

การออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันเปลวไฟลามแบบปิดเร็ว

DESIGN AND FABRICATION OF AUTOMATIC FAST ACTING
VALVE FOR DEFLAGRATION PREVENTION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันเปลวไฟลามแบบปิดเร็ว

DESIGN AND FABRICATION OF AUTOMATIC FAST ACTING
VALVE FOR DEFLAGRATION PREVENTION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND FABRICATION OF AUTOMATIC FAST ACTING
VALVE FOR DEFLAGRATION PREVENTION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันเปลวไฟลามแบบปิดเร็ว

DESIGN AND FABRICATION OF AUTOMATIC FAST ACTING VALVE FOR DEFLAGRATION
PREVENTION

ผู้จัดทำ

1. นายวริศ โลพิณิจ รหัสประจำตัว 58011125
2. นายอภิวิชญ์ แซ่ห้วง รหัสประจำตัว 58011414



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันเปลวไฟลามแบบปิดเร็ว

นายวิศ โลพินิจ 58011125

นายอภิวิชญ์ แซ่ห้วง 58011414

รศ.ดร.จากรูวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

เนื่องจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ทำการวิจัยหัวเผาใหม่สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น โดยโครงการวิศวกรรมนี้ได้ให้ความสำคัญที่ระบบลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น ซึ่งในขณะขนส่งอาจเกิดการเสียดสีของอนุภาคเชื้อเพลิงภายในระบบ ส่งผลให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมเกิดความเสี่ยงต่อการเกิดจุดติดไฟด้วยตัวเอง (self-ignition) ของอนุภาคเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำให้เกิดการระเบิดขึ้นภายในบริเวณที่จัดเก็บ และการลามของเปลวไฟในลำดับต่อมา และอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อบุคคล และความเสียหายของเครื่องจักร โครงการวิศวกรรมฉบับนี้จึงทำการแยกระบบออกจากกันด้วยวาล์วนิรภัยชนิดปิดเร็วเมื่อเกิดการระเบิดขึ้นเพื่อลดปริมาณความเสียหายที่จะเกิดขึ้นโดยอ้างอิงมาตรฐานความปลอดภัยด้านอัคคีภัย (National Fire Protection Association) โดยการออกแบบวาล์วนิรภัยตามหลักวิศวกรรม โดยระบบวาล์วปิดเร็ว 4 นิ้ว ด้วยกระบอกสูบลมที่สภาวะการทดลองของการวิจัยนี้ (MAJ 25x250-50 S CM LB PT) จะต้องใช้แรงดันเท่ากับ 245.30 นิวตันจากผลการทดลอง เพื่อให้เวลาที่ใช้เพื่อปิดวาล์วทั้งหมดน้อยกว่า 0.0513 วินาที ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของของไหลเฉื่อยของวาล์วปิดเร็วมีค่าเท่ากับ 938.842 U.S. GPM ที่อุณหภูมิ 60°F ซึ่งแสดงว่าค่าความดันลดต่ำ วาล์วปิดเร็วสามารถทนแรงดันที่ 10 บาร์เกิดมาจากการคำนวณเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน NFPA 69 ในระดับความรุนแรงของการระเบิด (Explosion class) ที่ 1

DESIGN AND FABRICATION AUTOMATIC FAST ACTING VALVE FOR DEFLAGRATION
PREVENTION

Mr. Warit Lopinit 58011125

Mr. Apiwit Saewong 58011414

Assoc. Prof. Dr. Jaruwut Jareonsuk Advisor

Year 2018

ABSTRACT

According to experimental studies of pulverized biomass burner of the faculty of mechanical engineering at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, this research realized the importance of pulverized biomass transportation system. During transportation system, pulverized biomass can be accumulated thermal energy by different particles sliding against each other. This can lead to the risk of pulverized biomass's self-ignition and cause deflagration in silo as well as flame propagation respectively. The effect of explosion can injure people and destroy equipment. Nearby, the aim of this project is to isolate the transport system with automatic fast acting valve for mitigating damage of deflagration according to National Fire Protection Association (NFPA) standard. Quick closing valve, size 4 inches, with pneumatic cylinder system (MAJ 25x250-50 S CM LB PT) is used in this research. The experiment show that the force required for closing valve is 245.30 N. This force able to close valve within 0.0513 seconds. Flow coefficient at fully open of valve is 938.842 U.S. GPM at temp. 60°F. By the way, the design of automatic fast acting valve system can support up to 10 bars in nonmandatory of NFPA in 1st explosion class.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีโดยมี รศ.ดร.จรรูวัตร เจริญสุข ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ดูแลและที่ปรึกษา และได้ให้คำแนะนำ ความรู้ ความสนับสนุน รวมไปถึงการเสนอแนะแนวทางแก้ไข ปัญหาตลอดเวลาในการทำโครงการผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณพี่ๆ นักศึกษาชั้นปริญญาโท และปริญญาเอกประจำห้องทดลองการเผาไหม้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ให้คำแนะนำ และความรู้ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้สนับสนุนสถานที่ในการทำการวิจัยวิทยานิพนธ์ทางวิศวกรรมฉบับนี้



นายวริศ

โลพิณิจ

นายอภิวิชญ์

แซ่หว่าง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2.....	4
บทที่ 3.....	7
3.1 ทฤษฎีสำหรับการหามวลของวัตถุ.....	7
3.2 ทฤษฎีสำหรับการหาเวลาของการเคลื่อนที่.....	7
3.3 กฎของนิวตัน.....	8
3.4 สมการพื้นฐานในการออกแบบ.....	8
3.5 ทฤษฎีวงกลมโมห์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ 2 มิติ.....	9
3.6 ทฤษฎีวงกลมโมห์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ 3 มิติ.....	12
3.7 ทฤษฎีความเค้นตั้งฉากปกติในคาน.....	13

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.8 ทฤษฎีเรื่องการทรุดตัวอันเนื่องมาจากแรงคัต	16
3.9 ทฤษฎีความเค้นในทรงกระบอกรับความดัน	17
3.10 ทฤษฎีความเข้มข้นของความเค้นในวัสดุเหนียว	19
3.11 ทฤษฎีโมเมนต์ความเฉื่อย	20
3.12 ทฤษฎีสลักเกลียว.....	21
3.13 ทฤษฎีความแกร่งของรอยต่อที่ยึดด้วยสลักเกลียว.....	23
3.14 ทฤษฎีความแกร่งของชิ้นงานที่ยึดด้วยสลักเกลียว.....	26
3.15 ทฤษฎีแรงดึงในรอยต่อที่เกิดจากโหลดภายนอก.....	29
3.16 ทฤษฎีโหลดแรงดึงแบบสถิตที่รอยต่อ.....	31
3.17 ทฤษฎีเรื่องแรงกระทำเริ่มต้น (F_r).....	31
3.18 ทฤษฎีรอยต่อรับแรงเฉือน.....	32
3.19 ทฤษฎีความเสียหาย.....	33
3.20 ทฤษฎีพลังงานความเครียด.....	36
บทที่ 4	40
4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วโดยสังเขป.....	40
4.2 การคำนวณหาเวลามากที่สุดที่ใช้ในการปิดวาล์วหลังได้รับสัญญาณการเกิดการระเบิด.....	42
4.3 การคำนวณหาความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่เพื่อรับแรงดัน.....	47
4.4 การคำนวณหาความโค้งของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่รับแรงดัน 1 บาร์เกจ.....	57
4.5 การคำนวณหาความหนาน้อยที่สุดในทรงกระบอกรับความดัน.....	61
4.6 การคำนวณหาแรงขับกระบอกสูบนิวมติกของวาล์วปิดเร็ว.....	62
4.7 การคำนวณหาค่าความปลอดภัยของก้านวาล์วเมื่อรับแรงกระแทก.....	75
4.8 การคำนวณหาช่องว่างเชื่อมต่อกับตัวส่งแรงนิวมติก(Z).....	76

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.9 ความแกร่งของสลักเกลียว.....	77
4.10 ความแกร่งของชิ้นงานที่ยึดด้วยสลักเกลียว	80
4.11 แรงดึงในรอยต่อที่เกิดจากโหลดภายนอก.....	82
4.12 โหลดแรงดึงแบบสถิตที่รอยต่อ	84
4.13 ช่องแคบที่ก่อให้เกิดการดับของเปลว (Quenching by a cold wall).....	84
บทที่ 5	88
5.1 ขั้นตอนการประกอบวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว	88
5.2 การสอบเทียบของอุปกรณ์ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer	90
5.3 การสอบเทียบ Differential Pressure	95
5.4 การทดลองเพื่อเก็บค่าความดันลด	98
5.5 การทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า.....	100
5.6 การทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาในการปิดวาล์ว.....	104
บทที่ 6	106
6.1 ผลการเก็บค่าขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ เทียบกับค่าที่ใช้คำนวณ.....	106
6.2 ผลการทดลองเก็บค่าความดันลด.....	107
6.3 การทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า (t_{detect})	111
6.4 ผลการทดลองเก็บค่าแรงที่ใช้ขับวาล์วเทียบกับเวลา	112
6.5 ผลการเก็บค่ารั้วที่มีขนาดใหญ่ที่สุด	119
บทที่ 7	121
7.1 บทสรุป.....	121
7.2 ข้อเสนอแนะ	122
เอกสารอ้างอิง	124

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก.....	127
ตารางสำหรับการออกแบบ และคำนวณ.....	127
ภาคผนวก ข.....	131
แบบ 3 มิติ และ 2 มิติ วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว.....	131



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่ A และ B ของวัสดุชนิดต่าง	29
ตารางที่ 4.1 การหาคำนวนหาค่า M_{\max}	52
ตารางที่ 4.2 ชั้นสามเหลี่ยมที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร	53
ตารางที่ 4.3 ชั้นสามเหลี่ยมที่มีความหนา 7 มิลลิเมตร	54
ตารางที่ 4.4 คำนวนค่าความปลอดภัยของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่มีความหนา 6, 7 และ 8	55
ตารางที่ 4.5 ความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่ค่าความปลอดภัยต่าง ๆ	56
ตารางที่ 4.6 ระยะทรุดตัวของคานที่ตำแหน่งต่าง ๆ	59
ตารางที่ 4.7 คำนวนหาความหนาผนังน้อยที่สุดในทรงกระบอกรับความดัน	61
ตารางที่ 4.8 แสดงค่ามวลจริงของชิ้นส่วนต่าง ๆ	62
ตารางที่ 4.9 คำนวนหาค่า T_{II} ที่วาล์วตำแหน่งต่าง ๆ	72
ตารางที่ 4.10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่หน้าตัดของเกลียวหยาบ และเกลียวละเอียดของสลักเกลียว แบบ Metric Threads [8]	77
ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียวแบบ Metric [8]	78
ตารางที่ 4.12 ตัวแปรสำหรับค่าความแข็งแรงของวัสดุแต่ละชนิด [8]	78
ตารางที่ 4.13 ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการคำนวณค่าความแข็งแรงในสลักเกลียวจากตารางข้างต้น	79
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการสอบเทียบของอุปกรณ์ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer	95
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการสอบเทียบของอุปกรณ์ Differential Pressure	97
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต	106
ตารางที่ 6.2 บันทึกผลการทดลองเก็บค่าความดันลด	107
ตารางที่ 6.3 แสดงการคำนวณหาค่า C_v (คิดเฉพาะที่วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วเปิด 100 เปอร์เซ็นต์)	111
ตารางที่ 6.4 แสดงตารางบันทึกผลการทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า	112
ตารางที่ 6.5 แสดงตารางบันทึกผลการทดลองเก็บค่าแรงที่ใช้ขับเคลื่อนวาล์วเทียบกับเวลา	114
ตารางที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ) กับ เวลาเฉลี่ยที่ใช้(วินาที)	115

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 6.7 แสดงตารางเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่จากการทดลองเทียบกับแรงดันที่ได้จากการคำนวณโดยที่ตัวแปรต้นตัวเดียวกัน.....	116
ตารางที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ) กับ เวลามากที่สุดที่ใช้(วินาที)	118



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่1.1 กำแพงเสริมเหล็กเสียหายบริเวณทางเข้า silo เก็บ grain ที่ St.Joseph, Missouri, 1980 [15]..2	
รูปที่3.1 แผนภาพวัตถุอิสระของอิลิเมนต์ใดๆ [8].....	9
รูปที่3.2 แผนภาพของวงกลมโมห์ 2 มิติ [8]	12
รูปที่3.3 แผนภาพของวงกลมโมห์ 3 มิติ [8]	12
รูปที่3.4 คานในแนวตรงที่รับโมเมนต์ดัดในทิศทาง [8].....	13
รูปที่3.5 การกระจายตัวของความเค้นแนวแกนที่เกิดจากโมเมนต์ดัด [8].....	16
รูปที่3.6 ทิศทางของความเค้นจากแรงดันภายในทรงกระบอก [8].....	17
รูปที่3.7 แรงดันภายใน และภายในที่ผิวทรงกระบอก [8]	17
รูปที่3.8 การกระจายแรงของความเค้น[8].....	18
รูปที่3.9 รูปเรขาคณิตทรงกระบอกกลาง[8].....	20
รูปที่3.10 สลักเกลียวแต่ละประเภท[8].....	22
รูปที่3.11 ชิ้นงานที่ถูกติดกันด้วยสลักเกลียว[8].....	23
รูปที่3.12 ภาพแสดงขนาดของแต่ละตัวของสลักเกลียว และชิ้นงานยึด[8].....	25
รูปที่3.13 แรงกระทำชิ้นงานที่เป็นแรงกดที่สมมติว่าเป็นรูปกรวย[8].....	26
รูปที่3.14 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน d/l กับ k_m / Ed [8].....	29
รูปที่3.15 เป็นตัวอย่างของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนคานกระทำสลักเกลียวสลักเกลียว[8]	32
รูปที่3.16 ตัวอย่างความเสียหายเนื่องจากการกระแทกของตัวยึดโบลต์ของเครื่องตัดหญ้า[8].....	33
รูปที่3.17 ขอบเขตทำนายความเสียหายทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด[8].....	36
รูปที่3.18 อิลิเมนต์รับแรงเฉือน และโมเมนต์ดัด[8].....	37
รูปที่3.19 ค่าแฟกเตอร์ C ที่พื้นที่หน้าตัดขวางต่าง ๆ [8].....	39
รูปที่4.1 ภาพแสดงส่วนประกอบโดยรวมของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว.....	41
รูปที่4.2 แผนภาพแสดง Piping and Instrument Diagram (NFPA 68 Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting 2007 Edition).....	42
รูปที่4.3 แสดงชุดการทดลองหาเวลาล่าช้า	45
รูปที่4.4 ภาพสามมิติของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมรับแรง	47
รูปที่4.5 แสดงพื้นที่ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ที่รับแรงดัน และอยู่ในพิกัด x กับ y	48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่4.6 ภาพของไหลตามสมการที่ 4.10 ที่กระจายบนโครงสร้างคานยื่น	49
รูปที่4.8 โหลดที่กระจายบนโครงสร้างยื่นที่ตำแหน่ง	50
รูปที่4.8 แสดงพื้นที่รับความดันของชั้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ 1 ชั้น	50
รูปที่4.9 โหลดที่กระจายโครงสร้างยื่นที่ตำแหน่ง	51
รูปที่4.10 แสดงความเค้นรวมศูนย์บนชั้นส่วนวาล์ว	53
รูปที่4.11 แสดงให้เห็นมวลของชั้นส่วนสามเหลี่ยมมีการกดทับกัน	54
รูปที่4.12 ตำแหน่งของค่า b	54
รูปที่4.13 แผนภาพความเค้นบนวัตถุอิสระตำแหน่งเส้นสีแดงในรูปที่ 4.12	55
รูปที่4.14 โหลดกระจายบนโครงสร้างยื่นหรือชั้นส่วนสามเหลี่ยม	57
รูปที่4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของคานหรือค่า x กับ ระยะหลุดตัวของคาน	60
รูปที่4.16 ชั้นส่วนสามเหลี่ยมเมื่อทำการแก้ไข	60
รูปที่4.17 แสดงแผนภูมิการพิจารณาให้คะแนนเพื่อเปรียบเทียบความยาก - ง่ายของตัวขับเคลื่อนประเภทต่าง ๆ	63
รูปที่4.18 แผนภาพวัตถุอิสระของชั้นส่วนสามเหลี่ยม	64
รูปที่4.19 (ก.) พื้นที่หกเหลี่ยมด้านเท่าการไหลของของไหลที่ตำแหน่งต่าง(ข.) พื้นที่สี่เหลี่ยมสีดำที่ตำแหน่งใด ๆ ของชั้นส่วนสามเหลี่ยม A_p	65
รูปที่4.20 แผนภาพวัตถุอิสระของชั้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่	68
รูปที่4.21 แสดงตัวแปรของสมการที่ 4.50	69
รูปที่4.22 ชั้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่หมุนทิศตามเข็มนาฬิกา และแสดงมุม	70
รูปที่4.23 แสดงกลไกจำลองการขับเคลื่อนผ่านชุดทรงกระบอกกลม	73
รูปที่4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก้านวาล์วกับการเคลื่อนที่ของชุดทรงกระบอกกลม	74
รูปที่4.25 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟริสตามสำหรับการคำนวณค่าความแกร่งของชิ้นงาน	80
รูปที่4.26 ภาพจำลองช่องว่างขนาดเล็กที่เปลวไฟเคลื่อนที่ผ่าน [16]	85
รูปที่5.1 แสดงภาพชุดทดลองเพื่อการทดสอบการทดสอบเทียบของอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศรุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer	90
รูปที่5.2 แสดงภาพการวัดความดันลดด้วยหลอดรูปตัว U	91

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.3 แสดงภาพปั๊มหอยโข่งลม	91
รูปที่ 5.4 ชุดอุปกรณ์เครื่องวัด รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer	92
รูปที่ 5.5 แสดงแผนภาพ P&ID ของการทดสอบเทียบของอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer	92
รูปที่ 5.6 แสดงหน้าจอควบคุมปั๊มหอยโข่งลม	93
รูปที่ 5.7 แสดงภาพอุณหภูมิอากาศที่มีค่าเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส	93
รูปที่ 5.8 แสดงภาพค่าความดันเกจของอากาศภายในท่อเท่ากับ 2.2 มิลลิเมตรน้ำ	94
รูปที่ 5.9 แสดงภาพการอ่านค่าของความแตกต่างของระดับน้ำในสาย polyurethane รูปตัว U	94
รูปที่ 5.10 แสดงภาพอุปกรณ์ Differential Pressure	96
รูปที่ 5.11 แสดงแผนภาพ P&ID ของการทดสอบเทียบของอุปกรณ์ Differential Pressure	96
รูปที่ 5.12 แสดงการวัดอัตราการไหลของอากาศภายในท่อ ด้วยเครื่องวัด รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer	97
รูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างการวัดความดันลด	98
รูปที่ 5.14 แสดงแผนภาพ P&ID ของทดลองเพื่อเก็บค่าความดันลด	99
รูปที่ 5.15 แสดงชุดการทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า	100
รูปที่ 5.17 แสดงภาพปั๊มลม B แบบ Reciprocating Air	101
รูปที่ 5.16 แสดงภาพปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air	101
รูปที่ 5.18 แสดงภาพ ladder diagram	102
รูปที่ 5.19 แสดงภาพ P&ID ของภาชนะปิดเพื่อจำลองความดัน	102
รูปที่ 5.20 แสดงภาพกลไกการขับเคลื่อน	103
รูปที่ 5.22 ภาพขยายส่วนที่บันทึกเวลา (1) และสังเกตเฟรมเรทของวิดีโอ (2)	105
รูปที่ 5.21 องค์ประกอบโดยรวมของโปรแกรมบันทึกวิดีโอ	105
รูปที่ 6.1 แสดงกราฟผลการทดลองเก็บค่าความดันลด	109
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา	117
รูปที่ 6.3 แสดงการวัดขนาดเส้นสวด 0.50 มิลลิเมตร	119
รูปที่ 6.4 แสดงช่องว่างของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วขณะปิดสมบูรณ์	120

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่6.5 ภาพแสดงการพยายามใช้ลวด 0.5 มิลลิเมตรสอดเข้ารูขนาดเล็ก	120
รูปที่7.1 ตัวอย่างลักษณะร่องทางเดินรับกัน(Patent)	122



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

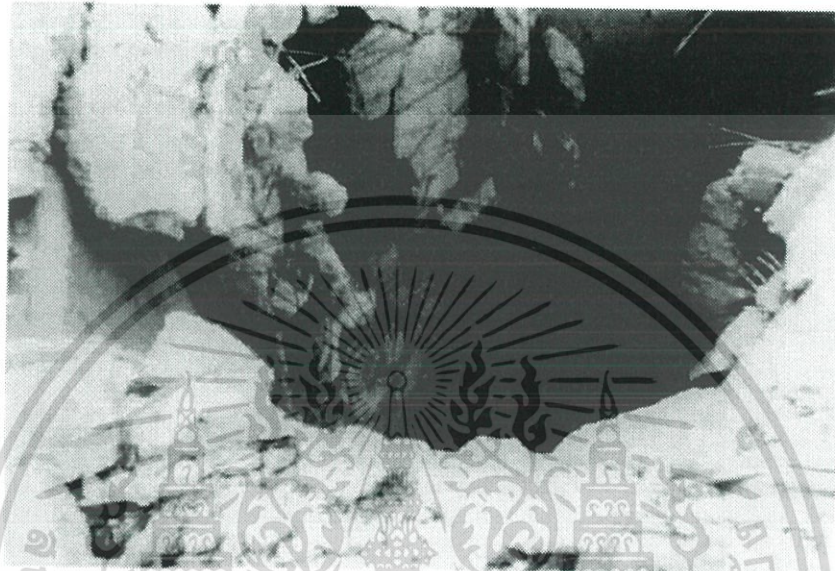
แผนพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือกในปีพ.ศ. 2558 - 2579 ได้จัดทำเพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้แก่ประเทศ เพื่อลดการนำเข้าพลังงาน และส่งเสริมงานวิจัยเทคโนโลยีทางด้านพลังงานภายในประเทศ จากแผนแม่บททางด้านพลังงานที่ได้กล่าวขึ้นมาส่งผลให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทางด้านพลังงาน และการศึกษาได้ให้การสนับสนุนทางด้านทุนวิจัยเทคโนโลยีทางด้านพลังงาน เช่น สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน เป็นต้น จึงเป็นเหตุให้เกิดงานวิจัยหัวเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ประกอบไปด้วย 3 ระบบ ได้แก่ ระบบบด ลำเลียง และจัดเก็บเชื้อเพลิง ระบบเผาไหม้ และระบบบำบัด

ในแต่ละระบบจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบย่อยแตกต่างกันไป หากเราได้ให้ความสนใจในส่วนของระบบบด ลำเลียงและจัดเก็บเชื้อเพลิง จะพบว่าการออกแบบและสร้างระบบนั้นจะต้องมีความระมัดระวังในการติดไฟของเชื้อเพลิงที่ได้มีการแนะนำไว้ในสมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (National Fire Protection Association) ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีการให้คำแนะนำไว้ในหัวข้อ NFPA68 NFPA69 NFPA77 NFPA85 กล่าวว่าการระเบิดและติดไฟของฝุ่นหรืออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 72 ไมโครเมตร เกิดจากไฟฟ้าสถิตในระหว่างการขนส่งที่อนุภาควิ่งชนกันเอง หรือการเสียดสีกับผนังทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างอนุภาคด้วยกันเอง และเมื่อมีการสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ อนุภาคจะทำการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาเพื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล หรือการเกิดความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างการบด และการลำเลียงในสกรูป้อน (Screw feed) ที่ทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้นจนถึงจุดติดไฟด้วยตัวเองด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้เกิดการระเบิดขึ้นภายในบริเวณที่จัดเก็บและมีการลามของเปลวไฟในลำดับต่อมา

สมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติของสหรัฐอเมริกาได้ให้คำแนะนำในการป้องกันเหตุที่จะเกิดขึ้นด้วยการออกแบบระบบขนส่งเชื้อเพลิงให้อยู่ในช่วงส่วนผสมหนาหรือบางมาก ๆ ติดตั้งระบบดับเพลิง และอุปกรณ์ลดความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ต่าง ๆ รวมไปถึงการแยกระบบออกจากกันด้วยวาล์วนิรภัยชนิดปิดเร็วเมื่อเกิดการระเบิดขึ้นเพื่อลดปริมาณความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

สำหรับในวัสดุแข็งทุกชนิดที่สามารถติดไฟได้จะมีความรุนแรง และความเร็วที่เพิ่มขึ้นตามระดับการแบ่งตัวของวัสดุนั้น โดยถ้าหากถูกแบ่งต่อไปเรื่อย ๆ จนมีขนาด 0.1 มิลลิเมตร หรือเล็กกว่านั้นก็จะ

โอกาสที่จะก่อตัวในอากาศเป็นกลุ่มก้อนมวลฝุ่นเนื่องจากมีขนาดเล็กมากทำให้ใช้พลังงานเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในการจุดติดไฟ และจะแพร่ต่อกันไปเรื่อย ๆ อย่างรวดเร็ว เรียกว่า การระเบิดของฝุ่น (dust explosion) [15]



รูปที่ 1.1 กำแพงเสริมเหล็กเสียหายบริเวณทางเข้า silo เก็บ grain ที่ St. Joseph, Missouri, 1980 [15]

เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นเชื้อเพลิงมวลฝุ่น (pulverized biomass) โดยอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตของ ชินภัทร ชูรการ [2] ซึ่งได้ทำการออกแบบ และสร้างหัวเผาสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดฝุ่น (pulverized biomass burner) โดยออกแบบขนาดกำลังความร้อนสูงสุดไว้ที่ 1 เมกะวัตต์ โดยใช้เชื้อเพลิงจากชีวมวลไม้อัดเม็ด (wood pellet) ซึ่งจะนำมาบดด้วยเครื่องบด (hammer mill) ให้มีลักษณะเป็นมวลฝุ่น

งานวิจัยนี้จึงได้มีการตระหนักถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้หากไม่มีการป้องกันการระเบิดของฝุ่น (dust explosion) ในเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นที่ได้นำมาใช้ โดยสนใจที่จะทำการออกแบบ และสร้างวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว จากการออกแบบตามหนังสือทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกล (machine design) ร่วมกับมาตรฐานการออกแบบวาล์วของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งอเมริกา (American Society for Mechanical Engineering) หรือ ASME B16.34 โดยที่ตัวต้นแบบสำหรับการออกแบบครั้งนี้จะสนใจที่วาล์วสามารถปิดได้เร็ว และไม่เกิดความเสียหายจนแผ่นจานปิดกั้นไฟลามโค้ง โกง หรือออกจากแรงดันของการระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อเสริมสร้างความปลอดภัยของระบบเตาเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงรูปแบบชีวมวลฝุ่นในการผลิตความร้อน

1.2.2 เพื่อปิดกั้นการลุกลามของเปลวไฟ หรือลดความเสียหายไปยังอุปกรณ์รอบข้างในกรณีที่มีแรงดันจากระเบิด หรือจากการจำลองที่สร้างขึ้น

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วสามารถปิดได้ทันก่อนที่การลุกลามของเปลวไฟจะวิ่งมาถึง

1.3.2 แรงดันจากการระเบิด หรือจากการจำลองขึ้นจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วจนเกิดการโค้ง การโก่ง หรือการรอก กระทั่งไม่สามารถใช้งานในสภาวะที่ออกแบบไว้ได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 การออกแบบ และการสร้างวาล์วจะอ้างอิงทฤษฎีรวมไปถึงสูตรการคำนวณขนาดในชิ้นส่วนของวาล์วจากตำราการออกแบบเครื่องจักรกล (machine design) ควบคู่กับมาตรฐานการออกแบบวาล์วของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งอเมริกา ASME B16.34

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 กลไกขับเคลื่อนวาล์วที่ใช้คือกระบอกสูบลมที่ไม่มีตัวเรือนคลุม(housing) ของกระบอกสูบลม

1.5.2 เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ เราจึงใช้สภาวะการทดลองที่ใช้ปิดวาล์วคือ ความดันของอากาศภายในท่อ ณ ตำแหน่งวาล์ว 21.582 Pa (ความดันเกจ) อุณหภูมิเท่ากับ 33°C อัตราเร็วของอากาศ 20.228 m/s

1.5.3 ความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม เท่ากับ 6 มิลลิเมตร เนื่องจากข้อจำกัดของรายงานฉบับนี้

1.5.4 เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะต่ำกว่าความเร็วเสียง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 กำหนดวัตถุประสงค์ในการออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว

1.6.2 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกล และมาตรฐานการออกแบบวาล์วของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งอเมริกา ASME B16.34

1.6.3 เริ่มต้นการออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว

1.6.4 ผลิต และติดตั้งเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการจำลองการระเบิดที่ 3 บาร์

1.6.5 สังเกต และบันทึกผลเพื่อเก็บเป็นข้อมูลพื้นฐานของวาล์วที่ทำการออกแบบ

1.6.6 สรุปผลการดำเนินงานสำหรับการออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

เนื่องจากระบบที่จะทำการออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วมีลักษณะความต้องการของระบบเป็นแบบเปิด-ปิด (On-off service) และขวางกันการไหลที่กระทำตั้งฉากกับแผ่นกันซึ่งในความเป็นจริงแล้ววาล์วที่มีจุดประสงค์สำหรับการขวางกันการไหลนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ และหาได้ง่าย ยกตัวอย่างเช่น ball valve ,butterfly valve ,gate valve และglobe valve เป็นต้น มีเงื่อนไขบางประการของวาล์วดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นซึ่งไม่เหมาะสมกับระบบที่วิจัยนี้ให้ความสนใจอยู่ ยกตัวอย่างเช่น ball valve จะมีวัสดุพอลิเมอร์เพื่อปิดกั้นการรั่วซึมระหว่างตัววาล์ว กับลูกบอล ซึ่งวัสดุพอลิเมอร์นี้ไม่สามารถทนอุณหภูมิได้สูงเช่นเดียวกับวัสดุที่เป็นโลหะจึงจำเป็นที่จะต้องมีการคำนึงถึงอุณหภูมิด้วย หากเลือกที่จะนำ ball valve มาใช้ในระบบ

วิจัยนี้เลือกที่จะออกแบบวาล์วโดยการพิจารณาร่วมกับเงื่อนไขบางประการของระบบที่ทำให้วาล์วทั่วไปไม่สามารถใช้ได้นั้นให้มีลักษณะเหมือนกับชัตเตอร์ (shutter) ของกล้อง ซึ่งได้มีงานวิจัยของ Raymond Beeman และคณะ [14] ได้ทำการออกแบบวาล์วโดยมีส่วนขวางกัน (orifice) ที่ควบคุม pumping speed ใน vacuum system จากเดิมที่หากจะเปลี่ยน pumping speed จะต้องถอดวาล์ว orifice ขนาดเดิม แล้วใส่ขนาดใหม่ไปตามที่ต้องการเป็นวาล์ว orifice ที่สามารถปรับขนาดได้ด้วยกลไก iris มีลักษณะเหมือนชัตเตอร์ (shutter) ของกล้องโดยขนาดของช่องว่างสำหรับให้ของไหลผ่านสามารถปรับได้ตั้งแต่ 0.25 – 6 นิ้ว เพื่อลดเวลาในการถอดประกอบ และลดการปนเปื้อนของของไหลภายในท่อและอ้างว่าสามารถออกแบบให้นำไปใช้ในระบบสำหรับการป้องกันความร้อน (heat shield) ได้ การกำหนดขนาดต่าง ๆ ในรูปแบบของกลไก iris mechanism ซึ่งมีวิจัยของ Muhammad Aminuddin Anwar Ali และคณะ[11] สำหรับการกำหนดขนาดช่องว่างของการไหล ช่องทางเดินของแผ่นกันขวางการไหล และขนาดของพิน (pin) ที่เป็นชิ้นส่วนรับการส่งผ่านการเคลื่อนที่มาจากตัวส่งผ่านการเคลื่อนที่ (actuator) ต่อเข้ากับการควบคุมผ่านโปรแกรม Arduino

สำหรับระบบขับเคลื่อนการส่งแรง (actuator) ในการส่งแรงเพื่อใช้สำหรับการเคลื่อนที่แผ่นงานให้เปิด-ปิดได้นั้นมีงานวิจัยของ I.R. Chinyaev และคณะ [9] ได้ออกแบบวาล์วสำหรับระบบเปิด-ปิดในระบบท่อโดยใช้ระบบส่งผ่านแรงเป็น Pneumatic spring ซึ่งอ้างว่าสามารถใช้ส่งผ่านการเคลื่อนที่ได้โดยไม่ต้องใช้ transmission gears เหมือนกับตัวขับเคลื่อนจากไฟฟ้า และงานวิจัยของM.M. Tverskoy และคณะ [12] ได้มีการคิดรูปแบบตัวขับเคลื่อนการส่งผ่านการเคลื่อนที่รูปแบบใหม่มาใช้ควบคุมการเปิด-ปิด

ของ ball valve ในระบบท่อ โดยการใช้กลไก Geneva Mechanism ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าเพื่อลดพื้นที่การทำงาน

การทดสอบการรั่วระบบของวาล์วที่ได้ทำการออกแบบวิจัยของ E. Meland และคณะ [6] ทำการทดสอบการรั่วของ ball valve ด้วยการวิเคราะห์คลื่นสเปกตรัม(spectral) จากการปล่อยคลื่นของ Acoustic emission(AE) ,DP sensor และ Vibration เปรียบเทียบกับคลื่น RMS โดยการทำการรั่วขนาดเล็กลงเป็นร่องสี่เหลี่ยม(groove)ที่วัสดุพอลิเมอร์ ในของไหล 3 แบบ คือ ไนโตรเจน(nitrogen) ,น้ำ ,ไกลคอล(glycol) และอ้างว่าในคลื่น RMS รูปแบบคลื่นที่วัดได้จะมีแนวโน้ม หรือความสัมพันธ์ที่ไปในทิศทางเดียวกันเมื่อใช้ของไหลเป็นแก๊ส(ไนโตรเจน) ทั้ง AE และ DP แต่จะให้ความสัมพันธ์ที่ไม่ดีเมื่อใช้น้ำเป็นของไหล สำหรับการวิเคราะห์คลื่นสเปกตรัม(spectral) มาวิเคราะห์ห้มีแนวโน้มที่จะได้รับข้อมูลของการรั่วที่มากกว่า หากมีการติดตั้งตำแหน่งของเซนเซอร์ได้ถูกจุด หรือใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เกิดการรั่ว

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นของยางพารา ของฉัตรเฉลิม [1] ที่ผ่านการทดสอบ มีค่าเท่ากับ 379.53 ไมโครเมตร และผ่านการทำ proximate analysis มีค่า volatile matter เท่ากับ 81.41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันกับงานวิจัยของรายงานฉบับนี้ จากการทดลอง Gordon E. Andrews [7] ความเร็วของเปลวไฟของ woody biomass ที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น (90เปอร์เซ็นต์) น้อยกว่า 186.1 ไมโครเมตร มีค่า volatile matter 84 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเร็วของเปลวไฟสูงสุดอยู่ที่ 4.5 เมตรต่อวินาที และมีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์จากการทำ ultimate analysis ของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนมีค่าใกล้เคียงกัน Haipeng Jiang a และคณะ [8] ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น มีขนาดเล็กมากเท่าใด ก็จะมีความเร็วเปลวไฟสูงขึ้น และค่า volatile matter ก็มีอิทธิพลต่อความเร็วเปลวไฟเช่นเดียวกับขนาดเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น จากที่กล่าวมานั้น รายงานฉบับนี้จึงได้กำหนดความเร็วของเปลวไฟที่ใช้ในการออกแบบ เท่ากับ 5.0 เมตรต่อวินาที (ความเร็วเปลวไฟนี้ได้มีการประมาณให้สูงขึ้นเพื่อความปลอดภัย) เพื่อให้มีความเชื่อถือที่สูงควรนำเชื้อเพลิงผ่านการทดลอง ISO 1m³ หรือ 20 liter dust explosion equipment)

ตามมาตรฐาน National Fire Protection Association 69 [13] สำหรับความดันสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบวาล์วปิดเร็ว มีค่าเท่ากับ 10 บาร์เกจ และมีค่า K_{st} น้อยกว่าเท่ากับเท่ากับ 200 bar-m/s ซึ่งจัดอยู่ในระดับความรุนแรงของการระเบิด (Explosion class) ที่ 1

Cen members [3] ได้กล่าวรายละเอียดสำคัญไว้ดังนี้ วาล์วปิดเร็วจะต้องทำงานก่อนที่เปลวไฟและคลื่นความดันจะมาถึงตำแหน่งของวาล์ว และคำแนะนำในการติดตั้งตัวตรวจจับ และการทดสอบการทำงานของวาล์วปิดเร็ว

อุปกรณ์ตรวจจับที่ได้รับการแนะนำจาก NFPA 69 คือ อุปกรณ์ตรวจจับความดัน และ radiant sensor แต่รายงานฉบับนี้เลือกใช้อุปกรณ์สวิตช์ความดัน จากรายงานของ J. Taveau [10] ได้กล่าวไว้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บีมลจะทำงานอยู่ในช่วงความดัน 10-20 มิลลิบาร์ในการขนส่งเชื้อเพลิงจากภาชนะปิดหนึ่งไปอีกภาชนะหนึ่ง และจะทำการตั้งค่าอุปกรณ์สวิตช์ความดันจะส่งสัญญาณไปยังโซลินอยด์ เมื่อความดันภายนอกตำแหน่งตรวจจับมีค่าเท่ากับ 1.1 บาร์บรรยากาศ แต่รายงานฉบับนี้จะตั้งค่าความดันไว้ที่ 3.0 บาร์บรรยากาศ เนื่องจากอุปกรณ์สวิตช์ความดันในรายงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปยังโซลินอยด์เท่านั้น ดังนั้น ในการติดตั้งในโรงงานจริงควรใช้ความดันที่อุปกรณ์สวิตช์ความดันทำงานคือ 1.1 บาร์บรรยากาศ หรือตามที่คุณต้องการ อัตราการไหลของอากาศภายในท่อ อยู่ที่ประมาณ 15 – 30 เมตร/วินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีสำหรับการหามวลของวัตถุ

ความหนาแน่น เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น ความหนาแน่นของวัตถุมีค่าเฉพาะของตัวมันเอง ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของวัตถุในขณะนั้น สภาวะแวดล้อมที่กล่าวมาหมายถึงค่าของอุณหภูมิและความดัน ซึ่งค่าความหนาแน่นสามารถค้นหาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตที่ได้รับความน่าเชื่อถือและเป็นมาตรฐานสากล

$$\text{สมการความหนาแน่นของวัสดุ} \quad \rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

โดยที่ m คือ มวลของวัสดุ
 ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ
 V คือ ปริมาตรของวัสดุ

3.2 ทฤษฎีสำหรับการหาเวลาของการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรงที่มีความเร่งเท่ากับศูนย์ เราสามารถมาหาอัตราเร็วเฉลี่ยได้จาก

$$\text{สมการอัตราเร็วเฉลี่ย} \quad v = \frac{S}{t} \quad (3.2)$$

โดยที่ v คือ อัตราเร็วเฉลี่ย
 S คือ ระยะทางทั้งหมด
 t คือ เวลา

3.3 กฎของนิวตัน

กฎข้อที่หนึ่งของนิวตันกล่าวว่า “วัตถุจะรักษาสภาพหยุดนิ่งไว้เว้นแต่จะมีแรงภายนอกมากระทำ และวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเว้นแต่จะมีแรงภายนอกมากระทำ โดยวัตถุจะอยู่ในสภาวะกรอบอ้างอิงเฉื่อย”

$$\sum \vec{F} = 0 \tag{3.3}$$

กฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวว่า “ความเร่งของวัตถุจะแปรตามแรงที่กระทำกับวัตถุ แต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ”

$$\sum \vec{F} = ma \tag{3.4}$$

กฎข้อที่สามของนิวตันกล่าวว่า “แรงที่วัตถุหนึ่งไปกระทำกับวัตถุที่สอง จะมีค่าเท่ากับแรงที่วัตถุที่สองกระทำกับวัตถุที่หนึ่ง (Action = Reaction)”

3.4 สมการพื้นฐานในการออกแบบ

กฎของฮุก (Hooke's law) กล่าวว่า “ความเค้นที่แปรผันตรงกับความเครียดแบบเชิงเส้นเมื่อมีแรงมากระทำ” เขียนเป็นสมการ จะได้ว่า

$$E = \sigma / \epsilon \tag{3.5}$$

โดยที่ E คือ มอดูลัสของยัง (Young's Modulus)

สมการความเค้นตึงฉาก $\sigma = F/A \tag{3.6}$

โดยที่ F คือ แรงกระทำตึงฉากกับพื้นที่หน้าตัดขวางของชิ้นงาน
 A คือ พื้นที่หน้าตัดขวางของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าความเค้นเป็นบวกแสดงว่าเกิดจากแรงดึง ในทางกลับกันทางความเค้นเป็นลบแสดงว่าเกิดจากแรงกด

ชิ้นงานเมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้เกิดการยืดหรือหด อัตราส่วนความยาวที่ยืดหรือหด (δ) ต่อความยาวเดิม (l) เรียกว่าความเครียด สมการความเครียดปกติ (ε) คือ

$$\varepsilon = \delta / l \quad (3.7)$$

และ นำสมการ 3.6 กับ 3.7 แทนลงในสมการ 3.5 จะได้

$$\delta = Fl / AE \quad (3.8)$$

3.5 ทฤษฎีวงกลมโมห์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ 2 มิติ



รูปที่ 3.1 แผนภาพวัตตฤอิสระของอติเมทใดๆ [4]

