# เครื่องเจาะรูขนาดเล็กแบบอีดีเอ็ม

# SMALL HOLE MADE BY EDM.


โดย

นาย เริงศักดิ์ ประพันธ์ 35104351

นาย สุเมธ ภิญโญสิริพันธุ์ 35104495



วัน เดือน ปี 31 ก.ค. 2540

เลขทะเบียน M 039011

เลขเรียกหนังสือ T 38104 ป799 ค.


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2538

# เครื่องเจาะรูขนาดเล็กแบบอีดีเอ็ม

# SMALL HOLE MADE BY EDM.


โดย

นาย เริงศักดิ์ ประพันธ์ 35104351

นาย สุเมธ ภิญโญสิริพันธุ์ 35104495


อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

( รศ. ทวี เทศเจริญ )


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องเจาะรูขนาดเล็กแบบอีดีเอ็ม

เริงศักดิ์ ประพันธ์
สุเมธ ภิญโญสิริพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ทวี เทศเจริญ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการดำเนินการสร้างเครื่องเจาะ โดยใช้ระบบไฟฟ้าในการทำงานเจาะโลหะ ที่มีความแข็งสูง ไม่สามารถเจาะโดยวิธีธรรมดา โดยอาศัยการสปาร์คของขั้วไฟฟ้า ทำให้ชิ้นงานหลุดออกเป็นรูขนาดตามต้องการ ในการเจาะเราจะใช้ NC (Numerical Control ) ควบคุมการสปาร์คและมีมอเตอร์ขับชุดหัวเจาะโดยผ่านเพลาลูกเบี้ยวให้หัวเจาะสั่นขึ้นลงเป็นระยะสั้น ๆ ควบคุมจังหวะการสปาร์ค และใช้ Stepping Motor ควบคุมตำแหน่งหัวเจาะในการเลื่อนขึ้นลง จากนั้นใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้า และระบายเศษโลหะออก โดยใช้ชื่อว่า Small hole made by EDM. เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเจาะวัสดุที่มีความแข็งสูง ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดี เช่น เหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็ง เหล็กกล้าคาร์บอนสูง หรือ โลหะพิเศษอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Small hole made by EDM.

RERNGSAK PRAPHAN

SUMATE PINYOSIRIPHAN

Associate Professor THAVEE TESCHAREON

Abstract

This Thesis is about operation and construction of drill by used electrical system to drill a metal , which is high strength to be not drill by common system . By using sparking of electrode. A particle will have a hole for used. For drilling we used NC ( Numerical Control ) as parking controller and motor to drive a drill machine, which to pass cam shaft around , drill machine will vibrating up and down a small gap. Another it to be control timing of sparking. Stepping Motor will was to control at moving drill machine position up and down. This system use water to remove heat, it is dielectric which can give a particulate of metal out. Name of this machine is Small hole made by EDM. . It is a machine for to drill a high hardness material. Such as quench hardening metal cemented carbine metal, or special metal, et.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | |
|---|---|
| บทนำ | 1 |
| ทฤษฎีเบื้องต้นของการสปาร์ค | 2 |
| การปรับตำแหน่งชิ้นงาน | 6 |
| ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งหัวเจาะ | 7 |
| ระบบควบคุมจังหวะการสปาร์ค | 10 |
| การป้อนไฟฟ้าให้หัวเจาะ | 11 |
| การไล่อนุภาคกากตะกอน | 13 |
| การทดลอง | 15 |
| ผลการทดลอง | 16 |
| สรุปและวิจารณ์ | 18 |
| รูปถ่ายส่วนต่าง ๆ | 19 |
| Drawing | 22 |
| กิตติกรรมประกาศ | 58 |
| หนังสืออ้างอิง | 59 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทนำ

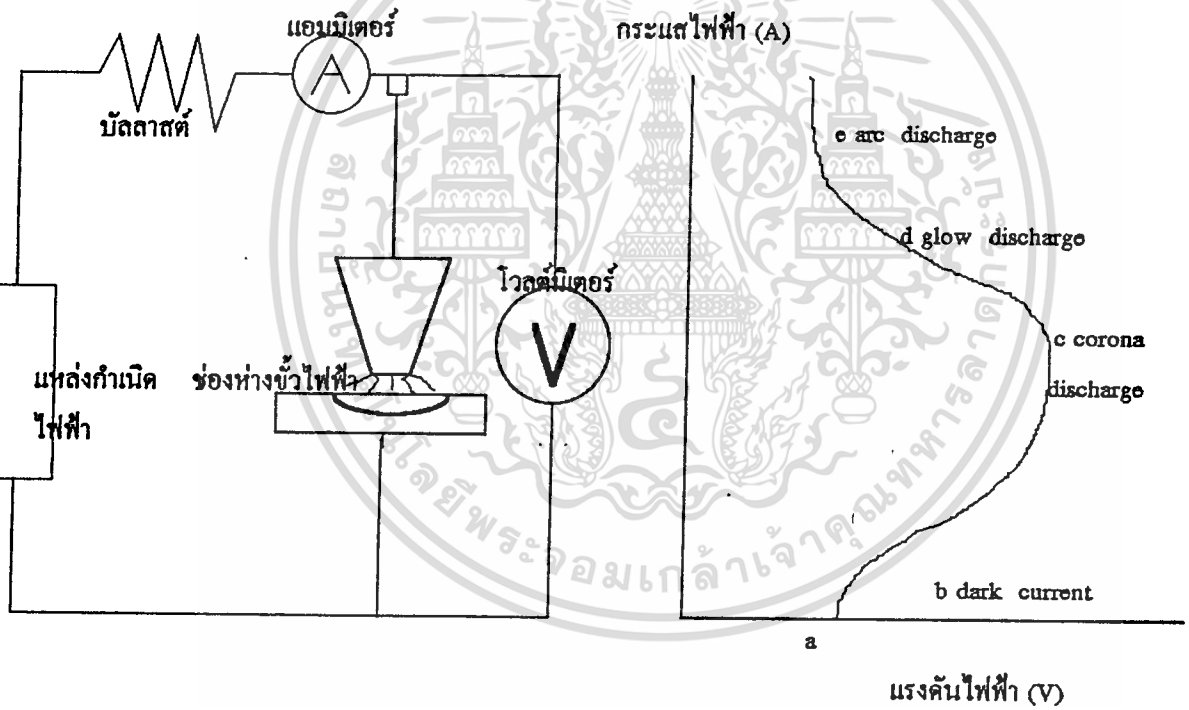
การพัฒนาเทคโนโลยีในปัจจุบันเป็นไปอย่างรวดเร็ว มีการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในการผลิตมากขึ้น มีการใช้คอมพิวเตอร์มาประยุกต์ในงานด้านอุตสาหกรรมมากมาย เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง ปริมาณการผลิตแน่นอน ในโครงงานนี้จึงได้นำเทคโนโลยีทางด้านการเจาะขึ้นรูปโลหะ โดยการเจาะโลหะที่มีความแข็งสูง ใช้หลักการสปาร์คด้วยไฟฟ้าระหว่างโลหะกับโลหะให้หลุดออกเป็นรูปแบบที่ต้องการ ซึ่งโครงงานนี้ใช้ชื่อว่า Small hold made by EDM. เป็นการศึกษาและสร้างเครื่อง Small hold made by EDM. ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใหม่ ในโครงงานจึงเป็นการประยุกต์เครื่องขึ้นมาเพื่อทดลองและศึกษาถึงประสิทธิภาพในการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ ในโครงงานได้ใช้การควบคุมการสปาร์คด้วย ระบบ NC (Numerical Control ) ควบคุมการสปาร์คให้เหมาะสม ในการเคลื่อนที่ของชุดหัวเจาะได้ใช้ Stepping Motor ในการขับเคลื่อนผ่านชุดเฟืองทด เพื่อการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเป็นการควบคุมระยะห่างการสปาร์คให้เหมาะสม และ มีชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนชุดหัวเจาะให้ขับเคลื่อนให้หัวเจาะเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นจังหวะในการสปาร์คของหัวเจาะ และชุด pump น้ำเพื่อระบายความร้อนให้กับชิ้นงานและหัวเจาะ เป็นการป้องกันความร้อนที่สูงจนเกิดการหลอมละลาย และระบายเศษอนุภาคโลหะระหว่างขั้วออก ประโยชน์ที่สำคัญของเครื่องเจาะ EDM. ในโครงงานคือการเจาะโลหะที่มีความแข็งสูงไม่สามารถเจาะโดยวิธีธรรมดา เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนสูง เนื่องจากไม่มีการสัมผัสระหว่างชิ้นงานกลับเครื่องมือที่ใช้เจาะ เครื่องมือจึงสามารถทำจากวัสดุอ่อนได้ เช่น ทองเหลือ ทองแดง ซึ่งได้แสดงรายละเอียดการดำเนินงาน แบบ ไว้ในปริญญานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ทฤษฎีเบื้องต้นของการสปาร์ค

ปรากฏการณ์การสปาร์ค เป็นชื่อเรียกโดยรวมของปรากฏการณ์ต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่ใส่แรงเคลื่อนไฟฟ้า ประเภท ของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซคั่นอยู่ จนทำฉนวนไฟฟ้าเหล่านี้สูญเสียความเป็นฉนวน ( dielectric breakdown ) และเกิดมีการแสไฟฟ้าไหลอย่างรุนแรง

ดังนั้นปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงหมายถึง การฝืนบังคับทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัตถุตัวกลางที่โดยปกติกระแสจะไหลผ่านได้ยาก และเมื่อถึงเวลาที่การฝืนบังคับนี้ถึงขีดจำกัด ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่ไหลขึ้นมาอย่างกระทันหัน การนำเอาหลักการ สปาร์คมาประยุกต์ใช้งาน ได้แก่ หลอดฟูออเรสเซนต์ การเชื่อมแบบอาร์ค การขึ้นรูปด้วยวิธีสปาร์ค เครื่อง Wire Cut E.D.M.




**รูปที่ 1 แสดงวงจรไฟฟ้า และ ช่วงลักษณะการเกิดกระแสไหลขณะเกิดการสปาร์ค**

จากรูปที่ 1 ได้แสดงถึงคุณสมบัติพิเศษของการสปาร์คระดับขั้นพื้นฐาน โดยอาศัยการสร้างวงจรง่ายๆ ดังรูปและทำให้เกิดการสปาร์คขึ้นในอากาศ

1. สภาพที่กระแสเริ่มไหล ( dark current )

ถ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า หรือ ลดช่องว่างระหว่างหัวสปาร์คลงมาเรื่อย เมื่อถึงจุดหนึ่งอากาศจะเริ่มแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า และอิเล็กตรอนอิสระซึ่งมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจุลบจะถูกดูดจากฝั่งขั้วลบไปยังขั้วบวก ซึ่งในช่วงเวลาระยะนี้จะเริ่มมีกระแสไหลมาก ประมาณ $10^{-8}$ - $10^{-11}$ A สภาพเช่นนี้มีชื่อเรียกว่าสภาพกระแสเริ่มไหล

2.การสปาร์คแบบโคโรนา ( corona discharge )

ถ้าเพิ่มแรงดันหรือลดช่องว่างลงอีกผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าบางส่วนที่เกิดสนามไฟฟ้าแรงเป็นพิเศษจะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวน เราเรียกสภาพนี้ว่าการสปาร์คแบบโคโรนา ซึ่งเป็นการสปาร์ที่ขาดเสถียรภาพอย่างมาก

3.การสปาร์คแบบโกลว ( grol discharge )

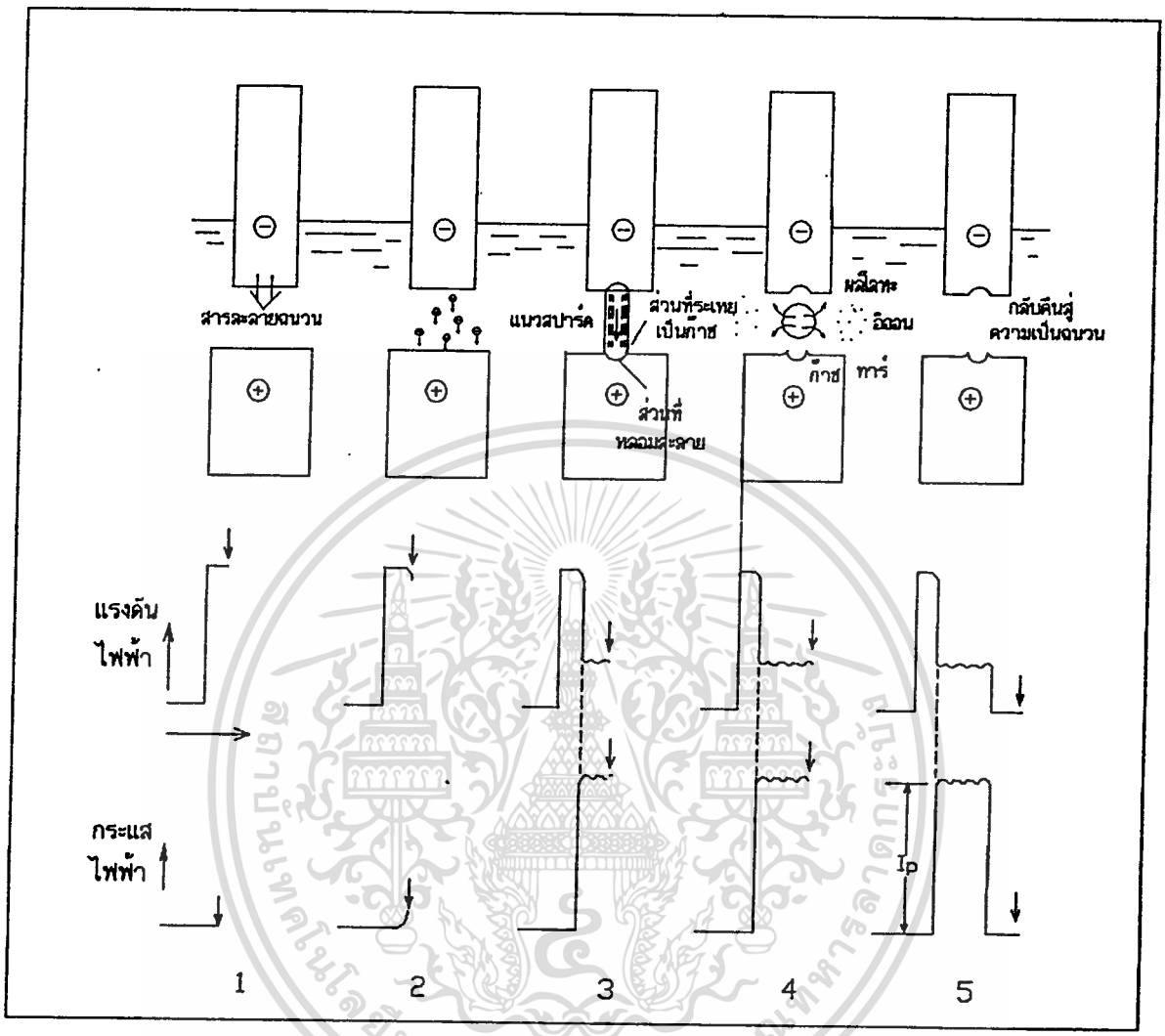
บริเวณที่เกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนแล้วนั้นอิเล็กตรอนรอนซึ่งมีประจุลบจะไหลในส่วนนี้มากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้กระแสไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยสภาพการสปาร์คที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาที่สั้นมากเช่นนี้เรียกว่า การสปาร์คแบบโกลว

4.การสปาร์คแบบอาร์ค ( arc discharge )

หลังจากที่ประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ระหว่างขั้วถูกปลดปล่อยออกมา และการสปาร์คแบบโกลวได้มีขนาดกระแสไฟฟ้าค่าสูงสุดแล้ว การสปาร์คจะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้าย สภาพการสปาร์คเช่นนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะที่ควบคุมไม่ได้ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะกับการขึ้นรูปด้วยวิธีการสปาร์ค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมพลังงานหรือระยะก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะการสปาร์คแบบอาร์คนี้

การสปาร์คที่เป็นประกายไฟโดยทั่วไปนั้นเป็นการสปาร์คซึ่งเกิดขึ้นทุกขั้นตอนตั้งแต่สภาพที่กระแสเริ่มไหล จนถึงสภาวะการสปาร์คแบบการอาร์ค ภายในช่วงระยะเวลาที่สั้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




1.ใส่แรงดันไฟฟ้า

เริ่มต้นด้วยการใส่แรงดันไฟฟ้า (ประมาณ 60 - 280 V )ที่ระหว่างชิ้นงานกับขั้วไฟฟ้า(เรียกว่าระหว่างขั้ว) ซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าไร้โหลด (noload voltage) ในสภาพเช่นนี้ระหว่างขั้วยังรักษาสภาพความเป็นฉนวนอยู่ จึงไม่มีกระแสไหล ในการขึ้นรูปนั้นโดยปกติจะใช้น้ำมันเพื่อรักษาความต้านทานระหว่างขั้วให้มีค่าสูงเพื่อลดระยะระหว่างขั้ว และเป็นการระบายความร้อนของขั้ว ซึ่งการลดช่องว่างของขั้วไฟฟ้าที่เกิดการสปาร์คให้แคบลงจะส่งผลดี คือ ทำให้ชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูปมีความละเอียดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.สูญเสียความเป็นฉนวน

เมื่อย่นระยะระหว่างขั้วให้เข้าใกล้กันเรื่อยๆ จนถึงระยะหนึ่ง ( ระยะทางเป็นไมโครเมตร) สารละลายจะเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนอิออนประจุลบจะถูกดึงไปฝั่งที่เป็นบวก คือเริ่มมีกระแสไหล

3.สปาร์คหลอมละลาย

เมื่อเกิดการสูญเสียความเป็นฉนวนขึ้นแล้ว อิเล็กตรอนรอนที่เป็นประจุลบจะเริ่มไหลเป็นจำนวนมากอย่างรุนแรง ซึ่งคือการสปาร์คนั่นเอง บริเวณส่วนที่จะเกิดการสปาร์คขึ้นนี้จะมีกระแสไฟฟ้าที่มีความหนาแน่นสูงมากไหลในช่วงระยะเวลาสั้น ในการขึ้นรูปชิ้นงานนั้นจะมีกระแสตั้งแต่ 0.1 A ขึ้นไป ไปจนถึงหลายร้อยแอมแปร์ พลังงานที่ถูกปล่อยออกมาในช่วงนี้จะทำให้บริเวณที่เกิดการสปาร์คมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก(3,000 องศาเซลเซียสขึ้นไป ) จนบางส่วนของชิ้นงานถูกหลอมละลาย นอกจากนั้นแล้วสารละลายบริเวณที่เกิดการสปาร์คก็จะถูกความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้กลายเป็นก๊าซไป และเกิดความดันที่สูงมากเป็นบางส่วน

เมื่อการสปาร์คเริ่มขึ้น เนื่องจากว่ามีฉนวน ( สารละลาย ) อยู่ระหว่างขั้วจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วต่ำลง $E = IR$ ตามกฎของโอห์ม แรงดันไฟฟ้าในช่วงนี้เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าการสปาร์ค ( discharge )

4.เย็นตัว

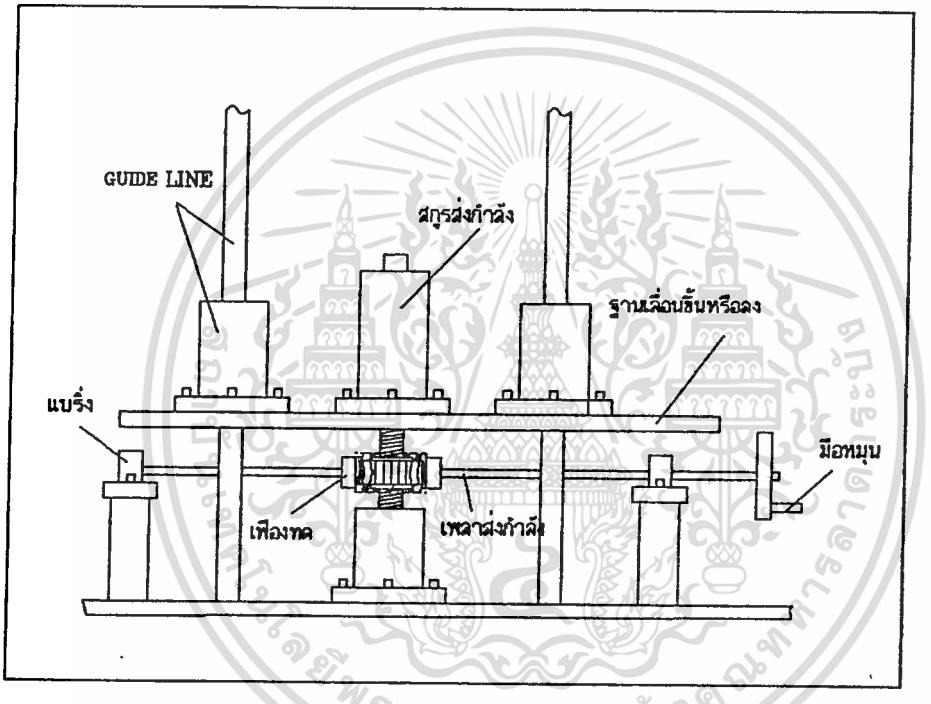
ความดันที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้ส่วนที่หลอมละลายของชิ้นงานหลุดกระเด็นไป ซึ่งเมื่อถูกสารละลายรอบข้างดูดความร้อนไปก็จะเริ่มเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วกลายเป็นเศษผงชิ้นเล็ก ๆ ในช่วงที่เกิดการสปาร์คอยู่นั้นกระแสไฟฟ้าจะไหลอยู่ระดับค่าหนึ่งแต่ทว่าเมื่อพลังงานที่สะสมอยู่ในระหว่างนั้นถูกปลดปล่อยออกมาแรงดันไฟฟ้าจะต่ำลงอย่างรวดเร็ว

5.กลับคืนสู่ความเป็นฉนวน

หลังจากที่การสปาร์คหนึ่งครั้งได้จบลงกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะกลับกลายเป็นศูนย์ และจะรอจนกว่าสารละลายจะกลับคืนสู่ความเป็นฉนวนโดยไม่มีการใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าไป การรอในช่วงนี้จะช่วยป้องกันการเกิดการสปาร์คแบบผิดปกติ เช่นการสปาร์คซ้ำหรือสปาร์คเป็นบางจุดอันเนื่องจากการสะสมหรือทับถมจับตัวกันของอิเล็กตรอนที่ตกค้างอยู่ระหว่างขั้วหรือเศษผงที่เกิดจากการสปาร์ค ภายหลังจากที่กลับคืนสู่ความเป็นฉนวนแล้วก็จะทำการสปาร์คเช่นเดิมอีก โดยเริ่มต้นที่ 1.ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. <u>ระบบปรับตำแหน่งชิ้นงานด้วยมือ</u> เป็นส่วนช่วยในการปรับระดับและตำแหน่งตามต้องการในการเจาะ โดยจะใช้การส่งกำลังผ่านชุดเฟืองหนอนส่งกำลังการหมุนจากแนวนอน ( หมุนด้วยมือ ) ไปสู่แนวตั้งให้กับสกูรส่งกำลังในแนวดิ่ง ทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ขึ้นลง และใช้ชุดปากกาจับชิ้นงานซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ 2 แกนในแนวระนาบ เพื่อปรับชิ้นงานให้ตรงตำแหน่งที่ต้องการ ดังรูป




จากรูป เกลียวตัวหนอนเป็นชนิดหนึ่งปาก ส่วนเฟืองหนอนมีจำนวนฟัน 25 ฟัน ดังนั้นได้อัตราทด m = 1/25

