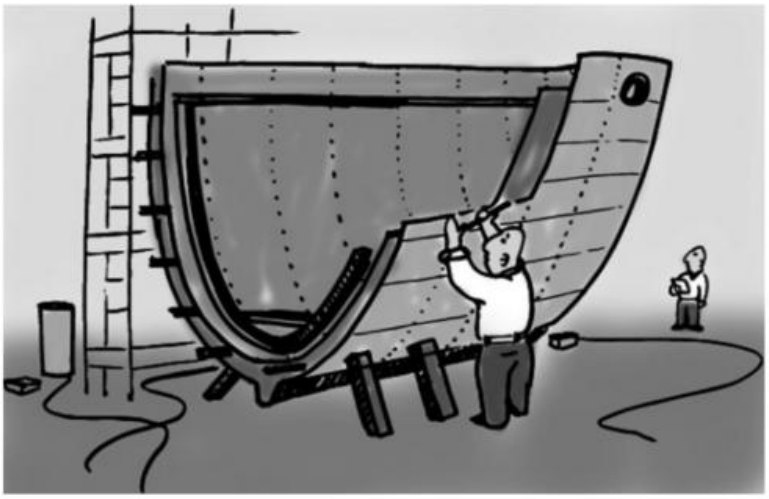
การวางผังการผลิตแบบชิ้นงานอยู่กับที่ เป็นวิธีที่พบไม่บ่อยนัก ส่วนใหญ่จะเป็นชิ้นงานขนาดใหญ่ขนย้ายลำบาก เช่น การต่อเรือ (Ship Construction) การประกอบเครื่องบิน การผลิตแบบนี้เครื่องจักรจะเป็นฝ่ายเดินทางเข้าหาชิ้นงาน

ข้อดีของผังการผลิตแบบชิ้นงานอยู่กับที่

1. การเคลื่อนที่ของวัสดุน้อย
2. มีการทำงานเป็นทีม ทำให้งานมีความต่อเนื่องและมีความรับผิดชอบ
3. เพิ่มความภาคภูมิใจและคุณภาพ เพราะว่างานที่ทำแยกเป็นส่วนๆและมีความสำเร็จในตัวเอง
4. มีความยืดหยุ่นสูง สามารถเปลี่ยนแปลงการออกแบบผลิตภัณฑ์ การประกอบผลิตภัณฑ์ได้

ข้อเสียของผังการผลิตแบบชิ้นงานอยู่กับที่

1. ในขณะที่การเคลื่อนที่ของวัสดุน้อย ในทางกลับกัน พนักงาน เครื่องมือเครื่องจักรเคลื่อนที่มากขึ้น
2. ต้องการพนักงานที่มีความเชี่ยวชาญ ชำนาญงาน
3. ต้องมีผู้ควบคุมการปฏิบัติงาน รวมถึงต้องควบคุมงานตามตารางการผลิต



ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างการวางผังการผลิตแบบผลิตภัณฑ์อยู่กับที่
(Santos, Wysk and Torres, 2006 : 26)

2.2.1.4 ผังการผลิตแบบกลุ่ม (Group Layout)

การวางผังการผลิตแบบกลุ่ม จะนำผลิตภัณฑ์ที่ลักษณะคล้ายกัน เช่น ลำดับการผลิต เครื่องมือที่ต้องการ การขนส่ง การควบคุม แล้วแยกพิจารณากลุ่มผลิตภัณฑ์ไป ผังโรงงานแบบนี้มีความยืดหยุ่นพอสมควร

ข้อดีของผังการผลิตแบบกลุ่มผลิตภัณฑ์

1. ในกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องจักรสามารถใช้งานได้หลายอย่าง

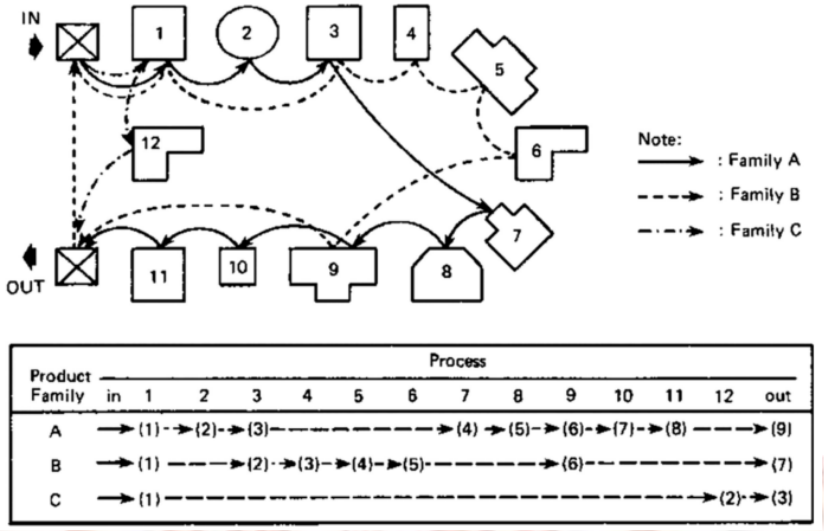
2. การไหลของสายการผลิตราบรื่นและการขนย้ายมีระยะทางสั้นกว่าการวางผังโรงงานแบบกระบวนการ

3. เป็นการรวมข้อดีบางอย่างของการวางผังแบบกระบวนการและการวางผังแบบผลิตภัณฑ์

ข้อเสียของผังการผลิตแบบกลุ่มผลิตภัณฑ์

1. ต้องการผู้ควบคุมการผลิต รวมถึงให้ความสำคัญกับการควบคุมการผลิต เพื่อให้มีการไหลอย่างสมดุล จากสถานีงานที่แยกจากกัน

2. ถ้าการผลิตในแต่ละสถานีงานไม่สมดุล ต้องมีการปรับงานและสต็อกงานระหว่างทำเพื่อขจัดการขนย้ายที่มากขึ้น



ภาพที่ 2-8 ตัวอย่างการวางผังการผลิตแบบผลิตกลุ่ม

(Shahrukh, 2020 : 278)

2.3 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของตารางการผลิต

2.3.1 ประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และผลิตภาพ

การบริหารงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีเครื่องมือในการวัดผลการดำเนินงาน หน่วยวัดผลการดำเนินงานที่ดีจึงน่าจะใช้ค่าดัชนีภาพ ซึ่งมีความหมายเดียวกับอัตราภาพ ซึ่งจะมีหน่วยวัดที่ซ้ำๆ กัน 3 หน่วย คือ ประสิทธิภาพ (Efficiency) ประสิทธิผล (Effectiveness) และผลิตภาพ (Productivity) แยกแยะความหมายของตัววัดเพื่อเป็นหน่วยวัดผลการดำเนินงานอย่างได้ผลตามเป้าหมายในการดำเนินงาน (ริจิรวนิช, 2548 : 18-21)

2.3.1.1 ประสิทธิภาพ (Efficiency)

เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการเปลี่ยนรูป (Conversion Process) ของกระบวนการตั้งแต่การนำปัจจัยนำเข้า (Input) จนได้ผลผลิต (Output) ที่ดี

ในบางกรณี Output อาจอยู่ในรูปพลังงานหรืองานที่ออกจากระบบก็ได้ ส่วน Input จะอยู่ในรูปพลังงานหรืองานนำเข้าระบบ การออกแบบทางวิศวกรรมที่ดีจะพยายามให้ Input มีค่าใกล้เคียงกับ Output มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ หรือก็คือให้เกิดความสูญเปล่าในระบบ (Loss) น้อยที่สุด ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าต่ำกว่า 100% เสมอ

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100\% \qquad (2\text{-}4)$$

2.3.1.2 ประสิทธิผล (Effectiveness)

เป็นการวัดผลสำเร็จที่ได้เป็นไปตามเป้าหมาย (Goal) ที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ โดยการวัดผลจะมุ่งเน้นที่จุดสิ้นสุดของกิจกรรมหรือการดำเนินงานเป็นหลัก เป้าหมายที่กำหนดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท

1. เป้าหมายเชิงปริมาณ กำหนดชนิดประเภทและจำนวนผลผลิตที่ต้องการได้รับเมื่อเสร็จสิ้นการดำเนินงาน

2. เป้าหมายเชิงคุณภาพ คุณค่าของผลผลิตที่ได้จากการดำเนินงานนั้นๆ

ความแตกต่างของ ประสิทธิภาพ (Effective) กับประสิทธิผล (Effectiveness) คือ ประสิทธิภาพจะให้ความสำคัญกับการได้ผลผลิต โดยที่ความสูญเสียเชิงทรัพยากรต่ำ ในขณะที่ประสิทธิผลให้ความสำคัญกับผลประโยชน์ที่ได้จากผลผลิตตามเป้าหมาย ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลไม่จำเป็นต้องมีผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกันก็ได้ เพราะผลประโยชน์จากผลผลิตที่ได้ตามเป้าหมายนั้นแตกต่างจากผลประโยชน์ที่ได้จากการลดความสูญเสียของทรัพยากร

ประสิทธิภาพของไลน์การผลิต (Line Efficiency)

$$\text{Line Efficiency} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Takt Time} \times \text{Number of Station}} \times 100\% \qquad (2\text{-}5)$$

2.3.1.3 ผลิตภาพ (Productivity)

หมายถึง จำนวนผลผลิตของสินค้าหรือบริการ เปรียบเทียบกับปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการผลิตของหน่วยการผลิต เนื่องจากผลิตภาพเป็นความสัมพันธ์ของผลผลิตแต่ทรัพยากรที่ใช้ต่างๆกัน จึงไม่ได้วัดออกมาเป็นหน่วยร้อยละ

$$\text{Productivity} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \qquad (2\text{-}6)$$

โดยที่ผลิตภาพสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1. ผลิตภาพเฉพาะส่วน (Partial Productivity) คือ อัตราส่วนของผลผลิตต่อทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละชนิด เช่น ผลิตภาพแรงงาน (Labor Productivity) ผลิตภาพทางวัตถุดิบ (Material Productivity) ผลิตภาพของเงินลงทุน (Capital Productivity) ผลิตภาพค่าใช้จ่าย (Expense Productivity)

2. ผลิตภาพองค์ประกอบรวม (Total Factor Productivity) คือ อัตราส่วนผลผลิตสุทธิต่อผลรวมของทรัพยากรด้านเงินทุนและแรงงาน ส่วนผลผลิตสุทธิเกิดจากผลผลิตลบออกด้วยค่าวัสดุและค่าใช้จ่ายต่างๆ

3. ผลิตผลรวม (Total Productivity) คือ อัตราส่วนของผลผลิตต่อทรัพยากรที่ใช้ทั้งหมด

2.3.2 อัตราการใช้ประโยชน์ (Utilization)

คือ ร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานหรือเครื่องจักรสามารถทำงานได้จริง โดยหักจำนวนเวลาทั้งหมดด้วยเวลาที่หยุดทำงาน เช่น เวลาการซ่อมบำรุง เวลาพักของพนักงาน

$$\text{Utilization} = \frac{\text{Actual Work Time}}{\text{Available Time}} \times 100\% \qquad (2\text{-}7)$$

2.3.2.1 อรรถประโยชน์การใช้รอบเวลา (Cycle Time Utilization)

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Max Cycle time} \times \text{Number of Station}} \times 100\% \qquad (2\text{-}8)$$

2.4 ปัญหาการจัดสรรพนักงาน (Worker Assignment Problem)

ปัญหาการจัดสรรพนักงาน จัดอยู่ในกลุ่มของปัญหาการหาค่าเหมาะสมแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Optimization Problems) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการหาค่าเหมาะสมแบบเชิงผสม (Combinatorial Optimization) จุดมุ่งหมายของการจัดสรรกำลังคนอาจอยู่ในรูปแบบของสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงหนึ่งหรือหลายเป้าหมาย หาค่าเหมาะสมจากการจัดสรร “งาน” ให้เข้ากับ “พนักงาน” โดยจะตั้งสมการเป้าหมายเป็นค่าต่ำสุดหรือค่าสูงสุดซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าประสงค์และสภาพของปัญหา ประเภทของปัญหาการจัดสรรพนักงานสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทหลักๆ

2.4.1 ปัญหาการจัดสรรแบบง่าย (Simple Assignment Problem)

เป็นปัญหาการจัดสรรงานโดยที่พยายามให้ได้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด โดยที่ทราบรอบเวลามาตรฐานของแต่ละงาน แต่คุณลักษณะของพนักงานถือว่าสามารถทำงานได้โดยทั่วไป

สมมุติฐานของปัญหาการจัดสรรแบบง่าย (Khemyong, 2014 : 14-16)

1. ผลิตภัณฑ์เป็นการผลิตจำนวนมากและเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบเดียว

2. งานทุกงานได้กำหนดลำดับการทำงานและรูปแบบวิธีการทำงานไว้ก่อนแล้ว ไม่มีวิธีการทำงานแบบอื่น

3. สายการผลิตเป็นเส้นตรง ที่มีรอบเวลาการผลิตคงที่ร่วมกัน ผลิตได้ตามปริมาณที่ต้องการ

4. สายการผลิตเป็นอนุกรม ไม่มีสายการผลิตย่อยอื่น ไม่มีสายการผลิตคู่ขนาน

5. เวลาการทำงานของแต่ละงานเป็นจำนวนเต็มและเป็นค่าคงที่

6. ไม่มีข้อจำกัดในการจัดสรรงาน ยกเว้นข้อจำกัดของลำดับงานก่อน-หลัง (Precedent Constraint)

7. แต่ละงานไม่สามารถแบ่งย่อยได้ ไม่สามารถย่อยงานไปทำงานแยกสถานีงานได้

8. สถานีงานทุกแห่งมีความสามารถและอุปกรณ์เท่าเทียมกัน

2.4.2 รูปแบบทั่วไปของปัญหาการจัดสรร (Generalized Assignment Problem)

รูปทั่วไปของปัญหาการจัดสรรนำเสนอโดย Osman (1995) และ Pentico (2007) โดยที่ *i* เป็นเซ็ตของพนักงาน {*i* = 1,2,3...*m*} และ *j* เป็นเซ็ตของงาน {*j* = 1,2,3,...*n*} C_{ij} เป็นค่าใช้จ่ายในการจัดสรรงาน *j* เข้าสู่พนักงาน *I*, a_{ij} เป็นทรัพยากรที่พนักงาน *i* จำเป็นต้องใช้ในการทำงาน *j,* b_i จำนวนพนักงานที่มี

ตัวแปรตัดสินใจ คือ X_{ij} เป็น 1 เมื่อ พนักงาน *i* ถูกเลือกจัดสรรให้ทำงาน *j* เป็น 0 เมื่อพนักงานนั้นไม่ถูกจัดสรร

สมการเป้าหมาย คือ หาค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายในการจัดสรรพนักงาน (2-9) และสมการเงื่อนไข (2-10) หนึ่งงานต้องการพนักงานในการทำงานหนึ่งคน และ (2-11) การจัดงานต้องไม่เกินทรัพยากรที่มีอยู่

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} X_{ij} \qquad (2\text{-}9)$$

สมการเงื่อนไข (Constraint Function)

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = 1 \quad \forall\, j \in J \qquad (2\text{-}10)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} X_{ij} \leq b_i \quad \forall\, i \in I \qquad (2\text{-}11)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall\, i \in I,\, j \in J \qquad (2\text{-}12)$$

ปัญหาการจัดสรรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายมุมมอง เช่น ปัญหาการจัดตารางการผลิต หรือตารางการทำงาน (Scheduling Problem), ปัญหาการขนส่งการจัดและเลือกเส้นทาง (Transpiration and Routing), ปัญหาการวางแผนการผลิต การจัดการการผลิต (Production Planning), ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง (Location Selection)

2.4.3 ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming : MILP)

การแก้ปัญหาค่าเหมาะสมของกำหนดการเชิงเส้นรูปทั่วไป (General Linear Programming : LP) ผลเฉลยที่เหมาะสม (Optimal Solution) ที่ได้ อาจอยู่ในรูปทศนิยม ในบางสภาพปัญหาอาจไม่เหมาะสมที่จะนำผลเฉลยที่ไปใช้ เพราะไม่สามารถเป็นไปได้ เช่น การจัดสรรคน 1.5 คน การขนส่งของ 100.2 ชิ้น ดังนั้นกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเป็นหนึ่งในประเภทของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Linear Integer Programming) ตัวแปรตัดสินใจในสมการบางตัวจะถูกบังคับให้เป็นจำนวนเต็ม

2.4.4 วิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดสรร

วิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดสรรสามารถได้คำตอบ 2 แบบ คำตอบแบบที่ 1 คือคำตอบแบบแม่นตรง ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดตามระบบสมการและสมการเป้าหมาย และคำตอบบแบบที่ 2 คือคำตอบแบบฮิวริสติก ได้คำตอบเป็นค่าที่ประมาณเนื่องจากปัญหามีขนาดใหญ่เกินไป การคำตอบทุกรูปแบบใช้ระยะเวลานาน เทคนิควิธีการหาคำตอบที่เร็วกว่าแต่ลดความแม่นยำลงจึงเป็นเทคนิคฮิวริสติก (Rekiek and Delchambre, 2006 : 59 - 62)

2.4.4.1 วิธีการหาคำตอบแบบแม่นตรง (Exact Methods)

วิธีการหาคำตอบบแบบแม่นตรงจะเริ่มจากการค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ค่าขอบเขตล่างหาได้จากการลดข้อจำกัดของสมการเงื่อนไข หรือทำการคลาย (Relaxation) ข้อจำกัดบางประการออก วิธีการหาคำตอบแบบแม่นตรงมี 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. โปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming)

วิธีการแบบโปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming: DP) ถูกนำมาใช้ในปัญหาการเพิ่มการตัดสินใจแบบหลายขั้นตอน (Multi-Stage Decision Problems) แนวคิดหลักคือทำการแบ่งปัญหาหลักออกเป็นชุดของปัญหาย่อย (Sub-Problems) และแก้ไขปัญหาย่อยเหล่านั้นแบบต่อเนื่องไปจนกว่าจะได้คำตอบของปัญหาหลัก ในแต่ละขั้นตอน S จะมีการเปลี่ยนสถานะไปยังขั้นตอนถัดไป S + 1 ผ่านการตัดสินใจ (Decision) โดยใช้ฟังก์ชันการเปลี่ยนสถานะ (Transformation Function) ที่ขึ้นกับสถานะปัจจุบันและการตัดสินใจที่เลือก ลำดับของการตัดสินใจที่แปลงสถานะจากขั้นตอน S ไปยัง S’ > S

2. วิธีการแตกแขนงและสร้างขอบเขต (Branch and Bound)

อัลกอริทึม Branch and Bound ประกอบด้วยสองส่วนสำคัญ คือ การแตกแขนง (Branching) และ การหาขอบเขต (Bounding) เริ่มจากการพัฒนาคำตอบเริ่มต้นให้กลายเป็นชุดของปัญหาย่อย (Sub-Problems) ซึ่งแต่ละปัญหาจะเป็นโหนด ภายในต้นไม้ของการค้นหา (Enumeration Tree)

เส้นทางจากโหนดรากไปยังโหนดใด ๆ จะเรียกว่า แขนง (Branch) ส่วนโหนดที่ไม่ต้องแตกแขนงต่อ เพราะคำตอบเหมาะสมที่สุดแล้ว เรียกว่า โหนดใบ (Leaf Node) การใช้ขั้นตอน Bounding จะช่วยลดขนาดของต้นไม้โดยการคำนวณค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ของคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละโหนด หาก ค่าขอบเขตล่างทั้งหมด (Global Lower Bound) ถูกพบ จะถือว่านั้นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

2.4.4.1 วิธีการหาคำตอบแบบค่าประมาณหรือฮิวริสติก (Approximate Method)

วิธีการฮิวริสติกแบบง่าย (Simple Heuristic) ที่ถูกเสนอเป็นครั้งแรกคือ Ranked Positional Weight (RPW) แนวคิดหลักคือ การจัดลำดับงานตาม น้ำหนักเชิงตำแหน่ง (Positional Weight) ซึ่งคำนวณจากเวลาของงานนั้นรวมกับเวลาของงานที่ตามหลังในลำดับการผลิต (Successor Tasks) เมื่อคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละงานแล้ว จัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย และทำการจัดสรรงานเข้าสถานีงานตามลำดับ โดยต้องเป็นไปตามเงื่อนไขว่า

1. งานก่อนหน้าทั้งหมดต้องได้รับการจัดสรรแล้ว
2. งานนั้นต้องสามารถทำได้ภายในเวลาที่เหลือของสถานีงาน

หากไม่สามารถจัดสรรได้ จะข้ามไปยังงานถัดไปในลำดับ และหากไม่มีงานใดสามารถเพิ่มได้ จะทำการเปิดสถานีงานใหม่

วิธีการเมต้าฮิวริสติก Garey และ Johnson, 1979 เสนอวิธีฮิวริสติกแบบ First Fit Descending (FFD) สำหรับปัญหาการบรรจุกล่อง (Bin Packing Problem: BPP) แนวคิดคือ เริ่มจากกล่องว่างหนึ่งใบ นำวัตถุเรียงตามขนาดจากมากไปน้อย และพยายามใส่วัตถุในกล่องที่มีพื้นที่พอ หากไม่มี กล่องใหม่จะถูกเปิดต่อมาแนวคิดนี้ถูกปรับใช้กับปัญหาการจัดสรร โดยเพิ่มข้อจำกัดของลำดับก่อน–หลัง และมีการปรับปรุงเพิ่มเติมโดยเพิ่มขนาดของวัตถุรวมกับขนาดของงานก่อนหน้า (Predecessor Tasks)

ด้านอัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithms) Falkenauer และ Delchambre, 1992 เป็นผู้บุกเบิกการใช้ Genetic Grouping Algorithm (GGA) สำหรับปัญหาการจัดสรรงานโดยทั่วไป ซึ่งสามารถสร้างคำตอบที่มีคุณภาพสูงและรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถจัดการกับลักษณะปัญหาที่มีข้อจำกัดก่อน–หลังแบบบางส่วนหรือว่างเปล่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางผังการผลิต

ปนิธาน (2546) ได้ศึกษาโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ ซึ่งเป็นโรงงานผลิตสินค้าตามคำสั่งซื้อ (Made to Order) โดยมีผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ โต๊ะและเก้าอี้ ซึ่งมีปัญหาที่เวลานำในการผลิต (Lead Time) นาน และมีความสูญเปล่าในรอคอย (Waiting Waste) ระหว่างการผลิต จึงประยุกต์ใช้การระบบการผลิตแบบเซลลูล่าร์กับอุตสาหกรรมงานไม้ โดยใช้อัลกอลิธึม Bond Energy Analysis และ Complete Linkage Clustering ในการจัดกลุ่มเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต จากนั้นใช้ตัวชี้วัด Inter and Intra group Movement ในการตัดสินใจเลือกวิธีจัดกลุ่ม ซึ่งได้ผลว่าวิธี BEA ให้ค่า Inter and Intra group Movement น้อยกว่าวิธี CLC จึงนำการจัดกลุ่มแบบ BEA ไปทำการจำลองสถานการณ์ ผลจากการจำลองสถานการณ์ระหว่างระบบปัจจุบันกับระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ การผลิตแบบเซลลูลาร์สามารถลดเวลานำของการผลิตได้ร้อยละ 20.34 ทำให้สามารถผลิตสินค้าได้เร็วขึ้น 9.06 ชั่วโมง

สุพรรณษา (2549) ศึกษาสายการผลิตเครื่องกีฬาทางน้ำ วินด์เซิร์ฟ โดยพบว่ามีเวลานำส่งปัจจุบันที่ 28 วัน ซึ่งนานกว่า เวลานำในอุดมคติที่คำนวณได้ 6.7 วัน และสายการผลิตมีงานระหว่างผลิตจำนวนมาก มีปัญหาการผลิตเกินความต้องการ (Over Production) ด้วยปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์คุณค่าของกิจกรรมการผลิต (Value Added Activity Analysis) เพื่อลดรอบระยะเวลาในแต่ละสถานีงานลง จากนั้นทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่ ทำการจัดกลุ่มงาน กำหนดจำนวนพนักงานในแต่ละสถานีงาน กำหนดขนาดล็อต (Lot Size) กำหนดปริมาณงานระหว่างกระบวนการ (Standard Work in Process) แล้วสร้างระบบการผลิตแบบดึง เพื่อทำให้การไหลเป็นแบบทีละชิ้น จากนั้นมุ่งความสนใจไปที่การฝึกฝนทักษะของพนักงานให้สามารถทำงานหลายอย่างได้ ปรับปรุงโครงสร้างสายบังคับบัญชาในโรงงาน สุดท้ายปรับปรุงสายการผลิตเป็นแบบกลุ่มงานสายการผลิตแนวตรง มีแผงชั้นซุปเปอร์มาร์เก็ต เมื่อนำผลการปรับปรุงไปทดสอบภาคสนาม พบว่าสามารถลดเวลานำลงได้ 68 เปอร์เซ็นต์ คงเหลือ 9 วัน จากเดิมก่อนปรับปรุงที่ 28 วัน ปริมาณงานระหว่างผลิตลดลง 2 เท่า ปริมาณชั่วโมงแรงงานรวมที่ใช้ในการผลิตต่อชิ้นลดลงเหลือ 21 ชั่วโมงต่อชิ้น จากเดิมก่อนปรับปรุงที่ 28.60 ชั่วโมงต่อชิ้น คิดเป็น 27 เปอร์เซ็นต์

เอกรัตน์ (2549) ศึกษาสายการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง 150 kVA ปัจจุบันการผลิตของโรงงานเป็นระบบการผลิตแบบตามกระบวนการ (Job Shop Production Layout) พบปัญหาคือมีของเสีย สินค้าไม่ผ่านมาตราฐานจำนวนมาก ด้วยเหตุนั้นจึงต้องมีการทำการผลิตใหม่ ทำให้เกิดชิ้นงานระหว่างผลิตคงค้างเป็นจำนวนมากและไม่มีการจัดสมดุลสายการผลิต ผู้วิจัยได้นำแนวคิดระบบการผลิตแบบลีนมาใช้ โดยทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่ จัดทำแบบฟอร์มการปฏิบัติงานมาตรฐาน และให้แต่ละสถานีงานทำการผลิตที่ละชิ้นเพื่อจะได้ตรวจจับข้อบกพร่องได้ง่าย จากนั้นนำ

ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์มาประยุกต์ใช้ โดยจัดผังสถานีปฏิบัติงานใหม่ให้เข้าใกล้กันมากขึ้น ผลลัพธ์จากการปรับปรุง ทำให้ลดจำนวนชิ้นงานระหว่างผลิตในแต่ละวันได้ 12 เปอร์เซ็นต์ ลดเวลาในการเตรียมการผลิต (Set up Time) ลงได้ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบการผังการผลิตก่อนปรับปรุง

รุ่งนภา (2550) ได้ทำการศึกษาโรงงานผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์ แล้วพบว่ายอดพยากรณ์การขาย (Sale Forecast) มีมากกว่ากำลังการผลิตปัจจุบัน เพื่อให้รองรับกับความต้องการของตลาด จึงนำหลักการการผลิตแบบเซลลูล่าร์มาใช้ เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและให้สายการผลิตมีความยืดหยุ่น จากการศึกษาสายการผลิตพบว่ามีปัญหาความไม่สมดุลของสายการผลิต (Production Line Imbalance) มีงานรอระหว่างการผลิตจำนวนมาก การไหลของงานมีปัญหา และมีจุดคอขวดในกระบวนการ โดยจากการรวบรวมข้อมูลทำให้สามารถออกแบบเซลล์การผลิตได้ จากนั้นใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ Arena ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์พบว่าหากใช้การผลิตแบบเซลลูล่าร์จะทำให้มียอดการผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์เพิ่มขึ้น 7.68 ล้านโพล และค่าอรรถประโยชน์ของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 12.5 เปอร์เซ็นต์

Vijitha, Gamini, Chandana, and James (2009) ศึกษาสายการผลิตเสื้อผ้าในประเทศศรีลังกา จากการสำรวจสายการผลิตจำนวน 42 สายการผลิต จาก 14 โรงงาน ปัญหาเบื้องต้นคือมีงานระหว่างการผลิต (Work-in-Process) จำนวนมาก และเมื่อมีการเปลี่ยนแบบในการผลิตจะทำให้เกิดงานค้างส่งจำนวนมาก ลดของเสียในการผลิต จึงใช้วิธีหาสาเหตุของปัญหาด้วยผังก้างปลา พบว่าสาเหตุของปัญหาคือสมดุลสายการผลิต เพื่อลดปัญหางานระหว่างผลิตและจัดสมดุลใหม่ จึงนำเสนอผังการผลิตแบบเซลลูล่าสำหรับผลิตเสื้อชนิดเดียว ผลจากการปรับปรุง สามารถลดของเสียได้ 64 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณงานระหว่างผลิตเฉลี่ยลดลง 26.7 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเปิดชั่วโมงทำงานล่วงเวลาได้ด้วย

ณัสญ์ศยา (2552) ศึกษาโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป ส่วนใหญ่เป็นเสื้อผ้าแฟชั่น มีรูปแบบสินค้าที่หลากหลาย โดยมีเวลาที่ใช้ในการผลิตตั้งแต่นำผ้าเข้าสู่กระบวนการผลิต จนผลิตเสร็จเป็นเสื้อสำเร็จรูปใช้เวลา 36 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่นานกว่าที่ลูกค้าต้องการและมีการจัดส่งล่าช้า ผู้วิจัยจึงใช้หลักการลีน ซิกซ์ซิกม่า มาปรับปรุงกระบวนการผลิต จากการศึกษาสายการผลิตพบว่ามีงานระหว่างผลิตจำนวนมาก มีกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า ประสิทธิภาพการผลิตของพนักงานต่ำ และสัดส่วนของเสียที่สูง จากปัญหาดังกล่าวจึงใช้การวิเคราะห์ 4M (Man Machine Material Method) แผนภูมิกระบวนการไหลและการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาต้นตอที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต จากนั้นใช้หลักการพัฒนาคุณภาพลีนซิกซ์ซิกม่า สำหรับปัญหาประสิทธิภาพการทำงานต่ำ แก้ไขโดยการกำจัดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณภาพแล้วทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่ ปัญหาการผลิตของเสียเป็นเพราะไม่มีการตรวจสอบคุณภาพระหว่างผลิต แก้ไขโดยให้หัวหน้าสายการเย็บประกอบมีเอกสารบ่งบอกขั้นตอนการเย็บและเสื้อตัวอย่าง จากนั้นทดลองเย็บประกอบสาธิตการทำงานให้กับพนักงาน

ในสายการประกอบ พร้อมกับตรวจสอบคุณภาพการเย็บในระหว่างผลิตด้วย ผลลัพธ์จากการปรับปรุงค่าประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานเดิมอยู่ที่ 37.23 เปอร์เซ็นต์ หลังปรับปรุงเพิ่มขึ้นเป็น 60.64 เปอร์เซ็นต์ ค่าสัดส่วนของเสียจากเดิม 12.67 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการปรับปรุงลดลงเป็น 8.26 เปอร์เซ็นต์ การจัดสมดุลสายการผลิตใช้การจำลองสถานการณ์ ผลจากการจำลองสถานการณ์สามารถลดปริมาณงานคงค้างระหว่างผลิตจากเดิม 70,606 ตัว/เดือน เหลือ 38,084 ตัว/เดือน เวลารอคอยระหว่างกระบวนการย่อยเฉลี่ยจากเดิม 13.09 ชั่วโมง/ตัว ลดลงเหลือ 6.72 ชั่วโมง/ตัว ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนการจัดสมดุลการผลิตอยู่ที่ 117,258 ตัว/เดือน เพิ่มเป็น 117,258 ตัว/เดือน

อิศรา (2554) ศึกษาโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์แบบถอด-ประกอบ โดยนำแนวคิดการผลิตแบบเซลลูลาร์มาใช้ในการออกแบบปรับปรุงผังโรงงาน โดยต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต โดยใช้อัลกอลิธึม Direct Clustering Algorithm และ Rank Order Clustering Algorithm ในการจัดกลุ่มเซลล์ รวมถึงได้ประยุกต์นำหลักการวางผังโรงงานตามความสัมพันธ์ (Relationship Layout Planning) และ แผนภูมิจาก-ถึง (From-To Chart) มาทำการจัดเรียงตำแหน่งเครื่องจักรในส่วนกระบวนการผลิต ผลจากการวิจัยพบว่าสามารถลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานได้ 4,342.5 เมตร หรือเท่ากับร้อยละ 53.28 เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง

Ripon and Sanjoy (2011) ศึกษาโรงงานผลิตเสื้อ OEM T-Shirt ให้แก่แบรนด์เสื้อผ้าต่างๆ โดยใช้หลักการการผลิตแบบลีนมาวิเคราะห์กระบวนการผลิต พบข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตหลายประการ ได้แก่ การไหลไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอด ขาดการส่งข้อมูลระหว่างสถานีงาน มีระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัสดุมาก มีงานคงค้างระหว่างผลิตจำนวนมาก บกพร่องในการทำความสะอาด การจัดสรรกำลังแรงงานไม่สมดุลทำให้มีพนักงานว่างงาน ไม่มีการวิเคราะห์งานอย่างเป็นมาตรฐาน ด้วยปัญหาทั้งหมดที่กล่าวมา ต่อมาผู้วิจัยใช้หลักการศึกษาการทำงาน แผนผังสายธารคุณค่า การจัดการ 5ส. ออกแบบผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์สำหรับเสื้อผ้าแต่ละแบรนด์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของผังเซลลูล่าร์ที่ได้ออกแบบมา ผู้วิจัยจึงทำการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena ผลจากการศึกษาด้วยการจำลองสถานการณ์พบว่า ผลผลิตของแบรนด์ Puma, M&S และ G-Star บนผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์เพิ่มขึ้น 46 เปอร์เซ็นต์, 10.34 เปอร์เซ็นต์ และ 14.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเทียบกับผังการผลิตที่ยังไม่ได้ปรับปรุง ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุสำหรับแบรนด์ Puma, M&S และ G-Star ลดลงเหลือ 40 ฟุต, 50 ฟุต และ 55 ฟุต จากเดิม 180 ฟุต, 190 ฟุต และ 320 ฟุต ตามลำดับ

อรรถพล (2555) ได้นำระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ไปประยุกต์ใช้ในโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ระบบการผลิตของโรงงานปัจจุบันเป็นผังตามกระบวนการ (Process Production Layout) การนำระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ไปใช้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตและลดระยะทางการไหลของงาน (Work Flow Distance) ซึ่งใช้อัลกอลิธึมแบบ Rank Order Clustering โดยมีตัวชี้วัดได้แก่

ระยะทางการไหลของงาน ปริมาณการผลิตภายนอกกลุ่มเซลล์ และประสิทธิภาพการจัดกลุ่มเซลล์ จากนั้นนำผังโรงงานที่เลือกไปทำการจำลองสถานการณ์บนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Arena หลังจากการจำลองสถานการณ์พบว่า สามารถลดระยะทางการไหลของวัสดุได้ 26.34 เปอร์เซ็นต์

Shakib, Rahman, Parvez and Haque (2014) ทำการศึกษาสายการประกอบเสื้อเชิ้ตผู้ชายในบังคลาเทศ พบว่า สภาพสายการผลิตใช้อัตถประโยชน์แรงงานต่ำ มีงานระหว่างผลิตปริมาณมาก และส่งมอบงานล่าช้า ทีมผู้วิจัยใช้การศึกษาเวลางาน การหาสาเหตุของปัญหา (Root Cause Analysis) จากนั้นทำ สมดุลสายการผลิต (Line Balancing) และนำเสนอผังสายการผลิตแบบ U-Shape วนตามเข็มนาฬิกา ผลจากการศึกษาพบว่า การจัดสมดุลงานผลิตและผังการผลิตใหม่ ทำให้เพิ่มอัตถประโยชน์แรงงาน ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อชิ้น

Rupali (2013) ศึกษาโรงงานการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปในประเทศบังคลาทศ จากการสำรวจปัญหาพบว่ามี สินค้าระหว่างผลิต (Work-in-Process) และมีการขนส่งระหว่างสถานีงานที่มาก และมีระยะเวลานำในการส่งที่นาน 2677.88 นาที หรือคือ 4.06 วัน โดยมีเวลาในการผลิตเพียง 16 เปอร์เซ็นต์ และกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า 84 เปอร์เซ็นต์ จึงประยุกต์ใช้การจัดสมดุลสายการผลิตและการควบคุมกระบวนการผลิตทางสถิติ การกำจัดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า แล้วจากนั้นออกแบบผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่ารูปตัว U มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น โดยหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้น 43 เปอร์เซ็นต์

Mominual, Mohiuddin, Mehidi, and Sakib (2014) ศึกษาสายการผลิตเสื้อ T-shirt โดยวิธีการศึกษาการทำงาน (Work Study) จากการศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน ซึ่งเป็นสายการผลิตแนวตรงและมีโต๊ะทำงานตลอดด้านข้าง พบว่ามีคอขวดในกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพสายการผลิตอยู่ที่ 46.2 เปอร์เซ็นต์ จึงทำการจัดสมดุลสายการผลิต แล้วนำเสนอการจัดผังโรงงานใหม่เป็นแบบกึ่งเซลล์แต่ยังคงสายการผลิตแนวตรงอยู่ ผลจากการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า ผังแบบใหม่ที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตได้เป็น 50.9 เปอร์เซ็นต์

Rashmi, Quazi, and Kumar (2015) ให้ความสนใจในสายการผลิตเสื้อผ้าในอินเดีย ด้วยกระแสความเปลี่ยนแปลงของผู้บริโภคอย่างเร็วรวด ปริมาณการผลิตเท่าเดิม แต่ความหลากหลายของเสื้อผ้าที่มากขึ้น ทีมวิจัยศึกษาสายการผลิต แล้วนำระบบการผลิตแบบลีนมาใช้ เพื่อเป้าหมายเพิ่มผลผลิต ลดเวลานำส่ง (Lead Time) ปรับสมดุลสายการผลิต ลดคลังสินค้าระหว่างผลิต โดยใช้เครื่องมือได้แก่ ผังสายธารคุณค่า ระบบการผลิตแบบเซลลูล่าร์ หลักการผลิตทีละชิ้น หลักการ 5ส. การสร้างมาตรฐานการทำงาน ผลลัพธ์การปรับปรุง สามารถลดสินค้าระหว่างผลิตได้ 80 เปอร์เซ็นต์ การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบเซลลูล่าร์ทำให้สายการผลิตมีความยืดหยุ่นขึ้น

รติพล, มานิตา และ ชูศักดิ์ (2561) ทำการศึกษาโรงงานผลิตเครื่องมือแพทย์ โดยสนใจผลิตภัณฑ์หลอดเก็บเลือด จากการศึกษาสายการผลิตพบกระบวนการผลิตที่ไม่ต่อเนื่อง ระยะทางการ

ลำเลียงชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อน ระยะเวลาในการจัดเตรียมการผลิตและเปลี่ยนกระบวนการผลิตนาน โดยเริ่มจากการจัดทำแผนภาพการไหลของผลิตภัณฑ์ แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิต จัดผังการผลิตใหม่โดยใช้การจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์และเครื่องจักรโดยวิธีจัดลำดับกลุ่ม (Grouping Part and Machines by Rank Order Cluster) โดยสามารถจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์และเครื่องจักรได้ 3 กลุ่ม ผลของการดำเนินงาน มีจำนวนผลผลิตเพิ่มขึ้น 3,771 ชุด/เดือน การใช้ประโยชน์แบบยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเป็น 44.04 เปอร์เซ็นต์ จากเดิมก่อนปรับปรุงที่ 12.07 เปอร์เซ็นต์ เมื่อลงทุนปรับปรุงพื้นที่ทำงานจริงด้วยการลงทุน 2,066,666.67 บาท มีอัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 82.11 เปอร์เซ็นต์ โดยมีระยะเวลาคืนทุน 15 เดือน

Bambang, Eldiana and Rahman (2019) ทำการศึกษาสายการผลิตชุดชั้นในสำหรับสุภาพสตรี พบว่าเวลาการผลิต (Processing Time) สูงกว่า รอบเวลามาตราฐาน (Standard Time) ของโรงงาน การจัดวางเครื่องจักรไม่เหมาะสม ทำให้มีการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น พนักงานต้องหมุนตัวในการหยิบวัสดุผลิต ด้วยสาเหตุดังกล่าว จึงทำการประยุกต์ใช้ Systematic Layout Planning (SLP) และหลักการกายศาสตร์ มาออกแบบผังสายการผลิตนี้ ทีมวิจัยได้นำเสนอผังการผลิต จำนวน 2 ผัง จากนั้นประเมินผลประสิทธิภาพของผังที่นำเสนอด้วยการจำลองสถานการณ์บนโปรแกรม Arena พบว่าผังการผลิตแบบที่หนึ่ง ลดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของวัสดุได้ 23.88 เปอร์เซ็นต์ และ ผังการผลิตแบบที่สอง ลดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของวัสดุได้ 22.92 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับผังการผลิตปัจจุบัน

Ociden, Josephat, Eric and Ildephonse (2020) ทำการศึกษาโรงงานผลิตเสื้อผ้า Southern Range Nyanza Limited (NYTIL) ประยุกต์ใช้หลักการการผลิตแบบลีน และการศึกษาเวลางาน ใช้เครื่องมือแผนภาพลำดับก่อน-หลัง (Precedent Diagram) การจัดสมดุลสายการผลิตใหม่โดยวิธี Rank Order Weight Position โดยนำเสนอผังลำดับการทำงาน 2 รูปแบบ พบว่าผังการจัดสมดุลรูปแบบที่ 1 ประสิทธิภาพสายการผลิต เพิ่มจากเดิม 35.66 เปอร์เซ็นต์ เป็น 80.56 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผังแบบที่ 2 ประสิทธิภาพสายการผลิตอยู่ที่ 55.77 เปอร์เซ็นต์

Ana, Guilherme, Marina, Sherif, and David (2021) ทำการศึกษาสายการผลิตผ้าในอินเดีย ประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน โดยใช้เครื่องมือผังสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping) ร่วมกับแผนภาพสปาเก็ตตี้ มาวิเคราะห์สายการผลิตผ้า พบว่ามีความสูญเสียเนื่องจากเคลื่อนที่ของวัสดุที่ไม่จำเป็น เพื่อแก้ปัญหานี้จึงใช้ Systematic Layout Planning (SLP) ใช้แผนผังความสัมพันธ์ (Relationship Diagram) มาออกแบบผังการผลิตใหม่โดยสามารถทำให้การเคลื่อนที่ของวัสดุลดลง 48 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับผังการผลิตปัจจุบัน

Mequanent and Yewondwosen (2023) ศึกษาโรงงานผลิตเสื้อผ้าในเอธิโอเปีย พบว่าอัตราการผลผลิตต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยโรงงานตั้งเป้าหมายการผลิตที่ 800 ชิ้นต่อหนึ่งกะ แต่ความเป็นจริงผลิตได้เพียง 470 ชิ้นต่อหนึ่งกะ ทำให้เกิดการส่งมอบล่าช้ากว่ากำหนด ทีมวิจัยจึงนำ

ระบบการผลิตแบบลีน และหลักการศึกษาการทำงานมาใช้ โดยใช้แผนภาพสปาเก็ตตี้ และหากิจกรรมที่ไม่ได้เพิ่มคุณค่า (non-value Activity) จากนั้นใช้แผนภูมิกระบวนการการไหลของวัสดุ (Material Flow Process Chart) ผลลัพธ์จากการปรับปรุง ทำให้กิจกรรมที่ไม่ได้เพิ่มคุณค่าลดลงจาก 43 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 5 เปอร์เซ็นต์ จุดคอขวดจาก 3 จุด เหลือ 0 จุด ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลงเหลือ 650 เมตร การศึกษาเวลางานช่วยให้ลดรอบเวลาการทำงานไป 315 นาที และอัตราผลผลิตเพิ่มได้ตามเป้าหมายที่ 800 ชิ้นต่อหนึ่งกะ

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

Süer และ Tummaluri (2008) ศึกษาสายการผลิตแบบเซลล์ซึ่งจำเป็นต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยให้ความสนใจกับเวลาการทำงานของทักษะพนักงานแต่ละคน แทนที่จะเป็นรอบเวลาการผลิตปกติ จากนั้นจำลองการเรียนรู้และการหลงลืมของพนักงานในการทำงาน แล้วสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงานเข้าสู่สายการผลิตแบบเซลล์ แก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกในการหาคำตอบ จากผลการทดลองพบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้การจัดสรรพนักงานเวลาการทำงานทักษะนั้น มีประสิทธิภาพสายการผลิตที่เหนือการการจัดสรรพนักงานตามวิธีการรอบเวลามาตราฐานแบบดั่งเดิม ผลลัพธ์ระยะเวลาการผลิตรวม (Make Span) สั่นลง ผลิตได้รวดเร็วมากขึ้น ซึ่งเป็นรากฐานในการศึกษาระบบการผลิตที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น สายการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงโมเดลของผลิตภัณฑ์ การหมุนเวียนและลาออกของพนักงาน

กัญจนา (2552) ศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม และพบปัญหาการมอบหมายพนักงานที่มีความสามารถแตกต่างกัน และความซับซ้อนของอุตสาหกรรมแฟชั่นที่ต้องผลิตงานหลากหลาย และเปลี่ยนรูปแบบตลอดเวลา เพื่อที่จัดสมดุลสายการผลิตและจัดสรรพนักงานเข้าสู่สถานีงานที่เหมาะสม จึงสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมและแบบทวิภาค โดยตั้งเป้าหมายให้รอบเวลาการผลิตน้อยที่สุด ในกรณีที่พนักงานมีความสามารถคงที่ และ ต้องการเวลาปิดงานเร็วที่สุด กรณีที่พิจารณาการเรียนรู้ของพนักงาน แล้วใช้วิธีฮิวริสติกในการหาคำตอบ พบว่าตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์มีความไว (Sensitive) ต่อจำนวนพนักงานที่และปริมาณงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้น

Chen และคณะ (2012) ศึกษาแผนกเย็บผ้า ในโรงงานผลิตเสื้อผ้าในประเทศไต้หวั่น แผนกเย็บเป็นแผนกที่กระบวนการผลิตต้องใช้ฝีมือพนักงาน และมีขั้นตอนการทำงานที่มาก งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนปรับสมดุลสายการประกอบในสายการเย็บประกอบ โดยจัดสรรพนักงานเข้าสู่สถานีงาน โดยให้เครื่องจักรในแต่ละสถานีงานสามารถปฏิบัติงานอย่างสมดุล ในงานวิจัยนี้หาคำตอบได้หาคำตอบโดยวิธีฮิวริสติก ใช้อัลกอริทึมพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้เพิ่มเงื่อนไขระดับทักษะที่แตกต่างของแรงงาน แล้วนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่

ออกแบบไปประยุกต์ใช้กับแผนกเย็บในโรงงานเสื้อผ้าแห่งนึง โดยสามารถลดรอบเวลาการผลิตและใช้อัตถรรประโยชน์แรงงานเพิ่มขึ้น

Efe, Kremer และ Kurt (2018) ศึกษาปัญหาการจัดสรรพนักงานและปรับสมดุลสายประกอบ (Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem) โดยที่สนใจความแตกต่างของภาระงาน ที่พนักงานที่มีอายุและเพศแตกต่างกันต้องแบกรับ ซึ่งตั้งวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนสถานีงานให้น้อยที่สุด ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวกับที่เกี่ยวกับการปรับสมดุลสายการประกอบมักจะใช้รอบเวลามาตราฐานของแต่ละงานในการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งวิธีการนี้อาจไม่สะท้อนความเป็นจริงของพนักงาน เพราะพนักงานแต่ละคนอาจทำเวลาได้เร็วกว่าหรือช้ากว่ารอบเวลามาตรฐาน ทำให้พนักงานบางคนภาระงานเกินและเหนื่อยล้าได้ เพิ่มความเสี่ยงในการบาดเจ็บจากการทำงาน ในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงนำเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบทวิภาค (Binary Integer Linear Programming) เพื่อใช้ในการจัดสรรพนักงาน พิจารณาความสามารถในการรับภาระทางกายภาพ (Physical Workload Capacity) ปรับค่าตามอายุและเพศสภาพ และได้นำแบบจำลองคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ในโรงงานเครื่องนุ่งห่ม ซึ่งมีงานย่อยทั้งสิ้น 53 งาน โดยในกรณีที่ไม่คำนึงถึงภาระทางกายภาพ สายการประกอบจะใช้สถานีงานจำนวน 5 สถานีงาน ในขณะที่เมื่อคำนึงภาระทางกายภาพต้องใช้สถานีงานจำนวน 6 สถานีงาน ทำให้เห็นว่าการจัดสรรงานในแต่ละกรณีให้ผลที่ไม่เท่ากัน แล้วการจัดสรรพนักงานโดยคำนึงถึงภาระงานกายภาพจะให้ผลดีต่อประสิทธิภาพสายการประกอบในระยะยาว

Durmaz และ Koyuncu (2019) ศึกษาสายการผลิตรถยนต์ โดยมุ่งความสนใจไปที่แผนกงานเชื่อม ซึ่งช่างเชื่อมนั้นมีทักษะในการเชื่อมแต่ละคนที่ไม่เท่ากัน จึงใช้วิธีการศึกษางาน (Work Study) และการจับเวลา (Time Study) นำมาสร้างเมทริกซ์ทักษะการทำงาน (Skill Matrix) โดยตัวเมทริกซ์ทักษะการทำงานจะบ่งบอกค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแต่ละงาน ที่พนักงานทำ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปใส่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการเป้าหมายคือ หาค่าต่ำสุดของต้นทุนการผลิต ซึ่งในแผนกเชื่อมนี้มี 5 สถานีงาน 14 งาน และพนักงาน 27 คน จากการศึกษาพบว่า หากเลือกพนักงานที่มีทักษะความสามารถที่เหมาะสมเข้าสู่สถานีงาน จะทำให้ประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้น และลดต้นทุนการผลิตรายปีลง

Yilmaz (2020) ศึกษาสายการประกอบแบบเซลล์ รูปตัวยู และจัดสมดุลการผลิตภายใต้เวลาการทำงานที่ไม่คงที่ โดยเป้าหมายสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หาค่าเหมาะสม (Robust Optimization) ของจำนวนสถานีงาน จึงสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมมาแก้ปัญหา การจัดสรรพนักงานและการจัดสมดุลสายการผลิต (Assembly Line Worker Assignment and Line Balancing) โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถจัดพนักงานให้เฉลี่ยภาระ

งานกันได้ และแบบจำลองใช้งานได้ดีในกรณีที่เวลาทำงานนั้นไม่คงที่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้การสายการประกอบที่มีการผสมผลิตภัณฑ์ (Mixed Model Production Line) ได้

Chen และคณะ (2021) ศึกษาสายการเย็บประกอบเสื้อผ้า ในโรงงานผลิตเสื้อผ้าแห่งหนึ่ง มีปัญหาด้านสมดุลการผลิต จึงวางแผนจัดสมดุลการผลิตใหม่และลดรอบเวลาการผลิตลง โดยใช้การจำลองสถานการณ์ปรับคำตอบของมอบหมายแรงงานไปในสถานีงานต่าง เพื่อสร้างสมดุลสายการประกอบใหม่ โดยศึกษา 2 กรณี ได้แก่ กรณีพนักงานปฏิบัติงานย่อยเดียว (Single Task Work) และกรณีพนักงานปฏิบัติงานหลายงาน (Multi Task Work) แต่ละกรณีดำเนินการทดลองอย่างละ 10 ครั้ง ใช้วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก ผ่านอัลกอริทึม 3 วิธี ประกอบด้วย Constructive Greedy, Tabu Search และ Simulated Annealing พบว่าวิธี Simulated Annealing ให้คำตอบได้ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดสรรพนักงาน และพบว่า หากให้พนักงาน 30 เปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนจากการทำงานย่อยเดียวมาทำงานหลายงาน ประสิทธิภาพสายการประกอบจะลดลง เนื่องจากระดับทักษะของพนักงานแตกต่างกันอย่างมาก