จากรูปที่ 3.1 สามารถหาสมการสมดุลของแรงตามปกติได้ ดังนี้

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos(2\phi) + \tau_{xy} \sin(2\phi) \quad (3.9)$$

$$\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin(2\phi) + \tau_{xy} \cos(2\phi) \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าความเค้นสูงสุดจากการดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ 3.9 เทียบกับมุม ϕ แล้วให้สมการมีค่าเท่ากับศูนย์จะได้

$$\tan(2\phi_p) = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (3.11)$$

สมการที่ 3.11 จะได้ค่า $2\phi_p$ มาสองคำตอบซึ่งเมื่อนำมุมแทนลงในสมการ 3.9 จะได้ค่าความเค้นตั้งฉากปกติสูงสุด (σ_1) และค่าความเค้นตั้งฉากปกติต่ำสุด (σ_2) ซึ่งทำมุมกัน 90 องศา ความเค้นสองค่านี้เรียกว่า “ความเค้นหลัก” และจึงทำการจัดรูปสมการ 3.11 ให้อยู่ในรูปเดียวกับสมการ 3.10 ซึ่งจากสัมพันธ์ของตรีโกณมิติจะได้สมการรูปใหม่ ดังนี้

$$0 = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin(2\phi_p) + \tau_{xy} \cos(2\phi_p) \quad (3.12)$$

โดยที่ ϕ_p คือ มุมที่เมื่อเทียบจากระนาบเดิม และทำให้เกิดความเค้นหลัก

จากสมการ 3.12 และ 3.10 แสดงว่าจะเกิดความเค้นสูงสุดเมื่อไม่มีความเค้นเฉือน หรือ $\tau = 0$ นำสมการที่ 3.10 มาหาค่า τ สูงสุดโดยการดิฟเฟอเรนเชียลแล้วให้สมการมีค่าเท่ากับศูนย์จะได้

$$\tan(2\phi_s) = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}} \quad (3.13)$$

โดยที่ ϕ_s คือมุมเมื่อเทียบจากระนาบเดิมและทำให้เกิดความเค้นเฉือนสูงสุด

เมื่อจัดรูปสมการตามความสัมพันธ์ของตรีโกณมิติจะได้

$$0 = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos(2\phi_p) + \tau_{xy} \sin(2\phi_p) \quad (3.14)$$

สมการที่ 3.14 จะมีรูปเหมือนกันกับสมการที่ 3.9 เมื่อแทนค่า $\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระบายที่มีความเค้นเฉือนสูงสุด จะมีความเค้นตั้งฉากเท่ากับ $\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 3.11 กับสมการที่ 3.13 พบว่ามุมระหว่างระนาบที่มีความเค้นเฉือน สูงสุดกับระนาบที่เกิดความเค้นหลักจะเท่ากับ $\pm 45^\circ$ เพราะฉะนั้นเมื่อแทนค่ามุม $2\phi_p$ ลงในสมการที่ 3.9 จะได้

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (3.15)$$

และเมื่อแทนค่ามุม $2\phi_s$ ลงในสมการ 3.10 จะได้

$$\tau_1, \tau_2 = \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (3.16)$$

จากสมการที่ 3.9 และ 3.10 กำจัดตัวแปร ϕ ได้โดยการยกกำลังสองแต่ละสมการและรวม สมการทั้งสองเข้าด้วยกันจะได้

$$\left[\sigma - \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)\right]^2 + \tau_{xy}^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2 \quad (3.17)$$

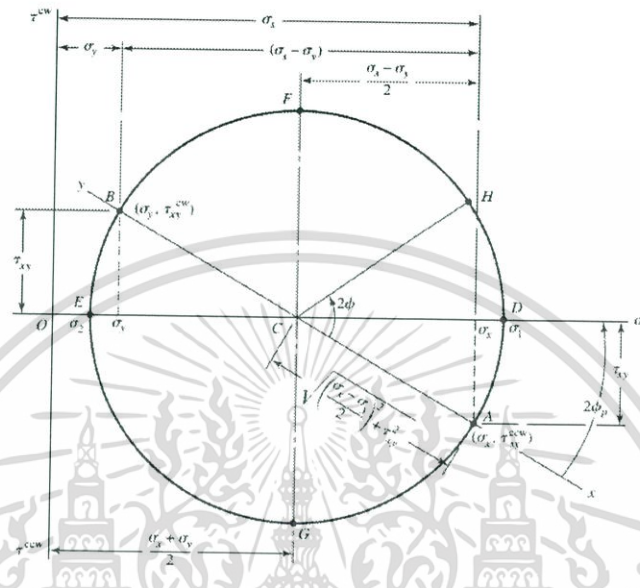
จัดรูปสมการที่ 3.17 เป็นสมการวงกลมที่มีรัศมี R และมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกน σ ที่จุด $(\sigma_{avg}, 0)$

$$(\sigma - \sigma_{avg})^2 + \tau_{xy}^2 = R^2 \quad (3.18)$$

เมื่อ $\sigma_{avg} = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)$ และ $R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

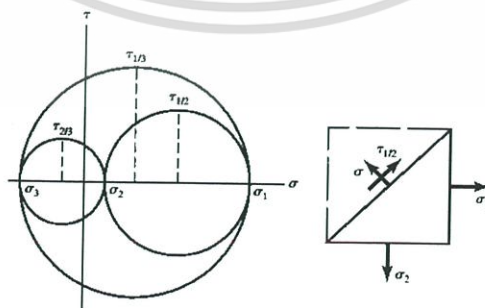
จากสมการที่ 3.18 พบว่าเป็นสมการของรูปวงกลม ซึ่งต่อจะถูกเรียกว่า “วงกลมของโมห์”
 ภายในวิจัยเล่มนี้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพของวงกลมโมห์ 2 มิติ [4]

3.6 ทฤษฎีวงกลมโมห์สำหรับวิเคราะห์ความเค้นในระนาบ 3 มิติ

การวาดวงกลมโมห์สามมิตินั้นจะมีวิธีการดังนี้ เราจะทำการพิจารณวงกลมโมห์สามมิติให้เป็นสองมิติทั้งหมด 3 ระนาบ คือระนาบ x y และ z ตามลำดับ จากนั้นจะทำการวงกลมโมห์ตามวิธีที่ได้มีการอธิบายในการวาดวงกลมของโมห์ในระนาบสองมิติขึ้นมาซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพของวงกลมโมห์ 3 มิติ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

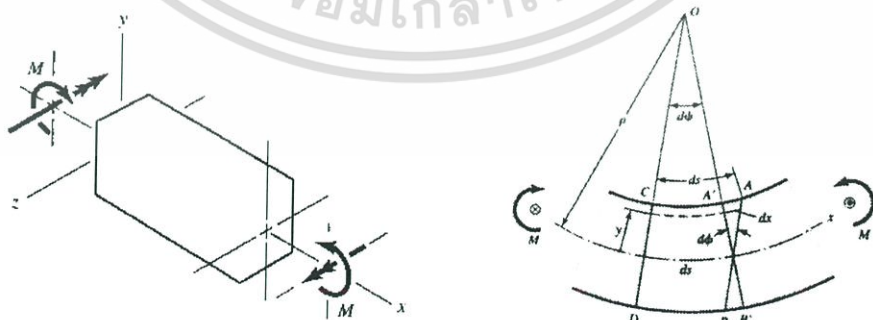
จากรูปที่ 3.3 จะแสดงให้เห็นว่า เราสามารถนำความเค้นหลักแต่ละระนาบมาเรียงกันได้ และเราจะนำความเค้นหลักที่มีค่ามากที่สุด และความเค้นหลักที่มีค่าน้อยที่สุด มาพิจารณาหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดในสามมิติ ดังนั้นเราจะสามารถหาค่าความปลอดภัยของวัสดุได้จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดสำหรับวัสดุเหนียว และความเค้นหลักทั้งสามค่าจะเป็นได้ทั้งค่าบวก ลบ และศูนย์ตามลำดับ

3.7 ทฤษฎีความเค้นตั้งฉากปกติในคาน

การหาสมการความเค้นดัดปกติในคานมีสมมติฐานดังนี้

1. คานนั้นถูกดัดเพียงอย่างเดียว
2. คานนั้นเป็นวัสดุเอกพันธ์ที่มีคุณสมบัติเท่ากันทุกทิศทุกทาง
3. คานมีความยืดหยุ่นตามกฎของฮุก
4. คานนั้นเป็นคานตรงซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาวของคาน
5. คานนั้นมีแกนสมมาตรในระนาบของการดัด
6. สัดส่วนของคานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการดัดโดยไม่เกิดการบีบ บี หรือโค้ง
7. ระนาบของการดัดยังคงเป็นระนาบ

ในรูปที่ 3.4 (ก) จะสามารถพิจารณาชิ้นส่วนของคานบริเวณที่ถูกกระทำโดยโมเมนต์ดัดซึ่งมีค่าเป็นบวก โดยที่แกน y คือแกนสมมาตรของการดัด และแกน x เป็นแนวแกนที่สอดคล้องกับแนวแกนของคานซึ่งเรียกว่า “แกนสะเทิน” และสำหรับระนาบ xz เป็นระนาบของพื้นที่หน้าตัดตามธรรมชาติของคาน ดังนั้น องค์ประกอบของความเครียดสอดคล้องกับระนาบนี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่3.4 คานในแนวตรงที่รับโมเมนต์ดัดในทิศบวก [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเราพิจารณาให้โมเมนต์ซึ่งมีค่าบวกกระทำกับคานจะทำให้พื้นผิวด้านบนของคานโค้งงอลง และแกนสะเทินจะเกิดเป็นส่วนโค้ง ดังแสดงตามรูปที่ 3.4 (ข) และเนื่องจากความโค้งที่เกิดขึ้น จึงทำให้เส้นตรง AB ซึ่งเดิมจะขนานกับเส้นตรง CD หมุนไปเป็นมุม $d\phi$ กลายเป็นเส้นตรงใหม่ A'B' ดังรูปซึ่งจะสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่าระนาบของการตัดยังคงเป็นระนาบ ถ้ากำหนดให้รัศมีของความโค้งของแกนสะเทินมีค่าเท่ากับ ρ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปของแกนสะเทินมีค่า ds และมุมที่แนวเส้นตรง CD กระทำกับแนวเส้นตรง A'B' มีค่าเท่ากับ $d\phi$ เราจะได้

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\phi}{ds} \quad (3.19)$$

โดย ρ คือ รัศมีความโค้ง

จากรูปที่ 3.4 (ข) เส้นใยของเนื้อวัสดุซึ่งยึดออก ที่ระยะห่าง y ห่างจากแนวแกนสะเทินจะมีค่าเท่ากับ dx โดย

$$dx = -y d\phi \quad (3.20)$$

ความเครียดซึ่งเกิดจากความยาวที่ยึดออกไปหารด้วยความยาวเดิมนั้นคือ

$$\varepsilon = \frac{dx}{ds} \quad (3.21)$$

เมื่อนำสมการที่ 3.19, 3.20 และ 3.21 มาพิจารณา และกระทำร่วมกัน จะได้ $\varepsilon = \frac{y}{\rho}$ นั่นคือความเครียดจะมีความสัมพันธ์กับระยะ y ซึ่งห่างจากแนวแกนสะเทิน และจากสมการที่ 3.5 เราจะสามารถหาความเค้นได้คือ

$$\sigma = \frac{E y}{\rho} \quad (3.22)$$

เนื่องจากเรากำลังพิจารณาการดัดโดยไม่มีแรงตามแนวแกนเข้ามาเกี่ยวข้อง ผลรวมของแรงที่กระทำต่อระนาบภาคตัด จึงมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\int \rho dA = -\frac{E}{\rho} \int y dA = 0 \quad (3.23)$$

จากสมการที่ 3.23 จะสามารถระบุตำแหน่งของแนวแกนสะเทิน โดยที่โมเมนต์ของพื้นที่ที่รอบแกนสะเทินจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ แนวแกนสะเทินจะผ่านจุดเซนทรอยด์บนพื้นที่หน้าตัดคานซึ่งในสภาวะสมดุลโมเมนต์ดัดภายในที่เกิดจากความเค้น จะมีค่าเท่ากับโมเมนต์ดัดภายนอก M นั่นคือ

$$M = -\int y \sigma dA = \frac{E}{\rho} \int y^2 dA \quad (3.24)$$

การอินทิเกรตครั้งที่สองของสมการที่ 3.24 จะได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดรอบแกน z นั่นคือ

$$I = \int y^2 dA \quad (3.25)$$

ทำการแก้สมการที่ 3.24 และ 3.25 แล้วจัดรูปจะได้

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3.26)$$

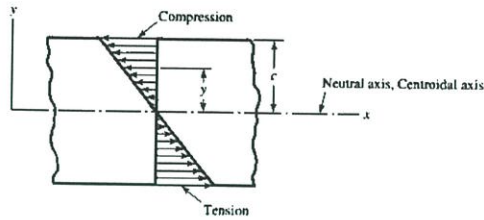
ถ้าจัดค่า ρ จากสมการที่ 3.22 และ 3.26 จะได้

$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (3.27)$$

สมการที่ 3.27 แสดงให้เห็นว่าความเค้นดัด σ จะแปรผันโดยตรงกับระยะห่างจากแนวแกนสะเทิน y และโมเมนต์ดัด M ดังแสดงตามรูปที่ 3.5 และเพื่อกำจัดเครื่องหมายลบกำหนดให้ $c = y_{\max}$ ดังนั้น

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การกระจายตัวของความเค้นแนวแกนที่เกิดจากโมเมนต์ดัด [4]

3.8 ทฤษฎีเรื่องการทรุดตัวอันเนื่องมาจากแรงดัด

จากการศึกษาความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตเราสามารถหาความสัมพันธ์ของความโค้งของระนาบได้จาก

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y / dx^2}{\left[1 + (dy/dx)^2\right]^{3/2}} \quad (3.29)$$

โดยที่ y คือ ระยะทรุดตัวของคานที่ระยะ x ใด ๆ ตามความยาวของคาน

เมื่อค่าของ $\frac{dy}{dx}$ ยกกำลังสองมีค่าน้อยมากดังนั้นตัวส่วนของสมการที่ 3.29 จะมีค่าใกล้เคียง 1

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.30)$$

จากสมการที่ 3.26 แทนลงในสมการที่ 3.30 จะได้ว่า

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.31)$$

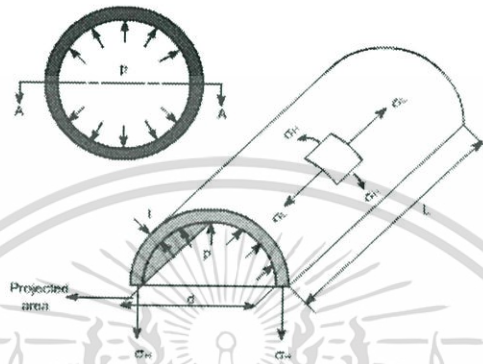
อินทิเกรตสมการที่ 3.31 จำนวนสองครั้งจะได้ สมการที่ 3.32 และ 3.33 ตามลำดับ

$$\int M dx = \frac{dy}{dx} \cdot EI = \theta \cdot EI \quad (3.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\iint M dx = y \cdot EI \quad (3.33)$$

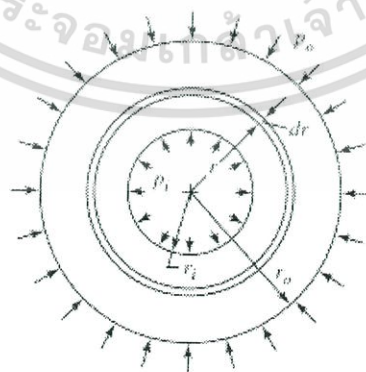
3.9 ทฤษฎีความเค้นในทรงกระบอกรับความดัน



รูปที่ 3.6 ทิศทางของความเค้นจากแรงดันภายในทรงกระบอก [4]

สำหรับภาชนะทรงกระบอกรับแรงดันสูงจะมีความเค้นในแนวรัศมีและความเค้นในแนวสัมผัสเส้นโค้งหลายค่าขึ้นอยู่กับรัศมีของวัสดุที่เราพิจารณา ในการหาความเค้นในแนวรัศมี σ_r และความเค้นในแนวเส้นรอบวง σ_θ จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

1. ระยะยึดตัวตามแนวยาวมีค่าคงที่ตลอดเส้นรอบวงกลม
2. ไม่มีการหดตัวของทรงกระบอกในแนวรัศมีหลังเกิดความเค้น



รูปที่ 3.7 แรงดันภายใน และภายในที่ผิวทรงกระบอก [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

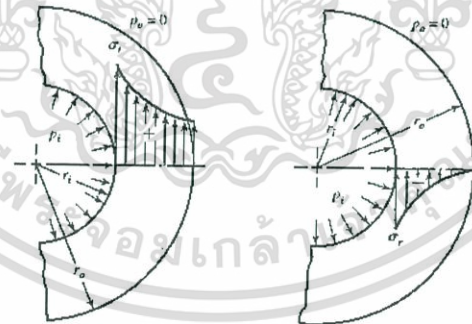
จากรูปที่ 3.7 เรากำหนดรัศมีภายในของทรงกระบอก (r_i) และรัศมีภายนอกของทรงกระบอก (r_o) ความดันภายใน (p_i) และความดันภายนอก (p_o) แล้วสามารถหาความเค้นความเค้นในแนวรัศมี (σ_r) และความเค้นในแนวเส้นรอบวง (σ_t) ตามสมการดังนี้

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 - r_o^2 r_i^2 (p_o - p_i) / r^2}{r_o^2 - r_i^2} \\ \sigma_r &= \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 + r_o^2 r_i^2 (p_o - p_i) / r^2}{r_o^2 - r_i^2}\end{aligned}\quad (3.34)$$

เมื่อ ค่าบวก คือ ความเค้นดึง และค่าลบคือ ความเค้นอัด และสำหรับในกรณีที่ $p_o = 0$ จะได้

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r^2}\right) \\ \sigma_r &= \frac{r_i^2 p_i}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right)\end{aligned}\quad (3.35)$$

จากสมการที่ 3.35 จะสามารถนำมาพิจารณาการกระจายแรงของความเค้นที่ได้ดังรูปที่ 3.8



(a) ความเค้นในแนวเส้นรอบวง (b) ความเค้นในแนวรัศมี

รูปที่ 3.8 การกระจายแรงของความเค้น[4]

เมื่อเราจะพิจารณาค่าความเค้นตามยาวเมื่อสิ้นสุดแรงปฏิกิริยาจากความดันภายใน โดยความเค้นตามแนวแกนจะสามารถหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (3.36)$$

สมการที่ 3.34, 3.35, 3.36 จะใช้ได้กับตำแหน่งที่ไม่ใช่บริเวณขอบของชิ้นงาน และบริเวณนั้นจะไม่พิจารณาความเข้มข้นของความเค้น

ภาชนะทรงกระบอกผนังบาง ($\frac{t}{r} \leq 0.1$) ในกรณีนี้จะไม่พิจารณาความเค้นในแนวรัศมีเนื่องจากความเค้นในแนวเส้นรอบวงจะมีค่ามากกว่าความเค้นในแนวรัศมีค่อนข้างมากซึ่งในกรณีทั้งหมดที่กล่าวมานี้เราจะเรียกความเค้นในแนวเส้นรอบวงว่า “hoop stress”

$$(\sigma_r)_{av} = \int_{r_i}^{r_o} \sigma_r dr / r_o - r_i \quad (3.37)$$

$$(\sigma_r)_{av} = \frac{p_i d_i}{2t}$$

โดย d_i คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

$$(\sigma_r)_{max} = \frac{p_i (d_i + t)}{2t} \quad (3.38)$$

โดย $(\sigma_r)_{max}$ คือ ความเค้นในแนวเส้นรอบวงสูงสุดในทฤษฎีภาชนะบาง

สำหรับในภาชนะทรงกระบอกปิด มีความเค้นตามแนวแกน และสมมติให้มีค่าเท่ากันตลอดเส้นรอบวง

$$\sigma_l = \frac{p d_i}{4t} \quad (3.39)$$

3.10 ทฤษฎีความเข้มข้นของความเค้นในวัสดุเหนียว

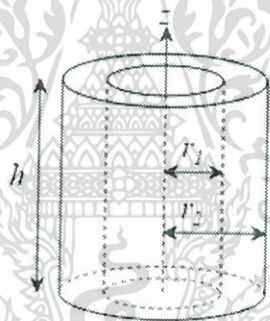
ความเค้นหนาแน่นจะส่งผลกระทบต่ออย่างสูงเป็นบริเวณเฉพาะจุดบนชิ้นงานในบางกรณีความเค้นหนาแน่นจะขึ้นอยู่กับรอยขีดข่วนหรือโพรงซึ่งเกิดขึ้นในผิวหรือภายในชิ้นงานจากกระบวนการผลิตส่งผลให้บริเวณที่บกพร่องมีค่าแฟกเตอร์ของความเค้นหนาแน่น (stress concentration) เกิดขึ้นจนมีความเค้นและค่าความเค้นเฉือนสูงที่สุดมากกว่าบริเวณอื่น โดยถ้าหากวัสดุเป็นวัสดุเหนียว เราสามารถพิจารณาให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟกเตอร์ความเค้นหนาแน่นเท่ากับ 1 ได้เนื่องจากในการทดลองสำหรับวัสดุเหนียวที่รับแรงดึงอย่างง่าย โดยพิจารณาความเค้นหนาแน่น จากตำราการออกแบบเครื่องจักรกล (Mechanical Engineering Design, Shigley Mischke Budynas) ได้ข้อสรุปว่า บริเวณที่มีข้อบกพร่องจะมีค่า S_y สูงขึ้นและบริเวณที่เกิดความเสียหายจะเป็นบริเวณที่มีค่า S_y ต่ำกว่า แต่ต้องแน่ใจว่าวัสดุจะไม่กลายเป็นวัสดุเปราะ เนื่องจากสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น

3.11 ทฤษฎีโมเมนต์ความเฉื่อย

โมเมนต์ความเฉื่อย เป็นสมบัติของวัตถุที่จะบอกค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงมุมรอบแกนของการหมุนของวัตถุนั้น เป็นการหมุนของวัตถุที่เป็นผลมาจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ซึ่งกล่าวไว้ว่า "วัตถุทุกชนิดจะรักษาสภาพหยุดนิ่งหรือสภาพเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอเป็นเส้นตรงนอกจากจะมีแรงลัพธ์ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ" ซึ่งในบริบทนี้ความเฉื่อยจะหมายถึงความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของทรงกระบอกดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 รูปเรขาคณิตทรงกระบอกกลวง[4]

จากสมการโมเมนต์ความเฉื่อย

$$dI = r^2 dm \quad (3.40)$$

และหากเราพิจารณารูปทรงกระบอกมีขนาดเป็นกณิกนันต์ จากสมการที่ 3.1 จะได้

$$dm = \rho dV \quad (3.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ 3.41 แทนลงในสมการที่ 3.40

$$dI = r^2 \rho dV \quad (3.42)$$

โดย dV คือ ปริมาตรขนาดเล็ก ๆ ของทรงกระบอก

เมื่อ dV สามารถคำนวณได้จากพื้นที่หน้าตัดคูณด้วยความสูงของทรงกระบอกส่วนพื้นที่หน้าตัดแบ่งออกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ ซึ่งมีค่า $2\pi r dr$ และมีความสูง (h) ดังนั้น $dV = 2\pi r dr \cdot h$ แทนค่า dV ลงสมการที่ 3.42 จะได้

$$dI = 2\pi r^3 \rho dr \cdot h \quad (3.43)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ 3.43 จะได้

$$I = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi r^3 \rho h dr$$

ดึงค่าคงที่ออก

$$I = 2\pi \rho h \int_{r_1}^{r_2} r^3 dr$$

สุดท้ายจะได้

$$I = 2\pi \rho h \left(\frac{r_2^4 - r_1^4}{4} \right) \quad (3.44)$$

เมื่อแทนค่า $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\pi(r_2^2 - r_1^2)h}$ ลงในสมการที่ 3.44 และจัดรูปจะได้

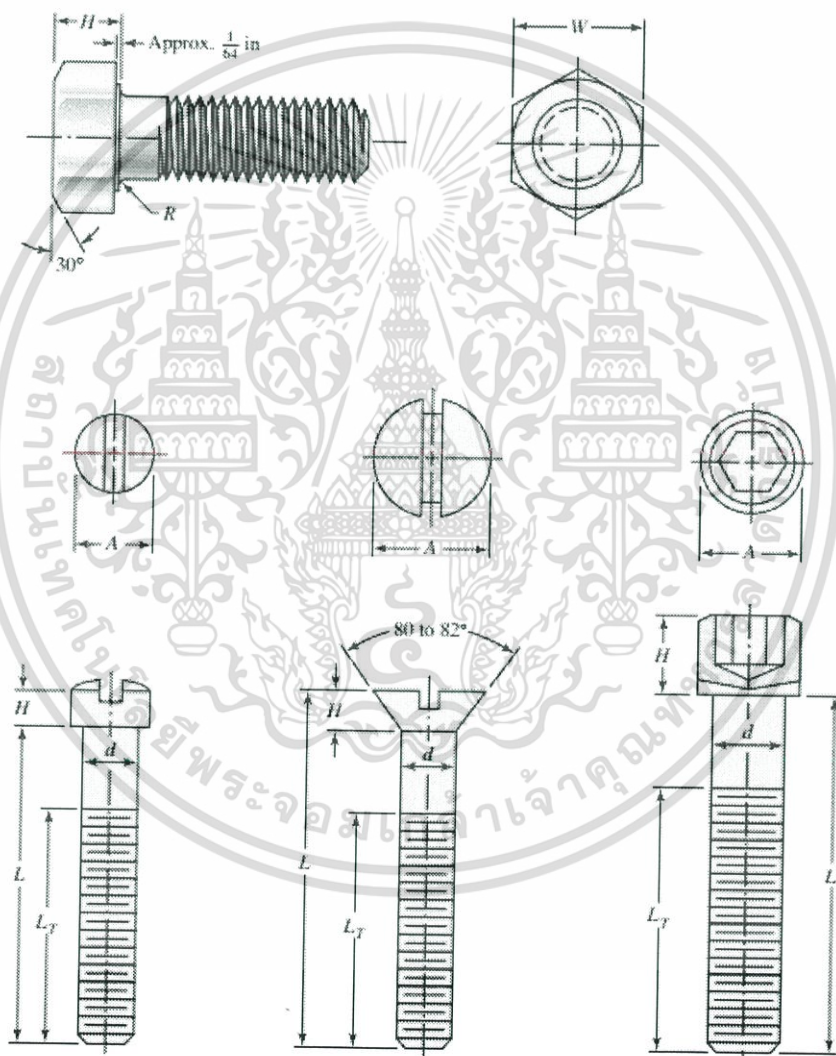
$$I = \frac{1}{2} m(r_2^2 + r_1^2) \quad (3.45)$$

3.12 ทฤษฎีสลักเกลียว

สลักเกลียว (screw) โดยส่วนมากที่มีอยู่ในตลาดได้ผ่านการทดสอบการรับโหลดการล้ามาแล้ว และพบว่า การล้าจะส่งผลต่อสลักเกลียวเป็นจำนวนน้อยที่มีค่าน้อยมาก ดังนั้นเราจะสามารถวิเคราะห์แรงที่กระทำกับสลักเกลียวด้วยวิธีการแบบสถิตทั้งหมด แล้วเราอาจจะชดเชยโหลดที่มีรูปแบบจากการล้าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยภายหลังในขั้นตอนการคำนวณสลักเกลียว ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเราจำเป็นต้องใช้น็อต (nut) และแหวนรองโดยสลักเกลียวจะทำหน้าที่ช่วยสร้างแรงกระทำเริ่มต้นเพื่อให้ชิ้นงานสามารถยึดติดเข้าด้วยกันได้ จากรูปที่ 3.10 ปลายเกลียวจะมีลักษณะแหลม ซึ่งจะส่งผลให้เกิดบริเวณศูนย์รวมความเข้มข้นของความเค้น แต่วิศวกรก็ได้แก้ปัญหานี้แล้วด้วยการใช้แหวนรองมาช่วยป้องกันความเข้มข้นของความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้ และสลักเกลียวที่ดีเมื่อใส่ในนอตเรียบร้อยจะต้องมีเกลียวยื่นออกมาหนึ่งถึงสองเกลียวจากชิ้นงานให้มองเห็นได้เป็นอย่างน้อย



รูปที่ 3.10 สลักเกลียวแต่ละประเภท[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ความยาวของเกลียวดังรูปที่ 3.10 จะมีค่าขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าดังนี้

$$L_T = \begin{cases} 2D+6 & L \leq 125 & D \leq 48 \\ 2D+12 & 125 < L \leq 200 \\ 2D+25 & L > 200 \end{cases} \quad (3.46)$$

โดยที่ D มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

สำหรับขนาดมาตรฐานของสลักเกลียวน็อต และแหวนรองจะอยู่ในตารางภาคผนวกของวิจัยเล่มนี้

3.13 ทฤษฎีความแกร่งของรอยต่อที่ยึดด้วยสลักเกลียว

การยึดชิ้นงานด้วยสลักเกลียวเหมาะกับผู้ออกแบบที่ต้องการถอดประกอบชิ้นงาน โดยที่ชิ้นงานไม่เกิดความเสียหาย แต่ผู้ออกแบบต้องมีการออกแบบให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และประกอบชิ้นงานได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่ถูกติดกันด้วยสลักเกลียว[4]

จากรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นการจับยึดสองชิ้นงานเข้าด้วยกัน และสามารถจับยึดชิ้นงานมากกว่า 2 ชิ้นงานได้เช่นกัน ในส่วนของแรงที่ทำให้สามารถจับยึดชิ้นงานให้ติดกันได้นั้น เรียกว่า แรงกระทำเริ่มต้น (Preload) ซึ่งแรงนี้จะมีค่าเท่ากับแรงที่ใช้ในการกดน็อตจนชิ้นงานแน่นพอดีตามที่ออกแบบไว้ แต่ในบางครั้งอาจจะมีโหลดภายนอกมากกระทำได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแกร่งของสลักเกลียว (stiffness) แบ่งเป็นสองส่วนในชิ้นงาน คือ ส่วนที่ไม่มีร่องเกลียวภายในชิ้นงาน และส่วนที่มีร่องเกลียวภายในชิ้นงาน ดังนั้นค่าความแกร่งของสลักเกลียวจะมีสองค่าโดยจะใช้วิธีการพิจารณาเหมือนกับสปริง ที่มีการต่อกันแบบอนุกรมกัน

สาเหตุที่สามารถพิจารณาเช่นเดียวกับสปริงเนื่องจากในวัสดุทุกชนิดจะมีขนาดความยาวเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเมื่อมีแรงใด ๆ มากกระทำเช่นเดียวกับสปริงซึ่งจะยุบตัวเมื่อถูกแรงใด ๆ กระทำในแนวแกน ดังนั้น

ค่าความแกร่ง
จัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} \quad (3.47)$$

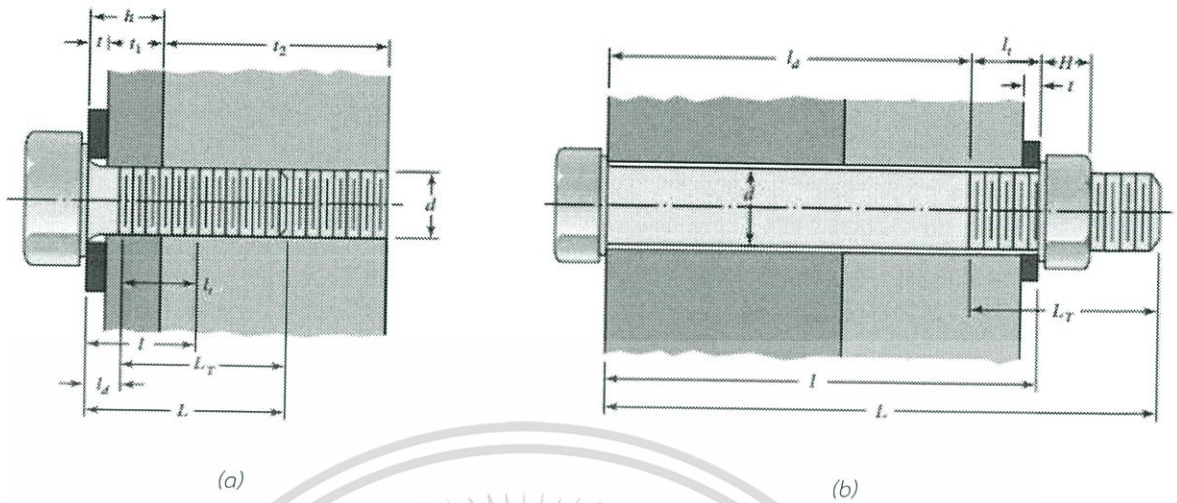
เมื่อ ค่าคงที่ของสปริงหาได้จาก $F = k\delta$ และสมการที่ 3.8 จะได้

$$k_t = \frac{A_t E}{l_t} \quad \text{และ} \quad k_d = \frac{A_d E}{l_d}$$

นำ k_t, k_d แทนลงในสมการ 3.4 จะได้

$$k = \frac{A_d A_t E}{A_t l_d + A_d l_t} = k_b \quad (3.48)$$

โดย k_b คือ ค่าความแกร่งของสลักเกลียวรวม



รูปที่ 3.12 ภาพแสดงขนาดของแต่ละตัวของสลักเกลียว และชิ้นงานยึด[4]

แนะนำการหาค่าความแกร่งของสลักเกลียวโดยอ้างอิงจากรูปที่ 3.12

ความหนาทั้งหมดของชิ้นงานที่ถูกจับยึด:

l คือ ความหนาของชิ้นงานที่ถูกจับยึดระหว่างสลักเกลียวกับน็อต

ความยาวของสลักเกลียว (L):

$$L > l + H$$

ความยาวสลักเกลียว (L_T): หาได้จากสมการที่ 3.46

ในส่วนของความหนาของชิ้นงานที่ถูกจับยึดระหว่างสลักเกลียวกับน็อต (l):

ความยาวของสลักเกลียวที่ไม่มีเกลียว: $l_d = L - L_T$

ความยาวของสลักเกลียวที่มีเกลียว: $l_t = l - l_d$

พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียวที่ไม่มีเกลียว $A_d = \frac{\pi d^2}{4}$

พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียวที่มีเกลียว $A_t = \text{ตารางมาตรฐาน}$

จะได้ค่า $k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_d + A_t l_t}$ เช่นเดียวกับสมการที่ 3.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

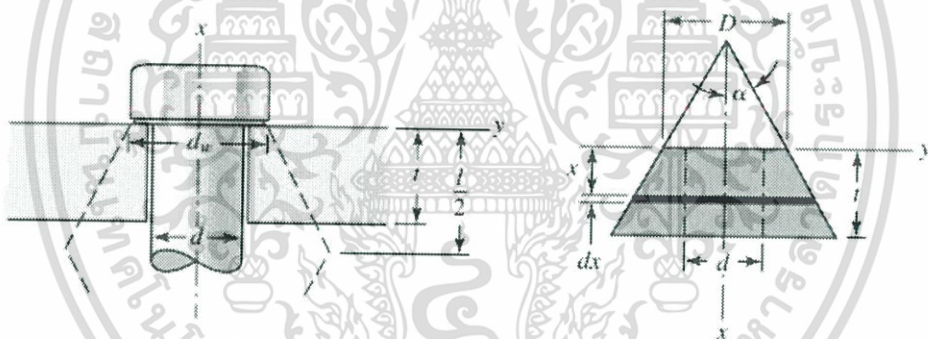
3.14 ทฤษฎีความแกร่งของชิ้นงานที่ยึดด้วยสลักเกลียว

ในเรื่องนี้เราจะศึกษาถึงความแกร่งของชิ้นงานในโซนที่ถูกจับยึดชิ้นงานด้วยสลักเกลียว ค่าคงที่ความแกร่งของชิ้นงานทั้งหมด คือ

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_i} \quad \text{โดยที่ } i \text{ คือ จำนวนชิ้นงานที่อยู่ในสลักเกลียว} \quad (3.49)$$

ในทางปฏิบัติบางครั้งอาจจะมีประเก็นนุ่มด้วย ค่าความแกร่งของประเก็นจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับชิ้นงานอื่นดังนั้น เราจะคิดแค่ความแกร่งของประเก็นเท่านั้น

เนื่องจากค่าความแกร่งของชิ้นงานจะหาได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากแรงกระทำที่เกิดขึ้นจะกระจายอยู่บนพื้นที่ที่ไม่สม่ำเสมอระหว่างตัวยึดจับชิ้นงาน ดังนั้นเราจะหาค่าความแกร่งของชิ้นงานที่ไม่มีประเก็น โดยวิศวกรชาวญี่ปุ่นชื่อ อิโตะ (Ito) ได้แนะนำให้ใช้วิธีการความดันรูปทรงกรวยของ Rotsher



รูปที่ 3.13 แรงกระทำชิ้นงานที่เป็นแรงกดที่สมมติว่าเป็นรูปกรวย[4]

จากรูปที่ 3.13 มุมยอดของรูปกรวย $\alpha = 30^\circ$ และ ระยะหดตัวจากความหนาของกรวย dx ที่เกิดจากแรง P ตามสมการที่ 3.8 คือ

$$d\delta = \frac{Pdx}{EA} \quad (3.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ พื้นที่หน้าตัดของ dx คือ

$$\begin{aligned} A &= \pi(r_o^2 - r_i^2) = \pi \left[\left(x \tan \alpha + \frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right] \\ &= \pi \left(x \tan \alpha + \frac{D+d}{2} \right) \left(x \tan \alpha + \frac{D-d}{2} \right) \end{aligned} \quad (3.51)$$

นำสมการที่ 3.51 แทนลงในสมการที่ 3.50 แล้วทำการอินทิเกรต จะได้

$$\delta = \frac{P}{\pi E_0} \int_0^t \frac{dx}{\left[x \tan \alpha + (D+d/2) \right] \left[x \tan \alpha + (D-d/2) \right]} \quad (3.52)$$

$$\delta = \frac{P}{\pi E d \tan \alpha} \ln \frac{(2t \tan \alpha + D-d)(D+d)}{(2t \tan \alpha + D+d)(D-d)} \quad (3.53)$$

ดังนั้น ค่าความแกร่งของส่วนที่เหลือของรูปกรวยที่ถูกตัดยอด เรียกว่า “ฟรัสตัม (Frustum)” คือ

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{\pi E d \tan \alpha}{\ln \frac{(2t \tan \alpha + D-d)(D+d)}{(2t \tan \alpha + D+d)(D-d)}} \quad (3.54)$$

ถ้า $\alpha = 30^\circ$

$$k = \frac{0.5774 E d}{\ln \frac{(1.155t + D-d)(D+d)}{(1.155t + D+d)(D-d)}} \quad (3.55)$$

ในสมการที่ 3.54 จะได้ค่าความแกร่งของชิ้นงานของแต่ละฟรัสตัมในรอยต่อแยกห่างออกจากกัน แล้วรวมกันตามสมการที่ 3.49

ถ้าชิ้นงานที่ถูกจับยึดอยู่ระหว่างสลักเกลียวเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน ความหนาเท่ากัน และมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นเท่ากัน ส่วนที่เหลือของรูปกรวยความดันจะอยู่ในลักษณะสมมาตร ซึ่งจะได้ $k_m = k/2$

ค่า Grip $l = 2t$ และเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแหวนรองเท่ากับ d_w จะได้

$$k_m = \frac{\pi E d \tan \alpha}{2 \ln \frac{(l \tan \alpha + d_w - d)(d_w + d)}{(l \tan \alpha + d_w + d)(d_w - d)}} \quad (3.56)$$

ตามปกติเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแหวนรองได้สลักเกลียว จะใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียวประมาณ 50% ดังนั้น เราจะสามารถทำให้สมการที่ 3.56 อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ โดยใช้ค่า $d_w = 1.5d$ และ $\alpha = 30^\circ$ จะได้

$$k_m = \frac{0.5774 \pi E d}{2 \ln \left(5 \frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)} \quad (3.57)$$

แก้สมการที่ 3.57 เพื่อหาค่า $\frac{k_m}{Ed}$ จะได้

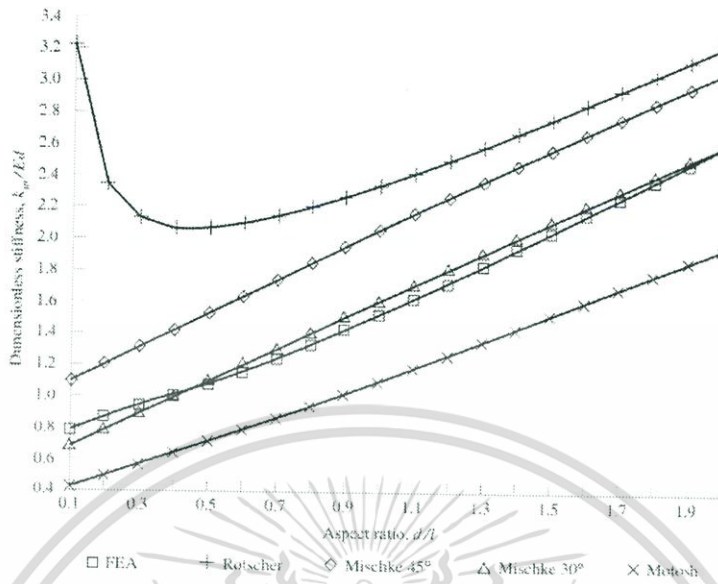
$$\frac{k_m}{Ed} = \frac{\pi \tan \alpha}{2 \ln \frac{(l \tan \alpha + d_w - d)(d_w + d)}{(l \tan \alpha + d_w + d)(d_w - d)}} \quad (3.58)$$

เมื่อนำค่านี้ไปพล็อตกราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) เมื่อเทียบกับอัตราส่วนความยาวที่ถูกจับยึดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเกลียว จะได้เส้นกราฟตามรูปที่ 3.14 เส้นกราฟนี้เป็นไปตาม $\alpha = 30^\circ$ ที่แนะนำให้ใช้ และที่ Aspect ratio $d/l = 0.4$ ซึ่งเส้นกราฟนี้ยังเข้าได้พอดีกับฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล

$$\frac{k_m}{Ed} = A \exp\left(\frac{Bd}{l}\right) \quad (3.59)$$

ค่าคงที่ A และ B แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1 ดังนั้น เราจะสามารถใช้สมการที่ 3.59 ในการคำนวณหาค่าคงที่ความแข็งแรงของชิ้นงานได้โดยง่าย สำหรับพื้นผิวของแหวนรองมาตรฐานและชิ้นงานที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน d/l กับ k_m / Ed [4]

