Engng.J.CMU.(2020) 27 (1), 104-117

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การลดเวลานำและชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิตในการผลิตชิ้นส่วนตู้รถเข็นโดยใช้เทคนิคการผลิตแบบลีน

Production Lead Time and Work in Process Reduction in Trolley Production Using Lean Manufacturing Techniques

ศศิชา ทองอำไพ* และ วิมลิน เหล่าศิริถาวร

Sasicha Thongampai and Wimalin Laosirithawon

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Department of Industrial Engineering, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai, Thailand, 50200
E-mail : *Moohammy_236@hotmail.com and Wimalin@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลานำ และจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิตในแผนกการประกอบด้านบนของตู้รถเข็นอาหารบนเครื่องบิน โดยประยุกต์ใช้แนวคิดแบบลีน และใช้เทคนิคที่เกี่ยวข้องเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการ โดยเลือกศึกษาชิ้นงาน Top assembly และชิ้นงาน Extrusion วิธีการวิจัยเริ่มจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการ โดยการศึกษาการไหลของชิ้นงาน เพื่อทำให้ทราบทิศทางและระยะทางการไหลของชิ้นงานแต่ละชนิด หลังจากนั้นทำการศึกษาเวลาในกระบวนการผลิตในแต่ละสถานีการทำงาน และศึกษาจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการ และนำข้อมูลทั้งหมดมาสรุปบนแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบัน (Value Stream Mapping: Current state) ช่วยให้เห็นถึงปัญหาและจุดที่ทำให้เกิดความสูญเปล่า เมื่อทราบถึงความสูญเปล่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลดังกล่าวจึงนำไปสู่การปรับสมดุลสายการผลิตโดยใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิต (Line balancing) จากนั้นเข้าสู่การแบ่งกลุ่มชิ้นงานและเครื่องจักรโดยใช้เทคโนโลยีการจัดกลุ่ม (Group Technology) นำไปผลที่ได้สู่การจัดสายการผลิตแบบเซลลูล่าร์ โดยมุ่งกำจัดความสูญเปล่าทางการขนส่งและลดจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการลง เมื่อสามารถลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจึงนำไปสู่การสร้างแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคต (Value Stream Mapping : Future state) จากผลการวิจัยพบว่าสามารถลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่ง ส่งผลให้สามารถลดเวลานำในการผลิตชิ้นงาน Top assembly จาก 1.6 วัน เหลือ 0.8 วัน และชิ้นงาน Extrusion จาก 2.7 วัน เหลือ 0.7 วัน รวมไปถึงสามารถลดจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการลง เฉลี่ยจากเดิม 160 ตู้/วัน เหลือ 10 ตู้/วัน

คำสำคัญ: เวลานำ เทคนิคการผลิตแบบลีน เทคโนโลยีแบบกลุ่ม สมดุลสายการผลิต ผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์

ABSTRACT

The purpose of this research is to apply 'Lean Manufacturing' concept and related techniques to eliminate waste in the manufacturing process of airplane trolley in order to reduce the product's lead

Received 19 April 2019
Revised 25 September 2019
Accepted 25 September 2019

times and work in process. The parts studied in this research were Top assembly part and Extrusion part. The research methodology started with analyzing the direction and transportation distance of each part through work stations. Then data regarding work station lead-times and work in process quantity were collected and used to construct current stage value stream mapping. This method helps to visualize the problem and waste activities. In order to reduce production waste, Line balancing technique and 'Group technology' were applied. The new cellular production line was designed with the aim of reducing transportation waste and work in process. Then the future state value stream mapping was created. The results showed that lead times of Top assembly part was reduced from 1.6 days to be 0.8 days and Extrusion part from 2.7 days to 0.7 days while the average work in process were reduced from 160 trolleys per day to 10 trolleys per day.
Keywords: Lead time, Lean Manufacturing Techniques, Group Technology, Line balancing, Cellular layout

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตทุกประเภท มีการแข่งขันระหว่างองค์กรอยู่ในระดับที่สูงมาก นอกจากเทคโนโลยีที่ทันสมัย ยังมีการเปิดตลาดทางการค้าที่กว้างมากขึ้น หากต้องการยกศักยภาพ เพื่อให้เกิดความสามารถในการแข่งขันที่เหนือกว่าคู่แข่งในธุรกิจจะต้องมุ่งเน้นการผลิตหรือให้บริการที่คุณภาพที่เหนือกว่า ด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่าและการส่งมอบที่ทันเวลา

บริษัท Zodiac Aircatering Equipment Thailand เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจหลักเกี่ยวกับอุตสาหกรรมอากาศยานทำการผลิตเกี่ยวกับการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่ใช้งานบนเครื่องบิน เช่น ถังขยะ (Waste Bin) ตู้คอนเทนเนอร์ (Containers) และตู้รถเข็น (Trolley) โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของตู้รถเข็น ทั้งนี้ส่วนประกอบของตู้รถเข็นประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนด้านล่างของรถเข็น (Base), ส่วนด้านบนของรถเข็น (Top), ส่วนประตูของรถเข็น (Door) และส่วน Extrusion โดยสามารถแบ่งการสายการผลิตออกเป็น 4 แผนก คือ แผนกการประกอบด้านล่างของรถเข็น (Base Assembly), แผนกการประกอบด้านบนของรถเข็น (Top/Sub Assembly), แผนกการประกอบประตูของรถเข็น (Door Assembly) และแผนกการประกอบขั้นสุดท้าย (Final Assembly)

จากการศึกษากระบวนการผลิตในระบบจริงพบจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการค่อนข้างมาก จึงทำการเก็บข้อมูลจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการของทั้ง 4 แผนก พบว่า แผนก Top/Sub Assembly มีจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการมากที่สุด ส่งผลให้มีเวลาในการผลิตมากเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐาน อีกทั้งกระบวนการผลิตมีกระบวนการไหลของชิ้นงานที่ไม่ไปในทิศทางเดียวกันและมีระยะทางการไหลที่ยาว ทำให้ส่งผลต่อเวลานำในการผลิต และชิ้นงานระหว่างกระบวนการมากอีกด้วย

ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) เป็นแนวทางที่สามารถขจัดความสูญเปล่าได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังนิยมมาใช้เป็นกลยุทธ์ในการดำเนินธุรกิจ โดยทำความเข้าใจกระบวนการผลิตและการออกแบบตามที่ลูกค้าต้องการ เพื่อช่วยในการปรับปรุงการเพิ่มผลผลิตให้ดีขึ้น จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า มีการนำเทคนิคการผลิตแบบลีนไปประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กรูปพรรณ [1] ในอุตสาหกรรมการผลิตปั๊มน้ำรถยนต์ [2] ในอุตสาหกรรมการผลิตตู้นิรภัย [3] และในอุตสาหกรรมการประกอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ [4]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แนวคิดแบบลีน และใช้เทคนิคต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการอันนำไปสู่การลดเวลานำและจำนวนงานระหว่างกระบวนการผลิต

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ระบบการผลิตแบบลีน (Lean manufacturing)

ระบบการผลิตแบบลีนเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการติดตามความสูญเปล่าเพื่อกำจัดให้หมดไปจากระบบอย่างไม่มีที่สิ้นสุด โดยความสูญเปล่านั้นคือ ทุก ๆ สิ่งที่ไม่เกิดคุณค่าแก่ผลิตภัณฑ์ ดังนั้น เพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต การกำจัดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานจึงนำหลักการพื้นฐานของระบบการผลิตแบบลีนที่ Jame P.Womack and Daniel T.Jones [5] ได้นำเสนอหลักการคิดแบบลีนมาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา โดยประกอบไปด้วย 5 ประการ ดังต่อไปนี้

