

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 ข้อจำกัดในการใช้แผนภาพที่ใช้ในการช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์

จากแผนภาพ 3.1 - 3.5 ในบทที่ 3 ซึ่งเป็นแผนภาพที่ใช้ในการช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามวิธี Schmidt analysis พบว่ามีข้อจำกัดในการใช้งานดังนี้

1. การใช้แผนภาพ 3.1 - 3.4 จำเป็นจะต้องให้มีค่าพารามิเตอร์อื่น เท่ากับที่กำหนดไว้ในแผนภาพนั้น ๆ เช่น การใช้แผนภาพ 3.2 ซึ่งเป็นแผนภาพของค่าพารามิเตอร์ K ค่ามุม ALPH จะต้องเท่ากับ 90 องศา และ χ เท่ากับ 1.0 โดยมี curve ของ TAU เท่ากับ 0.25 และ 0.5 เท่านั้น ดังนั้นแผนภาพ 3.1 - 3.4 จึงใช้ช่วยในการแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า Power parameter ($P / P_{max} \cdot VT$) เมื่อค่าพารามิเตอร์นั้น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงไป

2. การใช้แผนภาพ 3.5 แม้จะมีการใช้งานที่ง่ายกว่า โดยมีข้อกำหนดของค่าพารามิเตอร์ประจำแผนภาพเพียงค่า T_{min} เท่ากับ $300 K^{\circ}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิส่วนใหญ่ที่ใช้ในการหล่อเย็นอยู่แล้ว แต่จะสังเกตได้ว่าการใช้แผนภาพจะต้องมีการกำหนดค่า χ ขึ้นมาก่อน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเป็นไปได้ยาก นอกเสียจากจะต้องมีการร่างรูปแบบเครื่องชนค้อออกมาอย่างคร่าว ๆ ก่อน

4.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องชนค้อที่ใช้ในการจัดทำงานวิจัย

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า Power parameter เมื่อพารามิเตอร์ T_{max} หรือ T_E (ตามที่เขียนไว้ในรูป 3.1) , χ และ ALPH มีค่าเปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตได้ง่ายกว่าค่าพารามิเตอร์ K ดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 หัวข้อ 3.2 แต่ถึงแม้ว่าจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงง่ายกว่า แต่การเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดก็เป็นไปได้ยากเช่นเดียวกัน เนื่องจากกำลังที่ได้จากเครื่องชนค้อเป็นผลจากค่าพารามิเตอร์เหล่านี้รวมกัน ไม่ขึ้นกับค่าใดค่าหนึ่งโดยเฉพาะ ดังนั้น หลักเกณฑ์ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องชนค้อที่ทำการจัดสร้างขึ้นใหม่จึงเป็นดังนี้

1. กำหนดค่า χ ไว้ว่า จะต้องไม่เกิน 1.0 เนื่องจาก หากสังเกตลักษณะเฉพาะตัวของ เครื่องยนต์ชนิด GAMMA จะเห็นได้ว่า มีทางเดินของอากาศในเครื่อง มากกว่าในเครื่องยนต์ สเตอติค ชนิด kinematic ประเภท ALPHA และ BETA ซึ่งทางเดินอากาศนี้ถือว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อระบบ หรือ dead space ด้วย โดยเฉพาะทางเดินอากาศระหว่างกระบอกสูบร้อน และกระบอกสูบเย็น ที่จัดว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่ในเครื่องยนต์ แต่การลดระยะนี้ให้สั้นลงในกรณีนี้ไม่สามารถทำได้มากนัก เนื่องจากเครื่องยนต์ชุดที่ทำการจัดทำขึ้นมาใหม่นี้ มีการหล่อเย็น โดยการระบายความร้อนสู่อากาศโดยตรง ระยะทางที่สั้นเกินไป จะทำให้อากาศร้อนไม่สามารถระบายความร้อนออกได้มากพอ ทำให้อุณหภูมิของอากาศในพื้นที่ทรงกระบอกเย็นมี อุณหภูมิสูงขึ้น และ ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ลดลง

2. กำหนดค่าอุณหภูมิในทรงกระบอกร้อนไว้ไม่เกิน 200 C° เนื่องจากเกรงว่าจะเกิดการ บิดเบี้ยวของชิ้นส่วน displacer ดังนั้น เมื่อทราบค่าอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด (กำหนดไว้ที่อุณหภูมิต่ำสุด หรือ 300 K°) จึงหาค่าพารามิเตอร์ TAU ได้

3. สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์สุดท้ายคือ K ทำโดยการทดลองออกแบบเครื่องยนต์ อย่างคร่าว ๆ โดยคำนึงขนาดของชิ้นส่วนที่มีการใช้งานจริง เช่น ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ของท่อที่นำมาใช้ทำเป็นกระบอกสูบร้อนและกระบอกสูบเย็น รวมทั้งค่าพื้นที่ dead space ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1.0 ตามที่ได้ตั้งขอบเขตเอาไว้ และ stroke ของการเคลื่อนที่ที่ไม่ยาวเกินไป เนื่องจากจะทำให้เกิดค่าแรงเสียดทานมาก จนได้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบร้อน ที่มีการบรรจุ displacer และ piston ที่ค่า 12.5 และ 9.5 เซนติเมตรตามลำดับ และมี stroke ในการเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตรเท่ากัน ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณค่า K จะได้ค่าที่ 0.578 เมื่อเช็กลับไปยังแผนภาพ 3.2 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ประจำแผนภาพใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ดำเนินการจัดสร้าง โดยเลือก curve ของค่า TAU ที่ 0.5 พบว่าค่า K ที่ได้ อยู่ในช่วงที่กำลังจากเครื่องยนต์กำลังขึ้นไปที่กำลังสูงสุด จึงตัดสินใจเลือกค่า K นี้

4.3 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ทำการจัดสร้าง

สำหรับขนาดและรายละเอียดของส่วนประกอบของเครื่องยนต์แสดงอยู่ในรูปที่ 4.1 - 4.8 โดยมีค่าพารามิเตอร์ในเบื้องต้นแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 ก. ข้างล่าง สำหรับการคำนวณค่ากำลังที่ได้ จากเครื่องยนต์ และ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะได้แสดงในหัวข้อถัดไป

