



## วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

### การเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์

### Efficiency improvement of ultra broadband transceiver manufacturing process

ยุทธนา แสนสามาต\* ชลันธร ชุนามะ นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อ่างทองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

Yuttana Sansamat\* Chalanthon Chunama Ninlawan Choomrit

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Ongkharak, Nakhon Nayok 26120

\* Corresponding author.

E-mail: Yuttana9740@gmail.com; Telephone: 06 2430 0428

วันที่รับบทความ 25 พฤษภาคม 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 18 มิถุนายน 2564; ครั้งที่ 2 12 กรกฎาคม 2564; วันที่ตอบรับบทความ 2 สิงหาคม 2564

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ โรงงานตัวอย่างประสบปัญหาการผลิตไม่ทันกับความต้องการของลูกค้าและมีงานรอคอยระหว่างกระบวนการมาก ส่วนแรกของการศึกษางานวิจัยนี้คือการปรับปรุงกระบวนการ Main Assembly 1 Main Assembly 2 และ Main Assembly 3 ด้วยหลักการ Work Study เพราะเป็นงานประกอบโดยพนักงาน วิธีการทำงานที่ปรับปรุงถูกนำไปใช้เป็นมาตรฐานการทำงาน หลังการปรับปรุงวิธีการทำงานแล้วพบว่ากระบวนการปรับปรุงกระบวนการ Main Assembly 1 Main Assembly 2 และ Main Assembly 3 สามารถลดเวลาผลิต และทำให้รอบการทำงานแต่ละสถานีงานใกล้เคียงกัน ส่วนที่สองของการศึกษางานวิจัยนี้คือการจำลองกระบวนการผลิต โดยใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ เพื่อหาวิธีการขนถ่ายชิ้นงานในเครื่องจักร และลดเวลารอคอยลง เริ่มจากกระบวนการ Traca จนถึง กระบวนการ Climatic Test แนวทางที่เหมาะสมคือ แผนการปรับปรุงที่ 2 (การเพิ่มความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ Sub System Test 1 ตำแหน่ง และการขนถ่ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test ขนถ่ายรอบละ 4 ชิ้น) หลังการปรับปรุงพบว่าค่าอัตราประโยชน์โดยรวมเพิ่มขึ้น 5% เวลารอคอยลดลง 85.19% และจำนวนชิ้นงานที่ออกจากระบบเพิ่มขึ้น 37.50%

#### คำสำคัญ

การศึกษากิจการงาน การจำลองสถานการณ์ ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์

#### Abstract

This case study is to improve an efficiency of ultra-broadband transceivers manufacturing process. The case study found that several customer orders could not be produced on schedules and a lot of work in process. The first part of this study, using Work Study approach to improve in Main Assembly 1, Main Assembly 2 and Main Assembly 3 processes which are mainly done by operators. The improvement, for example removal of unnecessary work, would be applied as a standard work procedure. The result showed that all three assembly processes can reduce time and balance in production cycle of each station similarly. The second part of the study, ultra-broadband transceivers manufacturing process was simulated by a simulation program to find a method for transferring work pieces and to reduce the waiting time. The simulation was done by starting from Traca (RI) process to Climatic Test process. The suitable improvement was the proposed plan 2 (increase one capacity in software testing of Sub System Test process and increase a number of workpieces to be four units in transferring from Warm Up process to Sub System Test process). Findings from simulation

models, the efficiency of ultra-broadband transceivers manufacturing process was increased with higher utilization for 5%, lower waiting time for 85.19% and higher productivity for 37.50%.

### Keywords

work study; simulation; ultra-broadband transceivers

## 1. บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการเจริญเติบโตและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ด้านคุณภาพ ด้านการผลิต ส่งผลให้แต่ละโรงงานมีอัตราการแข่งขันที่สูงขึ้นในด้านการตลาด เพื่อให้โรงงานมีประสิทธิภาพในการผลิตและสามารถแข่งขันกับโรงงานคู่แข่งได้ โรงงานจำเป็นต้องปรับสายการผลิต เพื่อรองรับการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ และปรับปรุงการผลิตให้มีประสิทธิภาพ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิตให้แก่โรงงานส่งผลทำให้กำไรเพิ่มมากขึ้น

โรงงานตัวอย่างที่ได้เข้าไปศึกษาเป็นโรงงานที่มีการผลิตสำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์ (PCBA) ดำเนินการผลิตเกี่ยวกับระบบที่พบในเครื่องบินพาณิชย์ ลิฟต์ รถไฟ ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ และโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารไร้สาย ผู้วิจัยเลือกศึกษาผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่าง คือ ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ (Ultra-broadband Transceivers; UBT)



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ (แหล่งที่มา: www.nokia.com)

จากการศึกษาในกระบวนการผลิตจริงของตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ พบว่าบางสถานงานมีเวลารอคอยมากในบางกระบวนการผลิต การรอคอยทำให้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไม่เป็นไปตามกำหนดการผลิต เวลาที่ใช้ในสายการผลิตนานเกินไป และเกิดการสะสมของงานระหว่างกระบวนการ (Work In Process; WIP)

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตช่วยให้สามารถเพิ่มปริมาณการผลิต เพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าได้ วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมีอยู่หลายวิธี การนำหลักการศึกษางาน (Work Study) มาประยุกต์ใช้เป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ นอกจากนี้การหาแนวทางการแก้ปัญหาการรอคอยในกระบวนการที่ใช้เครื่องจักร โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Model) เป็นวิธีการหนึ่งที่เรียนรู้การทำงานของระบบงานที่ผู้ทดลองจะสามารถทราบความเป็นไปและองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบงานซึ่งสามารถนำมาช่วยวิเคราะห์และหาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการระบบโดยไม่ต้องทำการทดลองงานจริง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการ ECRS [1] เป็นการปรับปรุงการผลิตสามารถเพิ่มผลผลิต และลดต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate), การรวมกัน (Combine), การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify)\

การจำลองสถานการณ์ [2] เป็นกระบวนการออกแบบจำลอง (Model) ของระบบจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองเพื่อให้เรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานจริงภายใต้ข้อกำหนดต่าง ๆ ที่วางไว้เพื่อประเมินผลการดำเนินงานของระบบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองก่อนนำไปใช้แก้ไขปัญหในสถานการณ์จริง การจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นการรวบรวมวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่าง ๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใช้โปรแกรมอารีนา (Arena Rockwell Software) [3,4] สามารถจำลองสถานการณ์ได้ ใกล้เคียงกับระบบงานจริง และนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานการผลิตและ

