

รายงานการวิจัยและพัฒนา

โครงการวิจัยและพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารตามนโยบายหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์

จังหวัดนครนายก

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องผนึกบรรจุภัณฑ์น้ำพริกและปลาร้าสับ

(Design and Construction of a Heat Sealing Machine)



โดย

นายวิจิต บัวแก้ว

นายประมาณ จันทรักษา

นายสมมาส แก้วล้วน

นายจรศักดิ์ ศรีกังพาน

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทบวงมหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2545

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินงาน โครงการวิจัยและพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารตามนโยบายหนึ่งตำบล
หนึ่งผลิตภัณฑ์จังหวัดนครนายก เรื่องออกแบบและสร้างเครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์น้ำพริกและปลาร้า
สับภายใต้โครงการเสริมสร้างความเข้มแข็งของชุมชนและเศรษฐกิจฐานรากของทบวงมหาวิทยาลัย
ในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทบวงมหาวิทยาลัยที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับ
ดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ช่วยผลักดันให้ได้ทุนสำหรับดำเนินการ
วิจัย ตลอดจนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่อนุญาตให้ใช้สถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ
ในการทำโครงการวิจัย



บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องผนึกบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้ความร้อน โดยเครื่องผนึกบรรจุภัณฑ์นี้สามารถผนึกได้ครั้งละ 4 ถ้วย ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบสร้างเครื่องให้มีคุณลักษณะดังนี้คือ เครื่องบรรจุภัณฑ์มีขนาด $430 \times 460 \times 755$ มิลลิเมตร ประกอบด้วยชุดแม่พิมพ์ตัวบนที่ทำงานด้วยระบบทางกลและระบบนิวแมติกส์ซึ่งใช้ความดันลม 6 บาร์ และชุดแม่พิมพ์ตัวล่างประกอบอยู่กับที่มีระบบป้อนฟิล์มอัตโนมัติ มีตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อปรับให้เหมาะสมกับฟิล์มแต่ละชนิด ใช้ไฟฟ้า 220 VAC

ผลการทดสอบพบว่าเครื่องผนึกบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้ความร้อนที่ออกแบบและสร้าง เมื่อทำงานครบหนึ่งวัฏจักรใช้เวลาประมาณ 33 วินาที และในเวลา 1 ชั่วโมงสามารถผนึกถ้วยได้ประมาณ 436 ถ้วย ค่าใช้จ่ายในการผนึกบรรจุภัณฑ์ประมาณ 1.127 บาท/ถ้วย ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผนึกฟิล์ม Metallic Laminated เคลือบด้วย PE เข้ากับบรรจุภัณฑ์ได้ดีคือ อุณหภูมิ $200-240^{\circ}\text{C}$

ABSTRACT

The objective of the project was to design and develop a heat sealing machine. The machine is able to seal up to 4 cups of product per cycle. The dimension of the heat sealing machine is $430 \times 460 \times 755$ mm. and consists of a upper die set which operated by pneumatic and mechanic systems. The operating pressure of pneumatic system is 6 bar, the lower die set fixed on the stationary plate, the automatic film feeding system and the temperature controller to control the heater temperature. The heat sealing machine used 220 VAC.

Result show that the heat sealing machine operating 33 second/cycle with capacity of 436 cups/hour. The operating cost was 1.127 Bath/cup. The optimum temperature for the metallic PE laminated film was 200 to 240°C .

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ช
บทที่1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	2
บทที่2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พลาสติก	3
2.2 การถ่ายเทความร้อน	7
2.3 ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า	11
2.4 นิวแมติกส์เบื้องต้น	13
บทที่3 การคำนวณและออกแบบ	22
3.1 การคำนวณหาอัตราการผลิตความร้อนของแท่งอะลูมิเนียม	22
3.2 การคำนวณหาขนาดของฮีตเตอร์และวงจรฮีตเตอร์	27
3.3 การหาแรงเหวี่ยงของชุดแม่พิมพ์ตัวบน	31
3.4 การคำนวณหาขนาดของกระบอกสูบ	31
3.5 การคำนวณหาอัตราการไหล	31
3.6 ขนาดถังเก็บลม	32
3.7 การออกแบบวงจรนิวแมติกส์และวงจรไฟฟ้า	33

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่4 การทดสอบ	36
4.1 คุณลักษณะของเครื่องฉนีกบรจกัณฑ์	36
4.2 การทำงานของเครื่องฉนีกบรจกัณฑ์	38
4.3 การทดสอบการฉนีกฟิล์ม เข้ากับบรจกัณฑ์	44
4.4 การคำนวณ	47
บทที่5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	49
5.1สรุปผล	49
5.2ข้อเสนอแนะ	49
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก ก. แบบเครื่องฉนีกบรจกัณฑ์	51
ภาคผนวก ข. ตารางที่ใช้ในการคำนวณ	118



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ลักษณะทางกายภาพของโพรลีโอทีลิน	5
2.2 ลักษณะทางกายภาพของโพรลีโอพรีลิน	6
2.3 ตัวเลขและตัวอักษรย่อที่ว้าลั่วควบคุม	15
4.1 แสดงอุณหภูมิทดสอบ-เวลา	44
4.2 แสดงลักษณะการผกผันฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป	45
ก. สมบัติทางฟิสิกส์และความร้อนของอากาศที่ความดันบรรยากาศ	119
ข. สมบัติทางฟิสิกส์และความร้อนของโลหะ (ของแข็ง)	120
ค. สหสัมพันธ์สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติบนแผ่นระนาบแนวดิ่ง แนวระดับ และแนวเอียง	121
ง. สปริง	125
จ. การหาความยาวช่วงชักของก้านสูบ ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ และภาระ	126

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การนำความร้อนผ่านตัวกลางใน 1 มิติพิภัก x	7
2.2 การพาความร้อนในชั้นขีดผิวความร้อนและชั้นขีดผิวความเร็ว	8
2.3 การพาความร้อนตามธรรมชาติบนทรงกระบอกแนวตั้ง $T_s > T_\infty$	9
2.4 ความยาวสำคัญสำหรับตัวกลางที่เป็นระบบลัมปีรูปทรงกระบอกตัน	10
2.5 การต่อความต้านทานแบบอนุกรม	12
2.6 การต่อความต้านทานแบบขนาน	12
2.7 ตัวอย่างกระบอกสูบแบบทำงานสองทางแบบต่าง ๆ	13
2.8 แสดงกระบอกสูบแบบทำงานสองทางขณะเคลื่อนที่เข้าสู่สุด	13
2.9 แสดงกระบอกสูบแบบทำงานสองทางขณะเคลื่อนที่ออกสุด	14
2.10 แสดงส่วนประกอบของระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้า	16
2.11 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของสวิตช์	16
2.12 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของลิมิตสวิตช์	17
2.13 รีเลย์	17
2.14 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของรีเลย์	18
2.15 โซลินอยด์วาล์ว	19
2.16 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของโซลินอยด์วาล์ว 5/2	19
2.17 แสดงสภาวะทำงานของโซลินอยด์วาล์ว 5/2	19
2.18 แสดงสภาวะปกติและสภาวะทำงานของกระบอกสูบแบบทำงานสองทาง	20
2.19 วงจรนิวแมติกส์กับวงจรไฟฟ้า	21
3.1 แท่งอะลูมิเนียม	22
3.2 แสดงสมดุลพลังงานของแท่งอะลูมิเนียม	24
3.3 ค่าความต้านทานรวมของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V ต่ออนุกรม จำนวน 4 ตัวที่ฝังใน อะลูมิเนียม 1 แท่ง	27
3.4 ค่าความต้านทานรวมของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V จำนวน 16 ตัว ที่ฝังในแท่งอะลูมิเนียมทั้ง 4 แท่ง	29
3.5 วาล์ว 5/2 ใช้โซลินอยด์และลมเป็นตัวเลื่อนวาล์ว กลับสู่สภาวะปกติด้วยแรงสปริง	33

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.6	แสดงวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องฉนีกบรรจุภัณฑ์	34
4.1	แสดงด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องฉนีกบรรจุภัณฑ์	36
4.2	แสดงด้านข้างซ้ายและด้านข้างขวาของเครื่องฉนีกบรรจุภัณฑ์	37
4.3	แสดงตำแหน่งถาดที่ถูกดึงออกมาแล้วและมีถ้วยบรรจุอยู่	38
4.4	แสดง สวิตซ์หลัก อยู่ในตำแหน่งเปิดและตำแหน่งปิด	38
4.5	แสดงสวิตซ์เครื่องในตำแหน่งเปิดและตำแหน่งปิด	39
4.6	แสดงตัวควบคุมอุณหภูมิ	39
4.7	แสดงไฟฮีทเตอร์ทำงาน	40
4.8	แสดงไฟอุณหภูมิพร้อมฉนีกฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์	40
4.9	แสดงถาดถูกดันเข้าไปจนสุดเพื่อไปสัมผัสลิมิตสวิตซ์	41
4.10	แสดงการฉนีกฟิล์ม เข้ากับบรรจุภัณฑ์ และตัดฟิล์ม	41
4.11	แสดงการป้อนฟิล์มอัตโนมัติ	42
4.12	แสดงตำแหน่งฟิล์มพร้อมใช้งาน	42
4.13	แสดงบรรจุภัณฑ์หลังฉนีก	43
4.14	แสดงการใส่บรรจุภัณฑ์ในครั้งต่อไป	43
4.15	แสดงลักษณะการฉนีกฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ	46
4.16	แสดงแผ่นฟิล์มที่ยังไม่ฉนีกและฉนีกแล้ว	47

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_1	พื้นที่ถูกสูบด้านลูกสูบ	cm^2
A_2	พื้นที่ถูกสูบด้านก้านสูบ	cm^2
A_s	พื้นที่ผิว	m^2
c_p	ความจุความร้อนจำเพาะ	$\text{J/kg} \cdot \text{K}$
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ	cm
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ	cm
$\dot{E}_{\text{gen}}$	พลังงานที่ถูกสร้างขึ้นในปริมาตรควบคุม	W
$\dot{E}_{\text{st}}$	อัตราพลังงานสะสม	W
F_1	แรงของกระบอกสูบในจังหวะดัน	kgf
Gr	ตัวเลขกราสโฮฟ	-
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$
h_m	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย	$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$
I	กระแสไฟฟ้า	A
k	ค่าสภาพนำความร้อน	$\text{W/m} \cdot \text{K}$
L	ช่วงชักของกระบอกสูบ	cm
L_s	ความยาวสำคัญ	m
N	จำนวนครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไป-กลับต่อนาที	-
Nu	ตัวเลขนัสเซิลท์	-
P	กำลังไฟฟ้า, ความดันลมอัด	W, bar
pr	ตัวเลขพรันด์เทิล	-
$\dot{Q}_{\text{conv}}$	อัตราการพาความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิว	W
$\dot{Q}_x$	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
q_o	อัตราการผลิตความร้อนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร	W/m^3
q''_{conv}	ฟลักซ์ความร้อนเฉพาะที่	W/m^2
q''_x	ฟลักซ์ความร้อนผ่านตัวกลาง	W/m^2
R	ความต้านทาน	Ω

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Ra	ตัวเลขเรย์ลี	-
T _f	อุณหภูมิเฉลี่ย	K
T _s	อุณหภูมิผิว	K
T _∞	อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม	K
u _∞	ความเร็วของอากาศแวดล้อม	m ² /s
V	ปริมาตร,แรงดันไฟฟ้า	m ³ ,V
Va	ปริมาณลมที่ใช้,อัตราการไหล	LPM,CFM
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	K ⁻¹
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m ³
μ ₁	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะคัน	-
v	ความหนืดจลน์ของของไหล	m ² /s
α	สภาพแผ่ความร้อน	m ² /s

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ปลาร้าสับ และน้ำพริก เป็นผลิตภัณฑ์ของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร บ้านเกาะกา และบ้านจิกสูง อำเภอปากพลี จังหวัดนครนายก ปัญหาที่พบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ คือ ปริมาณความชื้น (water - activity) ในผลิตภัณฑ์สูง ทำให้ไม่สามารถบรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิดปิดสนิท เช่น กระป๋อง หรือขวดปิดสนิทแบบสุญญากาศได้ ปัจจุบันกลุ่มแม่บ้านจะใช้วิธีบรรจุลงในกระปุกพลาสติกฝาเกลียว ซึ่งไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันเป็นส่วนผสมอยู่ เพราะน้ำมันจะไหลซึมจากภาชนะบรรจุได้ ทั้งยังไม่สามารถเก็บกลิ่น เมื่อเก็บไว้นานๆ สีจะซีดลง บางครั้งจะมีกลิ่นหืนเนื่องจากอากาศที่เข้าไป ทำให้ไม่น่ารับประทาน นอกจากนี้การบรรจุผลิตภัณฑ์ในกระปุกพลาสติกจะไม่สามารถกระทำได้นั้นขณะที่ผลิตภัณฑ์ยังร้อนอยู่ จึงมีโอกาสดูดกลิ่นที่ปนเปื้อนลงในผลิตภัณฑ์ ทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน

เครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จะสร้างให้เป็นอุปกรณ์ต้นแบบจะใช้วิธีพ่นด้วยความร้อน โดยภาชนะที่ใช้จะเป็นถ้วยพลาสติกทนความร้อน และมีฝา 2 ชั้น ชั้นแรกเป็นพลาสติกพ่นด้วยความร้อนก่อนปิดทับด้วยฝาพลาสติกแข็งอีกชั้นหนึ่ง บรรจุภัณฑ์ชนิดนี้สามารถบรรจุอาหารที่มีอุณหภูมิสูงได้ถึง 60°C เป็นการลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ส่วนฝาชั้นแรกจะป้องกันไม่ให้น้ำมันไหลซึมออกมา ป้องกันไม่ให้อากาศเข้าลดการเหม็นหืน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อออกแบบ และพัฒนาเครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้ความร้อน โดยจะสามารถนำไปใช้กับปลาร้าสับ และน้ำพริกแกง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สร้างเครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้ความร้อน ซึ่งสามารถพ่นกักถ้วยได้ครั้งละ 4 ถ้วย

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. ออกแบบ และสร้างเครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้ความร้อน
2. ทดสอบการใช้ เครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้ความร้อน
3. จัดทำคู่มือการใช้งาน และการบำรุงรักษาเครื่องผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดใช้ความร้อน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่น่าผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ได้เครื่องต้นแบบสำหรับชุมชน เพื่อใช้ฝึกบรรจุกัญชาปลาร้าสับ น้ำพริกแกง และผลิตภัณฑ์อื่นๆ

2. เป็นเครื่องต้นแบบในโครงการห้องปฏิบัติการชุมชน ในโครงการนำร่องการสร้างเครือข่ายระหว่างสถาบันอุดมศึกษากับชุมชนในจังหวัดนครนายก เพื่อพัฒนาความเข้มแข็งของชุมชน และเศรษฐกิจฐานราก



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก

ประเภทของพลาสติก

พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

- 1.เทอร์โมเซตติง (Thermosettings) หรือเทอร์โมเซต (Thermoset)
- 2.เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

เทอร์โมเซตติง หรือ เทอร์โมเซต

คือพลาสติกที่มีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อน (Heat) และแรงอัด (Pressure) หรือผ่านกรรมวิธีการผลิตประเภทหล่อพลาสติกเหลว (Casting) ที่ใช้สารเคมีผสมลงไปทำให้เกิดการแข็งตัว จะนำไปหลอมละลายนำกลับมาใช้ใหม่อีกไม่ได้

เทอร์โมพลาสติก

เป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีกหลังจากนำไปหล่อทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว

เทอร์โมพลาสติก ที่สำคัญและใช้อยู่ทั่วไป ได้แก่

- | | |
|--|---------------------------------|
| - อะซีทัล (Acetal) | - เอบีเอส (ABS) |
| - อะคริลิก (Acrylic) | - ไวนิล (Vinyl) |
| - ฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbons) | - เซลลูโลส (Cellulosics) |
| - โพลีเอไมด์ (Polyamide) หรือไนลอน (Nylon) | - โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) |
| - โพลีโอเลฟิน (Polyolefin) | - ไอโอโนเมอร์ (Ionomer) |
| - โพลีเอทิลีน (Polyethylene) | - โพลีอิมิด (Polyimide) |
| - โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) | - โพลีซัลโฟน (Polysulphone) |
| - โพลีสไตรีน (Polystyrene) | - เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) |
| - โพลีเอสเตอร์ (Polyester) | |

ในที่นี้จะกล่าวถึงเทอร์โมพลาสติกที่นิยมใช้ในการพ่นด้วยความร้อน 2 ชนิด คือ

- 1.โพลีเอทิลีน (Polyethylene)
- 2.โพลีโพรพิลีน (Polypropylene)

โพลีเอทิลีน

โพลีเอทิลีนมีหลายชนิด เช่น L.D. PE (Low density Polyethylene), HD. PE (High Density Polyethylene) และที่ได้พัฒนาใหม่ให้มีสมบัติดีขึ้นและนิยมใช้ในขณะนี้ คือ LLD. PE

(Linear Low Density Polyethylene) กับ UHMW.PE (Ultra High-Molecular Weight Polyethylene)

สมบัติ โพลีเอทิลีนคือน้ำหนักเบามาก มีความถ่วงจำเพาะ 0.92 เท่านั้น ในรูปแผ่นบางสามารถพับงอได้ดี มีความหนามากขึ้นจะคงรูปรับแรงดึงและแรงอัดได้น้อย มีความยืดตัวได้สูงถึง 5 เท่าตัว ทึบขาวขุ่น มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เกาะติดน้ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมากทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้ขนาด -100°F ได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลง ทนกรดและด่างอ่อน แต่จะเกิดปฏิกิริยาอย่างช้า ๆ กับ Oxidizing Acids ไม่ทนน้ำมันและไขมัน โดยเฉพาะน้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน และในขณะที่ถูกอุณหภูมิสูง แม้ว่าจะไม่ดูดซึมความชื้นแต่ยอมให้ก๊าซผ่านได้ จึงเหมาะสำหรับใช้บรรจุอาหารสด เช่น ผัก ผลไม้และเนื้อสัตว์

โดยทั่วไปโพลีเอทิลีนมีลักษณะใสเมื่อเป็นแผ่นบาง จะมีสีขุ่นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ตามความต้องการไม่แนะนำให้ใช้ภายนอก

การใช้ประโยชน์ โพลีเอทิลีนมีปริมาณการใช้สูงสุดในพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก แม้ว่าราคาต่อปอนด์จะไม่ถูกที่สุด แต่เพราะมีน้ำหนักเบาว่าจึงสามารถผลิตได้ปริมาณมากนิยมใช้ทำถุงบรรจุอาหารและเสื้อผ้าตุ๊กตาเด็กเล่น ดอกไม้พลาสติก ภาชนะบรรจุเครื่องใช้ในครัว ถาดน้ำแข็งในตู้เย็น ขวด และภาชนะบรรจุของเหลว เบียง พลาสติกคลุมโรงเพาะชำ สายเคเบิล แผ่นกันความชื้นในอาคาร และของใช้ราคาถูกอีกมากมาย ฯลฯ

นอกจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแล้ว โพลีเอทิลีนยังนิยมนำไปเคลือบตะแกรงโลหะใต้ของต่าง ๆ ได้อีกด้วย

ตาราง 2.1 ลักษณะทางกายภาพของโพลีเอทิลีน

ลักษณะทางกายภาพ	Low Density	Intermediate Density	High Density
ความถ่วงจำเพาะ	0.91-0.925	0.925-0.926	0.941-0.965
ปริมาตร ลบ.นิ้ว/ปอนด์	30.25	29.8	29.2
ทนแรงดึง ปอนด์/ตร.นิ้ว	1,000-2,300	1,200-3,500	3,100-5,500
ทนแรงกระแทก	ไม่ศึกษา	0.5-16.0	0.8-2.00
ทนความร้อน	180°F-212°F	220°F-250°F	250°F
ความดูดซึมน้ำ (24 ชม.)	0.015	0.01	0.01
ความง่ายต่อการติดไฟ (นิ้ว/นาท)	1.04	1.02	1.02
ทนแสงแดด	ชนิดสีดำทนได้พอสมควรชนิดอื่นควรใช้แสงป้องกันแสงอุลตราไวโอเลตและตัว Antioxidants		
ทนกรดอ่อน	เลว	ได้	ได้
ทนกรดแก่	ไม่ทน Oxidizing Acids	จะถูกละลายอย่างช้า ๆ จาก Oxidizing Acids	
ทนด่างอ่อน-แก่	ได้	ได้	ได้
ทนสารละลาย (Organic Solvents)	ได้ถ้าต่ำกว่า 140°F		ได้ถ้าต่ำกว่า 170°F

โพลีโพรพิลีน

มีสมบัติโดยทั่ว ๆ ไปคล้ายกับโพลีเอทิลีนแต่มีคุณภาพดีกว่าทนทานและแข็งแรงกว่าโพลีเอทิลีนทั้งๆ ที่มีความถ่วงจำเพาะ 0.90 ซึ่งน้อยกว่า ทนความร้อนได้ดีกว่า ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีในอุณหภูมิ 300°F ในรูปของเส้นใยรับแรงดึงได้ถึง 100,000 ปอนด์/ตร.นิ้ว ซึ่งโพลีเอทิลีนรับได้เพียง 80,000 ปอนด์/ตร.นิ้ว

สมบัติคล้ายกับโพลีเอทิลีน แต่คุณภาพดีกว่า ทดสอบอย่างง่ายคือใช้เล็บขูดดู หากเป็นโพลีเอทิลีนจะขูดออก หากเป็นโพลีโพรพิลีนจะขูดไม่ออกผิวแข็งกว่า

การใช้ประโยชน์ ใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มากมายเช่น ถังบรรจุอาหารร้อน พลาสติกหุ้มของบุนหรี เชือกพอลาสติก แถบพลาสติกมัดของ รั้วบับ สายไฟฟ้า สายเคเบิล กล่อง

0 แบบเตอรี่ ถังคักน้ำ ฝาปิดโถส้วม หมวกกันน็อค กระเป๋าส่ของ ภาชนะ และเครื่องใช้ในบ้าน
ฯลฯ

ตาราง2.2 ลักษณะทางกายภาพของโพรลีโอพรฟิลีน

ลักษณะทางกายภาพ	Unmodified	Copolymer	Impact Type
ความถ่วงจำเพาะ	0.904	0.90	0.91
ปริมาตร ลบ.นิ้ว/ปอนด์	30.6	31.0	30.5
ทนแรงดึง ปอนด์/ตร.นิ้ว	5,500	4,500	4,400
ทนแรงอัด ปอนด์/ตร.นิ้ว	8,000	7,000	6,000
ทนแรงกระแทบ	1.5	10	15
ทนความร้อนโดยปกติ	275°F	220°F	216°F
ความใส	โปร่งใส	โปร่งใส	ทึบ
ทนแสงแดด	พอใช้	พอใช้	พอใช้
ทนกรดอ่อน	ได้	ได้	ได้
ทนกรดแก่	ถูกทำลายอย่างช้าๆจาก Oxidizing Acids		
ทนด่าง	ได้	ได้	ได้
ทนสารละลาย	ทนได้ถ้าต่ำกว่า 175°F		ถูกทำลายโดย Hydrocarbons

2.2 การถ่ายเทความร้อน

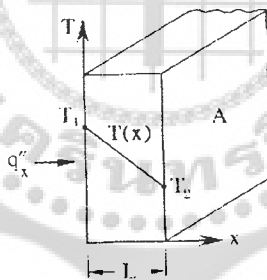
การนำความร้อน

การนำความร้อนหมายถึงการส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยส่งถ่ายความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งสู่อีกโมเลกุลอย่างต่อเนื่องกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางแบบการนำความร้อนคำนวณจากกฎของฟูเรียร์ (fourier's law)

กฎของฟูเรียร์ กล่าวว่า สำหรับการนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อน ($\dot{Q}_x$) ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้นเป็นปริมาณโดยตรงกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของความร้อน (A) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางดังกล่าว (dT/dx)

สำหรับการนำความร้อนในทิศทาง x ภายใต้สภาวะคงตัว (steady state) อุณหภูมิในตัวกลาง $T = T(x)$ จากกฎของฟูเรียร์

$$\dot{Q}_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.1 การนำความร้อนผ่านตัวกลางใน 1 มิติทิศทาง x

โดยที่ k คือค่าคงที่สัดส่วน ซึ่งเรียกว่า ค่าสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) ของตัวกลาง มีหน่วยเป็น $W/m \cdot K$

ฟลักซ์ความร้อนผ่านตัวกลางสามารถคำนวณได้จาก

$$q''_x = \frac{\dot{Q}_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

ในสมการ (2.1) และ (2.2) ถ้าอุณหภูมิของตัวกลางลดลงตามทิศทาง $+x$ พบว่าค่าของ dT/dx เป็นลบ ดังนั้นถ้า $\dot{Q}_x$ หรือ q''_x มีเครื่องหมายบวก แสดงว่า $\dot{Q}_x$ หรือ q''_x มีทิศการไหลในทิศ $+x$

0

ภายใต้สภาวะคงตัวและตัวกลางมี k เป็นค่าคงที่ อุณหภูมิ $T(x)$ เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นดังรูปที่ 2.1 ดังนั้น

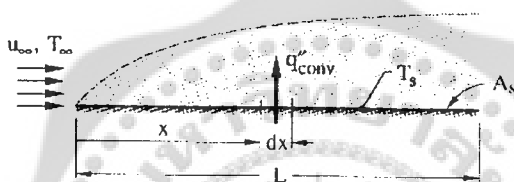
$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} = \frac{-(T_1 - T_2)}{L}$$

ดังนั้น

$$q''_x = \frac{k(T_1 - T_2)}{L} = \frac{k\Delta T}{L}$$

การพาความร้อน

การพาความร้อน หมายถึงการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล การโอนถ่ายพลังงานความร้อนจะอาศัยการแพร่ของโมเลกุลของของไหลและรวมถึงผลของการเคลื่อนไหวไปทั้งปริมาตรของของไหลนั้น



รูปที่ 2.2 การพาความร้อนในชั้นขีดผิวความร้อนและชั้นขีดผิวความเร็ว

พิจารณาการพาความร้อนจากผิวของแข็งพื้นที่ A_s อุณหภูมิผิว T_s ของของไหลไหลผ่านด้วยความเร็ว u_∞ และอุณหภูมิ T_∞ คงที่ ฟลักซ์ความร้อนเฉพาะที่คำนวณเป็นไปตามกฎการทำให้เย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling)

$$q''_{\text{conv}} = h(T_s - T_\infty)$$

ดังนั้นจะคำนวณอัตราการพาความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิว A_s จาก

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = \int_{A_s} q''_{\text{conv}} dA_s = (T_s - T_\infty) \int h dA_s$$

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h_m A_s (T_s - T_\infty) \quad (2.3)$$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ แบบการไหลของของไหล (พิจารณาจากตัวเลขเรย์โนลด์ส, Re) การพัฒนาของชั้นขีดผิวความเร็ว (velocity boundary layer) และชั้นขีดผิวความร้อน (พิจารณาจากตัวเลขพรันด์เทิล, Pr) รวมถึงลักษณะรูปร่างทางเรขาคณิตของพื้นผิวของแข็ง การวิเคราะห์เชิงมิติกับผลการทดลองมีความจำเป็นต่อการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้วยเช่นกัน

สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนก็คือสมบัติของของไหลและลักษณะเฉพาะของการไหล

สมบัติของของไหล ได้แก่ สภาพนำความร้อน ($k, \text{W/m} \cdot \text{K}$) ความหนาแน่น ($\rho, \text{kg/m}^3$) ความหนืดสัมบูรณ์ ($\mu, \text{Pa} \cdot \text{s}$) ความจุความร้อนจำเพาะ ($C_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$) และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร (β, K^{-1}) เป็นต้น

พารามิเตอร์ไร้มิติที่มีความสำคัญต่อการพาความร้อน ได้แก่ ตัวเลขนัสเซิลท์ (Nusselt number, Nu) และตัวเลขกราชโฮฟ (Grashof number, Gr) กล่าวคือ

$$Nu = \frac{hL_s}{k}$$

$$Gr = \frac{g\beta L_s^3(T_s - T_\infty)}{\nu^2} \quad (2.4)$$

สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติ ตัวเลขนัสเซิลท์สำหรับของไหลทั่วไปอยู่ในรูปของ

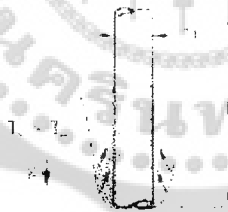
$$Nu = f(Gr, Pr) = A(Gr \cdot Pr)^\eta = ARa^\eta$$

โดยที่ Ra คือตัวเลขเรย์ลี (Rayleigh number) และ

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g\beta L_s^3(T_s - T_\infty)}{\nu\alpha} \quad (2.5)$$

การพาความร้อนตามธรรมชาติบนทรงกระบอก

การพาความร้อนตามธรรมชาติบนทรงกระบอกยาวพิจารณาทั้งทรงกระบอกแนวระดับ และทรงกระบอกแนวตั้งในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะทรงกระบอกแนวตั้งเท่านั้น



รูปที่ 2.3 การพาความร้อนตามธรรมชาติบนทรงกระบอกแนวตั้ง $T_s > T_\infty$

ทรงกระบอกแนวตั้ง

พิจารณาทรงกระบอกแนวตั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D และสูง L ภายในของไหลที่มี

$Pr \geq 0.7$ เกบฮาร์ท (Gebhart) สเปร์โรว์ และเกรก์ พบว่าถ้า

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{(Gr_L)^{1/4}} \quad (2.6)$$

แนะนำให้ใช้สมการของแผ่นระนาบแนวตั้งในภาคผนวก ตาราง ค. แทนได้

การวิเคราะห์ตัวกลางที่เป็นระบบลัมปี

ตัวกลางที่มีตัวเลขบีโธ $Bi \ll 1.0$ จะเรียกว่าระบบลัมปี (lumped system) และพบว่า การกระจายอุณหภูมิในตัวกลางนั้นขึ้นกับเวลาเท่านั้น $T = T(t)$

สำหรับตัวกลางหนึ่ง ๆ ที่มีปริมาตร V มีพื้นที่ผิว A_s จะกำหนดความยาวสำคัญ L_s ดังนี้

$$L_s = \frac{V}{A_s}$$

ตัวเลขบีโธสำหรับตัวกลางที่เป็นระบบลัมปี

$$Bi = \frac{hL_s}{k} \leq 0.1 \quad (2.7)$$

โดยที่ k คือสภาพนำความร้อนของตัวกลาง และ h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนบริเวณผิวตัวกลางที่สัมผัสกับของไหลโดยรอบ



รูปที่ 2.4 ความยาวสำคัญของตัวกลางที่เป็นระบบลัมปีรูปทรงกระบอกตัน

ความยาวสำคัญของตัวกลางที่เป็นระบบลัมปีรูปทรงกระบอกตัน

ทรงกระบอกตัน ขาว L รัศมี r

$$L_s = \frac{\pi r^2 L}{2\pi r L} = \frac{r}{2} \quad (2.8)$$

สมการพลังงานวิเคราะห์การนำความร้อน

ภายในปริมาตรควบคุมหรือตัวกลางมีแหล่งความร้อนซึ่งสามารถผลิตความร้อนในอัตรา $q_o \text{ W/m}^3$ พลังงานที่ถูกสร้างขึ้นในปริมาตรควบคุมคำนวณจาก

$$\dot{E}_{\text{gen}} = q_o V \quad (2.9)$$

ถ้าหากพิจารณาในสถานะไม่คงตัว (unsteady state) ภายในปริมาตรควบคุมจะมีอัตราพลังงานสะสมซึ่งคำนวณได้จาก

$$\dot{E}_{\text{st}} = \rho C_p V \frac{dT}{dt} \quad (2.10)$$

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{พลังงานนำความร้อน} \\ \text{เข้าปริมาตรควบคุมโดยสุทธิ} \end{array} \right\} + \left\{ \text{พลังงานที่ถูกสร้างขึ้น} \right\} = \left\{ \text{พลังงานสะสม} \right\}$$

$$(\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}) + \dot{E}_{gen} = \dot{E}_{st} \quad (2.11)$$

ตัวกลางที่มีค่าคงตัวทางเวลาน้อย ๆ ตัวกลางนั้นจะให้ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้รวดเร็วภายใต้อุณหภูมิกำหนดคหนึ่งๆ ของของไหลโดยรอบตัวกลางนั้น ค่าคงตัวทางเวลาคำนวณได้จาก

$$\beta = \frac{1}{m} = \left(\frac{1}{hA} \right) (\rho V C_p) = R_{th} C_{th} \quad (2.12)$$

โดยที่

β = เรียกว่าค่าคงตัวทางเวลา (time constant)

$R_{th} = \frac{1}{hA}$ คือ ความต้านทานความร้อนเป็นผลมาจากการพาความร้อนที่ผิวตัวกลาง

$C_{th} = \rho V C_p$ คือ ความจุความร้อนของตัวกลางระบบกัมปี

2.3 ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า

กฎของโอห์ม

กฎของโอห์มกล่าวไว้ว่า “ในวงจรไฟฟ้าใด ๆ ค่าของกระแสจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแรงดันจ่ายให้วงจร และเป็นปฏิภาคกลับกับค่าของความต้านทานในวงจร”

จากข้อความดังกล่าวข้างต้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$V = IR \quad (2.13)$$

กำลังไฟฟ้า

สูตรซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และใช้กันมากในงานของวงจรไฟฟ้าคือ

$$P = IV \quad (2.14)$$

กำลังไฟฟ้าในเทอมของความต้านทาน

จากกฎของโอห์ม และจากสูตรการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ทำให้สามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าในรูปของความต้านทานได้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นต่อไปนี้คือ

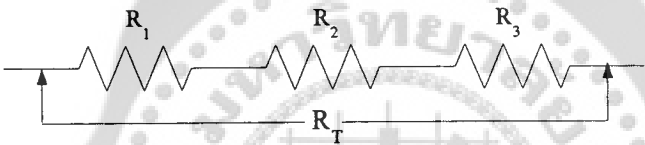
$$\begin{aligned} V &= IR \\ P &= IV \\ &= IR \times I \\ P &= I^2 R \end{aligned}$$

และแทนค่า I จากสมการที่ (2.13) ลงในสมการที่ (2.14)

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= V \times \frac{1}{R} \\ P &= \frac{V^2}{R} \end{aligned} \tag{2.15}$$

การต่อความต้านทานแบบอนุกรม

การต่อความต้านทานแบบอนุกรม หมายถึง การนำเอาความต้านทานมาต่อเรียงกันโดยให้ปลายชนปลาย กล่าวคือ ให้ปลายของความต้านทานตัวแรกต่อเชื่อมกับปลายของความต้านทานตัวที่สอง และปลายของความต้านทานตัวที่สองต่อเชื่อมกับปลายของความต้านทานตัวที่สาม ถ้าหากว่ามีความต้านทานตัวที่สี่หรือตัวต่อ ๆ ไป ก็นำมาต่อเรียงกันไปเรื่อย ๆ เป็นลักษณะในแบบถูกโซ่ ซึ่งเราสามารถที่จะเข้าใจได้ง่ายโดยการพิจารณาจากรูปที่ 2.4