2.1.1 การนิยามคุณค่า (Value Definition)

การจัดการกับความสูญเปล่านั้นต้องใช้ความพยายามในการกำจัดความสูญเปล่าออกจากกระบวนการ ดังนั้นในแนวคิดนี้ถือได้ว่ากระบวนการสร้างคุณค่าจึงมีความสำคัญ ดังนั้นประเภทความสูญเสีย (Muda) คือ กระบวนการผลิตที่ลูกค้าไม่ต้องการ บริษัทที่ทำการผลิตแบบลีนจะดำเนินการ เพื่อกำหนดคุณค่าของผลิตภัณฑ์และความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการเสนอราคาให้กับลูกค้า บริษัทที่ทำการผลิตแบบลีนจะทำความเข้าใจและถามลูกค้าว่าต้องการอะไร แล้วบริษัทจึงทำการผลิตแบบลีนโดยปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การบริหารองค์กรและพนักงาน เพื่อให้บรรลุตามแผนการผลิตนั้น

2.1.2 การแสดงสายธารแห่งคุณค่าหรือผังแห่งคุณค่า (Value Stream Mapping)

แผนภาพสายธารแห่งคุณค่าเป็นเครื่องมือและเทคนิคหนึ่งที่สนับสนุนการพัฒนากลยุทธ์การผลิตแบบลีนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุกธุรกิจ โดยมุ่งลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการด้วยการแสดงลำดับขั้นตอนของกิจกรรมต่าง ๆ รวมถึงศึกษาลำดับขั้นตอนของกระบวนการไหลของงาน ตั้งแต่ต้นน้ำ เริ่มจากการรับวัตถุดิบ จนถึงการแปรรูปผลิตภัณฑ์ โดยแสดงขั้นตอนในการกระบวนการต่าง ๆ ตลอดจนการส่งมอบสินค้าคุณภาพให้กับลูกค้า โดยแสดงความสูญเปล่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการด้วยการแสดงการไหลของทรัพยากรและสารสนเทศของกระบวนการ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต ปริมาณงานระหว่างกระบวนการ เป็นต้น

2.1.3 การทำให้เกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง (Flow)

การทำให้คุณค่าเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง คือ การทำให้สายการผลิตสามารถปฏิบัติงานได้อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาโดยไม่มีการหยุดการผลิตด้วยเหตุใดก็ตาม ทำให้งานไหลไปได้อย่างต่อเนื่องเหมือนกระแสน้ำ ซึ่งแม้ระดับน้ำจะลดลงแต่ก็ยังไหลอยู่เสมอ ซึ่งการไหลของงานถือเป็นสิ่งสำคัญของระบบการผลิตแบบลีน และเป็นจุดเริ่มต้นที่ต้องทำให้เกิดขึ้นก่อน

2.1.4 การทำให้ลูกค้าเป็นผู้ดึงคุณค่าจากกระบวนการ (Pull)

การให้ลูกค้าเป็นผู้ดึงคุณค่าจากกระบวนการ คือ การทำการผลิตเมื่อลูกค้ามีความต้องการสินค้านั้น และผลิตให้เพียงพอกับที่ลูกค้าต้องการ โดยหมายถึงทั้งลูกค้าภายในและภายนอกเป็นการผลิตที่เข้าใกล้กับลักษณะของการผลิตตามสั่ง ไม่ใช่การผลิตเพื่อเก็บและรอการขาย ซึ่งการผลิตเพื่อเก็บและรอการขายถือเป็นความสูญเปล่าชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรอคอย

2.1.5 การมุ่งสู่ความสมบูรณ์แบบ (Pursues the Perfection)

หลังจากที่เข้าใจความต้องการของลูกค้า รู้และเข้าใจในคุณค่าของสินค้าที่ผลิต จัดทำผังของคุณค่าและให้ลูกค้าเป็นผู้ดึงงาน และกำหนดกิจกรรมในการผลิตแล้ว ต่อมาคือ การพยายามมุ่งมั่นสู่ความสมบูรณ์แบบ และกำจัดความสูญเปล่าอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีปัจจัยสนับสนุนคือ ความมีส่วนร่วมของบุคลากรทุกคนที่มุ่งเน้นการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อนำองค์กรสู่ความเป็นเลิศ

2.2 ทฤษฎีการจัดกลุ่ม (Group Technology)

เทคโนโลยีการจัดกลุ่ม เป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดเพื่อการจัดกลุ่มของระบบการผลิต ซึ่งคิดค้นทฤษฎีขึ้นโดยศาสตราจารย์ เอส.พี.ไมโตรฟานอฟ (S. P. Mitrofanov) แห่งมหาวิทยาลัยเลนินกราด ประเทศสหภาพโซเวียต เมื่อปี ค.ศ.1950 โดยพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกันรวมเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ (Part of Family) และการจัดกลุ่มเครื่องจักร (Machine Group) เพื่อทำการ

ผลิตตามกลุ่มผลิตภัณฑ์นั้น การนำแนวคิดของเทคโนโลยีกลุ่มมาประยุกต์ใช้ในการผลิตให้เป็นระบบการผลิตแบบเซลล์ จะใช้การวางผังโรงงานแบบเทคโนโลยีกลุ่ม ผลดีจากการใช้ระบบการผลิตแบบเซลล์ โดยทั่วไปช่วยลดเวลาในการขนถ่ายวัสดุ ลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักร ลดเวลาในการผลิต ลดจำนวนของเสีย วางแผนและควบคุมการผลิตได้ง่าย

3. วิธีการดำเนินการ

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน

ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตชิ้นงานในแผนกด้านบนของรถเข็น โดยทำการเก็บข้อมูลของชิ้นงานแต่ละประเภท ทั้งระยะทางการไหล และกระบวนการในการผลิตเพื่อให้เห็นถึงทิศทางการไหลของชิ้นงานทั้งหมดในแผนก

3.2 ทำแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบัน

หลังจากทราบถึงสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต จึงทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานที่เราสนใจคือ ชิ้นงาน Top assembly และชิ้นงาน Extrusion โดยทำการเก็บข้อมูลรอบเวลาการทำงานของกระบวนการผลิตชิ้นงานแต่ละชนิดร่วมกับการเก็บข้อมูลจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิต เพื่อใช้วิเคราะห์ว่ามี WIP ที่กระบวนการใดมากที่สุด และมีคอขวดที่กระบวนการใด จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาสรุปลงบนแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบัน เพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการไหลของข้อมูลสารสนเทศ และการไหลของวัสดุทั้งหมด พร้อมทั้งมองเห็นแหล่งที่เกิดปัญหา และแหล่งที่ทำให้เกิดความสูญเปล่า อีกทั้งยังช่วยให้มองเห็นคอขวด และจำนวนงานระหว่างผลิตได้

3.3 จัดสมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุง

นำข้อมูลรอบเวลาการทำงานของพนักงานงานแต่ละคนในการผลิตชิ้นงานในแต่ละกระบวนการมาพล็อตกราฟสมดุลสายการผลิตสถานะก่อนปรับปรุง โดยเทียบกับเส้น Takt time ที่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) เพื่อทำให้ทราบว่าปัจจุบันมีการทำการผลิตสินค้ามากเกินความต้องการ หรือน้อยกว่าความต้องการของลูกค้า รวมไปถึงทำให้เห็นถึงความสูญเปล่าเนื่องจากการขนส่งที่มุ่งเน้นในการกำจัดความสูญเปล่าดังกล่าว

- การคำนวณหา Takt Time

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{เวลาทำงานปกติในหนึ่งวัน (วินาที)}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ต้องการต่อวัน (ชิ้น)}} \quad (1)$$