งานบริการ เป็นโปรแกรมที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก สะดวกต่อการใช้งาน มีการแสดงภาพเคลื่อนไหว (Animation) ถูกออกแบบมาบนโปรแกรม Windows ทำให้มีความคล่องตัวในการใช้งานสูง

งานวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมีหลากหลายงานที่ประยุกต์ใช้หลักการ ECRS และการจำลองสถานการณ์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการ ปรับสมดุลการไหลและลดต้นทุนทั้งในส่วนของการผลิตและการบริการ อาทิเช่น

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตซาลาเปา [5] พบว่ากระบวนการไหลของการผลิตมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในพื้นที่ที่จำกัด จึงปรับปรุงโดยใช้การศึกษางาน การวางแผนโรงงานอย่างมีระบบ และการจำลองสถานการณ์การผลิต ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดระยะทางการเคลื่อนที่และเวลาการผลิตโดยรวมทำให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 7.73 ลูกต่อนาที เป็น 11.04 ลูกต่อนาที

การจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานของสายการผลิตสับปะรดบรรจุถุง [6] การจัดการที่ขาดประสิทธิภาพส่งผลให้เกิดการจ้างงานล่วงเวลา นำไปสู่ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น จึงนำการจำลองสถานการณ์มาทดสอบหลายทางเลือกที่เน้นการเพิ่มจำนวนแรงงานและเครื่องจักรให้สถานีงานที่เป็นคอขวด เพื่อให้ได้อัตราผลผลิตสับปะรดบรรจุถุงตามเป้าหมาย 9,240 ลูกต่อวัน ทางเลือกที่เหมาะสมจะช่วยลดจำนวนแรงงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้ 6 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 8.33 ของจำนวนแรงงานในกระบวนการผลิต

การจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจ่ายปูนซีเมนต์ [7] โดยทำการจำลองระบบจ่ายปูนซีเมนต์แล้วนำมาวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เชิงกระบวนการลำดับขั้น โดยปรับ Roto Packer ให้จ่ายปูนได้ 2 ชนิด ซึ่งแนวทางนี้สามารถเพิ่มค่าอรรถประโยชน์ของทรัพยากร เพิ่มกำลังการผลิตปูนซีเมนต์และลดจำนวนรถยนต์ที่รอรับปูนซีเมนต์ชนิด M และ P ที่มีการสั่งซื้อเป็นจำนวนมาก

การเพิ่มประสิทธิภาพโดยวิธีการจัดสมดุล กรณีศึกษาสายการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์ [8] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์ โดยการศึกษาด้านเวลาหลักการ ECRS และวิธีการจัดสมดุลสายการผลิต จากการคำนวณพบว่าประสิทธิภาพของสายการผลิตก่อนปรับปรุงมีค่า

เท่ากับ 81.34% ผลการปรับปรุงพบว่า วิธีแรกให้ประสิทธิภาพหลังการปรับปรุงเท่ากับ 79.50% และอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 6.78% ส่วนวิธีที่สองให้ประสิทธิภาพหลังการปรับปรุงเป็น 87.05% และอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 16.91% ดังนั้นวิธีที่สองจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม แล้ววิธีการดำเนินการทั้งสองยังทำให้จำนวนพนักงานลดลง 1 คน

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในสายการเย็บของ Almeda Textile PLC [9] เพื่อหาวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุดโดยทำการสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ผสมผสานกับเทคนิคการปรับสมดุลการผลิต ในการปรับปรุงได้จำลองแบบ 160 ครั้ง เพื่อวัดประสิทธิภาพปัจจุบันของระบบในการใช้ทรัพยากร WIP และเวลารอคอย การใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยของระบบปัจจุบันอยู่ที่ 0.53 โดยมีประสิทธิภาพสายการผลิต 42% หลังการปรับปรุงได้พัฒนารูปแบบสายการประกอบจักรเย็บผ้าแบบใหม่ซึ่งเพิ่มการใช้งานระบบเป็น 0.69 และประสิทธิภาพของสายการผลิตเป็น 58.42%

การลดของเสียโดยใช้หลักการผลิตแบบลีนและ ECRS ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ชาวอินโดนีเซีย [10] เพื่อลดปริมาณขยะในโรงงาน จากการศึกษาสามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตได้ 4.79%

การปรับปรุงประสิทธิภาพและผลผลิตด้วยการปรับสมดุลของเครื่องจักรในสายการเย็บ [11] เพื่อจัดวางสายการผลิตให้สมดุลกับสต็อก เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และคุณภาพของการผลิต โดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบกระบวนการผลิต และการปรับสมดุลการผลิต หลังจากทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น 9% และทำให้ประหยัดค่าแรงงานได้เกือบ 600 นาที

### 3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

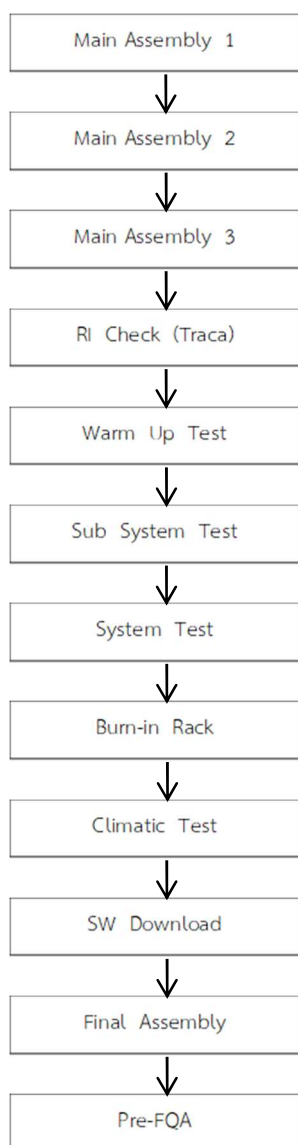
#### 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นกรณีศึกษา

โรงงานตัวอย่างเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์เกี่ยวกับระบบที่พบในเครื่องบินพาณิชย์ ลิฟต์ รถไฟ ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราสโตนิก และโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารไร้สาย การวางแผนโรงงานจะเป็นการวางแผนแบบกลุ่ม เนื่องจากโรงงานมีการผลิตสินค้าหลากหลายชนิด ผลิตตามคำสั่งของลูกค้า โดยมีลูกค้าต่างประเทศเป็นหลัก ในกรณีศึกษาทางผู้วิจัยทำการศึกษาใน

ส่วนของ ผลิตภัณฑ์ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ เนื่องจากบางสถานีงานมีเวลารอคอยมากในบางกระบวนการผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไม่เป็นไปตามกำหนดการผลิต เวลาที่ใช้ในสายการผลิตนานเกินไป และเกิดการสะสมของงานระหว่างกระบวนการ (Work In Process: WIP)

