Engng.J.CMU.(2018) 25 (2), 55-66

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การปรับปรุงกระบวนการผลิตแชสซีส์ ของโรงงานประกอบรถบรรทุก

Improvement of Chassis Production Process of Truck Factory

ปฐมชัย พิชิตผจงกิจ[1, *]

Pathomchai Phichitphajongkij[1, *]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok 10330 Thailand.

*E-mail: biggy_20@hotmail.com Tel: 66892-543580

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตแชสซีส์ของโรงงานประกอบรถบรรทุก โดยนำหลักการของลีนและการจัดสมดุลสายการผลิตมาประยุกต์ใช้ อันมีจุดประสงค์เพื่อลดความสูญเสียที่ปรากฏอยู่ในสายการผลิต ได้แก่ ความสูญเสียจากการรอคอย ความสูญเสียจากการขนส่ง และความสูญเสียจากกระบวนการที่ไม่เหมาะสม โดยใช้เวลาสูญเสียมาเป็นตัวชี้วัด หลังจากใช้หลักการของลีนแล้วจึงทำการจัดระบบสายการผลิตใหม่ โดยมีตัวชี้วัด ได้แก่ รอบเวลาในการผลิต, ประสิทธิภาพการทำงาน และผลิตภาพในการผลิตแชสซีส์ โดยขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการเก็บข้อมูลขั้นตอนและเวลาตามสภาพความเป็นจริงของสายการผลิตในปัจจุบัน จากนั้นจึงวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดความสูญเสีย เมื่อทราบสาเหตุแล้วจึงทำการแก้ปัญหาลดความสูญเสียโดยการใช้เครื่องมือของลีน คือ หลัก ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) หลังจากนั้นจึงทำการจัดสมดุลสายการผลิตแชสซีส์ขึ้นมาใหม่เพื่อให้เวลาในการผลิตของแต่ละสถานีมีความสมดุลในเวลาการทำงานเพิ่มมากขึ้น โดยวิธีการที่ใช้ คือ วิธีใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weight: RPW) จากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงสามารถลดความสูญเสียจากเดิม 1707.52 นาที เหลือ 981.31 นาที รอบเวลาในการผลิตลดจากเดิม 767.81 นาที เหลือ 524.48 นาที ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 60.64% เป็น 88.49% และผลิตภาพ เพิ่มขึ้นจากเดิม 1 คันต่อคน เป็น 1.84 คันต่อคน

ABSTRACT

This paper presents techniques used in a process improvement of a truck chassis assembly line. Lean principles and line balancing process were employed in the line to reduce wastes occurring in the process. Waiting-time, transport, and inappropriate processing wastes were taken into account for the lean manufacturing philosophy in this study. Wasting time was used as an indicator for this tool. After implementing lean manufacturing, the current layout was redesigned using line balancing process. The key goal indicators of this line balancing were to seek the best layout in terms of cycle time, line efficiency, and productivity rate. The methodology started with collecting all the process steps and time spent in each step to define and clarify the real related problems causing waste times. Once the root cause was analyzed, a lean tool, Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify (ECRS),

Received 24 June 2016
Accepted 29 July 2016

was used as a guideline for success to reduce wastes. After that, tasks were assigned to workstations using a Ranked Positional Weight (RPW) method. The study results indicated that the two tools could help perform its process effectively and led to a reduction in wasting time from 1,707.52 to 726.21 minutes. In addition, the implementation led to better timely and more effectively control of the production process with a cycle time reduction from 767.81 to 524.48 minutes and a higher efficiency from 60.64% to 88.49%, respectively. Moreover, the productivity rate was increased from 1 to 1.84 pieces per person

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตรถบรรทุกเป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งทางบกซึ่งจัดได้ว่าเป็นการขนส่งอันดับหนึ่งของประเทศไทยมากกว่าการขนส่งสินค้าทางเรือ ทางรถไฟ หรือทางเครื่องบิน จากข้อมูลจากกองแผนงานกลุ่มสถิติการขนส่งได้มีการเก็บสถิติจำนวนรถบรรทุกที่จดทะเบียนใหม่ตามกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553-2558 แสดงไว้ดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 จำนวนรถจดทะเบียนใหม่ตามกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก ประเภทรถบรรทุก

พ.ศ.	จำนวนรถ (คัน)
2553	64,299
2554	77,219
2555	93,935
2556	108,529
2557	80,965
2558	68,691

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าตั้งแต่หลังปี พ.ศ. 2556 เป็นต้นมาจำนวนรถบรรทุกที่จดทะเบียนใหม่มีจำนวนลดลง ซึ่งสะท้อนไปถึงอุตสาหกรรมการผลิตรถบรรทุกด้วยว่าแต่ละโรงงานมีแนวโน้มที่ลูกค้ามาติดต่อผลิตรถบรรทุกน้อยตามไปด้วย โดยสาเหตุหลักเกิดจากปัจจัยเสี่ยงต่างๆเช่นการฟื้นตัวของเศรษฐกิจไทยยังคงมีความเสี่ยงกับปัญหาความไม่แน่นอนทางการเมืองภายในประเทศการขาดนโยบายกระตุ้นการค้าขายจากรัฐบาลราคาพืชผลทางการเกษตรมีแนวโน้มลดลง เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ส่งผลให้ผู้ประกอบอาชีพขนส่งสินค้าได้รับผลกระทบและไม่กล้าที่จะเพิ่มกำลังการขนส่ง นอกจากนั้นปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตรถบรรทุกมีการขยายตัวมากขึ้นจึงมีการแข่งขันกันสูงขึ้นในการสร้างรถบรรทุกทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องพยายามหาวิธีการเพื่อที่จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุดทั้งในเรื่องคุณภาพและความรวดเร็วในการผลิตซึ่งการบริหารการปรับปรุงกระบวนการผลิตการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยแก้ไขเพื่อช่วยในการลดเวลาการการควบคุมและปรับปรุงให้เกิดคุณภาพของสินค้าที่จะส่งมอบให้กับลูกค้า นอกจากนั้นการเตรียมความพร้อมของบุคลากรในสายงานผลิตรวมถึงลักษณะการดำเนินงานที่เหมาะสมก็เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยสร้างคุณภาพให้แก่สินค้าอีกด้วย