3.4 จัดสมดุลสายการผลิตหลังปรับปรุง

จากกราฟสมดุลสายการผลิตสถานะก่อนปรับปรุง ทำให้เราทราบถึงว่าสามารถผลิตได้ทันตามความต้องการของลูกค้าหรือไม่ และพนักงานหรือกระบวนการใดเป็นคอขวดในกระบวนการผลิต หลังจากนั้นเราจึงทำการสร้างกราฟสมดุลสายการผลิตเทียบกับเส้น Takt time โดยทำการจัดสมดุลงานของพนักงาน แต่ละคนให้มีความสมดุลกัน และไม่เกินเส้น Takt time โดยสามารถทราบถึงจำนวนพนักงานที่ต้องการในการผลิตชิ้นงานแต่ละชนิดได้จากสมการที่ (2)

- การคำนวณหาจำนวนพนักงาน

$$\text{Manpower} = \frac{\text{Process Time}}{\text{Takt time}} \quad (2)$$

3.5 จัดกลุ่มของเครื่องจักร และชิ้นงาน

จัดกลุ่มของเครื่องจักรและชิ้นงาน โดยทำการจัดกลุ่มเครื่องจักรของชิ้นงานแต่ละชนิด เพื่อหากลุ่มชิ้นงานที่มีความสัมพันธ์กัน และนำไปสู่การจัดกลุ่มการผลิตแบบเซลลูล่าร์ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดเครื่องจักร และชิ้นงานให้อยู่ในรูปแบบตัวเลข และตัวอักษร

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดให้แถว (Row) เป็นรายการเครื่องจักร และหลัก (Column) เป็นรายการชิ้นงาน โดยเครื่องจักรตัวไหนมีชิ้นงานเข้าให้ใส่หมายเลข 1 หากไม่มีให้เว้นว่างไว้หรือใส่ศูนย์

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดค่า Binary Value ของชิ้นงาน และคำนวณผลรวมของ Decimal Equivalent ในแต่ละเครื่องจักร และจัดลำดับค่าของ Rank

ขั้นตอนที่ 4 จัดลำดับค่าของ Rank ที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 ของชิ้นงานทั้งหมด และคำนวณผลรวมของ Decimal Equivalent ในแต่ละเครื่องจักร และจัดลำดับค่าของ Rank

ขั้นตอนที่ 5 จัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์ และเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กันให้อยู่กลุ่มเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 6 ใส่กลุ่มของชิ้นงาน และเครื่องจักรที่มีความสัมพันธ์กันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

3.6 จัดผังการผลิตใหม่โดยการจัดผังแบบเซลลูล่าร์

หลังจากทราบกลุ่มของเครื่องจักร และชิ้นงานที่แล้ว หลังจากนั้นนำกลุ่มของเครื่องจักร และชิ้นงานที่ได้ไปทำการจัดผังการผลิตใหม่โดยประยุกต์ใช้การจัดผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ในการปรับปรุงผังการผลิต เพื่อลดความสูญเปล่าในการขนส่งชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิต

3.7 ทำแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคต

หลังจากทราบความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นและได้ทำการกำจัดความสูญเปล่า และรวมงานเข้าด้วยกันด้วยเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำการสร้างแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคต โดยควบคุมชิ้นงานระหว่างกระบวนการให้ลดลงเหลือ Small batch size

4. ผลการทดลอง

4.1 การไหลของกระบวนการผลิต

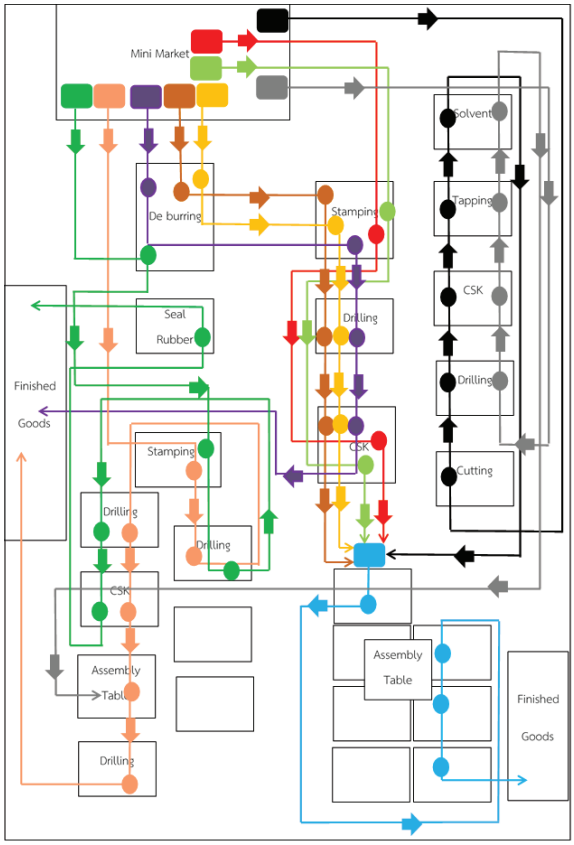
เพื่อให้เห็นถึงการไหลของชิ้นงานทั้งหมดในแผนกการประกอบด้านบนของตู้รถเข็น จึงทำการเก็บข้อมูลของชิ้นงานแต่ละตัวโดยชิ้นงานทั้งหมดแสดงชื่อ ระยะทางการไหล และกระบวนการในการผลิต ดังตารางที่ 1

นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลทิศทางการไหลของชิ้นงานแต่ละชิ้น เพื่อดูทิศทางการไหลดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 แสดงกระบวนการไหลของชิ้นงานทุกชิ้นในแผนกด้านบนของตู้รถเข็น โดยสัญลักษณ์ต่าง ๆ มีความหมายดังนี้ สัญลักษณ์สี่เหลี่ยม (▭) หมายถึง จุดเริ่มต้น, สัญลักษณ์ลูกศร (⇨) หมายถึง การเคลื่อนย้ายวัตถุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง และสัญลักษณ์วงกลม (◯) หมายถึง การปฏิบัติงานบนชิ้นงานเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือคุณสมบัติของชิ้นงาน ซึ่งจากรูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะการไหลที่ไม่ไปในทิศทางเดียวกัน และมีระยะทางการไหลที่ยาวส่งผลให้เกิดเวลานำในการผลิตนาน รวมไปถึงพบชิ้นงานระหว่างกระบวนการมากอีกด้วย

ตารางที่ 1 ชื่อชิ้นงาน ระยะทางการไหล และกระบวนการผลิตชิ้นงานในแผนกการประกอบชิ้นส่วนด้านบนของรถเข็น