ตารางที่ 3.1 ค่าคงที่ A และ B ของวัสดุชนิดต่าง

Material Used	Poisson Ratio	Elastic GPa	Modulus Mpsi	A	B
Steel	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminum	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Copper	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Gray cast iron	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
General expression				0.789 52	0.629 14

3.15 ทฤษฎีแรงดึงในรอยต่อที่เกิดจากโหลดภายนอก

เมื่อมีโหลดภายนอกกระทำกับรอยต่อด้วยสลักเกลียวดังรูปที่ 3.11 เราจะเริ่มพิจารณาแรงที่กระทำเพื่อจับยึดซึ่งเกิดจากแรงดึงเริ่มต้น (F_i) แรงนี้เกิดจากการกดน็อตยึดสลักเกลียวให้แน่นตามที่ต้องการและในบางครั้งก็อาจมีแรงภายนอกกระทำ โดยตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้มีดังนี้

- P_b = โหลดส่วนที่สลักเกลียวรับภาระ
- P_m = โหลดที่ชิ้นงานต้องรับภาระ
- $F_b = P_b + F_i$ = แรงลัพธ์ที่สลักเกลียวได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F_m = P_m - F_i$ = แรงลัพท์ที่ขึ้นงานได้รับ

C = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของโหลตจากภายนอก P ที่เกิดขึ้นบนสลักเกลียว

$1-C$ = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของโหลตจากภายนอก P ที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

โดยที่ ค่าบวก คือแรงดึง และค่าลบ คือแรงอัด

เนื่องจากโหลต P เป็นแรงดึง จะทำให้รอยต่อเกิดการยึดตัวออกจากกันเป็นระยะ δ ดังนั้นเราจึงสามารถหาความสัมพันธ์ของระยะการยึดตัวของรอยต่อกับความแรงแรงได้ดังนี้

$$\delta = \frac{P_b}{k_b} = \frac{P_m}{k_m} \quad (3.60)$$

จากสมการที่ 3.60 จะทราบความสัมพันธ์ระหว่าง P_m กับ P_b ดังนี้

$$P_m = P_b \frac{k_m}{k_b} \quad (3.61)$$

และเนื่องจาก $P = P_m + P_b$ แทนค่าลงในสมการที่ 3.61 จะได้

$$P_b = \frac{k_b P}{k_b + k_m} = CP \quad (3.62)$$

และ

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

เมื่อ

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

ดังนั้น แรงลัพท์ที่เกิดขึ้นในสลักเกลียวจะมีค่า

$$F_b = P_b + F_i = CP + F_i \quad \text{เมื่อ } F_m < 0 \quad (3.63)$$

และแรงลัพท์ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ยึดติดเข้าด้วยกันจะมีค่า

$$F_m = P_m - F_i = (1-C)P - F_i \quad \text{เมื่อ } F_m < 0 \quad (3.64)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.16 ทฤษฎีโหลดแรงดึงแบบสถิตที่ร่อยต่อ

จากสมการที่ 3.63 และ 3.64 ทำให้เราทราบแรงลัพธ์ที่กระทำในแต่ละส่วน และเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานชิ้นงานที่ยึดติดกันจะต้องไม่แยกออกจากกัน ดังนั้นโหลดจากภายนอกจะต้องมีค่าน้อยกว่าโหลดที่ทำให้ร่อยต่อนั้นแยกออกจากกัน ถ้าหากร่อยต่อเกิดการแยกออกจากกันโหลดภายนอกทั้งหมดจะกระทำต่อสลักเกลียวโดยตรงดังนั้นจากสมการที่ 3.64 จะได้

กำหนดให้ P_0 คือโหลดจากภายนอกที่ทำให้ร่อยต่อเกิดการแยกออกจากกัน และเงื่อนไขที่จะทำให้ออกมาแยกออกจากกันคือ $F_m = 0$ จากสมการที่ 3.64 จะได้

$$(1-C)P_0 - F_i = 0 \tag{3.65}$$

กำหนดให้ $n_0 = \frac{P_0}{P}$ โดยที่ n_0 คือค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยที่ร่อยต่อ และนำค่า $P_0 = n_0 P$ แทนลงในสมการที่ 3.65 จะได้

$$n_0 = \frac{F_i}{P(1-C)} \tag{3.66}$$

3.17 ทฤษฎีเรื่องแรงกระทำเริ่มต้น (F_i)

จากคำแนะนำของบริษัท Russel, Burdsall & Ward Inc. แรงกระทำเริ่มต้นในสลักเกลียวที่ต้องการ คือ 60 kpsi สำหรับสลักเกลียว SAE เกรด 5 เมื่อใช้ในการยึดจุดเชื่อมต่อเป็นการชั่วคราว และสำหรับสลักเกลียว A325 ที่ใช้ในการยึดโครงสร้างจะต้องกดให้อยู่ในย่านของโหลดดั่งที่ระบุ หรือมากกว่า 85 kpsi เมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

สำหรับบริษัท Bowman แนะนำให้ใช้แรงกระทำเริ่มต้น ประมาณ 75% ของโหลดระบุ ซึ่งตรงกับคำแนะนำของบริษัท Russel, Burdsall & Ward Inc. จากคำแนะนำต่าง ๆ เหล่านี้แรงกระทำเริ่มต้นในสลักเกลียวที่แนะนำให้ใช้คือ

$$F_i \begin{cases} = 0.75F_p & \text{สำหรับใช้ยึดจุดเชื่อมต่อชั่วคราว} \\ = 0.90F_p & \text{สำหรับใช้ยึดจุดเชื่อมต่ออย่างถาวร} \end{cases} \tag{3.67}$$

เมื่อ $F_p = A_s S_p$ โดย F_p คือ ค่าโหลดระบุ (proof load)

ค่า S_p คือค่าความต้านระบุ (Proof strength) ของแต่ละวัสดุหรือมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $0.85S_y$ และควรระวังว่าอย่าใช้วัสดุที่มีความอ่อนในการทำสลักเกลียว สำหรับเหล็กกล้าที่ใช้ทำสลักเกลียวจะใช้กับการยึดโครงสร้าง และถ้าใช้วิธีการกวัดน็อต เพื่อเพิ่มความต้านแรงให้กับจุดเชื่อมต่อ ให้กวัดจนถึงจุดคราก

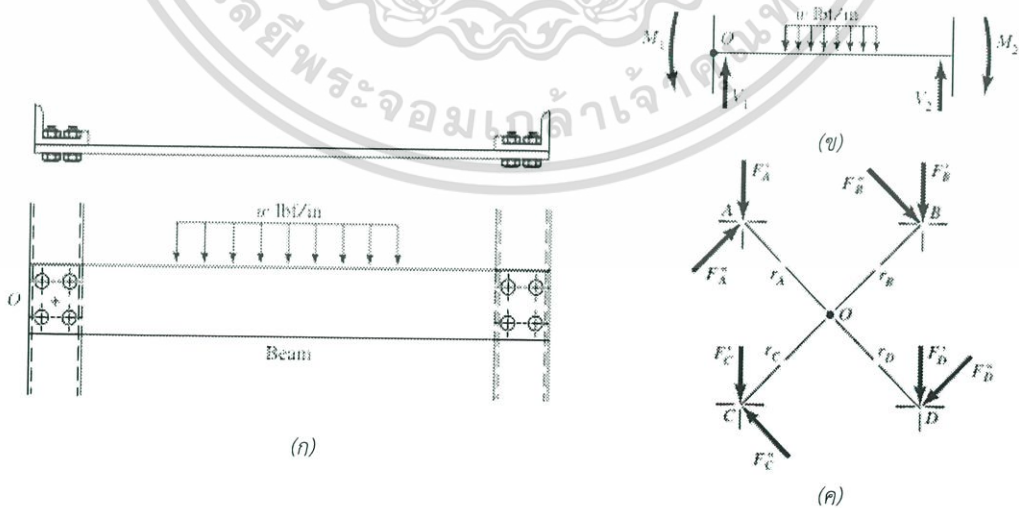
3.18 ทฤษฎีรอยต่อรับแรงเฉือน

ในการคำนวณแรงเฉือนของสลักเกลียวเราจำเป็นต้องเขียนผังวัตถุอิสระและหาจุดเซนทรอยด์ เพื่อนำมาคำนวณโหลดรวมสลักเกลียว และนำไปหาแรงเฉือนของแต่ละสลักเกลียว แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะมีสองลักษณะคือ แรงเฉือนทางตรง (F') และแรงเฉือนทางอ้อมหรือบางครั้งเรียกว่าโมเมนต์โหลด (F'') ซึ่งโมเมนต์โหลดนี้หมายถึง โหลดที่เกิดขึ้นจากโมเมนต์ดัด M_1 โดยสลักเกลียวแต่ละตัวจะได้รับโหลดขึ้นอยู่กับระยะทางตามแนวรัศมีจากจุดเซนทรอยด์จนถึงจุดศูนย์กลางของสลักเกลียว (r) โมเมนต์ดัดและโมเมนต์โหลดจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$M_1 = F_A''r_A + F_B''r_B + F_C''r_C + \dots \tag{3.68}$$

ค่าโมเมนต์โหลด F'' ที่เกิดขึ้นในสลักเกลียวแต่ละตัวจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากจุดเซนทรอยด์ดังนี้

$$\frac{F_A''}{r_A} = \frac{F_B''}{r_B} = \frac{F_C''}{r_C} \tag{3.69}$$



รูปที่3.15 เป็นตัวอย่างของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนคานกระทำการสลักเกลียวสลักเกลียว[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

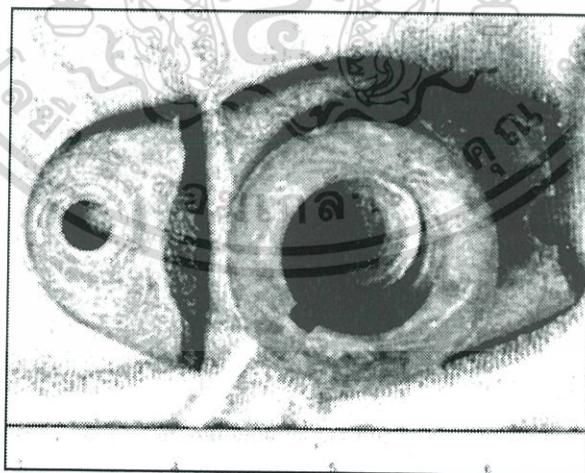
เมื่อแทนค่าความเค้นเฉือน $\tau'' = 4F'' / \pi d^2$ สำหรับสลักเกลียวแต่ละตัว แล้วแก้สมการ 3.68 และ 3.69 จะได้

$$F_n'' = \frac{Mr_n}{r_A^2 + r_B^2 + r_C^2 + \dots} \quad (3.70)$$

และสุดท้ายทำการรวมแรงเฉือน F' กับโมเมนต์โหลด F'' โดยวิธีแบบเวกเตอร์ ก็จะทราบ โหลดแรงเฉือนลัพธ์ที่กระทำต่อสลักเกลียวแต่ละตัว เราก็จะทราบว่าสลักเกลียวตัวใดที่รับแรงเฉือนลัพธ์ มากที่สุดก็จะเป็นจุดวิกฤติของสลักเกลียวกลุ่มนั้น ซึ่งจะสามารถนำไปตรวจสอบโอกาสที่จะเกิดความเสียหายได้

3.19 ทฤษฎีความเสียหาย

ชิ้นงานที่ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบไว้จะเรียกว่า “เกิดความเสียหาย” ก็ต่อเมื่อชิ้นงานนั้นไม่สามารถใช้งานต่อไปได้แล้วจำเป็นต้องนำมาซ่อมแซม หรือเปลี่ยนใหม่ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ออกแบบเกิดความเสียหายผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบให้ต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณโดยทฤษฎีความเสียหายที่จะได้กล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างความเสียหายเนื่องจากการกระแทกของตัวยึดใบมีดของเครื่องตัดหญ้า[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานที่ทำจากวัสดุเหนียว และวัสดุเปราะจะมีคุณสมบัติทางกลที่แตกต่างกัน โดยทฤษฎีความเสียหายที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาความเสียหายก็จะมี ความแตกต่างกันในแต่ละกรณีด้วย สำหรับวัสดุเหนียวจะพิจารณาจากทฤษฎี ดังนี้

- ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shearing stress: MSS)
- ทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Distortion energy: DE)
- ทฤษฎีคูลอมป์-โมห์สำหรับวัสดุเหนียว (Ductile Coulomb-Mohr: DCM)

สำหรับวัสดุเปราะจะพิจารณาจากทฤษฎี ดังนี้

- ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด (Maximum normal stress: MNS)
- ทฤษฎีคูลอมป์-โมห์สำหรับวัสดุเปราะ (Brittle Coulomb-Mohr: BCM)
- ทฤษฎีโมห์ดัดแปลงสำหรับวัสดุเปราะ (Modified Mohr: MM)

ในการออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วของวิจัยเล่มนี้ จะใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shearing stress: MSS) จะให้ค่าความอนุรักษ์ (conservative) ในวัสดุได้ดีกว่า ทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Distortion energy: DE) โดยสาเหตุที่ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ให้ค่าความอนุรักษ์ได้ดีกว่านั้นเป็นเพราะในทฤษฎีดังกล่าวจะใช้ค่าที่ความเค้นเฉือนที่จุดครากต่ำกว่าทฤษฎีพลังงานแปรรูปทำให้มีความปลอดภัยมากกว่าในแง่ของการออกแบบ

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shearing stress : MSS)

“การคราก (yielding) จะเกิดขึ้นเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุด (maximum shear stress) เท่ากับความต้านแรงเฉือนคราก (shear strength) ภายใต้การทดสอบด้วยแรงดึงอย่างง่ายของวัสดุชนิดเดียวกัน”

สำหรับในการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย $\sigma = P/A$ ความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นบนระนาบที่ทำมุม 45 องศากับระนาบของการดึง โดยมีขนาด $\tau_{\max} = \sigma/2$ ดังนั้น ความเค้นเฉือนสูงสุดที่จุดครากจะมี $\tau_{\max} = S_y/2$ สำหรับระนาบ 3 มิติจะกำหนดให้ $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ เรียงตามลำดับ จะได้

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{S_y}{2} \quad \text{ห รื อ} \quad (3.71)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = S_y$$

จากสมการที่ 3.71 จะได้ความสัมพันธ์ของความต้านแรงเฉือนคราก ดังนี้

$$S_{sy} = 0.5S_y \quad (3.72)$$

และ ค่าแฟกเตอร์สำหรับการออกแบบ (factor of safety) คือ

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2n} \quad \text{หรือ} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n} \quad (3.73)$$

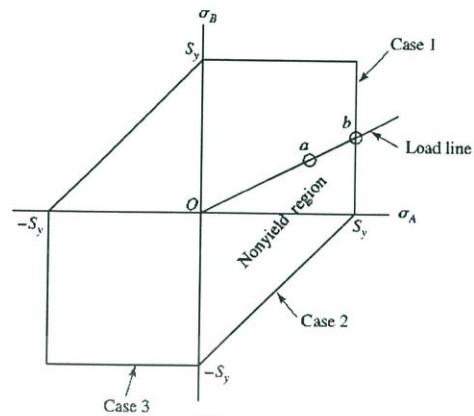
และเพื่อความง่ายในการวิเคราะห์เราจะทำการวิเคราะห์ความเสียหายแบบความเค้นในระนาบ โดยกำหนดให้ความเค้นหลักในระนาบใดระนาบหนึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ และความเค้นหลักที่เหลือ σ_A และ σ_B โดยให้ $\sigma_A \geq \sigma_B$ ดังนั้นจะได้ความเค้นใน 3 มิติ เมื่อพิจารณาพร้อมกับสมการ 3.71 ทั้งหมด 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 : $\sigma_A \geq \sigma_B \geq 0$ จะได้เงื่อนไขในสมการ 3.71 เป็น $\sigma_A = S_y$

กรณีที่ 2 : $\sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B$ จะได้เงื่อนไขในสมการ 3.71 เป็น $\sigma_A - \sigma_B \geq S_y$

กรณีที่ 3 : $0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$ จะได้เงื่อนไขในสมการ 3.71 เป็น $\sigma_A \geq -S_y$

จากเงื่อนไขทั้ง 3 กรณีจะแสดงให้เห็นเส้นระนาบ 3 เส้น σ_A , σ_B ในรูปที่ 3.15 โดยเส้นที่ไม่มี การระบุใด ๆ จะเป็นกรณีที่ $\sigma_B \geq \sigma_A$ ซึ่งจะไม่มีการนำมาพิจารณา ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (MSS) ได้ทำนายว่าวัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นที่เกิดขึ้นอยู่นอกขอบเขตรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.17 ขอบเขตทำนายความเสียหายทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด[4]

3.20 ทฤษฎีพลังงานความเครียด

การบิดเป็นรูปร่างของวัสดุที่เกิดจากคุณสมบัติความยืดหยุ่น จะมีพลังงานส่วนหนึ่งที่แปลงไปเป็นพลังงานศักย์สะสมอยู่ในเนื้อวัสดุ เรียกว่าความเครียด ถ้าวัสดุมีการหลุดตัวไปเป็นระยะ y และความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะการหลุดตัวเป็นแบบเชิงเส้น (linear) พลังงานความเครียด (strain energy) จะมีค่าเท่ากับผลคูณของแรงเฉลี่ยกับระยะหลุดตัว คือ

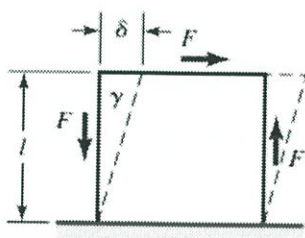
$$U = \frac{F}{2} y = \frac{F^2}{2k} \quad (3.74)$$

สมการนี้เป็นสมการโดยทั่วไป โดย F จะมีความหมายถึงโหนดที่เป็นทั้งแรงบิดและโมเมนต์ ดังนั้นหน่วยของค่า k จะต้องสัมพันธ์กับค่าที่ใช้ ดังนั้น เราจะสามารถหาสูตรการคำนวณพลังงานความเครียดสำหรับโหนดอย่างง่ายได้ สำหรับแรงดึง/แรงกด และแรงบิดจะได้

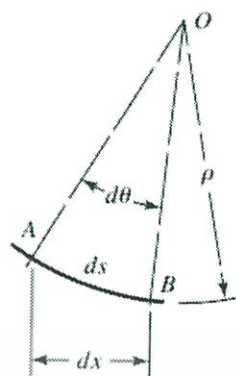
$$U = \frac{F^2 l}{2AE} \quad \text{สำหรับการดึง/การกด} \quad (3.75)$$

$$U = \frac{T^2 l}{2GJ} \quad \text{สำหรับการบิด} \quad (3.76)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แรงเฉือนบนวัตถุขนาดเล็กมาก ๆ



(ข) ความงอเนื่องจากแรงดัด

รูปที่ 3.18 อีลิเมนต์รับแรงเฉือน และโมเมนต์ดัด[4]

การหาสูตรคำนวณพลังงานความเครียดที่เกิดจากแรงเฉือน ให้พิจารณาส่วนประกอบที่ยืดปลายด้านหนึ่งไว้ตามรูปที่ 3.16(ก) แรง F จากสูตรโดยทั่วไปจะหมายถึงองค์ประกอบของโหนดที่เกิดจากแรงเฉือนโดยพลังงานที่ทำให้เกิดการทงตัว $U = F\delta/2$ เนื่องจากความเครียดเฉือน $\gamma = \delta/2 = \tau/G = F/AG$ ดังนั้น

$$U = \frac{F^2 l}{2AG} \quad \text{สำหรับแรงเฉือน} \quad (3.77)$$

พลังงานความเครียดจะสะสมอยู่ในคานหรือคานดัด เมื่อเกิดการดัด จะหาได้จากการพิจารณารูปที่ 3.16(ข) เมื่อ AB เป็นส่วนของส่วนโค้งความยืดหยุ่นยาว ds ที่มีรัศมีความโค้ง ρ พลังงานความเครียดที่สะสมอยู่ในชิ้นส่วนจะมีค่าเท่ากับ $dU = (M/2)d\theta$ เนื่องจาก $\rho d\theta = ds$ ดังนั้น

$$dU = \frac{M ds}{2\rho} \quad (3.78)$$

เราสามารถกำจัดตัวแปรซึ่งไม่ทราบค่า ρ ได้โดยแทนค่าสมการที่ 3.26 ลงในสมการที่ 3.78 จะได้

$$dU = \frac{M^2 ds}{2EI} \quad (3.79)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระยะเวลาการทรุดตัวที่มีขนาดเล็ก $ds = dx$ ดังนั้น พลังงานความเครียดสะสมตลอดความยาวของคานจะมีค่า

$$U = \int \frac{M^2 dx}{2EI} \quad \text{สำหรับการดัด} \quad (3.80)$$

ในบางกรณี พลังงานความเครียดที่ต้องการทราบค่าจะเป็นพลังงานความเครียดที่สะสมอยู่ในรูปของหน่วยปริมาตร ดังนั้น เราจะทราบค่าได้โดยการหาสมการที่ 3.75, 3.76, 3.77 ด้วยปริมาตรทั้งหมดของคานคือ LA และใช้ค่าความเค้นในการพิจารณาโดย $F/A = \pm\sigma$ สำหรับการดึงและการอัด และ $F/A = \tau$ สำหรับแรงเฉือน และ $Td/2J = \tau_{\max}$ สำหรับแรงบิด ดังนั้นจะได้

$$U \begin{cases} = \frac{\sigma^2}{2E} & \text{สำหรับการดึงหรือการกด} \\ = \frac{\tau^2}{2G} & \text{สำหรับการเฉือน} \\ = \frac{\tau_{\max}^2}{4G} & \text{สำหรับการบิด} \end{cases} \quad (3.81)$$

สมการที่ 3.81 นี้ เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่มีความเค้นในเนื้อวัสดุสูง มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำ หรือเป็นชิ้นงานที่มีความแข็งแรง จะส่งผลให้มีพลังงานความเครียดสะสมอยู่ในเนื้อวัสดุมาก

สมการที่ 3.80 จะคำนวณได้แม่นยำในกรณีที่คานได้รับเฉพาะแรงเฉือน อย่างไรก็ตามหากมีองค์ประกอบของแรงเฉือนรวมอยู่ด้วย สมการที่ 3.80 ก็ยังสามารถใช้ในการประมาณค่าพลังงานความเครียดได้ เว้นแต่ว่าคานนั้นเป็นคานสั้นมาก ดังนั้น จะเห็นได้ว่าพลังงานความเครียดที่เกิดจากแรงเฉือนจึงเป็นปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน สมการที่ 3.77 จึงถูกนำมาใช้ โดยมีค่าแฟกเตอร์แก้ไขที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคาน ถ้าใช้สัญลักษณ์ C แทนค่าแฟกเตอร์แก้ไข และ V เป็นแรงเฉือน ดังนั้น จะสามารถคำนวณหาพลังงานความเครียดที่เกิดจากแรงเฉือนได้โดยการอินทิเกรตสมการที่ 3.77 นั่นคือ

$$U = \int \frac{CV^2 dx}{2AG} \quad \text{สำหรับการดัดเนื่องจากการเฉือน} \quad (3.82)$$

สำหรับค่าแฟกเตอร์ C แสดงไว้ในรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Beam Cross-Sectional Shape	Factor C
Rectangular	1.2
Circular	1.11
Thin-walled tubular, round	2.00
Box sections [†]	1.00
Structural sections [†]	1.00

รูปที่ 3.19 ค่าแฟกเตอร์ C ที่พื้นที่หน้าตัดขวางต่าง ๆ [4]



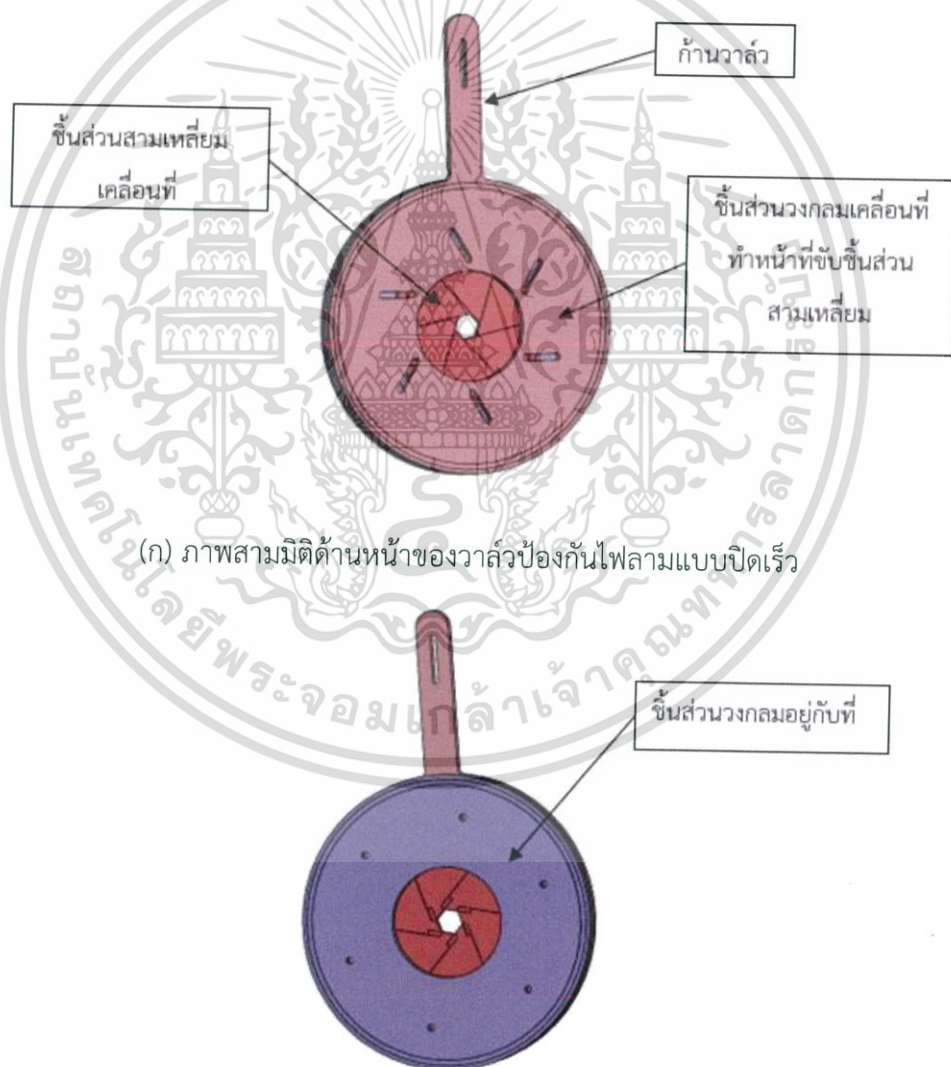
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบ และการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

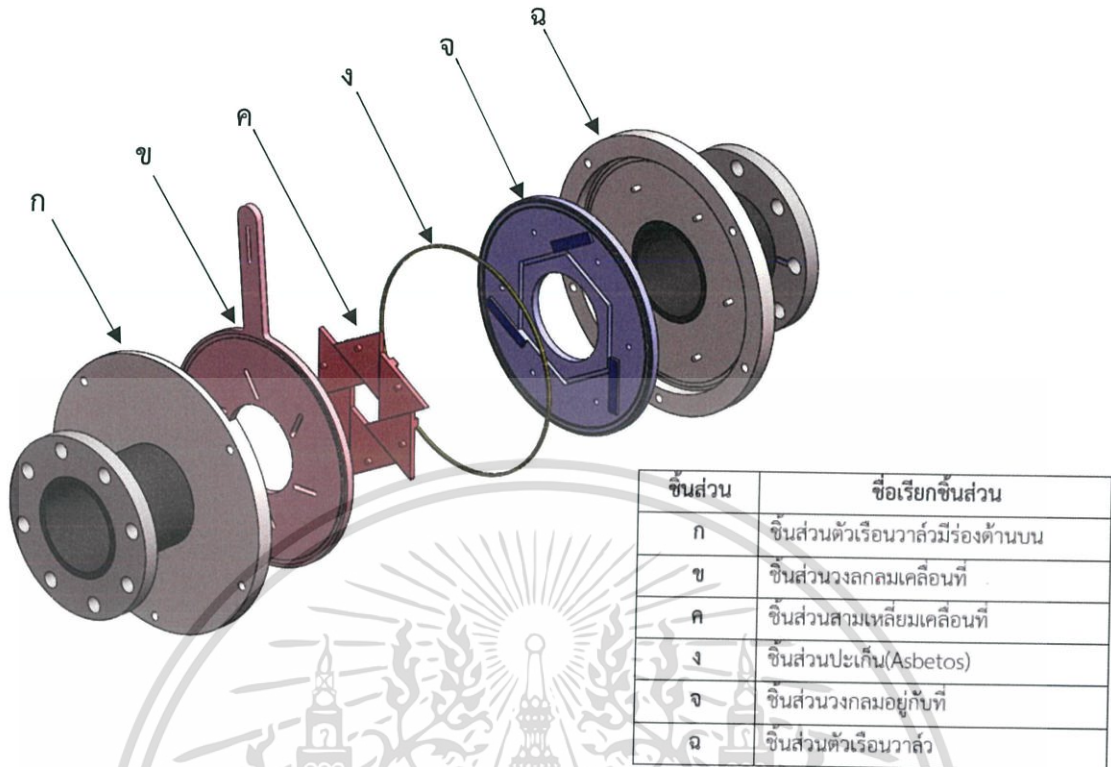
4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วโดยสังเขป

การออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วของวิจัยฉบับนี้เลือกที่จะออกแบบวาล์วโดยได้แรงบันดาลใจมาจากการเคลื่อนที่ของชัตเตอร์กล้องที่ต้องใช้ความเร็วในการ เปิด-ปิด รูรับแสงอย่างรวดเร็ว ซึ่งรู้จักกันในชื่อกลไกการเคลื่อนที่แบบ “ไอริส (Iris mechanism)”



(ข) ภาพสามมิติด้านหลังของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.1 ภาพแสดงส่วนประกอบโดยรวมของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว

การออกแบบวาล์วของงานวิจัยฉบับนี้จะเลือกใช้วัสดุเหล็ก SS400 ในการผลิตเพื่อทดลอง เนื่องจากมีราคาถูก เหมาะสำหรับนำมาทดลองเพื่อทดสอบกลไกการเคลื่อนที่ดังที่ได้กล่าวข้างต้นมากที่สุด โดยเหล็ก SS400 มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ภาคผนวกท้ายเล่ม แต่สำหรับการใช้งานจริงผู้วิจัยแนะนำว่าไม่ควรใช้วัสดุเหล็ก SS400 มาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อสร้าง เนื่องจากเหล็กชนิดนี้มีโอกาสที่จะก่อสนิมได้ง่าย และทนต่อการกัดกร่อนได้น้อย แต่สามารถแก้ได้ด้วยวิธีการที่อาจจะนำไปผ่านกระบวนการเคลือบผิว เพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการ เช่น การชุบทองเหลือง เป็นต้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อน ทนต่อการเสียดสี แต่ก็จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงในขณะที่กำลังออกแบบเนื่องจากการชุบด้วยพื้นผิวชนิดต่าง ๆ นั้นเป็นการเพิ่มความหนาของชิ้นงานไม่มากนัก

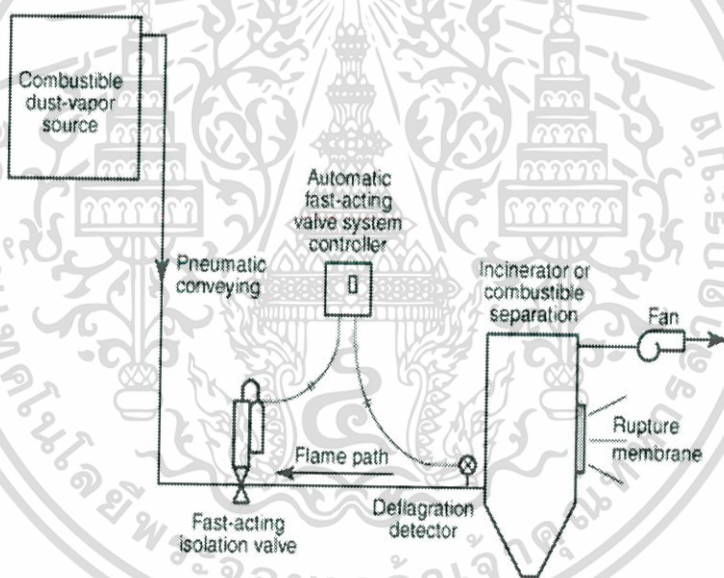
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคำนวณหาเวลามากที่สุดที่ใช้ในการปิดวาล์วหลังได้รับสัญญาณการเกิดการระเบิด

สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันการระเบิดเอกสาร NFPA 68 Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting 2007 Edition ได้แนะนำให้ระบบทุก ๆ ระบบภายในโรงงานขนาดใหญ่ที่มีโอกาสเกิดการระเบิดขึ้นไม่มากก็น้อยนั้นควรมีระบบป้องกันการระเบิดทั้งหมด 3 วิธี ดังนี้

1. Isolation methods
2. Spark extinguishing systems (Hot Particle Detection)
3. Deflagration suppression

โดยวิจัยฉบับนี้ได้ให้ความสนใจไปที่วิธีการ Isolation methods ซึ่งเป็นการแยกระบบที่เกิดการระเบิดออกจากระบบอื่น ๆ ภายในระบบลำเลียงของเชื้อเพลิงไบโอแมสแบบฝุ่นเพื่อลดความเสียหายต่อระบบลำเลียงโดยรูปแบบการทำงานได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดง Piping and Instrument Diagram (NFPA 68 Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting 2007 Edition)

4.2.1 เวลาที่เปลวไฟจากการระเบิดใช้ในการเคลื่อนที่จากภาชนะปิดมาถึงวาล์ว

เพื่อให้ทราบเวลาที่เปลวไฟเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ถูกตรวจจับด้วยสวิตช์ควบคุมแรงดันจนมาถึงตำแหน่งบริเวณหน้าวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว และเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาวิจัยฉบับนี้จึงพิจารณาเปลวไฟจากการระเบิดมีความเร็วแบบคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$t = \frac{S}{V} \quad (4.1)$$

- เมื่อ t_{flame} คือ เวลาที่เปลวไฟใช้ในการเคลื่อนที่มาถึงวาล์วปิดเร็ว
 V_{flame} คือ อัตราเร็วของเปลวไฟของชีวมวลฝุ่นที่ต่ำกว่าความเร็วเสียง $V_{flame} = 5$ เมตร/วินาที
 S คือ ระยะทางทั้งหมดจากสวิตช์ควบคุมแรงดันถึงวาล์วปิดเร็ว $S = 25$ เมตร

แทนค่าสมการ 4.1 จะได้

$$t_{flame} = \frac{25}{5}$$

จะได้

$$t_{flame} = 5 \text{ วินาที}$$

4.2.2 อัตราเร็วของคลื่นความดันที่เท่ากับความเร็วเสียง

ลำดับต่อมาจะเป็นการหาเวลาที่คลื่นความดัน (Shock wave) ใช้ในการเคลื่อนที่เพื่อให้แน่ใจว่าวาล์วจะสามารถปิดทันคลื่นความดันเหล่านี้ด้วย เนื่องจากคลื่นความดันนั้นมีความอันตรายไม่ต่างจากเปลวไฟที่จะเคลื่อนที่ไปก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์โดยรอบ

โดย

$V_{pressure}$ คือ อัตราเร็วของคลื่นความดันของชีวมวลฝุ่นให้เท่ากับความเร็วเสียง (เมตร/วินาที)

T_1 คือ อุณหภูมิของสสารในภาชนะปิดที่สภาวะปกติ มีค่าเท่ากับ 303 องศาเซลวิน

T_2 คือ อุณหภูมิของภาชนะปิดหลังการระเบิด (องศาเซลวิน)

P_1 คือ ความดันของสสารในภาชนะปิดที่สภาวะปกติ มีค่าเท่ากับ 1 บาร์บรรยากาศ

P_2 คือ ความดันของสสารในภาชนะปิดหลังการระเบิด มีค่าเท่ากับ 11 บาร์บรรยากาศ

k คือ ดัชนีแอดิยาแบติกที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง T_1 กับ T_2 (448.98 องศาเซลวิน)
 มีค่าเท่ากับ 1.3911

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซสำหรับอากาศ มีค่าเท่ากับ 287 J/(kg·K)

S คือ ระยะทางทั้งหมดจากสวิตช์ควบคุมแรงดันถึงวาล์วปิดเร็ว $S = 25$ เมตร

$t_{pressure}$ คือ เวลาของคลื่นความดันใช้ในการเคลื่อนที่มาถึงวาล์วปิดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ สสารเป็นอากาศ การขยายตัวจากการระเบิดเป็นแบบ Isentropic และพิจารณาแบบ
ก๊าซอุดมคติ

เมื่อ สมการการขยายตัวของอากาศแบบ Isentropic ดังสมการที่ 4.2

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{Pr_2}{Pr_1} \quad (4.2)$$

$$Pr_2 = 11Pr_1$$

โดย Pr_1 ที่อุณหภูมิ 303 องศาเซลวิน = 1.43556 จะได้

$$Pr_2 = 15.7912$$

โดย $Pr_2 = 15.7912$ ดังนั้น T_2 มีค่าเท่ากับ 594.96 องศาเซลวิน

เมื่อ สมการอัตราเร็วของเสียงในก๊าซ $V_{pressure} = \sqrt{kP_2/\rho}$ จัดรูปใหม่จะได้ ดังนี้

$$V_{pressure} = \sqrt{kRT_2} \quad (4.3)$$

$$V_{pressure} = 487.38 \text{ เมตร/วินาที}$$

และ

$$t_{pressure} = \frac{S}{V_{pressure}} \quad (4.4)$$

$$t_{pressure} = 0.0513 \text{ วินาที}$$

พบว่า $t_{pressure} < t_{flame}$ นั้นหมายความว่าผลของคลื่นความดันจากการระเบิดจะมาถึงวาล์วก่อน
เนื่องจากใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยกว่า หรือมีอัตราเร็วมากกว่านั่นเอง

4.2.3 เวลาล่าช้าของอุปกรณ์ และการเคลื่อนที่ของอากาศ

ในทางปฏิบัติจริงนั้นผู้วิจัยพบว่าอุปกรณ์มีการส่งสัญญาณไฟฟ้าในการขับเคลื่อน และการเคลื่อนที่ของอากาศภายในท่อลมมีความล่าช้าอยู่เล็กน้อย ดังนั้นเพื่อให้เกิดค่าความผิดพลาดในการออกแบบที่น้อยลง ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาเวลาล่าช้าของการส่งสัญญาณในหัวข้อ 5.4 และการเคลื่อนที่ของอากาศภายในท่อลมในหัวข้อ 5.5

โดย

t_{total} คือ เวลาทั้งหมดของการล่าช้า (วินาที)

t_{delay} คือ เวลาล่าช้าจากการเคลื่อนที่ของอากาศจากโซลินอยด์ไปถึงกระบอกสูบ (วินาที)

t_{detect} คือ เวลาที่กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปจากสวิตช์ความดันจนถึงขดลวดโซลินอยด์ (วินาที)

V_{detect} คือ อัตราเร็วของกระแสไฟฟ้า $V_{detect} = 3 \times 10^8$ (เมตร/วินาที)

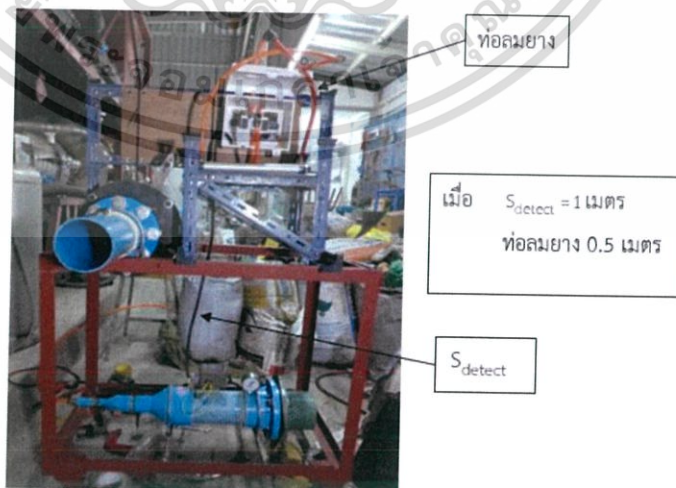
S_{detect} คือ ความยาวของสายไฟจากสวิตช์ควบคุมแรงดันจนถึงขดลวดโซลินอยด์

V_{delay} คือ อัตราเร็วของอากาศ (เมตร/วินาที)

S_{delay} คือ ความยาวของสายยางลมจากโซลินอยด์ไปถึงกระบอกสูบ

$$\text{เมื่อ } t_{total} = t_{delay} + t_{detect} \quad (4.5)$$

โดยที่ค่าของ t_{detect} จะมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ ถ้าค่าของ S_{detect}/V_{detect} มีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับพจน์อื่นซึ่งในการคำนวณของงานวิจัยฉบับนี้จะกำหนดให้ค่า t_{detect} เท่ากับ 0.01 วินาทีซึ่งได้จากการทดลองโดยมีสถานะเงื่อนไขดังรูปที่ 4.3 หรือการทดลองที่ 5.4



รูปที่ 4.3 แสดงชุดการทดลองหาเวลาล่าช้า

4.2.4 เวลาที่ใช้ในการปิดวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วเพื่อแยกระบบหลังการระเบิด

การคำนวณหาเวลาสิ่งสุดท้าย คือการหาเวลาที่วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วนั้นใช้เวลาในการปิดเท่าไรเพื่อที่จะให้ปิดทันเพื่อป้องกันคลื่นความดัน และเปลวไฟจากการระเบิด และจากการคำนวณเวลาของทั้งเปลวไฟ และคลื่นความดันนั้นพบว่าคลื่นความดันใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยกว่าเปลวไฟในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งตรวจจับด้วยสวิทช์ควบคุมแรงดัน ดังนั้นวิจัยฉบับนี้จึงนำเวลาที่คำนวณได้จากคลื่นความดันมาเป็นเกณฑ์ในการที่วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วจะต้องปิดได้ทันเพื่อลดความเสียหายและอันตรายที่จะเกิดขึ้น

