

ชุดอุปกรณ์ควบคุมการปิด-เปิด การไหลของของไหลในท่อ

Mechanical Flow Control Meter



โดย
นาย โกวรthy สิริพัฒนานนท์
นาย จตุพงษ์ บุญประกอบ
นาย พาด คงมั่น
นาย มานพ มาสมทบ
อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. ชินรักษ์ เขียรพงษ์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **50151**
วัน,เดือน,ปี **2.1 เม.ย. 2547**

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิด การไหลของของไหลในท่อ

MECHANICAL FLOW CONTROL METER

ผู้จัดทำ

1. นาย โกวิทย์ ศิริพัฒนานนท์ รหัสประจำตัว 43015409
2. นาย จตุพงษ์ บุญประกอบ รหัสประจำตัว 43015410
3. นาย พาด คงมั่น รหัสประจำตัว 43015427
4. นาย มานพ มาสมทบ รหัสประจำตัว 43015431



(Handwritten signature)
(ผศ.ดร. ชินรัชย์ เขียวพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมการปิด-เปิดการไหลของของไหลในท่อ

นาย โกวิทช์ คีรีพัฒนานนท์

นาย จตุพงษ์ บุญประกอบ

นาย พาด คงมั่น

นาย มานพ มาสมทบ

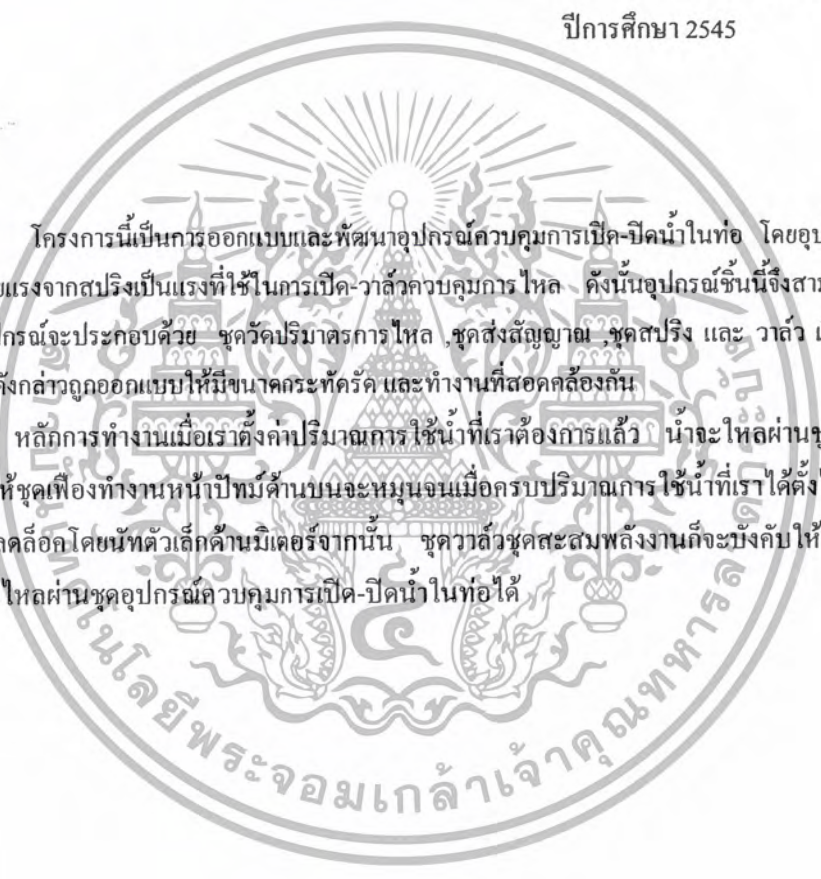
ศศ.ดร.ชินรัชย์ เขียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อ โดยอุปกรณ์นี้ทำงานได้ โดยอาศัยแรงจากสปริงเป็นแรงที่ใช้ในการเปิด-วาล์วควบคุมการไหล ดังนั้นอุปกรณ์ชิ้นนี้จึงสามารถติดตั้งได้ทุกที่ ชุดอุปกรณ์จะประกอบด้วย ชุดวัดปริมาตรการไหล ,ชุดส่งสัญญาณ ,ชุดสปริง และ วาล์ว เปิด-ปิด โดยชุดอุปกรณ์ดังกล่าวถูกออกแบบให้มีขนาดกระทัดรัด และทำงานที่สอดคล้องกัน

หลักการทำงานเมื่อเรารวบรวมค่าปริมาณการใช้น้ำที่เราต้องการแล้ว น้ำจะไหลผ่านชุดอุปกรณ์ไปใช้งานทำให้ชุดเฟืองทำงานหน้าปัดมีค่านับจะหมุนจนเมื่อครบปริมาณการใช้น้ำที่เราได้ตั้งไว้ ชุดกระเดื่องจะถูกปลดล็อกโดยนัทตัวเล็กค่านมิเตอร์จากนั้น ชุดวาล์วชุดสะสมพลังงานก็จะบังคับให้วาล์วปิดน้ำก็ไม่สามารถไหลผ่านชุดอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อได้



MECHANICAL FLOW CONTROL METER

Kowit Kireepattananon

Chatuphong Boonprakop

Pard Kongmun

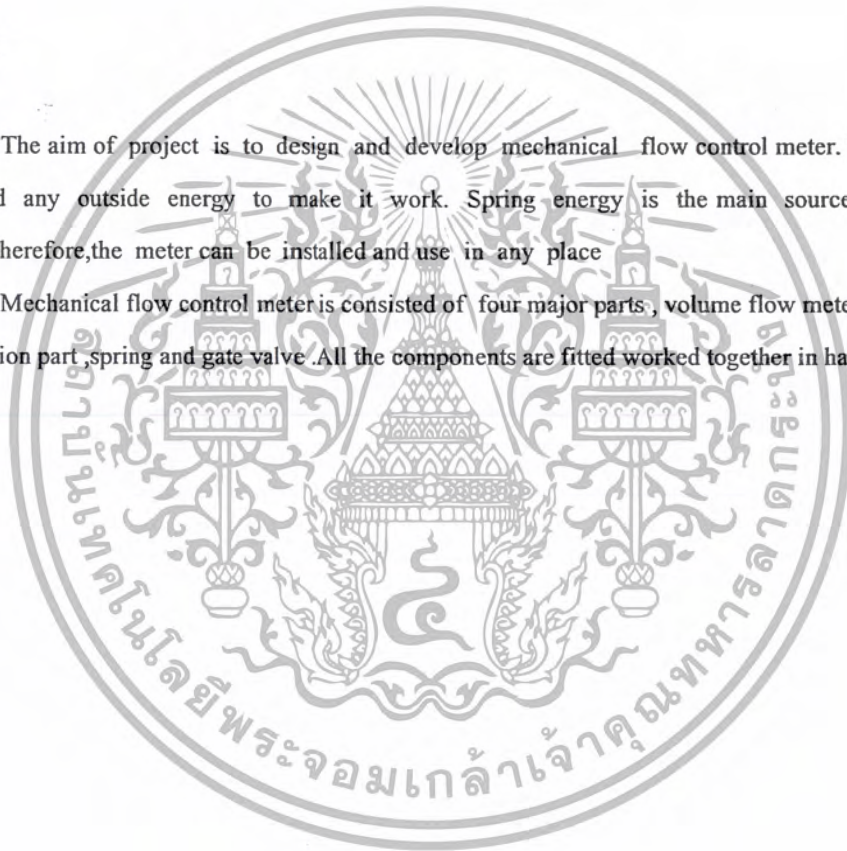
Manop Masomtop

Asst.Prof.Dr. Chinarak Thainpong

Abstract

The aim of project is to design and develop mechanical flow control meter. The meter does not need any outside energy to make it work. Spring energy is the main source of the meter energy. Therefore, the meter can be installed and use in any place

Mechanical flow control meter is consisted of four major parts , volume flow meter part ,signal transmittion part ,spring and gate valve .All the components are fitted worked together in handy case.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ก็เพราะได้รับความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.ชินรัช ธีรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมาซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยให้คำปรึกษา แนะนำ ตีติยจนได้ผลงานที่มีคุณภาพ ขอขอบคุณ พี่มณฑา เทียมเมือง และ พี่นริศดี ร่วมกระโทก เป็นผู้ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และการปฏิบัติภารกิจต่างๆในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้



นาย โกวิท ธีรพัฒนานนท์
นาย จตุพงษ์ บุญประกอบ
นาย พาด คงมั่น
นาย มานพ มาสมทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการไหลของของไหล	3
2.1 ชนิดการไหลของของไหล	3
2.2 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย	4
2.3 สมการความต่อเนื่อง	5
2.4 สมการพลังงาน	5
บทที่ 3 การไหลในท่อ	7
3.1 ค่าเรย์โนลด์	7
3.2 สมการทั่วไปสำหรับหาการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทาน	8
3.3 ค่าการสูญเสียในดัดและการสูญเสียรองสำหรับการไหลในท่อ	9
บทที่ 4 ระบบแรง	11
4.1 ภาระภายนอก	11
4.2 แรงจากน้ำหนักวัตถุ	12
4.3 ความเสียดทาน	13
บทที่ 5 เฟืองตรง	14
5.1 มาตรฐานการบอกขนาดของฟันเฟือง	14
5.2 ความเค้นในฟันเฟืองตรง	15
5.3 ความเค้นหนาแน่น	20
5.4 แรงพลวัต	21
บทที่ 6 สปรिंग	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้าที่
บทที่ 7 การคำนวณทางทฤษฎี	
7.1 แรงที่ใช้ในการบิดวาล์ว	28
7.2 แรงที่ใช้ในการกดกระดิ่ง	29
7.3 การคำนวณหาอัตราทดของฟันเฟือง	30
7.4 การคำนวณหาขนาดของเฟือง	30
7.5 การคำนวณหาแรงที่กระทำกับใบพัด	32
บทที่ 8 แบบและวิธีการสร้าง	34
8.1 ส่วนของควาล์ว	35
8.2 ส่วนของมิเตอร์	39
8.3 ส่วนของชุดส่งถ่ายกำลัง	49
บทที่ 9 หลักการทำงานและวิธีใช้	55
บทที่ 10 รูปและวิจารณ์ผลการทดลอง บรรณานุกรม	56



สัญลักษณ์คำย่อ

A	พื้นที่หน้าตัดของท่อ
b	ความหนาของใบพัด
c	ระยะจากแกนสะเทิน
D	ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ
d	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเฟือง
D_L	Hydraulic diameter
F_b	แรงกระทำที่ปลายฟันในแนวนอน
F_d	แรงพลวัต
F_n	แรงกระทำที่ปลายฟันในแนวตั้ง
F_t	แรงที่ส่งผ่านฟันเฟือง
F_r	แรงที่ทำกับ ใบพัด
g	อัตราความเร่งของโลก
h	ความสูงของใบพัด
h_L	พลังงานสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานของของไหลต่อหน่วยมวล
I	โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ
k	ค่าความแข็งตั้งของสปริง
K_b	ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น
k_e	ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียที่ทางเข้าของท่อ
K_f	ค่าตัวประกอบความหนาแน่นจริง
K_t	ค่าตัวประกอบความหนาแน่นทางทฤษฎี
K_v	ตัวประกอบความเร็ว
L	ความยาวของท่อ
M	โมเมนต์คัต
m	โมดูลของเฟือง
m	ค่าสัมประสิทธิ์ 5.963×10^6 (kg/m^3)
N	จำนวนของฟันเฟือง
n	จำนวนรอบของสปริง
n	ค่าสัมประสิทธิ์ 0.0015 m^2
N_s	ค่าความปลอดภัย
P	ความดันของน้ำที่จุดใดๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_d	ไดอะมิทรีลพิคซ์
Q	อัตราการไหลของของไหล
r	รัศมี
t	ความหนาของพื้นเฟือง
T_{valve}	แรงที่ใช้ปิดวาล์ว
U	พลังงานความเครียด
V	ความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่ง
W_p	กำลังงานที่ส่งผ่านเฟือง
Y_g, Y_p	ค่าตัวประกอบของลูอิส
Z	ระยะจากระดับอ้างอิง
ΣF_x	ผลรวมของแรงในแนวแกน x
ΣF_y	ผลรวมของแรงในแนวแกน y
ΣF_z	ผลรวมของแรงในแนวแกน z
ρ	ความหนาแน่นของของไหล
μ	ความหนืดของของไหล
τ_o	ความเค้นเฉือนที่ผนังภายในท่อ
σ	ค่าความเค้นของพื้นเฟือง
θ	มุมบิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากในภาวะปัจจุบัน น้ำเป็นสิ่งที่มีค่าเป็นอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของผู้คน หรือในทุกๆครัวเรือน ซึ่งหน่วยงานที่ให้บริการน้ำนั้น จะเก็บค่าบริการน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้น้ำ ดังนั้นตรงจุดนี้จึงทำให้มีมิเตอร์วัดการไหลของน้ำเข้ามาใช้ ในทุกๆแห่งที่มีการใช้น้ำหน่วยงานที่ให้บริการ แต่เนื่องจากความต้องการการใช้น้ำของแต่ละครัวเรือนมีไม่เท่ากันหรืออาจต้องใช้น้ำในปริมาณที่จำกัดในแต่ละครั้ง ซึ่งเนื่องจากสาเหตุนี้และความจำเป็นในลักษณะต่างๆ ของแต่ละครัวเรือน ซึ่งในปัจจุบันบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จะมีถังเก็บน้ำประปาอยู่ใต้ดินแล้วติดตั้งปั๊มสูบน้ำประปาขึ้นมาใช้ ในครัวเรือนระบบควบคุมการไหลของน้ำประปาในระบบถังเก็บน้ำใต้ดินจะเป็นระบบลูกลอยซึ่งจะมีข้อเสียคือไม่ทนทาน ต้องการการดูแลรักษาบ่อย ๆ เช่น ลูกลอย หรือซีลยาง อีกทั้งระบบลูกลอยจะต้องติดตั้งอยู่ในถังเก็บ หรืออยู่เหนือระดับน้ำ จึงทำให้ยากในการที่ผู้ใช้งานทำการบำรุงรักษา ดังนั้นเมื่อลูกลอยเสียจะทำให้ น้ำประปาไหลล้นออกมาซึ่งอาจจะซึมลงไปใต้ดินที่อยู่อาศัยไม่อาจรู้ได้จนกว่าจะจ่ายค่าน้ำประปาที่สูงกว่าปกติตอนตื่นตอนดั้นดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เกิดขึ้น โดยการทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัววัดปริมาณการไหลของน้ำประปา และจะเปิดการไหลของน้ำประปาทันทีเมื่อปริมาณน้ำไหลครบตามปริมาตรที่ตั้งไว้ อุปกรณ์นี้จะใช้พลังงานจากลานสปริง ดังนั้นอุปกรณ์จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานจากไฟฟ้าหรือพลังงานจากแหล่งพลังงานภายนอกมากระตุ้นให้เกิดการทำงาน อีกทั้งค่าใช้จ่ายในการผลิตยังต่ำกว่าแบบไฟฟ้าอีกด้วย

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อ ซึ่งสามารถควบคุมการใช้น้ำตามปริมาณที่เราได้ตั้งค่าไว้ โดยอุปกรณ์จะไม่ใช้กำลังงานจากภายนอก เช่น ลม ไฟฟ้า แสงแดด เป็นต้น ขณะที่ในท้องตลาดจะมีชุดอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิด น้ำในท่ออยู่แล้วแต่เป็นการใช้สัญญาณไฟฟ้าควบคุมทำให้มีมูลค่าต้นทุนการผลิตที่สูง ดังนั้นจึงทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ชิ้นนี้ขึ้นมา

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ลดการสูญเสียของน้ำประปา
- ได้รับผลิตภัณฑ์แนวความคิดใหม่เกิดขึ้นในท้องตลาด
- ส่งเสริมงานวิจัยในเชิงวิศวกรรมในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ร่างรูปแบบอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการทำอุปกรณ์
2. คำนวณในทางทฤษฎีของอุปกรณ์ต่างที่จะนำมาใช้
3. สืบรวจและหาจากท้องตลาดที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับงาน
4. ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาก่อนจะเลือกอุปกรณ์
5. เลือกอุปกรณ์บางส่วนที่มีอยู่ในท้องตลาดมาใช้
 - Flow meter ทั่วไป
 - ชุดสะสมพลังงาน(ชุดสปริง)
 - ชุดเฟือง
 - ชุดเฟืองหมุนทางเดียว
6. สร้างชิ้นงานที่ไม่สามารถหาได้จากท้องตลาด
 - ชุดโครงสร้างเรือนวาล์วและวาล์ว
 - ชุดกระเดื่องที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลัง
 - แผ่นสำหรับวางตำแหน่งเฟืองทด
 - แผ่นสำหรับเป็นตัวกวดกระเดื่อง
7. นำอุปกรณ์มาดัดแปลงเพื่อที่จะประยุกต์ประกอบเข้าด้วยกัน
8. ทำการทดลองระบบกลไกการทำงาน
9. ทำการตรวจเช็คว่ามีรอยร้าวหรือไม่
10. ทำการปรับแต่งความเที่ยงตรงจนอยู่ในค่าที่ยอมรับได้
11. สรุปผลการทดสอบและทำปริญญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการไหลของของไหล

2.1 ชนิดการไหลของของไหล

ชนิดการของของไหลมีการแบ่งอยู่หลายลักษณะดังต่อไปนี้

การไหลแบบคงตัวและการไหลแบบไม่คงตัว

- 1) การไหลแบบเอกภาพและการไหลแบบเอนกภาพ
- 2) การไหลแบบทิศทางเดียว สองทิศทาง และสามทิศทาง
- 3) การไหลแบบหมุนวนและการไหลแบบไม่หมุนวน
- 4) การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

การไหลแบบคงตัว (Steady flow) การไหลจะคงตัวก็ต่อเมื่อของไหลนั้นมีคุณลักษณะต่างๆ เช่น ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่นและอื่นๆ ที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ไหลผ่านท่อทางในอัตราการไหลที่คงที่

การไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady flow) การไหลจะไม่คงตัวก็ต่อเมื่อคุณลักษณะของของไหลตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งหมดขณะที่เกิดการเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่จุดต่างๆ ในของไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลผ่านท่อที่อัตราการไหลไม่คงที่

การไหลแบบเอกภาพ (Uniform flow) ขณะที่ความเร็วในการไหลของของไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในของไหล เช่น การไหลของของเหลวภายใต้ความดัน ที่ไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่

การไหลแบบเอนกภาพ (Non-uniform flow) ความเร็วของการไหลของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในของไหล เช่น การไหลของของเหลวภายใต้ความดันที่ไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่คงที่

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) การไหลของของไหลที่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปเป็นแผ่นบางๆ ไม่ปะปนกัน โดยที่ชั้นของของไหลจะไม่แตกกระจาย และจะเคลื่อนที่ในแนวขนานเป็นชั้นๆ ไม่ปะปนกัน โดยที่ชั้นของของไหลแต่ละชั้นจะเคลื่อนที่อย่างมีระเบียบราบเรียบ การไหลแบบราบเรียบเกิดจากความหนืดของของไหลที่ไหลเป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน ($\tau = \mu dy / dx$)

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) การไหลส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Turbulent แทบทั้งสิ้น การไหลของของไหลซึ่งในขณะที่ไหลนั้น อนุภาคของของไหลเคลื่อนตัวแบบไม่เป็นระเบียบ และมีการหมุนวนปั่นป่วนขณะไหลในระหว่างชั้นของของไหลอย่างรวดเร็วตลอดเวลา ความเร็วในการไหลจะมีค่าสูง

2.2 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย (Flow rate and mean velocity)

อัตราการไหล (Flow rate) คือ ปริมาณของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ความเร็วเฉลี่ย (Mean velocity) เนื่องจากของไหลมีความหนืด ขณะไหลจึงมีความเสียดทานและความเค้นเฉือนเกิดขึ้นได้เสมอ จึงทำให้ความเร็วของของไหลตลอดพื้นที่หน้าตัดมีค่าไม่เท่ากัน เช่นของไหลที่ผ่านท่อกลม ที่บริเวณกึ่งกลางท่อจะมีความเร็วสูงสุด และบริเวณผนังท่อมีความเร็วต่ำมากซึ่งอาจจะมีค่าเป็นศูนย์ได้ ดังนั้นการนำความเร็วของของไหลไปคำนวณย่อมมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก จึงได้มีการกำหนดความเร็วเฉลี่ยขึ้นเพื่อนำไปใช้กับสมการต่างๆ ได้ ความเร็วเฉลี่ยอาจจะหาได้จากสมการ

$$V = \frac{1}{A} \int v dA \quad (2.1)$$

โดย V คือ ความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่ง

Q คือ อัตราการไหลของของไหล

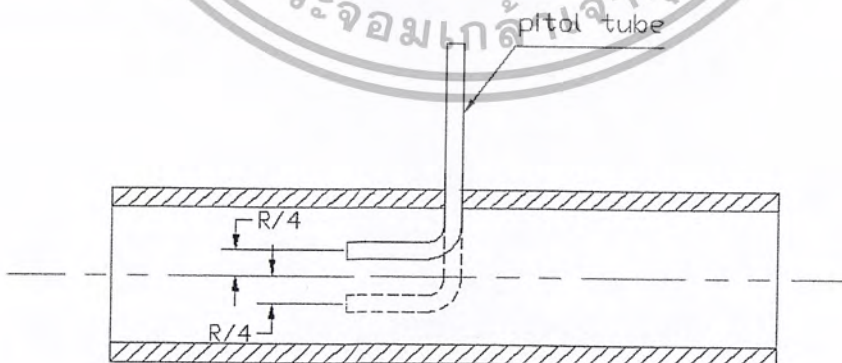
A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

อัตราการไหล มีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยดังนี้

$$Q = \int v dA = AV \quad (2.2)$$

ถ้ารู้ค่าอัตราการไหลแล้วหาค่าความเร็วเฉลี่ยได้โดยตรง

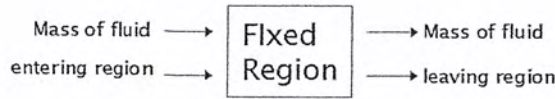
ในทางปฏิบัตินั้นจะหาค่าความเร็วเฉลี่ย โดยจะวัดขึ้นไปจากแกนท่อเป็นระยะ $R/4$ และวัดลงมาจากแกนท่อเป็นระยะ $R/4$ และนำทั้งสองค่าที่ได้มาทำการเฉลี่ย



รูปที่ 2.1 แสดงตำแหน่งการหาความเร็วเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สมการต่อเนื่อง (Equation of continuity)



รูปที่ 2.2 แสดงมวลของไหลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนด

สสารไม่สามารถสร้างขึ้นเองหรือถูกทำลายได้ ดังนั้นอัตราการไหลที่มวลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนด จะเท่ากับอัตราการไหลที่มวลไหลออกจากขอบเขตที่กำหนดรวมกับอัตรา Accumulation ของมวลในขอบเขต นั้น ถ้าการไหลเป็นแบบ Steady (ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา) แล้วอัตราการไหลที่มวลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนด จะเท่ากับอัตราการไหลที่มวลไหลออกจากขอบเขตที่กำหนด