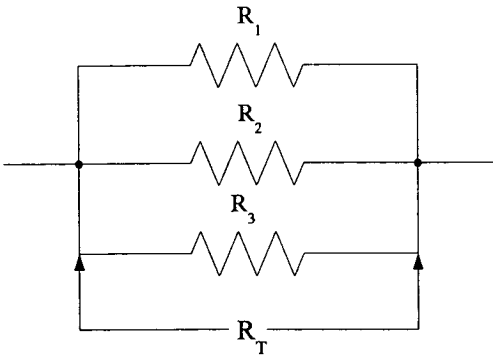
รูปที่ 2.5 การต่อความต้านทานแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.5 จะได้

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \tag{2.16}$$

การต่อความต้านทานแบบขนาน

การต่อความต้านทานแบบขนานหมายถึงการนำเอาความต้านทานหลาย ๆ ตัวมาต่อเชื่อมกันให้อยู่ในระหว่างจุด 2 จุด โดยให้ปลายด้านหนึ่งของความต้านทานทุก ๆ ตัวมาต่อรวมกันที่จุด ๆ หนึ่ง และให้ปลายอีกด้านหนึ่งของความต้านทานทุก ๆ ตัวมาต่อรวมกันอีกที่จุด ๆ หนึ่ง ซึ่งจะพิจารณาเห็นได้อย่างชัดเจนจากรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การต่อความต้านทานแบบขนาน

จากรูปที่ 2.6 จะได้

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$
$$\frac{1}{R_T} = \frac{R_2R_3 + R_1R_3 + R_1R_2}{R_1R_2R_3}$$

ดังนั้น

$$R_T = \frac{R_1R_2R_3}{R_2R_3 + R_1R_3 + R_1R_2}$$

(2.17)

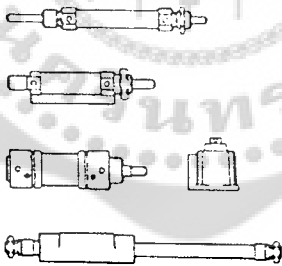
2.4 นิวแมติกส์เบื้องต้น

อุปกรณ์ทำงานในระบบนิวแมติกส์

อุปกรณ์ทำงานในระบบนิวแมติกส์ จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของแรงดันลมให้เป็นพลังงานกลในรูปแบบต่าง ๆ

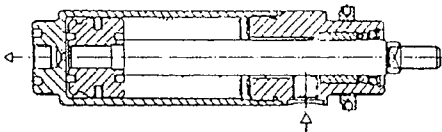
กระบอกสูบแบบทำงานสองทาง (Double acting cylinder)

กระบอกสูบแบบทำงานสองทางจะใช้แรงดันลมกระทำให้อันสูบเคลื่อนที่เข้า และออกทั้งสองทาง แรงกระทำที่ได้จากกระบอกสูบชนิดนี้จะมากกว่ากระบอกสูบแบบทำงานทางเดียว เพราะไม่มีแรงสปริงเป็นตัวต้าน จึงเหมาะสำหรับงานแทบทุกประเภทที่ต้องการการเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นแนวเส้นตรง



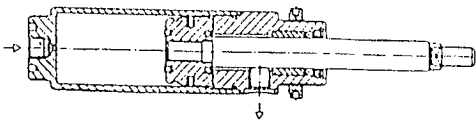
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกระบอกสูบแบบทำงานสองทางแบบต่าง ๆ

หลักการทำงาน :



รูปที่ 2.8 แสดงกระบอกสูบแบบทำงานสองทางขณะเคลื่อนที่เข้าสุด

แสดงสภาพการทำงานของกระบอกสูบเมื่อมีแรงดันลมเข้าด้านหัวกระบอกสูบแรงดันลมจะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่เข้าสู่



รูปที่ 2.9 แสดงกระบอกสูบแบบทำงานสองทางขณะเคลื่อนที่ออกสุด

แสดงสภาวะการทำงานของกระบอกสูบเมื่อมีแรงดันลมเข้าท้ายกระบอกสูบแรงดันลมจะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออกสุด

ความสามารถในการทำงานของกระบอกสูบ

แรงของกระบอกสูบ(Cylinder Thrust)

แรงของกระบอกสูบสามารถคำนวณได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ และความดันลมอัด ดังนี้

$$F_1 = \frac{\pi D^2}{4} \times P \times \mu_1 \tag{2.18}$$

โดยที่

- F_1 = แรงของกระบอกสูบในจังหวะดัน ,kgf
- P = ความดันลมอัด ,bar
- D = เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ ,cm
- d = เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ ,cm
- μ_1 = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะดัน

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะแปรค่าตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ ความต้านทานการเคลื่อนที่ของซีล และความต้านทานการเคลื่อนที่ของก้านสูบ โดยปกติจะตั้งไว้ที่ 0.5-0.7 ปริมาณลมที่ใช้ (อัตราการไหลลม)

ปริมาณลมที่ต้องใช้ทำให้กระบอกสูบทำงาน สามารถคำนวณได้จากปริมาตรของกระบอกสูบและปริมาตรของท่อ ปริมาตรของท่อจะแตกต่างกันตามวิธีการเดินท่อ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณลมที่ใช้จากปริมาตรของกระบอกสูบดังต่อไปนี้

$$V_a = \frac{(A_1 + A_2) \times L \times (P + 1.033) \times N}{1000} \tag{2.19}$$

โดยที่

- V_a = ปริมาณลมที่ใช้ ,LPM
- L = ช่วงชักของกระบอกสูบ ,cm
- A_1 = พื้นที่ลูกสูบด้านลูกสูบ ,cm²
- A_2 = พื้นที่ลูกสูบด้านก้านสูบ ,cm²
- N = จำนวนครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ ไป- กลับต่อนาที

วาล์วและอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

ส่วนประกอบในการทำงานของระบบนิวแมติกส์จะประกอบไปด้วย ชุดต้นกำลังซึ่งทำหน้าที่ส่งลมอัดให้กับอุปกรณ์ทั้งหมด อุปกรณ์ให้สัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์ทำงาน การที่อุปกรณ์ทำงาน เช่น กระบอกสูบ จะเคลื่อนที่เข้าออกได้ตามความต้องการก็ต้องอาศัยอุปกรณ์ให้สัญญาณและอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งได้แก่วาล์วต่าง ๆ นั่นเอง วาล์วมีอยู่หลายชนิดด้วยกันแต่ละชนิดก็มีหน้าที่แตกต่างกันออกไปในที่นี้จะขอกล่าวเกี่ยวกับวาล์วควบคุมทิศทาง(Directional Control Valve)

ทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทางในระบบนิวแมติกส์จะมีการกำหนดรหัสทางต่อลมเพื่อให้เกิดความสะดวก และเข้าใจตรงกันในการออกแบบ และต่อวงจร การกำหนดรหัสทางต่อลมของวาล์วควบคุมทิศทางโดยทั่ว ๆ ไป สามารถกระทำดังต่อไปนี้

ตาราง 2.3 ตัวเลขและตัวอักษรย่อที่วาล์วควบคุม

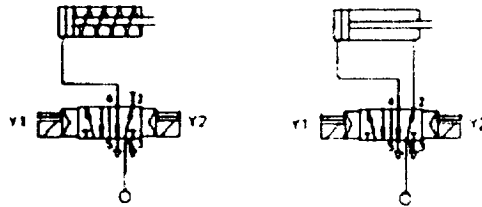
ตัวเลข	ตัวอักษร	ตัวอักษรย่อ	หน้าที่
1	P	Sup	รูจ่ายลมอัดเข้าวาล์ว
2,4	A,B	Out	รูต่อลมอัดไปใช้งาน
3,5	R,S	Ex	รูระบายลมทิ้ง
12,14	X,Y,Z	Signal In	รูต่อเข้าวาล์วควบคุมเพื่อผลในการบังคับให้วาล์วทำงาน

อุปกรณ์ไฟฟ้าและโซลินอยด์วาล์ว

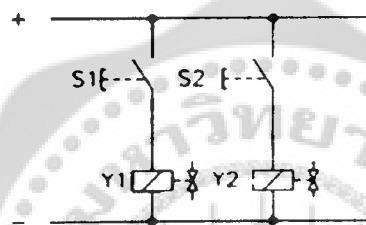
ในระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้า การควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลหรือระบบกระบวนการทำงานต่าง ๆ นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนด้วยกันคือ ส่วนของวงจรกำลัง หรือส่วนที่เป็นวงจรนิวแมติกส์ โดยจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทำงานประเภทต่าง ๆ ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยโซลินอยด์วาล์ว และอีกส่วนหนึ่งก็คือ วงจรควบคุมหรือส่วนที่เป็นวงจรไฟฟ้า จะใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ เช่น สวิตช์ รีเลย์ ตัวตั้งเวลา และตัวนับ ฯลฯ เป็นอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณทางไฟฟ้า

เพื่อควบคุมการทำงานหรือเปลี่ยนตำแหน่งของโซลินอยด์วาล์วในส่วนของวงจรนิวแมติกส์อีกที่หนึ่ง

Circuit diagram, pneumatic



Circuit diagram, electric



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้า

สวิตช์ต่าง ๆ และหลักการทำงาน

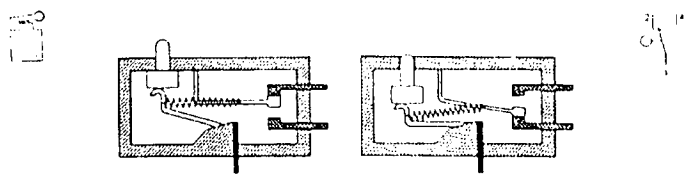
สวิตช์กดค้างตำแหน่ง (Toggle switch)



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของสวิตช์

หลักการทำงาน : สวิตช์ประเภทนี้สามารถค้างตำแหน่งการทำงานได้จากรูปถัดกดสวิตช์ไปทางซ้ายมือ จะทำให้หน้าสัมผัสทั้งสองแยกออกจากกัน แต่ถ้ากดสวิตช์ไปด้านขวามือจะทำให้หน้าสัมผัสต่อถึงกัน

สวิตช์ตำแหน่ง (Limit switch)

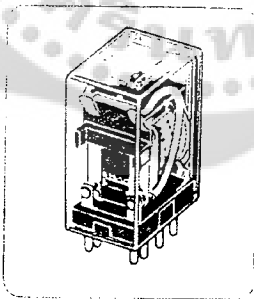


รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของลิมิตสวิตช์

หลักการทำงาน : สวิตช์ประเภทนี้เป็นสวิตช์ที่ทำงานทางกล เช่น ใช้ฝาปิดเครื่องจักร ฯลฯ เป็นตัวกดในการเปลี่ยนตำแหน่งหน้าสัมผัส จากรูปในสภาวะปกติหน้าสัมผัส 1 จะต่ออยู่กับ 2 ส่วนหน้าสัมผัส 4 จะไม่ต่อกับหน้าสัมผัสใด แต่เมื่อถูกแรงจากภายนอกมากระทำ ก็จะทำให้หน้าสัมผัสเปลี่ยนการต่อ คือ 1 จะต่อกับ 4 ส่วน 2 จะไม่ต่อกับหน้าสัมผัสใด

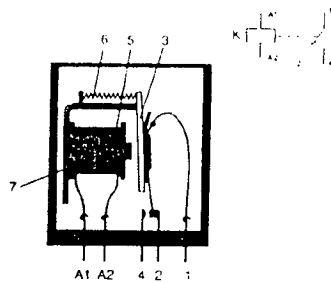
รีเลย์ (Relay)

ในวงจรควบคุมที่ยุ่งยากในระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้า จะไม่สามารถใช้สวิตช์เพียงอย่างเดียวในการควบคุมจำเป็นต้องนำรีเลย์เข้ามาช่วย เพราะภายในตัวของรีเลย์จะมีหน้าสัมผัสจำนวนมากชุดอยู่ภายในจึงสามารถใช้ควบคุมงานที่ยุ่งยากได้ รีเลย์เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรควบคุม



รูปที่ 2.13 รีเลย์

โครงสร้างและการทำงานของรีเลย์ :



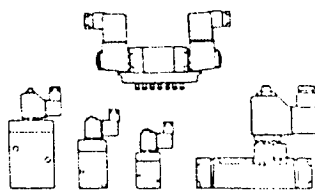
รูปที่ 2.14 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของรีเลย์

โครงสร้างของรีเลย์ ประกอบด้วยแกนเหล็ก 2 ชุด ชุดหนึ่งถูกยึดติดกับที่โดยจะมีขดลวดพันอยู่รอบ ๆ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กในกรณีที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดและจะทำให้เกิดแรงดูดได้ สำหรับแกนเหล็กอีกชุดหนึ่งจะเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ โดยแกนเหล็กชุดนี้จะมีหน้าสัมผัสยึดติดอยู่

หลักการทำงาน : ในสภาวะปกติแกนเหล็กทั้งสองชุดจะถูกดันออกมาจากกันด้วยแรงสปริง ชุดของหน้าสัมผัสในสภาวะนี้จะเรียกว่า ชุดหน้าสัมผัสปกติเปิดในกรณีที่หน้าสัมผัสแยกออกจากกัน และชุดหน้าสัมผัสปกติปิดในกรณีที่หน้าสัมผัสต่อถึงกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดที่พันอยู่รอบ ๆ แกนเหล็ก จะทำให้แกนเหล็กกลายเป็นแม่เหล็กดูดแกนเหล็กชุดเคลื่อนที่ ทำให้ชุดของหน้าสัมผัสเปลี่ยนการทำงานทันที คือ ชุดหน้าสัมผัสที่ต่อถึงกันจะแยกออกจากกัน และชุดหน้าสัมผัสที่แยกจากกันจะต่อถึงกัน หรืออาจจะสรุปง่าย ๆ ได้ว่า ชุดหน้าสัมผัสปกติเปิดจะเปลี่ยนจากปกติเปิดเป็นปิด และชุดหน้าสัมผัสปกติปิดจะเปลี่ยนจากปกติปิดเป็นเปิด และหากไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดชุดหน้าสัมผัสก็จะคืนกลับสู่ตำแหน่งเดิม

โซลินอยด์ (Soleniod)

ในการควบคุมอุปกรณ์ทำงานในระบบนิวแมติกส์ให้ทำงานตามที่ต้องการนั้น อุปกรณ์ที่สำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานเปลี่ยนตำแหน่งได้ก็คือ วาล์ว ซึ่งในการเลื่อนวาล์วควบคุมนั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การเลื่อนวาล์วโดยใช้กล้ามเนื้อ การเลื่อนโดยใช้กลไก การเลื่อนโดยใช้ลมควบคุม การเลื่อนโดยใช้ไฟฟ้าควบคุม หรือการเลื่อนโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งร่วมกัน ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงวาล์วที่ใช้ไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมในการเปลี่ยนตำแหน่ง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โซลินอยด์วาล์ว

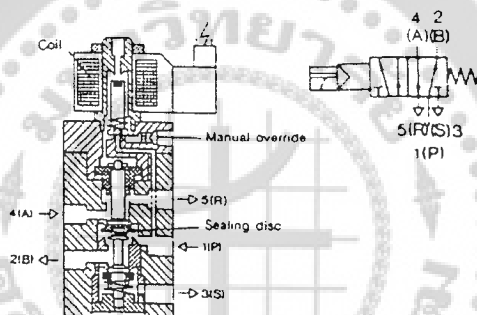


รูปที่ 2.15 โซลินอยด์วาล์ว

โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

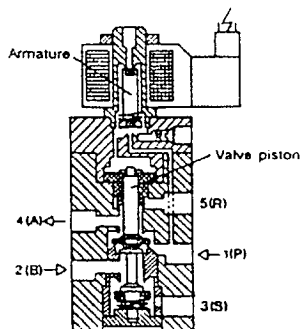
โครงสร้างของวาล์วควบคุมโดยทั่วไปซึ่งในที่นี้จะหมายถึง โซลินอยด์วาล์วด้วย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ด้วยกัน คือ วาล์วแบบนั่งบ่า และวาล์วแบบลูกสูบเลื่อน โดยที่วาล์วแต่ละประเภทจะมีสมบัติที่แตกต่างกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะโซลินอยด์วาล์ว 5/2

วาล์ว 5/2 ใช้โซลินอยด์และลมเป็นตัวเลื่อนวาล์ว กลับสู่สภาพเดิมด้วยแรงสปริง



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของโซลินอยด์วาล์ว 5/2

สภาวะปกติ : เมื่อยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ โซลินอยด์จะยังไม่มีอำนาจแม่เหล็กแรงสปริงจะดันลิ้นเล็กด้านบนปิดทางลมจาก P ลิ้นใหญ่จะไม่ถูกเลื่อน เป็นผลทำให้รู P ต่อถึงรู B รู A จะต่อถึงรู R ส่วนรู S จะถูกปิด



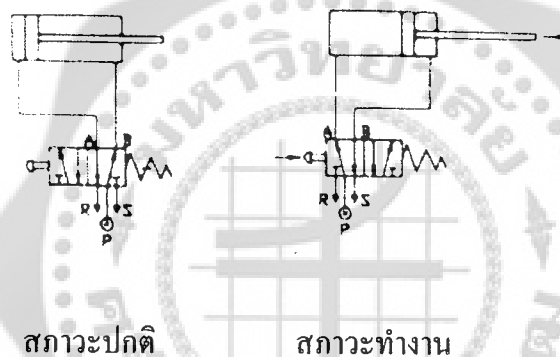
รูปที่ 2.17 แสดงสภาวะทำงานของโซลินอยด์วาล์ว 5/2

สภาวะทำงาน : เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ จะทำให้โซลินอยด์ เกิดอำนาจแม่เหล็กเคลื่อนลิ้นเล็กด้านบนให้เปิดทางลม ลมจาก R จะผ่านลิ้นเล็กด้านบนไปเคลื่อนลิ้นใหญ่ ทำให้แรงดันลมจาก P เปลี่ยนทิศทางการไหล คือ R จะต่อ A R จะต่อ S ส่วน R จะถูกปิด

วงจรนิวแมติกส์พื้นฐาน

การออกแบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลหรือระบบกระบวนการต่าง ๆ ให้มีลักษณะการทำงานตามความต้องการนั้นมีความจำเป็นในงานอุตสาหกรรมทุกสาขาในระบบนิวแมติกส์ก็เช่นเดียวกัน การนำเอาความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ทำงาน และวาล์วควบคุมแบบที่ได้กล่าวในตอนต้นมาใช้ในการออกแบบวงจรนิวแมติกส์ เพื่อที่จะได้ผลิตผลตามความต้องการ รวมทั้งทำให้เกิดการประหยัด และใช้อุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

วงจรควบคุมกระบอกสูบแบบทำงานสองทาง



รูปที่ 2.18 แสดงสภาวะปกติและสภาวะทำงานของกระบอกสูบแบบทำงานสองทาง

สภาวะปกติ : แรงดันลมจาก R จะไหลผ่าน R B เข้าไปยังห้องสูบส่วนหัวหรือด้านขวามือดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่เข้า ส่วนลมจากห้องสูบส่วนท้าย หรือด้านซ้ายมือจะระบายออกสู่บรรยากาศผ่าน R A ไปยัง R

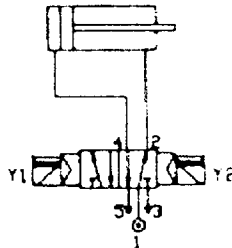
สภาวะทำงาน : เมื่อควาล์ว 5/2 แรงดันลมจาก R จะเปลี่ยนทิศทางการไหล คือ แรงดันลมจาก R จะไหลผ่าน R A เข้าไปดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออก ส่วนลมจากห้องสูบด้านขวามือจะระบายออกสู่บรรยากาศ ผ่าน R B ไปยัง R S และเมื่อปล่อยมือสปริงจะเลื่อนให้วาล์ว 5/2 กลับสู่สภาวะปกติ เป็นผลให้ลูกสูบเคลื่อนที่เข้า

วงจรนิวแมติกส์ไฟฟ้าพื้นฐาน

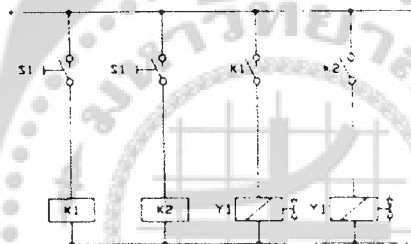
สำหรับเครื่องจักรหรือระบบกระบวนการทำงานต่าง ๆ ที่อาศัยระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้าในการทำงานนั้น จะมีการนำเอาอุปกรณ์ที่ให้อิทธิพลทางไฟฟ้า มาสร้างเป็นวงจรตามเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยจะส่งผลต่อเนื่องให้อุปกรณ์ทำงานในระบบ ทำงาน

ตามความต้องการ โครงสร้างของระบบนิวแมติกส์ไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ วงจรนิวแมติกส์กับวงจรไฟฟ้า หรือวงจรกำลังกับวงจรควบคุมนั่นเอง

Pneumatic circuit



Electric circuit



รูปที่ 2.19 วงจรนิวแมติกส์กับวงจรไฟฟ้า

บทที่ 3

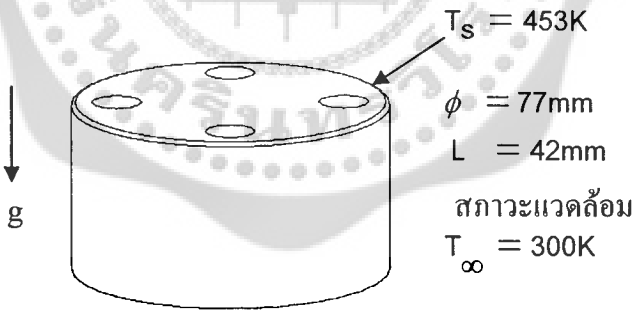
การคำนวณและออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณและออกแบบเครื่องผนึกบรรจุภัณฑ์โดยแบ่งหัวข้อออกเป็นดังนี้

- การคำนวณหาอัตราการผลิตความร้อนของแท่งอะลูมิเนียม
- การคำนวณหาขนาดของฮีตเตอร์และวงจรฮีตเตอร์
- การคำนวณหาแรงเหวี่ยงของชุดแม่พิมพ์ตัวบน
- การคำนวณหาขนาดของกระบอกสูบ
- การคำนวณหาอัตราการใช้ลม
- ขนาดถังเก็บลม
- การออกแบบวงจรนิวแมติกส์และวงจรไฟฟ้า
 - นิวแมติกส์ (Pneumatic circuit)
 - วงจรไฟฟ้า (Electric circuit)

3.1 การคำนวณหาอัตราการผลิตความร้อนของแท่งอะลูมิเนียม

คำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแท่งอะลูมิเนียม



รูปที่ 3.1 แท่งอะลูมิเนียม

สมบัติของอากาศ @ $T_f = \left(\frac{T_{sเฉลี่ย} + T_\infty}{2} \right) = 339 \text{ K}$

จากภาคผนวก ข. ตาราง ก.

$$\nu = 19.81 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$
$$\alpha = 28.27 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$
$$pr = 0.702$$

$$k = 0.029 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$
$$\beta = \left(\frac{1}{339} \right) \text{ K}^{-1}$$

พิจารณาทรงกระบอกแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 77mm และสูง 42mm ตรวจสอบ
กรณีของแท่งอะลูมิเนียมแนวดิ่ง

$$\frac{D}{L} \geq \frac{35}{(Gr_L)^{1/4}} \quad \text{หรือไม่}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} Gr_L &= \frac{g \beta L^3 (T_{s \text{ เฉลี่ย}} - T_\infty)}{\nu^2} = \frac{9.81(1/339)(0.042)^3(378 - 300)}{(19.81 \times 10^{-6})^2} \\ &= 4.26130 \times 10^5 \\ (Gr_L)^{1/4} &= 25.55 \end{aligned}$$

ดังนั้น $\frac{35}{(Gr_L)^{1/4}} = 1.37$, $\frac{D}{L} = \frac{0.077}{0.042} = 1.83$

นั่นคือ $\frac{D}{L} > \frac{35}{(Gr_L)^{1/4}}$ แนะนำให้ใช้สมการของแผ่นระนาบดิ่ง จากภาคผนวก ตาราง ค จะได้

$$Nu_m^{1/2} = 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}}$$

โดยที่ Ra คือ ตัวเลขเรย์ลี (Rayleigh number) และ

$$\begin{aligned} Ra &= Gr \cdot pr = \frac{g \beta L^3 (T_s - T_\infty)}{\nu \alpha} \\ &= 2.98608 \times 10^5 \end{aligned}$$

$0.1 < Gr \cdot pr < 10^{12}$ โดยเซอร์ซิลด์และซู (ราบเรียบ,ปั่นป่วน) สมบัติทุกตัวพิจารณาที่

$$T_f = \left(\frac{T_{s \text{ เฉลี่ย}} + T_\infty}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} Nu_m &= \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \\ &= \left\{ 0.825 + \frac{0.387 (2.98608 \times 10^5)^{1/6}}{\left[1 + (0.492/0.702)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2 \end{aligned}$$

= 12.08

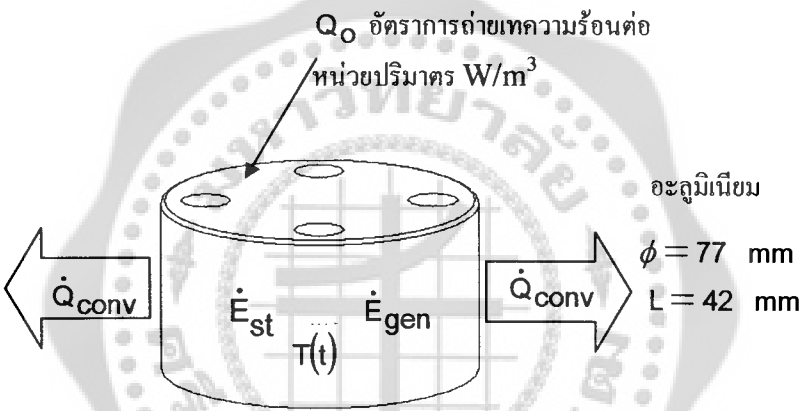
สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแท่งอะลูมิเนียม

h_m = \frac{Nu_m k}{L} = \frac{(12.08)(0.029)}{0.042}

= 8.34 W/m^2 \cdot K

สมมติฐานการออกแบบ

- ไม่พิจารณาผลของการแผ่รังสีความร้อน
- สมบัติทางฟิสิกส์คงที่
- พิจารณาแท่งอะลูมิเนียมเป็นระบบลัมปี
- พิจารณาเป็นปัญหาการนำความร้อนในสภาวะไม่คงตัว



รูปที่ 3.2 แสดงสมดุลพลังงานของแท่งอะลูมิเนียม

สมบัติของอะลูมิเนียม

จากภาคผนวก ข. ตาราง ข.

ρ = 2702 kg/m³

k = 237 W/m · K

c_p = 903 J/kg · K

ความยาวสำคัญ

L_s = \frac{V}{A_s}

แท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตันยาว L = 0.042 m รัศมี r = 0.0385 m

L_s = \frac{\pi r^2 L}{2\pi r L} = \frac{r}{2}

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.0385}{2} \\
 &= 0.01925 \text{ m} \\
 Bi &= \frac{hL_s}{k} = \frac{8.34 \times 0.01925}{0.029} \\
 &= 0.0007
 \end{aligned}$$

$Bi < 0.1$ จึงกำหนดการวิเคราะห์ที่แท่งอะลูมิเนียมเป็นระบบลัมปี

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{พลังงานนำความร้อน} \\ \text{เข้าปริมาตรควบคุมโดยสุทธิ} \end{array} \right\} + \left\{ \text{พลังงานที่ถูกสร้างขึ้น} \right\} = \left\{ \text{พลังงานสะสม} \right\}$$

$$(\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}) + \dot{E}_{gen} = \dot{E}_{st}$$

$$\dot{E}_{in} = 0$$

$$-hA_s(T - T_\infty) + q_o V = \rho c_p V \frac{dT}{dt} \text{ เมื่อ } t > 0 \quad (3.1)$$

$$\text{เงื่อนไขเริ่มต้น (IC): } T = T_i @ t = 0 \quad (3.2)$$

$$\text{กำหนดให้ } \theta = T - T_\infty \text{ และ } m = \frac{hA_s}{\rho c_p V} = \frac{h}{\rho c_p L_s}$$

จากสมการ (3.1) และ (3.2) จะได้ (โดยที่ $\theta = \theta(t)$)

$$\begin{aligned}
 \frac{d\theta}{dt} + \frac{hA_s}{\rho c_p V} \theta - \frac{q_o V}{\rho c_p} &= 0 \\
 \frac{d\theta}{dt} + m\theta &= \frac{q_o V}{\rho c_p} \text{ เมื่อ } t > 0 \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

$$\text{IC: } \theta = \theta_i = T_i - T_\infty @ t = 0 \quad (3.4)$$

$$\text{ผลเฉลย } \theta = \theta_h + \theta_p \quad (3.5)$$

$$\text{ผลเฉลยเฉพาะจะอยู่ในรูปของ } \theta_p = \frac{q_o}{\rho c_p m} = \frac{q_o L_s}{h} \text{ (สอดคล้องกับสมการ(3.3))}$$

ปัญหาของผลเฉลยเอกพันธ์

$$\frac{d\theta_h}{dt} + m\theta_h = 0 \text{ เมื่อ } t > 0 \quad (3.6)$$

$$\text{กำหนดให้ } \theta_h = Ce^{-mt}$$

$$\text{ดังนั้น } \theta = Ce^{-mt} + \frac{q_o}{\rho c_p m} \quad (3.7)$$

แทนค่าลงในสมการ (3.4) @ $t = 0$

$$\theta_i = C + \frac{q_o}{\rho c_p m}$$

$$C = \theta_i - \frac{q_o L_s}{h}$$

ดังนั้นแทนค่าในสมการ (3.7) จะได้การกระจายอุณหภูมิดังนี้

$$\theta = \left(\theta_i - \frac{q_o L_s}{h} \right) e^{-mt} + \frac{q_o L_s}{h} \quad (3.8)$$

$$\theta = \theta_i e^{-mt} + (1 - e^{-mt}) \frac{q_o L_s}{h}$$

$$q_o = \left(\frac{\theta - \theta_i e^{-mt}}{(1 - e^{-mt})} \right) \frac{h}{L_s} \quad \text{W/m}^3 \quad (3.9)$$

$$\theta = T - T_\infty = 180 - 27 = 153$$

$$\theta_i = T_i - T_\infty = 30 - 27 = 3$$

$$\begin{aligned} m = \frac{hA}{\rho c_p V} &= \frac{h}{\rho c_p L_s} \\ &= \frac{8.34}{(2702)(903)(0.01925)} \\ &= 1.7757 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

สมมติให้เวลาที่เปิดเครื่องครั้งแรกแล้วอุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียมถึงอุณหภูมิที่ต้องการประมาณ (180°C) ใช้เวลาเท่ากับ 5 นาที (300 s)
แทนค่าลงในสมการที่ (3.9) จะได้

$$\begin{aligned} q_o &= \left(\frac{153 - 3e^{-1.7757 \times 10^{-4} \times 300}}{(1 - e^{-1.7757 \times 10^{-4} \times 300})} \right) \frac{8.34}{0.01925} \\ &= 1.254014 \times 10^6 \text{ W/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แท่งอะลูมิเนียมปริมาตร} &= \pi r^2 L \\ &= \pi (0.0385)^2 (0.042) \\ &= 1.956 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{สามารถผลิตความร้อนในอัตรา} = 245.29 \text{ W}$$

3.2 การคำนวณหาขนาดของฮีตเตอร์และวงจรฮีตเตอร์

จากการคำนวณหาอัตราการผลิตความร้อนของแท่งอะลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง $\phi = 77 \text{ mm}$ สูง $L = 45 \text{ mm}$ ในเวลา 5 นาที สามารถผลิตความร้อนได้ในอัตรา 245.29 W

กำหนดให้ใช้ฮีตเตอร์ขนาด **80 W 60 V**

ความต้านทานของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V

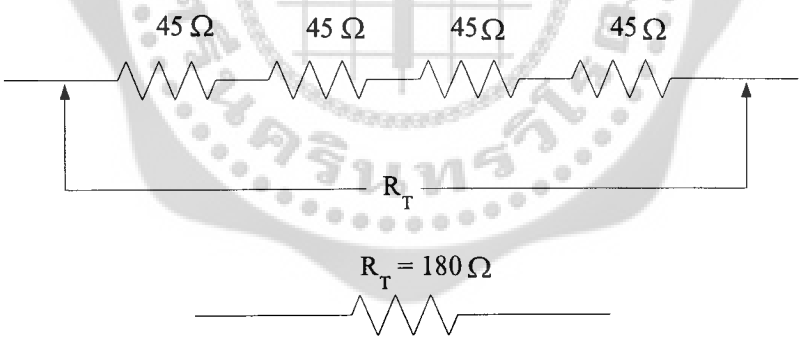
จากสูตร

$$P = \frac{V^2}{R}$$
$$R = \frac{V^2}{P}$$
$$R = \frac{60^2}{80} = 45 \Omega$$

ความต้านทานของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V จำนวน 1 ตัวเท่ากับ 45Ω

การออกแบบในที่นี้เราใช้แท่งอะลูมิเนียมเป็นตัวรับความร้อนจากฮีตเตอร์ โดยอะลูมิเนียม 1 แท่งจะใช้ฮีตเตอร์ 4 ตัว เพื่อให้การกระจายความร้อนของแท่งอะลูมิเนียมเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V ต่ออนุกรมจำนวน 4 ตัว ที่ฝังในแท่งอะลูมิเนียม 1 แท่ง



รูปที่ 3.3 ค่าความต้านทานรวมของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V ต่ออนุกรมจำนวน 4 ตัวที่ฝังในอะลูมิเนียม 1 แท่ง

$$R_T = 45 \Omega + 45 \Omega + 45 \Omega + 45 \Omega$$
$$= 180 \Omega$$

ความต้านทานของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V ต่ออนุกรมจำนวน 4 ตัว เท่ากับ 180Ω

กระแสที่ไหลผ่านฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V ต่ออนุกรม จำนวน 4 ตัวที่ฝังในอะลูมิเนียม 1 แท่ง

กฎของโอห์ม

$$\begin{aligned}\text{จากสูตร} \quad E &= IR \\ I &= \frac{E}{R} \\ I &= \frac{220V}{180\Omega} = 1.22A\end{aligned}$$