อย่างไรก็ตามในช่วงประมาณต้นปี พ.ศ. 2558 ทางโรงงานกรณีศึกษาประสบปัญหาการหยุดรองานของสายการผลิตรถกระบะบรรทุกในระหว่างการผลิตอย่างต่อเนื่อง อันมีสาเหตุมาจากปัญหาต่างๆในระหว่างการผลิตทำให้โรงงานเกิดความเสียหายทั้งเรื่องของต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และการเสียเวลาไปโดยไม่เกิดมูลค่าของงานมากขึ้น ซึ่งจากการสุ่มรวบรวมผลแบบประเมินความพึงพอใจที่ทางโรงงานให้ลูกค้าประเมินผลความพึงพอใจประจำปี พ.ศ. 2558 จำนวน 30 ท่านผลลัพธ์ของความพึงพอใจแสดงดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจของลูกค้าที่มาใช้บริการของโรงงานกรณีศึกษา ปี พ.ศ. 2558

เรื่อง	% ความพึงพอใจ
คุณภาพของบริการ	100.00
การวางบิลเป็นไปตามกำหนด	99.33
ความสะดวกในการติดต่อ	98.67

ตารางที่ 2 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจของลูกค้าที่มาใช้บริการของโรงงานกรณีศึกษา ปี พ.ศ. 2558

เรื่อง	% ความพึงพอใจ
คุณภาพของงานที่ส่งมอบ	98.67
มารยาทของผู้ส่งมอบ/ซ่อม	98.67
ความรวดเร็วในการเสนอราคา	98.00
การให้ข้อมูลและคำแนะนำ	97.33
เอกสารประกอบการนำเสนอ	96.67
ความถูกต้องของการส่งมอบ/ซ่อม	96.67
มาตรฐานการตรวจงาน	96.00
เอกสารในการส่งมอบสินค้า/ซ่อม	96.00
การแก้ไขและป้องกันปัญหา	93.33
ความรวดเร็วในการส่งมอบ/ซ่อม	88.67

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความรวดเร็วในการส่งมอบงานได้รับคะแนนความพึงพอใจต่ำ (ต่ำกว่าเกณฑ์ที่โรงงานตั้งไว้) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าสาเหตุของปัญหาอยู่ที่กระบวนการผลิตรถบรรทุก ซึ่งจากการตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังของปัญหาในสายงานการผลิตรถกระบะบรรทุกในปี พ.ศ. 2558 พบว่าฝ่ายประกอบแชสซีส์มีการเกิดความสูญเสียต่าง ๆ ในสายการผลิตรถกระบะบรรทุกสูงที่สุด ส่งผลให้จำนวนการผลิตรถกระบะบรรทุกไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ทางโรงงานวางแผนไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะแก้ปัญหาการหยุดรองานของฝ่ายประกอบแชสซีส์ เพื่อลดความสูญเสียทางการผลิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes)

ในกระบวนการผลิตมักจะพบว่ามีความสูญเสียต่าง ๆ แฝงอยู่ไม่มากก็น้อย ซึ่งเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น โดยความสูญเสียมีทั้งสิ้น 7 ประการ [1] ได้แก่

1. ความสูญเสียจากการผลิตมากเกินไป คือ ความสูญเสียที่เกิดจากแนวคิดที่พยายามใช้เครื่องจักรและพนักงานในการผลิตให้ได้มากที่สุดโดยที่ไม่ได้คำนึงถึงความสามารถในการรับงานต่อหรือความต้องการงานของหน่วยงานถัดไปซึ่งจะทำให้แต่ละหน่วยงานที่จำเป็นต้องทำงานเกี่ยวข้องต่อเนื่องกันทำงานไม่สอดคล้องสมดุลกันก็อันจะนำมาซึ่งงานที่ต้องรอการผลิตที่เกิดขึ้นหรืองานระหว่างกระบวนการผลิต (Work In Process: WIP)

2. ความสูญเสียจากการรอคอย คือ ความสูญเสียที่เกิดจากปัจจัยของการผลิตที่ไม่สัมพันธ์กันทำให้มีเวลาว่างงานในการผลิตซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการรอคอย

3. ความสูญเสียจากการขนส่ง คือ ความสูญเสียที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยไม่มีความจำเป็นหรือเป็นการนำไปเก็บไว้ชั่วคราวซึ่งการขนส่งเหล่านี้เป็นความจำเป็นแต่ก็มิได้ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม

4. ความสูญเสียจากกระบวนการที่ไม่เหมาะสม คือ ความสูญเสียที่เกิดจากขั้นตอนการดำเนินงานที่ไม่ได้เพิ่มคุณค่าให้แก่ตัวสินค้า

5. ความสูญเสียจากสินค้าคงคลังที่ไม่จำเป็น คือ ความสูญเสียที่เกิดจากการเก็บวัสดุชิ้นส่วนหรือสินค้าคงคลังไว้มากเกินความจำเป็นเพื่อจะประกันว่าจะมีวัสดุชิ้นส่วนหรือสินค้าคงคลังให้เพียงพออยู่ตลอดเวลาซึ่งเป็นผลทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งพัสดุต่างๆค่าจัดเก็บที่สูงและยังเปลืองพื้นที่อย่างไม่จำเป็น

6. ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวที่ไม่เหมาะสม คือ ความสูญเสียที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของคนที่การเคลื่อนไหวนั้นไม่ได้มีการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าหรือบริการ

7. ความสูญเสียจากข้อบกพร่อง คือ ความสูญเสียที่เกิดของเสียจากการผลิตหรืองานที่ไม่ได้มาตรฐานที่ต้องทำการแก้ไขใหม่

2.2 ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing System)

RemonFayek Aziz [2] กล่าวว่าระบบการผลิตแบบลีน คือ ระบบการผลิตที่มุ่งเน้นในเรื่องการไหลของงานเป็นหลักโดยทำการกำจัดความสูญเสียต่างๆของงานและเพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด โดยแนวทางที่นิยมนำมาใช้เพื่อลดความสูญเสียได้แก่ แนวทางหลัก ECRS ซึ่งประกอบด้วย

1. การกำจัด (Eliminate: E) ทำได้โดยการไล่หาจุดประสงค์ซึ่งจะทำให้สามารถกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกได้

2. การผสมผสาน (Combine: C) ทำได้โดยการผสมผสานองค์ประกอบของงานหลายประการเข้าด้วยกันอันจะช่วยลดขั้นตอนของงานบางส่วนลงได้

3. การจัดลำดับใหม่ (Rearrange: R) การโยกย้ายสับเปลี่ยนลำดับขององค์ประกอบของงานอาจสร้างโอกาสกำจัดงานบางส่วนหรือโอกาสการผสมผสานใหม่

4. การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify : S) เมื่อพิจารณาถึงการกำจัดการผสมผสานและการจัดลำดับใหม่อย่างรอบคอบแล้วควรพยายามจัดการองค์ประกอบของงานส่วนที่เหลืออยู่ให้เป็นงานที่ง่ายที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.3 การจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing)

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์ [3] กล่าวว่า การจัดสมดุลสายการผลิต คือ การพยายามที่จะจัดให้สถานีงานต่าง ๆ มีอัตราการทำงานหรือเวลาที่ใช้เท่า ๆ กัน โดยจะใช้รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) เป็นตัวกำหนดอัตราการผลิต เนื่องจากในระบบสายงานการประกอบหนึ่ง ๆ จะประกอบไปด้วยขั้นตอนงานต่างๆมากมาย การจัดแบ่งภาระงานให้เกิดความพร้อมในทางปฏิบัติล่วงหน้าจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง เพราะถ้าจัดแบ่งแรงงานถูกวางแผนด้วยการคาดคะเนจะพบว่าเมื่อนำไปปฏิบัติจริงอาจเกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมาได้ และได้กล่าวว่าวิธีหนึ่งของการจัดสมดุลสายการผลิตที่เรียกว่า วิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weight; RPW) เป็นหนึ่งในวิธีที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิต นอกเหนือจากวิธีการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด และวิธีของ Killbridge & Wester โดยมีลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาค่า RPW สำหรับแต่ละงานย่อย โดยการรวมค่าเวลาในการดำเนินงานของงานย่อย ๆ นั้นกับงานย่อยทั้งหมดที่ตามหลังในข่ายของแนวลูกศรของผังลำดับงาน

ขั้นตอนที่ 2 ลงรายการส่วนของงานทั้งหมดตามลำดับ RPW โดยจัดให้งานที่มีค่า RPW สูงสุดไว้ด้านบน พร้อมทั้งบอกเวลาในแต่ละงานย่อยและแสดงรายการงานย่อยที่อยู่ก่อนหน้าด้วย

ขั้นตอนที่ 3 จัดส่วนของงานลงสถานีงานตามค่า RPW โดยพยายามหลีกเลี่ยงข้อจำกัดเกี่ยวกับลำดับก่อนหน้าและรอบเวลา

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน

ผู้วิจัยเลือกศึกษากระบวนการผลิตเพียงหนึ่งกระบวนการจากโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้นและจากการเก็บข้อมูลย้อนหลัง ปี พ.ศ. 2558 พบว่าฝ่ายประกอบแชสซีส์มีการเกิดความสูญเสียในสายการผลิตมากที่สุด เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียของแผนกต่าง ๆ

ลำดับที่	แผนก	% ความสูญเสีย
1	ประกอบแชสซีส์	22.61
2	ประกอบกระบะ	5.92
3	ทำสี	3.55
4	เขียนแบบ	2.37

ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจที่จะศึกษาและแก้ไขปัญหาเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียในแผนกประกอบแชสซีส์ โดยได้ทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ข้อมูลทั่วไปของแผนกฝ่ายประกอบแชสซีส์

สถานี	ลำดับ	กระบวนการ	เวลาที่ใช้ (นาที)	เวลารวมในสถานี (นาที)
1	1	ตัดแผ่นจานหมุนและเหล็กดามคอแชสซีส์	70.75	70.75
	2	ดัดคอแชสซีส์	352.62	352.62
2	3	ประกอบครอส	136.33	418.91
	4	ประกอบชุดแท่นดัมพ์	282.58	
3	5	ติดตั้งครอสและแท่นดัมพ์	175.62	686.57
	6	เชื่อมครอสและแท่นดัมพ์	510.95	
4	7	ประกอบชุดแท่นชิม	153.23	153.23
5	8	ประกอบกันชนท้าย	105.29	192.72
	9	ประกอบแท่นยางอะไหล่	87.43	
6	10	เชื่อมชุดแท่นชิม	484.68	648.70
	11	เชื่อมแท่นยางอะไหล่	95.00	
	12	เชื่อมกันชนท้าย	69.02	
7	13	ประกอบลูกหมาก	18.75	402.56
	14	ดัดแป๊ปน้ำมัน	33.53	
	15	ประกอบโต๊ะหมุน	350.28	
8	16	เชื่อมโต๊ะหมุน	488.92	488.92
9	17	เชื่อมช่วงหน้า	102.72	687.98
	18	ทำท้าย	485.34	
	19	ปิดแท่นดัมพ์	99.92	
10	20	ประกอบแขนลาก	438.00	438.00
11	21	เชื่อมแขนลาก	309.96	767.81
	22	ประกอบชุดห่วงแขนลาก	211.52	
	23	ติดตั้งระบบแป๊ปน้ำมัน	246.33	
12	24	ประกอบเพลา	599.62	599.62
13	25	ติดตั้งเพลา,ชุดดัมพ์และแขนลาก	375.36	375.36
14	26	เดินระบบลม	234.85	234.85
รวม			6518.60	