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \quad (2.3)$$

โดย v_1, v_2 เป็นความเร็วของของไหล (m/s)
 ρ เป็นความหนาแน่นของของไหล (kg/m³)
 A เป็นพื้นที่หน้าตัดของท่อทางไหลในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล (m²)

2.4 Energy's Equation

สมการพลังงานจะถูกนำไปใช้กับการไหลของของไหล เมื่อของไหลเคลื่อนที่ที่จะมีพลังงานต่างๆเกิดขึ้นด้วย เช่น พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์ปัญหาของของไหลที่เคลื่อนที่อาจทำได้โดยใช้หลักในการพิจารณาต่างๆดังนี้

- 1) Principle of conservation of mass
- 2) Principle of conservation of energy
- 3) Principle of conservation of momentum

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + (u_2 - u_1) - Q_H - h_m \quad (2.4)$$

สมการนี้สามารถใช้ได้ทั้งของเหลว ก๊าซ และไอ แต่ต้องเป็นการไหลแบบคงตัว ในการไหลแบบปั่นป่วนค่า α จะมีค่าเข้าใกล้ 1 มาก เพื่อความสะดวกจึงสมมติให้มีค่าเป็น 1 และถ้าไม่มีเครื่องจักรระหว่างหน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 เทอมของ h_m สามารถตัดทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_L \quad (2.5)$$

โดย h_L คือ พลังงานสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานของของไหลต่อหน่วยมวล(m)

$$h_L = (u_2 - u_1) - Q_H \quad (2.6)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การไหลในท่อ

ท่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขนส่งของไหลภายใต้ความดัน ตามปกติท่อที่ใช้จะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม เนื่องจากของไหลในท่อมักมีความดัน ดังนั้นการไหลจึงมักเป็นแบบไหลเต็มท่อและมีการไหลเป็นแบบคงตัว การไหลในท่ออาจเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) หรือแบบปั่นป่วน (Turbulence) โดยการไหลในแต่ละแบบจะมีลักษณะและวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไป ปัญหาที่เกี่ยวกับการไหลในท่อมักจะอาศัยหลักการของพลังงาน สมการความต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียพลังงานของของไหลเมื่อมีการไหลผ่านท่อข้อต่อต่างๆของท่อ ข้องอ และวาล์วที่ใช้บังคับการไหลอีกด้วย

3.1 Reynolds Number

ค่า Reynolds Number เป็นค่าที่จะระบุได้ว่าการไหลในท่อมักจะเป็นการแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และความหนาแน่นของของไหล การที่จะบ่งบอกได้ว่าเป็นการไหลแบบ Laminar Flow หรือ Turbulent Flow จะพิจารณาที่ค่านี้ โดยถ้าค่า Reynolds Number อยู่ในช่วง 0 ถึง 2300 จะเป็นย่าน Laminar Flow แต่ถ้าในช่วง 2300 ถึง 4000 จะเป็นย่านวิกฤต (Critical Zone) ซึ่งมีการไหลทั้งสองแบบผสมกัน และถ้า Reynolds Number อยู่ในช่วงที่มากกว่า 4000 จะอยู่ในย่าน Turbulent Flow

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3.1)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)
 V คือ ความเร็วในการไหล (m/s)
 D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกลม (m)
 μ คือ ความหนืดของของไหล ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$)

แต่ถ้าท่อไม่ใช่หน้าตัดวงกลม ($D = D_h$)

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (3.2)$$

D_h คือ hydraulic diameter (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A คือ พื้นที่หน้าตัด(m^2)

P คือ the wetted perimeter of pipe(m)

สำหรับ Rectangular duct ที่มีความยาวแต่ละด้านเป็น b และ h

$$D_h = \frac{2bh}{b+h} \quad (3.3)$$

สำหรับท่อกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D

$$D_h = D \quad (3.4)$$

3.2 สมการทั่วไปสำหรับหาการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทาน (General equation for conduit friction)

สมการทั่วไปนี้สามารถใช้ได้ทั้งในกรณีของไหลที่มีการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน



รูปที่ 3.1 แสดงการไหลแบบ steady Incompressible Flow

โดย P คือ the wetted perimeter of pipe

P_1 คือ ความดันที่หน้าตัด 1

P_2 คือ ความดันที่หน้าตัด 2

L คือ ความยาวท่อ

τ_0 คือ ความเค้นเฉือนที่ผนังภายในท่อ

A คือ พื้นที่หน้าตัดภายในท่อที่มีขนาดสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 ที่สภาพสมดุลในการไหลแบบคงตัว ผลรวมของแรงที่กระทำกับของไหลมีค่าเท่ากับ ศูนย์

$$P_1A_1 - P_2A_2 - \gamma LA \sin \alpha - \tau_o PL = 0 \quad (3.5)$$

เนื่องจาก $\sin \alpha = \frac{(z_2 - z_1)}{L}$ และหารสมการในแต่ละเทอมด้วย A และจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} - Z_2 + Z_1 = \frac{\tau_o PL}{\gamma A} \quad (3.6)$$

3.3 ค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองสำหรับการไหลในท่อ

เมื่อของไหลไหลในท่อจะเกิดความต้านทานในการไหลขึ้นเสมอ ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียพลังงานของของไหลขึ้น ซึ่งการสูญเสียพลังงานนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การสูญเสียหลัก(Minor loss)และการสูญเสียรอง(Minor loss)

3.3.1 การสูญเสียหลัก (Major loss) ที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อเป็นผลมาจากความเสียดทานนั้น ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ โดยใช้สมการของDarcy-Weisbach ส่วนเหตุที่จัดให้การสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานในท่อเป็นการสูญเสียหลักนั้น เพราะในกรณีที่มีความยาวมากๆ การสูญเสียแบบนี้จะเกิดขึ้นมากเมื่อเทียบกับการเสียดด้วยเหตุอื่นๆ

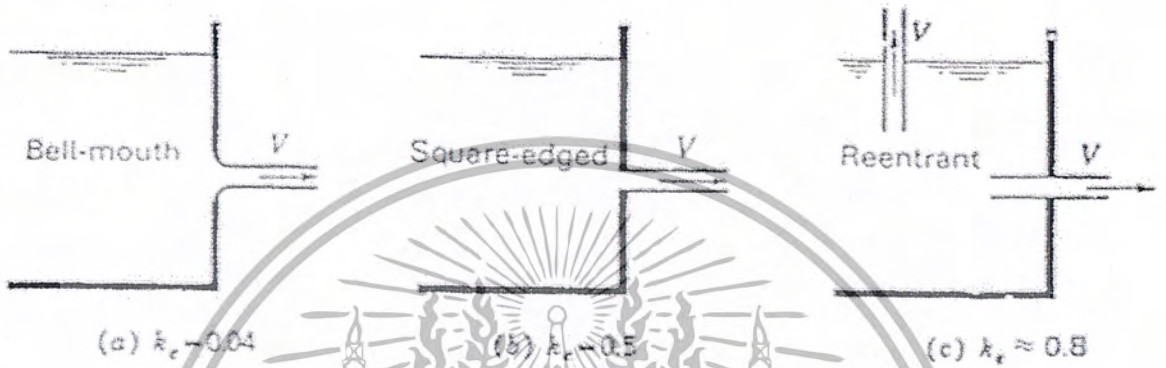
3.3.2 การสูญเสียรอง(Minor loss) คือการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหล ไม่ว่าจะเป็นขนาดหรือทิศทางความเร็ว หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการสูญเสียพลังงานที่มีผลมาจากพลังงานจลน์ หรือเสดความเร็วเปลี่ยนแปลงไปเมื่อไหลผ่านข้ออ, ข้อเพิ่ม หรือลดขนาด การไหลผ่านวาล์วต่างๆ เป็นต้นในกรณีที่ท่อยาวมาก การสูญเสียรองนี้จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียอันเกิดจากความเสียดทาน ซึ่งอาจจะไม่ต้องนำมาคิดการสูญเสียก็ได้ ดังนั้นสมการที่ใช้หาค่าการสูญเสียรอง จึงอยู่ในรูปของเสดความเร็ว ($\frac{v^2}{2g}$) คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย เขียนเป็นสมการได้คือ

$$h = k \frac{v^2}{2g} \quad (3.7)$$

โดย k คือค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะขึ้นอยู่กับลักษณะช่องทางที่ของไหลผ่านซึ่งมีค่าต่างดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียที่ทางเข้าท่อ (loss of head at entrance) จากรูปที่ 3.2 จะแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่บริเวณปากทางเข้า (k_e) ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าถ้าเราทำบริเวณปากทางเข้าให้มีลักษณะเป็น Bell-mouth นั้น จะทำให้ค่าการสูญเสียมีค่าน้อยสุด เนื่องจากจะไม่บีบตัวเข้าหากัน (Contraction of stream) เพื่อไหลเข้าท่อและค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียมีค่าน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ระบบแรง

4. การสมดุลของวัตถุ (Equilibrium of a Deformation Body)

ภาระ (load) ที่กระทำต่อวัตถุแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

4.1 ภาระภายนอก (External load)

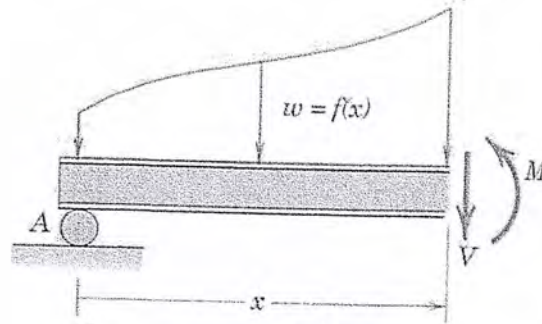
มีความแตกต่างกันหลายรูปแบบสำหรับภาระภายนอก ซึ่งเราจะแบ่งตามแรงที่กระทำต่อผิวของวัตถุ (Surface Force) และแรงที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุ (body force) แรงที่กระทำต่อวัตถุ

เป็นแรงที่กระทำต่อผิวสัมผัส โดยกระจายอยู่บนพื้นที่สัมผัสระหว่างวัตถุ (Surface Force) จากรูป 4.1 พื้นที่นั้นเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของวัตถุและแรงที่กระทำต่อผิววัตถุนี้สามารถที่จะกำหนด หรือ แทนด้วยแรงรวมจุดเดียวได้ (Concentrated Force Idealization) ซึ่งเรากำหนดให้เป็นดังรูป 4.1 สำหรับตัวอย่าง เช่น รถจักรยานสองล้อ เมื่อศึกษาถึงภาระ (loading) บนรถจักรยาน แรงที่กระทำต่อพื้นผิวของล้อเป็นพื้นที่ความยาวแคบๆ (Long and Narrow Area) อาจจะเป็นภาระ (Load) ที่กระจายเป็นเส้นตรงก็ได้ (A linear distributed Load, $W(S)$) ในที่นี้ loading ถูกวัดออกมาเป็นความเข้มของแรงต่อความยาว (intensity of Force / Length) ตลอดพื้นที่ และถูกแทนด้วยกราฟต่อกันด้วยสัญลักษณ์ยาวตลอดเส้น S ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 แรงกระทำที่ผิว

การกระทำของภาระ ตลอดความยาวของคาน (Beam) เป็นตัวอย่างอีกตัวอย่างในเรื่องนี้ซึ่งภาระนี้ถูกแทนด้วยแรงลัพธ์ตลอดความยาวของเส้น S ดังรูป 4.2 แรงลัพธ์นี้จะสมดุลต่อพื้นที่ภายใต้แรงกระจาย (Distributed Loading Curve) และลัพธ์นี้จะกระทำที่จุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่



รูปที่ 4.2 แสดงแรงกระทำที่ผิววัตถุ

4.2 แรงจากน้ำหนักวัตถุ (Body Force)

เกิดขึ้นเมื่อวัตถุหนึ่งใช้แรงกระทำกับอีกวัตถุหนึ่ง โดยวัตถุนั้นปราศจากการติดต่อกันโดยตรงระหว่างวัตถุตัวอย่างก็คือ ผลของแรงดึงดูดของโลกหรืออำนาจสนามแม่เหล็กถึงแม้ว่าแรงของวัตถุจะมีผลต่ออนุภาค (Particle) เล็ก ๆ ของส่วนประกอบวัตถุแรงเหล่านี้จะถูกแทนด้วยแรงๆ เดียว (Single Concentrated Force) ที่กระทำต่อวัตถุในกรณีของแรงดึงดูดของโลก เราเรียกว่า น้ำหนักของวัตถุ โดยกระทำผ่านจุดศูนย์กลางมวล ปฏิกริยารองรับ (Support Reaction)

แรงที่พื้นผิว (Surface Force) จะถูกกำหนดเป็นจุดรองรับ (Support) ระหว่างวัตถุซึ่งถูกเรียกว่าแรงปฏิกริยา (Reaction) สำหรับโวกษ์ 2 มิติ เช่นวัตถุอยู่บนผิวราบ (Coplaner) ดูแรงปฏิกริยาได้จากตาราง 4.1

MODELING THE ACTION OF FORCES IN TWO-DIMENSIONAL ANALYSIS		MODELING THE ACTION OF FORCES IN TWO-DIMENSIONAL ANALYSIS (cont.)	
Type of Contact and Force Origin	Action on Body to be Isolated	Type of Contact and Force Origin	Action on Body to be Isolated
1. Flexible cable, belt, chain, or rope Weight of cable negligible Weight of cable not negligible	<p>Force exerted by a flexible cable is always a tension away from the body in the direction of the cable.</p>	6. Pin connection 	Pin free to turn Pin not free to turn <p>A freely hinged pin connection is capable of supporting a force in any direction in the plane normal to the axis; usually shown as two components R_x and R_y. A pin not free to turn may also support a couple M.</p>
2. Smooth surfaces	<p>Contact force is compressive and is normal to the surface.</p>	7. Built-in or fixed support 	<p>A built-in or fixed support is capable of supporting an axial force F; a transverse force V (shear force), and a couple M (bending moment) to prevent rotation.</p>
3. Rough surfaces	<p>Rough surfaces are capable of supporting a tangential component F (frictional force) as well as a normal component N of the resultant contact force R.</p>	8. Gravitational attraction	<p>The resultant of gravitational attraction on all elements of a body of mass m is the weight $W = mg$ and acts toward the center of the earth through the center mass G.</p>
4. Roller support	<p>Roller, rocker, or ball support transmits a compressive force normal to the supporting surface.</p>	9. Spring action	<p>Spring force is tensile if spring is stretched and compressive if compressed. For a linearly elastic spring the stiffness k is the force required to deform the spring a unit distance.</p>
5. Freely sliding guide	<p>Collar or slider free to move along smooth guides; can support force normal to guide only.</p>	Linear: $F = kx$ Nonlinear: Hardening, Softening 	

ตารางที่ 4-1 แสดงการใช้สัญลักษณ์แทนจุดรองรับและประเภทของแรงปฏิกริยาที่ถูกใช้กับโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สมการการสมดุล (Equation of Equilibrium)

ในการแก้ปัญหาโจทย์เกี่ยวกับภาระหรือ load ในทางวิศวกรรม จะใช้หลักการสมดุล ซึ่งมี 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การสมดุลของแรง : วัตถุจะอยู่ที่ต่อเมื่อ
 - ผลรวมของแรงในแนวแกนมีค่าเป็นศูนย์ ($\sum F = 0$)
2. การสมดุลของโมเมนต์ : โมเมนต์จะสมดุลก็ต่อเมื่อ
 - ผลรวมของโมเมนต์รอบจุดหมุนของแกนมีค่าเป็นศูนย์ ($\sum M = 0$)

ในการคิดค่าภาระของวัตถุใน 3 แกน เราจะใช้การสมดุลของแรงและโมเมนต์ดังนี้

- ผลรวมของแรงในแนวแกน $X = 0$ ($\sum F_x = 0$)
- ผลรวมของแรงในแนวแกน $Y = 0$ ($\sum F_y = 0$)
- ผลรวมของแรงในแนวแกน $Z = 0$ ($\sum F_z = 0$)
- ผลรวมของโมเมนต์รอบแกน $X = 0$ ($\sum M_x = 0$)
- ผลรวมของโมเมนต์รอบแกน $Y = 0$ ($\sum M_y = 0$)
- ผลรวมของโมเมนต์รอบแกน $Z = 0$ ($\sum M_z = 0$)

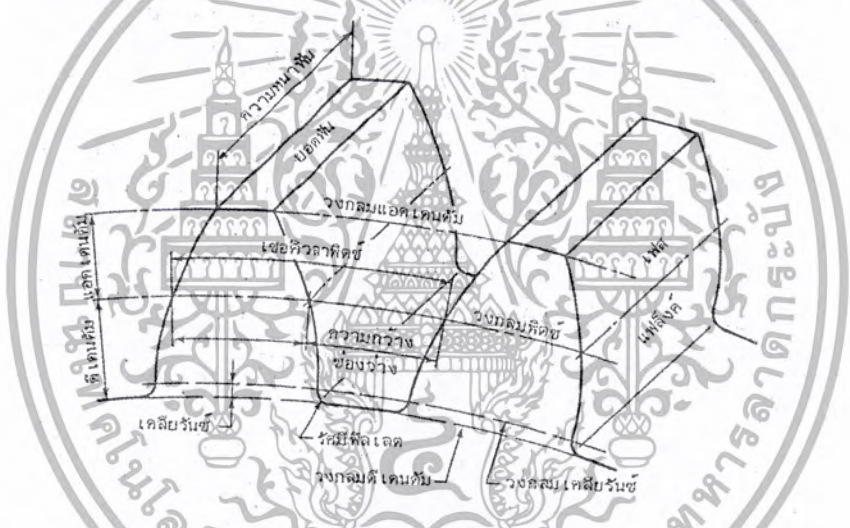
ในทางปฏิบัติภาระหรือโหลด (Loading) บนวัตถุสามารถแทนด้วย Coplanar Force และใช้การสมดุลสเกลาร์ ดังนี้

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0 \quad (4.1)$$

ในที่นี้จุด 0 เป็นจุด Origin of Coordinates โมเมนต์จะหมุนรอบแกน Z การนำสมการการสมดุลไปใช้งานต้องเขียนไดอะแกรมรูปอิสระ (Free Body Diagram) ก่อนการหาแรงหรือภาระภายในที่กระทำ

บทที่ 5 เฟืองตรง

เฟืองตรง (spur gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป โดยใช้ทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึงที่ขนานกันส่วนมากเฟืองขับ (driving gears) จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (driven gears) และมีชื่อเรียกพิเศษว่า พิเนียน (pinion) ส่วนเฟืองใหญ่เรียกว่าเฟือง แต่การใช้งานบางโอกาสก็อาจใช้เฟืองใหญ่ขับเคลื่อนก็ได้ เนื่องจากว่าเฟืองที่ผลิต และใช้คู่กัน ในปัจจุบันนี้ยังคงใช้ระบบหน่วยอังกฤษอยู่เป็นส่วนมาก ซึ่งก็จำเป็นต่อการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรที่ชำรุดเสียหาย ฉะนั้นเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษก็ยังคงผลิตออกมาอีกเป็นเวลานาน ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบหรือการเลือกขนาดเฟืองทั้งในระบบหน่วยอังกฤษและระบบหน่วย เอสไอ (SI) ควบคู่กันไป



รูปที่ 5.1 การเรียกชื่อส่วนของฟันเฟือง

5.1 มาตรฐานการบอกขนาดของฟันเฟือง

ตามที่ได้อธิบายมาแล้วว่า คำนี้สำหรับบอกขนาดของฟันเฟือง อาจจะบอกเป็นพิตซ์ในระบบหน่วยอังกฤษ หรือบอกเป็น โมดูลในระบบหน่วยเอสไอ จากคำจำกัดความที่ผ่านมาจะได้ว่า

ไดอะมิทริลพิตซ์ $P = \frac{N}{d}$ โดยที่ d มีหน่วยเป็น in (5.1)

โมดูล $m = \frac{d}{N}$ โดยที่ d มีหน่วยเป็น mm (5.2)

และเซอควิลลาพิตซ์ $p = \frac{\pi d}{N} = \pi m$ (5.3)

ดังนั้น $Pp = \pi$ (5.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูล m,mm	โมดูล m,mm	โมดูล m,mm	ไดอะมิตรัลพิทช์ P, in^{-1} .	ไดอะมิตรัลพิทช์ P, in^{-1} .	ไดอะมิตรัลพิทช์ P, in^{-1} .
1	4	16	20	5	1.25
1.25	5	20	16	4	1
1.5	6	25	12	3	0.75
2.	8	32	10	2.5	0.625
2.5	10	40	8	2	0.5
3	12	50	6	1.5	

ตาราง 5.1 ขนาดเพื่องมาตรฐาน

5.2 ความเค้นในฟันเพื่องตรง

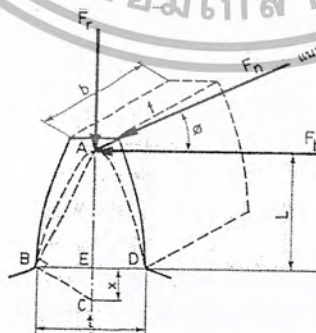
การออกแบบเพื่องเป็นปัญหาที่ค่อนข้างยาก ทั้งนี้เพราะการออกแบบขั้นต้นต้องกระทำใช้การทดลอง การออกแบบขนาดของฟันเพื่องมีอยู่หลายวิธี ที่จะกล่าวต่อไปนี้คือ การใช้สมการของลูอิส (Lewis)

ลูอิสได้หาสมการสำหรับการคำนวณขนาดของเพื่อง โดยสมมติให้ฟันเพื่องมีลักษณะเป็นคานยื่น (cantilever beam) และรับแรงดังรูป 5.1 ถ้าคิดให้แรงกระทำที่ปลายฟัน แรงฟัน F_n จะตั้งฉากกับผิวของฟันไปตามแนวแรงกด ซึ่งสามารถแยกออกเป็นสองแรงตั้งฉากกันคือ F_b และ F_t สมมติให้แรงนี้กระจายออกไปสม่ำเสมอตลอดความหนาของฟัน b และให้คำนวณหาความเค้นแรงของฟัน โดยที่ไม่คิดแรงกดในแนวรัศมี F_r จากสมการความเค้นในคาน

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{(F_b L)(t/2)}{bt^3/12} = \frac{6F_b L}{bt^2}$$