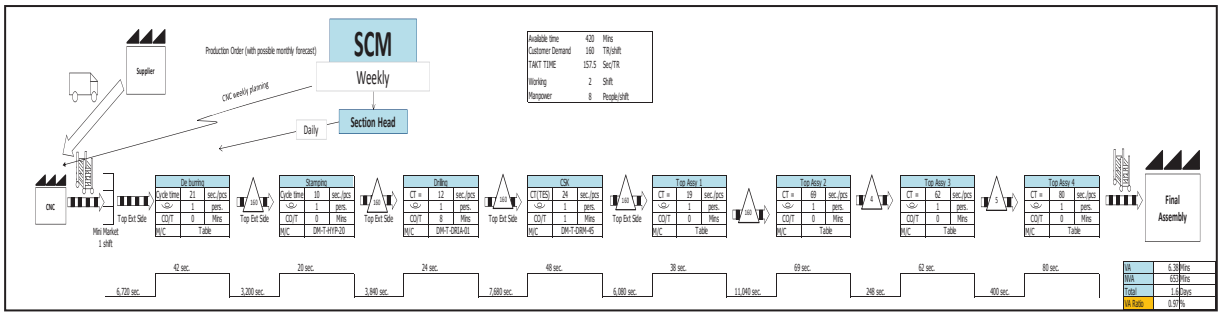
รูปที่	ชื่อชิ้นงาน	ระยะทาง (เมตร)	กระบวนการ
	Top Ext Side (FS)	10.61	ตะไบลบคม, ปั๊มชิ้นงาน, เจาะชิ้นงาน, คว้านชิ้นงาน, นำชิ้นงานเข้าโต๊ะประกอบ
	Top Ext Side (HS)	10.61	ตะไบลบคม, ปั๊มชิ้นงาน, เจาะชิ้นงาน, คว้านชิ้นงาน, นำชิ้นงานเข้าโต๊ะประกอบ
	Top Ext Front	7.95	ปั๊มชิ้นงาน, คว้านชิ้นงาน, นำชิ้นงานเข้าโต๊ะประกอบ
	Top Ext Back	10.61	ปั๊มชิ้นงาน, คว้านชิ้นงาน, นำชิ้นงานเข้าโต๊ะประกอบ
	Top Assembly	16.73	การประกอบชิ้นงาน
	Back Ext	15.16	ตะไบลบคม, ปั๊มชิ้นงาน, เจาะชิ้นงาน, คว้านชิ้นงาน
	Front Ext Hinge	32.07	ตะไบลบคม, ปั๊มชิ้นงาน, เจาะชิ้นงานตำแหน่งที่ 1, เจาะชิ้นงานตำแหน่งที่ 2, คว้านชิ้นงาน, นำชิ้นงานใส่ยาง
	Front Ext Lock	21.4	ปั๊มชิ้นงาน, เจาะชิ้นงานตำแหน่งที่ 1, เจาะชิ้นงานตำแหน่งที่ 2,ประกอบชิ้นงาน, เจาะชิ้นงานตำแหน่งที่ 3
	Corner Piece	15.37	ตัดชิ้นงาน, เจาะชิ้นงาน, คว้านชิ้นงาน, ทำเกลียวในชิ้นงาน, แช่น้ำยา
	Filler	22.37	เจาะชิ้นงาน, คว้านชิ้นงาน, ทำเกลียวในชิ้นงาน, แช่น้ำยา



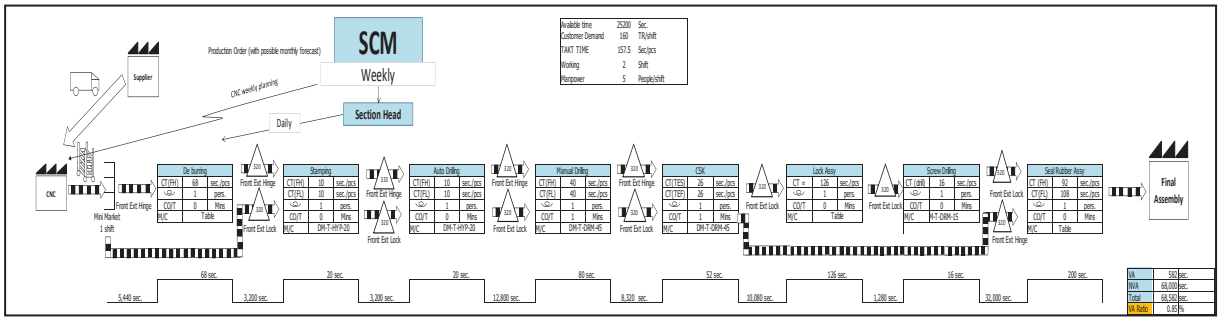
รูปที่ 2 กระบวนการไหลของชิ้นส่วนในแผนกการประกอบชิ้นส่วนด้านบนของรถเข็น

4.2 แผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบัน

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาสรุปลงบนแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบัน ลงในรูปที่ 3 และ 4 โดยแสดงแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบันของชิ้นงาน Top assembly และ Extrusion ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าเวลานำรวมของชิ้นงาน Top assembly สูงถึง 1.6 วัน และเวลานำรวมของชิ้นงาน Extrusion สูงถึง 2.7 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากมีจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิตที่มากเกินความจำเป็น



รูปที่ 3 แผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบันของชิ้นงาน Top assembly



รูปที่ 4 แผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบันของชิ้นงาน Extrusion

จากแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบันของชิ้นงานทั้ง Top assembly และ Extrusion สามารถสรุปข้อมูลทั้งหมดได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบัน

	Top assembly	Extrusion
Takt time (sec.)	158	158
VA (Mins)	6.38	9.7
NVA (Mins)	653	1,133
Lead Time (Days)	1.6	2.7
Work in Process (ea.)	800	1,120

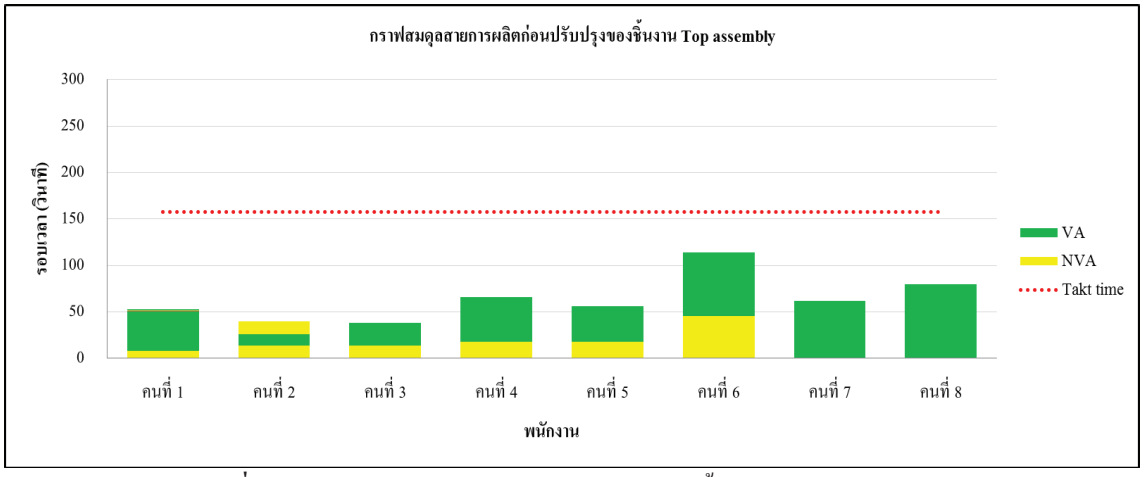
จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงเวลาที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าในกระบวนการผลิต (NVA) ซึ่งมีในปริมาณที่ค่อนข้างมาก โดยเวลานี้เกิดจากการที่มีจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการคงค้างอยู่จำนวนมาก ส่งผลให้มีเวลานำในการผลิตที่ยาวนาน

4.3 สมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุง

นำข้อมูลรอบเวลาการผลิตของแต่ละกระบวนการที่คำนวณได้จากการศึกษาข้อมูล มาพล็อตลงบนกราฟสมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุงเทียบกับเส้น Takt time ที่คำนวณมาจากสมการที่ (1)

$$\text{Takt time} = \frac{25{,}200 \text{ วินาที}}{160 \text{ ตู้}}$$

$$= 158 \text{ วินาที/ตู้}$$



รูปที่ 5 กราฟสมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุงของชิ้นงาน Top assembly

รูปที่ 5 แสดงกราฟสมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุงของชิ้นงาน Top assembly จากกราฟแสดงให้เห็นว่าในกระบวนการผลิตชิ้นงานดังกล่าวใช้พนักงานในการผลิตทั้งหมด 8 คน โดยเมื่อนำเวลาในการผลิตเทียบกับ Takt time แล้วพบว่าพนักงานยังมีเวลาเหลืออยู่มากเมื่อเทียบกับเส้น Takt time จึงนำไปสู่การพล็อตกราฟสมดุลสายการผลิตหลังปรับปรุง โดยสามารถคำนวณจำนวนคนที่เราต้องการได้จากสมการที่ (2)