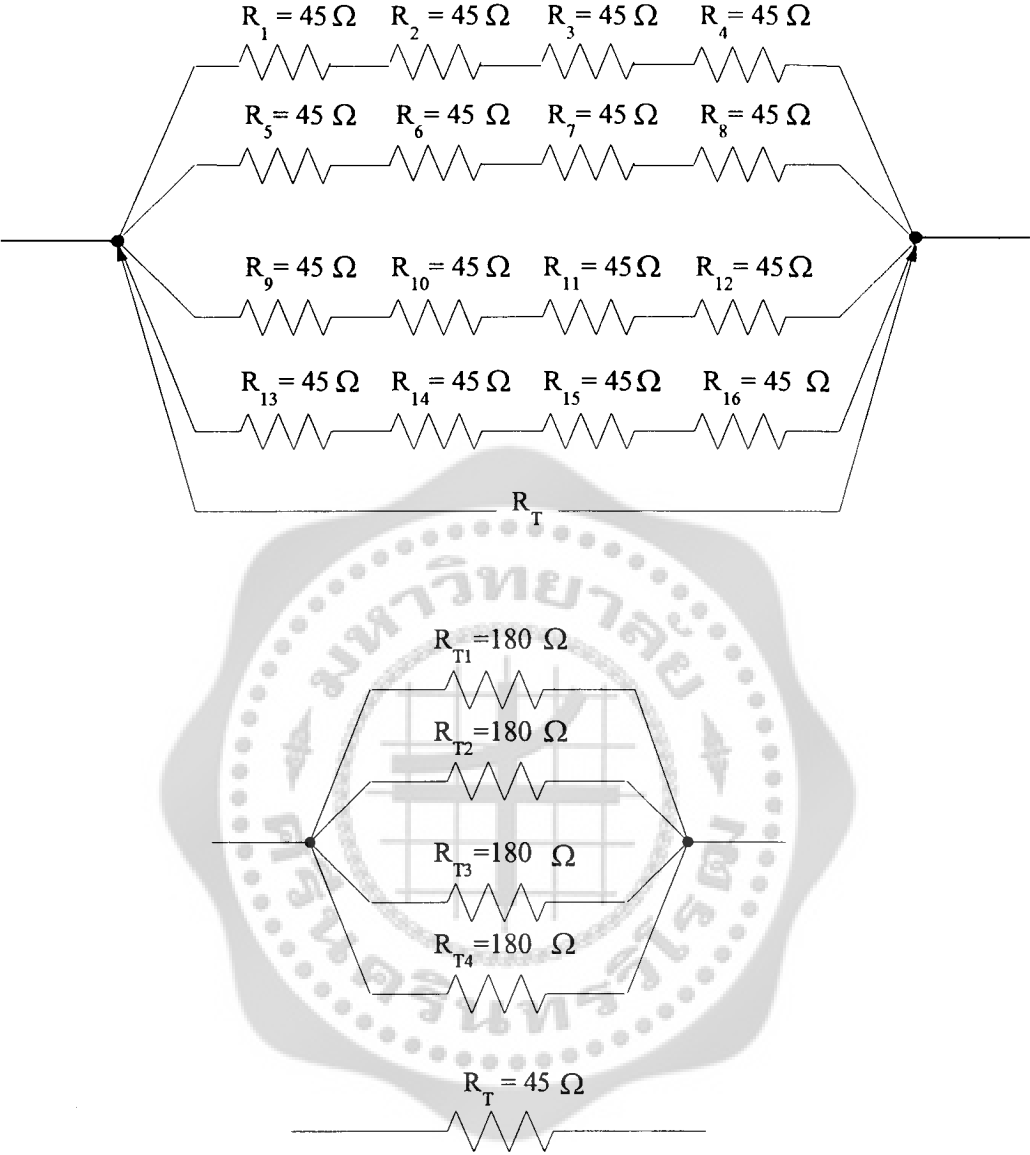
กำลังไฟฟ้าของฮีทเตอร์ขนาด 80 W 60 V ต่ออนุกรมจำนวน 4 ตัวต่ออนุกรมที่ฝังในอะลูมิเนียม 1 แท่ง

$$\begin{aligned}\text{จากสูตร} \quad P &= I \cdot V \\ P &= 1.22A \times 220V = 268.4W\end{aligned}$$

จากการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของฮีทเตอร์ขนาด 80 W 60 V จำนวน 4 ตัว ที่ต่ออนุกรมกันได้ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ **268.4 W** เห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการผลิตความร้อนของแท่งอะลูมิเนียมที่คำนวณได้ในหัวข้อ 3.1 คือ 245.29 W ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ฮีทเตอร์ขนาด 80 W 60 V เป็นตัวให้ความร้อนกับแท่งอะลูมิเนียม

ในที่นี้จะออกแบบเครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์ให้สามารถพ่นได้ครั้งละ 4 ถ้วย/ครั้งใช้แท่งอะลูมิเนียม 4 แท่ง แต่ละแท่งฝังฮีทเตอร์ขนาด 80 W 60 V จำนวน 4 ตัวต่ออนุกรม

คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์ที่ใช้แท่งอะลูมิเนียม 4 แท่ง แต่ละแท่งฝังฮีทเตอร์ขนาด 80 W 60 V จำนวน 4 ตัวต่ออนุกรม



รูปที่ 3.4 ค่าความต้านทานรวมของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V
จำนวน 16 ตัว ที่ฝังในแท่งอะลูมิเนียม ทั้ง 4 แท่ง

$$R_{T1} = R_{1-2-3-4} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$= 45\Omega + 45\Omega + 45\Omega + 45\Omega = 180\Omega$$

$$R_{T2} = R_{5-6-7-8} = R_5 + R_6 + R_7 + R_8$$

$$= 45\Omega + 45\Omega + 45\Omega + 45\Omega = 180\Omega$$

$$R_{T3} = R_{9-10-11-12} = R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{12}$$

$$= 45\Omega + 45\Omega + 45\Omega + 45\Omega = 180\Omega$$

$$R_{T4} = R_{13-14-15-16} = R_{13} + R_{14} + R_{15} + R_{16}$$

$$= 45\Omega + 45\Omega + 45\Omega + 45\Omega = 180\Omega$$

$$R_T = \frac{R_{T1}R_{T2}R_{T3}R_{T4}}{R_{T2}R_{T3}R_{T4} + R_{T1}R_{T3}R_{T4} + R_{T1}R_{T2}R_{T4} + R_{T1}R_{T2}R_{T3}}$$

$$R_T = \frac{R_{T1}}{4}, \frac{R_{T2}}{4}, \frac{R_{T3}}{4} \text{ หรือ } \frac{R_{T4}}{4}$$

$$= \frac{180\Omega}{4}$$

$$= 45\Omega$$

กระแสที่ไหลผ่านฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V จำนวน 16 ตัว ที่ฝังในแท่งอะลูมิเนียม ทั้ง 4 แท่ง

กฎของโอห์ม

จากสูตร $E = IR$

$$I = \frac{E}{R}$$

$$I = \frac{220V}{45\Omega} = 4.89A$$

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V ต่ออนุกรม จำนวน 16 ตัว ที่ฝังในแท่งอะลูมิเนียม ทั้ง 4 แท่ง

จากสูตร $P = I \cdot V$

$$P = 4.89A \times 220V = 1,075W$$

จากการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ขนาด 80 W 60 V จำนวน 16 ตัว ที่ฝังในแท่งอะลูมิเนียม ทั้ง 4 แท่งได้ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ **1,075 W**

3.3 การคำนวณหาแรงเหวี่ยงของชุดแม่พิมพ์ตัวบน

จากภาคผนวก ข. ตาราง ง.

สปริง LC – 042G-7 มี Outside diameter (O.D.) = 12.19 mm ,Free length = 38.10 mm

สปริง 1 ตัว มีแรงต้านเท่ากับ 4.3 kg

ถ้าใช้สปริง 12 ตัว จะมีแรงต้านเท่ากับ $4.3 \times 12 = 51.6$ kg

สปริง LC – 042G-10 มี Outside diameter (O.D.) = 12.19 mm ,Free length = 50.80 mm

สปริง 1 ตัว มีแรงต้านเท่ากับ 4.3 kg

ถ้าใช้สปริง 16 ตัว จะมีแรงต้านเท่ากับ $4.3 \times 16 = 68.8$ kg

แรงต้านรวมทั้งหมดเท่ากับ $51.6 + 68.8 = 120.4$ kg

ดังนั้นแรงเหวี่ยงของชุดแม่พิมพ์ตัวบนจะต้องเท่ากับแรงต้านรวมทั้งหมด คือ 120.4 kg

3.4 การคำนวณหาขนาดของกระบอกสูบ

จากการคำนวณหาค่าแรงเหวี่ยงของชุดแม่พิมพ์ตัวบนได้ค่าแรงเหวี่ยงของชุดแม่พิมพ์ตัวบนเท่ากับ 120.4 kg นำค่าที่ได้มาคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad F_1 &= \frac{\pi D^2}{4} \times P \times \mu_1 \\ D &= \sqrt{\frac{F_1 \times 4}{\pi \times P \times \mu_1}} \\ &= \sqrt{\frac{120.4 \times 4}{\pi \times 6 \times 0.7}} = 6.04 \text{ cm} \end{aligned}$$

จากตารางภาคผนวก ข. ตาราง จ. เลือกใช้กระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 63 mm ภาระเท่ากับ 150 kgf ได้ก้านสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 mm

3.5 การคำนวณหาอัตราการไหล

ปริมาณลมที่ใช้ทำให้กระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 mm ก้านสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ช่วงชัก 40 mm ทำงานโดยใช้ความดันลม 6 bar สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{จากสูตร} \quad V_a = \frac{(A_1 + A_2) \times L \times (P + 1.033) \times N}{1000}$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ลูกสูบด้านลูกสูบ} \quad A_1 &= \frac{\pi}{4} (6.3)^2 \\ &= 31.18 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ลูกสูบด้านก้านสูบ} \quad A_2 &= \frac{\pi}{4} (6.3^2 - 2^2) \\ &= 28.04 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

ลูกสูบเคลื่อนที่ไป- กลับใช้เวลา 2 วินาที

ดังนั้น 1 นาที ลูกสูบเคลื่อนที่ไป-กลับทั้งหมด 30 ครั้ง
แทนค่าในสูตร

$$V_a = \frac{(31.18 + 28.04) \times 4 \times (6.3 + 1.033) \times 30}{1000}$$
$$= 52.11 \text{ LPM}$$

ปริมาณลมที่ใช้ทำให้กระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 63 mm ก้านสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ช่วงชัก 40 mm ทำงานโดยใช้ความดันลม 6 bar เท่ากับ 52.11 LPM

3.6 ขนาดถังเก็บลม

จากการคำนวณหาอัตราการใช้ลม เท่ากับ 52.11 ลิตร/นาที คำนวณหาขนาดของถังเก็บลม

$$1 \text{ L} = 1,000 \text{ cm}^3$$
$$1 \text{ ft}^3 = 30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$$
$$= 27,000 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น

$$1 \text{ L} = \frac{1,000}{27,000} \text{ ft}^3$$
$$= 0.037 \text{ ft}^3$$

จากอัตราการใช้ลม 52.11 LPM เท่ากับ $52.11 \text{ LPM} \times 0.037 \text{ ft}^3 = 1.93 \text{ CFM}$

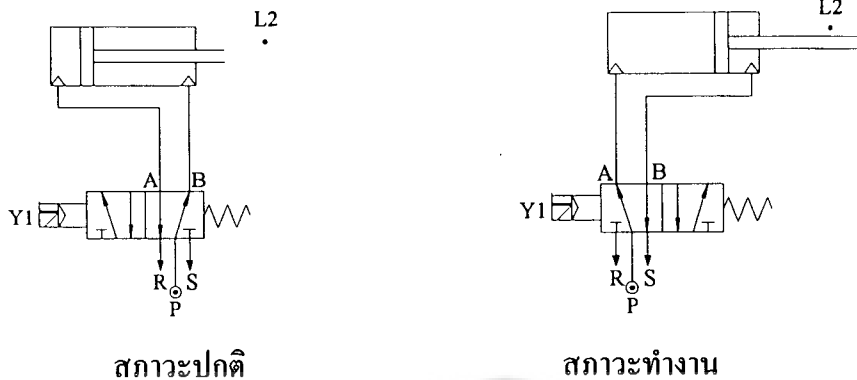
ปั๊มลมแบบลูกสูบ (piston pump) ขนาด 1 แรงม้า (HP) สามารถสร้างลมได้ประมาณ 3

CFM

ดังนั้น จึงต้องเลือกใช้ปั๊มลมขนาด $\frac{1.93}{3} = 0.64$ แรงม้า

3.7 การออกแบบวงจรนิวแมติกส์และวงจรไฟฟ้า

3.7.1 วงจรนิวแมติกส์ (Pneumatic Circuit)

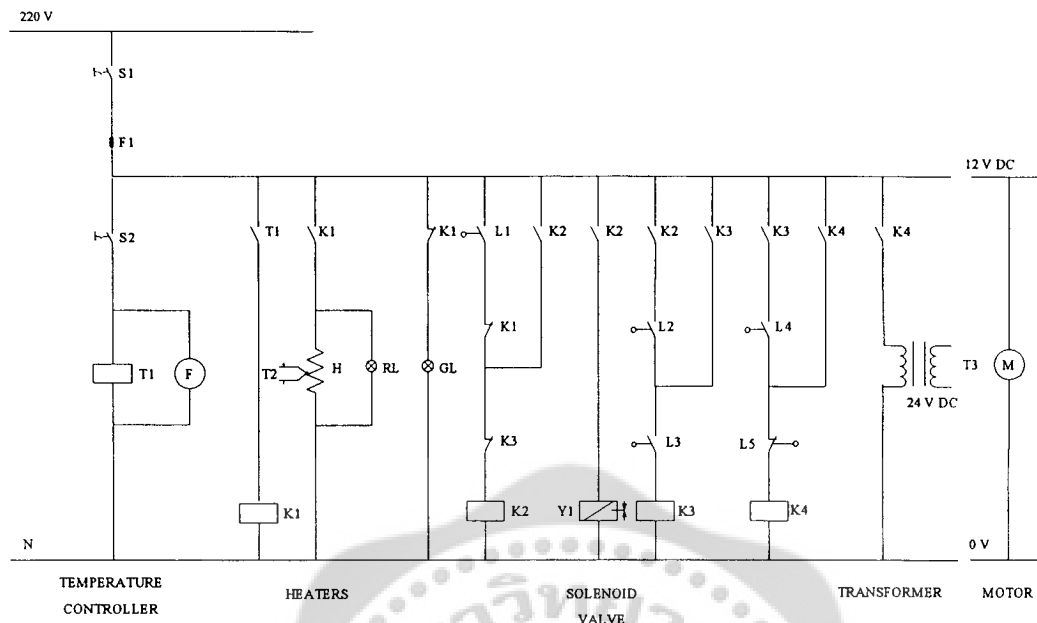


รูปที่ 3.5 วาล์ว 5/2 ใช้โซลินอยด์และลมเป็นตัวเลื่อนวาล์ว กลับสู่สภาวะปกติด้วยแรงสปริง

สภาวะปกติ : เมื่อยังไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ โซลินอยด์จะยังไม่มีอำนาจแม่เหล็กแรงสปริงจะดันลิ้นเล็กด้านบนปิดทางลมจาก P ลิ้นใหญ่จะไม่ถูกเลื่อน เป็นผลทำให้ P ต่อถึงรู B รู A จะต่อถึงรู R ส่วนรู S จะถูกปิด

สภาวะทำงาน : เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ จะทำให้โซลินอยด์ เกิดอำนาจแม่เหล็กเคลื่อนลิ้นเล็กด้านบนให้เปิดทางลม ลมจากรู P จะผ่านลิ้นเล็กด้านบนไปเลื่อนลิ้นใหญ่ ทำให้แรงดันลมจาก P เปลี่ยนทิศทางคือ รู P จะต่อรู A รู B จะต่อรู S ส่วนรู R จะถูกปิด เป็นผลให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออกจนสุด ไปสัมผัสลิมิตช์สวิตช์ L2 ที่ปลายช่วงชัก ลิมิตช์สวิตช์ L2 ตัดการทำงานของวงจร ก้านสูบเคลื่อนที่กลับ

3.7.2 วงจรไฟฟ้า (Electric Circuit)



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องฉนิกบรรจภัณฑ์

F1 = ฟิวส์ (Fuse)	L5 = ลิมิตสวิตช์ปกติปิด (NC)
F = ฟัดลม	M = มอเตอร์ (Motor)
H = ฮีตเตอร์ (Heaters)	RL = หลอดไฟแสดงสถานะ (สีแดง)
K1 = รีเลย์ K1	GL = หลอดไฟแสดงสถานะ (สีเขียว)
K2 = รีเลย์ K2	S1 = สวิตช์หลัก (Safety breaker)
K3 = รีเลย์ K3	S2 = สวิตช์ทำงานค้างตำแหน่ง (Toggle switch)
K4 = รีเลย์ K4	T1 = ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)
L1 = ลิมิตสวิตช์ปกติเปิด (NO)	T2 = เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)
L2 = ลิมิตสวิตช์ปกติเปิด (NO)	T3 = หม้อแปลง (Transformer)
L3 = ลิมิตสวิตช์ปกติเปิด (NO)	Y1 = โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve)
L4 = ลิมิตสวิตช์ปกติเปิด (NO)	

อธิบายการทำงานของวงจร

ยกสวิตช์ Safety breaker(S1)ไปที่ตำแหน่ง ON หลังจากนั้นกดสวิตช์ (S2) เป็นสวิตช์ทำงานแบบค้างตำแหน่งพัลคม (F) จะทำงาน มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านTemperature Control (T1) ตั้งอุณหภูมิของTemperature Control (T1)ไปที่อุณหภูมิประมาณ 180 °C จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเลย์ K1 หน้าสัมผัสของรีเลย์ K1 เปลี่ยนสภาวะต่อวงจร จ่ายไฟให้กับฮีทเตอร์(H) ขณะฮีทเตอร์ทำงานหลอดไฟแสดงสถานะสีแดง (RL) ติด เมื่ออุณหภูมิของแท่งอะลูมิเนียมถึงที่ตั้งไว้ Thermocouple (T2) จะส่งสัญญาณไปที่ Temperature Control (T1) ทำให้หน้าสัมผัสของ Temperature Control (T1) ตัดวงจร ส่งผลให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเลย์ K1 หน้าสัมผัสของรีเลย์ K1 กลับสู่สภาวะปกติไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านฮีทเตอร์ หลอดไฟแสดงสถานะสีเขียว(GL) ติดสีแดงดับ เมื่อคันถาดใส่ถ้วยบรรจุภัณฑ์ไปสัมผัสลิมิตสวิตช์ L1 (NO) และลิมิตสวิตช์ L3 (NO) ปกติเปิด จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเลย์ K2 หน้าสัมผัสของรีเลย์ K2 จะต่อวงจรถือการทำงานของตัวมันเอง (K2) และต่อวงจรทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโซลินอยด์วาล์ว (Y1) ส่งผลทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออก เมื่อก้านสูบเคลื่อนที่ออกสุดไปสัมผัสลิมิตสวิตช์ L2 (NO) ปกติเปิด โดยลิมิตสวิตช์ L3 (HOLD/NO) ยังคงถูกกดทับอยู่ จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดรีเลย์ K3 หน้าสัมผัสของรีเลย์ K3 จะต่อวงจรถือการทำงานของตัวมันเอง ทำให้ขดลวดรีเลย์ K2 เปลี่ยนสภาวะและตัดวงจร เป็นผลทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่กลับ ขณะที่ก้านสูบเคลื่อนที่กลับจะไปสัมผัสลิมิตสวิตช์ L4 (NO) ปกติเปิด จ่ายไฟให้กับขดลวดรีเลย์ K4 หน้าสัมผัสของรีเลย์ K4 เปลี่ยนสภาวะ ทำให้มอเตอร์(M) หมุน เมื่อมอเตอร์หมุนตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้จะไปสัมผัสลิมิตสวิตช์ L5 (NC) ปกติปิด ตัดการทำงานของขดลวดรีเลย์ K4 หน้าสัมผัสของรีเลย์ K4 กลับสู่สภาวะปกติ มอเตอร์หยุดหมุน และเมื่อคันถาดออกกลิมิตสวิตช์ L3 (HOLD/NO) ที่ถูกกดทับอยู่จะกลับสู่สภาวะปกติ และตัดการทำงานของขดลวดรีเลย์ K3 หน้าสัมผัสของรีเลย์ K3 เปลี่ยนสภาวะและเริ่มทำงานได้ใหม่อีกครั้ง

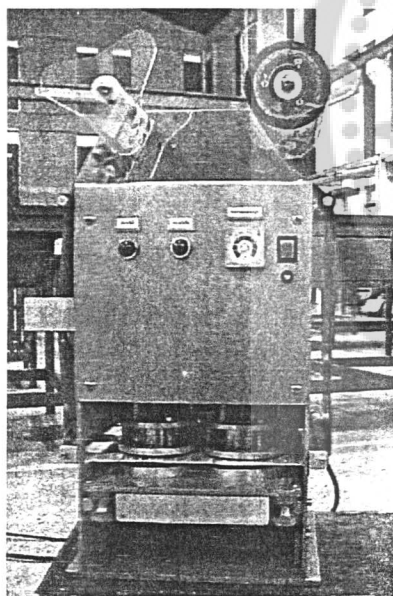
บทที่ 4

การทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบใช้เครื่องฉนึกบรจกัณฑ์ชนิดใช้ความร้อนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

- คุณลักษณะของเครื่องฉนึกบรจกัณฑ์
- การทำงานของเครื่องฉนึกบรจกัณฑ์
- การทดสอบการฉนึกฟิล์มเข้ากับบรจกัณฑ์ (ถ้วย)
- การคำนวณ

4.1 คุณลักษณะของเครื่องฉนึกบรจกัณฑ์

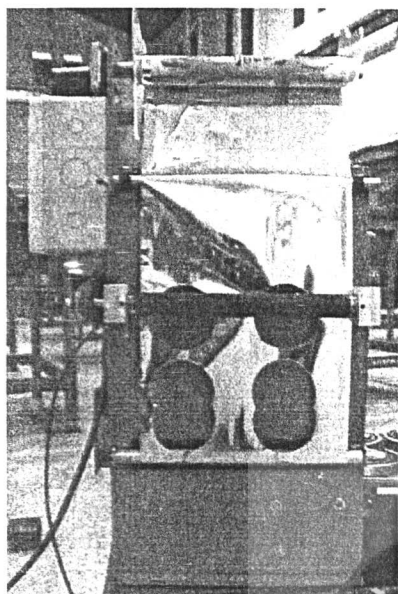


ด้านหน้า

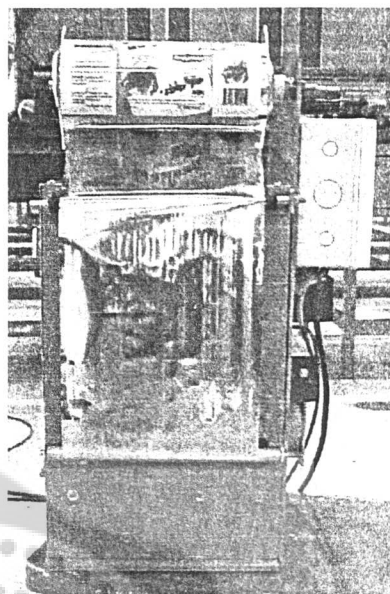


ด้านหลัง

รูปที่ 4.1 แสดงด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องฉนึกบรจกัณฑ์



ด้านข้างซ้าย



ด้านข้างขวา

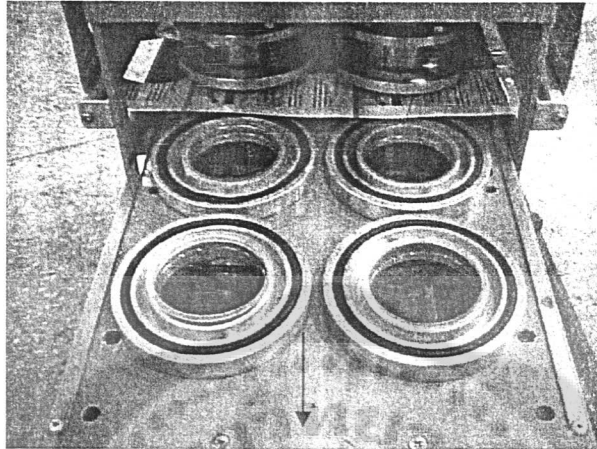
รูปที่ 4.2 แสดงด้านข้างซ้ายและด้านข้างขวาของเครื่องพนักบรรจุกัณฑ์

เครื่องพนักบรรจุกัณฑ์ชนิดใช้ความร้อนได้ออกแบบและสร้างขึ้น ให้มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

1. สามารถพนักบรรจุกัณฑ์ได้ครั้งละ 4 ถ้วย
2. ชุดแม่พิมพ์ทำงานด้วยระบบทางกล และระบบนิวแมติกส์
3. ชุดตัดฟิล์มเป็นชุดทางกลคล้ายฟันเลื่อย
4. ระบบป้อนฟิล์มเป็นระบบอัตโนมัติและสามารถป้อนด้วยมือได้ในกรณีที่ระบบอัตโนมัติมีปัญหา
5. ใช้ฮีตเตอร์ เป็นตัวให้ความร้อน เพื่อพนักฟิล์มให้ติดกับบรรจุกัณฑ์
6. มีตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามชนิดของฟิล์ม
7. มีหลอดไฟตรวจสอบ ฮีตเตอร์ และอุณหภูมิ
8. เครื่องพนักบรรจุกัณฑ์มีขนาด 430×460×755 มิลลิเมตร
9. เครื่องพนักบรรจุกัณฑ์ มีน้ำหนักประมาณ 73.5 กิโลกรัม
10. ใช้ไฟ 220 VAC กระแส 7 A

4.2 การทำงานของเครื่องพนักบรรจุภัณฑ์

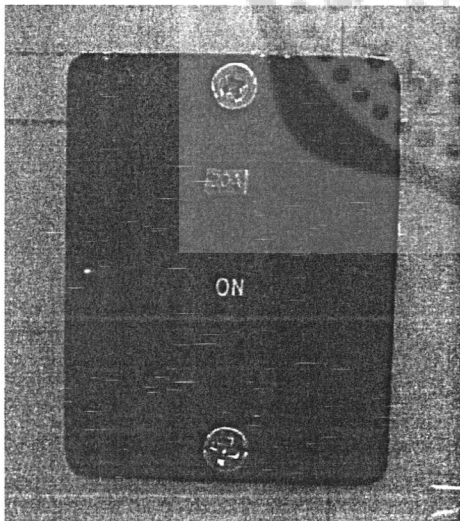
4.2.1 ดึงถาดออกใส่ถ้วย (ฟิล์มถูกใส่อยู่ในตำแหน่งพร้อมทำงานแล้ว)



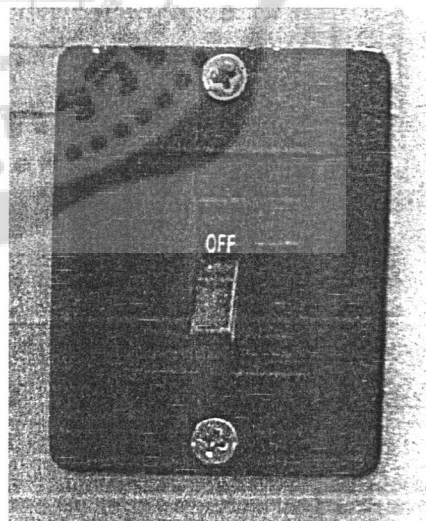
ทิศทางการดึงถาดออก

รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งถาดที่ถูกดึงออกมาแล้วและมีถ้วยบรรจุอยู่

4.2.2 เปิดสวิตช์หลักที่ด้านหลัง



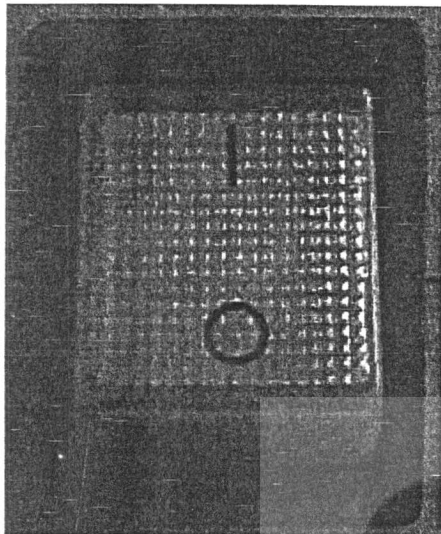
เปิด



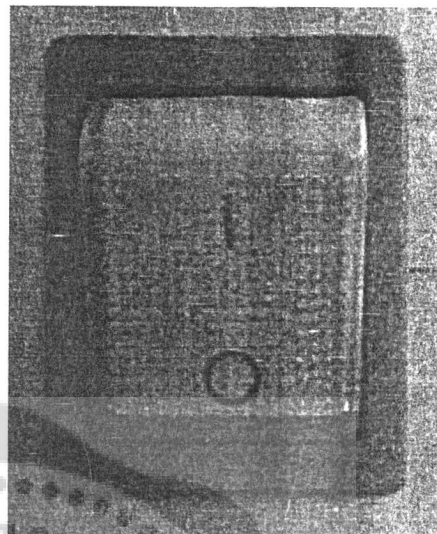
ปิด

รูปที่ 4.4 แสดง สวิตช์หลัก อยู่ในตำแหน่งเปิดและตำแหน่งปิด

4.2.3 เปิดสวิตช์เครื่องที่ด้านหน้า



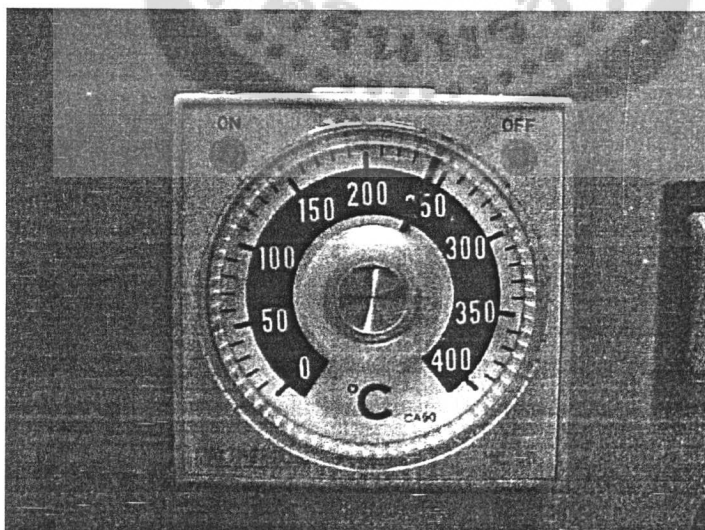
เปิด



ปิด

รูปที่ 4.5 แสดงสวิตช์เครื่องในตำแหน่งเปิดและตำแหน่งปิด

4.2.4 ตั้งอุณหภูมิตามชนิดของฟิล์มนั้นๆ ที่ตัวควบคุมอุณหภูมิโดยหมุนให้เส้นสีแดงอยู่ในตำแหน่งอุณหภูมิที่ต้องการ



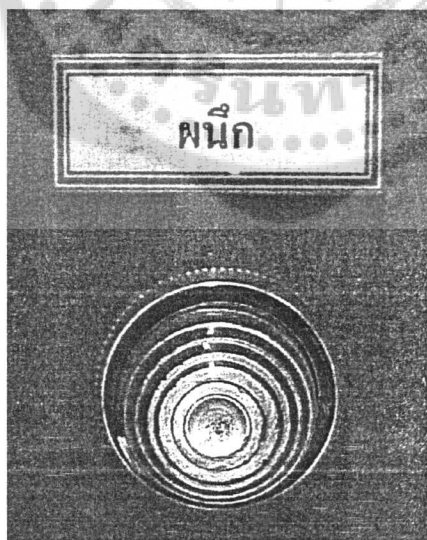
รูปที่ 4.6 แสดงตัวควบคุมอุณหภูมิ

4.2.5 ไฟสีแดงจะติดเพื่อแสดงว่าฮีทเตอร์ทำงานหลังจากนั้นไฟจะดับ (ยังไม่สามารถฉีกฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์ได้)



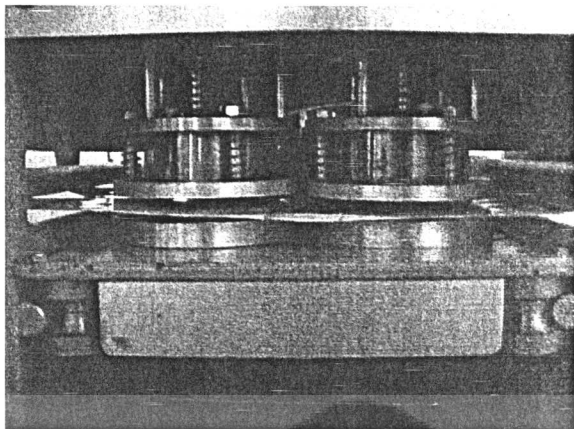
รูปที่ 4.7 แสดงไฟฮีทเตอร์ทำงาน

4.2.6 เมื่ออุณหภูมิถึงตามที่ตั้งไว้ ไฟสีเขียวจะติด (สามารถฉีกฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์ได้)



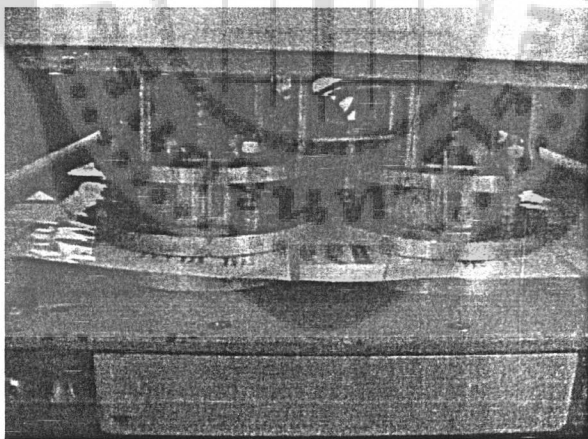
รูปที่ 4.8 แสดงไฟอุณหภูมิพร้อมฉีกฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์

4.2.7 คั่นถาดเข้าไปจนสุด เพื่อไปสัมผัสลิมิตสวิทช์



รูปที่ 4.9 แสดงถาดถูกดันเข้าไปจนสุดเพื่อไปสัมผัสลิมิตสวิทช์

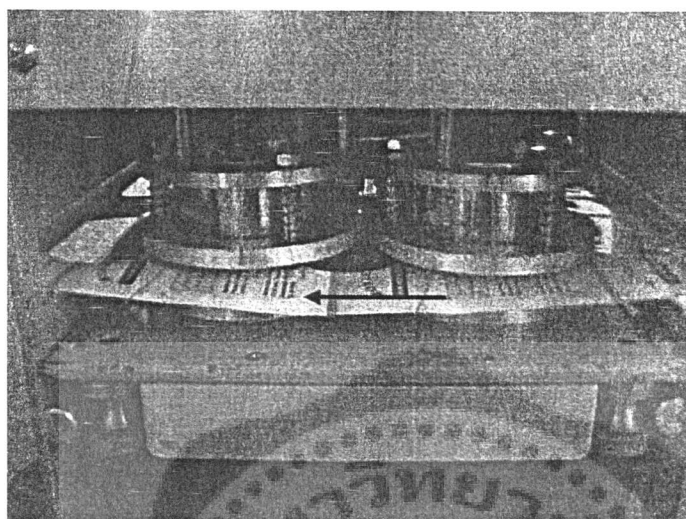
4.2.8 เมื่อลิมิตสวิทช์ถูกสัมผัส ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลง ชุดแม่พิมพ์ตัวบนจะกดทับแผ่นฟิล์มให้ติดกับชุดแม่พิมพ์ตัวล่างและบรรจุภัณฑ์เพื่อผนึกฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์และตัดฟิล์ม



ทิศทางการเคลื่อนที่ลง
ของชุดแม่พิมพ์ตัวบน

รูปที่ 4.10 แสดงการผนึกฟิล์ม เข้ากับบรรจุภัณฑ์ และตัดฟิล์ม

4.2.9 จากนั้นระบบป้อนฟิล์มอัตโนมัติจะทำงาน โดยลูกสูบเคลื่อนที่กลับ ทำให้ชุดแม่พิมพ์เคลื่อนที่ขึ้น