หรือ

$$F_b = \frac{\sigma bt^2}{6L} \tag{5.5}$$



รูปที่ 5.2 ตัวประกอบเรขาคณิตที่ใช้หาตัวประกอบรูปแบบของลูอิส

ในการออกแบบคานที่ดี ความเค้นควรจะเท่ากันตลอดทุกหน้าตัดของคาน ถ้าให้ฟันในรูป 5.2 มีความเค้นคงที่ ($\sigma = \text{ค่าคงที่}$) และเนื่องจากความหนาของเฟือง b เท่ากันตลอด ดังนั้นสมการ (5.5) จะเขียนได้เป็น

$$L = (\text{ค่าคงที่})(t^2) \quad (5.6)$$

จากสมการ (5.6) จะเห็นได้ว่า ฟันเฟืองจะต้องมีรูปร่างเป็นพาราโบลา ดังเส้นประในรูป 5.2 แต่ในเฟืองอินโวลูตเนื้อโลหะจะเพิ่มขึ้นจากรูปพาราโบลาดังในรูป ดังนั้นในฟันเฟืองที่ใช้งานอยู่จริง ความเค้นสูงสุดจะเกิดขึ้นที่หน้าตัด BDE

จากรูปสามเหลี่ยมคล้าย ABE และ BCE จะได้ว่า

$$\frac{x}{t/2} = \frac{t/2}{L} \text{ หรือ } L = \frac{t^2}{4x}$$

เมื่อแทนค่า L นี้ลงในสมการ (5.5) จะได้ว่า

$$F_b = \sigma b \left[\frac{2x}{3p} \right] p$$

โดยที่ p เป็นเลขควิลาร์พิทซ์ และค่า $\left[\frac{2x}{3p} \right]$ เรียก ตัวตัวประกอบรูปแบบของลูอิส (Lewis form factor) ใช้แทนด้วย y จึงทำให้เขียนสมการได้เป็น

$$F_b = \sigma b y p \quad (5.7)$$

เนื่องจากเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษใช้บอกด้วยไดอะมิทรีลพิทซ์ P_d ซึ่ง $p = \pi / P_d$ ดังนั้นสมการ (5.7) จึงเขียนได้เป็น

$$F_b = \frac{\sigma b Y}{P} \quad (5.8)$$

โดยที่ $y = \pi y$ เป็นตัวประกอบรูปแบบของลูอิสเช่นกัน

สำหรับในระบบหน่วยเอสไอ ใช้บอกขนาดของเฟืองด้วย โมดูล ดังนั้น

$$F_b = \sigma b Y m \quad (5.9)$$

ค่า y และ Y นี้สามารถหาได้โดยการคำนวณรูปร่างของฟันเฟืองและหาค่าได้จากตาราง 5.2

เนื่องจากแรงที่กระทำกับฟันเฟืองเป็นแบบกระทำซ้ำกัน และมีความถี่ตามความเร็วของเฟือง ดังนั้นเฟืองจึงแตกร้าวโดยผลจากความล้า (fatigue) เสียส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นค่าความเค้นใช้งาน σ ในสมการ (5.7), (5.8) และ (5.9) จึงต้องเป็นความต้านแรงทนทาน (endurance strength) ดังในตาราง 5.3 ซึ่งแสดงค่าความเค้นใช้งานสำหรับวัสดุชนิดต่างๆ ที่ใช้ทำเฟือง

ในทางปฏิบัติมักจะออกแบบเฟืองให้มีอัตราขยายอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 1.6 ดังนั้นในขณะที่แรงที่กระทำอยู่ที่ปลายฟันเฟืองฟันหนึ่งฟันคู่ถัดไปก็ยังสัมผัสกันอยู่ ฉะนั้นแรงทั้งหมดจึงมิได้กระทำที่ปลายฟันเพราะมีฟันคู่อื่นช่วยรับแรงอยู่ด้วย ในขณะที่เฟืองหมุนไปแรงที่ปลายฟันจะค่อยๆ เคลื่อนลงมาจนเกือบถึงกลางฟันฟันอีกคู่หนึ่งจึงผละออกจากกัน ด้วยเหตุนี้เองแรงทั้งหมดจึงกระทำต่อฟันเฟืองใกล้กับกลางฟัน (ยกเว้นในกรณีที่ $m_c \leq 1$) จากการทำงานของฟันเฟืองดังกล่าวมานี้ทำให้ไม่สามารถที่จะตัดสินลงไปได้ว่า เมื่อใดค่าความเค้นในฟันเฟืองมากที่สุด สำหรับการออกแบบเฟืองเพื่อใช้งานทั่วไปแล้ว มักสมมติให้แรงทั้งหมดกระทำที่ปลายฟัน ส่วนชิ้นงานที่ต้องคำนึงถึงขนาดและน้ำหนักเป็นสิ่งสำคัญแล้วมักจะใช้การคำนวณโดยคิดให้แรงกระทำใกล้กับกลางฟันเฟือง

ตามทฤษฎีการคำนวณหาขนาดฟันเฟืองดังกล่าวมาแล้ว ได้ตัดทิ้งแรง F_r ในรูป 5.2 ที่กดฟันอยู่ แรงที่กดฟันอยู่ แรงนี้จะทำให้เกิดอัดในฟัน จะเป็นผลให้ความเค้นในด้านหนึ่งของฟันลดลงและความเค้นอัดในอีกด้านหนึ่งของฟันเพิ่มความเค้นอัดเพิ่มขึ้น ในฟัน ซึ่งเมื่อรวมกับความเค้นเนื่องจากแรง F_t แล้ว แรง F_t ทำให้ความเค้นดึงและความเค้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุส่วนมากที่ใช้ทำเฟืองสามารถรับแรงอัดได้มากกว่าแรงดึง ฉะนั้นแรง F_r ที่ตัดทิ้งไปนี้ ดังนั้นการลดความเค้นดึงในด้านนี้จึงทำให้ฟันเฟืองแข็งแรงยิ่งขึ้นอีก

ในการคำนวณหาแรง ช่วย ให้เฟืองสามารถรับแรง ได้สูงขึ้นอีก อีกประการหนึ่งก็คือ ความล้าที่เกิดขึ้นมักจะเกิดในฟันด้านที่รับแรงดึง F_t ที่ฟันเฟืองสามารถรับได้โดยใช้สมการ (5.7), (5.8) และ (5.9) นั้นให้สังเกตดังต่อไปนี้สำหรับเฟืองที่มาขบกันคู่หนึ่งจะมีค่าความหนา b และโมดูลหรือพิทช์เท่ากัน ดังนั้นเฟืองอันที่รับแรงน้อยกว่าคืออันที่มีค่า σY น้อยกว่าถ้าพิเนียนและเฟืองทำด้วยวัสดุเดียวกันแล้ว จากตาราง 5.2 จะเห็นได้ว่าค่า Y ของพิเนียนจะน้อยกว่าของเฟือง (เฟืองมีจำนวนฟันมากกว่า) ดังนั้นพิเนียนจะรับแรงได้น้อยกว่าเฟืองเมื่อเป็นเช่นนี้ในการคำนวณหาขนาดของฟันจึงต้องคำนวณที่พิเนียน

ตาราง 5.2 ค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส

จำนวน ชั้น	แรงกระทำที่ปลาย								แรงกระทำใกล้กึ่งกลาง			
	14½°FD		20°FD		20°Stub		25°		14½°FD		20°FD	
	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y
10	0.176	0.056	0.201	0.064	0.261	0.083						
11	0.192	0.061	0.226	0.072	0.289	0.092						
12	0.210	0.067	0.245	0.078	0.311	0.099	0.242	0.077	0.355	0.113	0.415	0.133
13	0.223	0.071	0.264	0.083	0.324	0.103	0.258	0.082	0.377	0.120	0.443	0.141
14	0.236	0.075	0.276	0.088	0.339	0.108	0.270	0.086	0.399	0.127	0.468	0.149
15	0.245	0.078	0.289	0.092	0.349	0.111	0.286	0.091	0.415	0.133	0.490	0.156
16	0.255	0.081	0.295	0.094	0.360	0.115	0.298	0.095	0.430	0.137	0.503	0.160
17	0.264	0.084	0.302	0.096	0.368	0.117	0.311	0.099	0.446	0.142	0.512	0.163
18	0.270	0.086	0.308	0.098	0.377	0.120	0.324	0.103	0.459	0.146	0.522	0.167
19	0.277	0.088	0.314	0.100	0.386	0.123	0.336	0.107	0.471	0.150	0.534	0.170
20	0.283	0.090	0.320	0.102	0.393	0.125	0.349	0.111	0.481	0.153	0.544	0.173
21	0.289	0.092	0.326	0.104	0.399	0.127	0.365	0.116	0.490	0.156	0.553	0.177
22	0.292	0.093	0.330	0.105	0.404	0.129	0.377	0.120	0.496	0.158	0.559	0.178
23	0.296	0.094	0.333	0.106	0.408	0.130	0.390	0.124	0.502	0.160	0.565	0.180
24	0.302	0.096	0.337	0.107	0.411	0.132	0.403	0.128	0.509	0.162	0.572	0.183
25	0.305	0.097	0.340	0.108	0.416	0.133	0.415	0.132	0.515	0.164	0.580	0.184
26	0.308	0.098	0.344	0.109	0.421	0.135	0.428	0.136	0.522	0.166	0.584	0.186
27	0.311	0.099	0.348	0.111	0.426	0.136	0.441	0.133	0.528	0.168	0.588	0.187
28	0.314	0.100	0.352	0.112	0.430	0.137	0.409	0.130	0.534	0.170	0.592	0.189
29	0.316	0.101	0.355	0.113	0.434	0.138	0.442	0.131	0.537	0.171	0.599	0.191
30	0.318	0.101	0.358	0.114	0.437	0.139	0.448	0.133	0.540	0.172	0.606	0.193
31	0.320	0.101	0.361	0.115	0.440	0.140	0.421	0.134	0.554	0.173	0.611	0.195
32	0.322	0.101	0.364	0.116	0.443	0.141	0.428	0.136	0.547	0.174	0.617	0.196
33	0.324	0.103	0.367	0.117	0.445	0.142	0.430	0.137	0.550	0.175	0.623	0.198
34	0.326	0.104	0.371	0.118	0.447	0.142	0.434	0.138	0.553	0.177	0.628	0.200
35	0.327	0.104	0.373	0.119	0.449	0.143	0.437	0.139	0.556	0.177	0.633	0.201
36	0.329	0.105	0.377	0.120	0.451	0.144	0.443	0.141	0.559	0.178	0.639	0.203
37	0.330	0.105	0.380	0.121	0.454	0.144	0.446	0.142	0.563	0.179	0.645	0.205
38	0.333	0.106	0.384	0.122	0.455	0.145	0.450	0.143	0.565	0.180	0.650	0.207
39	0.335	0.107	0.386	0.123	0.457	0.146	0.454	0.144	0.568	0.181	0.655	0.209
40	0.336	0.107	0.389	0.124	0.459	0.146	0.460	0.146	0.570	0.182	0.659	0.210
43	0.339	0.108	0.397	0.126	0.467	0.147	0.463	0.147	0.574	0.183	0.668	0.212
45	0.340	0.108	0.399	0.127	0.468	0.149	0.469	0.149	0.579	0.184	0.678	0.214
50	0.346	0.110	0.408	0.130	0.474	0.151	0.478	0.152	0.588	0.187	0.694	0.221
55	0.352	0.112	0.415	0.132	0.480	0.153	0.485	0.154	0.596	0.190	0.704	0.224
60	0.355	0.113	0.421	0.134	0.484	0.154	0.490	0.156	0.603	0.192	0.713	0.227
65	0.358	0.114	0.425	0.135	0.488	0.155	0.496	0.158	0.607	0.193	0.721	0.229
70	0.360	0.115	0.429	0.136	0.493	0.157	0.502	0.160	0.610	0.194	0.728	0.231
75	0.361	0.115	0.433	0.138	0.496	0.158	0.508	0.161	0.613	0.195	0.735	0.233
80	0.363	0.116	0.436	0.139	0.499	0.159	0.510	0.162	0.615	0.196	0.739	0.235
90	0.366	0.117	0.442	0.141	0.503	0.160	0.516	0.164	0.619	0.197	0.747	0.237
100	0.368	0.117	0.446	0.142	0.506	0.161	0.521	0.166	0.622	0.198	0.755	0.240

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย มีเงื่อนไขการใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติก													
ชื่อย่อ	ชื่อทางเคมี	ชื่อในท้องตลาด	ความหนาแน่น	ความแข็งแรงทางดึง/ความเค้นแรงดึง N/cm ²	ความเหนียวในการฉีก kJ/m ²	ช่วงอุณหภูมิในการใช้งาน °C	หน่วงสาร 20°C						ตัวอย่างการใช้งาน
							น้ำดื่ม	เบบีน	Dimethylsilane	Trichloro	กรด	ด่าง	
PE	Polyethylene	Baylon, Hostalena, Lupolena, Vestolena	0,92... 0,95	9...25	~**	100...120	●	●	●	●	●	●	ทำท่อ ถังบรรจุ กัดของแข็ง-เคมี Control device ชิ้นงานกลวง
EVA	Ethylene-Copolymers	Lewaprene, Lupolena F	0,94	3,5*	~**	~80	○	○	○	○	○	○	ทำชิ้นงานที่รับการกระแทก ชิ้นถังบรรจุ
PP	Polypropylene	Hostalena PP, Novolena, Vestalena P	0,91	33*	7*	~140	●	●	○	○	○	○	ชิ้นส่วนที่มีความร้อนและทนเคมี-สารเคมี
PS	Polystyrol	Hostyrol, Polystyrol, Vestyrol	1,05	56*	18	~85	●	○	○	○	○	○	สำหรับห้องของห้องน้ำ inspection glass
SB	Polystyrol, หนาแน่น กระแทก	Polystyrol 400, Vestyrol 500, Hostyrol 65	1,05	20...40	7...10**	~75	●	○	○	○	○	○	เครื่องดูดฝุ่น ชิ้นตัวในตู้เย็น
SAN	Polystyrol-Acrylnitril	Luran 300, Vestluran	1,08	75	16	~90	●	●	○	○	○	○	กล่องแปดเหลี่ยม เครื่องมือวัดละเอียด
ABS	ABS-Copolymer	Terluran, Novodura	~1,10	35...55	7...10**	~90	●	●	○	○	○	○	กล่อง ฝา housing
PVC แข็ง	Polyvinylchloride hart	Hostalite, Vinolite, Vestalite, Yinnol	~1,38	~55	6**	~70	●	○	○	○	○	○	ท่อ น้ำ ถังบรรจุ ถูกล้อ Profile
PVC นิ่ม	Polyvinylchloride เทกซ์ตา		~1,35	30	15... 60**	~70	●	○	○	○	○	○	กรอบหน้าต่าง รางน้ำ
PVC ยืดหยุ่น	Welch-Polyvinylchloride ยืดหยุ่น		1,2...1,3	10...30	~**	40...60	●	○	○	○	○	○	สายยาง กระดาษ พลาสติก กระเบื้อง ยาง เบาะนั่ง
PTFE	Polytetrafluoräthylent	Hostafion TF, Teflon	>2,1	20...40	16**	260	●	●	●	●	●	●	รางเลื่อน เทปอเนกประสงค์
PMMA	Polymethylmethacrylate	Plexiglas, Rexorlit, Degolan	1,18	70	10	70...90	○	○	○	○	○	○	glazing, lighting, Saating road, วัสดุประสมพลาสติก
POM	Polyformaldehyde	Delrin, Hostalorm, Ultralorm	1,4...1,7	70	5...9**	100...150	●	●	○	○	○	○	เฟือง แปรง
PC	Polycarbonat	Macrolon	1,20	5	20**	90...130	●	●	○	○	○	○	ชิ้นส่วนเครื่อง- เครื่องมือแพทย์ เครื่องภายในครัว
PA	Polyamide 6-Polyamide 12-Polyamide 6.6-Polyamide 6.10-Polyamide	Ultramide, Durethane B, Rilona, Trogamid T	1,01...1,14	50...70	15**... ~**	60...140	●	●	○	○	○	○	เฟือง ท่อ สายยาง สาย Perlon Nylon โยเกิร์ต เคี้ยวใน- การซ่อมแซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขประโยชน์ด้านการค้า
 * ทนทานรับดึงดี ** ค่าความเหนียวของร่องน้ำลึก ~** รั้นทดสอบไม่หัก
 ● ทนทานดีมาก ○ ทนทานปานกลาง ○ ทนทานน้อย ○ ไม่ทนทาน

5.3 ความเค้นหนาแน่น

ตัวประกอบที่สำคัญอีกค่าหนึ่ง ที่มีผลต่อความแข็งแรงของฟันเฟืองมาก และมีได้รวมอยู่ในสมการลูอิสคือความเค้นหนาแน่น (stress concentration) ที่โคนฟันเฟืองซึ่งเป็นบริเวณที่เชื่อมต่อกันระหว่างอินโวลูตเคอฟ และวงกลมดีเดนดัม และจะมีฟิลเลต (fillet) รัศมี r การหาค่าตัวประกอบความหนาแน่นทางทฤษฎี K_t (theoretical stress) ตัวประกอบที่สำคัญอีกค่าหนึ่งที่มีผลต่อความแข็งแรงของฟันเฟืองมากและมีได้รวมอยู่ในสมการลูอิสคือความเค้นหนาแน่น (stress concentration) ที่โคนฟันเฟืองซึ่งเป็นบริเวณที่เชื่อมต่อกันระหว่างอินโวลูตเคอฟ และวงกลมดีเดนดัม และจะมีฟิลเลต (fillet) รัศมี r การหาค่าตัวประกอบความหนาแน่นทางทฤษฎี K_t (theoretical stress concentration factor) สำหรับฟันเฟืองเป็นสิ่งที่ทำได้ยากมากจึงมีเพียงแต่ผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้วัสดุยืดหยุ่นโปร่งแสง (photoelasticity material) ของ Dolan และ Broghamer ซึ่งได้สมการออกมาดังนี้คือ

$$K_t = 0.22 + \left(\frac{t}{r}\right)^{0.2} \left(\frac{t}{L}\right)^{0.4} \quad \text{สำหรับ } \phi = 14.5^\circ \quad (5.10 \text{ ก})$$

$$K_t = 0.18 + \left(\frac{t}{r}\right)^{0.15} \left(\frac{t}{L}\right)^{0.45} \quad \text{สำหรับ } \phi = 20^\circ \quad (5.10 \text{ ข})$$

$$K_t = 0.14 + \left(\frac{t}{r}\right)^{0.11} \left(\frac{t}{L}\right)^{0.5} \quad \text{สำหรับ } \phi = 25^\circ \quad (5.10 \text{ ค})$$

โดย t เป็นความหนาของฟันเฟือง และ L เป็นระยะห่างของแรง F_b กับหน้าตัด BED ดังรูป 5.2

ในทางปฏิบัติค่า L และ r เป็นค่าที่ไม่สามารถจะทราบได้ล่วงหน้าก่อนที่จะออกแบบฟันเฟืองนอกจากนี้ยังมีตัวประกอบอย่างอื่นอีก เช่น ความเรียบของผิวหน้า และตัวประกอบไวของรอยเจาะ q (notch sensitivity factor) มาเกี่ยวข้องในการหาค่าความเค้นหนาแน่นอีกด้วย ดังนั้นในการคำนวณเกี่ยวกับฟันเฟืองจึงให้ใช้ค่าประมาณดังนี้คือ

$$1.2 \leq K_f \leq 1.7 \quad \text{เมื่อให้แรงกระทำที่ปลายฟัน}$$

$$1.4 \leq K_f \leq 2.0 \quad \text{เมื่อให้แรงกระทำใกล้กลางฟัน}$$

โดย K_f เป็นตัวประกอบความหนาแน่นจริง (actual stress concentration factor) ดังนั้นสมการ (5.7), (5.8) และ (5.9) จึงเขียนได้เป็น

$$F_b = \frac{\sigma b y p}{k_f} \quad (5.11)$$

$$F_b = \frac{\sigma b y}{K_f p} \quad (5.12)$$

$$F_b = \frac{\sigma b Y m}{K_f} \quad (5.13)$$

ค่าพิทช์หรือ โมดูลที่ใช้ในการออกแบบให้ใช้ตามมาตรฐานดังแสดงในตาราง 5.1

สำหรับการออกแบบเฟืองทั่วไปอาจสมมติให้ความหนาของฟันเฟืองมีค่าดังต่อไปนี้

$$\frac{8}{p} < b < \frac{12.5}{p} \quad \text{หรือ} \quad 8m < b < 12.5m$$

ในกรณีนี้เนื้อที่ในการติดตั้งเฟืองมีน้อย ก็อาจจะออกแบบให้ความหนาเฟืองน้อยกว่าค่าที่แนะนำเอาไว้ก็ได้ถ้าความหนาของเฟืองน้อยเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาในการตั้งศูนย์ (alignment) เฟืองที่ขบกัน แต่ถ้าความหนาเฟืองมากจนเกินไปอาจทำให้เฟืองบิด อันเนื่องมาจากการกระจายแรงไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาฟันเฟือง

5.4 แรงพลวัต

จากที่ผ่านมานี้เป็นการคำนวณหาขนาดของเฟืองโดยคิดให้แรง F_t อยู่นิ่ง แล้วใช้ความรู้ทางด้านกลศาสตร์วัสดุหาสมการสำหรับแรงที่ฟันเฟืองควรจะได้รับเอาไว้ได้ ในทางด้านปฏิบัติเฟืองจะหมุนอยู่ในขณะใช้งานและ แรงที่ส่งผ่านไปยังฟันเฟืองจะคำนวณได้จากสมการ

$$F_t = \frac{W_p}{V} \quad (5.14)$$

โดยที่ F_t = แรงเป็น N

W_p = กำลังงานที่ส่งผ่านเป็น W

V = ความเร็วพิทช์ (pitch line speed) เป็น m/s

หรือในระบบหน่วยอังกฤษ จะคำนวณหาแรงได้จากสมการ

$$F_t = \frac{33,000hp}{V} \quad (5.15)$$

โดยที่ F_t = แรงเป็น lb

V = ความเร็วพิทช์เป็น ft/min

ตามปกติแล้วแรงที่ส่งผ่านจะมีค่ามากกว่าแรงที่หาค่าได้จากสมการ (5.14) หรือ(5.15) ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากตัวประกอบต่างๆ เช่น ความผิดพลาดในการตัดรูปร่างของฟันเฟือง ค่าเบี่ยงลัดทำให้เกิดการกระแทกขึ้น เป็นต้น จากทดลองพบว่า แรงที่ส่งผ่านมาที่แท้จริงขึ้นอยู่กับความเร็วพิชซ์เรียกว่า ตัวประกอบความเร็ว K_v (velocity factor) ดังนั้นแรงที่กระทำต่อฟันเฟืองในขณะที่ใช้งาน ได้ควรจะเป็น

$$F_d = K_v F_t \quad (5.16)$$

ค่า F_d นี้เรียกว่าแรงพลวัต (dynamic load) ส่วน K_v สำหรับหน่วยเอสไอจะหาได้จากสมการ

$$K_v = \frac{3+V}{3} \quad \text{สำหรับเฟืองทั่วไป } V \leq 10 \text{ m/s}$$

$$K_v = \frac{6+V}{6} \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดี } 5 < V < 20 \text{ m/s}$$

$$K_v = \frac{5.56 + \sqrt{V}}{5.56} \quad \text{สำหรับเฟืองตัดอย่างดีมาก } V \geq 20 \text{ m/s}$$

