

ชุดสถิติการหาจุดศูนย์กลางความดัน

Center of Pressure Apparatus



นายภาณุมาศ

น้อยสำดี

นายวิสิทธิ์

กัลยาภานันท์

นายสมทรง

แสนนา

โครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ. 2543

หัวข้อโครงการวิศวกรรมศาสตร์

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ชุดสาริการหาจุดศูนย์กลางความคั่น

นายภานุมาศ น้อยสำลี

นายวิสิทธิ์ กัลยาภานันท์

นายสมทรง แสนนา

วิศวกรรมเครื่องกล

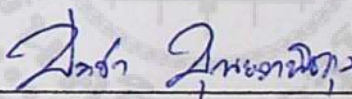
อาจารย์ประจำ บุษยวานิชกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม



ประธานกรรมการ

(อาจารย์ประจำ บุษยวานิชกุล)

กรรมการ

(อาจารย์วิจิต บัวแก้ว)

กรรมการ

(อาจารย์ตำรวจ ละครนันท์)

กรรมการ

(อาจารย์ภาคภูมิ ศรีมรินทร์)

ชุดสาธิตการหาจุดศูนย์กลางความดัน

ปีการศึกษา 2542

โดย

นายภานุมาศ น้อยสำลี

นายวิสิทธิ์ กัลยาภาพันธ์

นายสมทรง แสนนา

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ประจำ บัณฑิตวิทยาลัย

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตกล่าวถึง การศึกษาจุดศูนย์กลางความดันทั้งจากทฤษฎีและการทดลอง ซึ่งใช้หลักการจากการศึกษาพฤติกรรมของของไหลและหลักการของโมเมนต์ในการหาจุดศูนย์กลางความดัน

โดยการคำนวณและออกแบบถัง เพลาน้ำหนักถ่วงและหน้าแปลนซึ่งออกแบบให้มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง มาประกอบกันเพื่อให้สามารถใช้หลักการข้างต้นแสดงจุดศูนย์กลางความดันออกมาได้ โดยมีสารทำงานคือน้ำ

ในการทดลองชุดสาธิตจุดศูนย์กลางความดันจะทำการถ่วงให้เพลานอยู่ในแนวระดับ แล้วตั้งค่าเครื่องมือวัด จากนั้นจ่ายน้ำเข้าสู่ถังจนกระทั่งระดับน้ำถึงระดับที่กำหนด ซึ่งจะทำให้เครื่องมือวัดแรงแสดงค่าที่แรงกระทำกับหน้าแปลนออกมา บันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าต่างๆ ต่อไป

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ชุดสาธิตสามารถทำให้ทราบแรงที่กระทำกับหน้าแปลนที่ความสูงของน้ำระดับต่างๆ และเมื่อนำพารามิเตอร์ต่างๆ มาคำนวณจะทราบถึงจุดศูนย์กลางความดัน โดยจะเห็นได้ว่า จุดศูนย์กลางความดันจะมีค่าต่ำกว่าจุดศูนย์กลางมวลเสมอ และมีความแตกต่างกันระหว่างจุดศูนย์กลางความดันที่ได้จากทฤษฎีกับการทดลอง และยังจะเห็นได้ว่าจุดศูนย์กลางความดันจะไม่เปลี่ยนแปลงตามขนาดพื้นที่ของหน้าแปลน แต่จะเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของน้ำและรูปทรงของหน้าแปลน

Center of Pressure Apparatus

Academic Year 1999

by

Mr. Panumas Noysumlee

Mr. Visit Kunlayapanan

Mr. Somsong Saenna

Project Report Advisor

Mr. Pracha Bunyavanichkul

ABSTRACT

This engineering project is about the study of the center of pressure from theory and experiment with using character of fluid and moment law to calculating center of pressure.

The calculating and designing tank, beam, weight balance and plane with desing into curve shape for using law above to show center of pressure that use water in experiment.

From the experiment the pressure of center makes beam balance then set measurement value. Then flows water in the tank unit water level is standard. The measurement Can show the force that attack plane. Record parameter value then calculate the other.

The result from this experiment shows. The apparatus can tell. The force with attach plane at difference water level and when you calculate parameter value it shows center of pressure. The center of pressure from experiment has certainly lower level than center of gravity and different between center of pressure from the experiment in theory and experiment, and show center of pressure not variable dependence on area of plane but variable dependence on water level in the same plane.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำ บุนชวานิชกุล และอาจารย์ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบ แก้ไข จนทำให้โครงการ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตมีความสมบูรณ์ มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัท คอมโพแม็ก จำกัด ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดหาโพลีคาร์บอเนต และวิธีการใช้ต่าง ๆ จนทำให้คณะผู้จัดทำสามารถจัดทำโครงการ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจนเป็นผล สำเร็จ



คณะผู้จัดทำ

มกราคม 2543

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

ง

กิตติกรรมประกาศ

จ

สารบัญ

ฉ

สารบัญตาราง

ช

สารบัญรูป

ณ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ด

บทที่

1. บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการ

1

วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ

1

ขอบเขตของโครงการ

1

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

2

2. ทฤษฎี

การเปลี่ยนแปลงความดันตามความลึก

3

โมดูลัสเฉือน

7

ค่าความปลอดภัย

8

ความเค้นอย่างง่าย

9

คาน

10

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

10

โพลีเซลล์

10

3. การคำนวณและออกแบบ

การคำนวณปริมาตรถัง

12

การคำนวณแรงสูงสุดที่กระทำกับถัง

12

การคำนวณพื้นที่กั้นถัง

13

การคำนวณแรงที่กระทำกับกั้นถัง

13

การคำนวณแรงกระทำด้านข้างถัง

13

การคำนวณหาความหนาของวัสดุถัง

14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การคำนวณแรงสูงสุดที่กระทำกับน้ำหนักแปลน	15
การคำนวณหาขนาดเพลา	19
4. อุปกรณ์ วิธีการทดลองและผลการทดลอง	
ส่วนประกอบของชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	22
การทดลอง	23
ข้อสังเกตและข้อควรระวังในการทดลอง	23
ผลการทดลอง	24
วิเคราะห์ผลการทดลอง	28
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลอง	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวกที่ 1 แสดงตัวอย่างการคำนวณ	39
ภาคผนวกที่ 2 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องมือวัด	44
ภาคผนวกที่ 3 แสดงตารางข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	51
ภาคผนวกที่ 4 แสดงแบบอุปกรณ์ชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	54
ภาคผนวกที่ 5 แสดงภาพถ่ายอุปกรณ์ชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	64
ภาคผนวกที่ 6 แสดงคู่มือการทดลองจุดศูนย์กลางความดัน	67
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าความปลอดภัย	8
4.1 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองหน้าแปลนสามเหลี่ยม 200×200 mm	24
4.2 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองหน้าแปลนสามเหลี่ยม 150×150 mm	25
4.3 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองหน้าแปลนสี่เหลี่ยม 200×200 mm	26
4.4 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองหน้าแปลนสี่เหลี่ยม 150×150 mm	27
ตารางภาพผนวกที่	
2.1 แสดงข้อมูลทางเทคนิคชุดเครื่องมือวัดแรง	44
3.1 แสดงคุณสมบัติทางกลของน้ำ	52
3.2 แสดงคุณสมบัติทางกลของของเหลือกักน้ำไร้นิม	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงหน้าตัดลำของไหล	3
2.2 แสดงตามเหลี่ยมความดัน	5
2.3 แสดงค่า h_g บนหน้าแปลน	6
2.4 แสดงแรงชนิดต่างๆ	9
3.1 แสดงขนาดของถัง	12
3.2 แสดงขนาดและจุดที่แรงกระทำกับถัง	13
3.3 แสดงขนาดหน้าแปลนและลักษณะที่แรงกระทำ	15
3.4 แสดงขนาดหน้าแปลนและลักษณะที่แรงกระทำ	16
3.5 แสดงขนาดหน้าแปลนและลักษณะที่แรงกระทำ	17
3.6 แสดงขนาดหน้าแปลนและลักษณะที่แรงกระทำ	18
3.7 แสดงขนาดของเพลายึดหน้าแปลน	19
3.8 แสดงแรงที่กระทำกับเพลลา	20
3.9 แสดงขนาดของเพลากลาง	21
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดที่ความดันกระทำของหน้าแปลน รูปตามเหลี่ยม 200×200 mm	28
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดที่ความดันกระทำของหน้าแปลน รูปตามเหลี่ยม 150×150 mm	29
5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดที่ความดันกระทำของหน้าแปลน รูปสี่เหลี่ยม 200×200 mm	30
5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดที่ความดันกระทำของหน้าแปลน รูปสี่เหลี่ยม 150×150 mm	31
5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดศูนย์กลางความดันของรูปสี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยมขนาด 200×200 mm	32
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดศูนย์กลางความดันของรูปสี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยมขนาด 150×150 mm	33
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดศูนย์กลางความดันของรูปทรงสาม เหลี่ยมขนาด 200×200 และ 150×150 mm	34

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดศูนย์กลางความดันของรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 200×200 และ 150×150 mm	35
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความผิดพลาดรูปภาคผนวกที่	36
4.1 รูปประกอบชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	55
4.2 รูปถังของชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	56
4.3 เพลายึดหน้าแปลนของชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	57
4.4 เพลากลางของชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	58
4.5 ชุดหน้าแปลนสี่เหลี่ยม 200×200 mm.	59
4.6 ชุดหน้าแปลนสี่เหลี่ยม 150×150 mm.	60
4.7 ชุดหน้าแปลนสามเหลี่ยม 200×20 mm.	61
4.8 ชุดหน้าแปลนสามเหลี่ยม 150×150 mm.	62
4.9 น้ำหนักบาลานซ์	63
5.1 แสดงชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	65
5.2 แสดงถังของชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	65
5.3 แสดงชุดหน้าแปลนขนาดต่างๆของชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน	66
5.4 แสดงเพล,เพลากลาง,น้ำหนักบาลานซ์,โพลีคาร์บอเนตและจอแสดงผล	66
6.1 แสดงสามเหลี่ยมความดัน	68
6.2 แสดงระยะที่ใช้ในการทดลอง	76

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่	m^2
D	เส้นผ่าศูนย์กลาง	m
F_b	แรงยกเนื่องจากของเหลว	N
F_d	แรงที่ได้จากจอแสดงผล	N
F_p	แรงที่กระทำกับแผ่นเรียบ	N
g	แรงโน้มถ่วง	m/s^2
h_1	ความสูงจากผิวน้ำถึงแผ่นเรียบ	m
h_2	ความสูงจากผิวน้ำถึงจุดต่ำสุดของแผ่นเรียบ	m
$h_{cg,exp}$	ความสูงจากผิวน้ำถึงจุดศูนย์กลางมวล	m
$h_{cp,exp}$	ความสูงจากผิวน้ำถึงจุดศูนย์กลางความดันทางปฏิบัติ	m
$h_{cp,th}$	ความสูงจากผิวน้ำถึงจุดศูนย์กลางความดันทางทฤษฎี	m
I_{cg}	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่	m^4
l	ระยะจากจุดหมุนถึงจุดวัดแรง	m
M	โมเมนต์	N-m
N	ค่าความปลอดภัยในการออกแบบ	-
P	ความดัน	N/m^2
V	ปริมาตร	m^3
y	ความสูงจากจุดหมุนถึงผิวน้ำ	m
γ	น้ำหนักจำเพาะของของไหล	kN/m^3
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m^3
σ_d	ความเค้นออกแบบ	N/mm^2
σ_y	ความเค้นประลัย	N/mm^2

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

จากการศึกษาวิชากลศาสตร์ของไหลทำให้ทราบถึงทฤษฎี คุณสมบัติและพฤติกรรมต่างๆ ของของไหล ซึ่งมีความสำคัญมากในทางวิศวกรรม ที่ต้องนำความรู้ต่างๆ นี้ไปใช้ประโยชน์ในการทำงานจริง ซึ่งในหัวข้อบางหัวข้อต้องมีการศึกษากันอย่างละเอียดเพื่อให้เห็นถึงผลกระทบที่ได้รับจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ซึ่งการศึกษาทางด้านทฤษฎีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้เห็นถึงผลที่ได้จากการนำทฤษฎีมาใช้ในการงานจริงได้ ดังนั้นจึงมีการสร้างอุปกรณ์การทดลองขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาผลต่างๆ ที่เกิดขึ้น

จากทฤษฎีของกลศาสตร์ของของไหล ทำให้คณะผู้ศึกษาได้นำเอาทฤษฎีเกี่ยวกับจุดศูนย์กลางความดัน (Center of Pressure) มาทำการออกแบบสร้างชุดสาธิตจุดศูนย์กลางของความดัน ในการศึกษาเพื่อทำให้มองเห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

1.2.1 เพื่อดำเนินการสร้างชุดสาธิต จุดศูนย์กลางของความดัน

1.2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ จะมีผลต่อจุดศูนย์กลางความดันมากน้อยเพียงใด

1.2.3 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบระยะจุดศูนย์กลางความดันของรูปทรงและขนาดในแบบสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม ทั้งจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลองศึกษา จุดศูนย์กลางความดันมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

จัดทำชุดสาธิตจุดศูนย์กลางความดัน (Center of Pressure Apparatus) ขนาดความกว้าง 0.5 เมตร สูง 0.55 เมตร ยาว 0.7 เมตร ปริมาตร 0.1925 ลูกบาศก์เมตร ความดันสูงสุดที่กระทำกับถัง

5.874 kN/m² แรงลัพธ์เฉลี่ยสูงสุดที่กระทำบนแผ่นระนาบ (Plane) เท่ากับ 146.85 N อ่านค่าแรงที่กระทำกับเพลลาได้ง่ายจากเครื่องมือวัดแรงซึ่งเป็นแบบ Digital สร้างฐานรับน้ำหนักชุดสาธิตจัดหาข้อมูลการสร้างและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการงานวิศวกรรมศาสตร์

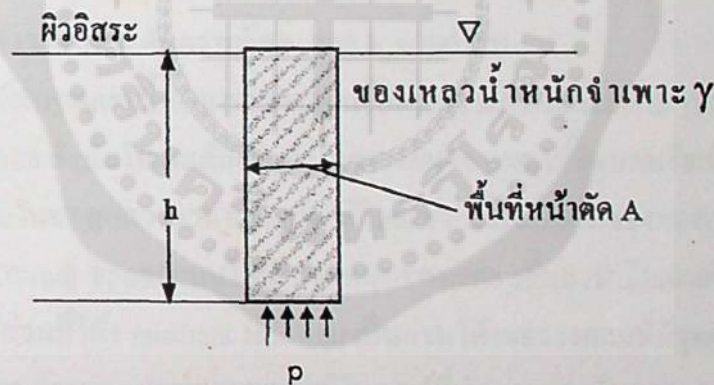
- 1.4.1 สามารถหาจุดศูนย์กลางความดันที่ระดับความลึกของน้ำที่ต่างกันได้ง่าย
- 1.4.2 สามารถหาจุดศูนย์กลางความดันได้ง่ายที่ขนาดและรูปทรงต่าง ๆ ที่เปลี่ยนไป
- 1.4.3 สามารถนำค่าความดันที่ได้จากการทดลอง มาเปรียบเทียบกับค่าความดันที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎีและเปรียบเทียบเมื่อมีรูปทรงและขนาดเปลี่ยนไป
- 1.4.4 อ่านค่าแรงที่กระทำกับเพลลาได้ง่ายจากเครื่องมือวัดแรงซึ่งเป็นแบบ Digital

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การเปลี่ยนแปลงความดันตามระดับความลึก

ที่ระดับความลึกต่างกัน ความดันของของเหลวจะแตกต่างกันไปด้วย ส่วนความแตกต่างจะเป็นอย่างไรพิจารณาตามรูป ซึ่งสมมุติว่าลำของเหลว พื้นที่หน้าตัด A ยืนตั้งลงไปของเหลวเป็นระยะ h จากผิวอิสระ ลำของเหลวนี้อยู่ในสภาวะสมดุลด้วยแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของลำของเหลวที่ทิศทางสู่ด้านล่าง และแรงที่กระทำที่เกิดขึ้นจากความดันของเหลวกระทำด้านของลำของเหลวมีทิศทางขึ้นข้างบนพร้อมทั้งแรงที่กระทำในแนวระดับ เนื่องจากความดันของเหลวรอบข้างข้างพร้อมทั้งแรงที่กระทำในแนวระดับเนื่องจากความดันของเหลวรอบข้าง



รูปที่ 2.1 แสดงหน้าตัดลำของไหล

สำหรับการสมดุลในแนวตั้ง

แรงกระทำที่ฐานลำของเหลว = น้ำหนักของลำของเหลว

ความดัน $\times$ พื้นที่ลำของเหลว = น้ำหนักจำเพาะ $\times$ ปริมาตรลำของเหลว

$$PA = \gamma Ah$$

$$P = \gamma h \quad (2.1)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความดันที่ระดับความลึกใด ๆ ในของเหลวขึ้นอยู่กับค่าความลึก h ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของลำของเหลวเลย

หน่วยของความดัน P ในที่นี้เป็นหน่วยของน้ำหนักจำเพาะคูณกับหน่วยความสูง จึงมีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa และสมการ $P=\gamma h$ สามารถจัดรูปใหม่ได้

$$h = \frac{P}{\gamma} \quad (2.2)$$

หน่วยของความลึก h เป็นหน่วยของความดันหารด้วยหน่วยของน้ำหนักจำเพาะ จึงมีหน่วยเป็นเมตร (m) ดังนั้นจากสมการนี้จะเห็นได้ว่า การบอกความดันที่ระดับความลึกใด ๆ ในของเหลว อาจบอกได้โดยใช้บอกระดับความลึก การบอกความดันในลักษณะนี้เรียกว่า pressure head เนื่องจากความดันมีหน่วยเป็น kPa และค่า γ ของน้ำคือ 9.81 kN/m^3 , ดังนั้นความสูงของน้ำหนึ่งเมตร

$$h (\text{m H}_2\text{O}) = \frac{1}{9.81} \quad (2.3)$$

ความดันแตกต่างระหว่างจุด 2 จุด ซึ่งอยู่ต่างระดับในของเหลว จึงอาจหาได้จากสมการ

$$P_2 - P_1 = \gamma(h_2 - h_1) \quad (2.4)$$

เพื่อ P_1 และ P_2 เป็นความดันที่ระดับความลึก h_1 และ h_2 ตามลำดับ

อุปกรณ์การทดลองนี้ สามารถหาจุดศูนย์กลางความดันของระนาบ (Plane) ได้โดยการทำให้ระบบสมดุล ดังนั้นโมเมนต์ที่กระทำโดยแรงดันของเหลวทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนของระนาบ (Plane) ที่จมในของเหลว เราสามารถวัดได้โดยตรง ส่วนแรงดันของของเหลวที่กระทำบนผิวโค้งของระนาบ (Plane) จะออกแบบให้ผ่านจุดหมุนของคาน เพื่อกำจัดโมเมนต์ของแรงดันที่ไม่ต้องการ โดยการให้ส่วนที่โค้ง quadrant มีลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดหมุนของคาน โมเมนต์รอบจุดหมุนของคานจะมีโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันของของเหลวบนผิวของระนาบ (Plane)

แรงลัพธ์ของเหลวที่กระทำบนระนาบ (Plane) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$F = \rho g h_{cg} A \quad (2.5)$$

$$= \gamma h_{cg} A \quad (2.6)$$

โดยที่ h_{cg} = คือความสูงจากผิวอิสระถึงจุดศูนย์กลางความถ่วง

A = คือพื้นที่ของ plane ที่จมอยู่ในของเหลว

ρ = คือความหนาแน่นของเหลว

γ = คือน้ำหนักจำเพาะของของเหลว

h_{cg} = ความสูงจากผิวอิสระถึงจุดศูนย์กลางมวลของ plane ที่
สัมผัสกับน้ำ, m

กรณีเป็นสี่เหลี่ยม

$$h_{cg} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (2.7)$$

h_1 = ความสูงของของเหลวจากผิวอิสระถึงจุดต่ำสุดของ plane, m

h_2 = ความสูงของของเหลวจากผิวอิสระถึงจุดสูงสุดของ plane, m

$h_2 = 0$ (เมื่อระดับน้ำยังไม่ท่วมหน้าแปลน)

