



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การเตรียมกระบวนการประกอบสวมของเพลากลางรถ

Preparation of Automobile Propeller Shaft Push up Assembly Process

ณัฏฐารัตน์

พูลทรัพย์

ธนกฤต

คงกลิ่น

ธนภัทร

จันทร์น้อย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การเตรียมกระบวนการประกอบสวมของเพลากลางรถ		
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นางสาวณัฏฐารัตน์	พูลทรัพย์	
	นายธนกฤต	คกงลิ่น	
	นายธนภัทร	จันทร์น้อย	
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศน์	ผศ.ดร. อุन्नัต พิณโสภณ		
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศน์งาน	นายณัฐวุฒิ	อ่วมเจริญ	(ผู้จัดการวิศวกรรมการผลิต)
	นายปรัชญา	ปิ่นบรรจง	(วิศวกรรมการผลิตอาวุโส)
สถานประกอบการ	บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด		

### บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษาฉบับนี้ ได้ศึกษาขั้นตอนการเตรียมการสำหรับโปรเจกต์ผลิตเพลารถ กระบะรุ่นใหม่ (T6 MEA) ในแผนกวิศวกรรมการผลิตจากทางบริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ในส่วนแรกของเนื้อหาโครงการเป็นการอธิบายแบบและส่วนประกอบของเพลากลาง รวมถึงอธิบายลำดับขั้นตอนวิธีการประกอบเพลากลาง เนื่องด้วยมีการเปลี่ยนแปลงกำหนดการของบริษัท เป็นผลให้ระยะเวลาไม่เพียงพอต่อขอบเขตงานทั้งหมด ดังนั้นส่วนที่สองจะมีการกำหนดขอบเขตของกระบวนการที่สนใจ คือ กระบวนการประกอบสวมอัด และจัดเตรียมกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการดังกล่าวเพื่อรองรับการประกอบเพลารุ่นใหม่ โดยอธิบายการจัดเตรียมเครื่องจักรที่สนใจ กรรมวิธีการผลิต การประเมินความเสี่ยง และการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ใหม่เพื่อปรับแก้ให้กระบวนการสามารถรองรับการสวมชิ้นส่วนประกอบใหม่ของเพลากลางได้ การออกแบบจะใช้วิธีการคำนวณเชิงวิเคราะห์อย่างง่ายเพื่อกำหนดขนาดเบื้องต้นของฟิกเจอร์และใช้กระบวนการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย Software SOLIDWORKS Simulation วิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นสำหรับการคำนวณรูปทรงที่ซับซ้อน โดยฟิกเจอร์ดังกล่าวจะถูกนำไปทดสอบติดตั้งเข้ากับเครื่องสวมอัดและบันทึกผลของการติดตั้ง ในส่วนที่สาม ผลของการติดตั้งคือ ฟิกเจอร์ที่ถูกออกแบบมาสามารถสวมเข้ากับเครื่องจักรได้และสามารถรักษาระดับของเส้นนำศูนย์ให้กับส่วนประกอบเพลากลางในกระบวนการสวมอัด

**คำสำคัญ :** T6 MEA, Push Up JIG and Fixture, วิศวกรกระบวนการผลิต, การเตรียมสายการผลิต เพลากลางรถกระบะ

**Cooperative Title:** Preparation of Automobile Propeller Shaft Push up  
Assembly Process

**Student intern name:** Natnararat Poolsab  
Thanakrit Kongklin  
Tanapat Channoi

**Faculty:** Engineering **Department:** Mechanical Engineering

**Advisor name:** Asst.Prof. Unnat Pinsopon

**Mentor name:** Nattawut Aumjaroen (Process Engineer Manager)  
Pratchaya Panbanjong (Sr. Process Engineer)

**Company:** Dana Spicer (Thailand) LTD.

## ABSTRACT

This current report is conducted to present the preparation process of the new-model pickup propeller shaft (T6 MEA) manufacture, situated in the Department of Production Engineering — Dana Spicer (Thailand) Ltd. The initial part of the report illustrates an overview and components of the propeller shaft, also covering its assembly process. However, there is a noted remark that due to an unexpected change within the company, which resulted wholly in the work duration and completion, the second part then provides a more specific topic. That is to say, the work focused mostly on the process of interference fit and its manufacture preparation stages for the new model. This part also explains how to prepare the selected machine, manufacture process, risk assessment, and JIG and figure design — to assist in the assembly process. The design procedure was performed based on a simple analytical calculation method so as to estimate the figure's size. Also, the finite element method was utilized simultaneously with the software named SOLIDWORKS Simulation in order to assess a possible error within the complex shape creation process. Such a figure was then installed in the interference fit machine, and the outcome was recorded. Lastly, the findings are proposed, revealing that the designed figure could fit the selected machine and maintain the alignment level of all components contributory to the interference fit process.

**Keywords:** T6 MEA, Push Up JIG and Fixture, Process Engineer, T6 MEA GCP Line Preparation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์สหกิจศึกษาเล่มนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์ อุนนัต พิณโสภณ อาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำโครงการสหกิจศึกษา อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบพระคุณ คุณณัฐวุฒิ อ่วมเจริญ และคุณปรัชญา ปั้นบรรจง สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ในการดำเนินการทำโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ พี่ๆในแผนกวิศวกรรมกระบวนการผลิต, แผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ และพี่ๆแผนกอื่นๆ รวมถึงพนักงานในบริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการสหกิจให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนช่วยเหลือและให้กำลังใจคณะผู้จัดทำจนสำเร็จการศึกษา

ณัฏฐารัตน์ พูลทรัพย์  
ธนภุต คงกลีน  
ธนภัทร จันทรน้อย

## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	XI
คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อ และคำศัพท์เฉพาะ.....	XII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 แผนการดำเนินโครงการ.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

บทที่ 2 Review.....	4
2.1 Project Overview.....	4
2.2 T6 MEA Drawing.....	5
2.3 Bill of Materials; BOMs.....	8
2.4 Process Flow.....	9

บทที่ 3 Preparations.....	12
3.1 Machine Preparation.....	14
3.1.1 Push up Machine of GCP Line Preparation Review.....	14
3.1.1.1 Driving Shaft.....	15
3.1.1.2 Coupling shaft.....	15
3.1.2 Machine Preparation Parameters.....	16
3.2 Process Preparations.....	18
3.2.1 Cycle Time and Line Capacity Analysis.....	19
3.2.2 Man Working.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1	Standardized Work Chart .....	21
3.2.2.2	Man Machine Analysis .....	26
3.2.3	กระบวนการทำงานในสายการผลิต .....	28
3.3	Process Failure Mode and Effect Analysis; PFMEA.....	29
3.3.1	ส่วนการกรอรายละเอียดของบริษัท รวมถึงความรับผิดชอบ.....	29
3.3.2	การวิเคราะห์โครงสร้างของกระบวนการผลิต.....	29
3.3.3	การวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงาน.....	30
3.3.4	การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง.....	30
3.3.5	การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง.....	31
3.4	Tooling Design.....	32
3.4.1	แนวคิดและวิธีการออกแบบ.....	33
3.4.2	ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์ความเสียหายของ JIG and Fixture .....	35
3.4.2.1	Strength of Materials.....	35
3.4.2.2	Fluid Power System .....	39
3.4.2.3	Computational Failure / Failure Analysis.....	40
3.4.3	การออกแบบ.....	45
3.4.3.1	สมมติฐานการออกแบบ.....	45
3.4.3.1.1	การออกแบบ CVJ Push Up Fixture.....	45
3.4.3.1.2	การออกแบบ Midship + Slinger Push Up JIG .....	69
3.4.3.2	Revision of Drawing / Engineering Change.....	76
บทที่ 4	ผลการดำเนินงาน .....	79
4.1	Push Up JIG and Fixture.....	79
4.1.1	CVJ Push Up Fixture .....	79
4.1.2	Midship + Slinger Push Up JIG .....	80
4.2	ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของ Push Up JIG and Fixture ด้วย Software SOLIDWORKS Simulation.....	80
4.3	ผลการรวมกระบวนการ Slinger Pressing และ Midship Push Up .....	82
4.4	การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนการประกอบชิ้นส่วนจิ๊กและฟิกเจอร์.....	82
4.4.1	ความคลาดเคลื่อนจากการประกอบฟิกเจอร์ CVJ .....	82
4.4.2	ความคลาดเคลื่อนจากการประกอบจิ๊ก Midship Slinger .....	83
4.5	JIG and Fixture Fitting Test.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6	การตรวจสอบการตั้ง Tools .....	86
4.6.1	การตรวจสอบการติดตั้งฟิกเจอร์ CVJ เข้ากับเครื่องจักร .....	86
4.6.2	การตรวจสอบการติดตั้งจิ๊ก Midship Slinger เข้ากับเครื่องจักร .....	86
บทที่ 5 สรุปผล ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ .....		88
เอกสารอ้างอิง.....		90
ภาคผนวก ก แบบวาดจิ๊กและฟิกเจอร์ .....		92
ภาคผนวก ข Process Failure Mode and Effect Analysis.....		98



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโปรเจคประกอบเพลลา.....	4
รูปที่ 2	ตัวอย่างรูปแสดงตำแหน่งติดตั้งเพลลาภายในรถยนต์ .....	5
รูปที่ 3	แสดงเพลลา T6 MEA .....	6
รูปที่ 4	แสดงแบบวาดของเพลลาที่ย่อยก่อน Coupling Shaft .....	7
รูปที่ 5	แสดงชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลลาที่ย่อยก่อน Coupling Shaft .....	7
รูปที่ 6	แสดงแบบวาดของเพลลาที่ย่อยก่อน Drive Shaft .....	7
รูปที่ 7	แสดงส่วนประกอบย่อยของเพลลาที่ย่อยก่อน Drive Shaft .....	8
รูปที่ 8	แสดงข้อมูลชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลลาที่ย่อยก่อน Coupling Shaft .....	8
รูปที่ 9	แสดงข้อมูลชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลลาที่ย่อยก่อน Drive Shaft .....	9
รูปที่ 10	แสดงชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลลาที่ย่อยก่อน Coupling Shaft และกระบวนการที่ใช้ประกอบ .....	10
รูปที่ 11	แสดงชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลลาที่ย่อยก่อน Drive Shaft และกระบวนการที่ใช้ประกอบ .....	11
รูปที่ 12	แสดงกระบวนการประกอบเพลลาจนถึงขั้นตอนสุดท้าย .....	12
รูปที่ 13	แสดง Process Flow Chart ของการประกอบเพลลา T6 MEA .....	12
รูปที่ 14	แผนผังลำดับการจัดเตรียมข้อมูลของกระบวนการสวมอัด.....	13
รูปที่ 15	การติดตั้งของฟิกเจอร์กับเครื่องสวมอัด .....	14
รูปที่ 16	การติดตั้งของฟิกเจอร์กับเครื่องสวมอัด .....	15
รูปที่ 17	แสดงชิ้นส่วนที่ต้องมีการออกแบบฟิกเจอร์ใหม่ของเพลลาที่ย่อยก่อน Drive Shaft .....	15
รูปที่ 18	แสดงชิ้นส่วนที่ต้องมีการออกแบบจิ๊กใหม่ของเพลลาที่ย่อยก่อน Coupling Shaft.....	15
รูปที่ 19	หน้าจอแสดงผลการเก็บค่าแรงที่ใช้ในการอัด.....	18
รูปที่ 20	การเปรียบเทียบ Cycle time (time per 1 job) ของแต่ละกระบวนการในสายการผลิต การประกอบเพลลา (GCP) .....	20
รูปที่ 21	Push Up Station .....	22
รูปที่ 22	Knock Down Station.....	22
รูปที่ 23	Welding Station.....	23
รูปที่ 24	Slinger Press Station.....	23
รูปที่ 25	Joint Bulider Station.....	24
รูปที่ 26	End Yoke Press Station .....	24
รูปที่ 27	Straight Station.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 28 Climping Rubber Boots Station .....	25
รูปที่ 29 Joint Builder.....	26
รูปที่ 30 Balancing Station .....	26
รูปที่ 31 ตำแหน่งและการส่งต่องานในสายการผลิตการประกอบเพลลา GCP ปัจจุบัน .....	28
รูปที่ 32 ตำแหน่งและการส่งต่องานในสายการผลิตการประกอบเพลลา GCP ภายหลังจากการลดกระบวนการ .....	28
รูปที่ 33 รูปแบบการกรอกรายละเอียด .....	29
รูปที่ 34 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของกระบวนการ .....	29
รูปที่ 35 รูปแบบการวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงาน.....	30
รูปที่ 36 รูปแบบการวิเคราะห์ความเสียหาย .....	30
รูปที่ 37 การประเมินความเสี่ยง.....	31
รูปที่ 38 ขั้นตอนที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ .....	33
รูปที่ 39 แผนภูมิการตรวจสอบรูปทรงและความแข็งแรง.....	34
รูปที่ 40 กราฟวงจรรความเค้น.....	37
รูปที่ 41 แสดงการโค้งตัวของคานและสูตรที่ใช้คำนวณ .....	38
รูปที่ 42 Moody Diagram .....	39
รูปที่ 43 กราฟ Mesh Analysis.....	42
รูปที่ 44 แสดงรูปทรงชิ้นงานที่ใช้วิเคราะห์ Mesh Analysis .....	42
รูปที่ 45 ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่ใช้ทำการเปรียบเทียบค่าจากการคำนวณด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ .....	43
รูปที่ 46 แสดงการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS .....	44
รูปที่ 47 การวัดขนาดของตำแหน่งติดตั้งฟิกเจอร์บนเครื่องจักร.....	46
รูปที่ 48 ฟิกเจอร์ต้นแบบสำหรับการออกแบบ CVJ.....	46
รูปที่ 49 กราฟวงจรรความเค้น.....	49
รูปที่ 50 แสดงขนาดที่จะออกแบบของแผ่นรองรับแรง (Pressing Plate).....	51
รูปที่ 51 แสดงการวิเคราะห์แรงกระทำบนแผ่นรองรับแรง (Pressing Plate).....	51
รูปที่ 52 การโค้งตัวของคานเมื่อรับแรงจุดบริเวณกึ่งกลางคาน .....	51
รูปที่ 53 แสดงขนาดของแผ่นรองรับ (Pressing Plate).....	52
รูปที่ 54 Shear Diagram.....	53
รูปที่ 55 Moment Diagram .....	53
รูปที่ 56 แผนภาพวัตถุอิสระของการออกแบบเฟรม .....	54
รูปที่ 57 แสดงผลจากการ von mises stress simulation ครั้งที่ 1 .....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 58 แสดงขนาดของเฟรมที่ต้องการออกแบบ .....	55
รูปที่ 59 แผนภาพวัตถุอิสระของเฟรม.....	56
รูปที่ 60 แสดงการปรับเปลี่ยนรูปแบบพื้นที่หน้าตัดของเฟรม.....	57
รูปที่ 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นที่ตำแหน่งต่างๆบนเฟรม.....	57
รูปที่ 62 แสดงผลจากการ von mises stress simulation ครั้งที่ 2.....	58
รูปที่ 63 แสดงการปรับแต่งขนาดของหน้าตัดเฟรม.....	59
รูปที่ 64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นที่ตำแหน่งบนเฟรม .....	59
รูปที่ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์เปรียบเทียบความเค้นที่ตำแหน่งต่างๆบนเฟรมแบบที่ 1 และ 2..	60
รูปที่ 66 การวิเคราะห์ ความเค้นจากการทำ Simulation ณ ตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงของการทำ Fillet ขนาด 85.5 มิลลิเมตร.....	61
รูปที่ 67 แสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นรองรับแรง.....	62
รูปที่ 68 แสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดของเฟรม.....	63
รูปที่ 69 แสดงตำแหน่งของคานเชื่อมจากตัวอย่างฟิกเจอร์ปัจจุบันในสายการผลิต.....	66
รูปที่ 70 แสดงขนาดของคานเชื่อม.....	67
รูปที่ 71 แผนภาพวัตถุอิสระของคานเชื่อม.....	67
รูปที่ 72 แสดง shear และ moment diagram ของคานชนิด fix ปลายหนึ่งด้าน.....	68
รูปที่ 73 Chart of Theoretical Stress-Concentration Factor $K_t^*$ .....	68
รูปที่ 74 แสดงแบบ 3 มิติ ของ base.....	70
รูปที่ 75 แสดงแบบ 3 มิติ ของ cylinder spline.....	70
รูปที่ 76 แผนภาพวัตถุอิสระของแรงที่เกิดขึ้นบน Slinger, Midship, Tubing และ Tube Yoke ....	71
รูปที่ 77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ Head End และ Rod End กับเวลาที่ 0-10 วินาที .....	72
รูปที่ 78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและเวลา.....	72
รูปที่ 79 วงจรไฮดรอลิกของเครื่องจักร Push Up ในสายการผลิต GCP.....	73
รูปที่ 80 แผนภาพวัตถุอิสระของชิ้นงาน.....	74
รูปที่ 81 แผนภาพวัตถุอิสระของ Slinger, JIG และลูกสูบ.....	75
รูปที่ 82 รูปแบบของเฟรมเริ่มต้น.....	76
รูปที่ 83 รูปแบบของเฟรมที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงรูปหน้าตัด .....	76
รูปที่ 84 รูปแบบของเฟรมปรับเปลี่ยน .....	76
รูปที่ 85 รูปแบบของเฟรมที่ทำการ fillet .....	77
รูปที่ 86 เฟรมที่มีขนาดความหนา 35 มิลลิเมตร .....	77
รูปที่ 87 เฟรมที่ปรับขนาดความหนาเป็น 30 มิลลิเมตร.....	77

รูปที่ 88 พิกเจอร์ที่เปลี่ยนวัสดุจาก AISI 1020 เป็น S50C .....	78
รูปที่ 89 แบบของ CVJ Push Up Fixture .....	79
รูปที่ 90 แบบของ Midship + Slinger Push Up JIG .....	80
รูปที่ 91 แสดงผลการวิเคราะห์ความเสียหาย CVJ Push Up Fixture จากซอฟต์แวร์.....	81
รูปที่ 92 แสดงผลการวิเคราะห์ความเสียหาย Midship+Slinger JIG จากซอฟต์แวร์ .....	81
รูปที่ 93 ภาพเขียนแบบผังสายการผลิต GCP .....	82
รูปที่ 94 การวัดตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากการประกอบพิกเจอร์ CVJ.....	83
รูปที่ 95 การตรวจสอบการประกอบจิ๊กสำหรับ Midship Slinger .....	83
รูปที่ 96 แนวร่วมศูนย์ของ Tube Yoke, Tubing, Mid-ship และ Slinger.....	84
รูปที่ 97 แนวร่วมศูนย์ของ Tube Shaft, Tubing และ CVJ.....	84
รูปที่ 98 แสดง Push up Station ในสายการผลิตเพลลา GCP.....	84
รูปที่ 99 การติดตั้ง Midship + Slinger Push up JIG .....	85
รูปที่ 100 แสดง Position Guide ของจิ๊กบนแท่นติดตั้งของเครื่องจักร และการปรับแต่งจิ๊กด้วยการ เจาะรูเพิ่ม .....	85
รูปที่ 101 แสดงการติดตั้ง Midship + Slinger Push up JIG .....	85
รูปที่ 102 การติดตั้ง CVJ Fixture.....	86
รูปที่ 103 การทดลองสวมชิ้นงาน Slinger เข้ากับ JIG ก่อนการอัดจริง .....	86
รูปที่ 104 การทดลองสวมชิ้นงาน Midship เข้ากับ JIG ก่อนการอัดจริง.....	87
รูปที่ 105 การทดลองวางชิ้นงาน CVJ บน Fixture ก่อนการอัดจริง และการตรวจสอบมุมของแนว ร่วมศูนย์โดยเครื่องมือวัด phaser จากภาพ CVJ ทำมุม -0.05 องศา กับแนวระดับของเครื่องจักร ...	87

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลโดยรวมของเพลลา T6 MEA จาก BOMs และ Drawing .....	8
ตารางที่ 2 ตัวอย่างการเลือกคลิปลำหรับวิเคราะห์ Cycle Time ของกระบวนการสวมอัด .....	19
ตารางที่ 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์งานย่อยในกระบวนการสวมอัดจากคลิปลที่ถูกเลือก .....	19
ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการประกอบของเพลลารุ่นเดิม (Redback) และเพลลารุ่นใหม่ (T6 MEA) ในสายการผลิต GCP .....	21
ตารางที่ 5 Man and Machine Chart ของกระบวนการ Push Up .....	27
ตารางที่ 6 Man and Machine ของกระบวนการ Slinger Pressing .....	27
ตารางที่ 7 แสดงขนาดของเอลิเมนต์เทียบกับค่า von mises stress .....	41
ตารางที่ 8 ตารางเปรียบเทียบค่าความเค้นตามแนวแกน x จากวัสดุต่างชนิด .....	44
ตารางที่ 9 ตารางบอกขนาดความเค้นที่ยอมรับได้สำหรับจำนวนรอบการใช้งานของเหล็กคาร์บอนต่ำ .....	47
ตารางที่ 10 ตารางค่าตัวประกอบความปลอดภัย .....	50
ตารางที่ 11 ตารางเปรียบเทียบความเค้นดัดที่เกิดขึ้นกับขนาดความหนาของเฟรม .....	56
ตารางที่ 12 ตารางเปรียบเทียบความเค้นรวมศูนย์ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเทียบกับขนาด fillet .....	58
ตารางที่ 13 ตารางความสัมพันธ์ การทำ Fillet เทียบกับค่าความเค้นสูงสุด ของการออกแบบที่ 2 .....	61
ตารางที่ 14 ตารางแสดงค่าความดันของ solenoid valve .....	71
ตารางที่ 15 สรุปลักษณะสมบัติของ CVJ Push Up Fixture .....	79
ตารางที่ 16 สรุปลักษณะสมบัติของ Midship + Slinger Push Up JIG .....	80
ตารางที่ 17 ตารางเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้กำหนดในการทำ Simulation CVJ Push Up Fixture .....	80
ตารางที่ 18 ตารางเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้กำหนดในการทำ Simulation Midship + Slinger Push Up JIG .....	81
ตารางที่ 19 ตารางการตรวจสอบการประกอบฟีกเจอร์สำหรับ CVJ .....	82
ตารางที่ 20 ตารางการตรวจสอบการประกอบจิ๊กสำหรับ Midship Slinger .....	83
ตารางที่ 21 ตารางอธิบายวิธีการตรวจสอบการติดตั้งฟีกเจอร์ .....	86
ตารางที่ 22 ตารางอธิบายวิธีการตรวจสอบการติดตั้งจิ๊ก .....	86

## คำอธิบายสัญลักษณ์ ค่าย่อ และคำศัพท์เฉพาะ

### คำอธิบายสัญลักษณ์

$A$	คือ	พื้นที่
$b$	คือ	ดิกรีของสมการ S-N Curve, ความกว้างของพื้นที่หน้าตัด
$c$	คือ	ระยะจากแกนธรรมชาติถึงผิว
$[C]$	คือ	เมทริกซ์ความยืดหยุ่นของวัสดุ
$D$	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของทรงกระบอก
$E$	คือ	โมดูลัสยืดหยุ่น / โมดูลัสของยัง
$F$	คือ	แรงกด
$f$	คือ	สัมประสิทธิ์การสูญเสียจากความผิด, แรงเสียดทาน
$G$	คือ	โมดูลัสของแรงเฉือน
$g$	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
$h$	คือ	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล
$I$	คือ	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่
$k$	คือ	ค่าตัวประกอบ
$[K]$	คือ	เมทริกซ์ความแข็งเกร็ง
$L$	คือ	ตัวดำเนินการเชิงอนุพันธ์
$l$	คือ	ความยาว
$M$	คือ	โมเมนต์
$m$	คือ	จำนวนจุดต่อของเอลิเมนต์
$N$	คือ	ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์, จำนวนรอบที่สามารถใช้งานได้
$n$	คือ	ค่าตัวประกอบความปลอดภัย
$P$	คือ	ความดันของของไหล, Interference fit contact pressure
$R$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อน, เศษตกค้าง, รัศมีนอกของทรงกระบอก, รัศมีฟิลเลต
$r$	คือ	รัศมีในสุดของทรงกระบอก
$t$	คือ	ความหนาของรูปทรง
$v$	คือ	ความเร็วของของไหล
$u, v, w$	คือ	การเสียรูปในทิศแกน $x, y, z$
$\sigma$	คือ	ความเค้นฉาก
$\tau$	คือ	ความเค้นเฉือน
$\epsilon$	คือ	ความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\gamma$	คือ	ความเครียดเฉือน
$\nu$	คือ	อัตราส่วนปัวส์ซง
$\delta$	คือ	ตัวแปรตามแม่นยำตรง, ตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ, พิกัดเผื่อในงานสวมอัด
$\Omega_e$	คือ	โดเมนของเอลิเมนต์
$\Gamma_e$	คือ	ขอบเขตของเอลิเมนต์
$\mu$	คือ	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, ความหนืดพลวัตของของไหล

### คำย่อ

BOM	ย่อมาจาก	Bill of Materials
JPH	ย่อมาจาก	Job per Hour
PFMEA	ย่อมาจาก	Process Failure Mode and Effect Analysis
SOF	ย่อมาจาก	Safety of Factor
T6 MEA	ย่อมาจาก	T6 Middle East Alternative เป็นเพลากลางรุ่น 2020 ของรถกระบะ Ford Ranger ที่เปิดขายในแอฟริกาใต้
CVJ	ย่อมาจาก	Constant-Velocity Joint
UJ	ย่อมาจาก	Universal Joint

### คำศัพท์เฉพาะ

Center Bearing	คือ	ชุดลูกปืนรองรับเพลากลาง ใช้รองรับน้ำหนักของเพลากลาง
Coupling Shaft	คือ	เพลากลางท่อนที่ต่อเข้ากับเพลาคู่เหวี่ยงของเครื่องยนต์
CVJ	คือ	ข้อต่อของเพลากลาง ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วของเพลาคู่เหวี่ยงให้เท่ากันทุกองศาของการบิดตัวของมุมล้อ ในที่นี้เชื่อมต่อเข้ากับเพลาท้ายรถ
Deadener	คือ	กระดาดแข็งม้วนใส่ในท่อ (Tubing) เพื่อลดเสียง
Drive Shaft	คือ	เพลากลางท่อนที่ต่อเข้ากับเพลาท้ายรถ (rear axle)
End Yoke	คือ	ข้อต่อของเพลากลางท่อน coupling shaft ที่ต่อเข้ากับท่อน drive shaft ลักษณะเป็นรูปตัว Y
Flange Yoke	คือ	ข้อต่อเพลาคู่ที่มีลักษณะเป็นหน้าแปลนเชื่อมต่อระหว่างเพลาคู่เหวี่ยงของเครื่องยนต์
Journal Cross	คือ	โลหะความแข็งแรงสูงมีลักษณะเป็นรูปกากบาทเชื่อมติดระหว่าง Yoke

Midship Tube Shaft	คือ	ชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่าง Tubing ท่อน Coupling กับ Center Bearing มีตำแหน่งอยู่ตรงกลางของเพลากลางทั้งท่อน
Nut	คือ	น็อตสำหรับสวมทับตามสลักเกลียวที่ส่วนปลายของ Midship-Tube Shaft
Slinger	คือ	ฝาเหล็กวงกลม บีมขึ้นรูปชุบสังกะสี ทำหน้าที่ล็อก center bearing
Slip Yoke	คือ	ข้อต่อเลื่อน ทำหน้าที่ปรับระยะความยาวหรือสั้นของเพลากลางในขณะที่ระดับการเคลื่อนที่ของเพลากลางเปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์กับเฟืองท้าย ตามสภาพของพื้นถนน และภาระของรถที่เกิดขึ้น
Snap Ring	คือ	แหวนล็อก ทำหน้าที่ล็อก journal cross กับ yoke
Tube Shaft	คือ	มีลักษณะทรงกระบอกคล้ายกับฟันเฟืองโดยจะใช้ฟันเฟืองในการขับเคลื่อนตัวระหว่างเพลลา สวมเข้ากับ Slip Yoke
Tube Yoke	คือ	ข้อต่อของเพลากลางท่อน Coupling Shaft กับ Flange Yoke ลักษณะเป็นรูปตัว Y
Tubing	คือ	ท่อโลหะทรงกระบอกกลวง ทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงบิดจากเพลลาข้อเหวี่ยง

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ให้กับลูกค้าทั้งภายในและต่างประเทศ ปัจจุบันดาน่ามีโรงงานผลิต 4 แห่งในประเทศไทย โดยดาน่าที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เป็นโรงงานผลิตและประกอบเพลลาของรถยนต์ ทั้งเพลลาหน้าและเพลลาหลัง ตั้งแต่พ.ศ. 2535 ดาน่าดำเนินธุรกิจในประเทศไทย ด้วยความเชี่ยวชาญด้านเทคนิคในการผลิตชิ้นส่วนประกอบรถยนต์ที่มีมาตรฐานระดับโลกให้แก่ลูกค้ารถยนต์ขนาดกลางในประเทศ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ของบริษัทยังช่วยเพิ่มสมรรถนะสูงสุด ประหยัดน้ำมัน และเสริมความทนทานให้กับรถยนต์ขนาดกลางให้กับผู้ผลิตรถยนต์ในปัจจุบัน โดยนำเสนอเทคโนโลยีระบบขับเคลื่อนแบบครบวงจร ออกแบบมาเพื่อให้เหมาะกับระบบส่งกำลังรถยนต์ เพื่อความทนทานและเที่ยงตรงสูงสุด

ในปี 2020 ลูกค้าผู้ผลิตรถยนต์ มีแผนการผลิตรถกระบะรุ่นใหม่ Ford Ranger 2020 ในประเทศแอฟริกาใต้ มีชื่อรุ่นของเพลลากลางว่า T6 MEA (Middle East Alternative) เป็นเพลลากลางที่มีการออกแบบที่แตกต่างไปจากเดิมในบางส่วน ทำให้ต้องมีการวางแผนและเตรียมความพร้อมสำหรับสายการผลิต GCP ในโรงงานที่ถูกเลือกให้เป็นสายการผลิตที่จะทำการประกอบเพลลา T6 MEA ซึ่งเป็นหน้าที่หลักของวิศวกรกระบวนการผลิตที่ต้องดูแลและรับผิดชอบในการวางแผนและเตรียมความพร้อมนี้

วิศวกรกระบวนการผลิต (PE – Process Engineer) คือ ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการประเมินกระบวนการที่มีอยู่และการกำหนดค่าระบบการผลิตเพื่อลดต้นทุนในการปรับปรุงการพัฒนาอย่างยั่งยืนและพัฒนาแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดในกระบวนการผลิต ในการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตใดๆ วิศวกรกระบวนการผลิตคือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่สำคัญ ไม่ว่าจะเป็น การออกแบบแผนผังการจัดตั้งเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวและเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต การออกแบบวัสดุเครื่องมือที่ต้องใช้ควบคู่กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต รวมไปถึงการตรวจสอบคุณภาพเครื่องจักรและการดูแลความปลอดภัยในกระบวนการผลิต

ในการศึกษารายวิชาสหกิจศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้รับมอบหมายในการดำเนินการทำโครงการกระบวนการประกอบเพลลากระบะ T6 MEA ซึ่งผู้ศึกษาได้เรียนรู้บทบาทการเป็นวิศวกรกระบวนการ และหน้าที่ที่ต้องรับผิดชอบตลอด 4 เดือน สำหรับกระบวนการประกอบเพลลากระบะนี้ ประกอบกับใช้องค์ความรู้ทางวิศวกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการทำงานเพื่อให้ผลลัพธ์สามารถเชื่อถือได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อจัดเตรียมข้อมูลกำลังการผลิต เครื่องจักร และ กระบวนการการทำงานของกระบวนการสวมอัดในสายการผลิตประกอบเพลลาเพื่อรองรับเพลารุ่นใหม่
- 1.2.2 สร้างจิ๊กและฟิกเจอร์ในกระบวนการสวมอัดเพื่อรองรับการสวมอัดเพลารุ่นใหม่
- 1.2.3 ลดพื้นที่การทำงานในสายการผลิต GCP โดยรวม 2 กระบวนการ (Push up + Slinger press) โดยการออกแบบ JIG ให้สามารถทำการสวม Slinger ลงบน Midship พร้อมกันในกระบวนการสวมอัด

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบของเพลารุ่นใหม่ T6 MEA
- 1.3.2 วิเคราะห์กระบวนการประกอบเพลลาที่สายการผลิตประกอบเพลลา GCP
- 1.3.3 วิเคราะห์เวลาที่สายการผลิต GCP ใช้ในการประกอบเพลลา 1 ท่อนเพื่อนำไป คำนวณกำลังการผลิตของสายการผลิตนี้
- 1.3.4 ออกแบบฟิกเจอร์ของเครื่องจักรในกระบวนการสวมอัดในสายการผลิต GCP
- 1.3.5 ใช้วิธีเชิงวิเคราะห์เพื่อคำนวณการออกแบบโดยเลือกวัสดุและวิเคราะห์หาจำนวนรอบที่สามารถใช้งานได้เพื่อนำค่าความเค้นที่ยอมรับได้ไปกำหนดขนาดของฟิกเจอร์
- 1.3.6 นำวิธีการคำนวณด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อพิจารณาความเสียหายและปรับแก้รูปทรงขนาดของฟิกเจอร์
- 1.3.7 ทดสอบการติดตั้งฟิกเจอร์กับเครื่องสวมอัด
- 1.3.8 ตรวจสอบตำแหน่งของฟิกเจอร์ภายหลังการติดตั้งกับเครื่อง โดยพิจารณาความสามารถในการรักษาเสถียรภาพ

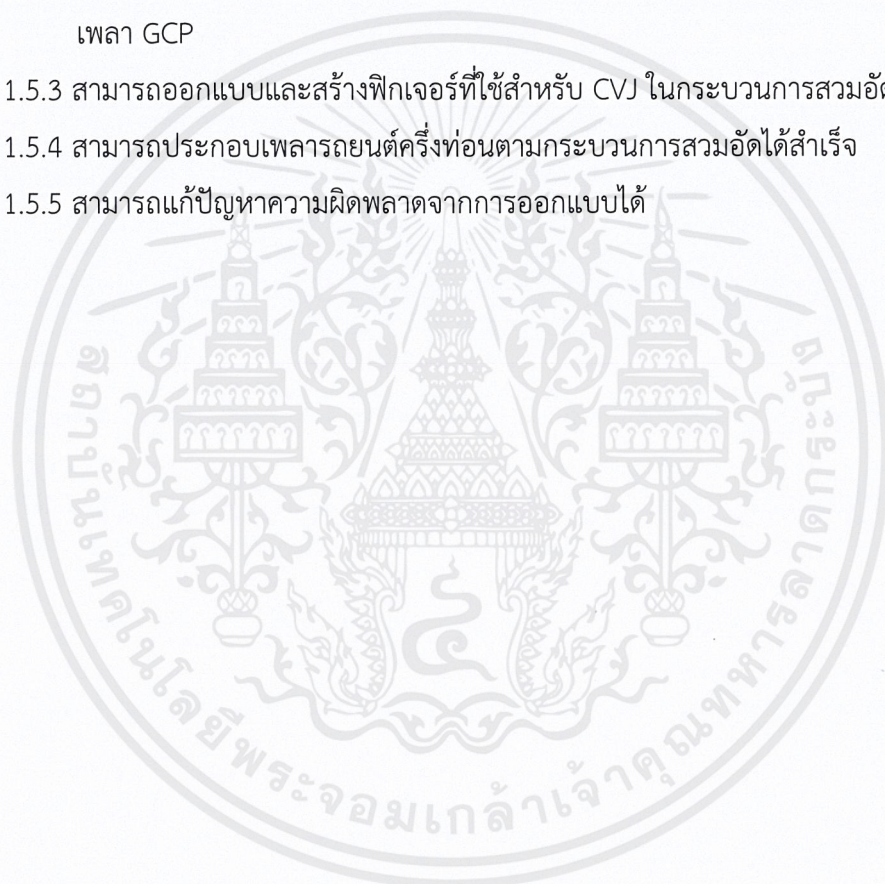
## 1.4 แผนการดำเนินโครงการ

รายการ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1.ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลของเพลากลาง T6 MEA	←→			
2.ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลสายการผลิต GCP	←→			
3.ศึกษาความรู้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการวิเคราะห์ความเสียหาย		←→		
4.วิเคราะห์ข้อมูล เตรียมความพร้อมสำหรับแผนการประกอบเพลากลาง T6 MEA ที่สายการผลิต GCP	←→			
5.ออกแบบและคำนวณขนาด รูปร่าง ความเสียหายของจิ๊กและฟิกเจอร์สำหรับเครื่องจักรในกระบวนการสวมอัดในสายการผลิต GCP			←→	

6. ชิ้นรูปจิ๊กและฟิกเจอร์ที่ออกแบบและทดลองติดตั้งที่เครื่องจักรจริง				↔
7. เก็บผลการติดตั้งจิ๊กและฟิกเจอร์และสรุปผลโครงการ				↔

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถควบคุมเวลาในการทำโปรเจกให้เป็นไปตามแผนกำหนดการ
- 1.5.2 สามารถออกแบบและสร้างจิ๊กที่มีส่วนช่วยลดกระบวนการผลิตในสายการประกอบ  
เพลลา GCP
- 1.5.3 สามารถออกแบบและสร้างฟิกเจอร์ที่ใช้สำหรับ CVJ ในกระบวนการสวมอัด
- 1.5.4 สามารถประกอบเพลลารถยนต์ครึ่งท่อนตามกระบวนการสวมอัดได้สำเร็จ
- 1.5.5 สามารถแก้ปัญหาความผิดพลาดจากการออกแบบได้

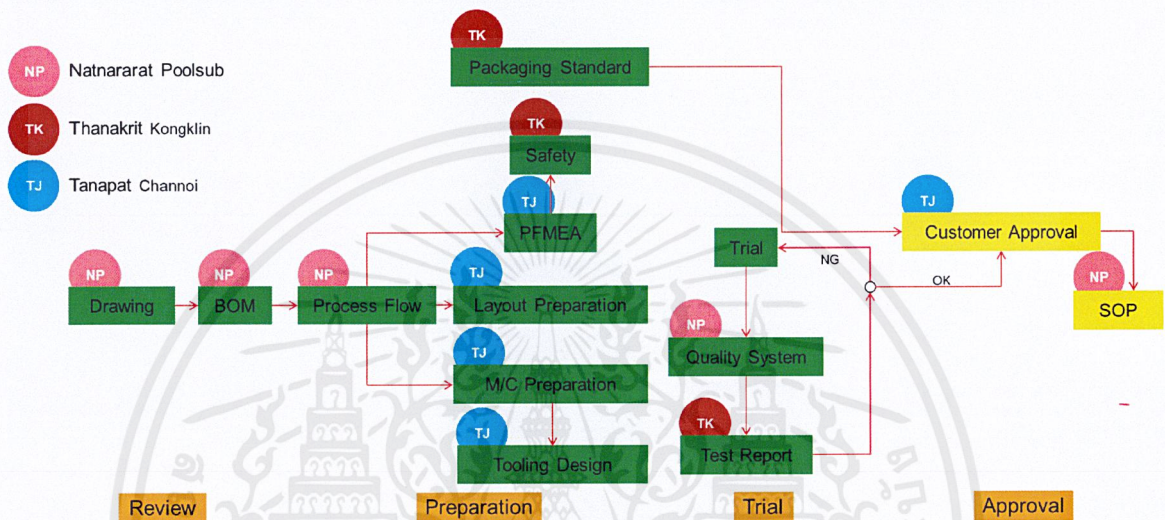


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 Review

### 2.1 Project Overview

สำหรับโครงการการประกอบเพลารถกระบะ Ford Ranger 2020 รุ่น T6 MEA นี้ ได้จัดเตรียมแผนการในการดำเนินการเอาไว้โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการ ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้



รูปที่ 1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโปรเจกประกอบเพลารถ

ในส่วนแรก Review จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของเพลารถจากทางลูกค้าว่ามี ส่วนประกอบอะไรบ้าง อ่านแบบของเพลารถ (Drawing) เพื่อวิเคราะห์ว่ามีส่วนประกอบใดบ้าง (BOM) ที่สามารถใช้จิ๊กและฟิกเจอร์ที่มีอยู่สายการผลิตเดิมได้ หรือชิ้นส่วนใดที่จำเป็นต้องใช้จิ๊กและฟิกเจอร์ใหม่ในกระบวนการประกอบ รวมไปถึง วิเคราะห์ขั้นตอนในการประกอบเพลารถ (Process Flow) ของแต่ละชิ้นส่วนว่าต้องใช้กระบวนการใดบ้าง

ส่วนที่สอง Preparation เป็นส่วนที่แสดงถึงขั้นตอนในการจัดเตรียมความพร้อมของข้อมูล ในกระบวนการประกอบเพลารถ ประกอบไปด้วยการจัดเตรียมเครื่องจักรที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนเพลารถ (Machine Preparation) การออกแบบแผนผังการจัดตั้งเครื่องจักรในสายการผลิต (Layout Preparation) การออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ (Tooling Design) การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (PFMEA)

ส่วนที่สาม Trial จะเป็นการทดสอบ สิ่งที่ได้เตรียมไปแล้วในส่วนก่อนหน้านี้ทั้งหมด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ และทำการปรับปรุงหากเกิดข้อผิดพลาด เพื่อให้ในการดำเนินการประกอบเพลารถจริงดำเนินไปอย่างราบรื่นและมีคุณภาพ

สำหรับแผนการดำเนินงานที่มีทั้งหมด 4 ส่วนข้างต้น ในโครงการนี้ได้จัดทำเพียง 3 ส่วนแรก คือ Review, Preparation และ Trial เท่านั้น โดยมีบางหัวข้อที่ไม่ได้ดำเนินการคือ Safety,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Packaging Standard ทั้งนี้เนื่องด้วยมีการเปลี่ยนแปลงกำหนดการของบริษัทเป็นผลให้ระยะเวลาไม่เพียงพอต่อขอบเขตงานทั้งหมด

ตาราง 4M จำแนกสาเหตุต่างๆ

MAN	MACHINE	MATERIAL	METHOD
SOP	M/C Preparation	Drawing, BOM	Process Flow
	Safety	Tooling Design	Layout Preparation
			PFMEA, Packaging
			Trial, Quality, Test report

## 2.2 T6 MEA Drawing

ในการดำเนินกระบวนการประกอบเพลลา จะได้รับแบบของเพลลาถูกระเบจากทางลูกค้า เพื่อทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทั้งหมดของเพลลา ในแง่ของความจำเป็นในการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ที่ใช้ควบคู่กับเครื่องจักรขึ้นมาใหม่หรือไม่ และวิเคราะห์กระบวนการที่ต้องใช้ในการประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่สำคัญขึ้นมา

ความรู้ในการอ่านแบบวาดมีความสำคัญอย่างยิ่ง หากทำการอ่านแบบผิดพลาดไป อาจส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการดำเนินการต่อไป ดังนั้น จึงควรมีความรู้ในการอ่านแบบอย่างถูกต้องตามสากล

