

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอน

การทดลองทางชลศาสตร์

APPLYING OF COMPUTER TO USE IN STUDYING

HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY



ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหม
เลขทะเบียน	36779
วัน, เดือน, ปี	28 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ถ้ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกครั้งให้มีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLYING OF COMPUTER TO USE IN STUDYING
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY

BY
MR. CHAINARONG PHANBAMRUNG
MR. TEERAPORN YUKTANAPONPHAN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ คุณความดีขอมอบให้แก่บุคคลผู้ให้ความอนุเคราะห์ ตลอดจนแนะนำในด้านต่าง ๆ ต่อผู้จัดทำดังนี้

อาจารย์ ดร. สกฤต ห่อวโนทยาน

- อาจารย์ที่ปรึกษาและให้คำชี้แนะในการทำโครงการ

อาจารย์ อุษะ ศิริแก้ว

อาจารย์ แผลมทอง เหล่าคงถาวร

- อาจารย์ผู้ให้ความรู้และความสะดวกในเรื่องของอุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ
คณะเจ้าหน้าที่ประจำ SHOP

- ผู้ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ประกอบโครงการต่าง ๆ
คณะ เพื่อน ๆ

- ให้ความร่วมมือในเรื่องของความรู้เกี่ยวกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ
- ให้ความร่วมมือในเรื่องของการจัดหาอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ
- ให้ความร่วมมือด้านกำลังกายในการจัดทำโครงการ

ตลอดจนผู้ให้ความร่วมมือทุกท่าน และที่ขาดเสียมิได้คือบุคลากรผู้ให้ความช่วยเหลือในด้านการเงินและกำลังใจด้วยดีตลอดมา

นายชัยณรงค์ พันธุ์บำรุง

นายธีรพร บุคธนพงษ์พันธ์

ผู้จัดทำ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างสื่อประกอบการเรียน
การสอนวิชาการทดลองทางชลศาสตร์

นักศึกษา นายชัยณรงค์ พันธุ์บำรุง รหัสประจำตัว 39014121

นายธีรพร ยุทธนพงษ์พันธ์ รหัสประจำตัว 39014233

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สกฤต ห่อวโนทยาน

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ

ลายมือชื่อ

อาจารย์ สุพจน์

ศรีนิต

อาจารย์ สุวัฒน์

กฤษเศรษฐ์

อาจารย์ สมเกียรติ

ขวัญพฤษณ์

อาจารย์ สกฤต

ห่อวโนทยาน

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

Prof. Dr. Sukrit Hovanayarn

()

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างสื่อประกอบการเรียน
การสอนวิชาการทดลองทางชลศาสตร์

APPLYING OF COMPUTER TO USE IN STUDYING
THE LABORATORY HYDRAULIC ENGINEERING

นักศึกษา นายชัยณรงค์ พันธุ์บำรุง

นายธีรพร ยุคชนพงษ์พันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สกฤต ห่อวโนทยาน

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

พ.ศ. 2543

บทคัดย่อ

การเรียนการสอนในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังเป็นการสอนในห้องเรียน โดยยังคงใช้อาจารย์เป็นผู้สอนอยู่ ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่ในหลาย ๆ ด้าน อาทิเช่น ด้านเวลา ความสะดวก และการดึงดูดความสนใจในการเรียน เป็นต้น ประกอบกับในขณะนี้คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวันของเรา ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการทำงานต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งในเรื่องของการเรียนการศึกษา ดังนั้นทางคณะผู้ทำจึงได้นำคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้โดยสร้างเป็นสื่อประกอบการเรียนการสอน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้ยังเป็นการยกระดับมาตรฐานการศึกษาของทางภาควิชาให้มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

สำหรับสื่อประกอบการเรียนการสอนที่จัดทำขึ้นนี้จะเกี่ยวกับการทดลองทางชลศาสตร์ (HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY) โดยส่วนประกอบจะกล่าวถึงจุดประสงค์ การทดลอง ทฤษฎีบท อุปกรณ์การทดลอง และวิธีการทดลองพร้อมภาพประกอบ นอกจากนี้ยังแสดงผลการทดลองในรูปแบบของตาราง ซึ่งสามารถป้อนข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองลงไปได้และจะแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟโดยอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกแก่ผู้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : APPLYING OF COMPUTER TO USE IN STUDYING
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY

Name : MR. CHAINARONG PHANBAMRUNG
MR. TEERAPORN YUKTANAPONGPHAN

Field : CONSTRUCTION ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : SAKUL HOVANOTAYAN

ABSTRACT

Nowadays, the same old teaching style, which is studying in the class and listening to the lecturer, seems not to have enough efficiency and attraction to the students meanwhile the PC computer has more role in our daily lives and every single businesses including the education.

After considering in any kinds of the special projects, it seems to us that we could make use of the PC computer to help the lecturer in teaching the students.

In our project, we mainly focus in Hydraulic Engineering Laboratory. Because we found that a lot of Thai students have problems in studying Laboratory and somehow some students seem not to know how the experiments work even worse they don't know how to operate the experiments, which makes them don't do the experiments. In our project, we apply Authorware Version 5.0 to make a teaching program. In our program, we have 19 experiments and in each experiments, we contain the objective, the theory, how to operate, the picture and we provide the data table and the interpreting data program.

With all our efforts, we tried to make our Hydraulic Laboratory teaching program to be attractive to any other students and to any others who might have an interest in Hydraulic Engineering Laboratory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	ไวยินยันโครงการพิเศษ	ข
	หน้าอำนวยการ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	สารบัญ	ฉ
	สารบัญตารางประกอบ	ณ
	สารบัญรูปประกอบ	ญ
1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการพิเศษ	1
	1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษ	1
	1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	1
	1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการทำโครงการพิเศษ	2
	1.6 ผลการศึกษาที่ได้รับ	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์ (ทฤษฎี)	3
	2.1 โต๊ะชลศาสตร์ (Hydraulic Bench)	3
	2.2 ความดันสถิตย (Hydrostatic Pressure)	5
	2.3 การหาความสูงเมตตาเซนตริก (Metacentric Height)	11
	2.4 การไหลผ่านรูคอด (Flow through an orifice)	15
	2.5 ออร์ฟิชและสายน้ำที่พุ่งแบบอิสระ (Orifice and Free Jet Flow)	18
	2.6 แรงที่เกิดจากการพุ่งชนเป้าของสายน้ำ (Impact of A Jet)	21
	2.7 การศึกษาทฤษฎีของเบอนอลลี (Bernoulli 's Theorem)	26
	2.8 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flowmeter)	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9	การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ (Energy loss in Pipes)	33
2.10	การสูญเสียพลังงานการไหลในข้อต่อแบบต่างๆ (Energy loss in Bends)	37
2.11	การศึกษาทฤษฎีของ Osborne Reynold (Reynold 's Number)	39
2.12	การไหลผ่านน้เอช (Flow over Notch)	41
2.13	การไหลผ่านเวีย (Flow over Weirs)	44
2.14	การไหลในทางน้ำเปิด (Open channel flow)	47
2.15	การหมุนวนของน้ำแบบอิสระและแบบบังคับ (Free&Forced vortex flow)	50
2.16	การทดสอบเครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)	55
2.17	การทดสอบเครื่องกังหันน้ำ (Pelton Turbine)	57
2.18	การทดสอบการทำงานของปั๊มรูปหอยโข่ง (Centrifugal Pump)	59
2.19	การต่อปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน (Series and Parallel Pumps)	61
3	วิธีการติดตั้งโปรแกรมสื่อประกอบการเรียนการสอน	63
3.1	ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรม Authorware 5	63
3.2	ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมสื่อประกอบการเรียนการสอน	63
4	วิธีการใช้งานจากโปรแกรมเพื่อการศึกษาและการทดลอง	65
4.1	การเริ่มต้นการใช้งานจากสื่อประกอบการเรียนการสอน	65
4.2	โต๊ะชลศาสตร์ (Hydraulic Bench)	68
4.3	ความดันสถิตย์ (Hydrostatic Pressure)	71
4.4	การหาความสูงเมตตาเซนตริก (Metacentric Height)	78
4.5	การศึกษาทฤษฎีของเบอนอลลี (Bernoulli 's Theorem)	84
4.6	การไหลผ่านรูคอด (Flow through an orifice)	90
4.7	ออร์ฟิซและสายน้ำที่พุ่งแบบอิสระ (Orifice and Free Jet Flow)	95
4.8	แรงที่เกิดจากการพุ่งชนเป้าของสายน้ำ (Impact of A Jet)	100
4.9	เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flowmeter)	107
4.10	การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ (Energy loss in Pipes)	113
4.11	การสูญเสียพลังงานการไหลในข้อต่อแบบต่างๆ (Energy loss in Bends)	119
4.12	การศึกษาทฤษฎีของ Osborne Reynold (Reynold 's Number)	122
4.13	การไหลผ่านน้เอช (Flow over Notch)	126
4.14	การไหลผ่านเวีย (Flow over Weirs)	132
4.15	การไหลในทางน้ำเปิด (Open channel flow)	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.16	การหมุนวนของน้ำแบบอิสระและแบบบังคับ (Free&Forced vortex flow)	146
4.17	การทดสอบเครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)	154
4.18	การทดสอบเครื่องกังหันน้ำ (Pelton Turbine)	160
4.19	การทดสอบการทำงานของปั๊มรูปหอยโข่ง (Centrifugal Pump)	164
4.20	การต่อปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน (Series and Parallel Pumps)	168
5	วิธีการใช้งานจากโปรแกรมเพื่อทำการป้อนค่าของข้อมูลต่างๆ	173
5.1	ความดันสถิตย์ (Hydrostatic Pressure)	173
5.2	การหาความสูงเมตตาเซนตริก (Metacentric Height)	177
5.3	การศึกษาทฤษฎีของเบอนอลลี (Bernoulli 's Theorem)	182
5.4	การไหลผ่านรูคอด (Flow through an orifice)	185
5.5	ออริฟิซและสายน้ำที่พุ่งแบบอิสระ (Orifice and Free Jet Flow)	187
5.6	แรงที่เกิดจากการพุ่งชนเป้าของสายน้ำ (Impact of A Jet)	193
5.7	เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flowmeter)	199
5.8	การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ (Energy loss in Pipes)	203
5.9	การสูญเสียพลังงานการไหลในข้อต่อแบบต่างๆ (Energy loss in Bends)	206
5.10	การศึกษาทฤษฎีของ Osborne Reynold (Reynold 's Number)	208
5.11	การไหลผ่านน็อช (Flow over Notch)	210
5.12	การไหลผ่านเวีย (Flow over Weirs)	215
5.13	การไหลในทางน้ำเปิด (Open channel flow)	220
5.14	การหมุนวนของน้ำแบบอิสระและแบบบังคับ (Free&Forced vortex flow)	224
5.15	การทดสอบเครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)	228
5.16	การทดสอบเครื่องกังหันน้ำ (Pelton Turbine)	230
5.17	การทดสอบการทำงานของปั๊มรูปหอยโข่ง (Centrifugal Pump)	232
5.18	การต่อปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน (Series and Parallel Pumps)	234
	สรุปผลการทำโครงการพิเศษและข้อเสนอแนะ	238
	ภาคผนวก	239
	บรรณานุกรม	249

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.1	ความดันสถิตย์ (Hydrostatic Pressure)	239
ผ.2	การศึกษาทฤษฎีของเบอนอลลี (Bernoulli 's Theorem)	239
ผ.3	การหาความสูงมีตาศูนย์ก (Metacentric Height)	240
ผ.4	การไหลผ่านรูคอด (Flow through an orifice)	240
ผ.5	ออริฟิซและสายน้ำที่พุ่งแบบอิสระ (Orifice and free jet flow)	241
ผ.6	แรงที่เกิดจากการพุ่งชนของสายน้ำ (Impact of A Jet)	241
ผ.7	เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flowmeter)	242
ผ.8	การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ (Energy loss in Pipes)	242
ผ.9	การสูญเสียพลังงานการไหลในข้อต่อแบบต่างๆ (Energy loss in Bends)	243
ผ.10	การศึกษาทฤษฎีของ Osborne Reynold (Reynold 's Number)	243
ผ.11	การไหลผ่านน้ือช (Flow over Notch)	244
ผ.12	การไหลผ่านเวีย (Flow over Weirs)	244
ผ.13	การทดสอบการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)	245
ผ.14	การทดสอบการทำงานของเครื่องกังหันน้ำ (Pelton Turbine)	245
ผ.15	การทดสอบการทำงานของปั๊มรูปหอยโข่ง (Centrifugal Pump)	246
ผ.16	การต่อปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน (Series and Parallel Pumps)	246
ผ.17	การหมุนวนแบบอิสระและแบบบังคับ (Free and forced vortex flow)	247
ผ.18	การไหลในทางน้ำเปิด (Open channel flow)	248

สารบัญญรูปประกอบ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.2.1	การเปลี่ยนแปลงความดันของของไหลตามความลึก	5
2.2.2	แรงดันของของไหลสถิตย์ที่กระทำบนพื้นผิวที่จมอยู่ในของเหลว	6
2.2.3	อุปกรณ์ทดลองหาจุดศูนย์กลางของความดัน	8
2.3.1	แสดงรูปของเรื่อกกรณีที่เอียงไปเล็กน้อยเป็นมุม $d\theta$	11
2.3.2	แสดงการหาจุดศูนย์กลางของเรือ (C.G.)	13
2.4.1	แสดงการไหลของน้ำผ่านรูลอด	15
2.5.1	แสดงการเคลื่อนที่ของสายน้ำ (Jet Trajectory)	18
2.6.1	แสดงเส้นสตรีมไลน์ของสายน้ำ	21
2.6.2	แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำเมื่อพุ่งชนเป้าหมาย Flat target (90°)	22
2.6.3	แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำเมื่อพุ่งชนเป้าหมาย 120° target	23
2.6.4	แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำเมื่อพุ่งชนเป้าหมาย Hemispherical target 180°	24
2.6.5	แสดงชุดทดลองของ Impact of A Jet	24
2.7.1	แสดงชุดทดลองของการศึกษาทฤษฎีเบอนอลลี (Bernoulli)	26
2.8.1	แสดงชุดเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Venturi meter	29
2.8.2	แสดงชุดเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Orifice meter	30
2.9.1	แสดงชุดทดลองการสูญเสียพลังงานการไหลแบบ Differential Manometer	33
2.9.2	แสดงชุดทดลองการสูญเสียพลังงานการไหลแบบ Manometer ชนิดธรรมดา	34
2.12.1	แสดงการไหลของน้ำผ่านเนื้อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	41
2.12.2	แสดงการไหลของน้ำผ่านเนื้อรูปสามเหลี่ยมหรือรูปตัววี	42
2.13.1	แสดงการไหลของน้ำผ่าน Ogee Spillway	44
2.13.2	แสดงการไหลของน้ำผ่าน Broad – crested Weirs	45
2.14.1	แสดงรูปตัดของทางน้ำเปิด	47
2.14.2	แสดงเส้นลาดของพลังงานการไหลในทางน้ำเปิดและองค์ประกอบต่างๆ	48
2.15.1	แสดงการเปลี่ยนความดันตามแนวรัศมีในระนาบสตรีมไลน์ที่มีศูนย์กลางร่วมกัน	50
2.15.2	แสดงกราฟความดันรูปพาราโบลาที่เกิดจากการหมุนวนแบบบังคับของน้ำ	51
2.15.3	แสดงกราฟพลังงานรูปพาราโบลาที่เกิดจากการหมุนวนแบบบังคับของน้ำ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.4	แสดงรูปตัดผิวอิสระของผิวน้ำจากการหมุนวนแบบบังคับ	52
2.16.1	แสดงหลักการทำงานของ Hydraulic Ram	55
2.19.1	แสดงลักษณะการต่อปั๊มแบบอนุกรมพร้อมกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ H	61
2.19.2	แสดงลักษณะการต่อปั๊มแบบขนานพร้อมกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ H	62
4.1	ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Authorware 5	65
5.1	ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Excel	173



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเรียนการสอนในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังเป็นการสอนในห้องเรียน โดยยังคงใช้อาจารย์เป็นผู้สอนอยู่ ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่หลายด้าน อาทิเช่น ทางด้านเวลา ความสะดวก และการดึงดูดความสนใจในการสอน เป็นต้น ทางคณะผู้จัดทำจึงนำคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ประกอบการเรียนการสอน และคาดหวังว่าจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวให้หมดไป ในที่นี่จะมุ่งไปในด้านการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้สร้างสื่อประกอบการเรียนการสอนในรายวิชา Hydraulic Engineering Laboratory

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการพิเศษ

- 1) ใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชา Hydraulic Engineering Laboratory
- 2) เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการศึกษาวิชา Hydraulic Engineering Laboratory
- 3) ขกระดับการเรียนการสอนในวิชา Hydraulic Engineering Laboratory ให้มีความทันสมัยมากยิ่งขึ้น

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษ

เนื่องจากปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในทุกสาขาวิชาชีพ แม้กระทั่งการเรียนการสอนในปัจจุบันก็สามารถนำคอมพิวเตอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ได้ ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงเห็นถึงความสำคัญในการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอนซึ่งมุ่งประเด็นไปที่วิชา Hydraulic Engineering Laboratory โดยทางภาควิชาวิศวกรรมโยธาได้รับอุปกรณ์และเครื่องมือมาใหม่ ซึ่งคิดว่าจะประโยชน์ต่อส่วนรวมในเวลาต่อมา

ดังนั้นแนวความคิดตามหัวข้อโครงการพิเศษที่เสนอมานี้จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้การเรียนการสอนพัฒนาไปอีกระดับหนึ่ง ซึ่งมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก

1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1) ทราบถึงขั้นตอนการทดลองต่างๆใน Hydraulic Engineering Laboratory ว่ามีวิธีการทดลอง และวิธีการใช้อุปกรณ์การทดลองอย่างไร

- 2) ทราบถึงวิธีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอนวิชา Hydraulic Engineering Laboratory โดยใช้โปรแกรม Macromedia Authorware 5
- 3) ทำการวิเคราะห์และสรุปผลข้อมูลทั้งหมด

1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินการทำโครงการพิเศษ

- 1) รวบรวมและศึกษาคำว่าต่างๆ ตลอดจนเอกสารที่เกี่ยวข้องทางด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Hydraulic Engineering Laboratory
- 2) ศึกษาตำราที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรมเพื่อสร้างสื่อประกอบการเรียนการสอน
- 3) ติดต่อขอข้อมูลและเอกสารจากบริษัทเอกชน
- 4) ศึกษารายละเอียดจากสถานที่จริง
- 5) ทำการวิเคราะห์และสรุปข้อมูลทั้งหมด

1.6 ผลการศึกษาที่ได้รับ

- 1) ทราบถึงขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในรายวิชา Hydraulic Engineering Laboratory
- 2) สร้างความสะดวกมากยิ่งขึ้นในการศึกษาและการทดลองในรายวิชา Hydraulic Engineering Laboratory
- 3) เพื่อพัฒนาขีดความสามารถของสื่อการสอนในรายวิชา Hydraulic Engineering Laboratory ของภาควิชาวิศวกรรมโยธาให้มีความทันสมัยมากขึ้น
- 4) เป็นประโยชน์ต่อภาควิชาวิศวกรรมโยธาและนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน Hydraulic Engineering Laboratory

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์ (ทฤษฎี)

2.1 Hydraulics Bench

(โต้ะชลศาสตร์)

2.1.1 รายละเอียด [3]

โต้ะชลศาสตร์นี้เป็นโต้ะเอนกประสงค์สำหรับการทดลองหลายอย่างทางชลศาสตร์เพราะเป็นโต้ะจะ ส่งน้ำให้แก่ชุดทดลอง และรับน้ำจากชุดทดลองกลับ ส่วนประกอบสำคัญของโต้ะชลศาสตร์มีดังนี้

- 1) ถังเก็บน้ำสำหรับการทดลองขนาด 165 ลิตร โดยส่งน้ำเข้าและรับน้ำผ่านการทดลอง แล้ว ด้านล่างของถังมีท่อระบายน้ำทิ้งขนาด 1 นิ้ว
- 2) สูบน้ำหอยโข่งขนาด 1/2 แรงม้า สามารถส่งน้ำได้ถึง 30 ลิตรต่อนาที ณ หัวน้ำ 20 เมตร โดยมีสวิทช์ปิด-เปิดซึ่งตั้งกระแสสูงสุด ได้เพื่อป้องกันมอเตอร์ไหม้
- 3) มาตรวัดน้ำอัตราการไหล ซึ่งสามารถวัดได้ในช่วง 5-80 ลิตรต่อนาที
- 4) รางน้ำเปิดเป็นส่วนหนึ่งของฝาทโต้ะชลศาสตร์โดยขอบรางมีร่องตื้นสำหรับวางอุปกรณ์ทดสอบ ตัวรางจะมีขนาดกว้าง 25 ซม. น้ำจากสูบน้ำเมื่อผ่านมาตรวัดอัตราการไหลแล้วจะปล่อยเข้ารางนี้ เพื่อต่อไปใช้ที่ขนาด 3/4 นิ้ว น้ำที่ผ่านชุดทดลอง แล้วอาจต่อท่อให้ไหลกลับถึงเก็บข้อ 1) หรือปล่อย ลงรางแล้วไหลเข้าถังวัดปริมาตรก่อนลงถังเก็บอุปกรณ์ชุดนี้อาจใช้วัดอัตราการไหลของน้ำได้โดยน้ำที่ไหลเข้าสู่วางจะผ่านแผ่นกั้นพรุน ซึ่งจะลดการกระเพื่อมของน้ำ ปลายอีกข้างของรางติดแผ่นกั้นมีร่องบากตัววีหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าความสูง ของน้ำในร่องบากนี้จะเป็นเครื่องชี้อัตราการไหลได้ น้ำในรางนี้จะมีสเกลบอกระดับติดที่ด้านข้างของโต้ะ
- 5) ถังวัดปริมาตร น้ำจากรางจะไหลเข้าถังวัดปริมาตรซึ่งมี 2 ส่วน ส่วนล่างมีความสูงให้ใช้งาน 10 ซม. และมีความจุ 1 ลิตรต่อความสูง 1 ซม. รวมความจุ 10 ลิตร ส่วนบนมีความสูงให้ใช้งาน 15 ซม. และมีความจุ 3 ลิตรต่อความสูง 1 ซม. รวมความจุ 45 ลิตร ระดับน้ำในถังทั้งสองส่วนสามารถอ่านได้จากสเกลวัดระดับที่ติดอยู่ด้านข้าง ที่ฝาทโต้ะจะมีระดับน้ำ(ตาไก่) ทำให้สามารถปรับโต้ะให้อยู่ในแนวราบเพื่อความแม่นยำในการอ่านระดับน้ำในถังวัดปริมาตร

ในถังวัดปริมาตรจะมีวาล์วขนาด 2 นิ้ว เพื่อปล่อยน้ำลงถังเก็บด้านล่างและถ้ามีระดับน้ำในถังสูงกว่า 15 ซม. น้ำจะไหลออกทางท่อน้ำล้นและไหลลงเก็บถังด้านล่างเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 3. จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 วิธีการใช้ [3]