โดย กำหนดให้ t_{cl} คือ เวลามากที่สุดที่ใช้ในการปิดวาล์ว

เมื่อ

$$t_{cl} + t_{total} < t_{pressure}$$

$$t_{cl} < t_{pressure} - t_{total}$$

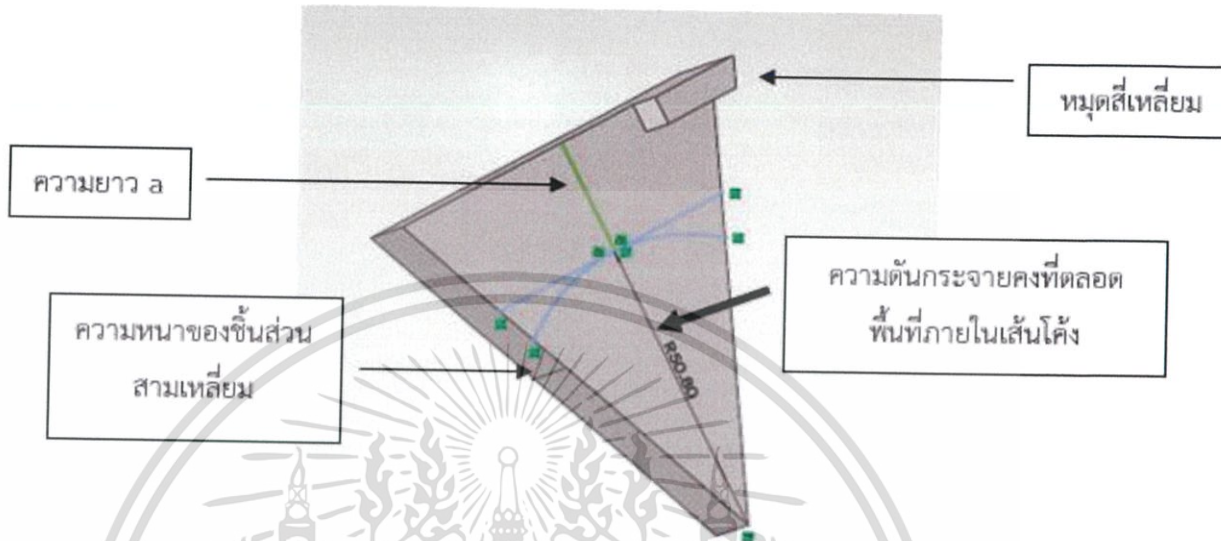
$$t_{cl} + 0.01 < 0.0513$$

$$t_{cl} < 0.0413 \text{ วินาที}$$

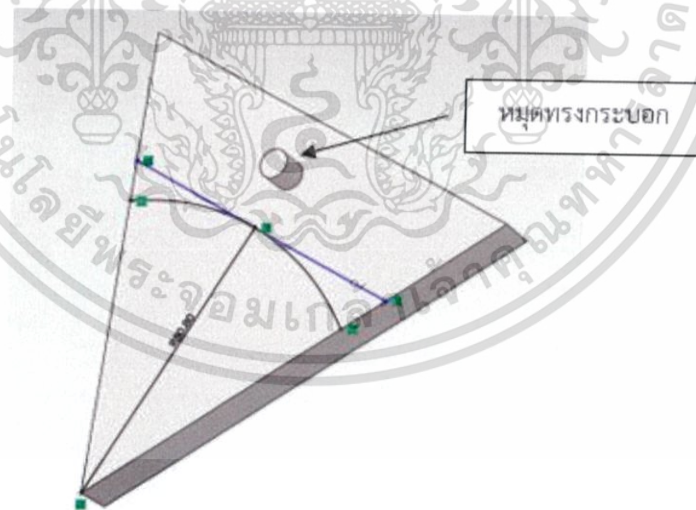
(4.6)

นั่นคือ วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วจะต้องปิดให้ทันภายในเวลา 0.0413 วินาที เพื่อป้องกันคลื่นความดัน และเปลวไฟได้ทัน

4.3 การคำนวณหาความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่เพื่อรับแรงดัน



(ก) ภาพสามมิติด้านหน้าของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมรับแรงดันที่ 10 บาร์เกจ



(ข) ภาพสามมิติด้านหลังของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมรับแรงดันที่ 10 บาร์เกจ

รูปที่ 4.4 ภาพสามมิติของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมรับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

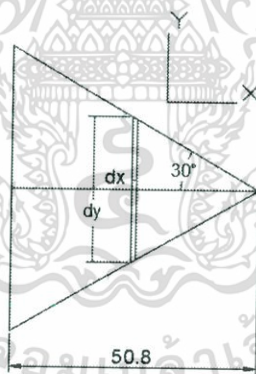
เนื่องจากวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วจะต้องรับคลื่นความดันเป็นครั้งแรกตามด้วยเปลวไฟในลำดับถัดมาเพราะฉะนั้นแผ่นสามเหลี่ยมที่ขวางกั้นคลื่นความดันอยู่นั้นจะต้องทนแรงดันจากการระเบิดได้โดยไม่เกิดความเสียหาย หรือเกิดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อขวางกั้นคลื่นความดันได้อย่างสมบูรณ์

สมมติฐานในการคำนวณ

1. ชั้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่อยู่ ณ ตำแหน่งปิดสุด สามารถรับแรงดันสูงสุดที่ 10 บาร์เกจตามมาตรฐาน NFPA (10 บาร์เกจ = 1 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)

2. การคำนวณความแข็งแรงของชั้นส่วนสามเหลี่ยม เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จะทำการอ้างอิงรูปที่ 4.4 แทนชั้นส่วนสามเหลี่ยมจริงในภาคผนวกของภาพเขียนวาล์วปิดเร็ว

$w = 1MN / m^2$ หรือ เมกะนิวตันต่อตารางเมตร โดย w คือ โหลดแบบกระจายที่มีค่าคงที่ตลอดพื้นที่ภายในครึ่งวงกลม ดังรูปที่ 4.4(ก) และเพื่อง่ายในการคำนวณจะเปลี่ยนการวิเคราะห์แรงกระทำในสามมิติรูปที่ 4.4(ก) มาเป็นแรงกระทำในสองมิติ โดยการเปลี่ยนพื้นที่ที่ถูกแรงกระทำจากความดันให้อยู่ในรูปโหลดในสองมิติแทน ดังนั้น w จะขึ้นกับตัวแปร x เท่านั้นดังรูปที่ 4.5 และสมมติให้เป็นโครงสร้างคานยื่น (Cantilever Beam)



รูปที่ 4.5 แสดงพื้นที่ของชั้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ที่รับแรงดัน และอยู่ในพิกัด x กับ y

จากความสัมพันธ์ระหว่าง x กับ y ตามหลักตรีโกณมิติ ดังรูปที่ 4.5

$$\text{จะได้} \quad y = \tan(30) \cdot 2x \quad (4.7)$$

ทำการดิฟเฟอเรนเชียล สมการที่ 4.3

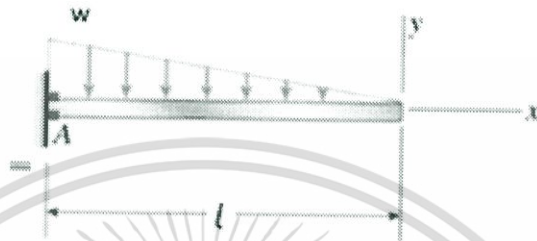
$$dy = 2 \tan(30) \cdot dx \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dw = 1 \cdot dy \quad (4.9)$$

นำสมการที่ 4.8 แทนลงในสมการที่ 4.9

$$\text{ดังนั้น} \quad dw = 2 \tan(30) dx \quad \text{หน่วย} [MN/m^2] \quad \text{หรือ เมกะปาสคาล} \quad (4.10)$$



รูปที่ 4.6 ภาพของโหลดตามสมการที่ 4.10 ที่กระจายบนโครงสร้างคานยื่น

พิจารณาคานยื่นรูปที่ 4.6 จะเกิดความเสียหายเป็นลำดับแรกที่ตำแหน่ง A และตำแหน่งนี้มีเพียงความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ดัดเท่านั้น

จากสมการที่ 4.10 $w = 2 \tan(30)x$ แทนลงในสมการ $\frac{d^2 M}{dx^2} = \frac{dV}{dx} = w$ หรือใช้สามเหลี่ยมคล้ายดังรูปที่ 4.6 จะได้

$$V(x) = \tan(30)x^2 + c_1 \quad \text{หน่วย} [MN] \quad \text{หรือ เมกะนิวตัน} \quad (4.11)$$

$$M(x) = \frac{\tan(30)x^3}{3} + c_1 x + c_2 \quad \text{หน่วย} [MN \cdot m] \quad \text{หรือ เมกะนิวตันเมตร} \quad (4.12)$$

$$\text{ที่ตำแหน่ง } (x, V) = (0, 0) \quad \text{ดังนั้น } c_1 = 0$$

$$\text{ที่ตำแหน่ง } (x, M) = (0, 0) \quad \text{ดังนั้น } c_2 = 0$$

$$\text{จะได้} \quad V(x) = \tan(30)x^2 \quad \text{และ} \quad M(x) = \frac{\tan(30)x^3}{3} \quad (4.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

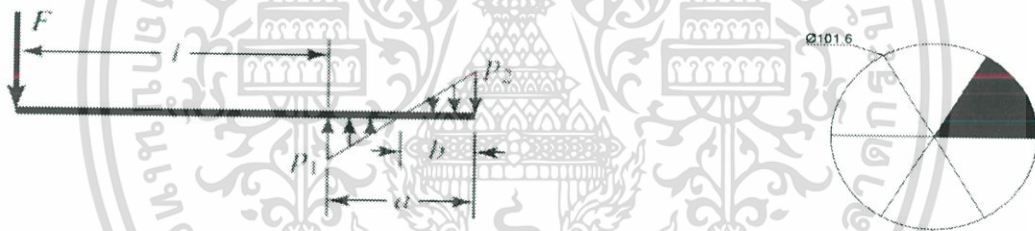
แทนค่า M ลงในสมการที่ 3.28 จะได้

$$\sigma(x) = \frac{\tan(30)x^3/3 \cdot h/2}{1/12 \cdot bh^3} \text{ หน่วย } [MN/m^2] \text{ หรือ เมกะปาสคาล} \quad (4.14)$$

จัดรูปใหม่ได้
$$\sigma(x) = \frac{x^2}{h^2} \quad (4.15)$$

ดังนั้น ค่า σ ขึ้นอยู่กับค่า x และมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่ง $x = l = 50.8$ มิลลิเมตร ซึ่งแสดงว่า ชั้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่จะเกิดความเสียหายเป็นลำดับแรกที่ตำแหน่ง $x = l$

ในความเป็นจริงชั้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ยังมีแรงปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลังความยาว l โดยที่ F คือแรงลัพธ์ของความดันที่ 10 บาร์เกจ ดังรูปที่ 4.7 และที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับขนาดของท่อวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร แล้วหารด้วย 6 เนื่องจากเป็นการคิดที่จำนวน 1 ชั้น ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 โหลดที่กระจายบนโครงสร้างยื่นที่ตำแหน่ง

รูปที่ 4.8 แสดงพื้นที่รับความดันของชั้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ 1 ชั้น

คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตำแหน่งที่ $x > l$ โดยกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.7 สมมติฐานในการคำนวณเป็นไปดังนี้

1. คำนวณเป็นสองมิติโดยโหลดกระจายคงที่เปลี่ยนเป็นโหลดที่เป็นจุด
2. โหลดที่เป็นจุดกระทำลงตำแหน่งเซนทรอยด์ของพื้นที่แรงเงาของรูปที่ 4.8
3. โหลดที่กระจายหลังตำแหน่ง l เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 เขียนสมการได้ดังนี้

$$w = p_1 - \frac{p_1 + p_2}{a}(x-l) \quad (4.16)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการ $\frac{d^2M}{dx^2} = \frac{dV}{dx} = w$

ที่ตำแหน่ง $(x, V) = (l, -F)$ ดังนั้น $c_1 = -F$

ที่ตำแหน่ง $(x, M) = (l, -Fl)$ ดังนั้น $c_2 = -Fl$

$$V = -F + p_1(x-l) - \frac{p_1 + p_2}{2a}(x-l)^2 \quad (4.17)$$

$$M = -Fx + \frac{p_1}{2}(x-l)^2 - \frac{p_1 + p_2}{6a}(x-l)^3 \quad (4.18)$$

ที่ตำแหน่ง $x > l+a$ ค่าของ M และ V มีค่าเท่ากับศูนย์

ดังนั้นแทนค่า $x = l+a$ ลงในสมการที่ 4.23 และสมการที่ 4.24 และจะได้

$$-F + p_1 a - \frac{p_1 + p_2}{2a}(a)^2 = 0 \quad (4.19)$$

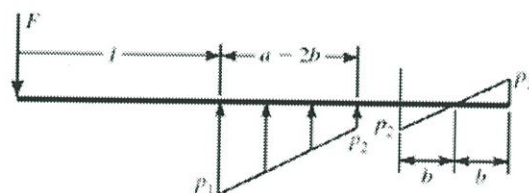
$$-F(l+a) + \frac{p_1}{2}(a)^2 - \frac{p_1 + p_2}{6a}(a)^3 = 0$$

จัดรูปสมการที่ 4.19 เพื่อหาค่า p_1, p_2

$$p_1 = \frac{2F}{a^2}(3l+2a)$$

$$p_2 = \frac{2F}{a^2}(3l+a)$$

(4.20)



รูปที่ 4.9 โหลดที่กระจายโครงสร้างยื่นที่ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 ซึ่งกำหนดให้ b เป็นความยาวที่มีพื้นที่สามเหลี่ยมเท่ากันทั้งบนและล่าง หรือหมายความว่าค่า $V=0$ นั้นเอง ดังรูปที่ 4.9 ค่าของ b หาได้จากสามเหลี่ยมคล้าย $\frac{b}{p_2} = \frac{a}{p_1 + p_2}$ จัด

$$\text{รูปใหม่ได้ } b = \frac{ap_2}{p_1 + p_2}$$

จากหลักการทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ 4.18 M_{\max} (โมเมนต์มากที่สุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนสามเหลี่ยม) จะเกิดขึ้นที่ $V=0$ ดังนั้น M_{\max} เกิดขึ้นที่ $x=l+a-2b$ แทนค่า $x=l+a-2b$ ลงในสมการที่ 4.24

$$M_{\max} = -Fl - F(a-2b) + \frac{p_1}{2}(a-2b)^2 - \frac{p_1+p_2}{6a}(a-2b)^3 \quad (4.21)$$

ซึ่ง M_{\max} จากสมการที่ 4.21 มีค่ามากกว่าโมเมนต์ที่ได้จากสมการที่ 4.13 ดังนั้นแสดงว่าชิ้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่จะเกิดความเสียหายเป็นลำดับแรกที่ตำแหน่ง $x=l+a-2b$ ไม่ใช่ตำแหน่งที่ $x=l$ และคำนวณหาค่า M_{\max} ตามวิธีการที่กล่าวมา ผ่าน Microsoft Excel ได้ตามตารางที่ 4.1

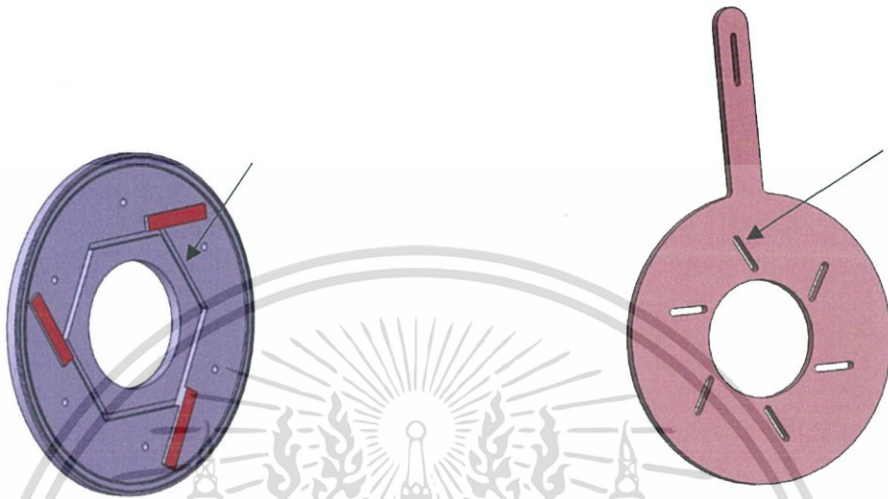
ตารางที่ 4.1 การหาคำนวณหาค่า M_{\max}

a (มิลลิเมตร)	15	20	25	30
l (มิลลิเมตร)	17	17	17	17
F (นิวตัน)	1490	1490	1490	1490
P_1 (MN/m)	1.0728	0.6780	0.4816	0.3675
P_2 (MN/m)	0.8741	0.5290	0.3624	0.2682
b (มิลลิเมตร)	6.7347	8.7654	10.7345	12.6563
M จากสมการที่ 4.9 (นิวตันเมตร)	25.415	25.415	25.415	25.415
M_{\max} (นิวตันเมตร)	26.664	27.548	28.580	29.732
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของโมเมนต์(M) และ M_{\max}	4.6851	7.7429	11.0739	14.5186

จากตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าความยาว a เป็นตัวแปรอิสระ จึงลองสุ่มอย่างมีนัยสำคัญมา 4 ขนาด คือ 15, 20, 25, 30 มิลลิเมตร ซึ่งวาล์วปิดเร็วของผมจะเลือกใช้ความยาว a ที่ 20 มิลลิเมตรเนื่องจาก มีสองปัจจัยที่ผมนำมาพิจารณา คือความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่เพิ่มขึ้นตามความยาวของ a ที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเส้นผ่านศูนย์กลางตัวเรือนวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วที่เพิ่มขึ้นตามความยาว a ที่เพิ่มขึ้นที่ไม่เลือกใช้ 15 มิลลิเมตร เนื่องจากเพื่อหลบเลี่ยงความเค้นรวมศูนย์ ดังรูปที่ 4.10



(ก) ร่องทางเดินในชั้นส่วนวงกลมอยู่ที่

(ข) ร่องทางเดินในชั้นส่วนวงกลมอยู่เคลื่อนที่

รูปที่ 4.10 แสดงความเค้นรวมศูนย์บนชั้นส่วนวาล์ว

มวลของชั้นสามเหลี่ยมที่มีความหนาต่าง ๆ หาได้จากสมการที่ 3.1 (โดยจะไม่พิจารณาน้ำหนักของหมุดที่ติดกับชั้นสามเหลี่ยมเนื่องจากมีน้ำหนักน้อยมาก ดังรูปที่ 4.4 และสำหรับค่าความหนาแน่นเป็นของวัสดุเหล็ก SS400 ที่ภาคผนวกท้ายเล่ม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7860 kg/m^3 ซึ่งความหนา 8 มิลลิเมตรจะไม่ได้แสดงในที่นี้ แต่ใช้วิธีคำนวณเดียวกัน ตารางที่ 4.2 ชั้นสามเหลี่ยมที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร

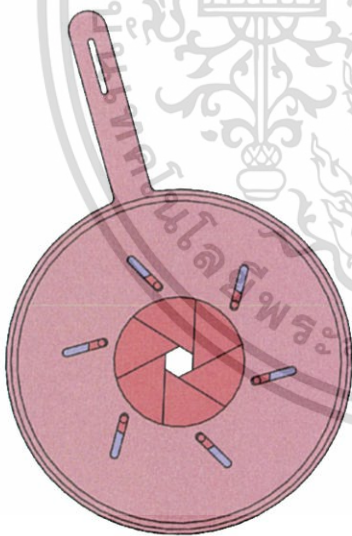
น้ำหนักที่ a เท่ากับ 20 มิลลิเมตร 1 ชั้น (นิวตัน)	1.3648
น้ำหนักที่ a เท่ากับ 25 มิลลิเมตร 1 ชั้น (นิวตัน)	1.5644
น้ำหนักที่ a เท่ากับ 30 มิลลิเมตร 1 ชั้น (นิวตัน)	1.7776
น้ำหนักที่ a เท่ากับ 20 มิลลิเมตร 6 ชั้น (นิวตัน)	8.1890
น้ำหนักที่ a เท่ากับ 25 มิลลิเมตร 6 ชั้น (นิวตัน)	9.3865
น้ำหนักที่ a เท่ากับ 30 มิลลิเมตร 6 ชั้น (นิวตัน)	10.6656

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

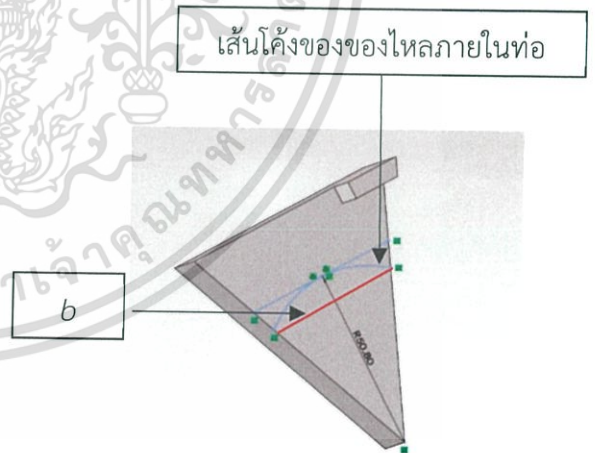
ตารางที่ 4.3 ชั้นสามเหลี่ยมที่มีความหนา 7 มิลลิเมตร

น้ำหนักรที่ a เท่ากับ 20 มิลลิเมตร 1 ชั้น (นิวตัน)	1.5923
น้ำหนักรที่ a เท่ากับ 25 มิลลิเมตร 1 ชั้น (นิวตัน)	1.8251
น้ำหนักรที่ a เท่ากับ 30 มิลลิเมตร 1 ชั้น (นิวตัน)	2.0739
น้ำหนักรที่ a เท่ากับ 20 มิลลิเมตร 6 ชั้น (นิวตัน)	9.5538
น้ำหนักรที่ a เท่ากับ 25 มิลลิเมตร 6 ชั้น (นิวตัน)	10.9509
น้ำหนักรที่ a เท่ากับ 30 มิลลิเมตร 6 ชั้น (นิวตัน)	12.4433

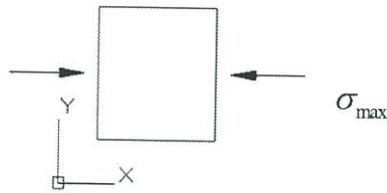
มวลของชั้นส่วนสามเหลี่ยมก็ส่งผลต่อความเค้นในทิศทางเดียวกับความเค้นดัด และทิศทางตรงข้าม ในที่นี้จะคำนึงถึงความปลอดภัย ดังนั้นจะคิดค่าโหลดสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ คือ นำความเค้นดัดบวกกับความเค้นที่เกิดจากน้ำหนักของชั้นส่วนสามเหลี่ยมจำนวน 6 ชั้น และจะคิดพื้นที่หน้าตัดขวางในตำแหน่งที่มีค่า b น้อยที่สุดคือ $x = l$ ขนานกับขอบสามเหลี่ยม ดังนั้น b มีค่าเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นมวลของชั้นส่วนสามเหลี่ยมที่มีการกดทับกัน



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของค่า b



รูปที่ 4.13 แผนภาพความเค้นบนวัตถุอิสระตำแหน่งเส้นสีแดงในรูปที่ 4.12

จากรูปที่ 4.13 หาค่าความเค้นสูงสุดโดยการนำค่ามวลของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมจำนวน 6 ชิ้นจากตารางที่ 4.2 และ 4.3 กับค่าโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_{max}) จากตารางที่ 4.1 แทนค่าลงในสมการที่ 4.22

$$\sigma_{max} = \sigma_b + \sigma_{mass} \quad \text{โดยที่ } \sigma_{max} \text{ คือ ความเค้นรวม} \quad (4.22)$$

$$\text{ความเค้นดัด } (\sigma_b) = \frac{M_{max}c}{I} \quad \text{โดยที่ } c = \frac{h}{2}$$

$$\text{ความเค้นเกิดจากมวล } (\sigma_{mass}) = \frac{mg}{A_{cross}}$$

$$\text{โมเมนต์ความเฉื่อย } (I) = \frac{bh^3}{12} \quad h \text{ มีค่าคงที่เท่ากับ 6, 7 และ 8 มิลลิเมตร}$$

นำค่าความเค้นรวมหรือความเค้นหลัก (σ_{max}) แทนลงในสมการที่ 3.61 (ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดสำหรับวัสดุเหนียว) และใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดสำหรับวัสดุเหนียวในการคำนวณค่าความปลอดภัยคำนวณตามกระบวนการที่ผ่านมาโดย Microsoft Excel ได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าความปลอดภัยของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่มีความหนา 6, 7 และ 8

	ความเค้นรวม σ_{max} (MPa)	ความเค้นดัด σ_b (MPa)	ความเค้นเกิดจากมวล σ_{mass} (MPa)	โมเมนต์ดัดสูงสุด M_{max} (นิวตันเมตร)	ค่าความปลอดภัย (n)
a เท่ากับ 20 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 6 มิลลิเมตร	90.352	90.381	0.029	27.548	2.269
a เท่ากับ 25 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 6 มิลลิเมตร	93.735	93.766	0.031	28.580	2.187
a เท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 6 มิลลิเมตร	97.510	97.545	0.035	29.732	2.102
a เท่ากับ 20 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 7 มิลลิเมตร	66.375	66.402	0.027	27.548	3.089
a เท่ากับ 25 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 7 มิลลิเมตร	68.859	68.889	0.031	28.580	2.977
a เท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 7 มิลลิเมตร	71.630	71.665	0.035	29.732	2.862
a เท่ากับ 20 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 8 มิลลิเมตร	50.812	50.839	0.027	30.732	4.034
a เท่ากับ 25 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 8 มิลลิเมตร	52.713	52.743	0.031	31.732	3.889
a เท่ากับ 30 มิลลิเมตร ความหนา เท่ากับ 8 มิลลิเมตร	54.834	54.869	0.035	32.732	3.739

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 วาล์วปิดเร็วเลือกใช้ชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่มีความหนาเท่ากับ 6 มิลลิเมตร มีความยาว a เท่ากับ 20 มิลลิเมตร วัสดุ ss400 มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 2.269 โดยประมาณ ซึ่งไม่ทำให้เกิดความเสียหายเกินจุดครากเมื่อรับแรงดันสูงสุดที่ 10 บาร์เกจ แต่ควรเลือกใช้ ที่ 8 มิลลิเมตร เพื่อสอดคล้องกับ ค่าความปลอดภัยของ pressure vessel (3.5-4.0)

จากวิทยานิพนธ์ Structural Design and FEM Analysis of Large Butterfly Valve ได้คำนวณหาค่าความหนาของใบเบรตของวาล์วผีเสื้อ (Blade) จากสูตร

$$\sigma = \frac{3(3+\nu)Pr^2}{8t^2} \quad \text{โดยที่ } \sigma \text{ คือ ความเค้นที่ยอมรับได้} \quad (4.23)$$

โดยที่ P คือ ความดันของของไหลภายในท่อ

t คือ ความหนาของใบเบรตของวาล์วผีเสื้อ

ν คือ ค่าอัตราส่วนของปัวซอง เท่ากับ 0.26

r คือ รัศมีของวงกลมท่อ 4 นิ้วมีค่าเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร

ค่าความเค้นที่ยอมรับได้ เท่ากับ ค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดครากส่วนด้วยค่าความปลอดภัย ($\sigma = S_y/n$) นำสมการที่ 4.18 หาค่าความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมผ่าน Microsoft Excel ได้ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่ค่าความปลอดภัยต่าง ๆ

ความดันที่ 1 (เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)	1	1	1
ความเค้นที่ยอมรับได้ (เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)	102.50	87.63	64.38
ค่าความปลอดภัย (n)	2	2.3393	3.184
ความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม (มิลลิเมตร)	5.548	6.000	7.000

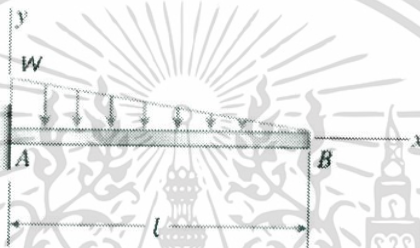
จากตารางที่ 4.5 ความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่ค่าความปลอดภัยต่าง ๆ สอดคล้องกับการคำนวณหาความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่กล่าวมาก่อนหน้านี้

4.4 การคำนวณหาความโค้งของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่รับแรงดัน 1 บาร์เกจ

เนื่องจากชิ้นส่วนสามเหลี่ยมขวางกันของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วนั้นรับแรงจากการระเบิดในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวอีกทั้งมีจุดรองรับ(support) ที่ปลายของฐานสามเหลี่ยม ดังนั้นแรงจากการระเบิดจะก่อให้เกิดการโก่งลักษณะเหมือนคานไม่มากก็น้อยขึ้นอยู่กับแรงกระทำ และความสามารถของวัสดุ นั้น ๆ จะสามารถทนได้ หรือไม่ ดังนั้นเพื่อให้วาล์วสามารถป้องกันได้อย่างสมบูรณ์แบบสามเหลี่ยมขวางกันควรจะทนแรงดันจากการระเบิดได้ โดยเกิดการโก่งน้อยที่สุด(การโก่งที่ยอมรับได้)

สมมติฐาน 1. ให้วัตถุชิ้นสามเหลี่ยมเปรียบเสมือนคานยื่นสองมิติในรูปที่ 4.14

2. พิจารณาในตำแหน่งปิดวาล์วสุดเท่านั้น



รูปที่ 4.14 โหลดกระจายบนโครงสร้างยื่นหรือชิ้นส่วนสามเหลี่ยม

หลักการจะคล้ายกับการการคำนวณที่ 4.3 แต่แกน x-y จะย้ายมาอยู่ตำแหน่ง A ดังนั้น ค่า $w = 2 \tan(30)x$ ตัวแปร x จะถูกแทนด้วย $l-x$

จะได้
$$w = 2 \tan(30)(l-x) \quad (4.24)$$

จากสมการ
$$\frac{d^2M}{dx^2} = \frac{dV}{dx} = w$$

จะได้
$$V = -\tan(30)x(x-2l) + c_1 \quad \text{หน่วย [MN] หรือ เมกะนิวตัน} \quad (4.25)$$

จากรูปที่ 4.13 ที่ตำแหน่ง $(x, V) = (l, 0)$ ไปแทนในสมการที่ 4.25

ดังนั้น
$$c_1 = -\tan(30)l^2$$

นำค่า c_1 แทนกลับไปในสมการที่ 4.25

จะได้ $V = -\tan(30)x(x-2l) - \tan(30)l^2$

จัดรูปได้ $V = -\tan(30)(l-x)^2$ (4.26)

ดิฟเฟอเรนเชียลสมการที่ 4.26 จะได้

$$M = -\tan(30)(l-x)^3/3 + c_2 \quad \text{หน่วย เมกะนิวตันเมตร} \quad (4.27)$$

จากรูปที่ 4.14 ที่ตำแหน่ง $(x, M) = (l, 0)$ แทนลงในสมการที่ 4.27 จะได้ $c_2 = 0$

ดังนั้น $M = -\tan(30)(l-x)^3/3$ หน่วย เมกะนิวตันเมตร (4.28)

นำค่า M จากสมการที่ 4.27 แทนลงในสมการที่ 3.32 และ 3.33 จะได้

ดังนั้น $\frac{M}{EI} = \frac{-(2)(l-x)^2}{Eh^3} \cdot 10^6$ (4.29)

โดยที่ $I = \frac{1}{12} \cdot 2(l-x) \tan(30)h^3$
 $\frac{2(l-x)^3}{3Eh^3} \cdot 10^6 + c_3 = \theta$ (4.30)

จากรูปที่ 4.13 ความชันของการงอ (θ) ในตำแหน่งที่ $(x, \theta) = (0, 0)$ ดังนั้น
 แทนค่า c_3 ลงในสมการที่ 4.30 แล้วหาค่า y

$$-\frac{x^2(x^2 - 4xl + 6l^2)}{6Eh^3} \cdot 10^6 + c_4 = y \quad (4.31)$$

จากรูปที่ 4.13 ค่าความโก่งจะเป็นศูนย์ (y) ที่ตำแหน่ง $(x, y) = (0, 0)$ ดังนั้น $c_4 = 0$
 แทนค่า c_4 ลงในสมการที่ 4.31

$$y = -\frac{x^2(x^2 - 4xl + 6l^2)}{6Eh^3} \cdot 10^6 \quad (4.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ วัสดุ ss400 มีค่า E หรือ โมดูลัสของยัง (Young's Modulus) เท่ากับ 190 GPa

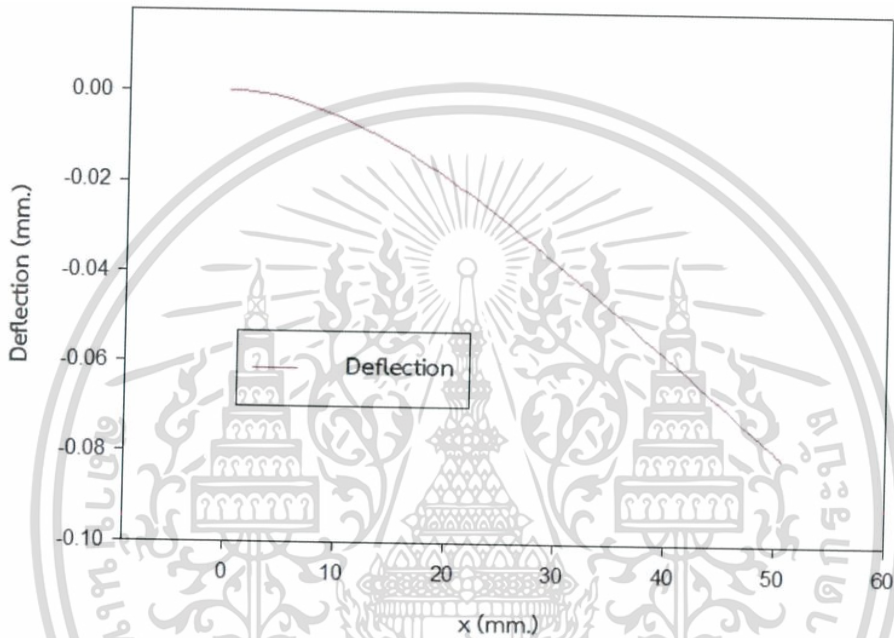
ตารางที่ 4.6 ระยะทรุดตัวของคานที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ตำแหน่งของคานหรือ ค่า x (มิลลิเมตร)	ระยะทรุดตัวของคาน (มิลลิเมตร)	ตำแหน่งของคานหรือ ค่า x (มิลลิเมตร)	ระยะทรุดตัวของคาน (มิลลิเมตร)
0	0	29	-0.03563
1	-0.00006	30	-0.03760
2	-0.00024	31	-0.03960
3	-0.00054	32	-0.04161
4	-0.00095	33	-0.04364
5	-0.00147	34	-0.04568
6	-0.00209	35	-0.04774
7	-0.00281	36	-0.04981
8	-0.00362	37	-0.05190
9	-0.00452	38	-0.05399
10	-0.00550	39	-0.05609
11	-0.00657	40	-0.05819
12	-0.00771	41	-0.06030
13	-0.00893	42	-0.06242
14	-0.01022	43	-0.06454
15	-0.01157	44	-0.06666
16	-0.01298	45	-0.06879
17	-0.01446	46	-0.07092
18	-0.01599	47	-0.07305
19	-0.01757	48	-0.07517
20	-0.01920	49	-0.07730
21	-0.02088	50	-0.07943
22	-0.02260	50.1	-0.07965
23	-0.02436	50.2	-0.07986
24	-0.02616	50.3	-0.08007
25	-0.02799	50.4	-0.08028
26	-0.02986	50.5	-0.08050
27	-0.03176	50.6	-0.08071
28	-0.03368	50.7	-0.08092
		50.8	-0.08114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

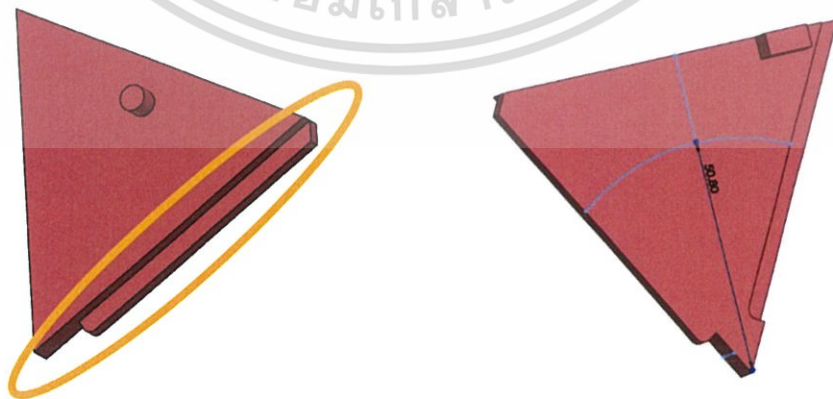
คำนวณหาค่าระยะหลุดตัวของคานที่ตำแหน่ง x ใด ๆ ด้วย Microsoft Excel เป็นไปตามตารางที่ 4.6 ชั้นส่วนสามเหลี่ยมจะโก่งมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระยะที่ $x = 50.8$ มิลลิเมตร

Relationship of deflection and x direction of triangle parts



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของคานหรือค่า x กับ ระยะหลุดตัวของคาน

จากรูปที่ 4.4 ชั้นส่วนสามเหลี่ยมได้ถูกแต่งเติมกลายเป็นรูปที่ 4.15 เพื่อลดการร้าวระหว่างผิวสัมผัสของชั้นส่วนสามเหลี่ยม



รูปที่ 4.16 ชั้นส่วนสามเหลี่ยมเมื่อทำการแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 ผู้วิจัยพิจารณาบริเวณที่ได้ทำสัญลักษณ์วงกลมเอาไว้เป็นบริเวณที่ยกเว้นการพิจารณา โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาส่วนนี้เป็นเนื้อเดียวกันกับสามเหลี่ยมที่นำมาประกบทับกันพอดีทันทีเลยเพื่อให้การพิจารณานั้นง่ายขึ้น

4.5 การคำนวณหาความหนาผนังน้อยที่สุดในทรงกระบอกรับความดัน

นำสมการจากทฤษฎีความเค้นในทรงกระบอกรับความดัน (เพื่อความปลอดภัยเราจะคิดในทฤษฎีผนังบาง) และทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ตามสมการที่ 3.38 และ 3.61 ตามลำดับ มาคำนวณผ่าน Microsoft Excel จะได้ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 คำนวณหาความหนาผนังน้อยที่สุดในทรงกระบอกรับความดัน

ความดันที่ 1 (เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)	1	1	1
hoop stress สูงสุด (เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)	8.3154	7.7571	6.8500
ความหนาของผนังท่อ (มิลลิเมตร)	6.5	7	8
ค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (เมกะนิวตันต่อตารางเมตร)	205	205	205
ค่าความปลอดภัย (n)	24.653	26.427	29.927

จากภาคผนวกท้ายเล่ม ASME B.16-34 2004 (Valves-Flanged, Threaded, and Welding End) ตารางที่ 2 เรื่อง ความหนาผนังน้อยที่สุดของตัวเรือนวาล์วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ 101.6 มิลลิเมตร จะต้องมีขนาดอย่างน้อยที่สุด 6.5 มิลลิเมตร ที่ Class 150 ซึ่งนิยามของความหนาผนังน้อยที่สุดเริ่มจากผนังด้านในสุดที่สัมผัสกับของไหล โดยความหนาจะไม่รวม liners, linings, or cartridges

จากตารางที่ 4.7 และย่อหน้าที่กล่าวมา บ่งบอกว่าความหนาผนังน้อยที่สุดในทรงกระบอกรับความดันของวาล์วปิดเร็วที่มีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 6.5 มิลลิเมตร และเป็นวัสดุ ss400 ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก เท่ากับ 205 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร จะไม่เกิดความเสียหายเกินจุดครากเมื่อรับแรงดันที่ 1 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร ในท่อทรงกระบอก และไม่ต้องกังวลเรื่องความเค้นรวมศูนย์ที่ตำแหน่งร่องของชิ้นส่วนทรงกระบอกดังรูปที่ 4.10 เนื่องจากคำอธิบายหัวข้อที่ 3.10 ทฤษฎีความเข้มข้นของความเค้นในวัสดุเหนียว และได้วางตำแหน่งร่องให้ห่างจากจุดศูนย์กลางท่อวงกลม 4 นิ้วในแนวรัศมีมากกว่า 6.5 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถลดความเค้นลงได้ และสอดคล้องกับมาตรฐาน ASME B.16-34 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับตำแหน่งร่องทางเดิน ถ้าเราวางห่างจากขอบผนังท่อด้านในมากเกินไปในแนวรัศมี ก็จะทำให้ตัวเรือนวาล์วมีขนาดใหญ่มากขึ้น ส่งผลให้วาล์วมีขนาดใหญ่มากขึ้น รวมถึงราคาที่สูงขึ้นด้วย ในงานวิจัยฉบับนี้ได้วางตำแหน่งของร่องดังกล่าวตามแบบ drawing ในภาคผนวกที่

4.6 การคำนวณหาแรงขับเคลื่อนของวาล์วปิดเร็ว

วิจัยฉบับนี้ได้เลือกอุปกรณ์ส่งแรงสำหรับการขับเคลื่อนวาล์วเป็นระบบแรงขับเคลื่อนด้วยกระบอกสูบนิวเมติกในการขับเคลื่อนวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วเพื่อเอาชนะแรงเสียดทาน และน้ำหนักภายในระบบ เพื่อให้วาล์วสามารถปิดได้ทันเวลาของคลื่นความดันที่เข้ามาปะทะบริเวณหน้าวาล์ว ภายใต้สมมติฐานดังนี้

