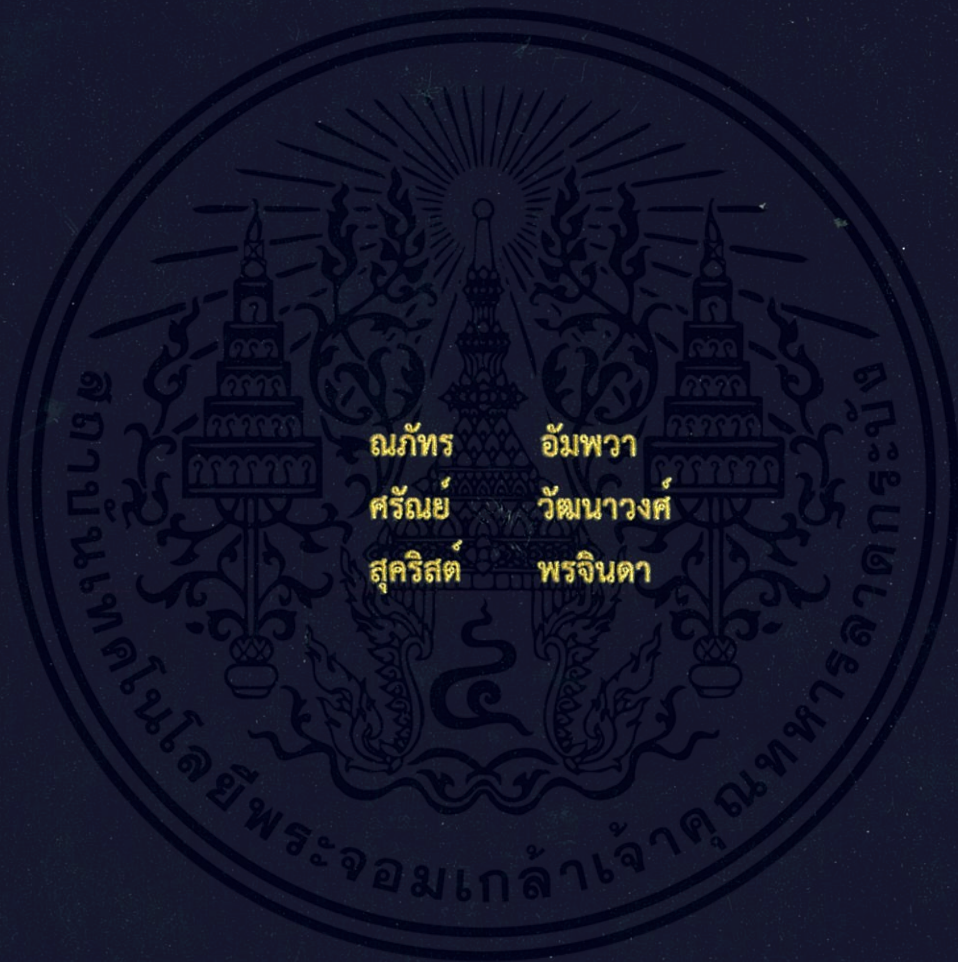


การออกแบบและสร้างเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก

THE DESIGN AND CREATION OF MINIATURE PRESS MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

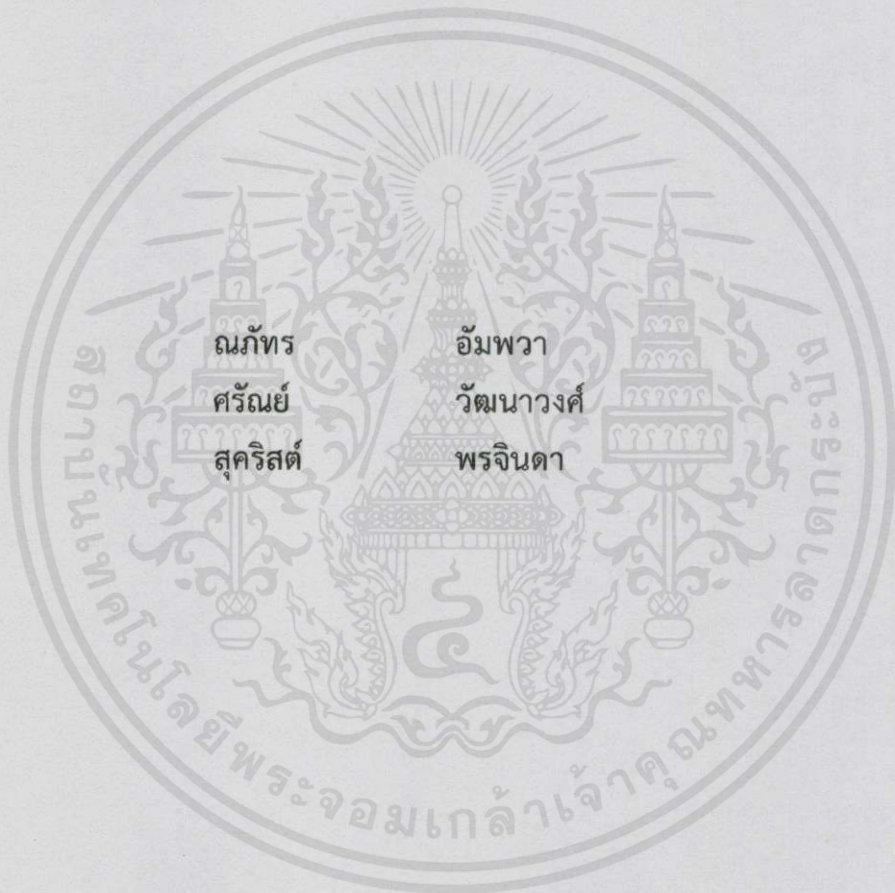
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การออกแบบและสร้างเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก

THE DESIGN AND CREATION OF MINIATURE PRESS MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

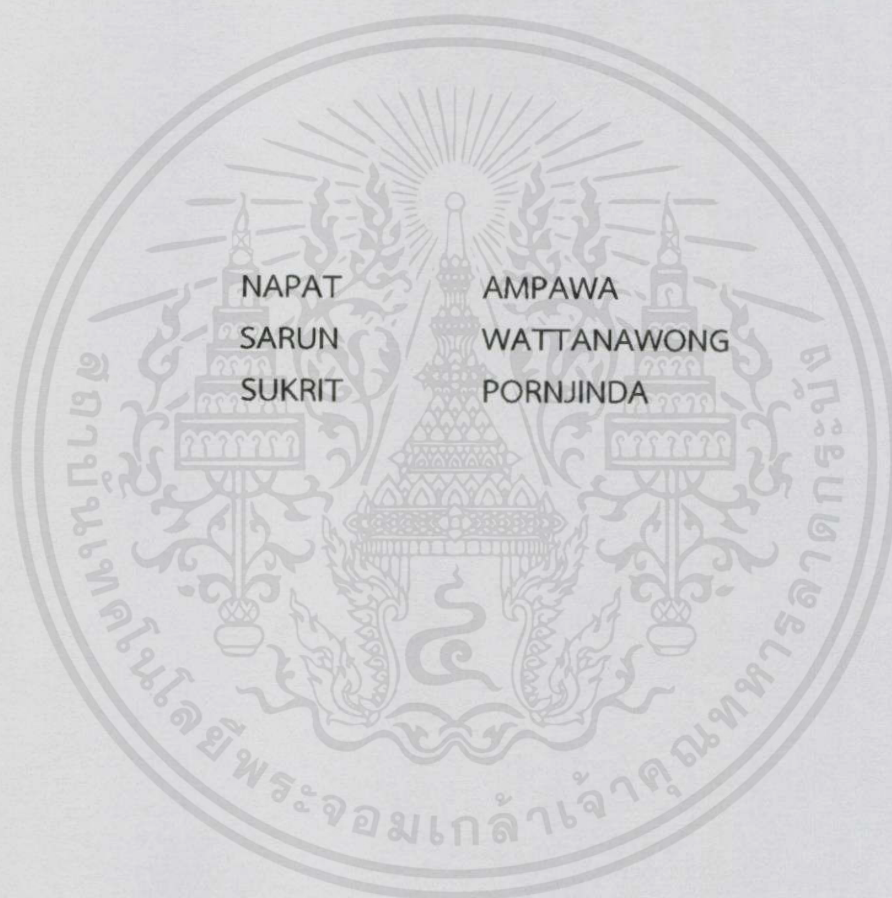
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2557

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DESIGN AND CREATION OF MINIATURE PRESS MACHINE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนชื่อการค้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

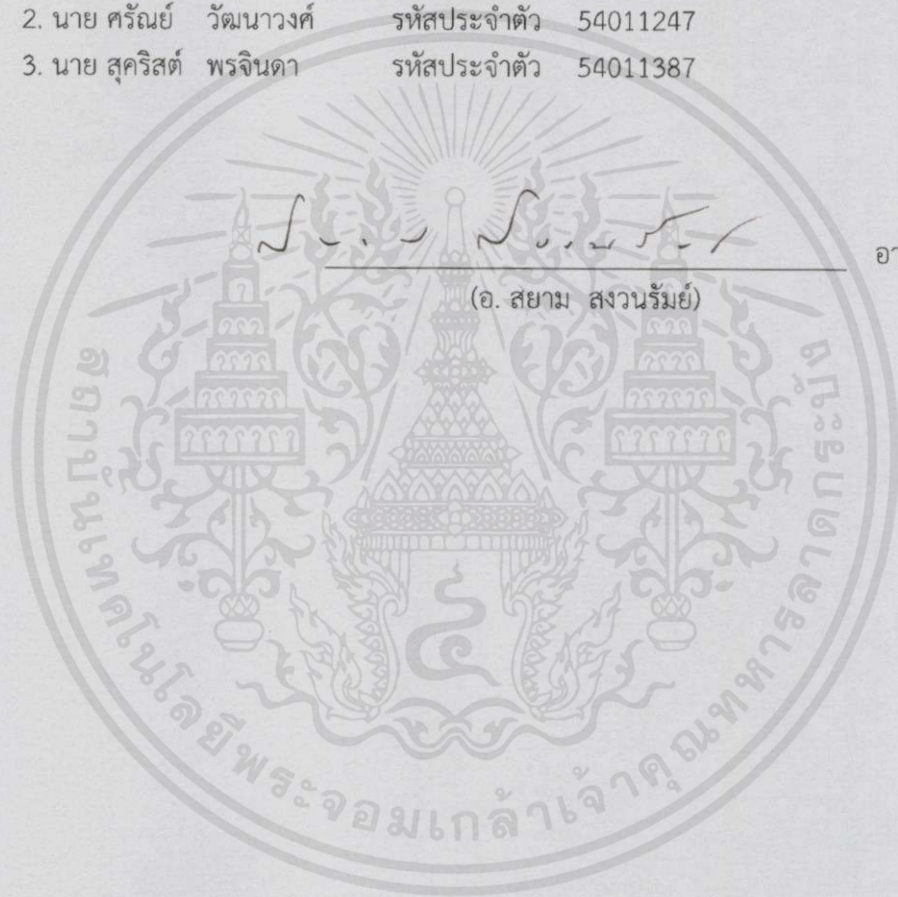
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก

THE DESIGN AND CREATION OF MINIATURE PRESS MACHINE

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-------------------------|--------------|----------|
| 1. นาย ฌภัทร อัมพวา | รหัสประจำตัว | 54010369 |
| 2. นาย ศรัณย์ วัฒนาวงศ์ | รหัสประจำตัว | 54011247 |
| 3. นาย สุคริษฐ์ พรจินดา | รหัสประจำตัว | 54011387 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. สยาม สงวนรัมย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องบีบโลหะขนาดเล็ก

นาย ณิชทร	อัมพวา	54010369
นาย ศรัณย์	วัฒนาวงศ์	54011247
นาย สุคริสต์	พรจินดา	54011387
อาจารย์สยาม	สงวนรัมย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบีบโลหะขนาดเล็กสำหรับใช้งานในภาคสนาม การออกแบบใช้ทฤษฎีการเสียรูปของวัสดุ ทฤษฎีการรับแรงเฉือนของโบลต์ ทฤษฎีการรับภาระก่อนของตัวยึดภายใต้การรับแรงสถิตของโบลต์ ทฤษฎีขีดสปริงรับแรงกดเนื่องจากแรงสถิต และหลักการออกแบบชุดแม่พิมพ์พื้นฐาน เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานในภาคสนาม จึงกำหนดให้มีน้ำหนักไม่เกิน 15 กิโลกรัม มิติต่าง ๆ เป็นต้นนี้ ความกว้าง 150 มิลลิเมตร ความยาว 224 มิลลิเมตร และความสูง 262 มิลลิเมตร ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบเป็นเหรียญตะกั่วหนา 2 มิลลิเมตร ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร จากการออกแบบพบว่าเครื่องที่สร้างมีน้ำหนัก 14 กิโลกรัม ได้แรงกดจากไฮดรอลิก 5.46 กิโลนิวตัน แรงมือกดไฮดรอลิก 0.174 กิโลนิวตัน และมีอัตราการผลิต 60 เหรียญต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DESIGN AND CREATION OF MINIATURE PRESS MACHINE

Napat	Ampawa	54010369
Sarun	Wattanawong	54011247
Sukrit	Pornjinda	54011387
Sayam	Saguanrum	Advisor
Year	2557	

Abstract

This project aims to design and build a small metal-stamping machine using in the field. To design the machine, some theorems are provided, such as, the deformation of materials, theory of shear in bolts, theory of preloaded-fasteners in static loading, theory of spring compression for static loading. The obtained machine has a weight of 14 kilograms with 150-mm width, 224-mm length and 262-mm height. Lead coins with thickness of 2 millimeters and diameter of 20 millimeters are used to test the machine. As a result, this stamping machine requires 5.46-kN hydraulic force and 0.174-kN hand force with a production rate of 60 coins per hour.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก อ.สยาม สงวนรัมย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และ รศ.ดร.สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ ที่คอยให้คำแนะนำ และคำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำปริญญานิพนธ์นี้กระทั่งประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณคุณสุรชัย บริษัท วงตะวัน พรซิชั่น จำกัด บริษัท อินเทอร์เน็ตไทย จำกัด และบริษัท แอดวานซ์ นาโน ออโต้เทค จำกัด รวมถึง นายภาสกร ถาวรกุล นายธรรมรงค์ ณรงค์ทิพย์ นายนเรชัย ธรรมลังกา นางสาวนัฐพร สนวนะเสรี นายบุลิน หมื่นหนู นายศุภชัย โชติศิริ และนายภัทร วิจารณ์กรณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ในการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านอย่างหาที่สุดไม่ได้ ทั้งคุณบิดามารดาของผู้จัดทำที่คอยเลี้ยงดู อบรม ช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และคอยแนะนำแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์นี้อย่างดีจนกระทั่งสำเร็จลุล่วง

ประโยชน์ต่าง ๆ ที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอน้อมถวายเป็นพระราชกุศลแด่พระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว และพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช น้อมอุทิศแด่เจ้าพระยาสุรวงษ์ไวยวัฒน์ (วร บุนนาค) ท่านเลี่ยม พรตพิทยพยัต หลวงพรตพิทยพยัต ตลอดจนครูบาอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทั้งทางตรงทางอ้อมทุกคน และอุทิศแด่ผู้มีพระคุณของคณะผู้จัดทำ หากมีข้อผิดพลาดประการใดในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายณภัทร อัมพวา
นายศรัณย์ วัฒนาวงศ์
นายสุคริสต์ พรจินดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญตาราง.....	vii
สารบัญรูป.....	viii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	1
1.5 ขั้นตอนของการดำเนินงาน.....	1
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การเสีรูปของวัสดุ.....	3
2.1.1 การเสีรูปจากแรงดึงและแรงอัด.....	4
2.1.2 การเสีรูปจากการตัด.....	4
2.1.3 การเสีรูปจากการเฉือน.....	5
2.2 แรงที่ใช้ตัดและขึ้นรูปแผ่นตะกั่ว.....	5
2.3 แรงไฮดรอลิก.....	6
2.4 การคำนวณโบลต์.....	7
2.4.1 การรับแรงเฉือนของโบลต์.....	8
2.4.2 การรับภาระก่อนของตัวยึดภายใต้การรับแรงแบบสถิตของโบลต์.....	8
2.5 การคำนวณสปริง.....	12
2.6 การตัดแผ่นโลหะ.....	18
2.7 หลักการออกแบบชุดแม่พิมพ์.....	19
2.7.1 การวางแบบบนแผ่นวัสดุงาน (SCRAP STRIP).....	19
2.7.2 หลักการออกแบบพันธ์และแผ่นตาย.....	19
2.7.3 การออกแบบหมุดกัก.....	20
2.7.4 สปริงและสตรีปเปอร์โบลต์.....	20
2.7.5 การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 3 การคำนวณ.....	22
3.1 การคำนวณแรงที่ต้องใช้.....	22
3.1.1 แรงตัดแผ่นตะกั่ว.....	22
3.1.2 แรงขึ้นรูปแผ่นตะกั่ว.....	22
3.2 แรงไฮดรอลิกกระทำ.....	23
3.2.1 ขณะตัด.....	23
3.2.2 ขณะป้อนขึ้นรูป.....	24
3.3 การคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบต่าง ๆ.....	25
3.3.1 เหล็กแผ่นบน.....	25
3.3.1.1 ความเค้นดัดสูงสุด.....	26
3.3.1.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด.....	27
3.3.2 เหล็กแผ่นกลาง.....	28
3.3.2.1 ความเค้นดัดสูงสุด.....	28
3.3.2.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด.....	29
3.3.3 แผ่นตาย.....	30
3.3.3.1 ความเค้นดัดสูงสุด.....	30
3.3.3.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด.....	31
3.3.4 เหล็กแผ่นล่าง.....	32
3.3.4.1 ความเค้นดัดสูงสุด.....	32
3.3.4.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด.....	33
3.3.5 เส้า.....	35
3.3.5.1 ความเค้นดัดสูงสุด.....	35
3.3.6 พันซ์ตัดชิ้นงาน.....	36
3.3.6.1 ความเค้นอัดสูงสุด.....	37
3.3.7 พันซ์ขึ้นรูปชิ้นงาน.....	38
3.3.7.1 ความเค้นอัดสูงสุด.....	38
3.4 การคำนวณโบลต์.....	39
3.4.1 โบลต์ยึดเสากับเหล็กแผ่นบน.....	39
3.4.2 โบลต์ยึดเหล็กแผ่นกลางกับแผ่นยึดพันซ์.....	41
3.4.3 โบลต์ยึดตายกับเหล็กแผ่นล่าง.....	45
3.5 การคำนวณสปริง.....	50
3.6 แรงโยกคานไฮดรอลิก.....	56
3.6.1 แรงโยกคานไฮดรอลิกเพื่อตัดชิ้นงาน.....	56
3.6.2 แรงโยกคานไฮดรอลิกเพื่อป้อนขึ้นรูป.....	58
3.7 การคำนวณออกแบบแผ่นขึ้นงาน.....	60
3.8 การคำนวณระยะช่องห่าง.....	60

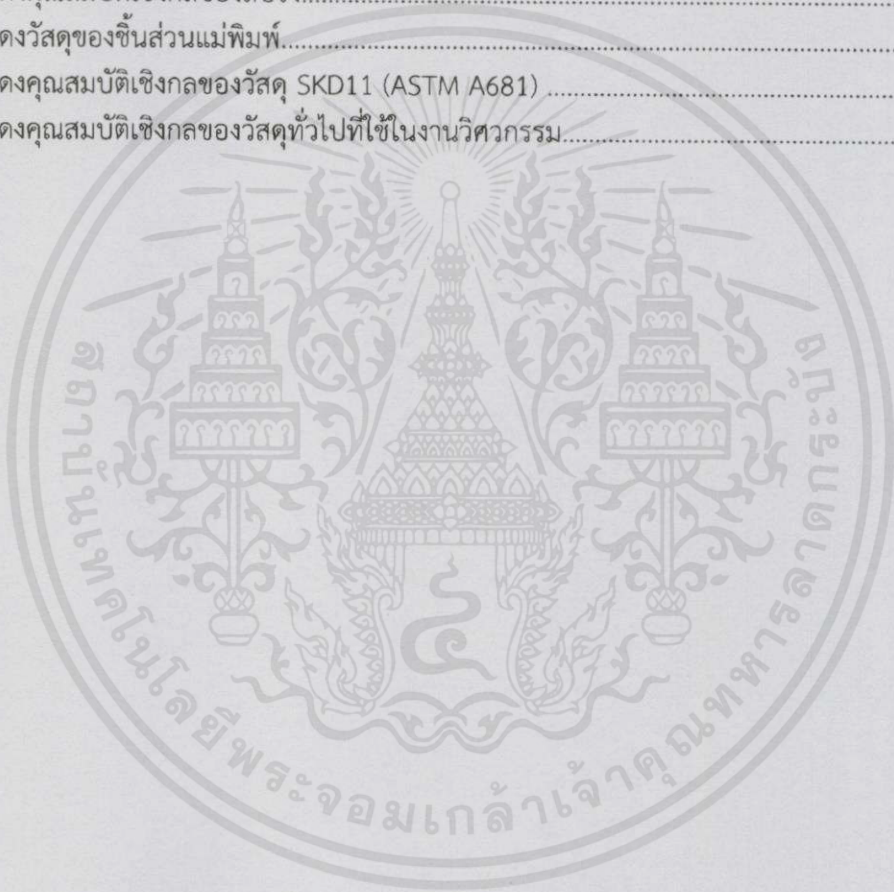
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