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นข้อมูลต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมซึ่งสามารถสรุปสิ่งที่อยู่ภายในแผนกฝ่ายประกอบแชสซีส์ได้ดังนี้

1. แผนกประกอบแชสซีส์ประกอบไปด้วยสถานีจำนวน 14 สถานี สามารถแยกรายการกระบวนการได้เป็น 26 กระบวนการ

2. รอบเวลาเท่ากับ 767.81 นาที

3. เวลารวมทั้งหมดของกระบวนการเท่ากับ 6518.60 นาที

4. มีค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) โดยคิดจากสมการ

$$Efficiency = \frac{\sum_{i=1}^{i} t_i}{nC_a} \qquad (1)$$

เมื่อ t_i = เวลาของงานย่อย i

n = จำนวนสถานีงาน

C_a = รอบเวลาจริง

เมื่อแทนค่าลงไปจะได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 0.6064 หรือเท่ากับ 60.64%

5. มีค่าผลิตภาพ (Productivity) โดยคิดจาก

$$Productivity = \frac{T}{NC_a} \qquad (2)$$

เมื่อ T = เวลาที่มีสำหรับการผลิต

N = จำนวนคนงาน

C_a = รอบเวลาจริง

โดย ค่า T กำหนดให้โรงงานนี้ทำงานเดือนละ 24 วัน ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง (480 นาที) แบบไม่มีทำงานล่วงเวลา ฉะนั้น ค่า T = 24 x 480 = 11,520 นาที

ค่า N ฝ่ายประกอบแชสซีส์มีคนงานทั้งสิ้น 15 คน

ค่า C_a เท่ากับ 767.81 นาที

เมื่อแทนค่าลงไปจะได้ค่าผลิตภาพเท่ากับ 1.00 คัน/คน

3.2 พิจารณาความสูญเสีย

เมื่อทางผู้วิจัยได้ขั้นตอนกระบวนการทำงานทั้งหมดของฝ่ายประกอบแชสซีส์แล้ว จึงได้ทำการแยกประเภทของงานโดยใช้หลักการของ Flow Process Chart [4] เพื่อที่จะทำให้ทราบว่ามีงานอะไรบ้างที่ทำให้เกิดความสูญเสียและฝ่ายประกอบแชสซีส์เสียเวลาไปกับงานนั้นอยู่เท่าไหร่ จากการลงไปพิจารณาหน้างานพร้อมทั้งปรึกษากับวิศวกรผู้เชี่ยวชาญในแผนกประกอบแชสซีส์รวมถึงเชื่อมโยงกับข้อมูลเวลาที่เก็บได้ พบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในฝ่ายประกอบแชสซีส์ มีดังนี้

3.2.1 ความสูญเสียจากการรอคอย

- สูญเสียเวลากับการรอเครน เนื่องจากในฝ่ายประกอบแชสซีส์ของโรงงานกรณีศึกษาจะใช้การขนย้ายชิ้นงานโดยใช้เครนทั้งหมด ซึ่งภายในแผนกนั้นมีเครนที่สามารถใช้ได้อยู่เพียง 1 เครนเท่านั้น ซึ่งจากตารางที่ 4 มีกระบวนการที่ใช้เครน 15 กระบวนการ จาก 26 กระบวนการ มีระยะเวลาในการใช้เครนมากน้อยต่างกัน ทำให้คนงานเกิดการรอคอยการใช้เครน ทำให้ไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

- สูญเสียเวลากับการเบิกของ โดยคนงานในฝ่ายประกอบแชสซีส์ เมื่อต้องการอะไหล่ชิ้นส่วนที่จะใช้ประกอบแชสซีส์แล้วไม่มีของ จะต้องเสียเวลาในการเดินไปเบิกของที่แผนกสโตร์ ซึ่งอยู่ไกลจากแผนกแชสซีส์ค่อนข้างมาก และชิ้นส่วนอุปกรณ์มีความหนักเบาแตกต่างกันไป ตั้งแต่ยกได้ด้วยมือเปล่า จนถึงต้องใช้เครนหรือรถยกในการขนส่ง ซึ่งค่อนข้างใช้เวลาในการเคลื่อนย้ายมาก ถ้าหากของที่เบิกมีจำนวนมาก

- สูญเสียเวลาในการเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือ ฝ่ายประกอบแชสซีส์เป็นฝ่ายที่มีการใช้เครื่องมือเครื่องจักรหลากหลาย อาทิเช่น เครื่องมือตัด เครื่องมือเชื่อม เครื่องมือวัด ซึ่งลักษณะการทำงานของคนงานจะใช้เครื่องมือแล้วเก็บไม่เป็นที่เป็นทาง บางเครื่องมือต้องใช้ร่วมกันจึงมักจะเกิดปัญหาของหายหรือหาเครื่องมือไม่เจอ จึงทำให้คนงานต้องเสียเวลาไปกับการเตรียมพร้อมเครื่องมือ