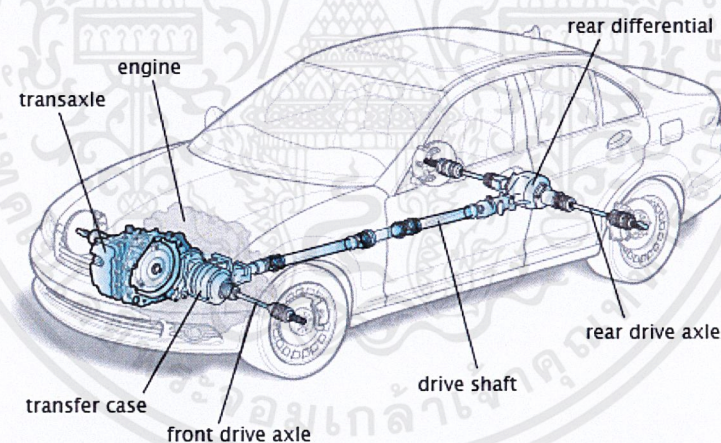


Image courtesy of ClearMechanic.com

รูปที่ 2 ตัวอย่างรูปแสดงตำแหน่งติดตั้งเพลลาภายในรถยนต์

รถขับเคลื่อน 4 ล้อ โดยทั่วไป จะออกแบบการขับเคลื่อน หรือ ระบบส่งถ่ายกำลังให้มีเพลลา กลาง (Propeller Shaft) เชื่อมต่ออยู่ระหว่างกระปุกเกียร์ ซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนแชสซีส์กับเฟืองท้าย เพลลาขับจะถูกรองรับด้วยระบบรองรับ หรือช่วงล่างของรถ ซึ่งตำแหน่งของชุดเฟืองท้ายนั้น จะถูกเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับกระปุกเกียร์ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับสภาพถนนที่เปลี่ยนแปลง อยู่เสมอและภาระการบรรทุกของรถ

ด้วยเหตุผลนี้ ข้อต่ออ่อน (Universal Joint) และข้อต่อเลื่อน (Slip Joint) ของเพลลาจึงถูกออกแบบมาเพื่อการถ่ายเทแรงบิดที่ส่งมาจากกระปุกเกียร์ไปยังชุดเฟืองท้าย ให้เป็นไปได้อย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราบรื่น ปราศจากความขัดข้อง โดยข้อต่ออ่อนและข้อต่อเลื่อน ที่ติดตั้งที่ปลายทั้ง 2 ข้างของเพลากลาง จะทำหน้าที่ดูดกลืนความเปลี่ยนแปลงระหว่างกระปุกเกียร์กับชุดเฟืองท้ายในแนวตรง

รถขับเคลื่อน 4 ล้อ ส่วนมากในปัจจุบันจะมีเพลากลางอยู่ 2 ประเภท ที่เรียกว่าแบบ

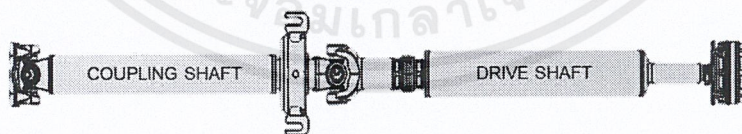
1. Torque Tube Drive
2. Hotchkiss Drive

เพลากลางแบบ Hotchkiss Drive เป็นที่นิยมใช้กันมากในรถขับเคลื่อน 4 ล้อขนาดเล็ก หรือขนาดกลาง ส่วนเพลากลางแบบ Torque Tube Drive จะไม่ค่อยนิยมใช้ เพลากลางแบบนี้จะมีทั้งแบบ 2 ข้อต่ออ่อน และ 3 ข้อต่ออ่อน เพลากลางโดยทั่วไปทำจากเหล็กกล้าชุบแข็ง เกรดสูง ภายในในท่อน้ำหนักเบา ทนต่อแรงบิด และการโค้งงอได้ดี ที่ปลายของเพลากลางจะมีก้ามปู (Yoke) ของข้อต่ออ่อนเชื่อมติดอยู่

เพลากลางของรถกระบะ T6 MEA นี้ เป็นเพลากลางแบบ 3 ข้อต่ออ่อน (Three-Joint Type Propeller Shaft) ประกอบด้วย Universal Joint (UJ) 2 จุด และ Constant Velocity Joint (CVJ) อีก 1 จุด เพลากลางลักษณะนี้ ความยาวของเพลากลางทั้ง 2 จะสั้นกว่าเพลากลางแบบ 2 ข้อต่ออ่อน ดังนั้นจึงทำให้การเบี่ยงเบน การสั่น และเสียงดังที่ความเร็วสูงลดลง แรงที่ถูกส่งมาจากเกียร์ จะถูกซับจากลูกปืนรองรับเพลากลาง (Center Bearing) หรือที่เรียกกันในภาษาช่างว่า ตุ๊กตาเพลากลาง ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังชุดเฟืองท้าย เป็นผลให้เพลากลางแบบนี้มีข้อได้เปรียบเรื่องเสียงที่ดังก้นน้อยกว่าแบบ 2 ข้อต่ออ่อนและอาการสั่นก็น้อยตามไปด้วย

สำหรับแบบของเพลารถกระบะ T6 MEA ที่จะต้องดำเนินการประกอบขึ้นมานั้น เป็นเพลากลาง โดยประกอบด้วยเพลาย่อย 2 ท่อน ดังรูปที่ 3

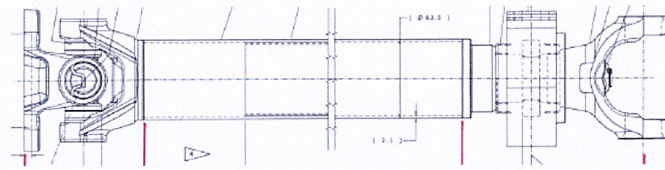
## Propeller-Shaft Three-Joint Type : UJ-UJ-CVJ



รูปที่ 3 แสดงเพลากลาง T6 MEA

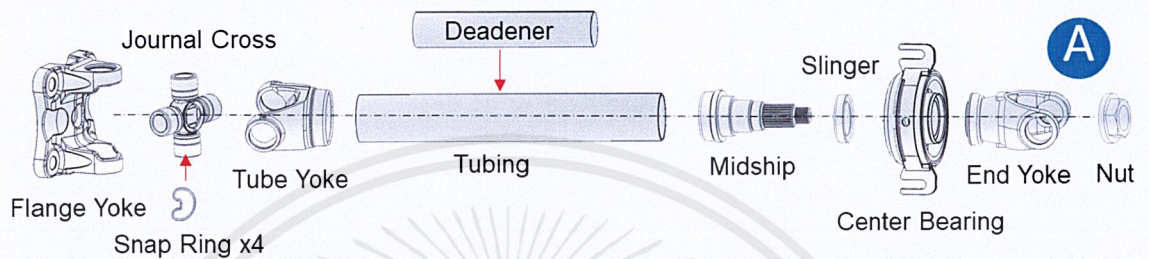
จากการอ่านแบบเพลลา วิเคราะห์ได้ว่า เพลากลางนี้ประกอบไปด้วยเพลาย่อย 2 ท่อน ที่ประกบกันด้วยข้อต่อ 3 จุด เพลาย่อยทั้ง 2 ท่อนนี้ มีชื่อเรียกว่า Coupling Shaft และ Drive Shaft โดยที่เพลาย่อยท่อน Coupling Shaft เป็นท่อนที่ประกอบเข้ากับชุดเฟืองท้ายของรถกระบะ ส่วนเพลาย่อยท่อน Drive Shaft เป็นท่อนที่ประกอบเข้ากับกระปุกเกียร์ เพลากลาง T6 MEA นี้มีรุ่นย่อยอีก 2 รุ่น คือ AB และ BB มีความแตกต่างกันอยู่ที่ความยาวของ Tubing จะอธิบายรายละเอียดของชิ้นส่วนประกอบย่อยต่อจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงแบบวาดของเพลาย่อยท่อน Coupling Shaft

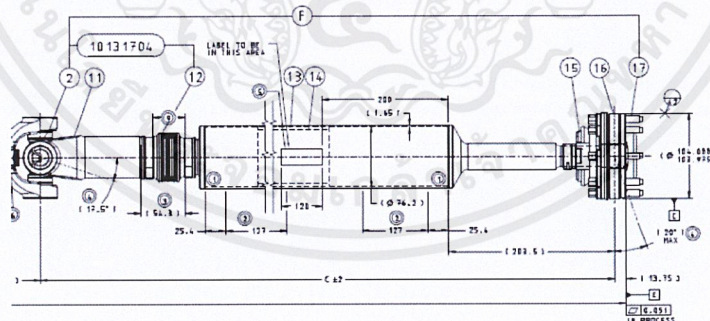
## COUPLING SHAFT



รูปที่ 5 แสดงชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลาท่อน Coupling Shaft

เพลาท่อน Coupling Shaft มีชิ้นส่วนประกอบย่อยหลักๆ ดังรูปที่ 5 จากการอ่านแบบของเพลาท่อน ต้องทำการวิเคราะห์ว่ามีชิ้นส่วนประกอบใดบ้างที่เป็นรูปทรงแบบใหม่ ขนาดใหม่ หรือชิ้นส่วนที่ไม่เคยทำการประกอบมาก่อนในสายการผลิต เปรียบเทียบชิ้นส่วนประกอบจากแบบวาดของเพลารุ่นย่อย AB และ BB เพื่อนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ไปดำเนินการในขั้นตอนอื่นของโครงการต่อไป

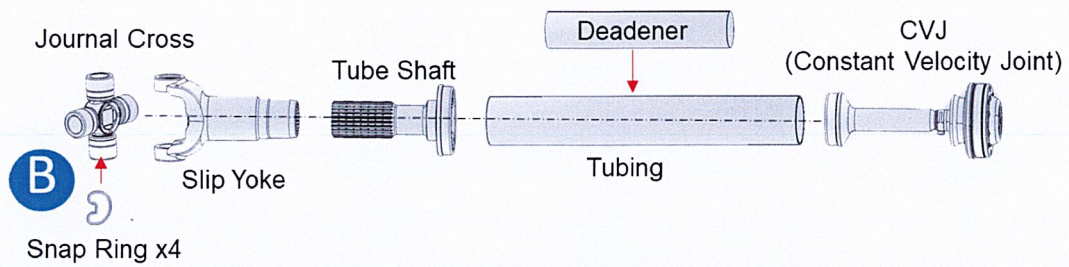
เช่นเดียวกันกับเพลาย่อยท่อน Drive Shaft ก็ทำการวิเคราะห์แบบวาดเช่นเดียวกับเพลาย่อยท่อน Coupling Shaft



รูปที่ 6 แสดงแบบวาดของเพลาย่อยท่อน Drive Shaft

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DRIVE SHAFT



รูปที่ 7 แสดงส่วนประกอบย่อยของเพลาท่อน Drive Shaft

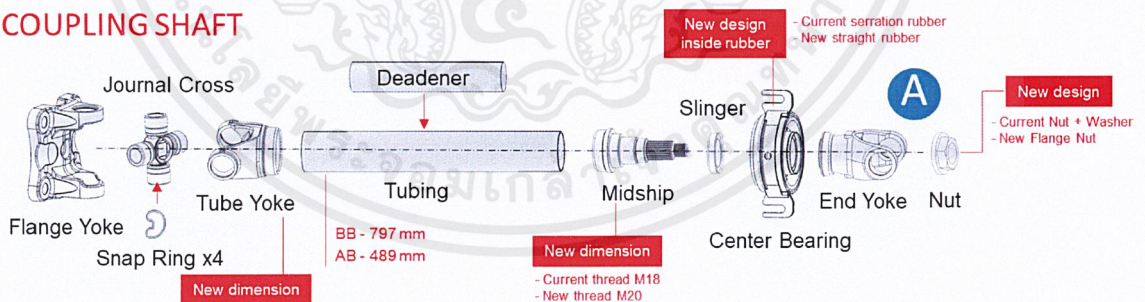
### 2.3 Bill of Materials; BOMs

ในการวิเคราะห์เพลาจกแบบวาด (Drawing) นั้น ต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลควบคุมไปกับ BOMs (Bill of Materials) ด้วย ซึ่งจะได้ข้อมูลของชิ้นส่วนประกอบย่อยว่ามีชิ้นส่วนใดบ้างที่สามารถใช้จิ๊กและฟิกเจอร์เดิมในการประกอบได้ และมีชิ้นส่วนใดที่ต้องจัดซื้อเพิ่มเติมเข้ามาใหม่ โดยได้สรุปข้อมูลไว้ดังต่อไปนี้

Part Name	AB	BB
Transmission	4x4	4x2
Model	TBD	TBD
Engine	TBD	TBD
Yield Torque Rating (Nm)	TBD	TBD
Stage	VP	VP

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลโดยรวมของเพลาท่อน T6 MEA จาก BOMs และ Drawing

## COUPLING SHAFT



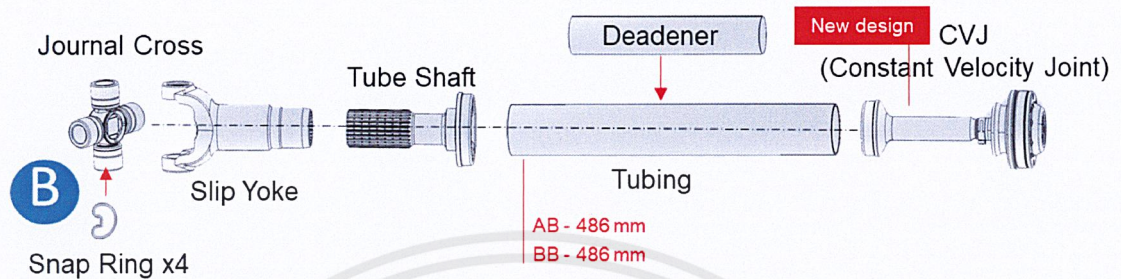
รูปที่ 8 แสดงข้อมูลชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลาท่อน Coupling Shaft

จากการอ่าน Bill of Materials พบว่า ในเพลาย่อยท่อน Coupling Shaft ของเพลารุ่น AB และ BB มีชิ้นส่วนที่ต่างกันคือ Flange Yoke ซึ่งมีขนาดและการออกแบบที่แตกต่างกัน แต่สามารถใช้จิ๊กและฟิกเจอร์ในการจับชิ้นงานประกอบเดียวกันได้ เนื่องจากศูนย์ร่วมของรู Flange มีขนาดเท่ากัน ในส่วนของ Tubing ก็มีขนาดความยาวที่ต่างกัน ในจุดนี้จะส่งผลต่อไปว่า ในการประกอบจะต้องมีการจัด Alignment ที่ต่างกัน และมีชิ้นส่วนที่เปลี่ยนแปลงขนาดไปจากที่เคยประกอบมาก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้านี้คือ Midship Tube Shaft, Center Bearing และ Nut โดยจะต้องทำการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ใหม่ และออกแบบขั้นตอนการประกอบใหม่บางส่วน

## DRIVE SHAFT



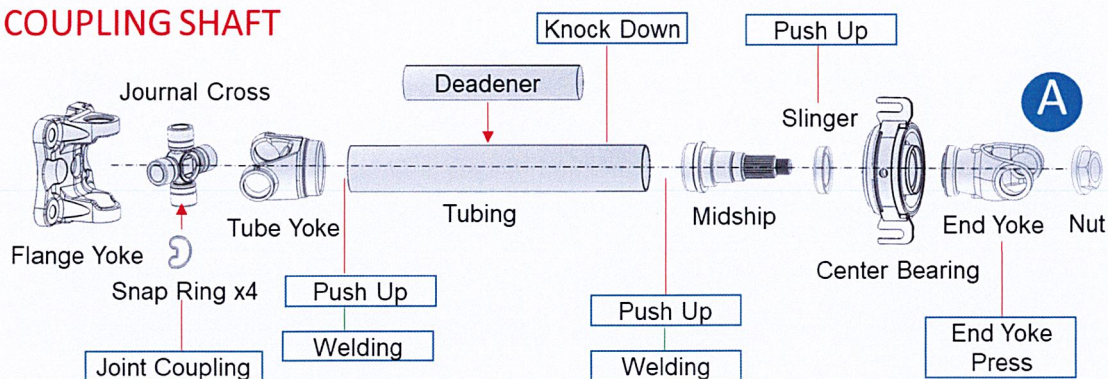
รูปที่ 9 แสดงข้อมูลชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลาท่อน Drive Shaft

จากอ่าน Bill of Materials พบว่าในเพลาย่อยท่อน Drive Shaft พบว่า มีชิ้นส่วนประกอบที่เป็นโมเดลใหม่สำหรับการประกอบคือ CVJ Assembly ซึ่งเป็นข้อต่อที่อยู่ส่วนปลายของเพลลา โดยปกติแล้วในการประกอบเพลลาสำหรับสายการผลิต GCP ของทางบริษัท ไม่เคยประกอบชิ้นส่วน CVJ ในส่วนปลายแบบนี้มาก่อน ทำให้ต้องออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์สำหรับการประกอบขึ้นมาใหม่ ในส่วนของชิ้นส่วนอื่นที่เป็นโมเดลใหม่ Snap Ring, Tube Shaft, Washer ข้อมูลจาก BOM พบว่า แตกต่างจากโมเดลเดิมในเรื่องของสี และการออกแบบรูปร่างใหม่ ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการทำงาน

## 2.4 Process Flow

ขั้นตอนต่อไปของการวางแผนกระบวนการประกอบหลังจากการวิเคราะห์แบบวาดของเพลลาเสร็จเรียบร้อยแล้ว คือการออกแบบกระบวนการประกอบ โดยมีข้อจำกัดสำหรับสายการผลิต GCP คือ สามารถประกอบเพลลาได้ที่ละท่อน หมายความว่า ต้องมีแผนการประกอบเพลลาว่าจะทำการประกอบเพลลาท่อนใดชิ้นมาก่อน หลังจากนั้นจะนำเพลลาท่อนที่ประกอบขึ้นมาท่อนแรกเก็บเตรียมไว้ และประกอบเพลลาท่อนที่เหลือขึ้นมา จากนั้นจึงจะนำมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้เพลลา 1 ท่อน

## COUPLING SHAFT

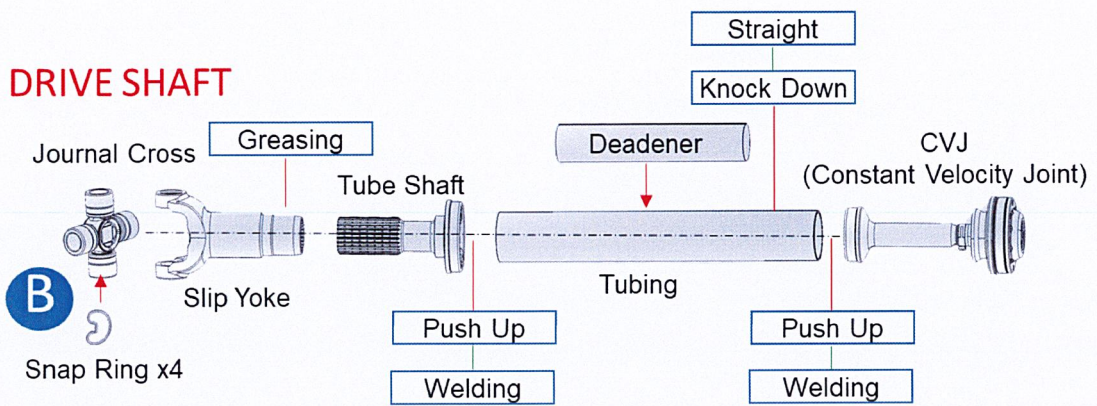


รูปที่ 10 แสดงชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลาท่อน Coupling Shaft และกระบวนการที่ใช้ประกอบ

จากรูปที่ 10 แสดงชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลาท่อน Coupling Shaft และกระบวนการประกอบของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

- ใส่ Deadener (กระดาษแข็ง) เข้าไปใน Tubing เพื่อลดเสียงในท่อ
- Midship, Slinger และ Tube Yoke ประกอบเข้า Tubing ด้วยกระบวนการ Horizontal Pressing Push Up
- หลังจาก Push Up เสร็จแล้ว ทำการลด Run out ด้วยกระบวนการ Knock Down โดยการเคาะท่อ ซึ่งค่า Run out นี้ เกิดขึ้นจากการ horizontal pressing แล้ว การรักษาแนวระดับของเพลามาคงที่ อาจส่งผลให้เมื่อติดตั้งเพลา เพลาอาจเกิดการสั่นได้ จึงต้องทำการลด run out ลง
- ต่อไป ทำการปิดรอยต่อ โดยการเชื่อม ด้วยกระบวนการ Welding
- จากนั้น นำเพลาที่ได้ ไปประกอบข้อต่อระหว่าง Flange, Snap ring, Journal Cross + Tube Yoke เข้าด้วยกัน ได้เป็น Universal Joint ด้วยกระบวนการ Joint Coupling
- จากนั้น ประกอบ Center Bearing, End Yoke, Nut + Midship ด้วยกระบวนการ End Yoke Pressing
- จบกระบวนการ ได้เพลาย่อยท่อน Coupling Shaft ขึ้นมา จัดเก็บเตรียมไว้ประกอบเข้ากับ เพลาย่อยท่อน Drive Shaft ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

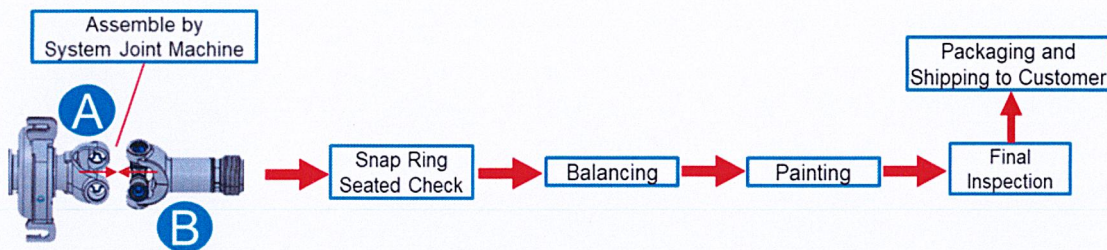


รูปที่ 11 แสดงชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลาท่อน Drive Shaft และกระบวนการที่ใช้ประกอบ

จากรูปที่ 11 แสดงชิ้นส่วนประกอบย่อยของเพลาท่อน Drive Shaft และกระบวนการประกอบของชิ้นส่วนแต่ละชิ้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

- ใส่ Deadener (กระดาษแข็ง) เข้าไปใน Tubing เพื่อลดเสียงในท่อ
- Tube Shaft, CVJ ประกอบเข้า Tubing ด้วยกระบวนการ Horizontal Pressing Push Up
- หลังจาก Push Up เสร็จแล้ว ทำการลด Run out ด้วยกระบวนการ Knock Down โดยการเคาะท่อ ซึ่งค่า Run out นี้ เกิดขึ้นจากการ horizontal pressing แล้ว การรักษาแนวระดับของเพลามาก่อนที่จะ อาจส่งผลให้เมื่อติดตั้งเพลา เพลาอาจเกิดการสั่นได้ จึงต้องทำการลด run out ลง
- ต่อไป ทำการปิดรอยต่อ โดยการเชื่อม ด้วยกระบวนการ Welding
- ทำการลด Run out อีกครั้ง หลังกระบวนการ Welding เนื่องการในการเชื่อมนั้นโลหะมีการอ่อนตัว ทำให้การรักษาแนวระดับของเพลามาก่อนที่จะ จึงต้องทำการลด Run out ด้วยกระบวนการ Straight (การตัดท่อ)
- จากนั้น ประกอบ Slip Yoke เข้ากับ Tube Shaft โดยการ greasing เป็น Slip Joint ที่ กระบวนการ End Yoke Pressing
- จบกระบวนการ ได้เพลาย่อยท่อน Drive Shaft ขึ้นมา จัดเก็บเตรียมไว้ประกอบเข้ากับเพลาย่อยท่อน Coupling Shaft ต่อไป

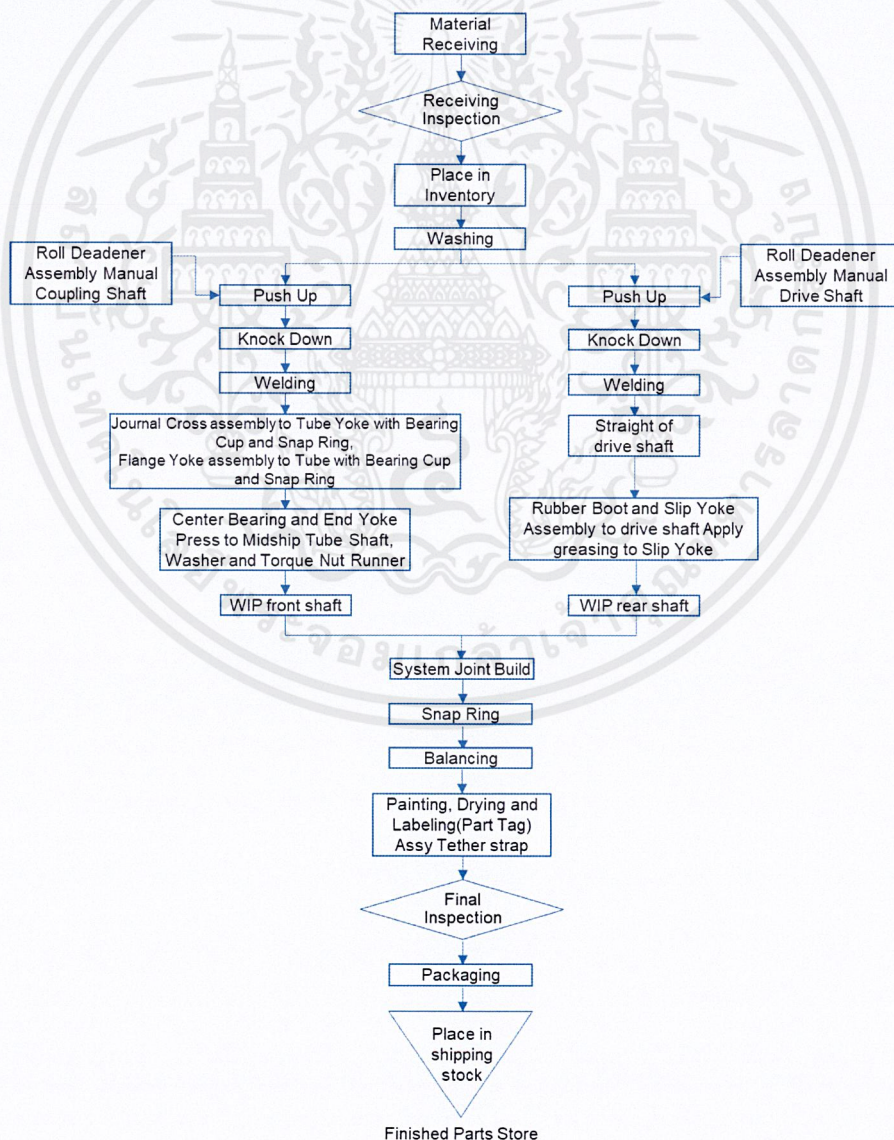
หลังจากได้เพลาย่อยทั้ง 2 ท่อนขึ้นมาแล้ว ทำการประกอบเพลาท่อนทั้งสองเข้าด้วยกัน ด้วยกระบวนการ System Joint หลังจากนั้นทำการตรวจสอบ Snap Ring Seated ด้วยเครื่อง Snap Ring Seated Check Machine และส่งต่อไปทดสอบสมดุลการหมุนของเพลาทีกระบวนการ Balancing



รูปที่ 12 แสดงกระบวนการประกอบเพลาลงถึงขั้นตอนสุดท้าย

เมื่อทำการ Balancing เพลาสเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพลาจะถูกส่งไปพ่นสี ด้วยกระบวนการ Painting เพื่อความสวยงามและกันสนิม

จากนั้นจะทำการสุ่มตรวจเพลาค้างสุดท้ายที่แผนก QC (Quality Control) และทำการบรรจุเพลาลงในบรรจุภัณฑ์เพื่อขนส่งต่อไป โดยสรุปแล้ว สามารถเขียนขั้นตอนของกระบวนการประกอบเพลาทิ้งหมดได้ในรูปแบบของ แผนผัง ตามรูปที่ 13 ดังนี้

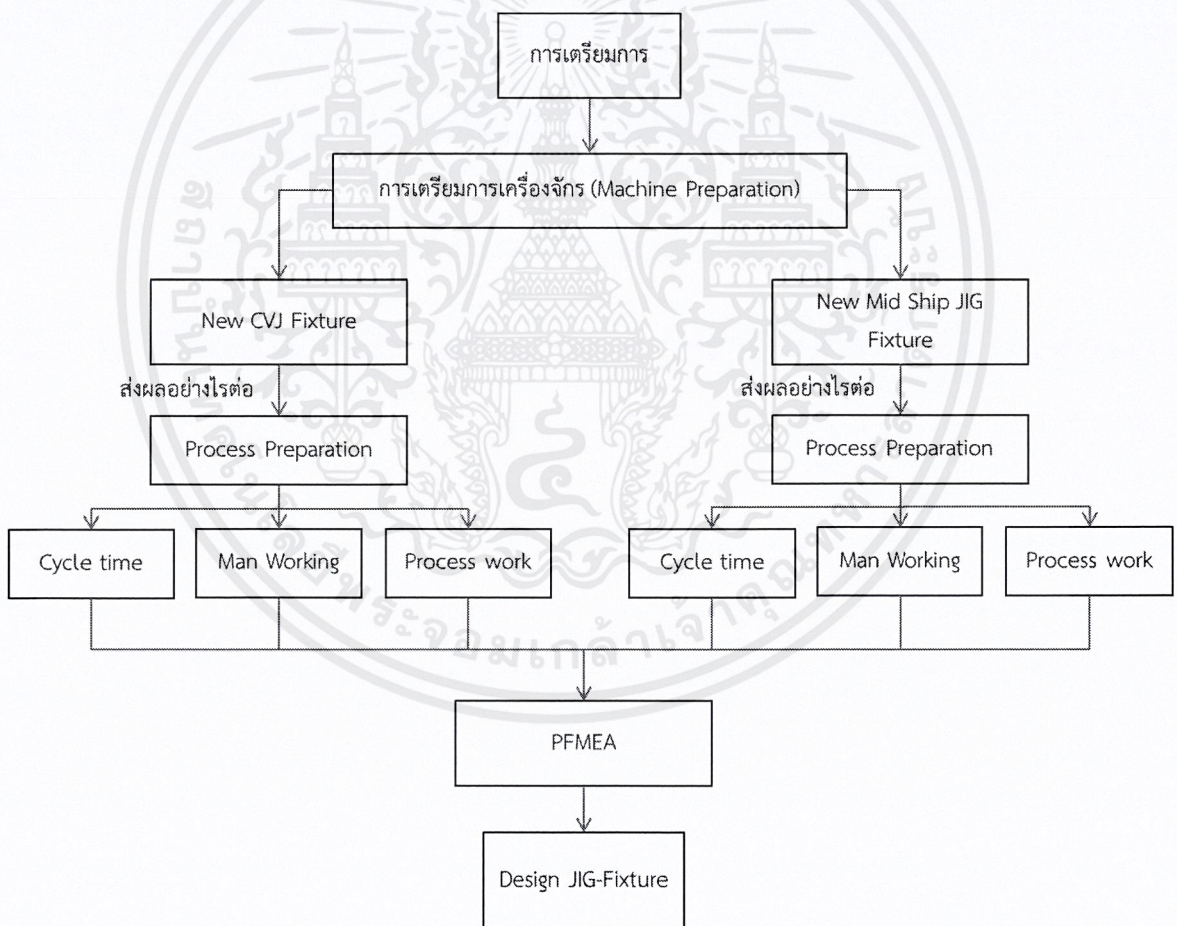


รูปที่ 13 แสดง Process Flow Chart ของการประกอบเพลารุ่น T6 MEA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 Preparations

การเตรียมความพร้อมสำหรับการประกอบเพลารุ่นใหม่ของรายงานฉบับนี้จะอธิบายเนื้อหาขอบเขตของงานเตรียมความพร้อม และข้อมูลของสายการผลิต ณ ปัจจุบันเพื่อเปลี่ยนแปลง หรือปรับแต่งให้รองรับการประกอบเพลารุ่นดังกล่าว จากรูปที่ 14 แสดงขั้นตอนและวิธีการจัดเตรียมข้อมูล โดยเริ่มจากวิเคราะห์สิ่งที่ต้องเพิ่มในเครื่องจักรซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการอย่างไรโดยวิเคราะห์แยกย่อยเป็น cycle time การทำงานของพนักงาน (Man Working) และ ลำดับกระบวนการ (Process work) จากนั้นวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วย PFMEA และทำการออกแบบเครื่องจักร



รูปที่ 14 แผนผังลำดับการจัดเตรียมข้อมูลของกระบวนการสวมอัด

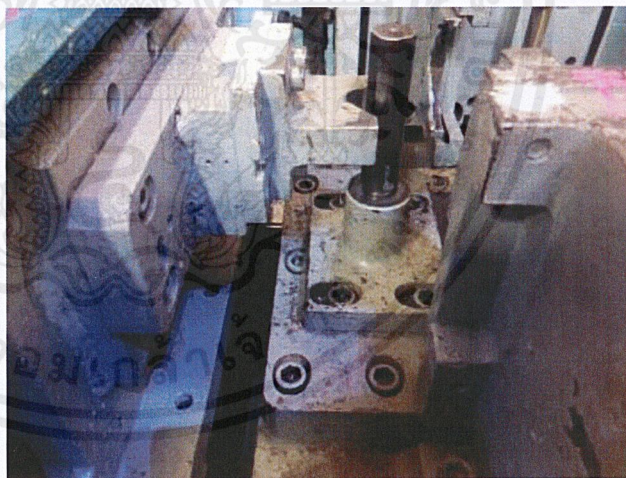
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 Machine Preparation

ส่วนนี้เป็นการเตรียมความพร้อมของเครื่องจักร การตั้งค่าเครื่องจักร และสาเหตุของการออกแบบเพื่อปรับปรุงเครื่องจักรบางส่วนเพื่อให้ลดกระบวนการการทำงานในสายการผลิต และเนื่องด้วยข้อจำกัดของระยะเวลา รวมถึงความซับซ้อนของเครื่องจักรในสายการผลิต 8 เครื่อง รายงานฉบับนี้จึงกำหนดขอบเขตของการศึกษาและเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวในสายการผลิต GCP นี้คือกระบวนการสวมอัด (Push up process)

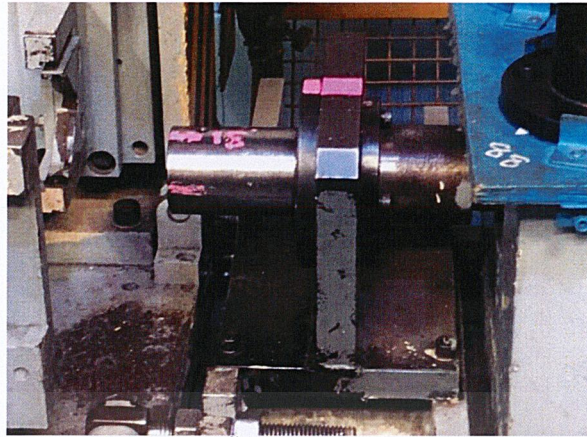
#### 3.1.1 Push up Machine of GCP Line Preparation Review

กระบวนการสวมอัดเป็นกระบวนการแรกของสายการผลิตการประกอบเพลลาที่ใช้พนักงานทำงานร่วมกับ เครื่องจักร และเป็นกระบวนการที่ส่งผลอย่างมากต่อกระบวนการอื่นๆ เนื่องจากการสวมอัดอาจทำให้เกิดการโก่งงอของเพลลาหากไม่สามารถควบคุมการนำศูนย์ให้ได้ระนาบจะเป็นผลให้ไม่สามารถทำการสมดุลมวลของเพลลาที่ประกอบเสร็จได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดเป็นผลให้ต้องถอดประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเพื่อทำการประกอบชิ้นส่วนนั้นใหม่ การสวมอัดสำหรับการประกอบเพลลา 1 รุ่นจำเป็นต้องมีกระบวนการสวมอัดของเพลลาครึ่งที่นอนสองครั้งแล้วจึงมานำมาประกอบกันภายหลัง จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ว่าเครื่องจักรของกระบวนการนี้สามารถรองรับการออกแบบใหม่ของเพลลาแต่ละท่อนได้หรือไม่โดยส่วนที่พิจารณาคือตำแหน่งวิธีการติดตั้งจิ๊กและฟิกเจอร์ตามรูปที่ 15 และ 16



รูปที่ 15 การติดตั้งของฟิกเจอร์กับเครื่องสวมอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

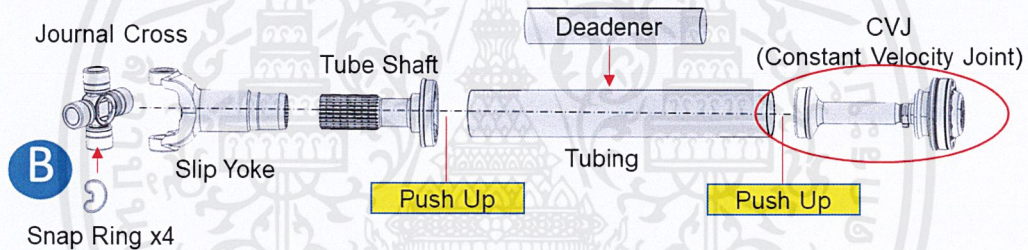


รูปที่ 16 การติดตั้งของฟีกเจอร์กับเครื่องสวมอัด

### 3.1.1.1 Driving Shaft

ดังที่กล่าวไปข้างต้นจากหัวข้อ 2.3 จำเป็นต้องมีการออกแบบฟีกเจอร์สำหรับกระบวนการกดอัดของเพลาท่อน Driving Shaft ใหม่เพื่อรองรับส่วน CVJ ตามรูปที่ 17

#### DRIVE SHAFT

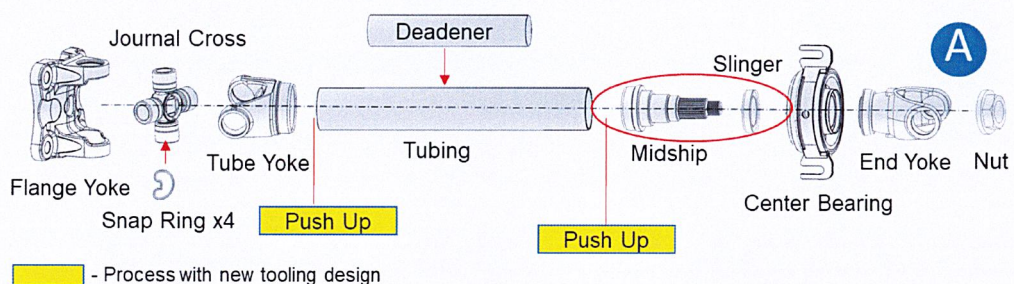



รูปที่ 17 แสดงชิ้นส่วนที่ต้องมีการออกแบบฟีกเจอร์ใหม่ของเพลาท่อน Drive Shaft

### 3.1.1.2 Coupling shaft

เพลาท่อน Coupling Shaft ต้องมีการออกแบบจิ๊กทางฝั่ง Midship Tube shaft ใหม่โดยทั้งนี้การออกแบบจิ๊กดังกล่าวจะเพิ่มฟังก์ชันการทำงานที่รวมการอัดชิ้นส่วนของ Slinger โดยติด Slinger เข้าไปบริเวณของจิ๊กจากนั้นอัดพร้อมกับการอัด Mid Ship Tube Shaft ตามรูปที่ 18 รายละเอียดรูปแบบของจิ๊กและฟีกเจอร์จะถูกอธิบายเพิ่มในหัวข้อ 3.4.3

#### COUPLING SHAFT



 - Process with new tooling design

รูปที่ 18 แสดงชิ้นส่วนที่ต้องมีการออกแบบจิ๊กใหม่ของเพลาท่อน Coupling Shaft

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 Machine Preparation Parameters

ขนาดและการออกแบบใหม่มีผลต่อการตั้งค่าของเครื่องจักรตั้งนั้นกระบวนการสวมอัดซึ่งอาศัยการทำงานของระบบไฮดรอลิคตัวแปรที่สามารถตั้งค่าได้ที่เครื่องจักรคือความดัน ความดันดังกล่าวจะเป็นผลให้เกิดแรงที่เอาชนะแรงเสียดทานเนื่องจากการอัดโดยรายละเอียดการคำนวณเป็นไปตามสมการ

$$p = \frac{\delta}{R \left[ \frac{1}{E_o} \left( \frac{r_o^2 + R^2}{r_o^2 - R^2} + \nu_o \right) + \frac{1}{E_i} \left( \frac{R^2 + r_i^2}{R^2 - r_i^2} + \nu_i \right) \right]} \quad (3.1)$$

เมื่อ	P	Interference fit contact pressure
	$\delta$	Radial interference
	R	Outer radius of inner member
	$E_o$	Elastic modulus outer member
	$E_i$	Elastic modulus inner member
	$r_o$	Radius outer member
	$r_i$	Inner radius of inner member
	$\nu_o$	Poisson ratio of outer member
	$\nu_i$	Poisson ratio of inner member

จากสมการ 3.1 พบว่า ตัวแปรที่สำคัญคือ R,  $r_o, r_i$  และ Radial interference  $\delta$  ตัวแปรดังกล่าวคือผลต่างขนาดรัศมีภายในของท่อ (Tubing) และขนาดรัศมีภายนอกของส่วนประกอบที่จะทำการอัดเข้าด้วยกัน (Tube Yoke Mid ship CVJ และ Tube Shaft) ต่อไปเป็นการแสดงตัวอย่างการหาแรงในการอัดของ midship และ tube yoke เข้ากับท่อ ซึ่งสามารถคำนวณแรงเสียดทานได้จากสมการ 3.1 และด้วยขนาดของค่าตัวแปรท่อน Drive shaft มีขนาดใกล้เคียงกันจึงจะแสดงการคำนวณแรกเพียงท่อน Coupline shaft

โดยที่ค่าที่ได้จากสมการหาไปหาแรงเสียดทานได้โดย

$$f = \mu_s N \quad (3.2a)$$

$$f = \mu_s p A_{\text{tubeseat}} \quad (3.2b)$$

#### Midship

Material:	Tube	AISI 1017
	midship	AISI 1137
	Area tube seat	1392.601 mm <sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Case 1: Maximum diameter tube seat (diameter = 59.64 mm)

$\delta$	0.000170 m	p	$5.76 \times 10^7$ Pa
R	0.029650 m	Reaction force(N)	$8.02 \times 10^4$ N
$r_i$	0.024265 m	$\mu$ static max	0.8
$r_o$	0.031750 m	$\mu$ static min	0.5
$V_o$	0.29	f max	$6.42 \times 10^4$ N
$V_i$	0.29	f min	$4.01 \times 10^4$ N
tube modulus	$2.05 \times 10^{11}$ Pa		
midship modulus	$2 \times 10^{11}$ Pa		

## Case 2: Minimum diameter tube seat (diameter = 59.49 mm)

$\delta$	0.000095 m	p	$3.22 \times 10^7$ Pa
R	0.029650 m	Reaction force(N)	$4.48 \times 10^4$ N
$r_i$	0.024265 m	$\mu$ static max	0.8
$r_o$	0.031750 m	$\mu$ static min	0.5
$V_o$	0.29	f max	$3.59 \times 10^4$ N
$V_i$	0.29	f min	$2.24 \times 10^4$ N
tube modulus	$2.05 \times 10^{11}$ Pa		
midship modulus	$2 \times 10^{11}$ Pa		

## Tube yoke

## Diameter tube seat in specs (diameter = 59.56 mm)

$\delta$	0.000130 m	p	$3.75 \times 10^7$ Pa
R	0.029650 m	Reaction force(N)	$8.07 \times 10^4$ N
$r_i$	0.026437 m	$\mu$ static max	0.8
$r_o$	0.031750 m	$\mu$ static min	0.5
$V_o$	0.29	f max	$6.46 \times 10^4$ N
$V_i$	0.29	f min	$4.03 \times 10^4$ N
tube modulus	$2.05 \times 10^{11}$ Pa		
midship modulus	$2.05 \times 10^{11}$ Pa		