เครื่องยนต์ที่ทำการจัดสร้างประกอบด้วยทรงกระบอกจำนวน 2 ชุดวางขนานกัน ภายในบรรจุชิ้นส่วนเคลื่อนที่ 2 ชนิด คือ piston และ displacer โดยบริเวณหัวของทรงกระบอกที่บรรจุ displacer มีการติดตั้งขดลวดความร้อนขนาด 1000 วัตต์ สำหรับใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับอากาศ ซึ่งใช้เป็นสารทำงานในเครื่องยนต์ โดยกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขดลวดความร้อนนั้น สามารถวัด และ ควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ 3 ชุด คือ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ (variable transformer), แอมมิเตอร์ และ โวลต์มิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ บริเวณทางเดินอากาศในทรงกระบอกร้อน มีการใส่ regenerator ที่ทำจากฝอยสแตนเลส สำหรับใช้เป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการระบายความร้อนบริเวณทรงกระบอกเย็น หรือ ทรงกระบอกที่บรรจุ piston ใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศ

ตารางที่ 4.1 ก แสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญของเครื่องยนต์

ลำดับที่	รายการ	ขนาด	หน่วย
1	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในที่บรรจุ displacer (DD)	125	มม.
2	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในที่บรรจุ piston (DP)	95	มม.
3	ระยะชักของ displacer (SD)	100	มม.
4	ระยะชักของ piston (SP)	100	มม.
5	พารามิเตอร์ ALPH	90	deg
6	พารามิเตอร์ PMIN	1	atm
7	พารามิเตอร์ Tmin	300	K ^o
8	พารามิเตอร์ Tmax	473	K ^o
9	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	400	rpm

สำหรับรายละเอียดของชุดขับเคลื่อนมีดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของ piston เป็นแบบ slider crank mechanism ส่วน displacer เป็นแบบ eccentric mechanism เพื่อลดแรงกระทำด้านข้าง หรือ side force ในทรงกระบอก แต่เนื่องจากแรงเสียดทานของชิ้นส่วนที่มาประกอบกันค่อนข้างมาก (ดูรูปที่ 4.8) จึงมีการเติมน้ำมันสำหรับการหล่อลื่นใน casing (รูปที่ 4.3) เพื่อให้มีการหล่อลื่นชุดลูกเบี้ยวอยู่ตลอดเวลาเมื่อมีการเคลื่อนที่

2. ล้อช่วยแรงเป็นแบบ disk flywheel เนื่องจากง่ายต่อการจัดสร้าง โดยมีน้ำหนักอยู่ที่ประมาณ 50 กิโลกรัม

3. สามารถปรับมุมที่การเคลื่อนที่ของ displacer นำการเคลื่อนที่ของ piston โดยการคลายน็อตหกเหลี่ยมที่ชุดน้ำหนักถ่วงที่เพลลา

4. ไม่มีการใส่แหวนที่บริเวณ piston แต่ใช้สารหล่อลื่น เช่น จารบีทาไว้ เมื่อ piston เคลื่อนที่ สารหล่อลื่นนี้ก็จะเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบที่ผิว การทำเช่นนี้เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบขับเคลื่อน

4.4 การคำนวณค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์

จากพารามิเตอร์ข้างต้นสามารถนำมาคำนวณหาพารามิเตอร์อื่น ๆ เพื่อหางานที่ได้จากเครื่องยนต์ใน 1 รอบโดยวิธี Schmidt analysis ดังนี้

$$\begin{aligned} 1. \text{TAU} &= T_{\min} / T_{\max} \\ &= 300 / 473 \\ &= 0.634 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{VHL} &= \frac{\pi * DD^2 * SD}{4} \\ &= \frac{3.1416 * 12.5^2 * 10}{4} \\ &= 1227 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{VCL} &= \frac{\pi * DP^2 * SP}{4} \\ &= \frac{3.1416 * 9.5^2 * 10}{4} \\ &= 708.8 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

4. VD = ผลรวมของปริมาตรที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อระบบ
 = ปริมาตรบริเวณเหนือ displacer + ปริมาตรที่บรรจุ regenerator + ปริมาตรที่เป็นช่องทางเดินของอากาศ

ปริมาตรบริเวณเหนือ displacer

$$= \frac{\pi * 12.5^2 * 1.0}{4} + \frac{\pi * 13.3^2 * 2.0}{4}$$

$$= 401 \text{ cm}^3$$

ปริมาตรที่บรรจุ regenerator

$$= \frac{\pi * (15^2 - 14^2) * 18.5}{4}$$

$$= 421 \text{ cm}^3$$

ปริมาตรที่เป็นทางเดินอากาศ

$$= \left(\frac{\pi * 8^2 * 6}{4} \right) + (8 * 4.7 * 2)$$

$$= 377 \text{ cm}^3$$

$$\text{ดังนั้น VD} = 401 + 421 + 377 \text{ cm}^3$$

$$= 1199 \text{ cm}^3$$

5. K = VCL / VHL

$$= 708.8 / 1227$$

$$= 0.578$$

6. χ = VD / VHL

$$= 1199 / 1227$$

$$= 0.977$$

7. DEL = X / Z

$$\text{เมื่อ } X = [(\text{TAU} - 1)^2 + 2 (\text{TAU} - 1) (K) \cos (\text{ALPH}) + K^2]^{1/2}$$

$$= [(0.634 - 1)^2 + 2 (0.634 - 1) (0.578) \cos (90^\circ) + 0.578^2]^{1/2}$$

$$= 0.234$$

$$\begin{aligned}
 Z &= 4 (VD / VHL) [TAU / (1 + TAU)] + 1 + TAU + K \\
 &= 4 (1199 / 1227) [0.634 / (1 + 0.634)] + 1 + 0.634 + 0.578 \\
 &= 3.728 \\
 \text{ดังนั้น DEL} &= 0.234 / 3.728 \\
 &= 0.063
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 8. P_{MAX} &= P_{MIN} * (1+DEL)/(1-DEL) \\
 &= 0.1 \text{ Mpa} * (1+0.063) / (1-0.063) \\
 &= 0.113 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