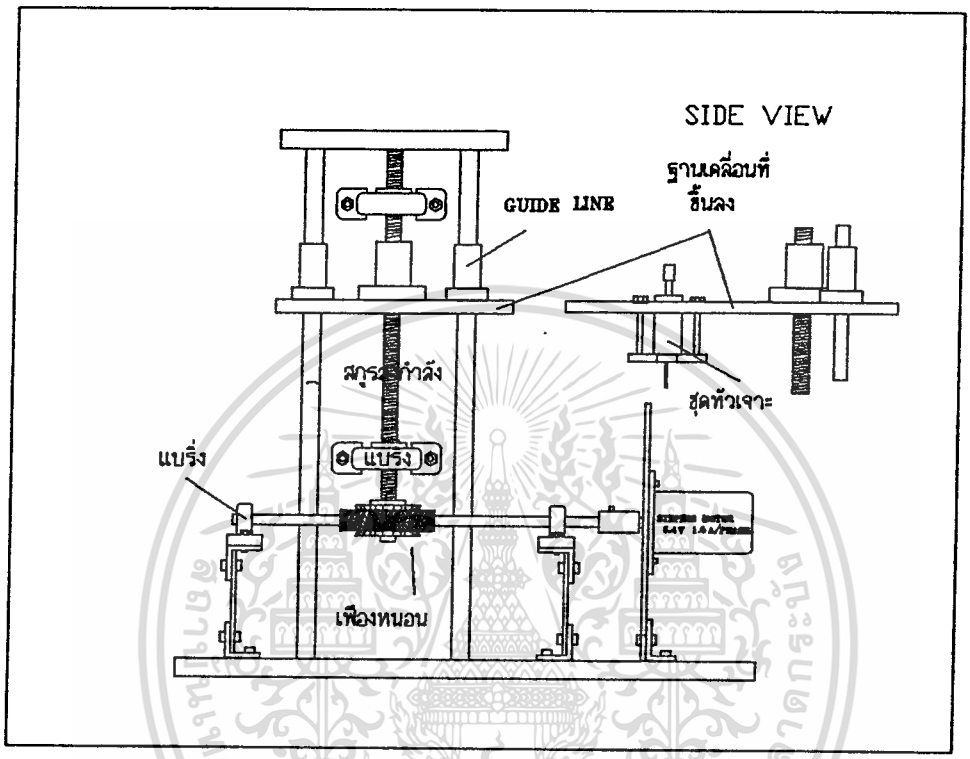
ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง โดยสกูรส่งกำลังที่ใช้เป็นชนิด M 20x1.5 คือหมุน 1 รอบฐานยึดชิ้นงานเคลื่อนที่ 1.5 mm ดังนั้นเมื่อเราด้วยมือ 1 รอบ ฐานยึดจับชิ้นงานเคลื่อนที่

$$1 \times 1/25 \times 1.5 = 0.06$$

ฐานยึดชิ้นงานเคลื่อนที่ ขึ้นหรือลงเป็นระยะทาง 0.06 mm เมื่อหมุนด้วยมือ 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.<u>ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งหัวเจาะ</u> ใช้ชุดเฟืองหนอนเป็นตัวทดกำลังจากแนวระดับเป็นแนวดิ่งเช่นกัน แต่สกูรส่งกำลังในแนวดิ่งเป็นเกลียวชนิดเกลียวสี่เหลี่ยม ขนาด 25x3.2 ดังรูป




จากรูป จะให้อัตราทดในการควบคุมตำแหน่งดังนี้

เกลียวตัวหนอนเป็นชนิดเกลียว 1 ปาก ส่วนเฟืองหนอนมีจำนวนฟัน 32 ฟัน

อัตราทดจากแนวระดับเป็นแนวดิ่ง m = 1/32

สกูรส่งกำลังมีระยะพิต 3.2 mm ดังนั้น Stepping Moter หมุน 1 รอบ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

$$1 \times 1/3.2 \times 3.2 = 0.1 \text{ mm}$$

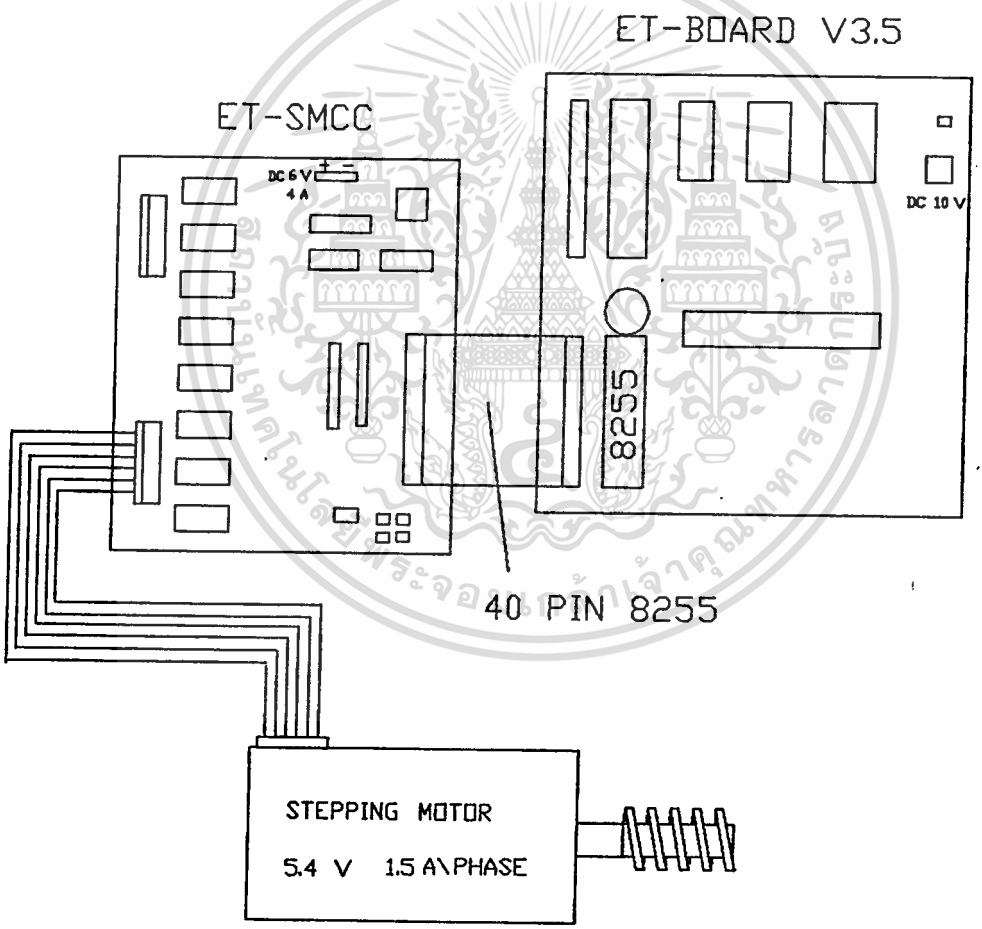
stepping Moter ที่ใช้มี step angle = 1.8 ดังนั้น 1 step moter ทำให้ฐานยึดชุดหัวเจาะเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

$$1.8/360 \times 0.1 = 5 \times 10^{-4} \text{ mm หรือ } 0.5 \text{ ไมโครเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แสดง Board และวงจรการควบคุม Stepping Motor

การควบคุม Stepping motor ได้ใช้ ET- Board V 3.5 เป็นแหล่งกำเนิดสัญญานดิจิตอลในการควบคุม โดยโปรแกรมให้ และ ET-Board จะทำการส่งสัญญานผ่านทาง ET-SMCC ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญานดิจิตอล อีกทอดหนึ่ง โดยจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับ Stepping Motor ตามคำสั่งของ ET-Board V 3.5 ให้ motor หมุนในทิศทางและสปีดที่ต้องการ ดังผังวงจรข้างล่างนี้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

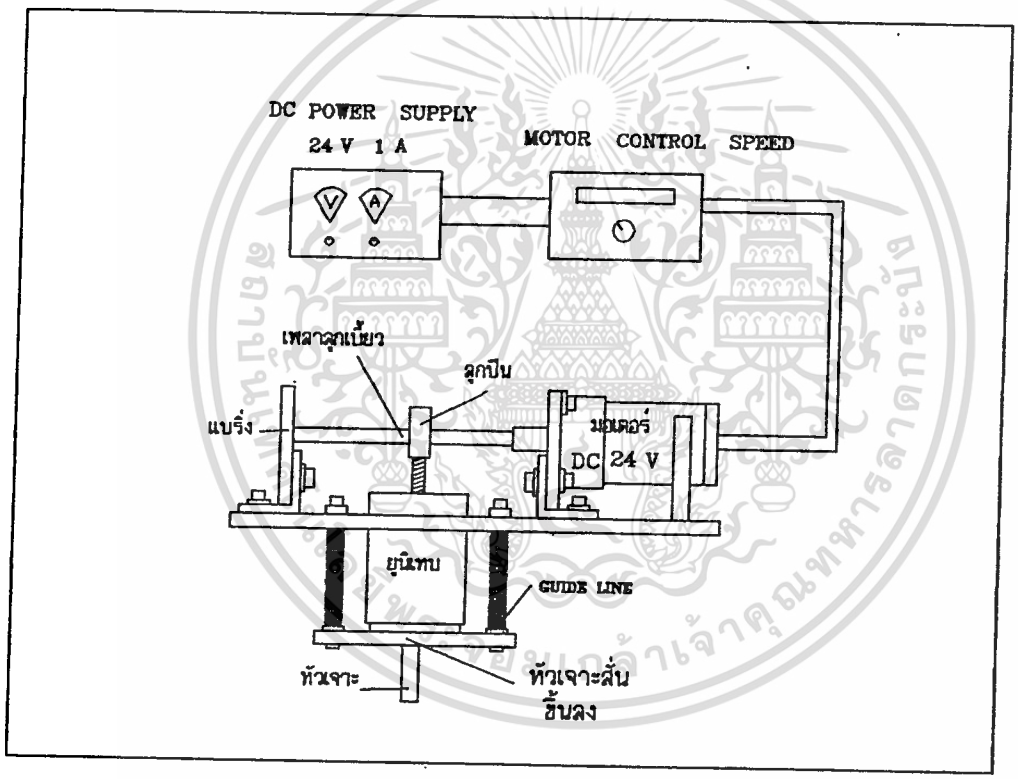
## โปรแกรมควบคุมการขับ STEPPING MOTOR ผ่าน ET-board V 3.5