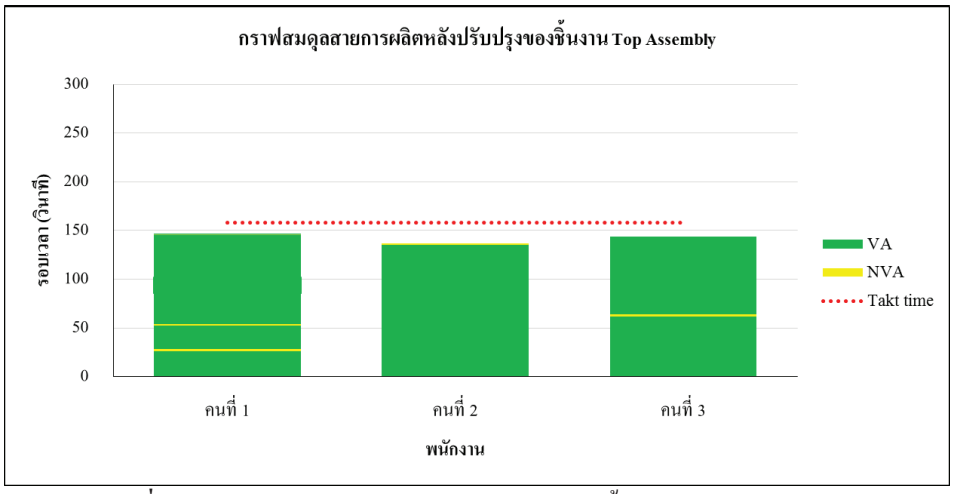
$$\text{จำนวนพนักงานที่ต้องการ} = \frac{488 \text{ วินาที}}{158 \text{ วินาที}}$$

$$= 3 \text{ คน}$$

หลังจากทราบจำนวนพนักงานที่ต้องการในการผลิตที่ได้จากการคำนวณ จึงทำการขจัดความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่ง รวมไปถึงการรวมงานเข้าด้วยกัน และจัดสมดุลสายการผลิตใหม่ให้สอดคล้องกับจำนวนพนักงานที่ได้จากการคำนวณ จากกราฟแสดงให้เห็นถึงความสมดุลกัน

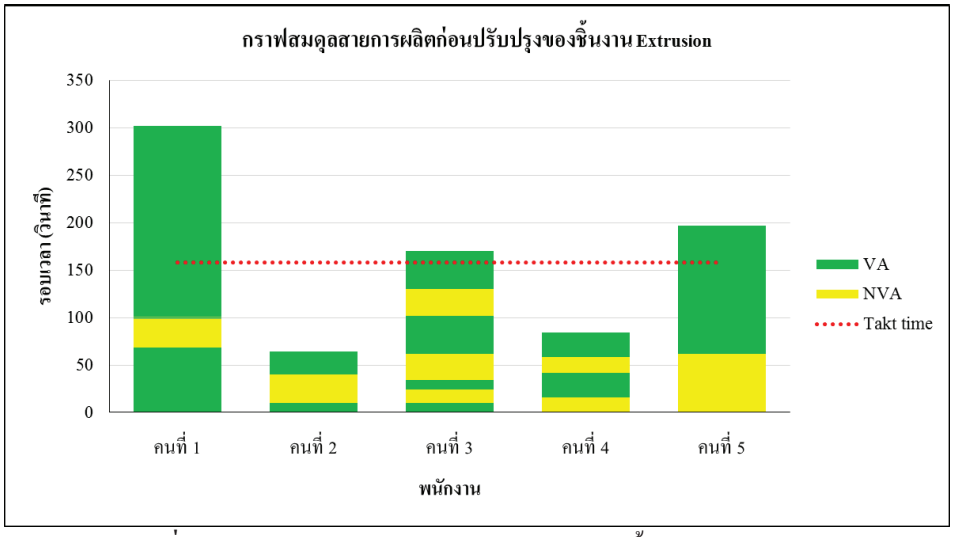
ในการผลิตของพนักงานทั้ง 3 คน และไม่มีพนักงานคนไหนทำการผลิตเกินเส้น Takt time ส่งผลให้สามารถผลิตได้ทันตามความต้องการของลูกค้า ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 แสดงกราฟสมดุลสายการผลิตหลังปรับปรุง ซึ่งสามารถลดจำนวนพนักงานลงได้จาก 8 คน เหลือเพียง 3 คน โดยการกำจัดความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่ง คือ ลดระยะทางในการขนส่งจากสถานีงานหนึ่ง ไปยังอีกหนึ่งสถานีงานลง โดยวางแผนให้แต่ละสถานีงานชิดติดกัน และทำการรวมงานเข้าไว้ด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น จากเดิมในกระบวนการตะไบลบคม (De burring), การแสตมป์ชิ้นงาน (Stamping), การเจาะชิ้นงาน (Drilling) และคว้านชิ้นงาน (Countersinking)ใช้พนักงานมากถึง 4 คน แต่จากการคำนวณรอบเวลาในการผลิตเทียบกับ Takt time สามารถใช้พนักงานเพียง 1 คนได้ จึงรวมขั้นตอนทั้งหมดให้พนักงานเพียงคนเดียวทำการผลิต

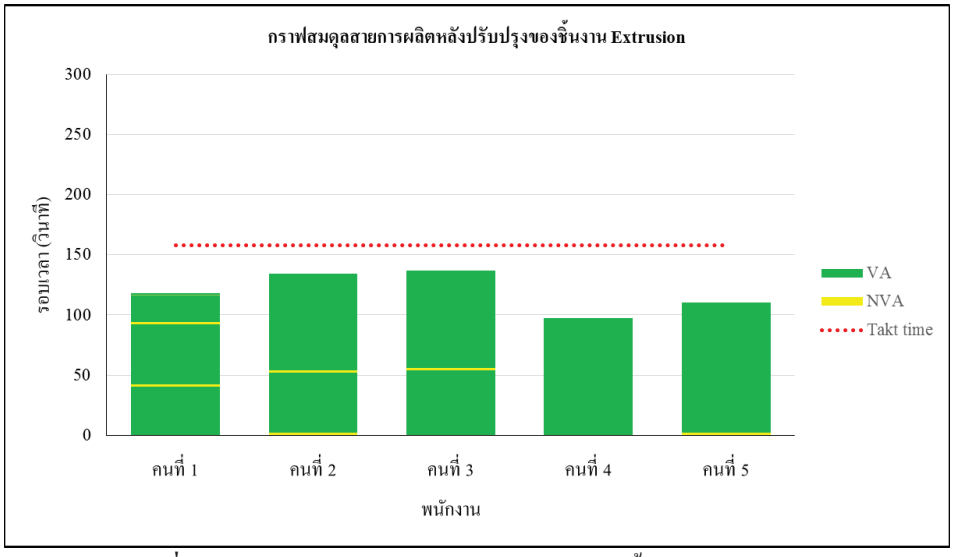


รูปที่ 6 กราฟสมดุลสายการผลิตหลังปรับปรุงของชิ้นงาน Top assembly

เช่นเดียวกันกับชิ้นงาน Extrusion ที่สามารถใช้วิธีการคำนวณจากสมการที่ (1) และสมการที่ (2) จะได้กราฟสมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงของชิ้นงาน Extrusion ดังรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 7 กราฟสมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุงของชิ้นงาน Extrusion