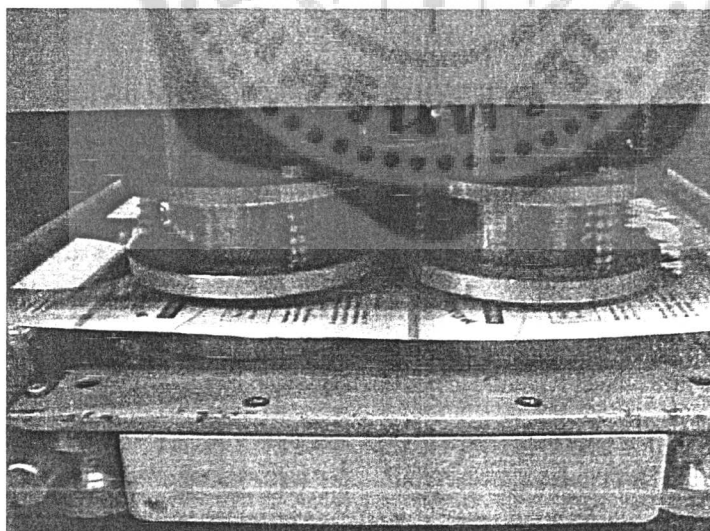
ทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น
ของชุดแม่พิมพ์ด้านบน

ทิศทางการ
เคลื่อนที่ของฟิล์ม



รูปที่ 4.11 แสดงการป้อนฟิล์มอัตโนมัติ

4.2.10 ระบบป้อนฟิล์มจะหยุดเมื่ออยู่ในตำแหน่งพร้อมใช้งาน



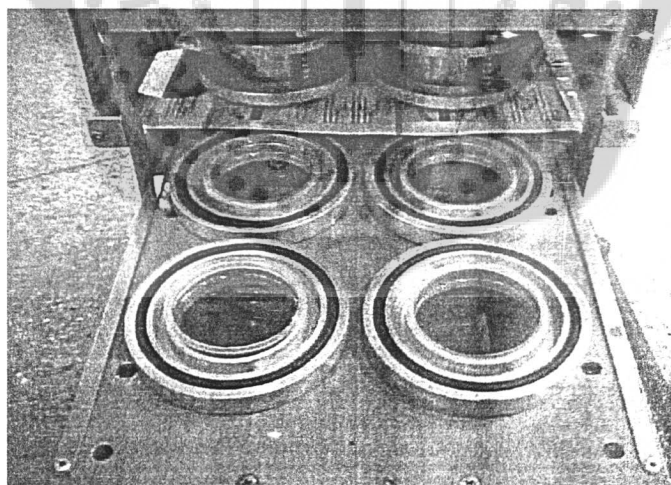
รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่งฟิล์มพร้อมใช้งาน

4.2.11 ค้างคาวออกมาเพื่อเอาบรรจุภัณฑ์ออก



รูปที่ 4.13 แสดงบรรจุภัณฑ์หลังฉนีก

4.2.12 นำบรรจุภัณฑ์ออกแล้วใส่บรรจุภัณฑ์ที่จะฉนีกใหม่เข้าไป



รูปที่ 4.14 แสดงการใส่บรรจุภัณฑ์ในครั้งต่อไป

4.2.13 ต่อไปทำตามขั้นตอนที่ 4.2.7 ถึง 4.2.12

4.2.14 เมื่อทำงานเสร็จปิดสวิทช์เครื่องด้านหน้า และสวิทช์หลักด้านหลัง



4.3 การทดสอบการฉีกฟิล์ม เข้ากับบรรจุภัณฑ์

โดยการทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 2 ข้อ ดังนี้

4.3.1 ทดสอบจับเวลาเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน

ทดสอบโดยเปิดเครื่องแล้วจับเวลา ณ อุณหภูมิต่างๆ กันจากอุณหภูมิปกติ(อุณหภูมิห้องประมาณ 30°C) ถึงอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ โดยอุณหภูมิแรกที่ทำทดสอบคือ 150°Cและเพิ่มไปที่ละ10°C จนถึง 300°C แล้วบันทึกผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิทดสอบ-เวลา

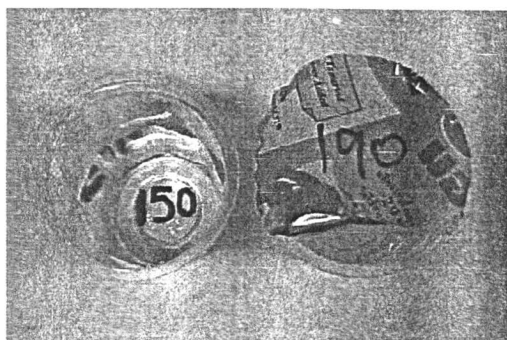
อุณหภูมิทดสอบ (°C)	เวลา (วินาที)
150	258
160	286
170	319
180	353
190	390
200	422
210	464
220	499
230	548
240	591
250	638
260	686
270	748
280	800
290	861
300	937

4.3.2 ทดสอบผืนฟิล์ม เข้ากับบรรจุภัณฑ์

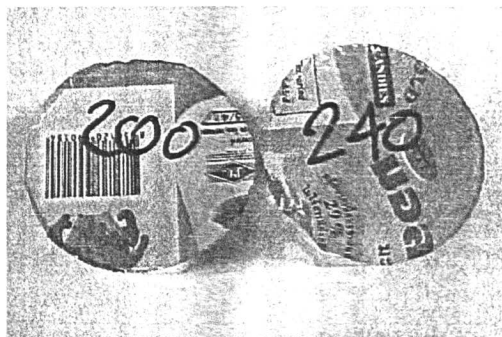
ทดสอบโดยนำถ้วยบรรจุภัณฑ์ ใส่เครื่องแก้วผืน ๓ อุณหภูมิต่างๆกัน โดยใช้ฟิล์ม แบบ Metallic Laminated เคลือบด้วย PE โดยอุณหภูมิแรกทำการทดสอบคือ 150°Cและเพิ่มไปที่ละ10°C จนถึง 300°C สังเกต การผืนแก้วบันทึกผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะการผืนฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์เมื่ออุณหภูมิทดสอบเปลี่ยนไป

อุณหภูมิทดสอบ (°C)	ลักษณะการผืน
150	ไม่ติด
160	ไม่ติด
170	ไม่ติด
180	ไม่ติด
190	ไม่ติด
200	ติด
210	ติด
220	ติด
230	ติด
240	ติด
250	ฟิล์มเริ่มขาด
260	ฟิล์มเริ่มขาด
270	ฟิล์มละลาย
280	ฟิล์มละลาย
290	ฟิล์มละลาย
300	ฟิล์มละลาย



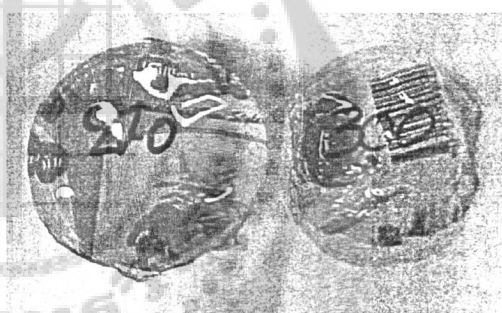
อุณหภูมิ 150-190°C
ไม่คิด



อุณหภูมิ 200-240°C
คิด



อุณหภูมิ 250-260 °C
ฟิล์มเริ่มขาด



อุณหภูมิ 270-300°C
ฟิล์มละลาย

รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะการผืนฟิล์มเข้ากับบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

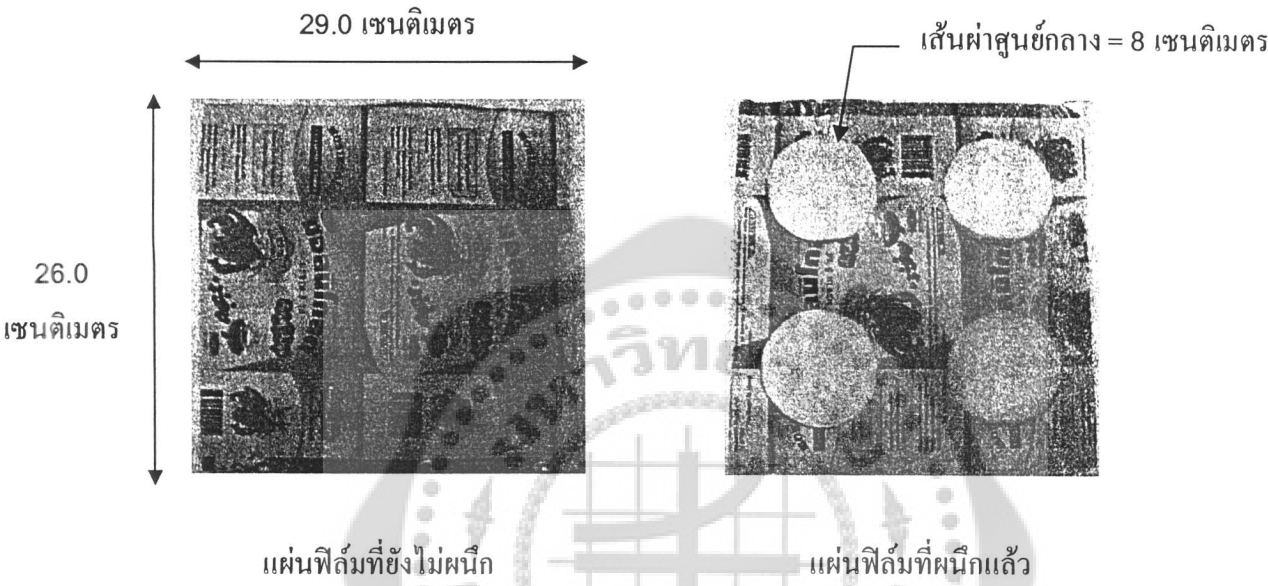
4.4 การคำนวณ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการคำนวณ โดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

4.4.1 ทำการจับเวลาตามขั้นตอนการทำงานของเครื่องบันทึกบรรจุภัณฑ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วใน

หัวข้อ 4.2 ซึ่งเมื่อเครื่องบันทึกบรรจุภัณฑ์ ทำงานครบวัฏจักร ใช้เวลาประมาณ 33 วินาที

4.4.2 เปอร์เซ็นต์การใช้ฟิล์มในการบันทึกบรรจุภัณฑ์ 1 ครั้ง(4 ถ้วย)



รูปที่ 4.16 แสดงแผ่นฟิล์มที่ยังไม่บันทึกและบันทึกแล้ว

แผ่นฟิล์มที่ยังไม่บันทึก มีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ $29 \times 26 = 754$ ตารางเซนติเมตร

พื้นที่แผ่นฟิล์มที่ใช้บันทึกจริง

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi d^2}{4} \times 4 \\ &= \frac{\pi \times 8^2}{4} \times 4 \\ &= 201.062 \text{ ตารางเซนติเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การใช้ฟิล์มในการบันทึกบรรจุภัณฑ์ 1 ครั้ง

คิดเป็น

$$= \frac{201.062 \times 100}{754} = 26.67 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

4.4.3 ค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งหน่วยบรรจุภัณฑ์

การทดสอบเวลาในการทำงานหนึ่งวัฏจักร ทำโดยให้เครื่องบันทึกบรรจุภัณฑ์ทำงานทั้งหมด 10 วัฏจักร แล้วจับเวลาแต่ละวัฏจักร และหาค่าเฉลี่ยซึ่งได้เวลาทำงานประมาณ 33 วินาที/ วัฏจักร

ในเวลา 1 ชั่วโมงทำงานได้ $\frac{3,600}{33} = 109$ วัฏจักร

ใน 1 วัฏจักร ผูกได้ทั้งหมด 4 ถ้วย

ใน 1 ชั่วโมง ผูกได้ทั้งหมดเท่ากับ $109 \times 4 = 436$ ถ้วย

บรรจุภัณฑ์ ราคาใบละ 0.85 บาท

ค่าแรงขั้นต่ำของแรงงาน ในการทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน = 169 บาท = 21.125 บาท/ชั่วโมง

ดังนั้น ในการผูกบรรจุภัณฑ์เสียค่าแรงงาน $\frac{21.125}{436} = 0.048$ บาท/ถ้วย

การใช้ไฟฟ้า (unit) = kWh

จากสูตร

$$W = V \times A \times \cos \phi$$

$$V = 220 \text{ V}$$

$$\text{ค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่อง} = 7 \text{ A}$$

$$\text{ค่า Power factor } (\cos \phi) \text{ ของฮีทเตอร์} = 1$$

$$\text{เพราะฉะนั้น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้คือ } 220 \times 7 \times 1 = 1.540 \text{ kW}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น ใน 1 ชั่วโมงพลังงานที่ใช้คือ } 1.54 \text{ kWh}$$

อัตราค่าไฟฟ้าประมาณหน่วยละ 2.5 บาท

$$\text{เพราะฉะนั้น ในเวลา 1 ชั่วโมงเสียค่าไฟฟ้า } 1.54 \times 2.5 = 3.85 \text{ บาท}$$

ในการทำงานหนึ่งชั่วโมงเสียค่าไฟฟ้า 3.85 บาท

ในเวลาหนึ่งชั่วโมงผูกได้ 436 ถ้วย

$$\text{ดังนั้น ในการผูกบรรจุภัณฑ์เสียค่าไฟฟ้า } \frac{3.85}{436} = 0.009 \text{ บาท/ถ้วย}$$

ฟิล์มชนิด Metallic Laminated เคลือบด้วย PE

ขนาดความกว้าง 26 เซนติเมตร ยาว 500 เมตร ราคา 1500 บาท

ในการผูกหนึ่งวัฏจักรใช้ฟิล์มยาว 29 เซนติเมตร

$$\text{ในหนึ่ง ม้วน ทำงานได้ทั้งหมด } \frac{500 \times 100}{29} = 1,724 \text{ วัฏจักร}$$

$$\text{ฟิล์ม 0.29 เมตร ราคา } \left(\frac{0.29}{500} \times 1500 \right) = 0.87 \text{ บาท}$$

$$\text{ในการผูกหนึ่งครั้งได้ 4 ถ้วย ดังนั้นบรรจุภัณฑ์ใช้ฟิล์มราคา } \frac{0.87}{4} = 0.22 \text{ บาท/ถ้วย}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมต่อหนึ่งถ้วย} &= \text{ราคาถ้วย} + \text{ค่าแรงงาน/ถ้วย} + \text{ค่าไฟฟ้า/ถ้วย} + \text{ค่าฟิล์ม/ถ้วย} \\ &= 0.85 + 0.048 + 0.009 + 0.22 = 1.127 \text{ บาท/ถ้วย} \end{aligned}$$

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์ชนิดใช้ความร้อน โดยเครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์นี้สามารถพ่นได้ครั้งละ 4 ถ้วย ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบสร้างเครื่องให้มีคุณลักษณะดังนี้คือ เครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์มีขนาด 430×460×755 มิลลิเมตร ประกอบด้วยชุดแม่พิมพ์ตัวบนที่ทำงานด้วยระบบทางกลและระบบนิวแมติกส์ซึ่งใช้ความดันลม 6 บาร์ และชุดแม่พิมพ์ตัวล่างที่ประกอบอยู่กับที่ มีระบบป้อนฟิล์มอัตโนมัติ มีตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อปรับให้เหมาะสมกับฟิล์มแต่ละชนิด ใช้ไฟฟ้า 220 VAC

5.1 สรุปผล

1. เครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์สามารถพ่นฟิล์ม Metallic Laminated เคลือบด้วย PE เข้ากับบรจุภัณฑ์ ได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 240 °C
2. เครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์ทำงานครบหนึ่งวัฏจักรใช้เวลาประมาณ 33 วินาที (ไม่รวมเวลาสร้างอุณหภูมิ) ดังนั้นใน 1 ชั่วโมงจะทำงานได้ 109 วัฏจักร พ่นกบรจุภัณฑ์ได้ 436 ถ้วย
3. การใช้ฟิล์มในการพ่นกบรจุภัณฑ์ต่อวัฏจักรเท่ากับ 26.67 % ของฟิล์มทั้งหมด
4. ค่าใช้จ่ายในการพ่นกบรจุภัณฑ์ 1 ถ้วย มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าแรงงาน	0.048 บาท/ถ้วย
- ค่าไฟฟ้า	0.009 บาท/ถ้วย
- ค่าฟิล์ม	0.22 บาท/ถ้วย
- ค่าบรจุภัณฑ์	0.85 บาท/ถ้วย
ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ	1.127 บาท/ถ้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรออกแบบและสร้างชุดแม่พิมพ์ใหม่เพื่อลดการสูญเสียฟิล์ม
2. ควรออกแบบและสร้างเครื่องพ่นกบรจุภัณฑ์ใหม่เพื่อลดน้ำหนัก
3. ถ้าต้องการพ่นกบรจุภัณฑ์ครั้งละ 1 ถ้วย ควรออกแบบให้ทำงานด้วยระบบทางกลและไม่จำเป็นต้องเป็นระบบอัตโนมัติเมื่อปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่มาก

บรรณานุกรม

ณรงค์ ตันชีวะวงศ์. นวัตกรรมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

พริจิต ประทุมสุวรรณ. การควบคุมนิวแมติกส์, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์, 2537.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธพาณิชย์, 2536.

มนตรี พิรุณเกษตร. การถ่ายเทความร้อนนับเสริมประสบการณ์, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์วิทย์พัฒน์, 2541.

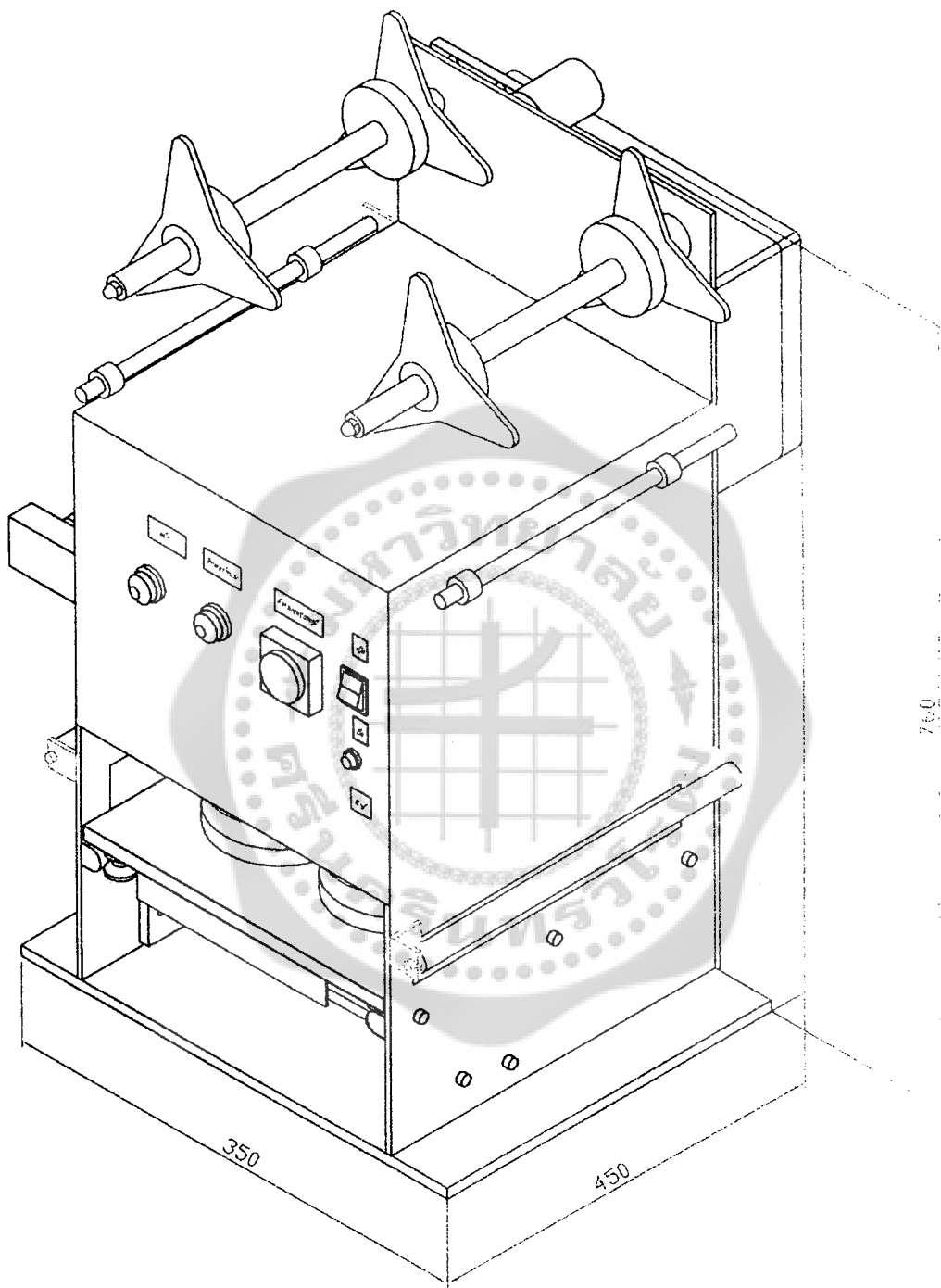
ไมตรี วรุณจิรราชกุล. ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าเล่ม1, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ศูนย์การพิมพ์พลชัย, 2530.



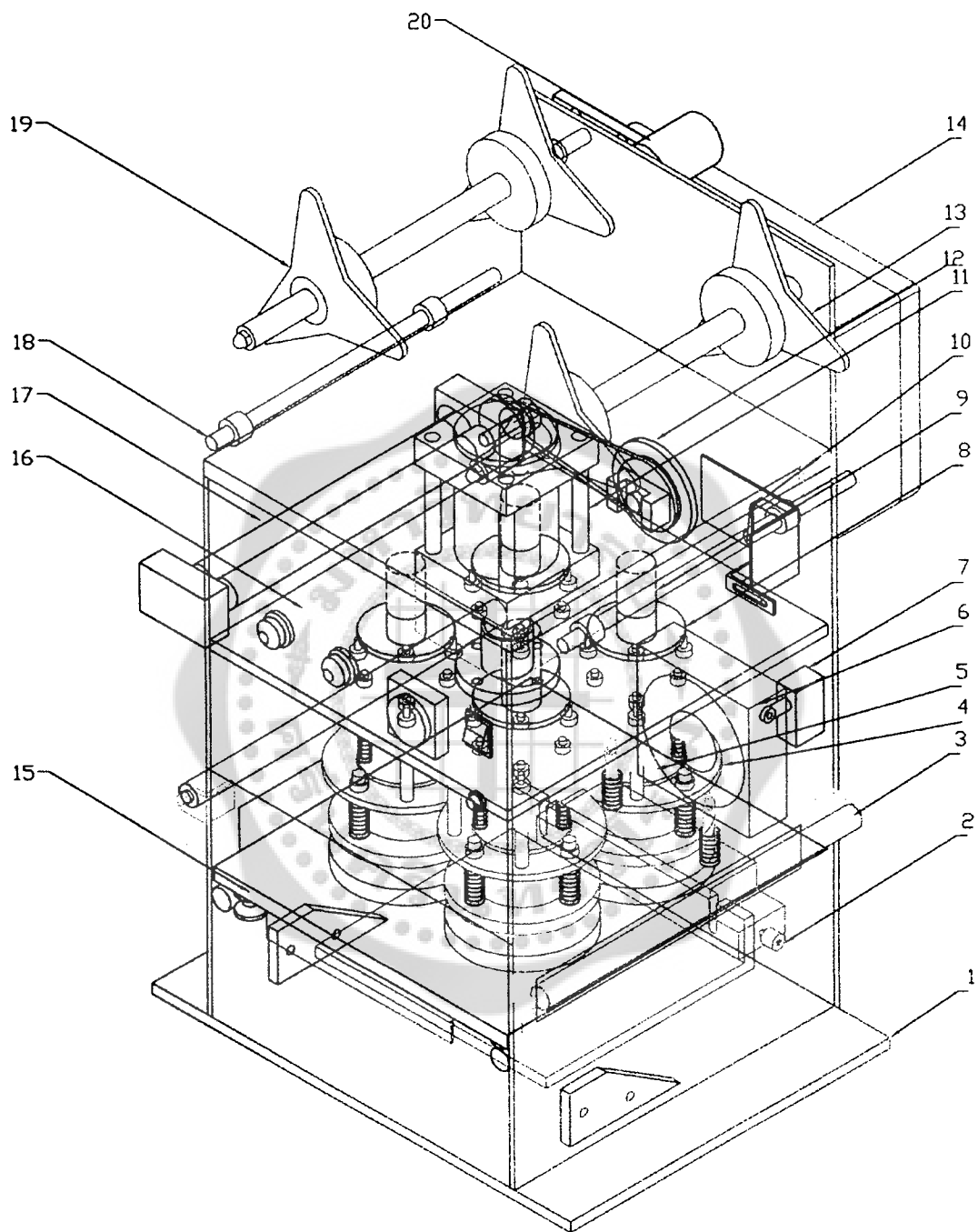
ภาคผนวก ก.

แบบเครื่องฝึกบรรจุภัณฑ์



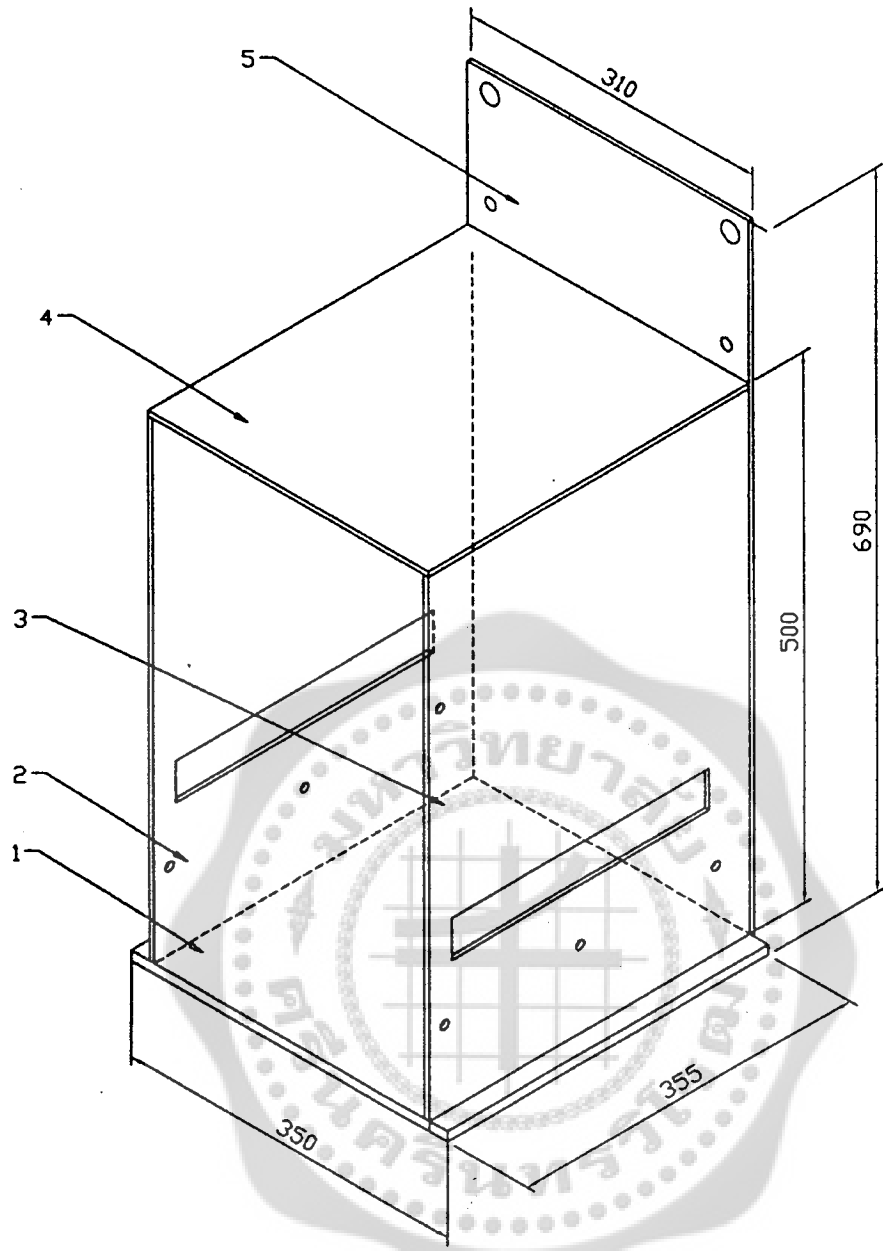


ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกังพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เครื่องฉนิกบรจุภัณฑ์ ชนิดใช้ความร้อน		
			หมายเลขแบบ SEAL-00-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 1

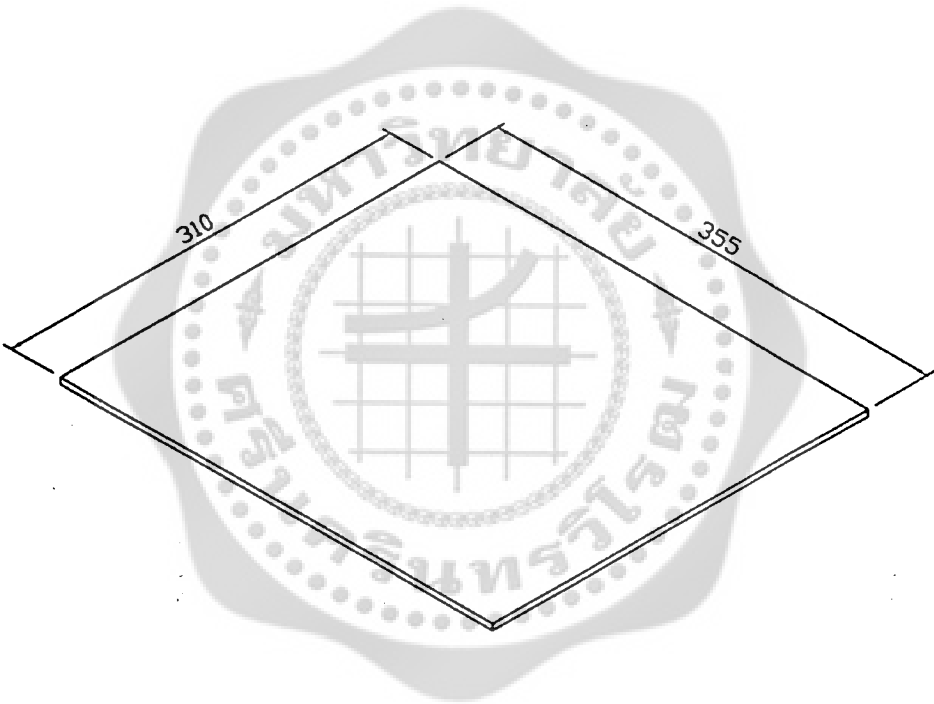


ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เครื่องผนึกบรรจุภัณฑ์ ชนิดใช้ความร้อน		
			หมายเลขแบบ SEAL-00-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 2

20	1 ตัว	มอเตอร์เกียร์	φ8x60rpm	-	-
19	1 ชุด	ชุดเก็บฟิล์ม	φ38x350	พลาสติก(จุปเปอร์ลีน)	SEAL-19
18	1 ชุด	ชุดเพลาประกอบฟิล์ม	φ12.7x350	สแตนเลส	SEAL-18
17	1 ชุด	ชุดลูกกลิ้งวัดระยะฟิล์ม	φ28x270	ยางธรรมชาติ (NBR)	SEAL-17
16	1 ชุด	แผงควบคุม	290x310x2	สแตนเลส	SEAL-16
15	1 ชุด	ชุดป้อนไส้ด้วย	290x325x10	เหล็ก	SEAL-15
14	1 ถัง	ถังควบคุมไฟฟ้า	200x300x100	พลาสติก	-
13	1 ชุด	ชุดบรรจุฟิล์ม	φ25x350	พลาสติก(จุปเปอร์ลีน)	SEAL-13
12	1 ชุด	ชุดวัดระยะฟิล์ม	290mm/stroke	AM1704	SEAL-12
11	1ชุด	ชุดกระบอกสูบนิวแมติกส์	880xS50x25	FESTO	SEAL-11
10	1 ชุด	ชุดลิมิตสวิทช์วัดระยะฟิล์ม	15A 250V	AM1704	SEAL-10
9	4 ชิ้น	เตา	φ31.5x76	เหล็ก	SEAL-09
8	4 ชิ้น	ไกด์ประกอบ	φ76x70	เหล็ก	SEAL-08
7	1 ชุด	ชุดลิมิตสวิทช์วัดระดับ	15A 250V	AM1704	SEAL-07
6	1 ชิ้น	พัดลมระบายอากาศ	4"x4"x220V	14W 0.8A SAN ACE	-
5	16 ชิ้น	ชุดให้ความร้อน	φ12.7x35	สแตนเลส 60โวลท์ 80 วัตต์	-
4	1 ชุด	ชุดตัดแผ่นฟิล์ม	φ120x6	สแตนเลส	SEAL-04
3	2 ชุด	เพลาคอมประกอบแผ่นฟิล์ม	φ25x350	อะลูมิเนียม	SEAL-03
2	1 ชุด	ชุดยกด้วย	260x260x50x2	สแตนเลส	SEAL-02
1	1 ชุด	โครงสร้าง	350x355x690x6	เหล็ก	SEAL-01
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทร์ภัก	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกรพทาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เครื่องบันทึกการปฏิบัติงาน ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์		
			หมายเลขแบบ SEAL-00-03	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 3

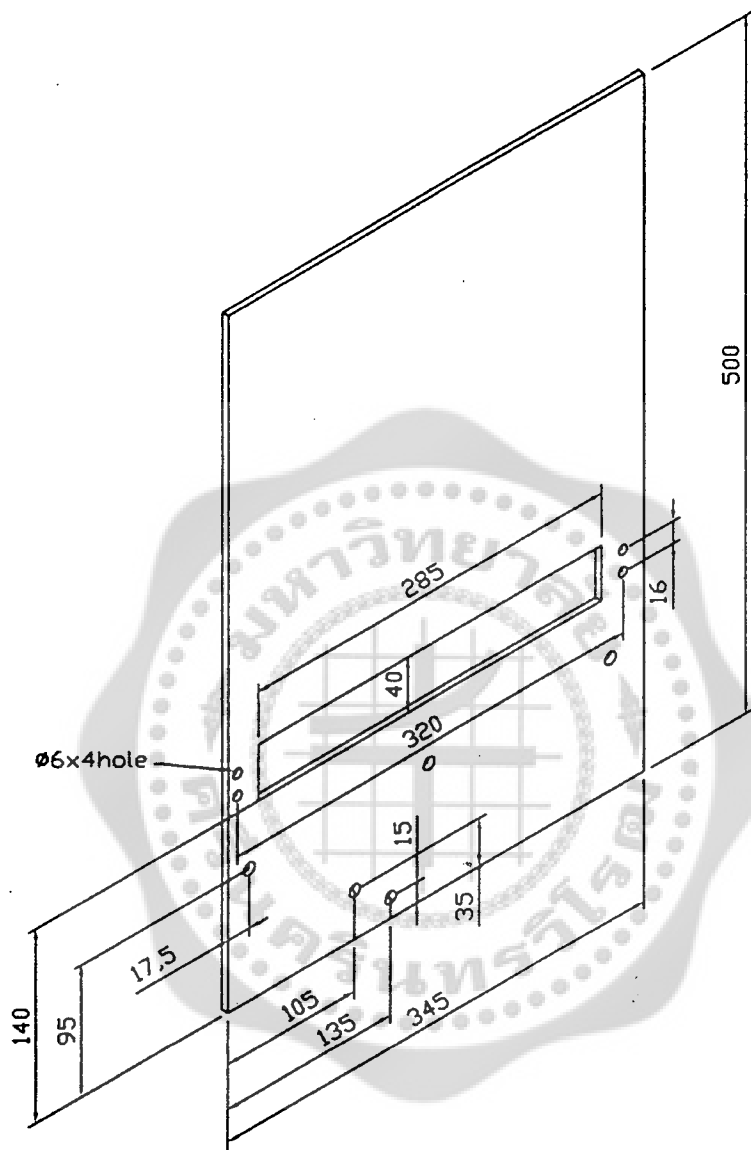


1.5	1 ชิ้น	ฝาด้านหลัง	690x310x6	เหล็ก	SEAL-01-05
1.4	1 ชิ้น	ฝาปิดด้านบน	310x340x2	สแตนเลส	SEAL-01-04
1.3	1 ชิ้น	ฝาข้างขวา	500x345x6	เหล็ก	SEAL-01-03
1.2	1 ชิ้น	ฝาข้างซ้าย	500x345x6	เหล็ก	SEAL-01-02
1.1	1 ชิ้น	ฐาน	350x355x10	เหล็ก	SEAL-01-01
1	1 ชุด	ชุดโครงสร้าง	350x355x690x6	เหล็ก	SEAL-01
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้ออกแบบ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			โครงสร้าง		
			หมายเลขแบบ SEAL-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 4