โปรแกรมจะถูกป้อนเป็นเลขฐานสิบหกให้แก่ ET-board ดังนี้

```
ADRESS  CODE
2000    3E80        START: LD   A,80H       ;CONTROL ORT  OUT
2002    D323               OUT  (PCC),A
2004    3E11               LD   A,00010001B
2006    D320        LOOP : OUT  (PA),A      :OUT STEP
2008    07                 RLCA
2009    CD0E20             CALL DELAY
200C    18F8               JR   LOOP
200E    F5          DELAY : PUSH AF
200F    2100FF             LD   HL,2000H
2012    2B          DEL1 : DEC  HL
2013    7C                 LD   A,H
2014    B5                 OR   L
2015    20FB               JR   NZ,DEL1
2017    F1                 POF  AF
2018    C9                 RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

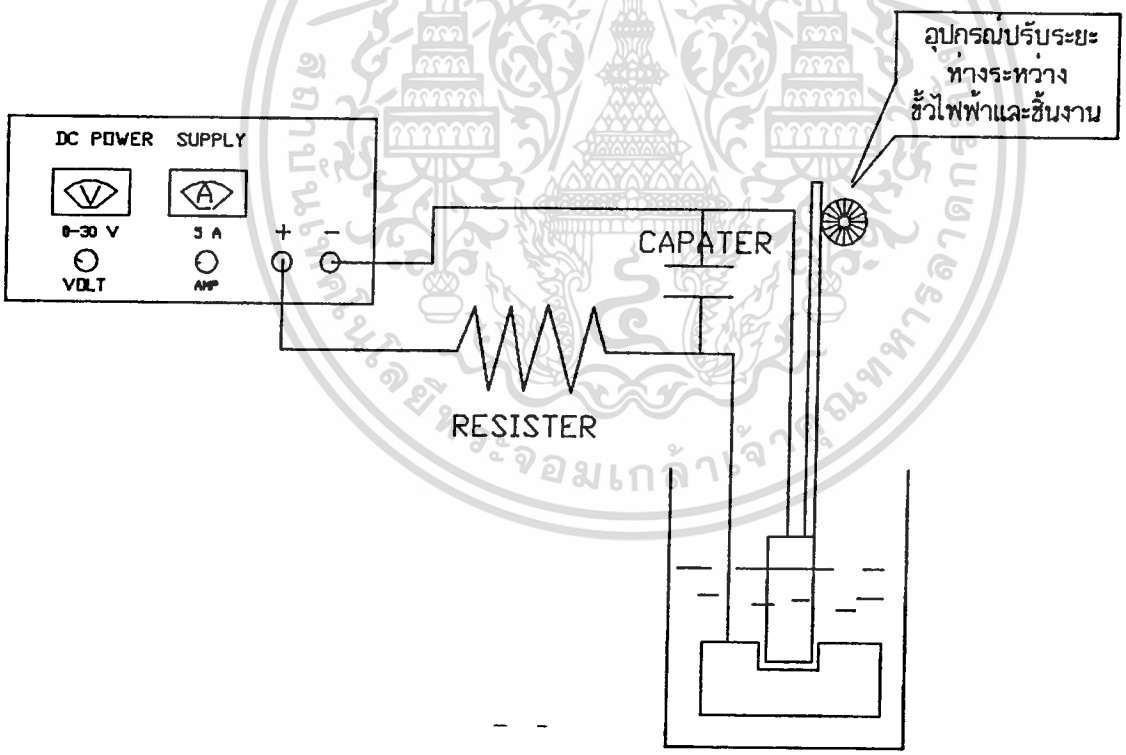
3. <u>ชุดหัวเจาะ</u> ใช้มอเตอร์ขับผ่านเพลาลูกเบี้ยวเพื่อให้เกิดการสั่นขึ้นลงของชุดหัวเจาะ เป็นการควบคุมจังหวะการสปาร์ค และทำให้เกิดการคายของอนุภาคโลหะที่เกิดจากการสปาร์คออก โดยลูกเบี้ยวจะอยู่ในลักษณะเยื้องศูนย์ด้านบน ประมาณ 0.5 mm กับลูกปืน โดยลูกเบี้ยวจะดันให้ลูกปืนเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งลูกปืนจะต่ออยู่กับยูนิเทบด้านล่าง ส่วนด้านล่างยูนิเทบจะเจาะรูยึดจับหัวเจาะที่ทำหน้าที่สปาร์คชิ้นงานไว้ และมีแผ่น อลูมิเนียมทำหน้าที่เป็น guid โดยใช้น็อตยึดจับกับฐานด้านบนและมีสปริงทำหน้าที่ดันแผ่นอลูมิเนียมลงมาเพื่อให้ชิ้นงานเคลื่อนที่กลับลงหลังจากถูกเพลาลูกเบี้ยวยกขึ้น ดังรูป




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วงจรไฟฟ้าป้อนให้กับหัวเจาะ EDM. ประกอบด้วย**

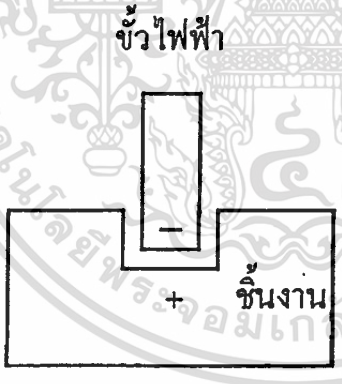
DC Power Supply ขนาด 150 VA 0-30 โวลต์ กระแสสูงสุด 5 แอมป์แปร์ เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในการสปาร์ค ผ่านความต้านทาน ขนาด 50 โอห์ม 300 วัตต์ 1 ตัว และ ขนาด 25 โอห์ม 200 วัตต์ 4 ตัวชนิดปรับค่าได้ เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน จากนั้นใช้คาปาซิเตอร์ต่อคร่อมระหว่างชิ้นงานและหัวเจาะ(ระวังอย่ากลับขั้ว) เพื่อเป็นตัว Discharge พลังงานให้กระแสไฟฟ้าขึ้นสูงหรือมีขนาดใหญ่ในระยะเวลาสั้น ให้ได้พลังงานสูงเพียงพอกับการหลอมละลายโลหะออกในการสปาร์คแต่ละครั้ง ดังรูปวงจร




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คุณสมบัติของขั้วไฟฟ้าและชิ้นงานแยกตามวัสดุที่ทำ**

| วัสดุขั้วไฟฟ้า | วัสดุชิ้นงาน | ขึ้นรูปด้วยอัตราการสึกหรอต่ำ | ทิศทางขั้ว |
|---|---|---|---|
| ทองแดง | เหล็กกล้า | ได้ | ตรงข้าม |
| ทองแดง | โลหะผสมคาร์ไบด์ | ไม่ได้ | ชิ้นงานเป็นบวก |