จากแรงที่คำนวณได้มานั้น สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ 3 กรณีได้คือ

- $f_{\text{midship}} > f_{\text{tube yoke}}$  : ในกรณีนี้ทำให้เกิดเหตุการณ์ชิ้นงาน tube yoke ถูกอัดเข้ามาก่อนที่ midship จะถูกอัดตามมาทีหลัง กรณีนี้จะทำให้เกิดค่าแรงเสียดทานอยู่ที่ระหว่าง [40.3, 64.2] kN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $f_{\text{midship}} < f_{\text{tube yoke}}$  : ในกรณีนี้ทำให้เกิดเหตุการณ์ชิ้นงาน midship ถูกอัดเข้ามาก่อนที่ tube yoke จะถูกอัดตามมาทีหลัง กรณีนี้จะทำให้เกิดค่าแรงเสียดทานอยู่ที่ระหว่าง [40.3, 64.6] kN
- $f_{\text{midship}} = f_{\text{tube yoke}}$  : ในกรณีนี้จะทำให้ midship และ tube yoke ถูกอัดประกอบเข้าที่พร้อมกัน แต่ในกรณีนี้จะทำให้ค่าแรงเสียดทานเกิดขึ้นที่ระหว่าง [80.6, 129.2] kN

เนื่องจากช่วงของแรงที่คำนวณได้มีขอบเขตกว้างไม่สามารถกำหนดค่าแรงที่เป็นตัวเลขได้ การแบ่งกรณีนี้ถูกวิเคราะห์จากขนาดของ  $\delta$  มากสุดและน้อยสุดซึ่งในทางปฏิบัติจริงค่า  $\delta$  ค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกันในทุกชิ้นส่วน ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงแรงที่ใช้อัดจริง จึงนำค่าแรงที่ใช้ในการสวมอัดของกระบวนการสวมอัดโมเดลอื่นที่มีขนาดของ  $R, r_o, r_i$  และ Radial interference  $\delta$  ใกล้เคียงกับโมเดล T6 MEA เพื่อนำแรงดังกล่าวมาเป็นตัวกำหนดค่าของแรงที่คาดว่าจะต้องใช้ในการสวมอัดของโมเดลใหม่ ค่าแรงที่วัดได้คือ 4.5 tons

เนื่องจากการตั้งค่าเครื่องสวมอัดต้องตั้งค่าเป็นความดันที่ Head end โดยมีหน่วยเป็น psi การคำนวณค่าความดันดังกล่าวอ้างอิงแรงจากรูปที่ 19 และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Bore คือ 100 มิลลิเมตร

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{F}{A} \\
 &= \frac{45000}{\frac{\pi}{4} 100^2} \\
 &= 5.73 \text{ MPa} \\
 &= 831 \text{ psi}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$



รูปที่ 19 หน้าจอแสดงผลการเก็บค่าแรงที่ใช้ในการอัด

### 3.2 Process Preparations

รายละเอียดเนื้อหาของ Process Preparation คือการรวบรวมข้อมูลเตรียมความพร้อมของกระบวนการในสายการผลิตประกอบเพลลา GCP ซึ่งจำเป็นต้องทราบข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันโดยจะประกอบไปด้วย ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต พื้นที่การจัดวางกระบวนการของการทำงาน วิธีการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือกระบวนการการทำงาน ข้อมูลเหล่านี้จะถูกรวบรวมหรือนำมาวิเคราะห์จัดเตรียมสำหรับการประกอบเพลลาโมเดลใหม่

### 3.2.1 Cycle Time and Line Capacity Analysis

ข้อมูลที่สำคัญที่สุดในกระบวนการผลิตคือ วัฏจักรเวลา (Cycle time) มีหน่วยเป็น งานที่ได้ต่อชั่วโมง (Job per hour ; JPH) โดยแต่ละกระบวนการผลิตจะมีเวลาครบรอบหนึ่งครั้งของการทำงานเสร็จสิ้น ณ กระบวนการนั้นซึ่งทั้งนี้เมื่อนำหลายๆกระบวนการผลิตเข้ามาอยู่ด้วยกันจะถูกเรียกว่าสายการผลิตและกระบวนการที่มี Cycle time สูงที่สุดจะเป็นกระบวนการที่กำหนด Cycle time ของสายการผลิตนั้นและค่าดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณเป็นกำลังการผลิต (Capacity of Line) ซึ่งจะเป็นค่าที่บอกถึงศักยภาพการผลิตของสายการผลิตนั้นว่าสามารถผลิตชิ้นงานได้ตามจำนวนที่ต้องการในระยะเวลาที่กำหนดได้หรือไม่ โดยรายงานฉบับนี้จะสนใจที่สายการผลิตการประกอบเพลลาเท่านั้น

#### วิธีการหา Cycle time

1. ทำการจับเวลาการทำงานแต่ละกระบวนการโดยการถ่ายคลิปวิดีโอมาจำนวน 5 คลิป
2. ทำการเฉลี่ยเวลาแต่ละคลิปที่และเลือกคลิปที่มีเวลาใกล้เคียงมากที่สุดโดยทั้งนี้ต้องไม่นำคลิปที่เกิดปัญหาระหว่างการดำเนินงานมาทำการเฉลี่ย ตามตารางที่ 2
3. ทำการวิเคราะห์จากคลิปที่เลือกโดยเริ่มจับเวลา ณ เหตุการณ์ใดๆก็ได้ระหว่างการทำงานจากคลิปที่เลือกแต่ต้องหยุดเวลา ณ เหตุการณ์ที่เริ่มทำงานขณะจับเวลา
4. ทำการแบ่งงานย่อยๆตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในคลิปและแจกจ่ายละเอียดเวลาที่ใช้ (เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับหัวข้อต่อไป) และแปลงหน่วยจาก (หน่วยเวลา/งาน 1 ชิ้น) เป็น (จำนวนงานที่ได้/1 ชั่วโมง)

PUSH UP									
ครั้งที่	start			Finish			Time		
	min	sec	Cum	min	sec	Cum	cum		
1	0	5	5	0		37	37	32	
2	0	37	37	1		9	69	32	
3	1	9	69	1		46	106	37	
4	1	46	106	2		28	148	42	
5	2	28	148	2		59	179	31	
<b>Total</b>								<b>174</b>	
<b>average</b>								<b>34.8</b>	
Used Clip	3	Nearest to the average							<b>37</b>

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการเลือกคลิปสำหรับวิเคราะห์ Cycle Time ของกระบวนการสวมอัด

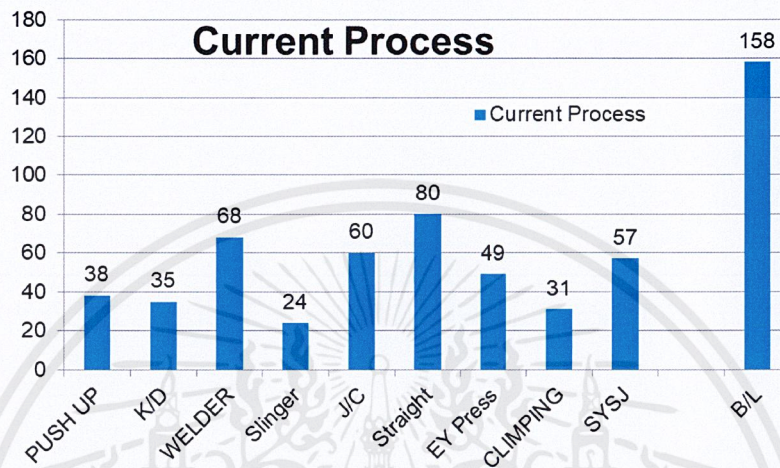
2.Push up	ท่าใหม่	Type	Start (min.)	tart (sec)	Cum.	CT (sec.)	T (min)	Cum. CT (min)	Cum. CT (Sec)	Value	CT Value
	Initial		1	8	68	68	1.13	1.13	0.00		
1	load tube yoke and tubeshaft or tube yoke and midship		1	13	73	5	0.083	0.08	5.00	NVA	5.00
2	insert tube		1	16	76	3	0.050	0.13	8.00	NVA	3.00
3	press 2 hand switch		1	18	78	2	0.03	0.17	10.00	NVA	2.00
4	cleaning Tube		1	26	86	8					8.00
5	send to K/D and start new one		1	46	106	20	0.33	0.50	30.00	NVA	20.00
								f	1.00		38.00
								NT2 (CT2*f)	38	Sec.	

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์งานย่อยในกระบวนการสวมอัดจากคลิปที่ถูกเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายหลังการวิเคราะห์ Cycle time ของทุกระบวนการผลิตแล้วนำ Cycle time ทั้งหมดมาเปรียบเทียบเป็นแผนภูมิแท่งเพื่อดูกระบวนการที่ใช้เวลามากที่สุดซึ่งจะเป็นกระบวนการที่กำหนดกำลังการผลิตของสายการผลิต (Bottle Neck) ตามรูปที่ 20

นำ Cycle time ที่ได้จากข้อ 4 มาคูณกับค่าประสิทธิภาพของการผลิตโดยทางบริษัท กำหนดค่าดังกล่าวที่ 0.9



รูปที่ 20 การเปรียบเทียบ Cycle time (time per 1 job) ของแต่ละกระบวนการในสายการผลิต การประกอบเพลลา (GCP)

#### วิธีการคำนวณเพื่อหากลังการผลิต

การคำนวณกำลังการผลิตจะเป็นการนำ Cycle time ของ Bottle Neck มาคำนวณเปรียบเทียบกับจำนวนชั่วโมงที่พนักงานทำงานจริงตลอดเวลาหนึ่งสัปดาห์จะสามารถประกอบเพลลาได้จำนวนกี่ตัวซึ่งบริษัทมีสูตรที่ใช้คำนวณคือ

$$\text{Cycle time} \left( \frac{\text{Job}}{\text{hour}} \right) \times 21 \left( \frac{\text{hour}}{\text{day}} \right) \times 5 \left( \frac{\text{day}}{\text{week}} \right) = \text{Capacity (Job per week)} \quad (3.4)$$

#### ตัวอย่างการคำนวณ

จากการจับเวลาพบว่ากระบวนการที่ใช้เวลานานที่สุดของสายการผลิตคือ Balancer คือ 158 วินาทีต่องานเสร็จ 1 ชิ้น

$$\text{Cycle time} = \frac{3600(\text{sec/hour})}{158(\text{sec/Job})} = 23 \text{ JPH} \quad (3.5)$$

เพื่อค่าประสิทธิภาพของการผลิต

$$0.9 \times \text{Cycle time} = 21 \text{ JPH} \quad (3.6)$$

$$\text{Capacity} = 21 \times 21 \times 5 \approx 2174 \text{ (Job per week)} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายการประกอบเพลาดังกล่าวต้องรองรับการทำงานของบริษัทลูกค้าซึ่งจะมีวันทำงานถูกกำหนด 47.5 สัปดาห์ต่อปี ดังนั้นในระยะเวลาหนึ่งปีสายการผลิตนี้จะสามารถผลิตเพล่าได้ทั้งหมด

$$2174 \times 47.5 = 103241 \text{ (Job per year)} \quad (3.8)$$

นำข้อมูลกำลังการประกอบเพล่าที่สายการผลิตสามารถรองรับได้ไปเปรียบเทียบกับจำนวนเพล่ารุ่นใหม่ที่ต้องทำส่งให้ลูกค้าต่อปีและที่มีการผลิตอยู่ ณ ปัจจุบันที่สายการผลิตต่อปีคือ 14,000 ต่อปี และ 85,000 โดยประมาณตามลำดับเพล่าทั้งหมดที่ต้องผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 99,000 โดยประมาณ

### 3.2.2 Man Working

เนื้อหาส่วนนี้อธิบายกระบวนการการทำงานย่อยของพนักงานประจำเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ ของสายการผลิต GCP ซึ่งจะนำงานย่อยของกระบวนการสวมอัดและกระบวนการ Slinger Press มาวิเคราะห์ด้วย Man Machine Chart

#### 3.2.2.1 Standardized Work Chart

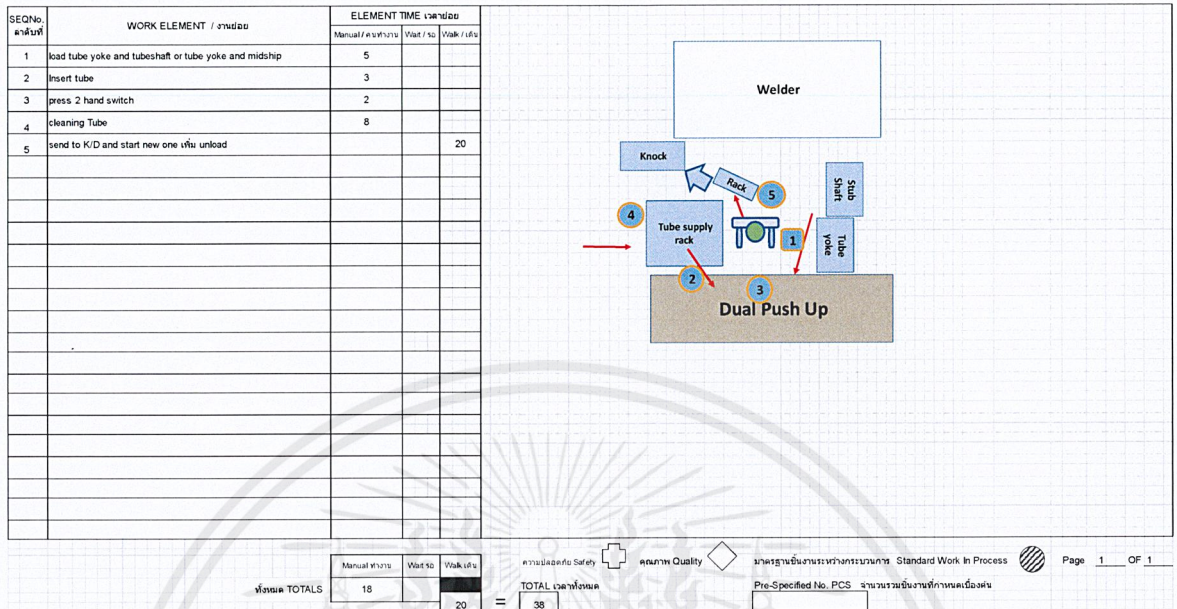
กระบวนการประกอบเพล่ารถกระบะรุ่น T6 MEA ประกอบขึ้นที่สายการผลิต GCP โดยมี station ในการประกอบเดิมทั้งสิ้น 8 stations สำหรับกระบวนการประกอบเพล่ารุ่นใหม่มีแผนทำการรวม 2 station เข้าเป็น station เดียวกัน คือ ให้ slinger press station ไปรวมอยู่กับ push up station ทั้งนี้ สำหรับสายการผลิต GCP สามารถทำการประกอบชิ้นส่วนย่อยได้เพียงทีละครั้งท่อน ไม่สามารถประกอบเพล่าท่อนย่อย coupling shaft และ drive shaft ไปพร้อมๆกันได้

Station	Old Model (Redback)		New Model (T6 MEA)	
	Coupling Shaft	Drive Shaft	Coupling Shaft	Drive Shaft
1.Push UP	✓	✓		
2.PushUp + Slinger Press			✓	✓
3.Knock Down	✓	✓	✓	✓
4.Welding	✓	✓	✓	✓
5.Joint (UJ)	✓	✓	✓	
6.Straight		✓		✓
7.Slinger Press	✓			
8.End Yoke Press	✓		✓	
9.System Joint	✓	✓	✓	✓
10.Snap ring seat checked			✓	✓
11.Balancer	✓	✓	✓	✓
12.Painting	✓	✓	✓	✓

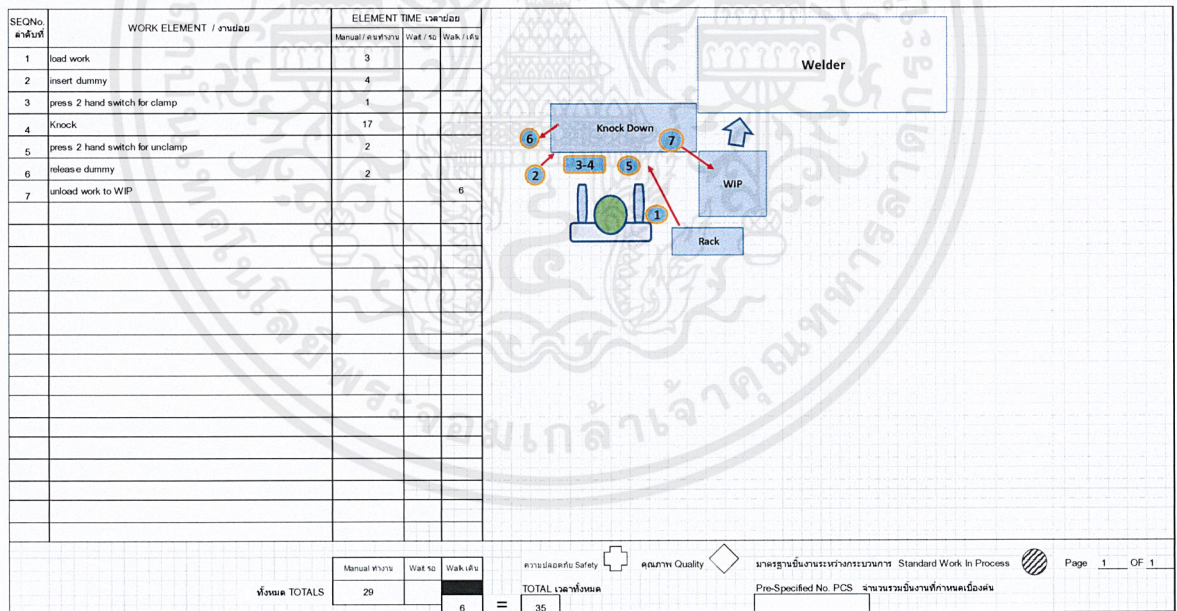
ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบกระบวนการประกอบของเพล่ารุ่นเดิม (Redback) และเพล่ารุ่นใหม่ (T6 MEA) ในสายการผลิต GCP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินการประกอบแต่ละ station พร้อมกับเวลาที่ใช้ในแต่ละการดำเนินการ แสดงใน Standardized Work Chart ตามรูปที่ 21-30 ดังนี้



รูปที่ 21 Push Up Station



รูปที่ 22 Knock Down Station

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





SEQ.No. ลำดับที่	WORK ELEMENT / งานย่อย	ELEMENT TIME เวลา/ขั้นตอน		
		Manual / คนทำงาน	Wait to	Walk / เดิน
1	Take a work from rack	3		
2	load work	7		
3	press 2 hand switch	1		
4	Processing Check	26		
5	press 2 hand switch and unload work to WIP	8		
6	waiting new		35	
ทั้งหมด TOTALS		45	35	

Manual / คนทำงาน: 45    Wait to: 35    Walk / เดิน:

ความปลอดภัย Safety  คุณภาพ Quality  มาตรฐานชิ้นงานระหว่างกระบวนการ Standard Work In Process  Page 1 OF 1

TOTAL เวลาทั้งหมด = 80    Pre-Specified No. PCS จำนวนรวมชิ้นงานที่กำหนดเดิม

รูปที่ 27 Straight Station

SEQ.No. ลำดับที่	WORK ELEMENT / งานย่อย	ELEMENT TIME เวลา/ขั้นตอน		
		Manual / คนทำงาน	Wait to	Walk / เดิน
1	Take a work from rack	2		
2	Place then release Slip joint to Booter	3		
3	Add a rubber	4		
4	Climping	4		
5	Put Slip joint in and lock	7		
6	Climping and marking	5		
7	unload work to dolly	6		
ทั้งหมด TOTALS		31		

Manual / คนทำงาน: 31    Wait to:     Walk / เดิน:

ความปลอดภัย Safety  คุณภาพ Quality  มาตรฐานชิ้นงานระหว่างกระบวนการ Standard Work In Process  Page 1 OF 1

TOTAL เวลาทั้งหมด = 31    Pre-Specified No. PCS จำนวนรวมชิ้นงานที่กำหนดเดิม

รูปที่ 28 Climping Rubber Boots Station

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PROCESS (S/R)	Man and M/C Push up					
	MAN1	TIME(sec)	Status	M/C	TIME(sec)	status
load component(TY TS Mid ship)	load component(TY TS Mid ship)	5		available	5	
load Tubing	load Tubing	3		available	3	
press 2 hand switch	press 2 hand switch	2		press 2 hand switch	2	
Cleaning Tube & Machine operate	Cleaning Tube	8		M/C operate	8	
Send component to next Process	Send component to next Process	20		available	20	
		38			38	

ตารางที่ 5 Man and Machine Chart ของกระบวนการ Push Up



แสดงถึงการทำงานร่วมกันระหว่าง คน และ เครื่องจักร

แสดงถึงการทำงานใดการทำงานหนึ่งของ คน หรือ เครื่องจักร

แสดงการว่างงานไม่มีงานเกิดขึ้น

Slinger Press						
Man	Time	status	M/C	Time		
load work and	2		available	3		
add slinger and press 2 hand switch and hold for pressing	11		operate	10		
unlocked	2		unlocked	2		
load work to WIP and take another one	9		available	9		
	24			24		

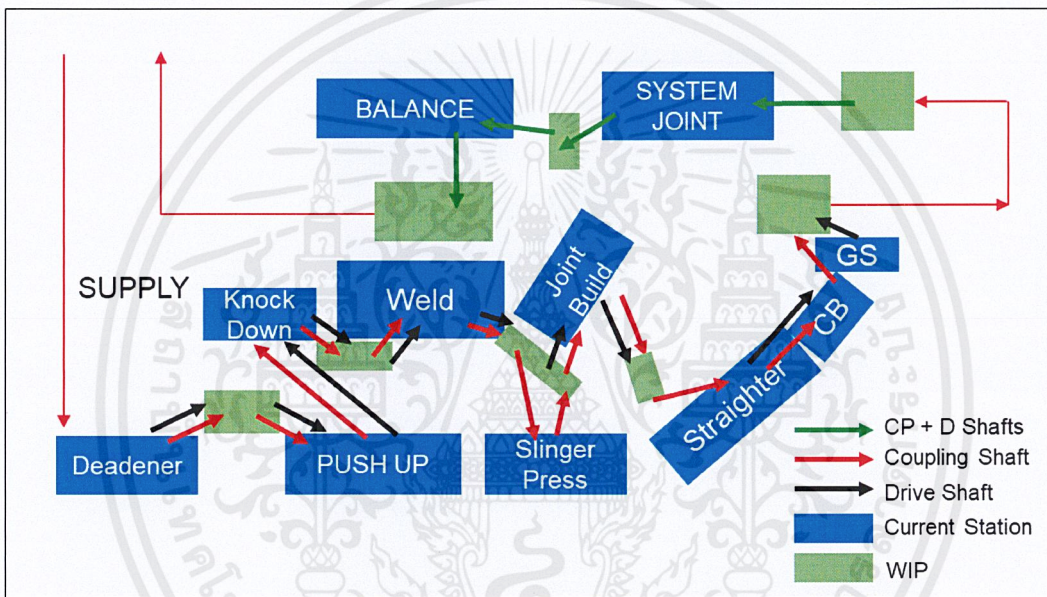
ตารางที่ 6 Man and Machine ของกระบวนการ Slinger Pressing

จาก Man Machine Chart ในการรวมกระบวนการอัด Slinger เข้ากับกระบวนการ Push up ต้องเพิ่มงานการใส่ Slinger เข้าไปซึ่งพนักงานจะต้องทำงานดังกล่าวเพิ่มในกระบวนการ Push up โดยการติด Slinger เข้าที่ฟิกเจอร์จะส่งผลให้เวลาของการทำงานในกระบวนการ Push up เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มงาน

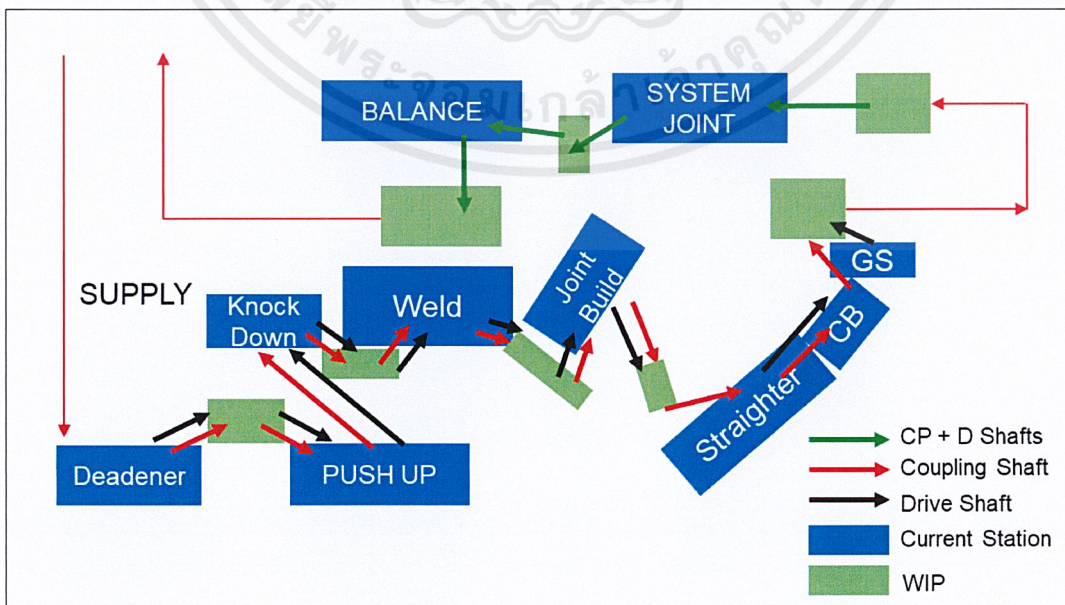
### 3.2.3 กระบวนการทำงานในสายการผลิต

รูปที่ 31 เป็นลำดับกระบวนการทำงานและการส่งต่องานในแต่ละกระบวนการตามการผลิตปัจจุบันของสายการผลิตประกอบเพลลา GCP โดยลูกศรสีดำแสดงถึงลำดับการประกอบของ Drive shaft สีแดงแสดงถึงท่อน Coupling shaft สีเขียวคือเพลลาที่ถูกนำมาประกอบกันโดยรายละเอียดวิธีการทำงานถูกอธิบายตามหัวข้อ 2.4

รูปที่ 32 เป็นลำดับกระบวนการทำงานและการส่งต่องานในแต่ละกระบวนการหากทำการออกแบบจิ๊กของ Mid ship ให้สวมอัด Slinger พร้อมกับ Mid ship จะสามารถลดกระบวนการและเครื่องจักรได้ 1 ขั้นตอนตามรูปที่ 32



รูปที่ 31 ตำแหน่งและการส่งต่องานในสายการผลิตการประกอบเพลลา GCP ปัจจุบัน



รูปที่ 32 ตำแหน่งและการส่งต่องานในสายการผลิตการประกอบเพลลา GCP ภายหลังจากการลดกระบวนการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 Process Failure Mode and Effect Analysis; PFMEA

#### PFMEA for T6 MEA Program

การทำ PFMEA เป็นการวิเคราะห์ความเสี่ยงและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ในกระบวนการที่ผลิตซึ่งจะเป็นการรวบรวมถึงปัญหาที่เคยเกิดขึ้นจริงและปัญหาที่เป็นการคาดการณ์จากผู้ทำเอกสารนี้ โดยรายงานฉบับนี้มีขอบเขตของการศึกษาเฉพาะเครื่องสวมอัด (Push up) จะนำเสนอเพียงการวิเคราะห์ความเสียหายที่มีโอกาสเกิดขึ้นในกระบวนการสวมอัดเพียงบางส่วนเนื่องด้วยเนื้อหาส่วนนี้ค่อนข้างละเอียดอ่อนและส่งผลต่อการเปิดข้อมูลที่เป็นความลับของบริษัท ขั้นตอนการทำ PFMEA มีดังนี้

#### 3.3.1 ส่วนการกรอกรายละเอียดของบริษัท รวมถึงความรับผิดชอบ

Process Failure Mode & Effects Analysis (PFMEA : AIAG - VDA)					
Company Name :	Location :	PFMEA ID :	Revision : 00	Refer Baseline - (DFMEA/PFMEA)	
Customer Name :	Program :	PFMEA Original Date :	PFMEA Revise Date :	VSM Name :	
Customer Part No. :		DANA Part No. :		Responsibility Name :	Confidentiality Level: Business use
Cross Functional Team : (Team C) (Core & Extend) (Team E)					

รูปที่ 33 รูปแบบการกรอกรายละเอียด

#### 3.3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของกระบวนการผลิต

II. STRUCTURE ANALYSIS		
1. Process item (System, Subsystem, Part of element or Name of Process)	2. Process step (Operation No. and name of Focus Element)	3. Process work element (Man, Machine, Indirect, Material, Environment, etc.)
A	B	C
Assembly (Drive shaft)	Push up	1 - MAN - Operator  2 - Machine - Push up Machine

รูปที่ 34 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของกระบวนการ

- ช่อง A การกรอกชื่อของกระบวนการหลัก นั่นคือ กระบวนการประกอบเพลลาเติมท่อนของสายการผลิต GCP
- ช่อง B การกรอกชื่อกระบวนการผลิตย่อย นั่นคือกระบวนการสวมอัด (Push up)
- ช่อง C เป็นการนำกระบวนการย่อยมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาว่ากระบวนการดังกล่าวมีส่วนประกอบอะไรบ้าง เช่น ต้องมีพนักงาน มีเครื่องจักร มีอุปกรณ์วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงาน

III. FUNCTION ANALYSIS		
1) Product & / or Process <b>function</b> that the process item creates ( Product In-plant, Ship to plant, End user - When known )	2) Function or outcome of the process step & <b>Product characteristics</b>	3) Function or task of the work element and <b>Process characteristics</b>
D	E	F
<p>- <b>Production in-plant:</b> Need all of dimension meeting spec on the drawing and can assembly to next process.</p> <p>- <b>Ship to plant :</b> Need all of dimension meeting spec on the drawing and can assembly with transmission gear and rear axle or axial shaft</p> <p>- <b>End User:</b> No any noise and</p>	<p>- Driving Shaft with CVJ and TS or TY and Midship at both end of tubing due to run out with in spec</p>	<p><b>MAN - Operator</b> - Operator can operate machine by follow WI - Setup , Inspection , Open&amp;close machine.</p> <p><b>Machine - Push up Machine ( )</b> - Effigency more than 90% - Pressure will not be excess 800psi or lower - Tool life counter</p>

รูปที่ 35 รูปแบบการวิเคราะห์ ฟังก์ชันการทำงาน

- ช่อง D เป็นการวิเคราะห์ว่า ชิ้นงานภายหลังจากกระบวนการดังกล่าวต้องมีคุณสมบัติการทำงานอย่างไรที่โรงงานผู้ผลิตต้องการ ที่ลูกค้าต้องการ และที่ผู้ใช้งานต้องการตามลำดับ
- ช่อง E เป็นการวิเคราะห์โดยละเอียดขึ้นว่ารูปแบบหรือการควบคุมคุณภาพของงานภายหลังจากกระบวนการสวมอัดต้องเป็นอย่างไร สามารถมีได้มากกว่า 1 รายการ
- ช่อง F เป็นการวิเคราะห์ว่าเพื่อให้ได้คุณภาพจะต้องใช้เครื่องมือใดบ้างเป็นการวิเคราะห์ด้วยหลัก 4M หรือมากกว่า

3.3.4 การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง

IV. FAILURE ANALYSIS					
1) Failure <b>Effects</b> (FE) (next process, end user, customer assembly plant)		Severity (S) of FE	2) Failure <b>Mode</b> (FM) of the process step		Classification
Scope	Effect		H	I	
G	K				
- <b>Production in-plant:</b> Run out would be increased in another process and could not be balanced	Rework	4	- Over spec run out		<p><b>MAN - Operator</b> - Skill's operator don't meet requirement for setup, could not set components in the alignment - Uncompleted setting components in JIG Fixture.</p> <p><b>Machine -Push up Machine</b> - Machine can not operate as setup due to some leak in hydraulic system</p> <p><b>Material - Raw material (TY,SY,TUBE,MS,TS,CV-TS)</b> - Runout with in component material</p>
- <b>Ship to plant :</b>					
- <b>End User:</b>					

รูปที่ 36 รูปแบบการวิเคราะห์ความเสี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่อง I ต้องประเมินก่อนว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นอะไร (Failure Mode) ตัวอย่างจากรูปที่ 37 คือมีค่า runout เนื่องจากการสวมอัดสูงกว่าค่าที่กำหนด
- ช่อง G ประเมินต่อจากช่อง I โดยกำหนดขอบเขตงานว่าจะเกิดอะไรขึ้นและความเสียหายดังกล่าวส่งผลอย่างไรต่อ ภายในโรงงาน ต่อลูกค้า และต่อผู้ใช้งาน
- จากนั้นทำการประเมินวิเคราะห์ว่าสาเหตุเกิดจากอะไรได้บ้างซึ่งสาเหตุที่เกิดต้องเกิดจากความผิดพลาดตามช่อง F และกรอกลงในช่อง K
- ช่อง H และ J เป็นการประเมินว่าความเสียหายดังกล่าวมีเกณฑ์คะแนนเท่าใดอ้างอิงตามภาคผนวก ข Process General Evaluation Criteria Severity

### 3.3.5 การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง

V. RISK ANALYSIS							
Current Prevention Control (PC) of FC	Type of Ctrl	Incident ratio	Based Frequency	Occurrence (O) of FC	Current Detection Control (DC) of FC or FM	Detection (D) of FC/FM	AP
L	M			N	O	P	
<b>MAN - Operator</b> - Retraining operator and update every 6 months - Update Skill chart - Operator need skill level $\geq$ L2	4	5	4	5	-audit and review Actual operator, skill ref. LPA -Inspection check	5	M
<b>Machine -Push up Machine</b> - Check TPM Daily - TPM by MT plan -Set Insert tool life Alarm counter - Visual check presure gage	1	5	5	5	-Inspection check machine	5	M

รูปที่ 37 การประเมินความเสี่ยง

- ช่อง L เป็นการนำช่อง K มาวิเคราะห์วิธีการป้องกันว่าปัจจุบันในโรงงานมีการป้องกันอย่างไรพร้อมให้คะแนนโอกาสที่เกิด (Occurrence) ตามช่อง (M) การให้คะแนนโอกาสการเกิดมีหลายเกณฑ์ซึ่งจะนำเกณฑ์ที่สูงที่สุดมาเป็นคะแนนที่สูงที่สุดในช่อง Occurrence โดยอ้างอิง PFMEA ฉบับเก่าหลักการการให้คะแนนจะนำเสนอในภาคผนวก ข Occurrence Potential
- ช่อง N เป็นช่องบ่งบอกถึงมาตรการตรวจจับความผิดพลาดของช่อง K โดยหลักการการให้คะแนนเป็นไปตามภาคผนวก ข Detection Potential
- ช่อง AP เป็นการนำ SOD มาประเมินตามภาคผนวก ค Action Priority (AP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 Tooling Design

จิ๊กและฟิกเจอร์ (JIG and Fixture) เป็นเครื่องมือสำหรับงานในอุตสาหกรรมซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตชิ้นงานที่เที่ยงตรงเหมือนกันทุกๆ ชิ้น ความสัมพันธ์และตำแหน่งที่ถูกต้องระหว่างจิ๊กหรือฟิกเจอร์กับชิ้นงานจะต้องถูกรักษาให้คงเดิมอยู่ตลอดเวลา จิ๊กหรือฟิกเจอร์ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อทำการยึดจับ รองรับ และกำหนดตำแหน่งชิ้นงานทุกๆ ชิ้น เพื่อให้แน่ใจว่าในการเจาะรูหรือการตกแต่งด้วยวิธีอื่นๆ จะได้ตรงตำแหน่งเดิมหรือขนาดตามรายละเอียดที่กำหนดมาทุกประการ

จิ๊กและฟิกเจอร์นี้จะมีความหมายเกี่ยวพันใกล้เคียงกันมาก บางทีก็อาจจะเกิดสับสนในการนำไปใช้ได้บ้าง อย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างจิ๊กและฟิกเจอร์ก็ขึ้นอยู่กับแนวทางของเครื่องมือที่จะนำไปใช้กับชิ้นงาน

#### จิ๊ก (JIG)

จิ๊กเป็นเครื่องมือพิเศษที่สร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการกำหนดตำแหน่ง จับยึดชิ้นงาน โดยปกติแล้วจิ๊กจะมีปลอกนำทางซึ่งอัดติดแน่นอยู่เสมอ ปลอกนำทางนี้จะทำด้วยเหล็กพิเศษที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้ว

#### ฟิกเจอร์ (Fixture)

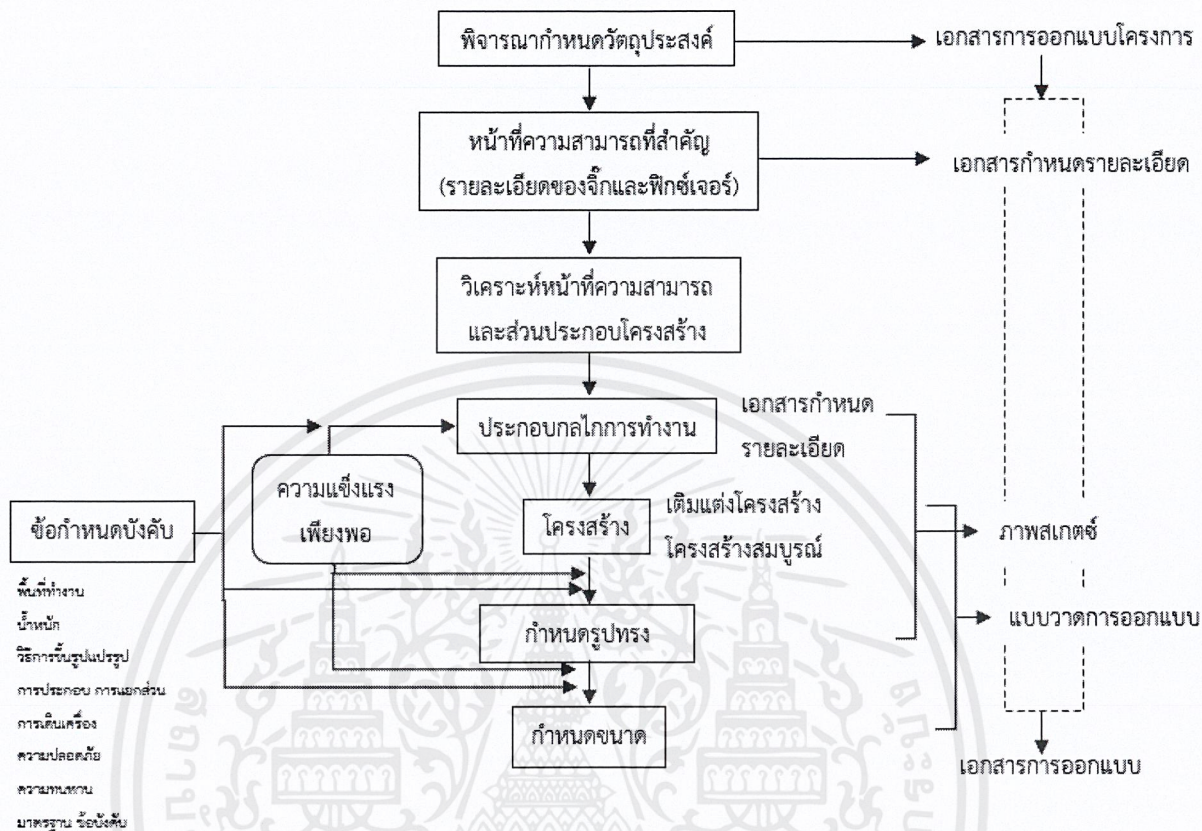
ฟิกเจอร์เป็นเครื่องมือสำหรับการผลิตที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่ง ยึดจับ และรองรับชิ้นงานให้อยู่คงที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ สำหรับฟิกเจอร์นี้จะมีแท่งตั้งระยะและแผ่นเกลเป็นตัวยุช่วยให้ตั้งระยะของเครื่องมืออยู่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้องที่จะกระทำต่อชิ้นงาน ฟิกเจอร์นี้จะต้องถูกยึดให้ติดแน่นอยู่กับเทเบิลของเครื่องจักรในระหว่างที่ชิ้นงานกำลังถูกกระทำอยู่

ฟิกเจอร์ จะแปรเปลี่ยนไปตามการออกแบบให้สัมพันธ์กับเครื่องมือต่างๆ ตั้งแต่แบบธรรมดาๆ ไปจนถึงแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาแพง ฟิกเจอร์ช่วยให้การทำงานด้านงานโลหะต่างๆ มีความง่ายขึ้นและสามารถใช้งานได้กับเครื่องมือพิเศษได้เป็นอย่างดี เหมือนดังเช่นการทำงานกับเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพลลาจากแบบวาดมาแล้ว จำเป็นจะต้องทำการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ใหม่สำหรับกระบวนการประกอบ โดยได้ทำการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์สำหรับกระบวนการดังต่อไปนี้ คือ Push Up

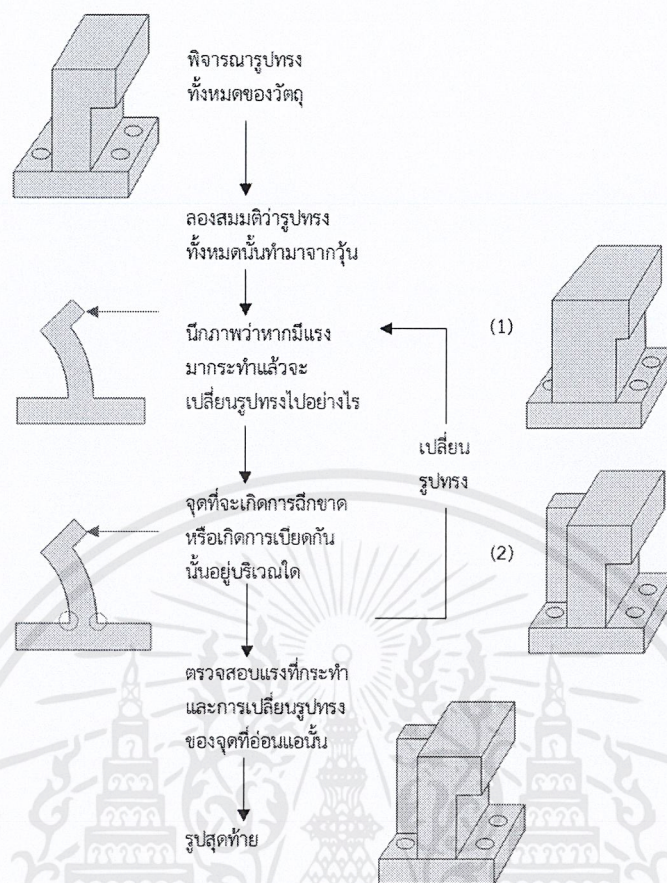
3.4.1 แนวคิดและวิธีการออกแบบ

ขั้นตอนที่ใช้พิจารณาในการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ เป็นไปตามรูปที่ 38