Katiraree และคณะ (2021) ศึกษาการจัดสรรพนักงานเข้าสู่สถานีงานที่มีงานย่อยแตกต่างกัน โดยมีข้อจำกัดของพนักงานที่มีเพศ อายุ และทักษะในการทำงานแตกต่างกัน วางสมการเป้าหมาย 2 สมการ (Bi-Objective) (1) รอบเวลาการทำงานน้อยที่สุด (2) จำนวนสถานีงานที่ใช้แรงน้อยที่สุด แล้วนำไปประยุกต์ใช้กับสายการประกอบ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น สามารถลดภาระงานและลดรอบเวลาการผลิตจากเดิมลงได้ 5 เปอร์เซ็นต์

ธนภัทร์ (2567) ศึกษาการจัดสมดุลสายการผลิตรวมกันระหว่างมนุษย์และแขนกลหุ่นยนต์ ในสายการผลิตเดียวกัน โดยให้ความสนใจว่าเมื่อพนักงานมีหลากหลายทักษะ และข้อจำกัดที่แตกต่าง ได้แก่ พนักงานปกติ พนักงานผู้พิการ และพนักงานผู้สูงอายุ สามารถจัดสมดุลการผลิตอย่างไรและผลกระทบต่อประสิทธิภาพสายการผลิตอย่างไร โดยสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีสมการเป้าหมาย 3 อย่างได้แก่ (1) Maximize ประสิทธิภาพสายการผลิต, (2) Minimize พลังงานเฉลี่ยต่อหุ่นแขนกล และ (3) Minimize พลังงานที่พนักงานแต่ละคนใช้ โดยผู้วิจัยเปรียบประเภทของพนักงานกับทักษะความสามารถของพนักงาน กล่าวคือ พนักงานปกติใช้เวลาการทำงานเทียบเคียงได้กับพนักงานทักษะสูง พนักงานผู้พิการใช้เวลาการทำงานเทียบเคียงได้กับพนักงานทักษะปานกลาง และพนักงานผู้สูงอายุใช้เวลาการทำงานเทียบเคียงได้กับพนักงานทักษะต่ำ จากนั้นสุ่มค่าการทำงานแล้วหาผลลัพธ์ด้วยวิธีฮิวริสติก พบว่า สายการผลิตที่มีหุ่นแขนกลช่วยสนับสนุนพนักงานผู้พิการและพนักงานผู้สูงอายุ สายการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น สายการผลิตที่สามารถใช้หุ่นแขนกลได้ 3-4 ตัวจะมีความสามารถสายการผลิตที่ดีกว่า แม้จะต้องแลกกับการจัดสรรงานที่ซับซ้อนมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงการนำเทคโนโลยี มาช่วยจัดสรรทรัพยากรร่วมกับมนุษย์เพื่อสร้างประสิทธิภาพสายการผลิต

Abdelsalam และคณะ (2023) ทำการศึกษาโรงงานผลิตเสื้อผ้าแห่งหนึ่งในตุรกี โดยการศึกษาวางเป้าหมายเพื่อลดเวลาว่างและเครื่องจักรที่ไม่ได้ใช้งาน โดยเมื่อสามารถตอบสนองต่อเป้าหมายได้จะทำให้เพิ่มกำลังการผลิตได้ จากนั้นทีมวิจัยได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-Integer Linear Programming: MIlP) และใช้โปรแกรม GAMS ในการหาผลเฉลย พบว่าสามารถลดระยะเวลาการทำงานให้เหลือ 7 ชั่วโมงต่อวัน ลดระยะเวลาการผลิตได้ 3 วัน เพิ่มการใช้งานเครื่องจักรเย็บเป็น 12 เครื่อง จากทั้งหมด 14 เครื่องจักรเย็บในโรงงาน อรรถประโยชน์เครื่องจักรเพิ่มจากเดิม 51.75 เปอร์เซ็นต์ เป็น 73.92 เปอร์เซ็นต์ ในสภาวะการผลิตปกติ คิดเป็นผลผลิตที่เพิ่มได้ 4,000 กางเกงขายาวที่เพิ่มขึ้นได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

แผนภูมิอธิบายระเบียบวิธีการวิจัยแสดงในภาพที่ 3-1 เพื่อแก้ปัญหาการความสูญเปล่าของผังการผลิต รองรับการผลิตหลากผลิตภัณฑ์ ทำให้การจัดการ ติดตามสถานะกระบวนการทำงานให้ง่ายขึ้น และการจัดสรรงานด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่จะช่วยให้เกิดการหมุนเวียนการทำงานของพนักงาน ทั้งหมดจะทำให้การผลิตในแผนกเย็บผ้านี้ มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นมากขึ้น

การดำเนินงานเริ่มจากขั้นตอนแรก การระบุปัญหาในกระบวนการเย็บประกอบเสื้อผ้า กำหนดปัญหาความไม่มีประสิทธิภาพ ความสูญเปล่าจากการขนส่งที่มากเกินไป จึงทำจัดผังการผลิตใหม่ ต่อมาเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตปัจจุบัน โดยใช้วิธีการสำรวจ จดบันทึกในพื้นที่จริง ณ โรงงาน ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย ผังการผลิตปัจจุบัน ตำแหน่ง ระยะของสถานีงาน ลำดับขั้นตอนการผลิตและรอบเวลามาตราฐาน และข้อมูลการมอบหมายงานให้พนักงานและเครื่องจักรเย็บที่ใช้ในการทำงาน โดยแต่ละข้อมูลเก็บแยกตามผลิตภัณฑ์ที่โรงงานผลิต ได้แก่ เสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้น และกางเกง

จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแผนภาพ (Visualization) เพื่อให้เห็นข้อมูลการผลิตโดยรวม แผนภาพ 3 รูปแบบ ได้แก่

1. แผนภาพสปาเก็ตตี้ (Spaghetti Diagram) เพื่อแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของงานและวัสดุไปตามสถานีงานต่างๆ

2. แผนภาพลำดับก่อนหลัง (Precedent Diagram) เพื่อแสดงความสัมพันธ์และลำดับขั้นตอนของแต่ละงานย่อย

3. แผนภูมิ Yamazumi (Yamazumi Chart) เพื่อวิเคาะห์การกระจายภาระงาน และประสิทธิภาพของสายการผลิต

ผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 แผนภาพ นำมาสู่ไอเดียของการแบ่งกลุ่มของสถานีงาน ตามงานที่ได้ทำ ซึ่งจะสร้างเซลล์การทำงานได้ จึงเขียนแผนผังสายธารคุณค่าตามชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ เพื่อประเมินศักยภาพในการรวมสายการผลิตหลายผลิตภัณฑ์เข้าสู่ระบบการผลิตแบบเซลล์ จากผลประเมินการควบรวมสายการผลิต จึงได้มีการ พัฒนาแนวทางการออกแบบผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์ ผ่าน 6 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1. การมอบหมายงานให้กับสถานีงานโดยใช้แผนภูมิ Yamazumi

2. การจับคู่ขั้นตอนการทำงานกับเครื่องจักรที่ใช้งาน

3. การจัดประเภทสถานีงานให้เป็นกลุ่มเซลล์การทำงาน 3 ประเภท (กลุ่มงานเตรียมชิ้นส่วน กลุ่มงานประกอบตัว และกลุ่มงานขั้นสุดท้าย)

4. การสร้างสายการผลิตฐานตั้งต้น

5. การบูรณาการผลิตภัณฑ์เพิ่มเติมเข้าสู่สายการผลิตที่ใช้ทรัพยากรร่วมกัน

6. การจัดวางเซลล์การผลิตในพื้นที่จริง โดยคำนึงถึงข้อจำกัดทางกายภาพ เช่น เสา ผนัง และพื้นที่ว่าง

ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้คือ รูปแบบผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์รูปตัวยู (U-shaped Cellular Production Layout) ที่ช่วยลดระยะทางการเคลื่อนไหว จัดหมวดหมู่งานเข้าสู่เซลล์การทำงาน และสร้างสมดุลของภาระงานในแต่ละสถานีงาน ร่วมถึงใช้เครื่องจักรร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ

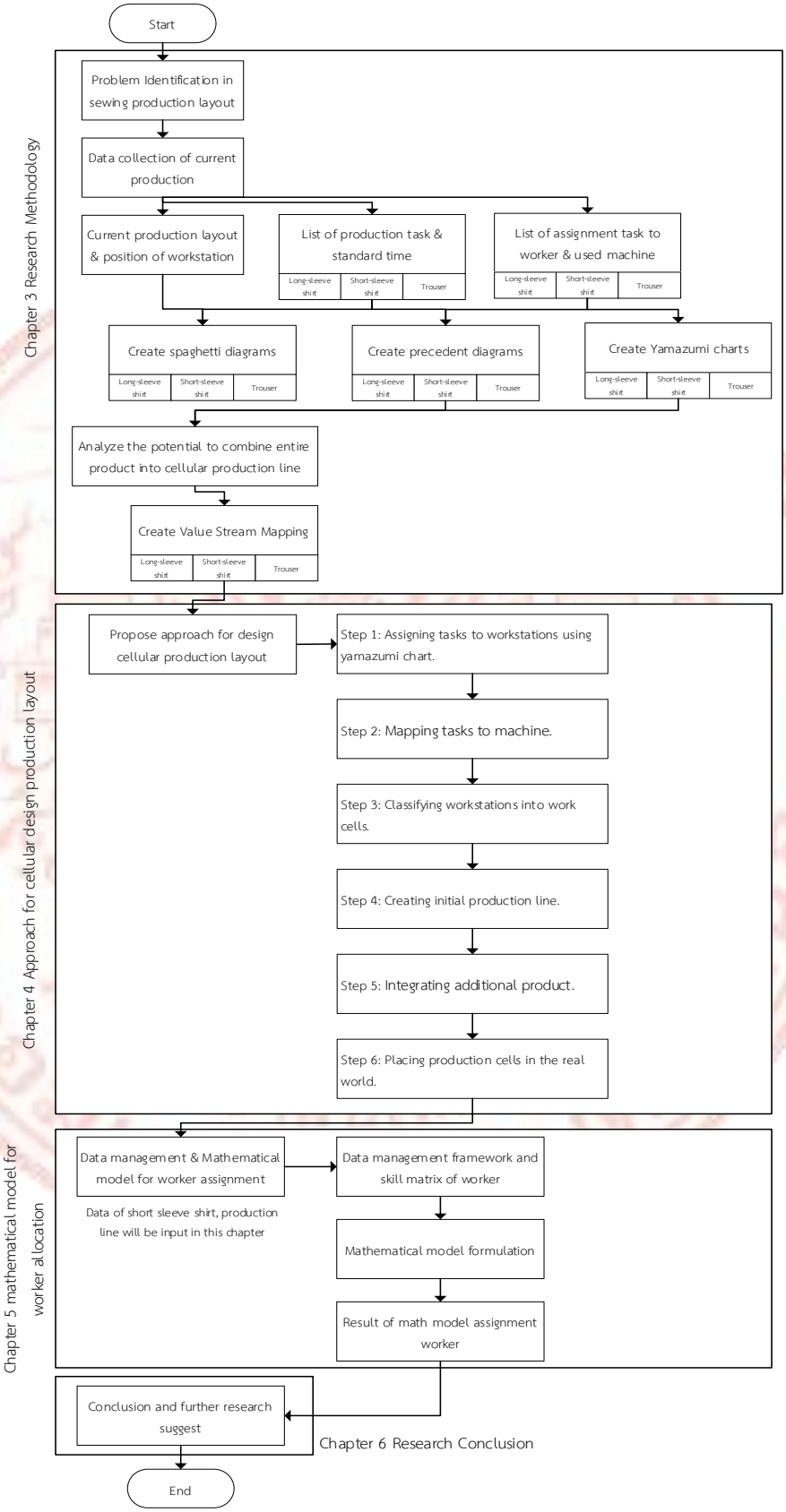
ในขั้นตอนถัดมา เป็นการพัฒนา กรอบการจัดการข้อมูลและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรพนักงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหมุนเวียนงาน (Job Rotation) และเพิ่มศักยภาพของพนักงานให้มีเวลาการทำงานที่เข้าใกล้กับเวลามาตรฐานมากที่สุด กรอบการวิจัยในส่วนนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1. กรอบการจัดการข้อมูล (Data Management Framework) สำหรับจัดระเบียบข้อมูลและนำเข้าข้อมูลเพื่อใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงาน

2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model Formulation) ที่กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และกลุ่มสมการข้อจำกัด เช่น การมอบหมายงานตามทักษะ ผลของการเรียนรู้ (Learning Effect) และค่าเวลาการทำงานทักษะเทียบกับค่า Takt Time

3. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ และนำเสนอผลการจัดสรรพนักงาน (Result Analysis) โดยใช้ข้อมูลจริงของพนักงาน 17 คน และข้อมูลจำลองสถานการณ์ กรณีสัดส่วนทักษะพนักงาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

แล้วสุดท้ายสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต โดยสรุปรวมผลลัพธ์จากทั้งส่วนของการออกแบบผังการผลิตเซลล์ลูล่าร์และกรอบการจัดการข้อมูลพร้อมทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 3-1 แผนภูมิลำดับระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการที่ศึกษา

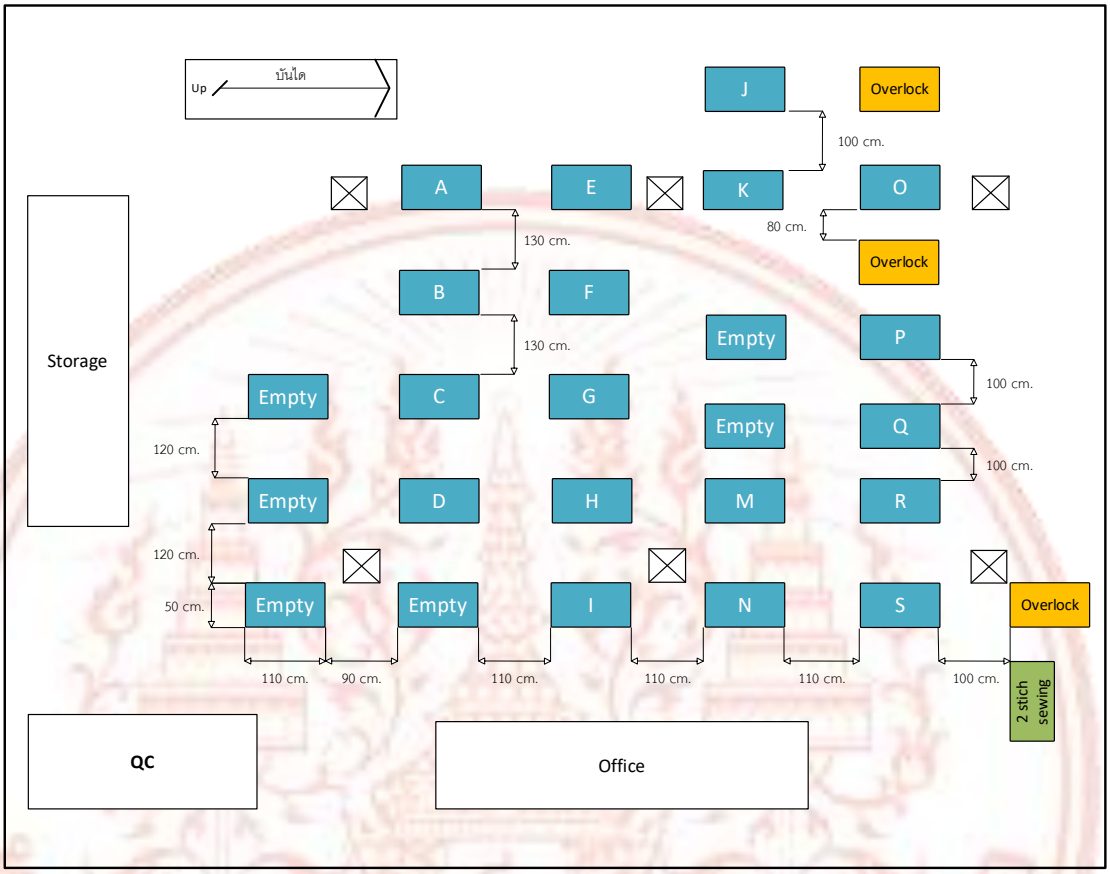
โรงงานที่ทำการศึกษา เป็นโรงงานผลิตเสื้อผ้าสั่งผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า โดยมากเป็นเสื้อช็อปทั้งสำหรับสุภาพบุรุษและสุภาพสตรี โดยโรงงานจะออกแบบตามคำสั่งผลิตของลูกค้า ผลิตสินค้าตัวอย่างออกมาก่อน (Prototype Unit) จากนั้นทำการปรับแก้ไขแบบตาม คำแนะนำ ความต้องการของลูกค้า เมื่อตกลงรูปแบบผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Final Design) ได้ จะทำการตัดชิ้นส่วนผ้าตามแบบ (Pattern) แต่ละชิ้นส่วนของตัวเสื้อผ้า แล้วนำขึ้นสู่แผนกเย็บเพื่อทำการผลิตและประกอบเป็นเสื้อผ้าตามรูปแบบที่กไหนดไว้

ซึ่งสามารถจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์ออกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ เสื้อช็อปแขนยาว กางเกงขายาว และเสื้อช็อปแขนสั้น ภายในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์อาจมีของตกแต่ง แถบสี หรือโลโก้ที่แตกต่างกันบางส่วนตามคำสั่งผลิตของลูกค้า

สำหรับการเริ่มต้นศึกษาสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา เริ่มต้นโดยการสำรวจ สังเกตและเก็บรวบรวมผังการผลิตให้มากที่สุด เนื่องจากข้อมูลนั้นมีความสำคัญ เป็นรากฐานสำหรับการวิเคราะห์ผังการผลิต ยิ่งมีข้อมูลมากเท่าใดก็ยิ่งมีความละเอียดและแม่นยำมากขึ้น โดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

1. Production Floor Plan ผังการผลิตปัจจุบัน
2. Precedent Diagram แผนภาพลำดับการผลิต
3. Spaghetti Diagram แผนภาพสปาเก็ตตี้
4. Yamazumi Chart แผนภูมิยามาซุมิ
5. Value Stream Mapping แผนผังสายธารคุณค่า

3.2 ผังการผลิตปัจจุบัน ตำแหน่งที่ตั้งเครื่องจักรและผู้ปฏิบัติงาน



ภาพที่ 3-2 ผังโรงงานปัจจุบันตำแหน่งเครื่องจักรและผู้ปฏิบัติงาน

ปัจจุบันโรงงานจัดวางเครื่องจักรแบบเป็นแถวตอน คล้ายกับการวางโต๊ะในห้องเรียน โดยที่มีจักรเย็บผ้า 3 รูปแบบ แบบที่ 1 คือโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยวโดยแสดงในรูปสี่เหลี่ยมสีฟ้า แบบที่ 2 คือโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้งโดยแสดงในรูปสี่เหลี่ยมสีส้ม และแบบที่ 3 คือโต๊ะจักรเย็บแบบคู่โดยแสดงในรูปสี่เหลี่ยมสีเขียว โดยที่โต๊ะจักรเย็บผ้า 1 ตัว จะใช้พนักงานควบคุม 1 คน เมื่อมองจากด้านบนลงมาจะพบว่าด้านหลังมีบันไดทางขึ้นลง มีส่วนสำนักงานซึ่งเป็นส่วนทำงานของฝ่ายวางแผนและควบคุมการผลิต (Production Planning and Control) ของแผนกเย็บ และมีแผนกควบคุมคุณภาพ (Quality Control) อยู่ทางด้านซ้ายมือ

โดยฝ่ายวางแผนและควบคุมการผลิตจะรับคำสั่งผลิตมาจากฝ่ายขาย แล้วมาจัดสรรกำหนดเวลาการผลิต รวมถึงทำหน้าที่เบิกอุปกรณ์ที่จำเป็นในการผลิต เช่น หลอดด้าย เม็ดกระดุม ซิป หรือแพทเทิร์นของผ้าในการเย็บประกอบ เมื่อได้อุปกรณ์ที่จำเป็นมาแล้วก็จะส่งเข้าสายการเย็บ โดยมีหัวหน้าพนักงาน คอยจัดสรรขั้นตอนการเย็บย่อย คอยจ่ายงานตามความสามารถของแต่ละพนักงาน

ว่าพนักงานคนใดควรทำขั้นตอนไหน เมื่อจัดสรรงานเรียบร้อย ก็จะดำเนินการผลิต เมื่อผลิตสินค้าเสร็จสิ้นก็จะนำส่งให้แผนกควบคุมคุณภาพที่อยู่ด้านข้างต่อไป

3.3 รูปแบบกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์

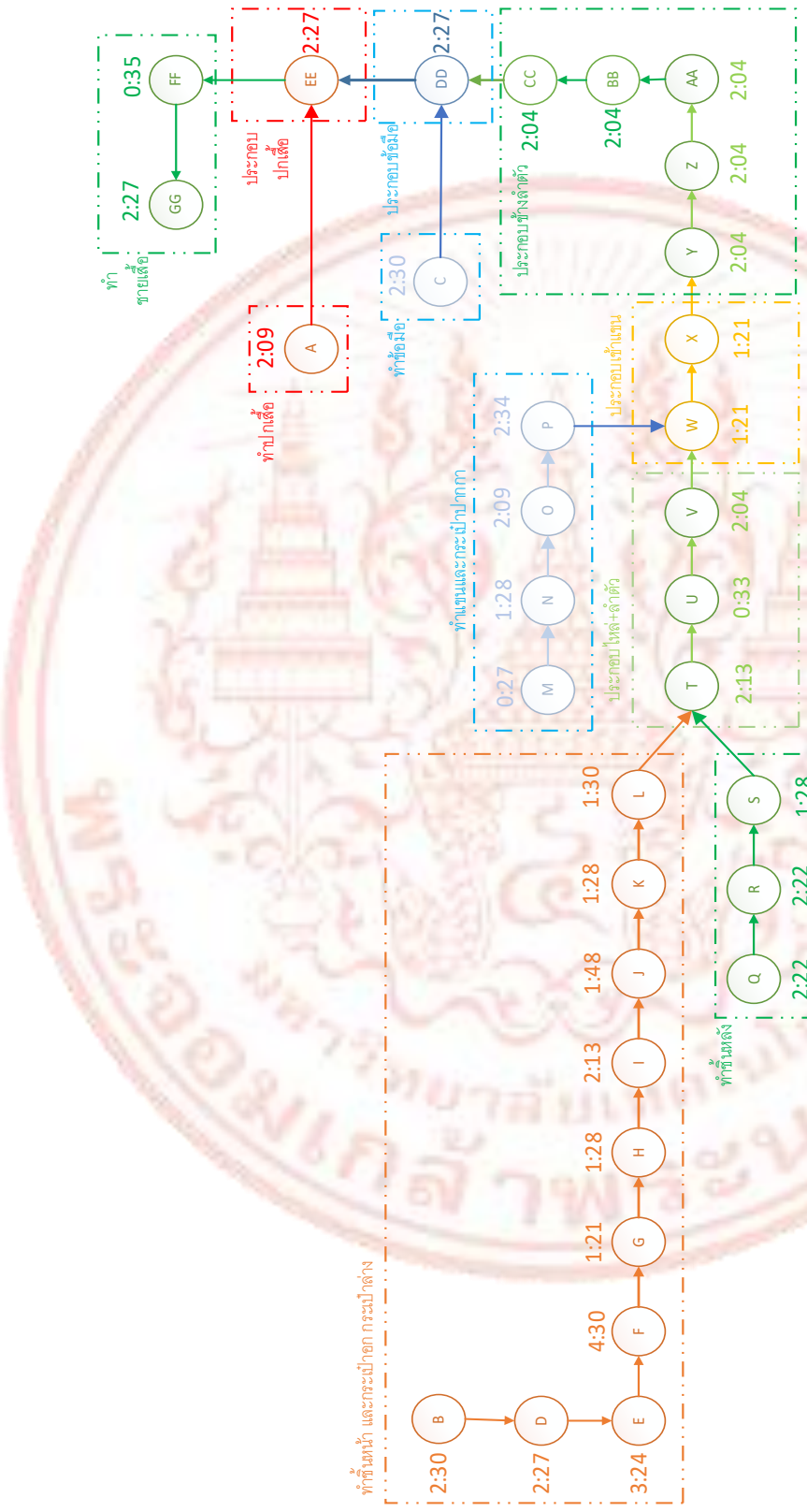
แผนภาพลำดับการผลิต (Precedent Diagram) เป็นเครื่องมือช่วยให้เห็นลำดับขั้นตอนกระบวนงาน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของงาน ว่างานใดมีความจำเป็นต้องทำให้เสร็จสิ้นก่อน จึงจะสามารถทำงานขั้นตอนถัดไปได้ จากการสอบถามหัวหน้างาน วิศวกรอุตสาหการในแผนก และการสังเกตสายการผลิตกระบวนการผลิตของแผนกเย็บผ้า สามารถนำเสนอใน แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อซ็อปแขนยาว เสื้อซ็อปแขนสั้น และกางแกงขายาว ได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อซ็อปแขนยาว (Precedence Diagram for Long Sleeve Shirt)

แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อซ็อปแขนยาว แสดงใน ภาพที่ 3-3 การผลิตเสื้อซ็อปแขนยาวจะเริ่มต้นจาก การเย็บชิ้นหน้าเสื้อหรือสาปเสื้อ จากนั้นทำการติดกระเป๋าอกและกระเป๋าล่างของเสื้อ จากนั้นเย็บต่อสาปหน้าทั้ง 2 ชิ้น ในขณะเดียวกันกับที่ผลิตชิ้นหน้าเสื้อ พนักงานอีกกลุ่มก็จะผลิตชิ้นหลังของเสื้อไปด้วย โดยนำชิ้นหลังมาติดผ้าตัดแต่งและผ้าตาข่ายสำหรับระบายอากาศ จากนั้นเมื่อชิ้นหน้าเสื้อและชิ้นหลังเสื้อผลิตเสร็จเรียบร้อย ก็นำเข้าสู่การประกอบบ่าไหล่เพื่อทำเป็นส่วนตัวเสื้อ

ระหว่างที่กำลังทำการประกอบบ่าไหล่ของชิ้นหน้าและชิ้นหลัง พนักงานอีกส่วนก็จะทำชิ้นส่วนของแขนเสื้อ แผ่นข้อมือ และแผ่นปกเสื้อ โดยชิ้นส่วนของแขนเสื้อจะมีการเย็บตีเกล็ดและติดกระเป๋าเล็กสำหรับเสียบปากกา ชิ้นส่วนข้อมือเป็นการนำชิ้นผ้ามาประกบและประกอบเป็นแผ่นข้อมือ ชิ้นส่วนปกเป็นแผ่นผ้านำมามาซ้อนกับผ้าอัดเคมีเพื่อทำให้ปกมีความแข็งคงรูป

เมื่อนำชิ้นหน้าและชิ้นหลังมาประกอบบ่าไหล่เสร็จเรียบร้อย ก็จะได้เสื้อที่มีบ่าและรูวงแขน จากนั้นจะนำชิ้นส่วนแขนเสื้อของเย็บสอดเข้ารูวงแขน เมื่อเสร็จสิ้นแล้วก็นำไปเย็บประกอบด้านข้างลำตัวเสื้อ โดยด้านข้างมีรายละเอียดชิ้นผ้าแต่งและผ้าตาข่าย เมื่อการเย็บประกอบด้านข้างเสร็จ ก็ได้ลำตัวเสื้อที่มีบ่าไหล่พร้อมแขนเสื้อและมีการเล็มประกอบข้างลำตัวแขน ลำดับถัดไปก็จะเป็นการนำท่อแขนเสื้อมาประกอบกับชิ้นแผ่นข้อมือ ลำดับต่อไปเป็นการประกอบปก แล้วขั้นตอนสุดท้ายจึงเป็นการพับเย็บเก็บชายเสื้อ



ภาพที่ 3-3 แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว

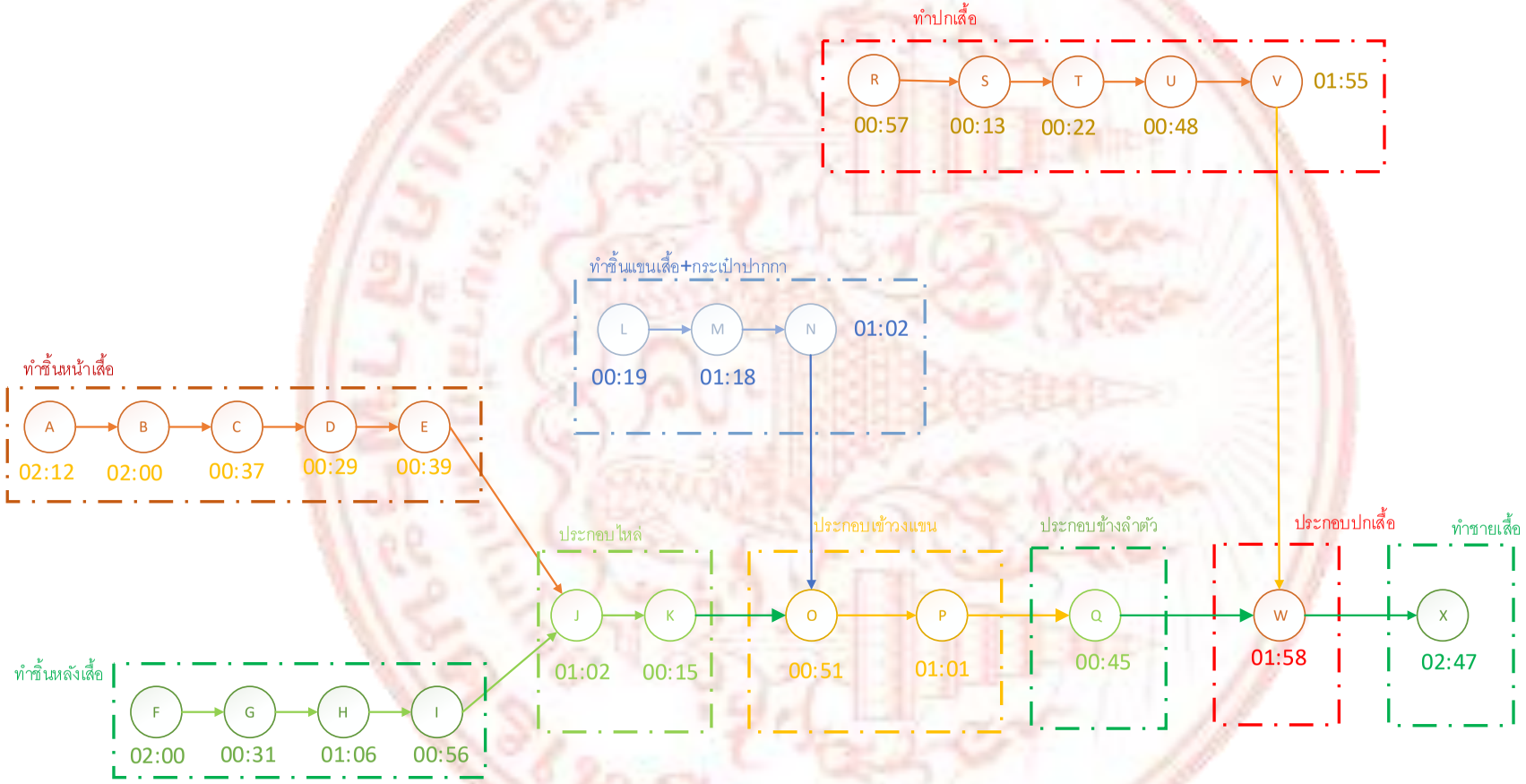
ตารางที่ 3-1 แสดงสัญลักษณ์ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิการไหลกระบวนการผลิต เสื้อช็อปแขนยาว

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)
1	ประกอบปก	ปก	A	-	2.15
2	ประกอบฝาหน้าบน+ติดเทป	ฝากระเป๋า	B	-	2.50
3	ประกอบข้อมือ	ข้อมือ	C	-	2.50
4	ประกอบกระเป๋าหน้า+ติดเวลโก้	ประกอบกระเป๋าอก	D	B	2.45
5	ติดกระเป๋า+ติดฝา+โพ้งซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้ากระเป๋าอก	E	D	3.40
6	เจาะกระเป๋าล่าง ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้ากระเป๋าล่าง	F	E	4.50
7	ย้ำล็อคถุงกระเป๋า	ชิ้นหน้ากระเป๋าล่าง	G	F	1.35
8	ติดอาร์มหน้าขวา	ชิ้นหน้าอาร์มหน้า	H	G	1.47
9	ต่อสาปหน้า ขวาแบบเบิ้ล+ทับคิ้ว	ชิ้นหน้า	I	H	2.21
10	ต่อสาบหน้า ซ้ายแบบเบิ้ล+ทับคิ้ว 2	ชิ้นหน้า	J	I	1.80
11	ต่อผ้ากราวน์ชิ้นกลาง ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้า	K	J	1.47
12	ทับคิ้วต่อหน้าข้าง ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้า	L	K	1.50
13	พับปากกระเป๋าเสียบปากกา	แขนกระเป๋าปากกา	M	-	0.45
14	ติดกระเป๋าเสียบปากกา	แขนกระเป๋าปากกา	N	M	1.47
15	ตีเกล็ดแขนทับคิ้ว ซ้าย-ขวา 4 เกล็ด	แขน	O	N	2.15

Error! Reference source not found. **(ต่อ)**

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)
16	เย็บกุ้นสาปแขน+ล็อคสาปซ้าย-ขวา	ชิ้นแต่งปลายแขน	P	N	2.56
17	ต่อผ้าตาข่ายหลัง+โพ้งต่อชิ้นหลัง	ชิ้นหลัง ชิ้นแต่งผ้าตาข่ายใน	Q	-	2.36
18	ทับคิ้ว ล็อคหลัง	ชิ้นหลัง ชิ้นแต่ง	R	Q	2.36
19	ติดแถบหลัง	ชิ้นหลัง ชิ้นแต่ง	S	R	1.47
20	ต่อบ่าหน้า+โพ้ง+ทับคิ้ว	ประกอบบ่าไหล่	T	L,S	2.21
21	โพ้งสาบหน้า	ประกอบหน้าชิ้นหน้า	U	T	0.55
22	พับเย็บริมสาบข้าง	ประกอบหน้าชิ้นหน้า	V	U	2.06
23	เข้าแขน+โพ้งวงแขน	ประกอบแขน	W	P,V	1.35
24	ทับคิ้วเข้าวงแขนแขน	ประกอบแขน	X	W	1.35
25	โพ้งต่อหน้าข้าง	ประกอบเข้าข้าง	Y	X	2.06
26	โพ้งต่อหลังข้าง	ประกอบเข้าข้าง	Z	Y	2.00
27	ทับคิ้วต่อหน้าข้าง ซ้าย-ขวา	ประกอบเข้าข้าง	AA	Z	2.06
28	ต่อข้างหลังโพ้ง	ประกอบเข้าข้าง	BB	AA	2.06
29	ทับคิ้วต่อข้างหลัง	ประกอบเข้าข้าง	CC	BB	2.06
30	เข้าข้อมือ จับจีบทับคิ้ว	ประกอบข้อมือ	DD	C,CC	2.45
31	เข้าปก+ติดไซส์+ทับคิ้ว	ประกอบปก	EE	A,DD	2.45
32	ติดเทปเวลโก้ชาย	ชายเสื้อ	FF	EE	0.58
33	ต่อชายทับคิ้ว 4 เส้น	ชายเสื้อ	GG	FF	2.45

3.3.2 แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น (Precedence Diagram for Short Sleeve Shirt)



ภาพที่ 3-4 แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น

ตารางที่ 3-2 แสดงสัญลักษณ์ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิการไหลกระบวนการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)
1	เจาะกระเป๋าชิ้นหน้า	ชิ้นหน้า ซ้าย	A	-	2.20
2	โพ้งต่อชิ้นหน้า บนล่าง	ชิ้นหน้า	B	A	2.00
3	คิ้วต่อชิ้นหน้า	ชิ้นหน้า	C	B	0.61
4	เย็บพับสาป	ชิ้นหน้า ซ้าย	D	C	0.48
5	เย็บพับสาป	ชิ้นหน้า ขวา	E	D	0.64
6	โพ้งต่อชิ้นหลัง บนล่าง	ชิ้นหลัง	F	-	2.00
7	คิ้วต่อชิ้นหลัง	ชิ้นหลัง	G	F	0.51
8	ติดแถบ TC	ชิ้นหลัง	H	G	1.11
9	ต่อบ่าหลัง	ชิ้นหลัง	I	H	0.93
10	โพ้งต่อไหล่	ประกอบไหล่	J	E,I	1.04
11	คิ้วต่อไหล่	ประกอบไหล่	K	J	0.26
12	พับปากกระเป๋าแขน	กระเป๋าแขน ซ้าย	L	-	0.32
13	พับปลายแขน	แขน	M	L	1.30
14	ติดกระเป๋าแขน	แขน	N	M	1.03
15	โพ้งเข้าวงแขน	ประกอบวงแขน	O	K,N	0.85
16	คิ้วเข้าวงแขน	ประกอบวงแขน	P	O	1.01
17	โพ้งเข้าข้าง	ประกอบเข้าข้าง	Q	P	0.76
18	ประกอบปกบน	ปก	R	-	0.95
19	กลับปก	ปก	S	R	0.22
20	คิ้วปก	ปก	T	S	0.36
21	เย็บฐานปก	ปก	U	T	0.79
22	ประกอบปกบนล่าง	ปก	V	U	1.92
23	เข้าปก + ใส่ป้ายไซส์	ประกอบปก	W	Q,V	1.92
24	พับชายเสื้อ	ชายเสื้อ	X	W	2.79

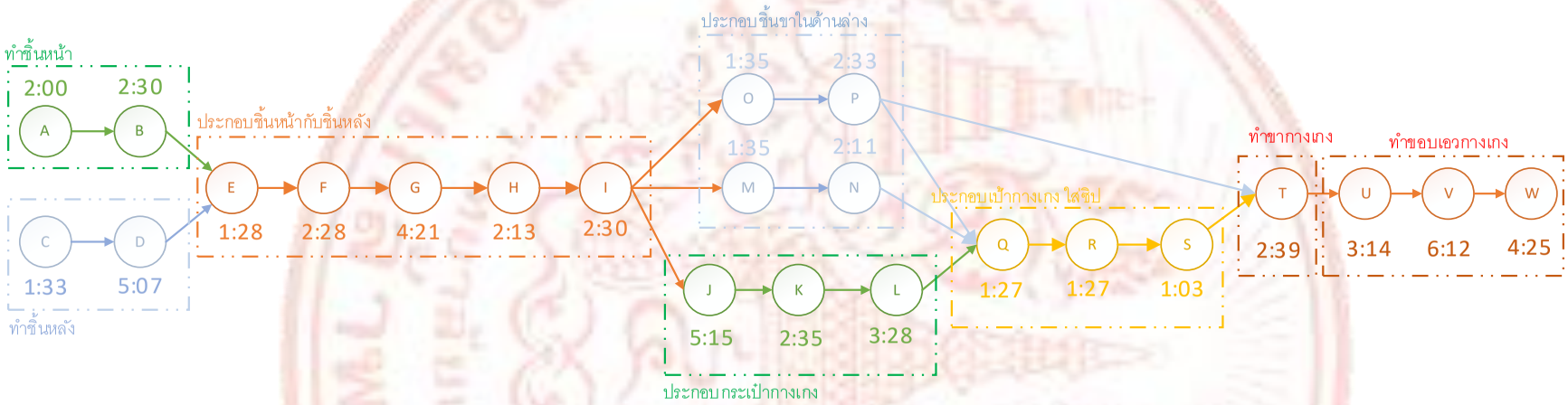
แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อบแขนสั้นแสดงใน ภาพที่ 3-4 การผลิตและประกอบเสื้อช็อปแขนสั้น มีความคล้ายคลึงกับการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว โดยเริ่มต้นจากการทำชิ้นหน้าเสื้อโดยการเจาะช่องกระเป๋าเสื้อตรงหน้าอก จากนั้นต่อส่วนชิ้นหน้า พับเย็บสาปหน้าชิ้นซ้ายและชิ้นขวา ในระหว่างที่พนักงานกำลังผลิตชิ้นส่วนหน้าเสื้อ พนักงานอีกส่วนก็เริ่มผลิตชิ้นหลังไปพร้อมกันด้วย โดยเริ่มจากเย็บประกอบชิ้นหลัง เย็บติดแถบสะท้อนแสง (แถบ TC) ด้านหลัง เมื่อทั้งชิ้นหน้าเสื้อและชิ้นหลังเสื้อที่ประกอบเสร็จสิ้น ก็มาทำการเย็บต่อบ่าไหล่เข้าด้วยกัน เพื่อสร้างตัวเสื้อ

ในระหว่างที่พนักงานกำลังเย็บประกอบบ่าไหล่ พนักงานอีกส่วนก็จะทำการผลิตชิ้นแขนเสื้อโดยติดกระเป๋าเสียบปากกาและพับขอบแขนเสื้อ ในอีกฟากหนึ่งพนักงานอีกส่วนก็ผลิตแถบปกเสื้อโดยนำชิ้นปกเสื้อซ้อนกับผ้าเคมีแข็งเพื่อให้คงรูปปกเสื้อ

เมื่อการทำการเย็บประกอบบ่าไหล่เสร็จสิ้น ก็นำชิ้นส่วนท่อแขนเสื้อมาสอดเข้ารูวงแขน จากนั้นเย็บประกอบข้างลำตัวเสื้อ จึงจะได้ลำตัวเสื้อพร้อมติดแขนเสื้อ ลำดับถัดไปก็นำตัวเสื้อไปเย็บประกอบเข้าปกพร้อมติดไซส์ของเสื้อตัวนั้นๆ แล้วนำเสื้อไปเย็บพับเก็บชายเสื้อ การผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นจึงเสร็จสิ้น

โดยมีข้อสังเกตว่าจากการวิเคราะห์ แผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อบแขนยาวใน ภาพที่ 3-3 และแผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อบแขนสั้นใน ภาพที่ 3-4 พบว่ากระบวนการผลิตนี้มีขั้นตอนการผลิตที่ใกล้เคียงกัน โดยการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นนั้นไม่มีขั้นตอนการประกอบข้อมือ และรายละเอียดการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้นมีน้อยกว่า

3.3.3 แผนภาพลำดับการผลิตของกางเกงขายาว (Precedence Diagram for Trousers)



ภาพที่ 3-5 แผนภาพลำดับการผลิตของกางเกงขายาว

ตารางที่ 3-3 แสดงสัญลักษณ์ขั้นตอนการทำงานของแผนภูมิการไหลกระบวนการผลิตกางเกงขายาว

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)
1	จับจีบหน้า ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้า	A	-	2.00
2	จับเกล็ดหน้าทับคิ้ว 8 จุด	ชิ้นหน้า	B	A	2.50
3	จับจีบหลัง 4 จีบ	ชิ้นหลัง	C	-	1.55
4	เจาะกระเป๋าหลัง ซ้าย+ขวา	ชิ้นหลัง	D	C	5.12
5	โพ้งต่อขาหลัง ซ้าย-ขวา	ประกอบขาหลัง	E	B,D	1.47
6	โพ้งต่อกลางขาใน+ทับคิ้ว ซ้าย-ขวา	ประกอบขาใน	F	E	2.47
7	ประกอบ+โพ้งสาบ+ต่อเป้าหน้า	เป้ากางเกง ชิ้นหน้า	G	F	4.35
8	โพ้งเข้าข้าง	ประกอบขานอก	H	G	2.22
9	ทับคิ้วข้าง	ประกอบขานอก	I	H	2.50
10	ติดกระเป๋าข้าง+ติดฝา+โพ้ง	กระเป๋าข้าง	J	I	5.25
11	ประกอบฝาข้าง+ติดเวลโก้	กระเป๋าข้าง	K	J	2.58
12	ประกอบกระเป๋าข้าง+ติดเวลโก้	ประกอบกระเป๋าข้าง	L	K	3.47
13	โพ้งต่อขาในหน้า	ประกอบขาใน	M	I	1.59
14	ทับคิ้วต่อขาในหน้า	ประกอบขาใน	N	M	2.18
15	โพ้งต่อขาในหลัง	ประกอบขาใน	O	I	1.59
16	ทับคิ้วต่อขาในหลัง	ประกอบขาใน	P	O	2.55
17	โพ้งต่อเป้าหลัง	เป้ากางเกง	Q	L,N,P	1.45
18	ทับคิ้วต่อเป้าหลัง	เป้ากางเกง	R	Q	1.45
19	ทำซิปเป้าหน้า	ซิปกางเกง	S	R	1.05
20	พับปลายขา	ปลายขา	T	P,S	2.65
21	เนาขอบ+เนาเคมี+ย้ำยาง	ขอบเอว	U	S	3.24

Error! Reference source not found. **(ต่อ)**

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)
22	ทับคิ้วขอบดึงยาง	ขอบเอว ใส่ยางยืด	V	T	6.20
23	ย้ำหูแบบหน้าร้าน 8 หู	ขอบเอว หูกางเกง	W	V	4.41

แผนภาพลำดับการผลิตกางเกงขายาวแสดงใน ภาพที่ 3-5 การผลิตกางเกงขายาว จะเริ่มจากการเย็บชิ้นหน้ากางเกงและเย็บชิ้นหลังกางเกง ชิ้นหน้าของกางเกงมีทำการจับจีบกางเกง ในขณะที่ชิ้นหลังกางเกงทำการเจาะช่องกระเป๋าหลังและติดถุงกระเป๋า จากนั้นนำชิ้นส่วนทั้ง 2 ชิ้นมาเย็บประกอบกันโดยเย็บประกอบจากด้านในออกมา แล้วเย็บเป้ากางเกงจากนั้นประกอบกระบอกขา แล้วเย็บติดกระเป๋าขากางเกง ติดซิปกางเกง เย็บพับปลายขา และเสร็จสิ้นกระบวนการที่การทำขอบเอว โดยใส่ยางยืดแล้วทำหูกางเกง

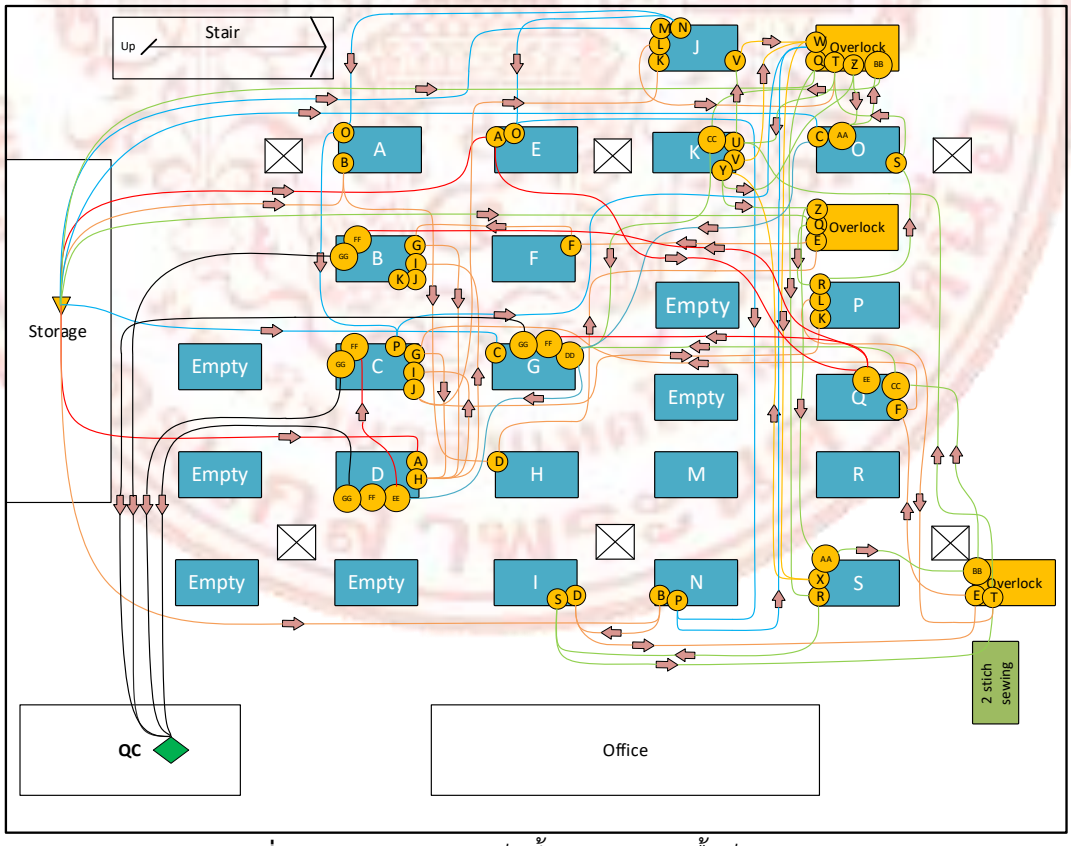
ข้อสังเกตคือจากแผนภาพลำดับการผลิตกางเกงขายาว แม้กระบวนการผลิตจะแตกต่างจากกระบวนการผลิตเสื้อ แต่ก็มีกลุ่มกระบวนการผลิตที่จำแนกได้คล้ายคลึงกัน เช่น การเย็บทำชิ้นหน้า การเย็บทำชิ้นหลัง การเย็บพับปลายขา การเย็บเก็บขอบเอวกางเกง เป็นกลุ่มงานที่ใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตเสื้อ

3.4 แผนภาพสปาเก็ตตี้ของผลิตภัณฑ์ (Spaghetti Diagram)

แผนภาพสปาเก็ตตี้เป็นเครื่องมือช่วยให้เห็นการไหลของวัสดุ บนผังโรงงาน ช่วยให้เห็นการไหลที่ติดขัด ปริมาณคับคั่ง หรือการไหลสวนทางกัน บ่งชี้ถือความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากการขนส่ง (Transportation Waste) ทำให้มองเห็นโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการ หรือปรับปรุงผังโรงงาน โดยวิเคราะห์การไหลของชิ้นส่วนประกอบต่างๆ บนผังโรงงานปัจจุบัน ของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา

3.4.1 แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว (Spaghetti Diagram for Long Sleeve Shirt)

แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว โดยเริ่มต้นจากพื้นที่เก็บชิ้นส่วนผ้าที่ถูกตัดตามแบบประกอบแล้ว กระจายแต่ละส่วนไปยังแต่ละพนักงานที่ประจำโต๊ะจักรเย็บของตนเอง โดยมีหัวหน้าพนักงานคอยแจ้งลำดับการผลิต ควบคุมงาน และแจ้งว่าขั้นตอนถัดไปพนักงานคนใดจะเป็นคนผลิต จนสิ้นสุดที่แผนกตรวจสอบคุณภาพ (Quality Control) จากแผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวใน ภาพที่ 3-6 แสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนของการไหลของวัสดุและมีการไหลที่สวนทางกันอย่างเห็นได้ชัด สำหรับระยะทางการไหลของเสื้อช็อปแขนยาว มีระยะทางรวมทั้งสิ้น 82.7 เมตร