| คอปเปอร์ทังสเตน | เหล็กกล้า | ได้ | ตรงข้าม |
| คอปเปอร์ทังสเตน | โลหะผสมคาร์ไบด์ | ไม่ได้ | ชิ้นงานเป็นบวก |
| ซิลเวอร์ทังสเตน | เหล็กกล้า | ได้ | ตรงข้าม |
| ซิลเวอร์ทังสเตน | โลหะผสมคาร์ไบด์ | ไม่ได้ | ชิ้นงานเป็นบวก |
| กราไฟต์ | เหล็กกล้า | ได้ | ตรงข้าม |
| กราไฟต์ | โลหะผสมคาร์ไบด์ | ไม่ได้ | ชิ้นงานเป็นบวก |
| ทองเหลือง | เหล็กกล้า | ได้ | ชิ้นงานเป็นบวก |




ทิศทางขั้วบนชิ้นงานเป็นบวก

(ทิศทางตรงข้าม คือ ทิศทางที่ชิ้นงานเป็นลบ)

ในการทดลอง ได้ใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นทองแดง และชิ้นงานเป็นเหล็กกล้า
าร์ไบด์ เราจึงป้อนไฟฟ้าให้ชิ้นงานเป็นบวกและหัวเจาะเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การไล่อนุภาคกากตะกอนบนชิ้นงานในเครื่อง EDM.

การใช้เครื่องเจาะ EDM. (Electro-Discharge Machine ) จะมีปัญหาทางการควบคุมการสปาร์คให้เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องควบคุมสภาวะของหัวเจาะและชิ้นงานให้เหมาะสม เพื่อการสปาร์คที่มีคุณภาพที่ดี ในการสปาร์คจะเกิดอนุภาคโลหะขึ้น ซึ่งอนุภาคโลหะที่เกิดจะมากขึ้นจนทำให้การสปาร์คผิดปกติไป เราจึงแก้ปัญหาโดยการฉีดน้ำ เป็นสาร Dielectric ให้เข้าทั่วถึงผิวหน้าที่มีการสปาร์คและทำหน้าที่ถ่ายเทอนุภาคโลหะออกมาจากผิวหน้าดังกล่าว ถ้าการไหลเวียนของน้ำเกิดขึ้นอย่างถูกต้องเหมาะสมแล้ว จะทำให้การสปาร์คเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นการไหลเวียนของน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการใช้เครื่อง EDM.

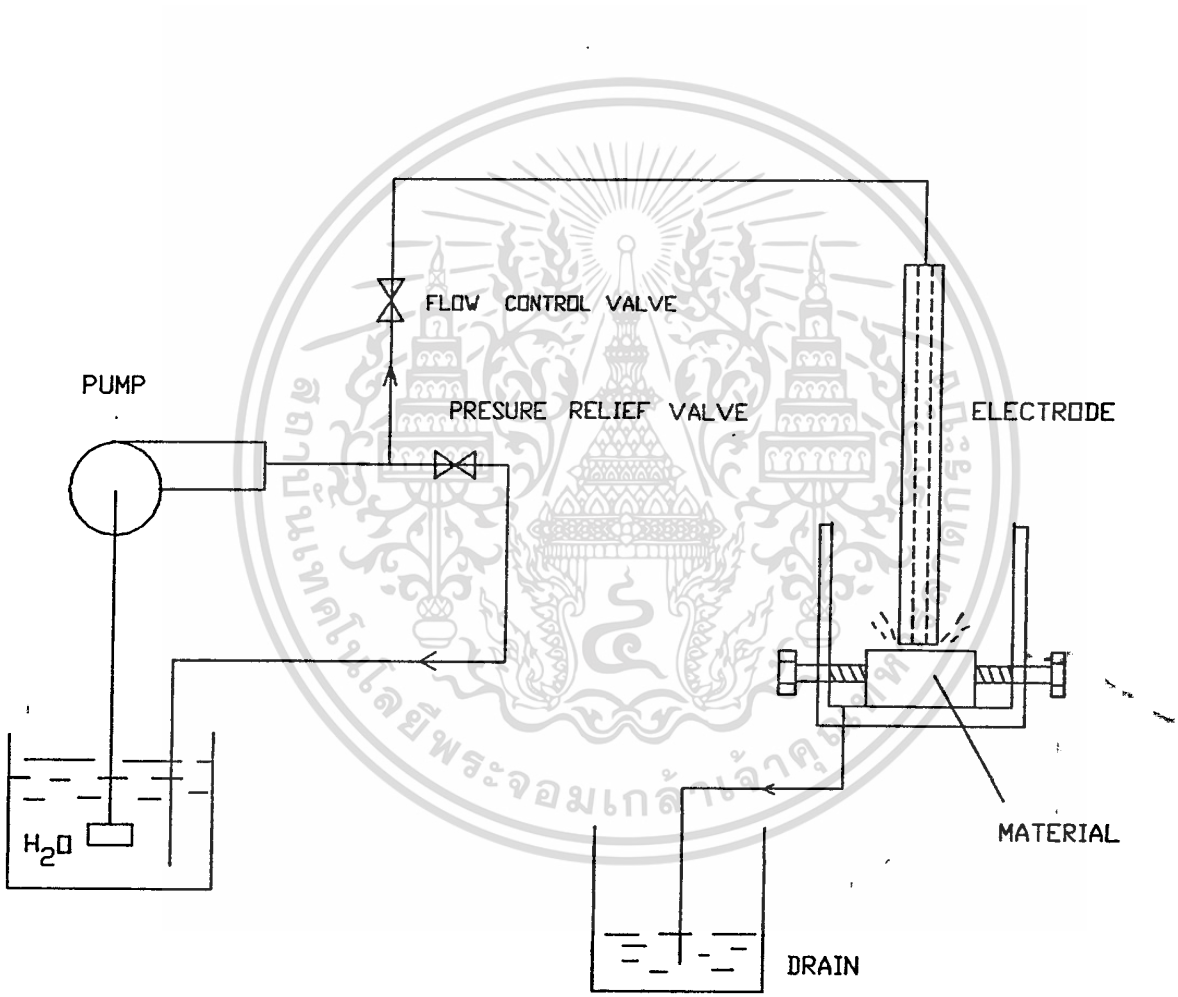
การสปาร์คถ้าขาดการไหลเวียนของน้ำหรือสาร Dielectric อื่น จะเกิดผลเสียคือ เมื่อเริ่มต้นการสปาร์คช่วงแรก น้ำสภาวะระหว่างหัวเจาะและชิ้นงานจะมีความสะอาดอยู่ และความเป็นฉนวนสูงอยู่ ดังนั้นจะมีช่วงรอเล็กน้อยก่อนที่จะเริ่มการสปาร์คครั้งต่อไป แต่เมื่ออนุภาคของกากตะกอนมากขึ้นอยู่ระหว่างหัวเจาะกับชิ้นงาน จะทำให้ความเป็นฉนวนของน้ำลดลง และช่วยให้การสปาร์คครั้งต่อไปง่ายขึ้น จนทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าต่อระหว่างหัวเจาะกับชิ้นงาน คือเกิดการลัดวงจร ซึ่งมีผลทำให้การสปาร์คผิดปกติเกิดขึ้นและทำความเสียหายแก่ชิ้นงานและหัวเจาะ เราจึงป้องกันโดยการฉีดน้ำไล่กากตะกอนอนุภาคเหล่านั้นออกไป เพื่อควบคุมการสปาร์คให้มีประสิทธิภาพสูง

ใน project นี้ได้ใช้การไล่อนุภาคด้วยการฉีด โดยวิธีการฉีดน้ำ ( Injection Flushing ) ผ่านชิ้นงาน โดยจะใช้อิเล็กโทรดซึ่งมีรูกลวงภายในเป็นทางผ่านของน้ำ น้ำจะถูกฉีดผ่านอิเล็กโทรดเข้าสู่ช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงานแล้วไหลออกด้านข้าง การสปาร์คที่เกิดขึ้นและการไล่กากตะกอนด้วยการฉีดผ่านอิเล็คโทรดนี้ อาจจะเกิดเทเปอร์ขึ้นเนื่องจากอนุภาคที่ถูกกัดกร่อนจะไหลผ่านไปตามด้านข้างของอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน จึงเกิดการสปาร์คขึ้นได้ จึงต้องมีการเผื่อระยะด้านข้างในการขึ้นรูปชิ้นงานไว้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรการฉีดไล่อนุภาค