1. ภาระโหลดที่วาล์วต้องเอาชนะ กำหนดให้เป็นค่าคงที่ และเป็นค่าที่มากที่สุด
2. ภาระโหลดในข้อที่ 1 ในแต่ละตำแหน่งของช่วงเวลาปิดจะถูกสุ่มแบบมีนัยสำคัญที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของการเปิดวาล์วเพื่อหาค่าโหลดที่มากที่สุดมาเป็นภาระโหลดคงที่
3. ระบบของการเคลื่อนที่จะถูกคำนวณที่อัตราเร่งคงที่
4. ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ $9.81 m/s^2$
5. ระบบนี้จะสนใจแค่เวลาในการปิดเท่านั้น
6. แรงเสียดทานที่ใช้เป็นแรงเสียดทานระหว่างเหล็กกับเหล็ก มีค่าเท่ากับ 0.8 ทุกผิวสัมผัส
7. สภาพที่ใช้ในการคำนวณเป็นสถานะเดียวกันกับการทดลอง(ความดันที่ยังไม่เกิดการระเบิด)

ความดันเกจภายในท่อ มีค่าเท่ากับ 21.582 Pa

อุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 33.0 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลของอากาศ มีค่าเท่ากับ 20.228 m/s

8. น้ำหนักของชิ้นส่วนทุกชิ้นเป็นน้ำหนักจริงที่ได้จากการวัด

ตารางที่ 4.8 แสดงค่ามวลจริงของชิ้นส่วนต่าง ๆ

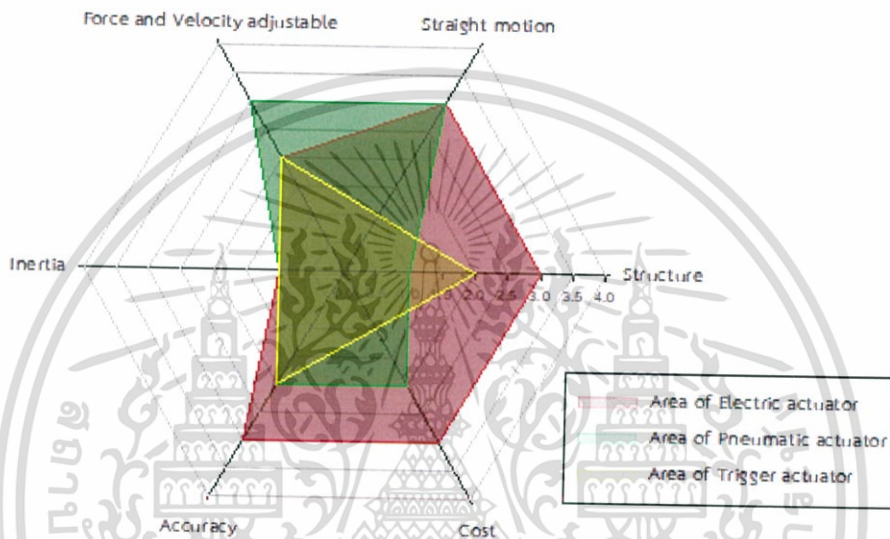
มวลของส่วนประกอบของวาล์ว	หน่วยกิโลกรัม
ชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 1 ชิ้น	0.146
ชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่	3.594
ชิ้นส่วนตัวเรือนวาล์วมีร่องด้านบน	7.28
ชิ้นส่วนตัวเรือนวาล์ว	6.4
ชิ้นส่วนวงกลมอยู่กับที่	3.256
น้ำหนักรวม	20.676

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ในการคำนวณจะแบ่งเป็นสามระบบ คือ

1. ระบบของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม
2. ระบบของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนวงกลม
3. ระบบของการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อน

เหตุผลที่เลือกใช้ระบบขับเคลื่อนแบบนิวเมติก ตามรูปที่ 4.15



รูปที่4.17 แสดงแผนภูมิการพิจารณาให้คะแนนเพื่อเปรียบเทียบความยาก - ง่ายของตัวขับเคลื่อนประเภทต่าง ๆ

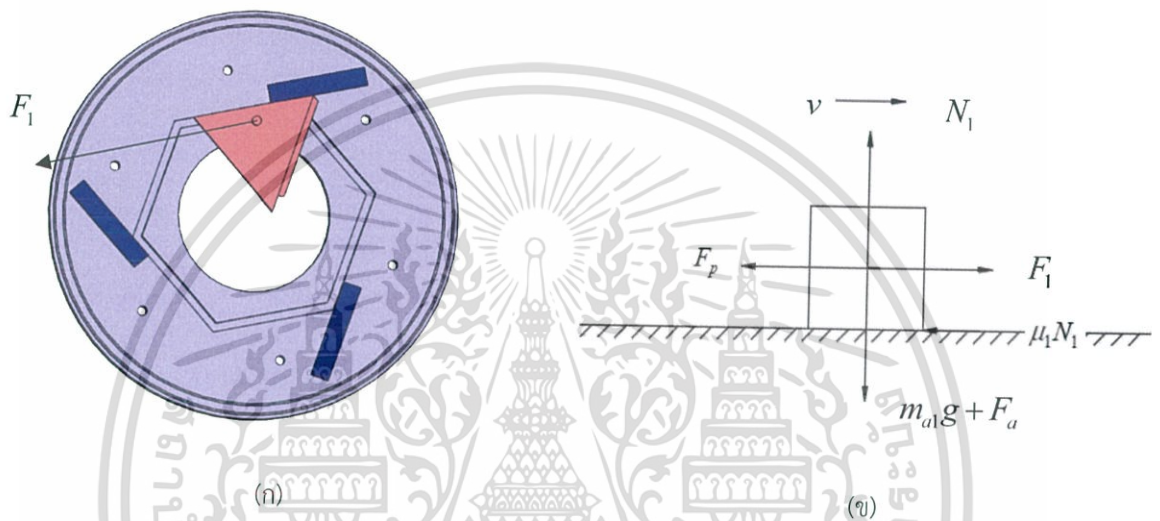
เมื่อ	Straight Motion	คือ	ความสามารถในการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง
	Structure	คือ	ความยาก - ง่ายของโครงสร้าง
	Cost	คือ	ปริมาณค่าใช้จ่าย
	Accuracy	คือ	ความแม่นยำในการควบคุม
	Inertia	คือ	ความเฉื่อยที่ก่อให้เกิดความล่าช้าของอุปกรณ์
	Force and velocity adjustable	คือ	ความสามารถในการปรับแรง และความเร็ว

โดยที่ คะแนนเรียงจากน้อยไปมาก หมายถึงความง่ายไปจนถึงความยากของแต่ละหัวข้อ จะเห็นว่าตัวควบคุมกระบอกสูบนั้นมีพื้นที่ครอบคลุมไปที่ความง่ายโดยส่วนมาก และมีความสามารถในการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงสูง รวมไปถึงการปรับแรงและความเร็วได้ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไปต่อจากนี้เป็นตัวอย่างของการคำนวณตามสถานะเงื่อนไขที่เป็นสถานะเดียวกันกับการทดลองของรายงานฉบับนี้ ในส่วนของสถานะเงื่อนไขอื่น ต้องทำการคำนวณใหม่ทุกครั้ง เพื่อความปลอดภัย และเที่ยงตรง

4.6.1. ระบบของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม



รูปที่ 4.18 แผนภาพวัตถุอิสระของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม

สมมติฐานในการคำนวณของระบบของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม

1. แรงปฏิกิริยา (F_a) มีผลในทิศเดียวกับ $m_a g$ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากัน

จากกฎข้อสามของนิวตันในหัวข้อที่ 3.3

$$\sum F = m\ddot{x} \quad (4.32)$$

ทำการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ รูปที่ 4.16(ก) จะได้ตามรูปที่ 4.16(ข) และจะได้สมการ ดังนี้

$$F_1 - \mu_1 N_1 - F_p = m_1 \ddot{x}_1 \quad (4.38)$$

โดยที่ F_1 คือ แรงทั้งหมดที่ขับเคลื่อนชิ้นส่วนสามเหลี่ยม

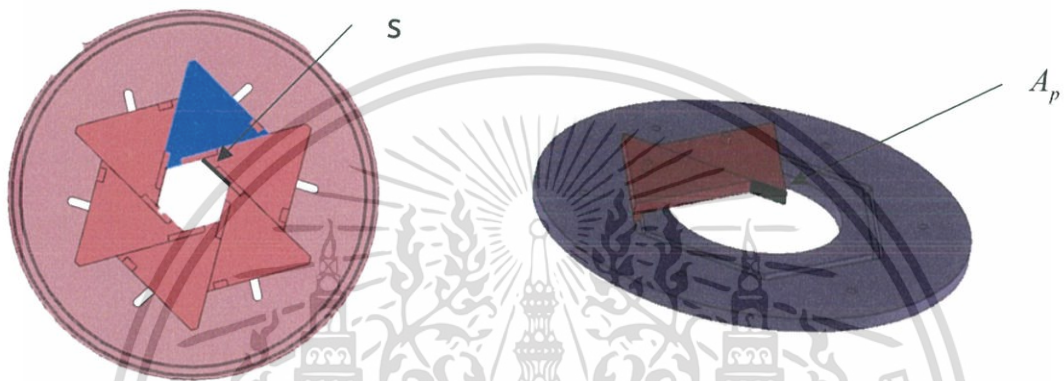
m_1 คือ มวลทั้งหมดของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 1 ชิ้น มีค่าเท่ากับ 0.146 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16(ข) สมดุลแรงในแนวแกน y

$$N_1 = m_{a1}g + F_a \quad (4.39)$$

โดยที่ m_{a1} คือ มวลทั้งหมดของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 ชิ้น มีค่าเท่ากับ 0.876 กิโลกรัม



รูปที่ 4.19

(ก.) แสดงค่าระยะของ s ที่ตำแหน่งใด ๆ

(ข.) พื้นที่สี่เหลี่ยมสีดำที่ตำแหน่งใด ๆ ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม A_p

$$F_p = P \cdot A_p \cdot \cos(30) \quad (4.40)$$

$$F_a = P \cdot A_a \quad (4.41)$$

โดยที่ F_p คือ แรงต้านจากความดันของของไหลในท่อในแนวรัศมี

A_p คือ พื้นที่สี่เหลี่ยมสีดำที่ตำแหน่งใด ๆ ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 4.19 (ข)

P คือ ความดันของของไหลภายในท่อ

F_a คือ แรงกระทำต่อชิ้นส่วนสามเหลี่ยมในทิศทางขนานกับท่อ 4 นิ้ว

A_a คือ พื้นที่ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยมที่ถูกแรงดันกระทำในทิศทางขนานกับท่อ 4 นิ้ว

จากรูปที่ 4.19(ก) จะเห็นได้ว่าพื้นที่ตัดขวางของของไหล จะไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดหกเหลี่ยมด้านเท่า (A_s) และกำหนดให้ความยาวแต่ละด้านของหกเหลี่ยมด้านเท่าเป็นตัวแปร s ดังนั้น

$$A_p = s \cdot \text{ความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม} \quad (4.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตรพื้นที่หกเหลี่ยมด้านเท่า A_s เท่ากับ $\sqrt{3}/4 \cdot s^2 \cdot 6$ และทำการจัดรูปเพื่อหาค่าของ s

$$s = \left(\frac{6 \cdot 4}{A_s \cdot \sqrt{3}} \right)^{1/2} \quad (4.43)$$

โดยที่ A_s คือ จำนวนเท่าของพื้นที่การเปิดวาล์ว ณ ตำแหน่งใด ๆ (บอกเป็นเปอร์เซ็นต์) เทียบกับที่วาล์วเปิดสุดหรือเปิด 100 เปอร์เซ็นต์

และ A_a มีค่าเท่ากับ พื้นที่ของวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ลบด้วยพื้นที่การไหลของของไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ A_s แล้วหารค่าทั้งหมดด้วยหก ดังสมการที่ 4.44

$$A_a = \frac{(A_{4inch} - A_s)}{6} \quad (4.44)$$

นำค่าของ μ คุณตลอดสมการที่ 4.39 จะได้ $\mu_1 N_1 = f_a$ โดยที่ f_a แรงเสียดทานที่เกิดจากความดันของของไหลในแนวรัศมี และมวลทั้งหมดของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 ชิ้น

จากนั้นนำค่า f_a แทนลงในสมการที่ 4.38 จะได้

$$F_1 - f_a - F_p = m_1 \ddot{x}_1 \quad (4.45)$$

จากสมการที่ 4.45 จะเห็นได้หาค่าของ F_1 ขึ้นอยู่กับเวลา แต่ในที่นี้จะหาค่าของ F_1 เป็นค่าคงที่ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และแน่ใจว่าชิ้นส่วนสามเหลี่ยมสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ติดขัด ดังนั้น ค่าพจน์ฝั่งขวาของสมการที่ 4.45 ต้องมีค่าคงที่

ทำการลาปาซสมการที่ 4.45 โดยกำหนดให้ $F_1 - f_a - F_p = A_1$ เป็นค่าคงที่ และมีค่าเริ่มต้น $x(0) = 0 \quad \dot{x}(0) = 0$ จะได้

$$x(t) = \frac{t^2 A_1}{2m} \quad (4.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการดิเฟอเรนเชียลสมการที่ 4.46 จะได้

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \frac{tA_1}{m} \\ \ddot{x}(t) &= \frac{A_1}{m}\end{aligned}\tag{4.47}$$

แทนค่า A ลงในสมการที่ 4.46 และจัดรูปหาค่า F_1 จะได้

$$F_1 = \frac{2m_1 \cdot x_1(t)}{t^2} + F_p + f_a ; \mu = 0.8 \text{ และ}\tag{4.48}$$

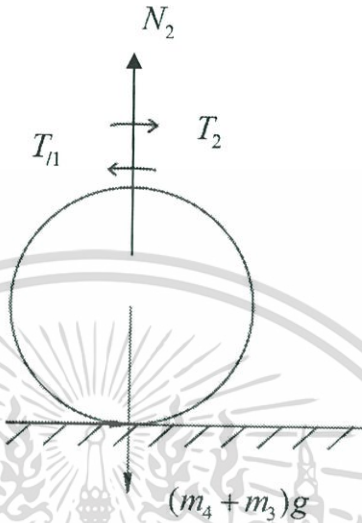
$$x(0.0413) = 0.062$$

ชิ้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 0.062 เมตรใช้เวลา 0.0413 วินาที โดยที่ระยะทาง 0.062 เมตร คือระยะทางทั้งหมดของชิ้นสามเหลี่ยมเคลื่อนที่จากตำแหน่งเปิดสุดไปยังตำแหน่งปิดสุด โดยหาได้จากโปรแกรม Solidworks ดังนั้น $x(0.0413) = 0.062$

จากสมการที่ 4.48 สามารถหาค่าแรง F_1 ที่ต้องการในการทำให้ชิ้นส่วนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ภายใน 0.0413 วินาที ซึ่งค่า F_1 จะมีได้หลายค่าเนื่องจากมีค่า F_p, f_a ไม่เท่ากันในแต่ละตำแหน่งของการเปิดวาล์วค่า F_1 แสดงในตารางที่ 4.9

4.6.2 ระบบของการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่ทำหน้าที่จับชิ้นส่วนสามเหลี่ยม และสามารถเขียนแผนภาพวัตถุอิสระของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่ได้ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.20 แผนภาพวัตถุอิสระของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่

จากรูปที่ 4.18 แทนค่าลงในสมการ $\sum T = I_2 \ddot{\theta}$ จะได้

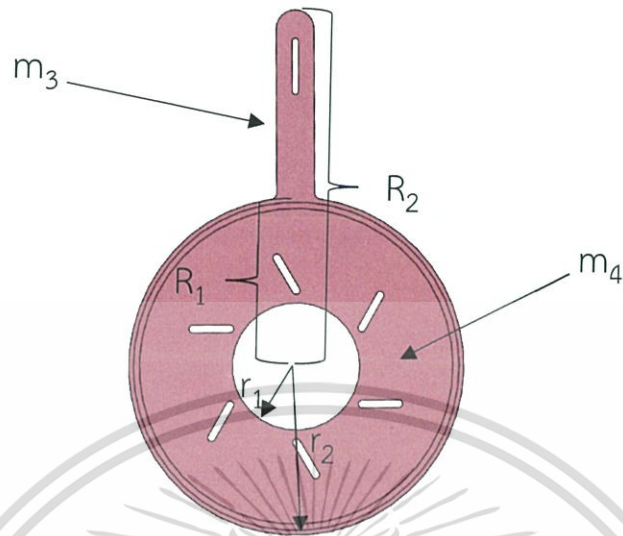
$$T_2 - \mu N_2 (R_f) - T_1 = I_2 \ddot{\theta} \quad (4.49)$$

จากทฤษฎีโมเมนต์ความเฉื่อยในหัวข้อที่ 3.11 รวมกับโมเมนต์ความเฉื่อยของก้านวาล์ว จะได้

$$I_2 = \frac{1}{2} m_4 (r_2^2 + r_1^2) + \frac{1}{3} m_3 (R_2^2 - R_1^2) \quad (4.50)$$

โดยที่	I_2	โมเมนต์เฉื่อยของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่
	m_4	มวลของส่วนวงกลมของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่ มีค่าเท่ากับ 3.2544 กิโลกรัม
	m_3	มวลก้านวาล์วของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่ มีค่าเท่ากับ 0.33955 กิโลกรัม
	r_1	รัศมีภายในของส่วนของวงกลม มีค่าเท่ากับ 0.125 เมตร
	r_2	รัศมีภายนอกของส่วนของวงกลม มีค่าเท่ากับ 0.0508 เมตร
	R_1	มีค่าเท่ากับ 0.125 เมตร R_2 มีค่าเท่ากับ 0.285 เมตร
	T_2	แรงบิดที่ใช้ขับเคลื่อนที่สอง (นิวตันเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงตัวแปรของสมการที่ 4.50

ดังนั้น จากสมการที่ 4.50 โมเมนต์เฉื่อยของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่ (I_2) มีค่าเท่ากับ 0.04014 kg/m^2

ชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่หมุนไปเป็นมุม 53 องศา ใช้เวลา 0.0413 วินาทีที่ มุม 53 องศา คือขนาดของมุมทั้งหมดของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่จากตำแหน่งเปิดสุดไปยังตำแหน่งปิดสุด โดยหาได้จากโปรแกรม SOLIDWORKS ดังนั้น $\theta_2(0.0413) = 53^\circ$ ค่าของ R_2 คือ รัศมีวงนอกสุดของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 0.125 เมตร

แรงเฉือน (τ) ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของของไหลในท่อกับบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสด้านในของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากแรงเสียดสีทำมุม 90 องศากับการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนวงกลม

จากรูปที่ 4.18 สมดุลแรงในแนวแกน y

$$N_2 = (m_4 + m_3)g + F_2$$

$$N_2 = (m_4 + m_3)g$$

(4.51)

โดย $(m_4 + m_3)g$ คือ มวลของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่ เท่ากับ 3.594 กิโลกรัม

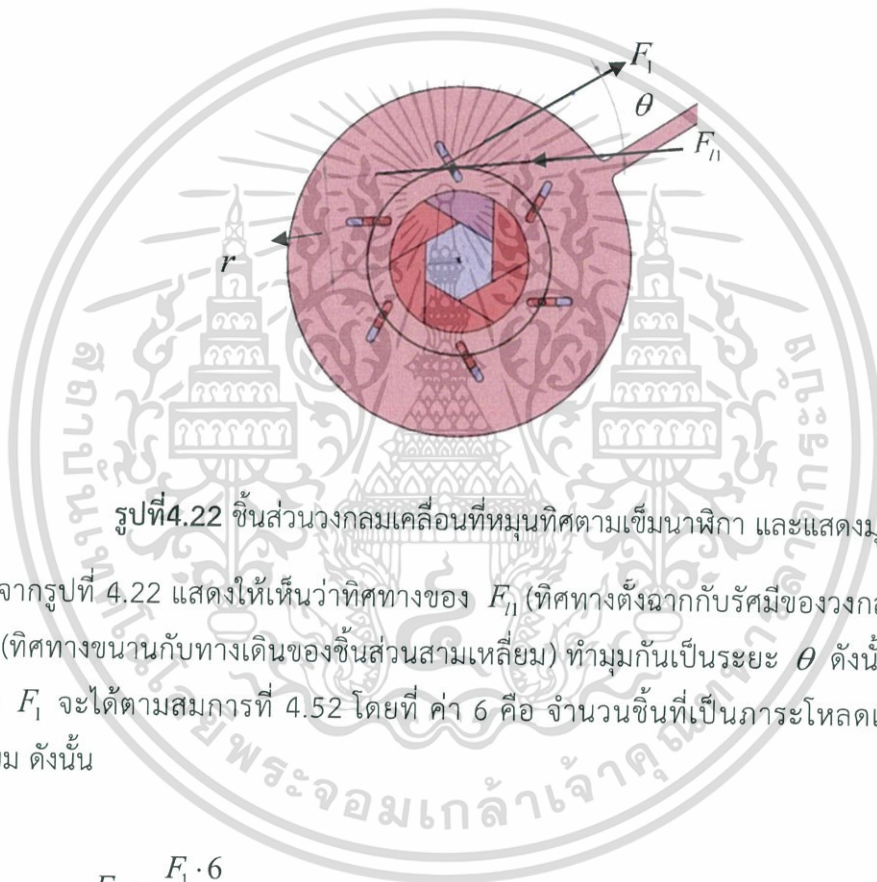
F_2 คือ แรงเนื่องจากความดันของของไหลในท่อกระทำทุกทิศทุกทาง ซึ่งมีค่าเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$T_{11} = F_{11} \cdot r \quad (4.52)$$

- T_{11} ภาระโหดทอร์กทั้งหมดที่เกิดจากระบบการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 ชิ้น
 F_{11} ภาระโหดแรงทั้งหมดที่เกิดจากระบบการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม 6 ชิ้น
 r รัศมีใด ๆ จากจุดศูนย์กลางของท่อ 4 นิ้วจนถึงจุดศูนย์กลางของหมุดวงกลม



รูปที่ 4.22 ชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่หมุนทิศตามเข็มนาฬิกา และแสดงมุม

จากรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าทิศทางของ F_{11} (ทิศทางตั้งฉากกับรัศมีของวงกลม) กับทิศทางของ F_1 (ทิศทางขนานกับทางเดินของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม) ทำมุมกันเป็นระยะ θ ดังนั้นสามารถหาค่า F_{11} จาก F_1 จะได้ตามสมการที่ 4.52 โดยที่ ค่า 6 คือ จำนวนชิ้นที่เป็นภาระโหดแรงจากชิ้นส่วนสามเหลี่ยม ดังนั้น

$$F_{11} = \frac{F_1 \cdot 6}{\cos \theta} \quad (4.52)$$

ทำการลาปลาซสมการที่ 4.49 โดยกำหนดให้ $T_2 - \mu N_2(R_f) - T_{11} = A_2$ เป็นค่าคงที่ และมีค่าเริ่มต้น $x(0) = 0$ $\dot{x}(0) = 0$ จะได้

$$\theta_2(t) = \frac{t^2 A_2}{2I_2} \quad (4.53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการดิเฟอเรนเชียลสมการที่ 4.53 จะได้

$$\begin{aligned}\dot{\theta}_2(t) &= \frac{tA_2}{I_2} \\ \ddot{\theta}_2(t) &= \frac{A_2}{I_2}\end{aligned}\tag{4.54}$$

แทนค่า A_2 ลงในสมการที่ 4.53 และจัดรูปหาค่า T_2 จะได้

$$T_2 = \frac{2I_2 \cdot \theta_2(t)}{t^2} + \mu N_2(R_f) + T_{H1} ; \mu = 0.8 \text{ และ } \theta_2(0.0413) = 53\tag{4.55}$$

นำค่า F_1 จากระบบแรกที่ตำแหน่งวาล์วต่าง ๆ มาเพื่อหาค่า T_{H1} สูงสุดตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น ดังตารางที่ 4.7 การคำนวณจะใช้ Microsoft Excel โดยตารางที่ 4.9 ดังที่จะแสดงต่อไปนี้จะนำมาเรียงต่อกันสำหรับการอ่านพิจารณา

ตารางที่ 4.9 คำนวณหาค่า T_{II} ที่วาล์วตำแหน่งต่าง ๆ

ตำแหน่งการเปิดวาล์ว ทำงานที่ความดัน 21.582 นิวตันเมตร (เปอร์เซ็นต์)
พื้นที่ของวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว (ตารางเมตร)
พื้นที่หน้าตัดหกเหลี่ยมด้านเท่า A_s (ตารางเมตร)
ความยาวแต่ละด้านของหกเหลี่ยมด้านเท่า s (มิลลิเมตร)
พื้นที่สี่เหลี่ยมสี่ด้านที่ตำแหน่งใด ๆ ของชั้นสามเหลี่ยม A_p (ตารางเมตร)
พื้นที่ของชั้นสามเหลี่ยมที่ถูกแรงดันกระทำในทิศทางขนานกับท่อ 4 นิ้ว A_u (ตารางเมตร)
ความดันของของไหลภายในท่อ 21.582 (นิวตันต่อตารางเมตร)
แรงกระทำต่อชั้นสามเหลี่ยมในทิศทางขนานกับท่อ 4 นิ้ว F_u (นิวตัน)
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างเหล็กกับเหล็ก
แรงดันจากความดันของของไหลในท่อในแนวรัศมี F_r (นิวตัน)
แรงทั้งหมดที่ขับเคลื่อนชั้นสามเหลี่ยม F_t (นิวตัน)
มุม θ (องศา)
รัศมี r (มิลลิเมตร)
ภาระโหลดตอร์คทั้งหมดที่เกิดจากระบบการเคลื่อนที่ของชั้นสามเหลี่ยม 6 ชั้น T_{II} (นิวตันเมตร)

ตารางที่ 4.9 คำนวณหาค่า T_{II} ที่วาล์วตำแหน่งต่าง ๆ (ต่อ)

	0	15	22	23	24	25	26
	0.008107	0.008107	0.008107	0.008107	0.008107	0.008107	0.008107
	0	0.001216	0.001784	0.001865	0.001946	0.002027	0.002108
	0	21.64	26.20	26.79	27.37	27.93	28.48
	0	0.0001298	0.0001572	0.0001607	0.0001642	0.0001676	0.0001709
	0.0013512	0.0011485	0.0010540	0.0010404	0.0010269	0.0010134	0.0009999
	21.582	21.582	21.582	21.582	21.582	21.582	21.582
	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51
	0	19.6	23.35	23.79	24.24	24.67	25.06
	60.8	64.5	66.2	66.45	66.68	66.91	67.12
	6.388	7.194	7.575	7.629	7.683	7.735	7.784

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

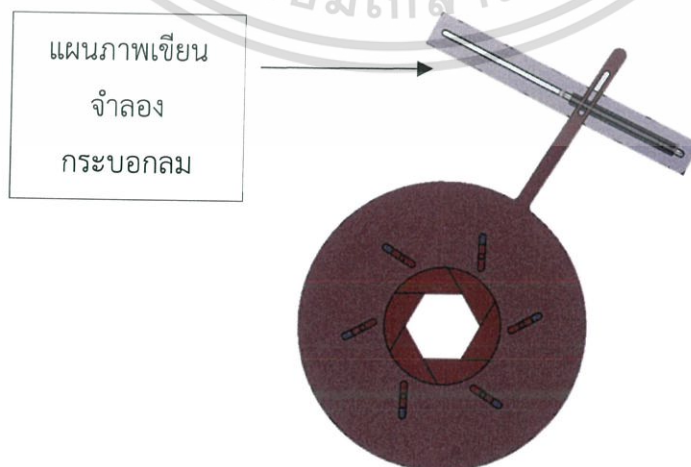
ตารางที่ 4.9 คำนวณหาค่า T_{II} ที่วาล์วตำแหน่งต่าง ๆ (ต่อ)

	30	31	32	35	50	75	100
	0.008107	0.008107	0.008107	0.008107	0.008107	0.008107	0.008107
	0.002432	0.002513	0.002594	0.002838	0.004054	0.006080	0.008107
	30.60	31.10	31.60	33.05	39.50	48.38	55.86
	0.0001836	0.0001866	0.0001896	0.0001983	0.0002370	0.0002903	0.0003352
	0.0009459	0.0009323	0.0009188	0.0008783	0.0006756	0.0003378	0.0000000
	21.582	21.582	21.582	21.582	21.582	21.582	21.582
	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
	17.51	17.51	17.51	17.51	17.50	17.50	17.49
	26.71	27.11	27.46	27.55	32.38	38.52	43.86
	68.06	68.29	68.5	68.71	71.93	77.71	84.32
	8.004	8.059	8.110	8.141	8.946	10.429	12.276

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าวาล์วเปิด 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่า T_{II} สูงสุดเท่ากับ 12.276 นิวตันเมตร และส่วนของสองพจน์แรกในสมการที่ 4.55 ค่าของตัวแปรแต่ละตัวถูกกำหนดตามที่กล่าวมา ดังนั้นนำค่า T_{II} สูงสุดแทนลงในสมการที่ 4.55 จะได้ T_2 เท่ากับ 56.00 นิวตันเมตร โดยประมาณ

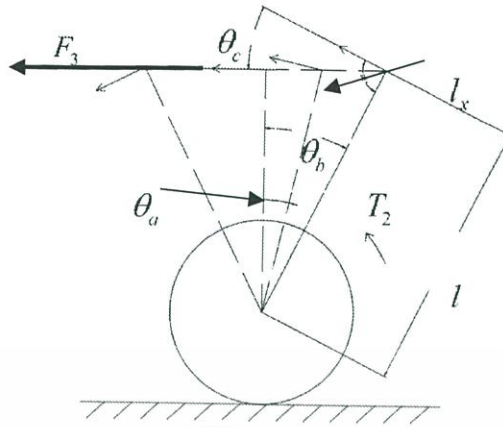
4.6.3 ระบบของการเคลื่อนที่ของตัวขับเคลื่อน

จากรูปที่ 4.22 สามารถมองความสัมพันธ์ระหว่างก้านวาล์วกับการเคลื่อนที่ของชุดกระบอกกลม โดยก้านวาล์วจะหมุนรอบจุดศูนย์กลางวงกลมของท่อสี่นิ้ว และก้านสูบจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ได้เป็นดังรูปที่ 4.23 สมมติให้วาล์วเคลื่อนที่หมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อปิดวาล์ว



รูปที่ 4.23 แสดงกลไกจำลองการขับเคลื่อนวาล์วผ่านชุดทรงกระบอกกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก้านวาล์วกับการเคลื่อนที่ของชุดกระบอบกลม

จากรูปที่ 4.23 สามารถมองความสัมพันธ์ระหว่างก้านวาล์วกับการเคลื่อนที่ของชุดกระบอบกลม โดยก้านวาล์วจะหมุนรอบจุดศูนย์กลางวงกลมของท่อนีว และก้านสูบจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ได้เป็นดังรูปที่ 4.24 สมมติให้วาล์วเคลื่อนที่หมุนทวนเข็มนาฬิกาเพื่อปิดวาล์ว

จากรูปที่ 4.24 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$l_x \cos \theta_a = l \cos \theta_b \quad (4.56)$$

โดยที่

l คือ ความยาวจากจุดศูนย์กลางของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่จนถึงจุดศูนย์กลางของหมุด Z ณ ตำแหน่งเปิดสุด

l_x คือ ความยาวจากจุดศูนย์กลางของชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่จนถึงจุดศูนย์กลางของหมุด Z ณ ตำแหน่งใด ๆ

จัดรูปสมการใหม่เพื่อหาค่า l_x

$$l_x = \frac{l \cos \theta_b}{\cos \theta_a} \quad (4.57)$$

จากรูปที่ 4.21 T_2 สามารถเขียนสมการที่ 4.58 และค่า $\theta_a = \theta_c$

$$T_2 = F_3 \cos \theta_c \cdot l_x \quad (4.58)$$

นำสมการที่ 4.57 แทนลงในสมการที่ 4.58 จะได้

$$T_2 = F_3 \cdot l \cos \theta_b \quad (4.59)$$

ดังนั้น จัดรูปหาค่า F_3 ได้ตามสมการที่ 4.60

$$F_3 = \frac{T_2}{l \cos \theta_b} \quad (4.60)$$

นำค่า T_2 เท่ากับ 56.00 นิวตันเมตร และ $l = 0.2438$ เมตร $\theta_b = 26.5^\circ$ แทนลงในสมการที่ 4.60

$$F_3 = 256.60 \text{ นิวตัน}$$

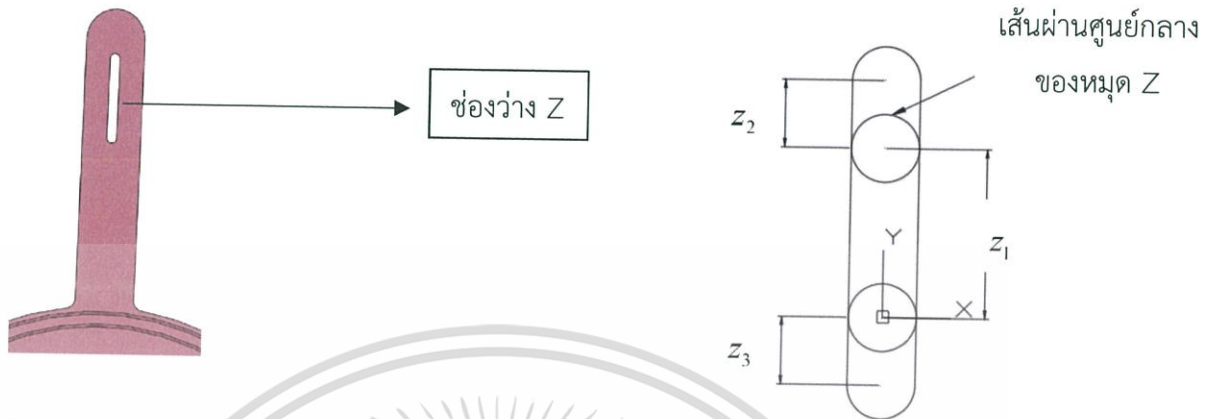
จากรูปที่ 4.21 ใช้ตรีโกณมิติหาระยะชักของกระบอกลม ดังนั้น มีค่าเท่ากับ 21.757 เซนติเมตร แรงต้องมีขนาด $F_3 = 256.60$ นิวตัน

ในระบบงานที่ใช้ของไหลไหลผ่านตำแหน่งวาล์วที่มีความดันเงกภายในเท่ากับ 21.582 นิวตันต่อตารางเมตร ดังนั้น $F_3 = 256.60$ นิวตัน ระยะชักเท่ากับ 21.757 เซนติเมตร นำแรงที่ได้มาเลือกกระบอกลมอัด

4.7 การคำนวณหาค่าความปลอดภัยของก้านวาล์วเมื่อรับแรงกระแทก

วาล์วปิดเร็วจะถูกออกแบบไม่ให้เกิดแรงกระแทกในตัวเรือนวาล์วทั้งก้านวาล์ว และหมุดสี่เหลี่ยมบนชิ้นส่วนสามเหลี่ยม จะมีระยะความถี่ไว้ตามแผนภาพเขียนในภาคผนวก แรงกระแทกทั้งหมดนั้นจะถูกดูดซับผ่านกระบอกลมอัด ดังนั้นควรเลือกใช้กระบอกลมอัดที่เหมาะสม

4.8 การคำนวณหาช่องว่างเชื่อมต่อกับตัวส่งแรงนิวเมติก(Z)



รูปที่ 4.26 แสดงช่องว่าง z

รูปที่ 4.26 แสดงตัวแปรของช่องว่าง Z

จากรูปที่ 4.26 ความยาวช่องว่าง $Z = z_1 + z_2 + z_3$ โดยที่ z_2, z_3 คือ ความยาวเผื่อบวกกับรัศมีของหมุด Z จากรูปที่ 4.22 $z_1 = l - l \cos \theta_b$ โดยที่ $l = 0.244m$ และ $\theta_b = 26.5^\circ$ ดังนั้น z_1 เท่ากับประมาณ 25.64 มิลลิเมตร หมุด Z ที่เลือกใช้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และให้ระยะเผื่อเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ดังนั้นความยาวช่องว่าง Z เท่ากับ 55.64 มิลลิเมตร

ในการคำนวณหาแรงขับเคลื่อนของลูกสูบ จะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่ใช้งาน ดังนั้นสภาวะที่วิจัยฉบับนี้นำมาพิจารณา คือ ห้องทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น

เนื่องจากระบบความปลอดภัยจะถูกให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนี้จะไม่มีการผลิตสินค้าเป็นจำนวนมาก ผู้ผลิตจะผลิตตามสภาวะแวดล้อมของอุปกรณ์ที่ถูกนำไปใช้ หรือ เรียกก่าย ๆ ว่าผลิตภัณฑ์เฉพาะ

4.9 ความแข็งแรงของสลักเกลียว








การออกแบบ และการสร้างวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ววิจัยฉบับนี้เลือกใช้สลักเกลียวขนาด M10 ภายใต้สมมติฐานที่กำหนด คือ สลักเกลียวเป็นเกลียวแบบละเอียด(Coarse-Pitch Series,UNC) ตารางที่ 4.10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่หน้าตัดของเกลียวหยาบ และเกลียวละเอียดของสลักเกลียว แบบMetric Threads [8]

Nominal Major Diameter d mm	Coarse-Pitch Series			Fine-Pitch Series		
	Pitch p mm	Tensile-Stress Area A_t mm ²	Minor-Diameter Area A_r mm ²	Pitch p mm	Tensile-Stress Area A_t mm ²	Minor-Diameter Area A_r mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

*The equations and data used to develop this table have been obtained from ANSI B1.1-1974 and B18.3.1-1978. The minor diameter was found from the equation $d_r = d - 1.226869p$, and the pitch diameter from $d_p = d - 0.649519p$. The mean of the pitch diameter and the minor diameter was used to compute the tensile-stress area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียวแบบ Metric [8]

Property Class	Size Range, Inclusive	Minimum Proof Strength, [†] MPa	Minimum Tensile Strength, [†] MPa	Minimum Yield Strength, [†] MPa	Material	Head Marking
4.6	M5–M36	225	400	240	Low or medium carbon	
4.8	M1.6–M16	310	420	340	Low or medium carbon	
5.8	M5–M24	380	520	420	Low or medium carbon	
8.8	M1.6–M36	600	830	660	Medium carbon, Q&T	
9.8	M1.6–M16	650	900	720	Medium carbon, Q&T	
10.9	M5–M36	830	1040	940	Low-carbon martensite, Q&T	
12.9	M1.6–M36	970	1220	1100	Alloy, Q&T	

*The thread length for bolts and cap screws is

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

where L is the bolt length. The thread length for structural bolts is slightly shorter than given above.

[†] Minimum strengths are strength exceeded by 99 percent of fasteners.

