

การออกแบบชุดจับยึดสำหรับการผลิตโครงสร้างหลักของรถโดยสาร

นางสาวอุษาวดี งามอาจวุฒิชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

DESIGN OF JIG FOR BUS CHASSIS PRODUCTION

Usawadee Ongarjwutichai

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

การออกแบบชุดจั๊ยยัดสำหรับการผลิตโครงสร้างหลักของรถโดยสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริญผล)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวคำรองพงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ

(อ. ดร.ปภากร สุนานนท์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วราภรณ์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อุยวาทิ อองอาวุฒิชัย : การออกแบบชุดจับยึดสำหรับการผลิต โครงสร้างหลักของ
รถโดยสาร (DESIGN OF JIG FOR BUS CHASSIS PRODUCTION)
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์, 213 หน้า

ปัจจุบันนี้การผลิตรถโดยสารขึ้นในประเทศไทยจะนำโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis) ที่ใช้งานแล้วมาซ่อมบำรุง มีเพียงส่วนน้อยที่จะผลิตโครงสร้างหลักเอง เนื่องจากการผลิตโครงสร้างหลักใช้ระยะเวลาานจึงมีอัตราการผลิตรถโดยสารค่อนข้างต่ำ คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเพื่อลดระยะเวลาการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร โดยออกแบบการผลิตโครงสร้างบนอุปกรณ์จับยึดขึ้นงาน (Jig) ซึ่งจะศึกษาขั้นตอนการผลิตจากบริษัทผู้ผลิตชุดอุตสาหกรรมจำกัด คณะผู้วิจัยได้แบ่งโครงสร้างย่อยและจัดกลุ่มเพื่อนำมาออกแบบอุปกรณ์จับยึดขึ้นงานได้จำนวน 4 กลุ่ม จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยการจำลองแบบอุปกรณ์จับยึดขึ้นงาน และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench พบว่าส่วนของอุปกรณ์จับยึดที่มีความปลอดภัยต่ำที่สุดมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.94 จึงได้ออกแบบโครงสร้างเพิ่มเติมเพื่อเสริมความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึด อีกทั้งยังปรับขนาดและเลือกวัสดุที่มีความแข็งแรงมากขึ้นสำหรับชิ้นส่วนสลักล็อคอีกด้วย ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเวลาดมาตรฐาน (Standard Time) เพื่อนำมาวางแผนกำลังการผลิต พบว่าการปฏิบัติงาน 2 คนได้อัตราการผลิต 2.3 คันต่อวันมีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 90% จากการปฏิบัติงาน 1 คนและเกิดอัตราการว่างงานน้อยกว่าการปฏิบัติงาน 4 คน ส่วนการปฏิบัติงาน 6 คนที่ต้องเพิ่มอุปกรณ์จับยึดจำนวน 2 ชิ้น ให้อัตราการผลิต 5 คันต่อวัน อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 25% จากการปฏิบัติงาน 4 คน ซึ่งในที่นี้เป็นการศึกษาเวลาดมาตรฐานที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างย่อยก่อนที่จะนำไปประกอบเป็นโครงสร้างหลักรถโดยสารต่อไป

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

USAWADEE ONGARJWUTICHAJ : DESIGN OF JIG FOR BUS CHASSIS
PRODUCTION. THESIS ADVISOR : SOMSAK SIWADAMRONGPONG.
Ph.D., 213 PP.

BUS/CHASSIS/JIG AND FIXTURE/STANDARD TIME

Recently, bus manufacturing is majority built on used chassis. The used chassis will be maintenance before assembly. The minority is built on own designed chassis. However, the chassis manufacturing processes is quite very long throughputs time, which lead to low production rate. This study aims to reduce chassis platform production time by designing of production jigs. Chassis technical data and information was collected in Cherdchai Industrial. The chassis was divided into 4 groups of sub-assembly. 4 production jigs were designed for sub-assembly groups. The jigs were analyzed for strength by simulation technique using ANSYS Workbench. It was found that the weakest point has SF 1.94. Moreover, the lock pin also need for changing of materials and size. Standard time for production of each sub-assembly was calculated. It was found that production rate of 2.3 chassis/day is achieved based on 2 workers. The 2 workers yield about 90% increasing in production rate compared to 1 worker and %idle less than that of 4 workers. 6 workers with additional 2 jigs yields production rate of 5 chassis/day. The additional 2 workers yield about 25% increasing in production rate compared to 4 workers system.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (ITAP) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ และคำปรึกษา แนะนำในการทำงานวิจัย และให้โอกาสการทำงานในหลายด้านด้วยความกรุณาเสมอมารวมทั้งให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิตด้วยความเมตตาโดยตลอด

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำด้าน วิชาการ ที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วรพจน์ ขำพิศ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ อาจารย์ ดร.ปภากร สุนานนท์ และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้วยความ เมตตากรุณา

ขอขอบคุณ ทางบริษัท อู่เซดชัยอุตสาหกรรม จำกัด คุณสายหยุด พิทักษ์ และคณะวิศวกร ที่สนับสนุนข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างรถโดยสาร

ขอขอบคุณ คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอักษรวิทยา คุณทัศนีย์ ทิพย์สาคร เจ้าหน้าที่ประจำ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่าง ๆ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา คุณพ่อสนอง – คุณแม่อุบล งามอาจุฒิชัย ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพ ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

อุษาวดี งามอาจุฒิชัย

สารบัญ

หน้า

| | |
|--------------------------------|---|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... | ก |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญรูป..... | ญ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... | ผ |

บทที่

1 บทนำ

| | |
|---|---|
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 2 |
| 1.5 สถานที่ทำงานวิจัย..... | 3 |
| 1.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... | 3 |
| 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |

2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| | |
|---|---|
| 2.1 การออกแบบเพื่อการประกอบ (Design for Assembly, DFA)..... | 4 |
| 2.2 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์..... | 5 |
| 2.2.1 จุดประสงค์ของการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์..... | 6 |
| 2.2.2 จิ๊กและฟิกซ์เจอร์..... | 6 |
| 2.2.3 การอ้างอิง..... | 6 |
| 2.2.4 กฎเบื้องต้นสำหรับการกำหนดตำแหน่ง..... | 7 |
| 2.2.5 หลักการของการยึดจับชิ้นงาน..... | 8 |
| 2.2.6 ตำแหน่งของตัวยึดจับชิ้นงาน..... | 8 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|----------|--|----|
| 2.2.7 | ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้ที่อกเกิด..... | 8 |
| 2.2.8 | วัสดุที่ใช้ทำจิกและฟิกซ์เจอร์..... | 10 |
| 2.3 | วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์..... | 11 |
| 2.3.1 | องค์ประกอบของความรู้ที่จำเป็น..... | 11 |
| 2.3.2 | ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์..... | 13 |
| 2.3.3 | กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์..... | 16 |
| 2.3.4 | การออกแบบสำหรับความแข็งแรงสถิต..... | 18 |
| 2.4 | คัสซี (Chassis)..... | 22 |
| 2.4.1 | ประเภทของคัสซี..... | 22 |
| 2.4.2 | การเชื่อมโครงสร้าง..... | 23 |
| 2.4.3 | วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างหลักกรดโดยसार..... | 23 |
| 2.5 | การเชื่อม MIG (Gas Metal-arc Welding)..... | 25 |
| 2.5.1 | ข้อดีของการเชื่อม MIG..... | 25 |
| 2.5.2 | ข้อเสียของการเชื่อม MIG..... | 26 |
| 2.5.3 | อุปกรณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม MIG..... | 26 |
| 2.6 | การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา..... | 29 |
| 2.6.1 | เวลาค่าเผื่อ (Allowance Time)..... | 30 |
| 2.6.2 | การศึกษาเวลาแบบพรีดีเทอร์มิน(Predetermined Time System)..... | 32 |
| 2.7 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 38 |
| 3 | วิธีดำเนินงานวิจัย | |
| 3.1 | การศึกษาโครงสร้างหลักกรดโดยसार..... | 41 |
| 3.1.1 | แบบโครงสร้างหลักกรดโดยसार ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420..... | 41 |
| 3.1.2 | แบบโครงสร้างหลักกรดโดยसार ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280..... | 42 |
| 3.2 | การแบ่งโครงสร้างหลักกรดโดยसारเป็นโครงสร้างย่อย..... | 44 |
| 3.3 | การจัดกลุ่มโครงสร้างย่อย..... | 48 |
| 3.3.1 | การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างย่อย..... | 52 |
| 3.4 | การออกแบบอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงาน..... | 53 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|----------|--|----|
| 3.4.1 | จิ๊กและฟิกซ์เจอร์สำหรับงานเชื่อม | 53 |
| 3.4.2 | ชนิดของจิ๊กและฟิกซ์เจอร์งานเชื่อม..... | 53 |
| 3.4.3 | การพิจารณาขึ้นพื้นฐานของการออกแบบ..... | 54 |
| 3.4.4 | การกำหนดตำแหน่งและการยึดจับชิ้นงาน..... | 55 |
| 3.4.5 | การเชื่อมโครงสร้างหลักทรดโดยสาร..... | 55 |
| 3.4.6 | กรรมวิธีในการเชื่อม | 57 |
| 3.5 | การจำลองการวิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงาน..... | 57 |
| 3.5.1 | โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์..... | 58 |
| 3.5.2 | ส่วนประกอบของโปรแกรมที่ทำให้การวิเคราะห์แตกต่างกัน | 59 |
| 3.5.3 | เงื่อนไขในการวิเคราะห์ | 59 |
| 3.6 | การศึกษาเวลามาตรฐาน..... | 64 |
| 3.6.1 | แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง | 65 |
| 3.6.2 | เวลามาตรฐานแบบพรีดีเทอร์มิน..... | 66 |
| 3.6.3 | อัตราการทำงาน (Rating)..... | 69 |
| 3.6.4 | เวลาปกติ (Normal Time, NT)..... | 71 |
| 3.6.5 | เวลามาตรฐาน (Standard Time, ST) | 71 |
| 4 | ผลการวิจัยและการอภิปรายผล | |
| 4.1 | จำนวนโครงสร้างย่อยที่แบ่งจาก โครงสร้างหลักทรดโดยสารทั้ง 2 รุ่น | 72 |
| 4.2 | การจัดกลุ่ม โครงสร้างย่อย | 73 |
| 4.3 | ผลการออกแบบอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงาน..... | 74 |
| 4.4 | ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์..... | 78 |
| 4.4.1 | กรณีที่ 1 วิเคราะห์อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานแบบที่ 1 | 78 |
| 4.4.2 | กรณีที่ 1 วิเคราะห์อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานแบบที่ 2 | 82 |
| 4.4.3 | กรณีที่ 1 วิเคราะห์อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานแบบที่ 3 | 86 |
| 4.4.4 | กรณีที่ 1 วิเคราะห์อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานแบบที่ 4 | 90 |
| 4.4.5 | กรณีที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานแบบที่ 1 | 94 |
| 4.4.6 | กรณีที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานแบบที่ 2 | 98 |

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.4.7 | กรณีที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 102 |
| 4.4.8 | กรณีที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 | 106 |
| 4.4.9 | กรณีที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 | 110 |
| 4.4.10 | กรณีที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 | 114 |
| 4.4.11 | กรณีที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 118 |
| 4.4.12 | กรณีที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 | 122 |
| 4.4.13 | กรณีที่ 4 วิเคราะห์การระดมที่สลักได้รับ | 126 |
| 4.5 | อัตราการผลิต..... | 133 |
| 5 | สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 | สรุปผลด้านการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน..... | 137 |
| 5.2 | สรุปผลด้านการวิเคราะห์ความปลอดภัย..... | 138 |
| 5.2.1 | ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 1 | 138 |
| 5.2.2 | ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 2 | 138 |
| 5.2.3 | ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 3 | 138 |
| 5.2.4 | ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 4 | 138 |
| 5.3 | สรุปผลด้านการวางแผนกำลังการผลิต | 139 |
| 5.4 | ข้อเสนอแนะ..... | 139 |
| 5.4.1 | ด้านการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน..... | 139 |
| 5.4.2 | ด้านการวิเคราะห์ความปลอดภัย | 140 |
| 5.4.3 | ด้านการวางแผนกำลังการผลิต..... | 140 |
| | รายการอ้างอิง | 141 |
| | ภาคผนวก | |
| | ภาคผนวก ก. ผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหา Simply Supported Beam..... | 142 |
| | ภาคผนวก ข. แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตโครงสร้างหลัก..... | 156 |
| | ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ | 199 |
| | ประวัติผู้เขียน | 213 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|--|
| 2.1 | แสดงค่าเวลาเพื่อ.....31 |
| 2.2 | แสดงราคาเปรียบเทียบต้นทุนรถโดยสาร.....38 |
| 3.1 | แสดงขนาดโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB42048 |
| 3.2 | แสดงขนาดโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280.....48 |
| 3.3 | แสดงลักษณะโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะคล้ายกัน.....49 |
| 3.4 | แสดงภาระทั้งหมดบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน.....61 |
| 3.5 | แสดงภาระกรรมที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับ.....62 |
| 3.6 | แสดงภาระกรรมที่โครงสร้างได้รับ.....63 |
| 3.7 | แสดงเวลาที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงาน.....66 |
| 3.8 | แสดงเวลาการเอื่อม67 |
| 3.9 | แสดงเวลาการเคลื่อนย้าย.....68 |
| 3.10 | แสดงค่าคะแนนการประเมินอัตราการทำงานในระบบ Westinghouse70 |
| 4.1 | แสดงจำนวนโครงสร้างย่อยที่ทำการแบ่ง.....72 |
| 4.2 | แสดงการแบ่งกลุ่มโครงสร้างย่อย74 |
| 4.3 | แสดงขนาดของแต่ละอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน.....77 |
| 4.4 | แสดงตารางผลการวิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน.....130 |
| 4.5 | แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีปรับ โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดแบบที่ 1.....131 |
| 4.6 | แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีปรับชิ้นส่วนอุปกรณ์จับยึดแบบที่ 3.....131 |
| 4.7 | แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีปรับขนาดสลักเกลียว132 |
| 4.8 | แสดงเวลามาตรฐานในการผลิตโครงสร้างย่อย.....133 |
| 4.9 | แสดงอัตราการผลิต โครงสร้างย่อยต่อวัน134 |
| 4.10 | แสดงเวลามาตรฐานของผู้ปฏิบัติงาน 2 คน134 |
| 4.11 | แสดงเวลามาตรฐานของผู้ปฏิบัติงาน 4 คน135 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.12 แสดงเวลามาตรฐานของผู้ปฏิบัติงาน 6 คน | 136 |
| 5.1 แสดงเวลามาตรฐานในกรณีต่าง ๆ ที่ศึกษา | 139 |
| ก.1 แสดงการสรุปค่าความเค้นและค่าการเสียรูป | 153 |
| ข.1 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 1 CB420..... | 157 |
| ข.2 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 2 CB420..... | 159 |
| ข.3 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 1 CB420 | 161 |
| ข.4 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 2 CB420..... | 163 |
| ข.5 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 3 CB420..... | 165 |
| ข.6 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 1 CG280 | 167 |
| ข.7 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 2 CG280 | 169 |
| ข.8 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 1 CG280..... | 171 |
| ข.9 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 2 CG280..... | 173 |
| ข.10 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front Assy 2 CB420..... | 175 |
| ข.11 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CB420..... | 177 |
| ข.12 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front WheelMember CG280 | 179 |
| ข.13 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CG280..... | 181 |
| ข.14 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 2 CB420..... | 183 |
| ข.15 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 2-1 CB420 | 185 |
| ข.16 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 3 CB420..... | 187 |
| ข.17 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CG280..... | 189 |
| ข.18 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel RH CB420..... | 191 |
| ข.19 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel LH CB420..... | 193 |
| ข.20 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel RH CG280 | 195 |
| ข.21 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel LH CG280..... | 197 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 2.1 | แสดงตัวยึดจับแบบที่อกเกิด (Toggle Clamps)..... 9 |
| 2.2 | แสดงการทำงานของที่อกเกิด..... 9 |
| 2.3 | แสดงลักษณะแผ่นโลหะที่มีรูปร่างซับซ้อน 14 |
| 2.4 | แสดงการแบ่งเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยม 15 |
| 2.5 | แสดงการแบ่งเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า 15 |
| 2.6 | แสดงขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหาย 18 |
| 2.7 | แสดงระนาบออกตะฮีดรัล..... 20 |
| 2.8 | แสดงการเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้น..... 21 |
| 2.9 | แสดงอุปกรณ์เชื่อม..... 26 |
| 2.10 | แสดงแนวเชื่อมใช้แก๊สปกคลุม 28 |
| 3.1 | แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 41 |
| 3.2 | แสดงแบบโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 42 |
| 3.3 | แสดงแบบโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280..... 43 |
| 3.4 | แสดงการแบ่งโครงสร้างหลักกรดโดยสาร..... 44 |
| 3.5 | แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยส่วนหน้าโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 46 |
| 3.6 | แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยส่วนท้ายโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 46 |
| 3.7 | แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยส่วนหน้าโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280..... 47 |
| 3.8 | แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยส่วนท้ายโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280..... 47 |
| 3.9 | แสดงตัวอย่าง โครงสร้างย่อยที่คล้ายกันของ 2 รุ่น 52 |
| 3.10 | แสดงตัวอย่าง โครงสร้างย่อยที่เหมือนกันของ 2 รุ่น..... 52 |
| 3.11 | แสดงวิธีการควบคุมการกระจายความร้อน 54 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.12 แสดงลักษณะการจับยึดชิ้นงาน | 55 |
| 3.13 แสดงขนาดวัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างหลักรถโดยสาร | 56 |
| 3.14 แสดงลักษณะการเชื่อมชิ้นส่วน | 56 |
| 3.15 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน | 57 |
| 3.16 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ | 58 |
| 3.17 แสดงลักษณะการรับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (กรณี 1)..... | 62 |
| 3.18 แสดงลักษณะการรับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (กรณี 2)..... | 62 |
| 3.19 แสดงลักษณะการรับภาระกรรมของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (กรณี 3)..... | 63 |
| 3.20 แสดงลักษณะการรับภาระกรรมของสลักล๊อค | 64 |
| 3.21 แสดงแบบฟอร์มแผนภูมิการผลิตแบบต่อเนื่อง | 65 |
| 4.1 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน | 75 |
| 4.2 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 | 75 |
| 4.3 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 | 76 |
| 4.4 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 76 |
| 4.5 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 | 77 |
| 4.6 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 | 78 |
| 4.7 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 | 79 |
| 4.8 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 | 80 |
| 4.9 แสดงค่าขจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 | 81 |
| 4.10 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 | 82 |
| 4.11 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 | 83 |
| 4.12 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 | 84 |
| 4.13 แสดงค่าขจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 | 85 |
| 4.14 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 86 |
| 4.15 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 87 |
| 4.16 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 88 |
| 4.17 แสดงค่าขจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 89 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.45 แสดงค่าขจัดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 | 117 |
| 4.46 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 118 |
| 4.47 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 119 |
| 4.48 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3..... | 120 |
| 4.49 แสดงค่าขจัดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 | 121 |
| 4.50 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 | 122 |
| 4.51 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 | 123 |
| 4.52 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4..... | 124 |
| 4.53 แสดงค่าขจัดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 | 125 |
| 4.54 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของสลัก | 126 |
| 4.55 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของสลัก..... | 127 |
| 4.56 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของสลัก | 128 |
| 4.57 แสดงค่าขจัดสูงสุดของสลัก..... | 129 |
| 4.58 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจาก 2 รูเป็น 1 รู..... | 131 |
| 4.59 แสดงการปรับลักษณะชิ้นส่วนอุปกรณ์จับยึดแบบที่ 3..... | 131 |
| 4.60 แสดงการปรับขนาดสลักลิ้อค | 132 |
| 5.1 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน | 137 |
| ก.1 แสดง Simply Supported Beam..... | 143 |
| ก.2 แสดงปัญหาของ Simply Supported Beam..... | 143 |
| ก.3 แสดงคานที่สร้างจากโปรแกรม Solidwork 2007 SP2.2 | 145 |
| ก.4 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ | 146 |
| ก.5 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.4 เซนติเมตร | 147 |
| ก.6 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.2 เซนติเมตร | 148 |
| ก.7 แสดงการกำหนดแรงกระทำบนคาน | 149 |
| ก.8 แสดงค่าความเค้น (Von-Mises Stress) ที่ได้จากโปรแกรม (Element Size 0.4 cm) | 150 |
| ก.9 แสดงค่าความเค้น (Von-Mises Stress) ที่ได้จากโปรแกรม (Element Size 0.2 cm) | 151 |
| ก.10 แสดงค่าการเสีรูปที่ได้จากโปรแกรม (Element Size 0.4 cm)..... | 152 |

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ก.11 แสดงค่าการเสียดรูปที่ได้จากโปรแกรม (Element Size 0.2 cm).....153

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | |
|----------|---------------------------|
| A | ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม |
| b | ความกว้างของคาน |
| BHN | Brinell hardness Test |
| CT | Cycle Time |
| DFA | Design for Assembly |
| E | Young's Modulus |
| EL | Elongation |
| error | ค่าความผิดพลาด |
| h | ความสูงของคาน |
| Kg | Kilogram |
| L | ความยาวของคาน |
| MIG | Metal Inert Gas |
| mm | Millimeter |
| N | Newton |
| NT | Normal Time |
| PMTS | Predetermined Time System |
| q | แรงที่กระทำบนคาน |
| R | แรงต้านที่จุดรองรับ |
| Rc | Rockwell |
| ST | Standard Time |
| T | ค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี |
| TMU | Time Measurement Unit |
| UTS | Ultimate Tensile Strength |
| v | Poisson's Ratio |
| YS | Yield Strength |
| σ | ค่าความเค้น |
| δ | ค่าการเสียดรูปของคาน |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการผลิตรถโดยสารในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีกระบวนการผลิตโดยนำเข้าโครงสร้างหลักของรถโดยสารมาจากต่างประเทศ ทั้งในลักษณะของใหม่และแบบที่เคยผ่านการใช้งานมาแล้ว โดยผู้ประกอบการจะนำโครงสร้างหลักมาประกอบเป็นตัวถังซึ่งมีโครงสร้างหลักรถโดยสารในบางส่วนที่มีการผลิตขึ้นเอง โดยในกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสารจะอาศัยความรู้ทางด้านวิศวกรรมน้อยกว่าการพึ่งพาประสบการณ์ของช่างที่ชำนาญงาน ซึ่งในกระบวนการประกอบโครงสร้างหลักรถโดยสาร 1 คัน ช่างผู้ผลิตจะนำวัสดุที่มีการจัดเตรียมตามขนาดต่าง ๆ ที่ต้องการมาประกอบทีละส่วน โดยจะวัดระยะตำแหน่งที่จะประกอบวัสดุในแต่ละชิ้นไปเรื่อย ๆ จนได้โครงสร้างหลักรถโดยสารตามแบบที่ลูกค้าต้องการ และในบางครั้งช่างผู้ประกอบได้มีการประกอบผิดพลาดเนื่องจากจำนวนวัสดุที่จะนำมาประกอบมีจำนวนมากและมีลักษณะที่คล้ายกันจึงเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ง่าย เป็นผลให้เวลาในกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร 1 คันใช้ระยะเวลาานาน ดังนั้นการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสารจึงไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า จึงต้องนำเข้าโครงสร้างหลักรถโดยสาร เพื่อนำมาประกอบตัวถังแทนการผลิตเอง ทั้งนี้ในด้านความชำนาญของช่างผู้ผลิตก็ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร เช่นเมื่อมีช่างผู้ชำนาญเรื่องกระบวนการเชื่อมจำนวนจำกัด ดังนั้นเมื่อลักษณะการเชื่อมมีตำแหน่งการประกอบไม่ได้อยู่ในลักษณะที่ราบก็จะไม่มีช่างผู้ชำนาญในการผลิตที่เพียงพอ จึงเกิดการรองานขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตโครงสร้าง

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเพื่อจะลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร โดยทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานขึ้นมาใช้ในการผลิตโครงสร้างหลัก ซึ่งมีลักษณะที่สามารถหมุนได้เพื่อความสะดวกในกระบวนการผลิต และได้วางแผนกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร เมื่อมีการนำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานตามที่ออกแบบมาใช้ในการกระบวนการผลิต เพื่อนำมาศึกษาอัตราการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสารต่อความต้องการของลูกค้า

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบชุดอุปกรณ์จับยึด (Jig) สำหรับกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis)
2. เพื่อออกแบบกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis)
3. เพื่อกำหนดกำลังการผลิตและการจัดกำลังคนในการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตโครงสร้างย่อย ที่สามารถประยุกต์ใช้งานในการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร 2 รุ่นของทางบริษัท อุเชิดชัยอุตสาหกรรม จำกัด (รุ่น CG 280 และ CB 420)
 2. ในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานไม่รวมส่วนกลางของโครงสร้างหลัก
 3. วิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
 4. ศึกษาเวลามาตรฐานโดยใช้หลักการ Westinghouse System of Rating, Allowance, Predetermine motion time system

1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าองค์ความรู้ ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษากระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis) 2 รุ่นของทางบริษัท อุเชิดชัยอุตสาหกรรม จำกัด (รุ่น CG 280 และ รุ่น CB 420)
 3. ออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig)
 4. วิเคราะห์และแก้ไขปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig)
 5. วางแผนกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis)
 6. จัดทำเอกสารและรายงานการวิจัย

1.5 สถานที่ทำงานวิจัย

1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. บริษัท อู่เชิดชัยอุตสาหกรรม จำกัด

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. โปรแกรม Solid Work 2007 SP.2.2 สำหรับออกแบบชุดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน
2. โปรแกรม ANSYS Workbench V.11 สำหรับการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig) มาใช้ในกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis)
2. ได้แผนกระบวนการประกอบโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis)
3. ได้เวลาเฉลี่ยในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้นและแผนกำลังการผลิตของโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis)

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนหลัก ๆ สามส่วน ส่วนแรกคือ การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยคำนึงถึงการประกอบ ส่วนที่สองคือการวิเคราะห์ทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อนำไปหาค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงานและเพื่อการออกแบบพัฒนา ในส่วนที่สาม จะเป็นการวางแผนกระบวนการผลิตและอัตราการผลิตต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งความรู้ที่ได้นำมาศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

- 2.1 การออกแบบเพื่อการประกอบ (Design for Assembly, DFA)
- 2.2 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์
- 2.3 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์
- 2.4 คัสซี (Chassis)
- 2.5 การเชื่อม (Gas Metal-arc Welding, MIG)
- 2.6 การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบเพื่อการประกอบ (Design for Assembly, DFA)

Myrup, Kahler, and Lund (1983) ได้กล่าวไว้ในหนังสือ Design for Assembly ว่าหน้าที่หลักของการประกอบเป็นการประกอบวัสดุชิ้นหลักเป็น โครงสร้างกับส่วนฐาน และนำไปใช้ในการผลิตที่มีความซับซ้อน ในการพิจารณาในการผลิตสินค้าผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านต่าง ๆ ที่เข้ามา เช่น ข้อจำกัดด้านเศรษฐกิจ ด้านเวลา ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ตั้งแต่การออกแบบจนกระทั่งเป็นการออกแบบเพื่อการประกอบ การออกแบบเพื่อการประกอบต้องมีความจำเป็นที่จะต้องโยงถึงปัจจัยของการผลิต การจัดการทางเศรษฐกิจ และฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน

อรรถกร เก่งพล (2548) ได้กล่าวไว้ในหนังสือ วิศวกรรมคอนเคอร์เร็นท์ ว่าการออกแบบเพื่อการประกอบด้วยการพยายามลดจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องใช้ประกอบ เพื่อให้การประกอบเป็นไปด้วยความรวดเร็ว สะดวกและจะทำให้ต้นทุนโดยรวมลดลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

หลักการออกแบบและกฎการออกแบบเพื่อการประกอบ ในวิธีทั่วไปของ DFA มีกฎหลายอย่างที่คุณออกแบบสามารถนำมาใช้เพื่อพัฒนาความสามารถในการประกอบ ซึ่งสามารถทำได้ตั้งแต่อยู่ในช่วงการออกแบบ ดังนี้

1. ลดจำนวนชิ้นส่วนของแต่ละชิ้นส่วน
2. ออกแบบให้สามารถใช้ได้เป็นกลุ่มจำเพาะ (Modularise Design)
3. ออกแบบชิ้นส่วนให้สามารถปรับตั้งแนวและตำแหน่งได้ด้วยตนเอง
4. ออกแบบเพื่อให้สามารถเข้าถึงเพื่อหยิบจับง่าย และมองเห็นได้ชัดเจน
5. ออกแบบให้ชิ้นส่วนไม่ถูกประกอบผิด
6. ออกแบบชิ้นส่วนให้มีความสมมาตรของด้านมากที่สุด
7. ออกแบบโดยการใช้ยึดแน่นที่มีประสิทธิภาพ

การประเมินความสามารถในการประกอบด้วยตัวชี้วัดเชิงปริมาณ (Quantitative Measures) โดยใช้ดัชนีการประกอบ ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความยากง่ายในการประกอบชิ้นส่วน วิธีที่นิยมมีด้วยกัน 2 วิธี คือ

1. วิธีของบูธทรอยด์-คิวเฮอร์ (Boothroyd–Dewhurst Assembly Evaluation Method) วิธีนี้จะเน้นที่การประมาณราคาต้นทุนให้กับผู้ออกแบบให้มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยพิจารณาจากกิจกรรมการหยิบจับและการยึดใส่ชิ้นส่วน (Handling and Inserting) และกิจกรรมการจับยึด (Fastening) เช่น การประเมินในการผลิตงานหล่อที่จะประมาณต้นทุนจากขนาดที่เหมาะสมของเครื่องจักร จำนวนช่องของแม่พิมพ์ตัวหล่อ เวลาในการหล่อ ปริมาณและราคาวัสดุที่ใช้
2. วิธีของลูคัส (Lucas Assembly Evaluation Method) วิธีนี้เป็นความร่วมมือระหว่างบริษัท Lucas Engineering & System และมหาวิทยาลัยฮัลล์ (University of Hull) ประเทศอังกฤษ ในการประเมินการประกอบจะใช้ดัชนี 3 อย่าง ได้แก่ การวิเคราะห์หน้าที่ การวิเคราะห์การหยิบจับ และการป้อนและการวิเคราะห์การยึด

2.2 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์

การออกแบบเครื่องมือเป็นขบวนการของการออกแบบและปรับปรุงเครื่องมือ วิธีการและเทคนิคที่จำเป็นหลาย ๆ อย่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมและเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นด้วย การออกแบบเครื่องมือเครื่องจักรในอุตสาหกรรม และเครื่องมือพิเศษอื่น ๆ ทำให้ทุกวันนี้มีการผลิตงานได้อย่างรวดเร็วและมีปริมาณสูง อีกทั้งยังทำให้สินค้ามีคุณภาพดี และประหยัดขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้เป็นที่แน่ใจว่าสินค้าที่ผลิตออกไปจะได้ผลสำเร็จเป็นอย่างดี

2.2.1 จุดประสงค์ของการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์

ในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานก็เพื่อลดระยะเวลาในการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสารและเพิ่มอัตราการผลิต โดยที่คุณภาพยังคงเดิม ดังนั้นในการออกแบบจะต้องคำนึงถึง

- 2.2.1.1 วิธีการปฏิบัติงานที่ง่ายแต่มีประสิทธิภาพสูง
- 2.2.1.2 ลดค่าใช้จ่ายในการผลิต โดยชิ้นงานที่ราคาต่ำเท่าที่จะทำได้
- 2.2.1.3 ออกแบบให้อุปกรณ์มีคุณภาพสูงเมื่อถูกนำไปผลิตแบบต่อเนื่อง
- 2.2.1.4 เพิ่มอัตราการผลิตด้วยเครื่องมือที่มีอยู่
- 2.2.1.5 ออกแบบเครื่องมือให้มีความทนทาน เพื่อป้องกันการใช้งานที่อาจผิดพลาดได้
- 2.2.1.6 เลือกวัสดุที่ใช้ทำให้มีอายุการใช้งานอย่างพอเหมาะกับการผลิต
- 2.2.1.7 หาวิธีป้องกันสำหรับการออกแบบเครื่องมือเพื่อให้การใช้งานมีความ

ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานมากที่สุด

2.2.2 จิ๊กและฟิกซ์เจอร์

จิ๊กและฟิกซ์เจอร์เป็นเครื่องมือสำหรับงานในอุตสาหกรรมซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตชิ้นงานที่เที่ยงตรงเหมือนกันทุก ๆ ชิ้น ความสัมพันธ์และตำแหน่งที่ถูกต้องระหว่างจิ๊กและฟิกซ์เจอร์กับชิ้นงานจะต้องถูกรักษาให้คงเดิมอยู่ตลอดเวลา จิ๊กและฟิกซ์เจอร์ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อทำการยึด รองรับ และกำหนดตำแหน่งชิ้นงานทุก ๆ ชิ้น เพื่อให้แน่ใจว่าการปฏิบัติจะได้ตรงตำแหน่งเดิมหรือขนาดตามรายละเอียดที่กำหนดมาทุกประการ

2.2.3 การอ้างอิง

การที่จะทำให้แน่ใจว่าการทำงานของเครื่องมือต่าง ๆ ที่กระทำต่อชิ้นงานจะเกิดความถูกต้องเที่ยงตรงเป็นอย่างดีนั้น ชิ้นงานจะต้องถูกวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องอยู่ในจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ซึ่งสิ่งนี้ก็คือการอ้างอิง (Referencing) จะต้องมีความถูกต้องเป็นอย่างดี และเมื่อมีความต้องการให้มีความละเอียดถูกต้องของงานที่ถูกกระทำนั้นออกแบบจะต้องมีความแน่ใจว่าชิ้นงานได้ถูกวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องที่สุด และมีการรองรับชิ้นงานนั้นอย่างมั่นคงด้วย สำหรับตัวกำหนดตำแหน่ง (Locators) ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดว่าชิ้นงานจะตั้งอยู่ตรงไหนของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์จะต้องแน่ใจว่าเมื่อทำขึ้นมาแล้วจะง่ายต่อการใส่ชิ้นงานและถอดชิ้นงานออก อีกทั้งจะต้องใส่ตัวกันโง่ (Tool Foolproof) ไว้ด้วยเสมอหากมีความจำเป็นเพราะอาจเกิดปัญหาระหว่างการดำเนินงานเนื่องจากการใส่ชิ้นงานเข้าหรือถอดชิ้นงานออกอาจต้องใช้เวลานาน และอาจจะใส่ชิ้นงานเข้าไปผิดข้างก็ได้ บางครั้งต้องออกแบบตัวรองรับที่มั่นคงสำหรับรองรับชิ้นงาน ถ้าตัวกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานถูกออกแบบให้เกี่ยวข้องกันก็สามารถที่จะใช้ตัวรองรับให้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งได้

2.2.4 กฎเบื้องต้นสำหรับการกำหนดตำแหน่ง

การจำกัดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานและการกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานนั้นจำเป็นที่จะต้องอาศัยความชำนาญและการวางแผนที่ดี ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะต้องมีการวางแผนมาก่อนล่วงหน้า ในระหว่างการออกแบบเครื่องมือจะมากะทำหรือติดตั้งที่หลังไม่ได้

2.2.4.1 การกำหนดตำแหน่งและตัวกำหนดตำแหน่ง

เมื่อใดก็ตามถ้าเป็นไปได้ตัวกำหนดตำแหน่งควรจะให้สัมผัสกับงานตรงส่วนที่ได้รับการตกแต่งมาแล้วเสมอ ซึ่งสิ่งนี้จะเป็นการทำให้ตำแหน่งของชิ้นงานมีความเที่ยงตรงและเป็นการประกันได้ว่าจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์จะสามารถใช้ได้กับชิ้นงานซ้ำ ๆ กันตลอดไป หรือหมายความว่าเมื่อนำชิ้นงานใหม่มาใส่แทนตำแหน่งที่ใส่ชิ้นงานใหม่ก็ยังคงเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลงไปจากตำแหน่งของชิ้นงานเดิม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากเพราะทำให้การทำงานต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ ไม่ติดขัด และความละเอียดถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งก็เป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งเกี่ยวกับความสามารถในการใช้งานซ้ำ ๆ กันไปตลอดของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ ตัวกำหนดชิ้นงานแต่ละตัวควรจะมีระยะห่างจากกันให้มากที่สุดเท่าที่จะห่างกันได้โดยไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการผิดพลาด ซึ่งสิ่งนี้จะทำให้มีการใช้ตัวกำหนดตำแหน่งจำนวนน้อยและมีความเที่ยงตรงอย่างแน่นอนในการที่จะสัมผัสผิวหน้าของชิ้นงาน สำหรับเศษโลหะหรือเศษผงต่าง ๆ อาจจะทำให้เกิดปัญหาสำหรับตัวกำหนดตำแหน่งได้ ดังนั้นตัวกำหนดตำแหน่งจึงควรติดตั้งในที่ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดเศษโลหะเข้าไปติดอยู่ได้ แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรทำให้ตัวกำหนดตำแหน่งนูนขึ้นมา

2.2.4.2 การป้องกันการใส่งานผิด

การป้องกันไม่ให้ใส่งานผิดข้างหรือผิดตำแหน่งนี้เป็นสิ่งที่นักออกแบบจะต้องหาวิธีการเพื่อให้แน่ใจว่าเมื่อใส่ชิ้นงานเข้าไปในจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์แล้ว ชิ้นงานก็จะถูกสวมเข้าไปพอดีและอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ดังนั้นนักออกแบบต้องติดตั้งสลักกันไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ใส่ชิ้นงานผิดข้าง เพราะถ้าใส่ชิ้นงานผิดข้างก็จะติดสลักกันไว้

2.2.4.3 ตัวกำหนดตำแหน่งที่ซ้ำซ้อน

การใช้ตัวกำหนดตำแหน่งที่ซ้ำซ้อนกันควรที่จะต้องหลีกเลี่ยงให้มากที่สุด เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายสูงแล้วยังทำให้ความเที่ยงตรงลดน้อยลง และอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ เนื่องจากเกิดความสับสนในการนำชิ้นงานมาประกอบ และตัวกำหนดตำแหน่งจะต้องขนานเพียงตำแหน่งเดียว โดยจำเป็นที่จะต้องทำการปรับผิวหน้าที่จะใช้อ้างอิงด้วยแต่ในส่วนอื่น ๆ ไม่จำเป็นต้องปรับผิวหน้าก็ได้ เพื่อลดค่าใช้จ่าย และควรติดตั้งตัวกำหนดตำแหน่งให้ตายตัว ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อป้องกันการกำหนดตำแหน่งผิดตำแหน่งที่เราใช้อ้างอิง

2.2.5 หลักการของการยึดจับชิ้นงาน

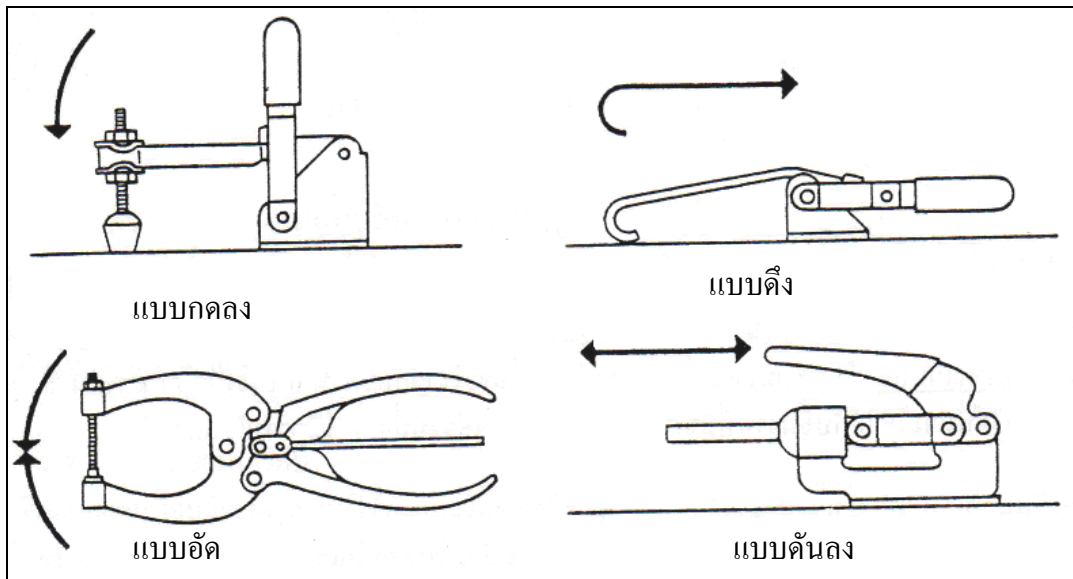
คำว่า ตัวยึดจับชิ้นงานถูกนำมาใช้อธิบายถึงชิ้นส่วนของจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ที่ทำหน้าที่ในการยึดจับชิ้นงานไม่ว่าจะเป็นแบบแผ่นยึด ตัวจับ และแบบหนีบยึดจับชิ้นงานให้ติดแน่นอยู่กับจิ๊กหรือฟิกซ์เจอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการอย่างเที่ยงตรง และอยู่ในตำแหน่งดังกล่าวโดยสามารถต่อต้านแรงที่เกิดจากการกระทำของเครื่องมือ ในกรณีเช่นนี้ตัวยึดจับชิ้นงานจะต้องถูกทำให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงที่เกิด แต่จะไม่มากพอที่จะทำให้แรงในการยึดจับนั้นไปทำให้ชิ้นงานบวมหรือแตกหัก ตัวยึดจับชิ้นงานจะคล้ายกับตัวกำหนดตำแหน่ง ก็จะต้องทำการใส่ชิ้นงานเข้าหรือถอดชิ้นงานออกเป็นไปอย่างรวดเร็ว ตัวยึดจับชิ้นงานที่จำเป็นจะต้องใช้เวลาอย่างมากในการทำงานจะทำให้ผลผลิตต่ำและราคาชิ้นงานสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะนำตัวยึดจับชิ้นงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์ที่สุด นักออกแบบจึงต้องรู้เกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นของการยึดจับชิ้นงาน

2.2.6 ตำแหน่งของตัวยึดจับชิ้นงาน

ตัวยึดจับชิ้นงานจะต้องสัมผัสกับชิ้นงานตรงจุดที่ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากที่สุดเสมอ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้แรงที่เกิดจากการยึดจับไปทำให้ชิ้นงานเกิดการแอ่น โค้งหรือทำให้ชิ้นงานเสียหาย ชิ้นงานจะต้องถูกรองรับไว้ด้วยถ้าตรงจุดที่จะถูกยึดจับนั้นอาจจะถูกแรงของการยึดจับทำให้ชิ้นงานเกิดการแอ่น โค้งขึ้น ดังนั้นถ้าจะทำการยึดจับชิ้นงานบางกรณีจำเป็นต้องมีตัวรองรับชิ้นงานด้วยเพื่อป้องกันแรงที่เกิดจากตัวยึดจับชิ้นงาน นอกจากนี้ตัวยึดจับชิ้นงานต้องไม่ถูกวางไว้ในตำแหน่งที่จะไปขัดขวางการทำงานของเครื่องมือตัดทำให้การทำงานของเครื่องจักรต่อชิ้นงานเป็นอย่างยากลำบาก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการที่จะต้องกำหนดที่ตั้งของตัวยึดจับชิ้นงานให้อยู่ในตำแหน่งที่จะทำงานต่าง ๆ ได้อย่างง่ายและปลอดภัย

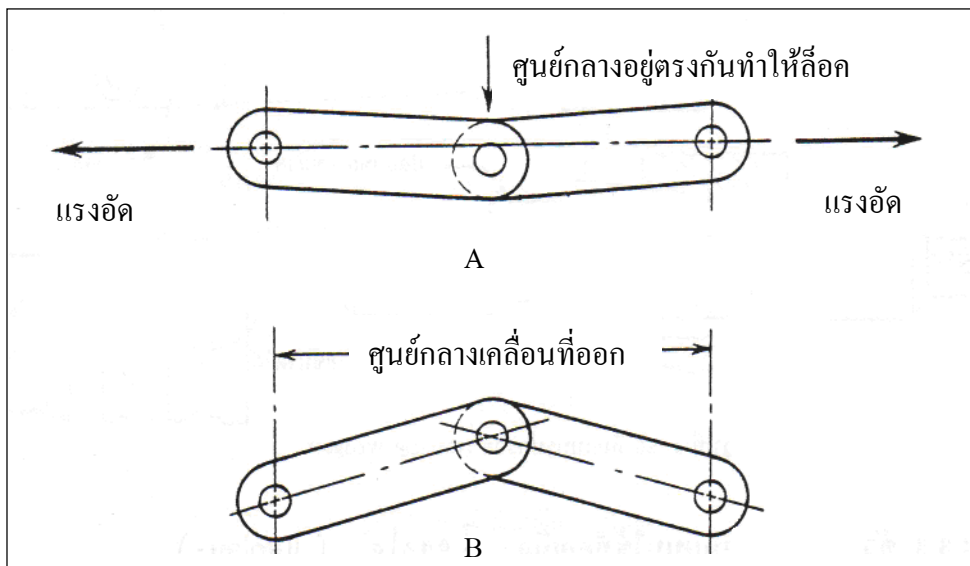
2.2.7 ตัวยึดจับชิ้นงานแบบใช้ที่อกเกล็ด

ตัวยึดจับชิ้นงานแบบที่อกเกล็ดที่ใช้กันอยู่นี้จะมีการทำงานเพื่อยึดจับชิ้นงานอยู่ 4 แบบ คือ แบบกดลง (Hold Down) แบบอัดกลาง (Squeeze) แบบดึงกลับ (Pull) และแบบดันไปข้างหน้า (Straight Line) สำหรับตัวยึดจับชิ้นงานแบบที่อกเกล็ดนี้มีการเคลื่อนไหวในการทำงานที่เร็วมาก สามารถที่จะยึดชิ้นงานและคลายชิ้นงานออกได้รวดเร็วจึงทำให้การสับเปลี่ยนชิ้นงานทำได้รวดเร็วมาก และข้อดีอีกอย่างหนึ่งของตัวยึดจับชิ้นงานแบบที่อกเกล็ดก็คือมีอัตราส่วนระหว่างแรงที่ได้จากการยึดจับชิ้นงานต่อแรงที่ใช้ไปจะมีค่าสูงมาก



รูปที่ 2.1 แสดงตัวยึดจับแบบที่ออกเกล็ด (Toggle Clamps)

การทำงานของตัวยึดจับชิ้นงานแบบที่ออกเกล็ดใช้ระบบคั่น โยกและจะมีจุดหมุนบนเดียว 3 จุด เมื่อตัวยึดจับชิ้นงานทำงานหรือกำลังล๊อคชิ้นงานเดี่ยวทั้ง 3 อันจะอยู่ในตำแหน่งเส้นตรงเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 A และเมื่อทำการถอดออกเดี่ยวและคั่น โยกจะอยู่ในตำแหน่งทำมุมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 B



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของที่ออกเกล็ด

2.2.8 วัสดุที่ใช้ทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์

นอกจากการออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์แล้วนักออกแบบยังต้องมีความรับผิดชอบต่อการเลือกใช้วัสดุด้วยว่าควรเลือกใช้วัสดุชนิดใดอย่างไร เพื่อทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ให้ได้ผลดีความสามารถในการตัดแปลง ความคงทนในการนำไปใช้งาน และความประหยัดจะต้องถูกนำมาพิจารณาก่อนที่วัสดุจะถูกเลือกเข้ามาใช้งาน อย่างไรก็ตามก่อนที่จะทำหรือเลือกนักออกแบบจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุสำหรับทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์

คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้ทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์จะมีผลกระทบโดยตรงต่อวัสดุ นั้น ๆ ในระหว่างการใช้งาน คุณสมบัติเหล่านี้มีทั้งผลดีและผลเสีย ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการใช้งานว่าต้องการคุณสมบัติอย่างไรบ้าง

คุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ ได้แก่ ความแข็ง ความเหนียว การต้านทานความสึกหรอ ความสามารถในการตกแต่ง ความเปราะ ความแข็งแรงต่อแรงดึง และความแข็งแรงต่อแรงเฉือน

2.2.8.1 ความแข็ง คือความสามารถของวัสดุที่จะต้องต่อต้านการแทงทะลุผ่านหรือต่อต้านการทำให้เป็นรอยปกติแล้ววัสดุที่มีความแข็งมากกว่าย่อมมีความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่าด้วย วิธีการที่ใช้วัดความแข็งของวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางก็คือ การทดสอบแบบร็อคเวลและการทดสอบแบบบริเนล

2.2.8.2 ความเหนียว เป็นความสามารถของวัสดุที่รองรับน้ำหนักหรือแรงกระแทกซ้ำหลาย ๆ ครั้ง โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงของวัสดุนั้นอย่างถาวร ซึ่งความแข็งจะเป็นตัวควบคุมความเหนียวอีกทีหนึ่ง ถ้าวัสดุที่มีความเหนียวจะมีความแข็งประมาณไม่เกิน 44-48 Rc (Rockwell) หรือ 410-453 BHN (Brinell Hardness Test) แต่ถ้าวัสดุมีความแข็งเกินนี้แล้ววัสดุนั้นก็จะเป็นวัสดุที่มีความเปราะ

2.2.8.3 ความต้านทานความสึกหรอ จะเป็นความสามารถของวัสดุที่จะต่อต้านการขัดถูของวัสดุหรือโลหะอื่น ๆ หรือมีความคงที่เมื่อสัมผัสกับวัสดุที่มีความแข็งเท่ากับปกติแล้ว วัสดุที่มีความแข็งมากก็จะทนการสึกหรอไม่มากเช่นเดียวกัน

2.2.8.4 ความสามารถในการตกแต่งวัสดุ จะมีสิ่งต่าง ๆ ที่นำมาพิจารณาถึงความสามารถในการตกแต่งซึ่งได้แก่ อัตราเร็วในการตัด อายุการใช้งาน และความเรียบของผิวหน้า

2.2.8.5 ความแข็งแรงต่อแรงดึง ซึ่งเป็นการวัดความต่อต้านแรงดึงของวัสดุ ความแข็งแรงต่อแรงดึงนี้เป็นการทดสอบอย่างแรกที่จะใช้บอกถึงความแข็งแรงของวัสดุว่าเป็นอย่างใด ความแข็งแรงต่อแรงดึงนี้จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความแข็งจนถึงความแข็งประมาณ 54 Rc หรือ 544 BHN แต่ถ้าเกินจุดนี้แล้วความเปราะก็จะทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงมีค่าไม่ถูกต้องแน่นอน

2.2.8.6 ความแข็งแรงต่อแรงเฉือน จะเป็นการวัดความต้านทานแรงเฉือนของวัสดุซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปความแข็งแรงต่อแรงเฉือนนี้จะมีค่าประมาณ 60% ของความแข็งแรงต่อแรงดึง ปัจจัยที่จะควบคุมคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นโลหะก็คือ ส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ และวิธีการอบชุบ ส่วนคุณสมบัติของวัสดุที่ไม่ใช่โลหะจะควบคุมโดยธรรมชาติของวัสดุหรือกระบวนการระหว่างการผลิต ซึ่งปกติแล้วจะไม่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้หลังจากผ่านกระบวนการผลิตแล้ว

ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ มีความสำคัญมากแต่ก็ยังไม่เพียงพอ นักออกแบบจะต้องรู้ว่าวัสดุอะไรเมื่อนำมาใช้แล้วจะได้ผลตามที่ต้องการวัสดุที่ใช้ทำจิ๊กและฟิกซ์เจอร์แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้คือ โลหะจำพวกเหล็ก โลหะที่ไม่ใช่เหล็กและวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ

2.3 วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

ปราโมทย์ เศษอำไพ (2548) ได้กล่าวไว้ในหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่ายว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้เข้ามามีอิทธิพลต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน วิศวกรในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ พึ่งพาการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์เพื่อป้องกันถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องลงมือทดลองดูคั้งเช่นที่เคยทำกันมาในอดีต ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายทั้งทางด้านเวลาและปริมาณของวัสดุ หลีกเลี่ยงการทดลองที่ไม่จำเป็น และที่สำคัญที่สุดชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นมาชิ้นนั้นจะมีความถูกต้องให้ประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อาคารและโครงสร้าง ฯลฯ ล้วนนำไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์มาใช้ในการออกแบบกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

2.3.1 องค์ประกอบของความรู้ที่จำเป็น

องค์ประกอบความรู้ 5 ประการดังอธิบายต่อไปนี้ เป็นสิ่งที่ผู้ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์พึงมีอันเปรียบเสมือนหน้าต่าง 5 บาน ซึ่งหากเปิดออกได้กว้างมากเท่าใดก็จะทำให้เห็นความชัดเจนมากขึ้นเท่านั้น องค์ประกอบทั้ง 5 ประการ นี้คือ

2.3.1.1 ความเข้าใจในสมการเชิงอนุพันธ์ ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ล้วนตั้งอยู่บนรากฐานของสมการเชิงอนุพันธ์ยกตัวอย่างเช่น อุนทงูมิ T บนแผ่นเหล็กซึ่งวางตัวอยู่ในระนาบ x-y นั้นสามารถหามาได้จากความจริงที่ว่า ณ ตำแหน่งใด ๆ บนแผ่นเหล็กนี้ ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านเข้าและออกต้องเท่ากัน นั่นคือ พลังงานไม่สูญหายไปไหน (Conservation of Energy) ความจริงเช่นนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ได้ เช่น

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (2.1)$$

เป็นต้น ซึ่งความรู้ทางคณิตศาสตร์ เช่น แคลคูลัส และสมการเชิงอนุพันธ์ เพื่อแก้สมการหาผลลัพธ์ของอุณหภูมิ T ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ x และ y จะมีลักษณะเป็นเช่นไร

ในทำนองเดียวกันหากแผ่นเหล็กเดียวกันนี้ถูกดึงด้วยแรงตลอดขอบตรงข้ามทั้งสองด้าน แผ่นเหล็กจะเสียรูปและเกิดความเค้นขึ้นตามมา การวิเคราะห์หาลักษณะการเสียรูปและความเค้นทำได้จากการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอีกเช่นกันหากแต่อยู่ในรูปแบบที่ต่างกัน ซึ่งบ่งบอกถึงผลรวมของแรง ณ จุดใด ๆ บนแผ่นเหล็กนี้ต้องอยู่ในสภาวะที่สมดุล (Equilibrium) ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ จึงแฝงไปด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ตั้งต้นที่สอดคล้องกัน ดังนั้นก่อนที่จะนำไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ใด ๆ มาใช้จึงจำเป็นต้องรู้ว่าไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์นั้นถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์แบบใดสอดคล้องกับปัญหาทางกายภาพชนิดใด

2.3.1.2 ความเข้าใจในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ดังแสดงในหัวข้อที่แล้วด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เพียงลำพังนั้นเป็นสิ่งที่ไม่ง่ายเลย โดยเฉพาะหากรูปร่างของปัญหานั้นมีความซับซ้อน หัวใจของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือการแก้สมการดังกล่าวเพื่อหาผลลัพธ์โดยประมาณด้วยการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ ไปเป็นสมการทางพีชคณิต (Algebraic Equations) อันประกอบด้วยกระบวนการบวก ลบ คูณ และหาร เท่านั้นกระบวนการดังกล่าวนี้เองที่ศึกษากันในวิชาไฟไนต์เอลิเมนต์ ว่าขั้นตอนของการเปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ไปสู่สมการทางพีชคณิตอันประกอบด้วย บวก ลบ คูณ และหารนั้น ทำกันอย่างไรเพื่อให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

2.3.1.3 ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข สมการทางพีชคณิตอันเป็นผลมาจากการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์มานั้นประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าเป็นจำนวนมาก อีกทั้งจำนวนของสมการทางพีชคณิตนี้ยังขึ้นกับขนาดของปัญหา ทำให้ต้องใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods) อันประกอบด้วยกระบวนการอย่างเป็นขั้นเป็นตอนมาแก้เพื่อหาคำตอบ นอกจากนั้นสมการทางพีชคณิตที่เกิดขึ้นจากการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ในบางกรณี ยังอาจประกอบด้วยสิ่งต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของระเบียบวิธีเชิงตัวเลข นับตั้งแต่ฟังก์ชันการประมาณภายใน (Interpolation functions) การอินทิเกรตเชิงตัวเลข (Numerical Integration) การแก้ระบบสมการพีชคณิตขนาดใหญ่ (Solving a set of Simultaneous Equations) รวมไปถึงระเบียบวิธีต่าง ๆ เพื่อใช้แก้สมการแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Equations) เป็นต้น ความรู้ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเหล่านี้จะทำให้ผู้ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์เกิดความเข้าใจ และทราบล่วงหน้าก่อนทำการวิเคราะห์ว่าเป็นปัญหาชนิดใดและจะใช้เวลาในการคำนวณมากเพียงไร

2.3.1.4 ความเข้าใจในการประดิษฐ์ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ด้วยประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนี้ทำให้การแก้ปัญหาขนาดใหญ่เป็นไปได้ด้วยความรวดเร็ว การประดิษฐ์ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในการลดเวลาของการคำนวณ และขจัดข้อผิดพลาดที่เคยทำด้วยมือหรือด้วยการใช้เครื่องคิดเลขขั้นตอนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นเหมือนกันกับการทำด้วยมือ ดังนั้นหากผู้ใช้มีความรู้ความเข้าใจในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และสามารถเขียนโปรแกรมเองได้บ้าง ก็สามารถที่จะประดิษฐ์ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ประดิษฐ์นั้นยังขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้เขียน โดยตรง ความเข้าใจในไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงเป็นประโยชน์อย่างมากที่จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรมนั้นได้อย่างถูกต้องและมีความมั่นใจในผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น

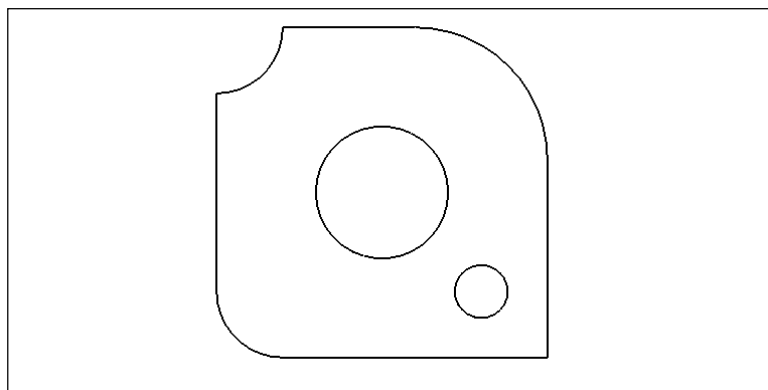
2.3.1.5 ประสบการณ์ในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ มีผลอย่างมากต่อการวิเคราะห์ปัญหา ความเข้าใจในระบบและศักยภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ (Hardware) ที่ใช้งานอยู่ จะช่วยในการตัดสินใจหลาย ๆ อย่างก่อนการแก้ปัญหา ประสบการณ์ในการใช้กราฟิกส์ซอฟต์แวร์ (Graphics Software) ที่เคยเกิดขึ้นในอดีต จะช่วยทำให้การใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์เป็นไปได้อย่างสะดวกและคล่องตัวมากยิ่งขึ้น นับตั้งแต่การสร้างรูปแบบกราฟิกส์บนหน้าจอ การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่มีเป็นจำนวนมาก รวมทั้งการแสดงผลด้วยระดับสีต่าง ๆ กัน ประสบการณ์ในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์จึงนับว่าเป็นประโยชน์ และเป็นข้อได้เปรียบอย่างมากในการแก้ปัญหาทั่วไปด้วยระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

2.3.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาใด ๆ โดยทั่วไปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ไม่ว่าจะทำด้วยมือหรือใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปก็ตาม ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

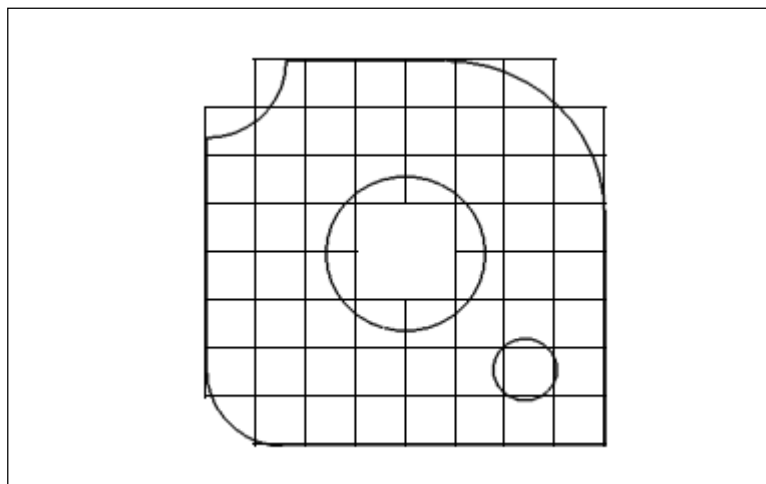
2.3.2.1 การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการวิเคราะห์การเสียดรูปของแผ่นเหล็กจากแรงดึง ซึ่งในขั้นตอนแรกจำเป็นต้องแบ่งแผ่นเหล็กออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ (Discretization) หรือหากต้องการวิเคราะห์ลักษณะการไหลของน้ำในท่อจำเป็นต้องแบ่งโดเมนซึ่งเป็นน้ำนั้นออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ๆ ก่อน กระบวนการขั้นตอนแรกนี้โดยปกติจะใช้เวลามากในทางปฏิบัติ เพราะจำเป็นต้องสร้างรูปร่างของปัญหา (Geometry) อย่างถูกต้องขึ้นมาก่อน รูปร่างของปัญหาอาจประกอบด้วยส่วนเว้าส่วนโค้งที่มีความซับซ้อนดังนั้นการประดิษฐ์กราฟิกส์ซอฟต์แวร์ในส่วนนี้ขึ้นมาด้วยตนเองจึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้อันประกอบไปด้วยประสบการณ์ทางด้านนี้เป็นอย่างมาก

2.3.2.2 การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ ซึ่งเอลิเมนต์ย่อยที่แบ่งบนแผ่นเหล็กนั้น อาจเป็นเอลิเมนต์ในรูปแบบของสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าก็ได้ ถ้าแบ่งเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมตัวไม่รู้ค่า (Unknowns) จะอยู่ที่มุมทั้งสามของสามเหลี่ยมนั้น ซึ่งเรียกกันว่าจุดต่อ (Nodes) การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์จะสอดคล้องกับลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าที่ได้สมมติขึ้นบนเอลิเมนต์นั้น ๆ เช่น หากเลือกใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบสามจุดต่อที่มุมทั้งสามแล้ว ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นั้นจะถูกสมมติให้อยู่ในรูปแบบของแผ่นเรียบ (Flat Plane) เป็นต้น แต่หากเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสี่จุดต่อที่มุมทั้งสี่ ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมนี้อาจไม่เรียบแต่โค้งไปโค้งมาได้ ดังนั้นการเลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดต่าง ๆ กันจึงมีผลโดยตรงกับผลลัพธ์ที่จะคำนวณได้

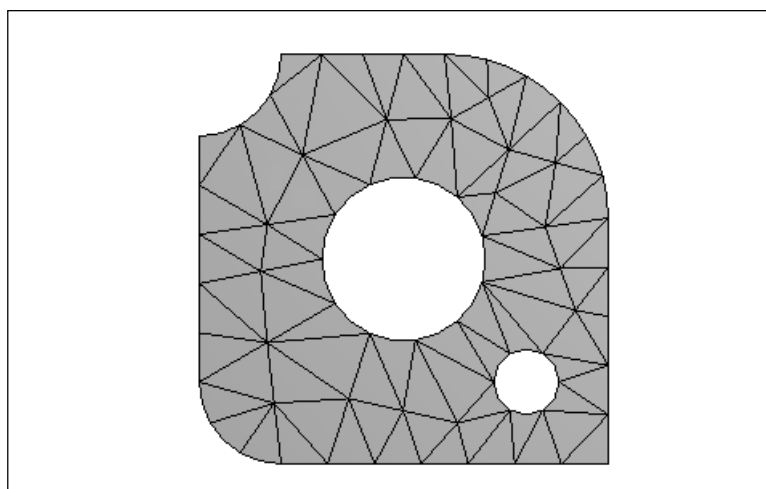


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะแผ่น โลหะที่มีรูปร่างซับซ้อน

ดั่งแผ่น โลหะชนิดหนึ่งตามรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นแผ่น โลหะที่ประกอบด้วยขอบ โค้ง ขอบตรง รวมทั้ง รูกลมที่มีขนาดต่างกัน เมื่อวิเคราะห์หาการกระจายของความเค้น (Stress Distribution) โดยวิธีการ ผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) แบ่งแผ่น โลหะออกเป็นช่องตารางสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าตารางสี่เหลี่ยมไม่สามารถจำลองรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของแผ่น โลหะได้ และหากใช้ ขนาดตารางสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเล็กลงซึ่งหมายถึงการเพิ่มจำนวนตารางมากขึ้นก็สามารถจำลอง รูปร่างลักษณะดั้งเดิมได้มากยิ่งขึ้นแต่จำนวนจุดต่อก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ใช้เวลา เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงนิยมแก้ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อน โดยทำการ แบ่งแผ่น โลหะดังรูปที่ 2.5 ที่มีการแบ่งเอลิเมนต์ในลักษณะของสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ซึ่งการแบ่งเอลิเมนต์ในลักษณะนี้สามารถจำลองรูปร่าง ลักษณะดั้งเดิมของแผ่น โลหะได้ดีกว่าซึ่ง ส่งผลให้ผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าใกล้เคียงของจริงมากที่สุด



รูปที่ 2.4 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.5 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า

2.3.2.3 การประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาที่สนใจอยู่นั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสมการทางพีชคณิตที่เรียกกันว่า สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Equations) สมการไฟไนต์เอลิเมนต์นี้จะถูกสร้างขึ้นสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ เนื่องจากเอลิเมนต์ต่างมีขนาดไม่เท่ากัน กระบวนการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์จากสมการเชิงอนุพันธ์นี้เองเป็นหัวใจของการศึกษาไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยทั่วไปจึงเน้นอธิบายเพื่อทำความเข้าใจในกระบวนการนี้ เพราะหากผู้ศึกษาเกิดความเข้าใจแล้วก็สามารถประยุกต์ใช้วิธีการทำนองเดียวกันนี้ในการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์อื่น ๆ ได้