ค่า K_v สำหรับหน่วยอังกฤษจะหาได้จากสมการ

$$K_v = \frac{600+V}{600} \quad \text{สำหรับเฟืองทั่วไป } V \leq 2000 \text{ ft/min}$$

$$K_v = \frac{1200+V}{1200} \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดี } 1000 < V < 4000 \text{ ft/min}$$

$$K_v = \frac{78 + \sqrt{V}}{78} \quad \text{สำหรับเฟืองตัดอย่างดีมาก } V \geq 4000 \text{ ft/min}$$

ในการคำนวณหาขนาดของฟันเฟือง ผู้ออกแบบจะต้องตรวจสอบว่าแรงพลวัตนี้มากกว่าแรงที่ฟันเฟืองจะรับได้หรือไม่ และให้ถือว่าฟันเฟืองแข็งแรงพอเมื่อ $F_b \geq F_d$ โดยที่สมมติว่าแรง F_b กระทำที่ปลายฟัน การที่จะทำให้ F_b มากกว่า F_d เท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของแรงที่มากกระทำนั้นคือ

$$\frac{F_b}{F_d} = N_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ N_s เรียกว่าตัวประกอบใช้งาน (service factor) และให้ใช้ค่าโดยประมาณ ซึ่งแสดงไว้ในตาราง 5.4

ชนิดของแรง	N_s	ตัวอย่าง
แรงเรียบสม่ำเสมอ	1.00 - 1.25	พัดลมไฟฟ้า
แรงกระแทกเล็กน้อย	1.25 - 1.50	เครื่องเจ้าน้ำบาดาล, เครื่องมือลม
แรงกระแทกอย่างหนัก	1.50 - 2.00	เครื่องบดหิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สปริง

สปริงเป็นส่วนที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีใช้อยู่ในเครื่องจักรทั่วไป ถึงแม้ว่าชิ้นส่วนอื่นๆ ของเครื่องจักรกลจะมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นเหมือนกัน แต่สปริงจะมีการยืดหยุ่นมากกว่า สปริงอาจจะมีรูปร่างต่างกัน และทำจากวัสดุหลายชนิด แม้แต่ของไหล เช่น อากาศ ก๊าซ และของเหลว ก็สามารถนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นสปริงได้ สปริงที่กล่าวถึงในบทนี้ส่วนมากทำมาจากโลหะแบบโลหะผสม แต่พวกอโลหะ บางชนิดก็กำลังเริ่มเข้าสู่ความสนใจของนักออกแบบที่จะนำมาใช้ทำสปริง สปริงอาจทำหน้าที่ได้หลายประเภทดังนี้

6. สปริงชนิดแบบบิด

- ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับกลไกต่างๆ งานประเภทนี้ ได้ใช้กันมาตั้งแต่ดั้งเดิมและก็ยังคงจะมีใช้มากต่อไปอีก เช่น ลานนาฬิกา กล้องถ่ายภาพ และ ของเด็กเล่น เป็นต้น
- ใช้วัดแรง เช่น คาลังสปริง ไดนาโมมิเตอร์ และ อุปกรณ์ปรับต่างๆ เป็นต้น
- ใช้ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม เช่น ตัวตามลูกเขี้ยว (cam followers) ก้านวาล์ว เป็นต้น
- ใช้ส่งแรงจากชิ้นส่วนหนึ่งไปยังอีกชิ้นส่วนหนึ่ง เช่น สปริงแผ่นคลัตช์ คัปปลิง เป็นต้น

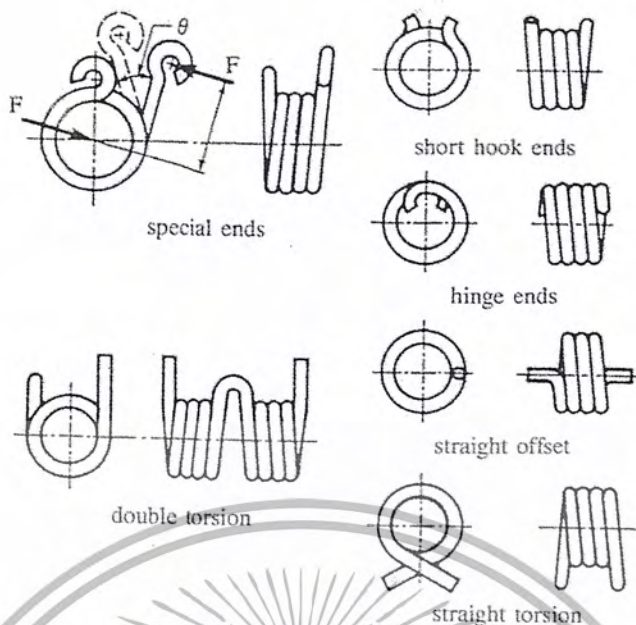
สปริงชนิดแบบบิด (helical torsion spring) ใช้รับแรงบิดรอบแกนของสปริง เช่น สปริงที่สตาร์ทเตอร์ (starter) ของรถยนต์ สปริงที่บานประตู เป็นต้น สปริงชนิดแบบบิดลักษณะต่าง ๆ แสดงอยู่ดังรูป 6.1 จากลักษณะของแรงที่กระทำต่อสปริงดังในรูป จะเห็นได้ว่าความเค้นในสปริงส่วนใหญ่จะเป็นความเค้นดัด ซึ่งแตกต่างกับสปริงชนิดหรือสปริงแบบดึง ซึ่งความเค้นส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นความเค้นเฉือน ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้สามารถคำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีของแกนโค้งซึ่งจัดอยู่ในรูป

$$\sigma = K_b \frac{Mc}{I} \quad (6.1)$$

โดยที่ K_b เป็นตัวประกอบความเค้นหนาแน่น เนื่องจากผิวโค้งด้านในของข้อมีความโค้งมากกว่าผิวด้านนอกดังนั้นค่า K_b ของผิวด้านในจึงมีค่ามากกว่าผิวด้านนอก วาล์วได้หาค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับลวดกลมซึ่งมีสมการเป็น

$$K_b = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} \quad (6.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

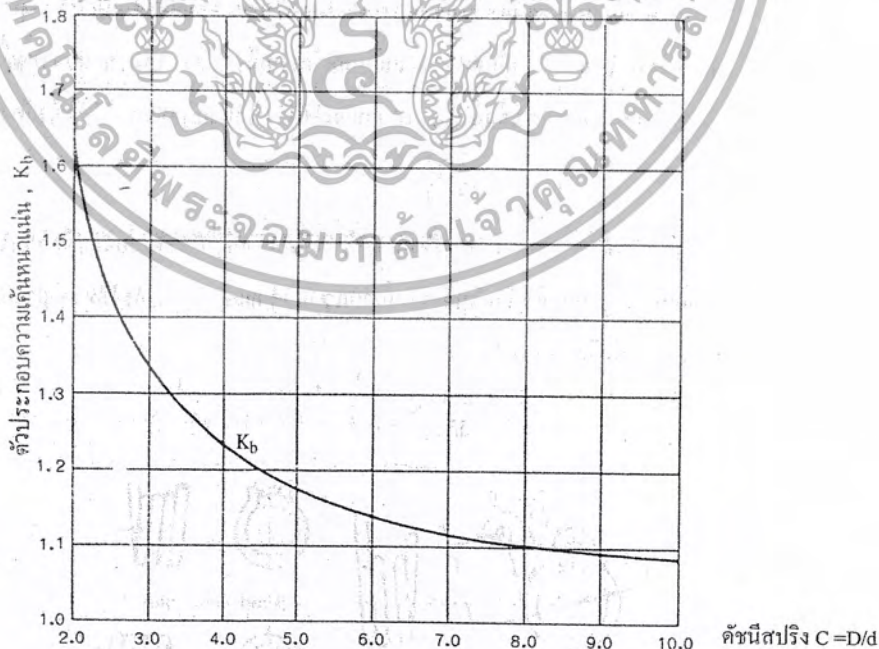


รูปที่ 6.1 สปริงชนิดแบบบิดลักษณะต่างๆ

หรืออาจจะอ่านค่าได้จากรูป 6.2

จากรูปที่ 6.1 โมเมนต์คด $M = Fl$ และ $I/c = \pi d^3 / 32$ ดังนั้นเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (6.1) จะได้ว่า

$$\sigma = \frac{32K_b FL}{\pi d^3} = \frac{32K_b M}{\pi d^3} \tag{6.3}$$



รูปที่ 6.2 ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับสปริงชนิดแบบบิดที่มีหน้าตัดสวดสปริงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นค่าความเค้นคดที่เกิดขึ้นในสปริงขดแบบบิด

ค่าความแข็งดิ่งของสปริงขดแบบบิด สามารถคำนวณได้จากมุมที่สปริงบิดไป โดยใช้วิธีพลังงานความเครียด U ดังนี้

จากหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปจะพบว่า พลังงานความเครียดเนื่องจากการคดคือ

$$U = \int \frac{M^2 dx}{2EI} \quad (6.4)$$

และมุมบิดคือ

$$\theta = \frac{\partial U}{\partial M} = \int \frac{M}{EI} dx \quad (6.5)$$

ในที่นี้ $M = Fl$ และการอินทิเกรต (integrate) ต้องกระทำตลอดความยาวของสปริงขดส่วนที่ทำงานรับแรงบิด ถ้าสปริงขดมีจำนวนขดทำการ n ขด ความยาวส่วนนี้โดยประมาณคือ πDn ดังนั้น

$$\theta = \int_0^{\pi Dn} \frac{Fl}{EI} dx = \frac{\pi FIDn}{EI}$$

แทนค่า $I = \pi d^4/64$ ลงในสมการข้างบนนี้จะได้ว่า

$$\theta = \frac{64FIDn}{d^4E} = \frac{64MDn}{d^4E}$$

ค่าความแข็งดิ่งของขดลวดสปริงขดแบบบิด คือ โมเมนต์ที่ต้องใช้ในการทำสปริงขดขมวดเข้าไปเป็นมุมหนึ่งหน่วย ดังนั้น

$$\text{ค่าความแข็งดิ่งของสปริง} \quad k = \frac{M}{\theta} = \frac{d^4E}{64Dn} \quad \text{N.mm/rad} \quad (6.6)$$

ในบางครั้งอาจจะบอกค่าความแข็งดิ่งของสปริงเป็น N.mm ต่อรอบก็ได้ ซึ่งหาได้โดยสมการคูณสมการที่ (6.6) ด้วย 2π rad นั่นคือ

$$k = \frac{\pi E d^4}{32 D n} \quad \text{N.mm/รอบ} \quad (6.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบสปริงชนิดแบบนี้ โดยทั่วไปแล้วแนะนำให้ใช้ค่าความเค้นดัดออกแบบประมาณครึ่งหนึ่งของความต้านทานแรงดึงของวัสดุ หรือ $\sigma_d = 0.5\sigma_u$ แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ค่าความปลอดภัยอื่นๆ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของงานได้เช่นกัน

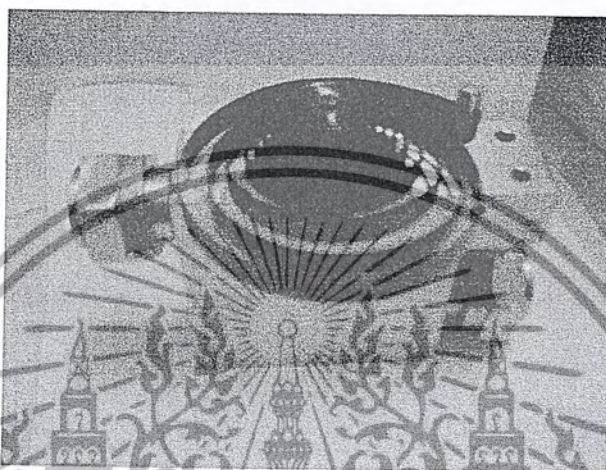


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การคำนวณผลทางทฤษฎี

7.1 แรงที่ใช้ในการบิดวาล์ว



รูปที่ 7.1 ชุดวาล์ว

จากการทดลองได้โมเมนต์ที่วาล์ว
สมมติบิดสปริงไป

$$T_{\text{value}} = 0.15 \text{ N.m}$$

$$\theta = 100 \text{ rad}$$

จากสูตร $T = k\theta$

$$k = 0.15 / 100 = 0.0015 \frac{\text{N.m}}{\text{rad}}$$

เลือกจากท้องตลาด

$$k = 0.04 \frac{\text{N.m}}{\text{rad}} \text{ (มากกว่าค่าที่คำนวณได้จริง)}$$

∴ มุมที่ใช้บิดวาล์วมากที่สุด

$$\theta = \frac{T}{k} = \frac{0.15}{0.04} = 3.75 \text{ rad}$$

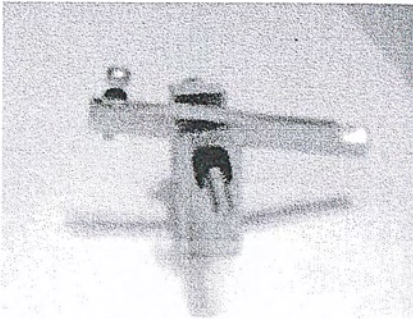
รอบที่ใช้บิดสปริงน้อยสุด

$$\frac{3.75 \left(\frac{180}{\pi} \right)}{360} = 1.193 \text{ รอบ}$$

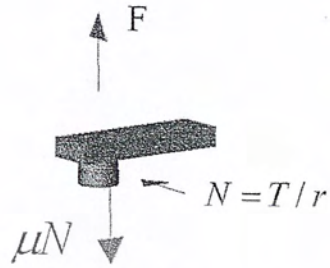
∴ เลือกรอบที่ใช้ในการบิด $n = 3$ รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 แรงที่ใช้ในการกดกระดิ่ง



รูปที่ 7.2ก กระดิ่งปลดควาล้ว



รูปที่ 7.2ข แสดงแรงกระทำที่ปลายนิ้ว



รูปที่ 7.2ค สมดุลย์แรงกระทำ

การคำนวณหาแรงที่กระทำที่ปลายนิ้ว

$$T = k\theta = 0.04(18.849) = 0.75396 \text{ N.m}$$

$$N = \frac{0.75396}{0.0316} = 23.8 \text{ N}$$

แล้วทำการสมดุลย์โมเมนต์

$$\sum M_A = 0$$

$$F_2 x_2 = T + \mu N x_1$$

$$F_2 = \frac{1}{0.033} [0.125 + 0.78(23.8)(0.019)]$$

$$= 14.476 \text{ N}$$

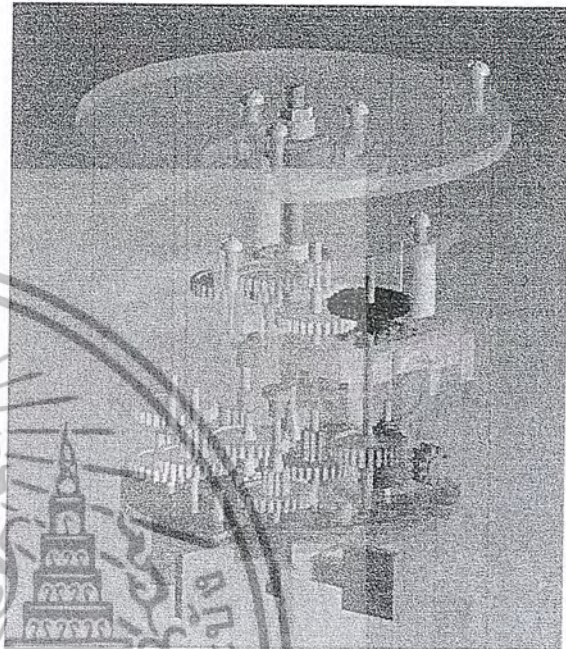
∴ แรงที่ใช้ในการกดกระดิ่ง 14.476 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การคำนวณหาอัตราทดของฟันเฟือง

ตารางค่าการคำนวณของอัตราทดชุดเฟืองทด

	จำนวนเฟือง	จำนวนเฟือง	อัตราทด
ใบพัด		10	
เฟืองชุด 1	29	8	2.9
เฟืองชุด 2	30	8	3.75
เฟืองชุด 3	26	9	3.25
เฟืองชุด 4	30	9	3.333333333
เฟืองชุด 5	30	10	3.333333333
เฟืองชุด 6	30	10	3
เฟืองชุด 7	30	9	3
เฟืองชุด 8	30		3.333333333
ชุดด้านบน			
เฟืองชุด 1		8	
เฟืองชุด 2	30	9	3.75
เฟืองชุด 3	30	10	3.333333333
ชุดสุดท้าย	30		3
		อัตราทดรวม	441796.875



รูปที่ 7.3 แสดงชุดเฟืองทด

7.4 การคำนวณหาขนาดของเฟือง

เราเลือกที่จะคำนวณชุดเฟืองสุดท้ายเพราะเป็นชุดที่รับแรงบิดมากที่สุด(เนื่องจากชุดเฟืองทุกตัวมีขนาดฟันใกล้เคียงกัน) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเลือกชุดฟันเฟืองจากท้องตลาด

$$N_g = 40 \text{ ฟัน} \quad \text{มุมกด } 14.5^\circ$$

$$\text{อัตราทด } 4:1 \text{ จะได้} \quad N_p = \frac{40}{4} = 10 \quad \text{ฟัน}$$

จากตาราง 5.2 ค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส

$$Y_g = 0.336 \quad Y_p = 0.176$$

จากตาราง 5.3 ความเค้นของวัสดุ

$$\sigma = 70 \frac{N}{mm^2} = 70000 \frac{N}{m^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความเค้นคูณค่าแก้ไขจะได้

$$\sigma_g Y_g = 70(0.336) = 23.82 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_p Y_p = 70(0.176) = 12.32 \text{ N/mm}^2$$

ตรวจสอบ $\sigma_p Y_p < \sigma_g Y_g$ เลือกค่านวมที่พื้นของพีเอ็นเียน

ความเร็วพิตซ์

$$V = \pi dn = \pi m N_p n$$

$$= \pi (10) m (1.2 \times 10^{-6})$$

$$= 3.769 \times 10^{-5} m \frac{m}{s}$$

$$W_p = 2\pi T n = 2\pi (0.238) (1.2 \times 10^{-6})$$

$$= 1.794 \times 10^{-6} \frac{N \cdot m}{s}$$

$$F_t = \frac{W_p}{V} = \frac{1.794 \times 10^{-6}}{3.769 \times 10^{-5} m} = 0.0476$$

ความเร็วพิตซ์น้อยกว่า 10 m/s

$$K_v = \frac{3+V}{3} = \frac{3+3.769 \times 10^{-5} m}{3} = 1+1.2566 \times 10^{-5} m$$

$$F_d = K_v F_t = \frac{0.0476}{m} + 5.98 \times 10^{-7}$$

สมมติ $K_f = 1.5, \sigma = 60 \frac{N}{mm^2}, b = 1 \text{ m}, mm, Y_p = 0.176$

$$F_b = \frac{\sigma b Y_p m}{K_f} = 7.04 m^2 N$$

ตารางสมมติโมดูล โดยแทนค่าในสมการ F_d และ F_b

m	F_d	F_b
0.01	4.760001	0.000704
0.05	0.952001	0.0176
0.1	0.476001	0.0704
0.2	0.238001	0.2816
0.3	0.158667	0.6336
0.4	0.119001	1.1264
0.5	0.095201	1.76
0.6	0.079334	2.5344

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางเราได้โมดูล = 0.4 เราสามารถคำนวณหาความหนาได้ $b = 1(m) = 0.4 \text{ mm}$

แต่ในท้องตลาดเราเลือกใช้โมดูล $m = 0.467$

∴ ความหนาเฟือง $b = 1.9 \text{ mm}$

7.5 การคำนวณหาแรงที่กระทำกับใบพัด

หลักการคำนวณแรงบิดที่ได้จากใบพัด

สมมุติ 1. ให้ใบพัดหมุนในรูปแบบเชิงเส้น

2. ไม่พิจารณาอัตราเร่ง

3. ของไหลอัดตัวไม่ได้

สมการที่ใช้ สมการ โมเมนตัม

จะได้ว่า

$$\sum F - \int_V \bar{a} \rho dV = \frac{\partial}{\partial t} \int_{cv} \rho \bar{v} dV + \int_{cs} \bar{v} \rho \bar{v} dA$$

$$\sum F = \int_{cv} \bar{v} \rho \bar{v} dA$$

$$= \int_P \bar{v} \rho \bar{v} dA + \int_Q \bar{v} \rho \bar{v} dA$$

ซึ่ง $\bar{V} = \bar{u} + \bar{v} + \bar{w} = \bar{u}$ เนื่องจากที่สายแกน x เพียงอย่างเดียว

$$\therefore \sum F_x = \int_P \bar{u} \rho \bar{u} dA + \int_Q \bar{u} \rho \bar{u} dA$$

โดยที่ $\bar{u}_1 = v_1 - u_1$ และ $\bar{u}_2 = (v_2 - u_2) \cos \theta$

จะได้

$$\therefore \sum F_x = (v_1 - u_1) \left(-\frac{dm}{dt}\right) - (v_1 - u_1) \cos \theta \left(\frac{dm}{dt}\right)$$