ภาพที่ 3-6 แผนภาพสปาเก็ตตี้การผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว

ตารางที่ 3-4 แสดงสัญลักษณ์ของแผนภาพสปาเก็ตตี้ของเสื้อช็อปแขนยาว

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)	จำนวนพนักงานที่มอบหมาย
1	ประกอบปก	ปก	A	-	2.15	2
2	ประกอบฝาหน้าบน+ติดเทป	ฝากระเป๋า	B	-	2.50	2
3	ประกอบข้อมือ	ข้อมือ	C	-	2.50	2
4	ประกอบกระเป๋าหน้า+ติดเวลโก้	ประกอบกระเป๋าอก	D	B	2.45	2
5	ติดกระเป๋า+ติดฝา+โพ้ง ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้ากระเป๋าอก	E	D	3.40	2
6	เจาะกระเป๋าล่าง ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้ากระเป๋าล่าง	F	E	4.50	2
7	ย้ำล็อคถุงกระเป๋า	ชิ้นหน้ากระเป๋าล่าง	G	F	1.35	2
8	ติดอาร์มหน้าขวา	ชิ้นหน้าอาร์มหน้า	H	G	1.47	1
9	ต่อสาปหน้า ขวาแบบเบิ้ล+ทับคิ้ว	ชิ้นหน้า	I	H	2.21	2

ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)	จำนวนพนักงานที่มอบหมาย
10	ต่อสาบหน้า ซ้ายแบบเบิ้ล+ทับคิ้ว 2	ชิ้นหน้า	J	I	1.80	2
11	ต่อผ้ากราวน์ชิ้นกลาง ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้า	K	J	1.47	3
12	ทับคิ้วต่อหน้าข้าง ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้า	L	K	1.50	3
13	พับปากกระเป๋าเสียบปากกา	แขน กระเป๋าปากกา	M	-	0.45	1
14	ติดกระเป๋าเสียบปากกา	แขน กระเป๋าปากกา	N	M	1.47	1
15	ตีเกล็ดแขนทับคิ้ว ซ้าย-ขวา 4 เกล็ด	แขน	O	N	2.15	2
16	เย็บกุ้นสาปแขน+ล็อคสาป ซ้าย-ขวา	ชิ้นแต่งปลายแขน	P	N	2.56	2
17	ต่อผ้าตาข่ายหลัง+โพ้งต่อชิ้นหลัง	ชิ้นหลัง ชิ้นแต่งผ้าตาข่ายใน	Q	-	2.36	2
18	ทับคิ้ว ล็อคหลัง	ชิ้นหลัง ชิ้นแต่ง	R	Q	2.36	2
19	ติดแถบหลัง	ชิ้นหลัง ชิ้นแต่ง	S	R	1.47	2
20	ต่อบ่าหน้า+โพ้ง+ทับคิ้ว	ประกอบบ่าไหล่	T	L,S	2.21	2

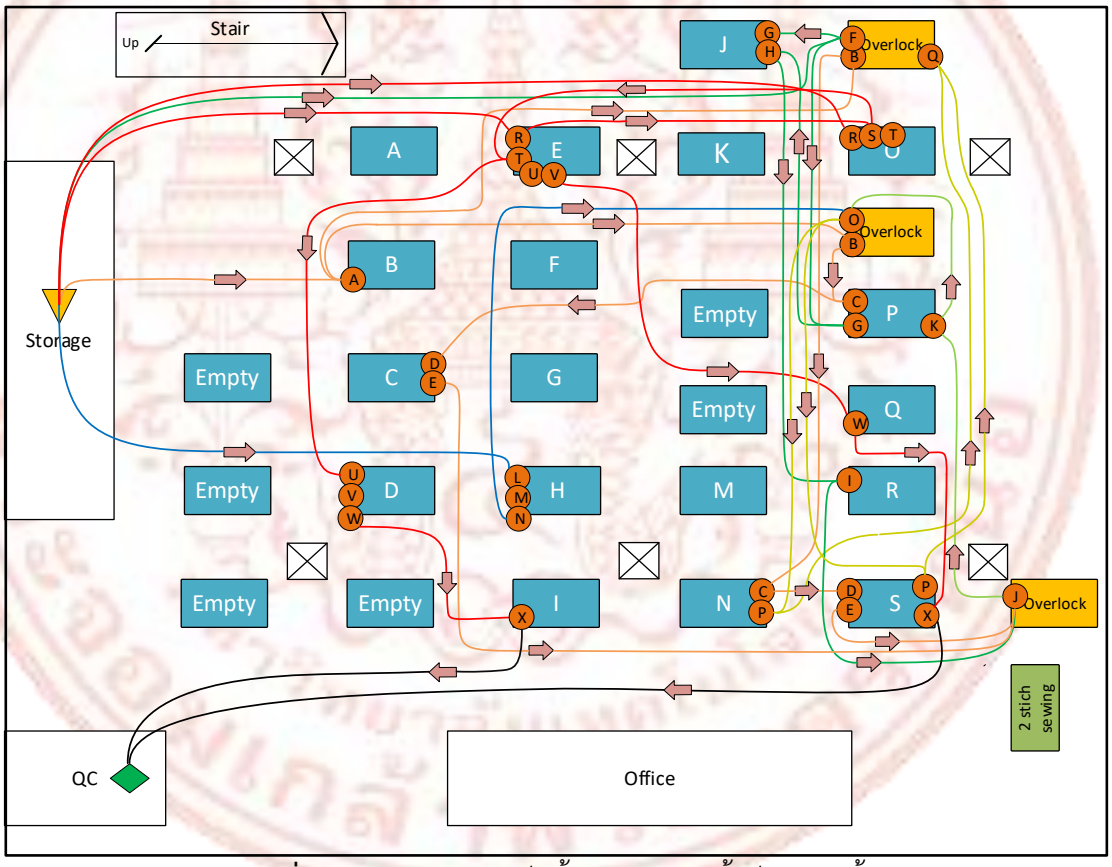
ตารางที่ 3-4 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)	จำนวนพนักงานที่มอบหมาย
21	โพ้งสาบหน้า	ประกอบหน้าชิ้นหน้า	U	T	0.55	1
22	พับเย็บริมสาบข้าง	ประกอบหน้าชิ้นหน้า	V	U	2.06	2
23	เข้าแขน+โพ้งวงแขน	ประกอบแขน	W	P,V	1.35	1
24	ทับคิ้วเข้าวงแขนแขน	ประกอบแขน	X	W	1.35	1
25	โพ้งต่อหน้าข้าง	ประกอบเข้าข้าง	Y	X	2.06	1
26	โพ้งต่อหลังข้าง	ประกอบเข้าข้าง	Z	Y	2.00	2
27	ทับคิ้วต่อหน้าข้าง ซ้าย-ขวา	ประกอบเข้าข้าง	AA	Z	2.06	2
28	ต่อข้างหลังโพ้ง	ประกอบเข้าข้าง	BB	AA	2.06	2
29	ทับคิ้วต่อข้างหลัง	ประกอบเข้าข้าง	CC	BB	2.06	2
30	เข้าข้อมือ จับจีบทับคิ้ว	ประกอบข้อมือ	DD	C,CC	2.45	1
31	เข้าปก+ติดไซส์+ทับคิ้ว	ประกอบปก	EE	A,DD	2.45	2
32	ติดเทปเวลโก้ชาย	ชายเสื้อ	FF	EE	0.58	4
33	ต่อชายทับคิ้ว 4 เส้น	ชายเสื้อ	GG	FF	2.45	4

3.4.2 แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น

(Spaghetti Diagram for Short Sleeve Shirt)

แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น จะเริ่มต้นจากพื้นจัดเก็บผ้าที่ถูกตัดพร้อมประกอบ กระจายแต่ละชิ้นส่วนไปยังพนักงานที่ประจำโต๊ะจักรเย็บของตนเอง ซึ่งมีหัวหน้าพนักงานคอยแจ้งลำดับการผลิต ควบคุมการผลิต และแจ้งขั้นตอนถัดไป การผลิตดำเนินไปจนสิ้นสุดที่แผนกควบคุมคุณภาพ จากแผนภาพสปาเก็ตตี้ของเสื้อช็อปแขนสั้นใน ภาพที่ 3-7 สังเกตได้ว่า ขั้นตอนการผลิตนั้นน้อยกว่าการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว แต่ยังมีการขนส่งที่ระยะทางไกลและมีการตัดกันของเส้นทางการไหลของวัสดุ สำหรับระยะทางการไหลของเสื้อช็อปแขนสั้น มีระยะทางรวมทั้งสิ้น 65.1 เมตร



ภาพที่ 3-7 แผนภาพสปาเก็ตตี้การผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น

ตารางที่ 3-5 แสดงสัญลักษณ์ของแผนภาพสปาเก็ตตี้ของเสื้อช็อปแขนสั้น

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)	จำนวนพนักงานที่มอบหมาย
1	เจาะกระเป๋าชิ้นหน้า	ชิ้นหน้า ซ้าย	A	-	2.20	1
2	โพ้งต่อชิ้นหน้า บนล่าง	ชิ้นหน้า	B	A	2.00	2
3	คิ้วต่อชิ้นหน้า	ชิ้นหน้า	C	B	0.61	2
4	เย็บพับสาป	ชิ้นหน้า ซ้าย	D	C	0.48	2
5	เย็บพับสาป	ชิ้นหน้า ขวา	E	D	0.64	2
6	โพ้งต่อชิ้นหลัง บนล่าง	ชิ้นหลัง	F	-	2.00	1
7	คิ้วต่อชิ้นหลัง	ชิ้นหลัง	G	F	0.51	2
8	ติดแถบ TC	ชิ้นหลัง	H	G	1.11	1
9	ต่อบ่าหลัง	ชิ้นหลัง	I	H	0.93	1
10	โพ้งต่อไหล่	ประกอบไหล่	J	E,I	1.04	1
11	คิ้วต่อไหล่	ประกอบไหล่	K	J	0.26	1
12	พับปากกระเป๋าแขน	กระเป๋าแขน ซ้าย	L	-	0.32	1
13	พับปลายแขน	แขน	M	L	1.30	2
14	ติดกระเป๋าแขน	แขน	N	M	1.03	1
15	โพ้งเข้าวงแขน	ประกอบวงแขน	O	K,N	0.85	1

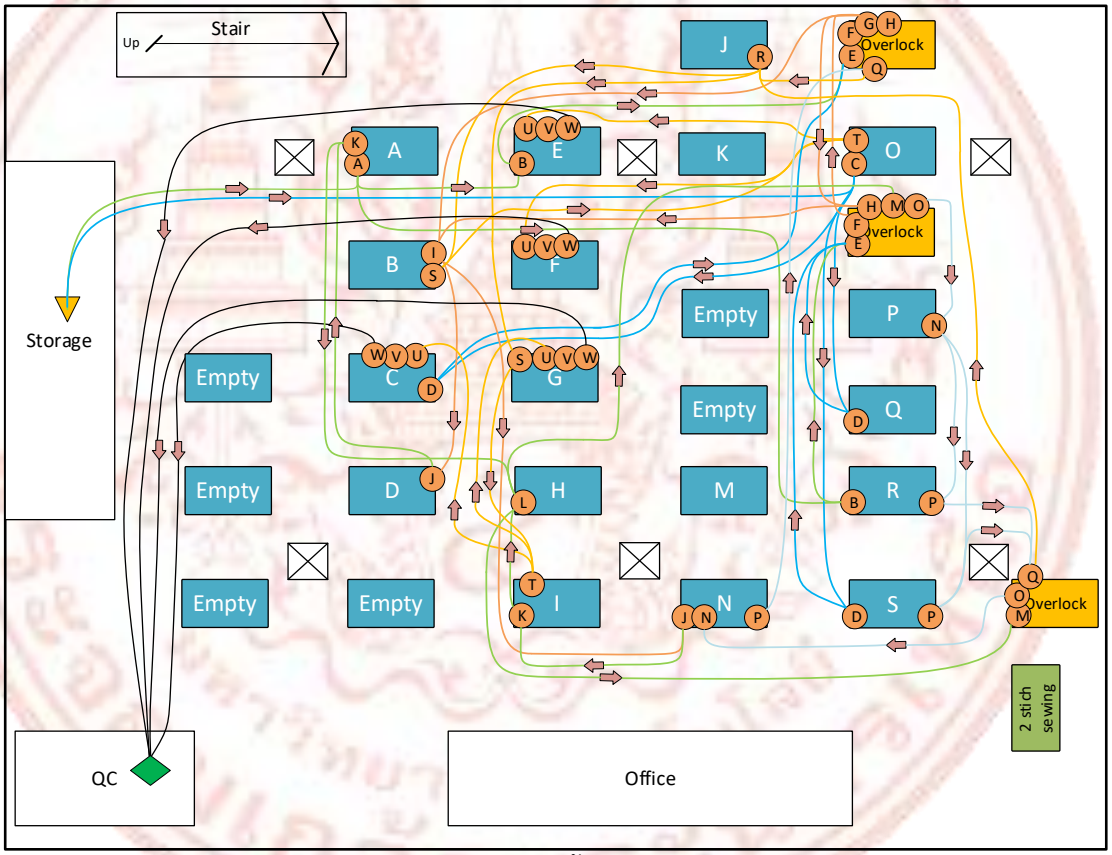
ตารางที่ 3-5 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)	จำนวนพนักงานที่มอบหมาย
16	คิ้วเข้าวงแขน	ประกอบวงแขน	P	O	1.01	2
17	โพ้งเข้าข้าง	ประกอบเข้าข้าง	Q	P	0.76	1
18	ประกอบปกบน	ปก	R	-	0.95	2
19	กลับปก	ปก	S	R	0.22	1
20	คิ้วปก	ปก	T	S	0.36	2
21	เย็บฐานปก	ปก	U	T	0.79	2
22	ประกอบปกบนล่าง	ปก	V	U	1.92	2
23	เข้าปก + ใส่ป้ายไซส์	ประกอบปก	W	Q,V	1.92	2
24	พับชายเสื้อ	ชายเสื้อ	X	W	2.79	2

3.4.3 แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตกางเกงขายาว

(Spaghetti Diagram for Trouser)

แผนภาพสปาเก็ตตี้ของการผลิตกางเกงขายาว เริ่มต้นจากพื้นที่จัดเก็บผ้าที่ถูกตัดพร้อมประกอบ กระจายแต่ละส่วนไปยังพนักงานที่ประจำโต๊ะจักรเย็บของตนเอง ซึ่งมีหัวหน้าพนักงานคอยแจ้งการผลิต ควบคุมการผลิต และแจ้งขั้นตอนถัดไป การผลิตจะดำเนินไปจนกระทั่งสิ้นสุดที่แผนกควบคุมคุณภาพ จากแผนภาพสปาเก็ตตี้ของกางเกงขายาวใน ภาพที่ 3-8 สังเกตได้ว่าการไหลของวัสดุมีระยะทางที่ไกล บางช่วงมีการไหลส่วนทางกัน สำหรับระยะทางการไหลของกางเกงขายาว มีระยะทางรวมทั้งสิ้น 84.9 เมตร



ภาพที่ 3-8 แผนภาพสปาเก็ตตี้การผลิตของกางเกงขายาว

ตารางที่ 3-6 แสดงสัญลักษณ์ของแผนภาพสปาเก็ตตี้ของกางเกงขายาว

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)	จำนวนพนักงานที่มอบหมาย
1	จับจีบหน้า ซ้าย-ขวา	ชิ้นหน้า	A	-	2.00	1
2	จับเกล็ดหน้าทับคิ้ว 8 จุด	ชิ้นหน้า	B	A	2.50	2
3	จับจีบหลัง 4 จีบ	ชิ้นหลัง	C	-	1.55	1
4	เจาะกระเป๋าหลัง ซ้าย+ขวา	ชิ้นหลัง	D	C	5.12	3
5	โพ้งต่อขาหลัง ซ้าย-ขวา	ประกอบขาหลัง	E	B,D	1.47	2
6	โพ้งต่อกลางขาใน+ทับคิ้ว ซ้าย-ขวา	ประกอบขาใน	F	E	2.47	2
7	ประกอบ+โพ้งสาบ+ต่อเป้าหน้า	เป้ากางเกง ชิ้นหน้า	G	F	4.35	1
8	โพ้งเข้าข้าง	ประกอบ ขานอก	H	G	2.22	2
9	ทับคิ้วข้าง	ประกอบ ขานอก	I	H	2.50	1
10	ติดกระเป๋าข้าง+ติดฝา+โพ้ง	กระเป๋าข้าง	J	I	5.25	2
11	ประกอบฝาข้าง+ติดเวลโก้	กระเป๋าข้าง	K	J	2.58	2

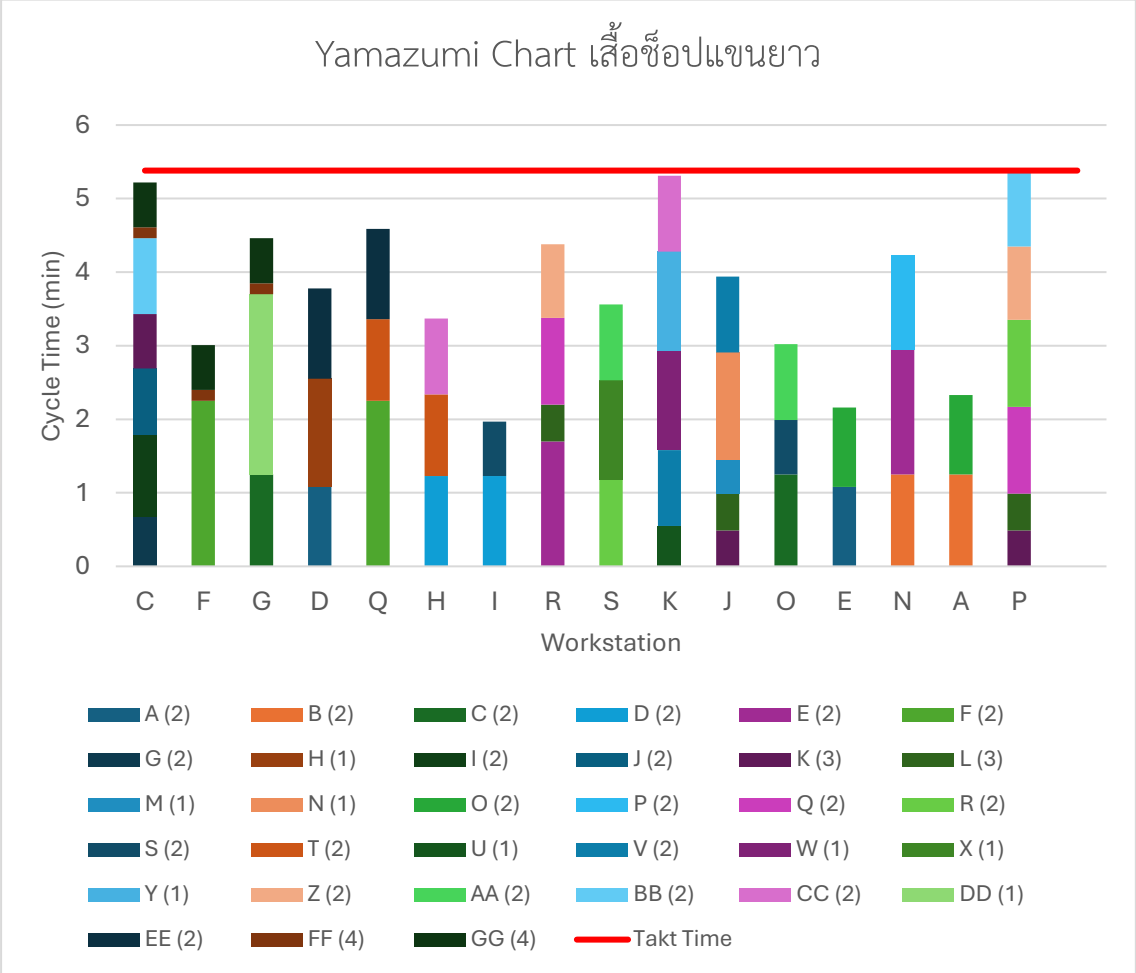
ตารางที่ 3-6 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการผลิต	ชิ้นส่วน	สัญลักษณ์	งานก่อนหน้า	เวลาในการผลิต (นาที)	จำนวนพนักงานที่มอบหมาย
12	ประกอบกระเป๋าข้าง+ติดเวลโก้	ประกอบกระเป๋าข้าง	L	K	3.47	1
13	โพ้งต่อขาในหน้า	ประกอบขาใน	M	I	1.59	2
14	ทับคิ้วต่อขาในหน้า	ประกอบขาใน	N	M	2.18	2
15	โพ้งต่อขาในหลัง	ประกอบขาใน	O	I	1.59	2
16	ทับคิ้วต่อขาในหลัง	ประกอบขาใน	P	O	2.55	3
17	โพ้งต่อเป้าหลัง	เป้ากางเกง	Q	L,N,P	1.45	2
18	ทับคิ้วต่อเป้าหลัง	เป้ากางเกง	R	Q	1.45	1
19	ทำซิปเป้าหน้า	ซิปกางเกง	S	R	1.05	2
20	พับปลายขา	ปลายขา	T	P,S	2.65	2
21	เนาขอบ+เนาเคมี+ย้ำยาง	ขอบเอว	U	S	3.24	4
22	ทับคิ้วขอบดึงยาง	ขอบเอว ใส่ยางยืด	V	T	6.20	4
23	ย้ำหูแบบหน้าร้าน 8 หู	ขอบเอว หูกางเกง	W	V	4.41	4

3.5 Yamazumi Chart

Yamazumi Chart หรือแผนภูมิยามาซุมิ เป็นเครื่องมือช่วยในการตรวจสอบ และแสดงให้เห็นภาพ ความไม่สมดุลของสายการผลิต (Line Imbalance) ตรวจสอบภาระงานของแต่ละสถานีงาน (Work Load per Work Station) สามารถตรวจสอบการผลิตงานเสร็จทันตามความต้องการของลูกค้าได้หรือไม่ โดยพิจารณาจากแท่งรอบเวลาการผลิตหรือ Cycle Time ในแต่ละสถานีงานนั้นเกินเส้น Takt Time หรือไม่

3.5.1 Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนยาว



ภาพที่ 3-9 Yamazumi Chart ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว

ตารางที่ 3-7 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว

ตัวชี้วัด	ค่าจากการคำนวณ	หน่วย
Tak Time	5.381	นาที
Lead Time	91.46	นาที
Process Time	65.81	นาที
Cycle Time Utilization	71.55	เปอร์เซ็นต์
Line Efficiency	71.53	เปอร์เซ็นต์

3.5.1.1 การคำนวณ Takt Time ใน Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนยาว

ในภาพที่ 3-9 จากการเก็บข้อมูลการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว มีคำสั่งผลิต 446 ชิ้น โดยใช้เวลาในการผลิต 5 วัน โดยมีเวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จึงสามารถคำนวณค่า Takt Time ได้ตามสมการที่ 2-1

จากสมการ

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Production Time}}{\text{Customer Demand}}$$

แทนค่าได้

$$\text{Takt Time} = \frac{5 \text{ Days} \times 8 \text{ Hours} \times 60 \text{ minutes}}{446 \text{ Units}}$$

$$\text{Takt Time} = 5.381 \text{ minutes / Unit}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Takt time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 5.381 นาทีต่อชิ้น

3.5.1.2 การคำนวณ Lead Time จาก Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนยาว

จากภาพที่ 3-9 รอบเวลาการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 5.38 นาที และมีจำนวนสถานีงานทั้งสิ้น 17 สถานี จากสมการที่ 2-3 สามารถคำนวณค่า Lead Time ได้ดังนี้

จากสมการ

$$\text{Lead Time} = \text{Max(Cycle Time)} \times \text{Number of Workstation}$$

แทนค่าได้

$$\text{Lead Time} = 5.38 \text{ min} \times 17 \text{ Stations}$$

Lead Time = 91.46 นาที

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Lead Time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 91.46 นาที

3.5.1.3 การคำนวณ Process Time จาก Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนยาว

Process Time หรือระยะเวลาผลิตรวมทั้งหมด โดยเป็นผลรวมรอบเวลาการผลิตของทุกสถานีงาน สำหรับสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวมีสถานีงานทั้งสิ้น 17 สถานี แทนที่สมการได้ดังนี้

จาก

$$\text{Process Time} = \sum_{n=1}^{17} (\text{Cycle Time})$$

ได้ว่า

Process Time = 65.81 นาที

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Process Time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 65.81 นาที

3.5.1.4 การคำนวณ Cycle Time Utilizationจาก Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนยาว

จากขั้นตอนก่อนหน้า ได้ค่า Process Time ของสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 65.81 นาที รอบเวลาสูงสุดในสายการผลิตอยู่ที่ 5.38 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 17 สถานี จากสมการที่ 2-8 เมื่อนำค่าที่ได้แทนค่าลงไปในสมการ ได้ดังนี้

จาก

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Max Cycle time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

แทนค่าได้

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{65.81 \text{ min}}{5.38 \text{ min} \times 17 \text{ Stations}} \times 100\%$$

Cycle Time Utilization = 71.95%

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Cycle Time Utilization ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 71.95 เปอร์เซ็นต์

3.5.1.5 การคำนวณ Line Efficiency จาก Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนยาว

จากขั้นตอนก่อนหน้า ได้ค่า Process Time ของสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 65.81 นาที ค่า Takt Time อยู่ที่ 5.381 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 17 สถานี เมื่อนำค่าที่ได้แทนลงไปในสมการที่ 2-5 ได้ดังนี้

จาก

$$\text{Line Efficiency} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Takt Time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

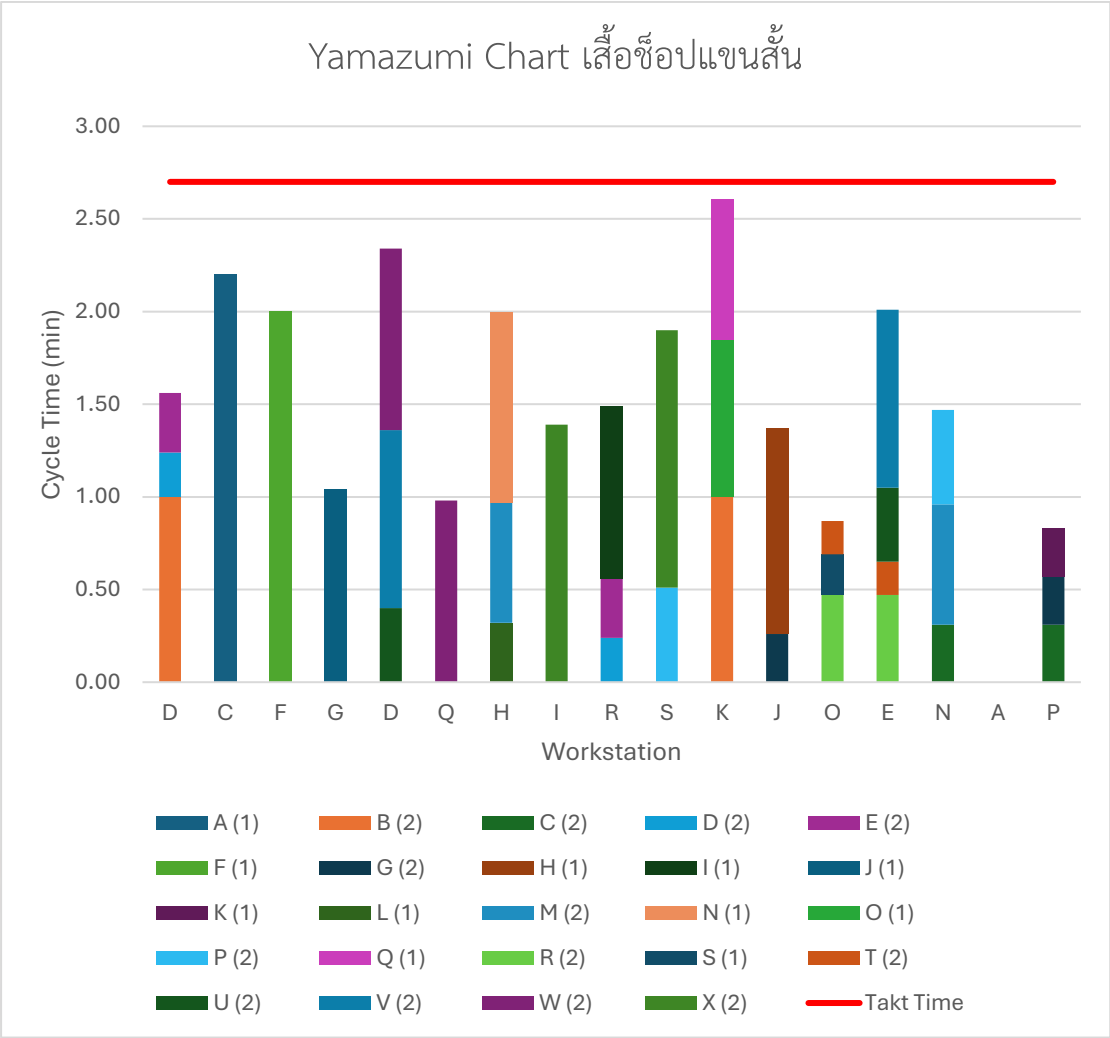
แทนค่าได้

$$\text{Line Efficiency} = \frac{65.81 \text{ min}}{5.381 \text{ min} \times 17 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Line Efficiency} = 71.94\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Line Efficiency ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 71.94 เปอร์เซ็นต์

3.5.2 Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนสั้น



ภาพที่ 3-10 Yamazumi Chart ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น

ตารางที่ 3-8 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น

ตัวชี้วัด	ค่าจากการคำนวณ	หน่วย
Tak Time	2.70	นาที
Lead Time	41.76	นาที
Process Time	26.04	นาที
Cycle Time Utilization	62.35	เปอร์เซ็นต์
Line Efficiency	60.27	เปอร์เซ็นต์

3.5.2.1 การคำนวณ Takt Time ใน Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนสั้น

จากภาพที่ 3-10 จากการเก็บข้อมูลการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น มีคำสั่งผลิต 200 ชิ้น โดยใช้เวลาในการผลิต 2 วัน โดยมีเวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จึงสามารถคำนวณค่า Takt Time ได้ตามสมการที่ 2-1

จากสมการ

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Production Time}}{\text{Customer Demand}}$$

แทนค่าได้

$$\text{Takt Time} = \frac{2 \text{ Days} \times 8 \text{ Hours} \times 60 \text{ minutes}}{200 \text{ Units}}$$

$$\text{Takt Time} = 2.70 \text{ minutes / Unit}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Takt time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 2.70 นาทีต่อชิ้น

3.5.2.2 การคำนวณ Lead Time จาก Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนสั้น

จากภาพที่ 3-10 รอบเวลาการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 2.61 นาที และมีจำนวนสถานีงานทั้งสิ้น 16 สถานี จากสมการที่ 2-3 สามารถคำนวณค่า Lead Time ได้ดังนี้

จากสมการ

$$\text{Lead Time} = \text{Max(Cycle Time)} \times \text{Number of Workstation}$$

แทนค่าได้

$$\text{Lead Time} = 2.61 \text{ min} \times 16 \text{ Stations}$$

$$\text{Lead Time} = 41.76 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Lead Time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 41.76 นาที

3.5.2.3 การคำนวณ Process Time จาก Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนสั้น

Process Time หรือระยะเวลาผลิตรวมทั้งหมด โดยเป็นผลรวมรอบเวลาการผลิตของทุกสถานีงาน สำหรับสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นมีสถานีงานทั้งสิ้น 16 สถานี แทนที่สมการได้ดังนี้

จาก

$$\text{Process Time} = \sum_{n=1}^{16} (\text{Cycle Time})$$

ได้ว่า

Process Time = 26.04 นาที

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Process Time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 26.06 นาที

3.5.2.4 การคำนวณ Cycle Time Utilizationจาก Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปสั้น

จากขั้นตอนก่อนหน้า ได้ค่า Process Time ของสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 26.04 นาที รอบเวลาสูงสุดในสายการผลิตอยู่ที่ 2.61 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 16 สถานี เมื่อนำค่าที่ได้แทนลงไปในสมการที่ 2-8 ได้ดังนี้

จาก

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Max Cycle time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

แทนค่าได้

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{26.04 \text{ min}}{2.61 \text{ min} \times 16 \text{ Stations}} \times 100\%$$

Cycle Time Utilization = 62.35%

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Cycle Time Utilization ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 62.40 เปอร์เซ็นต์

3.5.2.5 การคำนวณ Line Efficiency จาก Yamazumi Chart ของเสื้อช็อปแขนสั้น

จากขั้นตอนก่อนหน้า ได้ค่า Process Time ของสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 26.04 นาที ค่า Takt Time อยู่ที่ 2.70 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 16 สถานี เมื่อนำค่าที่ได้แทนลงไปในสมการที่ 2-5 ได้ดังนี้

จาก

$$\text{Line Efficiency} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Takt Time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

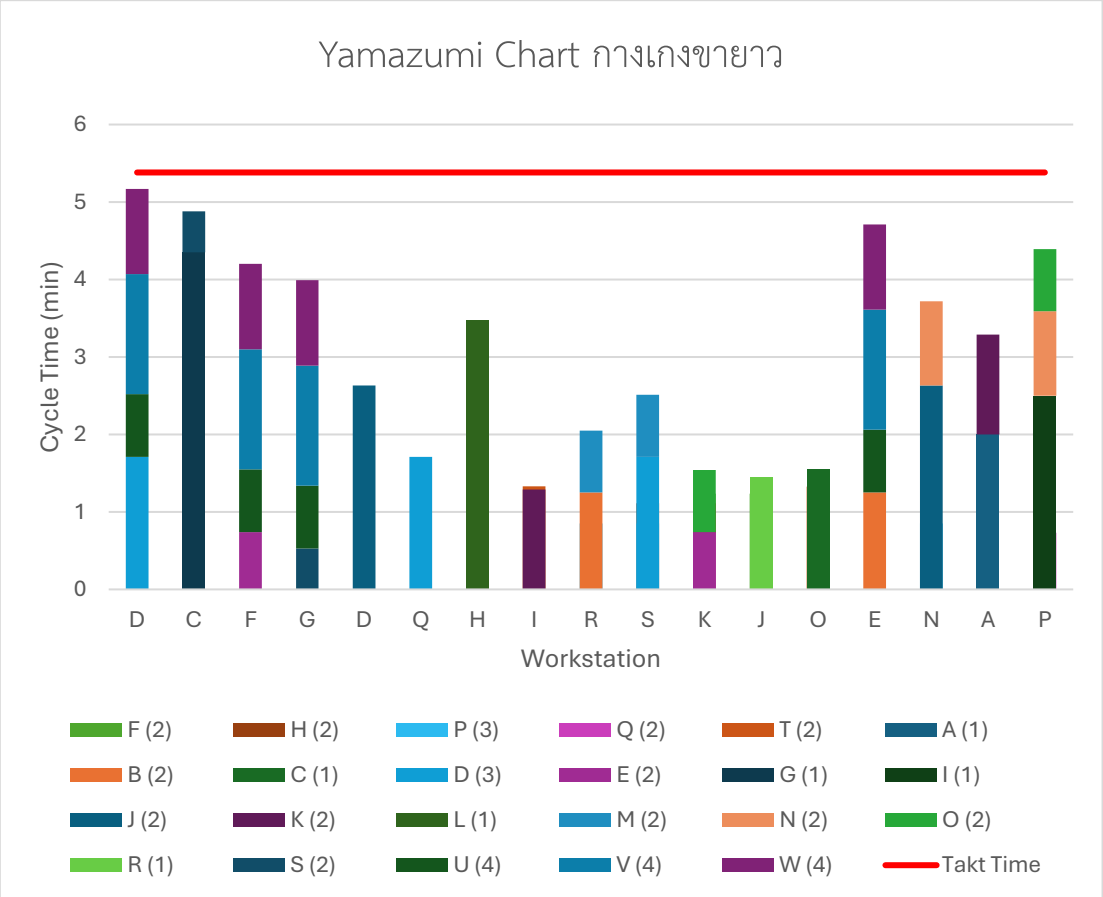
แทนค่าได้

$$\text{Line Efficiency} = \frac{26.04 \text{ min}}{2.70 \text{ min} \times 16 \text{ Stations}} \times 100\%$$

Line Efficiency = 60.27%

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Line Efficiency ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 60.27 เปอร์เซ็นต์

3.5.3 Yamazumi Chart ของกางเกงขายาว



ภาพที่ 3-11 Yamazumi Chart ของการผลิตกางเกงขายาว

ตารางที่ 3-9 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart ของการผลิตกางเกงขายาว

ตัวชี้วัด	ค่าจากการคำนวน	หน่วย
Tak Time	5.381	นาที
Lead Time	87.89	นาที
Process Time	63.88	นาที
Cycle Time Utilization	72.68	เปอร์เซ็นต์
Line Efficiency	69.83	เปอร์เซ็นต์

3.5.3.1 การคำนวณ Takt Time ใน Yamazumi Chart ของกางเกงขายาว

จากใน ภาพที่ 3-11 จากการเก็บข้อมูลการผลิตกางเกงขายาว มีคำสั่งผลิต 446 ชิ้น โดยใช้เวลาในการผลิต 5 วัน โดยมีเวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จึงสามารถคำนวณค่า Takt Time ได้ตามสมการที่ 2-1

จากสมการ

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Production Time}}{\text{Customer Demand}}$$

แทนค่าได้

$$\text{Takt Time} = \frac{5 \text{ Days} \times 8 \text{ Hours} \times 60 \text{ minutes}}{446 \text{ Units}}$$

$$\text{Takt Time} = 5.381 \text{ minutes / Unit}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Takt time ของการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 5.381 นาทีต่อชิ้น

3.5.3.2 การคำนวณ Lead Time จาก Yamazumi Chart ของกางเกงขายาว

จากภาพที่ 3-11 รอบเวลาการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 5.17 นาที และมีจำนวนสถานีงานทั้งสิ้น 17 สถานี จากสมการที่ 2-3 สามารถคำนวณค่า Lead Time ได้ดังนี้

จากสมการ

$$\text{Lead Time} = \text{Max(Cycle Time)} \times \text{Number of Workstation}$$

แทนค่าได้

$$\text{Lead Time} = 5.17 \text{ min} \times 17 \text{ Stations}$$

$$\text{Lead Time} = 87.89 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Lead Time ของการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 87.89 นาที

3.5.3.3 การคำนวณ Process Time จาก Yamazumi Chart ของกางเกงขายาว

Process Time หรือระยะเวลาผลิตรวมทั้งหมด โดยเป็นผลรวมรอบเวลาการผลิตของทุกสถานีงาน สำหรับสายการผลิตกางเกงขายาวมีสถานีงานทั้งสิ้น 17 สถานี แทนที่สมการได้ดังนี้

จาก

$$\text{Process Time} = \sum_{n=1}^{17} (\text{Cycle Time})$$

ได้ว่า

$$\text{Process Time} = 63.88 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Process Time ของการผลิตกางเกงยาวอยู่ที่ 63.88 นาที

3.5.3.4 การคำนวณ Cycle Time Utilizationจาก Yamazumi Chart ของกางเกงขายาว

จากขั้นตอนก่อนหน้า ได้ค่า Process Time ของสายการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 63.88 นาที รอบเวลาสูงสุดในสายการผลิตอยู่ที่ 5.17 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 17 สถานี เมื่อนำค่าที่ได้แทนลงไปในสมการที่ 2-8 ได้ดังนี้

จาก

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Max Cycle time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

แทนค่าได้

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{63.88 \text{ min}}{5.17 \text{ min} \times 17 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Cycle Time Utilization} = 72.68\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Cycle Time Utilization ของการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 72.68 เปอร์เซ็นต์

3.5.3.5 การคำนวณ Line Efficiency จาก Yamazumi Chart ของกางเกงขายาว

จากขั้นตอนก่อนหน้า ได้ค่า Process Time ของสายการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 63.88 นาที ค่า Takt Time อยู่ที่ 5.381 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 17 สถานี จากสมการที่ 2-5 เมื่อนำค่าที่ได้แทนค่าลงในสมการ ได้ดังนี้

จาก

$$\text{Line Efficiency} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Takt Time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

แทนค่าได้

$$\text{Line Efficiency} = \frac{63.88 \text{ min}}{5.381 \text{ min} \times 17 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Line Efficiency} = 69.83\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Line Efficiency ของการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 69.83 เปอร์เซ็นต์

3.6 การปรับปรุงผังการผลิต (Kaizen Production Plant Layout)

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้และการใช้งานแผนภาพลำดับการผลิต แผนภาพสปาเก็ตตี้ และแผนภูมิ Yamazumi ในการสะท้อนภาพสถานการณ์ของสายการผลิตเสื้อผ้า ได้ข้อสังเกตได้อย่างชัดเจนคือ เส้นทางการไหลของวัสดุที่ซับซ้อน มีการไหลย้อนศรและสวนทางกัน สถานีงานถัดไปอยู่ไกลจากกัน ทำให้มีความสูญเปล่าจากการขนย้าย (Transportation Waste) มีความยากลำบากในการติดตามสถานะของการผลิต

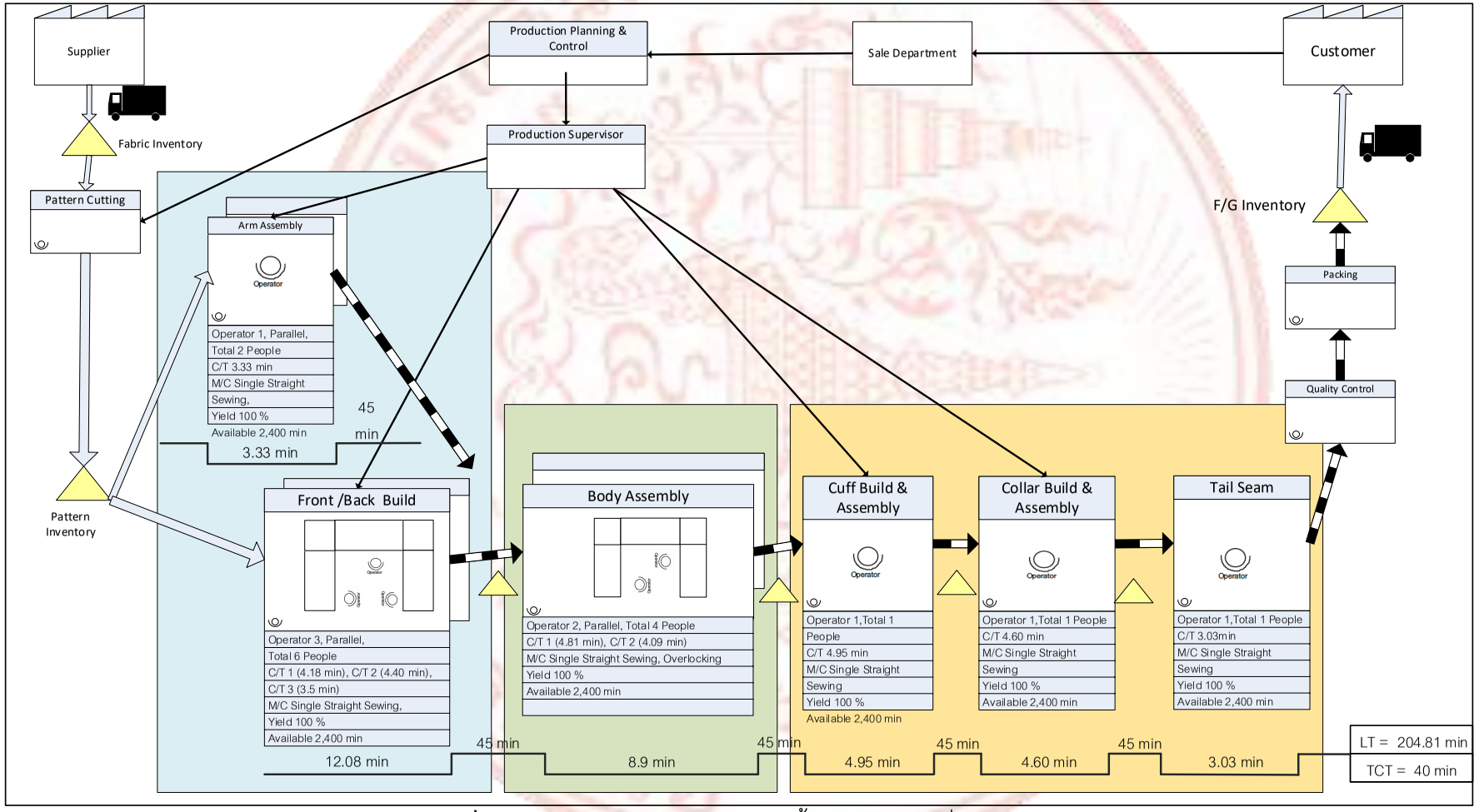
สภาพของเครื่องจักรที่ใช้ในการเย็บประกอบเสื้อผ้า คือโต๊ะเย็บผ้าไฟฟ้า ทั้งจักรผ้าไฟฟ้าเข็มเดี่ยวและจักรเย็บผ้าไฟฟ้าแบบโพ้ง ซึ่งสามารถขนย้ายและเคลื่อนย้ายตำแหน่งได้

เมื่อวิเคราะห์แผนภาพลำดับการผลิต ถ้านำแผนภาพลำดับการผลิตของทั้งสามผลิตภัณฑ์มาซ้อนทับกัน สังเกตได้ว่า ขั้นตอนในการปฏิบัติงานนั้นสามารถมีจุดร่วมกันคือการประกอบตัวชิ้นงาน หากยึดการประกอบชิ้นงานเป็นหลัก พบว่ามีกลุ่มงานก่อนการประกอบตัวและกลุ่มงานหลังการประกอบตัว

การใช้แผนผังสารธาร เห็นได้ว่าสามารถแยกกลุ่มงานเป็น 3 กลุ่ม ได้ตามสมมุติฐานของแผนภาพลำดับการผลิต โดยแสดงเป็นกรอบพื้นที่ใน ภาพที่ 3-12 ภาพที่ 3-13 และ ภาพที่ 3-14 กรอบสีฟ้าแสดงกลุ่มงานก่อนการประกอบตัว กรอบสีเขียวแสดงกลุ่มงานประกอบ และกรอบสีส้มแสดงกลุ่มงานที่ทำหลังกระบวนการประกอบตัว

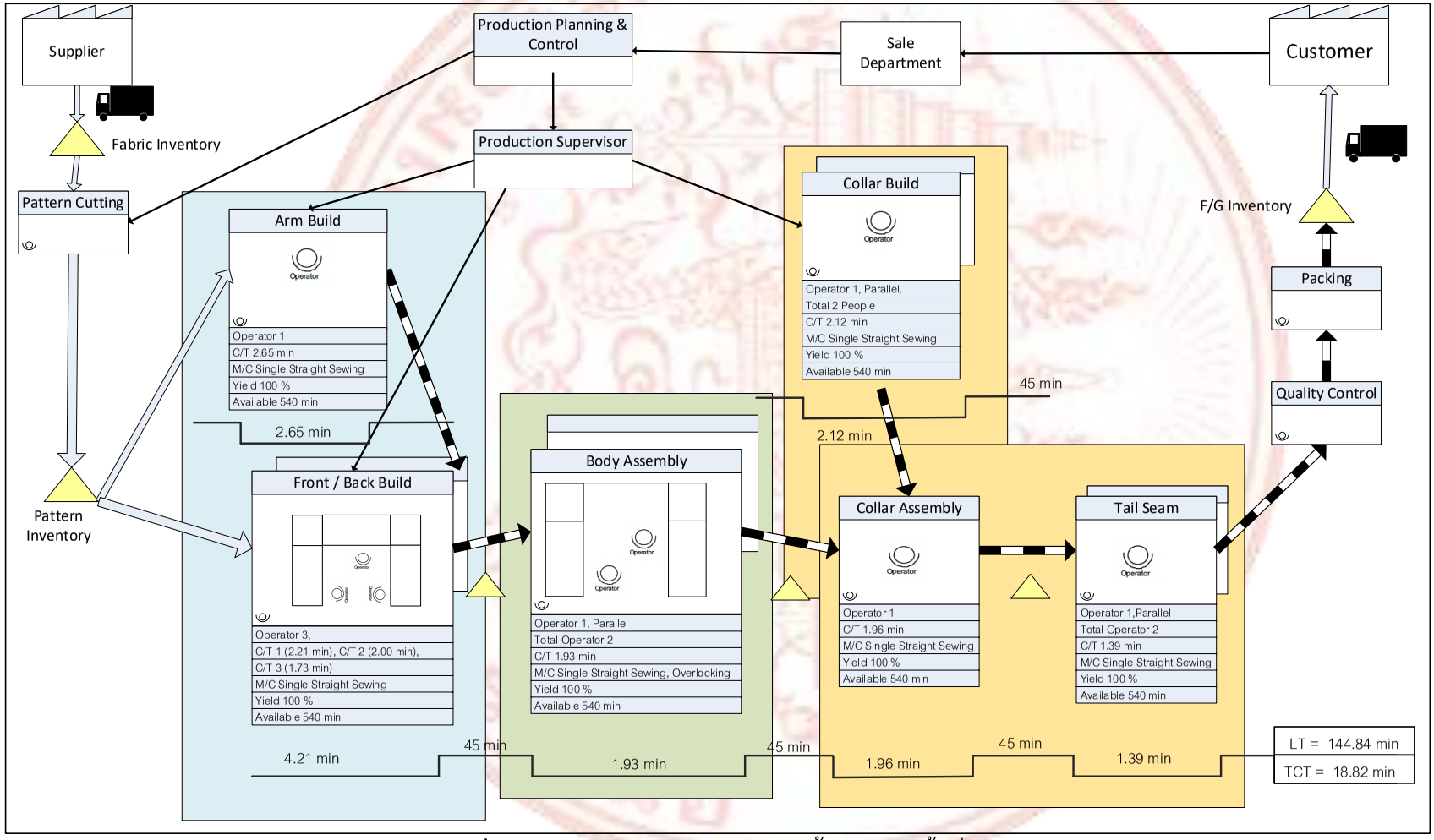
เมื่อสามารถแยกชิ้นส่วนและกระบวนการทำงานเป็นกลุ่มได้ จึงสามารถประยุกต์นำผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์มาปรับปรุงผังการผลิตปัจจุบันได้ โดยกลุ่มเซลล์แรกจะเป็นกลุ่มผลิตชิ้นส่วนและติดประกอบกระเป๋าลงชิ้นหลัก กลุ่มเซลล์ที่สองเป็นกลุ่มเซลล์ประกอบผลิตภัณฑ์ ทำหน้าที่เอาชิ้นส่วนที่เซลล์แรกผลิตได้นำมาประกอบไหล่ ประกอบข้างลำตัวเป็นตัวเสื้อซ็อปหรือกางเกง และกลุ่มเซลล์สุดท้ายเป็นกลุ่มเซลล์งานย่อย งานปิดท้าย เช่น การติดซิปกางเกง การติดหูกางเกง การทำชายเสื้อ เสร็จสิ้นแล้วจึงได้สินค้าสำเร็จ

3.6.1 แผนผังสายธารคุณค่าของเสื้อช็อปแขนยาวที่จะปรับปรุงเป็นผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์