กรณีเป็นสามเหลี่ยม

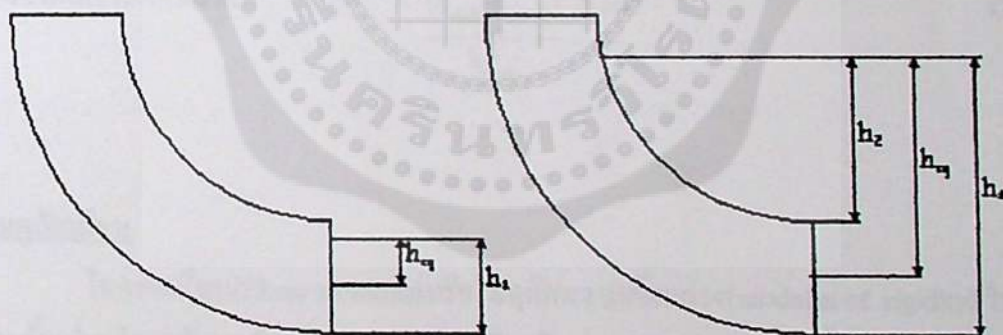
$$h_{cg} = \frac{1}{3} h_1 + h_2 \quad (2.8)$$

h_1 = ความสูงของของเหลวจากผิวอิสระถึงจุดต่ำสุดของ plane, m

h_1 = ความสูงของหน้าแปลน (เมื่อระดับน้ำท่วมแปลนแล้ว)

h_2 = ความสูงของของเหลวจากผิวอิสระถึงจุดสูงสุดของ plane, m

$h_2 = 0$ (เมื่อระดับน้ำยังไม่ท่วมหน้าแปลน)



รูปที่ 2.3 แสดงค่า h_{cg} บนหน้าแปลน

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันของของเหลวกระทำบนระนาบ (Plane) คือ

$$M = F_D \cdot l \quad (2.9)$$

โดยที่ F_D = คือแรงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด, N.

l = คือระยะจากจุดหมุนถึงจุดที่เครื่องมืออ่านค่าแรง, m.

$$\text{แต่เนื่องจาก } M = F_r (h_{cg} + y) \quad (2.10)$$

โดยที่	h_{cp}	=	คือระยะจากผิวอิสระถึงจุดศูนย์กลางความดัน, m.
	y	=	ระยะจากจุดหมุนถึงผิวอิสระ, m.
ดังนั้น	$F(h_{cp} + y)$	=	$F_D l$
	h_{cp}	=	$(F_D l / F_p) - y$ (By experiment) (2.11)

ค่า h_{cp} นี้คือค่าที่อ่านได้จากการทดลอง ทางทฤษฎีสามารถหาระยะจากผิวอิสระถึงจุดศูนย์กลางความดันได้จาก

$$h_{cp,th} = h_{cg} + (I_{cg} / h_{cg} A) \quad (\text{By theory}) \quad (2.12)$$

ในที่นี้ I_{cg} = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นผิวนอกแกน

รูปทรงสี่เหลี่ยม $I_{cg} = \frac{bh^3}{12}$

รูปทรงสามเหลี่ยม $I_{cg} = \frac{bh^3}{36}$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{(h_{cp,th} - h_{cp,exp}) \times 100}{h_{cp,th}} \quad (2.13)$$

2.2 โมดูลัสเฉือน

โมดูลัสเฉือน (Shear modulus) หรือ โมดูลัสความแข็งแก่รง (modulus of rigidity) ในการทดสอบชิ้นส่วนโดยใช้แรงเฉือนกับความเครียดเฉือนในการคำนวณออกแบบชิ้นส่วนต่างๆมีหน่วยความดันเป็นกิปส์ต่อตารางนิ้ว (Ksi : Kips/in) ในการคำนวณหน่วยเอสไอทำการแปลงหน่วยดังนี้

$$1 \text{ ksi} = 6.895 \text{ MN/m}^2 \text{ หรือ } \text{N/mm}^2$$

คุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ความต้านแรงเฉือนคราก (Yield strength in shear) ซึ่งใช้ในการออกแบบเสมอ แต่มีได้มาให้ไว้ในตารางแต่อย่างไรก็ตามให้ใช้ค่าประมาณจากตารางได้ดังนี้คือ

$$\tau_y = 0.6 \sigma_y \quad (2.14)$$

2.3 ค่าความปลอดภัย

โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัย หมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านแรงดึงหรือความต้านแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (working stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบ ซึ่งเรียกกันว่า ความเค้นออกแบบ (design stress) หรือความเค้นใช้งาน

ค่าความปลอดภัยที่เลือกใช้นั้นขึ้นอยู่กับตัวประกอบจำนวนมากดังนี้

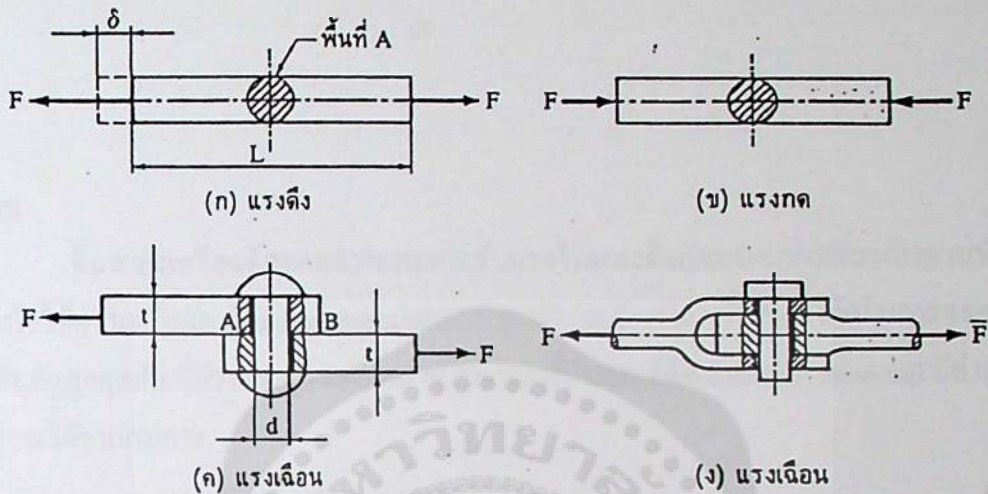
1. ชนิดของแรงที่กระทำต่อชิ้นงานว่าเป็นแรงที่จัดอยู่ในประเภทอยู่นิ่ง หรือเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลาขณะใช้งาน
2. ลักษณะการใช้งานของชิ้นงานว่าเกี่ยวข้องกับภารกิจจะสูญเสียชีวิตหรือทรัพย์สินจำนวนมากหรือไม่
3. น้ำหนักของชิ้นงานว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเบาที่สุดหรือไม่
4. จำนวนของชิ้นงานที่จะผลิตออกมา
5. เนื้อวัสดุที่ผลิตออกมาอาจไม่สม่ำเสมอทำให้ความสามารถในการรับแรงต่างกัน

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความปลอดภัย

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว		เหล็กอ่อนและโลหะเปราะ
	Ny	Nu	Nu
แรงอยู่นิ่ง	1-2	3-4	5-6
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7-8
แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10-12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5-7	10-15	15-20

2.4 ความเค้นอย่างง่าย

นิยามของความเค้นคือ แรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง ความเค้นอย่างง่าย (simple stress) มีอยู่ 3 ชนิดคือ ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน



รูปที่ 2.4 แสดงแรงชนิดต่างๆ

พิจารณาจากรูป (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นท่อนโลหะกลมอยู่ภายใต้แรงดึง และแรงกด F ตามลำดับ ความเค้นดึงและความเค้นกด

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \text{ และ } \sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.15)$$

ในกรณีที่แผ่นโลหะยึดติดกับด้วยหมุดย้ำ ดังรูปที่ (ค) ตัวหมุดย้ำอาจจะขาดเนื่องจากแรงเฉือนกระทำที่หน้าตัด AB ถ้าพื้นที่หน้าตัดของหมุดย้ำเท่ากับ A ความเค้นเฉือนในหน้าตัดของหมุดย้ำคือ

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.16)$$

ถ้าหน้าตัดของชิ้นงานที่รับแรงเฉือนมีมากกว่าหนึ่งแห่งดังรูปที่ (ง) ซึ่งมีสองแห่งพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงคือ $2A$ ในกรณีเช่นนี้เรียกว่า หมุดย้ำรับแรงเฉือนคู่ (double shear) เพราะฉะนั้นความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัดในหมุดย้ำนี้จะเท่ากับ

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad (2.17)$$

พิจารณาหมุดย้ำในรูปที่ (ค) จะเกิดการอัดกันระหว่างด้านข้างของตัวหมุดย้ำกับแผ่นโลหะด้วยความเค้นที่ผิวโลหะที่สัมผัสกันนี้ไม่สม่ำเสมอมาก ในทางปฏิบัติจึงหาความเค้นกดนี้โดย

ใช้พื้นที่ภาพฉายของส่วนที่อัดกันอยู่ แทนการใช้พื้นที่จริงรอบหมุดย้ำ และมีชื่อเรียกว่าความเค้นอัด (bearing stress) ถ้าหมุดย้ำมีเส้นผ่าศูนย์กลาง d ความเค้นอัดนี้คือ

$$\sigma_c = \frac{F}{dt} \quad (2.18)$$

2.5 คาน

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากรับแรงในแนวตั้งลักษณะเช่นเดียวกับคานทั่วไป ฉะนั้นจึงใช้ความเค้นดัด (bending stress) และการยุบตัว (deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ผิวนอกสุดของคาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ดัด (bending moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \quad (2.19)$$

โดยที่

M คือ โมเมนต์ดัด

c คือ ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

2.6 ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดเหมาะสมสำหรับวัสดุที่เปราะแต่สามารถรับแรงเฉือนได้ดี เช่น เหล็กหล่อ วัสดุดังกล่าวจะไม่มีจุดคราก ฉะนั้นจึงใช้ความต้านแรงดึงเป็นหลัก แต่จะใช้กับวัสดุที่มีจุดครากก็ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงความต้านแรงดึงครากเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับทฤษฎีอื่นๆ ได้ ทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นหลักสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงดึงครากของวัสดุนั้น

ความเค้นหลักสูงสุดในที่นี้หมายถึงค่าสัมบูรณ์สูงสุด (maximum absolute value) ถ้าพิจารณาเฉพาะระบบความเค้นสองมิติ และให้ N เป็นค่าความปลอดภัย สมการที่แสดงถึงทฤษฎีนี้คือ

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.20)$$

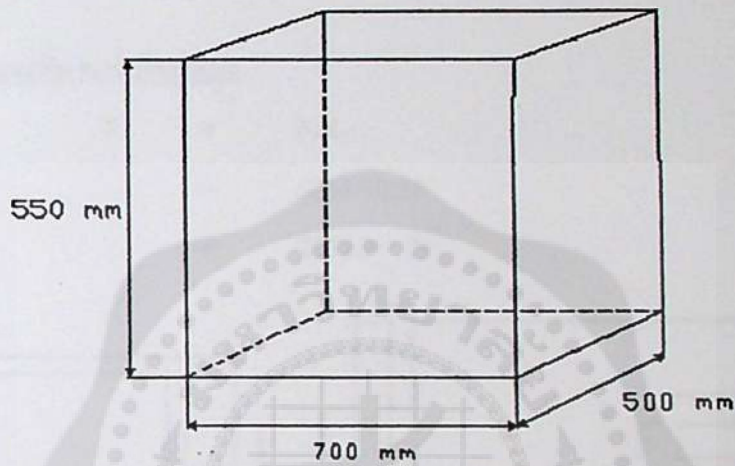
2.7 โหลดเซลล์ (Load Cell)

หนึ่งในการประยุกต์ใช้งานที่สำคัญของสเตรนเกจ ก็คือ การนำสเตรนเกจมาติดตั้งบนแท่งโลหะหลังจากนั้นก็นำแท่งโลหะนี้ไปใช้ในการตรวจนับแรงหรือน้ำหนัก ซึ่งหลักการดังกล่าวข้างต้นนี้ ก็คือโหลดเซลล์ นั่นเอง โดยทั่วไปอุปกรณ์เหล่านี้จะถูกปรับเทียบ (calibrate) ด้วยแรงหรือน้ำหนักโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน โหลดเซลล์ที่มีชื่ออยู่ในงานอุตสาหกรรมสามารถวัดแรงได้สูงถึง 5 เมกกะนิวตัน(MN)หรือประมาณ 10^6 ปอนด์ (lb)



บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ



รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของถัง

3.1 การคำนวณปริมาตรของถัง

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตร, } V &= 0.55 \times 0.7 \times 0.5 \\ &= 0.1925 \text{ m}^3\end{aligned}$$

3.2 การคำนวณแรงดันสูงสุดที่กระทำกับถัง

$$\begin{aligned}\text{เมื่อ } \gamma_{\text{น้ำ 25}^\circ\text{C}} &= 9.79 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \\ h &= 0.6 \text{ m}\end{aligned}$$

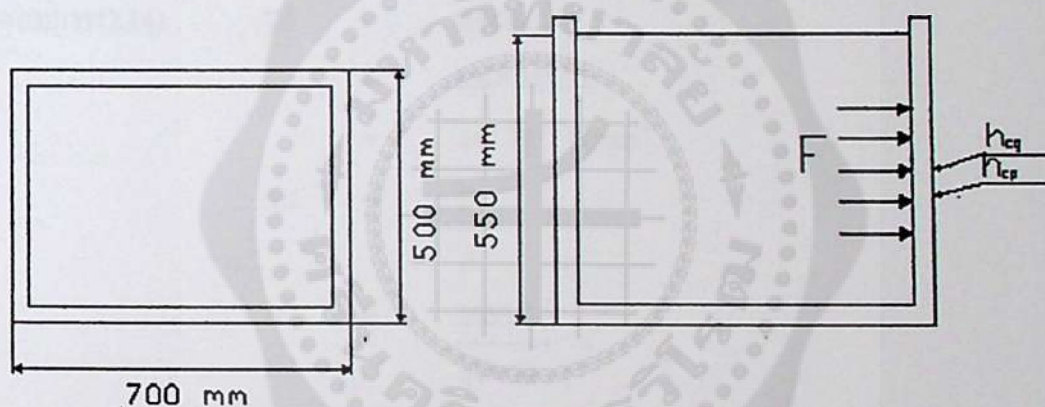
$$\begin{aligned}\text{จากสมการที่(2.1) } P &= \gamma h \\ &= 9.79 \times 10^3 \times 0.6 \\ &= 5874 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

3.3 การคำนวณพื้นที่กันดั้ม

$$\begin{aligned}
 A &= b \times l \\
 &= 0.5 \times 0.7 \\
 &= 0.35 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3.4 การคำนวณแรงที่กระทำกับกันดั้ม

$$\begin{aligned}
 F &= P \cdot A \\
 &= 5874 \times 0.35 \\
 &= 2055.9 \text{ N}
 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดและจุดที่แรงกระทำกับกันดั้ม

3.5 การคำนวณแรงกระทำด้านข้างกันดั้ม

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่(2.6)} \quad F &= \gamma_{h_g} A \\
 \text{ด้านที่มีพื้นที่}(0.7 \times 0.55), F &= 9.79 \times 10^3 \times 0.275 \times (0.7 \times 0.55) \\
 &= 1036.52 \text{ N} \\
 \text{ด้านที่มีพื้นที่}(0.5 \times 0.55), F &= 9.79 \times 10^3 \times 0.275 \times (0.5 \times 0.55) \\
 &= 740.37 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3.6 การคำนวณหาความหนาของวัสดุทำถัง

วัสดุ Stainless steel AISI 304

$$\sigma_y = 241.32 \text{ N/mm}^2$$

กำหนดให้ค่าความปลอดภัย, $N = 1$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่(2.20)} \quad \sigma_d &= \frac{\sigma_y}{N} \\ &= \frac{241.32}{1} \\ &= 241.32 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ(2.14)} \quad \tau_d &= 0.6\sigma_d \\ &= 0.6 \times 241.32 \\ &= 144.79 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\tau_d = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{2055.9}{144.79}$$

$$= 14.199 \text{ mm}^2$$

$$A = b.t$$

$$T = \frac{14.199}{550}$$

$$= 0.0258 \text{ mm}$$

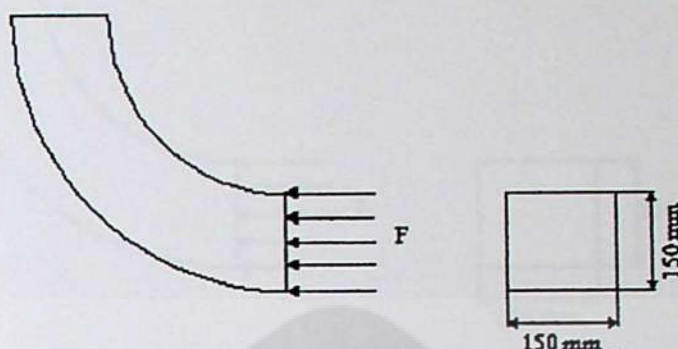
$$= 0.0258 \text{ mm}$$

$$= 0.0258 \text{ mm}$$

เลือกใช้วัสดุหนา 1 mm

3.7 การคำนวณแรงสูงสุดของหน้าแปลน (plane) ชนิดต่างๆ

3.7.1 หน้าแปลน (plane) สี่เหลี่ยมจัตุรัส 150×150 mm



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดหน้าแปลนและลักษณะที่แรงกระทำ

จากสมการที่(2.6)

$$\begin{aligned} F &= \gamma_{h_{cg}} A \\ \gamma &= 9.79 \times 10^3 \\ A &= 0.15 \times 0.15 \\ &= 0.0225 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

เมื่อระดับน้ำสูง 550 mm

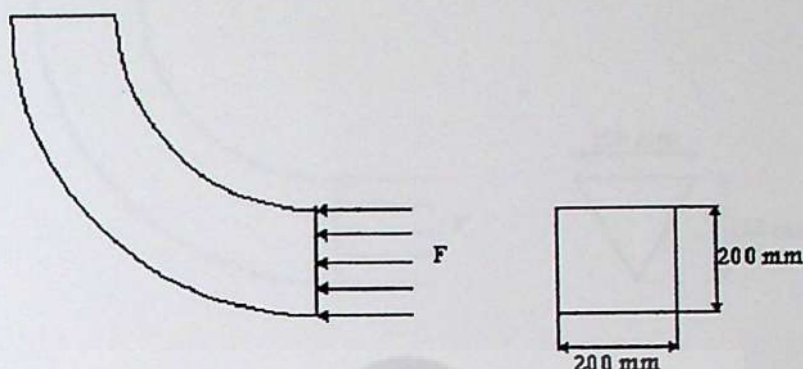
จากสมการที่(2.7)

$$\begin{aligned} h_{cg} &= \frac{h_1 + h_2}{2} \\ h_{cg} &= \frac{275 + 425}{2} \\ &= 0.350 \text{ m} \end{aligned}$$

จากสมการที่(2.6)

$$\begin{aligned} F &= \gamma_{h_{cg}} A \\ &= 9.79 \times 10^3 \times 0.350 \times 0.0225 \\ &= 77.09 \text{ N} \end{aligned}$$

3.7.2 หน้าแปลน (plane) ที่เหลี่ยมจัตุรัส 200×200 mm



รูปที่ 3.4 แสดงขนาดหน้าแปลนและลักษณะที่แรงกระทำ

จากสมการที่(2.6)

$$\begin{aligned} F &= \gamma h_{cg} A \\ \gamma &= 9.79 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \\ A &= 0.2 \times 0.2 \\ &= 0.04 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