เมื่อแทนค่าต่างๆ เราจะได้สูตรสำเร็จออกมาว่า

$$Fr = (m \times Q^2) + (n \times P)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ } 5.963 \times 10^6 \text{ (kg/m}^5\text{)}$$

$$Q = \text{อัตราการไหลของน้ำ (m}^3\text{/s)}$$

$$n = \text{ค่าสัมประสิทธิ์ } 0.0015 \text{ m}^2$$

$$P = \text{แรงดันของน้ำ (N/m}^2\text{)}$$

ซึ่งในเวลาปรกติเราสามารถวัดค่า $P = 0.01 \text{ kg/cm}^2$

เมื่อเปลี่ยนหน่วยจะได้ $P = 0.01 \times 9.81 \times 100^2 = 981 \text{ N/m}^2$

และอัตราการไหลของน้ำ $Q = 0.016 \text{ m}^3\text{/min}$

เมื่อเปลี่ยนหน่วยจะได้ $Q = 0.016/60 = 0.000277 \text{ m}^3\text{/s}$

ดังนั้นจะได้แรงที่น้ำกระทำกับใบพัด

$$Fr = 5.963 \times 10^6 (0.000277)^2 + 0.0015(981)$$

$$= 1.929 \text{ N}$$



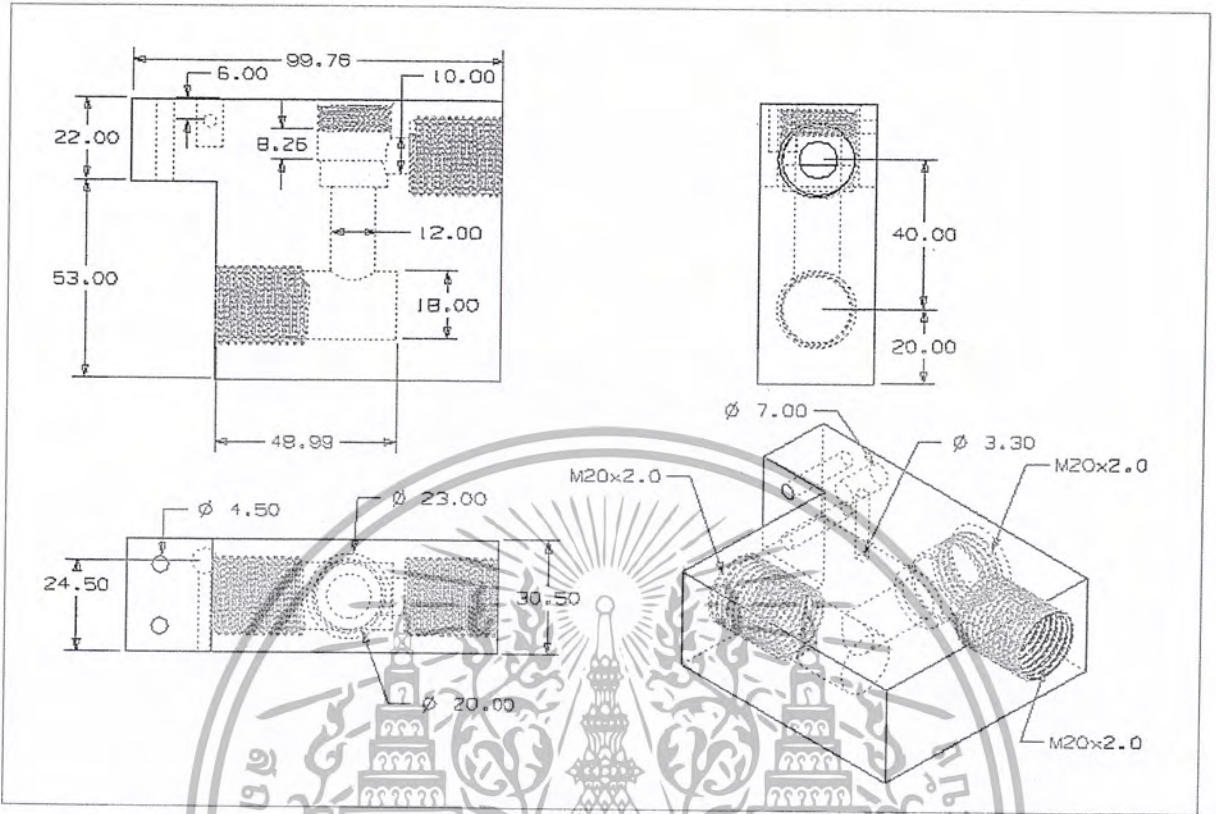


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

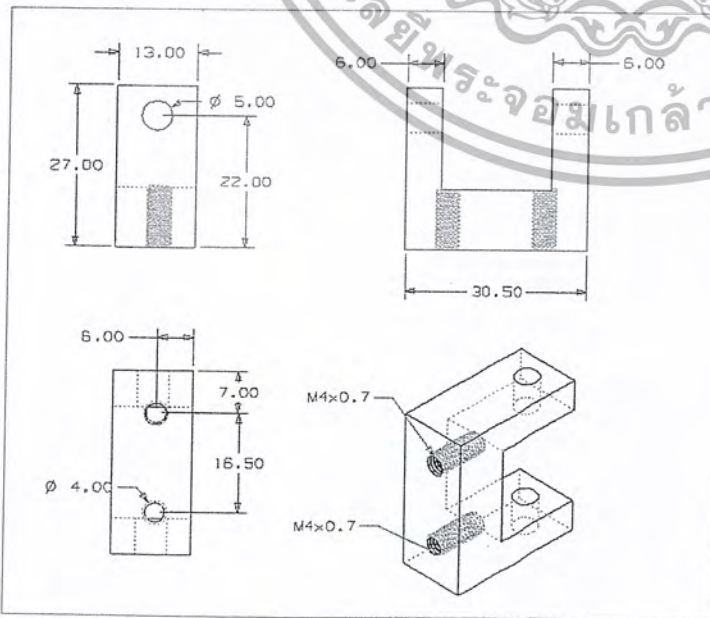
8.1 ส่วนของชุดवालัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

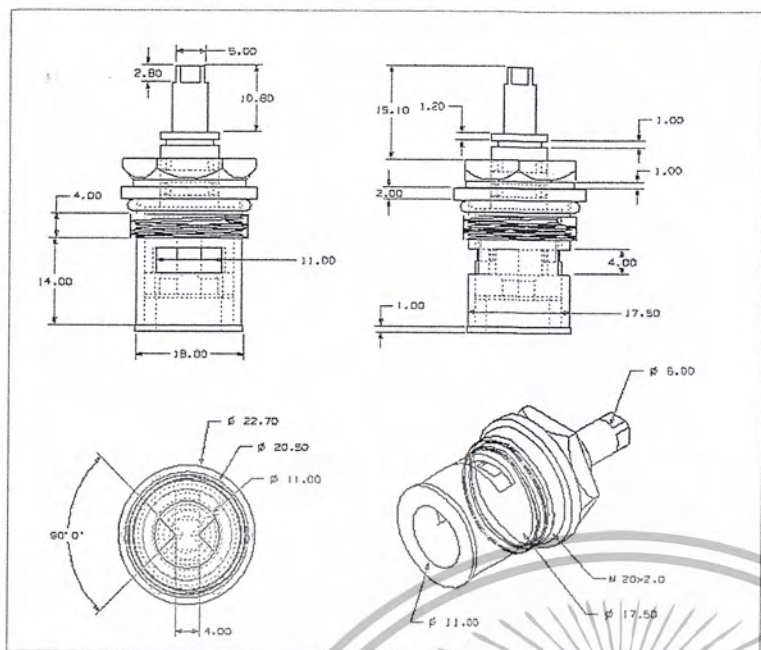


1. ชุดเรีอนวาล์ว เป็นตัวที่ทำจากทองเหลือง เพื่อป้องกันการเกิดสนิม เพราะเป็นอุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำโดยตรง ขั้นตอนการรสร้าง นำทองเหลืองที่ซื้อจากท้องตลาดที่มีความใกล้เคียงกับขนาดตามแบบ จากนั้นนำทองเหลือง ไปกัดและกลึงให้ได้ตามขนาดในแบบ และก็นำมาเจาะเพื่อที่จะทำเกลียวให้น้ำไหลผ่านได้ ข้อควรระวังเวลาทำเกลียวควรกลึงเกลียวให้พอดี ถ้าไม่พอดีอาจทำให้น้ำรั่วได้

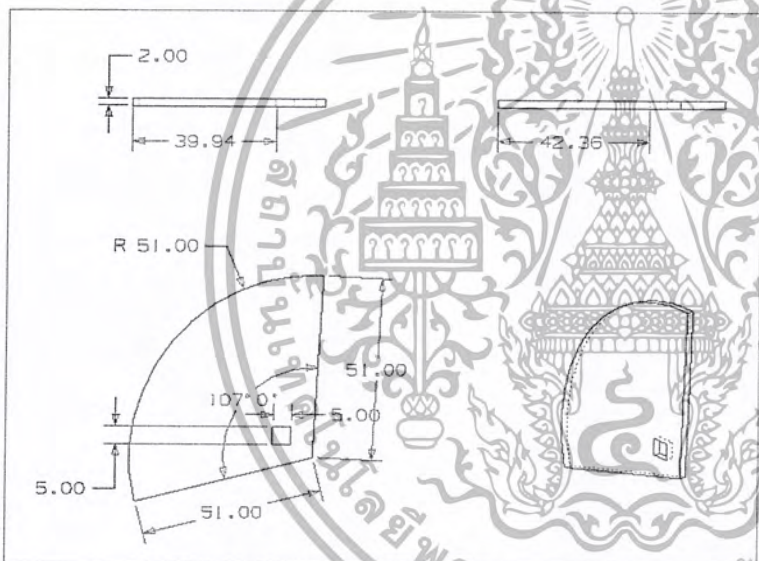


2. ตัวส็อกกระเดื่องปลดวาล์ว ทำจากทองเหลือง โดยนำทองเหลืองไปกัดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ แล้วนำไปเจาะรูตามแบบ เพื่อที่จะทำเกลียว

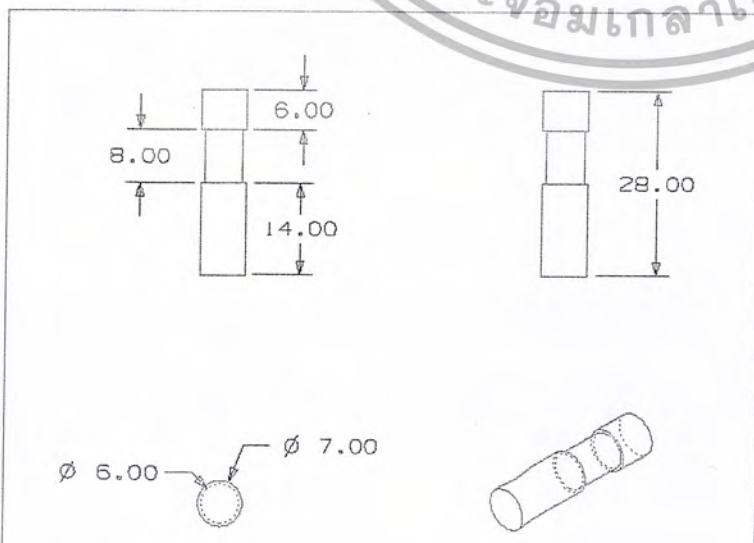
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



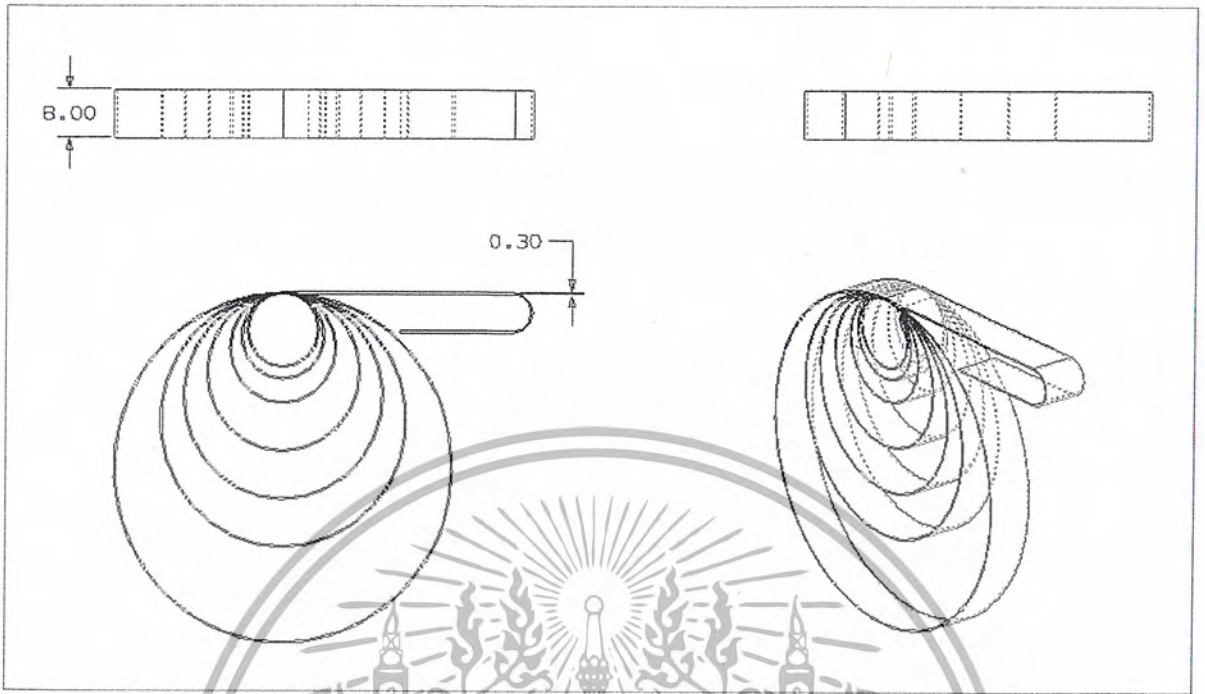
3. วาล์ว เป็นอุปกรณ์เปิดปิดน้ำทำจากทองเหลือง
หาซื้อจากตามท้องตลาด



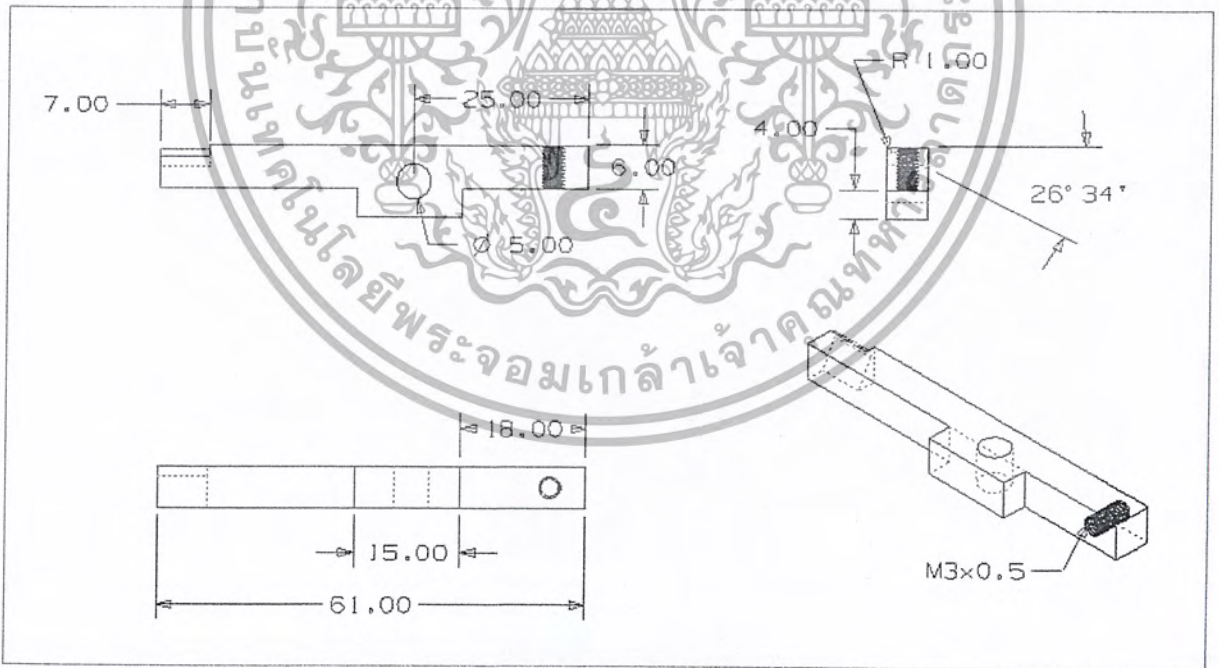
4. แผ่นปิดวาล์ว ทำมาจากเหล็กไร้สนิมที่มีความ
หนา 2 mm ยึดอยู่กับตัววาล์วเป็นตัวส่งถ่ายแรงจาก
สปริง ไปวาล์ว การสร้างตัดแผ่นเหล็กไร้สนิมให้
ได้ตามขนาดแล้วนำไปเจาะรู เพื่อที่จะตะไปเป็น
ช่องสี่เหลี่ยมตามแบบ



5. ตัวยึดสปริง ทำมาจากทองเหลืองเพื่อไว้รับ
สปริงแบบชนิดเพื่อที่ทำให้เกิดแรงบิดไว้ปิดวาล์ว
น้ำการสร้างโดยนำทองเหลือง ไปกลึงให้ได้ตาม
ขนาด



6. สปริงแบบขด วัสดุทำจากเหล็ก หาได้จากนาฬิกาโบราณตัวเก่า ซึ่งหาซื้อได้จากท้องตลาดทั่วไป



7. กระจีตึงปลดลือกวาลั่ว ทำจากอลูมิเนียม โดยใช้เครื่องกัด แล้วเจาะรูตามแบบและทำเกลียวให้ได้ตามขนาดตามแบบ

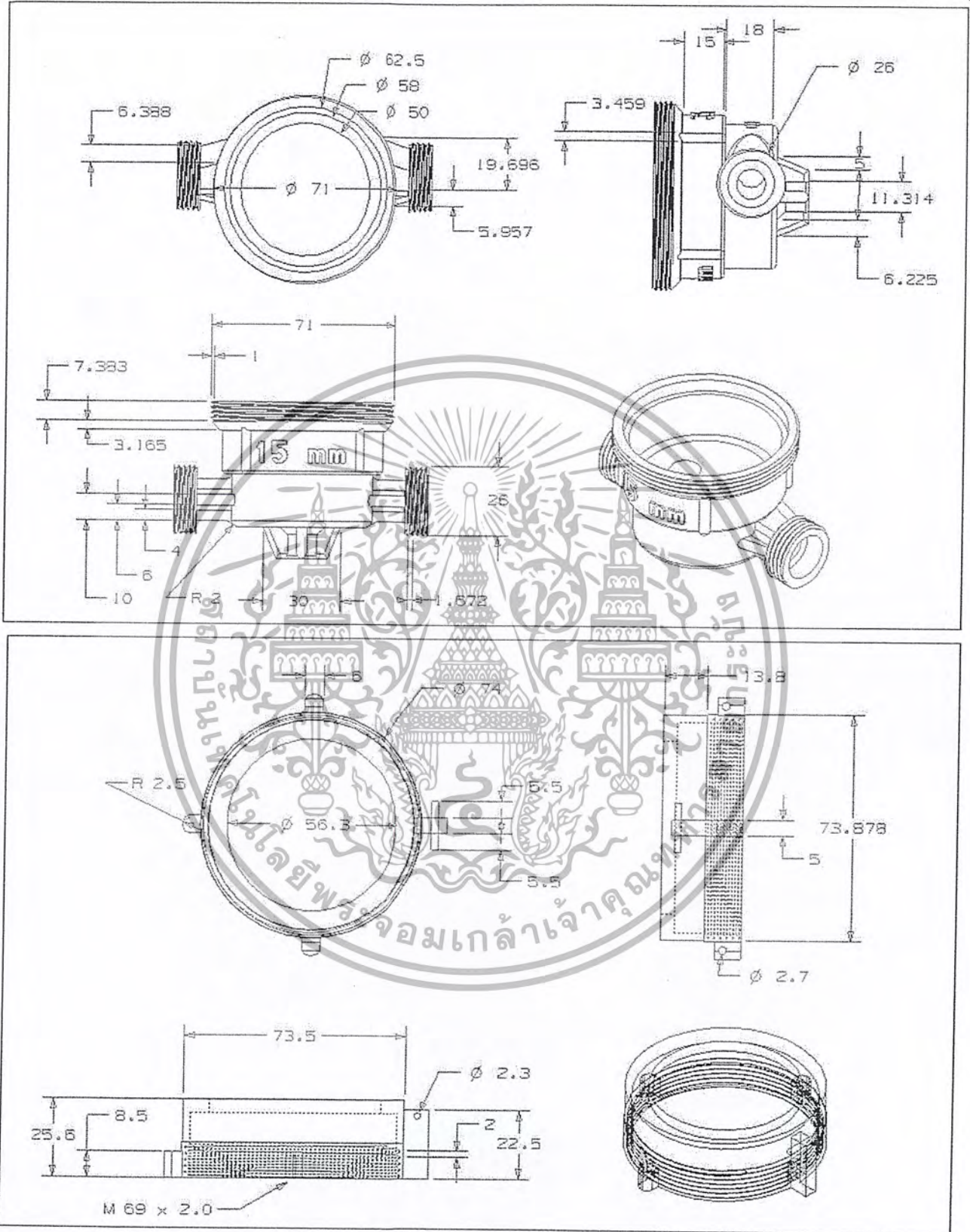
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 ส่วนของมิเตอร์



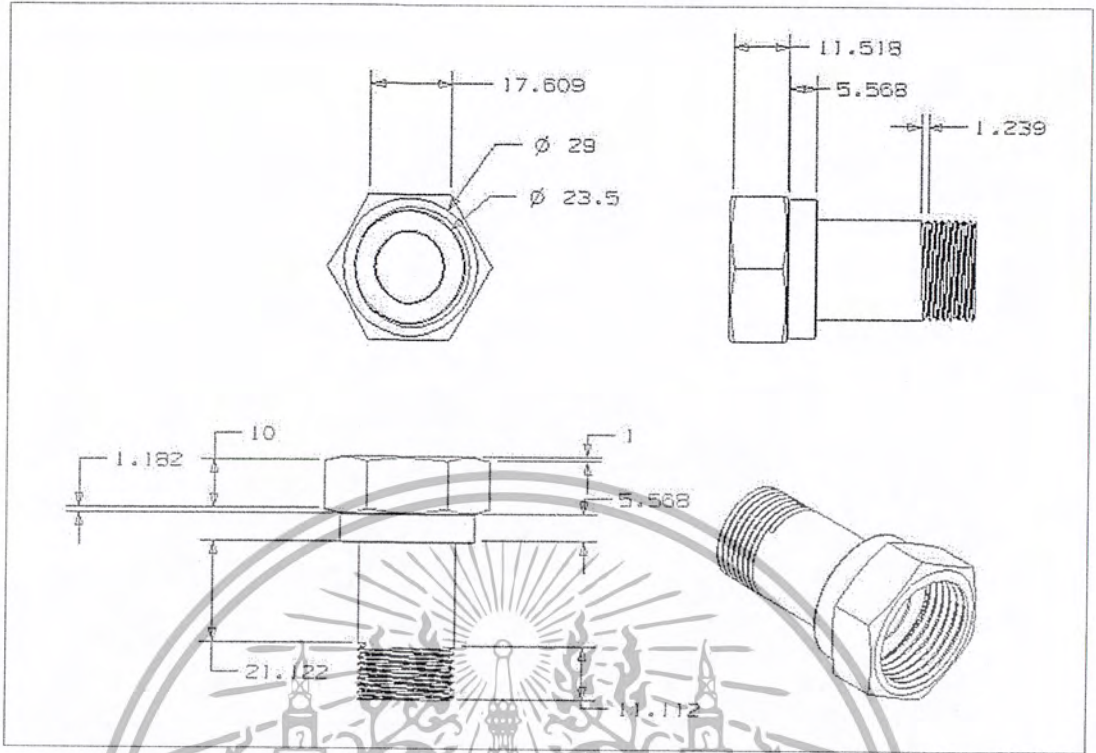
ในส่วนของมิเตอร์เราสามารถหาได้จากตามท้องตลาดทั่วไปวัสดุ โดยรวมทำมาจากทองเหลืองและพลาสติก ที่นำมาทำชุดเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