รูปที่ 38 ขั้นตอนที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

ซึ่งในขั้นตอนการพิจารณาในการออกแบบข้างต้น จิ๊กและฟิกเจอร์จะต้องสร้างให้มีรูปทรงที่สามารถทนต่อแรงที่กระทำจากภายนอกหรือแรงที่เกิดขึ้นภายในเครื่องได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจถึงความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างความแข็งแรงและรูปทรง ในการออกแบบจริงนั้น การฝึกฝนให้สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงและความแข็งแรงได้เป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง หากยังไม่ตัดสินใจกำหนดรูปทรงก็ไม่สามารถจะคำนวณความแข็งแรงได้ ในการพิจารณาความแข็งแรงนั้น เริ่มแรกจะต้องวาดรูปทรงก่อน เริ่มจากจุดที่คาดคะเนได้ว่าจะอ่อนแอ แล้วทำการตรวจสอบ คำนวณแรง และการเปลี่ยนสภาพ(การเสียรูป) จากนั้นทำการแก้ไขอ้างอิงลำดับวิธีตามรูปที่ 39



รูปที่ 39 แผนภูมิการตรวจสอบรูปทรงและความแข็งแรง

ในการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์นี้ ได้ประยุกต์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเข้ามา โดยกำหนดให้การออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์คือปัญหาที่ต้องการหาผลลัพธ์ที่สนใจ ก็คือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการออกแบบ

#### องค์ประกอบของปัญหา

ผลลัพธ์ (solution) หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก 3 ประการคือ

(ก) สมการเชิงอนุพันธ์ (differential equations)

(ข) เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions)

ผลลัพธ์ของปัญหาจะแตกต่างออกไปหากเงื่อนไขขอบเขตเปลี่ยนแปลงไป

(ค) รูปร่าง (geometry)

#### วิธีการแก้เพื่อหาผลลัพธ์

กระบวนการหาผลลัพธ์หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นมี 2 วิธีหลักๆ คือ

(ก) วิธีเชิงวิเคราะห์ (analytical method) เป็นวิธีที่เราคุ้นเคยในช่วงของการเรียนระดับอุดมศึกษา กล่าวคือเป็นการแก้สมการเชิงอนุพันธ์เพื่อหาผลเฉลยแน่นอนตรง (exact solution) วิธีเชิงวิเคราะห์นี้มีขีดจำกัด สามารถหาผลลัพธ์ให้ได้สำหรับปัญหาที่มีรูปทรงง่ายๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น มีความโค้งเว้าใน 3 มิติ กระบวนการหาผลลัพธ์ด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ข้างต้นนี้ไม่อาจนำมาใช้เพื่อหาผลลัพธ์ให้ได้

(ข) วิธีเชิงตัวเลข (numerical method) เป็นวิธีที่เริ่มใช้กันมากขึ้นโดยเฉพาะเมื่อคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น วิธีเชิงตัวเลขนี้ประกอบไปด้วยระดับพื้นฐานและระดับสูง แนวคิดที่สำคัญในวิธีเชิงตัวเลขก็คือการเปลี่ยนสมการทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยสัญลักษณ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ การหาอนุพันธ์ การหาค่าอินทิเกรต ฯลฯ ไปเป็นสมการทางพีชคณิตอันประกอบด้วยกระบวนการ บวก ลบ คูณ และหารตัวเลขด้วยกันเท่านั้น แล้วประดิษฐ์โปรแกรมให้คอมพิวเตอร์ทำงานแทนการกดเครื่องคิดเลขด้วยมือ

a. วิธีเชิงตัวเลขระดับพื้นฐาน (fundamental) ประกอบไปด้วยหัวข้อของการหาราก (root) ของสมการเดียวและระบบสมการขนาดใหญ่ทั้งแบบเชิงเส้น (linear) และแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) การสร้างฟังก์ชันการประมาณภายใน (interpolation function) การหาค่าอนุพันธ์ (differentiation) การอินทิเกรต (integration) การแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (ordinary differential equation) รวมถึงวิธีผลต่างแบบสี่เหลี่ยม (finite difference method) ผู้ที่เข้าใจวิธีเชิงตัวเลขเบื้องต้นนี้จะพบว่าผลลัพธ์ของบางปัญหาทางคณิตศาสตร์นั้นสามารถหาได้อย่างง่ายดายมากขึ้น

b. วิธีเชิงตัวเลขระดับสูง (advanced) เพื่อใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมในปัจจุบันประกอบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) และวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (finite volume method) วิธีทั้งสองนี้ได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ

ในการออกแบบขนาด รูปทรง วิเคราะห์ความเสียหาย และอายุการใช้งานของจิ๊กและฟิกเจอร์นี้ จะได้นำวิธีเชิงวิเคราะห์มาใช้ในขั้นตอนของการออกแบบขนาดและรูปทรงพื้นฐาน และหลังจากนั้นจึงจะนำวิธีเชิงตัวเลขระดับสูง (finite element method) เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยทั้งในการออกแบบขนาด รูปทรง วิเคราะห์ความเสียหาย และอายุการใช้งาน ในรูปทรงของจิ๊กที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น โดยจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 3.4.3 การออกแบบ ต่อไป

### 3.4.2 ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์ความเสียหายของ JIG and Fixture

#### 3.4.2.1 Strength of Materials

เนื่องจากการทำงานของฟิกเจอร์ดังกล่าวจะถูกนำไปใช้รองรับแรงกดจำนวนหลายครั้งซึ่งหากนำค่าความเสียหายแบบสถิติมาคิดอาจจะทำให้อายุการใช้งานของฟิกเจอร์น้อยลง

- สมการหาจำนวนรอบของการใช้งานสำหรับ S-N Curve

$$(S'_f)_N = \sigma'_F (2N)^b \quad (3.9)$$

$$\sigma'_F = S_{ut} + 345 \quad (3.10)$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $S'_f$  = ความเค้นของความล้า  
 $\sigma'_F$  = ความเค้นจริง  
 $b$  = ดัชนีของสมการ S-N Curve ขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้  
 $N$  = จำนวนรอบที่สามารถใช้งานได้  
 $S_{ut}$  = ultimate tensile stress  
 $S'_e$  = ค่า Endurance limit ของการทดสอบหมุนขึ้นงาน  
 $N_e$  = จำนวนรอบสำหรับค่า Endurance limit กำหนดเป็น  $10^6$  รอบ

- สมการวิเคราะห์ Endurance limit ของวัสดุซึ่งเกิดจากลักษณะการทำไปใช้งาน

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (3.12)$$

- $k_a$  = ค่าตัวประกอบรูปแบบผิวชิ้นงาน  
 $k_b$  = ค่าตัวประกอบขนาดรูปร่างของชิ้นงาน  
 $k_c$  = ค่าตัวประกอบการใช้งาน  
 $k_d$  = ค่าตัวประกอบอุณหภูมิที่มีผลต่อการใช้งาน  
 $k_e$  = ค่าตัวประกอบความเชื่อถือได้  
 $k_f$  = ค่าตัวประกอบอื่นๆที่อาจส่งผลต่อการใช้งาน

โดย

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (3.13)$$

- สมการเพื่อแปลงรูปทรงที่ไม่ใช่ทรงกระบอกเพื่อให้สามารถหาค่าปรับตัวประกอบรูปร่างชิ้นงาน

$$A_{0.95\sigma} = 0.0766 d_e^2 \quad (3.14)$$

- $A_{0.95\sigma}$  = ขนาด 5 เปอร์เซนต์ของพื้นที่หน้าตัดงานที่เกิดความเค้น  
 $d_e$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของรูปทรงอื่นๆที่ไม่ใช่ทรงกระบอก

- $A_c$  = ขนาดพื้นที่หน้าตัดงานที่เกิดความเค้น

$$d_e = \sqrt{\frac{0.05 A_c}{0.0766}} \quad (3.15)$$

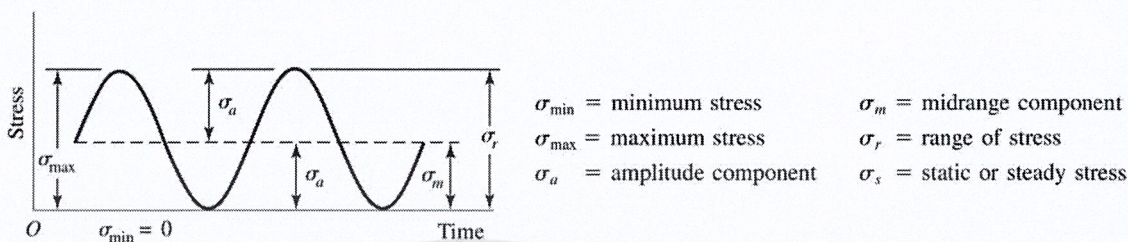
และ

$$k_b = 1.24 d_e^{-0.107}; 2.79 \leq d_e \leq 51 \text{ mm} \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมการ Goodman เพื่อหาค่าความเค้นสูงสุดที่สามารถใช้ได้กับลักษณะการกดอัดงานเป็นรอบ

เครื่องจักรที่ใช้และลักษณะการทำงานเป็นการกดและปล่อยด้วยระบบการอัดไฮดรอลิค ดังนั้นจึงกำหนดสมมติฐานให้มีลักษณะของกราฟวงจรความเค้นเป็นไปตามรูปที่ 40



รูปที่ 40 กราฟวงจรความเค้น

นำหลักการคำนวณ Safety Factor ของ Goodman มาคำนวณ

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} < \frac{1}{n} \quad (3.17)$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{\max}}{2} \quad (3.18)$$

$$\sigma_{\max} \left( \frac{1}{2S_e} + \frac{1}{2S_{ut}} \right) < \frac{1}{n} \quad (3.19)$$

- เนื่องจากมีการโก่งตัวของคานซึ่งเป็นผลมาจากโมเมนต์ ดังนั้น จึงให้สมการความเสียหายเนื่องจากการโก่งงอ

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.20)$$

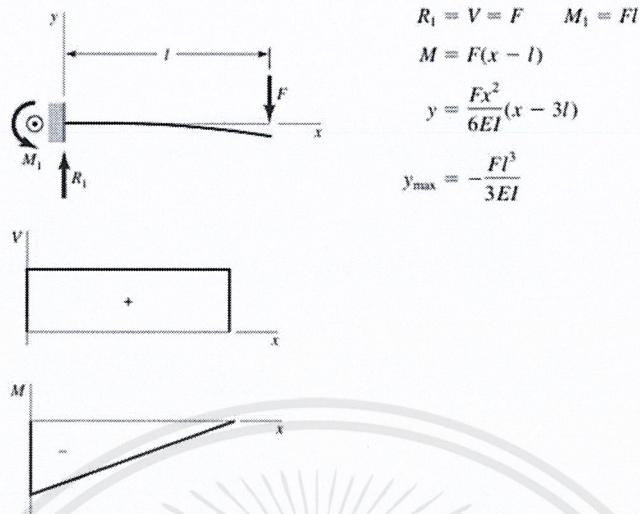
$\sigma$  = ความเค้นเนื่องจากการดัด (MPa)

$M$  = โมเมนต์ (Nm)

$c$  = ระยะจากแกนธรรมชาติดึงถึงผิว (mm)

$I$  = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (N.mm)

- วิเคราะห์การโก่งตัวของคานเนื่องจากการรับแรงและน้ำหนักของคาน



รูปที่ 41 แสดงการโก่งตัวของคานและสูตรที่ใช้คำนวณ

จากรูปที่ 41 สมการที่นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์การเสียรูปจากแนวระดับคือ

$$y_{\max} = \frac{Fl^3}{3EI} \quad (3.21)$$

F = แรงที่กดปลายคาน (N)

l = ความยาวของคาน (mm)

E = ค่ามอดุลัสของยัง (Pa)

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (N.mm)

- สมการการหาแรงในการอัด midship และ tube yoke เข้ากับท่อ (Press and Shrink Fit)

$$P = \frac{\delta}{R \left[ \frac{1}{E_o} \left( \frac{r_o^2 + R^2}{r_o^2 - R^2} + \nu_o \right) + \frac{1}{E_i} \left( \frac{R^2 + r_i^2}{R^2 - r_i^2} + \nu_i \right) \right]} \quad (3.1)$$

เมื่อ P Interference contact pressure

$\delta$  Radial interference

R Outer radius of inner member

$E_o$  Elastic modulus outer member

$E_i$  Elastic modulus inner member

$r_o$  Radius outer member

$r_i$  Inner radius of inner member

$\nu_o$  Poisson ratio of outer member

$\nu_i$  Poisson ratio of inner member

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2.2 Fluid Power System

ในการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ในกระบวนการอัดงานประกอบ (Push Up) จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้าน Fluid Power System เข้ามาวิเคราะห์จากอิทธิพลของความดันของระบบไฮดรอลิกจากเครื่องจักร โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

- สมการการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ

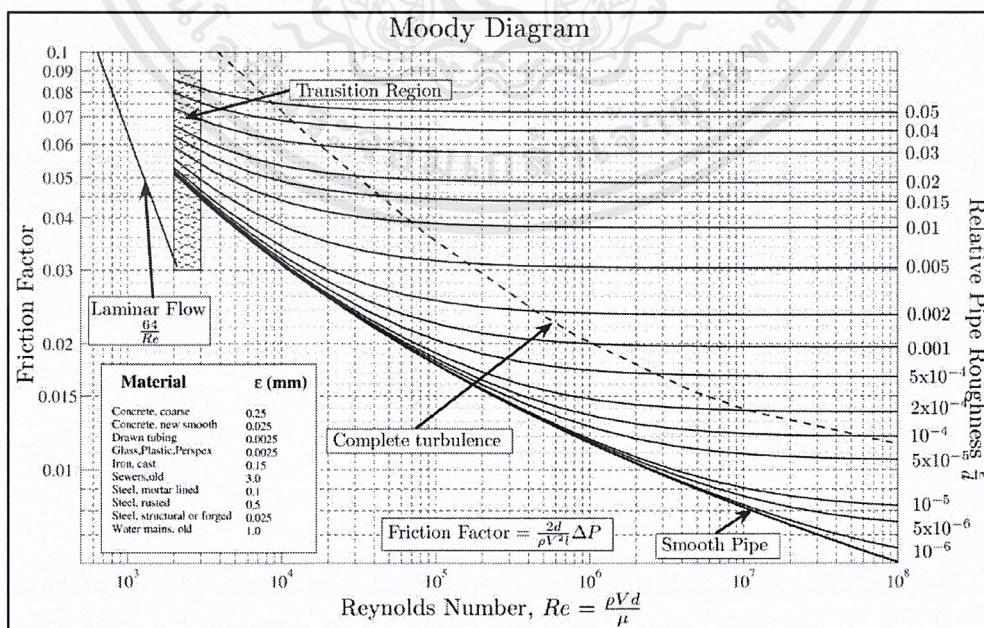
$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (3.22)$$

เมื่อ  $h_f$  = Head loss (m)  
 $f$  = สัมประสิทธิ์การสูญเสียจากความฝืด  
 $L$  = ความยาวของท่อ (m)  
 $D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)  
 $v$  = ความเร็วของของไหล (m/s)  
 $g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s<sup>2</sup>)

ในขณะที่ friction loss coefficient สามารถหาได้จากสมการ

$$f = \frac{64}{N_{RE}} \quad (3.23)$$

หรือจาก Moody Diagram ตามรูปที่ 42



รูปที่ 42 Moody Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมการคำนวณเลขเรย์โนด์

$$N_{RE} = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (3.24)$$

เมื่อ  $N_{RE}$  = เลขเรย์โนด์

$\rho$  = ความหนาแน่น ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

$v$  = ความเร็วของของไหล ( $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ )

$\mu$  = ความหนืดพลวัตของของไหล ( $\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ )

### 3.4.2.3 Computational Failure / Failure Analysis

เนื่องจากรูปแบบผลิตภัณฑ์งานทางวิศวกรรมทั่วไปมักมีรูปร่างซับซ้อน ปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นกับงานทางวิศวกรรมสามารถอธิบายได้โดยกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์และทำการสร้างขึ้นในลักษณะของสมการต่างๆ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ (differential equations) หรือในรูปแบบของสมการอินทิกรัล (integral equations) เป็นต้น

สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาต่างๆ นั้น ปกติจะสร้างขึ้นได้โดยไม่ยาก แต่ผลเฉลยแม่นยำตรง (exact solution) ที่ต้องการและจำเป็นต้องสร้างขึ้นโดยระเบียบวิธีวิเคราะห์ (analytical method) นั้นทำได้ยากมากหรืออาจจะหาไม่ได้เลยก็ได้ เหตุผลดังกล่าวก่อให้เกิดวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ (approximate solution) ขึ้น

นอกจากการแก้ปัญหาเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายโดยวิธีวิเคราะห์แล้ว อีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้วิเคราะห์ความเสียหายของจิ๊กและฟิกเจอร์คือ วิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเพียงเครื่องมือที่ช่วยในการคาดเดาความเสียหาย ไม่ใช่คำตอบที่แท้จริงของความเสียหายที่เกิดขึ้น ความแม่นยำของผลเฉลยโดยประมาณที่คำนวณได้นั้นขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับการสมมติรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายใน (interpolation functions) ที่ใช้สำหรับแต่ละเอลิเมนต์อีกด้วย โดยจะกล่าวแนวคิดพื้นฐานในหัวข้อถัดไป

#### Fundamental steps in a SOLIDWORKS Simulation

ในการเริ่มวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation จะต้องมีการจัดรูปแบบจำลองของชิ้นงาน ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งชิ้นส่วน (part) หรือชิ้นส่วนที่ประกอบขึ้นรูป (assembly) จากนั้นจึงเริ่มกำหนด คุณสมบัติทางวัสดุ, โหลดกระทำจากภายนอก และการกำหนดจุดยึดบนชิ้นงานต่อไปจะเป็นการนำขั้นตอนทั่วไปของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาคือ การแบ่งขอบเขตรูปร่างของชิ้นงานออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ โดยที่เอลิเมนต์ย่อยๆที่แบ่งได้นั้นในความเป็นจริงไม่ได้ถือว่ามีขนาดเล็กที่สุด แต่มีขนาดเล็กพอเมื่อเทียบกับขนาดของชิ้นงานแล้ว ในขั้นตอนนี้เรียกว่า การสร้างเมช (meshing) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation จะทำการหาผลเฉลยโดยการประมาณของสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ทุกเอลิเมนต์ที่รวมเข้าด้วยกัน

### Mesh Analysis

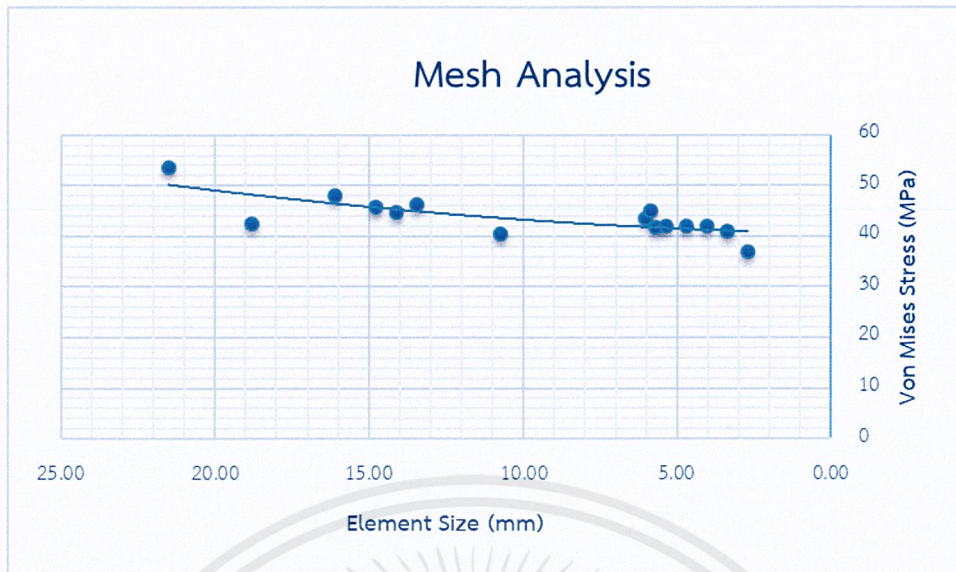
ในการใช้ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการคาดการณ์การเสีรูปของจิ๊กและฟิกเจอร์ที่ออกแบบนั้น ขั้นตอนของการเลือกขนาดเอลิเมนต์เป็นสิ่งสำคัญ ถ้าหาก Mesh มีความละเอียดมากจะทำให้จำลองรูปร่างของชิ้นงานได้เหมือนจริง จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้น เพียงแต่ว่ายิ่ง Mesh มีความละเอียดมากเท่าใด โปรแกรมก็ต้องใช้เวลาในการคำนวณเท่านั้น ดังนั้นการกำหนดความละเอียดที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือและคำนวณได้อย่างรวดเร็ว

Element Size (mm)	Stress (MPa) at x, y, z location -50.5, 71.9, 164
21.50	53.65
18.81	42.60
16.13	48.01
14.78	45.74
14.11	44.85
13.44	46.33
10.75	40.54
8.06	Mesh ไม่เหมาะสม (อ้างอิงจากค่าเตือนซอฟต์แวร์)
6.72	Mesh ไม่เหมาะสม (อ้างอิงจากค่าเตือนซอฟต์แวร์)
6.05	43.52
5.88	45.08
5.71	41.86
5.38	42.10
4.70	41.90
4.03	41.99
3.36	41.05
2.69	36.96

ตารางที่ 7 แสดงขนาดของเอลิเมนต์เทียบกับค่า von mises stress

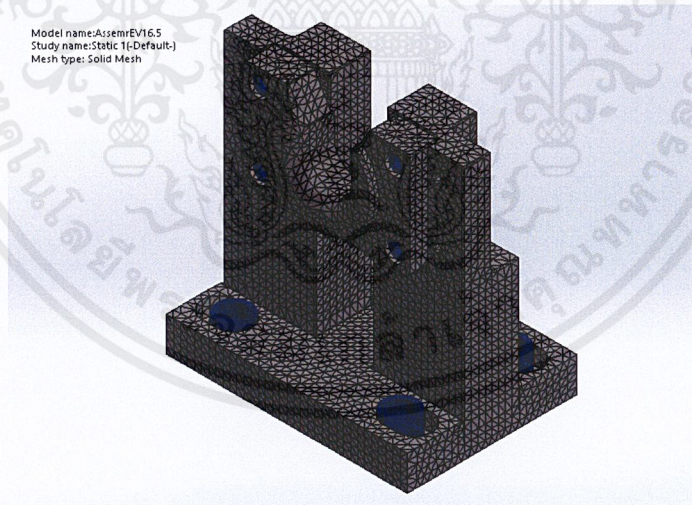
จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่เอลิเมนต์มีขนาดตั้งแต่ 18 – 6 มิลลิเมตร ค่าของ von mises stress มีการแกว่งขึ้นลงมีแนวโน้มไม่แน่นอน แต่เมื่อลองเลือกขนาดเอลิเมนต์ในช่วง 5.71 - 4.03 มิลลิเมตร ค่าของ von mises stress จะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 42 MPa การหาขนาดของ Mesh ที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้จากกราฟต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 43 กราฟ Mesh Analysis

จากกราฟของรูปที่ 43 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความละเอียด Mesh ให้มากขึ้นในช่วง 5.71-4.03 มิลลิเมตร ผลลัพธ์ที่ได้จะใกล้เคียงกัน จนถึงจุดๆหนึ่งที่ถึงแม้ว่าจะเพิ่มความละเอียด Mesh แต่ก็ไม่ทำให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้แตกต่างจากเดิม จะได้ความละเอียด Mesh ที่เหมาะสม และผลลัพธ์ที่ได้จะเพิ่มความน่าเชื่อถือ เราเรียกค่าผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มเริ่มนิ่งว่า ผลลัพธ์มีการลู่เข้า (convergent) ดังนั้นในการเลือกขนาด Mesh เพื่อใช้ในการ Simulation จึงเลือกขนาดอยู่ที่ประมาณ 5 มิลลิเมตร



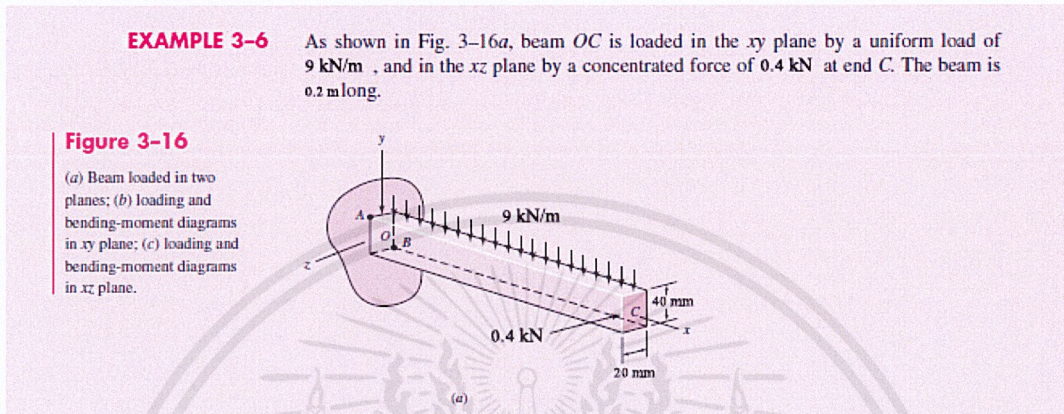
รูปที่ 44 แสดงรูปทรงชิ้นงานที่ใช้วิเคราะห์ Mesh Analysis

รูปทรงชิ้นงานที่ใช้ในการทำ Mesh Analysis ในโปรแกรม SOLIDWORKS Simulation จำลองเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของจิ๊กและฟิกเจอร์ ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ได้รับแรงกระทำโดยตรง คือ Base, Frame และ Pressing plate ตามรูปที่ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Analytical Method VS Numerical Method

เพื่อให้แน่ใจว่า การใช้ Software SOLIDWORKS Simulation เข้ามาเป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับจิกและฟิกเจอร์ที่ทำการออกแบบ จำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้ โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าความเค้น Von Mises จากรูปร่างปัญหาอย่างง่าย ด้วยวิธีการเชิงวิเคราะห์และวิธีเชิงตัวเลขขั้นสูง (Finite Element Analysis)



รูปที่ 45 ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่ใช้ทำการเปรียบเทียบค่าจากการคำนวณด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากรูปที่ 45 ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่ 3-6 อ้างอิงจากหนังสือเรียน Shigley's Mechanical Engineering Design Edition 9<sup>th</sup> พิจารณาเฉพาะความเค้นในแนวแกน  $x$  ที่จุด  $A$  จากผลของแรงกระทำขนาด  $0.4 \text{ kN}$  คำนวณด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ ได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ} \quad \sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.20)$$

$$\text{เมื่อ} \quad (M_y)_o = Fl \quad (3.20a)$$

$$= 0.4(0.2)$$

$$\text{และ} \quad I_y = \frac{1}{12} (0.04)(0.02)^3$$

$$= 26.7 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

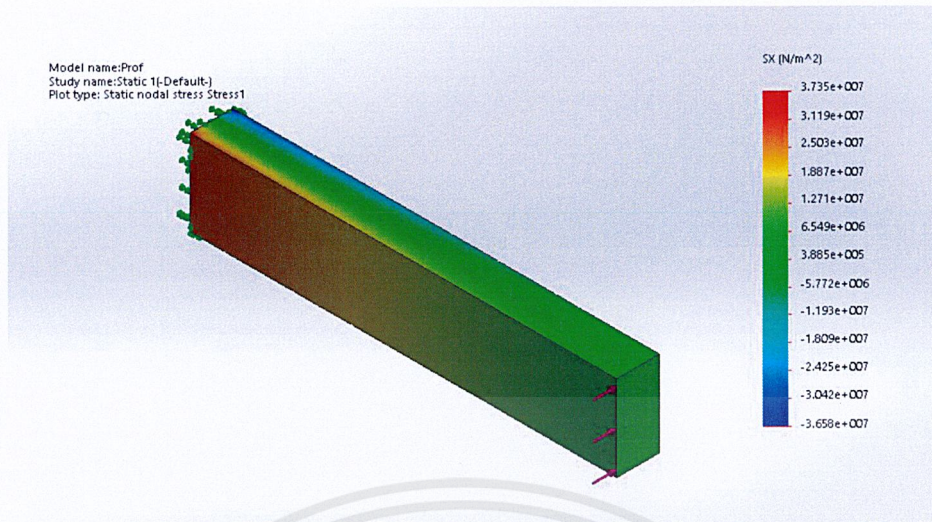
$$\text{จะได้} \quad (\sigma_x)_A = \frac{0.08(0.01)}{26.7 \times 10^{-9}}$$

$$= 29962.55 \text{ kPa}$$

$$= 29.96 \text{ MPa}$$

นำตัวอย่างโจทย์ปัญหาเดียวกันนี้ทำการคำนวณหาค่าความเค้นในแนวแกน  $x$  ที่จุด  $A$  จากผลของแรงกระทำขนาด  $0.4 \text{ kN}$  เช่นเดียวกัน คำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลขขั้นสูง (Finite Element Analysis) บนพื้นฐานสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเค้นในแนวแกน  $x$  เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 46 แสดงการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS

ค่าความเค้นที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ตามรูปที่ 46 มีค่ามากกว่าจากการคำนวณด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์ดังที่กล่าวข้างต้น เนื่องจาก การคำนวณด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์นั้นมีการกำหนดสมมติฐานให้รูปทรงในโจทย์ปัญหาเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) กล่าวคือไม่มีการเสียรูป ในขณะที่การคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ความเค้นจากการเสียรูป ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic Modulus) และอัตราส่วนปัวส์ซง (Poisson's Ratio)

Material	Elastic Modulus (N/m <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio	SX Normal Stress (MPa)
Aluminium 1060 Alloy	$6.9 \times 10^{10}$	0.33	35.33
ZnAc 41A	$8.5 \times 10^{10}$	0.3	34.86
AISI 1020	$2.0 \times 10^{11}$	0.19	34.71
AISI 1010	$2.0 \times 10^{11}$	0.19	34.71

ตารางที่ 8 ตารางเปรียบเทียบค่าความเค้นตามแนวแกน x จากวัสดุต่างชนิด

จากตารางที่ 8 แสดงค่าการวิเคราะห์ความเค้นตามแนวแกน x เมื่อเลือกใช้วัสดุต่าง ๆ กัน ค่าความเค้นที่ได้มีค่าต่างกัน จากความสัมพันธ์ของค่าความเค้นกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นและอัตราส่วนปัวส์ซง ในขณะที่วัสดุจำพวก Steel จะมีความอดูลัสความยืดหยุ่นใกล้เคียงกัน ค่าความเค้นที่ได้จึงมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่า การคำนวณค่าความเค้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะคำนวณแรกเริ่มที่ค่าความเสียหาย ความเครียดและความเค้น ตามลำดับ

ในการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ รายงานฉบับนี้กำหนดให้วัสดุที่ใช้ออกแบบคือ AISI 1020 ค่าความเค้นที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับวิธีเชิงวิเคราะห์มีความแตกต่างกันอยู่ที่ 15.85 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 การออกแบบ

#### 3.4.3.1 สมมติฐานการออกแบบ

##### 3.4.3.1.1 การออกแบบ CVJ Push Up Fixture

#### วัตถุประสงค์การออกแบบ

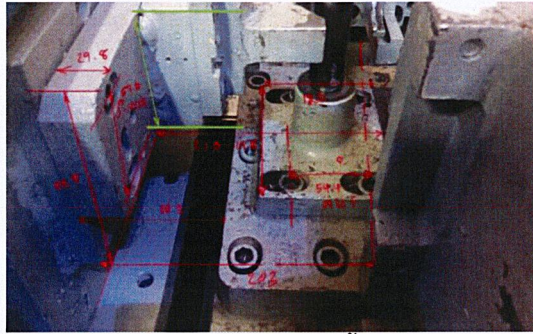
1. เพื่อออกแบบฟิกเจอร์ที่สามารถรองรับแรงและไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายจากแรงปฏิกิริยา
2. เพื่อให้ฟิกเจอร์สามารถรองรับแรงที่ถูกตั้งค่าไว้ใช้งานกับเพลารุ่นอื่นในสายการผลิตนี้ได้ ต้องไม่มีการปรับค่าใหม่เพื่อความสะดวกในการประกอบกับเพลารุ่นอื่นๆในแต่ละวัน
3. เพื่อให้การติดตั้งฟิกเจอร์เข้ากับเครื่องจักรไม่มีการดัดแปลงรูปร่างของเครื่องจักร

#### ข้อกำหนดของการออกแบบ

1. ความแข็งแรงของฟิกเจอร์ซึ่งถูกวิเคราะห์มาจากจำนวนรอบการใช้งาน
2. น้ำหนักต้องใกล้เคียงหรือน้อยกว่าฟิกเจอร์อ้างอิงที่มีการใช้จริงในสายการผลิต
3. ตำแหน่งและวิธีการติดตั้งเข้ากับเครื่องจักร ตามรูปที่ 47

#### ขั้นตอนและวิธีการเลือกขนาดของการออกแบบฟิกเจอร์

1. วิเคราะห์ฟิกเจอร์อ้างอิงที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายกับฟิกเจอร์ที่ต้องการออกแบบ
2. กำหนดวัสดุเพื่อวิเคราะห์ความสามารถวัสดุที่ทนต่อการรองรับการใช้งาน (ฟิกเจอร์ผู้ออกแบบเลือกเหล็กผสมคาร์บอนเนื่องจากเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงจากการผสมคาร์บอน)
3. นำค่าความเค้นที่ได้จากข้อสองมาเป็นค่ากำหนดการออกแบบขนาดต่างๆของฟิกเจอร์โดยใช้วิธีการคำนวณอย่างง่าย
4. ใช้ซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์รูปแบบที่ซับซ้อนมากขึ้นที่ถูกออกแบบมาจากการคำนวณอย่างง่าย
5. ปรับรูปแบบฟิกเจอร์เพื่อให้มีความแข็งแรงตามความเค้นที่กำหนดสำหรับการออกแบบ
6. ลดน้ำหนักของฟิกเจอร์เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานจริง
7. คำนวณความแข็งแรงของวัสดุซ้ำเนื่องจากผลของตัวประกอบที่เพิ่มขึ้นจากขนาดที่ถูกออกแบบมาได้ใหม่
8. ทดสอบความแข็งแรงด้วยซอฟต์แวร์



รูปที่ 47 การวัดขนาดของตำแหน่งติดตั้งฟิกเจอร์บนเครื่องจักร

### วิเคราะห์ฟิกเจอร์อ้างอิง



รูปที่ 48 ฟิกเจอร์ต้นแบบสำหรับการออกแบบ CVJ

จากรูปที่ 48 ฟิกเจอร์อ้างอิงหนัก 13 กิโลกรัมมีการประกอบของชิ้นส่วนหลัก 7 ชิ้น คือ

- แผ่นรับแรง (Pressing plate) 1 ชิ้น
- เฟรม (Frame) 2 ชิ้น
- ฐานฟิกเจอร์ (Base) 1 ชิ้น
- วงแหวนแผ่นประคอง CVJ 1 ชิ้น
- คานเชื่อมระหว่างเฟรมและวงแหวนแผ่นประคอง CVJ 2 ชิ้น

การแยกชิ้นส่วนของฟิกเจอร์แล้วนำมาประกอบกันเพื่อรองรับการถอดข้อชิ้นส่วนบางชิ้นที่เกิดความเสียหายจากการทำงาน จากการวิเคราะห์ของผู้ออกแบบชิ้นส่วนที่มีโอกาสเกิดความเสียหายสูงที่สุดคือ

- เฟรม (เนื่องจากเป็นส่วนที่รับภาระเป็นตั้งฉากกับแนวแรงส่งผลให้เกิดการโก่งตัว)
- แผ่นรับแรง (เนื่องจากรับภาระจากการกดโดยตรง)

ดังนั้นการออกแบบฟิกเจอร์ใหม่ผู้ออกแบบจะอ้างอิงตามวิธีการประกอบตามฟิกเจอร์ต้นแบบ การออกแบบจะเริ่มวิเคราะห์และกำหนดขนาดจากส่วนประกอบที่รับแรงหลักตามลำดับคือ

1. แผ่นรองรับแรงกด
2. เฟรมและฐาน (การออกแบบบานจะถูกยึดตามรูปร่างของเฟรม)
3. วงแหวนแผ่นประคอง CVJ
4. คานเชื่อมระหว่างเฟรมวงแหวนประคอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิเคราะห์การเลือกวัสดุ จากอายุการใช้งาน

ลักษณะของการใช้งานพิกเจอร์จะถูกกดด้วยแรงขนาด 50 kN (ผู้ออกแบบทำการประมาณ เนื่องจากค่าแรงที่เก็บได้จากกระบวนการปัจจุบัน) ซึ่งวัสดุที่ถูกนำมาใช้ต้องมีค่าความแข็งที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงาน (CVJ) ที่มีค่าความแข็ง 52 HRC และต้องไม่ทำให้มีความเสียหายกับพิกเจอร์ จึงต้องเลือกวัสดุที่มีค่าความแข็งใกล้เคียงกับความแข็งของ CVJ จากข้อกำหนดข้างต้นผู้ออกแบบเลือกใช้เหล็กผสมคาร์บอนต่ำซึ่งมีความแข็งไม่มากก่อนการนำไปชุบแข็ง (10-15 HRC) ทั้งนี้เพื่อลดงบประมาณหาเกิดข้อผิดพลาดจากการออกแบบและต้องนำพิกเจอร์ไปปรับแก้และทำการชุบแข็งภายหลังเพื่อเพิ่มความแข็งให้ใกล้เคียงกับ CVJ ณ ตำแหน่งที่มีการรับแรงโดยตรง (Pressing Plate)

#### การคำนวณ Tool life

เพื่อนำไปเลือกวัสดุและวิเคราะห์ค่าประกอบความปลอดภัยที่เหมาะสมผู้ออกแบบคำนวณ Endurance limit ดูจำนวนครั้งที่สามารถใช้งานได้ของวัสดุและความเค้นที่เหมาะสมในการกำหนดขอบเขตของการออกแบบ แต่ทั้งนี้การคำนวณจำเป็นต้องเลือกวัสดุเพื่อนำไปกำหนดค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Safety of factor) ต่ำสุดที่ยอมรับได้จึงทำการเริ่มเลือกวัสดุที่มีจำนวนการใช้งานได้ต่ำที่สุดคือ AISI 1020 ตามตารางที่ 9

**Table A-27**  
Finite Life Fatigue Strengths of Selected Plain Carbon Steels Source: Compiled from Table 4 in H. J. Grover, S. A. Gordon, and L. R. Jackson, Fatigue of Metals and Structures, Bureau of Naval Weapons Document NAVWEPS 0025-534, 1960.

