คำรับรองตนเอง (Self-Declaration) ของสถาบันการศึกษา

สำหรับการขอรับรองปริญญาประกาศนียบัตรหรือวุฒิบัตรในการประกอบวิชาชีพ

วิศวกรรมควบคุม

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สำหรับผู้เข้าศึกษาปีการศึกษา 2565 – 2569

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

6 กุมภาพันธ์ 2566

สารบัญ

	หน้า
ส่วนที่ 1 หลักสูตร	1
1. ชื่อหลักสูตร	1
2. ชื่อปริญญาและสาขาวิชา	1
3. วิชาเอก/แขนงวิชา	1
4. ปรัชญาและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร	2
5. ระบบการจัดการศึกษา	2
6. แผนการเรียน	3
7. การเทียบโอน/ยกเว้นรายวิชา	7
8. สถานภาพของหลักสูตรและการพิจารณาอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตร	8
9. ชื่อผู้รับรอง/อนุมัติข้อมูล	8
10. ชื่อผู้รับผิดชอบ/ผู้ประสานงานหลักสูตร	8
ส่วนที่ 2 นิสิต/นักศึกษา	9
1. คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา	9
2. แผนการรับนักศึกษาในระยะ 5 ปี	9
3. คุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์	11
ส่วนที่ 3 คณาจารย์	23
1. ประธานหลักสูตร	23
2. อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร	23
3. อาจารย์ประจำหลักสูตร/อาจารย์ประจำสาขาวิชา	24
4. บุคลากรช่วยสอน/ผู้ช่วยสอนวิชาปฏิบัติการ	26
5. อัตราส่วนระหว่างอาจารย์ประจำต่อนักศึกษา	26
6. แผนพัฒนาหลักสูตรและบุคลากรในระยะ 5 ปี	27
ส่วนที่ 4 รายละเอียดและสาระของวิชาตามองค์ความรู้	28
1. ตารางแจกแจงรายวิชาเทียบกับองค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด (Curriculum Mapping)	28
2. ตารางแสดงผู้สอนในแต่ละองค์ความรู้	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ส่วนที่ 5 สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้และการประกันคุณภาพการศึกษา	51
1. ห้องปฏิบัติการ	51
2. แหล่งบริการข้อมูลทางวิชาการ	74
3. การประกันคุณภาพการศึกษา	81
ส่วนที่ 6 ภาคผนวก	83
ภาคผนวก 1 เอกสาร/หนังสือที่สภาสถาบันการศึกษาอนุมัติหลักสูตร	84
ภาคผนวก 2 รายละเอียดของหลักสูตร (มคอ.2) ฉบับสมบูรณ์ที่ผ่านการอนุมัติจากสภาสถาบันการศึกษา	87
ภาคผนวก 3 แผนการสอน (มคอ.3)	89
ภาคผนวก 4 คู่มือปฏิบัติการที่ใช้ในการเรียนการสอน	432

คำรับรองตนเอง (Self-Declaration)

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อสถาบันการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่
วิทยาเขต/คณะ/ภาควิชา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิศวกรรมที่รับรองปริญญา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษาที่รับรองปริญญา 2565 – 2569

ส่วนที่ 1 หลักสูตร

1. ชื่อหลักสูตร

ชื่อภาษาไทย : หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ชื่อภาษาอังกฤษ : Bachelor of Engineering Program in Mechanical Engineering

2. ชื่อปริญญาและสาขาวิชา

ชื่อเต็มภาษาไทย : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
ชื่อย่อภาษาไทย : วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)
ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ : Bachelor of Engineering (Mechanical Engineering)
ชื่อย่อภาษาอังกฤษ : B.Eng. (Mechanical Engineering)

3. วิชาเอก/แขนงวิชา

วิชาเอก/แขนงวิชาภาษาไทย : ไม่มี
วิชาเอก/แขนงวิชาภาษาอังกฤษ : ไม่มี

4. ปรัชญาและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

4.1. ปรัชญาของหลักสูตร

มุ่งมั่นผลิตวิศวกรเครื่องกลนักปฏิบัติมืออาชีพที่มีทักษะและเชี่ยวชาญเทคโนโลยี และมีจรรยาบรรณในวิชาชีพ

4.2. วัตถุประสงค์ของหลักสูตร

4.2.1 เพื่อผลิตวิศวกรเครื่องกลนักปฏิบัติมืออาชีพที่มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์ของสภาวิศวกร และสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

4.2.2 เพื่อผลิตวิศวกรเครื่องกลนักปฏิบัติมืออาชีพที่มีความสำนึกในจรรยาบรรณทางวิชาชีพปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงความปลอดภัย ปัจจัยทางสังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

4.2.3 เพื่อผลิตวิศวกรเครื่องกลนักปฏิบัติมืออาชีพที่มีทักษะพร้อมปฏิบัติงาน มีความเชี่ยวชาญเทคโนโลยี และมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อพัฒนาชุมชนและอุตสาหกรรมใหม่ของประเทศไทย

5. ระบบการจัดการศึกษา

5.1. ระบบ

ใช้ระบบทวิภาค โดยในหนึ่งปีการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ภาคการศึกษาปกติ ซึ่ง 1 ภาคการศึกษา มีระยะเวลาศึกษาไม่น้อยกว่า 15 สัปดาห์ มหาวิทยาลัยฯ อาจเปิดภาคการศึกษาฤดูร้อน ซึ่งเป็นภาคการศึกษาที่ไม่บังคับ ใช้ระยะเวลาศึกษาไม่น้อยกว่า 6 สัปดาห์ โดยให้เพิ่มชั่วโมงการศึกษาในแต่ละรายวิชาให้เท่ากับภาคการศึกษาปกติ

5.2. การจัดการศึกษาภาคฤดูร้อน

สามารถจัดการศึกษาภาคฤดูร้อนได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของคณะกรรมการประจำคณะ ใช้ระยะเวลาศึกษาไม่น้อยกว่า 6 สัปดาห์ โดยให้เพิ่มชั่วโมงการศึกษาในแต่ละรายวิชาให้เท่ากับภาคการศึกษาปกติ

5.3. การเทียบเคียงหน่วยกิตในระบบทวิภาค

ไม่มี

6. แผนการเรียน

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	รายวิชา	หน่วยกิต	รหัสวิชาบังคับก่อน
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 1	3(T-P-E)	-
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 2	3(T-P-E)	-
FUNMA110	แคลคูลัสมูลฐานสำหรับวิศวกร Fundamental of Calculus for Engineers	3(3-0-6)	-
FUNSC115	ฟิสิกส์มูลฐานสำหรับวิศวกร Fundamental of Physics for Engineers	4(3-3-7)	-
FUNSC203	เคมีมูลฐานสำหรับวิศวกร Fundamentals of Chemistry for Engineers	4(3-3-7)	-
ENGCC301	เขียนแบบวิศวกรรม Engineering Drawing	3(2-3-5)	-
หน่วยกิตรวม		**20**	

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	รายวิชา	หน่วยกิต	รหัสวิชาบังคับก่อน
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 3	3(T-P-E)	-
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 4	3(T-P-E)	-
ENGCC303	วัสดุวิศวกรรม Engineering Materials	3(3-0-6)	-
ENGME101	สถิตยศาสตร์ Statics	3(3-0-6)	FUNSC115
ENGME103	อุณหพลศาสตร์ Thermodynamics	3(3-0-6)	FUNSC115
ENGME115	เขียนแบบวิศวกรรมเครื่องกล Mechanical Engineering Drawing	3(2-3-5)	ENGCC301
ENGME184	คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรเครื่องกล Mathematics for Mechanical Engineering	3(3-0-6)	FUNMA110
หน่วยกิตรวม		**21**	

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	รายวิชา	หน่วยกิต	รหัสวิชาบังคับก่อน
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 5	3(T-P-E)	-
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 6	3(T-P-E)	-
ENGME102	พลศาสตร์ Dynamics	3(3-0-6)	ENGME101
ENGME105	กลศาสตร์วัสดุ Mechanics of Materials	3(3-0-6)	ENGME101
ENGME174	การวัดและการควบคุมสมัยใหม่สำหรับวิศวกร Modern Measurement and Control for Engineer	3(2-3-5)	-
ENGME192	คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรเครื่องกลประยุกต์ Applied mathematics for Mechanical Engineering	3(3-0-6)	FUNMA110
ENGME196	กระบวนการผลิตสำหรับวิศวกรรมเครื่องกล Manufacturing Processes for Mechanical Engineering	3(3-0-6)	-
หน่วยกิตรวม		**21**	

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	รายวิชา	หน่วยกิต	รหัสวิชาบังคับก่อน
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 7	3(T-P-E)	-
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 8	3(T-P-E)	-
ENGME104	กลศาสตร์ของไหล Fluid Mechanics	3(3-0-6)	ENGME102
ENGME108	กลศาสตร์เครื่องจักรกล Mechanics of Machinery	3(3-0-6)	ENGME102
ENGME109	การออกแบบเครื่องจักรกล Machine Design	3(3-0-6)	ENGME105
ENGME110	การควบคุมอัตโนมัติ Automatic Control	3(3-0-6)	ENGME184
ENGME111	การสั่นสะเทือนเชิงกล Mechanical Vibration	3(3-0-6)	ENGME184 และ ENGME102
หน่วยกิตรวม		**21**	

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	รายวิชา	หน่วยกิต	รหัสวิชาบังคับก่อน
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 9	3(T-P-E)	-
ENGME131	อุปกรณ์ขับเคลื่อนและตรวจวัดในหุ่นยนต์ Robot Actuators and Sensors	3(2-3-5)	ENGME174
ENGME171	ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเบื้องต้น Introduction to Finite Element Method and Computational of Fluid Dynamics	3(2-3-5)	ENGME104 และ ENGME105
ENGME172	เครื่องจักรกลของไหล Fluid Machinery	3(3-0-6)	ENGME104
ENGME173	การถ่ายเทความร้อนและการประยุกต์ Heat Transfer and Application	3(3-0-6)	ENGME103 และ ENGME104
ENGME194	ระบบดับเพลิงและระบายอากาศเบื้องต้น Fire Protection Systems and Introduction to Ventilation	3(3-0-6)	ENGME104
ENGME1XX	วิชาชีพเลือก 1	3(T-P-E)	*
หน่วยกิตรวม		**21**	

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	รายวิชา	หน่วยกิต	รหัสวิชาบังคับก่อน
ENGME107	สถิติและการออกแบบการทดลอง Statistics and Design of Experiment	3(3-0-6)	-
ENGME119	การเตรียมโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล Mechanical Engineering Pre-Project	1(0-3-1)	ENGME102 หรือ ENGME105 หรือ ENGME173
ENGME123	การทำความเย็นและปรับอากาศ Refrigeration and Air Conditioning	3(3-0-6)	ENGME173
ENGME136	ไฮดรอลิกส์และนิวเมติกส์ Hydraulics and Pneumatics	3(2-3-5)	ENGME104
ENGME169	การฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมเครื่องกล Basic Mechanical Engineering Training	2(0-6-2)	-
ENGME175	เศรษฐศาสตร์สำหรับการจัดการพลังงาน Economics for Energy Management	3(3-0-6)	-
ENGME1XX	วิชาชีพเลือก 2	3(T-P-E)	*
XXXXXXXX	วิชาเลือกเสรี 1	3(T-P-E)	*
หน่วยกิตรวม		**21**	

ปีการศึกษาที่ 4 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	รายวิชา	หน่วยกิต	รหัสวิชาบังคับก่อน
GEBXXXXX	วิชาศึกษาทั่วไป 10	3(T-P-E)	-
ENGME120	โครงงานวิศวกรรมเครื่องกล Mechanical Engineering Project	3(1-6-4)	ENGME119
ENGME165	วิศวกรรมโรงงานผลิตกำลัง Power Plant Engineering	3(3-0-6)	ENGME103
ENGME170	การปฏิบัติงานของช่างเครื่องกลในโรงงาน Millwright	2(0-6-2)	-
ENGME193	การประลองทางวิศวกรรมเครื่องกล Mechanical Engineering Laboratory	2(0-6-2)	ENGME105 และ ENGME173
XXXXXXXX	วิชาเลือกเสรี 2	3(T-P-E)	*
หน่วยกิตรวม		**16**	

***** วิชาบังคับก่อนสำหรับวิชาชีพเลือก และวิชาบังคับก่อนสำหรับวิชาเลือกเสรี ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในคำอธิบายรายวิชา

ปีการศึกษาที่ 4 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	รายวิชา	หน่วยกิต	รหัสวิชาบังคับก่อน
ENGME121	สหกิจศึกษาทางวิศวกรรมเครื่องกล Co-operative Education in Mechanical Engineering	6(0-40-0)	**
หน่วยกิตรวม		**16**	

****** ต้องมีผลการเรียนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า 2.00 และต้องมีหน่วยกิตสะสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของหน่วยกิตรวมตลอดหลักสูตรหรือไม่น้อยกว่า 73 หน่วยกิต

7. การเทียบโอน/ยกเว้นรายวิชา

ในกรณีที่นักศึกษาเป็นผู้สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) สายช่างอุตสาหกรรม ซึ่งคณะกรรมการเทียบโอนผลการเรียนจะพิจารณาเทียบโอนรายวิชาหรือกลุ่มวิชาซึ่งมีเนื้อหาสาระการเรียนรู้ และจุดประสงค์ครอบคลุมไม่น้อยกว่าสามในสี่ของรายวิชาหรือกลุ่มวิชาในสาขาวิชาที่นักศึกษาผู้ขอเทียบโอนศึกษาอยู่ ซึ่งรายวิชาและจำนวนหน่วยกิตที่ขอเทียบโอน แยกตามหมวดวิชาต่างๆ ได้ดังนี้

1. หมวดวิชาศึกษาทั่วไป 30 หน่วยกิต ขอเทียบโอน 18 หน่วยกิต มีรายละเอียดดังนี้

1.1 กลุ่มวิชาภาษาและการสื่อสาร	12 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 9 หน่วยกิต
1.2 กลุ่มวิชาสุขภาพ	3 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน - หน่วยกิต
1.3 กลุ่มวิชาบูรณาการ	9 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 3 หน่วยกิต
1.4 กลุ่มวิชาสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์	3 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 3 หน่วยกิต
1.5 กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์	3 หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 3 หน่วยกิต

2. หมวดวิชาเฉพาะ 111 หน่วยกิต ขอเทียบโอน 14 หน่วยกิต มีรายละเอียดดังนี้

2.1 กลุ่มวิชาพื้นฐานทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ 20 หน่วยกิต ขอเทียบโอน - หน่วยกิต

2.2 กลุ่มวิชาพื้นฐานทางวิศวกรรม 26 หน่วยกิต ขอเทียบโอน 5 หน่วยกิต

- ENGCC301 Engineering Drawing
- ENGME106 Basic Mechanical Engineering Training

2.3 กลุ่มวิชาชีพบังคับทางวิศวกรรม 59 หน่วยกิต ขอเทียบโอน 3 หน่วยกิต

- ENGME136 Hydraulics and Pneumatics

2.4 กลุ่มวิชาเลือกทางวิศวกรรม 6 หน่วยกิต ขอเทียบโอน 6 หน่วยกิต

- ENGME163 Internal Combustion Engines
- ENGME189 Mechanics of Vehicles

3. หมวดวิชาเลือกเสรี 6 หน่วยกิต ขอเทียบโอน 6 หน่วยกิต

รวมหน่วยกิตที่ขอเทียบโอน	**38 หน่วยกิต**
จำนวนหน่วยกิตตลอดหลักสูตร	**147 หน่วยกิต**
จำนวนหน่วยกิตคงเหลือ	**109 หน่วยกิต**

8. สถานภาพของหลักสูตรและการพิจารณาอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตร

8.1 เป็นหลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2565

8.2 เปิดดำเนินการเรียนการสอนตามหลักสูตรตั้งแต่ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 เป็นต้นไป

8.3 ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ เมื่อการประชุม ครั้งที่8/2564 เมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2564

8.4 ได้รับอนุมัติจากสภาวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เมื่อการประชุมครั้งที่ 169 (ต.ค.64) เมื่อวันที่ 7 ตุลาคม 2564

8.5 ได้รับอนุมัติจากคณะอนุกรรมการเกี่ยวกับวิชาการ การส่งเสริมการวิจัยและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เมื่อการประชุม ครั้งที่ 3/2564 เมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2564

8.6 ได้รับอนุมัติจากสภามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เมื่อการประชุมครั้งที่ 7 (2/2565) วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2565

8.7 ปรับปรุงจากหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560)

9. ชื่อผู้รับรอง/อนุมัติข้อมูล

ตารางแสดงรายชื่อผู้รับรอง/อนุมัติ

ชื่อ-สกุล	***ตำแหน่งบริหาร***	***วาระการดำรงตำแหน่ง***	***ลายมือชื่อ ผู้รับรองข้อมูล***
ผศ.ดร.กิจจา ไชยทนุ	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	3 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 – 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2566	

10. ชื่อผู้รับผิดชอบ/ผู้ประสานงานหลักสูตร

ตารางแสดงรายชื่อผู้รับผิดชอบ/ผู้ประสานงาน

วิศวกรรมเครื่องกล

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ตำแหน่ง	โทรศัพท์	E-mail
1	นายศรีธร อุปคำ	ประธานหลักสูตร		
2	นายจิรศักดิ์ ปัญญา	อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร		
3	นายศุภชาติ กรุดทอง	ผู้ประสานงาน		

ส่วนที่ 2 นิสิต/นักศึกษา

1. คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา

การรับนักศึกษาต้องให้เป็นไปตามข้อบังคับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ว่าด้วยการศึกษาระดับปริญญาตรี พ.ศ. 2551 และข้อบังคับ มทร.ล้านนาที่ประกาศเพิ่มเติม ดังนี้

1.1 รับผู้สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ รวมกันไม่น้อยกว่า 30 หน่วยกิต หรือสำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพประเภทวิชาอุตสาหกรรมทุกสาขาวิชา หรือสำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาเตรียมวิศวกรรมศาสตร์

1.2 รับผู้สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงประเภทวิชาอุตสาหกรรมทุกสาขาวิชา

2. แผนการรับนักศึกษาในระยะ 5 ปี

แผนการรับนักศึกษาและผู้สำเร็จการศึกษาในระยะ 5 ปีต่อเขตพื้นที่

จำนวนนักศึกษาที่จะรับ	ปีการศึกษา				
	2565	**2566**	**2567**	**2568**	**2569**
ชั้นปีที่ 1	150	150	150	150	150
ชั้นปีที่ 2	-	150	150	150	150
ชั้นปีที่ 3	-	-	150	150	150
ชั้นปีที่ 4	-	-	-	150	150
รวม	150	**300**	**450**	**600**	**600**
จำนวนนักศึกษาที่จะสำเร็จการศึกษา	**-**	**-**	**-**	**150**	**150**

หมายเหตุ: 1. ตารางแผนการรับนักศึกษาและผู้สำเร็จการศึกษาทั้งหลักสูตร คือ จำนวนรวมทั้งหมดในการรับนักศึกษา

2. พื้นที่สามารถรับนักศึกษาตามแผนรับนักศึกษา ตามรายละเอียดดังนี้

2.1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่

จำนวนนักศึกษาที่จะรับ	ปีการศึกษา				
	2565	**2566**	**2567**	**2568**	**2569**
ชั้นปีที่ 1	90	90	90	90	90
ชั้นปีที่ 2	-	90	90	90	90
ชั้นปีที่ 3	-	-	90	90	90
ชั้นปีที่ 4	-	-	-	90	90
รวม	**90**	**180**	**270**	**360**	**360**
จำนวนนักศึกษา ที่จะสำเร็จการศึกษา	**-**	**-**	**-**	**90**	**90**

2.2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก

จำนวนนักศึกษาที่จะรับ	ปีการศึกษา				
	2565	**2566**	**2567**	**2568**	**2569**
ชั้นปีที่ 1	60	60	60	60	60
ชั้นปีที่ 2	-	60	60	60	60
ชั้นปีที่ 3	-	-	60	60	60
ชั้นปีที่ 4	-	-	-	60	60
รวม	**60**	**120**	**180**	**240**	**240**
จำนวนนักศึกษา ที่จะสำเร็จการศึกษา	**-**	**-**	**-**	**60**	**60**

3. คุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ (ตามข้อตกลง Washington Accord หรือ ตามข้อตกลง Sydney Accord)

3.1 มาตรฐานผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย (Thai Qualifications Framework for Higher Education: TQF HEd)

3.1.1 คุณธรรม จริยธรรม โดยมีผลการเรียนรู้ด้านคุณธรรมจริยธรรม คือ

(1) เข้าใจและซาบซึ้งในวัฒนธรรมไทย ตระหนักในคุณค่าของระบบคุณธรรม จริยธรรม เสียสละ และซื่อสัตย์สุจริต

(2) มีวินัย ตรงต่อเวลา รับผิดชอบต่อตนเองและสังคม เคารพกฎระเบียบและข้อบังคับต่างๆ ขององค์กรและสังคม

(3) มีภาวะความเป็นผู้นำและผู้ตาม สามารถทำงานเป็นหมู่คณะ สามารถแก้ไขข้อขัดแย้งตามลำดับความสำคัญ เคารพสิทธิและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น รวมทั้งเคารพในคุณค่าและศักดิ์ศรีของความเป็นมนุษย์

(4) สามารถวิเคราะห์และประเมินผลกระทบจากการใช้ความรู้ทางวิศวกรรมต่อบุคคล องค์กร สังคม และสิ่งแวดล้อม

(5) มีจรรยาบรรณทางวิชาการและวิชาชีพ และมีความรับผิดชอบในฐานะผู้ประกอบวิชาชีพ รวมถึงเข้าใจถึงบริบททางสังคมของวิชาชีพวิศวกรรมในแต่ละสาขาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

3.1.2 ความรู้ โดยมีผลการเรียนรู้ด้านความรู้ คือ

(1) มีความรู้และความเข้าใจทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน วิทยาศาสตร์พื้นฐาน วิศวกรรมพื้นฐาน และเศรษฐศาสตร์ เพื่อการประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง และการสร้างนวัตกรรมทางเทคโนโลยี

(2) มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการที่สำคัญ ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติในเนื้อหาของสาขาวิชาเฉพาะด้านทางวิศวกรรม

(3) สามารถบูรณาการความรู้ในสาขาวิชาที่ศึกษากับความรู้ในศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

(4) สามารถวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการที่เหมาะสม รวมถึงการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

(5) สามารถใช้ความรู้และทักษะในสาขาวิชาของตน ในการประยุกต์แก้ไขปัญหาในงานจริงได้

3.1.3 ทักษะทางปัญญา โดยมีผลการเรียนรู้ด้านทักษะทางปัญญา คือ

(1) มีความคิดอย่างมีวิจารณญาณที่ดี

(2) สามารถรวบรวม ศึกษา วิเคราะห์ และ สรุปประเด็นปัญหาและความต้องการ

(3) สามารถคิด วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาด้านวิศวกรรมได้อย่างมีระบบ รวมถึงการใช้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(4) มีจินตนาการและความยืดหยุ่นในการปรับใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องอย่างเหมาะสมในการพัฒนานวัตกรรมหรือต่อยอดองค์ความรู้จากเดิมได้อย่างสร้างสรรค์

(5) สามารถสืบค้นข้อมูลและแสวงหาความรู้เพิ่มเติมได้ด้วยตนเอง เพื่อการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางองค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ

3.1.4 ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ โดยมีผลการเรียนรู้ด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างตัวบุคคลและความรับผิดชอบ คือ

(1) สามารถสื่อสารกับกลุ่มคนที่หลากหลาย และสามารถสนทนาทั้งภาษาไทยและภาษาต่างประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้ความรู้ในสาขาวิชาชีพมาสื่อสารต่อสังคมได้ในประเด็นที่เหมาะสม

(2) สามารถเป็นผู้ริเริ่มแสดงประเด็นในการแก้ไขสถานการณ์เชิงสร้างสรรค์ทั้งส่วนตัวและส่วนรวม พร้อมทั้งแสดงจุดยืนอย่างพอเหมาะทั้งของตนเองและของกลุ่ม รวมทั้งให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการแก้ไขปัญหาสถานการณ์ต่างๆ

(3) สามารถวางแผนและรับผิดชอบในการพัฒนาการเรียนรู้ทั้งของตนเอง และสอดคล้องกับทางวิชาชีพอย่างต่อเนื่อง

(4) รู้จักบทบาท หน้าที่ และมีความรับผิดชอบในการทำงานตามที่มอบหมาย ทั้งงานบุคคลและงานกลุ่ม สามารถปรับตัวและทำงานร่วมกับผู้อื่นทั้งในฐานะผู้นำและผู้ตามได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถวางตัวได้อย่างเหมาะสมกับความรับผิดชอบ

(5) มีจิตสำนึกความรับผิดชอบด้านความปลอดภัยในการทำงาน และการรักษาสภาพแวดล้อมต่อสังคม

3.1.5 ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ โดยมีผลการเรียนรู้ด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

(1) มีทักษะในการใช้คอมพิวเตอร์ สำหรับการทำงานที่เกี่ยวข้องกับวิชาชีพได้เป็นอย่างดี

(2) มีทักษะในการวิเคราะห์ข้อมูลสารสนเทศทางคณิตศาสตร์ หรือการแสดงสถิติ ประยุกต์ต่อการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องได้อย่างสร้างสรรค์

(3) สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสารที่ทันสมัยได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

(4) มีทักษะในการสื่อสารข้อมูลทั้งทางการพูด การเขียน และการสื่อความหมายโดยใช้สัญลักษณ์

(5) สามารถใช้เครื่องมือการคำนวณและเครื่องมือทางวิศวกรรม เพื่อประกอบวิชาชีพในสาขาวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องได้

3.1.6 ทักษะพิสัย โดยมีผลการเรียนรู้ด้านทักษะพิสัย คือ

การทำงานในสถานประกอบการ หรือการประกอบอาชีพอิสระนั้นไม่ได้ใช้เพียงแค่หลักทฤษฎี แต่ส่วนใหญ่จะเน้นในด้านทักษะทางการปฏิบัติ การใช้ทักษะในการวางแผน การออกแบบ การทดสอบ และการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งมีความสำคัญมากในการทำงาน อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่จำเป็นยิ่งในการพัฒนาตนเองและความก้าวหน้าในตำแหน่งหน้าที่ของบัณฑิตวิศวกรรมเครื่องกล ดังนั้น ในการเรียนการสอนจึงต้องให้ความสำคัญเน้นไปที่การสร้างทักษะการปฏิบัติงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล ดังข้อต่อไปนี้

(1) มีทักษะในการบริหารจัดการในด้านเวลา เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(2) มีทักษะในการปฏิบัติงานกลุ่ม มีการแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบ และมีความร่วมมือกันเป็นอย่างดี

3.2 ข้อกำหนดความรู้ด้านวิศวกรรมสำหรับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Program) ตามข้อตกลง Washington Accord

WK1: ความรู้และความเข้าใจทฤษฎีเชิงระบบของหมวดความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติที่นำไปใช้ในแต่ละสาขาทางวิศวกรรม

WK1: A systematic, theory-based understanding of the natural sciences applicable to the discipline

WK2: แนวคิดและหลักการขององค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์เชิงตัวเลข สถิติ และวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์และการทำแบบจำลองที่นำไปใช้ในแต่ละสาขาทางวิศวกรรม

WK2: Conceptually-based mathematics, numerical analysis, statistics and formal aspects of computer and information science to support analysis and modelling applicable to the discipline

WK3: ความรู้และทฤษฎีเชิงระบบในการวางหลักเกณฑ์พื้นฐานทางวิศวกรรมที่กำหนดในแต่ละสาขาทางวิศวกรรม

WK3: A systematic, theory-based formulation of engineering fundamentals required in the engineering discipline

WK4: ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรมที่ให้องค์ความรู้และกรอบทฤษฎีที่ใช้ในการปฏิบัติวาชีพ ที่ส่วนใหญ่เป็นองค์ความรู้แถวหน้าของแต่ละสาขาทางวิศวกรรม

WK4: Engineering specialist knowledge that provides theoretical frameworks and bodies of knowledge for the accepted practice areas in the engineering discipline; much is at the forefront of the discipline.

WK5: ความรู้ที่นำไปใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรม ในการปฏิบัติวิชาชีพ

WK5: Knowledge that supports engineering design in a practice area

WK6: ความรู้และเทคโนโลยีในการปฏิบัติวิชาชีพของแต่ละสาขาทางวิศวกรรม

WK6: Knowledge of engineering practice (technology) in the practice areas in the engineering discipline

WK7: บทบาทของงานวิศวกรรมต่อสังคม และประเด็นที่กำหนดไว้ในการปฏิบัติวิชาชีพของแต่ละสาขาทางวิศวกรรม ได้แก่ จรรยาบรรณและและความรับผิดชอบของวิศวกรต่อความปลอดภัยสาธารณะ ผลกระทบของการทำงานวิศวกรรมต่อสภาพทางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาที่ยั่งยืน

WK7: Comprehension of the role of engineering in society and identified issues in engineering practice in the discipline: ethics and the professional responsibility of and engineer to public safety; the impacts of engineering activity: economic, social, cultural, environmental and sustainability

WK8: การสืบค้นหัวข้อความรู้ในการวิจัยของแต่ละสาขาทางวิศวกรรม

WK8: Engagement with selected knowledge in the research literature of the discipline

หลักสูตรการศึกษาที่ให้ความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์และพัฒนาลักษณะของบัณฑิต ที่มีระยะเวลาศึกษา 4-5 ปีการศึกษาขึ้นอยู่กับระดับการศึกษาของนิสิตนักศึกษาที่รับเข้า

A program that builds this type of knowledge and develops the attributes listed below is typically achieved in 4 to 5 years of study, depending on the level of students at entry.

ตารางแสดงความเชื่อมโยงระหว่าง มาตรฐานผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย และ ข้อกำหนดความรู้ด้านวิศวกรรมสำหรับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Program) ตามข้อตกลง Washington Accord

มาตรฐานผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย	ข้อกำหนดความรู้ด้านวิศวกรรมสำหรับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering Program) ตามข้อตกลง Washington Accord
1. คุณธรรม จริยธรรม	WK7: บทบาทของงานวิศวกรรมต่อสังคม และประเด็นที่กำหนดไว้ในการปฏิบัติวิชาชีพของแต่ละสาขาทางวิศวกรรม ได้แก่ จรรยาบรรณและและความรับผิดชอบของวิศวกรต่อความปลอดภัย

	สาธารณะ ผลกระทบของการทำงานวิศวกรรมต่อสภาพทางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม และการพัฒนาที่ยั่งยืน
2. ความรู้	WK1: ความรู้และความเข้าใจทฤษฎีเชิงระบบของหมวดความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติที่นำไปใช้ในแต่ละสาขาทางวิศวกรรม WK4: ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรมที่ให้องค์ความรู้และกรอบทฤษฎีที่ใช้ในการปฏิบัติวาชีพ ที่ส่วนใหญ่เป็นองค์ความรู้แถวหน้าของแต่ละสาขาทางวิศวกรรม WK6: ความรู้และเทคโนโลยีในการปฏิบัติวิชาชีพของแต่ละสาขาทางวิศวกรรม
3. ทักษะทางปัญญา	WK3: ความรู้และทฤษฎีเชิงระบบในการวางหลักเกณฑ์พื้นฐานทางวิศวกรรมที่กำหนดในแต่ละสาขาทางวิศวกรรม WK5: ความรู้ที่นำไปใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรม ในการปฏิบัติวิชาชีพ
4. ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ	
5. ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ	WK2: แนวคิดและหลักการขององค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์เชิงตัวเลข สถิติ และวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์และการทำแบบจำลองที่นำไปใช้ในแต่ละสาขาทางวิศวกรรม WK8: การสืบค้นหัวข้อความรู้ในการวิจัยของแต่ละสาขาทางวิศวกรรม
6. ทักษะพิสัย	

ตารางแสดงความเชื่อมโยงระหว่างรายวิชาของหลักสูตรกับ มาตรฐานผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย และคุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ตามข้อตกลง Washington Accord

กลุ่มวิชาพื้นฐานทางวิศวกรรม

รายวิชา			คุณธรรม จริยธรรม WK7					ความรู้ WK1, WK4, WK6					ทักษะทางปัญญา WK3, WK5					ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ					ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ WK2, WK8					ทักษะพิสัย	
ลำดับ	**รหัส**	**ชื่อวิชา**	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
1	ENGCC301	เขียนแบบวิศวกรรม	○	●		○		○	●		○		○				●	●			○		○			●		●	
2	ENGCC303	วัสดุวิศวกรรม	●	○				●	○					●	○				○		●				●	○			
3	ENGME196	กระบวนการผลิตสำหรับวิศวกรรมเครื่องกล	●	○				●	○					●	○				○		●				●	○			
4	ENGME101	สถิตยศาสตร์		●			○	●	○		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
5	ENGME102	พลศาสตร์		●			○	●	○		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
6	ENGME103	อุณหพลศาสตร์		●			○	●	○		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
7	ENGME104	กลศาสตร์ของไหล		●			○	●	○		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
8	ENGME105	กลศาสตร์วัสดุ		●			○	●	○		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
9	ENGME169	การฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรมเครื่องกล		●		○	○		○		●	○			●		○			○	○	●				○	●	●	●

กลุ่มวิชาบังคับทางวิศวกรรม

รายวิชา			คุณธรรม จริยธรรม WK7					ความรู้ WK1, WK4, WK6					ทักษะทางปัญญา WK3, WK5					ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ					ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ WK2, WK8					ทักษะพิสัย	
ลำดับ	รหัส	ชื่อวิชา	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
1	ENGME108	กลศาสตร์เครื่องจักรกล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
2	ENGME109	การออกแบบเครื่องจักรกล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
3	ENGME110	การควบคุมอัตโนมัติ		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
4	ENGME111	การสั่นสะเทือนเชิงกล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
5	ENGME115	เขียนแบบวิศวกรรมเครื่องกล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
6	ENGME119	การเตรียมโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล		●		○	○	●	●			○	○	●	○		○			●	●				○	○	●	○	●
7	ENGME120	โครงงานวิศวกรรมเครื่องกล		●	●	○	○	○	●		○	○	●	○	●	●	●		●	○	●	●		●		○	○	○	●
8	ENGME121	สหกิจศึกษาทางวิศวกรรมเครื่องกล		●	○	○	○	○	●		○	○		○	●		○			○	●	●		●		○	○	○	●
9	ENGME123	การทำความเย็นและปรับอากาศ		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
10	ENGME131	อุปกรณ์ขับเคลื่อนและตรวจวัดในหุ่นยนต์		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
11	ENGME136	ไฮดรอลิกส์และนิวเมติกส์		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
12	ENGME165	วิศวกรรมโรงงานผลิตกำลัง		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
13	ENGME170	การปฏิบัติงานของช่างเครื่องกลในโรงงาน		●	○	○	○	○	●		○	○		○	●		○			○	●	●		●		○	○	○	●

กลุ่มวิชาบังคับทางวิศวกรรม (ต่อ)

รายวิชา			คุณธรรม จริยธรรม WK7					ความรู้ WK1, WK4, WK6					ทักษะทางปัญญา WK3, WK5					ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคลและความรับผิดชอบ					ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ WK2, WK8					ทักษะพิสัย	
ลำดับ	รหัส	ชื่อวิชา	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
14	ENGME171	ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเบื้องต้น		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
15	ENGME172	เครื่องจักรกลของไหล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
16	ENGME173	การถ่ายเทความร้อนและการประยุกต์		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
17	ENGME174	การวัดและการควบคุมสมัยใหม่สำหรับวิศวกร		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
18	ENGME175	เศรษฐศาสตร์สำหรับการจัดการพลังงาน		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
19	ENGME193	การประลองทางวิศวกรรมเครื่องกล		●	○	○	○	○	●		○	○		○	●		○			○	●	●		●		○	○	○	●
20	ENGME194	ระบบดับเพลิงและระบายอากาศเบื้องต้น		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		

กลุ่มวิชาเลือกทางวิศวกรรม

รายวิชา			คุณธรรม จริยธรรม WK7					ความรู้ WK1, WK4, WK6					ทักษะทางปัญญา WK3, WK5					ทักษะ ความสัมพันธ์ ระหว่างบุคคลและ ความรับผิดชอบ					ทักษะการ วิเคราะห์ เชิงตัวเลขและการ ใช้ เทคโนโลยี สารสนเทศ WK2, WK8					ทักษะ พิสัย	
ลำดับ	รหัส	ชื่อวิชา	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
1	ENGME114	ไฟฟ้าอุตสาหกรรมในงานวิศวกรรมเครื่องกล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
2	ENGME122	เครื่องกำเนิดไอน้ำและกังหันแก๊ส		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
3	ENGME128	แหล่งพลังงานทางเลือกและพลังงานทดแทน		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
4	ENGME130	แมคคาทรอนิกส์		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
5	ENGME132	การเผาไหม้		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
6	ENGME134	ระบบระบายอากาศ		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
7	ENGME137	ปฏิบัติการทำความเย็นและปรับอากาศ		●	○	○	○	○	●		○	○		○	●		○			○	●	●		●		○	○	○	●
8	ENGME138	ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับงานวิศวกรรม		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
9	ENGME141	การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานผลิต		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
10	ENGME143	เทคโนโลยีการบำรุงรักษาล้อเลื่อน		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
11	ENGME146	ระบบนำความร้อนทิ้งกลับคืน		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
12	ENGME150	การอนุรักษ์และการจัดการพลังงาน		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		

รายวิชา			คุณธรรม จริยธรรม WK7					ความรู้ WK1, WK4, WK6					ทักษะทางปัญญา WK3, WK5					ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคลและความรับผิดชอบ					ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลขและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ WK2, WK8					ทักษะพิสัย	
ลำดับ	รหัส	ชื่อวิชา	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
13	ENGME151	ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
14	ENGME152	การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
15	ENGME153	ระบบควบคุมดิจิทัล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
16	ENGME154	วิทยาการหุ่นยนต์เบื้องต้น		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
17	ENGME155	เทคโนโลยียานยนต์		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
18	ENGME160	ยานยนต์ไฟฟ้าและไฮบริด		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
19	ENGME163	เครื่องยนต์สันดาปภายใน		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
20	ENGME166	การทำความเย็น		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
21	ENGME167	การปรับอากาศ		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
22	ENGME168	วิศวกรรมการอบแห้ง		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
23	ENGME176	ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ขั้นสูง		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
24	ENGME177	พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณขั้นสูง		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●

รายวิชา			คุณธรรม จริยธรรม WK7					ความรู้ WK1, WK4, WK6					ทักษะทางปัญญา WK3, WK5					ทักษะ ความสัมพันธ์ ระหว่างบุคล และความ รับผิดชอบ					ทักษะการ วิเคราะห์ เชิงตัวเลขและการ ใช้ เทคโนโลยี สารสนเทศ WK2, WK8					ทักษะ พิสัย	
ลำดับ	รหัส	ชื่อวิชา	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2
25	ENGME178	พฤติกรรมทางกลของวัสดุ		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
26	ENGME179	กลศาสตร์ของวัสดุประกอบ		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
27	ENGME180	คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวิศวกรรมเครื่องกล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
28	ENGME181	โครงข่ายประสาทเทียม		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
29	ENGME182	การเรียนรู้เชิงลึก		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
30	ENGME183	การเรียนรู้ของเครื่อง		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
31	ENGME185	วิศวกรรมย้อนรอย		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
32	ENGME186	เครื่องมือกลควบคุมด้วยระบบเชิงตัวเลข		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●	○	●
33	ENGME187	การออกแบบระบบความร้อน		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
34	ENGME188	การวัดทางแสงในกลศาสตร์ของไหลและการเผาไหม้		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
35	ENGME189	กลศาสตร์ยานพาหนะ		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
36	ENGME190	ความรู้เบื้องต้นด้านระบบขนส่งทางราง		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
37	ENGME191	พลศาสตร์วิศวกรรมของล้อเลื่อน		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		
38	ENGME195	การควบคุมคุณภาพสำหรับวิศวกรเครื่องกล		●		○	○	●	●		○	○	○	●	○		○			○	●				○	○	●		

ความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา

ปีการศึกษาที่	ความคาดหวังของผลลัพธ์การเรียนรู้เมื่อสิ้นปีการศึกษา
1	นักศึกษามีความรู้พื้นฐานด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีและมีทักษะการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องมือวัดทางวิศวกรรม
2	นักศึกษาสามารถวิเคราะห์และเลือกวิธีการแก้ปัญหางานออกแบบ ติดตั้ง ควบคุมทางวิศวกรรมเครื่องกล โดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์ และ/หรือคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม
3	นักศึกษาสามารถตรวจสอบและแก้ปัญหางานออกแบบ ติดตั้ง และควบคุม ทางวิศวกรรมเครื่องกล ด้วยเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสม
4	นักศึกษาสามารถบูรณาการ ประยุกต์ใช้ความรู้ด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีและลงมือปฏิบัติงาน (Hands-on) ในงานออกแบบ ติดตั้ง และควบคุม ทางวิศวกรรมเครื่องกล

ส่วนที่ 3 คณาจารย์

1. ประธานหลักสูตร

ตารางแสดงรายชื่อประธานหลักสูตร มทร.ล้านนา เชียงใหม่

ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งวิชาการ	คุณวุฒิการศึกษา	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ประสบการณ์สอน(ปี)
นายศรีธร อุปคำ	อาจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2543 2538	24

2. อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

ตารางแสดงรายชื่ออาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร มทร.ล้านนา เชียงใหม่

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งวิชาการ	คุณวุฒิการศึกษา	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ประสบการณ์สอน(ปี)
1	นายศรีธร อุปคำ	อาจารย์	วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)	2543 2538	24
2	นายทวีศักดิ์ มหาวรรณ์	อาจารย์	วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)	2552 2545	17
3	นายธวัชชัย อุ่นใจจม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	ปร.ด.(วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)	2558 2550 2544	12
4	นายจิรศักดิ์ ปัญญา	อาจารย์	วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)	2552 2545	17
5	นายสุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา	อาจารย์	ปร.ด.(วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล)	2563 2557 2548	9

หมายเหตุ: ลำดับที่ 1 คือหัวหน้าหลักสูตร

3. อาจารย์ประจำหลักสูตร/อาจารย์ประจำสาขาวิชา

ตารางแสดงรายชื่ออาจารย์ประจำหลักสูตร/อาจารย์ประจำสาขาวิชา มทร.ล้านนา เชียงใหม่

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งวิชาการ	คุณวุฒิการศึกษา	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ประสบการณ์สอน(ปี)
1	นายศรีธร อุปคำ	อาจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2543 2538	24
2	นายทวีศักดิ์ มหาวรรณ์	อาจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2552 2545	17
3	นายธวัชชัย อุ่นใจจม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2558 2550 2544	12
4	นายจิรศักดิ์ ปัญญา	อาจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2552 2545	17
5	นายสุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา	อาจารย์	ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2563 2557 2548	9
6	นายกรวัฒน์ วุฒิกิจ	อาจารย์	ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม. (วิศวกรรมพลังงาน) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2560 2554 2552	10
7	นางสาวกุลทรัพย์ ผ่องศรีสุข	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2554 2546 2540	13
8	นายจีราวิชช์ นาคภักดี	อาจารย์	ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม. (เทคโนโลยีอุณหภาพ) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2555 2547 2537	25
9	นายณัฐพงศ์ หล้ากอง	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) อส.บ. (เทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ)	2552 2548	5

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งวิชาการ	คุณวุฒิการศึกษา	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ประสบการณ์สอน(ปี)
10	ว่าที่ร้อยโทณัฐรัตน์ ปาณานนท์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	Ph.D. (Sound and Vibration) วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ค.อ.บ .(วิศวกรรมเครื่องกล)	2557 2549 2546 2542	21
11	นายธนวรรธน์ วัชรดำรงศักดิ์	อาจารย์	ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2547 2541 2537	24
12	นายนาวี นันต๊ะภาพ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) ค.อ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2557 2542	20
13	นายประชา ยืนยงกุล	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2555 2542 2539	23
14	นายเมธัส ภัททิยธนี	อาจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมพลังงาน) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2558 2549	7
15	นายรณชาติ มั่นศิลป์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	วศ.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเกษตร)	2558 2551 2546	14
16	นายเรวัฒ คำวัน	อาจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2552 2544	18
17	นายสมาน ดาวเวียงกัน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมพลังงาน) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2550 2545	19
18	นายสวัสดิ์ กีไสย์	อาจารย์	วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2555 2549	14

4. บุคลากรช่วยสอน/ผู้ช่วยสอนวิชาปฏิบัติการ

ตารางแสดงรายชื่อผู้ช่วยสอนวิชาปฏิบัติการ มทร.ล้านนา เชียงใหม่

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งวิชาการ	คุณวุฒิการศึกษา
1	นายอิศเรศ ไชยพิสุทธิพงศ์	เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ	ปวส.ช่างยนต์ (สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ) อส.บ.วิศวกรรมอุตสาหการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา)

5. อัตราส่วนระหว่างอาจารย์ประจำต่อนักศึกษา

ตารางแสดงอัตราส่วนอาจารย์ประจำต่อนักศึกษา ณ ปีการศึกษา 2565 มทร.ล้านนา เชียงใหม่

จำนวนนักศึกษาที่จะรับ	ปีการศึกษา				
	2565	2566	2567	2568	2569
ชั้นปีที่ 1	90	90	90	90	90
ชั้นปีที่ 2	-	90	90	90	90
ชั้นปีที่ 3	-	-	90	90	90
ชั้นปีที่ 4	-	-	-	90	90
รวม	**90**	**180**	**270**	**360**	**360**
จำนวนนักศึกษาที่จะสำเร็จการศึกษา	**-**	**-**	**-**	**90**	**90**

จำนวนอาจารย์ประจำจากข้อที่ 3 มีจำนวน 18 คน

จำนวนนักศึกษารวมทุกชั้นปีสูงสุดที่ 360 คน

ดังนั้นอัตราส่วนอาจารย์ประจำต่อนักศึกษาคิดเป็น 360/18 = 20 (อาจารย์ 1 คนต่อนักศึกษา 20 คน)

6. แผนพัฒนาหลักสูตรและบุคลากรในระยะ 5 ปี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

ตารางที่ 1 แผนการพัฒนาอาจารย์ประจำในด้านเพิ่มคุณวุฒิการศึกษา

ระดับการศึกษา หลักสูตร สาขาวิชา	ระยะเวลาดำเนินการ				
	2565	2566	2567	2568	2569
ปริญญาเอก วศ.ด. หรือ ปร.ด. วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมพลังงาน หรืออื่นๆที่เกี่ยวข้อง	-	1	1	1	1

ตารางที่ 2 แผนการพัฒนาด้านการจัดหาบุคลากรใหม่

ระดับการศึกษา หลักสูตร สาขาวิชา	ระยะเวลาดำเนินการ				
	2565	2566	2567	2568	2569
ปริญญาเอก วศ.ด. หรือ ปร.ด. วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมพลังงาน หรืออื่นๆที่เกี่ยวข้อง	-	1	-	1	-

ตารางที่ 3 แผนการพัฒนาอาจารย์ประจำในด้านการเข้าสู่ตำแหน่งทางวิชาการ

ตำแหน่งวิชาการ	จำนวนอาจารย์ประจำที่มีตำแหน่งทางวิชาการเพิ่มขึ้น				
	2565	2566	2567	2568	2569
ศาสตราจารย์	-	-	-	-	-
รองศาสตราจารย์	1	-	1	-	1
ผู้ช่วยศาสตราจารย์	1	1	1	1	1

ส่วนที่ 4 รายละเอียดและสาระของวิชาตามองค์ความรู้

1. ตารางแจกแจงรายวิชาเทียบกับองค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด (Curriculum Mapping)

ตารางการเทียบองค์ความรู้ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

วิชาเอกวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
1. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์			
- คณิตศาสตร์	ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ระบบสมการเชิงเส้นด้วยเมทริกซ์ ฟังก์ชัน ลิมิตและความต่อเนื่องของฟังก์ชันและการประยุกต์ การหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันและการประยุกต์ การหาปริพันธ์จำกัดเขตและการประยุกต์ และปริพันธ์ไม่ตรงแบบ	FUNMA110 Fundamentals Calculus for Engineers	3(3-0-6) 100%
	ศึกษาเกี่ยวกับ พิกัดเชิงขั้วและสมการอิงตัวแปรเสริม เวกเตอร์ในปริภูมิสามมิติ แคลคูลัสของฟังก์ชันค่าเวกเตอร์ ปริพันธ์ตามเส้น ปริพันธ์เชิงตัวเลข แคลคูลัสของฟังก์ชันค่าจริงของหลายตัวแปรและการประยุกต์อนุกรมอนันต์ และการทดสอบการลู่เข้า อนุกรมกำลัง อนุกรมเทย์เลอร์ และการประยุกต์ใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์	ENGME184 Mathematics for Mechanical Engineering	3(3-0-6) 100%
	ศึกษาเกี่ยวกับ สมการเชิงอนุพันธ์สามัญอันดับหนึ่ง สมการเชิงอนุพันธ์สามัญเชิงเส้นอันดับ n สมการเชิงอนุพันธ์เอกพันธ์เชิงเส้นที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว สมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้นไม่เอกพันธ์ที่มีสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงตัว สมการเชิงอนุพันธ์สามัญไม่เชิงเส้น ระบบสมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้น ผลการแปลงลาปลาซ อนุกรมฟูเรียร์ สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเบื้องต้น และการประยุกต์ใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์	ENGME192 Applied mathematics for Mechanical Engineering	3(3-0-6) 100%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
- ฟิสิกส์	ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์ หน่วยทางฟิสิกส์ ปริมาณสเกลาร์ ปริมาณเวกเตอร์ การเคลื่อนที่แบบต่างๆ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน งาน พลังงาน กำลัง โมเมนตัม และการชน วัตถุแข็งเกร็ง การเคลื่อนที่แบบหมุน สภาพสมดุล สภาพยืดหยุ่น คุณสมบัติของของไหล หลักการเบื้องต้นของความร้อน	FUNSC203 Fundamentals of Chemistry for Engineers	4(3-3-7) 100%
- เคมี	ศึกษาและฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอม ตารางธาตุ และแนวโน้มสมบัติของธาตุ พันธะเคมี ปริมาณสาร สัมพันธ์ ของแข็ง ของเหลว แก๊ส สารละลาย จลนศาสตร์เคมี สมดุลเคมี ปฏิกิริยากรด-เบส	FUNSC115 Fundamentals Physics for Engineers	4(3-3-7) 100%
2. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม กลุ่มที่ 1 พื้นฐานการออกแบบ (Design Fundamentals)			
- Mechanical Drawing	ศึกษาและฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับแบบและกระบวนการผลิตสำหรับวิศวกรรมเครื่องกล การกำหนดขนาดรูปลักษณ์ มาตรฐานมิติของขนาด ตำแหน่งและความสัมพันธ์ ความหยาบของผิวงานระบบ งานสวม และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต เกลียว สกรู อุปกรณ์ยึดที่เป็นเกลียว ลิ่ม และสไปลน์ หมุดย้ำ และการเชื่อมเฟือง สปริง งานท่อ ข้อต่อ การเขียนแบบสั่งงาน แบบภาพประกอบ แบบแยกชิ้น การศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนแบบวิศวกรรม การใช้คำสั่งเขียนแบบ 2 มิติ 3 มิติ การศึกษาระบบโคออดิเนต การสร้างภาพสามมิติการสร้างใยตาข่ายการสร้างภาพสามมิติทรงตัน คำสั่งตกแต่งแก้ไข การสร้างฟังก์ชั่นช่วยในการเขียนแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับกราฟฟิกวิศวกรรม	ENGME115 Mechanical Engineering Drawing	3(2-3-5) 100%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
- Statics and Dynamics	ศึกษาหลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ แรงและโมเมนต์ของแรง ระบบแรงและผลลัพธ์ของระบบแรง การสมดุลและการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ แรงในชิ้นส่วนของโครงสร้าง โครงกรอบและเครื่องจักรกล แรงเสียดทาน จุดศูนย์ถ่วงและจุดเซนทรอย โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ หลักการของงานเสมือน ความเสถียรภาพ	ENGME101 Statics	3(3-0-6) 100%
	ศึกษาคิเนแมติกส์ของอนุภาค (การเคลื่อนที่เชิงเส้น การเคลื่อนที่เชิงมุมและวิถีโค้ง และการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของอนุภาคในระนาบ) คิเนติกส์ของอนุภาค (กฎข้อที่สองของนิวตัน งานและพลังงาน การดลและโมเมนต์ตัมของอนุภาค) คิเนแมติกส์ของวัตถุเกร็ง (จลนศาสตร์ของวัตถุแข็งเกร็งในระนาบ การเคลื่อนที่สัมบูรณ์ของวัตถุเกร็ง การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของวัตถุแข็งเกร็ง จุดศูนย์กลางความเร็วหยุดนิ่งชั่วขณะ ความเร่งสัมพัทธ์) และคิเนติกส์ของวัตถุเกร็ง (สมการทั่วไปของการเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็ง งานและพลังงานในระนาบของวัตถุแข็งเกร็ง การดลและโมเมนต์ตัมของวัตถุแข็งเกร็ง)	ENGME102 Dynamics	3(3-0-6) 100%
- Mechanical Engineering Process	ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและแนวคิดทางกระบวนการผลิตสำหรับวิศวกรรมเครื่องกล เช่น กรรมวิธีการหล่อโลหะ การขึ้นรูปโลหะ การขึ้นรูปโลหะด้วยกระบวนการตัดเฉือน และการเชื่อมประสาน ความสัมพันธ์ของวัสดุกับกระบวนการผลิต การปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะด้วยความร้อน เช่น โลหะกับการขึ้นรูป พอลิเมอร์กับการขึ้นรูป หลักมูลของการประเมินราคาทางด้านกระบวนการผลิตสำหรับวิศวกรรมเครื่องกล กรรมวิธีการผลิตด้วยเครื่องมือกลอัตโนมัติ การเขียนโปรแกรมซีเอ็นซี เทคโนโลยีการขึ้นรูปชิ้นส่วนโลหะโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ หรือเทคโนโลยีการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ และการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตเบื้องต้น	ENGME196 Manufacturing Processes for Mechanical Engineering	3(3-0-6) 100%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
กลุ่มที่ 2 ความรู้ทางดิจิทัล (Digital Literacy) - Digital Technology in Mechanical Engineering	ศึกษาและฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองและการใช้งานของตัวกระตุ้นตัวตรวจจับ และไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานเมคคาทรอนิคส์ รวมถึงมอเตอร์ไฟฟ้า (AC, DC, Stepper) ขดลวดโซเลนอยด์ เซ็นเซอร์ตำแหน่ง (encoder,โซนาร์, Infrared), พร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	ENGME131 Robot Actuators and Sensors	3(2-3-5) 50%
	ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การขับกระแสและแรงดันไฟฟ้า การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้า การวัดและเครื่องมือวัด ตัวรับรู้ การสอบเทียบ การวิเคราะห์ข้อมูล การเขียนโปรแกรมเพื่อสื่อสารระหว่างตัวรับรู้กับคอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและควบคุม การสื่อสารแบบไร้สาย การเชื่อมข้อมูลสู่โลกอินเตอร์เน็ตรวมทั้งการใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้าช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล	ENGME174 Modern Measurement and Control for Engineer	3(2-3-5) 50%
กลุ่มที่ 3 พื้นฐานทางความร้อนและของไหล (Thermo-Fluids Fundamentals) - Thermodynamics	ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ กฎข้อศูนย์ กฎข้อหนึ่ง และกฎข้อสอง ของอุณหพลศาสตร์ ก๊าซอุดมคติ งานและความร้อน พลังงานระบบปิดและระบบเปิดที่มีการไหลคงที่และสภาวะคงที่ กระบวนการต่างๆ ของอุณหพลศาสตร์ วัฏจักรคาร์โน เอนโทรปี พื้นฐานการถ่ายเทความร้อนและการเปลี่ยนรูปพลังงาน เครื่องยนต์ความร้อน เครื่องทำความเย็น ปั๊มความร้อน	ENGME103 Thermodynamics	3(3-0-6) 100%
- Fluid Mechanics	ศึกษาคุณสมบัติของของไหล ของไหลสถิต การวิเคราะห์เชิงมิติและความคล้ายคลึงการเคลื่อนที่ของของไหล สมการการเคลื่อนที่และการไหลแบบต่อเนื่อง การไหลคงตัวของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ สมการพลังงานและโมเมนต์ตัม การสูญเสียพลังงานจากการไหล การวัดและเครื่องมือวัดของไหล	ENGME104 Fluid Mechanics	3(3-0-6) 100%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
กลุ่มที่ 4 วัสดุวิศวกรรมและกลศาสตร์วัสดุ (Engineering Materials and Mechanics of Materials)			
- Engineering Materials	ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้าง คุณสมบัติ กระบวนการผลิตสำหรับวิศวกรรมเครื่องกลและการประยุกต์ใช้วัสดุวิศวกรรม เช่น โลหะ โพลิเมอร์ พลาสติก ยางมะตอย ไม้ คอนกรีต เซรามิค และวัสดุเชิงประกอบ แผนภาพสมดุลเฟสและการแปลความหมาย การทดสอบสมบัติต่างๆ ของวัสดุวิศวกรรมและการแปลความหมาย สมบัติทางกลและการเสียหายของวัสดุ	ENGCC303 Engineering Materials	3(3-0-6) 100%
- Solid Mechanics	หลักการของแรง ความเค้น ความเครียด ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด ความเค้นในคาน แผนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด การแอ่นของคาน การบิด การโก่งเดาะของเสา วงกลมของโมร์สำหรับแปลงความเค้นและความเครียด ความเค้นผสม และทฤษฎีความเสียหาย	ENGME105 Mechanics of Materials	3(3-0-6) 100%
กลุ่มที่ 5 อาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม (Health Safety and Environment)	ศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดและหลักการการเปลี่ยนรูปพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ องค์ประกอบของโรงงานผลิตกำลัง กังหันไอน้ำ กังหันแก๊ส และเครื่องยนต์สันดาปภายใน วัฏจักรร่วมและการผลิตพลังงานร่วม โรงผลิตกำลังจากพลังงานน้ำ พลังงานนิวเคลียร์ การวัดและการควบคุม เศรษฐศาสตร์โรงงานผลิตกำลัง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอากาศ พื้นดิน และน้ำ สำหรับโรงไฟฟ้า หลักการเบื้องต้นของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงไฟฟ้า	ENGME165 Power Plant Engineering	3(3-0-6) 35%
	ฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับ ระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรมในงานวิศวกรรมเครื่องกล การใช้งาน การตรวจสอบและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับ อุปกรณ์ เครื่องมือกล เครื่องจักร และเครื่องต้นกำลังที่มีใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานเครื่องกล และการปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงความปลอดภัยและชีวอนามัยอยู่เสมอ	ENGME170 Millwright	2(0-6-2) 35%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
	ศึกษาเกี่ยวกับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันอัคคีภัย การเกิดเพลิงไหม้และการป้องกัน ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ เส้นทางหนีไฟ หลักการของระบบดับเพลิงแบบต่างๆ การออกแบบและติดตั้งระบบดับเพลิง หลักการระบายอากาศ การออกแบบระบบระบายอากาศเบื้องต้น	ENGME194 Fire Protection Systems and Introduction to Ventilation	3(3-0-6) 35%
3. องค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม กลุ่มที่ 1 เครื่องจักรกล (Machine)			
- Machinery Systems	ศึกษาเกี่ยวกับนิยามศัพท์ กลไกและเครื่องจักรกล การวิเคราะห์ความเร็วและความเร่ง ระบบพลวัต การวิเคราะห์แรงเชิงคิเนแมติกส์และไดนามิกส์ของอุปกรณ์เชิงกล กลไกยึดโยง ขบวนเฟืองและระบบเชิงกล การถ่วงดุลของระบบเชิงกล	ENGME108 Mechanics of Machinery	3(3-0-6) 80%
- Machine Design	ศึกษาพื้นฐานของการออกแบบเครื่องจักรกล การวิเคราะห์แรง สมบัติของวัสดุ ทฤษฎีการเสียหาย ความล้าตัวของวัสดุ การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลพื้นฐาน (สลักเกลียวยึด สกรูส่งกำลัง ลิ่มและสลัก สปริง เพลา เฟือง รองลื่น คัปปลิง เบรก คลัทช์ สายพาน โซ่) และโครงงานการออกแบบ	ENGME109 Machine Design	3(3-0-6) 100%
- Prime Movers	ศึกษาเกี่ยวกับหลักการการถ่ายโอนกำลังงานกล การจำแนกประเภทเครื่องจักรกลของไหล สมรรถนะและประสิทธิภาพ การประมาณหาสมรรถนะ การเลือกใช้เครื่องจักรกลของไหลและการออกแบบเบื้องต้น การทดสอบสมรรถนะปั๊ม พัดลม และกังหัน มูลฐานการไหลภายในเครื่องจักรกลเทอร์โบ ไดอะแกรมความเร็วและการวางเส้นทางการไหล การออกแบบใบพัดกังหัน	ENGME172 Fluid Machinery	3(3-0-6) 100%
	ฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับ ระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรมในงานวิศวกรรมเครื่องกล การใช้งาน การตรวจสอบและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับ อุปกรณ์ เครื่องมือกล เครื่องจักรและเครื่องต้นกำลังที่มีใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานเครื่องกล และการปฏิบัติงานโดยคำนึงถึงความปลอดภัยและชีวอนามัยอยู่เสมอ	ENGME170 Millwright	2(0-6-2) 65%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
กลุ่มที่ 2 ความร้อน ความเย็น และของไหลประยุกต์ (Heat, Cooling and Applied Fluids)			
- Heat Transfer	ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการถ่ายเทความร้อน การนำ การพา การแผ่รังสี อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน การเดือดและการควบแน่น รู้จักการนำวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนท์มาช่วยในการแก้ปัญหาการนำความร้อน และการออกแบบระบบอุณหพลศาสตร์	ENGME173 Heat Transfer and Application	3(3-0-6) 80%
- Air Conditioning and Refrigeration	ศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำความเย็นและสัมประสิทธิ์บ่งบอกสมรรถนะ การอัดไอวัฏจักรการทำความเย็น การวิเคราะห์ส่วนประกอบของระบบ คุณสมบัติของสารทำความเย็น การทำความเย็นแบบระเหยและหอผึ่งลมเย็น การทำความเย็นแบบดูดซึม การหาภาระการทำความเย็น การแช่แข็งอาหาร การปรับอากาศ การหาภาระการปรับอากาศ การกระจายลมเย็น การออกแบบท่อส่งลมเย็น การอนุรักษ์พลังงานในการทำความเย็นและปรับอากาศ	ENGME123 Refrigeration and Air Conditioning	3(3-0-6) 100%
- Power Plant	ศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดและหลักการการเปลี่ยนรูปพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ องค์ประกอบของโรงงานผลิตกำลัง กังหันไอน้ำ กังหันแก๊สและเครื่องยนต์สันดาปภายใน วัฏจักรร่วมและการผลิตพลังงานร่วม โรงผลิตกำลังจากพลังงานน้ำ พลังงานนิวเคลียร์ การวัดและการควบคุม เศรษฐศาสตร์โรงงานผลิตกำลัง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอากาศ พื้นดิน และน้ำ สำหรับโรงไฟฟ้า หลักการเบื้องต้นของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงไฟฟ้า	ENGME165 Power Plant Engineering	3(3-0-6) 65%
- Thermal Systems Design	ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการถ่ายเทความร้อน การนำ การพา การแผ่รังสี อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน การเดือดและการควบแน่น รู้จักการนำวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนท์มาช่วยในการแก้ปัญหาการนำความร้อน และการออกแบบระบบอุณหพลศาสตร์	ENGME173 Heat Transfer and Application	3(3-0-6) 20%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
กลุ่มที่ 3 ระบบพลวัตและการควบคุมอัตโนมัติ (Dynamic Systems and Automatics Control)			
- Dynamic Systems	ศึกษาเกี่ยวกับนิยามศัพท์ กลไกและเครื่องจักรกล การวิเคราะห์ความเร็วและความเร่ง ระบบพลวัต การวิเคราะห์แรงเชิงคิเนแมติกส์และไดนามิกส์ของอุปกรณ์เชิงกล กลไกยึดโยง ขบวนเฟือง และระบบเชิงกล การถ่วงดุลของระบบเชิงกล	ENGME108 Mechanics of Machinery	3(3-0-6) 20%
- Automatics Control	ศึกษาเกี่ยวกับหลักการของระบบควบคุมอัตโนมัติ การวิเคราะห์และการจำลองส่วนประกอบของระบบควบคุมเชิงเส้น เสถียรภาพของระบบควบคุมป้อนกลับเชิงเส้น การวิเคราะห์และออกแบบระบบในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ การออกแบบและการชดเชยระบบควบคุม การใช้คอมพิวเตอร์ในการจำลองการทำงานของระบบควบคุม	ENGME110 Automatic Control	3(3-0-6) 100%
- Internet of Things (IoT) and AI (use of)	ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับพื้นฐานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ การขับกระแสและแรงดันไฟฟ้า การควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้า การวัดและเครื่องมือวัด ตัวรับรู้ การสอบเทียบ การวิเคราะห์ข้อมูล การเขียนโปรแกรมเพื่อสื่อสารระหว่างตัวรับรู้กับคอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและควบคุม การสื่อสารแบบไร้สาย การเชื่อมข้อมูลสู่โลกอินเตอร์เน็ตรวมทั้งการใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้าช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล	ENGME174 Modern Measurement and Control for Engineer	3(2-3-5) 50%
- Robotics	ศึกษาและฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองและการใช้งานของตัวกระตุ้นตัวตรวจจับ และไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานเมคคาทรอนิคส์ รวมถึงมอเตอร์ไฟฟ้า (AC, DC, Stepper) ขดลวดโซเลนอยด์เซ็นเซอร์ตำแหน่ง (Encoder,โซนาร์, Infrared), พร็อกซิมิตี้เซ็นเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	ENGME131 Robot Actuators and Sensors	3(2-3-5) 50%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
- Vibration	ศึกษาเกี่ยวกับประวัติ นิยามศัพท์ และประเภทของการสั่นสะเทือน ระบบที่มีขั้นความอิสระเท่ากับหนึ่ง ระบบที่มีหลายขั้นความอิสระและระบบกระจาย การสั่นสะเทือนแบบบิด การสั่นสะเทือนเสรีและบังคับ วิธีของระบบสมมูล วิธีและเทคนิคการลดและความคุมการสั่นสะเทือน กรณีศึกษาของการสั่นสะเทือนเชิงกล	ENGME111 Mechanical Vibration	3(3-0-6)
กลุ่มที่ 4 ระบบทางกลอื่นๆ (Mechanical Systems)			
- Energy	ศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ การประยุกต์ใช้หลักเศรษฐศาสตร์จุลภาคในงานทางวิศวกรรม การวิเคราะห์และตัดสินใจโครงการโดยคำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์ และการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางเศรษฐศาสตร์ กฎหมายเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและโรงงาน การวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารและโรงงาน เปรียบเทียบผลและประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของระบบจัดการพลังงานในอาคารและโรงงาน เพื่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีหรือกระบวนการจัดพลังงาน	ENGME175 Economics for Energy Management	3(3-0-6) 50%
- Engineering Management and Economics	ศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ การประยุกต์ใช้หลักเศรษฐศาสตร์จุลภาคในงานทางวิศวกรรม การวิเคราะห์และตัดสินใจโครงการโดยคำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์ และการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางเศรษฐศาสตร์ กฎหมายเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและโรงงาน การวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารและโรงงาน เปรียบเทียบผลและประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของระบบจัดการพลังงานในอาคารและโรงงาน เพื่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีหรือกระบวนการจัดพลังงาน	ENGME175 Economics for Energy Management	3(3-0-6) 50%
- Fire Protection System	ศึกษาเกี่ยวกับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันอัคคีภัย การเกิดเพลิงไหม้และการป้องกัน ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ เส้นทางหนีไฟ หลักการของระบบดับเพลิงแบบต่างๆ การออกแบบและติดตั้งระบบดับเพลิง หลักการระบายอากาศ การออกแบบระบบระบายอากาศเบื้องต้น	ENGME194 Fire Protection Systems and Introduction to Ventilation	3(3-0-6) 65%

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
- Computer-Aided Engineering (CAE)	ศึกษาและฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานทางด้านระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยวิธีการโดยตรงสำหรับสปริง ชิ้นส่วนรับแรงในแนวแกน โครงถัก คาน และโครงกรอบของปัญหาการเปลี่ยนรูปเนื่องจากความเค้น ปัญหาการไหลของความร้อนและของไหลในหนึ่งมิติ ปัญหาการสั่นสะเทือนของระบบมวล-สปริง หลักการพื้นฐานทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ สมการการถ่ายโอนของเรย์โนส์ กฎกายภาพพื้นฐานของการไหล ระบบสมการนาเวียร์สโตกวิธีปริมาตรจำกัด วิธีอัปวินด์ และการประยุกต์ใช้งานในปัญหาทางด้านวิศวกรรมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป	ENGME171 Introduction to Finite Element Method and Computational of Fluid Dynamics	3(2-3-5) 100%

2. ตารางแสดงผู้สอนในแต่ละองค์ความรู้

ตารางการเทียบองค์ความรู้ สาขาวิศวกรรม {สาขาวิศวกรรมควบคุม}
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
วิชาเอกวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สำหรับผู้เข้าศึกษาปีการศึกษา 2565 – 2569

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
1. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์	
1.1 คณิตศาสตร์	
- FUNMA110 Fundamentals Calculus for Engineers	1. ดร.ศิรดา ปินใจ วท.บ. คณิตศาสตร์ (มหิดล) วท.ม. คณิตศาสตร์ประยุกต์ (มช.) ปร.ด. คณิตศาสตร์ประยุกต์ (มข.) ประสบการณ์สอน 13 ปี
- ENGME184 Mathematics for Mechanical Engineering	1. ดร.ศิรดา ปินใจ วท.บ. คณิตศาสตร์ (มหิดล) วท.ม. คณิตศาสตร์ประยุกต์ (มช.) ปร.ด. คณิตศาสตร์ประยุกต์ (มข.) ประสบการณ์สอน 13 ปี
- ENGME192 Applied mathematics for Mechanical Engineering	1. ดร.ศิรดา ปินใจ วท.บ. คณิตศาสตร์ (มหิดล) วท.ม. คณิตศาสตร์ประยุกต์ (มช.) ปร.ด. คณิตศาสตร์ประยุกต์ (มข.) ประสบการณ์สอน 13 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
1.2 ฟิสิกส์ - FUNSC203 Fundamentals of Chemistry for Engineers	1. ดร.สุวิชช์ ธนะศานวรคุณ วท.บ. ฟิสิกส์ (มช.) วท.ม. ฟิสิกส์ (มช.) วท.ด. ฟิสิกส์ (มช.) ประสบการณ์สอน 12 ปี 2. ดร.สุภาณี ใหม่จันทร์ดี วท.บ. ฟิสิกส์ (มช.) วท.ม. ฟิสิกส์ (มช.) ปร.ด. ฟิสิกส์ประยุกต์ (มช.) ประสบการณ์สอน 8 ปี
1.3 เคมี - FUNSC115 Fundamentals Physics for Engineers	1. อ.สาวิตรี กาทองทุ่ง วท.บ. เคมี (มช.) วท.ม. เคมี (มช.) ประสบการณ์สอน 15 ปี
2. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม	
กลุ่มที่ 1 พื้นฐานการออกแบบ (Design Fundamentals) 1.1 Mechanical Drawing - ENGME115 Mechanical Engineering Drawing	1. อ.สวัสดิ์ กีไสย์ วศ.บ.เครื่องกล (มทร.ล้านนา เชียงใหม่) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 14 ปี 2. อ.เรวัฒ คำวัน วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 18 ปี

	3. อ.เมธัส ภัททิยธนี วศ.บ.เครื่องกล (มทร.ล้านนา เชียงใหม่) วศ.ม.พลังงาน (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
1.2 Statics and Dynamics - ENGME101 Statics	1. อ.จิรศักดิ์ ปัญญา วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี 2. อ.ศุภชาติ กรุดทอง วศ.บ.เครื่องจักรกลเกษตร (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) MSE. Master of Science in Engineering (Minnesota State University, USA) ประสบการณ์สอน 13 ปี
- ENGME102 Dynamics	1. ดร.สุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา วศ.บ.เครื่องกล (เทคโนโลยีมหานคร) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 9 ปี 2. อ.ศุภชาติ กรุดทอง วศ.บ.เครื่องจักรกลเกษตร (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) MSE. Master of Science in Engineering (Minnesota State University, USA) ประสบการณ์สอน 13 ปี

1.3 Mechanical Engineering Process - ENGME196 Manufacturing Processes for Mechanical Engineering	1. ดร.กรวัฒน์ วุฒิกิจ วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.พลังงาน (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 10 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	**รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน**
กลุ่มที่ 2 ความรู้ทางดิจิทัล (Digital Literacy) 2.1 Digital Technology in Mechanical Engineering - ENGME131 Robot Actuators and Sensors	1. ดร.จีราวิชช์ นาคภักดี วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล เทเวศร์) วศ.ม.เทคโนโลยีอุณหภาพ (มจธ.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 25 ปี 2. ผศ.ว่าที่ ร.ท. ดร.ณัฐรัตน์ ปาณานนท์ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (สจพ.) Ph.D.Sound and Vibration (Univ. of Southampton, UK.) ประสบการณ์สอน 21 ปี
- ENGME174 Modern Measurement and Control for Engineer	1. นาวี นันต๊ะภาพ ค.อ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล พระนครเหนือ) วศ.ม.เครื่องกล (มจธ.) ประสบการณ์สอน 20 ปี

กลุ่มที่ 3 พื้นฐานทางความร้อนและของไหล (Thermo-Fluids Fundamentals) 3.1 Thermodynamics - ENGME103 Thermodynamics	1. ผศ.ดร.น้ำมนต์ โชติวิศรุต วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 15 ปี 2. ผศ.ดร.รณชาติ มั่นศิลป์ วศ.บ.วิศวกรรมเกษตร (แม่โจ้) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) วศ.ด.เครื่องกล (มจธ.) ประสบการณ์สอน 14 ปี 3. ดร.ธนวรรธน์ วัชรดำรงศักดิ์ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 24 ปี 4. ผศ.สมาน ดาวเวียงกัน วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.พลังงาน (มช.) ประสบการณ์สอน 19 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	**รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน**
3.2 Fluid Mechanics - ENGME104 Fluid Mechanics	1. ผศ.ดร.น้ำมนต์ โชติวิศรุต วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 15 ปี

	2. อ.ศรีธร อุปคำ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 24 ปี
กลุ่มที่ 4 วัสดุวิศวกรรมและกลศาสตร์วัสดุ (Engineering Materials and Mechanics of Materials) 4.1 Engineering Materials - ENGCC303 Engineering Materials	1. ดร.กรวัฒน์ วุฒิกิจ วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.พลังงาน (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 10 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	**รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน**
4.2 Solid Mechanics - ENGME105 Mechanics of Materials	1. ผศ.ดร.ธวัชชัย อุ่นใจจม วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 12 ปี 2. อ.จิรศักดิ์ ปัญญา วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี
กลุ่มที่ 5 อาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม (Health Safety and Environment) - ENGME165 Power Plant Engineering	1. อ.เรวัฒ คำวัน วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 18 ปี

- ENGME170 Millwright	1. อ.ศรีธร อุปคำ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 24 ปี 2. อ.จิรศักดิ์ ปัญญา วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี 3. อ.ทวีศักดิ์ มหาวรรณ์ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี 4. ผศ.ดร.ธวัชชัย อุ่นใจจม วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 12 ปี
- ENGME194 Fire Protection Systems and Introduction to Ventilation	1. อ.จิรศักดิ์ ปัญญา วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
3. องค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม	
กลุ่มที่ 1 เครื่องจักรกล (Machine) 1.1 Machinery Systems - ENGME108 Mechanics of Machinery	1. อ.ศุภชาติ กรุดทอง วศ.บ.เครื่องจักรกลเกษตร (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.)

	MSE. Master of Science in Engineering (Minnesota State University, USA) ประสบการณ์สอน 13 ปี
1.2 Machine Design - ENGME109 Machine Design	1. ผศ.ดร.ธวัชชัย อุ่นใจจม วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 12 ปี
1.3 Prime Movers - ENGME172 Fluid Machinery	1. อ.ศรีธร อุปคำ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 24 ปี 2. อ.สมพล วงค์ต่อม วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.พลังงาน (มช.) ประสบการณ์สอน 23 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	**รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน**
- ENGME170 Millwright	1. อ.ศรีธร อุปคำ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 24 ปี 2. อ.จิรศักดิ์ ปัญญา วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี

	3. อ.ทวีศักดิ์ มหาวรรณ์ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี 4. ผศ.ดร.ธวัชชัย อุ่นใจจม วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 12 ปี
กลุ่มที่ 2 ความร้อน ความเย็น และของไหลประยุกต์ (Heat, Cooling and Applied Fluids) 2.1 Heat Transfer - ENGME173 Heat Transfer and Application	1. ผศ.ดร.ประชา ยืนยงกุล วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 23 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	**รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน**
2.2 Air Conditioning and Refrigeration - ENGME123 Refrigeration and Air Conditioning	1. อ.ศรีธร อุปคำ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 24 ปี 2. อ.เรวัฒ คำวัน วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 18 ปี

2.3 Power Plant - ENGME165 Power Plant Engineering	1. อ.เรวัฒ คำวัน วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 18 ปี
2.4 Thermal Systems Design - ENGME173 Heat Transfer and Application	1. ผศ.ดร.ประชา ยืนยงกุล วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 24 ปี
กลุ่มที่ 3 ระบบพลวัตและการควบคุมอัตโนมัติ (Dynamic Systems and Automatics Control) 3.1 Dynamic Systems - ENGME108 Mechanics of Machinery	1. อ.ศุภชาติ กรุดทอง วศ.บ.เครื่องจักรกลเกษตร (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) MSE. Master of Science in Engineering (Minnesota State University, USA) ประสบการณ์สอน 13 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	**รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน**
3.2 Automatics Control - ENGME110 Automatic Control	1. ผศ.ว่าที่ ร.ท. ดร.ณัฐรัตน์ ปาณานนท์ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (สจพ.) Ph.D.Sound and Vibration (Univ. of Southampton, UK.) ประสบการณ์สอน.....21....ปี

3.3 Internet of Things (IoT) and AI (use of) - ENGME174 Modern Measurement and Control for Engineer	1. อ.นาวี นันต๊ะภาพ ค.อ.บ. เครื่องกล (ราชมงคล พระนครเหนือ) วศ.ม.เครื่องกล (มจธ.) ประสบการณ์สอน 20 ปี
3.4 Robotics - ENGME131 Robot Actuators and Sensors	1. ดร.จีราวิชช์ นาคภักดี วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล เทเวศร์) วศ.ม.เทคโนโลยีอุณหภาพ (มจธ.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 25 ปี 2. ผศ.ว่าที่ ร.ท. ดร.ณัฐรัตน์ ปาณานนท์ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (สจพ.) Ph.D.Sound and Vibration (Univ. of Southampton, UK.) ประสบการณ์สอน 21 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	**รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน**
3.5 Vibration - ENGME111 Mechanical Vibration	1. ผศ.ดร.กุลทรัพย์ ผ่องศรีสุข วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 13 ปี 2. ผศ.ว่าที่ ร.ท. ดร.ณัฐรัตน์ ปาณานนท์ วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ธัญบุรี) วศ.ม.เครื่องกล (สจพ.) Ph.D.Sound and Vibration (Univ. of Southampton, UK.) ประสบการณ์สอน 21 ปี

กลุ่มที่ 4 ระบบทางกลอื่นๆ (Mechanical Systems) 4.1 Energy - ENGME175 Economics for Energy Management	1. ดร.กรวัฒน์ วุฒิกิจ วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.พลังงาน (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 10 ปี
4.2 Engineering Management and Economics - ENGME175 Economics for Energy Management	1. ดร.กรวัฒน์ วุฒิกิจ วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.พลังงาน (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 10 ปี
4.3 Fire Protection System - ENGME194 Fire Protection Systems and Introduction to Ventilation	1. อ.จิรศักดิ์ ปัญญา วศ.บ.เครื่องกล (ราชมงคล ภาคพายัพ) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี

สาระการเรียนรู้ของแต่ละวิชา	**รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน**
4.4 Computer-Aided Engineering (CAE) - ENGME171 Introduction to Finite Element Method and Computational of Fluid Dynamics	1. ผศ.ดร.กุลทรัพย์ ผ่องศรีสุข วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 13 ปี 2. ผศ.ดร.รณชาติ มั่นศิลป์ วศ.บ.วิศวกรรมเกษตร (แม่โจ้) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) วศ.ด.เครื่องกล (มจธ.) ประสบการณ์สอน 14 ปี

	3. ดร.กรวัฒน์ วุฒิกิจ วศ.บ.เครื่องกล (มช.) วศ.ม.พลังงาน (มช.) ปร.ด.เครื่องกล (มช.) ประสบการณ์สอน 10 ปี 4. อ.ศุภชาติ กรุดทอง วศ.บ.เครื่องจักรกลเกษตร (มช.) วศ.ม.เครื่องกล (มช.) MSE. Master of Science in Engineering (Minnesota State University, USA) ประสบการณ์สอน 13 ปี

ส่วนที่ 5 สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้และการประกันคุณภาพการศึกษา

1. ห้องปฏิบัติการ

1.1 บัญชีรายการของวัสดุ ครุภัณฑ์ และอุปกรณ์การทดลอง

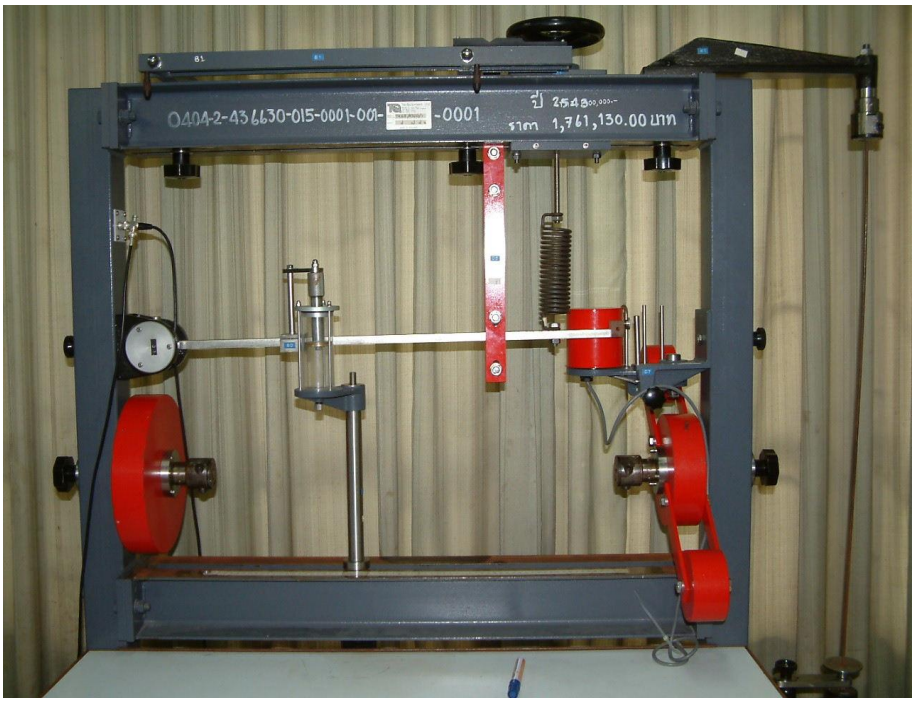
1.1.1 ห้องเรียน

1) ห้องบรรยายขนาด 30 ที่นั่ง จำนวน 5 ห้อง
2) ห้องบรรยายขนาด 50 ที่นั่ง จำนวน 1 ห้อง

1.1.2 ห้องปฏิบัติการ

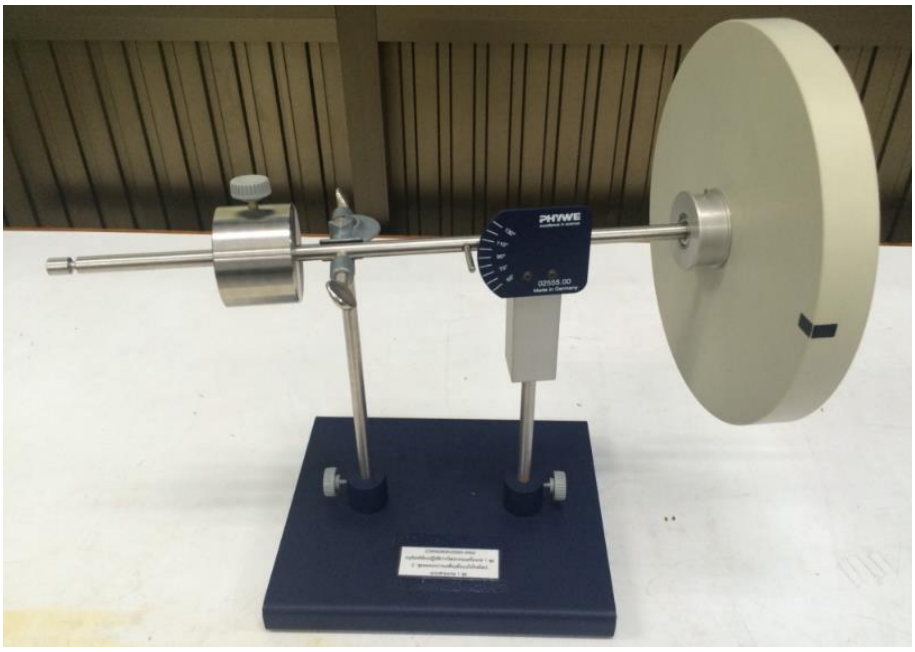
ห้องปฏิบัติการพลศาสตร์และการสั่นสะเทือน

ลำดับ	ชื่อครุภัณฑ์	จำนวน
1	Universal Vibration Apparatus	1 ชุด
2	Mechanic of Machinery Demonstration	1 ชุด
3	Gyroscope	1 ชุด
4	Balancing Machine	1 ชุด

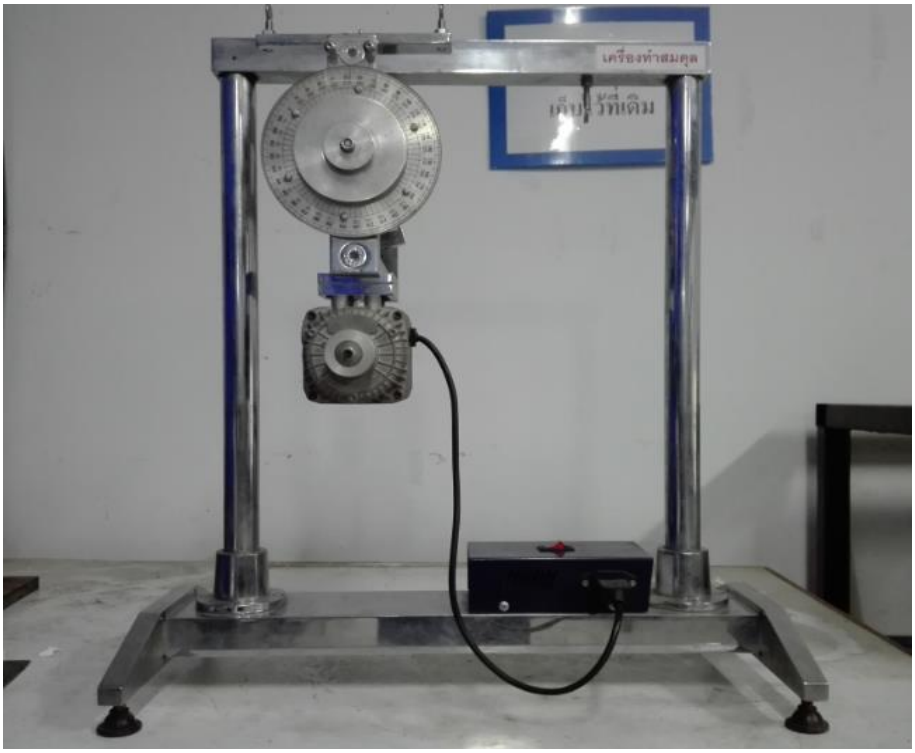


Universal Vibration Apparatus

Mechanic of Machinery Demonstration



Gyroscope



Balancing Machine

ห้องปฏิบัติการการทดสอบวัสดุ

ลำดับ	ชื่อครุภัณฑ์	จำนวน
1	Universal Testing Machine	1 ชุด
2	Torsion Testing Machine	1 ชุด
3	เครื่องทดสอบการส่งกำลังของสายพาน	1 ชุด
4	เครื่องทดสอบความเสียดทานของรองลื่น	1 ชุด
5	เครื่องทดสอบความแข็งของจารบี	1 ชุด

Universal Testing Machine

Torsion Testing Machine

ห้องปฏิบัติการการถ่ายเทความร้อนและอุณหพลศาสตร์

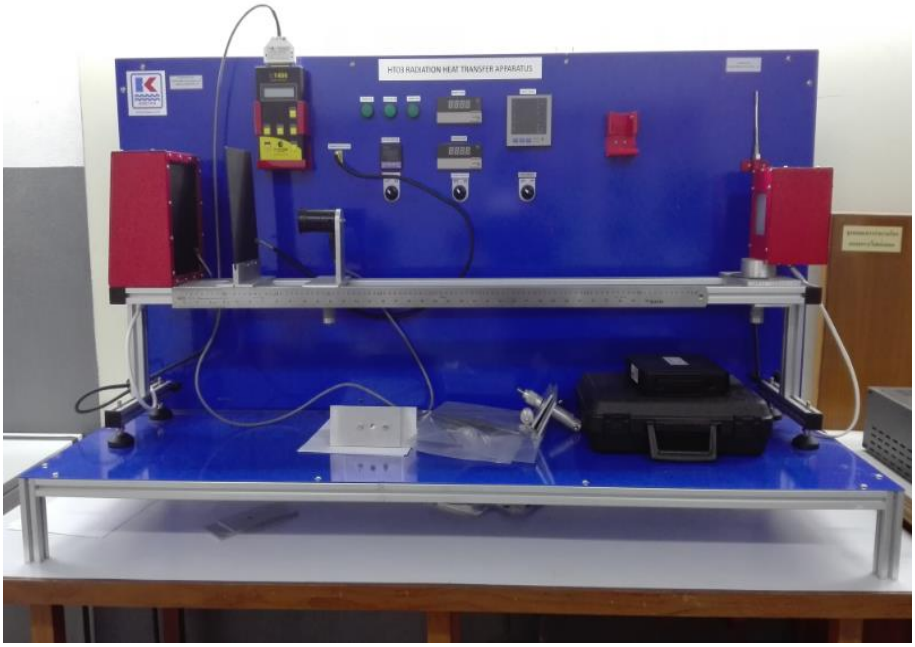
ลำดับ	ชื่อครุภัณฑ์	จำนวน
1	Chiller Air Conditioning System	1 ชุด
2	Heat Conduction Lab.	1 ชุด
3	Heat Convection Lab.	2 ชุด
4	Heat Exchanger Lab.	1 ชุด
5	Bomb Calorimeter	1 ชุด
6	Flash Point Testing Machine	1 ชุด
7	Boiling Heat Transfer	1 ชุด

Air Conditioning

Refrigeration

Heat Conduction

Heat Convection



Heat Radiation

Bomb Calorimeter

ห้องปฏิบัติการการไหลและเครื่องจักรกลของไหล

ลำดับ	ชื่อครุภัณฑ์	จำนวน
1	Impulse Turbine	1 ชุด
2	Francis Turbine	1 ชุด
3	Air Flow in Pipe	1 ชุด
4	Pump Test Rig	1 ชุด
5	Friction Loss in Pipe	1 ชุด
6	ชุดทดลองระบบไฮดรอลิกส์	1 ชุด
7	ชุดทดลองระบบนิวแมติกส์ และนิวแมติกส์ไฟฟ้า	2 ชุด

Impulse Turbine

Francis Turbine

Air Flow in Pipe

Multi-Pump Test

Flow and Fiction Loss in Pipe

ห้องปฏิบัติการการทดสอบเครื่องยนต์และเครื่องต้นกำลัง

ลำดับ	ชื่อครุภัณฑ์	จำนวน
1	Automotive Inspection Line	1 ชุด
2	ชุดสาธิตการทำงานระบบเบรก ABS	1 ชุด
3	Engine Power Test	3 ชุด
4	Boiler and Generator	2 ชุด
5	Mini Steam Turbine	1 ชุด
6	Gas Turbine Engine	1 ชุด

ห้องปฏิบัติการระบบควบคุม

ลำดับ	ชื่อครุภัณฑ์	จำนวน
1	Level & Flow Process Control	1 ชุด
2	Pressure Process Control	1 ชุด
3	Temperature Process Control	1 ชุด
4	ชุดฝึก PLC พร้อมอุปกรณ์	1 ชุด
5	Computer Integrated Manufacturing	1 ชุด

ห้องปฏิบัติการการเขียนแบบวิศวกรรม

สถานที่ตั้ง : ห้อง ทอ.3-101 อาคารเทคนิคอุตสาหกรรม และ ชล.1-204 อาคารช่างโลหะ 1

ครุภัณฑ์และอุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย

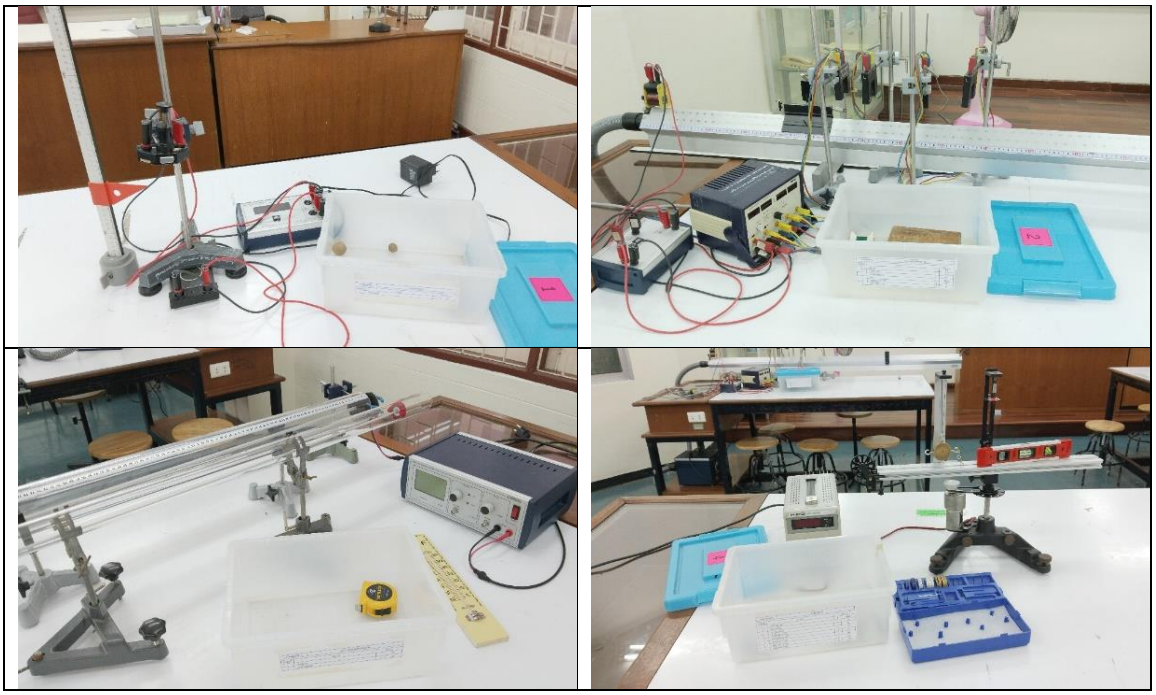
ลำดับ	รายการ	จำนวน
1	โต๊ะเขียนแบบ	40 ชุด
2	คอมพิวเตอร์	40 เครื่อง
3	โปรเจคเตอร์	2 เครื่อง

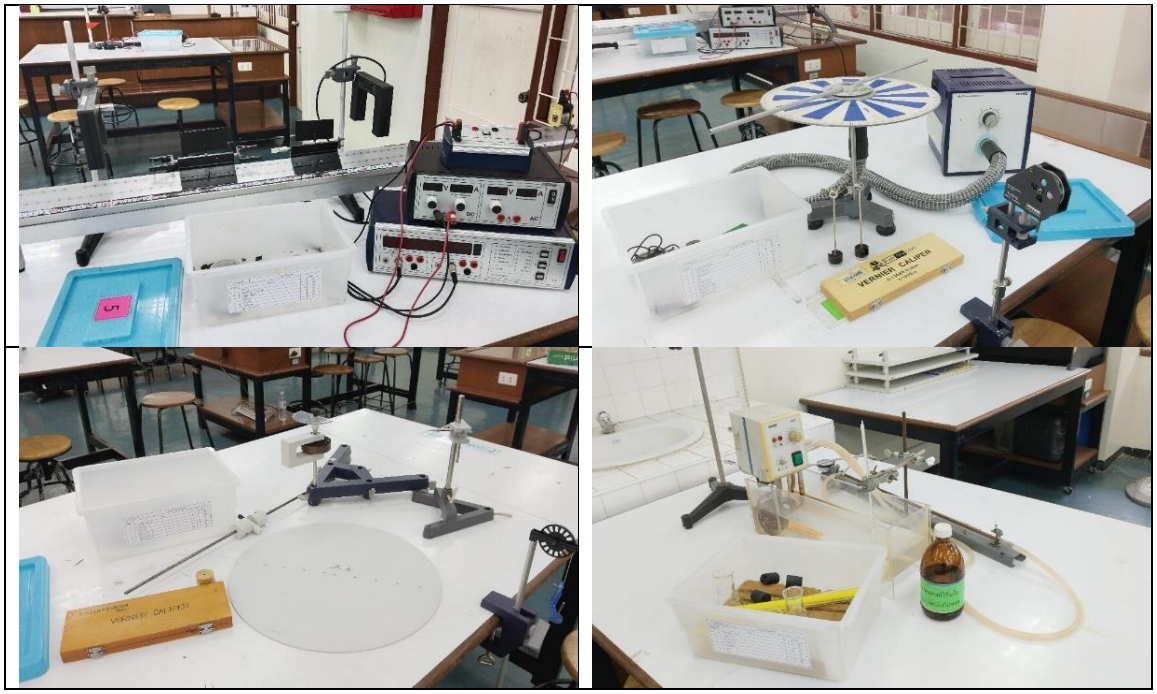
หัวข้อการทดลอง ประกอบด้วย

การทดลองที่	หัวข้อ
1	การเขียนตัวอักษร
2	การมองภาพและการเขียนภาพออร์โธกราฟิก
3	การเขียนภาพ 3 มิติ
4	การกำหนดขนาดและพิกัดความเผื่อ
5	การเขียนภาพตัดภาพช่วยและแผ่นคลี่
6	การสเก็ตช์ภาพด้วยมือ
7	การเขียนภาพแยกชิ้นและภาพประกอบ
8	การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยการเขียนแบบและออกแบบ

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์

สถานที่ตั้ง : ห้อง ศท.506 อาคาร ศึกษาทั่วไป





ครุภัณฑ์และอุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย

ลำดับ	รายการ	จำนวน
1	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	20 อัน
2	ไมโครมิเตอร์	8 อัน
3	วัตถุทรงกระบอกกลวง	3 อัน
4	เครื่องเคาะสัญญาณ	2 ชุด
5	รางพร้อมปั๊มลม	5 ชุด
6	ที่ปล่อยวัตถุ	6 อัน
7	เชือกพร้อมตะขอแขวน	4 ชุด
8	ตุ้มน้ำหนัก	5 ชุด
9	นาฬิกาจับเวลาแบบตั้งโต๊ะ	3 เครื่อง
10	สวิทช์จับเวลาแบบแสงพร้อมขาตั้ง	10 ชุด
11	ขาตั้งพร้อมรอก	2 ชุด
12	ชุดการทดลองการตกอิสระ	3 ชุด
13	ตลับเมตรวัดระดับความสูง	10 อัน
14	เครื่องปล่อยวัตถุ	3 อัน
15	เครื่องรับวัตถุ	3 อัน
16	ขาตั้งพร้อมมือจับ	3 ชุด

ลำดับ	รายการ	จำนวน
17	สปริง	3 ชุด
18	ตะขอแขวนสปริง	3 ชุด
19	นาฬิกาจับเวลา	12 อัน
20	พื้นเอียง	2 อัน
21	แท่งไม้และมวล	2 ชุด
22	ไม้เมตร	6 อัน
23	เครื่องชั่ง	4 เครื่อง
24	ชุดทดลองการชนกันของวัตถุ	2 ชุด
25	ชุดกระป๋องคาลอรีมิเตอร์กับขดลวดความร้อน	1 ชุด
27	ชุดการทดลองความตึงผิวของเหลว	
28	ชุดทดลองหลอดกำทอน	2 ชุด
29	แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงและกระแสสลับแบบปรับค่าได้ 0-15 โวลต์	8 เครื่อง
30	ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้	5 อัน
31	ไขควงสำหรับตรวจสอบไฟฟ้า	2 อัน
32	ปลั๊กไฟฟ้าชนิดแยกสวิตช์เปิด-ปิด	10 อัน
33	มัลติมิเตอร์แบบเข็ม	6 เครื่อง
34	มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล	15 เครื่อง
35	ชุดทดลองไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ระบบล็อกต่อวงจร	1 ชุด
36	ชุดการเรียนรู้พื้นฐานด้านแสง	3 ชุด

หัวข้อการทดลอง ประกอบด้วย

การทดลองที่	หัวข้อ
1	การตกอิสระของวัตถ
2	กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
3	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
4	แรงสู่ศูนย์กลาง
5	การชนกันของวัตถุ
6	โมเมนต์ความเฉื่อย
7	การสั่นของวัตถุแข็งเกร็ง
8	สัมประสิทธิ์การขยายตัว

9	กฎของก๊าซ
10	ความเร็วเสียง
11	แอโรไดนามิค
12	ความหนืดของของเหลว

ห้องปฏิบัติการเคมี

สถานที่ตั้ง : ห้อง ศท.402 อาคาร ศึกษาทั่วไป

ครุภัณฑ์และอุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย

ลำดับ	รายการ	จำนวน
1	กระบอกตวง	76 อัน
2	บิวเรต	20 อัน

ลำดับ	รายการ	จำนวน
3	ปิเปต	89 อัน
4	เทอร์โมมิเตอร์	35 อัน
5	ลูกยางปิเปต	22 อัน
6	หลอดทดลอง	358 อัน
7	บีกเกอร์	186 อัน
8	Conductivity meter	5 เครื่อง
9	ตะเกียงแอลกอฮอล์	15 ชุด
10	แท่งแก้ว	30 อัน
11	กระจกนาฬิกา	58 อัน
12	ตู้อบ	3 เครื่อง
13	เครื่องชั่งไฟฟ้า	16 เครื่อง
14	ขวดรูปชมพู่	135 ใบ
15	หลอดนำแก๊ส	200 อัน
16	ขวดวัดปริมาตร	93 ขวด
17	เครื่องวัดความหนืดแบบออสท์วาลด์วิสโคมิเตอร์ (Ostwald viscometer)	58 อัน
18	อ่างควบคุมอุณหภูมิ	4 เครื่อง
19	นาฬิกาจับเวลา	11 อัน
20	เตาไฟฟ้า	8 เครื่อง
21	ขาตั้งพร้อมที่จับ	19 อัน

หัวข้อการทดลอง ประกอบด้วย

การทดลองที่	หัวข้อ
1	การชั่ง ตวง วัดทางวิทยาศาสตร์
2	สมบัติของสารประกอบไอออนิกและโคเวเลนต์
3	ปริมาณสารสัมพันธ์
4	กฎของชาร์ล
5	ความหนืดของของเหลว
6	โครงสร้างผลึก
7	การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยอาศัยหลักการลดลงของจุดเยือกแข็ง
8	การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไดโครเมทกับเอทานอล

การทดลองที่	หัวข้อ
9	สมดุลเคมี
10	การไทเทรตสารละลายกรด-เบส

ห้องปฏิบัติการการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สถานที่ตั้ง : ห้อง C3-401-406 อาคาร C3

ครุภัณฑ์และอุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย

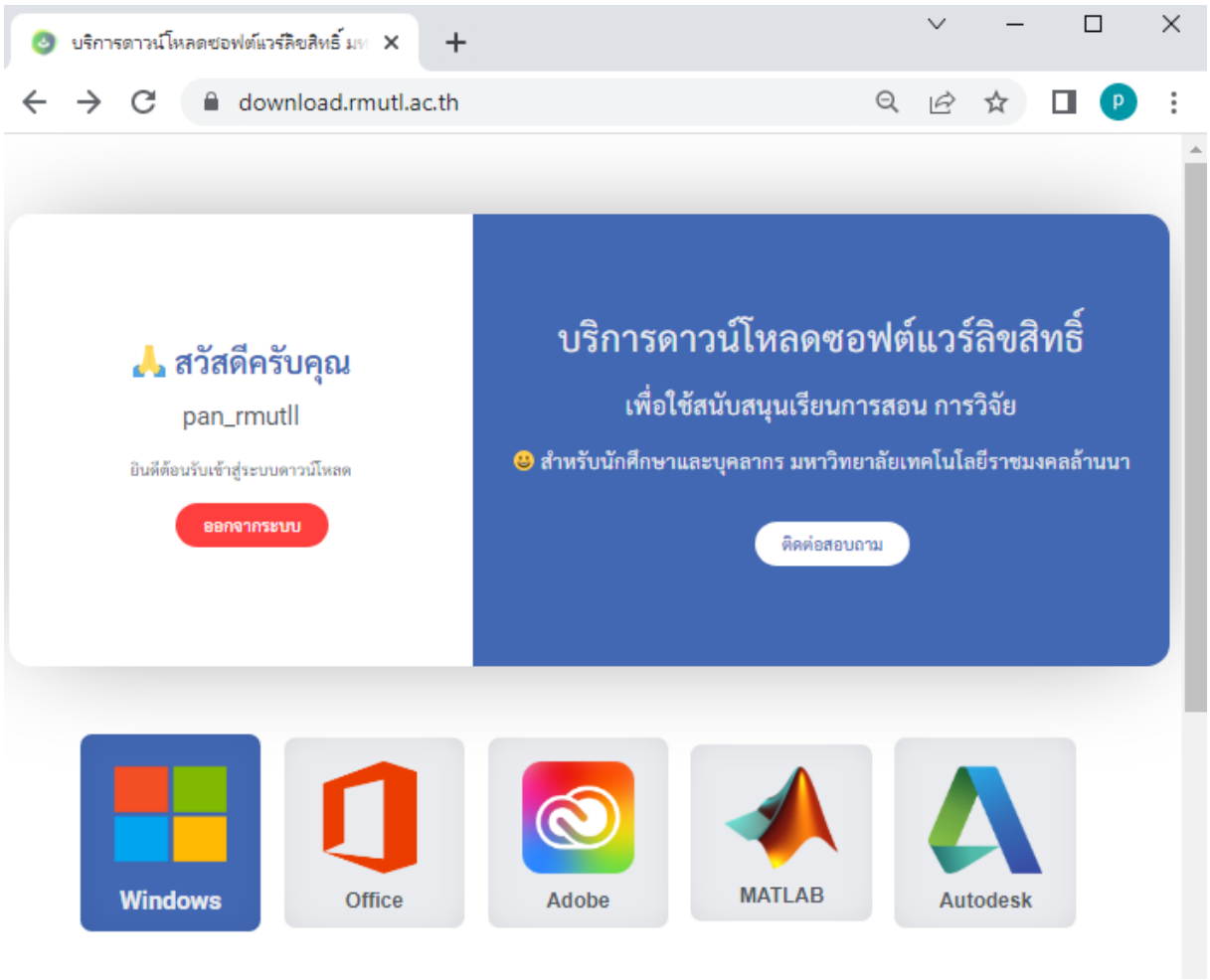
ลำดับ	ชื่อครุภัณฑ์	จำนวน
1	เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์	40 ชุด
2	เครื่องพิมพ์เลเซอร์ A4	1 เครื่อง
3	เครื่องโปรเจคเตอร์	1 เครื่อง

หัวข้อการทดลอง การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย

การทดลองที่	**หัวข้อ**
1	พื้นฐานแนวคิดและองค์ประกอบของระบบคอมพิวเตอร์
2	การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม
3	การเขียนโปรแกรมแสดงผลข้อมูล
4	การเขียนโปรแกรมรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด
5	ตัวดำเนินการและนิพจน์ทางคณิตศาสตร์
6	ฟังก์ชั่นมาตรฐานจาก Library
7	คำสั่งควบคุมการทำงานแบบทางเลือก
8	คำสั่งควบคุมการทำงานแบบวนซ้ำ
9	ตัวแปรชุด
10	ฟังก์ชั่นที่ผู้ใช้สร้างขึ้นเอง
11	พอยน์เตอร์
12	ตัวแปรชนิดโครงสร้าง
13	ไฟล์(File)

1.2 โปรแกรมสำเร็จรูป/ซอฟต์แวร์ (Software)

นักศึกษาและบุคลากรสามารถ ดาวน์โหลดซอฟต์แวร์ลิขสิทธิ์เพื่อใช้สนับสนุนการเรียนการสอนได้ที่ https://download.rmutl.ac.th/



Microsoft Windows

Licence key

ลำดับ	รายการ	หมายเหตุ	ระบบปฏิบัติการ	ดาวน์โหลด
1	Windows 11 Education	ติดตั้งผ่านเครือข่ายมหาวิทยาลัยเท่านั้น	Windows (64bit)	Download
2	Windows 10 Education		Windows (64bit)	Download
3	Windows 10 Education		Windows (32bit)	Download
4	Windows Server 2022		Server	Download
5	Windows Server 2016		Server	Download
6	Windows Server 2012R2		Server	Download
7	Windows Multipoint 2012		Server	Download

Adobe Creative Cloud

คู่มือการติดตั้ง (Windows)

คู่มือการติดตั้ง (Mac)

ลำดับ	รายการ	ระบบปฏิบัติการ	ดาวน์โหลด
1	Adobe Creative Cloud Desktop	Mac (Intel)	Download
2	Adobe Creative Cloud Desktop	Mac (M1)	Download
3	Adobe Creative Cloud Desktop	Windows (64bit)	Download
4	Adobe Creative Cloud CleanerTool	Mac	Download
5	Adobe Creative Cloud CleanerTool	Windows	Download

Autodesk

ลำดับ	รายการ	ระบบปฏิบัติการ	ดาวน์โหลด
1	AutoCAD 2022	Windows (64bit)	Download
2	AutoCAD 2022	MacOs	Download

Microsoft Office Professional

Licence key

ลำดับ	รายการ	หมายเหตุ	ระบบปฏิบัติการ	เวอร์ชั่น	ดาวน์โหลด
1	Office Professional - EN 🔥	ติดตั้งผ่านเครือข่ายมหาวิทยาลัยเท่านั้น	Windows (64bit)	2021	Download
2	Office Professional - EN		Mac	2019	Download
3	Office Professional - EN		Windows (64bit)	2019	Download
4	Office Professional - EN		Windows (64bit)	2016	Download
5	Office Professional - TH		Windows (64bit)	2016	Download
6	Office Professional - EN		Windows (32bit)	2016	Download
7	Office Professional - TH		Windows (32bit)	2016	Download
8	Project Professional - EN		Windows (64bit)	2016	Download
9	Project Professional - EN		Windows (32bit)	2016	Download
10	Visio Professional - EN		Windows (64bit)	2021	Download
11	Visio Professional - EN		Windows (64bit)	2019	Download
12	Visio Professional - EN		Windows (64bit)	2016	Download
13	Visio Professional - EN		Windows (32bit)	2016	Download

MATLAB

สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมผ่านเว็บไซต์ของ MATLAB โดยศึกษาจากคู่มือ.....