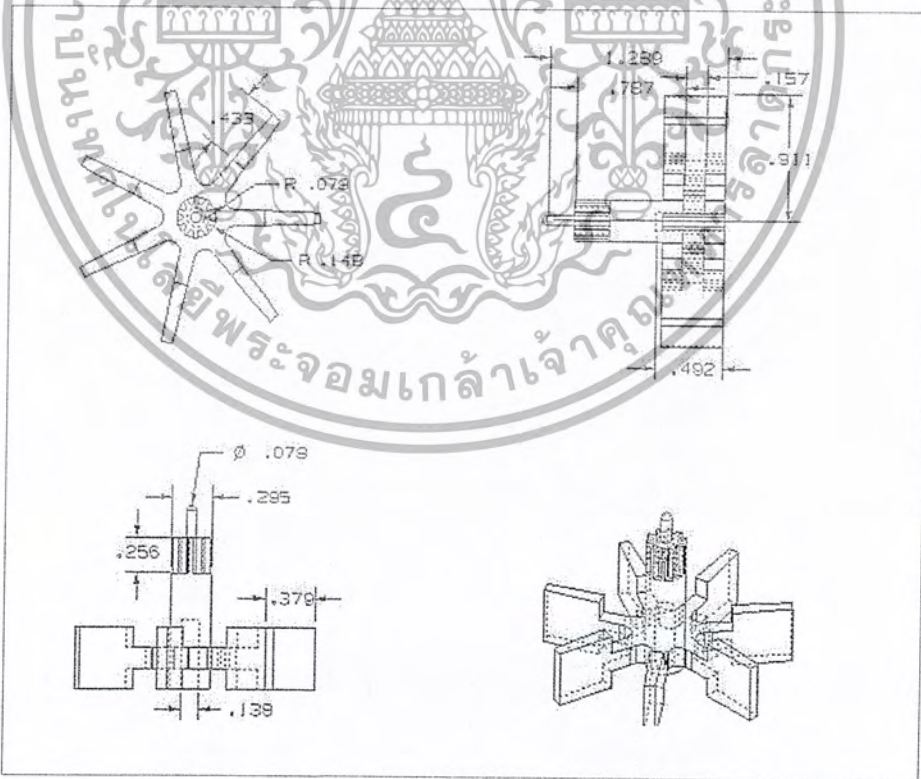


1. เรือนมิเตอร์น้ำ ทำจากวัสดุทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

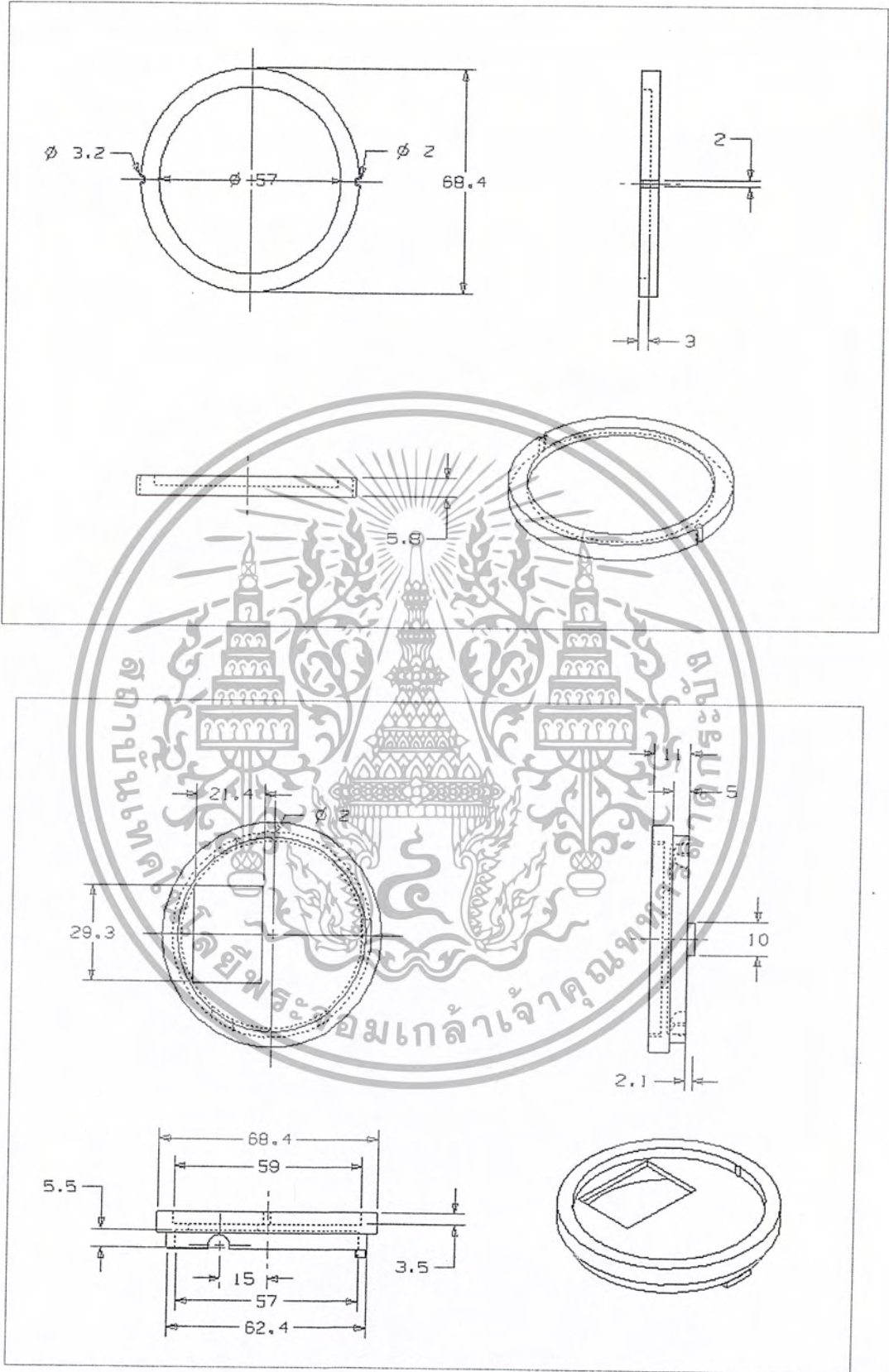


2. ข้อต่อทางเข้าออกน้ำ ทำจากวัสดุทองเหลือง

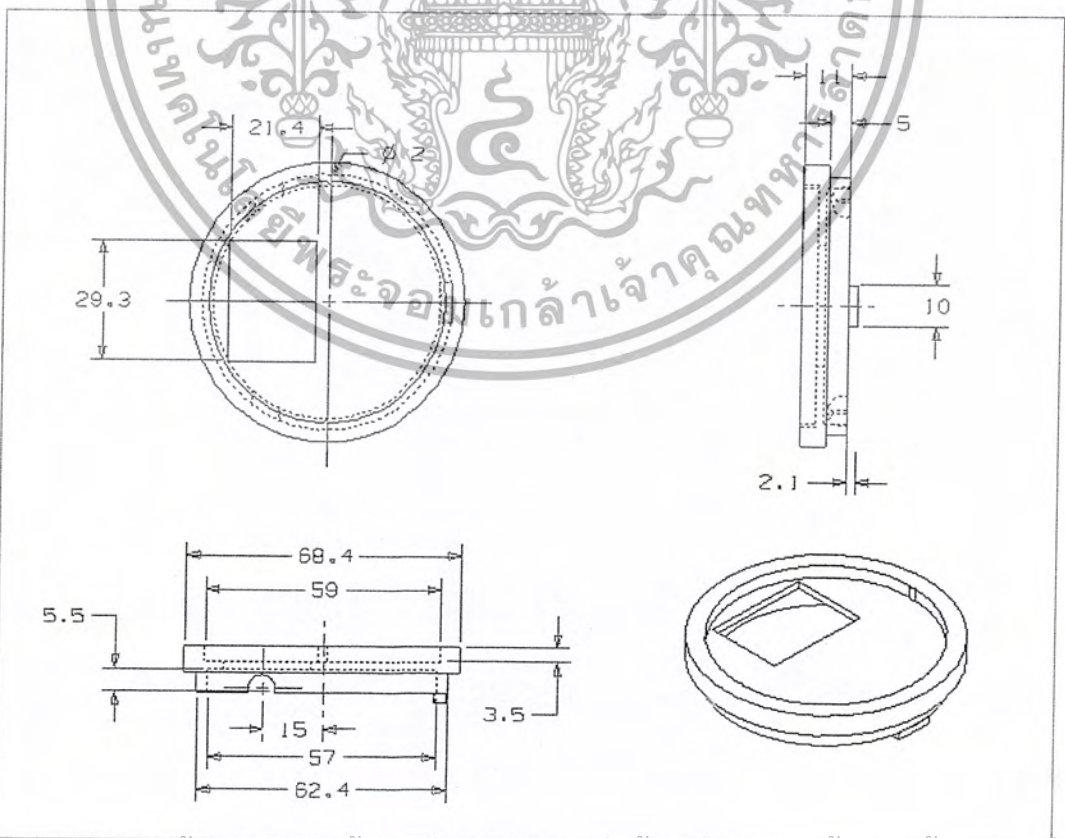
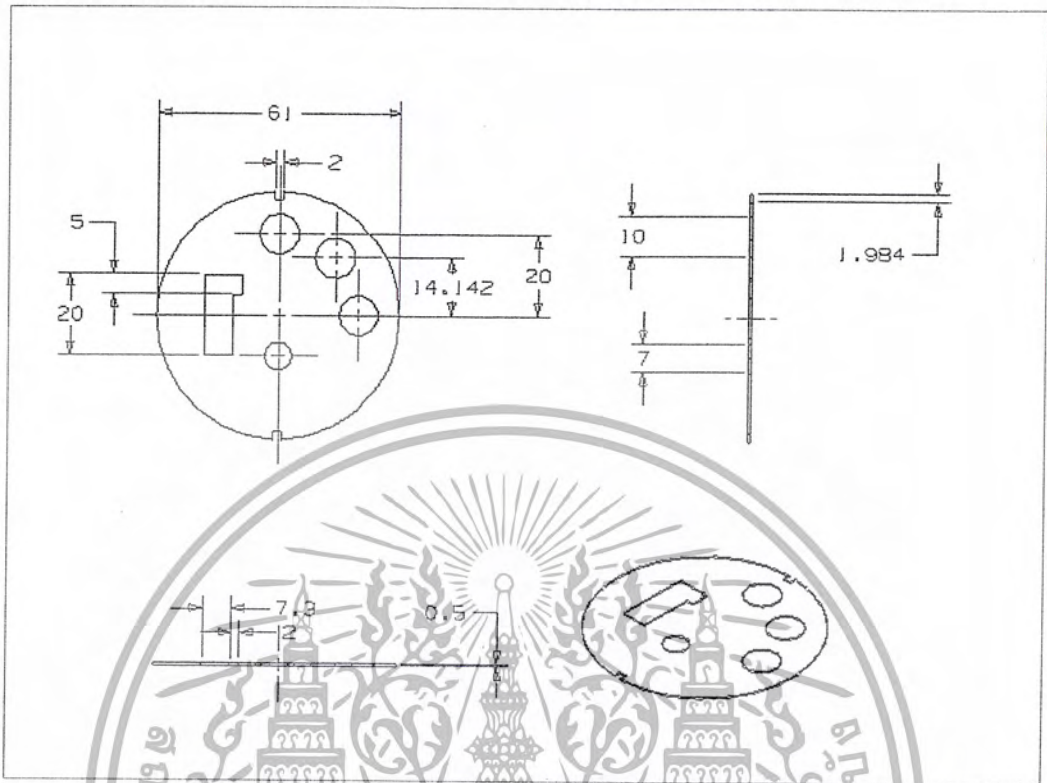


3. ไบพัต ทำจากวัสดุพลาสติก

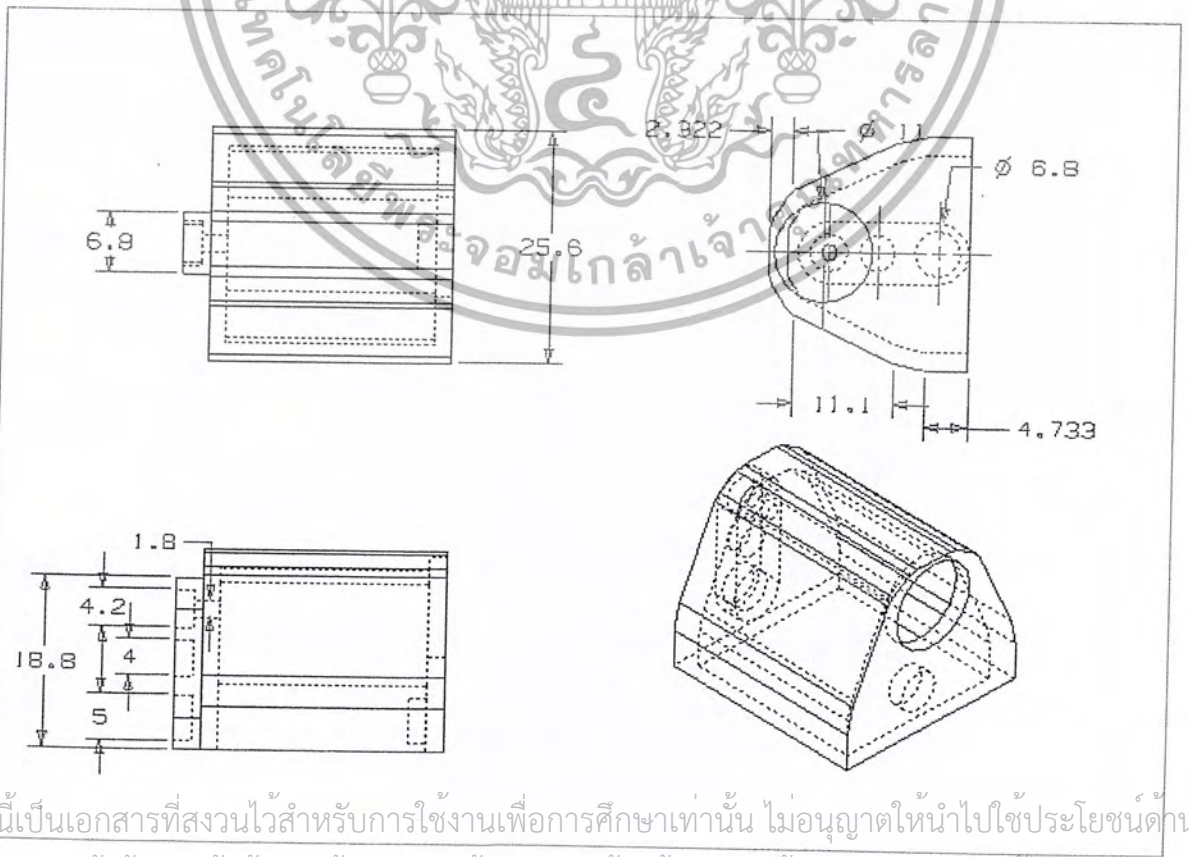
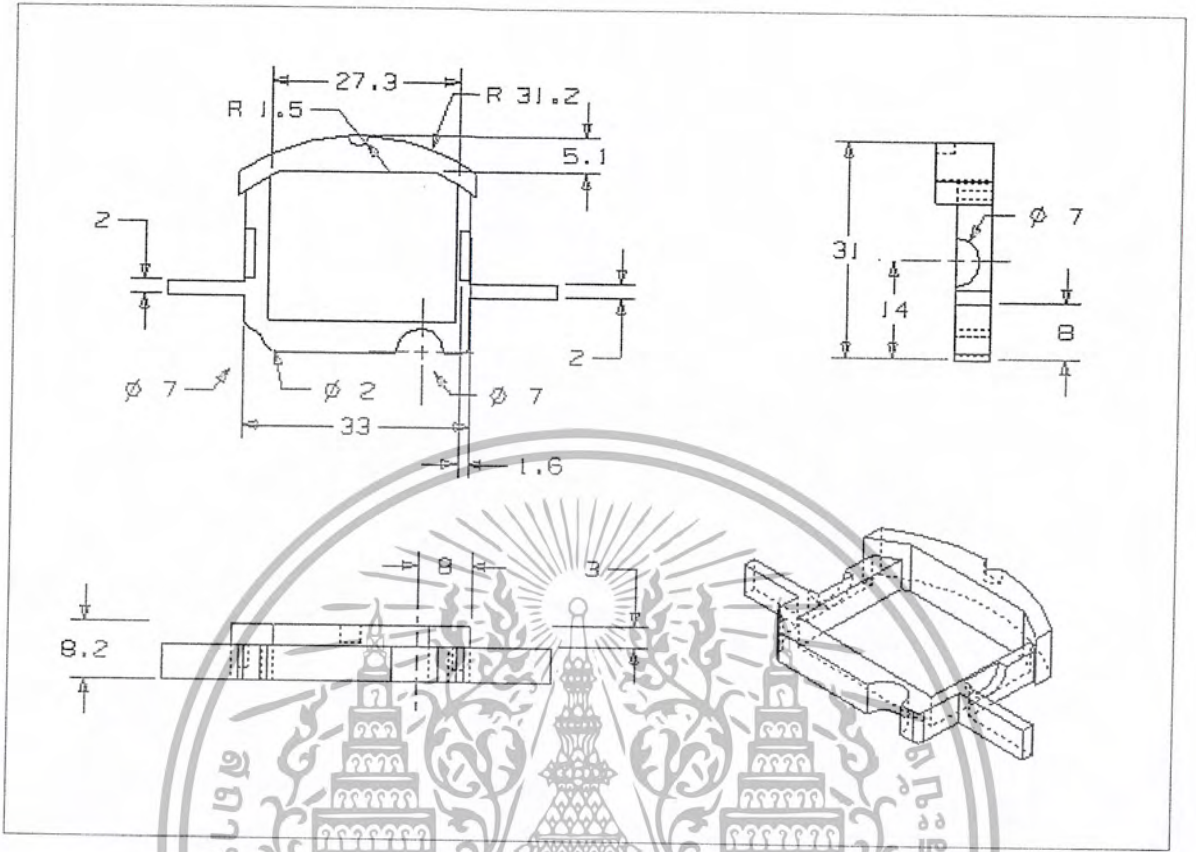
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



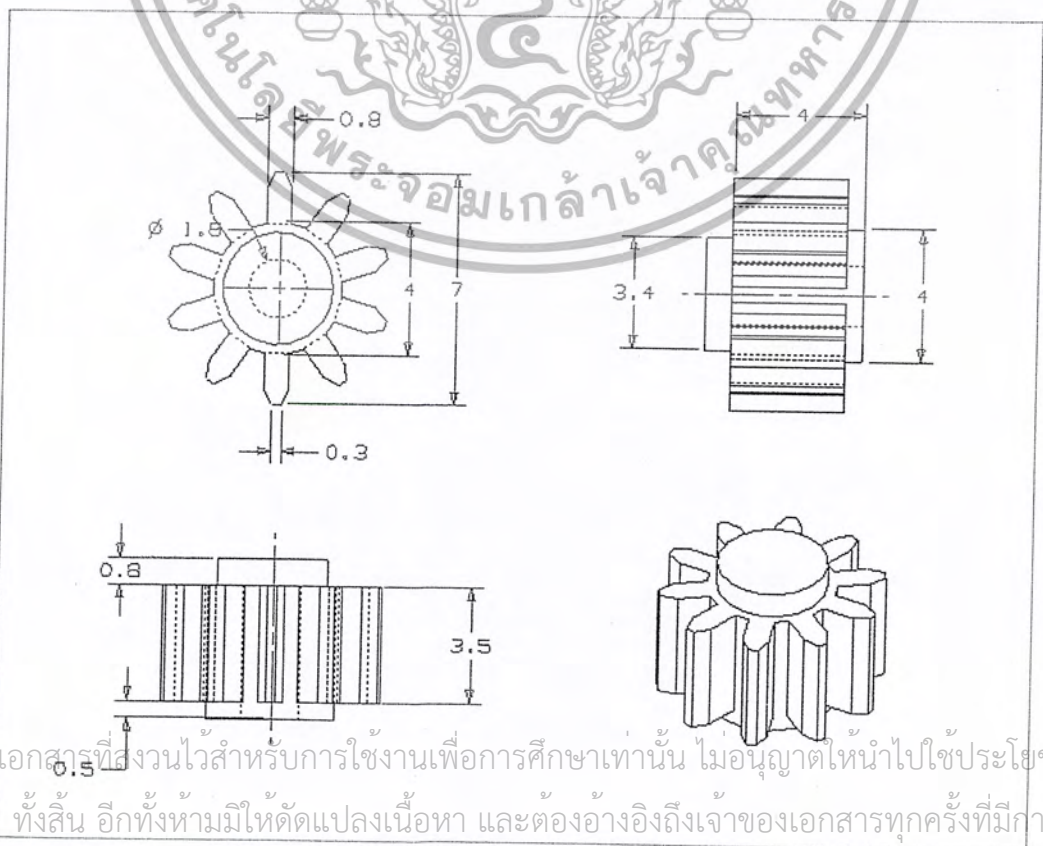
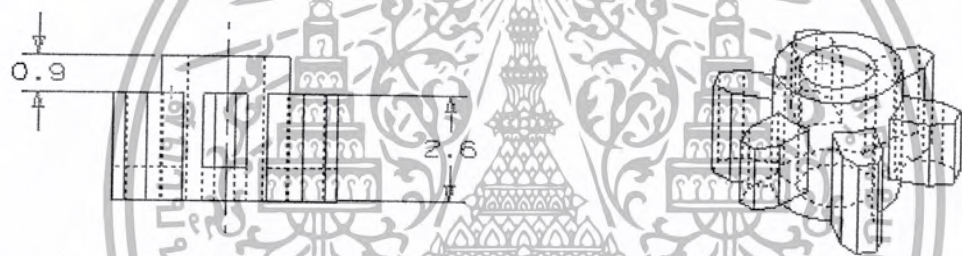
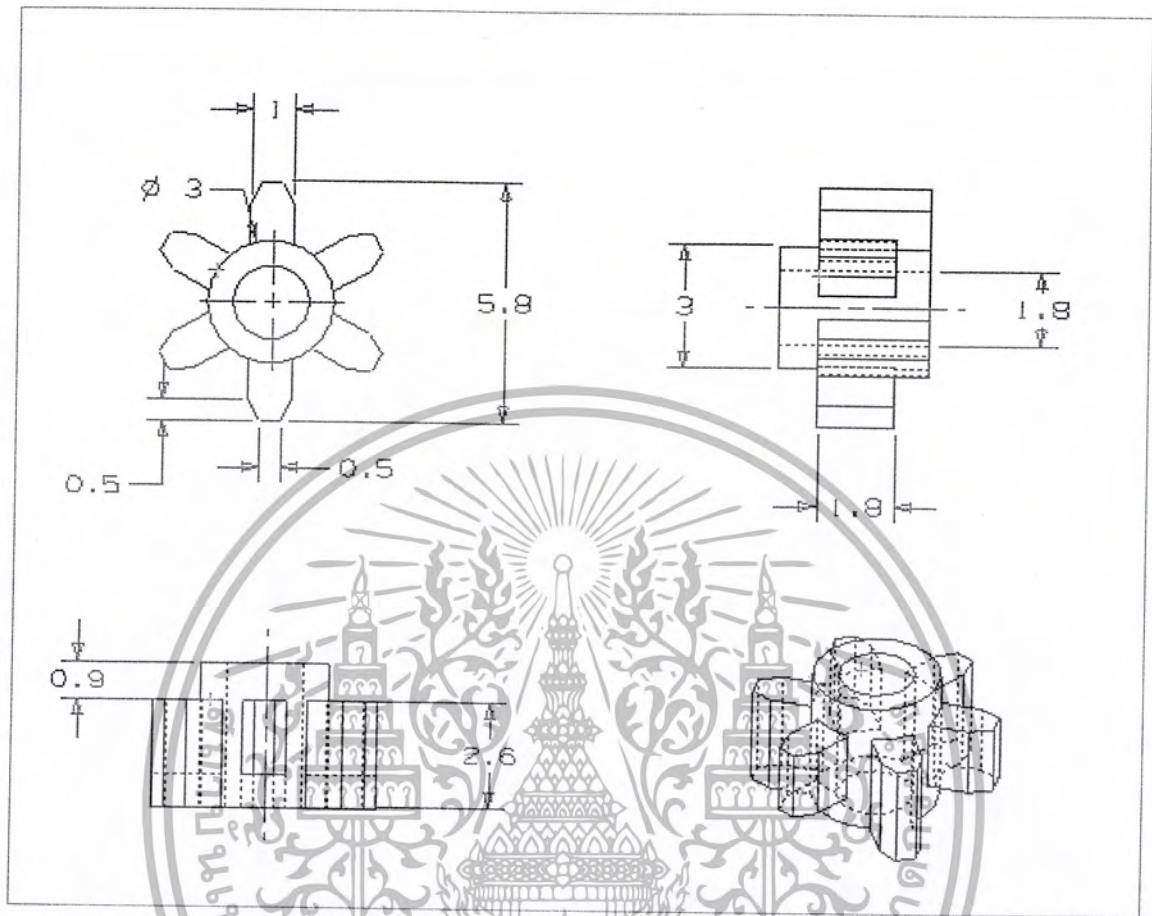
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