Material	Condition	BHN*	Tensile Strength kpsi	Yield Strength kpsi	RA*	Stress Cycles to Failure						
						10 <sup>6</sup>	4(10 <sup>6</sup> )	10 <sup>7</sup>	4(10 <sup>7</sup> )	10 <sup>8</sup>	4(10 <sup>8</sup> )	
1020	Furnace cooled		58	30	0.63			37	34	30	28	25
1030	Aircooled	135	80	45	0.62		51	47	42	38	38	38
1035	Normal	132	72	35	0.54			44	40	37	34	33
	WGT	209	103	87	0.65		80	72	65	60	57	57
1040	Forged	195	92	53	0.23				40	47	33	33
1045	HR, N		107	63	0.49	80	70	56	47	47	47	47
1050	N, AC	164	92	47	0.40	50	48	46	40	38	34	34
	WGT											
1200		196	92	70	0.58		50	57	52	50	50	50
.56 MN	N	193	98	47	0.42	61	55	51	47	43	41	41
	WGT	277	111	84	0.57	94	81	73	62	57	55	55
	1200											
1060	As Rec.	67 Fb	134	65	0.20	65	60	55	50	48	48	48
1095		162	84	33	0.37	50	43	40	34	31	30	30
	OQT	227	115	65	0.40	77	68	64	57	56	56	56
	1200											
10120		224	117	59	0.12		60	56	51	50	50	50
	OQT	369	180	130	0.15		102	95	91	91	91	91
	860											

\*BHN = Brinell hardness number; RA = fractional reduction in area

ตารางที่ 9 ตารางบอกขนาดความเค้นที่ยอมรับได้สำหรับจำนวนรอบการใช้งานของเหล็กคาร์บอนต่ำ

โดยสมการที่ใช้จะเป็นสมการวิเคราะห์ Fatigue stress เปรียบเทียบกับ จำนวนรอบของการใช้งาน

$$S'_f = \text{ความเค้นของความล้า}$$

$$\sigma'_F = \text{ความเค้นจริง}$$

$$b = \text{ดีกรีของสมการ S-N Curve ขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้}$$

$$N = \text{จำนวนรอบที่สามารถใช้งานได้}$$

$$S_{ut} = \text{ultimate tensile stress}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$S'_e$  = ค่า Endurance limit ของการทดสอบหมุนขึ้นงาน

$N_e$  = จำนวนรอบสำหรับค่า Endurance limit กำหนดเป็น  $10^6$  รอบ

$$(S'_f)_N = \sigma'_F(2N)^b \quad (3.9)$$

$$\sigma'_F = S_{ut} + 345 \quad (3.10)$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (3.11)$$

เมื่อ  $S_{ut} = 420$  (AISI 1020),  $N_e = 10^6$

$$\sigma'_F = 765 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 210 \text{ MPa}$$

$$b = -\frac{\log(\sigma'_F/S'_e)}{\log(2N_e)} \quad (3.25)$$

$$b = -\frac{\log\left(\frac{765}{210}\right)}{\log(2 \times 10^6)}$$

$$b = -0.0891$$

สำหรับงานที่กัดแล้วปล่อย  $N = \frac{N}{2}$  จากหนังสือ Machine Design Shigley Edition 10 หน้า 283

$$(S'_f)_N = 765(N)^{-0.0891} \quad (3.26)$$

จากสมการข้างต้นที่การใช้งาน 100,000 รอบความเค้นที่ยอมรับคือ 274 MPa ซึ่งมีค่ามากกว่ารูปภาพตารางที่ 9 ดังนั้น ยังไม่สามารถใช้สมการ S-N curve ในการบอกค่าความเค้นที่ยอมรับจากจำนวนรอบที่ต้องการได้

การวิเคราะห์ Endurance limit ( $S_e$ )

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (3.12)$$

$k_a$  = ค่าตัวประกอบรูปแบบผิวขึ้นงาน

$k_b$  = ค่าตัวประกอบขนาดรูปร่างของขึ้นงาน

$k_c$  = ค่าตัวประกอบการใช้งาน

$k_d$  = ค่าตัวประกอบอุณหภูมิที่มีผลต่อการใช้งาน

$k_e$  = ค่าตัวประกอบความเชื่อถือได้

$k_f$  = ค่าตัวประกอบอื่นๆที่อาจส่งผลต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (3.13)$$

\*ตามตารางที่ 6-2 (Page 296) ของหนังสือ Shigley's งานที่ใช้ขึ้นรวมโดยส่วนใหญ่เป็นงาน Machined \*

$$k_a = 4.51(420)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.91$$

เงื่อนไขการกำหนดค่าตัวประกอบอื่นๆ

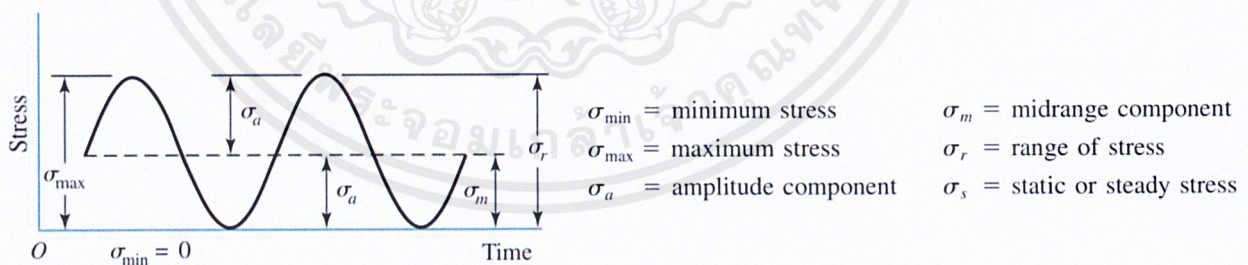
- ยังไม่สามารถกำหนดขนาดของฟิกเจอร์เป็นชิ้นส่วนอย่างเจาะจงได้
- การใช้งานจะเป็นการใช้งานเพื่อรองรับความเค้นตัด
- การใช้งานไม่มีอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องในการทำงาน
- ไม่สามารถกำหนด  $k_e, k_f$  อย่างจำเพาะได้

ดังนั้น

$$\begin{aligned} k_b &= k_c = k_d = k_e = k_f = 1 \\ S_e &= 0.91(0.5S_{ut}) \\ S_e &= 191.1 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (3.27)$$

ลักษณะของการกด

เครื่องจักรที่ใช้และลักษณะการทำงานเป็นการกดและปล่อยด้วยระบบการอัดไฮดรอลิคดังนั้น จึงมีลักษณะของกราฟวงจรความเค้นเป็นไปตามภาพที่ 49



รูปที่ 49 กราฟวงจรความเค้น

นำหลักการคำนวณ Safety Factor ของ Goodman มาคำนวณ

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} < \frac{1}{n} \quad (3.17)$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{\max}}{2} \quad (3.18)$$

$$\sigma_{\max} \left( \frac{1}{2S_e} + \frac{1}{2S_{ut}} \right) < \frac{1}{n} \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาและการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามตารางที่ 10 ค่าตัวประกอบความปลอดภัยจาก 10% - 100% เพื่อเลือกความเค้นที่เหมาะสมต่อการออกแบบ

Endurance limit Calculation		
SOF		Maximum Stress ( $\sigma_{max}$ )
1.1	10%	238.6
1.2	20%	218.8
1.3	30%	201.9
1.4	40%	187.5
1.5	50%	175
1.6	60%	164.1
1.7	70%	154.4
1.8	80%	145.8
1.9	90%	138.2
2	100%	131.3

ตารางที่ 10 ตารางค่าตัวประกอบความปลอดภัย

ในการเลือกตัวประกอบความปลอดภัยจะนำปริมาณเพลลาที่จำเป็นต้องผลิตออกมาทั้งหมดรวมถึงงาน service part 8 ปี โดยมีหลักการคำนวณดังนี้

$$(\text{Model life}) + (10\% \text{ of Model life}) \times 8 = \text{Overall Product} \quad (3.28)$$

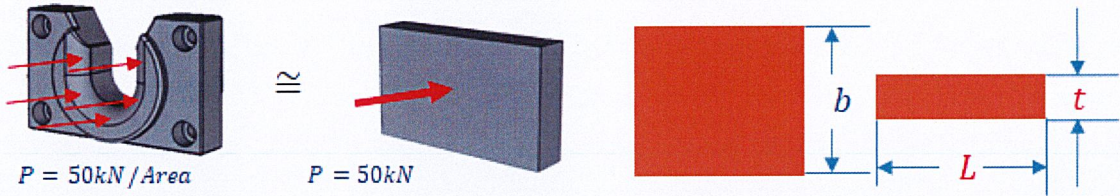
\*Model life คือจำนวนเพลลาที่จะต้องผลิตในทุกปีของ เพลารุ่นหนึ่งๆ

ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 50,400 ตัวโดยประมาณ ทั้งนี้ผู้ออกแบบเพื่อจำนวนครั้งที่สามารถกดได้เพิ่มไปจากค่าดังกล่าวสำหรับในกรณีมีข้อตกลงการเพิ่มจำนวนการผลิตของเพลลา T6 MEA โดยเลือกเฟื่อไว้ที่ 2 เท่า คือ 108,000 ตัว หากนำไปแปลงเป็นค่าความเค้นตามสมการที่ 3.55 จะมีค่าเท่ากับ 273 MPa ซึ่งค่าความเค้นดังกล่าวเมื่อถูกกำหนดให้เป็นค่าความเค้นสูงสุดจะให้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยตามสมการของ Goodman ต่ำกว่า 1 หากอ้างอิงจากรูปตารางที่ 9 ค่าความเค้นที่ถูกเลือกใช้สำหรับ AISI 1020 จำนวน 100,000 ครั้งคือ 255 MPa (ค่าตัวประกอบความปลอดภัยจากสมการของ Goodman คือ 1.03 หรือ 3% จากค่าประกอบความปลอดภัย 1) แต่เพื่อเพิ่มคุณภาพการออกแบบจึงกำหนดค่าตัวประกอบความปลอดภัยกำหนดเพื่อขึ้นเป็น 10 เปอร์เซ็นต์จากตัวประกอบความปลอดภัย 1 เป็น 1.1 มีค่าความเค้นสูงสุดตามสมการของ Goodman 238 MPa จึงใช้ค่าความเค้นดังกล่าวกำหนดการออกแบบขนาดของฟิกเจอร์

#### การออกแบบแผ่นรองรับแรง (Pressing Plate)

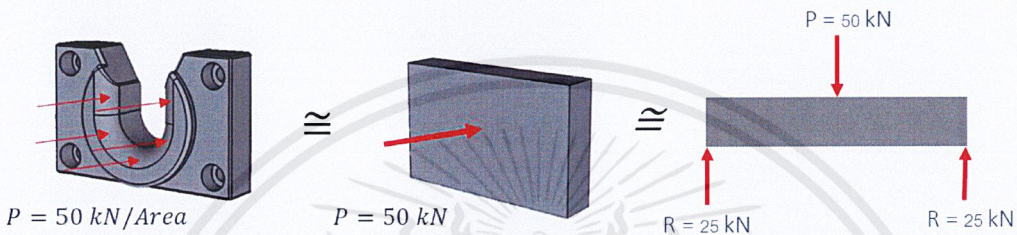
ผู้ออกแบบเริ่มออกแบบ แผ่นรองรับแรงเพื่อกำหนดขนาดความหนา (t) ของแผ่นรองรับแรง ซึ่งจะส่งผลต่อการกำหนดความกว้างของเฟรมตามรูปที่ 50 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 50 แสดงขนาดที่จะออกแบบของแผ่นรองรับแรง (Pressing Plate)

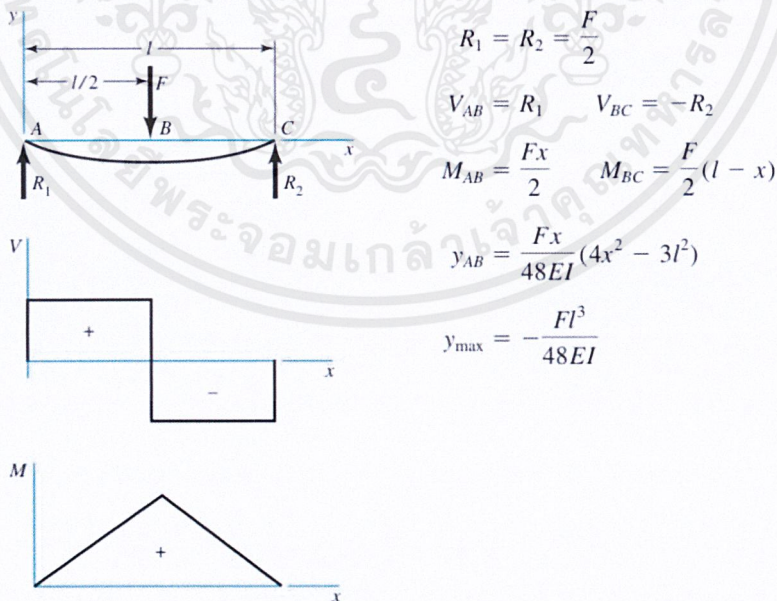
กำหนดรูปแบบอย่างง่ายเพื่อวิเคราะห์ลักษณะความเสียหาย



รูปที่ 51 แสดงการวิเคราะห์แรงกระทำบนแผ่นรองรับแรง (Pressing Plate)

จากภาพที่ 51 และ 52 กำหนดลักษณะความเสียหายจากการใช้จะส่งผลให้แผ่นรองรับแรงเกิดการโก่งตัว วิเคราะห์โดยสร้างแผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์ที่เกิดขึ้น และมองแผ่นรับแรงกุดเป็นคานจากนั้น นำสมการความเค้นดัดมาวิเคราะห์ และแรงที่ใช้ในการคำนวณจะเผื่อจากแรงที่อ่านได้จาก 4.5 tons เป็น 5 tons เพื่อให้ฟีกเจอร์สามารถรองรับแรงที่มากขึ้น

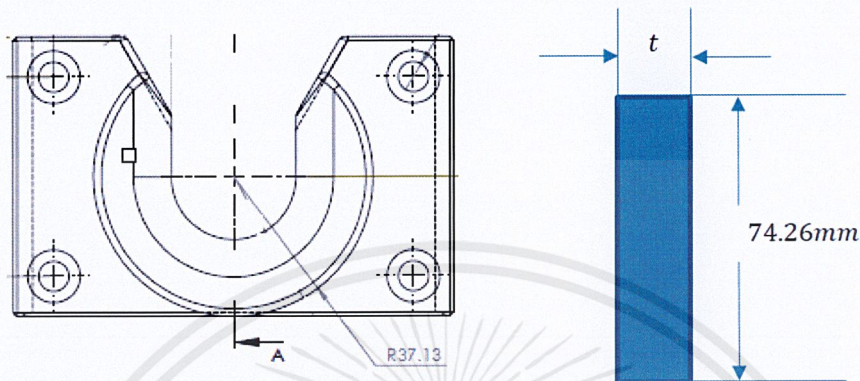
5 Simple supports—center load



รูปที่ 52 การโก่งตัวของคานเมื่อรับแรงจุดบริเวณกึ่งกลางคาน

หากกำหนดให้แผ่นรองรับแรงรับแรงจุด (point load) ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นกุดจะเกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางของคานดังรูปที่ 52 ดังนั้นสามารถนำมาสร้างสมการความเค้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายและเลือกความหนา รวมถึงความยาวของแผ่นกดได้ กำหนดลักษณะหน้าตัดของแผ่นรับแรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมตามภาพที่ 53 เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายจากโมเมนต์ดัดและเนื่องจากกำหนดให้แรงเฉือนต่อพื้นที่มีผลต่อการคำนวณน้อยมากและให้สะดวกต่อการคำนวณ กำหนดขนาดเบื้องต้นจึงใช้สมการวิเคราะห์ความเสียหายจากการโก่งงอเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 53 แสดงขนาดของแผ่นรองรับ (Pressing Plate)

แผ่นรับแรงกดต้องถูกออกแบบให้สามารถวาง CVJ ได้ ดังนั้นผู้ออกแบบจึงให้ความกว้างของหน้าตัดแผ่น (b) มีขนาดเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของ CVJ คือ รัศมี 37.13 มิลลิเมตร หรือ เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 74.26 มิลลิเมตรดังรูปที่ 53 ซึ่งเป็นขนาดความกว้างของแผ่นที่เล็กที่สุดสำหรับการออกแบบนี้ ตัวแปรต่อไปที่ยังไม่ทราบค่าคือ ความยาวของแผ่น (L) และความหนาของแผ่น (t) ตามรูปที่ 50 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.20)$$

เนื่องจากสมมติให้แผ่นมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม การวิเคราะห์ด้วยสมการที่ 3.20 และกราฟตามรูปที่ 52 ดังนั้นสูตรที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์คือ

$$\sigma = \frac{3PL}{2bt^2} \quad (3.29)$$

ใช้ค่าความเค้น 238 MPa และกำหนดขนาดที่เล็กที่สุดของความยาวแผ่น (เพื่อตำแหน่งการเจาะ bolt) ด้านละ 20 มิลลิเมตรและเพื่อขนาดการเก็บขอบงานได้ความยาวสั้นที่สุดของแผ่นกดที่ยอมรับได้ถูกกำหนดเป็น 117 มิลลิเมตร

ดังนั้น

$$t = \sqrt{\frac{3PL}{2b\sigma}} \quad (3.29a)$$

$$t = 22.3 \text{ mm}$$

ขนาดความหนาของแผ่นกดจะส่งผลต่อระยะจับขึ้นงานระหว่างเครื่องจักรกับฟิกเจอร์ได้ ดังนั้นจึงเมื่อขนาดค่าจากการคำนวณเพื่อให้สามารถแก้ขนาดขึ้นงานภายหลังการขึ้นรูป ขนาดความหนาที่เลือกคือ 23 มิลลิเมตรขนาดของ Hexagon Screw head cap ที่เลือกใช้สามารถคำนวณได้โดยกำหนดให้มีการติดเป็น 4 จุดรองรับแรง 50 kN ดังนั้นแต่ละจุดจะมีการรับภาระ 12.5 kN โดยเกรดของ screw ที่ใช้คือ 12.9 ซึ่งมีความแข็งแรง Yield Stress 1100 MPa เมื่อกำหนดค่าประกอบความปลอดภัยไว้ที่ 3 ขนาดของ Bolt ที่เหมาะสมคือ M8

การคำนวณและออกแบบเฟรมเพื่อรองรับแรงที่ส่งถ่ายมาจากแผ่นรองรับแรงกด

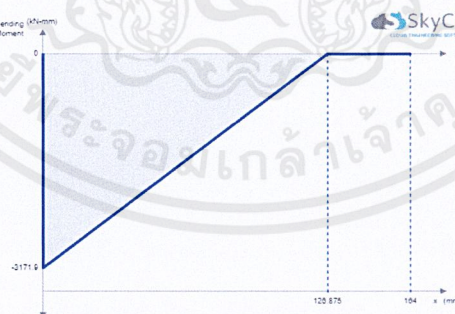
จากการคำนวณของแผ่นรับแรงกดและตำแหน่งการติดตั้งกับเครื่องอัด เป็นผลให้ต้องกำหนดค่าตัวแปรตามสมการที่ 3.19 โดยตั้งสมมติฐานการคำนวณตามภาพที่ 56

### Shear Diagram



รูปที่ 54 Shear Diagram

### Moment Diagram



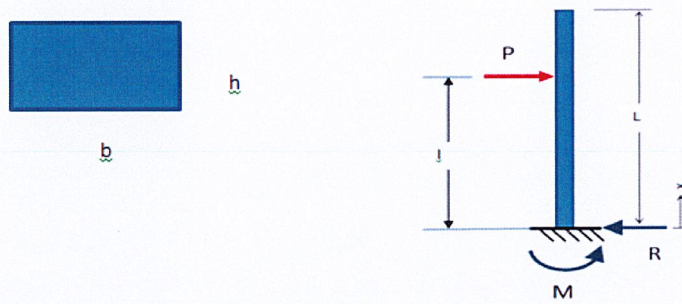
รูปที่ 55 Moment Diagram

พบว่าจากภาพกราฟรูปที่ 54 และ 55 แรงเฉือนโมเมนต์ตำแหน่งที่จะสามารถทำให้เกิดโมเมนต์สูงสุดได้คือตำแหน่งที่ (x=0) และจะเป็นตำแหน่งที่ผู้เขียนนำไปคำนวณวิเคราะห์ความเสียหายด้วยสมการ

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสำหรับหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมสามารถจัดรูปสมการเป็น



รูปที่ 56 แผนภาพวัตถุอิสระของการออกแบบเฟรม

$$h = \sqrt{\frac{6Pl}{b\sigma}} \quad (3.30)$$

$h$  = ความหนาของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของเฟรม (mm)

$P$  = แรงที่ Pressing Plate กดเฟรม ซึ่งมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงทั้งหมด เนื่องจากมีเฟรมรับแรงสองด้าน (25,000 N)

$l$  = ตำแหน่งที่มีแรงกระทำบนเฟรม (mm) โดยอ้างอิงจากตำแหน่ง  $x = 0$  จากรูปที่ 56

$b$  = ความกว้างพื้นที่หน้าตัดเฟรม (mm) มีค่าเท่ากับ 65 mm ถูกกำหนดโดยการเผื่อระยะสำหรับเจาะรู และ ขนาดพอดีกับฐาน (Base) ที่อ้างอิงจากขนาดที่มีอยู่ ณ เครื่องอัด

$\sigma$  = ความเค้นดัด (MPa) ที่ตำแหน่ง  $x = 0$

$$h = \sqrt{\frac{6(25000)(126.875)}{65(238000000)}}$$

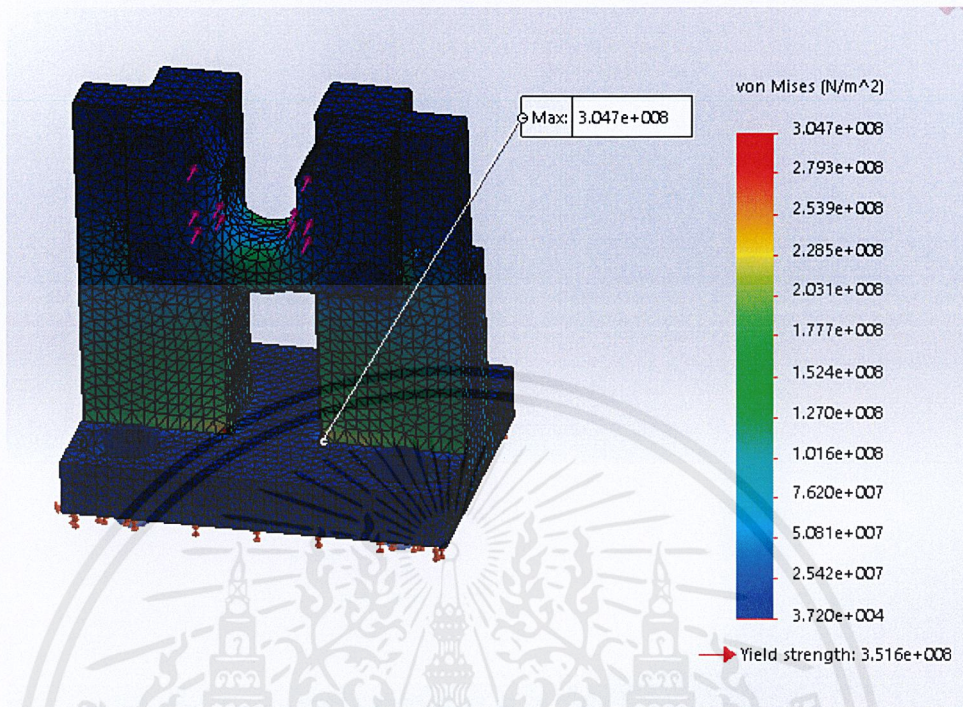
$$h = 35 \text{ mm}$$

จากการแก้สมการดังนั้นความหนาที่เริ่มเลือกมาใช้สำหรับการออกแบบเฟรมคือ 35 มิลลิเมตรและเนื่องจากเฟรม ที่ต้องออกแบบจะมีรูปทรงของระนาบตัดไม่สม่ำเสมอเนื่องจากตำแหน่งการยึดต่อกับชิ้นส่วนอื่นๆของฟิกเจอร์ จึงอาศัยโปรแกรม SOLIDWORKS เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element การทำ simulation จะทำ โดยประกอบชิ้นส่วนที่ต้องรับแรง (Pressing Plate, Base และ Frame) ก่อนทำการ Simulation การ Simulation ครั้งที่ 1

เนื่องจากการคำนวณอย่างง่ายผู้ออกแบบไม่ได้คำนึงถึงการยึดต่อกันของชิ้นส่วนของฟิกเจอร์ ซึ่งอาจส่งผลถึงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริงดังนั้นในการทำ Simulation จึงเป็นการประกอบกันของชิ้นส่วนหลักซึ่งรับแรงจากภาระโดยตรง คือ เฟรมทั้งสองชิ้น (Frame) ฐานฟิกเจอร์ (Base) และแผ่นรองรับแรงกด (Pressing Plate) รวมไปถึง Bolt ณ ตำแหน่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่ใช้เป็นแรงกระจาย 50 kN ณ ตำแหน่งที่ แผ่นรองรับแรงกดสัมผัสกับ CVJ และเป็น การ Simulation ในฟังก์ชันการ Simulation แบบ Static



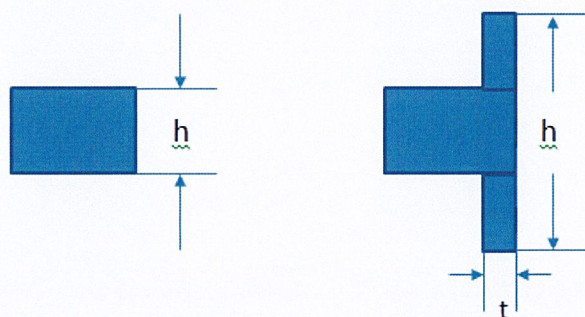
รูปที่ 57 แสดงผลจากการ von mises stress simulation ครั้งที่ 1

จากการ Simulation ครั้งที่ 1 ตามรูปที่ 57 พบว่าเกิดค่าความเค้นในตำแหน่งหน้าสัมผัส ระหว่างฐานกับเฟรมเกินกว่าค่าที่ความเค้นที่กำหนดไว้คือ 238 MPa ดังนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยน รูปทรงพื้นที่หน้าตัดของเฟรมให้สามารถรองรับ ความเค้นดัดและตำแหน่งสัมผัสกับฐานฟิกเจอร์ ทิศทางของการออกแบบเสริมความแข็งแรงจะถูกกำหนดด้วยสมการที่ 3.31

จากสมการ

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2} \quad (3.31)$$

การเพิ่มค่า h จะส่งผลให้ ความเค้นดัด มีขนาดลดลง แต่จำเป็นต้องคำนึงถึงตำแหน่งของการ เจาะรูที่ฐานประกอบกับเฟรมดังนั้นจึงเลือกออกแบบพื้นที่หน้าตัดของเฟรมตามรูปที่ 58



รูปที่ 58 แสดงขนาดของเฟรมที่ต้องการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

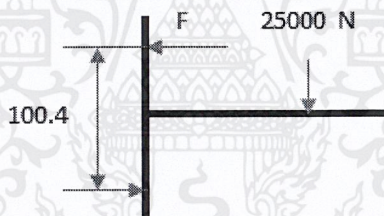
โดยขนาดของค่า  $h$  ที่เลือกใช้จะพอดีกับขนาดความกว้างของฐานเพื่อลดตำแหน่งระนาบสัมผัสระหว่างฐานและเฟรมตามแนวภาระแรงที่กระทำกับเฟรม การเปลี่ยนรูปของหน้าตัดส่งผลให้ค่า First Moment of Inertia มีค่ามากขึ้น ทำการ Trial and Error เพื่อหาขนาดของความหนาที่เหมาะสมได้ผลตามตาราง ค่าความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์เป็นตำแหน่งที่เกิดโมเมนต์สูงสุด

Thickness (t) mm	I (mm <sup>4</sup> )	Bending (MPa)
0	232,239	238
5	941,599	202.8
10	1,650,958	116
15	2,360,317	80.89
20	3,069,677	62.2

ตารางที่ 11 ตารางเปรียบเทียบความเค้นดัดที่เกิดขึ้นกับขนาดความหนาของเฟรม

ในการเลือกขนาดความหนาตามตารางที่ 11 ต้องเลือกขนาดความหนาที่เผื่อไว้สำหรับการติดตั้ง ยึดชิ้นงาน จึงคำนวณการเลือกขนาดของ Bolt ด้วยการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นบนสกรูโดยเริ่มกำหนดจุดที่จะทำการเจาะรูบนเฟรม ตามแผนภาพอิสระ

แผนภาพอิสระ



รูปที่ 59 แผนภาพวัตถุอิสระของเฟรม

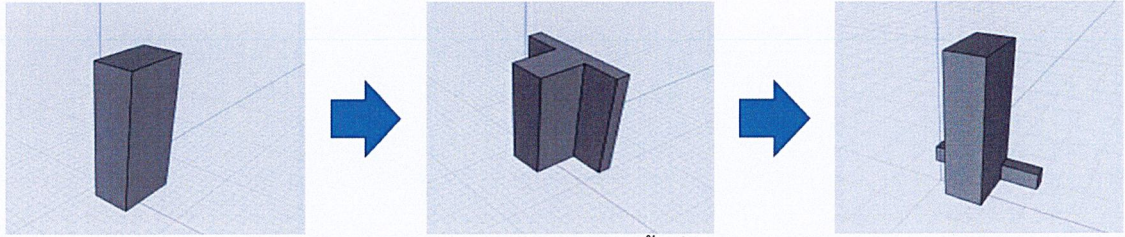
จากการคำนวณตามแผนภาพอิสระของรูปที่ 59 ด้วยสมการ

$$\sum M = 0 \quad (3.32)$$

$$F = 31.6 \text{ kN}$$

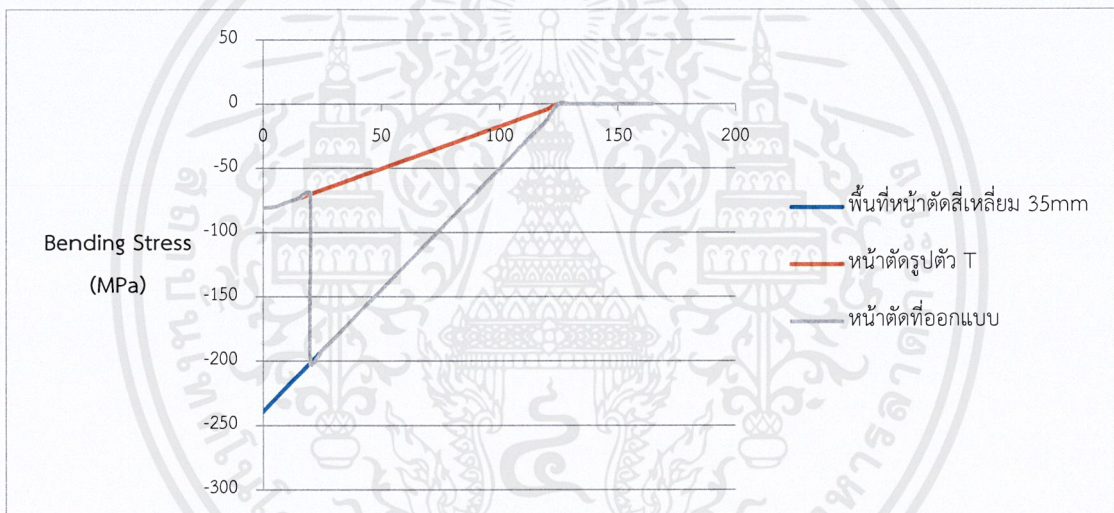
นำแรงดังกล่าวไปพิจารณาเพื่อเลือกขนาดของสกรู โดยเกรดของสกรูที่ใช้ คือ 12.9 ซึ่งมีความแข็งแรง Yield Stress 1100 MPa เมื่อกำหนดค่าประกอบความปลอดภัยไว้ที่ 3 ความเค้นสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้คือ 366.67 MPa ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของสกรูที่ควรใช้คือ 86 mm<sup>2</sup> ใกล้เคียงกับ M12 ซึ่งต้องออกแบบความหนาหน้าตัดส่วนเสริมของเฟรมให้หนาขึ้นส่งผลให้น้ำหนักของเฟรมมากขึ้น จึงทดแทนพื้นที่หน้าตัดดังกล่าวโดยการเพิ่มการติดสกรูที่ขนาดเล็กลงขนาดหน้าตัดของสกรูแต่ละตัวต้องมากกว่า 43 mm<sup>2</sup> คือ M8

ดังนั้นจึงเลือกความหนา (t) 15 มิลลิเมตร ทั้งนี้ผู้ออกแบบสังเกตเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพื้นที่หน้าตัดเฟรมส่งผลต่อน้ำหนักของฟีกเจอร์ที่เพิ่มขึ้น การออกแบบให้เฟรมมีพื้นที่หน้าตัดใหม่จึงไม่สามารถทำได้ตลอดทั้งความสูงของเฟรม



รูปที่ 60 แสดงการปรับเปลี่ยนรูปแบบพื้นที่หน้าตัดของเฟรม

ผู้ออกแบบจะทำการเปรียบเทียบค่าความเค้นดัดของการคำนวณอย่างง่ายของเฟรมหน้าตัดสี่เหลี่ยมและเฟรมหน้าตัดรูปตัว T เพื่อศึกษาพฤติกรรมและแนวโน้มค่าความเค้น

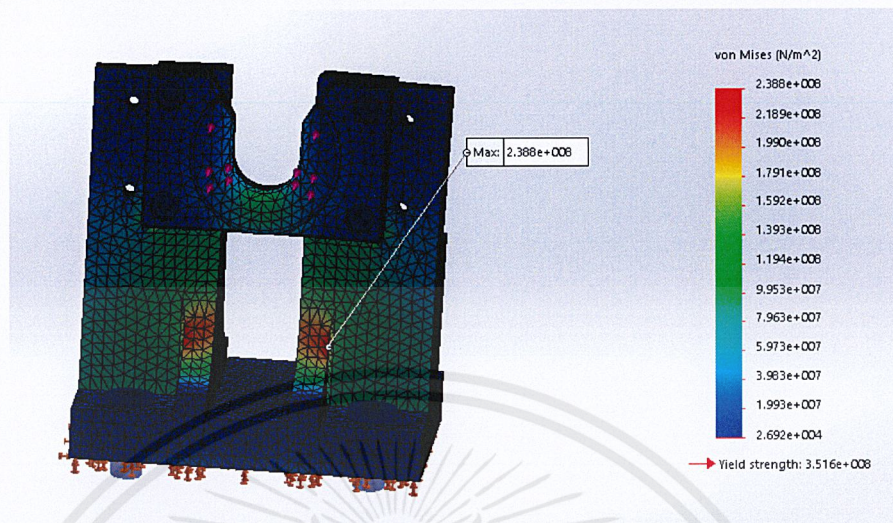


รูปที่ 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นที่ตำแหน่งต่างๆบนเฟรม

จากกราฟรูปที่ 61 จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นของหน้าตัดสี่เหลี่ยม (เส้นสีฟ้า) ภาพแรงของรูปที่ 60 มีขนาดมากกว่า หน้าตัดรูปตัว T (เส้นสีส้ม) ภาพที่สองของรูปที่ 60 การออกแบบที่ 3 (เส้นสีเทา) ภาพที่สามของรูปที่ 60 คือการรวมพื้นที่หน้าตัดสองแบบเข้าด้วยกันซึ่งพฤติกรรมของแบบที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดที่ความสูง 20 มิลลิเมตรจากแบบ T Shape เป็นแบบสี่เหลี่ยมส่งผลให้เกิดความเค้นรวมศูนย์ (Stress Concentration) ที่ตำแหน่งดังกล่าวมากกว่ากราฟที่คำนวณด้วยวิธีอย่างง่ายคือการทำ Fillet ช่วยลดการเกิดความเค้นรวมศูนย์ ค่าการทำ Fillet ที่เหมาะสมเลือกใช้โดยวิธี trial and error ประกอบกับการ Simulation เพื่อดูความเค้นสูงสุด ณ ตำแหน่งดังกล่าวจากนั้นนำข้อมูลที่เก็บผลเป็นตารางมาวิเคราะห์หาค่าที่น่าไปทำ Fillet ด้วยวิธีการประมาณภายใน

## รูปการ Simulation ครั้งที่ 2

เงื่อนไขการทำ Simulation จะเป็นไปตามการทำ Simulation ครั้งที่ 1



รูปที่ 62 แสดงผลจากการ von mises stress simulation ครั้งที่ 2

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการ Fillet ที่เลือกใช้ ส่งผลต่อความหนาแน่นความเค้น

Fillet (mm)	Stress Concentrate (MPa)	Weight (kg)
10	360	10.69
20	287	10.72
30	250	10.774
40	223.5	10.845
50	197.5	10.9

ตารางที่ 12 ตารางเปรียบเทียบความเค้นรวมศูนย์ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเทียบกับขนาด fillet

นำค่าที่ได้จากตารางที่ 12 หาความเป็นเชิงเส้นของข้อมูลได้สมการเชิงเส้น

$$\sigma = -2.95R + 342.75 \quad (3.33)$$

ค่า Fillet ที่เหมาะสมกับค่าความเค้นที่เลือกใช้ในการออกแบบ 238 MPa โดยวิธีการ Interpolation approximation คือ

$$R = 35.5 \text{ mm}$$

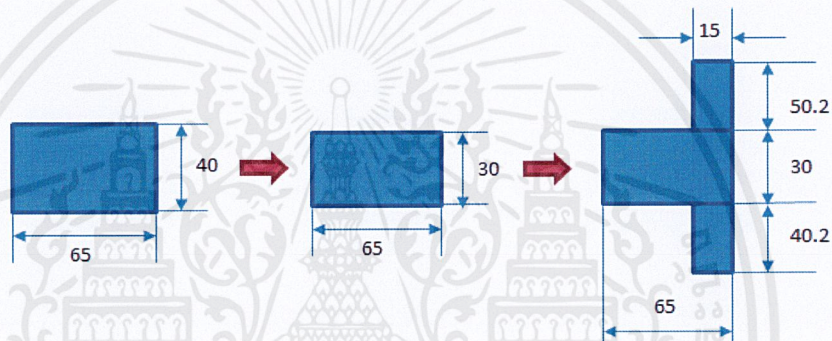
น้ำหนักรวมของ เฟรม (Fillet 35.5 มิลลิเมตร) ฐานและแผ่นกด คือ 10.81 กิโลกรัม สามารถสรุปการออกแบบข้างต้นได้ว่าการปรับเปลี่ยนรูปทรงหน้าตัดของเฟรมและเพิ่มการทำ Fillet มีส่วนช่วยในการเสริมความแข็งแรงให้กับชิ้นงานที่ใช้งานในลักษณะดังกล่าว ดังนั้นผู้ออกแบบจึงตั้งสมมุติฐานต่อว่าสามารถลดขนาดความหนาของเฟรมแต่ปรับเปลี่ยนรูปทรงพื้นที่หน้าตัด โดยเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณอ้างอิงตามการคำนวณก่อนหน้าจุดประสงค์หลักของการลดขนาดของเฟรมก่อนการเสริมความแข็งแรง คือ เพื่อลดน้ำหนักและจำกัดความแข็งแรงของเฟรมให้อยู่ในค่าความแข็งแรงที่กำหนดไว้ (238 MPa) ได้

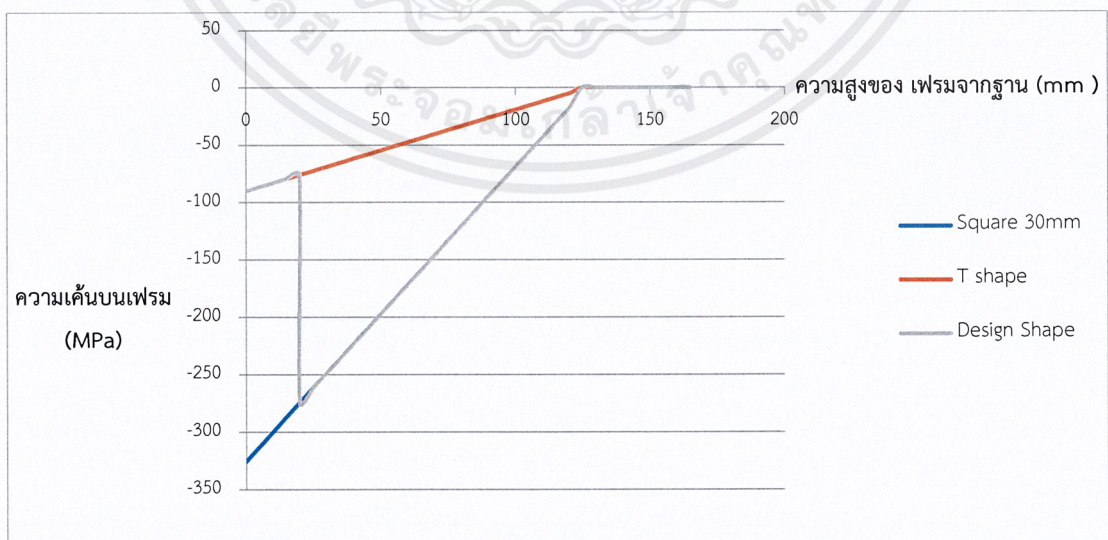
ทั้งนี้การออกแบบเพื่อลดน้ำหนักของเฟรมจะเริ่มทำในลักษณะเดียวกับวิธีการคำนวณข้างต้น โดยเริ่มลดความหนา จาก 35 มิลลิเมตรไปเป็น 30 มิลลิเมตร โดยค่าตัวแปรการออกแบบปรับแต่งหน้าตัด (ความเค้นสูงสุดสำหรับการออกแบบ, ขนาดบางส่วนของระนาบตัด) ใช้ค่าเดิมเพื่อให้ความแข็งแรงและจุดประสงค์การใช้งานเข้าใกล้กับการออกแบบที่ก่อนหน้ามากที่สุด ตามรูปที่ 63

ความเค้นสูงสุดของความหนาเฟรมที่ต่ำกว่า 30 จะมีค่าความเค้นมากกว่า yield stress ของ AISI 1020 100 MPa โดยประมาณดังนั้นการพิจารณาเพื่อปรับแต่งเฟรมในความหนาอื่นๆจึงไม่นำมาพิจารณา



รูปที่ 63 แสดงการปรับแต่งขนาดของหน้าตัดเฟรม

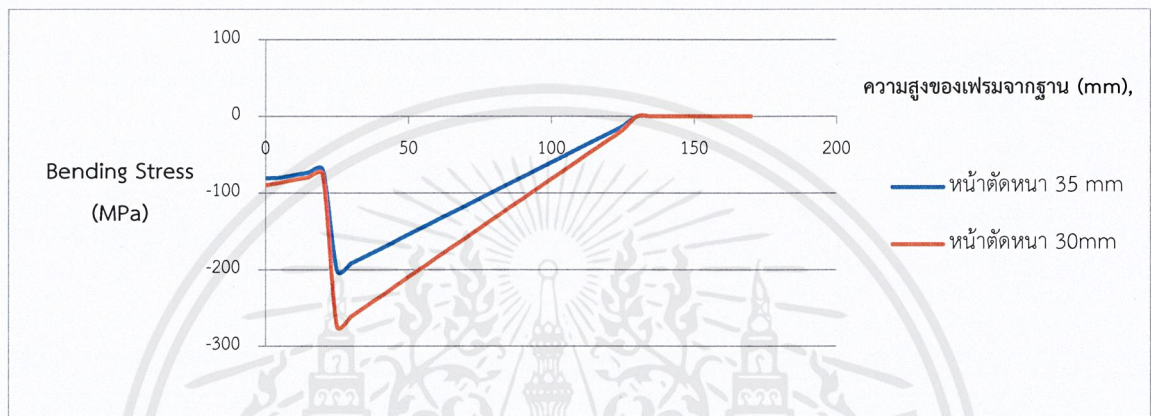
นำการคำนวณด้วยสมการที่ 20 วิเคราะห์ความเค้นตัดมาเปรียบเทียบความเค้นที่เกิดขึ้นของการออกแบบหน้าตัดใหม่ตามรูปที่ 63



รูปที่ 64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้นที่ตำแหน่งบนเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมของกราฟจากรูปที่ 64 จะเหมือนกับรูปที่ 61 แต่การคำนวณดังกล่าวไม่คำนึงถึงความเค้นรวมศูนย์และการยึดต่อกับส่วนประกอบอื่นๆ หากอ้างอิงจากการออกแบบก่อนหน้า ณ ตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปหน้าตัด (ที่ความสูง 20 มิลลิเมตร จากฐานของเฟรม) จะเกิดความเค้นรวมศูนย์สูงสุด แต่ไม่แสดงออกมาในการคำนวณอย่างง่าย ดังนั้นจึงเลือกวิธีการทำ Simulation โดยประกอบเฟรมรูปแบบใหม่นี้เข้ากับส่วนประกอบอื่นๆ และรายงานผลค่าความเค้นรวมศูนย์ที่ตำแหน่งการทำ Fillet

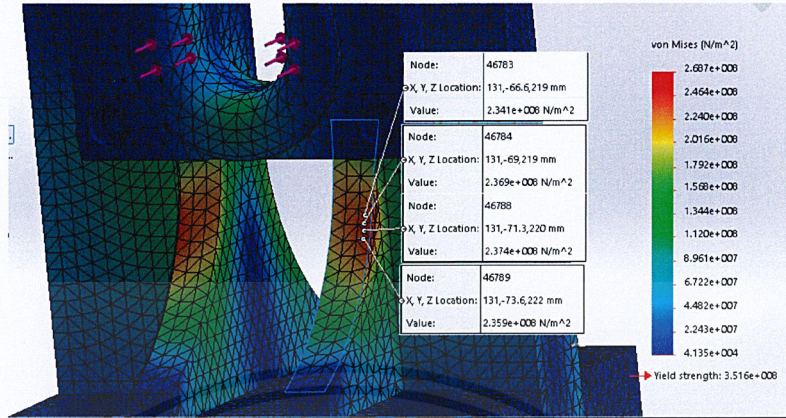


รูปที่ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์เปรียบเทียบความเค้นที่ตำแหน่งต่างๆบนเฟรมแบบที่ 1 และ 2

จากนั้นทำการ trial and error ค่า fillet เพื่อลดความเค้นที่ออกมาอยู่ในค่าที่ใกล้เคียงกับค่ากำหนดมากที่สุด (238 MPa) การสุ่มค่าเพื่อ Trial and error ค่าการทำ Fillet เทียบกับขนาดค่าความเค้นรวมศูนย์ ผู้ออกแบบเลือกค่า Fillet ที่เคยคำนวณไว้มากที่สุดของแบบก่อนหน้า (50 มิลลิเมตร) ด้วยสมมติฐานตามผลการเปรียบเทียบขนาดค่าความเค้นจากการคำนวณอย่างง่ายของการออกแบบที่ 1 และ การออกแบบที่ 2 พบว่า ณ ตำแหน่งที่ความสูง 20 มิลลิเมตรจากฐานเฟรมตามการออกแบบที่ 2 มีขนาดค่าความเค้นมากกว่าการออกแบบที่ 1 มากกว่า 90 MPa ตามรูปที่ 65 โดยประมาณและค่าการทำ Fillet ขนาด 50 มิลลิเมตรของการออกแบบที่ 1 มีค่าความเค้นสูงสุด 197 MPa ดังนั้นหากทำการเทียบผลค่าตามตารางคาดว่าการทำงาน Fillet 50 จะให้ความเค้นรวมศูนย์มากกว่าการออกแบบที่ 1 90 MPa จึงเริ่มเลือกการสุ่มค่าการทำงาน Fillet ที่ 50 มิลลิเมตรสำหรับการออกแบบที่ 2

การ Simulation ครั้งที่ 3

เงื่อนไขการทำ Simulation จะเป็นไปตามการทำ Simulation ครั้งที่ 1



รูปที่ 66 การวิเคราะห์ ความเค้นจากการทำ Simulation ณ ตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงของการทำ Fillet ขนาด 85.5 มิลลิเมตร

Fillet	Stress	Weight
50	344	9.5
60	307	9.56
70	280	9.63
80	248	9.65
90	231	9.7

ตารางที่ 13 ตารางความสัมพันธ์ การทำ Fillet เทียบกับค่าความเค้นสูงสุด ของการออกแบบที่ 2

จากข้อมูลตามตารางที่ 13 นำข้อมูลดังกล่าวไปสร้างสมการเส้นตรงเพื่อหา ขนาดการ Fillet สำหรับค่าความเค้นที่กำหนดไว้ (238 MPa) สมการเส้นตรงที่ได้จากตารางที่ 13 คือ

$$\sigma = -2.85R+481.5 \tag{3.34}$$

ค่า Fillet ที่เหมาะสมกับความเค้น 238 MPa คือ  $R = 85.5\text{mm}$  ตามการทำ Simulation รูปที่ 66 โดยที่น้ำหนักภายหลังจากการทำ Fillet คือ 9.68 กิโลกรัมซึ่งสามารถลดน้ำหนักจากการออกแบบที่เริ่มต้นด้วยความหนาของเฟรม 35 mm ได้  $10.80 - 9.68 = 1.12$  กิโลกรัม