3.2.2 ความสูญเสียจากการขนส่ง

- สูญเสียเวลากับการขนส่งปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เช่น เหล็ก อันเนื่องมาจากการวางปัจจัยการผลิตไม่เอื้ออำนวยต่อคนงานในการเคลื่อนย้ายได้อย่างรวดเร็ว เช่น ปัจจัยการผลิตอยู่ไกลจากสถานีการทำงาน การวางปัจจัยการผลิตอย่างไม่เป็นระเบียบ รวมไปถึงการขนส่งแชสซีส์ที่ประกอบระหว่างสถานีจำเป็นต้องใช้เครนเหมือนกัน เพราะน้ำหนักของแชสซีส์มีปริมาณมาก แต่การวางแบบแปลนของสถานีงานในโรงงานกรณีศึกษามีผลทำให้การเคลื่อนย้ายไม่มีความลื่นไหล ทำให้ทุกครั้งที่เคลื่อนย้ายแชสซีส์ระหว่างสถานีต้องใช้ระยะเวลานาน

3.2.3 ความสูญเสียจากกระบวนการที่ไม่เหมาะสม

- สูญเสียเวลากับการเปลี่ยนฐูปเชื่อม (ลวดเชื่อม) เนื่องจากงานส่วนใหญ่ของฝ่ายประกอบแชสซีส์มีความเกี่ยวข้องกับงานเชื่อมเกือบทั้งหมด คนงานทุกคนมีการใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้า โดยใช้ลวดเชื่อมเป็นเสมือนตัวเชื่อมเหล็กเข้าด้วยกันซึ่งลวดเชื่อม 1 เส้น สามารถเชื่อมได้ไม่มาก จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนลวดเชื่อมอยู่บ่อยครั้ง และการเปลี่ยนทุกครั้งจะทำให้การทำงานเชื่อมไม่มีความต่อเนื่อง เพราะนอกจากต้องเสียเวลาในการเปลี่ยนลวดเชื่อมแล้ว ยังต้องเสียเวลากับการเล็งลวดเชื่อมเพื่อเชื่อมงานให้มีความต่อเนื่องสวยงามอีกด้วย

- สูญเสียเวลากับการเคาะสแลก (ขี้เชื่อม) สืบเนื่องจากการที่คนงานใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้ลวดเชื่อมที่มีสารห่อหุ้ม (ฟลักซ์) เป็นตัวประสานนั้น ทุกครั้งที่ทำการเชื่อมจะเกิดสแลกขึ้นจากฟลักซ์ปกคลุมตามรอยเชื่อม ซึ่งสแลกนี้คนงานจะต้องทำการเคาะออกให้หมดทุกครั้ง เพื่อที่เวลากระบวนการพ่นสีนั้น สีจะได้ไม่ติดที่สแลก เพราะถ้ามีสีติดสแลก เวลาลูกค้านำรถไปใช้งาน สแลกมีโอกาสหลุดออกมาเองได้ซึ่งส่งผลให้สีหลุดออกมาด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์ดูไม่สวยงาม สามารถทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจได้

- สูญเสียเวลากับการวัดและการร่างแบบ มักจะเกิดขึ้นในกระบวนการขั้นตอนที่มีการตัดหรือการเจาะทุกครั้งก่อนที่จะทำการตัดหรือการเจาะ คนงานจะต้องเสียเวลากับการวัดหาตำแหน่งที่จะทำการตัดหรือเจาะ และเนื่องจากการวัดบางครั้งจะมีความสลับซับซ้อน รวมทั้งชิ้นส่วนแชสซีส์มีขนาดที่ใหญ่จำเป็นที่จะต้องใช้คนงานมากกว่า 1 คน ในการวัด ส่งผลให้คนงานที่ต้องมาช่วยจำเป็นต้องหยุดงานของตนก่อนเพื่อที่จะมาช่วยวัด นอกจากนี้เครื่องมือที่ใช้ในการวัดหรือร่างแบบยังไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงาน ทำให้ต้องเสียเวลาในการวัดค่อนข้างมาก

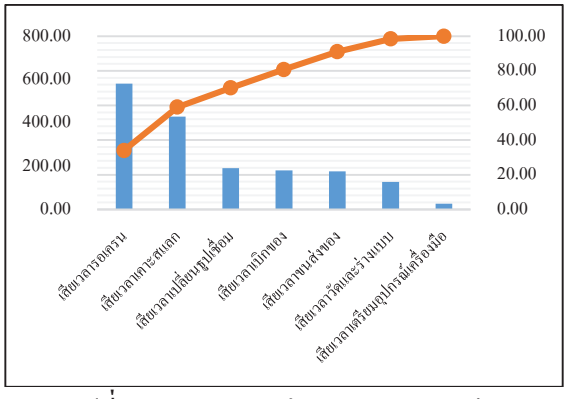
จากความสูญเสียที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บจำนวนเวลาความสูญเสียที่เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ออกมาได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เวลาของความสูญเสียในกิจกรรมต่าง ๆ

ความสูญเสีย	จำนวนเวลา (นาที)
เสียเวลารอเครน	580.00
เสียเวลาเบิกของ	180.50
เสียเวลาเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือ	26.44
เสียเวลาขนส่งของ	176.03
เสียเวลาเปลี่ยนฐูปเชื่อม	189.75
เสียเวลาเคาะสแลก	428.50
เสียเวลาวัดและร่างแบบ	126.30
รวม	1,707.52