คู่มือการดาวน์โหลด

เอกสารประกอบการอบรม

วิดีโอแนะนำสิทธิ์การเข้าใช้โปรแกรม MATLAB Campus Wide License

ดาวน์โหลด Roadrunner Asset Library

(Library เสริมสำหรับ Design 3D scenes for automated driving simulation)

ลำดับ	รายการ	ระบบปฏิบัติการ	ดาวน์โหลด
1	MATLAB Roadrunner	Mac	Download
2	MATLAB Roadrunner	Windows	Download
3	MATLAB Roadrunner	Linux	Download

2. แหล่งบริการข้อมูลทางวิชาการ

2.1. ห้องสมุดและระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ

2.1.1. สรุปจำนวนหนังสือในห้องสมุด

ลำดับ	รายการทรัพยากร	จำนวน	หน่วยนับ
1	หนังสือและตำราเรียน		
	- หนังสือและตำราเรียนภาษาไทย	67,225	เล่ม
	- หนังสือและตำราเรียนภาษาอังกฤษ	26,502	เล่ม
2	หนังสืออ้างอิง		
	- หนังสืออ้างอิงภาษาไทย	2,047	เล่ม
	- หนังสืออ้างอิงภาษาอังกฤษ	1,259	เล่ม
3	Electronic resource	1,125	เล่ม
4	นวนิยาย	4,030	เล่ม
5	เยาวชน / การ์ตูน	920	เล่ม
6	เรื่องสั้น	658	เล่ม
7	สื่ออิเล็คทรอนิกส์	10,543	แผ่น
8	วารสารบอกรับ	13	ชื่อเรื่อง
9	ฐานข้อมูล E-Book Thai (ซื้อขาด)	1,430	ชื่อเรื่อง
10	ฐานข้อมูล E-Book Gale (ซื้อขาด)	460	ชื่อเรื่อง
11	ฐานข้อมูล E-Book (IG Library) (ซื้อขาด)	18	ชื่อเรื่อง
12	ฐานข้อมูล E-Book Cambridge (ซื้อขาด)	68	ชื่อเรื่อง
13	ฐานข้อมูล E-Book ScienceDirect (ซื้อขาด)	244	ชื่อเรื่อง
14	ฐานข้อมูล E-Book AccessEngineering (บอกรับต่อปี)	750	ชื่อเรื่อง
15	ฐานข้อมูล Business Source Complete (บอกรับต่อปี)	3,500	ชื่อเรื่อง
16	ฐานข้อมูล Environment Complete (บอกรับต่อปี)	1,200	ชื่อเรื่อง
17	ฐานข้อมูล Bloomberry Design Library (บอกรับต่อปี)	70	ชื่อเรื่อง
18	Application Ookbee Buffet (บอกรับต่อปี)	30,000	ฉบับ
19	โปรแกรม Turnitin (บอกรับต่อปี)		
	- สำหรับอาจารย์	1,000	บัญชี
	- สำหรับนักศึกษา	3,000	บัญชี
20	ฐานข้อมูล E-Book ELT Cluster (บอกรับต่อปี)	61	ชื่อเรื่อง

2.1.2. บริการการสืบค้นข้อมูล

ลำดับ	บริการข้อมูล	สามารถเข้าใช้บริการได้ที่ URL
1	ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ RMUTL	http://autolib.rmutl.ac.th
2	E-book RMUTL ภาษาไทย	http://library.rmutl.ac.th
3	E-book RMUTL ภาษาอังกฤษ	http://library.rmutl.ac.th
4	E-Learning	http://education.rmutl.ac.th
5	สืบค้นงานวิจัย (EDS)	http://library.rmutl.ac.th
6	ฐานข้อมูลหนังสือ, วารสารและงานวิจัยอิเล็กทรอนิกส์ - ACM Digital Library - H.W Wilson - IEEE/IET Electronic Library (IEL) - ProQuest Dissertation & Theses Global - Web of Science - SpringerLink – Journal - American Chemical Society Journal (ACS) - Academic Search Complete - ABI/INFORM Complete - Computers & Applied Sciences Complete - Education Research Complete - Emerald Management (EM92) - ScienceDirect - Communication & Mass Media Complete	http://library.rmutl.ac.th

2.1.3. ฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 13 ฐานข้อมูล(ต่างประเทศ)

เป็นการให้บริการการสืบค้นฐานข้อมูลออนไลน์ในต่างประเทศเพื่อการใช้ทรัพยากร ตามเกณฑ์มาตรฐานเดียวกัน และเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศตลอดจนเอกสารฉบับเต็มได้สะดวก รวดเร็ว ผ่านเครือข่ายสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา UniNet สำนักงานบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ซึ่งฐานข้อมูลที่ให้บริการ ประกอบด้วย ฐานข้อมูลอ้างอิง (Reference Database) จำนวน 13 ฐานข้อมูล ดังนี้

ลำดับ	บริการข้อมูล	รายละเอียดของฐานข้อมูล	สามารถเข้าใช้บริการได้ที่ URL
1	ABI/INFORM Complete	เป็นฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลทาง ด้านธุรกิจ การโฆษณา การตลาด เศรษฐศาสตร์ การจัดการทรัพยากรมนุษย์ การเงิน ภาษี คอมพิวเตอร์	http://search.proquest.com/autologin
2	ProQuest Dissertation & Theses	เป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท และปริญญาเอก ฉบับเต็ม (Full-text)	http://search.proquest.com/autologin
3	IEEE/IET Electronic Library (IEL)	เป็นฐานข้อมูลที่รวบรวมสารสนเทศจาก 2 แหล่งข้อมูล คือ The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) และ The Institution of Engineering and Technology (IET	http://www.ieeexplore.ieee.org/
4	ACM Digital Library	เป็นฐานข้อมูลทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ จากสิ่งพิมพ์ต่อเนื่อง จดหมายข่าว และเอกสารในการประชุมวิชาการ	http://dl.acm.org/dl.cfm
5	SpringerLink – Journal	เป็นฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์สุขภาพ	http://www.link.springer.com
6	Web of Science	เป็นฐานข้อมูลบรรณานุกรมและสาระสังเขป พร้อมการอ้างอิงและอ้างถึง ที่ครอบคลุม	http://webofknowledge.com

ลำดับ	บริการข้อมูล	รายละเอียดของฐานข้อมูล	สามารถเข้าใช้บริการได้ที่ URL
		สาขาวิชาหลักทั้งวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ และ มนุษยศาสตร์	
7	American Chemical Society Journal (ACS)	เป็นฐานข้อมูลที่รวบรวมบทความ และงานวิจัย จากวารสารทางด้านเคมีและวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องโดยรวบรวมจากวารสารทั้งที่พิมพ์เป็นรูปเล่ม วารสารอิเล็กทรอนิกส์	http://pubs.acs.org/
8	Academic Search Complete	เป็นฐานข้อมูลที่ครอบคลุมสหสาขา วิชา ได้แก่ ศึกษาศาสตร์ ประวัติศาสตร์ สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ ศิลปศาสตร์ จิตวิทยา ศาสนา นิติศาสตร์ บริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์ทั่วไป	https://search.ebscohost.com
9	Computers & Applied Sciences Completet	เป็นฐานข้อมูลที่ครอบคลุมขอบเขตการวิจัยและการพัฒนาในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิทยาศาสตร์ ประยุกต์ CASC มีการจัดดัชนีและสาระสังเขปของวารสารเชิงวิชาการ	https://search.ebscohost.com
10	Education Research Complete	เป็นฐานข้อมูลเฉพาะทางด้านการศึกษาที่มีเนื้อหาครอบคลุมการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ	https://search.ebscohost.com
11	H.W. Wilson	เป็นฐานข้อมูลดรรชนี สาระสังเขปและเอกสารฉบับเต็มครอบคลุมทุกสาขาวิชา	https://search.ebscohost.com
12	Emerald Management	เป็นฐานข้อมูลครอบคลุมสาขาวิชาทางด้านการจัดการ ได้แก่ การเงินและการบัญชีระบบ	http://www.emeraldinsight.com

ลำดับ	บริการข้อมูล	รายละเอียดของฐานข้อมูล	สามารถเข้าใช้บริการได้ที่ URL
		อัตโนมัติขั้นสูง งานวิจัยเชิงคุณภาพการเงินและการบัญชี กฎหมายและจริยธรรมทางธุรกิจ เศรษฐศาสตร์การศึกษา ข้อปฏิบัติในการลงทุน รูปแบบนโยบายการคลัง ธุรกิจระหว่างประเทศ การจัดการรูปแบบการประเมินและตรวจสอบด้านการเงิน ธุรกิจศึกษาภูมิภาคเอเชีย ประวัติศาสตร์การจัดการ บทวิเคราะห์ธุรกิจข้ามชาติ การสร้างแบบจำลองในการบริหารจัดการ การบริหารจัดการการค้าปลีกและการกระจายสินค้าระหว่างประเทศ การดูแลกำกับกิจการ ยุทธศาสตร์ด้านธุรกิจ บทความเกี่ยวกับตัวชี้วัดความเป็นเลิศทางธุรกิจและการพัฒนาธุรกิจที่ยั่งยืน และงานวิจัยด้านพฤติกรรมของผู้ประกอบการ	
13	ScienceDirect	เป็นฐานข้อมูลบรรณานุกรมและเอกสารฉบับเต็ม (Full-text) จากวารสารของสำนักพิมพ์ในเครือ Elsevier ประกอบด้วย หนังสือและวารสารด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์การแพทย์	http://www.emeraldinsight.com

2.1.4. ฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 4 ฐานข้อมูล(ภาษาไทย)

ลำดับ	บริการข้อมูล	รายละเอียดของฐานข้อมูล	สามารถเข้าใช้บริการได้ที่ URL
1	ฐานข้อมูลวิจัยไทย จาก สวทช	ฐานข้อมูลงานวิจัยของไทย รวมงานวิจัยมากกว่า 6,000 เรื่อง (80,000 เรื่อง เมื่อดำเนินงานจริง) โดย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติร่วมกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการ	http://www.thairesearch.in.th

ลำดับ	บริการข้อมูล	รายละเอียดของฐานข้อมูล	สามารถเข้าใช้บริการได้ที่ URL
		วิจัย สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
2	ฐานข้อมูล วิทยานิพนธ์ไทย จาก สวทช	ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย ของทุก มหาวิทยาลัยที่เข้าร่วมโครงการ	http://thesis.stks.or.th
3	ฐานข้อมูล TDC จาก Thailis	ให้บริการข้อมูลฉบับเต็มในรูปอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้สำหรับสนับสนุนการศึกษา การค้นคว้าวิจัย และการเผยแพร่ผลงานของ นักศึกษา อาจารย์ นักวิจัย และเจ้าของผลงานต่าง ๆ	http://dcms.thailis.or.th
4	ฐานข้อมูล งานวิจัย จาก E-Library TRF	ฐานข้อมูลงานวิจัยจากห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) จำนวนงานวิจัยกว่า 3,000 โครงการ ทั้ง บทคัดย่อ และรายงานวิจัยฉบับเต็ม	http://elibrary.trf.or.th

2.2. สิ่งอำนวยความสะดวก

2.2.1. เครื่องมืออำนวยความสะดวก

ห้อง	รายการ	จำนวน
Virtual Desktop Lab 1	ลำโพง,ไมโครโฟน คอมพิวเตอร์ เครื่องฉายโปรเจคเตอร์ โต๊ะ,เก้าอี้	1 ชุด 61 เครื่อง 1 เครื่อง 61 ชุด
Virtual Desktop Lab 2	ลำโพง,ไมโครโฟน คอมพิวเตอร์ เครื่องฉายโปรเจคเตอร์ โต๊ะ,เก้าอี้	1 ชุด 40 เครื่อง 1 เครื่อง 40 ชุด
ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ 3	ลำโพง,ไมโครโฟน คอมพิวเตอร์ เครื่องฉายโปรเจคเตอร์ โต๊ะ,เก้าอี้	1 ชุด 40 เครื่อง 1 เครื่อง 40 ชุด

ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ 4	ลำโพง,ไมโครโฟน คอมพิวเตอร์ เครื่องฉายโปรเจคเตอร์ โต๊ะ,เก้าอี้	1 ชุด 40 เครื่อง 1 เครื่อง 40 ชุด
Knowledge theater	เก้าอี้	72 ตัว

3. การประกันคุณภาพการศึกษา

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลผ่านการตรวจประเมินการประกันคุณภาพการศึกษาภายใน (ระดับหลักสูตร) ประจำปีการศึกษา 2564 เมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2565 ตามตัวบ่งชี้ของสกอ. 6 องค์ประกอบ 13 ตัวบ่งชี้ ได้รับคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 2.81 อยู่ในระดับ ปานกลาง

สรุปผลการประเมินคุณภาพการศึกษาภายใน ตามองค์ประกอบ ดังนี้

องค์ประกอบ	คะแนน	ผลการประเมิน
องค์ประกอบที่ 1 : การกำกับมาตรฐาน		**ผ่าน**
องค์ประกอบที่ 2 : บัณฑิต	0	น้อย
องค์ประกอบที่ 3 : นักศึกษา	3.00	ปานกลาง
องค์ประกอบที่ 4 : อาจารย์	3.33	ดี
องค์ประกอบที่ 5 : หลักสูตรการเรียนการสอน การประเมินผู้เรียน	3.38	ดี
องค์ประกอบที่ 6 : สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้	4.00	ดี
คะแนนรวม	**2.81**	**ปานกลาง**

องค์ประกอบที่ 1 การกำกับมาตรฐาน (ระดับปริญญาตรี : เกณฑ์ 5 ข้อ)

ตัวบ่งชี้		ผ่านเกณฑ์ / ไม่ผ่านเกณฑ์	ระบุเหตุผล หากไม่ผ่านเกณฑ์
1	จำนวนอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร	✓	
2	คุณสมบัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร	✓	
3	คุณสมบัติอาจารย์ประจำหลักสูตร	✓	
4	คุณสมบัติอาจารย์ผู้สอน	✓	
10	การปรับปรุงหลักสูตรตามรอบระยะเวลาที่กำหนด	✓	
รวมจำนวนข้อที่ผ่านเกณฑ์		**5 ข้อ**	

สรุปผลการประเมิน

☑ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตร ☐ ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตร

ตารางการวิเคราะห์คุณภาพการศึกษาภายในระดับหลักสูตร

องค์ประกอบ	คะแนนผ่าน	จำนวนตัวบ่งชี้	จำนวนตัวบ่งชี้				ผลการประเมิน
			ปัจจัยนำเข้า	กระบวนการ	ผลผลิต	คะแนนเฉลี่ย	
1. การกำกับมาตรฐาน							ผ่าน
2. บัณฑิต	คะแนนเฉลี่ยของทุกตัวบ่งชี้ในองค์ประกอบที่ 2-6	2	-	-	0.00	0.00	น้อย
3. นักศึกษา		3	3.00	-	-	3.00	ปานกลาง
4. อาจารย์		3	3.33	-	-	3.33	ดี
5. หลักสูตรการเรียนการสอน การประเมินผู้เรียน		4	4.00	3.17	-	3.38	ดี
6. สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้		1	-	4.00	-	4.00	ดี
รวม		**13**	**3.29**	**3.38**		**2.81**	**ปานกลาง**
ผลการประเมิน			**ดี**	**ดี**	**น้อย**		

ภาคผนวก 4 คู่มือปฏิบัติการที่ใช้ในการเรียนการสอน

คู่มือปฏิบัติการ จำนวน 17 งานที่ใช้ในการเทียบองค์ความรู้ ดังแนบ หรือสามารถเข้าดูได้ที่

https://drive.google.com/drive/folders/1pZpyRLolaTSNbjrzl_BpqPpZdI7HXfFU

ประกอบด้วย

อุปกรณ์การทดลองตามข้อบังคับของสภาวิศวกร	คู่มือปฏิบัติงาน
1. Dynamics Lab ควรมีอุปกรณ์การทดลองอย่างน้อย 3 การทดลอง จากรายชื่อต่อไปนี้ 1.1 Universal Balancing Machine 1.2 Acceleration of Gear System 1.3 Feedback Control 1.4 Vibration Test Set 1.5 Gyroscope	1. การทำสมดุล 2. Acceleration of Gear System 3. Vibration
2. Material Testing Lab ควรมีอุปกรณ์การทดลองอย่างน้อย 3 การทดลอง จากรายชื่อต่อไปนี้ 2.1 Tensile Test set 2.2 Brinell and Rockwell Hardness Tester 2.3 Torsion Test set 2.4 Fatigue Test set 2.5 Universal Testing Machine	1. Tensile 2. Torsion 3. Bending
3. Thermodynamics & Heat Transfer Lab ควรมีอุปกรณ์การทดลองอย่างน้อย 3 การทดลอง จากรายชื่อต่อไปนี้ 3.1 Heat Conduction Test Set 3.2 Heat Radiation Test Set 3.3 Free & Forced Heat Convection Test Set 3.4 Refrigeration Unit 3.5 Air Conditioning Unit 3.6 Bomb Calorimeter	1. Heat Conduction 2. Heat Convection 3. Heat Radiation 4. Refrigeration 5. Air Conditioning 6. ค่าความร้อนเชื้อเพลิง

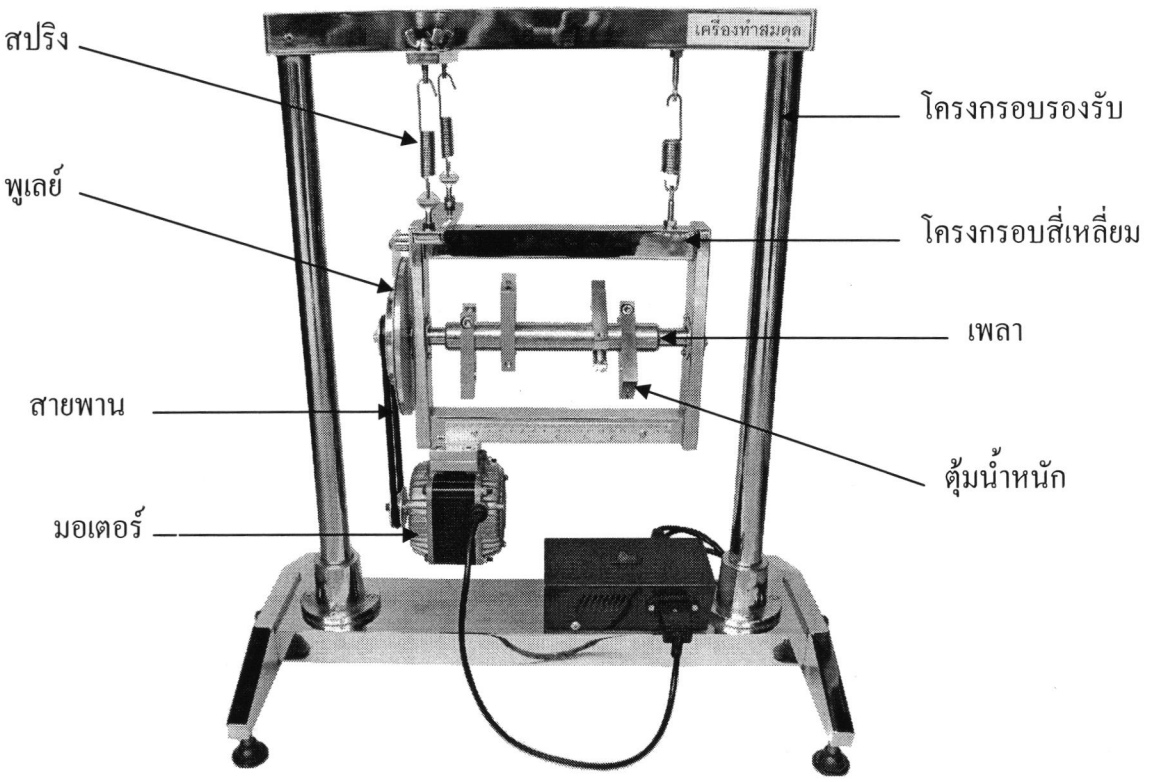
3.7 Internal Combustion Engine Test Set 3.8 Boiler Test Set 3.9 Gas Turbine Test Set	
4. Fluid Mechanics Lab ควรมีอุปกรณ์การทดลอง อย่างน้อย 3 การทดลอง จากรายชื่อต่อไปนี้ 4.1 Centrifugal Pump Test Set 4.2 Multi-Pump Test Set 4.3 Pelton & Francis Turbine Test Set 4.4 Air Flow Test Set 4.5 Flow or Fiction Loss in Pipe	1. Multi-Pump Test 2. Impulse Turbine 3. Francis Turbine 4. Air Flow Test 5. Flow and Fiction Loss in Pipe

เครื่องทำสมดุล

1. หลักการของเครื่องทำสมดุล

เครื่องทำสมดุลลักษณะประกอบด้วยสปริงสามตัวแขวนโครงกรอบสี่เหลี่ยมที่มีมอเตอร์ติดอยู่ด้านใต้ โดยแขวนโครงกรอบสี่เหลี่ยมให้อยู่ในแนวนอน กำลังงานส่งผ่านสายพานไปขับเพลา ที่ประกอบอยู่กลางโครงกรอบสี่เหลี่ยม เพลายึดหัวท้ายด้วยรองลื่น ตุ้มน้ำหนักสี่ตุ้มสวมอยู่กับเพลาโดยสามารถปรับตำแหน่งตามแนวยาวของเพลาและปรับองศาการประกอบได้ การสมดุลชิ้นส่วนอยู่กับที่จะดูจากเพลาสามารถหยุดได้ทุกตำแหน่ง การสมดุลแบบชิ้นส่วนเคลื่อนที่จะดูจากการสั่นของโครงกรอบสี่เหลี่ยม

การทำสมดุลแบบชิ้นส่วนอยู่กับที่ คือ การประกอบมวล 4 ตัว แล้วทำให้ผลรวมของโมเมนต์ของน้ำหนัก 4 ตัวรอบแกน y เป็นศูนย์ การทำสมดุลแบบชิ้นส่วนเคลื่อนที่ คือ การประกอบมวล 4 ตัว และทำการหมุนเพลาแล้วทำให้ผลรวมของโมเมนต์ที่เกิดจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของน้ำหนัก 4 ตัว รอบแกน x และ z เป็นศูนย์

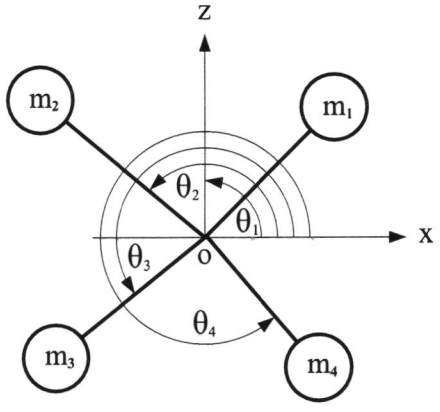


รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทำสมดุล

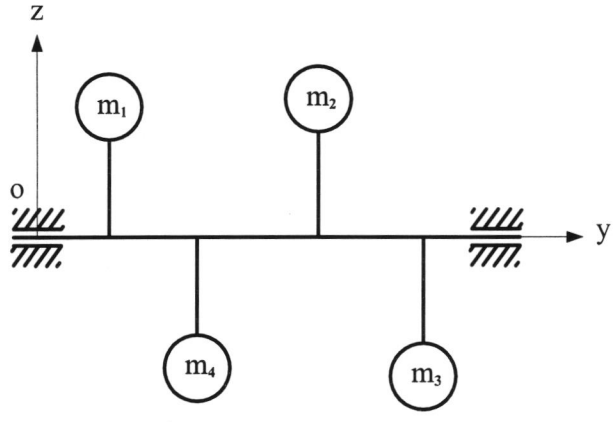
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำสมดุล

2.1 การสมดุลแบบชิ้นส่วนอยู่กับที่

เป็นการสมดุลมวลที่อยู่ในระนาบเดียวกัน ตามรูปที่ 1 (ก) และผลรวมของโมเมนต์รอบจุด o เท่ากับศูนย์ โดยไม่คำนึงถึงระยะห่างตามแนวแกน y ดังรูปที่ 1 (ข) ไม่ว่ามวลทั้ง 4 จะอยู่ในตำแหน่งใดก็สามารถทำให้ระบบสมดุลได้ ซึ่งในการทำสมดุลแบบชิ้นส่วนอยู่กับที่ จะขึ้นอยู่กับมุมซึ่งวัดออกจากแกน x โดยมีผลรวมโมเมนต์เท่ากับศูนย์



รูปที่ 2 (ก) มวลสมดุลแบบชิ้นส่วนอยู่กับที่



รูปที่ 2 (ข) มวลในต่างระนาบ

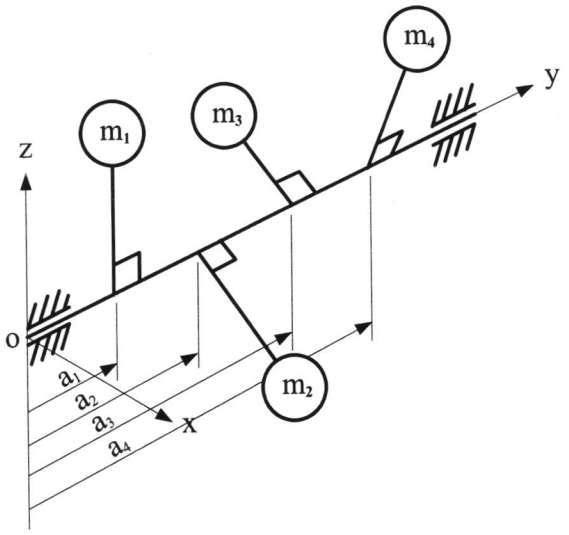
จากรูปที่ 2 (ก) ชิ้นส่วนจะสมดุลได้ก็ต่อเมื่อผลรวมของโมเมนต์รอบแกน y จะต้องเท่ากับศูนย์ คือ

$$\sum M_y = 0 \tag{1}$$

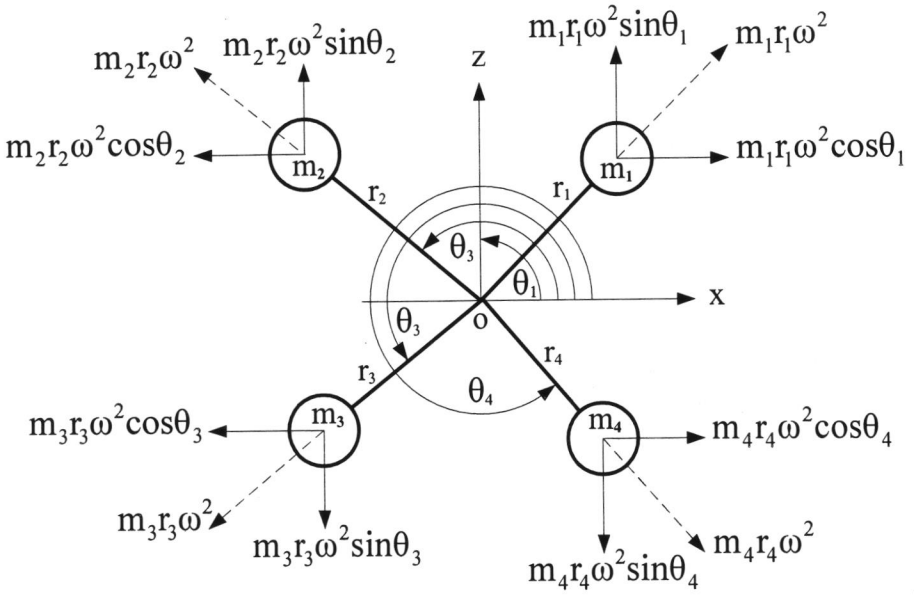
$$m_1 g\, r_1 \cos\theta_1 + m_2 g\, r_2 \cos\theta_2 + m_3 g\, r_3 \cos\theta_3 + m_4 g\, r_4 \cos\theta_4 = 0 \tag{2}$$

2.2 การสมดุลแบบชิ้นส่วนเคลื่อนที่

เป็นการสมดุลมวลที่อยู่ต่างระนาบ ตามรูปที่ 4 เมื่อเพลาหมุน จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางขึ้น ถ้าผลรวมของแรงตามแนวแกน x ไม่เท่ากับศูนย์ โครงกรอบจะเกิดการส่ายไปมาตามแนวแกน x และเมื่อผลรวมของแรงตามแนวแกน z ไม่เท่ากับศูนย์ จะทำให้โครงกรอบเกิดการส่ายขึ้นลงตามแนวแกน z เพื่อให้ระบบเกิดสมดุล สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4) และสมการที่ (6)



รูปที่ 3 ตำแหน่งมวลของการเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง



รูปที่ 4 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

จากรูปที่ 3 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

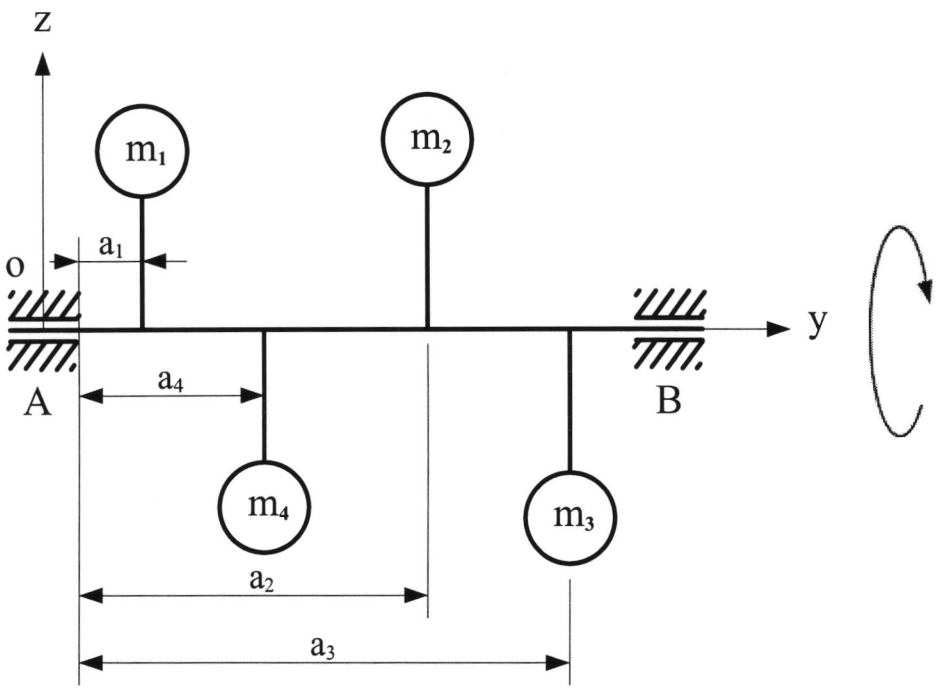
$$\sum F_X = 0 \tag{3}$$

$$m_1r_1\omega_1^2\cos\theta_1 + m_2r_2\omega_2^2\cos\theta_2 + m_3r_3\omega_3^2\cos\theta_3 + m_4r_4\omega_4^2\cos\theta_4 = 0 \tag{4}$$

$$\sum F_Z = 0 \tag{5}$$

$$m_1 r_1 \omega_1^2 \sin\theta_1 + m_2 r_2 \omega_2^2 \sin\theta_2 + m_3 r_3 \omega_3^2 \sin\theta_3 + m_4 r_4 \omega_4^2 \sin\theta_4 = 0 \tag{6}$$

การสมดุลมวลที่อยู่ต่างระนาบ ตามรูปที่ 4 เมื่อเพลาหมุน จะทำให้เกิดโมเมนต์รอบแกน y ถ้าคิดจุด o เป็นจุดอ้างอิงจะเห็นว่าเกิดโมเมนต์รอบจุด o และผลรวมของโมเมนต์ไม่เท่ากับศูนย์ ทำให้เกิดแรงกระทำที่จุด o ดูภาพประกอบตามรูปที่ 3 ซึ่งหากโมเมนต์รอบจุด o ไม่เท่ากับศูนย์ จะทำให้โครงกรอบสี่เหลี่ยมเกิดการส่ายไปมาเสียการสมดุล และเพื่อให้ผลรวมของโมเมนต์เท่ากับศูนย์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (8)



รูปที่ 5 ตำแหน่งมวล

จากรูปที่ 5 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\sum M_o = 0 \tag{7}$$

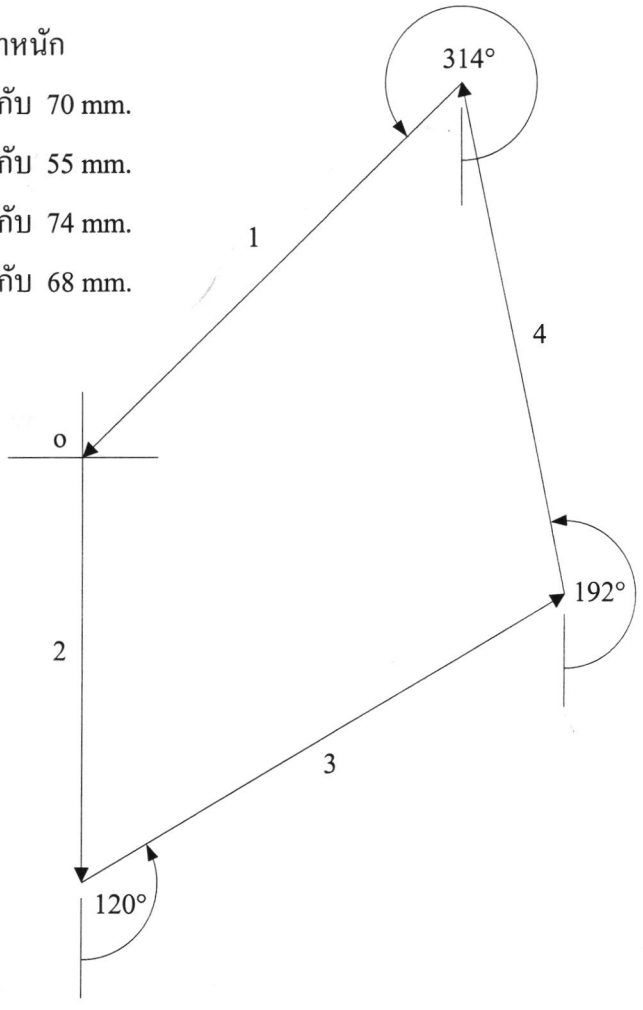
$$m_1 r_1 \omega^2 a_1 + m_2 r_2 \omega^2 a_2 + m_3 r_3 \omega^2 a_3 + m_4 r_4 \omega^2 a_4 = 0 \tag{8}$$

3. วิธีการเขียน Polygon Graph

กำหนดขนาดมุมของตุ้มน้ำหนักที่ 3 ทำมุมกับตุ้มน้ำหนักที่ 2 เป็นมุม 120 องศา วัดทวนเข็มนาฬิกา นำจำนวนเม็ดลูกปืนที่เทียบเท่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักทั้งสี่ตุ้ม ที่อยู่ในรูปของจำนวนเม็ดลูกปืนไปเขียนเป็น Polygon Graph เพื่อหาค่ามุมของตุ้มน้ำหนักที่ 1 และตุ้มน้ำหนักที่ 4

การเขียน Polygon Graph เริ่มจากกำหนดจุด o เขียนเส้นตรงของตุ้มน้ำหนักที่ 2 โดยเขียนเส้นตรงจากจุด o ลงมา มีมุมเท่ากับ 0 องศา ยาว 55 mm. เขียนเส้นตรงของตุ้มน้ำหนักที่ 3 ต่อจากปลายเส้น ตรงของตุ้มน้ำหนักตุ้มที่ 2 ทำมุม 120 องศา กับแนวดิ่งยาว 74 mm. เขียนเส้นโค้งโดยกางวงเวียนเท่ากับความยาว 68 mm. (ตุ้มน้ำหนักที่ 4) โดยเริ่มจากปลายเส้นตรงของตุ้มน้ำหนักที่ 3 เป็นจุดหมุนและกางวงเวียนเท่ากับความยาว 70 mm. (ตุ้มน้ำหนักที่ 1) โดยใช้จุด o เป็นจุดหมุน จะเกิดจุดตัดขึ้นระหว่างเส้นโค้งของตุ้มน้ำหนักที่ 1 และตุ้มที่ 4 เขียนเส้นตรงจากปลายเส้นลูกศรของตุ้มน้ำหนักที่ 3 ไปถึงจุดตัด จะได้เส้นตรงของตุ้มน้ำหนักที่ 4 เขียนเส้นตรงจากจุดตัด ไปถึงจุด o จะได้เส้นตรงของตุ้มน้ำหนักที่ 1 แล้ววัดมุมระหว่างเส้นของตุ้มน้ำหนักที่ 4 เทียบกับแนวดิ่งและมุมระหว่างเส้นของตุ้มน้ำหนักที่ 1 เทียบกับแนวดิ่ง จะได้มุมของตุ้มน้ำหนักที่ 4 และ 1 เท่ากับ 314 และ192 องศา ตามลำดับ

จำนวนเม็ดลูกปืนที่เทียบเท่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก
ตุ้มน้ำหนักที่ 1 ใช้ 209 ลูก แทนความยาวเท่ากับ 70 mm.
ตุ้มน้ำหนักที่ 2 ใช้ 163 ลูก แทนความยาวเท่ากับ 55 mm.
ตุ้มน้ำหนักที่ 3 ใช้ 220 ลูก แทนความยาวเท่ากับ 74 mm.
ตุ้มน้ำหนักที่ 4 ใช้ 203 ลูก แทนความยาวเท่ากับ 68 mm.



รูปที่ 6 ตัวอย่าง Polygon Graph ที่มุม 120 องศา

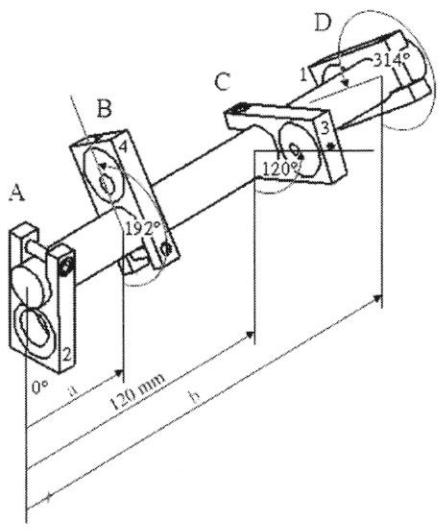
จาก Polygon Graph จะได้องศาในการติดตั้งตุ้มน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณหาตำแหน่งในการติดตั้งตุ้มน้ำหนักดังนี้

ตุ้มน้ำหนักที่ 1 เท่ากับ 314 องศา

ตุ้มน้ำหนักที่ 2 เท่ากับ 0 องศา

ตุ้มน้ำหนักที่ 3 เท่ากับ 120 องศา

ตุ้มน้ำหนักที่ 4 เท่ากับ 192 องศา



รูปที่ 7 ตัวอย่างองศาและตำแหน่งของตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณ

เมื่อ a คือ ระยะห่างจากตุ้มน้ำหนักหมายเลข 2 กับตุ้มน้ำหนักหมายเลข 4 mm

b คือ ระยะห่างจากตุ้มน้ำหนักหมายเลข 2 กับตุ้มน้ำหนักหมายเลข 1 mm

สมการผลรวมของโมเมนต์รอบแกน x

$$\sum M_x = 0$$

$$(a)(203\ e_w)(\sin 12°) - (120\ mm)(220\ e_w)(\sin 60°) + (b)(209\ e_w)(\sin 46°) = 0$$

$$(42.2\ a)\ e_w + (150.34\ b)\ e_w = 22863.7\ mm\ e_w \quad (1)$$

สมการผลรวมของโมเมนต์รอบแกน y

$$\sum M_y = 0$$

$$(a)(203\ e_w)(\cos 12°) + (120\ mm)(220\ e_w)(\cos 60°) - (b)(209\ e_w)(\cos 46°) = 0$$

$$(198.56\ a)\ e_w - (145.18\ b)\ e_w = -13200\ mm\ e_w \quad (2)$$

แก้สมการ (1) และ (2) จะได้

$a = 37.09$ mm

$b = 141.66$ mm

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องทำสมดุลมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือโครงกรอบรองรับและโครงกรอบสี่เหลี่ยม โดยชิ้นส่วนทั้งสองสามารถแยกออกจากกันได้ ใช้ในการทำสมดุลแบบชิ้นส่วนอยู่กับที่และการทำสมดุลแบบชิ้นส่วนเคลื่อนที่ โดยการใส่ตุ้มน้ำหนักเข้ากับเพลาแล้วทำการทดลองการทำสมดุล โดยประกอบชุดทดลองให้มีลักษณะดังรูปที่ 4.1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 โครงกรอบรองรับ ส่วนประกอบเป็นเหล็กกล้าทั้งหมดและผ่านการชุบโครเมี่ยมกันสนิม ขาทั้ง 4 สามารถปรับให้อุปกรณ์อยู่ในระดับ มีเสาทั้งสองข้างขนานกัน ประกอบเข้ากับเหล็กกล้าอีกหนึ่งชิ้น ใช้สำหรับยึดโครงกรอบสี่เหลี่ยม

4.2 โครงกรอบสี่เหลี่ยม มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตรงกลางมีเพลายึดหัวท้ายด้วยรองลื่น ด้านหน้าจะประกอบด้วยชุดพูเลย์ โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1) พูเลย์ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ร่องเชือก ร่องสายพานไว้สำหรับทำสมดุลแบบชิ้นส่วนเคลื่อนที่

2) จานวัดมุม วัดมุมได้ 360 องศา ความละเอียดในการวัด 1 องศา

3) ขีดวัดองศา เพื่อวัดว่าตุ้มน้ำหนักหมุนไปกี่องศา

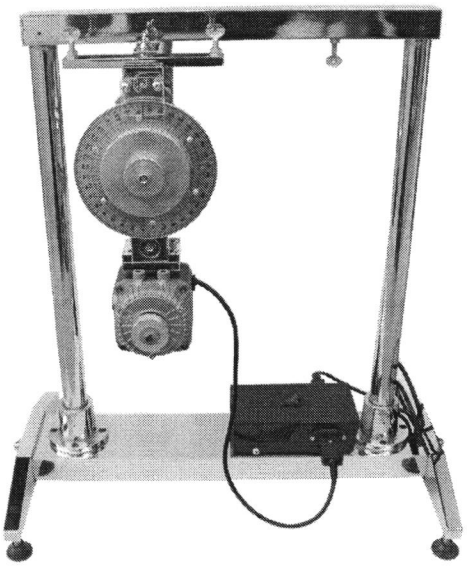
4) ด้านบนของโครงกรอบ มีแท่งเหล็กยื่นออกมา และมีสปริงสำหรับยึดโครงกรอบสี่เหลี่ยมให้ห้อยอยู่กับโครงกรอบรองรับ เพื่อทำการทดสอบการทำสมดุลแบบชิ้นส่วนเคลื่อนที่

5) ด้านล่างของโครงกรอบ มีมาตรวัดระยะห่างระหว่างตุ้มน้ำหนักหนึ่งไปยังอีกตุ้มน้ำหนักหนึ่ง

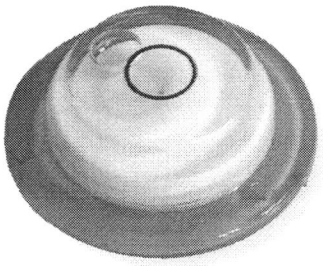
4.3 มอเตอร์ ขนาด 220 โวลต์ 1 เฟส 1400 -1500 รอบต่อนาที ยึดติดด้านล่างของโครงกรอบ มีพูเลย์สำหรับติดตั้งสายพานกลม เพื่อส่งกำลังไปขับพูเลย์ตามที่ติดกับเพลา ใช้ในการทำสมดุลแบบชิ้นส่วนเคลื่อนที่

4.4 ถ้วยใส่เม็ดลูกปืน

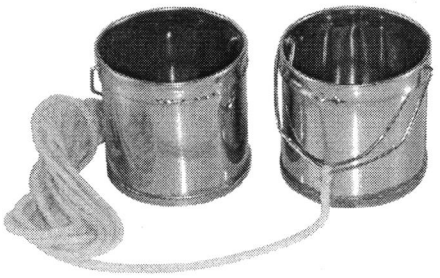
4.5 ตุ้มน้ำหนัก เป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า ใช้ในการทำสมดุล



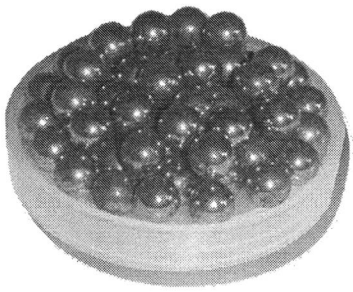
รูปที่ 8 เครื่องทำสมดุล



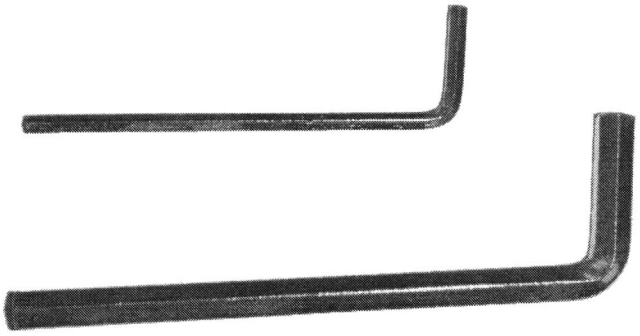
รูปที่ 9 มาตรวัดระดับแบบลูกน้ำ



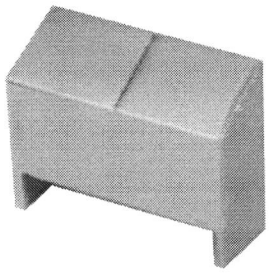
รูปที่ 10 ถ้วยใส่เม็ดลูกปืน ใส่เม็ดลูกปืนได้ประมาณ 500 ลูก



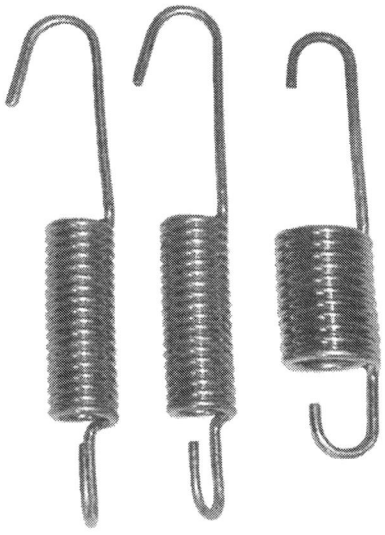
รูปที่ 11 เม็ดลูกปืน มีน้ำหนักลูกละประมาณ 0.37 กรัม



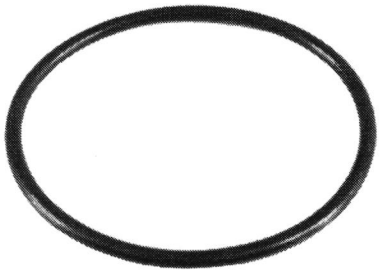
รูปที่ 12 ประแจหกเหลี่ยม ขนาด 2 และ 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 13 แท่งใช้ปรับตำแหน่ง



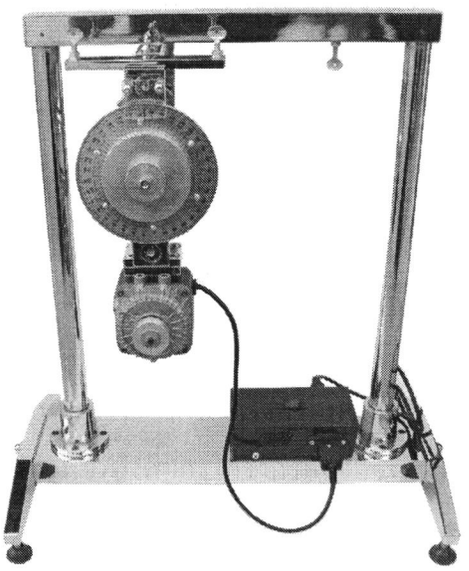
รูปที่ 14 สปริงสำหรับแขวนโครงกรอบสี่เหลี่ยม มีค่านิจของสปริงประมาณ 4.4 กิโลนิวตันต่อเมตร และ 3.4 กิโลนิวตันต่อเมตร



รูปที่ 15 สายพานขับ

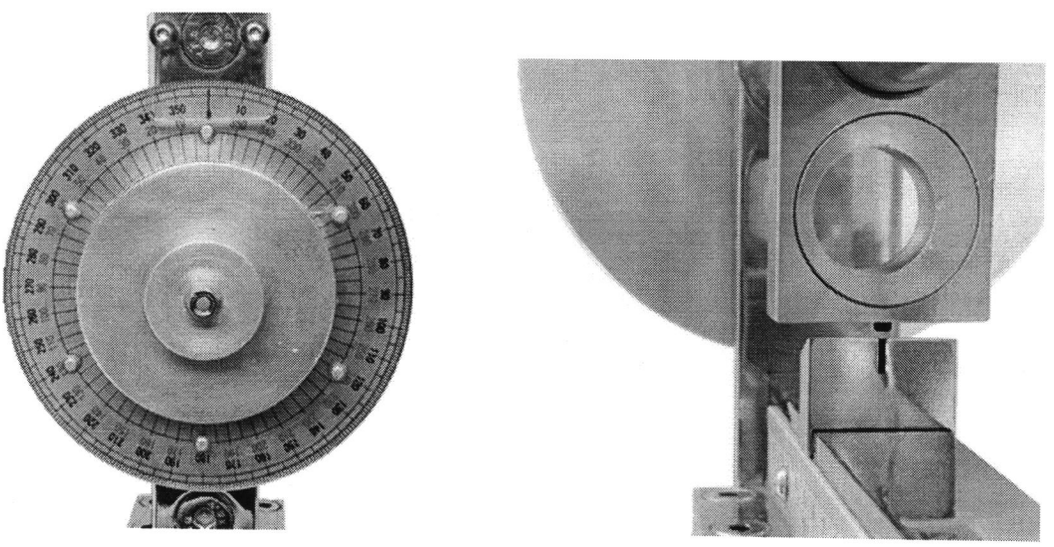
5. ขั้นตอนการหาน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก

5.1 ประกอบโครงกรอบสี่เหลี่ยมเข้ากับโครงกรอบรองรับ ยึดแน่นด้วยสกรูและปรับโครงกรอบให้ได้ระดับ โดยการปรับสกรูที่ขาทั้งสี่ของโครงกรอบรองรับ ให้ลูกน้ำวัดระดับอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลาง



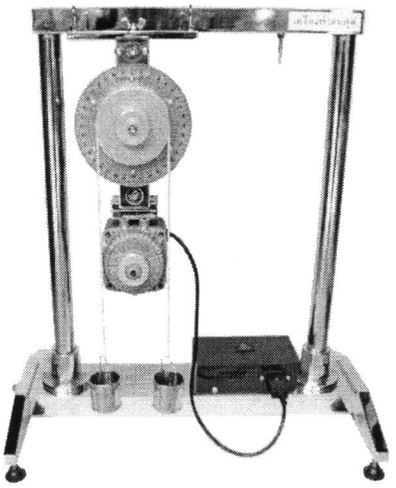
รูปที่ 16 การประกอบโครงกรอบสี่เหลี่ยมเข้ากับโครงกรอบรองรับ

5.2 ประกอบตุ้มน้ำหนักเข้ากับเพลา จำนวน 1 ตุ้ม โดยจัดให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์องศา และให้ตรงกับขีดของแท่งใช้ปรับตำแหน่ง แล้วขันให้แน่น



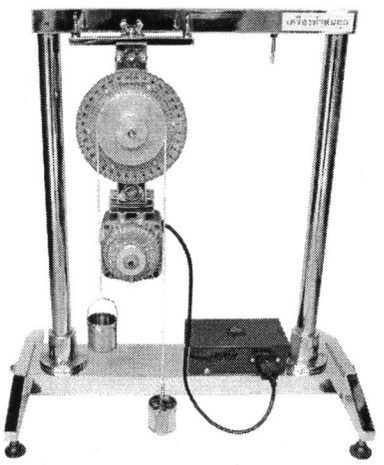
รูปที่ 17 การประกอบตุ้มน้ำหนักในตำแหน่งที่ 0 องศา

5.3 ประกอบถ้วยใส่เม็ดลูกปืนที่ผูกติดกับเชือก พันเชือกรอบพูเลย์ 2 รอบ โดยจัดเชือกไม่ให้ทับกัน



รูปที่ 18 การประกอบถ้วยใส่เม็ดลูกปืนเข้ากับพูเลย์

5.4 ใส่เม็ดลูกปืนลงในถ้วยใส่เม็ดลูกปืนทางด้านขวาทีละ 10 ลูก จนมุมของจานวัดองศาหมุนไป 85 องศา แล้วเอามือรองด้านล่างให้ห่างจากกระป๋องประมาณ 25 มิลลิเมตร และใส่เม็ดลูกปืนเพิ่มทีละ 1 ลูก จนมุมเปลี่ยนไปเป็น 90 องศา พอดี



รูปที่ 19 การใส่เม็ดลูกปืนลงในกระป๋องทางด้านขวา

5.5 ถ้าจานวัดองศาหมุนเกิน 90 องศา ถ้วยใส่เม็ดลูกปืนจะหล่นลงบนมือ นำเม็ดลูกปืนออก 2 ลูก แล้วค่อย ๆ ใส่เม็ดลูกปืน ถ้าเกิน 90 องศา ให้นำเม็ดลูกปืนออก 1 ลูก เม็ดลูกปืนที่อยู่ในถ้วยใส่เม็ดลูกปืนจะเทียบเท่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักในรูปของจำนวนเม็ดลูกปืน

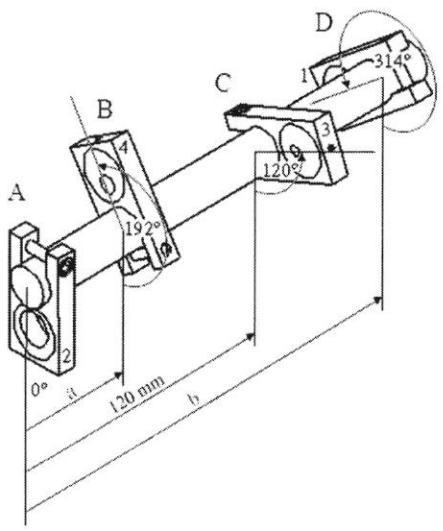
5.6 บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1

5.7 ให้ทำการทดลองกับตุ้มน้ำหนักที่เหลืออีก 3 ตุ้มด้วยวิธีเดียวกัน ตามข้อ 5.1-5.6

6. ขั้นตอนการทำสมดุลแบบชิ้นส่วนอยู่กับที่ (หามุมสำหรับติดตั้งตุ้มน้ำหนัก)

6.1 ประกอบชุดทดลองตามข้อ 5.1

6.2 ประกอบตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง A B C และ D โดยสามารถให้ตุ้มน้ำหนักแต่ละหมายเลขอยู่ตำแหน่งใดก็ได้ เช่น การประกอบแบบ 2-4-3-1 คือ
จัดเรียงตุ้มน้ำหนักหมายเลข 2 อยู่ตำแหน่ง A จัดเรียงตุ้มน้ำหนักหมายเลข 4 อยู่ตำแหน่ง B จัดเรียงตุ้มน้ำหนักหมายเลข 3 อยู่ตำแหน่ง C จัดเรียงตุ้มน้ำหนักหมายเลข 1 อยู่ตำแหน่ง D เป็นต้น



รูปที่ 20 ตัวอย่างการจัดเรียงตุ้มน้ำหนัก

<u>หมายเหตุ</u> สามารถกำหนดระยะห่างของแต่ละตุ้มได้ตามความเหมาะสม

6.3 จัดตำแหน่งตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง C ให้ทำมุมกับตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง A ดังตารางที่ 2 และขันให้แน่น

6.4 เขียน Polygon Graph แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ของตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง A และ C ตามมุมในตารางที่ 2 และเขียนเวกเตอร์เทียบเท่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง B และ D เพื่อหามุมของตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง B และตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง D ที่ทำมุมกับตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง A (0 องศา)

6.5 บันทึกค่ามุมของตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง B และ D ลงในตารางที่ 2

6.5 จัดตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง B และ D ตามมุมที่วัดได้จาก Polygon Graph

6.6 หมุนเพลาด้วยมือ และสังเกตจากจานวัดมุมตำแหน่งที่หยุดนิ่งว่าอยู่ในตำแหน่งเดิมหรือไม่ เพลาที่สมดุลต้องหยุดที่ตำแหน่งใดๆ ไม่ซ้ำตำแหน่งเดิม หากหยุดซ้ำตำแหน่งเดิมแสดงว่ายังไม่สมดุล ให้ลองทำการปรับแต่งมุมของตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง B และ D

6.7 บันทึกค่ามุมของตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง B และ D ที่ทำการปรับแต่งลงในตารางที่ 2

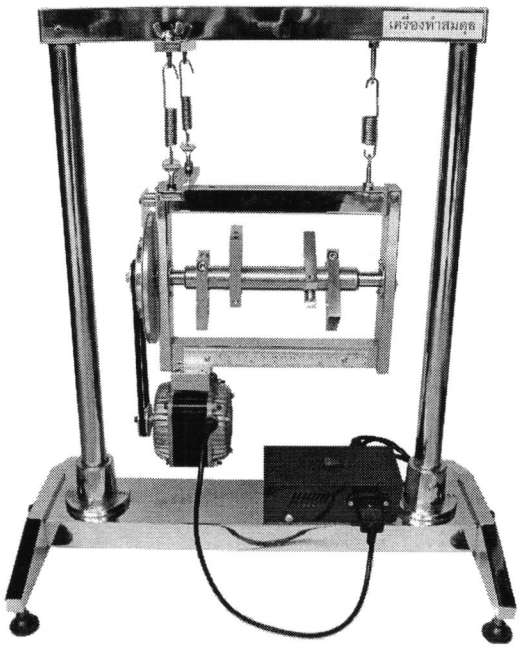
6.8 หาผลต่างค่ามุมของตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง B และ D ที่ได้จากการคำนวณ และจากการปรับแต่งลงในตารางที่ 2

6.9 ทำการทดลองซ้ำข้อ 6.4 ถึง 6.8 จนครบทุกค่ามุมตามตารางที่ 2

หมายเหตุ สามารถทำการทดลองเพิ่มเติมโดยเปลี่ยนลำดับของตุ้มน้ำหนัก ในข้อ 6.2

7. ขั้นตอนการทำสมดุลแบบชิ้นส่วนเคลื่อนที่ (หาระยะสำหรับติดตั้งตุ้มน้ำหนัก)

7.1 ถอดโครงกรอบสี่เหลี่ยม เพื่อนำไปติดตั้งกับสปริงดังรูปที่ 21 พร้อมประกอบสายพาน



รูปที่ 21 แขวนโครงกรอบสี่เหลี่ยมเข้ากับโครงกรอบรองรับด้วยสปริง 3 ตัว

7.2 ประกอบตุ้มน้ำหนักตามตำแหน่งในข้อ 5.2 โดยให้ตุ้มในตำแหน่ง A อยู่ที่ระยะ 10 mm. และให้ตุ้มในตำแหน่ง C ห่างจากตุ้มน้ำหนัก A เท่ากับ 120 mm.

7.3 คำนวณหาระยะห่างของตุ้มน้ำหนัก B และ D จากตุ้มน้ำหนัก A โดยใช้การคำนวณตามสมการที่ 8 และบันทึกผลในตารางที่ 3

7.4 จัดตำแหน่งมุมของตุ้มน้ำหนักแต่ละอันตามค่ามุมในข้อ 5.6 และจัดระยะห่างตามข้อ 6.2

7.5 เปิดสวิทช์มอเตอร์รอจนกระทั่งความเร็วรอบคงที่ สังเกตลักษณะการสั่นหรือการแกว่งของโครงกรอบสี่เหลี่ยม ปิดสวิทช์มอเตอร์

7.6 จัดตำแหน่งมุมของตุ้มน้ำหนักแต่ละอันตามค่ามุมในข้อ 5.9 และทำซ้ำตามข้อ 6.3 - 6.5

7.7 อภิปรายผลการสั่นหรือการแกว่งของโครงกรอบสี่เหลี่ยม

ผลการทดลองการทำสมดุล

ตารางที่ 1 ผลการหาจำนวนเม็ดลูกปืน

ตุ้มน้ำหนัก	จำนวนเม็ดลูกปืน (ลูก)
หมายเลข 1	
หมายเลข 2	
หมายเลข 3	
หมายเลข 4	

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณหามุมในการติดตั้งตุ้มน้ำหนัก

ครั้งที่	ตำแหน่งการจัดเรียงตุ้มน้ำหนัก (A-B-C-D)	มุมระหว่างตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง A และ C (องศา)	มุมระหว่างตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง A และ B (องศา) (ก)	มุมระหว่างตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง A และ D (องศา) (ข)	มุมที่สมดุลที่ได้จากการทดลองของ A และ B (องศา) (ค)	มุมที่สมดุลที่ได้จากการทดลองของ A และ D (องศา) (ง)	ผลต่างของมุมที่ได้จากคำนวณกับมุมที่ได้จากการทดลอง (องศา) | (ค) - (ก) |	ผลต่างของมุมที่ได้จากคำนวณกับมุมที่ได้จากการทดลอง (องศา) | (ง) - (ข) |
1		0						
2		20						
3		40						
4		60						
5		80						
6		100						
7		120						
8		140						
9		160						
10		180						
11		200						
12		220						
13		240						
14		260						
15		280						
16		300						
17		320						
18		340						

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณหาระยะในการติดตั้งตุ้มน้ำหนัก

ครั้งที่	ตำแหน่งการจัดเรียงตุ้มน้ำหนัก (A-B-C-D)	มุมระหว่างตุ้มน้ำหนักในตำแหน่ง A และ C (องศา)	ระยะ a (มิลลิเมตร)	ระยะ b (มิลลิเมตร)
1		0		
2		20		
3		40		
4		60		
5		80		
6		100		
7		120		
8		140		
9		160		
10		180		
11		200		
12		220		
13		240		
14		260		
15		280		
16		300		
17		320		
18		340		

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

เรื่อง กลไก (MECHANISM)

1. บทนำ

เครื่องจักรกลต่างๆ จะประกอบด้วย กลไกอันเดียวหรือหลายอันต่อกัน เพื่อส่งทอดการเคลื่อนไหวและแรง จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง กลไกแต่ละตัวจะส่งทอดการเคลื่อนไหวจากชิ้นส่วนอันหนึ่งไปยังชิ้นส่วนอีกอันหนึ่ง เช่น จากการหมุนตัวด้วยความเร็วคงที่เป็นการหมุนตัวที่ช้าบ้างเร็วบ้าง การเคลื่อนตัวกลับไปกลับมา เดินๆ หยุดๆ เปลี่ยนทิศทางของแกนหมุนหรือหลายๆ อย่างรวมกัน จากความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวนี้ เราสามารถหาความสัมพันธ์ด้านความเร็ว และอัตราเร่งของชิ้นส่วนเหล่านี้ได้ด้วย

การศึกษาวิชากลศาสตร์ของเครื่องจักรกล จึงจำเป็นต้องทำความรู้จักกับกลไกแบบต่างๆ ตลอดจนการเคลื่อนตัว ความเร็วและอัตราเร่ง ของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นและของเครื่องจักรกลเป็นส่วนรวม เพื่อนำไปวิเคราะห์หรือประยุกต์ให้เกิดผลตามที่ต้องการ

กลไกเหล่านี้มีอยู่มากมายหลายชนิด หลายอย่างมีหลักการพื้นฐานอย่างเดียวกัน ต่างกันเพียงรูปร่าง สัดส่วนและหน้าที่ของแต่ละชิ้น กลไกที่จะกล่าวถึงในคู่มือเล่มนี้เป็นเพียงไกลไกส่วนหนึ่งที่พบเห็นกันแพร่หลาย โดยจำลองเป็นแบบที่ง่าย เพื่อความสะดวกในด้านการศึกษา กลไกจริงจะมีรูปร่างสัดส่วนหน้าที่ของแต่ละชิ้นต่างออกไปมาก แม้จะหลักการเดียวกัน

2. <u>ความรู้เบื้องต้น</u>

เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษากลไกแบบต่างๆ ผู้ที่ศึกษาควรทำความเข้าใจกับศัพท์และความรู้เบื้องต้นบ้าง ดังนี้

2.1 กลไก (MECHANISM) ก็คือส่วนรวมของชิ้นส่วนที่แข็ง หรือมีความต้านทานซึ่งเมื่อชิ้นส่วนเหล่านี้นำมาต่อกันแล้วจะทำให้มีความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัวที่แน่นอนระหว่างกัน เช่นข้อเหวี่ยงก้านสูบ และลูกสูบของเครื่องยนต์

2.2 เครื่องจักรกล (MACHINE) ก็คือส่วนรวมของกลไกอันเดียวหรือหลายอันเพื่อส่งทอดแรงและการเคลื่อนไหว จากชิ้นส่วนต้นกำลังไปยังชิ้นส่วนที่เป็นแรงต้านทาน เช่น เครื่องยนต์

2.3 การเคลื่อนไหวของกลไกที่เราจะศึกษานี้จะเป็นการเคลื่อนไหวที่แต่ละจุดของชิ้นส่วนของกลไก เคลื่อนตัวไปในระนาบที่ขนานกัน (PLANE MOTION)

- ถ้าหากแต่ละจุดเคลื่อนตัวไปเป็นเส้นตรงที่ขนานกันเราเรียกการเคลื่อนตัวแบบนี้ว่า การไถลตัว (TRANSLATION)
- ถ้าการเคลื่อนตัวเป็นแบบที่แต่ละจุดของชิ้นส่วนของกลไกมีระยะคงที่จากแกนหมุนเราเรียกการเคลื่อนตัวแบบนี้ว่า การหมุนตัว (ROTATION)

การเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนของกลไกต่างๆ อาจจะมีทั้งไถลตัว หมุนตัว หรือทั้ง 2 อย่าง แต่ก็ยังมีการเคลื่อนตัวแบบอื่น ที่ตำแหน่งของจุดที่เคลื่อนไปไม่อยู่ในระนาบเดียวกัน เช่น การเคลื่อนตัวแบบเกลียว แบบก้นหอย ฯลฯ

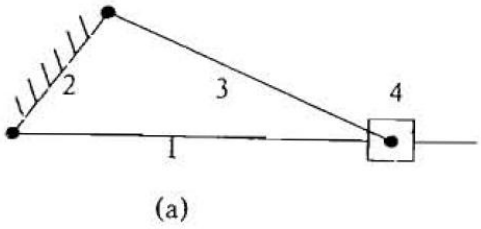
2.4 เมื่อชิ้นส่วนของกลไกเคลื่อนตัวไปทุกตำแหน่งแล้ว กลับมาอยู่ที่เดิมเราเรียกว่าครบรอบ (CYCLE) ของการเคลื่อนตัว และระยะเวลาในการเคลื่อนตัวครบ 1 รอบนั้น เราเรียกว่า 1 รอบเวลา (PERIOD)

2.5 การเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนกลไกนั้น อาจจะเป็นการเคลื่อนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ (CONTINUOUS) หรือเคลื่อนไปแล้วหยุดชั่วครู่แล้วเคลื่อนที่ (INTERMITTENT) หรือเคลื่อนกลับไปกลับมา (RECIPROCATING)

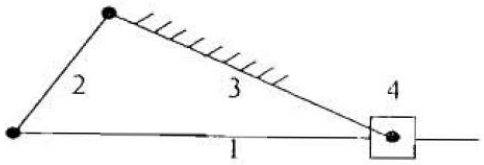
2.6 เมื่อชิ้นส่วน 2 ชิ้น ของกลไกมาต่อกันเราเรียกส่วนที่ต่อกันนี้ว่า ส่วนประกอบ (PAIRING ELEMENT) และเรียกส่วนทั้ง 2 ที่มาประกบกันว่า คู่ประกบ (PARIS)

2.7 ชิ้นส่วนแข็งที่มีส่วนประกอบ 2 อันขึ้นไป เราเรียกว่า ข้อต่อ (LINK) และเมื่อข้อต่อหลายอันมาต่อกันเข้าเป็นระบบ โดยผ่านชิ้นประกบ เราเรียกว่า โซ่การเคลื่อนไหว (KINEMATIC CHAIN)

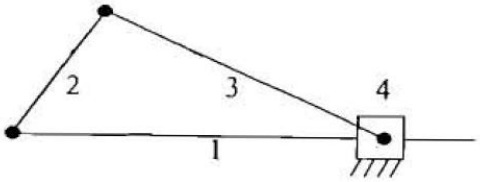
2.8 กลไกที่มีชิ้นส่วนเหมือนกัน แต่สลับหน้าที่ของชิ้นส่วนบางชิ้น เราเรียกกลไกแบบนี้ว่า **กลไกกลับ** (INVERSION) เช่นข้างล่าง



(a)



(b)



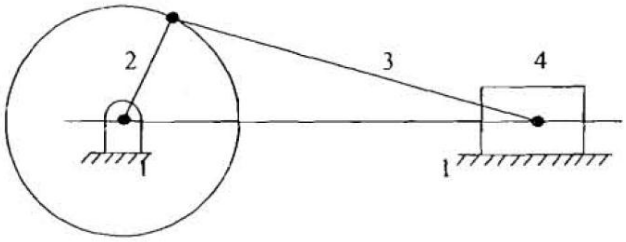
(c)

3. <u>กลไกต่างๆ</u>

3.1 SLIDER CRANK MECHANISM

3.1.1 รายละเอียด

กลไกนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นส่วนข้อเหวี่ยง (CRANK) กับชิ้นส่วนที่เลื่อนไปมา (SLIDER) ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ ตามรูปข้างล่าง



กลไกนี้ ถือว่ามีชิ้นส่วน 4 ชิ้น

ชิ้นที่ 1 อยู่กับที่รองรับเพลาของชิ้นที่ 2 และรองรับชิ้นที่ 4

ชิ้นที่ 2 (ข้อเหวี่ยง) หมุนรอบตัว ยาว 7 ซม. มีจานองศา

ชิ้นที่ 3 (ก้านสูบ) หมุนเหวี่ยง ยาว 22 ซม.

ชิ้นที่ 4 (ลูกสูบ) เลื่อนไหลไปมา มีบรรทัดวัดระยะ

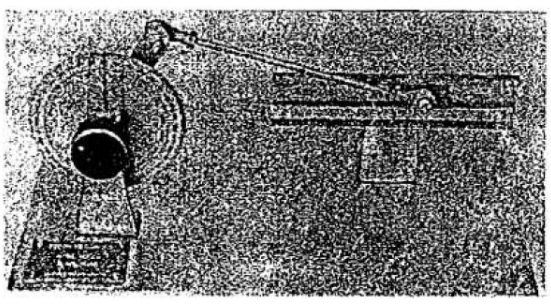
เราต้องการศึกษาความสัมพันธ์ในการหมุนตัวของชิ้นที่ 2 และการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 4 ซึ่งเมื่อชิ้นที่ 2 หมุนตัวด้วยความเร็วคงที่ชิ้นที่ 4 จะเคลื่อนไหวไปมาช้าบ้างแต่ครบรอบการเคลื่อนตัวพร้อมกัน

3.1.2 การทดลอง

3.1.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 จากจานองศา และตำแหน่งของชิ้นที่ 4 จากบรรทัดที่เครื่อง โดยเริ่มที่ตำแหน่งชิ้นที่ 2 และ 3 อยู่ตรงกัน

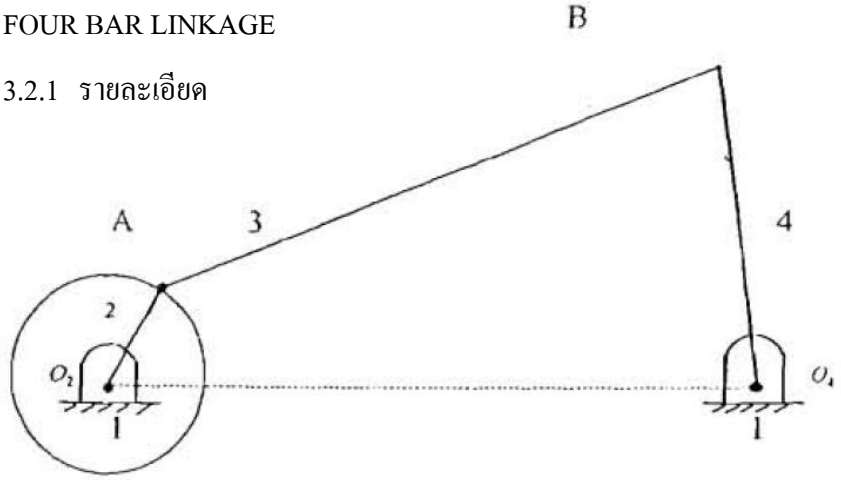
3.1.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไปจนครบรอบ และบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ไว้ทุก 30 องศา ของชิ้นที่ 2

3.1.2.3 นำข้อมูล ข้างต้นไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัว ความเร็วและอัตราเร่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ตามที่อธิบายไว้ในตอนท้ายคู่มือนี้



3.2 FOUR BAR LINKAGE

3.2.1 รายละเอียด



เป็นกลไกข้อต่อ 4 ชิ้น คือ

ชิ้นที่ 1 อยู่กับที่รองรับเพลาของชิ้นที่ 2 และ 4

ชิ้นที่ 2 หมุนรอบตัว มีระยะแขน 4, 5.5, และ 7 ซม. ตามแต่จะเลือก มีจานวัดองศา

ชิ้นที่ 3 หมุนเหวี่ยง ยาว 16 ซม.

ชิ้นที่ 4 หมุนไปมารอบแกนหมุน ยาว 16 ซม. มีจานวัดองศา

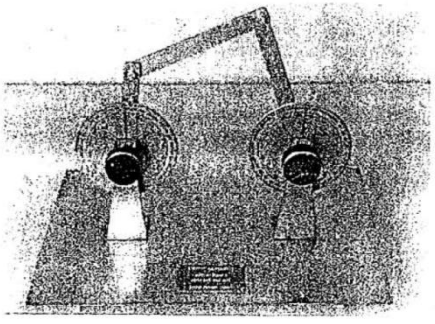
เราต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนตัวของชิ้นที่ 2 และชิ้นที่ 4 ซึ่งถ้าชิ้นที่ 2 หมุนด้วยความเร็วคงที่ จะหมุนตัวไปกลับช้าบ้างเร็วบ้าง และครบรอบการเคลื่อนตัวพร้อมกัน

3.2.2 การทดลอง

3.2.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 เป็นองศาโดยเริ่มที่ชิ้นที่ 2 และ 3 อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน

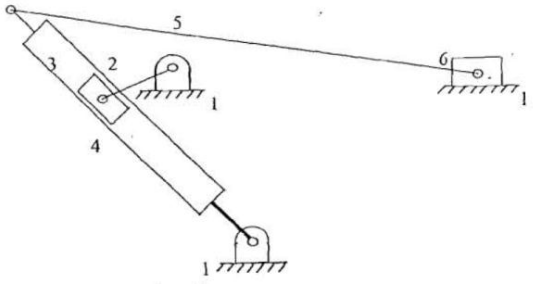
3.2.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไปจนครบรอบและบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ไว้ทุก 30 องศา ของชิ้นที่ 2

3.2.2.3 นำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัวความเร็วและอัตราเร่ง ตามที่อธิบายไว้ในตอนท้ายคู่มือนี้



3.3 SLOTIED LINK MECHANISM

3.3.1 รายละเอียด



กลไกแบบนี้มี 6 ชิ้นส่วน คือ

ชิ้นที่ 1 อยู่กับที่รองรับเพลาของชิ้นที่ 2 และ 4 และรองรับชิ้นที่ 6

ชิ้นที่ 2 หมุนรอบตัว ยาว 4 ซม. มีจานวัดองศา

ชิ้นที่ 3 หมุนโยกไปมา

ชิ้นที่ 4 หมุนโยกตัวไปมา ยาว 12.5 ซม.

ชิ้นที่ 5 เหวี่ยงตัวเหมือนก้านสูบ ยาว 22 ซม.

ชิ้นที่ 6 เลื่อนไถลไปมา มีบรรทัดวัดระยะ

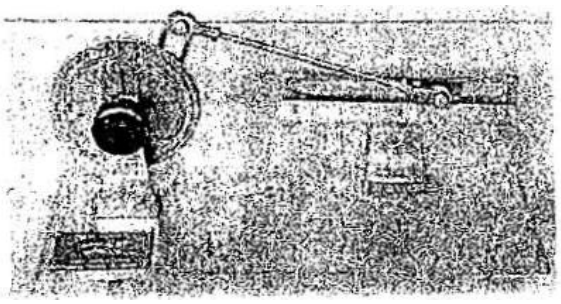
เราต้องการศึกษาความสัมพันธ์ในการหมุนตัวของชิ้นที่ 2 และการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 6 ซึ่งจะพบว่าเมื่อชิ้นที่ 2 หมุนด้วยความเร็วคงที่ชิ้นที่ 6 จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าช้าแต่ขากลับเร็ว (QUICK RETURN) แต่ครบรอบการเคลื่อนตัวพร้อมกัน

3.3.2 การทดลอง

3.3.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 บนจานองศาและตำแหน่งลูกสูบ 6 บรรทัด วัดระยะที่เครื่องโดยเริ่มที่ตำแหน่งของชิ้นที่ 6 จะอยู่ซ้ายสุด

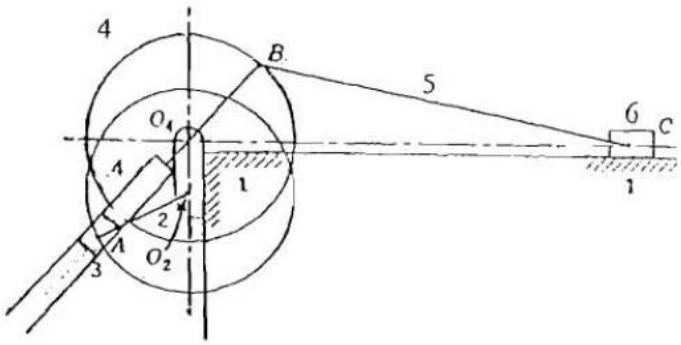
3.3.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไปจนครบรอบ โดยบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 6 ไว้ทุก 30 องศาของชิ้นที่ 2

3.3.2.3 นำข้อมูลข้างต้นไปเขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว ความเร็วและอัตราเร่ง ระหว่างชิ้นที่ 2 และ ชิ้นที่ 6 ตามที่อธิบายไว้ในตอนท้ายคู่มือนี้



3.4 WHITHWORTH QUICK RETURN MECHANISM

3.4.1 รายละเอียด



กลไกชนิดนี้มีข้อต่อ 6 ชิ้น

ชิ้นที่ 1 อยู่กับที่รองรับเพลาของชิ้นที่ 2 และ 4 และรองรับชิ้นที่ 6

ชิ้นที่ 2 หมุนรอบตัว ยาว 7 ซม. มีจานวัดองศา

ชิ้นที่ 3 เลื่อนไปมาบนชิ้นที่ 4

ชิ้นที่ 4 หมุนได้รอบตัวแต่ช้าบ้างเร็วบ้าง ข้อเหวี่ยง ยาว 7 ซม.

ชิ้นที่ 5 หมุนเหวี่ยง ยาว 22 ซม.

ชิ้นที่ 6 ไถลตัวไปมา มีบรรทัดวัดระยะ

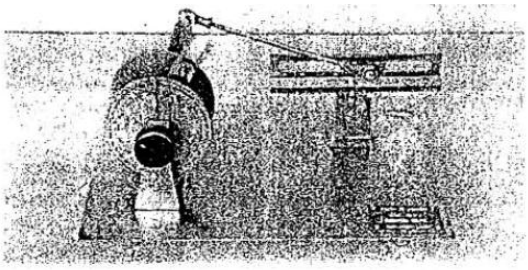
เราต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนตัวของชิ้นที่ 2 และการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 6 ซึ่งเมื่อชิ้นที่ 2 หมุนด้วยความเร็วคงที่ ชิ้นที่ 6 จะเคลื่อนที่ไปและกลับแต่มีจังหวะช้าบ้าง แต่ครบรอบการเคลื่อนตัวพร้อมกัน

3.4.2 การทดลอง

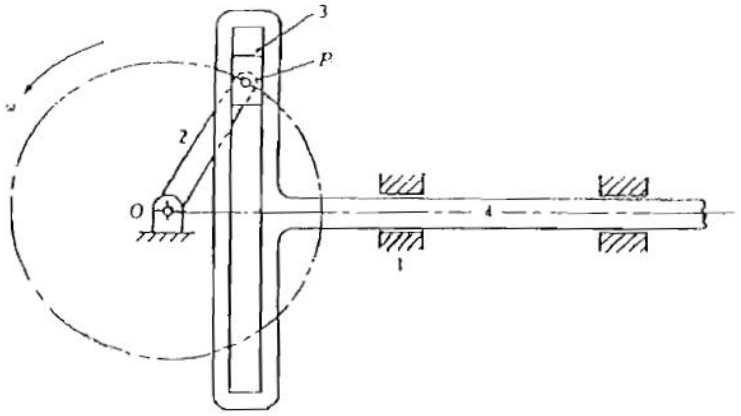
3.4.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 เป็นองศาและตำแหน่งของชิ้นที่ 6 เป็นระยะ โดยเริ่มที่ตำแหน่งชิ้นที่ 2 และ 4 อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน

3.4.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไปจนครบรอบ 30 องศา และบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และชิ้นที่ 6 ไว้ทุก 30 องศาของชิ้นที่ 2

3.4.2.3 นำข้อมูลข้างต้นไปเขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว ความเร็ว และอัตราเร่ง ตามที่อธิบายไว้ในตอนท้ายคู่มือนี้



3.5 SCOTCH YOKE



3.5.1 รายละเอียด

กลไกนี้มี 4 ชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนที่ 1 เป็นชิ้นที่อยู่กับที่รองรับเพลาของชิ้นที่ 2 และรองรับชิ้นที่ 4

ชิ้นส่วนที่ 2 หมุนรอบตัวมีแขนยาว 7 ซม. มีจานวัดองศา

ชิ้นส่วนที่ 3 เลื่อนขึ้นลงในกรอบของชิ้นส่วนที่ 4

ชิ้นส่วนที่ 4 เลื่อนตัวไปมา มีบรรทัดวัดระยะ

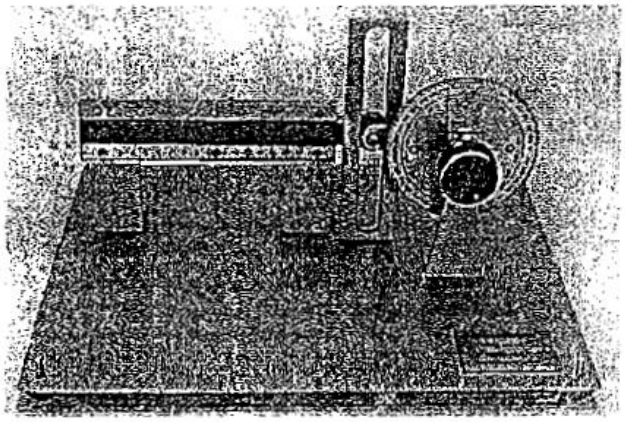
เราต้องการศึกษาความสัมพันธ์ของการหมุนตัวของชิ้นส่วนที่ 2 ต่อการเคลื่อนตัวไปมาของชิ้นส่วนที่ 4

3.5.2 การทดลอง

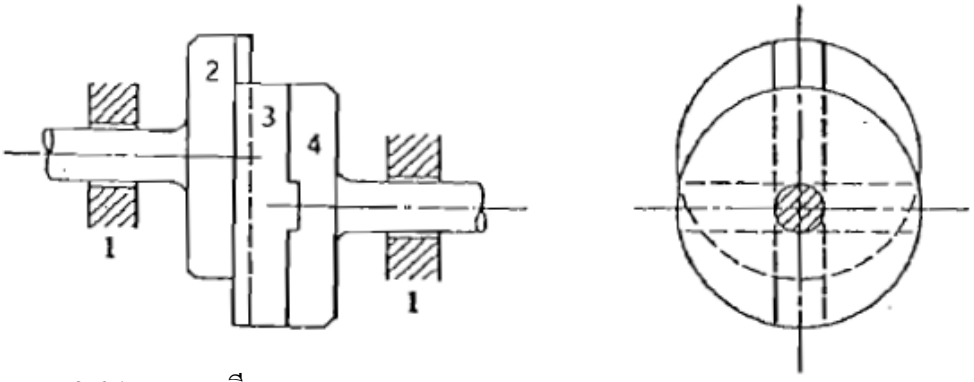
3.5.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 โดยเริ่มที่ชิ้นที่ 2 อยู่ในแนวราบ

3.5.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไปจนครบรอบและบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ไว้ทุก 30 องศาของชิ้นที่ 2

3.5.2.3 นำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัว ความเร็วและอัตราเร่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ตามที่อธิบายไว้ในตอนท้ายคู่มือนี้



3.6 OLDHAM COUPLING



3.6.1 รายละเอียด

เป็นกลไก 4 ชิ้น ประกอบด้วย

ชิ้นที่ 1 อยู่กับที่และรองรับแกนของชิ้นที่ 2 และที่ 4

ชิ้นที่ 2 หมุนรอบตัว มีร่องประกอบกับชิ้นที่ 3 เพื่อดันให้ชิ้นที่ 4 หมุนไปด้วย

ชิ้นที่ 4 หมุนรอบแกนซึ่ง แนวแกนขนาน แต่ไม่ตรงกับแนวแกนชิ้นที่ 2 มีจานองศา

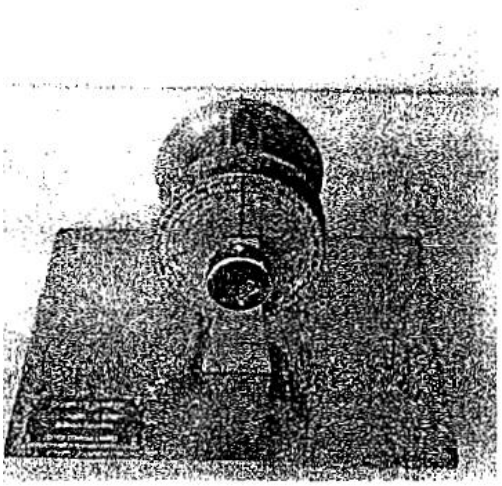
เราต้องการศึกษาถึงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 2 และ 4 ซึ่งจะพบว่าเมื่อชิ้นที่ 2 หมุน 1 รอบ ชิ้นที่ 4 จะหมุน 1 รอบด้วยในอัตราความเร็วเท่ากัน

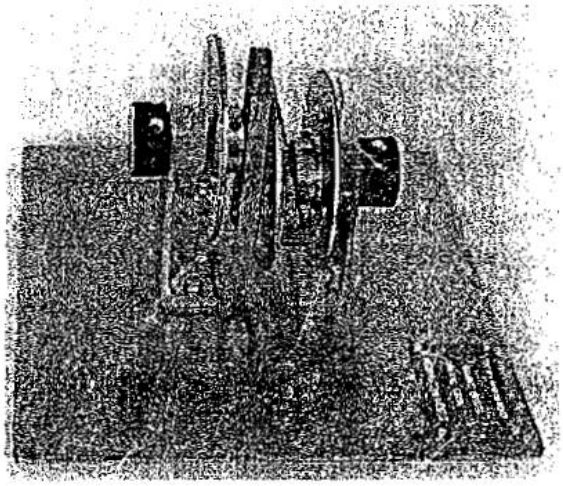
3.6.2 การทดลอง

3.6.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 โดยเริ่มที่ชิ้นที่ 2 อยู่ที่ 0 องศา

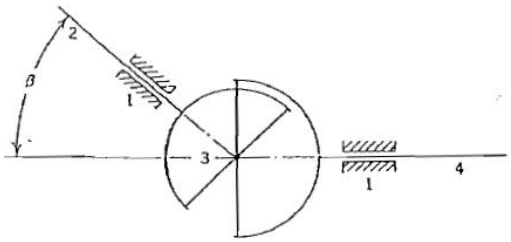
3.6.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไป 1 รอบ และบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ไว้ทุก 30 องศา ที่ชิ้นที่ 2 หมุนตัว

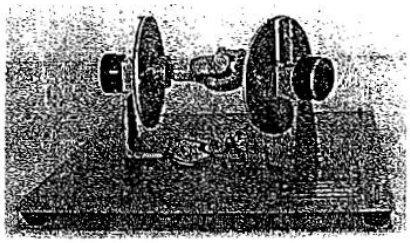
3.6.2.3 นำเอาข้อมูลที่บันทึกไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว อัตราเร็ว และอัตราเร่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ตามที่อธิบายไว้ท้ายคู่มือนี้





3.7 HOOKS UNIERSAL JOINT





3.7.1 รายละเอียด

กลไกนี้มี 4 ชิ้นส่วน คือ

ชิ้นที่ 1 เป็นชิ้นที่อยู่กับที่รองรับเพลาของชิ้นที่ 2 และ 4

ชิ้นที่ 2 เป็นแกนหมุนมีแอกตรงปลาย เพื่อประกบกับกากบาทมีจานวัดองศา

ชิ้นที่ 3 เป็นกากบาท, β = 30 องศา

ชิ้นที่ 4 เป็นแกนหมุนมีแอกตรงปลายประกบกับกากบาทมีจานวัดองศา

เราต้องการศึกษาความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว (หมุนตัว) ของชิ้นที่ 2 และ 4 ซึ่งจะพบว่า เมื่อชิ้นที่ 2 หมุนครบ 1 รอบ ชิ้นที่ 4 ก็หมุนครบ 1 รอบ เช่นกัน แต่ช้าบ้างเร็วบ้าง

3.7.2 การทดลอง

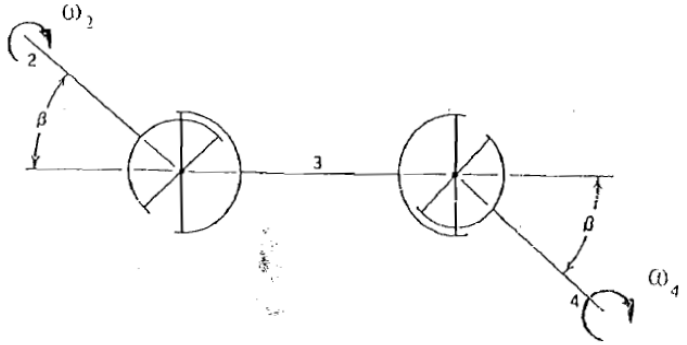
3.7.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 โดยเริ่มที่ 0 องศาของชิ้นที่ 2

3.7.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไป ครั้งละ 30 องศาและบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ไว้จนชิ้นที่ 2 หมุนครบรอบ

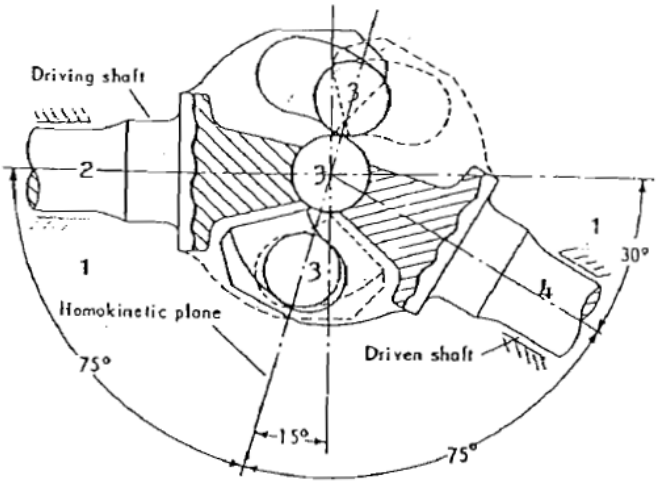
3.7.2.3 นำข้อมูลที่บันทึกไว้มาเขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว, ความเร็วและอัตราเร่ง ตามที่อธิบายไว้ตอนท้ายคู่มือนี้

<u>หมายเหตุ</u>

เนื่องจากความเร็วของชิ้นที่ 2 และ 4 ไม่เท่ากันตลอดเวลา หากต้องการเพลารับกำลังความเร็วเท่าเพลาส่งกำลังตลอดเวลาจะต้องใช้ UNIVERSAL JOINT 2 ชุด วางเป็นมุมกลับกันตามรูปข้างล่าง w_2 และ w_4 จะเท่ากันตลอดเวลา เช่น เพลากลางของรถยนต์



3.8 CONSTANT VELOCITY JOINT



3.8.1 รายละเอียด

กลไกมี 4 ชิ้น

ชิ้นที่ 1 เป็นชิ้นอยู่กับที่รองรับแกนหมุนของชิ้นที่ 2 และ 4 ซึ่งทำมุม 15 องศา

ชิ้นที่ 2 เป็นแกนหมุนปลายมีซอกร่องรับลูกบอลของชิ้นที่ 3 มีจานวัดองศา

ชิ้นที่ 3 เป็นลูกบอลกลม 4 ลูก ซึ่งประกบและเคลื่อนตัวอยู่ระหว่างซอกเพลาที่ 2 และ 4

ชิ้นที่ 4 เป็นแกนหมุนบนมีซอกประกบกับชิ้นที่ 3 มีจานวัดองศา

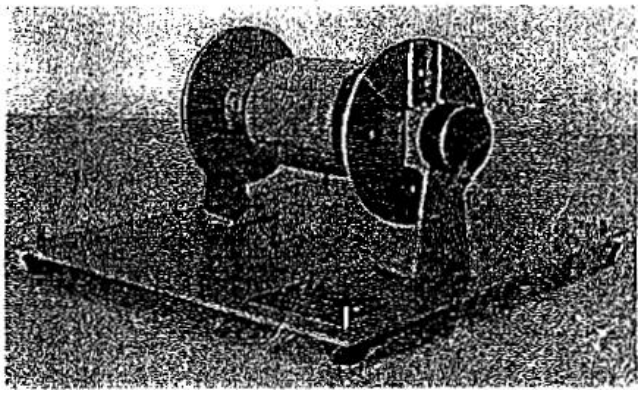
เราต้องการศึกษาถึงความสัมพันธ์ในการหมุนตัวของชิ้นที่ 2 และ 4 ซึ่งจะพบว่าเมื่อชิ้นที่ 2 หมุนรอบ ชิ้นที่ 4 ก็หมุนครบ 1 รอบ เช่นกัน และด้วยความเร็วรอบเท่ากันตลอดเวลา

3.8.2 การทดลอง

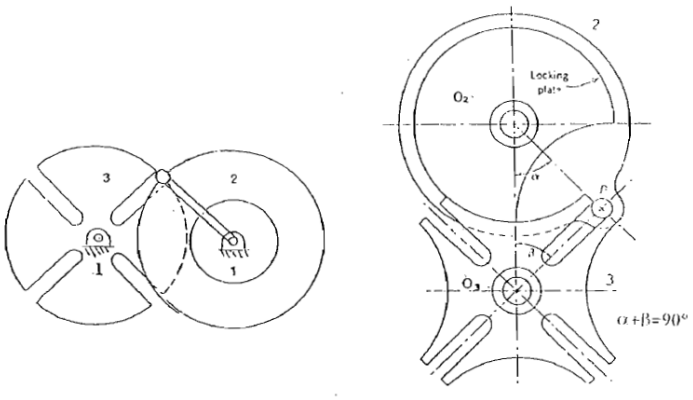
3.8.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 โดยเริ่มที่ตำแหน่ง 0 องศาของชิ้นที่ 2

3.8.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไปจนครบรอบ โดยบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ไว้ทุก 30 องศาของชิ้นที่ 2

3.8.2.3 นำข้อมูลข้างต้นไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว ความเร็วและอัตราเร่งของชิ้นที่ 2 และ 4 ตามที่อธิบายไว้ท้ายคู่มือนี้



3.9 GENEVA STOP



3.9.1 รายละเอียด

เป็นกลไก 3 ชิ้นส่วนคือ

ชิ้นที่ 1 เป็นชิ้นที่อยู่กับที่รองรับเพลาของชิ้นที่ 2 และ 4

ชิ้นที่ 2 หมุนรอบตัวและมีเดือยไปเกี่ยวกับร่องของชิ้นที่ 3 มีจานวัดองศา

ชิ้นที่ 3 หมุนอยู่กับที่มีร่องไปรับเดือยของชิ้นที่ 2 มีจานวัดองศา

เราต้องการศึกษาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 2 และ 3 ซึ่งจะพบว่าเมื่อชิ้นที่ 2 หมุนไป 1 รอบ ชิ้นที่ 3 จะหมุนตัวตามอยู่ระยะหนึ่ง (90 องศา) แล้วหยุดอยู่กับที่จนกว่าชิ้นที่ 2 จะหมุนรอบใหม่

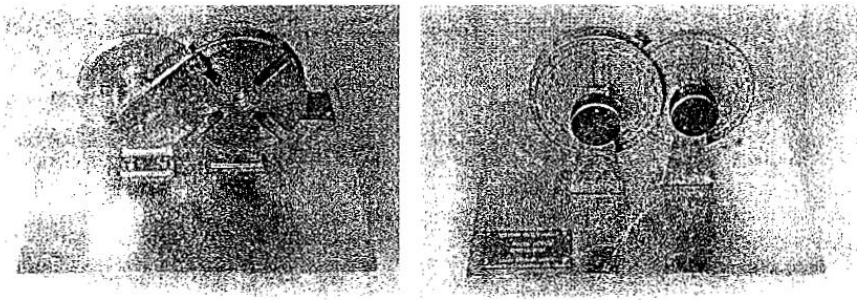
3.9.2 การทดลอง

3.9.2.1 บันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 3 โดยเริ่มที่ตำแหน่งเดือยของชิ้นที่ 2 กำลังจะจากชิ้นที่ 3

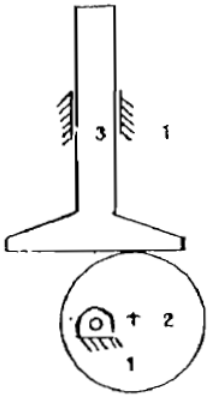
3.9.2.2 ค่อยๆ หมุนชิ้นที่ 2 ไปเรื่อยจนกว่าเดือยของชิ้นที่ 2 จะเริ่มเกี่ยวกับร่องของชิ้นที่ 3 และบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 3 ไว้

3.9.2.3 หมุนชิ้นที่ 2 ต่อไป จนกว่าเดือยชิ้นที่ 2 กำลังจะจากชิ้นที่ 3 อีก (ชิ้นที่ 2 หมุนครบ 1 รอบ) และบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 3 อีกครั้งหนึ่ง

3.9.2.4 นำข้อมูลข้างต้น ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว ความเร็วและอัตราเร่งระหว่างชิ้นที่ 2 และ 3 ตามที่อธิบายไว้ในตอนท้ายของคู่มือนี้



3.10 CAM AND FOLLOWER



3.10.1 รายละเอียด

เป็นกลไก 3 ชิ้นส่วน

ชิ้นที่ 1 เป็นชิ้นที่อยู่กับที่รองรับการหมุนตัวของชิ้นที่ 2 และการเคลื่อนตัวไปมาของชิ้นที่ 3

ชิ้นที่ 2 เป็นลูกเบี้ยวหมุนตัวรอบแกน มีจานองศา เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มม.