รูปที่ 8 กราฟสมดุลสายการผลิตหลังปรับปรุงของชิ้นงาน Extrusion

จากรูปที่ 7 แสดงกราฟสมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุงของชิ้นงาน Extrusion จะเห็นได้ว่าพนักงานคนที่ 1 และคนที่ 5 มีรอบเวลาในการผลิตเกินเส้น Takt time ทำให้ไม่สามารถผลิตได้ทันตามเวลาที่ลูกค้าต้องการได้ ในกรณีนี้พบว่า กระบวนการใส่ยางเป็นกระบวนการคอขวด พนักงานคนเดียวไม่สามารถผลิตได้ทันตามความต้องการของลูกค้า จึงแยกกระบวนการใส่ยางออกมาให้พนักงานคนที่ 4 และคนที่ 5 ทำการผลิตในกระบวนการนี้ และทำการจัดสมดุลการผลิตใหม่ในกระบวนการที่เหลือให้กับพนักงานคนที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 แสดงกราฟสมดุลสายการผลิตหลังปรับปรุงของชิ้นงาน Extrusion จากกราฟแสดงให้เห็นว่ายังคงใช้จำนวนพนักงานที่เท่าเดิมกับก่อนปรับปรุง แต่ลำดับในการผลิต และกระบวนการผลิตของพนักงานทุกคนมีความสมดุลกันมากขึ้น และไม่มีพนักงานคนไหนที่ทำงานเกินเส้น Takt time ทำให้สามารถผลิตได้ทันตามความต้องการของลูกค้าได้

ตารางที่ 3 สรุปข้อมูลจากกราฟสมดุลสายการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง

	Top assembly		Extrusion	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
VA (sec.)	376	376	542	542
NVA (sec.)	131	8	104	60
Total (sec.)	507	384	686	608
พนักงาน (คน)	8	3	5	5

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการพล็อตกราฟสมดุลสายการผลิตของชิ้นงาน Top assembly ซึ่งสามารถทำการลดจำนวนพนักงานจาก 8 คน เหลือ 3 คน ในขณะที่ชิ้นงาน Extrusion ไม่สามารถลดจำนวนพนักงานลงได้ แต่กราฟสมดุลสายการผลิตหลังการปรับปรุง พนักงานทั้ง 5 คน มีความสมดุลในการทำงานกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับกราฟสมดุลสายการผลิตก่อนปรับปรุง

4.4 การจัดกลุ่มของเครื่องจักรและชิ้นงาน

การจัดกลุ่มเครื่องจักรของชิ้นงานแต่ละชนิด เริ่มจากการกำหนดเครื่องจักร และชิ้นงานให้อยู่ในรูปแบบตัวเลขและตัวอักษร ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กำหนดเครื่องจักร และชิ้นงานให้อยู่ในรูปแบบตัวเลข และตัวอักษร

Machine Type	Machine Code	Machine Type	Machine Code	Part	Part Code
Stamping Machine	1	CSK Machine	11	Top Ext Side (FS)	A
Stamping Machine	2	Tapping Machine	12	Top Ext Side (HS)	B
Drilling Machine	3	Assembly Table	13	Top Ext Front	C
Drilling Machine	4	Assembly Table	14	Top Ext Back	D
Drilling Machine	5	Assembly Table	15	Back Ext	E
Drilling Machine	6	Assembly Table	16	Front Ext Hinge	F
Drilling Machine	7	Assembly Table	17	Front Ext Lock	G
Cutting Machine	8	Assembly Table	18	Corner piece	H
CSK Machine	9	Assembly Table	19	Filler	I
CSK Machine	10	Assembly Table	20		

หลังจากดำเนินการตามขั้นตอนทั้ง 6 ขั้นตอนในการใช้เทคโนโลยีกลุ่มในการจัดความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์และเครื่องจักรทำให้สามารถแบ่งกลุ่มออกมาได้ 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 กลุ่มของชิ้นงานและเครื่องจักร

Machine Code	Part									Decimal Equivalent
	A	B	D	C	E	F	G	H	I	
1	1	1	1	1	1					524288
9	1	1	1	1	1					262144
6	1	1	1	1						131072
17	1	1	1	1						65536
18	1	1	1	1						32768
19	1	1	1	1						16384
13	1	1	1		1	1				8192
3	1	1								4092
2						1	1			2048
4						1	1			1024
5						1	1			512
10						1	1			256
14						1	1			128
6							1			64
15							1			32
7								1	1	16
11								1	1	8
12								1	1	4
20								1	1	2
8								1		1
Decimal Equivalent	$1.04*10^6$	$1.04.*10^6$	$1.03*10^6$	$1.04*10^6$	$7.98*10^6$	$1.21*10^4$	$4.06*10^3$	31	30	

ตารางที่ 6 สรุปกลุ่มของชิ้นงานและเครื่องจักร

สี	กลุ่มที่	ชิ้นงาน	เครื่องจักร
	1	A,B,C,D,E	1,9,16,17,18,19,13,3
	2	F,G	2,4,5,10,14,6,15
	3	H,I	7,11,12,20,8

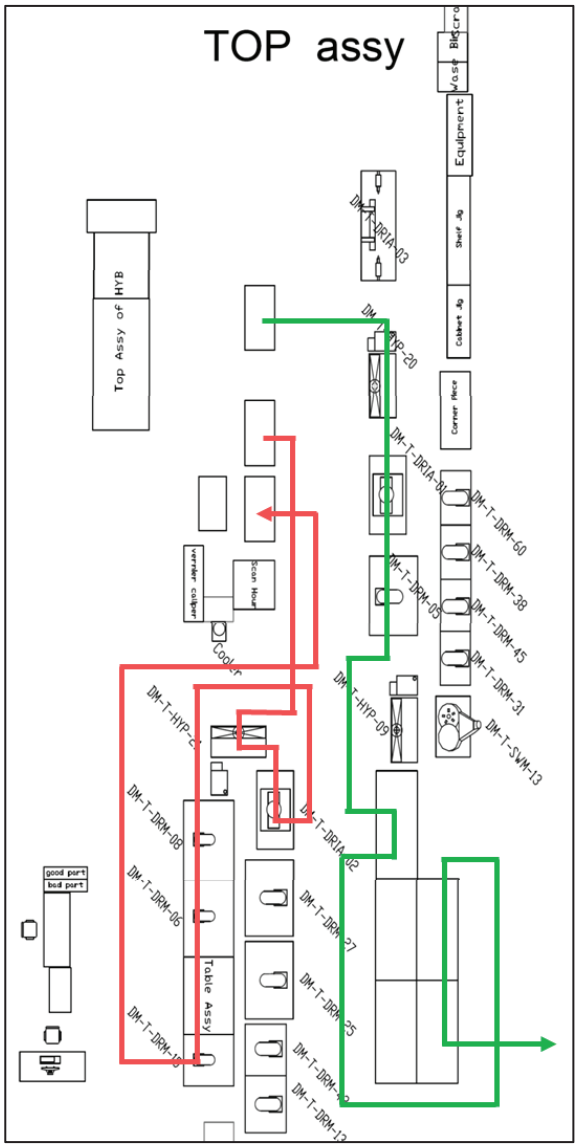
จากการจัดกลุ่มชิ้นงานและเครื่องจักรพบว่า กลุ่มที่ 1 สีเขียว คือ ผลิตภัณฑ์กลุ่ม Top assembly โดยกลุ่มของเครื่องจักรคือ หมายเลข 2, 3, 7, 9, 12, 14, 15 และ 16 กลุ่มที่ 2 สีแดง คือกลุ่มของ Extrusion กลุ่มของเครื่องจักรคือ หมายเลข 1, 4, 5, 6, 8 , 10 และ 11 โดย