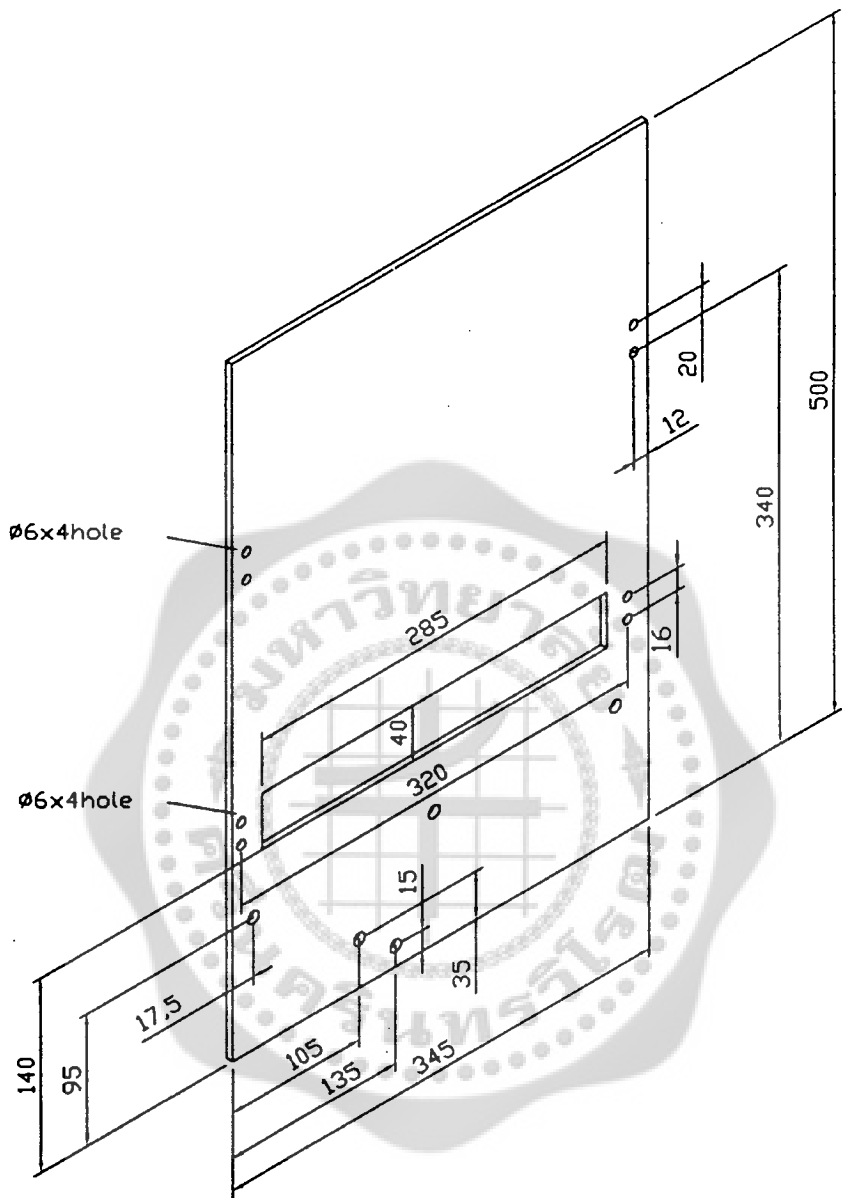
Thickness 10mm

ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ เพชรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ฐาน		
			หมายเลขแบบ SEAL-01-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 5



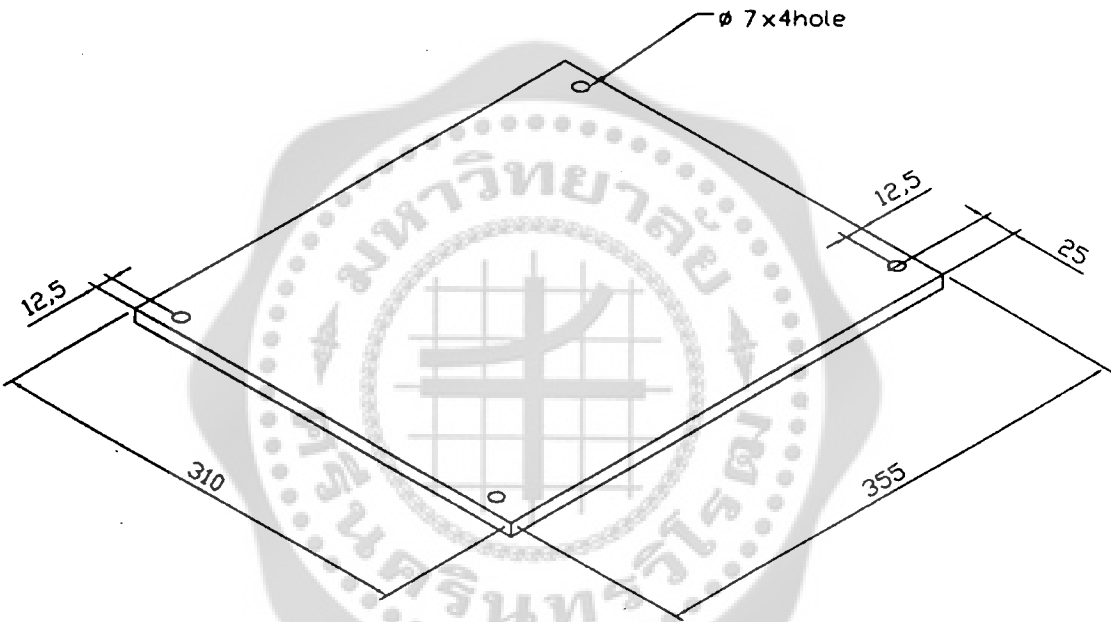
Thickness 6mm

ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ฝ่ายช่างซ้าย		
			หมายเลขแบบ SEAL-01-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 6



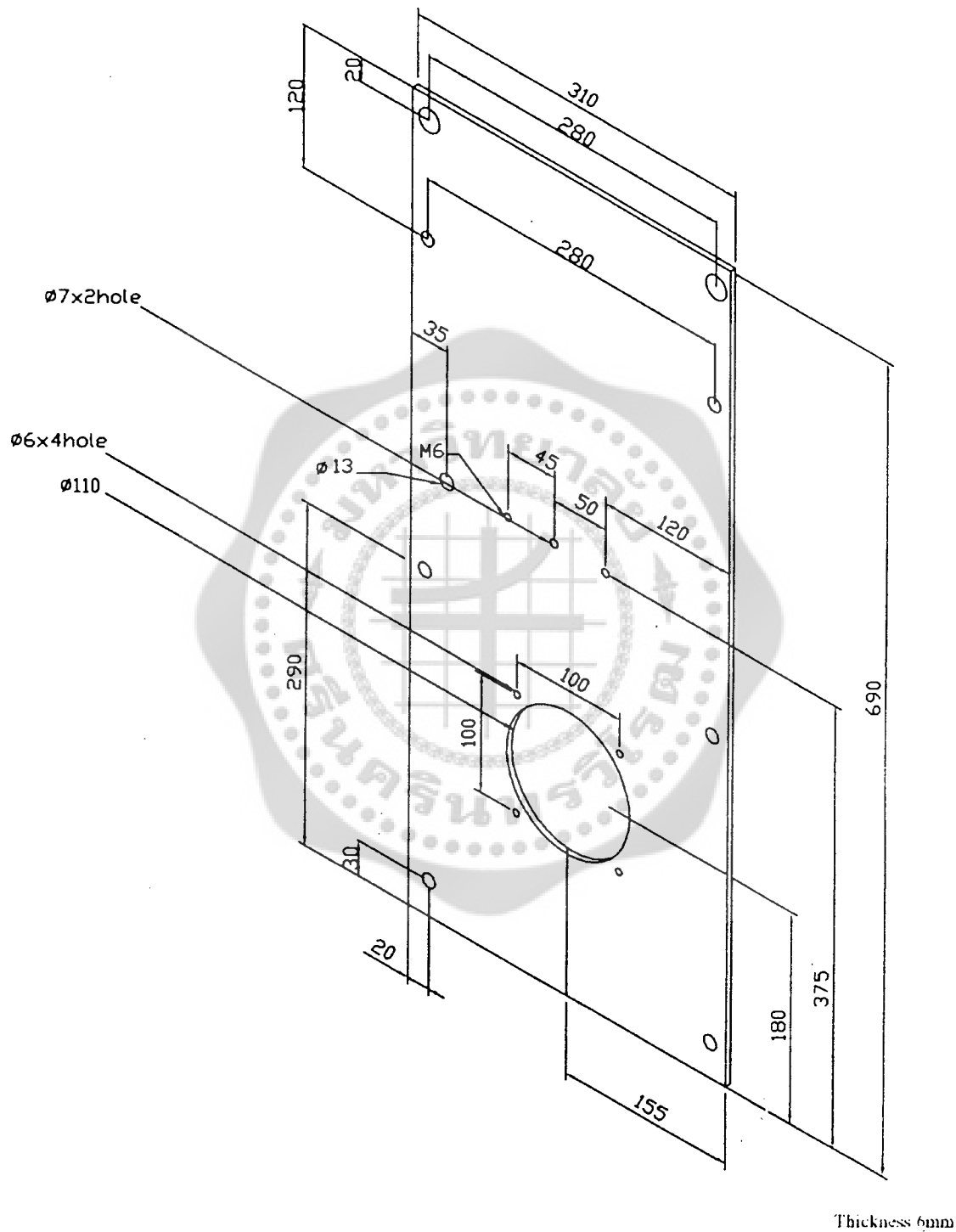
Thickness 6mm

ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ฝ่ายช่างขวา		
			หมายเลขแบบ SEAL-01-03	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 7

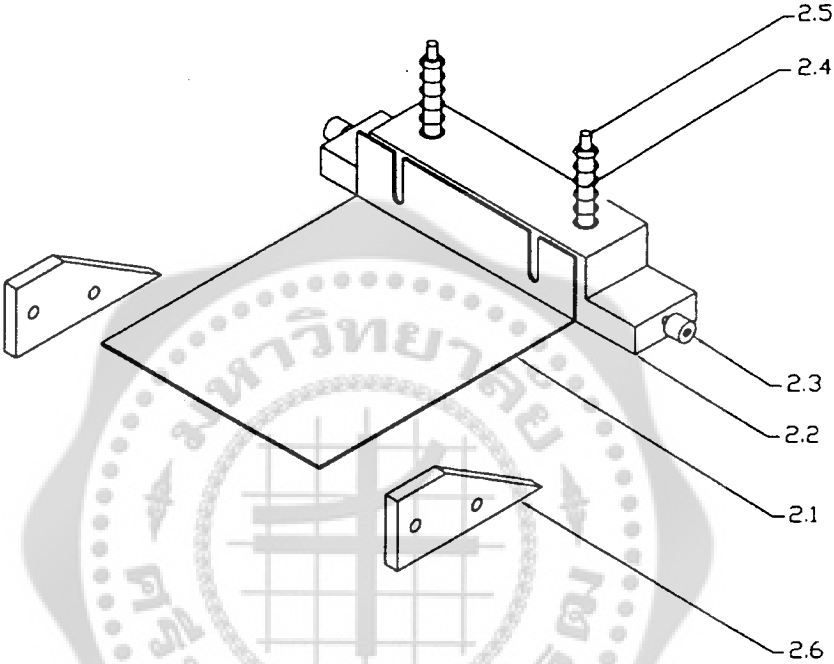


Thickness 2mm

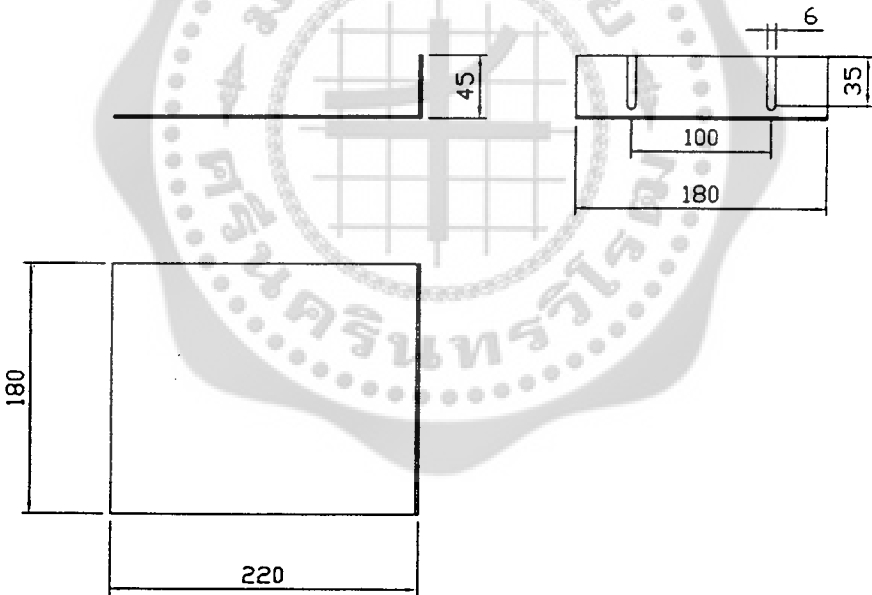
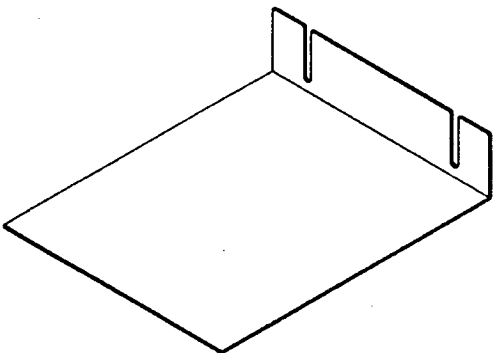
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิรัช บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ฝาปิดด้านบน		
			หมายเลขแบบ SEAL-01-04	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 8



ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด ไร่แก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ผาด้านหลัง		
หมายเลขแบบ			SEAL-01-05	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 9

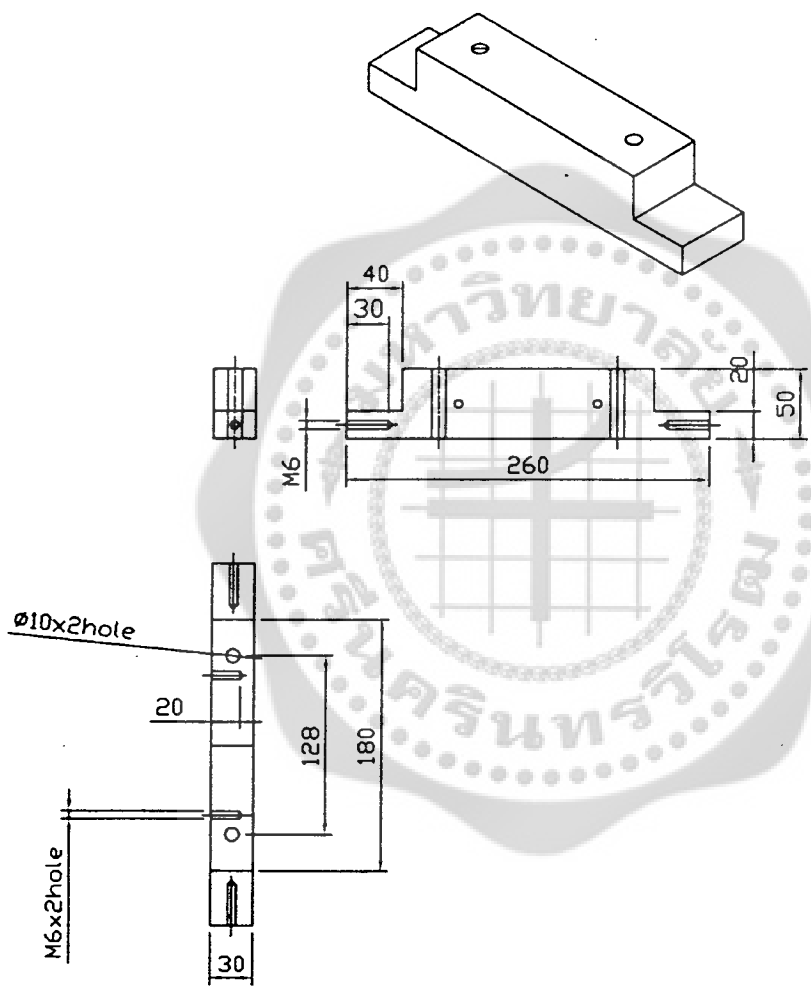


2.6	2 ชิ้น	แผ่นลาดเอียงยกถ้วย	120x50x10	เหล็ก	SEAL-02-06
2.5	2 ชิ้น	เสาขกถ้วย	Ø17x103	สแตนเลส	SEAL-02-05
2.4	2 ชิ้น	สปริง	Ø14x45x1x9	เหล็ก	-
2.3	2 ชิ้น	ลูกปืน	=6200	-	-
2.2	1 ชิ้น	ฐานขกถ้วย	260x50x30	พลาสติก(ซูเปอร์ลีน)	SEAL-02-02
2.1	1 ชิ้น	แผ่นรองขกถ้วย	220x180x2	สแตนเลส	SEAL-02-01
2	1 ชุด	ชุดขกถ้วย	260x260x50x2	-	SEAL-02
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดขกถ้วย		
			หมายเลขแบบ SEAL-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 10

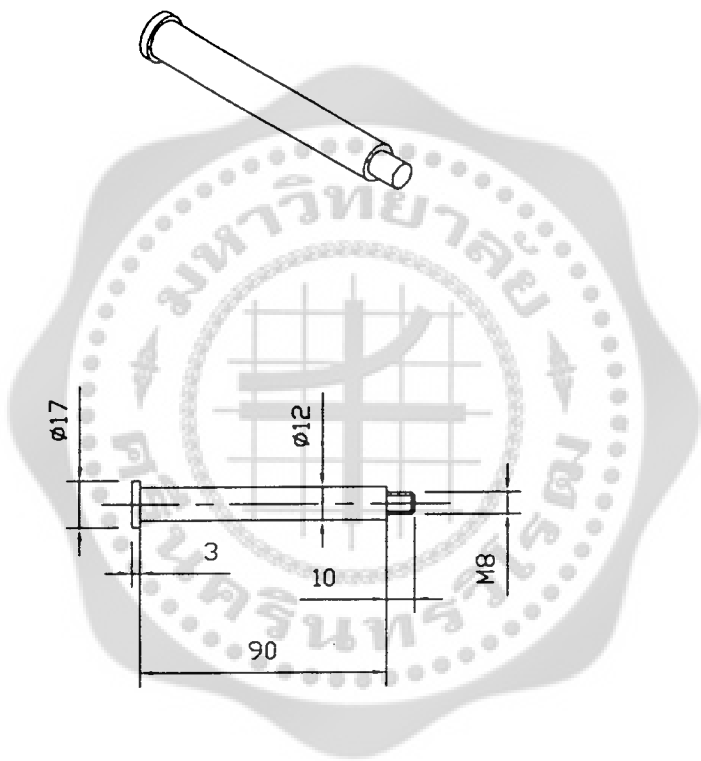


Thickness 2mm

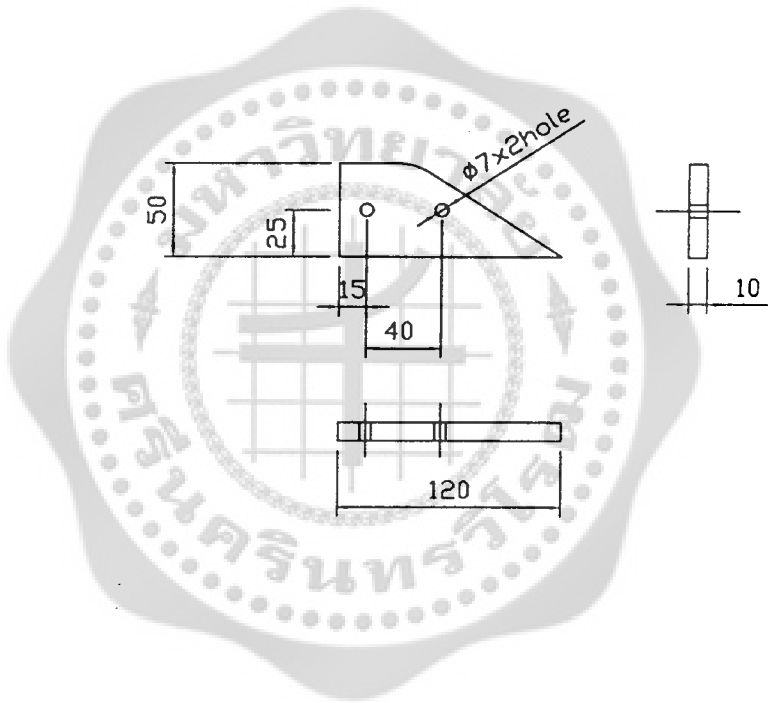
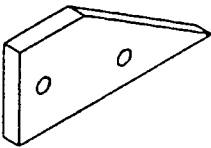
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			แผ่นรองชกถ้วย		
			หมายเลขแบบ SEAL-02-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 11



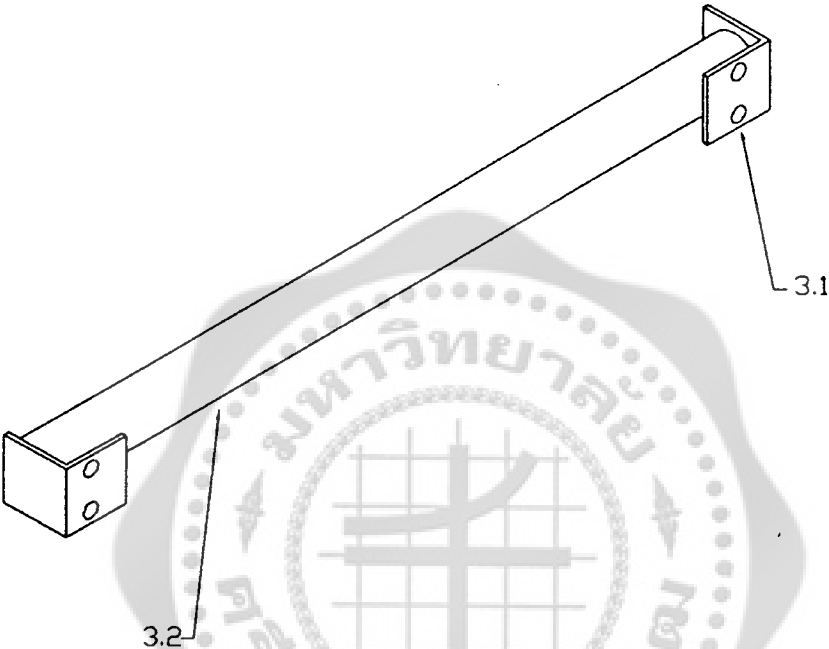
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ฐานชกถ้วย		
			หมายเลขแบบ SEAL-02-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 12



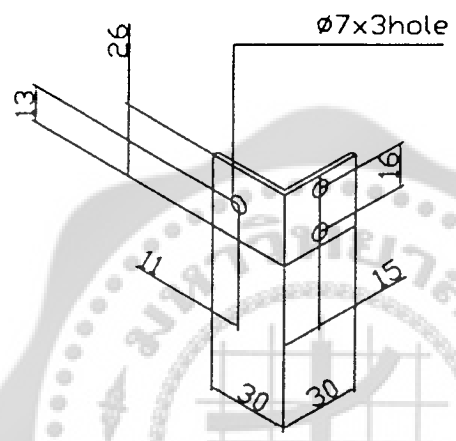
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เอกสารถ้วย		
			หมายเลขแบบ SEAL-02-05	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 13



ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			แผ่นลาดเอียงยกถ้วย		
			หมายเลขแบบ SEAL-02-06	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 11

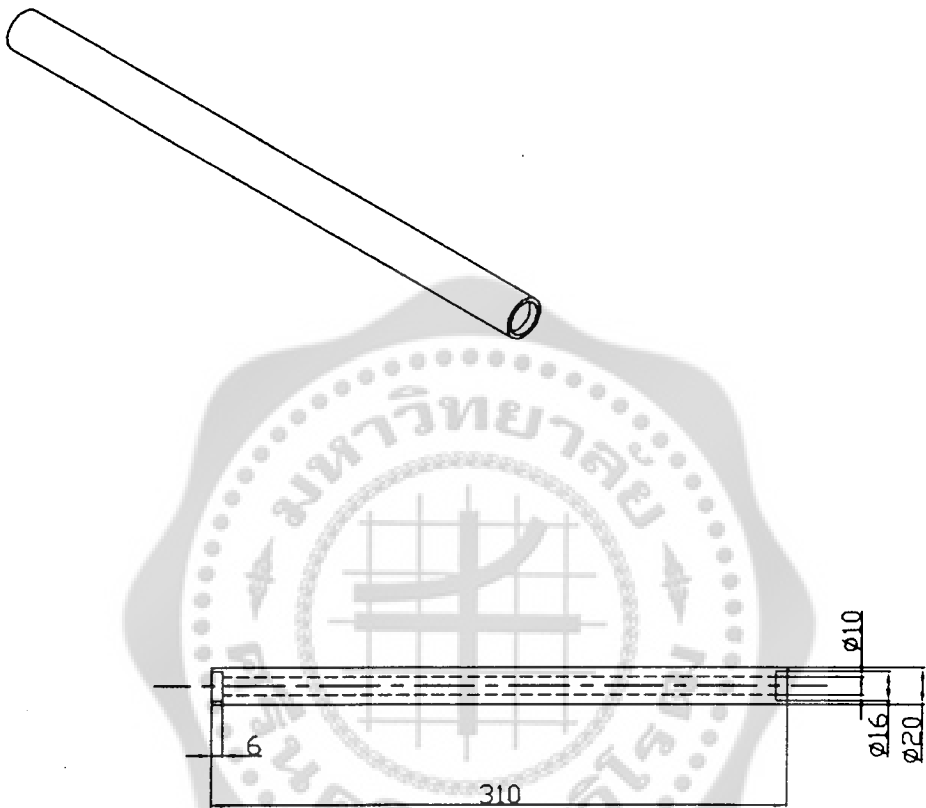


3.3	4 ชิ้น	ลูกปืน	≈6200		-	-
3.2	2 ชิ้น	ลูกกลิ้ง	Ø20x310		อะลูมิเนียม	SEAL-03-02
3.1	4 ชิ้น	ขา ลูกกลิ้ง	30x30x3.2		อะลูมิเนียม	SEAL-03-01
3	2 ชุด	ชุดประคองแผ่นฟิล์ม	Ø20x310		อะลูมิเนียม	SEAL-03
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด		วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกังพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg		วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดประคองแผ่นฟิล์ม			
			หมายเลขแบบ SEAL-03		แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 15

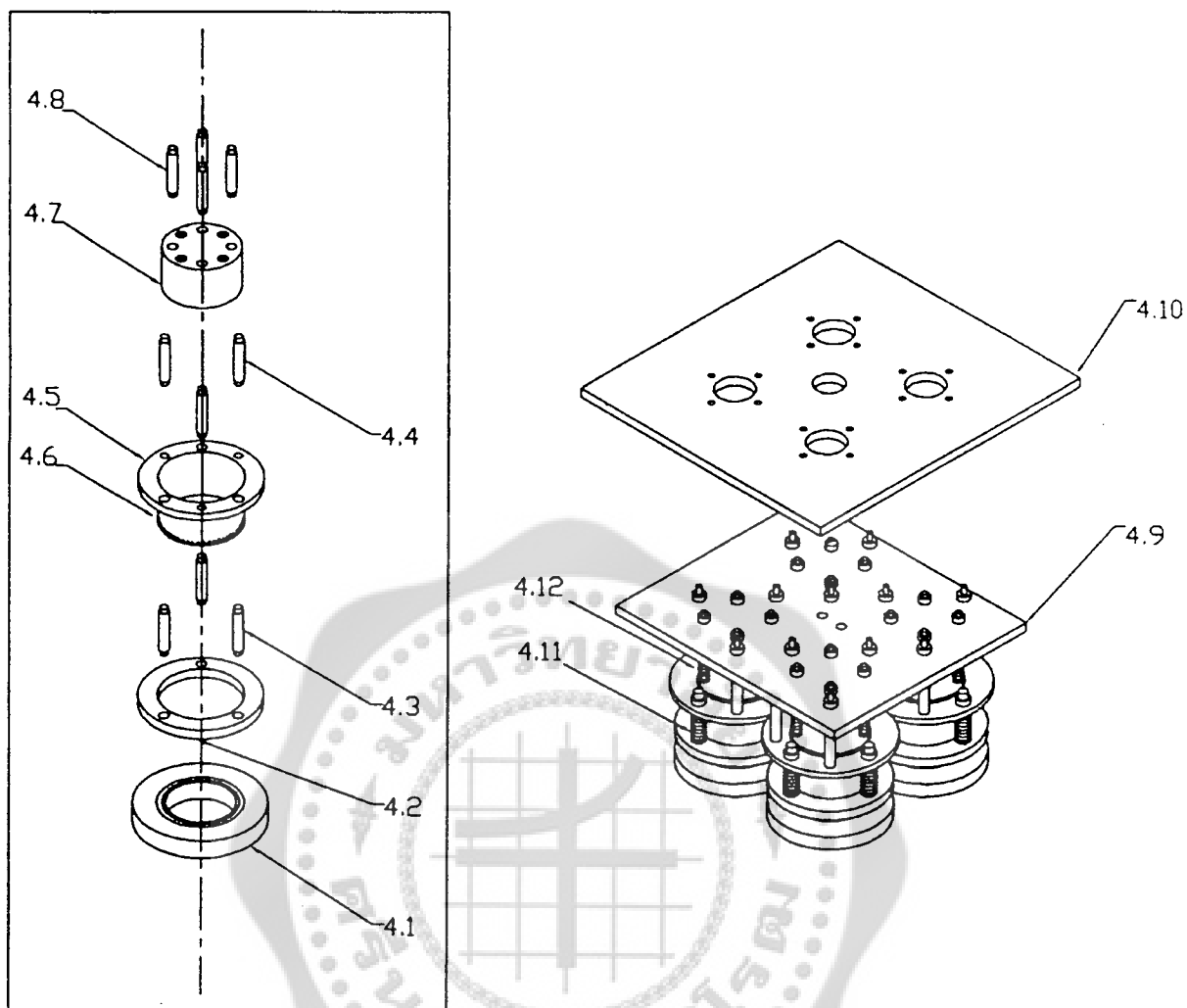


Thickness 3.2mm

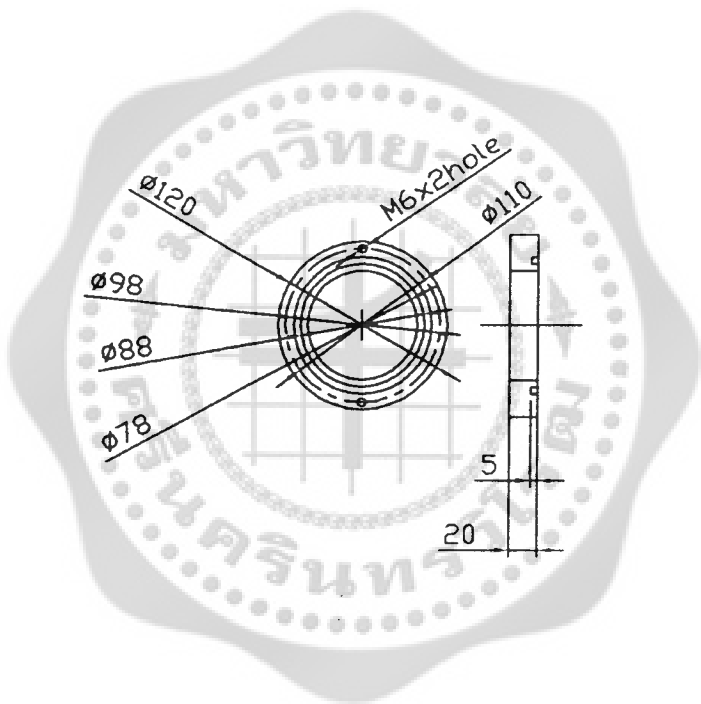
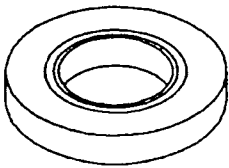
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ขาลูกกลิ้ง		
			หมายเลขแบบ SEAL-03-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 10



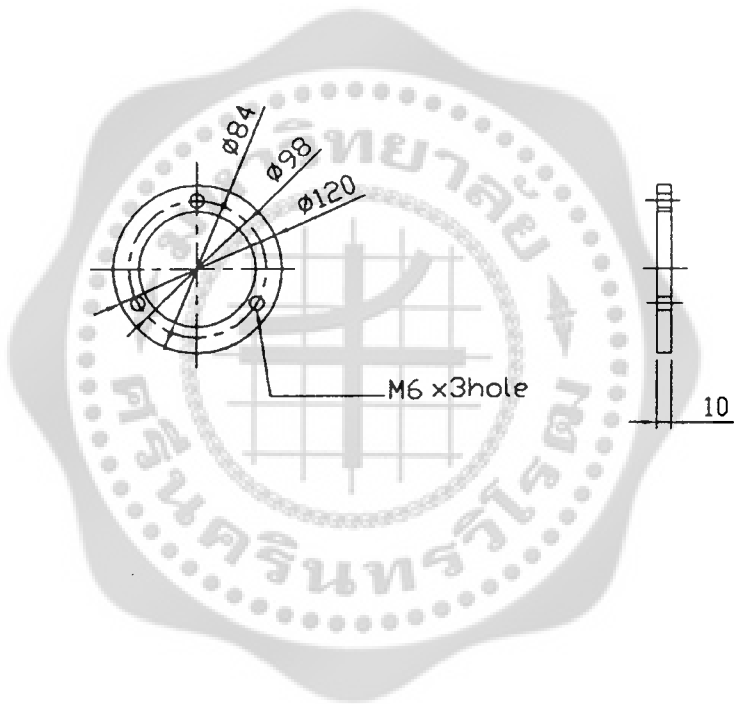
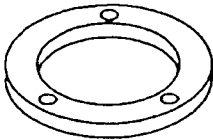
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ลูกกลิ้ง		
			หมายเลขแบบ SEAL-03-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 17