ชิ้นที่ 3 เป็นตัวตามที่ลูกเบี้ยวดันให้เลื่อนไปมา (ขึ้นลง) เมื่อลูกเบี้ยวหมุนตัว มีบรรทัดวัดระยะ

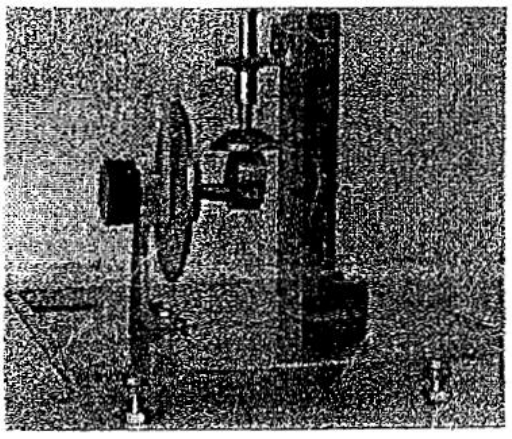
เราต้องการศึกษาความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 2 และ 3 ซึ่งจะพบว่า เมื่อชิ้นที่ 2 หมุนตัว ชิ้นที่ 3 จะเคลื่อนที่ขึ้นลง และเมื่อชิ้นที่ 2 หมุนครบ 1 รอบ ชิ้นที่ 3 ก็เคลื่อนตัวครบ 1 รอบ เช่นกัน

3.10.2 การทดลอง

3.10.2.1 วัดตำแหน่งของชิ้นที่ 2 เป็นองศาและชิ้นที่ 3 เป็นระยะทางโดยเริ่มที่ชิ้นที่ 3 อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด

3.10.2.2 หมุนชิ้นที่ 2 ไปจนครบรอบและบันทึกตำแหน่งของชิ้นที่ 2 และ 3 ทุกๆ 30 องศา ที่ชิ้นที่ 2 หมุนไป

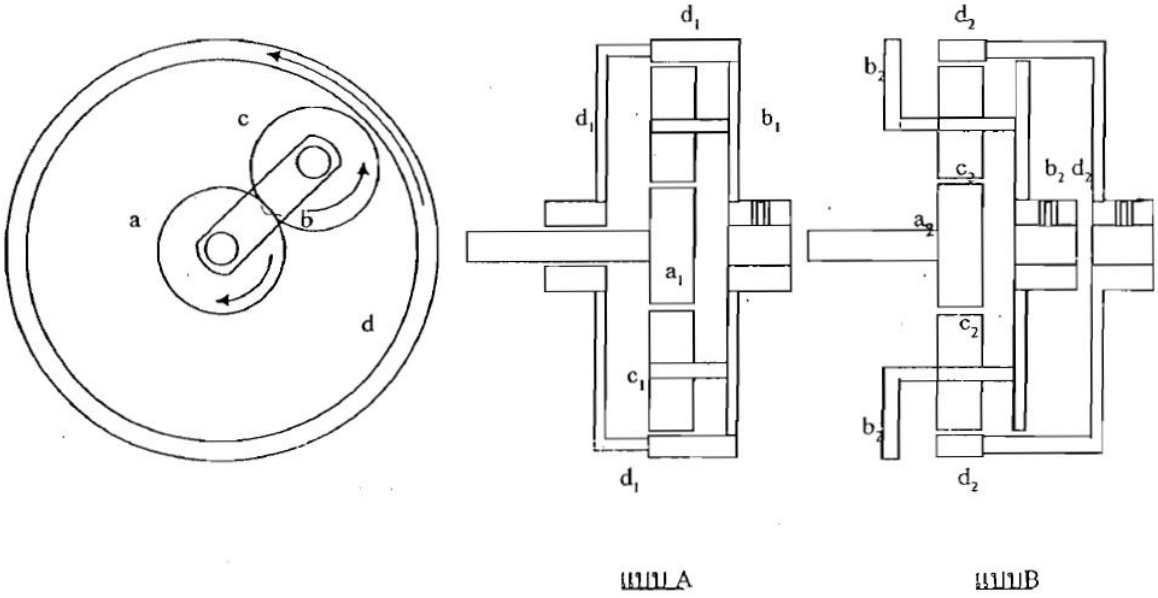
3.10.2.3 นำเอาข้อมูลที่บันทึกมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว ความเร็ว อัตราเร่งของชิ้นที่ 2 และ 3 ตามที่อธิบายไว้ท้ายคู่มือนี้



3.11 ระบบเฟืองดาวพระเคราะห์ (Planetary Gear)

3.11.1 บททั่วไป

เฟืองดาวพระเคราะห์ มีลักษณะการทำงานเหมือนการเคลื่อนตัวของดาวพระเคราะห์ กล่าวคือ ระบบเฟืองประกอบด้วยชิ้นส่วน 4 ชิ้นตามรูปข้างล่าง



เฟือง a ปกติต่อกับเพลาขับและหมุนรอบตัวเองเหมือนดวงอาทิตย์ เรียกว่า Sun gear

เฟือง c ถูกบังคับให้หมุนรอบตัวเองและรอบเฟือง a ด้วย โดยมีแขนบังคับ b ลักษณะการเคลื่อนตัวของเฟือง c จึงเหมือนดาวพระเคราะห์ (Planet)

เฟือง d เป็นเฟืองในมีลักษณะ เป็นวงแหวน เรียกว่า Ring gear

โดยที่ เส้นทางการเคลื่อนตัวของเฟือง c บนเฟือง a นั้นมีลักษณะเป็นรูป Epicycloid จึงมีคนเรียกระบบเฟืองพระเคราะห์นี้ว่า Epicyclic Gear Train

3.11.2 ลักษณะการทำงาน

การทำงานของระบบเฟืองพระเคราะห์นี้ เพลาขับจะต่อกับเฟือง a และเพลาตามต่อกับ แขน b (แบบ A) หรือ เฟือง d (แบบ) B การวิเคราะห์การทำงานของระบบเฟืองนี้ทำได้โดยวิเคราะห์การหมุนกรณีต่างๆ ดังนี้

การหมุน	จำนวนรอบ			
	a = 60 ฟัน	**b**	**c = 30 ฟัน**	**d = 120 ฟัน**
1. เฟืองทั้งชุดล็อกและหมุนพร้อมกัน 1 รอบ	+1	+1	+1	+1
2. แขน b อยู่กับที่และหมุนเฟือง a ถอยหลัง 1 รอบ	-1	0	$+1 \times \frac{a}{c} = +1 \times \frac{60}{30} = +2$	$+1 \times \frac{a}{c} \times \frac{c}{d} = 1 \times \frac{a}{d} = +\frac{1}{2}$
3. แบบ b อยู่กับที่และหมุนเฟือง d ถอยหลัง 1 รอบ	$+1 \times \frac{d}{c} \times \frac{c}{a} = \frac{d}{a} = +2$	0	$-1 \times \frac{d}{c} = \frac{-120}{30} = -4$	-1
4. กรณี 1 + 3	$+1+\frac{d}{a} = 1 + 2 = +3$	+1	$1-\frac{d}{c}$ $1 – 4 = - 3$	0

ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. กรณีเฟืองทั้งหมดล็อกติดกับหมุนไปพร้อมกันถ้าเพลาขับ a หมุนไปข้างหน้า 1 รอบ เพลาตามไม่ว่าจะต่อ กับ b หรือ d จะหมุนไปข้างหน้า 1 รอบเช่นกัน
2. กรณีแขน b อยู่กับที่ เพลาตามต่อกับ d เพลา a หมุนไปข้างหน้า 1 รอบ เพลาตามจะหมุนสวนทาง 1/2 รอบ
3. กรณี เกียร์ d อยู่กับที่ เพลาตามต่อกับ b เพลา a จะหมุนไปข้างหน้า 3 รอบ เพลาตาม (b) จะหมุนทางเดียวกัน 1 รอบ

3.11.3 เฟือง 2 ชุดต่อกัน

เพลาตามชุดที่ 1 จะต่อกับเพลา b และจะเป็นเพลาขับของชุดที่ 2

3.11.3.1 กรณีไม่มีเพลา d (เฟืองแบบ A 2 ตัวต่อกัน) เราอาจปรับรอบของเพลาตามชุดที่ 2 ได้ดังนี้

3.11.3.1.1 เฟือง d ชุดที่ 1 อยู่กับที่ และล็อกเฟืองชุดที่ 2 ทั้งชุด ความเร็วเพลาตามจะเท่ากับเพลา b ของชุดที่ 1

3.11.3.1.2 ล็อกเฟือง d ทั้ง 2 ชุด เพลาตามชุดที่ 2 (ต่อกับ b) จะต่ำกว่าเพลาตามชุดที่ 1

3.11.3.2 กรณีเพลา d แขน b จะต้องล็อกให้อยู่กับที่ได้และเฟือง d ชุดที่ 2 จะต่อกับเพลาตาม (เฟืองแบบ a ต่อกับแบบ B)

3.11.3.2.1 ล็อกเฟือง d ชุดที่ 1 และเฟือง d ชุดที่ 2 เพลาตามตัวสุดท้ายจะต่อกับ c ของชุดที่ 2 และจะหมุนทางเดียวกับเพลาขับของชุดที่ 1

3.11.3.2.2 ล็อกเฟือง d ชุดที่ 1 และแขน c ชุดที่ 2 เพลาตามตัวสุดท้ายจะต่อกับเฟือง d ชุดที่ 2 และจะหมุนสวนทางกับเพลาขับชุดที่ 1

3.11.4 เฟือง 3 ชุดต่อกัน

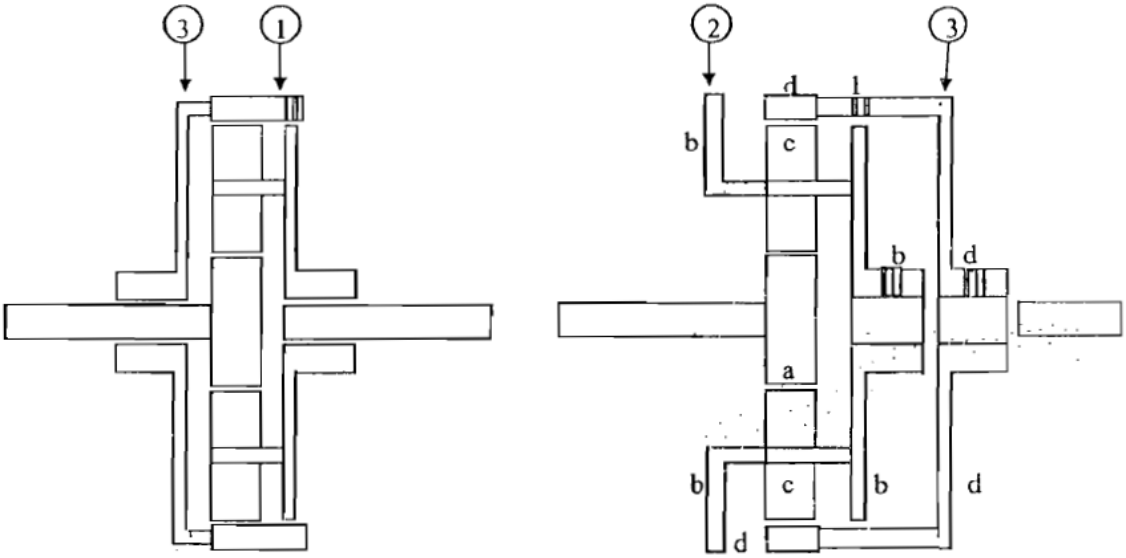
ใช้เฟือง 2 ชุดแรกเป็นแบบ A และชุดที่ 3 เป็นแบบ B อาจต่อเฟืองให้หมุนได้หลายแบบดังนี้

3.11.4.1 ล็อกเฟือง d ทั้ง 3 ชุด เพลาตามตัวสุดท้ายจะหมุนทางเดียวกับเพลาขับชุดที่ 1

3.11.4.2 ล็อกเฟือง d ชุดที่ 1 และ 2 และล็อกเฟืองทั้งหมดของชุดที่ 3 (เฟือง d และแขน c หมุนไปด้วยกัน) เพลาตามตัวสุดท้ายจะหมุนทางเดียวกับเพลาขับชุดที่ 1 แต่จะเป็นคนละความเร็วกับ 3.1

3.11.4.3 ล็อกเฟือง d ชุดที่ 1 และ 2 และล็อกแขน c ชุดที่ 3 เพลาตามชุดสุดท้ายจะต่อกับเฟือง d และหมุนสวนทางกับเพลาขับชุดที่ 1

3.11.5 การล็อกเฟือง



แบบ A แบบ B

ตำแหน่งล็อก เฟืองมี 3 ตำแหน่งดังนี้

3.11.5.1 สกูรยันให้ b และ d หมุนไปพร้อมกัน ตำแหน่งนี้เฟืองทั้งชุดจะหมุนไปพร้อมกัน

3.11.5.2 สกรู ยัน b ให้อยู่กับที่

3.11.5.3 สกรู ยันให้ d อยู่กับที่

4. <u>การหาความสัมพันธ์การเคลื่อนตัว (DISPLACEMENT)</u> ความเร็ว (VELOCITY) และอัตราเร่ง (ACCELERATION)

ความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว ความเร็วอัตราเร่งของกลไกต่างๆ ที่ได้กล่าวถึง ในตอนต้นแต่ละอันจะแตกต่างกัน แต่วิธีการเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัวความเร็วและอัตราเร่งจะเหมือนกัน ฉะนั้นเพื่อความสะดวกในการอธิบาย คู่มือนี้จะแสดงถึงวิธีละเอียดในการหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัว ความเร็วและอัตราเร่งของ SLIDER CRANK เพื่อเป็นตัวอย่างเท่านั้น

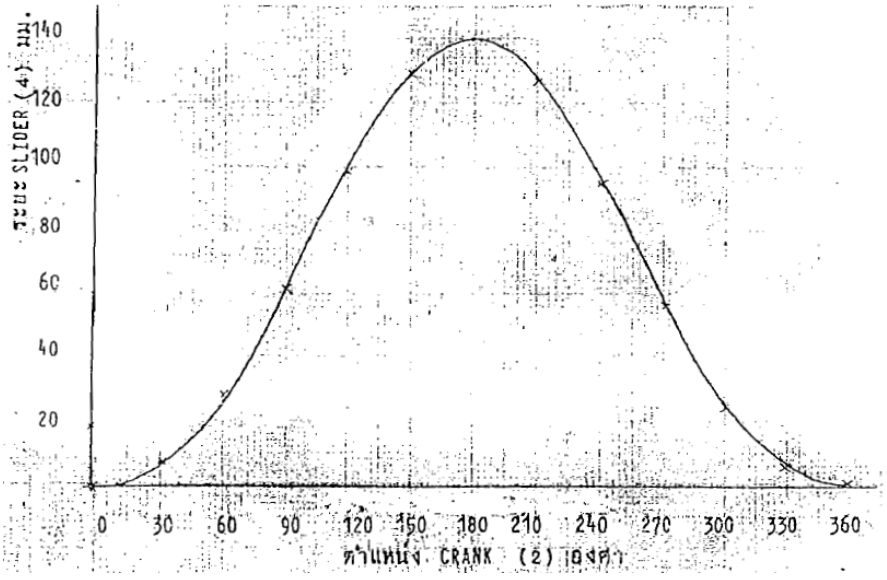
4.1 ความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัว (DISPLACEMENT)

เอาข้อมูลจากการทดลองมาเขียนกราฟ โดยการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 2 (ชิ้นส่วนตัวนำ) เขียนในแนวแกนนอน และการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนอีกอันหนึ่ง (ชิ้นส่วนตัวตาม) เขียนในแนวแกนตั้ง แล้วลากเส้นผ่านจุดต่างๆ มากที่สุด

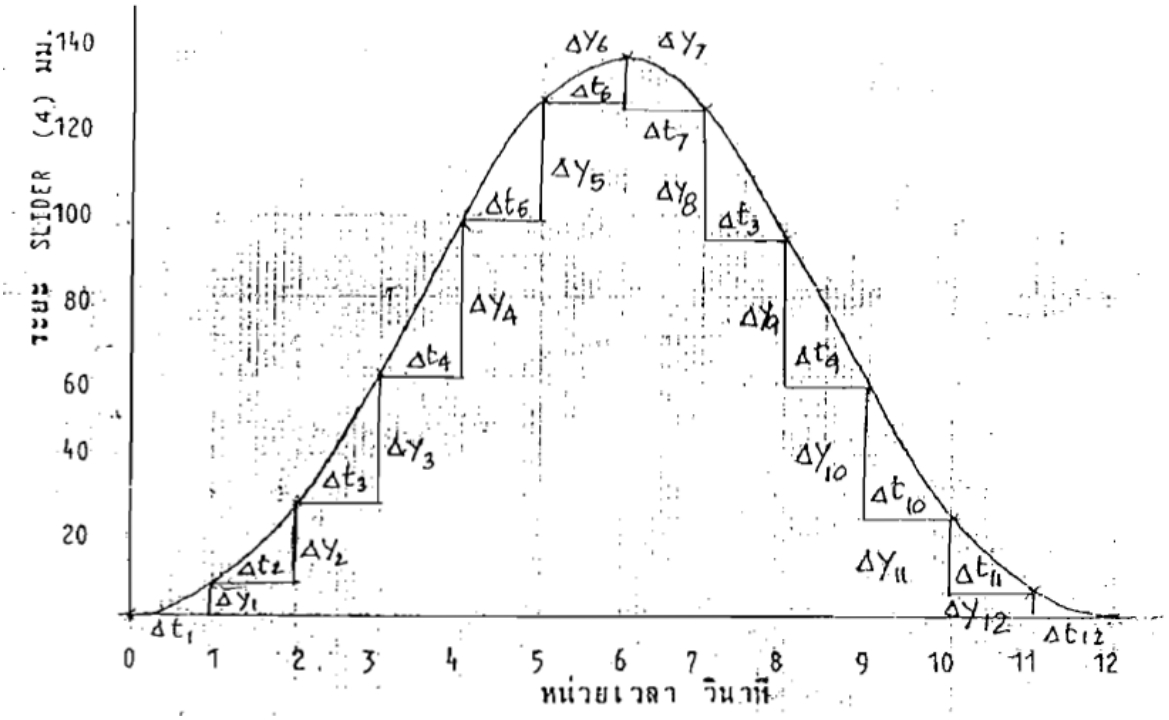
จากข้อมูล หน้า 7 เรานำมาหาความสัมพันธ์ในการเคลื่อนตัวของ CRANK และ SLIDER ได้ดังนี้

CRANK องศา	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
ตำแหน่ง SLIDER มม.	46	53	74	107	144	175	185.5	173	141	103	71	52	46
การเคลื่อนตัวของ SLIDER มม.	0	7	28	61	98	129	139.5	127	95	57	25	6	0

นำข้อมูลจากบรรทัดที่ 1 และที่ 3 ข้างบน มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 2 (CRANK) และชิ้นที่ 4 (SLIDER) ได้ตามข้างล่าง



4.2 ความสัมพันธ์ของความเร็ว ในการศึกษาเราจะถือว่าชิ้นส่วนตัวนำ (ชิ้นที่ 2) หมุนด้วยความเร็วคงที่และจะหาว่าชิ้นส่วนตัวตามจะเคลื่อนตัว (หรือหมุนตัว) ด้วยความเร็วเท่าใดในกรณีที่ชิ้นส่วนที่ 2 หมุนด้วยความเร็วคงที่นี่ระยะการหมุนตัวของชิ้นที่ 2 จะเป็นอัตราส่วนกับเวลาและเราอาจเขียนกราฟแสดงการเคลื่อนตัวของชิ้นที่ 4 เทียบกับเวลาแทนกราฟการเคลื่อนตัวได้ตามข้างล่าง โดยสมมติว่า ชิ้นที่ 2 หมุน 30 องศา ในเวลา 1 วินาที



การหาความเร็วของของชิ้นที่ 4 เราทำโดยวิธีกราฟได้โดยการแบ่งแกนนอนออกเป็นช่วงเวลาเล็กๆ เท่าๆ กัน เรียกว่า Δt และถือว่าเส้นกราฟช่วงนี้เป็นเส้นตรง

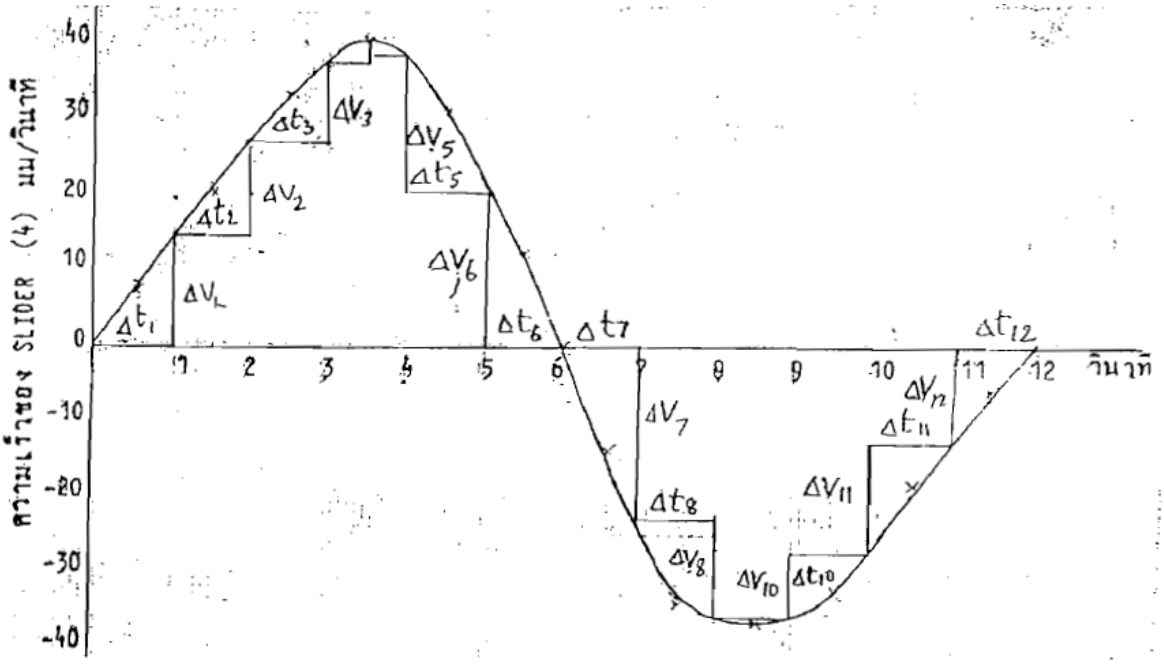
$$\therefore \quad \text{ความเร็วของช่วงที่ } 1 = V_1 = \frac{\text{ระยะทางช่วงที่ 1}}{\text{เวลาช่วงที่ 1}} = \frac{\Delta_{y_1}}{\Delta_{t_1}} = \frac{\Delta_{y_1}}{\Delta_t}$$

$$\therefore \quad \text{ความเร็วของช่วงที่ } 2 = V2 - \frac{\Delta_{y_2}}{\Delta_{t_2}} - \frac{\Delta_{y_2}}{\Delta_{t_2}}$$

จะเห็นว่าความเร็ว (V) เป็นสัดส่วนกับ Δy และนำค่าของ Δy มาเขียนบนแกนตั้งของกราฟความเร็วดังข้างล่าง

โปรดสังเกตว่าในกรณีตำแหน่งของชิ้นที่ 4 ต่ำลงเราถือว่าความเร็วเป็นลบ และความเร็วเป็น 0 เมื่อเส้นกราฟของการเคลื่อนตัวอยู่ในแนวนอน

ในการเขียนกราฟความเร็วเราอาจจะทดสอบเอาความสูงของ Δy มาเขียนกราฟได้โดยตรงแต่กราฟจะเป็นเส้นเตี้ย ไม่สะดวกต่อการศึกษาจึงควรขยายความสูงของแกนตั้งให้มากขึ้น



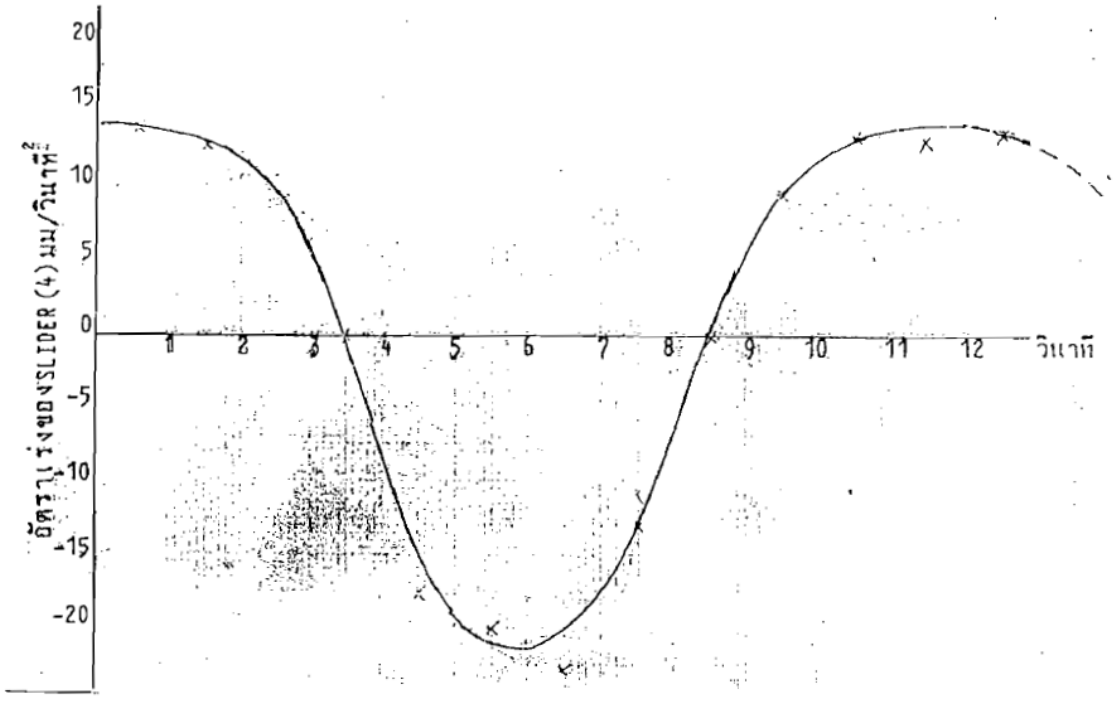
4.3 ความสัมพันธ์ของอัตราเร่ง

ในกรณีที่ชิ้นที่ 2 หมุนด้วยความเร็วคงที่อัตราเร่งของชิ้นที่ 2 จะเป็น 0 ส่วนอัตราเร่งของชิ้นที่ 4 นั้น เราหาโดยวิธีกราฟได้จากกราฟความเร็ว เช่นเดียวกับการหาความเร็วจากกราฟเคลื่อนตัว

$\therefore$ อัตราเร่งของช่วง $\Delta t_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = a_1$

$\therefore$ อัตราเร่งของช่วง $\Delta t_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta t} = a_2$ ฯลฯ

จะเห็นว่าอัตราเร่ง a เป็นสัดส่วนกับ Δv นำมาขยายเขียนกราฟอัตราเร่งได้ตามข้างล่าง

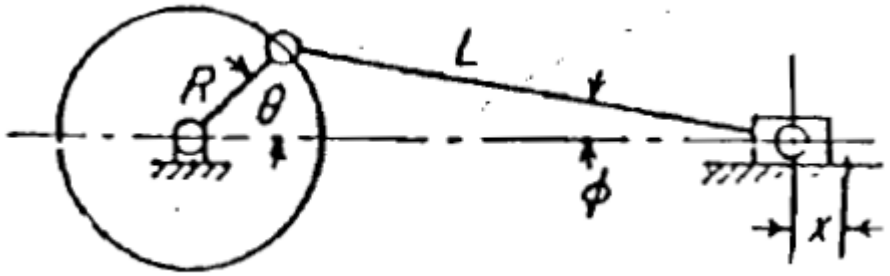


5. <u>ข้อมูลการเคลื่อนตัวของกลไกต่างๆ</u>

ข้อมูลของการเคลื่อนตัวข้างล่างนี้เป็นข้อมูลที่วัดได้จริงจากกลไกตัวอย่าง โดยช่างเทคนิคของบริษัทเอสซอม จำกัด กลไกแต่ละตัวที่ผลิตออกมาจากแบบเดียวกันอาจมีสัดส่วนคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย ฉะนั้นข้อมูลที่ได้จากกลไกจริงแต่ละตัวอาจต่างจากข้อมูลกลไกตัวอย่างนี้บ้างเช่นกัน

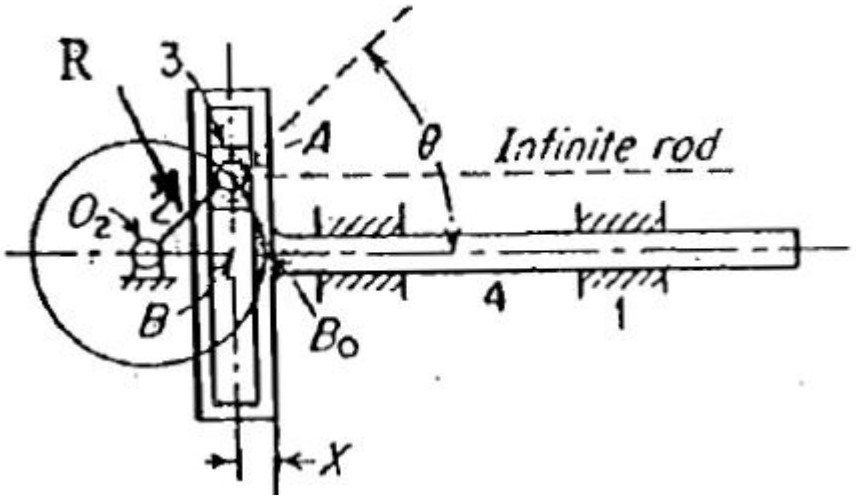
6. สูตรของการเคลื่อนตัวของกลไกบางชนิดได้

6.1 SLIDER CRANK



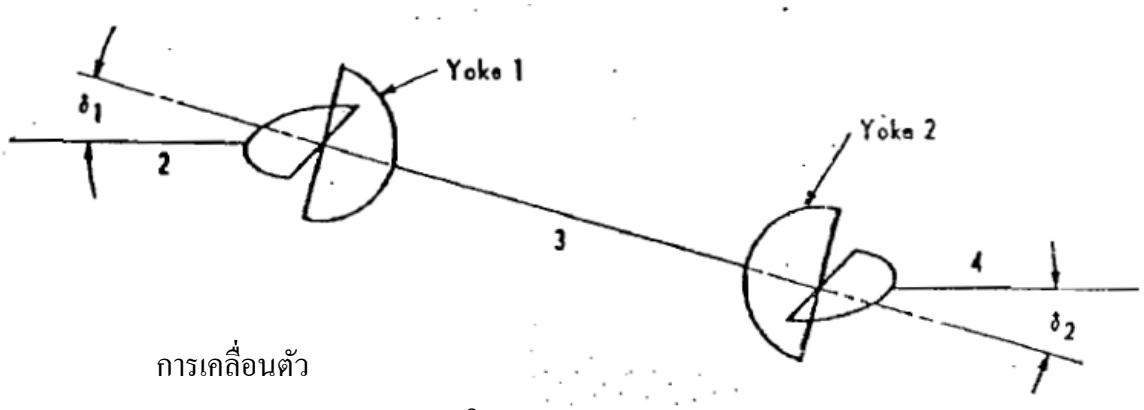
$$X=R\left(1-\cos\theta\right)+L\left[1-\sqrt{1-\left(\frac{R}{L}\right)^2\sin^2\theta}\,\right]$$

6.2 SCOTCH YOKE



$$X = R\cos\theta$$

6.3 HOOK'S UNIVERSAL JOINT



การเคลื่อนตัว

$$\tan\theta_3 = \frac{\tan\theta_2}{\cos\delta}$$

ความเร็ว

$$\frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{\cos\delta}{1-\sin^2\theta_3\sin^2\delta} \quad \text{ซึ่ง } \omega_2 \neq \omega_3$$

แต่ถ้าหากใช้ UNIVERSAL JOINT 2 ตัว ทำมุม δ เท่ากัน

$$\frac{\omega_2}{\omega_3} = \frac{\omega_2}{\omega_3} \times \frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{\cos\delta}{1-\sin^2\theta_3\sin^2\delta} \times \frac{1-\sin^2\theta_3\sin\delta}{\cos\delta}$$

$$= 1 \text{ หรือ } \omega_2 = \omega_4 \text{ ตลอดเวลา}$$

7. <u>การใช้และการระวังรักษา</u>

อุปกรณ์สาธิตต่างๆ นี้ทำด้วยโลหะหนและชุบ จึงมั่นใจได้ว่าจะทนทานต่อการใช้งานของนักศึกษาเป็นอย่างดี แต่ก็ใคร่ขอให้ใช้ความระวังในเรื่องต่างๆ ต่อไปนี้ด้วย เพื่อให้อุปกรณ์เหล่านี้ใช้งานได้นานที่สุดที่จะนานได้

7.1 ชิ้นส่วนตัวนำได้ออกแบบไว้ให้หมุนเบาๆ ได้ด้วยมือ หากหมุนแล้วแกนชิ้นส่วนตัวนำไม่หมุนตาม SET SCREW อาจจะหลวมให้ใช้ไขควงขันให้แน่นก่อน

7.2 กรณีที่ชิ้นส่วนฝืดหมุนลำบากให้หยอดน้ำมันลงในรูของแกนหมุนที่มีไว้ ชิ้นส่วนที่เลื่อนไปมาในร่องอาจจะหยอดน้ำมันเช่นเดียวกัน หรือใช้จารบีลูบบางๆ

7.3 จานองศาและบรรทัดระยะเจาะรูเพื่อขันกับเหล็กข้างหลัง โดยรูนี้จะทำให้รีไว้เล็กน้อย เพื่อให้ขยับไปมา เพื่อตั้งระยะศูนย์ได้ โดยคลายสกรูที่ขันออกขยับจานองศาหรือบันทัดเล็กน้อย ให้ได้ศูนย์แล้วขันสกรูให้แน่นตามเดิม เมื่อตั้งศูนย์ได้ที่แล้วก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องปรับอีก

7.4 ในกรณีที่อุปกรณ์เปรอะเปื้อนหรือสกปรก ควรขัดด้วยยาขัดโลหะ

8. ใบบันทึกข้อมูลการทดลอง

ชุดกลไก MM 210

วันที่ .....

ผู้ทำการทดลอง .....

ตำแหน่งของชิ้นส่วนตัวนำ ชิ้นที่ 2 (องศา)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	หมายเหตุ
กลไก Slider Crank 3 – 1 ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (ซม.)														
กลไก Slider Link 3 – 3 ตำแหน่งของชิ้นที่ 6 (ซม.)														
กลไก Witworth Quick 3 – 4 Return ตำแหน่งของชิ้นที่ 6 (ซม.)														
กลไก Four Bar Linkage 3 – 2 ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (องศา)														
กลไก Scotch Yoke 3 – 5 ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (ซม.)														
กลไก Constant Velocity 3 – 8 Joint ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (องศา)														
กลไก Geneva Stop 3 – 9 ตำแหน่งของชิ้นที่ 3 (องศา)														
กลไก Cam and Follower 3 – 10 ตำแหน่งของชิ้นที่ 3 (ซม.)														
กลไก Oldham Coupling 3 – 6 ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (องศา)														
กลไก Epicyclic Gear Train 3-11 ตำแหน่งของชิ้นที่ 3 (องศา)														

ตำแหน่งของชิ้นส่วนตัวนำ ชิ้นที่ 2 (องศา)	0 120 240	10 130 250	20 140 260	30 150 270	40 160 280	50 170 290	60 180 300	70 190 310	80 200 320	90 210 330	100 220 340	110 230 350	120 240 360	หมายเหตุ
กลไก Hook Universal Joint 3 - 7 ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (องศา)														

8. ใบบันทึกข้อมูลการทดลอง

ชุดกลไก MM 210

วันที่ .....

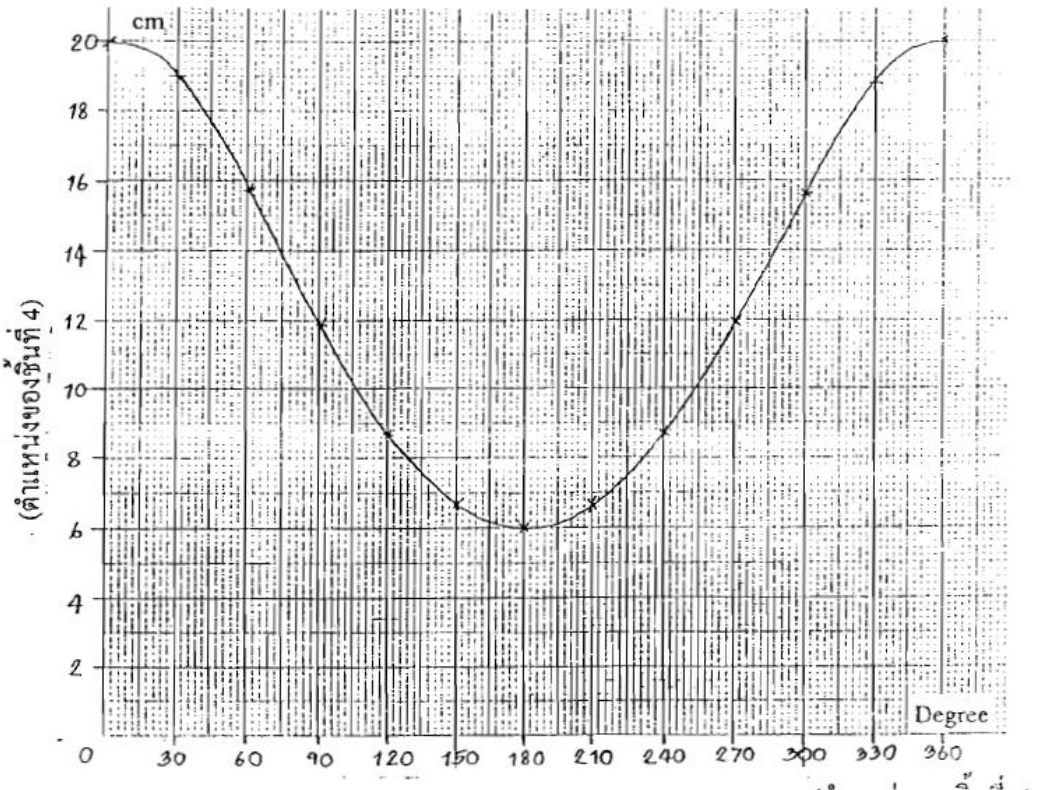
ผู้ทำการทดลอง .....

ตำแหน่งของชิ้นส่วนตัวนำ ชิ้นที่ 2 (องศา)	**0**	**30**	**60**	**90**	**120**	**150**	**180**	**210**	**240**	**270**	**300**	**330**	**360**	**หมายเหตุ**
กลไก Double Epicyclic ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (องศา)														
กลไก Double Epicyclic ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (องศา)														

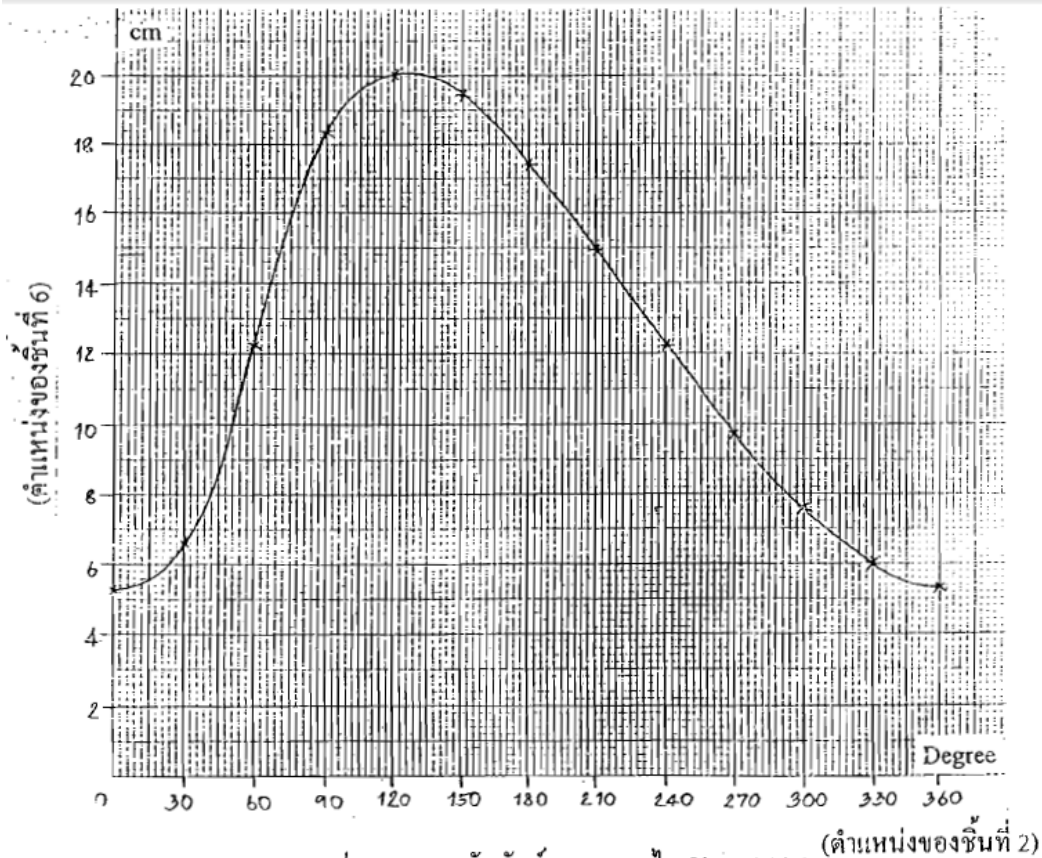
ตำแหน่งของชิ้นส่วนตัวนำ ชิ้นที่ 2 (องศา)	**0**	**180**	**360**	**0**	**180**	**360**	**0**	**180**	**360**	**0**	**180**	**360**	**0**	**180**	**360**	**หมายเหตุ**
กลไก Double Epicyclic ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (องศา)																

ตำแหน่งของชิ้นส่วนตัวนำ ชิ้นที่ 2 (องศา)	**0**	**30**	**60**	**90**	**120**	**150**	**180**	**210**	**240**	**270**	**300**	**330**	**360**	**หมายเหตุ**
กลไก Triple Epicyclic ตำแหน่งของชิ้นที่ 4 (องศา)														

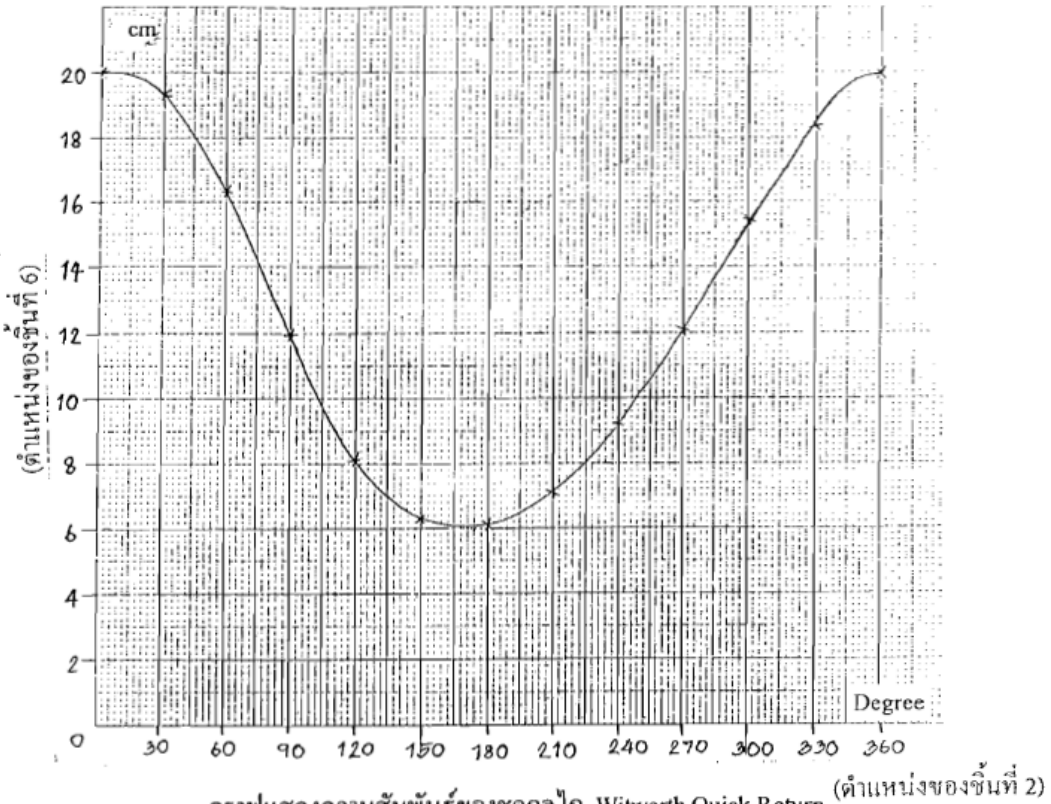
9. ตัวอย่างกราฟ



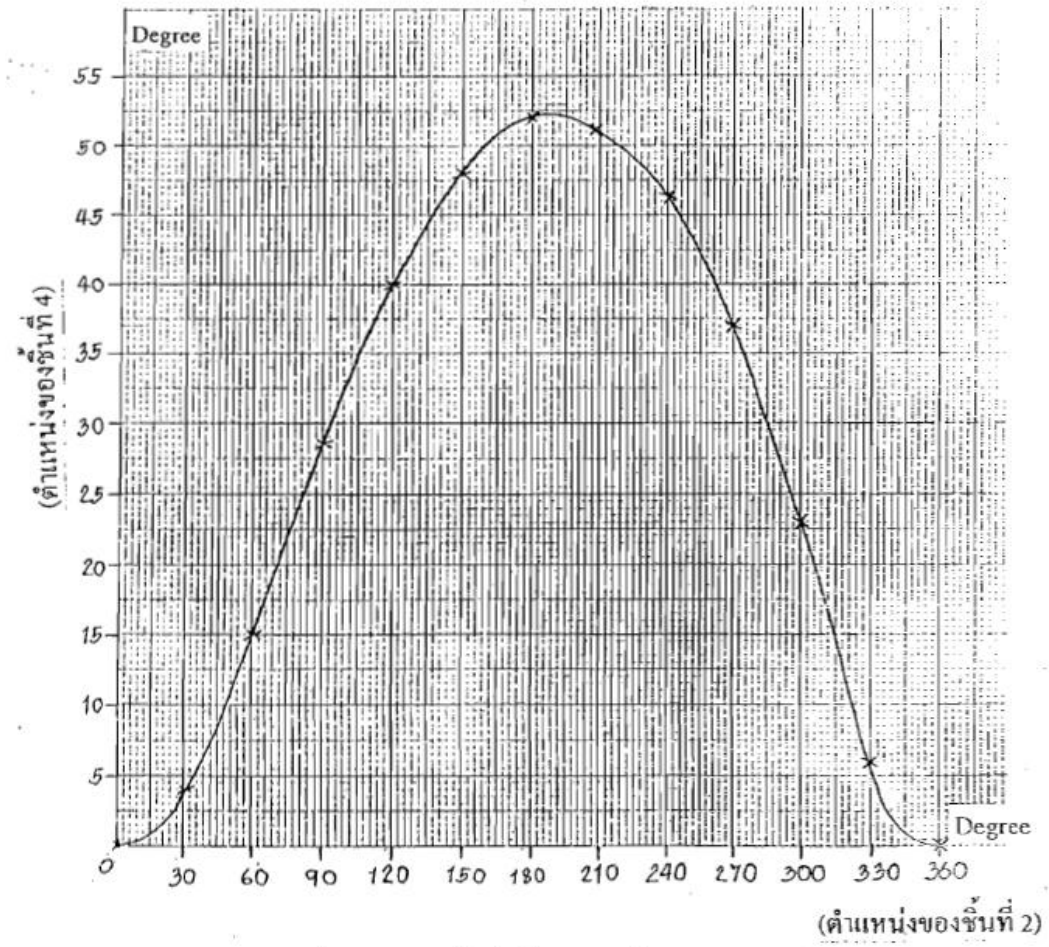
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Slider Crank



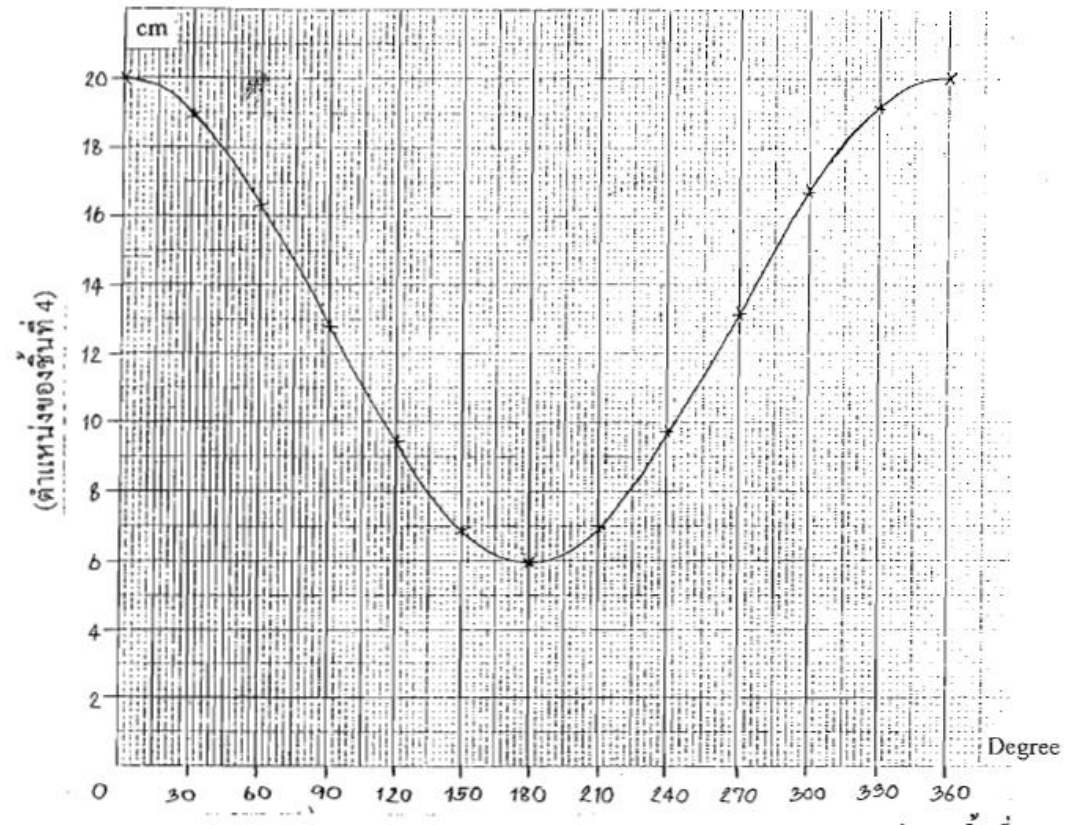
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Slotted Link



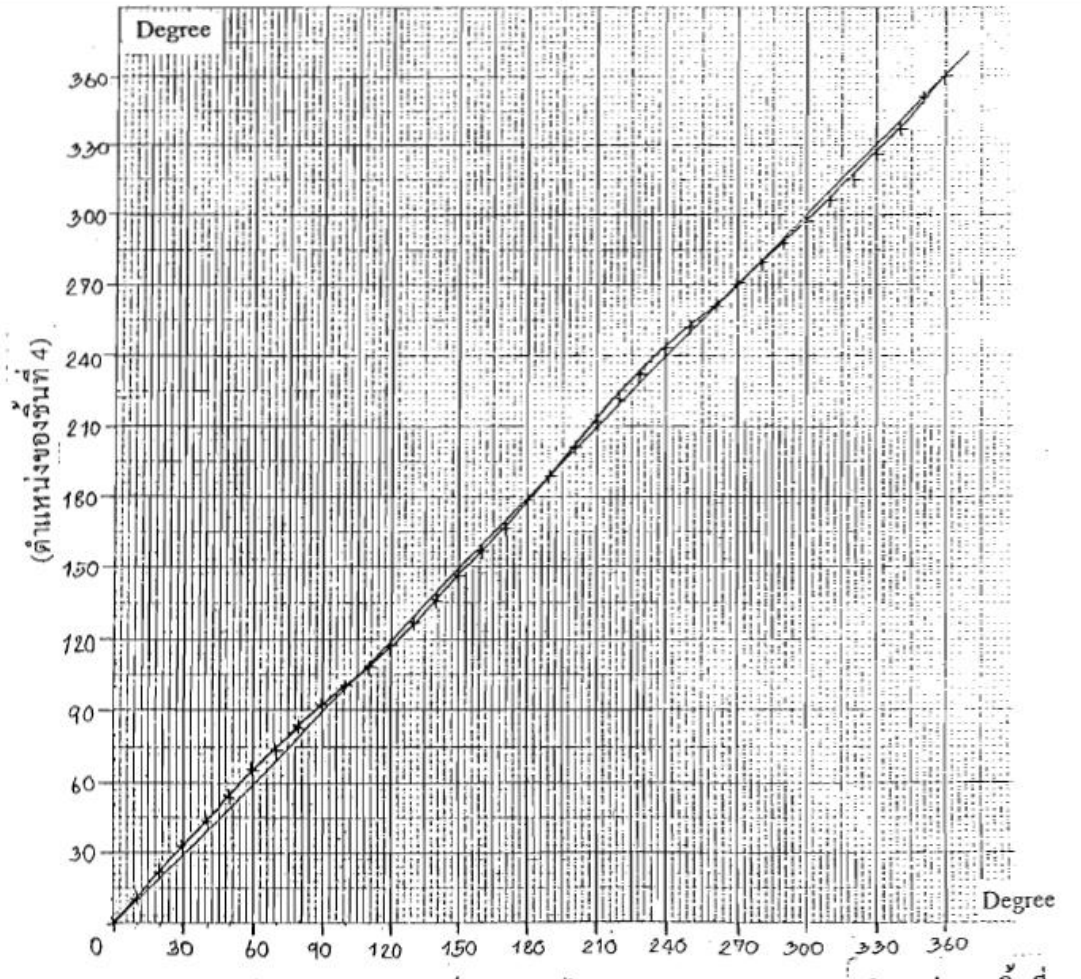
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Witworth Quick Return



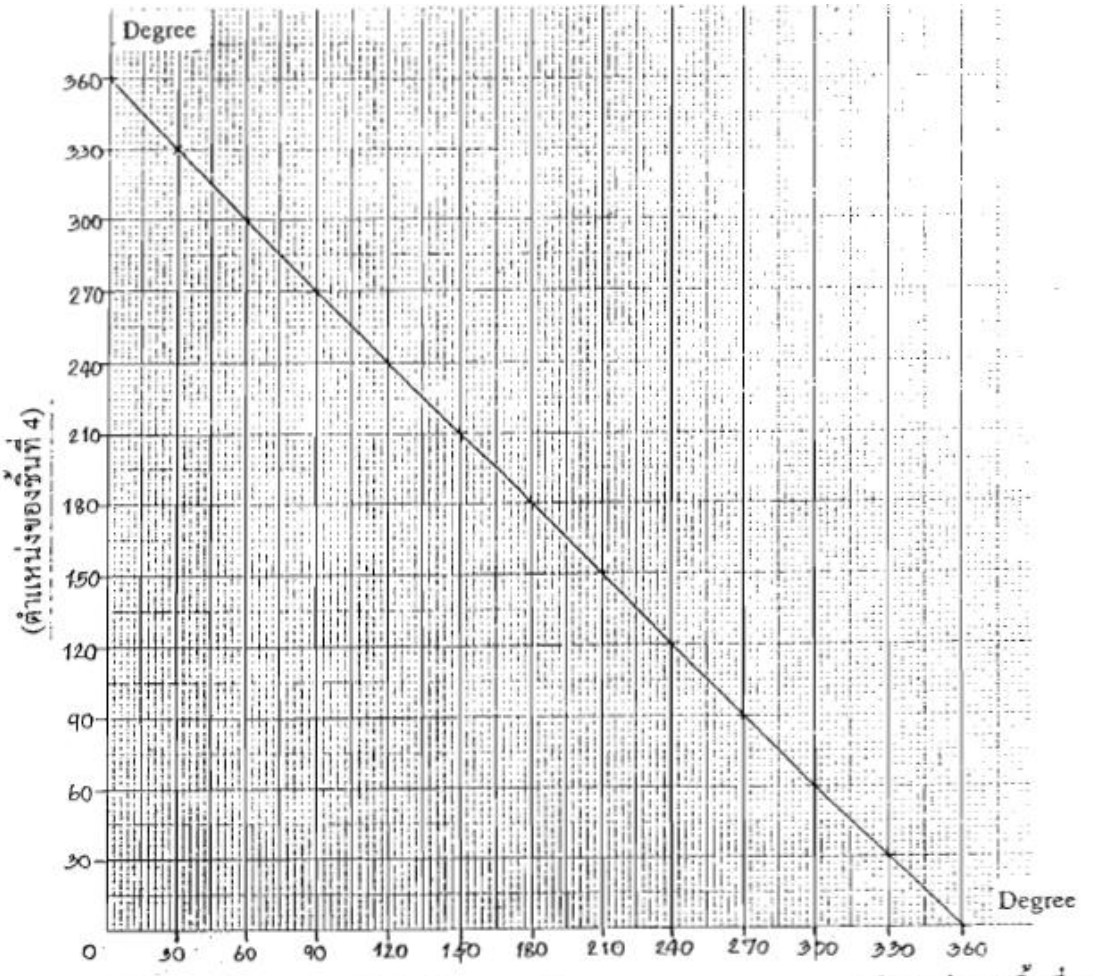
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Four Bar Linkage



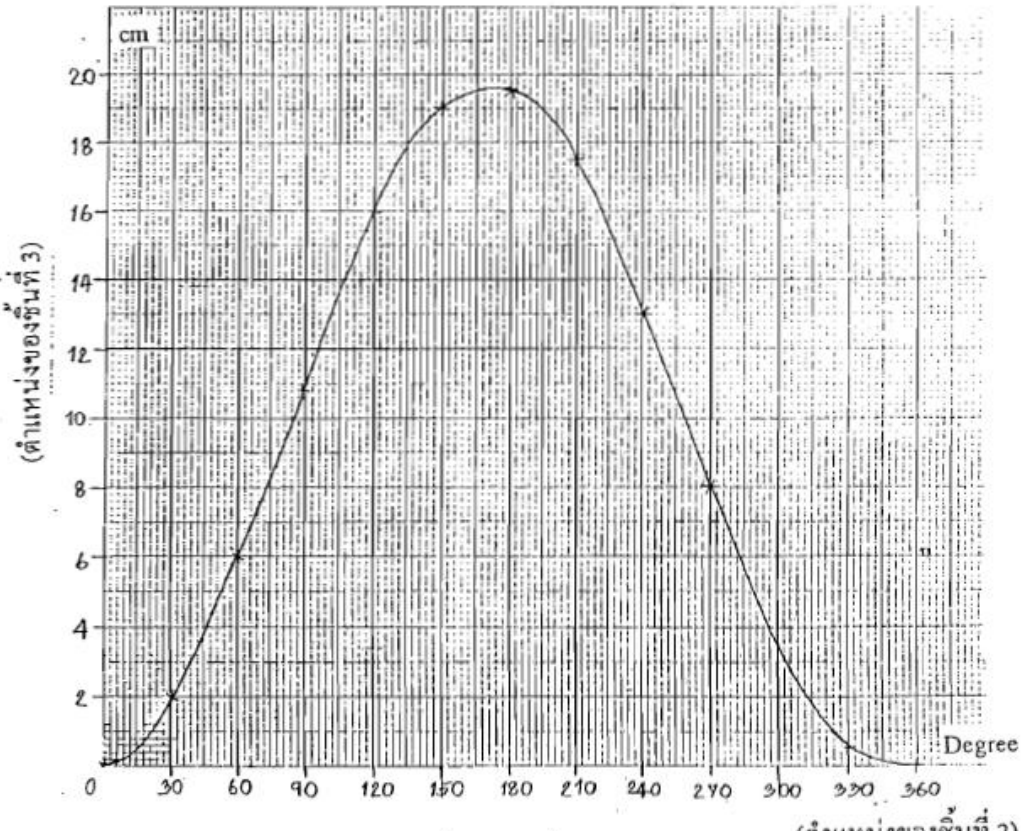
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Scotch Yoke



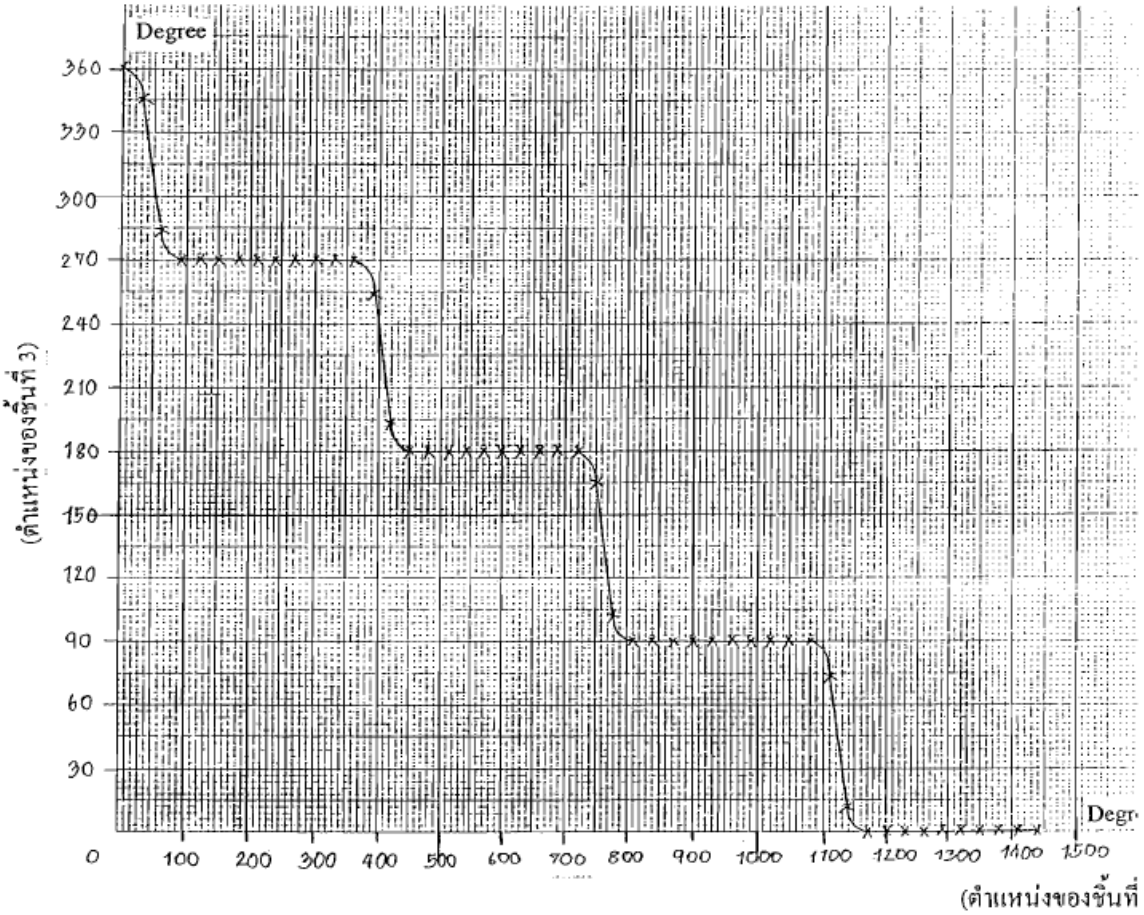
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Hook Universal Joint



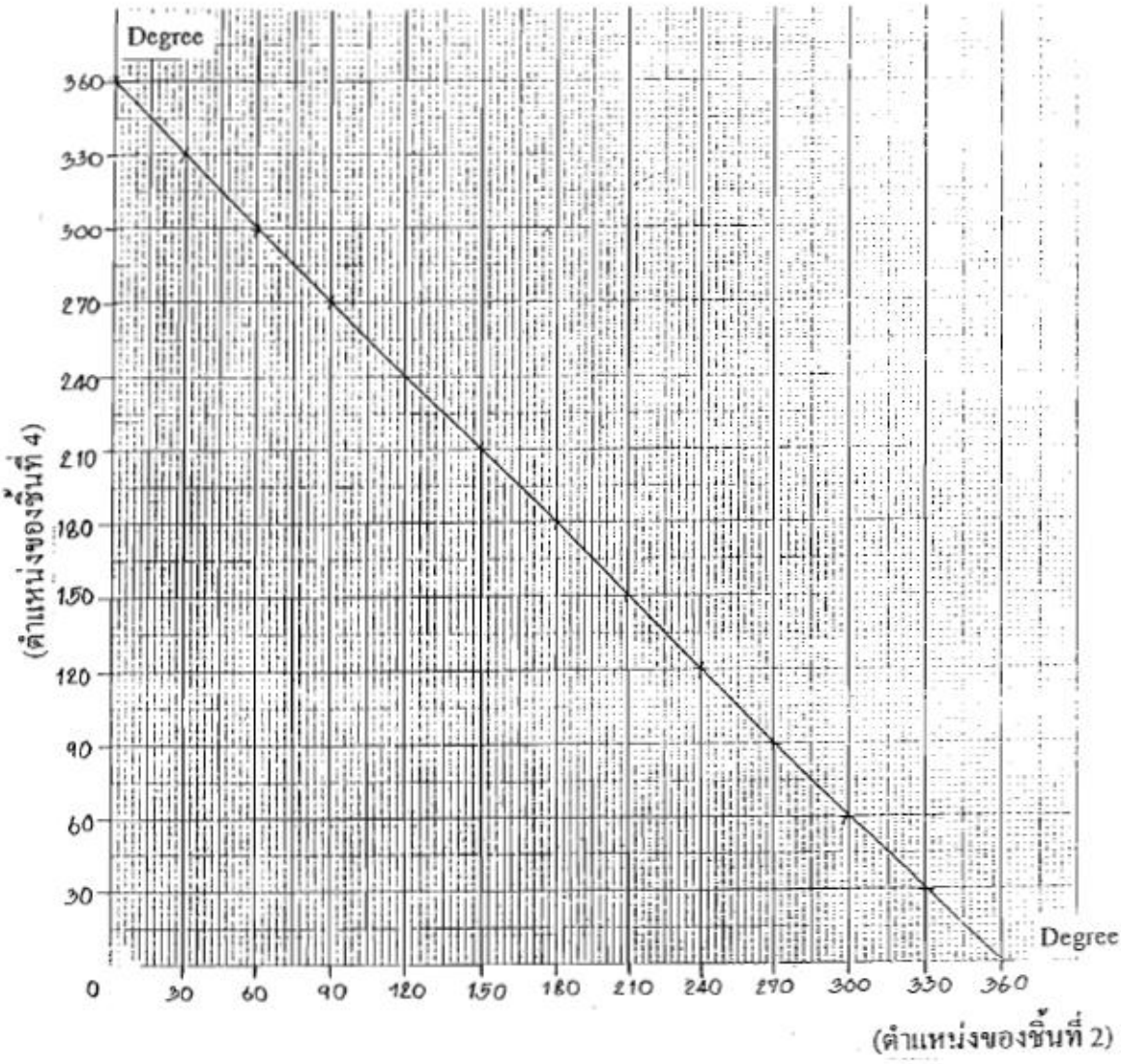
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Constant Velocity Joint



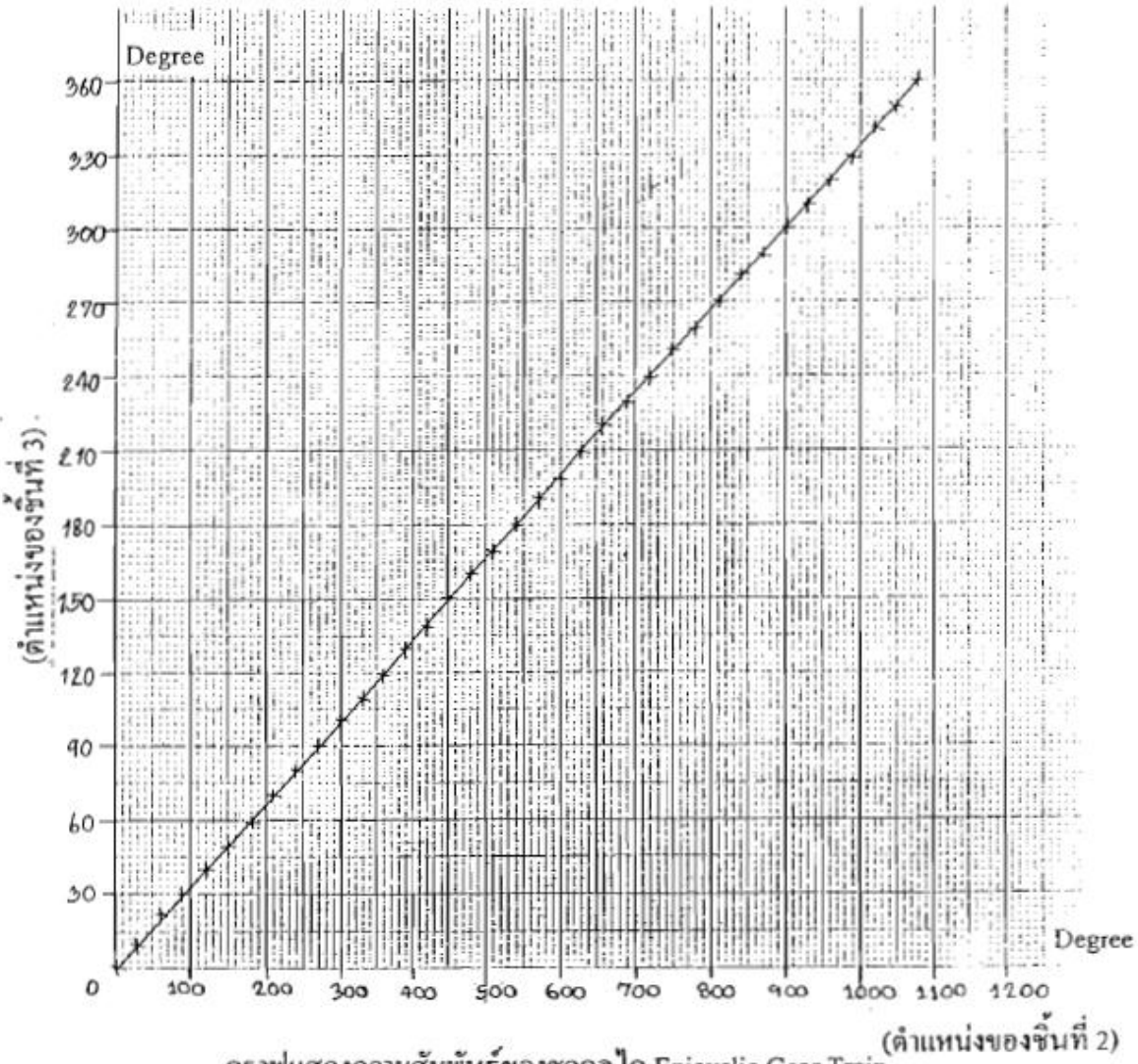
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Cam and Follower



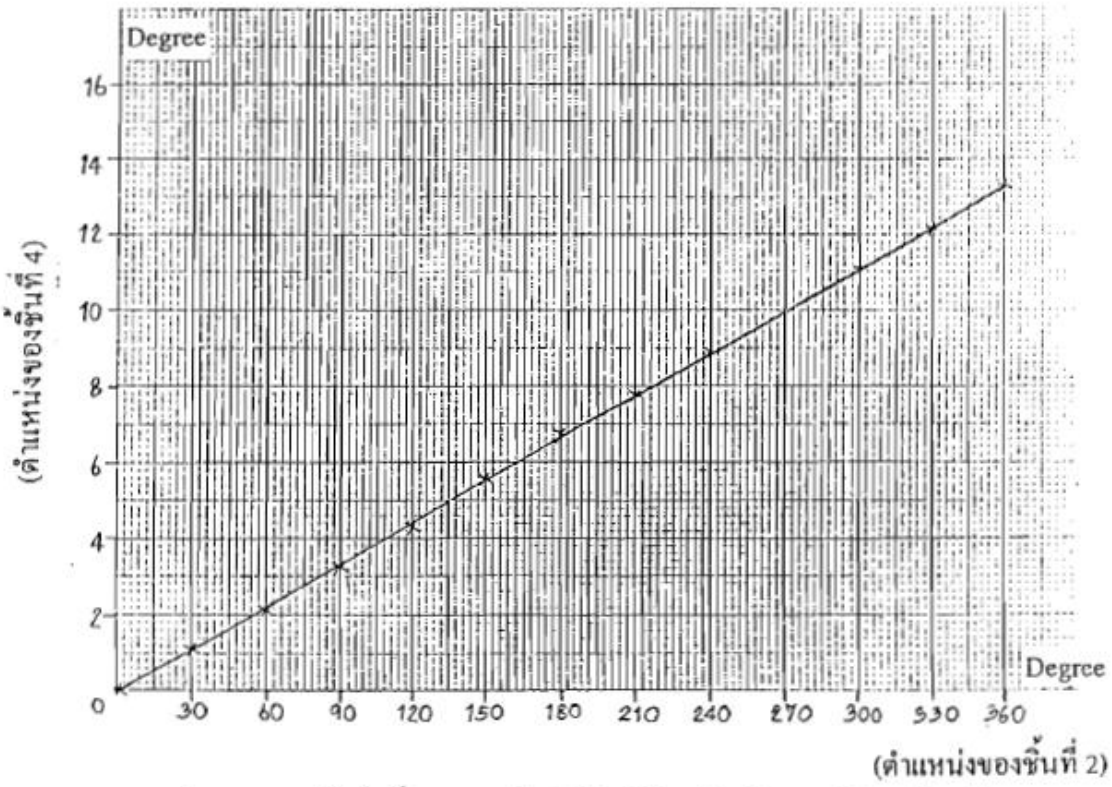
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Geneva Stop



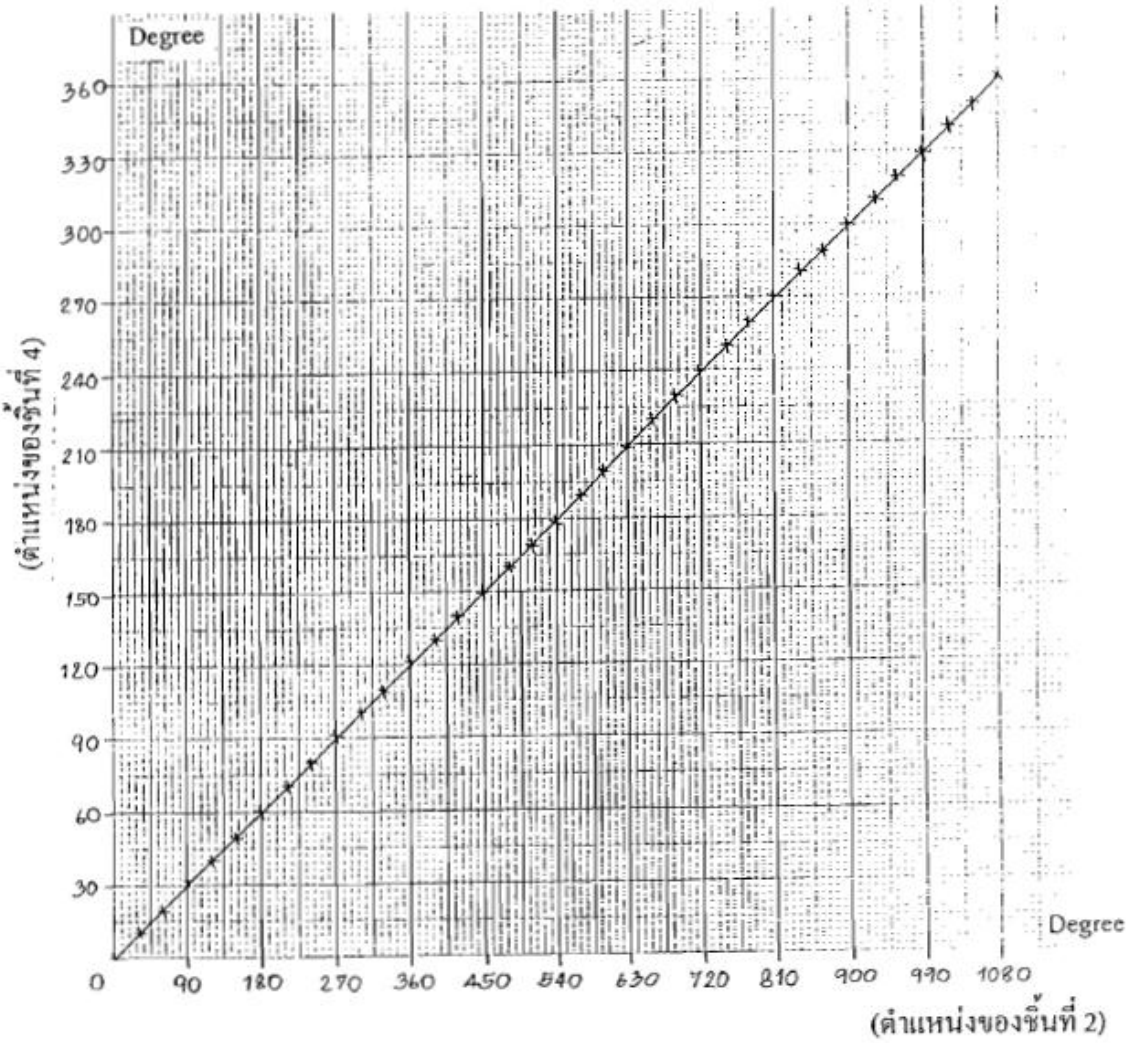
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Oldham Coupling



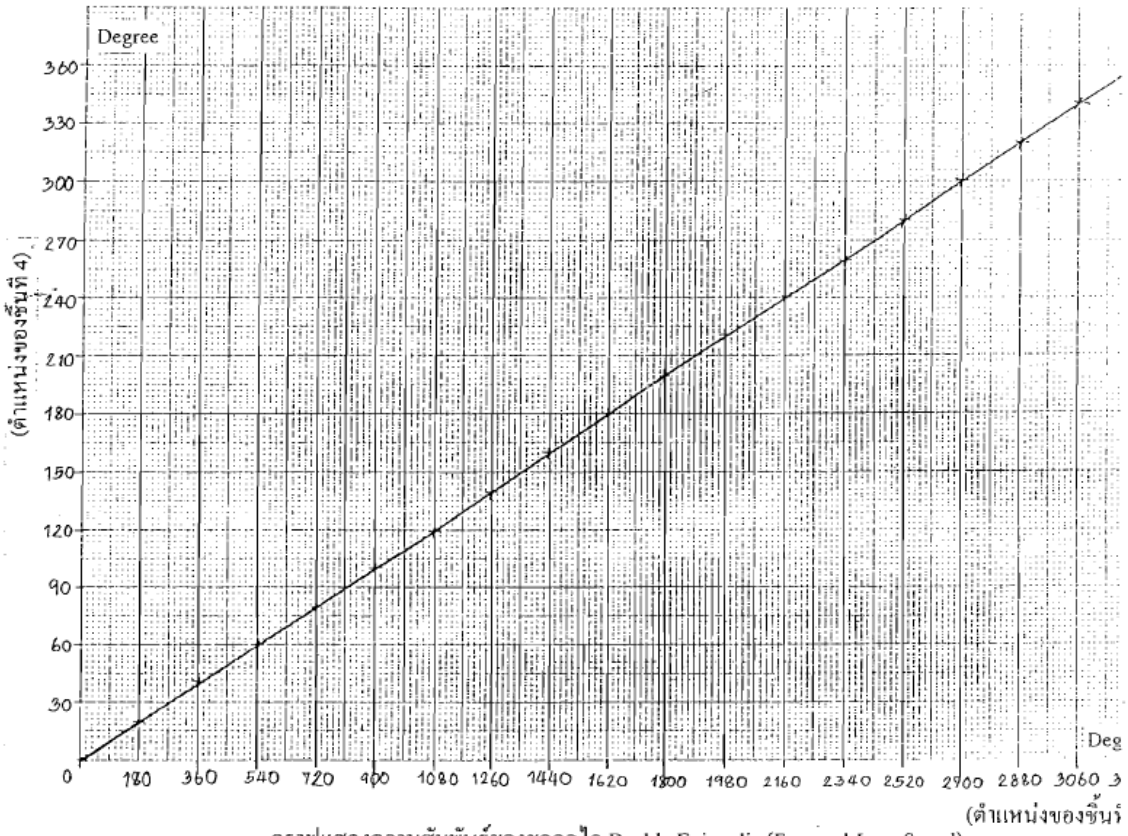
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Epicyclic Gear Train



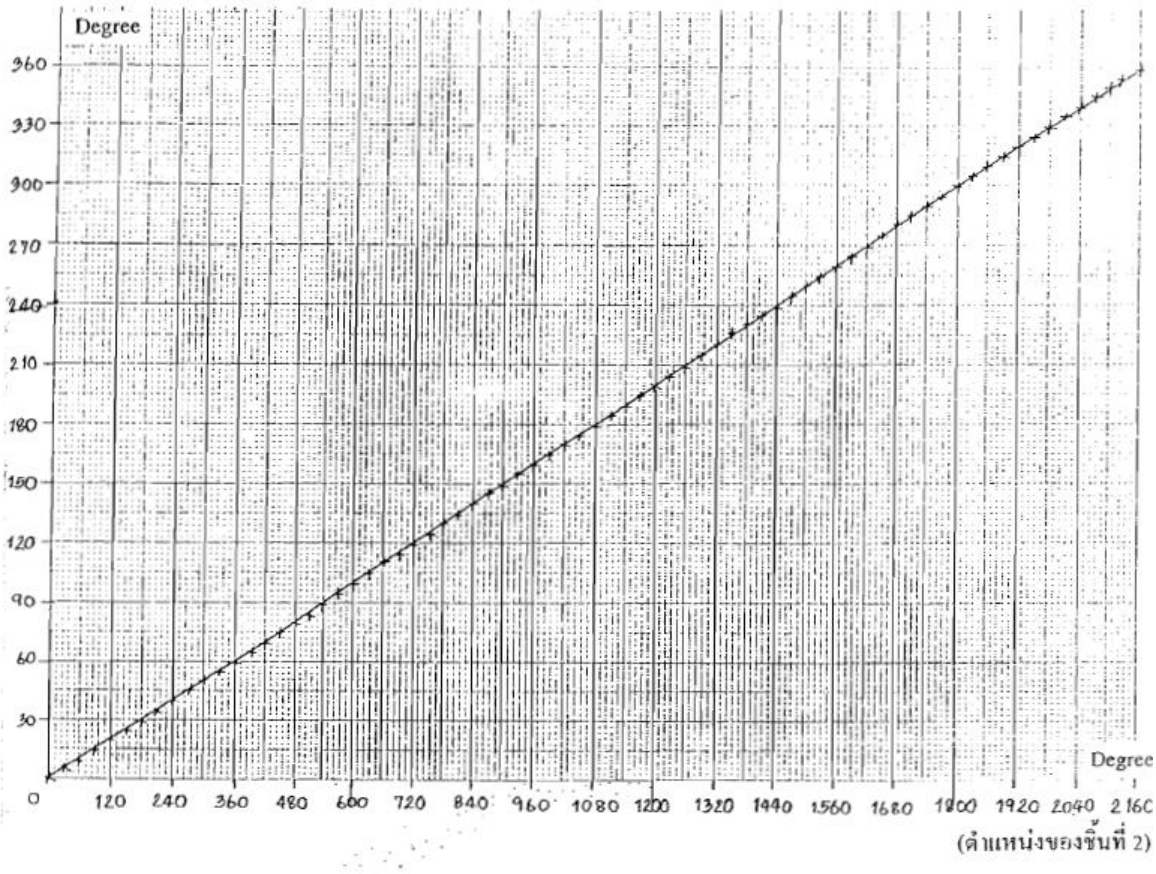
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Triple Epicyclic (Forward-Low-Speed)



กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Double Epicyclic (Forward-Hi-Speed)



กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Double Epicyclic (Forward-Low-Speed)

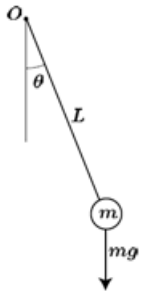


กราฟแสดงความสัมพันธ์ของชุดกลไก Double Epicyclic (Reverse)

การทดลองที่ 1
การทดลองลูกตุ้มอย่างง่าย

1. บทนำ

การแกว่งกวัดของลูกตุ้มอย่างง่ายเป็นตัวอย่างหนึ่งของการสั่นแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วง (Free vibration with negligible damping) จากรูปที่ 1 เมื่อใช้กฎข้อที่สองของนิวตันสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น



รูปที่ 1 ลูกตุ้มอย่างง่าย

$$\sum \vec{F}_\theta = m\vec{a}_\theta$$
$$-mg\sin\theta = mL\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

พิจารณาว่ามุม θ มีขนาดเล็ก ทำให้ $\sin\theta \approx \theta$

$$-mg\theta = mL\frac{d^2\theta}{dt^2}$$
$$L\frac{d^2\theta}{dt^2} + g\theta = 0$$
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left[\frac{g}{L}\right]\theta = 0 \qquad (1)$$

โดย L คือ ระยะจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้ม

ทำให้ได้สมการความเร็วเชิงมุมเป็น

$$\omega^2 = \frac{g}{L}$$

สมการความถี่ของการเคลื่อนที่เป็น

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}} \qquad (2)$$

และสมการคาบของการเคลื่อนที่เป็น

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (3)$$

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

(1) เพื่อศึกษาการแกว่งกวัดของลูกตุ้มอย่างง่าย

(2) เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

3. อุปกรณ์การทดลอง

(1) TM 16 Universal Vibration Apparatus

(2) B1 Pendulum sub-frame (cross beam)

(3) B2 Simple pendulumn - Wood ball

(4) B3 Simple pendulum – Steel ball

(5) นาฬิกาจับเวลา

4. วิธีการทดลอง

(1) ปรับระยะจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้มอย่างง่าย (ระยะ L) ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(2) แขวนชุดทดลองลูกตุ้มอย่างง่ายบนคานขวาง

(3) ดึงลูกตุ้มจากตำแหน่งสมดุลโดยให้เอียงทำมุมไม่เกิน 10° กับแนวดิ่ง

(4) ปล่อยลูกตุ้มให้เคลื่อนที่แล้วนับเวลาการแกว่งกวัดเมื่อการแกว่งกวัดครบ 50 รอบ จากนั้นให้บันทึกเวลาการแกว่งกวัดในตารางที่ 1 โดยทำการนับเวลา 3 ครั้ง

(5) เปลี่ยนระยะ L ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(6) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (3) - (5) จนครบทุกระยะ L ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(7) นำผลการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 1 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 (แกน y) และ L (แกน x) เพื่อหาค่าความชันของเส้นตรง ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

(8) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (1) – (7) โดยเปลี่ยนชุดทดลองลูกตุ้มอย่างง่ายจากลูกตุ้มไม้เป็นลูกตุ้มเหล็ก

5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลองลูกตุ้มไม้

Simple pendulum - Wood ball						
L (m)	Time 1 (s)	Time 2 (s)	Time 3 (s)	Time (s)	T (s)	T^2 (s^2)
0.10						
0.15						
0.20						
0.25						
0.30						
0.35						
0.40						
0.45						
0.50						

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลองลูกตุ้มเหล็ก

Simple pendulum - Steel ball						
L (m)	Time 1 (s)	Time 2 (s)	Time 3 (s)	Time (s)	T (s)	T^2 (s^2)
0.10						
0.15						
0.20						
0.25						
0.30						
0.35						
0.40						
0.45						
0.50						

6. แนวทางในการสรุปผลการทดลอง

(1) ในการแกว่งกวัดของลูกตุ้มอย่างง่าย คาบในการแกว่งกวัดขึ้นอยู่กับมวลหรือไม่

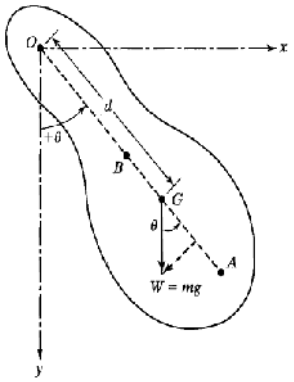
(2) ในการแกว่งกวัดของลูกตุ้มอย่างง่าย คาบในการแกว่งกวัดขึ้นอยู่กับความยาวหรือไม่

(3) ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลองต่างจากค่าจริงหรือไม่ ถ้าต่างเป็นเพราะเหตุใด

การทดลองที่ 2
การทดลองลูกตุ้มผสม

1. บทนำ

วัตถุเกร็งที่มีการแกว่งกวัดรอบแกนหมุนที่อยู่ในแนวระนาบ ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น



รูปที่ 1 ลูกตุ้มผสม

$$\sum M_O = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$-(mg\sin\theta)\times d = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

พิจารณาว่ามุม θ มีขนาดเล็ก ทำให้ $\sin\theta \approx \theta$

$$-mgd\theta = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left[\frac{mgd}{I_O}\right]\theta = 0 \qquad (1)$$

โดย m คือ มวลของวัตถุ

d คือ ระยะจากแกนหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ

θ คือ การกระจัดเชิงมุม

I_O คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรอบแกนหมุน ซึ่ง

$$I_O = m(k^2 + d^2) \quad (2)$$

แทนสมการ (2) ในสมการ (1) ทำให้ได้ว่า

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left[\frac{gd}{k^2 + d^2}\right]\theta = 0$$

ทำให้ได้สมการความเร็วเชิงมุมเป็น

$$\omega^2 = \frac{gd}{(k^2 + d^2)}$$

สมการความถี่ของการเคลื่อนที่เป็น

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{gd}{(k^2 + d^2)}} \quad (3)$$

และสมการคาบของการเคลื่อนที่เป็น

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(k^2 + d^2)}{gd}} \quad (4)$$

จากสมการ (4) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$T^2 d = \frac{4\pi^2}{g}d^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{g} \quad (5)$$

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

(1) เพื่อศึกษาการแกว่งกวัดของลูกตุ้มผสม

(2) เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

(3) เพื่อหาค่ารัศมีไจเรชั่นของวัตถุ

3. อุปกรณ์การทดลอง

(1) TM 16 Universal Vibration Apparatus

(2) B1 Pendulum sub-frame (cross beam)

(3) B6 Simple bob pendulum

(4) นาฬิกาจับเวลา

4. วิธีการทดลอง

(1) หาตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของแกนเหล็ก (จุดกึ่งกลางตามแนวความยาวของแกนเหล็ก)

(2) สวมลูกตุ้มเหล็กกับแกนเหล็ก โดยให้ลูกตุ้มเหล็กอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของแกนเหล็ก

(3) ปรับระยะ L ของแกนเหล็กดังกำหนดตามตารางที่ 1 จากนั้นให้กวดแน่นตัวรองรับแบบคมมีด

(4) วัดระยะจากแกนหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้มเหล็ก (ระยะ d) จากนั้นบันทึกค่า d ในตารางที่ 1

(5) วางชุดทดลองลูกตุ้มผสมบนคานขวางโดยให้ตัวรองรับแบบคมมีดอยู่บนร่องตัววี เพื่อให้ชุดลูกตุ้มผสมแกว่งกวัดแบบอิสระ ปราศจากการหมุนของตัวรองรับ

(6) ดึงลูกตุ้มผสมจากตำแหน่งสมดุลโดยให้เอียงทำมุมไม่เกิน 10° กับแนวดิ่ง

(7) ปล่อยลูกตุ้มผสมให้เคลื่อนที่แล้วนับเวลาการแกว่งกวัดเมื่อการแกว่งกวัดครบ 50 รอบ จากนั้นให้บันทึกเวลาการแกว่งกวัดในตารางที่ 1 โดยทำการนับเวลา 3 ครั้ง

(8) เปลี่ยนระยะ L ของแกนเหล็ก ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(9) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (3) - (8) จนครบทุกระยะ L ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(10)นำผลการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 1 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T^2d (แกน y) และ d^2 (แกน x) เพื่อหาค่าความชันของเส้นตรงและจุดตัดแกน y ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกและค่ารัศมีไจเรชั่น

5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

L (m)	d (m)	Time 1	Time 2	Time 3	Time	T (s)	d^2	T^2d
0.65								
0.70								
0.75								
0.80								
0.85								

6. แนวทางในการสรุปผลการทดลอง

(1) ในการแกว่งกวัดของลูกตุ้มผสม คาบในการแกว่งกวัดขึ้นอยู่กับความยาวหรือไม่

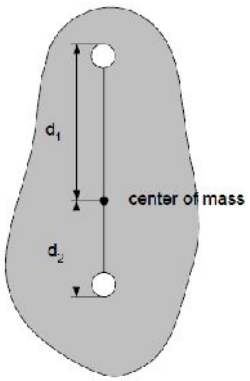
(2) ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลองต่างจากค่าจริงหรือไม่ ถ้าต่างเป็นเพราะเหตุใด

(3) ค่ารัศมีไจเรชั่นที่ได้จากการทดลองต่างจากค่าจริงหรือไม่ ถ้าต่างเป็นเพราะเหตุใด

การทดลองที่ 3
การทดลองลูกตุ้มเคเตอร์

1. บทนำ

ลูกตุ้มเคเตอร์ (Kater) เป็นอุปกรณ์สำหรับหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีความแตกต่างจากลูกตุ้มอย่างง่ายและลูกตุ้มผสมตรงที่ลูกตุ้มเคเตอร์จะมีตัวรองรับสองตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 การแกว่งกวัดของลูกตุ้มเคเตอร์รอบแกนหมุนที่อยู่ในแนวระนาบ เมื่อใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น



รูปที่ 1 ลูกตุ้มเคเตอร์

$$\sum M_O = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$-(mg\sin\theta)\times d = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

พิจารณาว่ามุม θ มีขนาดเล็ก ทำให้ $\sin\theta \approx \theta$

$$-mgd\theta = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left[\frac{mgd}{I_O}\right]\theta = 0 \qquad (1)$$

โดย m คือ มวลของวัตถุ

d คือ ระยะจากแกนหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ

θ คือ การกระจัดเชิงมุม

I_O คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรอบแกนหมุน ซึ่ง

$$I_O = m(k^2 + d^2) \tag{2}$$

แทนสมการ (2) ในสมการ (1) ทำให้ได้ว่า

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left[\frac{gd}{k^2 + d^2}\right]\theta = 0$$

ทำให้ได้สมการความเร็วเชิงมุมเป็น

$$\omega^2 = \frac{gd}{(k^2 + d^2)}$$

สมการความถี่ของการเคลื่อนที่เป็น

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{gd}{(k^2 + d^2)}} \tag{3}$$

และสมการคาบของการเคลื่อนที่เป็น

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(k^2 + d^2)}{gd}} \tag{4}$$

พิจารณาการแขวนตัวรองรับตัวบน ทำให้ได้คาบของการเคลื่อนที่เป็น

$$\tau_1 = 2\pi\sqrt{\frac{(k^2 + h_1^2)}{gh_1}} \tag{5}$$

พิจารณาการแขวนตัวรองรับตัวล่าง ทำให้ได้คาบของการเคลื่อนที่เป็น

$$\tau_2 = 2\pi\sqrt{\frac{(k^2 + h_2^2)}{gh_2}} \tag{6}$$

จากสมการ (5) และ (6) ทำให้ได้

$$\frac{4\pi^2}{g} = \frac{\tau_1^2 + \tau_2^2}{2(h_1 + h_2)} + \frac{\tau_1^2 - \tau_2^2}{2(h_1 - h_2)} \tag{7}$$

และสามารถเขียนสมการความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้เป็น

$$g = \frac{8\pi^2}{\left[\frac{\tau_1^2 + \tau_2^2}{h_1 + h_2}\right] + \left[\frac{\tau_1^2 - \tau_2^2}{h_1 - h_2}\right]} \tag{8}$$

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

(1) เพื่อศึกษาการแกว่งกวัดของลูกตุ้มเคเตอร์

(2) เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

3. อุปกรณ์การทดลอง

(1) TM 16 Universal Vibration Apparatus

(2) B1 Pendulum sub-frame (cross beam)

(3) B4 Kater (Adjustable) pendulum

(4) นาฬิกาจับเวลา

4. วิธีการทดลอง

(1) ปรับระยะห่างระหว่างตัวรองรับดังกำหนดตามตารางที่ 1 จากนั้นให้กวดแน่นตัวรองรับ

(2) ปรับตำแหน่งมวลรูปทรงกระบอกเพื่อให้ได้ระยะ h_1 และ h_2 ดังกำหนดตามตารางที่ 1 จากนั้นให้กวดแน่นมวลรูปทรงกระบอก โดยระยะ h_1 และ h_2 วัดจากจุดศูนย์กลางมวลของมวลรูปทรงกระบอกถึงตัวรองรับ

(3) วางชุดทดลองลูกตุ้มเคเตอร์บนคานขวางโดยให้ตัวรองรับอยู่บนร่องตัววี เพื่อให้ชุดทดลองลูกตุ้มเคเตอร์แกว่งกวัดแบบอิสระ ปราศจากการหมุนของตัวรองรับ

(4) ดึงชุดทดลองลูกตุ้มเคเตอร์จากตำแน่งสมดุล โดยให้เอียงทำมุมไม่เกิน $20°$ กับแนวดิ่ง

(5) ปล่อยชุดทดลองลูกตุ้มเคเตอร์ แล้วนับเวลาการแกว่งกวัดเมื่อการแกว่งกวัดครบ 50 รอบ จากนั้นให้บันทึกเวลาการแกว่งกวัดในตารางที่ 1 เพื่อหาค่า τ_1 โดยทำการนับเวลา 3 ครั้ง

(6) กลับตำแหน่งชุดทดลองลูกตุ้มเคเตอร์ โดยนำตัวรองรับด้านล่างมาวางบนร่องตัววีของคานขวาง

(7) ดึงชุดทดลองลูกตุ้มเคเตอร์จากตำแน่งสมดุล โดยให้เอียงทำมุมไม่เกิน $20°$ กับแนวดิ่ง

(8) ปล่อยชุดทดลองลูกตุ้มเคเตอร์ แล้วนับเวลาการแกว่งกวัดเมื่อการแกว่งกวัดครบ 50 รอบ จากนั้นให้บันทึกเวลาการแกว่งกวัดในตารางที่ 1 เพื่อหาค่า τ_2 โดยทำการนับเวลา 3 ครั้ง

(9) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (3) - (8) จนครบทุกระยะ h_1 และ h_2 ดังกำหนดตามตารางที่ 2 โดยให้นับเวลาการแกว่งกวัดเมื่อการแกว่งกวัดครบ 150 รอบ จากนั้นให้บันทึกเวลาการแกว่งกวัดในตารางที่ 2 โดยทำการนับเวลา 3 ครั้ง

(10)คำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามสมการ (8)

5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลอง จำนวนรอบการแกว่งกวัด 50 รอบ

No.	h_1 (m)	h_2 (m)	L (m)	Time 1	Time 2	Time 3	Time
1	0.20	0.30	0.50				
2	0.30	0.20	0.50				

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลอง จำนวนรอบการแกว่งกวัด 150 รอบ

No.	h_1 (m)	h_2 (m)	L (m)	Time 1	Time 2	Time 3	Time
1	0.20	0.30	0.50				
2	0.30	0.20	0.50				

ตารางที่ 3 ตารางบันทึกผลการคำนวณ

No.	h_1 (m)	h_2 (m)	Time(s)	τ_1 (s)	τ_2 (s)	จำนวน	g (m/s^2)
1	0.20	0.30			-	50	
2	0.30	0.20		-		50	
3	0.20	0.30			-	150	
4	0.30	0.20		-		150	
ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ย							

6. แนวทางในการสรุปผลการทดลอง

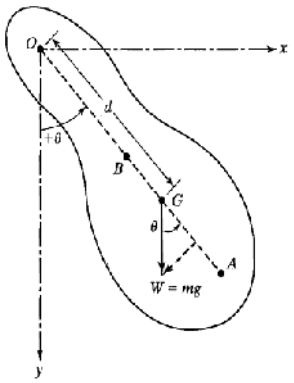
(1) ในการแกว่งกวัดของลูกตุ้มเคเตอร์ คาบในการแกว่งกวัดขึ้นอยู่กับตำแหน่งตัวรองรับหรือไม่

(2) ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลองต่างจากค่าจริงหรือไม่ ถ้าต่างเป็นเพราะเหตุใด

การทดลองที่ 4
การทดลองจุดศูนย์กลางเพอร์คัสชั่น

1. บทนำ

ลูกตุ้มผสมถูกแขวนอยู่บนจุดหมุนซึ่งอยู่ในแนวระนาบ ถ้ามีภาระแบบกระแทกกระทำที่ตำแหน่งใด ๆ ของลูกตุ้มผสม จะทำให้เกิดการแกว่งกวัดและแรงปฏิกิริยาที่จุดหมุน แต่ถ้าภาระแบบกระแทกกระทำที่จุดศูนย์กลางการแกว่งกวัด จะไม่ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาที่จุดหมุน ตำแหน่งดังกล่าวนี้เรียกว่าจุดศูนย์กลางเพอคัสชั่น วัตถุเกร็งที่มีการแกว่งกวัดรอบแกนหมุนที่อยู่ในแนวระนาบ ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น



รูปที่ 1 ลูกตุ้มผสม

$$\sum M_O = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$-(mg\sin\theta)\times d = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

พิจารณาว่ามุม θ มีขนาดเล็ก ทำให้ $\sin\theta \approx \theta$

$$-mgd\theta = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left[\frac{mgd}{I_O}\right]\theta = 0 \qquad (1)$$

โดย m คือ มวลของวัตถุ

d คือ ระยะจากแกนหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ

θ คือ การกระจัดเชิงมุม

I_O คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรอบแกนหมุน ซึ่ง

$$I_O = m(k^2 + d^2) \tag{2}$$

แทนสมการ (2) ในสมการ (1) ทำให้ได้ว่า

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left[\frac{gd}{k^2 + d^2}\right]\theta = 0$$

ทำให้ได้สมการความเร็วเชิงมุมเป็น

$$\omega^2 = \frac{gd}{(k^2 + d^2)}$$

สมการความถี่ของการเคลื่อนที่เป็น

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{gd}{(k^2 + d^2)}} \tag{3}$$

และสมการคาบของการเคลื่อนที่เป็น

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(k^2 + d^2)}{gd}} \tag{4}$$

จากสมการ (4) สามารถเขียนสมการรัศมีไจเรชั่นของวัตถุรอบแกนจุดศูนย์กลางมวลซึ่งขนานกับแกนหมุนได้เป็น

$$k^2 = \frac{\tau^2 gh}{4\pi^2} - h^2 \tag{5}$$

ระยะจุดศูนย์กลางเพอคัสชั่น สามารถหาได้จากสมการ

$$q = \frac{k^2 + h^2}{h} \qquad (6)$$

โดย q คือ ระยะจุดศูนย์กลางเพอคัสชั่น

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

(1) เพื่อศึกษาการแกว่งกวัดของลูกตุ้มผสมแบบไม้

(2) เพื่อหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางเพอร์คัสชั่นของลูกตุ้มผสมแบบไม้

3. อุปกรณ์การทดลอง

(1) TM 16 Universal Vibration Apparatus

(2) B1 Pendulum sub-frame (cross beam)

(3) B5 Wooden compound pendulum

(4) B6 Simple bob pendulum

(5) นาฬิกาจับเวลา

4. วิธีการทดลอง

4.1 วิธีการทดลอง ตอนที่ 1

(1) ปรับตำแหน่งก้อนมวลในลูกตุ้มผสมแบบไม้ (B5) ให้ได้ระยะ y ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(2) หาตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้มผสมแบบไม้ โดยการวางลูกตุ้มผสมแบบไม้ บนสันคมมีดที่อยู่บนไม้กระดานเพื่อหาตำแหน่งสมดุล

(3) วัดระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางก้อนมวลในลูกตุ้มผสมแบบไม้ ถึงตัวรองรับแบบคมมีด (ระยะ h) จากนั้นบันทึกค่า h ในตารางที่ 1

(4) วางชุดทดลองลูกตุ้มผสมแบบไม้บนคานขวาง โดยให้ตัวรองรับแบบคมมีดอยู่บนร่องตัววี เพื่อให้ชุดทดลองลูกตุ้มผสมแบบไม้แกว่งกวัดแบบอิสระ ปราศจากการหมุนของตัวรองรับ

(5) ดึงชุดทดลองลูกตุ้มผสมแบบไม้จากตำแหน่งสมดุล โดยให้เอียงทำมุมไม่เกิน $20°$ กับแนวดิ่ง

(6) ปล่อยชุดทดลองลูกตุ้มผสมแบบไม้ แล้วนับเวลาการแกว่งกวัดเมื่อการแกว่งกวัดครบ 20 รอบ จากนั้นให้บันทึกเวลาการแกว่งกวัดในตารางที่ 1 โดยทำการนับเวลา 3 ครั้ง

(7) เปลี่ยนระยะ y ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(8) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (1) - (7) จนครบทุกระยะ y ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(9) คำนวณหาค่า k ตามสมการ (5)

(10) ปรับความยาวของชุดทดลองลูกตุ้มผสม (B6) ให้มีขนาดเท่ากับความยาวของลูกตุ้มผสมแบบไม้ (B5)

(11) วางชุดทดลองลูกตุ้มผสมบนคานขวาง โดยให้ตัวรองรับแบบคมมีดอยู่บนร่องตัววี เพื่อให้ชุดลูกตุ้มผสมแกว่งกวัดแบบอิสระ ปราศจากการหมุนของตัวรองรับ

(12) ดึงชุดทดลองลูกตุ้มผสมจากตำแหน่งสมดุล จากนั้นปล่อยชุดทดลองลูกตุ้มผสม เพื่อให้ก้อนมวลทรงกลมของชุดทดลองลูกตุ้มผสม กระแทกกับชุดทดลองลูกตุ้มผสมแบบไม้

(13) หาตำแหน่งกระแทก (ระยะ l) ที่ทำให้ชุดทดลองลูกตุ้มผสมแบบไม้ไม่มีการเคลื่อนที่ โดยวัดระยะจากตำแหน่งกระแทกถึงตัวรองรับแบบคมมีด

(14) เปรียบเทียบระยะ l ที่ได้กับสมการ (6)

5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

No.	y	h	Time 1	Time 2	Time 3	Time	τ	k	l
1	0.35								
2	0.40								
3	0.45								
4	0.50								
5	0.55								