สามารถนำมาคำนวณหางานที่ได้จากเครื่องชนิดใน 1 รอบได้จากสมการ (3.4) ในบทที่ 3

$$\begin{aligned}
 \text{Basic work} &= \frac{(1 - TAU) (P_{MAX}) (VHL) (K) \sin (ALPH) (Z - X)^{1/2}}{Z + (Z^2 - X^2)^{1/2} (Z + X)^{1/2}} \\
 &= \frac{(1 - 0.634) * 0.113 * 1227 * 0.578 * \sin 90^\circ * (3.728 - 0.234)^{1/2}}{3.728 + (3.728^2 - 0.234^2)^{1/2} * (3.728 + 0.234)^{1/2}} \\
 &= 8 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

และสามารถนำมาคำนวณหากำลังจากเครื่องชนิดได้จาก

$$\begin{aligned}
 \text{Basic power} &= NU * \text{Basic work} \\
 &= (400 / 60) * 8 \\
 &= 53 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

4.5 ขั้นตอนการทดสอบเครื่องชนิดสเตอริงค์

1. ปรับค่ามุม phase angle ไว้ที่ค่าประมาณ 90 องศา โดยการคลายน็อตที่น้ำหนักถ่วงบนเพลา เนื่องจากค่ามุม 90 องศา เป็นมุมที่ค่า sin ALPH ในสมการ Basic work มีค่าเท่ากับ 1 และปรับตำแหน่งของน้ำหนักถ่วงบนเพลาให้อยู่ในภาวะสมดุล โดยสังเกตจากเมื่อเรากด ๆ หมุนล้อช่วยแรง เช่น ครั้งละ 30 องศา เพลาก็จะหยุดนิ่งไม่มีการหมุน

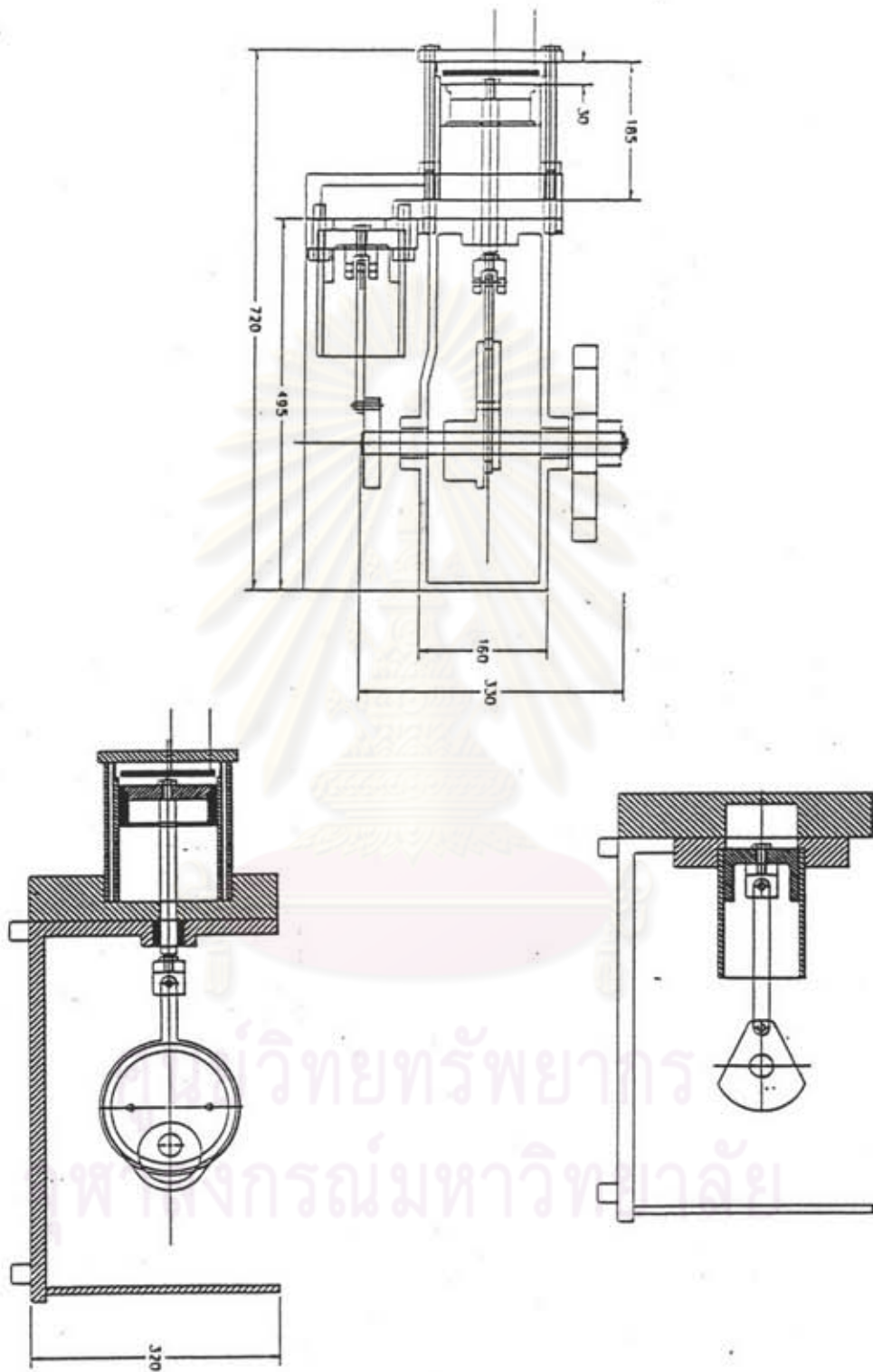
2. ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนขนาด 1000 วัตต์ซึ่งติดตั้งไว้ที่ฝาของทรงกระบอกร้อน ผ่านการใช้หม้อแปลงปรับค่าแรงดัน เพื่อตรวจสอบค่าอุณหภูมิสูงสุดในทรงกระบอกร้อนไว้ไม่เกิน $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ พร้อมกับบันทึกค่าความดัน และ กระแสจากโวลต์ และแอมป์มิเตอร์ สำหรับการวัดค่าอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดแสดงค่าเป็นตัวเลข (digital thermometer) ซึ่งใช้ ลวดโครเมล - อลูเมล (chromel - alumel) เป็นตัวจับสัญญาณ สอดผ่านบริเวณฝาปิดของทรงกระบอกร้อนที่ทำกรเจาะรูไว้ ขณะเดียวกัน ตรวจสอบรอยรั่วซึมบริเวณรอยต่อทุกจุดของเครื่องชนิด