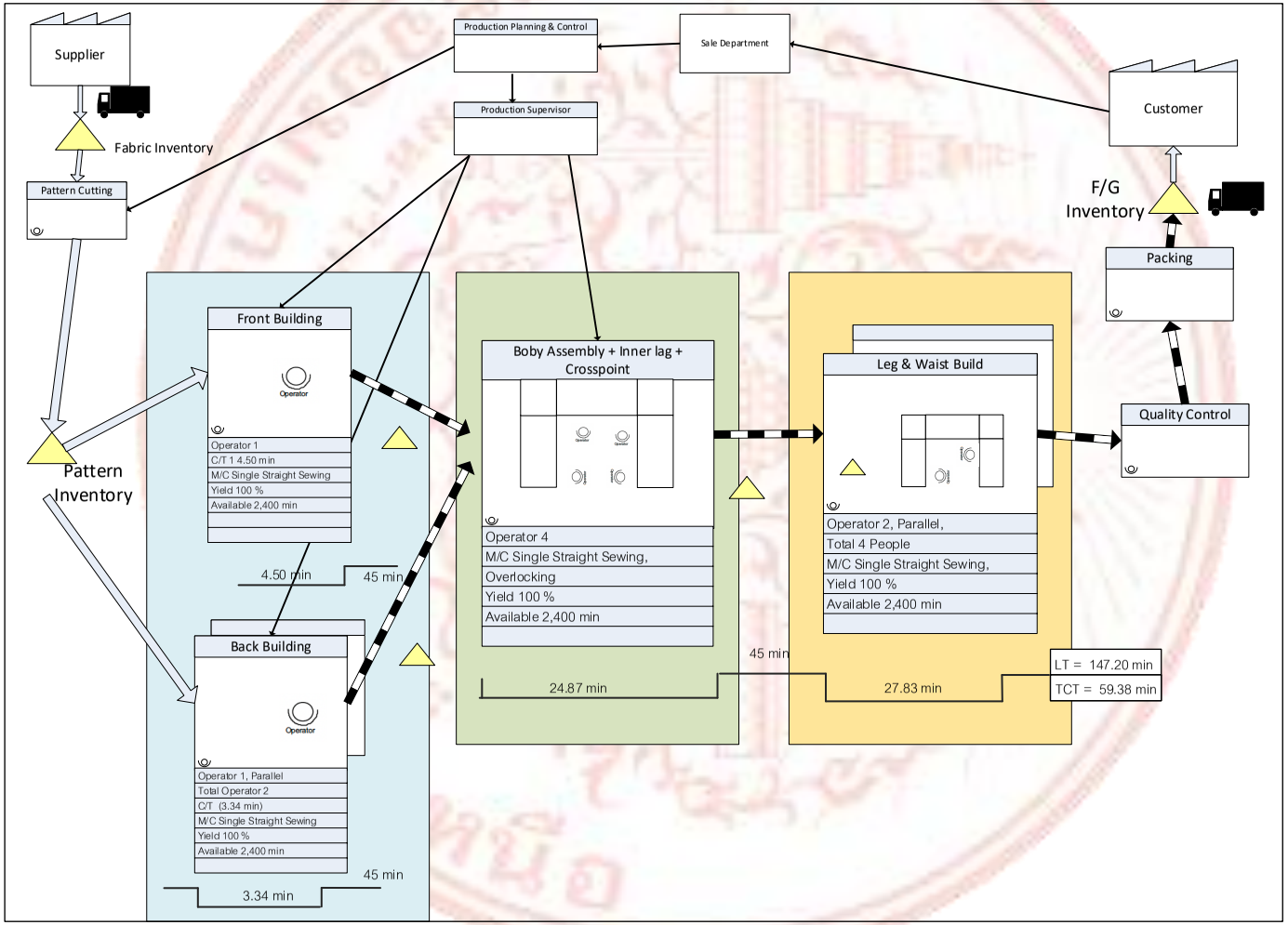
ภาพที่ 3-12 แผนผังสายธารคุณค่าของเสื้อช็อปแขนยาวที่จะปรับปรุง

3.6.2 แผนผังสายธารคุณค่าของเสื้อช็อปแขนสั้นที่จะปรับปรุงเป็นผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์



ภาพที่ 3-13 แผนผังสายธารคุณค่าของเสื้อช็อปแขนสั้นที่จะปรับปรุง

3.6.3 แผนผังสายธารคุณค่าของกางเกงขายาวที่จะปรับปรุงเป็นผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์



ภาพที่ 3-14 แผนผังสายธารคุณค่าของกางเกงขายาวที่จะปรับปรุง

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาแผนผังสายธารคุณค่าในบทที่ 3 (ภาพที่ 3-12 ภาพที่ 3-13 และ ภาพที่ 3-14) พบว่ามีลำดับขั้นตอนของกิจกรรมที่มีความคล้ายคลึงกัน จึงมีความเป็นไปได้ในการออกแบบผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์สำหรับทั้งสามผลิตภัณฑ์ สำหรับการสร้างผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์สำหรับโรงงานเสื้อผ้ากรณีศึกษามี 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การจัดสมดุลการผลิต จัดสรรงานย่อยให้แก่สถานีงานและสร้างแผนภูมิ Yamazumi
2. การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงาน ตามแผนภูมิ Yamazumi
3. การจำแนกประเภทสถานีงาน
4. การสร้างผังสายการเย็บประกอบเสื้อผ้า
5. การบูรณาการผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าเข้ากับผังสายการเย็บประกอบ
6. การวางผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ลงในพื้นที่ผังโรงงานจริง

4.1 การจัดสมดุลการผลิต จัดสรรงานย่อยให้แก่สถานีงานและสร้างแผนภูมิ Yamazumi

ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการคิด Takt Time ของกระบวนการผลิต จากนั้นเริ่มการจัดสมดุลการผลิตโดยบรรจุงานย่อยลงไปในสถานีงานทีละงานย่อย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตใหม่และปรับสมดุลภาระงาน (Workload Balancing) ให้การไหลของของการผลิตเป็นไปอย่างราบรื่น

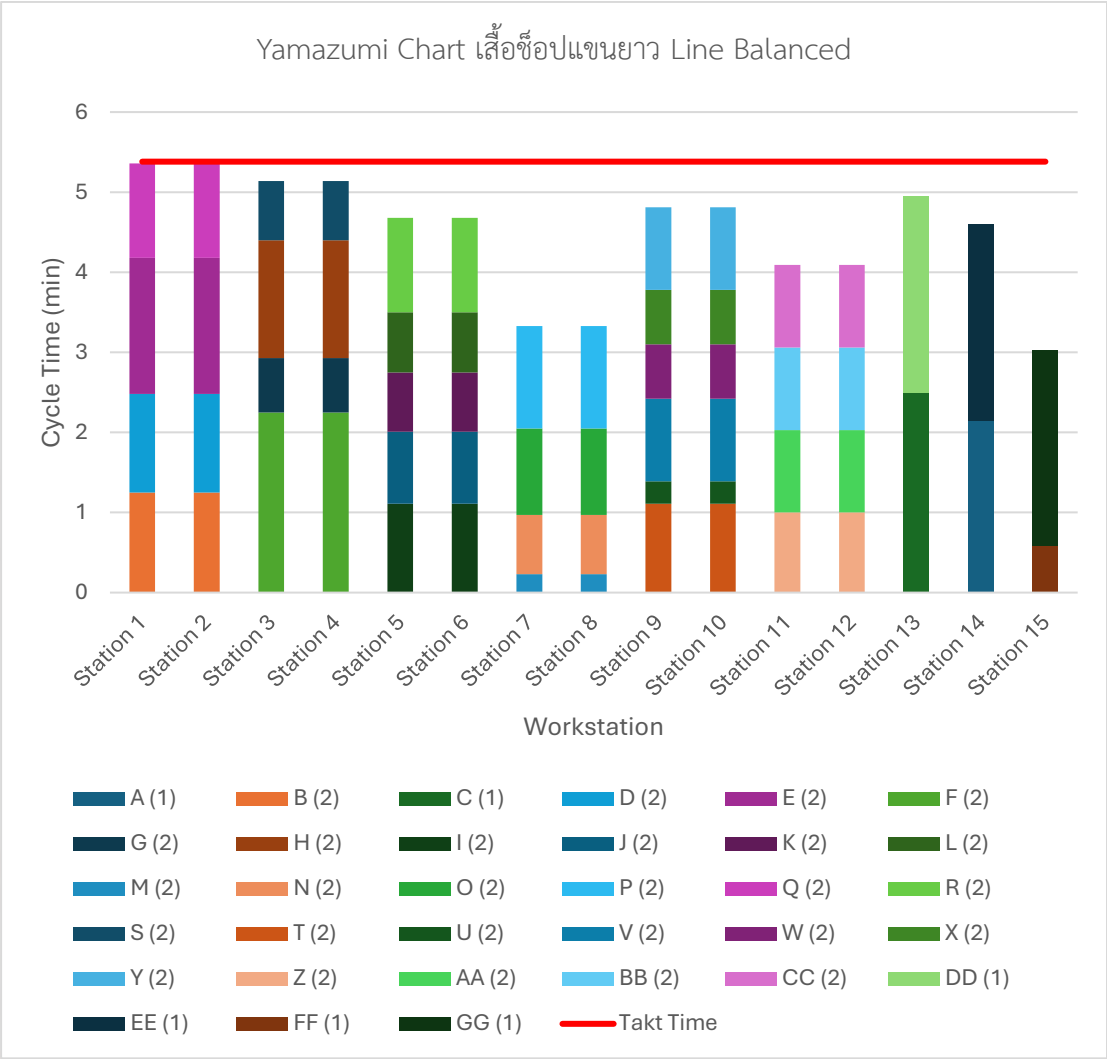
หลักเกณฑ์การจัดสรรงานย่อยเข้าสู่สถานีงาน

1. พิจารณาจากลำดับก่อนหลัง (Operation Dependency) บ้างงานย่อยจำเป็นต้องทำงานก่อนหน้าให้เสร็จก่อน เช่น งานติดปกเสื้อต้องเกิดขึ้นหลังการประกอบตัวเสื้อเสร็จสิ้น แต่หากงานย่อยใดเป็นอิสระจากกัน เช่น งานเย็บแขนเสื้อและงานเย็บข้อมือ งานย่อยนี้สามารถจัดให้อยู่ในสถานีงานที่ต่างกันได้

2. พิจารณาจากประวัติการทำงานย่อยซึ่งสามารถยืดหยุ่นได้ ในสถานีงาน (History Parallelable) เพื่อให้การออกแบบผังการผลิตใหม่การปฏิบัติใกล้เคียงกับการทำงานเดิม ทำการพิจารณาว่างานย่อยใดสามารถยืดหยุ่นการทำงานได้ โดยดูข้อมูลพนักงานได้รับมอบหมายให้ทำงานย่อย ระหว่างที่เก็บข้อมูลแผนภาพสปาเก็ตตี้

3. พิจารณาจาก เวลาว่างคงเหลือ (Slack Time) เมื่อทำการจัดสรรงานย่อยลงไปในสถานีงานทำให้เวลาว่างคงเหลือในสถานีงานลดลง แท่งรอบเวลา (Cycle Time) จะค่อยๆซ้อนทบกันสูงขึ้น หากเวลาว่างคงเหลือน้อยกว่าเวลาทำงานย่อยนั้นๆ ให้ทำการเปิดสถานีงานใหม่ สถานีงานถัดไป

4.1.1 การจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว



ภาพที่ 4-1 Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว

ตารางที่ 4-1 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว

ตัวชี้วัด	ค่าจากการคำนวน	หน่วย
Tak Time	5.381	นาที
Lead Time	80.40	นาที
Process Time	65.81	นาที
Cycle Time Utilization	81.85	เปอร์เซ็นต์
Line Efficiency	81.53	เปอร์เซ็นต์

4.1.1.1 การคำนวณ Takt Time ใน Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว

ในภาพที่ 4-1 จากการเก็บข้อมูลการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว เดิมมีคำสั่งผลิต 446 ชิ้น โดยใช้เวลาในการผลิต 5 วัน โดยมีเวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จึงสามารถคำนวณค่า Takt Time ได้ตามสมการที่ 2-1

จากสมการ

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Production Time}}{\text{Customer Demand}}$$

แทนค่าได้

$$\text{Takt Time} = \frac{5 \text{ Days} \times 8 \text{ Hours} \times 60 \text{ minutes}}{446 \text{ Unites}}$$

$$\text{Takt Time} = 5.381 \text{ minutes / Unit}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Takt time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 5.381 นาทีต่อชิ้น

4.1.1.2 การคำนวณ Lead Time จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของเสื้อช็อปแขนยาว

จากภาพที่ 4-1 รอบเวลาการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 5.36 นาที และมีจำนวนสถานีงานทั้งสิ้น 15 สถานี จากสมการที่ 2-3 สามารถคำนวณค่า Lead Time ได้ดังนี้

จากสมการ

$$\text{Lead Time} = \text{Max(cycle Time)} \times \text{Number of Workstation}$$

แทนค่าได้

$$\text{Lead Time} = 5.36 \text{ min} \times 15 \text{ Stations}$$

$$\text{Lead Time} = 80.40 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Lead Time หลังการจัดสมดุลการผลิตของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 80.40 นาที

4.1.1.3 การคำนวณ Process Time จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของเสื้อช็อปแขนยาว

Process Time หรือระยะเวลาผลิตรวมทั้งหมด โดยเป็นผลรวมรอบเวลาการผลิตของทุกสถานีงาน สำเร็จสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวหลังการจัดสมดุลสายการผลิตมีสถานีงานทั้งสิ้น 15 สถานี แทนที่สมการได้ดังนี้

จาก

$$\text{Process Time} = \sum_{n=1}^{15} (\text{Cycle Time})$$

ได้ว่า

$$\text{Process Time} = 65.81 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Process Time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวหลังการจัดสมดุลสายการผลิตอยู่ที่ 65.81 นาที

4.1.1.4 การคำนวณ Cycle Time Utilizationจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว

จากขั้นตอนก่อนหน้า Process Time ของสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวอยู่ที่ 65.81 นาที รอบเวลาสูงสุดในสายการผลิตอยู่ที่ 5.36 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 15 สถานี จากสมการที่ 2-8 เมื่อนำค่าที่ได้แทนที่จะได้

จาก

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Max Cycle time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

แทนค่าได้

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{65.81 \text{ min}}{5.36 \text{ min} \times 15 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Cycle Time Utilization} = 81.85\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Cycle Time Utilization ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวหลังการจัดมสดุลการผลิตอยู่ที่ 81.85 เปอร์เซ็นต์

4.1.1.5 การคำนวณ Line Efficiency จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว

จากขั้นตอนก่อนหน้านั้น ได้ค่า Process Time ของสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวหลังการจัดสมดุลสายการผลิต อยู่ที่ 65.81 นาที ค่า Takt Time อยู่ที่ 5.381 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 15 สถานี จากสมการที่ 2-5 เมื่อนำค่าที่ได้แทนที่จะได้

จาก

$$\text{Line Efficiency} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Takt Time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

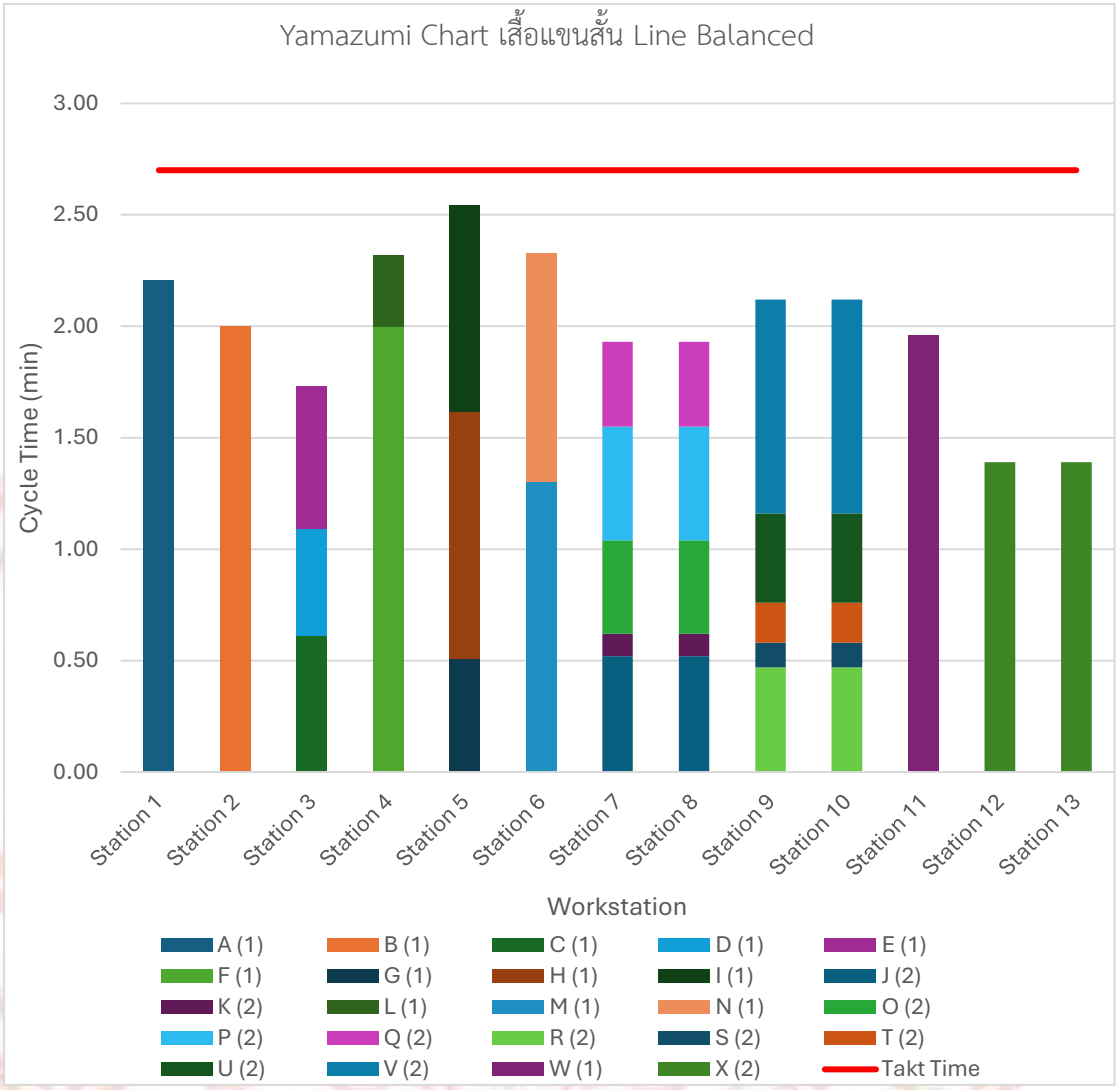
แทนค่าได้

$$\text{Line Efficiency} = \frac{65.81 \text{ min}}{5.381 \text{ min} \times 15 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Line Efficiency} = 81.53\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Line Efficiency ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวหลังการจัดสมดุลสายการผลิตอยู่ที่ 81.53 เปอร์เซ็นต์

4.1.2 การจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น



ภาพที่ 4-2 Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น

ตารางที่ 4-2 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น

ตัวชี้วัด	ค่าจากการคำนวน	หน่วย
Tak Time	2.70	นาที
Lead Time	33.09	นาที
Process Time	26.04	นาที
Cycle Time Utilization	78.70	เปอร์เซ็นต์
Line Efficiency	74.18	เปอร์เซ็นต์

4.1.2.1 การคำนวณ Takt Time ใน Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการของเสื้อช็อปแขนสั้น

จากใน ภาพที่ 4-2 จากการเก็บข้อมูลการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น เดิมมีคำสั่งผลิต 200 ชิ้น โดยใช้เวลาในการผลิต 2 วัน โดยมีเวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จึงสามารถคำนวณค่า Takt Time ได้ตามสมการที่ 2-1

จากสมการ

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Production Time}}{\text{Customer Demand}}$$

แทนค่าได้

$$\text{Takt Time} = \frac{2 \text{ Days} \times 8 \text{ Hours} \times 60 \text{ minutes}}{200 \text{ Unites}}$$

$$\text{Takt Time} = 2.70 \text{ minutes / Unit}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Takt time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 2.70 นาทีต่อชิ้น

4.1.2.2 การคำนวณ Lead Time จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น

จากภาพที่ 4-2 รอบเวลาการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 2.55 นาที และมีจำนวนสถานีงานทั้งสิ้น 13 สถานี จากสมการที่ 2-3 สามารถคำนวณค่า Lead Time ได้ดังนี้

จากสมการ

$$\text{Lead Time} = \text{Max(cycle Time)} \times \text{Number of Workstation}$$

แทนค่าได้

$$\text{Lead Time} = 2.55 \text{ min} \times 13 \text{ Stations}$$

$$\text{Lead Time} = 33.09 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Lead Time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นหลังการจัดสมดุลสายการผลิตอยู่ที่ 33.09 นาที

4.1.2.3 การคำนวณ Process Time จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น

Process Time หรือระยะเวลาผลิตรวมทั้งหมด โดยเป็นผลรวมรอบเวลาการผลิตของทุกสถานีงาน สำเร็จสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นมีสถานีงานทั้งสิ้น 13 สถานี แทนที่สมการได้ดังนี้

จาก

$$\text{Process Time} = \sum_{n=1}^{13} (\text{Cycle Time})$$

ได้ว่า

$$\text{Process Time} = 26.04 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Process Time ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นหลังการจัดสมดุลสายการผลิตอยู่ที่ 26.04 นาที

4.1.2.4 การคำนวณ Cycle Time Utilizationจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปสั้น

จากขั้นตอนก่อนหน้า Process Time ของสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 26.04 นาที รอบเวลาสูงสุดในสายการผลิตอยู่ที่ 2.55 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 13. สถานี จากสมการที่ 2-8 เมื่อนำค่าที่ได้แทนที่จะได้

จาก

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Max Cycle time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

แทนค่าได้

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{26.04 \text{ min}}{2.55 \text{ min} \times 13 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Cycle Time Utilization} = 78.70\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Cycle Time Utilization หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นอยู่ที่ 78.70 เปอร์เซ็นต์

4.1.2.5 การคำนวณ Line Efficiency จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น

จากขั้นตอนก่อนหน้า Process Time ของสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นหลังหารจัดสมดุลสายการผลิตอยู่ที่ 26.04 นาที ค่า Takt Time อยู่ที่ 2.70 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 13 สถานี จากสมการที่ 2-5 เมื่อนำค่าที่ได้แทนที่จะได้

จาก

$$\text{Line Efficiency} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Takt Time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

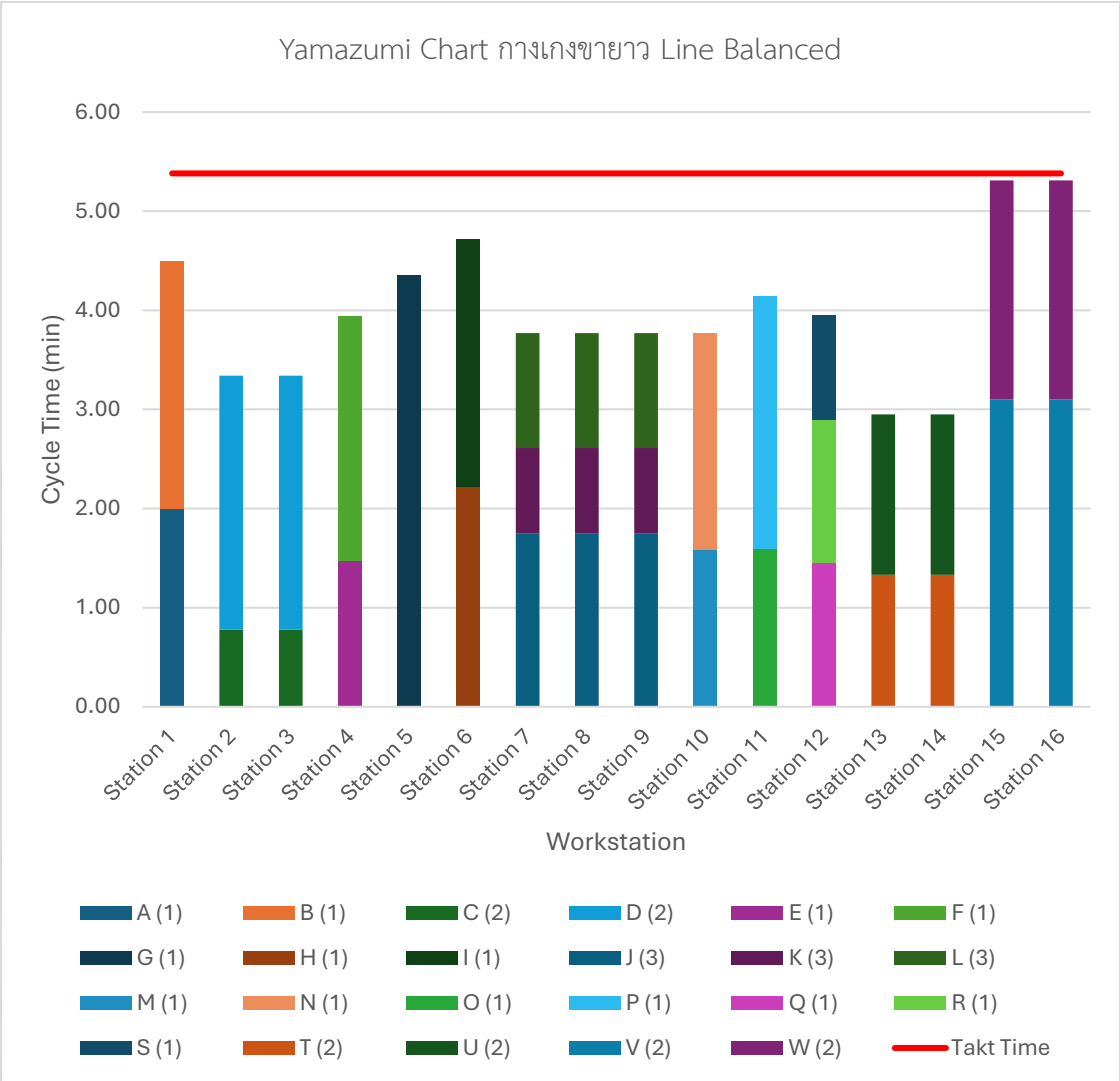
แทนค่าได้

$$\text{Line Efficiency} = \frac{26.04 \text{ min}}{2.70 \text{ min} \times 13 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Line Efficiency} = 74.18\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Line Efficiency ของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นหลังการจัดสมดุลสายการผลิตอยู่ที่ 74.18 เปอร์เซ็นต์

4.1.3 การจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาว



ภาพที่ 4-3 Yamazumi Chart หลังการจัดดุลสายการของการผลิตกางเกงขายาว

ตารางที่ 4-3 สรุปตัวชี้วัดจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลของการผลิตกางเกงขายาว

ตัวชี้วัด	ค่าจากการคำนวน	หน่วย
Tak Time	5.381	นาที
Lead Time	84.96	นาที
Process Time	63.88	นาที
Cycle Time Utilization	75.19	เปอร์เซ็นต์
Line Efficiency	74.19	เปอร์เซ็นต์

4.1.3.1 การคำนวณ Takt Time ใน Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาว

จากใน ภาพที่ 4-3 จากการเก็บข้อมูลการผลิตกางเกงขายาว เดิมมีคำสั่งผลิต 446 ชิ้น โดยใช้เวลาในการผลิต 5 วัน โดยมีเวลาทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จึงสามารถคำนวณค่า Takt Time ได้ตามสมการที่ 2-1

จากสมการ

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Available Production Time}}{\text{Customer Demand}}$$

แทนค่าได้

$$\text{Takt Time} = \frac{5 \text{ Days} \times 8 \text{ Hours} \times 60 \text{ minutes}}{446 \text{ Unites}}$$

$$\text{Takt Time} = 5.381 \text{ minutes / Unit}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Takt time ของการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 5.381 นาทีต่อชิ้น

4.1.3.2 การคำนวณ Lead Time จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาว

จากภาพที่ 4-3 รอบเวลาการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 5.31 นาที และมีจำนวนสถานีงานทั้งสิ้น 16 สถานี จากสมการที่ 2-3 สามารถคำนวณค่า Lead Time ได้ดังนี้

จากสมการ

$$\text{Lead Time} = \text{Max(cycle Time)} \times \text{Number of Workstation}$$

แทนค่าได้

$$\text{Lead Time} = 5.31 \text{ min} \times 16 \text{ Stations}$$

$$\text{Lead Time} = 84.96 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Lead Time หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 84.96 นาที

4.1.3.3 การคำนวณ Process Time จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาว

Process Time หรือระยะเวลาผลิตรวมทั้งหมด โดยเป็นผลรวมรอบเวลาการผลิตของทุกสถานีงานสำเร็จสายการผลิตกางเกงขายาวมีสถานีงานทั้งสิ้น 16 สถานี แทนที่สมการได้ดังนี้

จาก

$$\text{Process Time} = \sum_{n=1}^{16} (\text{Cycle Time})$$

ได้ว่า

$$\text{Process Time} = 63.88 \text{ นาที}$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Process Time หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของการผลิตกางเกงยาวอยู่ที่ 63.88 นาที

4.1.3.4 การคำนวณ Cycle Time Utilizationจาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาว

จากขั้นตอนก่อนหน้า Process Time ของสายการผลิตหลังจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาวอยู่ที่ 63.88 นาที รอบเวลาสูงสุดในสายการผลิตอยู่ที่ 5.31 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 16 สถานี จากสมการที่ 2-8 เมื่อนำค่าที่ได้แทนที่จะได้

จาก

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Max Cycle time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

แทนค่าได้

$$\text{Cycle Time Utilization} = \frac{63.88 \text{ min}}{5.31 \text{ min} \times 16 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Cycle Time Utilization} = 75.19\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Cycle Time Utilization ของหลังการจัดสมดุลสายการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 75.19 เปอร์เซ็นต์

4.1.3.5 การคำนวณ Line Efficiency จาก Yamazumi Chart หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาว

จากขั้นตอนก่อนหน้า Process Time หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของสายการผลิตกางเกงขายาวอยู่ที่ 63.88 นาที ค่า Takt Time อยู่ที่ 5.381 นาที และจำนวนสถานีงานในสายการผลิตมีที่สิ้น 16 สถานี จากสมการที่ 2-5 เมื่อนำค่าที่ได้แทนที่จะได้

จาก

$$\text{Line Efficiency} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Takt Time} \times \text{Number of Station}} \times 100\%$$

แทนค่าได้

$$\text{Line Efficiency} = \frac{63.88 \text{ min}}{5.381 \text{ min} \times 16 \text{ Stations}} \times 100\%$$

$$\text{Line Efficiency} = 74.19\%$$

ได้ผลลัพธ์ว่าค่า Line Efficiency หลังการจัดสมดุลสายการผลิตของกางเกงขายาวอยู่ที่ 74.19 เปอร์เซ็นต์

4.2 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงาน ตามแผนภูมิ Yamazumi

ภายหลังการจัดงานย่อยเข้าสู่แต่ละสถานีงานด้วยแผนภูมิ Yamazumi ขั้นตอนถัดมาคือการจับคู่สถานีงานกับเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละงานย่อย ในกระบวนการเย็บเสื้อผ้า งานย่อยแต่ละงานต้องการเครื่องจักรเย็บเฉพาะ ในกรณีนี้คือ โต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยวและโต๊ะจักรโพ้ง ถ้าสถานีงานนั้นๆ มีงานย่อยที่มีความต้องการใช้โต๊ะจักรเย็บเพียงแค่ชนิดเดียวก็จะสามารถจับคู่โต๊ะจักรเย็บกับสถานีงานได้โดยตรง ตัวอย่างเช่น ในการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว สถานีงานที่ 15 ทำงานย่อย FF และ GG ซึ่งต้องการใช้โต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยวทั้ง 2 งานย่อย จึงสามารถจับคู่งานย่อยทั้งสองกับโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว

แต่บางกรณีสถานีงานนึงอาจมีงานย่อยซึ่งใช้โต๊ะจักรเย็บที่ต่างชนิดกัน เช่น สถานีงานที่ 1 ในภาพที่ 4-4 ในการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว สถานีงานที่ 1 ประกอบด้วยงานย่อย B, D และ E โดยที่งานย่อย B และ D ต้องปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว ส่วนงาน E ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง การจัดสถานีงานนี้ใหม่ เพื่อลดการเคลื่อนที่ของพนักงานทำได้โดยจัดโต๊ะต่อกัน โดยให้ด้านซ้ายมือของพนักงานเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว ปฏิบัติงาน B และ D ด้านขวามือของพนักงานวางโต๊ะจักรเย็บโพ้ง เพื่อปฏิบัติงาน E พนักงานสามารถที่จะเลื่อนเก้าอี้ซ้าย-ขวา เพื่อปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแต่ละชนิดตามงานที่มอบหมายได้

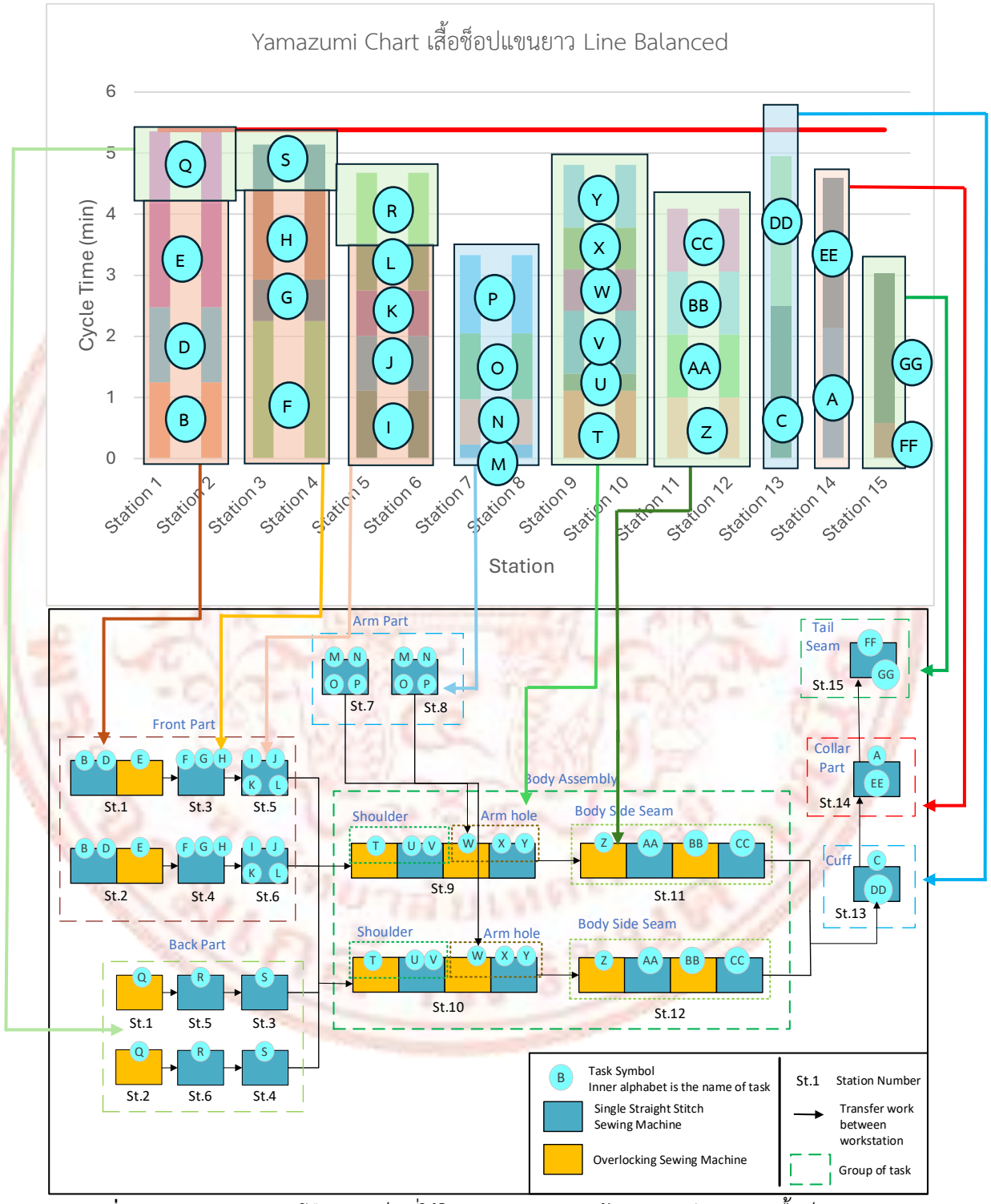
ในขั้นตอนการจับคู่สถานีงานกับโต๊ะนี้ แนะนำให้เขียนสถานีงานโดยอ้างอิงตามส่วนประกอบของตัวเครื่องนุ่มห่ม ตัวอย่างเช่น ในการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว สถานีงานที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ซึ่งทำงานย่อยเกี่ยวกับชิ้นหน้าเสื้อและชิ้นหลังเสื้อ จึงทำการแยก กลุ่มงานย่อยบนชิ้นหน้าเสื้อ ได้แก่ B, D, E, F, G, H, I, J, K และ L กับกลุ่มงานย่อยบนชิ้นหลังเสื้อ ได้แก่ Q, R และ S ออกจากกัน แล้ววาดกรอบชิ้นส่วนคนละกรอบ สาเหตุของการเขียนแยกส่วนประกอบเครื่องนุ่งห่มกับสถานีงาน

1. เหตุผลการประกอบเครื่องนุ่มห่ม (Garment Pattern Logic) เพื่อให้สอดคล้องและชัดเจนกับหลักการเย็บประกอบชิ้นส่วนก่อน-หลัง องค์ประกอบรวมของเครื่องนุ่มห่ม

2. ง่ายต่อการสื่อสาร และชัดเจนในกระบวนการผลิต (Ease to communicate and clarify) หากเขียนงานย่อยและสถานีงานรวมกัน ทำให้มีข้อสงสัยว่าชิ้นส่วนหลังเสื้อหายไปจากกระบวนการผลิต การเขียนแยกชิ้นส่วนช่วยให้ง่ายต่อการสื่อสารกับหัวหน้างานแผนกเย็บ

สำหรับแผนภาพในขั้นตอนการจับคู่สถานีงานนี้ ใช้สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีน้ำเงินแทนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีส้มแทนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง งานย่อยบนแต่ละสถานีงานแทนด้วยวงกลมพร้อมตัวอักษรแทนงานย่อย กรอบเส้นประแสดงกลุ่มงานหรือชิ้นส่วนที่ทำงานนั้นๆ

4.2.1 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานตามแผนภูมิ Yamazumi ของเสื้อช็อปแขนยาว



ภาพที่ 4-4 แสดงการจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานเข้ากับสถานีงานของเสื้อช็อปแขนยาว

การจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานย่อยเข้ากับแผนภูมิ Yamazumi ของเสื้อช็อปแขนยาว เริ่มโดยการนำแผนภูมิ Yamazumi มาพิจารณาควบคู่กับแผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาว จากภาพที่ 4-4 เห็นได้ดังนี้

สถานีงานที่ 1 และที่ 2 แสดงในกรอบสีส้มเข้ม ผลิตชิ้นส่วนหน้าเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย B, D และ E โดยที่งาน B และ D ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเข็มเดี่ยว งาน E ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บโพ้ง จึงจัดวางสถานีงานแบบ 2 โต๊ะชิดกัน โดยด้านซ้ายเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยวและด้านขวาเป็นโต๊ะจักรเย็บโพ้ง คู่ขนานกัน

สถานีงานที่ 3 และที่ 4 แสดงในกรอบสีส้ม ผลิตชิ้นส่วนหน้าเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย F, G และ H โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเข็มเดี่ยว 2 โต๊ะ ทำงานขนานกัน

สถานีงานที่ 5 และที่ 6 แสดงในกรอบสีส้มอ่อน ผลิตชิ้นส่วนหน้าเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย I, J และ K โดยที่งานย่อยทั้งหมด สามารถปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเข็มเดี่ยว 2 โต๊ะ ทำงานขนานกัน

ส่วนงานย่อย Q, R และ S ซึ่งปฏิบัติงานบนสถานีงานที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 แสดงในกรอบสีเขียวอ่อนด้านบนแท่งรอบเวลา แยกออกมาเป็นอีกสถานีชั่วคราว เพื่อความสะดวกในการแบ่งประเภทชิ้นส่วนที่ทำงานซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลังเสื้อ โดยที่งานย่อย Q ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง และงานย่อย R และ S ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบเดี่ยว จึงจัดวางสถานีงานแบบ 2 โต๊ะชิดกัน โดยด้านซ้ายเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้งและด้านขวาเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว 2 สถานีงาน ขนานการทำงานกัน

สถานีงานที่ 7 และที่ 8 แสดงในกรอบสีฟ้าอ่อน ทำชิ้นแขนเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย M, N, O และ P ซึ่งงานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเข็มเดี่ยว 2 โต๊ะ ทำงานขนานกัน

สถานีงานที่ 9 และที่ 10 แสดงในกรอบสีเขียว เป็นการประกอบไหล่และเข้าวงแขนเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย T, U, V, W, X และ Y โดยที่งานย่อย T และ W ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง ส่วนงานย่อย U, V, X และ Y ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดวางสถานีงานแบบ 2 โต๊ะชิดกัน โดยด้านซ้ายเป็นโต๊ะจักรเย็บโพ้ง และด้านขวาเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จำนวน 4 โต๊ะ สองการทำงานขนานกัน

สถานีงานที่ 11 และที่ 12 แสดงในกรอบสีเขียวเข้ม เป็นการเย็บข้างลำตัวเอว ประกอบด้วยงานย่อย Z, AA, BB และ CC โดยที่งานย่อย Z และ BB ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง ส่วนงานย่อย AA และ CC ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดวางสถานีงานแบบ 2 โต๊ะชิดกัน โดย

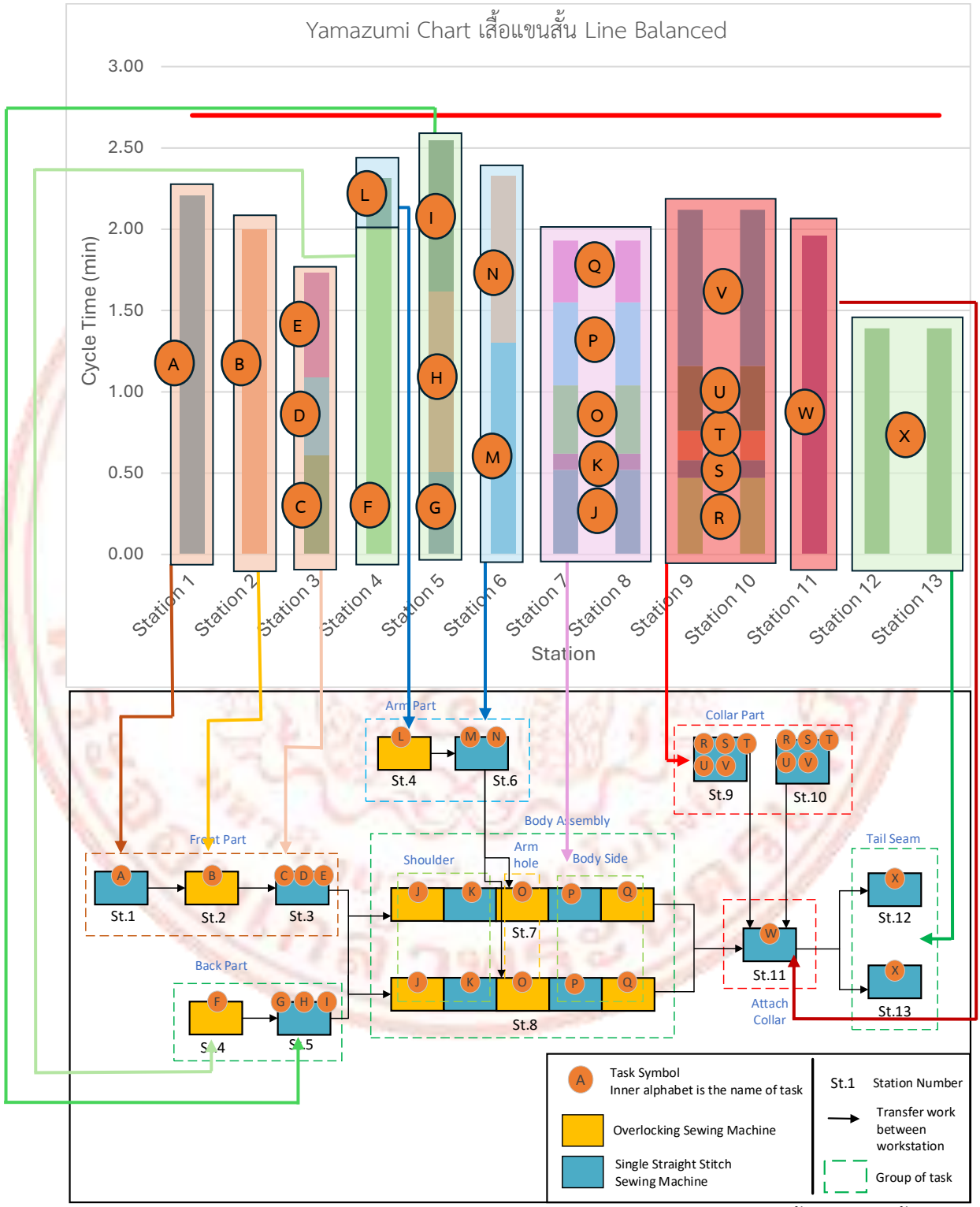
ให้ด้านซ้ายเป็นโต๊ะจักรเย็บโพ้ง และด้านขวาเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จำนวน 4 โต๊ะ สองการทำงานขนานกัน

สถานีงานที่ 13 แสดงในกรอบสีฟ้า เป็นงานประกอบชิ้นแถบข้อมือและเย็บเข้าข้อมือ ประกอบด้วยงานย่อย C และ DD โดยที่งานย่อยทั้งหมด สามารถปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 14 แสดงในกรอบสีแดง เป็นงานทำปกเสื้อและประกอบเข้าปกเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย A และ EE โดยที่งานย่อยทั้งหมด สามารถปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 15 แสดงในกรอบสีเขียว เป็นการเย็บเก็บชายเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย FF และ GG โดยที่งานย่อยทั้งหมด สามารถปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

4.2.2 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานตามแผนภูมิ Yamazumi ของเสื้อช็อปแขนสั้น



ภาพที่ 4-5 แสดงการจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานเข้ากับสถานีงานของเสื้อช็อปแขนสั้น

การจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานย่อยเข้ากับแผนภูมิ Yamazumi ของเสื้อช็อปแขนสั้น เริ่มด้วยการนำแผนภูมิ Yamazumi ของเสื้อช็อบแขนสั้น มาพิจารณาควบคู่กับแผนภาพลำดับการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น จากภาพที่ 4-5 เห็นได้ดังนี้

สถานีงานที่ 1 แสดงในกรอบสีส้มเข้ม ทำชิ้นส่วนหน้าเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย A โดยที่งาน A ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 2 แสดงในกรอบสีส้ม ทำชิ้นส่วนหน้าเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย B โดยที่งาน B ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 3 แสดงในกรอบสีชมพู ทำชิ้นส่วนหน้าเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย C, D และ E โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 4 แสดงในกรอบสีเขียวอ่อน ทำชิ้นส่วนหลังเสื้อเป็นงานย่อย F และกรอบสีน้ำเงินทำชิ้นแขนเสื้อเป็นงานย่อย L ทั้งสองงานย่อย ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง แต่แยกการเขียนชั่วคราวเพื่อให้พิจารณางานย่อยที่ทำบนแต่ละชิ้นส่วน

สถานีงานที่ 5 แสดงในกรอบสีเขียว ทำชิ้นส่วนหลังเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย M และ N โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 6 แสดงในกรอบสีน้ำเงิน ทำชิ้นส่วนแขนเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย G, H และ I โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

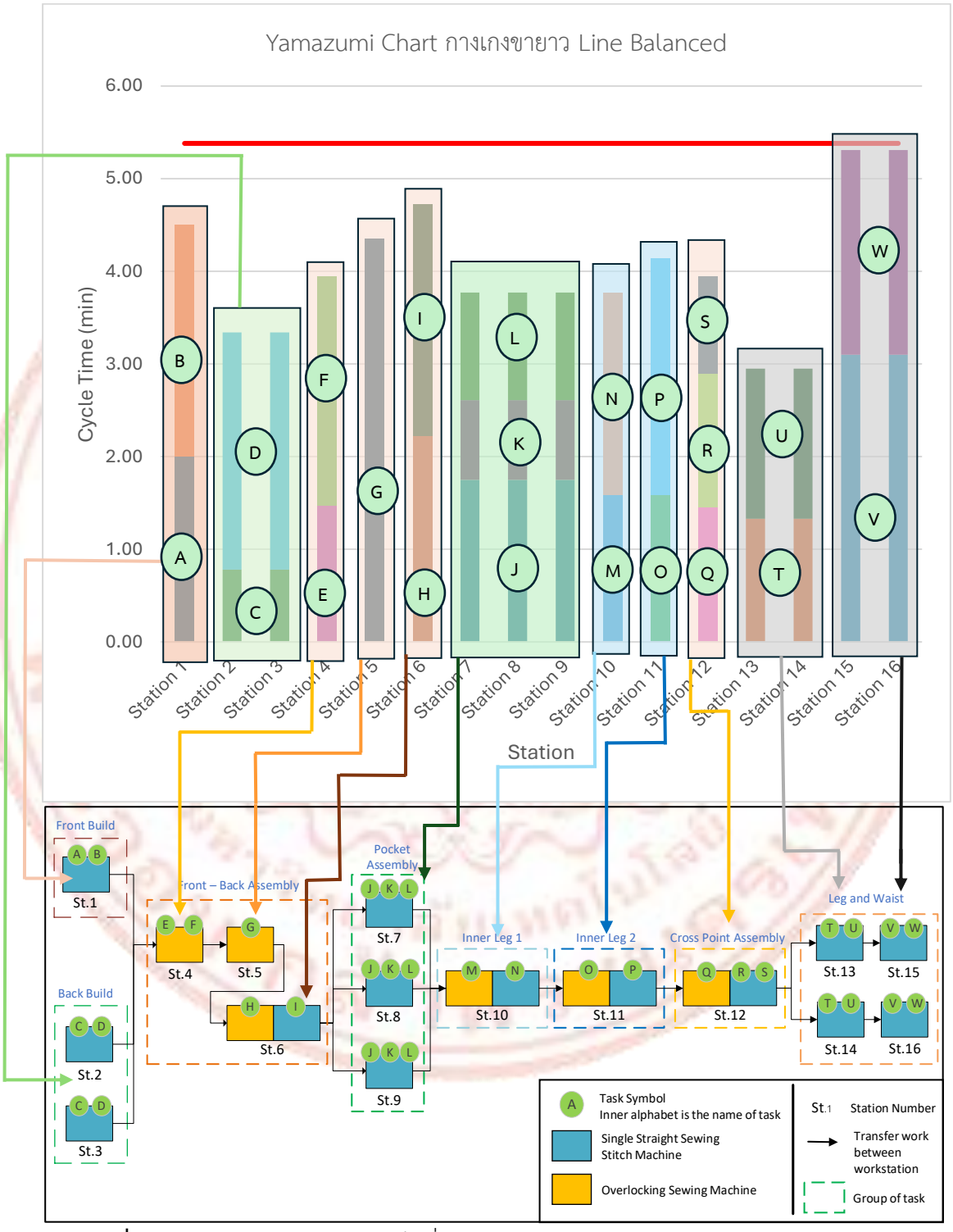
สถานีงานที่ 7 และที่ 8 แสดงในกรอบสีม่วงอ่อน ทำการประกอบร่างตัวเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย J, K, O, P และ Q โดยที่งานย่อย J, O และ Q ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง ส่วนงานย่อย K และ P ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว ทำการเขียนแผนภาพแยกเพื่อให้เห็นลำดับการผลิตกับเครื่องจักรที่ใช้อย่างชัดเจน สถานีทั้งสองทำงานขนานกัน