6. แนวทางในการสรุปผลการทดลอง

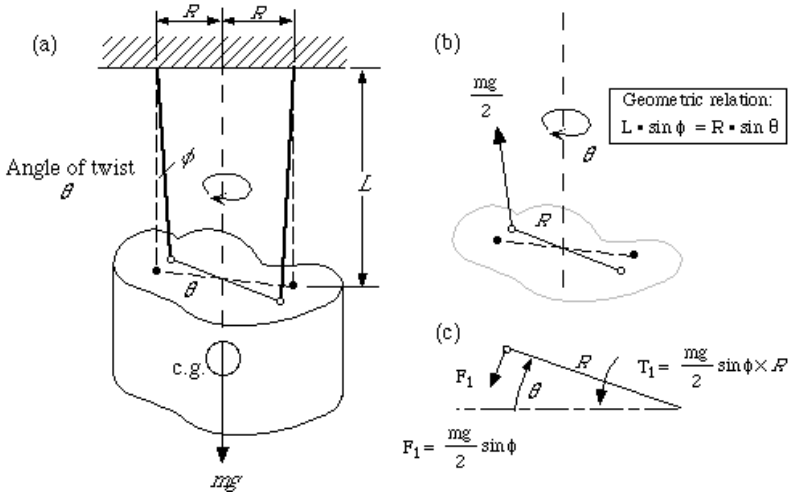
(1) ในการแกว่งกวัดของลูกตุ้มลูกตุ้มผสมแบบไม้ คาบในการแกว่งกวัดขึ้นอยู่กับระยะ y หรือไม่

(2) ค่าจุดศูนย์กลางเพอคัสชั่นที่ได้จากการทดลองต่างจากค่าจริงหรือไม่ ถ้าต่างเป็นเพราะเหตุใด

การทดลองที่ 5
การทดลองลูกตุ้มสองแนว

1. บทนำ

ลูกตุ้มสองแนวเป็นอุปกรณ์สำหรับหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรอบแกนหมุนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นลวดสลิงสองเส้นที่มีความยาวเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 1 กำหนดให้การกระจัดเชิงมุมของวัตถุรอบแกนหมุนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลมีค่าเท่ากับ θ เมื่อใช้กฎข้อที่สองของนิวตันสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น



รูปที่ 1 ลูกตุ้มสองแนว

$$\sum M_O = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$-2\times\left(\frac{mg}{2}\sin\phi\right)\times R = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

แทน $\sin\phi = \dfrac{R\sin\theta}{L}$

$$-mg\times\left(\frac{R\sin\theta}{L}\right)\times R = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$-\frac{mgR^2}{L}\sin\theta = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

พิจารณาว่ามุม θ มีขนาดเล็ก ทำให้ $\sin\theta \approx \theta$

$$-\frac{mgR^2}{L}\theta = I_O\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2}+\left[\frac{mgR^2}{LI_O}\right]\theta = 0 \qquad (1)$$

โดย m คือ มวลของวัตถุ

$2R$ คือ ระยะห่างระหว่างเส้นลวดสลิงทั้งสอง

L คือ ความยาวของเส้นลวดสลิง

I_O คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรอบแกนหมุนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล

ทำให้ได้สมการความเร็วเชิงมุมเป็น

$$\omega^2 = \frac{mgR^2}{LI_O}$$

สมการความถี่ของการเคลื่อนที่เป็น

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{mgR^2}{LI_O}} \qquad (2)$$

และสมการคาบของการเคลื่อนที่เป็น

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{LI_O}{mgR^2}} \qquad (3)$$

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

(1) เพื่อศึกษาการแกว่งกวัดของลูกตุ้มสองแนว

(2) เพื่อหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรอบแกนหมุนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล

3. อุปกรณ์การทดลอง

(1) TM 16 Universal Vibration Apparatus

(2) B1 Pendulum sub-frame (cross beam)

(3) B7 Bifilar suspension

(4) นาฬิกาจับเวลา

4. วิธีการทดลอง

(1) ติดตั้งชุดทดลองลูกตุ้มสองแนวเข้าซึ่งมีมวล 1.145 กิโลกรัม กับคานขวาง โดยการสอดเส้นลวดสลิงเข้าไปที่หัวจับ

(2) ปรับความยาวของเส้นลวดสลิง (ระยะ L) ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(3) วัดระยะห่างระหว่างเส้นลวดสลิงทั้งสอง (ระยะ $2R$)

(4) บิดลูกตุ้มสองแนวจากตำแหน่งสมดุลโดยทำมุมไม่เกิน 10° กับแกนหมุน

(5) ปล่อยลูกตุ้มสองแนวให้เคลื่อนที่แล้วนับเวลาการแกว่งกวัดเมื่อการแกว่งกวัดครบ 20 รอบ จากนั้นให้บันทึกเวลาการแกว่งกวัดในตารางที่ 1 โดยทำการนับเวลา 3 ครั้ง

(6) เปลี่ยนระยะ L ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(7) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (4) - (7) จนครบทุกระยะ L ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(8) นำผลการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 1 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 (แกน y) และ L (แกน x) เพื่อหาค่าความชันของเส้นตรง จากนั้นหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ

(9) เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุกับค่าจริง

5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

No.	L (m)	Time 1	Time 2	Time 3	Time (s)	T (s)	T^2 (s)
1	0.5						
2	0.7						
3	0.9						
4	1.1						
5	1.3						

6. แนวทางในการสรุปผลการทดลอง

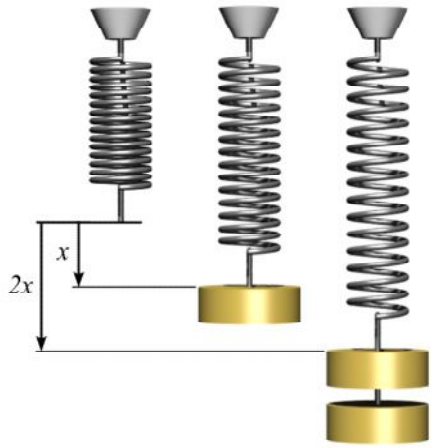
(1) ในการแกว่งกวัดของลูกตุ้มลูกตุ้มผสมแบบไม้ คาบในการแกว่งกวัดขึ้นอยู่กับระยะ y หรือไม่

(2) ค่าจุดศูนย์กลางเพอคัสชั่นที่ได้จากการทดลองต่างจากค่าจริงหรือไม่ ถ้าต่างเป็นเพราะเหตุใด

การทดลองที่ 4
การทดลองการสั่นของมวล-สปริง

1. บทนำ

เมื่อออกแรงภายนอกดึงสปริงจากตำแหน่งภายใต้ขอบเขตของการยืดหยุ่น สปริงจะมีแรงดึงกลับ (Restoring force) เพื่อดึงสปริงเข้าสู่ตำแหน่งสมดุล โดยแรงนี้จะแปรผันตรงกับการกระจัดของสปริงตามกฎของฮุค (Hook's law) จากรูปที่ 1 เมื่อใช้กฎข้อที่สองของนิวตันสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น



รูปที่ 1 แรงดึงและระยะยืดของสปริง

$$\sum \vec{F}_x = m\vec{a}_x$$
$$-kx = m\ddot{x}$$
$$m\ddot{x} + kx = 0 \qquad (1)$$

โดย m คือ มวลติดปลายสปริง

k คือ ค่านิจของสปริง

ทำให้ได้สมการความเร็วเชิงมุมเป็น

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

สมการความถี่ของการเคลื่อนที่เป็น

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (2)$$

และสมการคาบของการเคลื่อนที่เป็น

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (3)$$

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

(1) เพื่อศึกษาการสั่นของมวล-สปริง

(2) เพื่อหาค่านิจของสปริง

3. อุปกรณ์การทดลอง

(1) TM 16 Universal Vibration Apparatus

(2) C1 Top adjusting assembly (Spring)

(3) C2 Guide bush assembly

(4) C3 Loading platform

(5) สปริงที่ทดสอบ

4. วิธีการทดลอง

(1) ติดตั้งชุดทดลองสปริงให้อยู่ในแนวศูนย์กลางเพื่อให้เกิดความเสียดทานต่ำที่สุด

(2) วัดความยาวของสปริงก่อนการเพิ่มมวลและบันทึกค่าที่ได้ในตารางที่ 1

(3) เพิ่มมวลดังกำหนดตามตารางที่ 1 จากนั้นให้วัดความยาวของสปริงและบันทึกค่าที่ได้ในตารางที่ 1

(4) ดึงมวลจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะทาง 2 เซนตริเมตร

(5) ปล่อยมวลให้เคลื่อนที่แล้วนับเวลาการสั่นเมื่อการสั่นครบ 20 รอบ จากนั้นให้บันทึกเวลาการสั่นในตารางที่ 1 โดยทำการนับเวลา 3 ครั้ง

(6) เปลี่ยนมวล M ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(7) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (3) - (6) จนครบทุกมวล M ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(8) นำผลการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 1 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T^2 (แกน y) และ M (แกน x) เพื่อหาค่าความชันของเส้นตรง จากนั้นหาค่านิจของสปริง

(9) นำผลการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 1 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Mg (แกน y) และ x (แกน x) เพื่อหาค่าความชันของเส้นตรง ซึ่งจะทำให้ได้ค่านิจของสปริง

(10)เปรียบเทียบค่านิจของสปริงที่ได้จากข้อ (8) และข้อ (9)

5. ผลการทดลอง

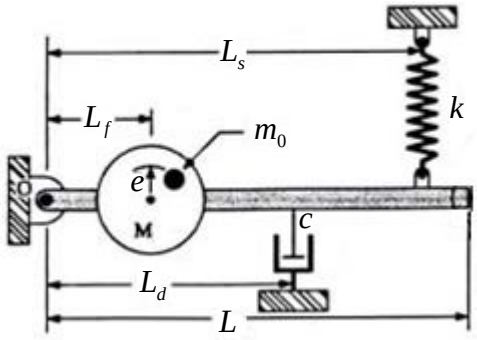
ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

M (kg)	x (m)	Time 1 (s)	Time 2 (s)	Time 3 (s)	Time (s)	T (s)	T^2 (s^2)
0.0							
0.4							
0.8							
1.2							
1.6							
2.0							
2.4							
2.8							
3.2							
3.6							
4.0							

การทดลองที่ 5
การทดลองการสั่นแบบอิสระที่มีความหน่วงของวัตถุเกร็ง

1. บทนำ

การสั่นแบบอิสระที่มีความหน่วงของวัตถุเกร็ง ช่วงกว้างของการสั่น (Amplitude) จะลดลงอย่างต่อเนื่องและทำให้การสั่นหยุดลงในที่สุด การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงจะทำได้โดยการวัดอัตราการลดลงของช่วงกว้างของการสั่น ที่เรียกว่าการลดลงอย่างลอการิทึม (Logarithmic decrement) จากรูปที่ 1 เมื่อใช้กฎข้อที่สองของนิวตันสามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ได้เป็น



รูปที่ 1 การสั่นแบบอิสระที่มีความหน่วงของวัตถุเกร็ง

$$\sum M = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$-\left(cL_d \frac{d\theta}{dt}\right)L_d - (kL_s\theta)L_s = I_O \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$I_O \frac{d^2\theta}{dt^2} + cL_d^2 \frac{d\theta}{dt} + kL_s^2\theta = 0 \qquad (1)$$

โดย c คือ สัมประสิทธิ์ของความหน่วงหนืด

k คือ ค่าคงที่ของสปริง

L_d คือ ระยะจากจุดหมุนถึงตัวหน่วงหนืด

L_s คือ ระยะจากจุดหมุนถึงสปริง

I_O คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของคานที่จุดหมุน ซึ่ง

$$I_O = \frac{1}{3}mL^2 + ML_f^2 \qquad (2)$$

โดย m คือ มวลของคานซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.9 kg

M คือ มวลของชุดมอเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.9 kg

L คือ ระยะจากจุดหมุนถึงปลายคาน

L_f คือ ระยะจากจุดหมุนถึงชุดมอเตอร์

จากสมการ (1) สามารถหาผลเฉลยทั่วไปได้เป็น

$$\theta = e^{-\frac{cL_d^2}{2I_o}t} A_0 \cos(\omega_d t - \phi_0) \qquad (3)$$

โดย θ คือ การกระจัดเชิงมุม

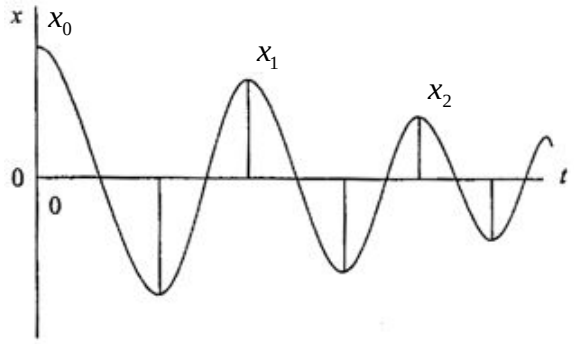
A_0 คือ ช่วงกว้างของการสั่น

ω_d คือ ความเร็วเชิงมุมธรรมชาติที่มีความหน่วง

t คือ เวลา

ϕ_0 คือ มุมเฟส

จากสมการ (3) ช่วงกว้างของการสั่นจะลดลงอย่างต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 2 การลดลงของช่วงกว้างของการสั่นในแต่ละคาบ สามารถแสดงเป็นอัตราส่วนได้โดย



รูปที่ 2 การลดลงอย่างลอการิทึม

$$\ln\left(\frac{\theta_0}{\theta_1}\right) = \ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right) = \frac{cL_d^2}{2I_o}T_d \qquad (4)$$

เมื่อ θ_0 คือ การขจัดเชิงมุมที่เวลา t_0

θ_1 คือ การขจัดเชิงมุมที่เวลา t_1

x_0 คือ การขจัดเชิงเส้นที่เวลา t_0

x_1 คือ การขจัดเชิงเส้นที่เวลา t_1

T_d คือ คาบของการสั่น

2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

(1) เพื่อศึกษาการสั่นแบบอิสระที่มีความหน่วงของวัตถุเกร็ง

(2) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงจากการลดลงอย่างลอการิทึม

3. อุปกรณ์การทดลอง

(1) TM 16 Universal Vibration Apparatus

(2) C1 Top adjusting assembly (Spring)

(3) D1 Turning mounting

(4) D2 Dashpot assembly

(5) D3 Dashpot bracket

(6) D4 Out-of-balance discs

(7) D6 Stylus and support

(8) D7 Chart recorder

(9) D9 Beam clamp

(10) E11 Precision motor speed control unit with exciter motor and graduated discs

4. วิธีการทดลอง

(1) เปิดเครื่องควบคุมความเร็วและต่อมอเตอร์ของชุดบันทึกผล D1 กับชุดควบคุมความเร็ว

(2) ติดตั้งชุด Dashpot แล้วหมุนแผ่นเลื่อนปิดช่อง Dashpot ไปที่ช่องขนาดเล็กเพื่อลดขนาดพื้นที่ลูกสูบ

(3) ปรับระยะห่าง L_d ด้วยการเลื่อนชุด Dashpot 2

(4) เลื่อนเข็มปากกาให้สัมผัสกับกระดาษเพื่อบันทึกการลดลงอย่างลอการิทึม

(5) ดึงปลายคานจากตำแหน่งสมดุล ให้ต่ำลงมาเป็นระยะประมาณ 15-25 mm แล้วปล่อย

(6) เปลี่ยนระยะ L_d ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(7) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (3) - (6) จนครบทุกระยะ L_d ดังกำหนดตามตารางที่ 1

(8) นำผลการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 1 มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง c (แกน y) และ L_d (แกน x)

(9) ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (1) – (8) โดยหมุนแผ่นเลื่อนเปิดช่อง Dashpot ไปที่ช่องขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ลูกสูบ

5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลองเมื่อ Dashpot มีพื้นที่สูงสุด

$L_d\,(m)$	$\frac{x_0}{x_1}$	$\ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right)$	T (s)	$c(N.s/m)$
0.10				
0.15				
0.20				

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลองเมื่อ Dashpot มีพื้นที่ต่ำสุด

$L_d\,(m)$	$\frac{x_0}{x_1}$	$\ln\left(\frac{x_0}{x_1}\right)$	T (s)	$c(N.s/m)$
0.10				
0.15				
0.20				

การทดสอบแรงดึง
(Tensile Test)

ผศ.ดร.ธวัชชัย อุ่นใจจม

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจความสำคัญของสมบัติเชิงกลของวัสดุต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรม

1.2 เพื่อให้นักศึกษาเรียนรู้หลักการทดสอบแรงดึงและการหาค่าสมบัติเชิงกลที่สำคัญต่างๆ ของวัสดุ

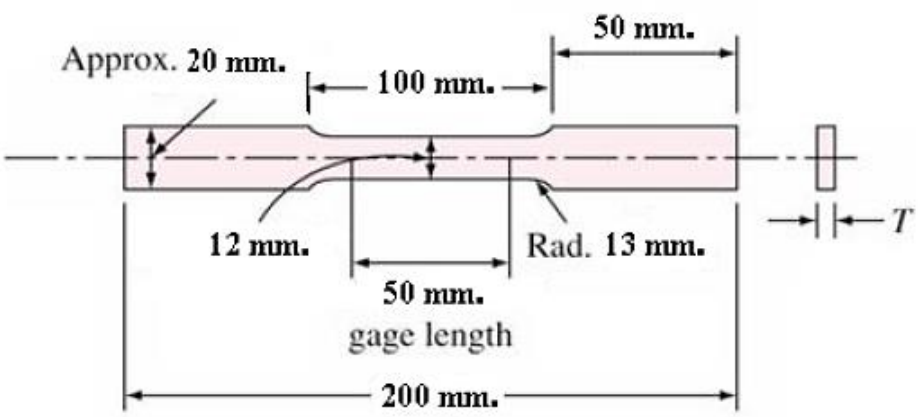
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการพิจารณาเลือกวัสดุเพื่อนำมาใช้งานในลักษณะต่างๆ จำเป็นจะต้องทราบถึงสมบัติของวัสดุ เพื่อให้ได้วัสดุที่เหมาะสมกับสภาพงานนั้นๆ สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) เป็นสมบัติที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของวัสดุ เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำต่อวัสดุ สมบัติเชิงกลของวัสดุ ได้แก่ ความแข็งแรง ความแข็ง ความสามารถในการยืดตัว ความยืดหยุ่น ความเหนียว เป็นต้น ในงานทางด้านวิศวกรรมสมบัติเชิงกลมีความสำคัญมากเนื่องจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ใดๆ จะสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยนั้น จะขึ้นอยู่กับสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นๆ เป็นสำคัญ

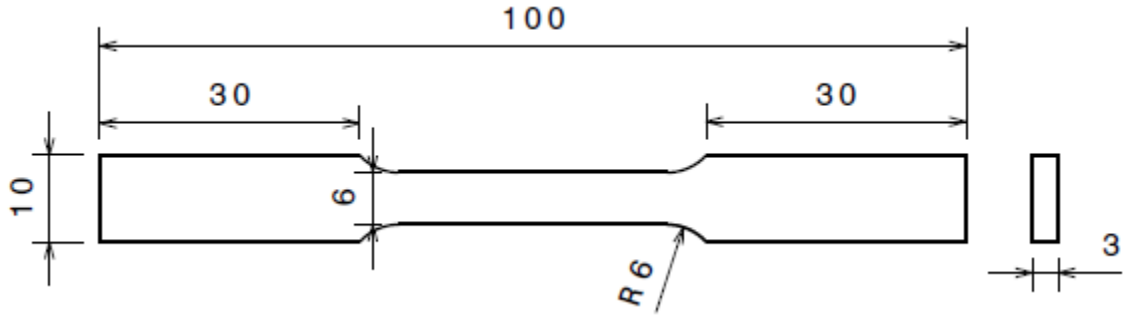
สมบัติเชิงกลของวัสดุสามารถหาได้จากการทดสอบโดยเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยหลักการทำงานของเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์จะอาศัยหลักการกลไฟฟ้า (Electromechanical) การใช้งานสามารถโปรแกรมและควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ การทำงานมีการควบคุมการสั่งการทำงานด้วยสัญญาณไฟฟ้าและมีการเชื่อมสัญญาณข้อมูลการทดสอบสู่คอมพิวเตอร์ โดยจะวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

รูปที่ 1 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์

การทดสอบแรงดึง เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาถึงความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึงในทิศทางเดียว (Uniaxial Tensile Test) โดยชิ้นงานมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงอาจเป็นชิ้นงานรูปทรงกระบอกหรือเป็นชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่น ในการศึกษานี้จะใช้ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กแบน หรือแผ่นอะลูมิเนียมแบน ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3

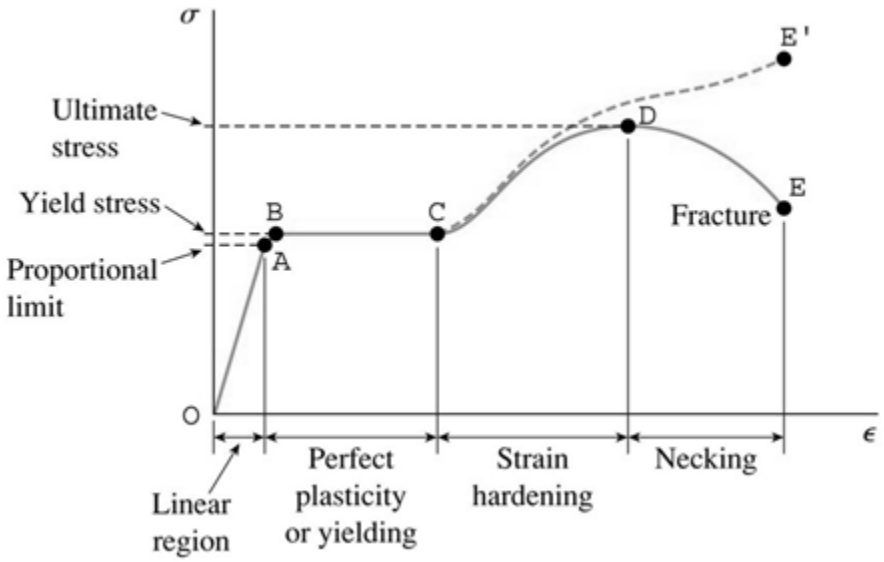


รูปที่ 2 ลักษณะชิ้นทดสอบแผ่นเหล็กแบนสำหรับการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3 ลักษณะชิ้นทดสอบแผ่นอะลูมิเนียมแบนสำหรับการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงนั้นจะนำชิ้นงานมาดึงอย่างช้าๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น จากนั้นนำความเค้นและความเครียดที่ได้มาพลอตกราฟ โดยให้แกนตั้งเป็นความเค้นและแกนนอนเป็นความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงดึง

จากรูปที่ 4 เป็นการดึงชิ้นงานอย่างช้าๆ ชิ้นงานจะค่อยๆ ยืดตัวออกจนถึงจุด A ในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่จึงได้กราฟเป็นเส้นตรง เรียกจุด A ว่าพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบยืดหยุ่น นั่นคือเมื่อปล่อยภาระที่กระทำต่อชิ้นงานชิ้นงานจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม เมื่อเพิ่มภาระกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด B ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกเรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่าความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือความแข็งแรงจุดคราก (Yield Strength, S_y) เป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับการคงรูปของวัสดุ ค่าความแข็งแรงจุดครากนี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะใช้กำหนดขีดจำกัดค่าความเค้นสูงสุดที่จะเกิดขึ้นบนโครงสร้างหรือชิ้นงานโดยที่ยังไม่เกิดการเสียหาย โดยค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานต้องไม่เกินกว่าค่าความเค้นจุดครากนี้เพื่อเป็นการป้องกันการเสียหาย ซึ่งนำไปสู่ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS) ของชิ้นงาน หลังจากจุดครากไปแล้ว วัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวรโดยความเค้นจะเพิ่มอย่างช้าๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด C) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength, S_u) หรือความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) เป็นความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้ก่อนที่จะเริ่มขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) จุดสุดท้าย (จุด D) ของกราฟเป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน

ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงสามารถนำมาหาค่าความเค้นดึงได้ดังสมการที่ (1) และความเครียดดึงได้ดังสมการที่ (2)

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \tag{1}$$

โดย σ คือ ความเค้นดึงที่เกิดขึ้น (N/mm^2)

F คือ แรงดึงที่กระทำกับวัตถุ (N)

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (mm^2)

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_0} \tag{2}$$

โดย ε คือ ความเครียดดึงที่เกิดขึ้น

δ คือ ส่วนที่ยืดออกของวัตถุ (mm)

L_0 คือ ความยาวเดิมของวัตถุ (mm)

ช่วงที่วัสดุยังคงรักษาสภาพความยืดหยุ่นไว้ได้ (ช่วงไม่เกินจุด B) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะแปรตรงต่อกัน สัดส่วนดังกล่าวมีค่าคงที่เท่ากับมอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุ (Modulus of Elasticity) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{3}$$

โดย E คือ มอดูลัสยืดหยุ่น (N/mm^2)

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 ชิ้นทดสอบแรงดึง

3.2 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ หรือไมโครมิเตอร์

3.3 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

4. วิธีการทดลอง

4.1 การเริ่มใช้งานเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์

4.1.1 เปิดเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์โดยกดปุ่มเปิดที่เครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์ ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์

4.1.2 จอควบคุม (Control Panel) จะปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 จอควบคุม

4.2 การประกอบอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดึง

4.2.1 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งประกอบไปด้วย

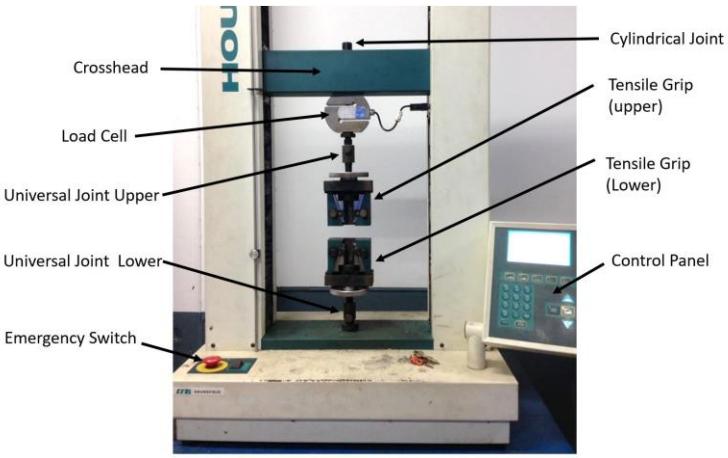
- หัวจับแรงดึงด้านบน (Tensile Grip Upper)
- หัวจับแรงดึงด้านล่าง (Tensile Grip Lower)
- ข้อต่อทรงกระบอก (Cylindrical Joint)

- อุปกรณ์วัดแรง (Loadcell)
- ข้อต่อด้านบน (Universal Joint Upper)
- ข้อต่อด้านล่าง (Universal Joint Lower)

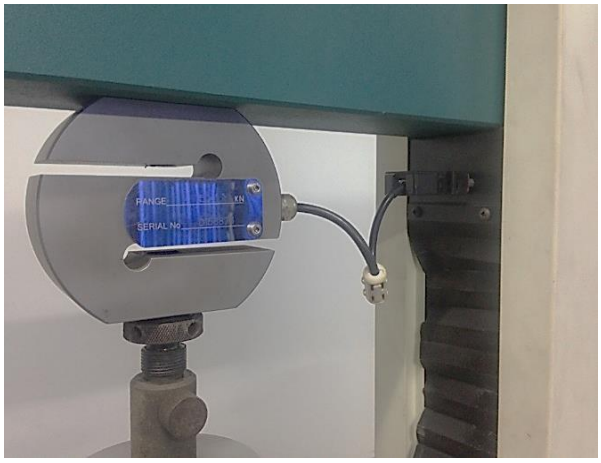
รูปที่ 7 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดึง

4.2.2 ประกอบอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดึง

- ประกอบอุปกรณ์วัดแรง ข้อต่อทรงกระบอก ข้อต่อด้านบน ข้อต่อด้านล่าง หัวจับแรงดึงด้านบน และหัวจับแรงดึงด้านล่าง เข้ากับเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์ ดังแสดงในรูปที่ 8
- เสียบปลั๊กอุปกรณ์วัดแรงเข้ากับเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 9 เสียบปลั๊กอุปกรณ์วัดแรงเข้ากับเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์

- ติดตั้งชิ้นงานเข้ากับหัวจับแรงดึงด้านบนและหัวจับแรงดึงด้านล่าง โดยให้มีระยะจับปลายทั้งสองข้างของชิ้นงาน ข้างละประมาณ 25 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 10 จากนั้นขันหัวจับแรงดึงทั้งสองให้แน่น

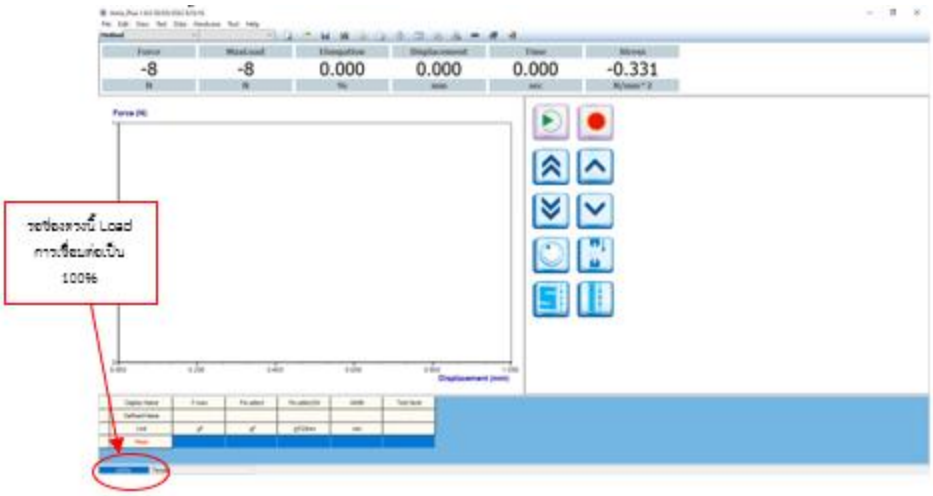
รูปที่ 10 ติดตั้งชิ้นงานไม้ไผ่เข้ากับเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์

4.3 การเริ่มใช้งานหน่วยประมวลผล

4.3.1 เปิดคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์

4.3.2 เปิดโปรแกรม

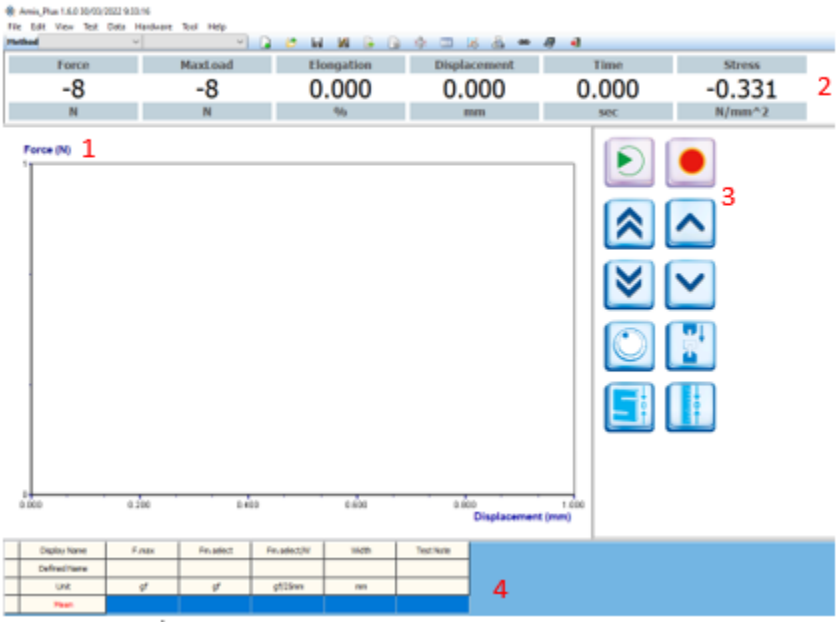
4.3.3 ปรากฏหน้าต่างของโปรแกรม และรอให้ช่อง Load การเชื่อมต่อเป็น 100% ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 หน้าต่างโปรแกรม

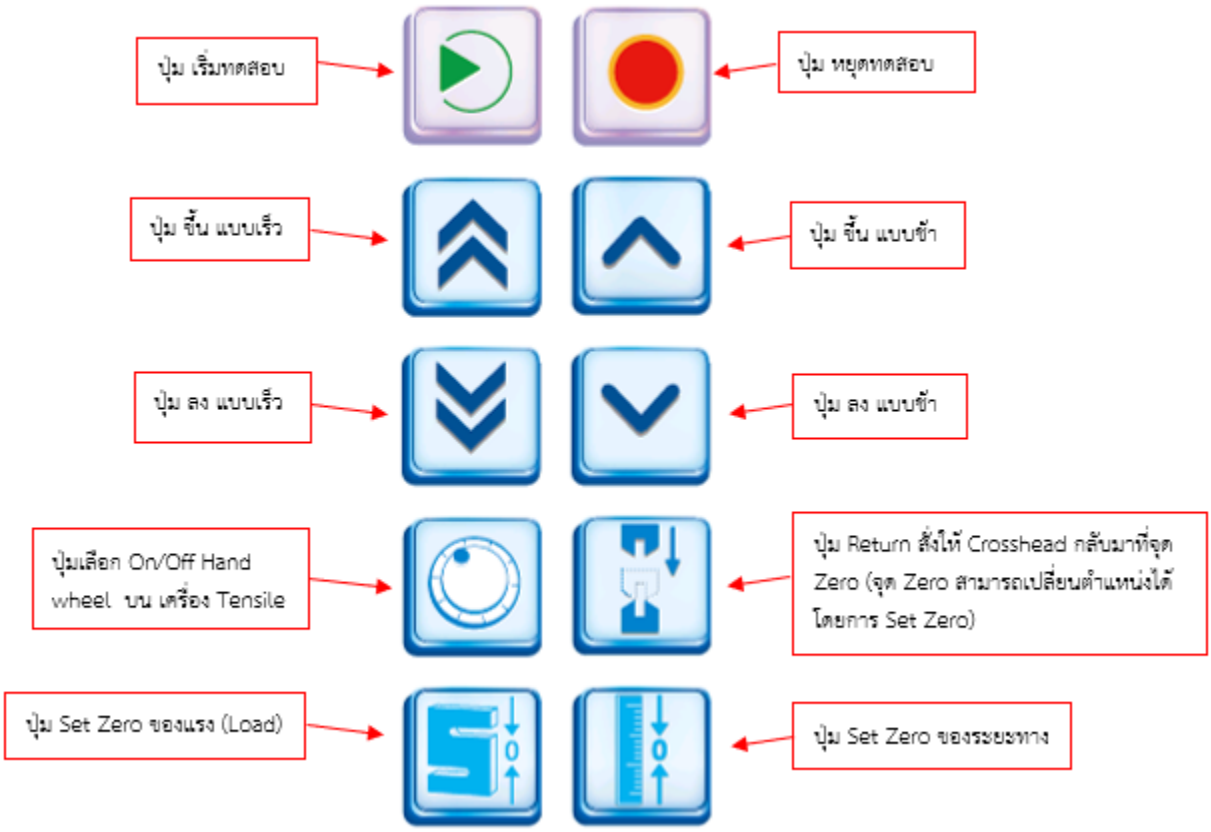
4.3.4 หน้าต่างของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 12 ประกอบด้วย

1. กราฟแสดงข้อมูลความสัมพันธ์ในการทดสอบ
2. แทบแสดงข้อมูล Real-time
3. ปุ่มควบคุมต่างๆ ของเครื่อง
4. ตารางแสดงข้อมูลการทดสอบของแต่ละชิ้นงาน



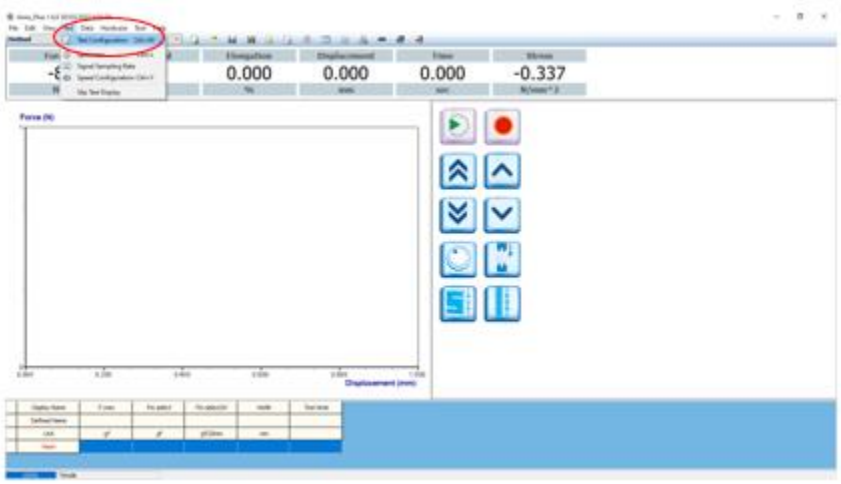
รูปที่ 12 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม

4.3.5 ปุ่มควบคุมต่างๆ ของเครื่อง แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ปุ่มควบคุมต่างๆ ของเครื่อง

4.3.6 เลือก Test จากนั้น เลือก Test Configuration ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 การกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ในการทดสอบ

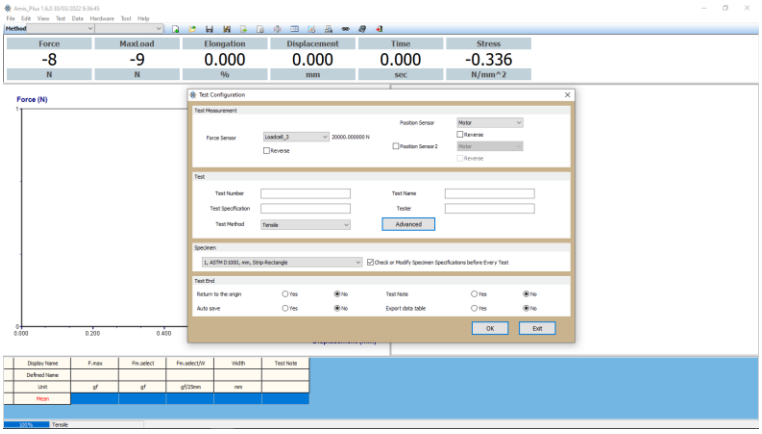
4.3.7 ปรากฏหน้าต่าง Test Configuration ดังแสดงในรูปที่ 15

ป้อนค่า เลือกใช้ Load Cell = 20 kN

เลือกใช้ Sensor ระยะทาง เป็น Motor

เลือกใช้ การทดสอบ เป็น Tensile

เลือกใช้ Test End เป็น No ทั้งหมด



รูปที่ 15 การป้อนค่าต่างๆของแรงดึง ในหน้าต่าง Test Configuration

4.3.8 จากนั้น กด ตรง Advanced จะปรากฏหน้าต่าง Test Start

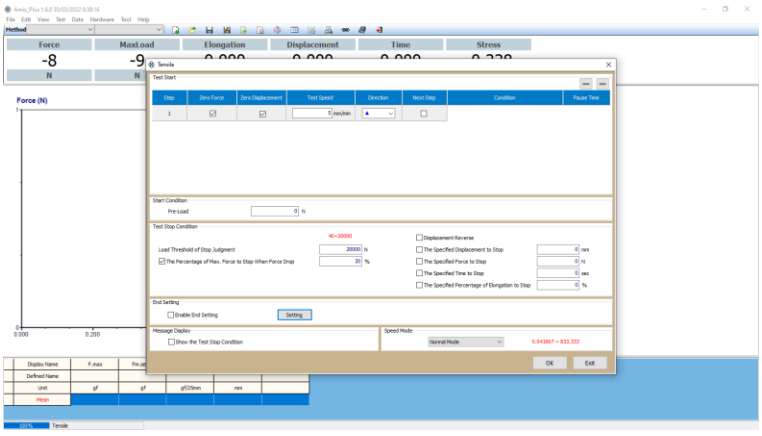
ป้อนค่า Test Speed = 5 mm/min

ปรับ Direction เป็น ▲

Load Threshold of Stop Judgment = 20000 N

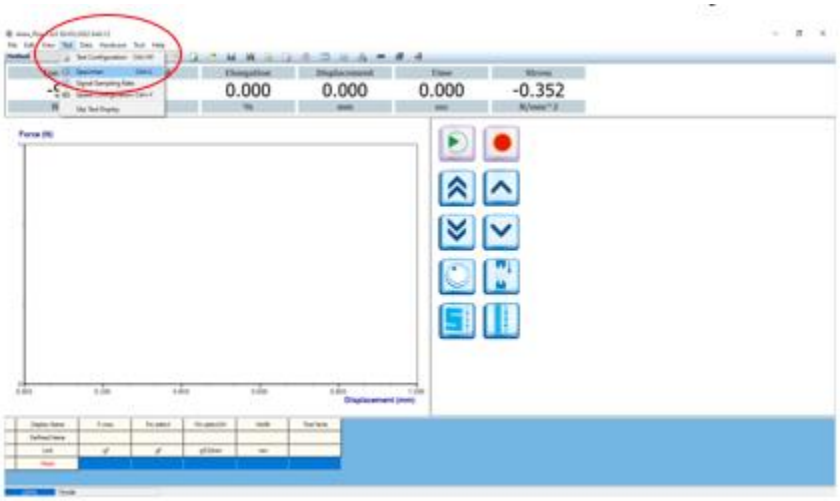
ปรับค่า Load ลดลงถึง 80% ของ Max load (16000 N)

ดังแสดงในรูปที่ 16 จากนั้นเลือก OK



รูปที่ 16 การป้อนค่าการทดสอบแรงดึง

4.3.9 จากนั้นเลือก Test กดเลือก Specimen ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 การเข้าหน้าต่างกำหนดขนาด และสร้างชิ้นงาน

4.3.10 จะปรากฏหน้าต่าง Specimen

ป้อนค่า ปรับหน่วยของขนาดชิ้นงาน เป็น mm

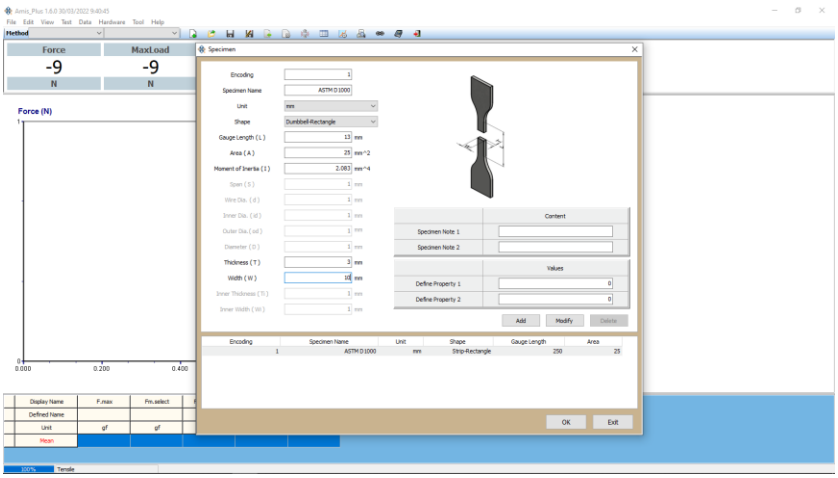
เลือกรูปร่างของชิ้นงาน เป็น Dumbbell-Rectangle

Gauge Length (L) = xx mm

Thickness (T) = yy mm

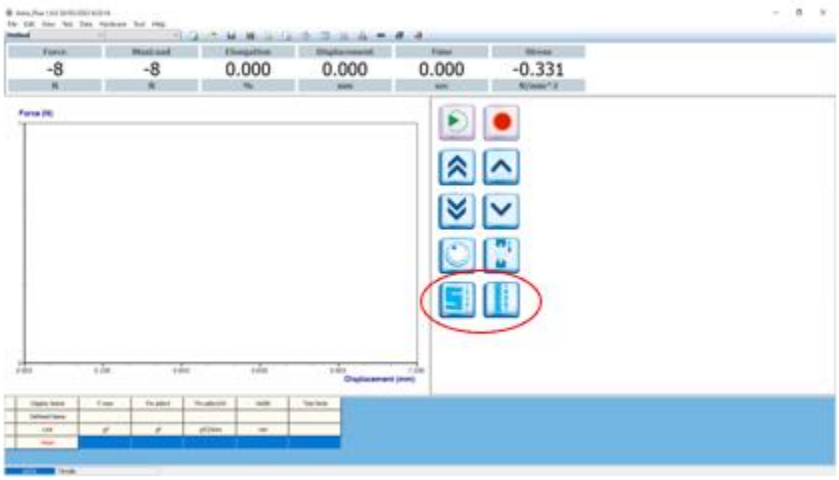
Width (W) = zz mm

ดังแสดงในรูปที่ 18 จากนั้นเลือก OK



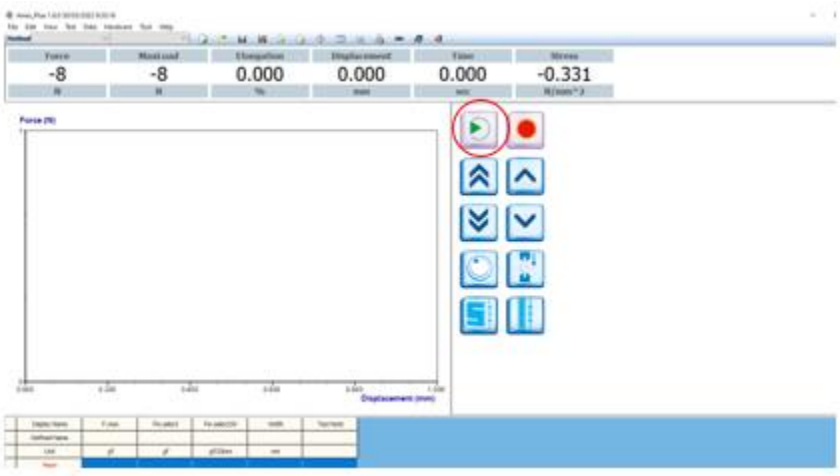
รูปที่ 18 การกำหนดขนาด และสร้างชิ้นงานของแรงดึง

4.3.11 เซ็ตค่าเครื่องทดสอบโดยกด Zero แรง และ Zero ระยะทาง ที่จอหน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 19



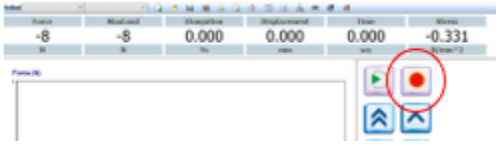
รูปที่ 19 กดปุ่ม Zero แรง และ Zero ระยะทาง

4.3.12 เริ่มการทดลองโดยการ กดที่ปุ่ม เริ่มการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 20



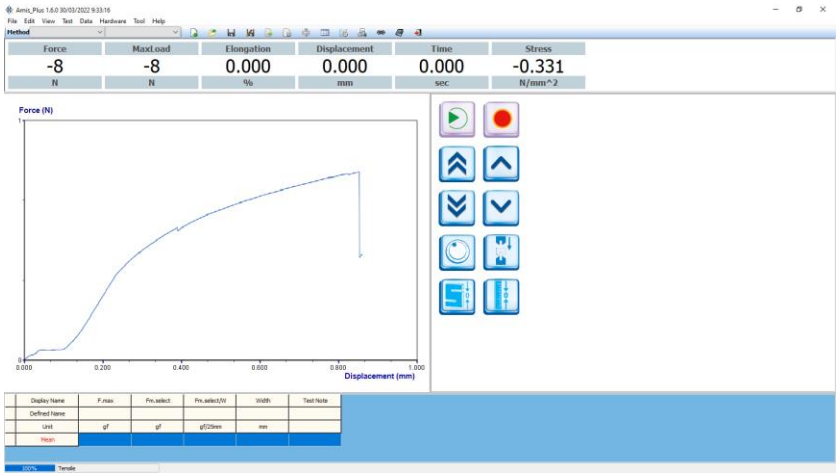
รูปที่ 20 กดที่ปุ่ม “เริ่มการทดลอง” เพื่อเริ่มทดสอบ

4.3.13 เมื่อชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกันให้กดปุ่มหยุดทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 21



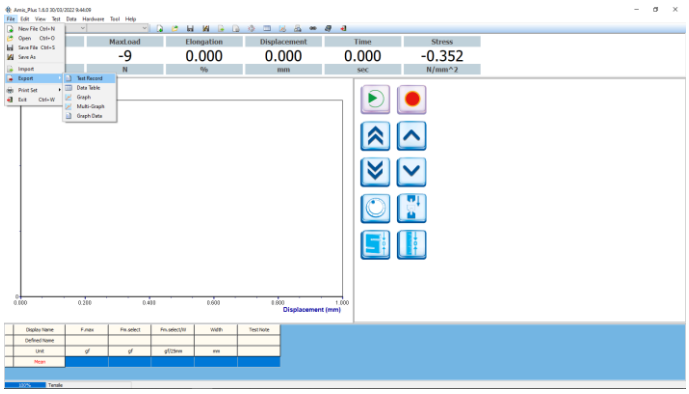
รูปที่ 21 เมื่อชิ้นงานทดสอบเสียหาย ให้กดปุ่ม “หยุดการทดลอง”

4.3.14 จะได้การทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 22 ผลการทดสอบแรงดึง

4.4 วิธีการบันทึกค่า กดที่ File จากนั้นเลือก Export จากนั้นเลือก Test Record ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 การบันทึกค่าการทดสอบ

4.5 โปรแกรมจะ Export ออกมาเป็นไฟล์ สกุล .CSV เพื่อเปิดในโปรแกรม Microsoft Excel

4.6 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเสียรูป และกราฟความเค้น-ความเครียด

4.7 คำนวนหาสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ค่า Yield Strength (S_y) ค่า Ultimate Tensile Strength (S_U) และค่า Modulus of Elasticity (E) ลงในตารางบันทึกผล เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.6 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล

5. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทอสอบแรงดึงของวัสดุทางวิศวกรรม

Details	Value
Gauge Length (*mm*)	
Width (*mm*)	
Thickness (*mm*)	
Cross-Section Area	
Load at Yield Point (*N*)	
Yield Strength (N/mm^2)	
Maximum Load (*N*)	
Ultimate Tensile Strength (N/mm^2)	
Modulus of Elasticity (N/mm^2)	

เอกสารอ้างอิง: American Society for Testing and Materials (ASTM). 2001. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials: E8-00b. ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

การประลองทางวิศวกรรมเครื่องกล 1
เรื่อง การทดสอบแรงบิด
(Torsion Testing)

---

1. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุภายใต้แรงบิด
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของแรงบิด (Torque) และความสัมพันธ์ของมุมบิด (Angle of Twist Relation)
3. เพื่อหา Shear Yield Strength และ Shear Modulus
4. เพื่อศึกษาผลของ Work-Hardening
5. เพื่อศึกษาความเค้นตกค้าง (Residual Stresses) เมื่อชิ้นงาน (Specimen) ได้รับแรงบิด (Torsion)

2. ทฤษฎีการบิด

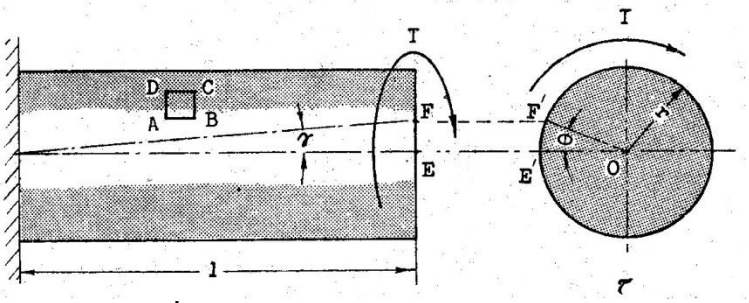
โมเมนต์ที่กระทำกับเพลา ซึ่งจะพยายามบิดเพลาหรือทำให้เพลาหมุนเรียกว่าโมเมนต์บิด (Twisting Moment, Turing Moment หรือ Torque Moment หรือTorque)

เมื่อเพลาหมุนขณะส่งกำลังก็จะเกิดการบิดตัวไปด้วย ลักษณะอันหนึ่งคล้ายแผ่นโลหะกลมบางๆ หลายแผ่นติดกัน ขณะที่บิดแผ่นโลหะแผ่นหนึ่งจะบิดไปเล็กน้อยเทียบกับอันถัดไป ทำให้เพลามีความเครียดเฉือน (Shear Strain) ซึ่งจะทำให้มีความเค้นเฉือน (Shear Stress)

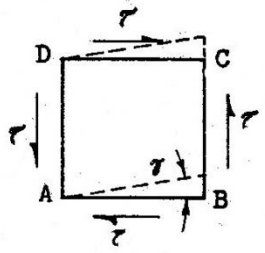
ข้อสมมติเกี่ยวกับการบิดของเพลา

1. เพลาจะต้องตรง และภาคตัดมีความสม่ำเสมอตลอดความยาว
2. แรงบิดคงตัวตลอดความยาวของเพลา
3. ภาคตัดซึ่งเป็นระนาบก่อนบิดจะยังเป็นระนาบตรงระหว่างที่เกิดการบิด
4. เส้นรัศมีตรงยังคงเป็นเส้นรัศมีที่ตรงระหว่างที่เกิดการบิด
5. ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าความเค้นที่จุด Proportional Limit

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนความ (τ) ความเค้นเครียด(γ) และมุมบิด(θ)



รูปที่ 1 เพลากลมที่มีแรงบิดมากระทำ



รูปที่ 2 อิเลเมนต์ ABCD ที่เกิดการบิดตัว

พิจารณาเพลากลมภาคตัดรัศมี r อยู่ภายใต้แรงบิด T จะบิดไปเช่นดังรูปที่ 1 จุด E และ E′ จะเคลื่อนที่ไปที่จุด F และ F′ ตามลำดับ มุมที่บิดไป E′OF′ เรียกว่า มุมบิด θ (Angle of Twist)

เมื่อพิจารณาจุดเล็ก ๆ ในเนื้อวัสดุหนึ่งขยายออกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมจัตุรัส ABCD หนา 1 หน่วย จะมีความเค้นเฉือน (τ) เกิดขึ้นที่ผิว AD เมื่อความเค้นเฉือนเกิดขึ้น 1 ตัว จะต้องมีอีก 3 ตัว ที่มีค่าเท่ากันกระทำที่ผิวเหลือทันที จึงจะสมดุลได้ ความเค้นเฉือนแต่ละตัวเรียกว่า Complementary Shear Stress แสดงดังรูปที่ 2 นั่นคือวัสดุ ABCD จะอยู่ภายใต้ความเค้นเฉือนอย่างเดียวเท่านั้นเรียกว่าอยู่ภายใต้ Pure Shear

การคำนวณหาค่าจะหาค่าความเค้นเฉือน จะต้องหาค่าความเครียดเฉือน (Shear Strain; γ) เนื่องจากความเครียดเป็นการเปลี่ยนแปลงขนาด

พิจารณารูปที่ 1 ระยะ $\mathrm{EF} = lr$ และระยะ $\mathrm{E'F'} = r\theta$ มุมบิดจะมีขนาดเล็กมาก ๆ
ดังนั้น

$$\mathrm{EF} = \mathrm{E'F'}$$

และ

$$lr = r\theta$$

ความเครียดเฉือน (Shear Strain)

$$\gamma = \frac{r\theta}{l}$$

แต่ความเครียดเฉือน $\gamma = \frac{\tau}{G}$

ดังนั้น

$$\frac{\tau}{G} = \frac{r\theta}{l}$$

ฉะนั้น

$$\frac{\tau}{r} = \frac{G\theta}{l}$$

ถ้าแรงบิดที่ทำให้เพลาเกิดมุมบิด θ คงตัวมุมหนึ่ง ค่า G และ l ก็จะเป็นค่าคงตัว
ดังนั้น

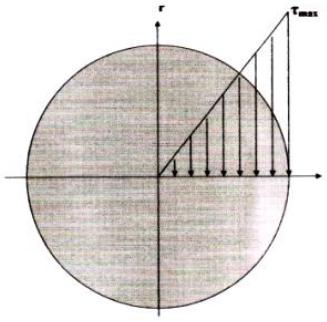
$$\frac{\tau}{\theta} = \text{ค่าคงตัว}$$

หรือ

$$\tau = (\text{ค่าคงที่}) \times r$$

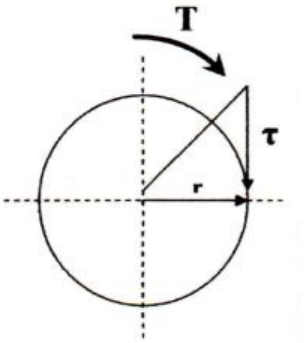
นั่นคือความเค้นเฉือนปฏิภาคโดยตรงกับรัศมี

ดังนั้นถ้าเขียนกราฟระหว่าง τ และ r จะได้กราฟเส้นตรงเรียกว่า การกระจายตัวของความเค้นเฉือน (Shear Stress Distribution) ที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดเพลา ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกระจายตัวของความเค้นเฉือนบนหน้าตัดเพลา

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเค้นเฉือน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด (T) และความเค้นเฉือน (τ)

พิจารณาเพลาที่มีรัศมี r อยู่ภายใต้แรงบิด T ส่งผลทำให้เกิดความเค้นเฉือน τ

เพลาอยู่ภายใต้แรงบิด = T

พื้นที่วงแหวนบนหน้าตัด = a

วงแหวนอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง = r

ความเค้นเฉือนของวงแหวน = τ

จาก
$$\frac{\tau}{r} = \frac{G\theta}{l}$$
$$\tau = \frac{G\theta}{l} r$$

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นบนวงแหวน $= \tau a$
$$= \frac{G\theta}{l} ra$$

โมเมนต์แรงเฉือนรอบจุดศูนย์กลางบนหน้าตัดเพลา = แรงเฉือน ×รัศมีเพลา

$$= \frac{G\theta}{l} rar$$
$$= \frac{G\theta}{l} ar^2$$

ถ้าบนพื้นที่หน้าตัดเพลาประกอบด้วยวงแหวนหลายวงซ้อนกัน ผลรวมของโมเมนต์รอบแกนเพลา

$$= \frac{G\theta}{l} a_1 r_1^2 + \frac{G\theta}{l} a_2 r_2^2 + \frac{G\theta}{l} a_3 r_3^2 + \ldots$$
$$= \frac{G\theta}{l} \sum ar^2$$

$\sum ar^2$ เรียกว่า โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (Polar second moment of inertial หรือ Polar second moment of area) แทนด้วยสัญลักษณ์ J

$\therefore$ ผลรวมโมเมนต์รอบแกนเพลา $(T) = \frac{G\theta}{l} J$

$$\frac{T}{J} = \frac{G\theta}{l}$$

ดังนั้นเมื่อรวมสมการ (1) กับสมการ (2) จะได้ว่า

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau}{r} = \frac{G\theta}{l} \qquad (3)$$

เมื่อ $T =$ แรงบิด (N.m)

$J =$ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (m^4)

$\tau =$ ความเค้นเฉือน (N/m^2)

$r =$ รัศมีจุดที่ต้องการหาค่าความเค้นเฉือน (m)

$G =$ มอดุลัสของความแข็งเกร็ง (Modulus of rigidity, N/m^2)

$\theta =$ มุมบิด (rad)

$l =$ ความยาว (m)

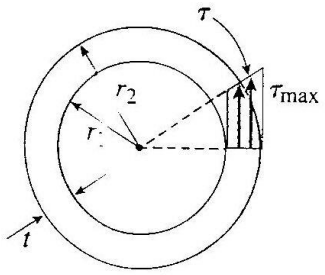
โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว

โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว (polar moment of inertia) ของเพลาหน้าตัดกลมตัน ที่มีรัศมี r และเส้นผ่าศูนย์กลาง d คือ

$$J = \frac{\pi}{2} r^4 = \frac{\pi}{32} d^4 \tag{4}$$

สำหรับเพลากลมกลวงที่มีรัศมีภายใน r_1 และรัศมีภายนอก r_2 จะได้ ดังรูปที่ (5) สมการโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วที่ได้คือ

$$J = \frac{\pi}{2}\left(r_2^4 - r_1^4\right) = \frac{\pi}{32}\left(d_2^4 - d_1^4\right) \tag{5}$$



รูปที่ 5 เพลาที่มีหน้าตัดกลมกลวง

ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในเพลากลมตันและเพลากลมกลวง

เราจะเห็นว่าความเค้นเฉือนจะแปรเปลี่ยนอย่างเป็นเส้นตรงด้วยระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเพลา จากสมการความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J}$$

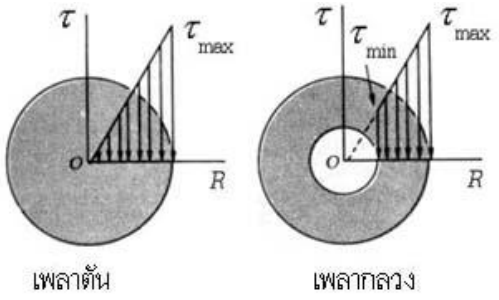
แทนค่า $r = d / 2$ และ $J = \pi d^4 / 32$ ลงในสมการ (3) จะได้

$$\tau_{max} = \frac{16T}{\pi d^3} \tag{6}$$

สมการ (6) ใช้กับเพลากลมตันเท่านั้น เพลากลมกลวงจะมีประสิทธิภาพในการต้านทานต่อแรงบิดได้ดีกว่าเพลากลมตัน เรารู้ว่าความเค้นเฉือนในเพลาตันจะมีค่ามากที่สุดที่ผิวด้านนอกของเพลา และจะมีค่าน้อยที่สุดที่จุดกึ่งกลางเพลาดังรูปที่ 6 เพลากลมกลวงเนื้อวัสดุส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้ผิวรัศมีนอกของหน้าตัด ทั้งความเค้นเฉือนและแขนหมุนจะมีค่ามากที่สุด ดังนั้นน้ำหนักของเพลาสามารถจะลดลงได้ ซึ่งเป็นการประหยัดเนื้อวัสดุ จึงเป็นที่นิยม มีใช้กับเพลาขับขนาดใหญ่ เพลาของเครื่องกำเนิด

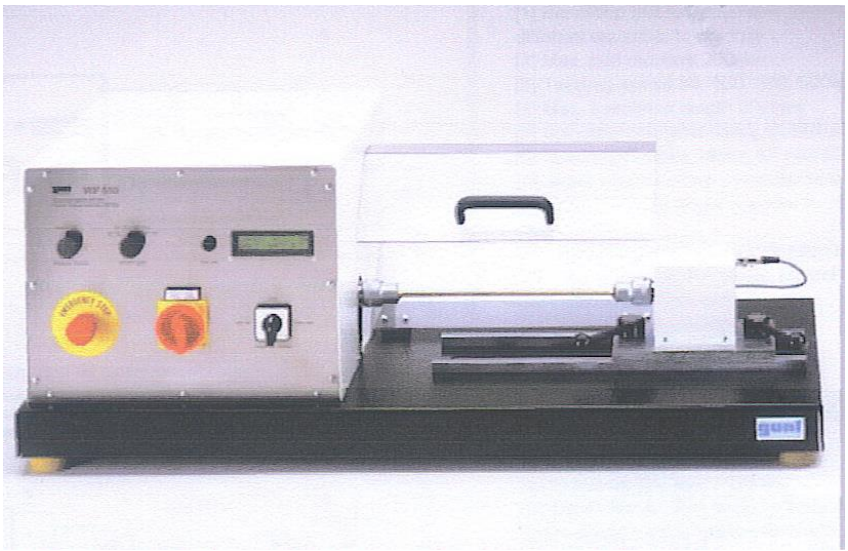
กระแสไฟฟ้า สำหรับความเค้นเฉือนสูงสุดในเพลากลมกลวง ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก d_2 และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน d_1 สมการความเค้นเฉือนสูงสุดจะเป็น

$$\tau_{max} = \frac{16Td_2}{\pi\left(d_2^4 - d_1^4\right)} \tag{7}$$



I**รูปที่ 6** แสดงแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำสุดและสูงสุด

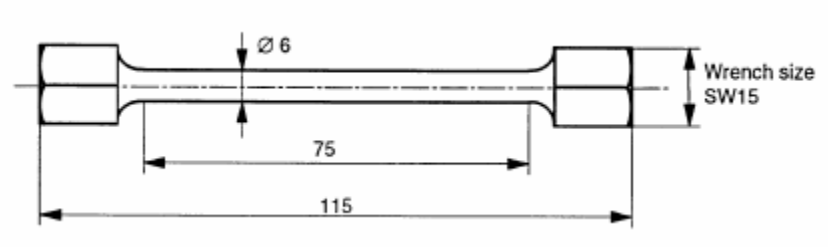
3. ชิ้นงานและอุปกรณ์ในการทดลอง



รูปที่ 7 เครื่องทดสอบแรงบิดและชิ้นงาน

1. เครื่องทดสอบแรงบิด GUNT WP 510

2. ชิ้นงานทดลอง (มีรูปแบบหัวจับเฉพาะ 6 เหลี่ยม ขนาด 19 มม. วัสดุเป็นเหล็กเหนียว ทองเหลือง และอะลูมิเนียม)



รูปที่ 8 ขนาดของชิ้นทดลอง

3. ใบงานทดลอง

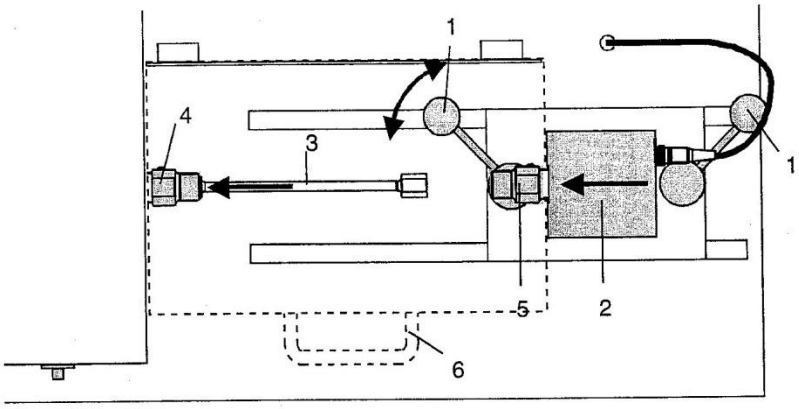
4. ตลับเมตร

5. เวอร์เนียร์

6. ตารางบันทึกผลการทดลอง

7. ชุดคอมพิวเตอร์ควบคุมพร้อมเครื่องพิมพ์

4. ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 9 รูปการติดตั้งชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบ

กรณีควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

1. ต่อไฟ 220 โวลต์ เข้าระบบเครื่องทดสอบแรงบิด คอมพิวเตอร์และต่อสายเครื่องพิมพ์พร้อมเปิดเครื่อง

2. เปิดสวิตช์ไฟหลักเข้าเครื่องทดลองแรงบิด และคอมพิวเตอร์

3. ทำการปลดตัวยึด โดยหมุนก้าน (1) ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

4. นำชิ้นงานสำหรับทดสอบ (3) มาประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบแรงบิดที่หัวขับ (4)

5. ดันเครื่องมือวัดแรงบิด (torque measuring device, 2) เข้าสวมกับชิ้นงานสำหรับทดสอบทำการยึดแท่นของเครื่องมือวัดแรงบิด (2) ให้แน่น โดยการหมุนก้าน (1) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

6. ปิดฝาครอบ (6)

7. ปรับสวิตช์เลือกการทำงานไปที่ PC

8. ทำการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้าสู่โปรแกรม GUNT ที่หน้าจอ หรือเข้าที่ Start – Program – GUNT WP 510. TH Torsional Tester

9. เมื่อเข้าสู่โปรแกรมได้แล้ว ทำการปรับค่าต่าง ๆ ดังนี้

File 1. Open 2. Add 3. Print 4. Exit

Edit 1. Copy 2. Delete all charts 3. Properties (ตั้งค่ากราฟ แกน X, Y)

View 1. Charts 2. List of value

Performing Experiment 1. Tare display 2. Start Measurement 3. Stop Measurement

Evaluation of Experiment 1. Shear Modulus G

8. Edit ปรับค่า Properties (ตั้งค่ากราฟ แกน X, Y) โดยตั้งค่าสูงสุด X ที่ 700 Y ที่ 90

9. ปรับความเร็วการหมุนบิดไปที่ 0.82 รอบ/นาที เพื่อป้องกันผลที่จะเกิดจากความร้อนจากการบิดเร็ว

10. ปรับทิศทางการหมุนทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ถ้าทวนเข็มนาฬิกาจะเขียนกราฟไม่ได้)

11. ที่เมนู View เลือก Charts ในช่วงแรกเพื่อดูกราฟ

12. ปรับค่า 0 (Tear) ของแรงบิดและมุมบิด

13. เข้าที่ Start Measurement เพื่อเริ่มต้นทดลอง

14. ที่ Performing Experiment เลือก Stop Measurement เพื่อหยุดการทดลองเมื่อชิ้นงานขาด

15. หลังจากหยุดการทดลอง จะปรากฏภาพดังรูปที่ 9 จะต้องป้อนข้อมูลความยาว ความโตของชิ้นงานทดลอง และสั่งคำนวณค่ามอดุลัสความแข็งเกร็ง (G) โดยลากเส้นขนาน 0.2% ของความเครียดแรงเฉือน ตอบตกลง เครื่องจะคำนวณค่ามอดุลัสความแข็งเกร็งให้เรียบร้อย

16. สั่งบันทึกข้อมูล โดยเข้าที่เครื่องจะค้นแผ่นป้ายการบันทึก กำหนดชื่อไฟล์ และเลือกที่เก็บ หลังจากนั้นกดตอบตกลง

17. สั่งพิมพ์ข้อมูลแรงบิด – มุมบิด, กราฟแรงบิด – มุมบิด เลือกงานที่ต้องการพิมพ์ โดยเข้าที่ File แล้วไปที่รายการ Print เลือกตกลง

18. เมื่อจบงาน สั่งปิดโปรแกรม โดยเข้าที่ File เลือกไปที่ Exit

5. ผลการทดลอง

การหาค่าการทดลอง

1. กรณีการควบคุมด้วยมือ ให้นำค่าแรงบิดและค่ามุมบิดไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ หรือนำค่าไปแทนในสูตรเพื่อหาค่า τ ($\frac{TR}{J}$) และ γ ($\frac{\theta R}{L}$) แล้วนำไปเขียนกราฟ

2. คำนวณหาค่า G โดย $G=\frac{\tau}{\gamma}$ จากกราฟที่เขียน ที่จุดใด ๆ ในช่วงยืดหยุ่น ลากเส้นแนวราบตัดแกน y ได้ค่า τ ลากเส้นแนวดิ่งลงตัดแกน x ได้ค่า γ นำค่าที่ได้ทั้งสองมาหารกัน จะได้ค่า G_{test} แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบค่ามาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิด

3. กรณีการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ให้นำค่า G ไปเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน แต่ละชนิดโลหะ

4. ทดลองคำนวณค่าแรงบิด แรงเฉือน มอดุลัสความแข็งเกร็ง และค่ามุมบิดจากสูตร

$$\frac{T}{J}=\frac{\tau}{r}=\frac{G\theta}{l}$$

นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ตำแหน่งเดียวกัน ของวัสดุแต่ละชนิด

5. ให้นักศึกษานำค่ามุมบิด และแรงบิดไปวาดกราฟ ลงในกระดาษกราฟ เพื่อเปรียบเทียบกราฟจากเครื่องคอมพิวเตอร์กับกราฟที่วาดด้วยตนเอง

6. สรุปผลการทดลอง

……

……

……

……

การทดสอบแรงดัด

(Bending Test)

ผศ.ดร.ธวัชชัย อุ่นใจจม

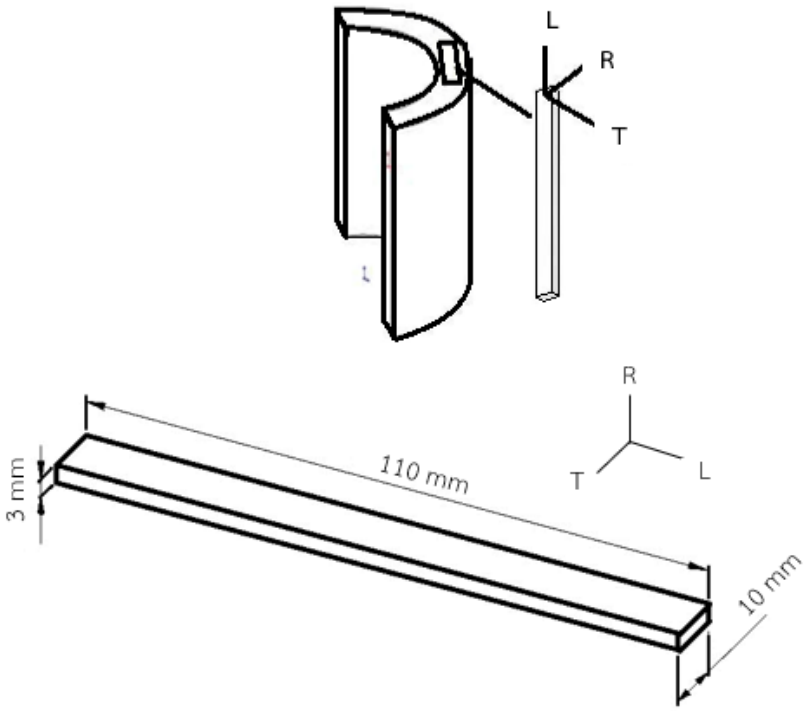
1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจความสำคัญของสมบัติเชิงกลของวัสดุต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรม

1.2 เพื่อให้นักศึกษาเรียนรู้หลักการทดสอบแรงดัดและการหาค่าสมบัติเชิงกลที่สำคัญต่างๆ ของวัสดุ

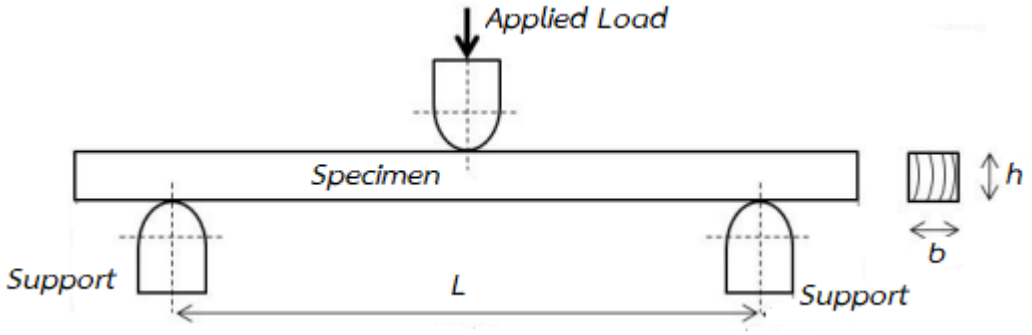
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบแรงดัดเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาถึงความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดัดโดยชิ้นทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดัด อาจเป็นชิ้นทดสอบรูปทรงกระบอกหรือทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ตัวอย่างเช่น ในการทดสอบความต้านทานแรงดัดของไม้ไผ่ในทิศทางตามแนวเส้นใย (Longitudinal Direction, L) จะใช้ชิ้นทดสอบที่มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังแสดงในรูปที่ 1

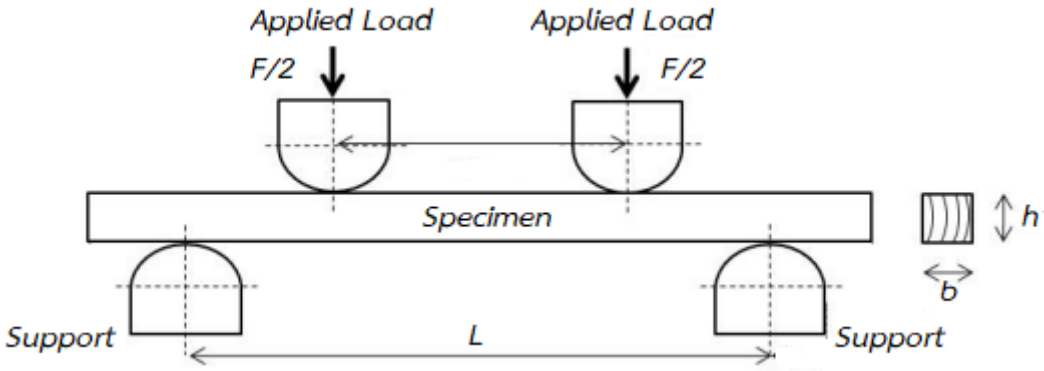


รูปที่ 1 ลักษณะชิ้นทดสอบไม้ไผ่สำหรับการทดสอบแรงดัด

วิธีการการทดสอบแรงดัดของวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุด (3-Point Bending) และการทดสอบแรงดัดแบบ 4 จุด (4-Point Bending) ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 การทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุด



รูปที่ 3 การทดสอบแรงดัดแบบ 4 จุด

ในการทดสอบแรงดัดนั้นจะให้แรงกดอย่างช้าๆ ที่ตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นทดสอบที่มีการรองรับแบบอย่างง่าย (Simply Support) ทั้งสองข้าง ที่เป็นทรงกระบอกที่มีรัศมีความโค้งไม่ต่ำกว่า 10 mm ระยะระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสองด้าน $L = 2r + 3h$ โดยที่ r คือ รัศมีความโค้งของจุดรองรับ และ h คือ ความหนาหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ ส่วนปลายของหัวกดจะต้องเป็นทรงกระบอกที่มีรัศมีความโค้งเท่ากับรัศมีการดัดโค้งที่ต้องการจะทำการทดสอบ นิยมให้ชิ้นทดสอบรับแรงกดเป็นระยะการแอ่นประมาณ 3 เท่าของความหนา จากนั้นทำการบันทึกค่าระยะการแอ่นตัวและแรงที่กระทำกับชิ้นทดสอบนั้น เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเค้นดัดงอ (Flexural Stress) ความเครียดดัดงอ (Flexural Strain) และมอดุลัสการดัดงอ (Flexural Modulus) ดังสมการ (1) ถึง (3)

สมการความเค้นดัดงอ

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I} = \frac{3FL}{2bh^2} \qquad (1)$$

โดย σ_f คือ ความเค้นดัดงอ (N/mm^2)

M คือ โมเมนต์ดัดที่กระทำกับชิ้นทดสอบ (N·mm)

c คือ ระยะจากแนวแกนสะเทินถึงขอบผิวของชิ้นทดสอบ (mm)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (mm^4)

F คือ แรงที่กระทำกับชิ้นทดสอบ (N)

L คือ ระยะระหว่างจุดรองรับที่ปลายทั้งสองด้าน (mm)

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm)

h คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (mm)

สมการความเครียดดัด

$$\varepsilon_f = \frac{6hy}{L^2} \tag{2}$$

โดย ε_f คือ ความเครียดดัด

y คือ ระยะการดัดงอของชิ้นทดสอบ (mm)

และสมการมอดุลัสการดัดงอ

$$E_f = \frac{\sigma_b}{\varepsilon_b} = \frac{FL^3}{48yI} \tag{3}$$

โดย E_f คือ มอดุลัสการดัดงอ (N/mm^2)

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 ชิ้นทดสอบแรงดัด

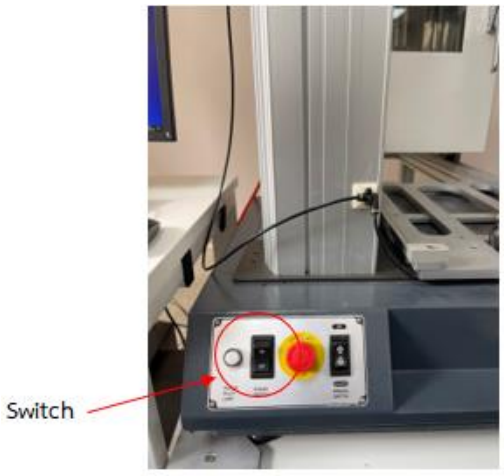
3.2 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ หรือไมโครมิเตอร์

3.3 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

4. วิธีการทดสอบ

4.1 การเริ่มใช้งานเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

4.1.1 เปิดเครื่องทดสอบสากลโดยกดปุ่มเปิดที่เครื่องทดสอบสากล ดังแสดงในรูปที่ 4

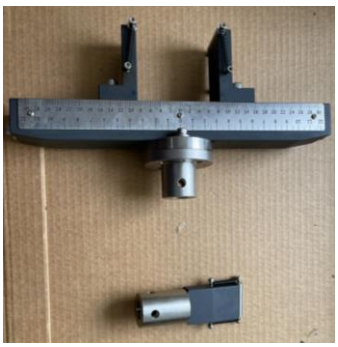


รูปที่ 4 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบอเนกประสงค์

4.1.2 จอควบคุม (Control panel) จะปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 จอควบคุม

4.1.3 เตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุด ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดัดแบบ 3 จุด

4.1.4 ประกอบอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแรงดัด

4.1.5 เสียบปลั๊กอุปกรณ์วัดแรงเข้ากับเครื่องทดสอบ

4.1.6 จัดวางชิ้นทดสอบบนจุดรองรับอย่างง่ายทั้งสองข้าง โดยปลายทั้งสองข้างของชิ้นทดสอบห่างจากจุดรองรับข้างละ 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 7

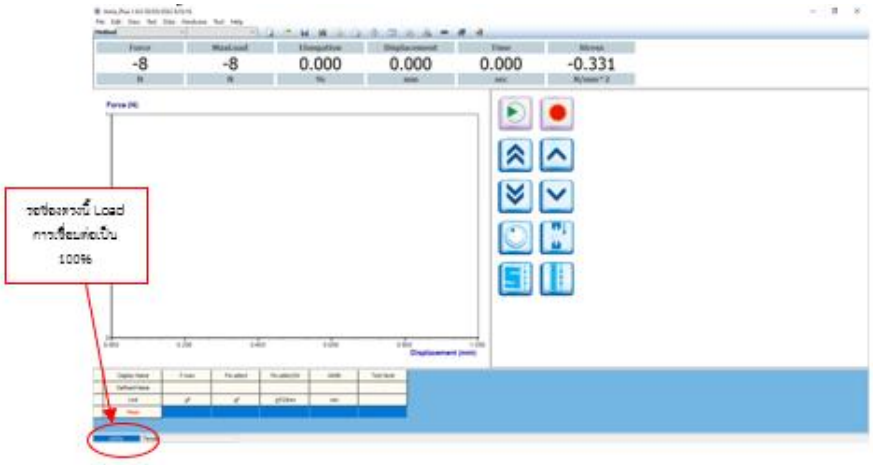
รูปที่ 7 การติดตั้งชิ้นทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบดัด

4.2 การเริ่มใช้งานหน่วยประมวลผล

4.2.1 เปิดคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์

4.2.2 เปิดโปรแกรม

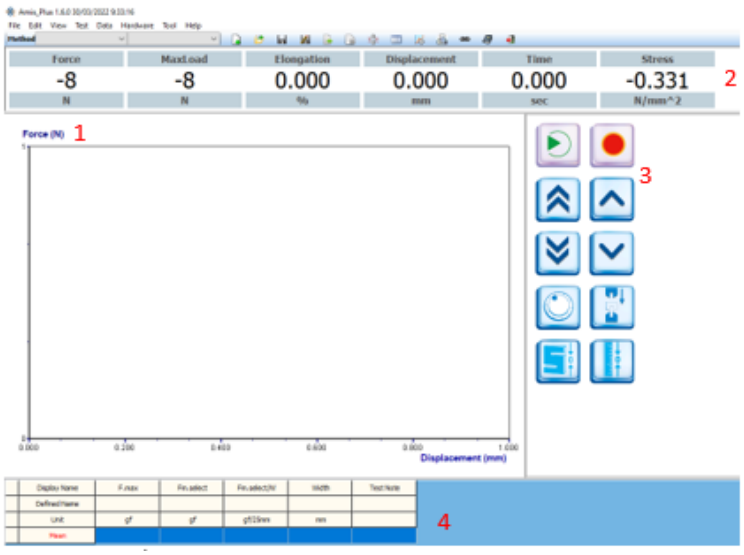
4.2.3 ปรากฏหน้าต่างของโปรแกรม และรอให้ช่อง Load การเชื่อมต่อเป็น 100% ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 หน้าต่างโปรแกรม

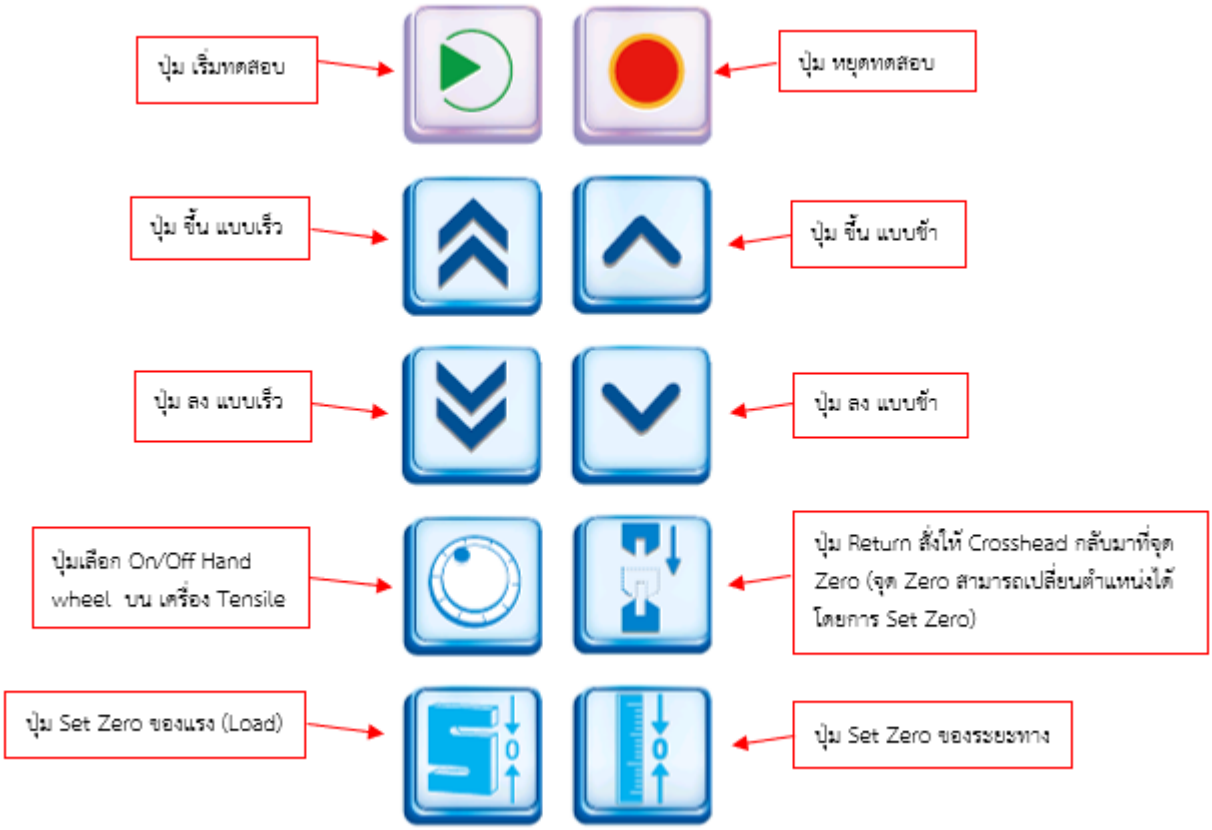
4.2.4 หน้าต่างของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 9 ประกอบด้วย

1. กราฟแสดงข้อมูลความสัมพันธ์ในการทดสอบ
2. แทบแสดงข้อมูล Real-time
3. ปุ่มควบคุมต่างๆ ของเครื่อง
4. ตารางแสดงข้อมูลการทดสอบของแต่ละชิ้นงาน



รูปที่ 9 ส่วนประกอบต่างๆ ของโปรแกรม

4.2.5 ปุ่มควบคุมต่างๆ ของเครื่อง แสดงดังรูปที่ 10



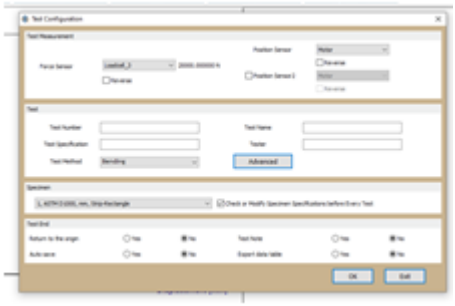
รูปที่ 10 ปุ่มควบคุมต่างๆ ของเครื่อง

4.2.6 เลือก Test จากนั้น เลือก Test Configuration ดังแสดงในรูปที่ 11

รูปที่ 11 การกำหนดค่า Parameter ต่างๆ ในการทดสอบ

4.2.7 ปรากฏหน้าต่าง Test Configuration ดังแสดงในรูปที่ 12

ป้อนค่า เลือกใช้ Load Cell = 20 kN
เลือกใช้ Sensor ระยะทาง เป็น Motor
เลือกใช้ การทดสอบ เป็น Bending
เลือกใช้ Test End เป็น No ทั้งหมด



รูปที่ 12 การป้อนค่าต่างๆของแรงดัด ในหน้าต่าง Test Configuration

4.2.8 จากนั้น กด ตรง Advanced จะปรากฏหน้าต่าง Test Start

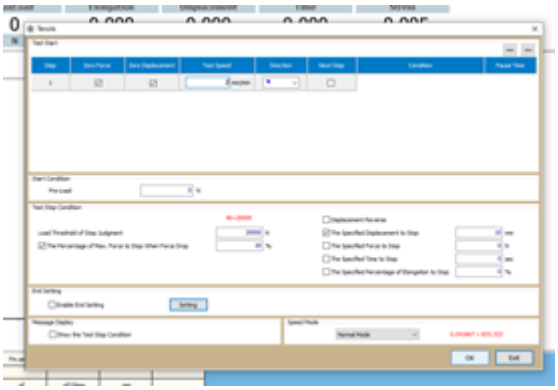
ป้อนค่า Test Speed = 2 mm/min

ปรับ Direction เป็น ▼

Load Threshold of Stop Judgment = 20000 N

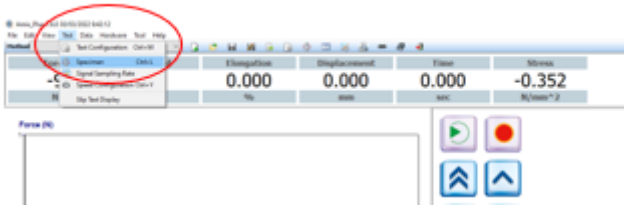
ปรับค่า Load ลดลงถึง 80% ของ Max load (16000 N)

ดังแสดงในรูปที่ 13 จากนั้นเลือก OK



รูปที่ 13 การป้อนค่าการทดสอบแรงดัด

4.2.9 จากนั้นเลือก Test กดเลือก Specimen ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 การเข้าหน้าต่างกำหนดขนาด และสร้างชิ้นงาน

4.2.10 จะปรากฏหน้าต่าง Specimen

ป้อนค่า ปรับหน่วยของขนาดชิ้นงาน เป็น mm

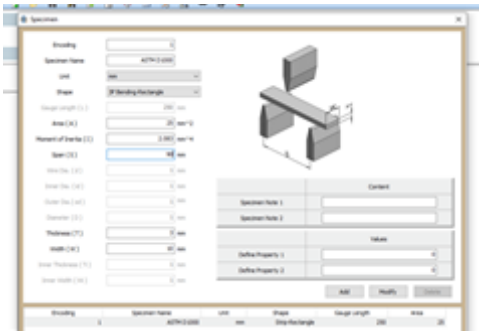
เลือกรูปร่างของชิ้นงาน เป็น 3P Bending-Rectangle

Span (S) = xx mm

Thickness (T) = yy mm

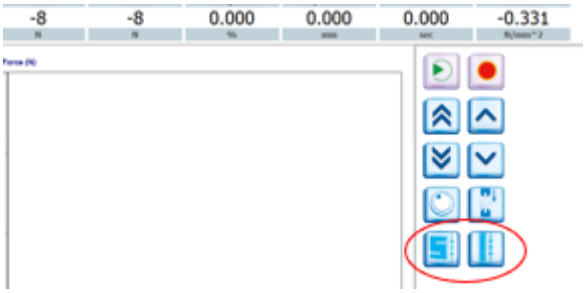
Width (W) = zz mm

ดังแสดงในรูปที่ 15 จากนั้นเลือก OK



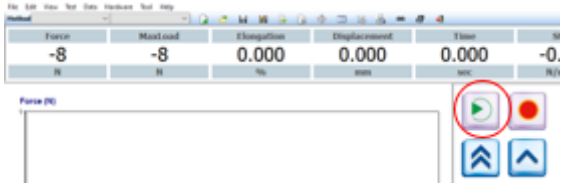
รูปที่ 15 การกำหนดขนาด และสร้างชิ้นงานของแรงดัด

4.2.11 เซ็ตค่าเครื่องทดสอบโดยกด Zero แรง และ Zero ระยะทาง ที่จอหน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 16



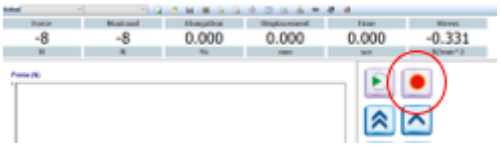
รูปที่ 16 กดปุ่ม Zero แรง และ Zero ระยะทาง

4.2.12 เริ่มการทดลองโดยการ กดที่ปุ่ม เริ่มการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 กดที่ปุ่ม “เริ่มการทดลอง” เพื่อเริ่มทดสอบ

4.2.13 เมื่อชิ้นทดสอบทดสอบเสียหายตามระยะที่เรากำหนดแล้ว เครื่องทดสอบจะหยุดเองตามที่เราตั้งไว้ เช่น The Specified Displacement to Stop = 10 mm หรือกดปุ่มหยุดการทดสอง ดังแสดงในรูปที่ 18

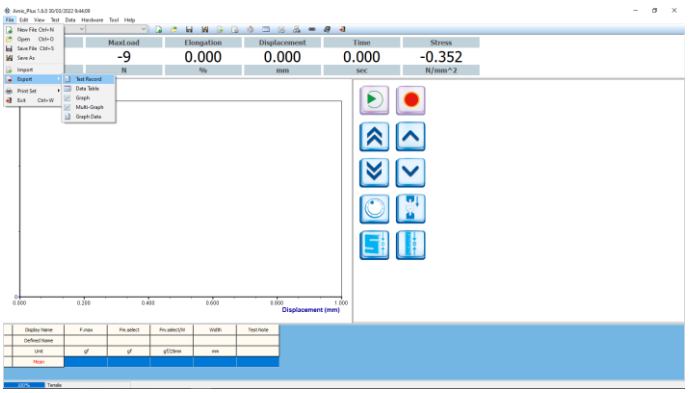


รูปที่ 18 เมื่อชิ้นงานทดสอบเสียหาย ให้กดปุ่ม “หยุดการทดลอง”

4.2.14 จะได้การทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 19

รูปที่ 19 ผลการทดสอบแรงดัด

4.2.15 บันทึกผลการทดสอบ กดที่ File จากนั้นเลือก Export จากนั้นเลือก Test Record ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 การบันทึกค่าการทดสอบ

4.2.16 โปรแกรมจะ Export ออกมาเป็นไฟล์ สกุล .CSV เพื่อเปิดในโปรแกรม Microsoft Excel

4.2.17 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะการเสียรูป และกราฟความเค้น-ความเครียด

4.2.18 คำนวนหาสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ค่า Bending Strength (Flexural Strength) และค่า Flexural Modulus (E_f) เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบการนำความร้อน

(Heat Conduction)

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อให้นักศึกษาเกิดทักษะในการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ

1.2 เพื่อให้นักศึกษาสามารถหาค่าการนา ความร้อน (Thermal conductivity) ที่อุณหภูมิต่างๆของวัสดุ

1.3 เพื่อวิเคราะห์ผลจากการวัดรวมทั้งวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของค่าการนำ ความร้อน k ที่หาได้

1.4 เพื่อแสดงให้เห็นลักษณะของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางการไหลของการนาความร้อนในทิศทางเดียวเมื่อไหลผ่านผนังราบ (เปลี่ยนแปลงเชิงเส้น) และไหลตามแนวรัศมีของวัตถุรูป ทรงกระบอกกลม (เปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ติดค่าอยู่ในรูปของค่า log)

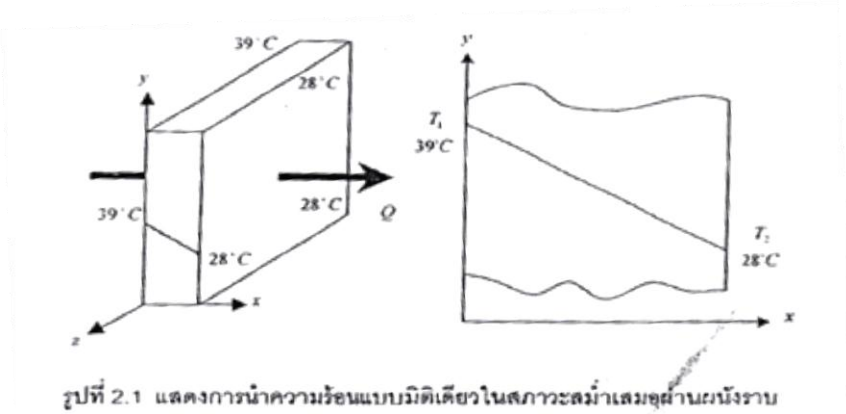
2.ทฤษฎีการนำความร้อน

การถ่ายเทความร้อนที่ศึกษาในการทดลองนี้เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ เกิดจากการแลกเปลี่ยนพลังงานจลน์ระหว่างอนุภาคเล็กๆของวัสดุ เช่น อะตอม อิเลคตรอน และโมเลกุล โดยอนุภาคที่มีพลังงานน้อยจะรับพลังงานจากอนุภาคที่มี พลังงานสูงกว่าจากการกระทบกันหรือชนกันระหว่างอนุภาคทั้งสองนั้น เช่น ถ้าหากสอดแท่ง โลหะเข้าไปในเปลวไฟแล้วใช้มือจับไว้ที่ปลายอีกด้านของแท่งโลหะนั้นแล้ว อะตอมของแท่ง โลหะทางปลายข้างที่อยู่ในเปลวไฟก็จะเกิดการเคลื่อนไหวหรือสั่นสะเทือนขึ้นๆ การเคลื่อนไหว หรือการสั่นสะเทือนนี้จะทา ให้อะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกันนั้นเกิดการกระทบกันหรือเกิดการชนกันขึ้น ดังนั้นก็จะมีพลังงานจลน์ถ่ายเทจากอะตอมที่มีพลังงานจลน์สูงไปให้แก่อะตอมที่มีพลังงานจลน์ต่า กว่า ส่งผลให้อะตอมของโลหะที่อยู่ห่างออกจากเปลวไฟมีการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น และการ สั่นสะเทือนนี้จะทาให้อุณหภูมิของโลหะเพิ่มขึ้น ถึงแม้จะสามารถอธิบายการถ่ายเทของความร้อนผ่านแท่งโลหะโดยการสั่นสะเทือนของอะตอม และการเคลื่อนไหวของอะตอมก็ตาม อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนา ก็ยังคงขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ เช่นเราสามารถถือแท่งใยหินไว้ได้นานเท่านานโดยไม่จา กัดเวลาทั้ง ๆ ที่ ปลายข้างหนึ่งอยู่ในเปลวไฟทั้งก็เพราะว่ามีความร้อนไหลผ่านแท่งใยหินโดยการนา เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ปกติแล้วโลหะจะเป็นตัวนา ความร้อนที่ดีทั้งนี้ก็เพราะว่าโลหะประกอบด้วยอิเลคตรอน จา นวนมากที่พร้อมจะเคลื่อนที่และเคลื่อนย้ายพลังงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง วัสดุจา พวกใย หิน ไม้คอร์ค กระดาษและไฟเบอร์กลาสเป็นตัวนาความร้อนที่เลว ก๊าซก็เป็นตัวนาความร้อนที่เลว เช่นเดียวกันทั้งนี้เพราะว่ามีมวลน้อยมาก

ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจะพิจารณาถึงอัตราการถ่ายเท่ความร้อนผ่านสาร หรือวัตถุตัวกลางภายใต้ภาวะสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงออกมาในรูปอุณหภูมิผิว การคำนวณสามารถอาศัยสมการอนุพันธ์มาประยุกต์ใช้เริ่มต้นจากการใช้รูปแบบของความต้านทานอุณหภูมิที่มีรูปแบบเหมือนกับความต้านทานไฟฟ้า ในส่วนต่างๆของตัวกลาง โดยเปรียบเทียบกับปัญหาทางวงจรไฟฟ้าในลักษณะที่ความต้านทานการกระจายของความร้อน เปรียบเสมือนความต้านทานไฟฟ้า ความแตกต่างของอุณหภูมิเปรียบเสมือนกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการถ่ายเท่ความร้อนเปรียบเสมือนกับกระแสไฟฟ้า

การนำความร้อนแบบสม่ำเสมอมิติเดียว

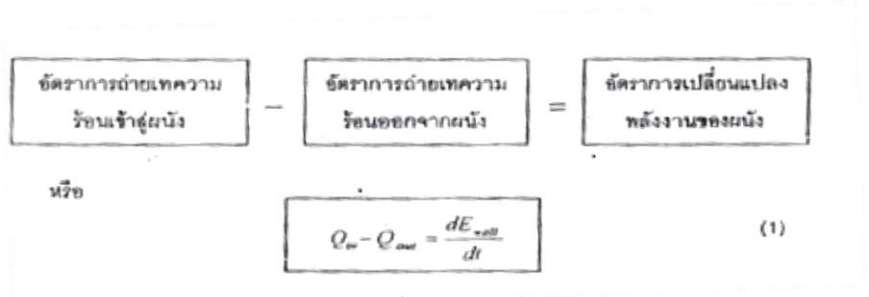
พิจารณาถึงการนำความร้อนสภาวะสม่ำเสมอผ่านผนังของบ้านเข้าไปตลอดช่วงของวันที่อากาศร้อน มีความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในบ้านอย่างต่อเนื่องในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่ส่งผ่านความร้อน



รูปที่ 2.1 แสดงการนำความร้อนแบบมิติเดียวในสภาวะสม่ำเสมอผ่านผนังราบ

สมมุติฐานว่ามีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นในทิศทางแกน **X** เมื่ออุณหภูมิของแต่ละจุดไม่มีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่วัดในจุดต่างๆของผนังด้านในหรือผนังด้านนอกจะต้องมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน อุณหภูมิที่ด้านบน กลาง ล่างของผิวผนังจะต้องเท่ากันตลอด ซึ่งหมายถึงว่าจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง จากบนลงมาล่าง หรือจากซ้ายไปขวา จะมีการถ่ายเทความร้อนก้อแต่เพียงอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่าง ผิวด้านในและด้านนอกของผนัง แสดงว่าความร้อนถ่ายเทในทิศทางจากผิวด้านในออกไปยังผิวด้านนอกทิศทางเดียว จากรูป 2.1 หากผนังบางมาก ความลาดชันของอุณหภูมิจะมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่ด้านในและด้านนอกยังมีอุณหภูมิเท่าเดิม ซึ่งแสดงว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกไปหรือสูญเสียออกไปมีมากขึ้น

เนื่องจากภายในผนังไม่มีแหล่งพลังงานความร้อน ดังนั้นสมการสมดุลพลังงานเขียนได้ คือ



แต่ $\frac{dE_{wall}}{dt} = 0$เนื่องจากเป็นภาวะสม่ำเสมอ คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุรหภูมิของผนังต่อเวลาในทุกๆจุด ดังนั้นอัตราของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนังจะต้องเท่ากับออกจากผนัง กล่าวได้ว่า”อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจะคงที่ตลอด”

$$Q_{condwall} = \text{ค่าคงที่}$$

พิจารณาผนังเรียบที่มีความหนา L และมีการนำความร้อน K ผนังทั้งสองด้านมีอุณหภูมิผิวที่คงที่ คือ T_1 ที่ด้านอุรหภูมิสูง และ T_2 ที่ด้านอุรหภูมิต่ำการนำความร้อนทิศทางเดียวและมีภาวะสม่ำเสมอผ่านผนังคือ $T(x)$ จากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ สำหรับผนังเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_{condwall} = -KA\frac{dt}{dx}$$

กำหนดให้

$Q_{condwall}$ คือ อัตราการนำความร้อน

A คือ พื้นที่ผิวของผนัง

$\frac{dt}{dx}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังต่อระยะความหนาของผนัง

จากสมการที่ 2 เมื่ออินทิกรัลจาก $x_1 = 0$ และ $T_0 = T_1$ ไปยัง $x_2 = L$ เมื่อ $T(L) = T_2$

$$Q_{condwall}\,dx = -kAdT$$

$$\int_{x=0}^{L} Q dx = -\int_{T1}^{T2} kAdT$$

$$Q_{condwall}(L-0) = -kA(T_2-T_1)$$

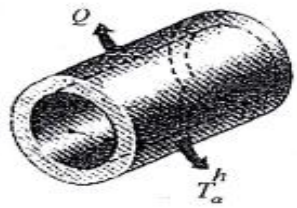
จะได้

$$Q_{condwall} = \frac{kA(T_2 - T_1)}{L}$$

สมการที่ 3 เหมือนกับการนำความร้อนพื้นบาน ซึ่งกล่าวว่า “อัตราการนำความร้อนผ่านผนังเรียบจะต้องเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าการนำความร้อน ขนาดพื้นที่ของผนัง และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แต่จะมีสัดส่วนกลับกันกับความหนาของผนัง”

การนำความร้อนในวัตถุรูปทรงกระบอกและทรงกลม

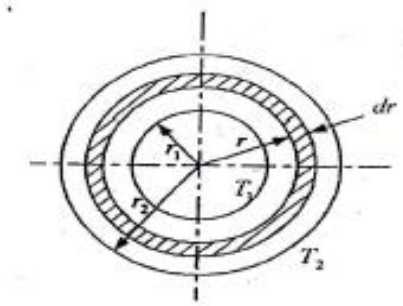
การนำความร้อนในวัตถุทรงกระบอก ได้แก่ การพิจารณาถึงการนำความร้อนของท่อน้ำร้อน ความร้อนภายในท่อจะสูญเสียออกภายนิกอย่างต่อเนื่องโดยผ่านผนังท่อ ความร้อนที่ถ่ายเทออกผ่านท่อต้องอยู่ในลักษณะทิศทางปกติ ไปยังผิวของผนังและไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากท่อในทิศทางอื่นๆ ตามรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงความร้อนที่สูญเสียออกจากท่อน้ำร้อนไปยังอากาศภายนอก ในทิศทางตามแนวรัศมี

สังเกตว่าการถ่ายเทความร้อนออกจากท่อมีลักษณะคล้ายการนำความร้อนแบบมิติเดียวในกรณีอุณหภูมิผิวภายในกับภายนอกของท่อที่มีขนาดต่างกัน ผนังของท่อบางและมีขนาดเล็ก อุณหภูมิแตกต่างในทิศทางรัศมีจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับผนังท่อที่หนากว่า อุณหภูมิของของไหลภายในท่อ และภายนอกท่อคงที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนของท่อเกิดสภาวะสม่ำเสมอ ดังนั้นกล่าวได้ว่า การถ่ายเทความร้อนผ่านท่ออยู่ในสภาวะสม่ำเสมอแบบมิติเดียว อุณหภูมิของท่อในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวเท่านั้น (ทิศทางรัศมี)แสดงว่า T=T(r) วิ่งอุณหภูมินี้ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวท่อ

ในขณะเดียวกันอุณหภูมิจะไม่แปรตามเวลา และความยาวของท่อ วิ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังท่อจะมีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากท่อ เมื่อพิจารณาชั้นด้านในทรงกระบอกที่มีรัศมีด้านใน r_1 และรัสมีของท่อภายนอก r_2 ความยาวของท่อกระบอก Lตัวท่อกระบอกมีค่าการนำความร้อน k ตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงหน้าตัดท่อทรงกระบอกยาว (หรือท่อทรงกลม)

ผิวทั้งสองด้านของทรงกระบอก จะมีอุณหภูมิคงที่คือT_1 และ T_2 ดังนั้นจึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนในแต่ละชั้นของผิวท่อและประกอบกับค่าการนำความร้อน k มีค่าคงที่ สำหรับการนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านแต่ละชั้นของทรงกระบอก กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์แสดงในรูปของสมการได้ดังนี้ คือ

$$Q_{\text{cond cyl}} = -kA\frac{dt}{dr}$$
$$A = 2\pi rL$$

เมื่อ A คือพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกระบอกที่มีการนำความร้อน

ชุดประลองการนำความร้อนตามแนวแกน

ชุดประลองการนำความร้อนแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ส่วนรับความร้อน ทำจากทองเหลืองทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. ยาว 100 มม. ตรงกลางของแท่งทองเหลืองเจาะรูสำหรับใส่เครื่องทำความร้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ยาว 30 มม. ภายนอกส่วนรับความร้อนหุ้มด้วยเทฟลอนเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. ระหว่างแท่งทองเหลืองกับเทฟลอนมีช่องว่าอากาศขั้นกลางอยู่ในส่วนวัดความร้อนติดตั้งช่องสำหรับวัดอุณหภูมิ 3 ช่อง โดยแต่ละช่องห่างกัน 10 มม.