### 3.2 ขั้นตอนกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ เป็นกระบวนการประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้าไปใน UBT จนกลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อจัดส่งให้แก่ลูกค้า โดยเป็นกระบวนการที่ใช้คนร่วมกับเครื่องมือ อุปกรณ์ เครื่องจักร สามารถอธิบายลักษณะของกระบวนการไหลของผลิตภัณฑ์ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์

### 3.3 ระบบการทำงานของกระบวนการการผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์

การผลิต UBT โรงงานตัวอย่างมีทั้งหมด 12 กระบวนการ ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาตั้งแต่กระบวนการ Main Assembly 1 จนถึง กระบวนการ Climatic Test เนื่องจากกระบวนการ Climatic Test ต้องรอชิ้นงานให้ครบจำนวน 64 ชิ้น จึงจะทำการทดสอบได้ โดยใช้เวลาดทดสอบรอบละ 480 นาที ทำให้เกิดเวลารอคอยในกระบวนการมาก

กระบวนการ Main Assembly 1 เป็นกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของ UBT ขั้นตอนแรก เป็นกระบวนการที่ใช้คนทำงานทั้งหมด มีพนักงานประจำอยู่ในกระบวนการ 1 คน กระบวนการ Main Assembly 2 เป็นกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของ UBT ขั้นตอนที่สอง เป็นกระบวนการที่ใช้คนทำงานทั้งหมด มีพนักงานประจำอยู่ในกระบวนการ 1 คน ซึ่งเวลาที่ใช้ในกระบวนการค่อนข้างมาก และเกิดการรอคอยของวัสดุที่ส่งมาจาก Main Assembly 1 ค่อนข้างมาก

กระบวนการ Main Assembly 3, กระบวนการ Traca และกระบวนการ Warm up พนักงานประจำอยู่ในกระบวนการ 1 คน ต่อทั้ง 3 กระบวนการที่กล่าวมา เริ่มจากกระบวนการ Main Assembly 3 เป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่า Main Assembly 2 แต่มากกว่า Main Assembly 1 แสดงได้ดังรูปที่ 2 เมื่อพนักงานประจำ Main Assembly 3 ทำการประกอบครบแล้ว จะนำ UBT มาเข้าเครื่อง Traca Test ซึ่งมีทั้งหมด 3 เครื่อง หาก UBT ชิ้นไหนทำการทดสอบเสร็จก่อนสามารถส่งเข้าเครื่อง Warm Up Test ก่อนได้

กระบวนการ Traca (RI) Test เป็นกระบวนการทดสอบซอฟต์แวร์ซึ่งเวลาดทดสอบครั้งที่ทดสอบชิ้นงานขึ้นละ 5 นาที มีเครื่องที่ใช้สำหรับการทดสอบ 3 เครื่อง

กระบวนการ Warm Up Test เป็นกระบวนการอบชิ้นงานซึ่งเวลาอบครั้งที่ อบชิ้นงานขึ้นละ 15 นาที มีเครื่องที่ใช้สำหรับการอบ 2 เครื่อง สามารถจุชิ้นงานสำหรับการอบได้ 48 ชิ้น

กระบวนการ Sub System Test เป็นกระบวนการทดสอบซอฟต์แวร์ซึ่งเวลาดทดสอบครั้งที่ทดสอบชิ้นงานขึ้นละ 30 นาที มีความจุสำหรับการทดสอบ 3 ตำแหน่ง

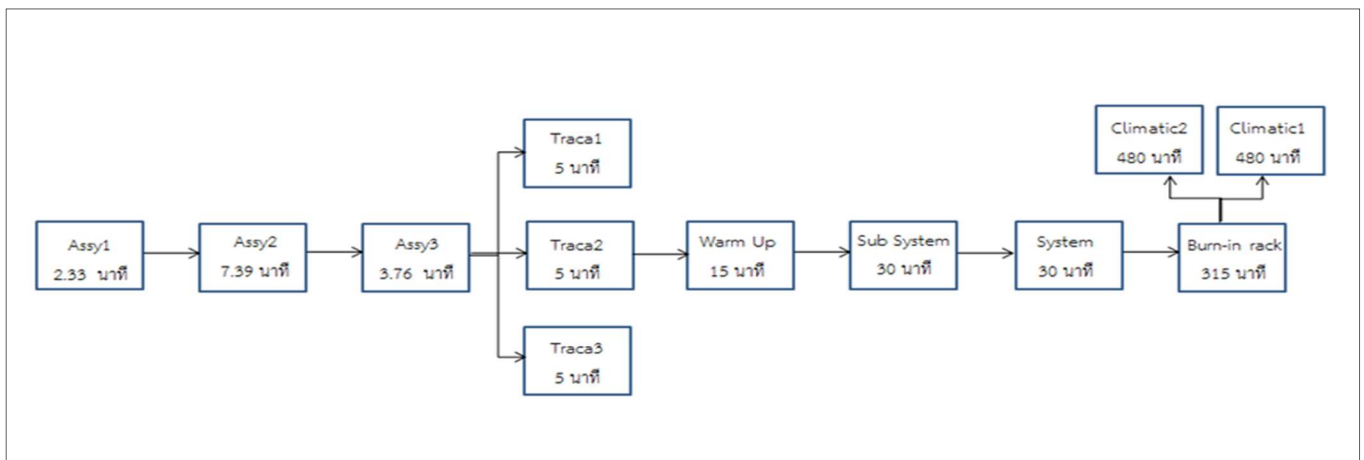
กระบวนการ System Test เป็นกระบวนการทดสอบซอฟต์แวร์ซึ่งเวลาทดสอบครั้งที่ทดสอบชิ้นงานชิ้นละ 30 นาที มีความจำเป็นการทดสอบ 4 ตำแหน่ง

กระบวนการ Burn-in Rack เป็นกระบวนการจัดเก็บชิ้นงานที่ทำการประกอบและทดสอบซอฟต์แวร์เรียบร้อยแล้วให้ครบ 64 ชิ้น ก่อนจะนำเข้ากระบวนการ Climatic Test

กระบวนการ Climatic Test เป็นกระบวนการทดสอบความชื้น และอุณหภูมิ มี 2 เครื่องสามารถบรรจุชิ้นงานได้เครื่องละ 64 ชิ้น มีเงื่อนไขในการใช้งาน คือ ต้องครบ 64 ชิ้นเท่านั้นจึงทำการดำเนินงานได้ ใช้เวลาในการทำงาน 480 นาที

การดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้ Work Study มาใช้ในการปรับปรุงวิธีการทำงานให้ง่าย และ