2.3.2.4 การรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้ระบบสมการใหญ่ สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่อยู่ในรูปแบบของสมการทางพีชคณิตซึ่งได้ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับแต่ละ เอลิเมนต์ในขั้นตอนที่แล้วจำเป็นต้องนำมารวมกันอย่างถูกต้องและมีหลักการเปรียบเสมือนการนำ ชิ้นตัวต่อ (Jigsaw Puzzle) มาต่อเข้ากันอย่างถูกต้องและเหมาะสม จึงจะเกิดเป็นรูปภาพใหญ่ ที่สมบูรณ์ขึ้นได้ การประกอบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์แต่ละสมการเข้าด้วยกัน (Assembly of Element Equations) จะก่อให้เกิดระบบสมการขนาดใหญ่ จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ของปัญหานั้น ๆ ก่อนแก้ระบบสมการชุดนั้น เพื่อหาผลลัพธ์ที่จุดต่อซึ่ง ผลลัพธ์ที่จุดต่อเหล่านี้อาจแทนค่าอุณหภูมิ หากวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อน หรือแทนค่า การเคลื่อนตัวหากวิเคราะห์ปัญหาด้านการเสียดรูป และความเค้น เป็นต้น

2.3.2.5 การคำนวณหาค่าอื่น ๆ ที่เหลือจากนั้นจึงเป็นการหาค่าอื่น ๆ ที่ผู้ใช้ ต้องการทราบเพื่อจะทำให้ปัญหานั้นได้รับการวิเคราะห์โดยสมบูรณ์ เช่น เมื่อทราบอุณหภูมิตาม ตำแหน่งต่าง ๆ แล้วก็สามารถคำนวณหาปริมาณฟลักซ์ความร้อนที่ไหลผ่านได้ หรือเมื่อทราบค่า ของการเคลื่อนตัวแล้วก็สามารถคำนวณหาค่าความเค้นได้เช่นกัน เป็นต้น

2.3.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

กระบวนการแก้ปัญหาคด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.3.1 กระบวนการขั้นต้น (Pre-Processor) การสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ จากรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของปัญหา จากนั้นประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตก่อนวิเคราะห์ การสร้าง รูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์อันประกอบด้วยเอลิเมนต์เป็นจำนวนมากบนรูปร่างลักษณะของปัญหาที่ กำหนดมาให้ นั่นตามปกติจะใช้เวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากรูปร่างของปัญหามีความซับซ้อน ผู้สร้างรูปร่างบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ควรมีประสบการณ์ในการใช้ซอฟต์แวร์นั้น ๆ มาสักระยะ หนึ่งจึงสามารถสร้างรูปแบบที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพได้ เริ่มตั้งแต่สร้าง จุด เส้นตรง เส้นโค้งต่าง ๆ รวมทั้งพื้นผิว โดยข้อมูลของจุด เส้นตรง เส้นโค้ง และพื้นผิวเหล่านี้จะ ถูกเก็บในรูปแบบของสมการทางเรขาคณิตในหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น เพื่อผู้ใช้ สามารถสร้างเอลิเมนต์ทั้งขนาดและจำนวนต่าง ๆ กันได้โดยรูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ เกิดขึ้นยังเสมือนรูปร่างต้นแบบของจริงมากที่สุด รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังประกอบไป ด้วยหมายเลขของจุดต่อ เอลิเมนต์และข้อมูลอื่น ๆ หลังจากการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ เสร็จสิ้นลงแล้ว ผู้ใช้ต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขตอันอาจประกอบไปด้วย การกำหนดค่าให้กับบาง จุดต่อของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ให้เหมือนหรือใกล้เคียงกับของจริงให้มากที่สุด

2.3.3.2 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นและเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ในขั้นตอนแรก จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ (Analysis) ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งฝังตัวอยู่แล้วในซอฟต์แวร์ โดยไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีการสอดคล้องกับปัญหานั้นสำหรับในทุก ๆ เอลิเมนต์ ก่อนที่จะนำมาประกอบกันเข้าเป็นระบบสมการรวมขนาดใหญ่แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ จากนั้นจึงแก้ระบบสมการรวมขนาดใหญ่นั้นโดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมดซึ่งผู้ใช้ได้สร้างขึ้น และขนาดของระบบสมการรวมขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (Linear Partial Differential Equations) ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้เพียงครั้งเดียวทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นไม่มากนัก แต่หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้ด้วยการวนซ้ำ (Iteration) หลายรอบทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นนานมากขึ้น โดยเฉพาะหากรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยเอลิเมนต์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากผู้ใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปมีความเข้าใจถึงองค์ความรู้พื้นฐานภายในระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์บ้างก็จะช่วยในการตัดสินใจสิ่งต่าง ๆ ก่อนทำการวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะสามารถทุ่นเวลาในการคำนวณลงไปได้มากทีเดียว

2.3.3.3 กระบวนการขึ้นท้าย ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้วจะประกอบด้วยตัวเลขเป็นจำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ (Computer Graphics) โดยเฉพาะกราฟิกส์เพื่อแสดงตัวเลขจำนวนมากเหล่านี้ออกมาบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้ใช้เข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว กระบวนการขึ้นท้าย (Post-Processor) นี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งรูปแบบของการแสดงผลพล็อตนั้นมีหลายชนิดนับตั้งแต่การแสดงด้วยแถบชั้นสี (Fringe Plot) การแสดงด้วยเส้นชั้นสี (Contour Lines) และการแสดงด้วยเวกเตอร์ (Vector Plot) เป็นต้น ทั้งบนรูปทรงดั้งเดิมหรือบนรูปทรงที่เสียรูปไปแล้ว ดังนั้นความเข้าใจในผลลัพธ์อันเป็นผลจากรูปทรงที่ได้ออกแบบไปบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงอย่างรวดเร็วจะทำให้ผู้ออกแบบเข้าใจในปัญหานั้นได้อย่างลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น และอาจก่อให้เกิดแนวคิดในการปรับเปลี่ยนรูปทรงนั้นเพื่อก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นไปอีก กระบวนการดังกล่าวนี้เองที่ช่วยลดเวลาในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ลงไปได้มากในปัจจุบัน และสามารถหลีกเลี่ยงการลองผิดลองถูกที่เคยใช้กันในอดีตไปจนเกือบสิ้นเชิง

2.3.4 การออกแบบสำหรับความแข็งแรงสถิตยศาสตร์ (Design for Static Strength)

ทฤษฎีความเสียหาย (Failure Theories)

2.3.4.1 ความเค้นหลักสูงสุด (The Maximum Normal Stress Theory)

ทฤษฎีความหลักสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุที่เปราะ แต่สามารถรับแรงเฉือนได้ดี เช่น เหล็กหล่อ วัสดุดังกล่าวจะไม่มีจุดคราก ฉะนั้นจึงใช้ความต้านแรงดึงเป็นหลักแต่จะใช้กับวัสดุที่มีจุดครากก็ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงความต้านทานแรงดึงครากเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับทฤษฎีอื่น ๆ ได้ ทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นหลักสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงดึงครากของวัสดุนั้น

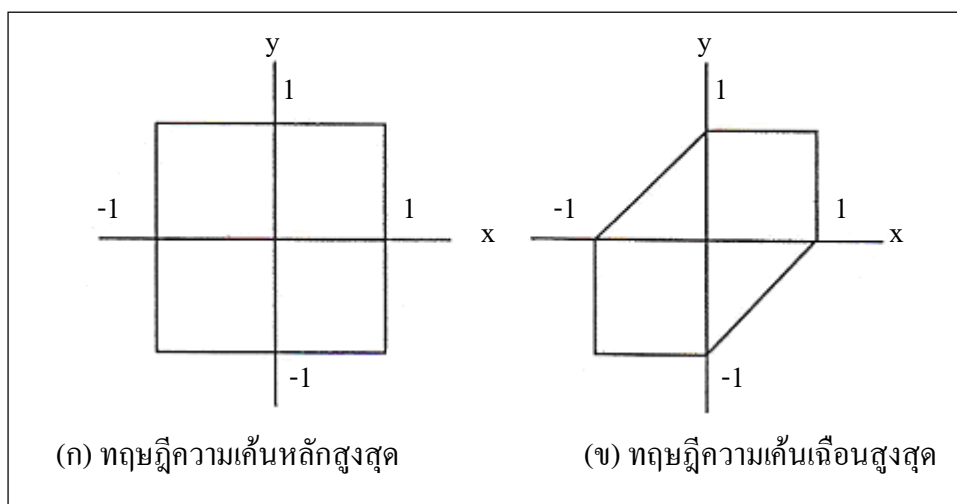
ความเค้นหลักสูงสุดในที่นี้หมายถึงค่าสมบูรณ์สูงสุด (Maximum Absolute Value) ถ้าพิจารณาเฉพาะระบบความเค้นสองมิติ ($\sigma_3 = 0$) และให้ N เป็นค่าความปลอดภัย สมการที่แสดงถึงทฤษฎีนี้ คือ

$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_y}{N} \quad \text{ถ้า} \quad |\sigma_1| > |\sigma_2|$$

$$\sigma_2 = -\frac{\sigma_y}{N} \quad \text{ถ้า} \quad |\sigma_2| > |\sigma_1|$$

$$x = \frac{N\sigma_1}{\sigma_y} \quad \text{และ} \quad y = \frac{N\sigma_2}{\sigma_y}$$

ซึ่งสามารถสร้างรูปแสดงขอบเขตของความเค้นผสมที่มีในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังรูปที่ 2.6 (ก)



รูปที่ 2.6 แสดงขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหาย

2.3.4.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด (The Maximum Shear-Stress Theory)

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุเหนียว เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเกณฑ์ของเทรסקา (Tresca's criterion) เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้กันมาก เพราะใช้ได้ง่ายและปลอดภัย ทฤษฎีนี้กล่าวว่าวัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดที่วัสดุได้รับแรงดึงจนถึงจุดครากระนาบเอียงทำมุม 45° กับแนวแรงดึงขึ้นทดสอบ ซึ่งตามทฤษฎีจะเริ่มเกิดความเสียหาย $\tau_{\max} = \frac{\sigma_y}{2}$ เพราะฉะนั้นสมการที่ต้องนำมาคิดในการออกแบบ คือ

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N} \quad (2.2)$$

โดยที่จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N}$$

$$\sigma_1 = \pm \frac{\sigma_y}{N}$$

$$\sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N}$$

หรือ $x - y = \pm 1$, $x = \pm 1$, $y = \pm 1$

โดยที่ x และ y มีความหมายเช่นเดียวกันสมการที่สามารถสร้างรูปแสดงขอบเขตของความเค้นที่ยอมให้มีได้ในวัสดุสำหรับขึ้นดั่งที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากจะมีสถานะของความเค้นเป็นกรณีพิเศษ ในกรณีนี้ถ้ายอมให้มีความเค้นเฉือนสูงสุด $\tau_{\max} = \frac{\tau_y}{N}$ จะจัดรูปสมการใหม่ได้

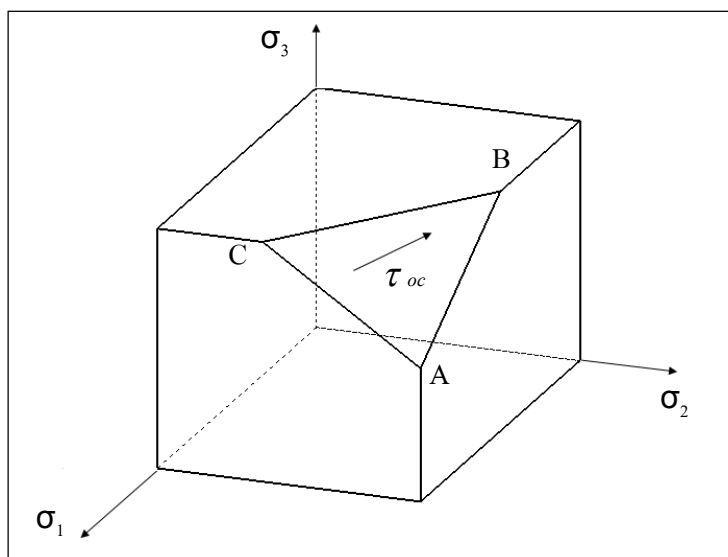
$$\frac{1}{N} = \left[\left[\frac{\tau}{\tau_y} \right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

โดยที่ $\tau_y = \frac{\sigma_y}{2}$

2.3.4.3 ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล (Octahedral Shear Stress Theory)

ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล และทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Distortion Energy Theory) ให้ผลในการคำนวณเหมือนกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลเท่านั้น ในทางทฤษฎีพลาสติกซิตี (Plasticity) มักจะเรียกชื่อทฤษฎีนี้ว่า ทฤษฎีของ von Mises ทั้งนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่บุคคลผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ขึ้นมาใช้

ระนาบออกตะฮีดรัล (Octahedral Plane) หมายถึงระนาบที่เอียงทำมุมกับทิศทางของความเค้นหลักทั้งสามเท่ากัน เช่น ระนาบ ABC ดังรูปที่ 2.7 ทิศทางโคไซน์ (Directional Cosine) ของระนาบนี้มีค่าเท่ากับ $1/\sqrt{3}$ และความเค้นเฉือนบนระนาบนี้เรียกว่า ความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล τ_{oc} ทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลในวัสดุ มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงขึ้นทดลองจนถึงจุดคราก



รูปที่ 2.7 แสดงระนาบออกตะฮีดรัล

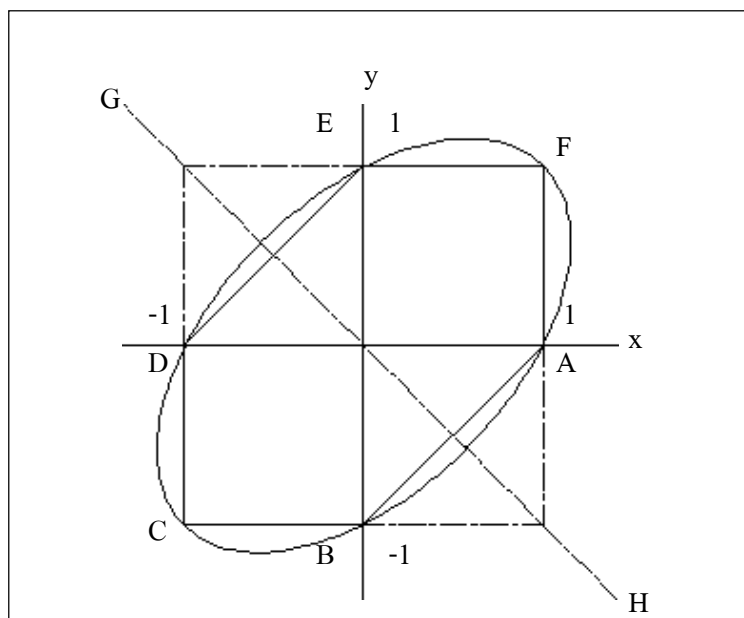
ในกรณีนี้ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้ความเค้นสามมิติ ค่าความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลคือ

$$\tau_{oc} = \frac{1}{3} \left[[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2 \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

ในการทดสอบแรงดึง ความเค้นหลัก σ_2 และ σ_3 เท่ากับศูนย์ และเมื่อถึงจุดครากความเค้นหลัก $\sigma_1 = \sigma_y$ ดังนั้นความเค้นเฉือนออกตะสีดรัล จะหาได้จากสมการ (2.4) โดยให้ $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ และ $\sigma_1 = \sigma_y$ นั่นคือ $\tau = \frac{\sqrt{2}}{3}\sigma_y = 0.471\sigma_y$ จากทฤษฎีนี้ความเสียหายหรือการครากจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อ $\tau_{oc} = \tau$ นั่นคือเมื่อ

$$2\sigma_y^2 = [\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2 \quad (2.5)$$

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลซึ่งพิจารณาความเค้นในสองมิติ ซึ่ง $\sigma_3 = 0$ และเมื่อใช้ค่าความปลอดภัย N สมการที่ (2.5) จะเหลือเพียง $\left[\frac{\sigma_y}{N}\right]^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2$ หรือ $1 = X^2 - XY + Y^2$ ซึ่งเป็นสมการของรูปวงรีที่มีความยาวครึ่งแกนยาวและครึ่งแกนสั้นเท่ากับ $\sqrt{2}$ และ $\sqrt{2}/3$ ตามลำดับ ดังนั้นรูปแสดงขอบเขตของความเค้นที่ยอมรับได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบจึงเป็นรูปวงรี



รูปที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้น

การเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหายทั้งสาม ทฤษฎีคูได้จากรูปที่ 2.8 ซึ่งจะพบว่าถ้าความเค้นภายในชิ้นงานที่รับแรงอยู่ ณ บริเวณ A B C D E หรือ F แล้วทฤษฎีทั้งสามจะให้ขนาดของชิ้นงานเท่ากัน แต่ทฤษฎีทั้งสามนี้จะแตกต่างกันมากที่สุดตาม แนวแกน GH เนื่องจากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดล้อมรอบพื้นที่น้อยที่สุด ดังนั้นชิ้นส่วนที่คำนวณหาขนาดโดยใช้ทฤษฎีนี้จะมีขนาดโตกว่าที่คำนวณโดยใช้อีกสองทฤษฎี (ยกเว้นที่จุดร่วมกัน) จักรูปสมการใหม่จะได้

$$\frac{1}{N} = \left[\left[\frac{\sqrt{3}\tau}{\sigma_y} \right]^2 + \left[\frac{\sigma}{\sigma_y} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.6)$$

ถ้าให้ $\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} = 0.577\sigma_y$ นอกจากนี้ยังมีทฤษฎีความเสียหายอื่น ๆ เช่น ทฤษฎีความเครียดสูงสุด (Maximum principal strain theory) และทฤษฎีพลังงานความเครียดสูงสุด (Maximum strain energy theory) แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.4 คัสซี (Chassis)

อำพล ชื้อตรง (2531) ได้กล่าวไว้ใน หนังสือ คัสซีและตัวรถว่า โครงฐาน (Chassis frame) รถยนต์ที่ใช้โครงฐานอยู่ปัจจุบัน มีรถบรรทุกทั้งเล็กและใหญ่ รถพ่วง และรถโดยสาร ทำหน้าที่รับ น้ำหนักและส่วนประกอบของรถกับน้ำหนักบรรทุก และยึดส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น คาน แหนบ ตัวถังถ้าโครงฐานเสียศูนย์ จะมีผลต่อการใช้รถ การสึกหรอ บังคับยาก ลดความปลอดภัย

2.4.1 ประเภทของคัสซี

2.4.1.1 โครงฐานรถบรรทุก

2.4.1.2 โครงฐานกับพื้นเป็นหน่วยเดียวกัน

2.4.1.3 โครงฐานกับตัวรถเป็นหน่วยเดียวกัน

2.4.1.4 โครงฐานแบบเชื่อมกันเป็นแผงโครงฐานแบบนี้มีชื่อเรียกว่า โมโนคอค

ซึ่งจะมีน้ำหนักเบา และพื้นต่ำ เป็นพื้นรถโดยสาร รถแข่ง และรถสปอร์ต ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงฐานเชื่อมต่อกันเป็นแผงต่อเนื่อง

พงษ์ศักดิ์ บุญธรรมกุล (2543) ได้กล่าวไว้ในหนังสือ เทคนิคการติดตั้งตัวถังรถบรรทุกว่า ในระหว่างการติดตั้งโครงคัสซี จงระวังอย่าให้ส่วนโครงคัสซีเกิดการเสียหาย และได้รับแรงหรือ แปรสภาพจากการกระทำหรือสิ่งแวดล้อมโดยมีข้อจำกัดดังนี้

2.4.2 การเชื่อมโครงสร้าง

โครงรถของรถยนต์ที่ต้องบรรทุกใช้การตอกหมุดเพื่อหลีกเลี่ยงการเชื่อมข้อควรระวังโครงรถที่ทำด้วยเหล็กมีแรงดึงสูงจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน และความแข็งนั้นจะลดลงถ้าการเชื่อมทำไม่ถูกวิธี การเชื่อมด้วยไฟฟ้าควรใช้เมื่อเชื่อมโครงเหล็กคัสซี (Chassis) โดยมีข้อควรระวังดังนี้

2.4.2.1 อย่าเชื่อมเป็นจุด ๆ แม้ว่าจะเป็นการเชื่อมแบบชั่วคราว จะทำให้เกิดรอยแตกง่ายและจะทำให้เกิดความเค้นได้

2.4.2.2 พื้นผิวที่จะเชื่อมจะต้องทำความสะอาดเป็นอย่างดี น้ำมัน สี น้ำ สนิม ปูน และสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ ที่อยู่บนพื้นผิวที่จะเชื่อม จะทำให้เกิดรูพรุนและรอยแตกได้

2.4.2.3 สแตกจากการเชื่อมของแต่ละชั้นต้องกำจัดให้หมด เพราะสแตกจะทำให้ลดความแข็งแรงของการเชื่อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะทำให้เกิดรอยย่น

2.4.2.4 จงเลือกเหล็กเชื่อม กระแสไฟฟ้า และความเร็วของการเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อป้องกันข้อบกพร่อง

2.4.2.5 กำลังไฟที่ต้องการสำหรับการเชื่อมด้วยไฟฟ้า คือ DC ลวดเชื่อมจะเป็นขั้วบวกแต่ในคู่มือการเชื่อม การใช้ AC ในการเชื่อมที่มีขั้วลบลงดินให้ต่อขั้วลบเหมือนกันก็ได้

2.4.2.6 เพื่อที่จะลดความเค้นที่เหลือ จงให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่ก่อนการเชื่อมประมาณ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ตะเกียงพ่นความร้อน ขอแนะนำให้ใช้ปลายค้อนทุบหลังการเชื่อมในบริเวณที่เย็น

2.4.2.7 เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้าของรถ จงแน่ใจว่าได้ถอดขั้วแบตเตอรี่และต่อกับเหล็กที่เชื่อมลงดินแล้ว

2.4.2.8 ดูแลความปลอดภัยและสุขภาพสำหรับคนงาน การปฏิบัติงานที่ทำบนโครงรถหรือบนที่สูง เพื่อป้องกันเพลิงไหม้หรือดวงตาจากเปลวไฟ ควรให้พวกเขาสวมเครื่องป้องกันอันตรายด้วย

2.4.3 วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างหลักรถโดยสาร

สแตนเลสสตีล หรือ ตามศัพท์บัญญัติเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ (น้อยกว่า 2%) ของน้ำหนัก มีส่วนผสมของโครเมียมอย่างน้อย 10.5% กำเนิดขึ้นในปี พ.ศ.1903 เมื่อนักวิทยาศาสตร์พบว่า การเติมนิเกิล โมลิบดีนัม ไททาเนียม ในโอเนียม หรือ โลหะอื่นแตกต่างกันไปตามชนิดของคุณสมบัติเชิงกล และการใช้ในเหล็กกล้าธรรมดาทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้ ประเภทของสแตนเลสแบ่งได้ 4 ชนิดหลัก

2.4.3.1 เกรดออสเทนนิติก (Austenitic) แม่เหล็กดูดไม่ติด นอกจากส่วนผสมของโครเมียม 18% แล้ว ยังมีนิกเกิลที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนอีกด้วย ชนิดออสเทนนิติกเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ในบรรดาสแตนเลสสตีลด้วยกัน ส่วนออสเทนนิติกที่มีโครเมียมผสมอยู่สูง 20% ถึง 25% และนิกเกิล 1% ถึง 20% จะสามารถทนการเกิดออกซิไดซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งใช้ในส่วประกอบของเตาหลอม ท่อนำความร้อน และแผ่นกันความร้อนในเครื่องยนต์ จะเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดทนความร้อน (Heat Resisting Steel)

2.4.3.2 เกรดเฟอร์ริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำ มีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลัก คือประมาณ 13% หรือ 17% มีค่าความจำนนความแข็งแรง (Yield Strength : YS) และค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength : UTS) ปานกลาง เมื่อรวมกับค่าความยืดตัวสูงสุด (Elongation : EL) จึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดี

2.4.3.3 เกรดมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 12% และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง มักนำไปใช้ทำส้อม มีด เครื่องมือตัด และเครื่องมือวิศวกรรมอื่น ๆ ซึ่งต้องการคุณสมบัติเด่นในด้านการต้านทานการสึกกร่อน และความแข็งแรงทนทาน มีค่าความจำนนความแข็งแรง (Yield Strength : YS) และค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength : UTS) สูงมากในสภาพที่ผ่านการอบชุบ แต่จะมีค่าความยืดตัวสูงสุด (Elongation : EL) ต่ำ

2.4.3.4 เกรดดูเพล็กซ์ (Duplex) แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ริติกและออสเทนนิติกมีโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 18%-28% และนิกเกิล 4.5%-8% เหล็กชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอรินสูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนที่เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดดัน (Stress corrosion cracking resistance)

สแตนเลสสตีล ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ออสเทนนิติก และเฟอร์ริติก ซึ่งคิดเป็น 95% ของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

คุณสมบัติทางกายภาพ สแตนเลสสตีลสตีลเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประเภทอื่นจะมีค่าความหนาแน่นสูงแตกต่างจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด ในส่วนของคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อน ความสามารถทนความร้อนของสแตนเลสสตีล มีข้อสังเกต 3 ประการ

- การที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มีความต้านทานความคืบได้ดีเมื่อเทียบกับเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส
- การที่มีค่านำความร้อนระดับปานกลาง ทำให้สแตนเลสสตีลเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องทนความร้อนหรือต้องการคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี (เครื่องถ่ายความร้อน)

- การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระดับปานกลางจึงสามารถใช้ความยาวมากได้ โดยใช้ตัวเชื่อมน้อย (เช่น ในการทำหลังคา)

คุณสมบัติเชิงกล สเตนเลสตีลทั่วไปจะมีส่วนผสมของเหล็กประมาณ 70%-80% จึงทำให้มีคุณสมบัติของเหล็กที่สำคัญ 2 ประการคือ ความแข็งและความแกร่ง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติเชิงกลกับวัสดุชนิดอื่น จะเห็นได้ว่าพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมีความแข็งแรง และโมดูลัส ความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนเซรามิกมีความแข็งแรงสูงแต่มีความแกร่งหรือความสามารถรับแรงกระแทกโดยไม่แตกหักต่ำส่วนสเตนเลสตีลนั้นให้ค่าความแข็ง ความแกร่ง และความเหนียวในระดับปานกลางที่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุเหล็กอยู่มาก และจะมีเพิ่มขึ้นอีกในชนิดออสเทนนิติก

2.5 การเชื่อม MIG (Gas Metal-arc Welding)

การเชื่อม MIG เป็นขบวนการเชื่อมที่ทดแทนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ที่สามารถเชื่อมโลหะได้หลายชนิด ขบวนการเชื่อมได้พัฒนาให้สามารถเชื่อมได้ทั้งชนิดที่ควบคุมการเชื่อมด้วยมือและระบบอัตโนมัติ การเชื่อม MIG เป็นการเชื่อมที่ได้รับความร้อนจากการอาร์กกระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน สำหรับลวดเชื่อมที่ใช้เป็นลวดเชื่อมเปลือยแข็งที่ส่งป้อนอย่างต่อเนื่องไปบริเวณอาร์ก และเป็นโลหะเติมลงยังบ่อหลอมละลาย บริเวณบ่อหลอมละลายจะถูกปกคลุมด้วยแก๊สปกคลุมไม่ให้เกิดการรวมตัวกับอากาศ ซึ่งอาจจะเป็นแก๊สบริสุทธิ์ หรือแก๊สผสมก็ได้

2.5.1 ข้อดีของการเชื่อม MIG

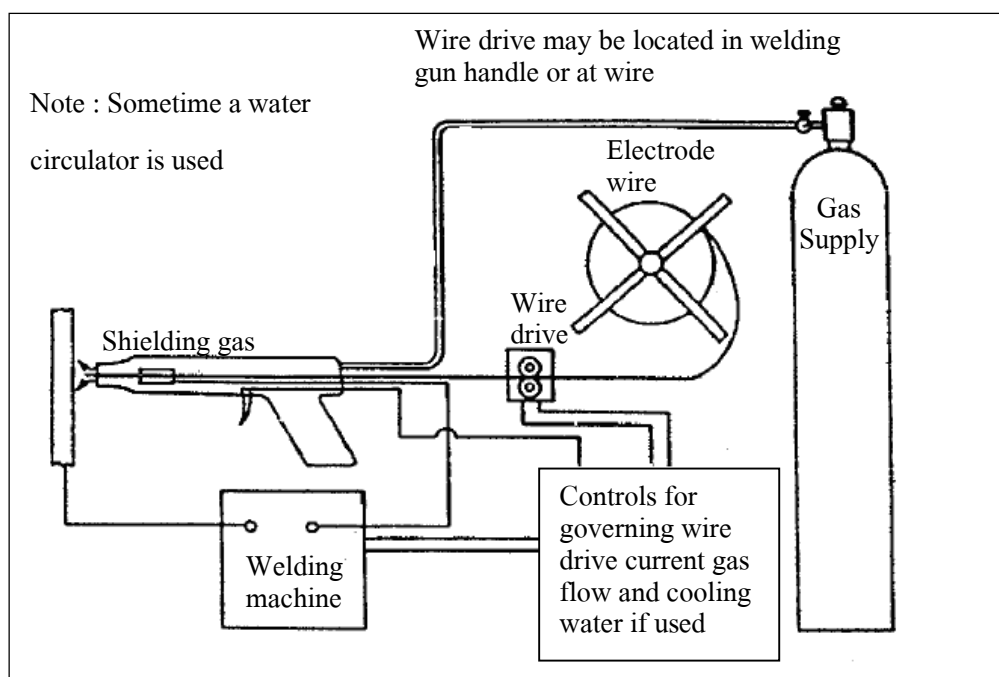
- 2.5.1.1. สามารถเชื่อมได้ทุกท่าเชื่อม
- 2.5.1.2. แนวเชื่อมไม่มีสแลกปกคลุมจึงไม่เสียเวลาในการเคาะสแลกออก
- 2.5.1.3. ไม่มีเขม่าและควันขณะเชื่อม
- 2.5.1.4. สามารถมองเห็นบ่อหลอมละลายของการเชื่อมได้อย่างชัดเจน
- 2.5.1.5. การเชื่อมกระทำได้เร็ว จึงประหยัดเวลาและลดต้นทุนการผลิต
- 2.5.1.6. งานเชื่อมมีการเสียรูปน้อย
- 2.5.1.7. คุณภาพของแนวเชื่อมสูง
- 2.5.1.8. สามารถเชื่อมงานที่มีระยะห่างรอยต่อ (Gap) มาก ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง
- 2.5.1.9. ลวดเชื่อมเป็นม้วนยาวสามารถเชื่อมได้แนวยาวและไม่มีเศษปลายลวดเชื่อมที่ต้องทิ้งมากเหมือนกับการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์

2.5.2 ข้อเสียของการเชื่อม MIG

- 2.5.2.1. อุปกรณ์ซับซ้อนและไม่สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย
- 2.5.2.2. ไม่สามารถเชื่อมในบริเวณจำกัดได้
- 2.5.2.3. ถ้าเชื่อมเหล็กที่สามารถชุบแข็งได้ อาจทำให้แนวเชื่อมแตก เนื่องจากไม่มีสแลกปกคลุมแนวเชื่อมเพื่อช่วยลดอัตราเย็นตัว
- 2.5.2.4. ไม่เหมาะกับงานสนาม ภายนอกอาคารเนื่องจากลมจะพัดเอาแก๊สปกคลุมหนีไป

2.5.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานเชื่อม MIG ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

- 2.5.3.1. เครื่องเชื่อม (Welding machine) เป็นเครื่องเชื่อมไฟกระแสตรงต่อกลับขั้ว (DCRP) ชนิดแรงเคลื่อนคงที่ (Constant voltage) สำหรับกระแสตรงต่อขั้วตรง (DCSP) อาจจะมีใช้ไม่มากนัก เนื่องจากเป็นกระแสไฟที่ทำให้การซึมลึกต่ำกว่ากระแสตรงต่อกลับขั้ว (DCRP)



รูปที่ 2.9 แสดงอุปกรณ์เชื่อม

2.5.3.2. เครื่องป้อนลวดและระบบควบคุม (Feed control and control system) เครื่องป้อนลวดรวมอยู่ในชุดควบคุม ซึ่งต่อโดยตรงกับเครื่องเชื่อม เครื่องป้อนลวดมีอยู่ 2 ชนิด จึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับเครื่องเชื่อม และการนำไปใช้งานสำหรับการเชื่อมแบบ MIG นั้นใช้เครื่องป้อนลวดชนิดความเร็วคงที่ (Constant Speed) ซึ่งเหมาะสมกับเครื่องเชื่อมแบบแรงเคลื่อนคงที่ และลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็กด้วย เครื่องป้อนลวดชนิดนี้จะมีที่ปรับความเร็วของลวดซึ่งสามารถเลือกปรับได้ตามขนาดความเหมาะสมกับงานเชื่อม ชุดเครื่องป้อนลวดประกอบด้วยมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนป้อนลวดจากขดลวดให้ออกสู่บริเวณบ่อหลอมละลายที่ปลายหัวเชื่อม ซึ่งกลไกการขับเคลื่อนอาจเป็นระบบเฟืองก็ได้ ซึ่งสามารถเปลี่ยนใช้กับลวดแต่ละขนาดได้ในชุดควบคุมนี้จะมี Solenoids ควบคุมการไหลของแก๊สปกคลุมการอาร์กและนำระบายความร้อนที่หัวเชื่อมรวมอยู่ด้วย

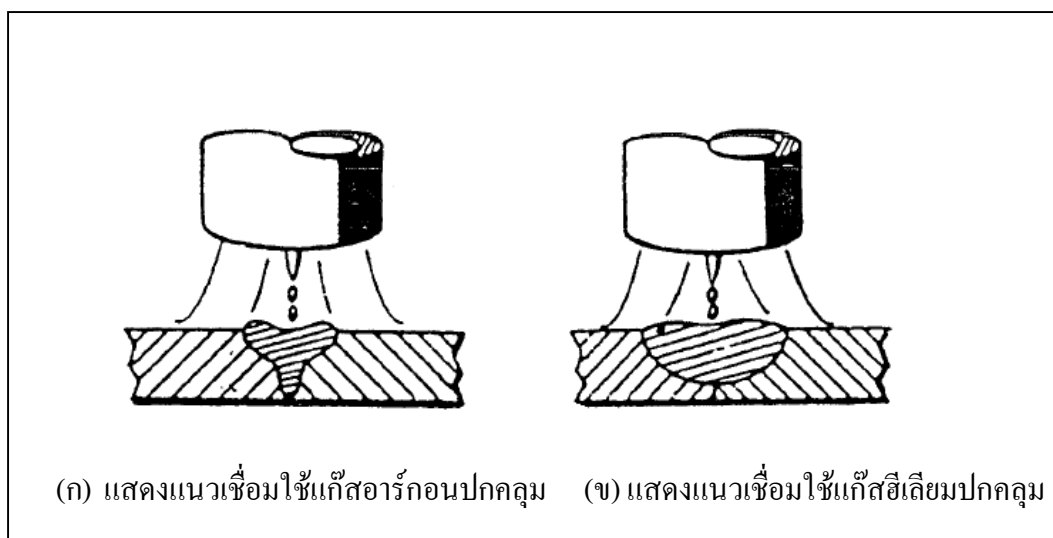
2.5.3.3. หัวเชื่อม (Welding gun or torch) หัวเชื่อม MIG แตกต่างกันจากหัวเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เนื่องจากหัวเชื่อม MIG ต้องจ่ายแก๊ส ปกคลุมบริเวณอาร์ก และเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้ากับลวดเชื่อมสู่บริเวณอาร์ก หัวเชื่อมจะประกอบติดอยู่กับสายเชื่อม ซึ่งสายเชื่อมนั้นจะเป็นทางผ่านแก๊สปกคลุม ลวดเชื่อมและกระแสไฟ โดยภายในของสายเชื่อมที่ลวดผ่านจะทำให้ด้วยเหล็กสปริงที่ม้วนขดเป็นท่อ และภายนอกจะหุ้มไว้ด้วยท่อพลาสติกลักษณะของหัวเชื่อมมีทั้งชนิดตัวตรงและหัวโค้ง

การเลือกใช้หัวเชื่อม หัวเชื่อมที่ใช้กันอยู่มีแบบระบายความร้อนด้วยน้ำกับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งในการเชื่อมใช้หัวเชื่อมทั้งสองแบบนี้ต้องคำนึงถึงชนิดของแก๊สปกคลุมกระแสเชื่อมแรงเคลื่อนและลักษณะของรอยต่อ

2.5.3.4. แก๊สปกคลุม (Shielding gas) เป็นแก๊สที่ใช้ปกคลุมบริเวณเชื่อมและบ่อหลอมละลาย ไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสปาร์ค เนื่องจากวัสดุงานรวมตัวกับออกซิเจน ไนโตรเจน และไอน้ำในอากาศ

การหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวนั้นกระทำได้โดยการใส่แก๊สปกคลุมซึ่งเดิมใช้แก๊สเฉื่อยจำพวกอาร์กอนและฮีเลียม แต่ปัจจุบันใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และออกซิเจนผสมกับแก๊สเฉื่อย สำหรับแก๊สอาร์กอน ฮีเลียม และ CO_2 สามารถใช้ได้เลยโดยไม่ต้องผสมกับแก๊สอื่นใดหรืออาจจะผสมกับแก๊สอื่นเพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีความสมบูรณ์

แก๊สอาร์กอน เป็นแก๊สเฉื่อยที่นำความร้อนต่ำจึงเกิดเปลวอาร์กแคบและมีความเข้มข้นสูง ทำให้งานได้รับพลังงานและความร้อนสูง ดังนั้นแนวเชื่อมจะแคบและซึมลึก



รูปที่ 2.10 แสดงแนวเชื่อมใช้แก๊สปกคลุม

แก๊สฮีเลียม แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สเฉื่อย มีน้ำหนักเบากว่าแก๊สอาร์กอน และนำความร้อนดีกว่าอาร์กอน ดังนั้นเปลวอาร์กที่เกิดจากการใช้แก๊สฮีเลียมปกคลุม จะขยายกว้าง และความเข้มข้นของการอาร์กจะต่ำกว่าเมื่อใช้แก๊สฮีเลียม จึงได้แนวเชื่อมกว้างและซึมลึกน้อยกว่าใช้แก๊สอาร์กอน

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊ส CO_2 ซึ่งอยู่ในลักษณะของสารประกอบที่ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจน ซึ่งมีใช่เป็นแก๊สเฉื่อยเหมือนกับแก๊สอาร์กอนและแก๊สฮีเลียม ดังนั้นในบริเวณที่มีความร้อนสูงจะเกิดออกซิเจนอิสระ เมื่อใช้แก๊ส CO_2 เป็นแก๊สปกคลุมและเปลวอาร์กที่เกิดขึ้นจะกว้างกว่าการใช้แก๊สอาร์กอนแต่จะแคบกว่าการใช้แก๊สฮีเลียม แนวเชื่อมที่ปกคลุมด้วย CO_2 จะมีความกว้างปานกลาง การซึมลึกดี การหลอมละลายดี ลักษณะแนวเชื่อมดี และไม่เกิดการกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อม แต่การใช้แก๊ส CO_2 จะเกิดเม็ดโลหะและอาร์กไม่สม่ำเสมอ

2.5.3.5. ลวดเชื่อม (Electrode wire) ลวดเชื่อมเป็นหัวใจสำคัญของการเชื่อม MIG ดังนั้นจึงต้องรู้จักเลือกให้ถูกต้อง ลวดเชื่อมจะหลอมผ่านเปลวอาร์กไปยังบ่อหลอมละลายเกิดเป็นแนวเชื่อม ซึ่งลวดเชื่อมที่ผ่านเปลวอาร์กนั้น จะทำปฏิกิริยากับแก๊สปกคลุม จึงทำให้ส่วนผสมของลวดเปลี่ยนไป และจะเป็นผลต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางกลของเนื้อเชื่อมก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของลวดแต่ละชนิดนั้น ควรทำความรู้จักธาตุที่เติมลงในลวดเชื่อมเหล็กเสียก่อน ดังนี้

ซิลิคอน (Si) ซิลิคอนเป็นธาตุจำพวก Deoxidizer โดยทั่วไปจะมีประมาณ 0.40%-1.00% ถ้าซิลิคอนในลวดเชื่อมมากขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น แต่ Ductility และ Toughness ลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามถ้ามีซิลิคอน 1%-1.2% แนวเชื่อมมีโอกาสแตกได้ง่าย

แมงกานีส (Mn) แมงกานีสเป็นธาตุจำพวก Deoxidizer และช่วยเพิ่มความแข็งแรง มีผสมในลวดเชื่อมเหล็กละมุนประมาณ 1.00%-2.00% เมื่อเพิ่มปริมาณแมงกานีสจะทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นดีกว่าการเพิ่มซิลิคอน และแมงกานีสยังช่วยลดการแตกขณะร้อนของแนวเชื่อมด้วย

อะลูมิเนียม (Al) ไทเทเนียม (Ti) และเซอร์โคเนียม (Zr) ธาตุเหล่านี้เป็น Deoxidizer ผสมลงในลวดเชื่อมโดยมีปริมาณรวมกันแล้วไม่เกิน 0.2% ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับแนวเชื่อม

คาร์บอน (C) เป็นธาตุที่สำคัญมีอิทธิพลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกลของโลหะมากที่สุด ลวดเชื่อม MIG โดยทั่วไปจะมีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.05%-0.12% ซึ่งจะให้ความแข็งแรงกับแนวเชื่อม โดยไม่เกิดผลเสียต่อการเกิดรูพรุน Ductility และ Toughness

ธาตุอื่น ๆ ได้แก่ นิกเกิล โครเมียมและโมลิบดีนัม โดยเติมลงในลวดเชื่อมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อการกัดกร่อน ถ้าเติมธาตุดังกล่าวลงไป ในลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนจำนวนเล็กน้อยจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและ Toughness ให้กับแนวเชื่อม แต่สำหรับลวดเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีธาตุดังกล่าวนี้ผสมอยู่จำนวนมาก โดยทั่วไปเมื่อใช้แก๊สปกคลุมที่เป็นอาร์กอนผสมกับออกซิเจน 1%-3% หรืออาร์กอนผสมกับ CO₂ จำนวนเล็กน้อยจะได้แนวเชื่อมที่มีส่วนผสมของธาตุต่าง ๆ ใกล้เคียงกับส่วนผสมของลวดเชื่อม

2.6 การศึกษาการเคลื่อนไหวนิวและเวลา

การหาเวลาค่าเผื่อต่าง ๆ และการหาเวลามาตรฐาน (Allowances and Standard Time) เวลามาตรฐานจะคำนวณจากเวลาปกติรวมกับค่าของเวลาเผื่อ

$$\text{Standard Time} = \text{Normal Time} (1 + \text{Allowances}) \quad (2.7)$$

2.6.1 เวลาค่าเผื่อ (Allowance Time)

Normal Time ที่ได้จากการคำนวณ คือ เวลาปกติซึ่งคนงานที่ชำนาญทำงานด้วยความเร็วปกติแต่การทำงานทุกอย่างไม่ใช่จะทำโดยไม่มีกรหยุดพักผ่อน หรือเกิดเหตุล่าช้าเลย ดังนั้นจึงต้องมีเวลาเผื่อไว้ให้สำหรับกรณีต่าง ๆ ซึ่งสมเหตุสมผล เวลาเผื่อที่ยอมรับมีอยู่ 3 อย่าง คือ

2.6.1.1 เวลาเผื่อสำหรับบุคคล (Personal Allowance) คือ เวลาเผื่อให้คนงานทำกิจส่วนตัว เช่น ไปห้องน้ำ ล้างมือ พักดื่มน้ำ เป็นต้น เวลาเผื่อส่วนบุคคลนี้แม้ว่าจะแตกต่างกันสำหรับบุคคลต่าง ๆ แต่ก็ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและชนิดของงานด้วย ปกติแล้วจะคิดไว้ 5% ของเวลาทำงานใน 1 วัน (ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน) ก็จะมีเวลาเผื่อ $0.05 \times 8 \times 60 = 24$ นาที

2.6.1.2 เวลาเผื่อสำหรับความเครียด คือ เวลาเผื่อสำหรับความเมื่อยล้าเนื่องจากการทำงาน แต่ในสภาพของการทำงานปัจจุบัน ความเหนื่อยล้าแทบจะไม่มีผลต่อการทำงานเลย เพราะสภาพการทำงานได้ถูกปรับปรุงจนเหมาะสมที่สุดแล้ว และในการทำงานธรรมดาในอัตราการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวันนั้น ผลผลิตที่ได้สูงกว่าการทำงาน 9 ชั่วโมงต่อวัน นอกจากนี้ค่าความเครียดที่แท้จริงไม่สามารถวัดได้จริง อยู่กับการทำงานหนักของคนงานจำเป็นต้องมีเวลาพักแต่เวลาที่ต้องการพักนี้ก็ขึ้นกับ บุคคล ช่วงเวลาที่ต้องการทำงานก่อนจะได้พักและสภาพแวดล้อมของการทำงาน ในกรณีที่มีการทำงานหนัก และเกี่ยวข้องกับการต้องใช้เวลาเผื่อสำหรับความเครียดทางร่างกายได้สรุปผลของเวลาเผื่อเป็น % ของ Normal Time ไว้คร่าว ๆ ดังตารางที่ 2.1

การปรับค่าเผื่อสำหรับความเครียดหรือความเหนื่อยล้านี้ส่วนใหญ่มักได้จากการทดลองเปลี่ยนระยะเวลาของการพักไปเรื่อย ๆ แล้วดูผลงาน ซึ่งบางแห่งสามารถจะสร้างออกมาเป็นตารางเฉพาะสำหรับงานในโรงงานของตนเอง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้โรงงานทั่วไปมักมีเวลาพักเหนื่อยประมาณ 5-15 นาทีในช่วงครึ่งเช้า และครึ่งบ่ายของการทำงานเพื่อให้พนักงานและคนงานได้คลายความเครียดอยู่แล้วเวลาพักช่วงสั้น ๆ นี้มีประโยชน์ คือ

- ลดความแตกต่างในความสามารถของการทำงานของคนงานตลอดวัน และช่วยให้ระดับการทำงานใกล้เคียงสูงสุดเสมอ
- ลดความซ้ำซากจำเจของงาน
- ให้คนงานได้ฟื้นตัวจากความล้าของกล้ามเนื้อบางกลุ่ม
- ลดการเสียเวลาที่คนงานจะต้องพักในระหว่างการทำงานลง

ในโรงงานซึ่งไม่ได้ใช้ระบบการจ่ายเงินรางวัลจากผลงาน เวลาพักนี้จะรวมเข้าในเวลาทำงาน แต่โรงงานซึ่งมีการใช้ระบบการจ่ายเงินรางวัล ค่าเผื่อของความเหนื่อยล้านี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณเวลามาตรฐาน และคนงานจะไม่ได้รับสิทธิ์ในการเอาเวลาพักนี้ไปรวมกับเวลาทำงานปกติ

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเวลาเพื่อ

| Allowances | | Men (%) | Women (%) |
|----------------------------------|------------|---------|-----------|
| Standing allowance | | 2 | 4 |
| Weight allowance | | | |
| Weight encountered (lb) : | 5 | 0 | 1 |
| | 10 | 1 | 2 |
| | 20 | 3 | 4 |
| | 40 | 9 | 13 |
| | 50 | 13 | 20(max) |
| | 70 | 22 | - |
| Bad light | | 2 | 2 |
| Heat & Humidity | | | |
| Cooling power (Kata thermometer) | 12 or more | 0 | - |
| | 10 | 3 | - |
| | 8 | 10 | - |
| | 6 | 21 | - |
| Fine or exacting work | | 2 | 2 |
| Noise level : | | | |
| Intermittent, loud | | 2 | 2 |
| Intermittent, very loud | | 5 | 5 |
| Mental strain : | | | |
| Fairly complex | | 1 | 1 |
| Very complex | | 8 | 0 |
| Monotony : | | | |
| Medium | | 1 | 1 |
| High | | 4 | 4 |

2.6.1.3 เวลาเพื่อสำหรับความล่าช้า ความล่าช้าอาจเกิดได้ทั้งแบบหลีกเลี่ยงได้ (Avoidable Delay) และแบบหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Unavoidable Delay) ถ้าเป็นความล่าช้าที่หลีกเลี่ยงได้ หรือจงใจกระทำก็จะไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณเวลามาตรฐาน แต่ถ้าเป็นความล่าช้าซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็จะถูกนำมาคิดในการหาเวลามาตรฐาน ตัวอย่างของ Avoidable Delay เช่น การหยอดน้ำมันเครื่องของเครื่องจักรในระหว่างวันทำงาน ทั้ง ๆ ที่ควรจะทำเมื่อเลิกงานแล้ว ส่วนของ Unavoidable Delay เช่น ไขมีดหักโดยไม่รู้สาเหตุในระหว่างเดินเครื่องอยู่ความล่าช้าต่าง ๆ เหล่านี้สามารถลดให้น้อยที่สุดได้ก็จะดีมาก สาเหตุบางอย่างที่ทำให้งานล่าช้า คือ

- เกิดการเสียดของเครื่องมือเครื่องจักรอย่างกะทันหัน
- เกิดความล่าช้าเนื่องจากต้องคอยงานที่จะมาป้อนหรือคอยวัสดุ
- คอยคำสั่งจากหัวหน้างาน
- การเตรียมงานและการทำความสะอาด
- การดูแลรักษาเครื่องมือ

2.6.2 การศึกษาเวลาแบบพรีดีเทอร์มิน (Predetermined Time System)

การศึกษาเวลาแบบ Predetermined Motion-Time ก็คือระบบของการหาเวลาของการทำงานจากตารางเวลาของ “Fundamental motions” ซึ่งจะทำให้สามารถหาเวลามาตรฐานของงานอะไรก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการจับเวลาโดยตรงและใช้ในการหาเวลาสำหรับชิ้นงานซึ่งยังไม่ได้มีการผลิต ใช้เปรียบเทียบวิธีการทำงานและประโยชน์อีกอย่างคือ ไม่ต้องอาศัยการประเมินค่าหรือการให้ค่าอัตราเร็วการทำงานของคนงาน

ประโยชน์ของการใช้ Motion-Time Data อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ในการประเมินผลของการเคลื่อนไหวเพื่อ
 - ปรับปรุงวิธีการทำงานที่มีอยู่ให้ดีขึ้น
 - ประเมินผลของวิธีการทำงานที่เสนอไว้ล่วงหน้า
 - ประเมินผลการออกแบบของเครื่องมือ เครื่องใช้ในการทำงาน
 - ช่วยในการออกแบบและปรับปรุงผลิตภัณฑ์
 - ใช้ฝึกผู้ทำการศึกษาเวลาให้คุ้นเคยกับระบบของการศึกษาเวลา

2. ในการศึกษาเวลาเพื่อ

- หาเวลามาตรฐาน โดยใช้ Motion-time data
- รวมเอาข้อมูลมาตรฐานและสูตรสำหรับ classes ต่าง ๆ ของงาน เพื่อความรวดเร็วในการหาเวลามาตรฐาน
- ตรวจสอบเวลาที่หาได้จากการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา
- ประเมินต้นทุนค่าจ้างแรงงาน
- สมดุลย์สายการผลิต

ระบบของ PMTS ต่าง ๆ มีวิธีการใช้ที่แตกต่างกัน แต่ไม่ว่าจะเป็นวิธีใด ผู้ใช้ควรได้รับการฝึกมาอย่างถูกต้องเสียก่อน จึงจะใช้ได้อย่างไม่ผิดพลาด เพราะแม้ว่าตารางเหล่านี้จะไม่ต้องการให้อัตราความเร็วแก่ผู้ทำงาน แต่ก็ยังต้องอาศัยความเห็นของผู้วิเคราะห์ในการเปิดตาราง ซึ่งถ้าผู้วิเคราะห์ไม่มีความชำนาญอาจให้ค่าผิดพลาดได้มาก ในที่นี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของระบบ PMTS วิธี Methods-Time Measurement (MTM)

ระบบ MTM ได้ถูกพัฒนาครั้งแรกในปี 1948 โดยจากการวิเคราะห์งาน ซึ่งถูกบันทึกเป็นภาพยนตร์ใช้วิเคราะห์งานประเภท Manual Work ต่าง ๆ ต่อมาในปี 1963 ได้มีการปรับปรุงระบบ MTM รุ่นแรกเพื่อให้ใช้ได้ง่ายขึ้น และมีการพัฒนามาเรื่อย ๆ จนปัจจุบันนี้มีระบบ MTM ในรหัสต่าง ๆ เพื่อใช้กับงานแต่ละประเภทและได้แบ่งชนิดของการเคลื่อนไหวออกเป็น การเคลื่อนพื้นฐาน (Basic Element) ต่าง ๆ คือ การเอื้อม (Reach) การเคลื่อนย้าย (Move) การหมุน (Turn) การจับ (Grasp) การวางเข้าที่ (Position) การปล่อย (Release) การถอด (Disengage)

โดยทำการศึกษาแต่ละ Element อย่างละเอียดและหาตัวแปร (Variables) ซึ่งจะมีผลต่อเวลาของ Element นั้น ๆ โดยหน่วยของเวลา (Time Unit) เนื่องจากฟิล์มภาพยนตร์ที่ใช้ถ่ายทำเป็นแบบ 16 frame/sec. ดังนั้นหน่วยที่วัดได้จึงเป็น 1/16 วินาที หรือเท่ากับ 0.000017 ชั่วโมง และเพื่อความสะดวกได้ปัดเป็นเลขเท่ากับ 0.00001 ชั่วโมง และเรียกหน่วยของเวลานี้ว่า 1 TMU ดังนั้น 1 TMU เท่ากับ 0.00001 ชั่วโมง เท่ากับ 0.0006 นาที เท่ากับ 0.036 วินาที

ความแม่นยำของระบบ MTM ถ้าต้องการคำนึงถึงความแม่นยำของเวลาที่ได้จากระบบ MTM สมมติว่าค่า Standard Deviation ของ Element แต่ละ Element มีค่าเท่ากับ 1 frame หรือ 1/16 วินาที เท่ากับ 1.7 TMU ถ้าในการปฏิบัติงานอย่างหนึ่งประกอบด้วย Element ย่อย ๆ ถึง 100 Element และแต่ละ Element มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ σ

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{operation}}^2 &= \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_{100}^2 \\ &= 100\sigma^2\end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{operation}} = 17\text{TMU}$$

ถ้าเวลาทั้งหมดของการปฏิบัติงานมีค่า = 1500 TMU และเราต้องการรู้ค่าความแม่นยำภายใน 95% ของความเชื่อมั่น $95\%CI = 2\sigma_{operation} = 34TMU$ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อน = $\frac{34}{1500} \times 100 = 2.3\%$ นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการทำงานทั้งหมดมีเพียง 2.3 % ซึ่งนับว่าดีมาก

2.6.2.1 การเอื้อม (REACH) คือ Basic Element ในการเคลื่อนมือหรือนิ้วมือไปยังที่ใดที่หนึ่ง ซึ่งเวลาในการ Reach ขึ้นกับ Classes of Reach ระยะทางและ Condition of Reach ถูกแบ่งออกเป็น 5 กรณีและ 3 ชนิด

กรณี A เอื้อมไปหาวัสดุที่อยู่ประจำที่ หรือไปหาอีกมือหนึ่ง

กรณี B เอื้อมไปหาวัสดุชิ้นเดียวอาจเปลี่ยนตำแหน่งถูกรอบทำงาน

กรณี C เอื้อมไปหาและค้นวัสดุที่อยู่ปะปนกัน

กรณี D เอื้อมไปหาวัสดุชิ้นเล็กที่ต้องบรรจุจับ

กรณี E เอื้อมไปโดยไม่มีจุดหมายแน่นอน

ชนิด 1 การเอื้อมโดยเริ่มต้นและสิ้นสุดไม่มีการเคลื่อนไหว

ชนิด 2 การเอื้อมโดยเริ่มต้นหรือสิ้นสุดมีการเคลื่อนไหว

ชนิด 3 การเอื้อมโดยเริ่มต้นและสิ้นสุดมีการเคลื่อนไหว

ระยะทางของการเอื้อมที่แท้จริง ก็คือระยะทางที่มือเคลื่อนจริง ไม่ใช่ระยะเส้นตรงระหว่างจุดที่มีมือเคลื่อน ดังนั้นถ้ามีการเคลื่อนบางส่วนของร่างกายด้วยระยะที่เคลื่อนจริงจะคำนวณจาก

$$\text{Length of reach} = \text{Distance moved by hand} + \text{Distance moved by body} \quad (2.8)$$

2.6.2.2 การเคลื่อนย้าย (MOVE) คือ Basic Element ซึ่งใช้ในการเคลื่อนวัตถุจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ตัวแปรซึ่งมีผลต่อการ Move คือ Condition of Move ระยะทาง Classes of Move และน้ำหนักของของที่เคลื่อน Classes of Move แบ่งเป็น 3 อย่างคือ

- เคลื่อนย้ายวัสดุไปยังอีกมือหนึ่งหรือเคลื่อนไปหยุด

- เคลื่อนย้ายวัสดุไปยังตำแหน่งที่ประมาณเอาไว้ไม่จำกัดจุดตำแหน่ง

- เคลื่อนย้ายวัสดุไปยังจุดตำแหน่งที่แน่นอน

เวลาของการเคลื่อนย้ายจะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับสถานะของตำแหน่ง ระยะทางในการเคลื่อนที่น้ำหนักที่อยู่ในมือหรือแรงต้าน และชนิดการเคลื่อนที่

จากการศึกษาพบว่าเมื่อต้องเคลื่อนของหนักกว่า 2.5 ปอนด์ มือจะเคลื่อนช้ากว่าธรรมดา และจะมีอาการล้าเล็กน้อยก่อนเริ่มเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงต้องมีค่า Weight Allowance Factor (Dynamic Factor) และ Weight Allowance Constant (Static Constant) หรือค่า เพื่อสำหรับน้ำหนักที่ต้องเคลื่อนช่วยในการหาเวลา

ตัวอย่าง เคลื่อนวัตถุหนัก 20 ปอนด์ ระยะทาง 5 นิ้ว ไปวางบนโต๊ะ

$$\begin{aligned} \text{เวลาในการเคลื่อน} &= \text{Move 5" case B 20 lbs} \\ &= (8.0 \times \text{Dynamic Factor}) + \text{Static Constant} \\ &= (8.0 \times 1.22) + 7.4 \\ &= 17.2 \text{ TMU} \end{aligned}$$

ในการเคลื่อนทั้งสาม Class นี้มีเพียง Class B ซึ่งผลของ Hand in motion มีผลต่อเวลาในการเคลื่อน และในที่นี่จะเกิด ณ ปลายของ Element ของการเคลื่อน โดยค่า Dynamic Factor และ Static constant สามารถดูได้จากตารางที่ 3.9 ที่น้ำหนักไม่เกิน 22.5 ปอนด์

2.6.2.3 การหมุน (TURN) คือ การเคลื่อนไหวที่ต้องใช้การหมุนของมือ ซึ่งอาจจะถือวัตถุ หรือไม่ถือวัตถุอยู่ก็ตาม โดยการหมุนมือ ข้อมือ หรือข้อศอก รอบแกนของข้อศอกตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ มุมของการหมุนและน้ำหนักของวัตถุที่ถือ

ตัวอย่าง การใช้ไขควงขันสกรูเข้าไปในรู ซึ่งต้องใช้การหมุนของข้อมือรอบแกนของแขน จะถือว่าเป็น Turn แต่การหมุนพวงมาลัยรถยนต์ ไม่เป็น Turn แต่เป็นอนุกรมของการหมุน Apply Pressure คือ basic element ซึ่งใช้ในการเอาชนะแรงต้านทานหรือแรงเสียดทานซึ่งต้องอาศัยการหยุดชะงัก เพื่อกระทำการออกแรง Apply Pressure จะประกอบด้วยหน่วยย่อยของงาน 3 หน่วย คือ

- การออกแรง AF
- หยุดชะงัก DM
- การปล่อยแรง RF

Apply Pressure จะมี 2 กรณี Case A เป็นการออกแรงธรรมดา ส่วน Case B มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการจับ (Regrasp) เพื่อให้จับวัตถุได้มั่นคงยิ่งขึ้น

2.6.2.4 การจับ (GRASP) คือ Basic Element ในการยึดหรือจับวัตถุหนึ่งชิ้นหรือมากกว่าด้วยมือหรือนิ้วมือ เพื่อการทำงานขั้นต่อไป Grasp แบ่งออกเป็น 11 ชนิดตามขนาดวัตถุ และลักษณะในการจับจะเกี่ยวข้องกับน้ำหนักของวัตถุ ซึ่งมีผลต่อเนื่องถึงการเคลื่อนพร้อมวัตถุ (Move) ดังนั้น ถ้ามือจับวัตถุเพื่อหยิบขึ้นน้ำหนักที่คิดคือน้ำหนักของวัตถุ แต่ถ้าเลื่อนวัตถุไปกับพื้นน้ำหนักที่คิดจะเท่ากับน้ำหนักของวัตถุคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิววัตถุกับผิวของพื้นที่ไถลไป และถ้าวัตถุถูกยกด้วยมือทั้งสอง น้ำหนักที่คิดจะเท่ากับแรงรวมหารด้วยสอง

2.6.2.5 การวางเข้าที่ (POSITION) คือ Basic Element ซึ่งใช้ในการจัดวาง เรียง หรือประกอบวัตถุอันหนึ่งให้เข้ากับอีกอันหนึ่ง และมีการเคลื่อนน้อยมากจนไม่สามารถจัดอยู่ใน Basic Element อื่น ๆ ได้ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีชนิดของการประกอบ (Class of Fit) ลักษณะการใส่ มี 3 แบบคือ

- หลวม มี Clearance ประมาณ $1/16$ นิ้ว- $1/4$ นิ้ว
- พอดี มีการลัดเล็ดเล็กน้อย Clearance ประมาณ $1/32$ นิ้ว- $1/16$ นิ้ว
- แน่น ต้องใช้แรงกด Clearance ต่ำกว่า $1/32$ นิ้ว

ความสมมาตรของชิ้นวัตถุ (Symmetry) แบ่งเป็น

- Symmetrical คือ ชิ้นส่วนซึ่งเท่ากันทุกด้าน ไม่ต้องมีการจัดให้ตรงแกน สามารถประกอบเข้ากันได้เลย
- Semi-Symmetrical คือ ชิ้นส่วนซึ่งเท่ากันบางด้านสามารถจัดให้ตรงกันได้หลายตำแหน่งแล้วแต่การหมุน
- Non-Symmetrical คือ ชิ้นส่วนซึ่งสวมเข้าได้เพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น ถ้าผิดจากนี้ก็จะประกอบกันไม่ได้

ความยากง่ายในการประกอบ (Easy of handling) แบ่งเป็น

- Easy ไม่จำเป็นต้อง Regrasp ในระหว่างจัด
- Difficult ต้อง Regrasp ในระหว่างจัด

2.6.2.6 การปล่อย (RELEASE) เป็น Basic Element ซึ่งใช้ในการปล่อยวัตถุ ออกจากนิ้วหรือมือมีอยู่ 2 class คือ

- Normal release การปล่อยแบบธรรมดา
- Contact release การปล่อยซึ่งตามมาด้วย Reach จึงไม่จำเป็นต้องใช้เวลา (TMU=0)

2.6.2.7 การถอด (DISENGAGE) เป็น Basic Element ที่ใช้ในการแยกวัตถุชิ้นหนึ่งออกจากอีกชิ้นหนึ่ง ซึ่งรวมถึงการเคลื่อนไหวอันเกิดจากการแยกจากกันอย่างกะทันหันของวัตถุ 2 ชิ้น (การสิ้นสุดของแรงต้าน) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

- ความคับฟืด
- ความยากง่ายในการจับ

2.6.2.8 การสายตา (EYE TIME) คือ เวลาที่ต้องใช้สายตาในการมองก่อนลงมือทำ ซึ่งปกติมักรวมอยู่ใน Hand motion แต่ถ้าจำเป็นก็สามารถอ่านจากตารางได้ มีเวลาอยู่ 2 อย่างที่เกี่ยวข้อง คือ

- Eye focus time คือ เวลาที่ใช้ในการเพ่งดูวัตถุ ซึ่งต้องนานพอที่จะบอกถึงลักษณะที่ต้องการได้ภายในพื้นที่ขอบเขตจำกัด
- Eye travel time คือ เวลาที่ใช้ในการกวาดสายตาจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งแปรผันโดยตรงกับระยะทางระหว่างจุดทั้งสอง และผกผันกับระยะตั้งฉากจากตาถึงเส้นตรงเชื่อมจุดทั้งสอง

2.6.2.9 การเคลื่อนไหวตัว ขา เท้า (BODY, LEG, AND FOOT MOTIONS)

- Foot Motion คือ การเคลื่อนไหวต้องใช้เท้า ข้อมเท้า และถ้าใช้แรงกดก็จะเสียเวลาเพิ่มขึ้น ทั้ง 2 กรณีไม่มีการเคลื่อนไหวของขาเกิดขึ้น
- Leg or Foreleg Motion คือ การเคลื่อนไหวขา ต้นขา โดยมีจุดหมุนอยู่ที่หัวเข่า (กรณีคนงานนั่งอยู่) สะโพก (กรณียืน) เวลาการเคลื่อนที่จะแปรผันตรงกับระยะทางที่ขาต้องเคลื่อนไป Motion นี้มักจะตามด้วยการปฏิบัติการบนเครื่องมือหรือตามด้วย Foot Motion
- Side step บางครั้งคนงานทำงานบนเครื่องจักรอาจต้องก้าวขาสักหนึ่งหรือสองก้าวเพื่อทำงานอื่น อาจเป็นการเอื้อมหยิบ ก้มหรือคุกเข่าก็ตาม แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