ระบบน้ำหมุนเวียนของชุดหัวเจาะ จะใช้ปั๊มน้ำขนาด 1 แรงม้า ที่ความดันสูงสุด 3 บาร์ โดยเราจะใช้วาล์วควบคุมความดันที่ 1.5 บาร์ และแบ่งน้ำผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหลส่งไปใช้งานเข้าอิเล็กโทรดสู่ช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน และนำอนุภาคโลหะระบายออกสู่ถังน้ำทิ้ง ดังรูป




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การทดลอง**

1. ตัดชิ้นงานขนาด 1 x 1 เซนติเมตร นำลงจับยึดในกระบอกทองเหลือง ปรับตำแหน่งให้ตรงหัวเจาะ

2. นำฝาครอบแก้วครอบเพื่อป้องกันน้ำกระเด็น และเป็น guide line ของหัวเจาะครอบลงร่องให้เรียบร้อย

3.ปรับระยะห่างของหัวเจาะ(ขั้วไฟฟ้า) ให้ห่างชิ้นงานประมาณ 0.3 ม.ม.

4.เปิดปั๊มน้ำปรับความดันไว้ที่ 1.5 บาร์

5.เปิด power supply ในการสปาร์ค ตั้งแรงดันไว้ที่ 30 V

6.ปรับความเร็วจังหวะการสปาร์คของหัวเจาะไว้ที่ 250 รอบ/นาที

7.สั่ง ET-BOARD ให้เริ่มควบคุม stepping motor หมุนเพื่อเริ่มการสปาร์ค

8. คอยควบคุมตรวจสอบการไหลของน้ำ แรงดันไฟฟ้าและกระแสในการเจาะจนทะลุเพื่อป้องกันการผิดพลาดที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง**

| ชิ้นงาน | ใบเลื่อย | ใบเลื่อย | ใบเลื่อย | ใบเลื่อย | ใบเลื่อย |
|---|---|---|---|---|---|
| ความหนา (มิลิเมตร) | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| แรงดัน (โวลต์) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| ความต้านทาน (โอห์ม) | 10 | 10 | 10 | 6.25 | 3 |
| คาปาซิเตอร์ (ไมโครฟารัด) | 1000 | 1000 | 3200 | 1000 | 3200 |
| อัตราการสปาร์ค (ครั้ง/นาที) | 250 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 |
| กระแสไฟฟ้าขณะเจาะ (แอมป์แปร์) | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.8 | 2.8 |
| การสึกหรอของหัวเจาะ (มิลิเมตร) | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| อัตราป้อนหัวเจาะ (มิลิเมตร/นาที) | 0.03 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.3 |
| เวลาเจาะ (ชั่วโมง) | 0:43 | 0:09 | 0:10 | 0:09 | 0:04 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลอง

| ชิ้นงาน | เหล็กกล้าไฮสปีด | เหล็กล้าไฮสปีด | เหล็กล้าไฮสปีด | เหล็กล้าไฮสปีด | เหล็กล้าไฮสปีด |
|---|---|---|---|---|---|
| ความหนา (มิลิเมตร) | 9.6 | 9.6 | 9.6 | 9.6 | 9.6 |