จากการออกแบบล่าสุดทำให้ทราบค่าขนาดแน้ซัดของชิ้นส่วนพีกเจอร์ที่ทำหน้าที่รับแรง โดยตรงทั้งหมดจึงทำการวิเคราะห์การใช้งานจริงด้วยสมการวิเคราะห์ Endurance limit อีกครั้ง ครึ่งนี้จะได้ค่า factor ( $k_b$ ) ที่ชัดเจนขึ้นค่าของตัวประกอบดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับ equivalent diameter ( $d_e$ ) \*อ้างอิงการคำนวณตามสมการที่ 6-25 หน้าที่ 297 ของหนังสือ Machine Design Shigley

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Edition 10\* การวิเคราะห์หาค่า equivalent diameter ทำได้โดยหา ขนาด 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดที่รับความเค้นไปเทียบกับ\*สมการที่ 6-22 หน้าที่ 297 ของหนังสือ Machine Design Shigley Edition 10 นิยามเป็น

$$A_{0.95\sigma} = 0.0766d_e^2 \quad (3.14)$$

$A_{0.95\sigma}$  = ขนาด 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดงานที่เกิดความเค้น

$d_e$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของรูปทรงอื่นๆที่มีใช้ทรงกระบอก

$A_c$  = ขนาดพื้นที่หน้าตัดงานที่เกิดความเค้น

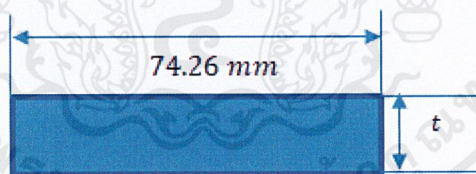
$$d_e = \sqrt{\frac{0.05A_c}{0.0766}} \quad (3.15)$$

และ

$$k_b = 1.24d_e^{-0.107}; \quad 2.79 \leq d_e \leq 51 \text{ mm} \quad (3.16)$$

จากสมการที่ 3.16 พบว่าขนาดของ  $d_e$  เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบลดลงซึ่งจะส่งผลให้ขนาดของ Endurance limit มีขนาดลดลง จึงเลือกพิจารณาตำแหน่งที่มีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุดของทั้งเฟรมและแผ่นรองรับแรงกด

แผ่นรองรับแรงกด



รูปที่ 67 แสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นรองรับแรง

$$d_e = 0.808\sqrt{74.26 \times 23}$$

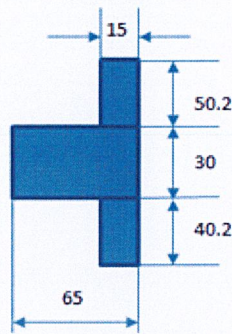
$$d_e = 33.4$$

ดังนั้น

$$k_b = 1.24(33.4)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.85$$

เฟรม



รูปที่ 68 แสดงขนาดพื้นที่หน้าตัดของเฟรม

$$d_e = \sqrt{\frac{0.05[(50 \times 30) + (15 \times 120.4)]}{0.0766}}$$

$$d_e = 46.45 \text{ mm}$$

ดังนั้น

$$k_b = 1.24(46.45)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.822$$

Endurance limit

$$S_e = 0.91(0.822)(0.5S_{ut}) \quad (3.35)$$

$$S_e = (0.822)191.1$$

$$S_e = 157.1 \text{ MPa}$$

ดังนั้นค่าตัวประกอบความปลอดภัยสำหรับงานที่ถูกออกแบบด้วยการกำหนดความเค้นเท่ากับ 238 MPa จะเปลี่ยนเป็น

$$\sigma_{\max} \left( \frac{1}{2S_e} + \frac{1}{2S_{ut}} \right) = \frac{1}{n} \quad (3.19)$$

$$238 \left( \frac{1}{2(157.1)} + \frac{1}{2(420)} \right) = \frac{1}{n}$$

$$n = 0.96$$

ค่าตัวประกอบความปลอดภัยสำหรับการออกแบบข้างต้นไม่สามารถยอมรับได้เนื่องจากน้อยกว่า 1 ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนวัสดุตามตารางที่ 9 โดยวัสดุที่เลือกต่อไปนั้นมีความแข็งแรงน้อยที่สุดรองจาก AISI 1020 คือ AISI 1035 และ AISI 1050 ตามลำดับ

AISI 1035 มี  $S_{ut} = 460 \text{ MPa}$

จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_e = 0.91(0.822)(0.5S_{ut}) \quad (3.36)$$

$$S_e = 172 \text{ MPa}$$

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย Goodman Equation และพิจารณาความเค้นที่ถูกใช้ออกมา  
คือ 238 MPa

จะได้

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} \left( \frac{1}{2S_e} + \frac{1}{2S_{ut}} \right) &= \frac{1}{n} \\ 238 \left( \frac{1}{2(172)} + \frac{1}{2(460)} \right) &= \frac{1}{n} \\ n &= 1.05 \end{aligned} \quad (3.19)$$

วิเคราะห์จำนวนรอบการใช้งานด้วยสมการที่ 3.9

$$(S'_f)_N = \sigma'_F (2N)^b \quad (3.9)$$

$$\sigma'_F = S_{ut} + 345 \quad (3.10)$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (3.11)$$

$S_{ut} = 460 \text{ MPa}$  (AISI 1035),  $N_e = 10^6$

$$\sigma'_F = 805 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 230 \text{ MPa}$$

$$b = -\frac{\log(\sigma'_F/S'_e)}{\log(2N_e)} \quad (3.25)$$

$$b = -\frac{\log\left(\frac{805}{230}\right)}{\log(2 \times 10^6)}$$

$$b = -0.08634$$

สำหรับงานที่กัดแล้วปล่อย  $N = \frac{N}{2}$  จากหนังสือ Machine Design Shigley Edition 10 หน้า 283

$$(S'_f)_N = 805(N)^{-0.0863} \quad (3.37)$$

โดยที่ความเค้นที่กำหนด 238 MPa จะมีอายุการใช้งานทั้งหมด

$$N = 1.35 \times 10^6 \text{ รอบ}$$

โดยความเค้นที่สามารถใช้งานสำหรับงาน 100,000 รอบตามสมการ S-N curve คือ 298 MPa แต่หากอ้างอิงจากตารางที่ 9 AISI 1035 ความเค้นที่สามารถใช้ได้ที 100,000 รอบคือ 303 MPa เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงและน้อยกว่าค่าจากตารางที่ 9 ดังนั้นสามารถใช้สมการ S-N curve ในการบอกถึงจำนวนรอบที่สามารถใช้งานได้จริงของ AISI 1035 ได้ จากการคำนวณสามารถเลือกใช้ AISI 1035 ได้ แต่ทั้งนี้ในส่วนการขึ้นรูปพิกเจอร์จริงเลือกใช้เป็น S50C หรือเทียบเท่า AISI 1050 ซึ่งมี  $S_{ut} = 748 \text{ MPa}$  และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับกับ AISI 1035 รวมถึง S50C เป็นวัสดุที่ทางผู้ผลิตขึ้นรูปงานจะสามารถลดระยะเวลาในการสั่งวัสดุและขึ้นงานให้ได้ทันตามกำหนดเวลาจึงเลือกใช้วัสดุดังกล่าวในการผลิตงานจริง

สำหรับ AISI 1050  $S_{ut} = 748 \text{ MPa}$  (S50C, AISI 1050)

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (3.38)$$

$$S'_c = 0.91(0.822)(0.5S_{ut}) \quad (3.39)$$

$$S_e = 279.76 \text{ MPa}$$

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย Goodman Equation และพิจารณาความเค้นที่ถูกต้องที่ใช้ออกแบบมาคือ 238 MPa จะได้

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} \left( \frac{1}{2S'_e} + \frac{1}{2S_{ut}} \right) &= \frac{1}{n} \\ 238 \left( \frac{1}{2(279.7)} + \frac{1}{2(748)} \right) &= \frac{1}{n} \\ n &= 1.71 \end{aligned} \quad (3.19)$$

ที่ความเค้นสูงสุดเป็น 238 MPa จากการออกแบบจะให้ค่าตัวประกอบความปลอดภัยเป็น 71 เปอร์เซ็นต์ของค่าตัวประกอบความปลอดภัย 1 (1.71) หากใช้การกำหนด SOF ตามกำหนดการออกแบบคือ 10 เปอร์เซ็นต์จะสามารถอนุญาตให้เกิดความเค้นสูงสุดบนชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 370 MPa และสามารถเปลี่ยนการออกแบบจากการทำ Fillet 85.5 มิลลิเมตร เป็น 40 มิลลิเมตรตามสมการที่ 3.34 และน้ำหนักของพิกเจอร์จะลดลง 300 กรัมโดยประมาณ ดังนั้นจึงเลือกใช้การออกแบบเฟรมแบบที่สามโดยมีการเปลี่ยนวัสดุและ Fillet ที่ตำแหน่งการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด เปลี่ยนจาก 85.5 มิลลิเมตร เป็น 40 มิลลิเมตร และจาก AISI 1020 เป็น S50C หรือเทียบเท่า AISI 1050 ตรวจสอบอายุการใช้งานของชิ้นงานดังกล่าวตามสมการ 3.9

$$(S'_f)_N = \sigma'_f(2N)^b \quad (3.9)$$

$$\sigma'_f = S_{ut} + 345 \quad (3.10)$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (3.11)$$

$S_{ut} = 748 \text{ MPa}$  (S50C, AISI 1050),  $N_e = 10^6$

$$\sigma'_f = 1093 \text{ MPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 S'_e &= 374 \text{ MPa} \\
 b &= -\frac{\log(\sigma'_F/S'_e)}{\log(2N'_e)} \\
 b &= -\frac{\log\left(\frac{1093}{374}\right)}{\log(2 \times 10^6)} \\
 b &= -0.0739
 \end{aligned}
 \tag{3.25}$$

สำหรับงานที่กีดแล้วปล่อย  $N = \frac{N}{2}$

$$(S'_F)_N = 1093(N)^{-0.0739} \tag{3.40}$$

โดยที่ความเค้นสูงสุด 370 MPa จะมีอายุการใช้งานทั้งหมด

$$N = 2.32 \times 10^6 \text{ รอบ}$$

เป็นจำนวนรอบที่มากเกินไปสำหรับการผลิตเพลลา T6 MEA จากอายุการใช้งานดังกล่าวและสามารถนำไปใช้งานกับชิ้นงานเพลารุ่นอื่นที่มีส่วนประกอบของ CVJ Part Number เหมือนกับ T6 MEA ได้

#### การกำหนดขนาดตัวประกอบ CVJ

การรับแรงไม่ส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนนี้ซึ่งชิ้นส่วนนี้มีหน้าที่ประกอบให้ CVJ อยู่ในระนาบการอัดงานดังนั้นการคำนวณการออกแบบสำหรับชิ้นส่วนนี้จะเป็นการเพื่อระยะการสวมคลอน โดยการเผื่อจะคำนึงถึงความสะดวกสบายสำหรับการสวมชิ้นงานเข้าฟิกเจอร์เป็นหลัก รายละเอียดขนาดการเขียนแบบอ้างอิงตามภาคผนวก ก

#### ออกแบบคานเชื่อมระหว่างเฟรมและตัวประกอบ

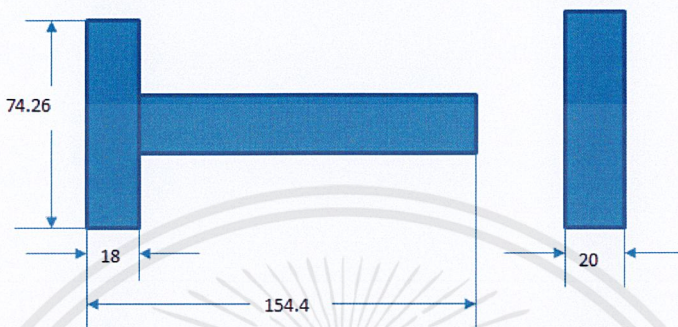
การออกแบบคานดังกล่าวต้องคำนึงถึงการโค้งตัวของคานที่ตำแหน่งปลายคานว่ายังคงรักษาเส้นนำศูนย์ได้หรือไม่ รวมถึงจำเป็นต้องมีการกำหนดขนาดเริ่มต้นบางส่วนเพื่อสามารถทำให้มีการออกแบบต่อไปได้ รูปแบบของคานมีการอ้างอิงการกำหนดขนาดบางส่วนตาม JIG Fixture ต้นแบบคือ ขนาดตำแหน่งที่ติดกับเฟรมตามภาพที่ 69



รูปที่ 69 แสดงตำแหน่งของคานเชื่อมจากตัวอย่างฟิกเจอร์ปัจจุบันในสายการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

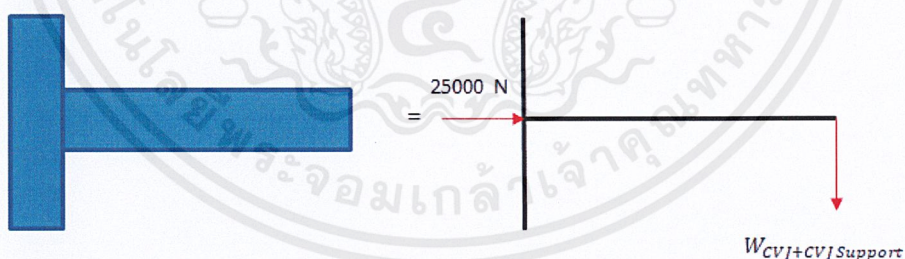
จากภาพฟิกเจอร์ต้นแบบ ขนาดความสูงของหน้าตัดคานใกล้เคียงกับขนาดความสูงหน้าตัดแผ่นรองรับแรงกด ผู้ออกแบบจึงเริ่มกำหนดให้คานมีขนาดความสูงของหน้าตัดเท่ากับแผ่นกด (74.26 มิลลิเมตร) แต่คานดังรูปมีขนาดความสูงของหน้าตัดตลอดคานมากเกินไปนำมาซึ่งน้ำหนักของฟิกเจอร์ที่มากเกินไปจนเกินไป ดังนั้นผู้ออกแบบจึงพิจารณาหาขนาดของความสูงหน้าตัดคานที่เหมาะสมกับฟิกเจอร์ที่ออกแบบ



รูปที่ 70 แสดงขนาดของคานเชื่อม

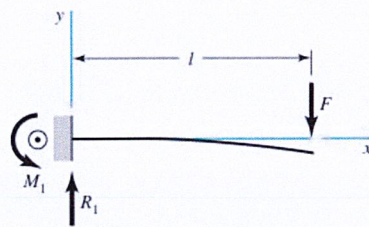
ขนาดความหนา 18 มิลลิเมตรเป็นการกำหนดขนาดเพื่อสำหรับการติด Bolt เชื่อมระหว่างเฟรม ขนาดความกว้างของหน้าตัดคาน 20 มิลลิเมตรเป็นการกำหนดเพื่อขนาดเพื่อติด Bolt รวมถึงเพื่อการแก้งานด้วยวิธีการปาดผิวงานออก และคานมีขนาดความยาวคานรวม 154.4 มิลลิเมตรตามรูปที่ 70 (กำหนดจากขนาดความยาวของชิ้นส่วน CVJ)

เมื่อกำหนดขนาดเบื้องต้นของคานทำให้สามารถวิเคราะห์ขนาดความสูงหน้าตัดตลอดคาน โดย เริ่มพิจารณาภาระที่เกิดขึ้นบนคานเป็นแผนภาพอิสระดังรูปที่ 71



รูปที่ 71 แผนภาพวัตถุอิสระของคานเชื่อม

จากแผนภาพอิสระ พบว่าแรงที่ทำให้คานเกิดการโก่งตัวที่ตำแหน่งปลายคือแรงเนื่องจากน้ำหนักของ ชิ้นส่วน CVJ และ ส่วนประกอบของฟิกเจอร์ซึ่งทำหน้าที่ประครองชิ้นส่วน CVJ แผนภาพดังกล่าวเทียบเท่ากับรูปที่ 72 ซึ่งพิจารณาคานฝั่งที่มีหน้าตัดโตกว่าเป็นตำแหน่งที่ถูกยึดนิ่งไว้

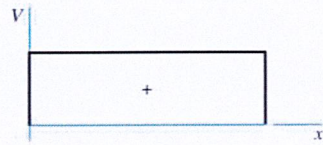


$$R_1 = V = F \quad M_1 = Fl$$

$$M = F(x - l)$$

$$y = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3l)$$

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{3EI}$$



รูปที่ 72 แสดง shear และ moment diagram ของคานชนิด fix ปลายหนึ่งด้าน

จากสมการการโก่งตัวมากที่สุดของคาน

แทนค่าในสมการที่ 3.21

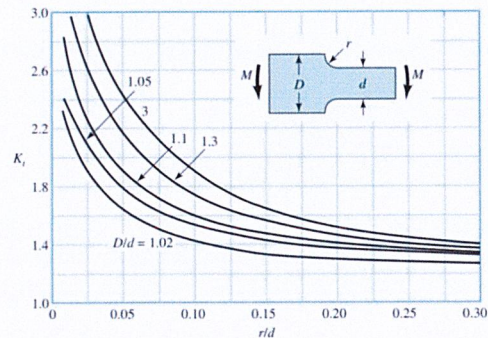
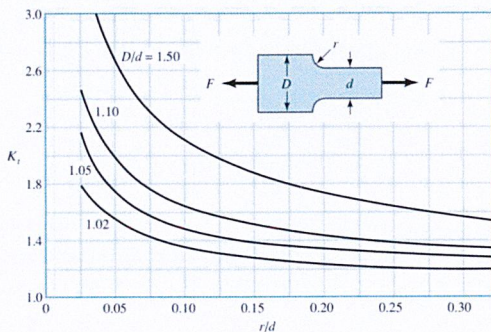
$l = 136.4 \text{ mm}$ ,  $E = 210 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}}$  เหล็กใช้ S50C ,  $F = \frac{W_{\text{CVJ+CVJ Support}}}{2} = 18.3 \text{ N}$  โดยประมาณ

$I = \frac{1}{12}bh^2$ ,  $b = 20 \text{ mm}$

$$y_{\max} = \frac{-4.422 \times 10^{-11}}{h^3} \tag{3.41}$$

นำสมการที่ 3.41 มาพิจารณาหาการโก่งตัวที่ความสูงของหน้าตัดเล็กขนาดต่างๆโดยเริ่มหาค่าความสูงที่ 18 มิลลิเมตร (ขนาดเล็กที่สุดที่เผื่อไว้สำหรับการเจาะรู เพื่อยึดคานเข้ากับชิ้นส่วนประกอบ CVJ) การคำนวณพบว่าเกิดการโก่งตัวของคานไป 7.6 ไมโครเมตรถือว่าน้อยมากปัจจัยการโก่งตัวของคานจึงไม่นำมาพิจารณาภายหลัง

พิจารณาคำนวณความเค้นรวมศูนย์ ณ ตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของคาน โดยจะทำการลดความเค้นที่ตำแหน่งดังกล่าวด้วยการทำ Fillet ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณอ้างอิงจากรูปที่ 73



รูปที่ 73 Chart of Theoretical Stress-Concentration Factor  $K_t^*$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกค่าประกอบการออกแบบความเค้นรวมศูนย์โดยใช้ข้อมูลการออกแบบจากภาพขวาของรูปที่ 73 เนื่องจากสามารถคำนวณความแตกต่างของพื้นที่หน้าตัดได้มากกว่าภาพซ้าย คือ  $(\frac{D}{d} = 3)$  จึงทำให้ได้ขนาดความสูงของพื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุดตามการคำนวณความเค้นรวมศูนย์ได้เป็น 24 มิลลิเมตรและผู้ออกแบบเลือก ขนาดการ Fillet สูงสุดคือ  $\frac{r}{d}=0.3$  ค่า Fillet ที่เหมาะสมคือ 7 มิลลิเมตรอ่านค่า ( $K_t = 1.4$ ) นำขนาดหน้าตัดที่ถูกออกแบบมาได้ไปคำนวณเพื่อตรวจสอบความแข็งแรง

ความเค้นที่เกิดขึ้นบนคานคือ ความเค้นฉาก ( $\sigma_{Normal}$ )

$$\sigma_{Normal} = \sigma_{axial}(\text{compression}) + \sigma_{bending} \quad (3.42a)$$

$$\sigma_{Normal} = -\frac{P}{bh} + \frac{Wlc}{I} \quad (3.42b)$$

โดย

$$c = \frac{h}{2}, b=20\text{mm}, h=22\text{mm}, P=25000\text{N}, W=18.3\text{ N}, l=134.6\text{ mm}$$

$$\sigma_{Normal} = -50. \text{ MPa}$$

ซึ่งหากพิจารณาให้ค่า  $K_t$  มีค่าสูงสุดตามรูปที่ 73 คือ 3 ค่าความเค้นรวมศูนย์ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดจะสูงขึ้นเป็น 175 MPa โดยประมาณแสดงให้เห็นว่าผู้ออกแบบสามารถทำการ Fillet ขนาด 7 มิลลิเมตรได้ การเลือกใช้ Bolt เพื่อยึดชิ้นงานเนื่องจากภาวะที่เกิดขึ้นบนคานเชื่อมนี้มีขนาดน้อยเมื่อเทียบกับเฟรมและแผ่นกด เกรดของ Bolt ที่ใช้คือ 12.9 ซึ่งมีความแข็งแรงต้านการเสีรูปร่างได้สูง จึงเลือกใช้ Bolt ขนาดเล็กที่สุดที่มีในโรงงานคือ M6 ในการยึดระหว่าง เฟรม คาน และตัวประกอบ CVJ

#### 3.4.3.1.2 การออกแบบ Midship + Slinger Push Up JIG

จิ๊กของกระบวนการ push up slinger เดิมที่เป็นกระบวนการที่แยกออกจากกันซึ่งก็คือกระบวนการ push up และกระบวนการ slinger press สาเหตุที่นำกระบวนการมารวมกันเนื่องจาก มีหลักการทำงานที่คล้ายๆ กัน คือการใช้ระบบไฮดรอลิกในการอัดชิ้นงาน และการที่รวมกระบวนการในการทำงานนี้ จะสามารถเพิ่มพื้นที่การทำงานในอนาคต

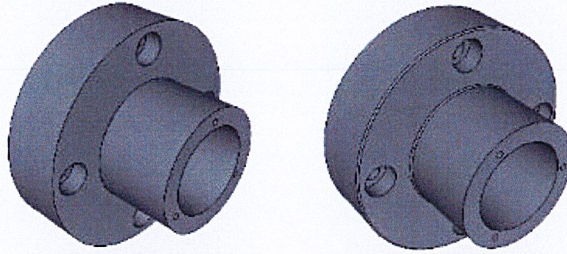
#### การออกแบบจิ๊ก

1. การกำหนด safety factor : การกำหนด safety factor อ้างอิงค่า safety factor จากจิ๊กที่ใช้ในสายการผลิตปัจจุบันความเค้นที่เกิดขึ้นบนจิ๊กนี้ (45 MPa โดยประมาณ) SOF มีค่าเท่ากับ 15 โดยประมาณซึ่งมีค่ามากเกินไปสำหรับจำนวนรอบการใช้งานในกระบวนการสวมอัดโดยในกรณีนี้ถูกวิเคราะห์ด้วยสูตรวิเคราะห์ความเสียหายแบบสถิติจากขนาดอ้างอิงตามภาพเขียนแบบจิ๊กตัวดังกล่าว ดังนั้นขนาดการออกแบบโดยรวมจึงอ้างอิงจากจิ๊กดังกล่าวที่มีใช้ในปัจจุบัน

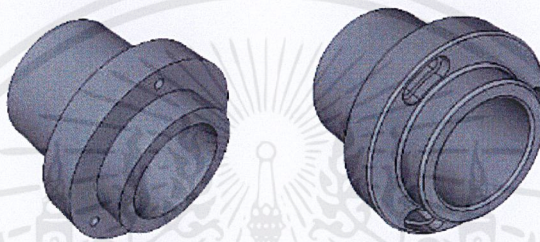
2. ทางคณะผู้จัดทำได้กำหนดให้จิ๊กมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ base และ cylinder spline ตามรูปที่ 74 และ 75 โดยออกแบบให้แยกออกจากกันเนื่องจากต้องการลดต้นทุนในการเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือจากการสึกหรอ เมื่อครบกำหนดการเปลี่ยนเครื่องมือโดยสามารถเปลี่ยนเฉพาะชิ้นส่วนที่เกิดการสึกหรอ ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนทั้งชุดเครื่องมือ



รูปที่ 74 แสดงแบบ 3 มิติ ของ base



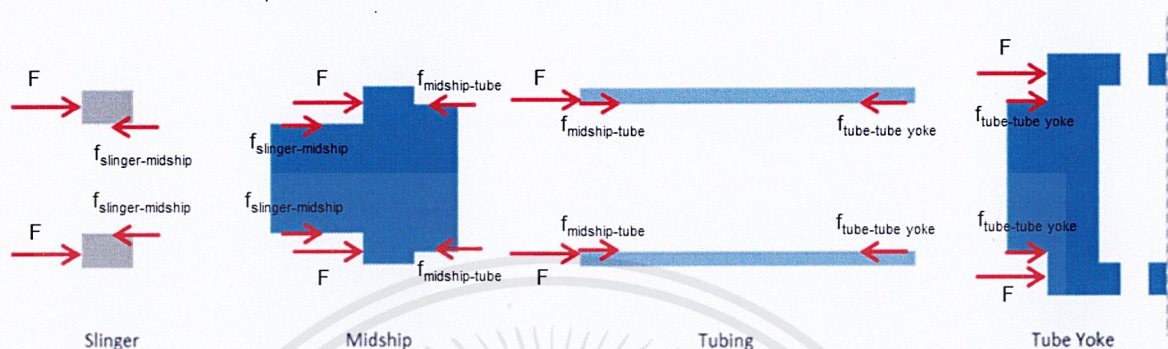
รูปที่ 75 แสดงแบบ 3 มิติ ของ cylinder spline

- base - ได้ทำการอ้างอิงจากจิ๊กตัวเดิม เช่น ขนาดของสกรูและตำแหน่งของสกรูที่ติดตั้งกับเครื่องจักร และระยะความหนาของตัวจิ๊ก ที่มีผลต่อระยะการอัดงาน เป็นต้น แต่ได้ทำการออกแบบให้มีระยะสั้นลงเพื่อเพื่อระยะของชิ้นส่วน cylinder spline และในการปรับปรุงแบบ โดยมีการเก็บรายละเอียดงานในส่วนการ fillet และ chamfer บริเวณที่เป็น stress concentration
  - Cylinder spline – สำหรับชิ้นส่วนนี้รายงานฉบับนี้ได้ทำการออกแบบใหม่ 2 ส่วนคือ spline ตัวเมียและบริเวณที่ใส่ชิ้นงาน slinger  
บริเวณ spline ได้ทำการออกแบบ spline ตัวผู้ ขึ้นก่อนโดยอ้างอิงการออกแบบตามข้อมูลของบริษัท จากนั้น นำไป subtract ในโปรแกรมเขียนแบบ SOLIDWORKS เพื่อได้ spline ตัวเมียออกมา และทำการลดขนาดฟันให้เหลือช่องว่างระหว่างจิ๊กกับชิ้นงาน 400 ไมโครเมตร อีกทั้งในการปรับปรุง ได้ทำการเพิ่ม c-bore ทำให้สามารถปรับองศาให้ตรงกับคุณลักษณะได้ และทำการ fillet ในส่วนที่เป็น stress concentration
3. วัสดุที่ใช้เพื่อให้ง่ายต่อการสั่งทำจิ๊กจึงเลือกใช้วัสดุเดียวกันจากหัวข้อ 3.4.3.1.1 คือ S50C ทั้งนี้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนจิ๊กที่ถูกออกแบบในหัวข้อนี้มีการอ้างอิงการออกแบบของจิ๊กที่มีใช้ในปัจจุบันซึ่งถูกอธิบายพอสังเขปในข้อที่ 1 และมีค่าน้อยกว่าหัวข้อที่ 3.4.3.1.1 มากดังนั้นจำนวนรอบที่ใช้งานจากการเลือก S50C มากกว่าฟิกเจอร์สำหรับ CVJ Push up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การหาขนาดของแรงจากเครื่องจักร – เพื่อหาขนาดของแรงที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการสวมอัดให้การสวมอัดได้ลักษณะงานเป็นไปตามที่กำหนดในภาพเขียนแบบและไม่ทำให้จิกหรือตัวชิ้นงานเกิดความเสียหาย โดย

- แผนภาพวัตถุอิสระ (Free Body Diagram)



รูปที่ 76 แผนภาพวัตถุอิสระของแรงที่เกิดขึ้นบน Slinger, Midship, Tubing และ Tube Yoke

- เมื่อ  $F$  คือแรงที่เครื่องจักรกระทำ  
 $f_{\text{slinger-midship}}$  คือแรงเสียดทานระหว่าง slinger และ midship  
 $f_{\text{midship-tube}}$  คือแรงเสียดทานระหว่าง midship และท่อ  
 $f_{\text{tube-tube yoke}}$  คือแรงเสียดทานระหว่างท่อและ tube yoke

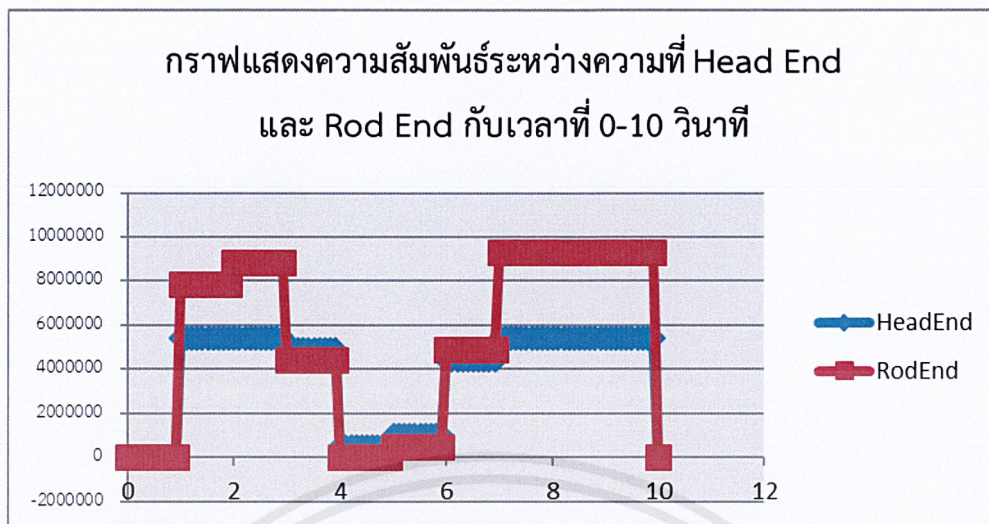
- การหาแรงเสียดทานระหว่าง Slinger และ Midship

วิธีการหาแรงเสียดทานของชิ้นงาน slinger กับ ชิ้นงาน midship ทำได้โดยอ่านค่าความดันของ solenoid valve ในระหว่างการทำงาน 1 วัฏจักรการทำงาน และเขียนกราฟของความดันจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ดังตารางที่ 15 และรูปที่ 77

จุดที่ 2				จุดที่ 1			
t(s)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	Pressure (MPa)	Force (kN)	t(s)	P (kg/cm <sup>2</sup> )	Pressure (MPa)	Force (kN)
0	0	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00
1	55	5.396	42.39	1.00	80.00	7.848	51.80
2	55	5.396	42.39	2.00	90.00	8.829	58.27
3	50	4.905	38.54	3.00	45.00	4.415	29.14
4	5	0.4901	3.854	4.00	0.00	0.00	0.00
5	10	0.9810	7.708	5.00	5.00	0.4905	3.237
6	45	4.415	34.69	6.00	50.00	4.905	3.237
7	55	5.396	42.39	7.00	95.00	9.320	61.51
8	55	5.396	42.39	8.00	95.00	9.320	61.51
9	55	5.396	42.39	9.00	95.00	9.320	61.51
10	0	0.00	0.00	10	0	0.00	0.00

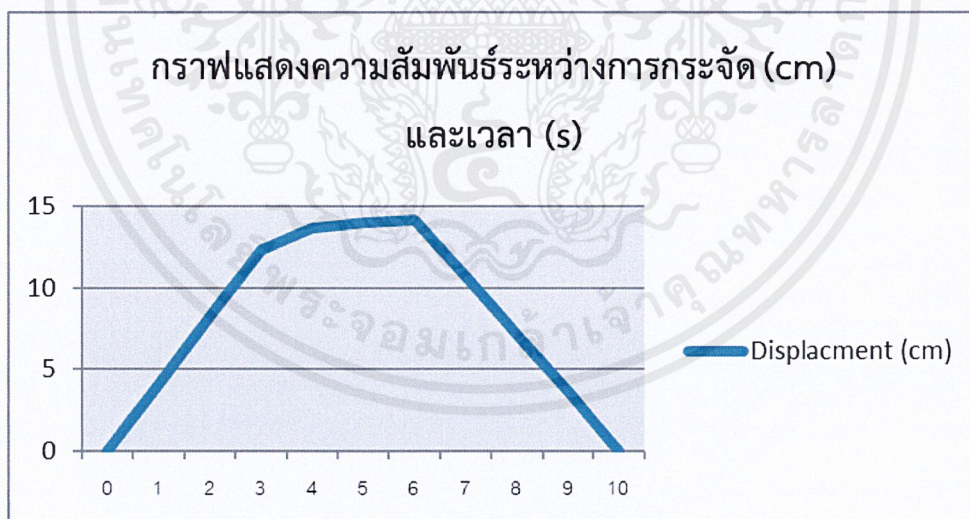
ตารางที่ 14 ตารางแสดงค่าความดันของ solenoid valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ Head End และ Rod End กับเวลาที่ 0-10 วินาที

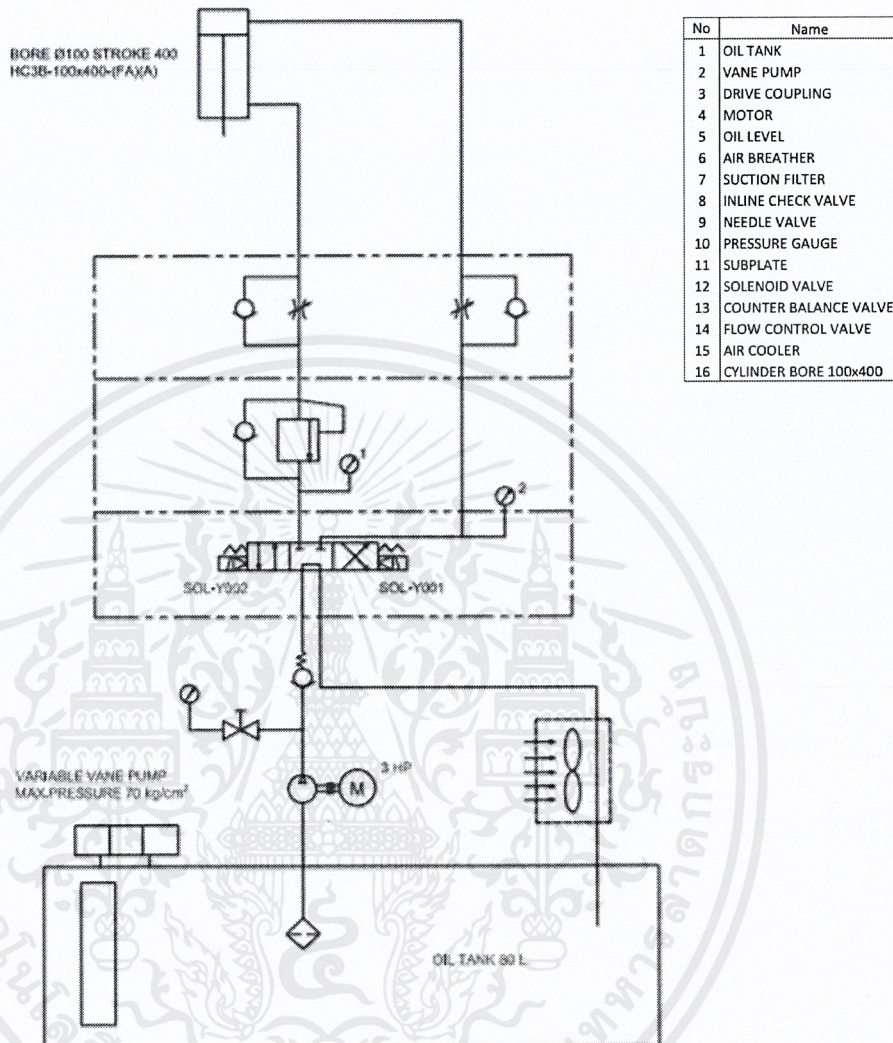
หมายเหตุ :  
 วินาทีที่ 0-3 เป็นช่วงที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลง  
 วินาทีที่ 3-6 เป็นช่วงที่กำลังกด Slinger  
 วินาทีที่ 6-10 เป็นช่วงที่ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้น



รูปที่ 78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและเวลา

จากตารางที่ 15 ,รูปที่ 77 และรูปที่ 78 อธิบายหลักการทำงานของเครื่องจักร กล่าวคือ เมื่อวินาทีที่ 0 ถึงวินาทีที่ 3 ระบายสูบได้มีการเคลื่อนที่ลง ความดันที่จุดที่ 2 มีค่ามากกว่าความดันที่จุดที่ 1 จากอิทธิพลของพื้นที่ระหว่าง head end กับ rod end และน้ำหนักของตัว JIG ที่กดขึ้นงาน หลังจากวินาทีที่ 3 ระบายสูบเริ่มแตะขึ้นงาน (slinger) และเริ่มอัดงานเข้าด้วยกันจนถึงวินาทีที่ 6 ตรงจุดนี้ ความดันทั้ง 2 จุดมีค่าลดลงจากคำสั่งของ PLC และความดันที่จุด 2 มีค่ามากกว่าที่จุด 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะแรงที่ใช้กดต้องมีค่าไม่น้อยกว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น พออัดงานจนสุดแล้ว ลูกสูบได้เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ จากวินาทีที่ 6 จนถึงวินาทีที่ 10 เป็นอันเสร็จกระบวนการ



รูปที่ 79 วงจรไฮดรอลิกของเครื่องจักร Push Up ในสายการผลิต GCP

จากรูปที่ 79 วงจรไฮดรอลิก เราสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของความดันได้คือ

$$P_{HE} = P_2 + P_{loss_2} \tag{3.43}$$

$$P_{RE} = P_1 + P_{loss_1} \tag{3.44}$$

วิเคราะห์ห้หิทธิพลของ pressure loss เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลง (0 วินาที ถึง 3 วินาที)

$$N_{RE} = \frac{\rho v D}{\mu} \tag{3.24}$$

$$N_{RE} = \frac{(800 \frac{kg}{m^3})(0.041 \frac{m}{s})(0.1905 m)}{(0.097 Pa \cdot s)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

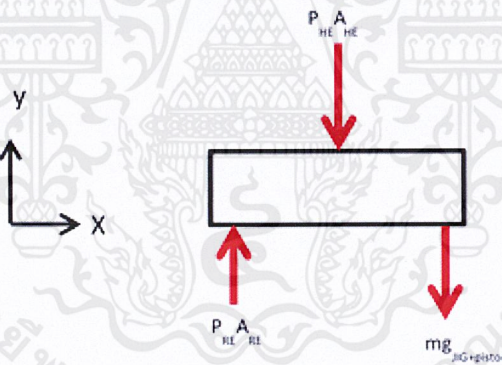
$$N_{RE} = 64.42$$

$$\begin{aligned} \text{สามารถหาค่า friction loss (f)} &= \frac{64}{N_{RE}} & (3.23) \\ &= \frac{64}{64.42} \\ &= 0.9935 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น major head loss มีค่า} &= f \frac{L v^2}{D 2g} & (3.22) \\ &= (0.9935) \frac{(5 \text{ m})}{(0.1905 \text{ m})^2} \frac{(0.041)^2}{(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})} \\ &= 2.234 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{สามารถคิดเป็นความดันได้} &= 17 \text{ Pa} \end{aligned}$$

จากค่าที่คำนวณได้นั้นจะเห็นว่า มีค่าน้อยมาก (17 Pa) เมื่อเทียบกับความดันที่วัดค่ามาได้ ดังนั้น pressure loss จึงไม่มีอิทธิพลต่อการคำนวณ ก่อนที่จะคำนวณหาแรงเสียดทานจำเป็นต้องทราบ แรงที่กระทำต่อชิ้นงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 80 แผนภาพวัตถุอิสระของชิ้นงาน

$$+\uparrow \sum \vec{F} = \vec{0} \quad (3.45a)$$

$$P_{RE} A_{RE} + (-P_{HE} A_{HE}) + (-W_{JIG+piston}) = 0 \quad (3.45b)$$

$$P_{RE} \cong P_1 \quad \text{และ} \quad P_{HE} \cong P_2$$

$$P_1 [\pi(R^2 - r^2)] - P_2 (\pi R^2) = W_{JIG+piston} \quad (3.45c)$$

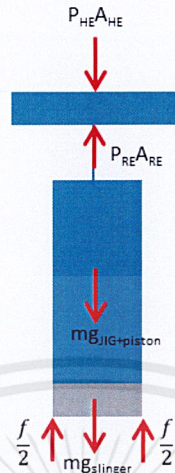
$$P_1 [\pi(R^2 - r^2)] - P_2 (\pi R^2) = W_{JIG+piston} \quad (3.45d)$$

$$P_{RE} A_{RE} + (-P_{HE} A_{HE}) + (-W_{JIG+piston}) = 0 \quad (3.45e)$$

$$\begin{aligned} (9.32 \times 10^6 \text{ Pa}) [\pi \{ (0.05 \text{ m})^2 - (0.02 \text{ m})^2 \}] \\ - (5.396 \times 10^6 \text{ Pa}) [\pi (0.05 \text{ m})^2] &= W_{JIG+piston} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_{\text{JIG+piston}} = 19.11 \text{ kN}$$



รูปที่ 81 แผนภาพวัตถุอิสระของ Slinger, JIG และลูกสูบ

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \quad (3.45a)$$

$$P_1 A_{RE} + (-P_2 A_{HE}) + (-mg_{\text{JIG+piston}}) + (-mg_{\text{slinger}}) + f = \vec{0} \quad (3.46a)$$

$$P_1 [\pi(R^2 - r^2)] - P_2 (\pi R^2) - W_{\text{JIG+piston}} - W_{\text{slinger}} = -f \quad (3.46b)$$

$$\begin{aligned} (4.415 \times 10^6 \text{ Pa}) [\pi \{ (0.05 \text{ m})^2 - (0.02 \text{ m})^2 \}] \\ - (4.905 \times 10^6 \text{ Pa}) [\pi (0.05 \text{ m})^2] \\ - (19.11 \times 10^3 \text{ N}) - (0.4 \text{ kg}) \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \\ f = 28.52 \text{ kN} \end{aligned}$$

ต่อไปเป็นการหาแรงในการอัด midship และ tube yoke เข้ากับท่อ ซึ่งสามารถคำนวณแรงเสียหายได้จากสมการ (press and shrink fit) ซึ่งได้มีการคำนวณเป็นตัวอย่างในหัวข้อที่ 3.1.2

$$P = \frac{\delta}{R \left[ \frac{1}{E_o} \left( \frac{r_o^2 + R^2}{r_o^2 - R^2} + \nu_o \right) + \frac{1}{E_i} \left( \frac{R^2 + r_i^2}{R^2 - r_i^2} + \nu_i \right) \right]} \quad (3.1)$$

จากแรงที่คำนวณได้มานั้น สามารถแบ่งการวิเคราะห์ที่ได้ 3 กรณีได้คือ

- $f_{\text{midship}} \geq f_{\text{tube yoke}}$  : ในกรณีนี้ทำให้เกิดเหตุการณ์ชิ้นงาน tube yoke ถูกอัดเข้ามาก่อนที่ midship จะถูกอัดตามมาทีหลัง กรณีนี้จะทำให้เกิดค่าแรงเสียหายอยู่ที่ระหว่าง [40.3, 64.2] kN
- $f_{\text{midship}} \leq f_{\text{tube yoke}}$  : ในกรณีนี้ทำให้เกิดเหตุการณ์ชิ้นงาน midship ถูกอัดเข้ามาก่อนที่ tube yoke จะถูกอัดตามมาทีหลัง กรณีนี้จะทำให้เกิดค่าแรงเสียหายอยู่ที่ระหว่าง [40.3, 64.6] kN

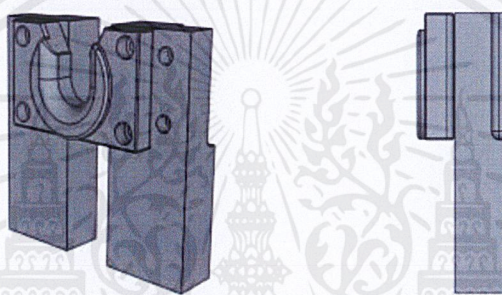
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $f_{\text{midship}} = f_{\text{tube yoke}}$  : ในกรณีนี้จะทำให้ midship และ tube yoke ถูกอัดประกอบเข้าท่าพร้อมกัน แต่ในกรณีนี้จะทำให้ค่าแรงเสียดทานเกิดขึ้นที่ระหว่าง [80.6, 129.2] kN  
ดังนั้นเพื่อให้แรงที่เหมาะสมที่สุดในการอัดงาน จึงเก็บค่าแรงดังกล่าวจากการสวมอัดจริงตามหัวข้อที่ 3.1.2

### 3.4.3.2 Revision of Drawing / Engineering Change

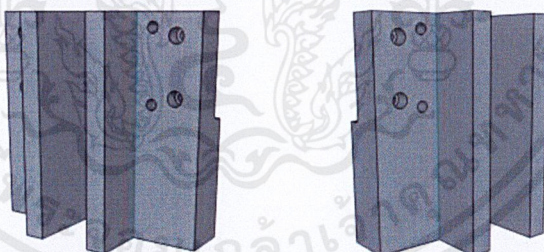
CVJ Fixture (Frame) เนื่องจากมีการคำนวณปรับเปลี่ยนรูปทรงเฉพาะของเฟรมซึ่งส่งผลถึงการติดเข้ากับฐาน (Base) โดยฐานจะถูกออกแบบให้สามารถประกอบกับรูปทรงของเฟรมแบบล่าสุดได้ จึงจะแสดงรายละเอียดของฐานในส่วนของการเขียนแบบภาคผนวก ก.