Case 1 ก้าวเท้าเดียวระยะต่ำกว่า 12 นิ้ว โดยเริ่มเมื่อเท้าหน้าแตะพื้นเท้าหลังไม่ค้ำน้ำหนักถึงเวลาในการก้าวเท้า

Case 2 เท้าหลังต้องหยุดเคลื่อน (แตะพื้น) ก่อนการเคลื่อนต่อไปจะเริ่ม ซึ่งมักตามด้วยการก้ม คุกเข่า หรือคุกเข่า

- Turn Body คล้ายคลึงกับ Side step เพียงแต่มีการหมุนของลำตัวเกิดขึ้นด้วยตั้งแต่ 45 ถึง 50 องศา
- Walk การเดินมี 2 กรณี ถ้าเป็นระยะสั้นให้นับจากจำนวนก้าว ถ้าเป็นระยะยาวให้วัดจากระยะทางเป็นฟุต ก้าวปกติโดยทั่วไปประมาณ 27 นิ้ว
- Vertical Motion คือการเปลี่ยนอิริยาบถต่าง ๆ ในแนวตั้ง ได้แก่ การนั่ง การยืน การก้ม คุกเข่า คุกเข่า หรือการลุกขึ้นจากอาภักิริยาต่าง ๆ ดังกล่าว

SIMULTANEOUS MOTION ในการทำงานส่วนใหญ่เรามักพบว่ามือทั้งสองทำงานพร้อมกัน หรือประสานกันจนดูไม่ออกว่ามีมือไหนเริ่มก่อนหรือทำงานสิ้นสุดก่อน ในการวิเคราะห์โดยใช้ระบบ MTM จะอาศัยตาราง Simultaneous ช่วยในการหาเวลาของงานซึ่งสามารถทำพร้อมกันสองมือได้ ดังนั้นถ้ามีงานซึ่งต้องทำพร้อมกันสองมือ ก็จะใช้เวลาซึ่งนานกว่าเป็นเกณฑ์

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการที่ได้ศึกษางานวิจัยด้านไฟฟ้าในต์เอลิเมนต์ที่วิจัยเกี่ยวกับ โครงคัสซีรดโดยสารและการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่ายังไม่มีความคิดที่ทำการศึกษาถึงการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต โครงคัสซี และกำหนดมาตรฐานในการผลิต จะมีแต่การศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงคัสซี และการลดต้นทุนจากชิ้นส่วน โครงคัสซี

สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร และ ศักรินทร์ ชูดวง (2550) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนามาตรฐานการผลิตรถโดยสาร 2 ชั้น (มาตรฐาน 4) โดยวิเคราะห์โครงคัสซีรดโดยสารตัดแปลง 8 ล้อ 2 ชั้น เพื่อวิเคราะห์ความปลอดภัยเชิงวิศวกรรมในการใช้งานรถโดยสารตัดแปลงเนื่องจากรถโดยสารที่ใช้กันในประเทศต้นทุ่นรถโดยสารตัดแปลงจะถูกกว่ารถโดยสารที่นำเข้ามามากกว่า 50% ซึ่งแสดงราคาเปรียบเทียบดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงราคาเปรียบเทียบต้นทุนรถโดยสาร

| รายการ | รถโดยสารนำเข้า (คัน) | รถโดยสารตัดแปลง (คัน) |
|----------------|----------------------|-----------------------|
| รถโดยสาร 8 ล้อ | รวม 6.5 ล้านบาท | รวม 3.2 ล้านบาท |
| - คัสซี | - 4.8 ล้านบาท | - 1.5 ล้านบาท |
| - ตัวถัง | - 1.4 ล้านบาท | - 1.4 ล้านบาท |
| - ระบบแอร์ | - 0.3 ล้านบาท | - 0.3 ล้านบาท |

โดยการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าในต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS/CAE ซึ่งจะวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงคัสซีเพื่อเป็นข้อมูลในการลดต้นทุนจากชิ้นส่วนที่ไม่จำเป็น และนำมาเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการผลิต โครงคัสซี รวมทั้งมีการตรวจสอบแนวเชื่อมลึกของการเชื่อมอีกด้วย ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ตำแหน่งจุดวิกฤตมีการเปลี่ยนแปลงแต่คงอยู่ที่ชิ้นงานเดียวกัน บริเวณที่เกิดจุดวิกฤตจะเป็นช่วงต่อระหว่างชิ้นกลางกับส่วนหน้าและส่วนหลัง ดังนั้นในการออกแบบใหม่จึงมีการเสริมชิ้นส่วนเพิ่มเติม

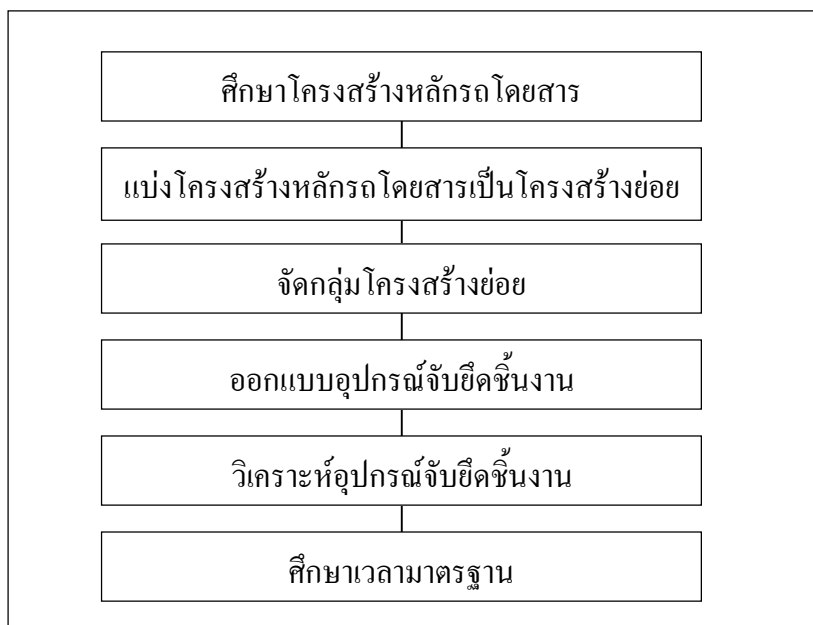
วิลาสินี เลี้ยววาริณ อภิรัตน์ สกุลไทย และ สโรจน์ เขียวสอนทอง (2550) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยการแบ่งลักษณะการผลิตเป็นสถานงานและหลีกเลี่ยงปัญหาการรอคอยงานของเครื่องจักรหรือปัญหาคอขวด ซึ่งจากการศึกษาลักษณะการทำงานได้มีการสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพิ่มเพื่อใช้ในงานเชื่อม ซึ่งเดิมจะเป็นการใช้หุ่นยนต์เชื่อมในกระบวนการนี้ทั้งหมดซึ่งจะกินเวลานาน จึงเปลี่ยนกระบวนการเชื่อมเป็นให้หุ่นยนต์ทำการเชื่อมเฉพาะจุดที่สำคัญโดยเชื่อมชิ้นงานในจุดที่ซับซ้อนและที่มีความสำคัญต่อคุณภาพชิ้นงานก่อน จากนั้นนำมาเชื่อมส่วนที่เหลือบนอุปกรณ์จับยึดที่จะสร้างขึ้นใหม่ ซึ่งหลังปรับปรุงกระบวนการ เวลาที่ใช้ในการผลิตต่อชิ้นลดลงเป็น 162 วินาทีที่อัตราการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 2,979 ชิ้น/เดือน เป็น 3,475 ชิ้น/เดือน และลดเวลารอคอยงานของพนักงานจาก 141 วินาที เหลือ 102 วินาที

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การผลิตรถโดยสารเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งรถโดยสารที่ใช้กันในประเทศไทยมีทั้งที่ผลิตขึ้นเองและนำเข้าจากต่างประเทศ รถโดยสารที่ทำการประกอบขึ้นเองในประเทศบางครั้งจะเป็นการนำโครงสร้างหลักรถโดยสาร (Chassis) ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำการปรับปรุงและซ่อมบำรุง จากนั้นนำมาประกอบตัวถังเป็นรถโดยสาร 1 คัน โดยในการซ่อมบำรุงโครงสร้างหลักรถโดยสารจะอาศัยองค์ความรู้และความชำนาญของช่างผู้มีประสบการณ์ซึ่งจะขาดหลักการทางวิศวกรรม ในปัจจุบันนี้ทางบริษัทผู้ผลิตชุดอุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ทำการประกอบรถโดยสารที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ ได้มีการวางแผนที่จะสร้างโครงสร้างหลักรถโดยสารเป็นของตัวเองเพื่อลดต้นทุนในการผลิต แต่ในกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสารใช้ระยะเวลายาวนานจึงส่งผลให้มีกำลังการผลิตต่ำ

คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพื่อลดระยะเวลาในการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร โดยทำการออกแบบกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสารบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig) ซึ่งมีแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้



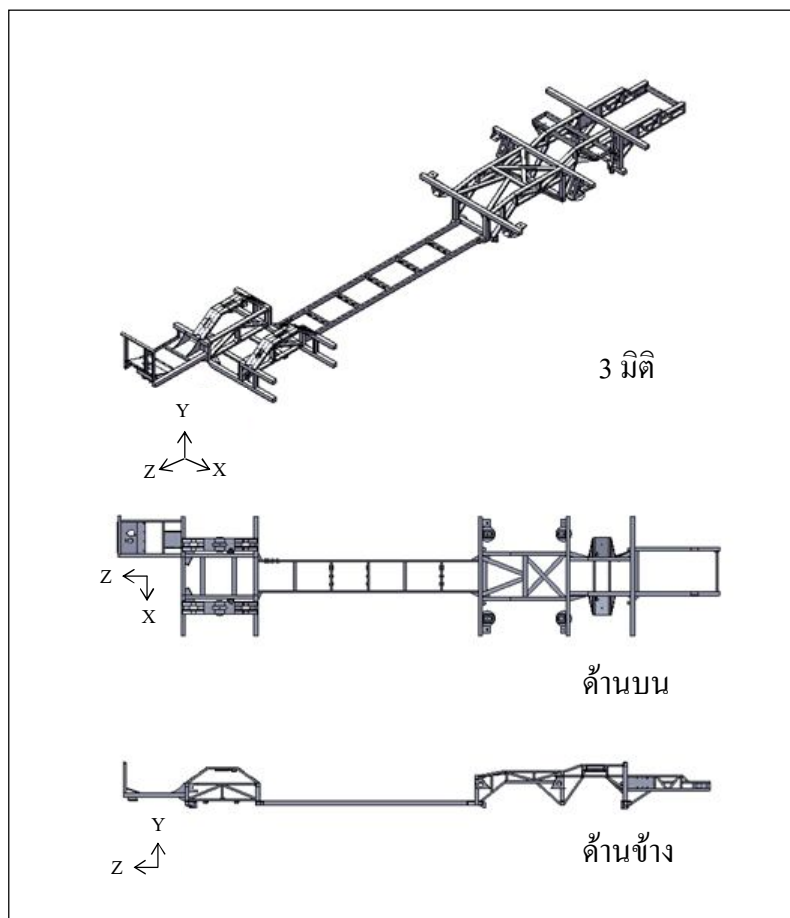
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาโครงสร้างหลักกรดโดยสาร

3.1.1 แบบโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420

โครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการนำชิ้นส่วนซึ่งทำจากวัสดุ Stainless Steel RST 4003 ความหนา 4 มิลลิเมตร มาประกอบเป็นโครงสร้างหลักกรดโดยสาร โดยชิ้นส่วนต่างๆ ที่นำมาประกอบมีจำนวนทั้งหมด 312 ชิ้นส่วน ทำการประกอบกันด้วยวิธีการเชื่อม

ในการดำเนินงานในขั้นตอนแรก ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 ด้วยโปรแกรม Solidwork 2007 SP 2.2 โดยการถอดแบบชิ้นส่วนทีละชิ้นจำนวน 127 ชิ้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



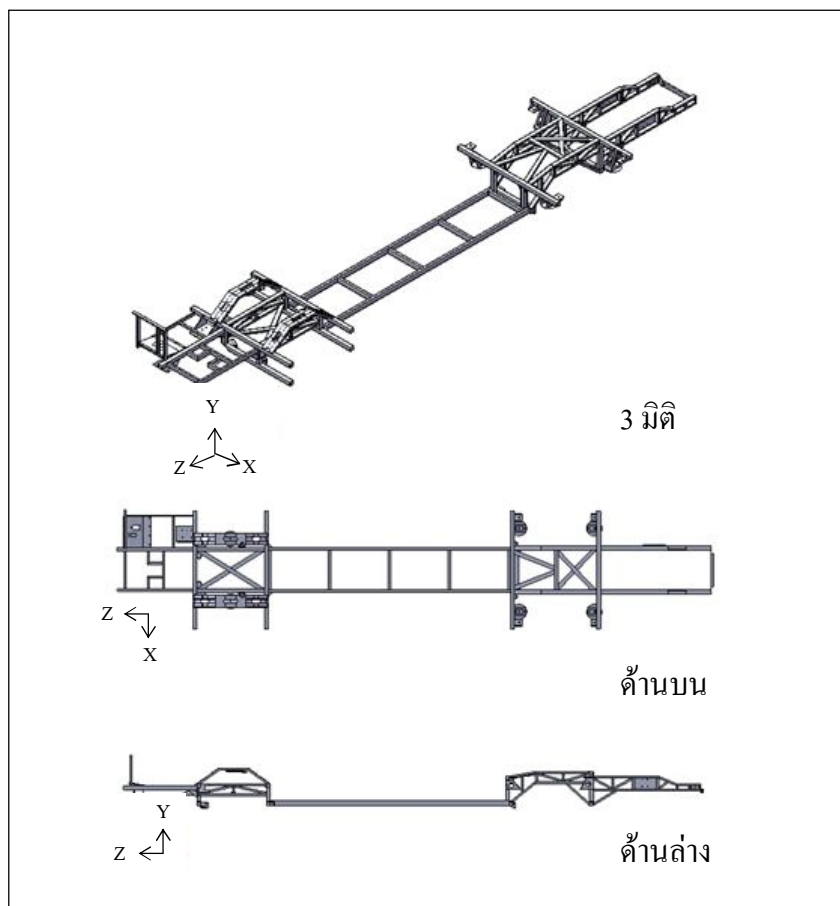
รูปที่ 3.2 แสดงแบบ โครงสร้างหลักทรดโดยสสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420

จากรูปที่ 3.2 แสดง โครงสร้างหลักทรดโดยสสารชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 มีขนาดความ กว้าง 2.3 เมตร ความยาว 11.8 เมตร และความสูง 0.86 เมตร

3.1.2 แบบโครงสร้างหลักทรดโดยสสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280

โครงสร้างหลักทรดโดยสสาร ชนิดชั้นครึ่ง ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการนำชิ้นส่วน ซึ่งทำจากวัสดุ Stainless Steel RST 4003 ความหนา 4 มิลลิเมตร และ Steel SS 400 มาประกอบเป็น โครงสร้างหลักทรดโดยสสาร โดยชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่นำมาประกอบมีจำนวนทั้งหมด 244 ชิ้นส่วน ทำการประกอบกันด้วยวิธีการเชื่อม

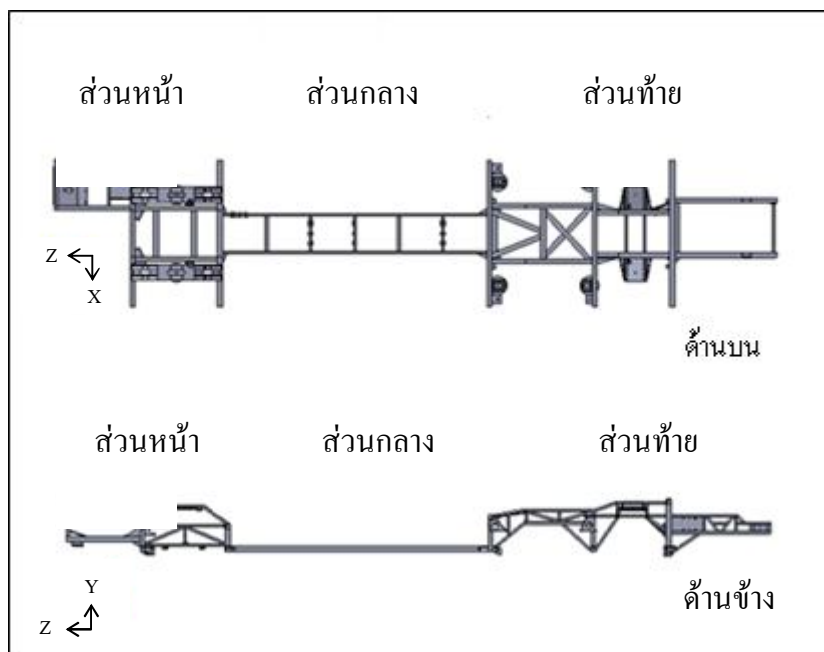
ในการดำเนินงานในขั้นตอนแรก ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างหลักทรดโดยสสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280 ด้วยโปรแกรม Solidwork 2007 SP 2.2 โดยการถอดแบบชิ้นส่วนทีละ ชิ้นจำนวน 102 ชิ้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงแบบโครงสร้างหลักกรรโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280

จากรูปที่ 3.3 แสดง โครงสร้างหลักกรรโดยสารชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280 มีขนาด ความกว้าง 2.35 เมตร ความยาว 11.8 เมตร และความสูง 0.77 เมตร

จากขั้นตอนแรกเราได้ทำการศึกษาลักษณะ โครงสร้างหลักกรรโดยสารทั้ง 2 รุ่น ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 พบว่าลักษณะของโครงสร้างหลักกรรโดยสารทั้ง 2 รุ่นมี ลักษณะคล้ายกัน ดังนั้นขั้นตอนต่อไปเราจึงทำการแบ่งโครงสร้างหลักกรรโดยสารออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนท้าย ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 3.4 โดยส่วนหน้าเริ่มแบ่งจาก ด้านหน้าของ โครงสร้างจนถึงช่วงส้อมล้อหน้า ส่วนท้ายเริ่มแบ่งจากส้อมล้อหลังจนถึงด้านท้ายของ โครงสร้าง และระหว่างส่วนหน้ากับส่วนท้ายเป็นส่วนกลาง



รูปที่ 3.4 แสดงการแบ่งโครงสร้างหลักทรดโดยสาร

รถโดยสารที่ประกอบใช้กันทั่วไปนั้น ผู้ประกอบการจะต้องประกอบตามข้อกำหนดในพระราชบัญญัติกรมการขนส่งทางบกที่ว่าด้วยเรื่องขนาดของรถโดยสาร โดยระบุไว้ว่า ความกว้างของรถโดยสารจะต้องไม่เกิน 2.5 เมตร และความยาวจะต้องไม่เกิน 12 เมตร เมื่อลูกค้าต้องการให้รถโดยสารมีขนาดยาว ผู้ประกอบการจะทำการปรับความยาวของรถโดยสารจากการเพิ่มความยาวไปในส่วนกลางของโครงสร้างหลักทรดโดยสาร ดังนั้นในส่วนหน้าและส่วนท้ายของโครงสร้างหลักทรดโดยสารจะไม่เปลี่ยนแปลงตามความต้องการของลูกค้า ทางคณะวิจัยจึงทำการศึกษาเฉพาะส่วนหน้าและส่วนท้ายของโครงสร้างหลักทรดโดยสาร ซึ่งจากรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 จะพบว่าโครงสร้างหลักทรดโดยสารทั้ง 2 รุ่น มีความสมมาตรกันตามแนวยาวของโครงสร้าง

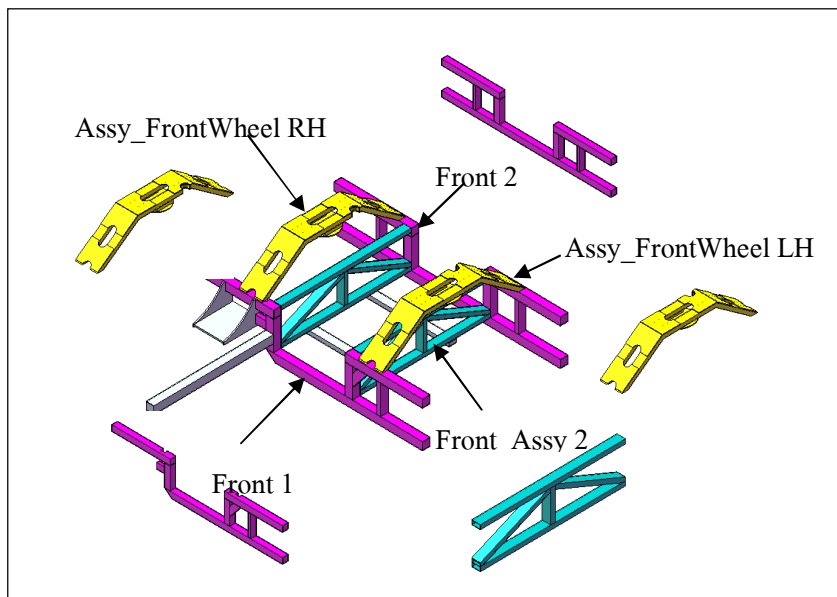
3.2 การแบ่งโครงสร้างหลักกรดโดยสารเป็นโครงสร้างย่อย

จากการศึกษาโครงสร้างหลักกรดโดยสารที่ทำการเขียนแบบจากโปรแกรม Solidwork 2007 SP 2.2 เมื่อนำมาถอดแบบเพื่อทำการแบ่ง โครงสร้างย่อยของ โครงสร้างหลักกรดโดยสาร ทั้ง 2 รุ่น ตามหลักการออกแบบเพื่อการประกอบ (DFA) ดังนี้

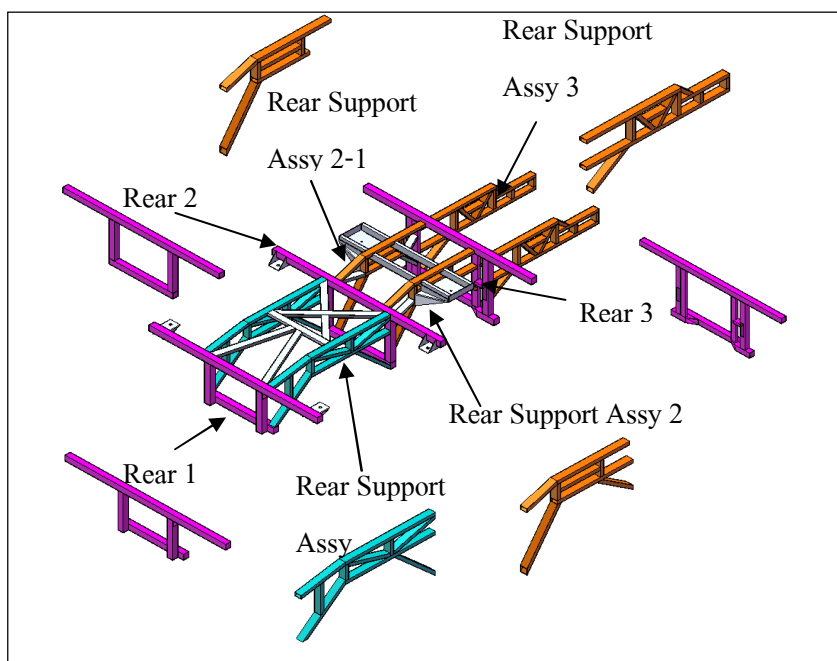
1. ลดจำนวนชิ้นส่วนของแต่ละชิ้นส่วน
2. ออกแบบให้สามารถใช้ได้เป็นกลุ่มจำเพาะ (Modularise Design)
3. ออกแบบชิ้นส่วนให้สามารถปรับตั้งแนวและตำแหน่งได้ด้วยตนเอง
4. ออกแบบเพื่อให้สามารถเข้าถึงเพื่อหยิบจับง่าย และมองเห็น ได้ชัดเจน
5. ออกแบบให้ชิ้นส่วนไม่ถูกรบกวน
6. ออกแบบชิ้นส่วนให้มีความสมมาตรของด้านมากที่สุด
7. ออกแบบโดยการใช้ยึดแน่นที่มีประสิทธิภาพ

พบว่าเราสามารถนำหลักการการออกแบบเพื่อการประกอบมาใช้ในการพิจารณาได้ ยกเว้น หลักการข้อแรกในเรื่องการลดจำนวนชิ้นส่วนในข้อนี้เราไม่สามารถนำมาพิจารณาได้ เนื่องจากการลดจำนวนชิ้นส่วนลงจะส่งผลต่อความแข็งแรงของตัว โครงสร้างหลักกรดโดยสาร แต่เราสามารถลด ชิ้นส่วนบางชิ้นที่นำมาประกอบเป็น โครงสร้างหลักกรดโดยสารได้โดยการไม่นำมาพิจารณาเป็น โครงสร้างย่อย เนื่องจากมีลักษณะการเข้าถึงขณะทำการเชื่อม ได้ลำบากและมีขนาดไม่เหมาะสมในการออกแบบตัวจับยึด เช่น ชิ้นส่วนมีขนาดเล็ก การเชื่อมชิ้นส่วนที่แนวเชื่อมมีลักษณะเป็นวงกลม จึงพิจารณาเฉพาะตัวโครงสร้างหลัก ๆ ของทั้ง 2 รุ่น ที่สามารถจัดเป็นกลุ่มจำเพาะได้ เมื่อพิจารณา ส่วนหน้าและส่วนท้ายของโครงสร้างหลักกรดโดยสารตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จะพบว่าส่วนหน้าของโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 มีลักษณะและรูปร่างคล้ายส่วนหน้าของ โครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280 และในส่วนท้ายของโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ทั้ง 2 รุ่นก็มีลักษณะคล้ายกัน มีส่วนต่างกันเล็กน้อยในเรื่องของขนาดและจำนวนชิ้นส่วนของ โครงสร้าง

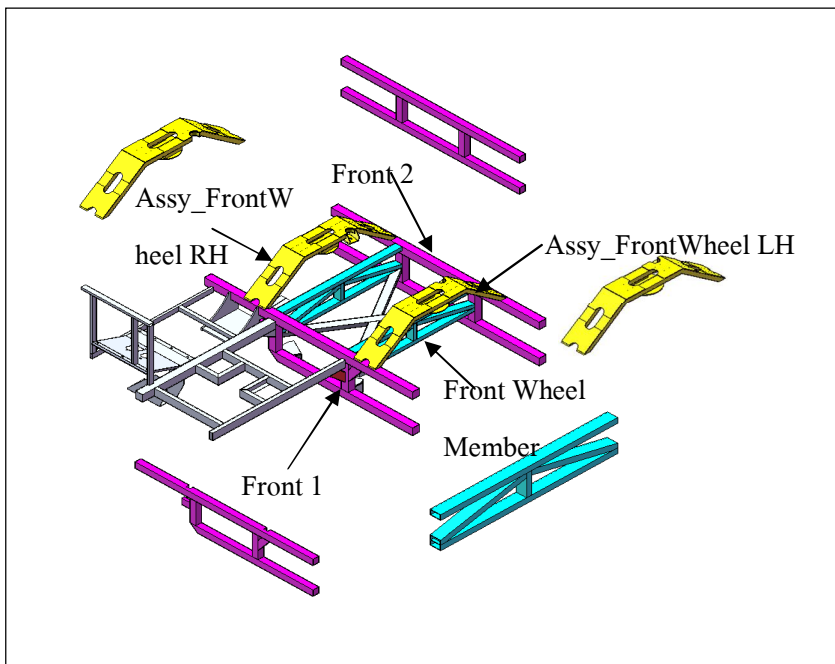
การแบ่งโครงสร้างย่อยทั้งส่วนหน้าและส่วนท้ายของโครงสร้างหลักกรดโดยสารชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6 ส่วนการแบ่งโครงสร้างย่อยของ โครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280 แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 ตามลำดับ ดังนี้



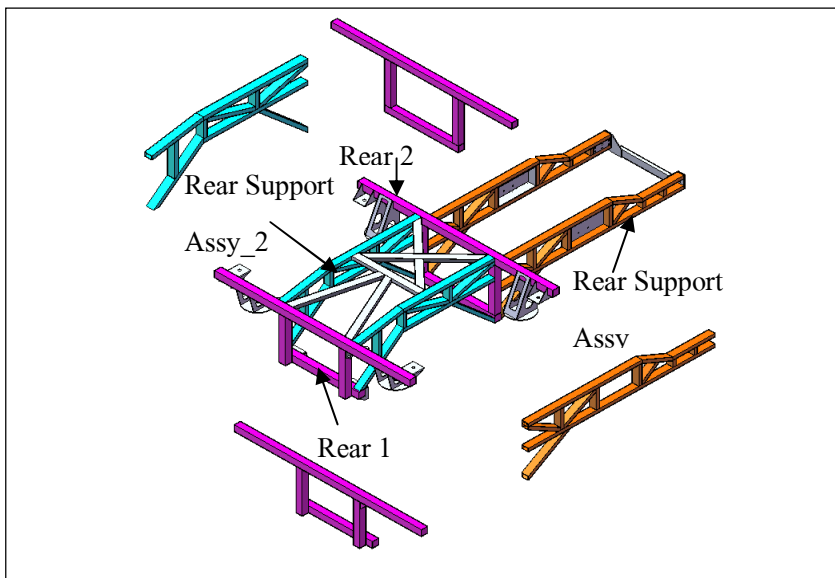
รูปที่ 3.5 แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยส่วนหน้าโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420



รูปที่ 3.6 แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยส่วนท้ายโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420



รูปที่ 3.7 แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยส่วนหน้าโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิดชั้นครึ่งรุ่น CG280



รูปที่ 3.8 แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยส่วนท้ายโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280

3.3 การจัดกลุ่มโครงสร้างย่อย

จากการแบ่งโครงสร้างหลักทรดโดยสารเป็นโครงสร้างย่อย เราทำการจัดกลุ่มโครงสร้างย่อยของทั้ง 2 รุ่นที่มีลักษณะและรูปร่างคล้ายกัน โดยพิจารณารวมกันทั้งส่วนหน้าและส่วนท้ายของทั้ง 2 รุ่น เมื่อลักษณะและรูปร่างของโครงสร้างย่อยแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 โดยศึกษาโครงสร้างย่อยจากโปรแกรม Solidwork 2007 SP 2.2 เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่จะทำการออกแบบในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักทรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420

| ชื่อโครงสร้างย่อย | ความกว้าง (มิลลิเมตร) | ความยาว (มิลลิเมตร) | ความหนา (มิลลิเมตร) | น้ำหนัก (นิวตัน) |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| Front 1 | 450 | 2,350 | 80 | 390.51 |
| Front 2 | 450 | 2,350 | 80 | 468.06 |
| Rear 1 | 600 | 2,350 | 160 | 403.50 |
| Rear 2 | 700 | 2,350 | 80 | 411.61 |
| Rear 3 | 860 | 2,350 | 160 | 645.79 |
| Front_Assy 2 | 370 | 1,350 | 80 | 297.05 |
| Rear support Assy | 700 | 1,640 | 80 | 388.25 |
| Rear support Assy 2 | 820 | 1,230 | 80 | 272.49 |
| Rear support Assy 2-1 | 820 | 1,190 | 80 | 222.05 |
| Rear support Assy 3 | 600 | 1,660 | 80 | 373.26 |
| Assy_wheel LH | 240 | 1,488.61 | 314 | 415.62 |
| Assy_wheel RH | 240 | 1,488.61 | 314 | 415.62 |

ตารางที่ 3.2 แสดงขนาดโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักทรดโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280

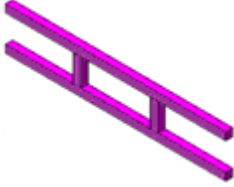

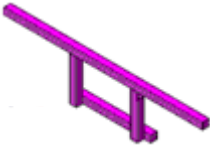

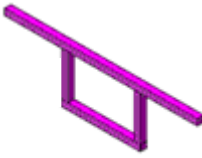

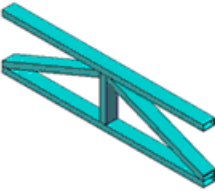


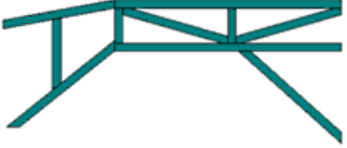
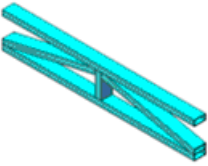

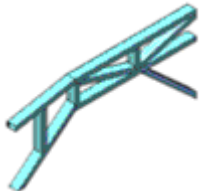

| ชื่อโครงสร้างย่อย | ความกว้าง (มิลลิเมตร) | ความยาว (มิลลิเมตร) | ความหนา (มิลลิเมตร) | น้ำหนัก (นิวตัน) |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| Front 1 | 450 | 2,350 | 80 | 435.96 |
| Front 2 | 450 | 2,350 | 80 | 493.78 |
| Rear 1 | 600 | 2,350 | 160 | 403.50 |
| Rear 2 | 700 | 2,350 | 80 | 411.61 |
| Front Wheel Member | 250 | 1,350 | 80 | 283.50 |
| Rear Support Assy | 700 | 1,640 | 80 | 388.25 |
| Rear Support Assy_2 | 600 | 2,200 | 80 | 462.78 |
| Assy_FrontWheel RH | 420 | 1,488.61 | 314 | 415.62 |
| Assy_FrontWheel LH | 420 | 1,488.61 | 314 | 415.62 |

เมื่อทำการศึกษาลักษณะและรูปร่างของโครงสร้างย่อยแล้ว เราจะนำโครงสร้างมาทำการจัดกลุ่ม ซึ่งเมื่อเราพิจารณาจากตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 จะพบว่าโครงสร้างย่อยของทั้ง 2 รุ่น ส่วนหนึ่งมีขนาดความยาว 2,350 มิลลิเมตร ที่มีความกว้าง 450 600 700 และ 860 มิลลิเมตร มีความหนา 80 และ 160 มิลลิเมตร และเมื่อทำการพิจารณาโครงสร้างย่อยในส่วนอื่น ๆ ก็พบว่าโครงสร้างย่อยทั้ง 2 รุ่น มีลักษณะคล้ายกัน สำหรับโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะคล้ายกันแสดงได้ดังตารางที่ 3.3


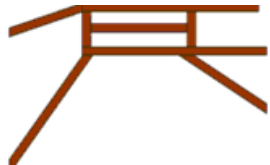


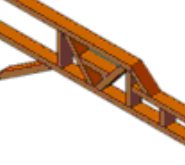

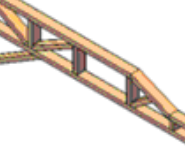
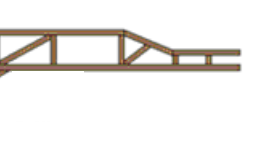








ตารางที่ 3.3 แสดงลักษณะ โครงสร้างย่อยที่มีลักษณะคล้ายกัน

| โครงสร้างย่อย | ภาพ 3 มิติ | ด้านหน้าชิ้นงาน |
|---------------|------------|-----------------|
| Front 1 CB420 | | |
| Front 2 CB420 | | |
| Rear 1 CB420 | | |
| Rear 2 CB420 | | |
| Rear 3 CB420 | | |
| Front 1 CG280 | | |

ตารางที่ 3.3 แสดงลักษณะโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะคล้ายกัน (ต่อ)

| โครงสร้างย่อย | ภาพ 3 มิติ | ด้านหน้าชิ้นงาน |
|--------------------------|---|---|
| Front 2 CG280 |  |  |
| Rear 1 CG280 |  |  |
| Rear 2 CG280 |  |  |
| Front Assy 2 CB420 |  |  |
| Rear Support Assy CB420 |  |  |
| Front WheelMember CG280 |  |  |
| Rear Support Assy CG 280 |  |  |

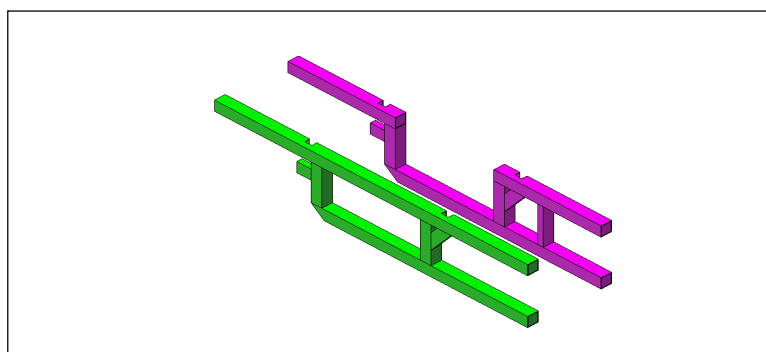
ตารางที่ 3.3 แสดงลักษณะโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะคล้ายกัน (ต่อ)

| โครงสร้างย่อย | ภาพ 3 มิติ | ด้านหน้าชิ้นงาน |
|--------------------------------|---|---|
| Rear Support Assy 2 CB420 |  |  |
| Rear Support Assy 2-1 CB420 |  |  |
| Rear Support Assy 3 CB420 |  |  |
| Rear Support Assy 2 CB280 |  |  |
| Assy_Wheel LH CB420 |  |  |
| Assy_Wheel RH CB420 |  |  |
| Assy_Wheel LH CB280 |  |  |
| Assy_Wheel RH CB280 |  |  |

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างย่อย

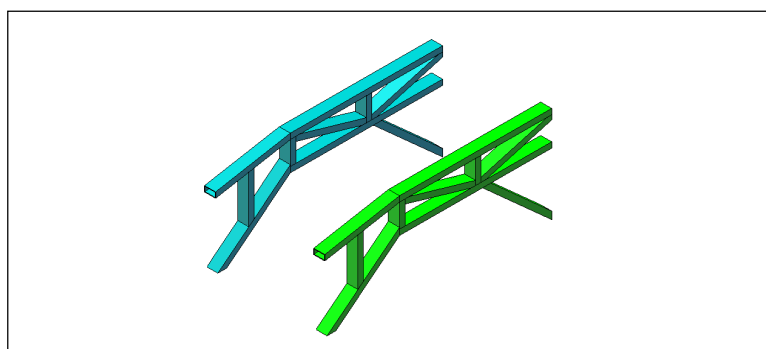
เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างย่อยมีลักษณะต่างกันเล็กน้อยเราจึงได้ทำการเสนอให้มีการปรับปรุง โครงสร้างย่อยในส่วนที่ต่างกันให้มีลักษณะที่เหมือนกันมากขึ้นเพื่อความสะดวกในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานและความสะดวกในการปฏิบัติงาน เนื่องจากโครงสร้างมีส่วนต่างกันเพียงเล็กน้อยเราจึงต้องทำการปรับตำแหน่งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทุกครั้ง การปฏิบัติงานก็จะเกิดความยุ่งยากและอาจเกิดความเข้าใจผิดในตำแหน่งยึดจับชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อสามารถทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างย่อยได้ก็จะเป็นประโยชน์มากกว่า ดังรูปที่ 3.9 จะแสดงตัวอย่างของโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะคล้ายกัน ส่วนรูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะเหมือนกันของโครงสร้างทั้ง 2 รุ่น

3.3.1.1 ตัวอย่าง โครงสร้างย่อยที่มีลักษณะคล้ายกันแสดงได้ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่าง โครงสร้างย่อยที่คล้ายกันของ 2 รุ่น

3.3.1.2 ตัวอย่าง โครงสร้างย่อยที่มีลักษณะเหมือนกันแสดงได้ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่าง โครงสร้างย่อยที่เหมือนกันของ 2 รุ่น

3.4 การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

จากลักษณะโครงสร้างย่อยที่ได้ทำการศึกษามาในข้างต้นจะเป็นตัวกำหนดในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และจากการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานจะเป็นตัวกำหนดให้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีการออกแบบให้ใช้งานง่าย เนื่องจากการปฏิบัติงานมีข้อจำกัดในการเชื่อมเมื่อผู้ปฏิบัติงานมีความชำนาญการเชื่อมในลักษณะการเชื่อมท่าราบซึ่งเกิดประสิทธิภาพสูงสุดและลักษณะของผู้ปฏิบัติงานก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการนำมาเป็นข้อกำหนดการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

3.4.1 จิกและฟิกซ์เจอร์สำหรับงานเชื่อม

การเชื่อมเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและประหยัดที่สุดที่ใช้ในการประสานโลหะให้ติดกันด้วยเหตุผลนี้งานเชื่อมจึงเป็นวิธีการประกอบเริ่มแรกที่ถูกใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ถึงแม้ว่าปริมาณความร้อนจำนวนมากต้องถูกใช้ในงานเชื่อม อีกทั้งการบิดตัวก็เป็นปัญหาอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นการใช้จิกและฟิกซ์เจอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญในการที่จะลดหรือขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ให้น้อยลงหรือหมดไปในงานการผลิตที่ต้องมีการเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้อง

สำหรับคำว่าจิกและฟิกซ์เจอร์เมื่อใช้กับงานเชื่อมนี้จะมีความหมายแตกต่างกันไป จากจิกและฟิกซ์เจอร์ที่ใช้กับเครื่องจักรกล จิกที่ใช้สำหรับงานเชื่อมก็คือเครื่องมือสำหรับยึดจับชิ้นงานแบบตายตัว ส่วนคำว่าฟิกซ์เจอร์ก็หมายถึงเครื่องมือซึ่งถูกทำขึ้นมาให้สามารถหมุนได้รอบทั้งในทางแกนนอนและแกนตั้ง

3.4.2 ชนิดของจิกและฟิกซ์เจอร์งานเชื่อม

จิกและฟิกซ์เจอร์ที่ใช้ในงานเชื่อมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

3.4.2.1 จิกและฟิกซ์เจอร์สำหรับการเชื่อมตรงจุด

จิกและฟิกซ์เจอร์ชนิดนี้ใช้สำหรับการจับยึดชิ้นงานที่จะนำมาประกอบกัน โดยทำการเชื่อมตรงบนชิ้นงานเป็นจุด ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอหรือบิดในระหว่างการเชื่อม หลังจากที่ชิ้นงานถูกประกอบโดยการเชื่อมตรงเป็นจุด ๆ แล้วก็ถอดออกจากจิกหรือฟิกซ์เจอร์เพื่อนำมาทำการเชื่อมให้สมบูรณ์ต่อไปโดยอาจจะไม่ใช้จิกหรือฟิกซ์เจอร์สำหรับการยึดจับในการจับชิ้นงานนั้น

3.4.2.2 จิกและฟิกซ์เจอร์สำหรับงานเชื่อม

จะถูกใช้งานสำหรับยึดจับชิ้นงานที่จะนำมาประกอบกันในตำแหน่งที่จะทำการเชื่อมประสานให้ติดกันอย่างสมบูรณ์ สำหรับจิกและฟิกซ์เจอร์สำหรับงานเชื่อมนี้ปกติแล้วจะถูกสร้างขึ้นมาให้มีความแข็งแรงมากกว่าจิกและฟิกซ์เจอร์สำหรับงานเชื่อมตรงจุดเพื่อป้องกัน แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนบนชิ้นงาน

3.4.2.3 จิกและฟิกซ์เจอร์สำหรับการยึดจับ

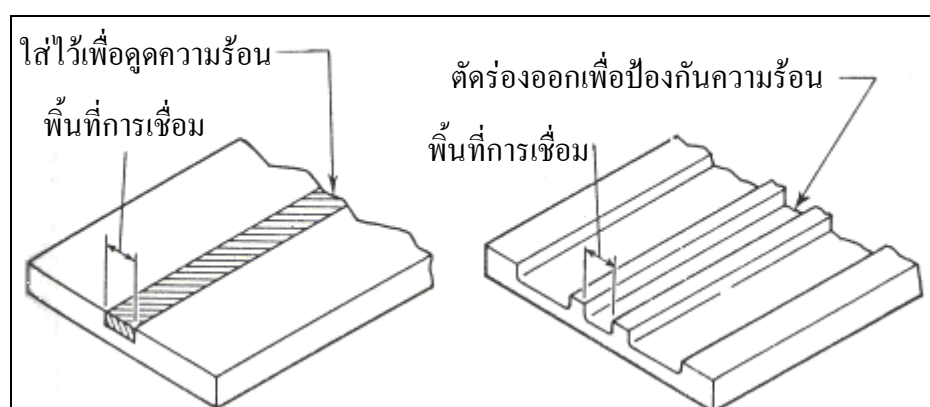
จะถูกใช้สำหรับจับงานเพื่อทำการเชื่อมให้สมบูรณ์โดยงานนี้จะผ่านการเชื่อมตรงเป็นจุด ๆ มาแล้ว ซึ่งจิกและฟิกซ์เจอร์ชนิดนี้ต้องทำให้มีความแข็งแรงมั่นคงเพื่อป้องกันไม่ให้งานเกิดการบิดหรือโค้งงอขึ้นมาได้

3.4.3 การพิจารณาขั้นพื้นฐานของการออกแบบ

นอกจากการกำหนดตำแหน่งและการยึดจับชิ้นงานแล้ว นักออกแบบจิกและฟิกซ์เจอร์ยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ อีกหลายอย่างก่อนที่จิกหรือฟิกซ์เจอร์สำหรับงานเชื่อมจะสามารถถูกออกแบบมาได้

การกระจายตัวของความร้อน (Heat Dissipation) เป็นข้อพิจารณาที่สำคัญอย่างหนึ่งของจิกและฟิกซ์เจอร์สำหรับงานเชื่อมมีอยู่หลายวิธีที่ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยให้ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในพื้นที่ของการเชื่อมเท่านั้น สำหรับปัจจัยแรกซึ่งจะเป็นตัวกำหนดปริมาณความร้อนที่ต้องการก็คือ โลหะที่จะนำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันซึ่งในที่นี้ใช้วัสดุ Stainless Steel RST 4003 ความหนา 4 มิลลิเมตร

เมื่อโลหะต่าง ๆ เช่น เหล็กเหนียว และ โลหะที่นำความร้อนได้ดีกว่าอื่น ๆ ถูกต่อเข้าด้วยกัน ความร้อนที่เกินความต้องการควรที่จะถูกกำจัดออกไปเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเชื่อมเกิดความร้อนมากเกินไป (Over-Heating) ซึ่งทำได้โดยการใช้แผ่น โลหะพวกทองแดง ไททานเนียม หรือ เบอริเลียม ทำการประกบไว้ด้านหลัง ส่วนสำหรับโลหะที่มีความสามารถในการนำความร้อนได้สูง เช่น ทองแดง อลูมิเนียม ซึ่งมีการเย็นตัวอย่างเร็วมากจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหานี้ขึ้นมา จิกหรือฟิกซ์เจอร์ที่ใช้จึงต้องทำให้มีพื้นที่ที่สัมผัสกับชิ้นงานน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11

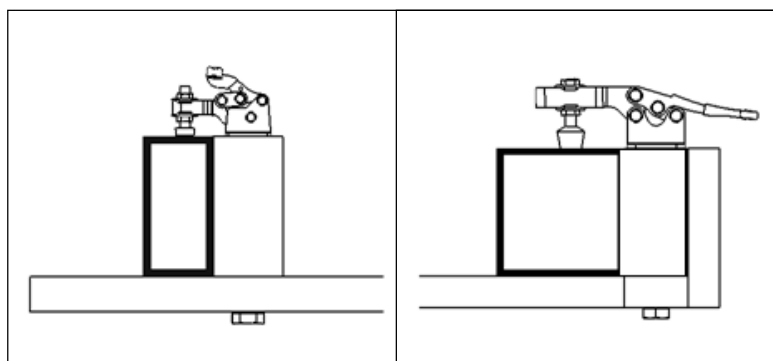


รูปที่ 3.11 แสดงวิธีการควบคุมการกระจายความร้อน

3.4.4 การกำหนดตำแหน่งและการยึดจับชิ้นงาน

หลักการพื้นฐานสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการยึดจับชิ้นงานนี้ที่ใช้สำหรับการทำงานบนเครื่องจักรกลก็สามารถที่จะนำมาใช้ได้กับงานการเชื่อมเช่นกัน โดยที่ระดับความถูกต้องเที่ยงตรงสำหรับงานการเชื่อมนี้ก็จะลดน้อยลง ไปบ้าง แต่ชิ้นงานของงานที่นำมาประกอบกันก็ต้องยังคงถูกจับยึดและอยู่ในตำแหน่งที่ให้มีความสัมพันธ์ถูกต้องอยู่ด้วย

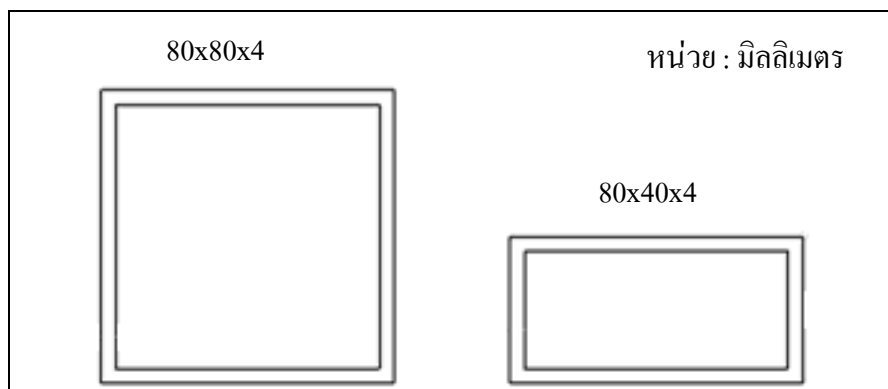
สำหรับตัวยึดจับชิ้นงานที่ใช้งานได้อย่างสะดวกสบายและปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ได้อย่างดีที่สุดสำหรับการทำงานด้านการเชื่อมก็คือ แบบที่ออกแบบดัง นั้นเมื่อวัสดุที่นำมาใช้ในการประกอบโครงสร้างหลักกรดโดยสารเป็นเหล็กกล่องที่มีขนาด 80x80x4 มิลลิเมตร และ 80x40x4 มิลลิเมตร ขนาดของตัวยึดจับชิ้นงานจึงควรมีความเหมาะสมในการใช้งาน แสดงลักษณะการจับยึดชิ้นงานดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะการจับยึดชิ้นงาน

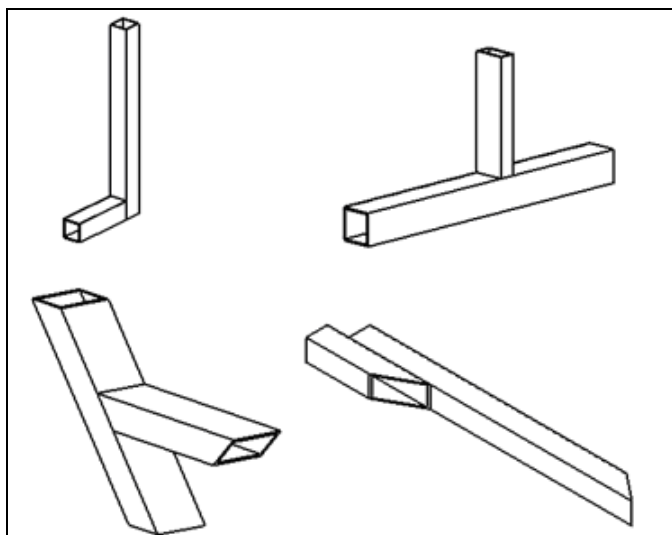
3.4.5 การเชื่อมโครงสร้างหลักกรดโดยสาร

วัสดุที่นำมาประกอบเป็นโครงสร้างหลักกรดโดยสารทำจาก Stainless Steel tubes RST 4003 เกรดเฟอร์ริติก ซึ่งเป็นเกรดที่นิยมใช้กันและสแตนเลสทนความร้อน จุดหลอมเหลวสูง และการนำความร้อนปานกลาง ดังนั้น เมื่อทำการเชื่อมแนวเชื่อมจะไม่เกิดความร้อนมากเกินไป และลักษณะการเชื่อมชิ้นงานจะเป็นการเชื่อมรอบชิ้นงาน เราจึงต้องออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานตรงบริเวณที่มีการเชื่อมไม่ให้มีตัวรองรับเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน และวัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล่องขนาด 80x80x4 มิลลิเมตร 80x40x4 มิลลิเมตร และ 50x50x4 มิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงขนาดวัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างหลักรถโดยสาร

ซึ่งลักษณะการวางตัวของชิ้นส่วนในการเชื่อมประกอบโครงสร้างหลักรถโดยสาร มีหลายลักษณะ เนื่องจากต้องทำการติดตั้งเครื่องยนต์ ถังลม และช่วงล้อ ดังนั้นจึงมีการหลีกเลี่ยง ในตำแหน่งดังกล่าว ลักษณะการเชื่อมชิ้นส่วนจึงมีทั้งการเชื่อมชน การเชื่อมทำมุม และเชื่อมขนาน ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 3.14 ได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการเชื่อมชิ้นส่วน

3.4.6 กรรมวิธีในการเชื่อม

เนื่องจากการเชื่อมโครงสร้างหลักกรดโดยสารมีแนวเชื่อมจำนวนมาก และในแต่ละแนวมีความยาวของแนวเชื่อมที่ยาวพอสมควร ดังนั้นจึงใช้การเชื่อมแบบมิกส์ (MIG) ที่แนวเชื่อมไม่เกิดสแตกปกคลุม ไม่มีเขม่าและควันขณะทำการเชื่อม สามารถทำการเชื่อมได้เร็วเนื่องจากเป็นการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ

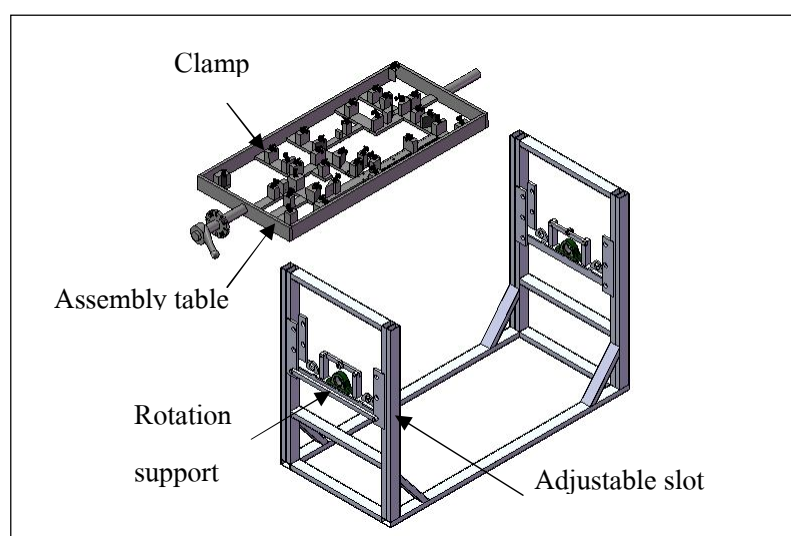
ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นส่วน

- ค่าแรงดัน 24±2 โวลต์
- ค่ากระแส 200±50 แอมแปร์
- ปริมาณแก๊สออกซิเจน 2%
- ปริมาณแก๊สอาร์กอน 98%
- อัตราการป้อนแก๊ส 15-16 ลิตรต่อนาที

3.5 การจำลองการวิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

หลังจากทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเสร็จก็นำมาสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Solidwork 2007 SP 2.2 โดยสร้างแบบจำลองทีละชิ้นส่วนแล้วนำมาประกอบกันเป็นอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ซึ่งเพื่อง่ายต่อการศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนประกอบชิ้นส่วนซึ่งมีลักษณะต่างกันออกไปตามลักษณะของโครงสร้างย่อยที่ทำการผลิตบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนั้น
2. ตัวโครงสร้างที่จะทำหน้าที่รับภาระกรรมทั้งหมด เช่น น้ำหนักโครงสร้างย่อยและน้ำหนักตัวอุปกรณ์จับยึด

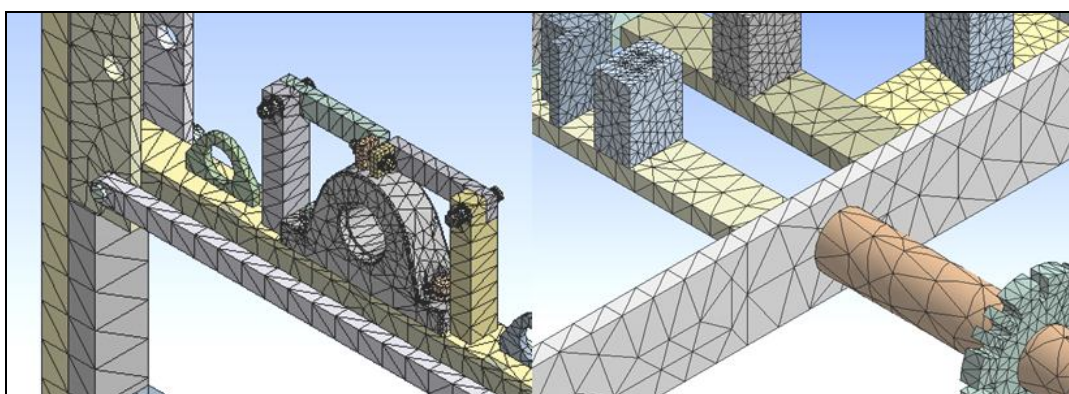


รูปที่ 3.15 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

3.5.1 โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อหาค่าความเค้นและการเสียรูปของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยใช้การวิเคราะห์ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โปรแกรม ANSYS Workbench V.11

การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ เอลิเมนต์ย่อยที่แบ่งบนแผ่นเหล็กนั้นอาจเป็นเอลิเมนต์ในรูปแบบสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าก็ได้ หากแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยมตัวไม่รู้ค่า (Unknowns) จะอยู่ที่มุมทั้งสามของสามเหลี่ยมนั้น ซึ่งเรียกกันว่าจุดต่อ (Node) การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์จะสอดคล้องกับลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าที่สมมติขึ้นบนเอลิเมนต์นั้น ๆ เช่น หากเลือกใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบสามจุดต่อที่มุมทั้งสามแล้ว ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นั้นจะถูกสมมติให้อยู่ในรูปแบบของแผ่นเรียบ (Flat Plane) เป็นต้น แต่หากเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสี่จุดต่อที่มุมทั้งสี่ ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมนี้อาจไม่เรียบแต่โค้งไปโค้งมาได้ ดังนั้นการเลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดต่าง ๆ กันจึงมีผลโดยตรงกับผลลัพธ์ที่จะคำนวณได้ จากเหตุดังกล่าวซึ่งเป็นแผ่นเรียบในผิวหน้า และต้องการความละเอียดมากจึงเลือกใช้แบบเอลิเมนต์สามเหลี่ยม แสดงลักษณะเอลิเมนต์ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์

เมื่อได้แบบที่ต้องการวิเคราะห์แล้วก็จะมีส่วนสำคัญของโปรแกรมที่ทำให้การวิเคราะห์ในแต่ละชิ้นต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นด้านวัสดุ หรือลักษณะการยึดติดของชิ้นงาน หรือแม้แรงที่มากกระทำ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละรายละเอียดที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งมีส่วนสำคัญดังนี้

3.5.2 ส่วนประกอบของโปรแกรมที่ทำให้การวิเคราะห์แตกต่างกัน

3.5.2.1 คุณสมบัติเชิงกลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ก) วัสดุที่นำมาทำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนแรก คือ ส่วนในการประกอบชิ้นงานทำจาก Structure Steel AISI 1020 ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้

- Density 7860 kg/m³ - Poisson's Ratio 0.25
- Yield Stress 350 MPa - Tensile Stress 420 MPa
- Modulus of Elasticity 200 GPA

ข) วัสดุที่นำมาทำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนที่สอง คือ ส่วนโครงสร้างทำจาก Stainless Steel RST 4003 ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้

- Density 7740 kg/m³ - Poisson's Ratio 0.30
- Yield Strength 320 MPa - Tensile Strength 450 MPa
- Modulus of Elasticity 220 GPA

ค) วัสดุที่นำมาทำตัวสลักล็อก คือ Steel AISI 4142 ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้

- Density 7860 kg/m³ - Poisson's Ratio 0.30
- Yield Stress 1720 MPa - Tensile Stress 1930 MPa
- Modulus of Elasticity 220 GPA

3.5.3 เงื่อนไขในการวิเคราะห์

โดยการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์แบบสถิตยศาสตร์ (Static) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เพียงวัสดุ และแรงที่มากระทำโดยไม่นำปัจจัยด้านอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อหาค่าความปลอดภัยของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่เกิดความปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงาน

ในการเลือกวิเคราะห์จะเลือกสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์โดยเลือกเฉพาะในส่วนที่จำเป็น และต้องการและสำคัญที่สุดต้องสอดคล้องกับค่าต่าง ๆ ที่ได้ใส่ลงไป ทั้งนี้หากวิเคราะห์เกินความจำเป็น หรือไม่สอดคล้องกันแล้วจะทำให้โปรแกรมทำงานหนักและทำการประมวลผลหลายรอบจนกระทั่งเกิดความผิดพลาดหรืออาจเกิดการ error ได้

ส่วนขนาดแรงที่มากระทำ เนื่องจากโดยทั่วไปนั้นแรงที่มากระทำต่อวัตถุมีหลายรูปแบบ ดังนั้นต้องคำนึงว่าแรงที่นำมาคำนวณเป็นแรงประเภทใด ซึ่งในที่นี้เป็นแรงกดเนื่องจากน้ำหนักชิ้นงานจึงเลือกแบบ Pressure

3.5.3.1 วิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

กรณีที่ 1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนการประกอบชิ้นงาน โดยจะพิจารณาเพียงน้ำหนักโครงสร้างย่อยที่กระทำบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

กรณีที่ 2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนการประกอบชิ้นงาน โดยกรณีนี้จะพิจารณาทั้งน้ำหนักโครงสร้างย่อยที่กระทำบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และน้ำหนักของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เมื่อพิจารณาค่าแรงโน้มถ่วงเท่ากับ 9.8066 m/s^2

กรณีที่ 3 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนโครงสร้างฐาน เมื่อได้รับทั้งน้ำหนักของโครงสร้างย่อยและน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

กรณีที่ 4 วิเคราะห์สลักที่ทำหน้าที่เป็นตัวล็อกไม่ให้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเคลื่อนที่ขณะทำการประกอบโครงสร้างย่อยและขณะทำการเชื่อมชิ้นงาน

3.5.3.2 การวิเคราะห์ภาระกรรมบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

จากลักษณะการปฏิบัติงานของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแต่ละแบบสามารถทำการผลิตโครงสร้างย่อยได้หลายโครงสร้าง โดยแต่ละโครงสร้างย่อยจะมีลักษณะและรูปร่างที่คล้ายกันมีในบางส่วนที่ต่างกันในเรื่องขนาด จึงต้องมีการปรับตำแหน่งในการปฏิบัติงานสำหรับทำโครงสร้างถัดไปเล็กน้อย ดังนั้นในแต่ละอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจะปฏิบัติงานได้เฉพาะโครงสร้างย่อยที่เราได้ทำการแบ่งกลุ่มไว้ ซึ่งโครงสร้างย่อยก็จะมีน้ำหนักต่างกันไป ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 แต่เพื่อความรวดเร็วเราจะทำการวิเคราะห์เฉพาะโครงสร้างย่อยที่มีน้ำหนักมากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างย่อยที่หนักมากที่สุดจะเป็นภาระกรรมสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่จะได้รับ แสดงได้ดังนี้

- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 รับน้ำหนักโครงสร้างย่อยสูงสุด เท่ากับ 645.79 นิวตัน
- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 รับน้ำหนักโครงสร้างย่อยสูงสุด เท่ากับ 388.25 นิวตัน
- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 รับน้ำหนักโครงสร้างย่อยสูงสุด เท่ากับ 462.78 นิวตัน
- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 รับน้ำหนักโครงสร้างย่อยสูงสุด เท่ากับ 415.62 นิวตัน

และจากการออกแบบน้ำหนักของตัวอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนแรก คือ ส่วนในการประกอบชิ้นส่วน ตามที่ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทั้งหมด 4 แบบ ที่สามารถทำการผลิตโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักถัดโดยสารได้จำนวน 2 รุ่น ในแต่ละแบบ

อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานก็จะมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นน้ำหนักของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนนี้สามารถแสดงได้ดังนี้ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 มีน้ำหนัก 3,122.50 นิวตัน

- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 มีน้ำหนัก 2,252.08 นิวตัน
- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 มีน้ำหนัก 2,896.52 นิวตัน
- อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 มีน้ำหนัก 864.48 นิวตัน

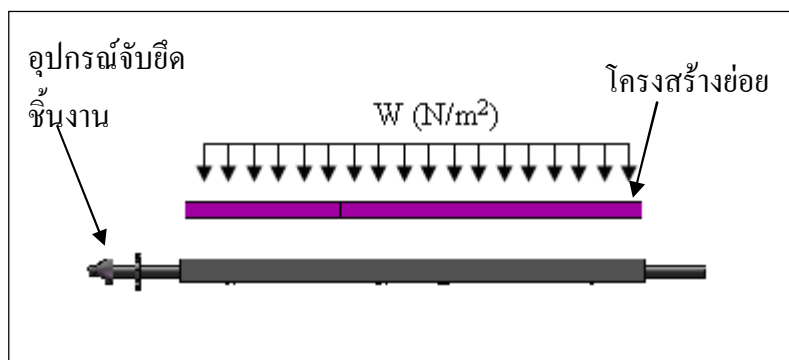
แต่ในที่นี้ยังไม่รวมน้ำหนักของอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น น้ำหนักตัวยึดชิ้นงาน (Clamp) สกรู (Screw) และ น็อต (Nut) ที่ใช้ในการประสานชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

- ตัวยึดจับชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 หนักตัวละ 0.155 Kgs. มีแรงยึดชิ้นงาน 892 N โดยที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 ใช้ตัวยึดจับชิ้นงาน 30 ตัว
- ตัวยึดจับชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 และแบบที่ 3 หนักตัวละ 0.059 Kgs. มีแรงยึดชิ้นงาน 669 N โดยที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 ใช้ตัวยึดจับชิ้นงาน 33 ตัว และอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 ใช้ตัวยึดจับชิ้นงาน 44 ตัว
- สำหรับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 จะไม่มีตัวยึดจับชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