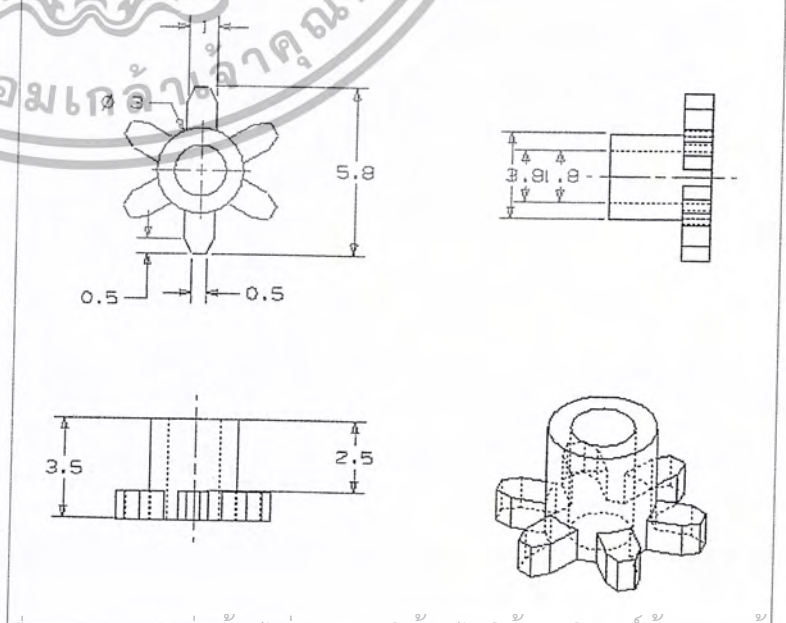
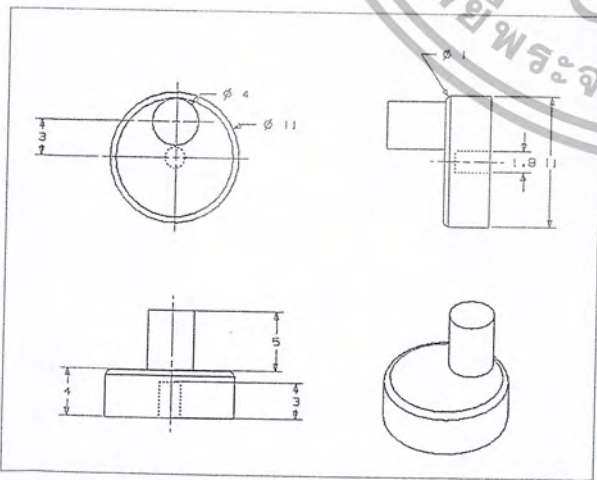
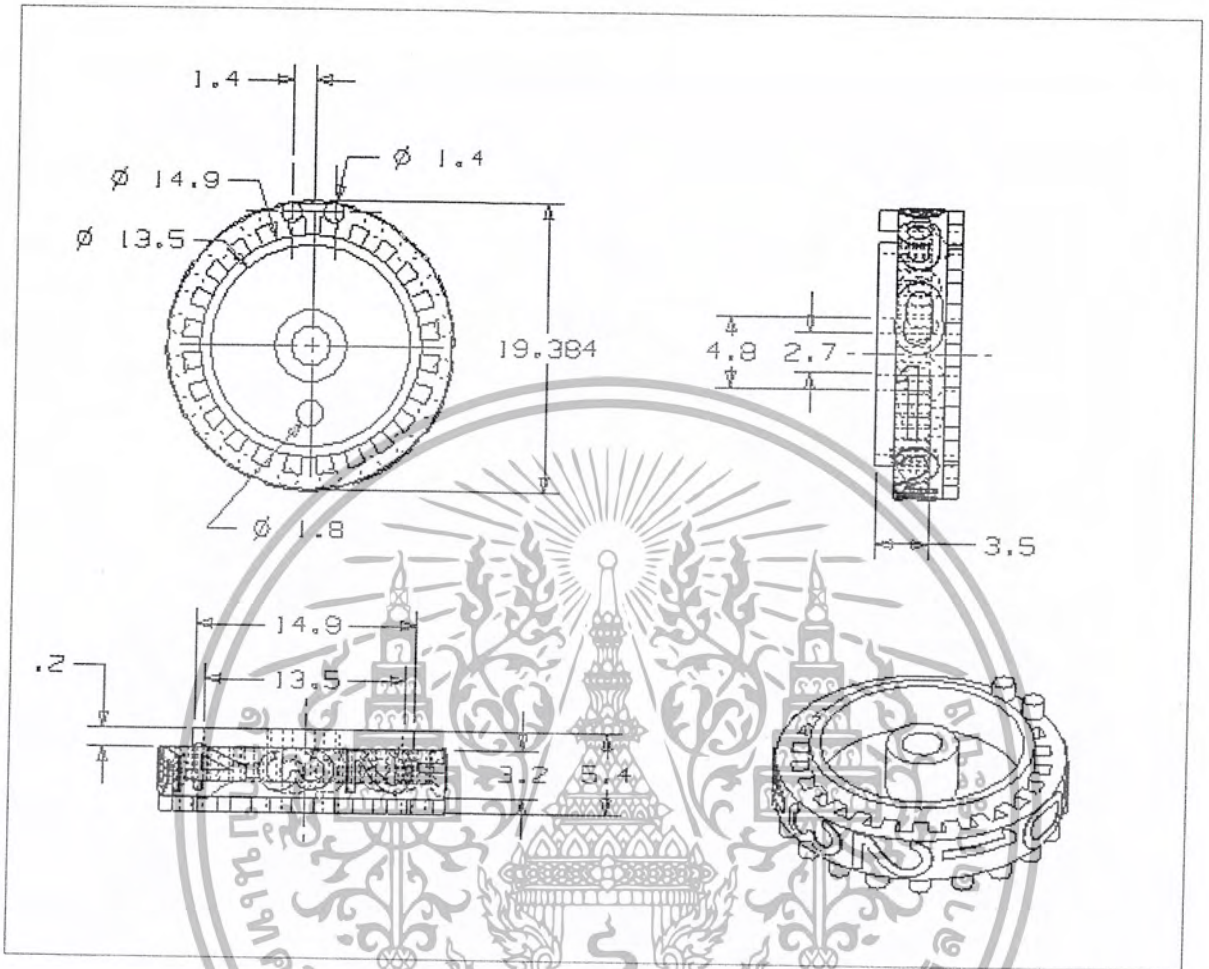
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



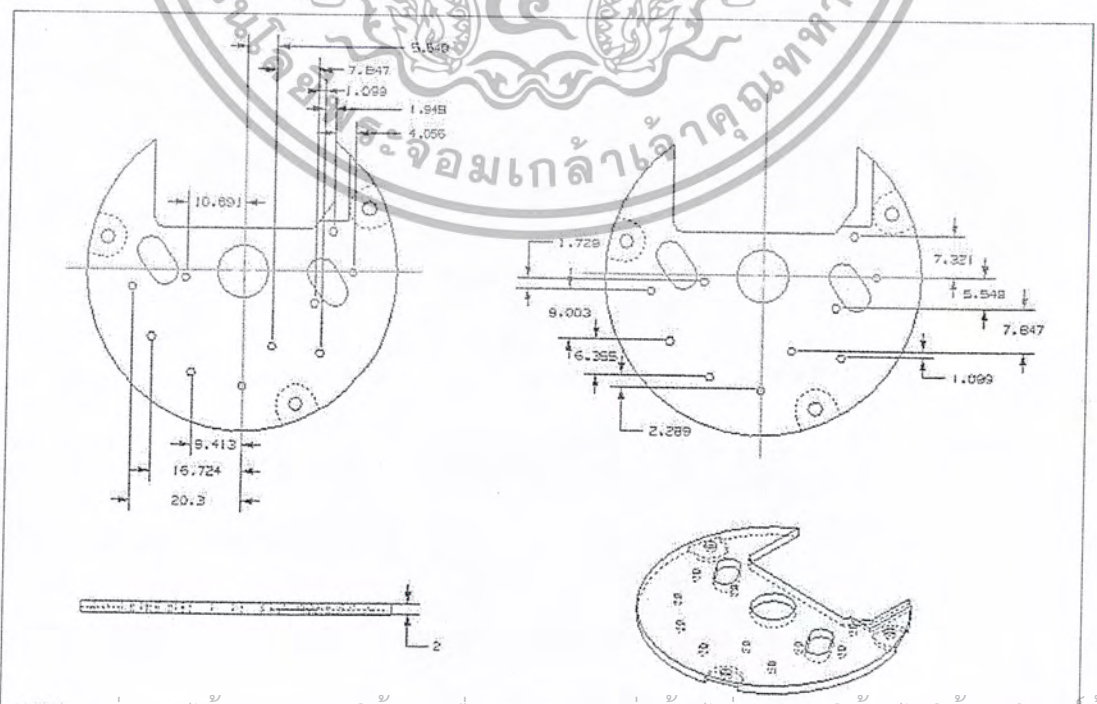
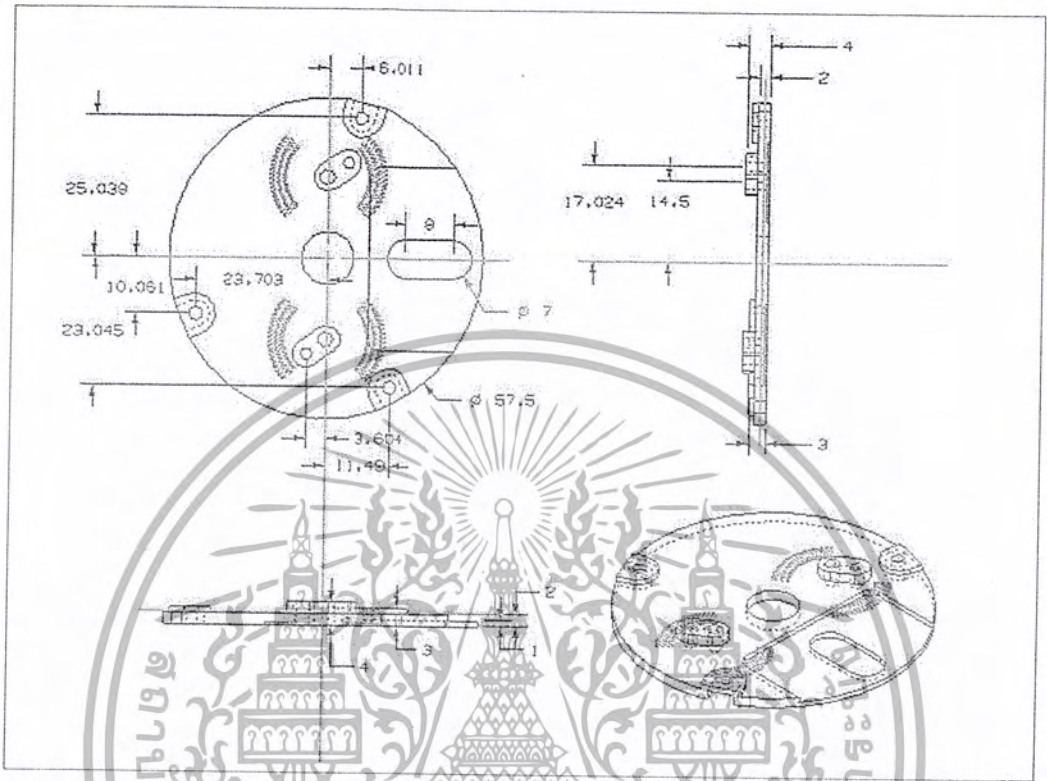
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



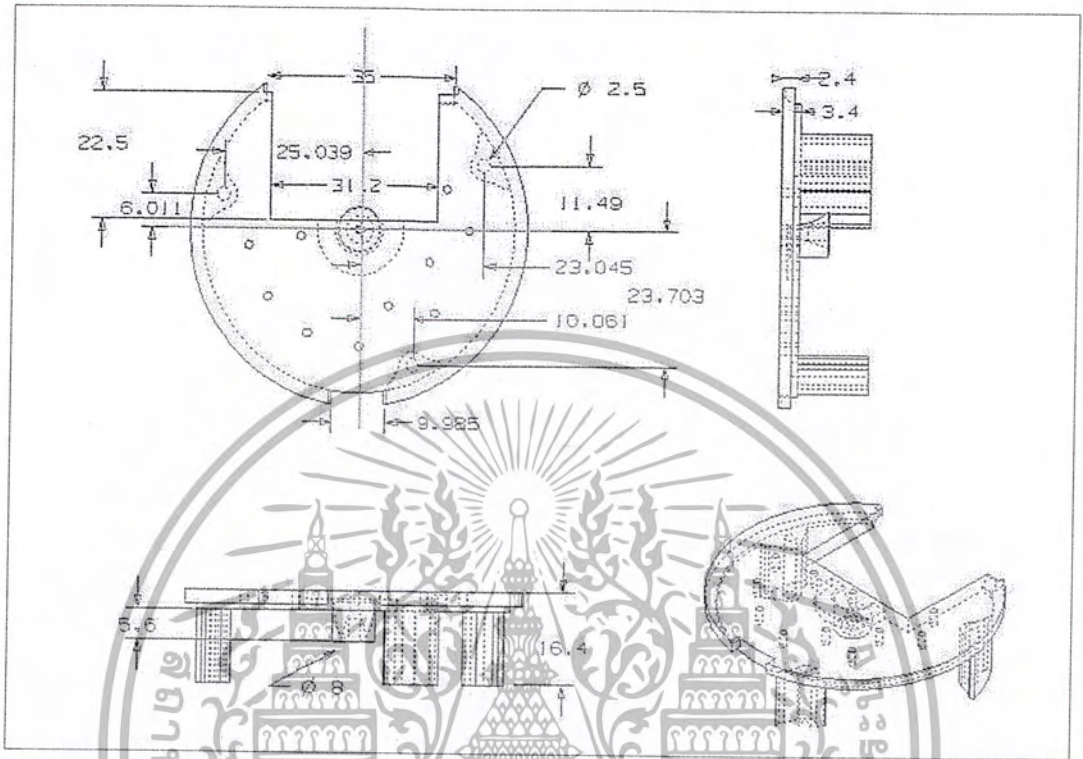
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

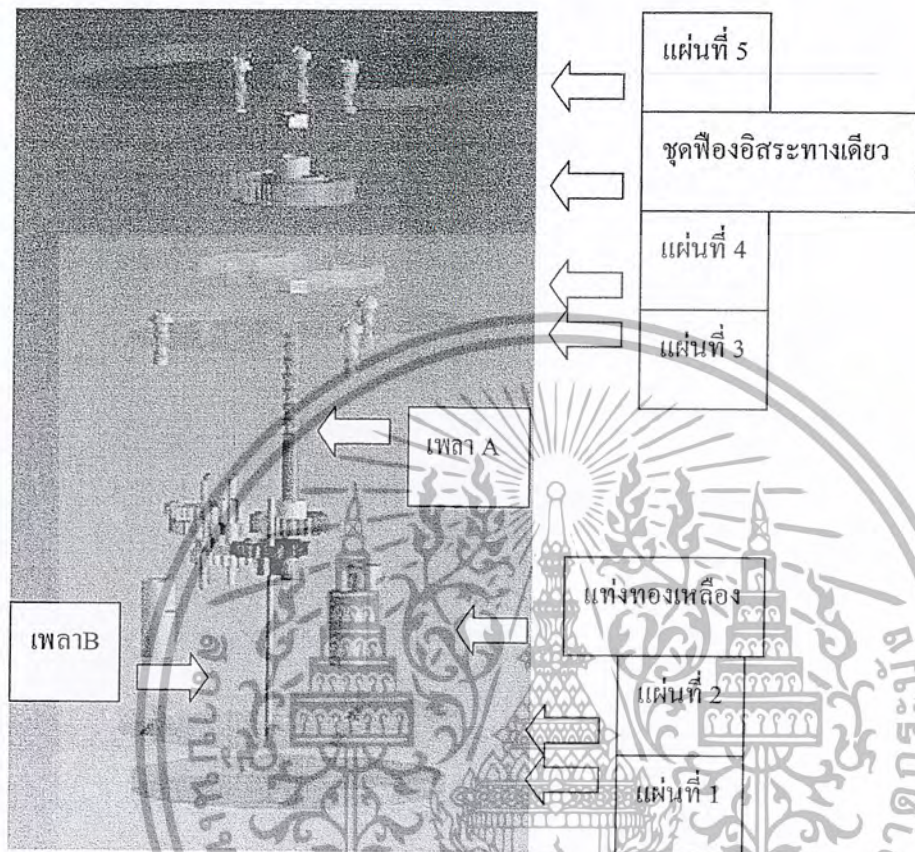


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



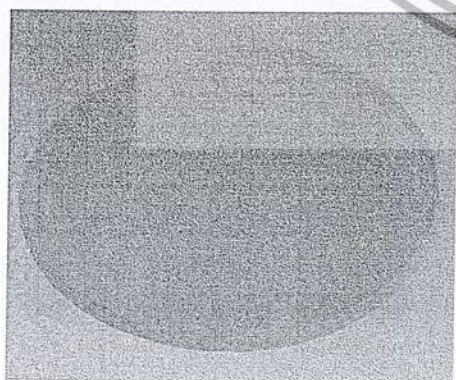
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 ส่วนของชุดส่งถ่ายกำลัง

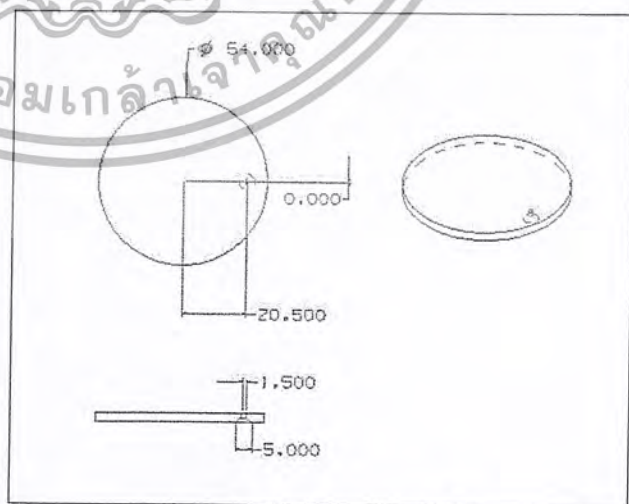


หลักการสร้าง

1. นำแผ่นแผ่นพลาสติกใสมีความหนา 3 มม. มาทำการสร้างให้ได้ตามแบบ

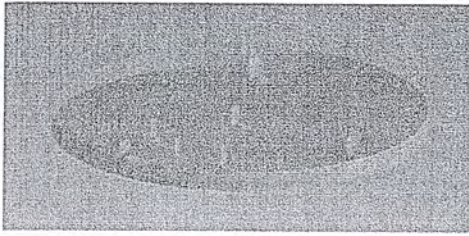


ภาพ แผ่นที่ 1

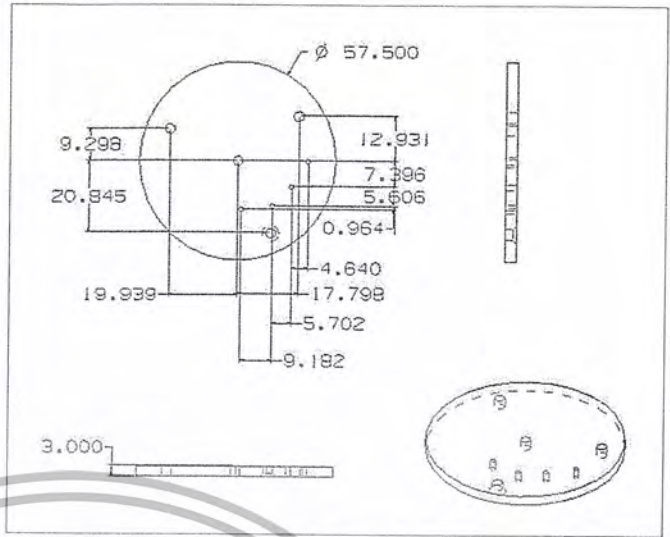


ภาพ เขียนแบบแผ่นที่ 1

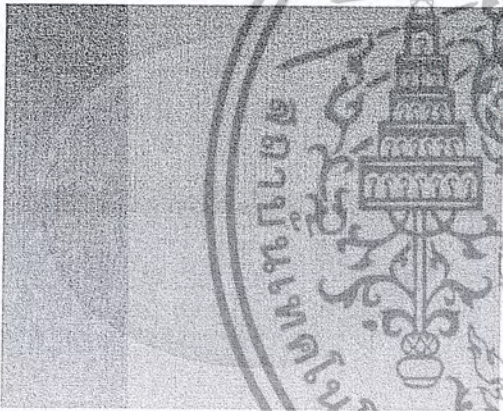
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