3. ทดสอบเดินเครื่องชนิดโดยการใช้มือหมุนที่ล้อช่วยแรงอย่างต่อเนื่องหลังจาก

3.1 ปลดออกกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลาประมาณ 20 นาที สังเกตความคล่องตัวในการเดินเครื่องเปรียบเทียบกับเมื่อยังไม่ปลดออกกระแสไฟฟ้า

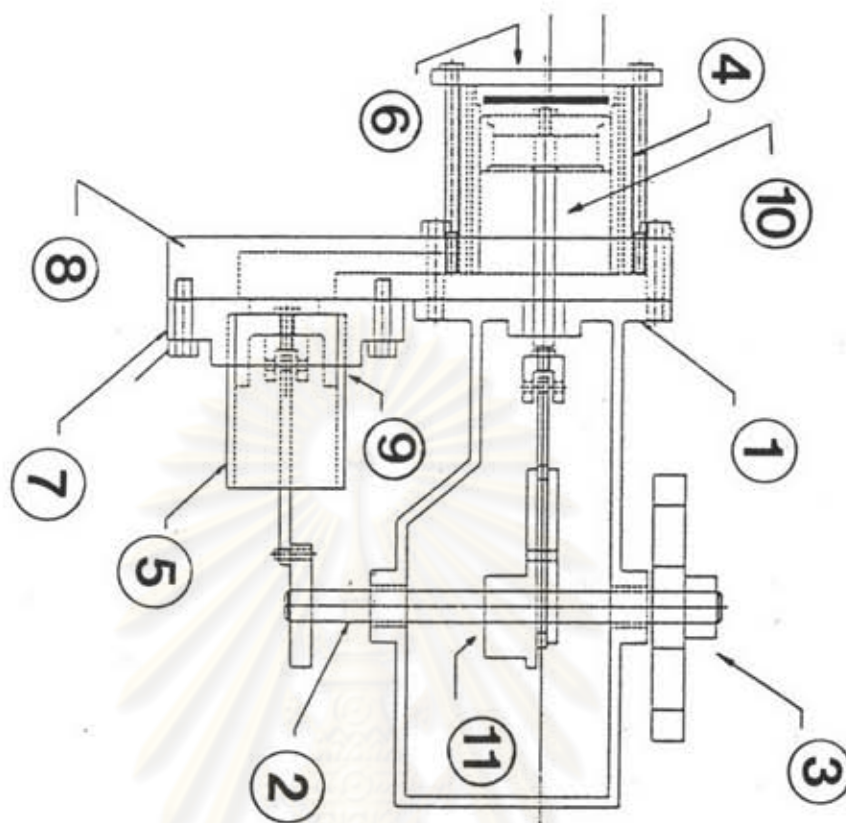
3.2 ปลดออกกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงสุดเป็นเวลาประมาณ 20 นาที และค่อยๆ เพิ่มความดันให้กับอากาศโดยการใช้ปั๊มลมขนาดเล็ก ผ่านรูที่เจาะไว้ที่บริเวณ Master plate จนสังเกตว่าเป็นการยากที่จะหมุนที่เพลาให้เดินไปข้างหน้าได้อีก จึงหยุดการเพิ่มความดัน สังเกตความคล่องตัวในการเดินเครื่องเปรียบเทียบกับข้อ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1

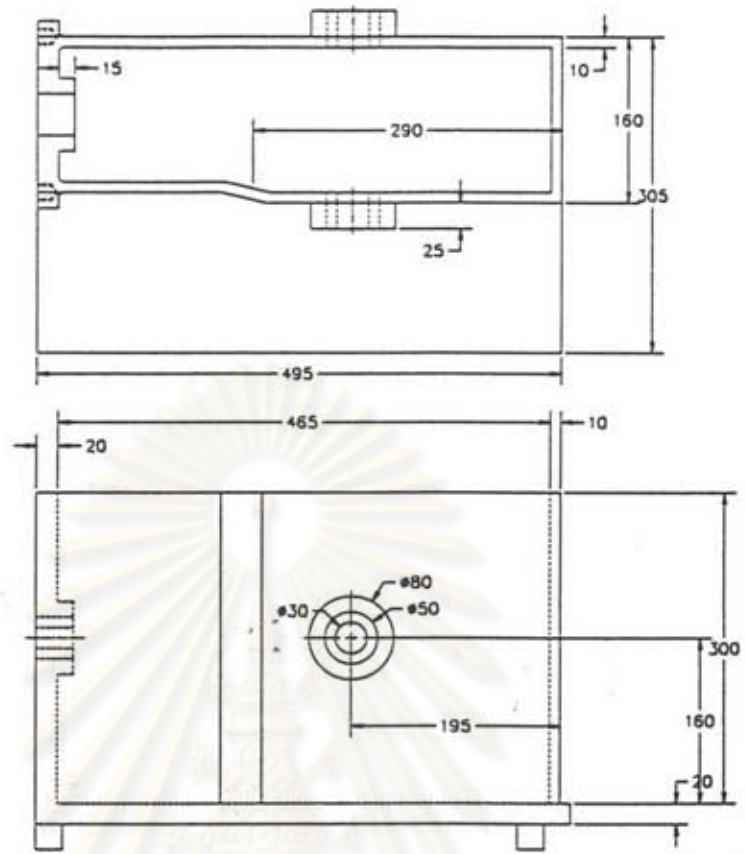
ลักษณะทั่วไปของเครื่องขุดสเดอลิงค์ที่ทำการจัดสร้าง