| แรงดัน (โวลต์) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| ความต้านทาน (โอห์ม) | 10 | 10 | 10 | 6.25 | 3 |
| คาปาซิเตอร์ (ไมโครฟารัด) | 1000 | 1000 | 3200 | 1000 | 3200 |
| อัตราการสปาร์ค (ครั้ง/นาที) | 250 | 6000 | 6000 | 6000 | 6000 |
| กระแสไฟฟ้าขณะเจาะ (แอมป์แปร์) | 1.5 | 1.8 | 1.8 | 2.1 | 3.0 |
| การสึกหรอของหัวเจาะ (มิลิเมตร) | 0.3 | 0.3 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| อัตราป้อนหัวเจาะ (มิลิเมตร/นาที) | 0.03 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.33 |
| เวลาเจาะ (ชั่วโมง) | 4:13 | 1:28 | 1:35 | 1:31 | 0:30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปและวิจารณ์

โครงงานนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะสร้างเครื่องสปาร์คด้วยไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการทางวงจร RC เพื่อเป็นตัวจ่ายพลังงานในการสปาร์คซึ่งจากผลการทดลอง ให้ผลเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง คือสามารถเจาะโลหะที่มีความแข็งสูง เช่น เหล็กกล้าไฮสปีด ใบเลื่อย เป็นรูขนาดที่ต้องการได้ แต่ความละเอียดในการขึ้นรูปยังต่ำ และความเร็วในการขึ้นรูปยังต่ำมาก ควรมีการแก้ไข เช่น เพิ่มอัตราการสปาร์คให้สูงขึ้น หรือ ปรับเปลี่ยนค่าพลังงานโดยการ เปลี่ยนค่า RC ซึ่งจะทำการปรับปรุงต่อไป

## ปัญหาที่พบในโครงงาน

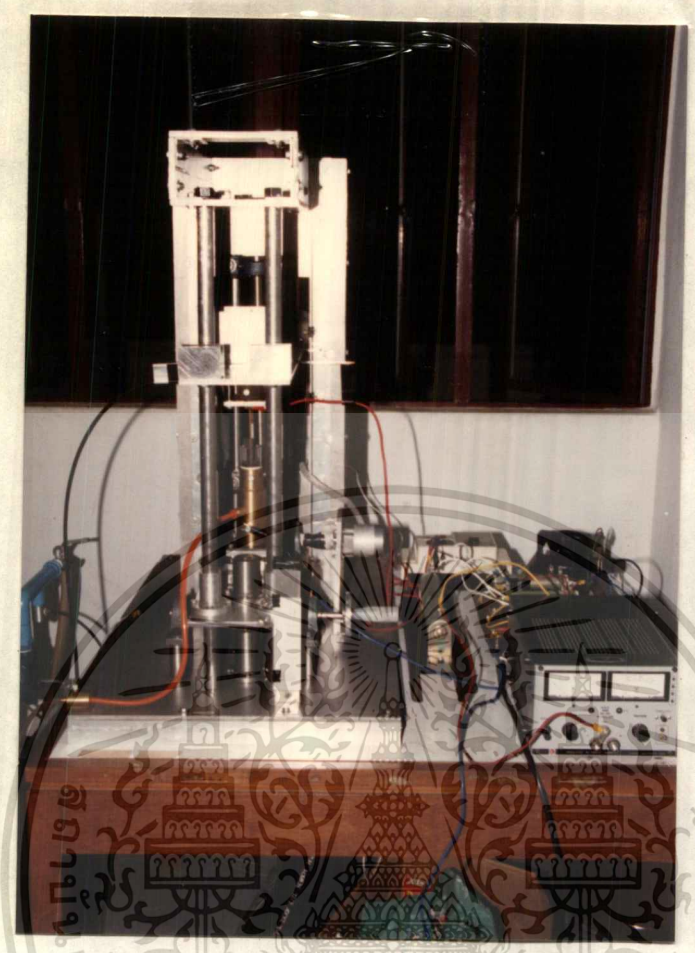
1. การควบคุมตำแหน่ง โดยใช้ Stepping motor ในการควบคุม gap มีค่าผิดพลาดมาก เนื่องจากความฝืดของ Guide line และระยะฟรีของเฟืองทดมีระยะฟรีมาก ทำให้การควบคุมการสปาร์คเกิดการลัดวงจรขึ้นบ่อยครั้ง

2. การสปาร์คยังไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความเร็วในการขึ้นรูปช้ามาก ควรปรับปรุงเพิ่มอัตราการสปาร์คให้สูงขึ้น

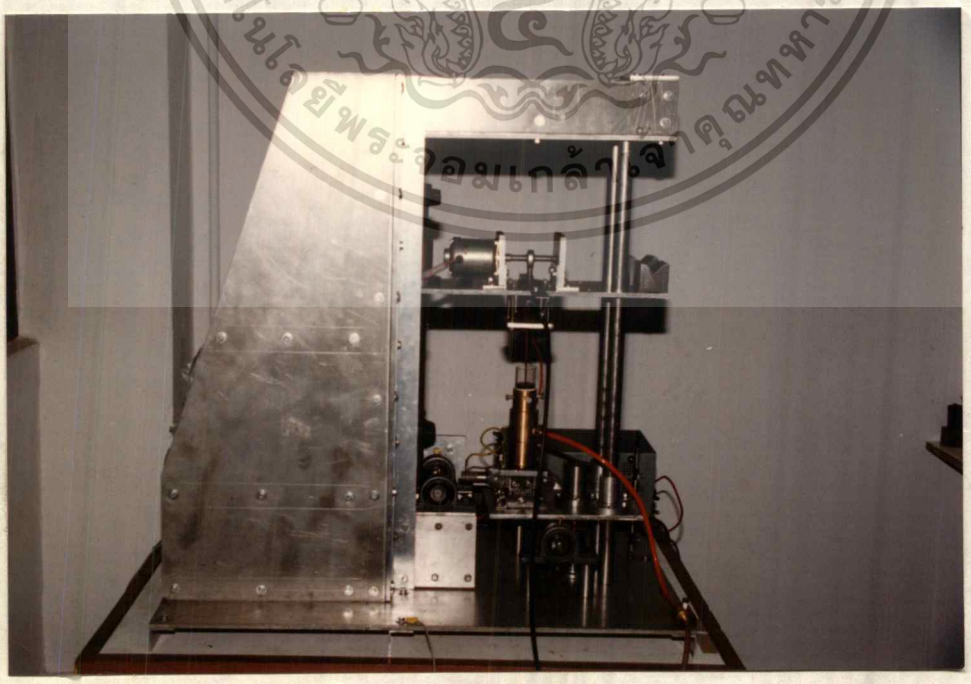
3. ค่าความต้านทาน และ ค่าคาปาซิเตอร์ ควรมีการทดลองหาค่าที่เหมาะสมต่อไป

4. น้ำที่ฉีดผ่าน gap มีน้อยเพียงพอแก่การระบายเศษโลหะ แต่ไม่เพียงพอในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้น ควรเพิ่มน้ำหล่อเย็นที่ผิวชิ้นงานและผิวหัวเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

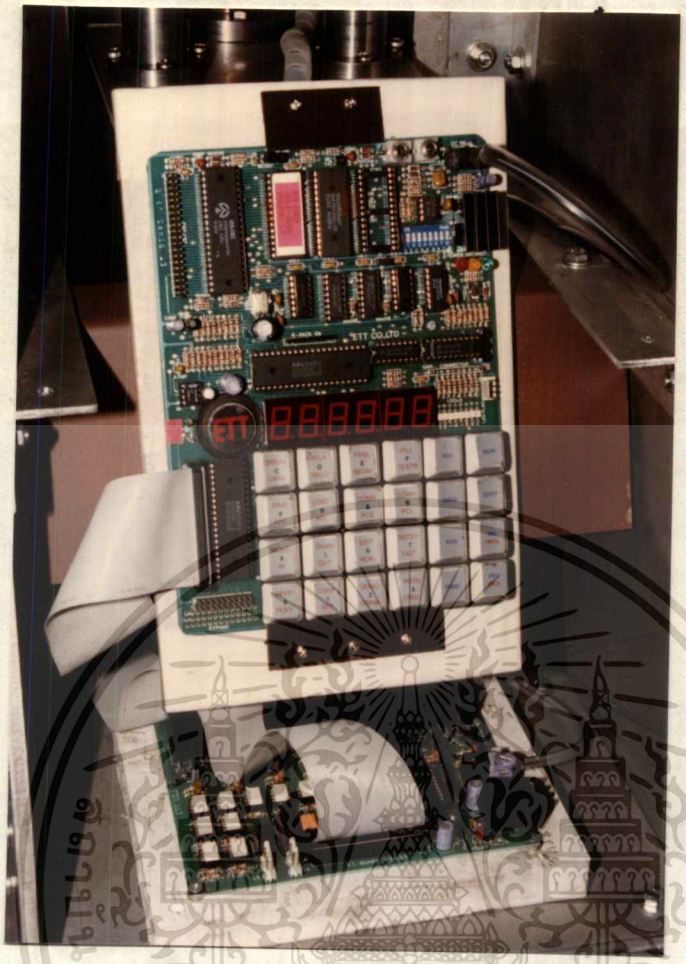


รูปด้านหน้า



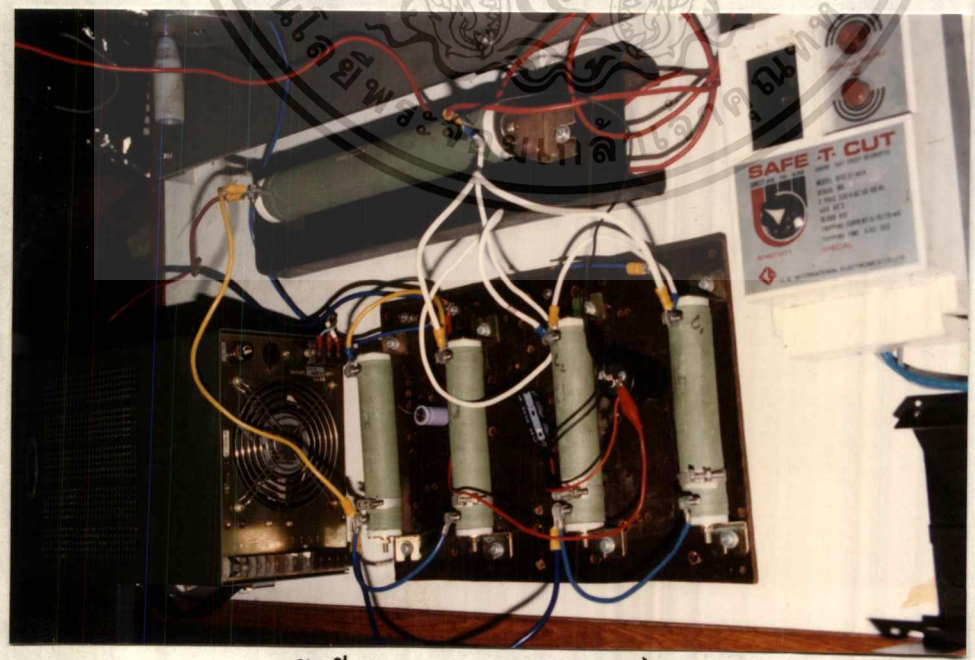
รูปด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
037011



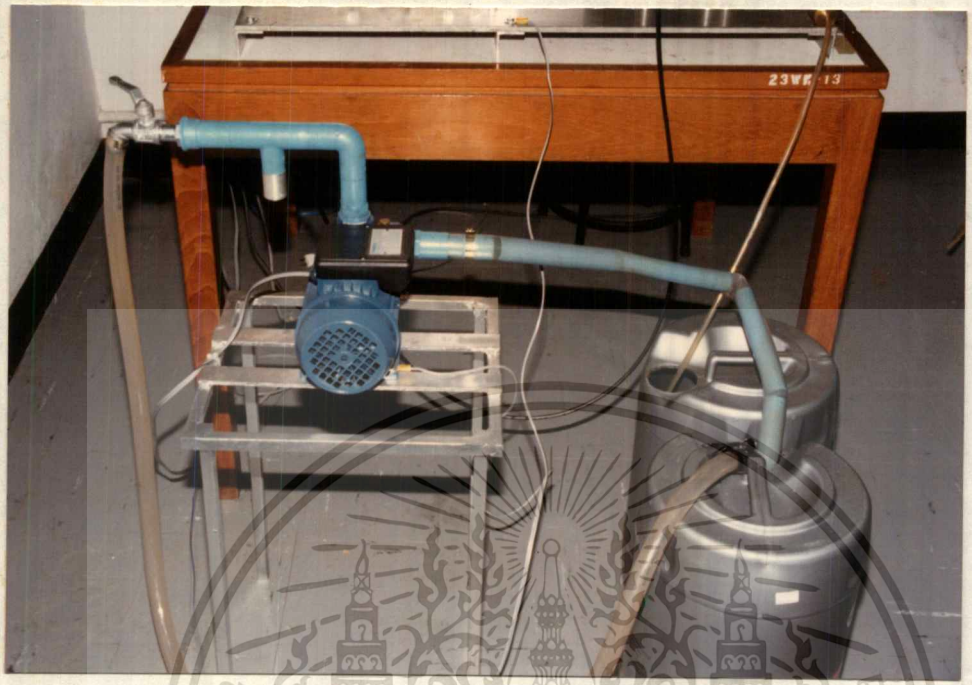
ET-BOARD V-3.5 (บน)

ET-SMCC (ล่าง)




ตัวต้านทานและคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปปั๊มน้ำไล่อนุภาคกากตะกอนและระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DRAWING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PART 1**