การใช้โตะชลศาสตร์ทำได้ง่ายๆดังนี้

- 1) เติมน้ำในถังเก็บจนเกือบเต็ม(ห่างขอบประมาณ 5 ซม.) หากสกปรกควรล้างออกก่อน
- 2) ปิดวาล์วทางออกของสูบแล้วเปิดสวิตช์น้ำดูว่าปั้มทำงาน (สูบน้ำออก)
- 3) ก้อยๆ เปิดวาล์วให้ได้อัตราการไหลที่ต้องการ โดยสังเกตจากมาตรวัดอัตราการไหล
- 4) ท่อน้ำจากโตะชลศาสตร์เข้าสู่ชุดทดลองจะเป็นขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว หากจำเป็นจะต้องใช้ท่อขนาดอื่นต้องใช้ชุดปรับขนาดท่อ (ADAPTER)
- 5) ในการจับเวลาเพื่อวัดอัตราการไหลโดยใช้ถังวัดปริมาตรควรทำดังนี้
 - (1) คอยให้น้ำจากการทดลองไหลเข้าถังวัดปริมาตรในอัตราคงที่แล้วปิดวาล์วระบายน้ำออกด้านล่าง ระดับน้ำในถังวัดค่อยๆสูงขึ้น
 - (2) เมื่อระดับน้ำขึ้นถึงระดับ “0” หรือระดับที่ต้องการแล้วให้เริ่มจับเวลาและเมื่อระดับน้ำขึ้นถึงระดับที่ต้องการให้หยุดจับเวลา การวัดระดับน้ำในถังด้านล่างและถึงบนให้ทำโดยวิธีเดียวกัน
- 6) เมื่อเลิกใช้ควรปล่อยน้ำออกจากถังเก็บให้หมดและหากถ้าเลิกใช้เป็นเวลาานควรปล่อยน้ำออกจากปั้มโดยคลายน๊อตที่ด้านล่างของปั้มเพื่อปล่อยน้ำที่ขังอยู่ออกแล้วขันตามเดิม

2.1.3 การระวังรักษา [3]

หากปั้มไม่หมุนออกจะเป็นเพราะใบพัดสนิมจับควรเปิดฝาดรอปด้านหลังมอเตอร์และใช้ไขควงเขี่ยมอเตอร์ให้หมุน

2.2 Hydrostatic Pressure

(ความดันสถิตย)

2.2.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [1]

- 1) เพื่อหาค่าแห่งจุดศูนย์กลางความดัน
- 2) เปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งของจุดศูนย์กลางความดันและจุดศูนย์กลางถ่วง

2.2.2 ทฤษฎี

เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับจุดศูนย์กลางความดันของของไหล กระทำต่อผิวที่จมอยู่ในของไหล มีทฤษฎีเบื้องต้นที่จะทำความเข้าใจต่อไปนี้

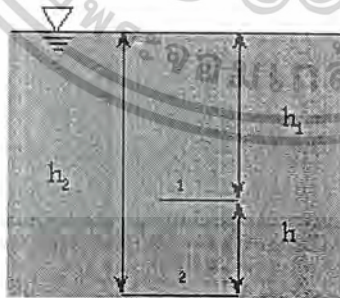
- 1) ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงความดันของของไหลตามความลึกซึ่งกล่าวไว้ว่า

“ ความดันของของไหล (ที่อยู่นิ่งหรือถูกพิจารณาว่าอยู่นิ่ง) จะเพิ่มขึ้นตามความลึกที่วัดจากผิวของของไหล ” ซึ่งแสดงได้โดยสมการ

$$p = \rho gh \quad \dots\dots(1)$$

- เมื่อ
- P = ความดันของของไหล มีหน่วยเป็น นิวตัน/ม²
 - ρ = ความหนาแน่นของของไหล มีหน่วยเป็น กก./ม³
 - g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีหน่วยเป็น ม./วินาที²
 - h = ความลึกของของไหลที่วัดจากผิวของของไหล มีหน่วยเป็น เมตร

พิจารณาปริมาตรทรงกระบอกของของไหลซึ่งอยู่ในแนวตั้งและปริมาตรทรงกระบอกนี้จมอยู่ในของไหลสถิตย์ที่มีปริมาตรใหญ่มากตามรูปที่ 2.2.1



รูปที่ 2.2.1 การเปลี่ยนแปลงความดันของของไหลตามความลึก

จะได้ $P_2 - P_1 = \rho g(h_2 - h_1)$

แต่ $h = h_2 - h_1$

ดังนั้น $P_2 - P_1 = \rho gh$

หรือ $P_2 = P_1 + \rho gh$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเลือกให้จุดที่ (1) อยู่ที่ผิวของของไหล ดังนั้น P_1 จะเป็นความดันบรรยากาศ

ดังนั้น
$$P_2 = P_{atm} + \rho gh \quad \dots\dots\dots(2)$$

ถ้าพิจารณาโดยใช้ความดันเกจ (Gauge pressure) $P_{atm} = 0$

ดังนั้น
$$P_2 = \rho gh$$

2) ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันของของไหลสถิตย์ที่กระทำบนผิวที่จมอยู่ในของไหล “ขนาดของแรงดันทั้งหมดของของไหลสถิตย์ที่กระทำบนผิวที่จมอยู่ในของไหลมีค่าเท่ากับผลคูณของความดันที่จุดศูนย์กลาง (Centroid) ของพื้นที่ผิวนั้น ” ซึ่งแสดงโดยสมการ

$$F = \rho ghA \quad \dots\dots\dots(3)$$

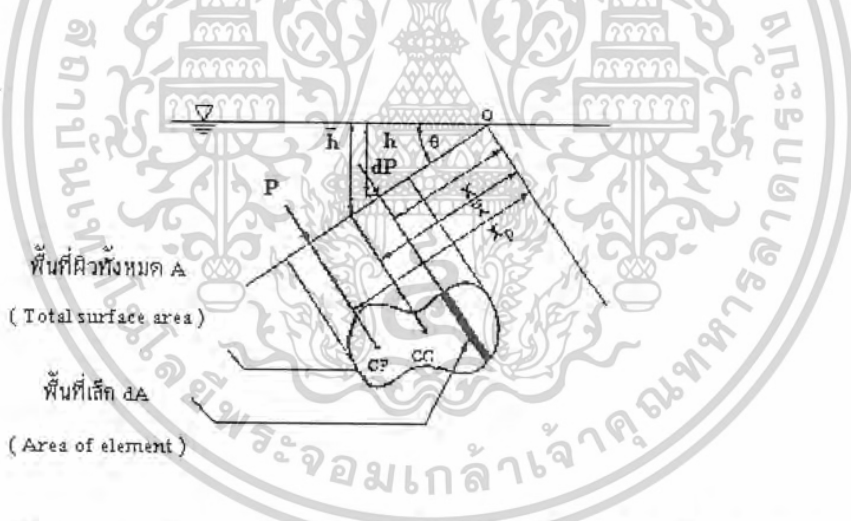
เมื่อ $F =$ แรงดันทั้งหมดของของไหลสถิตย์ มีหน่วยเป็น นิวตัน

$h =$ ความลึกของของไหลที่วัดจากผิวของของไหลถึงจุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิว มีหน่วยเป็นเมตร

$A =$ พื้นที่ผิวที่จมอยู่ในของไหล มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

ρ และ g เป็นเช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ในสมการที่ (1)

พิจารณาผิวเรียบซึ่งมีพื้นที่ผิวเท่ากับ A วางเอียงทำมุม θ กับผิวหน้าอิสระของของไหลดังแสดงในรูปที่ 2.2.2



รูปที่ 2.2.2 แรงดันของของไหลสถิตย์ที่กระทำบนพื้นผิวที่จมอยู่ในของเหลว จากรูปความดันที่กระทำต่อพื้นที่เล็กๆ dA ซึ่งอยู่ลึกจากผิวของของไหลเท่ากับ h มีค่าเท่ากับ

$$P = \rho gh$$

แรงดันที่กระทำต่อพื้นที่เล็กๆ นี้มีค่า

$$dF = PdA = \rho gh dA$$

แต่
$$h = X \sin \theta$$

ดังนั้น $dF = \rho g X \sin\theta dA$ (4)

โดยการอินทิเกรตสมการ (4) จะได้

$$F = \int_0^A dF = \int_0^A \rho g \sin\theta X dA$$

$$= \rho g \sin\theta \int_0^A X dA$$

เพราะว่า $\int_0^A X dA = \bar{X} A$

\bar{X} คือระยะจากจุด 0 ถึงจุดศูนย์กลางของพื้นที่

ดังนั้น $F = \rho g \sin\theta A \bar{X}$ (5)

จากความสัมพันธ์ระหว่าง h และ X ในรูปที่ 2.2.2

$$\bar{h} = \bar{X} \sin\theta$$

ดังนั้น $F = \rho g \bar{h} A$

3) การหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางความดัน (Center of Pressure ; CP)

เนื่องจากไม่มีแรงเฉือน แรงดันที่เกิดจากของไหลสถิตย์กระทำบนผิวใดๆ จะมีทิศทางตั้งฉากกับ

ผิวนั้น

เพราะฉะนั้นโมเมนต์ของแรงดัน dF รอบจุด O จะเป็น

$$dM = X dF$$

$$= \rho g h X dA$$

แต่ $h = X \sin\theta$

ดังนั้น $dM = \rho g \sin\theta X^2 dA$

ฉะนั้น $M = \int_0^A dM = \int_0^A \rho g X^2 \sin\theta dA$

$$= \rho g \sin\theta \int_0^A X^2 dA$$

เพราะว่า $\int_0^A X^2 dA = I_0$

= โมเมนต์ที่สองของพื้นที่รอบจุด O

ดังนั้น $M = \rho g \sin\theta I_0$ (6)

เมื่อ $M =$ โมเมนต์ทั้งหมดของแรงดันรอบจุด O

$$= F X_p \quad (\text{ดูรูปที่ 2.2.2})$$

เพราะฉะนั้นจะได้ $F X_p = \rho g I_0 \sin\theta$

จากสมการ(5) $F = \rho g A \bar{X} \sin\theta$

ดังนั้น $\rho g A \bar{X} X_p \sin\theta = \rho g I_0 \sin\theta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลคือ
$$X_p = \frac{I_o}{AX} \dots\dots\dots(7)$$

จากทฤษฎีของแกนขนาน (Parallel Axis Theorem) จะได้

$$I_o = I_{CG} + A\bar{X}^2$$

ดังนั้น
$$X_p = \frac{I_{CG} + A\bar{X}^2}{AX}$$

หรือ
$$X_p = \bar{X} + \frac{I_{CG}}{AX} \dots\dots\dots(8)$$

เมื่อ

X_p = ระยะจากจุด O ตามแนวเอียงถึงจุดศูนย์กลางของความดัน (CP) มีหน่วยเป็นเมตร

\bar{X} = ระยะจากจุด O ตามแนวเอียงถึงจุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิว A มีหน่วยเป็นเมตร

I_{CG} = โมเมนต์ที่สองของพื้นที่ A รอบจุดศูนย์กลาง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจุดศูนย์กลางของความดันจะอยู่ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิวเสมอ
 หนึ่งค่า I_{CG} ของพื้นที่รูปร่างต่างๆกันนั้น จะหาได้จากหนังสือกลศาสตร์ของไหล และ
 กลศาสตร์ของแข็งทั่วไป

2.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

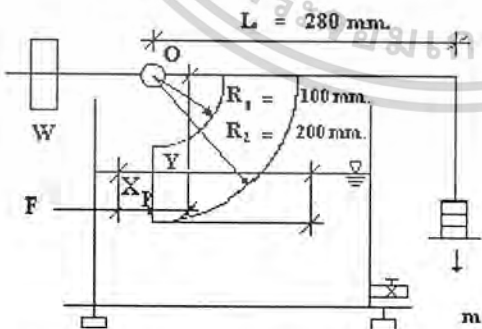
อุปกรณ์สำหรับทดลองหาจุดศูนย์กลางความดัน

พื้นที่ผิวที่จะทดลองหาจุดศูนย์กลางความดันจะอยู่ในแนวตั้งหรือ $\theta = 90$ องศา

พื้นที่ผิวนี้นี้มีขนาดกว้าง 75 มม. สูง 100 มม.

ผิวทรงกระบอกกลวง $\frac{1}{4}$ ของวงกลมรัศมีภายใน 100 มม. รัศมีภายนอก 200 มม.

คานามีจุดหมุนอยู่ที่ O ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของทรงกระบอกกลวง



รูปที่ 2.2.3 อุปกรณ์ทดลองหาจุดศูนย์กลางของความดัน

ขณะไม่มีน้ำในถังน้ำหนัก W ซึ่งปรับระยะจากจุดหมุน O ได้จะถูกปรับให้ถ่วงน้ำหนัก
 ถังน้ำหนักของคานาและท่อนทรงกระบอกให้คานาอยู่ในแนวราบโดยไม่ต้องมีน้ำหนัก m มาถ่วงที่
 ปลายคานา ฉะนั้นน้ำหนัก W จะไม่มีผลต่อการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเติมน้ำเข้าถังแรงดันของน้ำจะยกท่อนทรงกระบอกให้ลอยซึ่งน้ำหนัก m จะถ่วงให้คานอยู่ในแนวราบ น้ำหนัก m นี้จะอยู่ที่ระยะ 280 มม. จากจุดหมุน O

ฉะนั้นคานอยู่ในสภาวะสมดุลย์แรงหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะเท่ากับแรงหมุนตามเข็มนาฬิกา

$$FY = mgL$$

$$Y = \frac{mgL}{F} \dots\dots\dots(9)$$

ขณะเดียวกัน $Y = X_p + (R_1 - h_1)$

เพราะฉะนั้น $X_p = Y - R_1 + h_1 \dots\dots\dots(10)$

2.2.4 วิธีการคำนวณ [3]

1) กรณีของเหลวท่วมผิวความดัน

จุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิว = จุดศูนย์กลางของพื้นที่ (75)(100) มม.

จากสมการที่ 3

$$F = \rho g \bar{h} A$$

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ = 1000 กก./ม³

g = อัตราเร่งของแรงดึงดูดของโลก = 9.81 ม./วินาที²

\bar{h} = ความลึกของของไหลที่วัดจากผิวของของเหลวถึงจุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิว

$$= \frac{(h_1 + h_1 + 100)}{2} = h_1 + 50 \times 10^{-3}$$

A = พื้นที่ผิวที่จมอยู่ในของเหลว = (75)(100)(10⁻⁶ ม²)

$$F = (1000 \text{ กก./ม}^3)(9.81 \text{ ม./วินาที}^2)(h_1 + 50)(10^{-3} \text{ ม.})(7500)(10^{-6} \text{ ม}^2)$$

$$= 9.81 (h_1 + 50) (75) (10^{-4} \text{ กก-ม./วินาที}^2) = \text{นิวตัน}$$

จากสมการ $\bar{X} = \bar{h} \sin\theta = \bar{h}$ ($\theta = 90^\circ$)

$$I_{CG} = \frac{BH^3}{12} = \frac{(75)(100^3)}{12} \text{ มม.}^4$$

$$\frac{I_{CG}}{AX} = \frac{(75)(100^3)}{(12)(75)(100)(h_1 + 50)}$$

X_p ทฤษฎี = $\bar{X} + \frac{I_{CG}}{AX}$

$$= (h_1 + 50) + \frac{(75)(100^3)}{(12)(75)(100)(h_1 + 50)}$$

จากสมการที่ (11) X_p ทดลอง = $Y - R_1 + h_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 X_p \text{ ทดลอง} &= \frac{mgL}{F} - R_1 + h_1 \\
 &= \frac{mgL}{\rho ghA} - 100 + h_1 \\
 &= \frac{mL}{\rho hA} - 100 + h_1 \\
 X_p &= \frac{mL}{\rho(h_1 + 50)A} - 100 + h_1
 \end{aligned}$$

m และ h_1 ได้จากการทดลอง

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1000 \text{ กก./ม}^3 \\
 L &= 280 \text{ มม.} \\
 A &= (75)(100 \text{ มม.}^2) = (75)(100)(10^{-6} \text{ ม}^2)
 \end{aligned}$$

2) กรณีของเหลวไม่ท่วมพื้นที่ผิวความดัน

$$\begin{aligned}
 \bar{h} &= \frac{h_2}{2} = \bar{X} \\
 A &= (h_2)(75 \text{ มม.}^2) \\
 I_{CG} &= \frac{(75)(h_2^3)}{12} \\
 R_2 &= Y + (h_2 - X_p) \\
 X_p \text{ ทดลอง} &= Y - R_2 + h_2 \\
 R_2 &= 200 \text{ มม.} \\
 Y &= \frac{mgL}{F} = \frac{mgL}{\rho ghA} = \frac{2mL}{\rho h_2 A} \\
 \text{ดังนั้น } X_p \text{ ทดลอง} &= \frac{2mL}{\rho h_2 A} - 200 + h_2
 \end{aligned}$$

2.2.5 วิธีการทดลอง [3]

- 1) ปรับให้อุปกรณ์อยู่ในแนวราบโดยดูจากระดับน้ำที่พื้นตั้ง ปรับระยะของน้ำหนักถ่วงที่ W ให้คานอยู่ในแนวราบเมื่อไม่มีน้ำในถัง และไม่มีน้ำหนักถ่วงที่ m
- 2) เพิ่มน้ำหนักที่ m 100 กรัมและปล่อยน้ำเข้าถังทางด้านท่อเติมน้ำจนกระทั่งคานอยู่ในแนวราบ (สมดุล) แล้วบันทึกระดับของน้ำไว้ตามสเกลที่ข้างหุ่นทรงกระบอกกลาง
- 3) เพิ่มน้ำหนักเข้าไปครั้งละ 100 กรัม และบันทึกระดับน้ำเช่นเดียวกับข้อ 2) จนกระทั่งระดับน้ำเกือบเต็มถัง

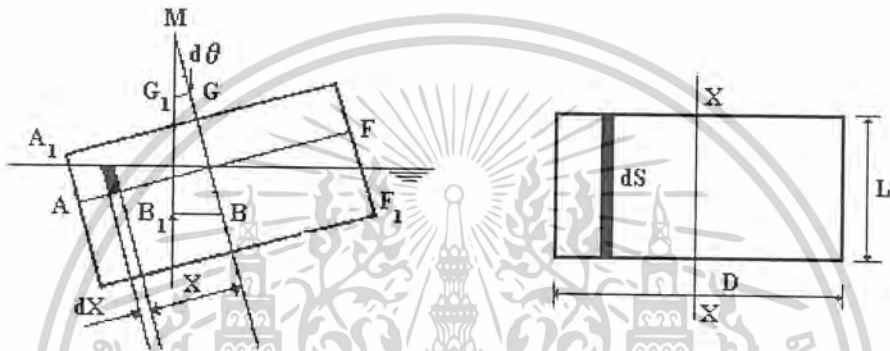
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข 10 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การหาความสูงเมตตาเซนตริก (Metacentric Height)

2.3.1 จุดประสงค์ [1]

เพื่อต้องการหาความสูงเมตตา (Metacentric Height) ของวัตถุที่ลอยอยู่ในของเหลวโดยวิธีการทดลอง และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณทางทฤษฎี

2.3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการทรงตัวของเรือ



รูปที่ 2.3.1

รูปที่ 2.3.1 เป็นรูปเรือที่ทรงตัวอยู่ในแนวราบ น้ำหนักของเรือจะกดลงผ่านจุด G ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางถ่วงของเรือ ขณะเดียวกันก็จะมีแรงพยุงของน้ำที่ถูกแทนที่ดันขึ้นผ่านจุด B ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางถ่วงของน้ำที่ถูกแทนที่ น้ำหนักของเรือและแรงพยุงของน้ำจะมีค่าเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับเสถียรภาพของเรือนี้ เราพิจารณากรณีที่เรือเอียงไปเล็กน้อยเป็นมุม $d\theta$ ตามรูปที่ 2.3.1

เมื่อเรือเอียงจุดศูนย์กลางถ่วงของน้ำหนักที่ถูกแทนที่จะย้ายจากจุด B ไปจุด B_1 และแนวแรงพยุง (แนวตั้ง) จะเคยไปตัดแนวเส้น BG ที่จุด M ซึ่งเราเรียกจุดนี้ว่าจุดศูนย์กลางเมตตา

แรงหมุนอันเกิดจากน้ำหนักของเรือผ่านจุด G และแรงพยุงผ่านจุด B จะทำให้เรือพยายามบิดกลับไปยังอยู่ในแนวราบทำให้เรือมีเสถียรภาพ แต่ถ้าจุด M อยู่ต่ำกว่าจุด G แรงหมุนจากน้ำหนักเรือผ่านจุด G และแรงพยุงผ่านจุด B จะทำให้เรือเอียงมากขึ้นทำให้เรือไร้เสถียรภาพ และถ้าจุด G และจุด M ทับกันพอดี เรือก็จะอยู่ในสภาพเป็นกลาง

จากรูปที่ 2.3.1 เราอาจทดลองหาระยะ GM ความสูงเมตตาเซนตริกได้โดยการเลื่อนน้ำหนักถ่วงตามแนวอนอนไปจากจุดศูนย์กลางถ่วง G ให้ ω เป็นน้ำหนักเลื่อนตามแนวอนอน และ W เป็นน้ำหนักของเรือทั้งหมด สมมุติว่า ω เลื่อนไปเป็นระยะ dX , จากแนวศูนย์กลางถ่วงเราจะได้จุดศูนย์กลางถ่วงของเรือ

เลื่อนไปในแนวนานกับพื้นเรือเป็นระยะเท่ากับ $\frac{\omega}{W} dX_1$ ซึ่งในขณะนั้นเรือจะทรงตัวนิ่งอยู่ในแนวเอียงเป็นมุม $d\theta$ กับแนวเดิม

$$\text{ฉะนั้นระยะ } GG_1 = \frac{\omega}{W} dX_1$$

$$\text{ขณะเดียวกัน } GG_1 = GM \tan d\theta$$

$$\text{ฉะนั้นเราจะได้ } \frac{\omega}{W} dX_1 = GM \tan d\theta$$

$$GM = \frac{\omega dX_1}{W d\theta}$$

เราสามารถวัดค่า $\frac{dX_1}{d\theta}$ ได้จากการทดลองและชั่งน้ำหนัก ω และ W ได้เราก็สามารถหาค่าความสูงเมตาเซนตริกได้

ในทางทฤษฎีสามารถหาระยะ BM ได้จากขนาดของเรือและปริมาตรของน้ำที่เรือเข้าแทนที่จากรูปที่ 2.3.1 แรงหมุนที่เกิดจากจุดศูนย์กลางของแรงพุงเลื่อนจากจุด B ไป B_1 จะได้จากแรงพุงที่เพิ่มขึ้นตามสามเหลี่ยม AA_1C และแรงพุงที่ลดลงตามสามเหลี่ยม CF_1F_2

แรงหมุนนี้คิดได้จาก ปริมาตรเล็กๆของเนื้อที่ที่ dS ในรูปที่ 2.3.1 มีความสูงเท่ากับ $X d\theta$ ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ $X dS d\theta$

$$\text{ฉะนั้นน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่} = g X dS d\theta$$

$$= \text{น้ำหนักจำเพาะของน้ำ}$$

$$\text{แรงหมุนของปริมาตรเล็กๆ นี้รอบจุด } B = \gamma X^2 dS d\theta$$

$$\text{ฉะนั้นแรงหมุนทั้งหมดรอบจุด } B = \int \gamma X^2 dS d\theta$$

$$= \gamma d\theta \int X^2 dS \quad \dots\dots\dots(1)$$

แต่ $\int X^2 dS = I =$ โมเมนต์ที่สองรอบแกนหมุน XX ตามรูปที่ 2.3.1

$$I = \frac{LD^3}{12}$$

ขณะเดียวกันแรงหมุนนี้เราอาจหาได้จากแรงพุงของน้ำคูณด้วยระยะทางเคลื่อนที่ไป

$$\text{ให้ } V = \text{ปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่}$$

$$\text{ดังนั้น แรงพุง} = \gamma V$$

$$\text{แรงหมุน} = \gamma VBB_1 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{ดังนั้น } \gamma VBB_1 = \gamma d\theta \int X^2 dS$$

แต่	BB_1	=	$BMd\theta$
ดังนั้น	$\gamma V BMd\theta$	=	$\gamma d\theta \int x^2 ds = \gamma d\theta I$
จะได้	BM	=	I/V

2.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดลองเพื่อหาความสูงเมตตา (Metacentric Height)
- 2) ชุด Hydraulic Bench (หรือภาชนะอื่นที่บรรจุน้ำได้)

2.3.4 วิธีการทดลอง [3], [4]

การทดลองดำเนินการดังนี้

- 1) ชั่งหรือบันทึกข้อมูลที่กำหนดให้ดังนี้

น้ำหนักรวมของเรือ $W = 2.804$ กก.