เมื่อระดับน้ำสูง 550 mm

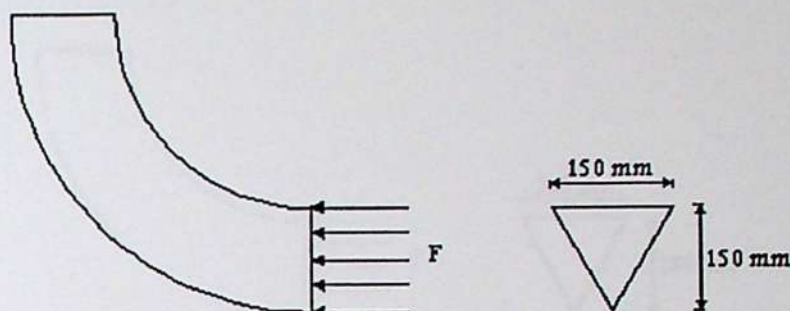
จากสมการที่(2.7)

$$\begin{aligned} h_{gc} &= \frac{h_1 + h_2}{2} \\ h_{cg} &= \frac{275 + 475}{2} \\ &= 0.375 \text{ m} \end{aligned}$$

จากสมการที่(2.6)

$$\begin{aligned} F &= \gamma h_{cg} A \\ &= 9.79 \times 10^3 \times 0.375 \times 0.04 \\ &= 146.85 \text{ N} \end{aligned}$$

3.7.3 หน้าแปลน (plane) ตามเหลี่ยม 150×150 mm



รูปที่ 3.5 แสดงขนาดหน้าแปลนและลักษณะที่แรงกระทำ

จากสมการที่(2.6)

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma_{h_{cg}} A \\
 \gamma &= 9.79 \times 10^3 \\
 A &= \frac{1}{2} b h \\
 &= \frac{1 \times 0.15 \times 0.15}{2} \\
 &= 0.01125 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

เมื่อระดับน้ำสูง 550 mm

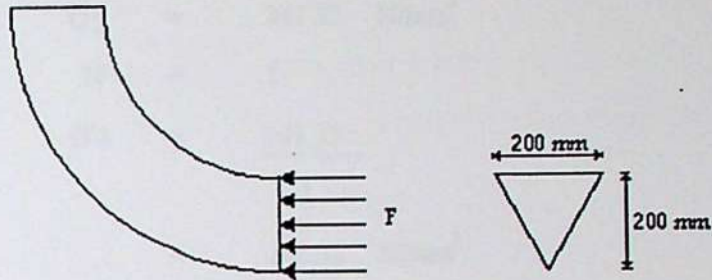
จากสมการที่(2.8)

$$\begin{aligned}
 h_{cg} &= \frac{1}{3} h_1 + h_2 \\
 h_{cg} &= \frac{1}{3} (0.15) + 0.275 \\
 &= 0.325 \text{ m}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่(2.6)

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma_{h_{cg}} A \\
 &= 9.79 \times 10^3 \times 0.325 \times 0.01125 \\
 &= 35.79 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3.7.4 หน้าแปลน (plane) ตามเหลี่ยม 200×200 mm



รูปที่ 3.6 แสดงขนาดหน้าแปลนและลักษณะที่แรงกระทำ

จากสมการที่(2.6)

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma h_{cg} A \\
 \gamma &= 9.79 \times 10^3 \\
 A &= \frac{1}{2} b \cdot h \\
 &= \frac{1 \times 0.2 \times 0.2}{2} \\
 &= 0.02 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

เมื่อระดับน้ำสูง 550 m.m

จากสมการที่(2.8)

$$\begin{aligned}
 h_{cg} &= \frac{1}{3} h_1 + h_2 \\
 h_{cg} &= \frac{1}{3} (0.2) + 0.275 \\
 &= 0.342 \text{ m}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่(2.6)

$$\begin{aligned}
 F &= \gamma h_{cg} A \\
 &= 9.79 \times 10^3 \times 0.342 \times 0.02 \\
 &= 66.96 \text{ N}
 \end{aligned}$$

3.8 การคำนวณหาขนาดเพล

วัสดุที่ใช้ Stainless steel (AISI) 304

$$\sigma_y = 241.32 \text{ N/mm}^2$$

$$N = 1$$

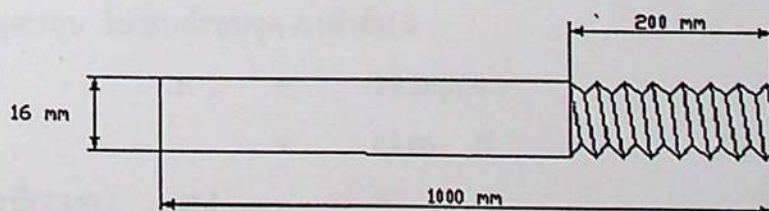
$$\sigma_d = \frac{241.32}{1}$$

$$= 241.32 \text{ N/mm}^2$$

3.8.1 การคำนวณหาขนาดเพลยึดแผ่นเรียบ

จากสมการที่(2.19)

$$\begin{aligned} \sigma_d &= \frac{Mc}{I} \\ &= \frac{32M}{\pi d^3} \\ 241.32 &= \frac{32(146.85 \times 400)}{\pi d^3} \\ d^3 &= \frac{32(146.85 \times 400)}{241.32\pi} \\ d &= 13.5 \text{ mm} \\ &\text{เลือกใช้เพลขนาด } 16 \text{ mm} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของเพลยึดหน้าแปลน

3.8.2 การคำนวณหาขนาดเพลากลาง(คิดที่รอยเจาะ)

จากสมการที่(2.15) $\sigma_d = \frac{F}{A}$

เมื่อ σ_d = ความเค้นในการออกแบบ

และ F_b = แรงเนื่องจากแรงยกของของไหล

$$F_b = \gamma_{น้ำ} \cdot V_{ส่วนที่จม}$$

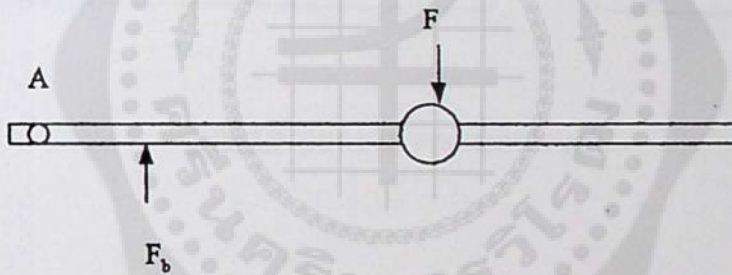
$$\gamma_{น้ำ} = 9780 \text{ N/m}^3$$

$$V_{ส่วนที่จม} = \frac{[(\pi \times 0.5^2) - (\pi \times 0.3^2)]}{4} \times 0.2$$

$$= 0.025 \text{ m}^3$$

$$F_b = 9780 \times 0.025$$

$$= 244.5 \text{ N}$$



รูปที่ 3.8 แสดงจุดที่แรงกระทำกับเพลาชักแผ่นเรียบ

ให้ A เป็นจุดหมุน โมเมนต์รอบจุด A เท่ากับ 0

$$F = 14.5 F_b / 54.5$$

$$= 65.05 \text{ N}$$

จากสมการที่(2.15) $\sigma_d = \frac{F}{A}$

$$A = \frac{F}{\sigma_d}$$

$$= \frac{65.05}{241.32}$$

$$= 0.27 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} - 16d$$

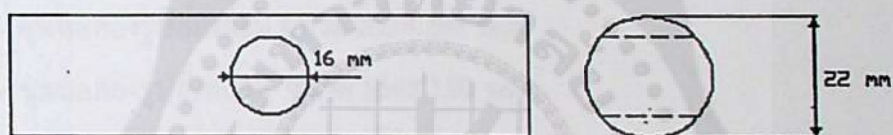
$$0.27 = \frac{\pi d^2}{4} - 16d$$

$$d^2 - 20.37d = 0.348$$

$$d^2 - 20.37d - 0.348 = 0$$

$$d = 20.387 \text{ mm}$$

เลือกใช้เพลานขนาด 22 mm



รูปที่ 3.9 แสดงขนาดของเพลากลาง

บทที่ 4

อุปกรณ์วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 ส่วนประกอบของชุดทดลอง

- ถังสแตนเลส (stainless tank) ขนาด 55×70×45 cm
- เพลขนาด $\varnothing$ 16 mm ยาว 1000 mm
- เพลขนาด $\varnothing$ 22 mm ยาว 550 mm
- ชุดทดลองรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 200×200 mm
- ชุดทดลองรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 150×150 mm
- ชุดทดลองรูปสามเหลี่ยม ขนาด 200×200 mm
- ชุดทดลองรูปสามเหลี่ยม ขนาด 150×150 mm
- น้ำหนักถ่วง (wiegh balance)
- ชุดเครื่องมือวัดแรง (loadcell and display)
- น้ำที่ใช้ทำการทดลอง (water)
- เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- สเกลวัดระดับ (scale level)

4.2 การทดลอง

วิธีการทดลอง

1. ประกอบหน้าแปลน(plane)รูปสี่เหลี่ยมขนาด 200×200 mm เข้ากับชุดการทดลอง
2. ตั้งชุดทดลองให้อยู่ในแนวระดับโดยปรับระดับขาตั้งโดยสังเกตจากสเกลระดับ
3. เติมน้ำถึงขอบล่างหน้าแปลน (plane)
4. ปรับกอน้ำหนักให้เหลวอยู่ในแนวระดับ และ สัมผัสกับโหลดเซลล์พอดีโดย

สังเกตจากตัวเลขบนจอแสดงผล

5. เซ็ตศูนย์ที่จอแสดงผล (set zero)
6. เติมน้ำให้สูงจากขอบล่างของหน้าแปลนเป็น 5,10,15,20,25,30 ตามลำดับ
7. บันทึกผลการทดลองแต่ละระดับ
8. เปลี่ยนหน้าแปลน (plane) เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 150×150 mm รูปสามเหลี่ยม 200×200 mm และรูปสามเหลี่ยม 150×150 mm
9. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 ถึงข้อ 7 และบันทึกผล

4.3 ข้อสังเกตและข้อควรระวังในการทดลอง

- 4.3.1 อย่าให้เพลากระแทกโหลดเซลล์ (load cell) แรงเพราะ โหลดเซลล์ (load cell) อาจจะพังได้ เพราะโหลดเซลล์รับน้ำหนักได้สูงสุด 25 kg หรือ 245 นิวตัน (N)
- 4.3.2 ในการอ่านค่าจะต้องให้ระดับน้ำถึงพอดี จึงจะไม่ผิดพลาด
- 4.3.3 ขอบของชุดหน้าแปลน(plane)ต้องแตะได้ระดับพอดีในขณะที่เริ่มการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองหน้าแปลน(plane)สามเหลี่ยม 200×200 mm

ครั้งที่	ระดับจากใต้plane (m)	h_{cg} (m)	ระยะ y (m)	พื้นที่ plane (m ²)	I_{cg} (m ⁴)	แรงกระทำกับplane (N)	แรงที่วัดได้ (N)	$h_{cp\ exp}$ (m)	$h_{cp\ th}$ (m)	Error
1	0.05	0.0167	0.465	1.25×10^{-3}	1.736×10^{-7}	0.203	0.18	0.0183	0.025	26
2	0.10	0.033	0.415	5×10^{-3}	2.77×10^{-6}	1.628	1.42	0.06	0.050	17
3	0.15	0.05	0.365	0.01125	1.406×10^{-5}	5.50	4.37	0.068	0.08	9.3
4	0.20	0.067	0.315	0.02	4.44×10^{-5}	13.10	9.97	0.0997	0.1	0.22
5	0.25	0.117	0.265	0.02	4.44×10^{-5}	22.69	16.47	0.1306	0.1351	3.3
6	0.30	0.167	0.215	0.02	4.44×10^{-5}	32.47	22.7	0.166	0.1793	7

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองหน้าแปลน(plane)สามเหลี่ยม 150×150 mm

ครั้งที่	ระดับจากใต้plane (m)	h_{cg} (m)	ระยะ y (m)	พื้นที่ plane (m ²)	I_{cg} (m ⁴)	แรงกระทำกับ plane (N)	แรงที่วัดได้ (N)	$h_{cp\ exp}$ (m)	$h_{cp\ th}$ (m)	Error
1	0.05	0.0167	0.42	1.25×10^{-3}	1.736×10^{-7}	0.203	0.17	0.036	0.025	30
2	0.10	0.033	0.37	5×10^{-3}	2.77×10^{-6}	1.628	1.23	0.042	0.05	16
3	0.15	0.05	0.32	0.01125	1.406×10^{-5}	5.50	4.04	0.080	0.08	6
4	0.20	0.1	0.27	0.01125	1.406×10^{-5}	11.00	7.5	0.102	0.112	8.9
5	0.25	0.15	0.22	0.01125	1.406×10^{-5}	16.50	10.86	0.139	0.158	12
6	0.30	0.2	0.17	0.01125	1.406×10^{-5}	22	14.4	0.1867	0.206	0.8

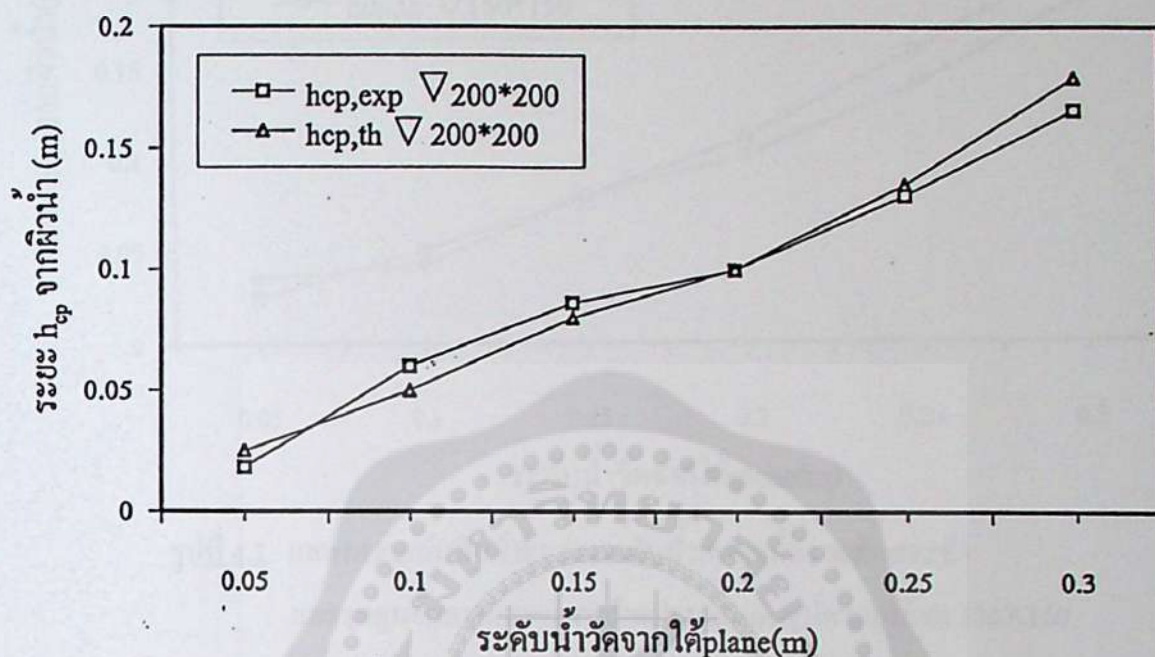
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าต่างๆที่ได้จากการทดลองหน้าแปลน(plane)สี่เหลี่ยม 200×200 mm

ครั้งที่	ระดับจากใต้ plane (m)	h_{cg} (m)	ระยะ y (m)	พื้นที่ plane (m ²)	I_{cg} (m ⁴)	แรงกระทำกับ plane (N)	แรงที่วัดได้ (N)	$h_{cp\ exp}$ (m)	$h_{cp\ th}$ (m)	Error
1	0.05	0.025	0.46	0.01	2.083×10^{-6}	2.445	2.20	0.0304	0.033	7.9
2	0.10	0.050	0.41	0.02	1.66×10^{-5}	9.780	8.47	0.062	0.067	7.0
3	0.15	0.075	0.36	0.03	5.62×10^{-5}	22.00	18.22	0.091	0.100	8.6
4	0.20	0.100	0.31	0.04	1.33×10^{-4}	39.12	31.08	0.123	0.133	7.5
5	0.25	0.150	0.26	0.04	1.33×10^{-4}	58.68	45.12	0.160	0.172	6.9
6	0.30	0.20	0.21	0.04	1.33×10^{-4}	78.24	58.79	0.200	0.216	7.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าต่างๆที่ได้จากการทดลองของหน้าแปลน(Plane)สี่เหลี่ยม 150×150 mm

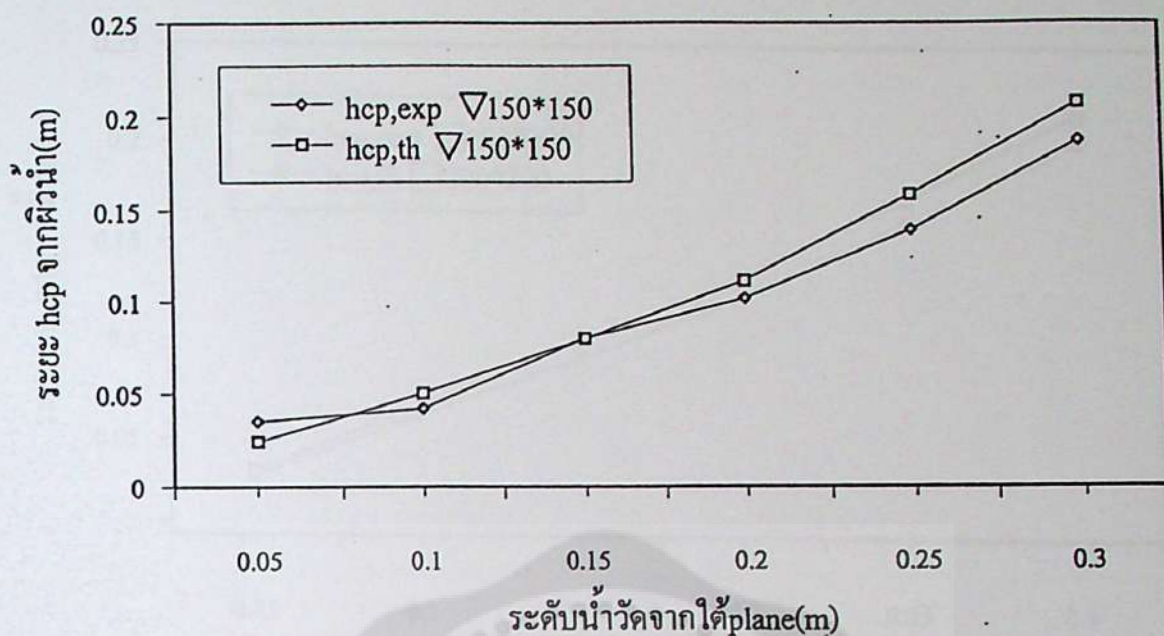
ครั้งที่	ระดับจากใต้ plane (m)	h_{cg} (m)	ระยะ y (m)	พื้นที่ plane (m ²)	I_{cg} (m ⁴)	แรงกระทำกับ plane (N)	แรงที่วัดได้ (N)	$h_{cp\ exp}$ (m)	$h_{cp\ th}$ (m)	Error
1	0.05	0.025	0.41	7.5×10^{-3}	1.56×10^{-6}	1.833	1.50	0.036	0.0333	7.5
2	0.10	0.050	0.36	0.015	1.25×10^{-5}	7.335	5.81	0.072	0.067	6.9
3	0.15	0.075	0.31	0.0225	4.21×10^{-5}	16.50	12.99	0.120	0.10	15.8
4	0.20	0.125	0.26	0.0225	4.21×10^{-5}	27.50	20.76	0.151	0.14	7.6
5	0.25	0.175	0.21	0.0225	4.21×10^{-5}	38.50	28.32	0.19	0.185	2.6
6	0.30	0.225	0.16	0.0225	4.21×10^{-5}	49.51	36.26	0.239	0.233	2.5