กรณีที่ 1 วิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนแรกคือ ส่วนประกอบชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.17 เมื่อนำโครงสร้างย่อยมาประกอบบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานขณะที่อุปกรณ์จับยึดมีการวางตัวในแนวระนาบกับพื้น เนื่องจากเป็นลักษณะในการนำชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างย่อยในแต่ละแบบมาทำการประกอบบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานและทำการเชื่อมโครงสร้างย่อย ดังนั้นภาระกรรมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงภาระทั้งหมดบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

| แบบที่ | น้ำหนักโครงสร้างย่อย (N) | พื้นที่ (m ²) | ภาระกรรม (Pa) | แรงต้าน R (N) |
|--------|--------------------------|---------------------------|---------------|---------------|
| 1 | 645.79 | 0.76 | 849.72 | 322.90 |
| 2 | 388.25 | 0.41 | 946.95 | 194.13 |
| 3 | 462.78 | 0.59 | 784.37 | 231.39 |
| 4 | 415.62 | 0.23 | 1,807.04 | 207.81 |

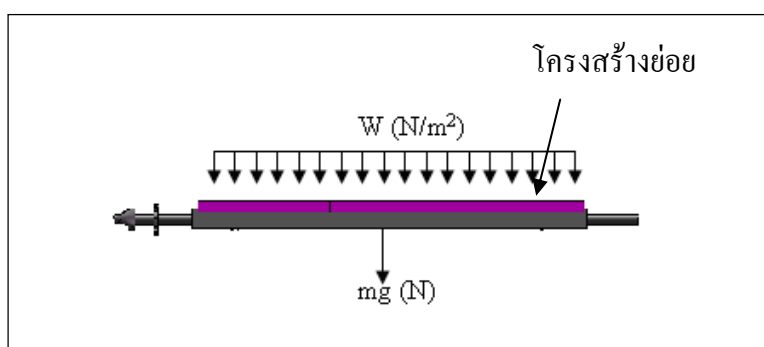


รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะการรับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (กรณี 1)

กรณีที่ 2 วิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนแรก โดยกรณีนี้จะพิจารณาน้ำหนักของอุปกรณ์จับยึดในแต่ละแบบด้วยดังรูปที่ 3.18 ซึ่งอุปกรณ์จับยึดจะประกอบไปด้วยตัวยึดชิ้นงาน สกรูและน็อต ที่ใช้ในการประสานชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังนั้นภาระกรรมในส่วนนี้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงภาระกรรมที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับ

| แบบที่ | ภาระกรรม W(Pa) | นน.สกรู + Clamp (N) | นน.อุปกรณ์จับยึด (N) | แรงต้าน R(N) |
|--------|----------------|---------------------|----------------------|--------------|
| 1 | 849.72 | 75.62 | 3156.14 | 1,938.71 |
| 2 | 946.95 | 82.06 | 2288.58 | 1,379.44 |
| 3 | 784.37 | 67.01 | 2957.45 | 1,743.62 |
| 4 | 1,807.04 | 6.34 | 879.83 | 650.90 |

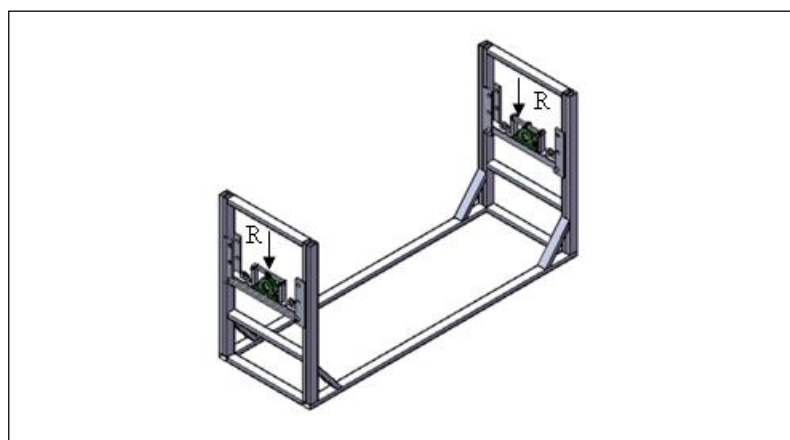


รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะการรับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (กรณี 2)

กรณี 3 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนที่สอง คือ ส่วนตัวโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ที่ทำหน้าที่รับภาระกรรมทั้งน้ำหนักของโครงสร้างย่อยและน้ำหนักตัวประกอบ โครงสร้างย่อย ดังรูปที่ 3.19 โดยภาระกรรมจะกระทำบริเวณแบริงทั้งสองด้านของตัวโครงสร้าง ในลักษณะที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานอยู่ในแนวระนาบกับพื้น ดังนั้นภาระกรรมในส่วนนี้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.6

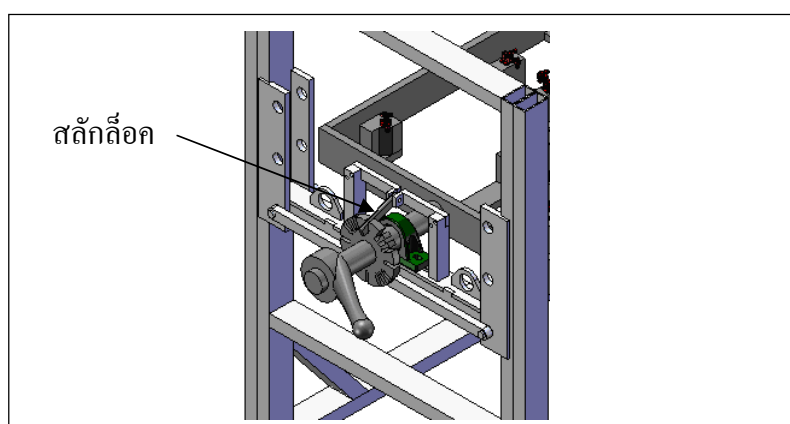
ตารางที่ 3.6 แสดงภาระกรรมที่โครงสร้างได้รับ

| แบบที่ | น้ำหนัก (N) | | ภาระกรรมทั้งหมด (N) | แรงต้าน R (N) |
|--------|---------------|-------------------------------|------------------------|------------------|
| | โครงสร้างย่อย | อุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์อื่น ๆ | | |
| 1 | 645.79 | 3,622.50 | 4,268.29 | 2,134.15 |
| 2 | 388.25 | 2,752.08 | 3,140.33 | 1,570.17 |
| 3 | 462.78 | 3,396.52 | 3,859.30 | 1,929.65 |
| 4 | 415.62 | 1,364.48 | 1,780.10 | 890.05 |



รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะการรับภาระกรรมของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (กรณี 3)

กรณีที่ 4 วิเคราะห์ภาระกรรมที่สลักล๊อคได้รับเนื่องจากลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสามารถหมุนได้รอบ ดังนั้นขณะปฏิบัติงานตัวสลักจึงทำหน้าที่ล๊อคไม่ให้ตัวอุปกรณ์หมุน ดังนั้นจากการปฏิบัติงานแล้วเราจะทำการวิเคราะห์เพียงภาระกรรมมากที่สุด นั่นคือสลักของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 มีภาระกรรมของโครงสร้างและตัวอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสูงสุดประมาณ 4,268.29 นิวตัน ดังรูปที่ 3.20 จะแสดงลักษณะที่สลักล๊อค ดังนั้นอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจะไม่สามารถทำการหมุนได้ โดยลักษณะการล๊อคของตัวสลักจะสามารถปรับมุมมองสายในการล๊อคตัวอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้ตามลักษณะการทำงาน



รูปที่ 3.20 แสดงลักษณะการรับภาระกรรมของสลักล๊อค

3.6 การศึกษาเวลามาตรฐาน

จากการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทั้ง 4 แบบ ได้นำมาศึกษาหลักการทำงานของแต่ละโครงสร้างย่อยเมื่อนำมาทำการประกอบและทำการเชื่อมบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ในการศึกษาหลักการปฏิบัติงานเราจะนำแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Process Chart) มาใช้ศึกษาการเคลื่อนย้ายชิ้นงานในการทำงานก่อนหลัง เนื่องจากลักษณะโครงสร้างย่อยที่เราได้ศึกษาในข้างต้นมีหลายลักษณะและรูปร่างต่างกัน ดังนั้นในการปฏิบัติงานแต่ละโครงสร้างย่อยจึงต่างกัน และจำนวนชิ้นส่วนที่นำมาประกอบเป็นโครงสร้างย่อยแต่ละโครงสร้างก็ใช้จำนวนชิ้นส่วนไม่เท่ากัน ขนาดต่างกัน และในการจับยึดชิ้นส่วนในแต่ละชิ้นก็มีตำแหน่งจับยึดต่างกัน

3.6.1 แผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง

โดยหลักการของแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องจะนำสัญลักษณ์ต่าง ๆ มาใช้แทนการทำงาน ดังนี้

- หมายถึง การทำงาน (Operation) ที่ได้ผลงานเพิ่มขึ้น
- หมายถึง การตรวจสอบ (Inspection)
- ⊖ หมายถึง การเก็บพักชั่วคราวและการรอ (Delay)
- ▽ หมายถึง การเก็บพักที่ควบคุมได้ (Storage)
- ⇒ หมายถึง การขนถ่าย (Transportation) ที่เกิดจากการย้ายเครื่องจักรวัสดุ หรือคนจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งยกเว้นการเคลื่อนไหวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทำงาน

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|----------------|----------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | | | | | | |
| คนงาน : | | | TRANSPORT | | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | | | | | | |
| | | | STORAGE | | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ⇒ | ⊖ | □ | ▽ | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

รูปที่ 3.21 แสดงแบบฟอร์มแผนภูมิการผลิตแบบต่อเนื่อง

หลังจากทำการศึกษารายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานในแต่ละโครงสร้างย่อยแล้ว เราจะศึกษาเวลาในการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนการทำงาน โดยจะทำการเก็บข้อมูลตามแบบฟอร์มแผนภูมิการผลิตแบบต่อเนื่องดังรูปที่ 3.21 ที่จะทำการเก็บข้อมูล เวลาในการปฏิบัติงานแต่ละกระบวนการรวมทั้งระยะทางที่ปฏิบัติงานด้วย ซึ่งระยะเวลาในการเชื่อมชิ้นงานนั้นเราได้ข้อมูลมาจากการปฏิบัติงานจริงของผู้ปฏิบัติงาน แสดงได้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงเวลาที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงาน

| ลักษณะแนวเชื่อม | เวลา (วินาที) |
|-----------------------|---------------|
| แนวนอน 80 มิลลิเมตร | 14 |
| แนวตั้ง 80 มิลลิเมตร | 12 |
| แนวนอน 40 มิลลิเมตร | 8 |
| แนวเฉียง 80 มิลลิเมตร | 14 |
| แนวเฉียง 40 มิลลิเมตร | 10 |

ศึกษาระยะเวลาการปฏิบัติงานส่วนอื่น ๆ เราใช้เวลามาตรฐานแบบพรีดีเทอร์มิน (Predetermined Time Standard, PMTS) ในการพิจารณา

3.6.2 เวลามาตรฐานแบบพรีดีเทอร์มิน

ซึ่งเป็นเวลามาตรฐานแบบล่วงหน้า คือ กระบวนการหาเวลาในการเคลื่อนไหวพื้นฐานหลาย ๆ ชนิด โดยเวลาเหล่านั้นได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐานล่วงหน้าแล้ว

3.6.2.1 การศึกษาการเอื่อม (Reach)

กรณีการเอื่อมไปหาชิ้นงานที่วางอยู่ที่ Fixture ระยะทาง 10 นิ้ว สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนได้ R10A เมื่อเวลาช้อยจากตารางที่ 3.8 แสดงเป็น TMU (Time Measurement Unit) $1\text{TMU} = 0.00001 \text{ ชั่วโมง} = 0.0006 \text{ นาที} = 0.036 \text{ วินาที}$ ดังนั้น จากตารางที่ 3.8 จะได้เวลา R10A = 8.7 TMU ซึ่งเท่ากับ 0.3132 วินาที เราจึงใช้ลักษณะการเอื่อมมือไปทำการยึดตัวจับยึดชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ บนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานด้วยหลักการเดียวกัน โดยที่ลักษณะการเอื่อมถึงวัสดุกรณีต่าง ๆ ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.6.2.1

ตารางที่ 3.8 แสดงเวลาการเชื่อม

| ระยะเคลื่อนที่ (นิ้ว) | เวลา TMU | | | | | |
|-----------------------|----------|------|--------|------|------|------|
| | A | B | C or D | E | Am | Bm |
| น้อยกว่า 3/4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.6 | 1.6 |
| 1 | 2.5 | 2.5 | 3.6 | 2.4 | 2.3 | 2.3 |
| 2 | 4 | 4 | 5.9 | 3.8 | 3.5 | 2.7 |
| 3 | 5.3 | 5.3 | 7.3 | 5.3 | 4.5 | 3.6 |
| 4 | 6.1 | 6.4 | 8.4 | 6.8 | 4.9 | 4.3 |
| 5 | 6.5 | 7.8 | 9.4 | 7.4 | 5.3 | 5 |
| 6 | 7 | 8.6 | 10.1 | 8 | 5.7 | 5.7 |
| 7 | 7.4 | 9.3 | 10.8 | 8.7 | 6.1 | 6.5 |
| 8 | 7.9 | 10.1 | 11.5 | 9.3 | 6.5 | 7.2 |
| 9 | 8.3 | 10.8 | 12.2 | 9.9 | 6.9 | 7.9 |
| 10 | 8.7 | 11.5 | 12.9 | 10.5 | 7.3 | 8.6 |
| 12 | 9.6 | 12.9 | 14.2 | 11.8 | 8.1 | 10.1 |
| 28 | 12.3 | 17.2 | 18.4 | 15.5 | 10.5 | 14.4 |
| 20 | 13.1 | 18.6 | 19.8 | 16.7 | 11.3 | 15.8 |
| 22 | 14 | 20.1 | 21.2 | 18 | 12.1 | 17.3 |
| 24 | 14.9 | 21.5 | 22.5 | 19.2 | 12.9 | 18.8 |
| 26 | 15.6 | 22.9 | 23.9 | 20.4 | 13.7 | 20.2 |
| 28 | 16.7 | 24.4 | 25.3 | 21.7 | 14.5 | 21.7 |
| 30 | 17.5 | 25.8 | 26.7 | 22.9 | 15.3 | 23.2 |
| มากกว่า 30 นิ้ว | 0.4 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | | |

3.6.2.2 การศึกษาการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน (Move)

กรณีการเคลื่อนย้ายชิ้นงานระยะทาง 10 นิ้ว สามารถเขียนสัญลักษณ์แทนได้ M10B เมื่อเวลาช้อยจากตารางที่ 3.9 เท่ากับ 12.2 TMU และถ้าชิ้นงานมีน้ำหนักมากกว่า 5 กิโลกรัม (ประมาณ 11 ปอนด์) ต้องบวกเวลาเพิ่มตามสมการ (3.1)

$$\begin{aligned} \text{เวลาการเคลื่อนที่ (TMU)} &= (\text{เวลาจากตารางที่ 3.9} \times \text{แฟคเตอร์}) + \text{ค่าคงที่} \\ 17.32 \text{ TMU} &= (12.2 \times 1.1) + 3.9 \end{aligned} \quad (3.1)$$

ดังนั้น เวลาการเคลื่อนที่จะได้ 17.32 TMU ซึ่งเท่ากับ 0.62352 วินาที เราจึงใช้ลักษณะการเคลื่อนย้ายวัสดุจากชั้นวางมายังตำแหน่งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานด้วยหลักการเดียวกันตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.6.2.2

กรณี ที่ระยะทางมากกว่า 30 นิ้ว

$$RX_{-} = R30_{-} + \{(X-30) (Fx)\} \quad (3.2)$$

เช่น การเอื้อมมือระยะทาง 45 นิ้วจะได้ $R45C = R30C + \{(45-30) (0.6)\}$
 $= 35.7 \text{ TMU}$ ซึ่งเท่ากับ 1.2852 วินาที

ตารางที่ 3.9 แสดงเวลาการเคลื่อนย้าย

| ระยะเคลื่อนที่ (นิ้ว) | เวลา TMU | | | | น้ำหนักลดหย่อน | | |
|--------------------------|----------|-----|-----|-----|---------------------------|----------|--------------|
| | A | B | C | Bm | น้ำหนักไม่เกิน (ปอนด์) | แฟคเตอร์ | ค่าคงที่ TMU |
| น้อยกว่า 3/4 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.7 | 2.5 | 1.00 | 0 |
| 1 | 2.5 | 2.9 | 3.4 | 2.3 | | | |
| 2 | 3.6 | 4.6 | 5.2 | 2.9 | 7.5 | 1.06 | 2.2 |
| 3 | 4.9 | 5.7 | 6.7 | 3.6 | | | |
| 4 | 6.1 | 6.9 | 8.0 | 4.3 | 12.5 | 1.11 | 3.9 |
| 5 | 7.3 | 8.0 | 9.2 | 5.0 | | | |

ตารางที่ 3.9 แสดงเวลาการเคลื่อนย้าย (ต่อ)

| ระยะเคลื่อนที่ (นิ้ว) | เวลา TMU | | | | น้ำหนักลดหย่อน | | |
|--------------------------|----------|------|------|------|---------------------------|----------|--------------|
| | A | B | C | Bm | น้ำหนักไม่เกิน (ปอนด์) | แฟคเตอร์ | ค่าคงที่ TMU |
| 6 | 8.1 | 8.9 | 10.3 | 5.7 | 17.5 | 1.17 | 5.6 |
| 7 | 8.9 | 9.7 | 11.1 | 6.5 | | | |
| 8 | 9.7 | 10.6 | 11.8 | 7.2 | 22.5 | 1.22 | 7.4 |
| 9 | 10.5 | 11.5 | 12.7 | 7.9 | | | |
| 10 | 11.3 | 12.2 | 13.5 | 8.6 | 27.5 | 1.28 | 9.1 |
| 12 | 12.9 | 13.4 | 15.2 | 10.0 | | | |
| 14 | 14.4 | 14.6 | 16.9 | 11.4 | 32.5 | 1.33 | 10.8 |
| 16 | 16.0 | 15.8 | 18.7 | 12.8 | | | |
| 28 | 17.6 | 17.0 | 20.4 | 14.2 | 37.5 | 1.39 | 12.5 |
| 20 | 19.2 | 18.2 | 22.1 | 15.6 | | | |
| 22 | 20.8 | 19.4 | 23.8 | 17.0 | 42.5 | 1.44 | 14.3 |
| 24 | 22.4 | 20.6 | 25.5 | 18.4 | | | |
| 26 | 24.0 | 21.8 | 27.3 | 19.8 | 47.5 | 1.50 | 16 |
| 28 | 25.5 | 23.1 | 29.0 | 21.2 | | | |
| 30 | 27.1 | 24.3 | 30.7 | 22.7 | | | |
| มากกว่า 30 นิ้ว | 0.8 | 0.6 | 0.9 | | | | |

3.6.3 อัตราการทำงาน (Rating)

คือ การกำหนดความเร็วของการทำงาน โดยการสังเกตจากการทำงานของคนงาน ในการปฏิบัติงานในที่นี้เลือกใช้วิธีประเมินการทำงานของ Westinghouse System of Rating โดยอาศัยองค์ประกอบ 4 ตัว ช่วยพิจารณา คือ

- 3.6.3.1. ความทักษะ (Skill)
- 3.6.3.2. ความพยายาม (Effort)
- 3.6.3.3. สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Conditions)
- 3.6.3.4. ความสม่ำเสมอ (Consistency)

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าคะแนนการประเมินอัตราการทำงานในระบบ Westinghouse

| ทักษะ | ความพยายาม |
|-----------------------|----------------------|
| +0.15 A1 ชำนาญสูงมาก | +0.13 A1 ชำนาญสูงมาก |
| +0.13 A2 | +0.12 A2 |
| +0.11 B1 ดีมาก | +0.10 B1 ดีมาก |
| +0.08 B2 | +0.08 B2 |
| +0.06 C1 ดี | +0.05 C1 ดี |
| +0.03 C2 | +0.02 C2 |
| 0.00 D เฉลี่ย | 0.00 D เฉลี่ย |
| -0.05 E1 พอใช้ | -0.04 E1 พอใช้ |
| -0.10 E2 | -0.18 E2 |
| -0.16 F1 ควรปรับปรุง | -0.12 F1 ควรปรับปรุง |
| -0.22 F2 | -0.17 F2 |
| สภาพแวดล้อมในการทำงาน | ความสม่ำเสมอ |
| +0.06 A ดีเยี่ยม | +0.04 A ดีเยี่ยม |
| +0.04 B ดีมาก | +0.03 B ดีมาก |
| +0.02 C ดี | +0.01 C ดี |
| 0.00 D เฉลี่ย | 0.00 D เฉลี่ย |
| -0.03 E พอใช้ | -0.02 E พอใช้ |
| -0.07 F ควรปรับปรุง | -0.04 F ควรปรับปรุง |

ซึ่งเป็นตัวปรับค่าของเวลาจริงให้เป็น เวลาปกติ (Normal Time) การกำหนดอัตราการทำงานของพนักงานมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกัน (ทำงานเร็ว/ช้า) เมื่อไปจับเวลา อาจได้ค่าที่ไม่แท้จริง ดังนั้นเราจะเลือกศึกษาที่อัตราการทำงาน +0.14 ได้จาก

| | | | |
|---------------------------|----|---|-------|
| ทักษะดีมาก | B2 | = | +0.08 |
| ความสามารถดี | C1 | = | +0.05 |
| สภาพแวดล้อมการทำงานเฉลี่ย | D | = | 0 |
| ความสม่ำเสมอในการทำงานดี | C | = | +0.01 |

3.6.4 เวลาปกติ (Normal Time, NT)

เวลาการทำงานที่ได้จากเวลาเฉลี่ยรอบการทำงาน (Cycle Time, CT) ที่พนักงานใช้ในการดำเนินการผลิตตั้งแต่เริ่มปฏิบัติงานจนเสร็จสมบูรณ์จะนำมาหาเป็นเวลาปกติ ดังสมการ (3.3)

$$\text{เวลาปกติ} = (1 + \text{อัตราการทำงาน}) (\text{เวลาเฉลี่ยรอบการทำงาน}) \quad (3.3)$$

ดังนั้น เมื่อเราได้เวลาเฉลี่ยรอบการทำงานจากเวลามาตรฐานแบบพรีดีเทอร์มิน และเราเลือกพิจารณาอัตราการทำงานที่ +0.14 เราก็สามารถทำการคำนวณหาเวลาปกติของแต่ละการผลิตโครงสร้างย่อยได้ ซึ่งเวลาปกติในการผลิตโครงสร้างย่อยนี้จะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นส่วนที่นำมาประกอบ

3.6.5 เวลามาตรฐาน (Standard Time, ST)

เวลาที่ใช้ในการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสมบูรณ์ซึ่งเวลามาตรฐานนี้เราสามารถนำมาคำนวณหาอัตราการผลิตได้ เนื่องจากเวลามาตรฐานจะพิจารณาเวลาเพื่อเข้าไปด้วย ซึ่งเวลาเพื่อนั้นเกิดจากความเมื่อยล้าและเวลาส่วนบุคคลของผู้ปฏิบัติงานเอง ในส่วนนี้เราได้พิจารณาที่เวลาเพื่อ 9% จากเวลาส่วนบุคคล 4% และเวลาความเมื่อยล้า 5% ดังนั้นเมื่อเราได้เวลามาตรฐานออกมาแล้วเราสามารถนำมาคำนวณหาอัตราการผลิตต่อวันได้ เมื่อเวลาในการปฏิบัติงานใน 1 วัน เท่ากับ 8 ชั่วโมง ในที่นี้เราได้พิจารณาที่การทำงานสำหรับผู้ปฏิบัติงาน 1 คน 2 คน 4 คน และผู้ปฏิบัติงาน 6 คน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากผลการดำเนินงานในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เพื่อวิเคราะห์หาความเหมาะสมทางวิศวกรรมในด้านต่าง ๆ ในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสารที่ได้ทำการศึกษาจำนวน 2 รุ่น โดยในการผลิตแบบเดิมนั้นใช้ระยะเวลาและไม่มีให้นำหลักการทางวิศวกรรมเข้ามาใช้ในการผลิต ทั้งที่มีความจำเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงทำการศึกษาและวิจัยในเรื่องดังกล่าว ซึ่งผลในการดำเนินงานมี ดังนี้

- 4.1 จำนวนโครงสร้างย่อยที่แบ่งจากโครงสร้างหลักรถโดยสารทั้ง 2 รุ่น
- 4.2 การจัดกลุ่ม โครงสร้างย่อย
- 4.3 ผลการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน
- 4.4 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์
- 4.5 อัตราการผลิต

4.1 จำนวนโครงสร้างย่อยที่แบ่งจากโครงสร้างหลักรถโดยสารทั้ง 2 รุ่น

จากรูปที่ 3.5 ถึงรูปที่ 3.8 แสดงการแบ่งโครงสร้างย่อยในส่วนหน้าและส่วนท้ายของโครงสร้างหลักรถโดยสาร ทั้ง 2 รุ่น ซึ่งสามารถสรุปการแบ่งโครงสร้างย่อยได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนโครงสร้างย่อยที่ทำการแบ่ง

| โครงสร้างหลัก รถโดยสาร | ส่วนหน้า | จำนวน ประกอบ (ชิ้น) | ส่วนท้าย | จำนวน ประกอบ (ชิ้น) |
|---------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 | Front 1 | 1 | Rear 1 | 1 |
| | Front 2 | 1 | Rear 2 | 1 |
| | Front_Assy 2 | 2 | Rear 3 | 1 |
| | Assy FrontWheel RH | 1 | Rear Support Assy | 2 |
| | Assy FrontWheel LH | 1 | Rear Support Assy 2 | 1 |
| | | | Rear Support Assy 2-1 | 1 |
| | | | Rear Support Assy 3 | 2 |

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนโครงสร้างย่อยที่ทำการแบ่ง (ต่อ)

| โครงสร้างหลัก รถโดยสาร | ส่วนหน้า | จำนวน ประกอบ (ชิ้น) | ส่วนท้าย | จำนวน ประกอบ (ชิ้น) |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280 | Front 1 | 1 | Rear 1 | 1 |
| | Front 2 | 1 | Rear 2 | 1 |
| | Front WheelMember | 2 | Rear Support Assy | 2 |
| | Assy FrontWheel RH | 1 | Rear Support Assy_2 | 2 |
| | Assy FrontWheel LH | 1 | | |

จะพบว่าจากตารางที่ 4.1 ในการแบ่งโครงสร้างหลักรถโดยสารชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 ในส่วนหน้าสามารถทำการแบ่งได้ 5 โครงสร้างย่อย ในส่วนท้ายสามารถแบ่งได้ 7 โครงสร้างย่อย และการแบ่งโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280 ในส่วนหน้าสามารถทำการแบ่งได้ 5 โครงสร้างย่อย ในส่วนท้ายสามารถแบ่งได้ 7 โครงสร้างย่อย จำนวนโครงสร้างย่อยที่ทำการแบ่งออกมาในข้างต้นนี้เป็นจำนวนโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะและรูปร่างต่างกัน ซึ่งในความเป็นจริงในการที่เราจะทำการประกอบโครงสร้างหลักรถโดยสารชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 เราจำเป็นที่จะต้องนำโครงสร้างย่อย 6 โครงสร้างมาประกอบในส่วนหน้าและ 9 โครงสร้างย่อยในการประกอบส่วนท้าย และในทำนองเดียวกันนี้ในการประกอบโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280 เราจำเป็นที่จะต้องนำโครงสร้างย่อย 6 โครงสร้างมาประกอบในส่วนหน้าและ 6 โครงสร้างย่อยในการประกอบส่วนท้าย

4.2 การจัดกลุ่มโครงสร้างย่อย

จากจำนวนโครงสร้างย่อยที่ทำการแบ่งออกมาจากโครงสร้างหลักรถโดยสารทั้ง 2 รุ่น เราจะได้โครงสร้างย่อยที่มีลักษณะและรูปร่างที่ต่างกันทั้งหมด 20 โครงสร้างย่อย และแบ่งเป็น 12 โครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิด 2 ชั้น รุ่น CB420 และ 9 โครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักรถโดยสาร ชนิดชั้นครึ่ง รุ่น CG280 โดยที่ทั้ง 2 รุ่นมีโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะและรูปร่างเหมือนกัน 1 โครงสร้างย่อย คือ Rear Support ซึ่งโครงสร้างย่อยในแต่ละกลุ่มสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการแบ่งกลุ่มโครงสร้างย่อย

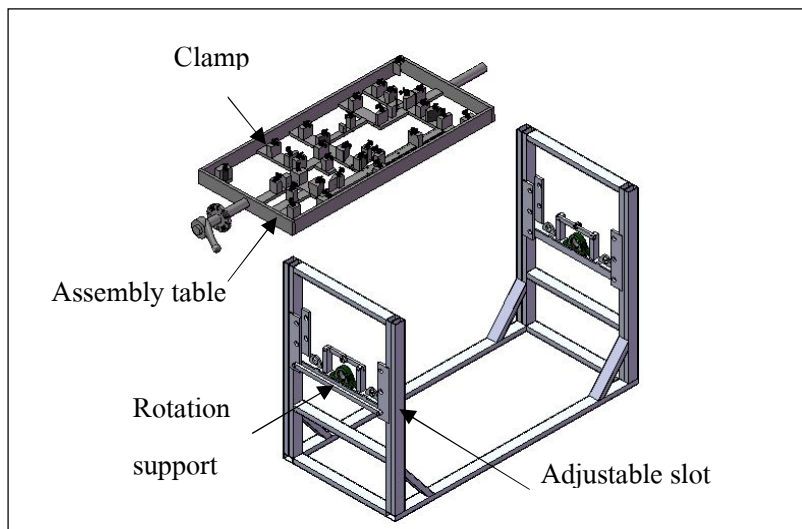
| กลุ่มที่ | โครงสร้าง 2 ชั้น | โครงสร้างชั้นครึ่ง |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | Front 1 (1) | Front 1 (1) |
| | Front 2 (1) | Front 2 (1) |
| | Rear 1 (1) | Rear 1 (1) |
| | Rear 2 (1) | Rear 2 (1) |
| | Rear 3 (1) | |
| 2 | Front Assy 2 (2) | Front Wheel Member (2) |
| | Rear Support Assy (2) | Rear support Assy (2) |
| 3 | Rear Support Assy2 (1) | Rear support Assy_2 (2) |
| | Rear support Assy 2-1 (1) | |
| | Rear support Assy 3 (2) | |
| 4 | Assy_FrontWheel RH (1) | Assy_wheel RH (1) |
| | Assy_FrontWheel LH (1) | Assy_wheel LH (1) |

4.3 ผลการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

หลังจากทำการแบ่งกลุ่มโครงสร้างย่อยแล้วเราก็จะได้ลักษณะโครงสร้างย่อยที่มีลักษณะและรูปร่างคล้ายกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน จึงง่ายต่อการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ซึ่งลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาเราจึงแบ่งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

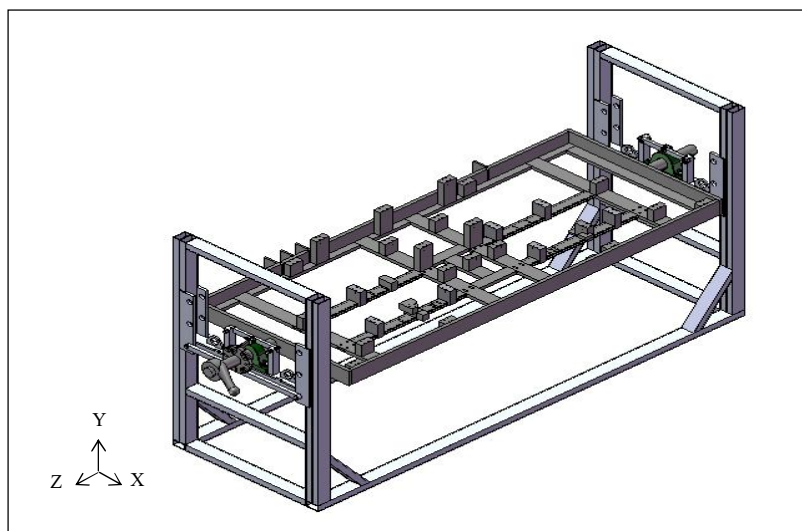
ส่วนที่ 1 คือ ส่วนประกอบชิ้นส่วนมีลักษณะต่างกันออกไปตามลักษณะของโครงสร้างย่อยที่ทำการผลิตบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนั้น และในส่วนนี้จะมีตัวจับยึดชิ้นงาน (Clamp) สำหรับจับยึดชิ้นงานขณะปฏิบัติงานและในบางตำแหน่งยังใช้เป็นตัวกำหนดตำแหน่งอีกด้วย

ส่วนที่ 2 คือ ตัวโครงสร้างที่จะทำหน้าที่รับภาระกรรมทั้งหมด เช่น น้ำหนักโครงสร้างย่อยและตัวอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ในส่วนนี้จะมีลักษณะคล้ายกันทั้ง 4 แบบจะต่างกันที่ขนาดเล็กน้อย

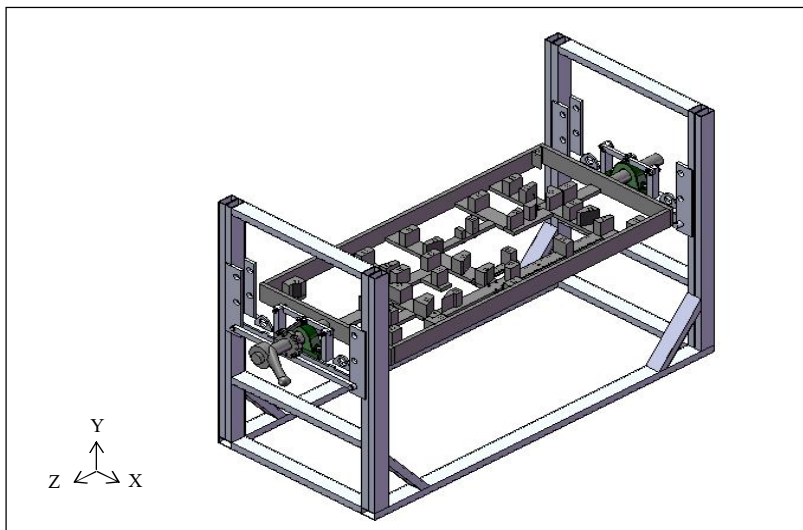


รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

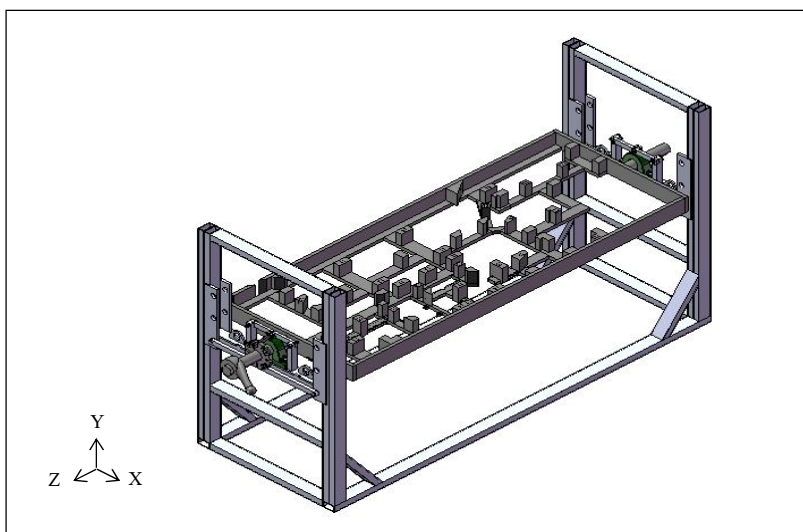
ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทั้ง 4 แบบ จะต่างกันมากในส่วนแรก คือส่วนประกอบชิ้นส่วน เนื่องจากลักษณะโครงสร้างย่อยในแต่ละกลุ่มมีความต่างกันมาก ดังนั้น ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแต่ละแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.5 ดังนี้



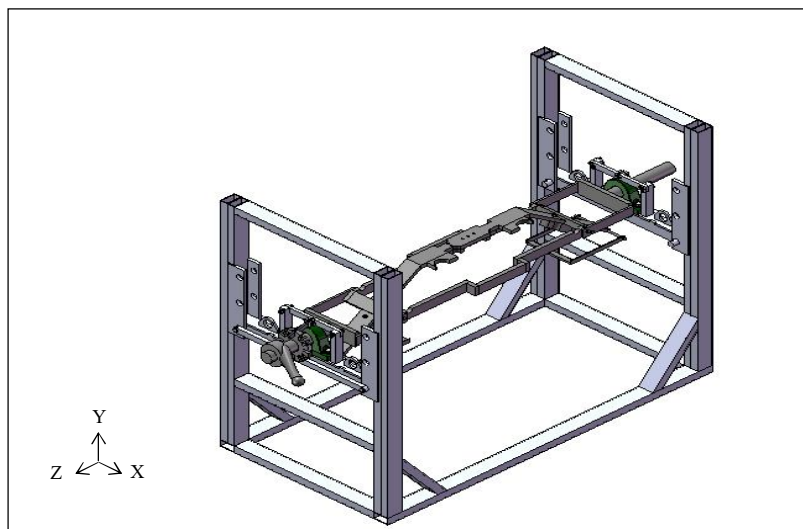
รูปที่ 4.2 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1



รูปที่ 4.3 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2



รูปที่ 4.4 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3



รูปที่ 4.5 ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

โดยอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแต่ละแบบจะมีขนาดที่ต่างกันและมีจำนวนชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดของแต่ละอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

| แบบที่ | ขนาดอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (เมตร) | | | จำนวนชิ้นประกอบ (ชิ้น) | |
|--------|---------------------------------|---------|---------|------------------------|-----------|
| | ความกว้าง | ความยาว | ความสูง | ส่วนที่ 1 | ส่วนที่ 2 |
| 1 | 0.98 | 3.10 | 1.44 | 40 | 15 |
| 2 | 0.78 | 2.39 | 1.44 | 51 | 15 |
| 3 | 0.90 | 2.99 | 1.44 | 63 | 15 |
| 4 | 0.38 | 2.24 | 1.44 | 24 | 15 |

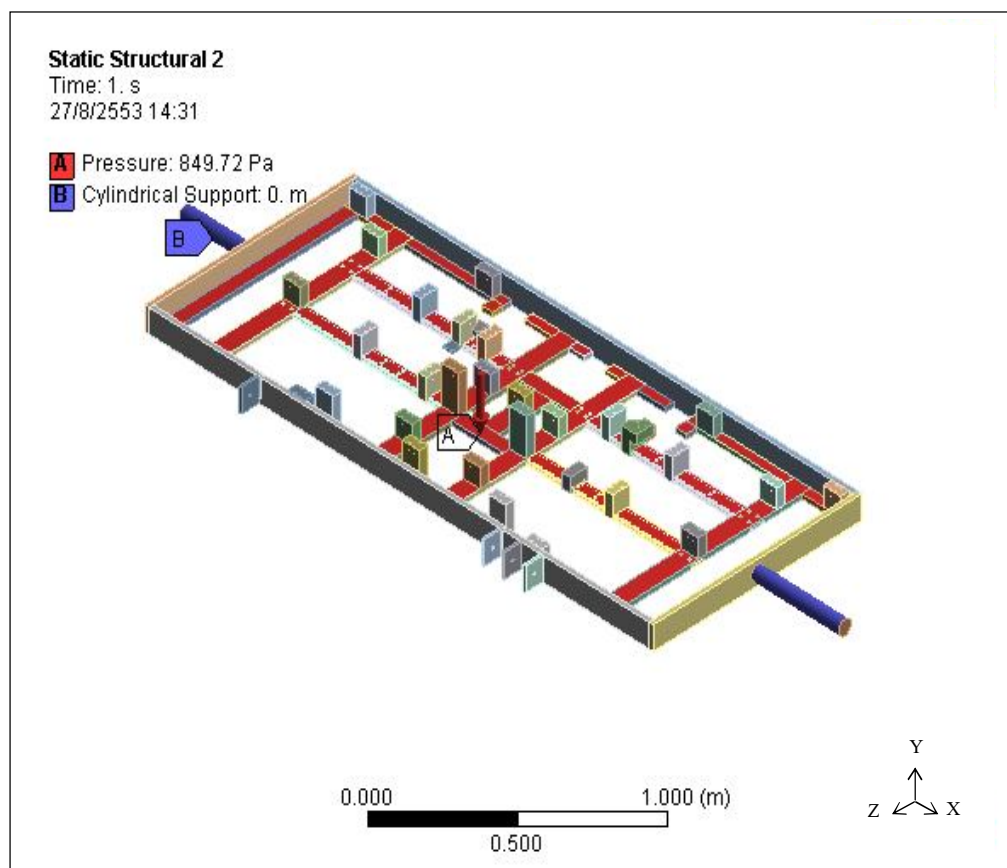
ส่วนที่ 1 คือส่วนที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างย่อย

ส่วนที่ 2 คือส่วนโครงสร้างฐานอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

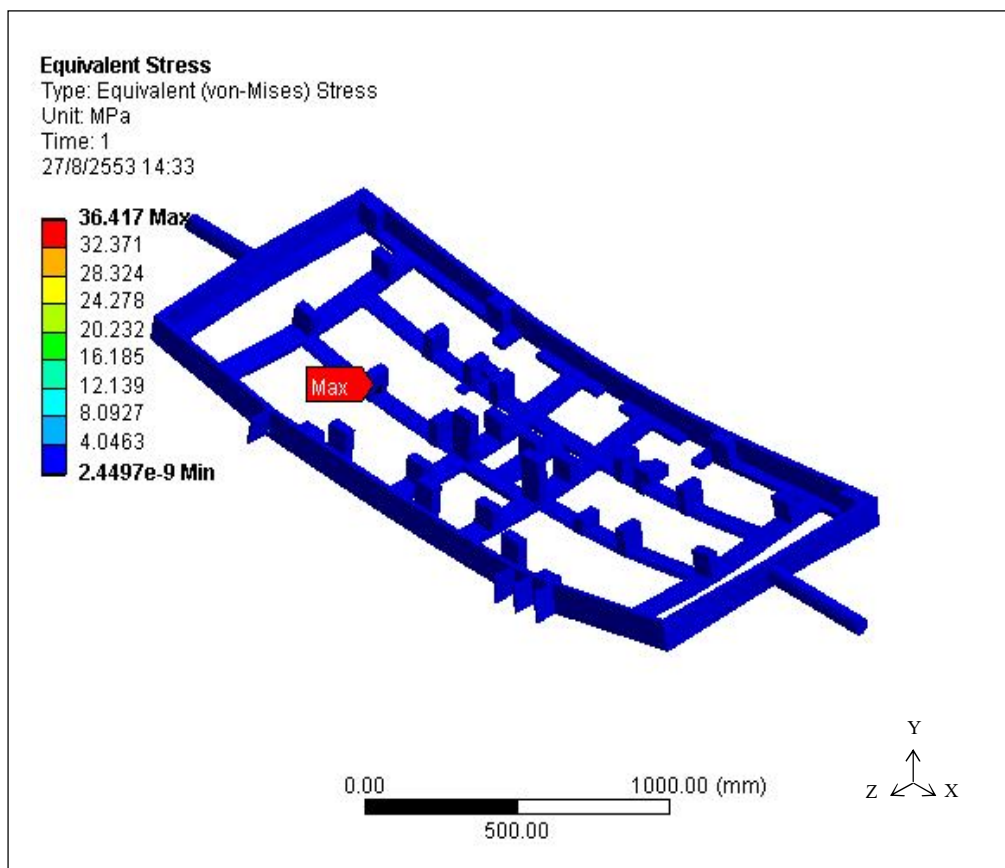
4.4 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

4.4.1 กรณีที่ 1 วิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

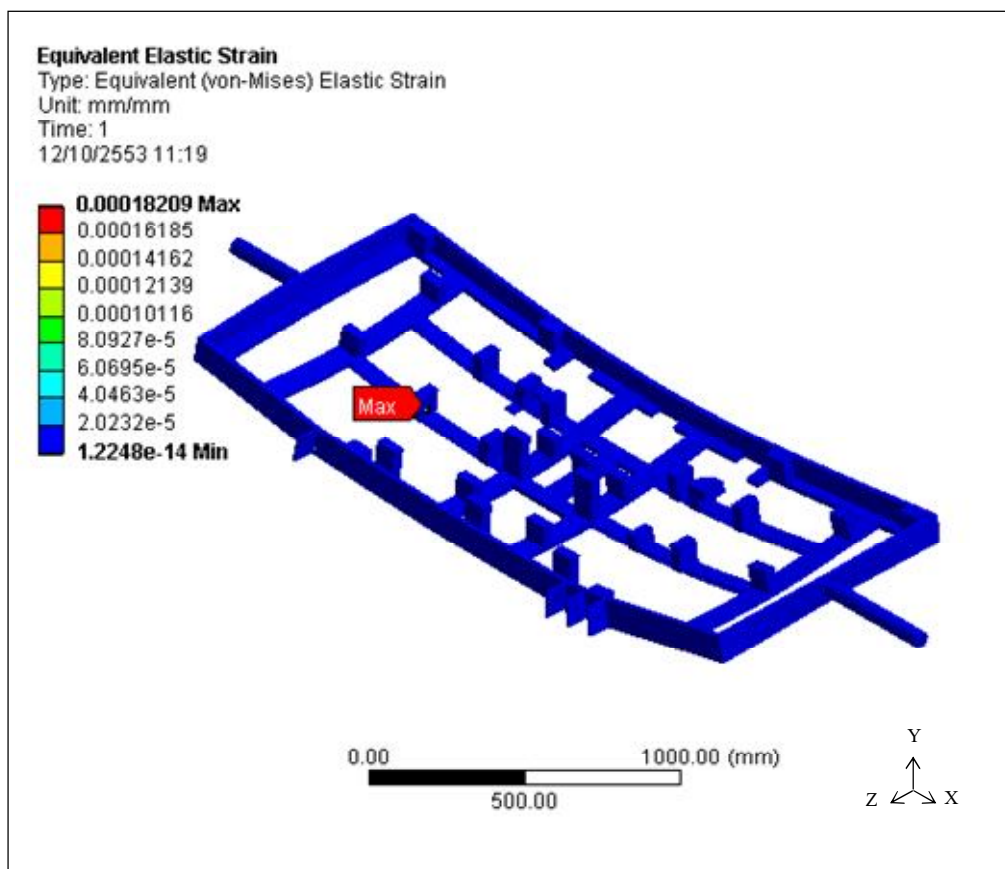
ผลการวิเคราะห์ โดยการเฉลี่ยแรงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจาก โครงสร้างย่อยของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 ซึ่งมีภาระกรรมทั้งหมด 849.72 Pa



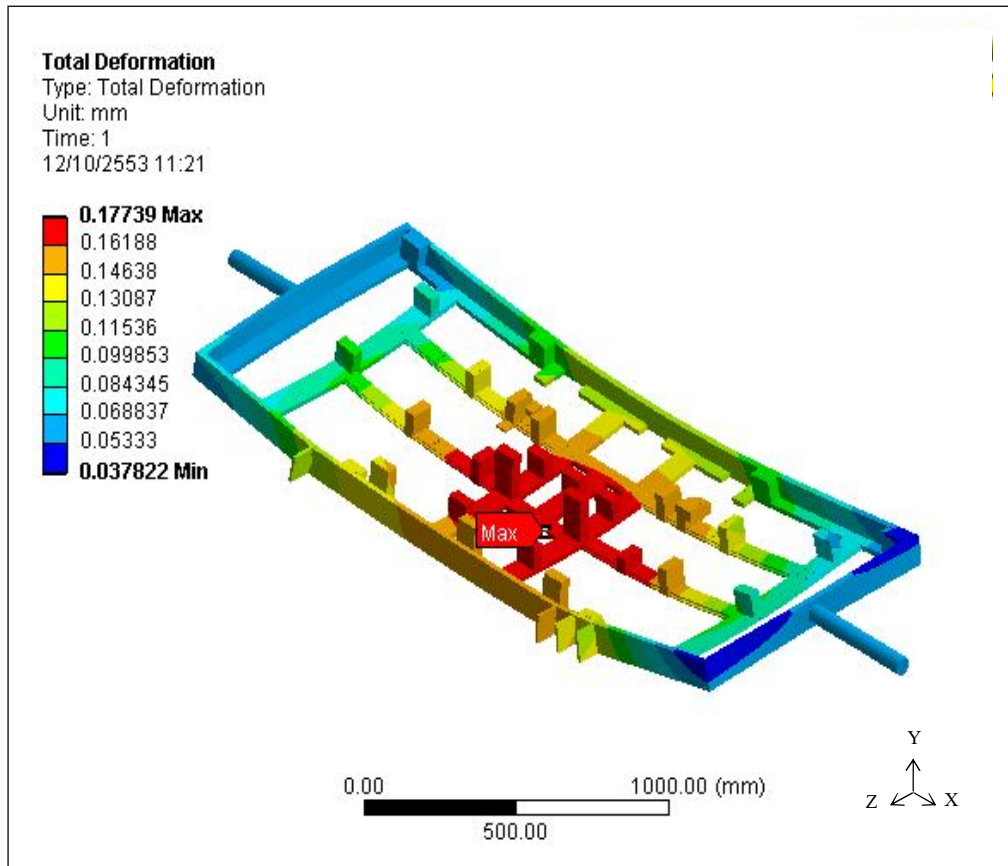
รูปที่ 4.6 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1



รูปที่ 4.7 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1



รูปที่ 4.8 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

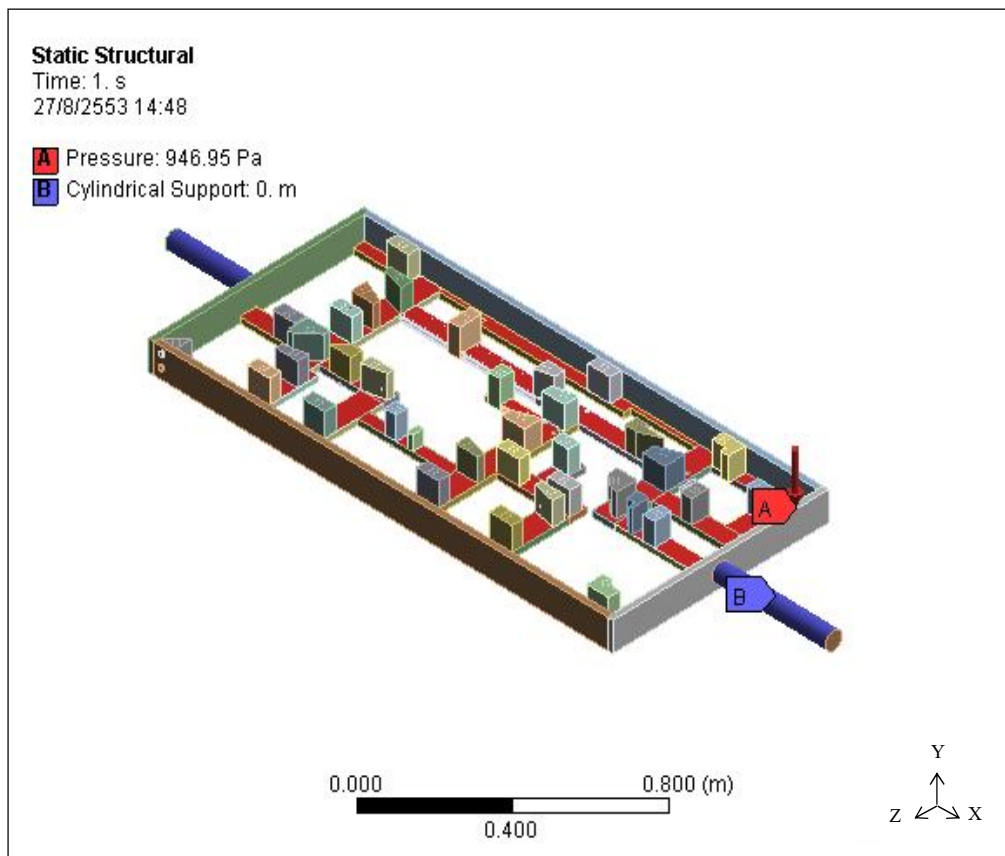


รูปที่ 4.9 แสดงค่าจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

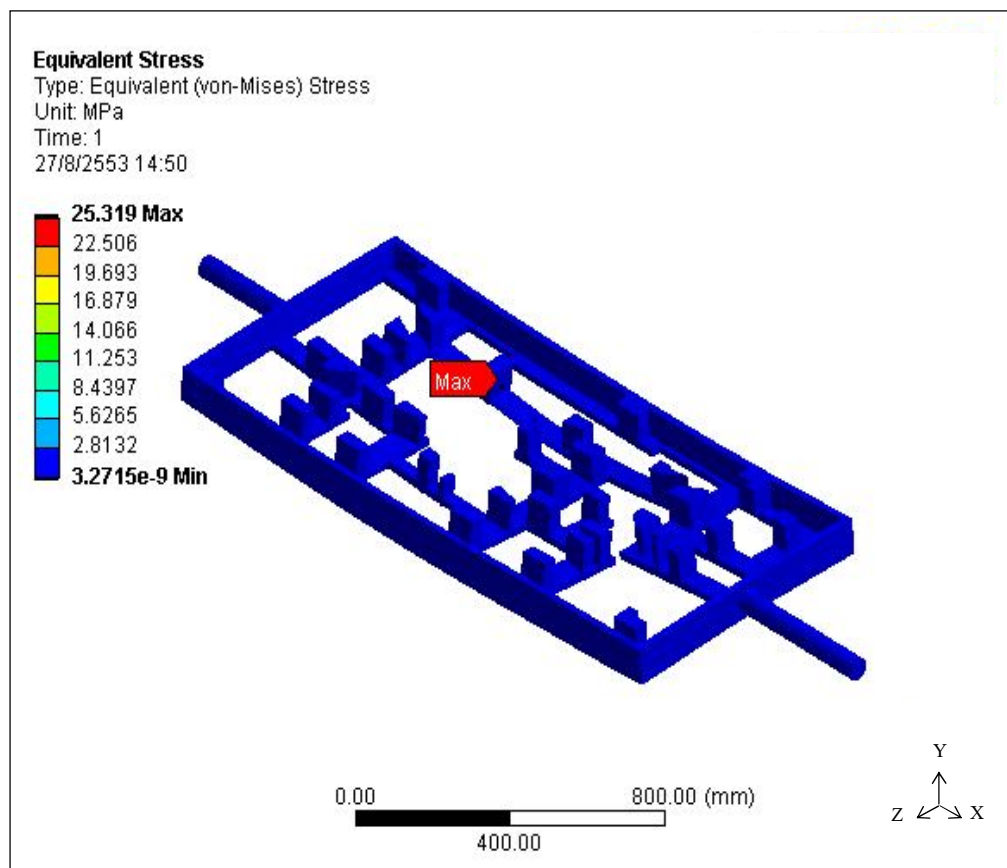
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 1 เมื่ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 ได้รับความกระทำ 849.72 Pa ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 278806 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 145830 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 36.42 MPa ค่าความเครียด 0.00018 ค่าจัดสูงสุด 0.17739 mm และ ค่าความปลอดภัย 10.71

4.4.2 กรณีที่ 1 วิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

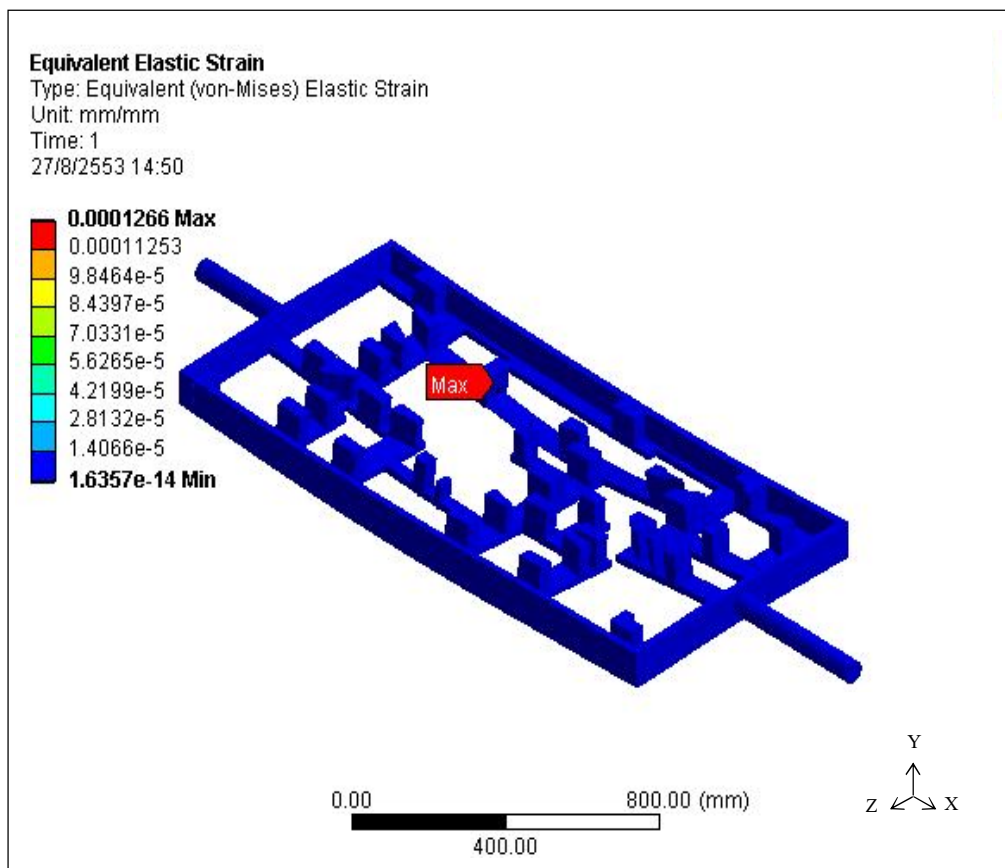
ผลการวิเคราะห์ โดยการเฉลี่ยแรงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ได้รับจาก โครงสร้างย่อย
ของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 ซึ่งมีภาระกรรมทั้งหมด 946.95 Pa



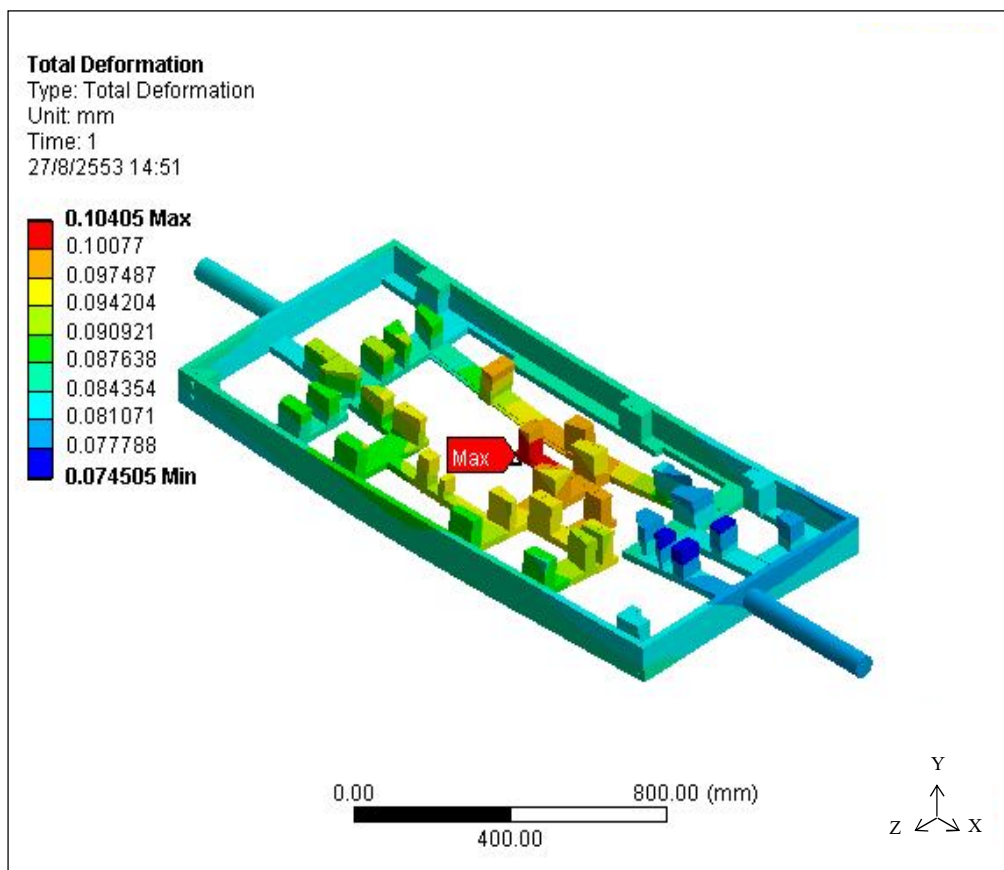
รูปที่ 4.10 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2



รูปที่ 4.12 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

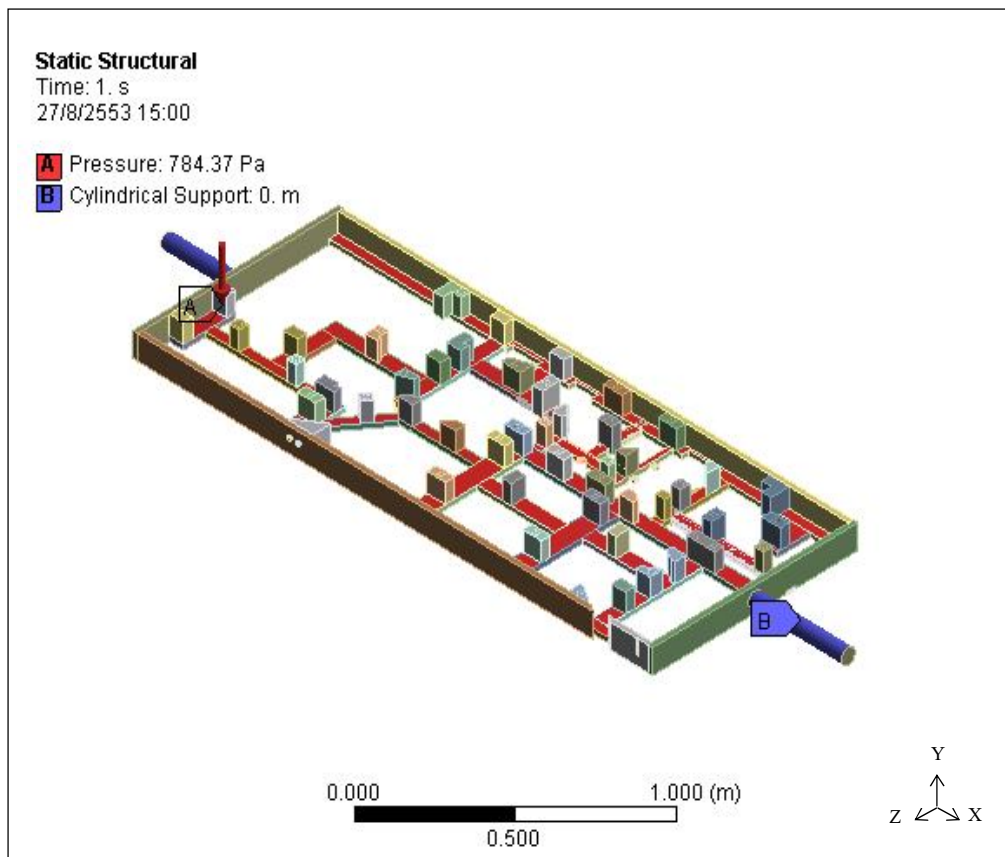


รูปที่ 4.13 แสดงค่าจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

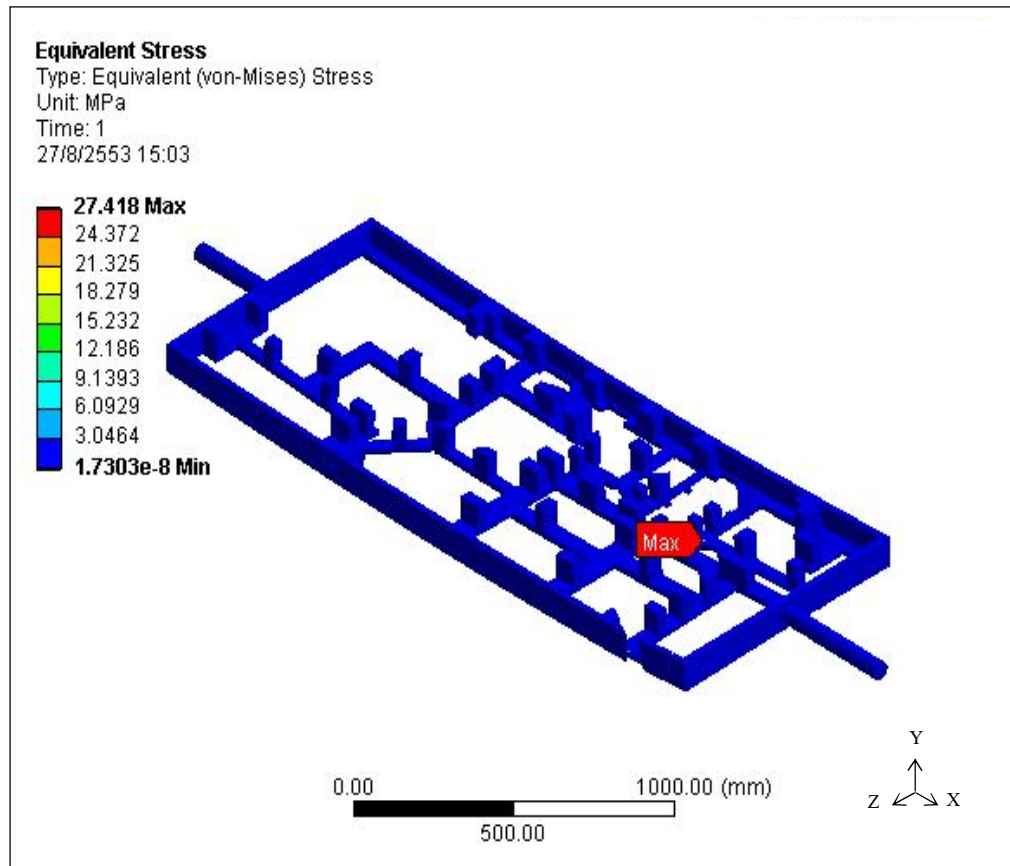
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 1 เมื่ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 ได้รับภาระกรรม 946.95 Pa ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 361639 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 206373 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 25.32 MPa ค่าความเครียด 0.00013 ค่าจัดสูงสุด 0.10405 mm และ ค่าความปลอดภัย 15