ลดขั้นตอนการทำงาน คือ กระบวนการ Main Assembly 1 กระบวนการ Main Assembly 2 และ กระบวนการ Main Assembly 3 และส่วนที่ใช้ การจำลองสถานการณ์ มาใช้ในการหาแผนงานที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ซึ่งจะเน้นการแก้ปัญหาในเรื่องของการลดเวลารอคอยระหว่างกระบวนการ คือ กระบวนการ Main Assembly 3, กระบวนการ Traca, กระบวนการ Warm Up, กระบวนการ Sub System Test, กระบวนการ System Test, กระบวนการ Burn-in Rack และกระบวนการ Climatic Test แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กระบวนการทำงานของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์

## 4. ผลการดำเนินงาน

### 4.1 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยได้นำหลักการการศึกษาการทำงาน มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ลดขั้นตอนงานที่ไม่เหมาะสม และปรับเวลากระบวนการให้ใกล้เคียงกัน เพื่อให้เห็นวิธีการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์และนำแนวคิดที่ได้คัดเลือกมาทำการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงในส่วนของวิธีการและการจัดการงานย่อยในแต่ละสถานีเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิต โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

#### 1) การปรับปรุงด้วยวิธี Eliminate

ปรับเปลี่ยนวิธีการทำงาน การหยิบและยิงสกรูในขั้นตอนการประกอบ PCBA เข้ากับ UBT ขั้นตอนการยัด Shield Equipped ขั้นตอนการร้อย Washer เข้ากับสกรู และขั้นตอนการหยิบและยิงสกรู เพื่อยึดกับ Antenna Protection จากเดิมใช้มือเดียวในการหยิบสกรูครั้งละ 1 ตัว เปลี่ยนการหยิบสกรูด้วยมือเดียวเป็นครั้งละ 2 ตัว ทำให้ลดเวลาในการปฏิบัติงานลดจำนวนการหยิบสกรู และทำให้การทำงานรวดเร็วมากขึ้น

#### 2) การปรับปรุงด้วยวิธี Rearrange

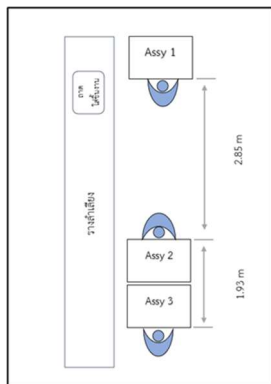
การลดงานบางกระบวนการของสถานีงาน Main Assembly 2 ให้พนักงานสถานีงาน Main Assembly 1 ทำแทนในส่วนของการใส่ Thermal Pad ลงบน Equipped RF Cover และ การใส่ Cover Power Supply ลงบน Equipped

RF Cover ซึ่งช่วยลดขั้นตอนการทำงาน และ ช่วยลดเวลาการทำงานของกระบวนการ Main Assembly 2 ทำให้กระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น

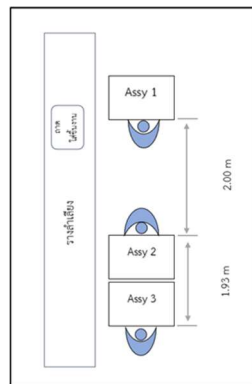
### 3) การปรับปรุงด้วยวิธี Simplify

การปรับระยะห่างระหว่างสถานีงาน Main Assembly 1 และ Main Assembly 2 เพื่อลดระยะเวลาในการส่งชิ้นงาน และ การปรับปรุงโต๊ะประกอบของสถานีงาน

ปรับระยะห่างระหว่างสถานีงาน Main Assembly 1 และ Main Assembly 2 เพื่อลดระยะเวลาในการส่งชิ้นงานจากสถานีงาน Main Assembly 1 ไปยังสถานีงาน Main Assembly 2 ก่อนการปรับปรุงทั้งสองสถานีงานมีระยะห่างเท่ากับ 2.85 เมตร ใช้เวลาในการส่งชิ้นงานเท่ากับ 8.72 วินาที หลังการปรับปรุงทั้งสองสถานีงานมีระยะห่าง 2.00 เมตร ใช้เวลาในการส่งชิ้นงานเท่ากับ 6.80 วินาที สามารถลดระยะเวลาส่งชิ้นงานลงได้เท่ากับ 1.92 วินาที แสดงดังรูปที่ 4



(ก) ก่อนปรับปรุง



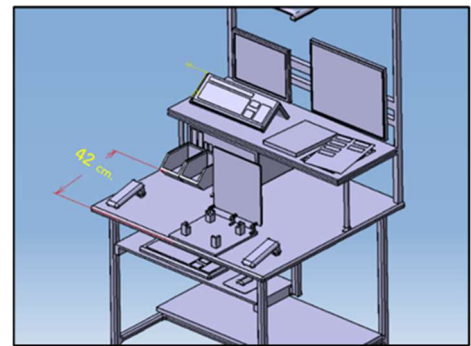
(ข) หลังปรับปรุง

**รูปที่ 4** เปรียบเทียบลดระยะห่าง สถานีงาน Main Assembly 1 และ Main Assembly 2 เพื่อลดเวลาการส่งชิ้นงานก่อนและหลังปรับปรุง

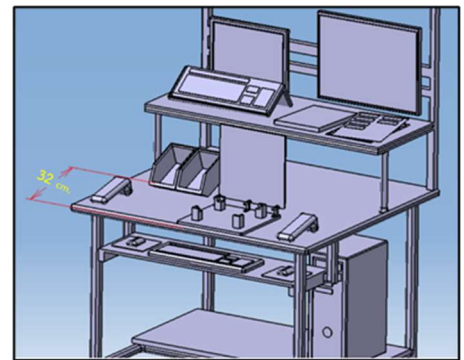
การปรับปรุงโต๊ะประกอบ สถานีงาน Main Assembly 1 ทำการจัดวางวัสดุและอุปกรณ์ โดยปรับระยะกล่องใส่ชิ้นงานให้ใกล้มากขึ้น ปรับให้กล่องชิ้นงานมีความเอียง จัดวางเมาส์และ เคสคอมพิวเตอร์ใหม่ จากการปรับปรุงทำให้พนักงานมีพื้นที่การทำงานปกติ เอื้ออำนวยขึ้นส่วนได้ง่ายขึ้น ช่วยให้การปฏิบัติงานของพนักงานสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น แสดงรายละเอียดการปรับปรุงดังรูปที่ 5