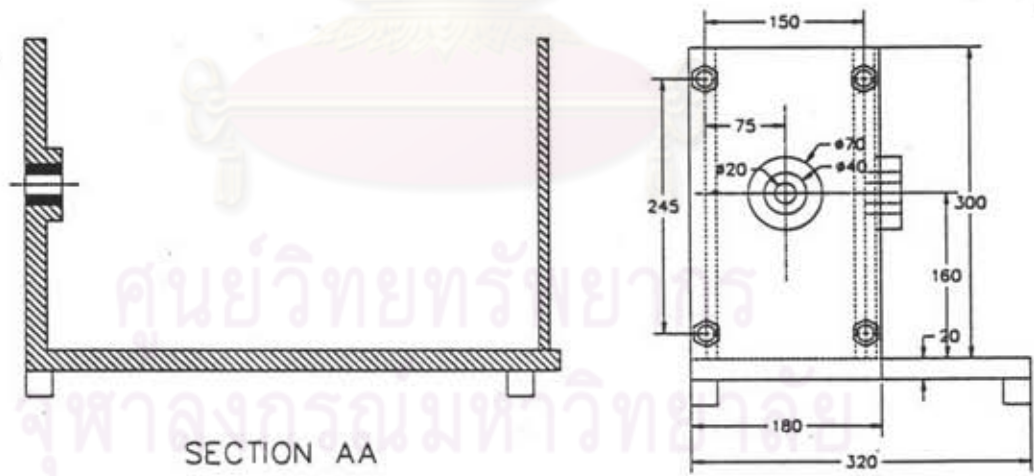
- (1) = CASING , (2) = SHAFT , (3) = FLYWHEEL
 (4) = DISPLACER CYLINDER , (5) = PISTON CYLINDER
 (6) = DISPLACER CYLINDER COVER PLATE
 (7) = PISTON CYLINDER COVER PLATE , (8) = MASTER PLATE
 (9) = PISTON WITH DRIVER , (10) = DISPLACER WITH CONNECTIING ROD
 (11) = ECCENTRIC MECHANISM

รูปที่ 4.2

สัญลักษณ์แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์

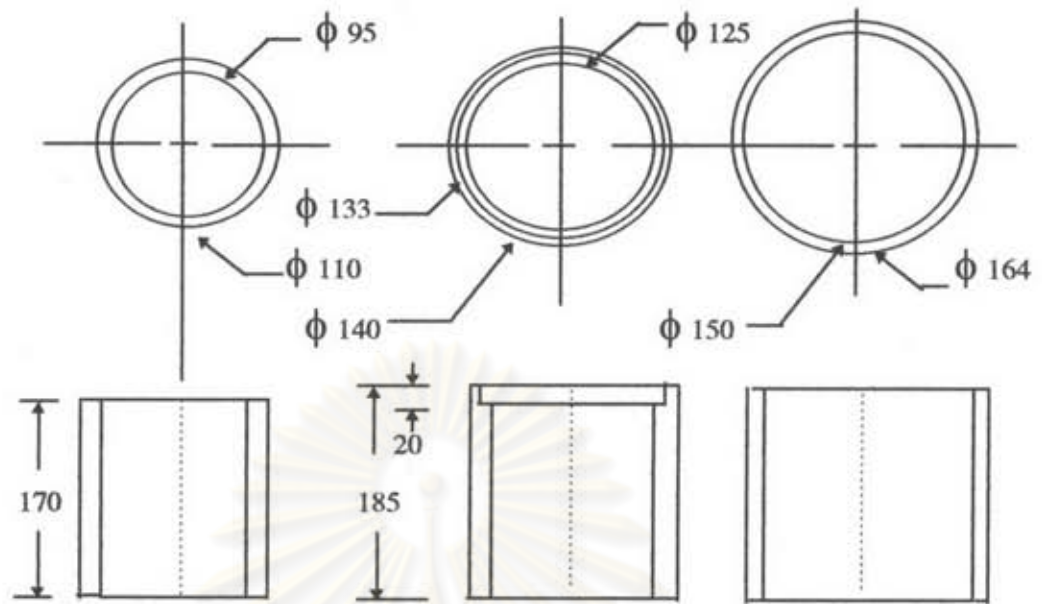


① CASING

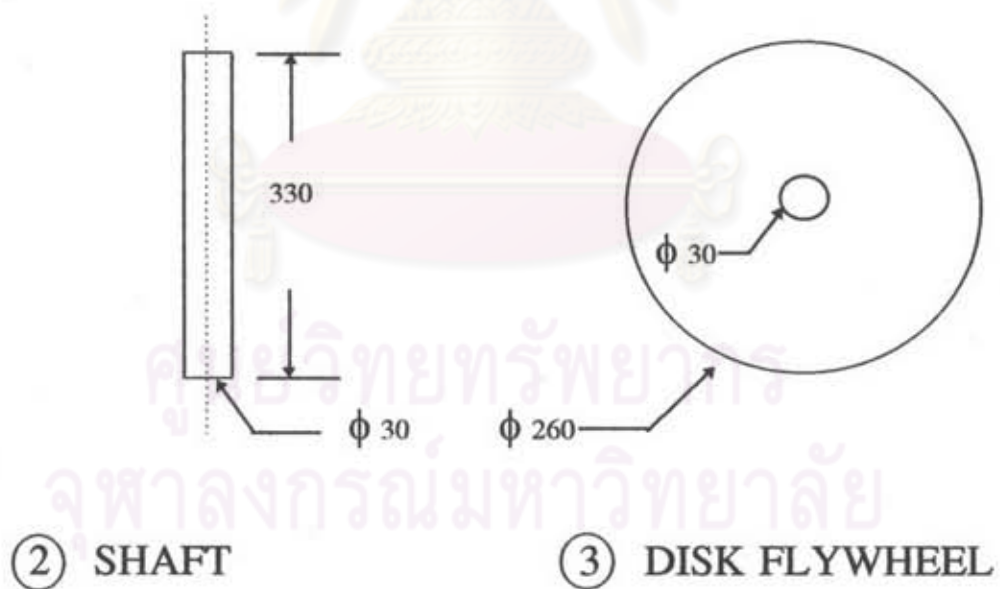


รูปที่ 4.3

รายละเอียดของ CASING (1)