2. ส่วนของชิ้นงานทดสอบ สำหรับชิ้นงานที่นำมาทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทองเหลือง อลูมิเนียม เหล็กไร้สนิม และเหล็กเหนียว รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. ยาว 45 มม. หุ้มด้วยเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. ระหว่างทองเหลืองกับเทฟลอนมีอากาศขั้นอยู่ตรงกลาง ชิ้นงานทดสอบนี้ติดตั้งช่องสำหรับวัดอุรหภูมิ 3 ช่อง แต่ละช่องห่างกัน 10 มม.

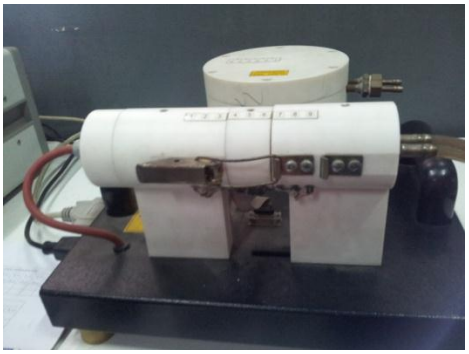
2.2 ทองเหลือง ทองแดง เหล็กไร้สนิม และอลูมิเนียม รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 45 มม. หุ้มด้วยเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. ระหว่างแท่งทองเหลืองกับเทฟลอนมีช่องว่างอากาศขั้นอยู่ตรงกลาง

3. ส่วนระบายความร้อน ส่วนระบายความร้อนทำจากทองเหลืองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. ยาว 100 มม. ปลายแท่งทองเหลืองเจาะรูระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ภายนอกของส่วนระบายความร้อนหุ้มด้วยเทฟลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. ระหว่างแท่งทองเหลืองกับเทฟลอนมีช่องว่าอากาศขั้นกลางอยู่ในส่วนระบายความร้อนติดตั้งช่องสำหรับวัดอุณหภูมิ 3 ช่องโดยแต่ละช่องห่างกัน 10 มม.

ชุดประลองความร้อนตามแนวรัศมี

ชุดประลองความร้อนตามแนวรัศมีประกอบด้วย แผ่นทองเหลืองกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 180 มม. หนา 10 มม. ตรงกลางของแผ่นทองเหลืองกลมติดตั้งด้วยเครื่องทำความร้อน และระบายความร้อนออกที่ขอบด้านนอกของแผ่นทองเหลืองด้วยน้ำ ช่องสำหรับวัดอุณหภูมิติดตั้งตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง เริ่มต้นที่จุดศูนย์กลางของแผ่นกลม และขยายออกไปตามแนวรัศมีทุกระยะ 10 มม. จำนวน 6 จุด

รูปที่ 3.1 แสดงด้านหน้าชุดควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 แสดงชุดประลองความร้อนตามแนวแกน

รูปที่ 3.3 แสดงชุดประลองความร้อนตามแนวรัศมี

รูปที่ 3.4 แสดงการประกอบชุดประลองความร้อนตามแนวแกน

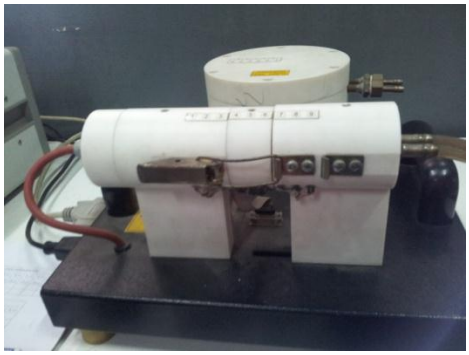
วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองการนำความร้อนสามารถแบ่งเป็นการทดลองตามแนวรัศมี และการทดลองการนำความร้อนตามแนวแกน โดยการทดลองการนำความร้อนตามแนวแกนจำทำการทดลองกับชิ้นงานทดลองซึ่งประกอบไปด้วย

- ชิ้นงานทดลองที่ทำจากทองเหลือง เหล็กไร้สนิม เหล็กเหนียวและอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม.
- ชิ้นงานทดลองทำจากทองเหลือง เหล็กไร้สนิม ทองแดงและอลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม.

โดยการเปลี่ยนแปลงชิ้นงานทดลองแต่ละครั้งควรปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเคร่งครัดเพื่อป้องกันชุดประลองเกิดการเสียหาย

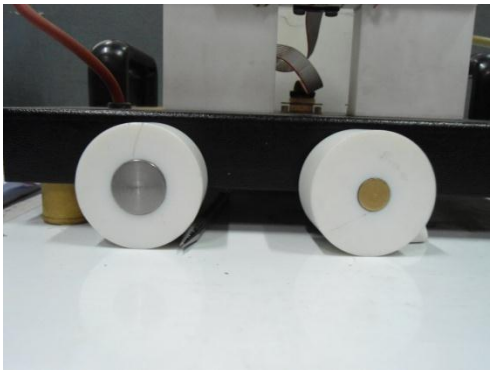
ขั้นตอนการเปลี่ยนชิ้นงานทดลองสำหรับการนำความร้อนตามแนวแกน



1.คลายโบลท์ปรับตั้ง A ทั้ง 2 ออกสุด

2.ดึงชุดทดลอง E ออกจาก B ให้แยกจากกันประมาณ 10 มม.

3.ถอดชิ้นงานทดลอง B ออกจากชุดทดลอง



4.ประกอบชิ้นงานทดลองใหม่ภายในชุดทดลอง B

5.ประกอบชุดทดลอง B เข้ากับ E

6.เลื่อนชุดทดลอง E เข้ากับ B แน่น

7.ตรวจโบลท์ดันชุดทดลอง C ให้แน่น

8.ประกอบสายวัดอุณหภูมิให้ครบทั้ง 9 จุด

9.ประกอบสายน้ำหล่อเย็น

ขั้นตอนการทดลองการนำความร้อนตามแนวแกน

1.ตรวจสอบสวิตช์ปิด-เปิด(2)ให้อยู่ตำแหน่งปิด

2.ปรับสวิตช์มิเตอร์(4) โดยการหมุนไปทวนเข็มนาฬิกาเพื่อลดความร้อนของชุดทำความร้อนให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด

3.ต่อไฟเข้าแหล่งจ่ายโดยใช้ไฟฟ้า 220V

4.เปิดระบบน้ำระบายความร้อนให้ไหลคงที่

5.เปิดสวิตช์(2)ไปยังตำแหน่งเปิด

6.ปรับย่านสวิตช์หัวอ่านอุณหภูมิ(3)ไปยังตำแหน่งที่1

7.ปรับแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดทำความร้อนให้อยู่ที่ตำแหน่งค่าต่ำๆเช่น 20W โดยอ่านค่าจากวัตต์มิเตอร์

8.ปล่อยให้เครื่องทำงานชั่วขณะจนอยู่ในสภาวะที่คงที่ที่ 20W

9.อ่านค่าอุณหภูมิจากจุดวัดทั้ง 9 จุด โดยการปรับย่านสวิตช์หัวอ่านอุณหภูมิ(3)

10.บันทึกอุณหภูมิทั้ง 9 จุด โดยอ่านค่าอุณหภูมิจาก (1)

ขั้นตอนการทดลองการนำความร้อนตามแนวรัศมี

1.ตรวจสอบสวิตช์ปิด-เปิดให้อยู่ในตำแหน่งปิด

2.ปรับวัตต์มิเตอร์โดยการหมุนไปทวนเข็มนาฬิกาเพื่อลดความร้อนของชุดทำความร้อนให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุด

3.ต่อไฟเข้าแหล่งจ่ายโดยใช้ไฟฟ้า 220V

4.เปิดน้ำระบบระบายความร้อนให้ไหลคงที่

5.เปิดสวิตช์ไปตำแหน่งเปิด

6.ปรับย่านสวิตช์หัวอ่านอุณหภูมิไปอยู่ตำแหน่งที่ 1

7.ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดทำความร้อนให้อยู่ที่ตำแหน่งค่าต่ำๆ เช่น 20W โดยอ่านค่าจากวัตต์มิเตอร์

8.ปล่อยให้เครื่องทำงานชั่วขณะจนอยู่ในสภาวะคงที่ที่ 20W

9.อ่านค่าอุณหภูมิจากจุดทั้ง 6 จุด โดยการปรับย่านสวิตช์หัวอ่านอุณหภูมิ

10.บันทึกอุณหภูมิทั้ง 6 จุดโดยอ่านค่าอุณหภูมิจาก (1)

ตารางผลการทดลอง

Axial heat conduction .....

Delta X=..... A= .....

Q (W)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
10									
20									
30									

ตารางแสดงผลการคำนวณค่า K ของวัสดุโดยการนำความร้อนตามแนวแกน (W/mk)								
Q (W)	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
10								
20								
30								

Axial heat conduction .....

Delta X=..... A= .....

Q (W)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
10									
20									
30									

ตารางแสดงผลการคำนวณค่า K ของวัสดุโดยการนำความร้อนตามแนวแกน (W/mk)								
Q (W)	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
10								
20								
30								

Axial heat conduction

Delta X=……A= ……

Q (W)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
10									
20									
30									

ตารางแสดงผลการคำนวณค่า K ของวัสดุโดยการนำความร้อนตามแนวแกน (W/mk)								
Q (W)	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
10								
20								
30								

Radial heat conduction

Delta r = …….A=…… L= ……..

Q (W)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
10						
20						
30						

ตารางแสดงผลการคำนวณค่า K ของวัสดุโดยการนำความร้อนตามแนวรัศมี (W/mk)					
Q (W)	K1	K2	K3	K4	K5
10					
20					
30					

6. วิจารณ์ผลการทดลอง

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

7. สรุปผลการทดลอง

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

การทดสอบการพาความร้อน

(Heat Convection)

1.วัตถุประสงค์ของการทดลอง (Objective of Experiment)

1.1 เพื่อศึกษาถึงผลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศที่ความเร็วและอุณหภูมิต่าง ๆ

1.2 เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Reynold's number

1.3 เพื่อศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวิชา Heat Transfer และนำทฤษฎีมาใช้คำนวณค่าของการทดลอง

1.4 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficiency) สำหรับ Heated within a Tube Bundle

1.5 หาผลกระทบเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของ Heated Tube ที่อยู่ในกลุ่มท่อ

1.6 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ Pressure Drop ของอากาศระหว่าง Tube Bundle ที่ความเร็วต่าง ๆ

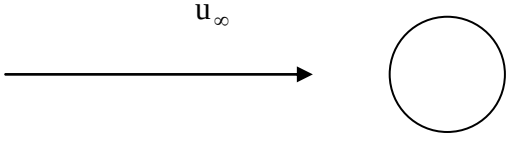
2.ทฤษฎี

2.1 การไหลตั้งฉากกับท่อ (Cross flow)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจำนวนมาก การแลกเปลี่ยนเกิดขึ้นโดยให้ของไหลชนิดหนึ่งไหลภายในท่อและของไหลชนิดหนึ่งไหลตั้งฉากกับท่อ สมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างท่อกับของไหลที่เคลื่อนที่ตั้งฉากกับท่อจึงมีความสำคัญมากในศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อน

สมการที่ใช้คำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกรณีของการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับท่อที่ให้ผลถูกต้องนั้น ส่วนมากได้มาโดยวิธีไพริกัล คือ การวิเคราะห์เชิงมิติและผลการทดลองจากการวิเคราะห์เชิงมิติได้พบว่า ในกรณีการพาความร้อนโดยการบังคับนั้น ตัวเลขนัสเซลท์เป็นฟังก์ชันของตัวเลขเรย์โนลด์และตัวเลขแพรนเติล[1]

2.1.1 <u>การไหลผ่านท่อเดียว</u>



<u>รูปที่ 1</u>การเคลื่อนที่ของของไหลผ่านท่อกลม

สมการแบบเอมไพกัลที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยระหว่างผิวท่อกับของไห้ใช้กันกว้างขวางมากคือ สมการเสนอโดย Hilpertใน Icropera and Dewitt [2] ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\overline{N_u} = CR_e^n P_r^{\frac{1}{3}} \qquad .....(1)$$

ค่า C และ n ได้ให้ไว้ในตารางที่ 1 คุณสมบัติของของไหลหาได้ที่อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของของไหลและผนังท่อในกรณีที่ของไหลเป็นอากาศ การทดลองได้พบว่า ตัวเลขแพรนเติลมีผลต่อค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนน้อยมาก ดังนั้นในกรณีนี้ อาจเขียนสมการให้ตัวเลขลัสเซลท์เป็นฟังก์ชันของตัวเลขเรย์โนลด์เท่านั้น ดังนี้คือ

$$\overline{N_n} = BR_e^m \qquad .....(2)$$

ค่า B และ M นั้นหาได้จากตารางที่ 2 โดยที่คุณสมบัติของของไหลได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังท่อและของไหล (mean film temperature)

ตารางที่ 1 ค่าของ C และ n [3]

R_e	C	n
1-4	0.989	0.33
4-40	0.911	0.385
40-4,000	0.683	0.466
4,000-40,000	0.193	0.618
40,000-250,000	0.0266	0.825

ตารางที่ 2 ค่าของ B และm [4]

R_e	m	B
1-4	0.330	0.891
4-40	0.385	0.821
40-4,000	0.466	0.615
4,000-40,000	0.618	0.174
40,000-250,000	0.805	0.0239

2.1.2 <u>การไหลผ่านกลุ่มท่อ</u>

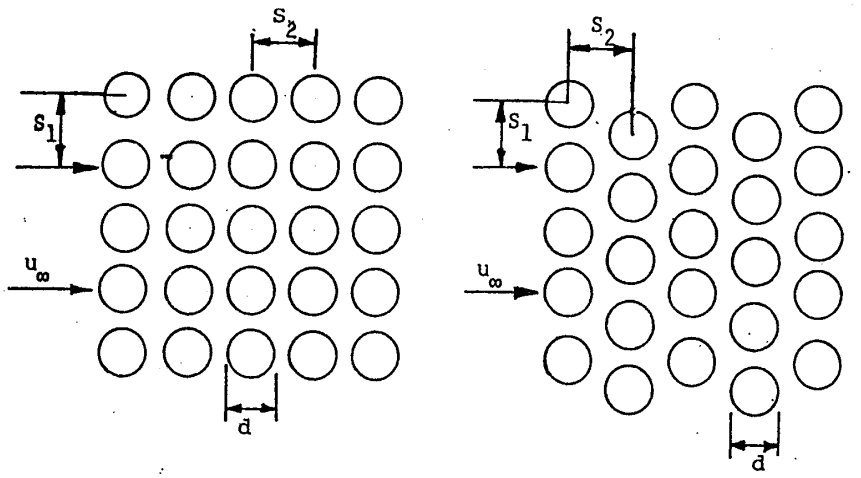
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่วนมากจะประกอบด้วย ท่อหลายท่อวางเรียงกันอยู่เป็นกลุ่ม ซึ่งเรียกกันว่ากลุ่มท่อ การเรียงท่อจะมีอยู่ 2 แบบ คือ การเรียงท่อที่อยู่ในแนวเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2ก และการเรียงสลับกัน ดังแสดงในรูปที่ 2ข สำหรับการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกรณีนี้นั้นจะใช้สมการที่หามาได้สำหรับท่อเดียวไม่ได้ เพราะลักษณะการพาของของไหล ซึ่งมีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมากนั้นแตกต่างไปจากกรณีของการไหลผ่านท่อเดียวมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่อที่อยู่ในแถวหลัง ๆ จากการทดลองได้พบว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อแต่ละแถวมีค่าไม่เท่ากัน สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อที่อยู่ในแถวท้าย ๆ จะมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนของท่อที่อยู่ในแถวต้น ๆ ทั้งนี้เพราะความปั่นป่วน (degree of turbulence) ของของไหลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อของไหลยิ่งไหลผ่านท่อมากแถวขึ้นและความปั่นป่วนนี้จะมีส่วนในการเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

สำหรับสมการที่จะใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั้น จากการทดลองได้พบว่าสมการในรูปต่อไปนี้ใช้ได้ผลดีคือ สมการที่เสนอโดย Grimisonซึ่งให้ไว้ในIncropera and Dewitt [5] ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\overline{N_u} = 1.13DR_{e,max}^{p}P_r^{\frac{1}{3}} \qquad .....(3)$$

สมการที่ (3) ให้ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน สำหรับกลุ่มท่อที่มีตั้งแต่ 10 แถวขึ้นไป โดยที่ค่าของตัวเลขเรย์โนลด์จะต้องคำนวณโดยอาศัยความเร็วสูงสุดนั้น ก็คือความเร็วเมื่อของไหลผ่านที่ว่างระหว่างท่อที่มีพื้นที่น้อยที่สุด ส่วนค่าคุณสมบัติของของไหลที่ใช้ในการคำนวณนั้นหาได้ที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของของไหลและของผนัง

สำหรับค่าของ D และ P ในสมการที่ (3) นั้น จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของที่และเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (S_1, S_2 และ d)ซึ่งจะแสดงไว้ในรูปที่ 2 ส่วนค่าของ P และ D ให้ไว้ในตารางที่ 3 สมการที่ (3) ใช้ได้ในกรณีที่กลุ่มท่อมีมากกว่า 10 แถว หากกลุ่มท่อมีน้อยกว่า 10 แถว ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยเฉลี่ยจะมีค่าต่ำกว่าที่ให้โดยสมการที่ (3) หากกลุ่มแถวมี 4 แถว ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่โดยสมการที่ (3) ประมาณ 12 % โดยที่แถวแรกจะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับในกรณีของท่อเดียว



(ก) เรียงในแนวเดียวกัน (ข) เรียงสลับ

รูปที่ 2 การเรียงท่อแบบแนวเดียวกันและการเรียงแบบสลับ

ตารางที่ 3 ค่าของ D และ P [6]

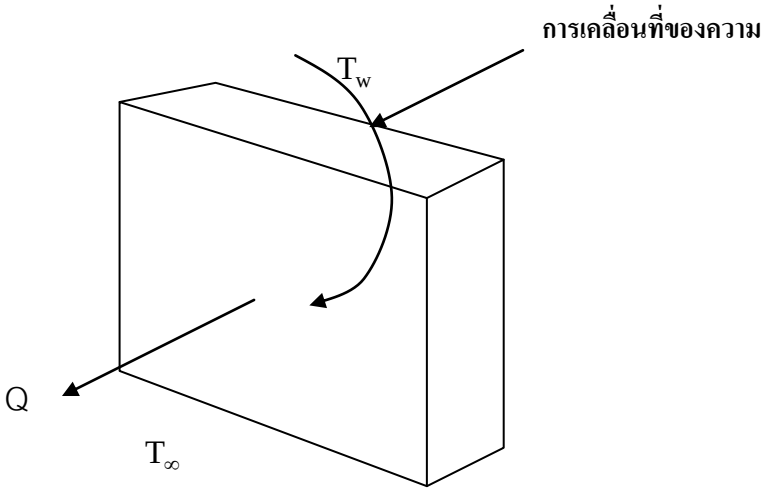
การจัดวางท่อ	$\frac{s_2}{d}$	$\frac{s_1}{d}$							
		1.25		1.50		2.0		3.0	
		P	D	P	D	P	D	P	D
เรียงในแถวเดียวกัน	1.25	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
(inline arrangement)	1.50	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.202	0.0678	0.744
	2.00	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.1980	0.648
	3.00	0.290	0.610	0.357	0.584	0.374	0.581	0.2860	0.608
เรียงสลับ	0.6	-	-	-	-	-	-	0.213	0.636
(staggered	0.9	-	-	-	-	0.446	0.571	0.401	0.521
arrangement)	1.0	-	-	0.497	0.558	-	-	-	-
	1.125	-	-	-	-	0.478	0.565	0.518	0.560
	1.5	0.518	0.566	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
	2.00	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
	2.50	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
	3.00	0.310	0.592	0.756	0.580	0.440	0.562	0.421	0.574

2.2 การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural convection)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การเคลื่อนที่ความร้อนแบบตามธรรมชาติ คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลไม่ถูกทำให้เคลื่อนไหวโดยกลไกภายนอก เมื่อพิจารณารูปที่ 3 วิ่งแสดงถึงวัตถุที่มีผิวเรียบอยู่ในของไหลซึ่งอยู่นิ่ง ถ้าอุณหภูมิของผิวสูงกว่าอุณหภูมิของของไหล ความร้อนจะเริ่มเคลื่อนที่มายังของไหลที่อยู่ชิดกับผนัง ทำให้ความหนาแน่นของของไหลที่อยู่ชิดกับผนังมีค่าต่ำลง ซึ่งจะทำให้เกิดแรงผลักดันให้ของไหลลอยตัวขึ้น ของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าก็จะเคลื่อนที่มาแทน และทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหลขึ้น จะเห็นได้ว่า การหมุนเวียนของของไหลเป็นผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล

เมื่อพิจารณาจะเห็นว่า อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนในกรณีนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณต่าง ๆ หลายปริมาณ เช่น คุณสมบัติต่างๆ ของของไหล ขนาดและลักษณะของของแข็ง อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างของไหลแงะพื้นผิว นอกจากนี้สัมประสิทธิ์การขยายตัวของสารซึ่งมีผลต่อแรง

ลอยตัวของสารก็ยังมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนอีกด้วย ถ้าจะหาสมการโดยการใช้คำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยวิธีการวิเคราะห์จะเป็นสิ่งที่ยากมากและทำได้ในกรณีที่ง่าย ๆ บางกรณีเท่านั้น สำหรับการพาตามธรรมชาติส่วนมากแล้วได้มาจากการวิเคราะห์เชิงมิติ



รูปที่ 3 การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพาตามธรรมชาติจากผนังราบในแนวตั้งมาสู่ของไหล

การวิเคราะห์เชิงมิติ เมื่อพิจารณาดูแล้วจะเห็นว่า ปริมาณต่าง ๆ ที่ควรมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกรณีการพาความร้อนตามธรรมชาติ คือ คุณสมบัติของของไหลที่มีอิทธิผลต่อการเคลื่อนที่ของของไหล นั่นก็คือ p , k , u , c_p และขนาดของผิว ซึ่งในที่นี้คือความยาวบ่งลักษณะ (characteristic length) l

นอกจากนี้ ปริมาณที่ความสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ได้ก้คือ แรงลอยตัว (buoyancy force) ซึ่งแรงลอยตัวเป็นฟังก์ชันของ βg

จะเห็นได้จากการวิเคราะห์เชิงมิติว่า สำหรับการพาตามธรรมชาติ ตัวเลขนัลเซลท์ หรือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นฟังก์ชันของตัวเลขแกรชอฟและตัวเลขแพรนเติล ส่วนสมการที่แท้จริงจะอยู่ในรูปใดนั้น จะต้องรู้ค่าของ B , e , และ f ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลอง

$$\overline{N_{ul}} = BG_{rl}^{e}P_r^{f} \qquad .....(4)$$

สำหรับการพาตามธรรมชาติเมื่อของไหลเป็นอากาศ สมการสำหรับการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างวัตถุและของไหลที่มี ใช้คำนวณหาค่าของสัมประสิทธิ์การพา

ความร้อนระหว่างวัตถุและของไหลทุกชนิด แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่า ปัญหาส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่วัตถุอยู่ในอากาศ ดังนั้นจะเป็นการสะดวกกว่ามากถ้ามีสมการสำหรับคำนวณสำหรับอากาศโดยเฉพาะ เหตุผลอีกประการหนึ่งที่ควรมีสมการสำหรับกรณีที่เป็นอากาศก็เพราะว่า สมการที่ (4) ค่อนข้างจะยุ่งยากและใช้เวลามากกว่าที่จะคำนวณค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้

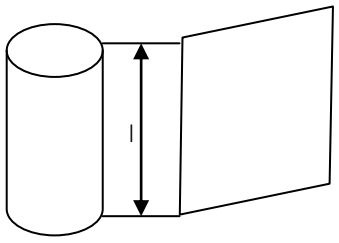
จากผลการทดลองปรากฏว่า สมการสำหรับคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเมื่อของไหลเป็นอากาศ สามารถที่จะทำให้อยู่ในรูปดังนี้

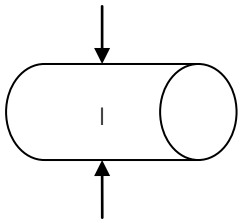
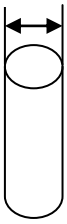
$$\bar{h} = B'\left(\frac{\Delta T}{C}\right)^{0.25} \qquad .....(5)$$

ค่าของ B’ และ C จะหาได้จากตารางที่ 4

ค่าที่ได้จากสมการที่ (5)ซึ่งใช้ค่าตัวคงที่ในตารางที่ 4 มีหน่วยอังกฤษ ในการหาค่า h จะต้องคำนวณหาค่าของ $G_{rl}P_r$ ก่อน ซึ่งก็ยุ่งยากพอสมควร เพื่อความรวดเร็วในกรณีของอากาศ กำหนดให้ $\beta g p^2 c_p / \mu k$ มีค่า 10^6 และคูณด้วย $l^3\Delta T$ เพื่อที่จะให้ได้ค่าประมาณของ $G_{rl}P_r$ โดยปรกติแล้วค่า $\beta g p^2 c_p / \mu k$ จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักกับอุณหภูมิ

ตารางที่ 4ค่าของ B,eและ f สำหรับวัตถุรูปต่าง ๆและอยู่ในลักษณะต่าง ๆ [7]

วัตถุ		B	e=f
 ผนังราบซึ่งอยู่ในแนวตั้ง หรือรูปทรงกระบอกขนาดใหญ่ ซึ่งอยู่ในแนวตั้งโดยที่ l คือความสูง			
$G_{rl}P_r < 10^8$	(ไอน้ำหรือของเหลวเหลว)	0.56	0.25
$G_{rl}P_r > 10^8$	ไอ	0.12	0.25
	น้ำ	0.17	0.33

 l  l รูปทรงกระบอกในแนวราบหรือท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กๆ ที่อยู่ในแนวตั้ง โดยที่ l คือเส้นผ่าศูนย์กลาง		
$G_{rl}P_r \langle 10^8$	0.47	0.25
$G_{rl}P_r \rangle 10^8$	0.10	0.33

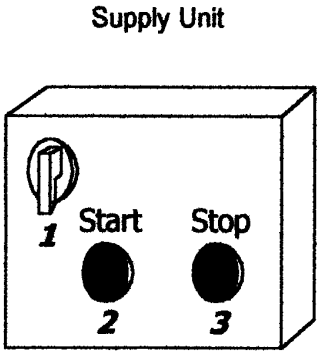
<u>หมายเหตุ</u>คุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหลหาได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิของผนังและของของไหล

วัตถุ	B'	C
ผนังราบซึ่งอยู่ในแนวตั้งหรือรูปทรงกระบอกขนาดใหญ่ ซึ่งอยู่ในแนวตั้งโดยที่ l คือความสูง		
$G_{rl}P_r \langle 10^8$	0.28	l
$G_{rl}P_r \rangle 10^8$	0.30	1
รูปทรงกระบอกในแนวราบ หรือท่อที่เส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก ๆ ที่อยู่ในแนวตั้งโดยที่ l คือเส้นผ่าศูนย์กลาง	0.24	l
$G_{rl}P_r \langle 10^8$	0.25	1
$G_{rl}P_r \rangle 10^8$		
ผนังราบเมื่ออุณหภูมิด้านบนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศ หรือเมื่อด้านล่างมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศและ l เป็นความยาวของด้านยาว	0.27	l
$G_{rl}P_r \langle 10^8$	0.35	1
$G_{rl}P_r \rangle 10^8$		
ผนังราบเมื่อด้านบนอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศหรือเมื่อด้านล่างมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศและ l เป็นความยาวของด้านยาวทุกค่าของ $G_{rl}P_r$	0.12	1

<u>หมายเหตุ</u>และ l คือปริมาณเดียวกัน

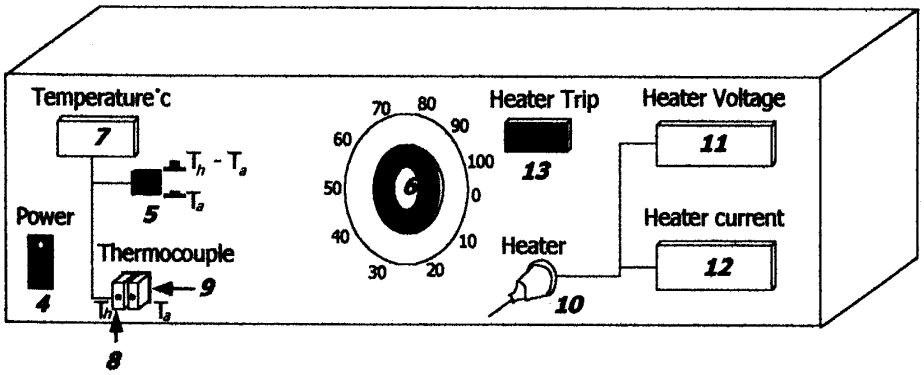
3.อุปกรณ์การทดลอง

รายละเอียดและสวิตช์ควบคุม Air Flow Heat Transfer and Earodynamics Bench



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของ Supply unit

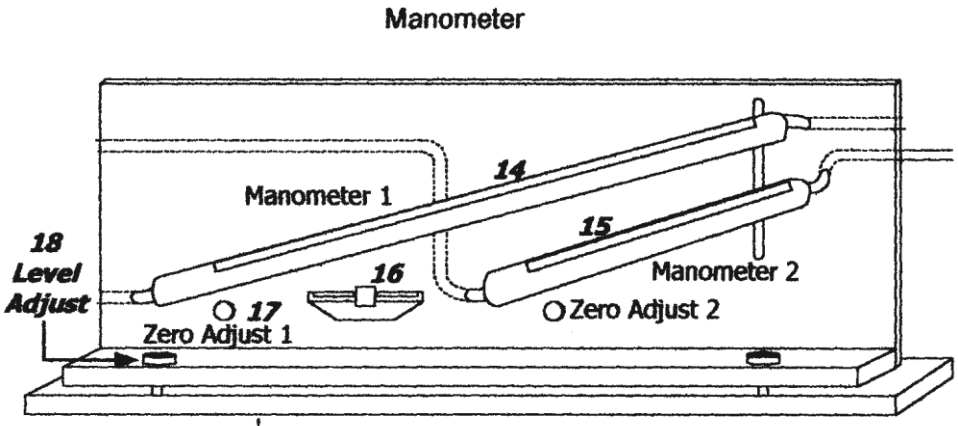
1. Main Switch เป็นสวิตช์ที่ควบคุม และต่อวงจรการทำงานทั้งหมดของเครื่องทดสอบ
2. Start Switch เป็นสวิตช์สำหรับ Start Fan Motor
3. Stop Switch เป็นสวิตช์ สำหรับหยุดการทำงานของ Fan Motor



รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของ Heat Transfer Apparatus Control Unit

4. Power Switch สำหรับตัดต่อการทำงานของ Heat Transfer Apparatus Control Unit
5. Switch สำหรับตรวจดูค่าของอุณหภูมิ ($T_h - T_a$) และ T_a เมื่อกดลงจะวัดอุณหภูมิ T_a และเมื่อปล่อยปกติจะวัดอุณหภูมิ($T_h - T_a$)
6. ปุ่มปรับค่าแรงเคลื่อน และกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้ Heater
7. จอแสดงค่าอุณหภูมิสำหรับดูค่าอุณหภูมิ($T_h - T_a$)หรือ T_a

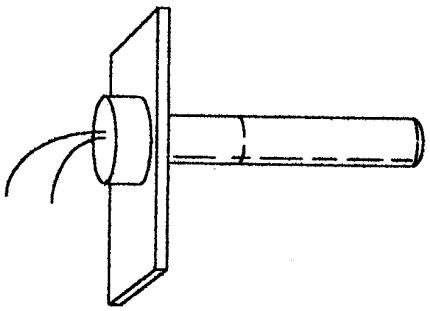
8. ช่องเสียบสายอุณหภูมิ T_h ใช้สำหรับต่อสาย Thermometer เพื่อวัดอุณหภูมิของ Heated Tube
9. ช่องต่อสายสัญญาณวัดอุณหภูมิ T_a ใช้ต่อสายสำหรับ Thermometer วัดอุณหภูมิของอากาศ
10. ช่องต่อสาย Heater ใช้ต่อสาย Heater เพื่อจ่ายกระแส และ แรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับ Heater tube
11. จอแสดงค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Tube
12. จอแสดงค่าของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Tube
13. ไฟแสดงการตัดกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ Heater Tube ไฟจะติดเมื่อมีการจ่ายกระแสให้กับ Heater Tube เกินขนาด ซึ่งอาจทำให้อุณหภูมิของ Heater Tube สูงเกินไป อาจทำให้เกิดการเสียหายได้



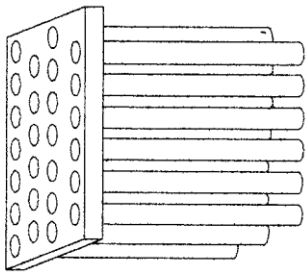
รูปที่ 6 แสดงส่วนประกอบของ Manometer

14. Manometer วัดค่า Pressure Drop ระหว่าง Heater Tube ชนิดต่าง ๆ
15. Manometer วัดค่าความเร็วซึ่งจะต่ออยู่กับ Pitot Tube
16. ลูกน้ำสำหรับวัดระดับของ Manometer ให้เที่ยงตรง
17. ปุ่มปรับระดับของ Manometer ให้อยู่ที่ศูนย์ (ก่อนการทดลอง)

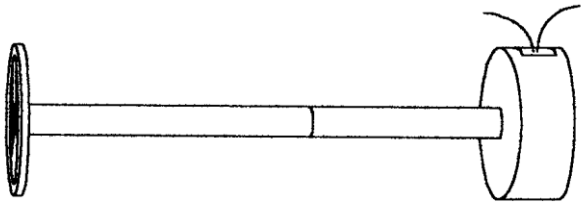
18. สกรูปรับระดับลูกน้ำ (หมายเลข 16)



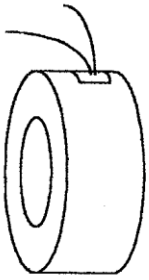
รูปที่ 7 แสดง Single Heated Tube (P3210) ใช้สำหรับการทดลอง Cross Flow Single Tube และ การทดลอง Free Convection



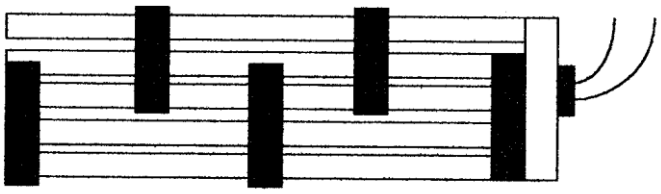
รูปที่ 8 **แสดง** Heated Tube within Tube Bundle (P3210) **ใช้สำหรับการทดลอง** Cross Flow Heated Tube within Tube Bundle



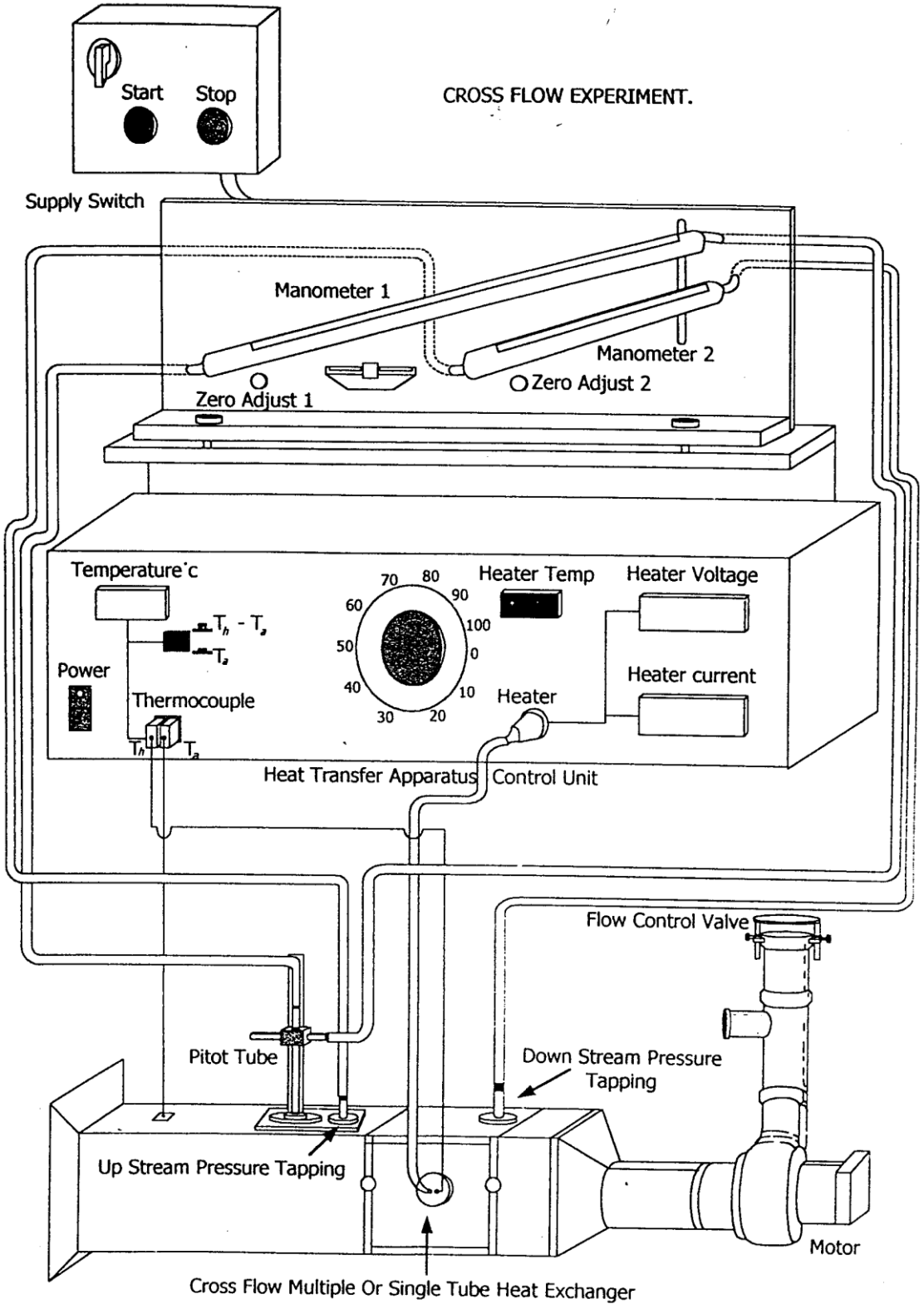
รูปที่ 9 **แสดง** Central Heat (P3212) **ใช้สำหรับการทดลอง** Parallel Flow Inner Tube



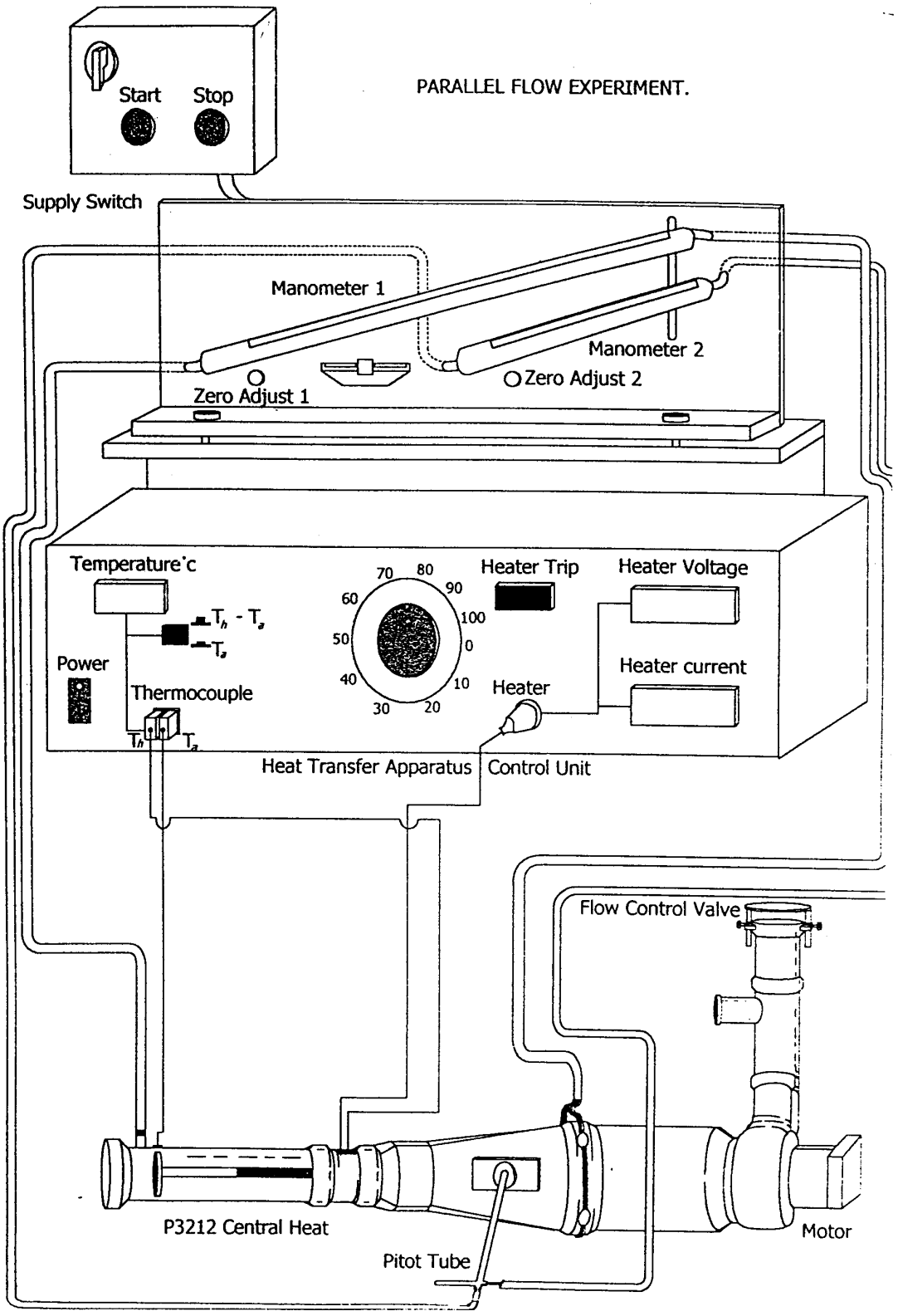
รูปที่ 10 **แสดง** Outer Heater (P3212) **ใช้สำหรับการทดลอง** Air Flow Through Heated Outer Tube



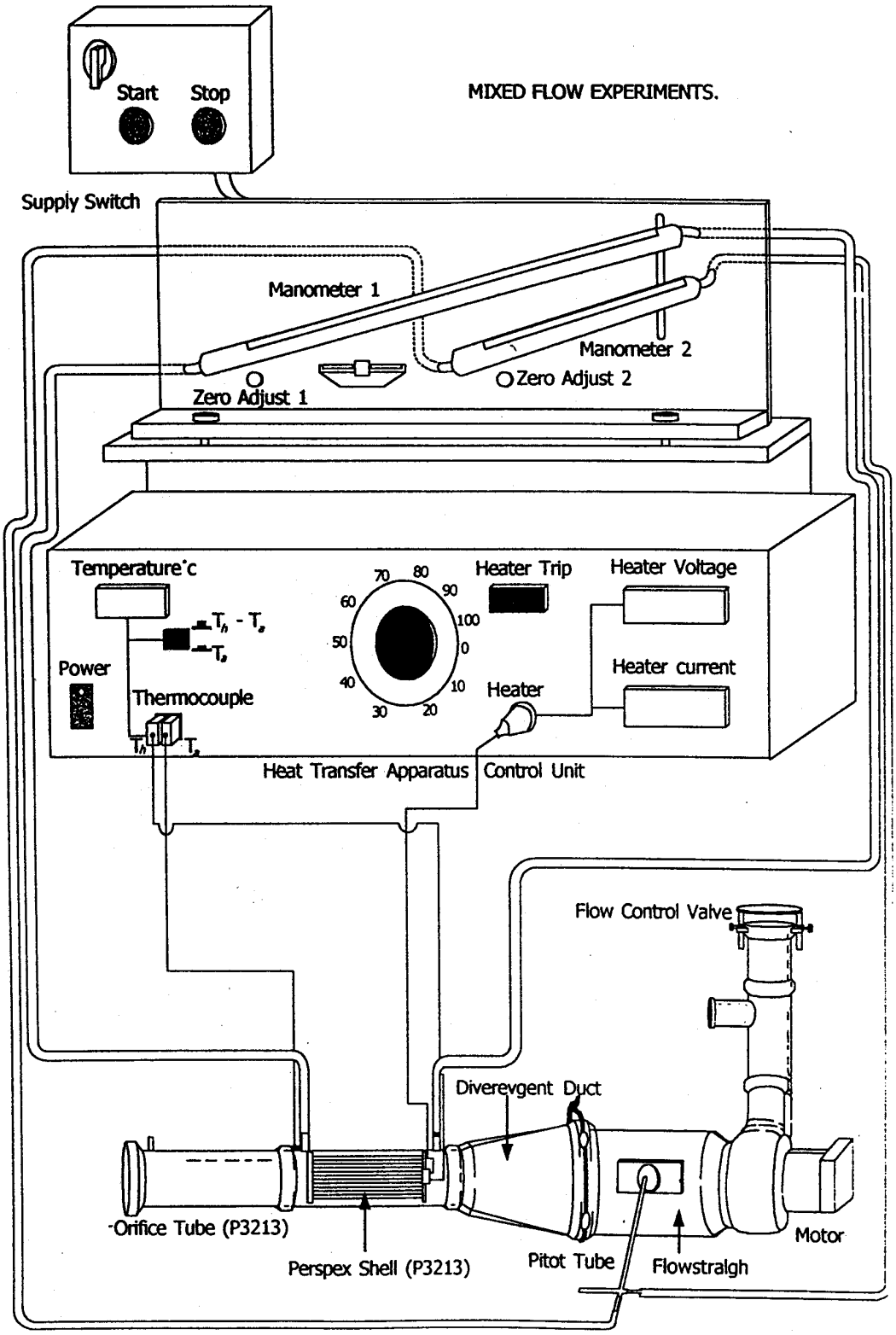
รูปที่ 11 **แสดง** Perspex Shell (P3213) **ใช้สำหรับการทดลอง** Mixed Flow Heat Exchanger



รูปที่ 12 แสดงการต่อวงจรการทดลอง Cross Flow และ Free Convection



รูปที่ 13 แสดงการต่อวงจรการทดลอง Parallel Flow Inner Tube



รูปที่ 14 แสดงการต่อวงจรการทดลอง Mixed Flow

4. วิธีการทดลอง (Procedure)

4.1 CROSS FLOW EXPERIMENT ดังรูปที่ 12

1. ติดตั้งชุดการทดลอง Single Tube Heat Exchager (P3210) สำหรับ Cross Flow Single Tube และ Multi Tube Heat Exchanger (P3210) สำหรับการทดลอง Cross Flow Multi Tube ตามลำดับ

2. ต่อสาย Heater เข้าอุปกรณ์การทดลอง ถ้าเป็นการทดลอง Cross Flow Multi Tube ให้ทำการทดลองโดยย้ายตำแหน่งของ Heater อย่างน้อย 2 ตำแหน่ง

3. ต่อสาย Thermocouple ในตำแหน่ง Ta เข้ากับอุปกรณ์

ข้อควรระวัง ในตำแหน่ง Ta และ Th ของ Thermocouple จะมีรูเสียบที่ไม่เท่ากัน คือ รูบนจะเล็กกว่ารูล่าง ดังนั้นจึงควรต่อให้ถูกต้อง

4. ต่อสาย Manometer 1 เข้ากับ Pitot Tube เพื่อใช้วัดค่าความเร็ว

ข้อควรระวัง อย่าต่อสายผิด ถ้าหากต่อสายผิดจะทำให้เกิดเป็นสุญญากาศทำให้ของเหลงใน Manometer ถูกดูดคืนกระเปราะ

5. ปรับ Pitot Tube ให้อยู่ตำแหน่งศูนย์และขนานกับทิศทางการไหลของอากาศ

6. ต่อสาย Manometer 2 ในตำแหน่ง Up Stream Pressure Tapping และตำแหน่ง Down Stream Pressure Tapping เพื่อใช้วัดค่า Pressure Drop

ข้อควรระวัง ควรต่อให้ถูกตำแหน่ง

7. ปรับตำแหน่ง Manometer 1 ให้อยู่ในตำแหน่งตั้งตรงหรือเอียง สำหรับเอียงจะมีแฟกเตอร์ตัวคูณช่วย ในการทดลองนี้ ปรับให้อยู่ตำแหน่งเอียง เพราะอ่านค่าได้ละเอียดกว่าตำแหน่งตั้งตรง

8. ปรับตำแหน่ง Manometer 2 ให้อยู่ในตำแหน่งตั้งตรงหรือเอียง สำหรับเอียงจะมีแฟกเตอร์ตัวคูณช่วย ในการทดลองนี้ ปรับให้อยู่ตำแหน่งเอียง เพราะอ่านค่าได้ละเอียดกว่าตำแหน่งตั้งตรง

9. ปรับระดับน้ำให้ได้ระดับ โดยปรับที่ Level Adjust

10. ปรับระดับของเหลวใน Manometer ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์ โดยปรับที่ Zero Adjust ทั้ง Manometer 1 และ Manometer 2

11. ปรับระดับ Air Outlet ที่ 100%

12. เปิด Main Switch

13. กดปุ่ม Start เพื่อให้มอเตอร์หมุน

ข้อควรระวัง ก่อนการทดลองควรอุ่นเครื่องประมาณ 30 นาที

14. กดปุ่ม Power

15. ปรับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ Th-Ta ที่จอแสดง ให้ได้ 40°C โดยปรับค่ากระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับ Heater ถ้าหากอุณหภูมิของ Heater (Th) ถึง 80°C ที่จะเกิด Heater Trip โดยจะตัดกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กับ Heater เพื่อป้องกันการเสียหาย

16. ปรับระดับ Air Outlet ให้ลดลงจนถึง 10% ของพื้นที่ที่เปิดอยู่

17. บันทึกค่าการทดลอง

ข้อควรระวัง ควรให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ในสภาวะที่คงตัวก่อนการบันทึกผลการทดลอง

4.2 PARALLEL FLOW EXPERIMENTS ดังรูปที่ 13

1. ติดตั้งชุดการทดลอง Center Heat (P3212) สำหรับการทดลอง Parallel Flow Inner Tube และ Outer Heater (P3212) สำหรับการทดลอง Air Flow Heated Outer Tube ตามลำดับ

2. ต่อสาย Heater เข้ากับอุปกรณ์การทดลอง

3. ต่อสาย Thermocouper ในตำแหน่ง Ta เข้าอุปกรณ์

ข้อควรระวัง ในตำแหน่ง Ta และ Th ของ Thermocouple จะมีรูเสียบที่ไม่เท่ากัน คือ รูบนจะเล็กรูล่างดังนั้น ควรต่อสายให้ถูกต้อง

4. ต่อสาย Manometer 1 เพื่อใช้วัดค่า Pressure Drop สำหรับการทดลอง Parllel Flow Inner Tube และต่อสาย Manometer 1 เพื่อใช้วัดค่า Pressure Drop สำหรับการทดลอง Air Flow Heater Outer Tube

ข้อควรระวัง ในการทดลอง Air Flow Heater Outer Tube ถ้าหาก Manometer 1 อ่านค่าได้ติดลบหรือของเหลวกลับคือกระเปาะให้ทำการสลับสาย

5. ปรับ Pitot Tube ให้อยู่ตำแหน่งศูนย์และขนานกับทิศทางการไหลของอากาศ

6. ต่อสาย Manometer 2 เข้ากับ Pitot Tube เพื่อใช้วัดค่าความเร็ว

ข้อควรระวัง อย่าต่อสายผิด ถ้าหากต่อสายผิดจะทำให้เกิดเป็นสุญญากาศทำให้ของเหลงใน Manometer ถูกดูดคืนกระเปราะ

7. ปรับตำแหน่ง Manometer 1 ให้อยู่ในตำแหน่งตั้งตรงหรือเอียง สำหรับเอียงจะมีแฟกเตอร์ตัวคูณช่วย ในการทดลองนี้ ปรับให้อยู่ตำแหน่งเอียง เพราะอ่านค่าได้ละเอียดกว่าตำแหน่งตั้งตรง

8. ปรับตำแหน่ง Manometer 2 ให้อยู่ในตำแหน่งตั้งตรงหรือเอียง สำหรับเอียงจะมีแฟกเตอร์ตัวคูณช่วย ในการทดลองนี้ ปรับให้อยู่ตำแหน่งเอียง เพราะอ่านค่าได้ละเอียดกว่าตำแหน่งตั้งตรง

9. ปรับระดับน้ำให้ได้ระดับ โดยปรับที่ Level Adjust

10. ปรับระดับของเหลวใน Manometer ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์ โดยปรับที่ Zero Adjust รูปที่ 8/17 ทั้ง Manometer 1 และ Manometer 2

11. ปรับระดับ Air Outlet ที่ 100%

12. เปิด Main Switch

13. กดปุ่ม Start เพื่อให้มอเตอร์หมุน

ข้อควรระวัง ก่อนการทดลองควรอุ่นเครื่องประมาณ 30 นาที

14. กดปุ่ม Power รูปที่ 7/4

15. ปรับค่าความแต่ต่างของอุณหภูมิ Th – Ta ที่จอแสดงให้ได้ 40°C โดยปรับค่ากระแสและแรงดันที่จ่ายให้กลับ Heater ถ้าอุณหภูมิของ Heater (Th) ถึง 80°C ก็จะเกิด Heater Trip โดยจะตัดกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กลับ Heater เพื่อป้องกันการเสียหาย

16. ปรับระดับ Air Outlet ให้ลดลงจนถึง 10 % ของพื้นที่ที่เปิดอยู่

17. บันทึกค่าทดลอง

ข้อควรระวัง ควรจะให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงตัวก่อนการบันทึกผลการทดลอง

4.3 Natural convection Experiments

1. ติดตั้งชุดการทดลอง Single Tube Exchanger (P3210)

2. ต่อสาย Heater เข้ากับอุปกรณ์การทดลอง

3. ต่อสาย Thermocouple ในตำแหน่ง Ta เข้ากับอุปกรณ์

ข้อควรระวัง ในตำแหน่ง Ta และ Th ของ Thermocouple จะมีรูเสียบที่ไม่เท่ากัน คือ รูบนจะเล็กกว่ารูล่าง ดังนั้นจึงควรต่อให้ถูกต้อง

4. ปรับระดับ Air Outlet 100 %

5. เปิด Main Switch

6. กดปุ่ม Power

7. ปรับระดับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ Th – Ta ที่จอแสดงผลให้ได้ค่า 20°C และเพิ่มทีละ 10°C จนกระทั้ง Heater Trip โดยปรับค่ากระแสและแรงดันที่จ่ายเข้ากับ heater

8. บันทึกค่าการทดลอง

4.4 MIXED FLOW EXPERIMENTS ดังรูป 14

1. ติดตั้งชุดการทดลอง Perspex Phell (P3213)

2. ต่อสาย Heater เข้ากับอุปกรณ์การทดลอง

3. ต่อสาย Thermocouple ในตำแหน่ง Ta เข้ากับอุปกรณ์

ข้อควรระวัง ในตำแหน่ง Ta และ Th ของ Thermocouple จะมีรูเสียบที่ไม่เท่ากัน คือ รูบนจะเล็กกว่ารูล่าง ดังนั้นจึงควรต่อให้ถูกต้อง

4. ต่อสาย Manometer เพื่อใช่วัดค่า Pressure Drop

5. ปรับ Pilot Pube ให้อยู่ในตำแหน่งศูนย์และขนากกับทิศทางการไหลของอากาศ

6. ต่อสาย Manometer 2 เข้ากับ Pilot Pube เพื่อใช้วัดความเร็ว

ข้อควรระวัง อย่าต่อสายผิด ถ้าต่อสายผิดจะทำให้เกิดสุญญากาศทำให้ของเหลวใน Manometer ถูกดูดคืนกะเปาะ

7. ปรับตำแหน่ง Manometer 1 ให้อยู่ในตำแหน่งตรงหรือเอียง สำหรับเอียงจะมีแฟกเตอร์ตัวคูนช่วยในการทดลองนี้ ปรับให้อยู่ในตำแหน่งเอียง เพราะอ่านค่าได้ละเอียดกว่าตำแหน่งตั้งตรง

8. ปรับตำแหน่ง Manometer 2 ให้อยู่ในตำแหน่งตรงหรือเอียง สำหรับเอียงจะมีแฟกเตอร์ตัวคูนช่วยในการทดลองนี้ ปรับให้อยู่ในตำแหน่งเอียง เพราะอ่านค่าได้ละเอียดกว่าตำแหน่งตั้งตรง

9. ปรับระดับน้ำให้ได้ระดับโดยปรับที่ Level Adjust ปรับระดับของเหลวใน Manometer 1 ให้อยู่ในตำแหน่ง ศูนย์โดยปรับที่ Zero Adjust ที่ manometer 1 และ manometer 2

10. ปรับระดับ Air Outlet ที่ 100%

11. เปิด Main Switch

12. กดปุ่ม Start เพื่อให้มอเตอร์หมุน

<u>ข้อควรระวัง</u> การทดลองควรอุ่นเครื่องประมาณ 30 นาที

13. กดปุ่ม power

14. ปรับค่าความแต่ต่างของอุณหภูมิ Th – Ta ที่จอแสดงให้ได้ 40°C โดยปรับค่ากระแสและแรงดันที่จ่ายให้กลับ Heater ถ้าอุณหภูมิของ heater (Th) ถึง 80°C ก็จะเกิด heater trip โดยจะตัดกระแสและแรงดันที่จ่ายให้กลับ Heater เพื่อป้องกันการเสียหาย

15. ปรับระดับ Air Outlet ให้ลดลงจนถึง 10 % ของพื้นที่ที่เปิดอยู่

16. บันทึกค่าการทดลอง

<u>ข้อควรระวัง</u> ควรให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงตัวก่อนการบันทึกผลการทดลอง

5. ตารางผลการทดลองและผลการคำนวณ

ตารางผลการทดลอง (Single tube Cross flow @ …… mm)

% Outlet air	Pitot reading P_v		Pressure drop		Inlet Temp T_a	T_h-T_a	surface Temp	Heater Voltage Volts	Heater Current Amps.	Film Temp K
	mmH_2O	Pa	mmH_2O	Pa						
20%						40				
40%						40				
60%						40				
80%						40				
100%						40				

ตารางผลการคำนวณ (Single tube Cross flow @ ……mm)

% Outlet air	Free Velocity m/s	power (q) Watts	h0	K_F	ρ	μ_F	Nu	Re
			W/(m^2k)	W/(m^2k)	kg/m^3	Pa.s		
20%								
40%								
60%								
80%								
100%								

ตารางผลการทดลอง (Multi tube Cross flow @ …….. mm : Position 1)

% Outlet air	Pitot reading P_v		Pressure drop		Inlet Temp T_a	T_h-T_a	surface Temp	Heater Voltage Volts	Heater Current Amps.	Film Temp K
	mmH_2O	Pa	mmH_2O	Pa						
20%						40				
40%						40				
60%						40				
80%						40				
100%						40				

ตารางผลการคำนวณ (Multi tube Cross flow @ ..... mm :Position 1)

% Outlet air	Free Velocity m/s	power (q) Watts	h0 W/(m^2k)	K_F W/(m^2k)	ρ kg/m^3	μ_F Pa.s	Nu	Re
20%								
40%								
60%								
80%								
100%								

ตารางผลการทดลอง (Multi tube Cross flow @ ..... mm : Position 2)

% Outlet air	Pitot reading P_v		Pressure drop		Inlet Temp T_a	T_h-T_a	surface Temp	Heater Voltage Volts	Heater Current Amps.	Film Temp K
	mmH_2O	Pa	mmH_2O	Pa						
20%						40				
40%						40				
60%						40				
80%						40				
100%						40				

ตารางผลการคำนวณ (Multi tube Cross flow @ .....mm :Position 2)

% Outlet air	Free Velocity m/s	power (q) Watts	h0 W/(m^2k)	K_F W/(m^2k)	ρ kg/m^3	μ_F Pa.s	Nu	Re
20%								
40%								
60%								
80%								
100%								

ตารางผลการทดลอง (Multi tube Cross flow @ ……. mm : Position 3)

% Outlet air	Pitot reading P_v		Pressure drop		Inlet Temp T_a	T_h-T_a	surface Temp	Heater Voltage	Heater Current	Film Temp
	mmH_2O	Pa	mmH_2O	Pa				Volts	Amps.	K
20%						40				
40%						40				
60%						40				
80%						40				
100%						40				

ตารางผลการคำนวณ (Multi tube Cross flow @ 12.7 mm :Position 3)

% Outlet air	Free Velocity m/s	power (q) Watts	h0	K_F	ρ	μ_F	Nu	Re
			W/(m^2k)	W/(m^2k)	kg/m^3	Pa.s		
20%								
40%								
60%								
80%								
100%								

ตารางผลการทดลอง (Multi tute Cross flow @ …… mm : Position 4)

% Outlet air	Pitot reading P_v		Pressure drop		Inlet Temp T_a	T_h-T_a	surface Temp	Heater Voltage	Heater Current	Film Temp
	mmH_2O	Pa	mmH_2O	Pa				Volts	Amps.	K
20%						40				
40%						40				
60%						40				
80%						40				
100%						40				

ตารางผลการคำนวณ (Multi tube Cross flow @ .....mm: Position 4)

% Outlet air	Free Velocity m/s	power (q) Watts	h0 W/(m^2k)	K_F W/(m^2k)	ρ kg/m^3	μ_F Pa.s	Nu	Re
20%								
40%								
60%								
80%								
100%								

ตารางผลการทดลอง (PARALLEL FLOW)

% Outlet air	Pitot reading P_v		Pressure drop		Inlet Temp T_a	T_h-T_a	surface Temp	Heater Voltage Volts	Heater Current Amps.	Film Temp K
	mmH_2O	Pa	mmH_2O	Pa						
20%						40				
40%						40				
60%						40				
80%						40				
100%						40				

ตารางผลการคำนวณ (PARALLEL FLOW)

% Outlet air	Free Velocity m/s	power (q) Watts	h0 W/(m^2k)	K_F W/(m^2k)	ρ kg/m^3	μ_F Pa.s	Nu	Re
20%								
40%								
60%								
80%								
100%								

ตารางผลการทดลอง (MIXED FLOW)

% Outlet air	Pitot reading P_v		Pressure drop		Inlet Temp T_a	T_h-T_a	surface Temp	Heater Voltage	Heater Current	Film Temp
	mmH_2O	Pa	mmH_2O	Pa				Volts	Amps.	K
20%						40				
40%						40				
60%						40				
80%						40				
100%						40				

ตารางผลการคำนวณ (MIXED FLOW)

% Outlet air	Free Velocity m/s	power (q) Watts	h0	K_F	ρ	μ_F	Nu	Re
			W/(m^2k)	W/(m^2k)	kg/m^3	Pa.s		
20%								
40%								
60%								
80%								
100%								

6. วิจารณ์ผลการทดลอง

7. สรุปผลการทดลอง

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

ต้นฉบับ

การส่งถ่ายความร้อนแบบแผ่รังสี

Radiation Heat Transfer

1	Heater Box (Radiation Heat Source)	9	Heater On/Off Switch
2	Radiometer Sensor	10	Thermocouple socket
3	Black Plate (with Thermocouple)	11	Lamp On/Off of Light Box
4	Aluminum Plate	12	Light Box
5	Radiometer (mW/cm^2)	13	Light Sensor
6	Heater Controller (Radiation Heat Source temperature Display, Red Digits) (Green Digits are set Temperature)	14	Light Meter (Display in Lux)
7	Surface Temperature Display of plugged surface thermocouple	15	Color Acrylic Filters
8	Room Temperature Display		

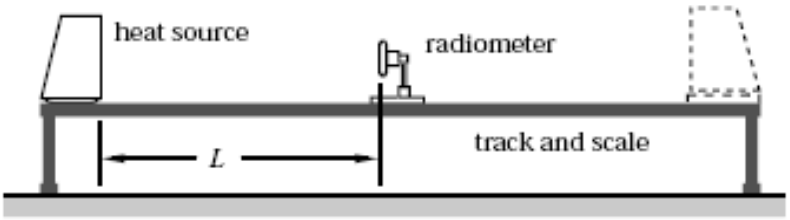
การทดลองที่ 1 การส่งถ่ายความร้อนแบบการแผ่รังสี (Radiation heat transfer)

Part A Inverse Square Law

ต้นฉบับ

"พลังงานจะเป็นปฏิภาคผกผันกับระยะระหว่างแหล่งให้ความร้อนและตัวรับยกกำลังสอง"

$$q'' = \frac{1}{L^2} \qquad (1)$$



ขั้นตอนการทดลอง

1. เปิด main switch
2. ปรับ heater control ที่อุณหภูมิ 100 °C
3. เริ่มต้นระยะ L=16 cm
4. รอจนกระทั่งอุณหภูมิ heater อยู่ในสภาวะคงที่
5. ดึงฝา radiometer sensor ออก
6. รอจนกระทั่งค่าที่ radiometer อยู่ในสภาวะคงที่แล้วบันทึกค่า
7. เริ่มดำเนินการตั้งแต่ข้อที่ 3 โดยเปลี่ยนค่า L ดังตารางข้างล่าง

L (cm)	16	24	32	40	48	56	64
q” (mW/cm^2)							

กราฟแสดงผลการทดลอง

อธิบายผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

Part B

Stefan-Boltzmann Law

$$\frac{\dot{Q}}{A}\alpha T^4 \qquad (2)$$

$$\dot{Q}\alpha AT^4 \qquad (3)$$

ค่า Stefan-Boltzmann, σ = 5.67 x 10^{-8} W/(m^2·K^4)

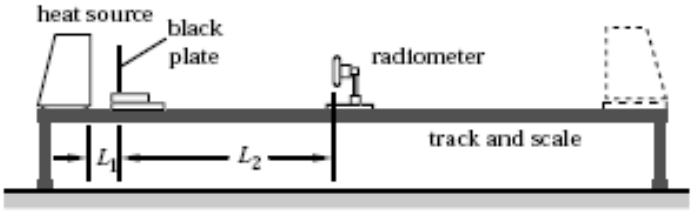
การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี จะแสดงดังสมการที่ 4

$$\dot{Q} = \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \qquad (4)$$

ค่า ε คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเป็นวัตถุดำ และน้อยกว่า 1 สำหรับวัตถุสีเทา

T_1 หมายถึง อุณหภูมิตัวแผ่รังสี (วัตถุดำ) และ T_2 หมายถึง อุณหภูมิตัวรับ (อุณหภูมิห้อง)

ขั้นตอนการทดลอง

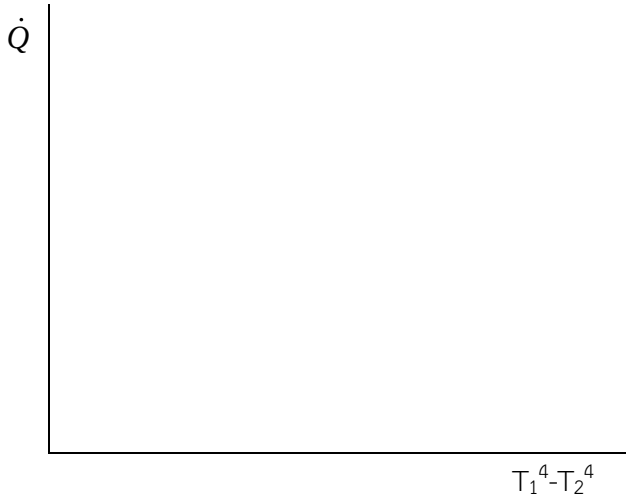


1. ปรับค่า L_1 = 5 cm และ L_2 = 4 L_1 cm
2. ตั้งค่าอุณหภูมิ heater = 75 °C และเมื่ออุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงที่ ให้บันทึกค่า Surface temp ลงในช่อง $T_{black\ body}$ บันทึกค่า Room temp ลงในช่อง T_{room} และบันทึกค่า Radiometer
3. ทำการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ heater ดังตารางและทำการบันทึกค่าเหมือนในข้อ 2

et (°C)	$T_{black\ body}$ (°C)	$T_{black\ body}$ K	T_{room} (°C)	T_{room} K	Radiometer (mW/cm^2)	A_{plate} (cm^2)	T_1^4-T_2^4 (°C)	$\dot{Q}$ (W)	$\frac{\dot{Q}}{A}$ (mW/cm^2)
75						300			
100						300			
125						300			
150						300			

ต้นฉบับ

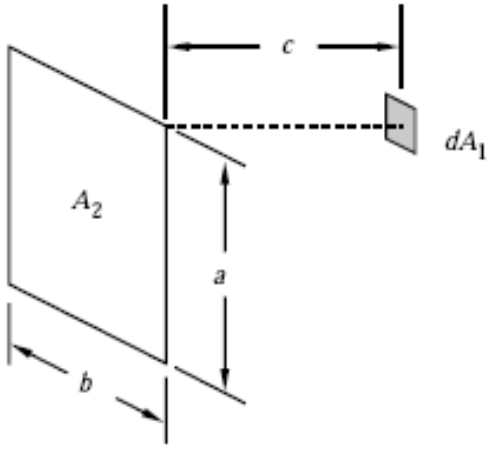
กราฟแสดงผลการทดลอง



อธิบายผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 2 **การแผ่รังสีของวัถตุดำและสีเทา (Emissivity of black and gray surfaces)**

ต้นฉบับ



ตัวประกอบรูปร่างที่พื้นที่และตำแหน่งแตกต่างกัน

$x = a/c,\ y = b/c$

$$F_{d12} = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\tan^{-1}\left(\frac{y}{\sqrt{1+x^2}}\right) + \frac{y}{\sqrt{1+y^2}}\tan^{-1}\left(\frac{x}{\sqrt{1+y^2}}\right)\right]$$

$$\frac{\dot{Q}_{emitted}}{A} = (radiometer\ reading)x\frac{1}{F_{d12}} \qquad (1)$$

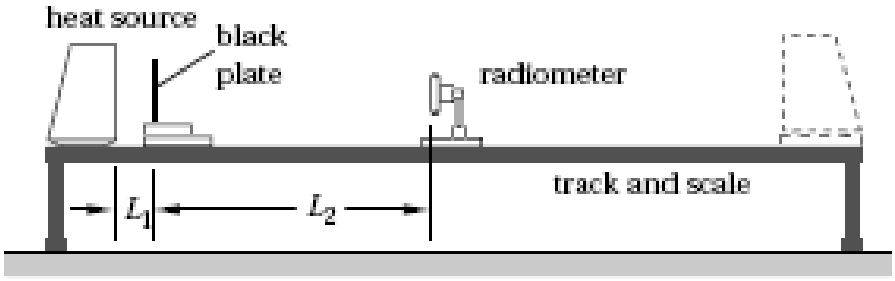
a	b	c	x	y	F_{d12}	$\dot{Q}_{emitted}$
20	15	16				
20	15	32				
20	15	48				
20	15	64				

$$\dot{Q} = \sigma A_1 \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \qquad (2)$$

ต้นฉบับ

$$\varepsilon_1 = \frac{\dot{Q}}{A_1\sigma(T_1^4 - T_2^4)} \qquad (3)$$

ขั้นตอนการทดลอง



1. ปรับค่า L_1 = 5 cm และ L_2 = 2 L_1 cm
2. ตั้งค่าอุณหภูมิ heater = 75 °C และเมื่ออุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงที่ ให้บันทึกค่า Surface temp ลงในช่อง $T_{black\ body}$ บันทึกค่า Room temp ลงในช่อง T_{room} และบันทึกค่า Radiometer
3. ทำการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ heater ดังตารางและทำการบันทึกค่าเหมือนในข้อ 2

Black plate

T_{set} (°C)	$T_{black\ body}$		T_{room}		Radiometer (mW/cm^2)	$\dot{Q}$ emitted (W)	A_{plate} (m^2)	T_1^4-T_2^4 (°C)	ε
	(°C)	K	(°C)	K					
75							0.03		
100							0.03		
125							0.03		
150							0.03		

กำหนด σ = 5.67x10^{-8} W/(m^{2}K^4)

Aluminium plate

ต้นฉบับ

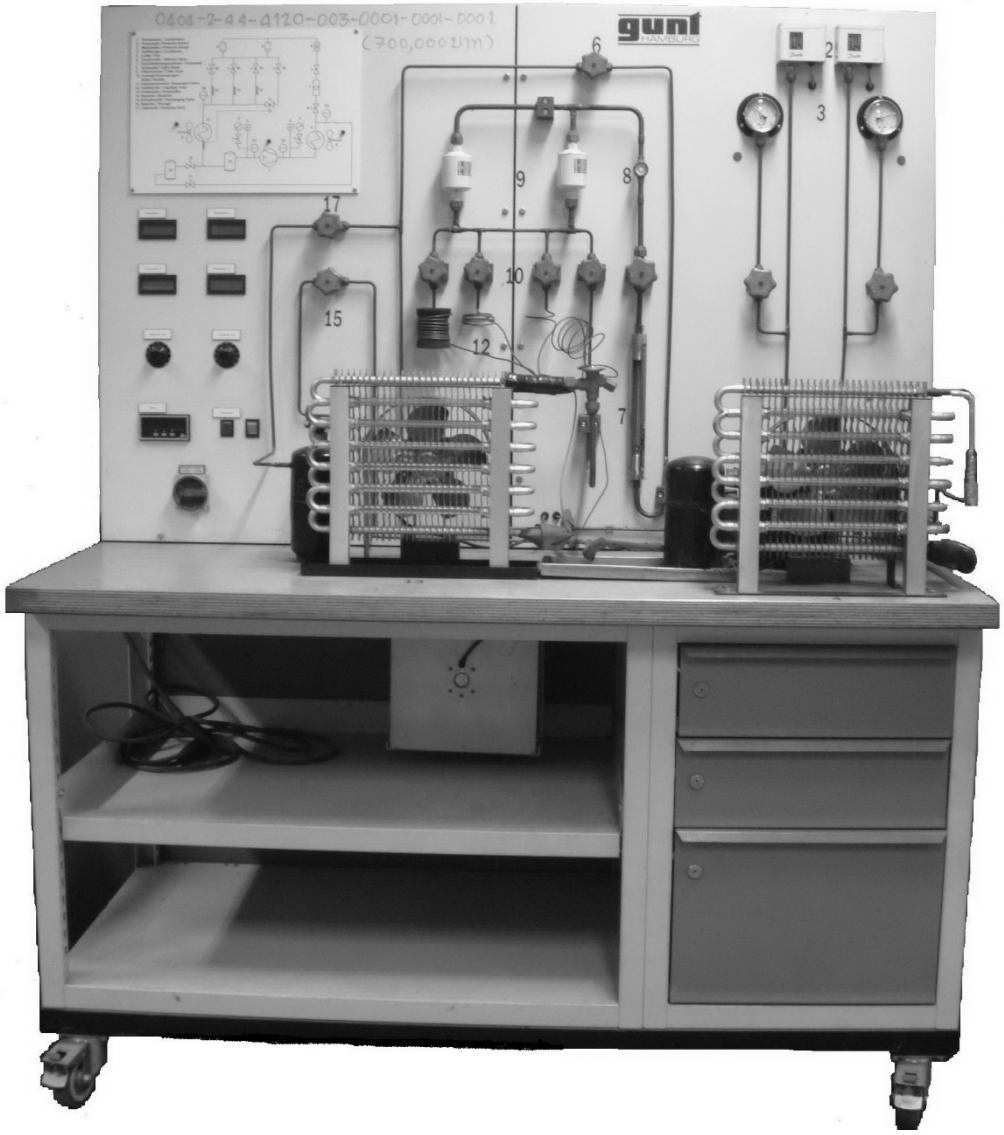
T_{set} (^{o}C)	$T_{black\ body}$		T_{room}		Radiometer (mW/cm^2)	$\dot{Q}$ emitted (W)	A_{plate} (m^2)	$T_1^4-T_2^4$ (^{o}C)	ε
	(^{o}C)	K	(^{o}C)	K					
75							0.03		
100							0.03		
125							0.03		
150							0.03		

กำหนด σ = $5.67x10^{-8}$ $W/(m^2K^4)$

<u>อธิบายผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง</u>

การทดลองหาสมรรถนะวัฏจักรทำความเย็น

REFRIGERATION CYCLE



รูปที่ 1 ชุดสาธิตวัฏจักรทำความเย็น

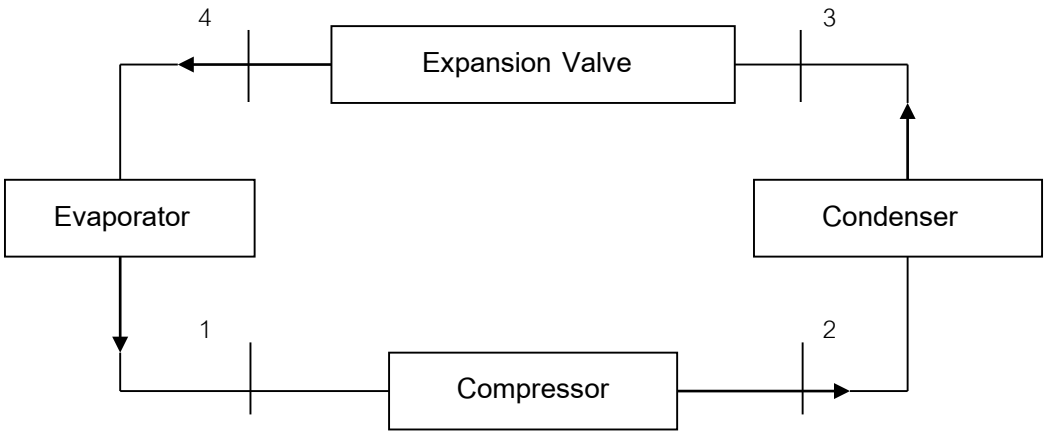
จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ
2. เพื่อเข้าใจการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์และอีวาพอเรเตอร์
3. สามารถคำนวณหาสมรรถนะ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอได้

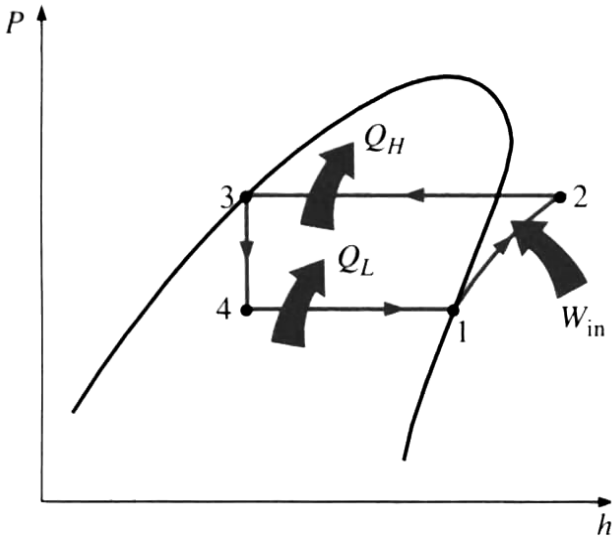
ทฤษฎี

วัฏจักรของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ชนิดมาตรฐาน ดังรูปที่ 1 มีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอความดันและอุณหภูมิต่ำ จะถูกอัดจากเครื่องอัด (Compressor) ให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น สารทำความเย็นในช่วงที่ออกจากเครื่องอัดนี้จะมีสภาพเป็นไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated Vapor) ผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ควบแน่น (Condenser) มีการถ่ายเทความร้อนออกไปทำให้เกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลว ตามหลักการแล้วการถ่ายเทความร้อนภายในอุปกรณ์ควบแน่นจะสิ้นสุดเมื่อไอสารทำความเย็นกลายเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดหรือมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว

เมื่อสารทำความเย็นออกจากอุปกรณ์ควบแน่น จะเป็นของเหลวอิ่มตัว มีความดันสูง จากนั้นจึงไหลผ่านตัวแบ่งจ่ายสารทำความเย็น(Metering Device)หรือลิ้นลดความดัน (Expansion Valve) สารทำความเย็นจะเกิดการขยายตัว มีผลทำให้ความดันและอุณหภูมิลดลง สารทำความเย็นภายหลังจากผ่านลิ้นลดความดันจะมีสถานะเป็นละอองของสารทำความเย็นเหลวเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปยังอุปกรณ์ทำระเหย (Evaporator) เพื่อรับความร้อนจากภายนอก อุณหภูมิของสารทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นและกลายเป็นไอ ตามหลักการแล้ว การรับความร้อนภายในอุปกรณ์ทำระเหยจะสิ้นสุดเมื่อสารทำความเย็นกลายเป็นไออิ่มตัวหมด ไอของสารทำความเย็นที่ออกจากอุปกรณ์ทำระเหย จะถูกดูดเข้าเครื่องอัด แล้วอัดให้มีความดันสูงขึ้น เพื่อเริ่มต้นกระบวนการตามวัฏจักรระบบทำความเย็นต่อไป



รูปที่ 2 วัฏจักรของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ชนิดมาตรฐาน



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเอนทาลปีของระบบทำความเย็น

กระบวนการทำงานของระบบทำความเย็น โดยทั่วไปมี 4 กระบวนคือ

1. การอัดตัวแบบกระบวนแอเดียแบติก (Adiabatic) ได้แก่ กระบวน 1-2
2. การคายความร้อนที่ความดันคงที่ ได้แก่ กระบวน 2-3
3. การลดความดันและขยายตัวแบบกระบวนทรอทลิ่ง (Throttling) ได้แก่ กระบวน 3-4
4. การรับความร้อนที่ความดันคงที่ ได้แก่ กระบวน 4-1

ถ้าพิจารณากระบวนต่างๆ ในระบบทำความเย็นจากรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเอนทาลปี (Enthalpy) จะเห็นได้ว่ากระบวนจากสภาวะ (2) ถึงสภาวะ (3) เป็นกระบวน ถ่ายเทความร้อนซึ่งเกิดขึ้นที่คอนเดนเซอร์ ความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ มาจาก 2 กระบวนคือ

กระบวนรับความร้อนโดยความดันคงที่ ซึ่งเกิดขึ้นที่ อีวาพอเรเตอร์ถ้าพิจารณารูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเอนทาลปี ก็คือกระบวนจากสภาวะ (4) ถึงสภาวะ (1) ความร้อนที่รับเข้าไปในสารทำความเย็นสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{4-1} = \dot{m}(h_1 - h_4) \qquad \text{.....(1)}$$

เมื่อ $\dot{Q}_{4-1}$ = ความร้อนที่สารทำความเย็นได้รับ (W)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น (kg/s)

h_1 = เอนทาลปี ของสารทำความเย็นหลังออกและอีวาพอเรเตอร์(kJ/kg)

h_4 = เอนทาลปี ของสารทำความเย็นก่อนเข้าอีวาพอเรเตอร์(kJ/kg)

กระบวนอัดสารทำความเย็นแบบไม่มีการถ่ายเทความร้อน เป็นกระบวนจากสภาวะ (1) ถึงสภาวะ (2) เป็นกระบวนที่เกิดขึ้นที่คอมเพรสเซอร์ โดยจะมีงานจากภายนอกเข้ามากระทำ ซึ่งกำลังงานส่วนนี้จะเปลี่ยนเป็นกำลังงานความร้อน พลังงานที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์หาได้จาก

$$\dot{W}_{in} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ $\dot{W}_{in}$ = กำลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์(W)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น (kg/s)

h_1 = เอนทาลปี ของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์(kJ/kg)

h_2 = เอนทาลปี ของสารทำความเย็นหลังออกคอมเพรสเซอร์(kJ/kg)

ความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในวัฏจักรทำความเย็น ก็คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนจากสภาวะ (4) ถึงสภาวะ (1) และสภาวะ (1) ถึงสภาวะ (2)

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{4-1} + \dot{W}_{in} \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ $\dot{Q}$ = พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบ

จากความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบทำความเย็น จะต้องมีการระบายออกเพื่อที่จะทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล ความร้อนทั้งหมดจะถูกถ่ายเทออกจากระบบที่กระบวนจากสภาวะ (2) ถึงสภาวะ (3) ความร้อนที่ถูกระบายออก สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_{3-2} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ $\dot{Q}_{3-2}$ = ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากระบบ (W)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น (kg/s)

h_2 = เอนทาลปี ของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์(kJ/kg)

h_3 = เอนทาลปี ของสารทำความเย็นหลังออกคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance)

คือ อัตราส่วนความสามารถในการทำความเย็น(Refrigeration)ต่อกำลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ เรียกย่อๆ ว่า COP_R

$$COP_R = \frac{Q_{4-1}}{Q_{1-2}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad \text{.....(5)}$$

หรือหา อัตราส่วนความสามารถในการทำความร้อน(Heat Pump)ต่อกำลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ เรียกย่อๆ ว่า COP_{HP}

$$COP_{HP} = \frac{Q_{3-2}}{Q_{1-2}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad \text{.....(6)}$$

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามชนิดของอุปกรณ์แบ่งจ่ายสารทำความเย็นคือ

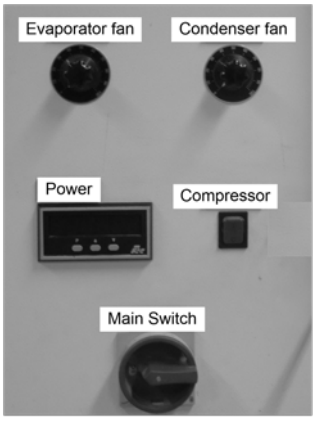
- การทดลองชุดสาธิตวัฏจักรทำความเย็นโดยใช้ลิ้นลดความดัน
- การทดลองชุดสาธิตวัฏจักรทำความเย็นโดยใช้ท่อรูเข็ม

1 การทดลองชุดสาธิตวัฏจักรทำความเย็นโดยใช้ลิ้นลดความดัน

1.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ของชุดสาธิตวัฏจักรทำความเย็นว่าอยู่ ในสภาพพร้อมใช้งานโดย

- เปิดลิ้น 10/4 (ลิ้นลดความดัน) ปิดลิ้น 10/1, 10/2 และ 10/3
- เปิดลิ้น 2 (เกจวัดความดัน),ลิ้น 6,18 และปิดลิ้น 15,17

รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งของลิ้นสองทาง



1.2 เสียบปลั๊กไฟ และเปิดสวิตช์เมน

1.3 เปิดสวิตช์พัดลมของคอนเดนเซอร์และอีวาพอเรเตอร์

1.4 เปิดสวิตช์คอมเพรสเซอร์ ที่แผงควบคุม

1.5 ทิ้งเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อให้ระบบทำงานที่สภาวะสมดุลก่อน จึงทำการบันทึกค่า

<u>หมายเหตุ</u> การวัดอัตราการไหลโดยการทดลองลิ้นลดความดันไม่สามารถวัดอัตราการไหลได้ เนื่องจากลิ้นลดความดันจะฉีดสารทำความเย็นไม่คงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิทางออกของอีวาพอเรเตอร์

2 การทดลองชุดสาธิตวัฏจักรทำความเย็นโดยใช้ท่อรูเข็ม

2.1 ตรวจสอบอุปกรณ์ของชุดสาธิตวัฏจักรทำความเย็นว่าอยู่ ในสภาพพร้อมใช้งานโดย

- เปิดลิ้น 10/1 จะใช้ท่อรูเข็มยาว 2.0 เมตร ปิดลิ้น 10/2, 10/3 และ 10/4
- เปิดลิ้น 2 (เกจวัดความดัน),ลิ้น 6,18 และปิดลิ้น 15,17

2.2 เสียบปลั๊กไฟ และเปิดสวิตช์เมน

2.3 เปิดสวิตช์คอมเพรสเซอร์ ที่แผงควบคุม

2.4 เปิดสวิตช์พัดลมของคอนเดนเซอร์และอีวาพอเรเตอร์

2.5 ทิ้งเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อให้ระบบทำงานที่สภาวะสมดุลก่อน จึงทำการบันทึกค่า

2.6 เปิดลิ้น 10/2 จะใช้ท่อรูเข็มยาว 1.0 เมตร ปิดลิ้น 10/1, 10/3 และ 10/4

2.7 ทิ้งเวลาประมาณ 15 นาทีบันทึกค่า

2.8 เปิดลิ้น 10/3 จะใช้ท่อรูเข็มยาว 0.5 เมตร ปิดลิ้น 10/1, 10/2 และ 10/4

2.9 ทิ้งเวลาประมาณ 15 นาทีบันทึกค่า

การหยุดการทดลอง

3.1 ปิดสวิตช์คอมเพรสเซอร์ที่แผงควบคุม คอมเพรสเซอร์จะหยุดการทำงาน

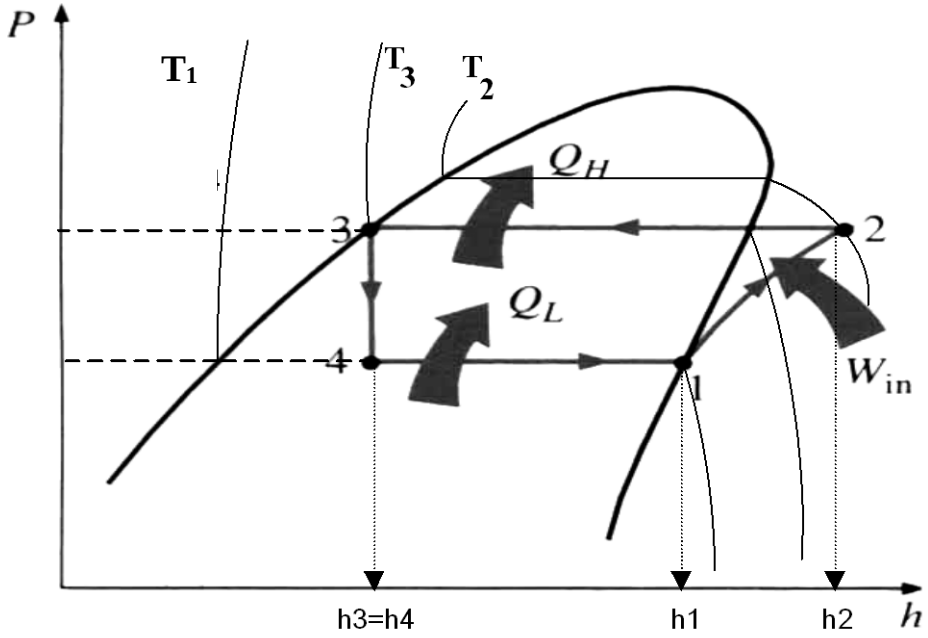
3.2 ปล่อยพัดลมของคอนเดนเซอร์และอีวาพอเรเตอร์ทำงานทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อระบายความร้อนที่อุปกรณ์ควบแน่นและละลายน้ำแข็งที่อีวาพอเรเตอร์

3.3 เปิดลิ้น10 ทั้ง 4 ตัว เพื่อให้ความดันสมดุลกันทั้งระบบ

3.4 เมื่อครบเวลาประมาณ 10 นาที ปิดสวิตช์พัดลมของคอนเดนเซอร์และอีวาพอเรเตอร์

3.5 ปิดสวิตช์เมน ถอดปลั๊กและเก็บเข้าตำแหน่งเดิม

3.6 นำผ้าสะอาดเช็ดน้ำที่ถาดรองน้ำของอุปกรณ์ทำระเหย และทำความสะอาดโต๊ะทดลองให้สะอาด



รูปที่ 5 แสดงการฟลอตกราฟ P-h

ตารางบันทึกค่าการทดลอง

Position		Capillary Tubes			Expansion Valve
		0.5 m	1.0 m	2.0 m	
Pressure (bar)	In Compressor				
	Out Compressor				
Temperature (°C)	In Compressor				
	Out Compressor				
	Out Condenser				
	In Evaporator				
Flow Rate (l/h)		_____	_____	_____	_____
Power Electric Input (W)					

สถานะและสภาวะของสารทำความเย็น

1. สถานะของสารทำความเย็น

1.1 ทางเข้า Evaporator เป็น …….…….

1.2 ทางออกของ Evaporator เป็น ……..……

1.3 ทางเข้า Condenser เป็น …….…….

1.2 ทางออกของ Condenser เป็น ……..…….…….……

2. สภาวะของสารทำความเย็น

2.1 ก่อนเดินระบบ

ความดันทางเข้า Compressor มีค่า ……..…….. bar

ความดันทางออก Compressor มีค่า ……..…….. bar

2.2 ขณะเดินระบบใช้ Expansion Valve ที่สภาวะ คงที่

ความดันทางเข้า Compressor มีค่า ……..…….. bar

ความดันทางออก Compressor มีค่า ……..…….. bar

2.3 หลังหยุดเดินระบบ 10 นาที

ความดันทางเข้า Compressor มีค่า ……..…….. bar

ความดันทางออก Compressor มีค่า ……..…….. bar

สรุปค่าที่ได้จากการคำนวณ

ระบบทำความเย็น	**h_1 (kJ/kg)**	**h_2 (kJ/kg)**	**h_3 (kJ/kg)**	**h_4 (kJ/kg)**	**$\dot{m}$ (kg/s)**	**Q_{in}** (kJ/kg)	**Q_{out}** (kJ/kg)	**W_{in}** (kJ/kg)	**COP_R**	**COP_{HP}**
Short Cap tube					------					
adequate Cap tube					------					
Long Cap tube					------					
Expansion Valve					------					

ตัวอย่างการคำนวณ

……

……

……

……

……

……

……

……

…

สรุปผลการทดลอง

……

…

……

…

……

……

……

……

……

ข้อเสนอแนะ

……

……

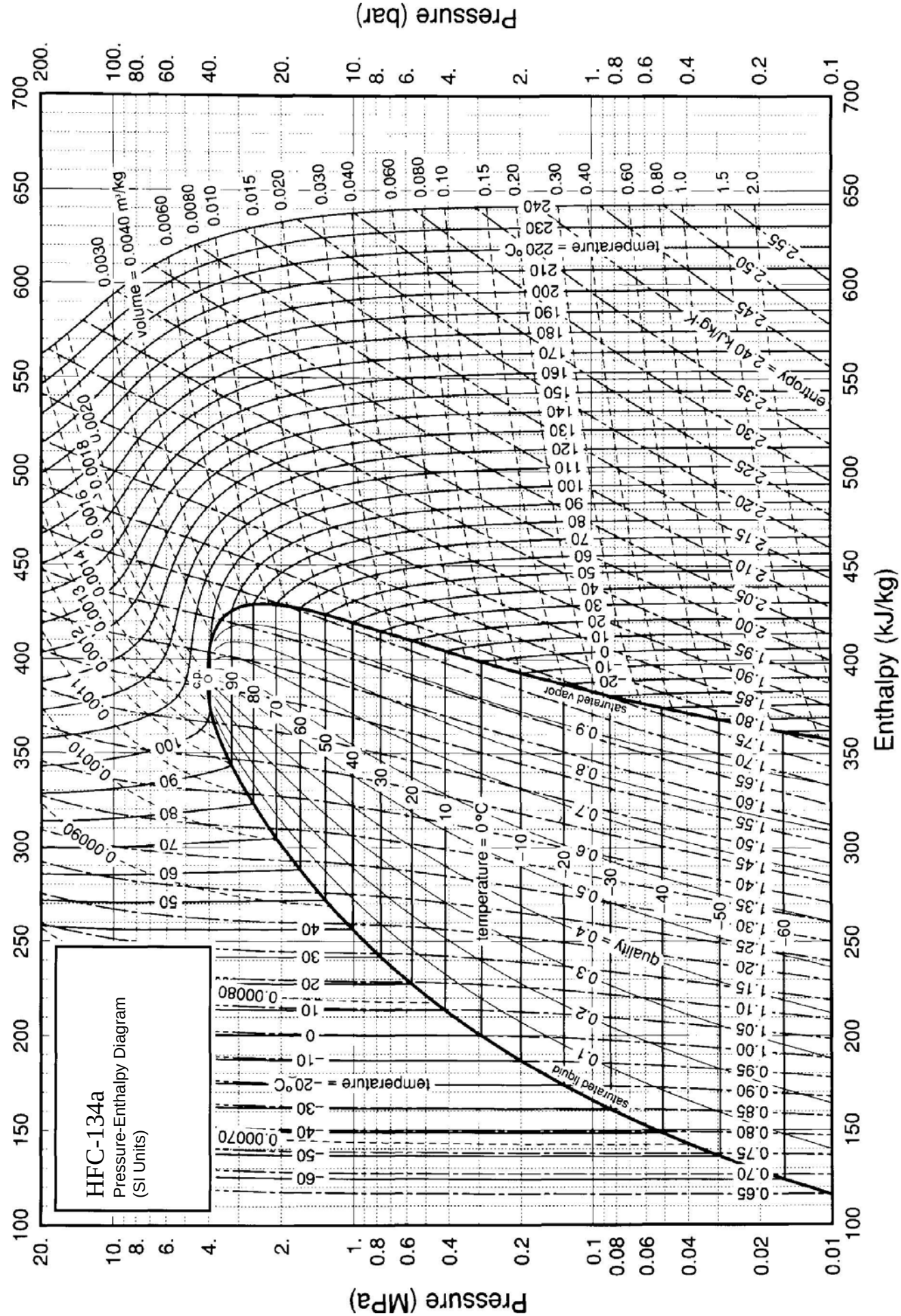
……

……

……

……

…


HFC-134a
Pressure-Enthalpy Diagram
(SI Units)
Pressure (MPa)
Pressure (bar)
Enthalpy (kJ/kg)
volume = 0.0040 m³/kg
temperature = 220 °C
temperature = 0 °C
temperature = −20 °C
entropy = 2.40 kJ/kg·K
quality = 0.4
saturated liquid
saturated vapor
c.p.