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง



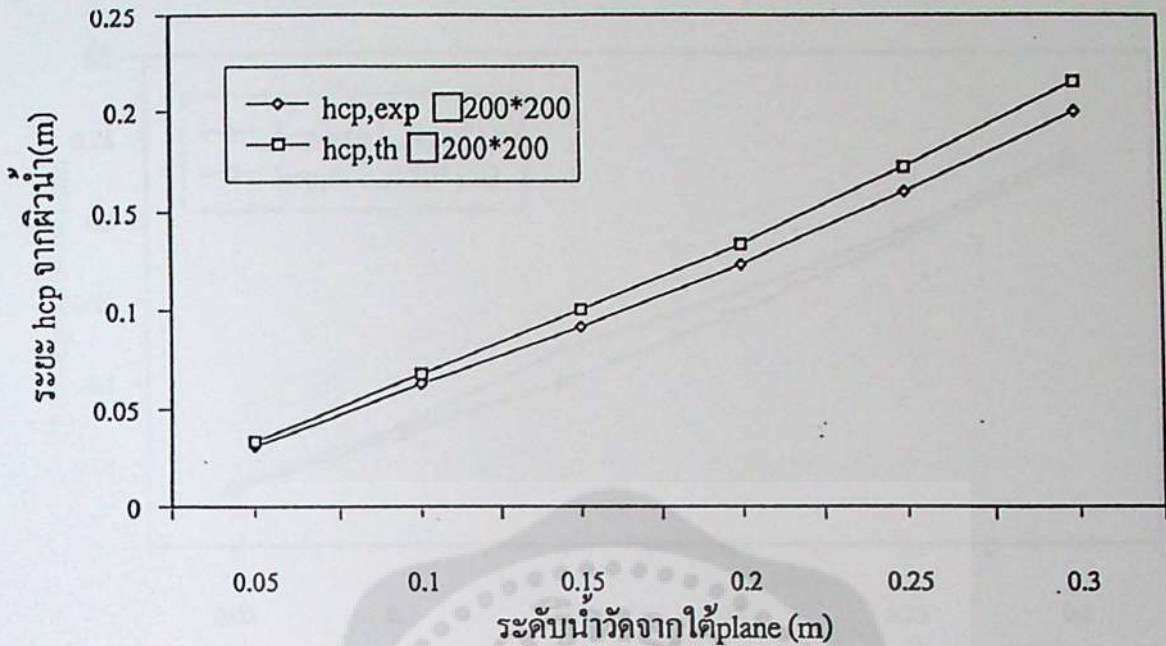
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดที่ความดันกระทำ และจุดศูนย์กลางมวลของหน้าแปลน(plane)รูปสามเหลี่ยม 200×200 mm

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในถังวัดจากใต้ plane (m) กับค่า h_{cp} ซึ่งวัดจากผิวหน้าของชุดหน้าแปลน plane รูปทรงสามเหลี่ยม 200×200 mm โดยให้ระดับน้ำในถังวัดจากใต้ plane เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m เมื่อนำมาคำนวณตามทฤษฎีและนำค่ามาเขียนกราฟจะพบว่าเมื่อนำมาเขียนกราฟจะพบว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่า h_{cp} ที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเรานำผลการทดลองของชุดหน้าแปลนรูปทรงสามเหลี่ยมขนาด 200×200 mm มาคำนวณค่า h_{cp} และนำมาเขียนกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่า h_{cp} จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระดับน้ำเช่นกันจากรูปที่ 4.1 เมื่อเรานำค่า h_{cp} และ $h_{cp,exp}$ ของรูปทรงสามเหลี่ยมเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากทฤษฎีและจากการทดลองจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากความผิดพลาดในการอ่านค่าและอุปกรณ์การทดลองก็ยังเป็นไปตามทฤษฎี



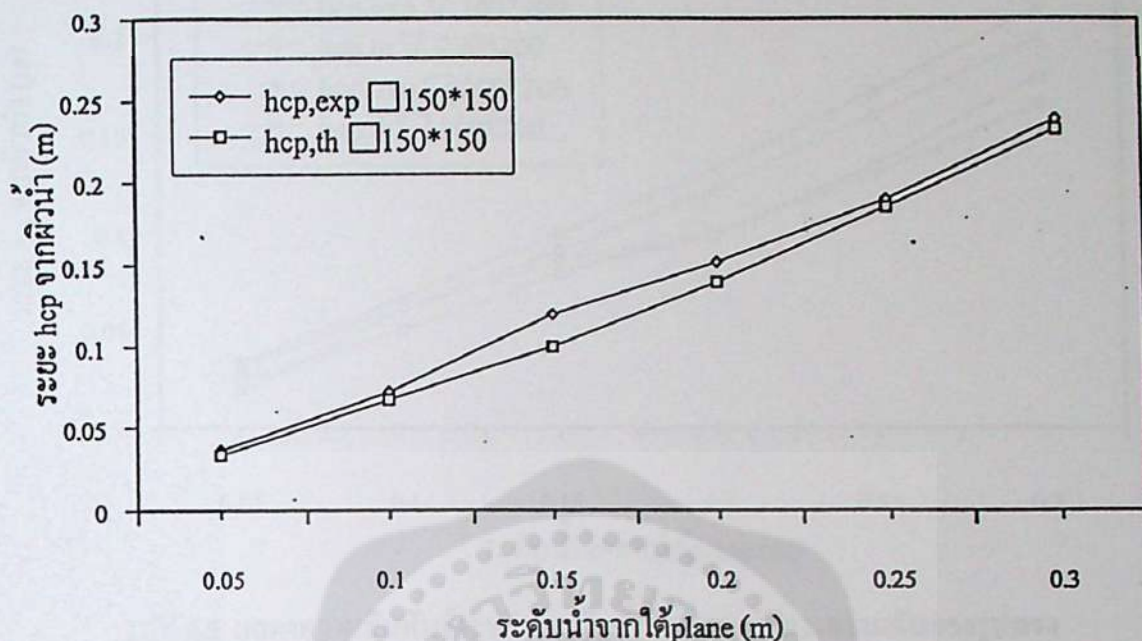
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดที่ความดันกระทำ
และจุดศูนย์กลางมวลของหน้าแปลน(plane)รูปสามเหลี่ยม 150×150

จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในถังวัดจากใต้ plane (m) กับค่า h_{cp} ซึ่งวัดจากผิวหน้าของชุดหน้าแปลน plane รูปทรงสามเหลี่ยม 150×150 mm โดยให้ระดับน้ำในถังวัดจากใต้ plane เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m เมื่อนำมาคำนวณตามทฤษฎีและนำค่ามาเขียนกราฟจะพบว่าเมื่อนำมาเขียนกราฟจะพบว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่า $h_{cp,th}$ ที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเรานำผลการทดลองของชุดหน้าแปลนรูปทรงสามเหลี่ยมขนาด 150×150 mm มาคำนวณค่า $h_{cp,exp}$ และนำมาเขียนกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่า $h_{cp,exp}$ จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระดับน้ำเช่นกันจากรูปที่ 4.2 เมื่อเรานำค่า $h_{cp,th}$ และ $h_{cp,exp}$ ของรูปทรงสามเหลี่ยมเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากทฤษฎีและจากการทดลองจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากความผิดพลาดในการอ่านค่าและอุปกรณ์การทดลองก็ยังเป็นไปตามทฤษฎี



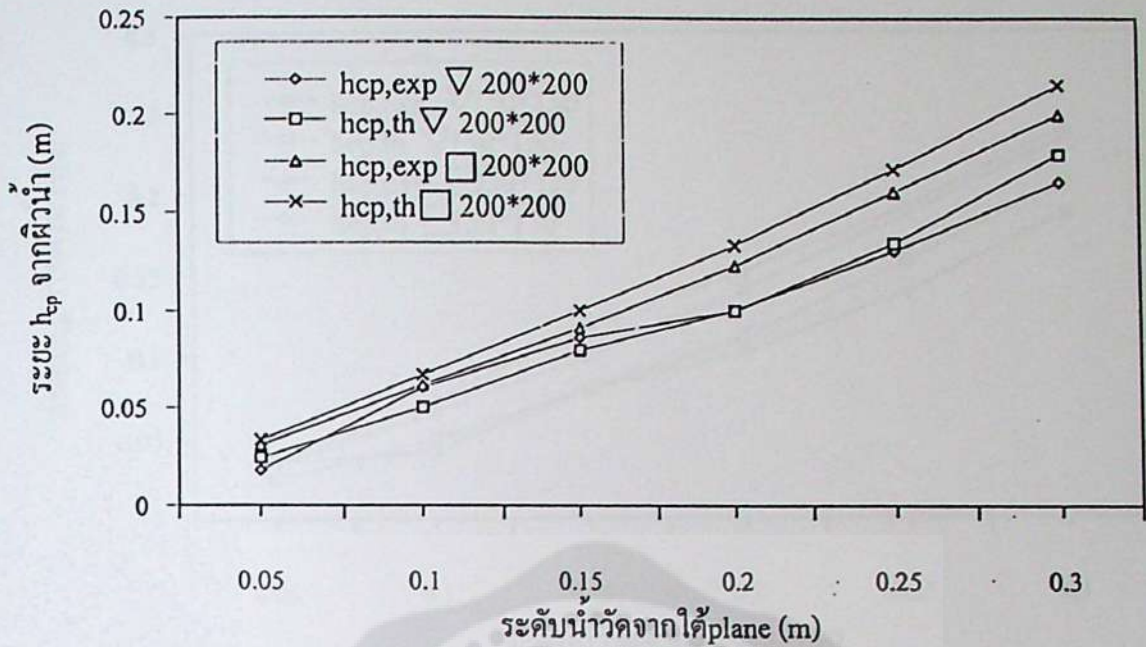
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดที่ความดันกระทำ
และจุดศูนย์กลางมวลของหน้าแปลน(plane)รูปสี่เหลี่ยม 200×200 mm

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในถังวัดจากใต้ plane (m) กับค่า h_{cp} ซึ่งวัดจากผิวหน้าของชุดหน้าแปลน plane รูปทรงสี่เหลี่ยม 200×200 mm โดยให้ระดับน้ำในถังวัดจากใต้ plane เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m เมื่อนำมาคำนวณตามทฤษฎีและนำค่ามาเขียนกราฟจะพบว่าเมื่อนำมาเขียนกราฟจะพบว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่า h_{cp} ที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเรานำผลการทดลองของชุดหน้าแปลนรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 200×200 mm มาคำนวณค่า $h_{cp,exp}$ และนำมาเขียนกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่า $h_{cp,exp}$ จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระดับน้ำเช่นกันจากรูปที่ 4.3 เมื่อเรานำค่า $h_{cp,th}$ และ $h_{cp,exp}$ ของรูปทรงสี่เหลี่ยม เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากทฤษฎีและจากการทดลองจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากความผิดพลาดในการอ่านค่าและอุปกรณ์การทดลองก็ยังเป็นไปตามทฤษฎี



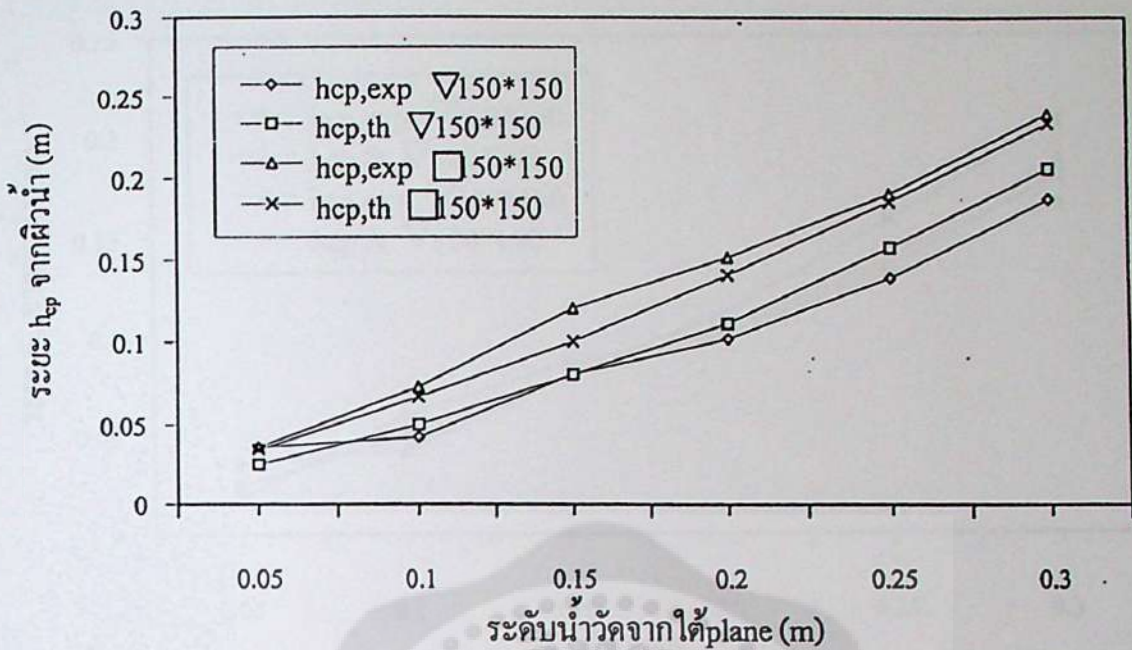
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดที่ความดันกระทำ และจุดศูนย์กลางมวลของหน้าแปลน(plane)รูปสี่เหลี่ยม 150×150 mm

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในถังวัดจากใต้ plane (m) กับค่า h_{cp} ซึ่งวัดจากผิวหน้าของชุดหน้าแปลน plane รูปทรงสี่เหลี่ยม 150×150 mm โดยให้ระดับน้ำในถังวัดจากใต้ plane เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.05 m เมื่อนำมาคำนวณตามทฤษฎีและนำค่ามาเขียนกราฟจะพบว่าเมื่อนำมาเขียนกราฟจะพบว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่า $h_{cp,th}$ ที่ได้จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเรานำผลการทดลองของชุดหน้าแปลนรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 150×150 mm มาคำนวณค่า $h_{cp,exp}$ และนำมาเขียนกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่า $h_{cp,exp}$ จะเพิ่มขึ้นตามความสูงของระดับน้ำเช่นกันจากรูปที่ 4.4 เมื่อเรานำค่า $h_{cp,th}$ และ $h_{cp,exp}$ ของรูปทรงสี่เหลี่ยม เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากทฤษฎีและจากการทดลองจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากความผิดพลาดในการอ่านค่าและอุปกรณ์การทดลองก็ยังเป็นไปตามทฤษฎี



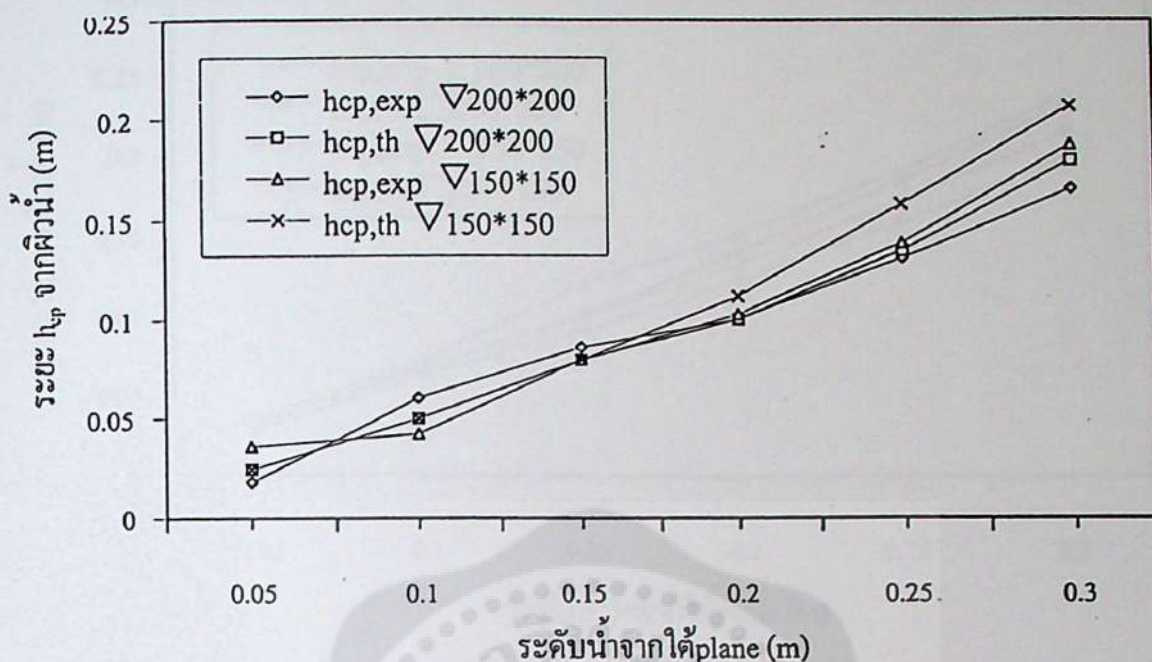
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดศูนย์กลางความดันของรูปทรงสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมขนาด 200×200 mm

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำจากใต้ plane กับค่า h_{cp} ที่วัดจากระดับผิวหน้าซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง h_{cp} ที่ได้ทางทฤษฎีและค่า h_{cp} จากการทดลองในกรณีที่ชุดหน้าแปลน plane สี่เหลี่ยม 200×200 mm และสามเหลี่ยม 200×200 mm จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} จากทฤษฎีทั้งสองรูปทรงจะเพิ่มตามความสูงของระดับน้ำแต่ค่า h_{cp} ทางทฤษฎีของชุดหน้าแปลนสี่เหลี่ยมจะมีค่ามากกว่าชุดหน้าแปลนสามเหลี่ยมและจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากการทดลองชุดหน้าแปลนสี่เหลี่ยมจะมีค่ามากกว่าชุดหน้าแปลนสามเหลี่ยมเช่นเดียวกับซึ่งจากกราฟทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ในกรณีที่รูปทรงมีความสูงเท่ากัน ค่า h_{cp} ทางทฤษฎีและค่า h_{cp} จากการทดลองจะแตกต่างกันเมื่อลักษณะรูปทรงต่างกัน



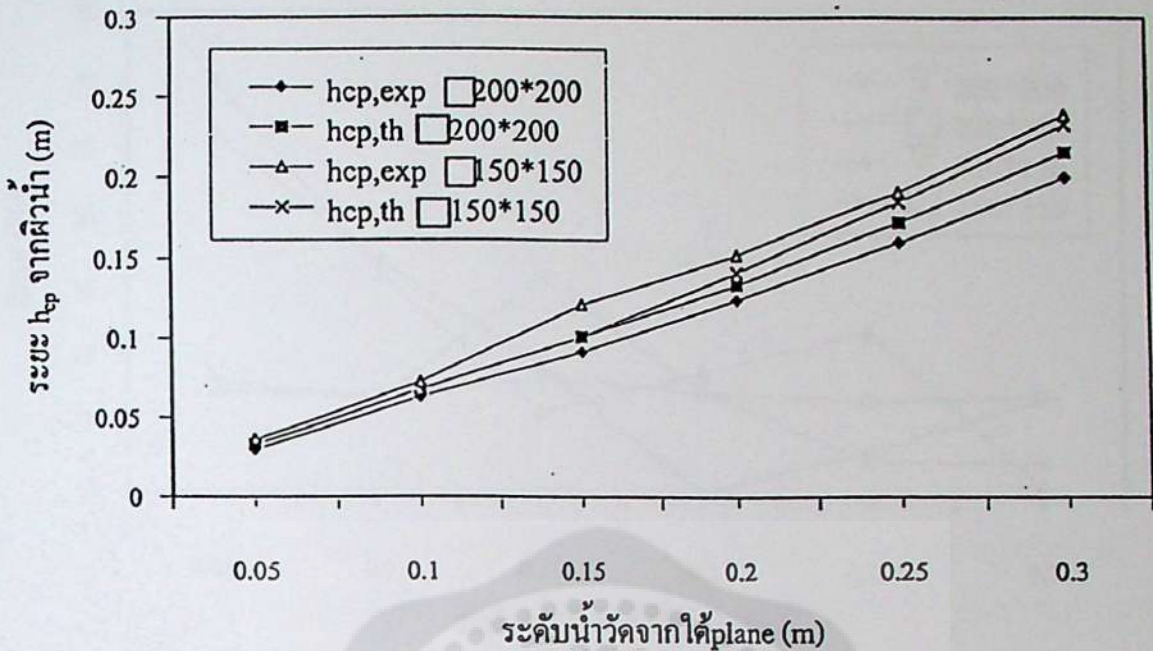
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดศูนย์กลางความดันของรูปทรงสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมขนาด 150×150 mm

จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำจากใต้ plane กับค่า h_{cp} ที่วัดจากระดับผิวหน้าซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง h_{cp} ที่ได้ทางทฤษฎีและค่า h_{cp} จากการทดลองในกรณีที่ชุดหน้าแปลน plane สี่เหลี่ยม 150×150 mm และสามเหลี่ยม 150×150 mm จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} จากทฤษฎีทั้งสองรูปทรงจะเพิ่มตามความสูงของระดับน้ำแต่ค่า h_{cp} ทางทฤษฎีของชุดหน้าแปลนสี่เหลี่ยมจะมีค่ามากกว่าชุดหน้าแปลนสามเหลี่ยมและจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากการทดลองชุดหน้าแปลนสี่เหลี่ยมจะมีค่ามากกว่าชุดหน้าแปลนสามเหลี่ยมเช่นเดียวกับซึ่งจากกราฟทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ในกรณีที่รูปทรงมีความสูงเท่ากัน ค่า h_{cp} ทางทฤษฎีและค่า h_{cp} จากการทดลองจะแตกต่างกันเมื่อลักษณะรูปทรงต่างกัน



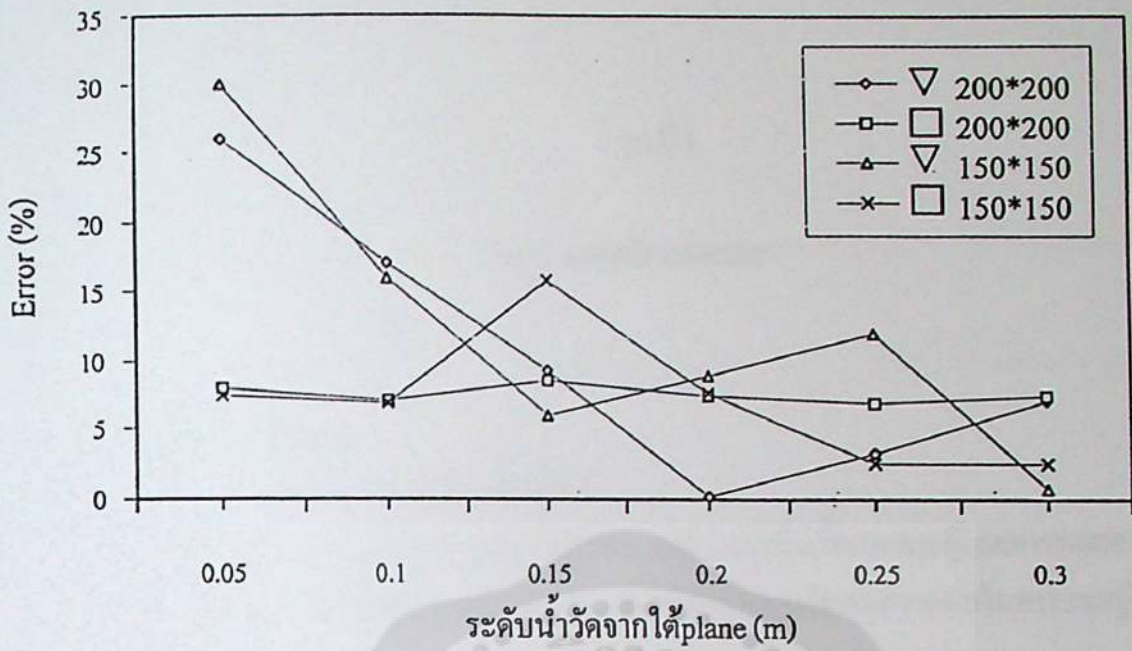
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดศูนย์กลางความดันของรูปทรง
สามเหลี่ยมขนาด 200×200 และ 150×150 mm

จากรูป 4.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำวัดจากใต้ plane กับค่า h_{cp} จากระยะผิวน้ำซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างหน้าแปลน (plane) สามเหลี่ยม 200×200 mm และ 150×150 mm จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากทฤษฎีจะมีค่าเท่ากับเมื่อระดับน้ำยังไม่เลยจุดหน้าแปลน plane และค่า h_{cp} จากการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า h_{cp} ทางทฤษฎีซึ่งจากกราฟทั้งหมดจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากทฤษฎีจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า h_{cp} จากการทดลองในกรณีที่หน้าแปลนเดียวกันแต่ขนาดต่างกัน



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับจุดศูนย์กลางความดันของรูปทรง
สี่เหลี่ยมขนาด 200×200 และ 150×150 mm

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำวัดจากใต้ plane กับค่า h_{cp} จากระยะผิวน้ำซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างหน้าแปลน (plane) สี่เหลี่ยม 200×200 mm และ 150×150 mm จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากทฤษฎีจะมีค่าเท่ากันเมื่อระดับน้ำยังไม่เลยจุดหน้าแปลน plane และค่า h_{cp} จากการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า h_{cp} ทางทฤษฎีซึ่งจากกราฟทั้งหมดจะเห็นได้ว่าค่า h_{cp} ที่ได้จากทฤษฎีจะมีค่าใกล้เคียงกับค่า h_{cp} จากการทดลองในกรณีที่หน้าแปลนเดียวกันแต่นขนาดต่างกัน



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับค่าความผิดพลาด

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่า

1. เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นจุดศูนย์กลางความดันจะสูงขึ้นทั้งจากทฤษฎีและการทดลอง
2. เมื่อเปรียบเทียบรูปทรงที่มีความสูงเท่ากัน จุดศูนย์กลางความดันในทางทฤษฎีและการทดลองจะแตกต่างกัน

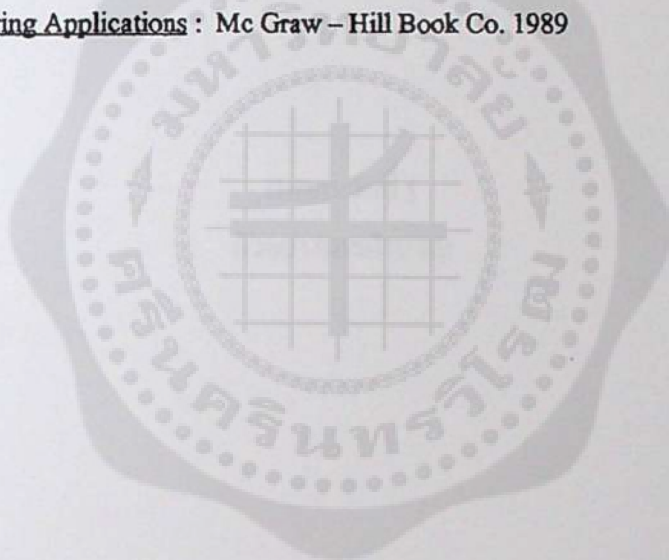
3. เมื่อเปรียบเทียบรูปทรงเดียวกันแต่ความสูงต่างกัน จุดศูนย์กลางความดันทางทฤษฎีจะเท่ากันเมื่อระดับน้ำยังไม่ท่วมหน้าแปลนและจะแตกต่างกันเมื่อระดับน้ำท่วมหน้าแปลน และจากการทดลองจุดศูนย์กลางความดันที่ได้จะแตกต่างกันเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 ควรติดตั้งสํารองน้ำเพื่อนําน้ำที่ใช้ในการทดลองแล้วมาใช้ทดลองใหม่
- 5.3.2 ควรติดตั้งปั้มควบคุมการจ่ายน้ำ เพื่อความสะดวกในการทดลองยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. กীরติ ลีวจินกุล . พลศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2534
2. ชาญ อดังงาน. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2523
3. ศ.ดร. วรวิทย์ อังภากรณ์, รศ. ชาญ อดังงาน ออกแบบเครื่องกล 1 : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. 2521
4. Jack B. Evett, Cheng Liu Fundamentals of Fluid Mechanics, Mc Graw-Hill Book Co. 1987.
5. Robert L. Daugherty, Joesph B. Frazini, I. John Finnemove FluidMechanices with Engineering Applications : Mc Graw – Hill Book Co. 1989





การคำนวณหน้าแปลนสามเหลี่ยม $200 \times 200 \text{ mm}$

ที่ระดับความสูงของน้ำจากใต้ plane เท่ากับ 0.30 m

$$h_{cg} = \frac{1}{3} (0.20) + 0.10$$

$$= 0.167 \text{ m}$$

$$\text{ระยะ } y = 0.515 - 0.30$$

$$= 0.215 \text{ m}$$

$$\text{Area of plane} = \frac{1}{2} (0.20 \times 0.20)$$

$$= 0.02 \text{ m}^2$$

$$I_{cg} = \frac{bh^3}{36}$$

$$= \frac{0.20 \times 0.20^3}{36}$$

$$= 4.44 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\text{แรงกระทำกับแผ่น plane, } F_p = \gamma h_{cg} A$$

$$= 9780 \times 0.167 \times 0.02$$

$$= 32.47 \text{ N}$$

$$h_{cp,exp} = \frac{(F_D, l) - y}{F_p}$$

$$= \frac{(22.70 \times 0.547) - 0.215}{32.47}$$

$$= 0.166 \text{ m}$$

$$h_{cp,th} = h_{cg} + (I_{cg} / h_{cg} A)$$

$$= 0.167 + \frac{(4.44 \times 10^{-5})}{0.167 \times 0.02}$$

$$= 0.180 \text{ m}$$

$$\% \text{error} = \frac{0.180 - 0.166}{0.180} \times 100$$

$$= 7.7 \%$$

การคำนวณตามเหลี่ยม $150 \times 150 \text{ mm}$

ที่ระดับความสูงของน้ำจากใต้ plane เท่ากับ 0.30 m

$$h_{cg} = \frac{1(0.15) + 0.15}{3}$$

$$= 0.20 \text{ m}$$

$$\text{ระยะ } y = 0.47 - 0.30$$

$$= 0.17 \text{ m}$$

$$\text{Area of plane} = \frac{1(0.15 \times 0.15)}{2}$$

$$= 0.01125 \text{ m}^2$$

$$I_{cg} = \frac{bh^3}{36}$$

$$= \frac{0.15 \times 0.15^3}{36}$$

$$= 1.4 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\text{แรงกระทำกับ plane, } F = \gamma h_{cg} A$$

$$= 9.78 \times 0.20 \times 0.01125$$

$$= 22.0 \text{ N}$$

$$h_{cp,exp} = \frac{(F_d l) - y}{F_p}$$

$$= \frac{(14.4 \times 0.545) - 0.17}{22.0}$$

$$= 0.1867 \text{ m}$$

$$h_{cp,th} = h_{cg} + (I_{cg} / h_{cg} A)$$

$$= \frac{0.02 \times (1.4 \times 10^{-5})}{0.20 \times 0.01125}$$

$$= 0.2062 \text{ m}$$

$$\% \text{ Error} = \frac{0.1867 - 0.1852}{0.1867} \times 100$$

$$= 0.8 \%$$

การคำนวณที่เหลี่ยม 150×150

ที่ระดับความสูงของน้ำจากใต้ plane เท่ากับ 0.30 m

$$h_{cg} = \frac{1(0.15) + 0.15}{2}$$

$$= 0.225 \text{ m}$$

$$\text{ระยะ } y = 0.46 - 0.30$$

$$= 0.16 \text{ m}$$

$$\text{Area of plane} = (0.15) \times (0.15)$$

$$= 0.0225 \text{ m}^2$$

$$I_{cg} = \frac{bh^3}{12}$$

$$= \frac{0.15 \times 0.15^3}{12}$$

$$= 4.21 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\text{แรงกระทำกับ plane, } F_p = \gamma h_{cg} A$$

$$= 9780 \times 0.225 \times 0.0225$$

$$= 49.51 \text{ N}$$

$$h_{cp,exp} = \frac{(F_d l) - y}{F_p}$$

$$= \frac{(36.26 \times 0.545)}{49.51}$$

$$= 0.239 \text{ m}$$

$$h_{cp,th} = h_{cg} + (I_{cg} / h_{cg} A)$$

$$= 0.225 + \frac{(4.21 \times 10^{-5})}{0.225 \times 0.0225}$$

$$= 0.233 \text{ m}$$

$$\% \text{Error} = \frac{0.239 - 0.233}{0.239} \times 100$$

$$= 2.5 \%$$

ที่ระดับความสูงของน้ำจากใต้ plane เท่ากับ 0.30 m

$$h_{cg} = \frac{1(0.20) + 0.10}{2}$$

$$= 0.20 \text{ m}$$

$$\text{ระยะ } y = 0.51 - 0.30$$

$$= 0.21 \text{ m}$$

$$\text{Area of plane} = 0.20 \times 0.20$$

$$= 0.04 \text{ m}^2$$

$$I_{cg} = \frac{bh^3}{12}$$

$$= \frac{0.2 \times 0.2^3}{12}$$

$$= 3.33 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\text{แรงกระทำกับแผ่น plane, } F_p = \gamma h_{cg} A$$

$$= 9780 \times 0.02 \times 0.04$$

$$= 78.24 \text{ N}$$

$$h_{cp,exp} = \frac{(F_d l) - y}{F_p}$$

$$= \frac{(58.79 \times 0.545) - 0.21}{78.24}$$

$$= 0.200 \text{ m}$$

$$h_{cp,th} = h_{cg} + (I_{cg} / h_{cg} A)$$

$$= 0.20 + \frac{(3.33 \times 10^{-3})}{0.20 \times 0.04}$$

$$= 0.216 \text{ m}$$

$$\% \text{ Error} = \frac{0.216 - 0.200}{0.216} \times 100$$

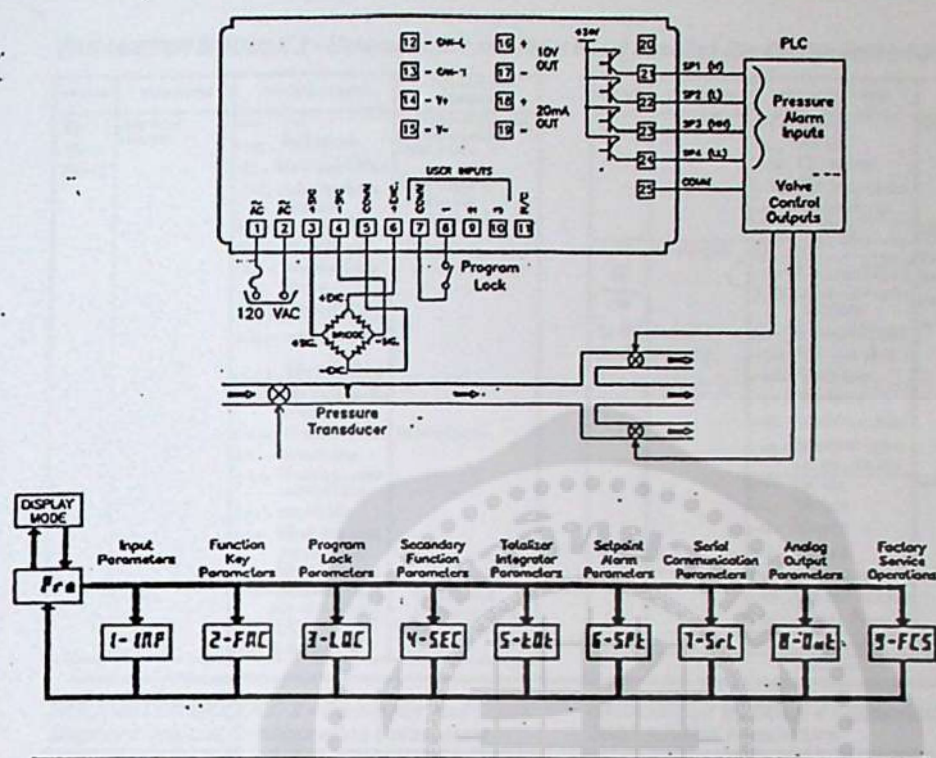
$$= 7.4 \%$$



ภาคผนวกที่ 2

ข้อมูลทางเทคนิคชุดเครื่องมือวัดแรง

ตารางภาคผนวกที่ 2.1 ข้อมูลทางเทคนิคชุดเครื่องมือวัดแรง



PARAMETER MODULE 1 - Input Configuration Parameters

DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
IMP	Input Range	0.25 - 34 mV 0.25 - 340 mV	เลือกโหมด INPUT และเลือก JUMPER สำหรับโหมด INPUT
RES	Display Resolution	0.1 0.5 1.0 2.0	เลือกจุดทศนิยม

DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
ROUND	Display Rounding Increment	1 - round by 1 2 - round by 2 5 - round by 5 10 - round by 10 20 - round by 20 50 - round by 50 100 - round by 100	เลือกการปัดเศษที่จะปัดเศษ 1,2,5,10,20,50 หรือ 100 เช่น ถ้าเลือก 5 จะปัดเศษเป็น 5,10,15,...
FILTER	Filter Setting	0.1 to 255 seconds	เลือกค่าเวลาที่จะใช้สำหรับ INPUT
BRND	Filter Enable Band	0 to 255 display units	เลือกค่าที่จะใช้สำหรับ BAND 0 = ปิด BAND 1 = เปิด ถ้า A < BAND ไม่ทำงาน ถ้า A > BAND ทำงาน
PTS	Scaling Points	2 to 16	เลือกจำนวนจุดที่จะใช้สำหรับ
STYLE	Scaling Style	PLS/ HZ/ APLS - เลือกตามต้องการ	เลือกสไตล์ของ INPUT และ OUTPUT ที่ต้องการ
IMP X	Input Value for Scaling Point X	-9999 to 9999	เลือกค่า INPUT ที่ X หรือ PAZ สำหรับ INPUT 6 X ไม่สามารถใช้กับ PAZ
OSP X	Display Value for Scaling Point X	-9999 to 9999	เลือกค่า DISPLAY ที่ X หรือ PAZ

ตารางภาคผนวกที่ 2.1 (ต่อ) ข้อมูลทางเทคนิคชุดเครื่องมือวัดแรง

PARAMETER MODULE 6 - Setpoint Parameters

DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
SPSEL	SELECT SETPOINT		เลือก Setpoint ที่ต้องการกำหนด
Set-n	การกำหนด SETPOINT	OFF - ปิดการกำหนด K1-K4 - กำหนดจุดที่ 1 K5-K8 - กำหนดจุดที่ 2 K9-K11 - กำหนดจุดที่ 3 K12-K15 - กำหนดจุดที่ 4 K16-K19 - กำหนดจุดที่ 5, 6 K20-K23 - กำหนดจุดที่ 6, 9 K24-K27 - กำหนดจุดที่ 7 Total - กำหนดค่ารวม K28-K31 - กำหนดค่ารวม K32-K35 - กำหนดค่ารวม K36-K39 - กำหนดค่ารวม	เลือกการกำหนด SETPOINT โดย ดูจาก การกำหนด Duration และ band จะใช้กับ SETPOINT 1 - ไม่ใช้กับ SETPOINT 1 ** Total มี 9 หลัก เนื่องจากการวัดจะขึ้น ด้านซ้ายหรือขวา

DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
SP-n	Setpoint Value	-19999 ถึง 99999	Main or alternate, as selected
HYST-n	Hysteresis	1 ถึง 65000	
EDT-n	On Time Delay	0.0 ถึง 3275.0 วินาที	
EDF-n	Off Time Delay		
OUT-n	Output Logic	nor - กำหนดค่า rls - กำหนดค่า rls - กำหนดค่า	
RESET-n	Reset Action	RST - RESET ค่า Latch - กำหนดค่า Latch / Reset ค่า Latch / Reset ค่า	See Reset Mode Figure
SLB-n	Standby Operation	SL - กำหนดค่า SL - กำหนดค่า	Power-up standby operation
LE-n	Output Panel Light	OFF - ปิดไฟ nor - ปิดไฟ rls - ปิดไฟ rls - ปิดไฟ	Output panel

PARAMETER MODULE 7 - Serial Communications Parameters

DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
BAUD	Baud Rate	1200 2400 4800 9600 19200 38400	เลือก Baud Rate ที่ 1200, 2400, 4800, 9600 19200, 38400 สำหรับ PC configuration software
DATA	Number of Data Bits	7, 8	เลือก Data Bits
PAR	Parity Bit	E - Even O - Odd N - None	เลือก Parity Bit

DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
ADDR	Node Address	1 to 31	ค่า Address ของเครื่อง
MODE	Mode	RS - RS-485 RS - RS-485 RS - RS-485	เลือกโหมดการสื่อสาร
SPR	Serial Port	RS - RS-485 RS - RS-485 RS - RS-485	เลือกพอร์ตการสื่อสาร

PARAMETER MODULE 8 - Analog Output Parameters

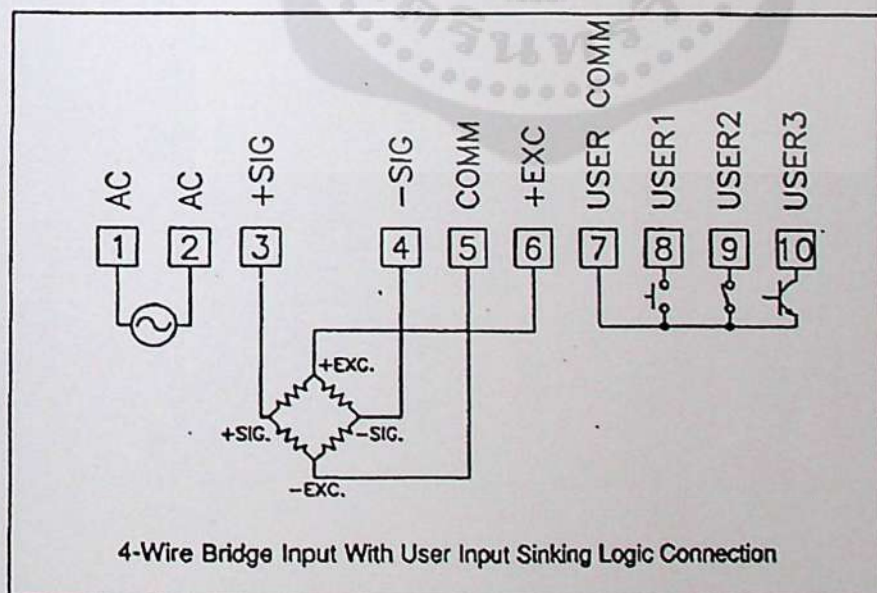
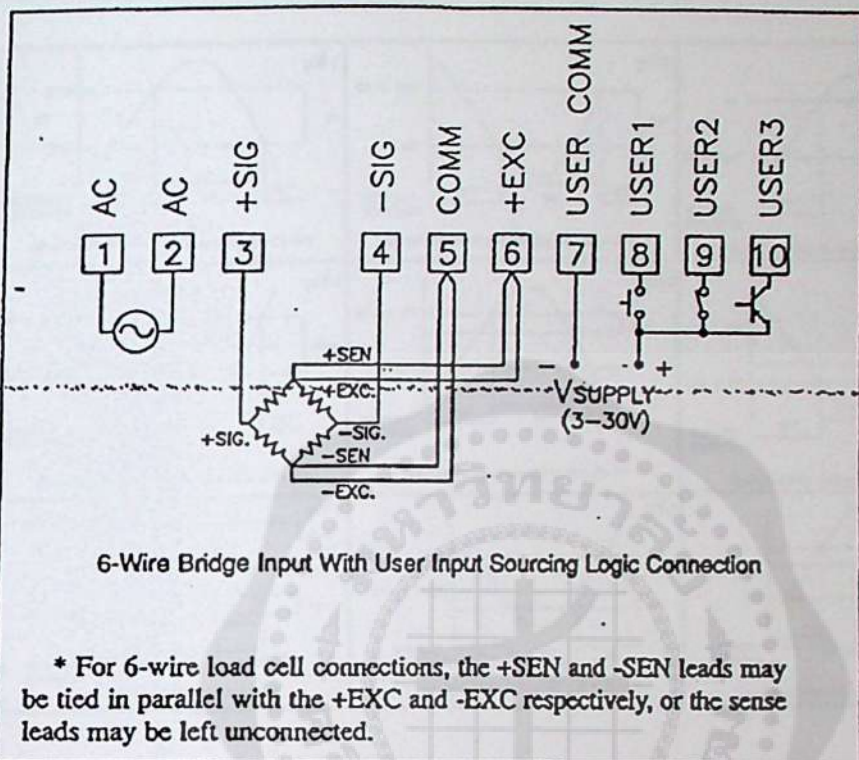
DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
TYPE	เลือกโหมด Analog Output	0-20 - 0 to 20 mA 1-20 - 4 to 20 mA 0-10 - 0 to 10 V	
RS IN	เลือกโหมด Analog Output	K1 - กำหนดค่า K2 - กำหนดค่า K3 - กำหนดค่า K4 - กำหนดค่า	เลือกโหมด Analog Output

DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
AN-LB	เลือกโหมด Analog Output	0-20 - 0 to 20 mA 1-20 - 4 to 20 mA 0-10 - 0 to 10 V	เลือกโหมด Analog Output
AN-K1	เลือกโหมด Analog Output	K1 - กำหนดค่า K2 - กำหนดค่า K3 - กำหนดค่า K4 - กำหนดค่า	เลือกโหมด Analog Output
UPD	เลือกโหมด Update time	0.0 ถึง 10.0 วินาที	0.0 = update ทันที

PARAMETER MODULE 9 - Factory Service Function Parameters

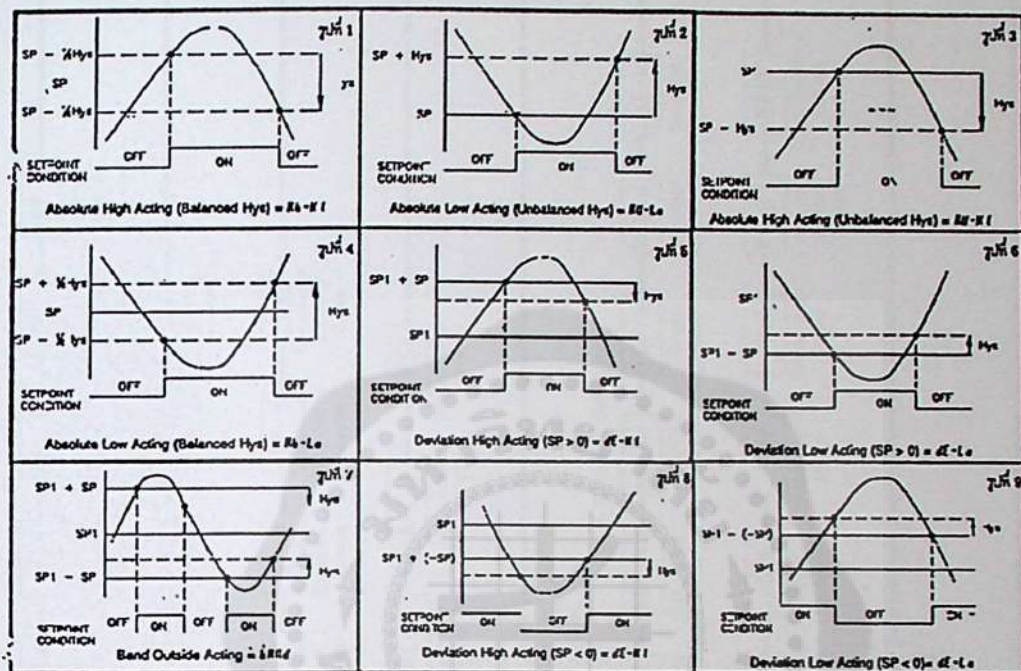
DISPLAY	PARAMETER	RANGE AND UNITS	DESCRIPTION/ COMMENTS
FACT	Factory Service Access Code	00 - Calibration 01 - Restore Factory Defaults	Factory Service Access Code

ตารางภาคผนวกที่ 2.1 (ต่อ) ข้อมูลทางเทคนิคชุดเครื่องมือวัดแรง



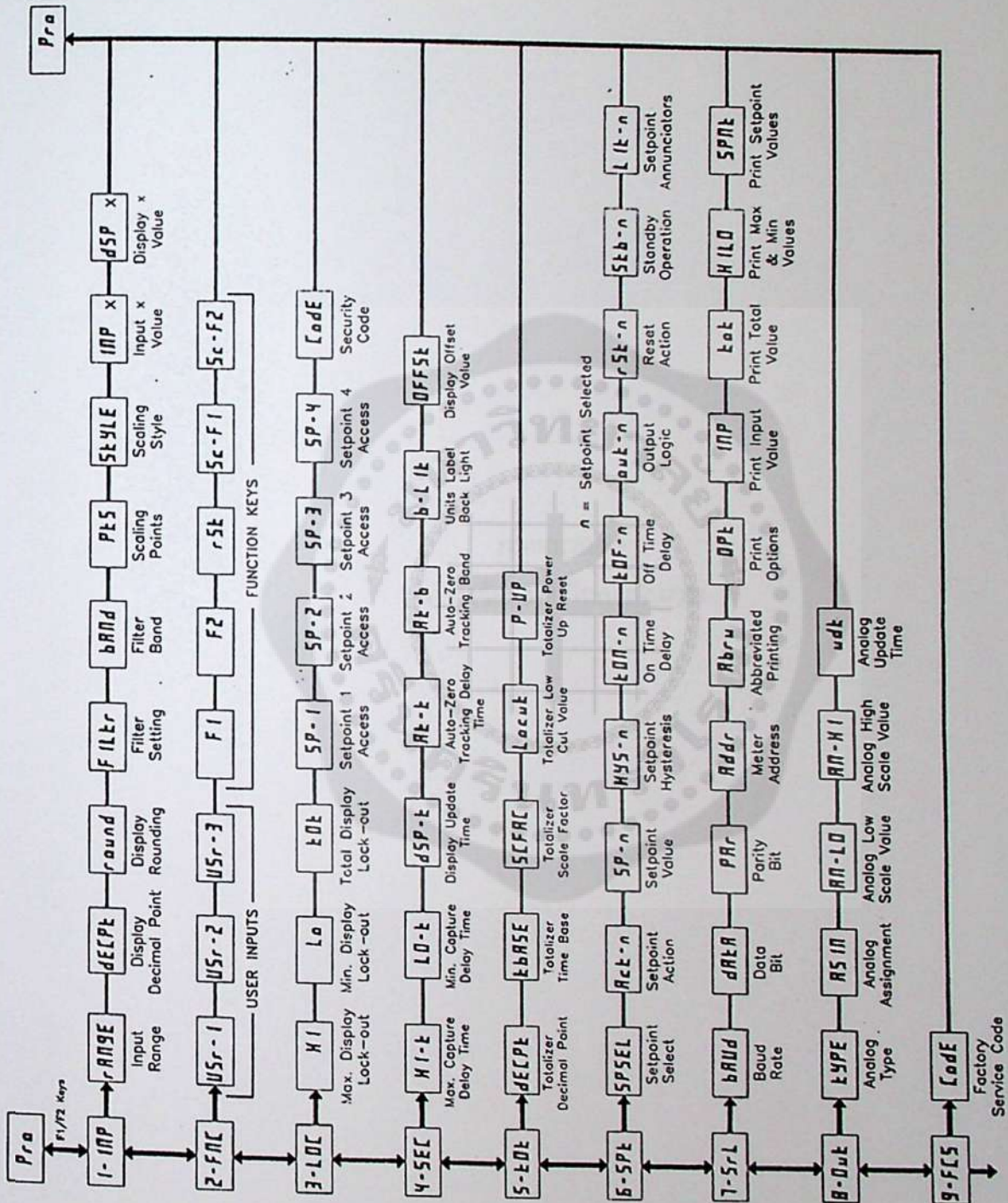
ตารางภาคผนวกที่ 2.1 (ต่อ) ข้อมูลทางเทคนิคชุดเครื่องมือวัดแรง

Setpoint Alarm Figures



ตารางภาคผนวกที่ 2.1 (ต่อ) ข้อมูลทางเทคนิคชุดเครื่องมือวัดแรง

PAXS PROGRAMMING QUICK OVERVIEW



แบบฟอร์มตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบปริมาณการคำนวณ

ประเภทงาน CO	ปริมาณงาน ตามสัญญา (หน่วย)	ปริมาณ การคำนวณ (หน่วย)	ปริมาณ การคำนวณ ตามสัญญา (หน่วย)	ปริมาณงาน การคำนวณ ตามสัญญา (หน่วย)	ปริมาณ การคำนวณ ตามสัญญา (หน่วย)	ปริมาณ การคำนวณ ตามสัญญา (หน่วย)
1	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
2	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
3	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
4	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
5	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
6	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
7	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
8	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
9	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
10	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
11	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
12	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
13	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
14	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
15	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
16	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
17	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
18	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
19	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%
20	100	100	100 x 100%	100 x 100%	100	100%



ภาคผนวกที่ 3
ตารางข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางภาคผนวกที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติทางกลของน้ำ

Temperature (°C)	Specific (or unit) weight, γ (kN/m ³)	Mass density, ρ (kg/m ³)	Dynamic Viscosity, μ (N-s/m ²)	Kinematic Viscosity, ν (m ² /s)	Vapor Pressure, (kN/m ²) (kPa)	Surface Tension,† σ (N/m)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}	0.611	0.0756
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}	1.23	0.0742
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}	2.34	0.0728
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}	4.24	0.0712
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}	7.38	0.0696
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}	12.3	0.0679
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}	19.9	0.0662
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}	31.2	0.0644
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}	47.4	0.0626
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}	70.1	0.0608
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}	101.3	0.0589

† In contact with air.

ตารางภาคผนวกที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าไร้สนิม

AISI Type	Tensile Strength, ksi			Yield Strength, ksi			Elong. in 2 in.			Reduction of Area, %		Brinell Hardness			Impact Strength, (120° F) ft-lb			Endurance Limit, (10 ⁷ cycles) ksi		Weldability	
	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked	Hardened & Tempered	Annealed	Cold Worked		
Austenitic																					
302	85	110	-	35	75	-	60	35	-	70	60	115	240	-	110	-	-	34	-	55	ดีเลิศ
304	85	110	-	35	75	-	60	60	-	70	-	149	240	-	110	90	-	34	-	55	ดีเลิศ
310, 310S	95	-	-	45	-	-	50	-	-	65	-	179	-	-	90	-	-	-	-	50	ดี
316	80	90 ^d	-	30	60 ^d	-	60	45 ^d	-	70	65 ^d	149	190 ^d	-	110	-	-	38	40 ^d	50	ดีเลิศ
321	85	100 ^d	-	35	65 ^d	-	55	40 ^d	-	65	60 ^d	150	212 ^d	-	110	-	-	38	-	55	ดีเลิศ
347, 348	90	100 ^d	-	35	65 ^d	-	50	40 ^d	-	-	60 ^d	160	212 ^d	-	110	-	-	39	-	-	ดีเลิศ
Martensitic																					
403	73 ^a	-	110	43 ^a	-	85	30 ^a	-	23	70	-	155	-	225	90	-	75	40	-	Fair	พอใช้
410	70	100 ^b	110 ^b	40 ^a	85	85	40 ^a	17	23	70	60	155	205	225	90	80 ^a	75	40	-	55 ^c	พอใช้ พ้องระบุมักจะวิ่ง
414	117 ^a	130 ^d	160 ^a	98 ^a	115 ^d	127 ^a	17 ^a	15 ^d	17 ^a	60	58 ^d	235	270 ^d	-	50	-	48 ^a	45	-	Fair	พอใช้ถ้ามีการให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม
416, 416Sc	75	100 ^c	110	40	85 ^c	85	30	13 ^c	18	60	55	155	205 ^e	230	70	20 ^a	25	40	53 ^c	80	ไม่แนะนำให้ใช้
420	95	105 ^d	230	50	85 ^d	195	25	17 ^d	8	55	50 ^d	195	215 ^d	500	-	-	10	40	-	45 ^c	พอใช้
431	125	130 ^d	165 ^a	95	110 ^d	125 ^a	20	15 ^d	17 ^a	55	35 ^d	260	270 ^d	338 ^a	50	-	40 ^a	45	-	45 ^c	พอใช้ถ้ามีการให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อม
440 A,B,C	105	115 ^{b,d}	260	60	90 ^{b,d}	240	20	7 ^{b,d}	5	25 ^{b,d}	20	215	240 ^{b,d}	510	2	2 ^{b,d}	4	40	-	40	เชื่อมด้วยความระมัดระวังอย่างสูง
Ferritic																					
405	68 ^a	85	-	40	70	-	27 ^a	20	-	60	60	150	185	-	25 ^b	-	-	-	-	60	ดีเลิศสำหรับการเชื่อมแบบหลอมละลาย
430, 430F	75	83 ^a	-	43 ^a	63 ^a	-	27 ^a	20 ^a	-	62 ^a	60 ^a	155	212	-	-	-	-	40 ^b	46 ^b	Fair	พอใช้ แนะนำให้พ่นผิวหลังการเชื่อม
446	83 ^a	85	-	53 ^a	70	-	23 ^a	20	-	45	45	163	183	-	2	-	-	47	-	Fair	พอใช้ แต่ต้องระมัดระวัง

ที่มา : 1973 Materials Selector, Reinhold Publishing Co., New York. ASME.
Handbook: Metal Properties, McGraw-Hill, 1954.