⑤ PISTON CYLINDER ④ DISPLACER CYLINDER



② SHAFT

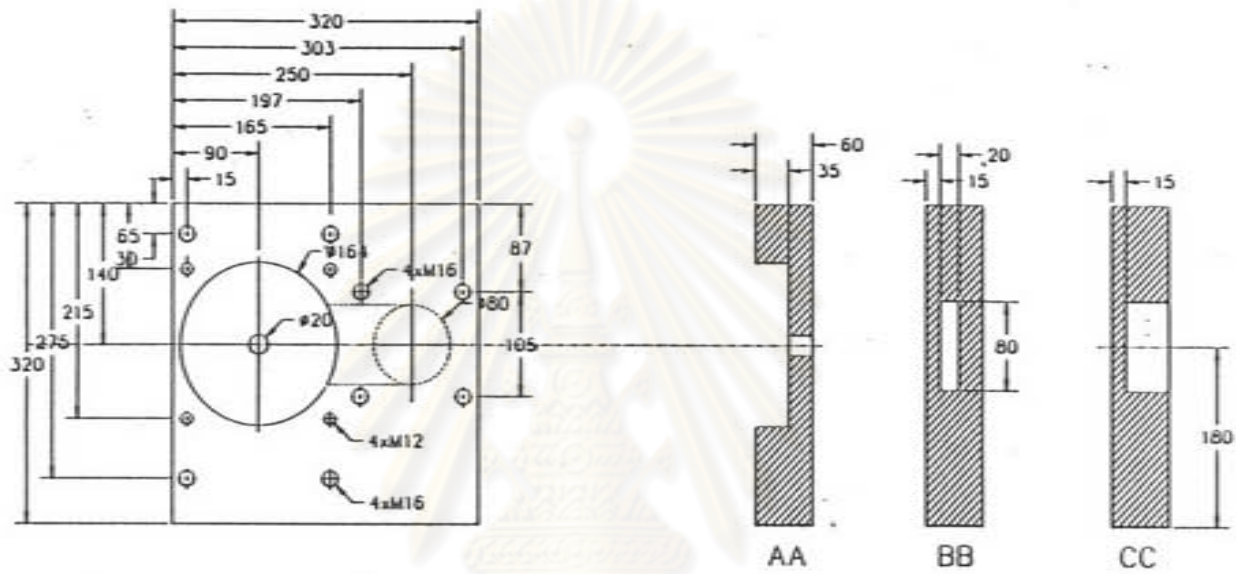
③ DISK FLYWHEEL

รูปที่ 4.4

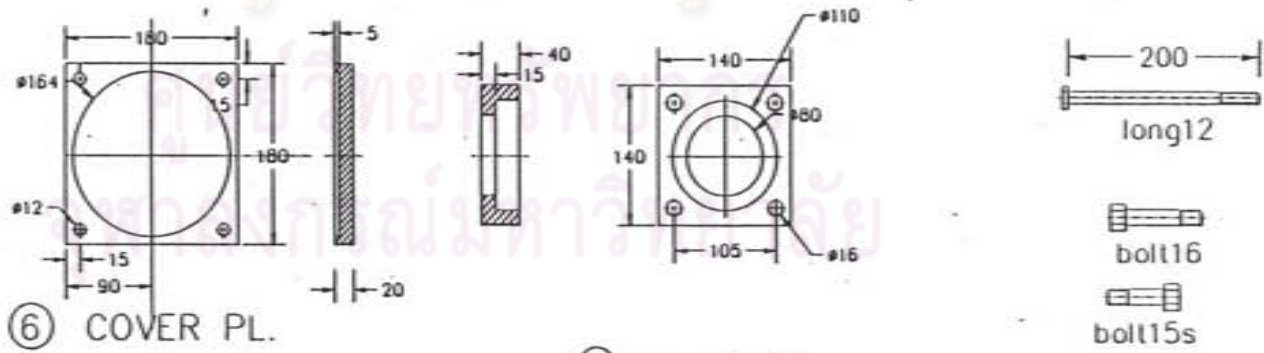
รายละเอียดของ SHAFT (2) , DISK FLYWHEEL (3) , DISPLACER CYLINDER (4) ,
PISTON CYLINDER (5)

TRANSITIONER DISPLACER CYLINDER PLATE (6) , PISTON CYLINDER PLATE (7)
 AND MASTER PLATE (8)