	หน้า
บทที่ 4 วิธีการออกแบบ.....	61
4.1 การออกแบบเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก.....	61
4.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก.....	62
4.2.1 ไฮดรอลิก.....	62
4.2.2 พันช์สำหรับตัดและขึ้นรูป.....	62
4.2.3 แผ่นบน.....	62
4.2.4 แผ่นยึดพันช์.....	63
4.2.5 แผ่นกลาง.....	63
4.2.6 แผ่นตาย.....	64
4.2.7 แผ่นล่าง.....	64
4.2.8 เสา.....	65
4.2.9 สปริงและสตรีปเปอร์โบลด์.....	65
4.2.10 ชุดไคต์.....	65
บทที่ 5 สรุปผล วิจัยรณ และข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผล.....	66
5.2 วิจัยรณ.....	67
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	67
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก.1 ภาพเขียนแบบเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก.....	70
ภาคผนวก ก.2.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นบน.....	71
ภาคผนวก ก.2.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นบน.....	72
ภาคผนวก ก.3.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นกลาง.....	73
ภาคผนวก ก.3.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นกลาง.....	74
ภาคผนวก ก.4.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นยึดพันช์.....	75
ภาคผนวก ก.4.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นยึดพันช์.....	76
ภาคผนวก ก.5.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นตาย.....	77
ภาคผนวก ก.5.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นยึดตาย.....	78
ภาคผนวก ก.6.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นล่าง.....	79
ภาคผนวก ก.6.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นล่าง.....	80
ภาคผนวก ก.7.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายเสา.....	81
ภาคผนวก ก.7.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายเสา.....	82
ภาคผนวก ข. สถานที่ติดต่อและจัดซื้ออุปกรณ์.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของโลหะ.....	6
2.2 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของโบลต์.....	7
2.3 แสดงขนาดมาตรฐานของโบลต์.....	7
2.4 แสดงค่าตัวประกอบแรงเฉือนของโบลต์.....	8
2.5 สัมประสิทธิ์และค่าเอ็กซ์โพเนนตสปริงของวัสดุต่าง ๆ.....	14
2.6 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของสปริง.....	17
2.7 แสดงวัสดุของชิ้นส่วนแม่พิมพ์.....	20
2.8 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ SKD11 (ASTM A681)	21
2.9 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุทั่วไปที่ใช้ในงานวิศวกรรม.....	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก.....	3
2.2 แสดงแรงไฮดรอลิก.....	6
2.3 แสดงลักษณะการหดตัวของสปริง.....	12
2.4 แสดงแผนภาพเส้นโค้งของเงื่อนไขการโก่งเดาะแบบวิฤต.....	17
2.5 การตัดโลหะแผ่นด้วย 펀ช์และตาย.....	18
2.6 แสดงระยะห่างการตัดชิ้นงาน.....	19
2.7 แสดงช่องห่างของ 펀ช์กับตาย.....	20
3.1 แรงไฮดรอลิกกระทำขณะตัดชิ้นงาน.....	23
3.2 แรงไฮดรอลิกกระทำขณะป้อนชิ้นงาน.....	24
3.3 แรงกระทำกับเหล็กแผ่นบนขณะตัดชิ้นงาน.....	25
3.4 แรงกระทำกับเหล็กแผ่นกลางขณะตัดชิ้นงาน.....	28
3.5 แรงกระทำกับแผ่นตายขณะตัดชิ้นงาน.....	30
3.6 แรงกระทำกับเหล็กแผ่นล่างขณะตัดชิ้นงาน.....	32
3.7 แรงกระทำกับเสาขณะตัดชิ้นงาน.....	35
3.8 แรงกระทำกับ 펀ช์ตัดขณะตัดชิ้นงาน.....	36
3.9 แรงกระทำกับ 펀ช์ขึ้นรูปขณะตัดชิ้นงาน.....	38
3.10 แรงไฮดรอลิกขณะตัดชิ้นงาน.....	56
3.11 แรงโยกคานไฮดรอลิกและระยะตั้งฉากขณะตัดชิ้นงาน.....	57
3.12 แรงในระบบไฮดรอลิกขณะป้อนชิ้นงาน.....	58
3.13 แรงโยกคานไฮดรอลิกและระยะตั้งฉากขณะป้อนชิ้นงาน.....	59
3.14 แสดงระยะห่างของแผ่นชิ้นงาน.....	60
3.15 แสดงระยะช่องห่าง.....	60
4.1 ภาพเขียนแบบรวมเครื่อง.....	61
4.2 ภาพเขียนแบบแผ่นบน.....	62
4.3 ภาพเขียนแบบแผ่นยึด 펀ช์.....	63
4.4 ภาพเขียนแบบแผ่นกลาง.....	63
4.5 ภาพเขียนแบบแผ่นตาย.....	64
4.6 ภาพเขียนแบบแผ่นล่าง.....	64
4.7 ภาพเขียนแบบเสา.....	65
ภาคผนวก ก.1 ภาพเขียนแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก.....	70
ภาคผนวก ก.2.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นบน.....	71
ภาคผนวก ก.2.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นบน.....	72
ภาคผนวก ก.3.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นกลาง.....	73
ภาคผนวก ก.3.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นกลาง.....	74
ภาคผนวก ก.4.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นยึด 펀ช์.....	75

	หน้า
ภาคผนวก ก.4.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นยึดพันซ์.....	76
ภาคผนวก ก.5.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นตาย.....	77
ภาคผนวก ก.5.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นยึดตาย.....	78
ภาคผนวก ก.6.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นล่าง.....	79
ภาคผนวก ก.6.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นล่าง.....	80
ภาคผนวก ก.7.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายเสา.....	81
ภาคผนวก ก.7.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายเสา.....	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยเครื่องปั๊มโลหะในปัจจุบันจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีขนาดใหญ่ ใช้งานลำบาก และราคาสูง โครงการงานนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องปั๊มโลหะ โดยการออกแบบ และสร้างเครื่องปั๊มโลหะที่มีขนาดเล็ก และสามารถพกพาได้ เริ่มจากการศึกษาศึกษาคุณสมบัติของตะกั่วที่นำมาเป็นชิ้นงาน เพราะตะกั่วเป็นโลหะอ่อนง่ายต่อการขึ้นรูป ด้วยเหตุนี้ตะกั่วจึงมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับการออกแบบเครื่องปั๊มโลหะ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อออกแบบเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็กด้วยทฤษฎีทางวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้เรียนมา
- 1.2.2 เพื่อสร้างเครื่องปั๊มโลหะสำหรับปั๊มเหรียญตะกั่วที่มีขนาดพอเหมาะต่อการพกพาได้อย่างสะดวก

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 ภาระที่กระทำเป็นแบบสถิตเนื่องจากความเร็วของฟันช้ามาก
- 1.3.2 วัสดุที่ใช้ในการออกแบบเป็นเนื้อเดียวกันและคุณสมบัติเป็นอิสระจากทิศทาง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 สร้างเครื่องปั๊มโลหะที่มีมิติต่าง ๆ ไม่เกินดังนี้ ความกว้าง 300 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตรและความสูง 300 มิลลิเมตร
- 1.4.2 สร้างเครื่องปั๊มโลหะที่มีน้ำหนักไม่เกิน 15 กิโลกรัม
- 1.4.3 แรงกดด้วยมือไม่เกิน 200 นิวตัน และแรงกดจากไฮดรอลิก 6.30 กิโลนิวตัน
- 1.4.4 ตะกั่วที่ถูกปั๊มขึ้นรูปมีความหนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 15 มิลลิเมตร

1.5 ขั้นตอนของการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาเครื่องปั๊มโลหะขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- 1.5.2 ศึกษาคุณสมบัติของตะกั่ว
- 1.5.3 ออกแบบส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก
- 1.5.4 ดำเนินการสร้างเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก
- 1.5.5 ทำการทดสอบเครื่องปั๊มโลหะ เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามแบบที่ต้องการ
- 1.5.6 สรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ใช้ความรู้ตามทฤษฎีที่เคยเรียนมาออกแบบเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็กได้
- 1.6.2 เรียนรู้กระบวนการสร้างเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก
- 1.6.3 เครื่องปั๊มโลหะที่สร้างขึ้นมาสามารถใช้งานในภาคสนามได้



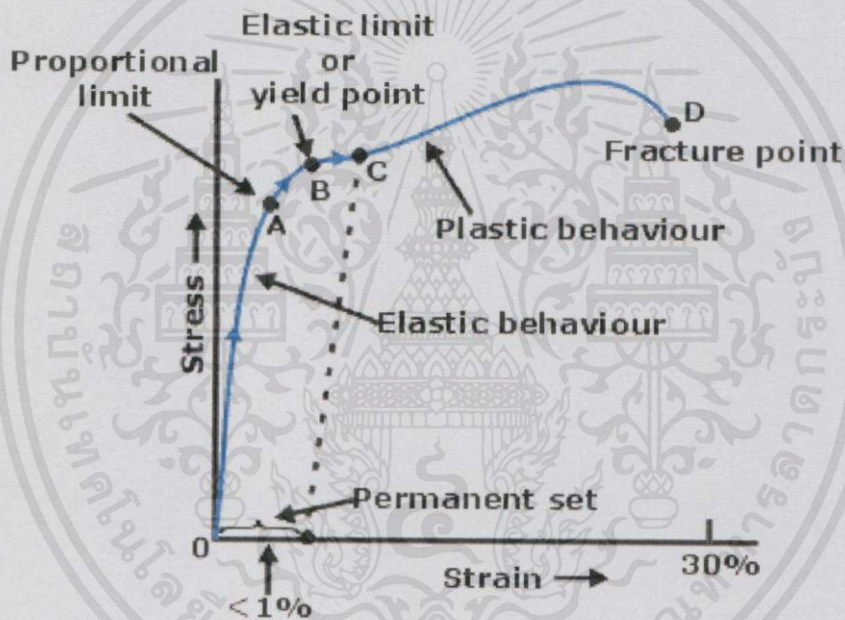
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเสีรูปร่างของวัสดุ

วัสดุเมื่อรับแรงภายนอก แรงภายนอกเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงภายใน สร้างความเค้นในวัสดุ และวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่าง 2 แบบ โดยการเปลี่ยนรูปร่างแบบยืดหยุ่น และการเปลี่ยนรูปร่างแบบถาวร [1]



รูปที่ 2.1 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก [1]

จากรูปที่ 2.1 เมื่อเริ่มดึงวัสดุอย่างช้า ๆ วัสดุจะค่อย ๆ ยืดออก ในช่วงแรกสัดส่วนระหว่างความเค้น และความเครียดจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนคงที่จนถึงจุดวิกฤตบางส่วน ในระยะนี้วัสดุจะอยู่ในช่วงการเปลี่ยนรูปร่างแบบยืดหยุ่น เมื่อปล่อยแรงกระทำ วัสดุจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม และเมื่อเพิ่มแรงกระทำ กราฟจะค่อย ๆ โค้งออกจากเส้นตรงจนถึงจุดคราก วัสดุนี้จะเริ่มไม่คืนรูปกลับไปมีขนาดเท่าเดิม และเมื่อเพิ่มแรงกระทำขึ้นอีกวัสดุจะค่อย ๆ ยืดออกเรื่อย ๆ จนเมื่อเพิ่มแรงกระทำจนความเค้น

ในวัสดุถึงค่าความทนแรงดึงของวัสดุ ความเค้นในวัสดุจะลดลงจนถึงจุดแตกหัก และพังในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือเผยแพร่ในที่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างต้องคำนึงถึงความเค้นที่เกิดในวัสดุ ซึ่งมีค่าไม่มากไปกว่าความแรงครากของวัสดุโครงสร้างนั้น ๆ เพื่อป้องกันการเสียรูปอย่างถาวร ความเค้นประเภทต่าง ๆ ที่ทำให้โครงสร้างเกิดการเสียรูปมีดังนี้

2.1.1 การเสียรูปจากแรงดึงและแรงอัด

เมื่อวัสดุได้รับแรงดึงหรือแรงอัดเกินความทนแรงดึงของวัสดุเป็นเหตุให้วัสดุเสียรูปอย่างถาวร ผลลัพธ์ที่ได้คือวัสดุจะยืดหรือหดไปจากขนาดเดิม ในการออกแบบจึงให้ความเค้นในวัสดุน้อยกว่าความแรงคราก ความเค้นดึงและความเค้นอัดสามารถหาได้จากสมการ [2], [3]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นที่เกิดขึ้น

F คือ แรงที่กระทำ

A คือ พื้นที่หน้าตัด

หาระยะที่วัสดุหดหรือยืดได้จากสมการ

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2)$$

เมื่อ δ คือ ระยะหด

P คือ แรงที่กระทำ

L คือ ความยาวของวัสดุ

A คือ พื้นที่หน้าตัด

E คือ โมดูลัสสภาพยืดหยุ่น

2.1.2 การเสียรูปจากการดัด

เมื่อวัสดุมีแรงตั้งฉากกับระนาบวัสดุที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า วัสดุจะมีโมเมนต์ดัดมากระทำ และเกิดความเค้นดัดซึ่งก่อให้เกิดการโก่งตัว การเสียรูปนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางและขนาดของโมเมนต์ ความเค้นดัดแปรผันตรงกับโมเมนต์ดัด และแปรผกผันกับโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_b = \frac{M_{\max} c}{I} \quad (3)$$

เมื่อ σ_b คือ ความเค้นอัด

M_{max} คือ โมเมนต์คดสูงสุดในช่วงหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

c คือ ระยะจากขอบบนถึงแกนสะเทิน

I คือ โมเมนต์เฉื่อยของหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2.1.3 การเสียรูปจากการเฉือน

การเสียรูปจากการเฉือนคือการเสียรูปของวัสดุที่เกิดจากแรงเฉือนที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดเฉือนสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำให้วัสดุขาดออกจากกัน ความเค้นเฉือนนี้แปรผันตรงกับขนาดของแรงเฉือน ความหนายกกำลังสอง และโมเมนต์เฉื่อย สามารถคำนวณได้จากสมการ [2], [3]

$$\sigma_s = \frac{V_{max} h^2}{8I} \quad (4)$$

เมื่อ σ_s คือ ความเค้นเฉือน

V_{max} คือ แรงเฉือนสูงสุดในวัสดุ

h คือ ความหนาของวัสดุหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

I คือ โมเมนต์เฉื่อยของหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2.2 แรงที่ใช้ตัดและขึ้นรูปแผ่นตะกั่ว (F_c)

การตัดแผ่นโลหะใช้แรงเฉือนที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดที่ถูกเฉือน ทำให้หน้าตัดดังกล่าวเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร ส่งผลให้แรงเฉือนจากการตัดเพื่อให้ตะกั่วขาด พื้นที่หน้าตัดเฉือนของแผ่นตะกั่วมีความทนแรงเฉือนแบบโลหะเหนียวทั่วไปประมาณ 0.7 เท่าของความทนแรงดึงของวัสดุ ความทนแรงดึงของวัสดุต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.1 แรงที่ใช้ตัดและบีมขึ้นงานคำนวณได้จากสมการ [4]

$$F_{max} = 0.7(UTS)l \quad (5)$$

เมื่อ F_{max} คือ แรงที่ใช้ตัดขึ้นงาน

UTS คือ ความทนแรงดึงของวัสดุ

l คือ เส้นรอบรูปของขึ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

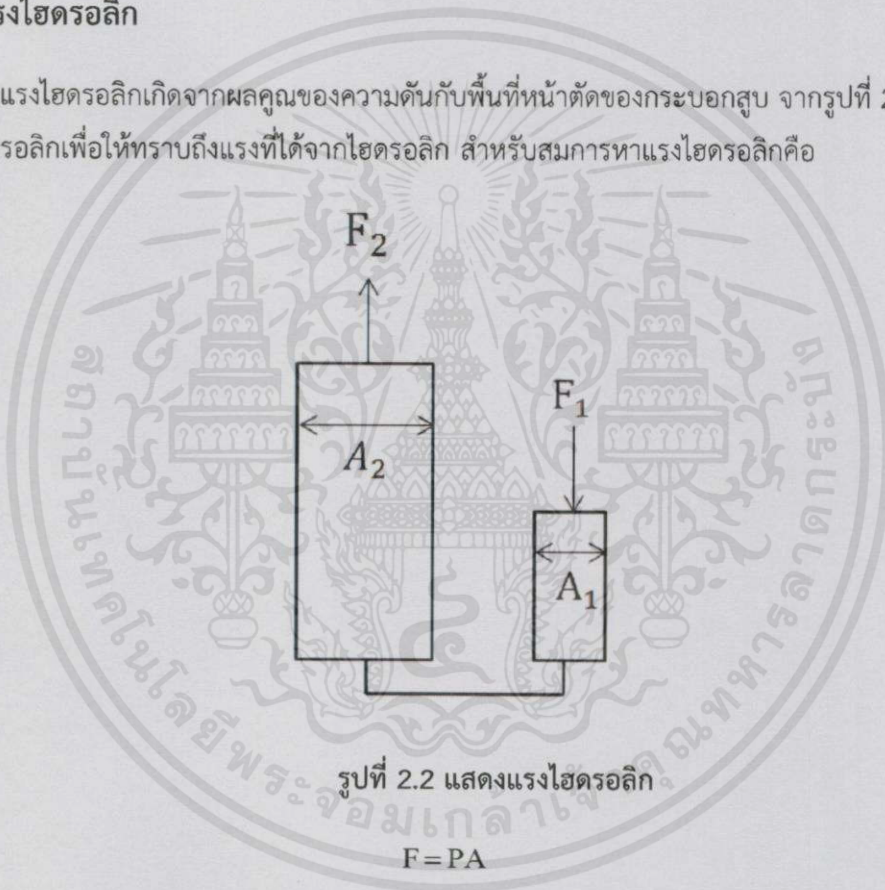
t คือ ความหนาของชิ้นงาน

Metals (Wrought)	E (GPa)	Y (MPa)	UTS (MPa)	(%)
Aluminum and its alloys	69-79	35-550	90-600	45-4
Copper and its alloys	105-150	76-1100	140-1310	65-3
Lead and its alloys	14	14	20-55	50-9
Magnesium and its alloys	41-45	130-305	240-380	21-5
Molybdenum and its alloys	330-360	80-2070	90-2340	40-30
Nickel and its alloys	180-214	105-1200	345-1450	60-5
Steels	190-200	205-1725	415-1750	65-2
Titanium and its alloys	80-130	344-1380	415-1450	25-7
Tungsten and its alloys	350-400	550-690	620-760	0

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของโลหะ [4]

2.3 แรงไฮดรอลิก

แรงไฮดรอลิกเกิดจากผลคูณของความดันกับพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ จากรูปที่ 2.2 แสดงแรงไฮดรอลิกเพื่อให้ทราบถึงแรงที่ได้จากไฮดรอลิก สำหรับสมการหาแรงไฮดรอลิกคือ



รูปที่ 2.2 แสดงแรงไฮดรอลิก

$$F = PA$$

(6)

เมื่อ F คือ แรงที่ได้จากไฮดรอลิก

P คือ ความดัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การคำนวณโบลต์

เนื่องจากเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก ถูกออกแบบให้ง่ายต่อการถอดประกอบเพื่อให้สามารถเปลี่ยนหัวตัด และเพื่อความสะดวกในการซ่อม โบลต์ถูกเลือกใช้เพื่อยึดระหว่างโครงสร้างต่าง ๆ ขนาดของโบลต์หาได้จากความสามารถในการรับแรงเฉือนของโบลต์ และการรับภาระก่อนของตัวยึดภายใต้การรับแรงสถิต (Preloaded fasteners in static loading) คุณสมบัติเชิงกลและขนาดมาตรฐานของโบลต์ แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และ 2.3 [5]

Class Number	Size Range Outside Diameter (mm)	Minimum Proof Strength (MPa)	Minimum Yield Strength (MPa)	Minimum Tensile Strength (MPa)	Material
4.6	M5-M36	225	240	400	low or medium carbon
4.8	M1.6-M16	310	340	420	low or medium carbon
5.8	M5-M24	380	420	520	low or medium carbon
8.8	M3-M36	600	660	830	medium carbon, Q&T
9.8	M1.6-M16	650	720	900	medium carbon, Q&T
10.9	M5-M36	830	940	1 040	low-carbon martensite, Q&T
12.9	M1.6-M36	970	1 100	1 220	alloy, quenched & tempered

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของโบลต์ [5]

Coarse Threads				Fine Threads		
Major Diameter d (mm)	Pitch P mm	Minor Diameter d_r (mm)	Tensile Stress Area A_t (mm ²)	Pitch P mm	Minor Diameter d_r (mm)	Tensile Stress Area A_t (mm ²)
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

ตารางที่ 2.3 แสดงขนาดมาตรฐานของโบลต์ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การรับแรงเฉือนของโบลต์

จากคุณสมบัติเชิงกลของโบลต์ในตารางที่ 2.6 ความเค้นเฉือนสูงสุดและพื้นที่หน้าตัดเฉือนของโบลต์เมื่อทราบตัวประกอบความปลอดภัยคำนวณได้จากสูตร

$$\sigma_{s_{max}} = \frac{F}{A_s} \quad (7)$$

และ

$$A_s = \pi d_r w_i p \quad (8)$$

เมื่อ $\sigma_{s_{max}}$ คือ ความเค้นเฉือนสูงสุด

F คือ แรงกระทำต่อโบลต์

A_s คือ พื้นที่หน้าตัดเฉือนของโบลต์

d_r คือ เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุดของโบลต์

w_i คือ ค่าตัวประกอบแรงเฉือนของโบลต์

p คือ ระยะพิทซ์ของโบลต์

Thread Type	w_i (minor)	w_o (major)
UNS/ISO	0.80	0.88
Square	0.50	0.50
Acme	0.77	0.63
Buttress	0.90	0.83

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าตัวประกอบแรงเฉือนของโบลต์ [5]