สถานีงานที่ 9 และที่ 10 แสดงในกรอบสีแดง ทำการเย็บแถบปกเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย R, S, T, U และ V โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว 2 โต๊ะ ขนานการทำงานกัน

สถานีงานที่ 11 แสดงในกรอบสีแดงเข้ม ทำการเย็บประกอบเข้าปก ประกอบด้วยงานย่อย W โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 12 และที่ 13 แสดงในกรอบสีเขียว ทำการเย็บเก็บชายเสื้อ ประกอบด้วยงานย่อย X โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว 2 โต๊ะ ทำงานขนานกัน

4.2.3 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานตามแผนภูมิ Yamazumi ของกางเกงขายาว



ภาพที่ 4-6 แสดงการจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานเข้ากับสถานีงานของกางเกงขายาว

การจับคู่โต๊ะจักรเย็บที่ใช้ในการปฏิบัติงานย่อยเข้ากับแผนภูมิ Yamazumi ของกางเกงขายาว เริ่มด้วยการนำแผนภูมิ Yamazumi ของกางเกงขายาว มาพิจารณาควบคู่กับแผนภาพลำดับการผลิตของกางเกงขายาว จากภาพที่ 4-6 เห็นได้ดังนี้

สถานีงานที่ 1 แสดงในกรอบสีครีม ทำชิ้นส่วนหน้ากางเกง ประกอบด้วยงานย่อย A และ B โดยที่งาน A และ B ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 2 และที่ 3 แสดงในกรอบสีเขียว ทำชิ้นส่วนหลังกางเกง ประกอบด้วยงานย่อย C และ D โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว 2 โต๊ะ ทำงานขนานกัน

สถานีงานที่ 4 แสดงในกรอบสีส้ม ทำการประกอบตัวกางเกง ประกอบด้วยงานย่อย E และ F โดยที่งานย่อยทั้งสองปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 5 แสดงในกรอบสีส้มเข้ม ทำการประกอบตัวกางเกง ประกอบด้วยงานย่อย G โดยปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง 1 โต๊ะ

สถานีงานที่ 6 แสดงในกรอบสีแดงเข้ม ทำการประกอบตัวกางเกง ประกอบด้วยงานย่อย H และ I โดยที่งานย่อย H ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง ส่วนงานย่อย I ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้งด้านซ้าย ต่อชิดด้วยโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยวด้านขวา

สถานีงานที่ 7 8 และ 9 แสดงในกรอบสีเขียวเข้ม ทำการเย็บติดกระเป๋า ประกอบด้วยงานย่อย J, K และ L โดยที่งานย่อยทั้งหมดปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ ทำงานขนานกัน 3 สถานีงาน

สถานีงานที่ 10 แสดงในกรอบสีฟ้าอ่อน ทำการประกอบขาในกางเกง ประกอบด้วยงานย่อย M และ N โดยที่งานย่อย M ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง ส่วนงานย่อย N ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะเย็บต่อกัน โดยด้านซ้ายเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้งและด้านขวาเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว

สถานีงานที่ 11 แสดงในกรอบสีน้ำเงิน ทำการประกอบขาในกางเกง ประกอบด้วยงานย่อย O และ P โดยที่งานย่อย O ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง ส่วนงานย่อย P ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะเย็บต่อกัน โดยด้านซ้ายเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้งและด้านขวาเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว

สถานีงานที่ 12 แสดงในกรอบสีส้มเหลือง ทำการเย็บเป้ากางเกง ประกอบด้วยงานย่อย Q, R และ S โดยที่งานย่อย Q ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้ง ส่วนงานย่อย R และ S ปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะเย็บต่อกัน โดยด้านซ้ายเป็นโต๊ะจักรเย็บแบบโพ้งและด้านขวาเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว

สถานีงานที่ 13 และที่ 14 แสดงในกรอบสีเทา ทำการเย็บชายขากางเกง ประกอบด้วยงานย่อย T และ U โดยที่งานย่อยทั้งสองปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ ทำงานขนานกัน 2 สถานีงาน

สถานีงานที่ 15 และที่ 16 แสดงในกรอบสีครีม ทำการเย็บขอบเอวและใส่หูกางเกง ประกอบด้วยงานย่อย V และ W โดยที่งานย่อยทั้งสองปฏิบัติงานบนโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว จึงจัดสถานีงานเป็นโต๊ะจักรเย็บเข็มเดี่ยว 1 โต๊ะ ทำงานขนานกัน 2 สถานีงาน

4.3 การจำแนกประเภทสถานีงาน

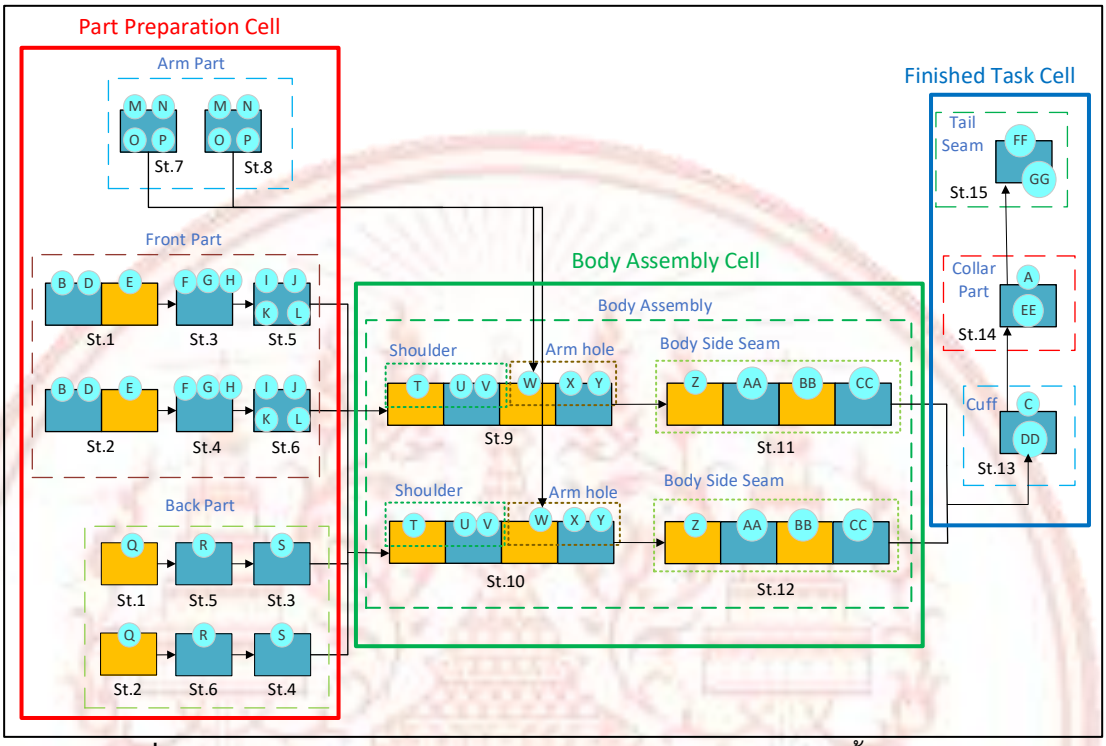
ขั้นตอนที่ 3 คือการจัดประเภทของสถานีงานลงไปในประเภทของกลุ่มเซลลูล่าร์ โดยจำแนกตามประเภทของงานที่ทำงาน ชิ้นส่วนที่ผลิต และวัตถุประสงค์ของงานนั้นๆ โดยสถานีงานจะถูกจัดประเภทลงไป 1 ใน 3 กลุ่มใหญ่ดังต่อไปนี้

1. เซลลูล่าร์เตรียมชิ้นส่วน (Part Preparation Cell) เป็นกลุ่มเซลล์ลูล่าร์ครอบคลุมสถานีงานเริ่มต้นของกระบวนการผลิต ทำงานกับชิ้นส่วนย่อย ก่อนนำส่งเข้าทำการเย็บประกอบ งานที่จัดในส่วนเซลล์ลูล่าร์นี้ เช่น งานเย็บเกล็ดชิ้นหน้าเสื้อ ตีเกล็ดชิ้นหลัง ติดกระเป๋าชิ้นหน้าอก และทำแขนเสื้อ

2. เซลลูล่าร์ประกอบตัวผลิตภัณฑ์ (Body Assembly Cell) เป็นเซลล์การผลิตที่มีจุดประสงค์เพื่อการประกอบเชื่อมต่อตัวเสื้อหรือกางเกง โดยรับชิ้นส่วนที่ผลิตจากเซลล์เตรียมชิ้นส่วนมาทำการเย็บประกอบให้เป็นโครงชิ้นงานเสื้อผ้าสมบูรณ์ งานที่จัดลงในส่วนเซลลูล่าร์นี้ ได้แก่ งานประกอบไหล่ งานเข้าวงแขน งานเย็บข้างลำตัว

3. เซลลูล่าร์งานปิดท้าย (Finished Task Cell) เป็นกลุ่มงานท้ายกระบวนการผลิต ที่ไม่สามารถจำแนกเข้าไปยังเซลล์การผลิตก่อนหน้าได้ หรือ เมื่อผลิตภัณฑ์เข้าสู่เซลล์การผลิตนี้จะสามารถได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จออกมาได้ งานที่จัดลงในเซลลูล่าร์นี้ได้แก่ งานเข้าข้อมือ งานเย็บแถบและประกอบปกเสื้อ งานเย็บชายเสื้อ งานเย็บชายขอบกางเกง งานเย็บเข้าขอบเอวและติดหูกางเกง

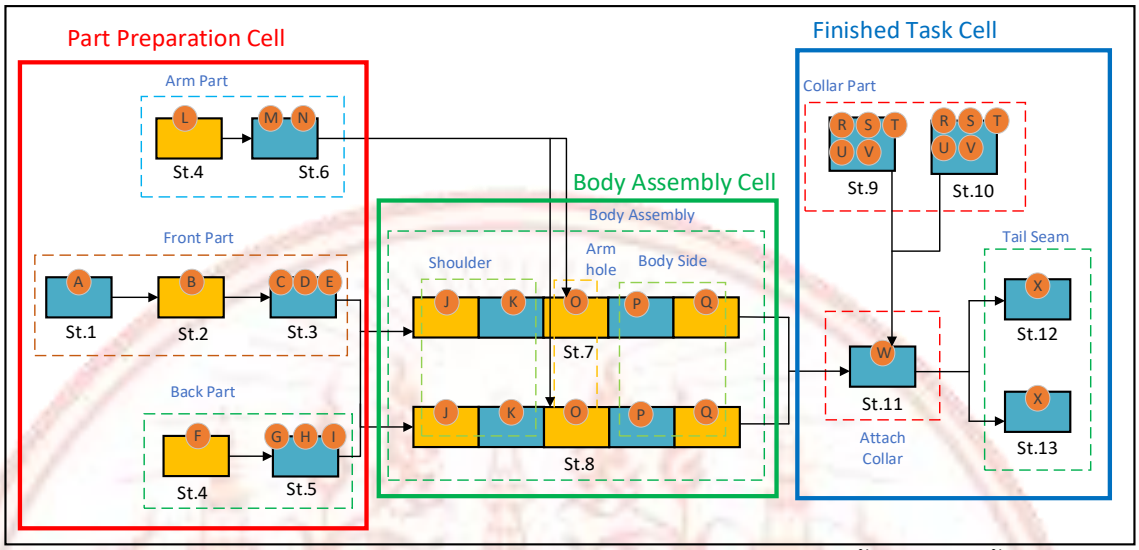
4.3.1 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์สถานีงานของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว



ภาพที่ 4-7 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์ของสถานีงานสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว

จากขั้นตอนก่อนหน้านั้น ได้สายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวที่จับคู่กับเครื่องจักรเย็บผ้าที่ใช้ในการปฏิบัติงาน การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์แสดงดังภาพที่ 4-7 กรอบสีแดงทางด้านซ้ายเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มเตรียมชิ้นงาน ประกอบด้วย สถานีงานผลิตชิ้นหน้าเสื้อ สถานีงานผลิตชิ้นหลังเสื้อ และสถานีงานผลิตแขนเสื้อ กรอบสีเขียวตรงกลางของภาพเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มประกอบตัวผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยสถานีงานประกอบไหล่ สถานีงานประกอบรูวงแขน และสถานีงานเย็บประกอบข้างลำตัว และกรอบสีฟ้าด้านขวาเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มงานปิดท้าย ประกอบด้วย สถานีงานทำแผ่นข้อมือและประกอบข้อมือ สถานีงานทำปกเสื้อและเย็บประกอบปกเสื้อ และสถานีงานเย็บเก็บชายเสื้อ

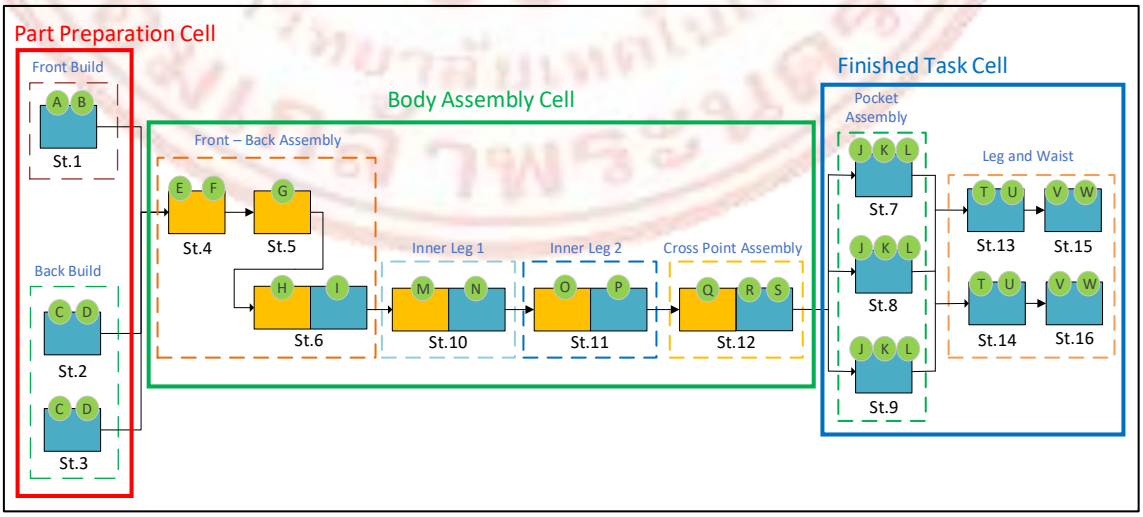
4.3.2 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์สถานีงานของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น



ภาพที่ 4-8 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์ของสถานีงานสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น

จากขั้นตอนการก่อนหน้านั้น และจากการจับคู่เครื่องจักรเย็บผ้าที่ใช้ในการทำงานกับสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์แสดงดังภาพที่ 4-8 กรอบสีแดงทางด้านซ้ายของภาพเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มเตรียมชิ้นงาน ประกอบ สถานีงานผลิตชิ้นหน้าเสื้อ สถานีงานผลิตชิ้นหลังเสื้อ และสถานีงานผลิตแขนสั้น กรอบสีเขียวตรงกลางของภาพเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มประกอบตัวผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย สถานีงานประกอบไหล่ สถานีงานประกอบรูวงแขน และสถานีงานเย็บประกอบข้างลำตัว ส่วนกรอบสีฟ้าด้านขวาของภาพเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มงานปิดท้าย ประกอบด้วย สถานีงานประกอบแผ่นปกเสื้อ สถานีงานเย็บประกอบปกเสื้อ และสถานีงานเย็บเก็บชายเสื้อ

4.3.3 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์สถานีงานของการผลิตกางเกงขายาว



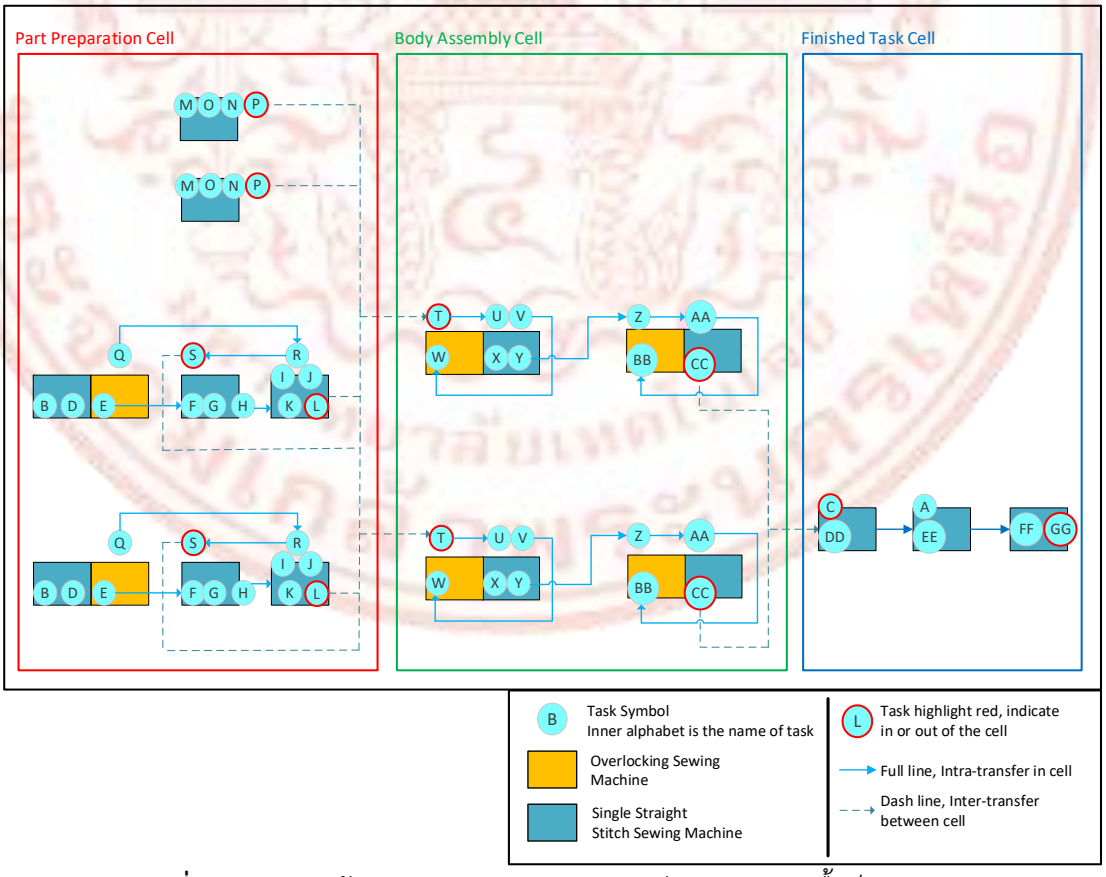
ภาพที่ 4-9 การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์ของสถานีงานสายการผลิตกางเกงขายาว

การจำแนกประเภทเซลลูล่าร์ของสถานีงานสายการผลิตกางเกงขายาว แสดงในภาพที่ 4-9 กรอบสีแดงด้านซ้ายเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มเตรียมชิ้นงาน ประกอบด้วยสถานีงานทำชิ้นหน้ากางเกง และสถานีงานทำชิ้นหลังกางเกง กรอบสีเขียวตรงกลางภาพเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มงานประกอบผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย สถานีเย็บประกอบตัวกางเกง สถานีเย็บประกอบขาใน และสถานีเย็บเป้ากางเกง กรอบสีฟ้าด้านขวาเป็นเซลลูล่าร์กลุ่มงานปิดท้าย ประกอบด้วยสถานีงานติดถุงกระเป๋ากางเกง และสถานีเย็บเก็บขากางเกงและเย็บขอบเอวติดหูกางเกง

4.4 การสร้างผังสายการเย็บประกอบเสื้อผ้า

เมื่อได้ทำการสร้างสถานีงานพร้อมระบุเครื่องจักรเย็บผ้าที่ใช้ในการปฏิบัติงาน จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มประเภทเซลลูล่าร์ในการผลิต ลำดับถัดไปเป็นการสร้างสายการผลิตสำหรับเย็บประกอบเสื้อผ้าโดยเลือกการผลิตที่มีลำดับความซับซ้อนและจำนวนงานย่อยมากที่สุดขึ้นมาออกแบบก่อน นั้นคือการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว

ในขั้นตอนการออกแบบสายการผลิตแบบเซลลูล่าร์ของเสื้อช็อปแขนยาว จำเป็นต้องออกแบบสายการผลิตโดยคำนึงถึง แผนภูมิ Yamazumi เครื่องจักรเย็บของสถานีงาน และประเภทของเซลลูล่าร์ด้วย



ภาพที่ 4-10 การสร้างสายการผลิตแบบเซลลูล่าร์ของการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว

จากภาพที่ 4-10 เซลลูล่าร์การผลิตกลุ่มเตรียมชิ้นงาน สำหรับการผลิตชิ้นหน้าเสื้อและชิ้นหลังเสื้อจัดสถานีงาน 3 สถานีงาน ทำงานขนานกัน รวมเป็น 6 สถานีงาน และการผลิตแขนเสื้อจัดสถานีงาน 2 สถานีงาน ขนานการทำงานกัน

เซลลูล่าร์การผลิตกลุ่มประกอบตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งรับชิ้นส่วนจากการเซลลูล่าร์กลุ่มเตรียมชิ้นงาน ใช้หลักการวนลูป (Looping Arrangement) จากภาพที่ 4-10 กรอบสีเขียวตรงกลาง ประกอบด้วยงานย่อย [T, U, V, W, X, Y] โดยที่งานย่อย T และ W ทำงานบนเครื่องจักรเย็บแบบโพ้ง ส่วนงาน U, V, X และ Y ทำงานขนเครื่องจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว จากแผนภูมิ Yamazumi งานย่อยทั้ง 5 งาน นั้น รอบเวลาการผลิตไม่ได้เกินเส้น Takt Time จึงใช้การจัดงานแบบวนให้เครื่องจักรเย็บแบบโพ้งอยู่ทางซ้ายและเครื่องจักรเย็บเข็มเดี่ยวอยู่ทางขวา การจัดวางแบบนี้พนักงานก็จะเลื่อนเก้าอี้เพื่อสลับการทำงานระหว่างเครื่องจักรขึ้นอยู่กับงานที่ทำ ณ ขณะนั้น การจัดวางแบบวนลูปนี้ช่วยให้ลดการขนส่งและลดการเคลื่อนที่ของพนักงานในการไปทำงานในแต่ละเครื่องจักรด้วย

เซลลูล่าร์กลุ่มงานปิดท้าย ประกอบด้วยสถานีกลุ่มงานท้าย สถานีทำการประกอบข้อมือ สถานีแผ่นปกเสื้อและเย็บประกอบ และสถานีเย็บเก็บชายเสื้อ จำนวน 3 สถานีงานต่อกัน

4.5 การบูรณาการผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าเข้ากับผังสายการเย็บประกอบ

การรวมผลิตภัณฑ์อื่นเข้ากับสายการเย็บประกอบที่ได้สร้างขึ้น จากขั้นตอนก่อนหน้านั้นที่ได้สร้างสายการเย็บประกอบของเสื้อช็อปแขนยาวเพียงผลิตภัณฑ์เดียว ในขั้นตอนนี้จะนำผลิตภัณฑ์ที่เลือกคือเสื้อช็อปแขนสั้นและกางเกงขายาว มาควบรวมสายการผลิตกัน กระบวนการควบรวมจำเป็นต้องวิเคราะห์ จัดสรรงานย่อยต่างๆ ลงไปในสถานีงานที่ได้ถูกสร้างขึ้น ข้อมูลที่จำเป็นได้แก่ แผนภูมิ Yamazumi ของเสื้อช็อปแขนสั้นและกางเกงขายาว แผนภาพการจับคู่เครื่องจักรเย็บ และข้อมูลจำแนกประเภทของสถานีงาน จากขั้นตอนต่างๆก่อนหน้า

หลักเกณฑ์ในการบูรณาการผลิตภัณฑ์เข้ากับสายการผลิตฐาน

1. พิจารณาความคล้ายคลึงของผลิตภัณฑ์ (Product Similarity) โดยผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ถูกนำมาพิจารณาความเข้ากันได้ก่อน

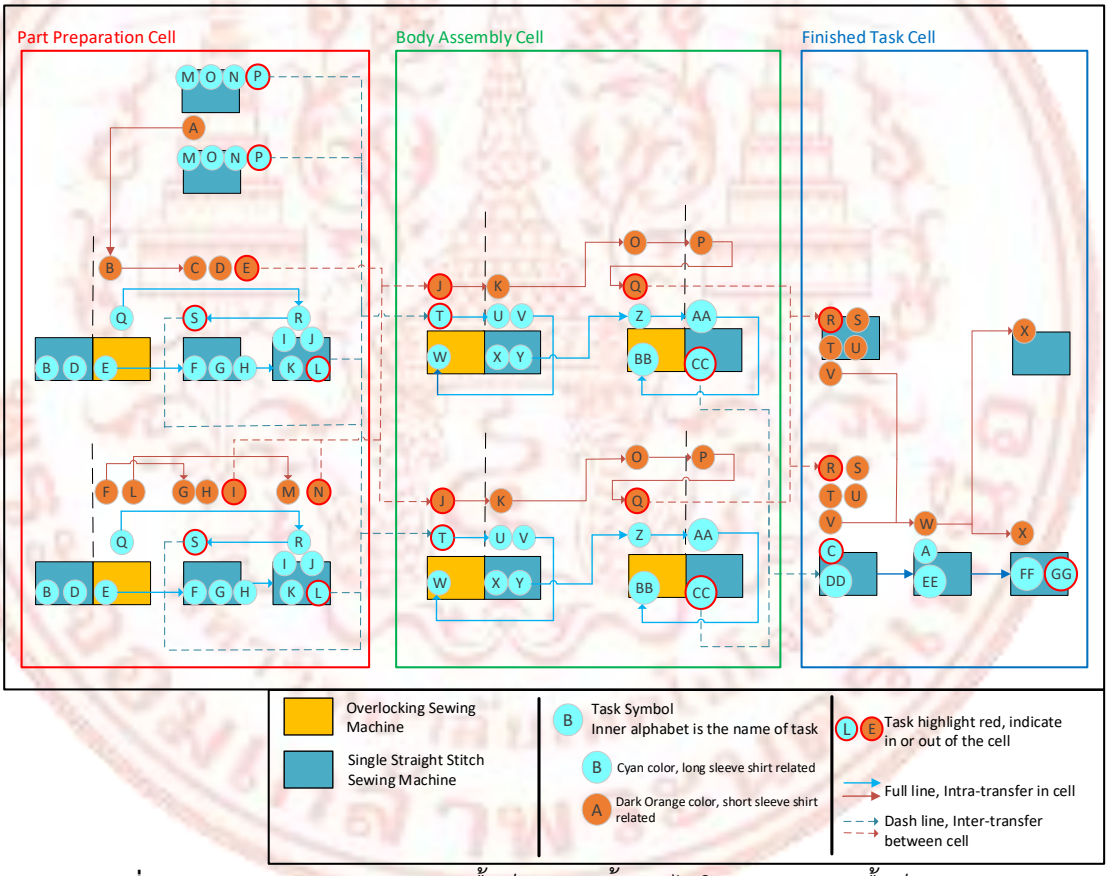
2. จำกัดเครื่องจักรที่มีความสำคัญ (Priority Machine) ในสายการผลิตเย็บผ้านี้ เครื่องจักรโพ้งมีจำนวนน้อยกว่าเครื่องจักรเย็บเข็มเดี่ยว เพื่อให้ใช้จำนวนเครื่องจักรน้อยที่สุด จึงต้องจัดสรรงานเข้าสู่เครื่องจักรโพ้งก่อน

3. หลักการจัดงานที่ทำต่อกัน ในเครื่องจักรที่ใกล้ที่สุด (Operation dependency with nearest machine as possible) งานที่ต้องทำ ถัดจากเครื่องจักรที่มีความสำคัญ ให้จัดลงในเครื่องจักรที่ต้องใช้ โดยให้อยู่ใกล้กันมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

4. ในกรณีที่เครื่องจักรไม่เพียงพอ ค่อยเพิ่มเครื่องจักรและสถานีงานเท่าที่จำเป็น (Minimize Added Machine, if necessary) หากสถานีงานในเซลลูล่าร์ของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มเข้ามานั้น มากกว่าสถานีงานของสายการผลิตฐาน ทำให้จำเป็นต้องเพิ่มเครื่องจักรเข้ามา แต่จะเพิ่มในปริมาณที่จำเป็นเท่านั้น โดยใช้เครื่องจักรที่มีอยู่ให้เพียงพอก่อน

กระบวนการควบรวมสายการผลิต เริ่มต้นจากการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นก่อน เนื่องจากกระบวนการผลิตมีความคล้ายคลึงกับเสื้อช็อปแขนยาว จึงมีความง่ายในการควบรวมสายการผลิตเข้าด้วยกัน

4.5.1 การควบรวมการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นเข้ากับผังสายการเย็บประกอบ



ภาพที่ 4-11 การควบรวมการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น ลงไปในผังการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว

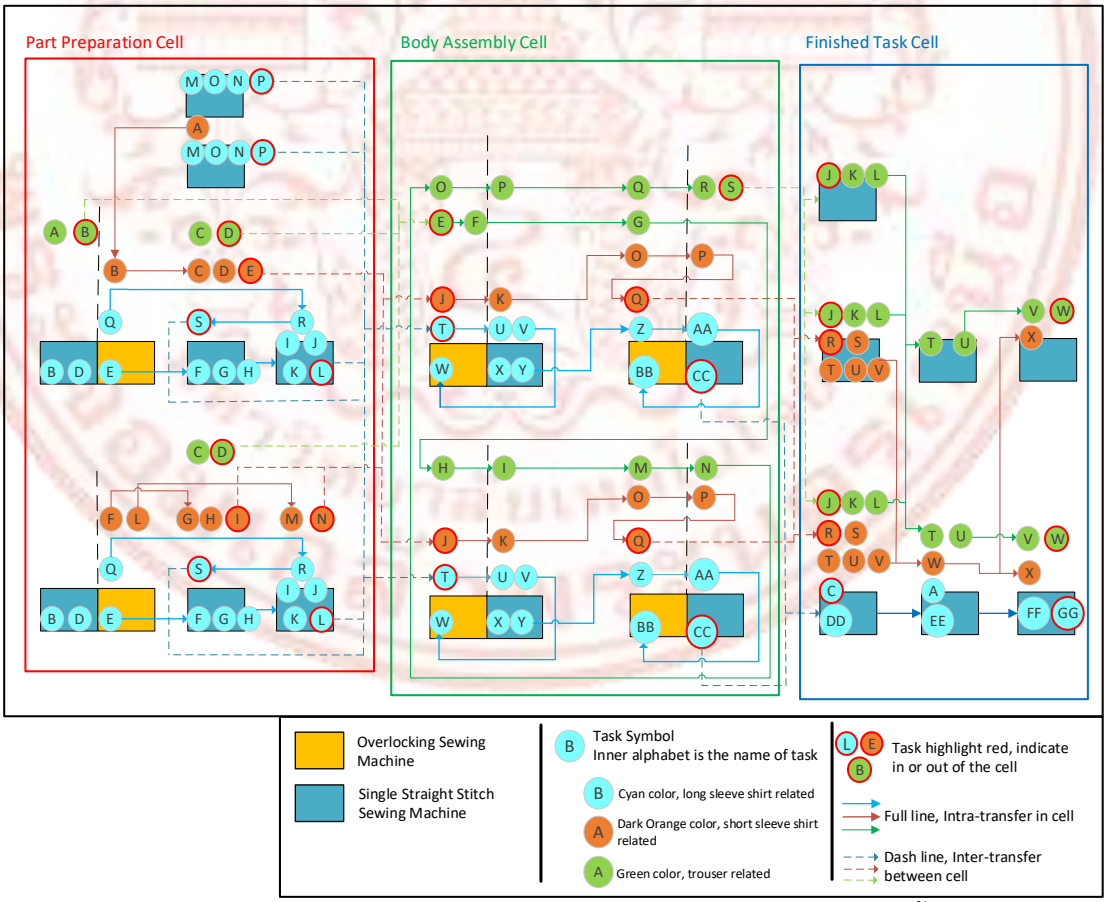
งานย่อยของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นแสดงในวงกลมสีส้ม เริ่มต้นโดยการนำแผนภาพสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้นและสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาวมาซ้อนทับกัน ในเซลลูล่าร์การผลิตกลุ่มเตรียมชิ้นงาน การผลิตชิ้นหน้าเสื้อและชิ้นหลังเสื้อของเสื้อช็อปแขนสั้น ทั้งงานย่อยและเครื่องจักรเย็บที่ใช้นั้นเหมือนกับสถานีงานของเสื้อช็อปแขนยาว จึงสามารถนำงานย่อยควบรวมใส่

สายการผลิตได้โดยตรง การใช้เครื่องจักรร่วมกันจะช่วยเพิ่มอรรถประโยชน์การใช้งานเครื่องจักรอีกด้วย

เซลลูล่าร์การผลิตถัดไป คือเซลลูล่าร์การประกอบตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำการประกอบร่างตัวเสื้อ ซึ่งจะใช้เทคนิควนลูปเหมือนการสร้างสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว โดยงานย่อยที่ใช้เครื่องจักรเย็บแบบโพ้งและเครื่องจักรเย็บเข็มเดี่ยวถูกจัดเรียง และวนรอบการทำงานโดยขึ้นอยู่กับงาน ณ ขณะนั้นๆ โดยพิจารณาควบคู่กับแผนภูมิ Yamazumi ด้วยว่ารอบเวลาการทำงานรวมของงานย่อยจะไม่เกินเส้น Takt Time

เซลลูล่าร์กลุ่มงานปิดท้าย มีการเพิ่มสถานีงานเครื่องจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยวขึ้นมา 2 สถานีงาน งานย่อยอื่นๆ ปฏิบัติงานควบคู่กับเครื่องจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยวที่ได้สร้างไว้ก่อนหน้า ก็สามารถทำการจัดงานย่อยลงสถานีงานได้โดยตรง ผลลัพธ์ของการควบรวมสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นกับสายการผลิตเสื้อช็อปแขนยาว แสดงในภาพที่ 4-11

4.5.2 การควบรวมการผลิตกางเกงขายาวเข้ากับผังสายการเย็บประกอบ



ภาพที่ 4-12 การควบรวมการผลิตกางเกงขายาว ลงไปในผังการผลิตเสื้อผ้า

เมื่อทำการควบรวมผังการผลิตของเสื้อช็อปแขนยาวและเสื้อช็อปแขนสั้นแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ยังคงเหลืออยู่คือกางเกงขายาว งานย่อยของกางเกงขายาวแสดงในวงกลมสีเขียว เริ่มต้นกระบวนการโดยภาพนำผังการผลิตที่สร้าง มาซ้อนทับกับ เซลลูล่าร์กลุ่มงานเตรียมชิ้นงาน ซึ่งมีการผลิตชิ้นหน้ากางเกงและชิ้นหลังกางเกง ซึ่งจากสถานีงานที่มีอยู่สามารถจัดสรรงานลงสถานีงานที่ว่างได้โดยตรง

ถัดมาคือเซลลูล่าร์กลุ่มงานประกอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งกางเกงขายาวมีกระบวนการทำงานที่แตกต่างจากเสื้อช็อปพอสมควร ซึ่งจะใช้เทคนิคการวนลูปเฉกเช่นขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งจะจัดสรรโดยพิจารณางานย่อยนั้นกับเครื่องจักรเย็บที่ใช้และสถานีงานที่ว่าง ผลจากการจัดสรรจะทำให้ได้กระบวนการทำงานวนลูปที่มีลักษณะคล้ายรูปกากบาท เนื่องจากความแตกต่างของผลิตภัณฑ์เสื้อกับกางเกงจึงจำเป็นต้องมีการกำกับการทำงานอย่างใกล้ชิด เพื่อให้กระบวนการทำงานเป็นไปอย่างถูกต้องและลดความผิดพลาดในกระบวนการผลิต

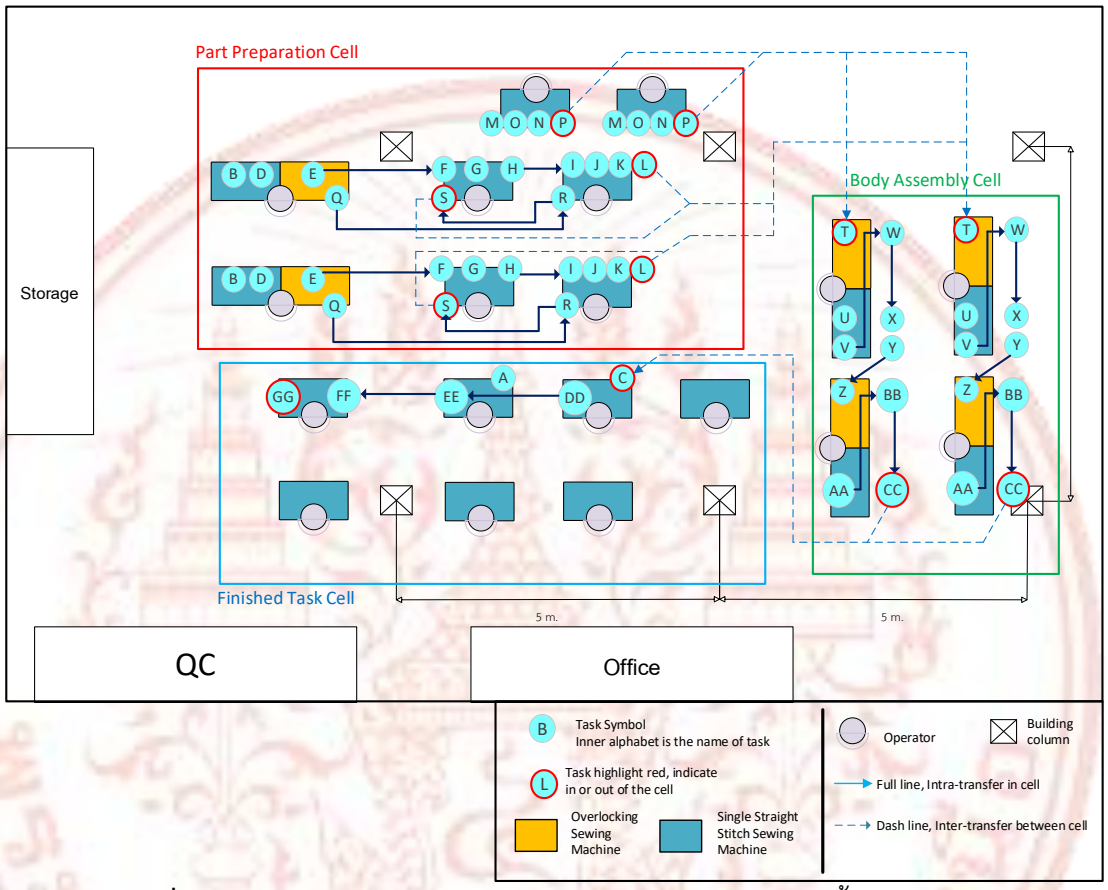
และเซลลูล่าร์กลุ่มงานปิดท้าย มีการเพิ่มสถานีงานขึ้นมา 2 สถานีงาน เป็นสถานีงานเครื่องจักรเย็บแบบเข็มเดี่ยว เพื่อรองรับงานย่อยที่เพิ่มขึ้น ส่วนสถานีงานอื่นก็ได้รับการจัดสรรงานย่อยของกางเกงขายาวลงโดยตรง ผลลัพธ์ท้ายสุดของการควบรวมสายการผลิตทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4-12

4.6 การวางผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ลงในพื้นที่ผังโรงงานจริง

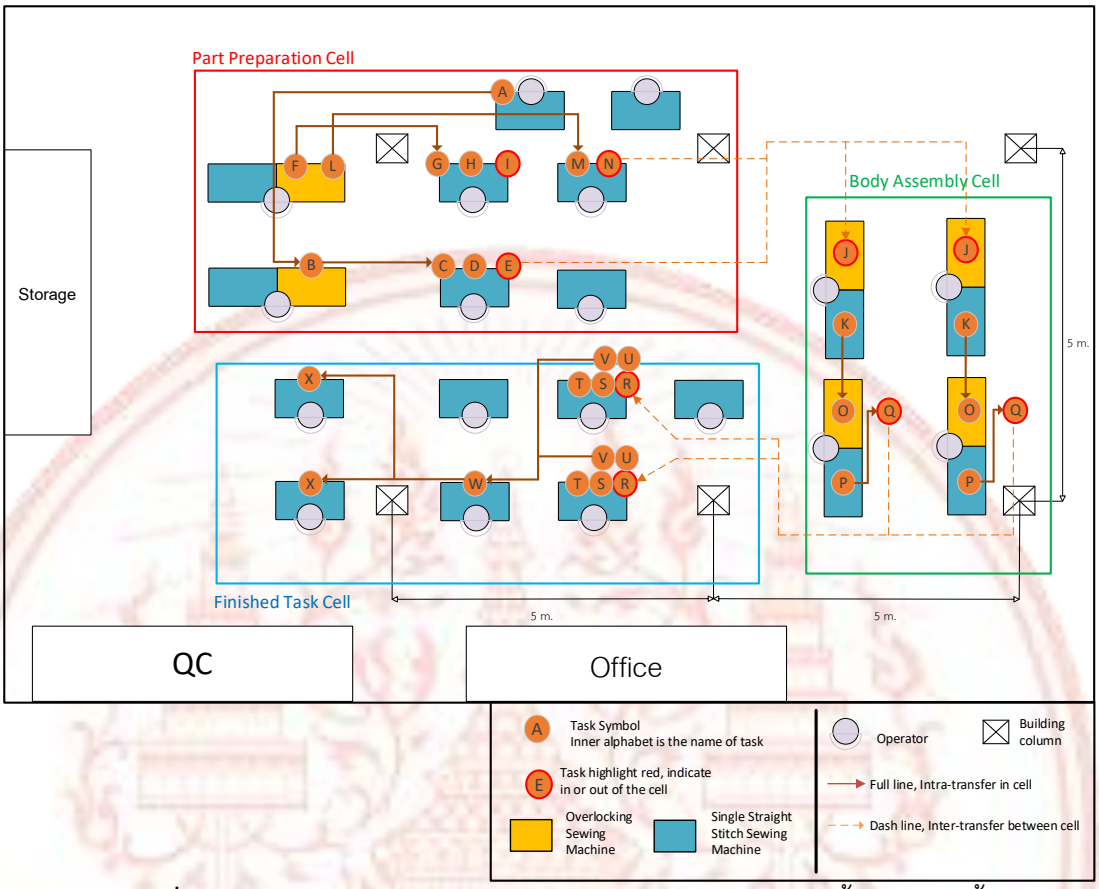
ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ที่ได้สร้างขึ้นมาในขั้นตอนก่อนหน้านั้นนำมาพิจารณาควบคู่กับพื้นที่จริงของโรงงาน เนื่องจากผังที่สร้างขึ้นเป็นผังตรง ยังไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดบางประการในโลกความเป็นจริง เช่น ตำแหน่งเสา ขนาดพื้นที่ของพื้นโรงงาน ประโยชน์บางอย่างเมื่อทำการดัดแปลงผังการผลิตเพิ่มเติม ในกรณีนี้เซลลูล่าร์การผลิตจำนวน 3 เซลล์ ได้นำมาจัดวางตำแหน่งในผังพื้นโรงงาน

เมื่อพิจารณาพื้นที่โรงงาน หากมองจากมุมมองบนลงมา ด้านซ้ายของพื้นโรงงานจะเป็นพื้นที่เก็บของ พื้นที่ซึ่งวัสดุ แพทเทิร์นชิ้นส่วนผ้า มาจัดเก็บรอการเย็บประกอบ ด้านล่างของพื้นโรงงานเป็นสำนักงานของวิศวกรอุตสาหการและหัวหน้าแผนกเย็บ ด้านล่างซ้ายเป็นแผนกควบคุมคุณภาพ ซึ่งเสื้อผ้าที่ผลิตเสร็จจะถูกส่งมา เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพก่อนบรรจุลงซองพลาสติกแล้วนำใส่กล่องกระดาษลัง หากพิจารณาแล้วเพื่อลดระยะทางขนส่งวัสดุให้สั้นที่สุด เซลลูล่าร์กลุ่มเตรียมชิ้นงานควรที่จะวางใกล้กับพื้นที่เก็บของมากที่สุดคือด้านซ้ายบน และเซลลูล่าร์กลุ่มงานปิดท้ายควรจะวางใกล้กับแผนกควบคุมคุณภาพ แล้วเซลลูลาร์กลุ่มงานประกอบผลิตภัณฑ์จะวางแนวตั้งเชื่อมทั้ง 2 เซลล์เข้าด้วยกัน ผลลัพธ์สุดท้ายจะได้ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ที่วางตัวเป็นรูปตัว U วนการผลิตตามเข็มนาฬิกา ระยะทางการไหลรวมของวัสดุของเสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้น และกางเกงขายาว เป็น 23.5 เมตร 19.7 เมตร และ 24.4 เมตร ตามลำดับ แสดงผังการผลิตในภาพที่ 4-13 ภาพที่ 4-14และ

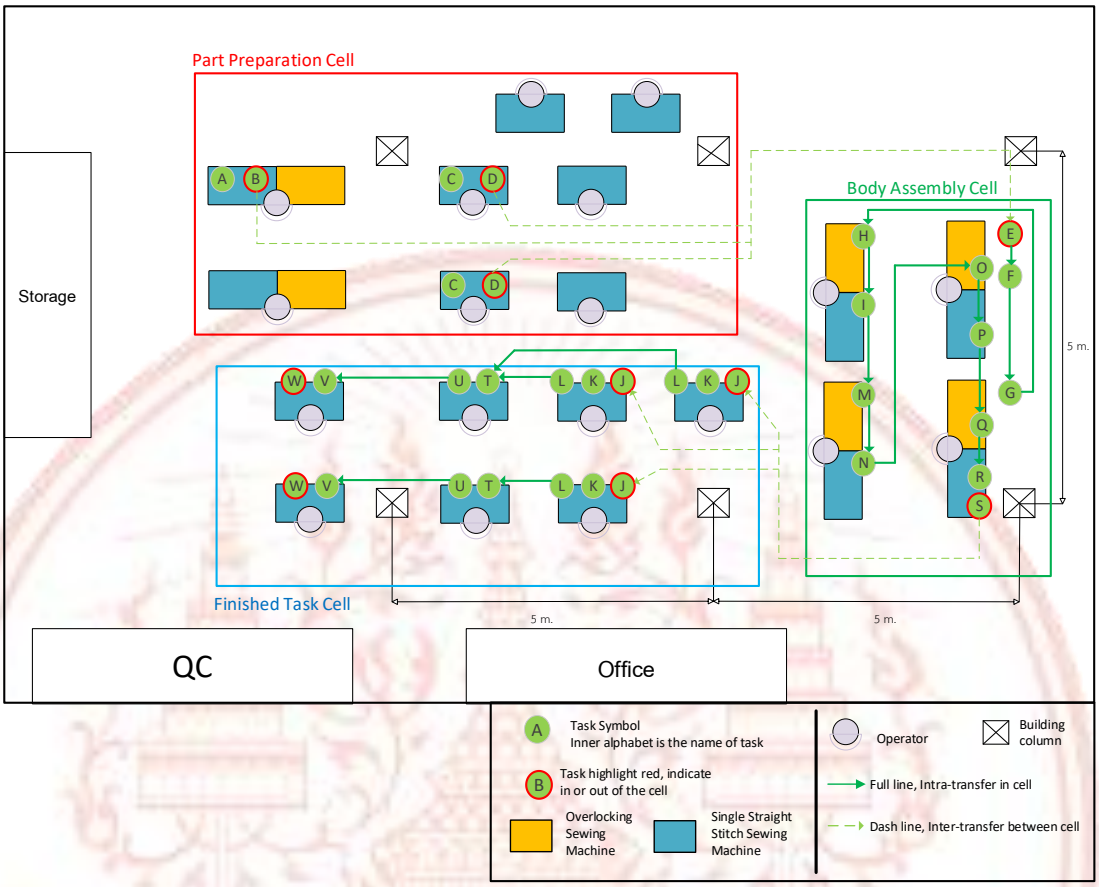
ภาพที่ 4-15 สำหรับภาพรวมการไหลของทุกผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4-16 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของทุกผลิตภัณฑ์ และระยะการออกแบบของผังการผลิตแสดงในภาพที่ 4-17



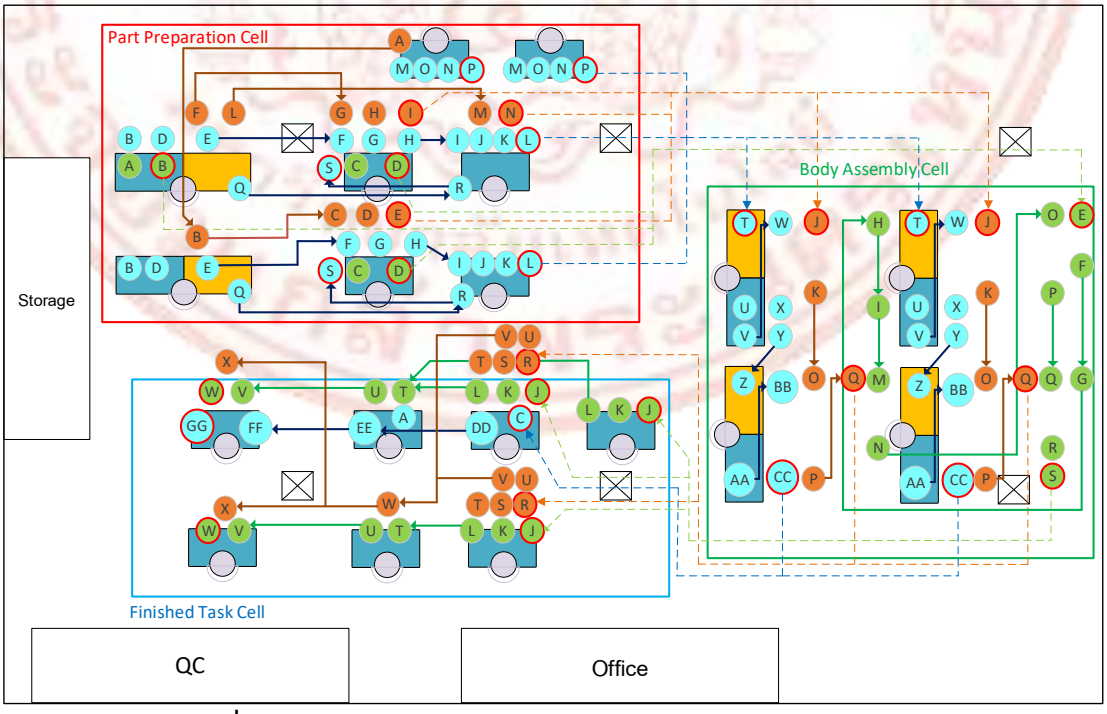
ภาพที่ 4-13 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของงานของเสื้อช็อปแขนยาว