4.4.3 กรณีที่ 1 วิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

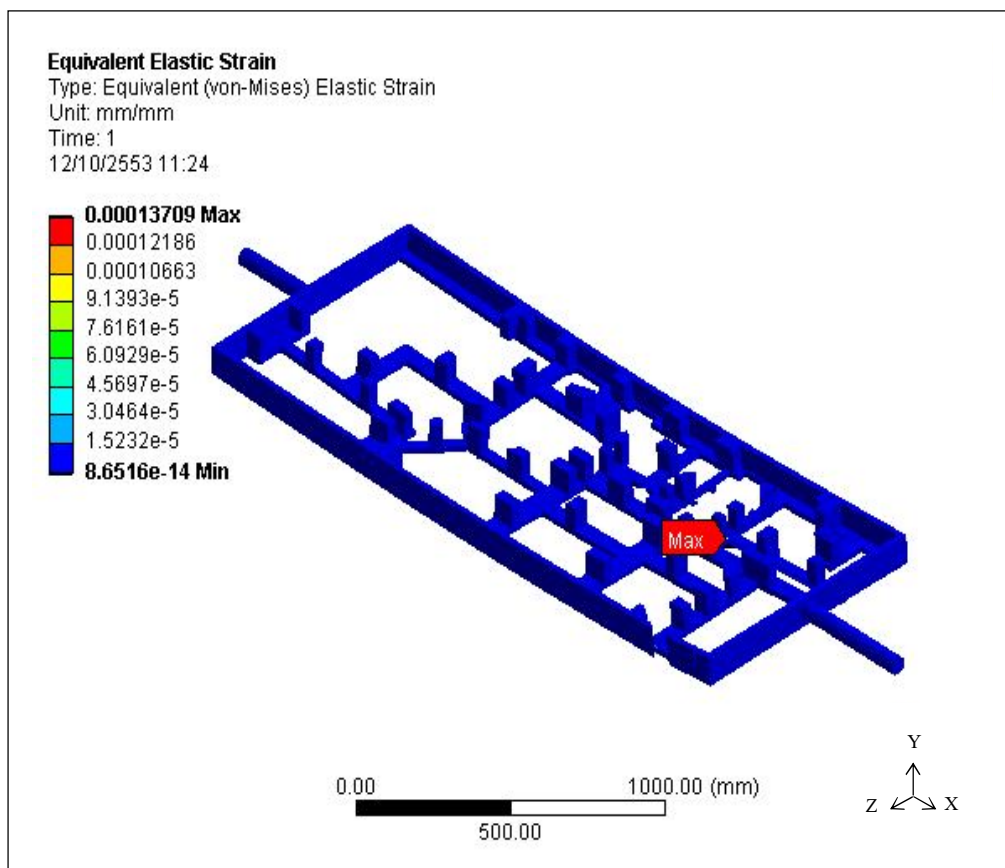
ผลการวิเคราะห์ โดยการเฉลี่ยแรงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจาก โครงสร้างย่อยของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 ซึ่งมีภาระกรรมทั้งหมด 784.37 Pa



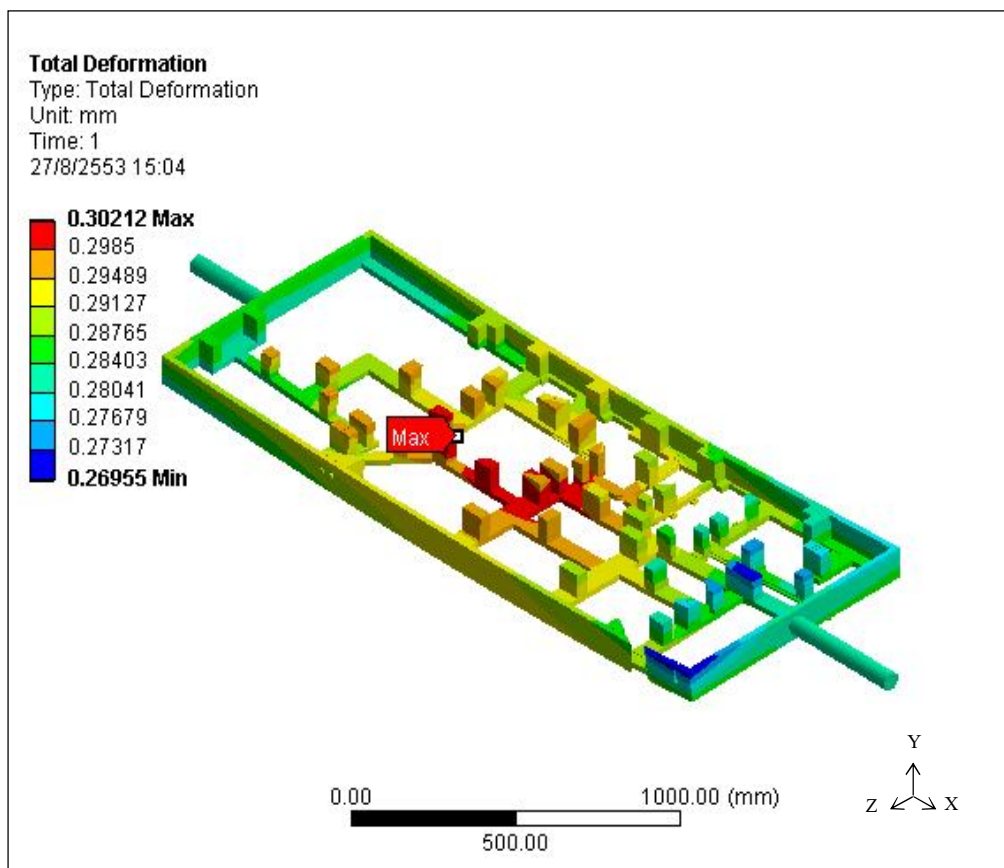
รูปที่ 4.14 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3



รูปที่ 4.15 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3



รูปที่ 4.16 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

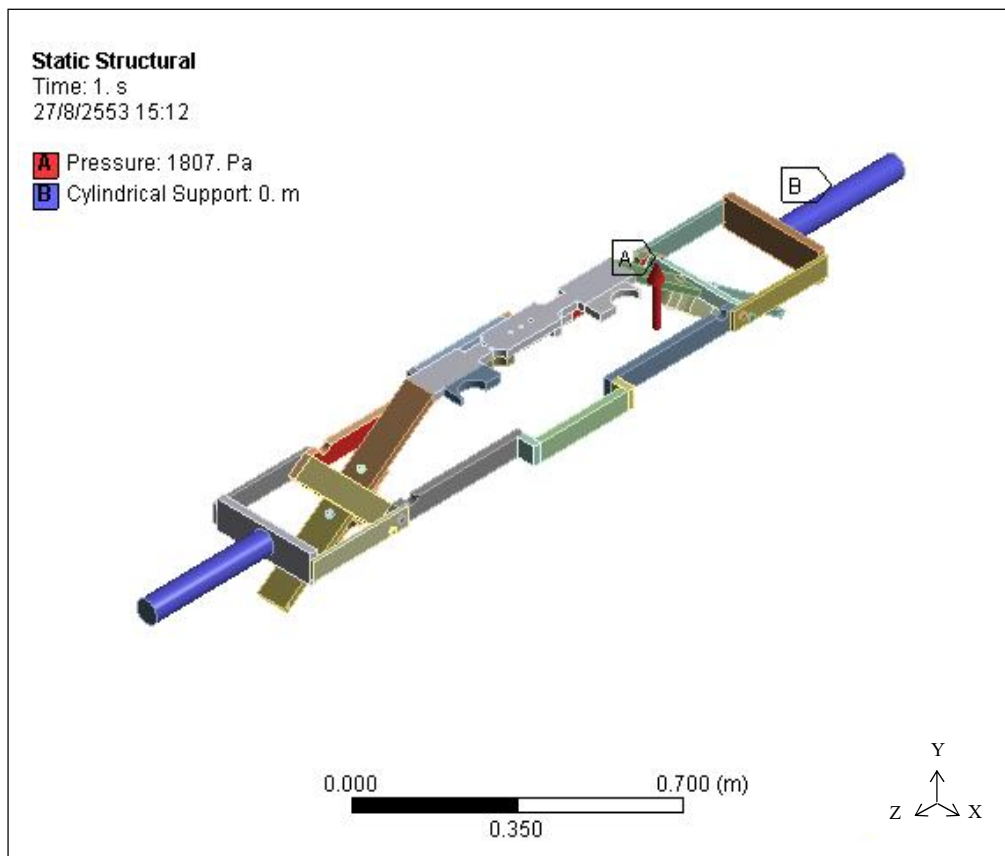


รูปที่ 4.17 แสดงค่าจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

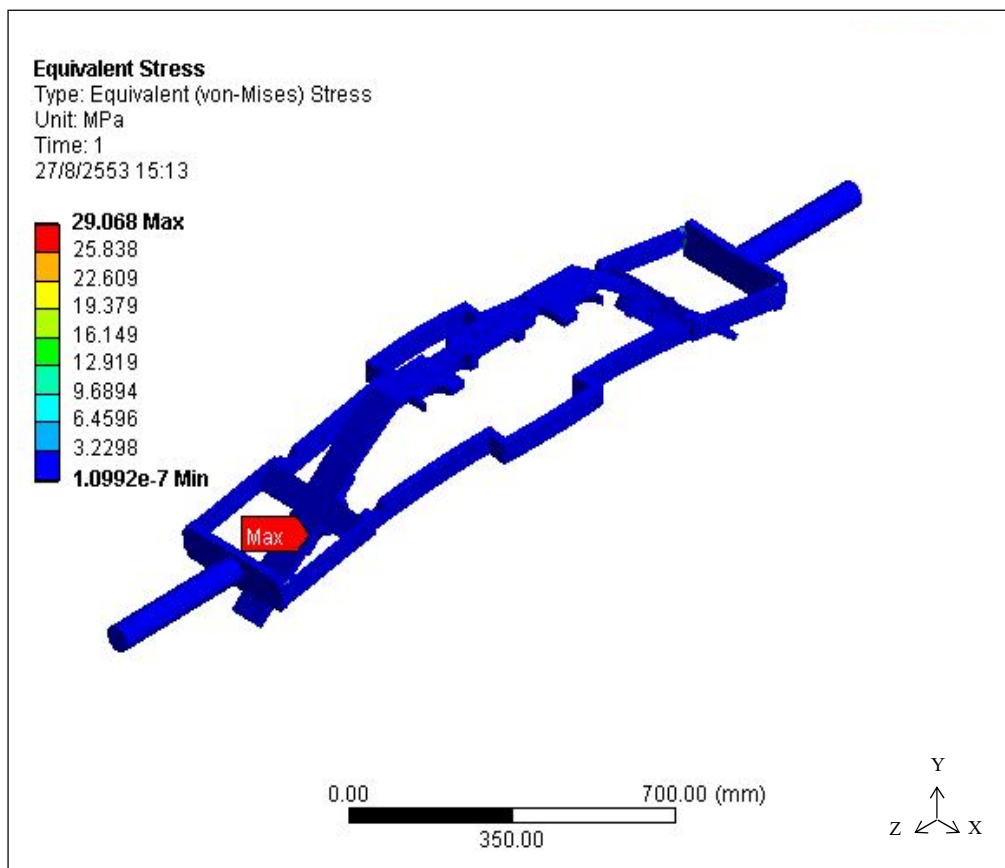
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 1 เมื่ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 ได้รับภาระกรรม 784.37 Pa ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 379682 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 209810 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 27.42 MPa ค่าความเครียด 0.00014 ค่าจัดสูงสุด 0.30212 mm และ ค่าความปลอดภัย 14.22

4.4.4 กรณีที่ 1 วิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

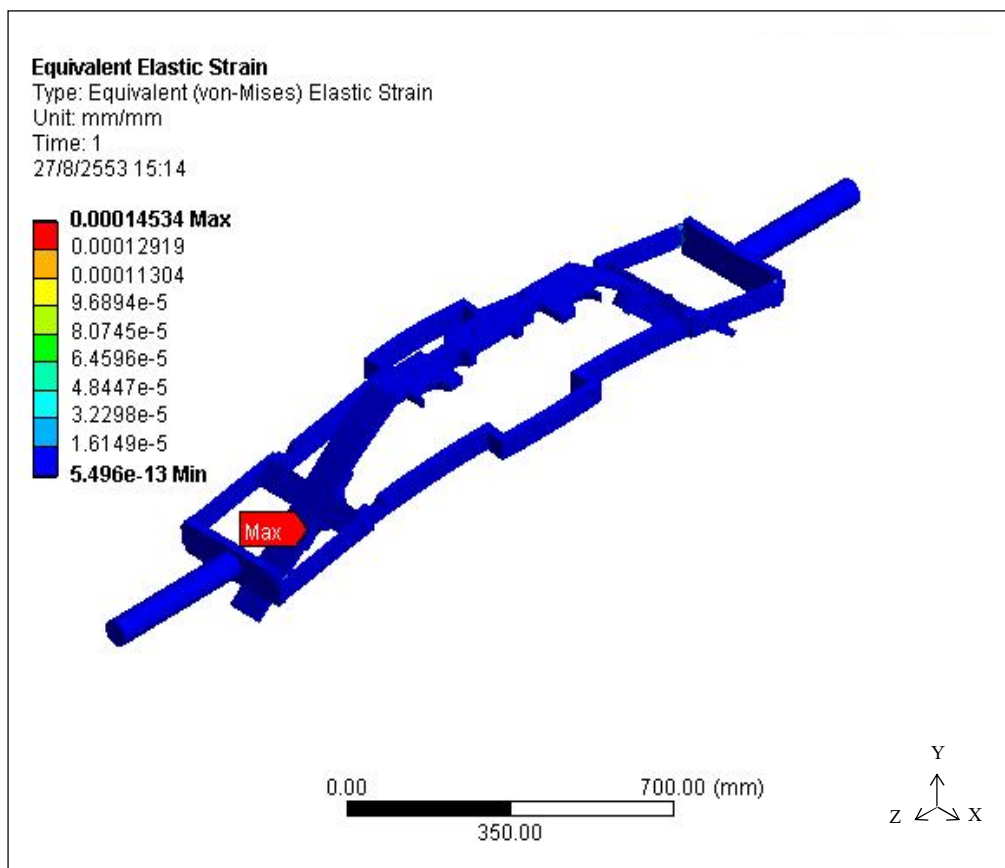
ผลการวิเคราะห์ โดยการเฉลี่ยแรงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อยของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 ซึ่งมีภาระกรรมทั้งหมด 1807.04 Pa



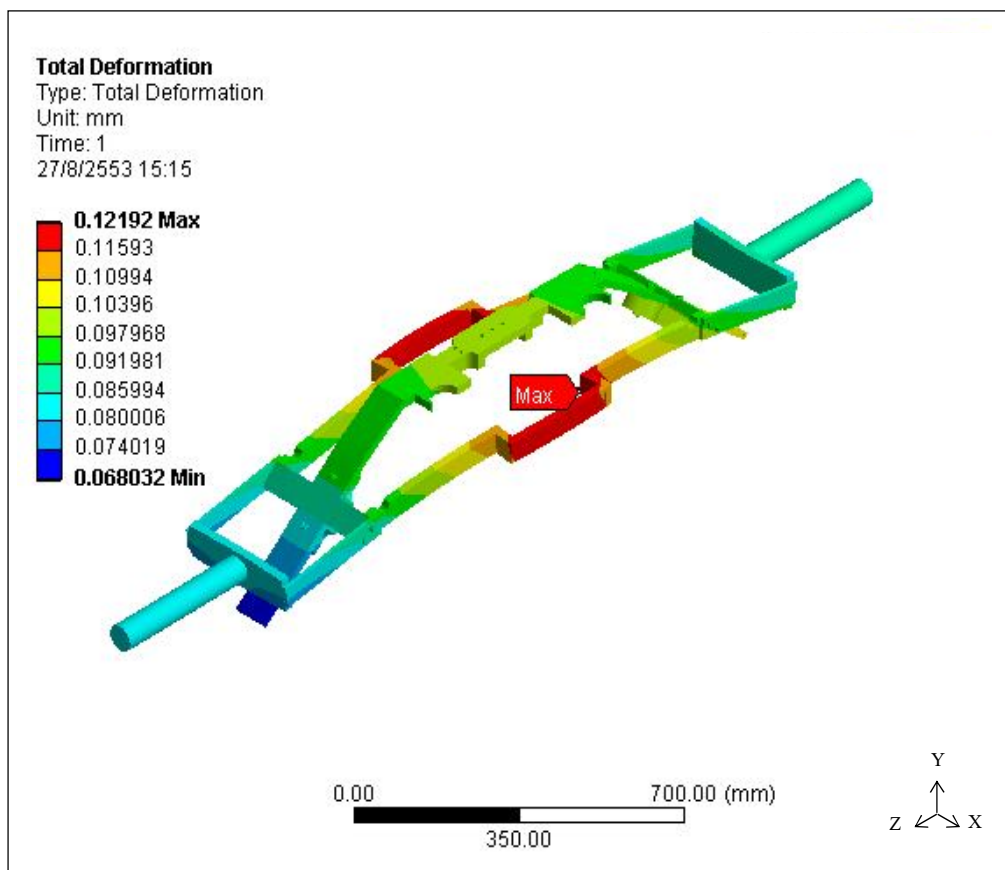
รูปที่ 4.18 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4



รูปที่ 4.19 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4



รูปที่ 4.20 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

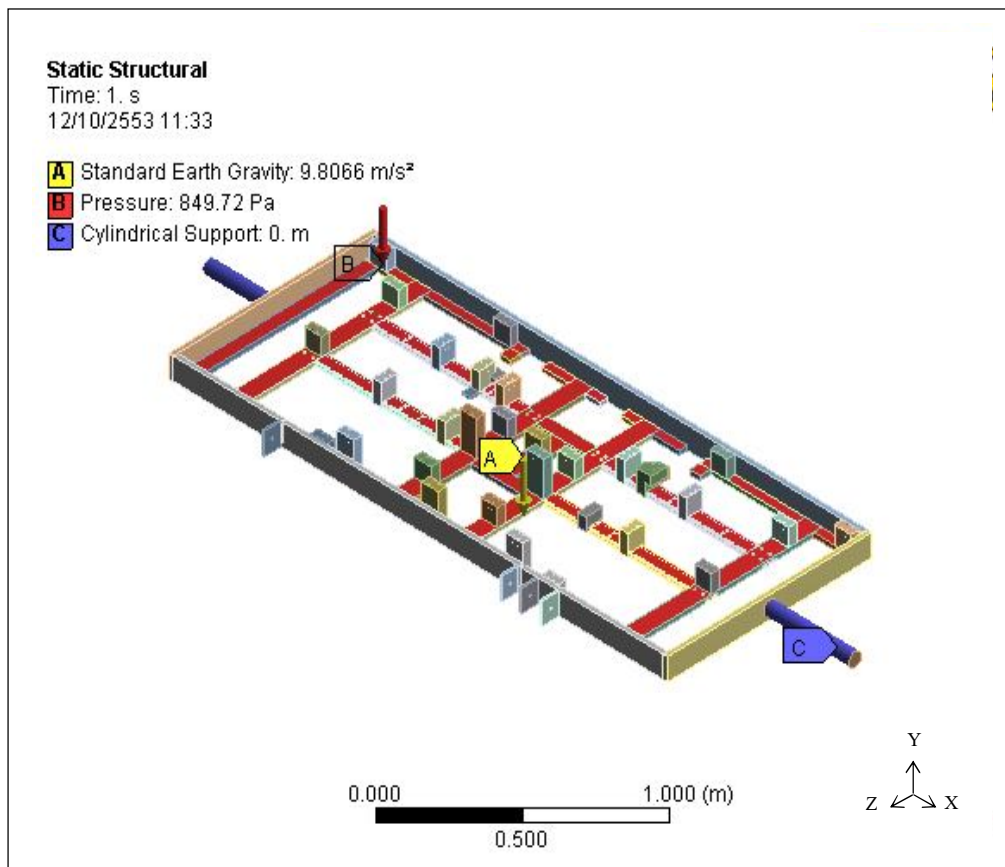


รูปที่ 4.21 แสดงค่าขจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

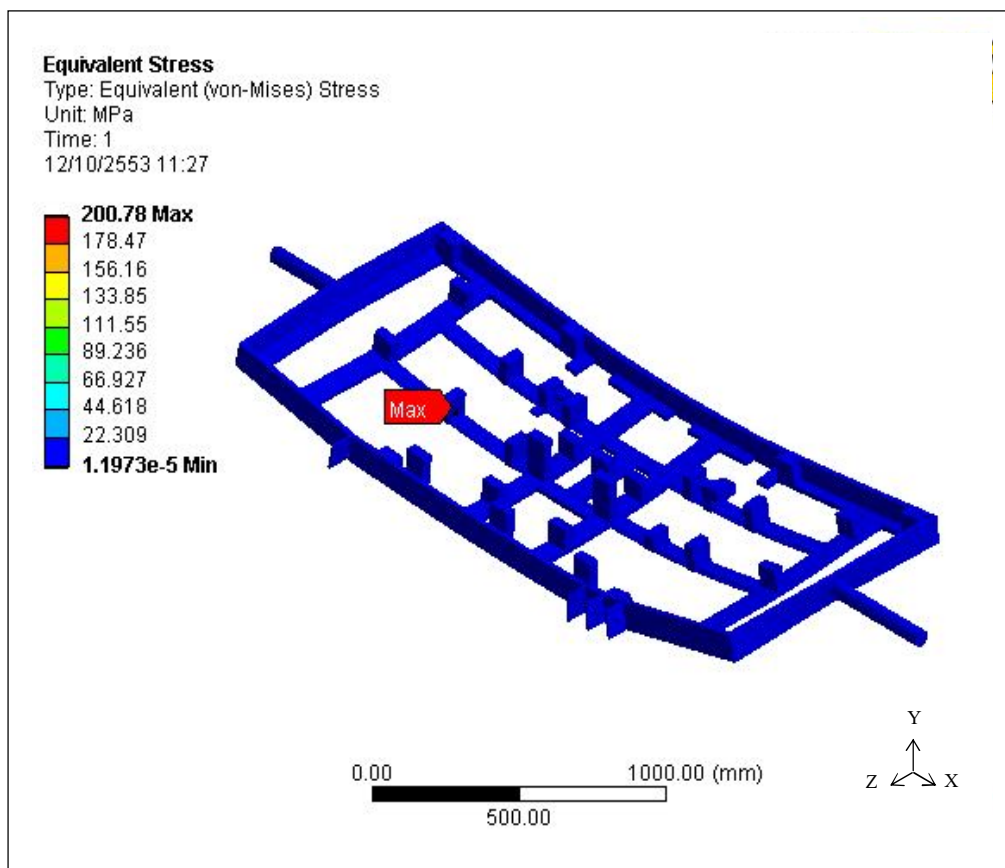
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 1 เมื่ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 ได้รับภาระกรรม 1807.04 Pa ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 223453 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 128183 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 29.07 MPa ค่าความเครียด 0.00015 ค่าขจัดสูงสุด 0.12192 mm และ ค่าความปลอดภัย 13.42

4.4.5 กรณีที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

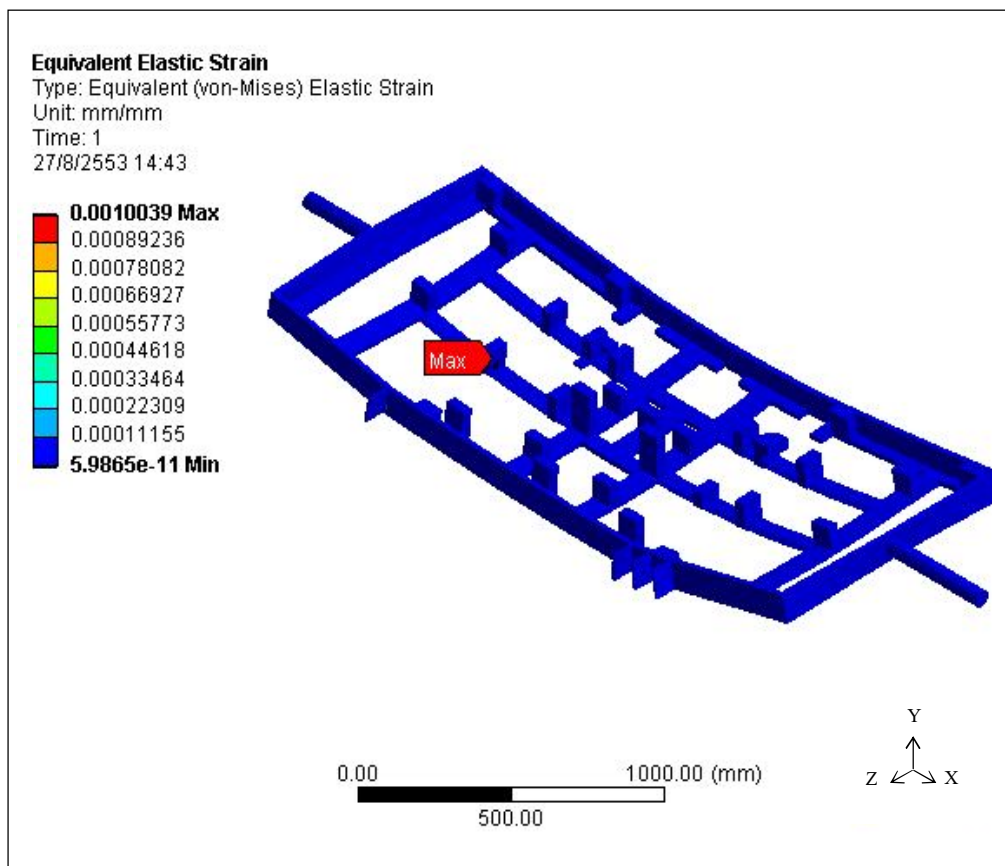
ผลการวิเคราะห์โดยการเฉลี่ยแรงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อย มีภาระกรรม 849.72 Pa น้ำหนักของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน 3156.14 N และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ใช้ค่าแรงโน้มถ่วง 9.8066 m/s^2



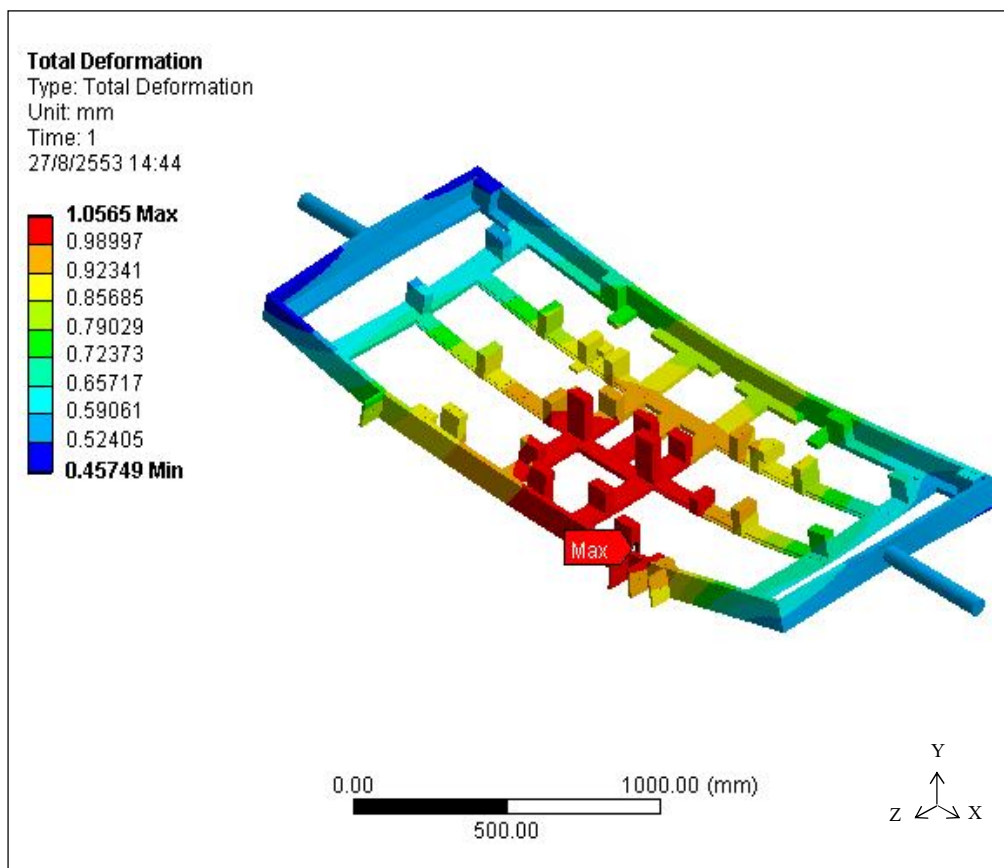
รูปที่ 4.22 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1



รูปที่ 4.23 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1



รูปที่ 4.24 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

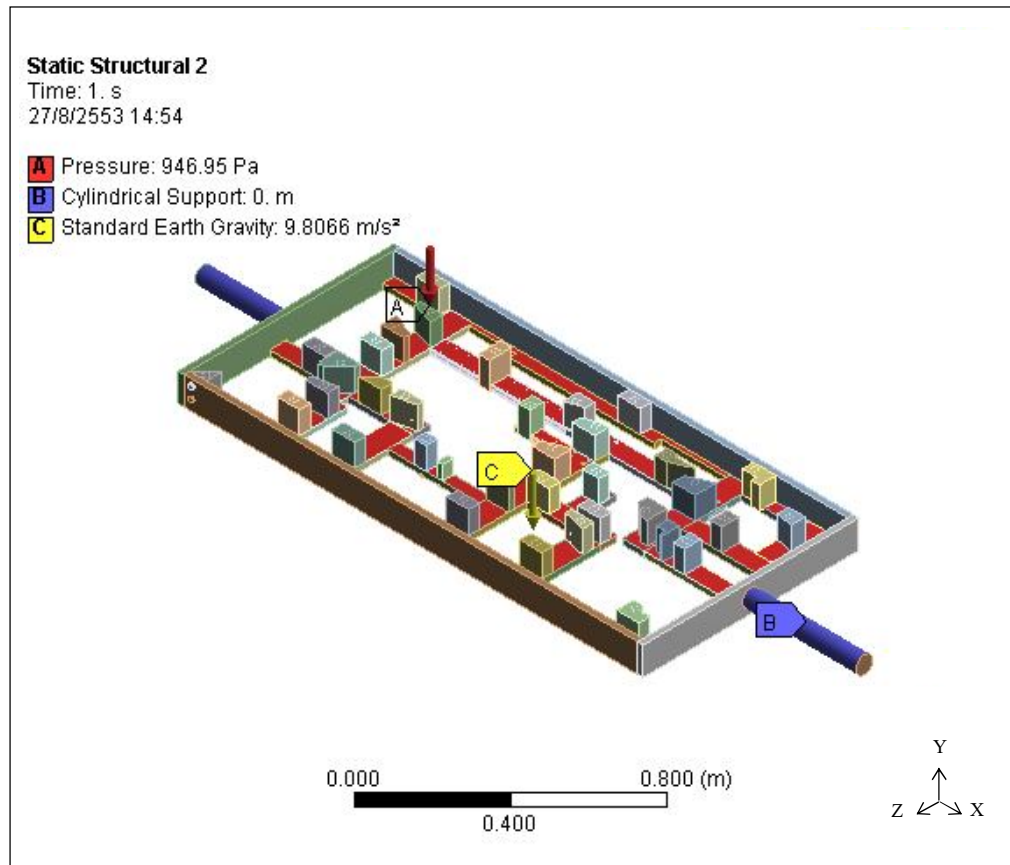


รูปที่ 4.25 แสดงค่าจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

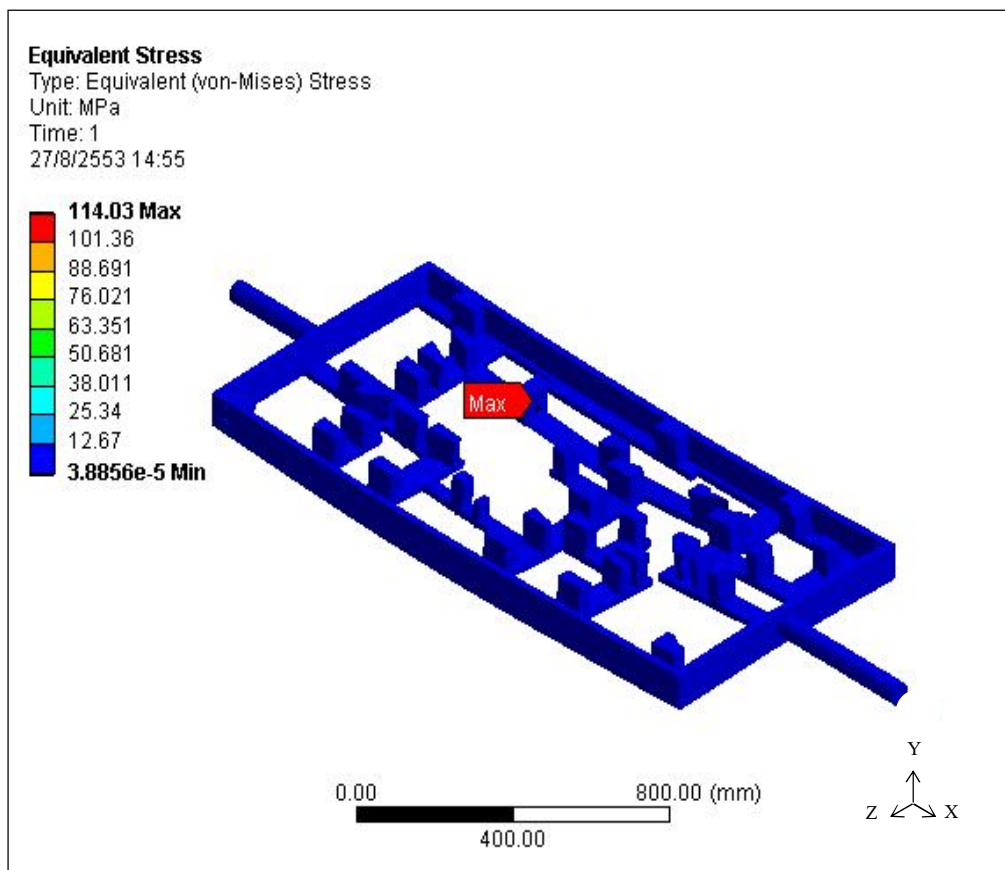
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 เมื่ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 ได้รับความกระทบกระเทือนจากน้ำหนักโครงสร้างย่อยและน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้จุดต่อ (Node) 278806 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 145830 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 200.78 MPa ค่าความเครียด 0.001004 ค่าจัดสูงสุด 1.0565 mm และค่าความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 1.94

4.4.6 กรณีที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

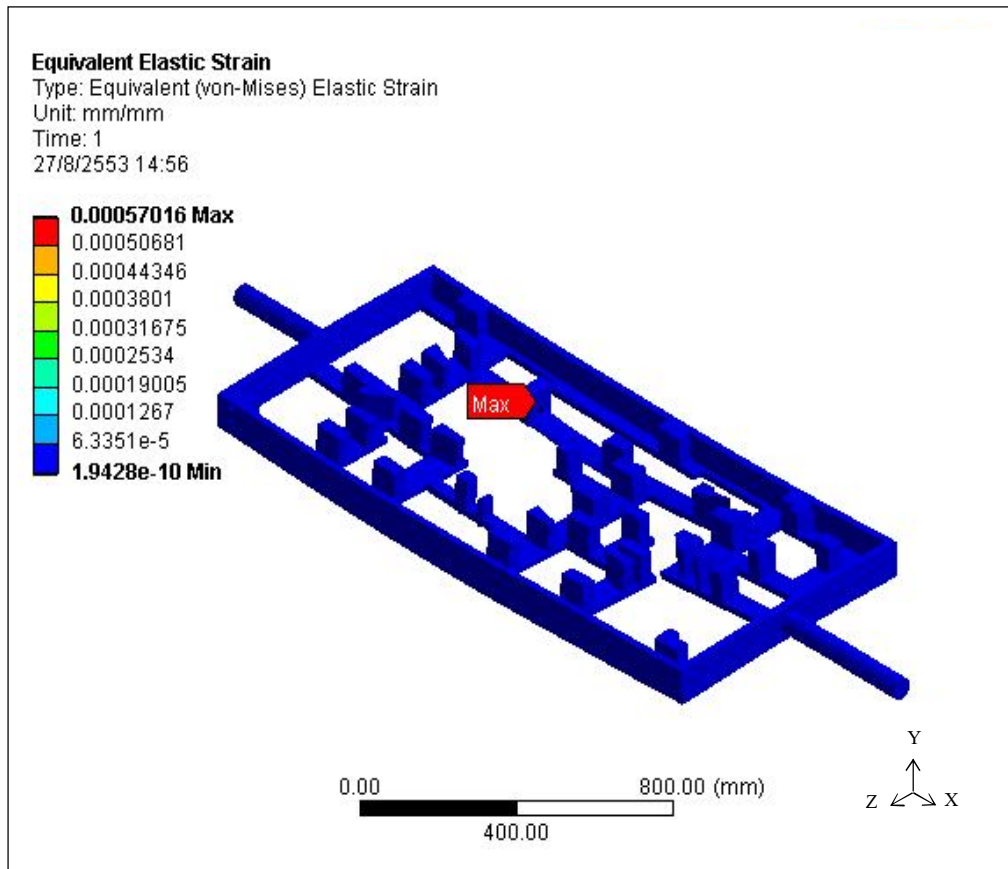
ผลการวิเคราะห์โดยการเฉลี่ยแรงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อย มีภาระกรรม 946.95 Pa น้ำหนักของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน 2288.58 N และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ใช้ค่าแรงโน้มถ่วง 9.8066 m/s^2



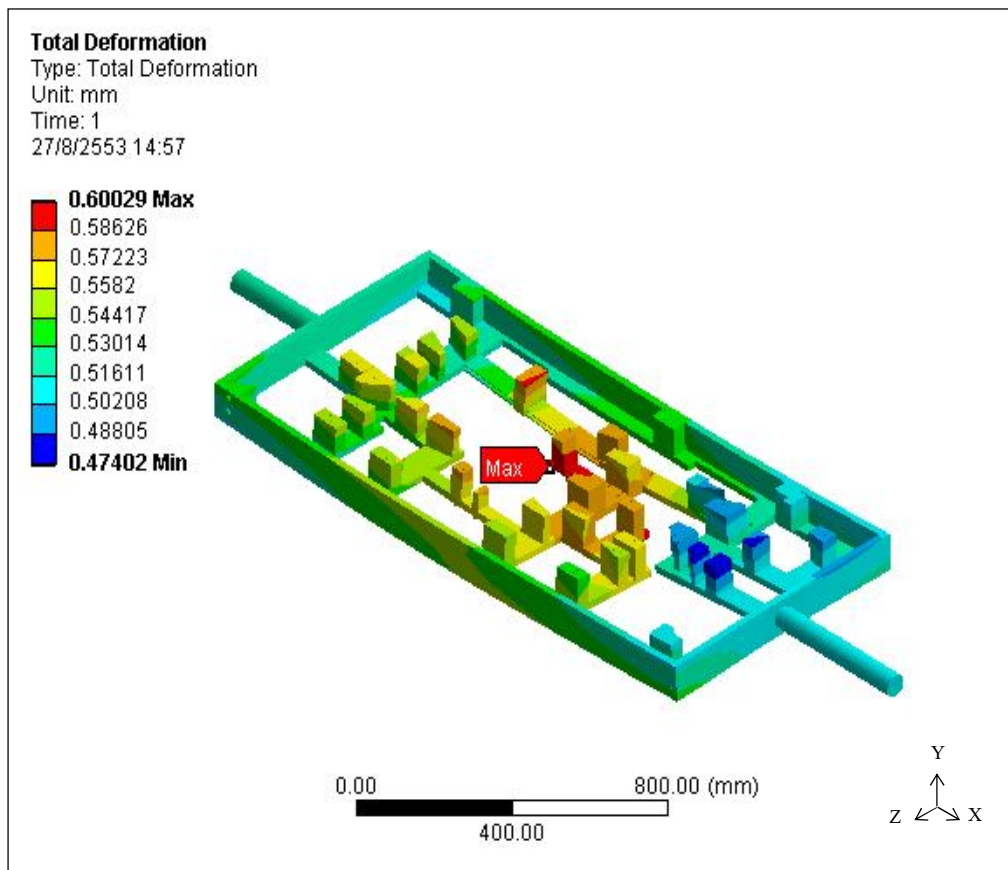
รูปที่ 4.26 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2



รูปที่ 4.27 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2



รูปที่ 4.28 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

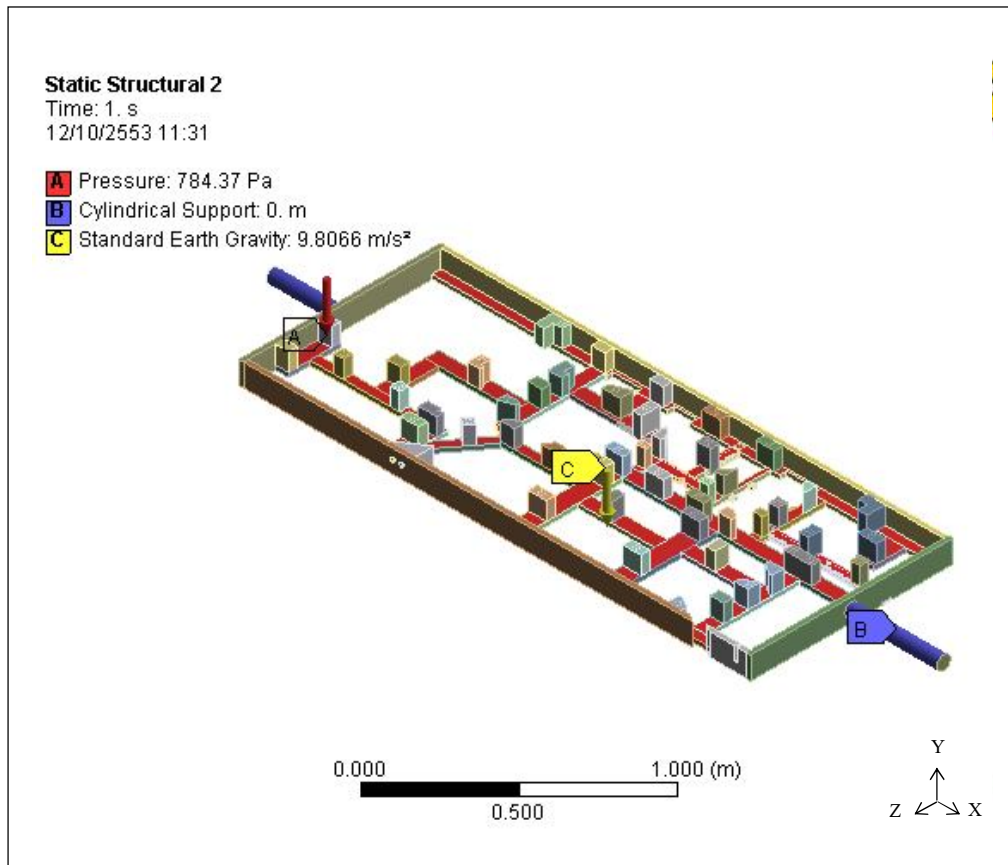


รูปที่ 4.29 แสดงค่าจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

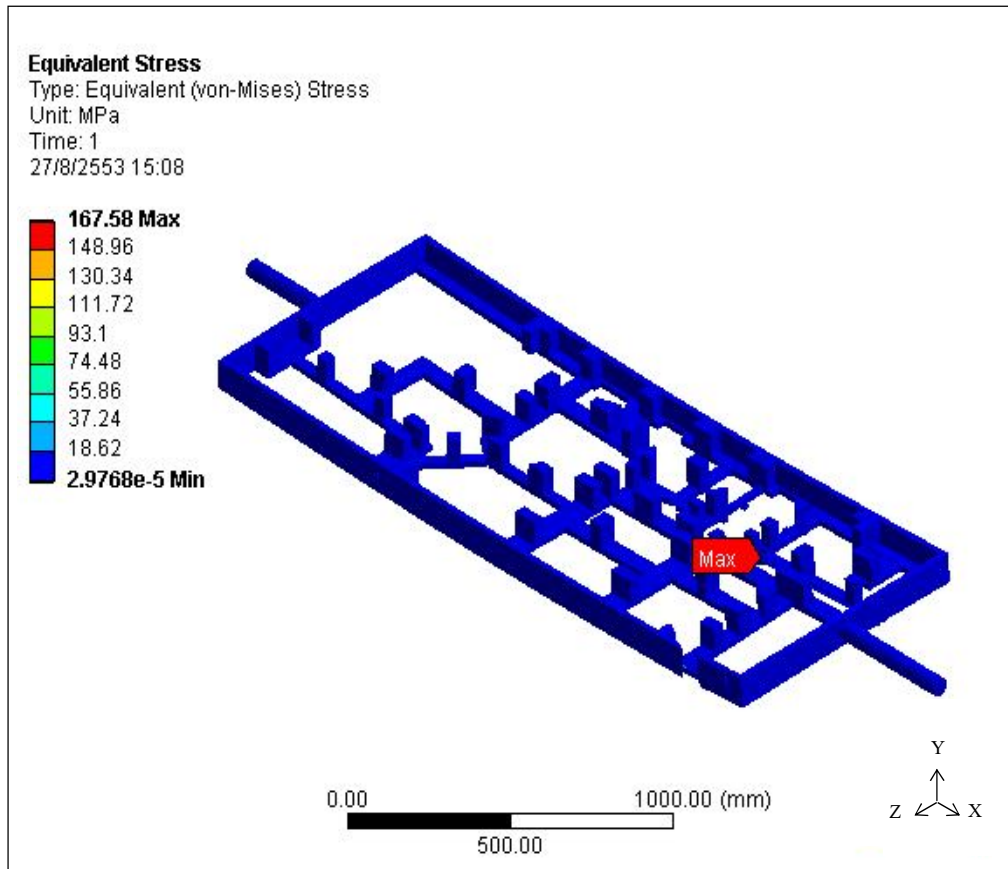
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 เมื่ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 ได้รับความกระทบกระเทือนจากน้ำหนักโครงสร้างย่อยและน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้จุดต่อ (Node) 361639 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 206737 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 114.03 MPa ค่าความเครียด 0.00057 ค่าจัดสูงสุด 0.60029 mm และค่าความปลอดภัย 3.42

4.4.7 กรณีที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

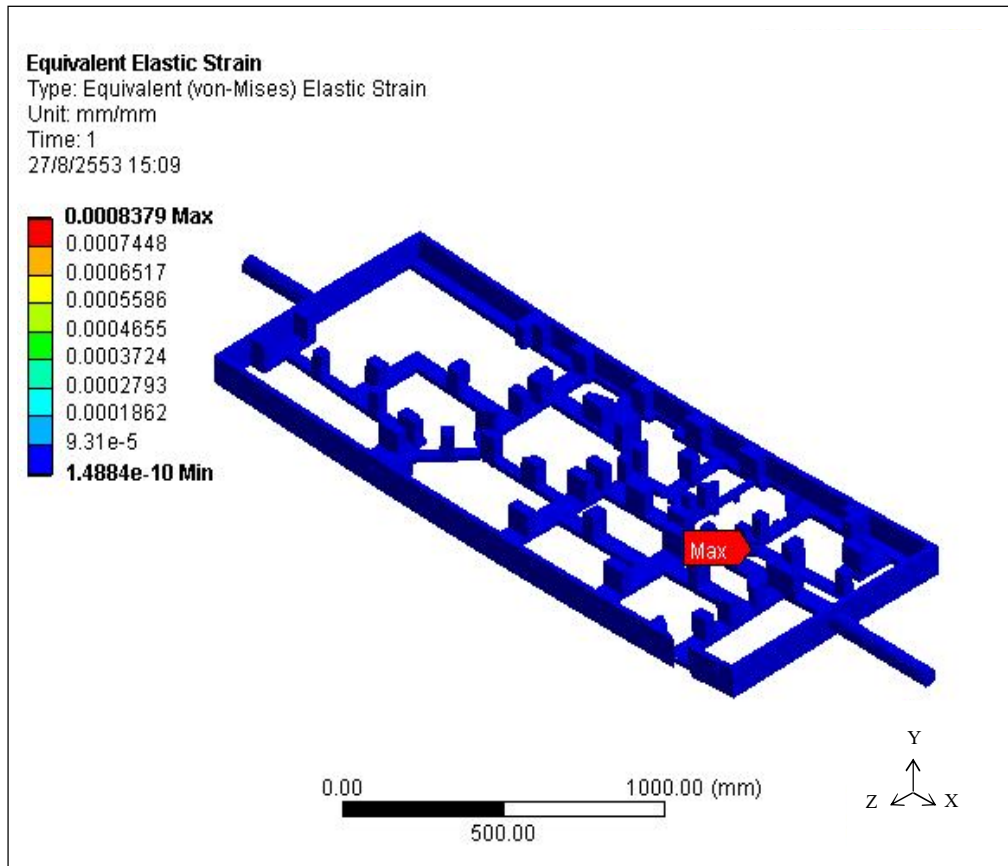
ผลการวิเคราะห์โดยการเฉลี่ยแรงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อย มีภาระกรรม 784.37 Pa น้ำหนักของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน 2957.45 N และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ใช้ค่าแรงโน้มถ่วง 9.8066 m/s^2



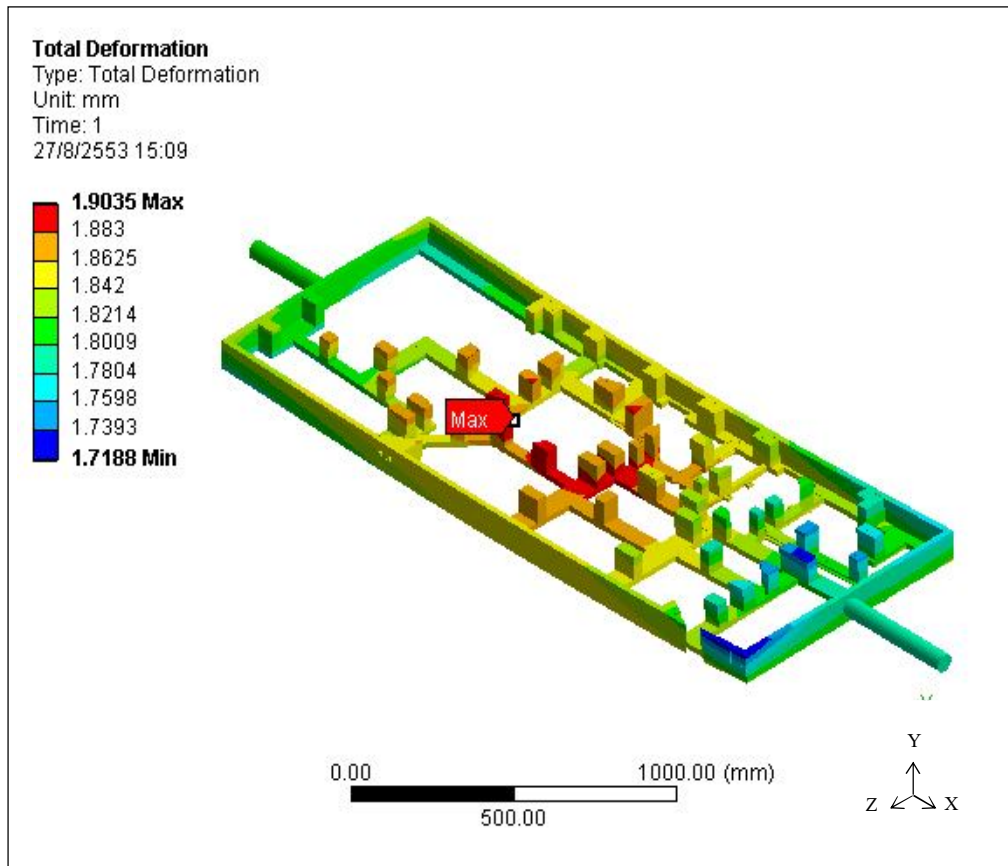
รูปที่ 4.30 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3



รูปที่ 4.31 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3



รูปที่ 4.32 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

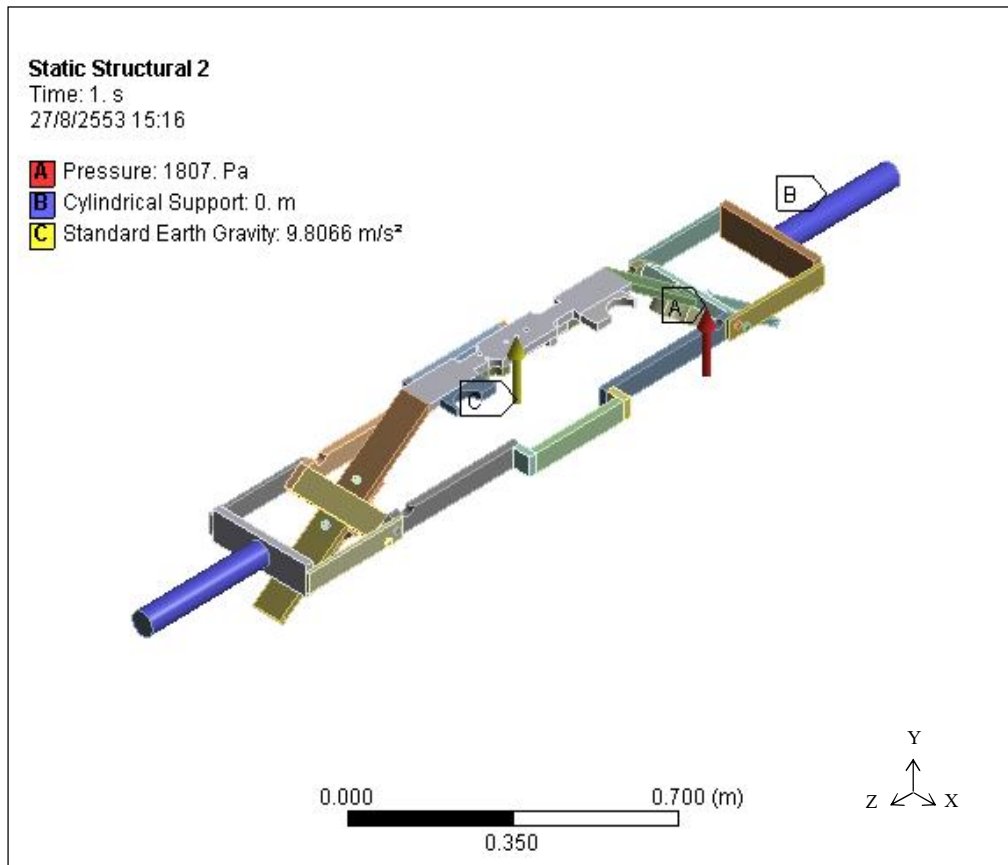


รูปที่ 4.33 แสดงค่าจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

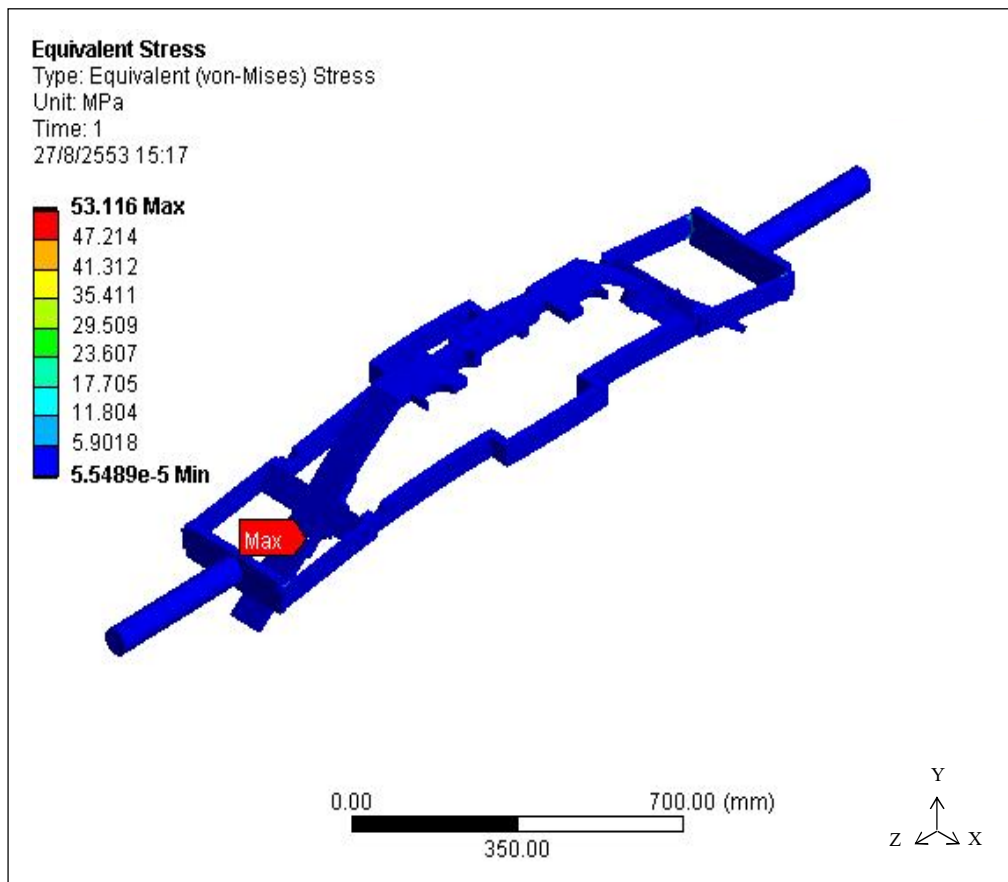
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 เมื่ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 ได้รับความกระทบกระเทือนจากน้ำหนักโครงสร้างย่อยและน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้จุดต่อ (Node) 379682 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 209810 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 167.58 MPa ค่าความเครียด 0.00084 ค่าจัดสูงสุด 1.9035 mm และค่าความปลอดภัย 2.33

4.4.8 กรณีที่ 2 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

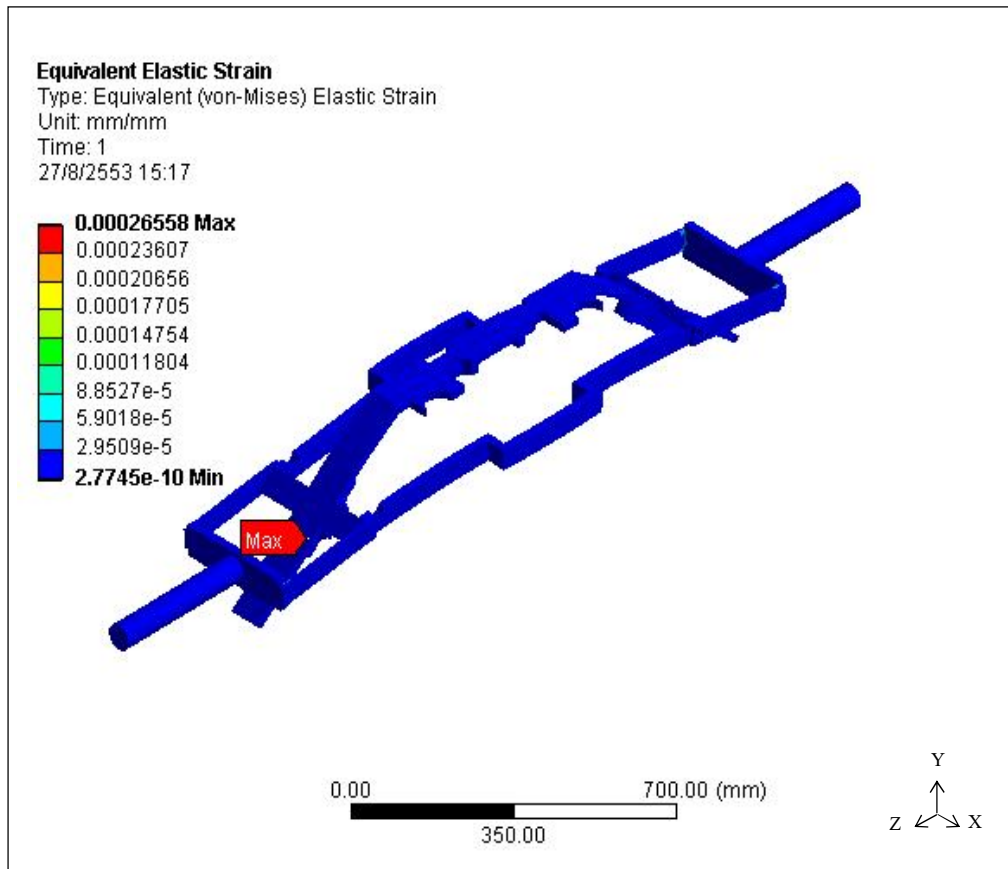
ผลการวิเคราะห์โดยการเฉลี่ยแรงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อย มีภาระกรรม 1807.04 Pa น้ำหนักของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน 879.83 N และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งในการวิเคราะห์ใช้ค่าแรงโน้มถ่วง 9.8066 m/s^2



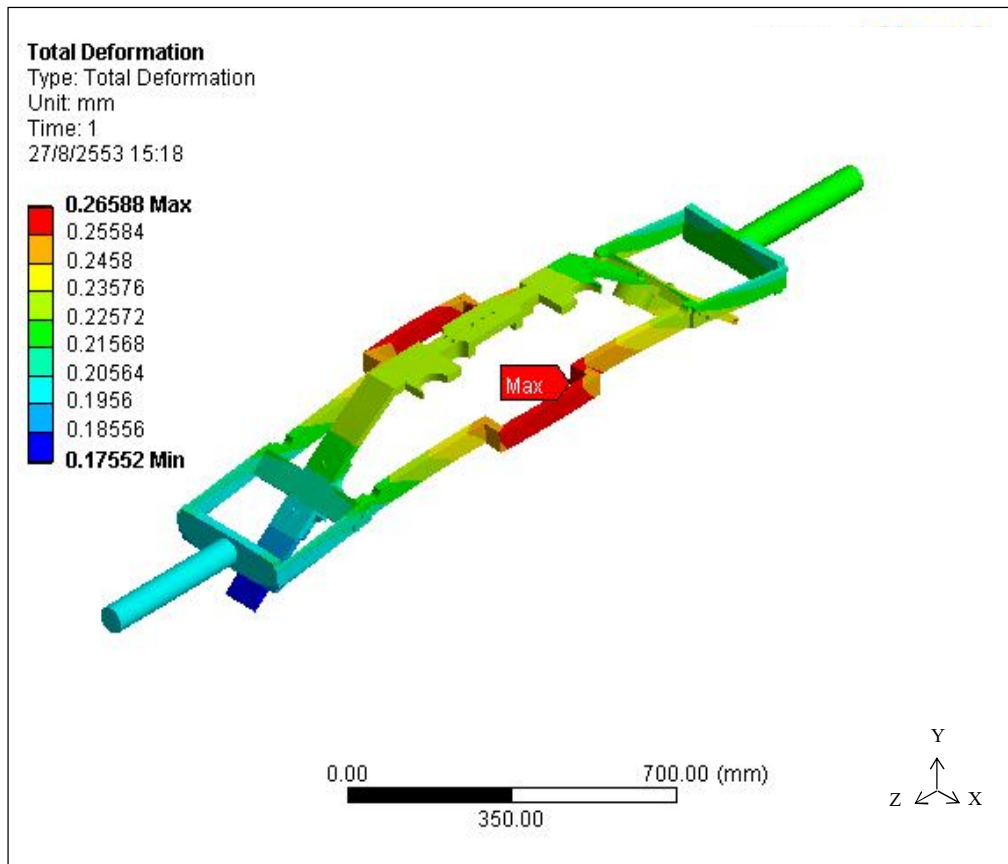
รูปที่ 4.34 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4



รูปที่ 4.35 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4



รูปที่ 4.36 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

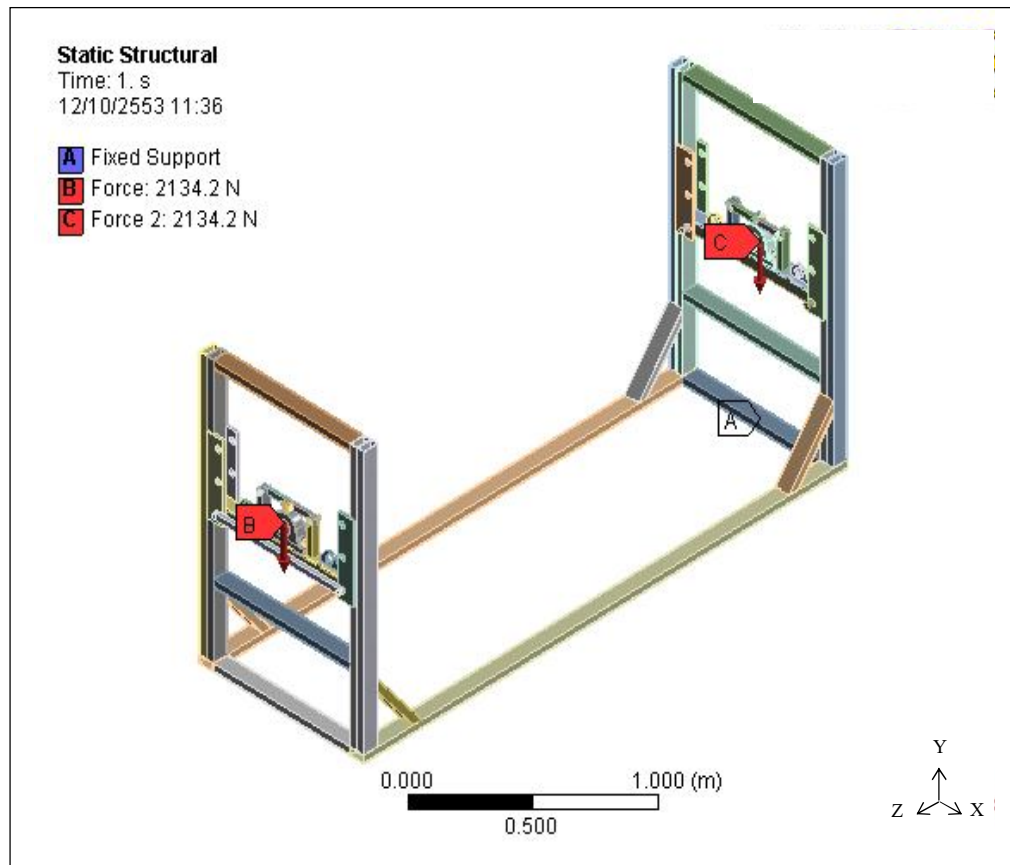


รูปที่ 4.37 แสดงค่าจัดสูงสุดของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