(ก) โต๊ะปฏิบัติงาน Main Assembly 1



(ข) ก่อนปรับปรุง



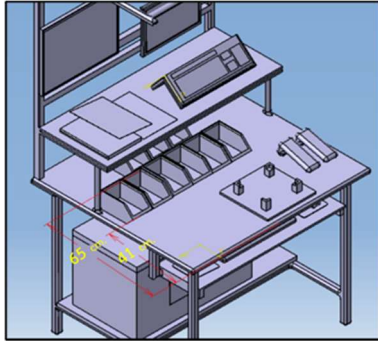
(ค) หลังปรับปรุง

**รูปที่ 5** โต๊ะประกอบสถานีงาน Main Assembly 1

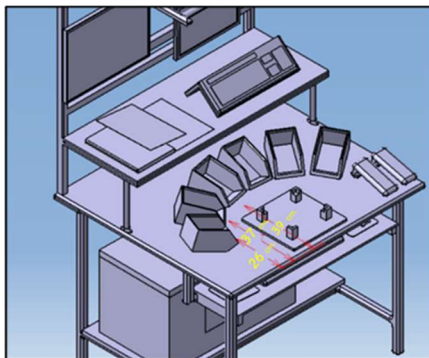
การปรับปรุงโต๊ะประกอบ สถานีงาน Main Assembly 2 ได้ทำการจัดวางวัสดุและอุปกรณ์ โดยวางกล่องใส่ชิ้นงานเป็นลักษณะครึ่งวงกลม มีความเอียง ปรับระยะกล่องใส่ชิ้นงานให้ใกล้มากขึ้น และจัดวางเมาส์ใหม่ จากการปรับปรุงทำให้พนักงานมีพื้นที่การทำงานปกติ เอื้ออำนวยขึ้นส่วนได้ง่ายขึ้น ช่วยให้การปฏิบัติงานของพนักงานสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น แสดงรายละเอียดการปรับปรุงดังรูปที่ 6



(ก) โต๊ะปฏิบัติงาน Main Assembly 2



(ข) ก่อนปรับปรุง



(ค) หลังปรับปรุง

รูปที่ 6 โต๊ะประกอบ สถานีงาน Main Assembly 2

หลังจากดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการการศึกษาการทำงาน (Work Study) ให้กับสายการประกอบ พบว่าเวลาในกระบวนการ Main Assembly 2 และ 3 ลดลง ขณะที่เวลาของกระบวนการ Main Assembly 1 เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนงานย่อยเพื่อจัดสมดุลการผลิต โดยสรุปผลการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้หลักการการศึกษาการทำงานแสดงดังตารางที่ 1

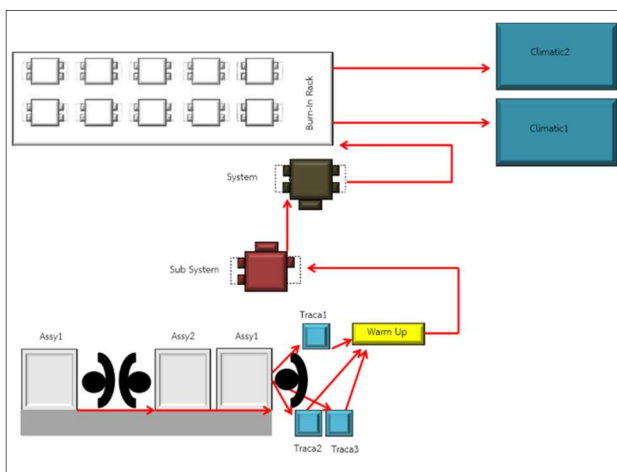
ตารางที่ 1 สรุปผลการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยใช้การศึกษาการทำงาน

| กระบวนการ                                                       | การปรับปรุง |   |   | เวลาผลิต (วินาที) |              |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|---|---|-------------------|--------------|
|                                                                 | E           | R | S | ก่อนปรับปรุง      | หลังปรับปรุง |
| Main Assembly 1                                                 |             |   |   |                   |              |
| • หยิบและยิงสกรู                                                | ✓           |   |   | 55.45             | 34.40        |
| • การเพิ่มงานบางกระบวนการของสถานีงาน Main Assembly 2            |             | ✓ |   | -                 | 103.95       |
| • การปรับระยะห่างระหว่างสถานีงาน                                |             |   | ✓ | 8.72              | 6.80         |
| • การปรับปรุงโต๊ะประกอบของสถานีงาน                              |             |   | ✓ | -                 | -            |
| เวลาผลิตรวม                                                     |             |   |   | 139.50            | 212.81       |
| Main Assembly 2                                                 |             |   |   |                   |              |
| • หยิบและยิงสกรู                                                | ✓           |   |   | 267.75            | 142.51       |
| • การแบ่งงานย่อยบางกระบวนการให้ พนักงานสถานีงาน Main Assembly 1 |             | ✓ |   | 79.82             | -            |
| • การปรับปรุงโต๊ะประกอบของสถานีงาน                              |             |   | ✓ | -                 | -            |
| เวลาผลิตรวม                                                     |             |   |   | 443.43            | 220.37       |
| Main Assembly 3                                                 |             |   |   |                   |              |
| • หยิบและยิงสกรู                                                | ✓           |   |   | 34.13             | 24.57        |
| • การปรับปรุงโต๊ะประกอบของสถานีงาน                              |             |   | ✓ | -                 | -            |
| เวลาผลิตรวม                                                     |             |   |   | 225.60            | 200.34       |

#### 4.2 การหาแนวทางในการสร้างแบบจำลองเพื่อลดการรอคอยในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์

จากการวิเคราะห์แผนปัจจุบัน พบว่าเวลาที่ใช้ในการรอคอยสำหรับการประกอบชิ้นงานที่กระบวนการ Main Assembly 2 ซึ่งใช้เวลาในการประกอบมาก เวลาที่ใช้ในการรอคอยสำหรับนำ UBT เข้ารับการทดสอบที่กระบวนการ Sub System Test ซึ่งมีความสำคัญการทดสอบ 3 ตำแหน่ง และเวลาที่ใช้ในการรอคอยสำหรับนำ UBT เข้ารับการทดสอบที่กระบวนการ Climatic Test ซึ่งต้องรอชิ้นงานให้ครบ 64 ชิ้น จึงสามารถเข้ารับการทดสอบได้ ทำให้เกิดเวลาในการรอคอยมาก

ดังนั้นจึงใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อหาวิธีการขนถ่ายชิ้นงานในเครื่องจักร และลดเวลารอคอยลง เริ่มจากกระบวนการ Traca จนถึง กระบวนการ Climatic Test



รูปที่ 7 กระบวนการการผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์แผนปัจจุบัน