การปรับอากาศ

(Air Conditioning Testing)

<u>วัตถุประสงค์การทดลอง</u>

1. เข้าใจหลักการของระบบการทำความเย็นและปรับอากาศ
   1.1 อธิบายส่วนประกอบและการทำงานของระบบทำความเย็น
   1.2 อธิบายส่วนประกอบและการทำงานของระบบปรับอากาศแบบ water cooled chiller
2. มีทักษะในการปฏิบัติการทดลอง
   2.1 สามารถใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง
   2.2 ปฏิบัติการทดสอบหาสมรรถนะของระบบปรับอากาศ บันทึกผลการปฏิบัติการทดลอง
3. เข้าใจการวิเคราะห์ระบบการทำความเย็นและปรับอากาศ
   3.1 การใช้ Psychometric chart ในการวิเคราะห์ระบบปรับอากาศ
   3.2 การใช้ แผนภูมิมอลเลียร์ ในการวิเคราะห์ระบบทำความเย็น
   3.3 การใช้สมการสมดุลพลังงาน ในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ
   3.4 หาสมรรถนะของระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

บทที่ 1
การปรับอากาศ

1.1 ความหมายของการปรับอากาศ

การควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนที่ของอากาศ และคุณภาพของอากาศในพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศ

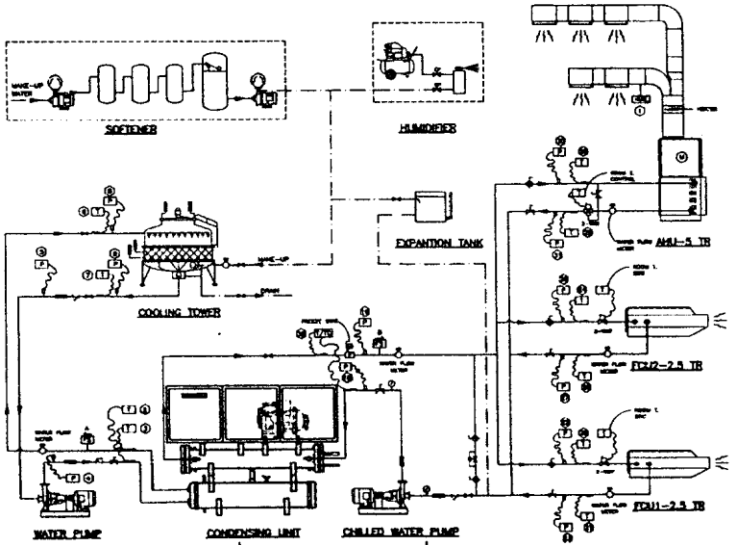
1.2 การแบ่งประเภทการปรับอากาศ

1. การปรับอากาศภายในตึกอาคารสำนักงาน ขนาดกลางและขนาดใหญ่
2. การปรับอากาศในอุตสาหกรรม
3. การปรับอากาศในบ้านพักอาศัย
4. การปรับอากาศสำหรับห้องโดยสารรถยนต์

สำหรับระบบปรับอากาศที่ใช้ในการศึกษาทดลองนี้ เป็นลักษณะของระบบปรับอากาศในบ้านพักอาศัย และการปรับอากาศในตึกอาคารสำนักงานขนาดกลาง และเมื่อต้องการควบคุมความชื้น โดยเปิดสวิตซ์ให้เครื่องทำความชื้นทำงานให้ทำงาน จะเป็นการปรับอากาศโดยการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นภายในห้อง สามารถอ้างอิงถึงหัวข้อที่ 2 คือการปรับอากาศในอุตสาหกรรมได้

1.3 องค์ประกอบหลักที่สำคัญของระบบเครื่องปรับอากาศของเครื่องที่ใช้ทดลอง(รูปที่ 1.1)

1. เครื่องทำความเย็น (Condensing Unit/Chiller)
2. คอยล์เย็น (Fan Coil Unit; FCU1-2.5TR, FCU2-2.5TR, AHU-5TR)
3. หอระบายความร้อน (Cooling Tower)
4. เครื่องกรองน้ำ (Softener)
5. เครื่องเพิ่มความชื้นอากาศ (Humidifier)



รูปที่ 1.1 แสดงวงจรเครื่องปรับอากาศ

1.4 หน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

1.4.1 **<u>เครื่องทำความเย็น</u> (Condensing Unit/Chiller)**

1.4.1.1 ทำหน้าที่ ทำความเย็นให้กับระบบปรับอากาศ

1.4.1.2 การทำความเย็น คือ ขบวนการถ่ายเทความร้อนออกจากบริเวณที่ที่ต้องการทำความเย็น ทำให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิลดต่ำลง และรักษาระดับอุณหภูมิไว้

1.4.1.3 องค์ประกอบ ระบบทำความเย็น (Chiller) รูปที่ 1.2

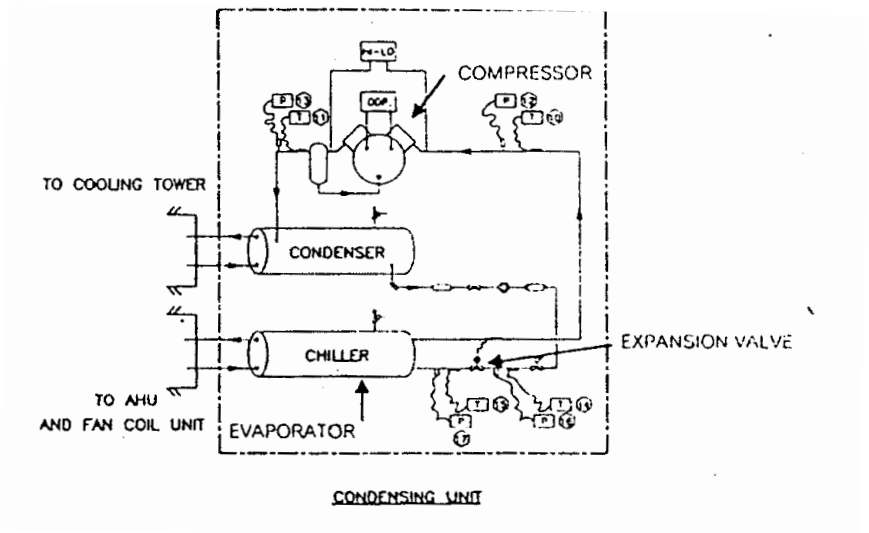
1.4.1.3.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่ในการดูดสารทำความเย็น ในสภาวะแก๊ส อุณหภูมิและความดันต่ำที่กลับมาจากอีวาปอเรเตอร์ และอัดให้มีความดัน,อุณหภูมิสูง จนถึงจุดที่พร้อมจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนออก

1.4.1.3.2 คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Condenser) ทำหน้าที่ดึงเอาความร้อนของสารทำความเย็นในสภาวะแก๊สออก และสารทำความเย็นกลั่นตัวกลายเป็นของเหลว ซึ่งสารทำความเย็นยังคงมีอุณหภูมิ, ความดันสูงอยู่

1.4.1.3.3 อีวาปอเรเตอร์ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Evaporator) ทำหน้าที่ดึงเอาความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น โดยสารทำความเย็นจะใช้ความร้อนดังกล่าวเปลี่ยนสถานะตัวเอง กลายเป็นแก๊สและทำให้อุณหภูมิรอบๆ ต่ำลง

1.4.1.3.4 วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ทำหน้าที่ลดความดันสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะเป็นก๊าซ ความดันสูงที่ไหลออกมาจากคอนเดนเซอร์ให้เป็นส่วนผสมระหว่างก๊าซต่อของเหลวประมาณ 0.2 โดยมวล

1.4.1.4 การทำงาน ของเครื่องทำความเย็น (Chiller)



รูปที่ 1.2 แสดงวงจรเครื่องทำความเย็น Chiller

จากรูปที่ 1.2 สารทำความเย็นเหลวที่มีอุณหภูมิ,ความดันสูง จะไหลเข้าอีวาปอเรเตอร์ (Evaporator) โดยผ่านวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ให้สารทำความเย็นมีความดันต่ำลงไหลเข้าอีวาปอเรเตอร์ (Evaporator) และดูดรับความร้อนจากภายนอก แล้วเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นแก๊ส ขณะเดียวกันก็จะทำให้ภายนอกมีอุณหภูมิลดต่ำลง แก๊สที่ออกจากอีวาปอเรเตอร์ (Evaporator) จะถูกดูดกลับไปที่ คอมเพรสเซอร์ (Compressor) และอัดแก๊สนั้น ซึ่งจะอยู่ในสภาวะอุณหภูมิ, ความดันสูง และไหลต่อไปที่ คอนเดนเซอร์ (Condenser) เพื่อควบแน่นและเปลี่ยนสภาวะจากแก๊สเป็นของเหลวที่คอนเดนเซอร์นี้เอง ความร้อนของสารทำความเย็นส่วนหนึ่งจะถ่ายเทออกมากับน้ำ

ที่เข้าไปแลกเปลี่ยนกันในคอนเดนเซอร์แล้วน้ำจะเอาความร้อนไประบายออกที่ คูลลิ่งทาวเวอร์ (Cooling tower) โดยระบบการทำงานจะหมุนเวียนอย่างนี้เรื่อยไป

1.4.2 **<u>คอยล์เย็น</u> (Fan coil Unit; FCU1-2.5TR, FCU2-2.5TR, AHU-5 TR)**

1.4.2.1) ทำหน้าที่ อยู่ในห้องปรับอากาศ และทำความเย็นให้กับห้องปรับอากาศ

1.4.2.2) การทำงาน น้ำเย็นจากเครื่องทำความเย็น (Condensing Unit/Chiller) ไหลผ่านภายในท่อขดคอยล์เย็น โดยภายนอกท่อคอยล์เย็นจะมีอากาศไหลผ่าน อากาศจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็นที่ไหลในท่อ อากาศที่พัดผ่านจะเย็นลง น้ำเย็นที่ไหลผ่านจะร้อนขึ้น

1.4.3 **<u>หอระบายความร้อน</u> (Cooling Tower)**

1.4.3.1 ทำหน้าที่ ระบายความร้อนจาก เครื่องทำความเย็น (Condensing Unit/Chiller) สู่บรรยากาศ

1.4.3.2 การทำงาน น้ำที่มีอุณหภูมิสูงจาก เครื่องทำความเย็น(Condensing Unit/Chiller) ไหลผ่าน หอระบายความร้อน (Cooling Tower) น้ำที่ไหลออกกลับเข้าสู่ เครื่องทำความเย็นจะมีอุณหภูมิลดลง ความร้อนจากน้ำจะถ่ายเทออกสู่บรรยากาศ

1.4.4 **<u>เครื่องกรองน้ำ</u> (Softener)**

1.4.4.1 ทำหน้าที่ เพื่อบำบัดน้ำสำหรับระบบการระบายความร้อนของ Condenser และหอระบายความร้อน (Cooling Tower) ยืดอายุการใช้งานและลดการเกิดตะกรันภายในระบบวงจรน้ำไหลระหว่าง Cooling Tower และ คอนเดนเซอร์ (Condenser) ของ Condensing Unit/Chiller

1.4.4.2 การทำงาน ระดับน้ำที่อยู่ใน หอระบายความร้อน (Cooling Tower) เมื่อลดต่ำลงเนื่องจากระเหยไปกับอากาศ ลูกลอยจะลดระดับเปิดวาล์วน้ำให้ไหล น้ำจะไหลผ่านเครื่องกรองน้ำ เพราะฉะนั้นน้ำในระบบจะสะอาด ไม่มีตะกรัน ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบจะดีขึ้น

1.4.5 **<u>เครื่องเพิ่มความชื้นอากาศ</u> (Humidifier)**

1.4.5.1 ทำหน้าที่ เพิ่มความชื้นให้กับอากาศภายในห้องปรับอากาศ

1.4.5.2 การทำงาน เมื่อความชื้นภายในห้องต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ หัวตรวจจับความชื้น (Humidity Sensor) จะสั่งให้วาล์วเปิดให้น้ำไหลผ่าน หัวฉีดออกมาผสมกับอากาศ

บทที่ 2
ลำดับขั้นตอนการเดินเครื่อง

2.1 วิธีปฏิบัติก่อนการเดินเครื่อง (เพื่อทำการทดลอง)

1) ตรวจเช็ควาล์ว และอุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็นให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง
2) ตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้า และเบรกเกอร์ทุกตัวที่อยู่ที่ตำแหน่งที่ถูกต้อง
3) ตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่นในตัวคอมเพรสเซอร์ต้องมีระดับน้ำมันหล่อลื่นประมาณ 3/4 ของตาแมว และไม่น้อยกว่า 1/4 ของตาแมว
4) ตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องการหมุนหรือเคลื่อนไหวในการทำงาน
5) ตรวจสอบระดับน้ำของ Cooling Tower ไม่ให้แห้งจนเกินไป
6) ที่ Cooling Tower เติมระดับน้ำเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกทั้งสองที่ให้เต็ม

2.2 วิธีปฏิบัติในการเดินเครื่อง

1) เปิด เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัว ตั้งแต่ CB1 ถึง CB12 และ 1B1
2) เปิดหมุน สวิตซ์ 2S6 ไปที่ตำแหน่ง Start เพื่อเริ่มเดินใบพัดของหอผึ่งลม (FAN COOLING)
3) เปิดหมุน สวิตซ์ 2S10 ไปที่ตำแหน่ง Start เพื่อเริ่มเดินปั๊มน้ำของหอผึ่งลม (PUMP COOLING)
4) เปิดหมุน สวิตซ์ 2S2 ไปที่ตำแหน่ง Start เพื่อเริ่มเดินปั๊มน้ำของชุดคอยล์เย็น (CHILLED WATER PUMP)
5) เปิดหมุน สวิตซ์ 5S13 และ 5S14 ไปที่ตำแหน่ง On เพื่อเริ่มเดิน WATER PUMP NO.1,NO.2 (Softener)

กรณีเดินเครื่องชุด AIR HANDLING UNIT (AHU-5TR) และ เครื่องเพิ่มความชื้นอากาศ (Humidifier)

6.) เปิดหมุน สวิตซ์ 3S1 ไปที่ตำแหน่ง Start เพื่อเริ่มเดินพัดลมของ Fan AHU-5TR (AIR HANDLING UNIT)
7) เปิดหมุน สวิตซ์ 3S14 เพื่อเลือกชนิดการควบคุม ตัวควบคุมความเร็ว (SPEED CONTROLLER) ของ AHU-5TR เป็นแบบ AUTO หรือ MANUAL ถ้าเป็น MANUAL ปรับ Speed ไปที่ ตำแหน่งความเร็วลมสูงสุด
8) เปิดหมุน สวิตซ์ 4S5.1 เพื่อเลือกชนิดการควบคุม เครื่องกำเนิดความร้อน (HEATER) ของชุด HUMIDIFIER เป็นแบบ AUTO หรือ MANUAL ถ้าเป็น MANUAL ปรับเปิดหมุน สวิตซ์ 4S5.2 เพื่อเลือกจำนวน HEATER ที่ต้องการ

9) เปิดหมุน สวิตซ์ 5S1 เพื่อเลือกชนิดการควบคุมเครื่องฉีดน้ำ (WATER SPRAY) เป็นแบบ AUTO หรือ MANUAL

10) เปิดหมุน สวิตซ์ 6S1 ไปที่ตำแหน่ง On เพื่อเริ่มเดินคอมเพรสเซอร์อากาศ (AIR COMPRESSOR)

11) เปิดหมุน สวิตซ์ 1S1 ไปที่ตำแหน่ง On เพื่อเริ่มเดินคอมเพรสเซอร์เครื่องทำความเย็น (COMPRESSOR)

กรณีเดินเครื่องชุด FAN COIL UNIT 1และ 2 (FCU1-2.5TR, FCU2-2.5TR)

12) ปฏิบัติตามขั้นตอนการเดินเครื่องข้อ 1) ถึง 6) โดยสวิตซ์ ข้อ 7) ถึง 12) ต้องอยู่ในตำแหน่ง OFF หรือ STOP

13) เปิดหมุน สวิตซ์ 5S4 และ 5S8 ไปที่ตำแหน่ง On เพื่อเริ่มเดินพัดลมของ FCU1-2.5TR, FCU2-2.5 (FAN COIL UNIT NO.1,2)

14) เปิดหมุน สวิตซ์ 1S1 ไปที่ตำแหน่ง On เพื่อเริ่มเดินคอมเพรสเซอร์ (COMPRESSOR)

2.3 วิธีปฏิบัติหลังการเดินเครื่อง

1) ที่ Mimic Diagram ตรวจสอบไฟแสดงการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และอุปกรณ์นั้นๆ ว่ามีการทำงานจริงหรือไม่
2) ตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ ว่ามีสัญญาณต่างๆ ที่แสดงถึงความผิดปกติหรือไม่
3) ตรวจเช็คกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ต่างๆ ทุกตัว
4) ตรวจระดับน้ำมันหล่อลื่น สารทำความเย็น และความดันต่างๆ
5) ตรวจการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมที่ตัว ว่าทำงานถูกต้องหรือไม่
6) ตรวจเช็คอุณหภูมิว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง
7) เมื่อเดินเครื่องแล้วควรเฝ้ารอดูอยู่อย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้รู้ว่าเครื่องเดินปกติ

2.4 วิธีปฏิบัติในการหยุดเครื่อง

กรณีเดิน Load ชุด AIR HANDLING UNIT (AHU) และ HUMIDIFIER

1.) หมุน สวิตซ์ 4S5.2 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงานของ เครื่องกำเนิดความร้อน (HEATER)

2) หมุน สวิตซ์ 5S1 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการควบคุม เครื่องฉีดน้ำ (WATER SPRAY)

3) หมุน สวิตซ์ 4S5.1 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการควบคุม เครื่องกำเนิดความร้อน (HEATER)

4) หมุน สวิตซ์ 3S14 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการควบคุม ตัวควบคุมความเร็ว (SPEED CONTROLLER)
5) หมุน สวิตซ์ 3S1 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงาน คอยล์เย็น AHU-5TR (AIR HANDLING UNIT)
6) หมุน สวิตซ์ 6S1 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงานคอมเพรสเซอร์อากาศ (AIR COMPRESSOR)
7) หมุน สวิตซ์ 5S13 และ 5S14 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงาน WATER PUMP NO.1,NO.2 (Softener)
8) หมุน สวิตซ์ 2S2 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงาน ปั๊มน้ำของชุดคอยล์เย็น (CHILLED WATER PUMP)
9) หมุน สวิตซ์ 2S10 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงาน ปั๊มน้ำของชุดคอยล์เย็น (PUMP COOLING)
10) หมุน สวิตซ์ 2S6 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงาน เดินใบพัดของหอผึ่งลม (FAN COOLING)
11) หมุน สวิตซ์ 1S1 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงาน คอมเพรสเซอร์เครื่องทำความเย็น (COMPRESSOR)
12) ปิด เซอร์กิตเบรกเกอร์ 1B1 และทุกตัว ตั้งแต่ CB12ถึง CB1

กรณีเดิน Load ชุด FAN COIL UNIT NO.01,2

13) หมุน สวิตซ์ 5S4 และ 5S8 ไปที่ตำแหน่ง OFF เพื่อหยุดการทำงาน FAN COIL UNIT 1,2
14) ปฏิบัติตามขั้นตอนการหยุดเครื่องข้อ 6) ถึง 12)

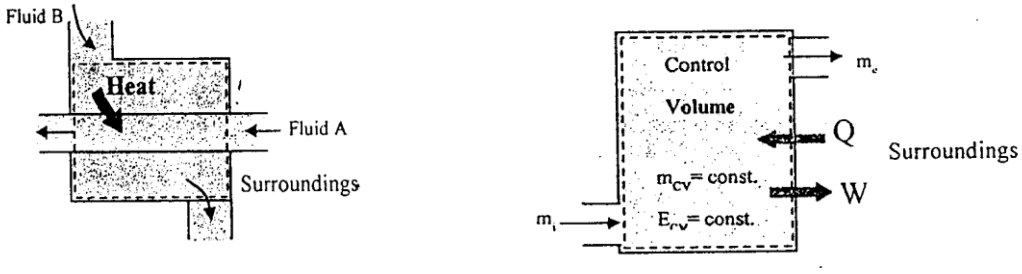
2.5 ข้อควรระวังในการเดินเครื่อง

1) ความดันด้านส่งต้องไม่สูงกว่า 300 PSI
2) ถ้าน้ำแข็งจับคอมเพรสเซอร์ต้องไม่ล้ำเข้ามาจากวาล์วด้านดูด และเฮดเดอร์ด้านดูดมาจับที่เสื้อสูบ
3) ระดับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์ให้อยู่ระหว่าง 1/4 ถึง 3/4 ของตาแมว

บทที่ 3
การสมดุลพลังงาน

3.1 นิยามของสมดุลพลังงาน (Determination of Heat Balance)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ต่างๆ ในระบบ เช่น Cooling Tower, FCU1-2.5TR,FCU2-2.5TR, AHU-5TR, คอนเดนเซอร์(Condensor) และ อีวาปอเรเตอร์ (Evaporator) ในเครื่องทำความเย็น (Chiller Unit) สูตรที่ใช้คิดในเรื่องการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass) และการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy) คือ **สมการกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับขบวนการไหลคงที่ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน** (The equation of the first law of Thermodynamics for the steady-flow process in heat exchangers)



เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ขบวนการไหลคงที่

รูปที่ 3.1 แสดง มวลและพลังงานที่แลกเปลี่ยนระหว่างปริมาตรควบคุมและสิ่งแวดล้อม

กฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass Principle):

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \qquad 3.1$$

$\sum \dot{m}_i$ = มวลรวมที่ไหลเข้าปริมาตรควบคุมต่อหน่วยเวลา (Total mass entering Control Volume per unit time), $\frac{kg}{s}$

$\sum \dot{m}_e$ = มวลรวมที่ไหลออกจากปริมาตรควบคุมต่อหน่วยเวลา (Total mass leaving Control Volume per unit time), $\frac{kg}{s}$

กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy Principle) :

$$\cancel{\dot{Q}}-\cancel{\dot{W}} = \sum \dot{m}_e\left(h_e+\frac{\cancel{V_e^2}}{2}+\cancel{gz_e}\right)-\sum \dot{m}_i\left(h_i+\frac{\cancel{V_i^2}}{2}+\cancel{gz_i}\right)$$

เขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ $$\sum \dot{m}_i h_i = \sum \dot{m}_e h_e \qquad 3.2$$

<u>สมมุติให้</u>

1. ไม่มีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อน และพลังงานกลระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม
2. พลังงานศักย์ และ พลังงานจลน์น้อยมากไม่มีอิทธิพลต่อระบบ

$\dot{Q}$ = พลังงานความร้อนถ่ายเทจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ, kW

$\dot{W}$ = พลังงานกลที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อม, kW

$\dot{m}_e$ = อัตราการไหลของไหลที่ไหลออกจากระบบ, $\frac{kg}{s}$

h_e = เอนทาลปีของไหลที่ไหลออกจากระบบ, $\frac{kJ}{kg}$

V_e = ความเร็วของของไหลที่ไหลออกจากระบบ, $\frac{m}{s}$

g = ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก, $\frac{m}{s^2}$

Z_e = ความสูงจุดที่ของไหลไหลออกจากระบบเทียบกับแกนอ้างอิงใดๆ, m

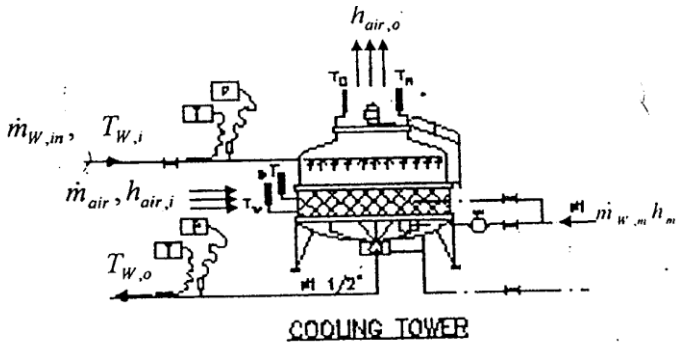
$\dot{m}_i$ = อัตราการไหลของของไหลที่ไหลเข้าระบบ, $\frac{kg}{s}$

h_i = เอนทาลปีของไหลที่ไหลเข้าระบบ, $\frac{kJ}{kg}$

V_i = ความเร็วของของไหลที่ไหลเข้าระบบ, $\frac{m}{s}$

Z_i = ความสูงจุดที่ของไหลไหลเข้าระบบเทียบกับแกนอ้างอิงใดๆ,

3.1.1 หอระบายความร้อน (Cooling Tower (Counterflow Cooling Tower))



รูปที่ 3.2 แสดงสภาวะมวลและพลังงานที่ Cooling Tower

สมการต่อไปนี้เป็นการวิเคราะห์สมดุลความร้อนอย่างง่าย ในความเป็นจริงมีการวิเคราะห์ที่สลับซับซ้อนกว่านี้จากสมการเทอร์โมไดนามิกส์สมการที่ 3.2 และรูปที่ 3.2 เขียนสมดุลความร้อน (Heat balance) ได้ดังนี้:

$$\dot{m}_{w,in}\, h_{w,i} + \dot{m}_{air}\, h_{air,i} + \dot{m}_{w,m}\, h_m = \dot{m}_{w,out}\, h_{w,o} + \dot{m}_{air}\, h_{air,o}$$

<u>ความสมดุลการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat balance)</u>

ในความเป็นจริง ความร้อนเนื่องจาก Make up water น้อยมากมาก เพราะฉะนั้นจึงไม่คิดเทอมของ $\dot{m}_{w,m}\, h_m$

อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำ = อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าอากาศ

$$\dot{m}_w\, C_{Pw}(T_{w,i} - T_{w,o}) = \dot{m}_{air}\,(h_{air,o} - h_{air,i}) \qquad 3.3$$

โดยที่

$h_{W,i} = T_{W,i}\, Cp_W$

$h_{W,O} = T_{W,O}\, Cp_W$

Q_W = อัตราความร้อนถ่ายเทออกจากน้ำที่ไหลผ่านเข้า Cooling Tower, kW

$\dot{m}_w$ = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้า Cooling Tower, $\frac{kg}{s}$

Cp_W = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, $\frac{kJ}{kg \cdot K}$

$T_{w,i}$ = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้า Cooling Tower, ^{O}C

$T_{w,o}$ = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออก Cooling Tower, ^{O}C

Q_{air} = อัตราความร้อนถ่ายเทเข้าอากาศที่ไหลผ่านเข้า Cooling Tower, kW

$\dot{m}_{air}$ = อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้า Cooling Tower, $\frac{kg}{s}$

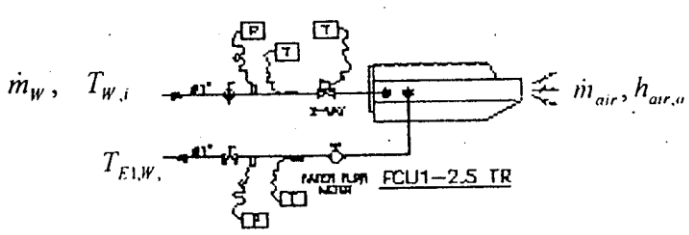
$h_{air,o}$ = เอนทาลปีของอากาศที่ไหลออก Cooling Tower, $\frac{kJ}{kg}$

$h_{air,i}$ = เอนทาลปีของอากาศที่ไหลเข้า Cooling Tower, $\frac{kJ}{kg}$

$\dot{m}_{w,m}$ = อัตราการไหลของ make up water, $\frac{kJ}{kg}$

h_{m} = เอนทาลปีของ Make up water, $\frac{kJ}{kg}$

3.1.2 คอยล์เย็น FCU1-2.5TR



รูปที่ 3.3 แสดงสภาวะมวลและพลังงานที่ Air cooled heat exchanger FCU1-2.5 TR

จากสมการเทอร์โมไดนามิกส์สมการที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 เขียนสมดุลความร้อน (Heat balance) ได้ดังนี้:

$$\dot{m}_w h_{w,i} + \dot{m}_{air} h_{air,i} = \dot{m}_w h_{w,o} + \dot{m}_{air} h_{air,o}$$

<u>ความสมดุลการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat balance)</u>

อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำ = อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอากาศ

$$\dot{m}_w C_{Pw}(T_{w,o}-T_{w,i}) = \dot{m}_{air}(h_{air,i}-h_{air,o}) \quad (kW) \quad 3.4$$

Q_W = อัตราความร้อนถ่ายเทเข้าสู่น้ำที่ไหลผ่านเข้า Evaporator FCU1-2.5TR, kW

$\dot{m}_w$ = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้า Evaporator FCU1-2.5TR, $\frac{kg}{s}$

C_{Pw} = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, = 4.179 $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ที่ 1 atm, 300 K

$T_{w,o}$ = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออก Evaporator FCU1-2.5TR, ^{O}C

$T_{w,i}$ = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้า Evaporator FCU1-2.5TR, ^{O}C

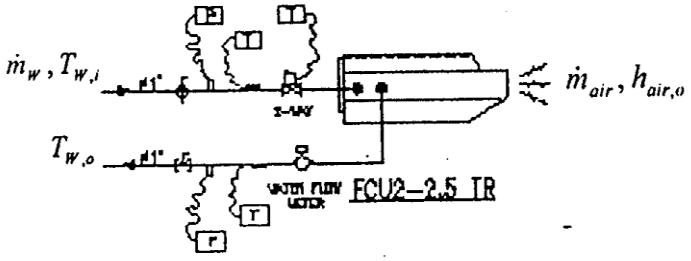
Q_{air} = อัตราความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อากาศไหลผ่านเข้า Evaporator FCU1-2.5TR, kW

$\dot{m}_{air}$ = อัตราการไหลของอากาศแห้งที่ไหลเข้า Evaporator FCU1-2.5TR, $\frac{kg}{s}$

$h_{air,i}$ = เอนทาลปีของอากาศที่ไหลเข้า Evaporator FCU1-2.5TR, $\frac{kJ}{kg}$

$h_{air,o}$ = เอนทาลปีของอากาศที่ไหลออก Evaporator Unit, $\frac{kJ}{kg}$

3.1.3 คอยล์เย็น FCU2-2.5TR



รูปที่ 3.4 แสดงสภาวะมวลและพลังงานที่ Air cooled heat exchanger FCU2-2.5 TR

จากสมการเทอร์โมไดนามิกส์สมการที่ 3.2 และรูปที่ 3.4 เขียนสมดุลความร้อน (Heat balance) ได้ดังนี้:

$$\dot{m}_w h_{w,i} + \dot{m}_{air} h_{air,i} = \dot{m}_w h_{w,o} + \dot{m}_{air} h_{air,o}$$

<u>ความสมดุลการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat balance)</u>

อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำ = อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอากาศ

$$\dot{m}_w C_{Pw}(T_{w,o} - T_{w,i}) = \dot{m}_{air}(h_{air,i} - h_{air,o}) \qquad 3.5$$

Q_W = อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำที่ไหลผ่านเข้า Evaporator FCU2-2.5TR, kW

$\dot{m}_w$ = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้า Evaporator FCU2-2.5TR, $\frac{kg}{s}$

C_{Pw} = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, = 4.179 $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ที่ 1 atm, 300 K

$T_{w,o}$ = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออก Evaporator FCU2-2.5TR, ^{O}C

$T_{w,i}$ = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้า Evaporator Unit2, ^{O}C

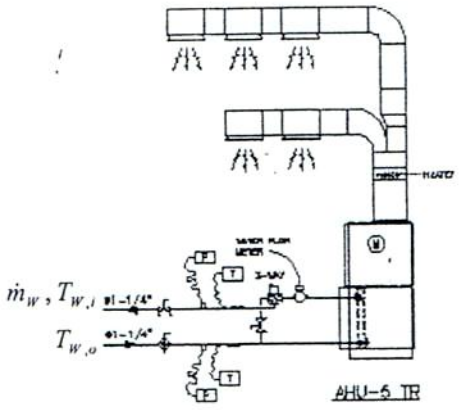
$Q_{E2,air}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อากาศไหลผ่านเข้า Evaporator FCU2-2.5TR, kW

$\dot{m}_{air}$ = อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้า Evaporator FCU2-2.5TR, $\frac{kg}{s}$

$h_{air,i}$ = เอนทาลปีของอากาศที่ไหลเข้า Evaporator FCU2-2.5TR, $\frac{kJ}{kg}$

$h_{air,o}$ = เอนทาลปีของอากาศที่ไหลออก Evaporator FCU2-2.5TR , $\frac{kJ}{kg}$

3.1.4 คอยล์เย็น AHU-5TR



รูปที่ 3.5 แสดงสภาวะมวลและพลังงานที่ Air cooled heat exchanger AHU-5 TR

จากสมการเทอร์โมไดนามิกส์สมการที่ 3.2 และรูปที่ 3.5 เขียนสมดุลความร้อน (Heat balance) ได้ดังนี้:

$$\dot{m}_w h_{w,i} + \dot{m}_{air} h_{air,i} = \dot{m}_w h_{w,o} + \dot{m}_{air} h_{air,o}$$

ความสมดุลการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat balance)

อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำ = อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอากาศ

$$\dot{m}_w C_{Pw}(T_{w,o} - T_{w,i}) = \dot{m}_{air}(h_{air,i} - h_{air,o}) \qquad 3.6$$

Q_W = อัตราความร้อนถ่ายเทเข้าสู่น้ำที่ไหลผ่านเข้า Evaporator AHU-5TR, kW

$\dot{m}_w$ = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้า Evaporator AHU-5TR, $\frac{kg}{s}$

C_{Pw} = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, = 4.179 $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ ที่ 1 atm, 300 K

$T_{w,o}$ = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลออก Evaporator AHU-5TR, ^{O}C

$T_{w,i}$ = อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้า Evaporator AHU-5TR, ^{O}C

Q_{air} = อัตราความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อากาศไหลผ่านเข้า Evaporator AHU-5TR, kW

$\dot{m}_{air}$ = อัตราการไหลของอากาศแห้งที่ไหลเข้า Evaporator AHU-5TR, $\frac{kg}{s}$

$h_{air,i}$ = เอนทาลปีของอากาศที่ไหลเข้า Evaporator AHU-5TR, $\frac{kJ}{kg}$

$h_{air,o}$ = เอนทาลปีของอากาศที่ไหลออก Evaporator AHU-5TR, $\frac{kJ}{kg}$

ในวงการการทำความเย็น และการปรับอากาศ ในเชิงปฏิบัติการคำนวณค่าต่างๆ ยังคงเป็นหน่วย อังกฤษ ซึ่งสูตรดังต่อไปนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สูตรมาตรฐาน (หน่วยอังกฤษ) คือ สมการที่ 3.7 ถึง 3.10 [3] ที่นิยมใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศสัมผัส (Air Cooled Heat Exchangers) โดยมีน้ำไหลภายในท่อของเครื่องถ่ายเทความร้อน มีดังต่อไปนี้

สมดุลความร้อน (Heat Balance) ของ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศสัมผัส (Air Cooled Heat Exchangers)

อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่จากน้ำ = อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอากาศ

$$Q_{WaterSide} = Q_{AirSide}$$

ทางด้านอากาศ (Air Side)

$$Q_{Sensible} = 1.08 \times CFM \times \Delta t = 1.08 \times CFM \times (t_o - t_i) \qquad 3.7$$

$$Q_{Latent} = 0.68 \times CFM \times \Delta SH = 0.68 \times CFM \times (SH_o - SH_i) \qquad 3.8$$

$$Q_{AirSide} = Q_{Total} = 4.5 \times CFM \times \Delta h = 4.5 \times CFM \times (h_o - h_i) \qquad 3.9$$

ทางด้านน้ำ (Water Side)

$$Q_{WaterSide} = 500 \times GPM \times \Delta t = 500 \times GPM \times (t_o - t_i) \quad 3.10$$

$Q_{Sensible}$ = ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat), $\frac{Btu}{hr}$

CFM = อัตราการไหลของอากาศที่พัดเข้า-ออกจากคอยล์เย็น, $\frac{Cu.ft.}{min}$

Δt = ความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่พัดเข้า-ออกจากคอยล์เย็น, ^{O}F

t_o = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่พัดออกจากคอยล์เย็น, ^{O}F

t_i = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่พัดเข้าคอยล์เย็น, ^{O}F

Q_{Latent} = ความร้อนแฝง (Latent Heat) , $\frac{Btu}{hr}$

ΔSH = ความแตกต่างความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) ของอากาศที่พัดเข้าออกจากคอยล์เย็น, $\frac{Grains}{lb\ of\ dry\ air}$

SH_o = ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) ของอากาศที่พัดออกจากคอยล์เย็น, $\frac{Grains}{lb\ of\ dry\ air}$

SH_i = ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) ของอากาศที่พัดออกจากคอยล์เย็น, $\frac{Grains}{lb\ of\ dry\ air}$

Q_{Total} = ความร้อนถ่ายเทระหว่างน้ำและอากาศในคอยล์เย็น, $\frac{Btu}{hr}$

$Q_{AirSide}$ = ความร้อนถ่ายเทออกจากอากาศในคอยล์เย็น, $\frac{Btu}{hr}$

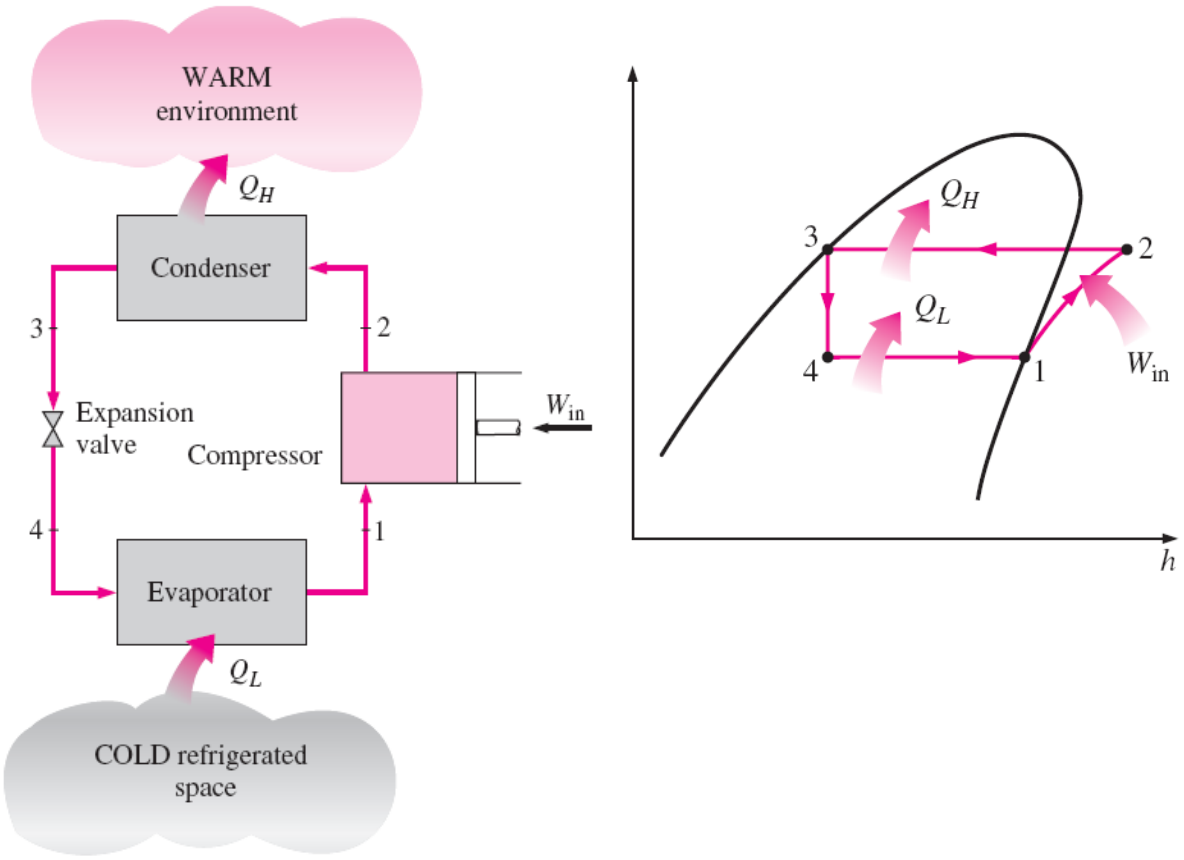
Δh = ความแตกต่างของเอนทาลปีของอากาศพัดเข้า-ออกจากคอยล์เย็น, $\frac{Btu}{lbm}$

h_o = เอนทาลปีของอากาศที่พัดออกจากคอยล์เย็น, $\frac{Btu}{lbm}$

h_i = เอนทาลปีของอากาศที่พัดเข้าคอยล์เย็น, $\frac{Btu}{lbm}$

$Q_{WaterSide}$ = ความร้อนถ่ายเทออกจากน้ำในคอยล์เย็น, $\frac{Btu}{hr}$

3.1.5 เครื่องทำความเย็น (Chiller; Refigeration Unit)



รูปที่ 3.6 แสดง P-h diagram เครื่องทำความเย็นแบบเชิงอุดมคติ

สมดุลพลังงานและการวิเคราะห์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (Energy Balance and First Law Analysis of Thermodynamics)

1-2 คอมเพรสเซอร์ (Cpmpressor):

$$W_{net,in} = \dot{m}_R (h_2 - h_1) \qquad 3.11$$

2-3 คอนเดนเซอร์ (Condenser): ความร้อนทิ้งที่คอยล์ร้อน (Rejected Heat at Condenser)

$$Q_H = \dot{m}_R (h_3 - h_2) \qquad 3.12$$

3-4 วาล์วลดความดัน (Expansion valve):

$$h_4 = h_3 \qquad 3.13$$

4-1 อีวาปอเรเตอร์ (Evaporator): ภาระการทำความเย็น (Refrigeration Capacity)

$$Q_L = \dot{m}_R (h_1 - h_4) \qquad 3.14$$

$$\text{Ideal } COP_R = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{Q_L}{W_{net,in}} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \qquad 3.15$$

$$\text{Actual } COP_R = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{Q_L}{W_{COM,in}} = \frac{\dot{m}_R (h_1 - h_4)}{\sqrt{3} IV \cos j} \qquad 3.15.1$$

COP_R = สัมประสิทธิ์สมรรถนะวงจรเครื่องทำความเย็น (Coefficient of Performance of refrigeration cycle)

Q_L = ภาระการทำความเย็น, kW

$\dot{m}_R$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็น R22, $\frac{kg}{s}$

Q_H = ความร้อนที่คายทิ้งที่ Condenser, kW

$W_{net,in}$ = พลังงานที่ใช้ในการสร้างความดันให้กับสารทำความเย็น (Indicated work), kW

h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็น R22 ที่ไหลออกจาก Evaporator และไหลเข้า Compressor, $\frac{kJ}{kg}$

h_2 = เอนทาลปีของสารทำความเย็น R22 ที่ไหลเข้า Condenser และไหลออกจาก Compressor, $\frac{kJ}{kg}$

h_3 = เอนทาลปีของสารทำความเย็น R22 ที่ไหลออกจาก Condenser, $\frac{kJ}{kg}$

h_4 = เอนทาลปีของสารทำความเย็น R22 ที่ไหลเข้า Evaporator, $\frac{kJ}{kg}$

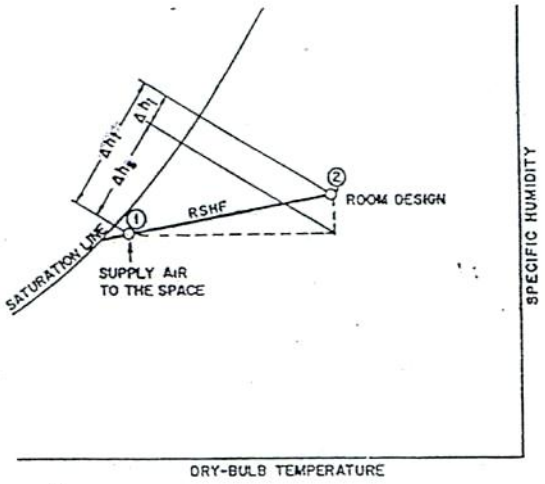
$W_{com,in}$ = พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ของคอมเพรสเซอร์ใช้ในการเดินเครื่อง, kW

I = กระแสไฟฟ้าไหลเข้าคอมเพรสเซอร์, kAmp

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์, Volt

$\cos\phi$ = Power Factor

3.2 การคำนวณและการศึกษาผลของความร้อนโดยความชื้นในอากาศ (Calculation and study of the effects on heat by moisture in the air)



รูปที่ 3.7 แสดงเอนทาลปีที่แตกต่างของอากาศที่พัดผ่านคอยล์เย็นเป็นแบบ การทำความเย็นและลดความชื้น (Cooling and dehumidification) ในแผนภูมิไซโครเมตริก

$$\text{Sensible Heat Load} = Q_S = \dot{m}_{air}\,\Delta h_S \qquad 3.16$$

$$\text{Latent Heat Load} = Q_L = \dot{m}_{air}\,\Delta h_L \qquad 3.17$$

$$\text{Total Heat Load} = Q_T = Q_S + Q_L = \dot{m}_{air}\,\Delta h_T \qquad 3.18$$

$\dot{m}_{air}$ = อัตราการไหลของอากาศ, $\frac{kg}{s}$

Δh_S = ความแตกต่างเอนทาลปีสัมผัส ดังรูปที่ 3.7

Δh_L = ความแตกต่างเอนทาลปีแฝง ดังรูปที่ 3.7

Sensible Heat Factor

$$SHF = \frac{SH}{SH+LH} = \frac{SH}{TH} \qquad 3.19$$

SHF = Sensible heat factor

SH = Sensible heat load, $\frac{kJ}{kg}$

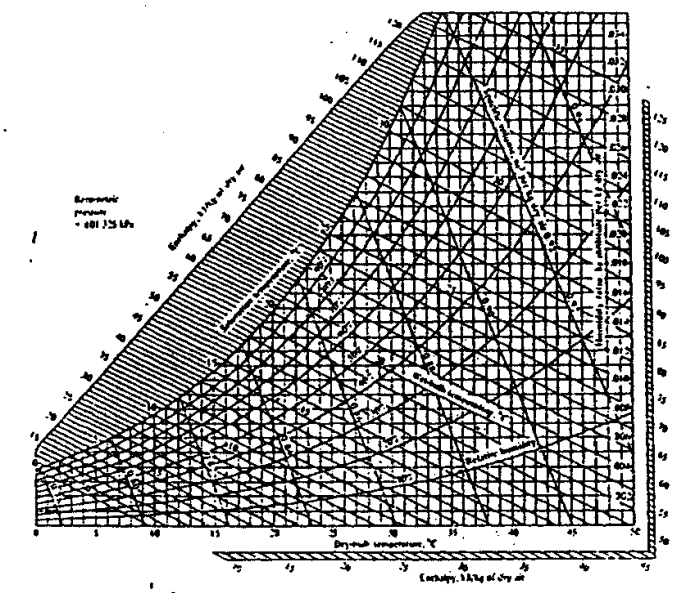
LH = Latent heat load, $\frac{kJ}{kg}$

TH = Total heat load, $\frac{kJ}{kg}$

3.3 การศึกษาอิทธิพลของอัตราไหลของอากาศ อุณหภูมิ และ ความชื้นของการปรับอากาศโดยแผนภูมิไซโครเมตริก (Study of the influence of air flow rate, temperature and humidity of the conditioned air with psychrometric charts)

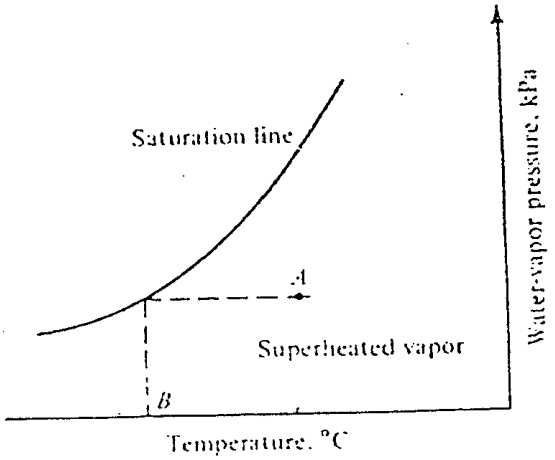
3.3.1 ความสำคัญ ไซโครเมตรี้ (Psychrometry) คือการศึกษาคุณสมบัติส่วนผสมของอากาศและไอน้ำ วิชานี้มีความสำคัญต่อการปฏิบัติการของการปรับอากาศ ในขบวนการปรับอากาศบางขบวนการ น้ำจะถูกดึงออกจากอากาศที่มีไอน้ำและบางขบวนการ น้ำจะถูกเติมเข้าไป แผนภูมิไซโครเมตริกใช้สำหรับคำนวณเรื่อง ภาระความเย็น (Cooling load) ระบบปรับอากาศ คอยล์เย็นและลดความชื้น (Cooling and dehumidifying coils) หอผึ่งลมเย็น (Cooling tower) คอนเดนเซอร์ผึ่งลมเย็น (Evaporative condenser)

3.3.2 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart)



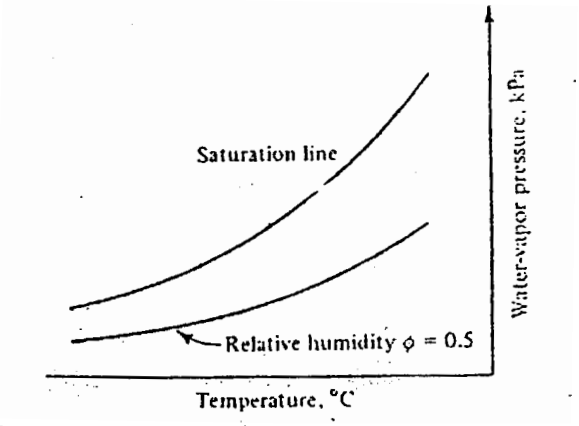
รูปที่ 3.8 แสดง แผนภูมิไซโครเมตริก

3.3.3 เส้นอิ่มตัว (Saturation line) เมื่อลากเส้นความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิและความดันไอน้ำจากตาราง ก็จะได้เส้นอิ่มตัว (Saturation line) ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงเส้นอิ่มตัวบนแผนภูมิไซโครเมตริก

3.3.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

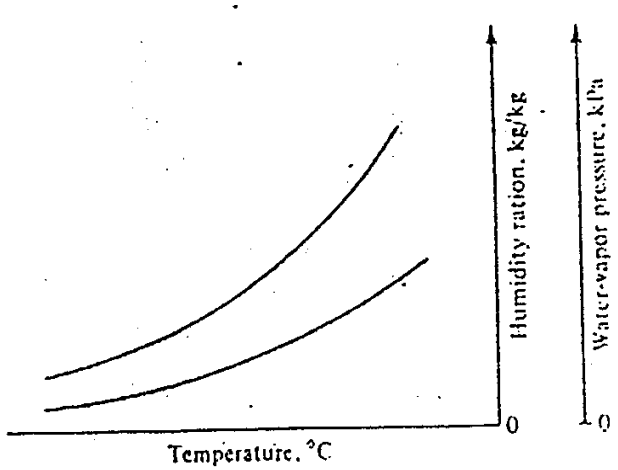


รูปที่ 3.9 แสดงเส้นความชื้นสัมผัสบนแผนภูมิไซโครเมตริก

ความชื้นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนโมลของไอน้ำในอากาศต่อจำนวนโมลไอน้ำที่อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ดังภาพ

$$\text{Relative humidity} = \frac{\text{Existing partial pressure of water vapor}}{\text{Saturation pressure of pure water at same temperature}}$$

3.3.5 อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio)



รูปที่ 3.10 แสดงเส้นอัตราส่วนความชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก

อัตราส่วนความชื้น คือ อัตราส่วนมวลน้ำ (ก.ก) ต่อ อากาศแห้ง 1 ก.ก
ไอน้ำและอากาศแห้งสามารถสมมติให้เป็นก๊าซสมบูรณ์ (Perfect gas) และใช้สูตร Pv = RT

$$\text{Humidity Ratio(W)} = \frac{\text{kg of water vapor}}{\text{kg of dry air}} = \frac{p_S V/R_S T}{p_a V/R_a T} = \frac{p_S/R_S}{(p_t - p_S)/R_a} = 0.622\frac{p_S}{p_t - p_S}$$

$T_{w,i}$ = อัตราส่วนความชื้น (kg of water vapor)/(kg of dry air)

V = ปริมาตรของส่วนผสมอากาศและไอน้ำใดๆ, m^3

P_t = ความดันบรรยากาศ = $P_a + P_s$, Pa

P_a = ความดันของอากาศแห้ง (dry air), Pa

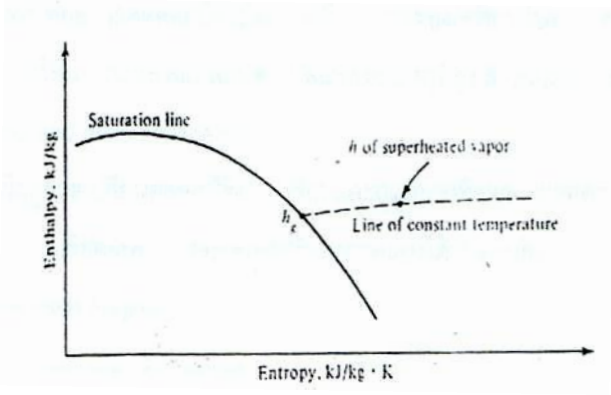
P_s = ความดันไอน้ำ *Pa* เปิดตาราง

R_a = ค่าคงที่ของอากาศแห้ง = 287, $\frac{J}{kg \cdot K}$

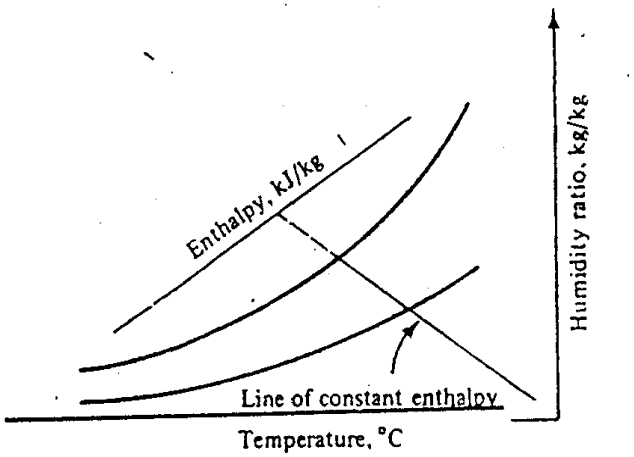
R_S = ค่าคงที่ของไอน้ำ = 461.5, $\frac{J}{kg \cdot K}$

T = อุณหภูมิสมบูรณ์ (Absolute temperature) ของส่วนผสมของอากาศและไอน้ำ K

3.3.6 เอนทาลปี (Enthalpy)



รูปที่ 3.10 แสดงเส้นอุณหภูมิคงที่เพื่อแสดงให้เห็นว่าเอนทาลปีของไอน้ำเดือดยิ่งยวด (Superheated water vapor) จะเท่ากันโดยประมาณกับไอน้ำอิ่มตัว (Saturated vapor) ณ อุณหภูมิเดียวกัน



รูปที่ 3.11 แสดงเส้นเอนทาลปีบนแผนภูมิไซโครเมตริก

เอนทาลปีของส่วนผสมของอากาศแห้งและไอน้ำคือผลรวมของเอนทาลปีของอากาศแห้งและเอนทาลปีของไอน้ำ

$$h = c_p t + W h_g$$

C_p = ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ของอากาศแห้งที่ความดันคงที่ = 10 $\frac{J}{kg \cdot K}$

t = อุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ, ^{O}C

h_g = เอนทาลปีของไอน้ำร้อนอิ่มตัวที่อุณหภูมิของส่วนผสมอากาศและไอน้ำ, $\frac{kJ}{kg}$

3.3.7 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)

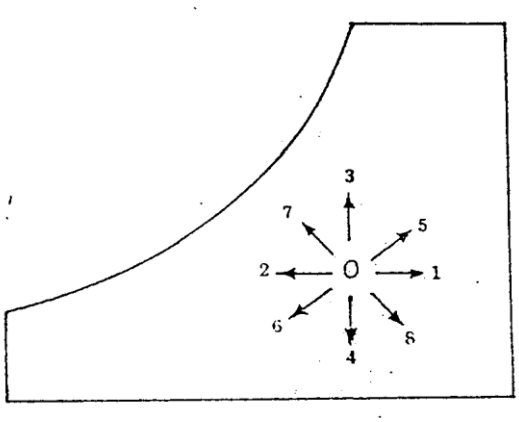
สมการก๊าซสมบูรณ์ใช้คำนวณปริมาตรจำเพาะของส่วนผสมไอน้ำและอากาศ

ปริมาตรจำเพาะคือจำนวนของลูกบาศก์เมตรของส่วนผสมอากาศ-น้ำต่ออากาศแห้ง 1 ก.ก.

$$v = \frac{R_a T}{p_a} = \frac{R_a T}{p_t - p_S} \quad , \frac{m^3}{\text{kg of dry air}}$$

4. การปรับสภาวะอากาศ

สำหรับในประเทศไทยอากาศตลอดปีจะมีอากาศร้อน วงจรของเครื่องปรับอากาศจะเป็นแบบ Reverse Carnot Heat Engine ที่นำเอาความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิต่ำไปสู่แหล่งอุณหภูมิสูง ลักษณะอากาศที่ปรับภายในบ้านพักอากาศส่วนใหญ่คือ แบบ Cooling and dehumidification



รูปที่ 3.12 แสดง เส้นทิศทางของขบวนการต่างๆ ในการปรับสภาวะอากาศบนแผนภูมิไซโครเมตริก

ขบวนการ 0-1: การให้ความร้อนแบบสัมผัส (Sensible heating)

ขบวนการนี้คือการให้ความร้อนกับอากาศที่อัตราส่วนไอน้ำ (Humidity Ratio) คงที่ เป็นการให้ความร้อนกับอากาศอย่างเดียว การทำปรับอากาศแบบนี้ เช่น อากาศผ่าน Heater หรือเครื่องทำความร้อนแบบอัดไอ (Vapor Compression Heat Engine) ซึ่งมีลักษณะภายนอกคล้ายเครื่องปรับอากาศภายใน

บ้านในประเทศไทย แต่เป็นเครื่องปรับอากาศแบบนี้จะทำความร้อนให้ภายในห้องปรับอากาศอบอุ่นในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาว

ขบวนการ 0-2: การทำความเย็นแบบสัมผัส (Sensible cooling)

ขบวนการนี้เกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิกลั่นไอ (Dew Point Temperature) อากาศเข้าเท่ากับไอน้ำที่ถูกฉีดเข้าผสมอากาศ ขบวนการนี้เกิดขึ้นได้ยากในขบวนการปรับอากาศ ในการทำความเย็นแบบสัมผัสอากาศที่เข้าจะมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) ต่ำกว่าอากาศที่ออก แต่อัตราส่วนไอน้ำ (Humidity Ratio) ที่บรรจุอยู่ในอากาศจะมีเท่าเดิม

ขบวนการ 0-3: การทำความชื้น (Humidification)

ขบวนการนี้เกิดขึ้น เมื่อไอน้ำถูกฉีดเข้าสู่อากาศ (Humidification) โดยที่ไม่มีการให้ความร้อน (Heating) หรือการทำความเย็น (Cooling)

ขบวนการ 0-4: การลดความชื้น (Dehumidification)

ขบวนการนี้เกิดขึ้น โดยให้อากาศพัดผ่านสารดูดความชื้น (Sorbent Dehumidifier)

ขบวนการ 0-5: การให้ความร้อนและการเพิ่มความชื้น (Heating and Humidification)

ขบวนการนี้เกิดขึ้น เมื่อไอน้ำถูกฉีดเข้าสู่อากาศ (Humidification) และมีการทำความร้อน (Heating) การปรับอากาศลักษณะนี้จะเป็นการปรับอากาศภายในห้องปิด อากาศภายนอกเย็นและมีความชื้นต่ำ (Winter air conditioning) ซึ่งจะเป็นลักษณะการปรับอากาศภายในบ้าน หรือห้องที่ต้องการอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการในประเทศแถบ ยุโรป อเมริกาตอนบน และ เอเชียตอนบน ในฤดูหนาว

ขบวนการ 0-6: การทำความเย็นโดยลดความชื้น (Cooling and dehumidification)

ขบวนการนี้เกิดขึ้น เมื่ออากาศพัดผ่านคอยล์เย็น โดยทั่วไปแล้วอากาศที่เข้าจะมีความชื้นสูง เมื่อออกไปแล้วจะมีความชื้นและความเย็นต่ำลง การปรับอากาศลักษณะนี้ จะเป็นการปรับสภาวะอากาศของห้องปิด อากาศภายนอกร้อนและมีความชื้นสูง (Summer air conditioning) ซึ่งจะเป็นลักษณะการปรับอากาศภายในบ้านเรือน ในประเทศไทย

ขบวนการ 0-7: การทำความเย็นโดยเพิ่มความชื้น (Cooling with humidification)

ขบวนการนี้เกิดขึ้น เมื่อไอน้ำถูกฉีดเข้าสู่อากาศ (Humidification) และมีการทำความเย็น (Cooling)

ขบวนการ 0-8: การให้ความร้อนและการลดความชื้น (Heating and dehumidification)

ขบวนการนี้เกิดขึ้น โดยการให้ความร้อน (Heating) และการลดความชื้น (Dehumidification) ให้กับอากาศที่พัดผ่าน การปรับอากาศลักษณะนี้ จะเป็นการปรับสภาวะอากาศของห้องปิด

3.6 การประเมินประสิทธิภาพของวัฏจักรการปรับอากาศ (Efficiency evaluation of air conditioning cycle)

ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning system)

$$\text{Energy Efficiency Rating [EER]} = \frac{\text{Heat removed (In BTU) from the cooled space in one hour [Btuh]}}{\text{1 Wh (In W) of electricity consumed in one hour [Wh]}} \quad 3.20$$

$$\text{1 Wh of electricity consumed} = P = \sqrt{3}IV\times\cos\phi \quad 3.21$$

3.7 การแปลงหน่วยค่าต่างๆ

1) อุณหภูมิจาก [^{o}C] เป็น[^{o}F] โดยคูณด้วย 1.8 และบวกด้วย 32
2) ความดัน จาก [Bar] เป็น [MPa] โดยคูณด้วย 0.101325
3) อัตราการไหลของน้ำ จาก [GPM] เป็น [$\frac{kg}{s}$] โดยคูณด้วย 0.06309
4) อัตราการไหลของสารทำความเย็น R22 จาก [GPM] เป็น[$\frac{kg}{s}$] โดยคูณด้วย6.309×10^{-5} $\times\rho_{R22}$

   โดยที่ ρ_{R22} = ความหนาแน่นของสารทำความเย็น R22 ไหลผ่าน Flow Meter, [$\frac{kg}{m^3}$]

   (โดยหาค่าจาก P-h Diagram รูปที่ 4.6)
5) อัตราการไหลของอากาศหน่วยเป็น [$\frac{kg}{s}$] โดยคูณ V_{air}[$\frac{m}{s}$] ด้วย $A_{Coil}\times\rho_{air}$

   โดยที่ A_{Coil} = พื้นที่หน้าคอยล์เย็นที่ลมพัดออก, m^2

   FCU1-2.5 TR และ FCU2-2.5 TR = 12×180 cm = 0.216 m^2

   AHU-5 TR = 19×44 cm = 0.0836 m^2 และ 27×27 cm = 0.0729 m^2

ρ_{air} = ความหนาแน่นของอากาศที่พัดออกจากคอยล์เย็น, $[\frac{kg}{m^3}]$ (โดยหาค่าจาก Psychrometric Chart)

6) อัตราการไหลของอากาศหน่วยเป็น [CFM] โดยคูณ $V_{air}[\frac{m}{s}]$ ด้วย $A_{Coil} \times 2222.2$

บทที่ 4

การทดลอง

การทำความเย็นและปรับอากาศ

อธิบาย

การทดลองนี้เป็นการใช้คอยล์เย็น (Fan coil unit) FCU1-2.5 TR และ FCU2-2.5 TR

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศแบบมือถือ (Digital hand held hygrometer)
2. เครื่องมือวัดความเร็วลมอากาศ (Digital wind mill type anemometer)
3. นาฬิกาจับเวลา

การทดลอง

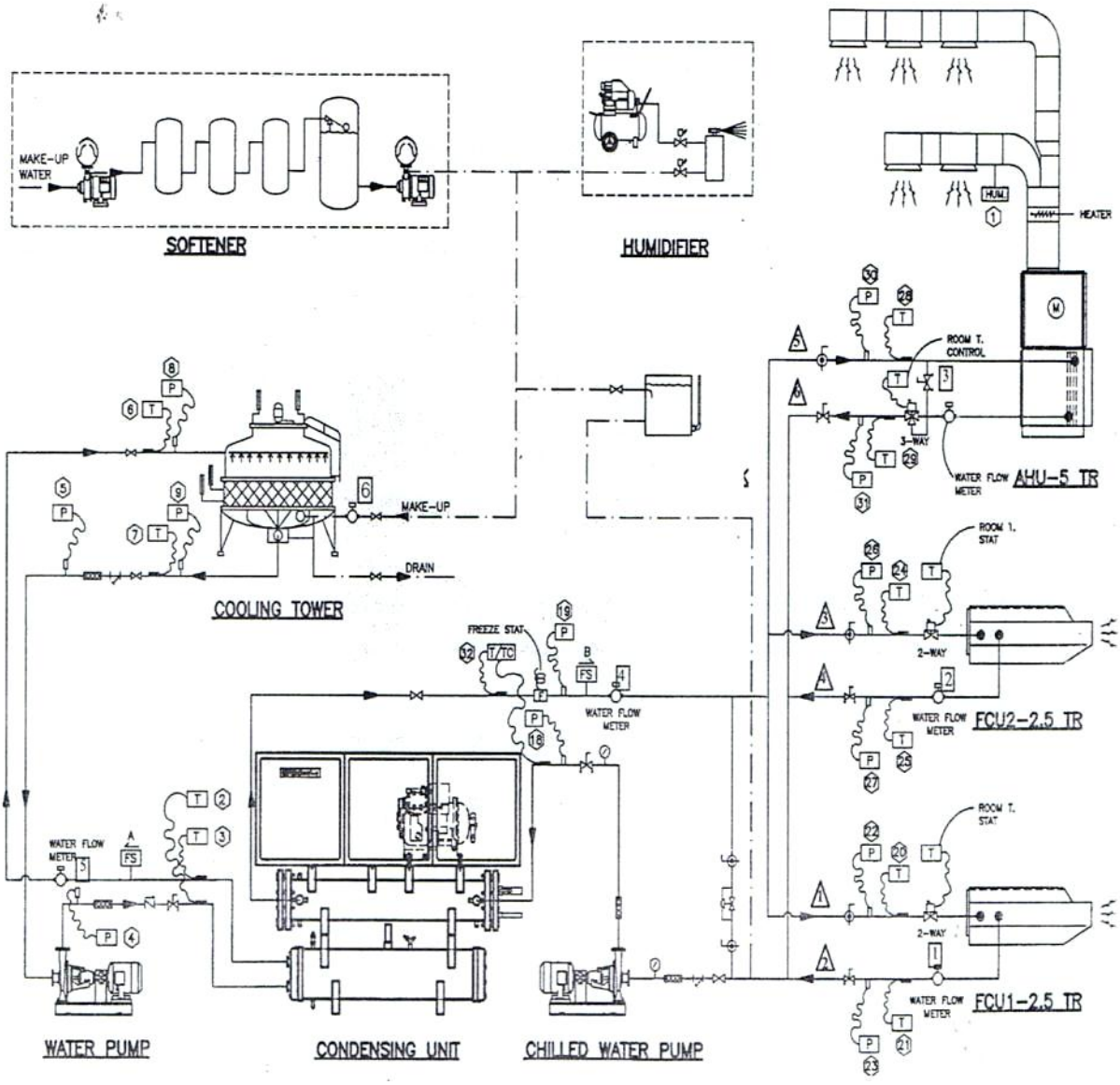
1. ปฏิบัติตามขั้นตอน วิธีการปฏิบัติก่อนการเดินเครื่องเพื่อทำการทดลอง ในหัวข้อที่ 2.1 บทที่ 2
2. ที่ ปุ่ม Control FCU1-2.5TR และ FCU2-2.5TR ปรับปุ่มต่างๆดังต่อไปนี้

   TEMP = 24; **POWER** = ON; **SWING** = OFF; **FAN** = HIGH; **MODE** = COOL
3. เปิดวาล์วน้ำต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.1 ตามลำดับ ตามตารางที่ 4.1 ดังต่อไปนี้

1) ที่ คอยล์เย็น FCU1-2.5 TR เปิด โกลบวาล์ว △2 และ บอลวาล์ว △1
2) ที่ คอยล์เย็น FCU2-2.5 TR เปิด โกลบวาล์ว △4 และ บอลวาล์ว △3
3) ที่ คอยล์เย็น AHU-5 TR ปิด โกลบวาล์ว △6 และ บอลวาล์ว △5

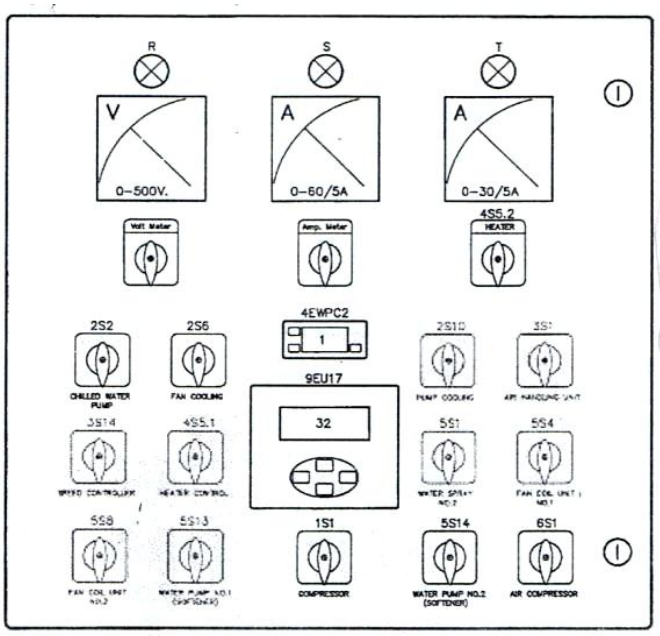
ตารางที่ 4.1 แสดง การ เปิด-ปิดวาล์วของระบบ

หมายเลขวาล์ว	△1	△2	△3	△4	△5	△6
ชื่อวาล์ว	Ball Valve FCU1-2.5 TR	Globe Valve FCU1-2.5 TR	Ball Valve FCU2-2.5 TR	Globe Valve FCU2-2.5 TR	Ball Valve AHU-5 TR	Globe Valve AHU-5 TR
ตำแหน่งการเปิด-ปิดวาล์ว	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE



รูปที่ 4.1 แสดง Schematic Diagram ของ ระบบปรับอากาศ

4. เปิด เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวในตู้ควบคุม ตั้งแต่ CB1 ถึง CB12 และ 1B1
5. เปิดสวิตซ์ที่ Control panel (รูปที่ 4.2) ตามลำดับในตารางที่ 4.2 หลังจากนั้น ตรวจดูที่ Mimic Diagram ว่ามีไฟของสวิตซ์ที่เปิด ติด หรือไม่



รูปที่ 4.2 แสดง Control Panel

ตารางที่ 4.2 แสดง การเปิด-ปิดสวิตซ์ของระบบ

ลำดับการเปิดสวิตซ์	หมายเลขสวิตซ์	ชื่อสวิตซ์	ตำแหน่งการเปิด-ปิดสวิตซ์
1	2S6	FAN COOLING	ON
2	2S10	PUMP COOLING	ON
3	2S2	CHILLED WATER PUMP	ON
4	5S13	WATER PUMP NO.1 (SOFTENER)	ON
5	5S14	WATER PUMP NO.2 (SOFTENER)	ON
6	5S4	FAN COIL UNIT NO.1	ON
7	5S8	FAN COIL UNIT NO.2	ON
8	1S1	COMPRESSOR	ON
-	3S1	AIR HANDLING UNIT	OFF
-	3S14	SPEED CONTROLLER	OFF
-	4S5.1	HEATER CONTROL	OFF
-	5S1	WATER SPRAY NO.2	OFF
-	6S1	AIR COMPRESSOR	OFF

6. หลังจากเปิดสวิตซ์ 1S1 คือสวิตซ์ของคอมเพรสเซอร์ (เดินเครื่อง) แล้ว15 นาที ให้ทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วอากาศทางเข้าและทางออกของ FCU1-2.5 TR และ FCU2-2.5 TR โดยทำการวัดแต่ละหัวข้อ 10 จุด และหาค่าเฉลี่ยจากการวัดบันทึกลงในตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 ในช่องหมายเลข 1 -5 (ช่องที่ 6-9 ได้จากการคำนวณ) วิธีการวัดปฏิบัติดังนี้

   1) นำเครื่องมือวัดความชื้นและอุณหภูมิ ไว้บริเวณหน้าคอยล์เย็น ทางที่ลมเย็นออกมา (ตำแหน่งใกล้กับทางลมพัดออกมากที่สุด) เมื่อค่าที่ได้คงที่ บันทึกผล อุณหภูมิ และความชื้น ที่อ่านได้ลงใน ตารางที่4.3 (อุณหภูมิหน่วยที่วัดได้: $^{\circ}C$, ความชื้นหน่วยที่วัดได้: %)

   2) นำเครื่องมือวัดความชื้นและอุณหภูมิ วัดบริเวณหลังคอยล์เย็น ทางที่ลมเย็นเข้ามา (ตำแหน่งใกล้กับทางลมพัดเข้ามากที่สุด) เมื่อค่าที่ได้คงที่ บันทึกผลอุณหภูมิ และความชื้นที่อ่านได้ลงในตารางที่ 4.3 (อุณหภูมิหน่วยที่วัดได้: $^{\circ}C$, ความชื้นหน่วยที่วัดได้: %)

   3) นำเครื่องวัดความเร็วของอากาศ วัดบริเวณหน้าคอยล์เย็น เมื่อค่าที่ได้คงที่ บันทึกผลที่อ่านได้ลงในตารางที่ 4.3 (ความเร็ว; $\frac{m}{s}$)

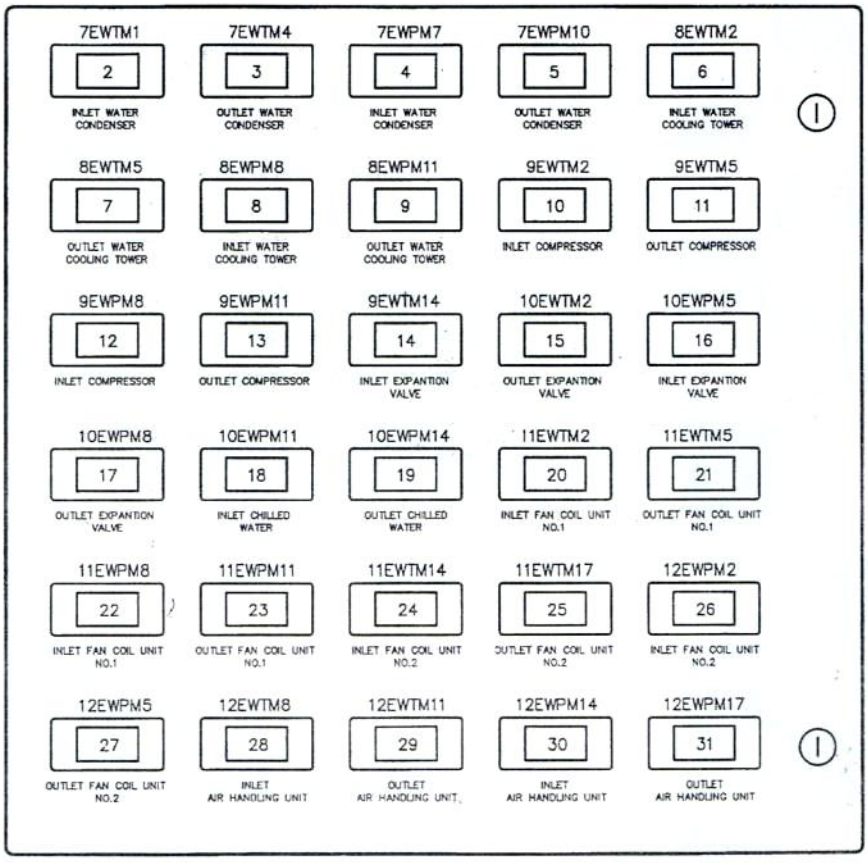
ตารางที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ของอากาศออกจากคอยล์เย็น FCU1-2.5 TR

ตำแหน่งของเครื่องมือวัด	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกระเปาะแห้ง DB. [$^{\circ}C$]	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ RH.[%]	ค่าเฉลี่ยความเร็วลมหน้าคอยล์เย็น FCU1-2.5 TR $V_{air}[\frac{m}{s}]$	อัตราการไหลของอากาศ $[\frac{kg}{s}]$	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง DB. [$^{\circ}F$]	อัตราการไหลของอากาศ [CFM]
หลังคอยล์เย็น	1	2	5	6	7	9
หน้าคอยล์เย็น	3	4			8	

7. อ่านค่าความดัน และ อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ บน Panel For Digital Temperature and Pressure lndicators ดังรูปที่ 4.3 เริ่มต้นเรียงจากลำดับ หมายเลขที่ ไปจนถึง หมายเลขที่ และบันทึกค่าลงใน ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ของอากาศออกจากคอยล์เย็น FCU2-2.5 TR

ตำแหน่งของเครื่องมือวัด	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิกระเปาะแห้ง DB. [^{o}C]	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ RH.[%]	ค่าเฉลี่ยความเร็วลมหน้าคอยล์เย็น FCU1-2.5 TR $V_{air}[\frac{m}{s}]$	อัตราการไหลของอากาศ $[\frac{kg}{s}]$	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง DB. [^{o}F]	อัตราการไหลของอากาศ [CFM]
หลังคอยล์เย็น	1	2	5	6	7	9
หน้าคอยล์เย็น	3	4			8	



รูปที่ 4.3 แสดง Panel For Digital Temperature and Pressure lndicators

ตารางที่ 4.5 แสดง ความดัน และ อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของระบบปรับอากาศ

หมายเลข รูปที่ 4.3	สัญลักษณ์แสดง ตำแหน่ง Sensor ตามรูปที่ 4.1	ชื่อหน้าปัด	สัญลักษณ์ ตามบทที่ 3	อุณหภูมิ [^{o}C]	ความดัน [Bar]	แปลงหน่วย ความดันเป็น [MPa]
2	2	INLET WATER CONDENSER (7EWTM1)	$T_{W,i}$			
3	3	OUTLET WATER CONDENSER (7EWTM4)	$T_{W,o}$			
4	4	INLET WATER CONDENSER (7EWPM7)	$P_{W,i}$			
5	5	OUTLET WATER CONDENSER (7EWPM10)	$P_{W,o}$			
6	6	INLET WATER COOLING TOWER (8EWTM2)	$T_{W,i}$			
7	7	OUTLET WATER COOLING TOWER (8EWTM5)	$T_{W,o}$			
8	8	INLET WATER COOLING TOWER (8EWPM8)	$P_{W,i}$			
9	9	OUTLET WATER COOLING TOWER (8EWPM11)	$P_{W,o}$			
10	10	INLET COMPRESSOR (9EWTM2)	$T_{R,i}$			
11	11	OUTLET COMPRESSOR (9EWTM5)	$T_{R,o}$			
12	12	INLET COMPRESSOR (9EWPM8)	$P_{R,i}$			
13	13	OUTLET COMPRESSOR (9EWPM11)	$P_{R,o}$			
14	14	INLET EXPANSION VALVE (9EWTM14)	$T_{R,i}$			
15	15	OUTLET EXPANSION VALVE (10EWTM2)	$T_{R,o}$			
16	16	INLET EXPANSION VALVE (10EWPM5)	$P_{R,i}$			
17	17	OUTLET EXPANSION VALVE (10EWPM8)	$P_{R,o}$			
18	18	INLET CHILLED WATER (10EWPM11)	$P_{W,i}$			
19	19	OUTLET CHILLER WATER (10EWPM14)	$P_{W,o}$			
20	20	INLET FAN COIL UNIT NO.1 (11EWTM2)	$T_{W,i}$			
21	21	OUTLET FAN COILUNIT NO.1 (11EWTM5)	$T_{W,o}$			
22	22	INLET FAN COIL UNIT NO.1 (11EWPM8)	$P_{W,i}$			
23	23	OUTLET FAN COIL NO.1 (11EWPM11)	$P_{W,o}$			
24	24	INLET FAN COIL UNIT NO.2 (11EWTM14)	$T_{W,i}$			
25	25	OUTLET FAN COIL UNIT NO.2 (11EWTM17)	$T_{W,o}$			
26	26	INLET FAN COIL UNIT NO.2 (12EWPM2)	$P_{W,i}$			
27	27	OUTLET FAN COIL NO.2 (12EWPM5)	$P_{W,o}$			

8. อ่านค่า อัตราการไหลของน้ำ ณ จุดต่างๆ อัตราการไหลของ R22 อุณหภูมิกระเปาะเปียก-กระเปาะแห้งของอากาศพัดเข้า-ออกจาก Cooling Tower และ ความเร็วของอากาศพัดออกจาก Cooling Tower และบันทึก ลงในตารางที่ 4.6 ตาม ลำดับดังต่อไปนี้

1) อ่านมิเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ 1 , 2 , 4 และ 5 ตามลำดับและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.6

2) ใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมที่พัดออกจาก หอระบายความร้อน (Cooling Tower) โดยวัดให้ใกล้กับใบพัดลมมากที่สุด (วัดประมาณ 8-10 จุดเละหาค่าเฉลี่ยบันทึกค่า ลงในตารางที่ 4.6)

3) ที่ หอระบายความร้อน (Cooling Tower) อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิอากาศกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง ของอากาศที่พัดผ่านเข้า-ออก บันทึกผลที่ได้ ลงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดง อัตราการไหลของน้ำ ณ จุดต่างๆ อัตราการไหลของอากาศ , อุณหภูมิที่หอระบายความร้อน และอัตราการไหลของสารทำความเย็น R22 ของระบบปรับอากาศ

ลำดับการบันทึกค่า	สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งของมิเตอร์วัดน้ำตามรูปที่ 4.1	จุดที่มิเตอร์น้ำตั้งอยู่	สัญลักษณ์	ค่าที่อ่านได้	เปลี่ยนเป็นหน่วย Sl Unit
1	1	อัตราการไหลของน้ำผ่าน FCU1-2.5 TR	$\dot{m}_W$	GPM	$\frac{kg}{s}$
2	2	อัตราการไหลของน้ำผ่าน FCU2-2.5 TR	$\dot{m}_W$	GPM	$\frac{kg}{s}$
3	4	อัตราการไหลของน้ำผ่าน Chiller	$\dot{m}_W$	GPM	$\frac{kg}{s}$
4	5	อัตราการไหลของน้ำผ่าน Cooling Tower	$\dot{m}_W$	GPM	$\frac{kg}{s}$
5	6	อัตราการไหลของน้ำ Make up Water ผ่าน Cooling Tower	$\dot{m}_W$	$\frac{kg}{s}$	$\frac{kg}{s}$
6		ความเร็วของอากาศพัดออกจาก Cooling Tower	$\dot{m}_{air}$	$\frac{m}{s}$	$\frac{kg}{s}$
7		อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศพัดออกจาก Cooling Tower	$T_{DB,air,o}$	^oC	
8		อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศพัดออกจาก Cooling Tower	$T_{WB,air,o}$	^oC	
9		อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศพัดเข้าสู่ Cooling Tower	$T_{DB,air,i}$	^oC	
10		อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศพัดเข้าสู่ Cooling Tower	$T_{WB,air,i}$	^oC	
11		อัตราการไหลของ R22	$\dot{m}_R$	GPM	$\frac{kg}{s}$

4) อ่านมิเตอร์วัดอัตราการไหลของสารทำความเย็น R22 (อยู่ด้านหลัง Chiller Unit) บันทึกค่าที่อ่านได้ ลงในตารางที่ 4.6

10. วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในระบบทั้งหมด

1. หมุนตัวปรับของเครื่องมือ Power Clamp ; Meter , มาที่ตำแหน่ง kW.
2. ต่อสายเครื่องมือวัด Power Clamp Meter เข้ากับสายไฟฟ้าหลัก ซึ่งต่อกับ Power Circuit Breaker (CB1) ทั้ง 3 เส้น (L1, L2, L3)
3. คล้องเครื่องมือวัด Power Clamp Meter เข้ากับสายไฟฟ้าหลัก เส้นที่ (L1) พร้อมจดค่า หลังจากนั้นให้เปลี่ยนมาคล้องสายเส้นที่ 2,3 ตามลำดับพร้อมจดค่า
4. เมื่อได้ครบทั้ง 3 ค่า ให้นำกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ค่ามาเปลี่ยนตามสมการข้างล่าง ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดที่ใช้ $P = \frac{P_1+P_2+P_3}{3}$

11. วัดกำลังไฟฟ้า Compressor

1. หมุนตัวปรับของเครื่องมือ Power Clamp; Meter ,มาที่ตำแหน่ง kW
2. ต่อสายเครื่องมือวัด Power Clamp Meter เข้ากับสายไฟฟ้า ซึ่งต่อกับ Circuit Breaker ของ Compressor (CB2) ทั้ง 3 เส้น (L1, L2, L3)
3. คล้องเครื่องมือ จัด Power Clamp Meter เข้ากับสายไฟฟ้า เส้นที่ (L1) พร้อมจดค่า หลังจากนั้นให้เปลี่ยนมาคล้องสายเส้นที่ 2,3 ตามลำดับพร้อมจดค่า
4. เมื่อได้ครบทั้ง 3 ค่า ให้นำกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ค่ามาเปลี่ยนตามสมการข้างล่าง ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งหมดที่ใช้ $P = \frac{P_1+P_2+P_3}{3}$

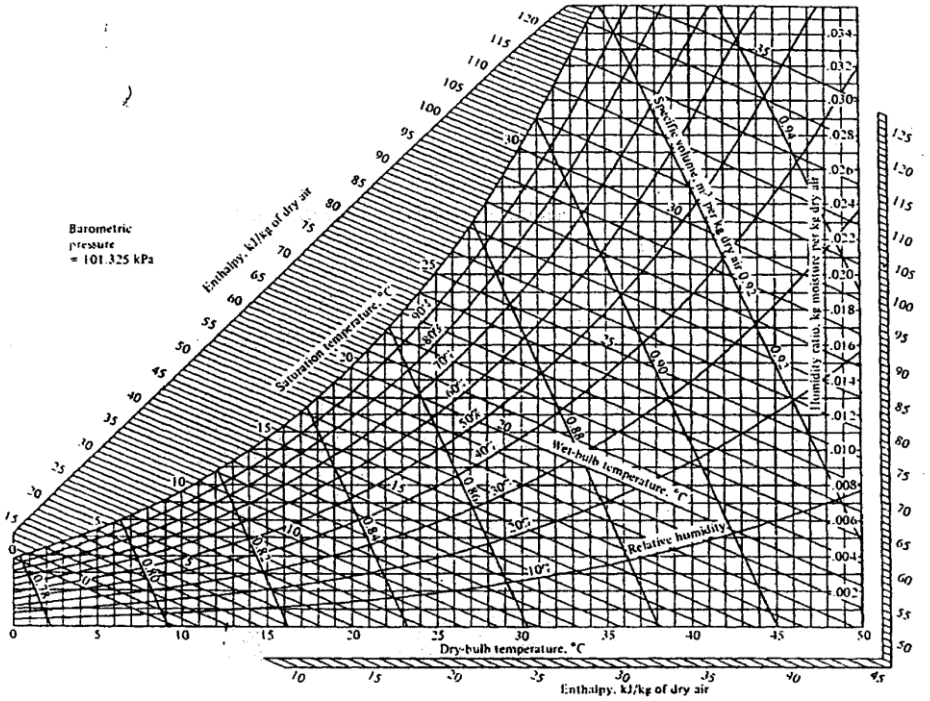
12. เมื่อทำการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว ปิดเครื่องโดยเปิดสวิตซ์ต่างๆ ที่ Control Panel ตามลำดับในตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดง ลำดับการปิดสวิตซ์ของระบบปรับอากาศ

ลำดับการปิดสวิตซ์	หมายเลขสวิตซ์	ชื่อสวิตซ์
1	1S1	COMPRESSOR
2	5S8	FAN COIL UNIT NO.2
3	5S4	FAN COIL UNIT NO.1
4	5S14	WATER PUMP NO.2 (SOFTENER)
5	5S13	WATER PUMP NO.1 (SOFTENER)
6	2S2	CHILLED WATER PUMP
7	2S10	PUMP COOLING
8	2S6	FAN COOLING

วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์อากาศพัดผ่านคอยล์เย็น FCU1-2.5TR

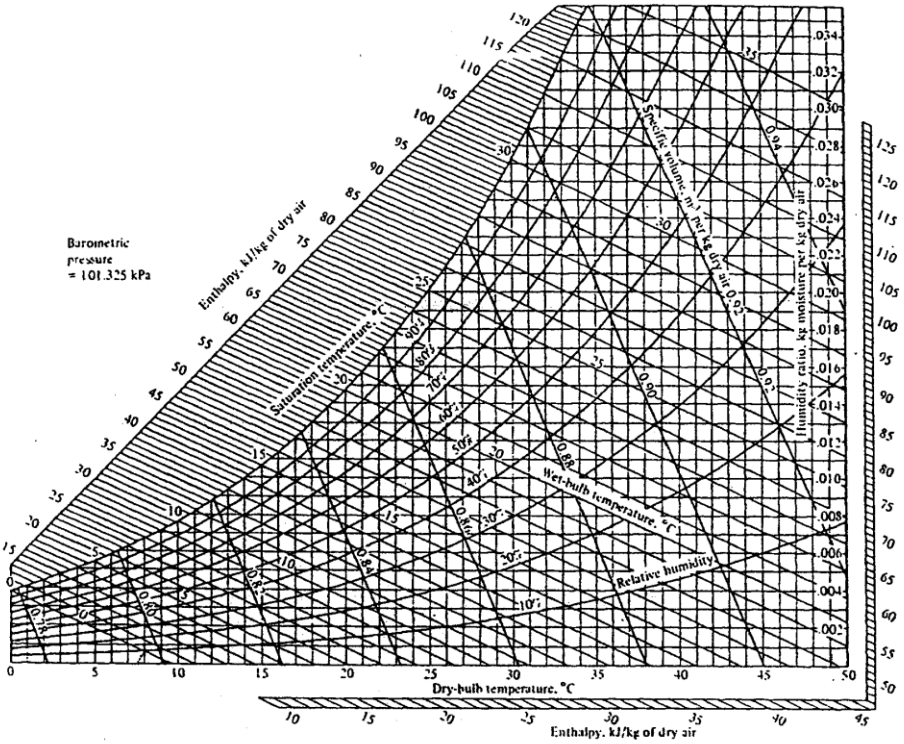


รูปที่ 4.4 แสดงแผนภูมิไซโครเมตริกของอากาศพัดผ่านคอยล์เย็น FCU1-2.5 TR

ตาราง ที่ 4.8 แสดงเอนทาลปีและความชื้นของอากาศพัดผ่านคอยล์เย็น FCU1-2.5 TR

ชื่อ	สัญลักษณ์	ผลที่ได้		หน่วย
		Supply Air	Return Air	
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature)	DPT			^{O}C
อัตราส่วนของความชื้น (Humidity Ratio)	W			**da**
เอนทาลปี (Enthalpy)	$h_{E1,air}$			$\frac{kJ}{kg}$
ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)	v			$\frac{m^3}{kg}$
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)	ϕ			%

วิเคราะห์อากาศพัดผ่านคอยล์เย็น FCU2-2.5 TR



รูปที่ 4.5 แสดงแผนภูมิไซโครเมตริกของอากาศพัดผ่านคอยล์เย็น FCU2-2.5 TR

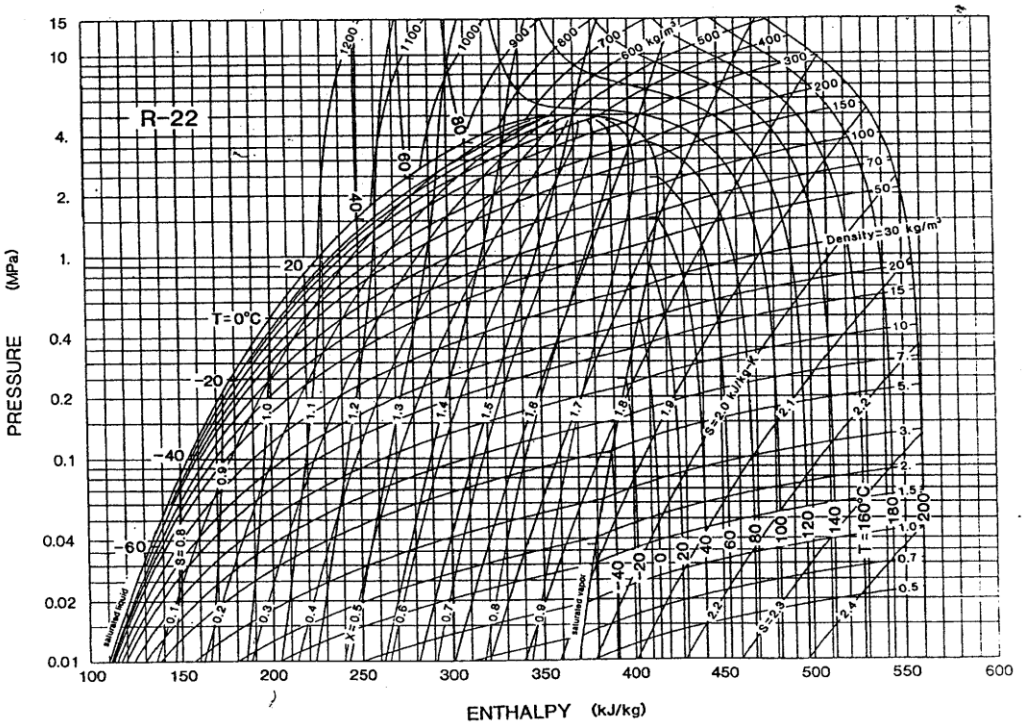
ตารางที่ 4.9 แสดงเอนทาลปีและความชื้นของอากาศพัดผ่านคอยล์เย็น FCU2-2.5 TR

ชื่อ	สัญลักษณ์	ผลที่ได้		หน่วย
		Supply Air	Return Air	
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature)	DPT			^{O}C
อัตราส่วนของความชื้น (Humidity Ratio)	W			**da**
เอนทาลปี (Enthalpy)	$h_{E2,air}$			$\frac{kJ}{kg}$
ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)	v			$\frac{m^3}{kg}$
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)	ϕ			%

วิเคราะห์แผนภูมิมอลเลียร์

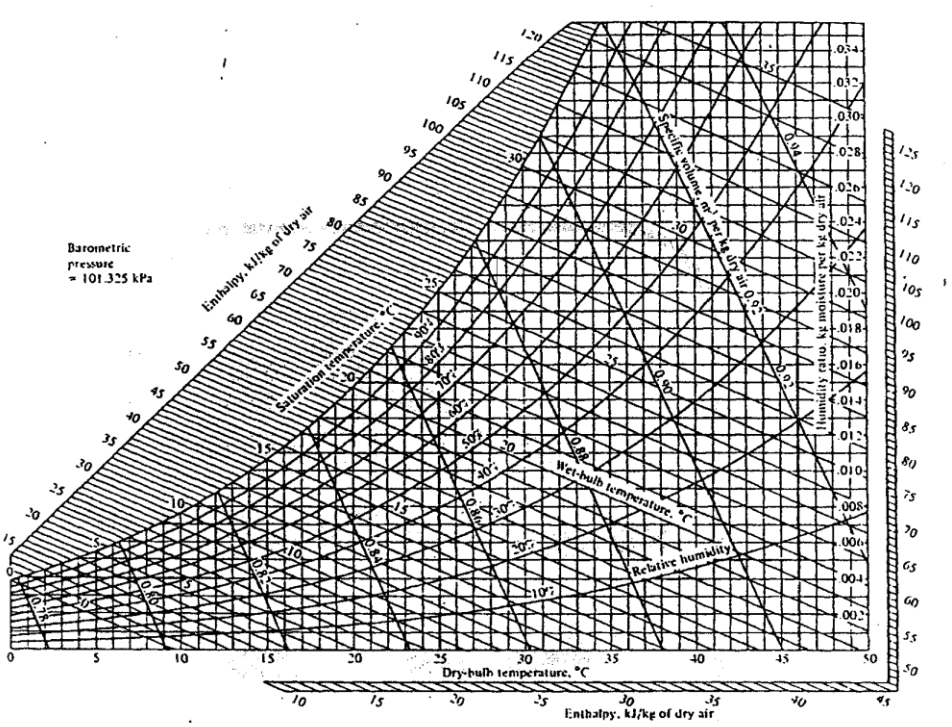
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าที่วัดได้จากจุดต่างๆของเครื่องทำความเย็น

จุดที่	ความดัน [MPa]	อุณหภูมิ [^{O}C]	เอนทาลปี $[\frac{kJ}{kg}]$
จุดที่ 1	จากตารางที่ 4.5 ค่าที่ 11, P_1 =	จากตารางที่ 4.5 ค่าที่ 9, T_1 =	
จุดที่ 2	จากตารางที่ 4.5 ค่าที่ 12, P_2 =	จากตารางที่ 4.5 ค่าที่ 10, T_2 =	
จุดที่ 3	จากตารางที่ 4.5 ค่าที่ 15, P_3 =	จากตารางที่ 4.5 ค่าที่ 13, T_3 =	
จุดที่ 4	จากตารางที่ 4.5 ค่าที่ 16, P_4 =	จากตารางที่ 4.5 ค่าที่ 14, T_4 =	



รูปที่ 4.6 แสดงแผนภูมิมอลเลียร์ (Mollier Diagram)

หอระบายความร้อน (Cooling Tower)



รูปที่ 4.7 แสดงแผนภูมิไซโครเมตริกของอากาศพัดผ่าน หอระบายความร้อน (Cooling Tower)

ตารางที่ 4.11 แสดงเอนทาลปีและความชื้นของอากาศพัดผ่านหอระบายความร้อน (Cooling Tower)

ชื่อ	สัญลักษณ์	ผลที่ได้		หน่วย
		Supply Air	**Return Air**	
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature)	DPT			^{O}C
อัตราส่วนของความชื้น (Humidity Ratio)	W			**da**
เอนทาลปี (Enthalpy)	$h_{E2,air}$			$\frac{kJ}{kg}$
ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)	v			$\frac{m^3}{kg}$
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)	ϕ			%

การสมดุลพลังงาน

หอระบายความร้อน (Cooling Tower)

จากสมการที่ 3.3

อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำ = อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อากาศ

$$\dot{m}_{w,i} C_{Pw} (T_{w,i} - T_{w,o}) = \dot{m}_{air} (h_{air,o} - h_{air,i})$$

ตาราง ที่ 4.12 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.3

$\dot{m}_{w,i}$ $[\frac{kg}{s}]$	$T_{w,i}$ [°C]	$T_{w,o}$ [°C]	$\dot{m}_{air}$ $[\frac{kg}{s}]$	$h_{air,o}$ $[\frac{kJ}{kg}]$	$h_{air,i}$ $[\frac{kJ}{kg}]$	อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำ [kW]	อัตราการถ่ายเทร้อนเข้าออกจากอากาศ [kW]

คอยล์เย็น FCU1-2.5 TR

จากสมการที่ 3.4

อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำ = อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอากาศ

$$\dot{m}_{w} C_{Pw} (T_{w,o} - T_{w,i}) = \dot{m}_{air} (h_{air,i} - h_{air,o})$$

ตาราง ที่ 4.13 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.4

$\dot{m}_{w}$ $[\frac{kg}{s}]$	$T_{w,o}$ [°C]	$T_{w,i}$ [°C]	$\dot{m}_{air}$ $[\frac{kg}{s}]$	$h_{air,i}$ $[\frac{kJ}{kg}]$	$h_{air,o}$ $[\frac{kJ}{kg}]$	อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำ [kW]	อัตราการถ่ายเทร้อนเข้าออกจากอากาศ [kW]

คอยล์เย็น FCU2-2.5 TR

จากสมการที่ 3.5

อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำ = อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากอากาศ

$$\dot{m}_w C_{Pw}(T_{w,o}-T_{w,i}) = \dot{m}_{air}(h_{air,i}-h_{air,o})$$

ตาราง ที่ 4.14 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.5

$\dot{m}_w$ $[\frac{kg}{s}]$	$T_{w,o}$ [°C]	$T_{w,i}$ [°C]	$\dot{m}_{air}$ $[\frac{kg}{s}]$	$h_{air,i}$ $[\frac{kJ}{kg}]$	$h_{air,o}$ $[\frac{kJ}{kg}]$	อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่น้ำ [kW]	อัตราการถ่ายเทร้อนเข้าออกจากอากาศ [kW]

เครื่องทำความเย็น (Chiller Unit)

Compressor:

จากสมการที่ 3.11

$$W_{net,in} = \dot{m}_R (h_2-h_1)$$

ตาราง ที่ 4.15 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.11

$\dot{m}_R$ $[\frac{kg}{s}]$	h_2 $[\frac{kJ}{kg}]$	h_1 $[\frac{kJ}{kg}]$	$W_{net,in}$ [kW]

Condenser: ความร้อนทิ้งที่คอยล์ร้อน (Rejected Heat at Condenser)

จากสมการที่ 3.12 $Q_H = \dot{m}_R (h_3-h_2)$

ตาราง ที่ 4.16 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.1

$\dot{m}_R$ $[\frac{kg}{s}]$	h_3 $[\frac{kJ}{kg}]$	h_2 $[\frac{kJ}{kg}]$	Q_H [kW]

Expansion valve:

จากสมการที่ 3.13 $h_4 = h_3$

ตาราง ที่ 4.17 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.13

h_4 $[\frac{kJ}{kg}]$	h_3 $[\frac{kJ}{kg}]$

Evaporator: ภาระการทำความเย็น (Refrigeration Capacity)

จากสมการที่ 3.14 $Q_L = \dot{m}_R (h_1 - h_4)$

ตาราง ที่ 4.18 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.14

$\dot{m}_R$ $[\frac{kg}{s}]$	h_1 $[\frac{kJ}{kg}]$	h_4 $[\frac{kJ}{kg}]$	Q_L [kW]

COP of Refrigeration Unit

จากสมการที่ 3.15

$$\text{Ideal } COP_R = \frac{Q_L}{W_{net,in}} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

ตาราง ที่ 4.19 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.15

h_1 $[\frac{kJ}{kg}]$	h_4 $[\frac{kJ}{kg}]$	h_2 $[\frac{kJ}{kg}]$	COP_R

หา COP ของ Chiller Unit

จากสมการที่ 3.15.1

$$\text{Actual } COP_R = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{Q_L}{W_{COM,in}} = \frac{\dot{m}_R (h_1 - h_4)}{\sqrt{3} IV \cos j}$$

ตาราง ที่ 4.20 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.15.1

Q_L[kW]	$W_{com,in}$[kW]	Actual COP_R	EER $[\frac{Btu}{W}]$

หา EER ของ เครื่องปรับอากาศ (ทั้งระบบ)

จากสมการที่ 3.20

$$\text{Energy Efficiency Rating [EER]} = \frac{\text{Heat removed from the cooled space for one hour}}{\text{1 Wh of electricity consumed}}$$

ตาราง ที่ 4.21 แสดงค่าต่างๆที่ใช้ในสมการที่ 3.20

Heat removed from the cooled space for one hour [Btu/h]	Electricity Consumed [W/h]	EER $[\frac{Btu}{W}]$	COP

ตัวอย่างการคำนวณ

<u>เครื่องทำความเย็น</u>

Compressor อ่านได้ - Suct Press = 5.4 Bar, Temp = 5.2 ^{0}C

- Disc Press = 14.8 Bar, Temp = 54.8 ^{0}C
- Flowrate (GPM) = 2.2

FCU-1 5.8 GPM Temp diff (17.8-12.9)

FCU-2 6 GPM Temp diff (18.3-11.4)

Water Side FCU1, $Q = \dot{m}_w Cp \Delta T$

$= (0.3659)(4.178)(4.9) = 7.49$ kW

FCU2, $Q = \dot{m}_w Cp \Delta T$

$= (0.37854)(4.178)(6.9) = 10.9$ kW

$\therefore Q_{WaterSide} = 18.4$ kW

$= 5.2$ ton

Refrigerant Side

$Q_L = \dot{m}_R \Delta h$

$= (0.1419)(405-250)$

$= 21.99$ kW

$= 6.211$ ton of refrigeration

การคำนวณหัวข้ออื่นๆที่ไม่ได้แสดงให้ดูใช้หลักการเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณข้างต้น

วิจารณ์ผลการทดลอง

……

……

……

……

……

……

สรุปผลการทดลอง

……

……

……

……

……

……

เอกสารอ้างอิง

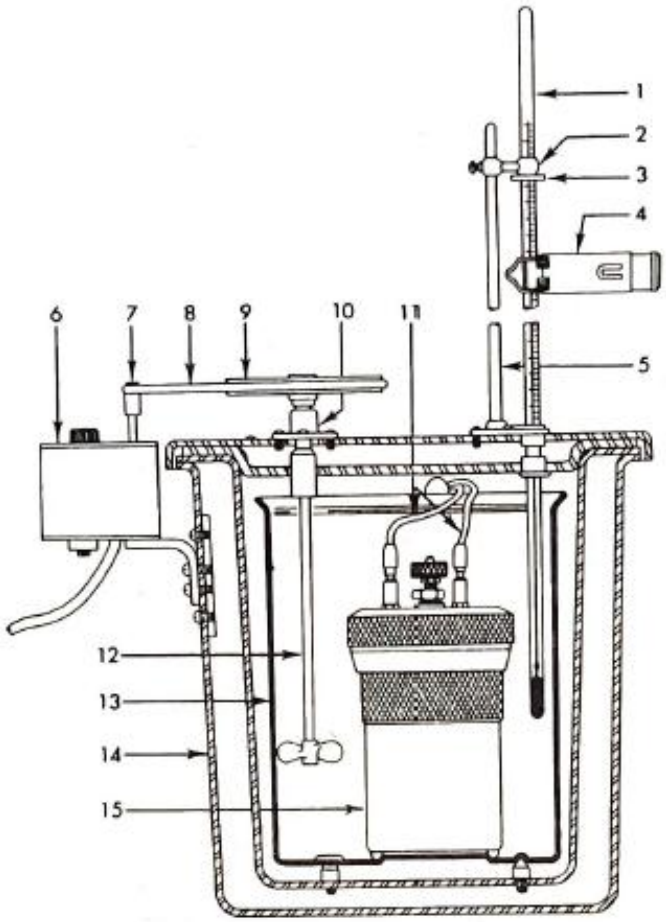
1. Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Thermodynamics, McGraw Hill, 2nd Edition, New York, pp.184-186, 1994.
2. Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones, Refrigeration & Air Conditioning, McGraw Hill, 2nd Edition, Singapore, pp.198-200, 1982.
3. Carrier Air Conditioning Company, Handbook of Air Conditioning System Design, McGraw Hill, pp.
4. Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones, Refrigeration & Air Conditioning, McGraw Hill, 2nd Edition, pp.4, 40-51, 1982.
5. Hipolito B., Sta.Maria, Refrigeration and Air Conditioning, National Book Store lnc, Philipping, pp. 126, 1989
6. Frand P.lncropera, David P.Dewitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley, 4th Edition, pp.590

การหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง

1. วัตถุประสงค์

เพื่อทดลองหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง



1. เทอร์โมมิเตอร์ขนาด 19-35°C
2. ตัวยึดเทอร์โมมิเตอร์
3. แผ่นรองตัวยึดเทอร์โมมิเตอร์
4. เลนส์อ่านเทอร์โมมิเตอร์
5. ก้านรองรับเทอร์โมมิเตอร์
6. มอเตอร์
7. มู่เล่ของมอเตอร์
8. สายพานขับใบพัดสำหรับกวนน้ำ
9. มู่เล่ของใบพัด
10. แบริ่ง
11. ลวดสำหรับจุดไฟ
12. แกนใบพัด
13. ถังบรรจุน้ำรูปไข่
14. ถังภายนอกพร้อมฝา
15. ชุดออกซิเจนบอมบ์

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากเชื้อเพลิงเนื่องจากการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยปกติการสันดาปของเชื้อเพลิงจำพวกสารไฮโดรคาร์บอนเมื่อสันดาปภายในบรรยากาศของออกซิเจน ผลของการสันดาปจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (ซึ่งอยู่ในสถานะของไอน้ำ) ถ้าไอน้ำสามารถกลั่นตัวแล้วคายความร้อนแฝงออกมา ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนค่าสูง (HHV) แต่ถ้าไอน้ำไม่กลั่นตัว ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นค่าความร้อนค่าต่ำ (LHV)

การหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงโดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ ทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงมาเผาไหม้กับออกซิเจนบริสุทธิ์ภายใต้ความดันภายในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะถ่ายเทให้กับน้ำที่อยู่บริเวณรอบบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และสามารถหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงได้จากสมการที่ 1

$$Q = \frac{(W\Delta T) - e_1 - e_2 - e_3}{m} \qquad (1)$$

โดยที่

Q คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (cal/g)

W คือ ค่าพลังงานเทียบเท่าของชุดแคลลอริมิเตอร์ (W = 2,426 cal/°c)

ΔT คือ อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากผลของการเผาไหม้ (°c)

m คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ (g)

e_1 คือ ความร้อนที่เกิดจากกรดไนตริก (cal)

e_2 คือ ความร้อนที่เกิดจากกรดกำมะถัน (cal)

e_3 คือ ความร้อนที่เกิดจากลวดจุดระเบิด (cal)

อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากผลของการเผาไหม้ หาได้จากสมการที่ 2

$$\Delta T = T_c - T_a - r_1(b-a) - r_2(c-b) \qquad (2)$$

โดยที่

T_c คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงสุด (°c)

T_a คือ อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งเริ่มจุดระเบิด (°c)

a คือ เวลา ณ ตำแหน่งที่เริ่มจุดระเบิด (min)

b คือ เวลา ณ ตำแหน่งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 60% ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดนับจากเริ่มจุดระเบิด (min)

c คือ เวลา ณ ตำแหน่งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดและเริ่มคงที่ (min)

r_1 คือ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงเวลา 5 นาทีก่อนจุดระเบิด (°c/min)

r_2 คือ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงเวลา 5 นาทีสุดท้ายนับจากจุด c (°c/min)

* ถ้าหลังจากจุด c อุณหภูมิลดลง ค่า r_2 จะมีเครื่องหมายเป็นลบ

ความร้อนที่เกิดจากกรดกำมะถัน หาได้จากสมการที่ 3

$$e_2 = 14ms \qquad (3)$$

โดยที่

e_2 คือ ความร้อนที่เกิดจากกรดกำมะถัน (cal)

m คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ (g)

s คือ เปอร์เซ็นต์ของกำมะถันในเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ (%)

ความร้อนที่เกิดจากลวดจุดระเบิด หาได้จากสมการที่ 4

$$e_3 = ql \qquad (4)$$

โดยที่

e_3 คือ ความร้อนที่เกิดจากลวดจุดระเบิด (cal)

q คือ ค่าความร้อนของลวดจุดระเบิด (q = 2.3 cal/cm)

l คือ ความยาวของลวดจุดระเบิดที่ถูกเผาไหม้ (cm)

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 ชุดบอมบ์แคลอริมิเตอร์
3.2 เชื้อเพลิง
3.3 น้ำเปล่า
3.4 เทอร์โมมิเตอร์
3.5 ชุดถังออกซิเจน
3.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก
3.7 แว่นขยาย
3.8 นาฬิกาจับเวลา
3.9 หลอดหยดสาร

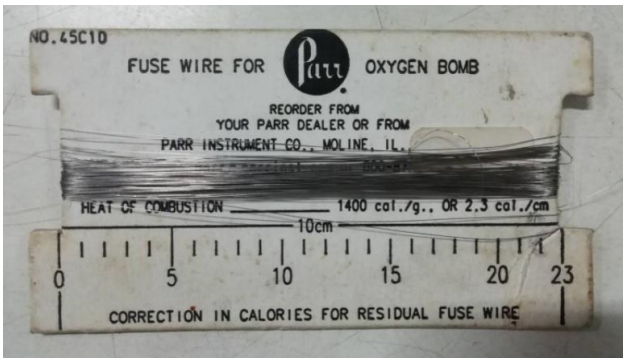
4. ขั้นตอนการทดลอง

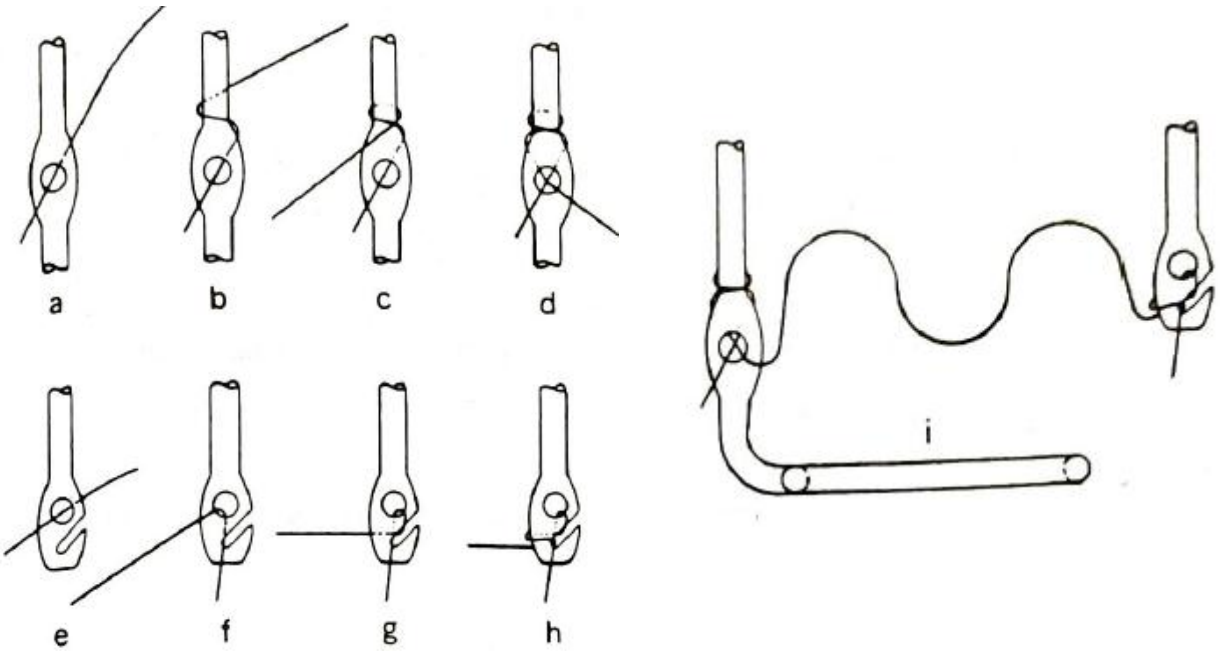
4.1 เติมน้ำเปล่าลงในถังแคลอริมิเตอร์ จำนวน 2,000 ml บันทึกอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิห้อง (น้ำที่เติมลงในถังแคลอริมิเตอร์ควรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 2 $^{\circ}$c) หลังจากนั้นนำไปใส่ด้านในของชุดบอมบ์

4.2 นำฝาชุดบอมบ์ไปวางที่แท่นรองรับฝาชุดบอมบ์ หลังจากนั้นติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับฝาชุดบอมบ์ โดยเลื่อนเทอร์โมมิเตอร์ให้ปลายของเทอร์โมมิเตอร์อยู่ที่ระดับประมาณกึ่งกลางความสูงของชุดบอมบ์

4.3 นำฝาบอมบ์ไปวางที่แท่นรองรับฝาบอมบ์

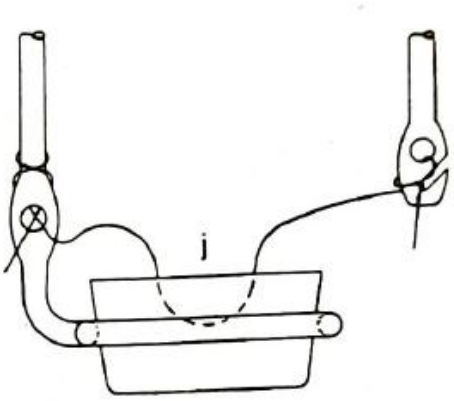
4.4 ตัดลวดจุดระเบิดความยาว 10 cm แล้วนำมาผูกที่ขาชุดจุดระเบิดตามขั้นตอน และดัดโค้งดังรูป





4.5 นำถ้วยบรรจุเชื้อเพลิงไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นใช้หลอดหยดสารดูดเชื้อเพลิงแล้วนำไปใส่ในถ้วยบรรจุเชื้อเพลิง ให้ได้เชื้อเพลิงในการทดสอบประมาณ 1.0 - 1.5 g_f บันทึกน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบลงในตารางบันทึกผล

4.6 นำถ้วยบรรจุเชื้อเพลิงไปวางที่ห่วงตะขอของฝาบอมบ์ แล้วจัดลวดจุดระเบิดให้สัมผัสกับผิวหน้าของเชื้อเพลิง



4.7 ใช้หลอดหยดสารหยดน้ำลงในบอมบ์ 1 หยด เพื่อดูดกลืนไอน้ำจากการสันดาป

4.8 ค่อยๆ นำฝาบอมบ์ไปประกอบกับตัวบอมบ์อย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อเพลิงในถ้วยบรรจุเชื้อเพลิงหก ในการปิดฝาบอมบ์ให้หมุนปิดฝาบอมบ์ด้วยมือจนแน่นเท่านั้น (ห้ามใช้เครื่องมือทุนแรง)

4.9 นำบอมบ์ไปบรรจุก๊าซออกซิเจน โดยติดตั้งสายบรรจุออกซิเจนเข้ากับวาล์วทางเข้าของบอมบ์ (ก่อนบรรจุก๊าซออกซิเจนให้ปิดวาล์วทางออกของบอมบ์ให้สนิท และวาล์วจ่ายก๊าซของถังออกซิเจนต้องอยู่ในตำแหน่งปิด) เปิดวาล์วถังก๊าซออกซิเจน หลังจากนั้นค่อยๆ เปิดวาล์วจ่ายก๊าซของถังออกซิเจนเพื่อบรรจุก๊าซออกซิเจนเข้าในบอมบ์อย่างช้าๆ จนได้ความดันประมาณ 25 atm (25.32 bar) หลังจากนั้นปิดวาล์วจ่ายก๊าซของถังออกซิเจน วาล์วถังก๊าซออกซิเจน และถอดสายบรรจุออกซิเจน

4.10 ใส่บอมบ์ลงในถังแคลอริมิเตอร์อย่างระมัดระวัง สังเกตฟองอากาศที่รั่วออกมาจากฝาบอมบ์ ถ้ามีแสดงว่าฝาบอมบ์ปิดไม่สนิทหรือซิลอาจจะรั่ว ให้ทำการแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนเริ่มการทดลอง หลังจากนั้นต่อสายไฟจากชุดจุดระเบิดเข้ากับขั้วต่อสายของบอมบ์

4.11 นำฝาชุดบอมบ์มาประกอบเข้ากับตัวชุดบอมบ์ และติดตั้งสายพานเข้ากับล้อสายพานของมอเตอร์และล้อสายพานของชุดใบพัดกวนน้ำ

4.12 เปิดสวิตช์ให้มอเตอร์ชุดใบพัดกวนน้ำทำงานพร้อมทั้งเริ่มจับเวลา

4.13 บันทึกอุณหภูมิน้ำทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที

4.14 เมื่อครบ 5 นาทีแล้ว ให้กดสวิตช์จุดระเบิดเพื่อเริ่มต้นการเผาไหม้เชื้อเพลิง หลังจากนั้นให้บันทึกอุณหภูมิน้ำทุกๆ 12 วินาที (0.2 นาที) จนกว่าอุณหภูมิน้ำจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและเริ่มคงที่ หลังจากนั้นให้บันทึกอุณหภูมิน้ำทุกๆ 1 นาที ต่อไปอีก 5 นาที (ถ้าหลังจากทำการจุดระเบิดอุณหภูมิน้ำไม่เพิ่มขึ้นเลย แสดงว่าเชื้อเพลิงไม่เกิดการเผาไหม้ ให้ทำการแก้ไขและทำการทดลองใหม่)

4.15 เปิดฝาชุดบอมบ์ และนำบอมบ์ออกมาจากถังแคลอริมิเตอร์ และค่อยๆ เปิดวาล์วทางออกของบอมบ์ เพื่อระบายความดันออกจากบอมบ์จนความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ

4.16 เปิดฝาบอมบ์ออกแล้วนำไปวางที่แท่นรองรับฝาบอมบ์ และแกะลวดจุดระเบิดออกมาวัดความยาวลวดจุดระเบิดที่เหลือและบันทึกผลความยาวลวดจุดระเบิดที่ใช้ในการเผาไหม้จริง

4.17 ทำความสะอาดอุปกรณ์ทดลองและเก็บเข้าที่

5. ตารางบันทึกผลการทดลอง

5.1 ตารางบันทึกผลการทดลองหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง

ชนิดของเชื้อเพลิง.....