3.3 การเลือกแก้ปัญหา

จากหัวข้อที่ 3.2 และจากตารางที่ 5 จะสังเกตเห็นได้ว่ามีสาเหตุที่ทำให้เกิดความสูญเสียอยู่ทั้งสิ้น 7 ประเด็น ซึ่งแต่ละประเด็นจะส่งผลต่อเวลาในการทำงานมากน้อยต่างกันขึ้นกับระยะเวลาที่ต้องสูญเสียไป ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกแก้ปัญหาโดยใช้กฎ 80:20 ของพาเรโต (Pareto) [5] คือ ทำการเรียงลำดับสาเหตุความรุนแรงของความสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น เสร็จแล้วจึงทำการแก้ปัญหาเฉพาะที่ส่งผลต่อฝ่ายประกอบแชสซีส์ 80% แรกเท่านั้น ดังนั้น สามารถนำมาสรุปทำกราฟพาเรโตได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพพาเรโตแสดงความสูญเสีย

จากรูปที่ 1 และกฎ 80:20 ของพาเรโต พบว่า 80% ของความสูญเสีย มีสาเหตุเกิดจาก 4 ประเด็นแรก ได้แก่

1. สูญเสียเวลากับการรอเครน
2. สูญเสียเวลากับการเคาะสแลก
3. สูญเสียเวลากับการเปลี่ยนรูปเชื่อม
4. สูญเสียเวลากับการเบิกของ

ซึ่ง 4 ประเด็นแรกนี้มีเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียรวมแล้วเท่ากับ 80.75% ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจแก้ปัญหาที่เกิดในฝ่ายประกอบแชสซีส์ทั้งสิ้น 4 ประเด็นจาก 7 ประเด็น

3.4 การลดความสูญเสียโดยใช้เครื่องมือลีน

จากการคัดเลือกประเด็นสาเหตุที่จะแก้ไขจากหัวข้อ 3.3 พบว่าเหลือ 4 ประเด็นที่จะแก้ไข โดยทางผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือลีน คือ หลัก ECRS มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยจากการระดมสมอง (Brainstorming) [6] กับผู้เชี่ยวชาญของฝ่ายประกอบแชสซีส์ พบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นสามารถลดได้โดยการใช้ส่วนหนึ่งของ ECRS คือ Simplify (S) มาแก้ปัญหาโดยการทำให้กระบวนการทำงานง่ายขึ้น หมายถึงการใช้เครื่องจักรใหม่เข้ามาช่วย หรือปรับปรุงระบบการทำงานใหม่จากของเดิมที่ยังไม่ดีพอ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การเพิ่มเครื่องจักรรอกไฟฟ้าเข้าไปอยู่ในสายการผลิต แทนที่เครื่องจักรเครนที่มีอยู่เพียงเครื่องเดียว โดยรอกไฟฟ้าที่เพิ่มจะมีระบบการทำงานเหมือนเครนเดิมทุกประการ เพื่อความสะดวกของคนงาน โดยจะต่างกันเพียงแค่จำนวนน้ำหนักที่รองรับได้น้อยกว่าเครนอยู่หลายตัน แต่เพียงพอสำหรับยกแชสซีส์ช่วงที่มีน้ำหนักมากที่สุดได้ อีกทั้งราคายังถูกกว่าเครนอยู่มาก ซึ่งการเพิ่มรอกไฟฟ้าเข้าไปจะช่วยลดการเสียเวลาในการรอเครนได้อีกทั้งยังสามารถช่วยลดการเสียเวลาบางส่วนในการขนส่งของซึ่งทางผู้วิจัยไม่ได้นำมาเป็นประเด็นหลักในการแก้ปัญหา

2. การเปลี่ยนเครื่องมือการเชื่อมจากเดิมด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า เป็นเครื่องเชื่อมคาร์บอนหรือที่เรียกว่าเครื่องเชื่อมมิก (Metal Inert Gas : MIG) เพราะข้อดีของเครื่องเชื่อมคาร์บอนที่ต่างจากเครื่องเชื่อมไฟฟ้า คือจะไม่เหลือแสลกไว้ เพราะเครื่องเชื่อมคาร์บอนจะเชื่อมโดยป้อนเนื้อลวดลงไปในชิ้นงานอัตโนมัติทำให้เกิดการหลอมละลายอย่างต่อเนื่อง โดยที่จะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดขึ้นที่แนวเชื่อมทำหน้าที่คอยป้องกันอากาศจากภายนอกเข้าไปที่บ่อหลอมละลาย ซึ่งต่างจากเครื่องเชื่อมไฟฟ้าเดิมที่ไม่ได้ใช้แก๊ส CO_2 แต่ใช้สารห่อหุ้ม (ฟลักซ์) แทน ซึ่งฟลักซ์นี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดสแลก (ขี้เชื่อม) ขึ้นมา ทำให้คนงานต้องเสียเวลาในการเคาะสแลกโดยการเปลี่ยนมาใช้เครื่องเชื่อมคาร์บอนนี้ ช่วยลดการเสียเวลาจากการเคาะขี้เชื่อม รวมทั้งลดเวลาจากการเปลี่ยนลวดเชื่อมด้วย เพราะเครื่องเชื่อมคาร์บอนไม่ได้ใช้ลวดเชื่อมแท่งที่เดิมจะต้องเปลี่ยนลวดอยู่หลายครั้ง แต่เครื่องเชื่อมคาร์บอนใช้ลวดเชื่อมที่ขดมาเป็นม้วนสายยาวติดตั้งลงไปในเครื่องเชื่อมคาร์บอน ซึ่งสามารถใช้เชื่อมงานได้คิดเป็นระยะทางที่มากกว่ากว่าเดิมมากถึงจะต้องเปลี่ยนสายลวดเชื่อมครั้งหนึ่ง