รูปที่ 4.5



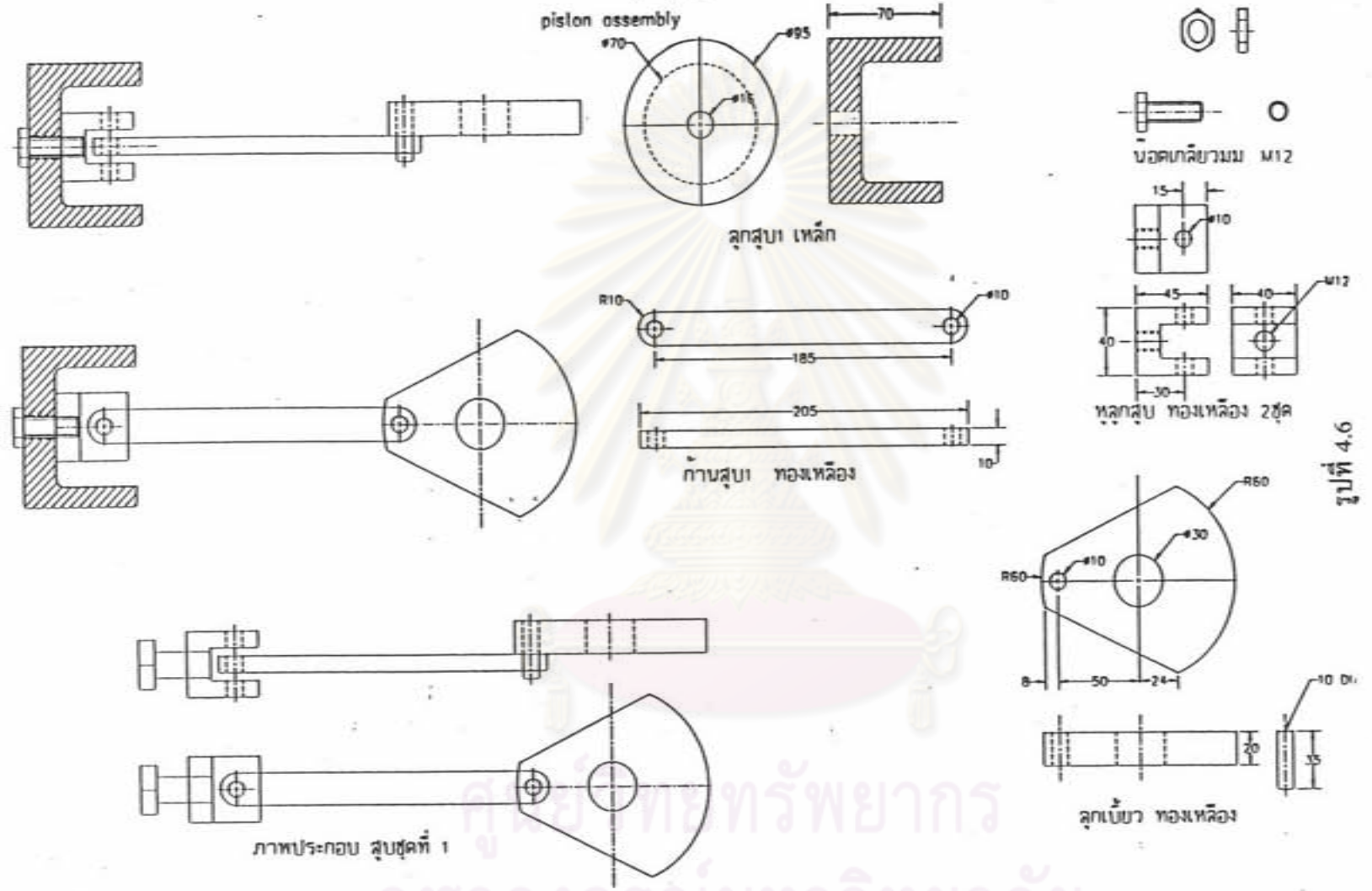
⑧ MASTER PLATE



⑥ COVER PL.

⑦ CYN PLATE

แบบแสดงชุดลูกสูบ 1

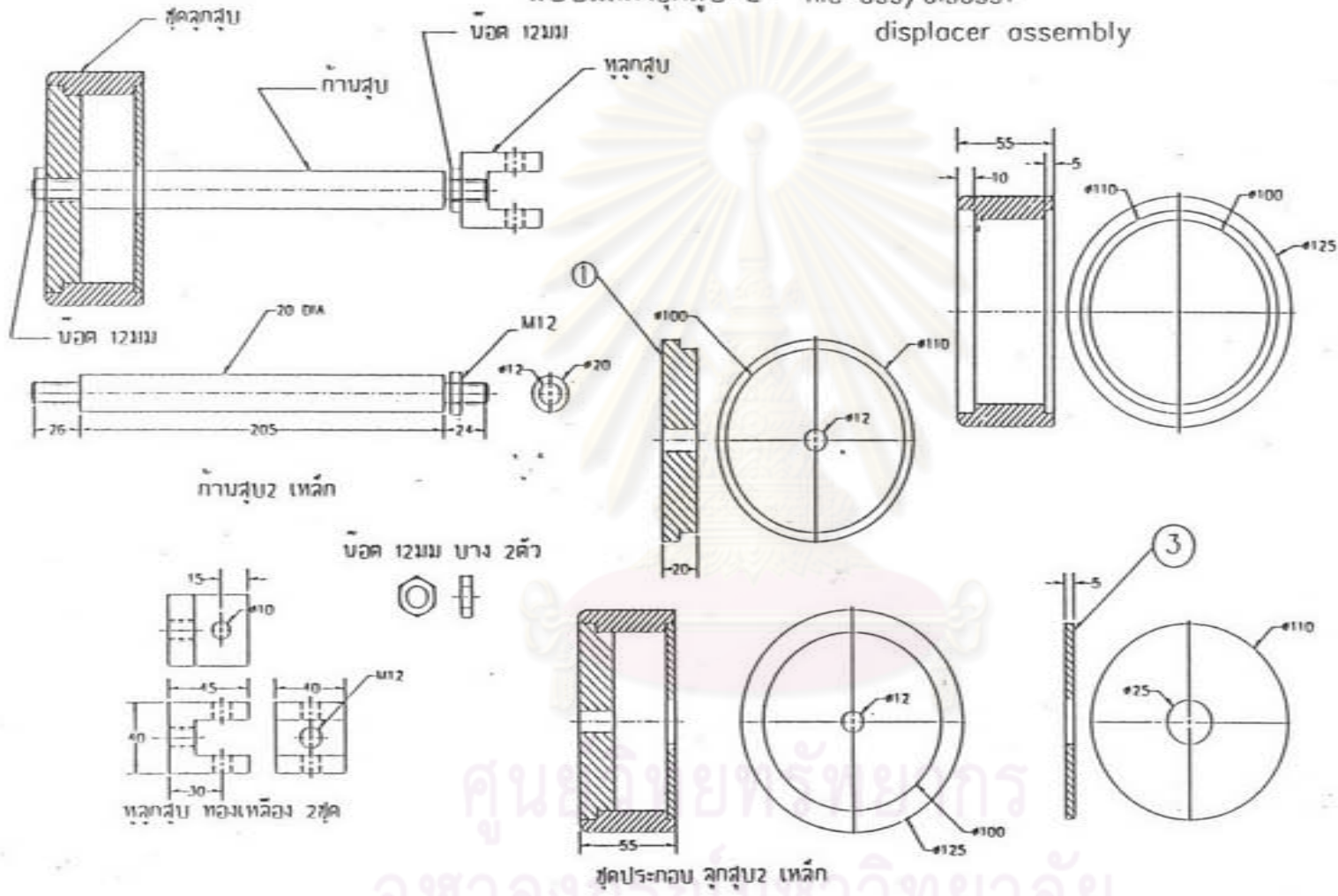


รูปที่ 4.6

รายละเอียดของ PISTON และชุดขับเคลื่อน (9)