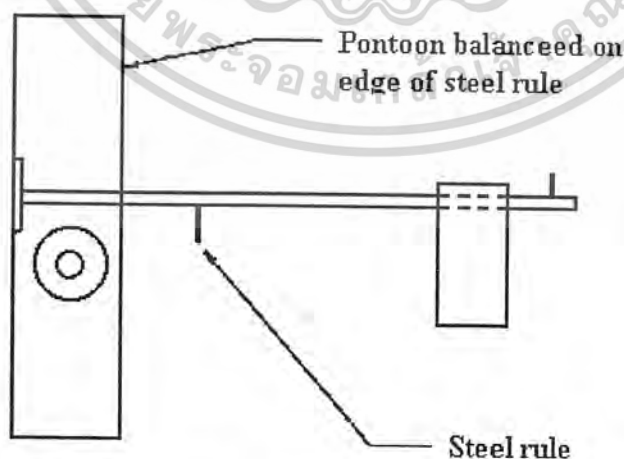
น้ำหนักเลื่อนตามแนวขวาง $w = 0.2$ กก.

น้ำหนักเลื่อนตามเสากระโดง $= 0.5$ กก.

ความกว้างของเรือ $D = 200$ มม.

ความยาวของเรือ $L = 300$ มม.

จุดศูนย์กลาง G ของเรือหาได้จากการตะแคงเรือโดยให้เสากระโดงเรือวางบนคมมีด หรือ สันไม้บรรทัดในรูปที่ 2.3.2 โดยเลื่อนน้ำหนักถ่วงในแนวตั้งออกไปให้พอเหมาะ และนำวงล้อวัดมุมเอียงไว้กับสเกลวัดมุมเอียง แล้วบันทึกระยะของน้ำหนักถ่วงบนเสากระโดง และระยะของจุด G จากท้องเรือด้านนอกไว้



รูป 2.3.2 แสดงการหาจุด C.G. ของเรือ (จุดศูนย์กลางถ่วงของเรือ)

หมายเหตุ : ระยะวัดนี้ควรนับจากท้องเรือด้านบน

2) เอาเรือลงลอยในอ่าง ตำแหน่งมุมเอียงควรเป็น 0 องศาเมื่อน้ำหนักเลื่อนตามแนวขวาง อยู่กึ่งกลางเรือ

3) เลื่อนน้ำหนักเลื่อนตามแนวขวาง ห่างออกไปจากจุดกึ่งกลาง แล้วบันทึกระยะห่างและมุมเอียงของเรือเอาไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของน้ำหนักเลื่อนตามแนวขวาง

4) เลื่อนตำแหน่งของน้ำหนักบนเสากระโดงและบันทึกตำแหน่งไว้แล้วทำข้อ 3) ซ้ำอีก

2.3.5 วิธีการคำนวณ [3]

$$I = \frac{LD^3}{12} = \frac{(360)(200)^3}{12} \text{ มม.}^4$$
$$= 2.4 \times 10^{-4} \text{ ม.}^4$$

ปริมาตรของน้ำที่ถูกเรือแทนที่ $V = \frac{W}{10^3} \text{ ม.}^3 = 2.804 \times 10^{-3} \text{ ม.}^3$

$$BM = \frac{I}{V} = \frac{2.4 \times 10^{-4}}{2.804 \times 10^{-3}} = 0.856 \text{ ม.} = 85.6 \text{ มม.}$$

เรือจะจมน้ำลึก $= \frac{V}{LD} = \frac{2.804 \times 10^{-3}}{0.36 \times 0.2} = 0.0389 \text{ ม.}$

ดังนั้น ความสูงของจุดศูนย์กลาง CB $= \frac{38.94}{2} = 19.45 \text{ มม.}$

ความสูงของจุดศูนย์กลางก้นคานเหนือผิวน้ำ, CM $= BM - CB$
 $= 85.6 - 19.45 = 66.15 \text{ มม.}$

เมื่อตะแคงเรือเพื่อหาจุดศูนย์กลาง ผลการวัดเป็นดังนี้

ระยะน้ำหนักถ่วงบนเสากระโดงห่างจากท้องเรือ $= Y_1 = 375 \text{ มม.}$

จุดศูนย์กลางถ่วงห่างจากท้องเรือ $= Y = 120 \text{ มม.}$

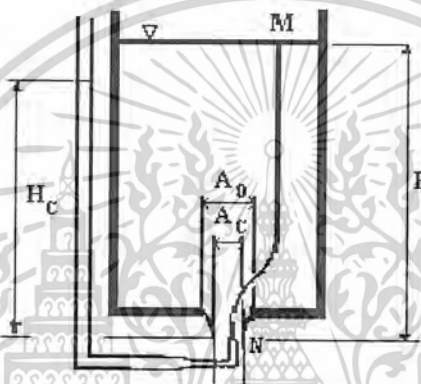
ซึ่งระยะ \bar{Y} จะเปลี่ยนไปตามระยะ Y_1

2.4 Flow through an orifice (การทดลองการไหลผ่านรูคอด)

2.4.1 จุดประสงค์ [1]

- 1) เพื่อหาสัมประสิทธิ์ของการลดขนาดและสัมประสิทธิ์ของความเร็วสำหรับออร์ฟิซชนิดต่างๆ
- 2) กำหนดหาสัมประสิทธิ์ของการไหลและสมการอัตราการไหลผ่านออร์ฟิซชนิดต่างๆ

2.4.2 ทฤษฎี



รูปที่ 2.4.1 แสดงการไหลของน้ำผ่านรูคอด

เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของถังโตกว่าของรูคอดมาก ความเร็วของน้ำที่ไหลในถังจะต่ำกว่ามาก เมื่อเทียบกับความเร็วที่รูคอดแต่ละค่อยๆ เพิ่มความเร็วขึ้นเมื่อเข้าใกล้รูคอด ตามเส้นทางโค้งของน้ำ MN ฉะนั้นเมื่อน้ำผ่านรูคอดแล้วจะมีลำเล็กลง โดยขนาดคอดสุดจะเริ่มที่ระยะครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางรูคอด การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลงนี้เรียกว่า VENA CONTRACTA

M = จุดบนผิวน้ำ

N = จุดที่ระดับของ VENA CONTRACTA

$$\text{หัวน้ำรวม ณ จุด } M \quad H_{TM} = \frac{V_M^2}{2g} + \frac{P_M}{\gamma} + Z_M$$

$$\text{หัวน้ำรวม ณ จุด } N \quad H_{TN} = \frac{V_N^2}{2g} + \frac{P_N}{\gamma} + Z_N$$

V = ความเร็วของน้ำไหล

P = ความดัน

Z = ระดับความสูงของน้ำ

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ

เนื่องจากการสูญเสียพลังงานระหว่าง M และ N มีน้อยมาก หัวรวมที่ M และ N ถือว่าเท่ากัน

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{V_M^2}{2g} + \frac{P_M}{\gamma} + Z_M = \frac{V_N^2}{2g} + \frac{P_N}{\gamma} + Z_N$$

$$P_M \text{ และ } P_N = \text{ความดันของบรรยากาศ}$$

$$V_M \text{ ถือว่าน้อยมาก} = 0$$

$$Z_M - Z_N = H_0$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{V_N^2}{2g} = H_0$$

เพื่อให้สอดคล้องกับ H_0 เราจะเรียกความเร็วของน้ำ ณ จุด N นี้ใหม่ว่า V_0 ซึ่งเป็นความเร็วทางทฤษฎี

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{V_0^2}{2g} = H_0$$

แต่เมื่อน้ำไหลผ่านรูคอดจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วน ความเร็วจริงของน้ำ ณ VENA CONTRACTA = V_c ซึ่งต่ำกว่า V_0

ความเร็ว V_c นี้วัดจากปากท่อปิดโดย $\frac{V_c^2}{2g} = H_0$ และ H_0 จะมีค่าน้อยกว่า H_0

$$\text{อัตราส่วน} \quad \frac{V_c}{V_0} = \sqrt{\frac{H_c}{H_0}} = C_v \quad \text{สัมประสิทธิ์ความเร็ว (COEFFICIENT OF VELOCITY)}$$

ทำนองเดียวกันให้ A_0 = พื้นที่หน้าตัดของรูคอด
 A_c = พื้นที่หน้าตัดของ VENA CONTRACTA

$$C_c = \frac{A_c}{A_0} \quad \text{สัมประสิทธิ์ของการหดตัว (COEFFICIENT OF CONTRACTION)}$$

และถ้าเราพิจารณาที่อัตราการไหลของน้ำผ่านรูคอดเราพบว่า

$$\text{อัตราการไหลตามทฤษฎี} = Q_0 = V_0 A_0 = A_0 \sqrt{2gH_0}$$

$$\text{อัตราการไหล} = Q_c = V_c A_c = A_c \sqrt{2gH_c}$$

เราได้สัมประสิทธิ์ของการไหล (COEFFICIENT OF DISCHARGE) C_D

$$\text{ดังนั้นเราจะได้} \quad C_D = C_v C_c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดลองของการไหลผ่านรูคอด (Flow through an orifice) ดังรูปที่ 2.4.1
- 2) ชุด Hydraulic Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา

2.4.4 วิธีการทดลอง [3] , [4]

การทดลองนี้เราจะแบ่งเป็น 2 ตอนแรกค่า C_D , C_v และ C_c ที่หัวน้ำ H_0 คงที่ และตอนที่ 2 หาค่าดังกล่าว ณ หัวน้ำ H_0 ต่างๆกัน โดยดำเนินการดังนี้

- 1) เอาชุดการทดลองวางบนโต๊ะชลศาสตร์และปรับระดับให้อยู่ในแนวระดับ
- 2) ต่อท่อระบายน้ำลงดังเก็บ และปรับระดับให้อยู่ในแนวระดับ
- 3) ปล่อน้ำเข้าถึงทดลอง โดยปรับท่อน้ำสั้นให้น้ำท่วมหัวกระจายน้ำเข้าเล็กน้อย และมีน้ำไหลออก ที่ท่อน้ำสั้นเล็กน้อย และรอนระดับน้ำคงที่
 - (3.1) การปรับระดับท่อน้ำสั้น ทำได้โดยการคลายฝากเกลียวยึดท่อน้ำสั้นได้ถึงเพื่อให้เลื่อนท่อน้ำสั้นขึ้นลงได้สะดวกเมื่อปรับระดับได้ที่แล้วให้ฝากเกลียวให้แน่นพอควรเพื่อกันน้ำรั่ว
 - (3.2) ควรเปิดวาล์วควบคุมการไหล ให้น้ำเพียงพอแก่การไหลผ่านอุปกรณ์ทดลอง และเหลือไหลออกทางท่อน้ำสั้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
 - (3.3) รอนจนกระทั่งระดับน้ำอยู่นิ่งก่อนทำการวัดซึ่งลำน้ำพุ่งออกให้และต่ำลงเป็นแนวคงที่
- 4) บันทึกระดับ H_0 และอัตราการไหลของน้ำผ่านถึงปริมาตร โดยการจับเวลา
- 5) ปรับสกรูให้หัวปีโตเคลื่อนผ่านทางน้ำและวัดค่า H_c ขณะเดียวกันวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำน้ำโดยใช้ลวดสกรูและบันทึกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไว้
- 6) ทดลองตอนที่ 2 โดยลดระดับน้ำในถังลง โดยคอยให้ระดับปรับตัวให้คงที่ และ บันทึกข้อมูลเช่นเดียวกับ 4) และ 5)
- 7) ทำข้อ 6) ซ้ำ ณ ระดับลดต่ำลงมาอีก 5-6 ระดับ

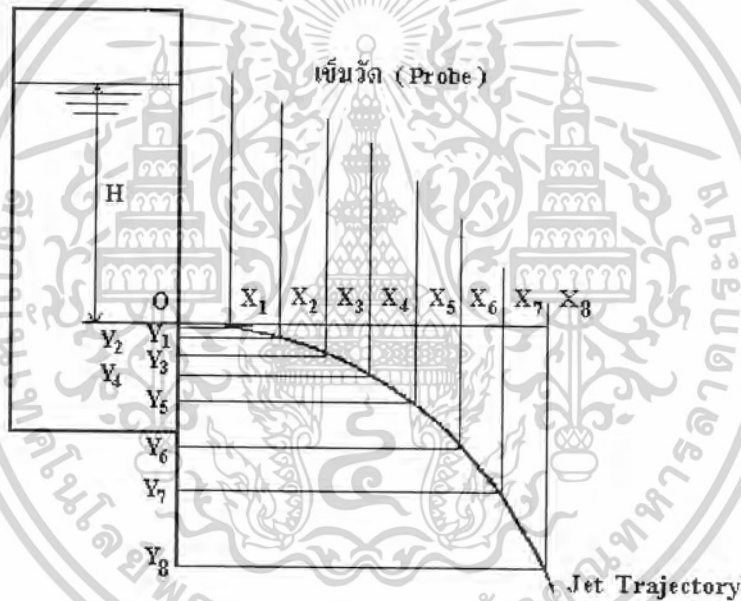
2.5 Orifice and Free Jet Flow (ออริฟิซและสายน้ำที่พุ่งแบบอิสระ)

2.5.1 จุดประสงค์ [5]

- 1) เพื่อหาสัมประสิทธิ์ของความเร็วยุ่สำหรับออริฟิซ (Orifice) ที่ตั้งอยู่ในแนวตั้ง
- 2) เพื่อหาสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านออริฟิซที่ตั้งอยู่ในแนวตั้ง และอยู่ภายใต้เฮดคงที่ (Constant Head)
- 3) เปรียบเทียบเส้นทางการเคลื่อนที่ของน้ำ (Jet Trajectory) ที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี

2.5.2 ทฤษฎี

- 1) สัมประสิทธิ์ของความเร็ว (COEFFICIENT OF VELOCITY)



รูปที่ 2.5.1 แสดงการเคลื่อนที่ของสายน้ำ (Jet Trajectory)

ที่ระดับความสูงของน้ำ H เหนือรูคอดความเร็วของน้ำตามแนวอนผ่านรูคอด คือ $\sqrt{2gH}$ เมื่อน้ำไหลผ่านรูคอดแล้วจะไหลด้วยความเร็ว 2 มิติ คือ ความเร็วตามแนวอนและแนวตั้ง หากถือว่าความต้านทานของอากาศมีค่าน้อยมาก V จะมีค่าคงที่

ขณะเดียวกันลำน้ำจะตกต่ำลงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกโดยเริ่มด้วยความเร็วในแนวตั้งเท่ากับ 0 ณ รูคอด

ให้ U เป็นความเร็วในแนวตั้ง

$$U = gt$$

$$t = \text{เวลาเป็นวินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 18. และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = \frac{1}{2} Ut = \frac{1}{2} gt^2$$

Y = ระยะทางในแนวดิ่ง

สำหรับการทดลองนี้ให้ลำน้ำสัมผัสกับปลายเข็ม ณ จุด 1,2,3,.....8 ตามลำดับ

ให้ระยะตามแนวนอนจาก 0-1 = X_1
 0-2 = X_2 ฯลฯ

และให้ระยะทางตามแนวดิ่งจาก 0-1 = Y_1
 0-2 = Y_2 ฯลฯ

จาก $Y = \frac{1}{2} gt^2$

ขณะเดียวกัน

$$t = \sqrt{\frac{2Y}{g}}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2Y_1}{g}}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2Y_2}{g}}$$

$$X_1 = V_1 t_1$$

$$X_2 = V_2 t_2 \quad \text{ ฯลฯ }$$

$$t_1 = \frac{X_1}{V_1} = \sqrt{\frac{2Y_1}{g}}$$

$$V_1 = \frac{X_1}{\sqrt{\frac{2Y_1}{g}}}$$

จากกราฟที่ตำแหน่งปลายเข็มเราหาค่า Y_1, Y_2 ได้ ดังนั้นเราหาค่า V ที่แท้จริง ณ จุด 1 หรือ V_1 ได้ ทำนองเดียวกันเราหาค่า V_2, V_3 ฯลฯ ได้ค่า V ที่ได้จริงเทียบกับความเร็วตามทฤษฎีเราเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของความเร็ว (COEFFICIENT OF VELOCITY) หรือ C_v

$$C_{vt} = \frac{V_1}{V} = \frac{X_1}{\sqrt{\frac{(2Y_1)(2gH)}{g}}} = \frac{X_1}{2\sqrt{\frac{Y_1}{H}}}$$

เราอาจหา C_v ที่ระดับน้ำต่างๆ ได้โดยการปรับระดับของท่อน้ำล้น และ สำหรับรูคอดขนาดอื่นได้โดยการเปลี่ยนขนาดรูคอด

2) สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านรูคอด (COEFFICIENT OF DISCHARGE, C_d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 19 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง น้ำที่ไหลออกจากชุดการทดลองจะไหลผ่านถังวัดปริมาตร ฉะนั้น เราสามารถวัดอัตราการไหลได้

$$\text{อัตราการไหลตามทฤษฎี} = VA = Q$$

$$V = \text{ความเร็วตามทฤษฎี} = \sqrt{2gH} \text{ เมตร}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของรูคอด} = \frac{\pi d^2}{4} \text{ เมตร}^2$$

$$D = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของรูคอด} \text{ (เมตร)}$$

$$\text{อัตราการไหลจริงหาได้จากกรับเวลาของถังวัดปริมาตร} = Q_A$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านรูคอด} \quad C_d &= \frac{Q_A}{Q} \\ &= \frac{Q_A}{\frac{\pi d^2}{4} (\sqrt{2gH})} \end{aligned}$$

จากการทดลองจะพบว่า Q_A มีค่าน้อยกว่า Q ทั้งนี้เพราะเมื่อน้ำไหลผ่านรูคอดทางเดินของน้ำจะโค้งเข้าหาแกนกลาง ทำให้ลำน้ำขนาดเล็กกว่ารูคอด

การที่น้ำมีขนาดเล็กกว่ารูคอดครั้งนี้เรียกว่า VENA-CONTRACTA ซึ่งจะเกิดขึ้นตั้งแต่ระยะประมาณ ครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางรูคอดเป็นต้นไป

2.5.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดลอง Orifice and Free Jet Flow (ดังรูปที่ 2.5.1)
- 2) ชุด Hydraulic Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา

2.5.4 วิธีการทดลอง [3], [4]

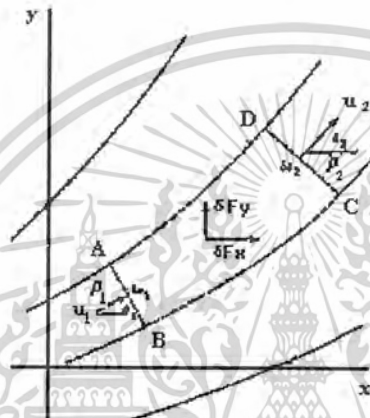
- 1) ปรับท่อน้ำสั้นเพื่อให้ได้หัวน้ำเหนือรูคอด ใกล้เคียงกับที่ต้องการ ซึ่งทำได้โดยการคลายฝาเกลียวยึดท่อน้ำสั้นได้ดังเพื่อให้เลื่อนท่อน้ำสั้นขึ้นลงได้สะดวก เมื่อปรับระดับได้ที่แล้ว ให้ขันฝาเกลียวให้แน่นพอสมควรเพื่อกันน้ำรั่ว
- 2) เปิดวาล์วควบคุมการไหลให้มีน้ำเพียงพอแก่การทดลอง และเหลือไหลออกทางท่อน้ำสั้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- 3) รอกจนกระทั่งระดับน้ำอยู่นิ่งก่อนทำการวัดซึ่งลำน้ำจะพุ่งออกไป และค่าลงเป็นแนววงที่จากนั้นจึงเอากระดาษกราฟทาบลงบนผนังด้านบน ของแผงเข็มวัดแล้วบันทึกปลายของเข็มด้านบนไว้ซึ่งจะเห็นแนวเดียวกับปลายเข็มด้านล่างเพราะความยาวของเข็มเท่ากัน
- 4) จับเวลาเพื่อหาอัตราการไหลโดยใช้ถังวัดปริมาตร (ดูรายละเอียดวิธีการใช้โต๊ะชลศาสตร์) หรือกระบอกตวง

2.6 Impact of A Jet (แรงที่เกิดจากการพุ่งชนของสายน้ำ)

2.6.1 จุดประสงค์การทดลอง [5]

- 1) เพื่อวัดขนาดของแรงที่เกิดจากการพุ่งชนกระทบเป้ารูปร่างต่างๆของสายน้ำ
- 2) เปรียบเทียบขนาดของแรงที่วัดได้ในข้อ 1) กับการคำนวณจากทฤษฎีโมเมนตัม

2.6.2 ทฤษฎี



รูปที่ 2.6.1 แสดงเส้นสตรีมไลน์ของสายน้ำ

จากรูปข้างบนสายน้ำประกอบด้วย Streamlines หลายๆ เส้นถ้าเลือก Control Volume เป็น Streamtube ABCD ที่มีผิวควบคุม AD และ BC ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Streamlines อัตราการไหลของโมเมนตัม (Momentum Flow Rate) เข้าสู่ Control Volume ผ่าน AB มีค่า

$$\delta M_1 = \rho_1 u_1^2 \delta a_1 \quad (1)$$

เมื่อ M หมายถึงโมเมนตัม ρ หมายถึง ความหนาแน่นของของไหล u หมายถึง ความเร็ว และ a หมายถึง พื้นที่หน้าตัด อัตราการไหลของโมเมนตัม (Momentum Flow Rate) ออกจาก Control Volume ผ่าน CD หาได้จาก

$$\delta M_2 = \rho_2 u_2^2 \delta a_2 \quad (2)$$

เนื่องจากอัตราการไหลของโมเมนตัมเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้นจึงสามารถเขียนองค์ประกอบในแนวแกน x และ y ได้ดังนี้

$$\delta M_{1x} = \rho_1 u_1^2 \delta a_1 \cos \theta_1 \quad (3)$$

$$\delta M_{1y} = \rho_1 u_1^2 \delta a_1 \sin \theta_1$$

$$\delta M_{2x} = \rho_2 u_2^2 \delta a_2 \cos \theta_2 \quad (4)$$

$$\delta M_{2y} = \rho_2 u_2^2 \delta a_2 \sin \theta_2$$

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน กล่าวว่า แรงเป็นสาเหตุให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมเทียบกับเวลา หรือในทำนองเดียวกันอาจกล่าวได้ว่าผลต่างของอัตราการไหลเข้าของโมเมนตัมและอัตราการไหลออกของโมเมนตัมเป็นสาเหตุให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมใน Control Volume หรือเกิดแรงขึ้นนั่นเอง

ถ้าให้ δF_x เป็นองค์ประกอบของแรง δF พิจารณาในแนวแกน x ดังนั้นองค์ประกอบของแรงตามแกน x ที่เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม เขียนได้ดังนี้

$$\delta F_x = \rho_2 u_2^2 \cos \theta_2 \delta a_2 - \rho_1 u_1^2 \cos \theta_1 \delta a_1 \quad (5)$$