2.4.2 การรับภาระก่อนของตัวยึดภายใต้การรับแรงแบบสถิตของโบลต์

คำนวณหาแรงกระทำและตัวประกอบความปลอดภัย หาขนาดของโบลต์คำนวณจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ต่อไป
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเริ่มต้นสูงสุดในการบิดสกรู (F_i)

$$F_i = 0.9S_p A_t \quad (9)$$

เมื่อ F_i คือ แรงเริ่มต้นสูงสุดในการบิดสกรู

S_p คือ ความเค้นพิสูจน์

A_t คือ พื้นที่หน้าตัดส่วนที่เป็นเกลียวของโบลต์

ความแข็งของโบลต์ (k_b)

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_t}{A_t E_b} + \frac{l_s}{A_b E_b} \quad (10)$$

เมื่อ k_b คือ ความแข็งของโบลต์

l_t คือ ความยาวส่วนที่เป็นเกลียวในแผ่นวัสดุของโบลต์

l_s คือ ความยาวส่วนที่ไม่เป็นเกลียวในแผ่นวัสดุของโบลต์

A_t คือ พื้นที่หน้าตัดส่วนที่เป็นเกลียวของโบลต์

A_b คือ พื้นที่หน้าตัดส่วนที่ไม่เป็นเกลียวของโบลต์

E_b คือ โมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของโบลต์

ความแข็งของวัสดุ (k_m)

$$k_m = \left(\frac{\pi D_{eff}^2}{4} \right) \left(\frac{E_m}{l} \right) \quad (11)$$

$$k_m = \left(\frac{\pi (d_j - d_n)^2}{4} \right) \left(\frac{E_m}{l} \right) \quad (12)$$

เมื่อ k_m คือ ความแข็งของวัสดุ

d_n คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลำตัวของโบลต์

d_j คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ E_m คือ โมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวัสดุ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

l คือ ความยาวของโบลต์ในวัสดุ

ค่าคงที่ของจุดเชื่อมต่อ (C)

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (13)$$

เมื่อ C คือ ค่าคงที่จุดเชื่อมต่อ

k_b คือ ความแข็งของโบลต์

k_m คือ ความแข็งของวัสดุ

แรงกระทำในโบลต์เนื่องจากแรงภายนอก (P_b)

$$P_b = CP \quad (14)$$

เมื่อ P_b คือ แรงกระทำกับโบลต์

C คือ ค่าคงที่จุดเชื่อมต่อ

P คือ แรงภายนอกกระทำกับโบลต์

แรงที่กระทำกับวัสดุเนื่องจากแรงภายนอก (P_m)

$$P_m = (1 - C)P \quad (15)$$

เมื่อ P_m คือ แรงกระทำกับวัสดุ

C คือ ค่าคงที่จุดเชื่อมต่อ

P คือ แรงภายนอกกระทำกับโบลต์

แรงทั้งหมดที่กระทำกับโบลต์ (F_b)

$$F_b = F_i + P_b \quad (16)$$

เมื่อ F_b คือ แรงทั้งหมดกระทำกับโบลต์

F_i คือ แรงบิดสกรูเริ่มต้นสูงสุด

P_b คือ แรงกระทำกับโบลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ P_b คือ แรงกระทำกับโบลต์

แรงทั้งหมดที่กระทำกับวัสดุ (F_m)

$$F_m = F_i - P_m \quad (17)$$

เมื่อ F_m คือ แรงทั้งหมดกระทำกับวัสดุ

F_i คือ แรงเริ่มต้นสูงสุดในการบิดสกรู

P_m คือ แรงกระทำกับวัสดุ

ความเค้นดึงสูงสุดที่กระทำกับโบลต์ (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad (18)$$

เมื่อ σ_b คือ ความเค้นดึงสูงสุดกระทำกับโบลต์

F_b คือ แรงทั้งหมดกระทำกับโบลต์

A_t คือ พื้นที่หน้าตัดส่วนที่เป็นเกลียวของโบลต์

ตัวประกอบความปลอดภัยของโบลต์ (N_y)

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b} \quad (19)$$

เมื่อ N_y คือ ตัวประกอบความปลอดภัยของโบลต์

S_y คือ ความแรงครากสูงสุดของโบลต์

σ_b คือ ความเค้นดึงสูงสุดกระทำกับโบลต์

แรงน้อยสุดที่ทำให้วัสดุด้านบนเคลื่อนออกจากวัสดุด้านล่าง (P_0)

$$P_0 = \frac{F_i}{1-C} \quad (20)$$

เมื่อ P_0 คือ แรงต่ำสุดที่ทำให้วัสดุด้านบนเคลื่อนออกจากวัสดุด้านล่าง

F_i คือ แรงเริ่มต้นสูงสุดในการบิดสกรู

C คือ ค่าคงที่ของจุดเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบความปลอดภัยของการต่อต้านการแยกกันระหว่างวัสดุ (N_{sep})

$$N_{sep} = \frac{P_0}{P} \quad (21)$$

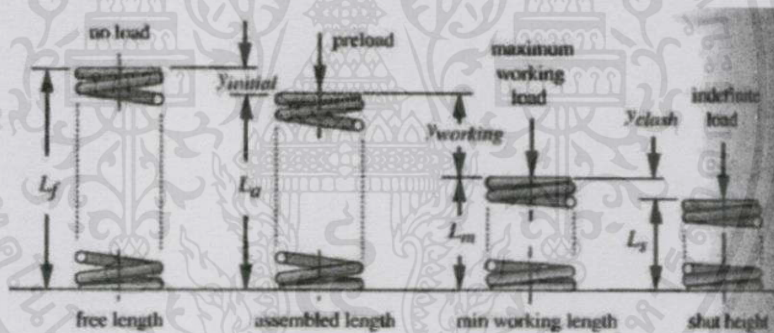
เมื่อ N_{sep} คือ ค่าความปลอดภัยในการต่อต้านการแยกออกจากกันของวัสดุ

P_0 คือ แรงต่ำสุดที่ทำให้วัสดุด้านบนเคลื่อนออกจากวัสดุด้านล่าง

P คือ แรงกระทำกับโบลต์

2.5 การคำนวณสปริง

ลักษณะการหัดตัวของสปริงเพื่อต้นชุดพันซ์ไปอยู่ ณ ตำแหน่งก่อนเริ่มกระบวนการ คำนวณแรงกระทำได้จากหลักการออกแบบชุดสปริงรับแรงกดเนื่องจากแรงสถิต (Designing Helical Compression Springs for Static Loading) จากรูปที่ 2.3 และสมการต่อไปนี้ [5]



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการหัดตัวของสปริง [5]

แรงสูงสุดในสปริง (F)

$$F = kx \quad (22)$$

เมื่อ F คือ แรงในสปริง

k คือ ค่านิจสปริง

x คือ ระยะหัดสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีสปริง (C)

$$C = \frac{D}{d} \quad (23)$$

เมื่อ C คือ ค่าดัชนีสปริง

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสปริง

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด

ตัวประกอบแรงเฉือนตรง (K_s)

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{C} \quad (24)$$

เมื่อ K_s คือ ตัวประกอบแรงเฉือนตรง

C คือ ดัชนีสปริง

ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น (σ_s)

$$\sigma_s = K_s \left(\frac{8FD}{\pi d^3} \right) \quad (25)$$

เมื่อ σ_s คือ ความเค้นเฉือน

F คือ แรงในสปริง

K_s คือ ตัวประกอบแรงเฉือนตรง

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสปริง

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด

ความทนแรงดึง (S_{ut})

สัมประสิทธิ์เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวดและเอ็กซ์โพเนนต์สปริง หาได้จากตารางที่ 2.5

$$S_{ut} = Ad^b \quad (26)$$

เมื่อ S_{ut} คือ ความทนแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในคำค้นพบเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A คือ สัมประสิทธิ์

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด

b คือ เอ็กซ์โพเนนต์สปริง

ASTM #	Material	Range		Exponent b	Coefficient A		Correlation Factor
		mm	in		MPa	psi	
A227	Cold drawn	0.5–16	0.020–0.625	-0.182 2	1 753.3	141 040	0.998
A228	Music wire	0.3–6	0.010–0.250	-0.1625	2 153.5	184 649	0.9997
A229	Oil tempered	0.5–16	0.020–0.625	-0.183 3	1 831.2	146 780	0.999
A232	Chrome-v.	0.5–12	0.020–0.500	-0.145 3	1 909.9	173 128	0.998
A401	Chrome-s.	0.8–11	0.031–0.437	-0.093 4	2 059.2	220 779	0.991

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์และค่าเอ็กซ์โพเนนต์สปริงของวัสดุต่าง ๆ [5]

ความทนแรงเฉือน (S_{us})

$$S_{us} = 0.7S_{ut} \quad (27)$$

เมื่อ S_{us} คือ ความทนแรงเฉือน

S_{ut} คือ ความทนแรงดึง

ตัวประกอบความปลอดภัย (N_y)

$$N_y = \frac{S_{us}}{\sigma_s} \quad (28)$$

เมื่อ N_y คือ ตัวประกอบความปลอดภัย

σ_s คือ ความเค้นเฉือน

S_{us} คือ ความทนแรงเฉือน

จำนวนขดใช้งาน (N_a)

$$N_a = \frac{d^4 G}{8D^3 k} \quad (29)$$

เมื่อ N_a คือ จำนวนขดใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ หากลึบหรือผิดพลาดเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสปริง

k คือ ค่านิจสปริง

G คือ โมดูลัสการเฉือน

จำนวนขดทั้งหมด (N_t)

$$N_t = N_a + 2 \quad (30)$$

เมื่อ N_a คือ จำนวนขดใช้งาน

N_t คือ จำนวนขดทั้งหมด

ความยาวสปริงเมื่อหดสูงสุด (L_s)

$$L_s = dN_t \quad (31)$$

เมื่อ L_s คือ ความยาวสปริงเมื่อหดสูงสุด

N_t คือ จำนวนขดทั้งหมด

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด

ระยะหดสูงสุด (y_s)

$$y_s = L_f - L_s \quad (32)$$

เมื่อ y_s คือ ระยะหดสูงสุด

L_f คือ ความยาวสปริงเมื่อไม่มีภาระ

L_s คือ ความยาวสปริงเมื่อหดสูงสุด

แรงในสปริงเมื่อระยะหดสูงสุด (F_{shut})

$$F_{shut} = ky_s \quad (33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k คือ ค่านิจสปริง

y_s คือ ระยะหดสูงสุด

ความเค้นเฉือนเมื่อระยะหดมากที่สุด (σ_{shut})

$$\sigma_{shut} = K_s \left(\frac{8FD}{\pi d^3} \right) \quad (34)$$

เมื่อ σ_{shut} คือ ความเค้นเฉือนเมื่อระยะหดมากที่สุด

F คือ แรงในสปริง

K_s คือ ตัวประกอบแรงเฉือนตรง

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสปริง

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด

ตัวประกอบความปลอดภัย ($N_{s_{shut}}$)

$$N_{s_{shut}} = \frac{S_{us}}{\sigma_{shut}}$$

(35)

เมื่อ $N_{s_{shut}}$ คือ ตัวประกอบความปลอดภัย

σ_{shut} คือ ความเค้นเฉือนเมื่อระยะหดมากที่สุด

S_{us} คือ ความทนแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

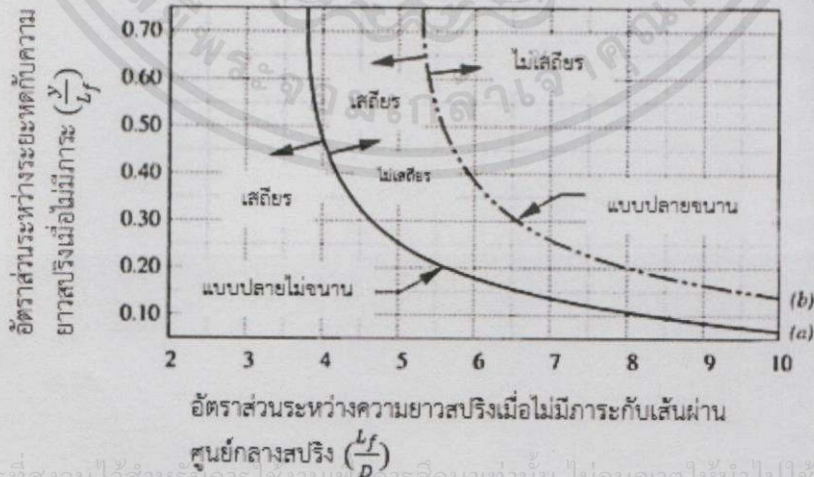
MATERIAL	NOMINAL ANALYSIS	TENSILE PROPERTIES		TORSIONAL PROPERTIES ²		MAXIMUM TEMPERATURE		ROCKWELL HARDNESS	METHOD OF MANUFACTURE CHIEF USES SPECIAL PROPERTIES		
		MINIMUM TENSILE STRENGTH P.S.I. X 10 ³	MODULUS ELASTICITY E P.S.I. X 10 ⁶	DESIGN STRESS ¹ % MINIMUM TENSILE	MODULUS IN TORSION G P.S.I. X 10 ⁶	°F	°C				
HIGH CARBON SPRING WIRE	Music Wire ASTM A 229	C Mn	70-1.20% 20-80%	230-399	30	45	11.5	290	121	C41-60	Cold drawn high and uniform tensile. High quality springs and wire forms.
	Hard Drawn ASTM A 227	C Mn	45-85% 80-130%	CU 147-283 CUJ 171-234	30	40	11.5	290	121	C31-52	Cold drawn. Average stress applications. Lower cost springs and wire forms.
	Oil Tempered ASTM A 229	C Mn	55-85% 90-120%	CU 160-293 CUJ 191-324	30	45	11.5	290	121	C42-55	Cold drawn and heat treated before fabrication. General purpose spring wire.
ALLOY STEEL WIRE	Chrome Vanadium ASTM A 231	C Cr V	45-53% 80-110% .15 Min%	190-300	30	45	11.5	425	218.9	C41-55	Cold drawn and heat treated before fabrication. Used for shock loads and moderately elevated temperature.
	Chrome Silicon ASTM A 401	C Cr Si	51-59% 80-90% 1.20-1.80%	230-300	30	45	11.5	475	248	C48-55	Cold drawn and heat treated before fabrication. Used for shock loads and moderately elevated temperature.
STAINLESS STEEL WIRE	AISI 302/304 ASTM A 313	Cr Ni	17-19% 8-10%	125-325	28	30-40	10	550	288	C33-45	Cold drawn general purpose corrosion and heat resistant. Magnetic in spring temper.
	AISI 316 ASTM A 313	Cr Ni Mo	16-18% 10-14% 2-3%	110-245	28	40	10	550	288	C35-45	Cold drawn. Heat resistant and better corrosion resistance than 302. Magnetic in spring temper.
	17-7 PH ASTM A 313 (B31) AMS 5678-B	Cr Ni Al	16-18% 6.5-7.5% .75-1.5%	Cond CH 235-335	29.5	45	11	656	343	C33-57	Cold drawn and precipitation hardened after fabrication. High strength and general purpose corrosion resistance. Slightly magnetic in spring temper.
NON-FERROUS ALLOY WIRE	Phosphor Bronze Grade A ASTM B 159	Cu Sn	94-98% 4-5%	105-145	15	40	6.25	200	93.3	B95-104	Cold drawn. Good corrosion resistance and electrical conductivity.
	Beryllium Copper ASTM B 197	Cu Be	98% 2%	150-230	18.5	45	7.0	420	204	C35-42	Cold drawn and may be mill hardened before fabrication. Good corrosion resistance and electrical conductivity. High physics.
HIGH TEMPERATURE ALLOY WIRE	Inconel 6790 AMS 5698, 5699	Ni Cr Fe	73% 15% 6.75%	No. 17, 153 Min. Seq. T 190-230	31	40	12	700	372	C34-39 C42-48	Cold drawn and precipitation hardened after fabrication. Good corrosion resistance at elevated temperature.

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของสปริง [6]

ตรวจสอบการโค้งงอ

$$\frac{L_f}{D} \text{ และ } \frac{y_{max}}{L_f} = \frac{y_{initial} + y_{working}}{L_f} \tag{36}$$

นำค่าทั้งสองไปเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 2.4 แสดงแผนภาพเส้นโค้งของเงื่อนไขการโค้งงอแบบวิกฤต [5]

มวลสปริง (W)

$$W = \frac{\pi^2 d^2 D N_t \rho}{4} \quad (37)$$

เมื่อ W คือ มวลสปริง

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางสปริง

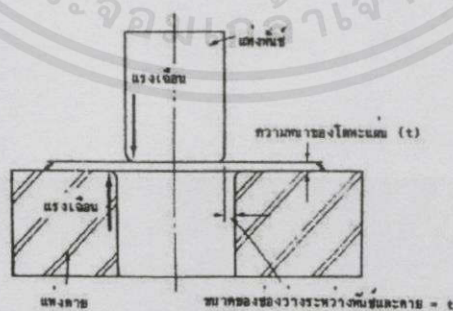
N_t คือ จำนวนขดทั้งหมด

ρ คือ ความหนาแน่น

2.6 การตัดแผ่นโลหะ

การขึ้นรูปโลหะแผ่นเพื่อทำชิ้นงานมีกระบวนการที่ใช้ได้แก่ การตัด (Blanking) และการปั๊มชิ้นงาน (Coining) ซึ่งขึ้นรูปโดยใช้ฟันซ์

การตัดโลหะโดยใช้ฟันซ์และดาบนั้น แผ่นชิ้นงานจะถูกตัดด้วยคมตัดสองชนิดคือ คมตัดของฟันซ์เป็นขอบคมตัดใน (inner cutting edge) และคมตัดของดาบซึ่งเป็นขอบคมตัดนอก (outer cutting edge) ระหว่างขอบคมตัดในและขอบคมตัดนอกจะมีช่องว่างเล็ก ๆ เรียกว่าช่องว่างระหว่างฟันซ์และดาบ (clearance) ในการตัดด้วยฟันซ์และดาบนั้น จะต้องใช้แรงไฮดรอลิก และแรงสำหรับตัดแผ่นโลหะเรียกว่าแรงเฉือน มีขนาดเท่ากันแต่ทิศตรงกันข้าม ซึ่งแรงเฉือนที่สามารถตัดแผ่นโลหะได้ต้องมีขนาดมากกว่าความทนเฉือนของโลหะ แต่ละโลหะจะมีความทนแรงเฉือนแตกต่างกันไป [7]



รูปที่ 2.5 การตัดโลหะแผ่นด้วยฟันซ์และดาบ [7]

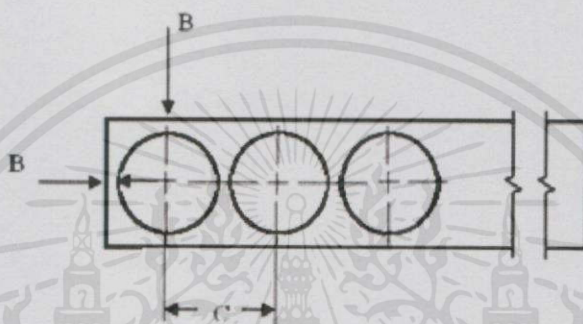
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการออกแบบชุดแม่พิมพ์

การตัดชิ้นงานเป็นงานตัดที่ต้องการนำส่วนที่ถูกตัดไปใช้ (Blanking) ชุดแม่พิมพ์จึงออกแบบดังนี้ [7]

2.7.1 การวางแบบบนแผ่นวัสดุงาน (Scrap Strip)

ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการป้อนชิ้นรูปชิ้นงานมากจากราคาวัสดุ เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย จึงเลือกการวางชิ้นงานแบบป้อนผ่านแม่พิมพ์ป้อนครั้งเดียว เพื่อสะดวกและสูญเสียวัสดุน้อย



รูปที่ 2.6 แสดงระยะห่างการตัดชิ้นงาน [7]

ระยะเผื่อระหว่างชิ้นงาน เมื่อระยะ C น้อยกว่า 83 มิลลิเมตร สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$B = 1.5T$$

(38)

เมื่อ B คือ ระยะเผื่อระหว่างชิ้นงาน

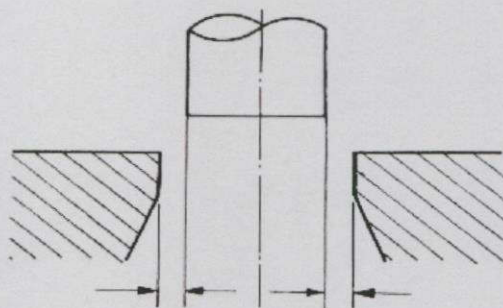
C คือ ระยะการป้อนตัดชิ้นงาน

T คือ ความหนาของวัสดุ

2.7.2 หลักการออกแบบพื้นที่และแผ่นตาย

เนื่องจากต้องการนำชิ้นส่วนจากการตัดไปใช้ จึงต้องกำหนดขนาดช่องว่างของแผ่นตายให้มีขนาดเท่ากับชิ้นงานที่ต้องการ และลดขนาดของพื้นที่เพื่อให้พื้นที่และช่องตายห่างกันเท่ากับระยะช่องว่าง (Clearance) ระยะช่องว่างคิดเป็นร้อยละของความหนาชิ้นงานขึ้นอยู่กับวัสดุของชิ้นงาน โดยมีค่าประมาณร้อยละ 2 ถึง 6 ของความหนาชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ช่องห่าง
รูปที่ 2.7 แสดงช่องห่างของฟันซ์กับตาย [7]

2.7.3 การออกแบบหมุดกัก

การตัดและป้อนวัสดุด้วยมือถูกนำร่องโดยหมุดประคองชิ้นงาน ระยะทางในการป้อนสามารถถูกกำหนดด้วยหมุดกัก [8]

2.7.4 สปริงและสตริปเปอร์โบลต์

เพื่อให้ชุดแม่พิมพ์เคลื่อนที่กลับไปอยู่ในตำแหน่งทำงาน จึงต้องใช้สปริงเพื่อดันชุดแม่พิมพ์ขึ้น โดยมีสตริปเปอร์โบลต์เป็นตัวกำหนดระยะ