ตารางที่ 4.12 ตัวแปรสำหรับค่าความแข็งแรงของวัสดุแต่ละชนิด [8]

Material Used	Poisson Ratio	Elastic GPa	Modulus Mpsi	A	B
Steel	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminum	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Copper	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Gray cast iron	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
General expression				0.789 52	0.629 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อค่า A และ B ที่ระบุในตารางที่ 4.3 ได้จากการทดลองของ Wileman, Choudury, และ Green* ดังสมการที่ 3.59 ซึ่งวิจัยฉบับนี้ไม่ได้ให้ความสนใจ

* J.Wileman, M. Choudury, and I. Green, "Computation of Member Stiffness in Bolted Connections," *Trans. ASME, J. Mech. Design*, vol. 113, December 1991

เมื่อ พื้นที่หน้าตัดบริเวณที่ไม่มีเกลียวสำหรับสลักเกลียวขนาด M10 หาได้จาก

$$A_d = \pi d^2 / 4 \quad (4.62)$$

แทนค่า $A_d = \frac{\pi(10^2)}{4}$ มิลลิเมตร²

จะได้ $A_d = 75.0$ มิลลิเมตร²

จากตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และการคำนวณพื้นที่บริเวณที่ไม่มีเกลียว จะได้ค่าของตัวแปรที่สำคัญสำหรับการคำนวณค่าความแข็งแรงของสลักเกลียว ดังนี้

ตารางที่ 4. 13 ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการคำนวณค่าความแข็งแรงในสลักเกลียวจากตารางข้างต้น

M10 in COARSE SERIES		unit
pitch (p)	1.5	mm
stress area (A_t)	58.0	mm ²
Minor diameater area (A_f)	52.3	mm ²
Major diameater (d)	10.0	mm
Area unthreaded portion (A_d)	78.5	mm ²
Young modulus (E) for steel	207.0	Gpa
Proof strength (S_p)	225.0	MPa

เพื่อการคำนวณอย่างเป็นระบบ และสะดวกต่อการพิจารณา จะทำการอ้างอิงการคำนวณตามคำแนะนำการหาค่าความแข็งแรงของสลักเกลียวอ้างอิง ดังรูปที่ 3.12 ได้ดังนี้

ความหนาทั้งหมดของชิ้นงานที่ถูกจับยึด	:	380.0	มิลลิเมตร
ความยาวของสลักเกลียวทั้งหมด	:	388.4	มิลลิเมตร
ความยาวสลักเกลียว	:	26.0	มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของความหนาของชิ้นงานที่ถูกจับยึดระหว่างสลักเกลียวกับน็อต (l):

ความยาวของสลักเกลียวที่ไม่มีเกลียว	:	362.4	มิลลิเมตร
ความยาวของสลักเกลียวที่มีเกลียว	:	17.6	มิลลิเมตร
พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียวที่ไม่มีเกลียว	:	78.5	มิลลิเมตร ²
พื้นที่หน้าตัดของสลักเกลียวที่มีเกลียว	:	58.0	มิลลิเมตร ²

และสมการสำหรับการหาค่าความแกร่งของสลักเกลียว คือ

$$k_b = \frac{A_d A_t E}{A_t l_d + A_d l_t} \quad (4.63)$$

แทนค่า

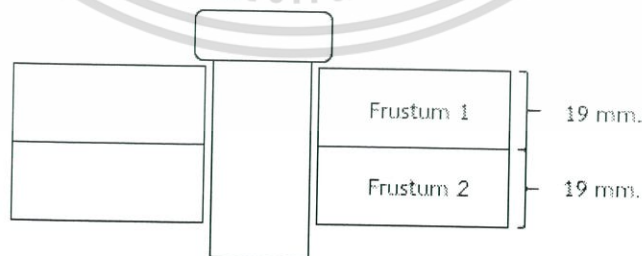
$$k_b = \frac{78.5 \times 58.0 \times 207}{(58.0 \times 362.4) + (78.5 \times 17.6)} \quad \text{กิโลนิวตันต่อตารางเมตร}$$

จะได้

$$k_b = 42.1 \quad \text{กิโลนิวตันต่อตารางเมตร}$$

4.10 ความแกร่งของชิ้นงานที่ยึดด้วยสลักเกลียว

จากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.14 ค่าความแกร่งของชิ้นงานจะหาได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากแรงกระทำที่เกิดขึ้นจะกระจายอยู่บนพื้นที่ที่ไม่สม่ำเสมอระหว่างตัวยึดจับชิ้นงาน ดังนั้นเราจะหาค่าความแกร่งของชิ้นงานที่ไม่มีประเก็นดังกล่าวแนะนำของวิศวกรชาวญี่ปุ่นชื่อ อีโตะ (Ito) โดยได้แนะนำให้ใช้วิธีการความดันรูปทรงกรวยของ Rotsher ดังรูปที่ 3.13 และชิ้นงานของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วถูกแบ่งออกเป็นทั้งหมด 2 ฟรีสตัม ดังรูป



รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะทางกายภาพของฟรีสตัมสำหรับการคำนวณค่าความแกร่งของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสมการสำหรับพิจารณาความแกร่งของชิ้นงานแต่ละชั้น คือ

$$k = \frac{0.5774Ed}{\ln \frac{(1.155t + D - d)(D + d)}{(1.155t + D + d)(D - d)}} \quad (4.64)$$

ที่พรีสตั้ม 1 แทนค่าได้

$$k_1 = \frac{0.5774(207)(10)}{\ln \frac{(1.155(19) + 15 - 10)(15 + 10)}{(1.155(19) + 15 + 10)(15 - 10)}}$$

จะได้

$$k_1 = 3561.6 \text{ เมกะนิวตันต่อตารางเมตร}$$

ทำนองเดียวกันที่พรีสตั้ม 2 แทนค่าได้

$$k_2 = \frac{0.5774(207)(10)}{\ln \frac{(1.155(19) + 15 - 10)(15 + 10)}{(1.155(19) + 15 + 10)(15 - 10)}}$$

จะได้

$$k_2 = 3561.6 \text{ กิโลนิวตันต่อตารางเมตร}$$

เมื่อสมการสำหรับพิจารณาความแกร่งของชิ้นงานรวม คือ

$$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad (4.65)$$

แทนค่า k_1 และ k_2 ลงสมการที่ 4.65 จะได้

$$k_m = 1780.8 \text{ กิโลนิวตันต่อตารางเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 แรงดึงในรอยต่อที่เกิดจากโหลดภายนอก

เมื่อมีโหลดภายนอกมากระทำกับรอยต่อด้วยสลักเกลียว เราจะเริ่มพิจารณาแรงที่กระทำเพื่อจับยึดซึ่งเกิดจากแรงดึงเริ่มต้น (F_i) แรงนี้เกิดจากการกดน็อตยึดสลักเกลียวให้แน่นตามที่ต้องการและในบางครั้งก็อาจมีแรงภายนอกมากระทำ

โดยที่

P = โหลดที่ภายนอกกระทำ มีค่าเท่ากับ 1621.5 นิวตันต่อ 1 สลักเกลียว

P_b = โหลดส่วนที่สลักเกลียวรับภาระ

P_m = โหลดที่ชิ้นงานต้องรับภาระ

$F_b = P_b + F_i$ = แรงลัพธ์ที่สลักเกลียวได้รับ

$F_m = P_m - F_i$ = แรงลัพธ์ที่ชิ้นงานได้รับ

เมื่อแทนค่า k_m และ k_b ลงในค่า C จะได้

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (4.66)$$

แทนค่า $C = \frac{42.1}{42.1 + 1780.8}$

จะได้ $C = 0.023$

โหลดส่วนที่สลักเกลียวรับภาระ

$$P_b = \frac{k_b P}{k_b + k_m} = CP \quad (4.67)$$

แทนค่า $P_b = 0.023(1621.5)$

จะได้ $P_b = 37.44$ นิวตัน

โหลดที่ชิ้นงานต้องรับภาระ

$$P_m = P - P_b = (1 - C)P \quad (4.68)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $P_m = 1621.5(1 - 0.023)$

จะได้ $P_m = 1584.02$ นิวตัน

เนื่องจากวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วนั้นติดตั้งสำหรับการดำเนินการในห้องทดลองที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการถอดประกอบเพื่อทำความสะอาด และซ่อมบำรุงประจำปี ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้เงื่อนไขในการหาค่าแรงดึงเริ่มต้นจากชิ้นงานเป็นจุดยึดเชื่อมต่อชั่วคราว

$$F_i \begin{cases} = 0.75F_p & \text{สำหรับใช้ยึดจุดเชื่อมต่อชั่วคราว} \\ = 0.90F_p & \text{สำหรับใช้ยึดจุดเชื่อมต่ออย่างถาวร} \end{cases} \quad (4.69)$$

เมื่อ $F_p = A_i S_p$ โดย F_p คือ ค่าโหลดระบุ (proof load)

แทนค่า

$$F_i = 0.75 \times 58.00 \times 225 = 9787.5 \text{ นิวตัน}$$

แรงลัพธ์ที่สลักเกลียวได้รับ

$$F_b = P_b + F_i = CP + F_i \quad (4.70)$$

แทนค่า

$$F_b = 37.44 + 9787.5$$

จะได้

$$F_b = 9825 \text{ นิวตัน}$$

และ แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่ยึดติดเข้าด้วยกันจะมีค่า

$$F_m = P_m - F_i = (1 - C)P - F_i \quad (4.71)$$

แทนค่า

$$F_b = 1584.02 + 9787.5$$

จะได้

$$F_b = 11371.5 \text{ นิวตัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 โหลดแรงดึงแบบสถิตที่รอยต่อ

จากหัวข้อที่ผ่านมาทำให้เราทราบแรงลัพท์ที่กระทำในแต่ละส่วน และเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน ชิ้นงานที่ยึดติดกันจะต้องไม่แยกออกจากกัน ถ้าหากรอยต่อเกิดการแยกออกจากกัน โหลดภายนอกทั้งหมดจะกระทำต่อสลักเกลียวโดยตรง

กำหนดให้ P_0 คือโหลดจากภายนอกที่ทำให้รอยต่อเกิดการแยกออกจากกัน และเงื่อนไขที่จะทำให้รอยต่อแยกออกจากกัน คือ $F_m = 0$

เมื่อ ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยที่รอยต่อ คือ

$$n_0 = \frac{F_t}{P(1-C)} \quad (4.72)$$

แทนค่า $n_0 = \frac{9787.5}{1621.5(1-0.023)}$

จะได้ $n_0 = 6.18$

โดยที่ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยนี้จะบ่งบอกเพียงว่าชิ้นงานปลอดภัยต่อการแยกออกจากกัน แต่ไม่ได้บ่งบอกถึงความปลอดภัยของสลักเกลียว อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ทำการเผื่อขนาดสลักเกลียวไว้เพื่อความปลอดภัยต่อชิ้นงาน และสลักเกลียวที่ต้องรองรับแรงไว้แล้วเพื่อหลีกเลี่ยงความไม่ปลอดภัยที่ไม่สามารถคำนึงถึงได้

4.13 ช่องแคบที่ก่อให้เกิดการดับของเปลว (Quenching by a cold wall)

เนื่องจากในกระบวนการผลิตมักจะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นเสมอไม่มากก็น้อย ซึ่งพบว่าวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว นั้นมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมีขนาดที่คลาดเคลื่อนไปในบางตำแหน่ง ทำให้พื้นขวางกั้นของสามเหลี่ยมขวางกั้นปิดได้ไม่แนบสนิทสมบูรณ์มีช่องว่างขนาดเล็กเกิดขึ้น

พิจารณาเปลวไฟเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างขนาดเล็กที่ขนานกันดังรูปที่ 4.27 โดยที่เราสามารถเขียนสมการสมดุลพลังงานระหว่างความร้อนที่เกิดขึ้น และการนำความร้อนไปให้กับกำแพงระหว่างช่องว่างตามคำแนะนำของ Williams [16] ดังนี้

$$\dot{Q}''' V = \dot{Q}_{cond, total} \quad (4.73)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ \dot{Q}'' คือ อัตราการปลดปล่อยปริมาตรของความร้อน
โดยที่

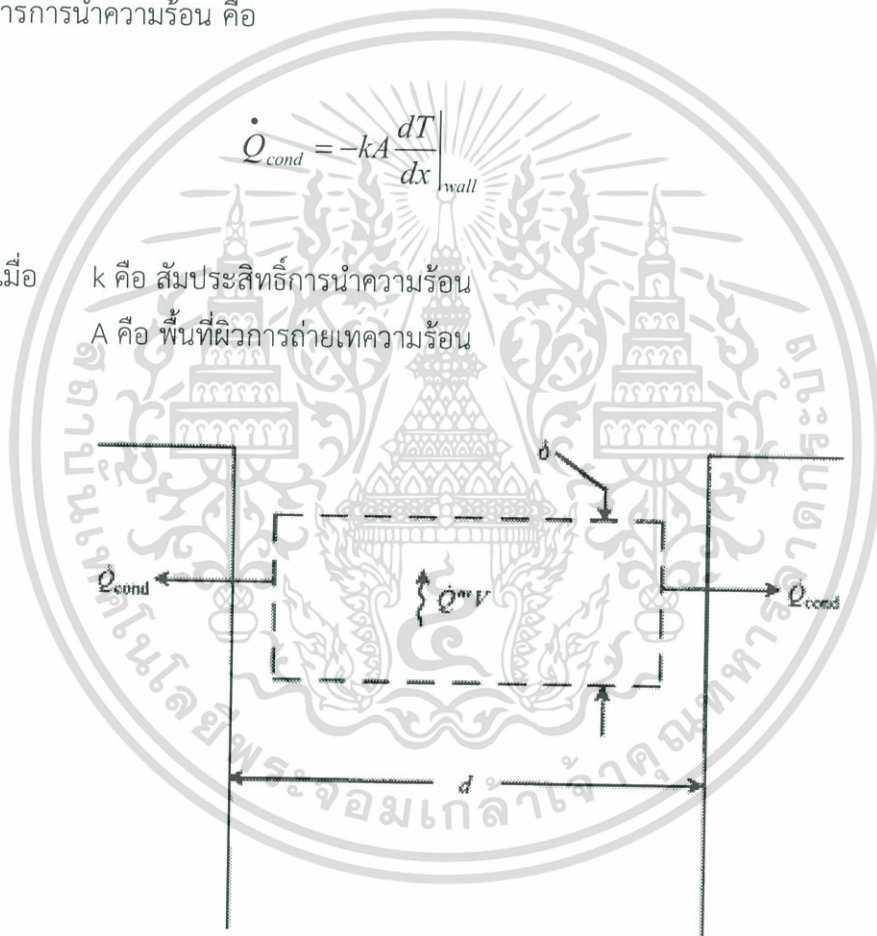
$$\dot{Q}'' = -\dot{m}_F'' \Delta h_c \quad (4.74)$$

เมื่อ \dot{m}_F'' คือ อัตราการไหลของมวลเทียบกับเวลาต่อปริมาตร ($kg/s \cdot m^3$)
 Δh_c คือ ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

และสมการการนำความร้อน คือ

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \left. \frac{dT}{dx} \right|_{wall} \quad (4.75)$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน
 A คือ พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 4.28 ภาพจำลองช่องว่างขนาดเล็กที่เปลวไฟเคลื่อนที่ผ่าน [16]

และได้มีการแนะนำว่าเนื่องจาก dT/dx (temperature gradient) นั้นประมาณค่า และหาได้ยากจึงได้มีการประมาณค่าโดยการลดขนาดลงเป็น $(T_b - T_w)/(d/2)$ โดยที่ dT/dx จะมีค่ามากกว่าเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\left| \frac{dT}{dx} \right| = \frac{T_b - T_w}{d/b} \quad (4.76)$$

โดยที่ T_b คือ อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของช่องว่างขนาดเล็ก

T_w คือ อุณหภูมิที่พื้นผิวกำแพง

d คือ ระยะห่างของช่องว่างที่เกิดขึ้น

b คือ ระยะตั้งแต่จุดกึ่งกลางไปจนถึงกำแพงโดยมากควรแทนค่ามากกว่า 2

แทนสมการ 4.74, 4.75 และ 4.76 ลงใน 4.73 จะได้

จะได้

$$-m_F^m \Delta h_c (\delta dL) = -k(2\delta L) \frac{T_b - T_w}{d/b} \quad (4.77)$$

เมื่อ $\Delta h_c = (v+1)c_p(T_b - T_w)$

และ $m_F^m = \frac{m_{Pr}^m}{v+1}$

แทนค่าตัวแปร

$$\frac{m_{Pr}^m}{v+1} (v+1)c_p(T_b - T_w)(\delta dL) = -k(2\delta L) \frac{T_b - T_w}{d/b} \quad (4.78)$$

จะได้

$$d = \frac{2\alpha\sqrt{b}}{S_L} \quad (4.79)$$

โดยที่ โดยที่ d คือ ระยะช่องว่างเปลวดับ

α คือ Thermal diffusivity ของอากาศที่ 500 องศาเซลเซียส

b คือ ค่าคงที่ 2

S_L คือ ความเร็วเปลวไฟ

แทนค่าสมการ 4.79 จะได้ดังนี้

$$d = \frac{2(250 \times 10^{-5})\sqrt{2}}{5}$$

$$d = 1.414 \times 10^{-3}$$

เมตร

หรือ $d = 1.414$

มิลลิเมตร

จากผลการคำนวณพบว่าช่องว่างที่เกิดขึ้นจะสามารถดับเปลวไฟที่วิ่งย้อนกลับมาตามท่อขนส่งเชื้อเพลิงนั้นควรมีค่าน้อยกว่า 1.414 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์ การประกอบ และวิธีการทดลอง

5.1 ขั้นตอนการประกอบวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว

1. ตรวจสอบอุปกรณ์ขนาด และความถูกต้อง



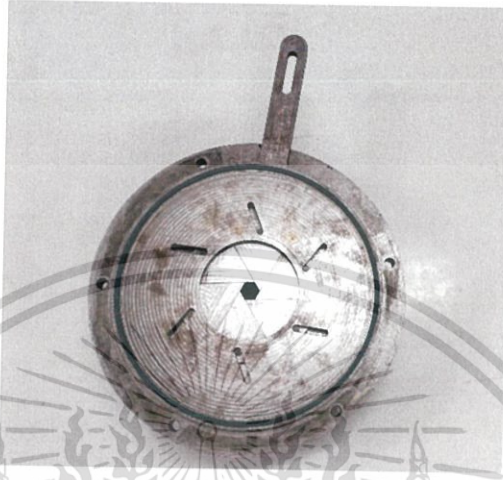
รูปที่ 5.1 ชิ้นส่วนในการประกอบวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว

2. นำสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ทั้ง 6 ชิ้นประกอบลงในร่องทางเดิน 6 เหลี่ยม พร้อมทางวางปะเก็น(Asbetos) ขนาด 6 มิลลิเมตร ลงภายในบ่าที่รองรับปะเก็น

รูปที่ 5.2 แสดงการประกอบสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ และปะเก็น 6 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำชิ้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่ประกอบเข้ากับหมุดวงกลมบนสามเหลี่ยมเคลื่อนที่โดยให้มีทิศทางของร่องทางเดินแสดง พร้อมทางวางปะเก็น(Asbestos) ขนาด 3 มิลลิเมตร ลงภายในบ่าที่รองรับปะเก็น ดังรูป



รูปที่5.3 แสดงการประกอบวงกลมเคลื่อนที่ และปะเก็น 3 มิลลิเมตร

4. นำชิ้นส่วนตัวเรือนวาล์วด้านที่เหลือประกอบเข้ากับตัวเรือนวาล์วก่อนหน้าพร้อมทั้งขันน็อตให้พอดีมือเท่านั้น



*ขันตอนประกอบที่ควรระวัง

รูปที่5.4 แสดงการประกอบตัวเรือนวาล์วขั้นสุดท้าย

*หมายเหตุ : ในขั้นตอนการประกอบนั้นหลังจากที่มีการขันตึงมือแล้วควรเช็คระยะช่องว่างของวาล์วดังรูปให้มีระยะอยู่ที่ประมาณ 4 มิลลิเมตร เพื่อไม่ให้เกิดแรงเสียดทานที่ปะเก็นภายในตัวเรือนวาล์วมากจนวาล์วไม่สามารถขยับเขยื้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

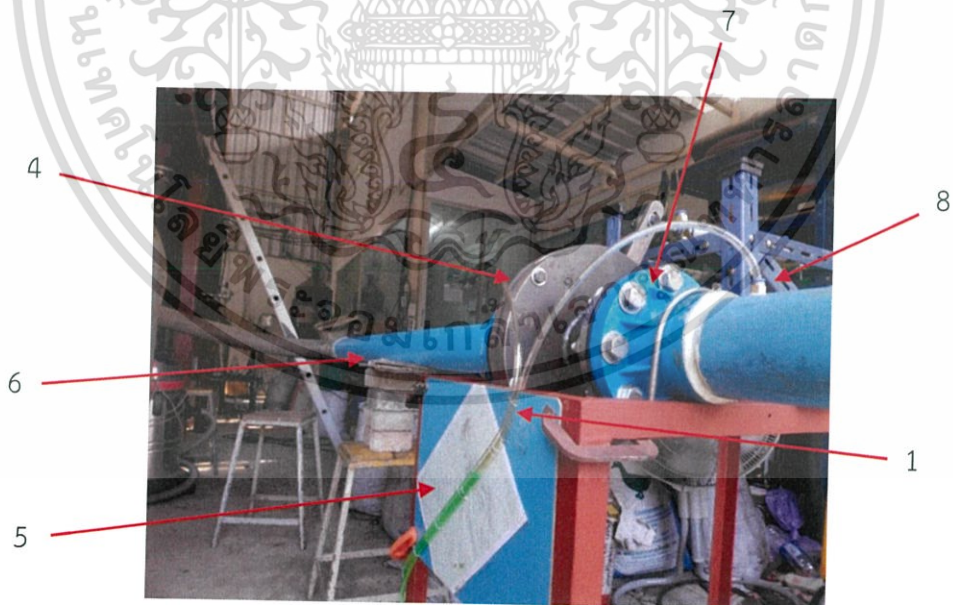
5. ขั้นตอนสุดท้ายคือนำวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วประกอบเข้ากับชุดทดลองเพื่อเตรียมทดลองในขั้นตอนต่อไป ดังรูป แสดงการประกอบวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วเข้ากับชุดทดลอง



รูปที่ 5.5 แสดงการประกอบวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วเข้ากับชุดทดลอง

5.2 การสอบเทียบของอุปกรณ์ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer

ในรายงานวิจัยฉบับนี้จะใช้อุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer ทำการวัดความดันลดเมื่ออากาศไหลผ่านวาล์วปิดเร็วที่อัตราการไหลต่าง ๆ



รูปที่ 5.6 แสดงภาพชุดทดลองเพื่อการทดสอบการทดสอบเทียบของอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเทียบ มีดังนี้

1. สายpolyurethane 100% ขนาด 5x8 มิลลิเมตร ทำเป็นรูปตัว U ดังรูปที่ 5.2 ภายในบรรจุน้ำสะอาด ผสมสีอยู่ในหลอด เหตุที่วางหลอดเอียงเป็นมุมเนื่องจากเพื่อเพิ่มความแตกต่างของความสูงระดับน้ำภายในหลอดเมื่อมีความดันสถิตยทั้งสองจุดที่ไม่เท่ากัน ในการทดลองงานวิจัยฉบับนี้ใช้มุมเอียงเท่ากับ 48 องศาเทียบกับพื้นระนาบ



รูปที่ 5.7 แสดงภาพการวัดความดันสถิตด้วยหลอดรูปตัว U

2. ปัมพ์หอยโข่งลม ถูกควบคุมรอบด้วยระบบ Invertor ดังรูปที่ 5.3 ทำหน้าที่ จ่ายของไหลที่เป็นอากาศไปยังวาล์วปิดเร็ว



รูปที่ 5.8 แสดงภาพปั๊มหอยโข่งลม

3. วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว (เปิดที่ตำแหน่ง 100 เปอร์เซ็นต์)
4. กระจดาขกรรฟสเกล 1 ซอง เท่ากับ 1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว ความยาวมากกว่าความยาว fully developed flow
6. หน้าแปลนพีวีซี 4 นิ้ว 2 ตัว
7. ข้อต่อลม เกลียว 1/4" 2 ตัว
8. ชุดอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer



รูปที่ 5.9 ชุดอุปกรณ์เครื่องวัด รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer

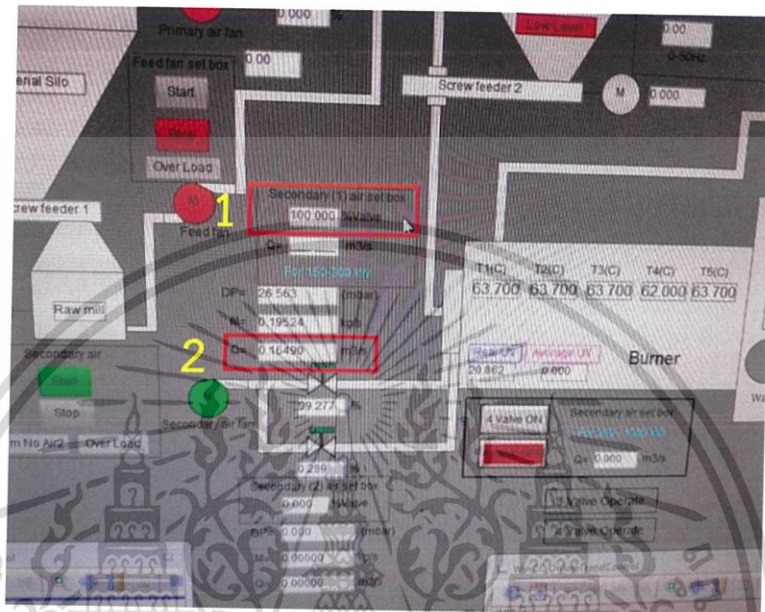
วิธีการสอบเทียบ (Calibration)

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.5 ตำแหน่ง A และ B แสดงตำแหน่งความดันตกคร่อมหรือความดันลด



รูปที่ 5.10 แสดงแผนภาพ P&ID ของการทดสอบเทียบของอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer

2. เปิดโปรแกรมควบคุมบ่มหอยโข่งลม เปิดบ่ม และทำการป้อนค่าเปอร์เซ็นต์ตัวลว 100 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 5.6 หมายเลข 1 และทิ้งไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 7-8 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่ steady state



รูปที่ 5.11 แสดงหน้าจอควบคุมบ่มหอยโข่งลม

3. เช็คความเป็น steady state ด้วยการวัดอุณหภูมิของอากาศขาออกด้วยเทอร์โมมิเตอร์ดังรูปที่ 5.7 (รอจนอุณหภูมิของอากาศขาออกไม่เพิ่มขึ้น) ในรายงานวิจัยฉบับนี้ อุณหภูมิของอากาศที่ขาออกขณะทำการทดลองที่ steady state มีค่าเท่ากับ 33.0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.12 แสดงภาพอุณหภูมิขาออกของอากาศที่มีค่าเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้

4. ทำการวัดความดันของของไหลภายในท่อเทียบกับบรรยากาศด้วยอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศรุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer โดยการนำสายยางดังรูปที่ 5.4 ต่อเข้ากับตำแหน่ง A ในรูปที่ 5.5 และอีกด้านต่อเข้ากับ Micromanometer ด้าน input
5. อ่านค่าความดันเกจของอากาศภายในท่อเท่ากับ 2.2 มิลลิเมตรน้ำ



รูปที่ 5.13 แสดงภาพค่าความดันเกจของอากาศภายในท่อเท่ากับ 2.2 มิลลิเมตรน้ำ

6. ทำการวัดความดันเกจของอากาศภายในท่อด้วยหลอดรูปตัว U โดยเสียบสาย polyurethane ที่ตำแหน่ง A เท่านั้น อ่านค่าความแตกต่างของระดับน้ำแสดงดังรูปที่ 5.9 มีค่าเท่ากับ 3.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.14 แสดงภาพการอ่านค่าของความแตกต่างของระดับน้ำในสาย polyurethane รูปตัว U

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันเกจของอากาศภายในท่อ h (มิลลิเมตรน้ำ) กับความแตกต่างของระดับน้ำ (l) (มิลลิเมตร)

$$h=l \cdot \sin(48) \quad (5.1)$$

จากสมการที่ 5.1 และค่า l เท่ากับ 3.1 มิลลิเมตร

$$h=2.304 \text{ มิลลิเมตรน้ำ} \quad (5.2)$$

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการสอบเทียบของอุปกรณ์ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer

การทดสอบเทียบของอุปกรณ์ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer	ค่าความดันเกจของอากาศภายในท่อ (มิลลิเมตรน้ำ)
รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer	2.2
สาย polyurethane 100% ขนาด 5x8 มิลลิเมตร ทำเป็นรูปตัว U ภายในบรรจุน้ำสะอาดผสมสีอยู่ภายในหลอด	2.304
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	4.716

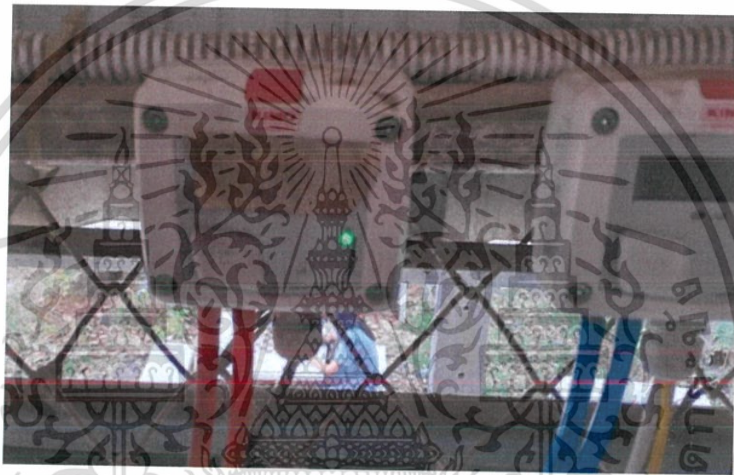
จากผลการสอบเทียบของอุปกรณ์ เครื่องมือวัด รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer ในตารางที่ 5.1 แสดงว่าเครื่องมือวัด รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer มีความน่าเชื่อถือเนื่องจากเครื่องมือวัดทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

5.3 การสอบเทียบ Differential Pressure

การทดสอบเทียบมิไ่วเพื่อบ่งบอกความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ Differential Pressure จะทำการเทียบกับชุดอุปกรณ์เครื่องวัด รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเทียบ มีดังนี้

1. ปัมป์หอยโข่งลม ถูกควบคุมรอบด้วยระบบ Invertor ดังรูปที่ 5.3 ทำหน้าที่ จ่ายของไหลที่เป็นอากาศไปยังวาล์วปิดเร็ว

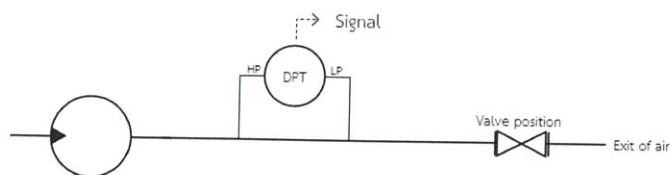
2. วาล์วปิดเร็ว(เปิดที่ตำแหน่ง 100 เปอร์เซ็นต์)
3. ท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว ความยาวมากกว่าความยาว fully developed flow
4. หน้าแปลนพีวีซี 4 นิ้ว 2 ตัว
5. ชุดอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer
6. Differential Pressure ดังรูปที่ 5.10 เป็นอุปกรณ์ใช้วัดความแตกต่างของความดันระหว่างจุดสองจุด และอัตราการไหลภายในท่อ อุปกรณ์นี้จะส่งผลลัพธ์ (Output) ผ่านสัญญาณไฟฟ้าไปแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.15 แสดงภาพอุปกรณ์ Differential Pressure

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.10



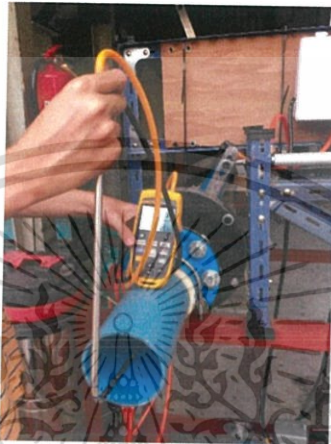
รูปที่ 5.16 แสดงแผนภาพ P&ID ของการทดสอบเทียบของอุปกรณ์ Differential Pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำตามวิธีการสอบเทียบใน 5.1 ตั้งแต่ ข้อ 2 – 3

2.1 ทำการอ่านค่าอัตราการไหลของอากาศภายในห้องบนจอแสดงผล ในรูปที่ 5.4

2.2 ทำการวัดอัตราการไหลของอากาศภายในห้องด้วยเครื่องวัดรุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer ดังรูปที่ 5.11 และบันทึกผล



รูปที่ 5.17 แสดงการวัดอัตราการไหลของอากาศภายในห้อง ด้วยเครื่องวัดรุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer

จากการทดสอบเทียบเครื่องมือวัด Differential Pressure แสดงผลในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการสอบเทียบของอุปกรณ์ Differential Pressure

การทดสอบเทียบของอุปกรณ์ Differential Pressure	ค่าอัตราการไหลของอากาศภายในห้อง (เมตร ³ /วินาที)
Differential Pressure	0.164
รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer มีค่าเท่ากับ 620 (เมตร ³ /ชั่วโมง)	0.169
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	3.213

จากผลการสอบเทียบของอุปกรณ์เครื่องมือวัด Differential Pressure ในตารางที่ 5.2 แสดงว่า เครื่องมือวัด Differential Pressure มีความน่าเชื่อถือเนื่องจากเครื่องมือวัด Differential Pressure มีค่าใกล้เคียงกันกับเครื่องวัด รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดลองเพื่อเก็บค่าความดันลด

7



รูปที่ 5.18 แสดงตัวอย่างการวัดความดันลด

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบค่าความดันลดเมื่อของไหลไหลผ่านวาล์วขณะเปิดสุด บ่งบอกถึงพลังงานที่สูญเสียไป

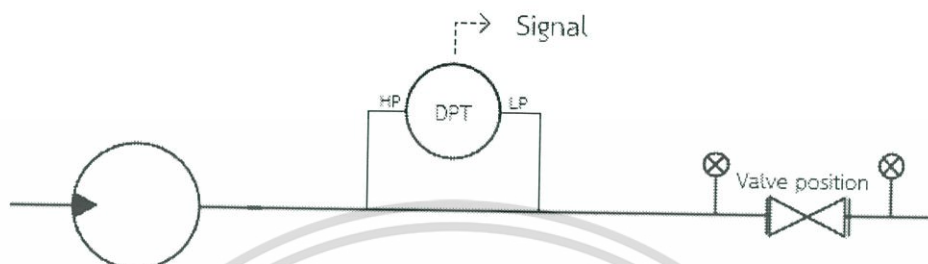
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

1. ปัมป์หอยโข่งลม ถูกควบคุมรอบด้วยระบบ Inverter ดังรูปที่ 5.3 ทำหน้าที่ จ่ายของไหลที่เป็นอากาศไปยังวาล์วปิดเร็ว
2. Differential Pressure
3. วาล์วปิดเร็ว (เปิดที่ตำแหน่ง 100 เปอร์เซ็นต์)
4. ท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว ความยาวมากกว่าความยาว fully developed flow
5. หน้าแปลนพีวีซี 4 นิ้ว 2 ตัว
6. ข้อต่อ เกลียว 1/4" 2 ตัว เข้าเครื่องวัด รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer
7. ชุดระบบควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.6
8. ชุดอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.19 แสดงแผนภาพ P&ID ของทดลองเพื่อเก็บค่าความดันลด

2. เปิดโปรแกรมควบคุมปั๊มหอยโข่งลม เปิดปั๊ม และทำการป้อนค่าเปอร์เซ็นต์วาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 5.6 หมายเลข 1 และทิ้งไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 7-8 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่ steady state
3. เช็คความเป็น steady state ด้วยการวัดอุณหภูมิของอากาศขาออกด้วยเทอร์โมมิเตอร์ดังรูปที่ 5.7 (รองอุณหภูมิของอากาศขาออกไม่เพิ่มขึ้น) ในรายงานวิจัยฉบับนี้ อุณหภูมิของอากาศที่ขาออกขณะทำการทดลองที่ steady state มีค่าเท่ากับ 33.0 องศาเซลเซียส
4. ทำการวัดความดันของของไหลภายในท่อเทียบกับบรรยากาศด้วยอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer โดยการนำสายยางดังรูปที่ 5.4 ต่อเข้ากับตำแหน่ง A ในรูปที่ 5.12 และอีกด้านต่อเข้ากับ Micromanometer ด้าน input ส่วนอีกเส้นต่อเข้ากับตำแหน่ง B ในรูปที่ 5.12 และอีกด้านต่อเข้ากับตำแหน่ง A ในรูปที่ 5.5 และอีกด้านต่อเข้ากับ Micromanometer ด้าน Reference
5. ทำการป้อนค่าเปอร์เซ็นต์วาล์ว ดังรูปที่ 5.6 หมายเลข 1 และรอให้ค่าในรูปที่ 5.6 หมายเลข 2 (อัตราการไหล)นิ่ง และทำการบันทึกค่า เช่น ป้อนค่าวาล์วที่ 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลของอากาศภายในท่อมี่ค่าเท่ากับ 0.0164 เมตร³/วินาที เป็นต้น
6. อ่านค่าความดันลดบนอุปกรณ์เครื่องวัดการไหลของอากาศ รุ่น FLUKE 922 Airflow meter / Micromanometer ดังรูปที่ 5.13 และบันทึกผลการทดลอง เช่น อัตราการไหลของอากาศภายในท่อมี่ค่าเท่ากับ 0.0165 เมตร³/วินาที มีค่าเท่ากับ 6.5 มิลลิเมตรน้ำ เป็นต้น
7. ทำการเปลี่ยนค่าเปอร์เซ็นต์วาล์ว 100, 80, 60, 50, 40 และ 20 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. จำนวน 4 รอบ

9. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันลด(เซนติเมตร) กับอัตราการไหลของอากาศภายในท่อ (เมตร³/วินาที)

หมายเหตุ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์วาล์ว(รูปที่ 5.4 หมายเลข 1) มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศภายในท่อ(รูปที่ 5.4 หมายเลข 2) ที่ไม่แน่นอน จึงให้ยึดค่าของอัตราการไหลของอากาศภายในท่อเป็นหลัก เปอร์เซ็นต์วาล์วมีผลค่าเพื่อให้ค่าของอัตราการไหลของอากาศภายในท่อเกิดการเปลี่ยนแปลง

5.5 การทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า

เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ท่อลมต่าง ๆ นั้นมีความล่าช้าอยู่เล็กน้อย ซึ่งการออกแบบวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วนั้นต้องการความแม่นยำสูงมากเพื่อให้วาล์วปิดได้ทันก่อนที่เปลวไฟจะลามผ่านไปอีกอุปกรณ์หนึ่ง จึงจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองเพื่อเก็บค่าเวลาล่าช้านี้

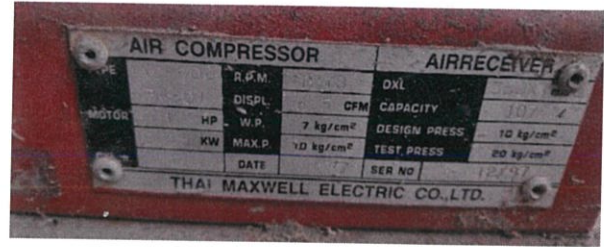


รูปที่ 5.20 แสดงชุดการทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า

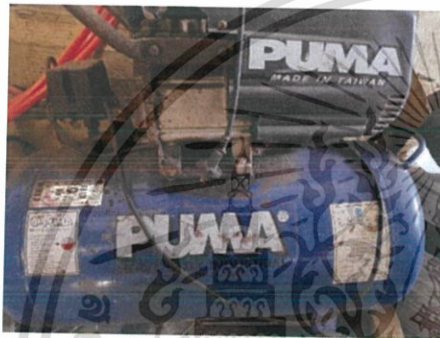
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

1. สายยางลมชนิด Polyurethane 100% ขนาด 8x12 มิลลิเมตร
2. โซลินอยด์ AC 220 โวลต์ 5/2 เกลียว ¼" ชนิด bistable รุ่น ยี่ห้อ Airtac
3. ปัมลม 2 ตัว แบบ Reciprocating Air Compressor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 แสดงภาพปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air



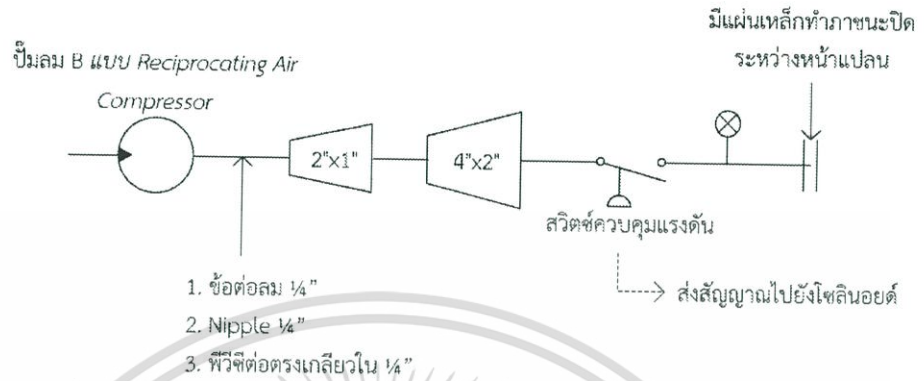
รูปที่ 5.21 แสดงภาพปั๊มลม B แบบ Reciprocating Air

4. ภาชนะปิดเพื่อจำลองความดัน
5. เกจวัดแรงดัน 1 ตัว
6. วาล์วปิดเร็ว
7. ท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว ความยาวมากกว่าความยาว fully developed flow
8. หน้าแปลนพีวีซี 4 นิ้ว 2 ตัว
9. ข้อต่อลม เกลียว 1/4" 2 ตัว
10. ครอบอกสูบลม (MAJ 25x250-50 S CM LB PT)
11. หมุดตัว Z (รายงานวิจัยฉบับนี้ใช้ นอตตัวผู้ M10 กับตัวเมีย)
12. สวิตช์ควบคุมความดันน้ำ 1 ตัว POLO รุ่น PC-2 AC 220 โวลต์ (ตั้งค่าที่ 3 บาร์บรรยากาศ)
13. รีเลย์ 1 ตัว AC 220V ยี่ห้อ SHINOHAWA
14. วาล์วลดแรงดัน (Pressure regulator) (ตั้งค่าไว้ที่ 2 บาร์บรรยากาศ)

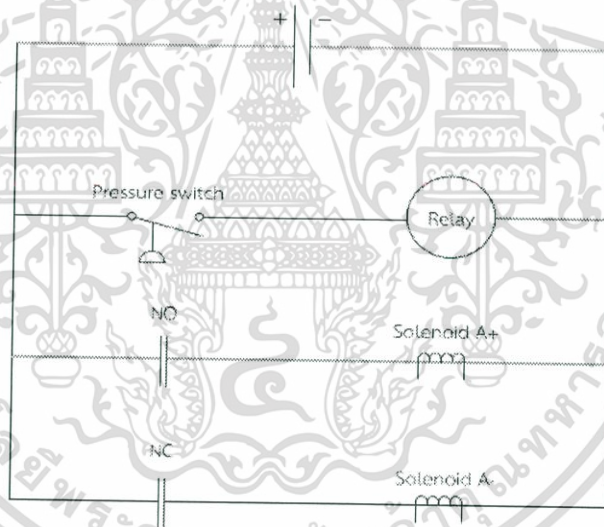
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

- ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.14 5.18 5.19 และ 5.20



รูปที่ 5.24 แสดงภาพ P&ID ของภาชนะปิดเพื่อจำลองความดัน



รูปที่ 5.23 แสดงภาพ ladder diagram

หมายเหตุ จากรูปที่ 5.19 Solenoid A+ หมายถึง ลูกสูบเคลื่อนที่โดยการยืดออก Solenoid A- หมายถึง ลูกสูบเคลื่อนที่โดยการหดเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดโปรแกรมควบคุมปั๊มหอยโขงลม เปิดปั๊ม และทำการป้อนค่าเปอร์เซ็นต์วาล์ว 100 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 5.6 หมายเลข 1 และทิ้งไว้เป็นระยะเวลาประมาณ 7-8 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่ steady state