ในทำนองเดียวกัน องค์ประกอบของแรง δF พิจารณาในแนวแกน y ที่เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม ในแกน y ก็สามารถเขียนได้เป็น

$$\delta F_y = \rho_2 u_2^2 \sin \theta_2 \delta a_2 - \rho_1 u_1^2 \sin \theta_1 \delta a_1 \quad (6)$$

เมื่ออัตราการไหลเป็นแบบคงที่ (Steady Flow) จากสมการการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuity Equation) จะได้อัตราการไหลเข้าของมวลน้ำย่อมเท่ากับอัตราการไหลออกของมวลน้ำ

$$\rho_1 u_1 \delta a_1 = \rho_2 u_2 \delta a_2 \quad (7)$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการที่ (7) ลงในสมการที่ (5) และสมการที่ (6) จะได้

$$\delta F_x = \rho_2 u_2 (u_2 \cos \theta_2 - u_1 \cos \theta_1) \delta a_2 = \rho_1 u_1 (u_2 \cos \theta_2 - u_1 \cos \theta_1) \delta a_1 \quad (8)$$

$$\delta F_y = \rho_2 u_2 (u_2 \sin \theta_2 - u_1 \sin \theta_1) \delta a_2 = \rho_1 u_1 (u_2 \sin \theta_2 - u_1 \sin \theta_1) \delta a_1 \quad (9)$$

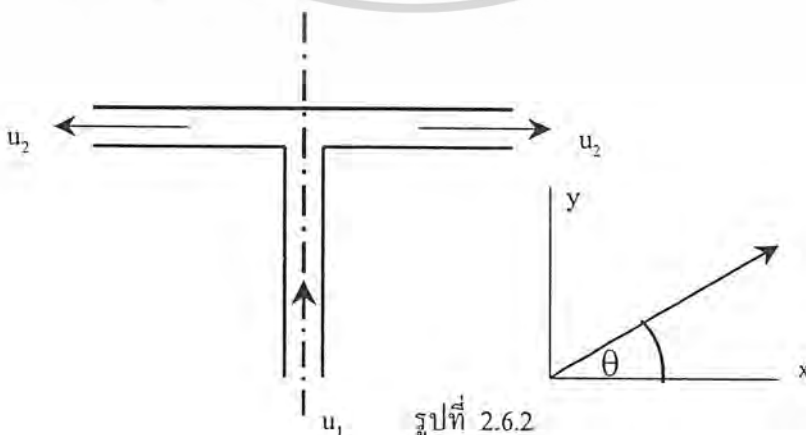
ถ้าพิจารณาสายน้ำที่พุ่ง (Jet) ทั้งหมดเป็น Control Volume จะได้แรงทั้งหมดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม ดังนี้

$$\delta F_x = \rho_2 u_2 (u_2 \cos \theta_2 - u_1 \cos \theta_1) a_2 = \rho_1 u_1 (u_2 \cos \theta_2 - u_1 \cos \theta_1) a_1 \quad (10)$$

$$\delta F_y = \rho_2 u_2 (u_2 \sin \theta_2 - u_1 \sin \theta_1) a_2 = \rho_1 u_1 (u_2 \sin \theta_2 - u_1 \sin \theta_1) a_1 \quad (11)$$

ในการทดลองครั้งนี้กำหนดให้สายน้ำพุ่งจากด้านตั้งขึ้นบน ในแนวตั้ง ดังนั้นองค์ประกอบต่างๆของแรงหรือความเร็ว จึงมีเฉพาะในแนวตั้ง หรือ ตามแกน y เท่านั้น

(1) เป้าชนิด Flat Target (90°) ดังรูปที่ 2.6.2 (ด้านล่าง)



รูปที่ 2.6.2

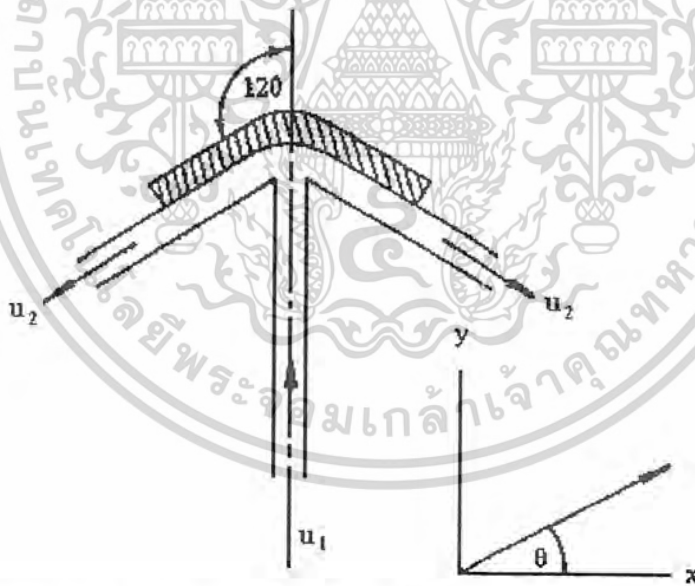
จากสมการที่ (11) ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำคงที่ตลอดทุกจุดในสายน้ำเท่ากับ ρ จะได้

$$\begin{aligned}
 F_y &= \rho u_1 (u_2 \sin \theta_2 - u_1 \sin \theta_1) a_1 \\
 \text{แต่} \quad Q &= u_1 a_1 = u_2 a_2 \\
 \theta_1 &= 90^\circ \\
 \theta_2 &= 180^\circ \\
 \text{จะได้} \quad F_y &= \rho Q (u_2 \sin 180^\circ - u_1 \sin 90^\circ) \\
 F_y &= -\rho Q u_1 = -\rho Q \frac{Q}{a_1} \left(u_1 = \frac{Q}{a_1} \right) \\
 F_y &= -\rho \frac{Q^2}{a_1}
 \end{aligned}$$

ถ้ากำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของสายน้ำเท่ากับ A จะได้ $F_y = -\rho \frac{Q^2}{A}$ (12)

เครื่องหมายลบแสดงว่าแรงที่เป้าหมายกระทำต่อสายน้ำมีทิศทางลงในแนวดิ่ง

(2) เป้าชนิด 120° Target



รูปที่ 2.6.3 แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำเมื่อพุ่งชนเป้าชนิด 120° Target

จากสมการที่ (11) เมื่อแทนค่า ρ_1 ด้วย ρ ของน้ำที่มีค่าคงที่ตลอดและแทน $\theta_1 = 90^\circ$

$\theta_2 = 210^\circ$ และแทน $Q = u_1 a_1 = u_2 a_2 = u_1 A$ เมื่อ A แทนพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของสายน้ำจะได้

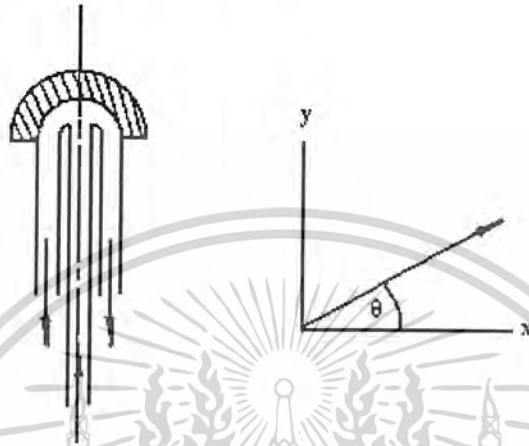
$$F_y = \rho u (u_2 \sin 210^\circ - u_1 \sin 90^\circ)$$

และถ้ากำหนดให้ $u_1 = u_2 = \frac{Q}{A}$ จะได้

$$F_y = \rho Q \left(-\frac{1}{2} \frac{Q}{A} - \frac{Q}{A} \right) = -\frac{3\rho Q^2}{2A} \quad (13)$$

เครื่องหมายลบของสมการที่ (13) หมายถึงแรงที่เป้าหมายกระทำต่อสายน้ำมีทิศทางลงในแนวดิ่ง

(3) เป้าชนิด Hemispherical Target (180°)



รูปที่ 2.6.4 แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำที่พุ่งชนเป้าชนิด Hemispherical (180° Target)

จากสมการที่ (11) เมื่อแทนค่า ρ_1 ด้วย ρ ของน้ำ แทนค่า $u_1 a_1$ ด้วย Q แทนค่า

$\theta_1 = 90^\circ$ และ $\theta_2 = 270^\circ$ จะได้

$$\begin{aligned} F_y &= \rho u (u_2 \sin 270^\circ - u_1 \sin 90^\circ) \\ &= \rho u (-u_2 - u_1) \end{aligned}$$

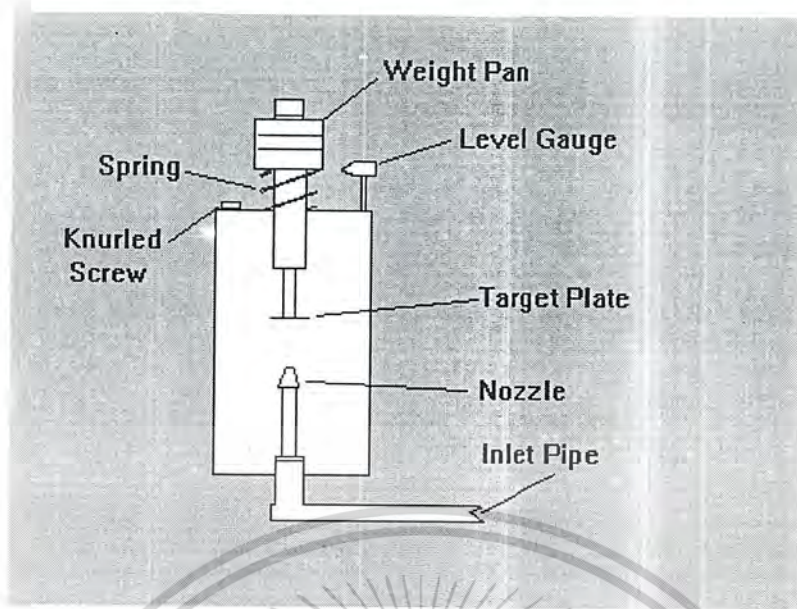
และถ้ากำหนดให้ $u_1 = u_2 = \frac{Q}{A}$ จะได้

$$F_y = \rho Q \left(-\frac{Q}{A} - \frac{Q}{A} \right) = -\frac{2\rho Q^2}{A} \quad (14)$$

เครื่องหมายลบแสดงว่าแรงที่เป้าหมายกระทำต่อสายน้ำมีทิศทางลงในแนวดิ่ง

2.6.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ใช้เครื่องมือดังรูปที่ 2.6.5 (Impact of a Jet Apparatus)
- 2) ชุด Hydraulic Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 2.6.5 เครื่องมือ Impact of a Jet

2.6.4 ขั้นตอนในการทดลอง [4] , [5]

- 1) ติดตั้งเป้าชนิด Flat Target ตรงปลายแท่งเหล็กที่ต่อกับ Weight Pan
- 2) ประกอบเครื่องมือเพื่อให้พร้อมที่จะทำการทดลอง
- 3) ต่อ Inlet Pipe ของชุดเครื่องมือกับ Bench
- 4) ปรับระดับฐานของเครื่องมือ
- 5) ชันสกรูให้แผ่น Top Plate ของเครื่องมือลงมาอยู่ตรงกับระดับอ้างอิง (datum) ของ Spirit level
- 6) ปรับ Level Gauge ให้เข้ากับ ระดับอ้างอิง (datum) ที่อยู่บน Weight Pan
- 7) วางก้อนน้ำหนัก Weight Pan แล้วปล่อยให้สายน้ำพุ่งชนเป้าหมายโดยใช้วาล์วควบคุมของ Bench
- 8) ปรับอัตราการไหลจนกระทั่ง ระดับอ้างอิง (datum) ของ Weight Pan
- 9) วัดปริมาณของน้ำในช่วงที่จับเวลา เพื่อคำนวณหาอัตราการไหล (Q)
- 10) จดมวลของก้อนน้ำหนัก ที่อยู่บน Weight Pan (M)
- 11) ทำขั้นตอนข้างบนซ้ำโดยเปลี่ยนเป้าเป็นชนิด 120° Target และ Hemispherical Target (180°)
- 12) คำนวณผลการทดลอง และเขียนกราฟระหว่าง Momentum Flow (ρQV) VS. F_y (measured) และกราฟ F_y (measured) VS. F_y (calculated)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 25 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Bernoulli's Theorem (การศึกษาทฤษฎีของเบอนอลลี)

2.7.1 จุดประสงค์ [1]

เพื่อสาธิตทฤษฎีเบอนอลลี โดยการวัดสแตติกเฮด (Static Head) และคำนวณเฮดรวม (Total Head) ที่จุดต่างๆ บนหลอดเวินจูรี (Venturi Tube)

2.7.2 ทฤษฎี

Bernoulli's Theorem ระบุว่า

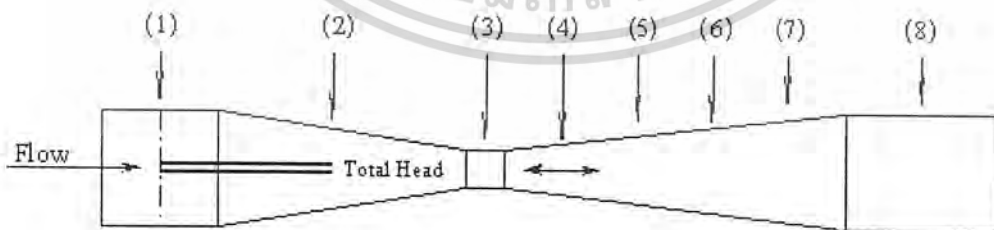
1) หัวรวมของน้ำ (Total Head) ที่ไหลจะประกอบด้วยหัวสถิตย์ (Elevation Head), หัวความดัน (Pressure Head) และหัวความเร็ว (Velocity) หรือ

$$H_T = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z$$

- | | | |
|--------|-------------------------------------|----------------------------|
| H_T | = หัวรวมน้ำ | เมตร |
| V | = ความเร็วของน้ำ | เมตร/วินาที |
| P | = ความดันน้ำ | กิโลกรัม/เมตร ² |
| Z | = ระดับความสูงของน้ำ | เมตร |
| g | = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก | เมตร/วินาที ² |
| ρ | = ความหนาแน่นของน้ำ | กิโลกรัม/เมตร ³ |

2) หัวรวมของน้ำ (Total Head) จะคงที่ถ้าหากไม่มีการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานเกิดขึ้น หรือ

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \text{Energy loss} \quad \dots\dots\dots(1)$$



รูปที่ 2.7.1 แสดงชุดทดลองของ Bernoulli's Theorem

D1 = 28 mm. D2 = 21 mm. D3 = 14 mm. D4 = 16.8 mm. D5 = 19.6 mm. D6 = 22.4 mm.
D7 = 25.2 mm. D8 = 28 mm.

ในกรณีการไหลในแนวระนาบ Z_1 จะเท่ากับ Z_2 และในกรณีที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 อยู่ใกล้กันการสูญเสียพลังงานระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะน้อยมาก ฉะนั้น

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} \quad \dots\dots\dots(2)$$

หรือ
$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{P_2}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ฉะนั้นหากจุดที่ 1 และจุดที่ 2 มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อแตกต่างกัน V_1 และ V_2 ก็จะมีค่าแตกต่างกันด้วย ฉะนั้นหัวความดันระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ก็จะแตกต่างกันด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นได้โดยความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ในमानอมิเตอร์

ในการทำงานเดียวกันเราอาจจะเทียบ Total Head ระหว่างจุดใดจุดหนึ่งกับปลายท่อ Total Head

$$H_T = \frac{V_T^2}{2g} + \frac{P_T}{\rho g} + Z_T = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ในกรณีนี้
$$Z_T = Z_1 \quad \text{และ} \quad V_T = 0$$

$$\frac{P_T}{\rho g} = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} \quad \dots\dots\dots(5)$$

หรือ
$$\frac{P_T}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} = \frac{V_1^2}{2g} = \text{Velocity Head} \quad \dots\dots\dots(6)$$

จะเห็นว่า Velocity Head สามารถแสดงได้ด้วยผลต่างระหว่าง Total Head $\left(\frac{P_T}{\rho g}\right)$ และ Pressure Head $\left(\frac{P_1}{\rho g}\right)$ ที่मानอมิเตอร์

2.7.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดลองของ Bernoulli's Theorem (ดังรูปที่ 2.7.1)
- 2) ชุด Hydraulic Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา

2.7.4 วิธีการทดลอง [3]

การทดลองควรดำเนินตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) การทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าหัวรวมของน้ำจะที่หรือแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างจุด 2 จุด หากมีการสูญเสียพลังงาน

(1.1) เปิดน้ำจากโตะชลศาสตร์และต่อสายเข้ากับทางน้ำเข้าของชุดทดลองเบอนอลลี เปิดวาล์วทางออกของชุดทดลอง

(1.2) ค่อยๆเปิดน้ำเข้าสู่ชุดทดลองจนอัตราการไหล ณ จุดต่ำสุดของมาตรวัด เช่น 5 ลิตร/นาที่ ปรับระดับน้ำในमानอมิเตอร์ให้อ่านได้ทุกท่อ ถ้าต้องการเพิ่มระดับน้ำให้สูงขึ้นให้ห้รั่วล้นทางออกลง เพื่อเพิ่มความดันในระบบหรือปล่อยลมที่วาล์วระบายลมที่หัวกระเปาะमानอมิเตอร์

ถ้าต้องการให้ระดับน้ำในमानอมิเตอร์ต่ำลง ให้เปิดวาล์วทางออกของชุดทดลองให้มากขึ้น หรือสูบลมเข้าไปในกระเปาะหัวमानอมิเตอร์

(1.3) บันทึกอัตราการไหลและระดับน้ำในमानอมิเตอร์

(1.4) เปลี่ยนอัตราการไหลเช่นเป็น 10 , 15 ลิตร/นาที่ ฯลฯ และบันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกัน

2) การทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าหัวรวมของน้ำ เท่ากับ หัวความเร็ว บวก หัวความดันและหัวสถิตย

(2.1) เลื่อนท่อวัด Total Head มาให้ตรงกับจุดใดจุดหนึ่ง เช่นจุดหมายเลข 1 ตามในรูปที่ 2.7.1 (ข้างต้น)

(2.2) ปรับอัตราการไหล เช่น เป็น 5 ลิตร/นาที่ และบันทึกระดับน้ำในमानอมิเตอร์ที่ท่อหมายเลข 1 และท่อหมายเลข 7

(2.3) เลื่อนท่อ Total Head ให้ตรงกับท่อหมายเลข 2 , 3 ฯลฯ และบันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับ (2.2)

(2.4) เพิ่มอัตราการไหลเช่นเป็น 10 , 15 ลิตร/นาที่ ฯลฯ และบันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับ (2.2) และ (2.3)

2.7.5 ข้อสังเกตจากการทดลอง [3]

ในการทดลองชุดเบนอนอลสินี่จริงๆ แล้วมีการสูญเสียพลังงานของน้ำที่ไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งอันเนื่องมาจากการเสียดสีของน้ำ กับผนังท่อและการไหลแบบปั่นป่วนฉะนั้นการทดลองมีข้อสังเกตดังนี้

1) ระดับน้ำของमानอมิเตอร์ที่จุดที่ 8 จะต่ำกว่าจุดที่ 1 เล็กน้อยทั้งๆที่พื้นที่หน้าตัดของท่อและความเร็วของการไหลของน้ำเท่ากับความแตกต่างอันนี้เนื่องมาจาก การสูญเสียพลังงานระหว่างจุดหมายเลข 1 และ จุดหมายเลข 8

2) ในการทดลองเพื่อวัดหัวรวมของน้ำ (Total Head) จากจุดหมายเลข 1 ไปยังจุดหมายเลข 8 ณ อัตราการไหลของน้ำที่คงที่นั้น จะสังเกตเห็นว่าระดับน้ำ ที่ท่อหมายเลข 7 จะต่ำลงเรื่อยๆ ทั้งนี้เพราะการสูญเสียพลังงานในการไหลของน้ำ เช่นเดียวกับข้อสังเกต 1) ข้างต้น

2.8 Flowmeter

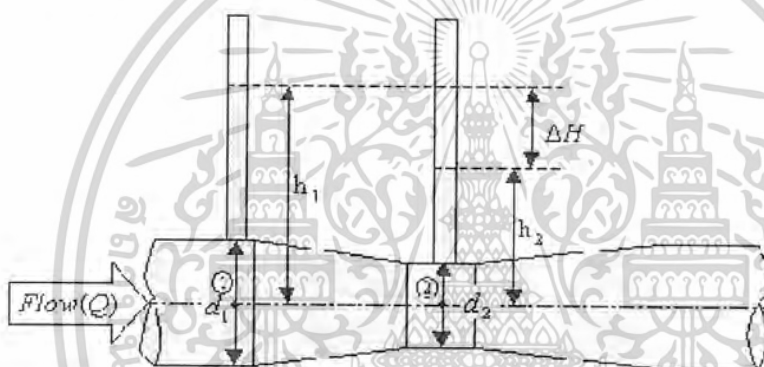
(เครื่องมือวัดอัตราการไหล)

2.8.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [1] , [5]

- 1) เพื่อสาธิตการใช้เวินจูร์มิเตอร์และออร์ฟิซมิเตอร์ในการวัดอัตราการไหล
- 2) เทียบเคียง (Calibration) เครื่องมือวัดอัตราการไหลแต่ละชนิดโดยการใช้อัตราการไหลที่วัดโดยตรง เพื่อหาสัมประสิทธิ์ของการไหล (Coefficient of Discharge) ในสมการของการไหลของเครื่องมือ แต่ละชนิด

2.8.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

1) เวินจูร์มิเตอร์ (Venturi Meter)



รูปที่ 2.8.1 แสดงชุดเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Venturi Meter

จากรูปด้านบนพิจารณาสมการเบอร์นอลลีระหว่างจุด 1 กับจุด 2 จะได้

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

สมการที่ (1) ไม่ได้พิจารณาความสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านเวินจูร์มิเตอร์จากสมการการไหลแบบต่อเนื่องระหว่างจุดที่ 1 กับจุดที่ 2 จะได้

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

เมื่อ $A_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 =$ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

$A_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 =$ พื้นที่หน้าตัดของเวินจูร์มิเตอร์บริเวณคอคอด

$$V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2 = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 V_2 \quad (2)$$

แทนสมการที่ [2] ลงในสมการที่ [1] และแทนค่า $Z_1 = Z_2$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 \frac{V^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3)$$

พิจารณามานอมิเตอร์ที่จุด 1 และ 2 จะได้

$$\frac{P_1}{\gamma} = h_1 \quad \text{และ} \quad \frac{P_2}{\gamma} = h_2 \quad (4)$$

แทนสมการที่ [4] ลงในสมการที่ [3] จะได้

$$h_1 + \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 \frac{V^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (d_2/d_1)^4}} \quad (5)$$

ดังนั้นอัตราการไหลผ่านวินจอร์เมื่อไม่ได้คิดความสูญเสียเนื่องจากการไหล

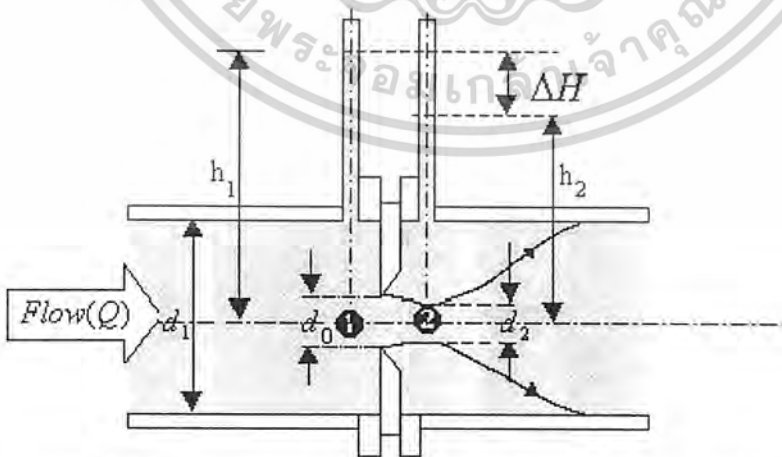
$$Q = A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (d_2/d_1)^4}} \quad (6)$$