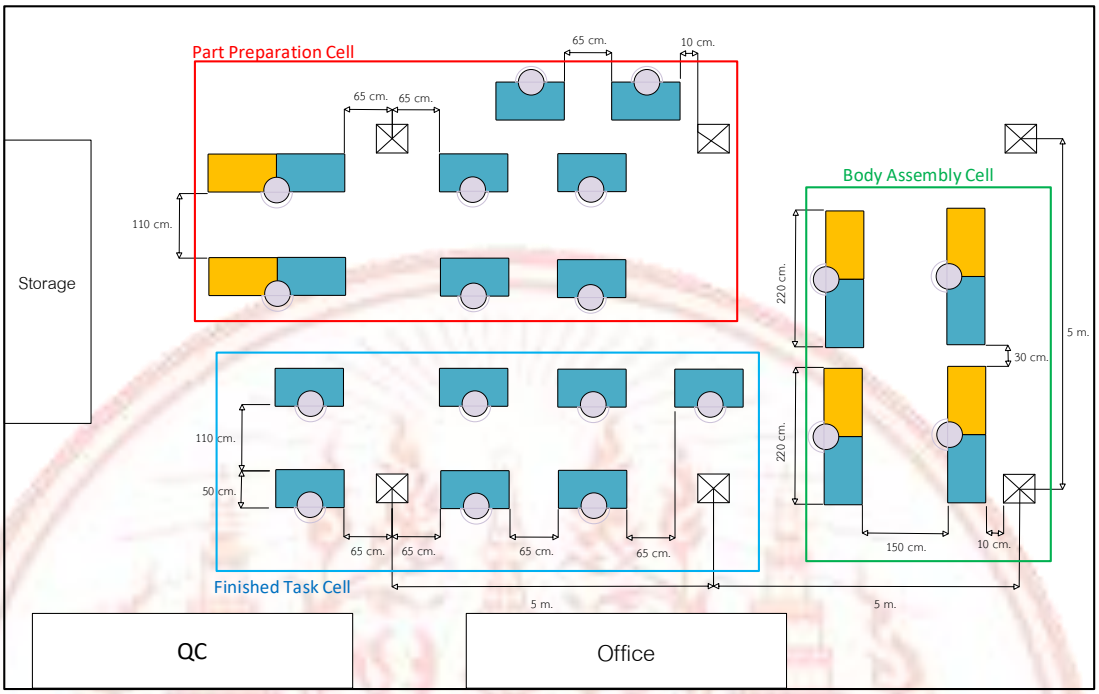
ภาพที่ 4-14 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของงานของเสื้อช็อปแขนสั้น



ภาพที่ 4-15 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของงานของกางเกงขายาว



ภาพที่ 4-16 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงการไหลของทุกผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 4-17 ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์แสดงระยะการออกแบบ

บทที่ 5
การจัดสรรพนักงานโดยคำนึงถึงทักษะการทำงานและการเรียนรู้

5.1 ปัญหาการจัดสรรพนักงาน

หลังจากที่ได้ออกแบบผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ ที่สามารถรองรับการผลิตเสื้อผ้าหลายรูปแบบ ได้แก่ เสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้น และกางเกงขายาวแล้ว ถัดไปยังคงมีข้อสงสัยว่าแล้วสถานีงานในผังการผลิตที่สร้างมานั้น พนักงานคนใด ควรที่ให้จัดสรรไปสถานีงานใด จึงเป็นที่มาของปัญหาการจัดสรรพนักงาน ปัญหาการจัดสรรพนักงานหรือกำลังคน (Worker Assignment Problem : WAP) เป็นปัญหาการจับคู่ทรัพยากรนึงกับอีกทรัพยากรนึง จัดอยู่กลุ่มการหาค่าเหมาะสมแบบไม่ต่อเนื่อง (Discreate Optimization)

กระบวนการเย็บประกอบจำเป็นต้องใช้แรงงานฝีมือเฉพาะ ที่สามารถทำงานในขั้นตอนต่างๆได้ ในขณะเดียวกันแผนกเย็บเผชิญกับความหลากหลาย การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์และโมเดลสม่ำเสมอ ดังนั้น การพัฒนาทักษะพนักงานให้สามารถปฏิบัติงานได้หลากหลายจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ไม่เพียงเพื่อทดแทนพนักงานที่ลาออกไป แต่ยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น และผลิตภาพของสายการผลิตในระยะยาว ดังนั้นการจัดสรรพนักงานสำหรับอุตสาหกรรม Garment ต้องคำนึงถึงมิติของการสร้างการเรียนรู้ให้กับพนักงาน โดยยังคงความสามารถในการผลิตสินค้าให้ทันตามกำหนดเวลาส่งมอบ

หนึ่งในเครื่องมือที่ถูกพัฒนามาเพื่อช่วยในการตัดใจในการจัดสรรทรัพยากรคือแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การจัดสายการผลิตให้มีความยืดหยุ่นหรือใประสิทธิภาพมากขึ้น การจัดเลือกปริมาณการผลิตที่เหมาะสม หรือการจัดเลือกเส้นทางขนส่ง เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-Integer Linear Programming) ในการจัดสรรพนักงาน

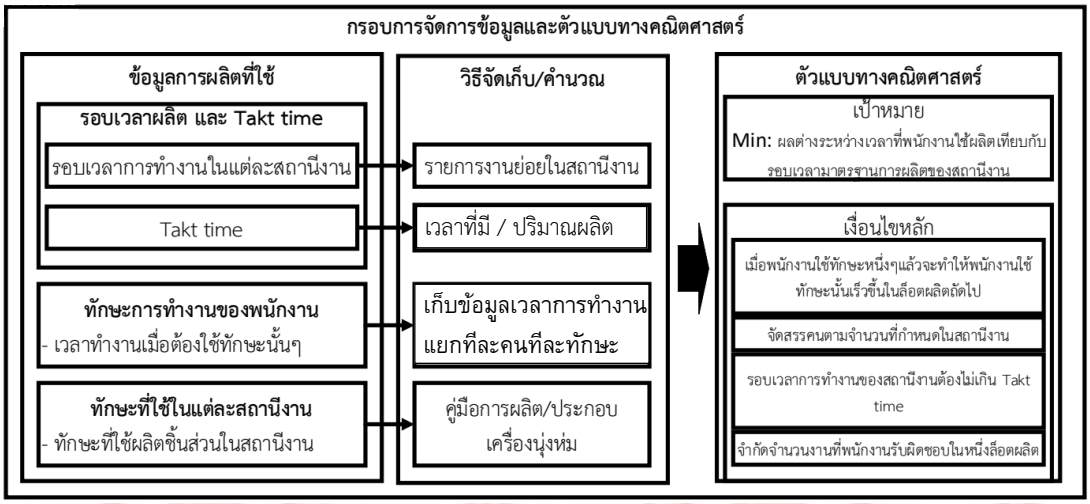
5.2 กรอบการวิเคราะห์ปัญหาการจัดสรรพนักงาน

กรอบการจัดเก็บข้อมูลที่นำเสนอเริ่มจากการพิจารณาข้อมูลที่จำเป็นต่อการจัดสรรพนักงาน รวมถึงเสนอแนะแนวทางในการจัดเก็บข้อมูลหรือการคำนวณ หลังจากนั้น นำข้อมูลดังกล่าวไปใช้กับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น รายละเอียดแสดงในภาพที่ 5-1 โดยข้อมูลการผลิตที่เก็บรวบรวมได้แก่

1. ข้อมูลเกี่ยวกับสายการผลิต ซึ่งภายในประกอบด้วย ข้อมูลรอบเวลามาตราฐานของแต่ละสถานีงาน จำนวนพนักงานที่ต้องการ และข้อมูล Takt Time

2. ข้อมูลเมทริกซ์ทักษะการทำงานของพนักงาน

3. ข้อมูลรายการทักษะที่ต้องการใช้ในแต่ละสถานีงาน



ภาพที่ 5-1 กรอบการนำเข้าข้อมูล การจัดเก็บข้อมูลและตัวแบบทางคณิตศาสตร์

สำหรับปัญหาการจัดสรรพนักงานตามทักษะการทำงานในแต่ละสถานีงาน เป็นการตัดสินใจว่า พนักงานคนใดควรถูกมอบหมายไปยังสถานีงานใด ภายใต้ข้อจำกัดของทักษะ เวลาในการทำงาน และรอบการผลิตในแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์

โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนการทำงานของพนักงานแล้ว พนักงานเกิดการเรียนรู้จากการทำงานซ้ำๆ ซึ่งเมื่อทำงานซ้ำจะมีการสะสมประสบการณ์ อันจะทำให้ลดเวลาการทำงานของพนักงาน ให้เข้าใกล้รอบเวลามาตรฐานที่โรงงานกำหนด ในขณะเดียวกันการจัดสรรและหมุนเวียนการทำงานนี้ ยังสามารถรักษาเป้าหมายการผลิตตามค่า Takt Time ของแต่ละล็อตได้ โดยการที่พนักงานจะสามารถถูกจัดสรรลงไปที่สถานีงานหนึ่งๆ พนักงานคนนั้นๆ ต้องสามารถทำทักษะที่สถานีงานนั้นๆ ต้องการได้ และรอบเวลาการทำงานจริงของพนักงานคนนั้น ๆ จะต้องไม่เกินค่า Takt Time ของการผลิตของล็อตนั้น

5.2.1 สมมุติฐานในกรอบการวิเคราะห์ปัญหาการจัดสรรพนักงาน

ปัญหาการจัดสรรพนักงานที่พิจารณาในบทความนี้ แบบจำลองนี้ตั้งสมมุติฐานว่า

1. ต้องจัดสรรพนักงานครบตามจำนวนที่แต่ละสถานีงานต้องการ

2. พนักงานแต่ละคนสามารถทำงานซ้ำในสายการผลิตเดียวกันได้ไม่เกิน 3 สถานี

3. มีการกำหนดสถานีงาน กำหนดงานย่อยและทราบทักษะที่จำเป็นต้องใช้ในการทำงานในสายการผลิตล่วงหน้า

4. ในกรณีที่พนักงานคนใดไม่เคยทำงานทักษะนั้น ๆ มาก่อน ให้สมมุติฐานว่า หากมีพนักงานคนนั้นทำงานครั้งแรกจะใช้ระยะเวลาในการทำงานเทียบเท่ากับพนักงานที่ทำงานได้ช้าที่สุดเป็นค่าตั้งต้น

5.3 การรวบรวมข้อมูลเพื่อการจัดสรรพนักงาน

รวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรพนักงาน ซึ่งสะท้อนสภาพการทำงานจริงในโรงงานและลักษณะเฉพาะของพนักงาน ข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย (1) รอบเวลาการทำงานและค่า Takt Time (2) ตารางเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงาน (Skill Matrix) และ (3) ตารางระบุประเภททักษะที่สถานีงานนั้นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำงาน

5.3.1 การรวบรวมข้อมูลรอบเวลาการผลิตและค่า Takt Time

ใช้ข้อมูลรอบเวลาการผลิตและค่า Takt Time หลังจากการจัดสมดุลสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น (จากส่วนที่ 4.1.2 การจัดสมดุลสายการผลิตของเสื้อช็อปแขนสั้น) มาเป็นข้อมูลในการจัดทำ ตารางรอบเวลาการผลิตมาตรฐานของสถานีงาน และค่า Takt Time ของสายการผลิต และตารางจำนวนพนักงานที่ต้องการในแต่ละสถานีงาน

ตารางที่ 5-1 ตารางข้อมูลรอบเวลาการผลิตและค่า Takt time

สถานีงาน	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7.1	Station 7.2	Station 8.1	Station 8.2	Station 9	Station 10.1	Station 10.2	Station S
ชิ้นส่วน	ชิ้นหน้า	ชิ้นหน้า	ชิ้นหน้า	ชิ้นหลัง	ชิ้นหลัง	แขนเสื้อ	ประกอบไหล่	ประกอบไหล่	ประกอบปก	ประกอบปก	เย็บเข้าปก	ชายเสื้อ	ชายเสื้อ	
งานย่อย	A	B	C, D, E	F, L	G, H, I	M, N	J, K, O, P, Q	J, K, O, P, Q	R, S, T, U, V	R, S, T, U, V	W	X	X	
จักรเย็บผ้า	จักรเข็มเดี่ยว	จักรโพ้ง	จักรเข็มเดี่ยว	จักรโพ้ง	จักรเข็มเดี่ยว	จักรเข็มเดี่ยว	จักรเข็มเดี่ยว, จักรโพ้ง	จักรเข็มเดี่ยว, จักรโพ้ง	จักรเข็มเดี่ยว	จักรเข็มเดี่ยว	จักรเข็มเดี่ยว	จักรเข็มเดี่ยว	จักรเข็มเดี่ยว	
รอบเวลามาตราฐาน (นาที)	2.21 CT_1	2.00 CT_2	1.73 CT_3	2.32 CT_4	2.55 CT_5	2.33 CT_6	1.93 CT_7	1.93 CT_7	2.12 CT_8	2.12 CT_8	1.96 CT_9	1.39 CT_{10}	1.39 CT_{10}	CT_S
ค่า Takt Time (นาที)	2.70 TT_1	2.70 TT_2	2.70 TT_3	2.70 TT_4	2.70 TT_5	2.70 TT_6	2.70 TT_7	2.70 TT_7	2.70 TT_8	2.70 TT_8	2.70 TT_9	2.70 TT_{10}	2.70 TT_{10}	TT_P

ตารางที่ 5-2 ตารางจำนวนพนักงานที่ต้องการในแต่ละสถานีงาน

Station	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St. 10	St. S
Num Worker Req.	1 M_1	1 M_2	1 M_3	1 M_4	1 M_5	1 M_6	2 M_7	2 M_8	1 M_9	2 M_{10}	M_{SP}

5.3.2 การรวบรวมข้อมูลตารางเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงานของพนักงาน (Skill Matrix)

ตารางเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงาน เป็นข้อมูลที่ใช้พิจารณาความแตกต่างของความสามารถรายบุคคล เพื่อที่จับคู่พนักงานกับงานอย่างมีประสิทธิภาพ เก็บรวบรวมข้อมูลนี้โดยวิธีการศึกษาการทำงานหรือการทดลองทำชิ้นงานตัวอย่างที่ต้องอาศัยทักษะนั้นๆ

เริ่มจากสัมภาษณ์หัวหน้างาน เพื่อให้ทราบว่าพนักงานแต่ละคนสามารถทำงานทักษะใดได้บ้าง พบว่ามีทั้งหมด 17 ทักษะที่แตกต่างกัน จากนั้นให้โรงงานจัดเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อให้พนักงานที่มีทักษะในการทำงานดังกล่าว ทำงานจริงในจำนวน 10 ชิ้นงานต่อทักษะ โดยผู้วิจัยได้บันทึกวิดีโอการทำงานและใช้การจับเวลาจากวิดีโอเพื่อนำมาคำนวนหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำงานทักษะนั้นๆ จึงได้ข้อมูลเป็นเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงานของแต่ละพนักงาน ในแต่ละประเภททักษะการทำงาน

ในกรณีที่พนักงานไม่สามารถทำงานทักษะการทำงานนั้นได้ กำหนดสมมุติฐานว่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของพนักงานคนนั้นเท่ากับเวลาการทำงานของพนักงานที่ใช้เวลานานที่สุดในทักษะนั้นๆ เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลในการสร้างแบบจำลองได้ครบถ้วน

ตารางที่ 5-3 ตารางเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงานของพนักงาน (Skill Matrix)

จักรเย็บผ้า	จักรเข็มเดี่ยว														จักรโพ้ง			
รายการทักษะ	เย็บเข้าปก	เย็บเข้าข้อมือ	เย็บประกอบปก	ประกบเป้าหน้าและเย็บติดซิป	เย็บเข้าขอบเอว	เย็บพับสาปเสื้อ	ต่อน่าเข้าเอ๋า	เย็บข้างเสื้อ	เย็บประกอบกระเป๋า	เย็บเจาะกระเป๋า	เย็บติดกระเป๋าพร้อมฝากระเป๋า	เย็บติดแถบสะท้อนแสง	เย็บสาปแขน	พับเย็บปลายขา	โพ้งตัดต่อ	โพ้งเข้าข้าง	โพ้งเข้าวงแขน	
หมายเลขทักษะ	1 K_1	2 K_2	3 K_3	4 K_4	5 K_5	6 K_6	7 K_7	8 K_8	9 K_9	10 K_{10}	11 K_{11}	12 K_{12}	13 K_{13}	14 K_{14}	15 K_{15}	16 K_{16}	17 K_{17}	ทักษะ K
A (Worker 1)	2.74	4.90	1.33	0.43	6.10	1.00	1.32	0.55	1.90	2.63	1.46	0.88	2.53	2.09	0.58	0.99	0.74	A_K
B (Worker 2)	0.94	1.76	0.44	1.00	2.43	0.89	0.75	0.45	1.00	1.24	0.57	0.50	1.04	1.01	0.19	0.43	0.49	B_K
C (Worker 3)	1.35	2.52	0.44	1.13	2.99	0.94	1.06	0.54	0.69	1.36	0.82	0.48	1.05	1.01	0.24	0.44	0.44	C_k
D (Worker 4)	2.74	3.07	0.55	1.33	6.10	2.18	1.31	1.72	2.56	2.63	1.32	0.63	1.68	1.51	0.58	0.99	0.74	D_K

ตารางที่ 5-3 (ต่อ)

จักรเย็บผ้า	จักรเข็มเดี่ยว														จักรโพ้ง			
รายการทักษะ	เย็บเข้าปก	เย็บเข้าข้อมือ	เย็บประกอบปก	ประกบเป้าหน้าและเย็บติดซิป	เย็บเข้าถอบเอว	เย็บพับสาปเสื้อ	ต่อม่าเข้าเอ๋า	เย็บชายเสื้อ	เย็บประกอบกระเป๋า	เย็บเจาะกระเป๋า	เย็บติดกระเป๋าพร้อมฝากระเป๋า	เย็บติดแถบสะท้อนแสง	เย็บสาปแขน	พับเย็บปลายขา	โพ้งตัดต่อ	โพ้งเข้าข้าง	โพ้งเข้าวงแขน	
หมายเลขทักษะ	1 K_1	2 K_2	3 K_3	4 K_4	5 K_5	6 K_6	7 K_7	8 K_8	9 K_9	10 K_{10}	11 K_{11}	12 K_{12}	13 K_{13}	14 K_{14}	15 K_{15}	16 K_{16}	17 K_{17}	ทักษะ K
E (Worker 5)	2.17	4.90	0.33	1.33	4.04	1.85	1.44	0.44	1.48	2.63	1.32	0.50	2.04	1.78	0.58	0.99	0.74	E_K
F (Worker 6)	1.00	1.71	0.35	1.10	3.02	0.92	0.69	0.40	1.25	2.63	0.66	0.55	1.04	1.04	0.2	0.42	0.48	F_K
G (Worker 7)	2.74	2.73	0.43	1.33	6.10	200	1.29	2.50	1.49	2.63	1.48	0.49	2.03	1.77	0.58	0.99	0.74	G_K
H (Worker 8)	2.74	4.90	0.98	1.33	6.10	1.97	1.49	2.50	1.21	2.63	1.95	0.77	3.14	2.53	0.58	0.99	0.74	H_K

ตารางที่ 5-3 (ต่อ)

จักรเย็บผ้า	จักรเข็มเดี่ยว														จักรโพ้ง			
รายการทักษะ	เย็บเข้าปก	เย็บเข้าข้อมือ	เย็บประกอบปก	ประกบป้าหน้าและเย็บติดซิป	เย็บเข้าขอบเอว	เย็บฟันสาปเสื้อ	ต่อม่าเข้าถ้ำ	เย็บซ่ายเสื้อ	เย็บประกอบกระเป๋า	เย็บเจาะกระเป๋า	เย็บติดกระเป๋าพร้อมฝากระเป๋า	เย็บติดแถบสะท้อนแสง	เย็บสาปแขน	พับเย็บปลายขา	โพ้งตัดต่อ	โพ้งเข้าข้าง	โพ้งเข้าวงแขน	
หมายเลขทักษะ	1 K_1	2 K_2	3 K_3	4 K_4	5 K_5	6 K_6	7 K_7	8 K_8	9 K_9	10 K_{10}	11 K_{11}	12 K_{12}	13 K_{13}	14 K_{14}	15 K_{15}	16 K_{16}	17 K_{17}	ทักษะ K
I (Worker 9)	2.74	4.90	0.94	1.33	6.10	2.18	1.49	1.08	1.47	2.63	1.49	0.75	2.04	1.88	0.58	0.99	0.74	I_K
J (Worker 10)	2.74	4.90	1.37	1.33	6.10	2.04	1.49	1.47	2.13	2.63	1.48	0.67	2.01	1.94	0.58	0.99	0.74	J_K
K (Worker 11)	2.74	4.90	0.82	1.33	6.10	1.35	1.49	2.50	2.47	2.63	1.64	0.87	2.60	2.85	0.38	0.99	0.73	K_K
N (Worker 12)	2.74	4.90	0.76	1.33	5.68	1.98	1.39	0.88	2.56	2.63	1.06	0.54	2.07	2.03	0.58	0.99	0.74	N_K

ตารางที่ 5-3 (ต่อ)

จักรเย็บผ้า	จักรเข็มเดี่ยว														จักรโพ้ง			
รายการทักษะ	เย็บเข้าปก	เย็บเข้าข้อมือ	เย็บประกอบปก	ประกบเป้าหน้าและเย็บติดซิป	เย็บเข้าตอกเอว	เย็บพับสาปสื้อ	ต่อบ่าเข้าเว้า	เย็บชายเสื้อ	เย็บประกอบกระเป๋า	เย็บเจาะกระเป๋า	เย็บติดกระเป๋าพร้อมฝากระเป๋า	เย็บติดแถบสะท้อนแสง	เย็บสาปแขน	พับเย็บปลายขา	โพ้งตัดต่อ	โพ้งเข้าข้าง	โพ้งลงตะเข็บ	
หมายเลขทักษะ	1 K_1	2 K_2	3 K_3	4 K_4	5 K_5	6 K_6	7 K_7	8 K_8	9 K_9	10 K_{10}	11 K_{11}	12 K_{12}	13 K_{13}	14 K_{14}	15 K_{15}	16 K_{16}	17 K_{17}	ทักษะ K
O (Worker 13)	2.74	4.90	0.79	1.33	6.10	1.05	1.49	1.77	1.56	2.63	1.95	0.73	2.01	1.83	0.58	0.99	0.74	O_K
P (Worker 14)	2.74	4.90	1.37	1.33	6.10	1.96	1.19	0.99	1.56	2.63	1.74	0.86	2.02	2.20	0.58	0.42	0.44	P_K
Q (Worker 15)	1.55	3.48	0.48	1.33	6.10	1.01	1.31	0.61	1.33	2.00	1.05	0.57	1.57	2.00	0.33	0.41	0.50	Q_K
R (Worker 16)	2.61	4.90	0.71	1.33	5.83	1.46	1.31	0.97	1.54	2.38	1.18	0.93	1.63	2.74	0.26	0.54	0.52	R_K

ตารางที่ 5-3 (ต่อ)

จักรเย็บผ้า	จักรเข็มเดี่ยว														จักรโพ้ง			
รายการทักษะ	เย็บเข้าปก	เย็บเข้าข้อมือ	เย็บประกอบปก	ประกบป้าหน้าและเย็บติดซิป	เย็บเข้าขอบเอว	เย็บพับสาบเสื้อ	ต่อม่าเข้าถ้วย	เย็บซ่ายเสื้อ	เย็บประกอบกระเป๋า	เย็บเจาะกระเป๋า	เย็บติดกระเป๋าพร้อมฝากระเป๋า	เย็บติดแถบสะท้อนแสง	เย็บสาบแขน	พับเย็บปลายขา	โพ้งตัดต่อ	โพ้งเข้าข้าง	โพ้งเข้าวงแขน	
หมายเลขทักษะ	1 K_1	2 K_2	3 K_3	4 K_4	5 K_5	6 K_6	7 K_7	8 K_8	9 K_9	10 K_{10}	11 K_{11}	12 K_{12}	13 K_{13}	14 K_{14}	15 K_{15}	16 K_{16}	17 K_{17}	ทักษะ K
S (Worker 17)	2.24	4.35	0.71	1.33	6.10	1.05	1.44	1.87	1.53	2.63	1.01	0.89	2.06	2.48	0.37	0.88	0.74	S_K
Operator X_{ips}	X_{k1}	X_{k2}	X_{k3}	X_{k4}	X_{k5}	X_{k6}	X_{k7}	X_{k8}	X_{k9}	X_{k10}	X_{k11}	X_{k12}	X_{k13}	X_{k14}	X_{k15}	X_{k16}	X_{k17}	X_k

5.3.1 การรวบรวมข้อมูลตารางทักษะที่ต้องใช้ในแต่ละสถานีงาน

ตารางนี้เป็นเมทริกซ์ข้อมูลแบบ Boolean ใช้ระบุว่าทักษะใดจำเป็นสำหรับแต่ละสถานีงาน ซึ่งช่วยกรองและจับคู่พนักงานที่มีคุณสมบัติเหมาะสมก่อนการจัดสรร เก็บข้อมูลโดยการสอบถามหัวหน้างานว่ารายการงานย่อยต่างๆ จำเป็นต้องใช้ทักษะในจำนวน 17 ทักษะที่ได้เก็บรวบรวมมาจากขั้นตอนก่อนหน้า สำหรับปัญหาการจัดสรรพนักงานนี้ จะใช้ข้อมูลของการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้นเท่านั้นในการวิเคราะห์

ตารางที่ 5-4 ตารางทักษะที่ต้องใช้ในแต่ละสถานีงาน

รายการทักษะ	เย็บเข้าปก	เย็บเข้าข้อมือ	เย็บประกอบปก	ประกบเป้าหน้าและเย็บ	เย็บเข้าของเอว	เย็บพับสาบเสื้อ	ต่อม่าเข้าเป้า	เย็บชายเสื้อ	เย็บประกอบกระเป๋า	เย็บเจาะกระเป๋า	เย็บติดกระเป๋า+ฝา	เย็บติดแถบสะท้อนแสง	เย็บสาบแขน	พับเย็บปลายขา	โพ้งตัดต่อ	โพ้งเข้าข้าง	โพ้งไหล่และแขน	
หมายเลขทักษะ	1 K_1	2 K_2	3 K_3	4 K_4	5 K_5	6 K_6	7 K_7	8 K_8	9 K_9	10 K_{10}	11 K_{11}	12 K_{12}	13 K_{13}	14 K_{14}	15 K_{15}	16 K_{16}	17 K_{17}	ทักษะ K
Station 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	S_1
Station 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	S_2
Station 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	S_3
Station 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	S_4
Station 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	S_5
Station 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	S_6
Station 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	S_7
Station 8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S_8
Station 9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S_9
Station 10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	S_{10}
Station S	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{17}	K_S

5.4 สมมุติฐานของตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์

ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ ได้มีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1. ผังการผลิต สถานีงาน จำนวนพนักงานที่ต้องการ ค่า Takt Time และ ค่าเวลามาตรฐานได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า โดยนำเข้าข้อมูลผ่านกรอบการจัดเก็บข้อมูลข้างต้น

2. สถานีงานและทักษะที่ต้องใช้งาน กำหนดแบบ หนึ่งต่อหนึ่ง กล่าวคือ หนึ่งสถานีงาน หนึ่งทักษะที่ต้องใช้ในการผลิต และตารางทักษะที่ใช้งานถูกกำหนดล่วงหน้า

3. การจัดสรรพนักงานจะต้องจัดสรรให้ครบตามจำนวนที่สถานีงานนั้นๆ ต้องการ

4. ในกรณีที่การเก็บรวบรวมเวลาการทำงานทักษะของพนักงาน แล้วพบว่าพนักงานไม่เคยทำงานในทักษะนั้นๆ มาก่อน ให้สมมุติฐานว่า พนักงานคนนั้นจะทำงานด้วยเวลาเท่ากับพนักงานที่ทำงานช้าที่สุด

5. ในแต่ละล็อตการผลิตที่เพิ่มขึ้น ไม่มีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ ไม่มีการเปลี่ยนทักษะที่ใช้ในสถานีงาน จำนวนสถานีงาน ค่า Takt Time และค่าเวลามาตรฐาน ไม่มีการเพิ่มพนักงานกระทันหัน

6. พนักงานหนึ่งคน สามารถทำงานซ้ำกันได้ไม่เกิน 3 สถานีงาน ต่อหนึ่งล็อตการผลิต

7. อัตราการเรียนรู้ คิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ นับจากเวลาผลิตตั้งต้น เมื่อมีการทำงานซ้ำ เป็นค่าคงที่ และพิจารณาเพียงความชำนาญ ไม่ได้พิจารณากรณีหลงลืม (Forgetting)

(สมมุติฐานข้อที่ 6 และ 7 สามารถแก้ไขค่าจากในแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้ เป็นเพียงการกำหนดตัวเลขของโรงงานกรณีศึกษา)

5.5 ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์

ตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งแสดงในด้านล่าง ระบุว่า พนักงานที่ i {i =1,2,3,...,*I*} ที่สามารถทำงานทักษะ k {k = 1,2,3,...,*K*} ได้ ควรจะถูกจัดสรรไปในสถานีงาน s {s= 1,2,3,...,*S*} ในแต่ละล็อตการผลิตผลิตภัณฑ์ p {p = 1,2,3,...,*P*} อย่างไร

เซ็ตตัวแปรต่อเนื่อง เซ็ต 1 มิติ คือ เซ็ต TT_p ค่า Takt Time ตามแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์ p เซ็ต 2 มิติ ได้แก่ T_{ik} ซึ่งเป็นเซ็ตเวลาทักษะการทำงานของแต่ละพนักงาน *i* ของแต่ละทักษะ *k*, STD_{sp} เป็นเซ็ตรอบเวลาการผลิตของแต่ละสถานีงาน *s* ของแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์ *p* และ M_{sp} เป็นเซ็ตจำนวนพนักงานที่จำเป็นในแต่ละสถานีงาน *s* เพื่อการผลิตแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์ *p* และเซ็ตตัวแปร Boolean คือ N_{ksp} ซึ่งระบุแต่ละทักษะ *k* ที่ต้องใช้ในแต่ละสถานีงาน *s* เพื่อการผลิตแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์ *p*

พารามิเตอร์ค่าคงที่ จำนวน 2 ตัว ได้แก่ *LR* กำหนดเป็นอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) โดยสมมุติฐานการเรียนรู้ 5 เปอร์เซ็นต์นับจากเวลาการทำงานก่อนหน้า และ $M_{skilltime}$ ค่าคงที่ Big-M สำหรับเปิด-ปิดกลไกการเรียนรู้

ตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งเป็นเซ็ตจำนวนทศนิยมได้แก่ D_{ikps} เป็นผลต่างระหว่างเวลาทักษะการทำงาน (T_{ik}) ที่พนักงานแต่ละ i ใช้แต่ละทักษะ k ในการผลิตแต่ละล็อตการผลิต p ของแต่ละสถานีงาน s กับแต่ละรอบเวลาการผลิตของสถานีงาน (STD_{sp}), ET_{ikp} เป็นเซ็ตตัวแปรเก็บค่าเวลาทักษะการทำงาน ที่พนักงานแต่ละ i ในแต่ละทักษะ k ในการผลิตแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์ p ETZ_{ikp} เป็นเซ็ตตัวแปรรับค่าเวลาทักษะการทำงานหลังจากทำให้สมการกลายเป็นเส้นตรง ที่พนักงานแต่ละ i ในแต่ละทักษะ k ในการผลิตแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์ p Z_{ikp} เป็นเซ็ตระบุการทำงานของกลไกการเรียนรู้ของแต่ละพนักงาน i ตามแต่ละทักษะ k ในแต่ละล็อตการผลิตผลิตภัณฑ์ p RT_{ikp} เป็นเซ็ตตัวแปรเก็บค่าคำนวนของเวลาทักษะการทำงานซึ่งถูกลดเวลาจากการเรียนรู้ ที่พนักงานแต่ละ i ในแต่ละทักษะ k ในการผลิตแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์ p AT_{ips} เป็นเซ็ตตัวแปรรับค่าเวลาทักษะการทำงานในสถานีงานเพื่อไปเทียบกับค่า Takt Time ที่พนักงานแต่ละ i ในแต่ละล็อตผลิตภัณฑ์ p ในแต่ละสถานีงาน s

ดัชนี (Index)

i = ดัชนีจำนวนพนักงาน; $i \in \{1,2,3,...,I\}$

k = ดัชนีจำนวนทักษะ; $k \in \{1,2,3,...,K\}$

s = ดัชนีจำนวนสถานีงาน; $s \in \{1,2,3,...,S\}$

p = ดัชนีจำนวนล็อตผลิตภัณฑ์; $p \in \{1,2,3,...,P\}$

พารามิเตอร์ (Parameters)

TT_p = ค่าแท็คไทม์ของล็อตผลิตภัณฑ์ p

T_{ik} = เวลาการทำงานของพนักงาน i ของทักษะ k

STD_{sp} = รอบเวลาการผลิตของสถานีงาน s ของล็อตผลิตภัณฑ์ p

$N_{ksp} \in \{0,1\}$

= 1 เมื่อล็อตผลิตภัณฑ์ p ในสถานีงาน s ใช้ทักษะ k

= 0 อื่นๆ

M_{sp} = จำนวนพนักงานที่จำเป็นในสถานีงาน s ในการผลิตล็อตผลิตภัณฑ์ p

LR = อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) โรงงานกรณีศึกษามีสมมุติฐานการเรียนรู้อยู่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์

$M_{skilltime}$ = ตัวแปรค่าคงที่ขนาดใหญ่ ใช้ในกลไก Big-M เพื่อการเปลี่ยนสมการให้เป็นเส้นตรง

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$X_{ips} \in \{0,1\}$;

= 1 เมื่อให้พนักงาน *i* ผลิตล็อตผลิตภัณฑ์ *p* ในสถานีงาน *s*

= 0 อื่น ๆ

D_{ikps} = ผลต่างระหว่างเวลาการทำงานที่พนักงาน *i* ใช้ทักษะ *k* ในการผลิตล็อตผลิตภัณฑ์ *p* เทียบกับรอบเวลามาตราฐานการผลิตของแต่ละสถานีงาน s

$Z_{ikp} \in \{0,1\}$;

= 1 เมื่อพนักงาน *i* ใช้ทักษะ *k* ในผลิตล็อตผลิตภัณฑ์ *p*

= 0 อื่น ๆ

ET_{ikp} = เวลาการทำงาน ที่พนักงาน *i* ใช้ทักษะ *k* ในการผลิตล็อตผลิตภัณฑ์ *p*

RT_{ikp} = เวลาการทำงานที่ลดลงจากการเรียนรู้ เมื่อพนักงาน *i* ใช้ทักษะ *k* ในการผลิตล็อตผลิตภัณฑ์ *p*

ETZ_{ikp} = ตัวแปรช่วยในกระบวนการแปลงเชิงเส้นระหว่าตัวแปล ET_{ikp} กับ Z_{ikp}

AT_{ips} = รอบเวลาการทำงานในสถานีงาน ที่พนักงาน *i* ในการผลิตล็อตผลิตภัณฑ์ *p* ตามแต่ละสถานีงาน *s*

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^{I} \sum_{k=1}^{K} \sum_{p=1}^{P} \sum_{s=1}^{S} D_{ikps} \qquad (5\text{-}1)$$

สมการเงื่อนไข (Constraints Functions)

สมการเงื่อนไขกลุ่มที่ 1: บังคับผลต่างรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานเป็นค่าสมบูรณ์;

$$D_{ikps} \geq STD_{sp} - ET_{ikp} \quad \forall\, i \in I,\ k \in K,\ p \in P,\ s \in S \qquad (5\text{-}2A)$$

$$D_{ikps} \geq -(STD_{sp} - ET_{ikp}) \quad \forall\, i \in I,\ k \in K,\ p \in P,\ s \in S \qquad (5\text{-}2B)$$

สมการเงื่อนไขกลุ่มที่ 2: กลไกการใช้งานทักษะและการเรียนรู้;

การทริคเกอร์กลไกการเรียนรู้

$$\sum_{s \in S | N_{ksp}=1} X_{ips} \geq Z_{ikp} \quad \forall\, i \in I,\ k \in K,\ p \in P \qquad (5\text{-}3A)$$

$$\sum_{s \in S | N_{ksp}=1} X_{ips} \leq 3 \cdot Z_{ikp} \quad \forall\, i \in I,\ k \in K,\ p \in P \qquad (5\text{-}3B)$$

การตั้งค่าเวลาการทำงานเริ่มต้น (p = 1)

$$ET_{ik(p=1)} = T_{ik} \quad \forall i \in I,\ k \in K \qquad (5\text{-}3C)$$

การแปลงตัวแปร Boolean ให้อยู่ในรูปเชิงเส้นและคำนวนเวลาการทำงานที่ลดลง

$$ETZ_{ikp} \leq M_{skilltime} \cdot Z_{ikp} \quad \forall\, i \in I,\ k \in K,\ p \in P \qquad (5\text{-}3D)$$

$$ETZ_{ikp} \le ET_{ikp} \quad \forall i \in I, k \in K, p \in P \quad (5\text{-}3E)$$

$$ETZ_{ikp} \ge ET_{ikp} - M_{skilltime} \cdot (1-Z_{ikp}) \quad \forall i \in I, k \in K, p \in P \quad (5\text{-}3F)$$

$$RT_{ikp} \le ETZ_{ikp} \cdot LR \quad \forall i \in I, k \in K, p \in P \quad (5\text{-}3G)$$

$$RT_{ikp} \ge ETZ_{ikp} \cdot LR - M_{skilltime} \cdot (1 - Z_{ikp}) \quad \forall i \in I, k \in K, p \in P \quad (5\text{-}3H)$$

ปรับปรุงค่าเวลาการทำงานที่ ($p > 1$)

$$ET_{ikp} = ET_{ik(p-1)} - RT_{ik(p-1)} \quad \forall i \in I, k \in K, p \in P : p>1 \quad (5\text{-}3I)$$

สมการเงื่อนไขกลุ่มที่ 3: การจัดสรรคนตามจำนวนที่ต้องการในสถานีงาน;

$$\sum_{i \in I} X_{ips} = M_{sp} \quad \forall s \in S, p \in P \quad (5\text{-}4)$$

สมการเงื่อนไขกลุ่มที่ 4: รอบเวลาการทำงานจริงจะต้องไม่เกินค่า Takt Time ;

$$AT_{ips} \le M_{skilltime} \cdot X_{ips} \quad \forall i \in I, p \in P, s \in S \quad (5\text{-}5A)$$

$$AT_{ips} \ge \sum_{k \in K | N_{ksp}=1} ET_{ikp} - M_{skilltime} \cdot (1-X_{ips}) \quad \forall i \in I, p \in P, s \in S \quad (5\text{-}5B)$$

$$AT_{ips} \le TT_p \quad \forall i \in I, p \in P, s \in S \quad (5\text{-}5C)$$

$$\sum_{i \in I} AT_{ips} \le TT_p \cdot M_{ps} \quad \forall p \in P, s \in S \quad (5\text{-}5D)$$

สมการเงื่อนไขกลุ่มที่ 5: พนักงานสามารถเปลี่ยนไปทำงานซ้ำสถานีงานภายในสายการผลิตได้;

$$\sum_{s \in S} X_{ips} \le 3 \quad \forall i \in I, p \in P \quad (5\text{-}6)$$

สมการเป้าหมาย เพื่อจัดสรรพนักงานเข้าสู่สถานีงาน ตามทักษะที่สถานีงานนั้นต้องการ และต้องการให้เกิดการหมุนเวียนการทำงาน เพื่อให้พนักงานมีทักษะเพิ่มขึ้นโดยเวลาในการทำงานทักษะนั้นๆ เข้าใกล้รอบเวลามาตราฐานที่โรงงานกำหนด ในสมการ (5-1) หาค่าต่ำสุด ของผลรวม ของผลต่างระหว่างรอบเวลาทักษะของพนักงานกับรอบเวลามาตราฐานของแต่ละสถานีงานในการผลิตล็อตผลิตภัณฑ์สุดท้าย สมการเงื่อนไข (5-2A) และ (5-2B) เป็นการหาผลต่างระหว่างรอบเวลาทักษะการทำงานของพนักงานกับรอบเวลามาตราฐานของแต่ละสถานี และบังคับให้ผลต่างดังกล่าวเป็นค่าสัมบูรณ์ สมการเงื่อนไข (5-3A) และ (5-3B) เป็นการหาทักษะที่ต้องใช้และเช็คจำนวนพนักงานที่เรียนรู้ สมการเงื่อนไข (5-3C) เป็นการตั้งค่าเริ่มต้นของเวลาการทำงาน สมการเงื่อนไข (5-3D) (5-3E) และ (5-3F) เป็นเทคนิค Big-M เพื่อเชื่อมตัวแปรทริกเกอร์การเรียนรู้ สมการเงื่อนไข (5-3G) และ (5-3H) การคำนวนหาการลดเวลาทักษะการทำงานของพนักงานลง สมการเงื่อนไข (5-3I) ทำการปรับค่าเวลาทักษะการทำงาน สมการเงื่อนไข (5-4) กำหนดว่าต้องจัดสรรพนักงานให้ครบตามจำนวนพนักงานที่สถานีงานนั้นๆต้องการ สมการเงื่อนไข (5-5A) และ (5-5B) เป็นการดึงเวลา

การทำงานของพนักงานด้วยเทคนิค Big-M สมการเงื่อนไข (5-5C) เป็นการเทียบว่ารอบเวลาทักษะการทำงานจะต้องไม่เกินค่า Takt Time ในกรณีที่เป็นสถานีงานเดี่ยว สมการเงื่อนไข (5-5D) เป็นการเทียบว่ารอบเวลาทักษะการทำงานจะต้องไม่เกินค่า Takt Time ในกรณีที่เป็นสถานีงานคู่ขนานกัน และสมการเงื่อนไข (5-6) เป็นการอนุญาตให้พนักงานสามารถเวียนทำงานซ้ำในสายการผลิตเดียวกันได้ ไม่เกิน 3 สถานีงาน

5.6 การทดสอบตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์และการจำลองข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ข้อมูลที่ใช้การศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ ส่วนหนึ่งมาจากสถานที่จริงจากโรงงาน ข้อมูลทั้งหมดถูกจัดเก็บตามกรอบการจัดการข้อมูล เมื่อเก็บรวมรวมข้อมูลเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงานของพนักงาน (Skill Matrix) ข้อมูลเวลาการทำงานในแต่ละทักษะจะถูกนำไปหาค่าสถิติพื้นฐาน ประกอบด้วย ค่าต่ำสุด (Min) ค่าสูงสุด (Max) และค่าเฉลี่ย (Average) ซึ่งถูกนำไปใช้เพื่อประกอบการจำลองค่าสุ่มค่าแบบ Uniform Random Distribution เพื่อวิเคราะห์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

การทดลองแบ่งได้เป็น 4 การทดลอง การทดลองที่ 1 เป็นการทดลองที่ใช้ค่าเวลาจริงของพนักงานแต่ละคน และอีก 3 การทดลองที่เหลือเป็นการจำลองข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

1. การทดลองโดยใช้เวลาการทำงานจริงของพนักงานในแต่ละทักษะ
2. การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูงและต่ำ = 50:50 คือ พนักงานครึ่งหนึ่งมีทักษะการทำงานสูง (สุ่มค่าเวลาทักษะจาก Min ถึง Average) และอีกครึ่งหนึ่งมีทักษะการทำงานต่ำ (สุ่มค่าเวลาทักษะจาก Average ถึง Max)
3. การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูงและต่ำ = 75:25
4. การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูงและต่ำ = 25:75

ในแต่ละสถานการณ์ ทำการทดลองปรับจำนวนพนักงาน ในขนาดที่ต่างกัน ได้แก่ 17 คน (1 เท่าของข้อมูลจริง) 34 คน (2 เท่าของข้อมูลจริง) และ 68 คน (4 เท่าของข้อมูลจริง) เพื่อศึกษาเวลาในการประมวลผลของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ขอบเขตการวางแผนการผลิตตั้งแต่ 3 ถึง 9 ล็อตการผลิต โดยแบ่งช่วงละ 3 ล็อต

ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำไปหาผลเฉลยโดยใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX เวอร์ชั่น 22.1.0.0 บนคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ้ค ASUS TUF โมเดล A15 FA507NUR และหน่วยประมวลผลกลาง AMD Ryzen 7-7435HS และหน่วยประมวลกราฟฟิก NVidia GTX 4050 ประมวลผล Branch and Cut พร้อมกัน 16 Thread และตั้งค่าช่องว่าง (Optimal Gap) ของ MILP อยู่ที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์

หลังจากทำการคำนวณหาผลเฉลยแต่ละจุดข้อมูลละ 10 ชุดข้อมูล (ยกเว้นข้อมูลจริงจากโรงงานซึ่งมี 1 ชุดข้อมูล) แล้วนำเวลาในการคำนวณมาเฉลี่ยแล้ววาดกราฟระหว่างขอบเขตการวางแผนการผลิตเทียบกับระยะเวลาในการคำนวณและองค์ประกอบทักษะของพนักงาน

5.6.1 ผลการหาคำตอบการจัดสรรพนักงาน 17 คนจากข้อมูลที่เก็บมาจริง

การหาผลเฉลยแบบจำลองการจัดสรรพนักงานโดยใช้ข้อมูลเวลาการทำงานจริงที่เก็บรวบรวมมา จัดสรรพนักงานในสายการผลิตเสื้อช็อปแขนสั้น จำนวนพนักงาน 17 คนได้ทำการทดสอบหาผลลัพธ์การจัดสรรพนักงาน โดยตั้งจำนวนล็อตการผลิตที่ 3 ล็อต 6 ล็อต และ 9 ล็อตการผลิต เพื่อประเมินการทำงานและกลไกสมการเงื่อนไขของตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์

สำหรับการผลิต 3 ล็อตการผลิต พบว่าผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างเวลามาตราฐานกับเวลาการทำงาน (DiffTime; D_{ikp}) มีค่า 16.22, 15.742 และ 14.755 ตามลำดับของล็อตการผลิต 1 ถึง 3 ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นการลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นไปตามสมการเป้าหมายที่ (5-1) จากตารางที่ 5-5 พบว่าสถานีงานที่มีจำนวนพนักงานมากกว่า 1 คน อย่างสถานีงานที่ 7, 8 และ 10 ซึ่งต้องการพนักงาน 2 คน ก็ได้รับการจัดสรรอย่างครบถ้วน เป็นไปตามสมการเงื่อนไขที่ (5-4) ซึ่งกำหนดว่าต้องจัดสรรพนักงานให้ครบตามจำนวนพนักงานที่สถานีงานนั้น ๆ ต้องการ ในขณะเดียวกันสมการเงื่อนไข (5-5C) และ (5-5D) ซึ่งควบคุมการจัดสรรพนักงาน พนักงานคนนั้น ๆ จะต้องมีเวลาการทำงาน ไม่เกินกว่าค่า Takt Time โดยแบบจำลองสามารถจัดสรรพนักงานได้ไม่เกินเวลาที่กำหนด ดูจากค่า Slack Time ในทุกสถานีงาน ซึ่งเป็นพวกบวกทั้งสิ้น และในส่วนสมการเงื่อนไขที่ (5-6) ซึ่งกำหนดให้พนักงานสามารถเวียนสถานีการทำงานซ้ำกันได้ไม่เกิน 3 สถานีงานต่อหนึ่งล็อตการผลิต พบว่าไม่มีการจัดสรรพนักงานซ้ำเกินกว่าจำนวนที่กำหนด

เมื่อขยายขอบเขตการวางแผนการผลิตเป็น การผลิต 6 ล็อต จากตารางที่ 5-7 พบว่าผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างเวลามาตราฐานกับเวลาการทำงาน (DiffTime; D_{ikp}) ในล็อตการผลิตที่ 1 มีค่า 16.21 แล้วลดลงอย่างต่อเนื่อง จนถึงล็อตการผลิตที่ 6 ซึ่งเป็นล็อตสุดท้าย มีค่า D_{ikp} อยู่ที่13.71 โดยในล็อตการผลิตที่ 5 ได้มีการเปลี่ยนการจัดสรรพนักงาน โดยเปลี่ยนการทำงานจากพนักงานทักษะสูง คนที่ 1, 6, 11 และ 14 เปลี่ยนไปทำงานที่สถานีงานอื่น ซึ่งเป็นไปตามจุดมุ่งหมายในการหมุนเวียนพนักงานเพื่อเพิ่มความสามารถการทำงาน กลไกการเวียนพนักงานเกิดจากการที่เมื่อพนักงานทำงานซ้ำๆแล้วลดระยะเวลาการทำงานเรื่อย ๆ ผลค่าสัมบูรณ์ของ D_{ikp} เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อรักษาเป้าหมายของ หารค่าผลต่ำสุด (Minimize) จึงบีบให้ต้องเปลี่ยนทำการจัดสรรพนักงานไป

สำหรับล็อตการผลิต 9 ล็อต จากตารางที่ 5-7 ผลลัพธ์จากแบบจำลองยังให้ค่าของ D_{ikp} ที่ลดลงตามสมการเป้าหมาย ทว่าในล็อตการผลิตที่ 5 มีการเปลี่ยนการจัดสรรพนักงาน ทำให้ค่า D_{ikp} เพิ่มขึ้น แต่ท้ายที่สุดในล็อตการผลิตที่ 7, 8, 9 แสดงการลดลงอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้จะเพิ่มจำนวนล็อตการผลิต แต่กลไกของสมการเงื่อนไขอย่างการจัดสรรคนให้ครบตามจำนวน เงื่อนไขเวลาการทำงานต้องไม่เกินค่า Takt Time และเงื่อนไขการจัดสรรซ้ำสถานีงาน ไม่เกิน 3 สถานี ยังคงทำงานได้

ตารางที่ 5-5 สรุปผลการหาผลเฉลยการจัดสรรพนักงานจำนวน 17 คน จากข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวม 3 ล็อตผลิตภัณฑ์

Product Lot 1, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 16.22

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.53	-	-	1
W2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W3	-	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	1
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W6	-	0.2	-	0.2	-	-	-	-	-	-	2
W7	-	-	0.49	-	0.49	0.49	-	-	-	-	3
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	2.5	2
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W14	2.63	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	2
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.61	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.2	0.49	0.2	0.49	0.49	0.44	2.6	2.61	2.5	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.5	2.21	2.5	2.21	2.21	2.26	0.1	0.09	0.02	

ตารางที่ 5-5 (ต่อ)

Product Lot 2, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 15.742

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	2.63	-	-	-	-	-	-	2.404	-	-	2
W2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W3	-	-	-	-	-	-	0.418	-	-	-	1
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W5	-	-	0.5	-	0.5	0.5	-	-	-	-	3
W6	-	0.19	-	0.19	-	-	-	-	-	-	2
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.47	-	2.375	2
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.418	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.48	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.19	0.5	0.19	0.5	0.5	0.418	2.74	2.48	2.5	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.51	2.2	2.51	2.2	2.2	2.282	0.23	0.22	0.2	

ตารางที่ 5-5 (ต่อ)

Product Lot 3, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 14.755

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	2.499	-	-	-	-	-	-	2.283	-	0.55	3
W2	-	-	-	-	-	-	-	1.04	0.94	0.45	3
W3	-	-	-	-	-	-	0.397	-	-	-	1
W4	-	-	-	-	-	0.63	0.74	-	-	-	2
W5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W6	-	-	0.55	-	-	-	-	-	-	-	1
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W9	-	-	-	0.58	-	-	-	-	-	-	1
W10	-	0.58	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	unassigned
W17	-	-	-	-	0.89	-	-	-	-	-	1
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.499	0.58	0.55	0.58	0.89	0.63	0.74	2.283	0.94	0.55	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.201	2.12	2.15	2.12	1.81	2.07	1.96	0.417	1.76	2.15	