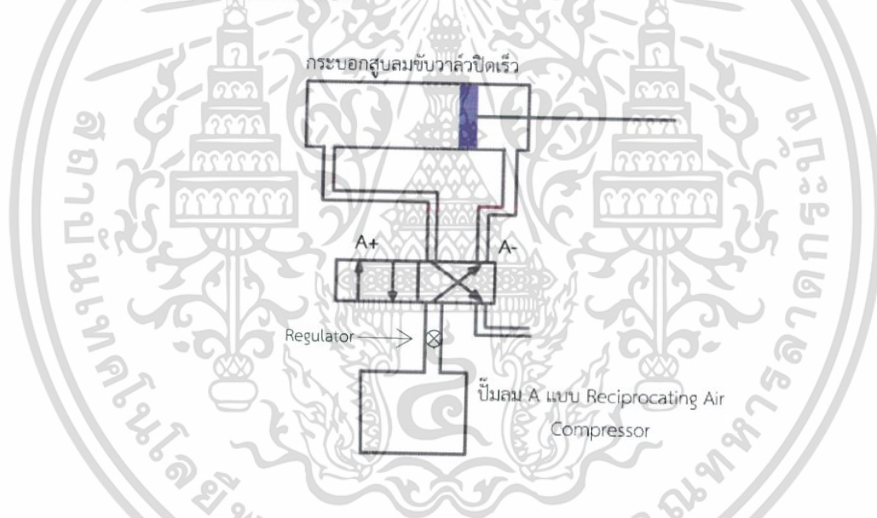
3. เช็คความเป็น steady state ด้วยการวัดอุณหภูมิของอากาศขาออกด้วยเทอร์โมมิเตอร์ดังรูปที่ 5.7 (รอกจนอุณหภูมิของอากาศขาออกไม่เพิ่มขึ้น) ในรายงานวิจัยฉบับนี้ อุณหภูมิของอากาศที่ขาออกขณะทำการทดลองที่ steady state มีค่าเท่ากับ 33.0 องศาเซลเซียส

4. เปิดปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor เพื่อให้อากาศมารอไว้ที่โซลินอยด์

5. ใช้กล่องวิตโอ้จบการเคลื่อนที่ของสวิตช์ควบคุมความดัน และก้านกระบอกสูบลม

6. เปิดปั๊มลม B แบบ Reciprocating Air Compressor ให้สวิตช์ควบคุมความดันทำงาน จะทำกระบอกสูบลูกออก

7. ทำซ้ำแบบเดิมจำนวน 5 ครั้ง



รูปที่ 5.25 แสดงภาพกลไกการขับวาล์ว

8. หลังจากนั้นนำวิตโอ้ที่ได้มาผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าเวลาล่าช้า (เวลาล่าช้า คือ ช่วงเวลาที่สวิตช์ควบคุมความดันเริ่มทำงานหรือเป็นวงจรปิดถึงลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่)

9. บันทึกผลและหาค่าเฉลี่ยของเวลาล่าช้า

หมายเหตุ สำหรับการนำไปใช้งานจริง ควรทำการทดลองที่สภาวะเดียวกับเงื่อนไขจริงที่จะนำวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วไปติดตั้งเพื่อความแม่นยำ และเที่ยงตรงที่สุดสำหรับการใช้งานวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วเมื่อติดตั้งพร้อมๆกับชุดทดลอง

5.6 การทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาในการปิดวาล์ว

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างแรงในการขับวาล์วกับเวลาที่ใช้ในการปิดวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว เพื่อให้มั่นใจว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการคำนวณ และสามารถปิดได้ทันเวลาก่อนที่คลื่นความดันจะผ่านวาล์วไปได้

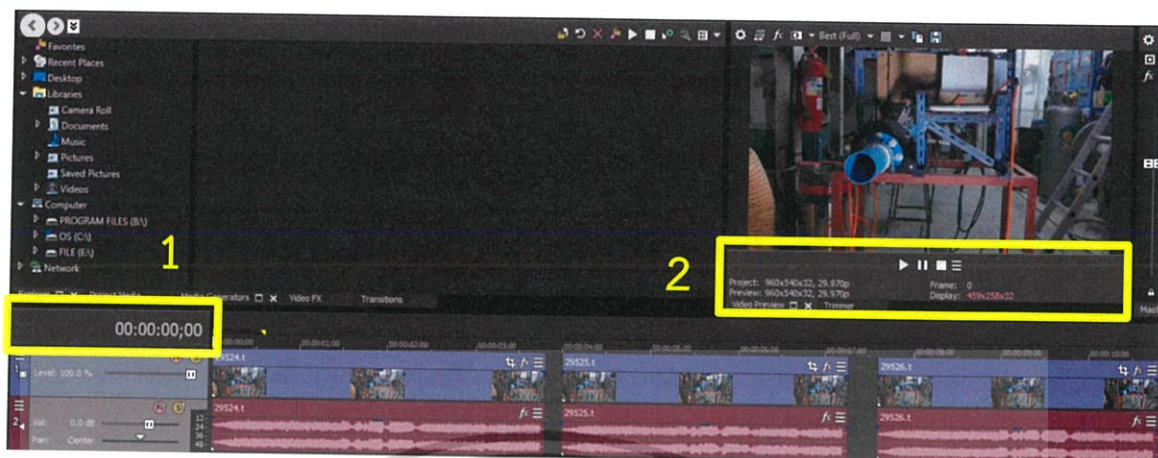
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

1. สายยางลมชนิด Polyurethane 100% ขนาด 8x12 มิลลิเมตร ความยาว 90.3 เมตร
2. ปัมลม 1 ตัว แบบ Reciprocating Air Compressor
3. วาล์วปิดเร็ว
4. ท่อพีวีซีขนาด 4 นิ้ว ความยาวมากกว่าความยาว fully developed flow
5. หน้าแปลนพีวีซี 4 นิ้ว 2 ตัว
6. ข้อต่อลม เกสสิว 1/4" 2 ตัว
7. กระจบอกสูบลม (MAJ 25x250-50 S CM LB PT)
8. หมุดตัว Z (รายงานวิจัยฉบับนี้ใช้ นอตตัวผู้ M10 กับตัวเมีย)
9. วาล์วลดแรงดัน (Pressure regulator)
10. ข้อต่อกระจบอกสูบลม (universal joint M10)

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.15
2. ทำการเซตค่าความดันที่เครื่องอัดอากาศโดยให้มีความดันตามค่าที่ดีไซน์แต่ละค่า
3. หลังจากเซตความดันเรียบร้อยแล้วนำสายลมมาต่อเข้ากับกระจบอกสูบลมเพื่อเตรียมปล่อยความดันที่ตั้งค่าไว้ พร้อมทั้งบันทึกวิดีโอเก็บเอาไว้ที่ความดันแต่ละค่า โดยที่ความดันหนึ่งค่าจะทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเวลาเฉลี่ยต่อไป (วิดีโอที่บันทึกมีความละเอียด 30 fps)
4. นำวิดีโอที่ได้เข้าโปรแกรมเพื่อปรับภาพให้ภาพบันทึกชัดและสังเกตการเคลื่อนที่ จังหวะเปิดสุดไปจนถึงจังหวะปิดสุดของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว โดยบันทึกเวลาที่ปรากฏขึ้นในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 องค์ประกอบโดยรวมของโปรแกรมบันทึกวิดีโอ



(1)

(2)

รูปที่ 5.27 ภาพขยายส่วนที่บันทึกเวลา (1) และสังเกตเฟรมเรทของวิดีโอ (2)

- นำเวลาที่บันทึกได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของความดันเครื่องอัดอากาศแต่ละความดันทั้งหมด 5 ค่า มาหาค่าเฉลี่ยก็จะได้เวลาที่กระบอกสูบนิวเมติกดันก้านวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วจากตำแหน่งเปิดสุดไปจนถึงปิดสุดของความดันเครื่องอัดอากาศแต่ละค่า

หมายเหตุ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้บันทึกค่าเวลานั้นสามารถใช้ได้ทุกโปรแกรมที่มีการระบุเฟรมเรทของวิดีโอที่บันทึกเพื่อให้แน่ใจว่าทุก ๆ หนึ่งหน่วยเวลาเฟรมเรทเปลี่ยนไปที่ละ 1 เฟรมเรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 ผลการเก็บค่าขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ เทียบกับค่าที่ใช้คำนวณ

เนื่องจากในกระบวนการผลิตย่อมมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะมาก หรือน้อยก็ตามจะขึ้นอยู่กับความแม่นยำของอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งในการผลิตวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าจะมีความผิดพลาดจากกระบวนการผลิตไม่เกินร้อยละ 5 เพื่อให้ผลที่คำนวณนั้นมีความแม่นยำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเก็บค่าขนาดของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ใช้ในการคำนวณ โดยแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

	ค่าจากการคำนวณ	ค่าจากการผลิต	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
ระยะร่องของด้านในหกเหลี่ยมด้านเท่าในชั้นส่วนวงกลมอยู่กับที่ (มิลลิเมตร)	62.00	62.70	1.12
ความหนาของชั้นส่วนสามเหลี่ยม (มิลลิเมตร)	6.00	6.10	1.64
รัศมีภายในของส่วนของวงกลมเคลื่อนที่ r_1 (มิลลิเมตร)	125.00	127.50	1.96
รัศมีภายนอกของส่วนของวงกลมเคลื่อนที่ r_2 (มิลลิเมตร)	50.80	50.70	0.20
R_1 ของส่วนของวงกลมเคลื่อนที่ (มิลลิเมตร)	125.0	130.0	3.85
R_2 ของส่วนของวงกลมเคลื่อนที่ (มิลลิเมตร)	285.0	284.0	0.35
ความยาวจากจุดศูนย์กลางของชั้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่จนถึงจุดศูนย์กลางของหมุด Z ณ ตำแหน่งเปิดสุด (l) (มิลลิเมตร)	243.8	243.8	0
มุมที่ก้านวาล์วใช้ในการเคลื่อนที่ (องศา)	53.0	53.4	0.75
มวลของชั้นส่วนสามเหลี่ยม 1 ชั้น (กิโลกรัม)	0.146	0.146	0
มวลของชั้นส่วนวงกลมเคลื่อนที่ (กิโลกรัม)	3.594	3.594	0

6.2 ผลการทดลองเก็บค่าความดันลด

เพื่อตรวจสอบค่าความดันลดที่เกิดขึ้นตกร่วมระหว่างหน้า และหลังวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วโดยที่หากค่าความดันลดเกิดขึ้นน้อยหรือไม่เกิดขึ้นนั้นก็ส่งผลต่อระบบลำเลียงขนส่งเชื้อเพลิง

กำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ และสภาวะที่ทำการทดลองค่าความดันลดวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็ว

1. ความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ 996 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
2. ค่าแรงโน้มถ่วง เท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที²
3. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ เท่ากับ 4 นิ้ว
4. ความหนาแน่นของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ความดัน 14.7 psi อุณหภูมิ 60°F เท่ากับ 1.222 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
5. ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 33 °F (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 1.1529 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
6. ความเร็วของอากาศ (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 20.228 เมตรต่อวินาที
7. Reynolds number (Re) ของอากาศภายในท่อ (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 62354.572 แสดงถึงว่าอากาศภายในท่อไหลแบบปั่นป่วน

ตารางที่ 6.2 บันทึกผลการทดลองเก็บค่าความดันลด

อัตราการไหลของอากาศภายในท่อ (เมตร ³ /วินาที)	ความดันลด h (มิลลิเมตรน้ำ)	ความดันลด (นิวตัน/ตารางเมตร)	ความดันลด (มิลลิบาร์)
0.165	6.7	65.46	0.6546
0.164	6.7	65.46	0.6546
0.164	6.7	65.46	0.6546
0.164	6.7	65.46	0.6546
0.164	6.6	64.49	0.6449

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2(ต่อ) บันทึกผลการทดลองเก็บค่าความดันลด

อัตราการไหลของอากาศภายในท่อ (เมตร ³ /วินาที)	ความดันลด h (มิลลิเมตรน้ำ)	ความดันลด (นิวตัน/ตารางเมตร)	ความดันลด (มิลลิบาร์)
0.163	6.5	63.51	0.6351
0.162	6.5	63.51	0.6351
0.162	6.4	62.53	0.6253
0.161	6.5	63.51	0.6351
0.161	6.5	63.51	0.6351
0.141	4.9	47.88	0.4788
0.140	4.9	47.88	0.4788
0.139	4.9	47.88	0.4788
0.139	4.8	46.90	0.4690
0.139	4.8	46.90	0.4690
0.128	4.1	40.06	0.4006
0.128	4.0	39.08	0.3908
0.127	4.0	39.08	0.3908
0.127	4.0	39.08	0.3908
0.127	3.9	38.11	0.3811
0.082	1.8	17.59	0.1759
0.082	1.7	16.61	0.1661
0.081	1.8	17.59	0.1759
0.080	1.8	17.59	0.1759
0.079	1.7	16.61	0.1661

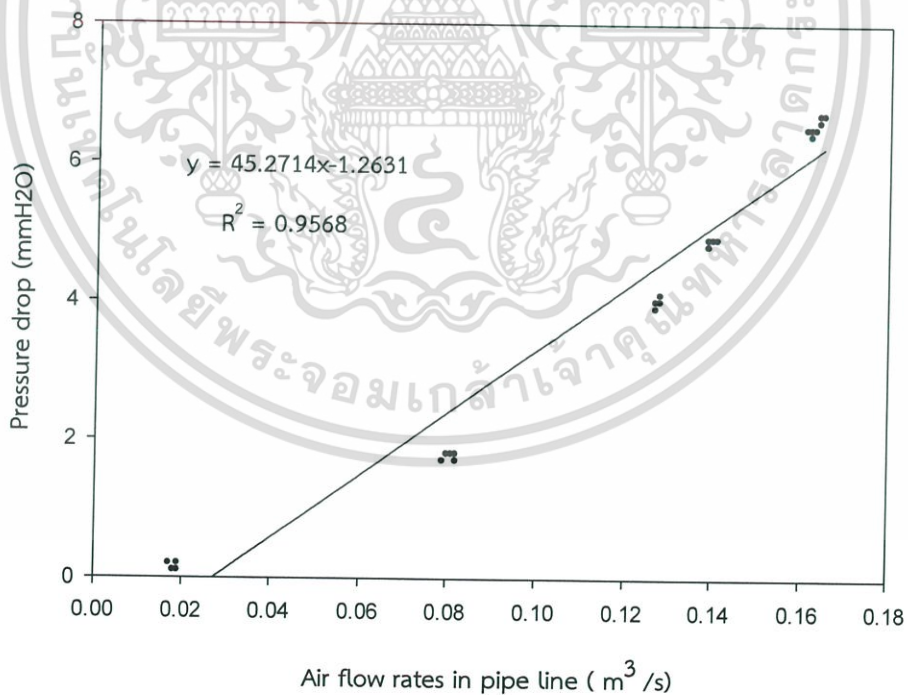
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2(ต่อ) บันทึกผลการทดลองเก็บค่าความดันลด

อัตราการไหลของอากาศภายในท่อ (เมตร ³ /วินาที)	ความดันลด h (มิลลิเมตรน้ำ)	ความดันลด (นิวตัน/ตารางเมตร)	ความดันลด (มิลลิบาร์)
0.019	0.2	1.95	0.0195
0.019	0.1	0.98	0.0098
0.019	0.1	0.98	0.0098
0.018	0.1	0.98	0.0098
0.017	0.2	1.95	0.0195

6.2.1 วิเคราะห์ผลการทดลองเก็บค่าความดันลด

จากตารางที่ 6.2 สามารถนำผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคอลัมน์ที่ 1 และ 2 และแสดงสมการถดถอยเชิงเส้น



รูปที่ 6.1 แสดงกราฟผลการทดลองเก็บค่าความดันลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามของ C_v (flow coefficient) คือ บ่งบอกถึงความสามารถไหลของของไหลที่วาล์วเปิด 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพิสูจน์มาจากสมการ Bernoulli เพื่อบ่งบอกถึงความดันลดที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับวาล์วในรูปแบบอื่น ๆ ได้ ว่ามีค่ามากหรือน้อย

สมการที่ 6.1 สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลของของไหลเมื่อผ่านวาล์วปิดเร็ว ซึ่งถูกดัดแปลงมาจากสมการค่าสัมประสิทธิ์การไหลของของไหลที่เป็นน้ำ (SIEMENS Valve and Valve Actuator Selection Guide)

$$C_v = \frac{Q_a \sqrt{G(T+460)}}{1360 \sqrt{\Delta P(P_2)}} \quad (6.1)$$

โดยที่

- C_v คือ สัมประสิทธิ์การไหลของของไหลเมื่อผ่านวาล์วปิดเร็ว (U.S. GPM ที่อุณหภูมิ 60°F)
- ΔP คือ ความแตกต่างของค่าความดันที่อัตราไหลของอากาศสูงสุด $P_1 - P_2$ (psi)
- Q_a คือ อัตราการไหลของอากาศภายในท่อ (SCFH หรือ ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมงที่สภาวะมาตรฐาน ความดัน 14.7 psi อุณหภูมิ 60°F)
- G คือ ความถ่วงจำเพาะของอากาศที่ไหลภายในท่อเทียบกับความถ่วงจำเพาะของอากาศที่ความดัน 14.7 psi อุณหภูมิ 60°F มีค่าเท่ากับ 0.9435
- T คือ อุณหภูมิของอากาศภายในท่อ (°F) มีค่าเท่ากับ 33 °F ดังรูปที่ 5.7
- P_2 คือ ความดันด้านออกจากวาล์ว(ตำแหน่ง B) (psia) $P_2 = P_1 - \text{ความดันลด}$
- P_1 คือ ความดันด้านเข้าวาล์ว(ตำแหน่ง A) (psia) ดังรูปที่ 5.2
- หมายเหตุ สมการที่ 6.1 ใช้ได้ก็ต่อเมื่อความดัน P_1 น้อยกว่าสองเท่าของความดัน P_2 หรือ ความดัน P_2 มากกว่าครึ่งหนึ่งของความดัน P_1
- ตั้งนั้นจากสมการที่ 6.1 และ ผลการทดลองในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.3 แสดงการคำนวณหาค่า C_v (คิดเฉพาะที่วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วเปิด 100 เปอร์เซ็นต์)

อัตราการไหลของอากาศภายในท่อ (m^3/s)	ความดันลด (Pa)	P_1 (psia)	P_2 (psia)	$P_1 - P_2$	Q_a (SCFH)	C_v
0.165	65.46	14.69907516	14.68958039	0.00949476	20976.945	942.00
0.164	65.46	14.69907516	14.68958039	0.00949476	20849.812	936.29
0.164	65.46	14.69907516	14.68958039	0.00949476	20849.812	936.29
0.164	65.46	14.69907516	14.68958039	0.00949476	20849.812	936.29
0.164	64.49	14.69907516	14.68972211	0.00935305	20849.812	943.35

จากตารางที่ 6.3 หาค่าสัมประสิทธิ์การไหลของของไหล C_v เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 938.842 U.S. GPM ที่อุณหภูมิ $60^\circ F$ ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าวาล์วปิดเร็วของรายงานฉบับนี้มีค่าความดันลดที่ต่ำเมื่อเทียบกับวาล์วประเภทเดียวกันนี้

6.3 การทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า (t_{detect})

สถานะที่ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า (t_{detect})

- อุปกรณ์เป็นไปตามการทดลองเก็บค่าของเวลาล่าช้า (t_{detect})
- ความดันของอากาศที่ไหลภายในท่อ มีค่าเท่ากับ 0.2158 มิลลิบาร์เกจ
- ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ $33^\circ F$ (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 1.1529 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- อัตราเร็วของอากาศ (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 20.228 เมตรต่อวินาที หรือ อัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ 0.164 เมตร³/วินาที
- Reynolds number (Re) ของอากาศภายในท่อ (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 62354.572 แสดงถึงว่าอากาศภายในท่อไหลแบบปั่นป่วน
- ความยาวของสายลมออกจากโซลินอยด์เข้ากระบอกสูบลมเพื่อให้กระบอกสูบลมยืดออก มีค่าเท่ากับ 60.5 เซนติเมตร
- ความยาวของสายไฟจากสวิตช์ควบคุมแรงดันจนถึงโซลินอยด์ 110 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 แสดงตารางบันทึกผลการทดลองเพื่อเก็บค่าของเวลาล่าช้า

ครั้งที่	เวลาล่าช้า (วินาที)
1	0.01
2	0.01
3	0.01
4	0.01
5	0.01

จากตารางที่ 6.4 สามารถสรุปได้ว่าค่ามากที่สุดของเวลาล่าช้า (t_{detect}) มีค่าเท่ากับ 0.01 วินาที

หมายเหตุ การหาค่าเวลาล่าช้าควรทดลองกับสภาวะจริงทุกประการเพื่อความปลอดภัย และข้อผิดพลาดน้อยที่สุด และการนำค่าเวลาล่าช้ามาใช้ในการคำนวณควรใช้ค่าเวลาล่าช้าที่มากที่สุด

6.4 ผลการทดลองเก็บค่าแรงที่ใช้ขับเคลื่อนเทียบกับเวลา

สภาวะที่ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าแรงที่ใช้ขับเคลื่อนเทียบกับเวลา

- อุปกรณ์เป็นไปตามการทดลองเก็บค่าของเวลาล่าช้า
- ความดันของอากาศที่ไหลภายในท่อ มีค่าเท่ากับ 0.2158 มิลลิบาร์เกจ หรือ 2.2 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 21.582 นิวตันต่อตารางเมตร
- ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 33 °F (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 1.1529 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- อัตราเร็วของอากาศ (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 20.228 เมตรต่อวินาที หรือ อัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ 0.164 เมตร³/วินาที
- Reynolds number (Re) ของอากาศภายในท่อ (ที่สภาวะวาล์วปิดเร็ว และวาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลรูปที่ 5.6 ทั้งสองเปิด 100 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 62354.572 แสดงถึงว่าอากาศภายในท่อไหลแบบปั่นป่วน
- ความยาวของสายลมออกจากถังเก็บความดันของปั๊มลม A ดังรูปที่ 5.16 เข้ากระบอกสูบลมเพื่อให้กระบอกสูบลมยืดออก มีค่าเท่ากับ 90.3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ขนาดของวาล์วดังตารางที่ 6.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต
8. กล้องบันทึกวิดีโอที่สามารถเก็บภาพได้อย่างน้อย 30 เฟรม/วินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 แสดงตารางบันทึกผลการทดลองเก็บค่าแรงที่ใช้ขับวาล์วเทียบกับเวลา

ความดันที่ออกจากบีมลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ)	เวลาที่ใช้(วินาที)	ความดันที่ออกจากบีมลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ)	เวลาที่ใช้(วินาที)
1.5	0.09	3	0.06
	0.1		0.06
	0.1		0.06
	0.09		0.06
	0.09		0.06
	0.09		0.06
1.7	0.08	3.5	0.05
	0.08		0.05
	0.08		0.04
	0.09		0.05
	0.08		0.04
	0.08		0.04
1.8	0.08	4	0.04
	0.08		0.04
	0.07		0.05
	0.08		0.04
	0.08		0.04
	0.08		0.04
1.9	0.08	5	0.04
	0.08		0.04
	0.07		0.04
	0.08		0.04
	0.08		0.04
	0.08		0.04
2	0.07	7	0.03
	0.07		0.03
	0.07		0.03
	0.07		0.04
	0.07		0.03
	0.07		0.03
2.5	0.07		
	0.06		
	0.07		
	0.06		
	0.06		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลองเก็บค่าแรงที่ใช้ขับวาล์วเทียบกับเวลา

จากตารางที่ 6.5 นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ไม่สามารถทำ flame rate ภาพ ได้สูงสุด 1000 fps หรือ ภาพละ 0.001วินาที เราจึงแบ่งตารางเป็น 2 แบบคือ

1. ความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ) กับ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ (วินาที)
2. ความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ) กับ เวลามากที่สุดที่ใช้(วินาที)

1. ความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ) กับ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ (วินาที) เพื่อจะได้อาจไปเปรียบเทียบกับแรงขับลมที่ได้จากการคำนวณเมื่อเทียบกับเวลา ว่าการคำนวณดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด

ตารางที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ) กับ เวลาเฉลี่ยที่ใช้(วินาที)

ความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ)	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ (วินาที)
1.5	0.094
1.7	0.082
1.8	0.078
1.9	0.078
2	0.07
2.5	0.064
3	0.06
3.5	0.046
4	0.042
5	0.04
7	0.032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

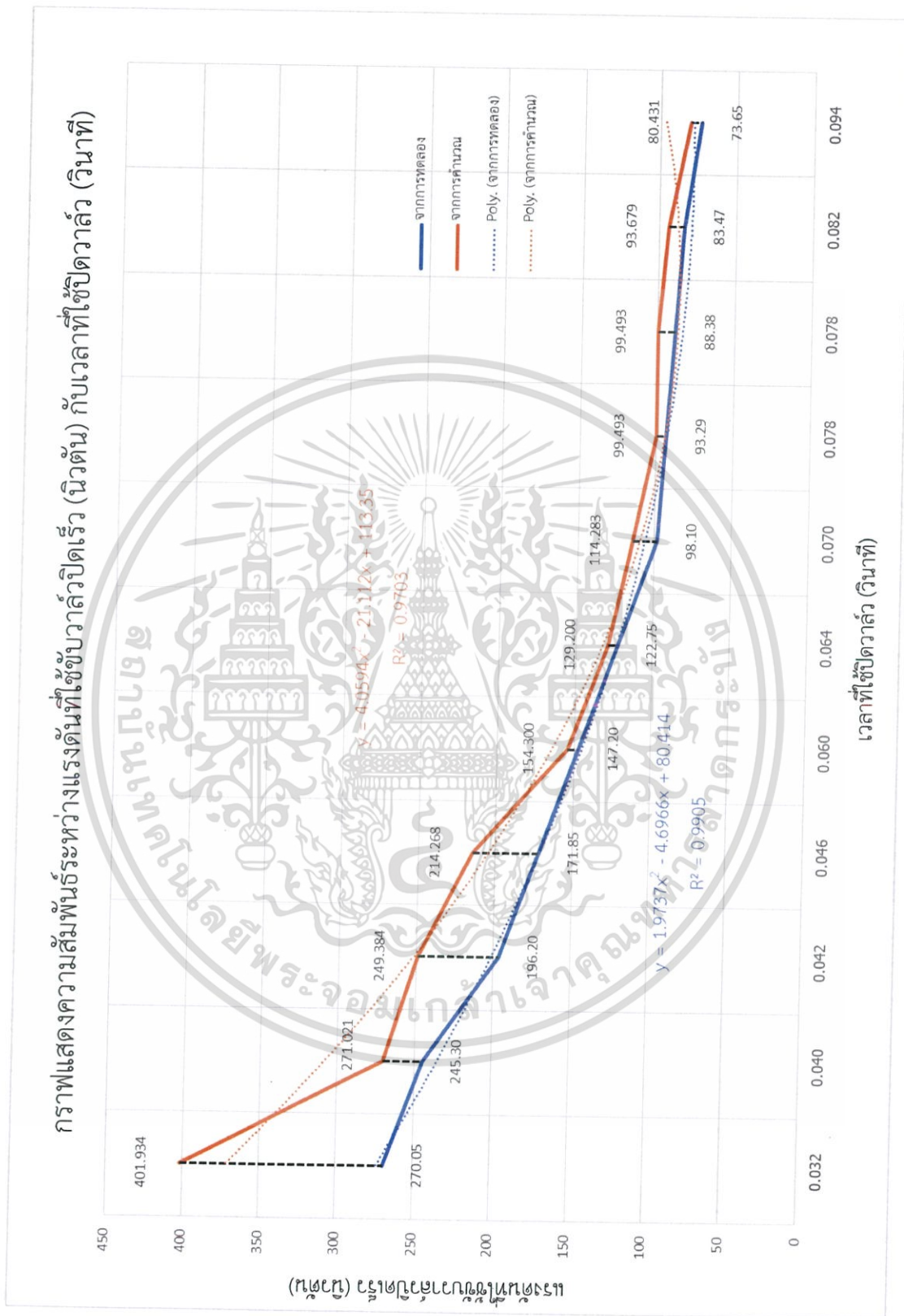
การที่นำเวลาที่ใช้จากผลการทดลองเก็บค่าแรงที่ใช้ปั๊มลมเทียบกับเวลามาหาค่าเฉลี่ย เพื่อหาเวลาที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของกล้องที่มีความเที่ยงตรงน้อย

จากตารางที่ 6.6 ทำการเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่จากการทดลองเทียบกับแรงดันที่ได้จากการคำนวณโดยที่ตัวแปรต้นตัวเดียวกัน นั่นคือเวลาที่ใช้เพื่อหาความน่าเชื่อถือสมการของการคำนวณ

ตารางที่ 6.7 แสดงตารางเปรียบเทียบระหว่างแรงดันที่จากการทดลองเทียบกับแรงดันที่ได้จากการคำนวณโดยที่ตัวแปรต้นตัวเดียวกัน

เวลาเฉลี่ยที่ใช้(วินาที)	ความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ)	แรงดันจากกระบอกสูบที่ได้จากการทดลอง (นิวตัน)	แรงดันจากการคำนวณในหัวข้อที่ 4.6 (นิวตัน)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
0.094	1.5	73.65	80.43	9.21
0.082	1.7	83.47	93.68	12.23
0.078	1.8	88.38	99.49	12.57
0.078	1.9	93.29	99.49	6.65
0.070	2.0	98.10	114.28	16.50
0.064	2.5	122.75	129.20	5.25
0.060	3.0	147.20	154.30	4.82
0.046	3.5	171.85	214.27	24.68
0.042	4.0	196.20	249.38	27.11
0.040	5.0	245.30	271.02	10.49
0.032	7.0	270.05	401.93	17.05

โดยเมื่อผู้วิจัยได้นำค่าที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 6.7 มาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการทดลองของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ใช้ปั๊มลมกับเวลาที่ใช้ปั๊มลม และการคำนวณได้ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในรูปที่ 6.2 ที่ ณ ตำแหน่งเวลาเดียวกัน แรงดันที่ใช้ขับเคลื่อนจากการคำนวณมีค่ามากกว่าแรงดันที่ใช้ขับเคลื่อนจากผลการทดลอง และมีแนวโน้มที่มากกว่าตลอดช่วงเวลาของเวลาที่ใช้ขับเคลื่อนตั้งแต่ 0.094 ถึง 0.032 วินาที

จากกราฟในรูปที่ 6.2 สมการถดถอยพหุคูณลำดับที่สอง จาก Microsoft Excel บ่งบอกว่า เมื่อเวลาที่ใช้น้อยลง กราฟจากการคำนวณมีแนวโน้มที่จะแบนออกจากกราฟการทดลอง ซึ่งถ้าต้องการใช้เวลาขับเคลื่อนที่น้อยลง ก็สามารถใช้สมการนี้ได้

2. ความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ) กับ เวลามากที่สุดที่ใช้ (วินาที) เพื่อความปลอดภัย และสามารถนำแรงขับลมไปใช้ได้จริง กับเวลาที่ต้องการ

ตารางที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ) กับ เวลามากที่สุดที่ใช้(วินาที)

ความดันที่ออกจากปั๊มลม A แบบ Reciprocating Air Compressor (บาร์เกจ)	เวลามากที่สุดที่ใช้ (วินาที)
1.5	0.1
1.7	0.09
1.8	0.08
1.9	0.08
2	0.07
2.5	0.06
3	0.06
3.5	0.05
4	0.05
5	0.04
7	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6.8 เพื่อให้วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วสามารถปิดได้ทันเวลาเพื่อป้องกันคลื่นความดัน และเปลวไฟที่เกิดจากการระเบิดของเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นของยางพาราด้วยกระบอกสูบลม Air Tec รุ่น (MAJ 25x250-50 S CM LB PT) ต้องให้ความดันของอากาศที่ออกจากถังเก็บความดัน A แบบ Reciprocating เข้าสู่ กระบอกสูบลมไม่ต่ำกว่า 5 บาร์เกจ เวลาที่ใช้ในการปิดวาล์วจะน้อยกว่า 0.0413 วินาที ตามที่ได้คำนวณในหัวข้อ 4.2.4 ที่สภาวะที่ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าแรงที่ใช้ขับวาล์วเทียบกับเวลาที่กล่าวมา

หมายเหตุ ถ้านอกเหนือสภาวะที่ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าแรงที่ใช้ขับวาล์วเทียบกับเวลาที่กล่าวมาควรคำนวณและทำการทดลองใหม่ เพื่อความปลอดภัย และแม่นยำสูงสุด

6.5 ผลการเก็บค่ารูรั่วที่มีขนาดใหญ่ที่สุด

เนื่องจากชิ้นส่วนสามเหลี่ยมขวางกันของวาล์วมีมุมแหลมบริเวณปลายซึ่งในทางทฤษฎี หรือในการออกแบบนั้นจะปิดได้แนบสนิทกันพอดี แต่ในความเป็นจริงนั้นบริเวณมุมแหลมลักษณะนี้จะไม่ได้ปิดกันสนิทพอดีทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในบริเวณนี้ และจากการคำนวณค่าหาช่องว่างที่จะทำให้เปลวไฟดับในหัวข้อที่ 4.13 เราคำนวณได้ช่องว่างที่เกิดขึ้นจะต้องมีค่าไม่เกิน 1.132 มิลลิเมตรในขณะที่วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วอยู่ในตำแหน่งที่ปิดโดยสมบูรณ์ โดยผู้วิจัยพบว่าเครื่องมือที่จะนำมาวัดเพื่อใช้อ้างอิงในการวัดช่องว่างขนาดเล็กในระดับมิลลิเมตรนั้นควรใช้ Taper Gauge ที่มีความละเอียดต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร แต่เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถหาเครื่องมือชนิดนี้ได้จึงได้เลือกใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย และสามารถนำมาอ้างอิงการวัดช่องว่างขนาดเล็กนี้ได้ โดยเลือกใช้สวัดเหล็กที่มีขนาดเล็กที่ 0.5 มิลลิเมตรดังรูปที่ 6.3

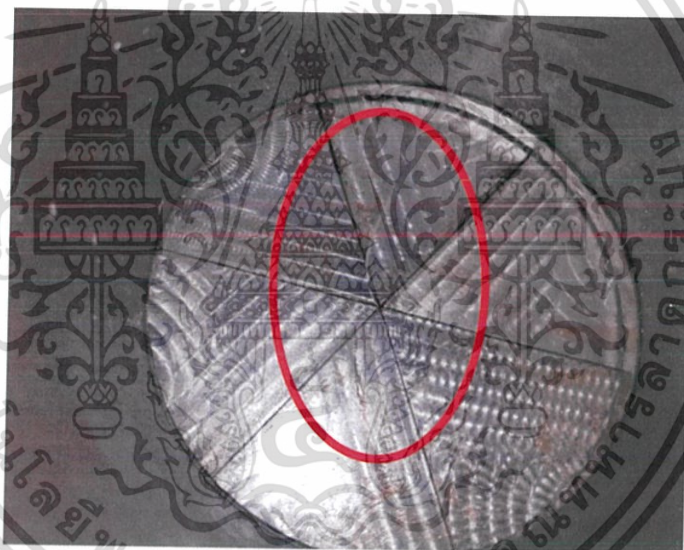


รูปที่ 6.3 แสดงการวัดขนาดเส้นลวด 0.50 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 แสดงช่องว่างของวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วขณะปิดสมบูรณ์



รูปที่ 6.5 ภาพแสดงการพยายามใช้ลวด 0.5 มิลลิเมตรสอดเข้ารูขนาดเล็ก

จากรูปที่ 6.5 สามารถสรุปได้ว่าวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วจะสามารถป้องกันไฟลามไม่ให้ลามผ่านไปได้ โดยที่รูขนาดเล็กนั้นมีขนาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากลวดเหล็กขนาด 0.5 มิลลิเมตรไม่สามารถลอดผ่านไปได้ ซึ่งจากการคำนวณหัวข้อที่ 4.13 รูขนาดเล็กนี้จะต้องเล็กกว่า 1.132 มิลลิเมตร เปลวไฟที่ลามย้อนกลับมาบริเวณท่อลำเลียงจึงจะดับ ซึ่งรูที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการผลิตนั้นมีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ดังนั้นเปลวไฟที่ลามย้อนกลับมานั้นไม่สามารถผ่านไปได้ และจะดับในที่สุดเนื่องจากขาดอากาศในการเผาไหม้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ลำดับสุดท้ายจะเป็นบทสรุป และข้อเสนอแนะสำหรับวิจัยการออกแบบวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วฉบับนี้ เพื่อเป็นการสรุปสาระ และใจความสำคัญให้แก่ผู้ที่สนใจต้องการศึกษาสำหรับการพัฒนาต่อไปในอนาคต

7.1 บทสรุป

วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 นิ้ว โดยมีเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นของยางพารา ทำงานที่สภาวะความดันของอากาศภายในท่อเท่ากับ 21.582 นิวตันต่อตารางเมตร (ความดันเกจ) ที่อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส อากาศไหลแบบปั่นป่วน และระบบควบคุมตามที่กล่าวมาในบทที่ 5 ด้วยที่เวลาล่าช้าของการทดลองนี้ มีค่าเท่ากับ 0.01 วินาที จะต้องใช้แรงดันเท่ากับ 271.021 นิวตันตามที่คำนวณ หรือความดันในถังเก็บความดันต้องไม่ต่ำกว่า 5 บาร์เกจ เพื่อให้เวลาที่ใช้เพื่อปิดวาล์วทั้งหมดน้อยกว่า 0.0513 วินาที(รวมเวลาล่าช้า)

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของของไหล C_v เฉลี่ยของวาล์วปิดเร็วมีค่าเท่ากับ 938.842 U.S. GPM ที่อุณหภูมิ 60°F ซึ่งแสดงว่าค่าความดันลดต่ำ

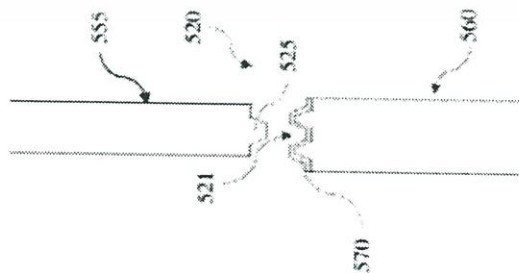
วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วสามารถทนแรงดันที่ 10 บาร์เกจมาจากการคำนวณเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน National Fire Protection Association 69 ในระดับความรุนแรงของการระเบิด (Explosion class) ที่ 1

ลำดับสุดท้ายนั้นเนื่องจากกระบวนการผลิตนั้นมีค่าความผิดพลาดเล็กน้อยทำให้เกิดช่องว่าง ณ ตำแหน่งสามเหลี่ยมขวางกันทั้ง 6 ชั้น ซึ่งจากการทดลองพบวาล์วช่องว่างนี้มีขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร และจากการคำนวณช่องว่างนี้จะต้องมีขนาดเล็กกว่า 1.132 มิลลิเมตร เปลวไฟจึงจะดับ ซึ่งช่องว่างที่ได้ทำการเก็บค่าจากการทดลองมีขนาดเล็กกว่าซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขจากการคำนวณ

ดังนั้น วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วฉบับนี้จะสามารถปิด ป้องกันคลื่นความดัน และป้องกันไฟลามภายในท่อขนส่งลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลแบบฝุ่นเพื่อลดความเสียหายที่อาจก่อให้เกิดการสูญเสียทางชีวิต และทรัพย์สินได้ไม่มากนัก

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากวาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วขั้นปัจจุบันของวิจัยฉบับนี้ยังมีระยะช่องว่างระหว่างหมุดสี่เหลี่ยมภายในร่องทางเดิน 5 เหลี่ยมอยู่เล็กน้อยทำให้มีความรู้สึกคลอนในบางครั้งเนื่องจากผู้วิจัยได้เผื่อขนาดให้กับทางผู้ผลิตไว้มากเกินไปเล็กน้อย (0.5 มิลลิเมตร) ผู้วิจัยจึงขอแนะนำให้ใช้พิกัดการเพื่อสำหรับการสวมประกอบเพลลาแบบ Coarse Tolerance (H11/c11 หรือ C11/h11) แทน ซึ่งเหมาะกับชิ้นงานที่มีความสกปรกจากการใช้งาน หรือต้องการให้สามารถถอดออกเพื่อทำความสะอาดได้สะดวก
2. จุดยึดของกระบอกสูบแบบอยู่กับที่รับแรงในแนวแกน เมื่อบริเวณหมุด Z เกิดการติดขัด บริเวณหมุด Z จะทำตัวเหมือนจุดหมุน ดังนั้น จะเกิดแรงปฏิกิริยา ทำให้ก้านของกระบอกสูบเกิดการโก่งเล็กน้อย จึงเสนอแนะให้เปลี่ยนจุดยึดด้านหลังเป็นแบบจุดหมุนแทนจุดยึดอยู่กับที่เพื่อให้กระบอกสูบยกขึ้นแทนที่จะเกิดการโก่ง จึงจะเป็นการยืดอายุการใช้งานให้กระบอกสูบได้ หรือบริเวณหมุดควรลดแรงเสียดทานด้วยการเคลือบผิว เช่น ชุบทองแดง เป็นต้น
3. ชิ้นส่วนสามเหลี่ยมขวางกันปัจจุบันใช้วัสดุ SS400 เนื่องจากเรื่องค่าใช้จ่ายที่มีจำกัดจึงใช้วัสดุนี้ในการศึกษาการเคลื่อนที่เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการออกแบบ แต่ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้วัสดุเป็น Stainless steel 304 แทนหากมีการนำไปพัฒนาต่อในภายภาคหน้า เนื่องจากวัสดุจะมีความแข็งแรงมากกว่า อีกทั้งยังทนต่อการกัดกร่อน และทนต่อการเกิดสนิมได้ดีกว่าวัสดุปัจจุบัน อีกทั้งยังมีความเป็นมาตรฐานในระดับสากลสำหรับวาล์วความปลอดภัย
4. วาล์วป้องกันไฟลามแบบปิดเร็วรูปแบบปัจจุบันที่ร่องทางเดินสำหรับปิดขวางกันนั้นปัจจุบันมีการลดระดับลงไป 1 ชั้นดังรูปที่ 4.15 เพื่อให้การปิดแนบสนิทได้ดีแต่ผู้วิจัยแนะนำให้เปลี่ยนรูปแบบการประกอบบริเวณนี้เป็นแบบร่องทางเดินโค้งรับกันของแต่ละชิ้นส่วนสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 7.1 แทนการลดการลดระดับลงไป 1 ชั้น เพื่อลดการรั่ว โดยอาศัยหลักการความดันลด สามารถดูลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับ labyrinth seal principle