a ค่าเฉลี่ย

d นอนนิลและรีดเย็น

b ค่าต่ำสุด

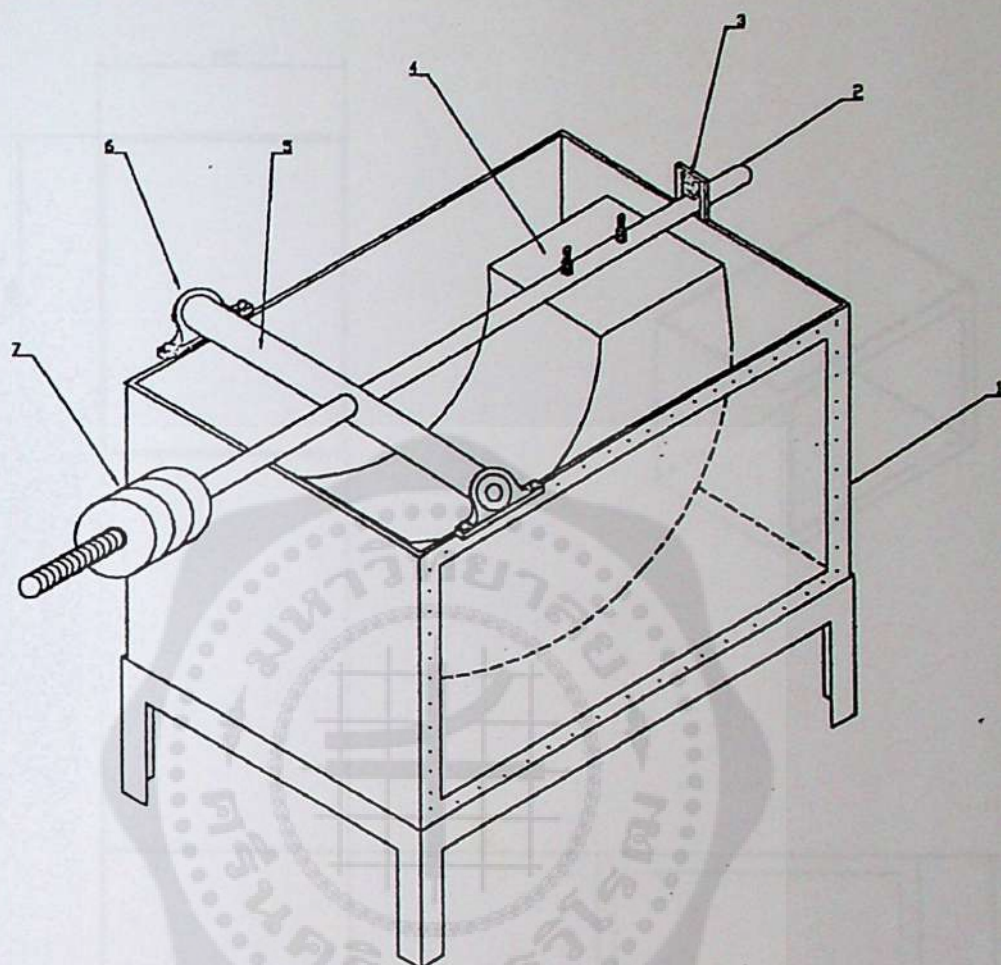
e เหมเปอร์และรีดเย็น

c ทำให้นิ่ง 200-220 BHN

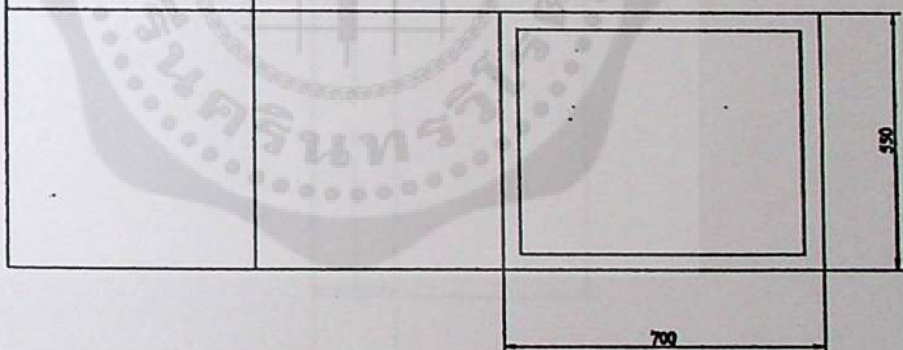
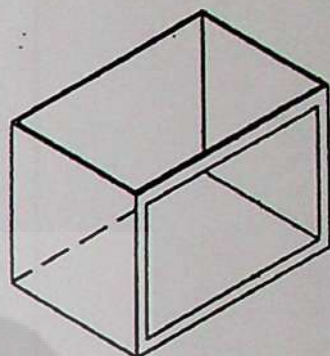
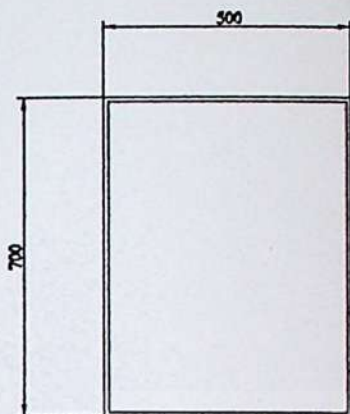


ภาคผนวกที่ 4

แบบอุปกรณ์ชุดสาธิตจุดศูนย์กลางความดัน

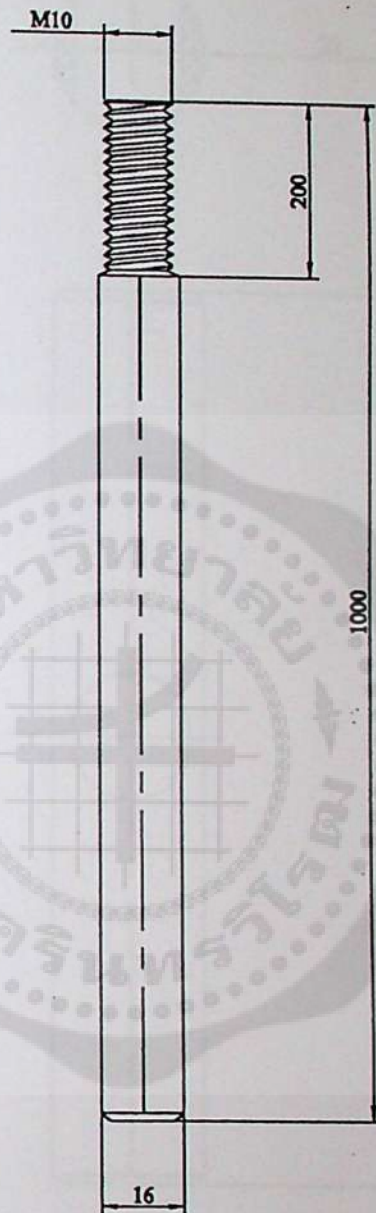


7	3	น้ำหนักถ่วง	
6	1	ลูกปืน	
5	1	เพลากลาง, AISI 304, D22x550	
4	4	หน้าแปลน, AISI 304	
3	1	โหนดเชลล์	
2	1	เพลาขับเคลื่อนเรียบ, AISI 304, D16x1000	
1	1	ตั้ง, AISI 304, 550x700x500	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด	มาตรฐาน
ผู้เขียน ภาณุมาศ น้อยคำดี	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแฟ้ม
			วันที่ 1/3/43
			มาตราส่วน 1:1
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		ชุดสารพัดจุดศูนย์กลางความคั่น	
		หมายเลขแบบ 01	แก้ไขครั้งที่ 1

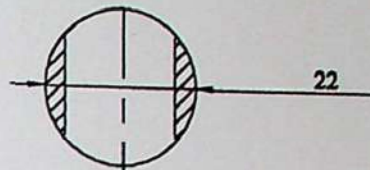


1

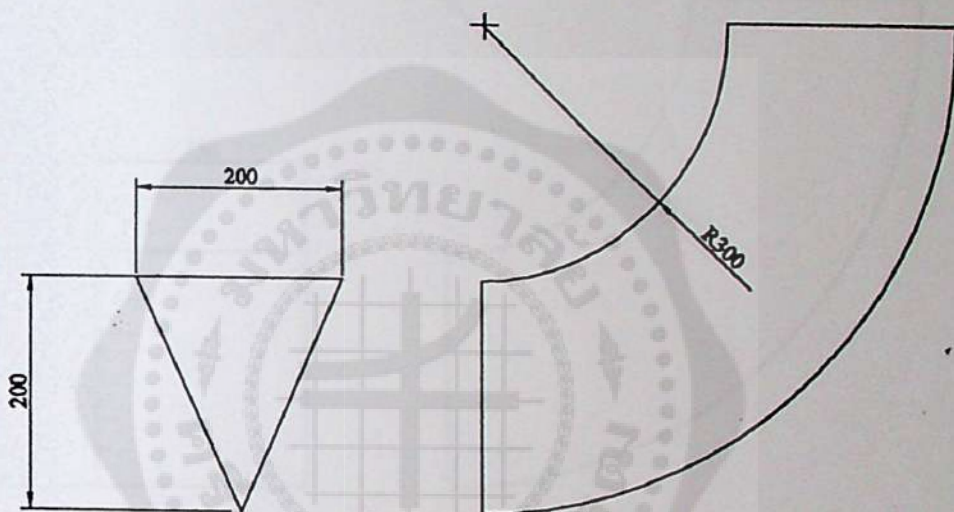
1	1	ถึง, AISI 304, 550x700x500			—	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน ภาณุมาศ น้อยคำดี		ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแผ่น	วันที่ 1/3/43	มาตรฐาน 1:1
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์				ชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน		
				หมายเลขแบบ 02		แก้ไขครั้งที่



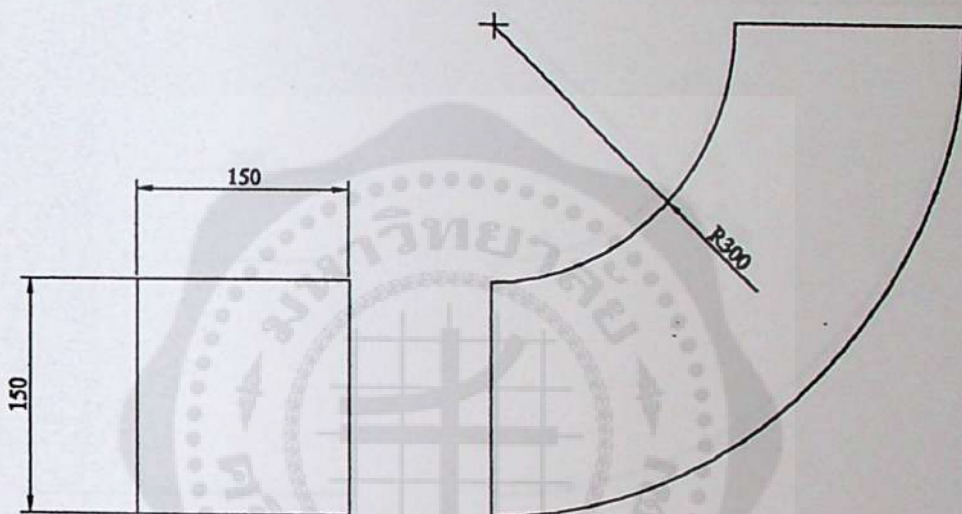
1	1	เพลาช็อคแทนเรียบ, AISI 304, D16x1000			—	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน ภาณุมาศ น้อยดำดี	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแผ่น	วันที่ 1/3/43	มาตราส่วน 1:1	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชุดสาริตจุดศูนย์กลางความคั่น			
			หมายเลขแบบ 03		แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1



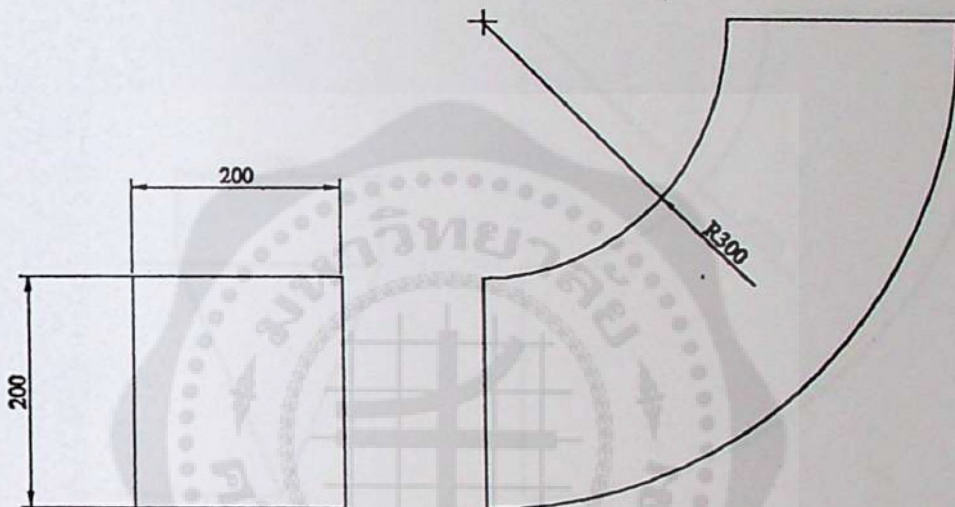
1	1	เพลากลาง, AISI 304, D22x550			—	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน ภาณุมาศ น้อยคำดี	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแฟ้ม	วันที่ 1/3/43	มาตราส่วน 1:1	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชุดสถิติจุดศูนย์กลางความดัน			
			หมายเลขแบบ 04	แก้ไขครั้งที่ 1	แผ่นที่ 1	



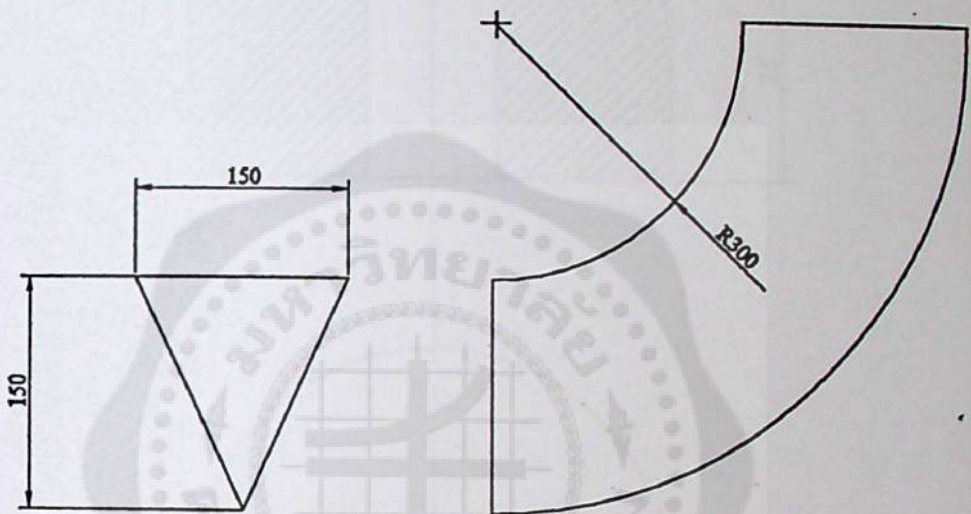
1	1	หน้าแปลนตีเหล็ก, AISI 304, 200x200			—	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน	ผู้ตรวจสอบ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแผ่น	วันที่	มาตราส่วน	
ภาณุมาศ น้อยคำดี	—	—	—	1/3/43	1:1	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน			
			หมายเลขแบบ	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่	
			05		1	



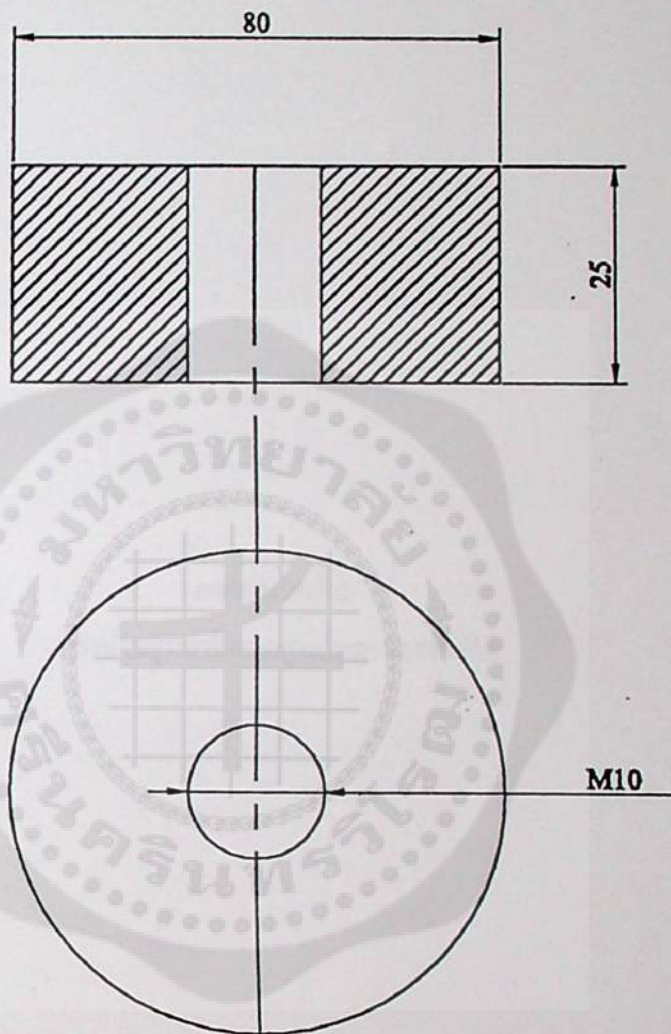
1	1	หนาแผ่นสตีเลส, AISI 304, 150x150			—	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน ภาณุมาศ น้อยคำลี	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแผ่น	วันที่ 1/3/43	มาตราส่วน 1:1	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชุดสาริตจุดศูนย์กลางความคั่น			
			หมายเลขแบบ 06	แก้ไขครั้งที่ 1	แผ่นที่ 1	



1	1	หน้าแปลนสามเหลี่ยม, AISI 304, 200x200			—	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน ภาณุมาศ น้อยคำดี	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแผ่น	วันที่ 1/3/43	มาตรฐาน 1:1	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชุดสถิติจุดศูนย์กลางความดัน			
			หมายเลขแบบ 07	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่ 1	



1	1	หน้าแปลนตามเหลี่ยม, AISI 304, 150x150			—	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน ภาณุมาศ น้อยคำดี	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแฟ้ม	วันที่ 1/3/43	มาตราส่วน 1:1	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชุดสถิติจุดศูนย์กลางความดัน			
			หมายเลขแบบ 08	แก้ไขครั้งที่ 1	แผ่นที่ 1	

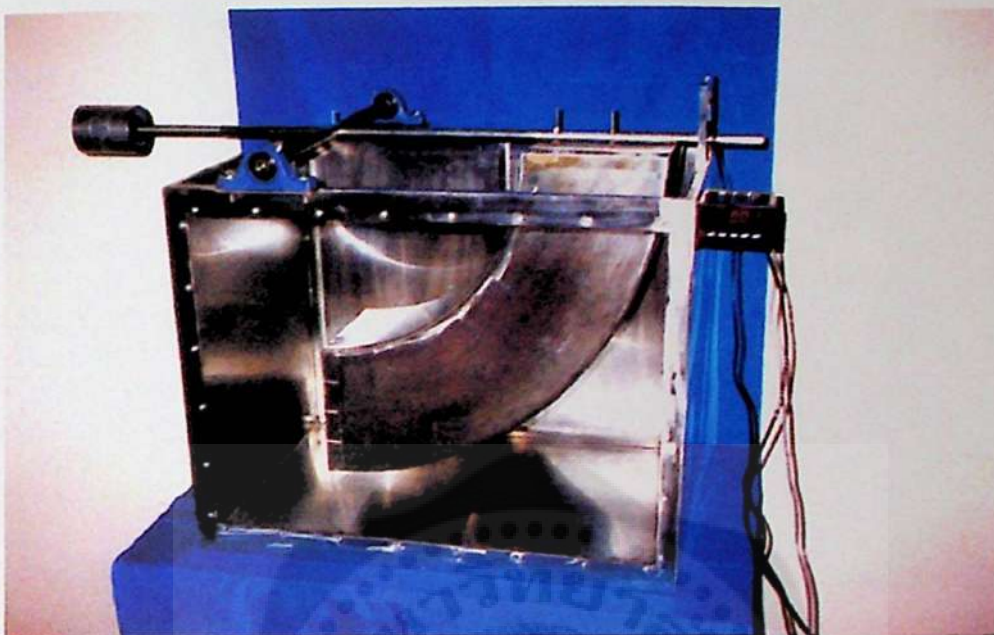


1	3	นำหนักดวง			—	
ลำดับ	จำนวน	ชื่อ, วัสดุ, ขนาด			มาตรฐาน	
ผู้เขียน	ผู้ตรวจ	ผู้อนุมัติ	ชื่อแผ่น	วันที่	มาตราส่วน	
ภาณุมาศ น้อยคำดี	—	—	—	1/3/43	1:1	
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์			ชุดสถิติจุดศูนย์กลางความดัน			
			หมายเลขแบบ	แก้ไขครั้งที่	แผ่นที่	
			09		1	