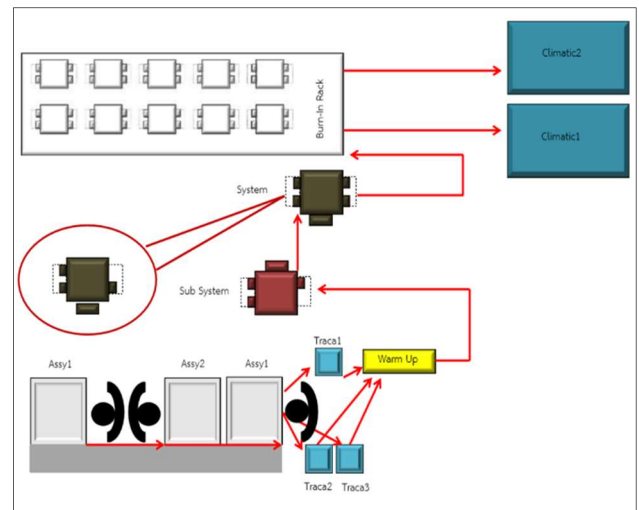
ในงานวิจัยนี้จำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena ผลของการจำลองได้ผ่านการทดสอบความถูกต้อง (Validation) เพื่อให้มั่นใจว่าผลที่ได้จากแบบจำลองและระบบจริงไม่แตกต่างกัน โดยใช้วิธีการทดสอบเครื่องหมายของอันดับ (Wilcoxon Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้มีการคำนวณหาจำนวนรอบการรันแบบจำลองที่เหมาะสมได้แก่ 40 รอบ แต่ละรอบใช้เวลาในการจำลอง 105 ชั่วโมง

จากแนวทางที่ได้สามารถนำมาสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการลดเวลารอคอยในกระบวนการผลิต UBT ได้ดังนี้

แผนที่ 1 ลดความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ System Test และกำหนดเงื่อนไขการขนถ่ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test

เดิม: ความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ System Test มี 4 ตำแหน่ง และการขนถ่ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test ขนถ่ายรอบละ 1 ชิ้น

การปรับปรุง: ความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ System Test มี 3 ตำแหน่ง และการขนถ่ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test ขนถ่ายรอบละ 3 ชิ้น

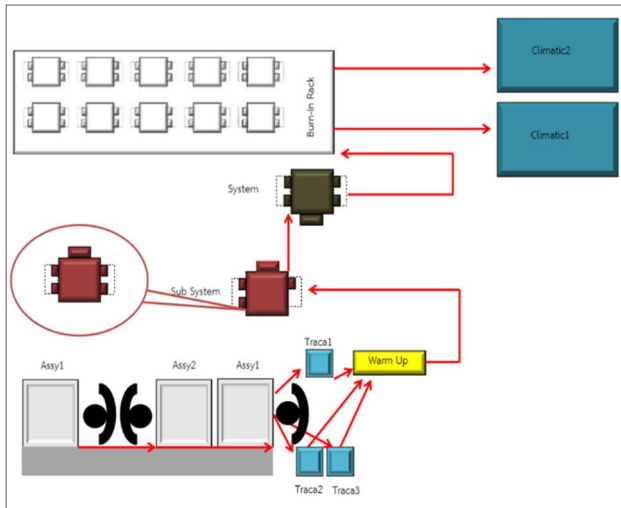


รูปที่ 8 แผนการปรับปรุงที่ 1

แผนที่ 2 เพิ่มความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ Sub System Test และกำหนดเงื่อนไขการขนถ่ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test ดังนี้

เดิม: ความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ Sub System Test มี 3 ตำแหน่ง และการขนถ่ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test ขนถ่ายรอบละ 1 ชิ้น

การปรับปรุง: ความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ Sub System Test มี 4 ตำแหน่ง และการขนย้ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test ขนย้ายรอบละ 4 ชิ้น

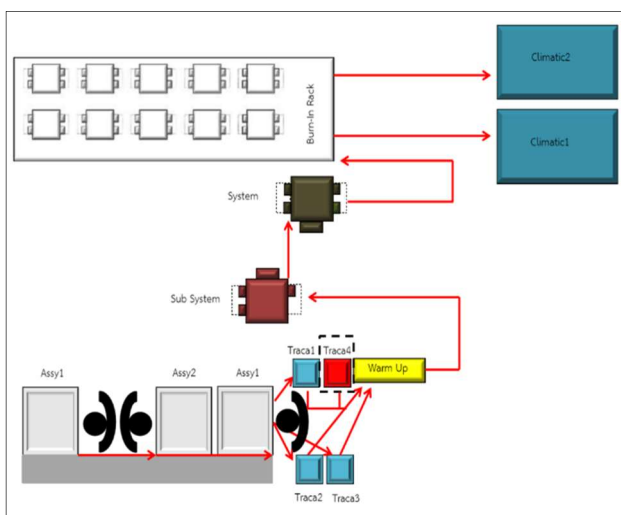


รูปที่ 9 แผนการปรับปรุงที่ 2

แผนที่ 3 เพิ่มเครื่องทดสอบซอฟต์แวร์ที่กระบวนการ Traca (RI) Test ดังนี้

เดิม: เครื่องทดสอบซอฟต์แวร์ที่กระบวนการ Traca (RI) Test มี 3 เครื่อง

การปรับปรุง: เครื่องทดสอบซอฟต์แวร์ที่กระบวนการ Traca (RI) Test มี 4 เครื่อง

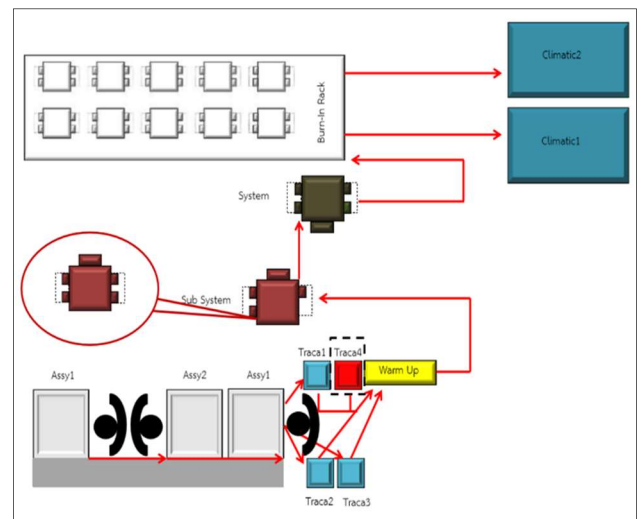


รูปที่ 10 แผนการปรับปรุงที่ 3

แผนที่ 4 ปรับแก้โดยใช้แผนที่ 2 และแผนที่ 3 ร่วมกัน โดยเพิ่มความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ Sub System Test กำหนดเงื่อนไขการขนย้ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test และเพิ่มเครื่องทดสอบซอฟต์แวร์ที่กระบวนการ Traca (RI) Test ดังนี้