แต่เนื่องจากการไหลจริงๆจะต้องมีความสูญเสียเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นอัตราการไหลจริงๆจึงมีค่าไม่เท่ากับ (น้อยกว่า) สมการที่ (6) หรือ

$$Q = C_d A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (d_2/d_1)^4}} \quad (7)$$

เมื่อ C_d หมายถึงสัมประสิทธิ์ของการไหล (Coefficient of Discharge) มีค่าน้อยกว่า 1.0

2) ออร์ิฟิซมิเตอร์ (Orifice Meter)



รูปที่ 2.8.2 แสดงชุดเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Orifice Meter

จากรูปด้านบน เมื่อเลือกเส้นเดนมผ่านจุดศูนย์กลางของท่อ และเมื่อไม่พิจารณาความสูญเสียเนื่องจากการไหลจากสมการเบอร์นอลลิระหว่างจุดที่ 1 กับ 2 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (8)$$

ซึ่งจุดที่ 2 คือจุดวินาคอนแทรกตา (Vena Contracta) สมการการไหลแบบต่อเนื่องระหว่างจุดที่ 1 กับ 2 ให้

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (9)$$

$$\text{เมื่อ } A_1 = \text{พื้นที่หน้าตัดของท่อ} = \frac{\pi}{4} d_1^2$$

$$A_2 = \text{พื้นที่หน้าตัดของสายน้ำที่วินาคอนแทรกตา} = \frac{\pi}{4} d_2^2$$

แทนค่า A_1 และ A_2 ลงในสมการที่ (9) และจัดเทอม V_1 ให้อยู่ในรูปของ V_2 จะได้

$$V_1 = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 V_2 \quad (10)$$

แทนสมการที่ (10) ลงในสมการที่ (8) จะได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (11)$$

แต่จากมานอิมิตอร์จะได้ $\frac{P_1}{\gamma} = h_1$ และ $\frac{P_2}{\gamma} = h_2$

แทนค่า $\frac{P_1}{\gamma}$ และ $\frac{P_2}{\gamma}$ ลงในสมการที่ (11) จะได้

$$h_1 + \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \frac{V_2^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - (d_2/d_1)^4}} \quad (12)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของสายน้ำที่วินาคอนแทรกตา (A_2) กับพื้นที่ของช่องออรีฟิซ (A_o) หรือ

$$C_c = \frac{A_2}{A_o} = \frac{d_2^2}{d_o^2}$$

$$\text{หรือ } d_2 = \sqrt{C_c} d_o \quad (13)$$

แทนสมการที่ (13) ลงในสมการที่ (12) จะได้

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - C_c^2 (d_2/d_1)^4}} \quad (14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากมีความสูญเสียที่เกิดจากการไหลผ่านออริฟิซ จึงทำให้ความเร็วที่วินาคอนแทรกคา มีค่าน้อยกว่าสมการที่ (14) หรือ

$$V_2 = C_v \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - C_c^2(d_2/d_1)^4}} \quad (15)$$

อัตราการไหล $Q = A_2 V_2 = C_c A_o V_2$

$$Q = C_v C_c A_o \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - C_c^2(d_2/d_1)^4}}$$

$$Q = C_d A_o \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - C_c^2(d_2/d_1)^4}} \quad (16)$$

$$Q = C A_o \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (17)$$

เมื่อ $C = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C_c^2(d_2/d_1)^4}} \quad (18)$

2.8.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดสอบเพื่อสาธิตการวัดอัตราการไหล ดังแสดงในรูปที่ 2.8.1 และ 2.8.2
- 2) ชุด Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา

2.8.4 ขั้นตอนในการทดลอง [4], [5]

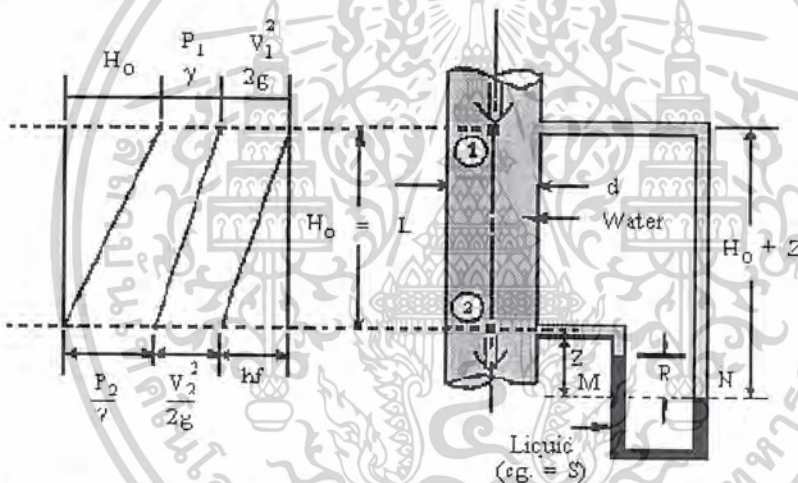
- 1) ปล่อยให้ น้ำไหลผ่านชุดทดลอง และควบคุมอัตราการไหล โดยใช้วาล์วควบคุม
- 2) วัดอัตราการไหลด้วยวิธีการวัดปริมาตรของน้ำและจับเวลา
- 3) บันทึกเลขของมานอมิเตอร์คู่ที่ครอบเครื่องมือวัดอัตราการไหลแต่ละชนิด
- 4) เปลี่ยนอัตราการไหลใหม่ และกระทำตามขั้นตอน 2) และ 3) ซ้ำ (ใช้อัตราการไหลทั้งหมดอย่างน้อย 8 ค่า)

2.9 Energy Loss in Pipes (การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ)

2.9.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [1] , [5]

- 1) เพื่อหาพลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อ โดยวิธีการทดลอง
- 2) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเสดพลังงานสูญเสีย (Energy Head Loss in Pipes) และความเร็วของการไหล
- 3) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor) กับเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number)
- 4) เพื่อหาความหยาบ (Roughness) ของผิวท่อด้านใน

2.9.2 ทฤษฎีที่พิจารณา



รูปที่ 2.9.1 แสดงชุดทดลองการสูญเสียพลังงานการไหลในท่อแบบ Differential Manometer โดยการใช้ทฤษฎีของเบอนวลลีระหว่างจุดที่ 1 และ 2 ของท่อจะได้

$$Z_1 + \frac{P_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{g} + \frac{V_2^2}{2g} + H_{L1,2}$$

$$H_{L1,2} = (Z_1 - Z_2) + \left(\frac{P_1}{g} - \frac{P_2}{g} \right) = (Z_1 - Z_2) + \frac{(P_1 - P_2)}{g} \quad (1)$$

ไม่ปรากฏเทอมของ $V_1^2 / 2g$ และ $V_2^2 / 2g$ เนื่องจากท่มีขนาดเท่ากันตลอด ดังนั้นความเร็วของ V_1 เท่ากับ V_2 เทอมทั้งสองที่กล่าวข้างต้นจึงหักล้างกันไป

พิจารณาดิฟเฟอเรนเชียลมานอมิเตอร์ (Differential Manometer) ดังรูปที่ 2.9.1

$$\text{ความดันที่จุด M} = \text{ความดันที่จุด N}$$

$$P_1 + g(H_0 + Z) = P_2 + g(Z - R) + SgR$$

$$P_1 - P_2 = SgR - gH_o - gR = (S-1)gR - gH_o$$

ฉะนั้น
$$\frac{(P_1 - P_2)}{g} = ((S-1)R - H_o) \quad (2)$$

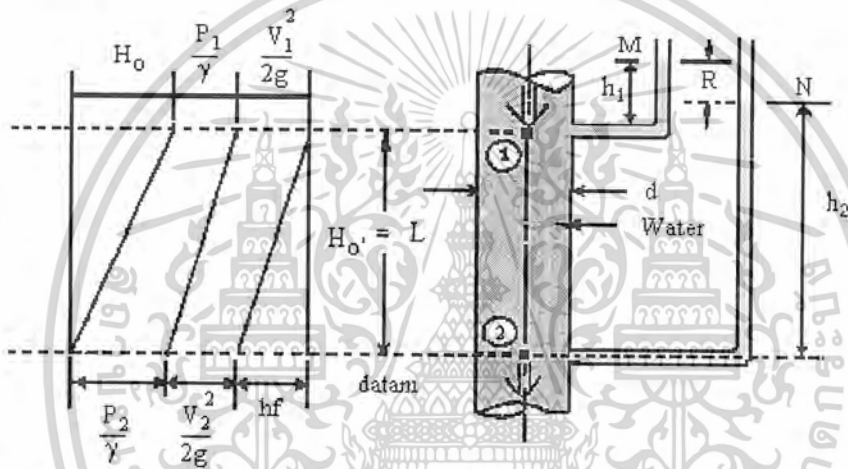
แทนสมการที่ (2) ลงในสมการที่ (1) และแทนค่า $(Z_1 - Z_2)$ ของสมการที่ (1) ด้วย H_o จะได้

$$H_{L1,2} = H_o + ((S-1)R - H_o) = (S-1)R \quad (3)$$

เนื่องจากเสดสูญเสี (Energy Head Loss) สำหรับการทดลองครั้งนี้เกิดเนื่องจากความเสียดทานของท่อ (Friction Head Loss) ดังนั้นจึงเปลี่ยนสมการที่ (3) เป็น

$$h_f = H_{L1,2} = H_o + ((S-1)R - H_o) = (S-1)R \quad (4)$$

ในกรณีที่ชุดทดลองใช้มานอมิเตอร์ชนิดธรรมดา มิใช่ดิฟเฟอเรนเชียลมานอมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9.2 (ด้านล่าง)



รูปที่ 2.9.2 แสดงชุดทดลองการสูญเสียพลังงานการไหลในท่อแบบ Manometer ชนิดธรรมดา

ในการคำนวณค่า $\frac{(P_1 - P_2)}{g}$ นั้นกระทำได้นี้ จากรูปข้างบนจะได้ความดันที่จุด M เท่ากับ

ความดันที่จุด N คือเท่ากับความดันบรรยากาศ

$$\text{ความดันที่จุด M} = P_1 - gh_1 \quad (5)$$

$$\text{ความดันที่จุด N} = P_2 - gh_2 \quad (6)$$

$$\text{สมการที่ (5)} = \text{สมการที่ (6)}$$

$$P_1 - gh_1 = P_2 - gh_2 \quad (7)$$

แต่ $h_2 + R = h_1 + H_o$

ฉะนั้น $h_2 = h_1 + H_o - R$

แทนค่า h_2 ลงในสมการที่ (7) จะได้

$$P_1 - gh_1 = P_2 - g(h_1 + H_o - R)$$

$$\frac{(P_1 - P_2)}{g} = -(H_o - R) \quad (8)$$

แทนค่า $\frac{(P_1 - P_2)}{g}$ ลงในสมการที่ (1) จะได้

$$h_f = H_{L1,2} = H_0 - H_0 + R = R \quad (9)$$

เสดสูญเสียนื่องจากความเสียดทาน ขึ้นอยู่กับ

- 1) เสดความเร็ว (Velocity Head) $h_f \propto \frac{V^2}{2g}$
- 2) ความยาวของท่อ $h_f \propto L$
- 3) ปฏิภาณกลับกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ $h_f \propto \frac{1}{D}$

ดังนั้น $h_f \propto \frac{LV^2}{D \cdot 2g}$ (10)

ถ้ากำหนดให้ $f =$ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor) สมการที่ (10) เขียนใหม่เป็น

$$h_f = \frac{fLV^2}{D \cdot 2g} \quad (11)$$

สมการที่(11)เรียกว่าสมการดาร์ซี-ไวสบัค (Darcy -Weisbach) ค่าของสมการที่(11) หาได้จาก

1) $f = \frac{64}{Re}$ สำหรับการไหลชนิดลามินาร์ (Laminar Flow)

เมื่อ $Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu} =$ เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (Reynolds Number)

โดยที่ $\rho =$ ความหนาแน่นของของไหล

$v =$ ความเร็วของการไหล

$D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

$\mu =$ ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute หรือ Dynamic Viscosity)

$\nu =$ ความหนืดคิเนเมติก (Kinematic Viscosity)

สำหรับการไหลชนิดลามินาร์ ค่า Re มีค่าไม่เกิน 2000

2) $f = f(Re, \frac{e}{D})$ สำหรับการไหลชนิดเทอร์บูเลนต์ (Turbulent Flow) ที่มีค่า Re เกิน

2000

เมื่อ ϵ หมายถึง ความหยาบของผิวท่อ (Roughness) มีหน่วยเป็นความสูง

$\frac{\epsilon}{D}$ หมายถึง ความหยาบสัมพัทธ์ (Relative Roughness)

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor) สามารถหาได้จากแผนภูมิโมดี (Moody-Diagram) ที่มีอยู่ในหนังสือกลศาสตร์ของไหลทุกเล่ม เมื่อรู้ความหยาบของผิวท่อและเรย์โนลด์นัมเบอร์ ในทำนองกลับกัน ถ้าสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากการทดลองและรู้ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ก็สามารถหาความหยาบของท่อจากแผนภูมิโมดีได้เช่นกัน

เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ ขนาดและความยาวของท่อ รวมทั้งคุณสมบัติอื่นๆของท่อ ถูกกำหนดให้คงที่ตลอดช่วงการทดลอง ดังนั้นตัวแปรของสมการเฮดสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานจึงมีอยู่ 2 ตัว คือ ความเร็ว และ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งขึ้นอยู่กับเรย์โนลด์นัมเบอร์อย่างเดียวเพราะว่าความหยาบสัมพัทธ์ถูกกำหนดให้คงที่

สมการทั่วไปที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮดสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานและความเร็ว แสดงได้ดังนี้

$$h_f \propto V^m$$

$$h_f = C_1 V^m$$

$$\log h_f = \log C_1 + m \log V \quad (12)$$

สำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ในสมการที่ (11) อาจเขียนความสัมพันธ์ต่างๆไปกับเรย์โนลด์นัมเบอร์ได้ดังนี้

$$f = C_2 Re^n$$

$$\log f = \log C_2 + n \log Re \quad (13)$$

2.9.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดสอบเพื่อหาพลังงานที่สูญเสียในท่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.9.1 และ 2.9.2
- 2) ชุด Hydraulic Bench
- 3) เทอร์โมมิเตอร์
- 4) นาฬิกาจับเวลา

2.9.4 ขั้นตอนในการทดลอง [3] , [4]

- 1) ปล่อน้ำให้ไหลผ่านท่อทดสอบ โดยเริ่มจากอัตราการไหลต่ำๆ
- 2) จดระดับแตกต่างกันของของเหลวที่บรรจุอยู่ในमानอมิเตอร์
- 3) วัดปริมาณการไหลของน้ำในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหล
- 4) เปลี่ยนอัตราการไหลแล้วกระทำตามขั้นตอนข้างบนซ้ำ โดยเปลี่ยนอัตราการไหลให้มีค่าแตกต่างกันไม่น้อยกว่า 10 ค่า

2.10 Energy loss in Bends

(การสูญเสียพลังงานในข้อต่อและข้องอแบบต่างๆ)

2.10.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [1]

- 1) เพื่อหาพลังงานสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในข้อต่อ ข้องอแบบต่างๆ โดยวิธีการทดลอง
- 2) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเฮดพลังงาน (Energy Head Loss in Bend) และความเร็วของการไหล

2.10.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

การสูญเสียความดันเนื่องจากอุปกรณ์ต่อพ่วงนั้น คิดเทียบเป็นความยาวของท่อตรงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน โดยหาได้จากผลการทดลอง

ความเสียดทานของการไหลผ่านข้อต่อและข้องอต่างๆของท่อนั้น ไม่สามารถเขียนเป็นสูตรได้ เช่นเดียวกับความเสียดทานของการไหลในท่อ แต่หาได้จากผลการทดลอง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

$$h_f = \frac{K V^2}{2g}$$

ซึ่งเป็นสัดส่วนกำลัง 2 ของความเร็วเช่นเดียวกับการไหลในท่อตรง

ค่า K จากแหล่งข้อมูลต่างๆ และค่าความยาวเทียบเท่าของท่อตรง (L) เทียบได้จากตาราง

ฉะนั้นในบางครั้งจึงมีผู้บันทึกค่าของความเสียดทานของการไหลผ่านข้อต่อและข้องอต่างๆของท่อเทียบเป็นความยาวของท่อตรง (Le)

2.10.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดลองของ Energy Head Loss in Bend
- 2) ชุด Hydraulics Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา
- 4) เทอร์โมมิเตอร์

2.10.4 ขั้นตอนในการทดลอง [3] , [4]

- 1) จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือให้พร้อม โดยการไล่ฟองอากาศออกจากระบบทั้งหมด
- 2) ปลดอยน้ำให้ไหลผ่านท่อทดสอบ โดยเริ่มจากอัตราการไหลต่ำๆ
- 3) วัดความสูงของระดับน้ำในเกจวัดความดันทุกตัว
- 4) วัดปริมาณการไหลของน้ำในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหล
- 5) เปลี่ยนอัตราการไหลใหม่ แล้วกระทำตามขั้นตอนข้างบนซ้ำ (อย่างน้อย 5 ค่า)



2.11 การศึกษาทฤษฎีของ Osborne Reynold

(Reynold 's Number)

2.11.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [1]

เพื่อทำการสังเกตการไหลของน้ำในลักษณะต่างๆ ได้แก่ การไหลแบบราบเรียบ แบบเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง และแบบปั่นป่วน

2.11.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

ความรู้เกี่ยวกับกลศาสตร์ของไหล

- การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

การไหลของน้ำในท่อนั้น หากไหลช้ามากๆ โมเลกุลของน้ำที่ไหลก็จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานไปกับท่อเรื่อยๆ โมเลกุลของน้ำที่อยู่กลางท่อจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลของน้ำที่อยู่ชิดผนังท่อ การไหลแบบนี้เรียกว่า การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

ในกรณีของน้ำที่ไหลเร็ว โมเลกุลของน้ำจะมีการไหลวกวนกระแทกกันไปมาในท่อนขณะที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามแนวท่อ ความเร็วของโมเลกุลตรงกลางท่อจะใกล้เคียงกับโมเลกุลใกล้ผนังท่อ การไหลแบบนี้เรียกว่า การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

การที่จะบอกว่าการไหลในท่อใดๆเป็นแบบ Laminar หรือ Turbulent พิจารณาจาก Reynolds Number ; Re.

$$Re. = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu}$$

โดยที่	ρ	=	ความหนาแน่นของของเหลว
	V	=	ความเร็วของการไหล
	D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ
	μ	=	Dynamic Viscosity ของของเหลว
	ν	=	Kinematic Viscosity ของของเหลว

ถ้า Re. ไม่เกิน 2000 การไหลจะเป็นแบบ Laminar

ถ้า Re. เกิน 2000 แต่ไม่เกิน 4000 การไหลจะเป็นแบบ Transitional

ถ้า Re. เกิน 4000 การไหลจะเป็นแบบ Turbulent

2.11.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดลอง Reynolds' Apparatus
- 2) ชุด Hydraulics Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา
- 4) เทอร์โมมิเตอร์

2.11.4 ขั้นตอนในการทดลอง [3] , [4]

- 1) จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือให้พร้อม โดยการเชื่อมต่อชุดทดลอง Reynolds ' Apparatus เข้ากับชุด Hydraulics Bench
- 2) ปล่อยน้ำให้ไหลผ่านเข้าสู่ชุดทดลอง โดยเริ่มจากอัตราการไหลต่ำๆ ซึ่งการไหลจะเป็นแบบ Laminar Flow

หมายเหตุ โดยการสังเกตจากน้ำสีที่ปล่อยลงมาจะเป็นเส้นตรงราบเรียบ

- 3) วัดปริมาณการไหลของน้ำในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลและความเร็วของการไหล
- 4) เปลี่ยนอัตราการไหลใหม่ แล้วกระทำตามขั้นตอนที่ 3 ซ้ำ (อย่างน้อย 3 ค่า)
- 5) เปลี่ยนลักษณะการไหลเป็นแบบ Turbulent โดยการสังเกตจากน้ำสีที่ปล่อยลงมาจะเป็นคลื่นปั่นป่วน แล้วกระทำตามขั้นตอนที่ 3) – 4) ซ้ำ

2.12 Flow over notch

(การไหลผ่านน๊อช)

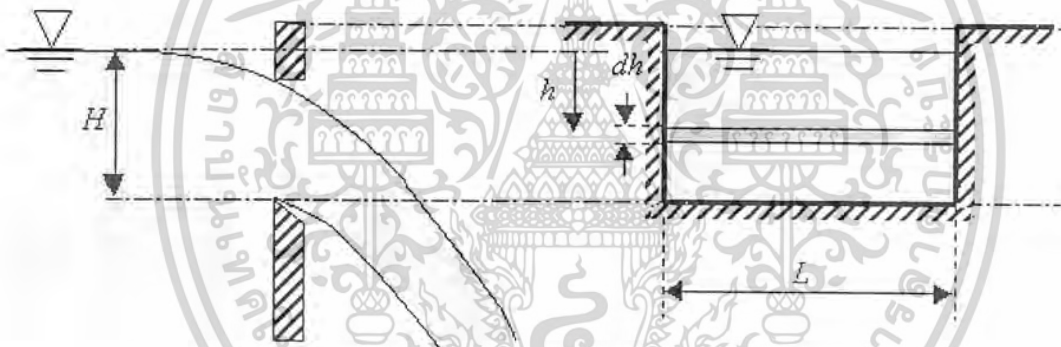
2.12.1 จุดประสงค์การทดลอง [5]

- 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมต่างๆของการไหลผ่านน๊อชรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปสามเหลี่ยมหรือรูปตัววี
- 2) เพื่อหาสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านน๊อชในข้อ 1)

2.12.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

น๊อชเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิดได้ รูปร่างทั่วไปมักเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Notch) และรูปสามเหลี่ยมหรือรูปตัววี (Triangular or V - Notch) และขอบของน๊อชมักจะทำให้มีความคมทั้งนี้เพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากการไหล

- 1) น๊อชรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Notch)



รูปที่ 2.12.1 แสดงการไหลของน้ำผ่านน๊อชรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จากรูปด้านบน พิจารณาอัตราการไหลผ่านแถบหน้าตัดเล็กๆ เส้นประที่มีพื้นที่หน้าตัด dA หรืออัตราการไหล dQ จะได้

$$dQ = VdA$$

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$dA = Ldh$$

เมื่อ V หมายถึงความเร็วของการไหลที่ความลึก h จากผิวน้ำ

L หมายถึงความกว้างของน๊อช

$$\text{ดังนั้น } dQ = \sqrt{2gh} \cdot Ldh \quad (1)$$

อัตราการไหลทั้งหมดผ่านน๊อชหรือ Q หาได้จาก

$$Q = \int dQ = \int_0^H \sqrt{2gh} \cdot Ldh$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