อุณหภูมิห้อง .....

อุณหภูมิน้ำ .....

น้ำหนักเชื้อเพลิง .....

ความยาวลวดจุดระเบิดที่ใช้ในการเผาไหม้จริง .....

เวลา (min)	**อุณหภูมิน้ำ ($^{\circ}C$)**	**เวลา (min)**	**อุณหภูมิน้ำ ($^{\circ}C$)**	**เวลา (min)**	**อุณหภูมิน้ำ ($^{\circ}C$)**

6. การวิเคราะห์ผล

6.1 เขียนกราฟความสัมพันธ์ของเวลาและอุณหภูมิน้ำ

6.2 หาค่าความร้อนเชื้อเพลิง

การทดสอบการทำงานเครื่องสูบ

(Multi-Pump Test Rig)

1. วัตถุประสงค์

เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่องสูบชนิดต่าง ๆ จากนั้นทดสอบเครื่องสูบและเปรียบเทียบหัวความดันระหว่างการต่อเครื่องสูบแบบอนุกรมและแบบขนาน แล้วนำค่าตัวแปรต่าง ๆ หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเฮดรวม, ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับประสิทธิภาพปั๊ม และเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของปั๊มแต่ละชนิด

2. ทฤษฎีและเนื้อหา

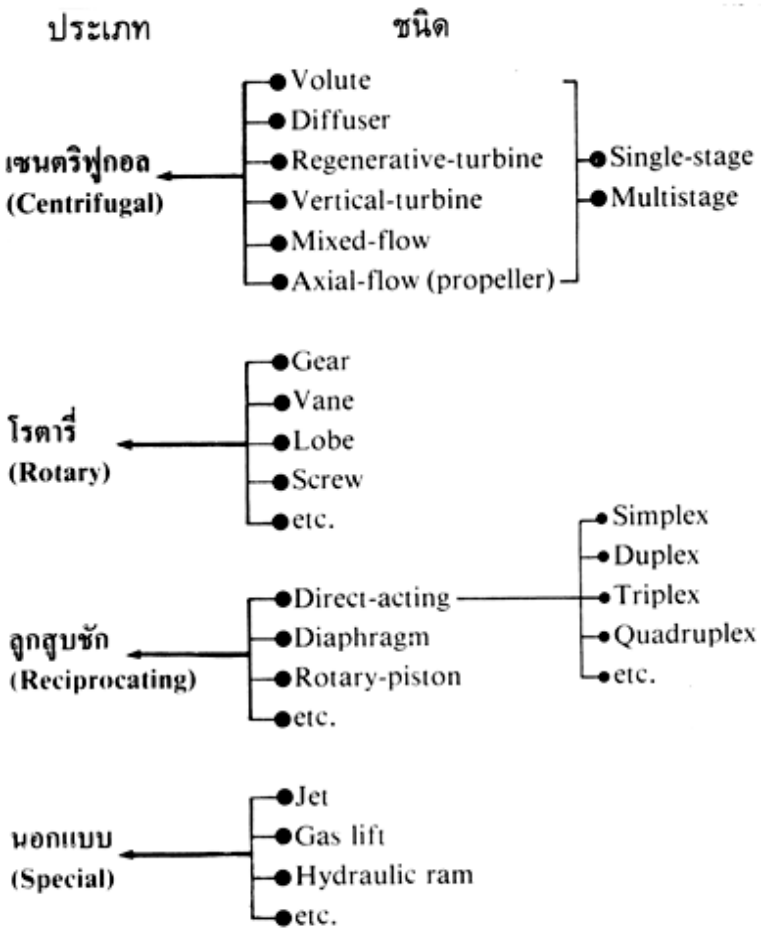
เครื่องสูบ หรือ ปั๊มอาจให้คำจำกัดความได้ว่า เป็นเครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือพลังงานแหล่งอื่นๆ ก็ได้

2.1 การแยกประเภทปั๊มอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ

1. แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ซึ่งได้แก่

- ประเภทเซนตริฟูกอล (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนี ศูนย์กลาง
- ประเภทโรตารี่ (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง
- ประเภทสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ
- นอกแบบ (Special) เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้

ในแต่ละประเภทที่กล่าวมานี้ยังมีการดัดแปลงอออกไปเป็นแบบต่างๆ อีกหลายแบบและมีชื่อเรียกของแต่ละแบบแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 1



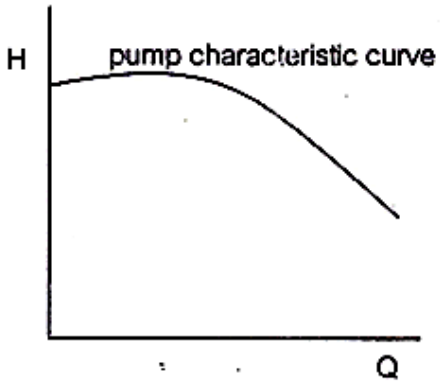
รูปที่ 1 การจำแนกประเภทของเครื่องสูบ

2. แยกประเภทตามลักษณะการขับดันของเหลวในเครื่องสูบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ด้วยกันคือ

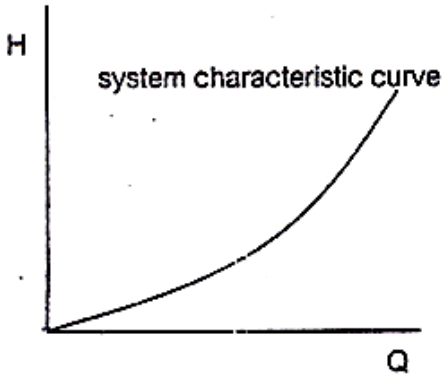
- ปั๊มแบบไม่แทนที่ (Non – Positive Displacement) ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ปกติใช้ในงานความดันต่ำ อัตราการไหลสูง ไม่สามารถรับความดันสูง ๆ ได้ ปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางอาจจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ได้

- ปั๊มแบบแทนที่ (Positive Displacement) ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องสูบ ปั๊มชนิดนี้จะจ่ายของไหลด้วยปริมาตรที่แน่นอนค่าหนึ่ง ต่อการหมุนรอบหนึ่งของเพลา สามารถรับความดันที่สูงขึ้นในระบบได้ดี ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารี่และลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

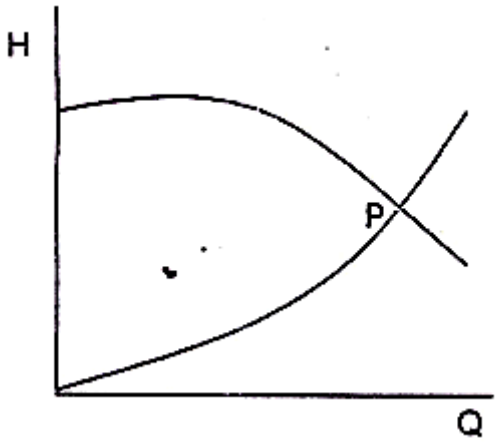
2.2 กราฟแสดงสมรรถนะโดยทั่วไปของเครื่องสูบ



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดรวม (H) กับอัตราการไหล(Q)
โดยทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดรวมของการสูญเสียในระบบท่อ (H)
กับอัตราการไหล(Q) โดยเปลี่ยนความเร็วรอบ



รูปที่ 4 กราฟแสดงการรวมกันของรูปกราฟ 2 และ 3 จะได้จุดตัด P
ซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

2.3 การคำนวณในการทดสอบ

1. เฮดรวม (Total Head, H) เฮดรวมของน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ก็คือพลังงานทั้งหมดของน้ำที่บอกในรูปของเฮดของน้ำ ณ จุดนั้น ๆ

$\therefore$ เฮดรวม = เฮดความดัน + เฮดความเร็ว + เฮดสถิต

$$H = \frac{P_2 - P_1}{g.\rho} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \Delta Z \qquad (1)$$

โดยที่ P_1, P_2 = ความดันที่จุด 1 และ 2 (N/m^2)

V_1, V_2 = ความเร็วเฉลี่ยของของไหลที่จุด 1 และ 2 (m/s)

ΔZ = ความแตกต่างความสูงระหว่างที่จุด 1 และ 2 (m)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

ρ = ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

2. ความเร็วของของไหลสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{เมื่อ} \quad A = \frac{\pi}{4}d^2 \qquad (2)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล (m^3/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (m)

3. กำลังงานหมายถึง อัตราการทำงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ แรงม้าและวัตต์ ซึ่ง 1 แรงม้า = 745.7 วัตต์ หรือนิวตันเมตรต่อวินาทีกำลังงานที่ได้จะมี 2 ประเภทคือ กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊ม และที่ปั๊มให้แก่น้ำ

- กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊ม วัดได้จากแรงหมุนของมอเตอร์และความเร็วรอบของมอเตอร์ดังสมการ

$$P_{mech} = 2\pi TN \qquad (3)$$

โดยที่ T = แรงบิด (N-m)

N = ความเร็วรอบ (rev/s)

- กำลังงานที่ปั๊มให้แก่น้ำหรือกำลังงานของน้ำ หาได้จากอัตราการไหลของน้ำและความดันที่เพิ่มขึ้นดังสมการ

$$P_{hyd} = QH\rho g \qquad (4)$$

4. ประสิทธิภาพของปั๊ม หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่ปั๊มให้แก่น้ำต่อกำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊มซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_{pump} = \frac{P_{hyd}}{P_{mech}} \times 100 \quad , \% \qquad (5)$$

5. ประสิทธิภาพเชิงกลของมอเตอร์ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊มต่อกำลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_{motor} = \frac{P_{mech}}{P_{elect}} \times 100 \quad , \% \qquad (6)$$

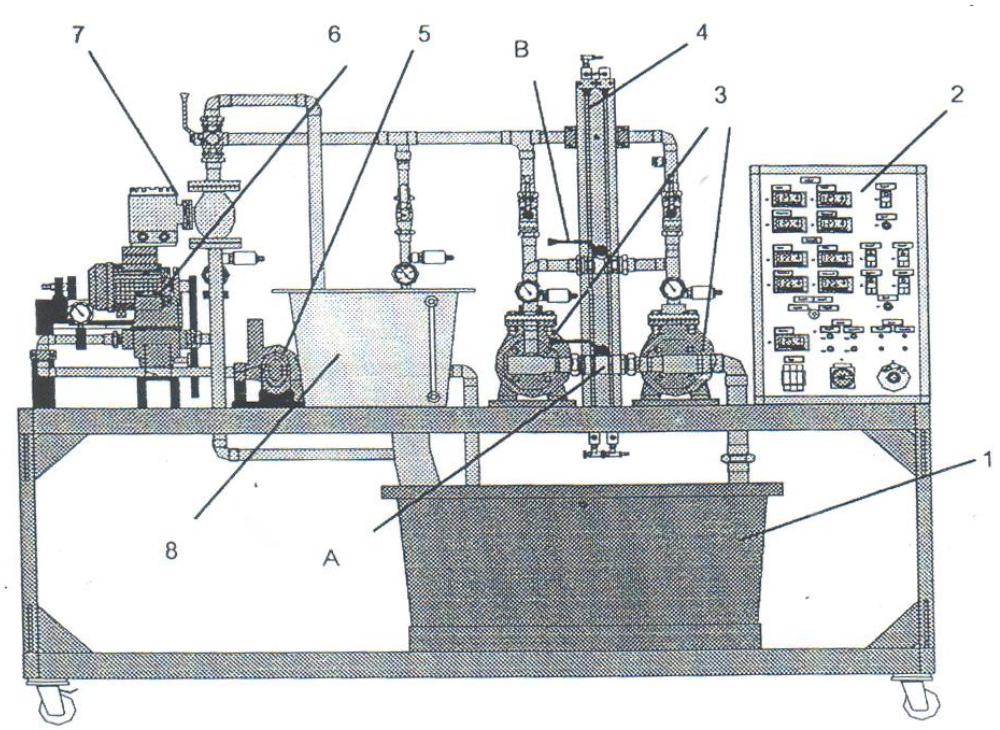
6. ประสิทธิภาพของระบบปั๊ม หมายถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่ปั๊มให้แก่น้ำต่อกำลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_{net} = \frac{P_{hyd}}{P_{elect}} \times 100 \quad , \% \qquad (7)$$

ข้อมูลเฉพาะของปั๊มแต่ละชนิด

ชนิด	ความเร็วรอบ	เส้นผ่านศูนย์กลาง		ระดับที่แตกต่าง
	rpm	ท่อดูด mm	ท่อจ่าย mm	(Z)m
Centrifugal	3000	50	32	0.20
Turbine	2900	25	25	0.04
Gear	1700	25	25	0.11
Reciprocating	450	25	25	0.15

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ



1. Tank
2. Control Panel
3. Centrifugal Pump
4. Manometer
5. Gear Pump
6. Reciprocating Pump
7. Flow Measuring
8. Volumetric Tank

4. วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1.Centrifugal Pump (Pump No. 1. Pump No. 2.)

การทดลองที่ 1.1

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Centrifugal Pump No. 1. ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, B, 8, 9, 10, 11 และเปิด (Open) ball-cock No. 7 ไปที่ 0 องศา
5. Switch ON Pump 1 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 2900 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 1 จะคงที่
6. ปรับ ball-cock 7 ตามตารางการทดลองที่ 1.1 แล้วบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

การทดลองที่ 1.2

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Centrifugal Pump No. 1 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, B, 8, 9, 10, 11 และเปิด (Open) ball-cock No. 7 (0องศา)
5. Switch ON Pump 1 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 2900 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 1 จะคงที่
6. ปรับ Speed Pump 1 ตามตารางการทดลองที่ 1.2 แล้วบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

การทดลองที่ 1.3 Serial Connection of Centrifugal Pump

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Centrifugal Pump No. 1และ Pump No. 2 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, 7, 9, 10, 11 และเปิด (Open) ball-cock No. 8 และ B. (0องศา)
5. Switch ON Pump 1 และ Pump No.2 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 2900 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 1และ Pump No.2 จะคงที่
6. บันทึกค่า P1, P2 และอัตราการไหล ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

การทดลองที่ 1.4 Parallel Connection of Centrifugal Pump

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Centrifugal Pump No. 1และ Pump No. 2 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. B, 9, 10, 11 และเปิด (Open) ball-cock No. A, 7, 8, (0องศา)
5. Switch ON Pump 1 และ Pump No.2 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 2900 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 1และ Pump No.2 จะคงที่
6. บันทึกค่า P1, P2, P3, P4 และ อัตราการไหล ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

การทดลองที่ 2 Turbine Pump (Pump No.3)

การทดลองที่ 2.1 Different ball-cock No.9

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Pump No.3 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, B, 7, 8,10, 11 และเปิด (Open) ball-cock No.9 (0องศา)
5. Switch ON Pump 3 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 2000 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 3 จะคงที่
6. ปรับ ball-cock 9 ตามตารางการทดลองที่ 2.1 แล้วบันทึกค่า P5, P6 แรงบิดและอัตราการไหล ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

การทดลองที่ 2.1 Different speed Pump 3

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Pump No. 3 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, B, 7, 8, 10, 11 และเปิด (Open) ball-cock No. 9 (0องศา)
5. Switch ON Pump 3 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 2500 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 3 จะคงที่

1. ปรับ Speed Pump 3 ตามตารางการทดลองที่ 2.2 แล้วบันทึกค่า P5, P6 แรงบิด และอัตราการไหล ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
6. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

การทดลองที่ 3 (Gear Pump (Pump No.4)

การทดลองที่ 3.1 Different ball-cock No.10

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Pump No.4 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, B, 7, 8, 9,11 และเปิด (Open) ball-cock No.10 (0องศา)
5. Switch ON Pump 4 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 1500 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 4 จะคงที่
6. ปรับ ball-cock 10 ตามตารางการทดลองที่ 3.1 แล้วบันทึกค่า P7, P8 แรงบิด และอัตราการไหล ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

<u>หมายเหตุ</u> ห้ามให้ gear pump ทำงานโดยปราศจาก antirust fluid เพราะ pump จะได้รับความเสียหายได้ห้ามปิด ball cock เกิน 75 องศา เพราะอาจทำให้ pump เกิดการเสียหายได้

การทดลองที่ 3.2 Different speed Pump 4

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Pump No.4 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, B, 7, 8, 9,11 และเปิด (Open) ball-cock No.10 (0องศา)
5. Switch ON Pump 4 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 1500 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 4 จะคงที่ โดยปรับ Speed Pump 4 ตามตารางการทดลองที่ 3.2 แล้วบันทึกค่า P7, P8 แรงบิด และอัตราการไหล ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
6. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

<u>หมายเหตุ</u> ห้ามให้ gear pump ทำงานโดยปราศจาก antirust fluid เพราะ pump จะได้รับความเสียหายได้ห้ามปิด ball cock เกิน 75 องศา เพราะอาจทำให้ pump เกิดการเสียหายได้

การทดลองที่ 4 Reciprocating Pump (Pump No.5)

การทดลองที่ 4.1 Different ball-cock No.11

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Pump No.5 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, B, 7, 8, 9, และเปิด (Open) ball-cock No.11 (0องศา)
5. Switch ON Pump 5 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 300 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 5 จะคงที่
6. ปรับ ball-cock 11 ตามตารางการทดลองที่ 4.1 แล้วบันทึกค่า P9, P10 แรงบิด และอัตราการไหล ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

การทดลองที่ 4.2 Different speed Pump 5

1. เสียบปลั๊ก power และโยก breaker ที่กล่อง power meter
2. เปิด emergency switch, main switch และ fuse
3. เลือกฟังก์ชั่นการทำงานของชุด Pump No.5 ที่กล่อง Switch box
4. ปิด (Closed) ball-cock No. A, B, 7, 8, 9, 10 และเปิด (Open) ball-cock No.11 (0องศา)
5. Switch ON Pump 5 แล้วปรับความเร็วรอบไปที่ 400 rpm รอจนกว่ารอบของ Pump 5 จะคงที่
6. ปรับ Speed Pump 5 ตามตารางการทดลองที่ 4.2 แล้วบันทึกค่า P9, P10 แรงบิด และอัตราการไหล ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
7. ปิด emergency switch, main switch และ fuse

<u>หมายเหตุ</u> ต้องไม่ปิด ball-cock 11 จนถึง 90 องศา เพราะอาจทำให้ปั๊มและเกจวัดความดันเสียหายได้

5. ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางบันทึกการทดลองที่ 1. Centrifugal Pump (Pump No.1. No.2)

ตารางบันทึกการทดลองที่ 1.1 different position ball-cock 7. (Pump No.1)

Speed Pump No.1 2900 rpm

Position Ball-cock	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Q (l/min)	T (N-m)	P_{elect} (w)	H (m)	P_{mech} (w)	P_{hyd} (w)	η_{pump} (%)	η_{motor} (%)	η_{net} (%)
0											
15											
30											
45											
60											
75											
90											

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.2 different pump speed (Pump No.1)

Pump No.1 position ball-cock fully open

Speed (rpm)	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Q (l/min)	T (N-m)	P_{elect} (w)	H (m)	P_{mech} (w)	P_{hyd} (w)	η_{pump} (%)	η_{motor} (%)	η_{net} (%)
2900											
2500											
2000											
1500											
1000											
800											

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.3 Serial Connection of Pump (Pump No.1 & Pump No.2)

Speed Pump No.1 2900 rpm Speed Pump No.2 2900 rpm

Position Ball-cock	P_1 (bar)	P_4 (bar)	Q (l/min)	H (m)
0				
15				
30				
45				
60				
75				
90				

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1.4 Parallel Connection of Pump (Pump No.1 & PumpNo.2)

Speed Pump No.1 2900 rpm Speed Pump No.2 2900 rpm

Position Ball-cock	P_1 (bar)	P_2 (bar)	P_3 (bar)	P_4 (bar)	Q (l/min)	H (m)
0						
15						
30						
45						
60						
75						
90						

ตารางการบันทึกผลการทดลองที่ 2 Turbine Pump (Pump No.3)

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2.1 different position ball-cock 9. (Pump No.3)

Speed Pump No.3 ___2000___ rpm

Position Ball-cock	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Q (l/min)	T (N-m)	P_{elect} (w)	H (m)	P_{mech} (w)	P_{hyd} (w)	η_{pump} (%)	η_{motor} (%)	η_{net} (%)
0											
15											
30											
45											
60											
75											
90											

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2.2 different pump speed (Pump No.3)

Pump No.3 position ball-cock 9 fully open

Speed (rpm)	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Q (l/min)	T (N-m)	P_{elect} (w)	H (m)	P_{mech} (w)	P_{hyd} (w)	η_{pump} (%)	η_{motor} (%)	η_{net} (%)
2500											
2300											
2000											
1600											
1300											
800											

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3 Gear Pump (Pump No.4)

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3.1 different position ball-cock 10 (Pump No.4)

Speed Pump No.4 ___1500___ rpm

Position Ball-cock	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Q (l/min)	T (N-m)	P_{elect} (w)	H (m)	P_{mech} (w)	P_{hyd} (w)	η_{pump} (%)	η_{motor} (%)	η_{net} (%)
0											
15											
30											
45											
60											
75											

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3.2 different pump speed (Pump No.4)

Pump No.4 position ball-cock 10 fully open

Speed (rpm)	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Q (l/min)	T (N-m)	P_{elect} (w)	H (m)	P_{mech} (w)	P_{hyd} (w)	η_{pump} (%)	η_{motor} (%)	η_{net} (%)
1500											
1300											
1000											
800											
600											
300											

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4 Reciprocating Pump (Pump No.5)

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.1 different position ball-cock 11. (Pump No.5)

Speed Pump No.5 ___300___ rpm

Position Ball-cock	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Q (l/min)	T (N-m)	P_{elect} (w)	H (m)	P_{mech} (w)	P_{hyd} (w)	η_{pump} (%)	η_{motor} (%)	η_{net} (%)
0											
15											
30											
45											
60											
75											

ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.2 different pump speed (Pump No.5)

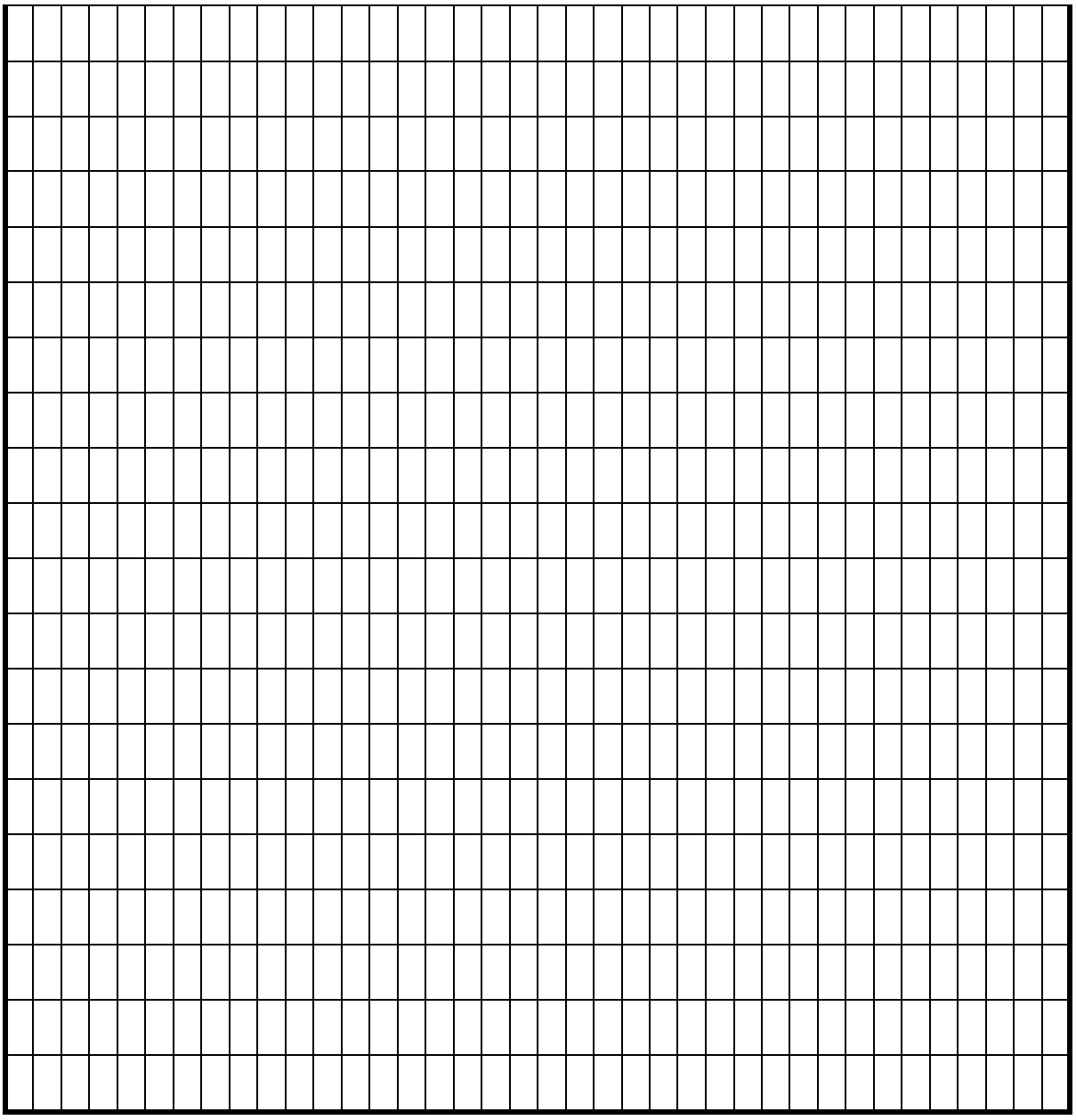
Pump No.5 position ball-cock 11 fully open

Speed (rpm)	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Q (l/min)	T (N-m)	P_{elect} (w)	H (m)	P_{mech} (w)	P_{hyd} (w)	η_{pump} (%)	η_{motor} (%)	η_{net} (%)
400											
350											
300											
250											
200											
150											

6. กราฟแสดงคุณลักษณะของระบบและเครื่องสูบ

จากการทดลองที่ 1. Centrifugal Pump

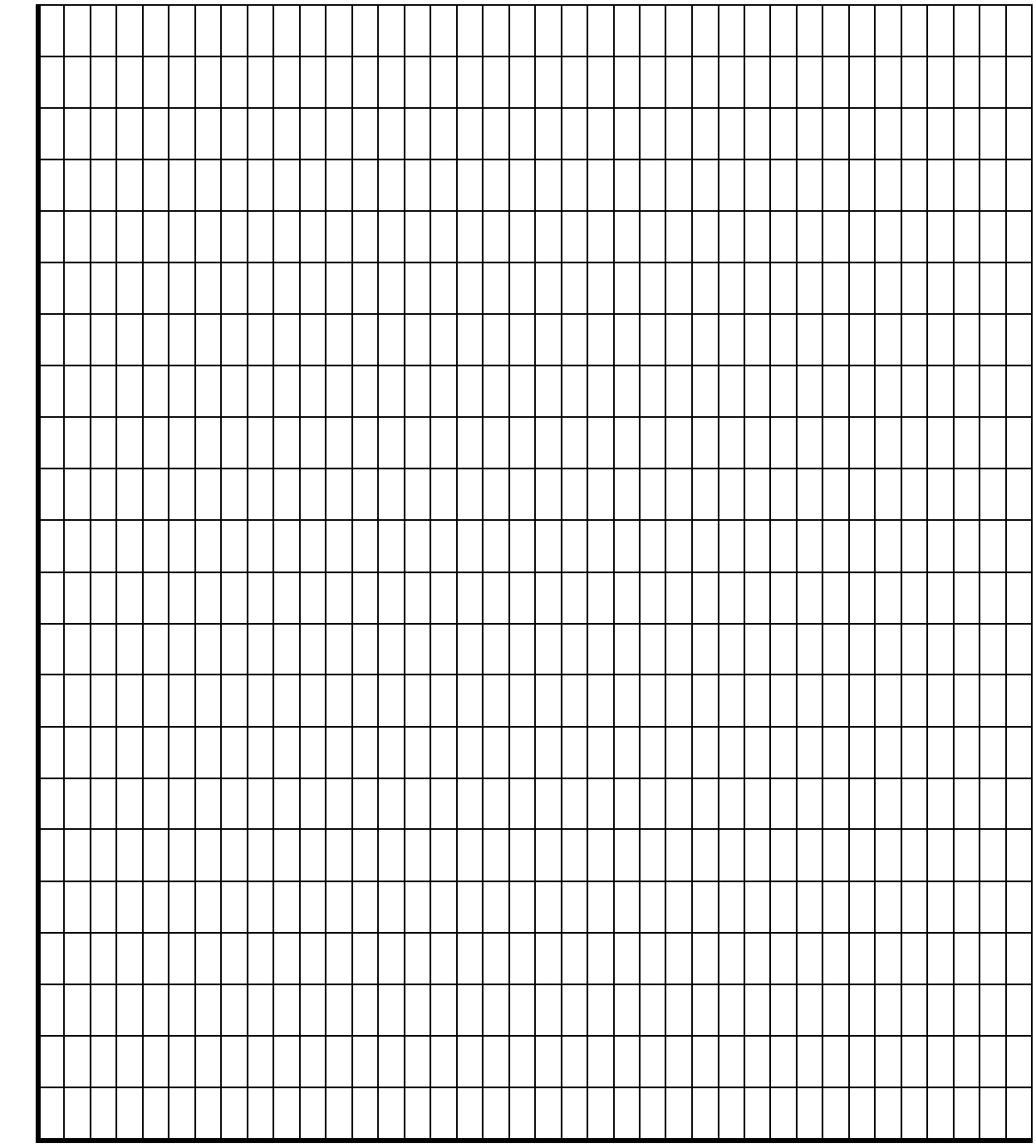
H (m) η_{pump} (%)



Q (l/min)

รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดรวม (H) และประสิทธิภาพปั๊ม (η_{pump}) ของ Centrifugal Pump

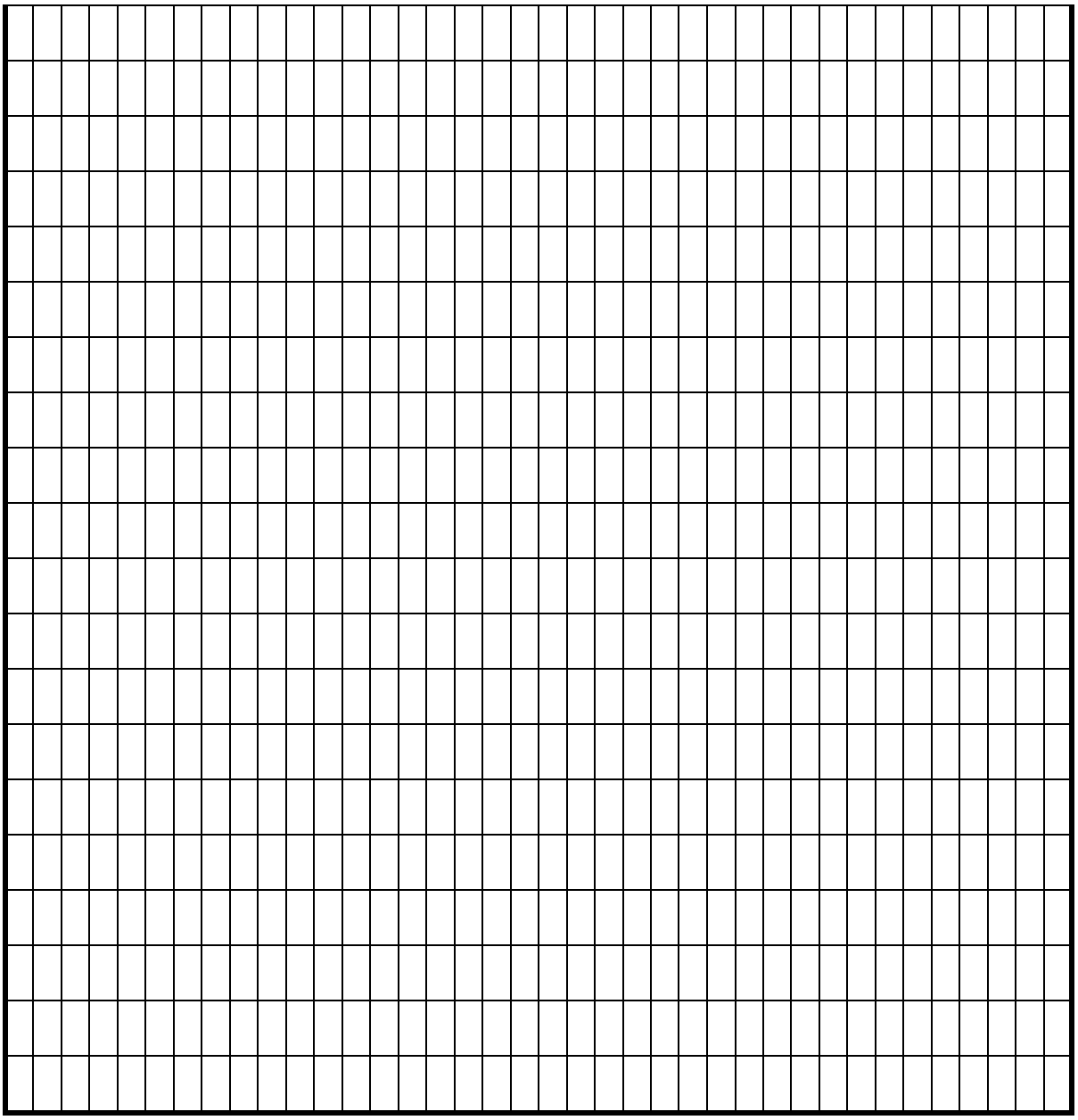
จากการทดลองที่ 1. Centrifugal Pump แบบ Serial and Parallel



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดรวม (H) ของ Centrifugal Pump แบบอนุกรมและแบบขนาน

จากการทดลองที่ 2. Turbine Pump

H (m) η_{pump} (%)



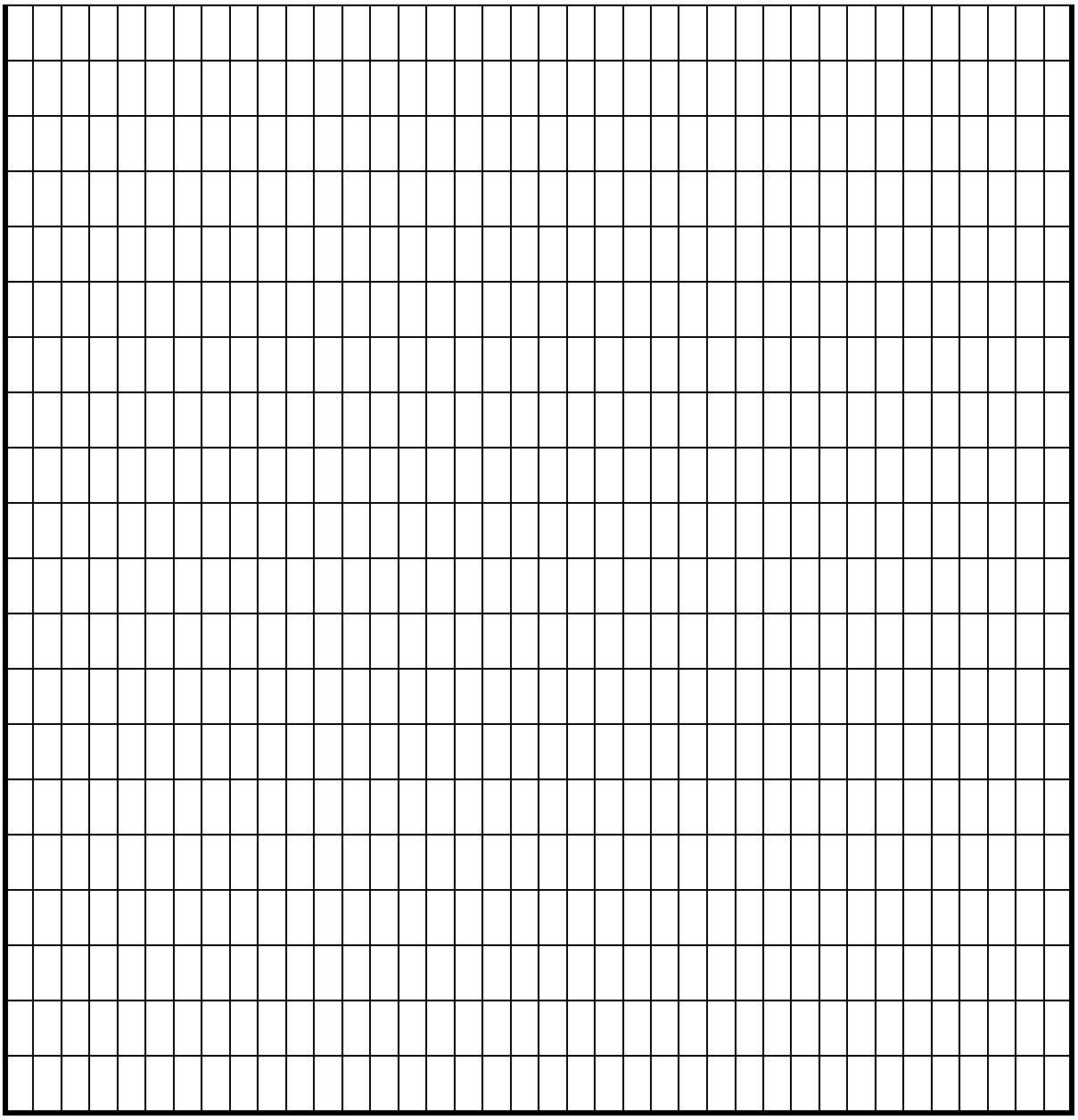
Q (l/min)

รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดรวม (H) และประสิทธิภาพปั๊ม (η_{pump}) ของ Turbine Pump

จากการทดลองที่ 3. Gear Pump

H (m)

η_{pump} (%)

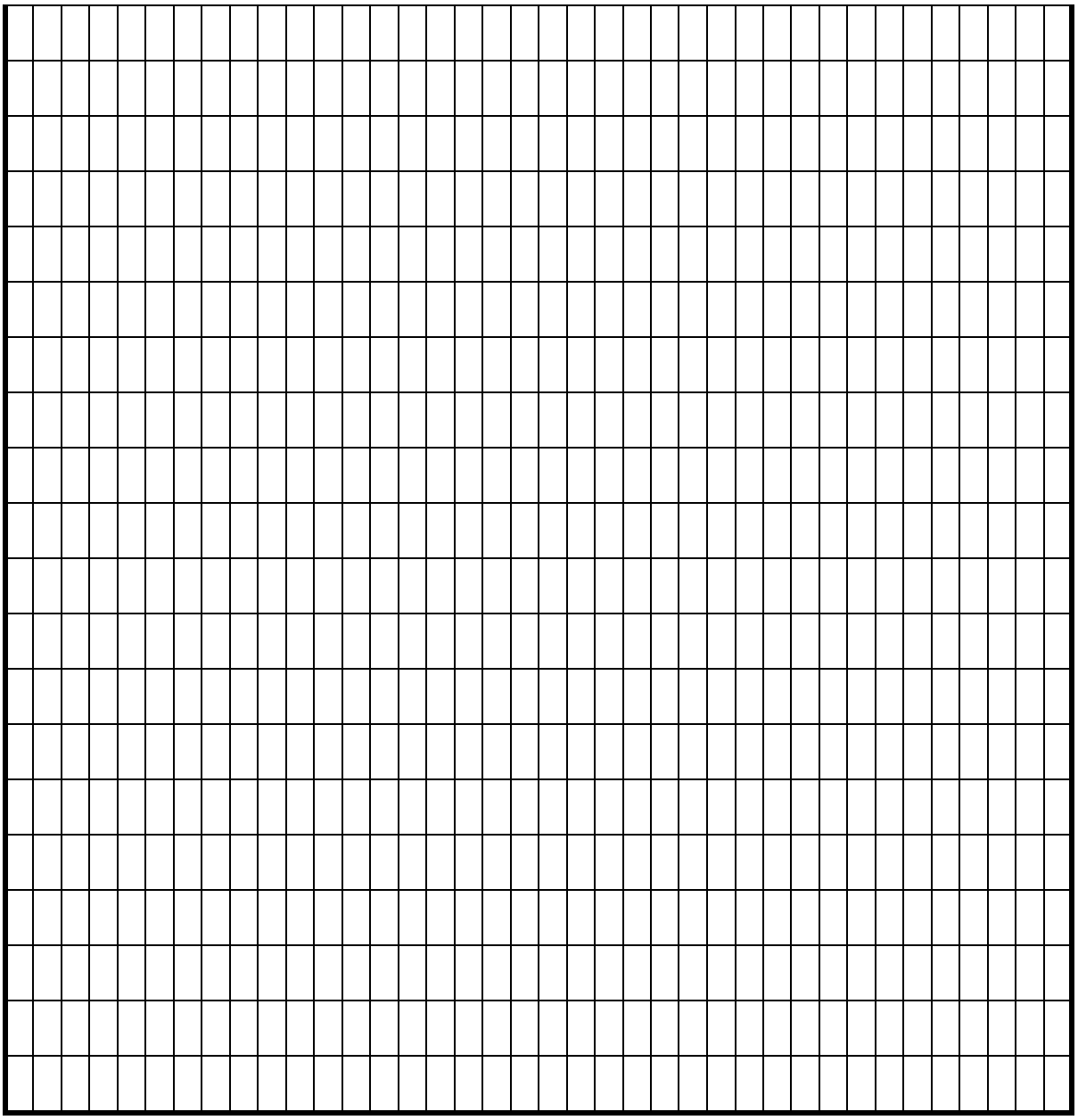


Q (l/min)

รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดรวม (H) และประสิทธิภาพปั๊ม (η_{pump}) ของ Gear Pump

จากการทดลองที่ 4. Reciprocating Pump

H (m) η_{pump} (%)



Q (l/min)

รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับเฮดรวม (H) และประสิทธิภาพปั๊ม (η_{pump}) ของ Reciprocating Pump

7. ตัวอย่างการคำนวณ

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

8. วิจารณ์ผลการทดลอง

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

9. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 1. Centrifugal Pump

……

……

……

……

จากการทดลองที่ 1. Centrifugal Pump แบบ Serial and Parallel

……

……

……

……

จากการทดลองที่ 2. Turbine Pump

……

……

……

……

จากการทดลองที่ 3. Gear Pump

……

……

……

……

จากการทดลองที่ 4. Reciprocating Pump

……

……

……

……

10. เอกสารอ้างอิง

……

……

……

……

……

การทดลอง

Impulse Turbine

1. บทนำ

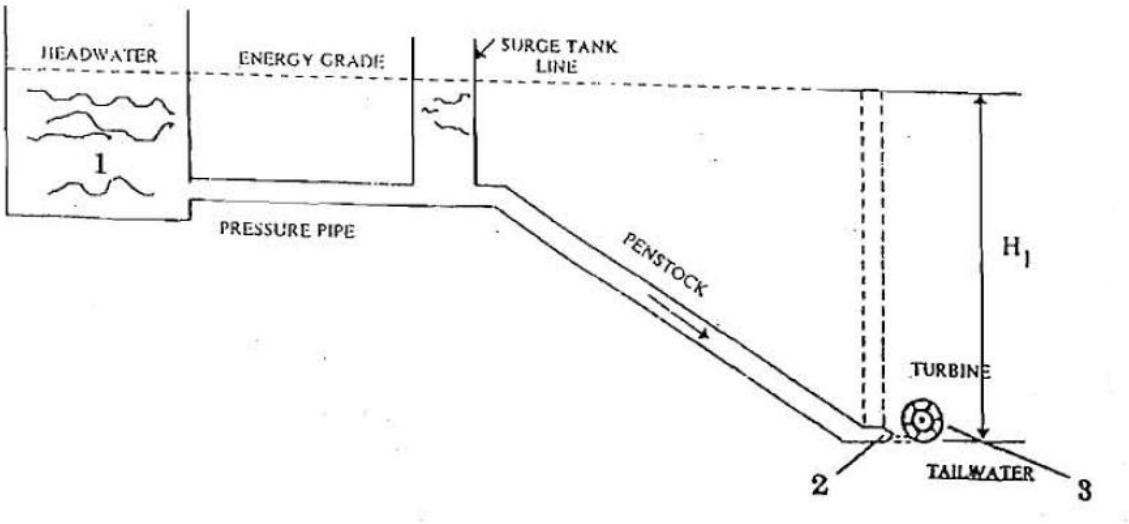
ชุดทดลองกังหันแบบเพลตัน ESSOM MH 2210 PELTON TURBINE TEST SET นี้สามารถใช้หาแรงหมุนของกังหัน, พลังงานของน้ำที่ให้แก่กังหัน, พลังงานกลจากกังหัน, พลังงานไฟฟ้าจากชุดกังหัน และประสิทธิภาพของกังหัน ณ. ที่ตำแหน่งความดัน และอัตราการไหลของน้ำต่างๆ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของกังหันแบบ Impulse Turbine
2. เพื่อให้รู้จักวิธีการหาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กังหันเป็นเครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่ เปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของน้ำ ให้เป็นพลังงานกลหรืออีกนัยหนึ่ง เป็นตัวดึงพลังงานจากลำของไหลมาใช้เป็นประโยชน์ กังหันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ กังหันแรงกระทบ (Impulse Turbine) และกังหันแรงปฏิกิริยา (Reaction Turbine) กังหันแบบแรงกระทบเป็นแบบที่พลังงานที่มีอยู่ในการไหลจะถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานจลน์ โดยการใช้หัวฉีด (Nozzle) และพลังงานจลน์ของของไหลจากหัวฉีด จะเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ที่ลูกถ้วย (bucket) ที่ติดอยู่ที่ล้อ (wheel) การศึกษาเรื่องกังหันน้ำมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานของวิชากลศาสตร์ของไหลต่างๆ เช่น



รูปที่ 1 ระบบการทำงานของกังหันแบ Impulse Turbine

3.1 สมการพลังงาน

ในกรณีที่การไหลเป็นแบบคงตัวและของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้สามารถเขียนสมการพลังงานต่อน้ำหนักของของไหลได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{y} + \frac{V_1^2}{2_g} + Z_1 + h_m = \frac{P_2}{y} + \frac{V_2^2}{2_g} + Z_2 + h_L \qquad (1)$$

โดยที่

P_1 = ความดันที่จุดที่ 1 (N/m^2)

V_1 = ความเร็วที่จุดที่ 1 (m/s)

Z_1 = ความสูงสุดที่จุดที่ 1 เทียบกับระดับอ้างอิง (m.)

P_2 = ความดันที่จุดที่ 2 (N/m^2)

V_2 = ความเร็วที่จุดที่ 2 (m/s)

Z_2 = ความสูงที่จุดที่ 2 เทียบกับระดับอ้างอิง (m.)

h_m = พลังงานกลที่ใส่ให้กับของไหลหรือพลังงานกลที่ของไหลจ่ายออกมาต่อน้ำหนักของของไหล (m.)

h_L = พลังงานเนื่องจากการสูญเสียต่อน้ำหนักของของไหล (m.)

3.2 พลังงานของน้ำที่ให้แก่กังหัน

พลังงานของน้ำที่ให้แก่กังหัน สามารถพิจารณาได้จากสมการ

$$P_i = \gamma Q h_t \qquad (2)$$

โดยที่

P_i = พลังงานของน้ำที่ให้แก่กังหัน (w.)

y = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m^3)

Q = อัตราการไหล (m^3/s)

h_1 = พลังงานของน้ำที่ให้กับกังหันต่อน้ำหนักของของไหล (m.)

ซึ่ง h_t สามารถหาได้โดยพิจารณาสมการพลังงานระหว่างจุดที่ 2 และ 3 ของรูปที่ 1 โดยที่ไม่คิดการสูญเสียที่เกิดขึ้นซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมาก ดังนั้นทำให้เขียนสมการพลังงานได้เป็น

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2_g} + Z_2 + h_1 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2_g} + Z_3$$

เนื่องจากจุดที่ 2 และ จุดที่ 3 มีระดับแตกต่างกันน้อยมากจนสมมุติให้อยู่ในระดับเดียวกันได้ ความเร็วจุดที่ 2 และ จุดที่ 3 มีค่าน้อยเช่นกัน และจุดที่ 3 สัมผัสกับบรรยากาศภายนอกทำให้ความดันเท่ากับศูนย์ ($P_3 = 0$) ดังนั้นสามารถลดรูปสมการข้างต้นได้เป็น

$$\frac{P_2}{\gamma} - h_t = 0$$

$$h_t = \frac{P_2}{\gamma}$$

แทนค่า h_t ลงในสมการที่ (2) จะได้

$$P_i = QP_2 \qquad (3)$$

โดยที่

P_i = พลังงานของน้ำที่ให้แก่กังหัน (w)

Q = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านหัวฉีด (m^3/s)

P_2 = ความดันของน้ำที่หัวฉีด (N/m^2)

3.3 พลังงานของกังหัน

พลังงานที่กังหันสามารถผลิตได้ ในการทดลองนี้จะวัดโดยใช้หลักการของ PRONY BREAK และสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_o = \frac{2\pi F_T rn}{60} \qquad (4)$$

โดยที่

Po = พลังงานที่กังหันสามารถผลิตได้ พลัง (w)

FT = แรงหมุน (ผลต่างของแรงด้านตึงและแรงด้านหย่อน) (N)

n = ความเร็วรอบ (rpm)

r = รัศมีของโพรนีเบรก (m.)

3.4 ประสิทธิภาพของกังหัน

$$\eta = \frac{P_0}{P_i} \tag{5}$$

η = ประสิทธิภาพของกังหัน

เครื่องกังหันแต่ละตัวจะออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับอัตราการไหลและความเร็วรอบอันหนึ่ง หากอัตราการไหล หรือความเร็วรอบ เปลี่ยนไป ประสิทธิภาพจะลดลง

ในกรณีที่เครื่องกังหันใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องคิดรวมประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปด้วย

$$\eta = \frac{P_{OE}}{P_i} \tag{6}$$

โดยที่

P_{OE} = พลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

η = ประสิทธิภาพรวม

3.5 การวัดอัตราการไหลโดยช่องเปิดขอบคม (Orifice meter)

$$Q = \frac{\pi}{4} D_2^2 \frac{CD_1^2}{\sqrt{D_1^4 - D_2^4}} \sqrt{2gh\left(\frac{S_{Hg}}{S_w} - 1\right)} \tag{7}$$

โดยที่

D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก่อนเข้ารูคอด เท่ากับ 0.054 m.

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางของรูคอด เท่ากับ 0.035 m.

C = สัมประสิทธิ์ของช่องเปิดของคม เท่ากับ 0.612

h = ความแตกต่างของระดับปรอทในมานอมิเตอร์ (m.)

S_{Hg} = ความถ่วงจำเพาะของปรอท เท่ากับ 13.6

S_w = ความถ่วงจำเพาะของน้ำ เท่ากับ 1

Q = อัตราการไหล (m^3/s)

4. อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดทดสอบ ESSOM MH 2210 Pelton turbine test set ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกังหัน 24 cm. พร้อมด้วย Prony brake ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm.
2. ปั๊มน้ำ ขนาด 7.5 Hp, head 50 m. ที่ 250 1/mim
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 KVA, 220 V, 50 HZ, 1 phase
4. Orifice meter ขนาดท่อ 54 mm. รูคอด 35 mm.
5. อุปกรณ์วัดต่างๆ

ข้อควรระวัง

1. ก่อนใช้ควรปรับขาโต๊ะเพื่อความเที่ยงตรงในการวัดระดับน้ำ
2. อย่าเปิดประตูระบบไฟโดยไม่จำเป็นเพราะน้ำจะกระเด็นเข้าไปในระบบไฟ ถ้ามีน้ำเข้าไปใช้ลมเป่า ให้แห้งก่อนเดินเครื่อง
3. ท่อความดันต่างๆ ที่อยู่ต้องเสียบให้แน่นและเข้าที่
4. อย่าเดินปั๊มน้ำโดยไม่มีน้ำเพราะเกิดความเสียหายกับปะเก็นและอื่นๆ
5. ถ้าไม่ได้ใช้เครื่องเดินนานๆ ให้ปล่อยน้ำออกจากระบบและปั๊มด้วย (น๊อตอยู่ที่ด้านล่างของปั๊ม)
6. ควรใช้น้ำสะอาดในการทดลองและควรใช้น้ำยากันสนิมผสมน้ำ

5. วิธีการทดลองโดยใช้ PRONY BREAK

1. การทดลองร่วมกับโพรนีเบรก

1.1 การเตรียมการก่อนการทดลอง

1.1.1 เติมน้ำให้เกือบเต็มถัง (ห่างจากขอบบนประมาณ 5 ซม.)

1.1.2 ปิดวาล์วหัวฉีด เปิดวาล์วท่องเบี่ยงจนสุด (ให้น้ำกลับลงถัง) และปิดวาล์วน้ำไปยังหัวฉีดจนสุดเช่นกัน

1.1.3 สับสวิทซ์ควบคุมความเร็วรอบไปที่ PRONY BRAKE (ขณะนี้คลัชจะแยกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากกังหัน)

1.1.4 ปรับตาชั่งสปริงให้สัมผัสกับ PRONY BRAKE เบาๆ

1.2 ขั้นตอนการทดลอง

1.2.1 เริ่มเดินปั๊มซึ่งจะทำให้น้ำไหลออก ขณะนี้น้ำจะวกไหลกลับลงถังอย่างเดียวไม่ผ่านหัวฉีด

1.2.2 เปิดวาล์วหัวฉีด ไป 2 รอบ และเปิดวาล์วน้ำไปยังหัวฉีดจนสุด

1.2.3 ค่อยๆ ปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนความดันหัวฉีดอ่านค่าได้ 2.5 bar

1.2.4 ปรับตาชั่งสปริง 1 ให้อ่านค่าได้ 0.5 kg_f บันทึกค่าต่างๆ ลงในตารางดังนี้

- ตาชั่งสปริง 2
- อัตราการไหล
- ความเร็วรอบของกังหัน

1.2.5 ดำเนินการตามข้อ 1.2.4 โดย ปรับตาชั่งสปริง 1 เพิ่มขึ้นทีละ 0.5 kg_f จนกว่าความเร็วรอบของกังหันต่ำกว่า 500 rpm. (แต่จะต้องปรับตาชั่งสปริง 1 ไม่เกิน 6 kg_f)

1.2.6 ดำเนินการตามข้อ 1.2.2 ถึง 1.2.5 แต่เปิดวาล์วหัวฉีดไปที่ 2.5 รอบ 3 รอบ 3.5 รอบ และ 4 รอบ ตามลำดับ

1.2.7 ดำเนินการตามข้อ 1.2.2 ถึง 1.2.6 แต่ปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนความดันหัวฉีดอ่านค่าได้ 3 bar 3.5 bar 4 bar และ 4.5 bar ตามลำดับ

2. การทดลองร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1 การเตรียมการก่อนการทดลอง

2.1.1 ปลดสายพานออกจากโพรนีเบรก

2.1.2 ปิดวาล์วหัวฉีด เปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนสุด (ให้น้ำกลับลงถัง) และปิดวาล์วน้ำไปยังหัวฉีดจนสุดเช่นกัน

2.1.3 สับสวิทซ์ควบคุมความเร็วรอบไปที่ GENERATOR (ขณะนี้คลัชจะต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกังหัน)

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

2.2.1 ต่อหลอดไฟแสงสว่าง (ขนาด 300 วัตต์) เข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.2.2 เริ่มเดินปั๊มซึ่งจะทำให้น้ำไหลออก ขณะนี้น้ำจะวกไหลกลับลงถังอย่างเดียวไม่ผ่านหัวฉีด

2.2.3 เปิดวาล์วหัวฉีดไปประมาณ 4 รอบ และเปิดวาล์วน้ำไปยังหัวฉีดจนสุด

2.2.4 ค่อยๆ ปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1000 rpm แล้วบันทึกค่าต่างๆ ลงในตาราง ดังนี้

- ความดันหัวฉีด
- อัตราการไหล
- แรงเคลื่อนไฟฟ้า
- กระแสไฟฟ้า

2.2.5 ดำเนินการตามข้อ 2.2.4 แต่ปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1100 rpm 1200 rpm 1300 rpm 1400 rpm 1500 rpm และ 1600 rpm ตามลำดับ

2.2.6 ดำเนินการตามข้อ 2.2.1 ถึง 2.2.5 แต่ต่อหลอดไฟแสงสว่างขนาด 400 วัตต์ 500 วัตต์ 600 วัตต์ และ 70 วัตต์ ตามลำดับ

6. การเขียนกราฟ นำผลการทดลองและการคำนวณที่ได้มาเขียนกราฟต่างๆ เช่น

6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของกังหันกับความเร็วรอบของกังหัน

6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานของกังหันกับความเร็วรอบของกังหัน

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันกับอัตราการไหล

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันกับความเร็วรอบของกังหัน

6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกังหันกับความดันหัวฉีด

6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความเร็วรอบ ณ ตำแหน่งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าค่าต่างๆ

หมายเหตุ เมื่อเลิกทำการทดลองควรปฏิบัติดังนี้

- ควรปิดสวิตซ์ทำงานต่างๆ มาที่ OFF
- ถอดสายไฟของเครื่องออกจากปลั๊กเสียบ
- หากหยุดใช้เป็นเวลานานควรถ่ายน้ำในระบบออก รวมทั้งถ่ายน้ำออกจากปั๊มด้วย

ตารางผลการทดลองที่ 1 หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 2.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
2											
2.5											

ตารางผลการทดลองที่ 1 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 2.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
3											
3.5											

ตารางผลการทดลองที่ 1 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 2.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
4											

ตารางผลการทดลองที่ 2 หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 3 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
2											
2.5											

ตารางผลการทดลองที่ 2 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 3 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
3											
3.5											

ตารางผลการทดลองที่ 2 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 3 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
4											

ตารางผลการทดลองที่ 3 หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 3.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
2											
2.5											

ตารางผลการทดลองที่ 3 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 3.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
3											
3.5											

ตารางผลการทดลองที่ 3 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 3.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
4											

ตารางผลการทดลองที่ 4 หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 4 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
2											
2.5											

ตารางผลการทดลองที่ 4 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 4 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
3											
3.5											

ตารางผลการทดลองที่ 4 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 4 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
4											

ตารางผลการทดลองที่ 5 หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 4.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
2											
2.5											

ตารางผลการทดลองที่ 5 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 4.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
3											
3.5											

ตารางผลการทดลองที่ 5 (ต่อ) หาค่าพลังงานและประสิทธิภาพของกังหัน ที่ความดันหัวฉีด 4.5 bar

ตำแหน่งวาล์วหัวฉีด	แรงหมุน(kg_f)			แรงหมุน (N)	อัตราการไหล (l/min)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็วรอบ (rpm)	P_i (W.)	T (N.m)	P_0 (W.)	η (%)
	ตาชั่ง 1	ตาชั่ง 2	แรงหมุน								
4											

ตารางผลการทดลองที่ 6 ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลอดไฟ (W.)	ความเร็วรอบ (rpm)	ความดันหัวฉีด (N/m^2)	อัตราการไหล (l/min)	แรงเคลื่อน (V)	กระแสไฟฟ้า (V)	P_i (W.)	P_0 (W.)	η (%)
300	1000							
	1100							
	1200							
	1300							
	1400							
	1500							
	1600							
400	1000							
	1100							
	1200							
	1300							
	1400							
	1500							
	1600							
500	1000							
	1100							
	1200							
	1300							
	1400							
	1500							
	1600							
600	1000							
	1100							
	1200							
	1300							
	1400							
	1500							
	1600							
700	1000							
	1100							
	1200							
	1300							
	1400							
	1500							
	1600							

การทดสอบประสิทธิภาพของกังหัน Francis

(Francis Turbine Experiment)

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกังหัน Francis ที่สภาวะต่างๆ
2. เพื่อให้เข้าใจหลักการทางทฤษฎีของชุดกังหัน Francis
3. เพื่อศึกษาอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลอง
4. เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของชุดกังหัน Pelton

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กังหันน้ำ (Hydraulic turbine)

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการไหลของน้ำให้เป็นพลังงานกล โดยทั่วไปแล้วมักจะไม่นำพลังงานกลที่ได้จากกังหันไปใช้งานโดยตรง แต่มักจะนำพลังงานกลที่ได้มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปต่างๆได้สะดวก และนอกจากนั้นแล้วยังเป็นพลังงานที่สามารถจัดส่งไปยังจุดที่ไกลจากแหล่งกำเนิดพลังงานได้ง่าย

2.1 กังหันน้ำ

กังหันน้ำประเภทแรงปฏิกิริยา (Reaction Turbine) เป็นกังหันน้ำที่ต้องอาศัยแรงดันของน้ำซึ่งเกิดจากความแตกต่างของระดับน้ำที่อยู่ด้านหน้าและด้านท้ายของกังหันน้ำมาทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน น้ำที่เข้าไปในตัวกังหันจะแทรกเข้าไปในช่องระหว่างใบพัดเต็มทุกช่องพร้อมกันทำให้ตัวกังหันน้ำทั้งหมดจะจมอยู่ในน้ำ กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้กับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำถึงปานกลาง โดยทั่วไปที่นิยมใช้อยู่จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

2.1.1 กังหันน้ำฟรานซิส (Francis Turbine) กังหันน้ำชนิดนี้เป็นกังหันน้ำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถใช้กับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำตั้งแต่ 2 ถึงกว่า 300 เมตร

หลักการทำงานของกังหันน้ำแบบฟรานซิสคือ น้ำที่ถูกส่งเข้ามาจากท่อส่งน้ำจะไหลเข้าสู่ท่อก้นหอยที่ประกอบอยู่รอบๆ ตัวกังหัน ท่อก้นหอยจะมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดเล็กลงตามความยาวของท่อเพื่อต้องการทำให้น้ำมีแรงดันและความเร็วในการไหลมากขึ้น ภายในท่อก้นหอยจะมีน้ำเต็มอยู่ตลอดเวลา น้ำที่

ไหลในท่อก้นหอยจะแทรกตัวผ่านลิ้นนำน้ำเข้า (Guide Vane) เพื่อเข้าสู่ตัวกังหันน้ำทำให้วงล้อของกังหันน้ำเกิดการหมุนได้ ลิ้นนำน้ำเข้าสามารถปรับแต่งมุมให้ปิดหรือเปิดได้มากน้อยตามความต้องการ ทำหน้าที่คล้ายหัวฉีดของกังหันน้ำแบบเพลตัน น้ำซึ่งถ่ายพลังงานจลน์ให้กับใบพัดกังหันน้ำแล้วจะไหลลงสู่ท่อรับน้ำที่อยู่ด้านล่างต่อไป กังหันน้ำแบบฟรานซิสมีทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอน ซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและขนาดของโรงไฟฟ้า ลักษณะของกังหันน้ำ ฟรานซิส

ตัวอย่างกังหันน้ำฟรานซิส

2.1.2 กังหันน้ำเคปแลน (Kaplan Turbine) เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะเหมือนใบพัดดังแสดงในรูป เหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำต่ำตั้งแต่ 1 ถึง 70 เมตร และมีหลักการทำงานโดยน้ำจะไหลผ่านใบพัดในทิศขนานกับแกนของกังหันน้ำ โดยใบพัดของกังหันน้ำเคปแลนสามารถปรับมุมเพื่อรับแรงอัดหรือแรงฉีดของน้ำโดยอัตโนมัติซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนของกังหันน้ำได้

ตัวอย่างกังหันน้ำเคปแลน

2.1.3 กังหันน้ำเดเรียซ (Deriaz Turbine) เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะคล้ายกับกังหันน้ำเคปแลนแต่ต่างกันในส่วนของรูปแบบของใบพัด ซึ่งคล้ายกับใบพัดของกังหันน้ำฟรานซิส กังหันน้ำชนิดนี้จะใช้แรงดันน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำในทิศทางทแยงมุมกับแกนของกังหันน้ำ และการประยุกต์ใช้จะเหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำสูงๆ เพราะต้องใช้แรงดันน้ำที่มีแรงดันสูง ลักษณะของกังหันน้ำแบบเดเรียซ

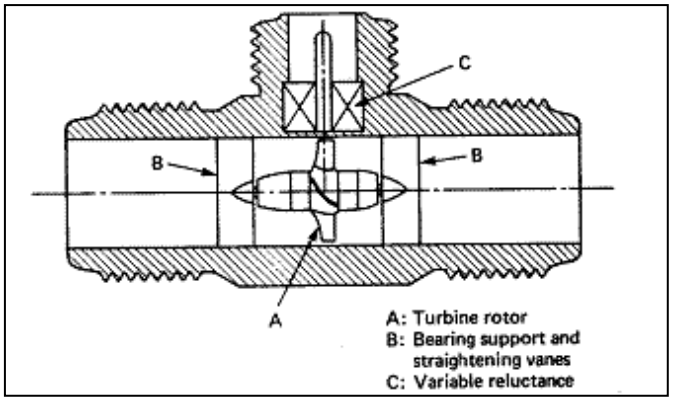
ตัวอย่างกังหันน้ำเคเรียซ

2.2 การวัดอัตราการไหล

การวัดการอัตราการไหลเป็นการวัดค่าตัวแปรที่สำคัญค่าหนึ่งในกระบวนการทางอุตสาหกรรมแทบทุกชนิด ซึ่งเกี่ยวข้องกับการไหลของของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยที่การวัดของไหลเหล่านี้อาจใช้เครื่องมือและวิธีการที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะของของไหลที่เป็นอยู่ขณะนั้น อย่างไรก็ตามการวัดการไหลอาจกล่าวได้ว่าจะต้องมีความถูกต้องและเที่ยงตรงกว่าการวัดปริมาณอื่นๆ เพราะว่าหากมีความผิดพลาดในการวัดเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เกิดการเสียหายอย่างมากมายขึ้นได้ กล่าวคือ เกี่ยวกับคุณภาพ และประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตนั้นๆ ซึ่งจะนำไปสู่การสูญเสียค่าใช้จ่ายที่มากเกินนั้นเอง

2.1 อุปกรณ์วัดการไหลแบบกังหัน (Turbine Flow Meter)

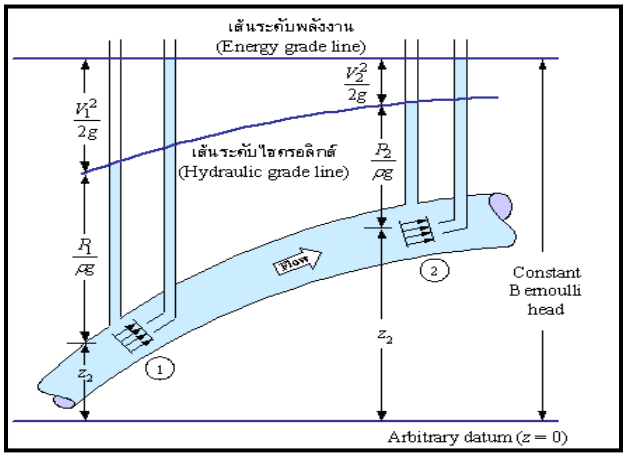
เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของของเหลวที่ส่วนใหญ่จะเป็นการวัดอัตราการไหลของมวล หลักการทำงานอาศัยหลักการโมเมนตัมเชิงมุมที่เกิดขึ้นในวัตถุที่กำลังหมุน โครงสร้างของตัวเทอร์ไบน์มิเตอร์ มีใบพัดทำมุมเฉียงกับทิศทางการไหล ขณะที่ของเหลวไหลผ่านจะทำให้ใบพัดหมุนไปตามอัตราการไหล การนับจำนวนรอบที่ใบพัดหมุนในอุปกรณ์ชนิดนี้จะใช้คอยล์ที่เรียกว่า Pick-up coil ที่ติดตั้งตัดกับตัวมิเตอร์ เมื่อใบพัดของเทอร์ไบน์หมุนผ่าน Pick-up coil จะเกิดสัญญาณพัลซ์ขึ้นตามจังหวะการหมุนของใบพัด ซึ่งความถี่ของสัญญาณพัลซ์นี้จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการไหล และเราสามารถนับจำนวนพัลซ์นี้และแสดงค่าอัตราการไหลผ่านเหล่านั้นได้



การทำงานของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบกังหัน

2.3 สมการพลังงาน

สมการพลังงาน เป็นสมการที่ต้องการใช้หลักการทางพลังงานกับของไหลเคลื่อนที่ พลังงานที่เกิดจากของไหลเคลื่อนที่ประกอบไปด้วย พลังงานจากความดัน ความเร็ว และตำแหน่งที่ (Z_2) ของไหลเคลื่อนที่ไปและนอกจากนี้ยังมีพลังงานที่เพิ่มให้แก่ของไหล หรือพลังงานที่เกิดขึ้นจากการสูญเสีย ดังนั้นสามารถเขียนสมการการไหลของของไหลดังนี้



สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli Equation)

สมการเบอร์นูลลี

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

P_1, P_2 คือ ความดันของของไหลที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (N/m^2)

V_1, V_2 คือ ความเร็วของของไหลที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (m/s)

Z_1, Z_2 คือ ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงที่ตำแหน่ง 1 และ 2 (m)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m^3)

การประยุกต์กฎของพลังงานเพื่อใช้กับกังหัน

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + W_{net}$$

W_{net} ของสมการดังกล่าวสามารถเป็นไปได้ทั้ง Head ของกังหันและ Head loss ดังนั้นเพื่อความไม่สับสนในการใช้งาน จึงสามารถประยุกต์สมการ ได้ดังนี้

กฎของพลังงานสำหรับกังหัน

พลังงานที่เครื่องกังหันน้ำได้รับซึ่งอยู่ในรูปของความสูง เป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (Nm/N = m)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + E_T + h_L$$

E_T คือ พลังงานที่เครื่องกังหันน้ำได้รับ โดยอยู่ในรูปความสูงของน้ำ (m)

h_L คือ พลังงานสูญเสียของการไหล โดยอยู่ในรูปความสูงของน้ำ (m)

จัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในรูปของตัวแปร E_T ได้ดังนี้

$$E_T = \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right) + (Z_1 - Z_2) + \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}\right) - h_L$$

หากต้องการเปลี่ยนเป็นกำลังที่เครื่องกังหันน้ำได้รับ (หรือกำลังที่เครื่องกังหันน้ำผลิตได้) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$p_T \quad \dot{Q}\gamma \quad E_T$$

p_T คือ กำลังผลิตโดยเครื่องกังหันน้ำ (W)

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m^3)

$\dot{Q}$ คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)

E_T คือ พลังงานที่เครื่องกังหันน้ำได้รับ โดยอยู่ในรูปความสูงของน้ำ (m)

โดยกำลังที่คำนวณได้นี้เป็นกำลังกรณีที่เครื่องกังหันน้ำมีประสิทธิภาพ 100% หรือเป็นกำลังทฤษฎี ในกรณีที่เครื่องกังหันน้ำมีประสิทธิภาพต่ำกว่า 100% จะสามารถคำนวณหากำลังที่ผลิตได้จริงตามสมการต่อไปนี้

$$\eta_T = \frac{P_{T,act}}{P_{T,the}}$$

η_T คือ ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ (ประสิทธิภาพรวม) (ตัวแปรไร้มิติ)

$P_{T,the}$ คือ กำลังทางทฤษฎีที่เครื่องกังหันผลิตได้ (W)

$P_{T,act}$ คือ กำลังเครื่องกังหันน้ำผลิตได้จริง (W)

2.4 การสูญเสียภายในท่อ

การสูญเสียในท่อ การสูญเสียกำลังงานในท่อเนื่องจากความต้านทาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.4.1 การสูญเสียหลัก (Major Losses) ปกติการสูญเสียหลักนี้เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ, ขนาดของท่อ, ความยาวของท่อ และความเร็วในการไหล ถ้าของไหลในผิวท่อขรุขระ, ความยาวของท่อมาก และความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียกำลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียกำลังงานจะลดลงถ้าท่อมีขนาดโตขึ้น

การหาค่าการสูญเสียหลักในท่อกลม ท่อกลมเป็นท่อที่ใช้ในงานวิศวกรรมเป็นส่วนใหญ่การหาค่าการสูญเสียหลักในท่อกลมในท่อชนิดดังกล่าวสามารถหาได้จากสมการ

$$h_L = f\frac{V^2}{2g}\frac{L}{D}$$

h_L คือ การสูญเสียหลัก (m)

f คือ แฟคเตอร์ของความเสียดทาน (ตัวแปรไร้มิติ)

L คือ ความยาวของท่อ (m)

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ (m/s)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

2.4.2 การสูญเสียรอง (Minor Losses) หมายถึงการสูญเสียกำลังงานเนื่องจากการไหลของของไหลในท่อเมื่อของไหลผ่าน ข้อต่อ, ข้องอ, ลิ้น และอื่นๆ ปรกติถ้าท่อมีความยาวมากเช่นท่อน้ำประปาค่าของการสูญเสียรองนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียหลักจะมีค่าน้อยแต่ถ้าท่อที่มีความยาวน้อยกว่า และมีการหักงอ หรือท่อมีการลดขนาดหลายแห่ง เช่นในท่อลมของระบบปรับอากาศ ค่าของการสูญเสียรองจะมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียหลัก

การหาค่าการสูญเสียรอง ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นว่า การสูญเสียรองเกิดขึ้นเนื่องจากการโค้งงอ การเพิ่มหรือลดขนาดของท่อ และอื่นๆ ในกรณีที่เป็นท่อสั้นๆ การสูญเสียรองนี้จะมีผลต่อการไหลของของไหลมาก ได้จากสมการ

$$h_L = k_L \frac{V^2}{2g}$$

h_L คือ การสูญเสียรอง (m)

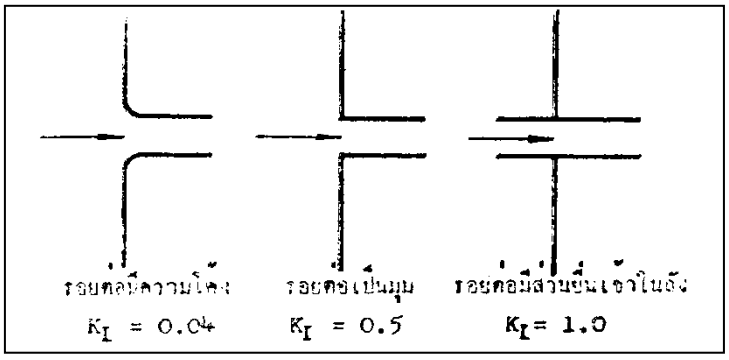
k_L คือ สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย (ตัวแปรไร้มิติ)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ (m/s)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ เมื่อของไหลไหลจากถังเก็บเข้าสู่ท่อ ของไหลจะพยายามเข้าสู่ท่ออย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดการปั่นป่วนขึ้นหลังจากที่ของไหลเข้าสู่ท่อได้สักระยะหนึ่ง จึงทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นอย่างมากมายในบริเวณดังกล่าว เมื่อเทียบกับการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานธรรมดาในระยะทางเท่ากัน

การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อนี้ ขึ้นอยู่กับรูปร่างของการต่อระหว่างถังและท่อดังรูป



รอยต่อของท่อและถังแบบต่างๆ

2.4.3 Reynold Number เป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย หาได้จากอัตราส่วนของแรงเนื่องจากความเฉื่อยและแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล Reynold Number นี้เป็นตัวสำคัญในการที่จะบอกถึงลักษณะการไหลของของเหลวว่าเป็นแบบใด คือการไหลแบบราบเรียบ หรือไหลแบบปั่นป่วน และเป็นตัวสำคัญในการหาแฟคเตอร์ของความเสียดทาน ถ้า N_R น้อยกว่า 2000 การไหลของของไหลเป็นแบบราบเรียบ N_R มากกว่า 2000 แต่ไม่ถึง 4000 การไหลของของไหลเป็นแบบเปลี่ยนแปลงและ N_R มากกว่า 4000 การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน

สำหรับท่อกลมสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$N_R = \frac{DV\rho}{\mu} \text{ หรือ } \frac{VD}{\nu}$$

N_R คือ Reynold Number (ตัวแปรไร้มิติ)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

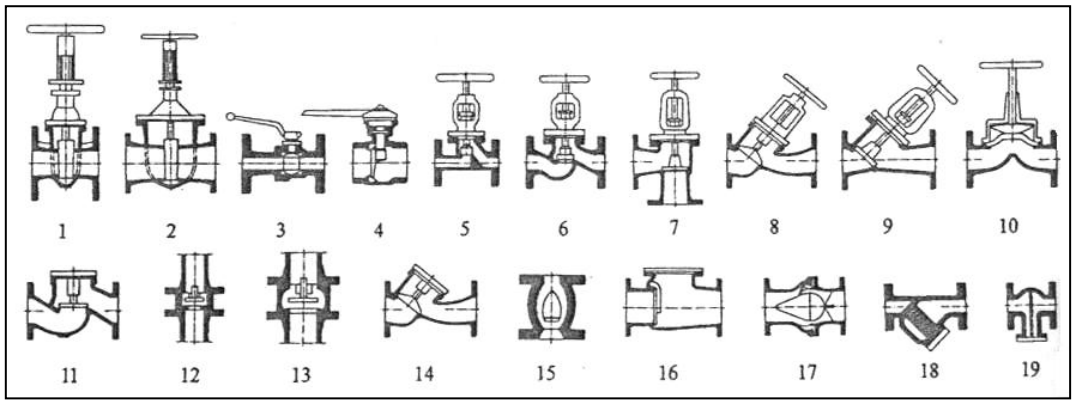
V คือ ความเร็วในการไหลของของไหล (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (kg/m^3)

μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล ($N.s/m^2$)

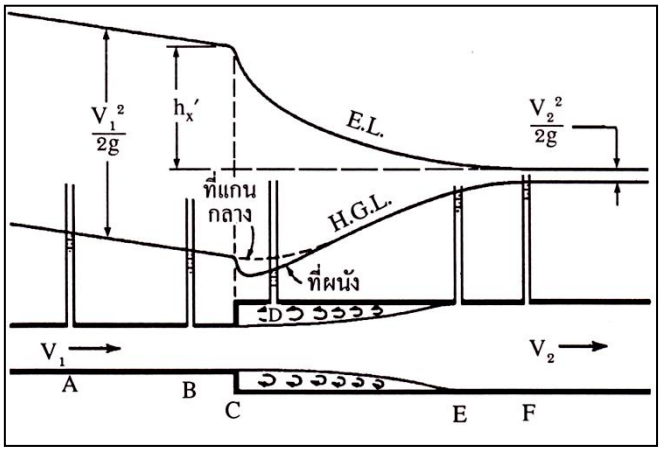
ν คือ ความหนืดจลน์ของของไหล ($N.s/m^2$)

2.4.4 การสูญเสียในข้อต่อของท่อและวาล์ว เมื่อของไหลไหลผ่านข้อต่อและวาล์วของท่อทั่วๆไปจะเกิดการสูญเสียกำลังงานในการไหลขึ้น เพราะความขรุขระหรือรูปร่างของข้อต่อที่ทำให้เกิดการปั่นป่วน



ลักษณะของประตูน้ำแบบต่างๆ

2.4.5 การสูญเสียเนื่องจากท่อลดขนาดลงทันที การสูญเสียในกรณีนี้คล้ายๆ กับกรณีของการสูญเสียเมื่อของไหลจากถังเข้าสู่ท่อคือของไหลจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นและความดันลดลง ทั้งทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนขึ้นในของไหลแต่ในกรณีนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของท่อที่มีการลดขนาดด้วย



การสูญเสียพลังงานที่เนื่องจากการขยายพื้นที่หน้าตัดโดยทันทีทันใด

2.4.6 การสูญเสียเนื่องจากท่อลดขนาด ในท่อชนิดที่ค่อยๆ ลดขนาด การสูญเสียกำลังงานของของไหลจะเกิดขึ้นในช่วงที่มีการเปลี่ยนขนาดของท่อ ส่วนในช่วงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดการสูญเสียกำลังงานจะสูญเสียเหมือนกับการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานธรรมดา ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย k_L ปรกติ ประมาณ 0.04 และแทนค่า k_L ลงในสมการ การหาค่าการสูญเสียรอง ในที่นี้ V คือความเร็วของของไหลในท่อเล็ก

การใช้งานจริงๆ ส่วนโค้งของท่อขณะที่มีการลดขนาดไม่ได้ทำให้มีส่วนโค้งตาม Stream line คือโค้งจนไม่ทำให้ของไหลไม่เกิดการปั่นป่วน แต่ส่วนที่มีการลดขนาดมักจะทำเป็นรูปกรวย ซึ่งทำให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นกว่าแบบข้างต้น ถ้ามุมของกรวยมากขึ้นเกินไป การลดขนาดของท่อจะเป็นแบบลดลงทันที ในกรณีที่ท่อลดขนาดเป็นรูปกรวยและมีมุมของกรวยอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 องศา
$k_L = 0.1$ และ V คือความเร็วของของไหลในท่อเล็กเช่นเดียวกัน

3. สมการที่เกี่ยวข้อง

3.1 กำลังงานที่ให้แก่กังหัน

ให้ Wi = กำลังงานที่ให้แก่กังหัน (W)

$\dot{Q}$ = อัตราการไหล (m^3/s)

p = ความดันของน้ำ (N/m^2)

$$Wi = p \tag{1}$$

$$Wi = 1.635p\dot{Q} \text{ Watt}$$

3.2 กำลังงานที่ได้จากกังหัน

ให้ Wo = กำลังที่ได้จากกังหัน (W)

F_t = แรงหมุนของโพรนีเบรก (kg)

n = ความเร็วของล้อโพรนีเบรก (rpm)

r = รัศมีของล้อโพรนีเบรก (m)

$$Wo = \frac{2\pi F_t rn}{60} \tag{2}$$

$$Wo = 1.0277F_t rn \text{ Watt}$$

3.3 ประสิทธิภาพของกังหัน

$$\eta = \frac{Wo}{Wi} \tag{3}$$

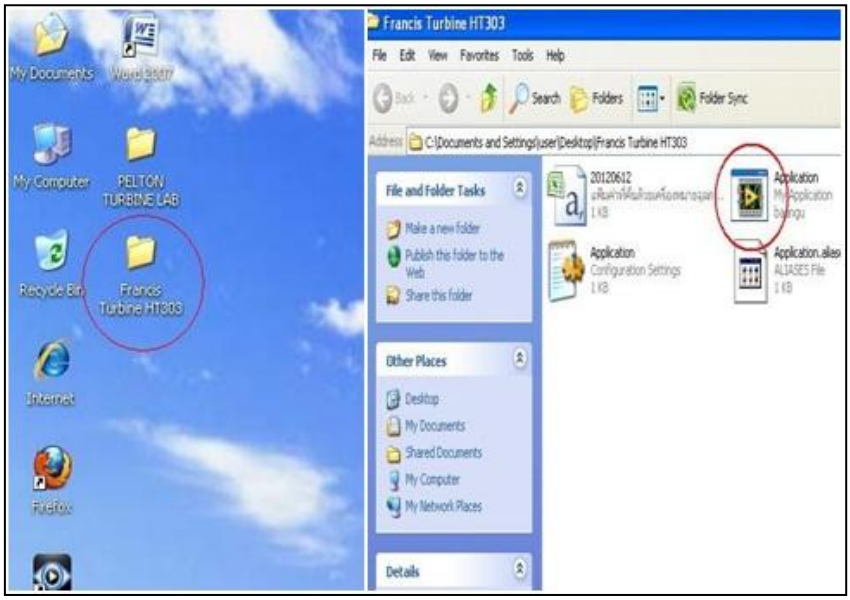
η = ประสิทธิภาพของกังหัน

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. นำกล่อง Control มาต่อกับอุปกรณ์และคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 การต่ออุปกรณ์

2. เลือกโปรแกรมที่ชื่อ LabVIEW ดังรูปที่ 2

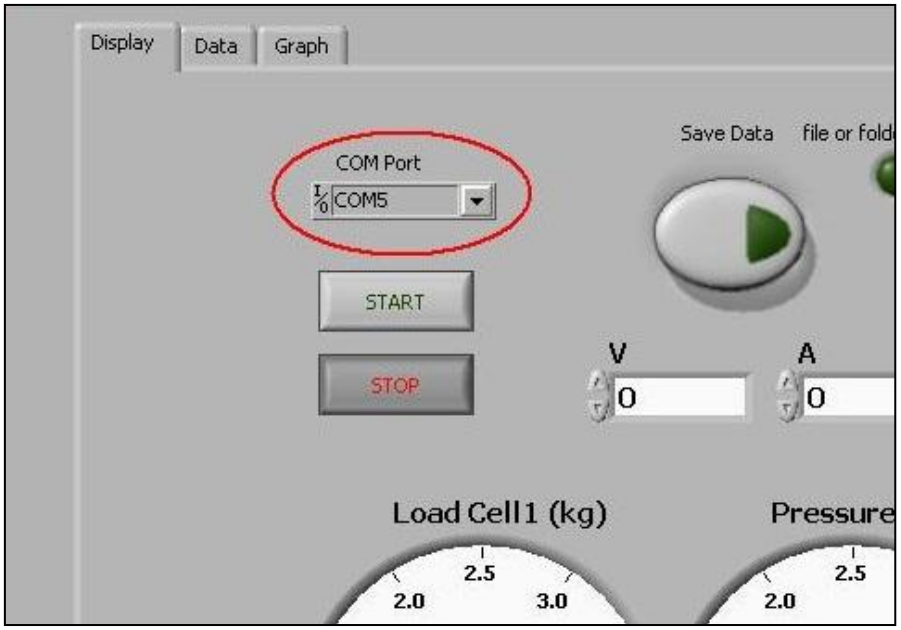


รูปที่ 2 การเลือกโปรแกรม

3. เมื่อเข้าโปรแกรมหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 หน้าต่างโปรแกรม

4. ทำการเลือก Port ของ COM Port ในการเชื่อมต่อ โดยเข้าไปดูที่ Device Manager ดังรูปที่ 4

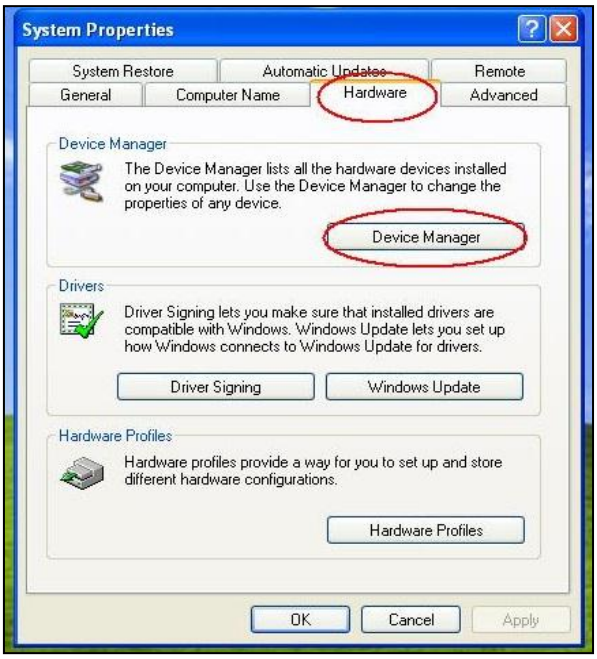


รูปที่ 4 การเลือก Portในการเชื่อมต่อ

5. เข้าไปดู Port โดยไปที่ My Computer แล้วเลือก Properties ดังรูปที่ 5

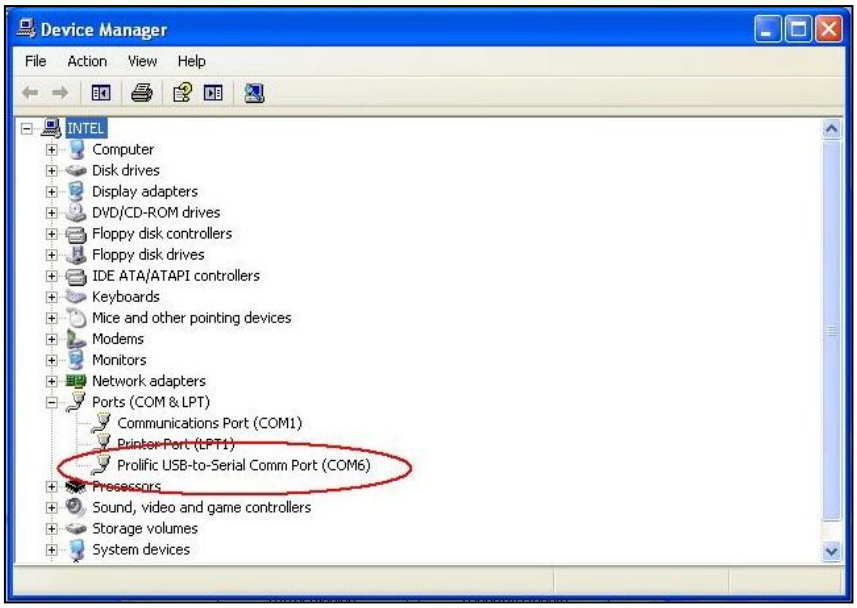
รูปที่ 5 การเข้า Properties

6. ไปที่ Hardware แล้วเลือก Device Manager ดังรูปที่ 6



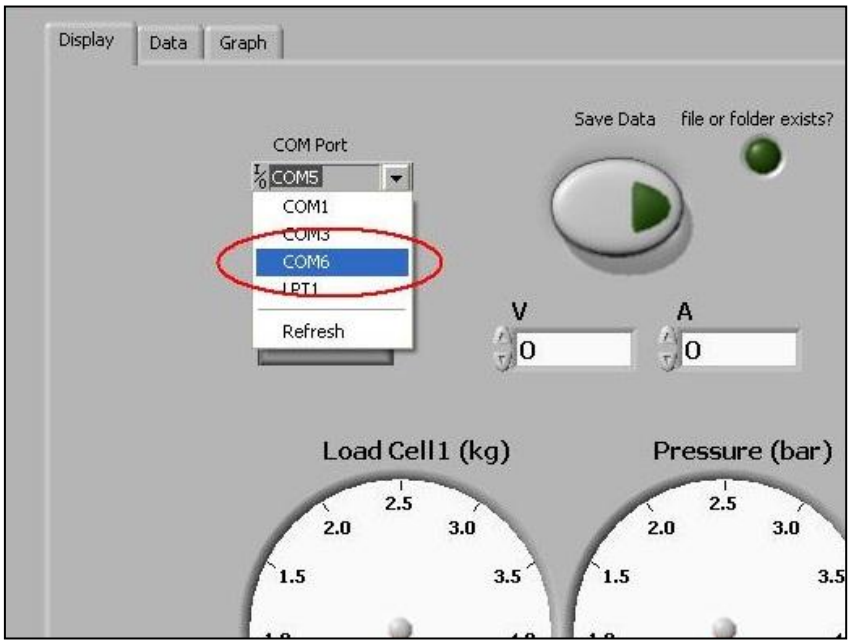
รูปที่ 6 การเลือก Device Manager

7. เลือก Port (COM & LPT) จะเห็น Serial Comm Port (COM6) ดังรูปที่ 7



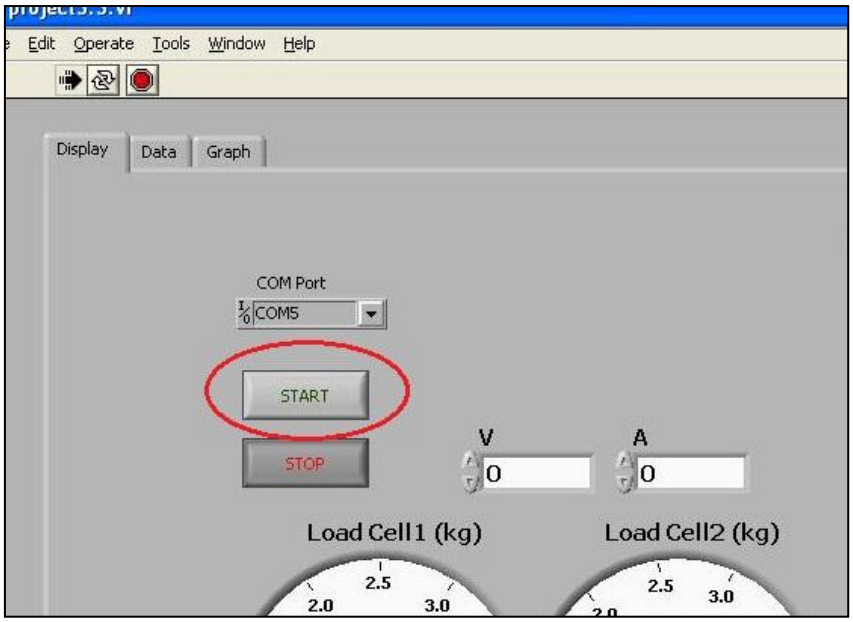
รูปที่ 7 Serial Comm Port (COM6)

8. เลือก Port (COM6) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การเลือก Port (COM6)

9. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มรันโปรแกรม ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การเริ่มโปรแกรม

10. เปิดเครื่องทดลองกังหัน โดยกดปุ่ม ON ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 การเปิดเครื่องของชุดทดลองกังหัน

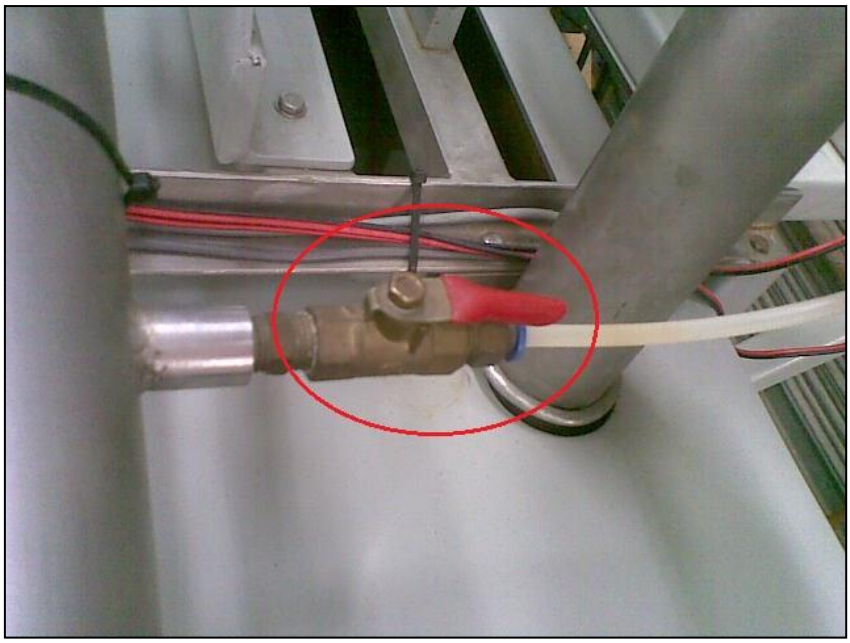
11. แล้วทำการเปิดวาล์วระบายน้ำเข้ากังหันจนสุด ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 การเปิดวาล์วระบายน้ำเข้ากังหัน

12. ค่อยๆปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนสุดเพื่อให้น้ำไหลเข้ากังหันได้เต็มที่ ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 การปิดวาล์วท่อเบี่ยง

13. ทำการเปิดวาล์วระบายความร้อนให้กับโพนีเบรก ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การเปิดวาล์วระบายความร้อนให้กับโพนีเบรก

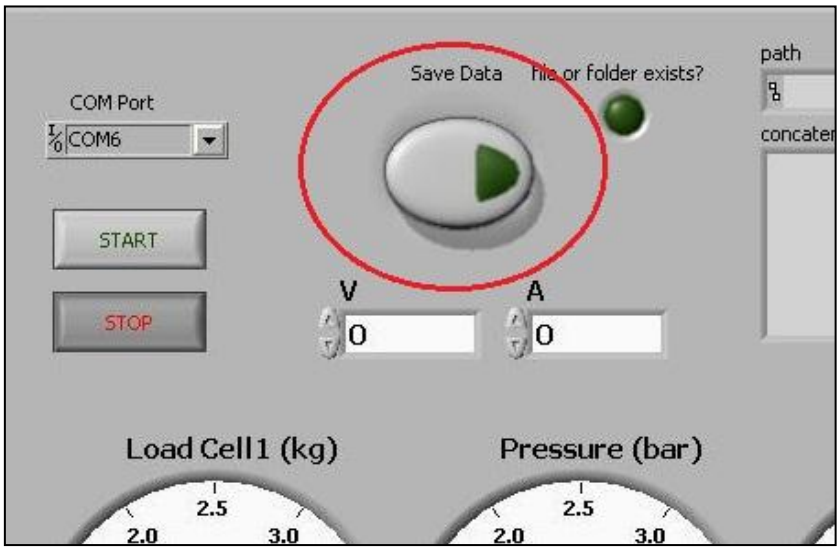
14. ปรับ Guide vane ไปจนกระทั่งได้ความดันหน้ากังหันตามที่ต้องการ เช่น 2.0 bar ดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 การปรับวาล์ว Guide vane