เดิม: ความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ Sub System Test มี 3 ตำแหน่ง การขนย้ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test ขนย้ายรอบละ 1 ชิ้น และเครื่องทดสอบซอฟต์แวร์ที่กระบวนการ Traca (RI) Test มี 3 เครื่อง

การปรับปรุง: ความจุการทดสอบซอฟต์แวร์ในกระบวนการ Sub System Test มี 4 ตำแหน่ง การขนย้ายชิ้นงานจากกระบวนการ Warm Up ไปกระบวนการ Sub System Test ขนย้ายรอบละ 4 ชิ้น และเครื่องทดสอบซอฟต์แวร์ที่กระบวนการ Traca (RI) Test มี 4 เครื่อง



รูปที่ 11 แผนการปรับปรุงที่ 4

#### 4.3 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

การประมวลผลของแบบจำลองเปรียบเทียบระหว่างแผนปัจจุบัน และแผนปรับปรุงแผนที่ 1, แผนที่ 2, แผนที่ 3 และแผนที่ 4 ได้ค่าอัตราประโยชน์เฉลี่ย และเวลารอคอยรวมของแต่ละสถานงาน แสดงดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากระบบแสดงดังตารางที่ 4

การคำนวณค่าอรรถประโยชน์ (Time-average Utilization) หาได้จากสัดส่วนการใช้งานของเครื่องจักรเทียบกับเวลาผลิตทั้งหมดดังสมการที่ 1 ถ้าเครื่องจักรมีสถานะทำงาน กำหนดให้เท่ากับ 1 แต่ถ้าเครื่องจักรมีสถานะไม่ทำงาน กำหนดให้เท่ากับ 0 ณ เวลา  $t$

$$\text{Time-average Utilization} = \frac{\int_0^t B(t) dt}{t} \quad (1)$$

ตัวอย่างเช่น จากการรันแบบจำลอง 40 รอบ กระบวนการ Sub System เครื่องจักรมีการทำงานโดยเฉลี่ย 104.38 ชั่วโมง จากทั้งหมด 105 ชั่วโมง คิดเป็นค่าอรรถประโยชน์เฉลี่ย =  $104.38/105 = 0.9941$  (หรือ 99.41%)

**ตารางที่ 2** สรุปผลการเปรียบเทียบกับค่าอรรถประโยชน์

| สถานีงาน           | การเปรียบเทียบกับค่าอรรถประโยชน์ (เปอร์เซ็นต์) |        |        |        |        |
|--------------------|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                    | แผน                                            | แผนที่ | แผนที่ | แผนที่ | แผนที่ |
|                    | ปัจจุบัน                                       | 1      | 2      | 3      | 4      |
| Assembly 1         | 37.83                                          | 44.40  | 44.40  | 44.40  | 44.40  |
| Assembly 2         | 79.96                                          | 45.85  | 45.85  | 45.85  | 45.85  |
| Assembly 3         | 2.82                                           | 41.72  | 41.72  | 41.72  | 41.72  |
| Traca (RI)         | 54.94                                          | 59.01  | 58.54  | 58.94  | 58.54  |
| Warm Up            | 3.34                                           | 3.89   | 3.89   | 3.89   | 3.89   |
| Sub System         | 99.41                                          | 99.24  | 92.92  | 99.38  | 92.92  |
| System Test        | 74.20                                          | 98.76  | 92.48  | 74.18  | 92.48  |
| Burn- in Rack      | 16.72                                          | 16.29  | 17.87  | 16.29  | 17.87  |
| Climatic Test      | 68.24                                          | 68.20  | 84.84  | 68.23  | 84.85  |
| อรรถประโยชน์เฉลี่ย | 48.61                                          | 53.04  | 53.61  | 50.32  | 53.61  |
| ผลต่าง             | -                                              | 4.43   | 5.00   | 1.71   | 5.00   |

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของกระบวนการผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ในการวัดค่าประสิทธิภาพจะพิจารณาจาก 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ อรรถประโยชน์โดยเฉลี่ย เวลา รอคอยโดยรวม และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากระบบ

จากตารางที่ 2 พบว่าแผนการปรับปรุง แผนที่ 1 ค่าอรรถประโยชน์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 4.43% แผนที่ 2 เพิ่มขึ้น 5% แผนที่ 3 เพิ่มขึ้น 1.71% และแผนที่ 4 เพิ่มขึ้น 5% จากตารางที่ 3 พบว่าค่าเวลารอคอยรวมของกระบวนการการผลิตตัวรับส่ง

สัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ ของแผนปรับปรุงแผนที่ 1 เวลา รอคอยรวมลดลง 45.18% แผนที่ 2 ลดลง 85.19% แผนที่ 3 ลดลง 45.22% และแผนที่ 4 ลดลง 85.18% จากตารางที่ 4 ผลสรุปจำนวนชิ้นงานที่ออกจากระบบ พบว่าแผนการปรับปรุงแผนที่ 2 และแผนที่ 4 มีจำนวนชิ้นงานที่ออกจากระบบเพิ่มขึ้น 37.50% ส่วนแผนการปรับปรุงแผนที่ 1 และแผนที่ 3 มีจำนวนชิ้นงานที่ออกจากระบบเท่ากับแผนปัจจุบัน

**ตารางที่ 3** สรุปผลการเปรียบเทียบกับค่าเวลารอคอย

| สถานีงาน      | การเปรียบเทียบกับค่าเวลารอคอย (นาท) |        |          |        |         |
|---------------|-------------------------------------|--------|----------|--------|---------|
|               | แผน                                 | แผนที่ | แผนที่ 2 | แผนที่ | แผนที่  |
|               | ปัจจุบัน                            | 1      |          | 3      | 4       |
| Assembly 1    | 0.00                                | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00    |
| Assembly 2    | 520.23                              | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00    |
| Assembly 3    | 0.00                                | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00    |
| Traca (RI)    | 0.00                                | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00    |
| Warm Up       | 0.00                                | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00    |
| Sub System    | 878.92                              | 624    | 11.99    | 624    | 12      |
| System Test   | 0.00                                | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00    |
| Burn- in Rack | 315                                 | 315.63 | 241.91   | 315    | 241.91  |
| Climatic Test | 0.00                                | 0.00   | 0.00     | 0.00   | 0.00    |
| เวลารวม       | 1714.15                             | 939.63 | 253.90   | 939    | 253.91  |
| ผลต่าง        | -                                   | 774.52 | 1460.25  | 775.15 | 1460.24 |

**ตารางที่ 4** สรุปผลเปรียบเทียบจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ออกจากระบบ

| จำนวน  | แผน      | แผนที่ | แผนที่ | แผนที่ | แผนที่ |
|--------|----------|--------|--------|--------|--------|
|        | ปัจจุบัน | 1      | 2      | 3      | 4      |
| UBT    | 512      | 512    | 704    | 512    | 704    |
| ผลต่าง | -        | -      | 192    | -      | 192    |