ตารางที่ 5-6 สรุปผลการหาผลเฉลยการจัดสรรพนักงานจำนวน 17 คน จากข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวม 6 ล็อตผลิตภัณฑ์

Product Lot 1, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 16.21

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.53	-	-	1
W2	-	0.19	-	0.19	-	-	-	-	-	-	2
W3	-	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	1
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	0.5	-	0.5	0.5	-	-	-	-	3
W6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	2.5	2
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	2.63	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	2
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.61	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.19	0.5	0.19	0.5	0.5	0.44	2.6	2.61	2.5	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.51	2.2	2.51	2.2	2.2	2.26	0.17	0.09	0.2	

ตารางที่ 5-6 (ต่อ)

Product Lot 2, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 15.836

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.404	-	-	1
W2	-	0.18	-	0.18	-	-	-	-	-	-	2
W3	-	-	-	-	-	-	0.418	-	-	-	1
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	0.475	-	0.475	0.475	-	-	-	-	3
W6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.47	-	2.375	Unassigned
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.418	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.479	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.18	0.475	0.18	0.475	0.475	0.418	2.47	2.479	2.5	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.52	2.225	2.52	2.225	2.225	2.282	0.23	0.221	0.2	

ตารางที่ 5-6 (ต่อ)

Product Lot 3, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 15.474

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.283	-	-	1
W2	-	0.171	-	0.171	-	-	-	-	-	-	2
W3	-	-	-	-	-	-	0.397	-	-	-	1
W4	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W5	-	-	0.451	-	0.451	0.451	-	-	-	-	3
W6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.375	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.375	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.346	-	-	1
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.397	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.356	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.171	0.451	0.171	0.451	0.451	0.397	2.346	2.356	2.375	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.529	2.249	2.529	2.249	2.249	2.303	0.354	0.344	0.325	

ตารางที่ 5-6 (ต่อ)

Product Lot 4, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 14.94

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.169	-	-	1
W2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W3	-	-	-	-	-	-	0.377	-	-	-	1
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	0.429	-	0.429	0.429	-	-	-	-	3
W6	-	0.2	-	0.2	-	-	-	-	-	-	2
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.256	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.229	-	2.256	2
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.377	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W17	2.63	-	-	-	-	-	-	-	2.24	-	2
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.2	0.429	0.2	0.429	0.429	0.377	2.229	2.24	2.256	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.5	2.271	2.5	2.271	2.271	2.323	0.471	0.46	0.444	

ตารางที่ 5-6 (ต่อ)

Product Lot 5, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 16.949

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W2	-	-	-	-	-	-	-	1.04	-	-	1
W3	-	-	-	-	-	-	0.358	-	-	-	1
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	0.407	-	0.407	0.407	-	-	-	-	3
W6	-	0.19	-	0.19	-	-	-	1.04	-	-	3
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.256	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.143	1
W12	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.358	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.238	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.19	0.407	0.19	0.407	0.407	0.358	1.04	2.238	2.256	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.51	2.293	2.51	2.293	2.293	2.342	1.66	0.462	0.444	

ตารางที่ 5-6 (ต่อ)

Product Lot 6, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 13.71

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W2	-	-	-	-	-	0.5	-	-	0.94	-	2
W3	-	-	0.48	0.24	-	-	-	-	-	-	2
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.72	1
W5	-	-	-	-	-	-	0.74	-	-	-	1
W6	-	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	0.67	-	-	-	-	-	1
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.118	-	-	1
W12	-	-	-	-	-	-	-	2.07	-	-	1
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	2.499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.61	1
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W17	-	-	-	-	-	-	0.74	-	-	-	1
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.499	0.18	0.48	0.24	0.67	0.5	0.74	2.118	0.94	1.72	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.202	2.52	2.22	2.46	2.03	2.2	1.96	0.582	1.76	0.98	

ตารางที่ 5-7 สรุปผลการหาผลเฉลยการจัดสรรพนักงานจำนวน 17 คน จากข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวม 9 ล็อตผลิตภัณฑ์

Product Lot 1, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 16.23

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.53	-	-	1
W2	-	0.19	-	0.19	-	-	-	-	-	-	2
W3	-	-	0.48	-	0.48	0.48	-	-	-	-	3
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W6	-	-	-	-	-	-	0.48	-	-	-	1
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	-	1
W12	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.61	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.19	0.48	0.19	0.48	0.48	0.48	2.6	2.61	2.5	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.51	2.22	2.51	2.22	2.22	2.22	0.1	0.09	0.2	

ตารางที่ 5-7 (ต่อ)

Product Lot 2, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 15.855

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.404	-	-	1
W2	-	0.18	-	0.18	-	-	-	-	-	-	2
W3	-	-	0.456	-	0.456	0.456	-	-	-	-	3
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W6	-	-	-	-	-	-	0.456	-	-	-	1
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.375	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.47	-	2.5	2
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.418	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.48	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.18	0.456	0.18	0.456	0.456	0.456	2.47	2.48	2.5	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.52	2.244	2.52	2.244	2.244	2.282	0.23	0.22	0.2	

ตารางที่ 5-7 (ต่อ)

Product Lot 3, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 15.492

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.283	-	-	1
W2	-	0.171	-	0.171	-	-	-	-	-	-	2
W3	-	-	0.433	-	0.433	0.433	-	-	-	-	3
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W6	-	-	-	-	-	-	0.433	-	-	-	1
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.375	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.346	-	2.375	2
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.397	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.356	-	1
W17	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.171	0.433	0.171	0.433	0.433	0.433	2.346	2.356	2.375	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.529	2.267	2.529	2.267	2.267	2.303	0.354	0.344	0.325	

ตารางที่ 5-7 (ต่อ)

Product Lot 4, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 15.029

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	2.169	-	-	1
W2	-	0.163	-	0.163	-	-	-	-	-	-	2
W3	-	-	0.412	-	0.412	0.412	-	-	-	-	3
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W6	-	-	-	-	-	-	0.412	-	-	-	1
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.256	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.256	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	2.229	-	-	1
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	2.63	-	-	-	-	-	0.377	-	-	-	2
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.238	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.163	0.412	0.163	0.412	0.412	0.412	2.229	2.238	2.256	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.537	2.288	2.537	2.288	2.288	2.288	0.471	0.462	0.444	

ตารางที่ 5-7 (ต่อ)

Product Lot 5, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 17.038

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W2	-	0.155	-	0.155	-	-	-	1.04	-	-	3
W3	-	-	0.391	-	0.391	0.391	-	-	-	-	3
W4	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W6	-	-	-	-	-	-	0.391	1.04	-	-	2
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.143	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.256	1
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.358	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	2.24	-	1
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.155	0.391	0.155	0.391	0.391	0.391	1.04	2.24	2.256	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.545	2.309	2.545	2.309	2.309	2.342	1.66	0.46	0.444	

ตารางที่ 5-7 (ต่อ)

Product Lot 6, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 17.027

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W2	-	0.147	-	0.147	-	-	-	0.988	-	-	3
W3	-	-	0.371	-	0.371	0.371	-	-	-	-	3
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W6	-	-	-	-	-	-	0.371	0.988	-	-	2
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.143	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.143	1
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.34	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	2.126	-	1
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.147	0.371	0.147	0.371	0.371	0.371	0.988	2.126	2.143	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.553	2.329	2.553	2.329	2.329	2.36	1.712	0.574	0.557	

ตารางที่ 5-7 (ต่อ)

Product Lot 7, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 16.93

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W2	-	0.14	-	0.14	-	-	-	0.939	-	-	3
W3	-	-	0.353	-	0.353	0.353	-	-	-	-	3
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	2.499	-	-	-	-	-	-	-	2.17	-	2
W6	-	-	-	-	-	-	0.353	0.939	-	-	2
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.036	1
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.036	1
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.323	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.499	0.14	0.353	0.14	0.353	0.353	0.353	0.939	2.17	2.036	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.201	2.56	2.347	2.56	2.347	2.347	2.347	1.761	0.53	0.664	

ตารางที่ 5-7 (ต่อ)

Product Lot 8, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 16.513

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W2	-	0.133	-	0.133	-	-	-	0.892	-	-	3
W3	-	-	-	-	-	-	0.44	-	-	-	1
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	0.5	-	0.5	0.5	-	-	-	-	3
W6	-	-	-	-	-	-	-	0.892	-	-	1
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.036	1
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W9	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.934	1
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W14	-	-	-	-	-	-	0.307	-	-	-	1
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W17	-	-	-	-	-	-	-	-	2.128	-	1
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	2.63	0.133	0.5	0.133	0.5	0.5	0.44	0.892	2.128	2.036	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	0.07	2.567	2.2	2.567	2.2	2.2	2.26	1.808	0.572	0.664	

ตารางที่ 5-7 (ต่อ)

Product Lot 9, Absolute Total DiffTime (Dikp) : 14.464

Station / Worker	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Repeat
W1	-	-	-	-	-	-	0.74	2.061	-	0.55	3
W2	-	-	-	-	-	-	0.49	-	0.94	0.45	3
W3	1.36	0.24	0.335	-	-	-	-	-	-	-	3
W4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W5	-	-	-	0.58	-	-	-	-	-	-	1
W6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W11	-	-	-	-	-	0.87	-	-	-	-	1
W12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W13	-	-	-	-	-	-	-	2.01	-	-	1
W14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Unassigned
W17	-	-	-	-	0.89	-	-	-	-	-	1
Require Worker	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
Working Time (Max)	1.36	0.24	0.335	0.58	0.89	0.87	0.74	2.061	0.94	0.55	
Takt Time	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
Slack Time	1.34	2.46	2.365	2.12	1.81	1.83	1.96	0.639	1.76	2.15	

5.6.2 ผลลัพธ์ของการเรียนรู้และปรับลดเวลาการทำงานของพนักงาน

จากตารางที่ 5-8 ตารางที่ 5-9 และตารางที่ 5-10 แสดงการเปรียบเทียบของเวลาทักษะการทำงานของพนักงานโดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนการผลิตกับเวลาทักษะการทำงานหลังจากสิ้นสุดล็อตการผลิตสุดท้าย ตารางข้างต้นแสดงเฉพาะทักษะที่ได้มีการใช้งานในสายการผลิตนี้ จำนวนพนักงาน 17 คน ใช้เวลาทักษะการทำงานจากที่เก็บรวบรวมจริง โดยเรียงตามลำดับของล็อตการผลิต 3 6 และ 9 ล็อตการผลิต ในช่อง init. เป็นค่าเวลาทักษะการทำงานก่อนการผลิต (Initial production lot of skill time) ช่อง Fin. เป็นค่าเวลาทักษะการทำงานหลังจากการผลิตล็อตการผลิตสุดท้ายที่กำหนด (Final production lot of skill time) และช่อง % เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของเวลาทักษะการทำงานหลังการผลิตล็อตสุดท้ายเปรียบเทียบกับเวลาทักษะการทำงานก่อนการผลิต คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง ช่องการ Assigned Lot แสดงว่าพนักงานคนนั้นๆ ได้ถูกจัดสรรเข้าสู่สถานีงานในล็อตการผลิตลำดับใด ช่อง Learning Trigger แสดงว่าพนักงานคนนั้น ได้เรียนรู้ไปเป็นจำนวนกี่ครั้ง และท้ายตาราง Skill Learning Count แสดงว่า ทักษะนั้นมีจำนวนครั้งที่ถูกเรียกใช้งานเท่าใด

เงื่อนไขการเรียนรู้ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Learning Curve Constraint) ผลการเปรียบเทียบทั้ง 3 ช่วงล็อตการผลิต แสดงให้เห็นถึงการลดลงตามจำนวนการใช้งานทักษะซ้ำ ยิ่งใช้งานทักษะนั้น ๆ ซ้ำมากขึ้น พนักงานคนนั้น ๆ ก็ลดเวลาการทำงานมากขึ้นตามจำนวนครั้งที่เกิดขึ้น

เวลาการทำงานทักษะที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างสำคัญได้แก่ ทักษะที่ 8 ทักษะที่ 13 และทักษะที่ 17 เป็นกลุ่มทักษะที่จำนวนการ Trigger การเรียนรู้มาก โดยลดลง 5 ถึง 33 เปอร์เซ็นต์ ตามจำนวนครั้งที่เกิดการเรียนรู้ นอกจากนี้พนักงานมีการเวียนและทักษะนั้นมีการลดระยะเวลาการทำงานหลายคน เป็นไปตามจุดประสงค์ที่พยายามกระจายความสามารถให้แก่พนักงาน

ผลลัพธ์จากตารางทั้งสามแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การบังคับใช้เงื่อนไขการเรียนรู้ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ ภายในแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ ทำให้สามารถจำลองพฤติกรรมการเรียนรู้ของพนักงานได้อย่างแม่นยำ การลดลงของเวลาทักษะในแต่ละทักษะและแต่ละพนักงานสอดคล้องกับจำนวนรอบการฝึกฝนซ้ำและจำนวนล็อตการผลิตที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวยืนยันถึงศักยภาพของแบบจำลองในการรองรับการพัฒนาบุคคลากรและวางแผนการจัดสรรพนักงาน

ตารางที่ 5-8 เปรียบเทียบเวลาการทำงานงานก่อนและล็อตการผลิตสุดท้าย ของการจัดสรรพนักงาน 17 คน จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจริง 3 ล็อตการผลิต

Skill	K1			K8			K10			K12			K13			K15			K17			Assigned Lot	Learning Trigger
Worker	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%		
W1	2.74	2.74	0%	0.55	0.523	-5%	2.63	2.374	-9.75%	0.88	0.88	0%	2.53	2.169	-14.263%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	1,2,3	6
W2	0.94	0.893	-5%	0.45	0.428	-5%	1.24	1.24	0%	0.5	0.5	0%	1.04	0.988	-5%	0.19	0.19	0%	0.49	0.49	0%	3	3
W3	1.35	1.35	0%	0.54	0.54	0%	1.36	1.36	0%	0.48	0.48	0%	1.05	1.05	0%	0.24	0.24	0%	0.44	0.377	-14.262%	1,2,3	3
W4	2.74	2.74	0%	1.72	1.72	0%	2.63	2.63	0%	0.63	0.599	-5%	1.68	1.68	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.703	-5%	3	2
W5	2.17	2.17	0%	0.44	0.44	0%	2.63	2.63	0%	0.5	0.475	-5%	2.04	2.04	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	2	1
W6	1	1	0%	0.4	0.4	0%	2.63	2.63	0%	0.55	0.523	-5%	1.04	1.04	0%	0.2	0.18	-9.75%	0.48	0.48	0%	1,2,3	3
W7	2.74	2.74	0%	2.5	2.375	-5%	2.63	2.63	0%	0.49	0.465	-5%	2.03	2.03	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	1,2	2
W8	2.74	2.74	0%	2.5	2.375	-5%	2.63	2.63	0%	0.77	0.77	0%	3.14	3.14	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	1	1
W9	2.74	2.74	0%	1.08	1.08	0%	2.63	2.63	0%	0.75	0.75	0%	2.04	2.04	0%	0.58	0.551	-5%	0.74	0.74	0%	3	1

ตารางที่ 5-8 (ต่อ)

Skill	K1			K8			K10			K12			K13			K15			K17			Assigned Lot	Learning Trigger
Worker	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%		
W10	2.74	2.74	0%	1.47	1.47	0%	2.63	2.63	0%	0.67	0.67	0%	2.01	2.01	0%	0.58	0.551	-5%	0.74	0.74	0%	3	1
W11	2.74	2.74	0%	2.5	2.256	-9.75%	2.63	2.63	0%	0.87	0.87	0%	2.6	2.346	-9.75%	0.38	0.38	0%	0.73	0.73	0%	1,2	4
W12	2.74	2.74	0%	0.88	0.88	0%	2.63	2.63	0%	0.54	0.54	0%	2.07	2.07	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	-	0
W13	2.74	2.74	0%	1.77	1.77	0%	2.63	2.63	0%	0.73	0.73	0%	2.01	2.01	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	-	0
W14	2.74	2.74	0%	0.99	0.99	0%	2.63	2.499	-5%	0.86	0.86	0%	2.02	2.02	0%	0.58	0.58	0%	0.44	0.397	-9.75%	1,2	3
W15	1.55	1.55	0%	0.61	0.61	0%	2	2	0%	0.57	0.57	0%	1.57	1.57	0%	0.33	0.33	0%	0.5	0.5	0%	-	0
W16	2.61	2.356	-9.75%	0.97	0.97	0%	2.38	2.38	0%	0.93	0.93	0%	1.63	1.63	0%	0.26	0.26	0%	0.52	0.52	0%	1,2	2
W17	2.24	2.24	0%	1.87	1.87	0%	2.63	2.63	0%	0.89	0.846	-5%	2.06	2.06	0%	0.37	0.37	0%	0.74	0.74	0%	3	1
Skill Learning Count	3			6			3			5			6			4			6				

ตารางที่ 5-9 เปรียบเทียบเวลาการทำงานงานก่อนและล็อตการผลิตสุดท้าย ของการจัดสรรพนักงาน 17 คน จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจริง 6 ล็อตการผลิต

Skill	K1			K8			K10			K12			K13			K15			K17			Assigned Lot	Learning Trigger
Worker	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%		
W1	2.74	2.74	0%	0.55	0.55	0%	2.63	2.63	0%	0.88	0.88	0%	2.53	2.061	-18.549%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	1,2,3,4	4
W2	0.94	0.893	-5%	0.45	0.45	0%	1.24	1.24	0%	0.5	0.475	-5%	1.04	0.988	-5%	0.19	0.163	-14.263%	0.49	0.49	0%	1,2,3,5,6	6
W3	1.35	1.35	0%	0.54	0.54	0%	1.36	1.36	0%	0.48	0.456	-5%	1.05	1.05	0%	0.24	0.228	-5%	0.44	0.34	-22.622%	1,2,3,4,5,6	7
W4	2.74	2.74	0%	1.72	1.634	-5%	2.63	2.498	-5%	0.63	0.63	0%	1.68	1.68	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	3,6	2
W5	2.17	2.17	0%	0.44	0.44	0%	2.63	2.63	0%	0.5	0.387	-22.622%	2.04	2.04	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.703	-5%	1,2,3,4,5,6	6
W6	1	1	0%	0.4	0.4	0%	2.63	2.63	0%	0.55	0.55	0%	1.04	0.988	-5%	0.2	0.171	-14.262%	0.48	0.48	0%	4,5,6	4
W7	2.74	2.74	0%	2.5	2.143	-14.262%	2.63	2.63	0%	0.49	0.49	0%	2.03	2.03	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	1,3,4	3
W8	2.74	2.74	0%	2.5	2.143	-14.263%	2.63	2.63	0%	0.77	0.77	0%	3.14	3.14	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	2,3,5	3
W9	2.74	2.74	0%	1.08	1.08	0%	2.63	2.63	0%	0.75	0.75	0%	2.04	2.04	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	-	0

ตารางที่ 5-9 (ต่อ)

Skill	K1			K8			K10			K12			K13			K15			K17			Assigned Lot	Learning Trigger
Worker	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%		
W10	2.74	2.74	0%	1.47	1.47	0%	2.63	2.498	-5%	0.67	0.637	-5%	2.01	2.01	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	2,6	2
W11	2.74	2.74	0%	2.5	2.036	-18.549%	2.63	2.63	0%	0.87	0.87	0%	2.6	2.012	-22.622%	0.38	0.38	0%	0.73	0.73	0%	1,2,3,4,5,6	9
W12	2.74	2.74	0%	0.88	0.88	0%	2.63	2.498	-5%	0.54	0.54	0%	2.07	1.967	-5%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	05	5,6	2
W13	2.74	2.74	0%	1.77	1.77	0%	2.63	2.63	0%	0.73	0.73	0%	2.01	2.01	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	-	0
W14	2.74	2.74	0%	0.99	0.99	0%	2.63	2.374	-9.75%	0.86	0.86	0%	2.02	2.02	0%	0.58	0.58	0%	0.44	0.34	-22.622%	1,2,3,4,5,6	7
W15	1.55	1.55	0%	0.61	0.58	-5%	2	2	0%	0.57	0.57	0%	1.57	1.57	0%	0.33	0.33	0%	0.5	0.5	0%	6	1
W16	2.61	2.126	-18.549%	0.97	0.97	0%	2.38	2.38	0%	0.93	0.93	0%	1.63	1.63	0%	0.26	0.26	0%	0.52	0.52	0%	1,2,3,5	4
W17	2.24	2.128	-5%	1.87	1.87	0%	2.63	2.498	-5%	0.89	0.89	0%	2.06	2.06	0%	0.37	0.37	0%	0.74	0.703	-5%	4,6	3
Skill Learning Count	6			12			6			8			12			7			12				

ตารางที่ 5-10 เปรียบเทียบเวลาการทำงานงานก่อนและล็อตการผลิตสุดท้าย ของการจัดสรรพนักงาน 17 คน จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจริง 9 ล็อตการผลิต

Skill	K1			K8			K10			K12			K13			K15			K17			Assigned Lot	Learning Trigger
Worker	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%		
W1	2.74	2.74	0%	0.55	0.523	-5%	2.63	2.63	0	0.88	0.88	0%	2.53	1.958	-22.622%	0.58	0.58	0%	0.74	0.703	-5%	1,2,3,4,9	7
W2	0.94	0.893	-5%	0.45	0.427	-5%	1.24	1.24	0	0.5	0.5	0%	1.04	0.847	-18.549%	0.19	0.126	-33.658%	0.49	0.466	-5%	1,2,3,4,5,6,7,8,9	15
W3	1.35	1.35	0%	0.54	0.54	0%	1.36	1.292	-5	0.48	0.318	-33.658%	1.05	1.05	0%	0.24	0.228	-5%	0.44	0.418	-5%	1,2,3,4,5,6,7,8,9	11
W4	2.74	2.74	0%	1.72	1.72	0%	2.63	2.498	-5	0.63	0.63	0%	1.68	1.68	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	5	1
W5	2.17	2.061	-5%	0.44	0.44	0%	2.63	2.374	-9.75	0.5	0.475	-5%	2.04	2.04	0%	0.58	0.551	-5%	0.74	0.74	0%	6,7,8,9	5
W6	1	1	0%	0.4	0.4	0%	2.63	2.63	0	0.55	0.55	0%	1.04	0.847	-18.549%	0.2	0.2	0%	0.48	0.335	-30.166%	1,2,3,4,5,6,7,8	11
W7	2.74	2.74	0%	2.5	1.934	-22.622%	2.63	2.63	0	0.49	0.49	0%	2.03	2.03	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	1,3,4,6,8	5
W8	2.74	2.74	0%	2.5	1.934	-22.622%	2.63	2.63	0	0.77	0.77	0%	3.14	3.14	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	1,2,4,5,7	5

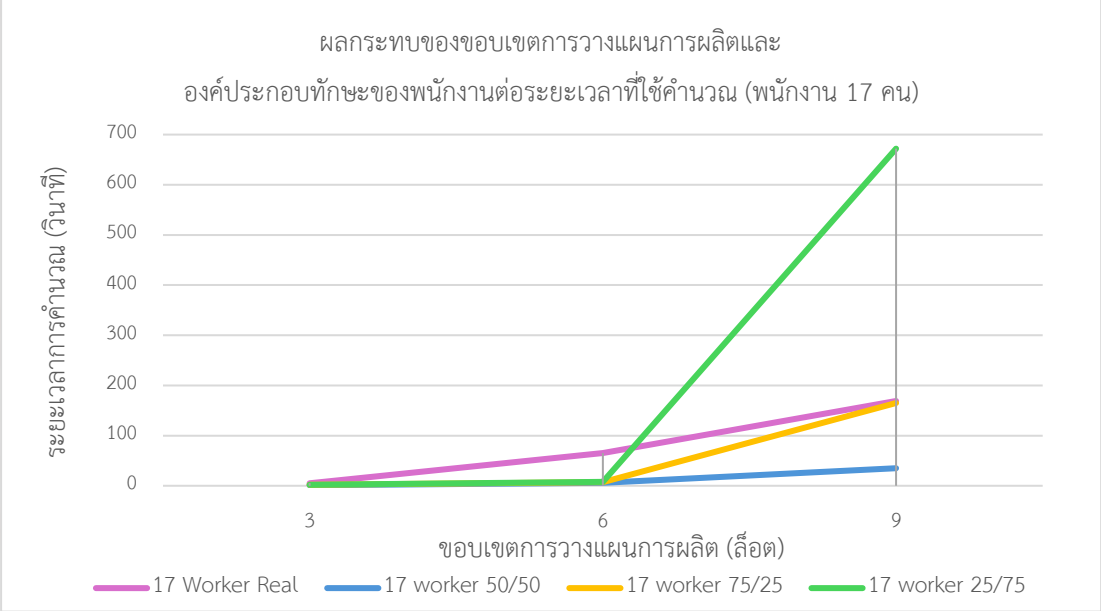
ตารางที่ 5-10 (ต่อ)

Skill	K1			K8			K10			K12			K13			K15			K17			Assigned Lot	Learning Trigger
Worker	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%	Init.	Fin.	%		
W9	2.74	2.74	0%	1.08	1.08	0%	2.63	2.498	-5%	0.75	0.75	0%	2.04	2.04	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	8	1
W10	2.74	2.74	0%	1.47	1.47	0%	2.63	2.499	-5%	0.67	0.67	0%	2.01	2.01	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	2	1
W11	2.74	2.74	0%	2.5	1.838	-26.491%	2.63	2.63	0%	0.87	0.826	-5%	2.6	2.118	-18.549%	0.38	0.38	0%	0.73	0.73	0%	1,2,3,4,5,6,7,8,9	11
W12	2.74	2.74	0%	0.88	0.88	0%	2.63	2.499	-5%	0.54	0.54	0%	2.07	2.07	0%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	1	1
W13	2.74	2.74	0%	1.77	1.77	0%	2.63	2.63	0%	0.73	0.73	0%	2.01	1.909	-5%	0.58	0.58	0%	0.74	0.74	0%	9	1
W14	2.74	2.74	0%	0.99	0.99	0%	2.63	2.499	-5%	0.86	0.86	0%	2.02	2.02	0%	0.58	0.58	0%	0.44	0.292	-33.658%	1,2,3,4,5,6,7,8	9
W15	1.55	1.55	0%	0.61	0.61	0%	2	2	0%	0.57	0.57	0%	1.57	1.57	0%	0.33	0.33	0%	0.5	0.5	0%	0	0
W16	2.61	2.02	-22.622%	0.97	0.97	0%	2.38	2.38	0%	0.93	0.93	0%	1.63	1.63	0%	0.26	0.26	0%	0.52	0.52	0%	1,2,3,4,6	5
W17	2.24	2.022	-9.75%	1.87	1.87	0%	2.63	2.498	-5%	0.89	0.845	-5%	2.06	2.06	0%	0.37	0.37	0%	0.74	0.74	0%	3,5,8,9	4
Skill Learning Count	9			18			9			11			18			10			18				

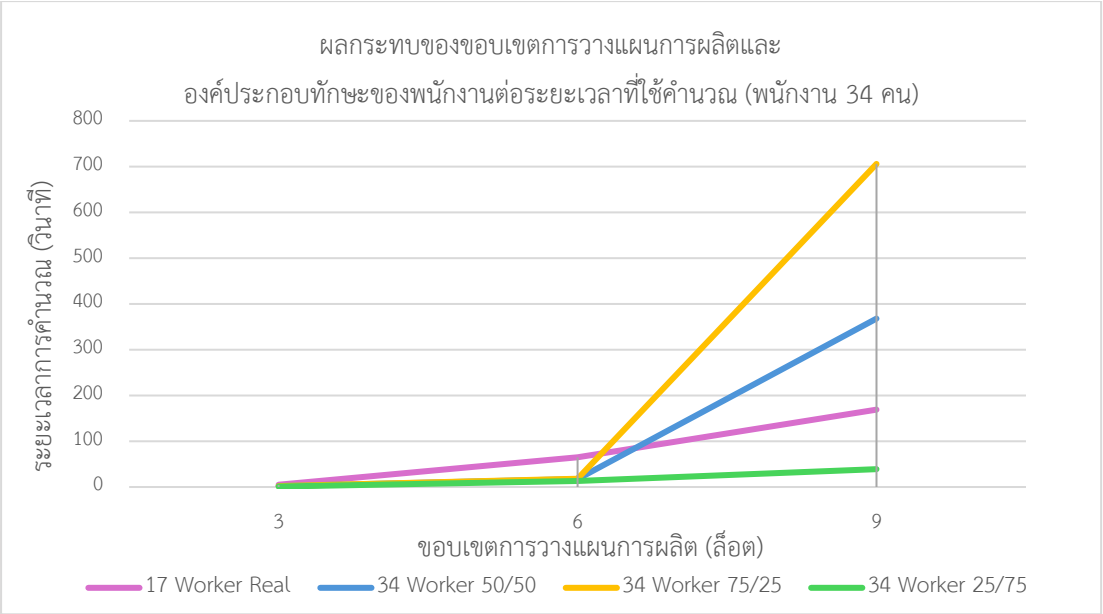
5.6.3 ผลของระยะเวลาในการคำนวนหาคำตอบการจัดสรรพนักงาน

ตารางที่ 5-11 สรุปเวลาเฉลี่ยผลการหาผลเฉลยในแต่ละการทดลอง

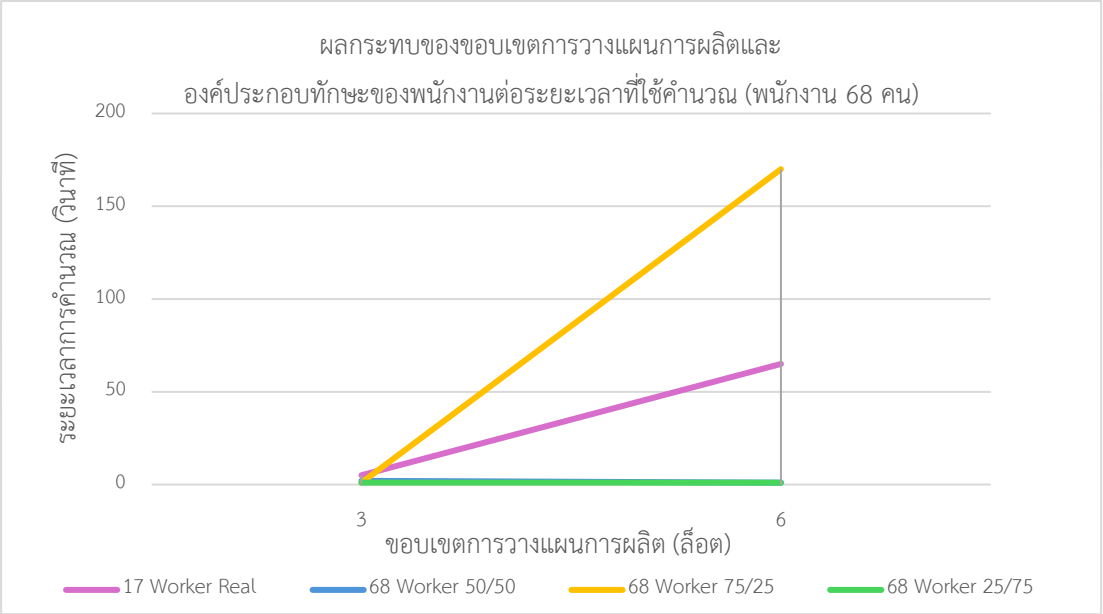
Product Lot	พนักงาน 17 คน				พนักงาน 34 คน			พนักงาน 68 คน		
	Real	50:50	75:25	25:75	50:50	75:25	25:75	50:50	75:25	25:75
3	5 sec.	1 sec.	2 sec.	2 sec.	2 sec.	2 sec.	1 sec.	1 sec.	1 sec.	1 sec.
6	65 sec.	6 sec.	7 sec.	8 sec.	17 sec.	18 sec.	13 sec.	283 sec.	170 sec.	187 sec.
9	169 sec.	35 sec.	165. sec.	672 sec.	368 sec.	706 sec.	39 sec.	Un solved	Un solved	Un solved



ภาพที่ 5-2 ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (กรณีพนักงาน 17 คน)



ภาพที่ 5-3 ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (กรณีพนักงาน 34 คน)



ภาพที่ 5-4 ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (กรณีพนักงาน 68 คน)

ผลการทดลองที่ 1 จำนวนพนักงาน 17 คน และใช้ข้อมูลเมทริกซ์ทักษะการทำงานจากการเก็บข้อมูลจริง ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 5 วินาที 1 นาที 5 วินาที 2 นาที 49 วินาที สำหรับขอบเขตการวางแผนการผลิตที่ 3 ล็อต 6 ล็อต 9 ล็อต ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ยระยะการคำนวณ 1 นาที 20 วินาที

ผลการทดลองที่ 2 สัดส่วนพนักงานทักษะสูงและต่ำ 50:50 สุ่มค่า 10 ชุดข้อมูลแล้วนำมาเฉลี่ยระยะเวลาการคำนวณ สำหรับกรณีพนักงาน 17 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 1 วินาที 5 วินาที 35 วินาที กรณีเพิ่มจำนวนพนักงานเป็น 34 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 2 วินาที 17 วินาที 6 นาที 8 วินาที กรณีจำนวนพนักงานเป็น 68 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 1 วินาที 4 นาที 43 วินาที เรียงลำดับตามขอบเขตการวางแผนการผลิตที่ 3 ล็อต 6 ล็อต 9 ล็อตการผลิต

ผลการทดลองที่ 3 สัดส่วนพนักงานทักษะสูงและต่ำ 75:25 สุ่มค่า 10 ชุดข้อมูลแล้วนำมาเฉลี่ยระยะเวลาการคำนวณ สำหรับกรณีพนักงาน 17 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 2 วินาที 7 วินาที 2 นาที 45 วินาที กรณีเพิ่มจำนวนพนักงานเป็น 34 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 2 วินาที 18 วินาที 11 นาที 46 วินาที กรณีจำนวนพนักงานเป็น 68 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 1 วินาที 2 นาที 50 วินาที เรียงลำดับตามขอบเขตการวางแผนการผลิตที่ 3 ล็อต 6 ล็อต 9 ล็อตการผลิต

ผลการทดลองที่ 4 สัดส่วนพนักงานทักษะสูงและต่ำ 25:75 สุ่มค่า 10 ชุดข้อมูลแล้วนำมาเฉลี่ยระยะเวลาการคำนวณ สำหรับกรณีพนักงาน 17 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 2 วินาที 8 วินาที 11 นาที 12 วินาที กรณีเพิ่มจำนวนพนักงานเป็น 34 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 1 วินาที 13 วินาที 39 วินาที กรณีจำนวนพนักงานเป็น 68 คน ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย 1 วินาที 3 นาที 7 วินาที ตามขอบเขตการวางแผนการผลิตที่ 3 ล็อต 6 ล็อต 9 ล็อตการผลิต

ในกรณีพนักงาน 68 คน ล็อตการผลิต 9 ล็อต ทุกสัดส่วนของทักษะ จากการทดลองไม่สามารถหาคำตอบได้ โดยหยุดการทดลองจากการ Error ของโปรแกรม IBM ILOG CPLEX ซึ่งไม่ได้หยุดด้วยเวลาการคำนวนหรือช่องว่างของ MILP

5.7 อภิปรายผลการทดสอบตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการจัดสรรพนักงานพบว่า ผลลัพธ์ของการจัดสรรพนักงานเป็นไปตามสมการเป้าหมายที่หาค่าผลต่ำสุดของผลต่างระหว่างค่าเวลามาตราฐานกับค่าเวลาทักษะของพนักงาน ด้วยกลไกนี้ เมื่อลดระยะเวลาการทำงานเรื่อย ๆ ผลต่างที่มากขึ้นขัดแย้งกับสมการเป้าหมาย เป็นการบังคับให้การจัดสรรต้องเปลี่ยนตัวพนักงาน ผลลัพธ์จากตางรางการจัดสรรพบว่า สมการเงื่อนไขที่กำหนดให้ต้องจัดสรรพนักงานครบตามจำนวนที่สถานีงานต้องการทำงานได้อย่างถูกต้อง สมการเงื่อนไขการควบคุมไม่ให้จัดสรรพนักงานแล้ว เวลาการทำงานทักษะเกินกว่าค่า Takt Time ทำงานได้ถูกต้อง โดยดูจากเวลาการทำงานทักษะที่น้อยกว่าค่า Takt Time รวมถึงค่าเวลา Slack Time ที่เป็นผลบวก นั้นหมายความว่า ยังคงมีเวลาเผื่ออยู่ รวมไปถึงสมการบังคับการจัดสรรเวียน ไม่ให้เกิน 3 สถานีงาน พบว่าจำนวนพนักงานเวียนสูงสุดที่ 3 สถานีงาน ไม่มีการจัดสรรซ้ำเกินกว่าที่กำหนด

ผลจากการเปรียบเทียบเวลาทักษะการทำงานของพนักงานโดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนการผลิตกับเวลาทักษะการทำงานหลังจากสิ้นสุดล็อตการผลิตสุดท้าย พบว่าการลดเวลาทำงานเกิดขึ้นเฉพาะพนักงานที่มีการทำงานและยิ่งจำนวนล็อตการผลิตเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่ลดลงก็สัมพันธ์ตามจำนวนครั้งที่ทำงาน โดยที่ลดระยะเวลาได้ตั้งแต่ 5 ถึง 33 เปอร์เซ็นต์ขึ้นอยู่กับพนักงานที่จัดสรรทักษะและจำนวนครั้งที่ทำงาน สมการเงื่อนไขการเรียนรู้สามารถจำลองพฤติกรรมการเรียนรู้ของพนักงานได้อย่างถูกต้อง นั้นหมายความว่า ตัวแบบจำลองมีความสามารถในการจัดสรรพนักงานรองรับการพัฒนาบุคคลกรและการวางแผนจัดสรรพนักงานได้

ผลจากการทดลองเมื่อเพิ่มจำนวนพนักงาน มีผลต่อระยะเวลาเฉลี่ยในการหาผลเฉลย สำหรับกรณีขนาดปัญหาเล็กที่มีจำนวนพนักงาน 17 คนสามารถหาผลเฉลยได้ในระยะเวลาอันสั้นในทุกช่วงของล็อตการผลิต เมื่อขยายขนาดของปัญหาเป็นกรณีพนักงาน 34 คน ระยะเวลาเฉลี่ยในการหาผลเฉลยเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ กรณีพนักงาน 17 คน แต่ระยะเวลาในการหาเฉลี่ยยังคงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ทว่าเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้น กรณีพนักงาน 68 คน ระยะเวลาเฉลี่ยในการหาผลเฉลยเพิ่มขึ้นอย่างมาก และในกรณี 9 ล็อตการผลิต โปรแกรม IBM ILOG CPLEX ไม่สามารถหาคำตอบที่เป็นไปได้ เนื่องจากปัญหามีความซับซ้อนเกินไป สะท้อนถึงการเติบโตของระยะเวลาการหาผลเฉลยแบบเอ็กซ์โพเน็นเชียล

ขอบเขตการวางแผนล็อตการผลิต มีผลต่อระยะเวลาในการหาผลเฉลย เมื่อจำนวนล็อตการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 3 6 และ 9 ล็อต เวลาในการคำนวณเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง จากตารางที่ 5-11 ที่ล็อตการผลิต 3 ล็อต ใช้เวลาเฉลี่ยคำนวณหาผลเฉลย 1 วินาที ล็อตการผลิต 6 ใช้เวลาเฉลี่ยคำนวณหาผลเฉลย 1 นาที 19 วินาที และล็อตการผลิต 9 ล็อต ใช้เวลาเฉลี่ยคำนวณหาผลเฉลย 5 นาที 31 วินาที ยิ่งขอบเขตการวางแผนล็อตการผลิตมากขึ้น ยิ่งใช้เวลาในการคำนวณหาผลเฉลยนานขึ้น

ผลกระทบของทักษะพนักงาน สัดส่วนของทักษะพนักงานส่งผลต่อระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลย พบว่าเมื่อกำหนดให้สัดส่วนทักษะสูงและต่ำเท่ากัน (50:50) สามารถหาผลเฉลยได้เร็วกว่าในทางตรงกันข้าม เมื่อทักษะพนักงานไม่เท่ากัน ทำให้ปัญหามีความซับซ้อนขึ้น เช่น กรณีพนักงาน 17 คน และส่วนใหญ่ทักษะต่ำ รวมกับล็อตการผลิตที่มากขึ้น เป็น 9 ล็อต ส่งผลให้ระยะเวลาการคำนวณหาผลเฉลยนานขึ้น

บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผังการผลิตของแผนกเย็บผ้า ในโรงงานผลิตเสื้อผ้าแบบตามคำสั่งผลิตจากลูกค้า โดยสามารถแบ่งแยกผลิตภัณฑ์ออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ เสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้น และกางเกงขายาว ด้วยการใช้แผนภาพการไหลของผลิตภัณฑ์ ติดตามการไหลของวัสดุ พบว่าผังการผลิตปัจจุบัน มีความสูญเปล่าในการด้านการขนส่ง เส้นทางการไหลที่สวนทางกัน รวมไปที่ก่อให้เกิดความยากในการติดตามสถานะของทำงาน ด้วยการพบปัญหาข้างต้น จึงทำการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพลำดับการผลิตและแผนผังสายธารคุณค่า จากการวิเคราะห์พบว่าลักษณะขั้นตอนการทำงานบางประการมีความคล้ายคลึงกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะออกแบบผังการผลิตที่สามารถรองรับทุกผลิตภัณฑ์แล้วลดความสูญเปล่าในการเดินทางได้ จึงนำเสนอการออกแบบผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ โดยมีขั้นตอนทั้งหมด 6 ขั้นตอน แล้วเมื่อได้ผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์จึงนำข้อมูลของผังการผลิตและข้อมูลการทำงาน สร้างกรอบการจัดการข้อมูลและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงาน

ตารางที่ 6-1 สรุปกรอบและผลลัพธ์แต่ละระยะของงานวิจัย

ระยะที่	ผลการวิจัย	สรุป
1	ออกแบบผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์สำหรับแผนกเย็บผ้า	ทำการออกแบบผังการผลิตเซลล์ลูล่าร์ ซึ่งสามารถรองรับผลิตภัณฑ์ 3 ประเภท เซลล์การทำงาน 3 เซลล์ ได้แก่ เซลล์เตรียมชิ้นส่วน เซลล์การประกอบผลิตภัณฑ์ และเซลล์งานปิดท้าย จัดผังการผลิตรูปตัวยู วนตามเข็มนาฬิกา
2	กรอบการจัดการข้อมูลและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงาน	กรอบตารางการนำเข้าข้อมูล เพื่อนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงาน โดยมีเป้าหมายจัดสรรพนักงานตามทักษะการทำงานและส่งเสริมการเวียนการทำงานของพนักงาน

ตารางที่ 6-2 สรุปขั้นตอนการออกแบบผังการผลิตแบบเซลล์ลูล่าร์สำหรับแผนกเย็บผ้า

ขั้นตอน	รายการ	เหตุผลในการทำ	ข้อมูลที่นำเข้า	ผลลัพธ์จากขั้นตอน
ขั้นตอน 1	การจัดสมดุลการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์	- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตและกระจายภาระงาน	- Precedent Diagram - รายการงานย่อยและค่าเวลามาตราฐาน - ประวัติการแจกจ่ายงานให้กับพนักงาน - ยอดคำสั่งผลิตและกำหนดการส่งมอบ	- แผนภูมิ Yamazumi ของแต่ละผลิตภัณฑ์
ขั้นตอน 2	การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ต้องใช้ในการผลิต	- เพื่อระบุเครื่องจักรเย็บที่ใช้ในการทำงาน - สร้างสถานีงานที่บรรจุงานย่อยของแต่ละชิ้นส่วนผลิต	- รายการเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละงานย่อย	- แผนภาพที่ระบุงานย่อยเครื่องจักรเย็บในแต่ละสถานีงาน แบ่งแยกตามแต่ละผลิตภัณฑ์
ขั้นตอน 3	การจำแนกประเภทสถานีงาน	จากขั้นตอนก่อนหน้า ทราบงานย่อยเครื่องจักรเย็บและสถานีงาน แต่สถานีงานนั้นยังไม่ถูกจัดเข้าหน้าที่เซลล์การผลิต	- แผนภาพระบุเครื่องจักรเย็บและงานย่อยจากขั้นตอนที่ 2	แผนภาพสถานีงานที่ถูกวางกรอบเข้าสู่เซลล์การผลิตตามแต่ละผลิตภัณฑ์
ขั้นตอน 4	การสร้างสายการผลิตฐานตั้งต้น	สร้างสายการผลิตฐานตั้งต้น โดยเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนงานย่อยมากที่สุดมาสร้างสายการผลิตฐาน	แผนภาพสถานีงานที่ถูกวางกรอบเข้าสู่เซลล์การผลิตจากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนงานย่อยมากที่สุด	สายการผลิตฐานตั้งต้นเพื่อนำไปเพิ่มผลิตภัณฑ์ต่อ

ตารางที่ 6-2 (ต่อ)

ขั้นตอน	รายการ	เหตุผลในการทำ	ข้อมูลที่นำเข้า	ผลลัพธ์จากขั้นตอน
ขั้นตอน 5	การบูรณาการผลิตภัณฑ์เข้ากับสายการผลิตฐานตั้งต้น	นำผลิตภัณฑ์ที่เหลือมาประกอบเข้ากับสายการผลิตที่สร้างจากขั้นตอนก่อนหน้า โดยพยายามใช้เครื่องจักรที่มีอยู่ก่อนเพื่อเพิ่มอรรถประโยชน์การใช้งาน	แผนภาพสถานีงานที่ถูกวางกรอบเข้าสู่เซลล์การผลิตตามแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ยังเหลืออยู่จากขั้นตอนที่ 3	สายการผลิตเซลล์ลูล่าร์ที่รวมผลิตภัณฑ์ทุกประเภทและแบ่งแยกหมวดหมู่เซลล์การผลิต
ขั้นตอน 6	การวางผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ลงในพื้นที่ผังโรงงานจริง	สายการผลิตเซลล์ลูล่าร์ที่รวมทุกผลิตภัณฑ์นั้น ยังไม่ได้ถูกปรับให้เข้ากับบริบทของพื้นที่โรงงานจริง	- สายการผลิตเซลล์ลูล่าร์ที่รวมผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 5 - ผังพื้นการผลิตของโรงงานจริง	- สายการผลิตเซลล์ลูล่าร์ที่ปรับแต่งให้เข้ากับพื้นที่โรงงาน

ในการออกแบบผังการผลิตเซลลูล่าร์ ได้นำเสนอกระบวนการออกแบบทั้งสิ้น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดสมดุลการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยจัดสรรงานย่อยให้แก่สถานีงานและสร้างแผนภูมิ Yamazumi เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต เพิ่มอรรถประโยชน์รอบเวลาการผลิต และสะท้อนภาพการกระจายภาระงานในแต่ละสถานีงาน

ขั้นตอนที่ 2 การจับคู่งานกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงาน โดยใช้แผนภูมิ Yamazumi เพื่อออกแบบสถานีงานและทำให้มั่นใจว่าจะมีเครื่องจักรเย็บผ้าใช้งานถูกต้อง เหมาะสมกับงานย่อยในสถานีงานนั้นๆ

ขั้นตอนที่ 3 การจำแนกประเภทสถานีงาน ซึ่งเป็นการจำแนกว่าสถานีงานใด ควรถูกจัดประเภทเป็นเซลล์การผลิตแบบใด โดยจำแนกตามวัตถุประสงค์และชิ้นส่วนที่ทำการผลิตในสถานีงาน

นั้นๆ ทำให้ที่มีเซลล์การผลิตทั้งสิ้น 3 เซลล์ ได้แก่ เซลลูล่าร์กลุ่มเตรียมชิ้นงาน เซลลูล่าร์กลุ่มประกอบตัวผลิตภัณฑ์ และเซลลูล่าร์กลุ่มงานปิดท้าย

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างผังสายการเย็บประกอบเสื้อผ้า โดยเลือกสายการผลิตที่มีจำนวนงานย่อยมากที่สุด นำขึ้นมาสร้างสายการเย็บประกอบก่อน ในที่นี้คือเสื้อช็อปแขนยาว

ขั้นตอนที่ 5 การบูรณาการผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าเข้ากับผังสายการเย็บประกอบฐานตั้งต้น กล่าวคือหลังจากที่สร้างสายการเย็บประกอบในขั้นตอนก่อนหน้าเสร็จแล้วก็นำผลิตภัณฑ์อื่นมารวมเข้ากับสายการผลิต โดยนำเสื้อช็อปแขนสั้นมาควบรวมก่อน เนื่องจากมีความใกล้เคียงในลักษณะงานกับเสื้อช็อปแขนยาว จากนั้นจึงนำกางเกงขายาวมาควบรวมสายการผลิต

ขั้นตอนที่ 6 การวางผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ลงในพื้นที่ผังโรงงานจริง โดยที่ผังสายการผลิตที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าเป็นสายการผลิตในอุดมคติ แต่ในโลกความเป็นจริงมีข้อจำกัด เช่น ตำแหน่งเสา พื้นที่ที่โรงงานมี ความสัมพันธ์กับแผนกหรือพื้นที่อื่น จึงต้องนำสายการผลิตที่สร้างขึ้นมาพิจารณาและจัดสรรตำแหน่งให้เหมาะสมในผังโรงงานจริง

ผลลัพธ์จากการออกแบบผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ได้เป็นรูปตัว U โดยผลิตภัณฑ์เดินวนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งผังการผลิตที่นำเสนอสามารถลดระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุลงได้ สำหรับระยะทางการเคลื่อนที่รวมของเสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้น และกางเกงขายาว ในผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์คือ 23.5 เมตร 26.1 เมตร และ 24.4 เมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผังการผลิตแบบกริดตารางก่อนปรับปรุง ระยะทางการเคลื่อนที่รวมของเสื้อช็อปแขนยาว เสื้อช็อปแขนสั้น และกางเกงขายาว ในผังการผลิตแบบกริดอยู่ที่ 82.7 เมตร 65.1 เมตร และ 84.9 เมตร ตามลำดับ จึงเห็นได้ว่าผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์สามารถลดระยะการเคลื่อนที่ได้ 71.58 เปอร์เซ็นต์ 59.91 เปอร์เซ็นต์ และ 71.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับผลิตภัณฑ์ เฉลี่ยแล้วลดลงได้ 67.58 เปอร์เซ็นต์

จากนั้นทำการจัดสรรพนักงานเพื่อเข้าสู่สถานีงานในผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ที่ได้ออกแบบ โดยสร้างกรอบการจัดการข้อมูล เพื่อเป็นแนวทางในการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นมาจัดสรรพนักงาน ประกอบด้วยข้อมูล 3 ด้าน ได้แก้ (1) รอบเวลาการทำงานและค่า Takt Time (2) ตารางเมทริกซ์เวลาทักษะการทำงาน (Skill Matrix) และ (3) ตารางระบุประเภททักษะที่สถานีงานนั้นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำงาน

แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพนักงาน วางเป้าหมายสนับสนุนการจัดสรรพนักงานที่มีทักษะที่สามารถทำงานได้ เข้าสู่สถานีงานที่ต้องการทักษะด้านนั้น ในขณะเดียวกันก็ส่งเสริมการหมุนเวียน ฝึกฝนการทำงานของพนักงาน (Job Rotation) พร้อมทั้งรักษาความสามารถในการผลิตให้ทันกำหนดการส่งมอบได้ กระจายประสบการณ์ทำงานและเพิ่มศักยภาพของพนักงาน เพื่อตอบสนองต่อเป้าหมายดังกล่าว จึงสร้างตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming) ขึ้นมา สมการเป้าหมาย คือ หาค่าต่ำสุดของผลต่างระหว่าง

เวลาการทำงานทักษะของพนักงานกับรอบเวลามาตราฐานของสถานีงาน หมวดสมการเงื่อนไข 5 หมวด ได้แก่ (1) หมวดบังค่าผลต่างระหว่างเวลาการทำงานทักษะของพนักงานกับรอบเวลามาตราฐานของสถานีงานให้เป็นค่าสมบูรณ์ (2) หมวดการเลือกใช้ทักษะและกลไกการเรียนรู้ผ่านการทำงานซ้ำ (3) หมวดการจัดสรรคนตามจำนวนที่สถานีงานต้องการ (4) ตรวจสอบรอบเวลาการทำงานทักษะต้องไม่เกินค่า Takt Time ในการผลิต และ (5) อนุญาตให้พนักงานเปลี่ยนไปทำงานในสถานีงานซ้ำในสายการผลิตได้ ไม่เกิน 3 สถานีงาน

ผลการตรวจสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลจริงจากการสังเกตพนักงานจำนวน 17 คน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิผลภายใต้เงื่อนไขการผลิตจริง ผลลัพธ์การจัดสรรพบว่า ตัวแบบจำลองสามารถรักษาสมการเงื่อนไขทั้งหมดได้ครบถ้วน ได้แก่ การจัดสรรพนักงานในแต่ละสถานีงานตรงตามจำนวนที่กำหนด ไม่มีการมอบหมายงานที่มีเวลาทักษะการทำงานที่เกินกว่า ค่า Takt Time และรูปแบบการหมุนเวียนงานของพนักงานเป็นไปตามข้อจำกัดให้ไม่เกิน 3 สถานีงานต่อหนึ่งล็อตการผลิต นอกจากนี้ สมการเงื่อนไขการเรียนรู้ยังสามารถแสดงให้เห็นการลดลงของเวลาทักษะในแต่ละล็อตการผลิตอย่างต่อเนื่อง โดยลดลงระหว่าง 5% ถึง 33% ตามทักษะ พนักงานที่จัดสรร และจำนวนครั้งของงานที่ทำซ้ำ ซึ่งสะท้อนพฤติกรรมการเรียนรู้ของพนักงานในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าได้

จากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิต ข้อมูลเมทริกซ์ทักษะการทำงานของพนักงาน และตารางทักษะที่ใช้ในการทำงานจากโรงงาน แล้วใช้ข้อมูลนั้นหาค่าสถิติเพื่อนำมาสร้างชุดข้อมูลสุ่มเพื่อทำการทดสอบตัวแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้น โดยออกแบบการทดลองจำนวน 4 แบบการทดลอง ได้แก่ (1) การทดสอบการระยะเวลาผลเฉลยกับชุดข้อมูลจริง (2) การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูง:ต่ำ = 50:50 (3) การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูง:ต่ำ = 75:25 และ (4) การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูง:ต่ำ = 25:75 ทุกการทดลองทดสอบกับขอบเขตล็อตการผลิต 9 ล็อต แบ่งช่วงละ 3 ล็อตการผลิต

ผลการทดสอบผลว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MILP ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยสำหรับปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลาง โดยเฉพาะในกรณีพนักงานมีสัดส่วนทักษะสูงและต่ำเท่ากัน อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของแบบจำลองจะแสดงให้เห็นเมื่อขยายขนาดของปัญหาให้ใหญ่ขึ้น เช่น กรณีพนักงาน 68 คน และขอบเขตการวางแผนการผลิต 9 ล็อต ไม่สามารถหาคำตอบได้ ข้อจำกัดนี้บ่งชี้ว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์เหมาะสมสำหรับการวางแผนจัดสรรพนักงานสำหรับโรงงานขนาดเล็กและขนาดกลาง แต่สำหรับสภาพโรงงานขนาดใหญ่ จำเป็นต้องใช้แนวทางอื่นในการแก้ปัญหา

แสดงให้เห็นว่ากรอบการจัดการข้อมูลและตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยสนับสนุนการจัดสรรและหมุนเวียนแรงงานระยะสั้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สร้างความมั่นใจในการ

ปรับเปลี่ยนการจัดสรรงานว่ายังคงผลิตได้ตามกำหนดส่งมอบ แล้วเพิ่มศักยภาพในการผลิตให้กับพนักงานและโรงงาน โดยใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาผลเฉลยการจัดสรรพนักงานภายในเวลาที่ยอมรับได้ สามารถประยุกต์ใช้ในบริบทของโรงงานผลิตเสื้อผ้าตามสั่งผลิต ที่วางแผนการผลิตระยะสั้น มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานและการหมุนเวียนพนักงานสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปต่อยอดเพื่อใช้วางแผนการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในอุตสาหกรรมอื่นได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ นำเสนอแบบแผนในการสร้างผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์สำหรับกระบวนการผลิตที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยในอนาคตอาจจะมุ่งความสนใจไปที่การ Optimizing ผังการผลิตที่มีความยืดหยุ่น (Flexible Production Process) เพื่อเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของผังการผลิต

แนวคิดการสร้างผังการผลิตนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีลักษณะความหลากหลายของสินค้าหรือมีความต้องการออกแบบผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ การนำไปประยุกต์ในกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นอาจจะเปิดทางให้มีการค้นพบเทคนิค หรือวิธีการใหม่ ซึ่งเป็นการขยายการประยุกต์ใช้ออกไปได้

แบบจำลองคณิตศาสตร์กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming) ที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปใช้ในการจัดสรรพนักงาน และส่งเสริมการหมุนเวียนพนักงาน เพื่อฝึกฝนทักษะให้เพิ่มขึ้นได้ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นที่จำเป็นต้องพึ่งพาฝีมือ ทักษะความชำนาญ ของมนุษย์ และเปลี่ยนแปลงรูปแบบผลิตภัณฑ์อยู่สม่ำเสมอ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับรูปพรรณและอัญมณี อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมการผลิตอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาและผลิตภัณฑ์เซรามิกปั้น เป็นต้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ธนภัทร์ จิตรศรีศักดา (2567). การจัดสมดุลสายการประกอบแบบขนานหลายวัตถุประสงค์ที่ทำงานโดยพนักงานหลายทักษะและหุ่นยนต์ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัสญ์ศยา สิทธิโชควโรดม. (2552). การปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปโดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประจวบ กล่อมจิตร. (2555). การออกแบบโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิตและความปลอดภัย. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

ปณิธาน ธีระศักดิ์วิชยา. (2546). การประยุกต์ใช้การผลิตแบบเซลลูล่าร์ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รุ้งนภา ลิมปโสภณพนิช. (2550). การออกแบบระบบการผลิตแบบเซลล์สำหรับสายการประกอบชิ้นส่วนเซอร์กิตเบรกเกอร์: กรณีศึกษา. การศึกษาค้นคว้าอิสระวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รติพล จันทร์แพง., มานิตา ธรรมเจริญ. และ ชูศักดิ์ พรสิงห์. (2561). การจัดผังการผลิตด้วยเทคโนโลยีกลุ่มสำหรับโรงงานผลิตเครื่องมือแพทย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 26 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2561.