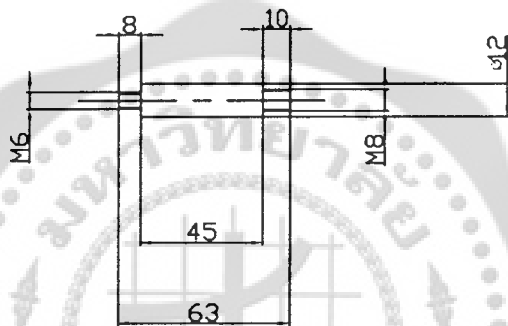
4.12	16 ชิ้น	สปริงชุดให้ความร้อน	Ø14x40x1x7	เหล็ก	-
4.11	12 ชิ้น	สปริงชุดเหยียบ	Ø14x50x1x9	เหล็ก	-
4.10	1 ชิ้น	แผ่นยึดกระบอบอกสูบ	345x322x10	เหล็ก	SEAL-04-10
4.9	1 ชิ้น	แผ่นกด	294x255x10	เหล็ก	SEAL-04-09
4.8	16 ชิ้น	เสา 3	Ø10x85	สแตนเลส	SEAL-04-08
4.7	4 ชิ้น	เสื่อ heater	Ø77x42	อะลูมิเนียม	SEAL-04-07
4.6	4 ชิ้น	ใบตัด	Ø81x42	สแตนเลส	SEAL-04-06
4.5	4 ชิ้น	ฐานใบตัด	Ø120x10	สแตนเลส	SEAL-04-05
4.4	12 ชิ้น	เสา 2	Ø10x70	สแตนเลส	SEAL-04-04
4.3	12 ชิ้น	เสา 1	Ø10x63	สแตนเลส	SEAL-04-03
4.2	4 ชิ้น	แผ่นเหยียบฟิล์ม	Ø120x10	อะลูมิเนียม	SEAL-04-02
4.1	4 ชิ้น	แผ่นรองขึ้นรูป	Ø120x20	อะลูมิเนียม	SEAL-04-01
4	1 ชุด	ชุดผนึกถ้วย	Ø77x42	-	SEAL-04
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักฐาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดผนึกถ้วย		
			หมายเลขแบบ SEAL-04	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 18



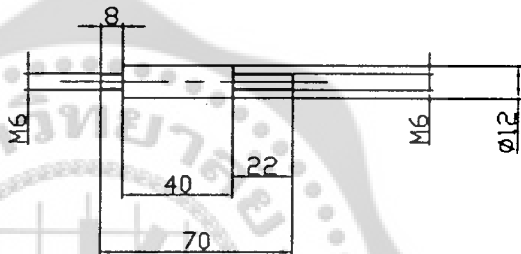
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			แผ่นรองขึ้นรูป		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 19



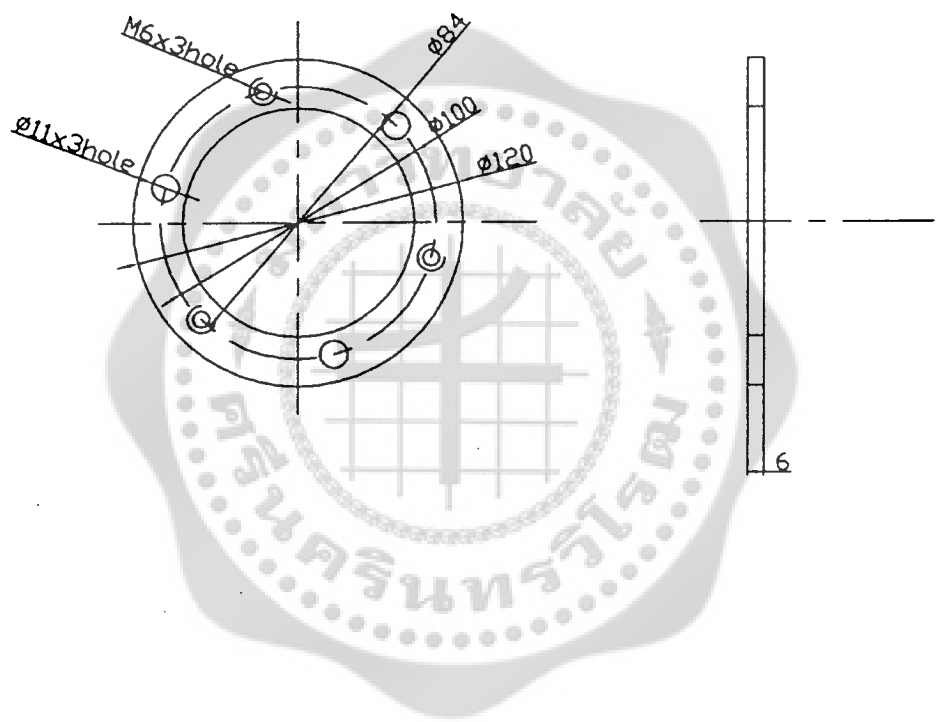
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			แผ่นเหยียบฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 20



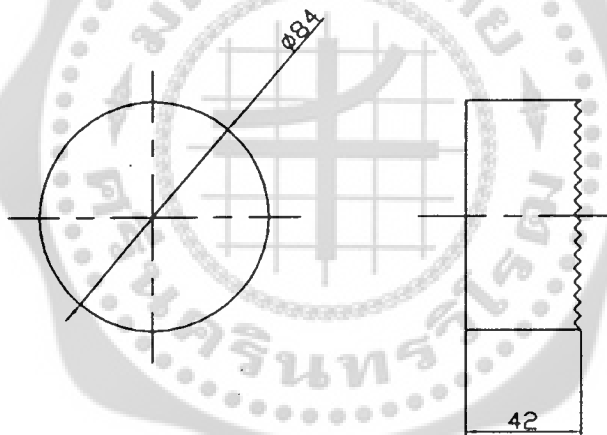
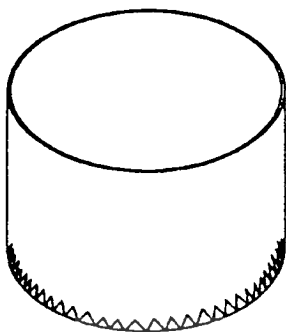
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงทาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เสา1		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-03	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 21



ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักทาม	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เสา2		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-04	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 22

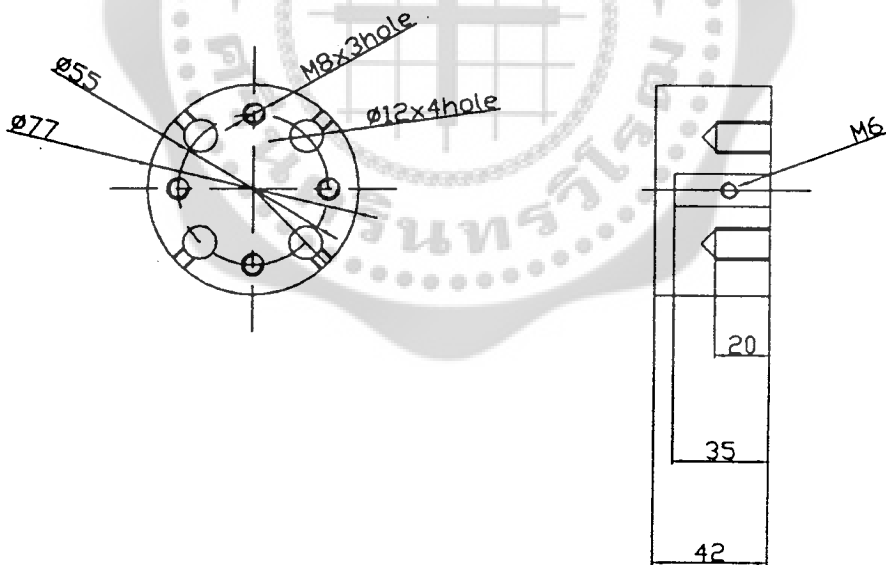
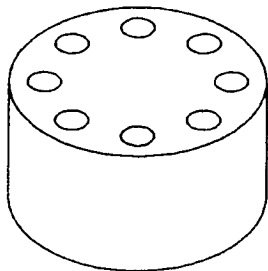


ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักฐาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ฐานไปตัด		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-05	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 23

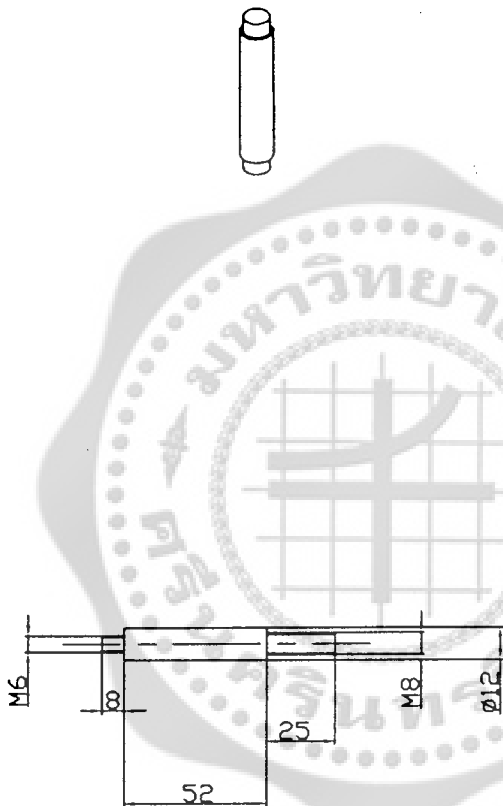


THICKNESS 1MM

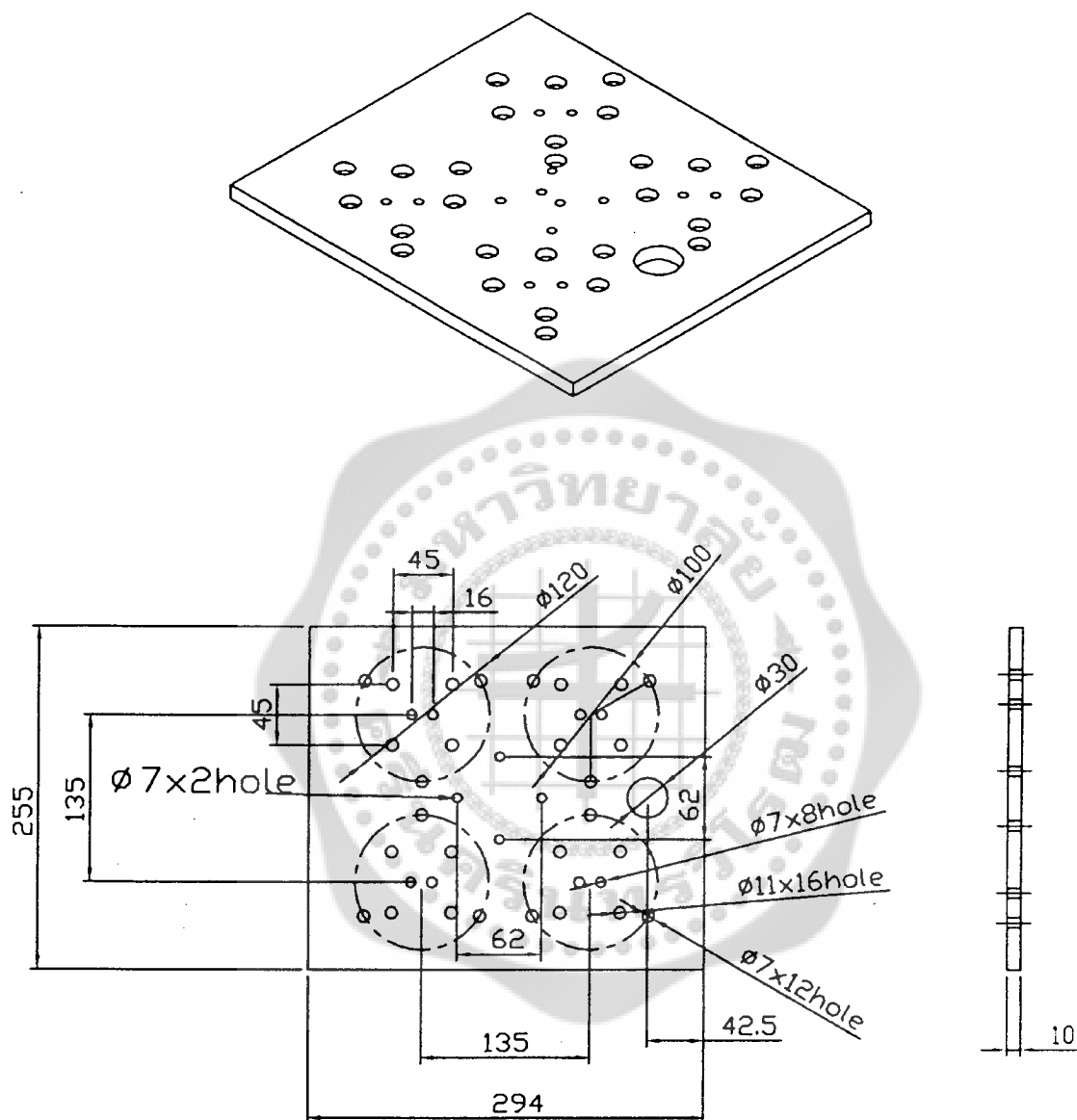
ผู้เขียน ประมณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัณแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน แล้ว
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ใบตัด		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-06	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 24



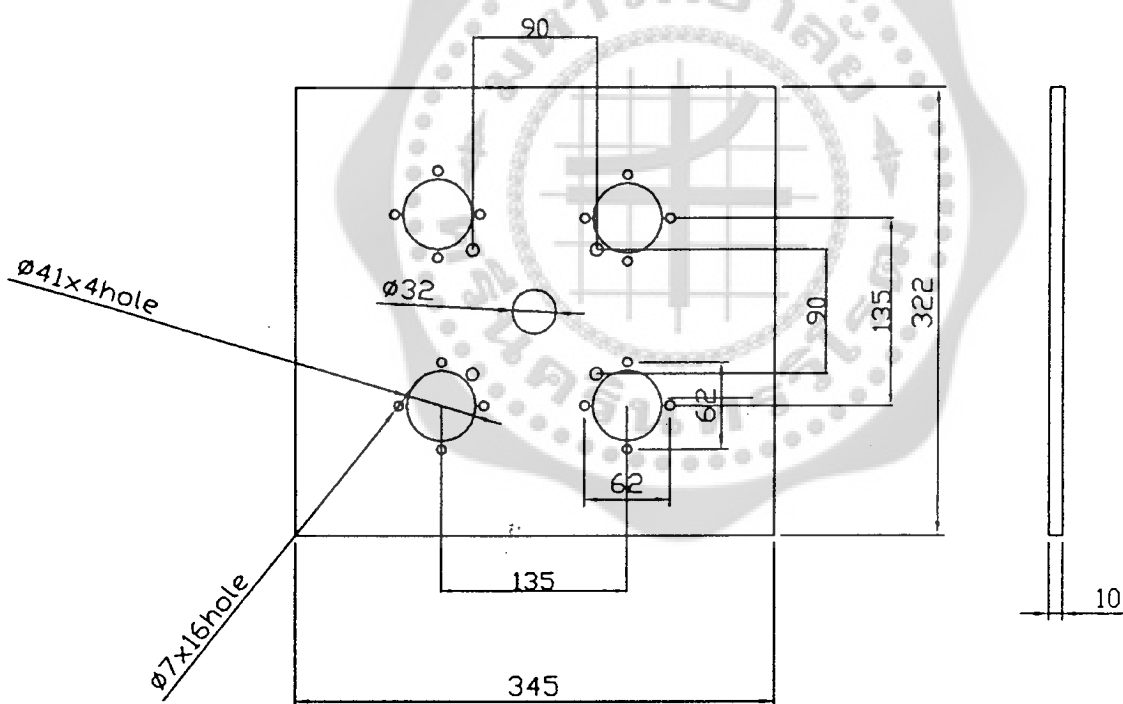
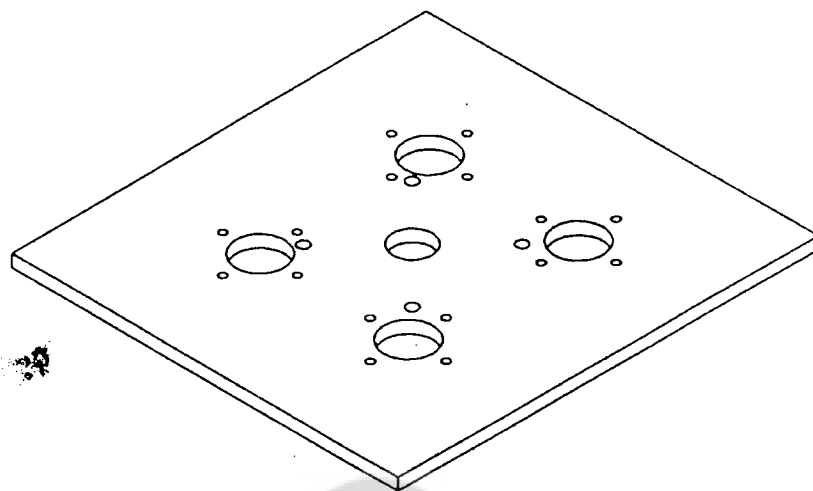
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักทนาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อเพิ่ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เสื้อ Heater		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-07	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 25



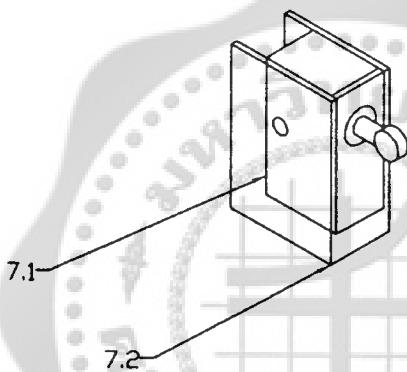
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ชจรศักดิ์ ศรีกังทาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อเพิ่ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เสา3		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-08	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 26



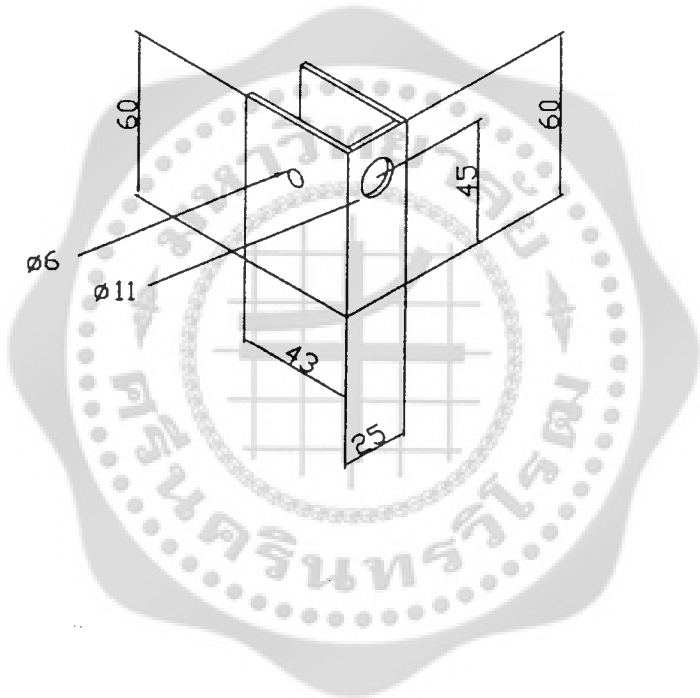
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			แผ่นกด		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-09	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 27



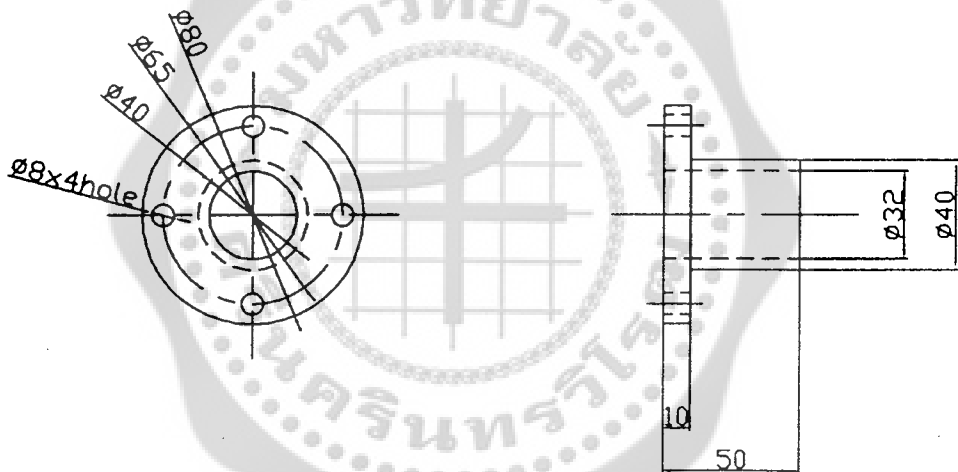
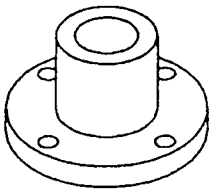
ผู้เขียน ประมาณ จันทรรักมา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			แผ่นยึดลูกสูบ		
			หมายเลขแบบ SEAL-04-10	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 28



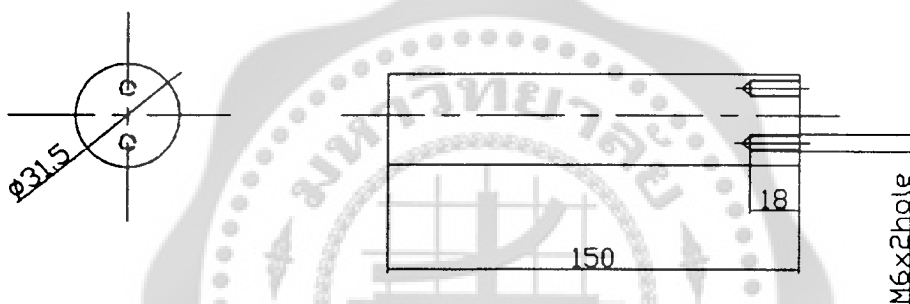
7.2	1 ชิ้น	ลิมิตสวิตช์วัดระดับ	15A 250V AM1704	-	-
7.1	1 ชิ้น	การ์ดลิมิตสวิตช์วัดระดับ	60x43x25x2	แอสตนเลส	SEAL-07-01
7	1 ชุด	ชุดการ์ดลิมิตสวิตช์วัดระดับ	60x43x25x2	-	SEAL-07
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทร์รักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อเพิ่ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดการ์ดลิมิตสวิตช์วัดระดับ		
			หมายเลขแบบ SEAL-07	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 29



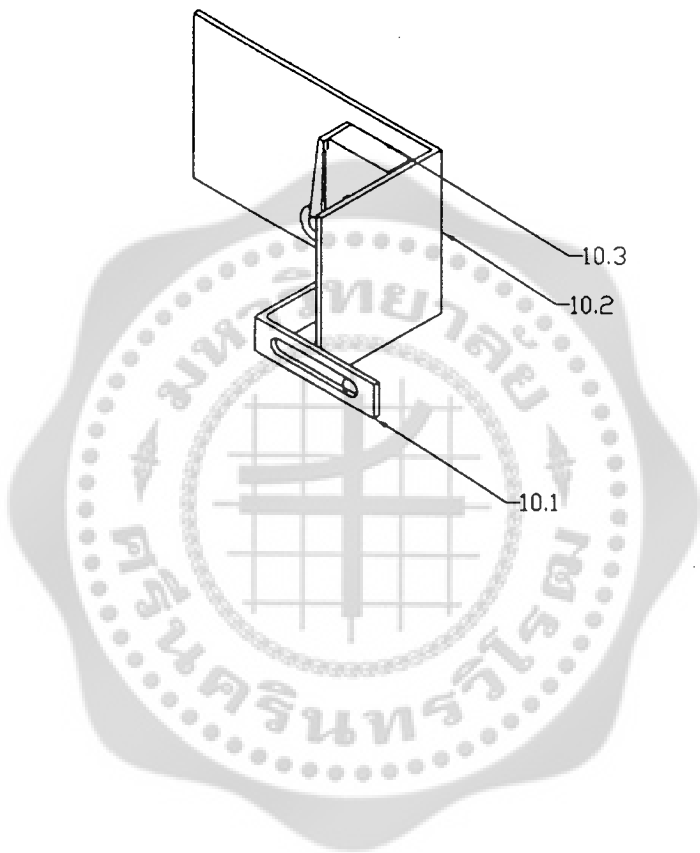
ผู้เขียน ประมณ จันทกริช	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			การคลimitสวิตซ์วัดระดับ		
			หมายเลขแบบ SEAL-07-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 10



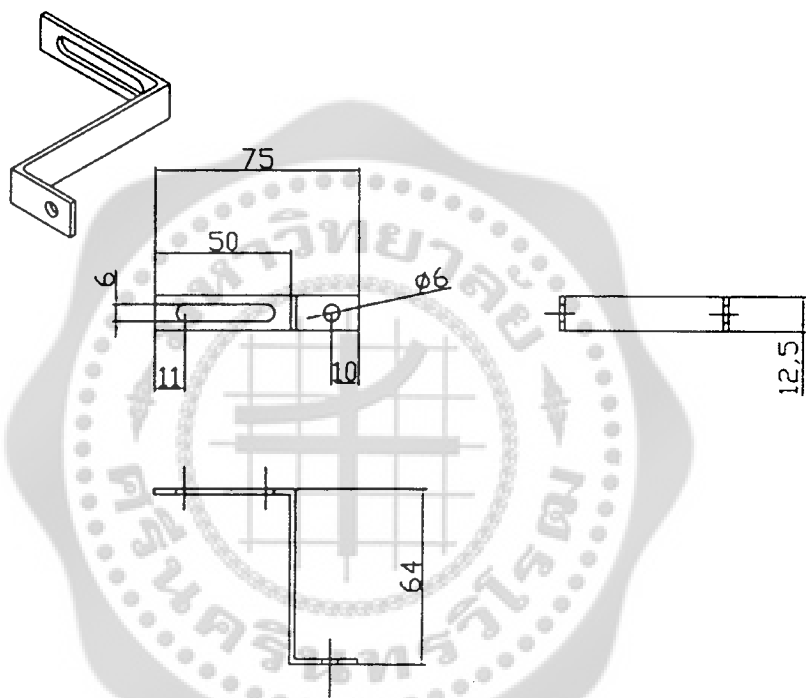
8	4 ชิ้น	โค้ด		080x50		เหล็ก	SEAL-08	
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน		ขนาด		วัสดุ	หมายเลขแบบ	
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา		ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน		ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว		ชื่อเพิ่ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				โค้ด				
				หมายเลขแบบ SEAL-08		แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 31	



9	จำนวน	เสาประคองลูกสูบ		Ø31.5x150	เหล็ก	SEAL-09
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน		ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ประมาณ จันทรักษา		ผู้ตรวจ พชรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้ออกแบบ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ				เสาประคองลูกสูบ		
				หมายเลขแบบ	SEAL-09	แก้ไขครั้งที่ 00

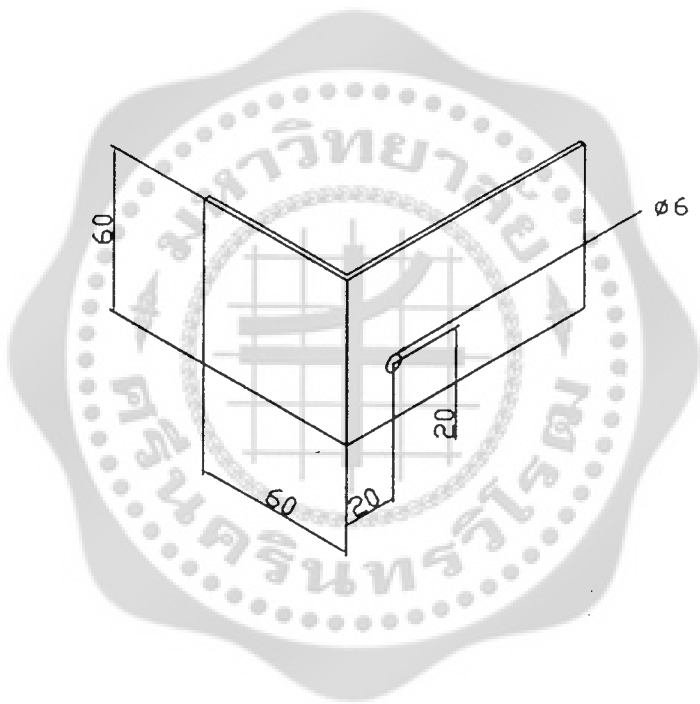


10.3	1 ชิ้น	ลิมิตสวิตช์	15A 250V AM1704	-	-
10.2	1 ชิ้น	การ์ดลิมิตสวิตช์	60x160x2	สแตนเลส	SEAL-10-02
10.1	1 ชิ้น	ขาลิมิตสวิตช์	75x65x3.2	อะลูมิเนียม	SEAL-10-01
10	1 ชุด	ชุดลิมิตสวิตช์วัดระดับ	75x65x3.2	อะลูมิเนียม	SEAL-10
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักฐาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อเพิ่ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดลิมิตวัดระยะฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-10	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 33



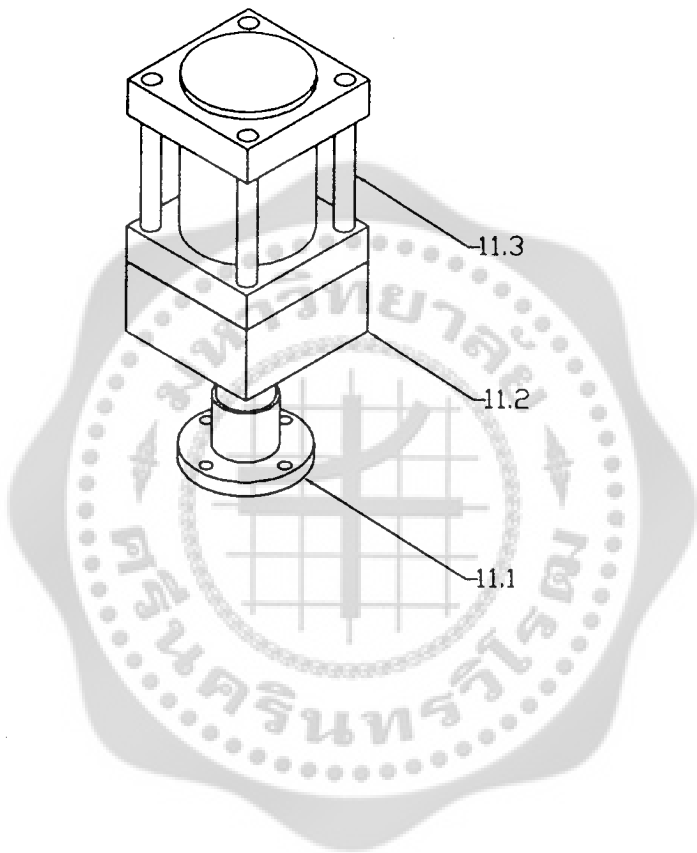
Thickness 3.2mm

ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ เพชรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต วัชรแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ขาลิมิตสวิตช์		
			หมายเลขแบบ SEAL-10-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 1

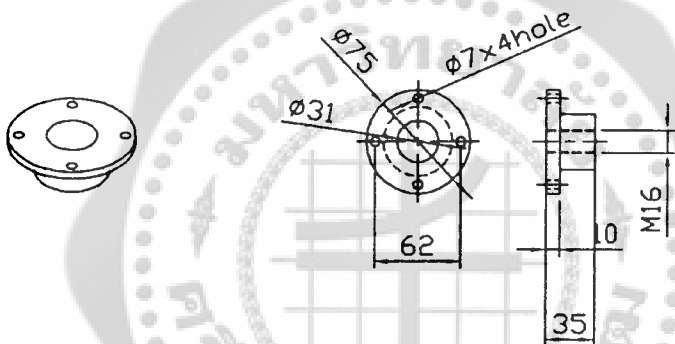


Thickness 2mm

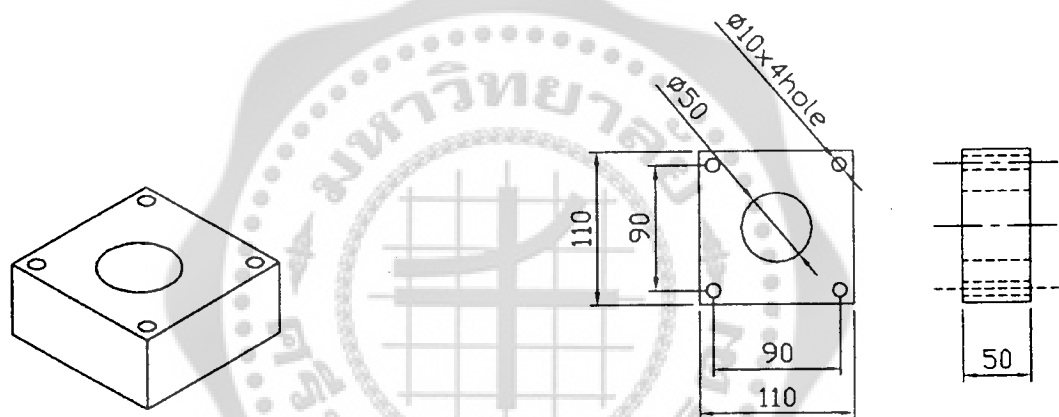
ผู้เขียน ประภาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ชจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัณฑิตแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			การวัดมิติตัวพิมพ์		
			หมายเลขแบบ SEAL-10-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 35



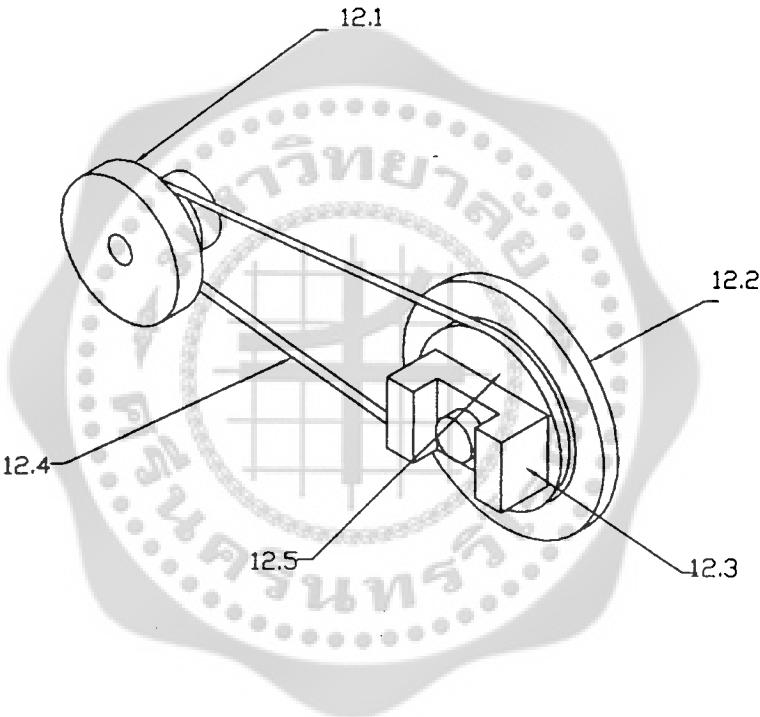
11.2	1 ชิ้น	ลูกสูบนิวแมติกส์	B80xS50xd25	อะลูมิเนียม	-
11.2	1 ชิ้น	ฐานรองลูกสูบ	110x110x50	อะลูมิเนียม	SEAL-11-02
11.1	1 ชิ้น	แผ่นเกลียวยึดกระบอกสูบ	Ø75x35	เหล็ก	SEAL-11-01
11	1 ชุด	ชุดลูกสูบ	150 kg	-	SEAL-11
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ บวรศักดิ์ ศรีกังพาน	ผู้นุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดลูกสูบ		
			หมายเลขแบบ	SEAL-11	แก้ไขครั้งที่ 00 แผ่นที่ 36