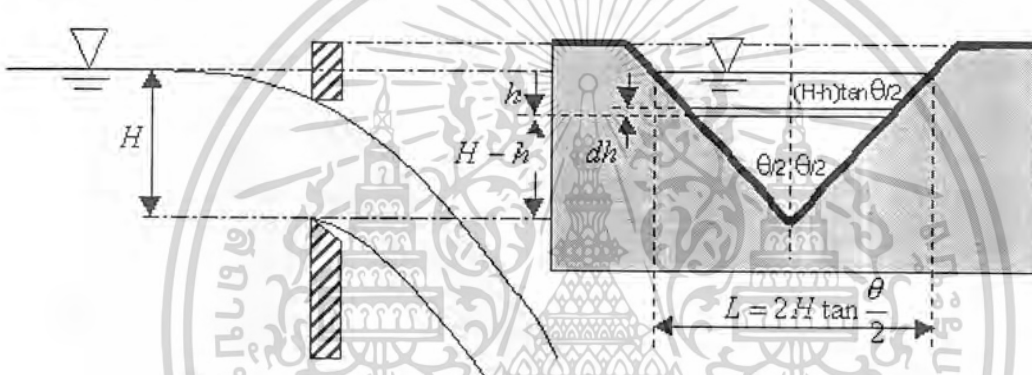
$$Q = \sqrt{2gL} \left(\frac{2h^2}{3} \right) \Big|_0^H = \frac{2}{3} \left(\sqrt{2g} LH^{\frac{3}{2}} \right) \quad (2)$$

แต่เนื่องจากการไหลผ่านน้ือจะต้องมีการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นอัตราการไหลผ่านน้ือจริงๆจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่แสดงในสมการที่ (2) คือมีค่า

$$Q = \frac{2}{3} \left(Cd \sqrt{2g} LH^{\frac{3}{2}} \right) \quad (3)$$

เมื่อ Cd หมายถึงสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านน้ือ (Coefficient of Discharge) มีค่าน้อยกว่า 1

2) น้ือรูปสามเหลี่ยมหรือรูปตัววี (Triangular or V - Notch)



รูปที่ 2.12.2 แสดงการไหลของน้ำผ่านน้ือรูปสามเหลี่ยมหรือรูปตัววี

จากรูปด้านบนระดับน้ำอยู่สูงจากจุดยอดแหลมของน้ือเท่ากับ H และน้ือมีมุมยอด θ อัตราการไหลของน้ำผ่านพื้นที่เล็กๆที่แสดงด้วยแถบเส้นประมีค่า

$$dQ = VdA$$

เมื่อ V หมายถึงความเร็วของการไหลผ่านแถบเส้นประเล็กๆ $= \sqrt{2gh}$

dA หมายถึงพื้นที่หน้าตัดของแถบเส้นประเล็กๆ $= 2(H-h) \tan(\theta/2) dh$

$$\text{ดังนั้น} \quad dQ = \sqrt{2gh} \cdot 2(H-h) \tan(\theta/2) dh \quad (4)$$

อัตราการไหลทั้งหมดผ่านน้ือหรือ Q ได้จากการอินทิเกรตสมการที่ (4) ดังนี้

$$Q = \int dQ = \int_0^H \sqrt{2gh} \cdot 2(H-h) \tan(\theta/2) dh$$

$$Q = 2 \tan(\theta/2) \sqrt{2g} \int_0^H (H-h) \sqrt{h} dh$$

$$Q = 2 \tan(\theta/2) \sqrt{2g} \left(\frac{2Hh^{\frac{3}{2}}}{3} - \frac{2h^{\frac{5}{2}}}{5} \right) \Big|_0^H$$

$$Q = 2 \tan (\theta / 2) \sqrt{2g} \left(\frac{2H^{\frac{5}{3}}}{3} - \frac{2h^{\frac{5}{5}}}{5} \right)$$

$$Q = 2 \tan (\theta / 2) \sqrt{2g} \left(\left(\frac{4}{5} \right) H^{\frac{5}{5}} \right)$$

$$Q = \left(\frac{8}{15} \right) \tan (\theta / 2) \sqrt{2g} H^{\frac{5}{5}} \quad (5)$$

แต่การไหลจริงๆจะมีค่าน้อยกว่าสมการที่ (5) เนื่องจากการไหลมีความสูญเสีย ดังนั้นอัตราการไหลจริงๆ คือ

$$Q = \left(\frac{8}{15} \right) C_d \tan (\theta / 2) \sqrt{2g} H^{\frac{5}{5}} \quad (6)$$

เมื่อ C_d หมายถึงสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (Coefficient of Discharge) มีค่าน้อยกว่า 1

2.12.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดสอบน็ออชหรือเวีย ดังแสดงในรูปที่ 2.12.1 และ 2.12.2
- 2) ชุด Bench (ใช้ถังน้ำระบบหมุนเวียนแทนได้)
- 3) นาฬิกาจับเวลา

2.12.4 ขั้นตอนในการทดลอง [4] , [5]

- 1) ติดตั้งชุดทดสอบน็ออชหรือเวียรูปสี่เหลี่ยมไว้บน Bench
- 2) ติดตั้งเครื่องวัดความสูงของน้ำเหนือต้นน็ออชหรือ เสด (Head) โดยใช้ชุดของ hook Gauge และเวอร์เนียร์ โดยที่ติดตั้งมีอวัดไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง (โดยประมาณ) ระหว่างแผ่นน็ออชกับ Stilling Baffle ของ Bench
- 3) ปลดปล่อยให้น้ำไหลลงสู่ทางน้ำเปิดจนกระทั่งไหลผ่านน็ออชพอดี แล้วปิดวาล์วควบคุมการไหล (Flow Control Valve)
- 4) รอให้ระดับน้ำคงที่แล้ววัดระดับอ้างอิง (datum) หรือ ระดับของขอบล่างของน็ออชหรือเวีย
- 5) ปลดปล่อยให้น้ำไหลเข้าทางน้ำเปิดแล้วปรับวาล์วควบคุมการไหลให้มีเสด (Head ; H) เหนือขอบล่างของน็ออช
- 6) บันทึกค่า H แล้ววัดอัตราการไหล Q ที่ผ่านน็ออช
- 7) ค่อยๆเพิ่มเสดขึ้นอีกจำนวน 9 ครั้ง โดยทุกครั้งให้บันทึกค่า H และวัดอัตราการไหล Q
- 8) เปลี่ยนน็ออชจากน็ออชรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นน็ออชหรือเวียรูปสามเหลี่ยมหรือรูปตัววี แล้วทำตามขั้นตอนข้างบนซ้ำ

2.13 Flow over weirs

(การไหลผ่านเวีย)

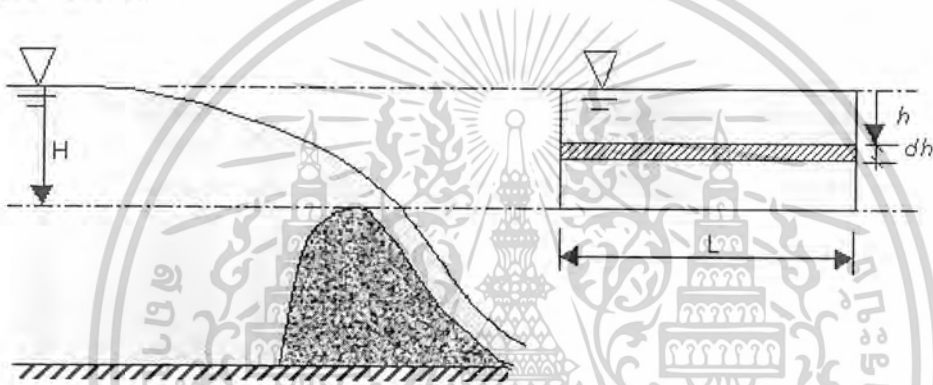
2.13.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [5]

- 1) ศึกษาพฤติกรรมของการไหลผ่านเวียชนิดต่างๆ
- 2) หาสัมประสิทธิ์การไหลผ่านเวียชนิดต่างๆ

2.13.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

การไหลผ่านสันเวียชนิดต่างๆ

1) Ogee Spillway



รูปที่ 2.13.1 แสดงการไหลของน้ำผ่าน Ogee Spillway

จากรูปด้านบนปริมาณน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดแถบเล็กๆที่มีพื้นที่หน้าตัด dA และอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ h มีค่า

$$dQ = V dA$$

แต่ $V = \sqrt{2gh}$ และ $dA = Ldh$

เมื่อ $L =$ ความยาวของสัน Ogee Spillway

ดังนั้น $dQ = \sqrt{2gh} \cdot Ldh$

$$Q = \int dQ = \int_0^H L \sqrt{2gh} \cdot dh$$

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot L H^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

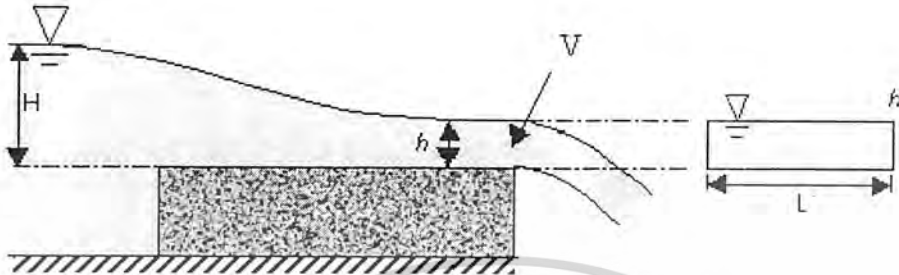
เมื่อ $H =$ ความสูงของผิวน้ำจากสันของ Ogee Spillway

แต่ในการไหลผ่านสัน Ogee Spillway ย่อมมีความสูญเสียเกิดขึ้น ทำให้อัตราการไหลผ่านสันเวียจริงๆ น้อยกว่าค่า Q จากสมการที่ (1)

$$\text{ดังนั้น } Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} \cdot L H^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

เมื่อ C_d หมายถึงสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่าน Ogee Spillway มีค่าน้อยกว่า 1.0

2) Broad - crested Weirs



รูปที่ 2.13.2 แสดงการไหลของน้ำผ่าน Broad - crested Weirs

จากรูปด้านบน เมื่อใช้สมการเบอร์นอลีระหว่างจุดที่ 1 กับ 2 จะได้

$$\begin{aligned} H &= h + \frac{V^2}{2g} \\ V &= \sqrt{2g(H-h)} \\ Q &= C_d L h \sqrt{2g(H-h)} \end{aligned} \quad (3)$$

เมื่อ L หมายถึงความยาวของสันเขื่อน

จัดสมการที่ (3) ใหม่จะได้

$$Q = C_d L \sqrt{2g} [Hh^2 - h^3]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

จะเห็นว่า Q มีค่ามากที่สุดเมื่อ $(Hh^2 - h^3)$ มากที่สุด ดังนั้น

$$\frac{dQ}{dh} = 2Hh - 3h^2 = 0$$

$$\text{ดังนั้น } h = \frac{2}{3} H$$

แทนค่า $h = \frac{2}{3} H$ ลงในสมการที่ (4) จะได้

$$Q = 1.705 C_d L H^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

2.13.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) แบบจำลองของ Ogee Spillway และ Broad - crested Weirs ดังแสดงในรูปที่ 2.13.1 และ 2.13.2
- 2) ชุดทดลอง Flow over wiers พร้อมอุปกรณ์ของชุดทดลอง
- 3) Hydraulic Bench
- 4) นาฬิกาจับเวลา

2.13.4 ขั้นตอนในการทดลอง [4] , [5]

- 1) ติดตั้ง Ogee Spillway ในทางน้ำเปิด
- 2) ปล่อยให้ น้ำไหลในทางน้ำเปิด จนกระทั่งน้ำไหลผ่านสัน Ogee Spillway
- 3) ควบคุมน้ำให้ไหลผ่านสัน Ogee Spillway อย่างสม่ำเสมอ
- 4) วัด Head (H) เหนือสัน Ogee Spillway
- 5) วัดอัตราการไหล (Q) โดยวัดปริมาตรการไหลและเวลาที่ใช้
- 6) เพิ่มเสตขึ้นอีก แล้วกระทำขั้นตอนที่ 2) - 5) ซ้ำ
- 7) เปลี่ยน Ogee Spillway เป็น Broad - crested Weirs แล้วกระทำตามขั้นตอนที่ 2) - 6) ซ้ำ

2.14 Open channel flow

(การไหลในทางน้ำเปิด)

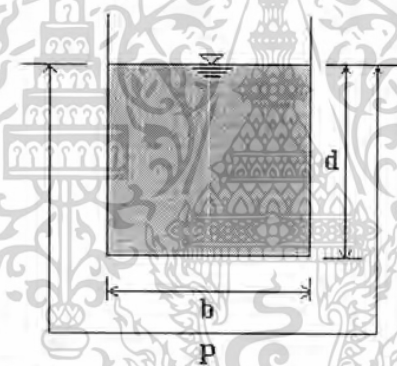
2.14.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [5]

- 1) ศึกษาสมการที่ใช้อธิบายการไหลในทางน้ำเปิด ได้แก่ สมการของเซซี (Chezy 's formular) และ สมการของแมนนิง (Manning 's formular)
- 2) คำนวณหาสัมประสิทธิ์ของสมการเซซี (C) และสัมประสิทธิ์ของสมการแมนนิง (n)

2.14.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

ทางน้ำเปิด หมายถึง ทางน้ำที่มีอากาศสัมผัสอยู่ด้านบนของผิวน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง ทางระบายน้ำ และอื่นๆ หรืออาจกล่าวได้ว่า การไหลในทางน้ำเปิดนั้นเป็นการไหลที่อยู่ภายใต้ความดันของบรรยากาศ

สมการที่ใช้สำหรับการไหลในทางน้ำเปิด มีอยู่ 2 สมการ คือ



รูปที่ 2.14.1 แสดงรูปตัดของทางน้ำเปิด

- 1) สมการของเซซี (Chezy 's formular)

$$V = C \sqrt{RS} = \text{ความเร็วของการไหล} \quad (1)$$

เมื่อ C หมายถึงสัมประสิทธิ์ของเซซี

R หมายถึงรัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius)

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{เมื่อ } A \text{ หมายถึงพื้นที่หน้าตัดของการไหล} = bd$$

และ P หมายถึงความยาวของรอยเปียก (Wetted Perimeter) ในกรณีที่หน้าตัดของการไหลเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า $P = b + 2d$

S หมายถึงความลาดชันของเส้นลาดพลังงาน (Energy Grade Line) ถ้าเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) ความลาดชันของเส้นลาดพลังงานจะเท่ากับความลาดชันของผิวน้ำ (Water Surface Profile) และเท่ากับความลาดชันของท้องคลอง (Bed Slope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สมการของแมนนิง (Manning 's formular)

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2)$$

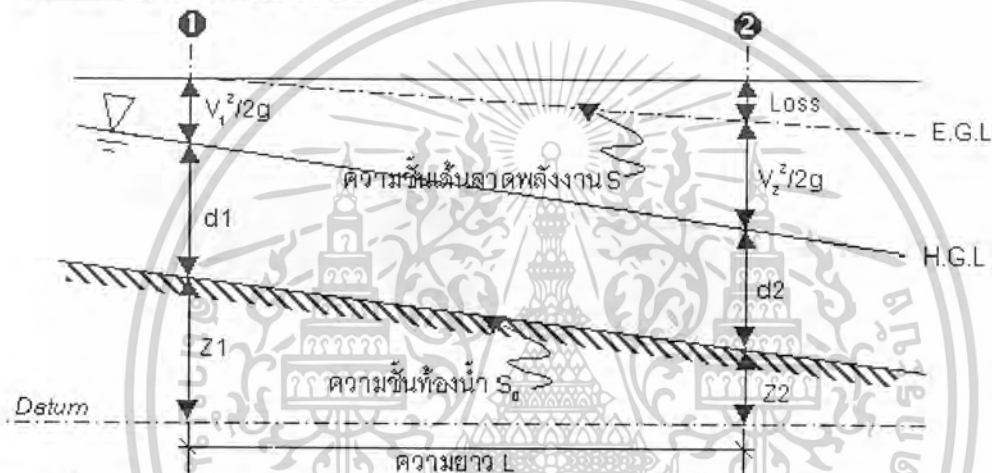
เมื่อ n หมายถึงสัมประสิทธิ์ของแมนนิง ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำทางน้ำเปิด

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C ของสมการที่ (1) กับค่า n ของสมการที่ (2) ได้จากการจับให้สม

การทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะได้ $\frac{V^2}{2g}$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (3)$$

ความลาดชันของเส้นลาดพลังงาน (S)



รูปที่ 2.14.2 แสดงเส้นลาดของพลังงานการไหลในทางน้ำเปิดและองค์ประกอบต่างๆ จากรูปด้านบนเมื่อใช้สมการเบอร์นอลลีระหว่างจุดที่ 1 กับ 2 จะได้

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_{L,1,2} \quad (4)$$

แต่ $\frac{P_1}{\gamma} = d_1$ และ $\frac{P_2}{\gamma} = d_2$ ดังนั้นสมการที่ (4) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Z_1 + d_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + d_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_{L,1,2}$$

พิจารณาเทอม $H_{L,1,2} = SL$ แล้วแทนค่าสมการข้างบน จะได้

$$(Z_1 - Z_2) + \left[\left(d_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(d_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \right] = SL$$

$$S = \frac{(Z_1 - Z_2)}{L} + \frac{\left[\left(d_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(d_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \right]}{L}$$

$\frac{(Z_1 - Z_2)}{L} = S_0 =$ ความลาดชันของท้องน้ำทางน้ำเปิด (Bed Slope)

$$S = S_0 + \frac{\left[\left(d_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(d_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \right]}{L} \quad (5)$$

จากสมการที่ (2) เขียนใหม่ได้เป็น

$$V_{av} = \frac{1}{n} R_{av}^{2/3} S^{1/2}$$

เมื่อ $V_{av} = \frac{(V_1 + V_2)}{2}$ และ $R_{av} = \frac{(R_1 + R_2)}{2}$

ดังนั้น $n = \frac{R_{av}^{2/3} S^{1/2}}{V_{av}}$ (6)

โดยที่ S หามาจากสมการที่ (5)

2.14.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดสอบการไหลในทางน้ำเปิด
- 2) นาฬิกาจับเวลา

2.14.4 ขั้นตอนในการทดลอง [4] , [5]

- 1) ตั้งความลาดชันของท้องทางน้ำเปิด โดยเริ่มต้นจากค่าความลาดชันน้อยๆ (Mild Slope) แล้วบันทึก ค่าความลาดชัน
- 2) เลือกช่วงของการไหลแล้วบันทึกความยาว (L)
- 3) ปล่อยน้ำให้ไหลผ่านทางน้ำเปิด โดยเริ่มจากอัตราการไหลน้อยๆ
- 4) วัดความลึกของการไหล 2 จุด แล้วบันทึก (ค่า d1 และ d2)
- 5) วัดอัตราการไหลผ่านทางน้ำเปิด โดยวิธีวัดปริมาตรของการไหลในช่วงเวลาที่กำหนด
- 6) เปลี่ยนอัตราการไหลให้มากขึ้นอีก 4 ค่า แล้วทำตามขั้นตอนที่ 3) - 5) ซ้ำ
- 7) เพิ่มความลาดชันของท้องทางน้ำเปิดให้มากขึ้นอีก 2 ค่า แล้วทำตามขั้นตอนที่ 3) - 6) ซ้ำ

2.15 Free and Forced Vortex Flow

(การไหลวนแบบอิสระและแบบบังคับ)

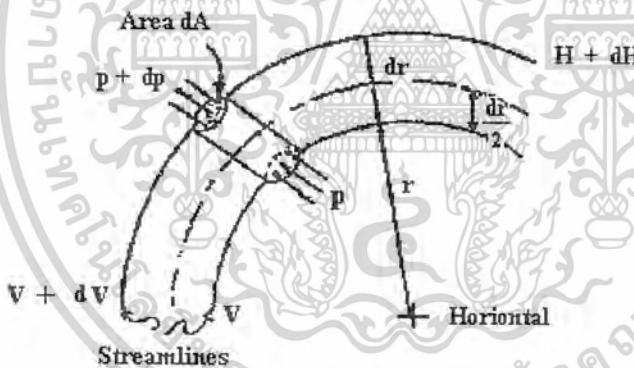
2.15.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [6]

- 1) เพื่อศึกษาและสังเกตลักษณะการไหลวนของน้ำแบบอิสระ
- 2) เพื่อหารูปตัดผิวอิสระ (Surface profile) และการกระจายของพลังงานทั้งหมดของการไหลวนแบบบังคับ

2.15.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

การไหลวนแบบบังคับ คือการที่ของเหลวไหลวนรอบแกนตั้ง โดยมีแรงบังคับให้การไหลวนนั้นสม่ำเสมออยู่ตลอดเวลา การไหลวนแบบบังคับนี้จะไม่มี การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างอนุภาคของไหล นั่นคืออนุภาคจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมเดียวกัน ซึ่งการไหลแบบนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การไหลแบบอนุภาคไม่หมุน (Irrotational)

- 1) การเปลี่ยนแปลงความดันตามแนวรัศมีในระนาบของสตรีมไลน์ (Streamlines) ที่มีศูนย์กลางร่วมกัน ดังรูปที่ 2.15.1



รูปที่ 2.15.1

จากรูป ของไหลที่ไหลอยู่ระหว่างเส้นสตรีมไลน์ 2 เส้น ซึ่งมีรัศมี r และ $r + dr$ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามกันจาก p เป็น $p + dp$ โดยความเร็วเปลี่ยนจาก v เป็น $v + dv$ และพลังงานทั้งหมดเปลี่ยนจาก H เป็น $H + dH$ เมื่ออยู่ในสมดุลจะได้

แรงหนีศูนย์กลาง = ความแตกต่างของแรงดันที่กระทำต่อสตรีมไลน์ทั้งสอง

$$\frac{mV^2}{r} = \frac{\rho dA dr (v + (dv/2))^2}{r + (dr/2)} = (p + dp)dA - pdA$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\rho (v + (dv/2))^2}{r + (dr/2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า v และ r มีค่ามากๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ dv และ dr แล้วสามารถตัด dv และ dr ทั้งได้ ดังนั้น

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

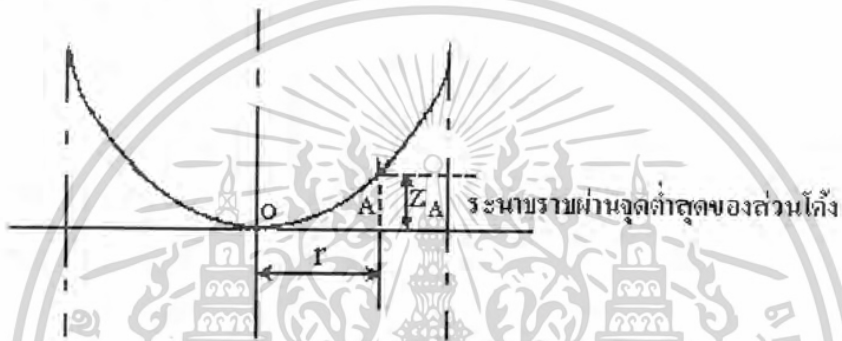
2) การเปลี่ยนแปลงความดันจากสตริมไลน์เส้นหนึ่งไปอีกเส้นหนึ่งในการไหลวนแบบบังคับ

จากสมการ (1) จะได้ $dp = \rho \omega^2 r dr$ (เนื่องจาก $v = \omega r$)

เมื่อทำการอินทิเกรตระหว่างสตริมไลน์ (1) และ (2) แล้วหารตลอดด้วย ρg จะได้ว่า

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho g} = \frac{\omega^2 (r_2^2 - r_1^2)}{2g}$$