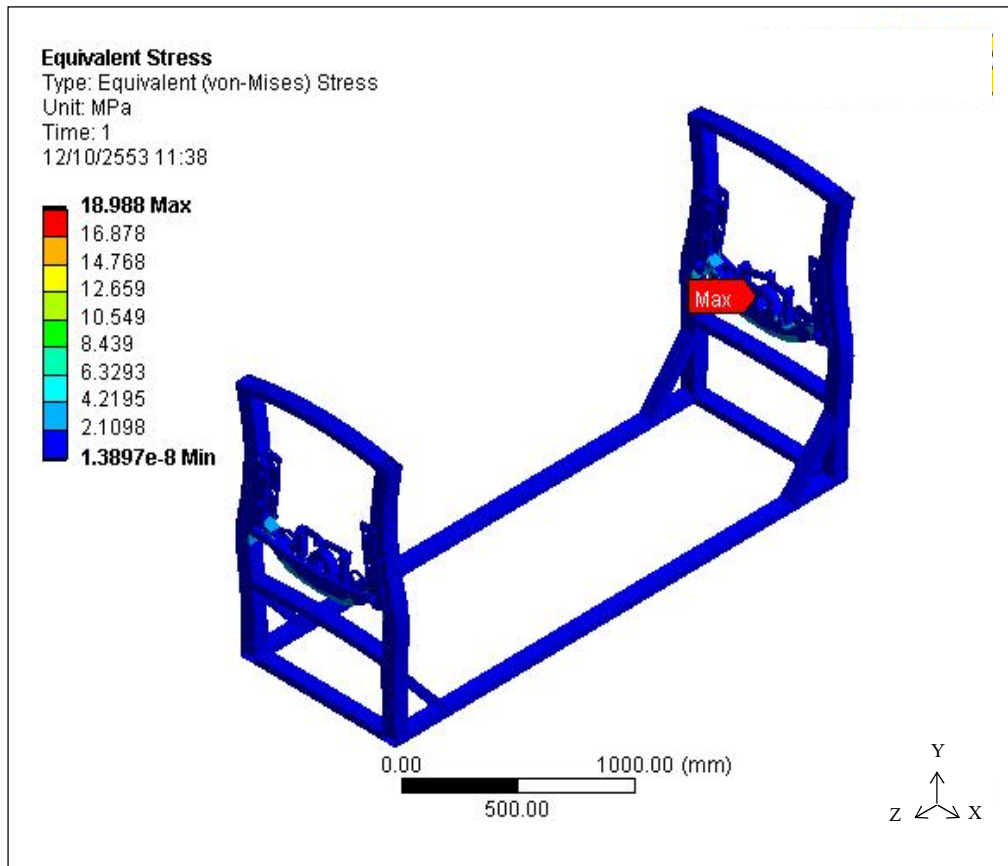
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 เมื่ออุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 ได้รับความกระทบกระเทือนจากน้ำหนักโครงสร้างย่อยและน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้จุดต่อ (Node) 223453 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 128183 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 53.12 MPa ค่าความเครียด 0.00027 ค่าจัดสูงสุด 0.26588 mm และค่าความปลอดภัย 7.34

4.4.9 กรณีที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

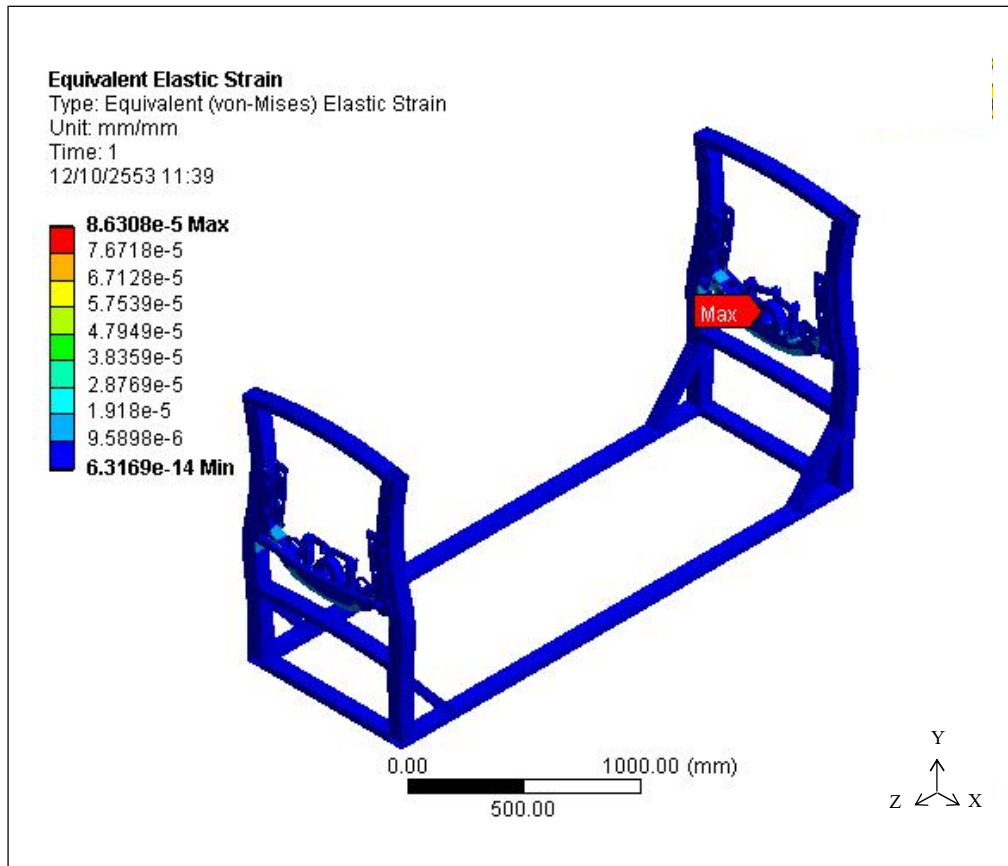
ผลการวิเคราะห์ โดยแรงที่โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อยและจากน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนการประกอบชิ้นงานแบบที่ 1 ซึ่งมีภาระกรรมทั้งหมด 4268.29 N



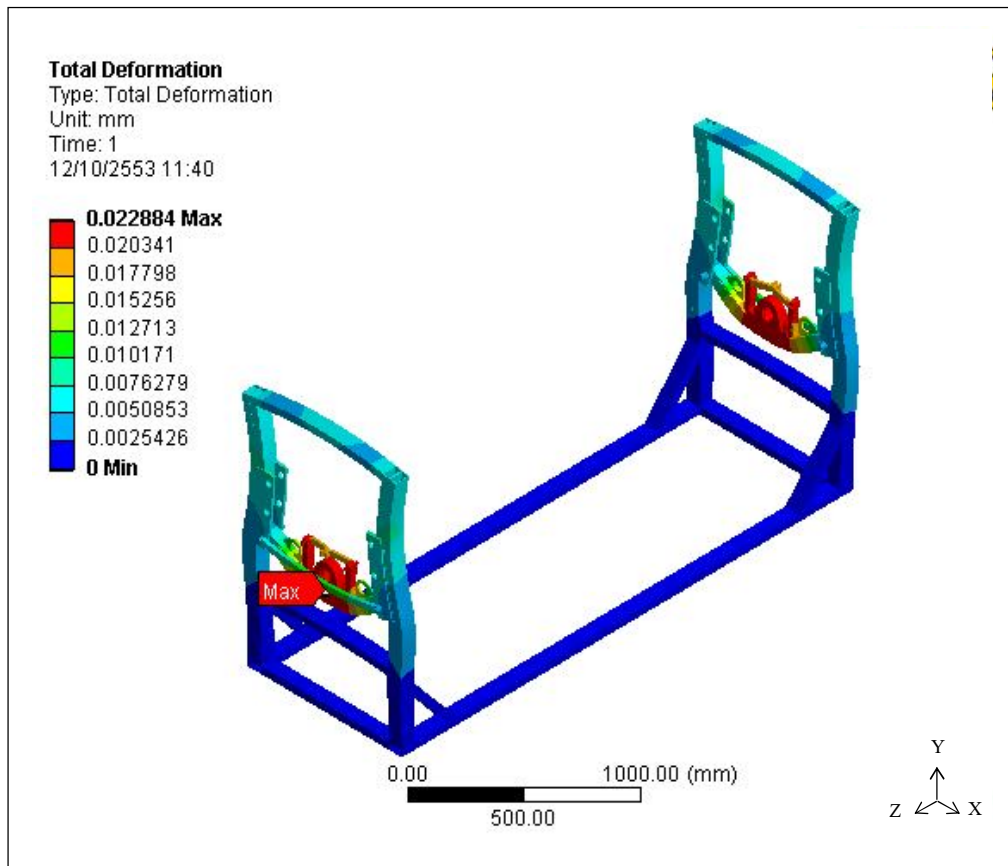
รูปที่ 4.38 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1



รูปที่ 4.39 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของ โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1



รูปที่ 4.40 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

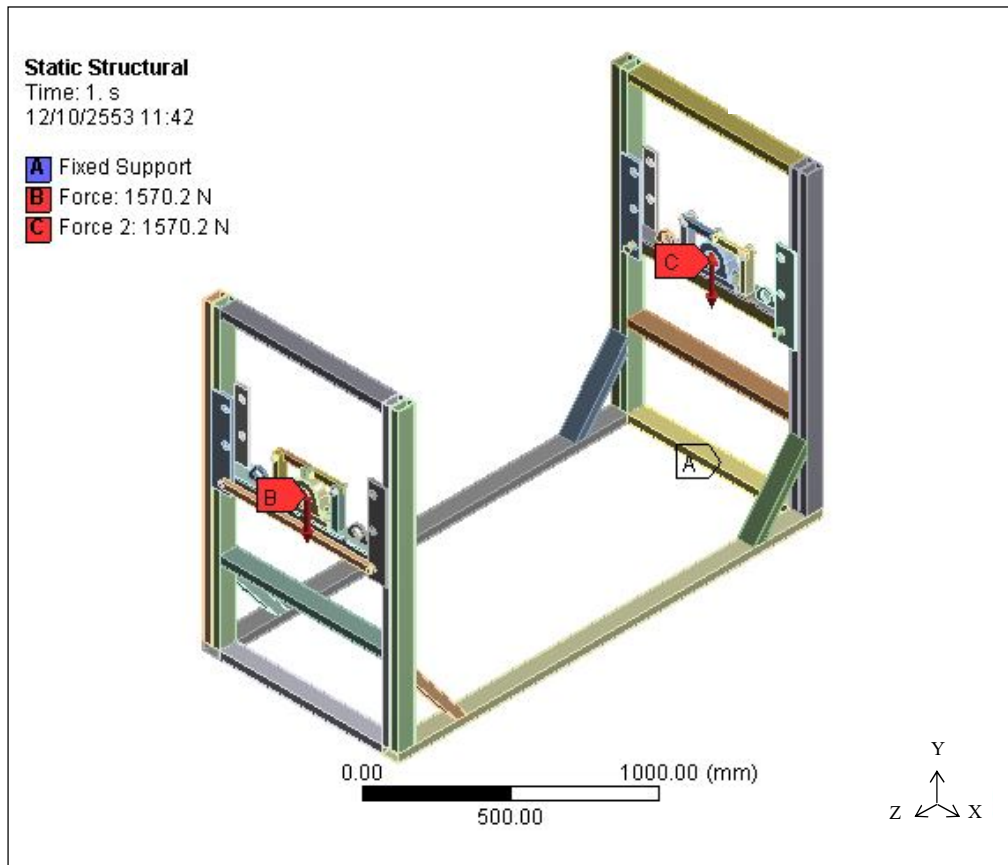


รูปที่ 4.41 แสดงค่าขจัดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1

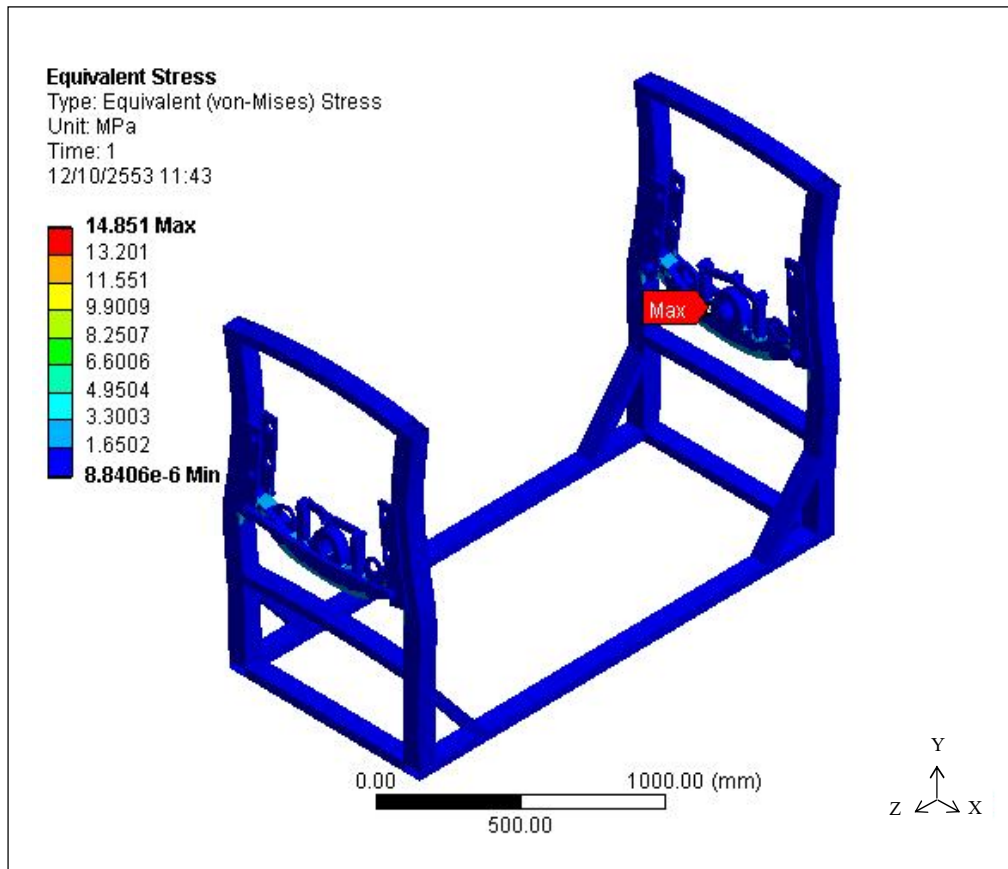
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 เมื่อโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 ได้รับความกระทำ 4268.29 N ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 130519 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 59173 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 18.99 MPa ค่าความเครียด 0.0000863 ค่าขจัดสูงสุด 0.022884 mm และ ค่าความปลอดภัย 15

4.4.10 กรณีที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

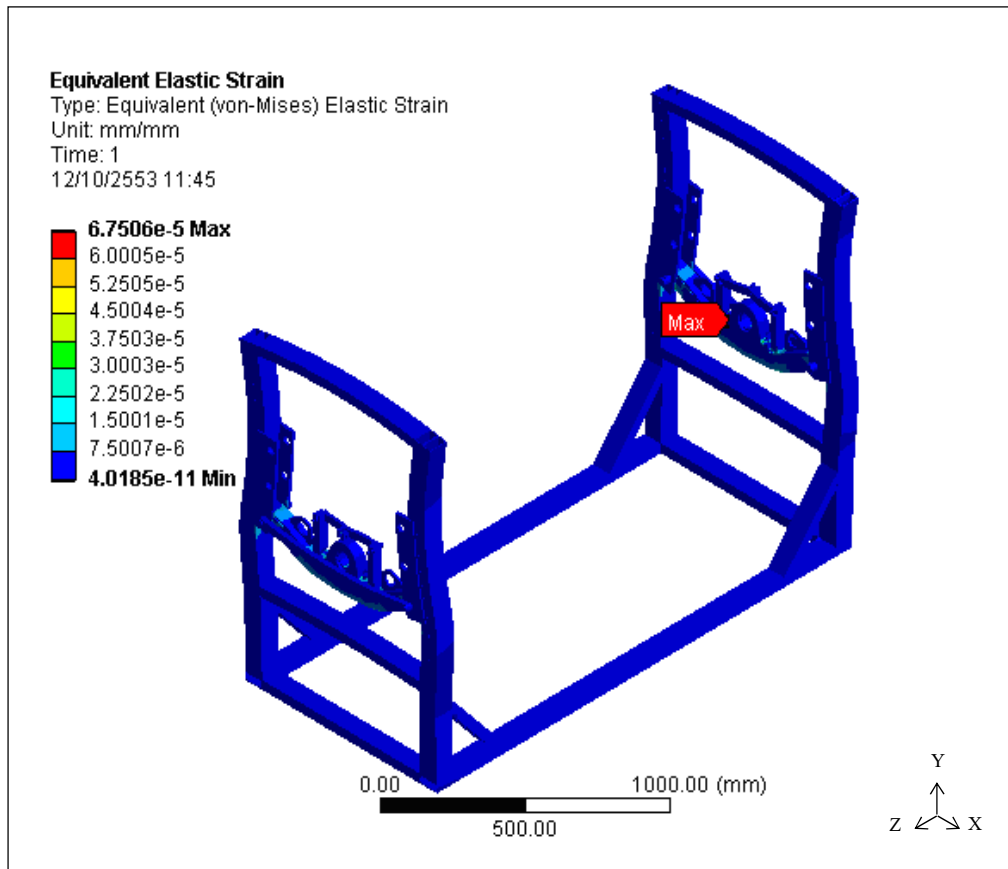
ผลการวิเคราะห์ โดยแรงที่โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อยและจากน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนการประกอบชิ้นงานแบบที่ 2 ซึ่งมีภาระกรรมทั้งหมด 3140.33 N



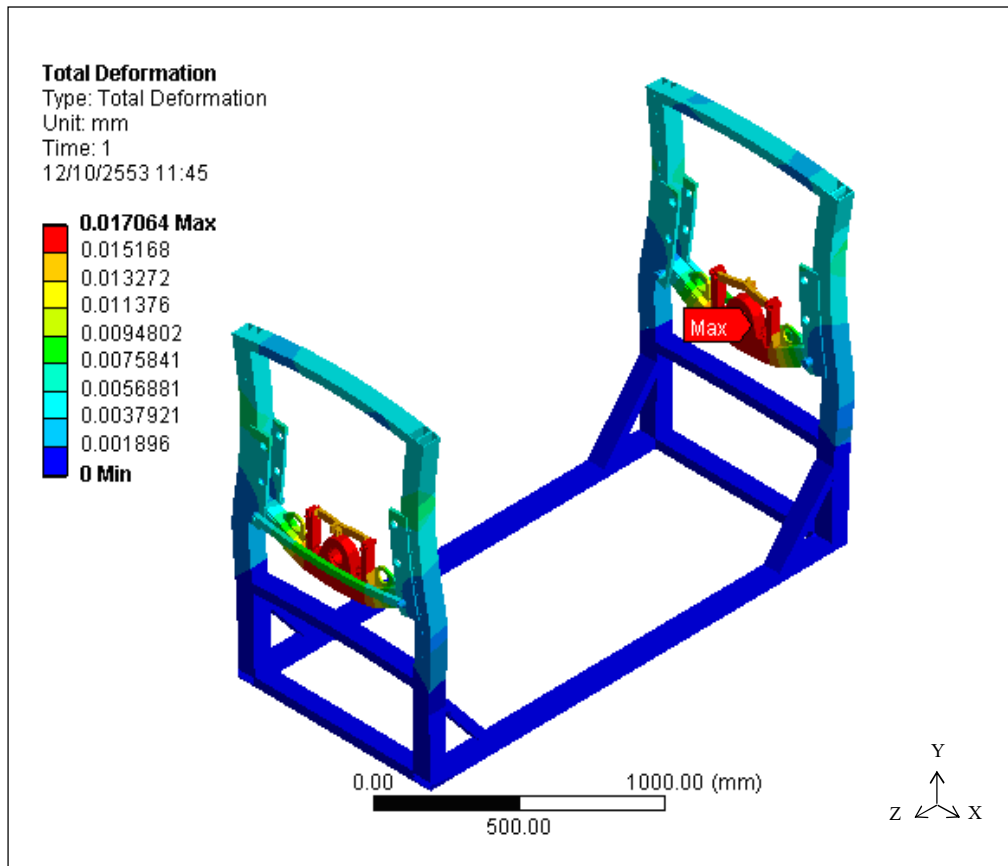
รูปที่ 4.42 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2



รูปที่ 4.43 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2



รูปที่ 4.44 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

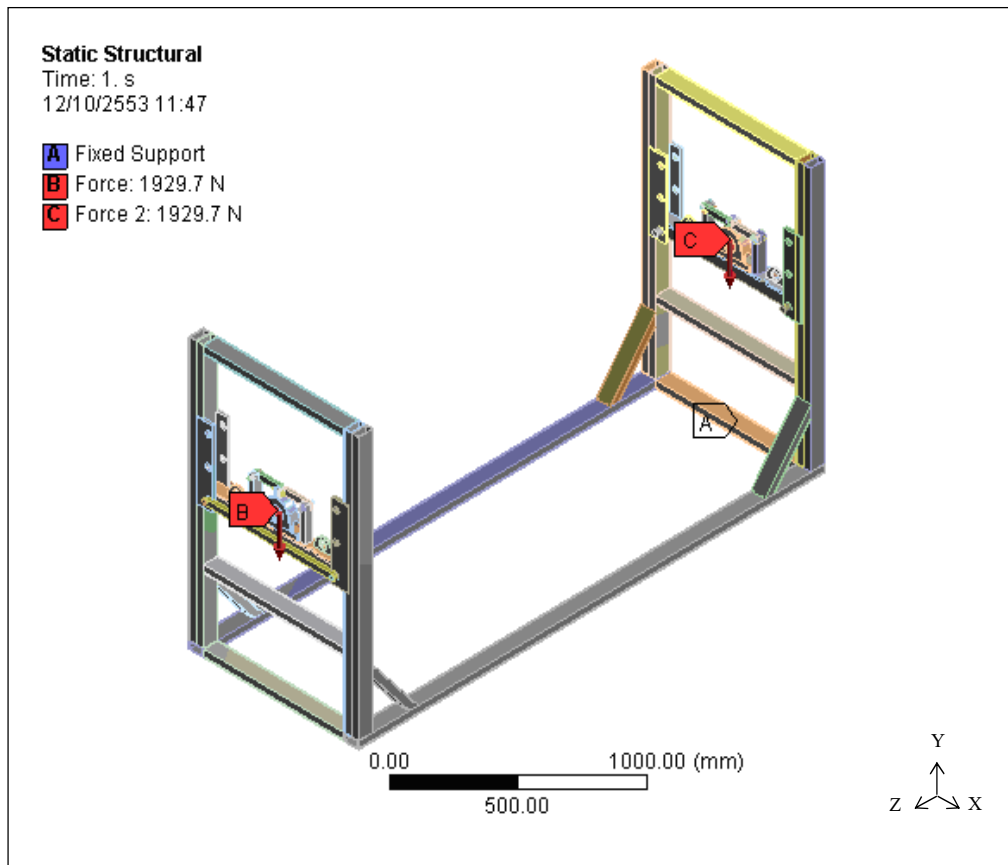


รูปที่ 4.45 แสดงค่าขจัดสูงสุดของ โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2

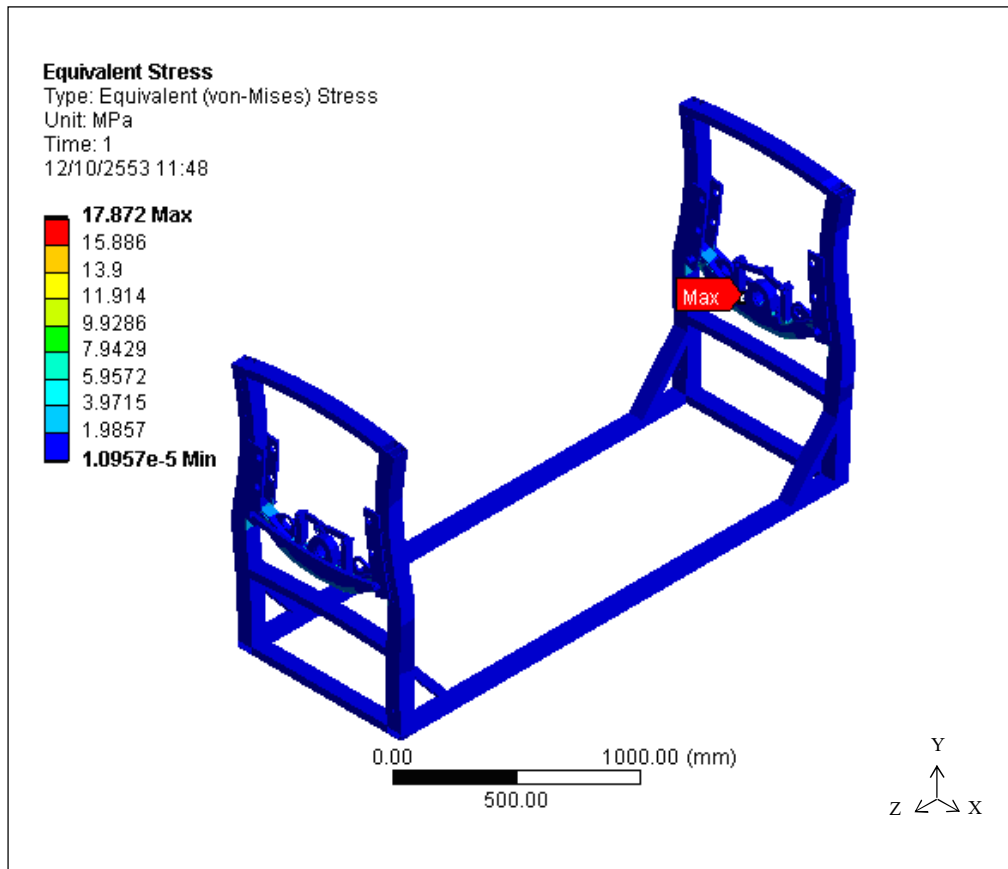
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 เมื่อ โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 ได้รับภาระกรรม 3140.33 N ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 136789 จุดและจำนวน เอลิเมนต์ 63325 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 14.85 MPa ค่าความเครียด 0.0000675 ค่าขจัดสูงสุด 0.017064 mm และ ค่าความปลอดภัย 15

4.4.11 กรณีที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

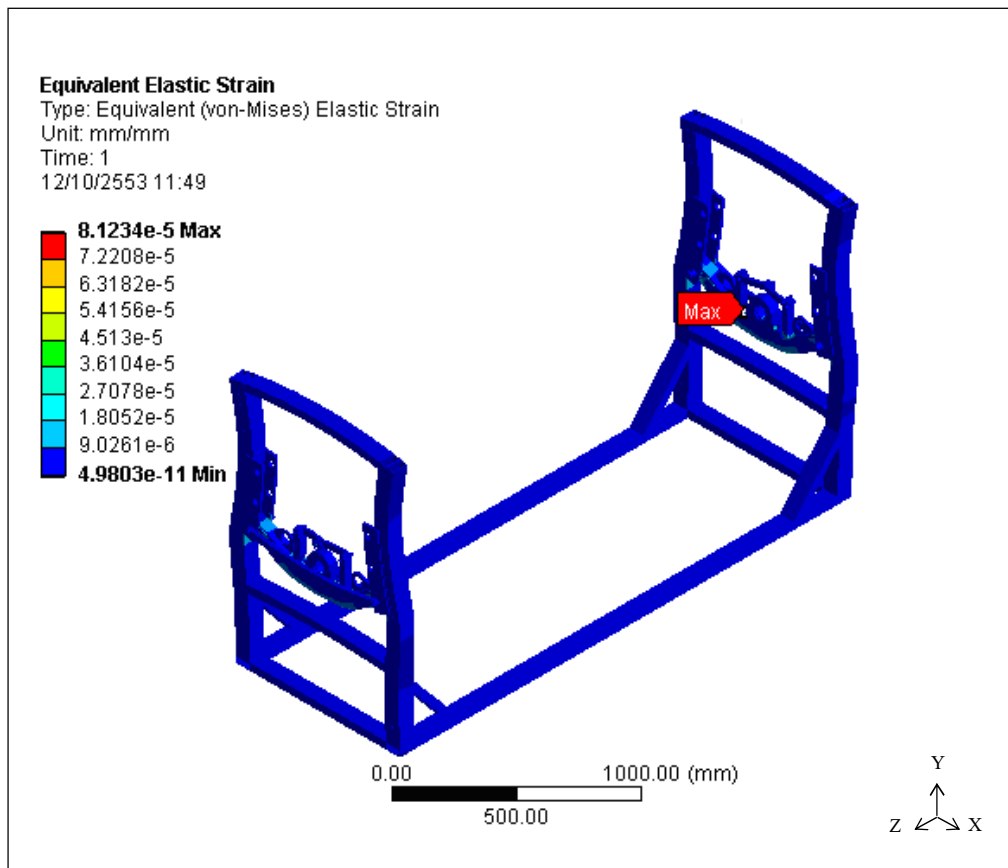
ผลการวิเคราะห์ โดยแรงที่โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อยและจากน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนการประกอบชิ้นงานแบบที่ 3 ซึ่งมีภาระกรรมทั้งหมด 3859.3 N



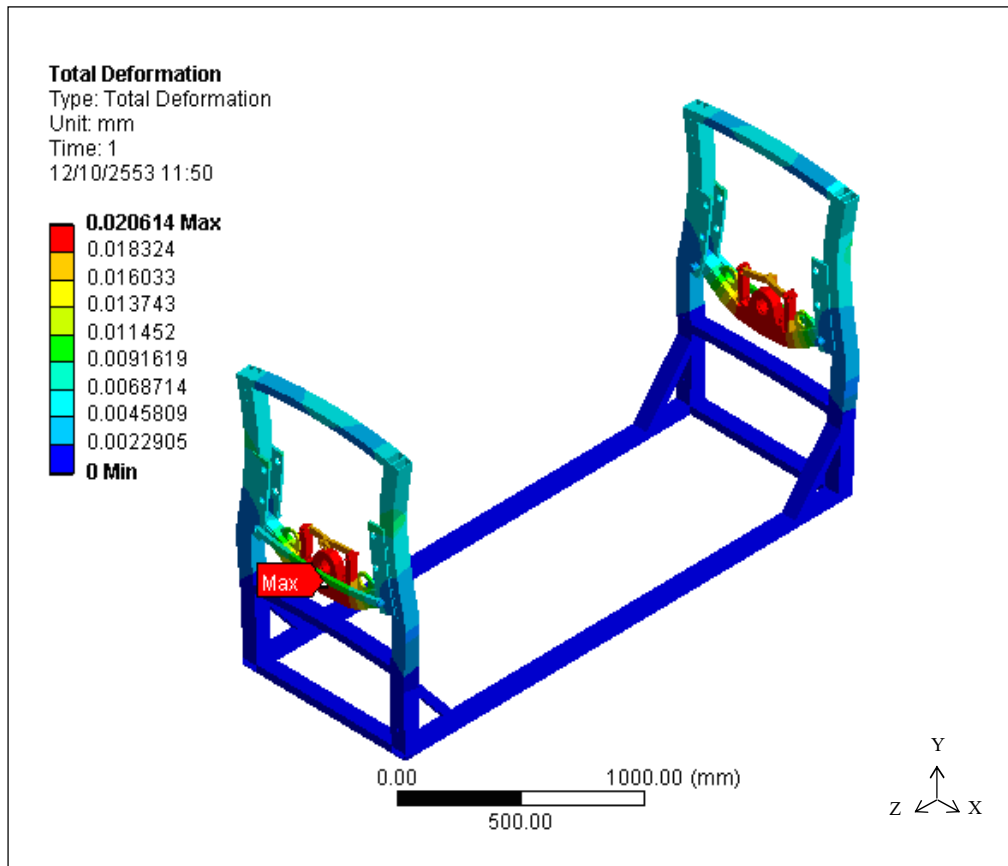
รูปที่ 4.46 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3



รูปที่ 4.47 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3



รูปที่ 4.348 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

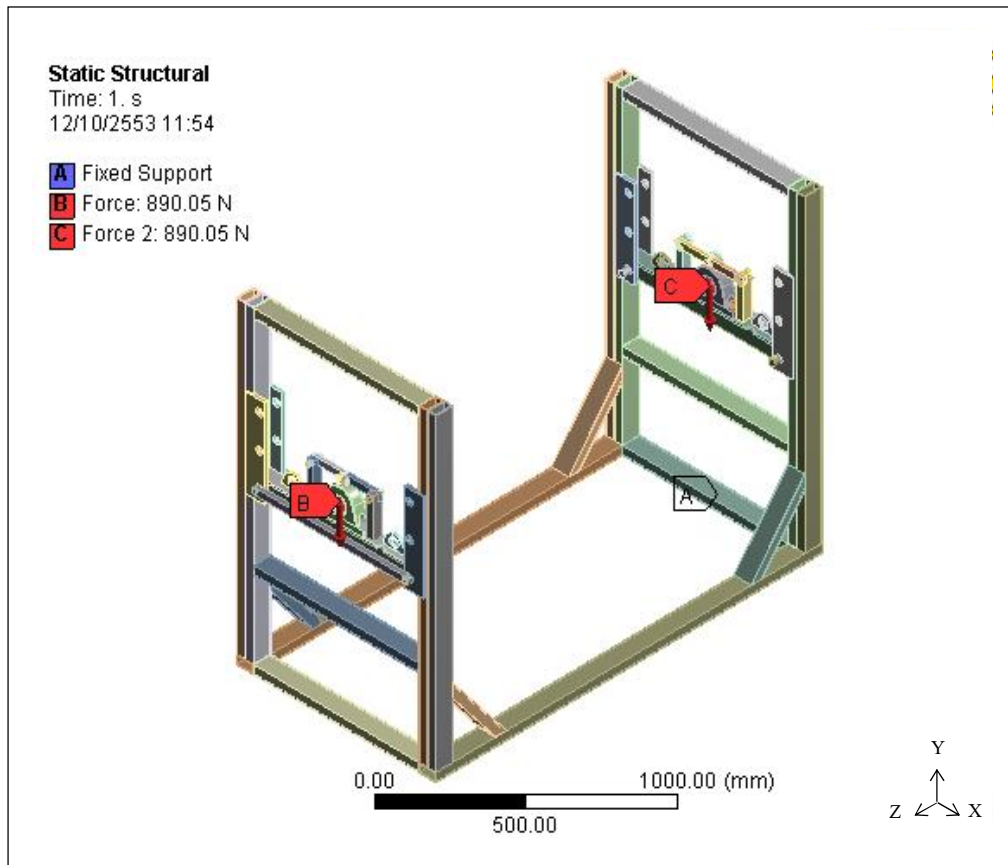


รูปที่ 4.49 แสดงค่าจัดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3

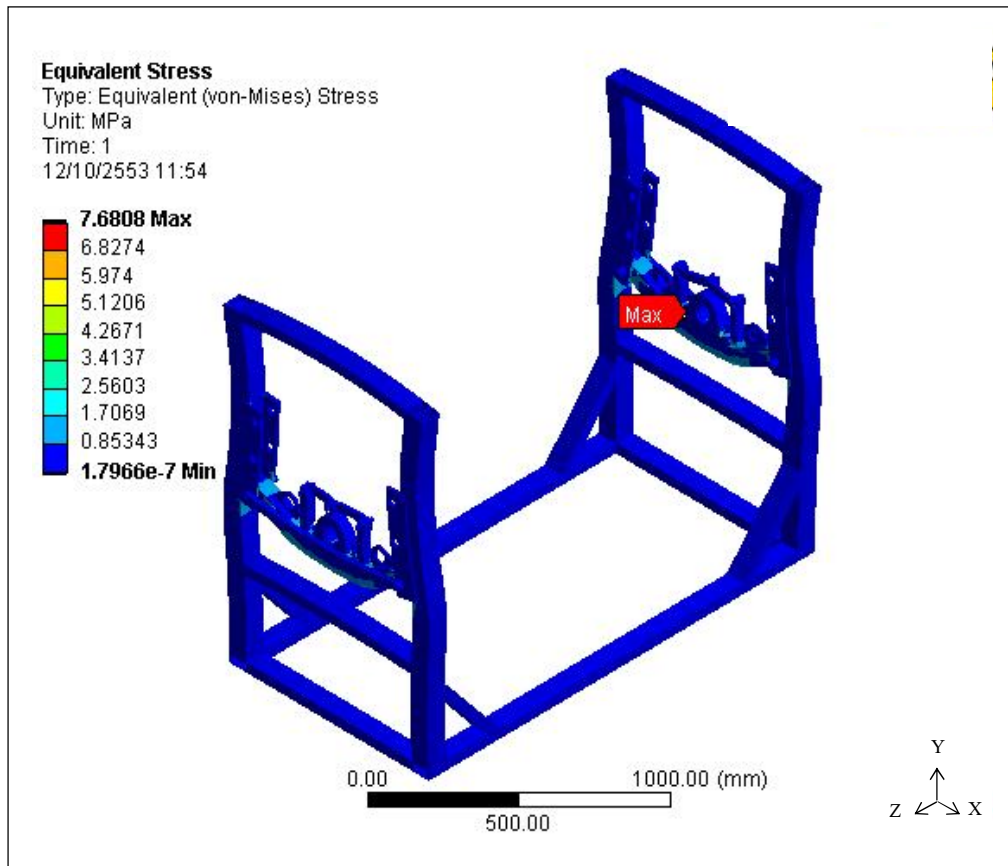
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 เมื่อโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 ได้รับภาระกรรม 3859.3 N ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 130164 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 60241 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 17.87 MPa ค่าความเครียด 0.0000812 ค่าจัดสูงสุด 0.020614 mm และ ค่าความปลอดภัย 15

4.4.12 กรณีที่ 3 วิเคราะห์โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

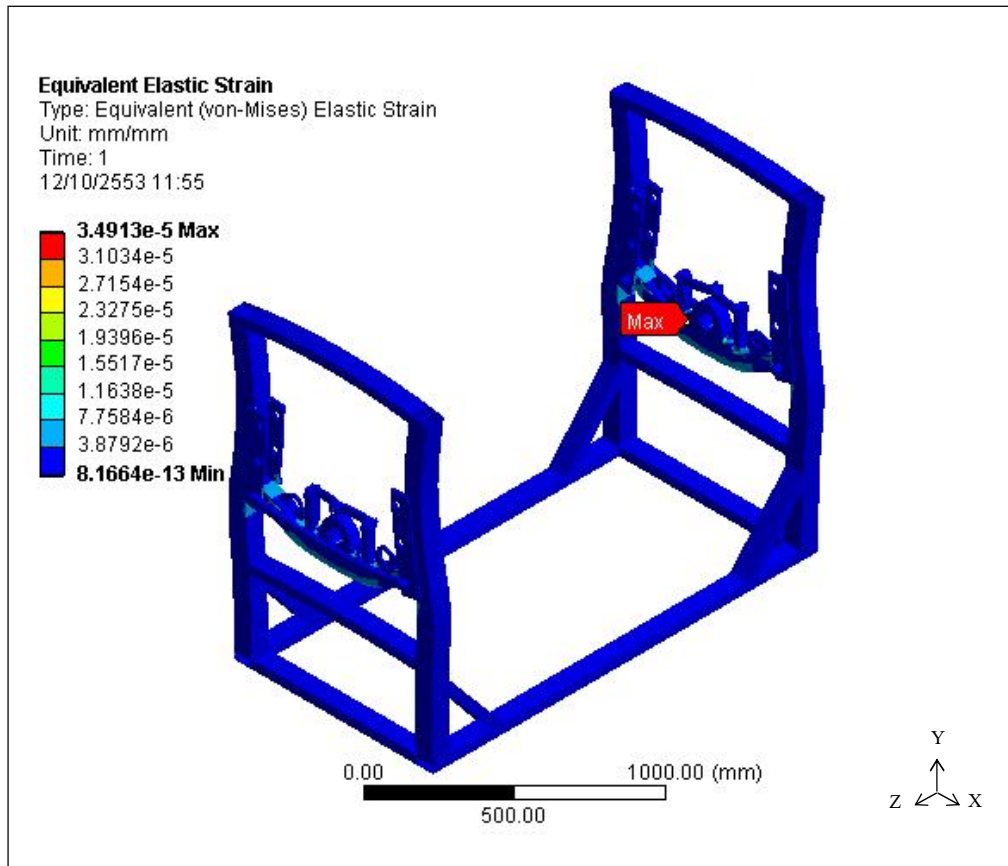
ผลการวิเคราะห์ โดยแรงที่โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้รับจากโครงสร้างย่อยและจากน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนการประกอบชิ้นงานแบบที่ 4 ซึ่งมีภาระกรรมทั้งหมด 1780.1 N



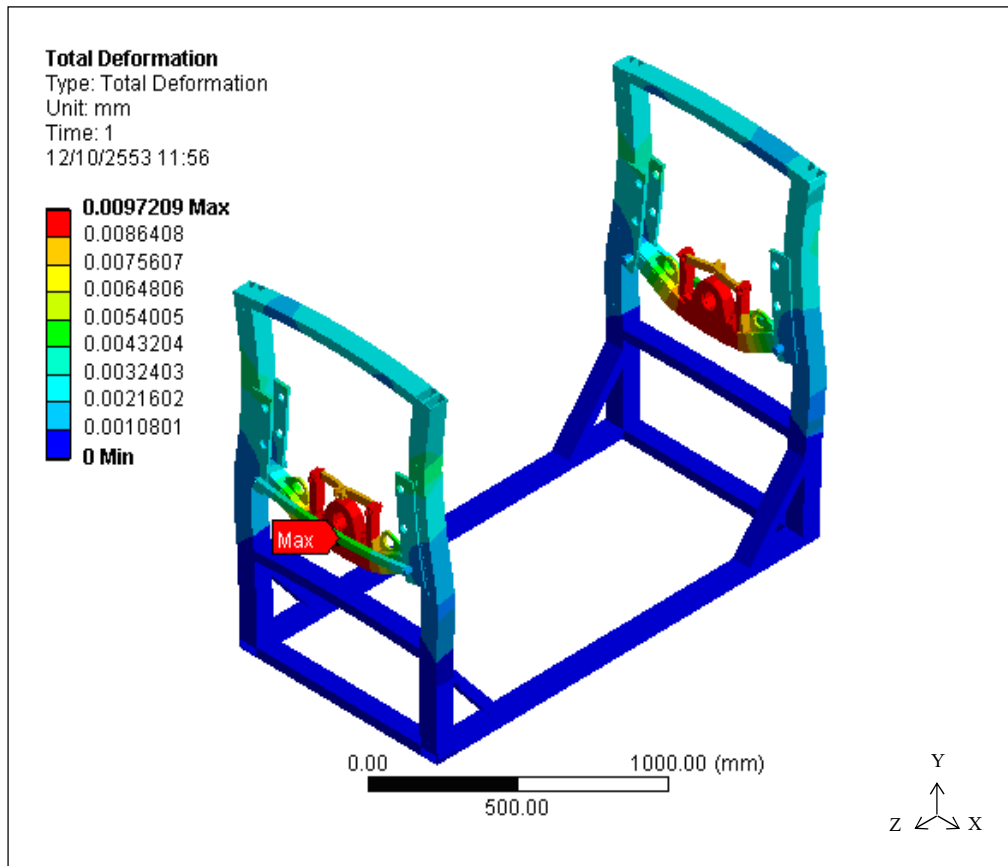
รูปที่ 4.50 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4



รูปที่ 4.51 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4



รูปที่ 4.52 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

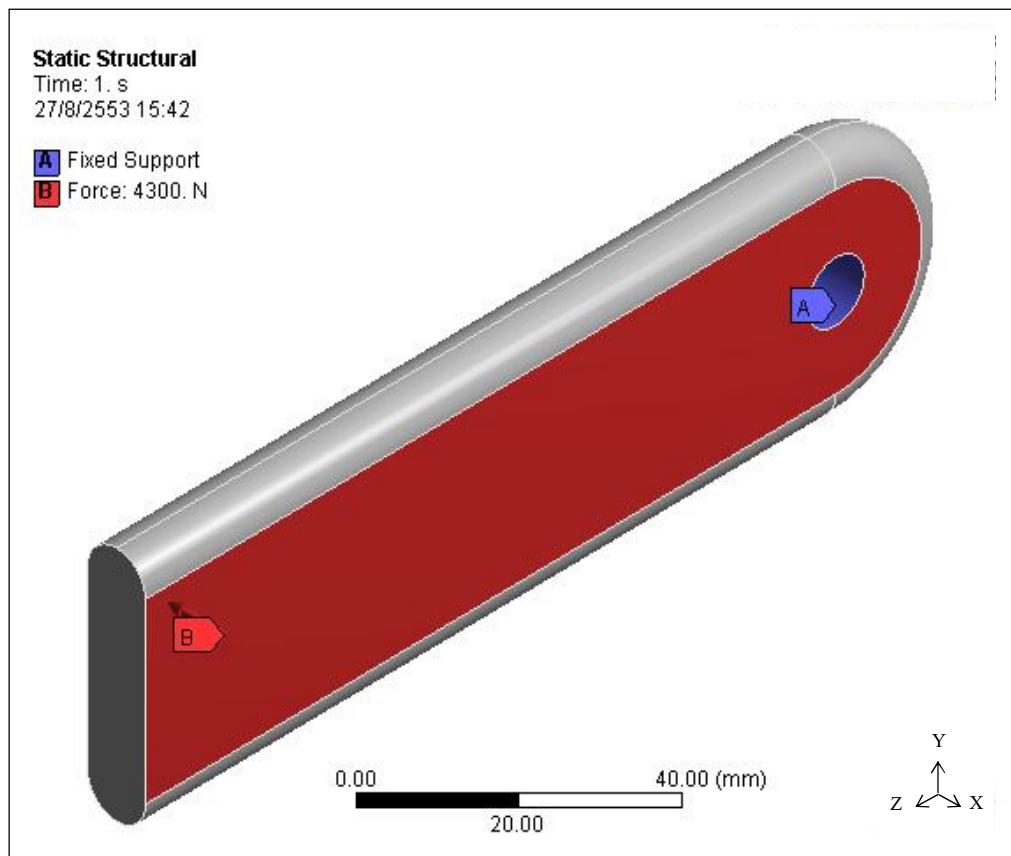


รูปที่ 4.53 แสดงค่าขจัดสูงสุดของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4

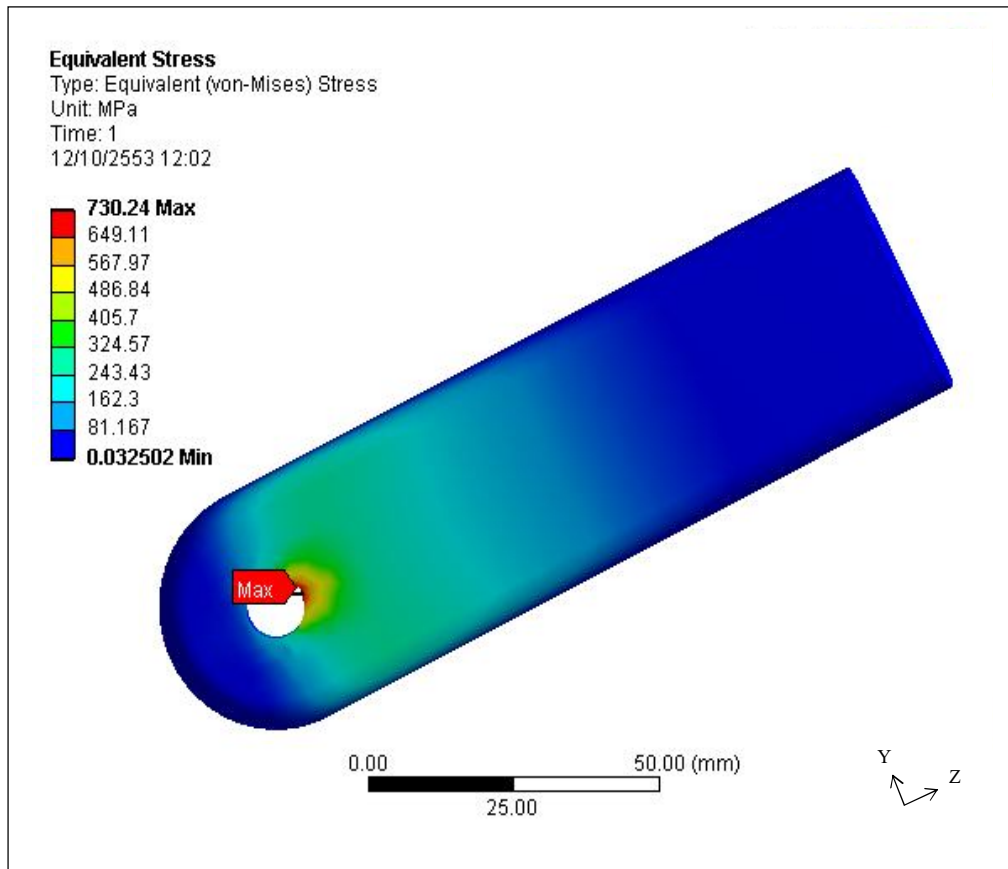
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 เมื่อโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 4 ได้รับภาระกรรม 1780.1 N ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 136433 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 61718 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 7.68 MPa ค่าความเครียด 0.0000349 ค่าขจัดสูงสุด 0.0097209 mm และ ค่าความปลอดภัย 15

4.4.13 กรณีที่ 4 วิเคราะห์ภาระกรรมที่สลักได้รับ

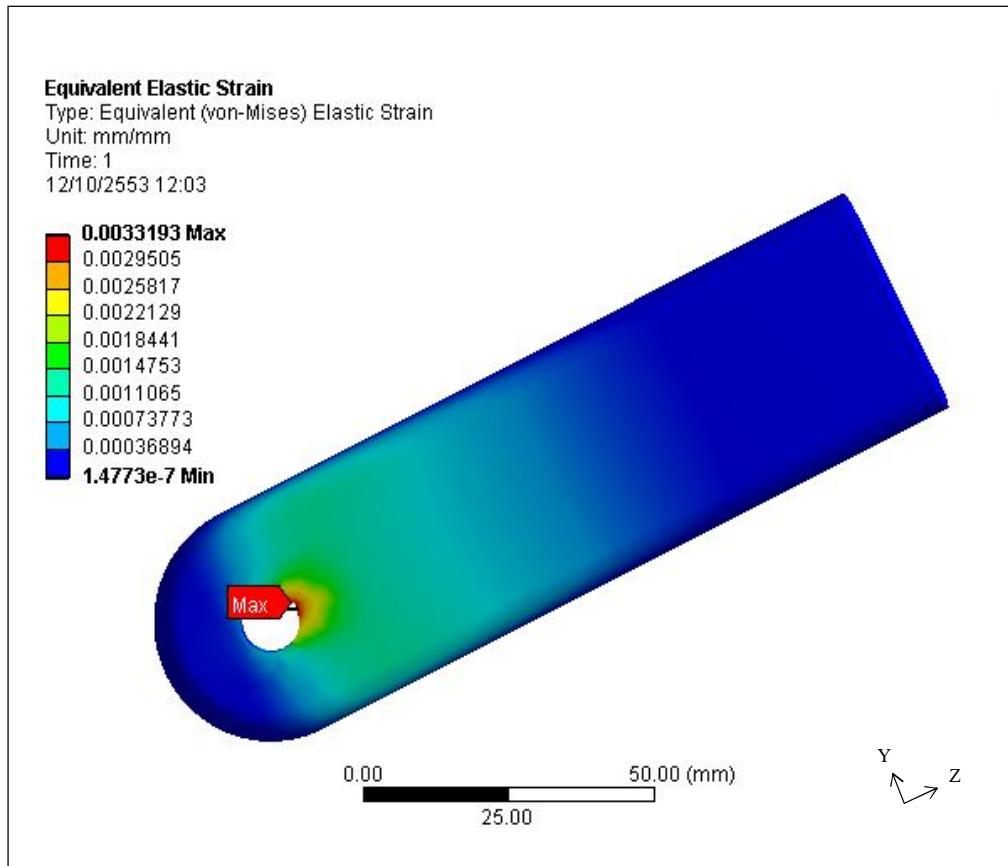
ผลการวิเคราะห์สลักที่ใช้สำหรับล๊อคอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานไม่ให้เกิดการหมุนขณะปฏิบัติงาน เมื่อภาระกรรมที่สลักได้รับจากโครงสร้างย่อยและจากน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนการประกอบชิ้นงาน ซึ่งในที่นี้พิจารณาสลักที่รับภาระมากที่สุดอยู่ที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 ที่มีภาระกรรมทั้งหมด 4268.29 N



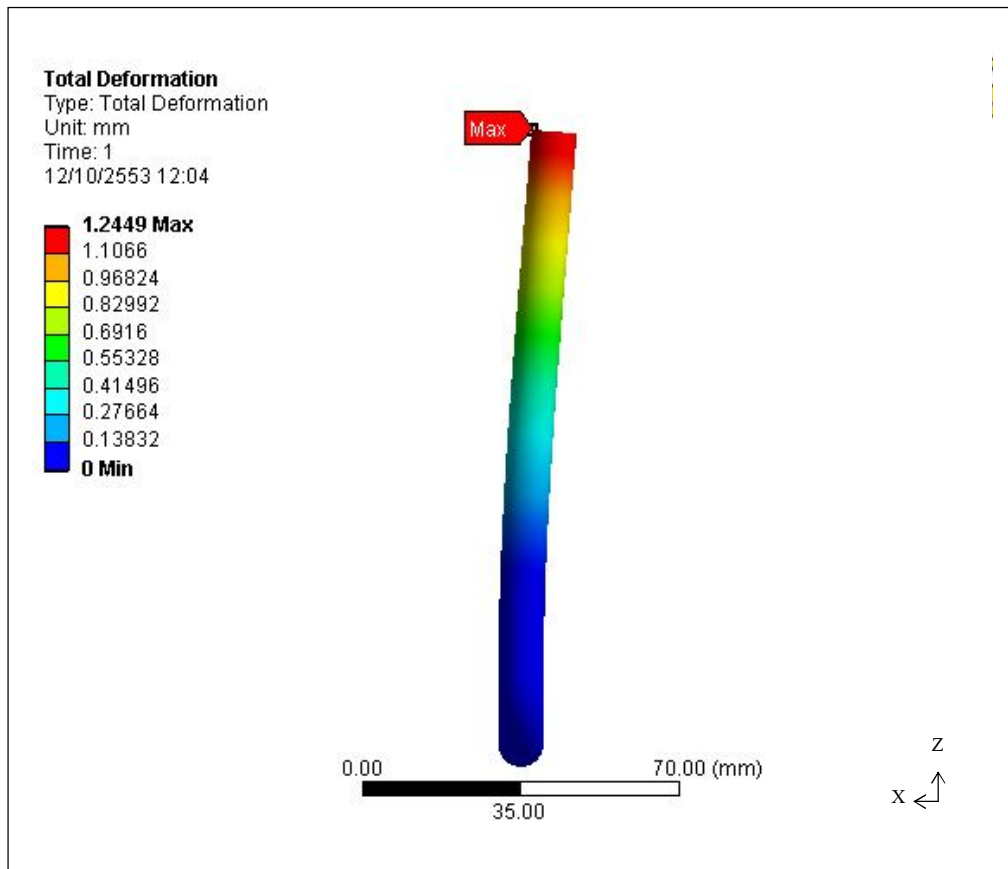
รูปที่ 4.54 แสดงพื้นที่รับภาระกรรมของสลัก



รูปที่ 4.55 แสดงค่าความเค้นสูงสุดของสลัก



รูปที่ 4.56 แสดงค่าความเครียดสูงสุดของสลัก



รูปที่ 4.57 แสดงค่าขจัดสูงสุดของสลัก

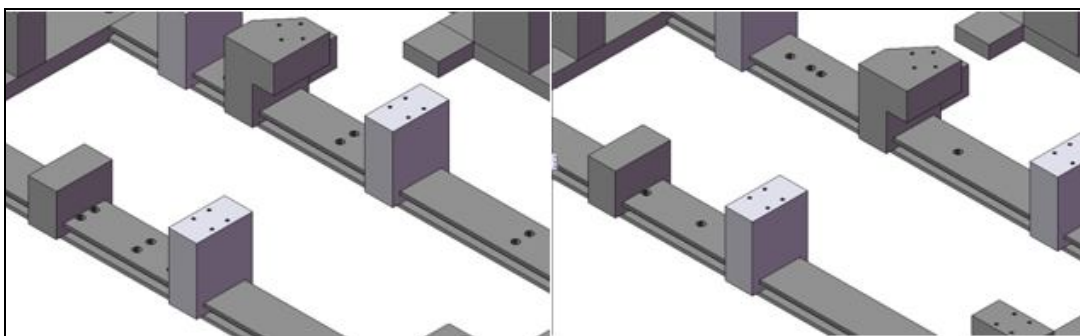
จากผลการวิเคราะห์ในกรณีนี้ที่ 4 เมื่อสลักได้รับภาระกรรมทั้งหมด 4268.29 N ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ได้ จุดต่อ (Node) 16363 จุดและจำนวนเอลิเมนต์ 9749 เอลิเมนต์ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้ ค่าความเค้นสูงสุด 730.24 MPa ค่าความเครียด 0.00332 ค่าขจัดสูงสุด 1.2449 mm และ ค่าความปลอดภัย 2.36

ตารางที่ 4.4 แสดงตารางผลการวิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

| กรณี | แบบที่ | ภาระกรรม | | จุดต่อ | เอลิเมนต์ | Max Stress (MPa) | Strain | Deformation (mm) | SF |
|------|--------|----------|---------|--------|-----------|------------------|----------|------------------|-------|
| | | Pa | N | | | | | | |
| 1 | 1 | 849.72 | - | 278806 | 145830 | 36.42 | 0.00018 | 0.17739 | 10.71 |
| | 2 | 946.95 | - | 361639 | 206737 | 25.32 | 0.00013 | 0.10405 | 15.00 |
| | 3 | 784.37 | - | 379682 | 209810 | 27.42 | 0.00014 | 0.30212 | 14.22 |
| | 4 | 1807.04 | - | 223453 | 128183 | 29.07 | 0.00015 | 0.12192 | 13.42 |
| 2 | 1 | 849.72 | 3156.14 | 278806 | 145830 | 200.78 | 0.00100 | 1.0565 | 1.94 |
| | 2 | 946.95 | 2288.58 | 361639 | 206737 | 114.03 | 0.00057 | 0.60029 | 3.42 |
| | 3 | 784.37 | 2957.45 | 379682 | 209810 | 167.58 | 0.00084 | 1.9035 | 2.33 |
| | 4 | 1807.04 | 879.83 | 223453 | 128183 | 53.12 | 0.00027 | 0.26588 | 7.34 |
| 3 | 1 | - | 4268.29 | 130519 | 59173 | 18.99 | 8.63E-05 | 0.022884 | 15.00 |
| | 2 | - | 3140.33 | 136789 | 63325 | 14.85 | 6.75E-05 | 0.017064 | 15.00 |
| | 3 | - | 3859.30 | 130164 | 60241 | 17.87 | 8.12E-05 | 0.020614 | 15.00 |
| | 4 | - | 1780.10 | 136433 | 61718 | 7.68 | 3.49E-05 | 0.0097209 | 15.00 |
| 4 | สลัก | - | 4268.29 | 16363 | 9749 | 730.24 | 0.00332 | 1.2449 | 2.36 |

จากตารางที่ 4.4 จะพบว่าผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนั้นในบางกรณีได้ค่าความปลอดภัยต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานและทำการวิเคราะห์ พบว่าในกรณีที่ 2 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 เดิมวิเคราะห์ได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.94 ในส่วนนี้ได้ปรับปรุงโดยเปลี่ยนจำนวนรูที่ใช้ในการปรับตำแหน่ง ในขณะที่ทำการประกอบโครงสร้างย่อยจากเดิม 2 รูลดลงเหลือ 1 รูดังรูปที่ 4.58 พบว่าเมื่อทำการปรับปรุงค่าความปลอดภัยเพิ่มขึ้นเป็น 4.2 ตามผลการวิเคราะห์ตารางที่ 4.5

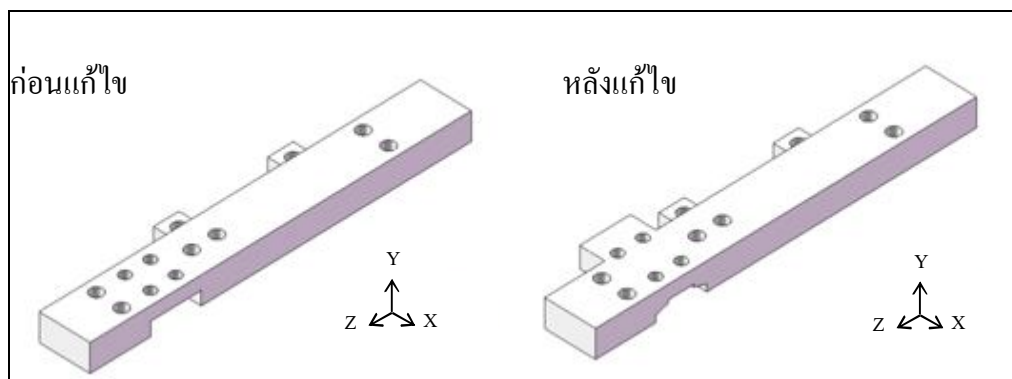
ส่วนในกรณีที่ 2 ของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 วิเคราะห์ได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.33 ซึ่งพบว่าบริเวณที่เกิด Max Stress สูงสุดเกิดที่ตำแหน่งการเชื่อมต่อของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานซึ่งเชื่อมต่อหลายตำแหน่ง ดังนั้นในส่วนนี้จะทำการเพิ่มขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างเพื่อให้มีพื้นที่ในการเชื่อมต่อมากขึ้นดังรูปที่ 4.59 พบว่าหลักการปรับปรุงขนาดชิ้นส่วนค่าความปลอดภัยเพิ่มขึ้นเป็น 4.87 ตามผลการวิเคราะห์ตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.58 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจาก 2 รูเป็น 1 รู

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีปรับโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดแบบที่ 1

| แบบที่ | กรณี | ภาระกรรม | | จุดต่อ | เอลิเมนต์ | Max Stress (MPa) | Strain | Deformation (mm) | SF |
|--------|------|----------|---------|--------|-----------|------------------|---------|------------------|------|
| | | Pa | N | | | | | | |
| 1 | 2 รู | 849.72 | 3156.14 | 278806 | 145830 | 200.78 | 0.00100 | 1.0565 | 1.94 |
| | 1 รู | 849.72 | 3156.14 | 259310 | 136036 | 92.94 | 0.00047 | 1.4993 | 4.2 |

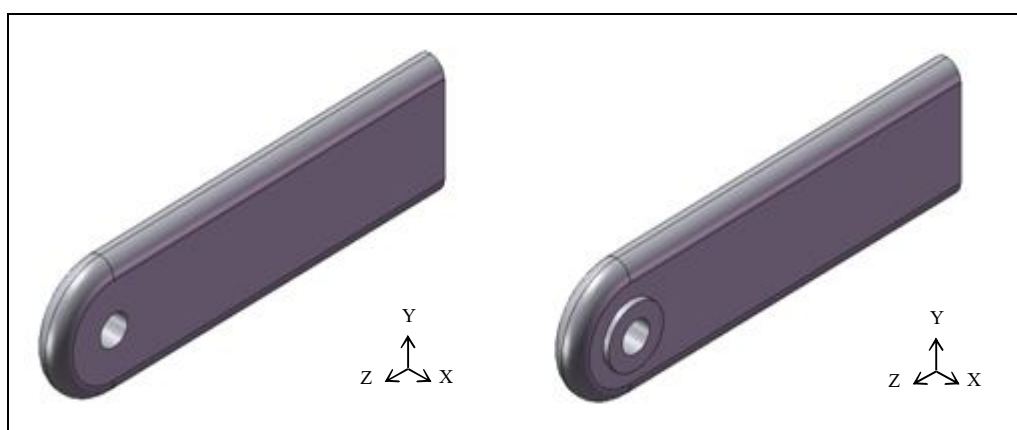


รูปที่ 4.59 แสดงการปรับลักษณะชิ้นส่วนอุปกรณ์จับยึดแบบที่ 3

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีปรับชิ้นส่วนอุปกรณ์จับยึดแบบที่ 3

| กรณี | ภาระกรรม | | จุดต่อ | เอลิเมนต์ | Max Stress (MPa) | Strain | Deformation (mm) | SF |
|-----------|----------|---------|--------|-----------|------------------|----------|------------------|------|
| | Pa | N | | | | | | |
| ก่อนแก้ไข | 784.37 | 2957.45 | 379682 | 209810 | 167.58 | 0.000838 | 1.9035 | 2.33 |
| หลังแก้ไข | 784.37 | 2957.45 | 447195 | 255415 | 71.802 | 0.000359 | 0.57809 | 4.87 |

และในส่วนกรณีที่ 4 สลักล๊อควิเคราะห์ได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.36 โดยส่วนนี้เราจะทำการปรับขนาดของสลักให้มีขนาดเพิ่มขึ้นเพื่อสามารถรองรับแรงได้มากขึ้น ซึ่งในส่วนของสลักล๊อคนี้ต้องรับภาระกรรมสูงสุดเราจึงต้องเลือกวัสดุที่นำมาทำตัวสลักล๊อคให้มีค่าความแข็งแรงสูงพอที่จะสามารถรับภาระกรรมทั้งหมดได้ ตามที่แสดงในรูปที่ 4.60 เป็นการปรับขนาดของสลักให้มีความหนาเพิ่มขึ้นด้านละ 2 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.60 แสดงการปรับขนาดสลักล๊อค