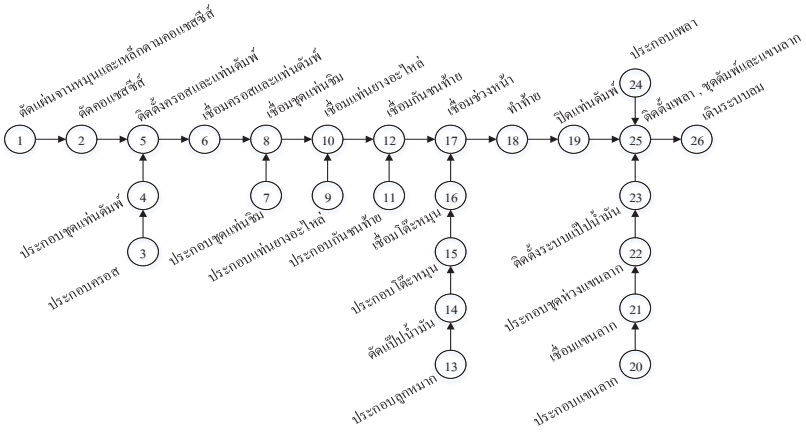
3. การเปลี่ยนระบบการเบิกของ คือ เดิมคนงานในฝ่ายประกอบแชสซีส์จะต้องเสียเวลาเดินไปที่แผนกสโตร์ที่อยู่ค่อนข้างไกลมากจากฝ่าย เพื่อทำการเบิกของซึ่งของที่เบิกนั้นบางชิ้นส่วนต้องเดินไปเบิกอีกแผนกหนึ่งทำให้คนงานเสียเวลาในการเดินไปเบิกของและเสียเวลารอให้พนักงานในแผนกสโตร์เตรียมของให้ ณ ตอนนั้น ดังนั้นระบบการเบิกของแบบใหม่จึงเปลี่ยนจากการที่คนงานต้องเดินไปเบิกของเองที่แผนกสโตร์ จึงเปลี่ยนระบบการเบิกให้แผนกสโตร์ต้องมาเช็คของที่คนงานในฝ่ายประกอบ

แชสซีส์เขียนรายการที่ต้องการจะเบิกไว้ที่ฝ่ายประกอบแชสซีส์ใน 2 รอบเวลา คือ ช่วงเวลา 11.00 เพื่อใช้ในช่วงบ่ายในวันนั้นและช่วง 15.00 เพื่อใช้ในช่วงเช้าในวันถัดไป โดยการเตรียมของนั้นพนักงานแผนกสโตร์จะต้องนำของที่เตรียมมาวางไว้ในพื้นที่ของคนงานของฝ่ายประกอบแชสซีส์ที่ทำการเบิกด้วย วิธีนี้สามารถนำมาใช้ได้ เพราะปัจจุบันพนักงานของแผนกสโตร์มีจำนวนพนักงานที่มากพอและพนักงานมีช่วงเวลาที่ว่างงานที่สามารถมาช่วยเหลือฝ่ายประกอบแชสซีส์ได้ อีกทั้งวิธีนี้ยังช่วยเพิ่มค่าประสิทธิภาพของพนักงานในแผนกสโตร์ให้มากขึ้นด้วย

3.5 การจัดสมดุลสายการผลิต

จากข้อมูลการผลิตย้อนหลังของฝ่ายประกอบแชสซีส์ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 มียอดการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 15 คันต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 75.00 ซึ่งมีกำลังการผลิตเฉลี่ยที่ต่ำกว่าแผนการผลิตที่ทางโรงงานได้ตั้งเป้าหมายไว้ที่ 20 คันต่อเดือน ทำให้ส่งผลกระทบต่อการผลิตสินค้าที่ไม่ได้ตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการ

ขั้นตอนกระบวนการผลิตแชสซีส์มีทั้งหมด 26 ขั้นตอน มีรายละเอียดขั้นตอนดังรูปที่ 2 และเวลาที่ใช้ในการผลิตภายหลังจากการลดความสูญเสียไปแล้วในตารางที่ 6 ดังนี้



รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขปของกระบวนการประกอบแชสซีส์

ตารางที่ 6 เวลาของแต่ละงานย่อย

งานย่อยที่	กระบวนการ	เวลา (นาที)
1	ตัดแผ่นจานหมุนและเหล็ก	50.75
2	ตัดคอแชสซีส์	255.95
3	ประกอบครอส	76.33
4	ประกอบชุดแท่นดัมพ์	193.08
5	ติดตั้งครอสและแท่นดัมพ์	151.90
6	เชื่อมครอสและแท่นดัมพ์	490.95
7	ประกอบชุดแท่นชิม	153.23
8	เชื่อมชุดแท่นชิม	382.35
9	ประกอบแท่นยางอะไหล่	87.43

ตารางที่ 6 (ต่อ) เวลาของแต่ละงานย่อย

งานย่อยที่	กระบวนการ	เวลา (นาที)
10	เชื่อมแท่นยางอะไหล่	79.18
11	ประกอบกันชนท้าย	105.29
12	เชื่อมกันชนท้าย	57.47
13	ประกอบลูกหมาก	13.00
14	ดัดแป๊ปน้ำมัน	33.53
15	ประกอบโต๊ะหมุน	307.46
16	เชื่อมโต๊ะหมุน	436.03
17	เชื่อมช่วงหน้า	52.13

ตารางที่ 6 (ต่อ) เวลาของแต่ละงานย่อย

งานย่อยที่	กระบวนการ	เวลา (นาที)
18	ทำท้าย	388.15
19	ปิดแท่นดัมพ์	87.87
20	ประกอบแขนลาก	398.00
21	เชื่อมแขนลาก	309.96
22	ประกอบชุดห่วงแขนลาก	211.52
23	ติดตั้งระบบแป๊ปน้ำมัน	220.79
24	ประกอบเพลา	477.56
25	ติดตั้งเพลา, ชุดดัมพ์, แขนลาก	325.96
26	เดินระบบลม	191.40