ทั้ง 2 กลุ่มเป็นกลุ่มที่สนใจในการศึกษา ส่วนในกลุ่มที่ 3 สีเหลือง เป็นชิ้นงานกลุ่มอะไหล่ โดยกลุ่มของเครื่องจักร คือ หมายเลข 7, 11, 12, 20 และ 8

4.5 การจัดผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์

หลังจากได้กลุ่มของชิ้นงานและเครื่องจักรจากการจัดกลุ่มด้วยเทคโนโลยีกลุ่มแล้วตามหัวข้อ 4.4 จึงนำข้อมูลที่ได้มาจัดผังการผลิตใหม่โดยนำเทคนิคการจัดผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์มาประยุกต์ใช้ เพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่ง และช่วยให้สะดวกต่อการเคลื่อนไหวของพนักงานในกรณีที่พนักงานทำงานมากกว่า 1 สถานีงาน

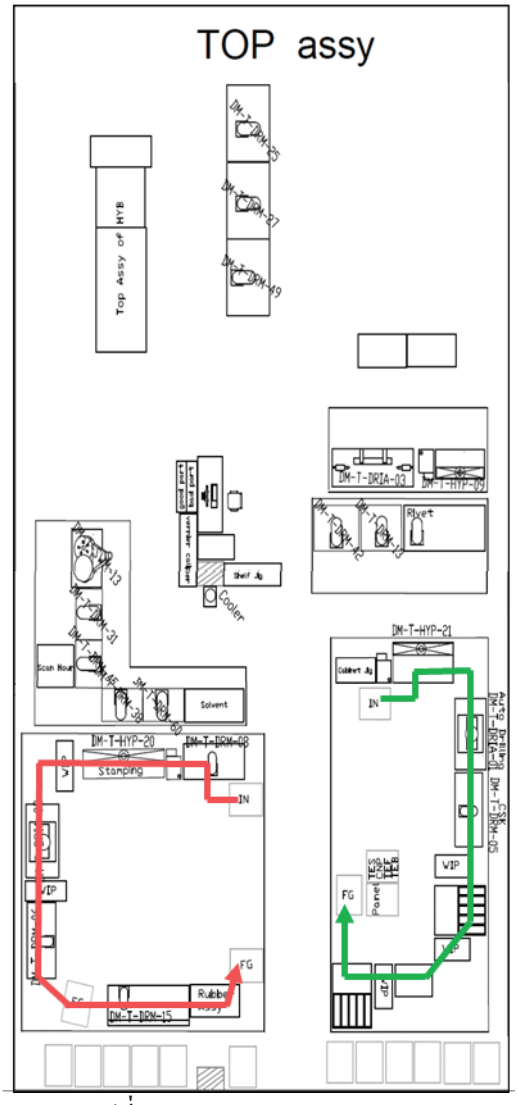
รูปที่ 9 แสดงระยะทางการไหลของชิ้นงานทั้ง 2 ชนิดในแผนก โดยเส้นสีเขียวแสดงระยะทางในการผลิตชิ้นงาน Top assembly โดยมีระยะทางในการผลิตชิ้นงานเท่ากับ 25.09 เมตร และเส้นสีแดง คือ ชิ้นงาน Extrusion มีระยะทางในการผลิตชิ้นงานเท่ากับ 31.08 เมตร



รูปที่ 9 ผังการผลิตก่อนปรับปรุง

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นถึงความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่ง และการไหลของชิ้นงานที่ค่อนข้างซับซ้อนในกระบวนการผลิตชิ้นงาน Top assembly และชิ้นงาน Extrusion ที่เกิดขึ้น จึงนำไปสู่การออกแบบผังการผลิตขึ้นมาใหม่ ดังรูปที่ 10 โดยนำแนวคิดผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์มาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นต่อการผลิตที่มุ่งตอบสนองต่อความต้องการที่หลากหลายของลูกค้า โดยในขั้นตอนนี้ได้ทำการกำจัดความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่งโดยทำการจัดวางเครื่องจักรที่ทำการผลิตต่อกันไว้ใกล้กัน โดยคำนึงจากผลที่ได้จากการจัดสมดุล

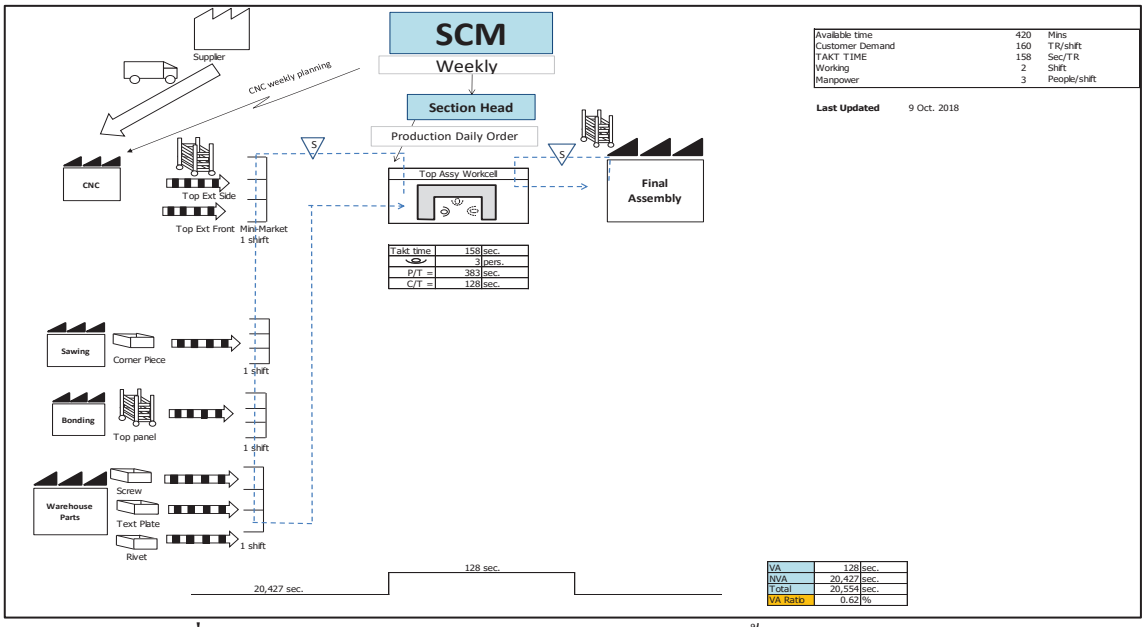
สายการผลิตหลังปรับปรุง และนำเทคนิคการจัดผังกระบวนการผลิตแบบเซลลูล่าร์รูปแบบตัวยูมาประยุกต์ใช้ โดยต้องคำนึงถึงพื้นที่ในการวางชิ้นงานระหว่างกระบวนการร่วมด้วย หากเราสามารถควบคุมจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการที่น้อย จะส่งผลให้เวลานำในการผลิตลดลง อีกทั้งยังสามารถควบคุมให้ชิ้นงานไหลอย่างต่อเนื่องและคงที่ โดยเส้นสีเขียวแสดงระยะทางในการผลิตชิ้นงาน Top assembly ในขณะที่เส้นสีแดงแสดงระยะทางในการผลิตชิ้นงาน Extrusion โดยมีระยะทางลดลงจากเดิมเหลือ10.56 เมตร และ 11 เมตร ตามลำดับ