ซึ่งเป็นสมการพาราโบลา



รูปที่ 2.15.2 แสดงกราฟความดันรูปพาราโบลา

จากรูปที่ 2.15.2 กำหนดให้จุด A เป็นจุดต่ำสุดของส่วนโค้งพาราโบลา ซึ่งอยู่ในระนาบที่ผ่านจุด o โดยอยู่ห่างจากจุด o ในแนวรัศมีเท่ากับ r จะได้ว่าความดันแตกต่างระหว่างจุด A กับจุด o เป็น

$$\frac{(p_A - p_o)}{\rho g} = \frac{\omega^2 (r_A^2 - r_o^2)}{2g}$$

แต่ $r_o = 0$ และ $p_o = 0$ = ความดันบรรยากาศเมื่อคิดเป็นความดันเกจ จะได้ว่า

$$Z_A = \frac{p_A}{\rho g} = \frac{\omega^2 r_A^2}{2g} \quad (2)$$

เมื่อ Z_A = ความลึกของน้ำจากผิวอิสระถึงจุด A

จะนั่นสรุปได้ว่า ความดันในระนาบที่ผ่านจุด o จะมากขึ้นตามความยาวรัศมี

3) การเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งหมดตามแนวรัศมีในระนาบราบของสตริมไลน์เส้นโค้งที่มีศูนย์กลางร่วมกัน จากรูปที่ 2 จะได้ว่า

$$H + dH = \frac{p + dp}{\rho g} + \frac{(v + dv)^2}{2g} + Z$$

และ
$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Z$$

ฉะนั้น

$$dH = \frac{dp}{\rho g} + \frac{2v dv}{2g} + \frac{dv^2}{2g}$$

เนื่องจาก dv มีค่าน้อย ฉะนั้น dv^2 จึงมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ จะได้ว่า

$$dH = \frac{dp}{\rho g} + \frac{2v dv}{2g}$$

หารตลอดด้วย dr และแทนค่า $\frac{dp}{dr} = \rho \frac{v^2}{r}$ จากสมการที่ (1) จะได้ว่า

$$\frac{dH}{dr} = \frac{v}{r} \left(-\frac{v}{r} + \frac{dv}{dr} \right) \quad (3)$$

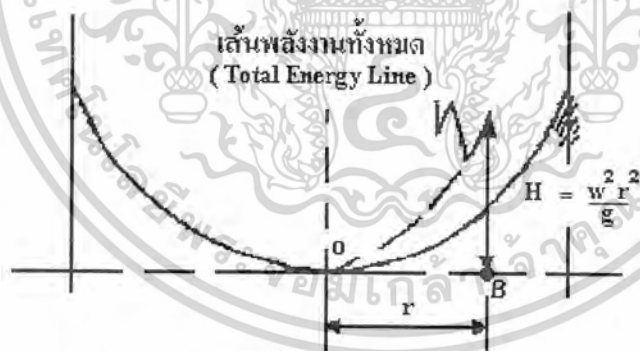
4) การเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งหมดจากสตริมไลน์เส้นหนึ่ง ไปยังอีกเส้นหนึ่งในการไหลวนแบบบังคับ จากสมการที่ (3)

แทน $\omega = \frac{v}{r} = \frac{dv}{dr}$

จะได้ว่า $dH = \frac{2\omega^2 r dr}{g}$

เมื่อทำการอินทิเกรตระหว่างสตริมไลน์ (1) และ (2) จะได้

$$H_2 - H_1 = \frac{\omega^2 (r_2^2 - r_1^2)}{g}$$



รูปที่ 2.15.3 แสดงกราฟพลังงานรูปพาราโบลา

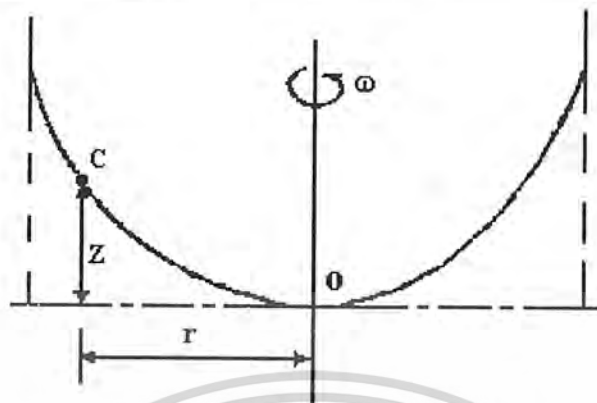
จากรูปที่ 2.15.3 กำหนดให้ระนาบที่ผ่านจุดต่ำสุดของส่วนโค้ง เป็นระดับเปรียบเทียบ ดังนั้น ความแตกต่างของพลังงานทั้งหมดระหว่างจุด o และจุด B จะเป็น

$$H_B - H_o = \frac{\omega^2 (r_B^2 - r_o^2)}{g}$$

แต่ $r_o = 0$ และ $H_o = 0$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$H_B = \frac{\omega^2 r_B^2}{g} \quad (4)$$

ฉะนั้นสรุปได้ว่าพลังงานทั้งหมดในระนาบราบที่ผ่านจุด o จะมากขึ้นตามความยาวรัศมี
 5) รูปตัดผิวอิสระของการไหลวนแบบบังคับ



รูปที่ 2.15.4 แสดงรูปตัดผิวอิสระของผิวน้ำ

จากรูปที่ 2.15.4 พลังงานทั้งหมดที่เปรียบเทียบกับระนาบราบที่ผ่านจุด o ของสตรีมไลน์เส้นเดียวกันมีค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + Z$$

พิจารณาจุด c ซึ่งอยู่บนผิวอิสระ โดยจุด c อยู่ห่างจากจุดต่ำสุดของส่วนโค้งในระนาบราบเท่า

กับ r จะได้

$$H = \frac{\omega^2 r^2}{g}$$

แต่ $\frac{p}{\rho g} = 0$ เนื่องจากสัมผัสกับอากาศ

และ $\frac{v^2}{2g} = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$ เนื่องจาก $v = \omega r$

จะได้ว่า
$$Z = \frac{\omega^2 r^2}{g} \quad (5)$$

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า รูปตัดผิวอิสระของการไหลวนแบบบังคับเป็นส่วนโค้งพาราโบลา ซึ่งมีจุดยอดอยู่ที่จุดต่ำสุดของส่วนโค้ง ฉะนั้นถ้าให้ระนาบราบที่ผ่านจุดต่ำสุดของส่วนโค้งเป็นระดับเปรียบเทียบ จะได้ว่า ที่ระยะห่างจากจุด o เท่ากับ r ใดๆ ค่า H จะเป็นสองเท่าของค่า Z

2.15.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดลอง Free & Forced Vortex Flow พร้อมอุปกรณ์ครบชุด
- 2) ชุด Hydraulics Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา

2.15.4 ขั้นตอนในการทดลอง [3], [4]

- 1) ทำการเชื่อมต่อชุดทดลองเข้ากับชุด Hydraulic Bench
- 2) นำจุกพลาสติกปิดไว้ด้านล่างของถังรูปทรงกระบอก (สำหรับการไหลวนแบบอิสระ) จากนั้นเปิดวาล์วควบคุมการไหลของน้ำ ปรับอัตราการไหลจนกระทั่งคงที่
- 3) ทำการสังเกตลักษณะการไหลวนของน้ำแบบอิสระ
- 4) นำใบพัดมาติดตั้งแทนจุกพลาสติก (สำหรับการไหลวนแบบบังคับ) จากนั้นเปิดวาล์วควบคุมการไหลของน้ำ ปรับอัตราการไหลจนกระทั่งคงที่ แล้วรอให้น้ำในถังปรับตัวจนได้ผิวหน้าเป็นรูปการไหลวนแบบบังคับ
- 5) ทำการวัดระดับน้ำบริเวณส่วนโค้ง โดยใช้เข็มวัดระดับ ซึ่งจะต้องให้สัมผัสกับผิวน้ำพอดี
- 6) นักระยะที่ได้จากการวัดมาวาดรูปตัดของผิวอิสระ (Surface Profile) จะได้โค้งพาราโบลาที่ต้องการ
- 7) วัดอัตราการไหลของน้ำ แล้วบันทึกผล จากนั้นทำการเปลี่ยนอัตราการไหลใหม่ (อย่างน้อย 3 ค่า) แล้วทำซ้ำข้อ 5 - 6
- 8) คำนวณหาค่าต่างๆ พร้อมเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากทฤษฎี

2.16 Hydraulic Ram

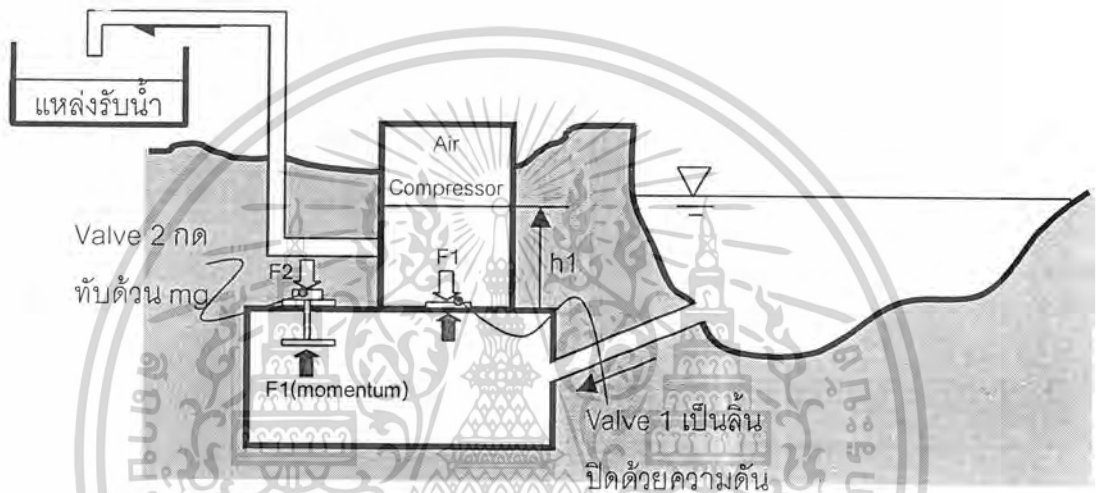
(การทดสอบเครื่องตะบันน้ำ)

2.16.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [1]

เพื่อแสดงให้เห็นจริงถึงหลักการสำคัญในการทำงานของ Hydraulic Ram

2.16.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

1) หลักการทำงานของ Hydraulic Ram มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.16.1 แสดงหลักการทำงานของ Hydraulic Ram

กำหนด *แรงดัน F_1 มีค่าขึ้นอยู่กับความสูง h_1 และ ความดันของ Air Compressor ดังสมการ

$$F_1 = (P_{air\ compressor} + \rho g h_1) \cdot A_{valve1} \quad \text{Control Valve 1}$$

Note: F_1 จะมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างมีขอบเขตจำกัด $F_1 \rightarrow F_{1max}$

*แรง F_2 มีค่าขึ้นกับน้ำหนักมวลที่กดทับ ดังสมการ

$$F_2 = mg \quad \text{Control Valve 2}$$

Note: $F_2 > F_{1max}$

*แรงที่เกิดจาก momentum ของการไหลของมวลน้ำซึ่งมีค่าเป็น

$$F_{momentum} = m \cdot v$$

2) ขั้นตอนการทำงาน มีดังต่อไปนี้

State 1. เมื่อความดันใน Compressor มีค่าน้อย จะทำให้ $F_1 < F_{momentum} < F_2$ ทำให้มวลน้ำสามารถไหลเข้าสู่ถังทาง Valve 1 ได้ โดยการกระแทกของมวลน้ำ ทำให้ระดับน้ำในถังสูงขึ้นไปอัดอากาศใน Compressor ให้มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ Valve 2 ปิดสนิทอันเนื่องจาก $F_2 = mg$

State2. เมื่อน้ำในถังสูงขึ้นและอัด Compressor จนมีค่าความดันมากพอที่จะทำให้ $F_1 > F_2$ ทำให้น้ำไม่สามารถไหลเข้าไปในถังได้ เพราะ Valve 1 ปิด น้ำในถังจะถูกอัดด้วย Air Compressor ไปยังแหล่งรับน้ำ มวลน้ำที่ไหลมาจากแหล่งน้ำก็จะทำให้เกิดแรงกระแทก $F_{momentum}$ กระแทกให้น้ำไหลออกทาง Valve 2 แทน (เพราะไม่สามารถไหลผ่านทาง Valve 1 ได้)

State3. เมื่อ Air Compressor อัดน้ำในถังไปยังแหล่งรับน้ำ ทำให้แรงดันของ Compressor มีค่าลดลงทำให้ระบบกลับไปสู่ State1. อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการทำงานจะวนเวียนไปอย่างนี้เรื่อย ๆ

3) ประสิทธิภาพของ Pump กำลังหรือพลังงานถูกจ่ายโดยการไหลที่จัดไว้ ซึ่งจะออกมาในรูปแบบของผลลัพธ์ ซึ่งจำกัดความได้โดย

$$E_s = Q_s g h_s$$

$$E_d = Q_d g h_d$$

ประสิทธิภาพของ Hydraulic Ram สามารถแสดงได้โดย

$$h = \frac{E_d}{E_s} = \frac{Q_d h_d}{Q_s Q_s} \times 100\%$$

The Head Amplification Factor (HAF) สามารถจำกัดความได้โดย

$$HAF = \frac{h_d}{h_s}$$

2.16.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) Hydraulic Bench ซึ่งมีการวัด โดยการเก็บรวบรวมปริมาตรภายในระยะเวลาที่กำหนด
- 2) Hydraulic Ram Apparatus
- 3) นาฬิกาจับเวลา

2.16.4 ขั้นตอนการทดลอง [3], [4]

- 1) เตรียมอุปกรณ์ชุด Bench และติดตั้งเครื่องมือชุด Hydraulic Ram
- 2) ติดตั้งถังน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็น Reservoir และต่อสายยางทั้งด้านส่งและด้านจ่าย
- 3) ปรับระดับความสูงของปลายสายยางด้านส่งน้ำ
- 4) ปล่อน้ำให้ไหลเข้า Reservoir ปรับอัตราการไหลให้ระดับน้ำคงที่แล้วบันทึกค่า Head
- 5) ไล่ฟองอากาศออกจากสายยาง
- 6) ติดตั้ง Load ที่ตัวเครื่องมือ Hydraulic Ram

เมื่อระบบทำงานจนอยู่ในสถานะคงที่ให้วัดอัตราการไหลทางด้านจ่ายและด้านส่ง เพื่อวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) Hydraulic Bench
- 2) Pelton Impulse Turbine Accessory
- 3) Tachometer (ถ้ามีการจัดเตรียม)

2.17.4 ขั้นตอนในการทดลอง [3] , [4]

1) ทำการติดตั้ง Pelton Turbine เข้ากับ Hydraulic Bench พร้อมกับการเชื่อมโยงต่อกับ Tachometer

2) ทำการยก Band Brake จนกระทั่ง Brake Drum เป็นอิสระ

3) เปิด Switch การทำงานของ Pump และเปิดวาล์วควบคุมของ Bench ให้สุด จนกว่าอัตราการไหลจะคงที่และวาล์วที่ควบคุมการทำงานของ Spear จะถูกปรับเปลี่ยนอย่างเหมาะสม และจะ

ปรากฏ Maximum $\frac{\text{Rev}}{\text{min}}$ (ความเร็วรอบ) บนหน้าปัดของ Tachometer

4) ทำการบันทึกค่า $\frac{\text{Rev}}{\text{min}}$, อัตราการไหล และแรงดันที่อ่านค่าได้

2.18 Centrifugal Pump

(การทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง)

2.18.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [6]

เพื่อหาคุณลักษณะต่างๆ ในระหว่างการทำงานของ Pump เมื่อมีอัตราการความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่างกัน ซึ่ง ได้แก่

- 1) คุณลักษณะการทำงานระหว่างเสดความสูง (H) และอัตราการไหล (Q)
- 2) กำลังที่ใช้ (P) ซึ่งมอเตอร์ให้กับ Pump และอัตราการไหล (Q)
- 3) ประสิทธิภาพของ Pump (η) และอัตราการไหล (Q)

2.18.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

คุณลักษณะของ Pump

ในการทำงานของ Pump การหมุนของใบพัดจะทำให้เกิดแรงเหวี่ยง ไปผลักดันให้ของเหลวไหลตลอดแนวเส้นรอบวง เรือนปั๊มจะทำหน้าที่รวบรวมของเหลวไปสู่ทางออกทำให้ของเหลวมีเสดรวม (Total Head) และ ทางของเหลวไหลออกจะทำมุม 90 องศา กับทางของเหลวไหลเข้า ยิ่งใบพัดยิ่งหมุนเร็วก็ยิ่งต้องใช้พลังงานมาก ทำให้มีเสดสูง และของเหลวไหลมาก

โดยทั่วไปการทำงานของ Pump มีหลักดังนี้

อัตราการไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วรอบของ Pump

เสدنํารวมเป็นสัดส่วนกำลังสองกับความเร็วรอบของ Pump

พลังงานที่ใช้เป็นสัดส่วนกำลังสามกับความเร็วรอบของ Pump

เสدنํารวม (Total Head ; H_T) เสดรวมของน้ำ ณ จุดหนึ่งจุดใด ก็คือพลังงานทั้งหมดของน้ำที่บอกในรูปของเสدنําน ณ จุดๆ นั้น ฉะนั้น

เสดรวม = เสดความดัน + เสดความเร็ว + เสดสถิตย์(ความสูงของของเหลว)

$$\begin{aligned} H_T &= H_p + H_v + H_s \\ &= \frac{P}{g} + \frac{V_2}{2g} + Z \end{aligned}$$

ความแตกต่างระหว่างเสดรวมของจุด 2 จุด ในกรณีที่ไม่มีกรเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว ก็คือเสดความฝืดระหว่าง 2 จุดนั้น (H_f) และในกรณีที่จุดที่ 1 อยู่ที่ทางเข้าของ Pump และจุดที่ 2 อยู่ที่ทางออกของ Pump เสดที่เพิ่มขึ้นก็คือ เสดที่ Pump ให้แก่น้ำ เสดที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า เสดรวมของ Pump (H_{TDH})

$$H_{TDH} = H_{T2} - H_{T1} + H_f$$

ในกรณีที่ H_f น้อยมากถือว่าเป็นศูนย์ และระดับทางเข้าและออกของ Pump อยู่ในระดับ (Z) เดียวกัน ฉะนั้น

$$H_{TDH} = H_{P2} - H_{P1} + H_{V2} - H_{V1}$$

ประสิทธิภาพของ Pump หาได้จาก

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{กำลังที่ได้ (กำลังน้ำ)}}{\text{กำลังที่ใช้}} \times 100 \% \\ &= P_1 / P_o \\ &= \rho g H Q / 2\pi N T \end{aligned}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \rho g &= \text{น้ำหนักจำเพาะของน้ำ} = 9810 \text{ N/m}^3 \\ H &= \text{เสคน้ำรวม m.} \\ Q &= \text{อัตราการไหล m}^3/\text{s} \\ N &= \text{จำนวนรอบต่อวินาที} \\ T &= \text{ทอร์กการหมุน} = F \cdot r = \text{แรง} \cdot \text{รัศมีการหมุน (N.m)} \end{aligned}$$

2.18.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2]

- 1) ชุดทดลองปั๊ม พร้อมอุปกรณ์ครบชุด
- 2) ชุดมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนความเร็วรอบได้ พร้อมเครื่องวัดรอบ
- 3) มาตรวัดความดันน้ำ ทั้งก่อนเข้าและหลังจากออกจากปั๊ม
- 4) ชุด Hydraulic Bench
- 5) นาฬิกาจับเวลา

2.18.4 ขั้นตอนในการทดลอง [3]

- 1) ทำการเชื่อมต่อชุดมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ากับชุด Hydraulic Bench
- 2) ทำการต่อปั๊มเข้ากับชุดมอเตอร์ไฟฟ้า
- 3) เปิดสวิตซ์เดินเครื่องของปั๊ม พร้อมกับเปิดวาล์วควบคุมการไหลของชุด Hydraulic Bench
- 4) ปรับความเร็วรอบ (ควรเลือกรอบต่ำๆก่อน) ของชุดมอเตอร์ไฟฟ้า รอจนกระทั่งอัตราการไหลคงที่
- 5) จากนั้นอ่านค่าความดันก่อนที่จะเข้าปั๊ม และหลังจากออกจากปั๊ม แล้วทำการบันทึกค่า
- 6) วัดอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากปั๊ม แล้วทำการบันทึกค่า
- 7) เปลี่ยนความเร็วรอบอย่างน้อย 3 ค่า แล้วทำซ้ำข้อ 4) – 6)

2.19 Series and parallel pumps

(การต่อปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน)

2.19.1 จุดประสงค์ของการทดลอง [6]

เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของปั๊ม คือ ความดัน อัตราการไหล พลังงานที่ให้แกปั๊ม และประสิทธิภาพ ณ ความเร็วรอบต่างๆของปั๊ม เมื่อทำการต่อปั๊ม 2 ตัวแบบอนุกรมและแบบขนาน

2.19.2 ทฤษฎีที่พิจารณา

ปั๊มต่อแบบอนุกรมและแบบขนาน

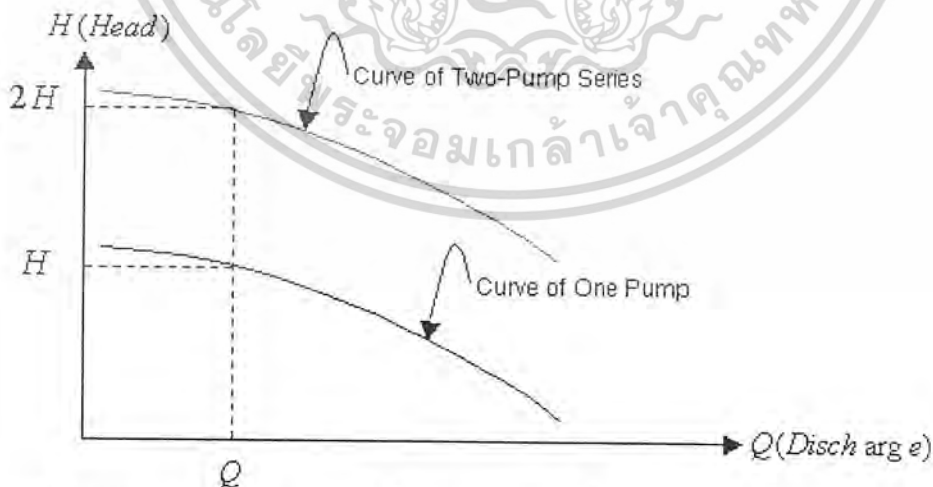
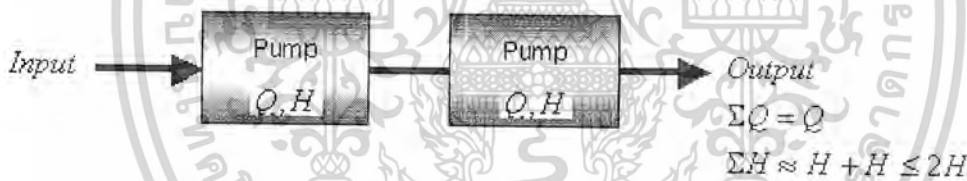
ปั๊มแต่ละตัวมีสมรรถนะการทำงานต่างกัน ในกรณีที่ปั๊ม 2 ตัวเป็นขนาดเดียวกัน แต่ต่างกันที่เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด ซึ่งปั๊มที่มีใบพัดขนาดเล็กจะทำให้หัวน้ำและปริมาณการไหลต่ำกว่าปั๊มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดขนาดใหญ่ ณ ความเร็วรอบเดียวกัน