2.7.5 การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์

การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ ต้องคำนึงถึงภาระที่แต่ละชิ้นส่วนได้รับ จึงใช้วัสดุที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเสียรูปถาวร วัสดุที่ใช้ในงานแม่พิมพ์แสดงในตารางที่ 2.7 และคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแสดงในตารางที่ 2.8 และ 2.9

ลำดับ	ชื่อชิ้นส่วนแม่พิมพ์	วัสดุ
1	เหล็กโครงสร้าง	SS400,SK53
2	แผ่นยึดฟันซ์	SS400,SK53
3	ฟันซ์ตัดชิ้นงาน	SKD11
4	ฟันซ์ขึ้นรูปชิ้นงาน	SKD11
5	แผ่นตาย	SKD11,SKH51
6	หมุดกัก	S45C, SKD11
7	สลักนำสำหรับประคองชิ้นงาน	SKD11,SKH51

ตารางที่ 2.7 แสดงวัสดุของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Material	Material Properties	Maximum Working Temp.	Ultimate Tensile Range (ksi min)	Modulus of Elasticity, psi 10 ⁶	Approx. Design % of Ultimate Tensile (torsional)	Common Sizes (inches)
H-12 Tungsten Bar ASTM A681 (Chem. only) UNS T20812	Good for high temperature applications.	700°F	187	(E) 30 (G) 11.0	45%	.500" to 2.250"

ตารางที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ SKD11 (ASTM A681) [8]

Material	Density kg/m ³	Ultimate Tensile Strength, MPa	Yield Strength		Modulus of Elasticity, GPa	Modulus of Rigidity, GPa
			Tension, MPa	Shear, MPa		
Structural Steel (ASTM-A36)	7860	400	250	145	200	77.2

ตารางที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโครงสร้าง (ASTM-A36) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณ

3.1 การคำนวณแรงที่ต้องใช้

3.1.1 แรงตัดแผ่นตะกั่ว (F_C)

จากสมการที่ (5)

$$F_{\max} = 0.7(UTS)tL$$

จะได้

$$F_C = 0.7 \times 55 \times 10^6 \times \pi \times 0.02 \times 0.002$$

ดังนั้น

$$F_C = 4814 \text{ N}$$

3.1.2 แรงขึ้นรูปแผ่นตะกั่ว (F_S)

จากสมการที่ (5)

$$F_{\max} = 0.7(UTS)tL$$

จะได้

$$F_S = 0.7 \times 55 \times 10^6 \times \pi \times 0.02 \times 0.0003$$

ดังนั้น

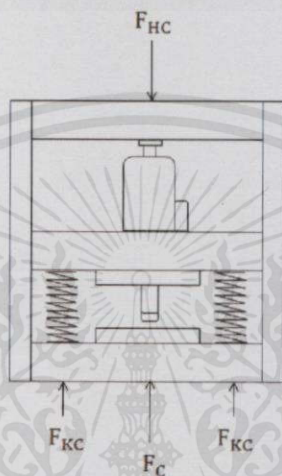
$$F_S = 726 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แรงไฮดรอลิกกระทำ (F_H)

แรงที่ไฮดรอลิกกระทำต่อระบบจำเป็นต้องมีขนาดเท่ากับแรงต้านรวมกับแรงสปริงเป็นอย่างดีน้อยจึงสามารถตัดชิ้นงานขาดได้ แรงโยกคานไฮดรอลิกและแรงไฮดรอลิกกระทำจะสัมพันธ์กันเนื่องจากความดันที่เท่ากันในสองกระบอกสูบ

3.2.1 ขณะตัด (F_{HC})



รูปที่ 3.1 แรงไฮดรอลิกกระทำขณะตัดชิ้นงาน

จากสมการ

$$\Sigma F = 0$$

จะได้

$$F_{HC} = 2F_{KC} + F_C$$

และแรงสปริงจากสมการที่ (22)

$$F_{KC} = kx_C$$

เมื่อ F_{HC} คือ แรงไฮดรอลิกขณะตัดชิ้นงาน

F_{KC} คือ แรงสปริงขณะตัดชิ้นงาน

F_C คือ แรงตัดชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x_C คือ ระยะหดของสปริงขณะตัดชิ้นงาน

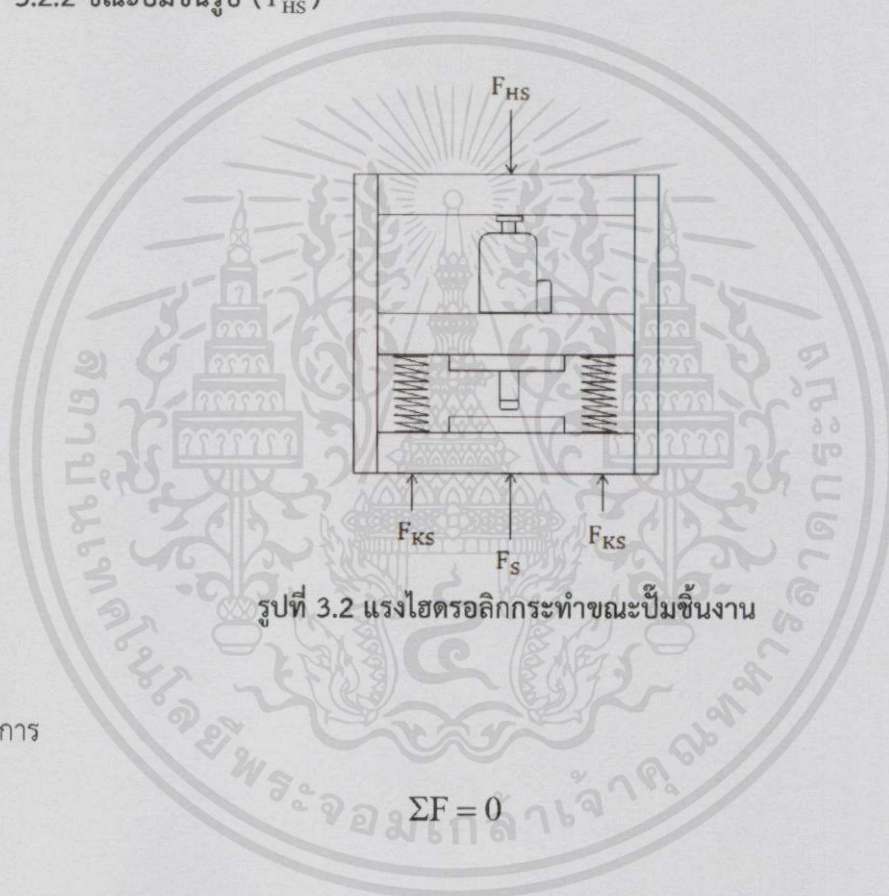
จะได้

$$F_{HC} = 2(45.8)(7) + 4814$$

ดังนั้น

$$F_{HC} = 5455 \text{ N}$$

3.2.2 ขณะปั๊มชิ้นรูป (F_{HS})



รูปที่ 3.2 แรงไฮดรอลิกกระทำขณะปั๊มชิ้นงาน

จากสมการ

$$\Sigma F = 0$$

จะได้

$$F_{HS} = 2F_{KS} + F_S$$

และแรงสปริงจากสมการที่ (22)

$$F_{KS} = kx_S$$

เอกสารนี้ โดย F_{HS} คือ แรงไฮดรอลิกขณะปั๊มชิ้นรูปชิ้นงาน ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F_{KS} คือ แรงสปริงขณะปั๊มชิ้นรูปชิ้นงาน

F_s คือ แรงปัมขึ้นรูปชิ้นงาน

k คือ ค่านิจสปริง

x_s คือ ระยะหดของสปริงขณะปัมขึ้นรูปชิ้นงาน

จะได้

$$F_{HS} = 2(45.8)(7.6) + 726$$

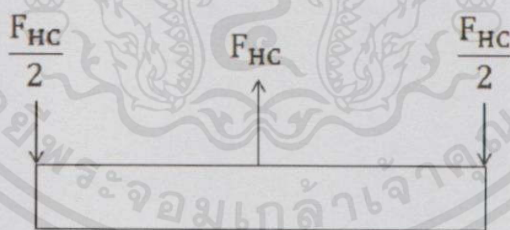
ดังนั้น

$$F_{HS} = 1422 \text{ N}$$

3.3 การคำนวณความเค้นที่ในส่วนประกอบต่าง ๆ

การคำนวณโครงสร้างสามารถรับภาระได้โดยไม่เสียรูปถาวร เนื่องจากแรงตัดชิ้นงานมีขนาดมากกว่าแรงปัมขึ้นรูปชิ้นงาน จึงคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบต่าง ๆ เฉพาะขณะตัดชิ้นงานเท่านั้น ความเค้นอัดและความเค้นเฉือนสูงสุดในส่วนประกอบ หาได้จากสมการที่ (1) (3) และ (4) เลือกความแรงครากและโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นจากตารางที่ 2.8 และ 2.9

3.3.1 เหล็กแผ่นบน



รูปที่ 3.3 แรงกระทำกับเหล็กแผ่นบนขณะตัดชิ้นงาน

ความกว้าง 0.060 เมตร

ความยาว 0.203 เมตร

ความหนา 0.019 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.1 ความเค้นดัดสูงสุด ($\sigma_{b_{max}}$)

จากสมการที่ (3)

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{max} c}{I}$$

และโมเมนต์สูงสุด (M_{max}) หาได้จาก

$$M_{max} = \frac{FL}{4}$$

จะได้

$$M_{max} = \frac{(5455)(0.203)}{4}$$

$$M_{max} = 277 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$c = 0.0095 \text{ m}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.060 \times 0.019^3}{12} = 3.43 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

จะได้

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{277 \times 0.0095}{3.43 \times 10^{-8}}$$

ดังนั้น

$$\sigma_{b_{max}} = 76.7 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{b_{max}}}$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการที่ $S.F. = \frac{230}{76.7}$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$S.F. = 3$$

3.3.1.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด ($\sigma_{s_{max}}$)

จากสมการที่ (4)

$$\sigma_{s_{max}} = \frac{V_{max} h^2}{8I}$$

$$V_{max} = \frac{F}{2} = \frac{5455}{2} = 2728 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.060 \times 0.019^3}{12} = 3.43 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

จะได้

$$\sigma_{s_{max}} = \frac{2728 \times 0.019^2}{8 \times 3.43 \times 10^{-8}}$$

ดังนั้น

$$\sigma_{s_{max}} = 3.6 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{s_{max}}}$$

จะได้

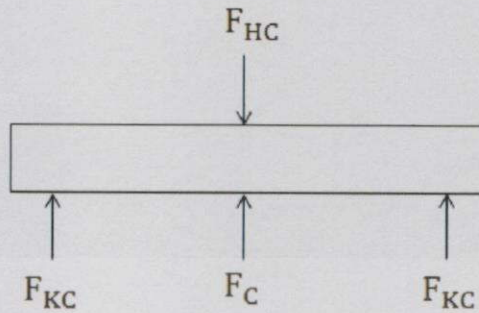
$$S.F. = \frac{230}{3.6}$$

ดังนั้น

$$S.F. = 64$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เหล็กแผ่นกลาง



รูปที่ 3.4 แรงกระทำกับเหล็กแผ่นกลางขณะติดตั้งงาน

ความกว้าง 0.148 เมตร

ความยาว 0.203 เมตร

ความหนา 0.010 เมตร

3.3.2.1 ความเค้นดัดสูงสุด ($\sigma_{b_{max}}$)

จากสมการที่ (3)

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{max} c}{I}$$

$$M_{max} = \frac{FL}{4} = \frac{(5455)(0.203)}{4} = 277 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$c = 0.005 \text{ m}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.148 \times 0.010^3}{12} = 1.23 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

จะได้

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{277 \times 0.005}{1.23 \times 10^{-8}}$$

เอกสารนี้ ดั่งนั้น เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ ข้อมูล ใดๆถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_{b_{max}} = 113 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{b_{\max}}}$$

จะได้

$$S.F. = \frac{230}{113}$$

ดังนั้น

$$S.F. = 2$$

3.3.2.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด ($\sigma_{s_{\max}}$)

จากสมการที่ (4)

$$\sigma_{s_{\max}} = \frac{V_{\max} h^2}{8I}$$

จะได้

$$V_{\max} = \frac{F}{2} = \frac{5455}{2} = 2728 \text{ N}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.148 \times 0.010^3}{12} = 1.23 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

ดังนั้น

$$\sigma_{s_{\max}} = \frac{2728 \times 0.010^2}{8 \times 1.23 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma_{s_{\max}} = 2.77 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{s_{\max}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

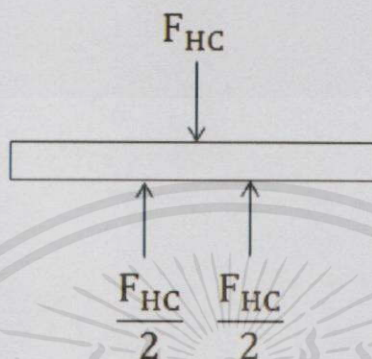
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้นฉบับอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S.F. = \frac{230}{2.77}$$

ดังนั้น

$$S.F. = 83$$

3.3.3 แผ่นคาย



รูปที่ 3.5 แรงกระทำกับแผ่นคายขณะตัดขึ้นงาน

ความกว้าง 0.092 เมตร

ความยาว 0.105 เมตร

ความหนา 0.007 เมตร

3.3.3.1 ความเค้นดัดสูงสุด ($\sigma_{b_{max}}$)

จากสมการที่ (3)

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{max} c}{I}$$

จะได้

$$M_{max} = \frac{FL}{4} = \frac{(5455)(0.0254)}{4} = 34.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$c = 0.0035 \text{ m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.092 \times 0.007^3}{12} = 2.63 \times 10^{-9} \text{ m}^4$ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\sigma_{b_{\max}} = \frac{34.6 \times 0.0035}{2.63 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma_{b_{\max}} = 46 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{b_{\max}}}$$

จะได้

$$S.F. = \frac{350}{46}$$

ดังนั้น

$$S.F. = 7.61$$

3.3.3.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด ($\sigma_{s_{\max}}$)

จากสมการที่ (4)

$$\sigma_{s_{\max}} = \frac{V_{\max} h^2}{8I}$$

จะได้

$$V_{\max} = \frac{F}{2} = \frac{5455}{2} = 2728 \text{ N}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.092 \times 0.007^3}{12} = 2.63 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

ดังนั้น

$$\sigma_{s_{\max}} = \frac{2728 \times 0.007^2}{8 \times 2.63 \times 10^{-9}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อ $\sigma_{s_{\max}} = 6.35 \text{ MPa}$ ของเอกสารนี้ไปใช้จริงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{s_{max}}}$$

จะได้

$$S.F. = \frac{350}{6.35}$$

ดังนั้น

$$S.F. = 55.1$$

3.3.4 เหล็กแผ่นล่าง



รูปที่ 3.6 แรงกระทำกับเหล็กแผ่นล่างขณะตัดชิ้นงาน

ความกว้าง 0.148 เมตร

ความยาว 0.203 เมตร

ความหนา 0.010 เมตร

3.3.3.1 ความเค้นดัดสูงสุด ($\sigma_{b_{max}}$)

จากสมการที่ (3)

$$\sigma_{b_{max}} = \frac{M_{max} c}{I}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$M_{\max} = \frac{FL}{4} = \frac{(5455)(0.203)}{4} = 277 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$c = 0.005 \text{ m}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.148 \times 0.010^3}{12} = 1.23 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

ดังนั้น

$$\sigma_{b_{\max}} = \frac{277 \times 0.005}{1.23 \times 10^{-8}}$$

$$\sigma_{b_{\max}} = 113 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$\text{S.F.} = \frac{S_y}{\sigma_{b_{\max}}}$$

จะได้

$$\text{S.F.} = \frac{230}{113}$$

ดังนั้น

$$\text{S.F.} = 2$$

3.3.2.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด ($\sigma_{s_{\max}}$)

จากสมการที่ (4)

$$\sigma_{s_{\max}} = \frac{V_{\max} h^2}{8I}$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $V_{\max} = \frac{F}{2} = \frac{5455}{2} = 2728 \text{ N}$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 2 และ 2 ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.148 \times 0.010^3}{12} = 1.23 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

ดังนั้น

$$\sigma_{s_{\max}} = \frac{2728 \times 0.010^2}{8 \times 1.23 \times 10^{-8}}$$

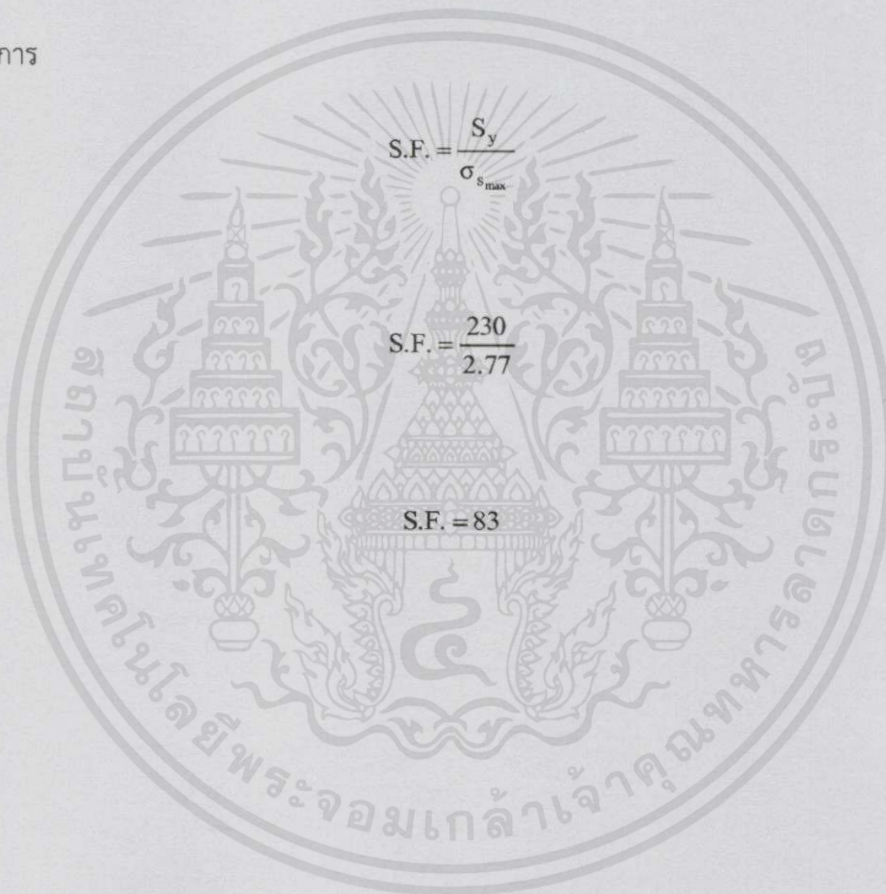
$$\sigma_{s_{\max}} = 2.77 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

จะได้

ดังนั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 เสา



รูปที่ 3.7 แรงกระทำกับเสาขณะตัดชิ้นงาน

ความหนา	0.012 เมตร
ความยาว	0.060 เมตร
ความสูง	0.262 เมตร
ความกว้างของเสาแต่ละด้าน	0.010 เมตร

3.3.5.1 ความเค้นดึงสูงสุด ($\sigma_{t_{max}}$)

จากสมการที่ (1)

$$\sigma_{t_{max}} = \frac{F}{A}$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 5455 / 2 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\sigma_{t_{max}} = \frac{5455}{2 \times 0.01 \times 0.012}$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\sigma_{t_{\max}} = 11.4 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{t_{\max}}}$$

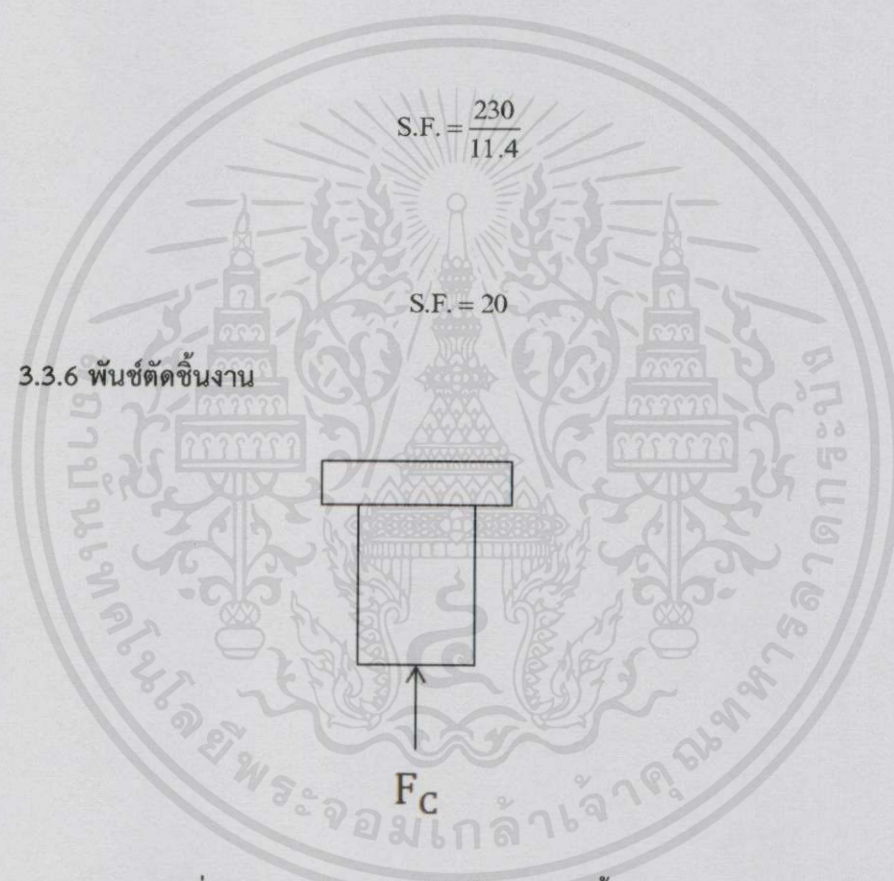
จะได้

$$S.F. = \frac{230}{11.4}$$

ดังนั้น

$$S.F. = 20$$

3.3.6 พันซ์ตัดชิ้นงาน



รูปที่ 3.8 แรงกระทำกับพันธตัดขณะตัดชิ้นงาน

เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0199 เมตร

ความยาว 0.040 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.1 ความเค้นอัดสูงสุด ($\sigma_{c_{max}}$)