เอกรัตน์ ขันดำรงรักษ์. (2549). ระบบการผลิตแบบเซลล์ กรณีศึกษาบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง. การศึกษาค้นคว้าอิสระวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิศรา กรอบบาง. (2554). การประยุกต์ใช้อัลกอริทึ่ม DCA และ ROC ในระบบการผลิตแบบเซลลูล่าร์เพื่อปรับปรุงผังโรงงานเฟอร์นิเจอร์ถอด-ประกอบ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อรรถพล วรานุจิตต์. (2555). การประยุกต์ใช้การผลิตแบบเซลลูลาร์ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุพรรณษา พลแก้ว. (2549). การลดเวลานำในการผลิต: กรณีศึกษาของผลิตภัณฑ์กีฬาทางน้ำ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Abdelsalam, N., Mohammoud, F., Eder, H., Abuyoussef, A. W. E., Kaya, Ö., Kilic, A. C., & Ulku, I. (2023). A production line assignment problem for a textile industry. *Journal of Engineering Sciences and Design*, *11*(1), 22–32. https://doi.org/10.21923/jesd.1101063

Allen, J., Robinson, C., & Stewart, D. (Eds.). (2001). Lean manufacturing: A plant floor guide. Society of Manufacturing Engineers. ISBN 0-87263-525-2

Black, J. T., & Hunter, S. L. (2003). Lean manufacturing systems and cell design. Society of Manufacturing Engineers.

Ballais, J. H. V., Chua, F. S., Estera, J. A. C., Landicho, M. T. D., Mosuela, R. G., Paner, K. N. G., & Navarro, M. M. (2024, May 7-9). Enhancing productivity by optimizing facility layout in a garment manufacturing company using ProModel simulation. 5th South American Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Bogota, Colombia. IEOM Society International. https://doi.org/10.46254/SA05.20240246.

Biswas, R. (2013). Productivity improvement in garments industry through cellular manufacturing approach (Master's thesis). Department of Industrial and Production Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh.

Boongomin, O., Mwasiagi, J. I., Nganyi, E. O., & Nibikore, I. (2020). Improvement of garment assembly line efficiency using line balancing technique. Engineering Reports. Engineering Report. https://doi.org/10.1002/eng2.12157.

Black, J. T., and Hunter, S. L. (2003). Lean manufacturing systems and cell design. Society of Manufacturing Engineers. ISBN 2003102335.

Chen, G. Y.-H., Chen, P.-S., Dang, J.-F., Kang, S.-L., and Cheng, L.-J. (2021). Applying meta-heuristics algorithm to solve assembly line balancing problem with labor skill level in garment industry. International Journal of Computational Intelligence Systems, *14*(1), 1438–1450. https://doi.org/10.2991/ijcis.d.210420.002

Chen, J. C., Chen, C.-C., Su, L.-H., Wu, H.-B., and Sun, C.-J. (2012). Assembly line balancing in garment industry. Expert Systems with Applications, 39(9), 10073–10081.

Chakrabotty, R. K., and Paul, S. K. (2021). Study and implementation of lean manufacturing in a garment manufacturing company: Bangladesh perspective. Journal of Optimization in Industrial Engineering, *7*, 11–22.

Colovic, G. (2011). Management of technology systems in garment industry. Woodhead Publishing India Pvt. Ltd.

Durmaz, H., and Koyuncu, M. (2019). Optimization of assignment problems in production lines with different skilled labor levels. International Advance Research and Engineering Journal, *3*(2), 123–136.

Efe, B., Okudan Kremer, G. E., and Kurt, M. (2018). Age and gender-based workload constraint for assembly line worker assignment and balancing problem in a textile firm. International Journal of Industrial Engineering, 25(1), 1–17.

Eqantu, M., and Gzate, Y. (2023). Assembly operation productivity improvement for garment production industry through the integration of lean and work-study: A case study on Bahir Dar Textile Share Company in Garment, Bahir Dar, Ethiopia. Heliyon, 9, e17917.

Lista, A. P., Tortorella, G. L., Bouzon, M., Mostafa, S., and Romero, D. (2021). Lean layout design: A case study applied to the textile industry. Production, 31, e20210090. https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210090

Islam, Md. M., Mohiuddin, H. M., Mehidi, S. H., and Sakid, N. (2014). An optimal layout design in an apparel industry by appropriate line balancing: A case study. Global Journal of Research in Engineering: G Industrial Engineering, 14(5).

Irani, S. A. (1999). *Handbook of cellular manufacturing systems.* Wiley-Interscience. ISBN 0-471-12139-8.

Irani, S. A. (2020). Job shop lean: An industrial engineering approach to implementing lean in high-mix, low-volume production systems. Routledge. ISBN 978-1-003-03418-6

Jana, P., and Tiwari, M. (2021). Lean tools in apparel manufacturing. In Lean tools in apparel manufacturing (Chapter 5). Woodland Publishing, Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2018-0-04124-9

Katiraee, N., Calzavara, M., Finco, S., and Battini, D. (2021). Consideration of workforce differences in assembly line balancing and worker assignment problem. IFAC-PapersOnLine, 54(1), 13–18. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.002

Khemyong, P. (2014). Task and worker assignment in the shared-machine U-shaped assembly line [Master's thesis, Mahidol University]. Mahidol University Library and Knowledge Center.

King, P. L., and King, J. S. (2015). Value for the process industries: Creating a roadmap for lean transformation. Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4822-4769-5.

King, P. L. (2019). Lean for the process industries: Dealing with complexity. Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-367-02332-4.

Kumari, R., Quazi, T. Z., and Kumar, R. (2015). Application of lean manufacturing tools in garment industry. International Journal of Mechanical Engineering and Information Technology, 3(1).

Lanarolle, G., and Ratnayake, V. (2014, June). Cellular manufacturing and teamwork concepts in garment manufacturing. IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM, *16*(6), 81–93.

Liker, J. K. (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill Education. https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071392310

Metternich, J., Bechtloff, S., and Seifermann, S. (2013). Efficiency and economic evaluation of cellular manufacturing to enable lean machining. Procedia CIRP, 7, 592–597.

Osman, I. H. (1995). Heuristics for the generalized assignment problem: Simulated annealing and tabu search approaches. OR Spektrum, *17*(4), 211–225. https://doi.org/10.1007/BF01720977

Öncan, T. (2007). A survey of the generalized assignment problem and its applications. INFOR: Information Systems and Operational Research, 45(3), 123–141. https://doi.org/10.3138/infor.45.3.123

Paneru, N. (2011). Implementation of lean manufacturing tools in garment manufacturing process focusing sewing section of men's shirt (Master's thesis). Degree Programme in Industrial Management, Oulu University of Applied Sciences, Oulu, Finland.

Pentico, D. W. (2007). Assignment problems: A golden anniversary survey. *European* Journal of Operational Research, 176(2), 774–793. https://doi.org/10.1016 /j.ejor.2005.09.001

Perera, G., and Ratnayake, V. (2019). Mathematical model for dynamic cell formation in fast fashion apparel manufacturing stage. Journal of Industrial Engineering International, *15*(1), 1–16. https://doi.org/10.1007/s40092-018-0275-5

Rahaman, S. S., Baten, A., Hoque, M., and Mahmud, Md. L. (2023). Impact of lean manufacturing on productivity and layout design in sewing sector of garment industry. International Journal of Industrial Management, 17(3), 152–161.

Ratnayake, V., Lanarolle, G., Perera, C., and Marsh, J. (2009). Cellular manufacturing model to reduce WIP fluctuation in garment manufacturing. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, 5(4), 340–358.

Rekiek, B., and Delchambre, A. (2006). Assembly line design: The balancing of mixed-model hybrid assembly lines with genetic algorithms. Springer-Verlag London Limited. ISBN 1-84628-114-8

Ripon Kumar Chakrabortty. and Sanjoy Kumar Paul. (2011). Study and Implementation of Lean Manufacturing in a Garment Manufacturing: Bangladesh Perspective. Journal of Optimization in Engineering. vol.7., Page 11-22.

Roohollah YounesSinaki., Azadeh Sadeghi., Hadi Mosadegh., Najat Almasarwah., and Gursel Suer. (2023). Cellular Manufacturing Design 1996-2021: A Review and Introduction to Applications of Industry 4.0. International Journal of Production. vol.61., No.16., Page 5585-5636

Sabadka, D., Molnár, V., Fedorko, G., and Jachowic, T. (2017). Optimization of production process using the Yamazumi method. Advances in Science and Technology, 4(4), 175-182. https://doi.org/10.12913/22998624/80921

Sarache Castro, W. A., Cespón Castro, R., Ibarra Mirón, S., and Alonso Martínez, P. U. (2004). Modular manufacturing: An alternative to improve the competitiveness in the clothing industry. International Journal of Clothing Science and Technology, 16(3), 301–309. https://doi.org/10.1108/09556220410527228

Santos, J., Wysk, R., and Torres, J. M. (2006). Improving production with lean thinking. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781118984031

Sekine, K. (2024). One-piece flow: Cell design for transforming the production process. CRC Press. ISBN 1040291201, 9781040291207.

Shakib, M. N., Rahman, M. M., Parvez, M. S., and Haque, A. S. M. (2014, December 25–26). Study of lean facility layout in garment manufacturing process: Focusing sewing section of men's shirt. International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering (ICMIEE-PI-140177), Khulna, Bangladesh.

Suhardi, B., Juwita, E., and Astuti, R. D. (2019). Facility layout improvement in sewing department with systematic layout planning and ergonomics approach. Cogent Engineering, 6(1), 1597412. https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1597412

Süer G. A., Sair, M., Dagli, C., & Gonzalez, W. (1995). Manufacturing cell loading rule and algorithm for connected cell. Manufacturing Research and Technology, 24, 97–127.

Süer G. A., & Tummaluri R. R. (2008). Multi-period operator assignment considering skills, learning and forgetting in labor-intensive cells. International Journal of Production Research, 46(2), 469–493. https://doi.org/10.1080/00207540601138551

Thongsanit, K. (2009). Assignment of cross-trained workers with learning effect [Doctoral dissertation, Chulalongkorn University]. Chulalongkorn University Institutional Repository. https://doi.org/10.58837/CHULA.THE.2009.166

Ukey, P., Deshmukh, A., and Arora, A. (2021). Implementation of lean tools in apparel industry for improving productivity. Proceedings of Engineering Science, 3(2), 241–246. https://doi.org/10.24874/PES03.02.012

Wermerlöv, U., and Heyer, N. L. (1989). Cellular manufacturing in the U.S. industry: A survey of user. International Journal of Production Research, 27(9), 1511–1530.

Yılmaz, O. F. (2020). Robust optimization for U-shaped assembly line worker assignment and balancing problem with uncertain task times. Croatian Operational Research Review (CRORR), 11, 229–239. https://doi.org/10.17535/crorr.2020.0018

Click or tap here to enter text.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

1.1 โค้ดโปรแกรม IBM ILOG CPLEX เพื่อการจัดสรรพนักงาน

ในส่วนนี้จะแสดงโค้ดทั้งหมดที่ใช้ในการหาผลการจัดสรรพนักงาน ซึ่งมีส่วนตัวสมการเป้าหมาย สมการเงื่อนไข และ Execute Code เพื่อจัดสรรและดึงข้อมูลคำตอบให้ออกมาอยู่ในรูปที่สามารถอ่านได้ง่ายขึ้น

โค้ดโปรแกรม IBM ILOG CPLEX ในไฟล์ .mod แสดงดังต่อไปนี้

```
//============================================================
// Index
//============================================================
int numWorker = ...;
int numSkill = ...;
int numWorkstation = ...;
int numProduct = ...;

//============================================================
// Parameters and Index Ranges
//============================================================
range I = 1..numWorker;      // workers
range K = 1..numSkill;       // skills
range S = 1..numWorkstation; // stations
range P = 1..numProduct;     // products

float TT_p[P] = ...;         // takt time of product p
float T[I][K] = ...;         // base time: worker i performing skill k
float STDT[P][S] = ...;      // standard cycle time at station s, product p

int N[P][S][K] = ...;        // required skill matrix: 1 if skill k needed at (p,s)
```

```
int M[P][S] = ...;           // required number of workers in station s for product p

float LR = ...;              // learning rate parameter
int M_skilltime = ...;       // big-M for time constraints (upper bound on times)

// Note: We will reuse M_skilltime as a big-M bound for Dikps as well.
// Ensure M_skilltime >= max{|STDT[p][s] - ET[i][k][p]|} over the relevant domain.

//============================================================
// Decision Variables
//============================================================
dvar boolean X[I][P][S];          // assignment: worker i to product p, station s
dvar float+  Dikps[I][K][P][S];   // absolute diff between STDT[p][s] and ET[i][k][p]

dvar float   RT[I][K][P];         // reduced time from learning
dvar float   ET[I][K][P];         // effective time for worker i, skill k, product p

dvar boolean Z[I][K][P];          // learning active flag
dvar float   ETZ[I][K][P];        // linearization helper for Z * ET

dvar float   AT[I][P][S];         // actual time contributed by worker i at (p,s)

//============================================================
// Objective Function
//============================================================
minimize
  // Sum over all i,k,p,s; Dikps will be forced to 0 where N[p][s][k] == 0
  sum(i in I, k in K, p in P, s in S) Dikps[i][k][p][s];
```

```
//============================================================
// Constraints
//============================================================
subject to {

  // ------------------------------------------------------------
  // Constraint 1: Absolute difference, masked by N[p][s][k]
  //
  // When N[p][s][k] == 1:
  //    Dikps >= | STDT[p][s] - ET[i][k][p] |
  // When N[p][s][k] == 0:
  //    Dikps is forced to 0 (via the upper bound below), and these
  //    inequalities reduce to Dikps >= 0 (no effect).
  //
  // Using N as a constant mask keeps the model linear and structured.
  // ------------------------------------------------------------
  forall(i in I, k in K, p in P, s in S) {
    Dikps[i][k][p][s] >= ( STDT[p][s] - ET[i][k][p] ) * N[p][s][k];
    Dikps[i][k][p][s] >= -(STDT[p][s] - ET[i][k][p] ) * N[p][s][k];

    // Cap Dikps when N = 0 so Dikps = 0 there; when N = 1 this is nonbinding.
    Dikps[i][k][p][s] <= M_skilltime * N[p][s][k];
  }

  // ------------------------------------------------------------
  // Constraint 2: Learning effect propagation
  // ------------------------------------------------------------

  // Step 1: Z[i,k,p] = 1 if worker i is assigned to any station needing skill k in product
p
  forall(i in I, k in K, p in P)
```

```
  sum(s in S : N[p][s][k] == 1) X[i][p][s] >= Z[i][k][p];

// Limit: if Z=1, the worker may appear up to 3 stations (harmonized with constraint 5)
forall(i in I, k in K, p in P)
  sum(s in S : N[p][s][k] == 1) X[i][p][s] <= 3 * Z[i][k][p];

// Step 2: initial lot uses base time
forall(i in I, k in K)
  ET[i][k][1] == T[i][k];

// Step 3: propagate across products (lots)
forall(i in I, k in K, p in P : p > 1) {
  // if learning in previous lot
  ET[i][k][p] <= ET[i][k][p-1] * (1 - LR) + M_skilltime * (1 - Z[i][k][p-1]);
  ET[i][k][p] >= ET[i][k][p-1] * (1 - LR) - M_skilltime * (1 - Z[i][k][p-1]);

  // if no learning, keep previous time
  ET[i][k][p] <= ET[i][k][p-1] + M_skilltime * Z[i][k][p-1];
  ET[i][k][p] >= ET[i][k][p-1] - M_skilltime * Z[i][k][p-1];
}

// Step 4: linearization for ETZ = Z * ET
forall(i in I, k in K, p in P) {
  ETZ[i][k][p] <= M_skilltime * Z[i][k][p];
  ETZ[i][k][p] <= ET[i][k][p];
  ETZ[i][k][p] >= ET[i][k][p] - M_skilltime * (1 - Z[i][k][p]);
}

// Step 5: reduced time from learning
forall(i in I, k in K, p in P) {
```

```
  RT[i][k][p] <= ETZ[i][k][p] * LR;
  RT[i][k][p] >= ETZ[i][k][p] * LR - M_skilltime * (1 - Z[i][k][p]);
}

// Step 6: apply learning to next lot
forall(i in I, k in K, p in P : p > 1) {
  ET[i][k][p] <= ET[i][k][p-1] - RT[i][k][p-1];
  ET[i][k][p] >= ET[i][k][p-1] - RT[i][k][p-1];
}

// ------------------------------------------------------------
// Constraint 3: worker requirement per station
// ------------------------------------------------------------
forall(p in P, s in S)
  sum(i in I) X[i][p][s] == M[p][s];

// ------------------------------------------------------------
// Constraint 4: station time vs takt time
// ------------------------------------------------------------

// Step 1: each worker's station time must not exceed takt
forall(i in I, p in P, s in S)
  AT[i][p][s] <= TT_p[p];

// Non-parallel stations
forall(p in P, s in S : M[p][s] == 1)
  sum(i in I) AT[i][p][s] <= TT_p[p];

// Parallel stations
forall(p in P, s in S : M[p][s] > 1)
  sum(i in I) AT[i][p][s] <= TT_p[p] * M[p][s];
```

```
  // Step 2: link AT to assignment and effective times
  forall(i in I, p in P, s in S) {
    // upper bound when assigned
    AT[i][p][s] <= M_skilltime * X[i][p][s];

    // upper bound equals sum of required skill times if assigned
    AT[i][p][s] <= sum(k in K : N[p][s][k] == 1) ET[i][k][p];

    // lower bound equals sum of required skill times if assigned, else can be 0
    AT[i][p][s] >= sum(k in K : N[p][s][k] == 1) ET[i][k][p] - M_skilltime * (1 - X[i][p][s]);
  }

  // ------------------------------------------------------------
  // Constraint 5: same worker not more than 3 stations per product
  // ------------------------------------------------------------
  forall(i in I, p in P)
    sum(s in S) X[i][p][s] <= 3;
}

//------------------------------------------------------------//------------------------------------------
execute {
    // --- Common Helper Functions ---
    function padRight(str, length) {
        var s = "" + str;
        while (s.length < length) s += " ";
        return s;
    }

    function formatNumber(num) {
        return "" + (Math.round(num * 1000) / 1000);
```

```
}

function printLine(ch, count) {
    var line = "";
    for (var i = 0; i < count; i++) line += ch;
    writeln(line);
}

function pad(str, width) {
    str = "" + str;
    while (str.length < width) {
        str += " ";
    }
    return str;
}

var cell_width = 22;
writeln();

// ===== SECTION 1: Main Decision Variable Output =====
writeln("Main Decision Variable");
writeln();

for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
    writeln("=== Product ", p, " ===");

    write(padRight("Worker\\Station", cell_width));
    for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
        write(padRight("S" + s, cell_width));
    }
    writeln();
```

```
    for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
        write(padRight("W" + i, cell_width));
        for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
            write(padRight(X[i][p][s], cell_width));
        }
        writeln();
    }
    writeln();
    write(padRight("Assign Total:", cell_width));
    for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
        var total = 0;
        for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
            total += X[i][p][s];
        }
        write(padRight(total, cell_width));
    }
    writeln("\n");
}

// Worker Usage Summary
writeln("== Unused Workers ==");
for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
    var used = 0;
    for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
        for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
            if (X[i][p][s] == 1) used = 1;
        }
    }
    if (used == 0) writeln("Worker ", i, " is not used.");
}
writeln();
```

```
// Assignment Summary
writeln("=== Assignment Summary ===");
for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
    writeln("Product ", p, ":");
    for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
        var assigned = 0;
        for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
            if (X[i][p][s] == 1) assigned = 1;
        }
        if (assigned == 0) writeln("  Worker ", i, " is NOT assigned.");
    }
    writeln();
}

// ===== SECTION 2: DiffTime Analysis =====
writeln();
writeln("Sector 1: Constraint 1 DIFF TIME");
printLine("=", cell_width * (numWorker + 4));

for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
    writeln("--- Product Lot ", p, " ---");

    write(padRight("Station/Worker", cell_width));
    for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
        write(padRight("W" + i, cell_width));
    }
    write(padRight("Relevant Skill(k)", cell_width));
    write(padRight("STDTime", cell_width));
    write(padRight("EffectiveSkillTime", cell_width));
    writeln(padRight("DiffTime", cell_width));
```

```
printLine("-", cell_width * (numWorker + 4));
var absolute_total_product_diff_time = 0.0;
for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
    var assigned_workers = new Array();
    var awCount = 0;
    for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
        if (X[i][p][s] == 1) {
            assigned_workers[awCount] = i;
            awCount++;
        }
    }

    var rowsToPrint = (awCount > 0) ? awCount : 1;
    for (var r = 0; r < rowsToPrint; r++) {
        var worker_idx = (awCount > 0) ? assigned_workers[r] : -1;
        var stationLabel = (awCount > 0) ? ("S" + s + "." + (r + 1)) : ("S" + s);
        write(padRight(stationLabel, cell_width));

        for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
            write(padRight((i == worker_idx) ? "W" + i : "-", cell_width));
        }

        var skills_str = "";
        var effective_sum = 0.0;
        var diff_sum = 0.0;

        for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
            if (N[p][s][k] == 1) {
                if (skills_str != "") skills_str += "/";
                skills_str += "K" + k;
```

```
                    if (worker_idx != -1) {
                        effective_sum += ET[worker_idx][k][p];
                        diff_sum += Dikps[worker_idx][k][p][s];
                    }
                }
            }

            write(padRight(skills_str, cell_width));
            write(padRight(STDT[p][s], cell_width));
            write(padRight(effective_sum, cell_width));
            writeln(padRight(diff_sum, cell_width));

            absolute_total_product_diff_time += Math.abs(diff_sum);
        }
    }
    printLine("-", cell_width * (numWorker + 4));
    writeln(padRight("Absolute Total DiffTime = " +
formatNumber(absolute_total_product_diff_time), cell_width * 2));
    writeln();
}

// ===== SECTION 3: Learning Mechanism =====
writeln();
writeln("Sector 2: Learning Algorithm");
writeln();

for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
    writeln("--- Product Lot ", p, " ---");

    write(padRight("Worker", cell_width));
    write(padRight("Assigned Station", cell_width));
```

```
write(padRight("Relevant Skill(k)", cell_width));
write(padRight("EffectiveSkillTime", cell_width));
write(padRight("Product_ET_Z", cell_width));
writeln(padRight("ReducedTime", cell_width));

printLine("-", cell_width * 6);

for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
    var hasAssignment = false;

    for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
        if (X[i][p][s] > 0.9) {
            hasAssignment = true;

            var skill_str = "";
            var est_str = "";
            var etz_str = "";
            var red_str = "";

            for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
                if (N[p][s][k] == 1) {
                    if (skill_str != "") {
                        skill_str += "/";
                        est_str += "/";
                        etz_str += "/";
                        red_str += "/";
                    }

                    skill_str += "K" + k;
                    est_str += formatNumber(ET[i][k][p]);
                    etz_str += formatNumber(ETZ[i][k][p]);
```

```
                    red_str += formatNumber(RT[i][k][p]);
                }
            }

            if (skill_str == "") {
                skill_str = "(No Skill Def.)";
                est_str = "-";
                etz_str = "-";
                red_str = "-";
            }

            write(padRight("W" + i, cell_width));
            write(padRight("S" + s, cell_width));
            write(padRight(skill_str, cell_width));
            write(padRight(est_str, cell_width));
            write(padRight(etz_str, cell_width));
            writeln(padRight(red_str, cell_width));
        }
    }

    if (!hasAssignment) {
        write(padRight("W" + i, cell_width));
        write(padRight("-", cell_width));
        write(padRight("-", cell_width));
        write(padRight("-", cell_width));
        write(padRight("-", cell_width));
        writeln(padRight("-", cell_width));
    }
  }
}
```

```
// ===== SECTION 4: Cycle Time vs Takt Time =====
writeln();
writeln("Sector 3: Cycle Time vs Takt Time");
printLine("-", 120);
writeln();

for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
    writeln("=== ActualTimeAtStation for Product ", p, " ===");

    write(padRight("Worker\\Station", cell_width));
    for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
        write(padRight("S" + s, cell_width));
    }
    writeln();

    var station_totals = new Array(numWorkstation + 1);
    var station_times = new Array(numWorkstation + 1);
    var station_counts = new Array(numWorkstation + 1);

    for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
        station_totals[s] = 0.0;
        station_times[s] = new Array();
        station_counts[s] = 0;
    }

    for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
        write(padRight("W" + i, cell_width));
        for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
            if (X[i][p][s] > 0.9) {
                var val = AT[i][p][s];
                station_totals[s] += val;
```

```
            station_times[s][station_counts[s]] = val;
            station_counts[s]++;
            write(padRight(formatNumber(val), cell_width));
        } else {
            write(padRight("-", cell_width));
        }
    }
    writeln();
}

printLine("-", cell_width * (numWorkstation + 1));

write(padRight("Total Time", cell_width));
for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
    write(padRight(formatNumber(station_totals[s]), cell_width));
}
writeln();

write(padRight("Takt Time", cell_width));
for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
    write(padRight(formatNumber(TT_p[p]), cell_width));
}
writeln();

write(padRight("Slack Time", cell_width));
for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
    if (station_counts[s] == 0) {
        write(padRight("-", cell_width));
    } else if (station_counts[s] == 1) {
        write(padRight(formatNumber(TT_p[p] - station_times[s][0]), cell_width));
    } else {
```

```
            var slackText = "";
            for (var t = 0; t < station_counts[s]; t++) {
                if (t > 0) slackText += " | ";
                slackText += formatNumber(TT_p[p] - station_times[s][t]);
            }
            write(padRight(slackText, cell_width));
        }
    }
    writeln("\n");
}
    writeln();
    writeln("=== Worker Assignment & Repetition Summary ===");
    writeln();

    writeln(
    pad("Worker", cell_width),
    pad("Repeat 1", cell_width),
    pad("Repeat 2", cell_width),
    pad("Repeat 3", cell_width),
     pad("Total assigned", cell_width)
    );

    for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
            writeln("--- Product Lot ", p, " ---");

    for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
            var assigned_stations = new Array(S);
            var assignment_count = 0;

            for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
            if (X[i][p][s] > 0.9) {
```

```
                assigned_stations[assignment_count] = "Station " + s;
                assignment_count++;
            }
            }

            var repeat1 = (assignment_count >= 1) ? assigned_stations[0] : "-";
            var repeat2 = (assignment_count >= 2) ? assigned_stations[1] : "-";
            var repeat3 = (assignment_count >= 3) ? assigned_stations[2] : "-";

            writeln(
            pad("Worker " + i, cell_width),
            pad(repeat1, cell_width),
            pad(repeat2, cell_width),
            pad(repeat3, cell_width),
            pad(assignment_count, cell_width)
            );
        }
        writeln();
        }
// ===== EXPORT: Cycle Time vs Takt Time to CSV =====
writeln();
writeln("Exporting Cycle Time vs Takt Time table to CSV...");
writeln();

var outCT = new IloOplOutputFile("CycleTime_vs_TaktTime.csv");

// Build header
var headerCT = "Product,Worker";
for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
    headerCT += ",S" + s;
}
```

```
headerCT += ",TaktTime,SlackTimes";
outCT.writeln(headerCT);

// Export data for each product lot
for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
    // For each worker
    for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
        var row = "" + p + ",W" + i;
        for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
            if (X[i][p][s] > 0.9)
                row += "," + formatNumber(AT[i][p][s]);
            else
                row += ",-";
        }
        row += "," + formatNumber(TT_p[p]) + ","; // Add Takt Time at end

        // Build slack times string for stations where worker assigned
        var slackStr = "";
        var slackCount = 0;
        for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
            if (X[i][p][s] > 0.9) {
                var slack = TT_p[p] - AT[i][p][s];
                if (slackCount > 0) slackStr += " | ";
                slackStr += formatNumber(slack);
                slackCount++;
            }
        }
        if (slackCount > 0)
            row += "" + slackStr + "";
        else
            row += "-";
```

```
        outCT.writeln(row);
    }

    // Optional: Total row per station for this product
    var totalRow = "" + p + ",StationTotal";
    for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
        var totalTime = 0.0;
        for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
            if (X[i][p][s] > 0.9) totalTime += AT[i][p][s];
        }
        totalRow += "," + formatNumber(totalTime);
    }
    totalRow += "," + formatNumber(TT_p[p]) + ",-";
    outCT.writeln(totalRow);
}
outCT.close();
writeln("Export complete: CycleTime_vs_TaktTime.csv");
writeln();

// ===== SECTION 5: Comparison of Initial Time (T) and Final Effective Time (ET)
=====
writeln();
writeln("Sector 4: Comparison of Initial Time (T) and Final Effective Time (ET)");
printLine("=", cell_width * (numSkill + 3));
writeln();

// Header Row (all on one line)
write(padRight("Worker/Skill", cell_width));
for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
    write(padRight("K" + k + " (Init|Final|%)", cell_width));
}
```

```
write(padRight("Assigned Lots", cell_width));
writeln(padRight("Learning Triggered", cell_width));
printLine("-", cell_width * (numSkill + 3));

// --- Initialize learning counter per skill ---
var skillLearnCount = new Array(numSkill + 1);
for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
    skillLearnCount[k] = 0;
}

// --- Table Body ---
for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
    write(padRight("W" + i, cell_width));

    // Track worker stats
    var assignedLots = new Array();
    var assignCount = 0;
    var learningTrigger = 0;

    // Count assigned lots and learning triggers (and accumulate skill-level triggers)
    for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
        var assignedFlag = 0;
        for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
            if (X[i][p][s] > 0.9) assignedFlag = 1;
        }
        if (assignedFlag == 1) {
            assignedLots[assignCount] = p;
            assignCount++;
        }
        for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
            if (Z[i][k][p] > 0.9) {
```

```
                learningTrigger++;
                skillLearnCount[k]++; // count per-skill learning
            }
        }
    }
    // For each skill: compute initial | simulated-final-after-all-triggers | %change
    for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
        var initTime = T[i][k];

        // simulate final time by applying RT reductions whenever Z = 1
        var simulatedFinal = initTime;
        var anyTrigger = false;
        for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
            if (Z[i][k][p] > 0.9) {
                // If RT exists, subtract it; otherwise you might want to apply LR
multiplicatively.
                // Here we trust the model's RT[i][k][p] variable as the actual reduction
amount.
                simulatedFinal = simulatedFinal - RT[i][k][p];
                anyTrigger = true;
            }
        }

        // Guard: don't drop below small positive threshold
        if (simulatedFinal < 0) simulatedFinal = 0;

        // Percent change relative to initial
        var percentChange = 0.0;
        if (initTime > 0) {
            // If no learning triggers, show 0% change (display final = init)
            if (!anyTrigger) {
```

```
                simulatedFinal = initTime;
                percentChange = 0.0;
            } else {
                percentChange = ((simulatedFinal - initTime) / initTime) * 100;
            }
        } else {
            // initTime == 0 (skill not defined) => show zeros
            simulatedFinal = 0;
            percentChange = 0.0;
        }
        var formatted =
            formatNumber(initTime) + " | " +
            formatNumber(simulatedFinal) + " | " +
            formatNumber(percentChange) + "%";
        write(padRight(formatted, cell_width));
    }
    // Assigned product lots summary (compact)
    var lotList = (assignCount > 0) ? "Lot " + assignedLots.join(", ") : "-";
    write(padRight(lotList, cell_width));

    // Learning trigger summary per worker
    writeln(padRight(learningTrigger, cell_width));
}

printLine("-", cell_width * (numSkill + 3));

// --- Skill-level summary ---
write(padRight("Skill Learning Count", cell_width));
for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
    write(padRight(skillLearnCount[k], cell_width));
}
```

```
writeln();
printLine("-", cell_width * (numSkill + 3));
writeln();
writeln("Note:");
writeln(" - (Init|Final|%) represents Initial Time | Simulated Final Time after all learning triggers | Percent Change.");
writeln(" - Simulated Final Time is computed by starting from T[i][k] and subtracting RT[i][k][p] for every lot p where Z[i][k][p] = 1.");
writeln(" - Assigned Lots = Product lots in which worker participates.");
writeln(" - Learning Triggered = Total count of learning events (sum of Z[i][k][p] per worker).");
writeln(" - Skill Learning Count = Total number of learning activations per skill (across all workers & products).");
writeln();

// ===== EXPORT: Full Comparison Table to CSV =====
writeln();
writeln("Exporting full comparison table to CSV...");
writeln();

// Output file
var out = new IloOplOutputFile("FullSkillTimeComparison.csv");

// Build header:
// First column = Worker, then for each skill we output three columns: Kk_Init, Kk_Final, Kk_Pct
var header = "Worker";
for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
  header += ",K" + k + "_Init";
  header += ",K" + k + "_Final";
  header += ",K" + k + "_Pct";
```

```
}
header += ",AssignedLots,LearningTriggered";
out.writeln(header);

// Initialize skill learning counters
var skillLearnCountFull = new Array(numSkill + 1);
for (var k = 1; k <= numSkill; k++) skillLearnCountFull[k] = 0;

// For each worker build row
for (var i = 1; i <= numWorker; i++) {
  // Count assigned lots and collect assigned lot list
  var assignedLotsArr = new Array();
  var assignCount = 0;
  var learningTrigger = 0;

  for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
    var assignedFlag = 0;
    for (var s = 1; s <= numWorkstation; s++) {
      if (X[i][p][s] > 0.9) {
        assignedFlag = 1;
        break;
      }
    }
    if (assignedFlag == 1) {
      assignedLotsArr[assignCount] = p;
      assignCount++;
    }

    // accumulate learning triggers per skill
    for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
      if (Z[i][k][p] > 0.9) {
```

```
      learningTrigger++;
      skillLearnCountFull[k]++;
    }
  }
}

// Build CSV row
var row = "W" + i;

for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
  var initT = T[i][k];

  // simulate final time by subtracting RT on each triggered lot
  var simulatedFinal = initT;
  var anyTrigger = false;
  for (var p = 1; p <= numProduct; p++) {
    if (Z[i][k][p] > 0.9) {
      simulatedFinal -= RT[i][k][p];
      anyTrigger = true;
    }
  }
  if (simulatedFinal < 0) simulatedFinal = 0;

  var pct = 0.0;
  if (initT > 0) {
    if (!anyTrigger) {
      simulatedFinal = initT;
      pct = 0.0;
    } else {
      pct = ((simulatedFinal - initT) / initT) * 100;
    }
```

```
    } else {
      simulatedFinal = 0;
      pct = 0.0;
    }

    // Append three columns for this skill
    row += "," + formatNumber(initT) + "," + formatNumber(simulatedFinal) + "," +
formatNumber(pct);
  }

  var lotList = (assignCount > 0) ? "Lot " + assignedLotsArr.join(", ") : "-";
  row += "," + lotList + "," + learningTrigger;

  out.writeln(row);
}

// Write skill-level summary row
var summary = "SkillLearningCount";
for (var k = 1; k <= numSkill; k++) {
  summary += "," + skillLearnCountFull[k] + ",,";
}
summary += ",,"; // placeholders for AssignedLots and LearningTriggered
out.writeln(summary);

out.close();
writeln("Export complete: FullSkillTimeComparison.csv");
}
```

1.2 โปรแกรมไพทอนในการสุ่มค่าเมทริกซ์ทักษะการทำงานของพนักงาน

หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเมทริกซ์ทักษะการทำงานของพนักงานแล้ว นำข้อมูลเวลาการทำงานในแต่ละทักษะมาค่าค่าสถิติ ได้แก่ ค่าต่ำสุด (Min) ค่าสูงสุด (Max) และ ค่าเฉลี่ย (Average) ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งต้นในการสุ่มค่าเมทริกซ์การทำงานของพนักงานเพื่อทำการทดลอง โดยใช้ การกระจายตัวแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) สุ่มทั้งหมด 10 ชุดเมทริกซ์ ตามแต่ละสัดส่วนของทักษะพนักงานที่กำหนด ได้แก่

1. การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูงและต่ำ = 50:50 คือ พนักงานครึ่งหนึ่งมีทักษะการทำงานสูง (สุ่มค่าเวลาทักษะจาก Min ถึง Average) และอีกครึ่งหนึ่งมีทักษะการทำงานต่ำ (สุ่มค่าเวลาทักษะจาก Average ถึง Max)
2. การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูงและต่ำ = 75:25
3. การทดลองโดยกำหนดให้สัดส่วนพนักงานมีทักษะการทำงานสูงและต่ำ = 25:75

ในแต่ละสถานการณ์ ทำการทดลองปรับจำนวนพนักงาน ในขนาดที่ต่างกัน ได้แก่ 17 คน (1 เท่าของข้อมูลจริง) 34 คน (2 เท่าของข้อมูลจริง) และ 68 คน (4 เท่าของข้อมูลจริง)

โค้ดโปรแกรมไพทอนในการสุ่มข้อมูลเมทริกซ์ทักษะการทำงานของพนักงานแสดงดังนี้

```
import random
    import re
    import matplotlib.pyplot as plt
    def parse_skill_block(pasted_text):
      """
      Parses a block like:
        Skill 1: 2.31, 0.94, 2.74
        Skill 2: 4.04, 1.71, 4.9
      or just:
        2.31, 0.94, 2.74
      Returns a list of (mean, min, max).
      """
      skill_data = []
      lines = pasted_text.strip().splitlines()
```

```
    for line in lines:
        numbers = re.findall(r"[-+]?(?:\d*\.\d+|\d+)", line)
        if len(numbers) >= 3:
            mean_str, min_str, max_str = numbers[-3:]
            mean, min_val, max_val = map(float, (mean_str, min_str, max_str))
            if not (min_val <= mean <= max_val):
                raise ValueError(
                    f"Invalid values in line: {line}. Mean must be between min and
max."
                )
            skill_data.append((mean, min_val, max_val))
        else:
            pass

    if not skill_data:
        raise ValueError("No valid skill data found in pasted block.")
    print(f"\nDetected {len(skill_data)} skills from pasted block.")
    return skill_data
def get_skill_data_from_user():
    skill_data = []
    while True:
        print("\nDo you want to paste a block of skill data or enter manually?")
        user_choice = input("Press '1' to paste block, or '2' for manual entry:
").strip()
        if user_choice in ['1', '2']:
            break
        else:
            print("Invalid choice. Please press 1 or 2.")
    if user_choice == '1':
        print("\nPlease paste the skill data block. End input with an empty line:")
```

```
        pasted_lines = []
        while True:
            line = input()
            if line.strip() == "":
                break
            pasted_lines.append(line)
        pasted_text = "\n".join(pasted_lines)
        skill_data = parse_skill_block(pasted_text)
    elif user_choice == '2':
        while True:
            try:
                num_skills = int(input("\nHow many distinct skills does the
workforce have? "))
                if num_skills > 0:
                    break
                else:
                    print("Please enter a positive number.")
            except ValueError:
                print("Invalid input. Please enter a whole number.")
        print(f"\nPlease enter data for {num_skills} skills (format: mean min
max):")
        for i in range(1, num_skills + 1):
            while True:
                try:
                    user_input = input(f"Skill {i}: ")
                    mean, min_val, max_val = map(float, user_input.split())
                    if not (min_val <= mean <= max_val):
                        print("Error: Mean must be between min and max. Try again.")
                        continue
                    skill_data.append((mean, min_val, max_val))
                    break
```

```
                except ValueError:
                    print("Invalid format. Enter 3 numbers (mean min max).")
        print("\n" + "=" * 40)
        print("Skill data has been obtained. Please verify:")
        for i, data in enumerate(skill_data):
            print(f"Skill {i + 1}: (Mean={data[0]}, Min={data[1]}, Max={data[2]})")
        print("=" * 40)
        return skill_data

    def generate_worker_indices(num_workers, category):
        if category == "50/50":
            num_high = num_workers // 2
            num_low = num_workers - num_high
        elif category == "75/25":
            num_high = int(num_workers * 0.75)
            num_low = num_workers - num_high
        elif category == "25/75":
            num_high = int(num_workers * 0.25)
            num_low = num_workers - num_high
        else:
            raise ValueError("Invalid category: choose from 50/50, 75/25, or 25/75")

        categories = ["high"] * num_high + ["low"] * num_low
        random.shuffle(categories)
        return categories

def generate_skill_time_matrix(worker_categories, skill_data, num_replicates=10):
    num_workers = len(worker_categories)
    all_skill_plot_data = [[] for _ in range(len(skill_data))]

    for rep in range(1, num_replicates + 1):
```

```
print(f"\n// --- Replicate {rep} for {num_workers} workers ---")
print("TimeSkill = [")

high_counter = 0
low_counter = 0

for w_idx, category in enumerate(worker_categories):
    row = []
    for i, (mean, min_val, max_val) in enumerate(skill_data):
        if category == "high":
            val = round(random.uniform(min_val, mean), 2)
        else:
            val = round(random.uniform(mean, max_val), 2)
        row.append(val)
        all_skill_plot_data[i].append(val)

    row_str = ", ".join([f"{val:.2f}" for val in row])

    if category == "high":
        high_counter += 1
        label = f"high skill {high_counter}"
    else:
        low_counter += 1
        label = f"low skill {low_counter}"

    end_char = "," if w_idx != num_workers - 1 else ""
    print(f"\t[{row_str}]{end_char} // Worker{w_idx + 1} ({label})")
print("];")

# Final summary check
print("\n=== Summary Check ===")
```

```
        print(f"High-skill workers: {high_counter}")
        print(f"Low-skill workers: {low_counter}")
        print(f"Total workers: {num_workers}")

    return all_skill_plot_data

def plot_skill_histograms(all_skill_data, skill_data_stats):
    num_skills = len(all_skill_data)
    cols = 4
    rows = (num_skills + cols - 1) // cols
    plt.figure(figsize=(16, rows * 4))

    for i, skill_vals in enumerate(all_skill_data):
        ax = plt.subplot(rows, cols, i + 1)
        ax.hist(skill_vals, bins=15, color='skyblue', edgecolor='black')

        mean_val, min_val, max_val = skill_data_stats[i]
        ax.axvline(mean_val, color='red', linestyle='dashed', linewidth=2, label=f'Mean:
{mean_val}')
        ax.axvline(min_val, color='green', linestyle='dotted', linewidth=2, label=f'Min:
{min_val}')
        ax.axvline(max_val, color='green', linestyle='dotted', linewidth=2, label=f'Max:
{max_val}')

        ax.set_title(f"Skill {i + 1} Distribution")
        ax.set_xlabel("Skill Time")
        ax.set_ylabel("Frequency")
        ax.legend()

    plt.tight_layout(pad=3.0)
    plt.show()
```

```
def main():
    try:
        skill_data = get_skill_data_from_user()

        while True:
            while True:
                try:
                    num_workers = int(input("\nEnter the total number of workers: "))
                    if num_workers > 0:
                        break
                    else:
                        print("Please enter a positive number.")
                except ValueError:
                    print("Invalid input. Please enter a whole number.")

            while True:
                category = input("Enter worker skill category (50/50, 75/25, or 25/75):
").strip()
                if category in ["50/50", "75/25", "25/75"]:
                    break
                else:
                    print("Invalid category. Please choose from the specified options.")

            worker_categories = generate_worker_indices(num_workers, category)
            all_skill_plot_data = generate_skill_time_matrix(worker_categories, skill_data)

            choice = input("\nDo you want to generate another case with the same
statistics? (yes/no): ").strip().lower()
            if choice in ["no", "n"]:
                print("Finished generating all cases. Exiting program.")
```

```
            break

    except Exception as e:
        print("\nAn error occurred:", e)

if __name__ == "__main__":
    main()
```

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายนพรุจ บุญเสริม

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงผังการผลิตสำหรับแผนกเย็บผ้า กรณีศึกษา โรงงานผลิตเสื้อผ้าแห่งหนึ่ง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ประวัติ เกิดวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2541
ภูมิลำเนา กรุงเทพมหานครฯ

การสำเร็จการศึกษา

- ประถมศึกษา	โรงเรียนไผทอุดมศึกษา กรุงเทพฯ
- มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนราชวินิตบางเขน กรุงเทพฯ
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	หลักสูตรเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ
- ปริญญาตรี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ (เกียรตินิยมอันดับ 2)

สถานที่ติดต่อ

55/209 ซอยงามวงศ์วาน 32 ถนนงามวงศ์วาน
แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 1021