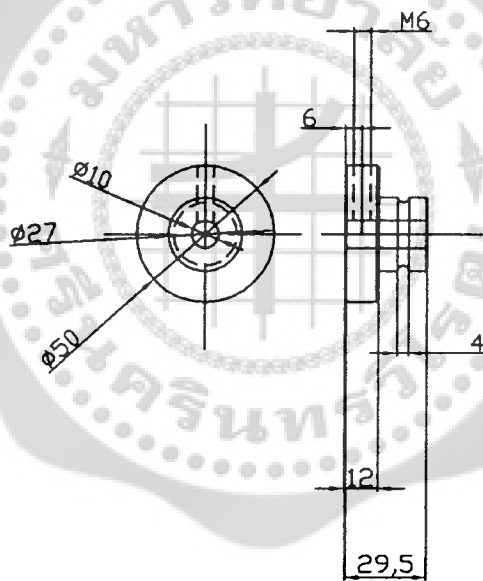
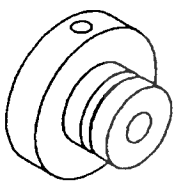
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เป็นเกลียวยึดกระบอกสูบ		
			หมายเลขแบบ SEAL-11-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 3



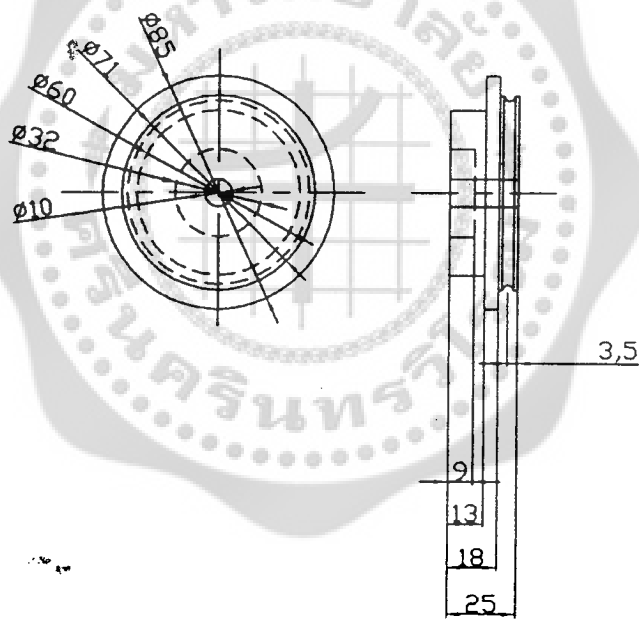
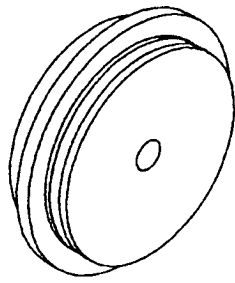
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ จงรศักดิ์ ศรีทองพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ฐานรองลูกสูบ		
			หมายเลขแบบ SEAL-11-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 3x



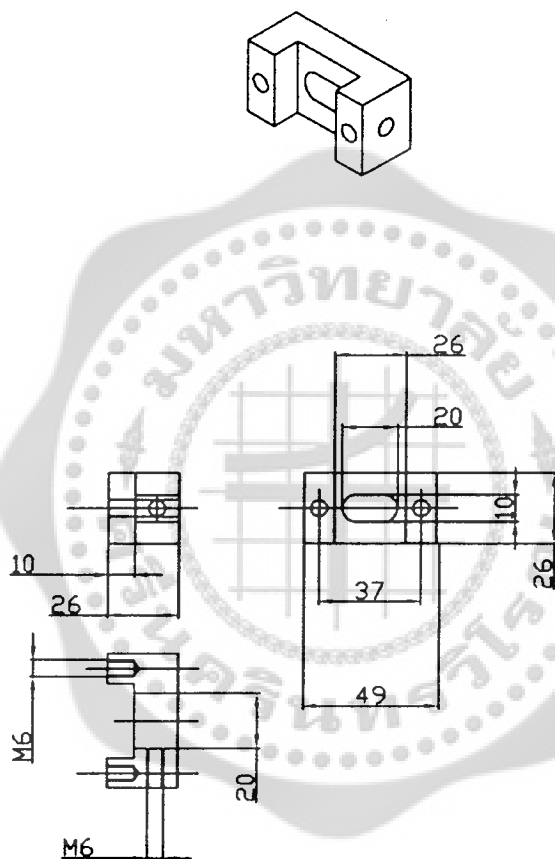
12.5	1 ชิ้น	ลูกปืน ball bearing	6202	-	-
12.4	1 ชิ้น	สายพาน	Ø5x431	ยางสังเคราะห์	-
12.3	1 ชิ้น	ฐานรองทุลย์ตาม	49x26x26	อะลูมิเนียม	SEAL-12-03
12.2	1 ชิ้น	ทุลย์ตาม	Ø85x25	พลาสติก(ซูเปอร์ลีน)	SEAL-12-02
12.1	1 ชิ้น	ทุลย์ขับ	Ø50x30	พลาสติก(ซูเปอร์ลีน)	SEAL-12-01
12	ชุด	ชุดทุลย์วักระยะฟิล์ม	-	พลาสติก(ซูเปอร์ลีน)	SEAL-12
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อเพิ่ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดทุลย์วักระยะฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-12	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 3๖



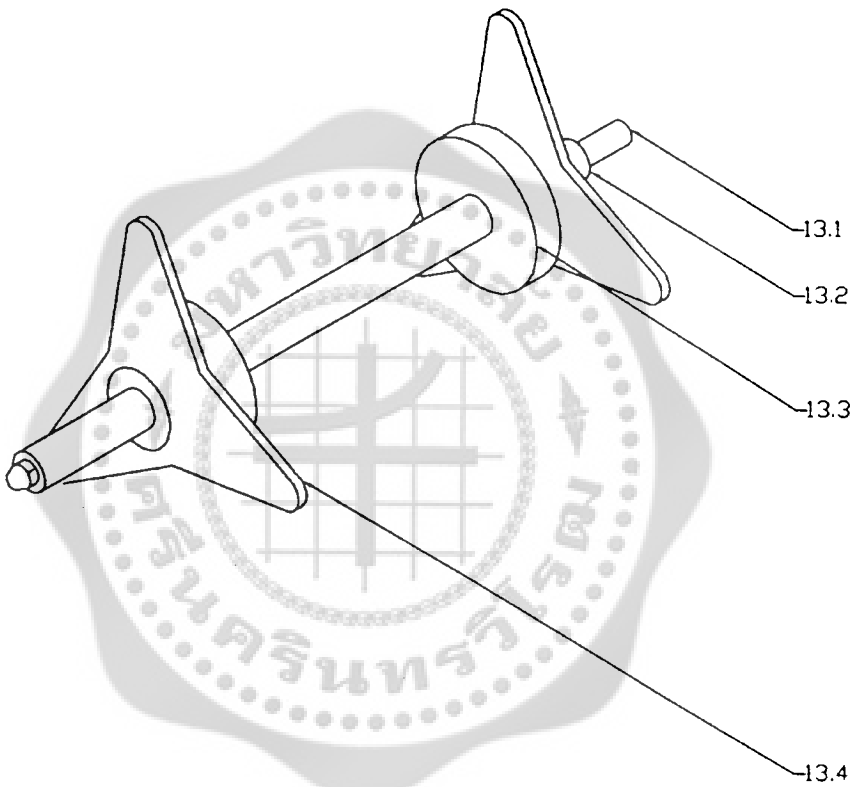
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักฐาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ผู้แก้ไข		
			หมายเลขแบบ SEAL-12-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 40



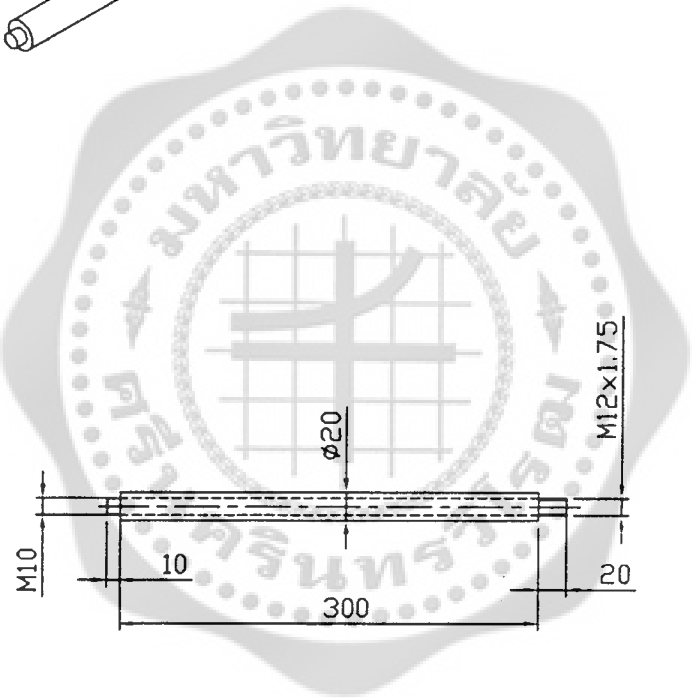
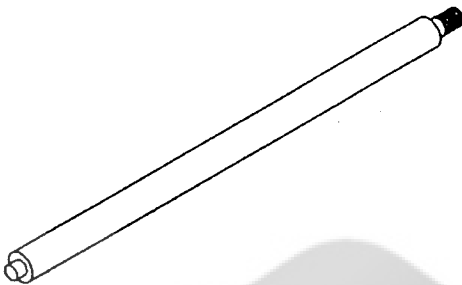
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ผู้แก้ไขตาม		
			หมายเลขแบบ SEAL-12-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 41



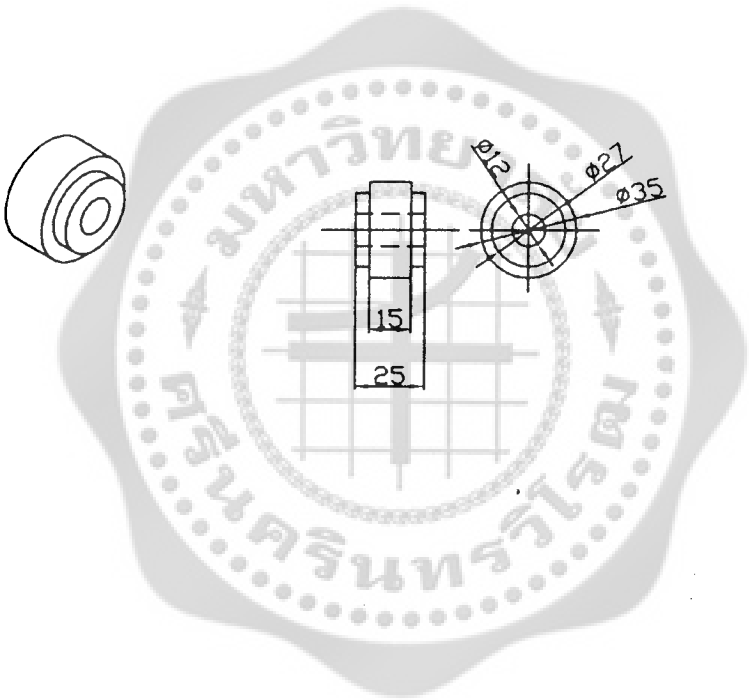
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ พชรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ฐานรองตู้เลขตาม		
			หมายเลขแบบ SEAL-12-03	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 12



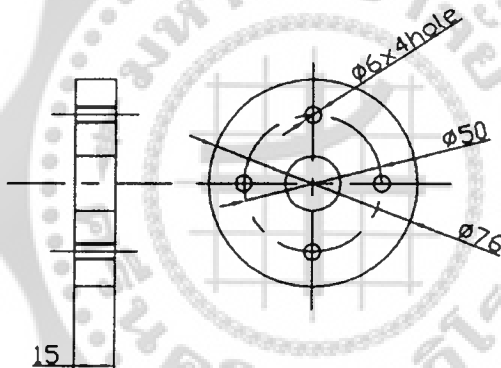
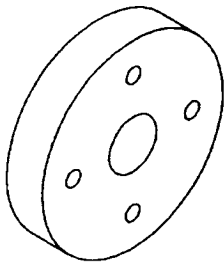
13.5	1 ชิ้น	สปริง	Ø38x50x1x5	-	-
13.4	4 ชิ้น	มือหมุนม้วนฟิล์ม	Ø200x6	อะคลิลิก	SEAL-13-04
13.3	4 ชิ้น	แผ่นใส่ฟิล์ม	Ø76x15	อะคลิลิก	SEAL-13-03
13.2	1 ชิ้น	บุชคั่นแผ่นฟิล์ม	Ø35x25	ซูเปอร์ไอริน	SEAL-13-02
13.1	1 ชิ้น	เพลา	Ø20x330	สเตนเลส	SEAL-13-01
13	1 ชุด	ชุดบรรจุฟิล์ม	Ø76	อะคลิลิก	SEAL-13
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดบรรจุฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-13	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 43



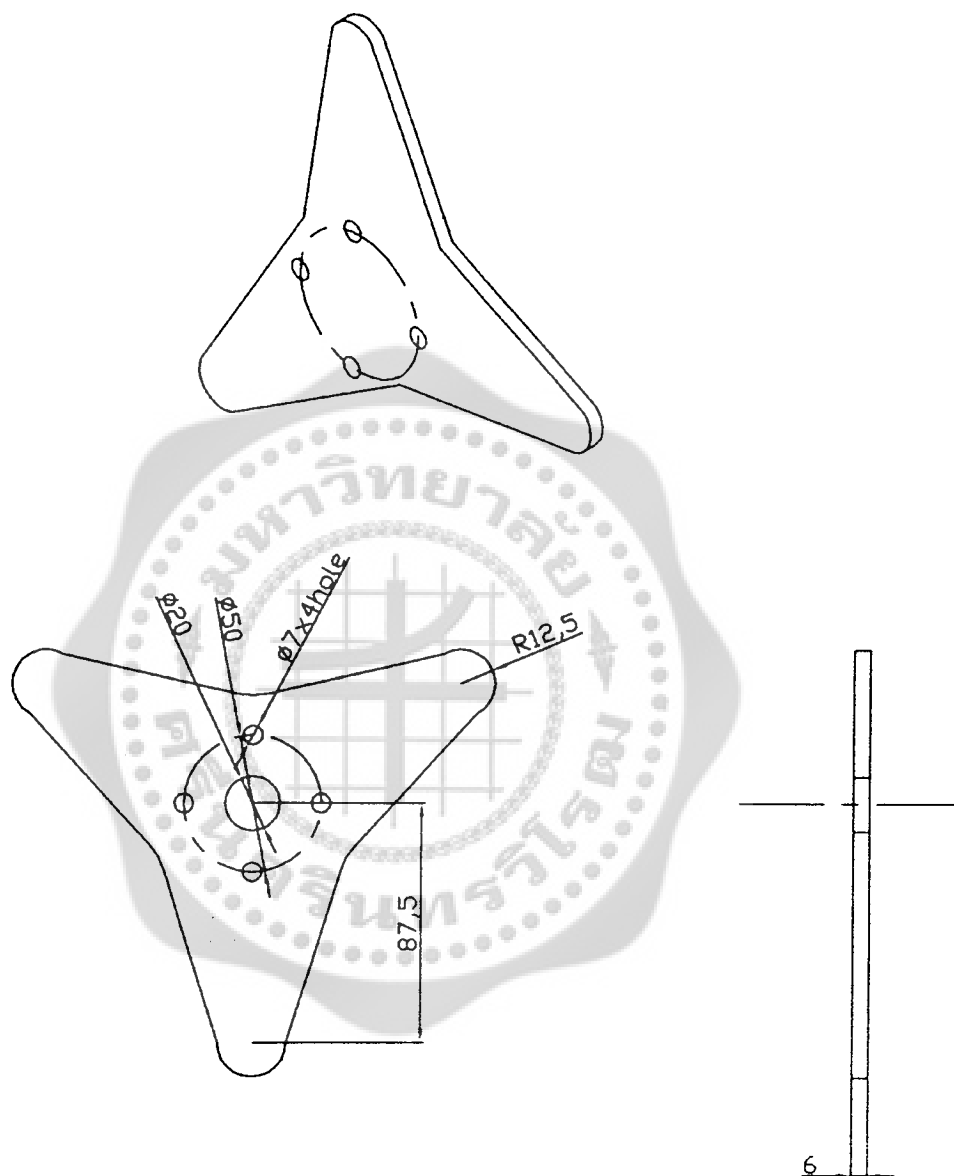
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	ภาคส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เพลลา		
			หมายเลขแบบ SEAL-13-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 44



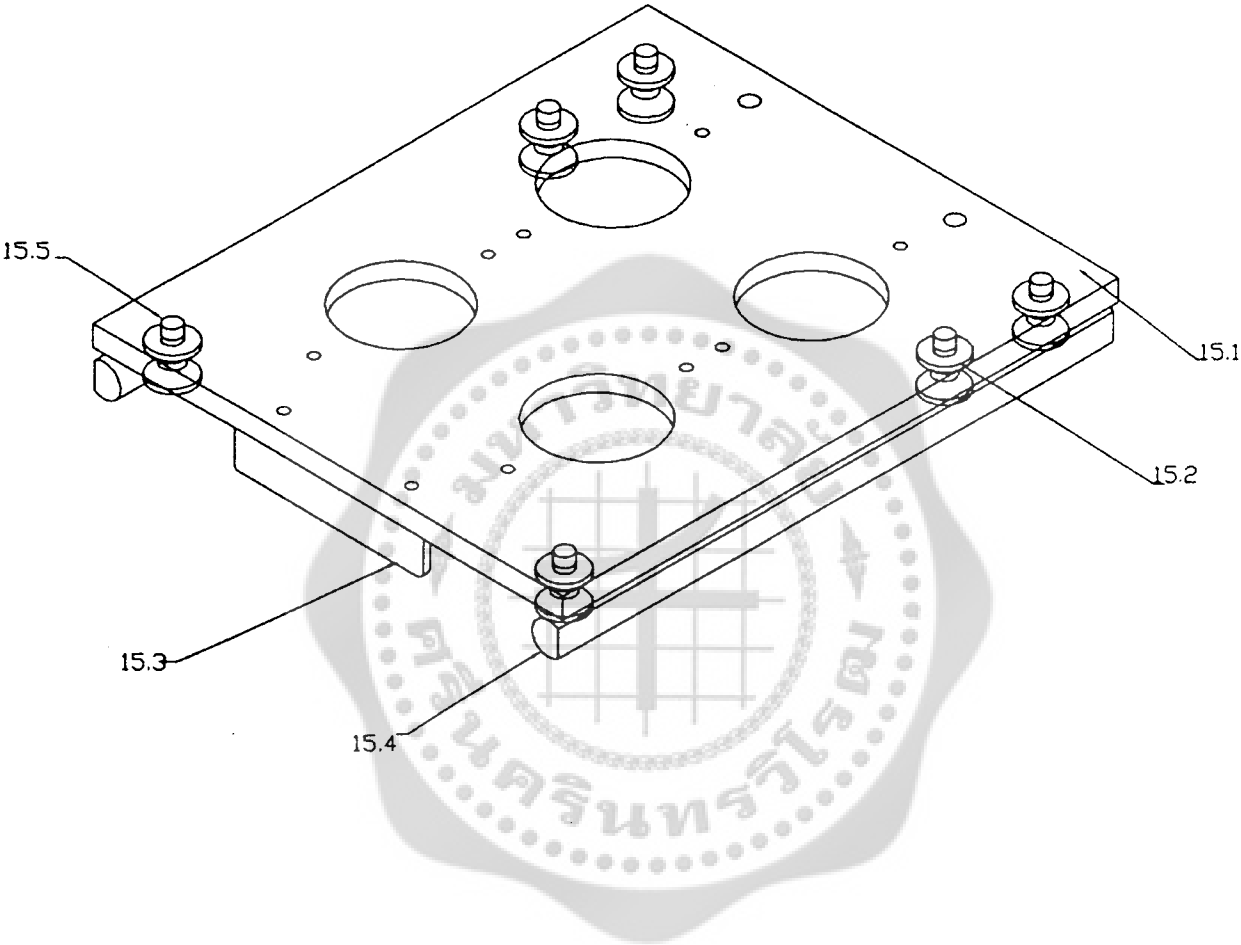
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักทนต์	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			บุษดินแผ่นฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-13-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 45



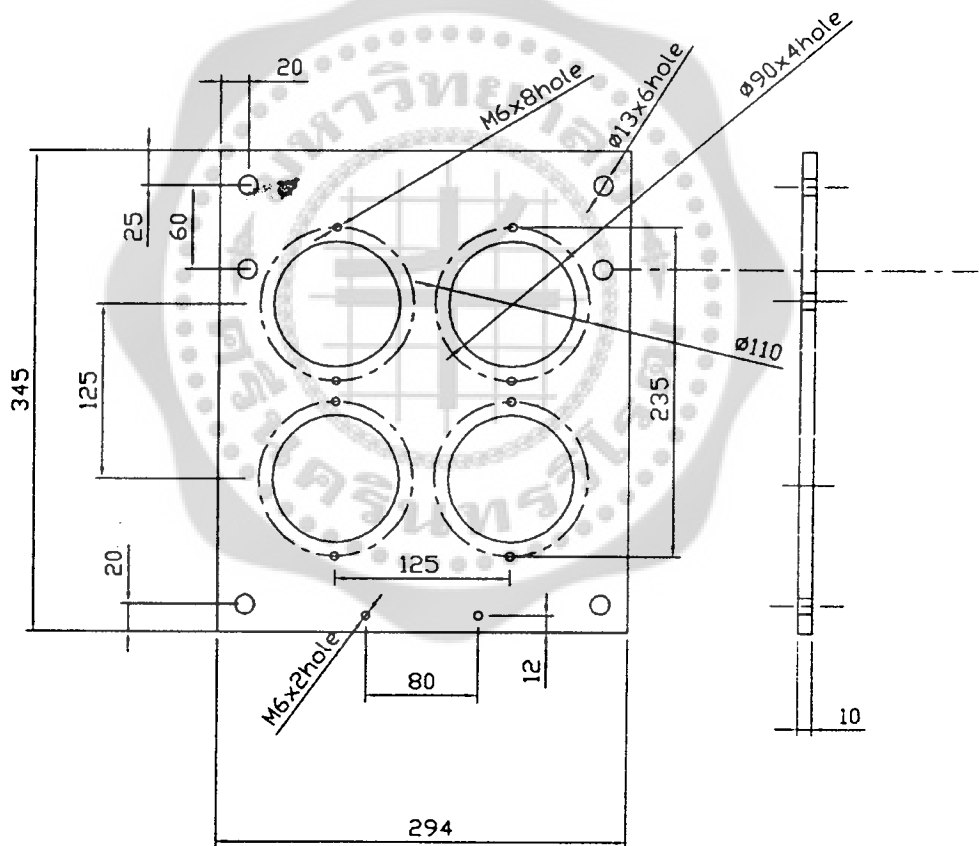
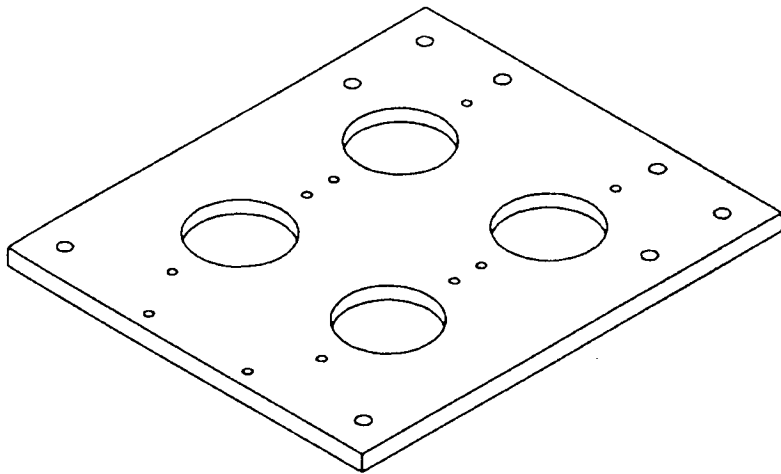
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ชจรศักดิ์ ศรีภักพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			แผ่นใส่ฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-13-03	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 16



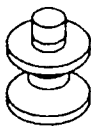
ผู้เขียน ประภาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกรรพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	เมตร ส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			มือหมุนม้วนฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-13-04	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 4



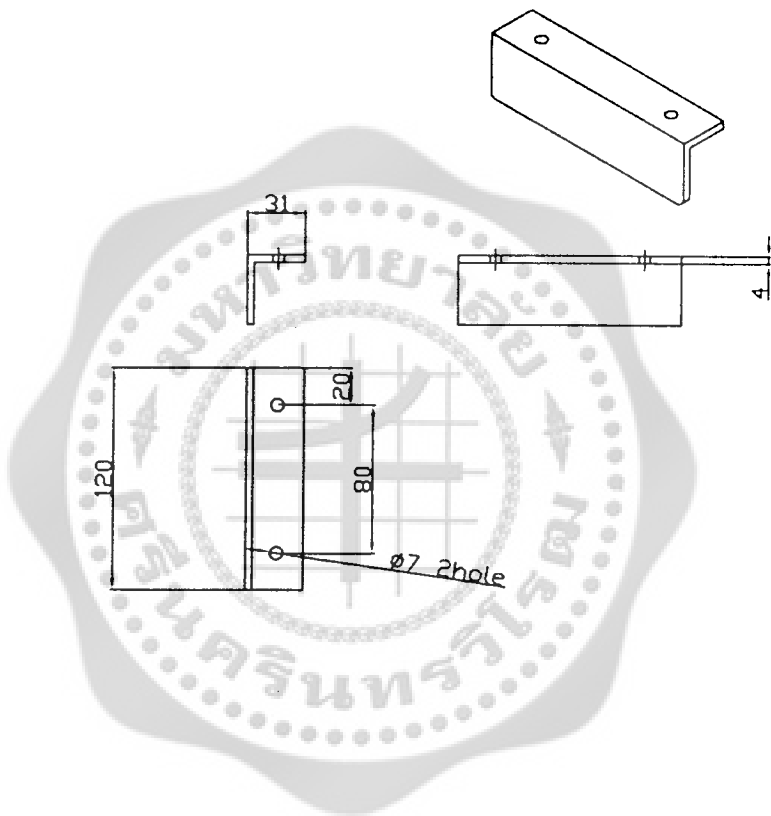
15.6	12 ชิ้น	ลูกปืน Ball Bearing	=6200	-	-
15.5	6 ชิ้น	สกรูยึดลูกกลิ้งทองเหลือง	M10x40	เหล็ก	SEAL-15-05
15.4	2 ชิ้น	รางเลื่อน	Ø20x340	สแตนเลส	SEAL-15-04
15.3	1ชิ้น	มอเตอร์	30x30x120	อะลูมิเนียม	SEAL-15-03
15.2	6 ชิ้น	ลูกกลิ้งทองเหลือง	Ø25x25	ทองเหลือง	SEAL-15-02
15.1	1 ชิ้น	แผ่นถาด	340x294x10	เหล็ก	SEAL-15-01
15	1 ชุด	ชุดปั๊มด้วย	340x294x10	เหล็ก	SEAL-15
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักทวน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดปั๊มด้วย		
			หมายเลขแบบ SEAL-15	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 48



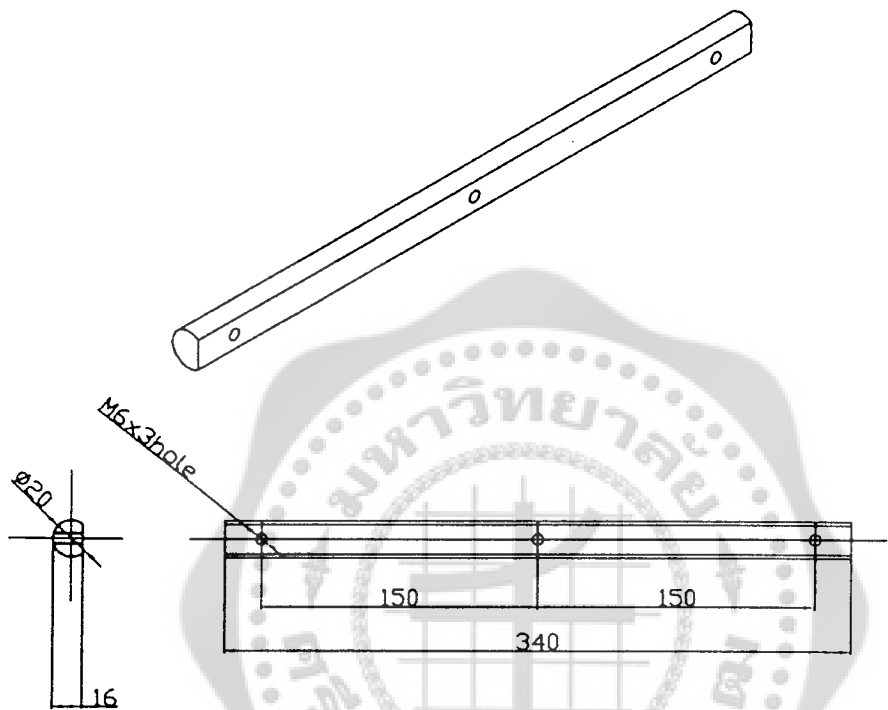
เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			แผ่นธาตุ		
			หมายเลขแบบ SEAL-15-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 49



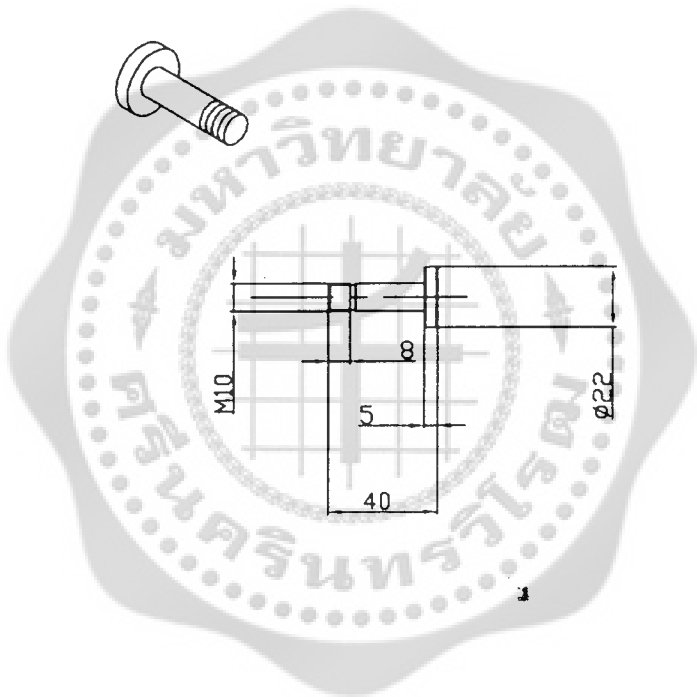
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อเพิ่ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ลูกกลิ้งทองเหลือง		
			หมายเลขแบบ SEAL-15-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 50



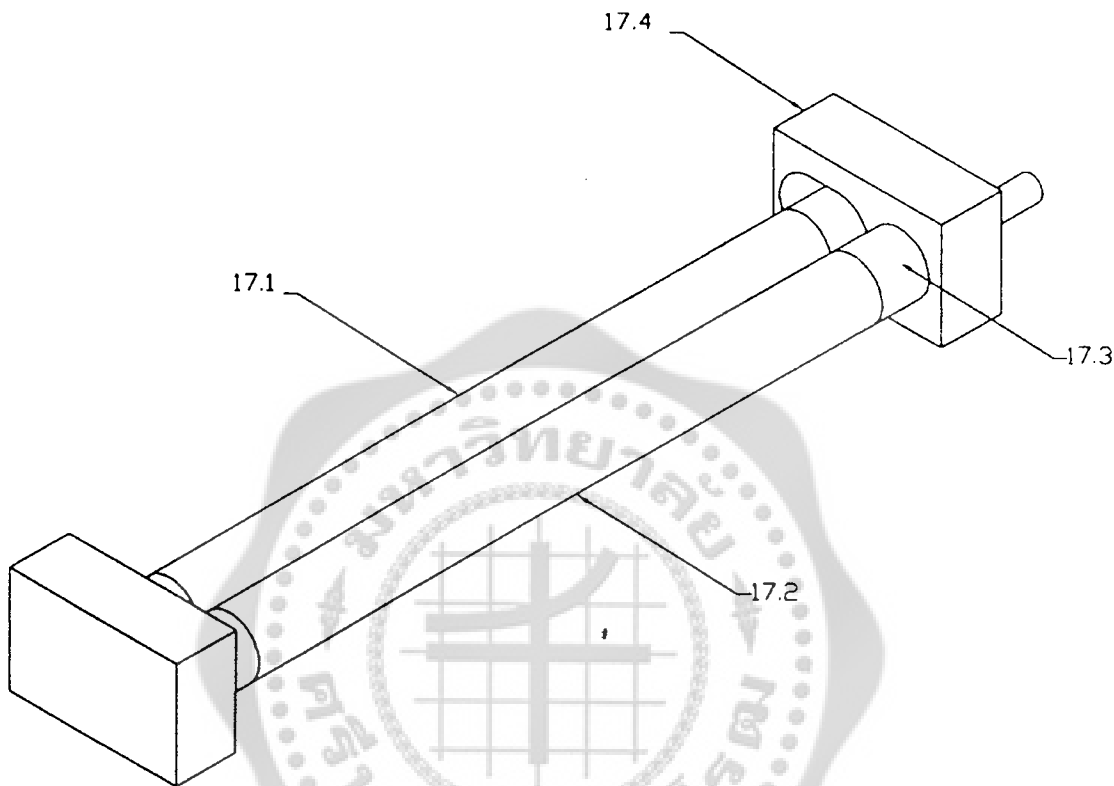
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	ขนาดกระดาษ -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			มีดจับ		
			หมายเลขแบบ SEAL-15-03	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 1



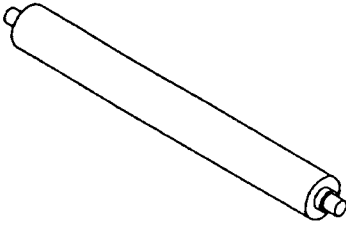
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ร่างเลื่อน		
			หมายเลขแบบ SEAL-15-04	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 52



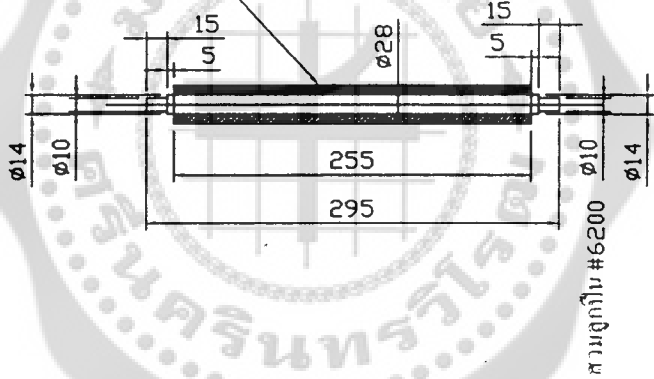
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			สกรูชนิดลูกกลิ้งทองเหลือง		
			หมายเลขแบบ SEAL-15-05	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 53