จากสมการที่ (1)

$$\sigma_{c_{max}} = \frac{F_c}{A}$$

จะได้

$$\sigma_{c_{max}} = \frac{4814}{\frac{\pi}{4} (0.0199)^2}$$

ดังนั้น

$$\sigma_{c_{max}} = 15.5 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{c_{max}}}$$

จะได้

$$S.F. = \frac{350}{15.5}$$

ดังนั้น

$$S.F. = 22.6$$

ระยะหดของวัสดุหาได้จากสมการ

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

จะได้

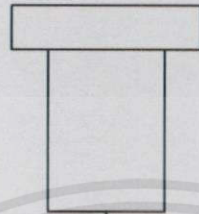
$$\delta = \frac{4814 \times 0.040}{\frac{\pi}{4} \times 0.0199^2 \times 200 \times 10^9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$\delta = 3.1 \times 10^{-6} \text{ m}$$

3.3.7 พันซ์ขึ้นรูปชิ้นงาน



รูปที่ 3.9 แรงกระทำกับพันธขึ้นรูปขณะตัดชิ้นงาน

เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02499 m

ความยาว 0.0377 m

3.3.7.1 ความเค้นอัดสูงสุด ($\sigma_{c_{max}}$)

จากสมการที่ (1)

$$\sigma_{c_{max}} = \frac{F_c}{A}$$

จะได้

$$\sigma_{c_{max}} = \frac{4814}{\frac{\pi}{4} (0.02499)^2}$$

ดังนั้น

$$\sigma_{c_{max}} = 9.8 \text{ MPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_{c_{max}}}$$

จะได้

$$S.F. = \frac{350}{9.8}$$

ดังนั้น

$$S.F. = 35.7$$

ระยะหดของวัสดุหาได้จากสมการที่ (2)

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

จะได้

$$\delta = \frac{4814 \times 0.0375}{\frac{\pi}{4} \times 0.02499^2 \times 200 \times 10^9}$$

ดังนั้น

$$\delta = 1.84 \times 10^{-6} \text{ m}$$

3.4 การคำนวณโบลต์

3.4.1 โบลต์ยึดเสากับเหล็กแผ่นบน

คำนวณความเค้นเฉือนและตัวประกอบความปลอดภัย จากตารางที่ 2.2 2.3 และ 2.4 เลือก โบลต์คลาส 12.9 ขนาด M6 มาตรฐานเมตริก จำนวน 2 ตัวในการรับแรง คำนวณแรงกระทำสำหรับ โบลต์ 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นเฉือนสูงสุดในโบลต์ ($\sigma_{s_{max}}$)

จากสมการที่ (7)

$$\sigma_{s_{max}} = \frac{F}{A_s}$$

และจากสมการที่ (8)

$$A_s = \pi d_r w_i p$$

จะได้

$$\sigma_s = \frac{5455/2}{\pi(0.00477)(0.8)(0.001)}$$

ดังนั้น

$$\sigma_s = 114 \text{ MPa}$$

และจากสมการที่ (27)

$$S_{us} = 0.7 S_{ut}$$

จะได้

$$S_{us} = 0.7(1220)$$

ดังนั้น

$$S_{us} = 854 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (S.F.)

จากสมการ

$$S.F. = \frac{S_{us}}{\sigma_s}$$

จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ S.F. = $\frac{854}{114}$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$S.F. = 7.49$$

3.4.2 โบลต์ยึดเหล็กแผ่นกลางกับแผ่นยึดพินซ์

คำนวณแรงกระทำและตัวประกอบความปลอดภัย จากตารางที่ 2.2 2.3 และ 2.4 เลือก โบลต์คัลลาส 12.9 ขนาด M5 มาตรฐานเมตริก จำนวน 4 ตัวในการรับแรง คำนวณแรงกระทำสำหรับ โบลต์ 1 ตัว

แรงกระทำต่อโบลต์ (P)

จากสมการ

$$P = \frac{F_{HC}}{4}$$

จะได้

$$P = \frac{5455}{4}$$

ดังนั้น

$$P = 1364 \text{ N}$$

แรงบิดสกรูเริ่มต้นสูงสุด (F_i)

จากสมการที่ (9)

$$F_i = 0.9 S_p A_t$$

จะได้

$$F_i = 0.9(970 \times 10^6)(14.18 \times 10^{-6})$$

ดังนั้น

$$F_i = 12380 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งของโบลต์ (k_b)

จากสมการที่ (10)

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_t}{A_t E_b} + \frac{l_s}{A_b E_b}$$

จะได้

$$\frac{1}{k_b} = \frac{20 \times 10^{-3}}{(14.18 \times 10^{-6})(206 \times 10^9)} + 0$$

ดังนั้น

$$k_b = 146 \times 10^6 \text{ N/m}$$

ความแข็งของเหล็กแผ่นกลาง (k_m)

จากสมการที่ (11) และ (12)

$$k_m = \left(\frac{\pi D_{\text{eff}}^2}{4} \right) \left(\frac{E_m}{l} \right)$$

$$k_m = \left(\frac{\pi (d_j - d_n)^2}{4} \right) \left(\frac{E_m}{l} \right)$$

จะได้

$$k_m = \left(\frac{\pi (11 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-3})^2}{4} \right) \left(\frac{206 \times 10^9}{27 \times 10^{-3}} \right)$$

ดังนั้น

$$k_m = 576 \times 10^6 \text{ N/m}$$

ค่าคงที่ของจุดเชื่อมต่อ (C)

จากสมการที่ (13)

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

เอกสารนี้ ^{จะได้} เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 146×10^6 จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{146 \times 10^6}{146 \times 10^6 + 576 \times 10^6}$$

ดังนั้น

$$C = 0.21$$

แรงไฮดรอลิกกระทำต่อโบลต์ (P_b)

จากสมการที่ (14)

$$P_b = CP$$

จะได้

$$P_b = (0.21)(1364)$$

ดังนั้น

$$P_b = 287 \text{ N}$$

แรงไฮดรอลิกกระทำต่อเหล็กแผ่นกลาง (P_m)

จากสมการที่ (15)

$$P_m = (1 - C)P$$

จะได้

$$P_m = (1 - 0.21)(1364)$$

ดังนั้น

$$P_m = 1078 \text{ N}$$

แรงทั้งหมดกระทำกับโบลต์ (F_b)

จากสมการที่ (16)

$$F_b = F_i + P_b$$

จะได้

$$F_b = 12380 + 287$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ดังนั้น
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_b = 12670 \text{ N}$$

แรงทั้งหมดกระทำกับเหล็กแผ่นกลาง (F_m)

จากสมการที่ (17)

$$F_m = F_i - P_m$$

จะได้

$$F_m = 12380 - 1078$$

ดังนั้น

$$F_m = 11300 \text{ N}$$

ความเค้นดึงสูงสุดกระทำกับโบลต์ (σ_b)

จากสมการที่ (18)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$$

จะได้

$$\sigma_b = \frac{12667}{14.18 \times 10^{-6}}$$

ดังนั้น

$$\sigma_b = 893 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัยของโบลต์ (N_y)

จากสมการที่ (19)

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b}$$

จะได้

$$N_y = \frac{1100}{893}$$

เอกสารนี้ **ดั่งนั้น** เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_y = 1.23$$

แรงต่ำสุดที่ทำให้เหล็กแผ่นกลางด้านบนเคลื่อนออกจากแผ่นยึดพันธ์ด้านล่าง (P_0)

จากสมการที่ (20)

$$P_0 = \frac{F_i}{1-C}$$

จะได้

$$P_0 = \frac{12380}{1-0.21}$$

ดังนั้น

$$P_0 = 15670 \text{ N}$$

ตัวประกอบความปลอดภัยสำหรับการต่อต้านการแยกกันระหว่างเหล็กแผ่นกลางด้านบนกับแผ่นยึดพันธ์ด้านล่าง (N_{sep})

จากสมการที่ (21)

$$N_{sep} = \frac{P_0}{P}$$

จะได้

$$N_{sep} = \frac{15671}{1364}$$

ดังนั้น

$$N_{sep} = 11,5$$

3.4.3 โบลต์ยึดตายกับเหล็กแผ่นล่าง

คำนวณแรงกระทำและตัวประกอบความปลอดภัย จากตารางที่ 2.2 2.3 และ 2.4 เลือกโบลต์ คลาส 12.9 ขนาด M5 ตามมาตรฐานเมตริก จำนวน 4 ตัวในการรับแรง คำนวณแรงกระทำสำหรับ โบลต์ 1 ตัว

แรงกระทำโบลต์ (P)

เอกสารนี้จากสมการที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะพิมพ์ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{F_{HC}}{4}$$

จะได้

$$P = \frac{5455}{4}$$

ดังนั้น

$$P = 1364 \text{ N}$$

แรงบิดสกรูเริ่มต้นสูงสุด (F_i)

จากสมการที่ (9)

$$F_i = 0.9S_p A_t$$

จะได้

$$F_i = 0.9(970 \times 10^6)(14.18 \times 10^{-6})$$

ดังนั้น

$$F_i = 12380 \text{ N}$$

ความแข็งของโบลต์ (k_b)

จากสมการที่ (10)

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_t}{A_t E_b} + \frac{l_s}{A_b E_b}$$

จะได้

$$\frac{1}{k_b} = \frac{20 \times 10^{-3}}{(14.18 \times 10^{-6})(206 \times 10^9)} + 0$$

ดังนั้น

$$k_b = 146 \times 10^6 \text{ N/m}$$

ความแข็งของแผ่นคาย (k_m)

เอกสารนี้จากสมการที่ (11) และ (12) รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k_m = \left(\frac{\pi D_{eff}}{4} \right) \left(\frac{E_m}{l} \right)$$

$$k_m = \left(\frac{\pi(d_j - d_n)^2}{4} \right) \left(\frac{E_m}{l} \right)$$

จะได้

$$k_m = \left(\frac{\pi(11 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-3})^2}{4} \right) \left(\frac{206 \times 10^9}{21 \times 10^{-3}} \right)$$

ดังนั้น

$$k_m = 740 \times 10^6 \text{ N/m}$$

ค่าคงที่ของจุดเชื่อมต่อ (C)

จากสมการที่ (13)

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

จะได้

$$C = \frac{146 \times 10^6}{146 \times 10^6 + 740 \times 10^6}$$

ดังนั้น

$$C = 0.17$$

แรงไฮดรอลิกกระทำกับโบลต์ (P_b)

จากสมการที่ (14)

$$P_b = CP$$

จะได้

$$P_b = (0.17)(1364)$$

ดังนั้น

$$P_b = 232 \text{ N}$$

แรงไฮดรอลิกกระทำกับแผ่นตาย (P_m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (15) นี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_m = (1 - C)P$$

จะได้

$$P_m = (1 - 0.17)(1364)$$

ดังนั้น

$$P_m = 1130 \text{ N}$$

แรงทั้งหมดกระทำกับบอล (F_b)

จากสมการที่ (16)

$$F_b = F_i + P_b$$

จะได้

$$F_b = 12380 + 232$$

ดังนั้น

$$F_b = 12610 \text{ N}$$

แรงทั้งหมดกระทำกับแผ่นตาย (F_m)

จากสมการที่ (17)

$$F_m = F_i - P_m$$

จะได้

$$F_m = 12380 - 1132$$

ดังนั้น

$$F_m = 11248 \text{ N}$$

ความเค้นดึงสูงสุดกระทำกับบอล (σ_b)

จากสมการที่ (18)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\sigma_b = \frac{1266712}{14.18 \times 10^{-6}}$$

ดังนั้น

$$\sigma_b = 890 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัยของโบลต์ (N_y)

จากสมการที่ (19)

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b}$$

จะได้

$$N_y = \frac{1100}{890}$$

ดังนั้น

$$N_y = 1.24$$

แรงต่ำสุดที่ทำให้แผ่นตายด้านบนเคลื่อนออกจากเหล็กแผ่นล่างด้านล่าง (P_0)

จากสมการที่ (20)

$$P_0 = \frac{F_t}{1-C}$$

จะได้

$$P_0 = \frac{12380}{1-0.17}$$

ดังนั้น

$$P_0 = 14916 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบความปลอดภัยสำหรับการต่อต้านการแยกกันระหว่างแผ่นด้ายด้านบนกับเหล็กแผ่นล่าง
ด้านล่าง (N_{sep})

จากสมการที่ (21)

$$N_{sep} = \frac{P_0}{P}$$

จะได้

$$N_{sep} = \frac{14916}{1364}$$

ดังนั้น

$$N_{sep} = 11$$

3.5 การคำนวณสปริง

คำนวณสปริงเพื่อต้นชุดพินซีไปอยู่ ณ ตำแหน่งเริ่มกระบวนการ จากตารางที่ 2.5 เลือกสปริง
ชนิด ASTM A401 แบบ Square-ground ends เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 55 มิลลิเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด 5 มิลลิเมตร ค่านิจสปริง 45.8 นิวตันต่อมิลลิเมตร ในขณะที่ตัดสปริงหดไป
7 มิลลิเมตร และระยะที่หดเมื่อรับภาระก่อน 3 มิลลิเมตร ใช้สปริงจำนวน 2 ตัว เปรียบเทียบการโก่ง
เดาะของสปริงจากรูปที่ 2.4 คำนวณแรงกระทำสำหรับสปริง 1 ตัว

แรงสูงสุดที่เกิดในสปริง (F_{KC})

จากสมการที่ (22)

$$F_{KC} = kx_c$$

จะได้

$$F_{KC} = (45.8)(7)$$

ดังนั้น

$$F_{KC} = 321 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดัชนีสปริง (C)

จากสมการที่ (23)

$$C = \frac{D}{d}$$

จะได้

$$C = \frac{25}{5}$$

ดังนั้น

$$C = 5$$

ค่าตัวประกอบแรงเฉือนตรง (K_s)

จากสมการที่ (24)

$$K_s = 1 + \frac{0.5}{5}$$

จะได้

$$K_s = 1.10$$

ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น (σ_s)

จากสมการที่ (25)

$$\sigma_s = K_s \left(\frac{8FD}{\pi d^3} \right)$$

จะได้

$$\sigma_s = 1.10 \left(\frac{8(321)(25 \times 10^{-3})}{\pi(5 \times 10^{-3})^3} \right)$$

ดังนั้น

$$\sigma_s = 180 \text{ MPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความทนแรงดึง (S_{ut})

จากสมการที่ (26)

$$S_{ut} = Ad^b$$

จะได้

$$S_{ut} = 2059.2(5)^{-0.0934}$$

ดังนั้น

$$S_{ut} = 1772 \text{ MPa}$$

ความทนแรงเฉือน (S_{us})

จากสมการที่ (27)

$$S_{us} = 0.7S_{ut}$$

จะได้

$$S_{us} = 0.7(1772)$$

ดังนั้น

$$S_{us} = 1187 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย (N_y)

จากสมการที่ (28)

$$N_y = \frac{S_{us}}{\sigma_s}$$

จะได้

$$N_y = \frac{1187}{180}$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา $N_y = 6.59$ ใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนขดใช้งาน (N_a)

จากสมการที่ (29)

$$N_a = \frac{d^4 G}{8D^3 k}$$

จะได้

$$N_a = \frac{(5 \times 10^{-3})^4 (80 \times 10^9)}{8(25 \times 10^{-3})^3 \frac{45.8}{10^{-3}}}$$

ดังนั้น

$$N_a = 7$$

จำนวนขดทั้งหมด (N_t)

จากสมการที่ (30)

$$N_t = N_a + 2$$

จะได้

$$N_t = 7 + 2$$

ดังนั้น

$$N_t = 9$$

ความยาวของสปริงเมื่อหดสูงสุด (L_s)

จากสมการที่ (31)

$$L_s = dN_t$$

จะได้

$$L_s = (5 \times 10^{-3})9$$

เอกสารนี้ **ดั่งนั้น** เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_s = 0.045 \text{ m}$$

ระยะหดสูงสุด (y_s)

จากสมการที่ (32)

$$y_s = L_f - L_s$$

จะได้

$$y_s = 0.055 - 0.045$$

ดังนั้น

$$y_s = 0.010 \text{ m}$$

แรงสปริงเมื่อระยะหดสูงสุด (F_{shut})

จากสมการที่ (33)

$$F_{shut} = ky_s$$

จะได้

$$F_{shut} = \left(\frac{45.8}{10^{-3}} \right) (0.010)$$

ดังนั้น

$$F_{shut} = 458 \text{ N}$$

ความเค้นเฉือนเมื่อระยะหดสูงสุด (σ_{shut})

จากสมการที่ (34)

$$\sigma_{shut} = K_s \left(\frac{8FD}{\pi d^3} \right)$$

จะได้

$$\sigma_{shut} = 1.1 \left(\frac{8(458)(25 \times 10^{-3})}{\pi(5 \times 10^{-3})^3} \right)$$

เอกสารนี้ **ดั่งนั้น** เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_{shut} = 257 \text{ MPa}$$

ตัวประกอบความปลอดภัย ($N_{s_{shut}}$)

จากสมการที่ (35)

$$N_{s_{shut}} = \frac{S_{us}}{\sigma_{shut}}$$

จะได้

$$N_{s_{shut}} = \frac{1187}{257}$$

ดังนั้น

$$N_{s_{shut}} = 4.62$$

ตรวจสอบการโก่งเดาะ

จากสมการ

$$\frac{L_f}{D} = \frac{55}{25} = 2.2$$

และสมการที่ (36)

$$\frac{y_{max}}{L_f} = \frac{y_{initial} + y_{working}}{L_f} = \frac{3 + (7 - 3)}{55} = 0.128$$

นำค่าทั้งสองไปเทียบในรูปที่ 2.4 พบว่าสปริงที่ใช้เสถียร ไม่เกิดการโก่งเดาะ

มวลสปริง (W)

จากสมการที่ (37)

$$W = \frac{\pi^2 d^2 D N_t v}{4}$$

จะได้

$$W = \frac{\pi^2 (5 \times 10^{-3})^2 (25 \times 10^{-3}) (9) (7861)}{4}$$

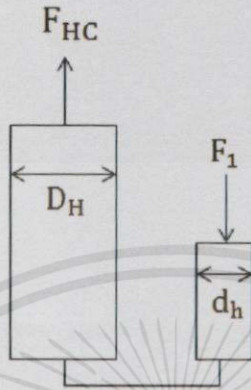
เอกสารนี้ **ดั่งนั้น** เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W = 0.11 \text{ kg}$$

3.6 แรงโยกคานไฮดรอลิก (F_a)

3.6.1 แรงโยกคานไฮดรอลิกเพื่อตัดชิ้นงาน (F_{a1})



รูปที่ 3.10 ระบบไฮดรอลิกขณะตัดชิ้นงาน

จากสมการ

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_{HC}}{A_H}$$

$$\frac{F_1}{\frac{\pi d_h^2}{4}} = \frac{F_{HC}}{\frac{\pi D_H^2}{4}}$$

โดย F_1 คือ แรงกระทำต่อลูกสูบเล็กไฮดรอลิก

F_{HC} คือ แรงไฮดรอลิกขณะตัดชิ้นงาน

D_H คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบใหญ่ไฮดรอลิก

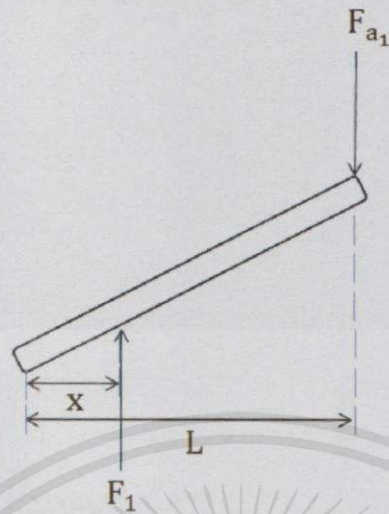
d_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบเล็กไฮดรอลิก

จะได้

$$\frac{F_1}{\frac{\pi (12 \times 10^{-3})^2}{4}} = \frac{5455}{\frac{\pi (22 \times 10^{-3})^2}{4}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_1 = 1623 \text{ N}$$



รูปที่ 3.11 แรงโยกคานไฮดรอลิก และระยะตั้งฉากขณะตัดชิ้นงาน

จากสมการ

$$\Sigma M_{cw} = \Sigma M_{ccw}$$

$$F_{a_1} L = F_1 x$$

โดย F_{a_1} คือ แรงโยกคานไฮดรอลิกเพื่อตัดชิ้นงาน

F_1 คือ แรงกระทำต่อลูกสูบเล็กไฮดรอลิก

L คือ ระยะห่างตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรงที่กระทำต่อแรงโยกคานไฮดรอลิก

x คือ ระยะห่างตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรงที่กระทำต่อแรงที่ลูกสูบเล็ก

จะได้

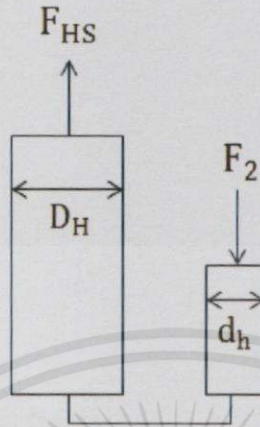
$$F_{a_1} = \frac{(1623)(27)}{252}$$

ดังนั้น

$$F_{a_1} = 174 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 แรงโยกคานไฮดรอลิกขณะปั๊มขึ้นรูป (F_{a_2})