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีปรับขนาดสลักล๊อค

| กรณี | ภาระกรรม (N) | จุดต่อ | เอลิเมนต์ | Max Stress (MPa) | Strain | Deformation (mm) | SF |
|-----------|--------------|--------|-----------|------------------|-----------|------------------|------|
| ก่อนแก้ไข | 4268.29 | 16363 | 9749 | 730.24 | 0.003319 | 1.2449 | 2.36 |
| หลังแก้ไข | 4268.29 | 19559 | 11745 | 484.59 | 0.0022027 | 1.1989 | 3.55 |

4.5 อัตราการผลิต

จากการศึกษาเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงานของแต่ละโครงสร้างย่อย ที่ได้จากการศึกษาเวลามาตรฐานแบบพรีดิเทอร์มินและการจับเวลาในการเชื่อมชิ้นงานจริง เราสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงเวลามาตรฐานในการผลิตโครงสร้างย่อย

| อุปกรณ์จับยึด ชิ้นงาน | โครงสร้าง ชนิด 2 ชั้น | เวลา มาตรฐาน (นาที) | โครงสร้าง ชนิดชั้นครึ่ง | เวลา มาตรฐาน (นาที) |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| แบบที่ 1 | Front 1 | 25.65 | Front 1 | 23.46 |
| | Front 2 | 23.65 | Front 2 | 20.13 |
| | Rear 1 | 20.23 | Rear 1 | 20.23 |
| | Rear 2 | 20.12 | Rear 2 | 20.12 |
| | Rear 3 | 31.04 | | |
| แบบที่ 2 | Front Assy 2 | 20.47 | Front WheelMember | 20.47 |
| | Rear Support Assy | 27.15 | Rear Support Assy | 27.15 |
| แบบที่ 3 | Rear Support Assy 2 | 23.52 | Rear Support Assy 2 | 31.20 |
| | Rear Support Assy 2-1 | 22.52 | | |
| | Rear Support Assy 3 | 31.33 | | |
| แบบที่ 4 | Assy Frontwheel LH | 43.80 | Assy Frontwheel LH | 43.80 |
| | Assy Frontwheel RH | 43.80 | Assy Frontwheel RH | 43.80 |

จากตารางที่ 4.8 จะแสดงเวลามาตรฐานในการผลิตโครงสร้างย่อยในแต่ละโครงสร้างย่อยว่าต้องใช้ระยะเวลาในการผลิตกี่นาที โดยการปฏิบัติงานจะใช้ผู้ปฏิบัติงาน 1 คนและจากการศึกษาลักษณะของโครงสร้างหลักทรดโดยสารทั้ง 2 รุ่น จะพบว่าโครงสร้างหลักทรดโดยสารมีความสมมาตรกันตามแนวยาวของโครงสร้าง ในการจะประกอบโครงสร้างหลักทรดโดยสาร 1 คันจึงต้องใช้โครงสร้างย่อยในบางโครงสร้างจำนวน 2 โครงสร้างย่อย ดังนั้น ในการหาอัตราการผลิตโครงสร้างย่อยเพื่อนำไปประกอบเป็นโครงสร้างหลักทรดโดยสาร 1 คันสามารถแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงอัตราการผลิตโครงสร้างย่อยต่อวัน

| อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน | โครงสร้าง 2 ชั้น (นาที) | โครงสร้างชั้นครึ่ง(นาที) |
|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| แบบที่ 1 | 120.7 | 83.9 |
| แบบที่ 2 | 95.2 | 95.2 |
| แบบที่ 3 | 108.7 | 62.4 |
| แบบที่ 4 | 87.6 | 87.6 |
| เวลามาตรฐาน | 412.2 | 329.2 |
| อัตราการผลิต (1 โครงสร้างต่อวัน) | 1.2 | 1.5 |

จะพบว่าในการปฏิบัติงานโดยมีผู้ปฏิบัติงาน 1 คนนั้นจะเกิดเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงานสูง ดังตารางที่ 4.9 การผลิตโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักกรดโดยสารชนิด 2 ชั้นจะใช้เวลาประมาณ 412 นาทีและโครงสร้างหลักกรดโดยสารชนิดชั้นครึ่งใช้เวลาประมาณ 329 นาทีเนื่องจากโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักกรดโดยสารชนิด 2 ชั้น มีจำนวนโครงสร้างย่อยมากกว่า ดังนั้นอัตราการผลิตของโครงสร้างหลักกรดโดยสารชนิด 2 ชั้นจะได้ 1.2 คันต่อวัน และของโครงสร้างหลักกรดโดยสารชนิดชั้นครึ่งจะได้ 1.5 คันต่อวัน โดยการปฏิบัติงาน 1 วันจะใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง ดังนั้นเราจึงพิจารณาโดยการเพิ่มผู้ปฏิบัติงานเป็น 2 คน โดยแบ่งหน้าที่การปฏิบัติงานดังนี้ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 1 ประจำที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานตัวที่ 1 และตัวที่ 4 ส่วนผู้ปฏิบัติงานคนที่ 2 ประจำที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานตัวที่ 2 และตัวที่ 3 ดังนั้น ในการหาอัตราการผลิตโครงสร้างย่อยเพื่อนำไปประกอบเป็นโครงสร้างหลักกรดโดยสาร 1 คัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงเวลามาตรฐานของผู้ปฏิบัติงาน 2 คน

| ผู้ปฏิบัติงาน | อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน | เวลาปฏิบัติงาน (นาที) | |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| | | โครงสร้าง 2 ชั้น | โครงสร้างชั้นครึ่ง |
| คนที่ 1 | 1 และ 4 | 208.3 | 171.5 |
| คนที่ 2 | 2 และ 3 | 203.9 | 157.6 |
| เวลามาตรฐาน | | 208.3 | 171.5 |
| อัตราการผลิต (1 โครงสร้างต่อวัน) | | 2.3 | 2.8 |
| %idle | | 1 | 4.05 |

จะพบว่าในการปฏิบัติงานโดยมีผู้ปฏิบัติงาน 2 คนนั้นจะเกิดเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 4.10 การผลิตโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิด 2 ชั้นจะใช้เวลาประมาณ 208.3 นาทีและโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิดชั้นครึ่งใช้เวลาประมาณ 171.5 นาที อัตราการผลิตของโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิด 2 ชั้นจะได้ 2.3 คันต่อวัน และของโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิดชั้นครึ่งจะได้ 2.8 คันต่อวัน โดย 1 วันจะใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง จะพบว่าเมื่อใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คนจะมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 90% จากการใช้ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน เมื่อมีผู้ปฏิบัติงาน 2 คน จะเกิดเวลาว่างงานของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะพบว่าในการผลิตโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิดชั้นครึ่งเกิดการว่างงานสูงกว่า และเมื่อเราต้องการอัตราการผลิตสูงขึ้นเราจึงได้พิจารณาโดยเพิ่มผู้ปฏิบัติงานเป็น 4 คน โดยให้ผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนประจำทำที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแต่ละตัว ดังนั้น ในการหาอัตราการผลิตโครงสร้างย่อยเพื่อนำไปประกอบเป็นโครงสร้างหลักทรโดยสาร 1 คัน สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงเวลามาตรฐานของผู้ปฏิบัติงาน 4 คน

| อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน | โครงสร้าง 2 ชั้น (นาที) | โครงสร้างชั้นครึ่ง(นาที) |
|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| แบบที่ 1 | 120.69 | 83.94 |
| แบบที่ 2 | 95.24 | 95.24 |
| แบบที่ 3 | 108.7 | 62.4 |
| แบบที่ 4 | 87.6 | 87.6 |
| เวลามาตรฐาน | 120.69 | 95.24 |
| อัตราการผลิต (1 โครงสร้างต่อวัน) | 4.0 | 5.0 |
| %idle | 6.85 | 8.62 |

จะพบว่าในการปฏิบัติงานโดยมีผู้ปฏิบัติงาน 4 คนนั้นจะเกิดเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 4.11 การผลิตโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิด 2 ชั้นจะใช้เวลาประมาณ 120.69 นาทีและโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิดชั้นครึ่งใช้เวลาประมาณ 95.24 นาที อัตราการผลิตของโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิด 2 ชั้นจะได้ 4.0 คันต่อวัน และของโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิดชั้นครึ่งจะได้ 5.0 คันต่อวัน จะพบว่าเมื่อใช้ผู้ปฏิบัติงาน 4 คนจะมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 75% จากการใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน เมื่อมีผู้ปฏิบัติงาน 4 คนจะเกิดเวลาว่างงานของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะพบว่าในการผลิตโครงสร้างหลักทรโดยสารชนิดชั้นครึ่งเกิดการว่างงานสูงกว่าและการว่างงานของผู้ปฏิบัติงาน 4 คนสูงกว่าการใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน

เมื่อเราต้องการอัตราการผลิตสูงขึ้นจึงได้พิจารณาโดยเพิ่มผู้ปฏิบัติงานเป็น 6 คน เพิ่มอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 และแบบที่ 3 อย่างละ 1 ตัว ให้ผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนประจำที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแต่ละตัว โดยอุปกรณ์แบบที่ 1 ตัวแรกผลิตโครงสร้างย่อยจำนวน 2 โครงสร้างย่อย (Front 1 และ Rear 3) อุปกรณ์แบบที่ 1 ตัวสองผลิตโครงสร้างย่อย 3 โครงสร้างย่อย (Front 2, Rear 1 และ Rear 2) อุปกรณ์แบบที่ 3 ตัวแรกผลิตโครงสร้างย่อยจำนวน 2 โครงสร้างย่อย (Rear Support Assy 2 และ Rear Support Assy 2-1) และอุปกรณ์แบบที่ 3 ตัวสองผลิตโครงสร้างย่อยจำนวน 1 โครงสร้างย่อย (Rear Support Assy 3) ดังนั้น ในการหาอัตราการผลิตโครงสร้างย่อยเพื่อนำไปประกอบเป็นโครงสร้างหลักกรดโดยสาร 1 คัน สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงเวลามาตรฐานของผู้ปฏิบัติงาน 6 คน

| ผู้ปฏิบัติงาน | อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน | โครงสร้าง 2 ชั้น (นาที) |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------|
| คนที่ 1 | แบบที่ 1 ตัวแรก | 56.69 |
| คนที่ 2 | แบบที่ 1 ตัวสอง | 64.00 |
| คนที่ 3 | แบบที่ 2 | 95.24 |
| คนที่ 4 | แบบที่ 3 ตัวแรก | 46.04 |
| คนที่ 5 | แบบที่ 3 ตัวสอง | 62.66 |
| คนที่ 6 | แบบที่ 4 | 87.60 |
| เวลามาตรฐาน | | 95.24 |
| อัตราการผลิต (1 โครงสร้างต่อวัน) | | 5.00 |
| %idle | | 8.61 |

ในการพิจารณาการผลิตโครงสร้างย่อยโดยใช้ผู้ปฏิบัติงาน 6 คน เราจะพิจารณาเฉพาะการผลิตโครงสร้างหลักกรดโดยสาร ชนิด 2 ชั้น เนื่องจากเวลาในการทำงานจะสูงที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 และแบบที่ 3 ซึ่งในการผลิตโครงสร้างย่อยของชนิดชิ้นครั้งจะอยู่ที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 2 และแบบที่ 4 เมื่อเราทำการเพิ่มอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 และแบบที่ 3 จึงไม่เกิดผลดีต่อการวางแผนการผลิตโครงสร้างย่อยของชนิดชิ้นครั้ง จากการศึกษาพบว่าการปฏิบัติงานโดยมีผู้ปฏิบัติงาน 6 คนและจัดเพิ่มอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนั้นเกิดเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงานดังตารางที่ 4.12 การผลิตโครงสร้างย่อยของโครงสร้างหลักกรดโดยสารชนิด 2 ชั้นจะใช้เวลาประมาณ 95.24 นาที อัตราการผลิตได้ 5.0 คันต่อวัน ซึ่งเมื่อใช้ผู้ปฏิบัติงาน 6 คนจะมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 25% จากการมีผู้ปฏิบัติงาน 4 คน และเกิดการว่างงานสูงกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยและผลของงานวิจัยเรื่อง การออกแบบชุดจับยึดสำหรับการผลิต โครงสร้างหลักของรถโดยสาร ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน วิเคราะห์ความปลอดภัยเชิงวิศวกรรมในการนำมาใช้งาน และวางแผนการผลิตเพื่อกำหนดกำลังการผลิต ซึ่งผลการวิจัยนั้นมีผลออกมาสามารถสรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ดังนี้

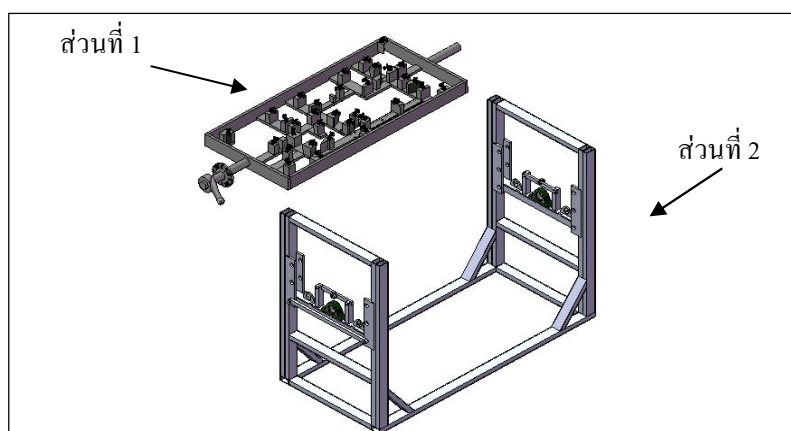
- 5.1 สรุปผลด้านการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน
- 5.2 สรุปผลด้านการวิเคราะห์ความปลอดภัย
- 5.3 สรุปผลด้านการวางแผนกำลังการผลิต
- 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลด้านการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

จากการวิจัยครั้งนี้ เป็นการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจากการศึกษาลักษณะ โครงสร้างหลักรถโดยสารจำนวน 2 รุ่น จะได้ลักษณะของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งเราได้ทำการแบ่งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ ส่วนประกอบโครงสร้างย่อย

ส่วนที่ 2 คือ ส่วนตัวโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 5.1 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

ลักษณะอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทั้ง 4 แบบ จะต่างกันมากในส่วนแรก คือส่วนประกอบ โครงสร้างย่อย เนื่องจากลักษณะโครงสร้างย่อยในแต่ละกลุ่มมีความต่างกันมาก ในส่วนที่ 2 ส่วน โครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานจะต่างกันเล็กน้อยด้านความกว้างและความยาว เนื่องจาก โครงสร้างย่อยที่ทำการประกอบบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแต่ละแบบนี้มีความยาวของโครงสร้าง ย่อยที่ต่างกัน

5.2 สรุปผลด้านการวิเคราะห์ความปลอดภัย

5.2.1 ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 1 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเมื่อ ได้รับความกระแทกจากโครงสร้างย่อย ผลการวิเคราะห์อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทั้ง 4 แบบมีค่าความ ปลอดภัยสูง โดยมีค่าความปลอดภัยต่ำสุดอยู่ 10.71 เกิดที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 มีค่าความ เค้นสูงสุด 36.42 MPa ค่าความเสียรูป 0.18 มิลลิเมตร

5.2.2 ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเมื่อ ได้รับความกระแทก เนื่องจากน้ำหนักโครงสร้างย่อยและน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานในส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 1 มีค่าต่ำสุดที่ 1.94 ค่าความเค้น สูงสุด 200.78 MPa ค่าความเสียรูป 1.06 มิลลิเมตร ซึ่งจะเกิดความเสียหายก่อนอุปกรณ์จับยึด ชิ้นงานแบบอื่น ๆ ดังนั้น ในกรณีนี้จึงต้องมีการออกแบบหรือปรับปรุงโครงสร้างอุปกรณ์จับยึด ชิ้นงานในแบบที่ 1 เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่อุปกรณ์ และผลการวิเคราะห์ค่าความ ปลอดภัยของอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแบบที่ 3 มีค่ารองลงมาที่ 2.33 ค่าความเค้นสูงสุด 167.58 MPa ค่าความเสียรูป 1.90 มิลลิเมตร ซึ่งอาจเกิดความเสียหายได้เมื่อมีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง

5.2.3 ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างอุปกรณ์จับยึด ชิ้นงานเมื่อได้รับความกระแทก เนื่องจากน้ำหนัก โครงสร้างย่อยและน้ำหนักอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ในส่วนที่ 1 และรวมถึงน้ำหนักอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วย เช่น อุปกรณ์ยึดชิ้นงาน สกรู น็อต ผลการ วิเคราะห์ค่าความปลอดภัยที่เกิดกับโครงสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 15 ซึ่งเป็นค่าที่สูง มากเมื่อนำมาพิจารณาการเลือกใช้วัสดุ

5.2.4 ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 4 การวิเคราะห์การกระแทกที่สลักล๊อค จากผลวิเคราะห์ ค่าความเค้นสูงสุด 730.24 MPa มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.36 ดังนั้น ในการปฏิบัติงานส่วนที่จะ เกิดความเสียหายก่อนคือ ส่วนสลักล๊อค ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องรับภาระการกระแทกทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทั้งในขณะที่มีการปฏิบัติงานและไม่มีการปฏิบัติก็ตาม

5.3 สรุปผลด้านการวางแผนกำลังการผลิต

จากการพิจารณาการปฏิบัติงานในกรณีต่าง ๆ ทั้งการเพิ่มจำนวนผู้ปฏิบัติงานและการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ในส่วนของเวลามาตรฐานที่ใช้ในการปฏิบัติงานจะลดลง อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการปฏิบัติงานที่มากกว่า 1 คนจะเกิดเวลาการว่างงานของผู้ปฏิบัติงานในแต่ละบุคคล ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงเวลามาตรฐานในกรณีต่าง ๆ ที่ศึกษา

| ผู้ปฏิบัติงาน | โครงสร้างชนิด 2 ชั้น | | | โครงสร้างชนิดชั้นครึ่ง | | |
|---------------|---------------------------|---------------------|-------|---------------------------|---------------------|-------|
| | Standard Time (minute) | Production / Day | %idle | Standard Time (minute) | Production / Day | %idle |
| 1 คน | 412.23 | 1.20 | - | 329.18 | 1.50 | - |
| 2 คน | 208.29 | 2.30 | 1.04 | 171.54 | 2.80 | 4.05 |
| 4 คน | 120.69 | 4.00 | 6.85 | 95.24 | 5.00 | 8.62 |
| 6 คน | 95.24 | 5.00 | 8.61 | - | - | - |

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ด้านการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

เนื่องจากอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแต่ละแบบสามารถทำการประกอบโครงสร้างย่อยได้หลายโครงสร้างย่อย และในการประกอบโครงสร้างย่อยของแต่ละอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนั้นจะมีลักษณะโครงสร้างย่อยที่นำมาประกอบคล้ายกันตามที่ได้แบ่งกลุ่ม ซึ่งในการออกแบบได้ทำการกำหนดจุดอ้างอิงต่าง ๆ ไว้สำหรับป้องกันผู้ปฏิบัติงานใส่ชิ้นงานผิดตำแหน่ง นอกจากนี้ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่ออกแบบยังสามารถทำการผลิตโครงสร้างหลักทรดโดยสารได้ 2 รุ่น ซึ่งลักษณะชิ้นส่วนที่จะนำมาประกอบของแต่ละรุ่นนั้นมีลักษณะที่ต่างกัน ดังนั้นถ้าผู้ปฏิบัติงานนำชิ้นส่วนคนละโครงสร้างมาทำการประกอบก็อาจเกิดปัญหาขึ้นได้ ดังนั้น ในการปฏิบัติงานจึงต้องมีคู่มือปฏิบัติงานควบคู่ไปด้วย

5.4.2 ด้านการวิเคราะห์ความปลอดภัย

สำหรับมาตรฐานความปลอดภัยในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เมื่อวัสดุที่นำมาทำชิ้นงานจัดเป็นเหล็กเหนียวและแรงที่มากกระทำเป็นแรงอยู่นิ่งไม่เปลี่ยนแปลง ตลอดเวลา ค่าความปลอดภัยควรอยู่ระหว่าง 3-4 ดังนั้น ในส่วนที่เราต้องพิจารณาเป็นพิเศษคือ สลักล็อก เนื่องจากสลักต้องรับภาระทั้งหมด ทั้งตัวอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเองและน้ำหนัก โครงสร้างย่อย ดังนั้นเราอาจ ทำการปรับขนาดตัวสลักให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ทำตัวสลักให้มีค่า Yield Stress และ Ultimate Stress มากกว่าเดิมเพื่อความแข็งแรงมากขึ้น

5.4.3 ด้านการวางแผนกำลังการผลิต

เมื่อเรานำอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานมาใช้ในกระบวนการผลิต โครงสร้างหลักรถโดยสาร เราสามารถกำหนดรูปแบบการผลิตบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานได้ ดังนั้น กระบวนการผลิตจึงมีมาตรฐานขึ้นจากเดิม เราจึงสามารถศึกษาเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตได้และวางแผนอัตราการผลิตจากรูปแบบการผลิตบนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน จากการศึกษาถ้าความต้องการของลูกค้าไม่สูงมากนักเราควรใช้ผู้ปฏิบัติงาน 2 คน แต่ถ้าความต้องการของลูกค้าสูงขึ้นเราอาจเพิ่มจำนวนผู้ปฏิบัติงานและเพิ่มจำนวนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเข้าไป แต่สำหรับการเพิ่มตัวอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนั้นจะส่งผลต่อสภาพพื้นที่ใช้งาน เนื่องจากพื้นที่การปฏิบัติงานมีจำกัดและเป็นการเพิ่มจำนวนต้นทุนการผลิต ดังนั้น จากการศึกษาเมื่อความต้องการสูงขึ้นเราควรเพิ่มที่จำนวนผู้ปฏิบัติงานเป็น 4 คน เนื่องจากถ้าเราเพิ่มจำนวนอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเราก็ต้องเพิ่มจำนวนผู้ปฏิบัติงานเพื่อประจำที่อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนั้น ๆ ซึ่งจากกรณีที่ศึกษาผู้ปฏิบัติงาน 4 คน กับผู้ปฏิบัติงาน 6 คน เพิ่มอัตราการผลิต 25 % ซึ่งอาจไม่คุ้มกับค่าต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น

รายการอ้างอิง

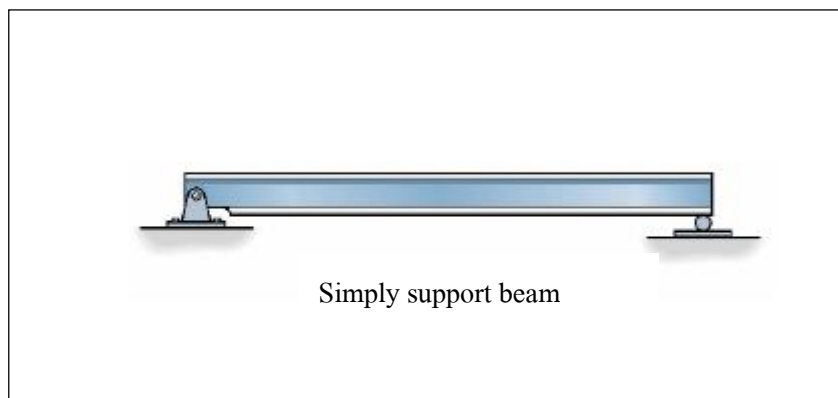
- กนต์ธร ชำนิประศาสน์. เอกสารประกอบการสอน รายวิชากลศาสตร์ขั้นสูง. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วชิระ มีทอง (2550). การออกแบบจิกและฟิกซ์เจอร์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) พิมพ์ครั้งที่ 17 กรุงเทพฯ
- มณฑล ศาสนนันท์ และ จิรานุช บุคดีสิน (กันยายน 2551). การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบเพื่อการประกอบ (DFA) ในการปรับปรุงกล่องชุดของขั้วเครื่องสำอาง. E-Journal Silpakorn University ปีที่ 1 ฉบับที่ 1
- Shingley, J.E., Mischke, C.R., and Budynas, R.G. (2005). **Mechanical Engineering Design 2**. Thai edition 2005 by Top Publishing Co., Ltd. All rights reserved
- Jongprasithporn, S., and Choodoung, S. (2007). **Design and Development the Production Standard for Double Deck-bus (Standard No. 4)**. King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
- Rojana, I., and Kerdniyom, S. (2008). **Design and Development of Chassis Frame for Double Deck Bus (Standard No.4)**. ME NETT 2008
- Leowarin, V., Sakulthai, A., and Keawsonthong, S. (2007). **Process Improvement to Increase Productivity : Case Study in the Production of an Automobile Part**. IE NETT 2007
- Pingkawee, S., and ein Boondiskulchok (2008). **Development of MTM-2 based standard time system for production process in leather ware industry**. IE NETT 2008
- Kanjanapanyakom, R. (2528). **Motion and Time Study**. Physics Center Thailand (pp.139-160)
- Amphanrojananan, W., and Kengpol, A. (2007). **A Cost Reduction by Using Design for Assembly A Case Study : VCD&DVD players company**. IE NETT 2007
- Norman Gaither (1992). **Production and Operations Management**. Fifty Editions (pp.607-611)

ภาคผนวก ก

ผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหา Simply Supported Beam

ก.1 คานประเภท Simply Supported Beam

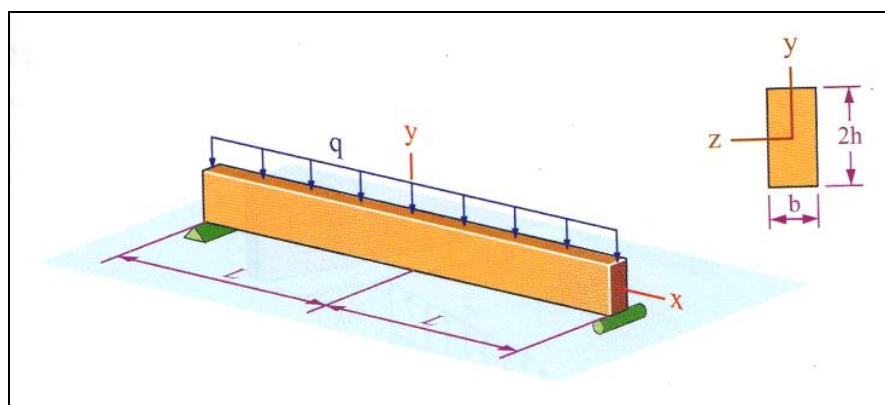
ลักษณะคานประเภท Simply Supported Beam เป็นคานที่มีการรองรับด้วย Rollers หรือ Pin สามารถแสดงได้ดังรูป ก.1



รูปที่ ก.1 แสดง Simply Supported Beam

ก.2 การเสี้ยวรูปของคาน

การหาการเสี้ยวรูปของคาน เมื่อปลายของคานมีการรองรับทั้งสองด้าน แสดงดังรูป ก.2



รูปที่ ก.2 แสดงปัญหาของ Simply Supported Beam

ผลเฉลยแม่นยำตรงของการเสี้ยวรูปสูงสุดที่เกิดขึ้นกับคานาประเภท Simply Supported Beam แสดงได้ดังสมการ ก.1

$$\delta = \frac{5qL^4}{16Ebh^3} + \frac{3qL^2(1-\nu)}{5Ebh} \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่ δ = ค่าการเสี้ยวรูปของคานา (m)

E = Young's Modulus (Pa)

ν = Poisson's Ratio

q = แรงที่กระทำบนคานา (N/m)

L = ความยาวของคานา (cm)

B = ความกว้างของคานา (cm)

h = ความสูงของคานา (cm)

ดังนั้นจะได้

$$\delta = \frac{5(100\text{N/m})(0.1\text{m})^4}{16(80\text{GPa})(0.01\text{m})(0.01\text{m})^3} + \frac{3(100\text{N/m})(0.1\text{m})^2(1-0.3)}{5(80\text{GPa})(0.01\text{m})(0.01\text{m})} \quad (\text{ก.2})$$

$$\delta = 3.95875 \times 10^{-6} \text{ m}$$

ก.3 ค่าความเค้นสูงสุด

เมื่อผลเฉลยแม่นยำตรงของค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับคานาประเภท Simply Supported Beam แสดงได้ดังสมการ ก.3

$$\sigma_x = \frac{3qL^2}{4bh^2} \quad (\text{ก.3})$$

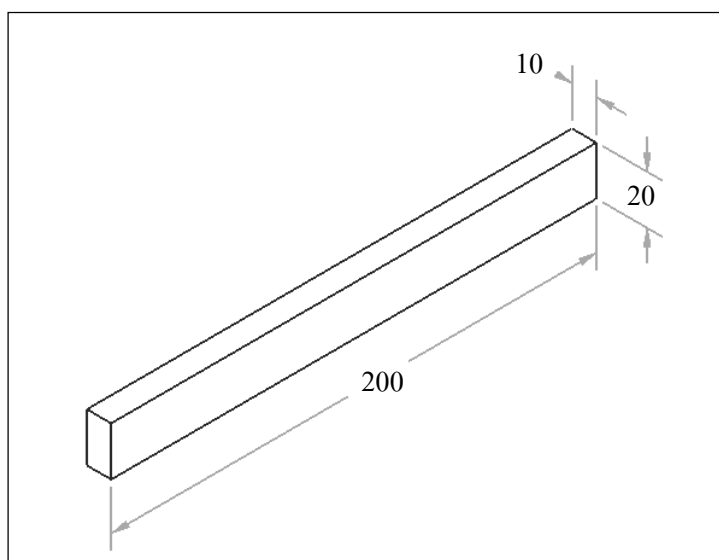
โดยที่ σ_x = ค่าความเค้น (Pa)
 q = แรงที่กระทำบนคาน (N/m)
 L = ความยาวของคาน (cm)
 b = ความกว้างของคาน (cm)
 h = ความสูงของคาน (cm)

ดังนั้นจะได้

$$\sigma_x = \frac{3(100\text{N/m})(0.2\text{m})^2}{4(0.01\text{m})(0.02\text{m})^2} = 750,000\text{N/m}^2 \quad (\text{ก.4})$$

ก.4 การคำนวณด้วยโปรแกรม

เริ่มจากการสร้างชิ้นงาน ดังรูป ก.3 เพื่อวิเคราะห์หาค่าการเสียรูปของคานและค่าความเค้นสูงสุด โดยเป็นการวิเคราะห์แรงกระทำแบบสถิตยศาสตร์ (Static) โดยการใช้โปรแกรม ANSYS Workbench V.11



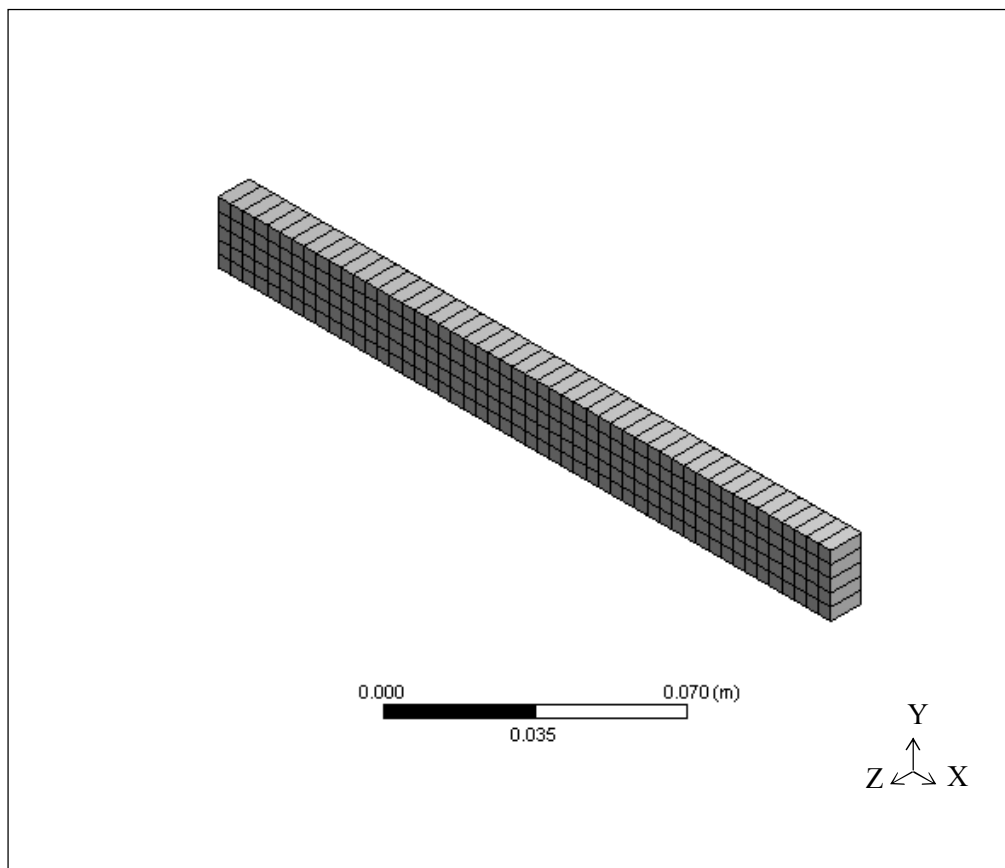
รูปที่ ก.3 แสดงคานที่สร้างจากโปรแกรม Solidwork 2007 SP 2.2

กำหนดคุณสมบัติของวัสดุเป็น Structural Steel ดังรูปที่ ก.4

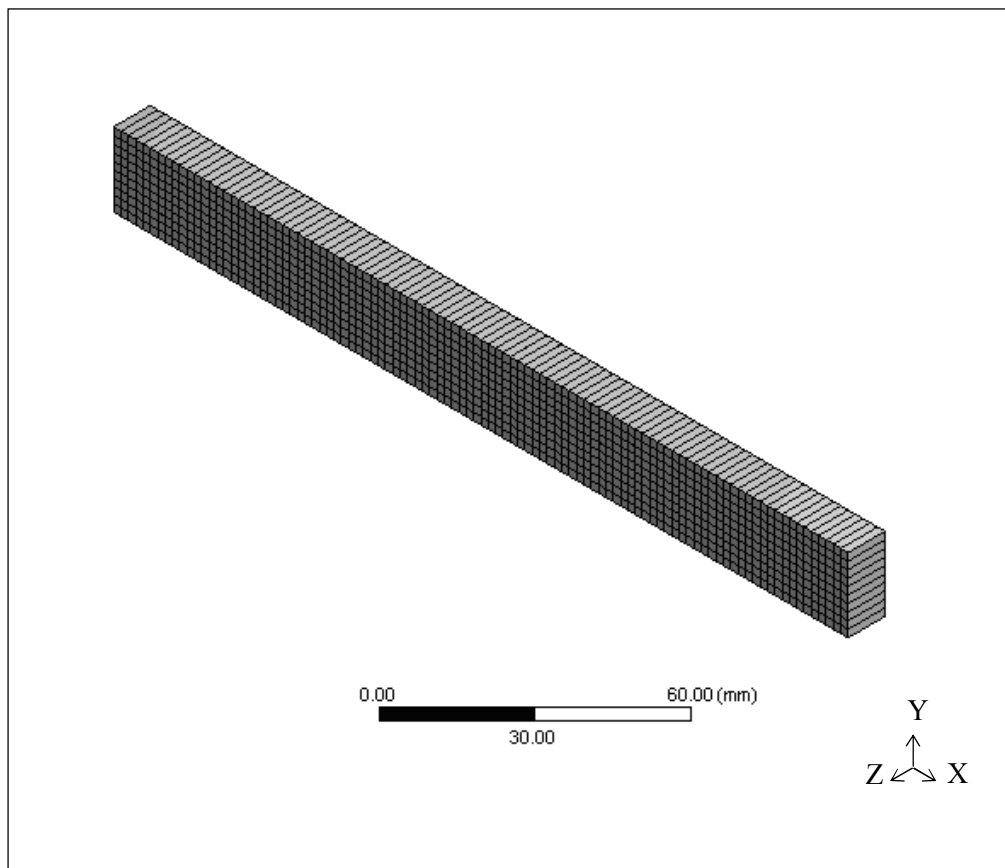
| [-] Structural | | Add/Remove Properties |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Young's Modulus | 8.e+010 Pa |
| <input type="checkbox"/> | Poisson's Ratio | 0.3 |
| <input type="checkbox"/> | Density | 7850. kg/m ³ |
| <input type="checkbox"/> | Thermal Expansion | 1.2e-005 1/°C |
| <input type="checkbox"/> | Alternating Stress | |
| <input type="checkbox"/> | Strain-Life Parameters | |
| <input type="checkbox"/> | Tensile Yield Strength | 2.5e+008 Pa |
| <input type="checkbox"/> | Compressive Yield Strength | 2.5e+008 Pa |
| <input type="checkbox"/> | Tensile Ultimate Strength | 4.6e+008 Pa |
| <input type="checkbox"/> | Compressive Ultimate Strength | 0. Pa |
| [-] Thermal | | Add/Remove Properties |
| <input type="checkbox"/> | Thermal Conductivity | 60.5 W/m·°C |
| <input type="checkbox"/> | Specific Heat | 434. J/kg·°C |
| [-] Electromagnetics | | Add/Remove Properties |
| <input type="checkbox"/> | Relative Permeability | 10000 |
| <input type="checkbox"/> | Resistivity | 1.7e-007 Ohm·m |

รูปที่ ก.4 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ

จากนั้นทำการแบ่งวัสดุออกเป็นส่วนเล็ก ๆ โดยการสร้างเอลิเมนต์และการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์เราจะทำการกำหนดให้เอลิเมนต์มีขนาด 0.4 และ 0.2 เซนติเมตร ซึ่งการแบ่งเอลิเมนต์แสดงได้ดังรูปที่ ก.5 และรูปที่ ก.6 ตามลำดับ

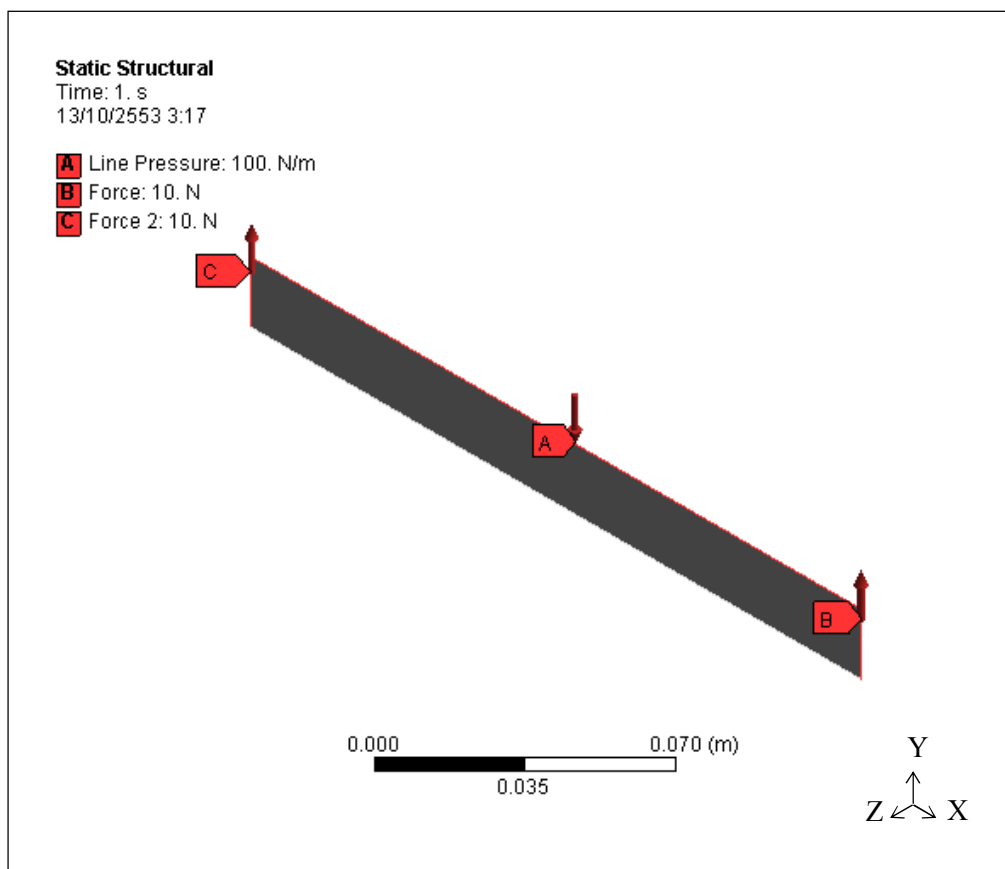


รูปที่ ก.5 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.4 เซนติเมตร



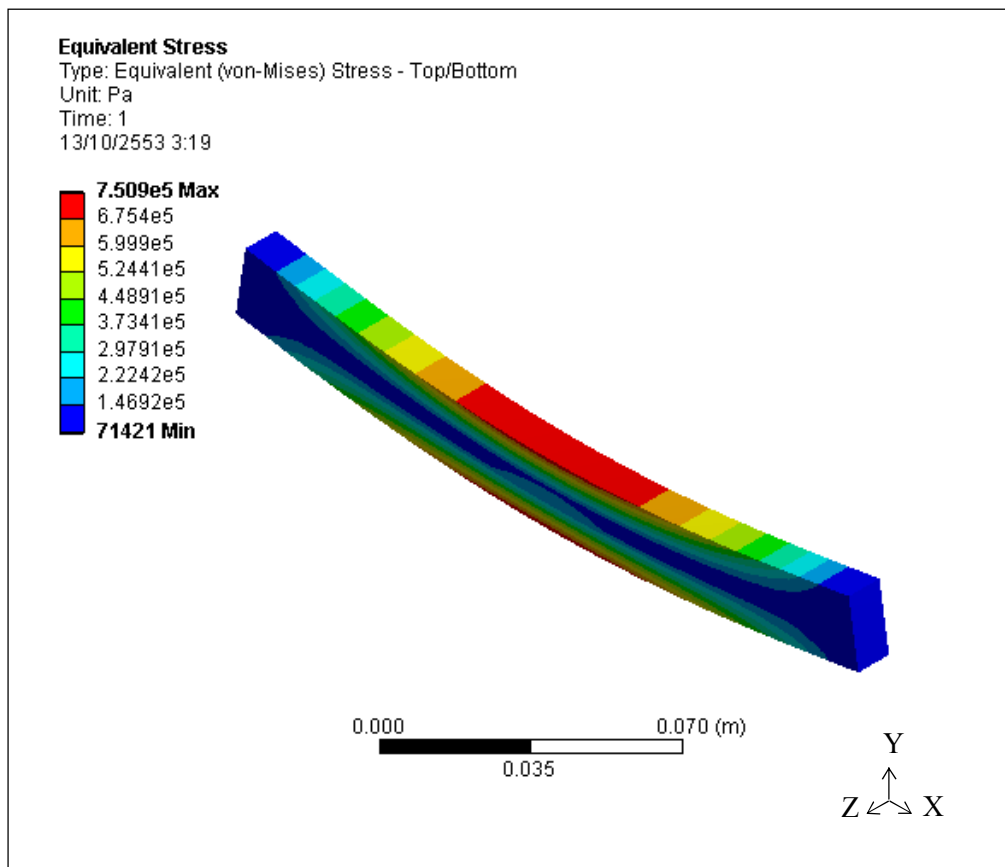
รูปที่ ก.6 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.2 เซนติเมตร

กำหนดแรงที่กระทำบนคาน โดย A เป็นแรงกระจายที่กระบนคานมีค่า 100 N/m และเมื่อคานถูกรองรับที่ตำแหน่งปลายคานทั้งสองก็จะทำให้เกิดแรงตามทฤษฎีของคาน ซึ่งแรงนี้จะกระทำในทิศตรงข้ามกับแรงที่กระทำบนคาน โดยมีค่า 10 N (ตำแหน่ง B และ C)

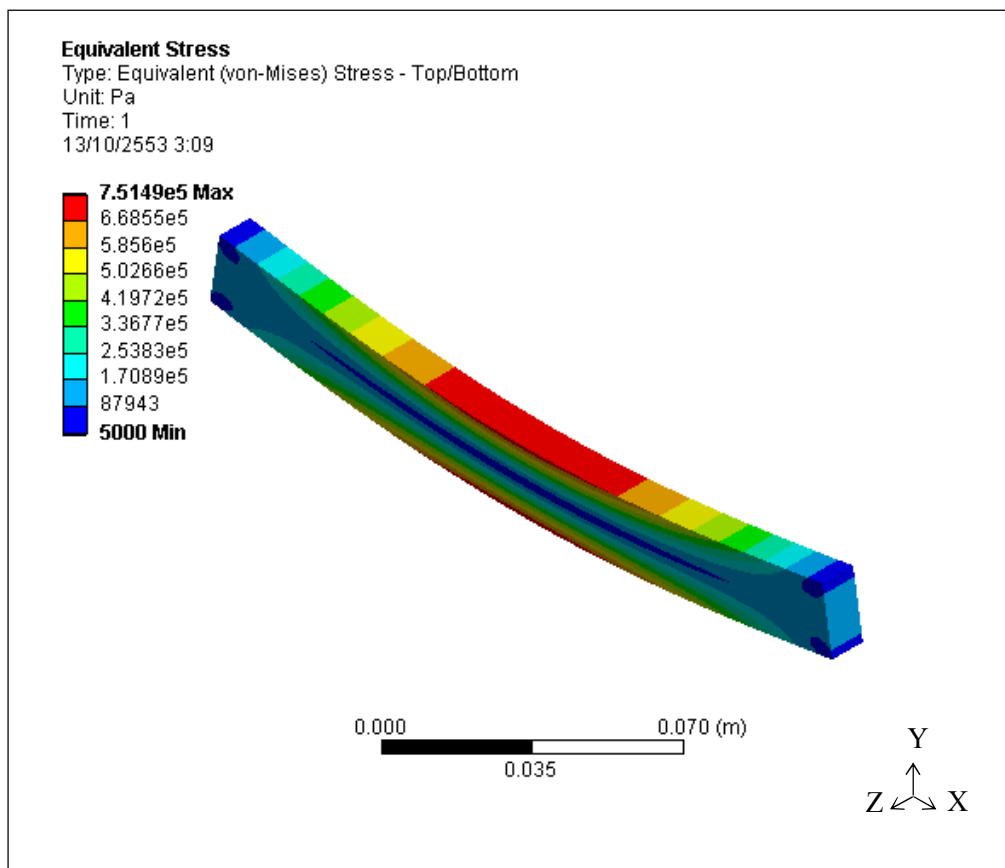


รูปที่ ก.7 แสดงการกำหนดแรงกระทำบนคาน

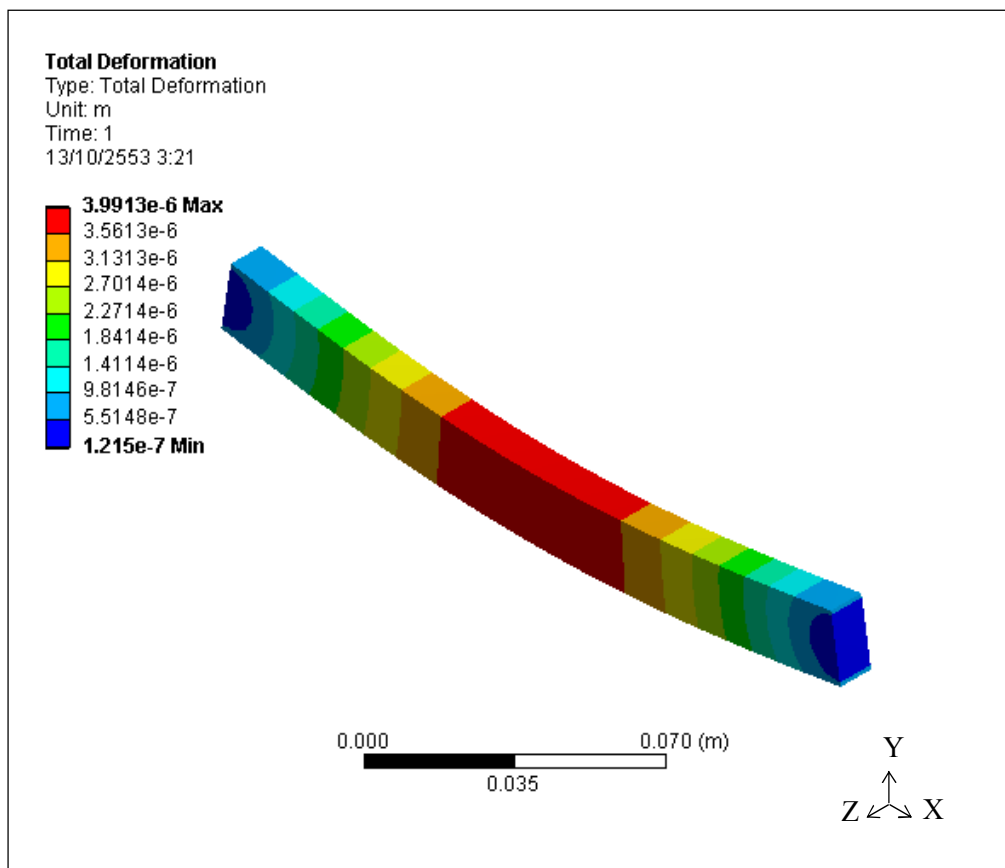
จากนั้นทำการแก้ปัญหาโดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench V.11



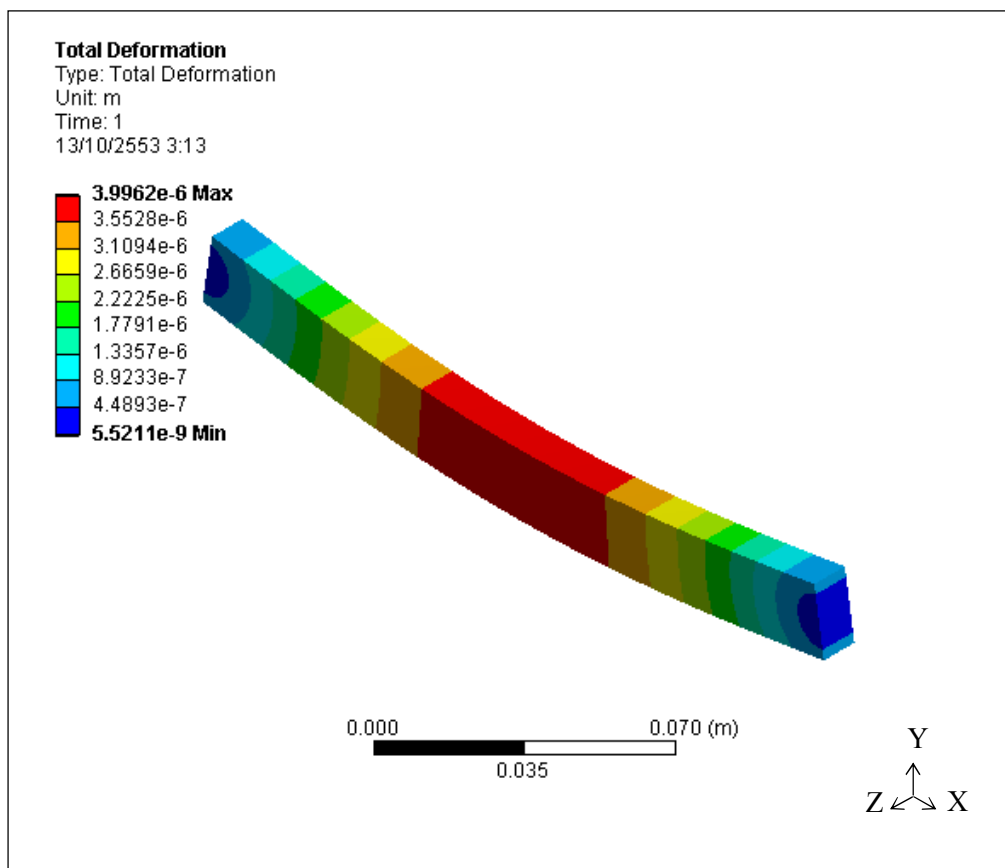
รูปที่ ก.8 แสดงค่าความเค้น (Von-Mises Stress) ที่ได้จากโปรแกรม (Element Size 0.4 cm)



รูปที่ ก.9 แสดงค่าความเค้น (Von-Mises Stress) ที่ได้จากโปรแกรม (Element Size 0.2 cm)



รูปที่ ก.10 แสดงค่าการเสียรูปที่ได้จากโปรแกรม (Element Size 0.4 cm)



รูปที่ ก.11 แสดงค่าการเสีรูปที่ได้จากโปรแกรม (Element Size 0.2 cm)

จากการคำนวณเพื่อหาค่าความเค้นสูงสุดและค่าการเสีรูปของคานตามหลักทฤษฎีของคาน สามารถนำค่ามาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench V.11 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ ก.1 ดังนี้

ตารางที่ ก.1 แสดงการสรุปค่าความเค้นและค่าการเสีรูป

| การทดลอง | ค่าความเค้นสูงสุด (N/m^2) | ค่าการเสีรูป (m) |
|-------------------|-------------------------------|------------------|
| จากทฤษฎี | 7.5 | 3.96E-06 |
| เอลิเมนต์ 0.2 ซม. | 7.5149 | 4.00E-06 |
| เอลิเมนต์ 0.4 ซม. | 7.509 | 3.99E-06 |

ก.4 การคำนวณค่าความผิดพลาด

$$\text{error} = \left| \frac{T - A}{T} \right| \times 100\% \quad (\text{ก.5})$$

โดยที่ $error$ = ค่าความผิดพลาด

T = ค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี

A = ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรม ANSYS Workbench V.11

ดังนั้น ค่าความผิดพลาดของความเค้นสูงสุด

เอลิเมนต์ 0.2 เซนติเมตร

$$\text{error} = \left| \frac{750000\text{Pa} - 751490\text{Pa}}{750000\text{Pa}} \right| \times 100\% = 0.199\% \quad (\text{ก.6})$$

เอลิเมนต์ 0.4 เซนติเมตร

$$\text{error} = \left| \frac{750000\text{Pa} - 750900\text{Pa}}{750000\text{Pa}} \right| \times 100\% = 0.12\% \quad (\text{ก.7})$$

ดังนั้น ค่าความผิดพลาดจากการเสีรูปร่าง

เอลิเมนต์ 0.2 เซนติเมตร

$$\text{error} = \left| \frac{3.95875 \times 10^{-6} \text{ m} - 3.9962 \times 10^{-6} \text{ m}}{3.95875 \times 10^{-6} \text{ m}} \right| \times 100\% = 0.95\% \quad (\text{ก.8})$$

เอลิเมนต์ 0.4 เซนติเมตร

$$\text{error} = \left| \frac{3.95875 \times 10^{-6} \text{ m} - 3.9913 \times 10^{-6} \text{ m}}{3.95875 \times 10^{-6} \text{ m}} \right| \times 100\% = 0.82\% \quad (\text{ก.9})$$

จากผลการคำนวณค่าความผิดพลาดในสมการที่ (ก.6-ก.9) สามารถสรุปได้ว่าการใช้โปรแกรมในการคำนวณกับการคำนวณจากทฤษฎีนั้น ค่าความเค้นสูงสุดมีค่าความผิดพลาด 0.199% ที่เอลิเมนต์ 0.2 เซนติเมตร และ 0.12% ที่เอลิเมนต์ 0.4 เซนติเมตร ส่วนค่าการเสียรูป 0.95% ที่เอลิเมนต์ 0.2 เซนติเมตร และ 0.82% ที่เอลิเมนต์ 0.4 เซนติเมตร และจากการแบ่งเอลิเมนต์เป็น 0.2 เซนติเมตร และ 0.4 เซนติเมตร พบว่าการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.4 เซนติเมตร มีค่าความผิดพลาดต่ำกว่าการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 0.2 เซนติเมตร ซึ่งในการประมวลผลด้วยโปรแกรมนั้นการแบ่งเอลิเมนต์ที่ 0.2 เซนติเมตร จะใช้เวลาในการประมวลผลยาวนานกว่า ดังนั้นจากปัญหาข้างต้นนี้จึงสามารถทำการแบ่งเอลิเมนต์ที่ 0.4 เซนติเมตรก็จะได้ผลเฉลยที่มีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

ภาคผนวก ข

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตโครงสร้างหลัก

ตารางที่ ข.1 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 1 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Front 1 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 20 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 9 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 45 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1238.5395 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 11 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0003A ไปตำแหน่งประกอบ (14.8 kg) | 1 | 5 | 8.7774 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง | - | 1 | 7.9760 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0005A ไปตำแหน่งประกอบ (2.73 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.7 | 3.9880 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0012A ไปตำแหน่งประกอบ (7.3 kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 7. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.6 | 5.9820 | x | | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0014A ไปตำแหน่งประกอบ (7.3 kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 9. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.6 | 5.9820 | x | | | | | |
| 10. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.5 | 4.0464 | x | | | | | |
| 11. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 12. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.5 | 4.0464 | x | | | | | |
| 13. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0086A ไปตำแหน่งประกอบ (0.75 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 14. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |

ตารางที่ ข.1 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 1 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 15. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 16. เชื่อมจุด 1 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | - | 0.7128 | x | | | | | |
| 17. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0088A ไปตำแหน่งประกอบ (1 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 18. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 19. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 20. เชื่อมจุด 2 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 0.2 | 1.4256 | x | | | | | |
| 21. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0091A ไปตำแหน่งประกอบ (2 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 22. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 23. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 24. เชื่อมจุด 2 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 0.29 | 1.4256 | x | | | | | |
| 25. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 9 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.28 | 226.0000 | x | | | | | |
| 26. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 27. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 9 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.28 | 226.0000 | x | | | | | |
| 28. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 29. นำตัว Support มาประกอบ (1.2 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 30. นำตัว Support มาประกอบ (2.2 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 31. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 20.64 นาที x (1+0.14) = 23.53 นาที

Standard Time = 23.53 นาที + (23.53 นาที x 9%) = 25.65 นาที

ตารางที่ ข.2 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 2 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|--|
| กิจกรรม : การเชื่อม Front 2 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 6 | | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 41 | | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1141.6653 | | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 10 | | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ | |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0002A ไปตำแหน่งประกอบ (22 kg) | 1 | 5 | 8.7774 | | x | | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง | - | 1.87 | 9.9700 | x | | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0005A ไปตำแหน่งประกอบ (2.73 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.74 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0004A ไปตำแหน่งประกอบ (7.58 kg) | 2 | 5 | 7.5810 | | x | | | | | |
| 7. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 0.595 | 11.9640 | x | | | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0091A ไปตำแหน่งประกอบ (2 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | | |
| 9. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | - | 3.9880 | x | | | | | | |
| 11. เชื่อมจุด 8 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.55 | 8.9424 | x | | | | | | |
| 12. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | | |
| 13. เชื่อมจุด 8 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.55 | 8.9424 | x | | | | | | |
| 14. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 8 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.12 | 184.0000 | x | | | | | | |
| 15. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | | |

ตารางที่ ข.2 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 2 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 16. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 8 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.12 | 184.0000 | x | | | | | |
| 17. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 18. นำตัว Support มาประกอบ (1.2 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 19. นำตัว Support มาประกอบ (2.2 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 20. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

$$\text{หมายเหตุ : Normal Time} = 19.03 \text{ นาที} \times (1+0.14) = 21.69 \text{ นาที}$$

$$\text{Standard Time} = 21.69 \text{ นาที} + (21.69 \text{ นาที} \times 9\%) = 23.65 \text{ นาที}$$

ตารางที่ ข.3 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 1 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|--|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear 1 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 6 | | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 46 | | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 976.6606 | | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 7 | | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ | |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0081A ไปตำแหน่งประกอบ (21.67 kg) | 1 | 5 | 10.0368 | | x | | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 2.22 | 11.9640 | x | | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0084A ไปตำแหน่งประกอบ (4.74 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0015A ไปตำแหน่งประกอบ (4.74 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | | |
| 7. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0093A ไปตำแหน่งประกอบ (9.04 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.32 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 11. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.52 | 4.0464 | x | | | | | | |
| 12. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | | |
| 13. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.52 | 4.0464 | x | | | | | | |
| 14. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 108.0000 | x | | | | | | |

ตารางที่ ข.3 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 1 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 15. หมุน JIG | | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 16. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | | 0.64 | 108.0000 | x | | | | | |
| 17. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 18. นำตัว Support มาประกอบ (4.86 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 19. นำตัว Support มาประกอบ (1.35 kg) | 2 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 20. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 16.28 นาที x (1+0.14) = 18.56 นาที

Standard Time = 18.356 นาที + (18.56 นาที x 9%) = 20.23 นาที

ตารางที่ ข.4 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 2 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear 2 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 6 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 46 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 971.1086 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 7 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0002A ไปตำแหน่งประกอบ (22 kg) | 1 | 5 | 10.0368 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 2.22 | 11.9640 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0016A ไปตำแหน่งประกอบ (5 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0016A ไปตำแหน่งประกอบ (5 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 7. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0093A ไปตำแหน่งประกอบ (9 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.32 | 3.9880 | x | | | | | |
| 11. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 2 | 5.2704 | x | | | | | |
| 12. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 13. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 2 | 5.2704 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 104.0000 | x | | | | | |

ตารางที่ ข.4 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 2 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 15. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 16. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 104.0000 | x | | | | | |
| 17. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 18. นำตัว Support มาประกอบ (5.4 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 19. นำตัว Support มาประกอบ (1.7 kg) | 2 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 20. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 16.19 นาที x (1+0.14) = 18.46 นาที

Standard Time = 18.46 นาที + (18.46 นาที x 9%) = 20.12 นาที

ตารางที่ ข.5 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 3 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear 3 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 18 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 11 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 71 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1498.9265 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 11 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0002A ไปตำแหน่งประกอบ (22 kg) | 1 | 5 | 10.0368 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 2.22 | 11.9640 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0034A ไปตำแหน่งประกอบ (7 kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0034A ไปตำแหน่งประกอบ (7 kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 7. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0092A ไปตำแหน่งประกอบ (6.25 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 10. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 11. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | |
| 12. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0055A ไปตำแหน่งประกอบ (0.76 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.5 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 3 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 13. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0033A ไปตำแหน่งประกอบ (6.25 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 14. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และขัน SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 15. Clamp ขีดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | |
| 16. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0013A ไปตำแหน่งประกอบ (2.92 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 17. Clamp ขีดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 1.9940 | x | | | | | |
| 18. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0043A ไปตำแหน่งประกอบ (2.92 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 19. Clamp ขีดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 1.9940 | x | | | | | |
| 20. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0011A ไปตำแหน่งประกอบ (9.5 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 21. Clamp ขีดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.8 | 5.9820 | x | | | | | |
| 22. เชื่อมจุด 8 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 2.5 | 6.4944 | x | | | | | |
| 23. หมุน JIG | - | - | 180.000 | x | | | | | |
| 24. เชื่อมจุด 8 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 2.5 | 6.4944 | x | | | | | |
| 25. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 8 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 2 | 340.000 | x | | | | | |
| 26. หมุน JIG | - | - | 180.000 | x | | | | | |
| 27. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 8 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 2 | 340.000 | x | | | | | |
| 28. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.000 | | | | x | | |
| 29. นำตัว Support มาประกอบ (5.6 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 30. นำตัว Support มาประกอบ (7.8kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 31. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 24.98 นาที x (1+0.14) = 28.48 นาที

Standard Time = 28.48 นาที + (28.48 นาที x 9%) = 31.04 นาที

ตารางที่ ข.6 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 1 CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Front 1 CG280 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 16 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 8 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 56 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1132.5463 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 9 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | ◇ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0003A ไปตำแหน่งประกอบ (21.62 kg) | 1 | 5 | 10.0368 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 2.22 | 11.9640 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0006A ไปตำแหน่งประกอบ (2.73 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 1.9940 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0006A ไปตำแหน่งประกอบ (2.73 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 7. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 1.9940 | x | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0002A ไปตำแหน่งประกอบ (14.82 kg) | 1 | 5 | 8.7774 | | x | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง | - | 1.1 | 7.9760 | x | | | | | |
| 11. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0086A ไปตำแหน่งประกอบ (0.75 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 12. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 13. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 1.9940 | x | | | | | |
| 14. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0088A ไปตำแหน่งประกอบ (1.05 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.6 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 1 CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 15. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 16. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 1.9940 | x | | | | | |
| 17. เชื่อมจุด 7 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.6 | 4.0464 | x | | | | | |
| 18. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 19. เชื่อมจุด 7 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.6 | 4.0464 | x | | | | | |
| 20. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 7 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.016 | 176.0000 | x | | | | | |
| 21. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 22. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 7 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.016 | 176.0000 | x | | | | | |
| 23. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 24. นำตัว Support มาประกอบ (3.9 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 25. นำตัว Support มาประกอบ (2.2 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 26. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 18.88 นาที x (1+0.14) = 21.52 นาที

Standard Time = 21.52 นาที + (21.52 นาที x 9%) = 23.46 นาที

ตารางที่ ข.7 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 2 CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Front 2 CG280 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 6 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 46 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 972.0581 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 7 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0001A ไปตำแหน่งประกอบ (22 kg) | 1 | 5 | 10.0368 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง | - | 1.87 | 9.9700 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0006A ไปตำแหน่งประกอบ (2.73 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 1.9940 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0006A ไปตำแหน่งประกอบ (2.73 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 7. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 1.9940 | x | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0001A ไปตำแหน่งประกอบ (22 kg) | 1 | 5 | 10.0368 | | x | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 2.23 | 11.9640 | x | | | | | |
| 11. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.32 | 4.0464 | x | | | | | |
| 12. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 13. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.32 | 4.0464 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 104.0000 | x | | | | | |

ตารางที่ ข.7 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front 2 CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 15. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 16. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 104.0000 | x | | | | | |
| 17. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 18. นำตัว Support มาประกอบ (3.9 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 19. นำตัว Support มาประกอบ (2.2 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 20. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 16.2 นาที x (1+0.14) = 18.47 นาที

Standard Time = 18.47 นาที + (18.47 นาที x 9%) = 20.13 นาที

ตารางที่ ข.8 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 1 CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|--|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear 1 CG280 | | | การทำงาน | | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 6 | | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 46 | | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 976.6606 | | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 7 | | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ | |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0089A ไปตำแหน่งประกอบ (21.67 kg) | 1 | 5 | 10.0368 | | x | | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 2.22 | 11.9640 | x | | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0014A ไปตำแหน่งประกอบ (4.74 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0015A ไปตำแหน่งประกอบ (4.74 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | | |
| 7. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0040A ไปตำแหน่งประกอบ (9.04 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.32 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 11. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.52 | 4.0464 | x | | | | | | |
| 12. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | | |
| 13. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.52 | 4.0464 | x | | | | | | |
| 14. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 108.0000 | x | | | | | | |