รูปที่ 7.1 ตัวอย่างลักษณะร่องทางเดินรับกัน(Patent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความหนาของชิ้นส่วนสามเหลี่ยม ควรใช้ที่ 7 มิลลิเมตรเพื่อให้ มีค่าความปลอดภัยมากกว่า 3.5 เพื่อให้สอดคล้อง ค่าความปลอดภัยของ pressure vessels (3.5 - 6)
6. ระยะเวลาบอกลูกสูบเราสามารถเลือกบอกลูกสูบที่ไม่จำเป็นต้องสามารถปรับระยะชัก เพื่อลดค่าใช้จ่ายของบอกลูกสูบ โดยการคำนวณย้อนกลับในหัวข้อที่ 4.6.3 เพื่อหาตำแหน่งของหมุด Z แทน ตามที่ระยะชักที่มีอยู่ในมาตรฐาน แต่อาจจะมียผลต่อราคาในการผลิตตัวก้านวาล์ว
7. บริเวณที่เสียดสีกันระหว่างเหล็กระหว่างการเคลื่อนที่ อาจจะทำการลดแรงเสียดทานด้วยการเคลือบผิว หรือ เปลี่ยนวัสดุ เพื่อให้ลดแรงที่ใช้ในการขับวาล์วลงได้
8. ถ้าที่สภาวะการทำงานของวาล์วปิดเร็วตามรายงานวิจัยฉบับนี้ เราสามารถปรับเปลี่ยนบอกลูกสูบให้มี Bore diameter ของบอกลูกสูบเพิ่มขึ้น เพื่อให้ลดความดันของอากาศที่ใช้ลง หรือให้มี Bore diameter ของบอกลูกสูบลดลง แต่ความดันของอากาศที่ใช้ก็จะเพิ่มขึ้น
9. ถ้ามีอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าเวลาที่ขับวาล์วที่ละเอียดขึ้น หรือ fps ของกล่องดีซี ก็จะสามารถลดแรงดันที่ใช้ขับวาล์วลงได้
10. ในการคำนวณหาแรงขับบอกลูกสูบ จะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่ใช้งาน ดังนั้น สภาวะแวดล้อมที่ถูกนำมาคำนวณ คือ สภาวะทดลองของรายงานวิจัยฉบับนี้

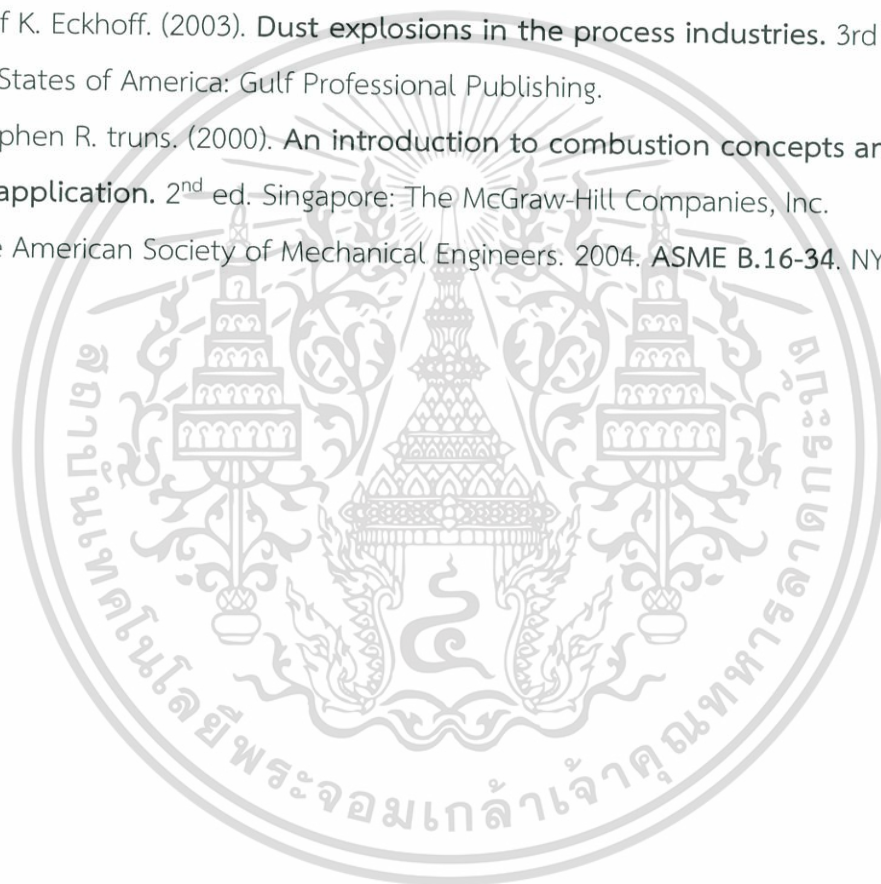
เนื่องจากระบบความปลอดภัยจะถูกให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนี้จะไม่มีการผลิตสินค้าเป็นจำนวนมาก ผู้ผลิตจะผลิตตามสภาวะแวดล้อมของอุปกรณ์ที่ถูกนำไปใช้ หรือ เรียกว่า ง่าย ๆ ผลผลิตที่เฉพาะในแต่ละสภาวะนั้น ๆ ที่ต้องการติดตั้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฉัตรเฉลิม แก้วขมภู. (2557). Effect of secondary air swirler shape on flow aerodynamic and combustion of pulverized biomass. กรุงเทพมหานคร: สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] ชินภัทร ชูการ. (2557). การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] CEN members. (2009). Explosion isolation systems. British:
- [4] Buddy-Nisbett. (2006). Shigley's Mechanical Engineering Design. 8th ed. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [5] E. Andrews. (2014). Pulverised biomass flame propagation and explosion characteristics. UK: University of Leeds
- [6] E. Meland, V. Henriksen, E. Hennie, M. Rasmussen. (2010). Spectral analysis of internally leaking shut-down valves. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- [7] Gordon E. Andrew. (2014). Turbulent flame speed and laminar burning speed velocities of dust. U. Leeds. UK
- [8] H. Jiang, M. Bi, B. Li, B. Gan, W. Gao. (2018). Combustion behaviors and temperature characteristics in pulverized biomass dust explosions. China: Dalian University of Technology
- [9] I.R. Chinyaev, A.V. Fominykh, E.A. Ilinykh. (2016). The Valve is a Shutoff for the Passive Protection Systems of Pipelines. Kurgan: International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016.
- [10] J. Taveau, (2017). Dust explosion propagation and isolation. USA: Journal of Loss Prevention in the Process Industries
- [11] M. Aminuddin, A. Ali, N. Azlan. DESIGN OF IRIS MECHANISM FOR FLEXION AND

EXTENSION TRAINING IN HAND REHABILITATION. Malaysia: Department of Mechatronic Engineering

- [12] M.M. Tverskoya, V.N. Andrianovb, A.V. Sokolova. (2017). **Creating New Generation of Actuators for Shut-off and Control Ball Valves with Double-Gate**. Chelyabinsk: South Ural State University.
- [13] NFPA, (2007). **National Fire Protection Association 69**.
- [14] R. Beeman, J. Brajkovich. (1978). **Variable orifice using an iris shutter**. California: United states department of energy
- [15] Rolf K. Eckhoff. (2003). **Dust explosions in the process industries**. 3rd ed. United States of America: Gulf Professional Publishing.
- [16] Stephen R. truns. (2000). **An introduction to combustion concepts and application**. 2nd ed. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [17] The American Society of Mechanical Engineers. 2004. **ASME B.16-34**. NY. USA





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ตารางสำหรับการออกแบบ และคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเหล็ก SS400

Mechanical Properties:

Name of material	SS400
Density (kg/m ³)	7860
Young's Modulus (GPa)	190-210
Tensile Strength (MPa)	400 – 510
Yield Strength (MPa)	205-245
Poisson's ratio	0.26
Brinell Hardness (HB)	160
Melting Point	1430 C
DIN Equivalents	17100 St 44-2
ASTM Equivalents	ASTM A36, ASTM A283 Grade D

From

<http://mechanichart.blogspot.com/2013/05/mechanical-properties.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

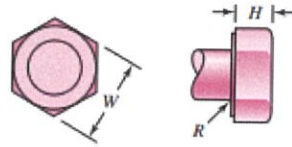
ตารางที่ 2 ความหนาผนังน้อยที่สุดของตัวเรือนวาล์วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

Table 3-A Valve Body Minimum Wall Thickness, t_m , mm

Inside Dia. d , mm [Note (1)]	Minimum Wall Thickness — t_m , mm						
	Class 150	Class 300	Class 600	Class 900	Class 1500	Class 2500	Class 4500
3	2.5	2.5	2.8	2.8	3.1	3.6	4.9
6	2.7	2.7	3.0	3.1	3.5	4.2	6.5
9	2.8	2.9	3.2	3.4	3.8	4.9	8.0
12	2.9	3.0	3.4	3.7	4.2	5.6	9.6
15	3.1	3.3	3.6	4.2	4.8	6.6	12.0
18	3.3	3.5	3.9	4.7	5.3	7.7	14.3
21	3.5	3.7	4.2	5.2	5.9	8.7	16.7
24	3.7	4.0	4.4	5.7	6.4	9.7	19.0
27	3.9	4.3	4.8	6.3	7.2	11.1	22.2
31	4.3	4.7	5.1	6.6	8.1	12.8	26.1
35	4.6	5.1	5.4	6.9	9.0	14.5	30.0
40	4.9	5.5	5.7	7.2	9.9	16.2	33.9
45	5.2	5.9	6.0	7.5	10.8	17.9	37.9
50	5.5	6.3	6.3	7.8	11.8	19.6	41.8
55	5.6	6.5	6.3	8.3	12.7	21.3	45.7
60	5.7	6.6	6.6	8.8	13.6	23.0	49.6
65	5.8	6.8	6.9	9.3	14.5	24.7	53.6
70	5.9	6.9	7.3	9.9	15.5	26.4	57.5
75	6.0	7.1	7.6	10.4	16.4	28.1	61.4
80	6.1	7.2	8.0	10.9	17.3	29.8	65.3
85	6.2	7.4	8.3	11.4	18.2	31.5	69.3
90	6.3	7.5	8.6	11.9	19.1	33.2	73.2
95	6.4	7.7	9.0	12.5	20.1	34.9	77.1
100	6.5	7.8	9.3	13.0	21.0	36.6	81.0
110	6.5	8.0	10.0	14.0	22.8	40.0	88.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ระยะของ Hexagonal nut [4]

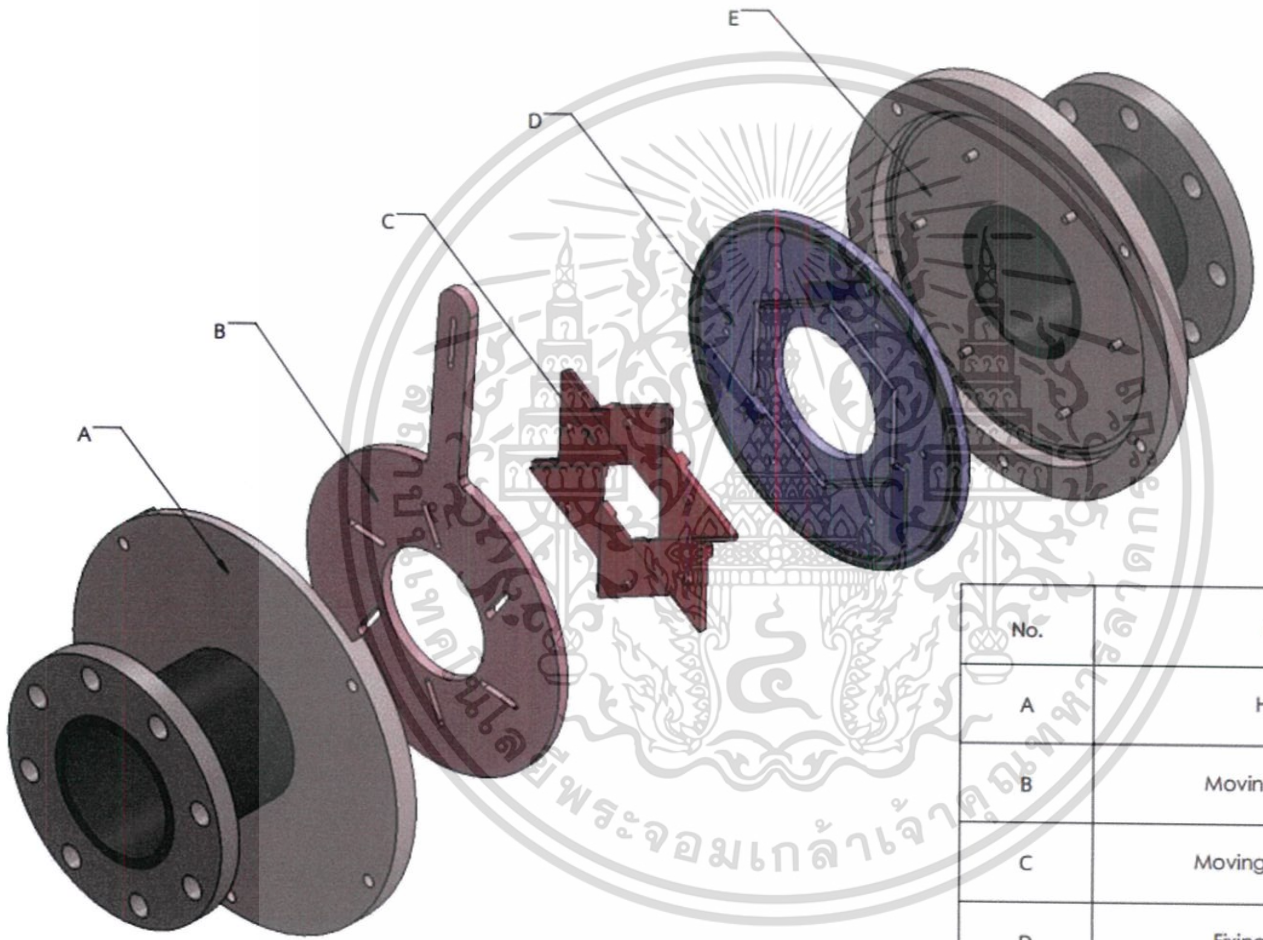


Nominal Size, in	Width W	Height H		
		Regular Hexagonal	Thick or Slotted	JAM
1/4	7/16	7/32	9/32	5/32
5/16	1/2	17/64	21/64	3/16
3/8	9/16	21/64	13/32	7/32
7/16	11/16	3/8	29/64	1/4
1/2	3/4	7/16	9/16	5/16
9/16	7/8	31/64	39/64	5/16
5/8	15/16	35/64	23/32	3/8
3/4	1 1/8	41/64	13/16	27/64
7/8	1 5/16	3/4	29/32	31/64
1	1 1/2	55/64	1	35/64
1 1/8	1 11/16	31/32	1 5/32	39/64
1 1/4	1 7/8	1 1/16	1 1/4	23/32
1 3/8	2 1/16	1 11/64	1 3/8	25/32
1 1/2	2 1/4	1 9/32	1 1/2	27/32
Nominal Size, mm				
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M12	18	10.8	12.0	6.0
M14	21	12.8	14.1	7.0
M16	24	14.8	16.4	8.0
M20	30	18.0	20.3	10.0
M24	36	21.5	23.9	12.0
M30	46	25.6	28.6	15.0
M36	55	31.0	34.7	18.0

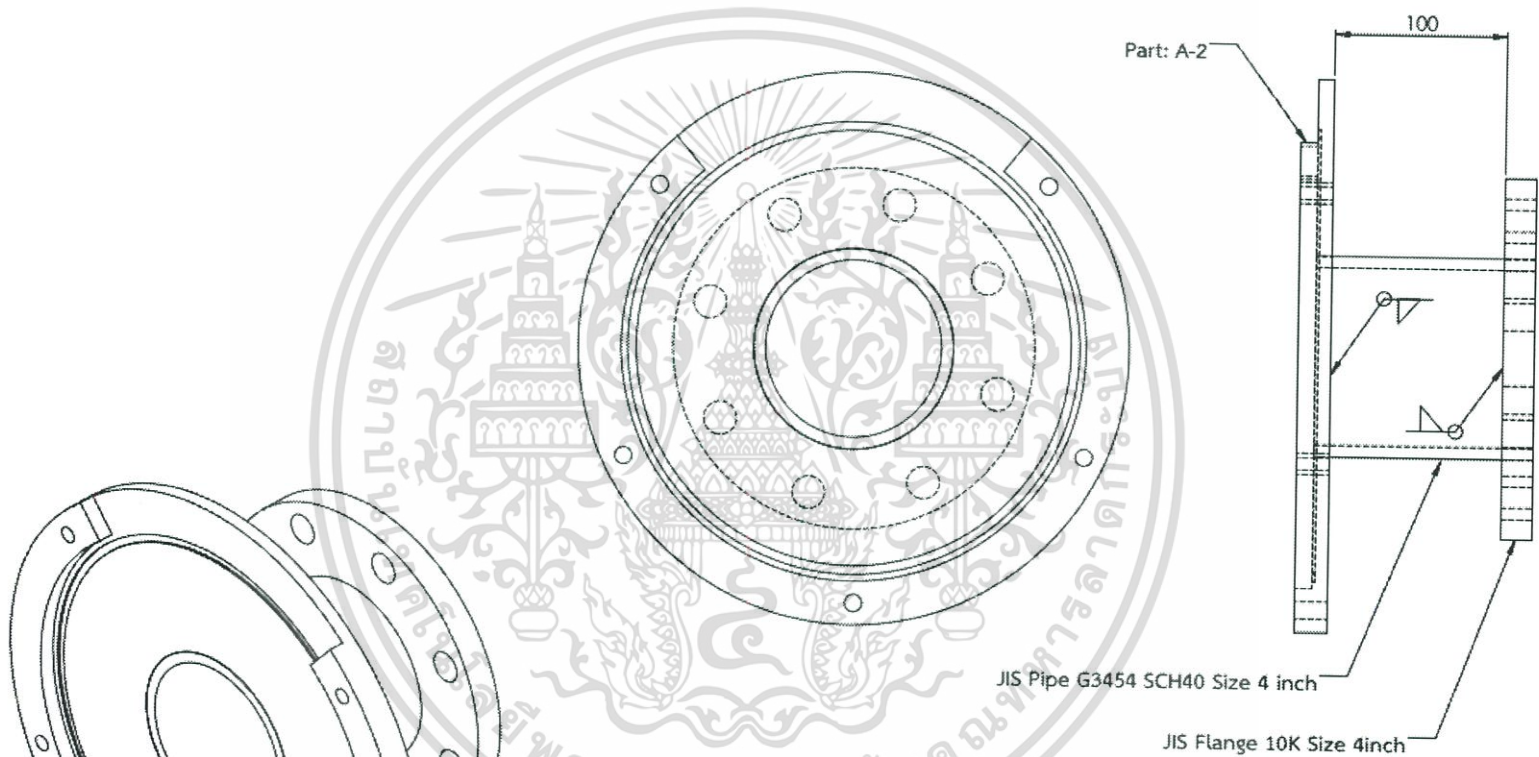
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



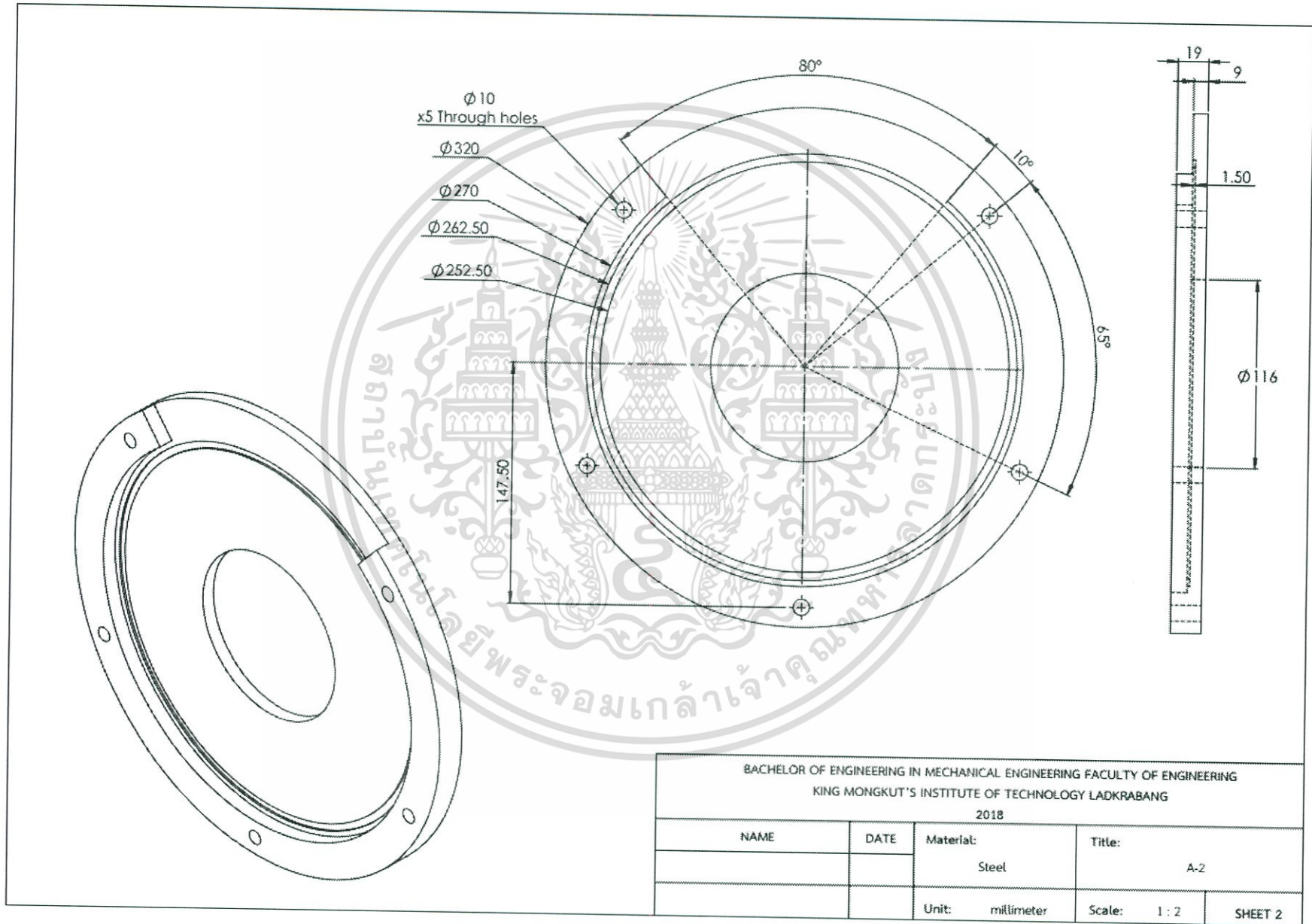
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



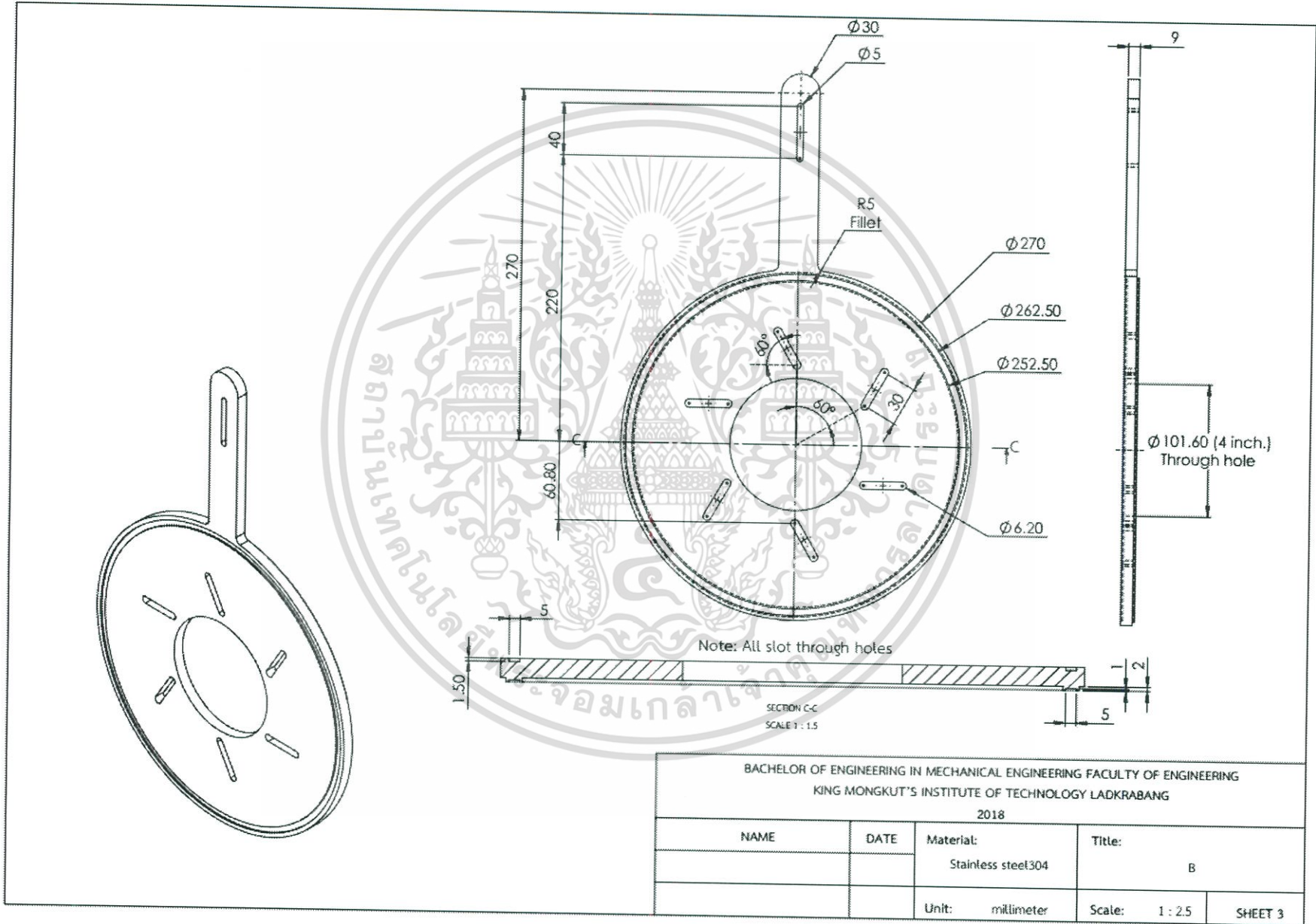
No.	Name
A	Housing
B	Moving circle part
C	Moving triangle part
D	Fixing circle part
E	Housing



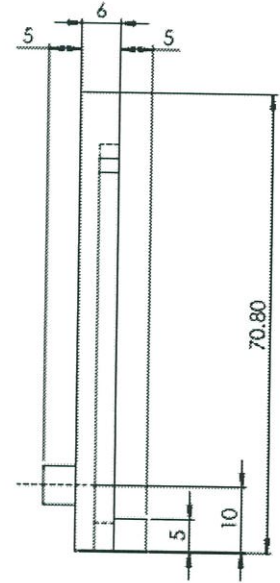
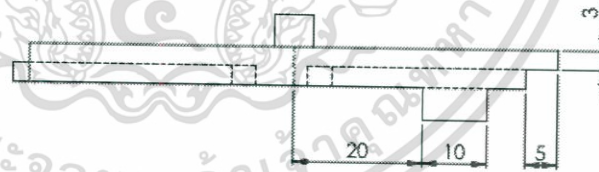
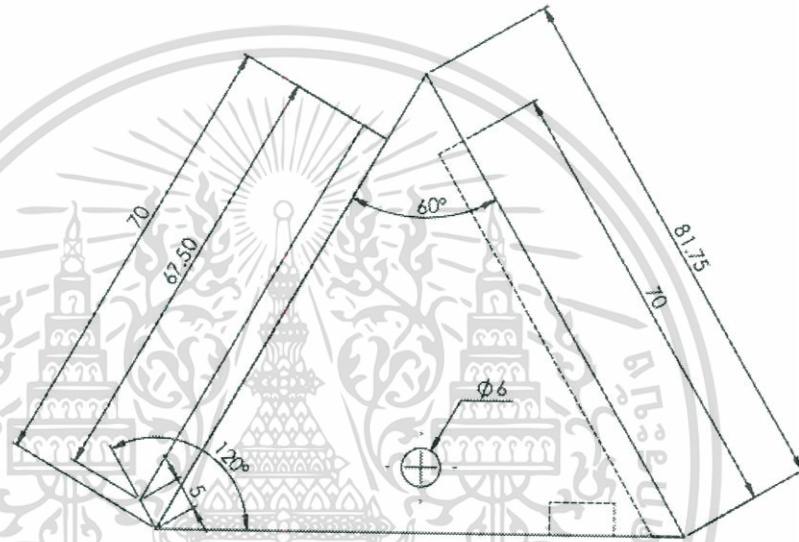
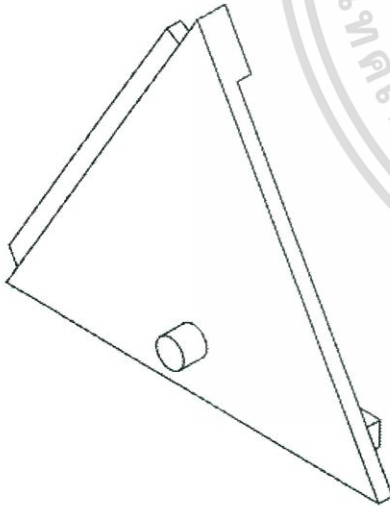
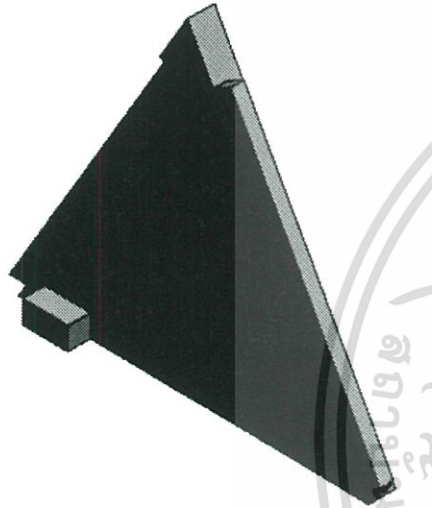
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2018			
NAME	DATE	Material: Steel	Title: A-1
		Unit: millimeter	Scale: 1 : 2.5
			SHEET 1



BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2018			
NAME	DATE	Material: Steel	Title: A-2
		Unit: millimeter	Scale: 1 : 2
			SHEET 2

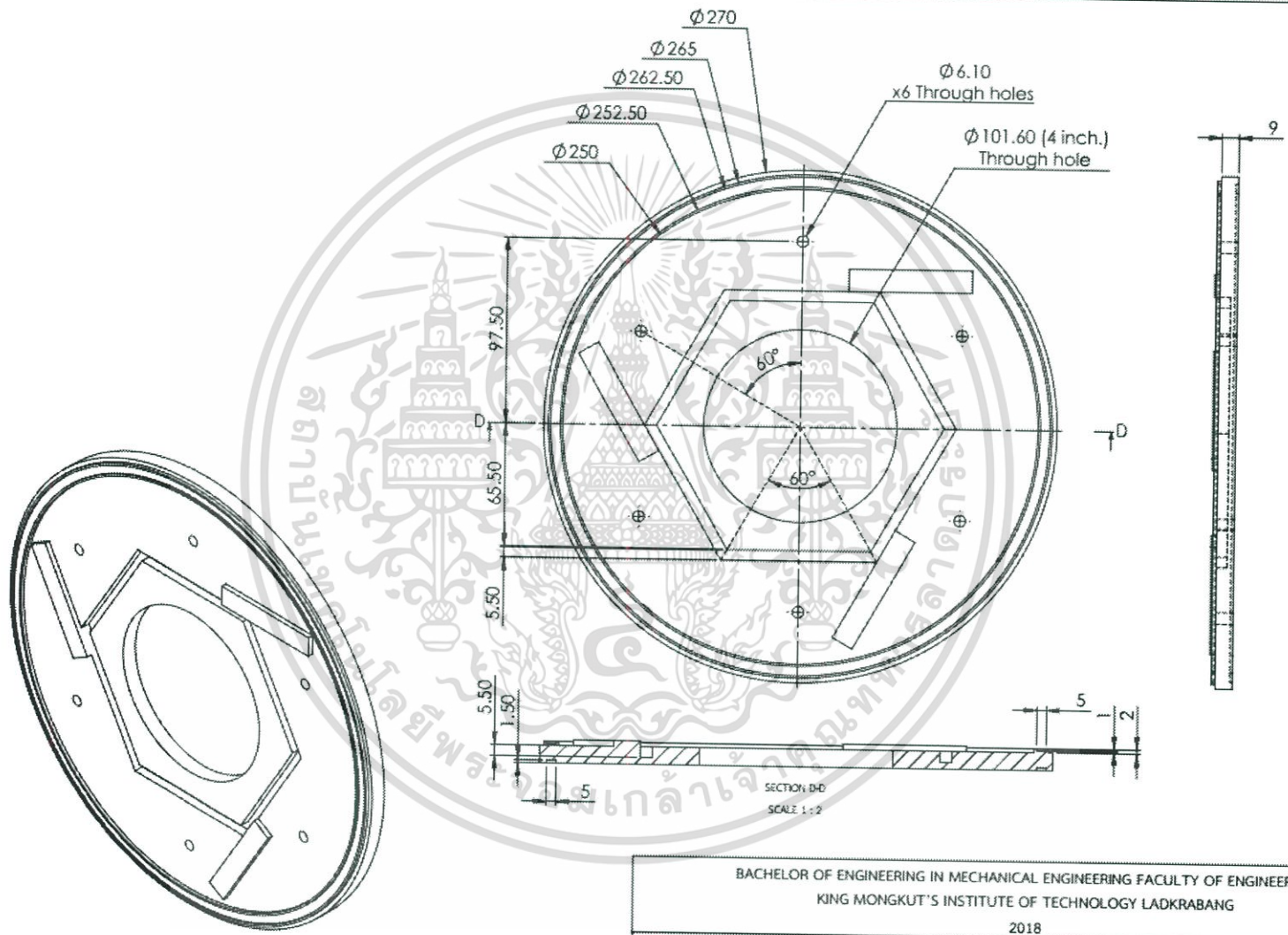


BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2018			
NAME	DATE	Material: Stainless steel 304	Title: B
		Unit: millimeter	Scale: 1 : 2.5
			SHEET 3



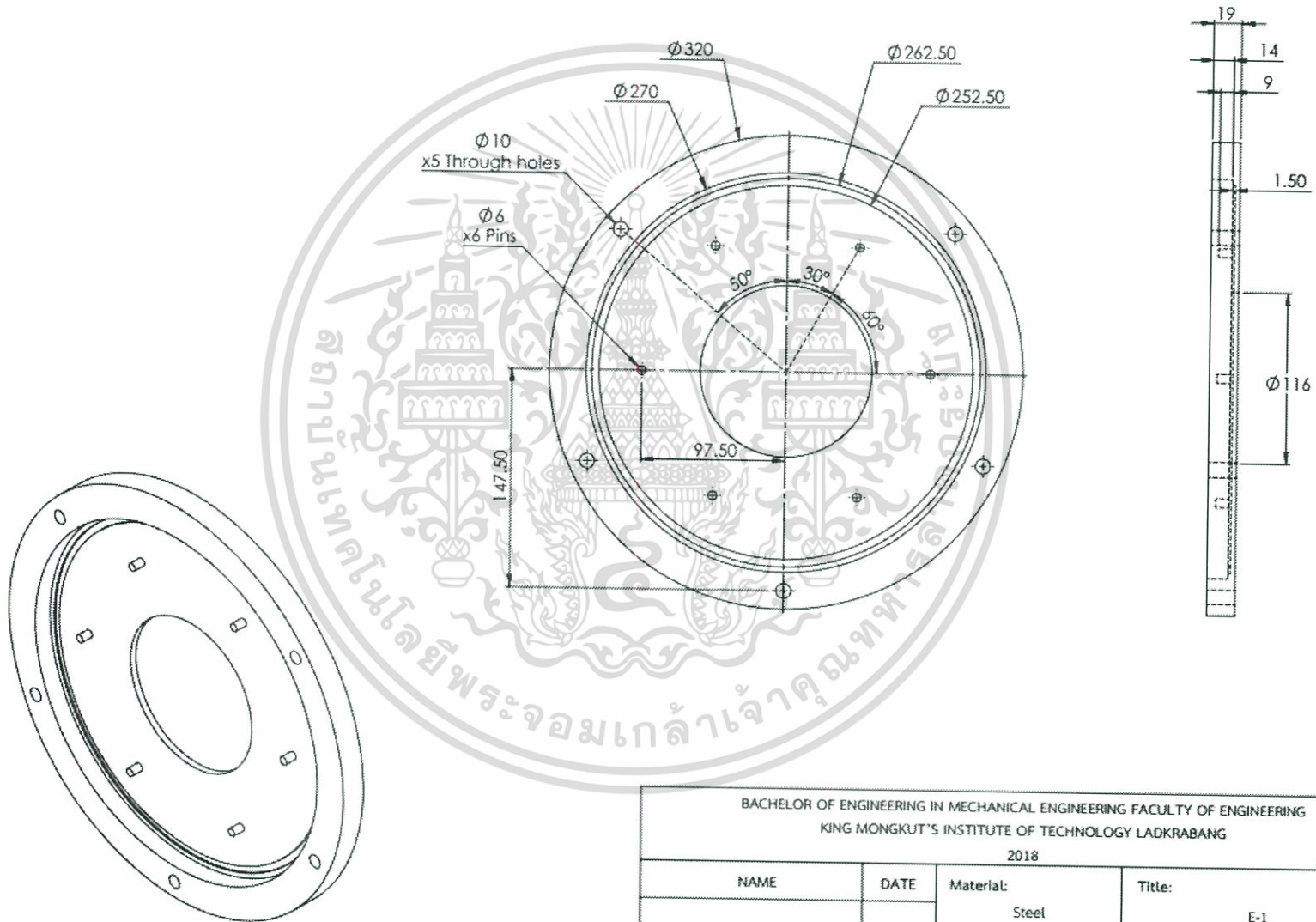
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
 KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
 2018

NAME	DATE	Material: Stainless steel 304	Title: C
		Unit: millimeter	Scale: 1.5 : 1
			SHEET 1

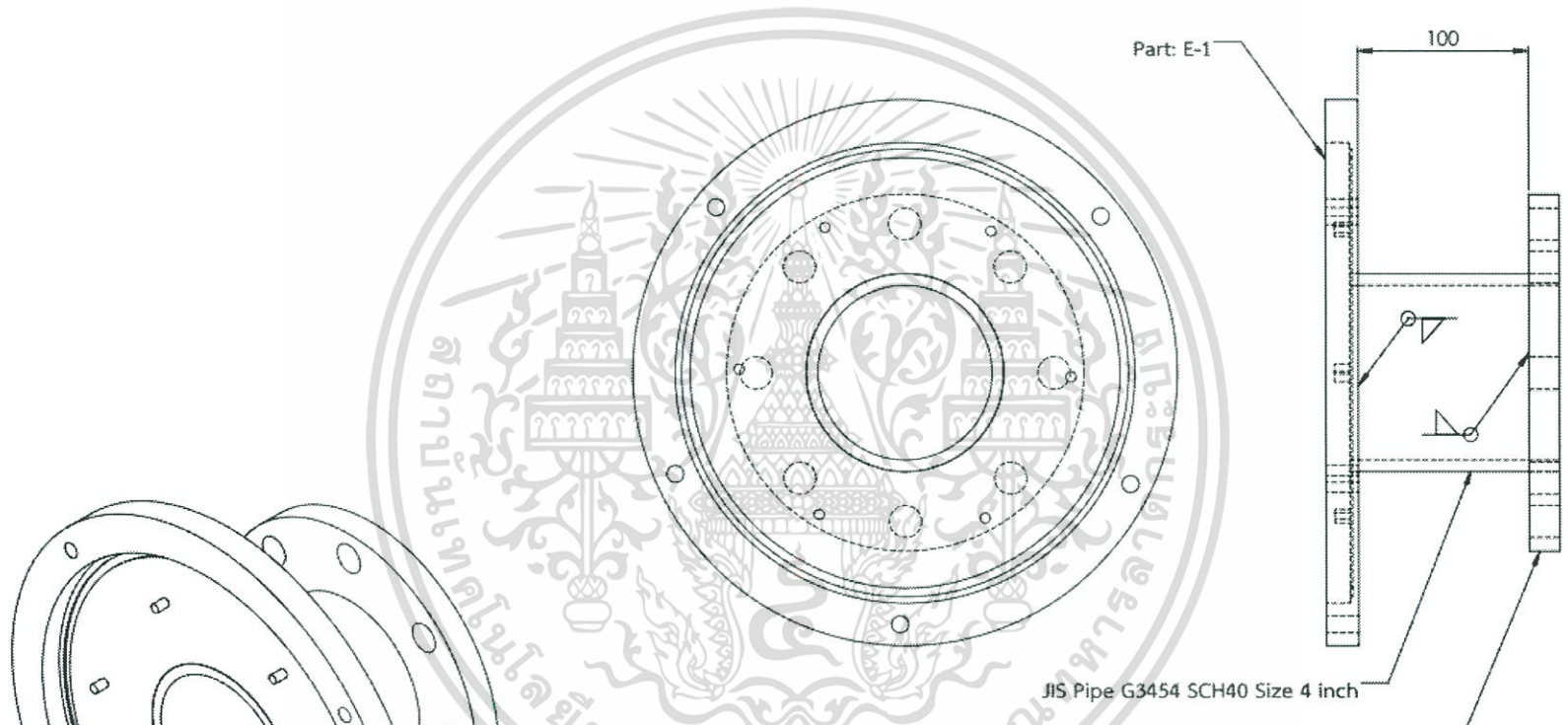


BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
 KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
 2018

NAME	DATE	Material:	Title:
		Steel	D
		Unit: millimeter	Scale: 1 : 2
			SHEET 5



BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2018			
NAME	DATE	Material: Steel	Title: E-1
		Unit: millimeter	Scale: 1 : 2.5
			SHEET 6



BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG 2018			
NAME	DATE	Material: Steel	Title: E-2
		Unit: millimeter	Scale: 1 : 2.5
			SHEET 7