จากตารางที่ 6 ผู้วิจัยได้จัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีการวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง (Ranked Positional Weight; RPW) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 การจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง

สถานีงาน	งานย่อยที่	เวลา (นาที)	เวลาสถานี (นาที)
1	1	50.75	516.99
	2	255.95	
	3	76.33	
	9	87.43	
	13	13.00	
	14	33.53	
2	4	193.08	498.21
	5	151.90	
	7	153.23	
3	6	490.95	490.95

ตารางที่ 7 (ต่อ) การจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง

สถานีงาน	งานย่อยที่	เวลา (นาที)	เวลาสถานี (นาที)
4	11	105.29	412.75
	15	307.46	
5	20	398.00	398.00
6	8	382.35	519.00
	10	79.18	
	12	57.47	
7	16	436.03	488.16
	17	52.13	
8	21	309.96	521.48
	22	211.52	
9	24	477.56	477.56
10	18	388.15	476.02
	19	87.87	
11	23	220.79	220.79
12	25	325.96	517.36
	26	191.40	

4. ผลการศึกษา

จากหัวข้อที่ 3.2 การลดความสูญเสียด้วยวิธีการ ECRS ทำให้ระยะเวลาที่สูญเสียมีค่าลดลงจากเดิม 1707.52 นาที เหลือ 726.21 นาที ลดไป 981.31 นาที ส่งผลให้การเสียเวลาในประเด็นต่าง ๆ มีค่าลดลง ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ระยะเวลาที่สูญเสียหลังการปรับปรุง

ความสูญเสีย	จำนวนเวลา (นาที)	
	ก่อน	หลัง
เสียเวลารอเครน	580.00	80.00
เสียเวลาเคาะสแลก	428.50	164.33
เสียเวลาเปลี่ยนฐูปเชื่อม	189.75	105.23
เสียเวลาเบิกของ	180.50	60.17
เสียเวลาขนส่งของ	176.03	163.74
เสียเวลาวัดและร่างแบบ	126.30	126.30
เสียเวลาเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือ	26.44	26.44
รวม	1707.52	726.21

และจากหัวข้อที่ 3.5 (ตารางที่ 7) จากการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธี RPW ผลที่ได้มีดังนี้

1. รอบเวลาการผลิต = 521.48 นาที

2. สถานีงานแบ่งออกเป็น 12 สถานีงาน ได้แก่

- สถานีงานที่ 1 ทำงานย่อยที่ 1 , 2 , 3 , 9 , 13 , 14
- สถานีงานที่ 2 ทำงานย่อยที่ 4 , 5 , 7
- สถานีงานที่ 3 ทำงานย่อยที่ 6
- สถานีงานที่ 4 ทำงานย่อยที่ 11 , 15
- สถานีงานที่ 5 ทำงานย่อยที่ 20
- สถานีงานที่ 6 ทำงานย่อยที่ 8 , 10 , 12
- สถานีงานที่ 7 ทำงานย่อยที่ 16 , 17
- สถานีงานที่ 8 ทำงานย่อยที่ 21 ,22
- สถานีงานที่ 9 ทำงานย่อยที่ 24
- สถานีงานที่ 10 ทำงานย่อยที่ 18 , 19
- สถานีงานที่ 11 ทำงานย่อยที่ 23
- สถานีงานที่ 12 ทำงานย่อยที่ 25 , 26

3. ค่าประสิทธิภาพสายการผลิตเท่ากับ 88.49%

4. ค่าผลิตภาพ เท่ากับ 1.84 คันต่อคน

5. สรุปผล

จากปัญหาหลักที่ทำให้เกิดความล่าช้า คือการเสียเวลาในกระบวนการผลิตของฝ่ายประกอบแชสซีส์ ทางผู้วิจัยได้ทำการหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสียเวลาและได้ใช้เครื่องมือลีน คือ หลัก ECRS มาช่วยลดความสูญเสีย พบว่าทำให้ความสูญเสียมีค่าลดลง จากเดิม 1707.52 นาที สามารถลดไปได้ 981.31 นาที เหลือความสูญเสียอยู่ 726.21 นาที ลดลง 57.47%

นอกจากนั้นทางผู้วิจัยได้ใช้หลักการจัดสมดุลสายการผลิตมาช่วยในการลดรอบเวลาในการทำงานและจัดสมดุลให้การทำงานแต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน พบว่าภายหลังจากการจัดสมดุลสายการผลิต ค่าประสิทธิภาพในการผลิตเพิ่มขึ้น 27.85% ค่าผลิตภาพ เพิ่มขึ้น 84% และรอบเวลาการผลิตลดลง 31.69% ซึ่งสามารถทำให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถผลิตแชสซีส์เพื่อทำการประกอบขึ้นเป็นรถบรรทุกได้เป็นจำนวนและระยะเวลาตามความต้องการของลูกค้าได้สำเร็จ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ รวมทั้งขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ มากมายในการแก้ปัญหาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Arunagiri, P. and Gnanavelbabu, A. Identification of Major Lean Production Waste in Automobile Industries using Weighted Average Method. *Procedia Engineering*, *2014;* 97: 2167-2175.

[2] Aziz, R.F. and Hafez, S.M. Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 2013; 52: 679-695.

[3] บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. การวางแผนและควบคุมการผลิต. ประเทศไทย: บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, 2552.

[4] สุนทร ลิ่วเลาหคุณ. การศึกษางาน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2528.
[5] Burr, J.T. The Tools of Quality. 6. Pareto Charts. Quality Progress, 1990; 23: 59-61.
[6] Andersen, B. and Fagerhaug, T. Root cause analysis: simplified tools and techniques: ASQ Quality Press, 2006.