ตารางที่ ข.8 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 1 CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 15. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 16. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 108.0000 | x | | | | | |
| 17. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 18. นำตัว Support มาประกอบ (4.86 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 19. นำตัว Support มาประกอบ (1.35 kg) | 2 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 20. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 16.28 นาที x (1+0.14) = 18.56 นาที

Standard Time = 18.56 นาที + (18.56 นาที x 9%) = 20.23 นาที

ตารางที่ ข.9 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 2 CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear 2 CG280 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 6 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 46 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 971.5662 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 7 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0001A ไปตำแหน่งประกอบ (22.12 kg) | 1 | 5 | 10.0368 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 2.22 | 11.9640 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0039A ไปตำแหน่งประกอบ (5.08 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0039A ไปตำแหน่งประกอบ (5.08 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 7. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.28 | 3.9880 | x | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0040A ไปตำแหน่งประกอบ (9.04 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.32 | 3.9880 | x | | | | | |
| 11. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 2 | 5.2704 | x | | | | | |
| 12. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 13. เชื่อมจุด 4 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 2 | 5.2704 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 104.0000 | x | | | | | |

ตารางที่ ข.9 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear 2 CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 15. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 16. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.64 | 104.0000 | x | | | | | |
| 17. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 18. นำตัว Support มาประกอบ (5.4 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 19. นำตัว Support มาประกอบ (1.7 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 20. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 16.19 นาที x (1+0.14) = 18.46 นาที

Standard Time = 18.46 นาที + (18.46 นาที x 9%) = 20.12 นาที

ตารางที่ ข.10 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front Assy 2 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|--|
| กิจกรรม : การเชื่อม Front Assy 2 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 7 | | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 51 | | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 988.4565 | | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 7 | | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ | |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0008A ไปตำแหน่งประกอบ (9.36 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.995 | 5.9820 | x | | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0009A ไปตำแหน่งประกอบ (2 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.095 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0007A ไปตำแหน่งประกอบ (4.78 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | | |
| 7. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0008A ไปตำแหน่งประกอบ (9.36 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | | |
| 9. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 1.162 | 5.9820 | x | | | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0007A ไปตำแหน่งประกอบ (4.78 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | | |
| 11. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.4 | 3.9880 | x | | | | | | |
| 12. เชื่อมจุด 5 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.64 | 4.0464 | x | | | | | | |
| 13. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | | |
| 14. เชื่อมจุด 5 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.64 | 4.0464 | x | | | | | | |

ตารางที่ ข.10 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front Assy 2 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 15. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.6 | 114.0000 | x | | | | | |
| 16. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 17. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.6 | 114.0000 | x | | | | | |
| 18. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 19. นำตัว Support มาประกอบ (2.3 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 20. นำตัว Support มาประกอบ (2.3 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 21. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 16.47 นาที x (1+0.14) = 18.78 นาที

Standard Time = 18.78 นาที + (18.78 นาที x 9%) = 20.47 นาที

ตารางที่ ข.11 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear Support Assy CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 17 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 12 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 76 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1310.7846 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 12 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | ◇ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0018A ไปตำแหน่งประกอบ (7.63 kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.795 | 5.9820 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0017A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0023A ไปตำแหน่งประกอบ (3.55 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 7. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0023A ไปตำแหน่งประกอบ (3.55 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 9. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.1 | 3.9880 | x | | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0017A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 11. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 12. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0018A ไปตำแหน่งประกอบ (7.63 kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 13. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.73 | 3.9880 | x | | | | | |

ตารางที่ ข.11 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 14. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0024A ไปตำแหน่งประกอบ (4.39 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 15. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.345 | 3.9880 | x | | | | | |
| 16. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0021A ไปตำแหน่งประกอบ (3.81 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 17. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 18. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0064A ไปตำแหน่งประกอบ (2.3 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 19. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.135 | 3.9880 | x | | | | | |
| 20. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0022A ไปตำแหน่งประกอบ (4.38 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 21. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.43 | 3.9880 | x | | | | | |
| 22. เชื่อมจุด 11ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.82 | 5.2704 | x | | | | | |
| 23. หมุน JIG | - | - | 180.000 | x | | | | | |
| 24. เชื่อมจุด 11ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.82 | 5.2704 | x | | | | | |
| 25. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 11 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.5 | 254.000 | x | | | | | |
| 26. หมุน JIG | - | - | 180.000 | x | | | | | |
| 27. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 11 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.5 | 254.000 | x | | | | | |
| 28. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.000 | | | | x | | |
| 29. นำตัว Support มาประกอบ (3.76 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 30. นำตัว Support มาประกอบ(2.97 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 31. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 21.85 นาที x (1+0.14) = 24.91 นาที

Standard Time = 24.91 นาที + (24.91 นาที x 9%) = 27.15 นาที

ตารางที่ ข.12 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front Wheel Member CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Front Wheel Member CG280 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 11 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 7 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 51 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 988.3232 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 7 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | ◇ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0082A ไปตำแหน่งประกอบ (9.36 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 1 | 5.9820 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0033A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 4. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 5. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0084A ไปตำแหน่งประกอบ (4.5 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 6. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.2 | 3.9880 | x | | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0084A ไปตำแหน่งประกอบ (4.5 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.2 | 3.8880 | x | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0082A ไปตำแหน่งประกอบ (9.36 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง | - | 0.88 | 7.9760 | x | | | | | |
| 11. เชื่อมจุด 5 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.5 | 4.0464 | x | | | | | |
| 12. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 13. เชื่อมจุด 5 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.5 | 4.0464 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.68 | 114.0000 | x | | | | | |
| 15. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |

ตารางที่ ข.12 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Front Wheel Member CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 16. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.68 | 114.0000 | x | | | | | |
| 17. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 18. นำตัว Support มาประกอบ (3.76 kg) | 3 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 19. นำตัว Support มาประกอบ (3.76 kg) | - | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 20. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 16.47 นาที x (1+0.14) = 18.78 นาที

Standard Time = 18.78 นาที + (18.78 นาที x 9%) = 20.47 นาที

ตารางที่ ข.13 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear Support Assy CG280 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 17 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 12 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 76 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1311 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 12 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | ◇ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0041A ไปตำแหน่งประกอบ (7.63 kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.795 | 5.9820 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0008A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0047A ไปตำแหน่งประกอบ (3.55 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 7. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0047A ไปตำแหน่งประกอบ (3.55 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 9. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.1 | 3.9880 | x | | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0008A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 11. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 12. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0041A ไปตำแหน่งประกอบ(7.63 kg) | 1 | 5 | 7.5810 | | x | | | | |
| 13. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.73 | 3.9880 | x | | | | | |
| 14. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0048A ไปตำแหน่งประกอบ(4.39 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.13 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 15. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.345 | 3.9880 | x | | | | | |
| 16. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0045A ไปตำแหน่งประกอบ(3.81 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 17. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 18. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0049A ไปตำแหน่งประกอบ(2.3 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 19. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.135 | 3.9880 | x | | | | | |
| 20. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0046A ไปตำแหน่งประกอบ (4.38 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 21. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.43 | 3.9880 | x | | | | | |
| 22. เชื่อมจุด 11ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.82 | 5.2704 | x | | | | | |
| 23. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 24. เชื่อมจุด 11ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.82 | 5.2704 | x | | | | | |
| 25. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 11 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.5 | 254.0000 | x | | | | | |
| 26. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 27. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 11 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.5 | 254.0000 | x | | | | | |
| 28. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 29. นำคิ้ว Support มาประกอบ (3.76 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 30. นำคิ้ว Support มาประกอบ (2.97 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 31. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 21.85 นาที x (1+0.14) = 24.91 นาที

Standard Time = 24.91 นาที + (24.91 นาที x 9%) = 27.15 นาที

ตารางที่ ข.14 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 2 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear Assy 2 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 11 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 61 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1135.9547 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 10 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | ◇ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0026A ไปตำแหน่งประกอบ (3.07 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.8 | 5.9820 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0017A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0029A ไปตำแหน่งประกอบ (5.83 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0017A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0025A ไปตำแหน่งประกอบ (5.83 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 9. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.69 | 5.9820 | x | | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0028A ไปตำแหน่งประกอบ (2.57 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 11. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.2 | 3.9880 | x | | | | | |
| 12. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0041A ไปตำแหน่งประกอบ (4.53 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 13. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.4 | 3.9880 | x | | | | | |
| 14. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0065A ไปตำแหน่งประกอบ (3.2 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.14 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 2 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 15. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 16. เชื่อมจุด5 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 0.8 | 2.8224 | x | | | | | |
| 17. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 18. เชื่อมจุด5 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 0.8 | 2.8224 | x | | | | | |
| 19. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.08 | 180.0000 | x | | | | | |
| 20. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | | x | | | | |
| 21. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 1.08 | 180.0000 | x | | | | | |
| 22. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 23. นำตัว Support มาประกอบ (2 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 24. นำตัว Support มาประกอบ (3.5 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 25. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 18.93 นาที x (1+0.14) = 21.58 นาที

Standard Time = 21.58 นาที + (21.58 นาที x 9%) = 23.52 นาที

ตารางที่ ข.15 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 2-1 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|--|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear Assy 2-1 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 12 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 9 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 56 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1086.9892 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 9 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | ▽ | | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0053A ไปตำแหน่งประกอบ (4.2 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.8 | 3.9880 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0017A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0029A ไปตำแหน่งประกอบ (5.83 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0017A ไปตำแหน่งประกอบ (1.18 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0025A ไปตำแหน่งประกอบ (5.83 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 9. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | 0.69 | 5.9820 | x | | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0028A ไปตำแหน่งประกอบ (2.57 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 11. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.2 | 3.9880 | x | | | | | |
| 12. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0041A ไปตำแหน่งประกอบ (4.53 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 13. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | 0.4 | 3.9880 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมจุด 5 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 0.8 | 2.8224 | x | | | | | |

ตารางที่ ข.15 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 2-1 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|--|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 15. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 16. เชื่อมจุด 5 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 0.8 | 2.8224 | x | | | | | |
| 17. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.96 | 160.0000 | x | | | | | |
| 18. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 19. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 0.96 | 160.0000 | x | | | | | |
| 20. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 21. นำตัว Support มาประกอบ (2 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 22. นำตัว Support มาประกอบ (3.5 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 23. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 18.12 นาที x (1+0.14) = 20.66 นาที

Standard Time = 20.66 นาที + (20.66 นาที x 9%) = 22.52 นาที

ตารางที่ ข.16 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 3 CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear Assy 3 CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 15 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 11 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 71 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1512.33 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 13 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0056A ไปตำแหน่งประกอบ (11.5 kg) | 1 | 5 | 8.4008 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 6 ตำแหน่ง | - | 1.66 | 11.9640 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0057A ไปตำแหน่งประกอบ (1.66 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 4. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 5. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0060A ไปตำแหน่งประกอบ (2.14 kg) | 2 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0061A ไปตำแหน่งประกอบ (1.45 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 8. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |
| 9. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0019A ไปตำแหน่งประกอบ (7.63 kg) | 1 | 5 | 7.5812 | | x | | | | |
| 11. Clamp ยึดชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง | - | 0.92 | 9.9700 | x | | | | | |
| 12. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0059A ไปตำแหน่งประกอบ (0.76 kg) | 2 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 13. ปรับตัวอ้างอิงตำแหน่ง และยึด SCREW | - | - | 1.5696 | x | | | | | |

ตารางที่ ข.16 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Assy 3 CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 14. Clamp ชิดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 15. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0058A ไปตำแหน่งประกอบ (3.88 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 16. Clamp ชิดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 17. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0062A ไปตำแหน่งประกอบ (1.1 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 18. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0065A ไปตำแหน่งประกอบ (3.2 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 19. เชื่อมจุด 17 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.72 | 4.0464 | x | | | | | |
| 20. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 21. เชื่อมจุด 17 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 1.72 | 4.0464 | x | | | | | |
| 22. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 17 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 2.16 | 360.0000 | x | | | | | |
| 23. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 24. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 17 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 2.16 | 360.0000 | x | | | | | |
| 25. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 26. นำค้ำ Support มาประกอบ (4.37 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 27. นำค้ำ Support มาประกอบ (2.1 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 28. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 25.21 นาที x (1+0.14) = 28.74 นาที

Standard Time = 28.74 นาที + (28.74 นาที x 9%) = 31.33 นาที

ตารางที่ ข.17 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Rear Support Assy 2 CG280 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 19 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 16 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 96 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 1506 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 20 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | ◇ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0057A ไปตำแหน่งประกอบ (15.26 kg) | 1 | 5 | 8.7774 | | x | | | | |
| 2. Clamp ยึดชิ้นงาน 5 ตำแหน่ง | - | 1.94 | 9.9700 | x | | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0059A ไปตำแหน่งประกอบ (1.53 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 4. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 5. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0062A ไปตำแหน่งประกอบ (2.84 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 6. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0059A ไปตำแหน่งประกอบ (1.53 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 8. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0062A ไปตำแหน่งประกอบ (2.84 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 10. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 11. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0059A ไปตำแหน่งประกอบ (1.53 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 12. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 13. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0058A ไปตำแหน่งประกอบ (9.29 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 14. Clamp ยึดชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 15. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0065A ไปตำแหน่งประกอบ (1.49 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.17 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Rear Support Assy CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 16. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 17. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0060A ไปตำแหน่งประกอบ (0.49 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 18. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 19. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0060A ไปตำแหน่งประกอบ (0.49 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 20. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 21. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0064A ไปตำแหน่งประกอบ (3.5 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 22. Clamp ยึดชิ้นงาน 2 ตำแหน่ง | - | - | 3.9880 | x | | | | | |
| 23. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0061A ไปตำแหน่งประกอบ (2.7 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 24. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 25. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0072A ไปตำแหน่งประกอบ (3.73 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 26. Clamp ยึดชิ้นงาน 1 ตำแหน่ง | - | - | 0.5832 | x | | | | | |
| 27. เชื่อมจุด 15 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 2.1 | 5.2704 | x | | | | | |
| 28. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 29. เชื่อมจุด 15 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 2.1 | 5.2704 | x | | | | | |
| 30. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 15 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 2.04 | 344.0000 | x | | | | | |
| 31. หมุน JIG | 3 | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 32. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 15 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 2.04 | 344.0000 | x | | | | | |
| 33. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 34. นำตัว Support มาประกอบ (0.82 kg) | 2 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 35. นำตัว Support มาประกอบ (1 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 36. นำตัว Support มาประกอบ (0.94 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 37. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 25.11 นาที x (1+0.14) = 28.63 นาที

Standard Time = 28.63 นาที + (28.63 นาที x 9%) = 31.20 นาที

ตารางที่ ข.18 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel RH CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Assy FrontWheel RH CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 6 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 11 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 51 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 2114.7393 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 11 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0094A ไปตำแหน่งประกอบ (4.06 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 2. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0070A ไปตำแหน่งประกอบ (2.22 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0069A ไปตำแหน่งประกอบ (4.23 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 4. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0070A ไปตำแหน่งประกอบ (2.22 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 5. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0068A ไปตำแหน่งประกอบ (11.14 kg) | 1 | 5 | 8.4008 | | x | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0085A ไปตำแหน่งประกอบ (10.88 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CH-J-B04-M04-16A ไปตำแหน่งประกอบ (0.32 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0030A ไปตำแหน่งประกอบ (2.74 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0037A ไปตำแหน่งประกอบ (0.52 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0071A ไปตำแหน่งประกอบ (4.36 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 11. นำชิ้นงาน CH-J-B04-M04-15A ไปตำแหน่งประกอบ (2.3 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.18 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel RH CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 12. เชื่อมจุด 10 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.48 | 8.9424 | x | | | | | |
| 13. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมจุด 10 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.48 | 8.9424 | x | | | | | |
| 15. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 10 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 3.825 | 670.0000 | x | | | | | |
| 16. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 17. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 10 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 3.825 | 670.0000 | x | | | | | |
| 18. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 19. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 35.25 นาที x (1+0.14) = 40.19 นาที

Standard Time = 40.19 นาที + (40.19 นาที x 9%) = 43.80 นาที

ตารางที่ ข.19 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel LH CB420

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Assy FrontWheel LH CB420 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 6 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 11 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 51 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 2114.7393 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 11 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0087A ไปตำแหน่งประกอบ (4.06 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 2. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0070A ไปตำแหน่งประกอบ (2.22 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0069A ไปตำแหน่งประกอบ (4.23 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 4. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0070A ไปตำแหน่งประกอบ (2.22 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 5. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0068A ไปตำแหน่งประกอบ (11.14 kg) | 1 | 5 | 8.4008 | | x | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0083A ไปตำแหน่งประกอบ (10.88 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CH-J-B04-M04-16A ไปตำแหน่งประกอบ (0.32 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0030A ไปตำแหน่งประกอบ (2.74 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0037A ไปตำแหน่งประกอบ (0.52 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CB420-01-01-0071A ไปตำแหน่งประกอบ (4.36 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 11. นำชิ้นงาน CH-J-B04-M04-15A ไปตำแหน่งประกอบ (2.3 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.19 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel LH CB420 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 12. เชื่อมจุด 10 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.48 | 8.9424 | x | | | | | |
| 13. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมจุด 10 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.48 | 8.9424 | x | | | | | |
| 15. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 10 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 3.825 | 670.0000 | x | | | | | |
| 16. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 17. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 10 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 3.825 | 670.0000 | x | | | | | |
| 18. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 19. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 35.25 นาที x (1+0.14) = 40.19 นาที

Standard Time = 40.19 นาที + (40.19 นาที x 9%) = 43.80 นาที

ตารางที่ ข.20 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel RH CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Assy FrontWheel RH CG280 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 6 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 11 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 51 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 2114.7393 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 11 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | <input type="radio"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0094A ไปตำแหน่งประกอบ (4.06 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 2. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0070A ไปตำแหน่งประกอบ (2.22 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0069A ไปตำแหน่งประกอบ (4.23 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 4. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0070A ไปตำแหน่งประกอบ (2.22 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 5. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0068A ไปตำแหน่งประกอบ (11.14 kg) | 1 | 5 | 8.4008 | | x | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0085A ไปตำแหน่งประกอบ (10.88 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CH-J-B04-M04-16A ไปตำแหน่งประกอบ (0.32 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0030A ไปตำแหน่งประกอบ (2.74 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0037A ไปตำแหน่งประกอบ (0.52 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0071A ไปตำแหน่งประกอบ (4.36 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 11. นำชิ้นงาน CH-J-B04-M04-15A ไปตำแหน่งประกอบ (2.3 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.20 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel RH CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 12. เชื่อมจุด 10 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.48 | 8.9424 | x | | | | | |
| 13. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมจุด 10 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.48 | 8.9424 | x | | | | | |
| 15. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 10 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 3.825 | 670.0000 | x | | | | | |
| 16. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 17. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 10 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 3.825 | 670.0000 | x | | | | | |
| 18. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 19. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 35.25 นาที x (1+0.14) = 40.19 นาที

Standard Time = 40.19 นาที + (40.19 นาที x 9%) = 43.80 นาที

ตารางที่ ข.21 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel LH CG280

| แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต | | | | | | | | | |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| กิจกรรม : การเชื่อม Assy FrontWheel LH CG280 | | | การทำงาน | | | | | | |
| สถานที่ : | | | OPERATION | 6 | | | | | |
| คนงาน : 1 คน | | | TRANSPORT | 11 | | | | | |
| ผู้บันทึก : | | | DELAY | - | | | | | |
| ผู้ตรวจ : | | | INSPECTION | 1 | | | | | |
| | | | STORAGE | 1 | | | | | |
| | | | ระยะทาง (เมตร) | 51 | | | | | |
| | | | เวลา (วินาที) | 2114.7393 | | | | | |
| | | | วัสดุ (ชิ้น) | 11 | | | | | |
| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
| | | | | ○ | ◁ | □ | □ | ▽ | |
| 1. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0087A ไปตำแหน่งประกอบ (4.06 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 2. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0070A ไปตำแหน่งประกอบ (2.22 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 3. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0069A ไปตำแหน่งประกอบ (4.23 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 4. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0070A ไปตำแหน่งประกอบ (2.22 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 5. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0068A ไปตำแหน่งประกอบ (11.14 kg) | 1 | 5 | 8.4008 | | x | | | | |
| 6. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0083A ไปตำแหน่งประกอบ (10.88 kg) | 1 | 5 | 7.9612 | | x | | | | |
| 7. นำชิ้นงาน CH-J-B04-M04-16A ไปตำแหน่งประกอบ (0.32 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 8. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0030A ไปตำแหน่งประกอบ (2.74 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |
| 9. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0037A ไปตำแหน่งประกอบ (0.52 kg) | 1 | 5 | 6.3072 | | x | | | | |
| 10. นำชิ้นงาน CC-CG280-01-01-0071A ไปตำแหน่งประกอบ (4.36 kg) | 1 | 5 | 7.1414 | | x | | | | |
| 11. นำชิ้นงาน CH-J-B04-M04-15A ไปตำแหน่งประกอบ (2.3 kg) | 1 | 5 | 6.7648 | | x | | | | |

ตารางที่ ข.21 แสดงแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต Assy Front Wheel LH CG280 (ต่อ)

| ขั้นตอนการทำงาน | จำนวน | ระยะทาง (เมตร) | เวลา (วินาที) | สัญลักษณ์ | | | | | หมายเหตุ |
|---|-------|-------------------|------------------|-----------|---|---|---|---|----------|
| | | | | ○ | □ | ◇ | □ | ▽ | |
| 12. เชื่อมจุด 10 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.48 | 8.9424 | x | | | | | |
| 13. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 14. เชื่อมจุด 10 ตำแหน่ง (2 จุด) | - | 3.48 | 8.9424 | x | | | | | |
| 15. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 10 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 3.825 | 670.0000 | x | | | | | |
| 16. หมุน JIG | - | - | 180.0000 | x | | | | | |
| 17. เชื่อมรอยต่อชิ้นงาน 10 ตำแหน่ง (2 แนว) | - | 3.825 | 670.0000 | x | | | | | |
| 18. ตรวจสอบรอยเชื่อม | - | - | 300.0000 | | | | x | | |
| 19. ยกชิ้นงานเก็บบนชั้น | - | 16 | 19.7712 | | | | | x | |

หมายเหตุ : Normal Time = 35.25 นาที x (1+0.14) = 40.19 นาที

Standard Time = 40.19 นาที + (40.19 นาที x 9%) = 43.80 นาที

ภาคผนวก ค

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

Usawadee Ongarjwutichai and Somsak Siwadamrongpong (March 2010). **Jig Design for Bus Chassis Platform Production**. The 6th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-6)

Usawadee Ongarjwutichai and Somsak Siwadamrongpong. **Simulation and Design of Production Jigs for Bus Chassis**. The 9th International Conference on SYSTEM SCIENCE and SIMULATION in ENGINEERING (ICOSSSE'10). 4-6 Oct. 2010. Iwate. Japan

อุษาวดี งามอาจวุฒิชัย และ สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ . การออกแบบและวิเคราะห์ชุดจับยึด
สำหรับการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร. วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 37 ฉบับที่ 4 ประจำเดือนตุลาคม-
ธันวาคม 2553

Jig Design for Bus Chassis Platform Production

Somsak Siwadamrongpong, Usawadee Ongarjwutichai

School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

ABSTRACT

Recently, bus manufacturers in Thailand are developing and designing new own chassis. However, the chassis manufacturing processes is quite very long throughput, such as chassis platform assemble and welding. This study aims to reduce chassis platform production throughput by designing of production jigs. The structures chassis platforms were studied. The chassis platforms are divided in to sub-assemblies, 4 jigs were designed for 4 groups of sub-assembly. Standard time for production of each sub-assembly was calculated. It was found that production rate of maximum 2.8 bus/day is achieved based on 2 man x 8 hour working. The double workforce yield about 90% increasing in production rate.

Keywords: Bus, Chassis, Jig and Fixture, Standard time

INTRODUCTION

Bus manufacturing is one of important industry among automobile industries. The buses that using in Thailand comes from both importing and local manufacturing. The local manufacturing sometimes uses chassis from well known bus manufacturer, thus only bus body and interior are manufactured. The rest local manufacturing is based on used chassis. The used chassis will be modified and maintenance, then body and interior are rebuilt [1-2]. Recently, some bus manufacturers, i.e. Cherdchai Industrial who is one of the biggest bus manufacturer in Thailand, plan to produce chassis themselves by own brand. However, the chassis manufacturing processes is quite very long throughput, such as chassis platform assemble and welding, which lead to low production rate. Therefore, this study aims to reduce chassis platform production throughput by designing of production jigs. The idea of this study is to divide chassis platform into sub-

assemblies. The sub-assemblies are produced and move to assemble together on the main jig platform. This study focuses on only jigs for preparation of sub-assemblies. It is expected that the jigs may yield standardized parts, sub-assemblies and manufacturing processes.

BUS CHASSIS PLATFORM CONFIGURATION

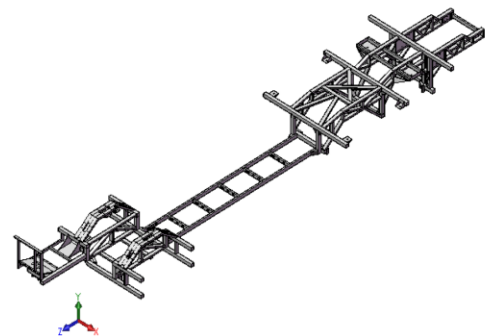


Fig. 1. Chassis platform of 8-wheel Double Decker bus configuration; DD model

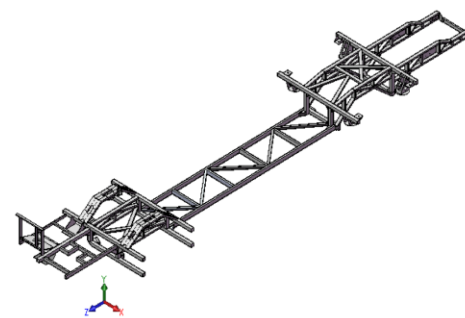


Fig. 2. Chassis platform of 6-wheel Single Decker bus configuration; SD model

Chassis platform of 8-wheel Double Decker bus, noted as model DD, is shown in Fig. 1. Front of DD bus is located on left side of platform in Fig. 1. The platform sizes of DD are approximately 2.3 m width, 11.8 m length and 0.86 m height. Chassis platform of 6-wheel Single Decker bus, noted as model SD, is shown in Fig. 2. Front of SD bus is located on left side of platform in Fig. 2. The platform sizes of SD are approximately 2.35 m width, 11.8 m length and 0.77 m height. Both models are conformed to Thailand's regulations by Department of Land Transport 2009. The chassis platforms are made from various size of stainless steel rectangular tube RST 4003, such as 80x80x4, 80x40x4 and 50x50x4.

PROCEDURE

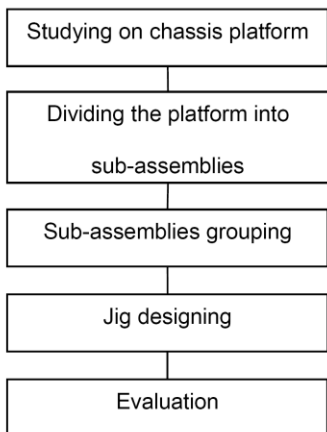


Fig. 3. Flow diagram of works

Fig. 3 shows diagram of this study. The structure of chassis platforms, shows in Fig. 1 and 2, were studied. It was found that these 2 models are similar to each other. The chassis platform was divided into 3 zones, front, middle and rear zones, as illustrated in Fig. 4. The front zone is from the front end to front wheel hub. The rear zone is from rear wheel hub to the back end and the rest between front and rear zones is the middle zone. Please note that the chassis platform in the front and rear zones is quite symmetry along the longitudinal axis. Moreover, the front and rear zones are rarely changed by customer order. Unlike the middle

zone, bus length may be changed by customer requirements, and it leads to some changes in middle zone. Therefore, the middle zone of chassis platform is not considered as subassembly.

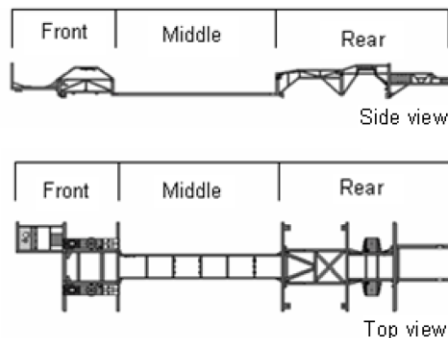


Fig. 4. Three-zones of chassis platform; DD model

SUB-ASSEMBLY CONSIDERATION AND GROUPING

The front and rear zones of DD model was divided into subassemblies as illustrated in Fig. 5 and 6, respectively. Fig. 7 and 8 also indicates subassemblies of front and rear zone of chassis platform of SD model, respectively. The subassembly consideration and grouping was based on similarity of shape and size of each portion.

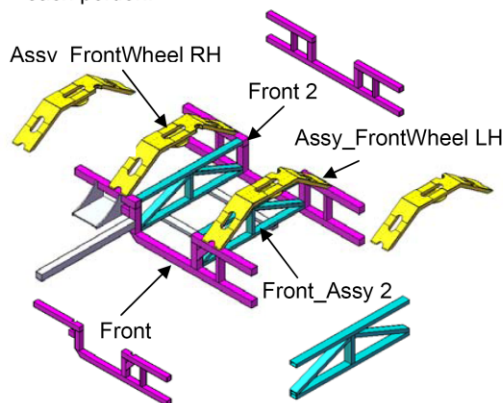


Fig. 5. Sub-assemblies of front zone; DD model

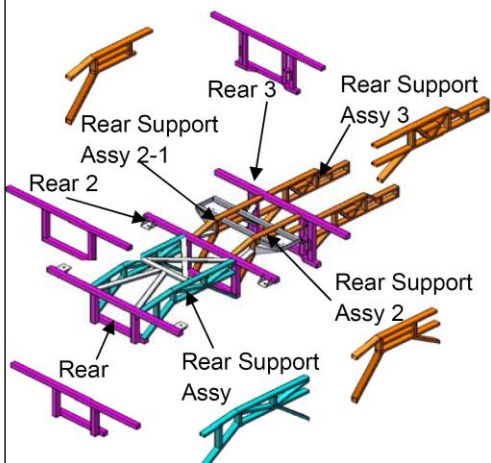


Fig. 6. Sub-assemblies of rear zone; DD model

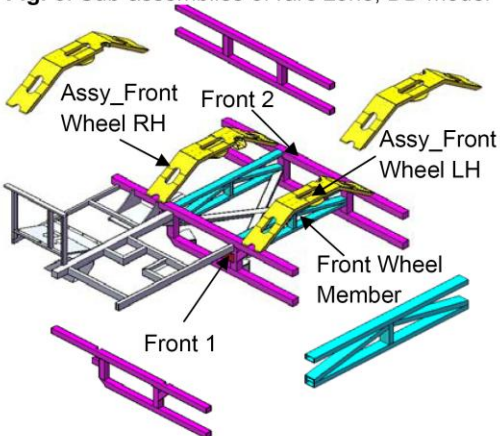


Fig. 7. Sub-assemblies of front zone; SD model

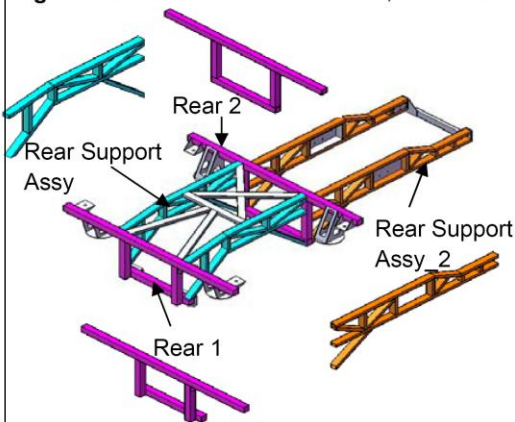


Fig. 8. Sub-assemblies of rear zone; SD model

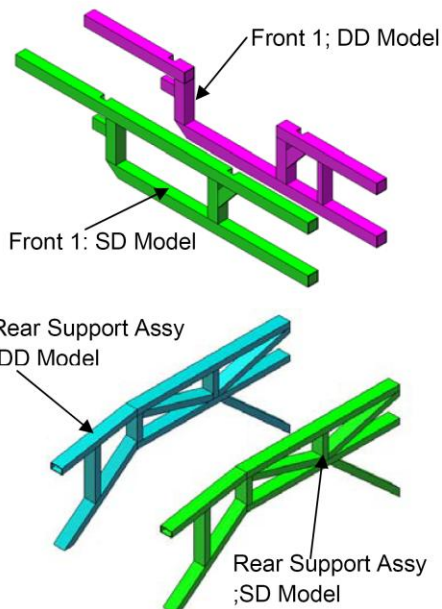


Fig. 9. Similarity of sub-assemblies among 2 models

From Fig. 5-8, it was clear that some sub-assemblies are very similar between front and rear zone on the same model and also similar between same zones of DD and SD models. The similarity of sub-assemblies is shown in Fig. 9.

JIG DESIGNING

Jigs were designed for each group of sub-assemblies. The jig composed of supported structure and assembly table with clamps, as illustrated in Fig. 10. The supported structure contains 2 important features. Firstly, supported columns have adjustable slot for table height setting. Secondly, manual rotation device was installed to the structure. Therefore, the table is 360 degree rotatable on horizontal axis for easier manual welding process. Clamps were installed on the table at designed point to fix sub-assembly's part elements [3].

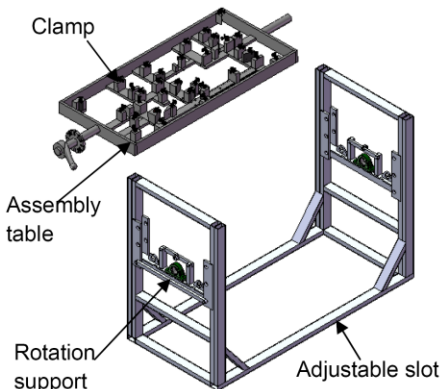


Fig. 10. Configuration of jig's supported structure and assembly table

EVALUATION METHODS

Flow Process Chart analysis was carried out to analyze the working processes of each sub-assembly [3]. This analysis has concerned the whole processes including operation time, inspection time, delay time, storage time and moving time. Pre-Determined Standard Time Technique and Rating of Westinghouse System were employed to estimate Normal Time (NT) of each process, as displayed in equation (1) [3-5].

$$NT = (1 + R)CT \tag{1}$$

NT = Normal Time (minute)

R = Rating

CT = Cycle Time (minute)

The Cycle Time (CT) was obtained from Pre-Determined Standard Time Technique, except welding time. The welding time was determined by welding test of the company's workers. The Westinghouse System Rating Techniques was used by considering skill, effort, working conditions and consistency of workers and working environments. Standard Time (ST) can be calculated by equation (2). Allowance is percent allowed for some idle situations such as meeting time and breaking time. This study has used 9% of allowance for

further calculation, 4% for tired of worker and 5% for daily idle activities [6].

$$ST = (1 + A)NT \tag{2}$$

ST = Standard Time (minute)

A = Allowance

NT = Normal Time (minute)

RESULT AND DISCUSSIONS

The 2 models of chassis platform were considered and divided into sub-assemblies. The DD model was separated into 15 portions, 12 different sub-assemblies and the SD model was separated into 12 portions, 9 different sub-assemblies, as shown in Table 1. The number in () indicated number of such sub-assembly in the model. Each sub-assembly was illustrated above in Fig. 5-8. Similarity of sub-assemblies led to 4 groups of sub-assemblies and 4 jigs were assigned to such groups.

Table 1. Sub-assemblies of chassis platform

| Jig | DD model | SD model |
|-----|---------------------------|-------------------------|
| 1 | Front 1 (1) | Front 1 (1) |
| | Front 2 (1) | Front 2 (1) |
| | Rear 1 (1) | Rear 1 (1) |
| | Rear 2 (1) | Rear 2 (1) |
| | Rear 3 (1) | |
| 2 | Front_Assy 2 (2) | Front Wheel Member (2) |
| | Rear Support Assy (2) | Rear Support Assy (2) |
| 3 | Rear Support Assy 2 (1) | Rear Support Assy_2 (2) |
| | Rear Support Assy 2-1 (1) | |
| | Rear Support Assy 3 (2) | |
| 4 | Assy_FrontWheel RH (1) | Assy_FrontWheel RH (1) |
| | Assy_FrontWheel LH (1) | Assy_FrontWheel LH (1) |

The jig was designed conform to all sub-assemblies in the group. 4 jigs were designed and layout of assembly table was shown in Fig. 11. Standard Time for production of each sub-assembly on specified jig of chassis platform model DD and SD were determined and indicated in Table 2 and 3, respectively.

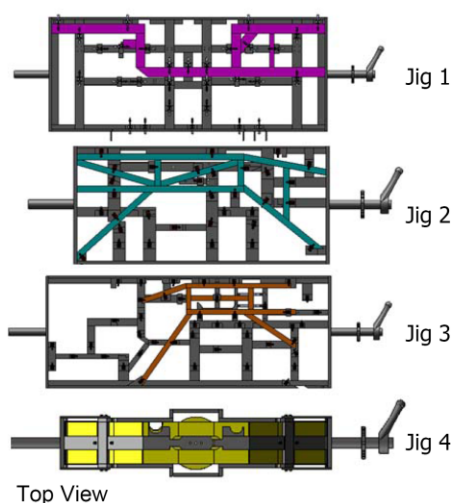


Fig. 11. Layout of assembly table of 4 jigs

Table 2. Standard time of sub-assemblies; DD model

| JIG | DD Model | Standard Time (minute) |
|-----|-----------------------|------------------------|
| 1 | Front 1 | 25.7 |
| | Front 2 | 23.7 |
| | Rear 1 | 20.2 |
| | Rear 2 | 20.1 |
| | Rear 3 | 31 |
| 2 | Front Assy 2 | 20.5 |
| | Rear Support Assy | 27.2 |
| 3 | Rear Support Assy 2 | 23.5 |
| | Rear Support Assy 2-1 | 22.5 |
| | Rear Support Assy 3 | 31.3 |
| 4 | Assy Frontwheel LH | 43.8 |
| | Assy Frontwheel RH | 43.8 |

Table 3. Standard time of sub-assemblies; SD model

| JIG | SD Model | Standard Time (minute) |
|-----|---------------------|------------------------|
| 1 | Front 1 | 23.5 |
| | Front 2 | 20.1 |
| | Rear 1 | 20.2 |
| | Rear 2 | 20.1 |
| 2 | Front Wheel Member | 20.5 |
| | Rear Support Assy | 27.2 |
| 3 | Rear Support Assy 2 | 31.2 |
| 4 | Assy Frontwheel LH | 43.8 |
| | Assy Frontwheel RH | 43.8 |

From Table 2 and 3, production rate for 1 set of sub-assemblies based on 1 man working was calculated. The calculation results were indicated in Table 4. It was seen that preparation of sub-assemblies of 1 bus consume about 412 minute for DD model and 329 minute for SD model. On the other word, it can be notified that preparation of sub-assemblies for bus chassis platform can achieve approximated 1.2 bus/day for DD model, and 1.5 bus/day for SD model, based on 8 hours working a day.

Table 4. Production rate based on 1 man working

| JIG | DD Model (minute) | SD Model (minute) |
|----------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 120.7 | 83.9 |
| 2 | 95.2 | 95.2 |
| 3 | 108.7 | 62.4 |
| 4 | 87.6 | 87.6 |
| Standard Time | 412.2 | 329.2 |
| Production Rate/ Day | 1.2 | 1.5 |

In case that 2 men working for chassis platform production. The production rate was re-calculated, calculation results show in Table 5. The calculation was based on 8 hours working day, the 1st man work at jig No. 1 and 4, and the 2nd man work at jig No. 2 and 3. From table 5, it was seen that Standard time and

The 6th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-6)

March 29 – April 2, 2010, BITEC, Bangkok, Thailand

production rate for DD model and SD model are 208.3 minute, 2.3 bus/day and 171.5 minute, 2.8 bus/day, respectively. It was found that production rate of 2 men working yield about 90% increasing while double workforce is used. It can be considered that %Idle in the 2 men working system may be the cause of less than double production rate. However, high production rate is good alternative for the company to achieve higher production volume/day. 3 and 4 men working system is more complicate to calculate and unacceptable idle time was obtained. In case that higher production rate is required, more number of jigs and workforce should be considered.

Table 5. Production rate based on 2 men working

| Operator | JIG | Time Operation (minute) | |
|-----------------------|---------|-------------------------|----------|
| | | DD model | SD model |
| Operator 1 | 1 and 4 | 208.3 | 171.5 |
| Operator 2 | 2 and 3 | 203.9 | 157.6 |
| Standard Time | | 208.3 | 171.5 |
| Production Rate / Day | | 2.3 | 2.8 |
| % idle | | 1 | 3.4 |

CONCLUSION

This study aims to reduce chassis platform production throughput by designing of production jigs. The structures of 2 models, Double Decker (DD model) and Single Decker (SD model), of chassis platforms were studied. It was found that these 2 models are similar to each other. The DD model was separated into 15 portions, 12 different sub-assemblies and the SD model was separated into 12 portions, 9 different sub-assemblies. 4 jigs were designed for 4 groups that have high similarity of shape and size. Standard time for production of each sub-assembly on specified jig was calculated. In case of 1 man working, it was found that the production rate of chassis platform are approximated 1.2 bus/day for DD model, and 1.5 bus/day for SD model, based on 8 hours working a day. Furthermore, in case that 2

men working, production rate for DD model and SD model are 2.3 bus/day and 2.8 bus/day, respectively. The double workforce yield about 90% increasing in production rate. Although the idle time make it loss in 10% workforce, higher production rate is quite interesting alternative for manufacturer.

There may make more advantage to study more complicated alternative such as, more jig set compared with various workforce levels. The jigs are during fabrication, on the job investigation for jig performance will be carried out later.

ACKNOWLEDGEMENT

The financial support provided by Suranaree University of Technology. Thank you to Cherdchai Industrial for cooperation and sharing information.

REFERENCES

- [1] Somkiat Jongprasithporn, Sakkarin Choodoung, "Design and Development the Production Standard for Double Deck-bus (Standard No. 4)", King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, 2007
- [2] Itsara Rojana, Saiprasit Kerdniyom, "Design and Development of Chassis Frame for Double Deck Bus (Standard No.4)", ME NETT 2008
- [3] Vilasinee Leowarin, Apirat Sakulthai, Saroj Keawsonthong, "Process Improvement to Increase Productivity: Case Study in the Production of an Automobile Part ", IE NETT 2007
- [4] Sorraya Pingkawe, ein Boondiskulchok, "Development of MTM-2 based standard time system for production process in leather ware industry", IE NETT 2008
- [5] Norman Gaither, "Production and Operations Management", Fifty Edition (pp.607-611), 1992
- [6] Assist.Prof.Rachavarn Kanjanapanyakom, "Motion and Time Study", Physics Center Thailand,(pp.139-160),2528

Simulation and Design of Production Jigs for Bus Chassis

SOMSAK SIWADAMRONGPONG, USAWADEE ONGARJWUTICHAI

School of Mechanical Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima
THAILAND

somsaksi@sut.ac.th , arundo_2528@hotmail.com

Abstract: - Bus manufacturing is one of important automobile industries. In small enterprise, bus chassis is based on manually production. The manual production is low production rate and long throughput time. Moreover, the manual processes are also difficult to make standardization and lead to maintenance difficulty. Therefore, this study aims to design production jigs for bus chassis and use finite element method to analyze the jigs. Production rate with various production scenarios also analyzed. 2 models of Chassis technical data and information was collected from bus manufacturer. The chassis was break into sub-assemblies. 4 Jigs were designed for production of all sub-assemblies. Jigs design was built and assembled on SolidWork, finite element method was carried out by using ANSYS Workbench. Simulation results show that the minimum safety of factor occurs with factor 1.94. Re-design of jigs yield an improvement on the weak point with safety of factor 4.20. Standard time for production of each sub-assembly was calculated. It was found that production rate of 2.3-2.8 chassis/day is achieved based on 2-man working with 4 jigs. The 4-man working yields about 75% increasing in production rate with also increase of %idle time compared to 2-man working scenario. 6-man working with additional 2 jigs found that production rate of 5 chassis/day.

Key-Words: - Bus, Chassis, Jig, Fixture, Standard time, ANSYS

1 Introduction

Bus manufacturing is one of important industry among automobile industries. The buses that using in Thailand comes from both importing and local manufacturing. The local manufacturing sometimes uses chassis from well known bus manufacturer, thus only bus body and interior are manufactured. The rest local manufacturing is based on used chassis. The used chassis will be modified and maintenance, then body and interior are rebuilt [1] [2]. Recently, some bus manufacturers, i.e. Cherdchai Industrial who is one of the biggest bus manufacturers in Thailand, plan to produce chassis themselves. However, the chassis manufacturing processes is quite very long throughput time, such as chassis platform assemble and welding, which lead to low production rate. It should be advantage in bus manufacturing processes if jig and fixture are available. The jig and fixture may lead to standardization of production, low defect and lower throughput time. Therefore, this study aims to design production jigs for bus chassis and use finite element method to analyze the jigs. Production rate of various production scenarios will be analyzed by varying number of manpower and number of jig. The idea of this study is to divide chassis platform into sub-assemblies. The sub-assemblies are produced and move to assemble together on the main jig platform. This study focuses on only jigs for preparation of sub-assemblies [8] [9].

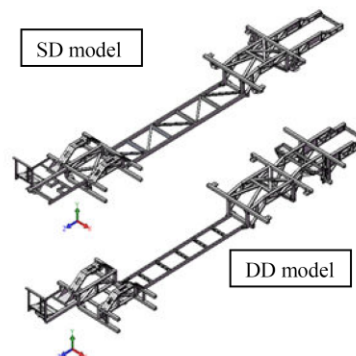


Fig. 1 Bus Chassis Platform configuration 2 models.

Chassis platform of 8-wheel Double Decker bus, noted as DD model, is shown in Fig. 1. The platform sizes of DD are approximately 2.3 m width, 11.8 m length and 0.86 m height. Chassis platform of 6-wheel Single Decker bus, noted as SD model, is shown in Fig. 1. The platform sizes of SD are approximately 2.35 m width, 11.8 m length and 0.77 m height. Both models are conformed to Thailand's regulations by Department of Land Transport 2009. The chassis platforms are made from various size of stainless steel rectangular tube RST 4003, such as 80x80x4, 80x40x4 and 50x50x4.

2 Procedure

2.1 Studying on chassis platform

The structures of chassis platforms 2 models are similar to each other. The chassis platform was divided into 3 zones, front, middle and rear zones. The chassis platform in the front and rear zones is quite symmetry along the longitudinal axis. Moreover, the front and rear zones are rarely changed by customer order. Unlike the middle zone, bus length may be changed by customer requirements, and it leads to some changes in middle zone. Therefore, the middle zone of chassis platform is not considered as sub-assembly.

2.2 Dividing and grouping the platform into sub-assemblies

The front and rear zones of DD model was divided into subassemblies as illustrated in Fig. 2 and Fig. 3, respectively. The SD model can be divided same as DD model, both front and rear zones. The subassembly consideration and grouping was based on similarity of shape and size of each portion.

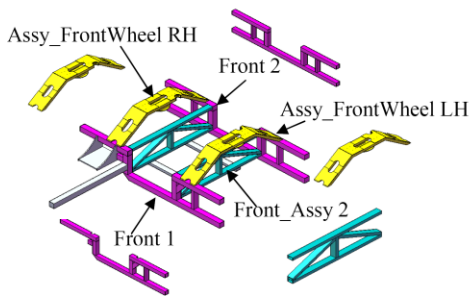


Fig. 2 Sub-assemblies of front zone; DD model

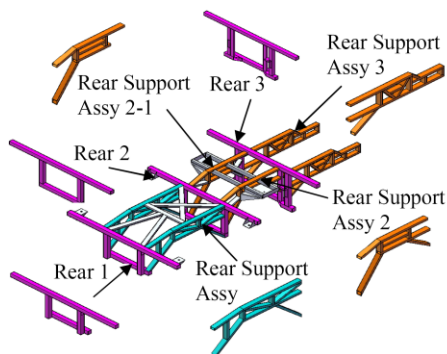


Fig. 3 Sub-assemblies of rear zone; DD model

2.3 JIG Designing

Jigs were designed for each group of sub-assemblies. The jig composed of supported structure and assembly table with clamps, as illustrated in Fig. 4. The supported structure contains 2 important features. Firstly, supported columns have adjustable slot for table height setting. Secondly, manual rotation device was installed to the structure that make the table is 360 degree rotatable on horizontal axis for easier manual welding process. Clamps were installed on the table at designed point to fix sub-assembly's part elements [3].

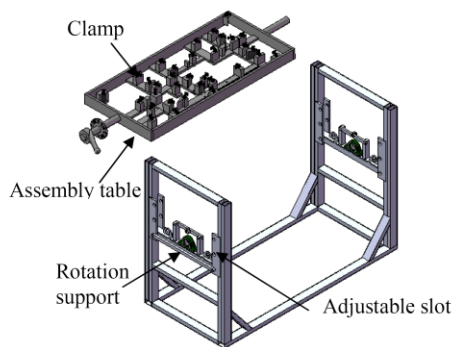


Fig. 4 Configuration of jig's supported structure and assembly table.

2.4 Analysis and Material

Analysis of Jigs model was carried out to determine the stress and deformation by using commercial software, SolidWork and ANSYS Workbench. Jigs were designed based on 3 types of material. Assembly table is used of Structural Steel AISI 1020, Support Structure is used of Stainless Steel RST 4003 and pin is used of Steel AISI 4142, as indicated in Table. 1. Finite element method was applied to analyze structure stress, deflection and safety of factor in 4 cases [7] [10].

Table 1 The features of the material

| Properties | AISI 1020 | AISI 4142 | RST 4003 |
|------------------------------------|-----------|-----------|----------|
| Modulus of Elasticity(GPa) | 200 | 220 | 220 |
| Poisson's Ratio | 0.25 | 0.3 | 0.3 |
| Weight Density(kg/m ³) | 7860 | 7860 | 7740 |
| Yield Stress(MPa) | 390 | 1720 | 320 |
| Tensile Stress(MPa) | 470 | 1930 | 450 |

CASE 1 Analyze stress of Assembly table

This case considers load of sub-assemblies that lie on the assembly table. Load figure of case 1 is illustrated in Fig. 5 and maximum load of each jig is shown in Table 2.

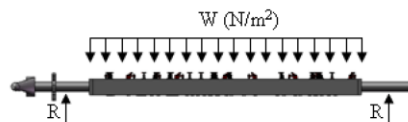


Fig. 5 Load on Assembly table in case 1

Table 2 Load on Assembly table in case 1

| JIG | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Maximum Load of Sub-assemblies (N) | 645.79 | 388.25 | 462.78 | 415.62 |
| Support Area (m ²) | 0.76 | 0.41 | 0.59 | 0.23 |
| Maximum Load of Sub-assemblies (Pa) | 849.72 | 946.95 | 784.37 | 1807.04 |
| Reaction force (N) | 322.9 | 194.13 | 231.39 | 207.81 |

CASE 2 Analyze stress of Assembly table

This case considers load of sub-assemblies and the table itself that applied to the assembly table. Load figure of case 2 is illustrated in Fig. 6 and maximum load of each jig is shown in Table 3.

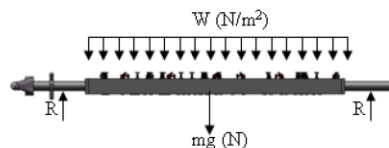


Fig. 6 Load on Assembly table in case 2

Table 3 Load on Assembly table in case 2

| JIG | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Maximum Load of Sub-assemblies (Pa) | 849.72 | 946.95 | 784.37 | 1807.04 |
| Load of Clamp and Screw(N) | 75.62 | 82.06 | 67.01 | 6.34 |
| Load of Assembly Table(Pa) | 3156.14 | 2288.58 | 2957.45 | 879.83 |
| Reaction force (N) | 1938.71 | 1379.44 | 1743.62 | 650.9 |

CASE 3 Analyze stress of Supported Structure

This case considers load of sub-assemblies and table that loaded on supported structure. Load figure of case 3 is illustrated in Fig. 7 and maximum load of each jig is shown in Table 4.

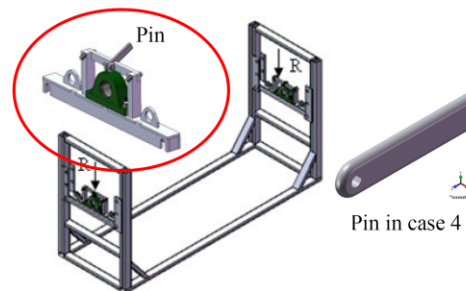


Fig. 7 Load on Supported Structure in case 3

Table 4 Load on Supported Structure in case 3

| JIG | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------|---------|---------|---------|--------|
| Total Maximum Load (N) | 4268.29 | 3140.33 | 3859.3 | 1780.1 |
| Reaction force (N) | 2134.15 | 1570.17 | 1929.65 | 890.05 |

CASE 4 Analyze stress of Pin when the maximum load is applied (about 4268.29 N). Figure of loading and pin is shown in Fig. 7.

2.5 Standard Time

Flow Process Chart analysis was carried out to analyze the working processes of each sub-assembly [3]. This analysis has concerned the whole processes including operation time, inspection time, delay time, storage time and moving time. Pre-Determined Standard Time Technique and Rating of Westinghouse System were employed to estimate Normal Time (NT) of each process, as displayed in equation (1) [4] [5].

$$NT = (1 + R)CT \tag{1}$$

NT = Normal Time (minute)

R = Rating

CT = Cycle Time (minute)

The Cycle Time (CT) was obtained from Pre-Determined Standard Time Technique, except welding time. The welding time was determined by welding test of the company's workers. The Westinghouse System Rating Techniques was used by considering skill, effort, working conditions and consistency of workers and

working environments. Standard Time (ST) can be calculated by equation (2). Allowance is percent allowed for some idle situations such as meeting time, breaking time and tired of worker. This study has used 9% of allowance for further calculation, 4% for tired of worker and 5% for daily idle activities [6] [11].

$$ST = (1 + A)NT \tag{2}$$

ST = Standard Time (minute)

A = Allowance

NT = Normal Time (minute)

3 Result and Discussions

The 2 models of chassis platform were considered and divided into sub-assemblies. The DD model was separated into 15 portions, 12 different sub-assemblies and the SD model was separated into 12 portions, 9 different sub-assemblies, as shown in Table 5. Each sub-assembly was illustrated above in Fig. 2-3. Similarity of sub-assemblies led to 4 groups of sub-assemblies and 4 jigs were assigned to such groups.

Table 5 Weight and Standard time of Sub-Assembly

| JIG | Sub-Assembly | Standard Time (minute) | | | |
|-----|-----------------------|------------------------|------------|----------|------------|
| | | DD model | Weight (N) | SD model | Weight (N) |
| 1 | Front 1 | 25.65@ ¹⁾ 1 | 390.51 | 23.46@1 | 435.96 |
| | Front 2 | 23.65@1 | 468.06 | 20.13@1 | 493.78 |
| | Rear 1 | 20.23@1 | 403.50 | 20.23@1 | 403.50 |
| | Rear 2 | 20.12@1 | 411.61 | 20.12@1 | 411.61 |
| | Rear 3 | 31.04@1 | 645.79 | - | - |
| 2 | Front Assy 2 , | 20.47@2 | 297.05 | 20.47@2 | 283.50 |
| | Front Wheelmember | 27.15@2 | 388.25 | 27.15@2 | 388.25 |
| | Rear Support Assy | 27.15@2 | 388.25 | 27.15@2 | 388.25 |
| 3 | Rear Support Assy 2 | 23.52@1 | 272.49 | 31.20@2 | 462.78 |
| | Rear Support Assy 2-1 | 22.52@1 | 222.05 | - | - |
| 4 | Rear support Assy 3 | 31.33@2 | 273.26 | - | - |
| | Assy_FrontWheel,RH | 43.80@1 | 415.62 | 43.80@1 | 415.62 |
| | Assy_FrontWheel,LH | 43.80@1 | 415.62 | 43.80@1 | 415.62 |

¹⁾@ show the number of sub-assembly in the chassis

The finite element analysis results of case 1, 2 and 3 were presented in Table 6-8, respectively. It is set in ANSYS to display safety of factor equal to 15 in case that its factor higher than 15. Results of case 1 and 3 showed that the jigs can be safely used with low deformation and quite high safety of factor. However, results of case 2 analysis showed the highest risk on Jig#1 with high deformation and low safety of factor. The weakest point is pin use for locking adjustable slot

on assembly table as shown in Fig. 8 and deformation of the table is shown in Fig. 9. It is considered that re-design of this part may yield better safety of factor. It was found that, the re-design yield higher safety of factor from 1.94 to 4.20 as show in Table 9. The analysis results for case 4, maximum stress 730.24 MPa, strain 0.0033193 and deformation 1.2449 mm are obtained and shown in Fig. 10. The pin may be safely used with safety of factor 2.36. Re-design of either pin size or material should yield improvement of safety of factor.

Table 6 Analysis Result of Assembly table (case 1)

| JIG | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Maximum Stress (MPa) | 36.42 | 25.32 | 27.42 | 29.07 |
| Maximum Deformation (mm) | 0.18 | 0.10 | 0.30 | 0.12 |
| Safety of factor | 10.71 | 15 | 14.22 | 13.42 |

Table 7 Analysis Result of Assembly table (case 2)

| JIG | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------|--------|--------|--------|-------|
| Maximum Stress (MPa) | 200.78 | 114.03 | 167.58 | 53.12 |
| Maximum Deformation (mm) | 1.06 | 0.60 | 1.90 | 0.27 |
| Safety of factor | 1.94 | 3.42 | 2.33 | 7.34 |

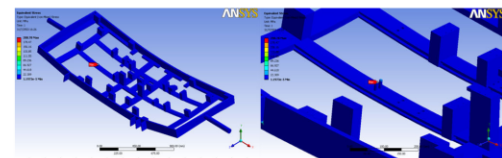


Fig. 8 The maximum stress point (case 2)

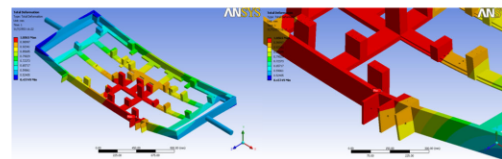


Fig. 9 The deformation point (case 2)

Table 8 Analysis Result of Support structure (case3)

| JIG | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Maximum Stress (MPa) | 18.99 | 14.85 | 17.87 | 7.68 |
| Maximum Deformation (mm) | 0.023 | 0.017 | 0.021 | 0.009 |
| Safety of factor | 15 | 15 | 15 | 15 |

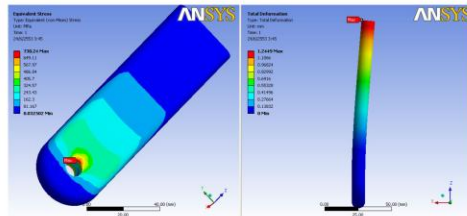


Fig. 10 The max stress and deformation point(case4)

Table 9 Analysis Result of Assembly table (re-design jig 1 case 2)

| JIG | 1 |
|--------------------------|-------|
| Maximum Stress (MPa) | 92.94 |
| Maximum Deformation (mm) | 1.50 |
| Safety of factor | 4.20 |

The standard time used in the production for each sub-assembly is expressed in Table 5. It was seen that preparation of sub-assemblies of 1 bus consume about 412 minute for DD model and 329 minute for SD model. On the other word, it can be notified that preparation of sub-assemblies for bus chassis platform can achieve approximated 1.2 bus/day for DD model, and 1.5 bus/day for SD model, based on 8 hours working per day.

Table 10 Time of Operation the Chassis, DD model

| Operator | 1 | 2 | 4 | 6 |
|-------------------------|--------|--------|--------|-------|
| Standard Time (minute) | 412.23 | 208.29 | 120.69 | 95.24 |
| Production Rate/Day | 1.2 | 2.3 | 4 | 5 |
| %idle | - | 1.04 | 6.85 | 8.61 |
| Production rate/day/man | 1.2 | 1.15 | 1.0 | 0.83 |

Table 11 Time of Operation the Chassis, SD model

| Operator | 1 | 2 | 4 | 6 |
|-------------------------|--------|--------|-------|---|
| Standard Time (minute) | 329.18 | 171.54 | 95.24 | - |
| Production Rate/Day | 1.5 | 2.8 | 5 | - |
| %idle | - | 4.05 | 8.62 | - |
| Production rate/day/man | 1.5 | 1.4 | 1.25 | - |

In case that 2-man working for chassis sub-assembly production, the 1st man work at jig No. 1 and 4 and the 2nd man work at jig No. 2 and 3. For further analysis of production capacity, 4-man working and 6-man working scenario were also considered. In case of 6-man

working, additional 2 jigs (jig#1 and #3) are needed. Table 10 and 11 showed standard time, production rate and %idle time on each scenario of DD model and SD model, respectively. It was seen that production rate for DD model and SD model are 2.3 bus/day and 2.8 bus/day, respectively, for 2-man working scenario. It was about 90% increasing while double workforce is used. It can be considered that %idle in the 2-man working scenario may be the cause of less than double production rate. That result is also implied in reduction of production rate/day/man. It was found that, generally, increasing of number of worker tend to higher production rate, higher %idle time and lower production rate/day/man as shown in table 10 and 11. In case of 6-man working scenario of DD model, 5 bus/day with 8.61% idle time is obtained. It should be trade-off between number of worker, production rate and %idle time for desired production capacity.

4 Conclusion

This study aims to design production jigs for bus chassis and use finite element method to analyze the jigs. Production rate of various production scenarios will be analyzed by varying number of manpower and number of jig. The structures of 2 bus models, Double Decker (DD model) and Single Decker (SD model), of chassis were studied. The DD model was separated into 15 portions, 12 different sub-assemblies and the SD model was separated into 12 portions, 9 different sub-assemblies. 4 jigs were designed for 4 groups that have high similarity of shape and size. Finite element analysis was employed to analyze the jigs in 4 cases. It was found that Jig#1 was the weakest in stress analysis with safety of factor 1.94. After redesigning of part in that jig, safety of factor is improved to 4.20. The pin of rotation table might also under risk of using with safety of factor 2.36. Re-design of either pin size or material should yield improvement of safety of factor.

Standard time for production of each sub-assembly on specified jig was calculated. In case of 1-man working, it was found that the production rate of chassis platform are approximated 1.2 bus/day for DD model, and 1.5 bus/day for SD model, based on 8 hours working per day. Furthermore, in case that 2-man working, production rate for DD model and SD model are 2.3 bus/day and 2.8 bus/day, respectively. The double workforce yield about 90% increasing in production rate. Although the idle time make it loss in 10% workforce, higher production rate is quite interesting alternative for manufacturer. The 4-man and 6-man working will result higher production rate. However, increasing of %idle time and lower production rate/day/man are important trade-off.

There may make more advantage to study more complicated alternative such as, more jig set compared with various workforce levels. The jigs are during fabrication, on the job investigation for jig performance will be carried out later.

[11] Vladimir Modrak, "Case on Manufacturing Cell Formation Using Production Flow Analysis", *World Academy of Science, Engineering and Technology 2009 (V.49-95)*

5 Acknowledgements

The financial support provided by Suranaree University of Technology. Thank you to Cherdchai Industrial for cooperation and sharing information.

References:

- [1] Somkiat Jongprasithporn, Sakkarin Choodoung, "Design and Development the Production Standard for Bouble Deck-bus (Standard No. 4)", *The 5th Annual PSU Research Conference, 2007*
- [2] Itsara Rojana, Saiprasit Kerdniyom, "Design and Development of Chassis Frame for Double Deck Bus (Standard No.4)", *The 22nd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand, Thammasat University, 2008*
- [3] Vilasinee Leowarin, Apirat Sakulthai, Saroj Keawsonthong, "Process Improvement to Increase Productivity: Case Study in the Production of an Automobile Part", *IE Network Conference 2007*
- [4] Sorraya Pingkawee, ein Boondiskulchok, "Development of MTM-2 based standard time system for production process in leather ware industry", *IE Network Conference 2007*
- [5] Norman Gaither, "Production and Operations Management", *Fifty Edition* (pp.607-pp.611), 1992
- [6] Assist. Prof. Rachavarn Kanjanapanyakom, "Motion and Time Study", *Physics Center Thailand*, (pp.139-pp.160), 2528
- [7] Pramote Dachaumphai and Sutthisak Pongthanapanich (2548). Easy Finite Element. *First Edition (in Thai)*, pp.2-pp.9
- [8] Assoc.Prof.Flt.Lt.Dr.Kontorn Channiprasart, Chompunuch Lapo, Rattiporn Klomkaew, "Design and Analysis of Bus Chassis", *The 6th International Conference on Automotive Engineering 2010, BITEC Thailand*.
- [9] Somsak Siwadamrongpong, Usawadee Ongarjwutichai, "Jig Design for Bus Chassis Platform Production", *The 6th International Conference on Automotive Engineering 2010, BITEC Thailand*.
- [10] R. Nagendra Babu, K.V. Ramana, and K. Mallikarjuna Rao, "Determination of Stress Concentration Factors of a Steam Turbine Rotor by FEA", *World Academy of Science, Engineering and Technology 2008 (V.39-56)*

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอุษาวดี งามอาจุฒิชัย เกิดเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน 2528 ที่อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนศรีสุวิชัย และมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบางละมุง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วิศวกรรมการผลิต) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2550 และได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ขณะศึกษาได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จำนวน 2 รายวิชา ได้แก่ (1) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล และ (2) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 1

ในระหว่างศึกษาได้มีการนำเสนอผลงานวิชาการเรื่อง **Jig Design for Bus Chassis Platform Production** ในการประชุมนานาชาติด้านยานยนต์ ครั้งที่ 6 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 29 มีนาคม-2 เมษายน พ.ศ. 2553 และเรื่อง **Simulation and Design of Production Jigs for Bus Chassis** ในการประชุม The 9th International Conference on SYSTEM SCIENCE and SIMULATION in ENGINEERING (ICOSSE'10) ระหว่างวันที่ 4-6 ตุลาคม 2553 ณ ประเทศญี่ปุ่น และได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการเรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์ชุดจับยึดสำหรับการผลิตโครงสร้างหลักรถโดยสาร ในวารสารวิชาการวิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 37 ฉบับที่ 4 ประจำเดือนตุลาคม-ธันวาคม 2553