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการทำงานและวิธีการทำงานของสายการผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและทำการปรับปรุงวิธีการทำงาน เพื่อให้สถานีงานมีรอบเวลาการผลิตที่ใกล้เคียงกัน ลดการสะสมของงานระหว่างกระบวนการเพิ่มค่าอรรถประโยชน์ในแต่ละกระบวนการ และลดเวลาการรอคอยที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยใช้หลักการการศึกษาการทำงาน (Work

Study) และการจำลองสถานการณ์ ปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลจากการดำเนินการสรุปได้ดังนี้

**ส่วนที่ 1** ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการ Main Assembly 1 Main Assembly 2 และ Main Assembly 3

1) กระบวนการ Main Assembly 1 เวลาของกระบวนการ ก่อนปรับปรุง 139.50 วินาที หลังปรับปรุง 212.81 วินาที เวลาหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มงานย่อยจาก กระบวนการ Main Assembly 2 เพื่อจัดสมดุลและลดการเกิด คอขวดในกระบวนการผลิต

2) กระบวนการ Main Assembly 2 เวลาของกระบวนการ ก่อนปรับปรุง 443.43 วินาที หลังปรับปรุง 220.37 วินาที

3) กระบวนการ Main Assembly 3 เวลาของกระบวนการ ก่อนปรับปรุง 225.60 วินาที หลังปรับปรุง 200.34 วินาที

**ส่วนที่ 2** ใช้โปรแกรมการจำลองสถานการณ์ (Arena) ในการหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต การพิจารณา เลือกแนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการ ผลิตตัวรับส่งสัญญาณอัลตราบรอดแบนด์ โดยวัด ประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัด 3 ค่า คือ ผลรวมเวลารอคอย ค่าเฉลี่ยการใช้อรรถประโยชน์ และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ออก จากระบบในแต่ละล็อตมากที่สุด พบว่าแผนการปรับปรุงแผนที่ 2 และ แผนที่ 4 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นผู้วิจัย เลือกแผนการปรับปรุงแผนที่ 2 เนื่องจากเวลารอคอยที่ลดลง มากที่สุด ค่าเฉลี่ยอรรถประโยชน์เพิ่มขึ้นมากที่สุด จำนวน ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากระบบในแต่ละล็อตมากที่สุด และเหตุผล สำคัญที่เลือกแผนที่ 2 นี้ คือ ไม่จำเป็นต้องเพิ่มเครื่องทดสอบ ซอฟต์แวร์ที่กระบวนการ Traca (RI) สรุปผลการเพิ่ม ประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 5

ข้อเสนอแนะของงานวิจัย จะนำหลักการปรับปรุงเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพด้วยหลักการ ECRS และการจำลองสถานการณ์ ไปใช้กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ของบริษัทกรณีศึกษา และวัดผลในด้านต้นทุนการผลิต การเพิ่มลดทรัพยากรการผลิต ระยะทางการขนย้าย

**ตารางที่ 5** สรุปผลการเพิ่มประสิทธิภาพ

| ตัวชี้วัด                  | แผนปัจจุบัน  | แผนปรับปรุง<br>แผนที่ 2 | การเปลี่ยนแปลง |
|----------------------------|--------------|-------------------------|----------------|
| อรรถประโยชน์               | 48.61 %      | 53.61 %                 | 5 %            |
| เวลารอคอย                  | 1714.15 นาที | 253.90 นาที             | 85.19 %        |
| จำนวนชิ้นงาน<br>ออกจากระบบ | 512 ชิ้น     | 704 ชิ้น                | 37.50 %        |

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานตัวอย่างที่ให้ความอนุเคราะห์ด้าน ข้อมูล การสนับสนุน และข้อเสนอแนะต่างๆ ในการดำเนินงาน วิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ประเสริฐ อัครประมพงค์. *การลดความสูญเสียเปล่าด้วย หลักการ ECRS*. เข้าถึงได้จาก: <https://cpico.wordpress.com> [เข้าถึงเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2563]
- [2] รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ. *คู่มือการสร้างแบบจำลองด้วย โปรแกรม Arena*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2551.
- [3] Kelton WD, Sadowski R, Zupick N. *Simulation with Arena 6<sup>th</sup>*. New York: McGraw-Hill; 2015.
- [4] ณภัทร กิษานนท์, ธิติมา วงศ์พระเวทย์, จุฑา พิชิต ลำเค็ญ. การจำลองสถานการณ์การใช้บริการเครื่องฝาก เครื่องปรับสมดุล และเครื่องถอนอัตโนมัติ. ใน: *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2555 เพชรบุรี*. 2555. หน้า 93-98.
- [5] ธนพันธ์ คงทอง, เพ็ญสุตา พันฤทธิธิดา, เชษฐา ชำนาญ หล่อ. การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุง ประสิทธิภาพการผลิตขาลาเปา. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 2563; 15(2): 71-80.
- [6] สุทธิดา เอี่ยมสำอางค์, อธิวัฒน์ บุญมี. การจำลอง สถานการณ์เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานของ สายการผลิตสับปะรดบรรจุถุง: กรณีศึกษา. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ*. 2562; 13(1): 114-126.
- [7] ดารัตน์ พุ่มนิคม, บุญยก ก้าวผิต, ประภาพรณ ศรีเจิด จำ. *การจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ ระบบจ่ายปูนซีเมนต์*. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2553.

- [8] สุวัจชัย ครูช่วยอวยพร. *การเพิ่มประสิทธิภาพโดยวิธีการจัดสมดุล: กรณีศึกษาสายการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต:มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2553.
- [9] Aregawi Y. *Productivity Improvement through Line Balancing by Using Simulation Modeling Case Study Almeda Garment Factory*. Available from: [http://www.qjie.ir/article\\_667920\\_b779edf5db51c9d5b67d4c26d693589c.pdf](http://www.qjie.ir/article_667920_b779edf5db51c9d5b67d4c26d693589c.pdf) [Accessed 4 th Nov 2020]
- [10] Bambang S, Nur A, Pringgo LW. *Minimizing Waste Using Lean Manufacturing and ECRS Principle in Indonesian Furniture Industry*. Available from: <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1567019> [Accessed 5 th Nov 2020]
- [11] Champa S. *Improvement of Efficiency and Productivity through Machine Balancing in a Sewing Line*. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/332752150\\_Improvement\\_of\\_Efficiency](https://www.researchgate.net/publication/332752150_Improvement_of_Efficiency) [Accessed 5 th Nov 2020]