โครงสร้างหลัก

**PART 2**

1 สกรูส่งกำลัง

2 เฟืองหนอน

3 เกลียวตัวหนอน

4 เพลาขับเฟืองตัวหนอน

5 แบริ่ง

6 ฐานรองรับแบริ่ง

7 แท่นติดตั้งมอเตอร์

8 สเตปปิ้งมอเตอร์

**PART 3**

1 Guide Line

2 บูช

3 เกลียวส่งกำลัง

4 สกรูส่งกำลัง

5 แผ่นฐาน

6 เฟืองหนอน

7 เกลียวตัวหนอน

8 บูช

9 ฐานรองรับแบริ่ง

10 แบริ่ง

11 เพลาขับเฟืองตัวหนอน

12 มือหมุน

**PART 4**

1 Guide Line

2 ฐานยึดจับชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 แผ่นรองฐานยึดจับชิ้นงาน

4 ปากกาปรับตำแหน่ง

**PART 5**

1 ฐานรองรับแบริ่ง

2 เพลาลูกเบี้ยว

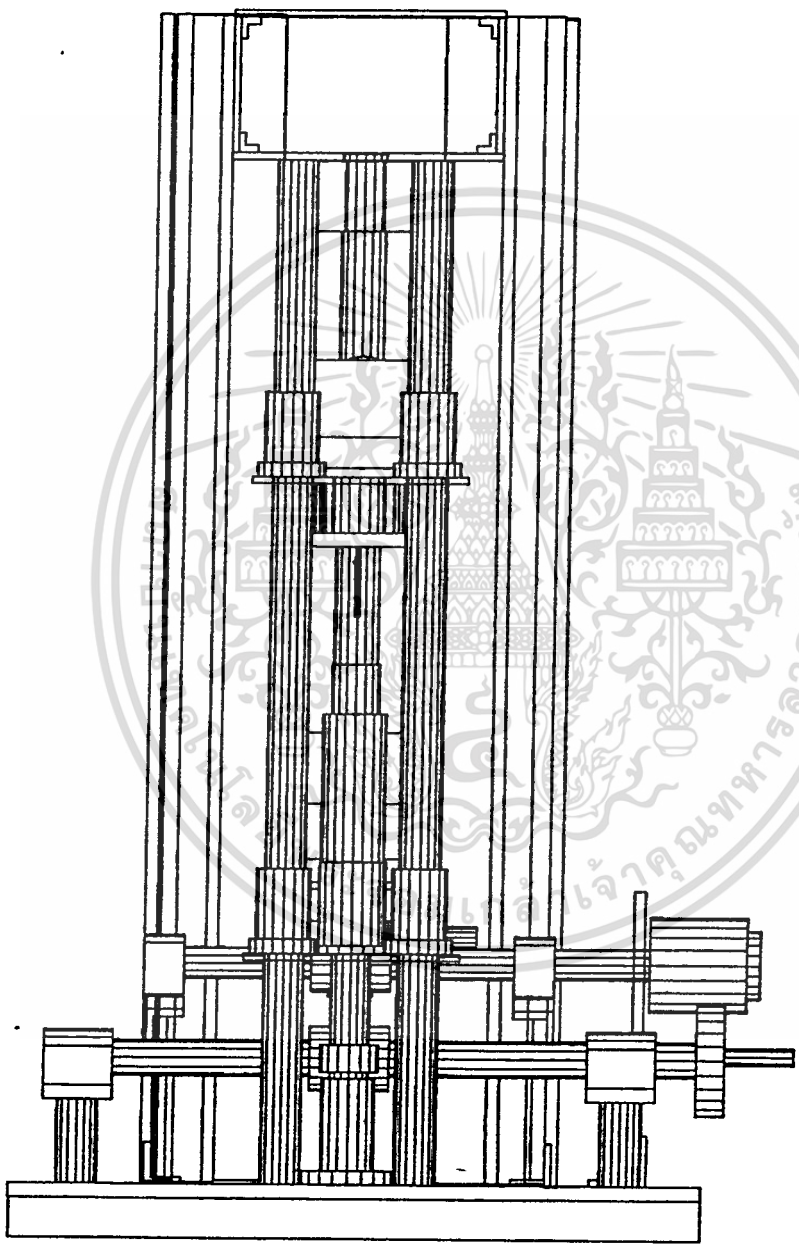
3 แบริ่ง

4 มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์

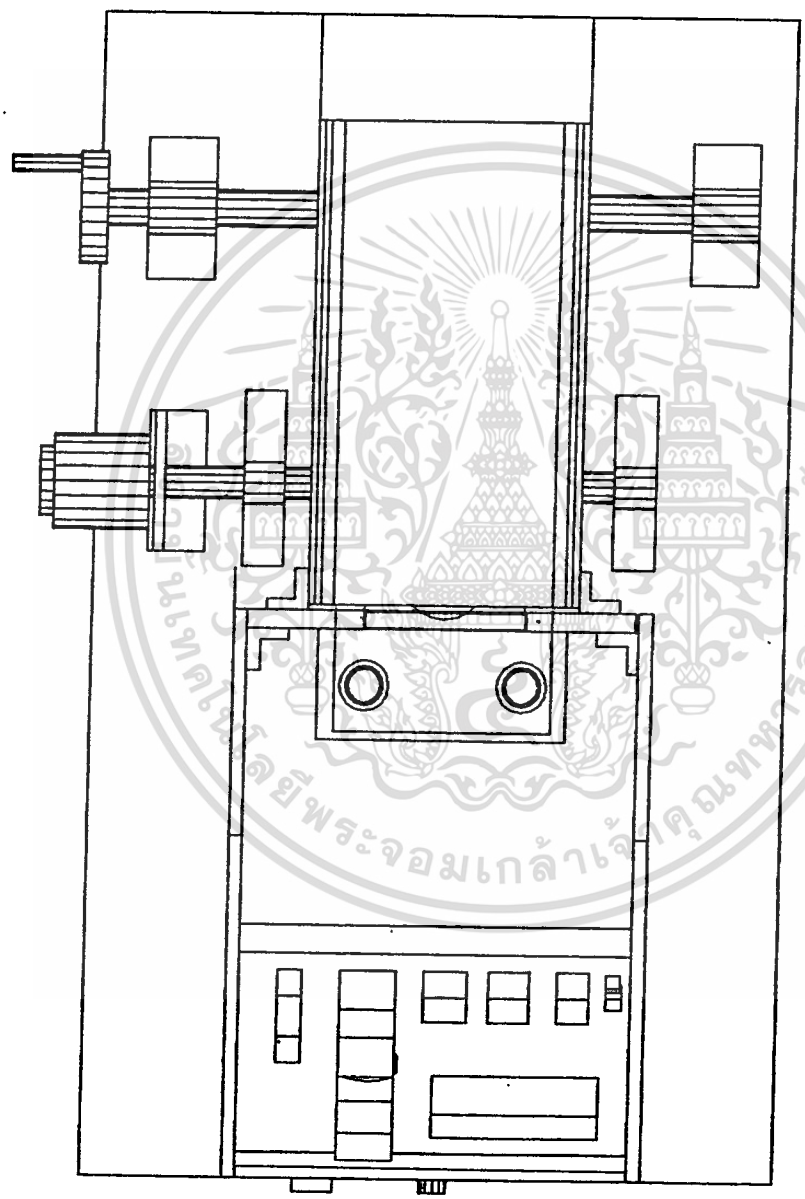
5 ยูนิเทบ

6 แผ่นยึดยูนิเทบ

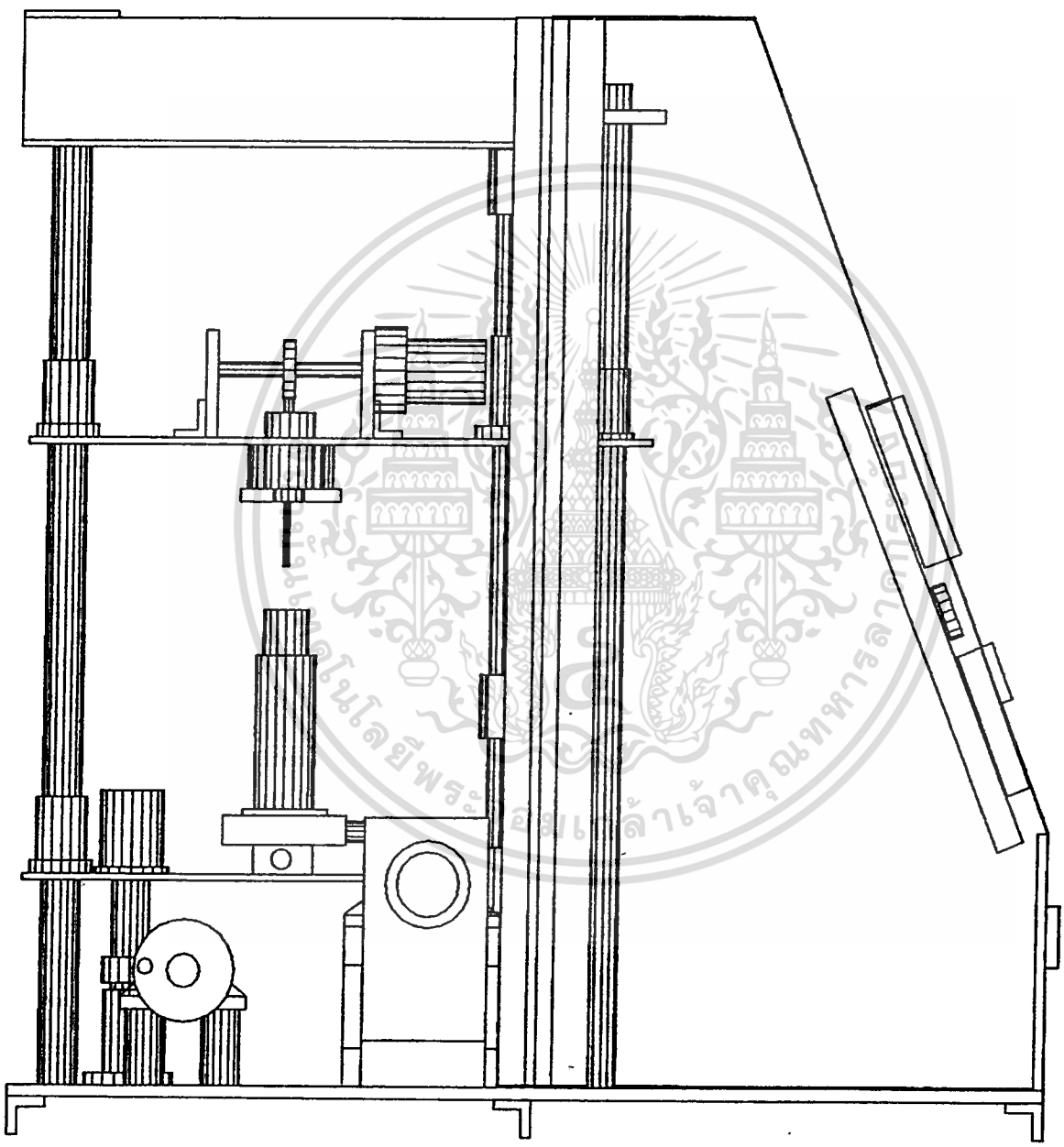
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



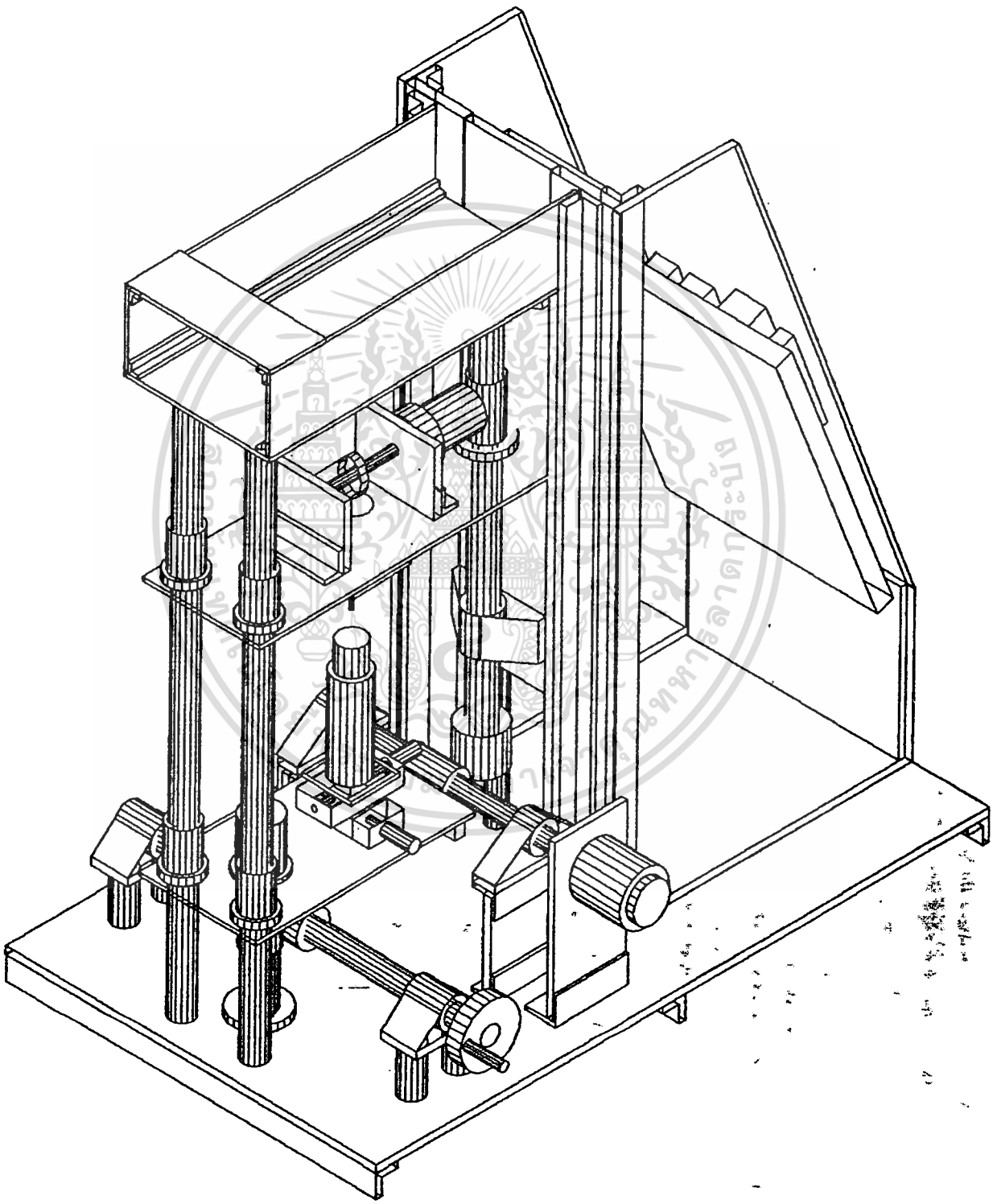
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



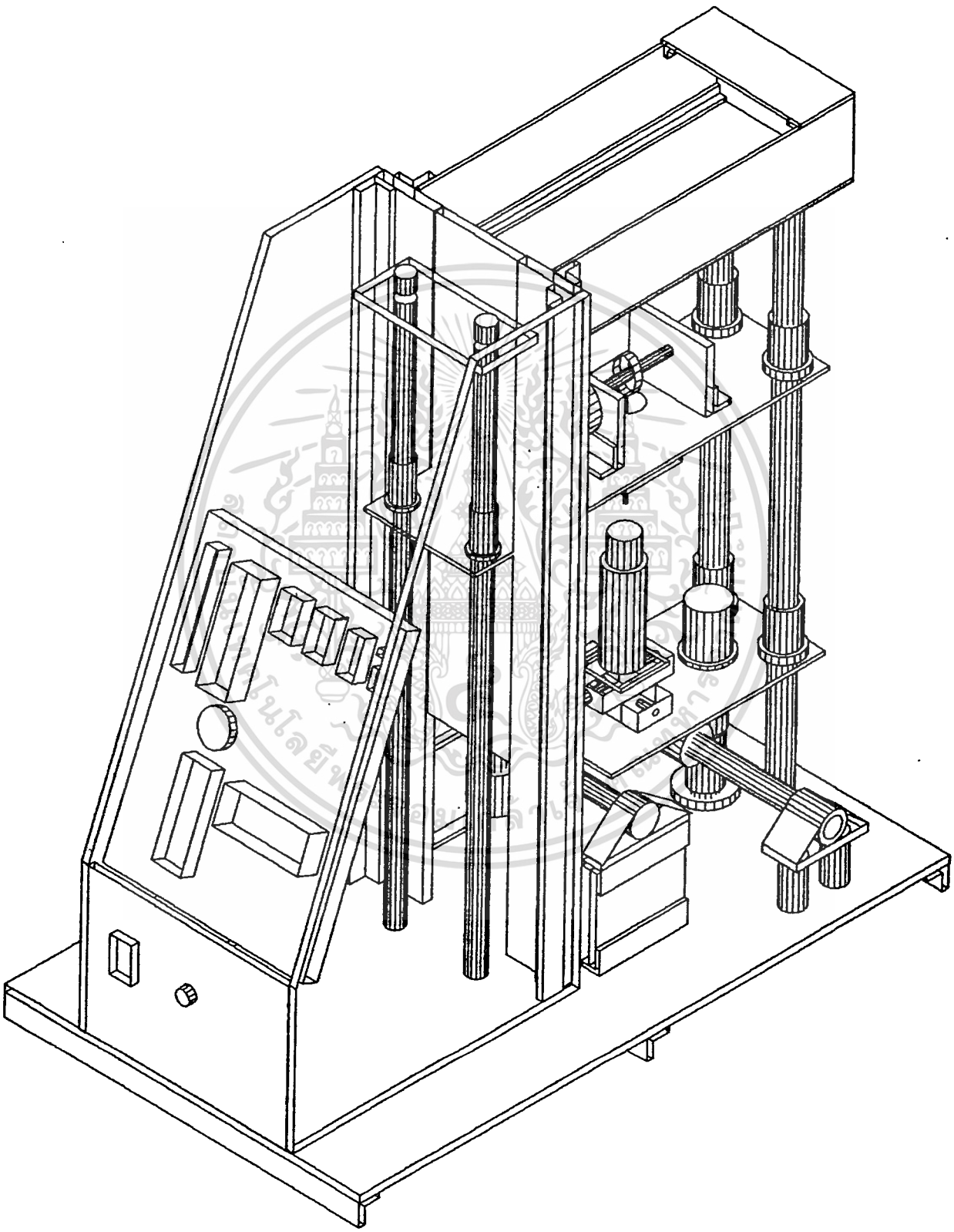
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



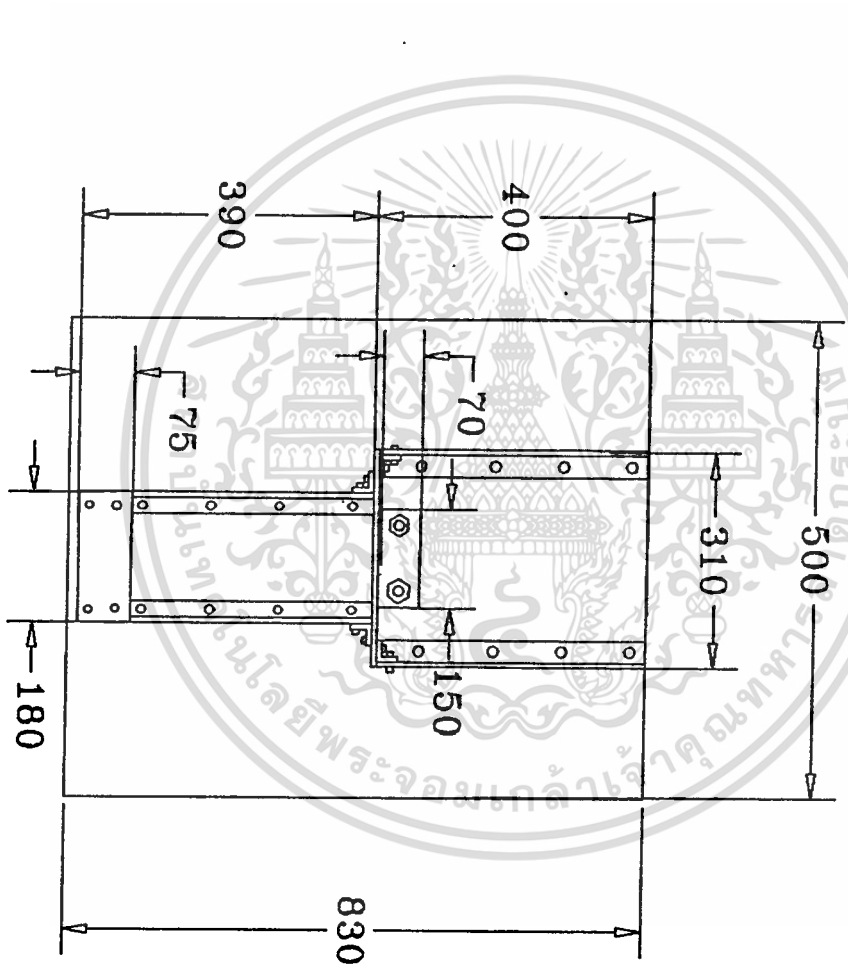
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

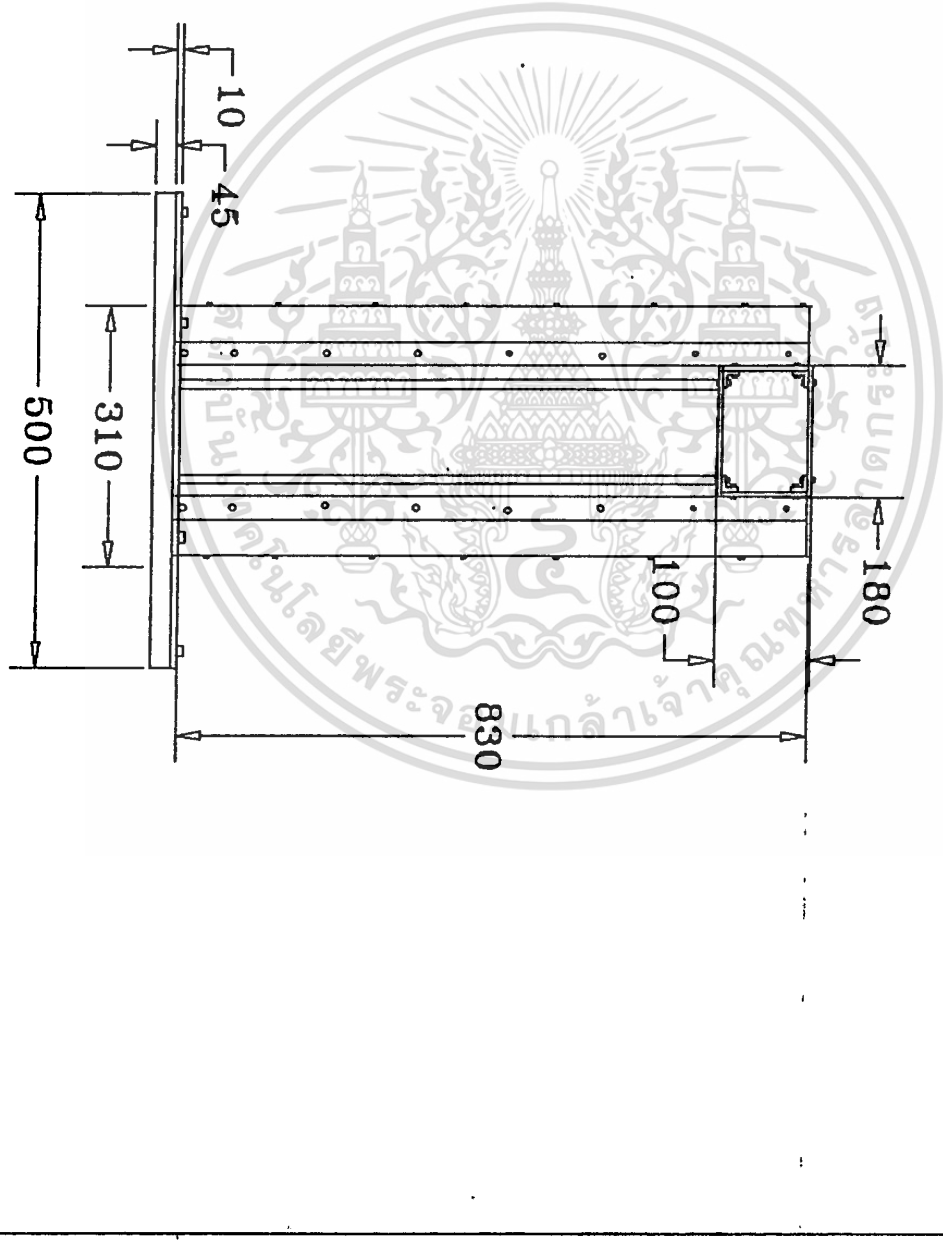


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



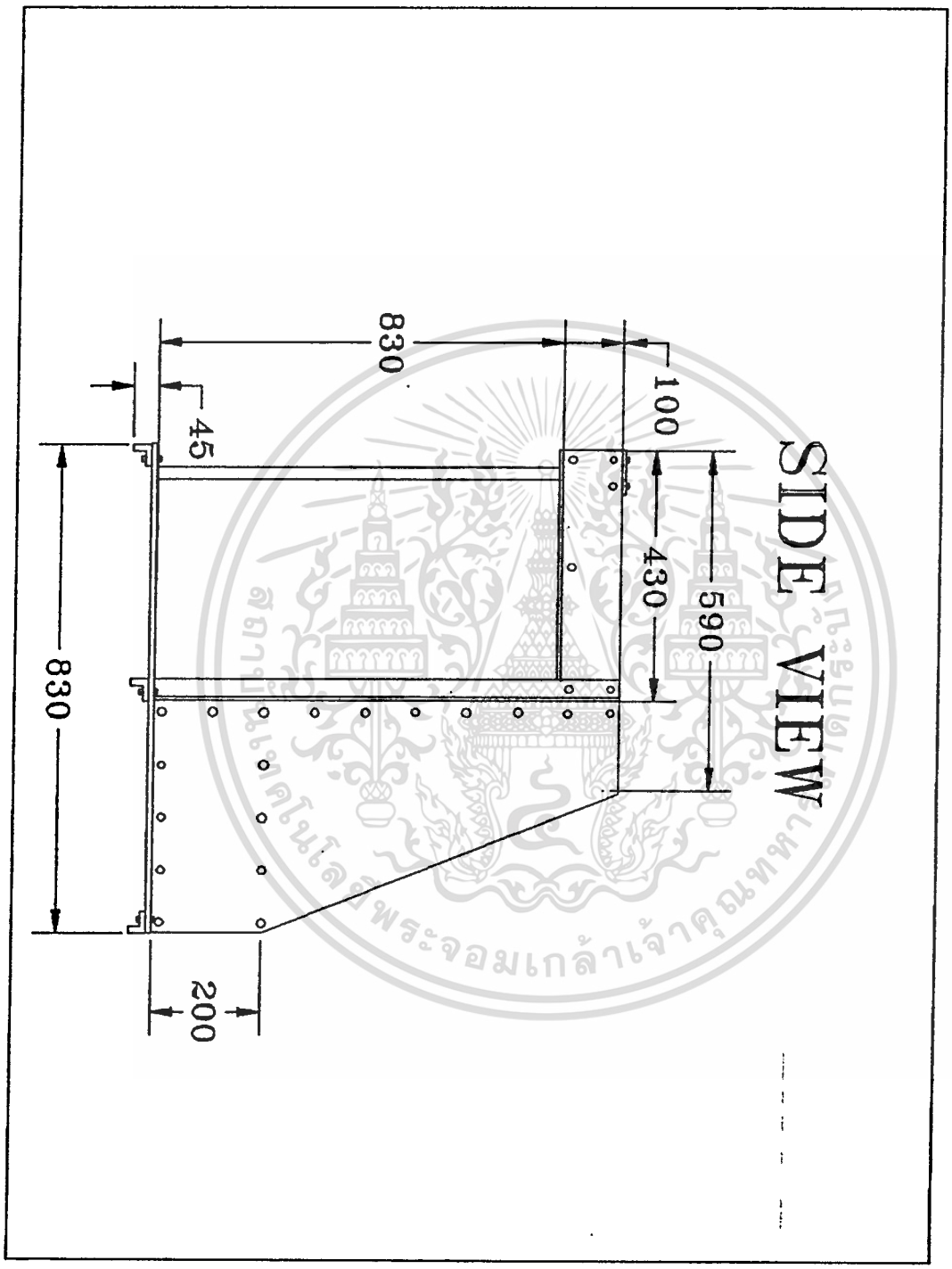

PART1
TOP VIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

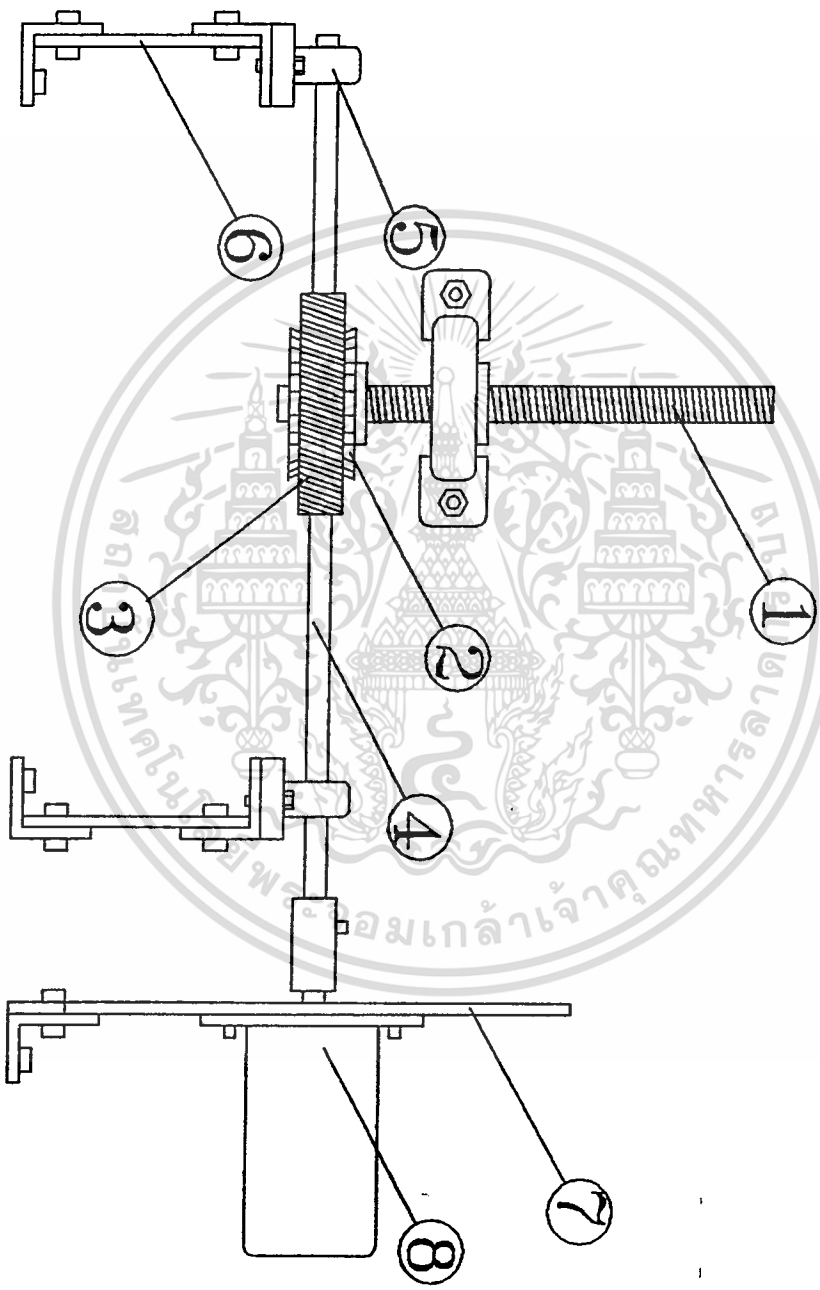



FRONT VIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

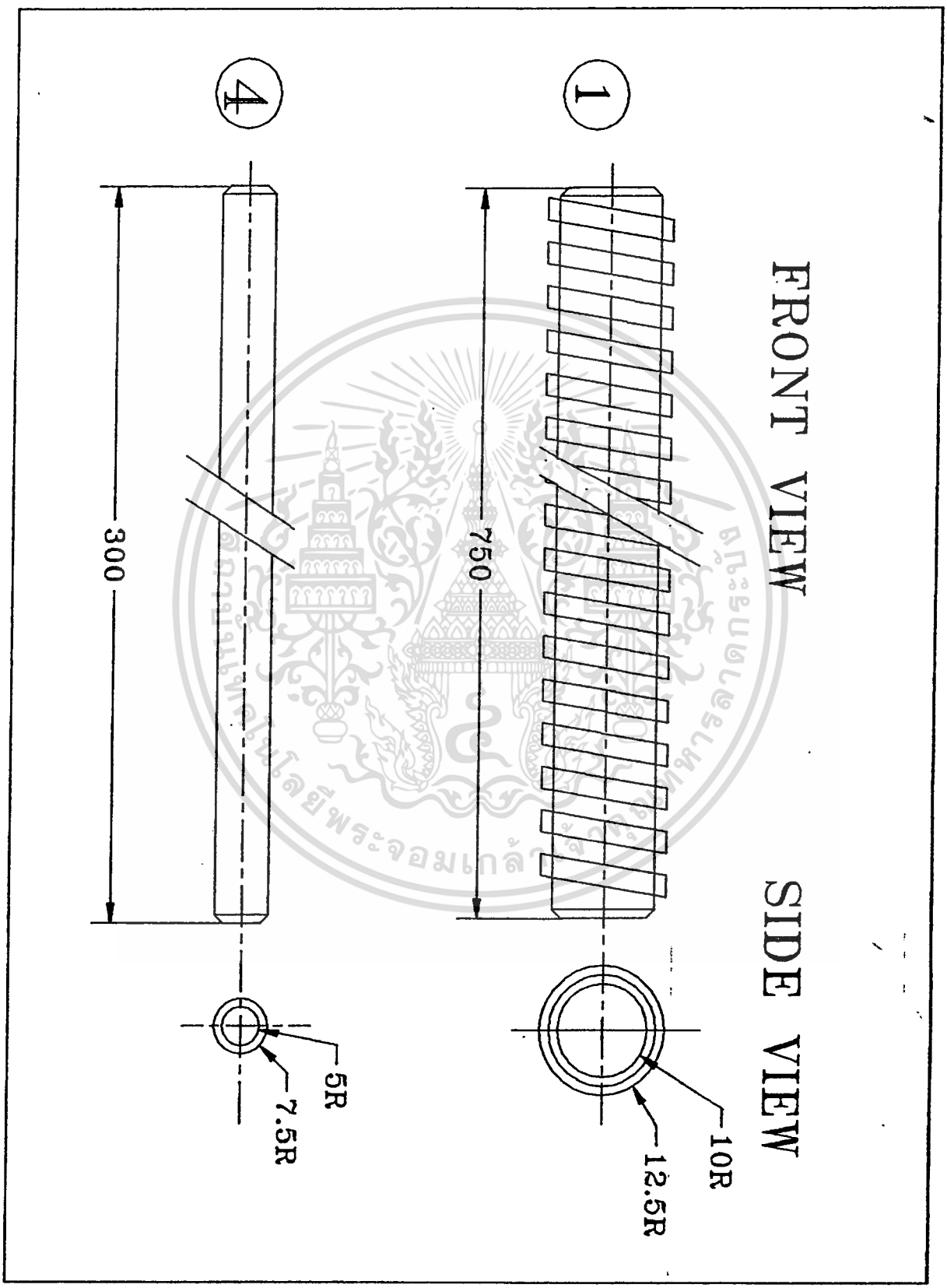



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

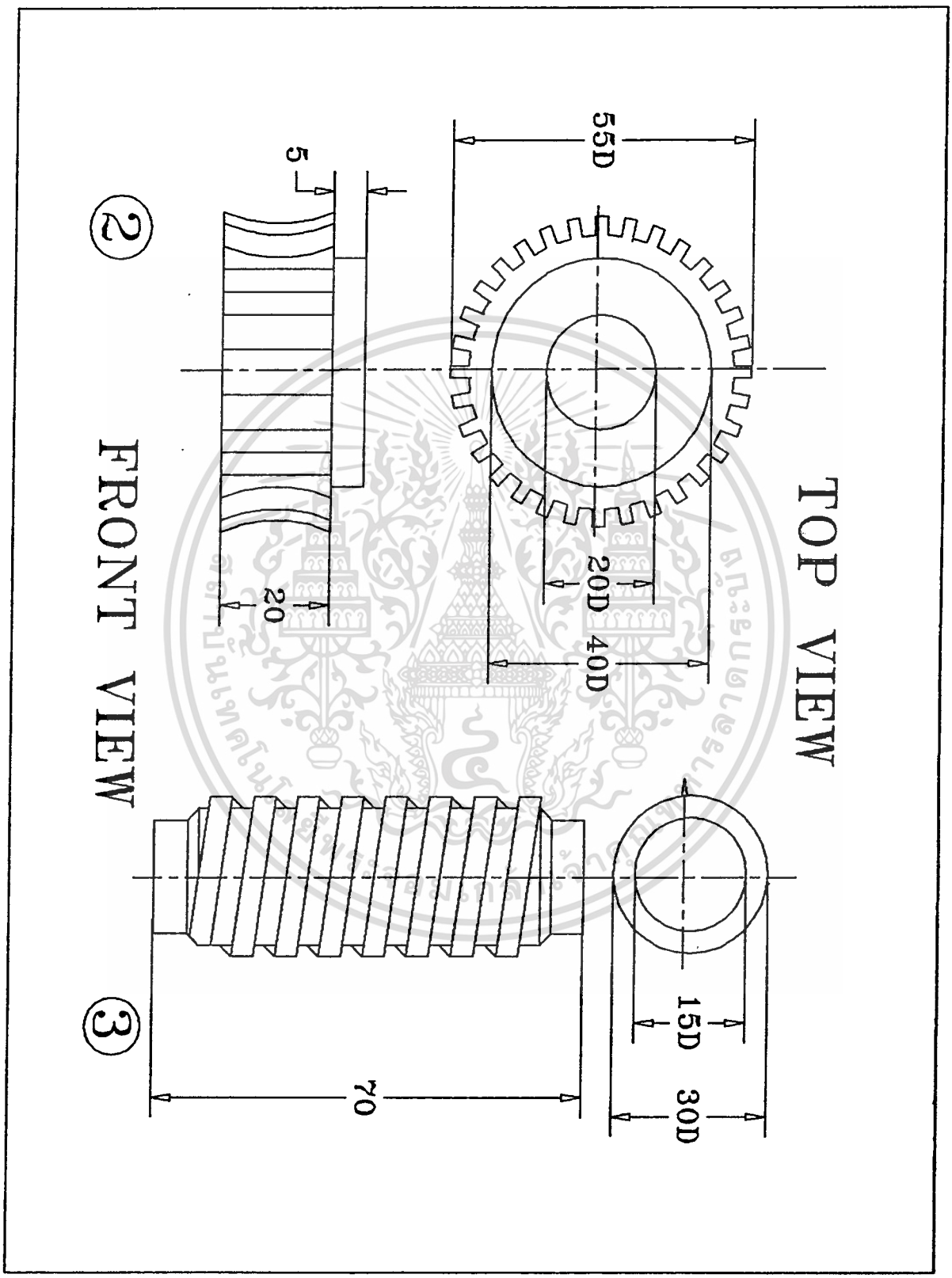



PART2

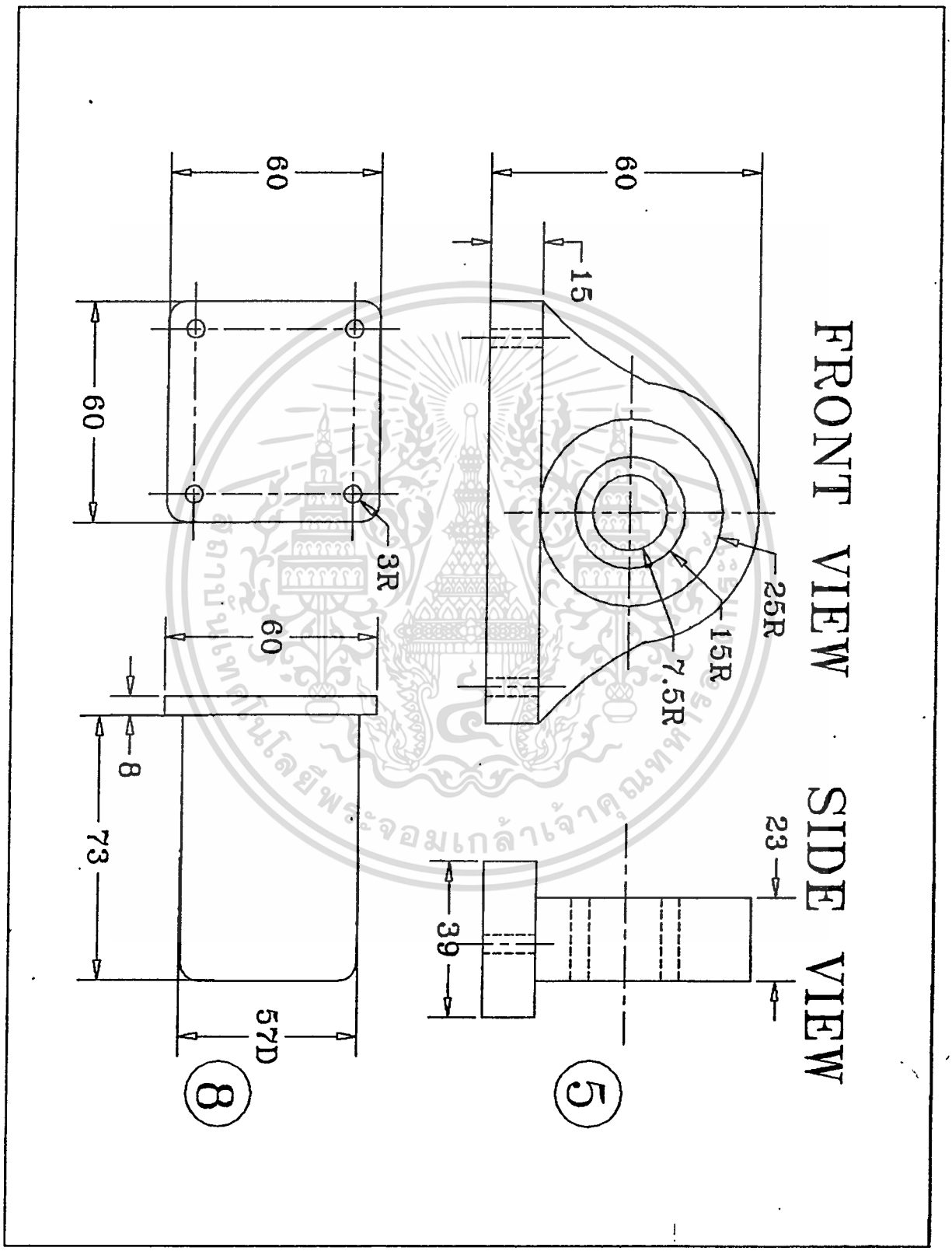
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



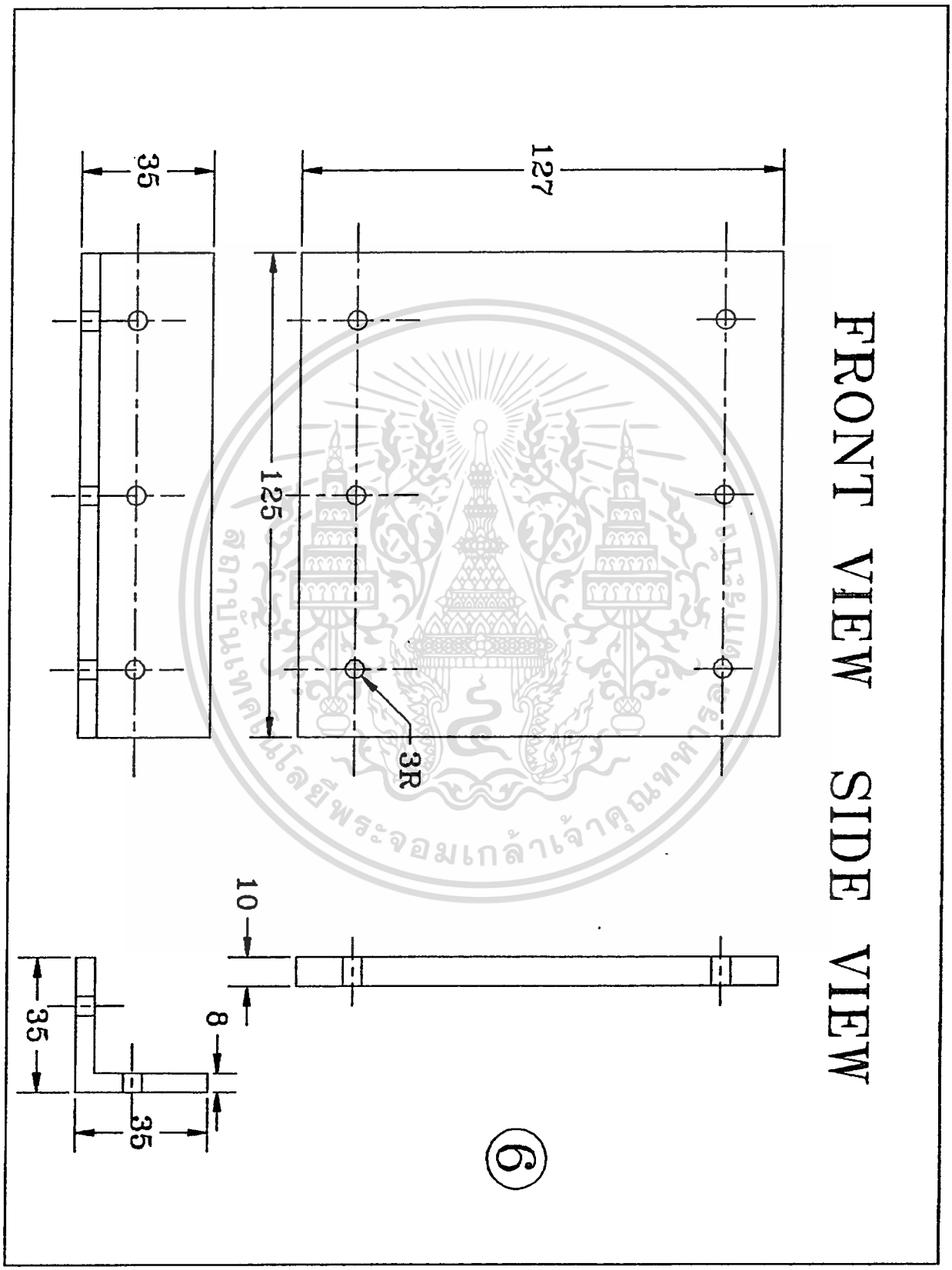

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



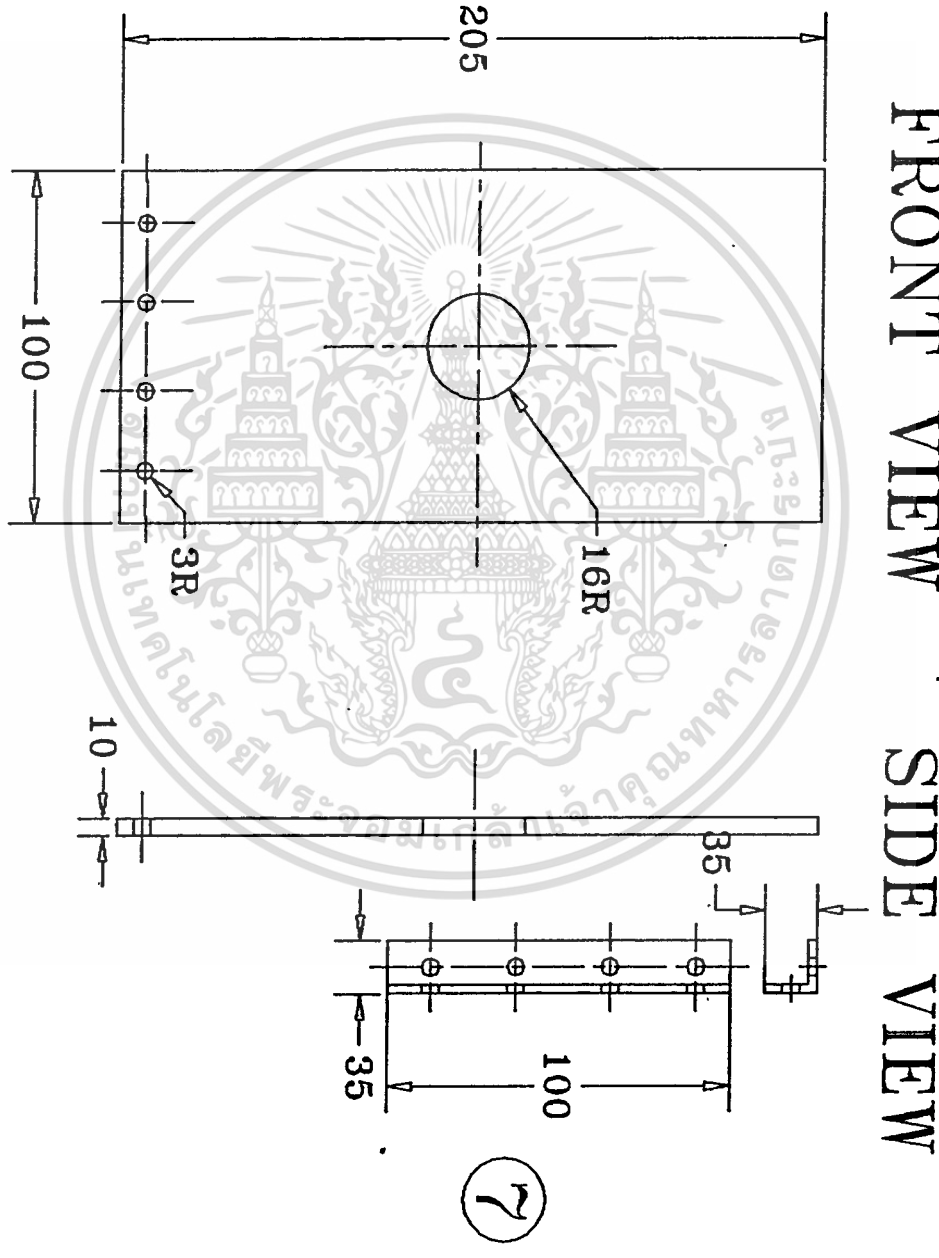

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

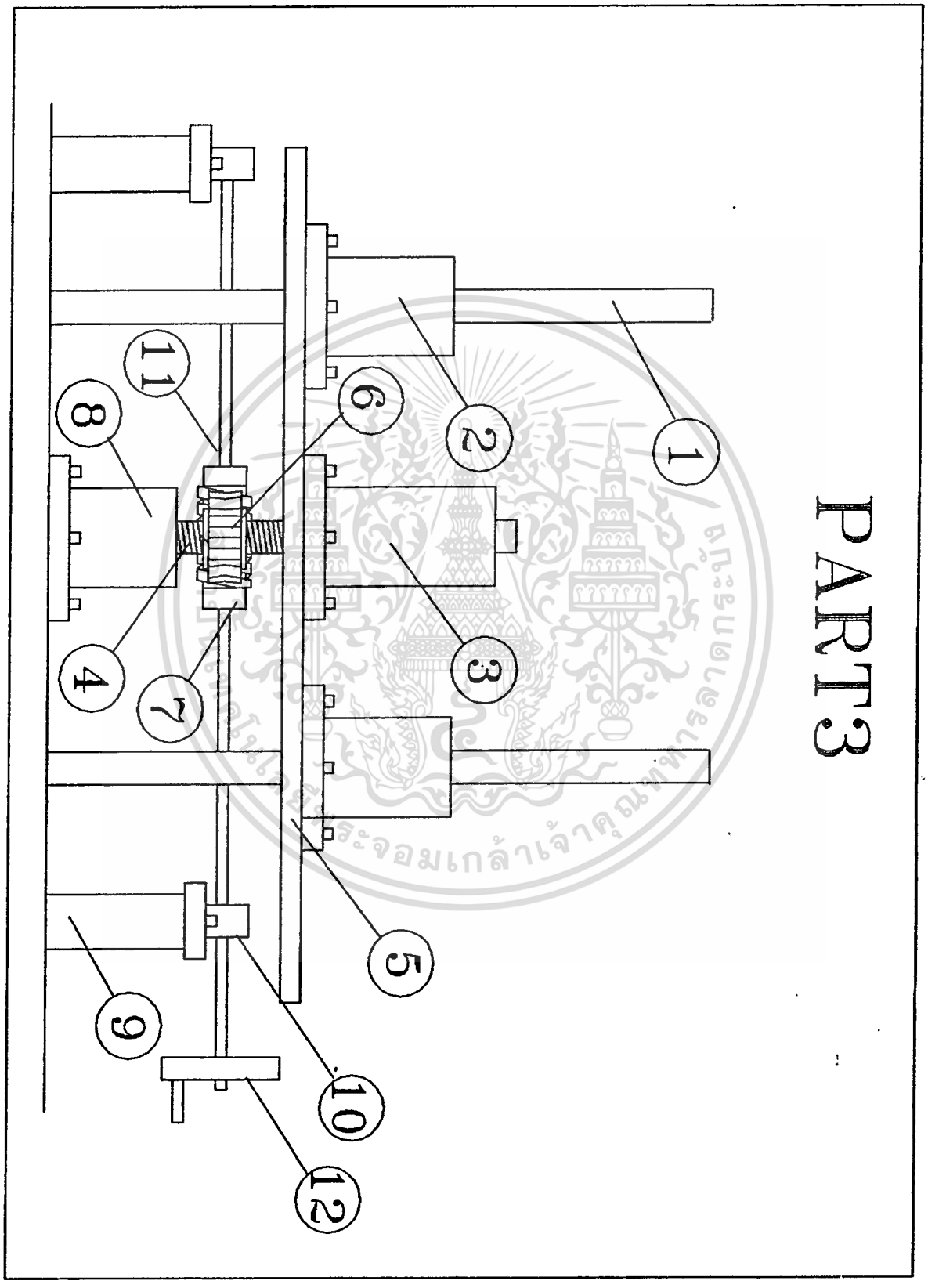



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



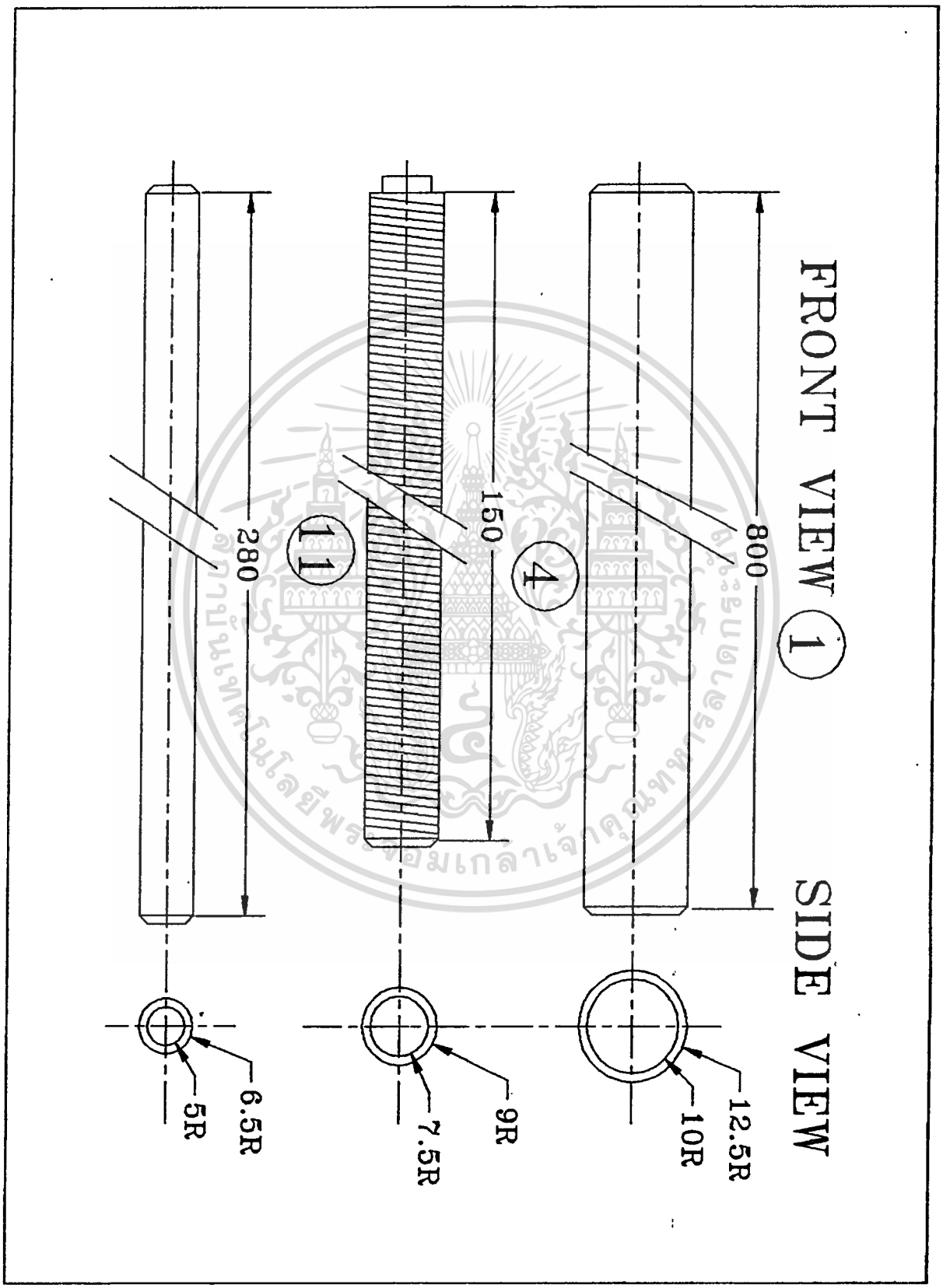

(7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

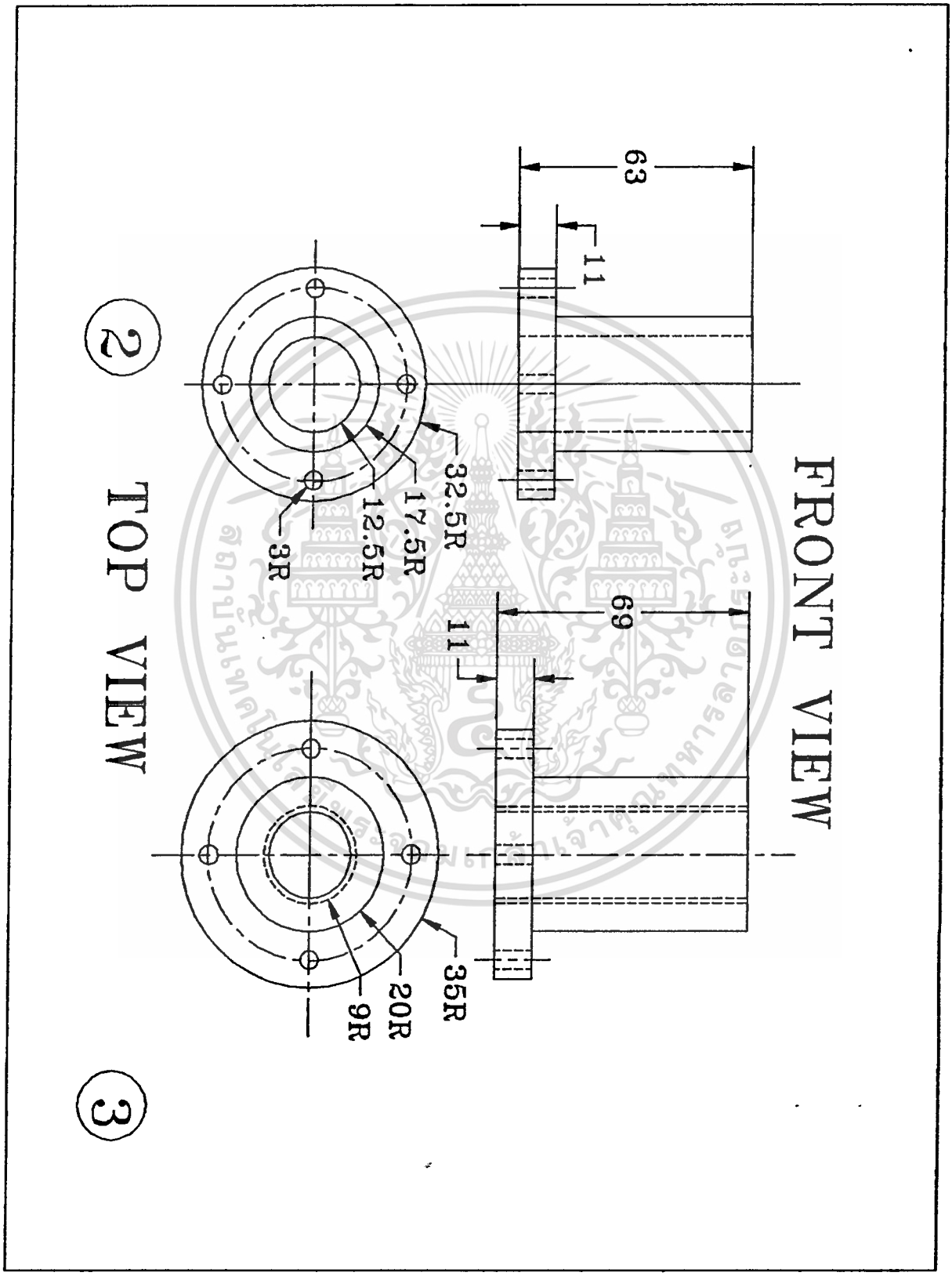



PART 3

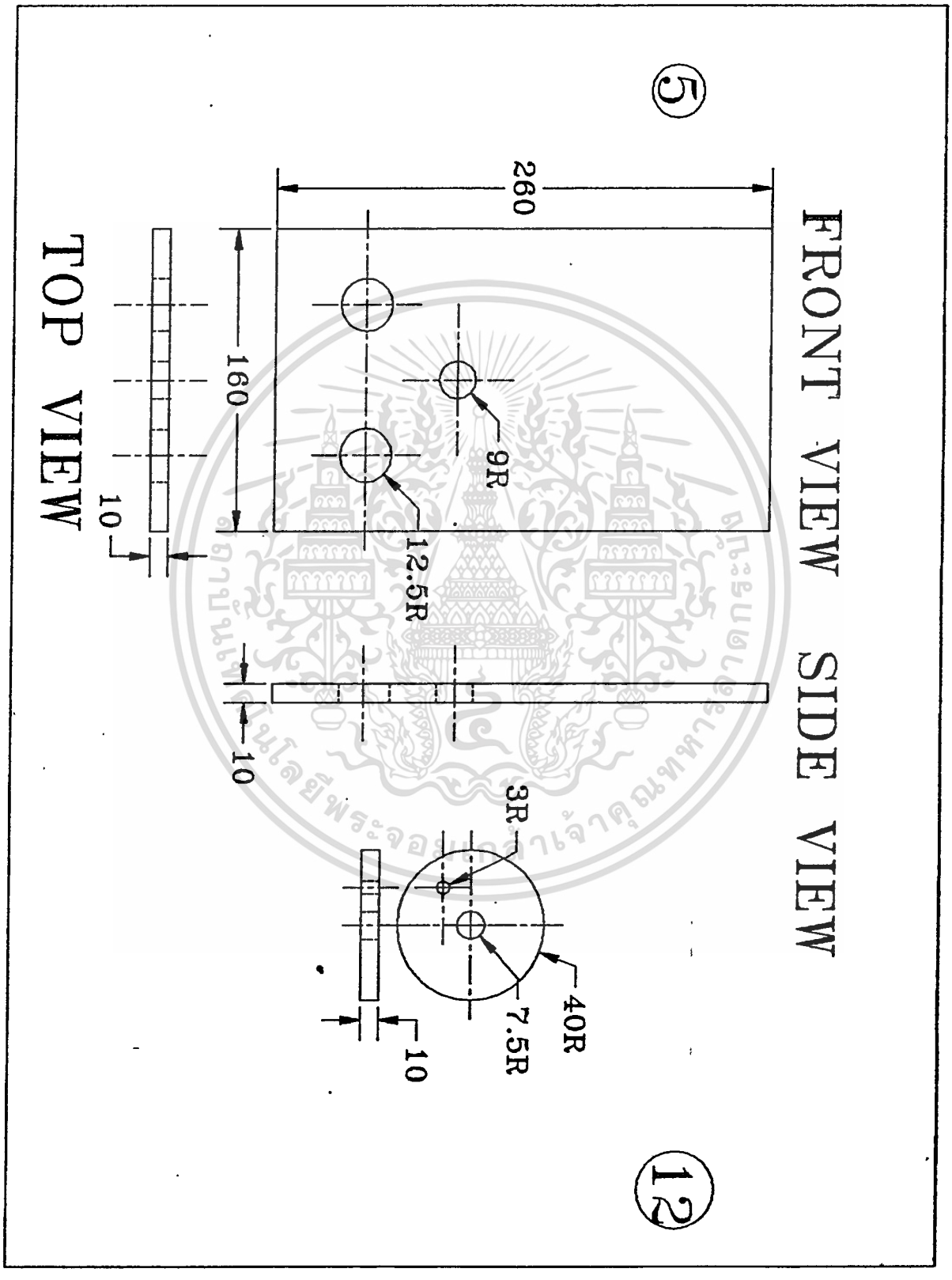
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



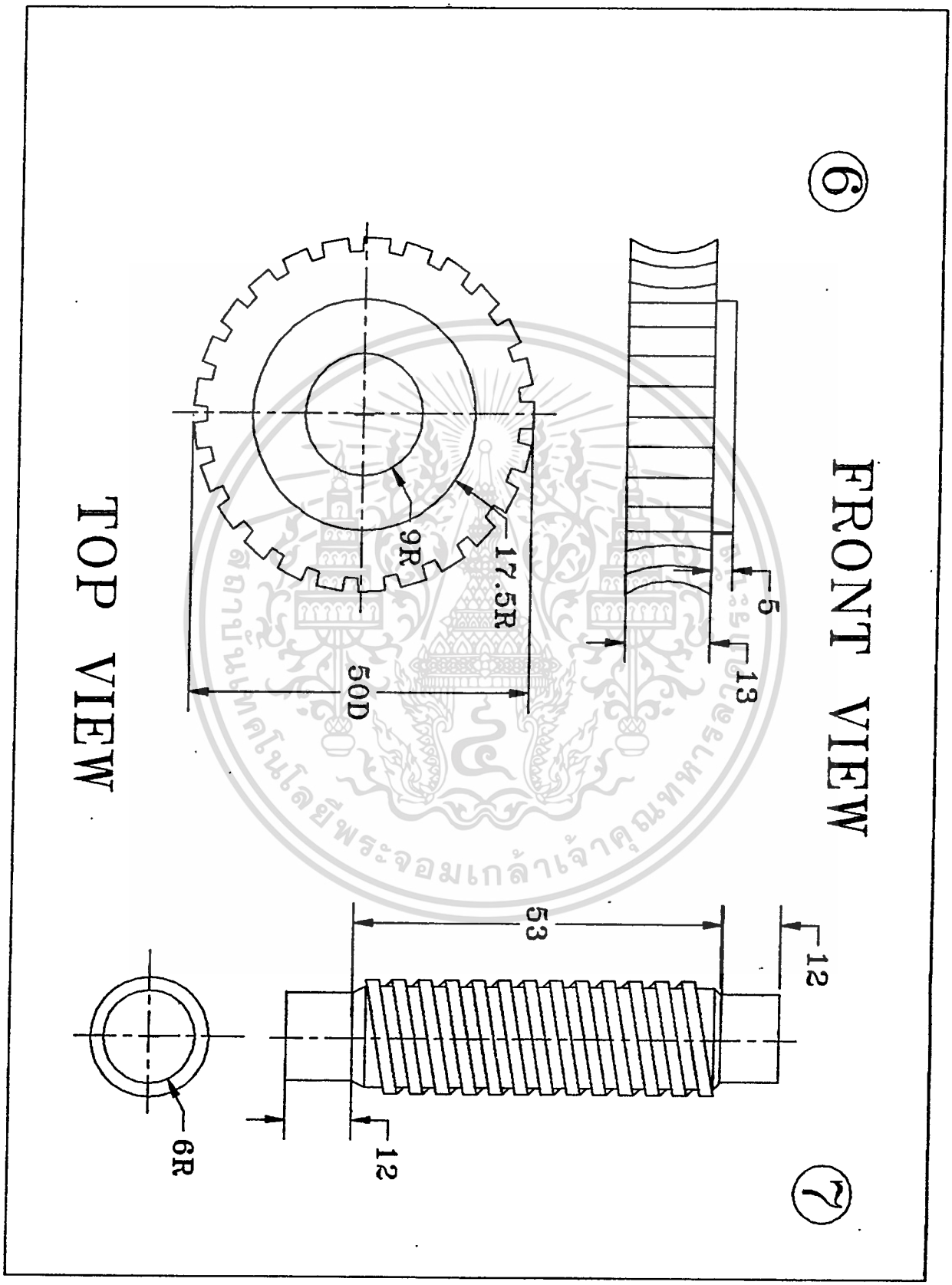