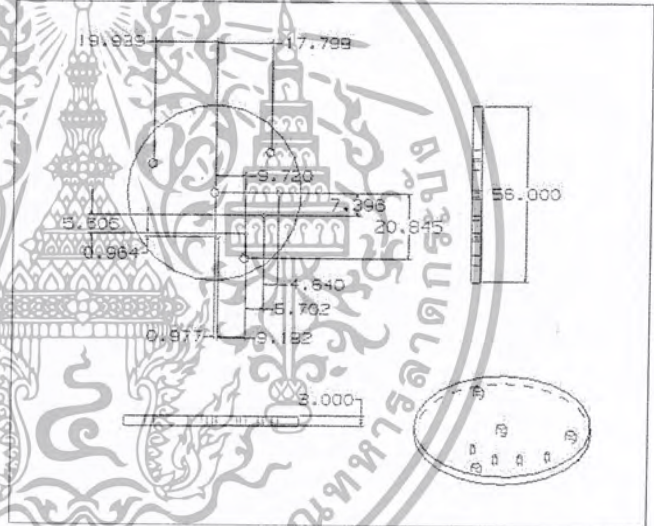
ภาพ แผ่นที่ 2



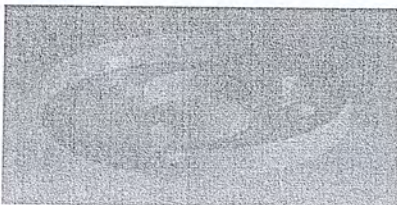
ภาพ เขียนแบบแผ่นที่ 2



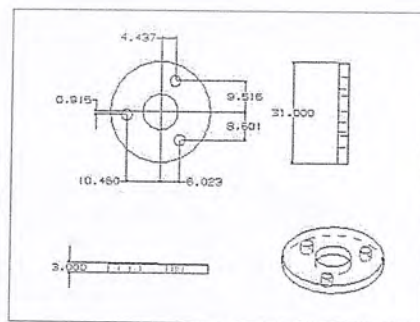
ภาพ แผ่นที่ 3



ภาพ เขียนแบบแผ่นที่ 3

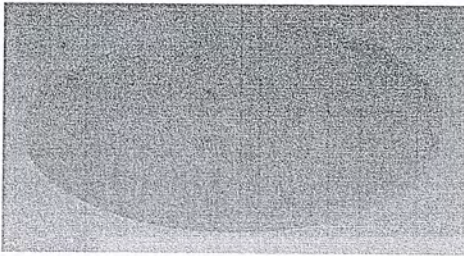


ภาพ แผ่นที่ 4

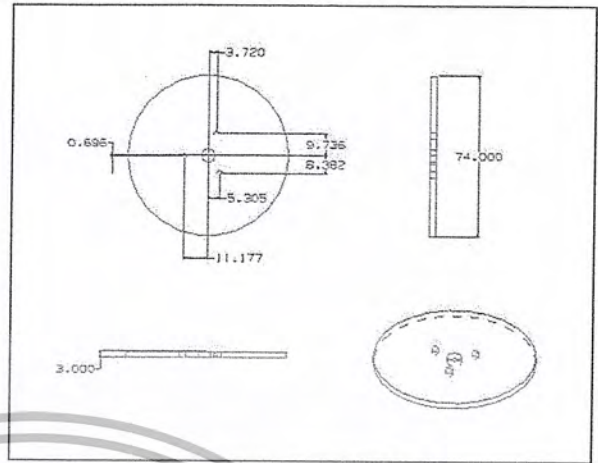


ภาพ เขียนแบบแผ่นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



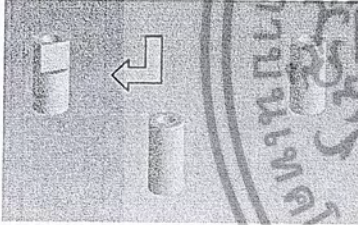
ภาพ แผ่นที่ 5



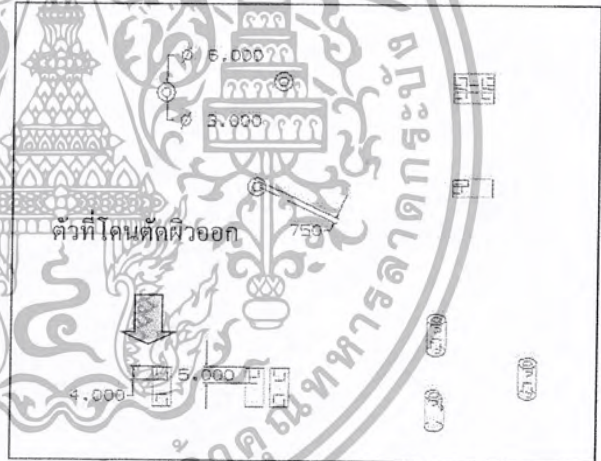
ภาพ เขียนแบบแผ่นที่ 5

2. นำแท่งทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรมาทำการสร้างให้ได้ตามแบบ โดยมีแท่งทองเหลือง 1 แท่งที่มีการทำการตัดผิวชิ้นงานออกส่วนหนึ่ง

ตัวที่ โคนตัดผิวออก



ภาพ แท่งทองเหลือง

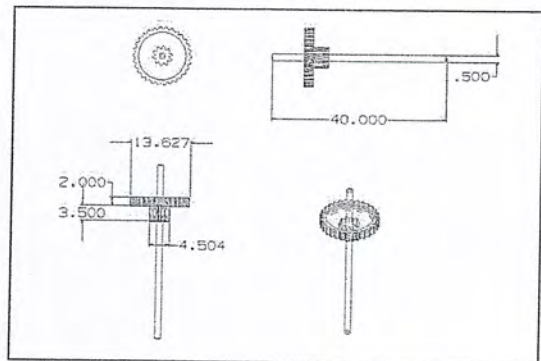


ภาพ เขียนแบบของแท่งทองเหลือง

3. นำเฟืองตามแบบมาเจาะรูแล้วยึดติดกับเพลา โดยทั้งสองต้องมีขนาดให้ได้ตามแบบ

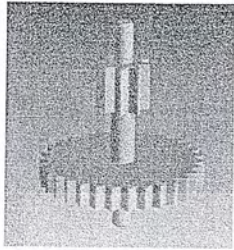


ภาพ เพลา A

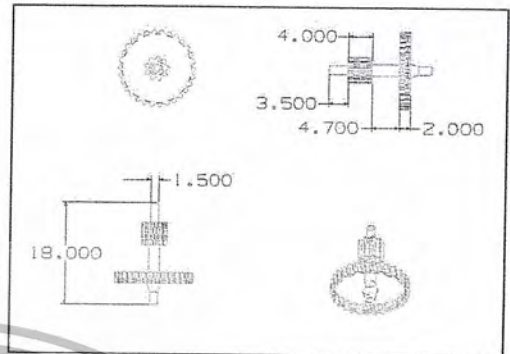


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

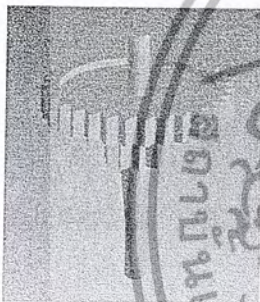
4. ทำการสร้างเฟืองให้ได้ขนาดตามแบบทั้ง 3 ตัว



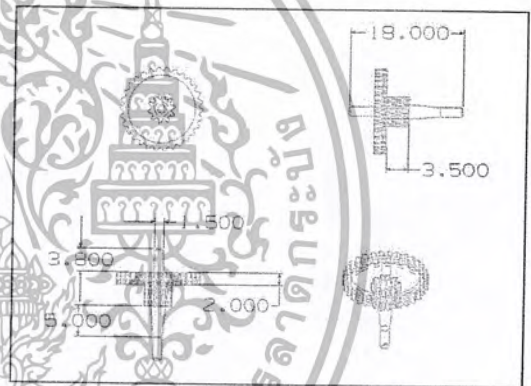
ภาพ เฟืองตัวที่ 1



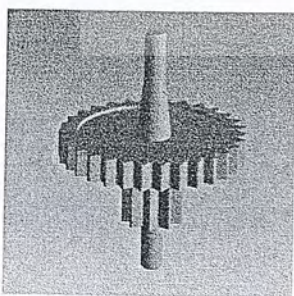
ภาพ เขียนแบบเฟืองตัวที่ 1



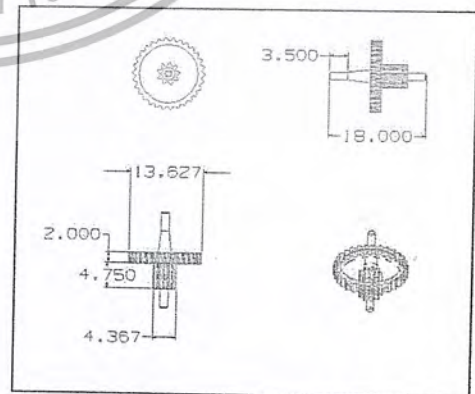
ภาพ เฟืองตัวที่ 2



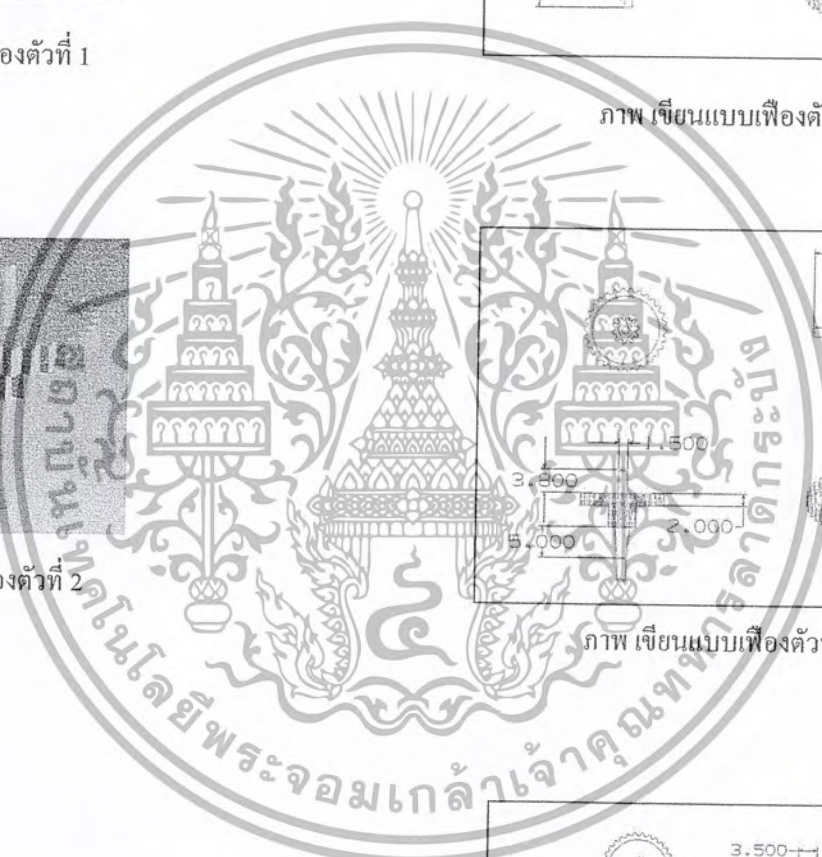
ภาพ เขียนแบบเฟืองตัวที่ 2



ภาพ เฟืองตัวที่ 3

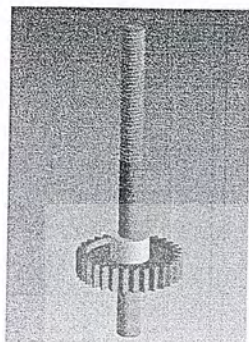


ภาพ เขียนแบบเฟืองตัวที่ 3

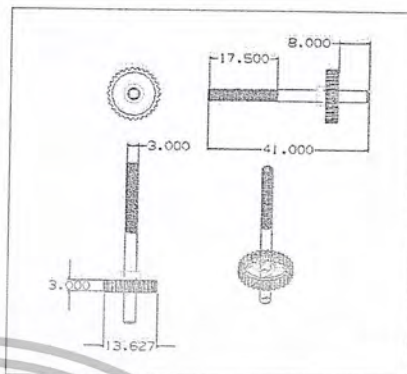


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำเฟืองตามแบบมาเจาะรูแล้วยึดติดกับเพลลา โดยทั้งสองต้องมีขนาดให้ได้ตามแบบพร้อมทั้งสร้างเกลียวให้ได้ตามแบบ



ภาพ เพลา B

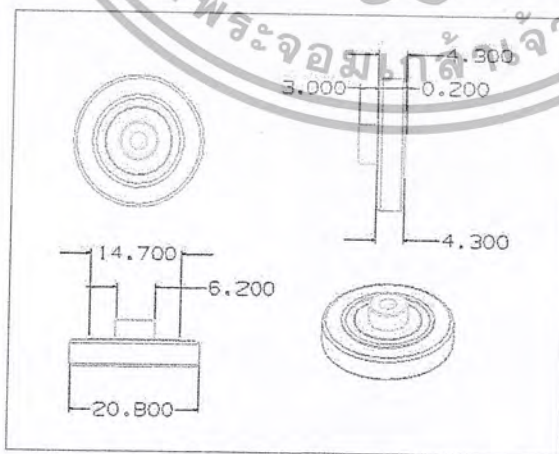


ภาพ เขียนแบบเพลา B

6. ทำการหาซื้อชุดเฟืองอิสระทางเดียวหรือสร้างให้มีขนาดตามแบบ

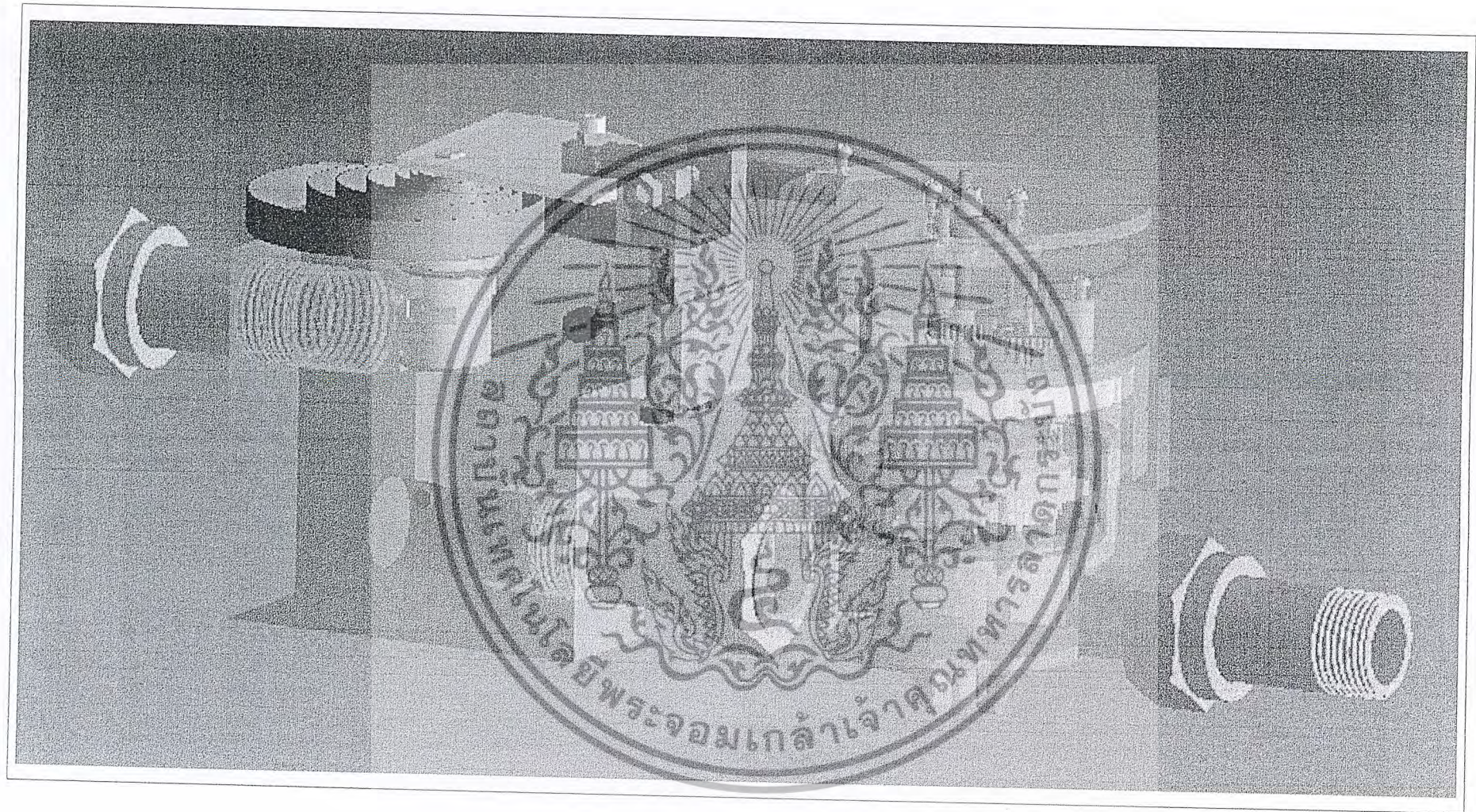


ภาพ ชุดเฟืองอิสระทางเดียว



ภาพชุดเฟืองอิสระทางเดียว

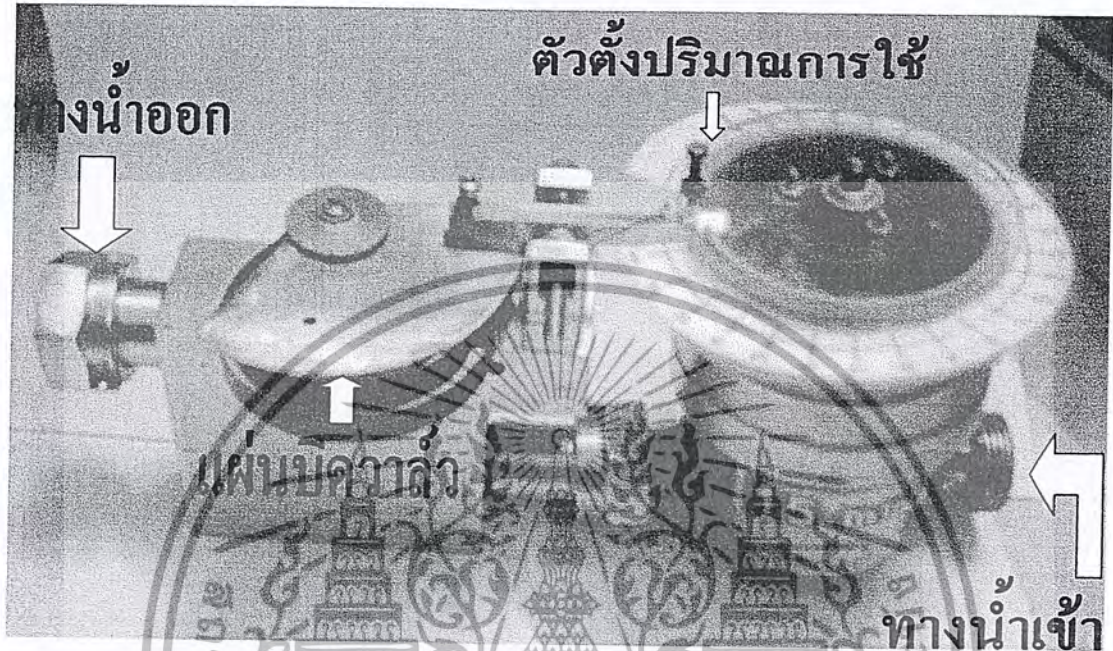
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพ ชิ้นงานที่ประกอบสมบูรณ์

บทที่ 9

หลักการทางานและวิธีการใช้



การใช้งาน

1. ทำการหมุนตัวตั้งปริมาณการใช้ไปที่ค่าที่เราต้องการด้วยทึศทางตามเข็มนาฬิกา
2. ทำการเปิดวาล์ว โดยการหมุนแผ่นบิตวาล์วไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาประมาณ 90 องศา

หลักการทางาน

เมื่อ ได้ตั้งค่าปริมาณการใช้และเปิดวาล์วแล้วน้ำจะไหลผ่านอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อ ซึ่งมีผลทำให้ตัวตั้งปริมาณการใช้ที่ได้ตั้งไว้ลดลงจนกระทั่งถึง 0 m^3 จะทำให้ตัวตั้งปริมาณการใช้ไปปลดล็อกแผ่นบิตวาล์วซึ่งมีผลให้แผ่นบิตวาล์วหมุนกลับหรือตามเข็มนาฬิกา 90 องศาโดยวาล์วที่อยู่ภายในจะถูกล็อกปิด น้ำจึงไม่สามารถผ่านอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อได้

บทที่ 10

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผล

จากการที่เราได้สร้างอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อ และทำการทดลอง

ตารางผลการทดลอง

จำนวน(ชั่วโมง)	มิเตอร์น้ำทั่วไป(m ³)	Mechanical Water Flow Meter (m ³)
5	5.2	5.197
10	10.4	10.36
15	15.6	15.54
20	20.8	20.75
25	26	25.92

ค่าความผิดพลาด

เมื่ออุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อได้ทำงานไป 25 m³ จะเกิดความผิดพลาดขึ้น

$$\frac{26 - 25.92}{26} \times 100\% = 0.3\%$$

เราสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อสามารถทำงานได้จริงตามทฤษฎีที่ได้คำนวณไว้
2. อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อจะเกิดข้อผิดพลาดเล็กน้อยถ้าการไหลในท่อเป็นแบบ Turbulence
3. มีการเกิด Backlash ขึ้นที่หน้าปัด

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อ มีขนาดใหญ่เกินไป
2. อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อมีน้ำหนักมาก
3. อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำมีราคาแพงเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

เราสามารถที่จะสร้างอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำในท่อให้มีขนาดเล็กลงได้โดยการออกแบบและใช้วัสดุที่ใช้ทำเพื่ออย่างเหมาะสม การเจาะรูเพื่อวางเฟืองควรวางให้พอดีโดยการเลือกดอกสว่านที่เหมาะสม และการทดลองไม่ควรให้การไหลเป็นแบบ Turbulence เพราะจะทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนควรต่อท่อทดลองให้มีความยาว 1 เมตรขึ้นไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Machine Design 1, ดร. วรินทร์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2541
- [2] Machine Design 2, ดร. วรินทร์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2541
- [3] กลศาสตร์ของแข็ง, บรรจบ อรชร, บริษัท พิมพ์ดี จำกัด, กรุงเทพฯ, 2542
- [4] Introduction To Fluid Mechanics, Robert W. Fox Alan T, Modonald, John Wiley & Sons, Inc.
- [5] ตารางงานโลหะ , รศ. บรรเลง ศรีนิล และ ผศ.ประเสริฐ กัญจสมบุรณ์ สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้