รูปที่ 3.12 แรงในระบบไฮดรอลิกขณะปั๊มขึ้นงาน

จากสมการ

$$\frac{F_2}{A_2} = \frac{F_{HS}}{A_H}$$

$$\frac{F_2}{\frac{\pi d_h^2}{4}} = \frac{F_{HS}}{\frac{\pi D_H^2}{4}}$$

โดย F_2 คือ แรงกระทำต่อลูกสูบเล็กไฮดรอลิก

F_{HS} คือ แรงไฮดรอลิกขณะปั๊มขึ้นรูปขึ้นงาน

D_H คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบใหญ่ไฮดรอลิก

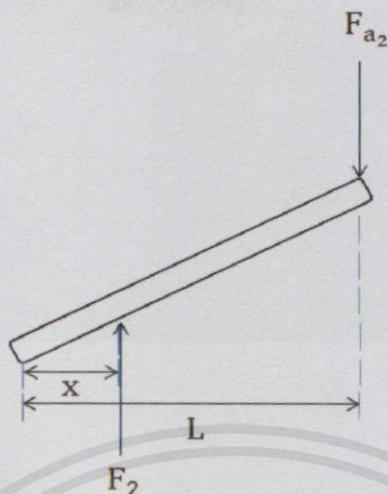
d_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบเล็กไฮดรอลิก

จะได้

$$\frac{F_2}{\pi (12 \times 10^{-3})^2} = \frac{1422}{\pi (22 \times 10^{-3})^2}$$

เอกสารนี้ **ดั่งนั้น** เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_2 = 423 \text{ N}$$



รูปที่ 3.13 แรงโยกคานไฮดรอลิกและระยะตั้งฉากขณะปั๊มขึ้นงาน

จากสมการ

$$\sum M_{cw} = \sum M_{ccw}$$

$$F_{a_2} L = F_2 x$$

โดย F_{a_2} คือ แรงโยกคานไฮดรอลิกเพื่อปั๊มขึ้นรูปขึ้นงาน

F_2 คือ แรงกระทำต่อลูกสูบเล็กไฮดรอลิก

L คือ ระยะห่างที่ตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรงที่กระทำต่อแรงที่ใช้โยกคาน

x คือ ระยะห่างที่ตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรงที่กระทำต่อแรงที่ลูกสูบเล็ก

จะได้

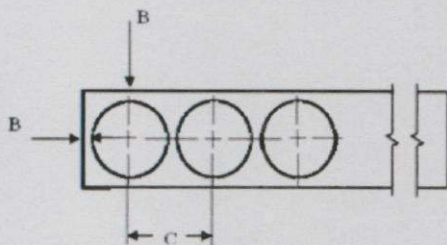
$$F_{a_2} = \frac{(423)(27)}{252}$$

ดังนั้น

$$F_{a_2} = 45 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การคำนวณออกแบบแผ่นชิ้นงาน



รูปที่ 3.14 แสดงระยะห่างของแผ่นชิ้นงาน
ระยะเผื่อระหว่างชิ้นงานเมื่อระยะ C น้อยกว่า 83 มิลลิเมตร คำนวณได้จากสมการที่ (38)

จะได้

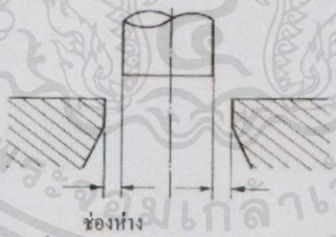
$$B = 1.5T$$

ดังนั้น

$$B = 1.5 \times 2$$

$$B = 3 \text{ mm}$$

3.8 การคำนวณระยะช่องห่าง



รูปที่ 3.15 แสดงระยะช่องห่าง

กำหนดให้ช่องห่างเป็น 2.5% ของความหนาชิ้นงาน

จะได้

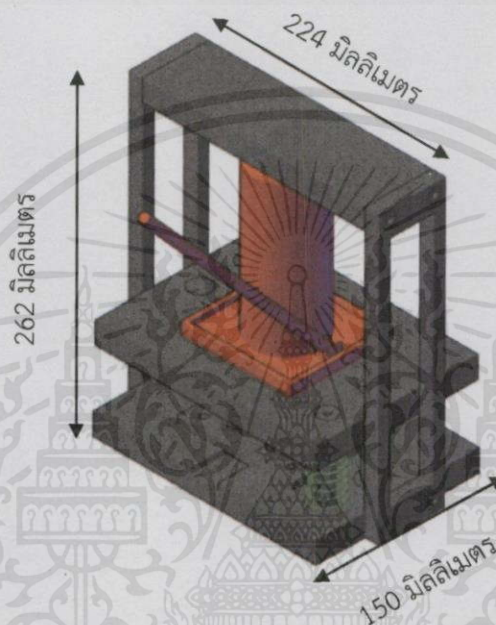
$$\text{Clearance} = 0.025 \times 2$$

เอกสารนี้ **ดั่งนั้น** เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Clearance = 0.005 mm

บทที่ 4

การออกแบบ

4.1 การออกแบบเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก



รูปที่ 4.1 ภาพเขียนแบบรวมเครื่อง

เครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็กที่ออกแบบต้องการตัดและปั๊มชิ้นงานในขั้นตอนเดียวกัน จึงออกแบบให้มีพื้นที่ 2 ตัว ตัวแรกสำหรับตัดชิ้นงาน ตัวที่สองสำหรับปั๊มชิ้นงาน และใช้เหล็กแผ่นยึดพื้นที่ทั้งสองไว้กับแผ่นเหล็กสำหรับรองไฮดรอลิก เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ จึงใช้ชุดไกด์เป็นตัวกำหนดชุดพื้นที่ให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลงที่ตำแหน่งเดิมเสมอ และใช้ด้ายเป็นแผ่นเจาะรูขนาดเท่ากับขนาดชิ้นงาน มีสลักนำ 4 ตัวเพื่อประคองแผ่นชิ้นงานให้พื้นที่เคลื่อนที่ลงมาที่จุดกึ่งกลางของแผ่นชิ้นงาน และมีหมุดกักเพื่อกำหนดระยะในการตัดและปั๊มชิ้นงาน ชิ้นงานจะหล่นลงบนเหล็กฐานผ่านช่องด้าย และใช้สปริงเพื่อดันชุดพื้นที่ให้กลับขึ้นไป ณ ตำแหน่งก่อนเริ่มกระบวนการ ใช้ควบคู่ไปกับสตรีปเปอร์โบลต์ที่เป็นตัวกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นเหล็กรองไฮดรอลิกกับแผ่นเหล็กฐาน ใช้แผ่นเหล็กเป็นเสาโครงสร้างและยึดกับเหล็กแผ่นบน เพื่อให้แม่แรงไฮดรอลิกดันชุดพื้นที่ลงมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก

4.2.1 แม่แรงไฮดรอลิก

แรงตัดมีขนาด 4814 นิวตัน จากหัวข้อ 3.1.1 จึงได้เลือกใช้แม่แรงขนาด 2 ตัน เพราะเป็นขนาดเล็กสุดที่หาได้

4.2.2 พันซ์สำหรับตัดและขึ้นรูป

ต้องการชิ้นงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร จึงออกแบบให้พันธซ์ตัดชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.9 มิลลิเมตร เนื่องจากระยะช่องห่างเท่ากับร้อยละ 2.5 ของความหนาชิ้นงาน และความยาว 40 มิลลิเมตร และพันธซ์บีบชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24.99 มิลลิเมตร และความยาว 37.7 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องการลายขนาด 20 มิลลิเมตร พันซ์บีบชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ไม่สามารถกัดลายให้มีขนาดตามต้องการได้

4.2.3 แผ่นบน

ใช้รับแรงจากไฮดรอลิก เพื่อให้ไฮดรอลิกดันชุดแม่พิมพ์ลงไปตัดและบีบขึ้นรูปชิ้นงาน

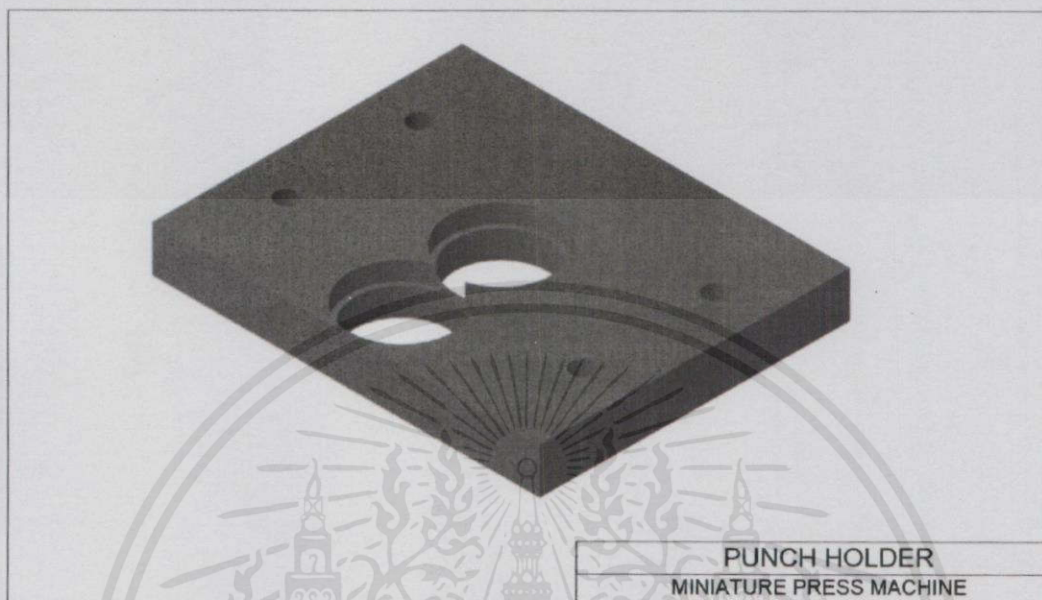


รูปที่ 4.2 ภาพเขียนแบบแผ่นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 แผ่นยึดฟันซ์

ออกแบบเพื่อยึดฟันซ์ทั้ง 2 ตัวไว้ให้อยู่ตรงจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 4.3 ภาพเขียนแบบแผ่นยึดฟันซ์

4.2.5 แผ่นกลาง

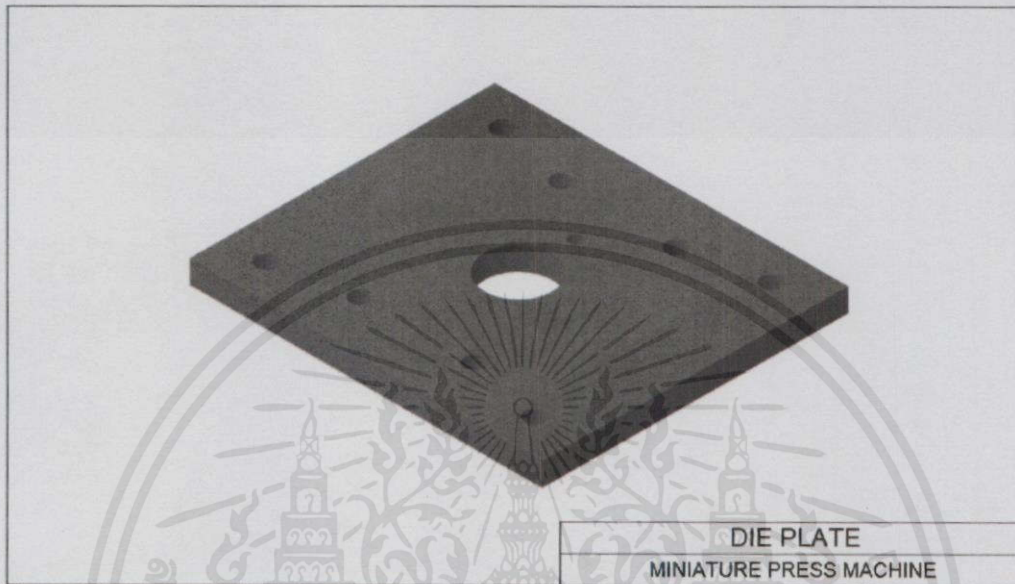
ออกแบบเพื่อรองแม่แรงไฮดรอลิกที่ทำให้ชุดแม่พิมพ์เคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้



รูปที่ 4.4 ภาพเขียนแบบแผ่นกลาง

4.2.6 แผ่นด้าย

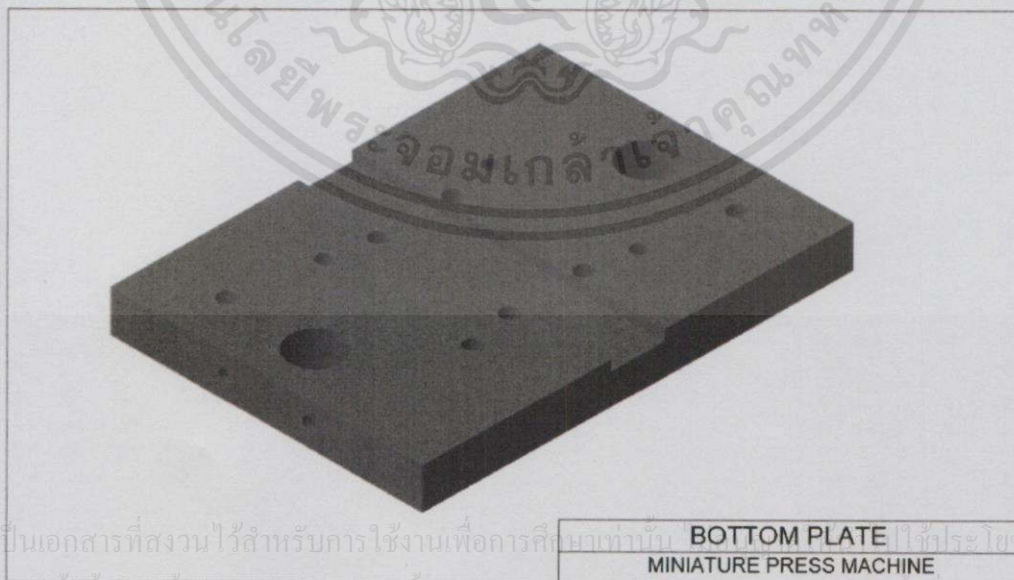
ต้องการชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ใช้คู่กับพินซ์เพื่อใช้ในการตัดและบีบขึ้นรูปชิ้นงาน



รูปที่ 4.5 ภาพเขียนแบบแผ่นด้าย

4.2.7 แผ่นล่าง

ออกแบบให้ยึดกับเสาและทำร่องไว้ให้ชิ้นงานทล่นลงมา

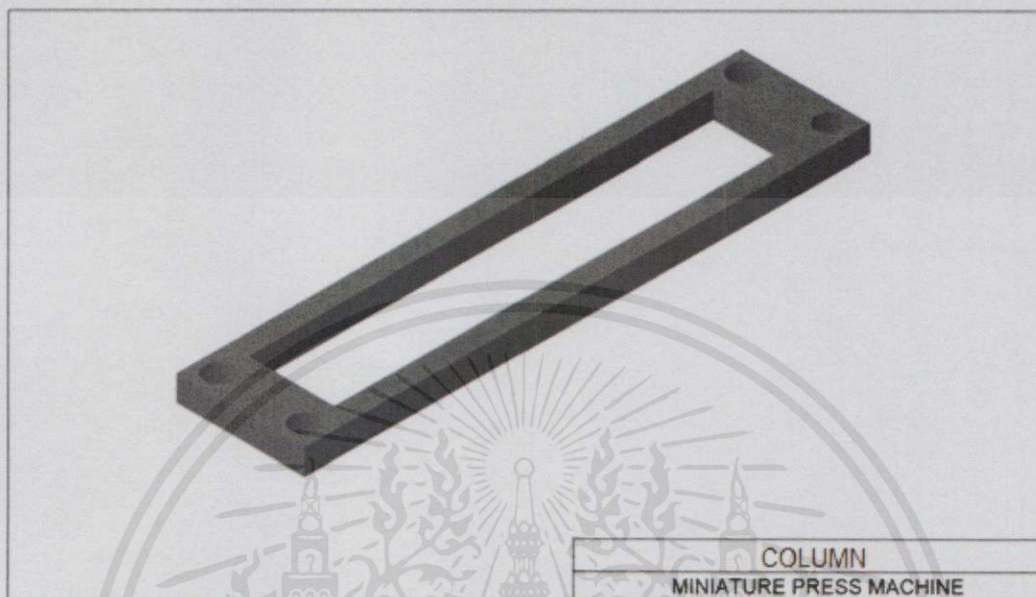


รูปที่ 4.6 ภาพเขียนแบบแผ่นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำออกจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 เสา

ใช้ประกอบเครื่องให้สมดุลยึดติดกับแผ่นบนและแผ่นล่าง



รูปที่ 4.7 ภาพเขียนแบบเสา

4.2.9 สปริงและสตรีปเปอร์โบลต์

ใช้ดันชุดแม่พิมพ์ให้กลับไปยังตำแหน่งเดิมยังจุดที่ได้กำหนดไว้

4.2.10 ชุดไกด์

ประกอบชุดแม่พิมพ์ให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลง ในตำแหน่งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล วิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการใช้ทฤษฎีการเสียรูปของวัสดุ ทฤษฎีการรับแรงเฉือนของโบลต์ ทฤษฎีการรับภาระก่อนของตัวยึดภายใต้การรับแรงสถิตของโบลต์ และทฤษฎีขดสปริงรับแรงกดเนื่องจากแรงสถิต ช่วยให้สามารถออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็กให้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย ประกอบกับการใช้หลักการออกแบบชุดแม่พิมพ์พื้นฐาน สามารถลดชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ในเครื่องปั๊มโลหะขนาดใหญ่ที่เหลือเพียงชิ้นส่วนอย่างง่ายที่จำเป็น เครื่องปั๊มโลหะจึงมีขนาดเล็กลงและมีความซับซ้อนน้อยลง

จากการออกแบบและสร้างเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก มีมิติต่าง ๆ เป็นดังนี้ ความกว้าง 150 มิลลิเมตร ความยาว 224 มิลลิเมตร และความสูง 262 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 14 กิโลกรัม สามารถพกพาเพื่อใช้ในภาคสนามได้ และสามารถใช้ปั๊มเหรียญตะกั่วเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรได้ด้วยแรงม็อกด 174 นิวตัน ได้แรงกดจากไฮดรอลิก 5.46 กิโลนิวตัน มีอัตราการผลิต 60 เหรียญต่อชั่วโมง

5.2 วิจัย

จากการออกแบบและสร้างเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก พบว่าชนิดของวัสดุโครงสร้างส่งผลอย่างมากต่อขนาดและน้ำหนักของเครื่องขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความแรงครากของวัสดุ วัสดุที่เหมาะสมมีความหนาแน่นต่ำ มีความแรงครากสูง และมีราคาที่ไม่สูงเกินไป ทางคณะผู้จัดทำเลือกวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด ซึ่งมีความแรงครากสูง ราคาถูก แต่มีความหนาแน่นสูง ส่วนอัตราการผลิตสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยใช้ระบบอัตโนมัติแทนระบบด้วยมือ ซึ่งจะทำให้ระบบซับซ้อนขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตก็ย่อมสูงตามมา ในอนาคตอาจสามารถลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องและเพิ่มอัตราการผลิต ถ้ามีงบประมาณมากเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการสร้างเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก คณะผู้จัดทำได้ทราบถึงปัญหาของเครื่อง ที่ยังมีขนาด และน้ำหนักที่มากเกินไป สามารถทำให้เล็กลงได้จากการคำนวณตามสมการที่คณะผู้จัดทำได้คำนวณไว้ และการป้อนชิ้นที่ทำได้ช้า สามารถแก้ไขได้จากชิ้นงานที่ถูกป้อน โดยทำให้ชิ้นงานพอดีกับช่องที่ได้กำหนดระยะไว้ เครื่องปั๊มโลหะเครื่องนี้สามารถพัฒนาให้ปั๊มโลหะที่มีความแข็งแรงสูงกว่าตะกั่วได้อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] กฤษตฤณ กฤติยะวงศ์, ธีรภัทร จำรัสพันธ์, ประธรวีทย์ บุตรชา และ ปรัชญา ทองทัตศินีย์พร. 2555. **ปริญญานิพนธ์ การออกแบบและทดสอบเครื่องบีบขึ้นรูปโลหะแบบไฮดรอลิกส์ขนาด 10 ตันแบบมีตายคู่ชั้น**, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น
URL: http://mis.en.kku.ac.th/project/project_detail.php?projectID=ME%20201218&start=500&proName=&proDep=&proYear=
- [2] Beer, F. P. and others. 2009. **Mechanics of Materials**. 5th ed. New York : McGraw-Hill.
- [3] มงคล จิรวีชรเดช. 2548. **กลศาสตร์วัสดุ**. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล.
- [4] Kalpakjian, S. and Schmid, S. R. 2008. **Manufacturing Processes for Engineering Materials**. 5th ed. Jurong : Prentice Hall
- [5] Norton, R. L. 2006. **Machine Design An Integrated Approach**. Pearson Prentice Hall
- [6] **Properties of Common Spring Materials**. www.centuryspring.com.
URL: <https://www.centuryspring.com/pdfs/377-381APPENDIX-A.pdf>
- [7] ชานูชัย ทรัพย์ากร และคณะ. 2551. **การออกแบบแม่พิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 21**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [8] **Materials Properties**, www.suhm.net.
URL: http://www.suhm.net/documents/Suhm_MaterialsSizesAndStrengthValues.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