ภาคผนวกที่ 5

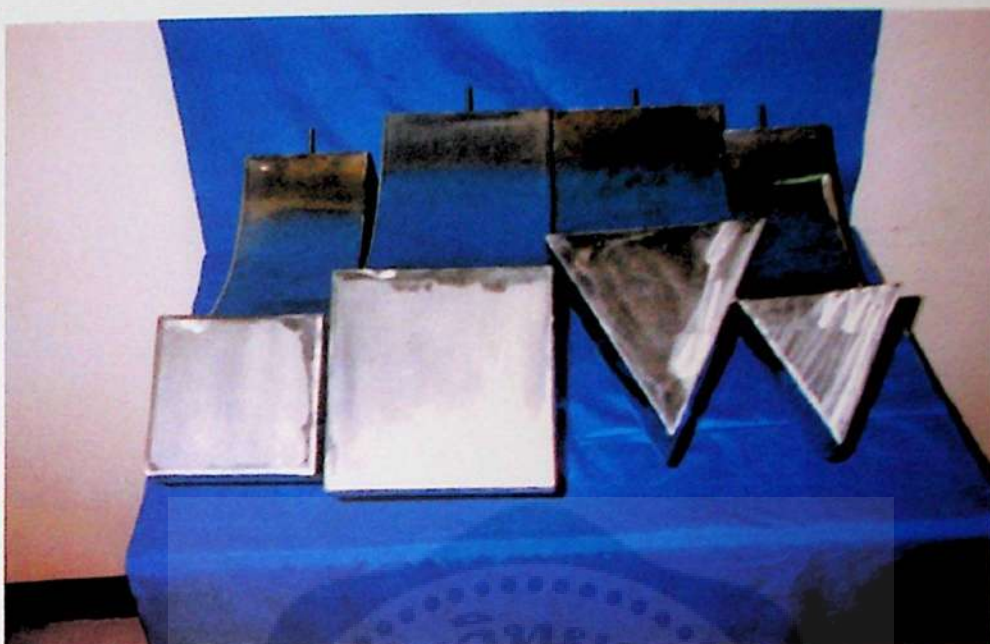
ภาพถ่ายชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน



รูปภาคผนวกที่ 5.1 แสดงชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน



รูปภาคผนวกที่ 5.2 แสดงถังของชุดสาริตจุดศูนย์กลางความดัน



รูปภาคผนวกที่ 5.3 แสดงชุดหน้าแปลนขนาดต่างๆ ของชุดสถิติจุดศูนย์กลางความดัน



รูปภาคผนวกที่ 5.4 แสดงเพลา, เพลากลาง, น้ำหนักบาลานซ์, โหลดเซลล์และจอแสดงผล



ภาคผนวกที่ 6

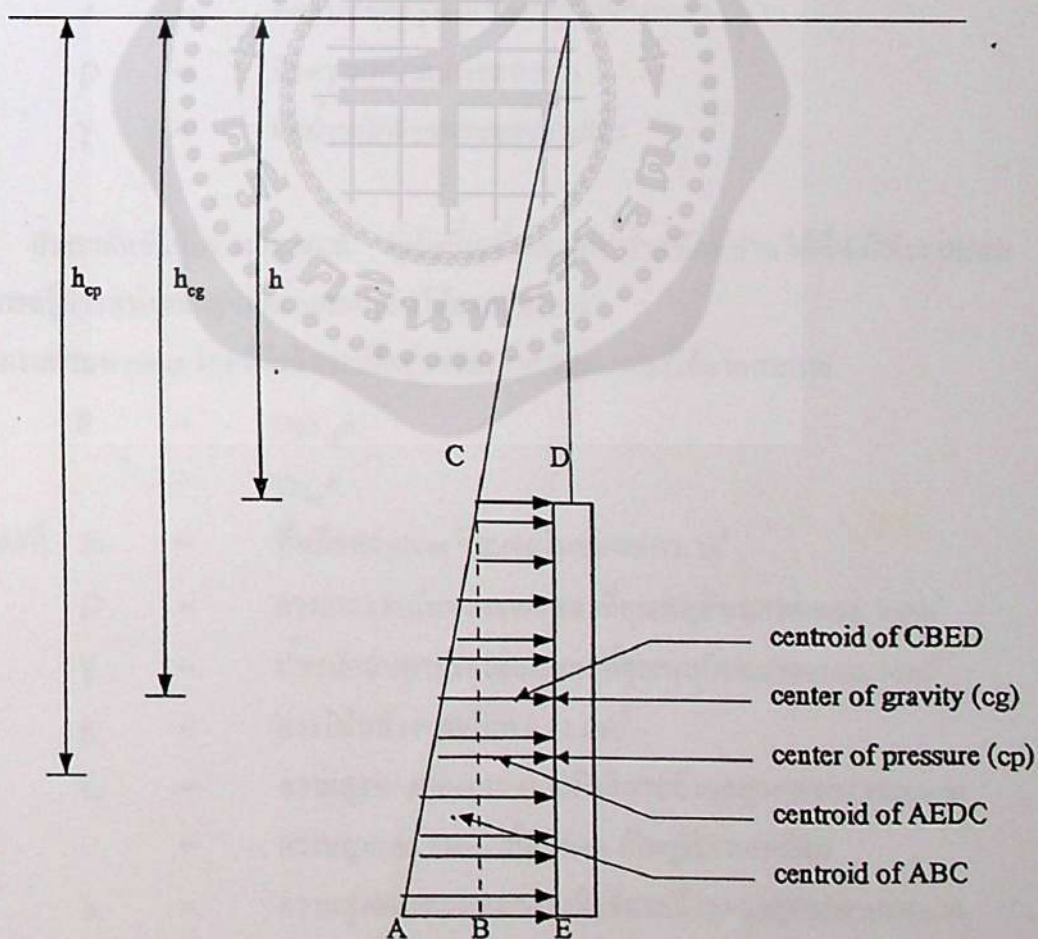
คู่มือการทดลองจุดศูนย์กลางความดัน

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
การหาจุดศูนย์กลางความดัน
Center of Pressure

1. วัตถุประสงค์ (Objective)

1.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ จะมีผลต่อจุดศูนย์กลางความดันมากน้อยเพียงใด

1.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบระยะจุดศูนย์กลางความดันของรูปทรงและขนาดในแบบสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม ทั้งจากการคำนวณทางทฤษฎีและการทดลอง



2. ทฤษฎี (Theory)

อุปกรณ์การทดลองนี้ สามารถหาจุดศูนย์กลางความดันของระนาบ (Plane) ได้โดยการกระทำให้ระบบสมดุล ดังนั้นโมเมนต์ที่กระทำโดยแรงดันของเหลวทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนของระนาบ (Plane) ที่จมในของเหลว เราสามารถวัดได้โดยตรง ส่วนแรงดันของของเหลวที่กระทำบนผิวโค้งของระนาบ (Plane) จะออกแบบให้ผ่านจุดหมุนของคาน เพื่อกำจัดโมเมนต์ของแรงดันที่ไม่ต้องการ โดยการให้ส่วนที่โค้ง quadrant มีลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดหมุนของคาน โมเมนต์รอบจุดหมุนของคานจะมีโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันของของเหลวบนผิวของระนาบ (Plane)

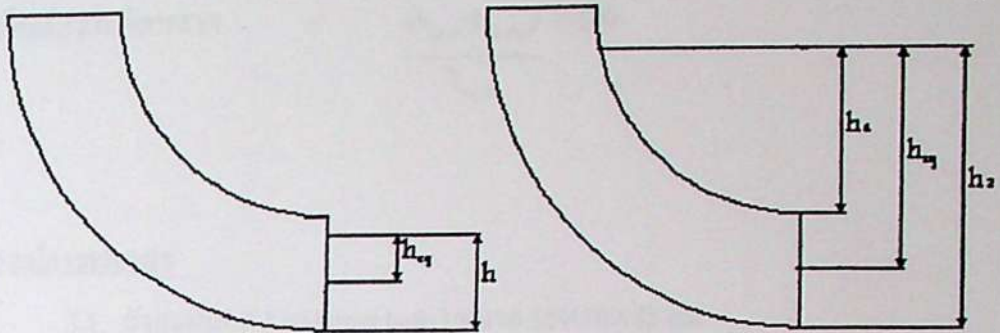
แรงลัพธ์ของเหลวที่กระทำบนระนาบ (Plane) สามารถคำนวณได้จากสมการ

	F	$=$	$\rho g h_{cg} A$
		$=$	$\gamma h_{cg} A$
โดยที่	h_{cg}	$=$	คือความสูงจากผิวอิสระถึงจุดศูนย์กลางความดัน
	A	$=$	คือพื้นที่ของ plane ที่จมอยู่ในของเหลว
	ρ	$=$	คือความหนาแน่นของเหลว
	γ	$=$	คือน้ำหนักจำเพาะของของเหลว

นำแรงลัพธ์นี้ไปหารโมเมนต์ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าน้ำหนักที่อ่านได้ที่ทำให้ระบบสมดุล ก็สามารถรู้ตำแหน่งของศูนย์กลางความดันได้ตามต้องการ

แรงลัพธ์ที่กระทำบน plane โดยที่ผิวอิสระเปิดสู่บรรยากาศสามารถหาได้จากสมการ

	F	$=$	$\rho g h_{cg} A$
		$=$	$\gamma h_{cg} A$
โดยที่	A	$=$	พื้นที่ของ plane ที่จมอยู่ในของเหลว, m^2
	ρ	$=$	ความหนาแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิขณะทดลอง, kg/m^3
	γ	$=$	น้ำหนักจำเพาะของของเหลวที่อุณหภูมิขณะทดลอง, N/m^3
	g	$=$	แรงโน้มถ่วงของโลก $9.81 m/s^2$
	h_1	$=$	ความสูงของของเหลวจากผิวอิสระถึงจุดสูงสุดของ plane, m
		$=$	ความสูงของ Plane เมื่อ Plane เป็นรูปสามเหลี่ยม
	h_2	$=$	ความสูงของของเหลวจากผิวอิสระถึงจุดต่ำสุดของ plane, m
	h_{cg}	$=$	ความสูงจากผิวอิสระถึงจุดศูนย์กลางมวลของ plane ที่สัมผัสกับน้ำ, m



$$h_{cg \text{ สามเหลี่ยม}} = \frac{1}{3} h$$

$$h_{cg \text{ สามเหลี่ยม}} = \frac{1}{3} h_1 + h_2$$

$$h_{cg \text{ สี่เหลี่ยม}} = \frac{1}{2} h$$

$$h_{cg \text{ สี่เหลี่ยม}} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันของของเหลวกระทำบนระนาบ (Plane) คือ

	M	$=$	$F_D \cdot l$
โดยที่	F_D	$=$	คือแรงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด, N.
	l	$=$	คือระยะจากจุดหมุนถึงจุดที่เครื่องมืออ่านค่าแรง, m.
แต่เนื่องจาก	M	$=$	$F_p (h_{cp} + y)$
โดยที่	h_{cp}	$=$	คือระยะจากผิวอิสระถึงจุดศูนย์กลางความดัน, m.
	y	$=$	คือระยะจากจุดหมุนถึงผิวอิสระ, m.

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad F(h_{cp} + y) &= F_D l \\ h_{cp} &= (F_D l / F_p) - y \quad (\text{By experiment}) \end{aligned}$$

ค่า h_{cp} นี้คือค่าที่อ่านได้จากการทดลอง ทางทฤษฎีสามารถหาระยะจากผิวอิสระถึงจุดศูนย์กลางความดันได้จาก

$$h_{cp, th} = h_{cg} + (I_{cg} / h_{cg} A) \quad (\text{By theory})$$

ในที่นี้ I_{cg} = โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นผิวรอบแกน

$$\text{รูปทรงสี่เหลี่ยม} \quad I_{cg} = \frac{bh^3}{12}$$

$$\text{รูปทรงสามเหลี่ยม} \quad I_{cg} = \frac{bh^3}{36}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{(h_{cp,th} - h_{cp,exp}) \times 100}{h_{cp,th}}$$

3. อุปกรณ์การทดลอง

- 3.1. ถังสแตนเลส (stainless tank) ขนาด 55×70×45 cm
- 3.2. เพลขนาด $\varnothing 16$ mm ยาว 1000 mm
- 3.3. เพลขนาด $\varnothing 22$ mm ยาว 550 mm
- 3.4. ชุดทดลองรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 200×200 mm
- 3.5. ชุดทดลองรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 150×150 mm
- 3.6. ชุดทดลองรูปสามเหลี่ยม ขนาด 200×200 mm
- 3.7. ชุดทดลองรูปสามเหลี่ยม ขนาด 150×150 mm
- 3.8. น้ำหนักถ่วง (wiegh balance)
- 3.9. ชุดเครื่องมือวัดแรง (loadcell and display)
- 3.10. น้ำที่ใช้ทำการทดลอง (water)
- 3.11. เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- 3.12. สเกลวัดระดับ (scale level)

4. วิธีการทดลอง

- 4.1. ประกอบหน้าแปลน(plane)รูปสี่เหลี่ยมขนาด 200×200 mm เข้ากับชุดการทดลอง
- 4.2. ตั้งชุดทดลองให้อยู่ในแนวระดับโดยปรับระดับขาตั้งโดยสังเกตจากสเกลระดับ
- 4.3. เติมน้ำถึงขอบล่างหน้าแปลน (plane)
- 4.4. ปรับก้นน้ำหนักให้เพลอยู่ในแนวระดับ และ สัมผัสกับโหลดเซลล์พอดีโดยสังเกตจากตัวเลขบนจอแสดงผล
- 4.5. เช็ทศูนย์ที่จอแสดงผล (set zero)
- 4.6. เติมน้ำให้สูงจากขอบล่างของหน้าแปลนเป็น 5,10,15,20,25,30 ตามลำดับ
- 4.7. บันทึกผลการทดลองแต่ละระดับ
- 4.8. เปลี่ยนหน้าแปลน (plane) เป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 150×150 mm รูปสามเหลี่ยม 200×200 mm และรูปสามเหลี่ยม 150×150 mm
- 4.9. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 ถึงข้อ 7 และบันทึกผล

5. ผลการทดลอง

ข้อมูลทดลองวันที่เดือน.....พ.ศ.....

ของเหลวที่ใช้ในการทดลอง.....

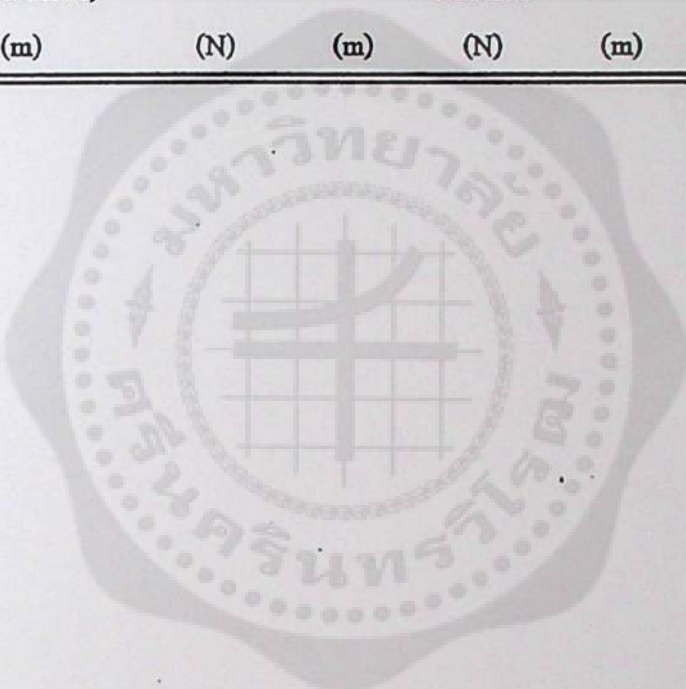
อุณหภูมิของของเหลว.....

การทดลองหน้าแปลน.....

ครั้งที่	ระดับน้ำ(วัด จากได้ Plane)	แรงที่อ่านได้	h_{cg}	แรงที่กระทำ กับPlane	$h_{cp,exp}$	$h_{cp,the}$	Error
	(m)	(N)	(m)	(N)	(m)	(m)	(%)

ข้อมูลทดลองวันที่เดือน.....พ.ศ.....
ของเหลวที่ใช้ในการทดลอง.....
อุณหภูมิของของเหลว.....
การทดลองหน้าแปลน.....

ครั้งที่	ระดับน้ำ(วัด จากใต้ Plane)	แรงที่อ่านได้	h_{cg}	แรงที่กระทำ กับPlane	$h_{cg,exp}$	$h_{cg,the}$	Error
	(m)	(N)	(m)	(N)	(m)	(m)	(%)



ข้อมูลทดลองวันที่เดือน.....พ.ศ.....

ของเหลวที่ใช้ในการทดลอง.....

อุณหภูมิของของเหลว.....

การทดลองหน้าแปลน.....

ครั้งที่	ระดับน้ำ(วัด จากใต้ Plane)	แรงที่อ่านได้	h_{cg}	แรงที่กระทำ กับPlane	$h_{cp,exp}$	$h_{cp,t}$	Error
	(m)	(N)	(m)	(N)	(m)	(m)	(%)

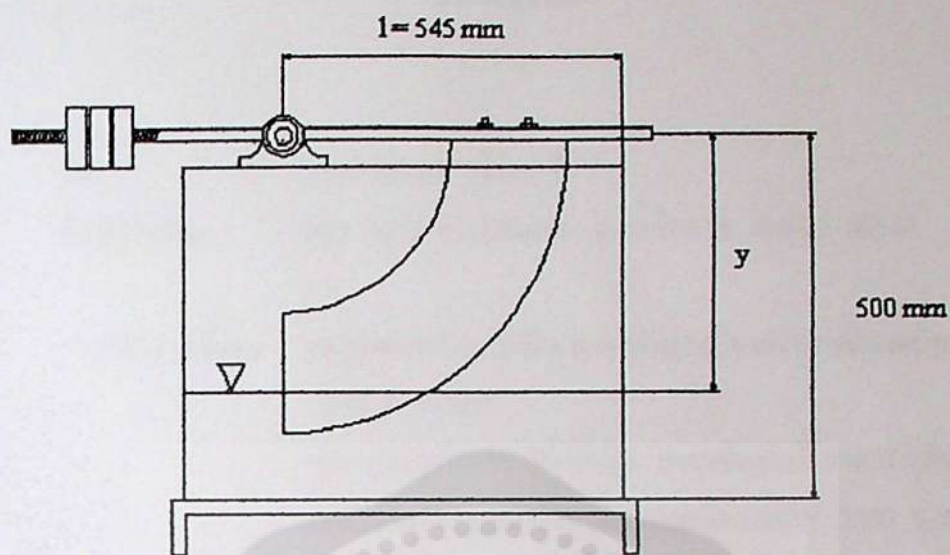
ข้อมูลทดลองวันที่เดือน.....พ.ศ.....

ของเหลวที่ใช้ในการทดลอง.....

อุณหภูมิของของเหลว.....

การทดลองหน้าแปลน.....

ครั้งที่	ระดับน้ำ(วัด จากได้ Plane)	แรงที่อ่านได้	h_{cg}	แรงที่กระทำ กับPlane	$h_{cp,exp}$	$h_{cp,t}$	Error
	(m)	(N)	(m)	(N)	(m)	(m)	(%)



รูปภาคผนวกที่ 6.2 แสดงระยะที่ใช้ในการทดลอง

ประวัติผู้จัดทำ

- ชื่อ นายภานุมาศ น้อยสำลี
ที่อยู่ปัจจุบัน 14/2 หมู่ 2 ต. ปากแตร อ. ระโนด จ. สงขลา 90140
- ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างยนต์ จากวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ 2538 จ. สงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิค ภาคใต้ 2540 จ. สงขลา
- ชื่อ นายวิสิทธิ์ กัลยาณันท์
ที่อยู่ปัจจุบัน 291/12 ต. วัฒนาอาพาตมนตรี ต. ประชาธิปไตย อ. รัษฎา จ. ปทุมธานี 10130
- ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างยนต์ จากวิทยาลัยเทคนิค นครศรีธรรมราช
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์ จากมหาวิทยาลัยสยาม 2536 กรุงเทพฯ
- ชื่อ นายสมทรง แสนนา
ที่อยู่ปัจจุบัน 79/126 เจริญ 5 หมู่ 2 ต. ลำไทร อ. วังน้อย จ. พระนครศรีอยุธยา 13180
- ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างยนต์ จากวิทยาเขตเทคนิคขอนแก่น 2530 จ. ขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคขอนแก่น 2532 จ. ขอนแก่น