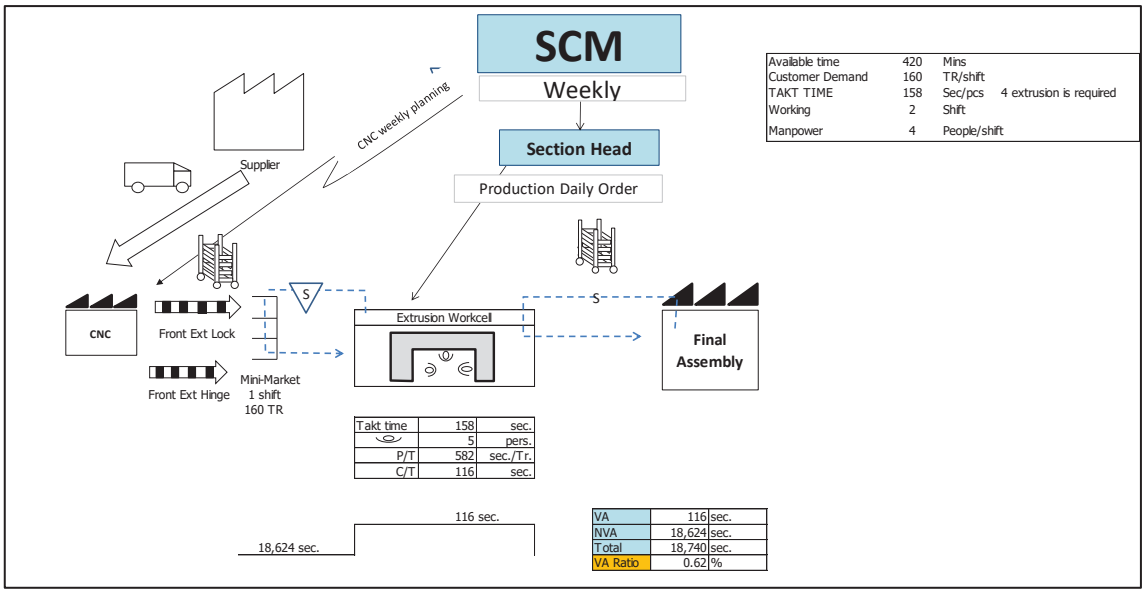
รูปที่ 10 ผังการผลิตหลังปรับปรุง

4.6 แผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคต

หลังจากทราบถึงความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากผลการศึกษาแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะปัจจุบัน การปรับสมดุลสายการผลิต และการจัดวางผังการผลิตรูปแบบใหม่ โดยการจัดกลุ่มของเครื่องจักรด้วยเทคโนโลยีกลุ่ม ซึ่งความสูญเปล่าดังกล่าวส่งผลกระทบต่อเวลานำในการผลิตที่นาน เมื่อสามารถกำจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นออกไปได้ จึงนำไปสู่การเขียนแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคตของชิ้นงานทั้ง 2 ชนิด คือชิ้นงาน Top assembly และชิ้นงาน Extrusion ซึ่งในการเขียนแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคตนั้น ทำได้โดยการกำหนดวิธีควบคุมการผลิตต้นทาง เป็นการกำหนดวิธีการควบคุมการไหล ของการผลิต โดยประยุกต์ใช้ระบบดึงในการสั่งผลิต ร่วมกับการกำหนดวิธีการปรับปรุงการไหล โดยใช้การลดขนาดการขนส่งงานระหว่างกระบวนการผลิตลง ซึ่งสอดคล้องกับการวางผังการผลิตแบบเซลลูล่าร์ที่ได้กำหนดพื้นที่สำหรับวางชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิตที่น้อยลงทำให้ส่งผลต่อเวลานำที่ลดลงอีกด้วย ซึ่งสามารถสรุปลงบนแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าได้ดังรูปที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



รูปที่ 11 แผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคตของชิ้นงาน Top assembly



รูปที่ 12 แผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคตของชิ้นงาน Extrusion

รูปที่ 11 และ 12 แสดงแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคตของชิ้นงาน Top assembly และชิ้นงาน Extrusion ตามลำดับ โดยสามารถสรุปข้อมูลที่ได้ลงในดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปข้อมูลแผนภาพสายธารแห่งคุณค่าสถานะอนาคต

	Top assembly	Extrusion
Takt time (sec.)	158	158
VA (Mins)	2.1	1.9
NVA Mins)	340	310
Lead Time (Days)	0.8	0.7
Work in Process (ea.)	50	60

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แนวคิดแบบลีน และใช้เทคนิคที่เกี่ยวข้องเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการอันนำไปสู่การลดเวลานำและจำนวนงานระหว่างการผลิต จากผลงานวิจัยพบว่า สามารถใช้เทคนิค

การผลิตแบบลีนเพื่อลดเวลานำในการผลิต และลดจำนวนชิ้นงานระหว่างการผลิต โดยสามารถลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย และลดการผลิตในปริมาณที่มากเกินความจำเป็นส่งผลให้เวลานำของชิ้นงาน Top assembly และชิ้นงาน Extrusion จาก 1.6 วัน และ 2.7 วัน เหลือ 0.8 และ 0.7 วัน ตามลำดับ และสามารถลดจำนวนชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิตเฉลี่ยจากเดิม 160 ตู้/วัน เหลือ 10 ตู้/วัน รวมไปถึงสามารถใช้เทคนิคลีนร่วมกับการจัดกลุ่มเครื่องจักรและชิ้นงานด้วยเทคโนโลยีกลุ่มได้เป็นอย่างดี โดยสามารถลดระยะทางในการผลิตรวมได้ซึ่งถือว่าสามารถลดความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่งได้ถึง 62%

6. อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากผลงานวิจัยนี้พบว่า สามารถใช้เทคนิคการผลิตแบบลีนเพื่อลดเวลานำในการผลิต และลดจำนวนงานระหว่างกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้ใช้เทคนิคการผลิตแบบลีนเพื่อลดเวลานำของการผลิต รวมไปถึงใช้เครื่องมือลีนในการลดงานระหว่างผลิตได้อีกด้วย ซึ่งจากผลงานวิจัยพบว่านอกจากเราสามารถลดเวลานำ และงานระหว่างผลิตแล้ว ยังสามารถลดระยะทางในการขนส่งระหว่างกระบวนการผลิต อีกทั้งจะช่วยบริษัทลดค่าใช้จ่ายทางด้านค่าแรงของพนักงานที่สามารถลดไปได้ถึง 3 คนอีกด้วย แต่เนื่องจากความเคยชินในการผลิตชิ้นงานเป็น Batch การผลิตแบบน้อยชิ้นยังเป็นเรื่องใหม่สำหรับบริษัทซึ่งต้องใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนวัฒนธรรมองค์กรให้สอดคล้องกับระบบเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งทำได้ยากเช่นกันในช่วงแรก

ในการวิจัยนี้สามารถลดเวลานำในการผลิตและชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิตในแผนกการประกอบชิ้นส่วนด้านบนของตู้รถเข็นได้ ซึ่งสามารถนำแนวทางดังกล่าวไปประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาลักษณะเดียวกันในกระบวนการผลิตชิ้นงานอื่น ๆ ได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย และขอขอบคุณบริษัท Zodiac Aircatering Equipment Thailand ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] พฤทธิพงศ์ โพธิวราพรรณ. การประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมแบบผสม (แบบต่อเนื่อง-แบบช่วง) : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเหล็กรูปพรรณ. วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2558.

[2] ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงธนะ. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน : กรณีศึกษาโรงงานผลิตปั๊มน้ำรถยนต์. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต.* 2555; 2: 40-62.

[3] มุสตาซะห์ ยูโซะ. การลดเวลานำในการผลิตและงานระหว่างผลิตในการผลิตตู้นิรภัยโดยใช้เทคนิคการผลิตแบบลีน. วิทยานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555.

[4] ดาราน้อย นารีพล. การปรับปรุงปริมาณชิ้นส่วนระหว่างกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิต : กรณีศึกษาโรงงานประกอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552.

[5] Womack, J. P. and Jones, D. T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. 2003; 15-90.