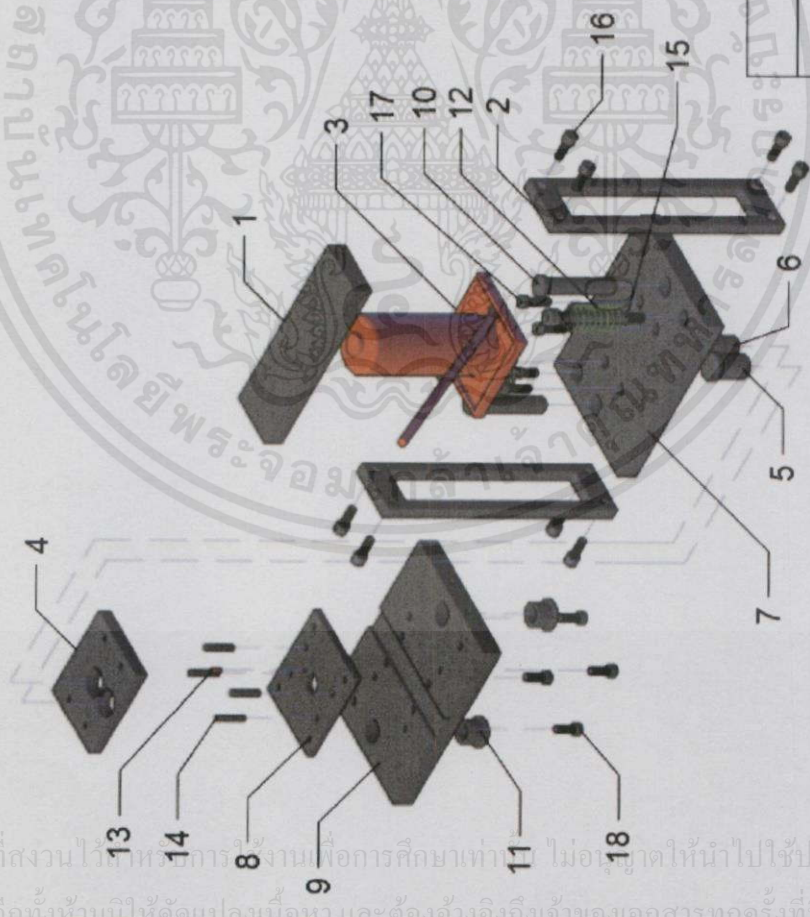


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ภาพเขียนแบบเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก

no.	Qnt.	Parts	Materials
1	1	Top Plate	SS400
2	2	Bars	SS400
3	1	Hydraulic Jack	
4	1	Punch Holder	SS400
5	1	Cutting Punch	SKD11
6	1	Stamping Punch	SKD11
7	1	Middle Plate	SS400
8	1	Die Plate	SKD11
9	1	Bottom Plate	SS400
10	2	Guide Pin	S45C
11	2	Guide Bush	S45C
12	2	Die Spring	JIS B5012
13	1	Stopper Pin	S45C
14	4	Dowel Pin	S45C
15	2	Striper Bolt	
16	8	Bolt (M6)	
17	4	Bolt (M5)	
18	4	Bolt (M5)	



Miniature Press Machine
GROUP D05 ME-KMITL

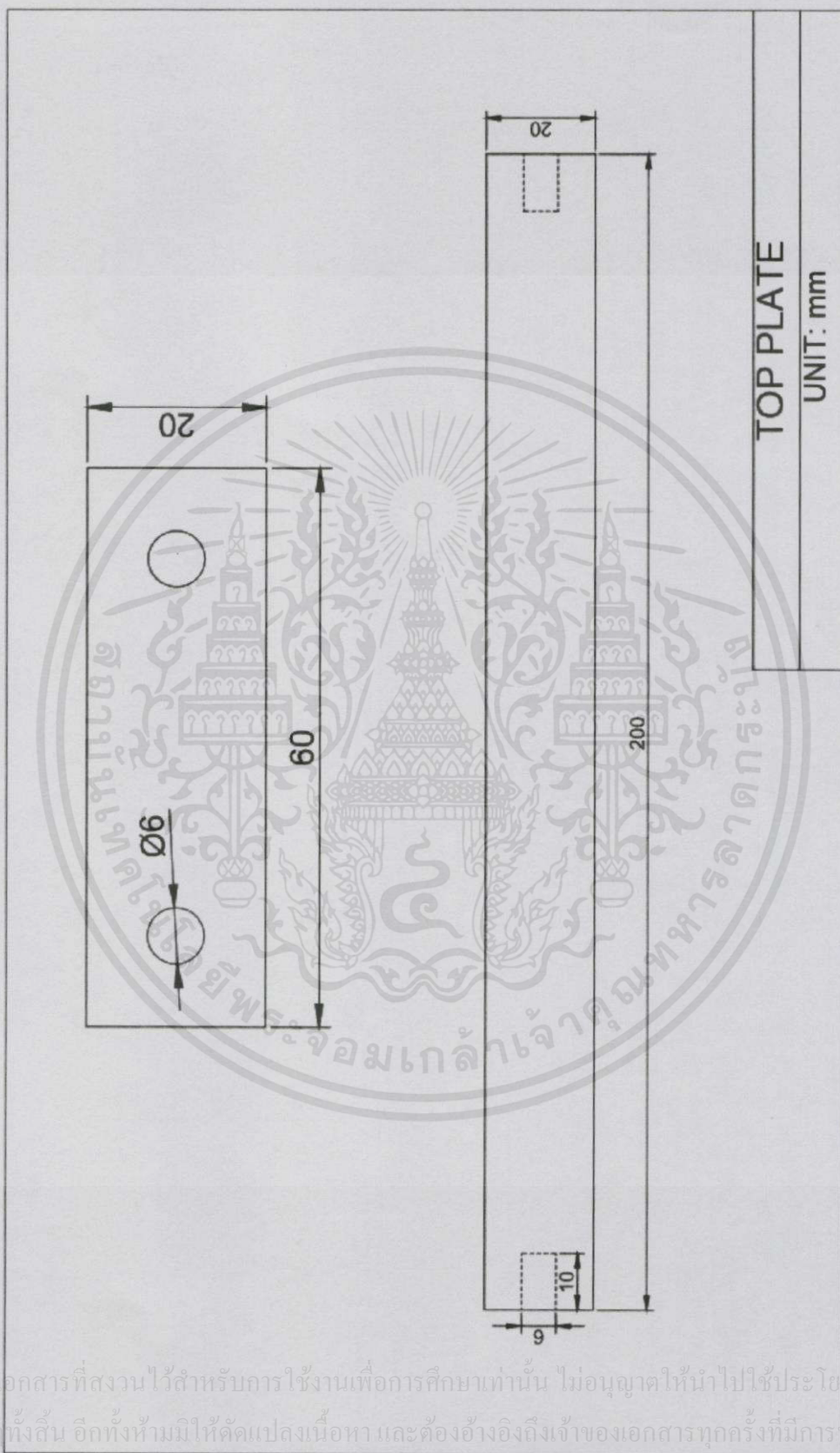
รูปที่ ก.1 ภาพเขียนแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องปั๊มโลหะขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น จีเอ็มพีเอ็นขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและเครื่องหมายการค้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



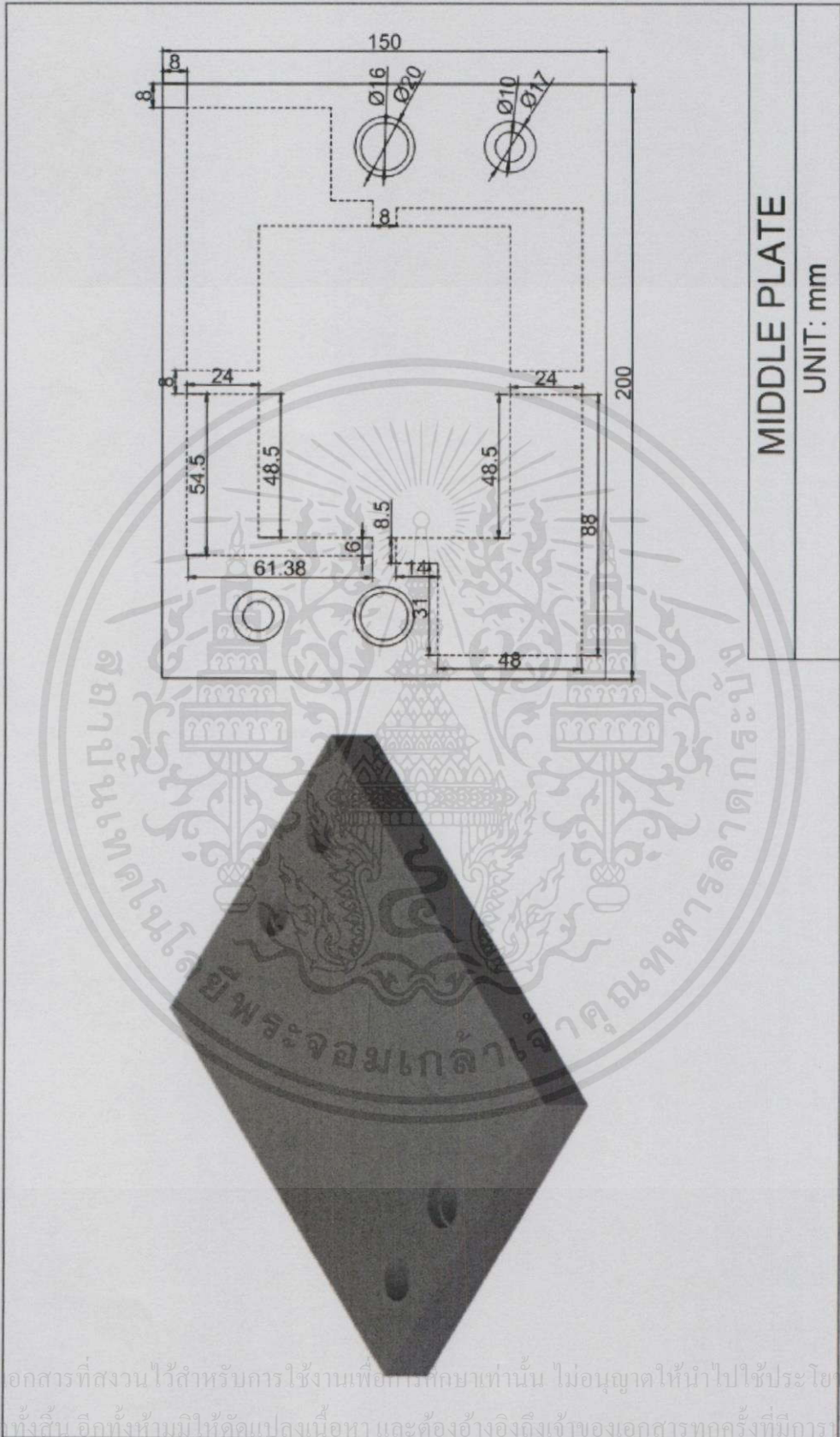
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.2.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นบน



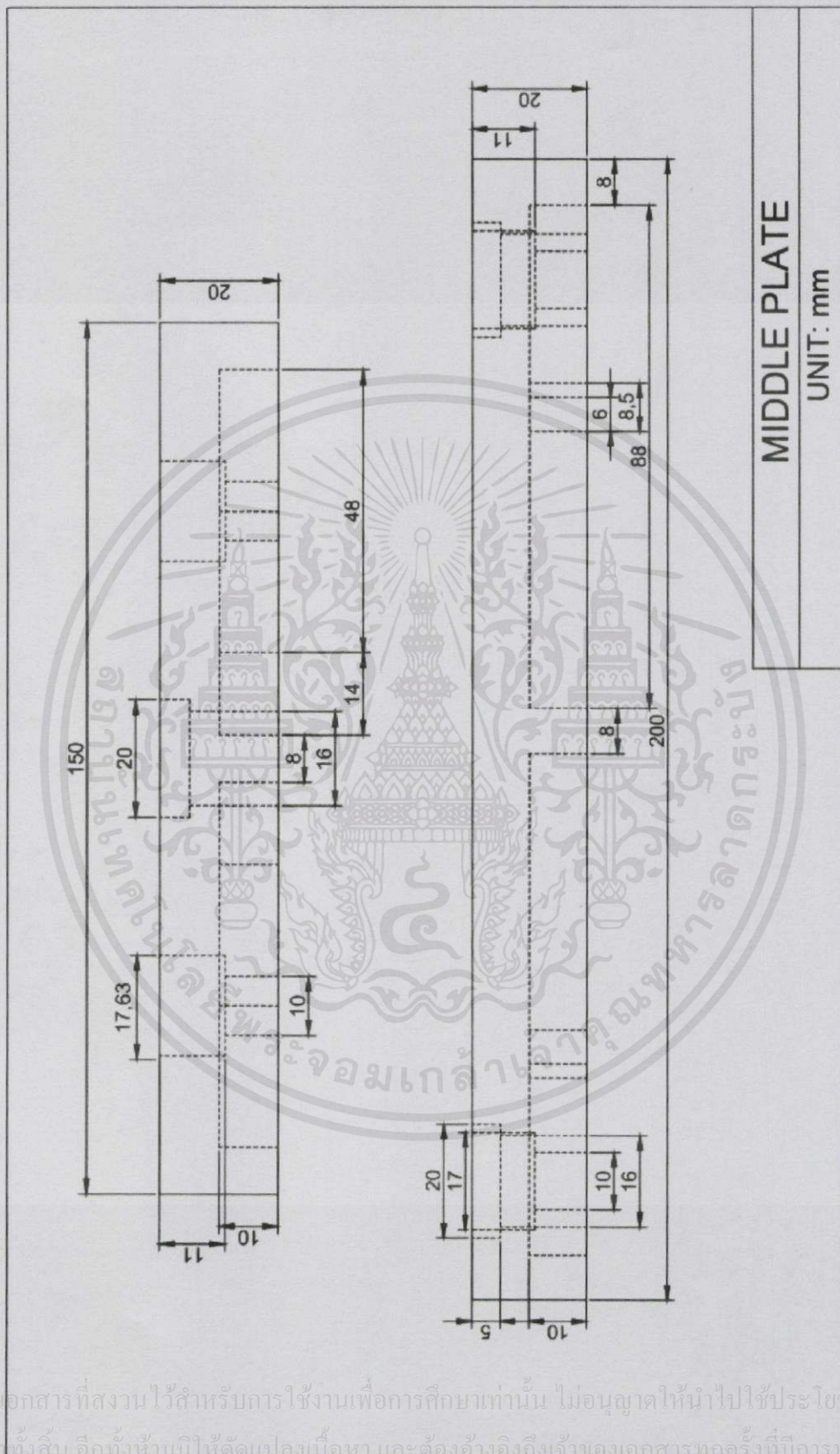
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.2.2 ภาพเขียนแบบและภาพฉายแผ่นบน



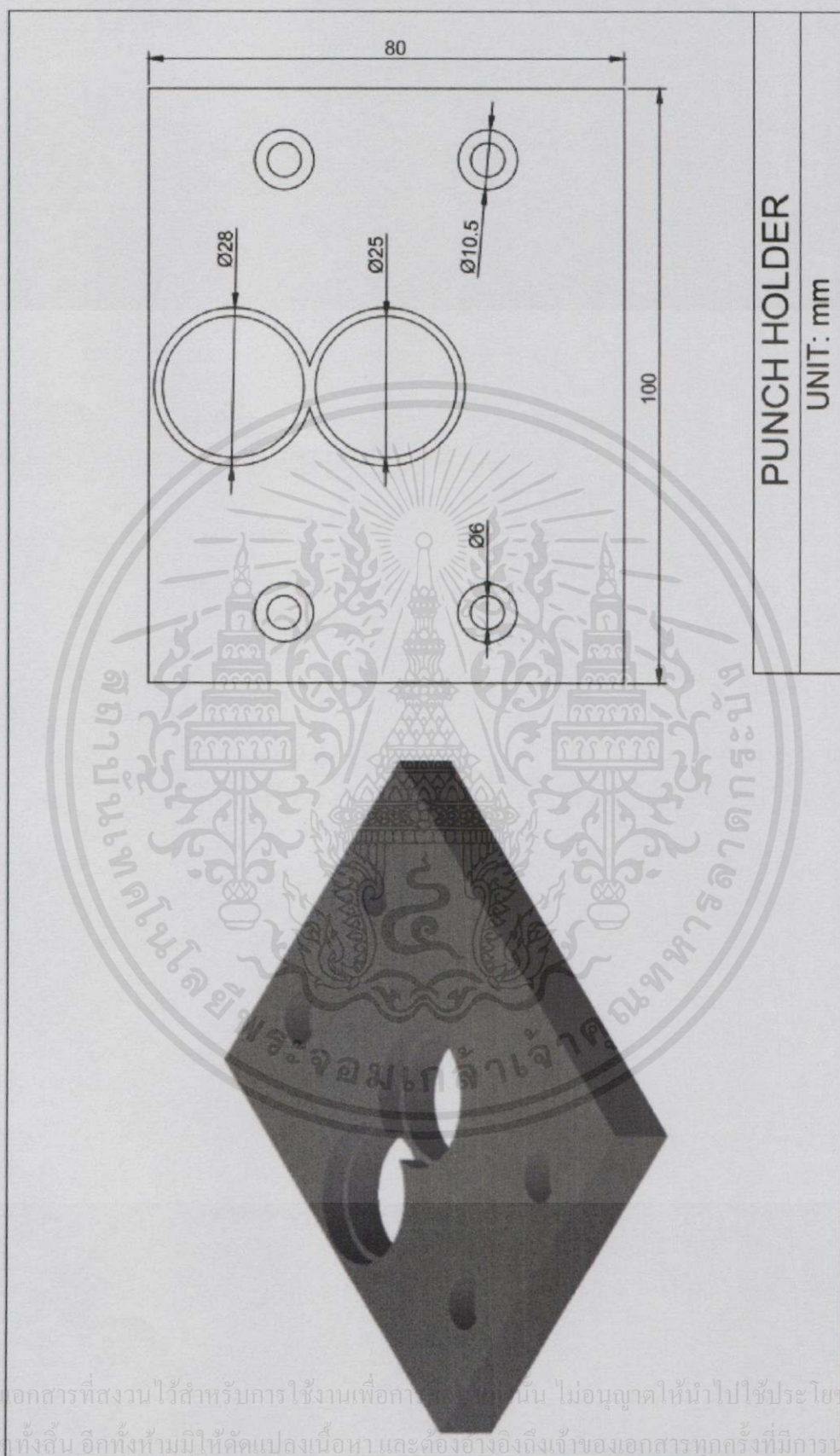
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.3.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นกลาง



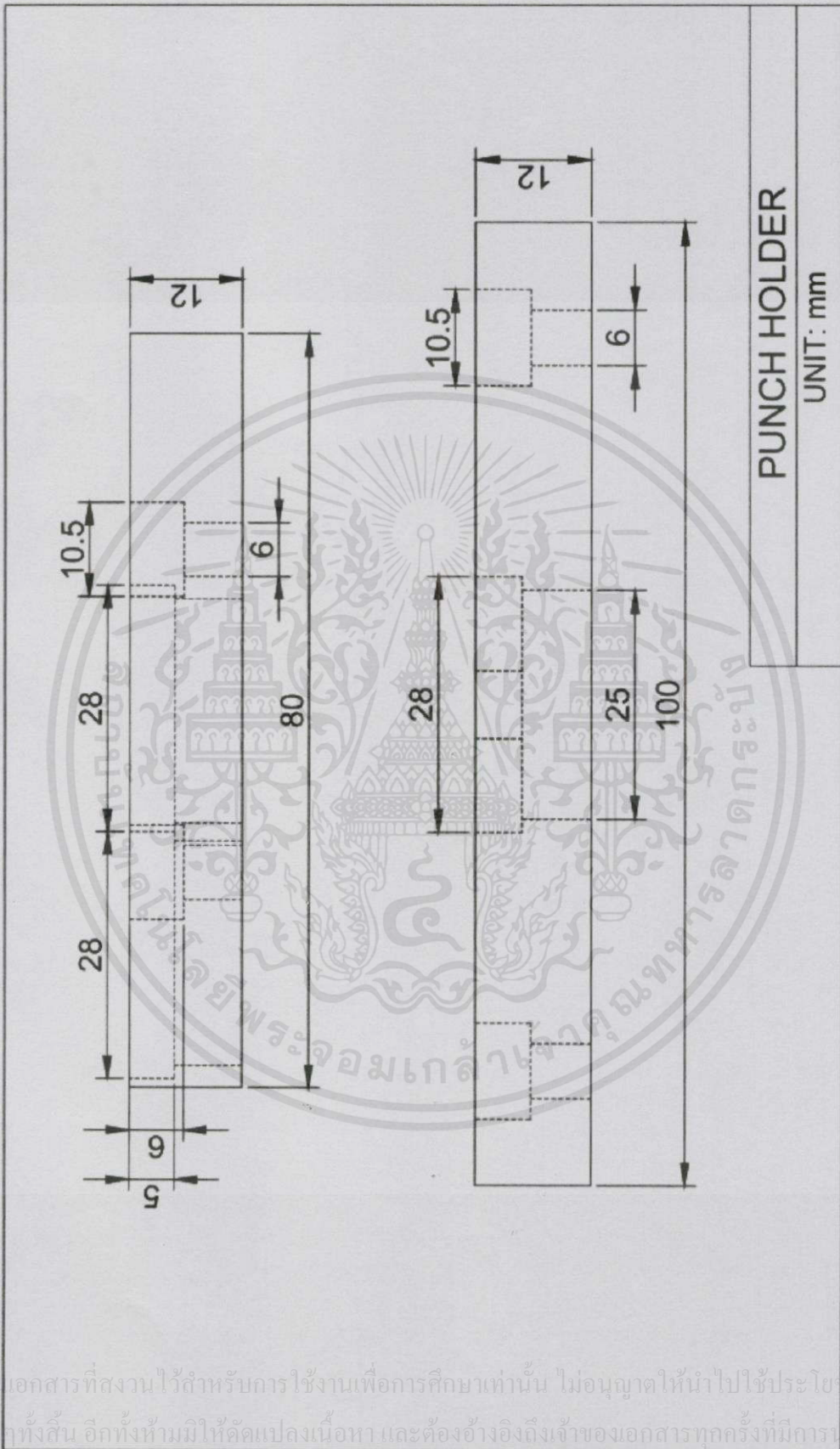
รูปที่ ก.3.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ล็อกทั้งห้าเป็นให้ออปรายละเอียด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