- รูปแบบของเฟรมเริ่มต้นจากการคำนวณด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์



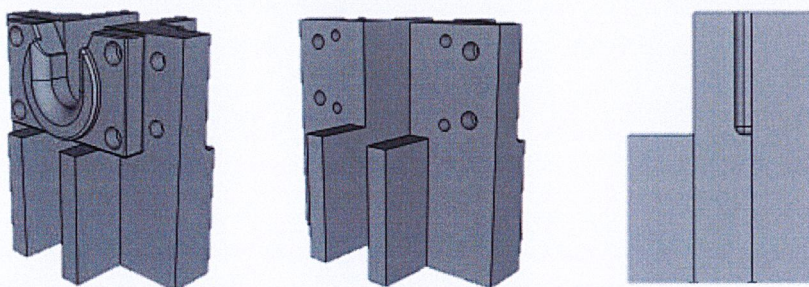
รูปที่ 82 รูปแบบของเฟรมเริ่มต้น

- รูปแบบของเฟรมที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงรูปหน้าตัด



รูปที่ 83 รูปแบบของเฟรมที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงรูปหน้าตัด

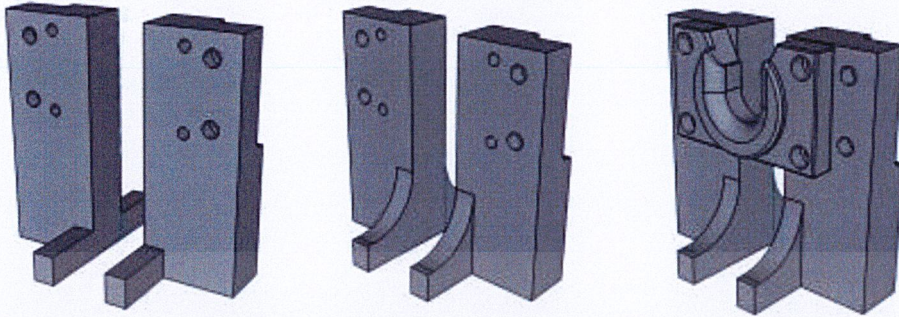
- เพื่อให้สามารถประกอบเข้ากับแผ่นรับการกด Pressing Plate จึงปรับเปลี่ยนเป็น



รูปที่ 84 รูปแบบของเฟรมปรับเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

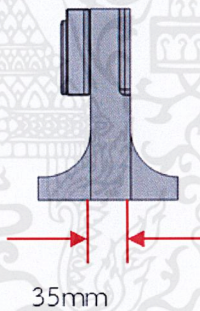
- อ่างอิงหลักการเปลี่ยนรูปหน้าตัดแต่ละความสูงของพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนไปและใช้การทำ Fillet เพื่อมีการลดขนาดรูปหน้าตัดรองรับกับความเค้นที่ลดลงในแต่ละระดับ



รูปที่ 85 รูปแบบของเฟรมที่ทำการ fillet

- ปรับเปลี่ยนความหนาตำแหน่งตั้งรูปและใช้หลักการคล้ายข้อก่อนหน้าเพื่อลดน้ำหนักของเฟรมโดยการลดปริมาตรของเฟรมแต่ทำให้มีความแข็งแรงตามเดิม จาก 35 mm เป็น 30 mm

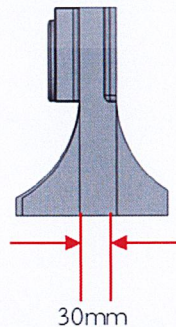
ก่อนปรับขนาด



รูปที่ 86 เฟรมที่มีขนาดความหนา 35 มิลลิเมตร

ขนาดความหนาเริ่มต้นเท่าเดิมคือ 35 มิลลิเมตรและมีการทำ Fillet 35.5 มิลลิเมตร

หลังปรับขนาด

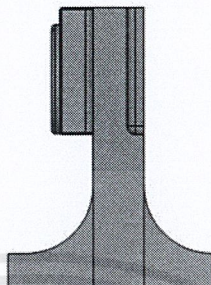


รูปที่ 87 เฟรมที่ปรับขนาดความหนาเป็น 30 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดถูกปรับจากความหนาเดิมคือ 35 มิลลิเมตรเปลี่ยนเป็น 30 มิลลิเมตรและการทำงาน Fillet เพิ่มเป็น 85.5 มิลลิเมตร

- มีการปรับเปลี่ยนวัสดุที่เลือกใช้จาก AISI 1020 เป็น S50C



รูปที่ 88 ฟิกเจอร์ที่เปลี่ยนวัสดุจาก AISI 1020 เป็น S50C

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นคือ ความหนาเป็นไปตามภาพจากข้อก่อนหน้าและมีการทำ Fillet จากข้อก่อนหน้า 85 มิลลิเมตรเปลี่ยนเป็น 40 มิลลิเมตรและวัสดุที่ใช้คือ S50C

## บทที่ 4

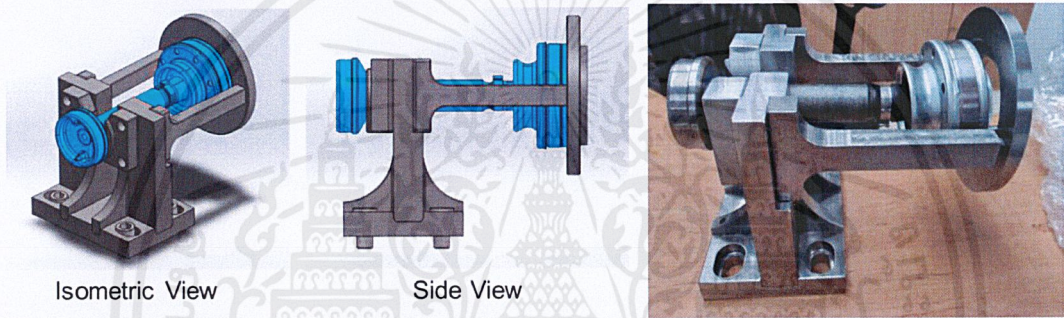
### ผลการดำเนินงาน

#### 4.1 Push Up JIG and Fixture

หลังจากได้ทำการคำนวณออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ของกระบวนการ Push Up ดังรายละเอียดในบทที่ 3 ข้างต้นแล้ว รูปทรงสุดท้ายและคุณสมบัติของจิ๊กและฟิกเจอร์ที่ได้เป็นดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 CVJ Push Up Fixture

จากการออกแบบในหัวข้อ 3.4.3.1.1 ผลของการออกแบบคือ



Isometric View

Side View

รูปที่ 89 แบบของ CVJ Push Up Fixture

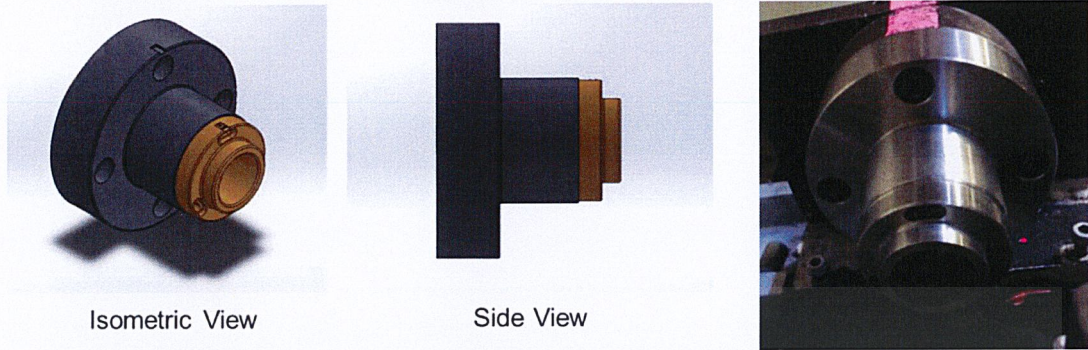
ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (kg)	วัสดุ	การทำงาน	จำนวนรอบ
1. แผ่นรับแรงกด	1.34	S50C	รับแรงโดยตรง	มากกว่า $10^6$
2. เฟรม	5.2	S50C	รับแรงโดยตรง	มากกว่า $10^6$
3. ฐานประกอบ	2.9	S50C	ประกอบกับเครื่องจักร	มากกว่า $10^6$
4. คานเชื่อม 2 ชิ้น	0.67/ชิ้น	S50C	เชื่อมงาน	มากกว่า $10^6$
5. ตัวประกอบ CVJ	1.7	S50C	ประกอบ CVJ	มากกว่า $10^6$
รวม	12.5			

ตารางที่ 15 สรุปคุณสมบัติของ CVJ Push Up Fixture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 Midship + Slinger Push Up JIG

จากการออกแบบในหัวข้อ 3.4.3.1.2 ผลการออกแบบคือ



รูปที่ 90 แบบของ Midship + Slinger Push Up JIG

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (kg)	วัสดุ	การทำงาน	จำนวนรอบ
1. ฐาน	5.9	S50C	ประกอบกับเครื่องจักร	มากกว่า $10^6$
2. Cylinder Spline	1.0	S50C	- ส่งถ่ายแรง - ติดตั้ง Slinger - จับ Mid ship	มากกว่า $10^6$
รวม	6.9			

ตารางที่ 16 สรุปคุณสมบัติของ Midship + Slinger Push Up JIG

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของ Push Up JIG and Fixture ด้วย Software SOLIDWORKS Simulation

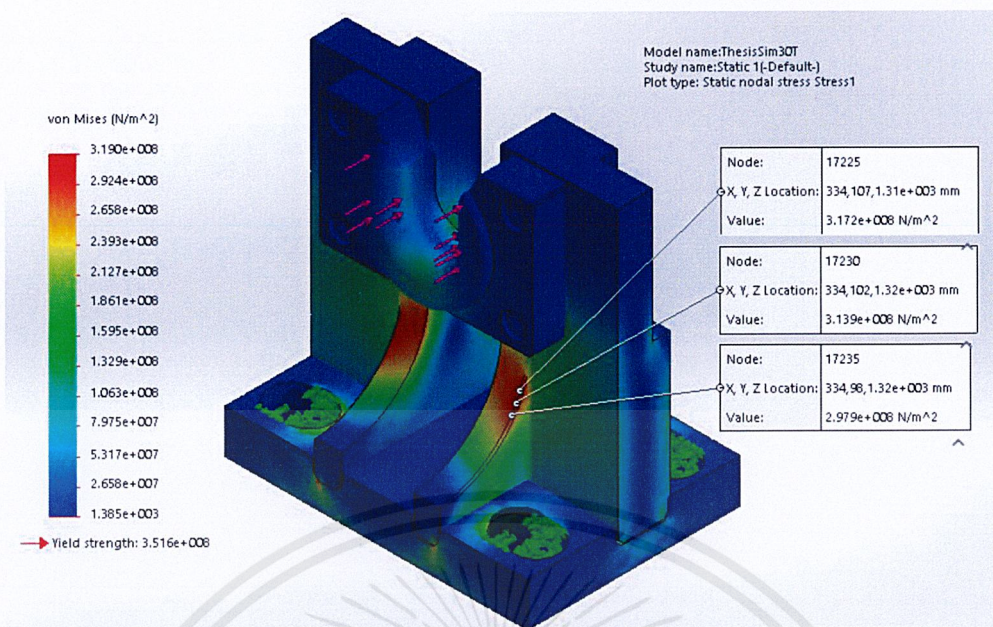
จากการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ ทำการวิเคราะห์ความเสียหายแบบที่เลือกใช้จริง ด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation

- CVJ Push Up Fixture การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตดังนี้

Parts	Material: AISI 1020 Yield Strength 351.6 MPa
Connections	Tools Box Fastener to Bolt ใช้การคำนวณ Preload จากซอฟต์แวร์
Fixtures	เลือกกำหนดจุดยึดที่ผิวสัมผัสของ Bolt ที่ฐานจิ๊กแบบ DOF=0
External Loads	แรงกระจายบนพื้นที่รับแรงของ Pressing Plate 50,000 N
Mesh	ขนาดเอลิเมนต์ 5.4 mm จากการวิเคราะห์ Mesh Analysis

ตารางที่ 17 ตารางเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้กำหนดในการทำ Simulation CVJ Push Up Fixture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



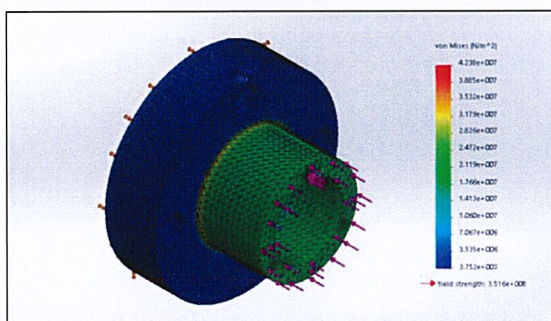
รูปที่ 91 แสดงผลการวิเคราะห์ความเสียหาย CVJ Push Up Fixture จากซอฟต์แวร์

จากรูปที่ 91 แสดงผลการวิเคราะห์ความเสียหายจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เลือกแสดงการวิเคราะห์ความเค้นด้วยทฤษฎี von Mises-Hencky (Distortion-energy theory) ค่าความเค้นที่ได้ในตำแหน่งที่ทำการพิจารณา มากที่สุดคือ 317 MPa ซึ่งน้อยกว่าการคำนวณด้วยสมการที่ 3.32 ทั้งนี้เนื่องจากการทำ fillet ขนาด 40 mm ตามแบบของฟิกเจอร์ อยู่นอกช่วงการประมาณในสมการที่ 3.32

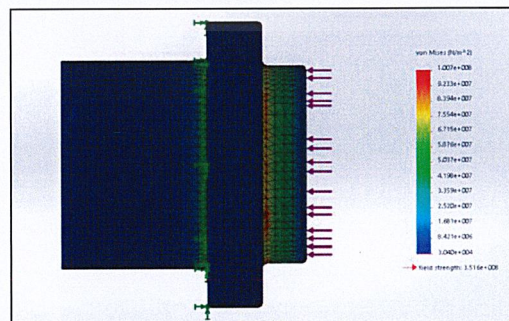
Midship +Slinger Push Up JIG การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตดังนี้

Parts	Material: AISI 1020 Yield Strength 351.6 MPa
Connections	Tools Box Fastener to Bolt ใช้การคำนวณ Preload จากซอฟต์แวร์
Fixtures	เลือกกำหนดจุดยึดที่ด้านหลังของ Base เหมือนติดตั้งบนเครื่องจักรจริง
External Loads	แรงกระจายบนพื้นที่รับแรงของ Cylinder Spline 50 kN
Mesh	ขนาดเอลิเมนต์ 5.4 mm จากการวิเคราะห์ Mesh Analysis

ตารางที่ 18 ตารางเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้กำหนดในการทำ Simulation Midship + Slinger Push Up JIG



Base part



Cylinder spline part

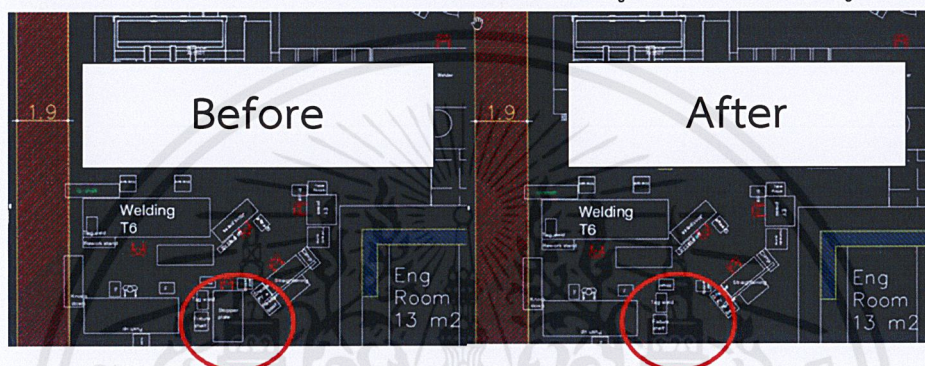
รูปที่ 92 แสดงผลการวิเคราะห์ความเสียหาย Midship+Slinger JIG จากซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

จากรูปที่ 92 แสดงผลการวิเคราะห์ความเสียหายจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เลือกแสดงการวิเคราะห์ความเค้นด้วยทฤษฎี von Mises-Hencky (Distortion-energy theory) ค่าความเค้นที่ได้ในตำแหน่งที่ทำการพิจารณา มากที่สุดคือ 42.38 MPa ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณค่าตัวประกอบความปลอดภัย (Safety Factor) อยู่ที่ 13.69

### 4.3 ผลการรวมกระบวนการ Slinger Pressing และ Midship Push Up

จิ๊กฟิกเจอร์ที่ส่งผลต่อการเกิดความเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิต คือ Midship-slinger JIG Fixture เนื่องจากมีการรวมกระบวนการสวมอัด (Push up) เข้ากับกระบวนการสวมอัด Slinger (Slinger Press) แผนภาพกระบวนการและแผนผังโรงงานจึงจะถูกเปลี่ยนเป็นไปตามรูปที่ 93



รูปที่ 93 ภาพเขียนแบบผังสายการผลิต GCP

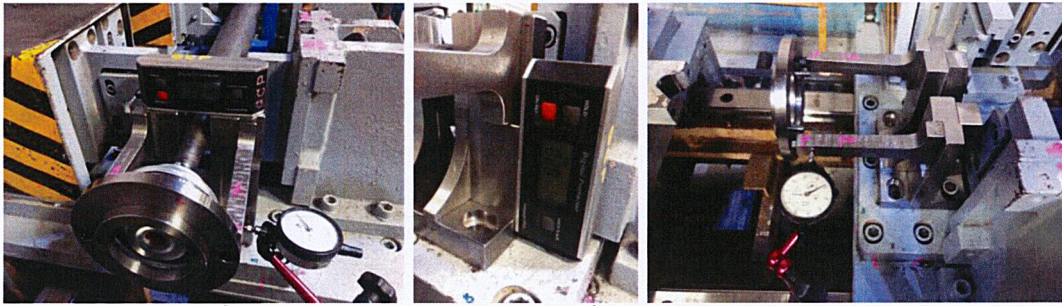
## 4.4 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนการประกอบชิ้นส่วนจิ๊กและฟิกเจอร์

### 4.4.1 ความคลาดเคลื่อนจากการประกอบฟิกเจอร์ CVJ

ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของฟิกเจอร์ CVJ จากการประกอบ						
วิธีการตรวจสอบ	เครื่องมือวัด	ความคลาดเคลื่อนจากPhaser	ความต่างระดับ	ความหมาย	สถานะ	รูปอ้างอิง
1.วัดความต่างระดับการประกอบระหว่างเฟรมทั้งสองฝั่งเพื่อตรวจสอบ	Phaser	0.1°	99	การประกอบติดเฟรมเข้ากับฐานของฟิกเจอร์ ความสูงของเฟรมทั้งสองต่างกัน 99 ไมครอน ตามแกน y	ยอมรับได้	รูปที่ 94
2.วัดความต่างระดับการประกอบระหว่างเฟรมและฐาน	Phaser	0.2°	50	การประกอบติดเฟรมเข้ากับฐานของฟิกเจอร์ มีความเหลื่อมกัน 50 ไมครอน ตามแกน z	ยอมรับได้	รูปที่ 94
3.วัดแนวการประกอบของคานเข้ากับเฟรมทั้งสองด้าน	Dial gauge	-	400	ทั้งสองฝั่งมีระยะห่างจากตำแหน่งอ้างอิงลดจาก 400 ไมครอนเป็น 0 ไมครอน เท่ากันทั้งสองฝั่งมีแสดงว่ามีกรบับตัวเนื่องจากประกอบเข้ากับตัวประกอบ CVJ อย่างสมมาตร	ยอมรับได้	รูปที่ 94

ตารางที่ 19 ตารางการตรวจสอบการประกอบ ฟิกเจอร์สำหรับ CVJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 94 การวัดตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากการประกอบฟีกเจอร์ CVJ

#### 4.4.2 ความคลาดเคลื่อนจากการประกอบจิ๊ก Midship Slinger

ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของจิ๊ก Midship Slinger จากการประกอบ						
วิธีการตรวจสอบ	เครื่องมือวัด	ความคลาดเคลื่อนจากPhaser	ความต่างระดับ	ความหมาย	สถานะ	รูปอ้างอิง
1.วัดความต่างระดับการประกอบระหว่าง Cylinder spline และ ฐานของจิ๊ก	Phaser	-0.15°	31.4	การประกอบติดเฟรมเข้ากับฐานของฟีกเจอร์ ความสูงของเฟรมทั้งสองต่างกัน 31.4 ไมครอน ตามแกน y	ยอมรับได้	รูปที่ 95

ตารางที่ 20 ตารางการตรวจสอบการประกอบจิ๊กสำหรับ Midship Slinger



รูปที่ 95 การตรวจสอบการประกอบจิ๊กสำหรับ Midship Slinger

#### 4.5 JIG and Fixture Fitting Test

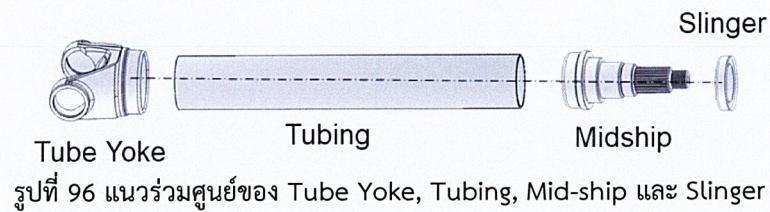
ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองติดตั้งจิ๊กและฟีกเจอร์ที่ได้ทำการออกแบบสำหรับกระบวนการอัดงานประกอบ (Push Up) สำหรับชิ้นงาน Midship-Slinger และ CVJ (Constant Velocity Joint) ตรวจสอบผลการติดตั้งจิ๊กและฟีกเจอร์จากเงื่อนไขที่ค้ำึงสำหรับการสวมอัดคือ การรักษาแนวร่วมศูนย์ของส่วนประกอบที่ทำการสวมอัดเข้าด้วยกัน

การทดสอบจิ๊กและฟีกเจอร์ที่ได้ทำการออกแบบใหม่ สำหรับการประกอบแบบสวมอัดระหว่างชิ้นส่วนเพลลา ได้แก่ Mid-ship, Tube Yoke, CVJ (Constant Velocity Joint) และ Tube

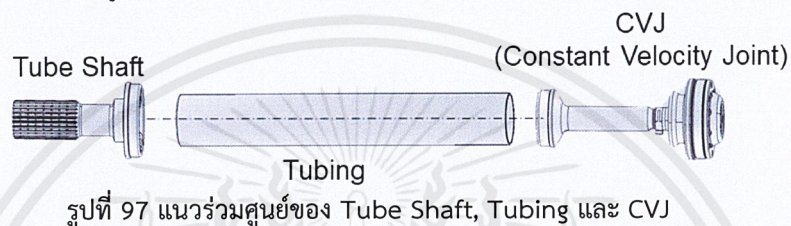
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shaft เข้ากับ Tubing ในกระบวนการ Push Up เพื่อทดสอบความสามารถในการประกอบเพลลา โดยต้องคำนึงถึง

- แนวร่วมศูนย์ของ Tube Yoke + Tubing + Mid-Ship + Slinger



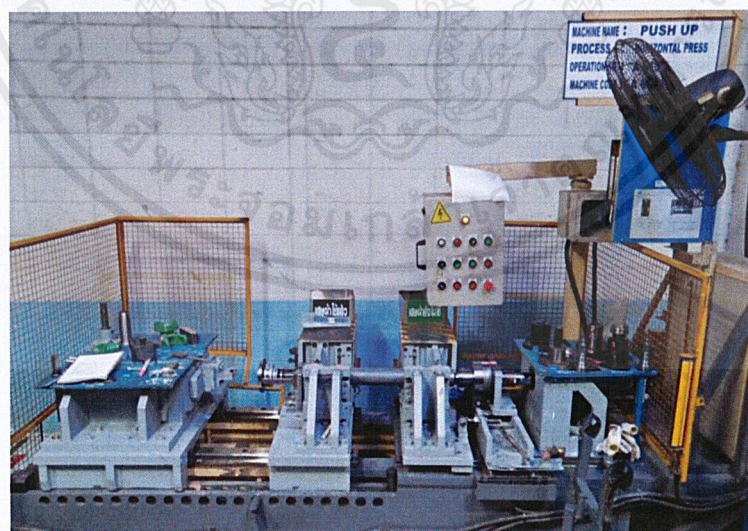
- แนวร่วมศูนย์ของ Tube Shaft + Tubing + CVJ



เมื่อทำการประกอบเสร็จแล้ว สามารถทดสอบว่าเพลลาที่ย่อยที่ได้มีแนวร่วมศูนย์ตามรูปที่ 96 และ 97 เป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ โดยการตรวจสอบความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุน (run out) ที่กระบวนการ Knock Down ด้วย Dial gage ซึ่งกำหนดค่า run out ไว้ไม่เกิน 200  $\mu\text{m}$

การตรวจสอบเพื่อยืนยันการประกอบฟิกเจอร์เข้าด้วยกัน

ทำการทดลองติดตั้งจิ๊กและฟิกเจอร์ (Fitting Test)

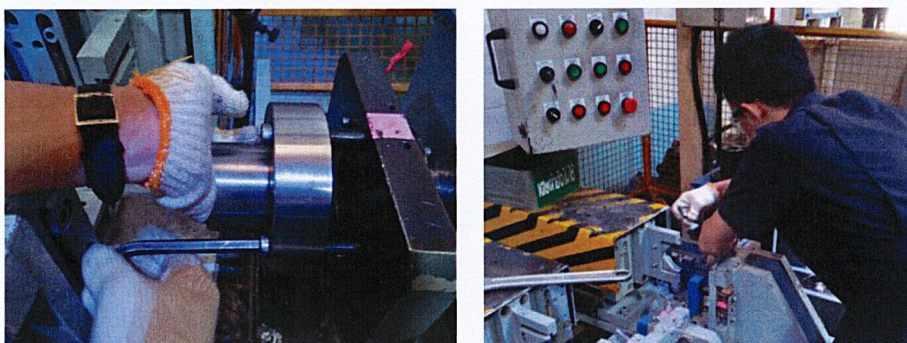


รูปที่ 98 แสดง Push up Station ในสายการผลิตเพลลา GCP

- Mid-ship + Slinger Push up JIG

ทดลองติดตั้ง Mid-ship + Slinger Push up JIG ที่เครื่อง Horizontal Pressing Machine (Push up Station)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 99 การติดตั้ง Midship + Slinger Push up JIG

เมื่อลองติดตั้งจิ๊กพบปัญหาขึ้นระหว่างการติดตั้งคือ จิ๊กไม่สามารถประกอบติดเข้ากับเครื่องจักรได้ เนื่องจากแท่นติดตั้งที่เครื่องจักรมี ตำแหน่งอ้างอิงการติดตั้ง (Position Guide) ของจิ๊กเพื่อรักษาเส้นนำศูนย์ ซึ่งทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการปรับแต่งจิ๊กใหม่



รูปที่ 100 แสดง Position Guide ของจิ๊กบนแท่นติดตั้งของเครื่องจักร และการปรับแต่งจิ๊กด้วยการเจาะรูเพิ่ม

ทำการทดลองติดตั้งจิ๊กที่ปรับแต่งใหม่อีกครั้ง

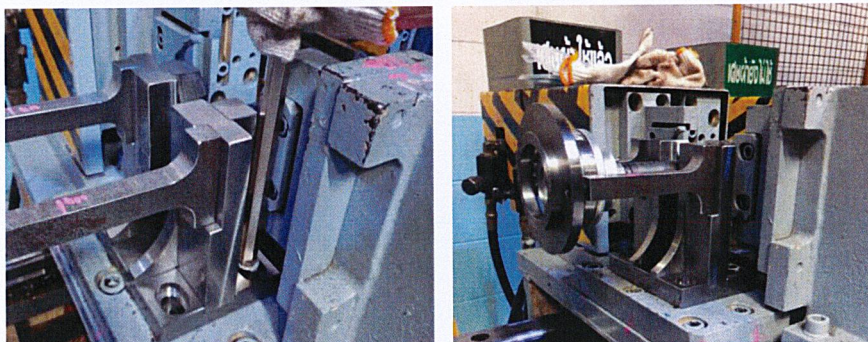


รูปที่ 101 แสดงการติดตั้ง Midship + Slinger Push up JIG

#### - CVJ Push up Fixture

ทดลองติดตั้ง CVJ Fixture ที่เครื่อง Horizontal Pressing Machine (Push up Station)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 102 การติดตั้ง CVJ Fixture

#### 4.6 การตรวจสอบการตั้ง Tools

##### 4.6.1 การตรวจสอบการติดตั้งฟิกเจอร์ CVJ เข้ากับเครื่องจักร

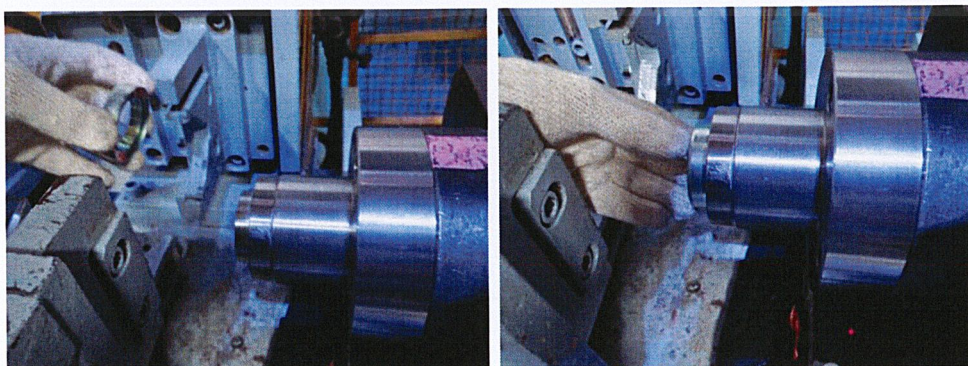
ตรวจสอบการติดตั้งฟิกเจอร์ CVJ เข้ากับเครื่องจักร						
วิธีการตรวจสอบ	เครื่องมือวัด	ความคลาดเคลื่อนจากPhaser	ความต่างระดับ	ความหมาย	สถานะ	รูปอ้างอิง
1.วัดความต่างระดับของระนาบระหว่างชิ้นงานและฟิกเจอร์	Phaser	0.05°	13.7	การประกอบติดเฟรมเข้ากับฐานของฟิกเจอร์ ความสูงของเฟรมทั้งสองต่างกัน 99 ไมครอน ตามแกน y	ใช้งานได้	รูปที่ 105

ตารางที่ 21 ตารางอธิบายวิธีการตรวจสอบการติดตั้งฟิกเจอร์

##### 4.6.2 การตรวจสอบการติดตั้งจิ๊ก Midship Slinger เข้ากับเครื่องจักร

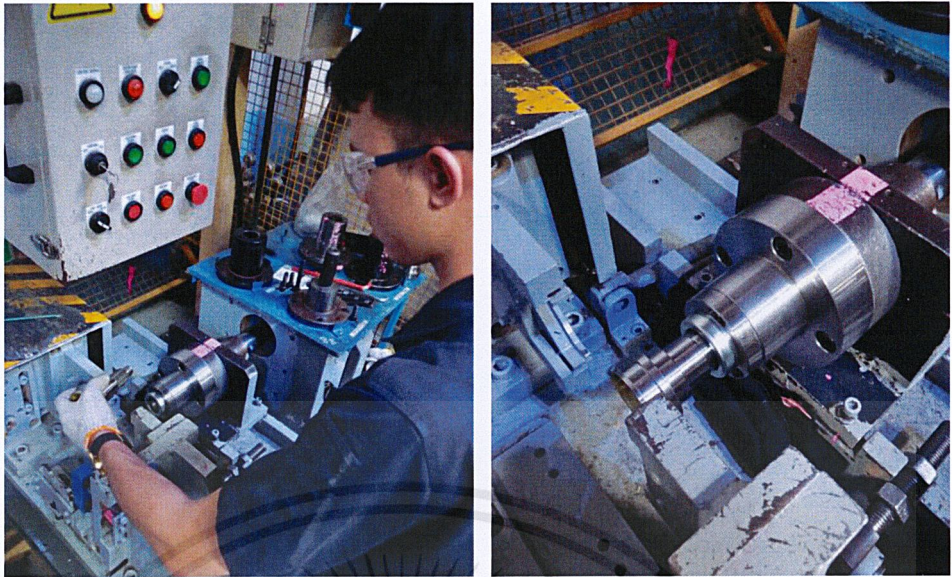
ตรวจสอบการติดตั้งฟิกเจอร์ Midship slinger เข้ากับเครื่องจักร						
วิธีการตรวจสอบ	เครื่องมือวัด	ความคลาดเคลื่อนจากPhaser	ความต่างระดับ	ความหมาย	สถานะ	รูปอ้างอิง
1.ประกอบเข้ากับนำศูนย์เครื่องได้	-	-	-	รูปทรงของจิ๊กที่สมมาตรและสามารถประกอบเข้ากับเครื่องที่มีตำแหน่งนำศูนย์ได้ แสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ	ใช้งานได้	รูปที่ 100 และ 101

ตารางที่ 22 ตารางอธิบายวิธีการตรวจสอบการติดตั้งจิ๊ก



รูปที่ 103 การทดลองสวมชิ้นงาน Slinger เข้ากับ JIG ก่อนการอัดจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 104 การทดลองสวมชิ้นงาน Midship เข้ากับ JIG ก่อนการอัดจริง

จากนั้นทดลองนำชิ้นส่วน CVJ มาวางบน Fixture ก่อนการสวมอัดงานจริง เพื่อตรวจสอบมุมของแนวร่วมศูนย์



รูปที่ 105 การทดลองวางชิ้นงาน CVJ บน Fixture ก่อนการอัดจริง และการตรวจสอบมุมของแนวร่วมศูนย์โดยเครื่องมือวัด phaser จากภาพ CVJ ทำมุม  $-0.05$  องศา กับแนวระดับของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผล ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ

รายงานฉบับนี้กล่าวถึงการเตรียมความพร้อมของกระบวนการสวมอัดสายการผลิต GCP ของ บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เพื่อรองรับการประกอบเพลากลางรถกระบะรุ่นใหม่โดยได้นำองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงการนี้ ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ สามารถสรุปผลได้ตามสัดส่วนงานที่ได้ดำเนินการทั้งหมด 3 ส่วนดังนี้

#### ส่วนที่ 1 Review

ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลของผลิตภัณฑ์เพลากลาง T6 MEA ที่สำคัญเพื่อนำไปใช้ในการเตรียมความพร้อมในกระบวนการสวมอัดของสายการผลิต GCP สามารถวิเคราะห์เพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของกระบวนการประกอบชิ้นส่วนเพลารุ่นใหม่ได้

#### ส่วนที่ 2 Preparations

ในส่วนนี้ได้ทำการนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในแต่ละกระบวนการเพื่อตรวจสอบกำลังการผลิตของสายการผลิต GCP ต่อการประกอบเพลารุ่นใหม่ T6 MEA และนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์ในกระบวนการสวมอัด (Push Up) ของชิ้นส่วนเพล่าที่มีการออกแบบใหม่ และยังสามารถปรับปรุงพื้นที่การทำงานในสายการผลิตเดิมโดยการรวมกระบวนการประกอบ 2 กระบวนการเดิมที่มีอยู่เข้าด้วยกัน จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงานที่คล้ายกันของเครื่องจักรเดิม นอกจากนั้นยังได้นำความรู้ทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาเป็นเครื่องมือช่วยในการคาดการณ์ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นบนจิ๊กและฟิกเจอร์เพื่ออายุการใช้งานที่เหมาะสมในแง่อุตสาหกรรม

#### ส่วนที่ 3 ผลการดำเนินงาน

ส่วนสุดท้ายเป็นการตรวจสอบคุณภาพรวมถึงแก้ปัญหาการติดตั้งจิ๊กและฟิกเจอร์เข้ากับเครื่องจักร แต่เนื่องด้วยมีการเปลี่ยนแปลงกำหนดการของบริษัทเป็นผลให้ระยะเวลาไม่เพียงพอต่อขอบเขตงานทั้งหมด ทำให้การตรวจสอบทำได้เพียงตรวจสอบการติดตั้งจิ๊กและฟิกเจอร์เท่านั้น โดยสามารถนำฟิกเจอร์มาติดตั้งกับเครื่องจักรได้จริงและใช้เครื่องมือวัดแนวร่วมศูนย์ของชิ้นส่วนที่ทำการประกอบแบบสวมอัดในกระบวนการ ผลความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการติดตั้งสามารถยอมรับได้ในเบื้องต้น โดยจำเป็นต้องมีการทำการทดสอบสวมอัดประกอบจริงเพื่อตรวจสอบคุณภาพของงานหลังผ่านกระบวนการต่อไปตามกำหนดการของบริษัท

## ปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินโครงการ

1. ระยะเวลาที่จำกัดและการปรับเปลี่ยนแผนงานของบริษัท ส่งผลให้ชิ้นส่วนประกอบสำหรับทำการทดสอบกับกระบวนการสวมอัดจริงไม่รองรับต่อระยะเวลาโครงการสหกิจศึกษา จึงไม่สามารถทำการทดสอบคุณภาพการใช้งานจริงของฟิกเจอร์ที่ออกแบบได้ ทางรายงานสหกิจฉบับนี้จึงลดขอบเขตของการทำงานลงจากการทดสอบสวมอัดจริงเหลือเพียงการทดลองติดตั้งกับเครื่องจักรและชิ้นส่วนตัวอย่างเพื่อดูความคลาดเคลื่อนของการออกแบบ และวิธีติดตั้ง
2. บริษัทผู้ผลิตงานออกแบบของโครงการฉบับนี้ไม่สามารถทำงานภายในระยะเวลาที่กำหนดส่งงานจึงมีการปรับเปลี่ยนขยายระยะเวลาสำหรับการทำสหกิจ
3. ไม่สามารถถอดการติดตั้งจิ๊กและฟิกเจอร์ที่ใช้งานอยู่ในเครื่องจักรปัจจุบันระหว่างการผลิตในงานอุตสาหกรรมได้ ส่งผลให้เมื่อถึงกำหนดการทำการทดสอบฟิกเจอร์ที่ถูกออกแบบมาไม่สามารถสวมเข้ากับเครื่องจักรได้จึงต้องมีการนำงานออกแบบไปปรับแก้เพื่อให้ติดตั้งกับเครื่องจักรได้

## ข้อเสนอแนะ

ในระยะเวลาจำกัด 16 สัปดาห์ ควรตกลงถึงขอบเขต กำหนดการและความเป็นไปได้ของการทำโครงการสหกิจสำเร็จกับบริษัทให้ชัดเจนเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเปลี่ยนหัวข้อและป้องกันความสับสนในการทำโครงการเพื่อให้สามารถลำดับขั้นตอนสำหรับการทำโครงการให้ผลลัพธ์มีประสิทธิภาพสูงสุด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ปราโมทย์ เตชะอำไพ. 2555. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาของแข็ง. ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม.
- [2] ดร.มนูกิจ พานิชกุล, ดร.อรรณพ เรืองวิเศษ. 2549. ขั้นตอนของการออกแบบ. แนวคิดและวิธีการออกแบบเครื่องจักรกล. สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [3] รศ.วชิระ มีทอง. 2536. จิ๊กและฟิกเจอร์. การออกแบบจิ๊กและฟิกเจอร์. สถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [4] ปราโมทย์ เตชะอำไพ, สุจริตภวัตสกุล. การวิเคราะห์ปัญหาความยืดหยุ่นใน 3 มิติ. FINITE ELEMENT ANALYSIS WITH SOLIDWORKS
- [5] เอนก บ่อมประภา. //Statistical Process Control.//Retrieved Aug 23, 2019, /from/[http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article\\_id=807](http://www.9engineer.com/index.php?m=article&a=print&article_id=807)
- [6] นุกูล ทะนวนรัมย์. //Process Control.//Retrieved Aug 23, 2019, /from/
- [7] กิตติ ภัคดิวัฒน์นะ. การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Quality control). การจัดการธุรกิจด้วย Microsoft Excel
- [8] Natthapol Kaewpontong. 2016. Delaunay Triangle. Distributed Image Retrieval System with Delaunay Triangulation Technique. Computer Engineering, Prince of Songkla university
- [9] SOLIDWORKS Help. Simulation. SOLIDWORKS Simulation 2016. Dassault System
- [10] Paul M. Kurowski, Ph.D., P.Eng. Introduction of FEA in SOLIDWORKS Simulation. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2016.
- [11] Piphat Phoemphan. / (2018). // IATF 16949. // Eleader. //Retrieved Aug 23, 2019, /from/<https://www.theeleader.com/news-enterprise/iatf-16949-car-industry/>
- [12] Tirupathi R. Chandrupatla, Ashok D. Belegundu. THREE DIMENSION PROBLEMS IN STRESS ANALYSIS. INTRODUCTION TO FINITE ELEMENT IN ENGINEERING
- [13] Richard G. BUDYNAS, J. Keith NISBETT. Failure Prevention. Shigley's Mechanical Engineering Design Edition 10<sup>th</sup>
- [14] Anthony Esposito. Hydraulic Fluid. Fluid Power with Applications Edition 6<sup>th</sup>