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



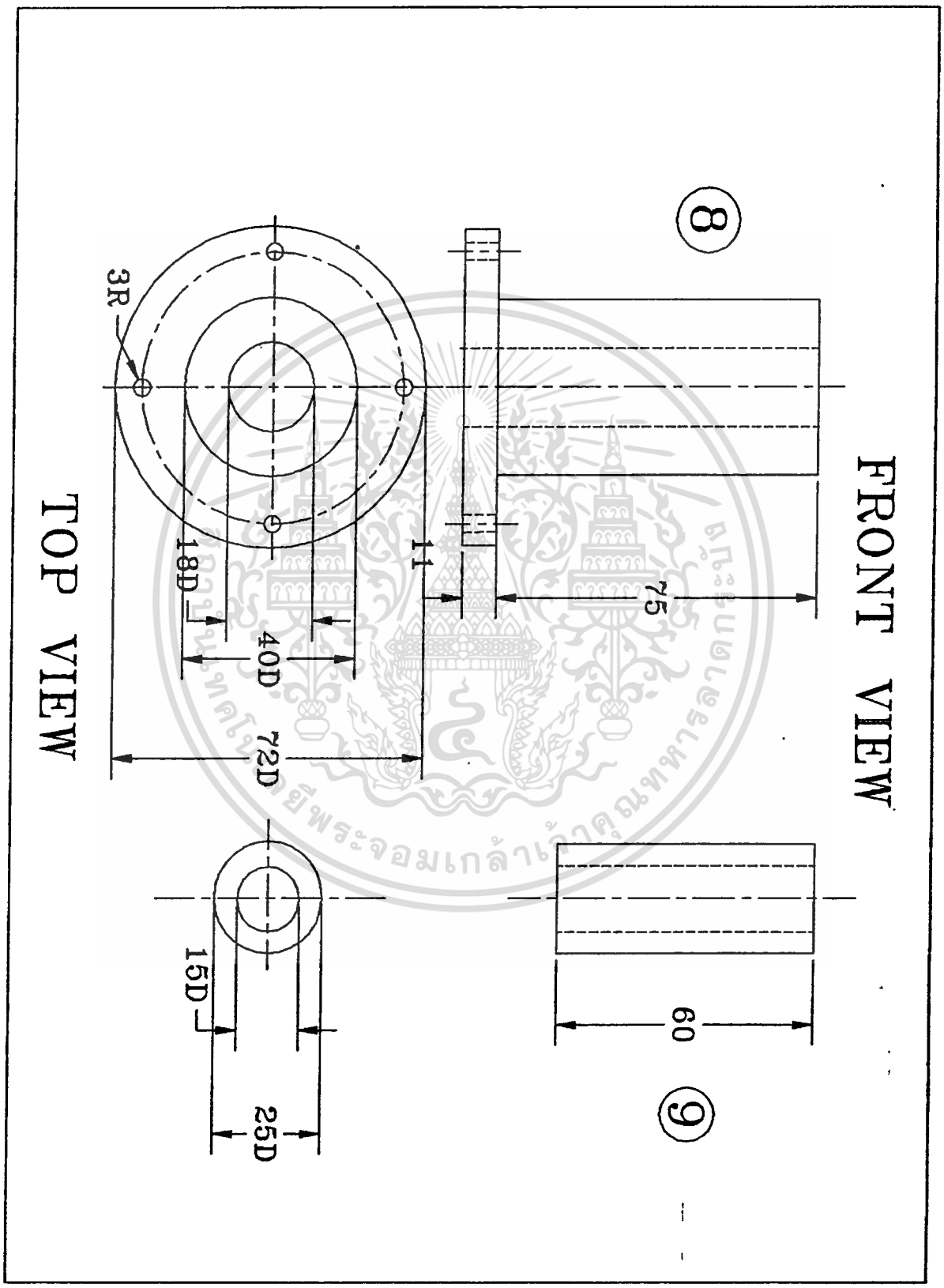

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



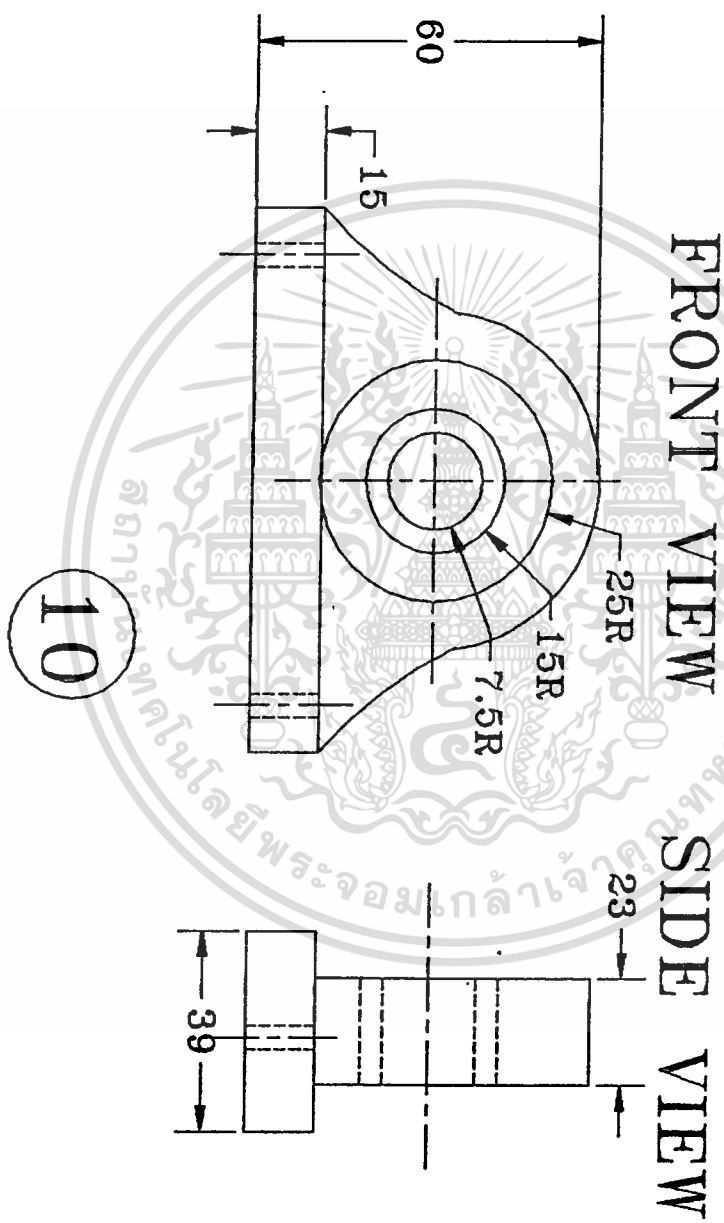

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



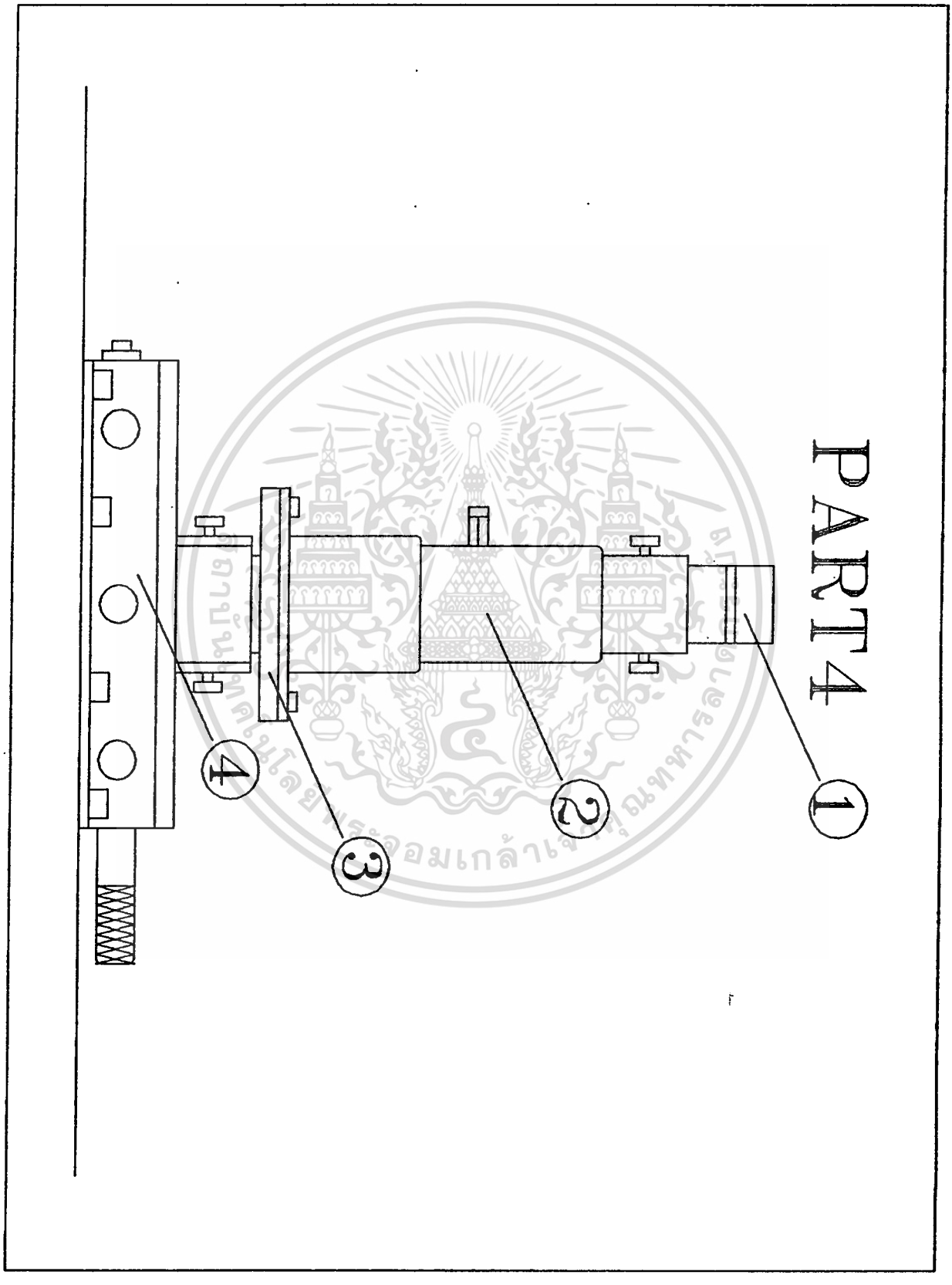

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



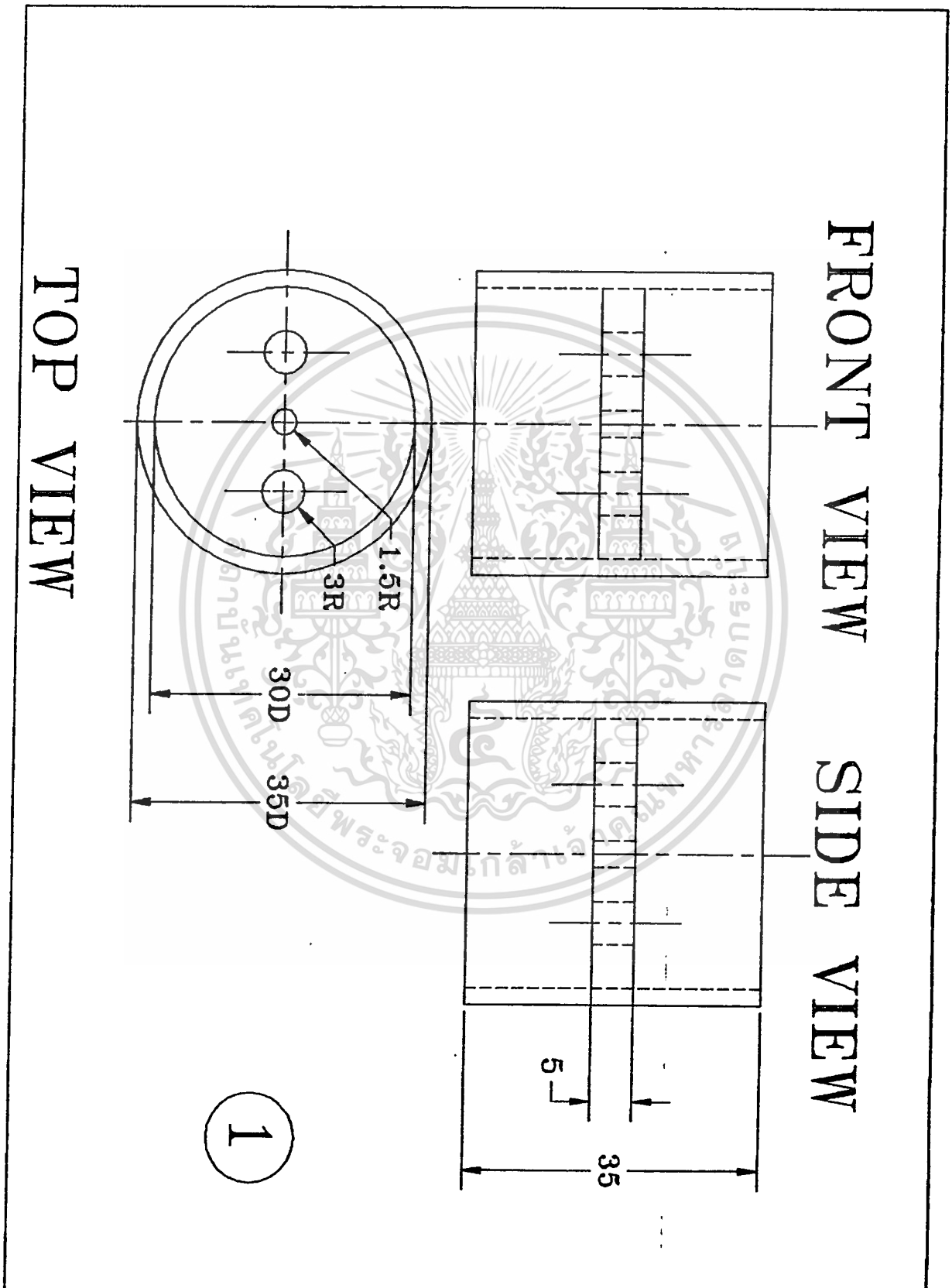

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



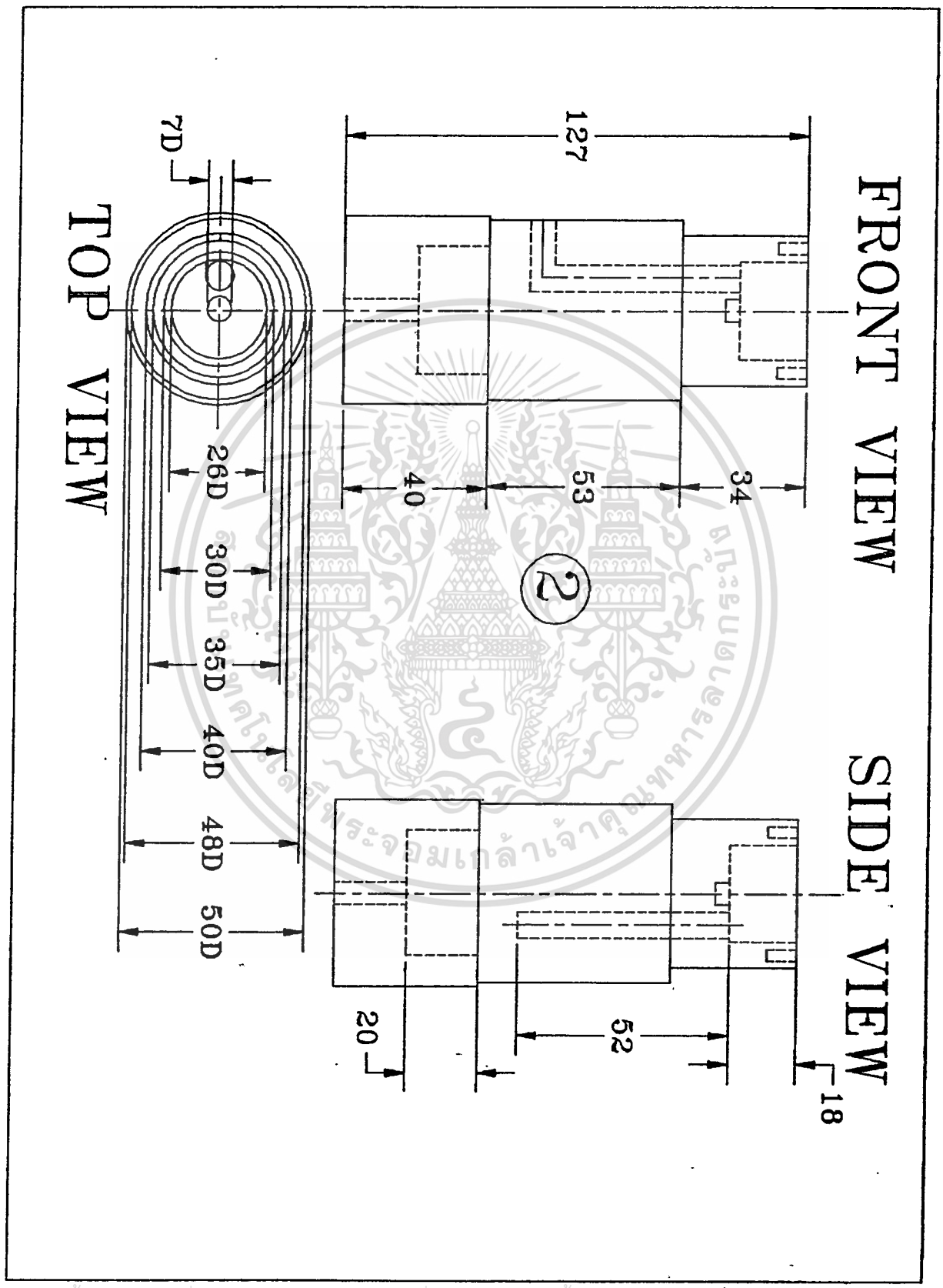

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



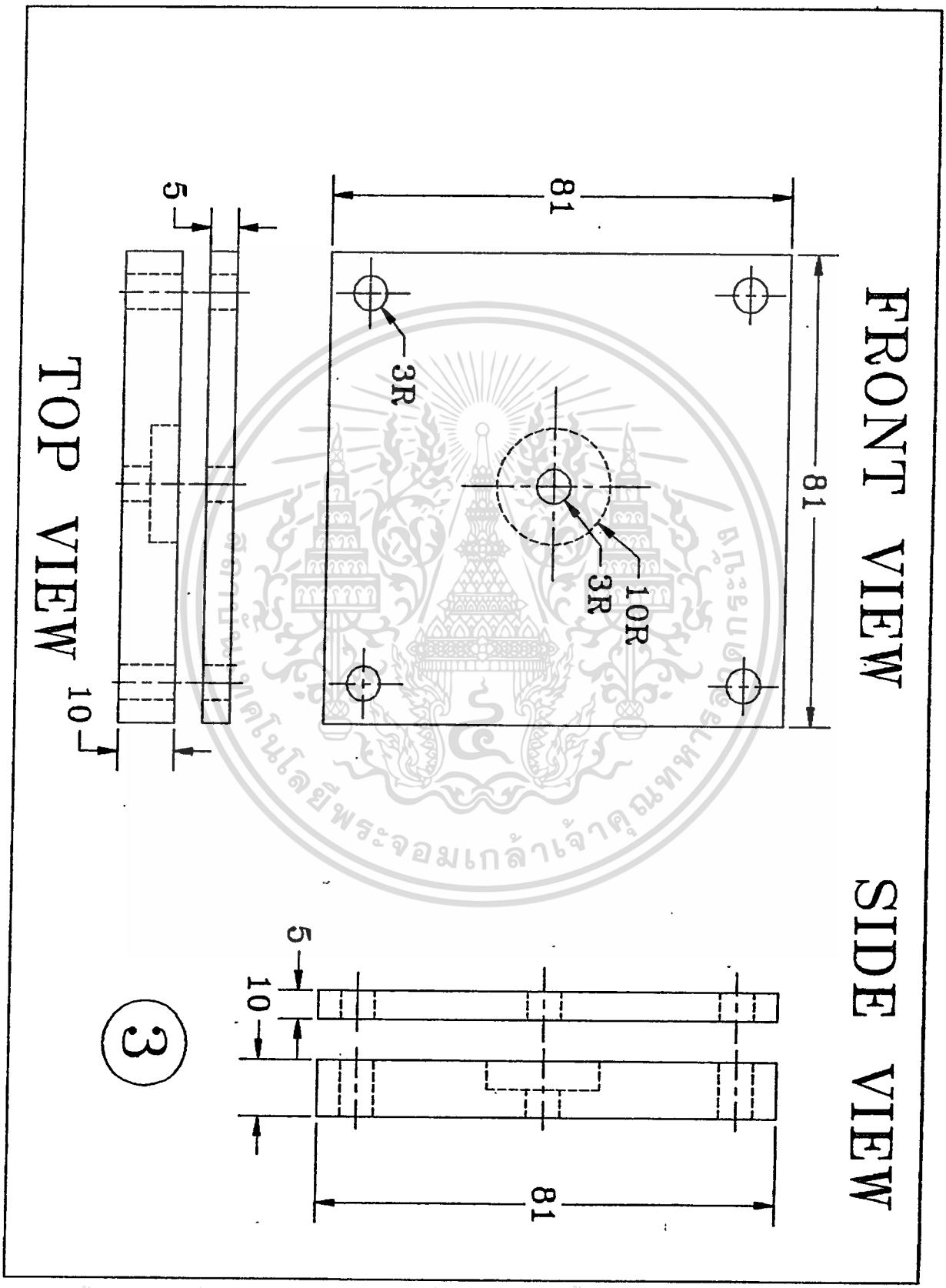

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



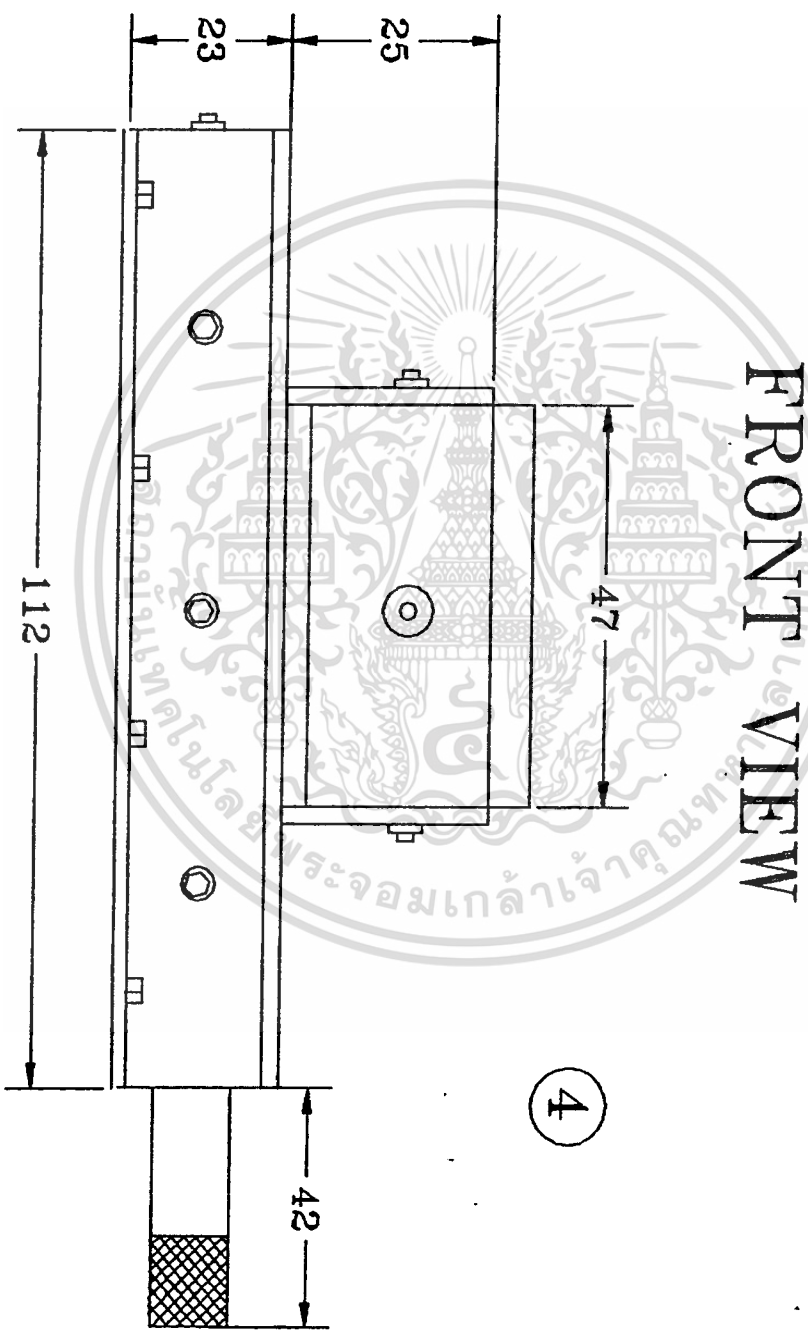

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



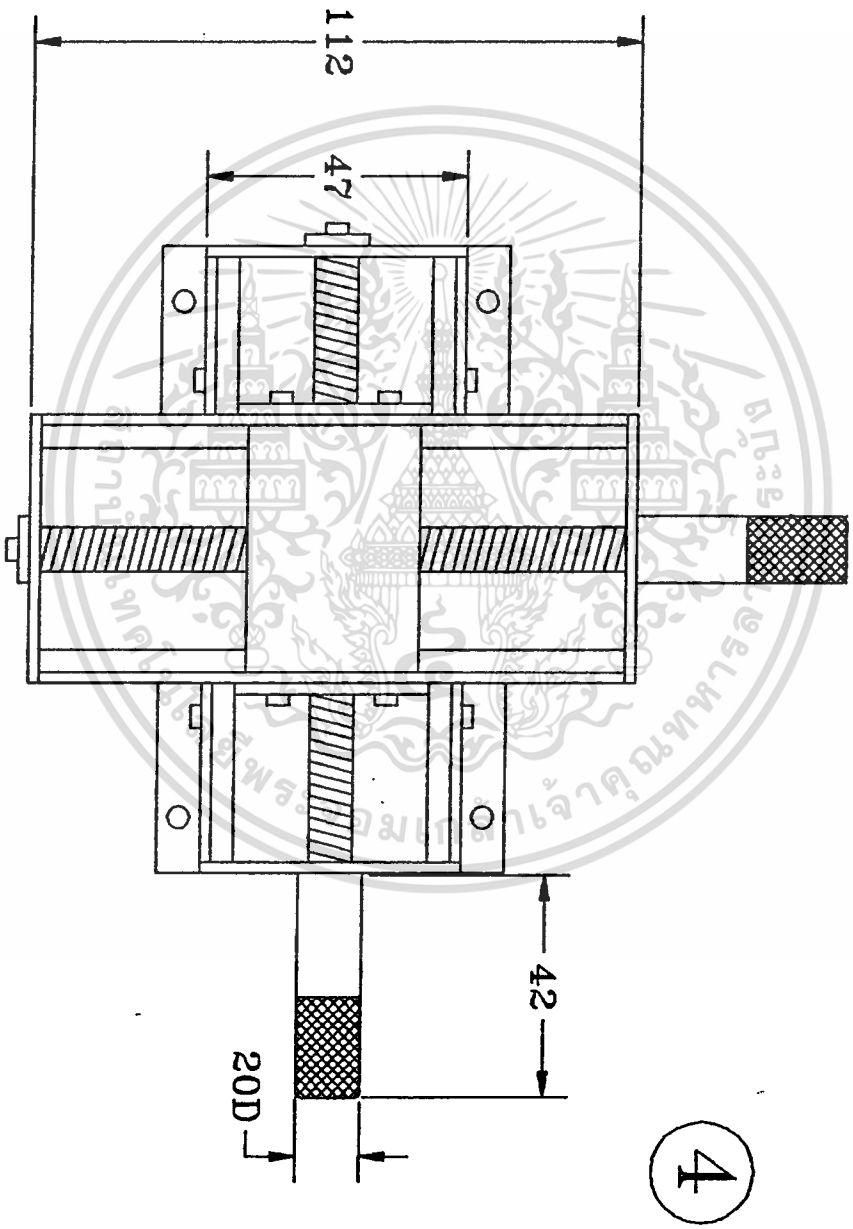

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



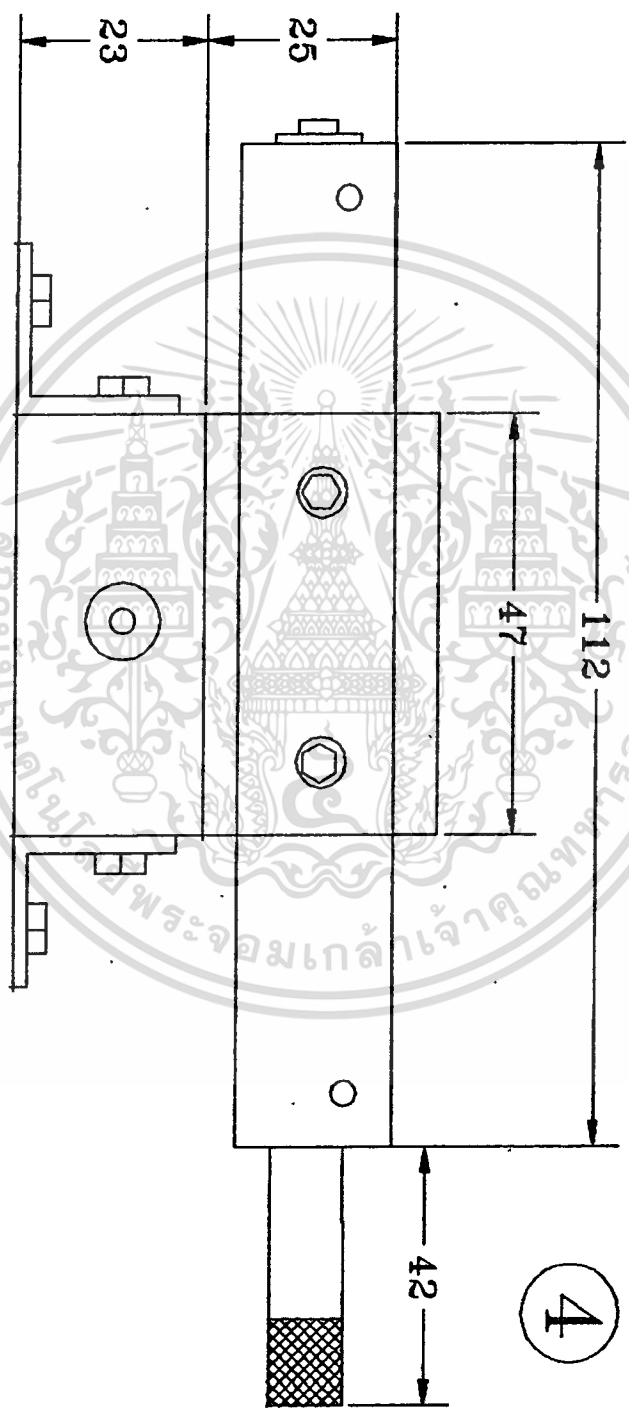

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



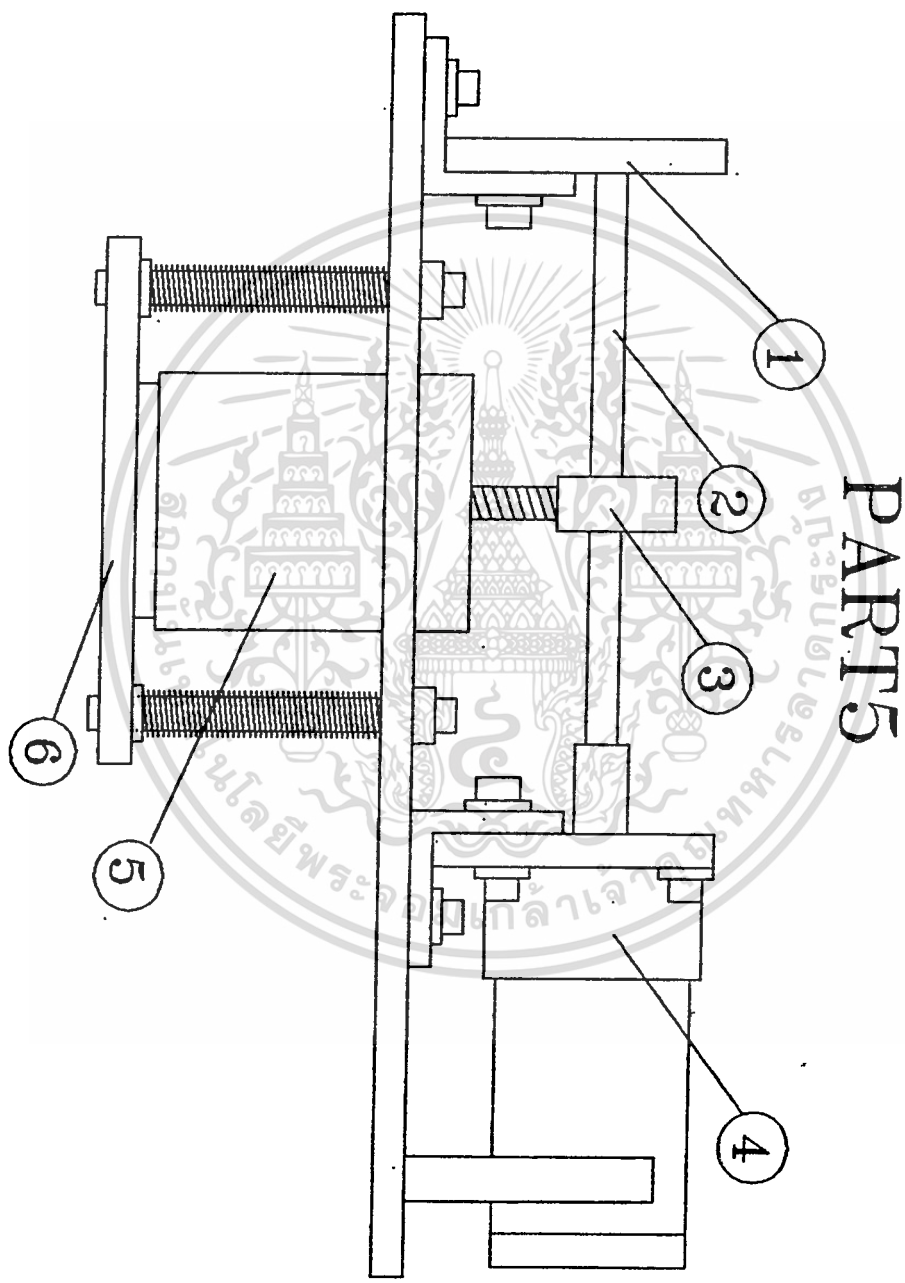

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

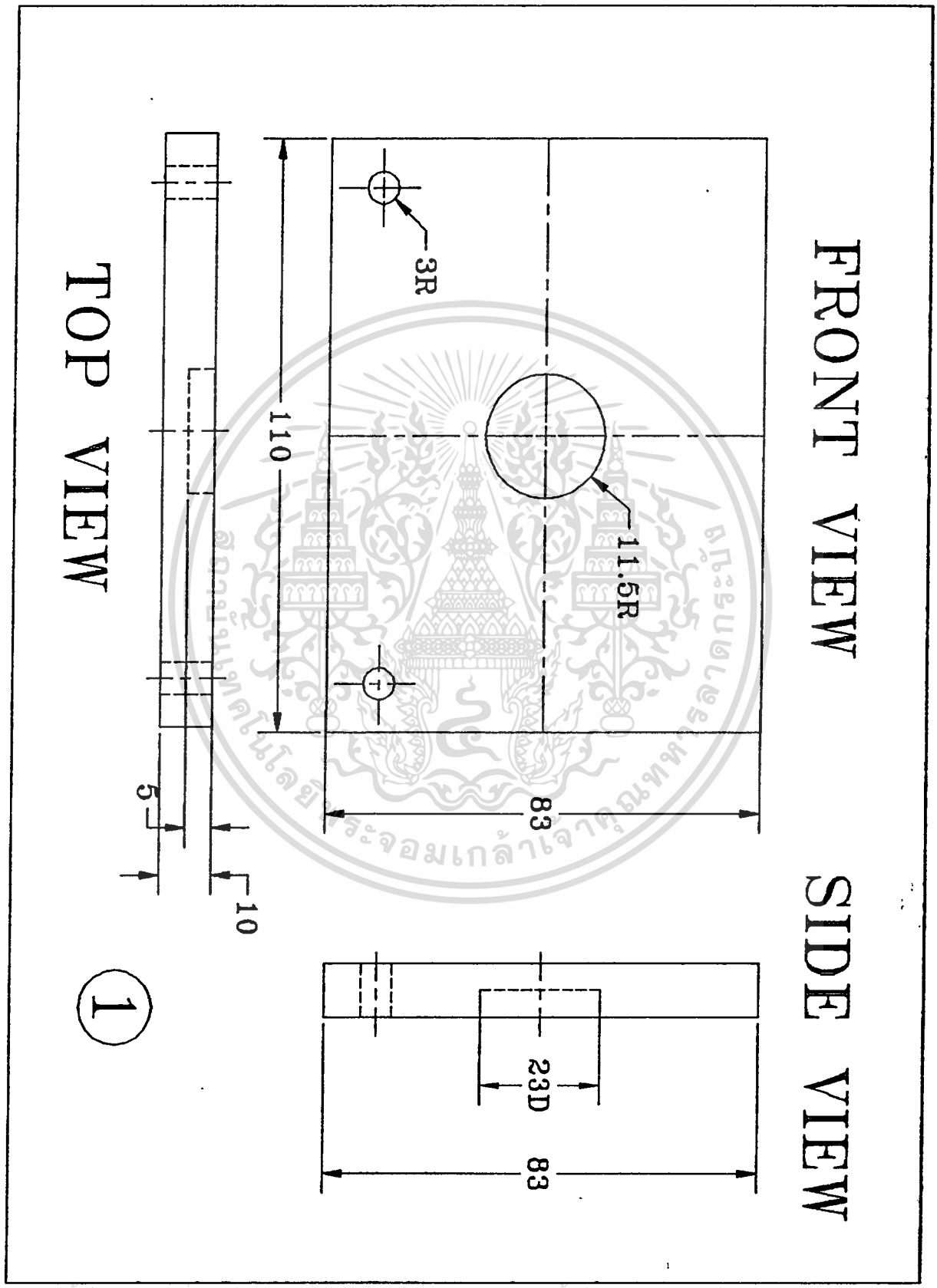



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

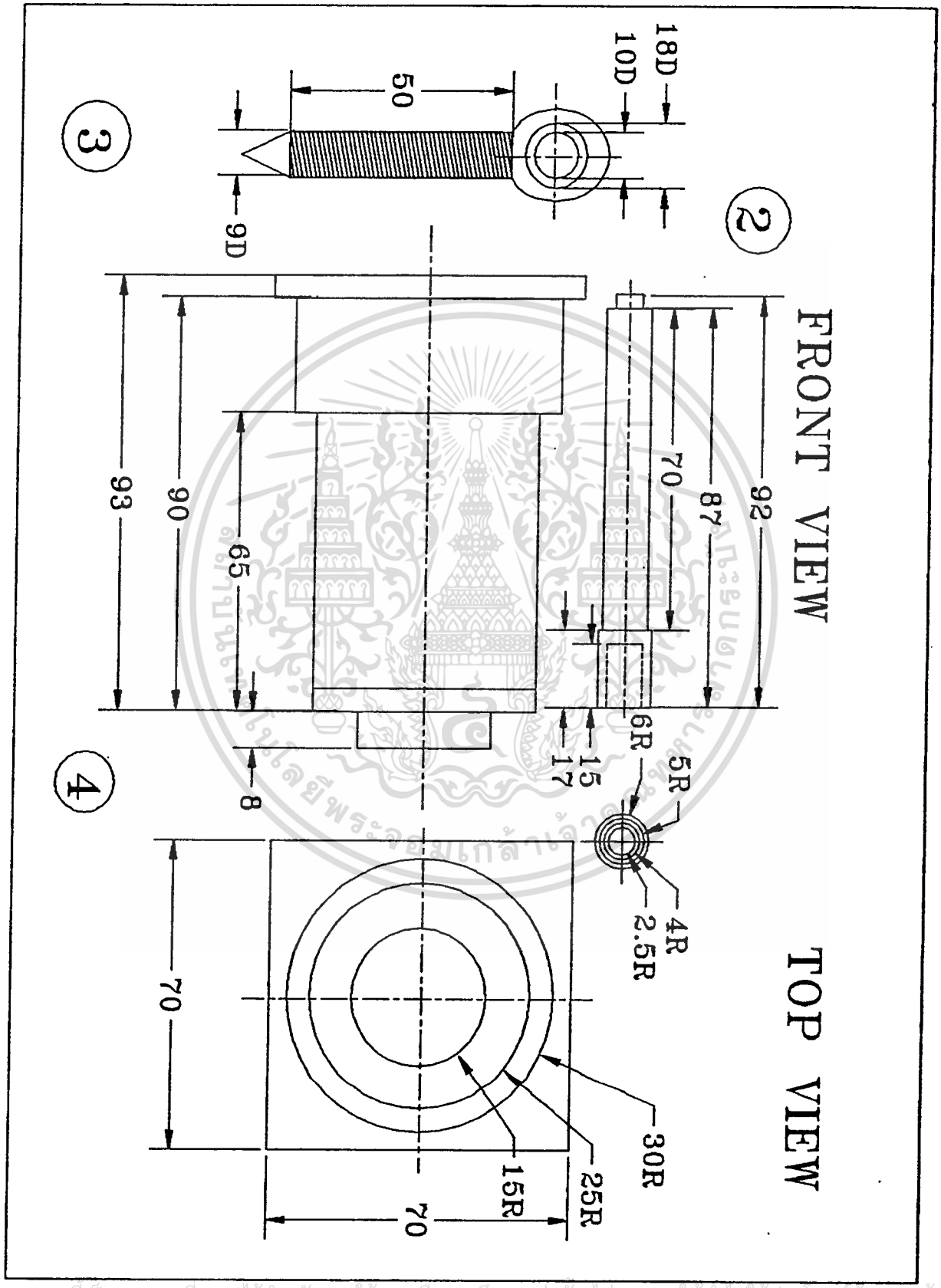



PART5

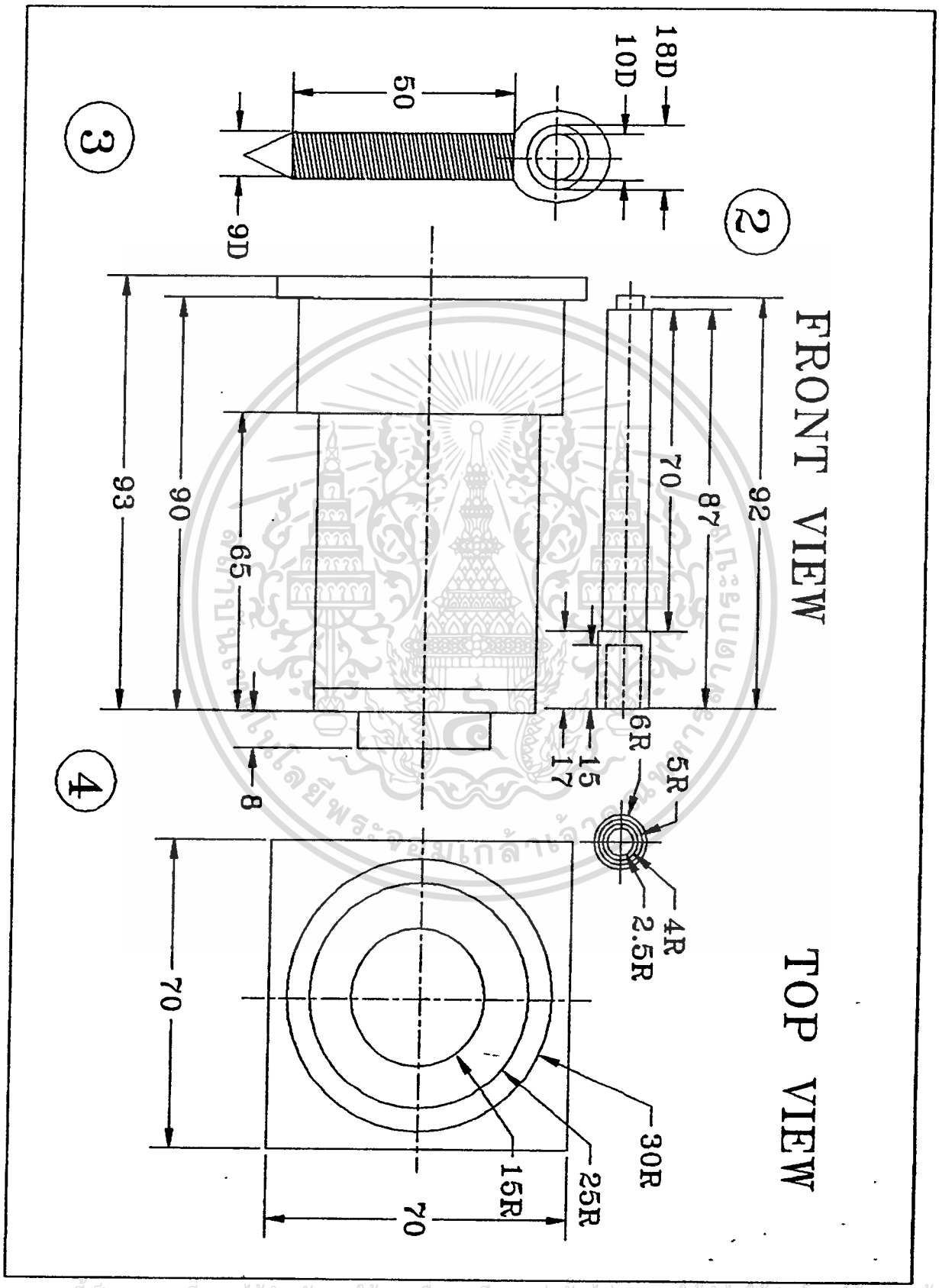
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



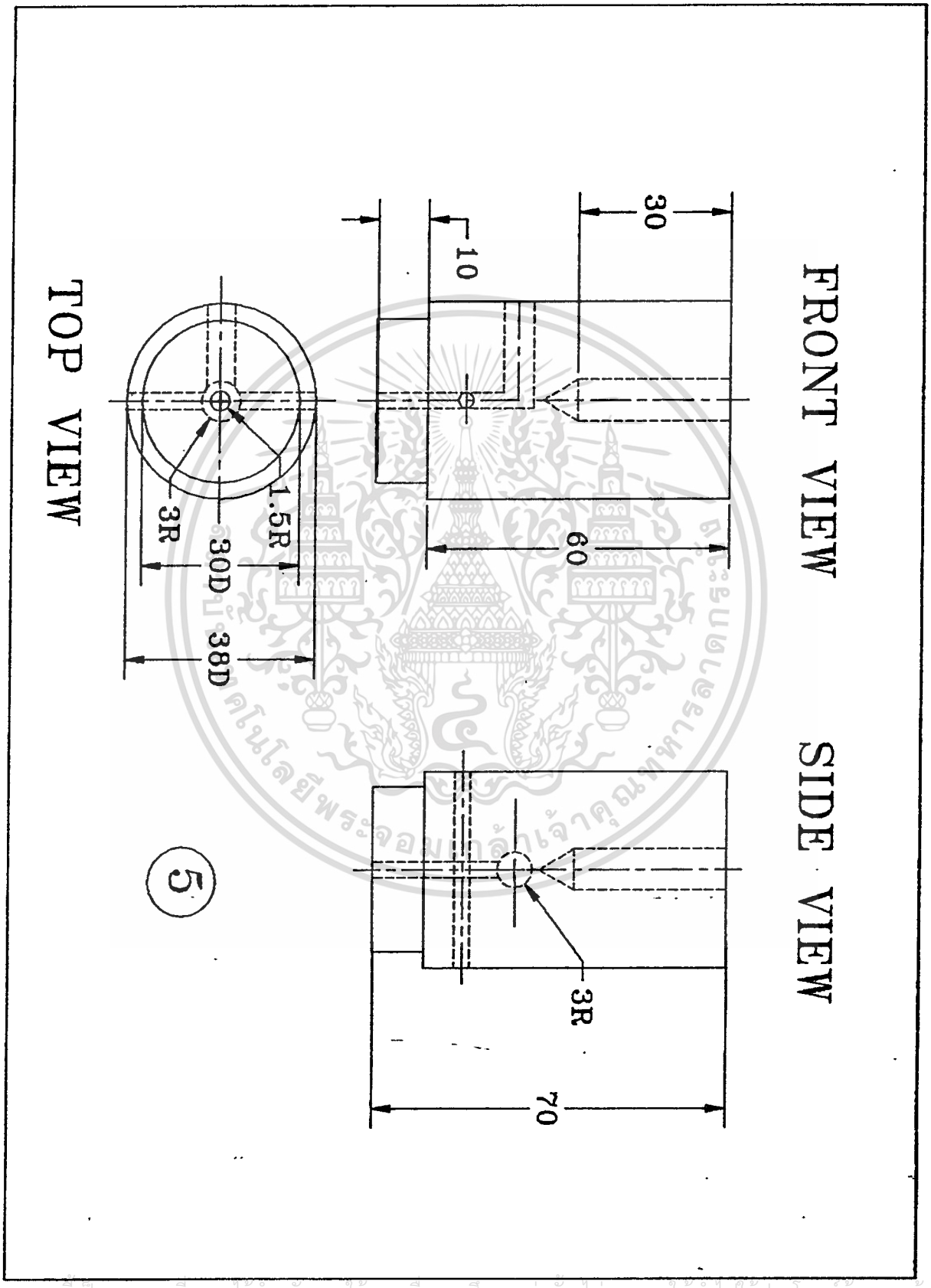

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



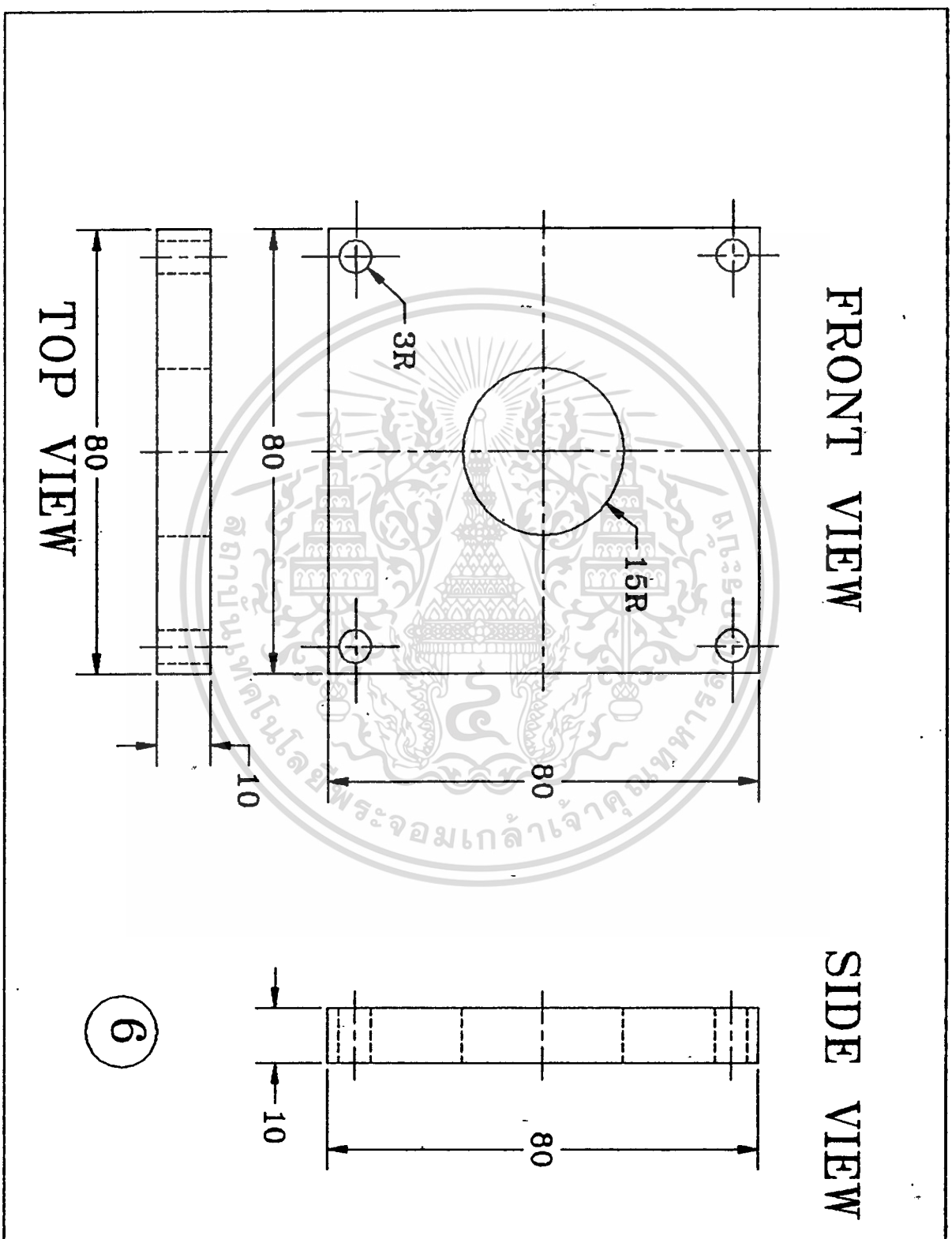

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

รศ. ทวี เทศเจริญ ที่ให้คำปรึกษาตลอดการดำเนินงานจนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง

คุณ มณฑา เทียมเมือง ที่ให้ความสะดวกและเทคนิคในการทำงาน

ขอขอบคุณเพื่อนๆและทุกท่าน ที่คอยช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ มา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# หนังสืออ้างอิง

เอกสารการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง “การประยุกต์ใช้เครื่อง EDM. ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ละเอียด” , สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม , 2534

“ Z 80 ET-BOARD SINGLE BOARD MICROCOMPUTER”, ETT CO., LTD , 2532

วิธีการไล่อนุภาคของกากตะกอนบนชิ้นงานในเครื่อง EDM. , รศ. ธีระยุทธ สุวรรณประทีป , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

“ET-SMCC STEPPING MOTOR CONTROL”, by ETT CO,LTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า