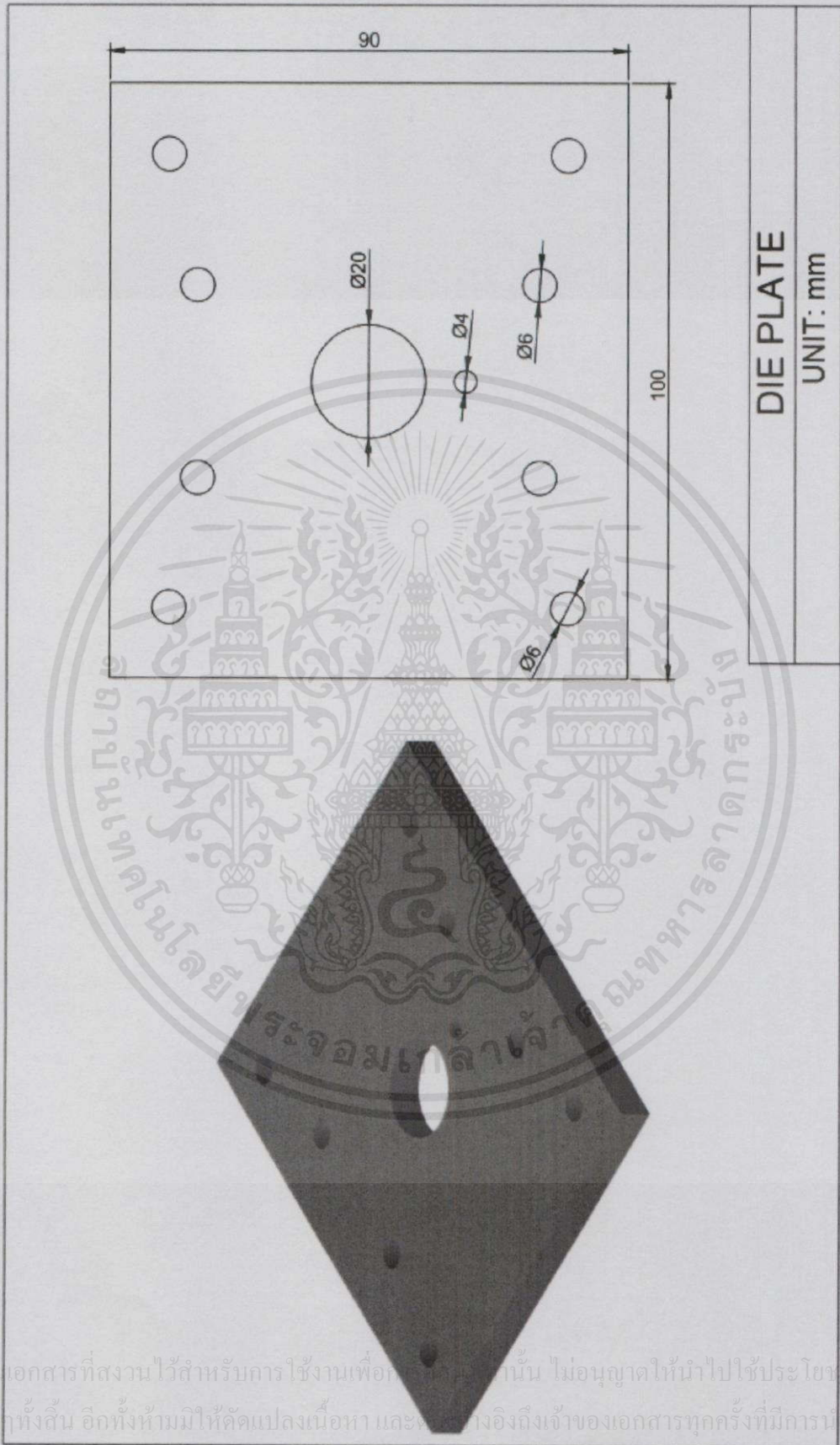
รูปที่ ก.4.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นยึดฟันซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



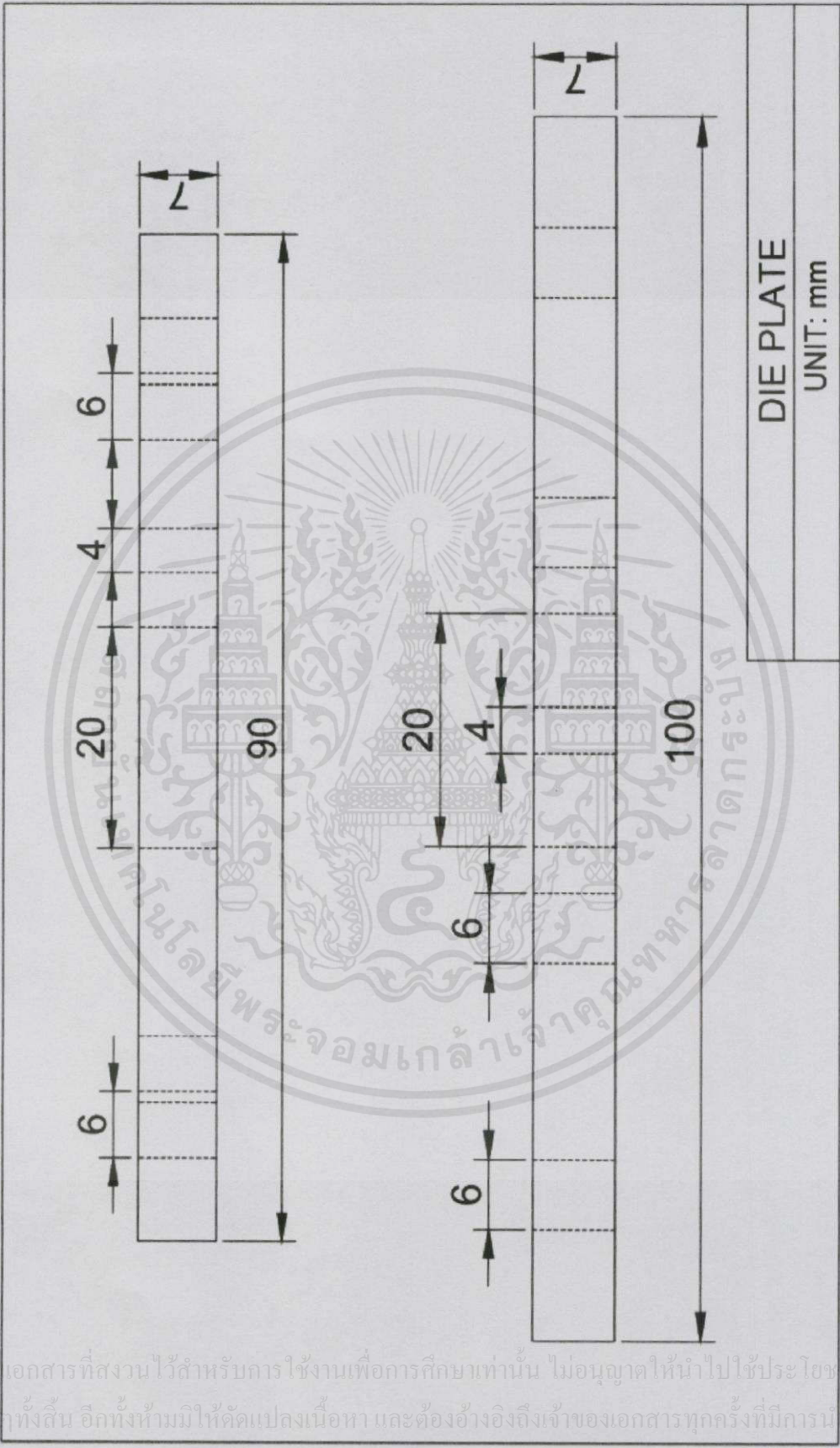
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.4.2 ภาพเขียนแบบและภาพฉายแผ่นยึดพันซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ทางอ้อมถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

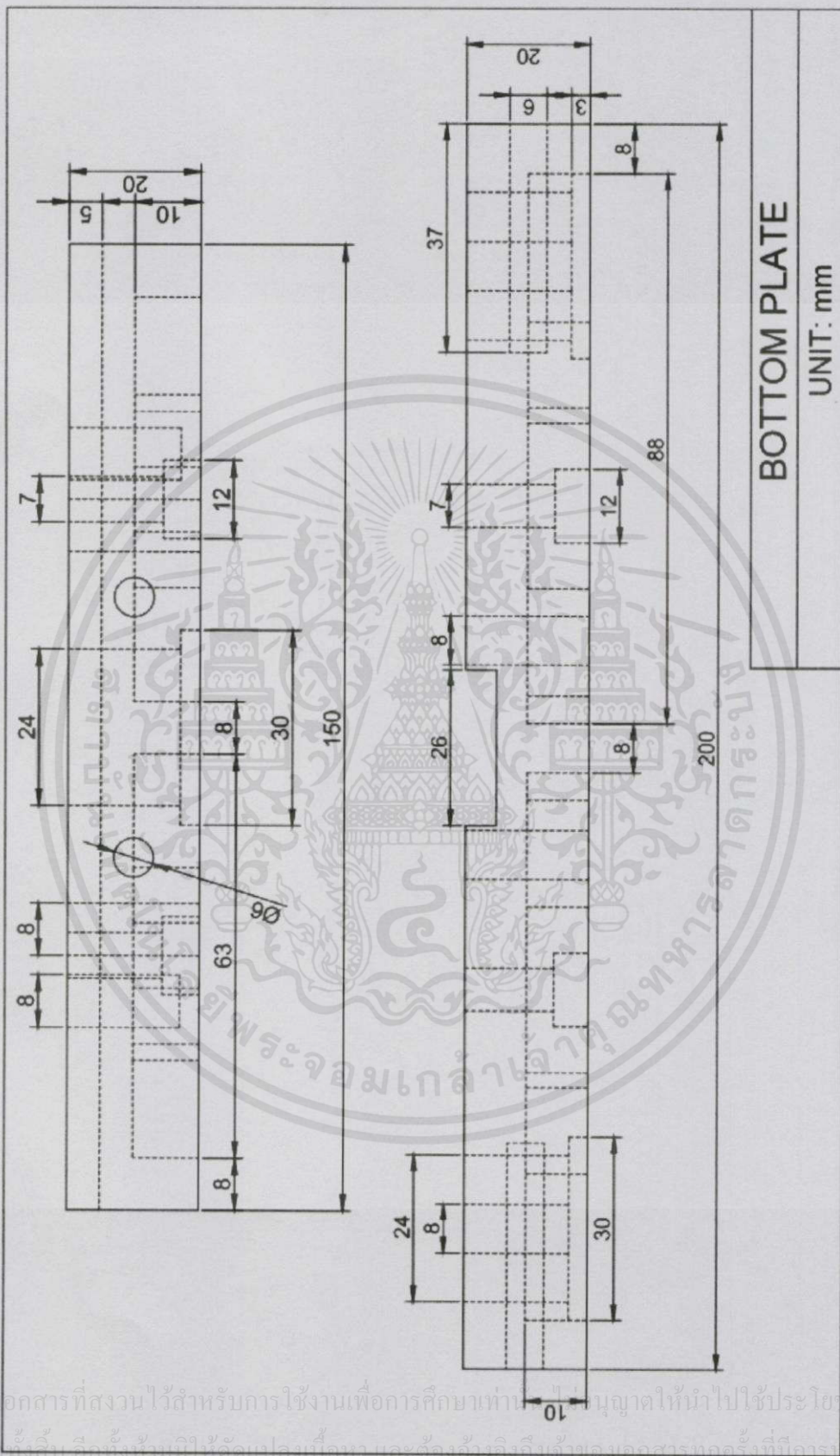
รูปที่ ก.5.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นตาย



DIE PLATE
UNIT: mm

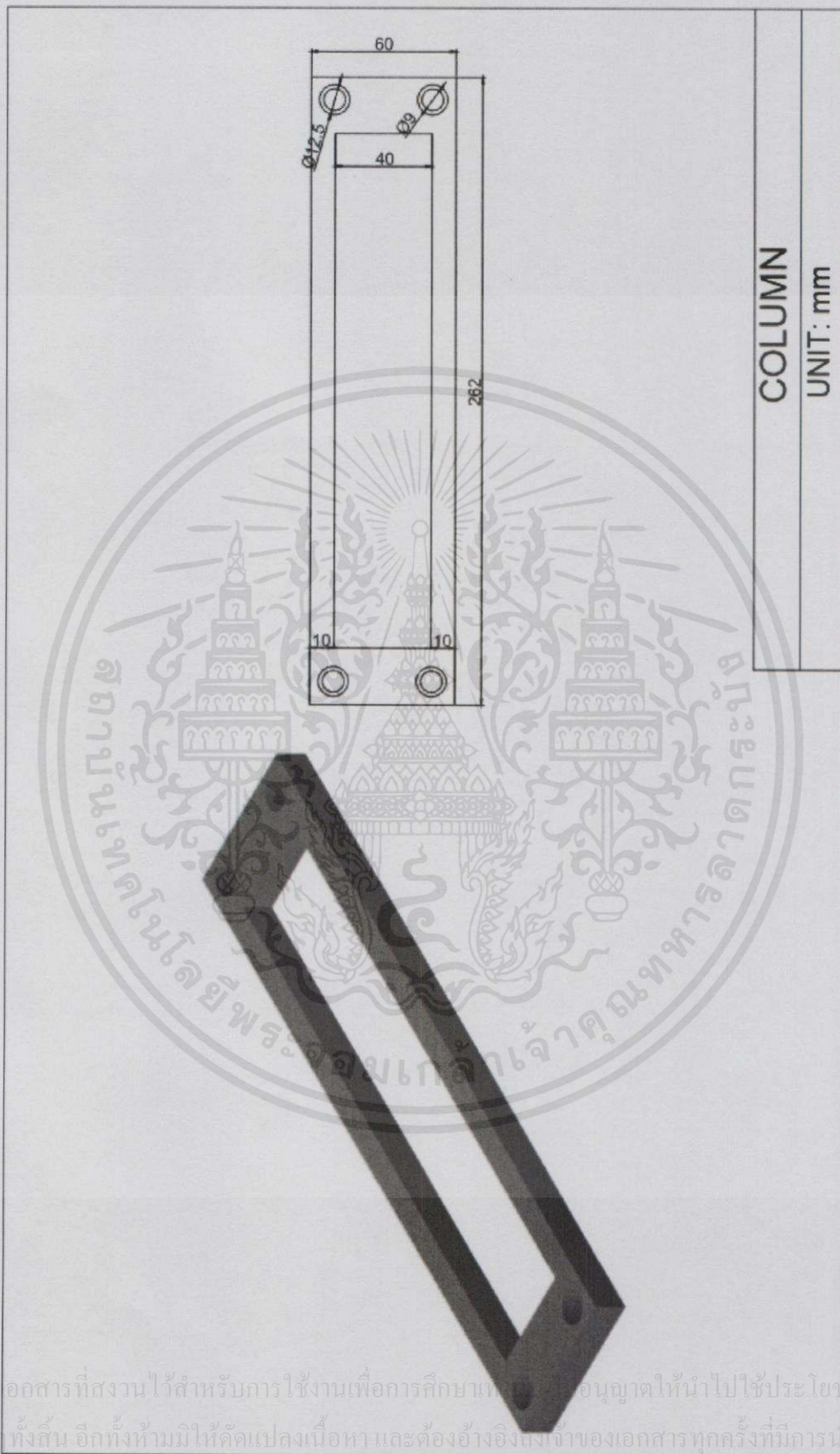
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.5.2 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายแผ่นตาย



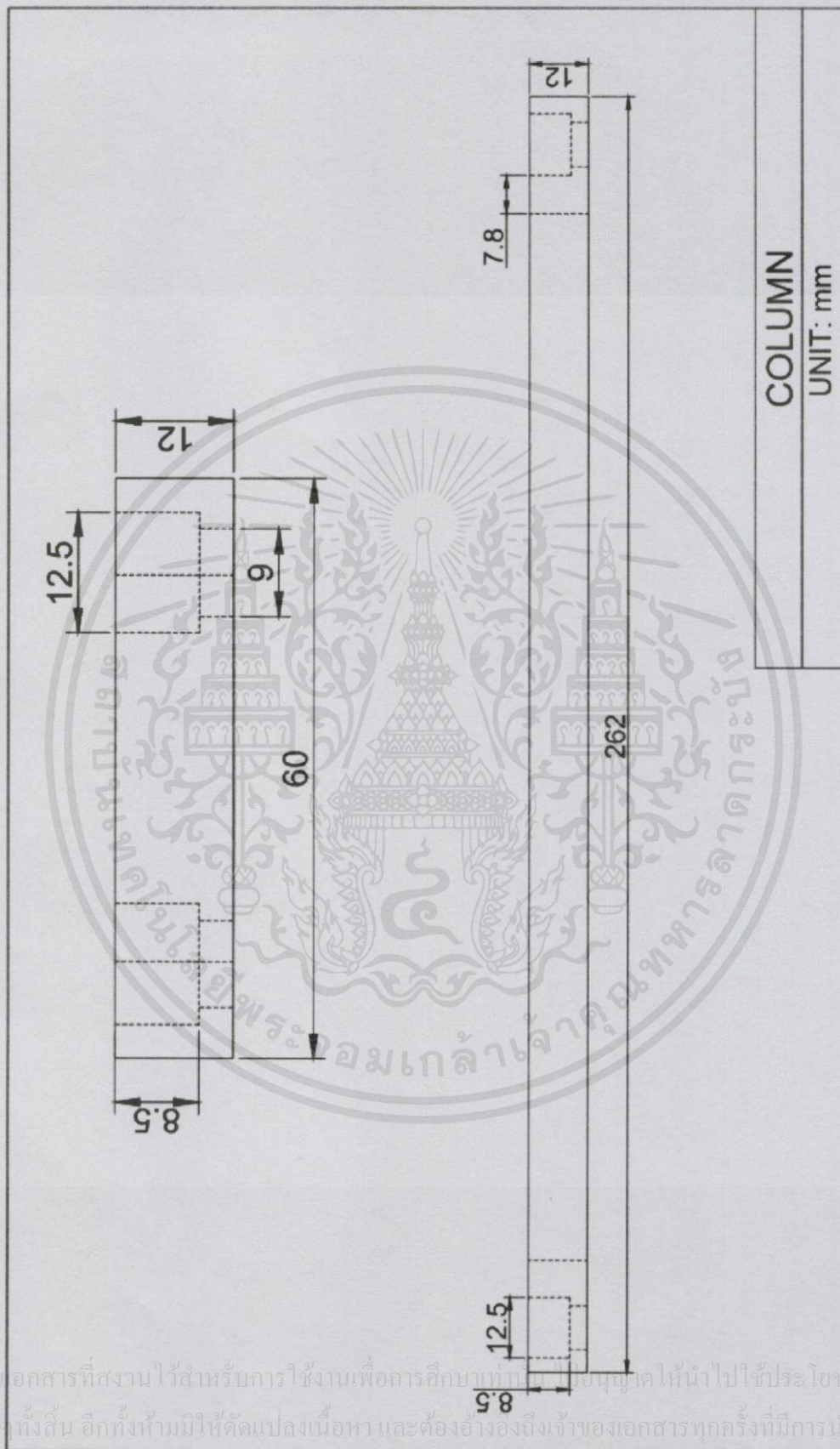
รูปที่ ก.6.2 ภาพเขียนแบบและภาพฉายแผ่นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นข้อมูลภายในและต้องรักษาความลับของเอกสารทุกครั้งที่ไม่การนำไปใช้



รูปที่ ก.7.1 ภาพเขียนแบบและภาพถ่ายเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7.2 ภาพเขียนแบบและภาพฉายเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
สถานที่ติดต่อและจัดซื้ออุปกรณ์

1. บริษัท มิสเตอร์สปริง จำกัด เป็นร้านค้าผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์สปริง สติปเปอร์โบลต์ ติดต่อเพื่อสั่งซื้อสปริงและสติปเปอร์โบลต์ สำหรับรับแรงและกำหนดระยะเวลาในการบีบและตัดตะกั่ว

920-920/1 หมู่ 3 ถ.เทพารักษ์ อ.เมืองฯ จ.สมุทรปราการ 10270 โทร. 0-2753-2211 โทรสาร. 0-2753-2010

2. บริษัท วงตะวัน พรีซิชั่น จำกัด ประกอบกิจการ รับออกแบบ ผลิต ตกแต่งชิ้นส่วนโลหะ ติดต่อเพื่อให้ผลิตตัวเลขที่ใช้ในการปั๊มรูปตะกั่ว

234 ซอยร่มเกล้า 24 แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กทม. 10510 โทร. 02-543-9078 แฟกซ์. 02-543-9079 อีเมล. Sakol072@hotmail.com

3. บริษัท อินเทอร์เน็ต เทคโนโลยี จำกัด เป็นบริษัทผลิตและจำหน่ายชิ้นส่วนมาตรฐาน แม่พิมพ์พลาสติก และแม่พิมพ์ปั๊มโลหะ เช่น พันซ์ ไคเซท ชุดโกดโพสท์ รีเทนเนอร์ แวร์เพลท แผ่นเหล็กเจียรนัย ติดต่อเพื่อซื้อ พันซ์ที่ใช้ในการปั๊มและตัดแผ่นตะกั่ว

907 หมู่ 15 ถนนเทพารักษ์ ตำบลบางเสาธง อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ 10540 โทร. 0-2313-1199 แฟกซ์. 0-2313-1114, 313-1217 อีเมล. Info@intertoolthai.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"