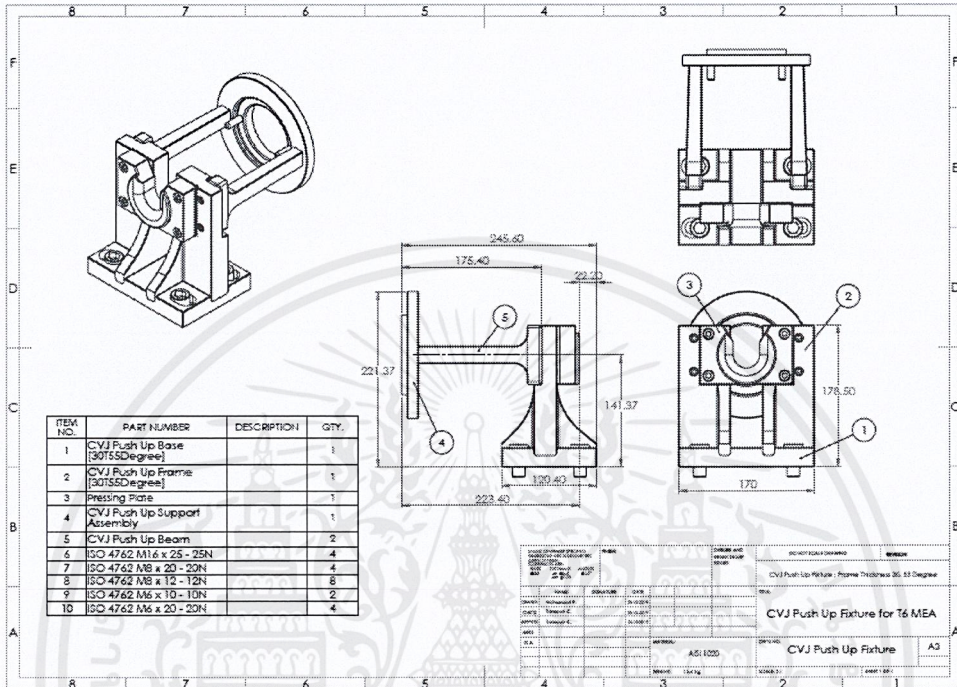
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



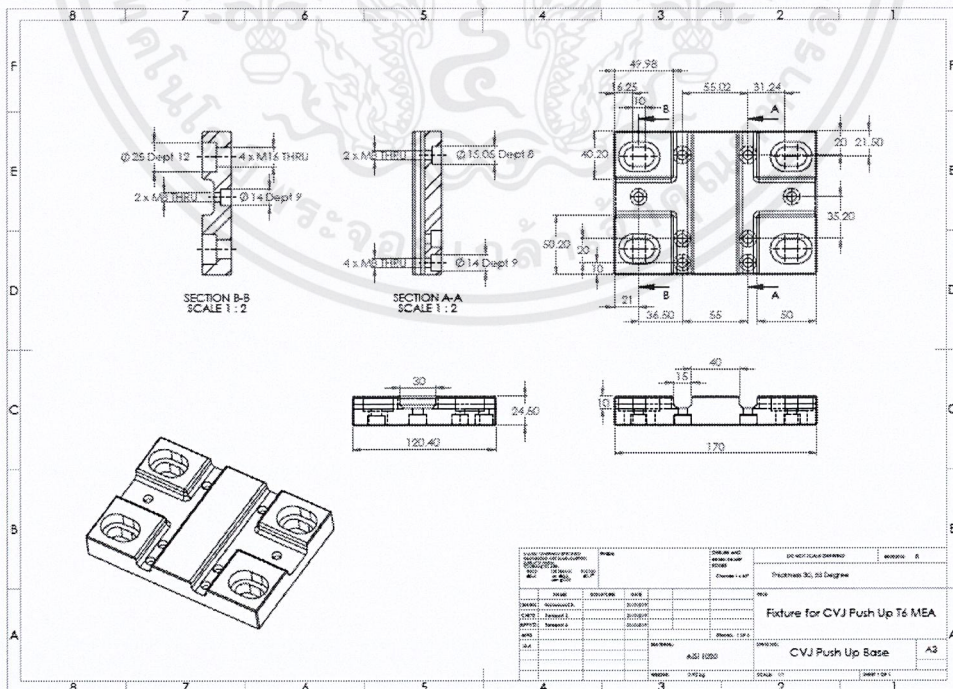
# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก  
แบบวาดจิ๊กและฟิกเจอร์

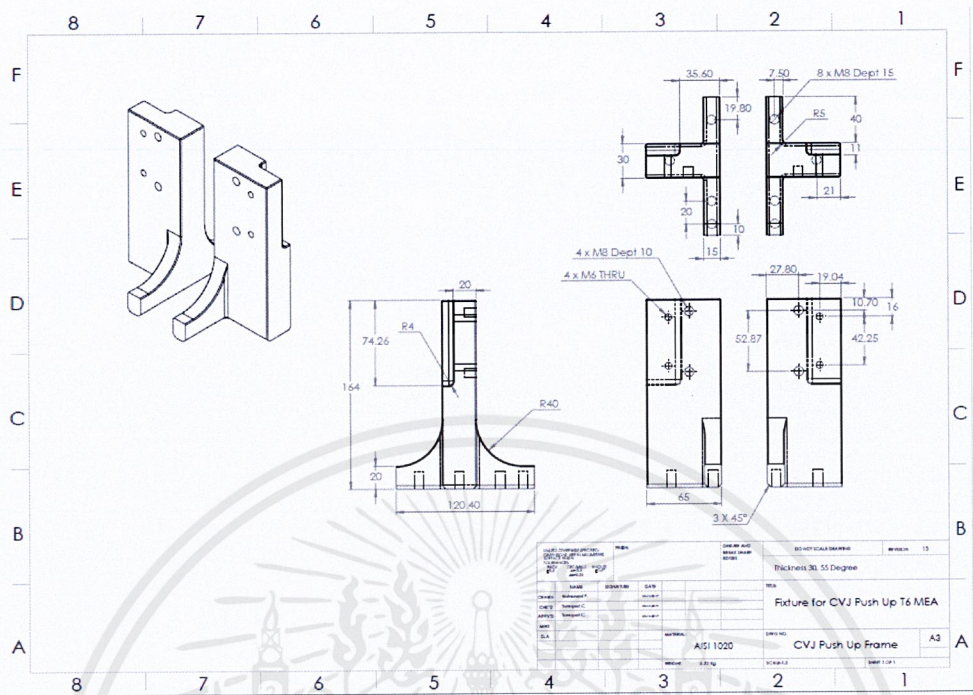


แบบวาด CVJ Fixture Assembly

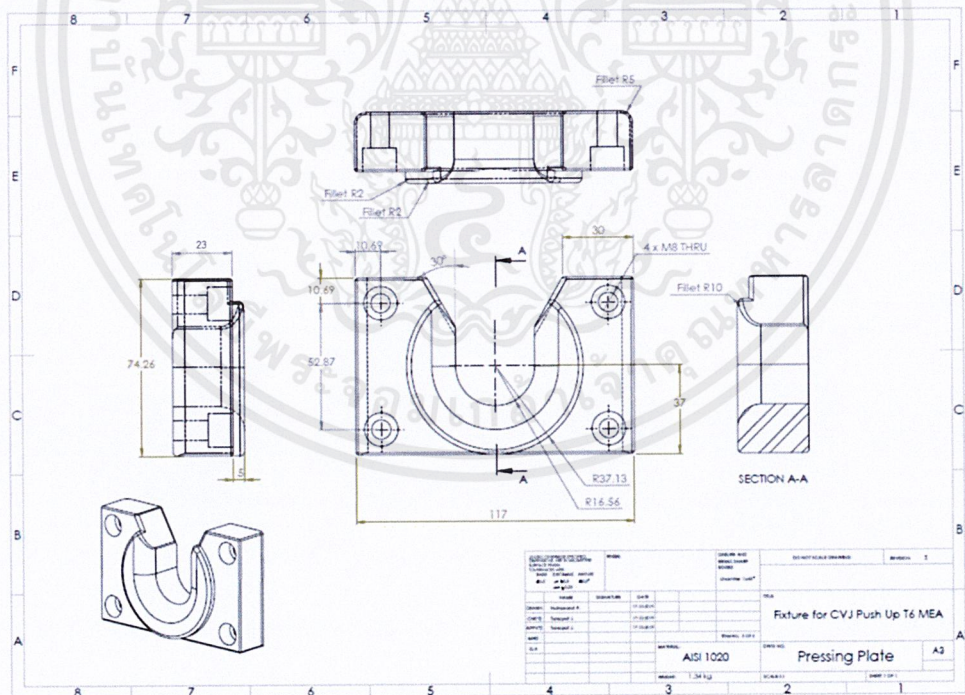


แบบวาด CVJ Fixture Base

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

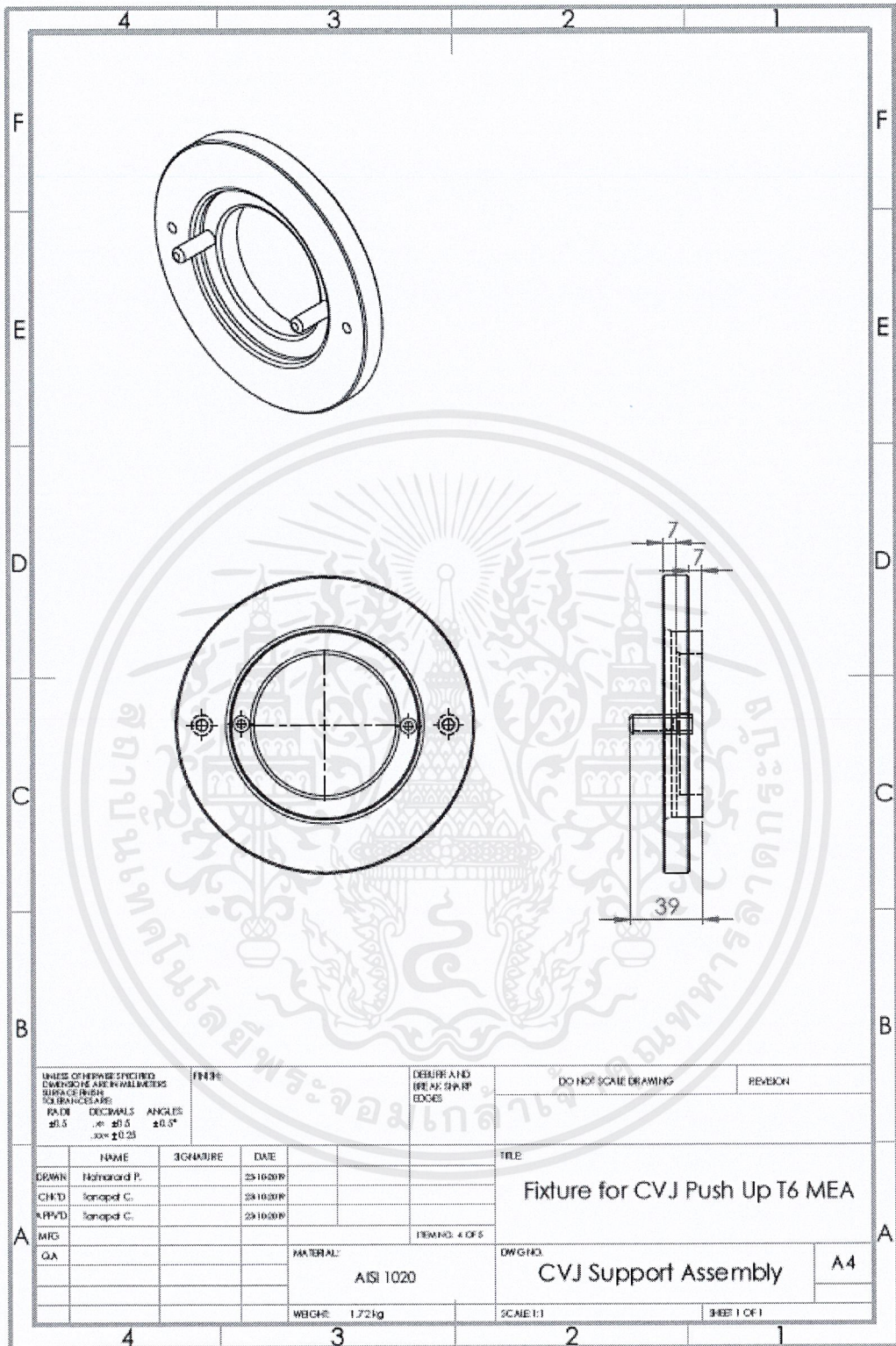


แบบวาด CVJ Fixture Frame



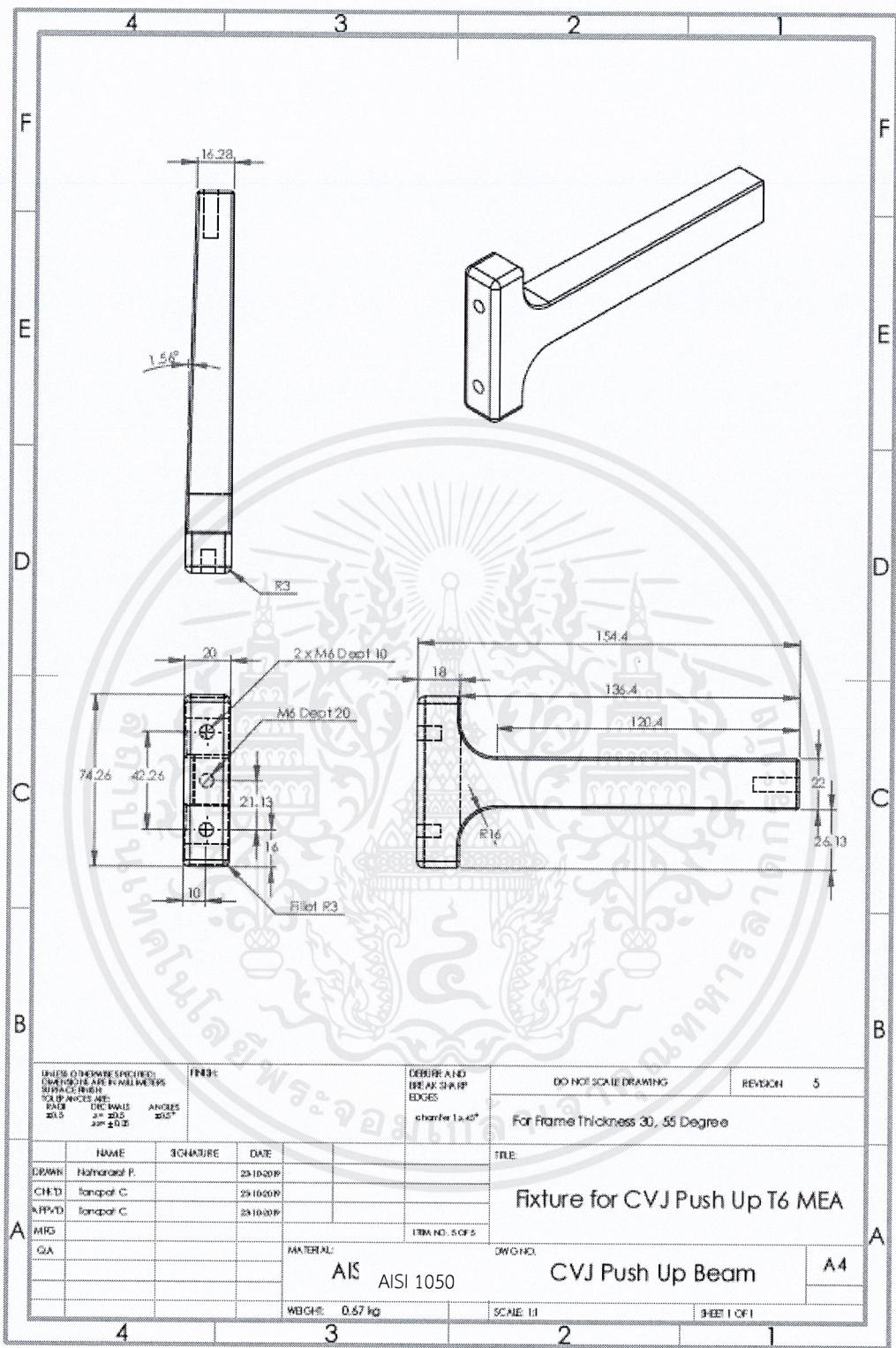
แบบวาด CVJ Fixture Pressing Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



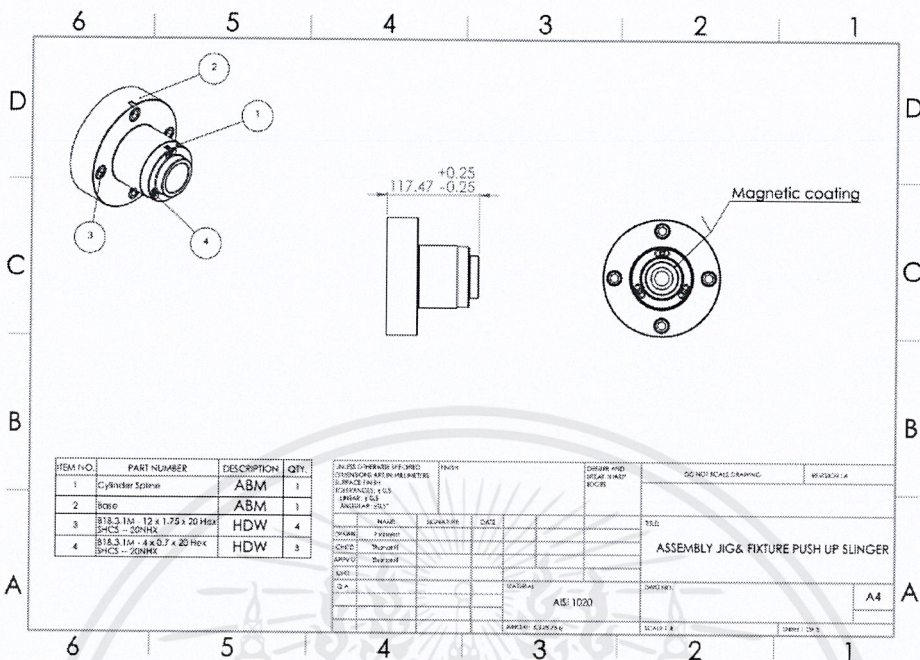
แบบวาด CVJ Fixture Support Assembly

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

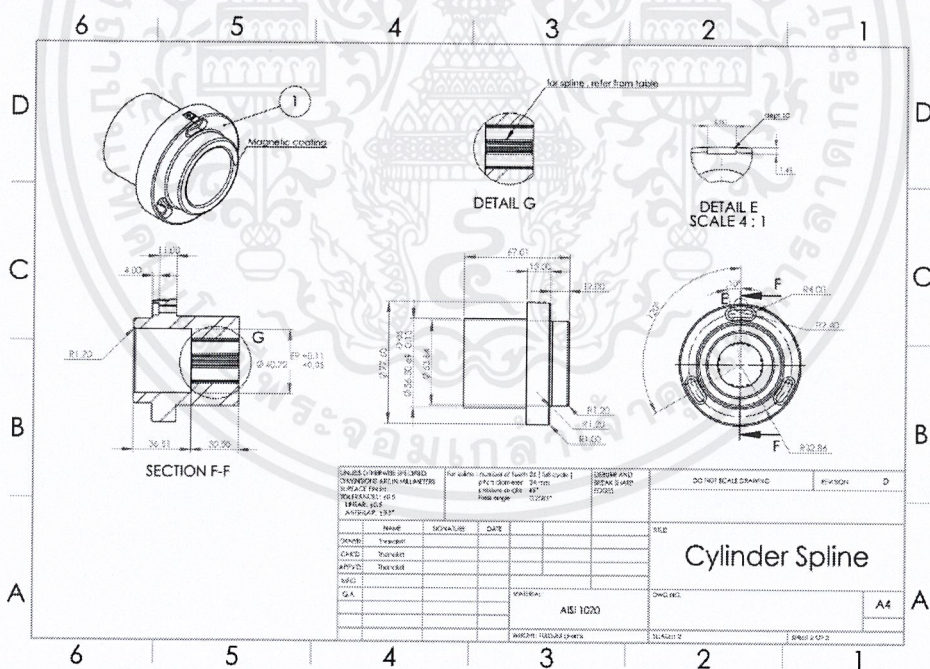


แบบวาด CVJ Fixtue Beam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

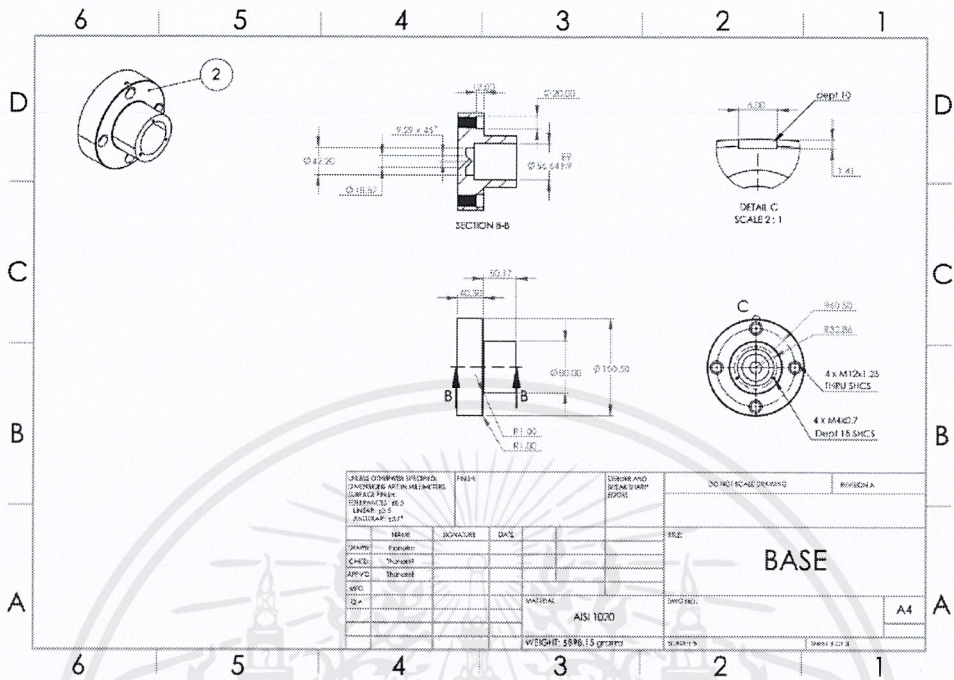


แบบวาด Midship-Slinger JIG Assembly



แบบวาด Midship-Slinger JIG Cylinder Spline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบวาด Midship-Slinger JIG Base

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## Process Failure Mode and Effect Analysis

Process General Evaluation Criteria Severity (S)

การให้คะแนนความล้มเหลวที่จะเกิดขึ้น ให้อ้างอิงจากเกณฑ์ด้านล่าง

S	Effect	Impact to Your Plant	Impact to Ship-to-Plant (when know)	Impact to End User (when know)
10	สูง	ความล้มเหลวส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงในเรื่องความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของพนักงานผลิตหรือประกอบ	ความล้มเหลวส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงในเรื่องความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของพนักงานผลิตหรือประกอบ	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของยานยนต์ หรือยานยนต์อื่นๆ อาชีวอนามัยของผู้ขับขี่ ผู้โดยสาร ผู้ใช้ถนน คนเดินถนน
9		ความล้มเหลวส่งผลให้เกิดความไม่สอดคล้องในเรื่องกฎความปลอดภัยขององค์กร	ความล้มเหลวส่งผลให้เกิดความไม่สอดคล้องในเรื่องกฎความปลอดภัยขององค์กร	ไม่สอดคล้องกับกฎหมาย
8	ค่อนข้างสูง	<b>100% ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและได้รับผลกระทบอาจจะถูกทำลายทิ้ง (scrap)</b> ความล้มเหลวส่งผลให้เกิดความไม่สอดคล้องในเรื่องกฎความปลอดภัยขององค์กร หรือ อาจจะมีปัญหาเรื่องความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของพนักงานผลิตหรือประกอบ	<b>หยุดสายการผลิตเกินกว่า 1 กะ</b> อาจจะต้องหยุดการจัดส่ง ทำ Field repair หรือ เปลี่ยนชิ้นส่วนทดแทนอื่น ๆ (ประกอบให้ผู้ใช้งาน) มากกว่าความไม่สอดคล้องในเรื่องกฎหมาย ความล้มเหลวส่งผลให้เกิดความไม่สอดคล้องในเรื่องกฎความปลอดภัยขององค์กร หรือ อาจจะมีปัญหาเรื่องความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของพนักงานผลิตหรือประกอบ	ยานยนต์ <b>สูญเสีย</b> ฟังก์ชันการทำงานเบื้องต้น (Primary Function) ซึ่งจำเป็นสำหรับการขับขี่แบบปกติระหว่างช่วงอายุของผลิตภัณฑ์
7		ผลิตภัณฑ์อาจจะถูกคัดแยก (Sort) และบางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกทำลายทิ้ง (Scrap) เกิดความเบี่ยงเบน (Deviation) จากกระบวนการเดิม ลดความเร็วของสายการผลิต หรือ เพิ่มกำลังคน	สายการผลิตหยุดตั้งแต่ 1 ชม. ถึง 1 กะ อาจจะต้องหยุดการจัดส่ง ทำ Field repair หรือ เปลี่ยนชิ้นส่วนทดแทนอื่น ๆ (ประกอบให้ผู้ใช้งาน) มากกว่า ความไม่สอดคล้องในเรื่องกฎหมาย	ยานยนต์ <b>ลดระดับ</b> ฟังก์ชันการทำงานเบื้องต้น (Primary Function) ซึ่งจำเป็นสำหรับการขับขี่แบบปกติระหว่างช่วงอายุของผลิตภัณฑ์
6		<b>100% ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอาจจะถูกนำมาทำซ้ำ (rework) นอกสายการผลิตแล้วจึงยอมรับ</b>	สายการผลิตหยุดไม่เกิน 1 ชม.	ยานยนต์ <b>สูญเสีย</b> ฟังก์ชันการทำงานในระดับที่สอง (Secondary Function)
5	ค่อนข้างต่ำ	<b>บางส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอาจจะถูกนำมาทำซ้ำ (rework) นอกสายการผลิตแล้วจึงยอมรับ</b>	<b>ไม่มีการหยุดสายการผลิต</b> จำเป็นต้องมีการคัดแยกผลิตภัณฑ์ น้อยกว่า 100% ของผลิตภัณฑ์จะรับผลกระทบ มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดงานเสียเพิ่มขึ้น	ยานยนต์ <b>ลดระดับ</b> ฟังก์ชันการทำงานในระดับที่สอง (Secondary Function)
4		<b>100% ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอาจจะถูกนำมาทำซ้ำ (rework) ในสายการผลิตก่อนนำไปผลิตต่อ</b>	ผลิตภัณฑ์ที่เสียส่งสัญญาณให้ทำ <b>แผนการตอบโต้อย่างมีนัยสำคัญ (Significant Reaction Plan)</b> มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดงานเสียเพิ่มขึ้น ไม่ต้องการการคัดแยก	<b>Appearance ไม่น่าพอใจมาก</b> เสี่ยง การสั่น ความแข็ง การสัมผัส
3	ต่ำ	<b>บางส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอาจจะถูกนำมาทำซ้ำ (rework) ในสายการผลิตก่อนนำไปผลิตต่อ</b>	ผลิตภัณฑ์ที่เสียส่งสัญญาณให้ทำ <b>แผนการตอบโต้ (Minor Reaction Plan)</b> มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดงานเสียเพิ่มขึ้น ไม่ต้องการการคัดแยก	<b>Appearance ไม่น่าพอใจปานกลาง</b> เสี่ยง การสั่น ความแข็ง การสัมผัส
2		มีความไม่สะดวกเล็กน้อย สำหรับกระบวนการ หรือ เกิดกับพนักงาน	ผลิตภัณฑ์ที่เสียส่งสัญญาณว่า <b>ไม่จำเป็นต้องทำแผนการตอบโต้ (No Reaction Plan)</b> มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดงานเสียเพิ่มขึ้น ไม่ต้องการการคัดแยก	<b>Appearance ไม่น่าพอใจเล็กน้อย</b> เสี่ยง การสั่น ความแข็ง การสัมผัส
1	ต่ำมาก	ไม่สามารถสังเกตเห็นผลเสียได้	ไม่สามารถสังเกตเห็นผลเสียได้ หรือไม่ส่งผลกระทบ	ไม่สามารถสังเกตเห็นผลเสียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Action Priority (AP) for DFMEA and PFMEA

ลำดับของกิจกรรมการปรับปรุงขึ้นอยู่กับการพิจารณาคะแนนรวมกันของ S O และ D เพื่อให้สามารถลดความเสี่ยงลงได้

Effect	S	Prediction of Failure Cause Occurring	O	Ability to Detect	D	Action Priority (AP)		
Product or Plant Effect Very High	9-10	Very High	8-10	Low-Very Low	7-10	H		
				Moderate	5-6	H		
				High	2-4	H		
				Very High	1	H		
		High	6-7	Moderate	4-5	Low-Very Low	7-10	H
						Moderate	5-6	H
						High	2-4	H
						Very High	1	H
		Moderate	4-5	Low	2-3	Low-Very Low	7-10	H
						Moderate	5-6	H
						High	2-4	H
						Very High	1	M
		Low	2-3	Very Low	1	Low-Very Low	7-10	H
						Moderate	5-6	M
						High	2-4	L
						Very High	1	L
Product or Plant Effect High	7-8	Very High	8-10	Very High - Very Low	1-10	L		
				Low-Very Low	7-10	H		
				Moderate	5-6	H		
				High	2-4	H		
		High	6-7	Moderate	4-5	Very High	1	H
						Low-Very Low	7-10	H
						Moderate	5-6	H
						High	2-4	H
		Moderate	4-5	Low	2-3	Very High	1	M
						Low-Very Low	7-10	H
						Moderate	5-6	M
						High	2-4	M
		Low	2-3	Very Low	1	Very High	1	M
						Low-Very Low	7-10	M
						Moderate	5-6	M
						High	2-4	L
Product or Plant Effect Moderate	4-6	Very High	8-10	Very High	1	L		
				Low-Very Low	7-10	M		
				Moderate	5-6	L		
				High	2-4	L		
		High	6-7	Moderate	4-5	Very High	1	L
						Low-Very Low	7-10	M
						Moderate	5-6	L
						High	2-4	L
		Moderate	4-5	Low	2-3	Very High	1	L
						Low-Very Low	7-10	M
						Moderate	5-6	L
						High	2-4	L
		Very Low	1	Very Low	1	Very High	1	L
						Low-Very Low	7-10	L
						Moderate	5-6	L
						High	2-4	L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Action Priority (AP) for DFMEA and PFMEA

ลำดับของกิจกรรมการปรับปรุงขึ้นอยู่กับผลการพิจารณาคะแนนรวมกันของ S O และ D เพื่อให้สามารถลดความเสี่ยงลงได้

Effect	S	Prediction of Failure Cause Occurring	O	Ability to Detect	D	Action Priority (AP)						
Product or Plant Effect Low	2-3	Low	2-3	Moderate	5-6	L						
				High	2-4	L						
				Very High	1	L						
		Very High	8-10	Very High	8-10	Very High - Very Low	1-10	L				
						Low-Very Low	7-10	M				
						Moderate	5-6	M				
						High	2-4	L				
						Very High	1	L				
						High	6-7	High	6-7	Low-Very Low	7-10	L
										Moderate	5-6	L
										High	2-4	L
						Moderate	4-5	Moderate	4-5	Very High	1	L
Low-Very Low	7-10	L										
Moderate	5-6	L										
High	2-4	L										
Low	2-3	Low	2-3	Very High	1					L		
				Low-Very Low	7-10					L		
				Moderate	5-6	L						
Very Low	1	Very Low	1	High	2-4	L						
				Very High	1	L						
No Discernible Effect	1	Very Low - Very High	1-10	Very High - Very Low	1-10	L						
				Very High - Very Low	1-10	L						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Detection Potential (D) for the Validation of the Process Design

การให้คะแนนการควบคุมเชิงป้องกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการตรวจจับและโอกาสในการตรวจจับ

D	Ability to Detect	Detection Method Maturity	Opportunity for Detection
10		ไม่มีวิธีการตรวจสอบหรือทดสอบ หรือไม่มีใครรู้	ไม่สามารถตรวจจับลักษณะของความล้มเหลวได้
9	ต่ำมาก	ไม่จำเป็นไปไม่ได้ที่การตรวจสอบ หรือวิธีการทดสอบ จะตรวจจับลักษณะของความล้มเหลวได้	ไม่ง่ายที่จะตรวจจับลักษณะของความล้มเหลว จากการสุ่ม หรือ การ audit ที่นาน ๆ ครั้งจะทำ
8	ต่ำ	วิธีการตรวจสอบหรือการทดสอบ ไม่ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพหรือเชื่อถือได้ เช่น องค์กรไม่มีประสบการณ์ หรือ มีประสบการณ์น้อยในวิธีการตรวจสอบหรือทดสอบ ในการทำการเปรียบเทียบผล GR&R ส่วนน้อย และอื่น ๆ	การใช้ความสามารถของบุคคลในการตรวจสอบ เช่น การมองเห็น การสัมผัส การไต่ยืน หรือใช้ manual gauge ไม่ว่าแบบ attribute หรือ variable ซึ่งควรจะตรวจจับลักษณะของความล้มเหลว หรือ สาเหตุของความล้มเหลว
7		วิธีการตรวจสอบหรือการทดสอบ ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพหรือเชื่อถือได้ เช่น องค์กรมีประสบการณ์ในวิธีการตรวจสอบหรือทดสอบ การทำการเปรียบเทียบผล GR&R และการยอมรับ และอื่น ๆ	การตรวจจับโดยอาศัยเครื่องจักร (Machine-Based) ไม่ว่าจะเป็นแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ พร้อมทั้งมีการแจ้งเตือน เช่น แสง เสียง และอื่น ๆ หรือ ใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัด เช่น CMM (Coordinate Measuring Machine) ซึ่งควรจะตรวจจับลักษณะของความล้มเหลว หรือ สาเหตุของความล้มเหลว
6	ปานกลาง	วิธีการตรวจสอบหรือการทดสอบ ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพหรือเชื่อถือได้ เช่น องค์กรมีประสบการณ์ในวิธีการตรวจสอบหรือทดสอบ การทำการเปรียบเทียบผล GR&R และการยอมรับ และอื่น ๆ	การใช้ความสามารถของบุคคลในการตรวจสอบ เช่น การมองเห็น การสัมผัส การไต่ยืน หรือใช้ manual gauge ไม่ว่าแบบ attribute หรือ variable ซึ่งจะต้องตรวจจับลักษณะของความล้มเหลว หรือ สาเหตุของความล้มเหลว โดยรวมถึงการสุ่มตรวจสอบผลิตภัณฑ์
5		การตรวจจับโดยอาศัยเครื่องจักร (Machine-Based) แบบกึ่งอัตโนมัติ พร้อมทั้งมีการแจ้งเตือน เช่น แสง เสียง และอื่น ๆ หรือ ใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัด เช่น CMM (Coordinate Measuring Machine) ซึ่งจะต้องตรวจจับลักษณะของความล้มเหลว หรือ สาเหตุของความล้มเหลว โดยรวมถึงการสุ่มตรวจสอบผลิตภัณฑ์	
4	สูง	ระบบ ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพหรือเชื่อถือได้ เช่น องค์กรมีประสบการณ์ ในวิธีการของกระบวนการที่เหมือนกันนี้ ผลของ GR&R ยอมรับได้ และอื่น ๆ	การตรวจจับโดยอาศัยเครื่องจักร (Machine-Based) แบบอัตโนมัติ ซึ่งจะตรวจจับลักษณะของความล้มเหลว หลังจากออกจากกระบวนการ (Downstream) และป้องกันการนำไปดำเนินการต่อ หรือ ระบบจะขยับที่ผลิตภัณฑ์ว่าผิดปกติ และให้เคลื่อนแบบอัตโนมัติตามกระบวนการไปจนถึงจุดที่กำหนดให้นำชิ้นงานเสียออกจากกระบวนการ และผลิตภัณฑ์นี้จะถูกควบคุมโดยระบบอย่างเข้มงวด เพื่อป้องกันการรั่วไหลออกไปจากองค์กร
3		การตรวจจับโดยอาศัยเครื่องจักร (Machine-Based) แบบอัตโนมัติ ซึ่งจะตรวจจับลักษณะของความล้มเหลว ในกระบวนการ (In-Station) และป้องกันการนำไปดำเนินการต่อ หรือ ระบบจะขยับที่ผลิตภัณฑ์ว่าผิดปกติ และให้เคลื่อนแบบอัตโนมัติตามกระบวนการไปจนถึงจุดที่กำหนดให้นำชิ้นงานเสียออกจากกระบวนการ และผลิตภัณฑ์นี้จะถูกควบคุมโดยระบบอย่างเข้มงวด เพื่อป้องกันการรั่วไหลออกไปจากองค์กร	
2		กระบวนการตรวจจับ ได้รับการพิสูจน์ว่ามีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ เช่น องค์กรมีประสบการณ์ ในกระบวนการ การทวนสอบการป้องกันความผิดพลาด (Error Proofing) และอื่น ๆ	เป็นกรรมวิธีการตรวจจับโดยอาศัยเครื่องจักร (Machine-Based) ซึ่งจะตรวจจับที่สาเหตุ และป้องกันการผลิตให้เกิดลักษณะของความล้มเหลว (Prevent Failure Mode)
1	สูงมาก	ลักษณะของความล้มเหลวไม่สามารถผลิตได้ จากการออกแบบ หรือ กระบวนการ หรือ กรรมวิธีการตรวจจับ ซึ่งทั้งหมดได้รับการพิสูจน์แล้วว่า สามารถตรวจจับได้อย่างสม่ำเสมอ (Always) สำหรับลักษณะของความล้มเหลว หรือ สาเหตุของความล้มเหลว	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Occurrence Potential (O) for the Process					
สาเหตุของความล้มเหลวที่จะเกิดขึ้น สามารถให้คะแนนตามตารางด้านล่าง โดยให้พิจารณาการควบคุมเชิงป้องกันด้วยเพื่อให้อาการเกิดเป็นกรณีที่ดีที่สุด การเกิดเป็นการทำนายเชิงคุณภาพ ณ เวลาที่ทำการประเมิน โดยอาจจะไม่สะท้อนอัตราการเกิดจริง การให้คะแนนอัตราการเกิดจะสัมพันธ์กับ scope ของ FMEA (กระบวนการที่ทำการประเมิน) สำหรับการควบคุมเชิงป้องกันที่เป็นได้หลายอัตราการเกิด ให้ใช้อัตราที่ดีที่สุดซึ่งสะท้อนความเข้มแข็งของกระบวนการควบคุม					
O	Prediction of Failure Cause Occurring	Incident per 1,000 items/vehicles	The Based Failure Cause Prediction	Type of Control	Prevention Controls
10	สูงที่สุด	>= 100 per 1,000 or >= 1 in 10	ทุกครั้ง	ไม่มี	ไม่มีมาตรการควบคุมเชิงป้องกัน
9	สูงมาก	50 per 1,000 or 1 in 20	เกือบทุกครั้ง	โดยพฤติกรรม	การควบคุมเชิงป้องกันมีผลเพียงเล็กน้อย (Little Effect) ในการป้องกันสาเหตุของความล้มเหลว
8		20 per 1,000 or 1 in 50	มากกว่า 1 ครั้งต่อกะ	โดยพฤติกรรม หรือ เทคนิค	การควบคุมเชิงป้องกันมีประสิทธิภาพบ้าง (Somewhat Effective) ในการป้องกันสาเหตุของความล้มเหลว
7	10 per 1,000	มากกว่า 1 ครั้งต่อวัน	การควบคุมเชิงป้องกันมีประสิทธิภาพ (Effective) ในการป้องกันสาเหตุของความล้มเหลว		
6	สูง	2 per 1,000 or 1 in 500		มากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์	การควบคุมเชิงป้องกันมีประสิทธิภาพอย่างสูง (Highly Effective) ในการป้องกันสาเหตุของความล้มเหลว
5	ปานกลาง	0.5 per 1,000 or 1 in 2,000	มากกว่า 1 ครั้งต่อเดือน	การควบคุมเชิงป้องกันมีประสิทธิภาพสูงสุด (Extremely Effective) ในการป้องกันสาเหตุของความล้มเหลว	
4		0.1 per 1,000 or 1 in 10,000	มากกว่า 1 ครั้งต่อปี		
3	ต่ำ	0.01 per 1,000 or 1 in 100,000	1 ครั้งต่อปี	โดยพฤติกรรม หรือ ฝึกปฏิบัติแบบดีที่สุด(ในกลุ่ม (Best Practice))	การควบคุมเชิงป้องกันมีประสิทธิภาพสูง (Highly Effective) ในการป้องกันสาเหตุของความล้มเหลว
2	ต่ำมาก	< 0.001 per 1,000 or 1 in 1,000,000	น้อยกว่า 1 ครั้งต่อปี	เทคนิค	การควบคุมเชิงป้องกันมีประสิทธิภาพสูงสุด (Extremely Effective) ในการป้องกันสาเหตุของความล้มเหลว จากการเกิด อันเนื่องมาจาก การออกแบบ เช่น ขนาดและมิติ (Geometry) หรือ กระบวนการ เช่น ฟิกเจอร์ หรือ การออกแบบเครื่องมือ จุดประสงค์ของการควบคุมเชิงป้องกัน เพื่อให้สาเหตุของความล้มเหลว สามารถทำให้เกิดลักษณะของความล้มเหลวชนิดนั้น ๆ ได้
1	ต่ำที่สุด	ความล้มเหลวถูกกำจัด (Failure Eliminated) โดยการควบคุมเชิงป้องกัน	ไม่เคยมเกิด	เทคนิค	

ประสิทธิภาพของการควบคุมเชิงป้องกัน : เมื่อต้องพิจารณาประสิทธิภาพของการควบคุมเชิงป้องกันว่าเป็นอย่างไร ให้พิจารณาจากชนิดของการควบคุมเชิงป้องกัน ดังต่อไปนี้

- 1.) แบบเทคนิค (Technical) เช่น ขึ้นอยู่กับเครื่องจักร อุปกรณ์หรือเครื่องมือ การบำรุงรักษาเครื่องมือ และอื่น ๆ หรือ
- 2.) แบบดีที่สุด(ในกลุ่ม (Best Practices) เช่น การออกแบบฟิกเจอร์ หรือ เครื่องมือ ระเบียบปฏิบัติในการสอนเทียบ การทวนสอบ Poka Yoke การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน คู่มือการปฏิบัติงาน การควบคุมเชิงสถิติ การตรวจติดตามกระบวนการ การออกแบบผลิตภัณฑ์ และอื่น ๆ
- 3.) แบบใช้พฤติกรรม เช่น พนักงานที่ผ่านการรับรอง (Certified) หรือ ไม่ผ่านการรับรอง ทักษะ หน่วยงาน และอื่น ๆ