15. ค่อยๆปรับแรงตึงของสายพานให้อ่านค่าได้ประมาณ 0.5 kg ดังรูปที่ 15

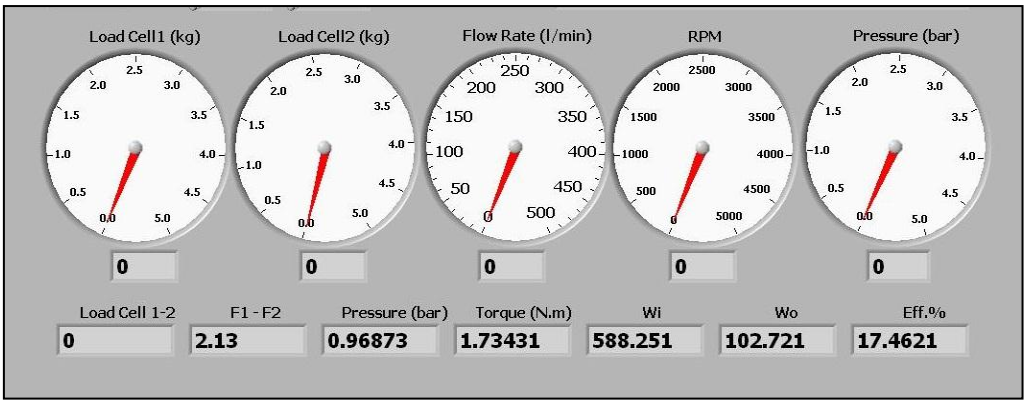
รูปที่ 15 การปรับแรงตึงของสายพาน

16. บันทึกข้อมูลโดยการกดปุ่ม Save Data ดังรูปที่ 16



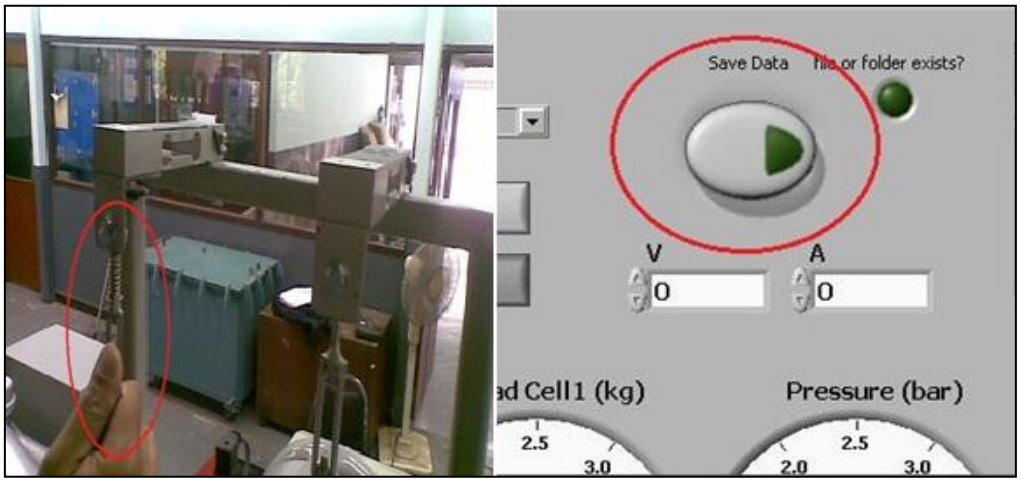
รูปที่ 16 การกดปุ่ม Save Data

17. ข้อมูลของการทดลองจะแสดงอยู่ในโปรแกรม ดังรูปที่ 17



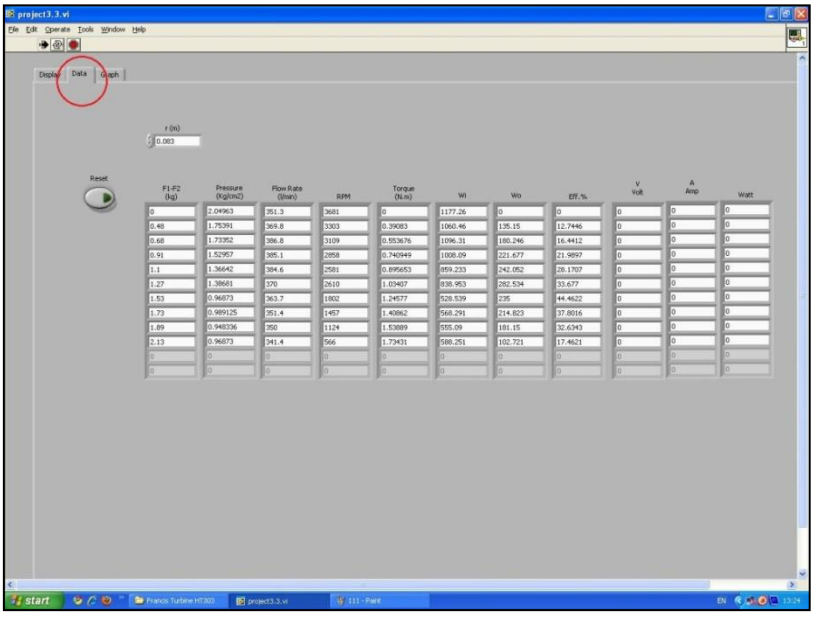
รูปที่ 17 ข้อมูลของการทดลอง

18. จากนั้นค่อยๆปรับผ้าเบรกให้เพิ่มแรงฉุดของล้อโพนีเบรกตามใบงานการทดลอง แล้วบันทึกข้อมูล ทำไปจนกระทั่งกังหันเริ่มไม่มีแรงหมุน ดังรูปที่ 18



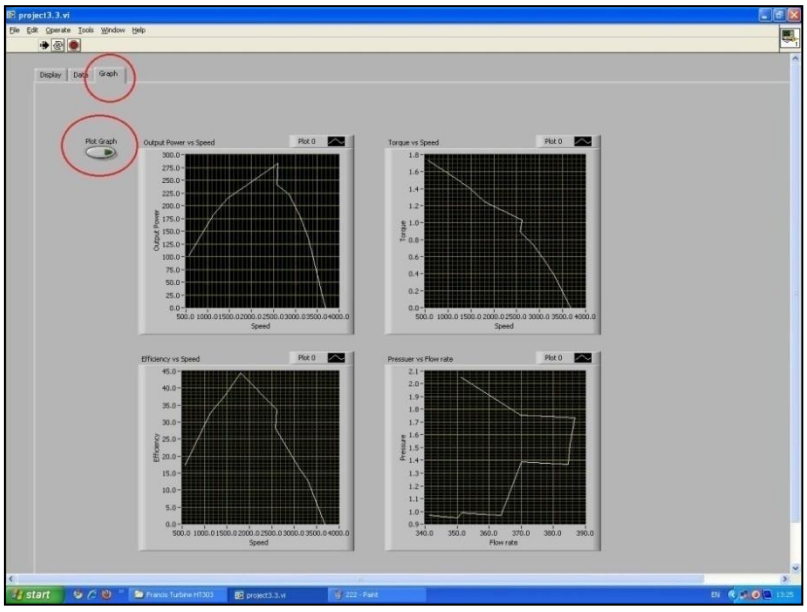
รูปที่ 18 การเริ่มเก็บข้อมูล

19. กดที่ Data ระบบจะทำการบันทึกค่าผลการทดลองที่ได้โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งคำนวณค่าต่างๆให้ ดังรูปที่ 19



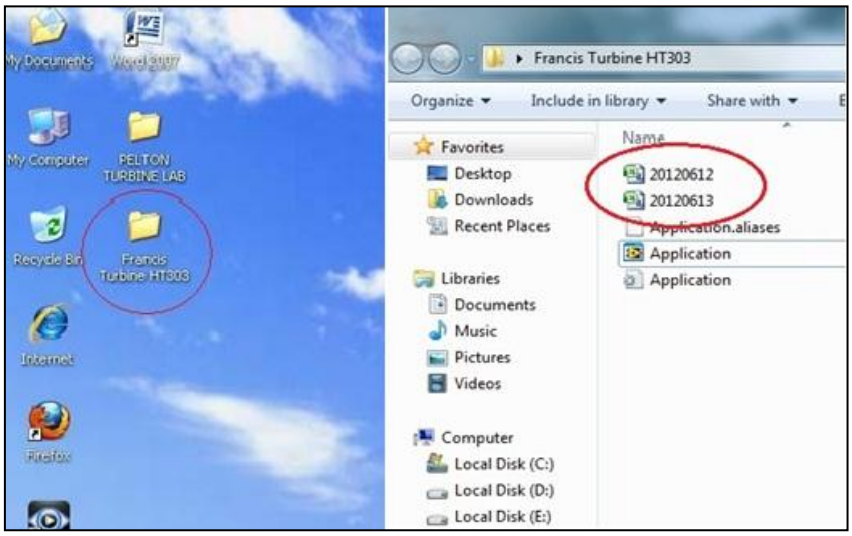
รูปที่ 19 ผลการทดลอง

20. เมื่อได้ผลการทดลองครบแล้ว กด Graph แล้วกด Plot Graph จะได้กราฟของผลจากการทดลอง ดังรูปที่ 20



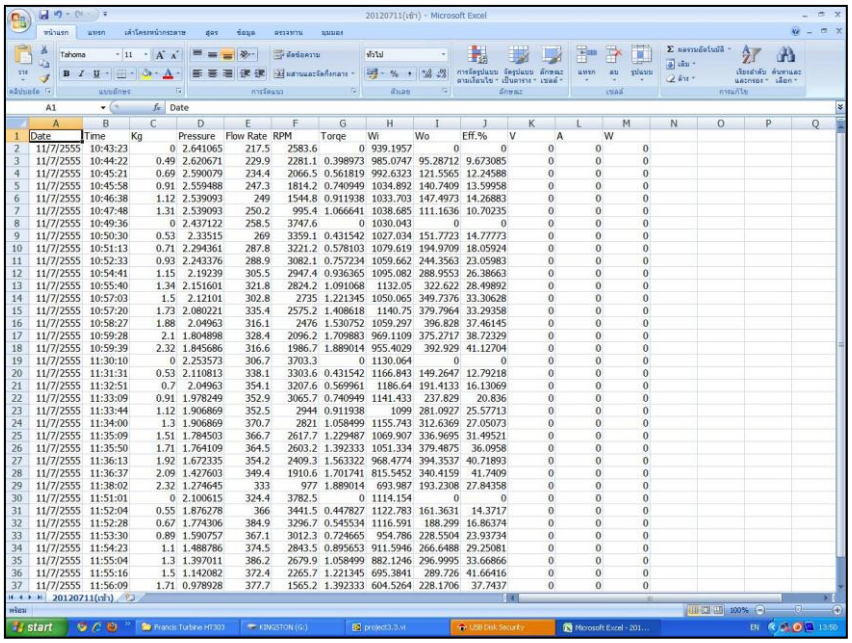
รูปที่ 20 การ Plot Graph

21. ผลของการทดลองจะถูกบันทึกไว้ในโฟลเดอร์ Francis Turbine HT303 อยู่ในโปรแกรม Microsoft Office Excel ชื่อไฟล์จะบันทึกเป็น ปี เดือน วันที่ ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 ตำแหน่งที่อยู่ของผลการทดลอง

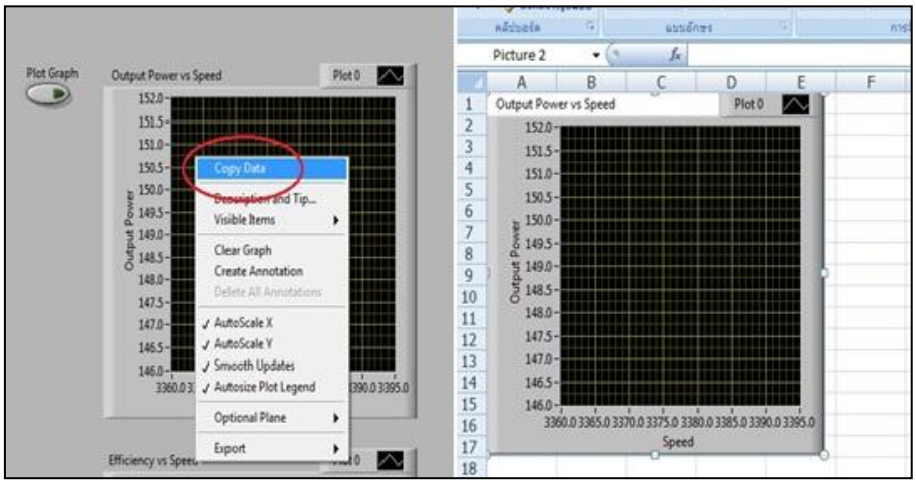
22. แสดงข้อมูลที่บันทึกอยู่ในโปรแกรม Microsoft Office Excel ดังรูปที่ 22



Date	Time	Kg	Pressure	Flow Rate	RPM	Torqe	Wi	Wo	Eff.%	V	A	W
11/7/2555	10:43:23	0	2.641065	217.5	2583.6	0	939.1957	0	0	0	0	0
11/7/2555	10:44:22	0.49	2.620671	229.9	2281.1	0.398973	985.0747	95.28712	9.673085	0	0	0
11/7/2555	10:45:21	0.69	2.590079	234.4	2066.5	0.561819	992.6323	121.5565	12.24588	0	0	0
11/7/2555	10:45:58	0.91	2.559488	247.3	1814.2	0.740949	1034.892	140.7409	13.59958	0	0	0
11/7/2555	10:46:38	1.12	2.539093	249	1544.8	0.911938	1033.703	147.4973	14.26883	0	0	0
11/7/2555	10:47:48	1.31	2.539093	250.2	995.4	1.066641	1038.685	111.1636	10.70235	0	0	0
11/7/2555	10:49:36	0	2.437122	258.5	3747.6	0	1030.043	0	0	0	0	0
11/7/2555	10:50:30	0.53	2.33515	269	3359.1	0.431542	1027.034	151.7723	14.77773	0	0	0
11/7/2555	10:51:13	0.71	2.294361	287.8	3221.2	0.578103	1079.619	194.9709	18.05924	0	0	0
11/7/2555	10:52:33	0.93	2.243376	288.9	3082.1	0.757234	1059.662	244.3563	23.05983	0	0	0
11/7/2555	10:54:41	1.15	2.19239	305.5	2947.4	0.936365	1095.082	288.9553	26.38663	0	0	0
11/7/2555	10:55:40	1.34	2.151601	321.8	2824.2	1.091068	1132.05	322.622	28.49892	0	0	0
11/7/2555	10:57:03	1.5	2.12101	302.8	2735	1.221345	1050.065	349.7376	33.30628	0	0	0
11/7/2555	10:57:20	1.73	2.080221	335.4	2575.2	1.408618	1140.75	379.7964	33.29358	0	0	0
11/7/2555	10:58:27	1.88	2.04963	316.1	2476	1.530752	1059.297	396.828	37.46145	0	0	0
11/7/2555	10:59:28	2.1	1.804898	328.4	2096.2	1.709883	969.1109	375.2717	38.72329	0	0	0
11/7/2555	10:59:39	2.32	1.845686	316.6	1986.7	1.889014	955.4029	392.929	41.12704	0	0	0
11/7/2555	11:30:10	0	2.253573	306.7	3703.3	0	1130.064	0	0	0	0	0
11/7/2555	11:31:31	0.53	2.110813	338.1	3303.6	0.431542	1166.843	149.2647	12.79218	0	0	0
11/7/2555	11:32:51	0.7	2.04963	354.1	3207.6	0.569961	1186.64	191.4133	16.13069	0	0	0
11/7/2555	11:33:09	0.91	1.978249	352.9	3065.7	0.740949	1141.433	237.829	20.836	0	0	0
11/7/2555	11:33:44	1.12	1.906869	352.5	2944	0.911938	1099	281.0927	25.57713	0	0	0
11/7/2555	11:34:00	1.3	1.906869	370.7	2821	1.058499	1155.743	312.6369	27.05073	0	0	0
11/7/2555	11:35:09	1.51	1.784503	366.7	2617.7	1.229487	1069.907	336.9695	31.49521	0	0	0
11/7/2555	11:35:50	1.71	1.764109	364.5	2603.2	1.392333	1051.334	379.4875	36.0958	0	0	0
11/7/2555	11:36:13	1.92	1.672335	354.2	2409.3	1.563322	968.4774	394.3537	40.71893	0	0	0
11/7/2555	11:36:37	2.09	1.427603	349.4	1910.6	1.701741	815.5452	340.4159	41.7409	0	0	0
11/7/2555	11:38:02	2.32	1.274645	333	977	1.889014	693.987	193.2308	27.84358	0	0	0
11/7/2555	11:51:01	0	2.100615	324.4	3782.5	0	1114.154	0	0	0	0	0
11/7/2555	11:52:04	0.55	1.876278	366	3441.5	0.447827	1122.783	161.3631	14.3717	0	0	0
11/7/2555	11:52:28	0.67	1.774306	384.9	3296.7	0.545534	1116.591	188.299	16.86374	0	0	0
11/7/2555	11:53:30	0.89	1.590757	367.1	3012.3	0.724665	954.786	228.5504	23.93734	0	0	0
11/7/2555	11:54:23	1.1	1.488786	374.5	2843.5	0.895653	911.5946	266.6488	29.25081	0	0	0
11/7/2555	11:55:04	1.3	1.397011	386.2	2679.9	1.058499	882.1246	296.9995	33.66866	0	0	0
11/7/2555	11:55:16	1.5	1.142082	372.4	2265.7	1.221345	695.3841	289.726	41.66416	0	0	0
11/7/2555	11:56:09	1.71	0.978928	377.7	1565.2	1.392333	604.5264	228.1706	37.7437	0	0	0

รูปที่ 22 ข้อมูลที่อยู่ในโปรแกรม Microsoft Office Excel

23. การบันทึกกราฟ ไปที่ Graph คลิกขวาที่กราฟ แล้วกด Copy Data เพื่อเซฟรูป จากนั้นเปิดโปรแกรม Microsoft Office Excel คลิกขวาแล้วกดวาง ดังรูปที่ 23 ทำจนครบทุกกราฟ แล้วเซฟ

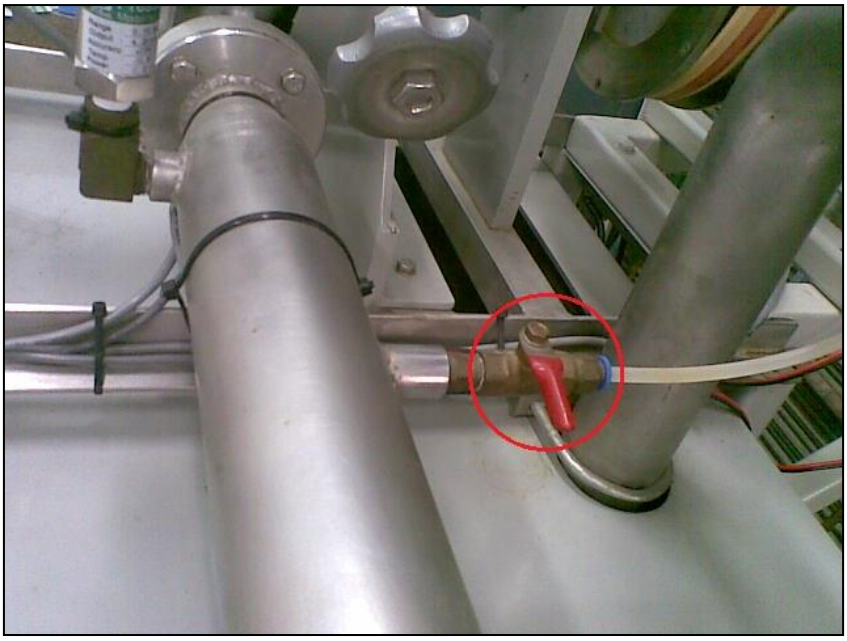


รูปที่ 23 การเซฟกราฟ

24. ปรับตำแหน่งของ Guide vane จนความดันที่หน้ากังหันสูงขึ้นเป็น 2.2, 2.4 และ 2.6 bar เมื่อไม่มีภาระโหลด ดังรูปที่ 24 แล้วดำเนินการตามขั้นตอนที่ 14 ถึง 23

รูปที่ 24 การปรับความดันหน้ากังหัน

25. เมื่อทดลองเสร็จแล้ว ทำการปิดวาล์วระบายความร้อนให้กับโพนีเบรก ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 การปิดวาล์วระบายความร้อน

26. เปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนสุด (ท่อไหลกลับถัง) ดังรูปที่ 26

รูปที่ 26 การเปิดวาล์วท่อเบี่ยง

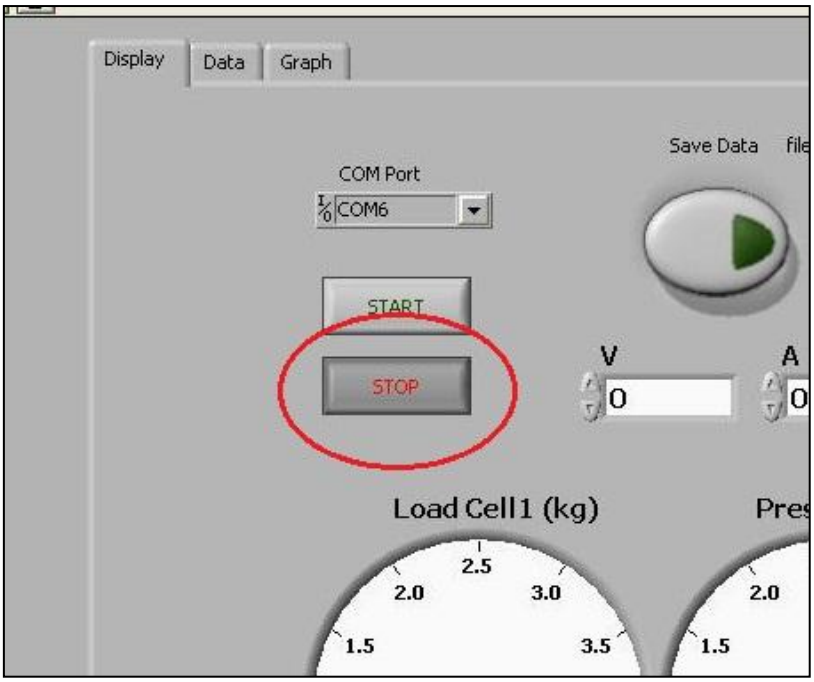
27. ปิดวาล์วน้ำทางเข้ากังหัน ดังรูปที่ 27

รูปที่ 27 การปิดวาล์วน้ำทางเข้ากังหัน

28. ปิดเครื่องทดลองกังหันโดยการกดปุ่ม OFF ดังรูปที่ 28

รูปที่ 28 การปิดเครื่องทดลองกังหัน

29. กดปุ่ม STOP ที่โปรแกรมเพื่อหยุดการทำงานของโปรแกรม ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 การกดปุ่ม STOP

ทดลองโดยการใช้กังหันหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

30. ในกรณีทดลองโดยการใช้กังหันหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปรับสายพานให้หย่อนโดยไม่ให้สายพานมีแรงกระทำกับโพนีเบรก ดังรูปที่ 30

รูปที่ 30 การปรับสายพาน

31. เปิดเครื่องทดลองกังหัน โดยกดปุ่ม ON ดังรูปที่ 31

รูปที่ 31 การการกดปุ่ม ON

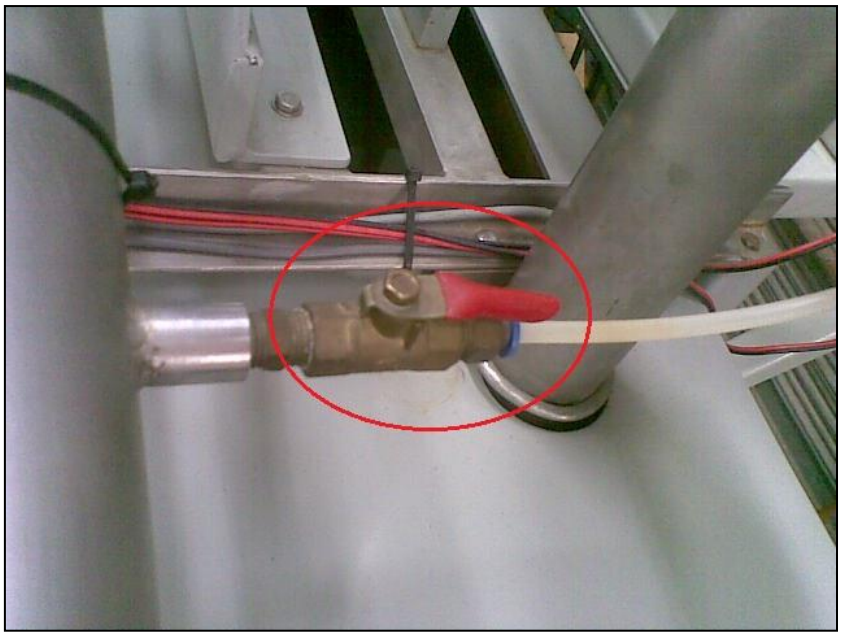
32. ทำการเปิดวาล์วระบายน้ำเข้ากังหันจนสุด ดังรูปที่ 32

รูปที่ 32 การเปิดวาล์วระบายน้ำเข้ากังหัน

33. ค่อยๆปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนสุดเพื่อให้น้ำไหลเข้ากังหันได้เต็มที่ ดังรูปที่ 33

รูปที่ 33 ค่าที่ได้จากการทดสอบ

34. ทำการเปิดวาล์วระบายความร้อนให้กับโพนีเบรก ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 การเปิดวาล์วระบายความร้อนให้กับโพนีเบรก

35. ปรับวาล์ว Guide vane ไปจนกระทั่งได้ความดันหน้ากังหันตามที่ต้องการ เช่น 2.0 bar ดังรูปที่ 35

รูปที่ 35 การปรับวาล์ว Guide vane

36. ค่อยๆหรี่วาล์วท่อเบี่ยงให้รอบกังหันลดลงแล้วเปิดสวิตช์คลัตช์(ไม่ให้เกิดแรงกระชากที่เพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนจากนั้นปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนสุดกลับตามเดิม ดังรูปที่ 36

รูปที่ 36 การเปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

37. เสียบปลั๊กโหลด ติดตั้งแอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 37

รูปที่ 37 การติดตั้งเครื่องมือวัด

38. ค่อยๆหมุนปรับ Dimmer ให้กับโหลดจนหลอดไฟเริ่มสว่าง แล้วบันทึกผลลงในตารางใบงาน ดังรูปที่ 38

รูปที่ 38 การปรับตัวเพิ่มกระแสไฟ

39. ค่อยๆปรับ Dimmer เพิ่มกระแสไฟให้หลอดไฟสว่างขึ้นและความเร็วรอบของกังหันลดลงครั้งละประมาณ 200 RPM แล้วบันทึกผลไปเรื่อยๆจนกังหันไม่มีแรงหมุน ดังรูปที่ 39

รูปที่ 39 การปรับกระแสไฟให้หลอดไฟสว่าง

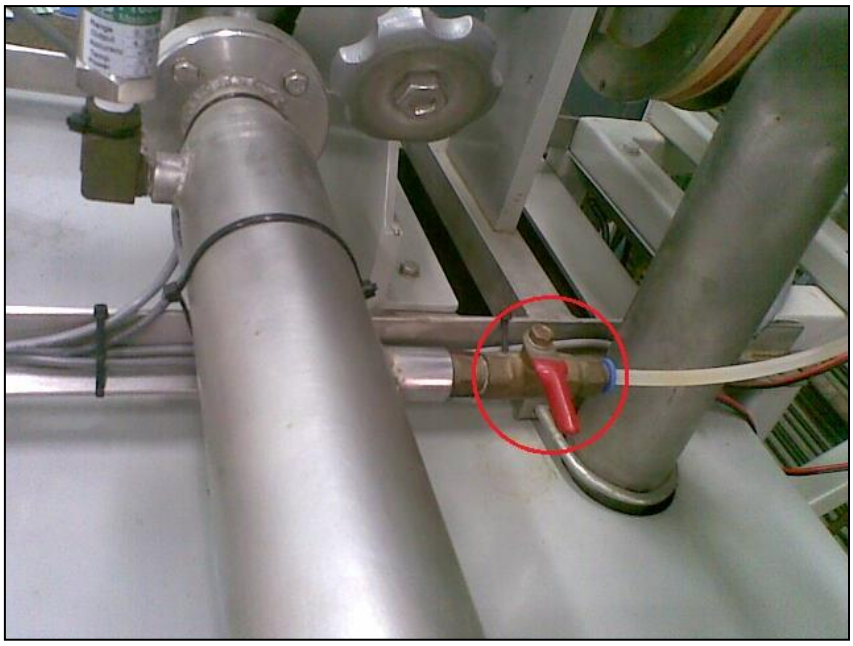
40. ปรับตำแหน่งของ Guide vane จนความดันที่หน้ากังหันสูงขึ้นเป็น 2.2 2.4 และ 2.6 bar เมื่อไม่มีภาระโหลด ดังรูปที่ 40 แล้วดำเนินการตามขั้นตอนที่ 38 ถึง 39 จนเสร็จ

รูปที่ 40 การปรับความดันหน้ากังหัน

41. ทำการทดลองเสร็จแล้วให้ปิดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วถอดปลั๊กโหลด ดังรูปที่ 41

รูปที่ 41 การปิดสวิตช์คลัตช์

42. ปิดวาล์วระบายความร้อนให้กับโพนีเบรก ดังรูปที่ 42



รูปที่ 42 การปิดวาล์วระบายความร้อน

43. เปิดวาล์วท่อเบี่ยงจนสุด (ท่อไหลกลับถัง) ดังรูปที่ 43

รูปที่ 43 การเปิดวาล์วท่อเบี่ยง

44. ปิดวาล์วน้ำทางเข้ากังหัน ดังรูปที่ 44

รูปที่ 44 การปิดวาล์วน้ำทางเข้ากังหัน

45. ปิดเครื่องทดลองกังหันโดยการกดปุ่ม OFF ดังรูปที่ 45

รูปที่ 45 การปิดเครื่องทดลองกังหัน

ตารางการทดลองที่ 1 ชุดทดลองหาสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตำแหน่งเปิดวาล์ว .....

ความดัน P (Kg/cm^2)	อัตราการไหล Q (l/min)	ความเร็วรอบ N (rpm)	กำลังที่ให้แก่กังหัน Wi (Watt)	แรงดันไฟฟ้า V (Volt)	กระแสไฟฟ้า A (Amp)	กำลังไฟฟ้า W (Watt)	ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า η_o (%)

7. วิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

9. เอกสารอ้างอิง

บุญศักดิ์ ใจจงกิจ เครื่องจักรพลังน้ำ เครื่องจักรไอน้ำและหม้อน้ำ กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ .

อนุสรณ์ ชินสุวรรณ เครื่องจักรของไหล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสาร Instruction Manual gunt hamburg HM 365

คู่มือประกอบการทดลองกังกันเพลตันและกังหันฟรานซิส มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร

การวัดอัตราการไหลของอากาศ

(Air Flow Study Unit)

ใบงานที่ 1

การสูญเสียความดันในท่อ

1. จุดประสงค์การทดลอง

1.1 เพื่อวัดการสูญเสียความดันในท่อ

1.2 ฝึกทักษะการใช้มาโนมิเตอร์

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ติดตั้งระบบดังรูปโดยไม่ได้ติดตั้ง orifice, nozzle ในระบบท่อ

2.2 ต่อสายยางวัดความดันตรงปากทางเข้าท่อจุดที่ 1 และปากทางเข้าพัดลมแรงเหวี่ยงจุดที่ 16 เข้ากับมาโนมิเตอร์ตัวใกล้ ๆ กัน

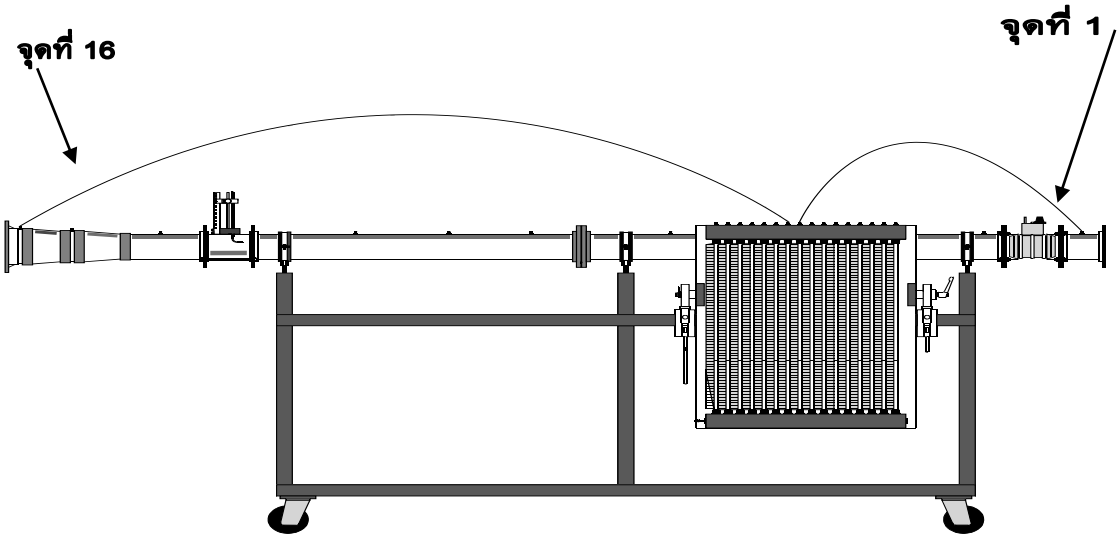
2.3 ปรับมาโนมิเตอร์เอียงไป 1:10 (หรือเอียงตามความเหมาะสม)

2.4 เปิดสวิตช์พัดลมแรงเหวี่ยง

2.5 ปรับ iris diaphragm ไปในตำแหน่งต่าง ๆ ตามตารางข้อมูลการทดลอง

2.6 อ่านค่าความดันตกคร่อมระหว่างต้นทางท่อและปลายทางท่อจากมาโนมิเตอร์แล้วหารด้วย 10 (ค่า 10 คือค่าความเอียงของมาโนมิเตอร์ 1:10)

2.7 บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตารางบันทึกการทดลอง



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การต่อตำแหน่งสายยางวัดความดัน

3. ตารางบันทึกการทดลอง

Position of Iris diaphragm	Pressure loss Δp of the system	
	mm WC	Pa
1		
2		
3		
4		
5		
6		

4. การคำนวณ

สูตรในการคำนวณเพื่อเปลี่ยนจาก mm WC เป็นความดันในหน่วย Pascal(Pa)

$$\Delta p = \gamma \Delta h \qquad (1)$$

โดยที่

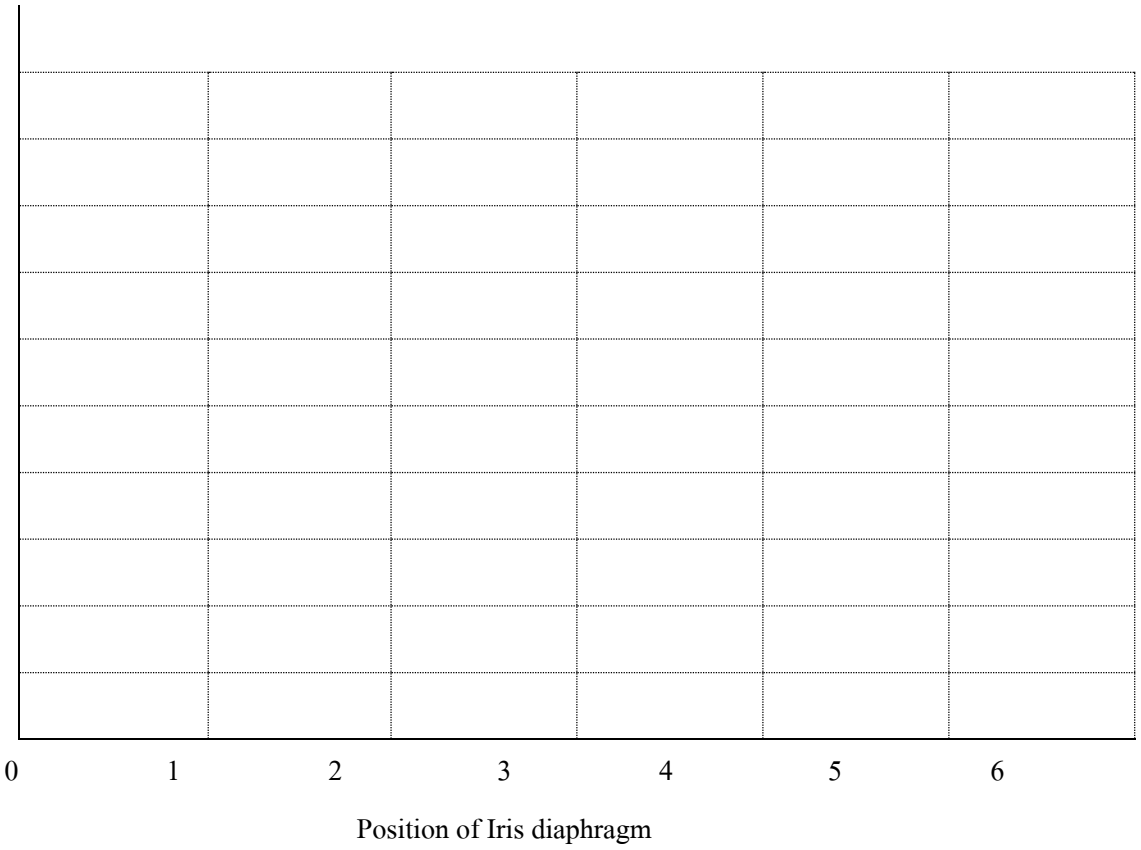
Δp = ผลต่างของความดันในหน่วย Pascal

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำมีค่าเป็น 9810 $\frac{N}{m^3}$

Δh = ความสูงของลำของน้ำในมาโนมิเตอร์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm WC)

5. กราฟแสดงผลการทดลอง

$\Delta p, (Pa)$



6. สรุปผลการทดลอง

……

……

……

……

ใบงานที่ 2
การสูญเสียความดันในท่องอหรือข้อต่อ

1. จุดประสงค์การทดลอง

1.1 เพื่อวัดการสูญเสียความดันในข้องอหรือข้อต่อแบบต่าง ๆ

1.2 ฝึกทักษะการใช้มาโนมิเตอร์

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 ติดตั้งข้องอหรือข้อต่อเข้ากับด้านหน้าของ iris diaphragm ดังรูป (โดยไม่ได้ติดตั้ง orifice, nozzle ในระบบท่อ)

2.2 ต่อสายยางวัดความดันหลังข้องอที่ PVC เข้ากับมาโนมิเตอร์

2.3 ปรับมาโนมิเตอร์เอียงไป 1:10

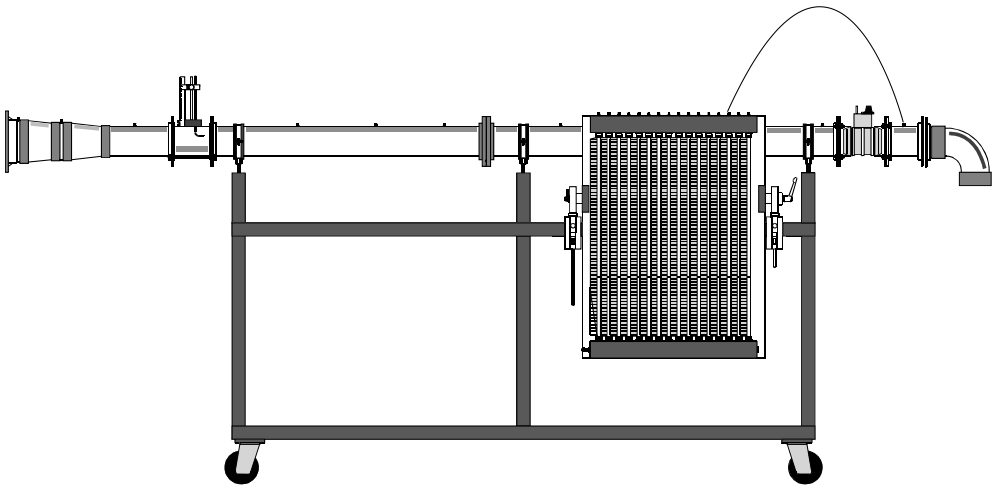
2.4 เปิด Pinhole เต็มที่

2.5 เปิดสวิตช์พัดลมแรงเหวี่ยง

2.6 ปรับ iris diaphragm ไปในตำแหน่งต่าง ๆ ตามตารางข้อมูลการทดลอง

2.7 อ่านค่าความดันตกคร่อมระหว่างข้องอและบรรยากาศจากมาโนมิเตอร์แล้วหารด้วย 10 (ค่า 10 คือค่าความเอียงของมาโนมิเตอร์ 1:10)

2.8 บันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตารางบันทึกการทดลอง



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์การต่อตำแหน่งสายยางวัดความดัน

3. ตารางบันทึกการทดลอง

Bend, Elbow		
Position of Iris diaphragm	**Pressure loss Δp across fitting**	
	mm WC	**Pa**
1		
2		
3		
4		
5		
6		

4. การคำนวณ

สูตรในการคำนวณเพื่อเปลี่ยนจาก mm WC เป็นความดันในหน่วย Pascal(Pa)

$$\Delta p = \gamma \Delta h \quad (1)$$

โดยที่

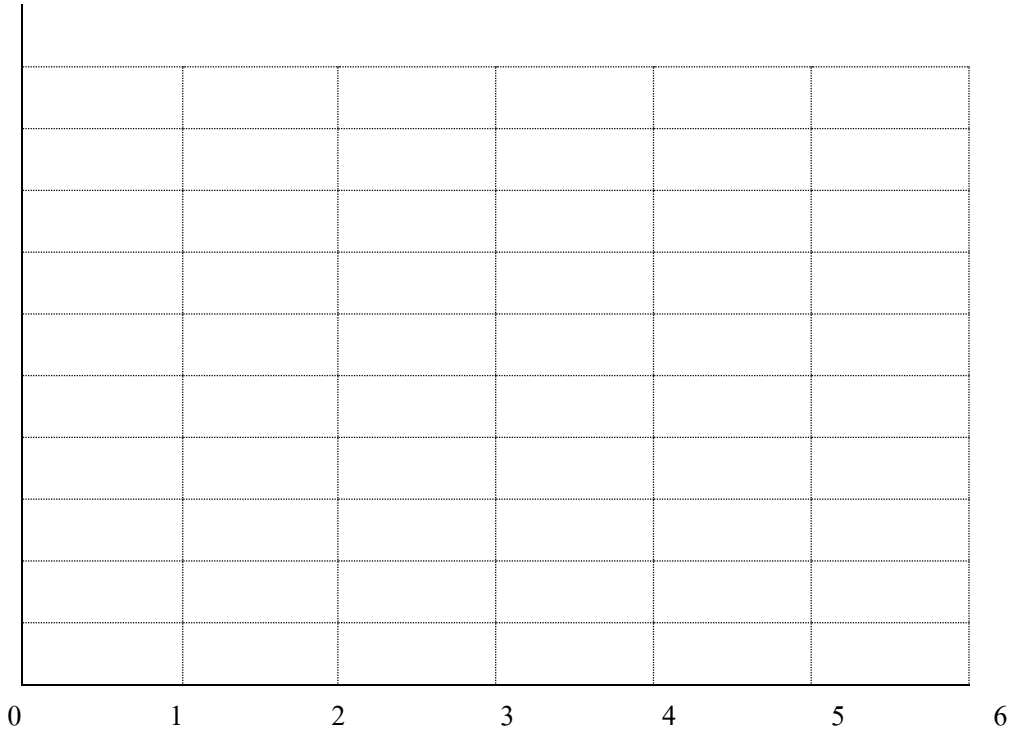
Δp = ผลต่างของความดันในหน่วย Pascal

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำมีค่าเป็น 9810 $\frac{N}{m^3}$

Δh = ความสูงของลำของน้ำในมาโนมิเตอร์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm WC)

5. กราฟแสดงผลการทดลอง

Δp, (Pa)



6. สรุปผลการทดลอง

……

……

……

……

ใบงานที่ 3

การวัดอัตราการไหลด้วย orifice หรือ nozzle

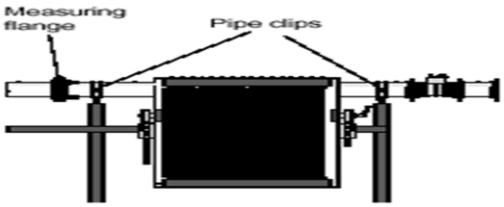
1.จุดประสงค์การทดลอง

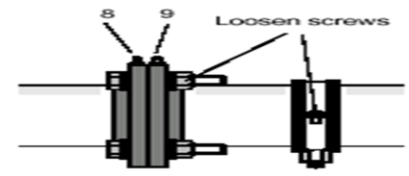
1.1 เพื่อวัดความดันตกคร่อมที่ orifice หรือ nozzle

1.2 สามารถคำนวณหาค่าอัตราการไหลจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

2.ขั้นตอนการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงการติดตั้ง nozzle





รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งวัดความดัน

2.1 คลายเข็มขัดรัดท่อ 2 ตัวด้านขวามือของตำแหน่ง
หน้าแปลนหมายเลข 8 และ 9

2.2 คลายน๊อตยึดหน้าแปลนทั้ง 4 ตัว

2.3 เลื่อนท่อออกไปทางขวามือเล็กน้อย

2.4 ติดตั้ง orifice หรือ nozzle

2.5 เลื่อนท่อทางขวามือเข้ามาประกบ

2.6 ประกอบน้อตยึดหน้าแปลนทั้ง 4 ตัว

2.7 ประกอบเข็มขัดรัดท่อ 2 ตัวด้านขวามือ

2.8 ต่อสายยางเข้ากับหัวต่อหมายเลข 8, 9 ที่
และมาโนมิเตอร์

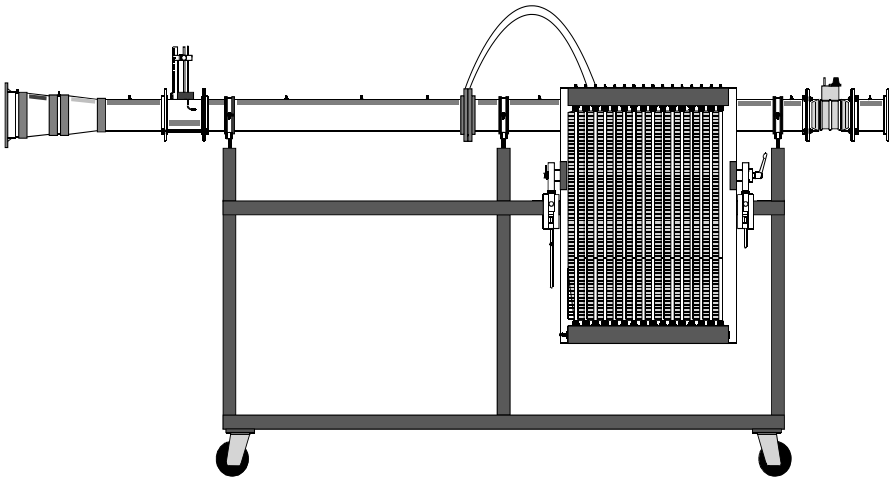
2.9 ตำแหน่งแผ่น Pinhole ปิด

2.10 หัวต่อที่ไม่ได้ใช้งานให้ปิดด้วยฝาครอบ

2.11 เปิดสวิตช์ให้พัดลมทำงาน

2.12 ปรับการเอียงของมาโนมิเตอร์ ที่ 1:5

2.13 อ่านผลต่างของความดันจากมาโนมิเตอร์ 8 และ 9 แล้วหารด้วย 5 บันทึกค่าลงในตาราง



รูปที่ 3 แสดงอุปกรณ์การต่อตำแหน่งสายยางวัดความดัน

3.ตารางบันทึกการทดลอง

	Position of iris diaphragm											
	6		5		4		3		2		1	
	ΔP		ΔP		ΔP		ΔP		ΔP		ΔP	
	mm WC	Pa	mm WC	Pa	mm WC	Pa	mm WC	Pa	mm WC	Pa	mm WC	Pa
Orifice												
Nozzle												

4. การคำนวณ

สูตรในการคำนวณ

$$\dot{Q} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot A_D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \qquad (1)$$

โดยที่

α = สัมประสิทธิ์การไหล α_{nozzle}= 1.1377 and $\alpha_{orifice}$ = 0.7588

ε = Expansion factor ε_{nozzle} = 0.937 and $\varepsilon_{orifice}$ = 0.9705

A_d = พื้นที่หน้าตัด nozzle = 1963.5 mm^2 orifice = 1963.5 mm^2

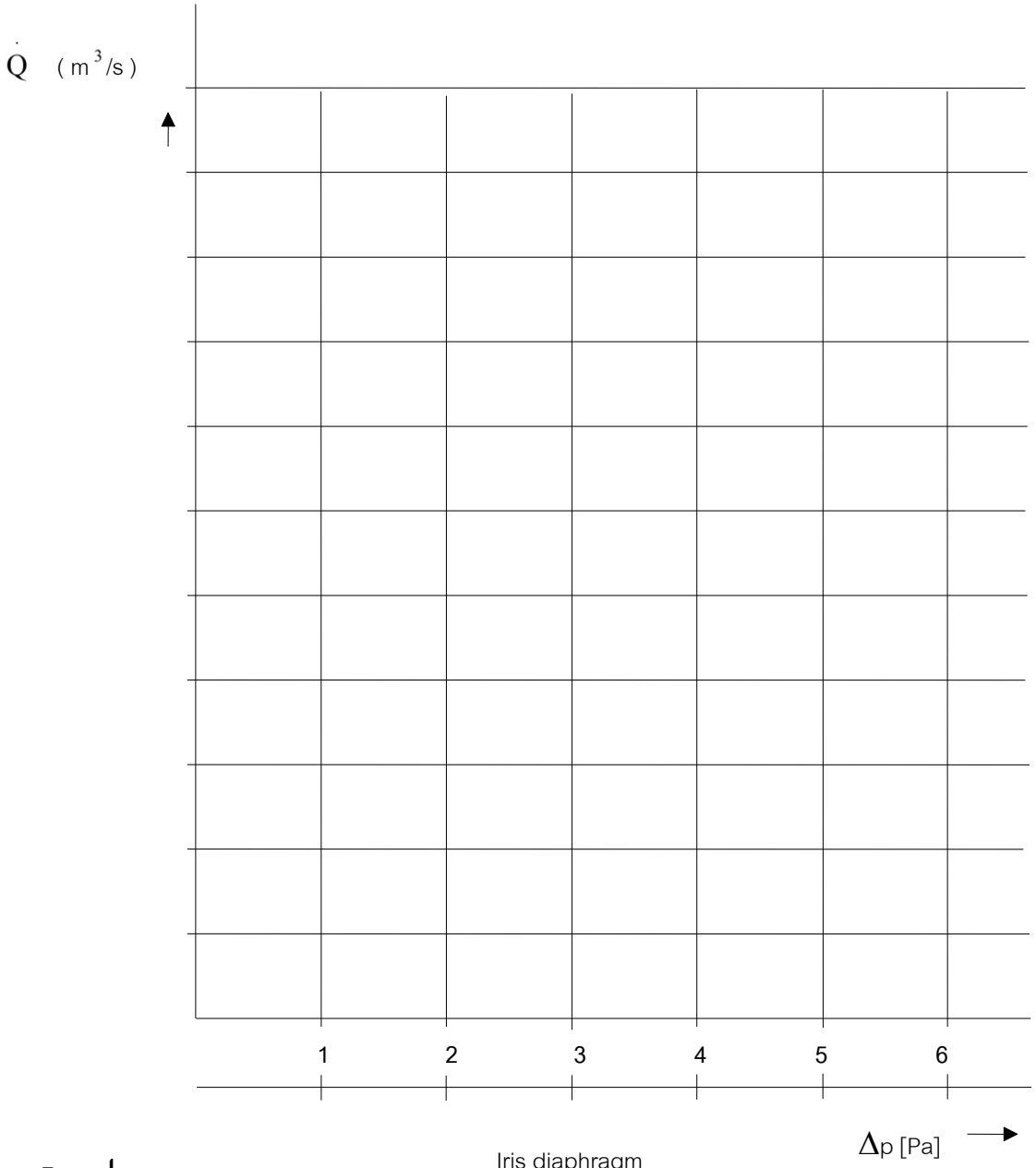
ΔP = ความดันแตกต่าง $(P_1 - P_2)$

ρ = ความหนาแน่น หาโดยการใช้สมการ $\rho = \frac{P}{RT}$ (P หาโดยการ อ่านจาก บาร์โรมิเตอร์)

5. ตารางบันทึกผลการคำนวณ

	Position of iris diaphragm					
	6	5	4	3	2	1
	Flow rate $\dot{Q}$ m^3/s					
Orifice						
Nozzle						

6. กราฟแสดงผลการทดลอง



7. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

ใบงานที่ 4

การวัดความเร็วอากาศในท่อ

1. จุดประสงค์การทดลอง

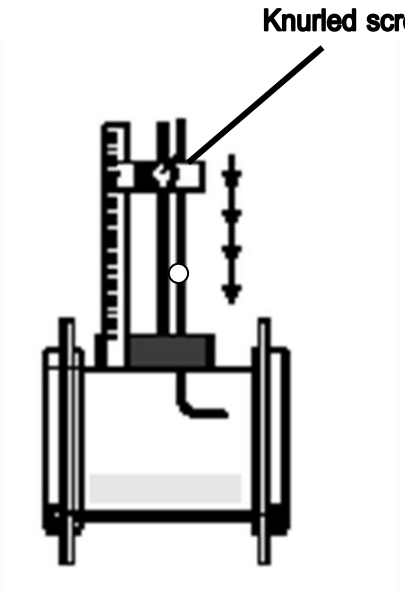
1.1 เพื่อวัดความดันตกคร่อมที่ Pitot Tube

1.2 สามารถคำนวณหาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านท่อได้

1.3 เพื่อสร้างเส้น velocity profiles

1.4 เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านท่อได้

2. ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 1 แสดงการยึดตำแหน่ง pitot tube

2.1 ต่อสายยางพลาสติกวัดความดันจาก Pitot หมายเลข 13 เข้ากับ มาโนมิเตอร์หมายเลข 13

2.2 ต่อสายยางพลาสติกวัดความดันจาก ท่อ PVCหมายเลข 14 เข้ากับ มาโนมิเตอร์หมายเลข 14

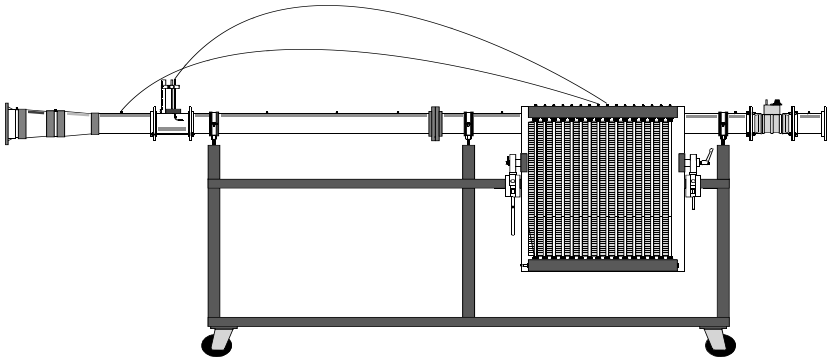
2.3 เอียงมาโนมิเตอร์ไปที่ตำแหน่ง 1:5

2.4 เปิดสวิตช์ให้พัดลมทำงาน

2.5 เลื่อน Pin hole ไปที่ตำแหน่งปิดสุด

2.6 ปรับตำแหน่งของ iris diaphragm ตามตำแหน่ง 1-6

2.5 อ่านผลต่างของความดันจากมาโนมิเตอร์ 12 และ 13 แล้วบันทึกค่าลงในตาราง



รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์การต่อตำแหน่งสายยางวัดความดัน

3. ตารางบันทึกผลการทดลอง

Position of iris diaphragm (position…..)											
r(mm)	42	36	30	24	20	16	12	9	6	4	2
Δh(mm)											
ΔP(Pa)											
V											

4.การคำนวณ

สูตรในการคำนวณ

$$\dot{Q} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \qquad (1)$$

โดยที่

ΔP = ความดันแตกต่าง $(P_1 - P_2)$

ρ = ความหนาแน่นหาโดยใ

ช้สมการ $\rho = \frac{P}{RT}$

5. ตารางบันทึกผลการคำนวณ

Veiocity v (m/s)

0 2 4 6 9 12 16 20 24 30 36 42

Radius r(mm)

6.สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

การไหลและความเสียดทานในท่อ

(Flow and Fiction Loss in Pipe)

การทดลองที่ 1 Hydraulics Bench

1. วัตถุประสงค์

1.1 เปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลโดยการตวงปริมาตร เทียบกับการวัดโดยการใช้มาตรวัดอัตราการไหล

1.2 เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์

2. ทฤษฎี

2.1 การวัดอัตราการไหลด้วยการตวงปริมาตร การวัดอัตราการไหลอย่างง่ายสามารถทำได้โดยการตวงปริมาตรตามที่กำหนดพร้อมทั้งจับเวลาที่ใช้ในการตวงปริมาตร ซึ่งสามารถหาอัตราการไหลได้ดังสมการที่ 1.1

$$Q = \frac{V}{t} \qquad (1.1)$$

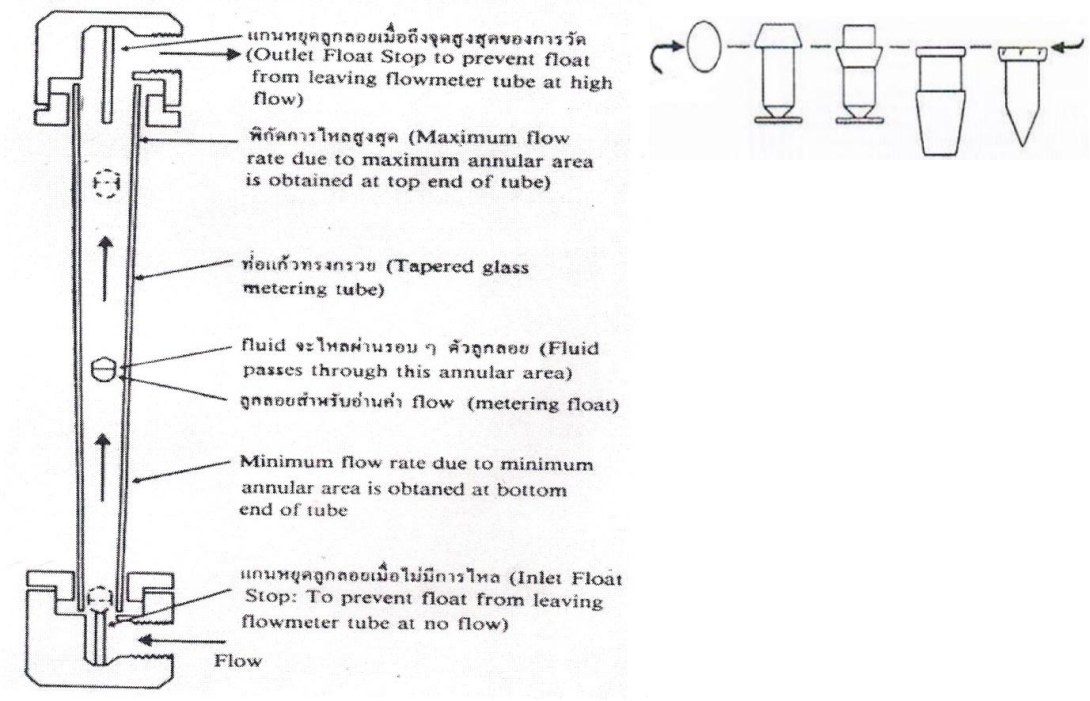
โดยที่

Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

V คือ ปริมาตรที่ตวงวัด (m^3)

t คือ เวลาที่ใช้ในการตวงวัด (s)

2.2 การวัดอัตราการไหลด้วยโรตามิเตอร์

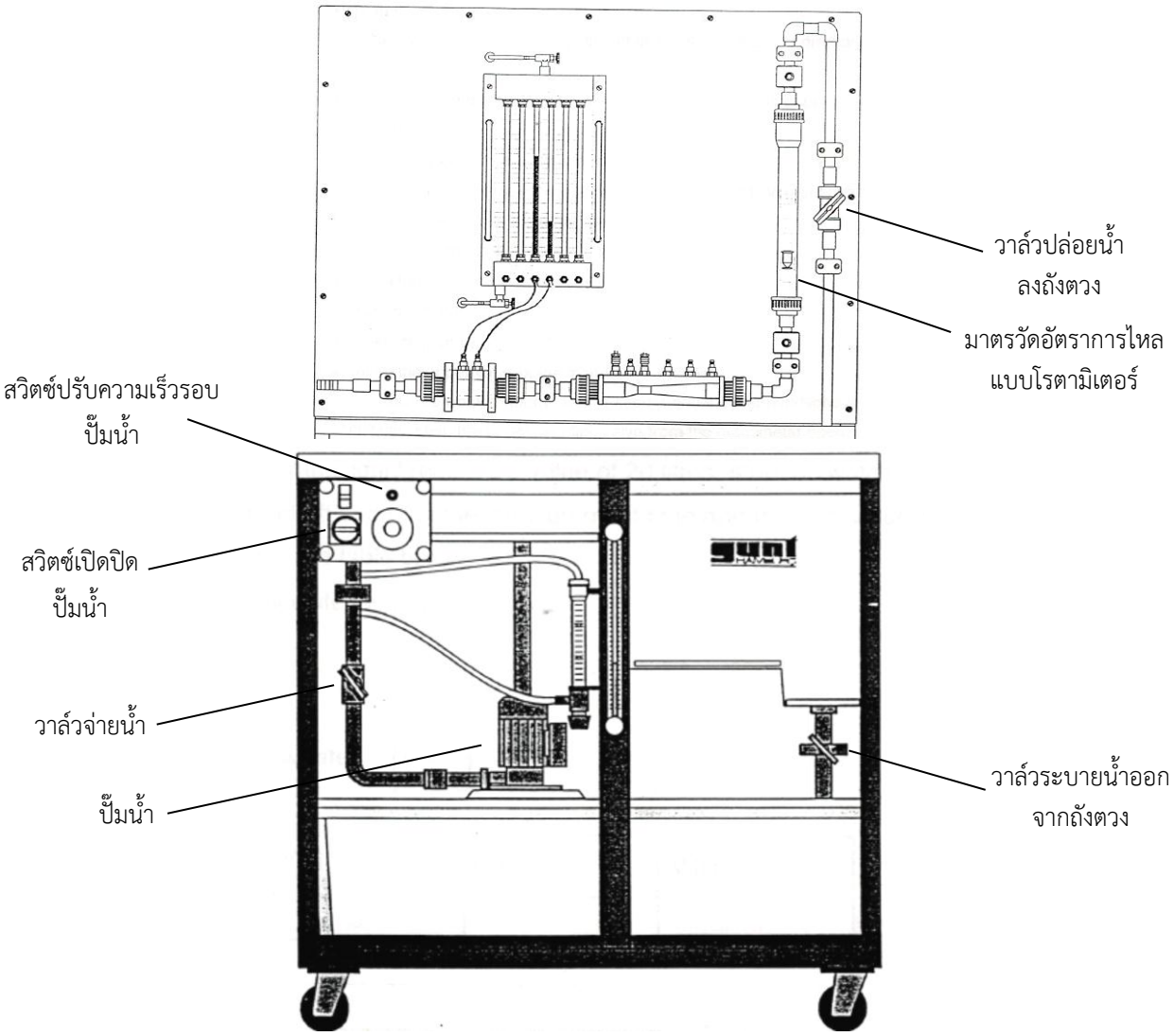


รูปที่ 1.1 โรตามิเตอร์

โรตามิเตอร์เป็นท่อแก้วใส ซึ่งด้านในเป็นกรวยเรียบ (Tapered Pipe) และมีลูกลอย (Float) ที่ออกแบบพิเศษบรรจุอยู่ภายใน ของไหลที่ต้องการวัดอัตราการไหลจะไหลผ่านเข้ามาทางด้านล่างของโรตามิเตอร์ ส่งผลทำให้ลูกลอยถูกยกให้ลอยตัวขึ้น ตำแหน่งของลูกลอยจะลอยนิ่งอยู่กับที่เมื่อเกิดความสมดุลระหว่าง Velocity Head ของของไหลกับน้ำหนักของลูกลอย เมื่อลูกลอยยกตัวสูงขึ้น พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลไหลผ่านก็จะมากขึ้นตามไปด้วย และเนื่องจาก Velocity Head แปรผันตรงกับอัตราการไหล ดังนั้น ตำแหน่งของลูกลอยจะบอกอัตราการไหลได้ โดยการอ่านค่าอัตราการไหลจะอ่านที่ตำแหน่งขนาดของลูกลอยที่โตสุด กรณีที่ขนาดของลูกลอยที่โตสุดมีหลายตำแหน่ง ให้อ่านขนาดของลูกลอยที่โตสุดและอยู่ในตำแหน่งบนสุด

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 ชุดทดลอง Hydraulics Bench



รูปที่ 1.2 ชุดทดลอง Hydraulics Bench

3.2 นาฬิกาจับเวลา

4. ขั้นตอนการทดลอง

4.1 เปิดวาล์วจ่ายน้ำ และเปิดวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวง

4.2 เปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวง

4.3 เปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มทำงาน และให้น้ำในระบบไหลเวียนประมาณ 5 นาที ก่อนเริ่มเก็บค่าการทดลอง

4.4 ปรับความเร็วรอบของปั๊มน้ำเต็มที่ หลังจากนั้นปรับวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงให้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์อ่านค่าได้ 30 %

4.5 ปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวงพร้อมเริ่มจับเวลา

4.6 บันทึกเวลาเมื่อน้ำในถังตวงมีปริมาตรเท่ากับ 10 ลิตร 20 ลิตร และ 30 ตามลำดับ

4.7 เปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวงจนหมด

4.8 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4.4 ถึงขั้นตอนที่ 4.7 โดยปรับวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงให้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์ไหลอ่านค่าได้ 40 % , 50 % 60 % และ 70 % ตามลำดับ

4.9 ปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มหยุดทำงาน ทำความสะอาดอุปกรณ์และเก็บให้เข้าที่

5. ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง Hydraulics Bench

อัตราการไหลที่วัดโดยโรตามิเตอร์		ปริมาตรที่ตวง (l)	เวลาที่ใช้ (s)	อัตราการไหล (l/hr)	อัตราการไหลเฉลี่ย (l/hr)	ค่าความคาดเคลื่อน (%)
%	(l/hr)					
30	480	10				
		20				
		30				
40	640	10				
		20				
		30				
50	800	10				
		20				
		30				
60	960	10				
		20				
		30				
70	1,120	10				
		20				
		30				

6. การวิเคราะห์ผล

6.1 เขียนกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่วัดด้วยการตวงปริมาตรเทียบกับการวัดด้วยการใช้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์

การทดลองที่ 2 Flow meter

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อศึกษาระบบการไหลของมาตรวัดอัตราการไหลแต่ละแบบ เช่น Orifice , Nozzle และ Venturi meter

1.2 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการวัดอัตราการไหลด้วยมาตรวัดอัตราการไหลแต่ละแบบ

1.3 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการวัดอัตราการไหลด้วยมาตรวัดอัตราการไหลแต่ละแบบเทียบกับการวัดด้วยการตวงปริมาตร

2. ทฤษฎี

2.1 การวัดอัตราการไหลด้วย Orifice

$$Q_o = k_o\sqrt{\Delta P} \qquad (1.2)$$

โดยที่

Q_o คือ อัตราการไหลที่ไหลผ่าน Orifice (l/hr)

k_o คือ ค่าคงที่ของ Orifice

$$k_o = 293\frac{l}{hr\sqrt{mbar}}$$

ΔP คือ ผลต่างความดันระหว่างทางเข้าและทางออก Orifice (mbar)

2.2 การวัดอัตราการไหลด้วย Nozzle

$$Q_n = k_n\sqrt{\Delta P} \qquad (1.3)$$

โดยที่

Q_n คือ อัตราการไหลที่ไหลผ่าน Nozzle (l/hr)

k_n คือ ค่าคงที่ของ Nozzle

$$k_n = 231\frac{l}{hr\sqrt{mbar}}$$

ΔP คือ ผลต่างความดันระหว่างทางเข้าและทางออก Nozzle (mbar)

2.3 การวัดอัตราการไหลด้วย Venturi

$$Q_v = k_v\sqrt{\Delta P} \qquad (1.4)$$

โดยที่

Q_v คือ อัตราการไหลที่ไหลผ่าน Venturi (l/hr)

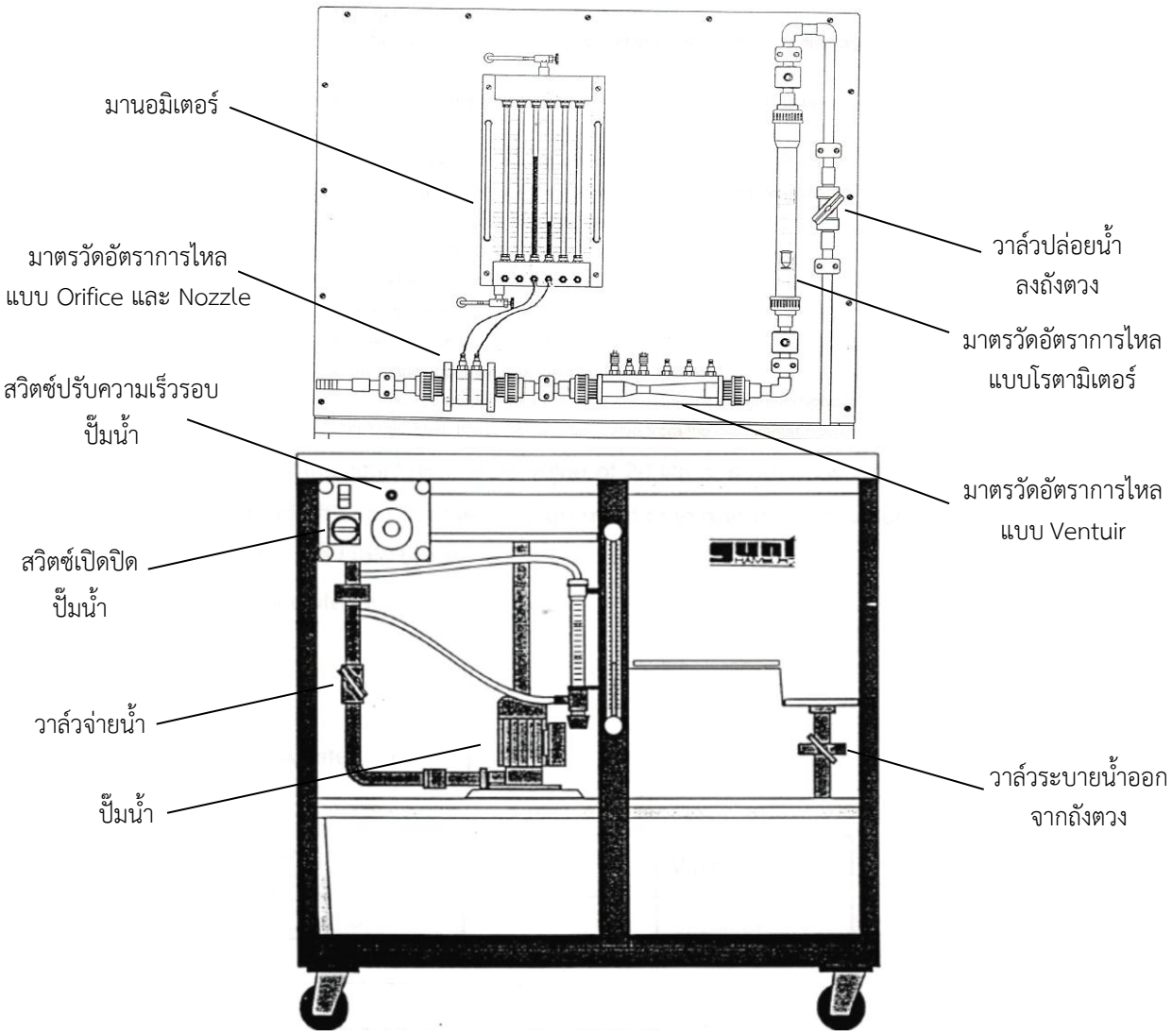
k_v คือ ค่าคงที่ของ Venturi

$$k_v = 240\frac{l}{hr\sqrt{mbar}}$$

ΔP คือ ผลต่างความดันระหว่างทางเข้าและทางออก Venturi (mbar)

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 ชุดทดลอง Flow meter



รูปที่ 1.3 ชุดทดลอง Flow meter

3.2 มาตรวัดอัตราการไหลแบบ Orifice ซึ่งมีข้อมูล ดังนี้

- ขนาดท่อ 28.4 mm
- ขนาดรู Orifice 14.0 mm

3.3 มาตรวัดอัตราการไหลแบบ Nozzle ซึ่งมีข้อมูล ดังนี้

- ขนาดท่อ 28.4 mm
- ขนาดรู Nozzle 18.5 mm

3.4 มาตรวัดอัตราการไหลแบบ Ventuir ซึ่งมีข้อมูล ดังนี้

- ขนาดท่อใหญ่สุด 28.4 mm
- ขนาดท่อเล็กสุด 14.0 mm

4. ขั้นตอนการทดลอง

4.1 การทดลอง Orifice

4.1.1 ต่อสายยางสายที่ 1 โดยให้ปลายสายด้านหนึ่งต่อเข้าที่ทางเข้าของ Orifice ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้าที่ท่อแก้ว อันที่ 3

4.1.2 ต่อสายยางสายที่ 2 โดยให้ปลายสายด้านหนึ่งต่อเข้าที่ทางออกของ Orifice ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้าที่ท่อแก้ว อันที่ 4

4.1.3 เปิดวาล์วจ่ายน้ำ เปิดวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวง และเปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวง

4.1.4 เปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มทำงาน และทำการไล่อากาศออกจากมานอมิเตอร์จนหมด

4.1.5 ปรับวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงให้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์อ่านค่าได้ 30 %

4.1.6 บันทึกค่าความแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์

4.1.7 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4.1.5 ถึงขั้นตอนที่ 4.1.6 โดยปรับวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงให้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์อ่านค่าได้ 40 % , 50 % 60 % และ 70 % ตามลำดับ

4.1.8 ปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มหยุดทำงาน

4.2 การทดลอง Nozzle

4.2.1 ต่อสายยางสายที่ 1 โดยให้ปลายสายด้านหนึ่งต่อเข้าที่ทางเข้าของ Nozzle ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้าที่ท่อแก้ว อันที่ 3

4.2.2 ต่อสายยางสายที่ 2 โดยให้ปลายสายด้านหนึ่งต่อเข้าที่ทางออกของ Nozzle ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้าที่ท่อแก้ว อันที่ 4

4.2.3 เปิดวาล์วจ่ายน้ำ เปิดวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวง และเปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวง

4.2.4 เปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มทำงาน และทำการไล่อากาศออกจากมานอมิเตอร์จนหมด

4.2.5 ปรับวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงให้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์อ่านค่าได้ 30 %

4.2.6 บันทึกค่าความแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์

4.2.7 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4.1.5 ถึงขั้นตอนที่ 4.1.6 โดยปรับวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงให้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์อ่านค่าได้ 40 % , 50 % 60 % และ 70 % ตามลำดับ

4.2.8 ปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มหยุดทำงาน

4.3 การทดลอง Ventuir

4.3.1 ต่อสายยางโดยให้ปลายสายข้างหนึ่งต่อเข้ากับหลอดแก้วหลอดที่ 3 ส่วนปลายสาบอีกด้านหนึ่งต่อเข้าที่ช่องที่ 1 ของ Venturi

4.3.2 ต่อสายยางโดยให้ปลายสายข้างหนึ่งต่อเข้ากับหลอดแก้วหลอดที่ 4 ส่วนปลายสาบอีกด้านหนึ่งต่อเข้าที่ช่องที่ 3 ของ Venturi

4.3.3 เปิดวาล์วจ่ายน้ำ เปิดวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวง และเปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวง

4.3.4 เปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มทำงาน และทำการไล่อากาศออกจากมานอมิเตอร์จนหมด

4.3.5 ปรับวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงให้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์อ่านค่าได้ 30 %

4.3.6 บันทึกค่าความแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์

4.3.7 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4.3.5 ถึงขั้นตอนที่ 4.3.6 โดยปรับวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงให้มาตรวัดอัตราการไหลแบบโรตามิเตอร์อ่านค่าได้ 40 % , 50 % 60 % และ 70 % ตามลำดับ

4.3.8 ปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มหยุดทำงาน

5. ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองหาอัตราการไหลโดยใช้ Orifice

สเกลวัดที่โรตามิเตอร์ (%)	อัตราการไหลที่วัดโดยโรตามิเตอร์ (l/hr)	ΔP (mm)	ΔP (mbar)	อัตราการไหลที่คำนวณได้ (l/hr)	ค่าความคาดเคลื่อน (%)
30	480				
40	640				
50	800				
60	960				
70	1,120				

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองหาอัตราการไหลโดยใช้ Nozzle

สเกลวัดที่โรตามิเตอร์ (%)	อัตราการไหลที่วัดโดยโรตามิเตอร์ (l/hr)	ΔP (mm)	ΔP (mbar)	อัตราการไหลที่คำนวณได้ (l/hr)	ค่าความคาดเคลื่อน (%)
30	480				
40	640				
50	800				
60	960				
70	1,120				

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองหาอัตราการไหลโดยใช้ Venturi

สเกลวัดที่โรตามิเตอร์ (%)	อัตราการไหลที่วัดโดยโรตามิเตอร์ (l/hr)	ΔP (mm)	ΔP (mbar)	อัตราการไหลที่คำนวณได้ (l/hr)	ค่าความคาดเคลื่อน (%)
30	480				
40	640				
50	800				
60	960				
70	1,120				

6. การวิเคราะห์ผล

6.1 เขียนกราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลที่วัดได้ด้วยการตวงปริมาตรเทียบกับการวัดด้วยการใช้มาตรวัดอัตราการไหลแบบ Orifice , Nozzle , Venturi และโรตามิเตอร์

การทดลองที่ 3 Pipe Friction

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อศึกษาลักษณะธรรมชาติของการไหลของของไหลภายในท่อ

1.2 เพื่อหาค่าการสูญเสียในท่อของการไหลแบบลามินาร์ และเทอร์บิวเลนท์

2. ทฤษฎี

เมื่อของไหลไหลในท่อจะเกิดความต้านทานการไหลเสมอ ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียพลังงานของของไหลขึ้น ซึ่งการสูญเสียพลังงานนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การสูญเสียหลัก และการสูญเสียรอง

2.1 การสูญเสียหลัก

การสูญเสียหลัก คือ การสูญเสียพลังงานหรือการสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่ออันเป็นผลมาจากความเสียดทาน สาเหตุที่จัดให้การสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานในท่อเป็นการสูญเสียหลักนั้น เพราะในกรณีที่ท่อมีความยาวมากๆ การสูญเสียแบบนี้จะเกิดขึ้นมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียด้วยเหตุอื่นๆ ซึ่งสามารถหาค่าการสูญเสียหลักได้ดังสมการที่

$$h_f = f\frac{LV^2}{2gD} \qquad (1.5)$$

โดยที่

h_f คือ การสูญเสียหลัก (m)

f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (ตัวแปรไร้มิติ)

L คือ ความยาวของท่อ (m)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลในท่อ (m/s)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

2.2 สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของของไหลและผิวท่อด้านในจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการไหลในท่อ โดยการแบ่งรูปแบบการไหลในท่อจะใช้เรย์โนลด์นัมเบอร์เป็นเกณฑ์ ซึ่งสามารถหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ดังสมการที่ 1.6

$$R_e = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\upsilon} \qquad (1.6)$$

โดยที่

R_e คือ ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (ตัวแปรไร้มิติ)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล(kg/m^3)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลในท่อ (m/s)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหล ($N.s/m^2$)

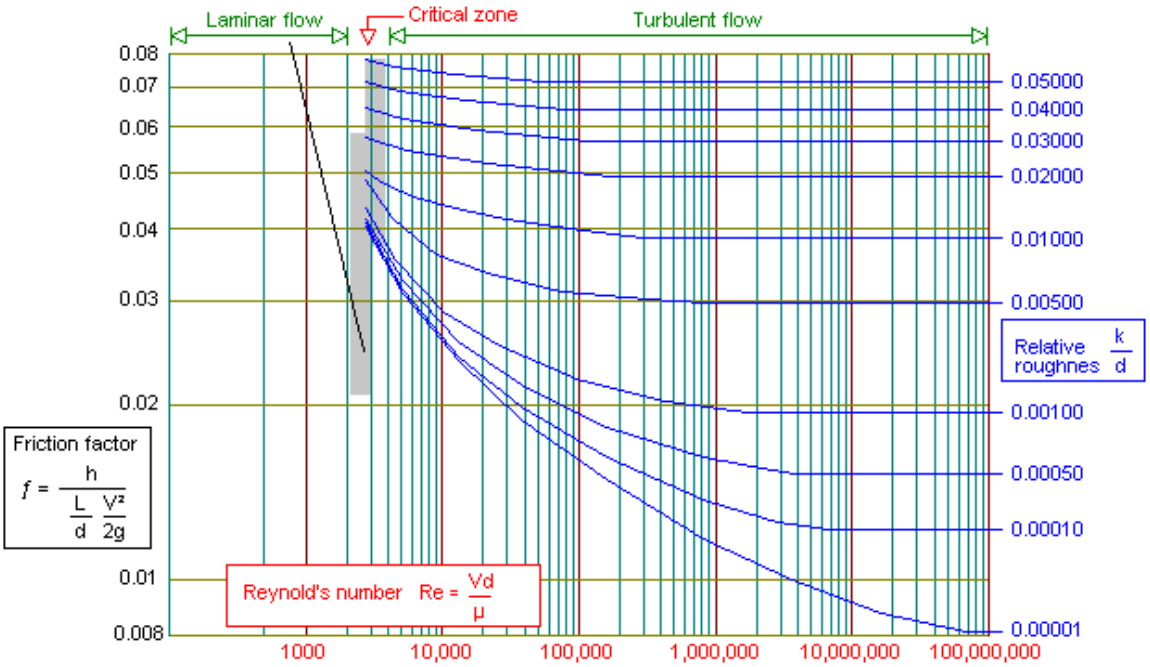
υ คือ ความหนืดจลน์ของของไหล (m^2/s)

วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

กรณีที่ 1 ถ้าการไหลเป็นแบบลามินาร์ ($R_e \le 2300$) สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังสมการที่ 1.7

$$f = \frac{64}{R_e} \qquad (1.7)$$

กรณีที่ 2 ถ้าการไหลเป็นแบบช่วงเปลี่ยนแปลง ($2300 < R_e \le 4000$) หรือการไหลเป็นเทอร์บิวเลนท์($R_e > 4000$) สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้จากแผนภูมิของมูดดี้ (Moody Chart) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 Moody Chart

หรือในกรณีที่การไหลเป็นแบบเทอร์บิวเลนท์และผิวท่อด้านในเป็นแบบผิวเรียบ สามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ได้ดังสมการที่ 1.8

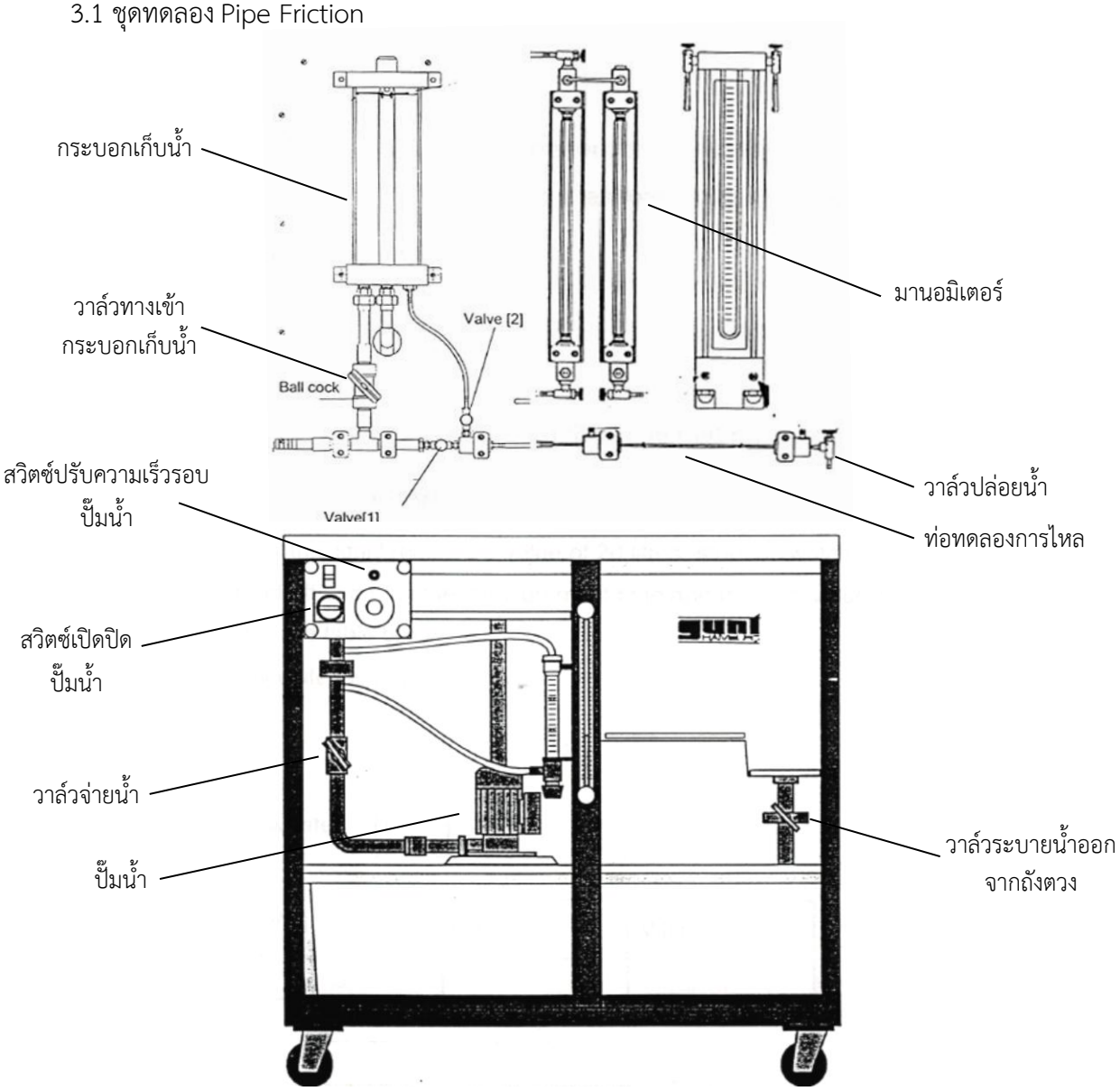
$$f = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{R_e}} \qquad (1.8)$$

2.2 การสูญเสียรอง

การสูญเสียรอง คือ การสูญเสียพลังงานหรือการสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหลในท่อ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วอาจจะเกิดขึ้นได้ทั้งการเปลี่ยนแปลงขนาดของความเร็วหรือการเปลี่ยนแปลงทิศทางของความเร็ว ซึ่งการเกิดการสูญเสียรองจะเกิดขึ้นได้ชัดเจนในบริเวณข้อต่อและวาล์วต่างๆ

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 ชุดทดลอง Pipe Friction



รูปที่ 1.5 ชุดทดลอง Pipe Friction

3.2 ท่อทดลองการไหล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 mm ความยาว 400 mm

3.3 นาฬิกาจับเวลา

3.4 บิกเกอร์ขนาด 200 ml

4. ขั้นตอนการทดลอง

4.1 การทดลองที่การไหลแบบลามินาร์

4.1.1 เปิดวาล์วทางเข้ากระบอกเก็บน้ำ

4.1.2 ปิดวาล์ว 1 และเปิดวาล์ว 2

4.1.3 เปิดวาล์วปล่อยน้ำ

4.1.4 เปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มทำงานรอจนกว่าน้ำจะล้นออกที่ท่อล้นของกระบอกเก็บน้ำ

4.1.5 ปิดวาล์วปล่อยน้ำ

4.1.6 เปิดวาล์วปล่อยน้ำเป็นมุม 50 องศา

4.1.7 นำบิกเกอร์มาตวงที่วาล์วปล่อยน้ำพร้อมกับเริ่มจับเวลา เมื่อตวงปริมาตรน้ำได้เท่ากับ 200 ml ให้หยุดเวลาและบันทึกเวลาที่ได้ลงในตารางบันทึกผล

4.1.8 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4.1.6 ถึงขั้นตอนที่ 4.1.7 โดยเปิดวาล์วปล่อยน้ำเป็นมุม 60 องศา ,70 องศา , 80 องศา , 90 องศา , และ 100 องศา ตามลำดับ

4.1.9 ปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มหยุดทำงาน ทำความสะอาดอุปกรณ์และเก็บให้เข้าที่

4.2 การทดลองที่การไหลแบบเทอร์บิวเลนท์

4.2.1 ปิดวาล์วทางเข้ากระบอกเก็บน้ำ

4.2.2 เปิดวาล์ว 1 และปิดวาล์ว 2

4.2.3 เปิดวาล์วปล่อยน้ำ

4.2.4 เปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มทำงาน หลังจากนั้นทำการไล่อากาศออกจากมานอมิเตอร์จนหมด

4.2.5 ปิดวาล์วปล่อยน้ำ

4.2.6 เปิดวาล์วปล่อยน้ำเป็นมุม 50 องศา

4.2.7 นำบิกเกอร์มาตวงที่วาล์วปล่อยน้ำพร้อมกับเริ่มจับเวลา เมื่อตวงปริมาตรน้ำได้เท่ากับ 400 ml ให้หยุดเวลาและบันทึกเวลาที่ได้ลงในตารางบันทึกผล

4.2.8 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4.2.6 ถึงขั้นตอนที่ 4.2.7 โดยเปิดวาล์วปล่อยน้ำเป็นมุม 60 องศา , 70 องศา , 80 องศา , 90 องศา , และ 100 องศา ตามลำดับ

4.2.9 ปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มหยุดทำงาน ทำความสะอาดอุปกรณ์และเก็บให้เข้าที่

5. ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการไหลแบบลามินาร์

ตำแหน่งวาล์วปล่อยน้ำ (องศา)	ปริมาตรที่ตวง (ml)	เวลาที่ใช้ (s)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็ว (m/s)	R_e	f
50	200					
60	200					
70	200					
80	200					
90	200					
100	200					

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองการไหลเทอร์บิวเลนท์

ตำแหน่งวาล์วปล่อยน้ำ (องศา)	ปริมาตรที่ตวง (ml)	เวลาที่ใช้ (s)	อัตราการไหล (m^3/s)	ความเร็ว (m/s)	R_e	f
50	400					
60	400					
70	400					
80	400					
90	400					
100	400					

6. การวิเคราะห์ผล

6.1 เขียนกราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของการไหลแบบลามินาร์ และเทอร์บิวเลนท์ ที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่างๆ

การทดลองที่ 4 Bernoulli's Theorem

1. วัตถุประสงค์

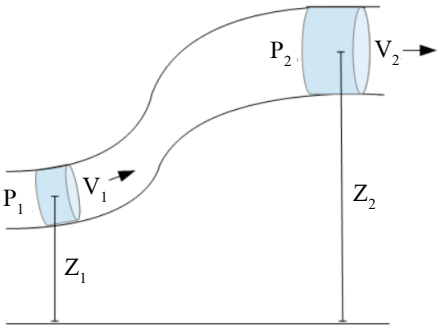
1.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีของ Bernoulli สำหรับของไหลอัดตัวไม่ได้

1.2 เพื่อศึกษาพลังงานการไหลของของไหลโดยใช้เส้น Hydraulic Grade Line และ Energy Grade Line

2. ทฤษฎี

2.1 สมการของ Bemoulli

ในกรณีที่การไหลเป็นแบบ Steady flow ของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ ของไหลไม่มีความเสียดทานจึงไม่มีการสูญเสียพลังงาน และไม่มีการให้พลังงานกับของไหลระหว่างตำแหน่ง 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 1.6 สามารถเขียนสมการพลังงานได้ดังสมการที่ 1.9



รูปที่ 1.6 Bernoulli's Theorem

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2 \qquad (1.9)$$

โดยที่

P_1 คือ ความดันของของไหล ณ ตำแหน่งที่ 1 (N/m^2)

P_2 คือ ความดันของของไหล ณ ตำแหน่งที่ 2 (N/m^2)

V_1 คือ ความเร็วของของไหล ณ ตำแหน่งที่ 1 (m/s)

V_2 คือ ความเร็วของของไหล ณ ตำแหน่งที่ 2 (m/s)

Z_1 คือ ระดับความสูงของตำแหน่งที่ 1 เทียบกับระดับอ้างอิง (m)

Z_2 คือ ระดับความสูงของตำแหน่งที่ 2 เทียบกับระดับอ้างอิง (m)

เทอมต่างๆ ในสมการที่ (1.9) มีหน่วยเป็นหน่วยของความยาว และมีชื่อเรียกเป็นพิเศษ ดังนี้

$\frac{P}{\gamma}$ เรียวว่า เฮดความดัน (Pressure head) แทนพลังงานความดันต่อน้ำหนักของของไหล

$\frac{V^2}{2g}$ เรียวว่า เฮดความเร็ว (Velocity head) แทนพลังงานจลน์ต่อน้ำหนักของของไหล

Z เรียวว่า เฮดระดับความสูง (Elevation head) แทนพลังงานศักย์ต่อน้ำหนักของของไหล

$\frac{P}{\gamma}+Z$ เรียวว่า เฮดสถิต (Static head) ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยใช้ไพโซมิเตอร์

หรือเรียกตามรูปของพลังงาน ได้ดังนี้

$\frac{P}{\gamma}+Z$ เรียกว่า Static Energy

$\frac{V^2}{2g}$ เรียกว่า Dynamic Energy

ผลรวมของเทอมทั้งสามในสมการที่ 1.9 นี้มีชื่อเรียกว่าเฮดรวม (Total head , h_{total}) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย H แสดงดังสมการที่ 1.10

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=H \qquad (1.10)$$

หรือ สามารถหาค่าเฮดรวมได้ โดยใช้หลักการของท่อปิโต (pitot tube) เมื่อทราบค่าเฮดรวมก็จะสามารถหาค่าเฮดความเร็วได้ดังสมการที่ 1.11

$$h_{dyn}=h_{tatal}-h_{stat} \qquad (1.11)$$

โดยที่

h_{dyn} คือ เฮดความเร็ว (m)

h_{tatal} คือ เฮดรวม (m)

h_{stat} คือ เฮดสถิต (m)

เมื่อทราบค่าเฮดความเร็ว ก็จะสามารถหาค่าความเร็วที่หน้าตัดใดๆ ได้ดังสมการที่ 1.12

$$V=\sqrt{2gh_{dyn}} \qquad (1.12)$$

หรือสามารถหาค่าความเร็วที่หน้าตัดใดๆ ได้โดยใช้หลักการการไหลแบบต่อเนื่อง ดังสมการที่ 1.13

$$V=\frac{Q}{A} \qquad (1.13)$$

โดยที่

V คือ ความเร็วที่หน้าตัดใดๆ (m/s)

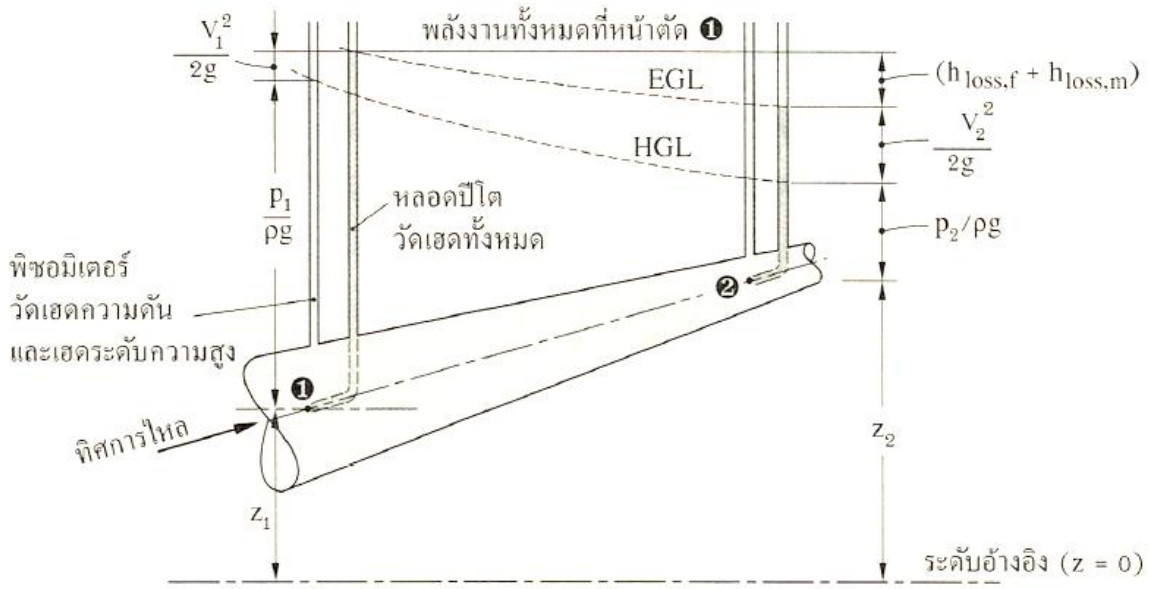
Q คือ อัตราการไหลที่หน้าตัดใดๆ (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัด ณ ตำแหน่งที่ต้องการหาค่าความเร็ว (m^2)

2.2 ENERGY GRADE LINE และ HYDRAULIC GRADE LINE

Energy grade line (E.G.L) คือ เส้นที่เขียนขึ้นเพื่อใช้แสดงค่าพลังงานรวมที่หน้าตัดต่างๆ ตามปกติแล้วเส้น E.G.L จะลาดลงไปตามทิศทางการไหลของของไหลเป็นผลเนื่องมาจากความเสียดทานในการไหล เว้นเสียแต่ว่าในการไหลนั้นไม่เกิดความเสียดทานหรือมีการเพิ่มพลังงานจากภายนอกให้กับของไหล

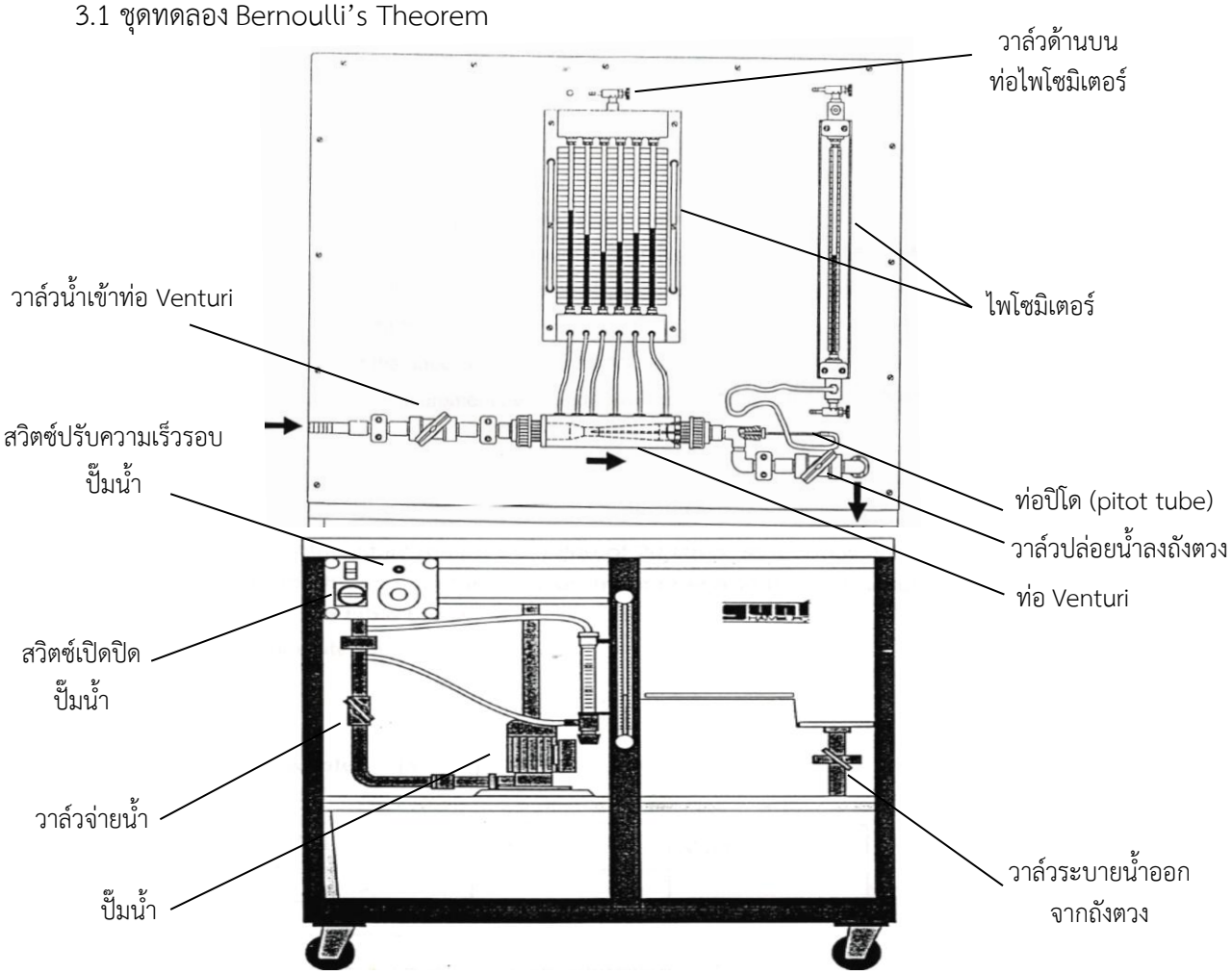
Hydraulic grade line (H.G.L) คือ เส้นที่อยู่ด้านล่างของเส้น E.G.L ความแตกต่างระหว่างเส้น E.G.L กับเส้น H.G.L ที่ตำแหน่งหน้าตัดใดๆ คือ ค่าเฮดความเร็วที่หน้าตัดนั้นๆ หรืออีกนัยหนึ่งเส้น H.G.L คือเส้นที่บ่งบอกค่า Static Energy นั้นเอง



รูปที่ 1.7 Energy grade line และ Hydraulic grade line

3. อุปกรณ์การทดลอง

3.1 ชุดทดลอง Bernoulli's Theorem



รูปที่ 1.8 ชุดทดลอง Bernoulli's Theorem

3.2 นาฬิกาจับเวลา

3.3 ท่อ Venturi ซึ่งมีรายละเอียดของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละตำแหน่ง ดังนี้

1) ตำแหน่งที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.4 mm
2) ตำแหน่งที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.5 mm
3) ตำแหน่งที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.0 mm
4) ตำแหน่งที่ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.2 mm
5) ตำแหน่งที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24.2 mm
6) ตำแหน่งที่ 6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.4 mm

4. ขั้นตอนการทดลอง

4.1 เปิดวาล์วน้ำเข้าท่อ Venturi และเปิดวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวง

4.2 เปิดวาล์วจ่ายน้ำประมาณ 45 องศา

4.3 เปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวง

4.4 เปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มทำงาน และปรับความเร็วรอบของปั๊มน้ำเต็มที่

4.5 เปิดวาล์วด้านบนท่อไพโซมิเตอร์เพื่อไล่อากาศออก หากอากาศออกไม่หมดอาจจะปิดวาล์วปล่อยน้ำลงถังตวงช่วยได้

4.6 ปรับวาล์วจ่ายน้ำเพื่อให้ระดับน้ำในไพโซมิเตอร์อยู่ในระดับต่ำ (อัตราการไหลต่ำ)

4.7 ปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวงพร้อมเริ่มจับเวลา

4.8 บันทึกระดับน้ำในไพโซมิเตอร์แต่ละตำแหน่ง

4.9 บันทึกเวลาเมื่อน้ำในถังตวงมีปริมาตรเท่ากับ 20 ลิตร

4.10 เปิดวาล์วระบายน้ำออกจากถังตวงจนหมด

4.11 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4.6 ถึงขั้นตอนที่ 4.10 โดยปรับวาล์วจ่ายน้ำเพื่อให้ระดับน้ำในไพโซมิเตอร์อยู่ในระดับกลาง และระดับสูง ตามลำดับ

4.12 ปิดสวิตซ์เพื่อให้ปั๊มหยุดทำงาน ทำความสะอาดอุปกรณ์และเก็บให้เข้าที่

5. ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลอง Bernoulli's Theorem

ระดับอัตราการไหล	ค่าที่วัด	ตำแหน่งของท่อ Venturi					
		1	2	3	4	5	6
ต่ำ	ระดับน้ำในไพโซมิเตอร์ (mm)						
	ปริมาตรที่ตวง (ml)						
	เวลาที่ใช้ (s)						
ปานกลาง	ระดับน้ำในไพโซมิเตอร์ (mm)						
	ปริมาตรที่ตวง (ml)						
	เวลาที่ใช้ (s)						
สูง	ระดับน้ำในไพโซมิเตอร์ (mm)						
	ปริมาตรที่ตวง (ml)						
	เวลาที่ใช้ (s)						

ตารางที่ 5.2 การประมวลผลการทดลอง Bernoulli's Theorem

ระดับอัตราการไหล	ค่าที่วัด	ตำแหน่งของท่อ Venturi					
		1	2	3	4	5	6
ต่ำ	h_{stat} (m)						
	V (m/s)						
	h_{dyn} (m)						
	h_{total} (m)						
ปานกลาง	h_{stat} (m)						
	V (m/s)						
	h_{dyn} (m)						
	h_{total} (m)						
สูง	h_{stat} (m)						
	V (m/s)						
	h_{dyn} (m)						
	h_{total} (m)						

6. การวิเคราะห์ผล

6.1 เขียนกราฟความเร็วเทียบกับตำแหน่งของท่อ Venturi

6.2 เขียนกราฟ Energy grade line และ Hydraulic grade line เทียบกับตำแหน่งของท่อ Venturi