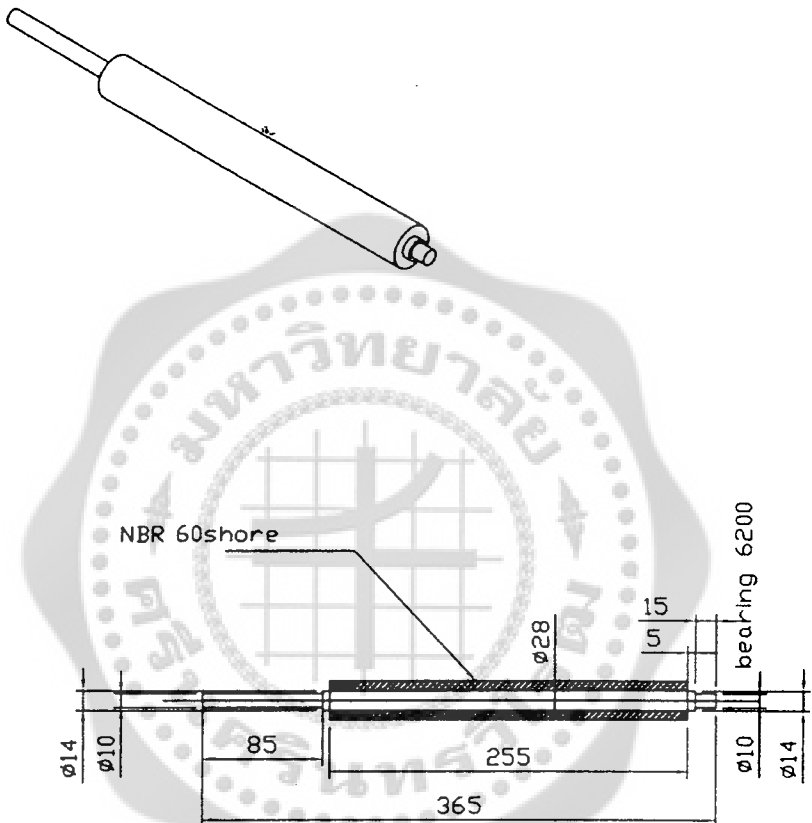
17.5	4 ชิ้น	ลูกปืน Ball bearing	4580	-	-
17.4	2 ชิ้น	เสื้อลูกกลิ้งวัดระยะฟิล์ม	45x70x25	เหล็ก	SEAL-17-04
17.3	2 ชิ้น	บุษลูกกลิ้ง	Ø25x25	เหล็ก	SEAL-17-03
17.2	1 ชิ้น	ลูกกลิ้ง 2	Ø28x365	อะลูมิเนียม หุ้ม NBR	SEAL-17-02
17.1	1 ชิ้น	ลูกกลิ้ง 1	Ø28x295	อะลูมิเนียม หุ้ม NBR	SEAL-17-01
17	1 ชิ้น	ชุดลูกกลิ้งวัดระยะฟิล์ม	-	อะลูมิเนียม หุ้ม NBR	SEAL-17
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ชจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้ออกแบบ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดลูกกลิ้งวัดระยะฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-17	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 55



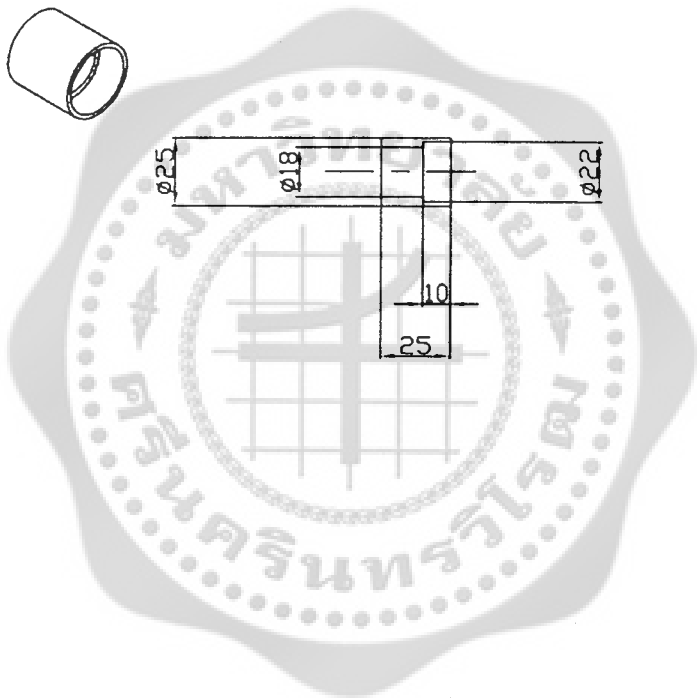
NBR 60shore



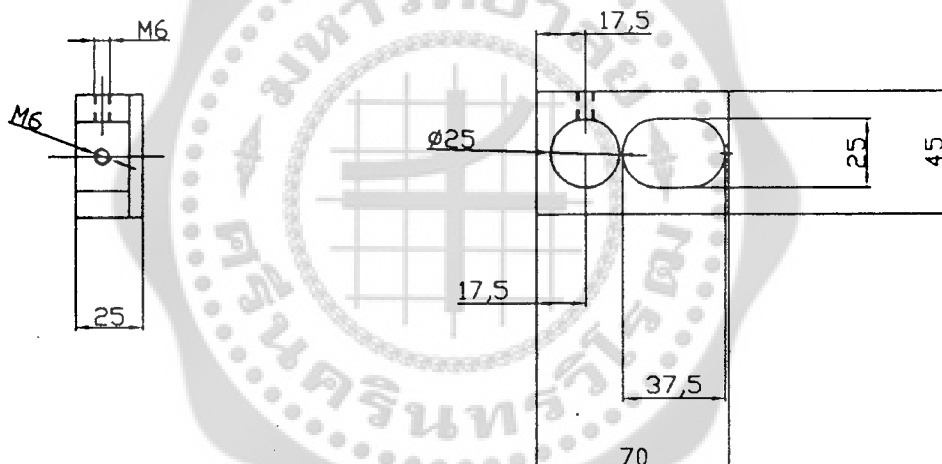
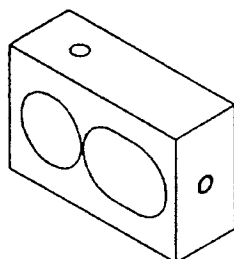
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ลูกกลิ้ง		
			หมายเลขแบบ SEAL-17-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 56



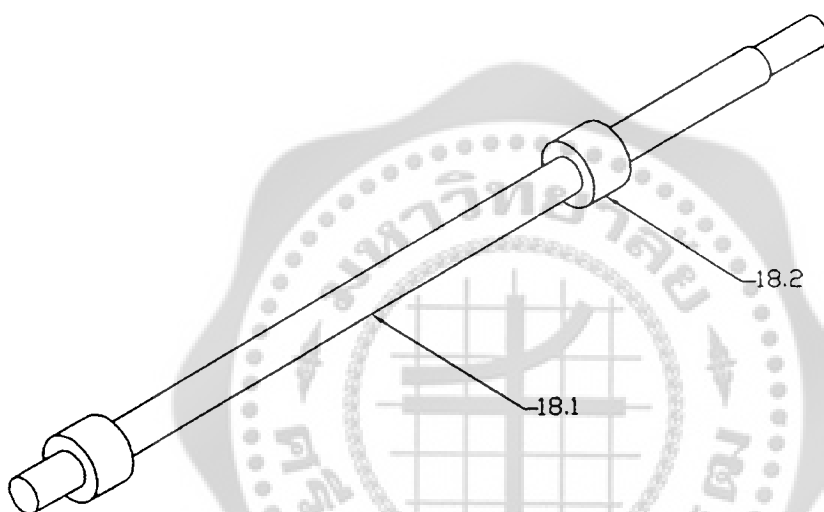
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกังทาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ลูกกลิ้ง 2		
			หมายเลขแบบ SEAL-17-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 57



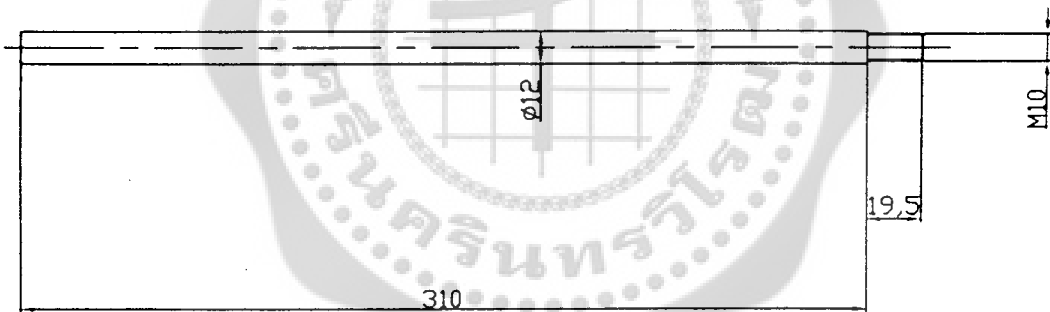
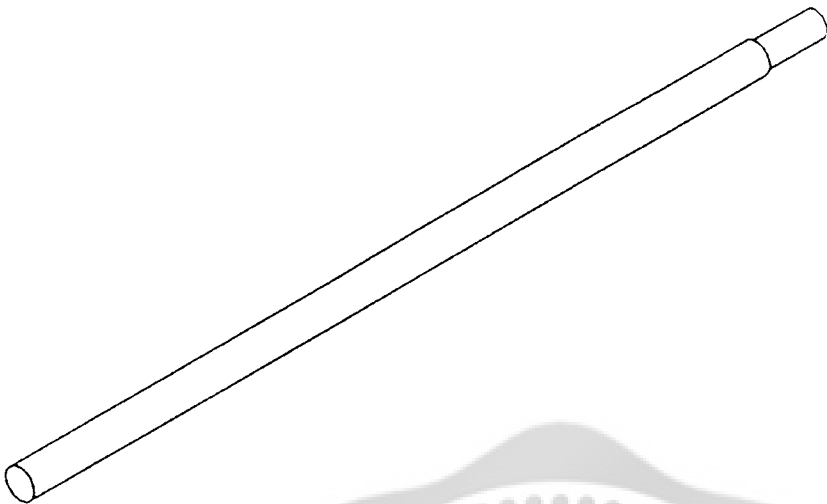
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			บุษณุกกลิ่ง		
			ทบทวนเลขแบบ SEAL-17-03	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 55



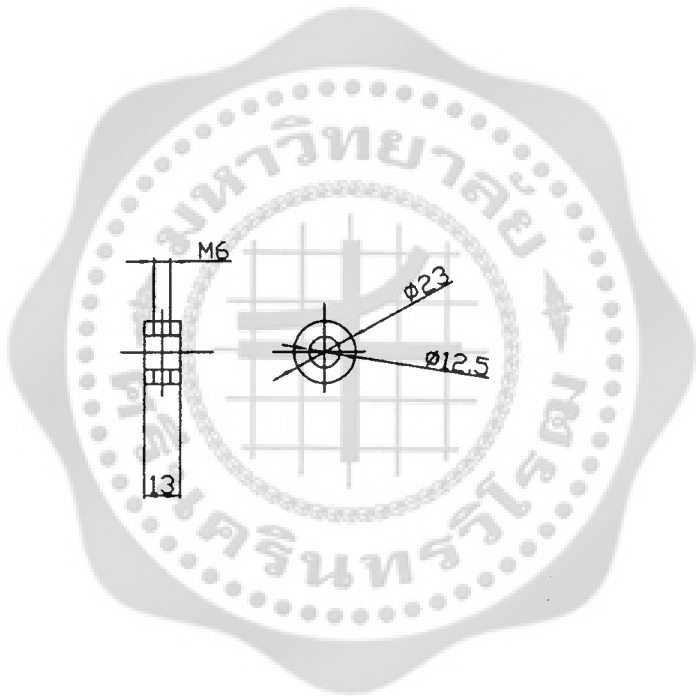
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เสื้อลูกกลิ้งวัดระยะฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-17-04	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 59



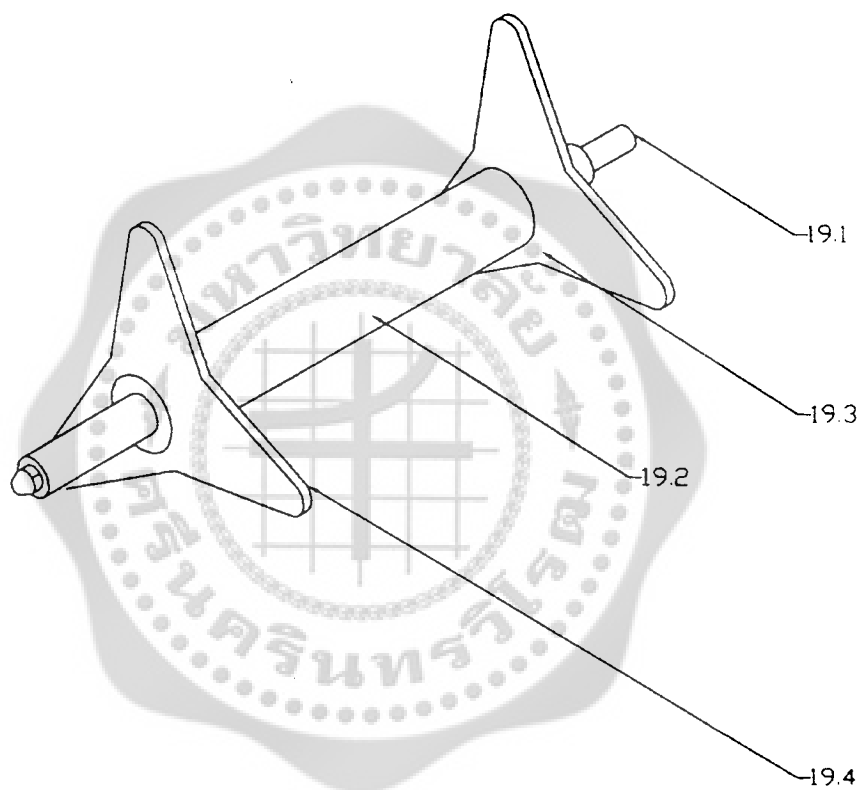
18.2	4 ชิ้น	บุชประกอบฟิล์ม	025x13	พลาสติก (cupseal)	SEAL-18-02
18.1	2 ชิ้น	เพลaprคองฟิล์ม	012x330	สแตนเลส	SEAL-18-01
18	2 ชุด	ชุดเพลaprคองฟิล์ม	012x330	สแตนเลส	SEAL-18
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเหตุ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			ชุดเพลaprคองฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-18	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 60



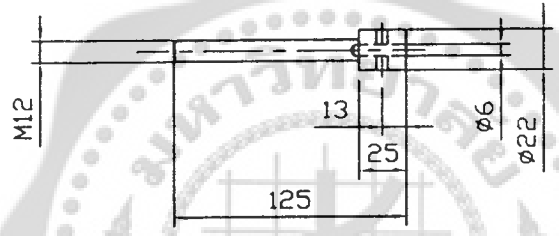
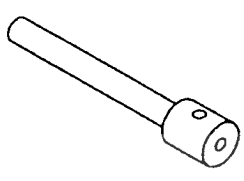
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักฐาน	ผู้อนุมัติ วิชุด บัวแก้ว	ชื่อเพิ่ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เพลาลูกเบี้ยว		
			หมายเลขแบบ SEAL-18-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 01



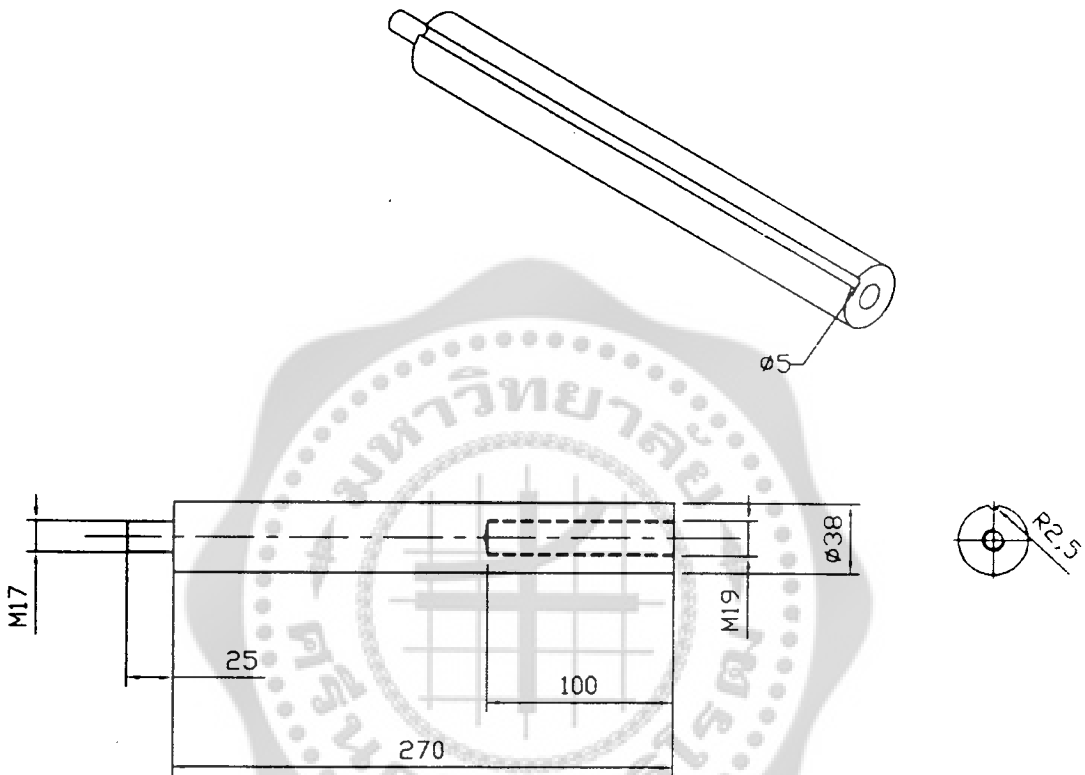
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีภักพาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	หมายเลขงาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			บุชประคองฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-18-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 02



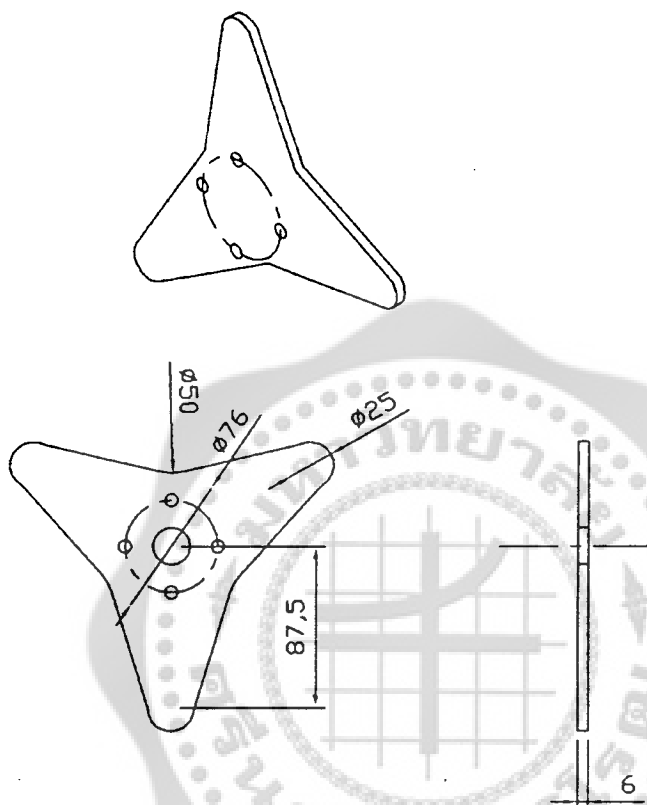
19.3	4 ชิ้น	มือหมุนม้วนฟิล์ม	O200x6	อะคลิลิก	SEAL-19-03
19.2	1 ชิ้น	เพลลา	O38x270	ซูเปอร์อิน	SEAL-19-02
19.1	1 ชิ้น	บูชมอเคอร์	O12x125	แอสตันเลส	SEAL-19-01
19	1 ชุด	ชุดเก็บฟิล์ม	O76	อะคลิลิก	SEAL-19
ลำดับที่	จำนวน	ชื่อชิ้นงาน	ขนาด	วัสดุ	หมายเลขแบบ
ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้ออกแบบ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มหาวิทยาลัย -
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะวิศวกรรมศาสตร์			ชุดเก็บฟิล์ม		
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			หมายเลขแบบ SEAL-19	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 63



ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ บรรศักดิ์ ศรีกงพาน	ผู้อนุมัติ วิชุด ปัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			บุษมฉัตร		
			หมายเลขแบบ SEAL-19-01	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ ๓4



ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกังพาน	ผู้อนุมัติ วิรัช บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตราส่วน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			เพลาเก็บฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-19-02	แก้ไขครั้งที่ 00	แบบที่ -



ผู้เขียน ประมาณ จันทรักษา	ผู้ตรวจ ขจรศักดิ์ ศรีกังทาน	ผู้อนุมัติ วิจิต บัวแก้ว	ชื่อแฟ้ม cupseal.dwg	วันที่ 1/9/03	มาตรฐาน -
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ			มื่อหมุนน้านฟิล์ม		
			หมายเลขแบบ SEAL-19-03	แก้ไขครั้งที่ 00	แผ่นที่ 68

ภาคผนวก ข.

ตาราง ที่ใช้ในการคำนวณ



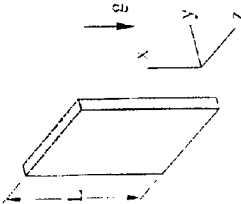
ตาราง ก. สมบัติทางฟิสิกส์และความร้อนของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

T (K)	ρ kg/m ³	C_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \times 10^6$ m ² /s	Pr
อากาศ							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688

ตาราง ข. สมบัติทางฟิสิกส์และความร้อนของโลหะ (ของแข็ง)

ชนิดของโลหะ	สมบัติที่ 300 K				(W/m · K) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ (K)			
	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	400	600	800	1000
อะลูมิเนียมบริสุทธิ์	2702	903	237	97.1	240	231	218	-
โครเมียม	7160	449	93.7	29.1	90.9	80.7	71.3	65.4
ทองแดงบริสุทธิ์	8933	385	401	117	393	379	366	352
ตะกั่ว	11340	129	35.3	24.1	34.0	31.4	-	-
เหล็กบริสุทธิ์	7870	447	80.2	23.1	69.5	54.7	43.3	32.8
เหล็กกล้า C = 0.5%	7833	465	54	14.7	50.9	44.2	37.6	32.5
C = 0.1%	7801	473	43	11.7	42.7	38.9	34.1	30.5
C = 1.5%	7753	485	36	9.7	36.0	34.5	31.7	29.1
เหล็กผสมโครเมียมต่ำ								
Cr = 0.65%	7822	444	37.7	10.9	38.2	36.7	33.3	26.9
Cr = 1.0%	7858	442	42.3	12.2	42.0	39.1	34.5	27.4
Cr = 1.02%	7836	443	48.9	14.1	46.8	42.1	36.3	28.2
เหล็กผสมซิลิคอน								
0.1% < Si ≤ 0.6%	7817	446	51.9	14.9	49.8	44.0	37.4	29.3
เหล็กกล้าไร้สนิม								
AISI 302	8055	480	15.1	3.91	17.3	20.0	22.8	25.4
AISI 304	7900	477	14.9	3.95	16.6	19.8	22.6	25.4
AISI 316	8238	468	13.4	3.48	15.2	18.3	21.3	24.2
AISI 347	7978	480	14.2	3.71	15.8	18.9	21.9	24.7
เงิน	10500	235	429	174	425	412	396	379
แพลทินัมบริสุทธิ์	21450	133	71.6	25.1	71.8	73.2	75.6	78.7
ดีบุก	7310	227	66.6	40.1	62.2	-	-	-
สังกะสี	7140	389	116	41.8	111	103	-	-
แมกนีเซียม	1740	1024	156	87.6	153	149	146	-
ซิลิคอน	2330	712	148	89.2	98.9	61.9	42.2	31.2

ตาราง ค. สหสัมพันธ์สำหรับการพาความร้อนตามธรรมชาติบนแผ่นราบแนวดิ่ง แนวระดับ และแนวเอียง

ลักษณะรูปร่าง	ตัวเลขนิตเซลล์ที่เฉลี่ย	หมายเหตุ
แผ่นระนาบแนวดิ่ง 	$Nu_m = 0.548(Gr_L Pr)^{1/4} \text{ (อากาศ) } , T$	$10 < Gr_L < 10^9$ โดยแมกแอนด์ส์ (ราบเรียบ)
	$Nu_m = 0.555(Gr_L Pr)^{1/4} \text{ (น้ำมัน) } , T$	$10 < Gr_L < 10^9$ โดยออกสหราชอาณาจักร (ราบเรียบ)
	$Nu_m = 0.33(Gr_L Pr)^{1/4} \text{ (ปรอท) } , T$	$10 < Gr_L < 10^9$ โดยซอนเดอร์ส (ราบเรียบ)
	$Nu_m = \left(\frac{Gr_L Pr^2}{2.435 + 4.884\sqrt{Pr + 4.953Pr}} \right)^{1/4} , T$	$10 < Gr_L < 10^9$ โดยเลอ แฟฟวร์ (ราบเรียบ)
	$Nu_m = 0.68 + \frac{0.67Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} , T$	$0.1 < Gr_L Pr < 10^9$ โดยเซอร์ซิลด์และพู (ราบเรียบ)
	• โดยทั่วไปช่วงแพร่กระจายจากราบเรียบเป็นปั่นป่วน จะเกิดขึ้นเมื่อ $Ra_L = Gr_L Pr \approx 10^9$ • สมบัติของของไหลทุกตัวพิจารณาที่ $T_f = \frac{1}{2}(T_s + T_\infty)$	
	$Nu_m^{1/2} = \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} , T$	$0.1 < Gr_L Pr < 10^{12}$ โดยเซอร์ซิลด์และพู (ราบเรียบ, ปั่นป่วน) สมบัติทุกตัวพิจารณาที่ $T_f = (T_s + T_\infty)/2$

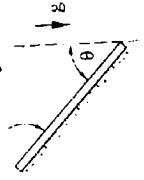
ตาราง ค. (ต่อ)

ลักษณะรูปร่าง	ตัวเลขไรต์เซสส์ที่เฉลี่ย	หมายเหตุ
	ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ H $Nu_m = 0.6 \left(Gr_L^* Pr \right)^{1/5}, H$ $Nu_m = 0.568 \left(Gr_L^* Pr \right)^{0.22}, H$	$10^5 < Gr_L^* Pr < 10^{13}$ โดยสเปร์โรว์และเกรก์ (ราบริเย) $10^{13} < Gr_L^* Pr < 10^{16}$ โดยไลเวตและลิว (Vliet and Liu) (ปั่นป่วน) โดยที่ $Gr_L^* = g \beta q_s L^4 / k \nu^2$, สมบัติทุกตัวพิจารณาที่ $T_f = (T_s + T_\infty)/2$
แผ่นระนาบแนวระดับ • ผิวร้อนหงายขึ้น ($T_s > T_\infty$)  • ผิวเย็นคว่ำหน้าลง ($T_s < T_\infty$) 	อุณหภูมิผิวคงที่ T $Nu_m = 0.54 \left(Gr_L Pr \right)^{1/4}, T$ $Nu_m = 0.15 \left(Gr_L Pr \right)^{1/3}, T$	$10^5 \leq Gr_L Pr \leq 10^7$ โดยแมกแอคัมส์ (ราบริเย) $10^7 \leq Gr_L Pr \leq 10^{10}$ โดยแมกแอคัมส์ (ปั่นป่วน) โดยที่ L คือความยาวสำคัญ $L = A_s/p$ (A_s = พื้นที่ผิว, p = เส้นรอบรูป)

ตาราง ค. (ต่อ)

ลักษณะรูปร่าง	ตัวเลขนั้สเซลท์เฉลี่ย	หมายเหตุ
• ผิวร้อนกว่าหน้าลง ($T_s > T_\infty$) • ผิวเย็นกว่าหน้าขึ้น ($T_s < T_\infty$)	$Nu_m = 0.27(Gr_L Pr)^{1/4}, T$	$10^5 \leq Gr_L Pr \leq 10^{10}$ โดยแมกแอตัมส์ (ราบเรียบ)
• ผิวร้อนกว่าหน้าขึ้น	ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ H $Nu_m = 0.13(Gr_L Pr)^{1/3}, H$ $Nu_m = 0.16(Gr_L Pr)^{1/3}, H$ $Nu_m = 0.58(Gr_L Pr)^{1/5}, H$	$Gr_L Pr < 2 \times 10^8$ โดยฟูจิอิ (Fujii) และอิมูระ (Imura) $5 \times 10^8 \leq Gr_L Pr \leq 10^{11}$ โดยฟูจิอิและอิมูระ $10^6 \leq Gr_L Pr \leq 10^{11}$ โดยฟูจิอิและอิมูระ
• ผิวร้อนกว่าหน้าลง เงื่อนไขของอุณหภูมิผิวคงที่ T สมบัติของของไหลทุกตัวพิจารณาที่ $T_f = (T_s + T_\infty)/2$ เงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ H สมบัติของของไหลทุกตัวพิจารณาที่ $T_f = T_s - 0.25(T_s - T_\infty)$ ยกเว้น β พิจารณาที่ $(T_s + T_\infty)/2$		
แผ่นระนาบเอียง • ผิวร้อนกว่าหน้าลง  สำหรับ ($T_s > T_\infty$)	$Nu_m = 0.56(Gr_L Pr \cos \theta)^{1/4}, H$ $Nu_m = 0.58(Gr_L Pr)^{1/5}, H$	$\theta < 88^0, 10^5 < Gr_L Pr < 10^{11}$ โดยฟูจิอิและอิมูระ (ราบเรียบ) $88^0 < \theta < 90^0$

ตาราง ค. (ต่อ)

ลักษณะรูปร่าง	ตัวเลขไรต์เซสส์ที่เฉลี่ย	หมายเหตุ
➤ ผิวร้อนแห้งหน้าขึ้น ผิวร้อน ($T_s > T_\infty$) 	$Nu_m = 0.14 \left[(Gr_L Pr)^{1/3} - (Gr_c Pr)^{1/3} \right] + 0.56 (Gr_c Pr \cos \theta)^{1/4}, H$ โดยที่ $Gr_c Pr = \exp(14.223 + 8.394 \cos \theta), 15^\circ < \theta < 60^\circ$ $Gr_c Pr = \exp(3.848 + 29.146 \cos \theta), 60^\circ < \theta < 70^\circ$ $Gr_L = g \beta L^3 (T_s - T_\infty) \nu^{-2}$	$Gr_L Pr < 10^{11} (Gr_L > Gr_c)$ และ $15^\circ < \theta < 70^\circ$ โดยฟูจิเอและอิมูระ สมบัติทุกตัวพิจารณา @ $T_f = T_s - 0.25(T_s - T_\infty)$ ยกเว้น β พิจารณา @ $T_\infty + 0.25(T_s - T_\infty)$

ตาราง ง. สปริง

LEE										COMPRESSION SPRINGS										FROM STOCK			
										GROUND ENDS													
										MUSIC WIRE (PLATED), ALSO STAINLESS STEEL (PASSIVATED)													
LEE STOCK NUMBER	OUTSIDE DIAMETER		TO WORK IN HOLE DIAMETER		WIRE DIAMETER		APPROX. LOAD AT SOLID HEIGHT		FREE LENGTH		SPRING RATE		SOLID HEIGHT		FREE LENGTH								
	IN	MM	IN	MM	IN	MM	LB	KG	IN	MM	LB/IN	KG/MM	IN	MM	IN	MM	IN	MM	IN	MM			
LC-0420-1																							
LC-0420-2																							
LC-0420-3																							
LC-0420-4																							
LC-0420-5																							
LC-0420-6																							
LC-0420-7	4.00	101.6	5.00	127.0	.042	1.07	9.5	4.30	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4			
LC-0420-8																							
LC-0420-9																							
LC-0420-10																							
LC-0420-11																							
LC-0420-12																							
LC-0420-13																							
LC-0420-14																							
LC-0450-1																							
LC-0450-2																							
LC-0450-3																							
LC-0450-4																							
LC-0450-5																							
LC-0450-6																							
LC-0450-7	4.80	121.9	5.00	127.0	.045	1.13	11.5	5.18	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4			
LC-0450-8																							
LC-0450-9																							
LC-0450-10																							
LC-0450-11																							
LC-0450-12																							
LC-0450-13																							
LC-0450-14																							
LC-0510-1																							
LC-0510-2																							
LC-0510-3																							
LC-0510-4																							
LC-0510-5																							
LC-0510-6																							
LC-0510-7	4.80	121.9	5.00	127.0	.051	1.29	16.0	7.26	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4			
LC-0510-8																							
LC-0510-9																							
LC-0510-10																							
LC-0510-11																							
LC-0510-12																							
LC-0510-13																							
LC-0510-14																							
LC-0550-1																							
LC-0550-2																							
LC-0550-3																							
LC-0550-4																							
LC-0550-5																							
LC-0550-6																							
LC-0550-7	4.80	121.9	5.00	127.0	.055	1.39	20.0	9.07	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4			
LC-0550-8																							
LC-0550-9																							
LC-0550-10																							
LC-0550-11																							
LC-0550-12																							
LC-0550-13																							
LC-0550-14																							
LC-0590-1																							
LC-0590-2																							
LC-0590-3																							
LC-0590-4																							
LC-0590-5																							
LC-0590-6																							
LC-0590-7	4.80	121.9	5.00	127.0	.059	1.49	24.0	10.89	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4	1.00	25.4			
LC-0590-8																							
LC-0590-9																							
LC-0590-10																							
LC-0590-11																							
LC-0590-12																							
LC-0590-13																							
LC-0590-14																							

AVOID DELAY

WHEN ORDERING - PLEASE SPECIFY MUSIC OR STAINLESS STEEL

FOR PRICES FROM 10 TO 100 SEE PRICE INDEX - PAGE 3

AVOID DELAY

ตาราง จ. การหาความยาวช่วงชักของก้านสูบ ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบและภาระ

เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (D)		40	50	63	80	100	125	140	160	180	200	224	250
เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (d)		16	20	20	25	32	36	36	40	45	50	56	63
ภาระ (kgf)	20	2950	4610	4610									
	40	2060	3220	3220									
	60	1680	2630	2630	4110								
	80	1460	2260	2260	3570								
	100	1300	2040	2040	3190	5050							
	150	1070	1670	1670	2610	4140							
	200		1450	1450	2260	3580	4540	4540					
	250			1280	2010	3130	4000	4000	5150				
	300			1180	1850	2930	3600	3600	4720	5720	7300		
	350				1770	2730	3330	3330	4400	5370	6660		
	400				1590	2520	3120	3120	4070	5000	6500	8200	
	500				1430	2270	2800	2860	3660	4500	5600	7400	9200
	600					2070	2570	2570	3340	4080	5140	6600	8300
	700					1920	2400	2400	3090	3790	4780	6050	7600
	800					1760	2250	2250	2850	3540	4480	5650	7300
	900						2120	2120	2690	3350	4220	5350	6800
	1000						2010	2010	2360	3170	4000	5100	6500
	1500						1640	1640	2120	2590	3250	4150	5200
	2000								1870	2260	2840	3610	4500
	2500									2020	2500	3190	4000
	3000										2280	2870	3650
	3500										2110	2660	3370
	4000											2480	3160
	4500												2980
	5000												2820

D = เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (mm) , d = เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (mm)