ศูนย์ทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

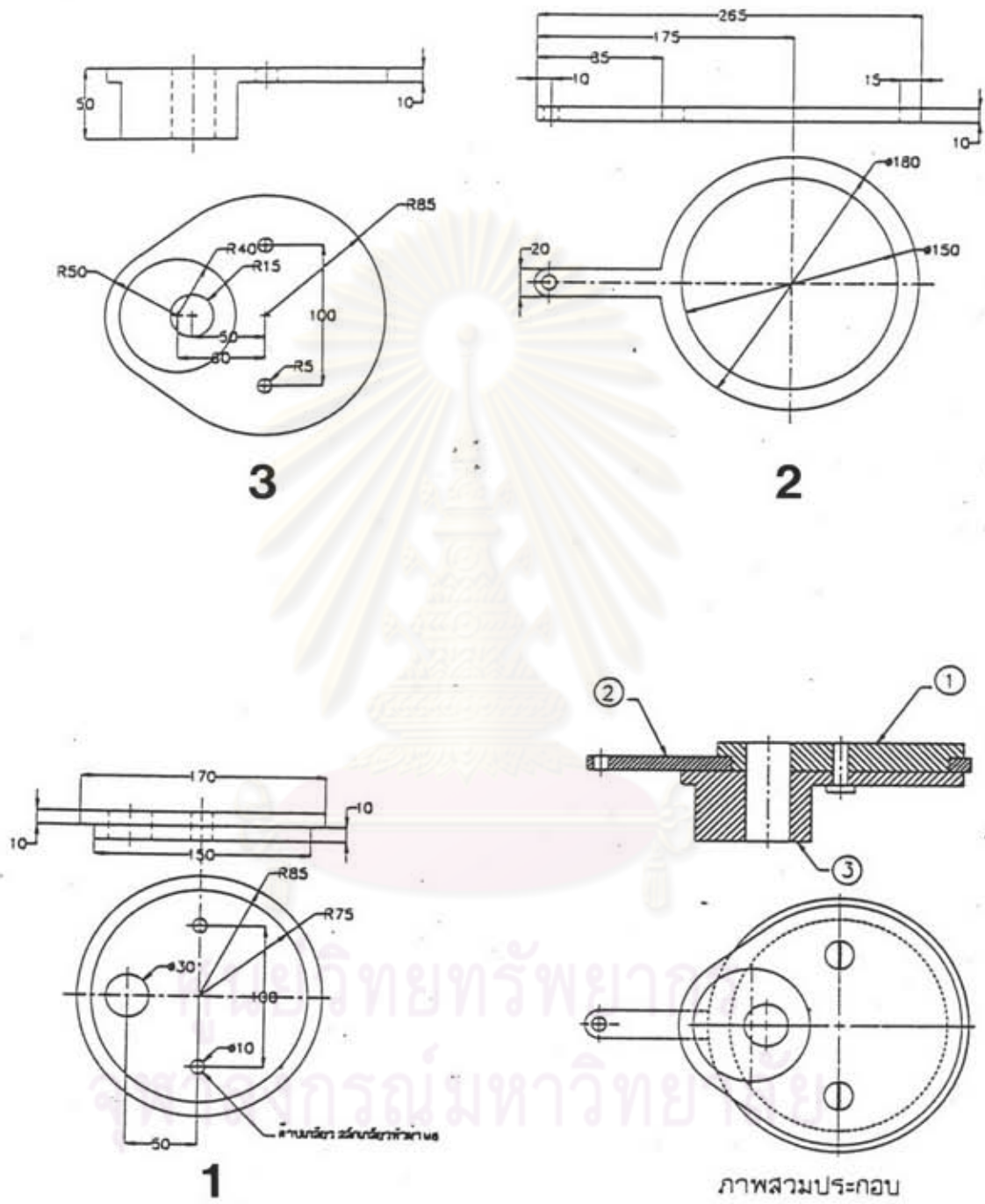
แบบแสดงชุดสูบลม 2 file ass/disassl
displacer assembly



รูปที่ 4.7

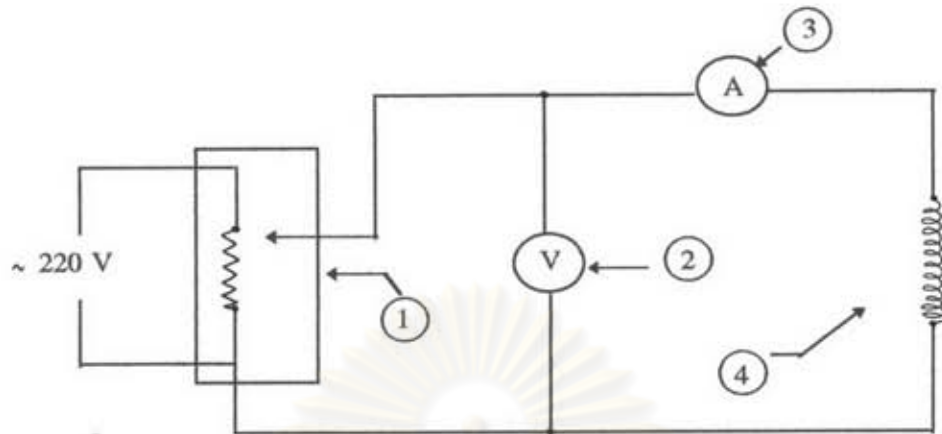
รายละเอียดของ DISPLACER (10)

ศูนย์วิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8

ECCENTRIC MECHANISM



1 = หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ (variable transformer)

2 = โวลต์มิเตอร์ (voltmeter)

3 = แอมป์มิเตอร์ (ampmeter)

4 = ขดลวดไฟฟ้า (heating coil)

ศูนย์วิทยพัยากร
รูปที่ 4.9
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
แสดงการต่อวงจรไฟฟ้า