1) ในกรณีที่ปั๊ม 2 ตัวต่อแบบอนุกรม อัตราการไหลของปั๊มตัวที่ 1 และตัวที่ 2 จะมีค่าเท่ากัน

$$\text{เฮดน้ำรวมของปั๊มทั้ง 2 ตัว} = \text{เฮดน้ำตัวที่ 1} + \text{เฮดน้ำตัวที่ 2}$$

$$H_{\text{Total}} = H_{T1} + H_{T2}$$

ในทางปฏิบัติเฮดน้ำรวมจะต่ำกว่า $H_{T1} + H_{T2}$ เล็กน้อย เนื่องจากการสูญเสียพลังงานในระบบ



รูปที่ 2.19.1 แสดงลักษณะการต่อปั๊มแบบอนุกรม พร้อมกราฟระหว่าง H และ Q

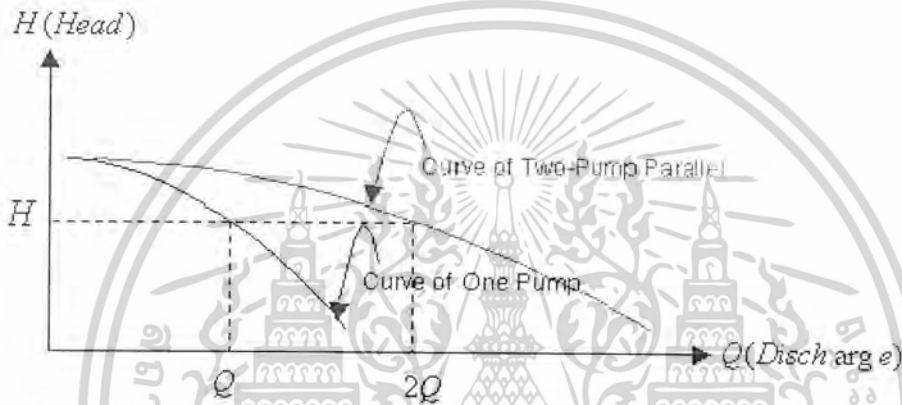
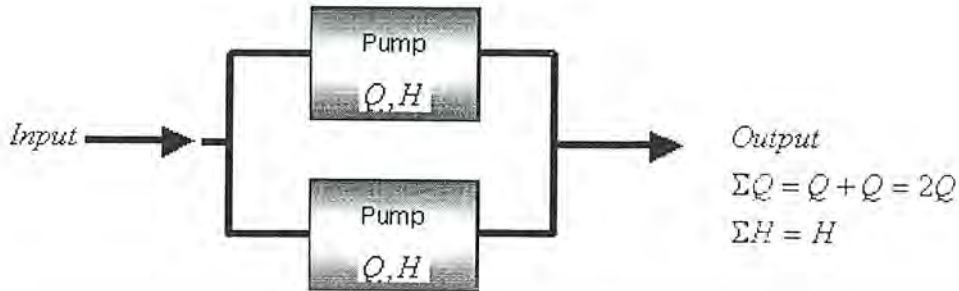
2) ในกรณีที่ปั๊ม 2 ตัวต่อแบบขนาน ความดันของน้ำทางดูดจะเท่ากับทางจ่ายหรือเฮดน้ำจะเท่ากัน

$$\text{อัตราการไหลรวม} = \text{อัตราการไหลของปั๊มตัวที่ 1} + \text{อัตราการไหลของปั๊มตัวที่ 2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{\text{Total}} = Q_1 + Q_2$$

ในทางปฏิบัติ Q_{Total} จะน้อยกว่า $Q_1 + Q_2$ เล็กน้อย เนื่องจากการสูญเสียพลังงานในระบบ



รูปที่ 2.19.2 แสดงลักษณะการต่อปั๊มแบบขนาน พร้อมกราฟระหว่าง H และ Q

2.19.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง [2], [6]

- 1) ชุดทดลองปั๊ม จำนวน 2 ชุด พร้อมอุปกรณ์ครบชุด
- 2) ชุดมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนความเร็วรอบได้ พร้อมเครื่องวัดรอบ
- 3) มาตรวัดความดันน้ำ ทั้งก่อนเข้าและหลังจากออกจากปั๊ม
- 4) ชุด Hydraulic Bench
- 5) นาฬิกาจับเวลา

2.19.4 ขั้นตอนในการทดลอง [3], [4]

- 1) ทำการเชื่อมต่อชุดมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ากับชุด Hydraulic Bench
- 2) ทำการต่อปั๊มทั้ง 2 ตัวแบบอนุกรม และเชื่อมเข้ากับชุดมอเตอร์ไฟฟ้า
- 3) เปิดสวิตช์เดินเครื่องของปั๊ม พร้อมกับเปิดวาล์วควบคุมการไหลของชุด Hydraulic Bench
- 4) ปรับความเร็วรอบ (ควรเลือกรอบต่ำๆก่อน) ของชุดมอเตอร์ไฟฟ้า รอจนอัตราการไหลคงที่
- 5) จากนั้นอ่านค่าความดันก่อนที่จะเข้าปั๊ม และหลังออกจากปั๊มแต่ละตัว ทำการบันทึกค่า
- 6) วัดอัตราการไหลของน้ำที่ออกจากปั๊มแต่ละตัว แล้วทำการบันทึกค่า
- 7) เปลี่ยนความเร็วรอบอย่างน้อย 3 ค่า แล้วทำซ้ำข้อ 4) – 6)
- 8) ทำการต่อปั๊มทั้ง 2 ตัวเป็นแบบขนาน แล้วทำซ้ำข้อ 3) – 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการติดตั้งโปรแกรมสื่อประกอบการเรียนการสอน

Authorware เป็นโปรแกรมนำเสนอข้อมูล คล้ายกับโปรแกรม PowerPoint แต่แตกต่างกันที่ โปรแกรม Authorware สามารถโต้ตอบกับผู้เล่นโปรแกรมได้ตามที่ผู้สร้างกำหนด Authorware จึงเหมาะกับการนำเสนอหลายประเภท

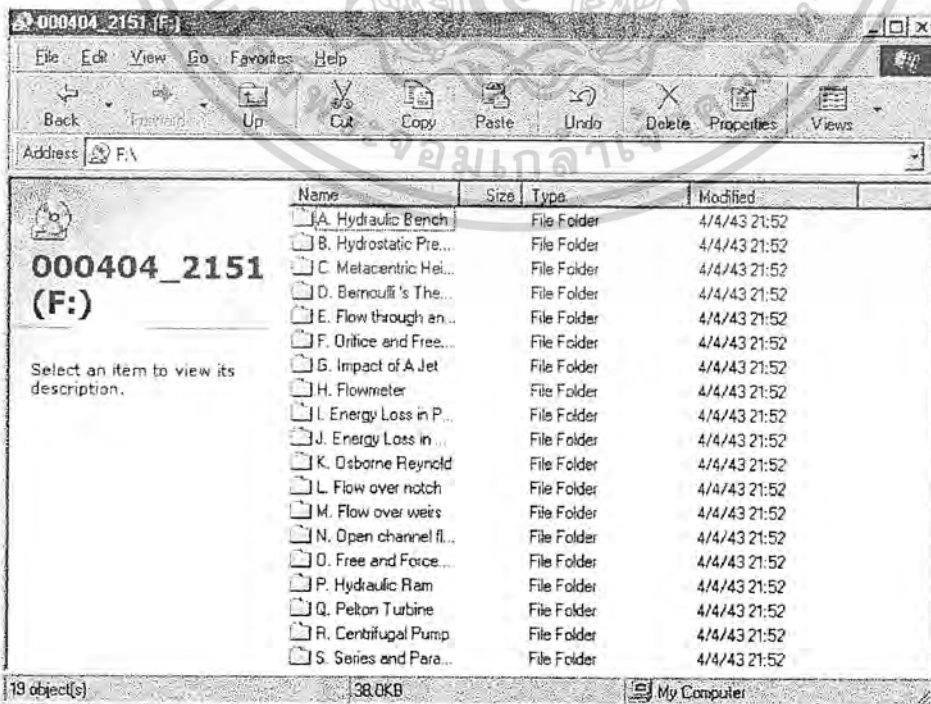
3.1 ข้อกำหนดในการติดตั้งโปรแกรม Authorware 5 [8]

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับโปรแกรม Authorware 5

- 1) Pentium Processor ขึ้นไป
- 2) RAM 16 MB ขึ้นไป (แนะนำ 24 MB)
- 3) ระบบปฏิบัติการ Windows 95, 98 หรือ Windows NT 4.0
- 4) CD-ROM สำหรับติดตั้งโปรแกรม (แนะนำ 40 X)
- 5) มีที่ว่างในฮาร์ดดิสก์ 200 MB ขึ้นไป

3.2 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมสื่อประกอบการเรียนการสอน

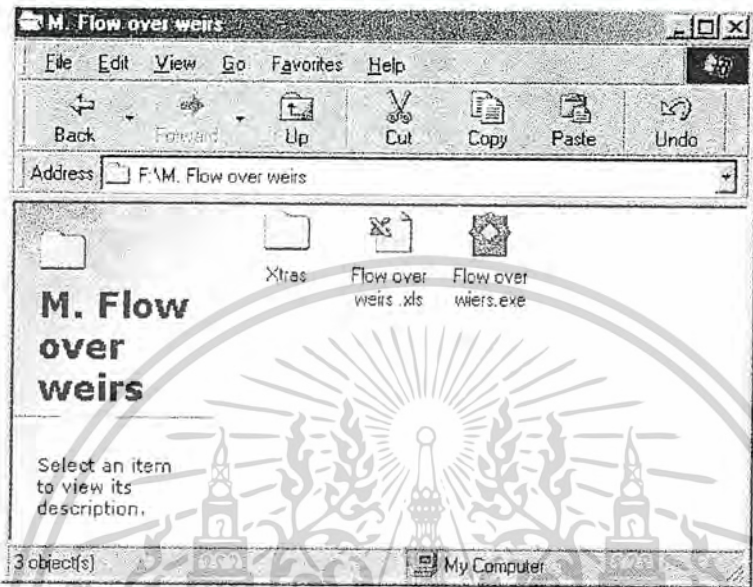
- 1) ใส่แผ่นโปรแกรมสื่อการสอน ลงใน CD-ROM
- 2) เปิด Drive CD-ROM จะปรากฏดังภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 63 * ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งประกอบไปด้วย Folder ชื่อ Lab ทั้งหมด 19 Lab

- 3) ให้ทำการ Copy Folder Lab ที่ต้องการลงในเครื่อง Computer ของท่าน ก็เสร็จขั้นตอน
- 4) หาก Double Click เข้าไปใน Folder Lab เช่น M. Flow over weirs จะปรากฏดังภาพ



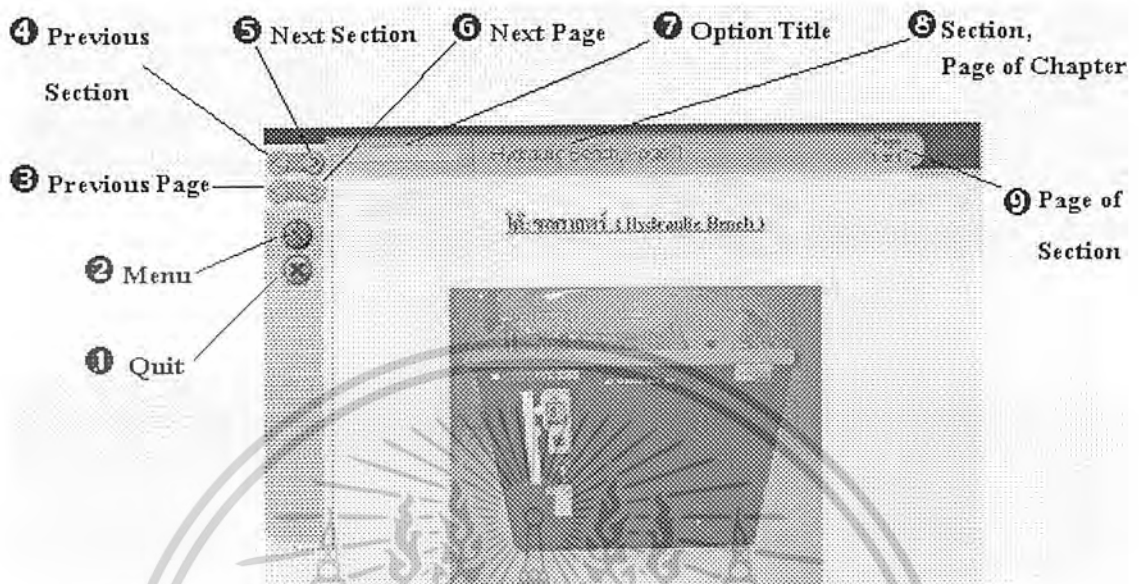
ใน Folder Lab ทุกตัวจะประกอบไปด้วย Folder ชื่อ Xtras , File Excel และ File Authorware *.exe ยกเว้น Folder ชื่อ A. Hydraulic Bench จะไม่มี File Excel ซึ่ง Folder ชื่อ Xtras ทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของ File Authorware *.exe ให้ทำงานได้โดยไม่ต้องติดตั้ง โปรแกรม Authorware 5

5) หากต้องการใช้โปรแกรมใดก็เพียง Double Click เข้าไปใน File ได้ทันที ซึ่งพร้อมสำหรับการใช้งาน

หมายเหตุ ใน Folder Lab ทุกตัว จะต้องมีย Folder ชื่อ Xtras หากไม่ Copy Folder นี้ไปด้วย ก็จะไม่สามารถเปิด File Authorware *.exe ได้

4.1 การเริ่มต้นการใช้งานจากสื่อประกอบการเรียนการสอน [8]

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.1.1

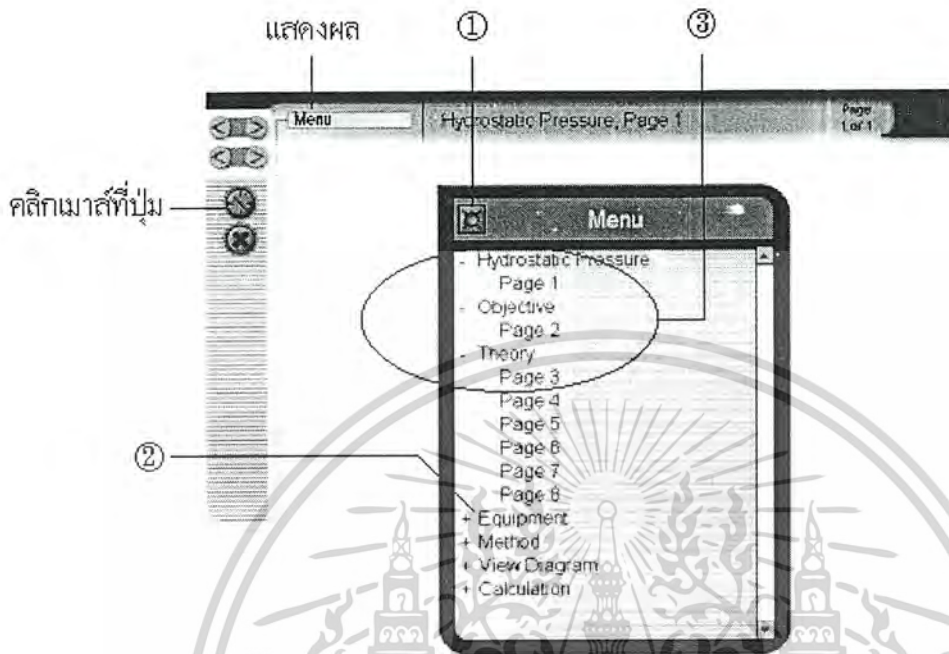


รูปที่ 4.1.1 แสดงหน้าจอเริ่มต้นของสื่อการสอน

ลักษณะการใช้งานของปุ่มกดต่างๆ มีดังนี้

- ❶ Quit ออกจากโปรแกรม
- ❷ Menu แสดงส่วนประกอบของเนื้อหาทั้งหมด และคลิกไปหน้าที่ต้องการได้ทันที
- ❸ Previous Page กลับไปหน้าจอที่ผ่านมา (ภายในหัวข้อเดียวกัน)
- ❹ Previous Section กลับไปหัวข้อที่ผ่านมา
- ❺ Next Section ไปยังหัวข้อถัดไป
- ❻ Next Page ไปยังหน้าจอที่ผ่านมา (ภายในหัวข้อเดียวกัน)
- ❼ Option Title แสดงความหมายของปุ่มที่ท่านต้องการเลือก
- ❽ Section, Page of Chapter แสดงหัวข้อและตำแหน่งหน้าของบทนั้นๆ
- ❾ Page of Section แสดงตำแหน่งหน้าของหัวข้อนั้นๆ

- หมายเหตุ** เมื่อเลื่อนเมาส์ไปยังปุ่มกดต่างๆข้างต้น ปุ่มนั้นจะเรืองแสงขึ้นทันที
- 2) เมื่อต้องการดูส่วนประกอบของโปรแกรมการสอนทั้งหมด ให้คลิกปุ่ม Menu ดังรูป 4.1.2

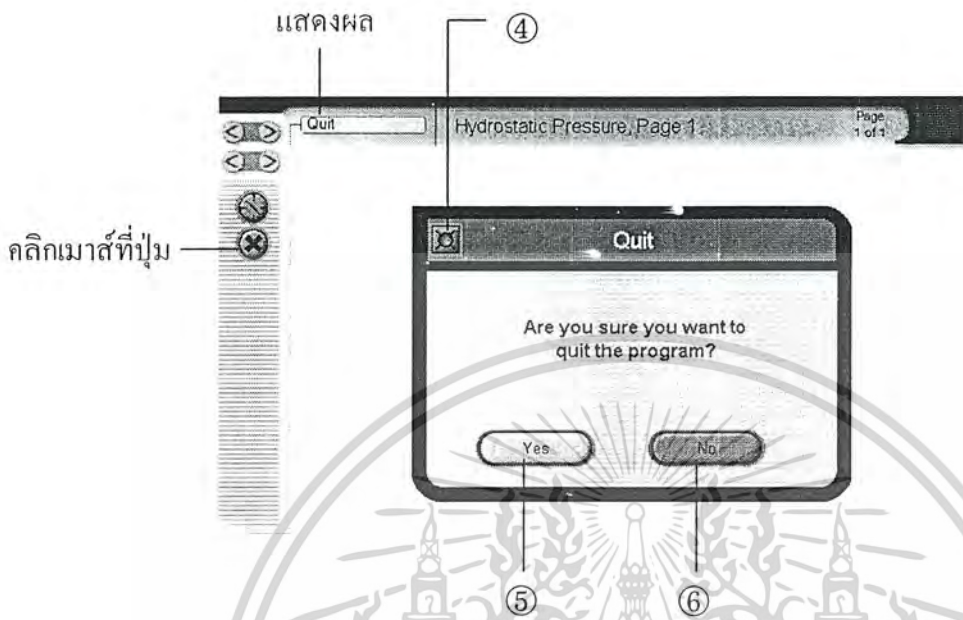


รูปที่ 4.1.2 แสดงหน้า Menu

- ① คลิกเมื่อต้องการออกจากหน้า Menu
- ② ภายใน Menu นี้ประกอบไปด้วยหัวข้อ ซึ่งจะมีเครื่องหมายบวก(+) อยู่ด้านหน้า
- ③ เมื่อคลิกที่ หัวข้อ(+) จะปรากฏหมายเลขหน้าของหัวข้อนั้น ซึ่งจะมีเครื่องหมายลบ (-) อยู่ด้านหน้า

หมายเหตุ ท่านสามารถคลิกไปสู่ หัวข้อ หรือ หน้าที่ต้องการ ได้ทันทีภายใน Menu นี้

3) เมื่อท่านต้องการที่จะออกจากสื่อการสอน มีขั้นตอนดังรูปที่ 4.1.3

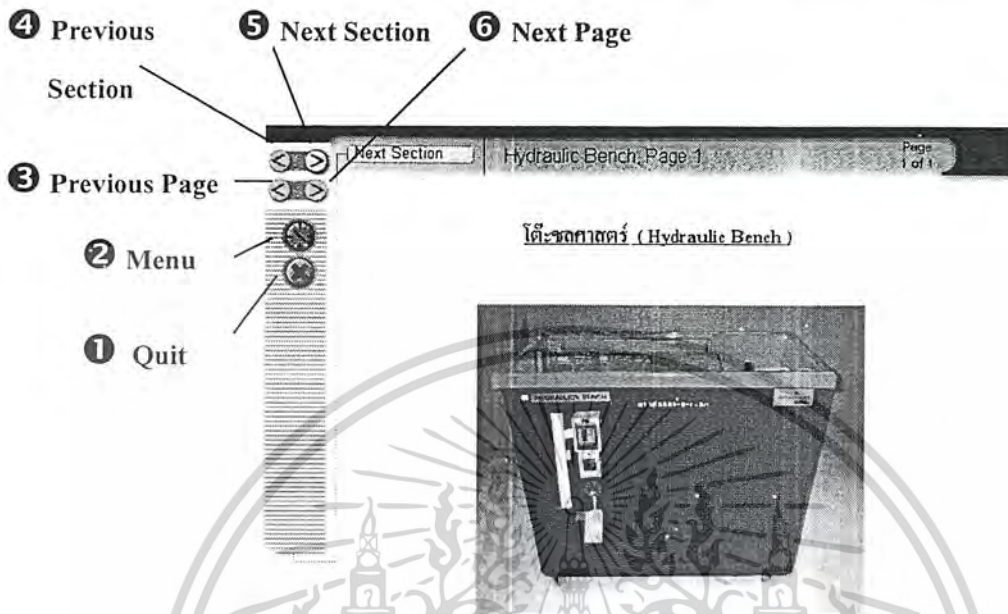


รูปที่ 4.1.3 แสดงหน้า Quit

- ④ คลิกเมื่อต้องการออกจากหน้า Quit
- ⑤ หากท่านต้องการออกจากโปรแกรม ให้คลิกปุ่ม  ซึ่งจะได้
ว่าเรื่องแสงขึ้น
- ⑥ คลิกปุ่ม  เมื่อต้องการยกเลิกคำสั่ง ออกจากโปรแกรม

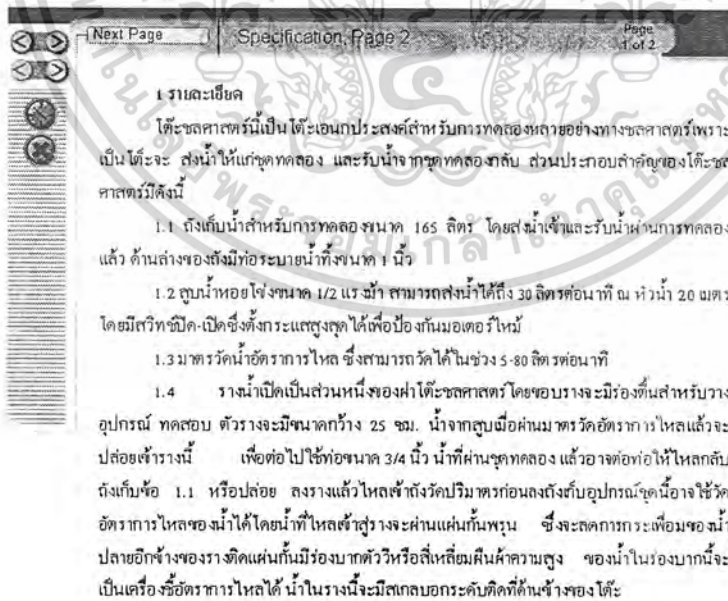
4.2 โต้ะชลศาสตร์ (Hydraulic Bench)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.2.1



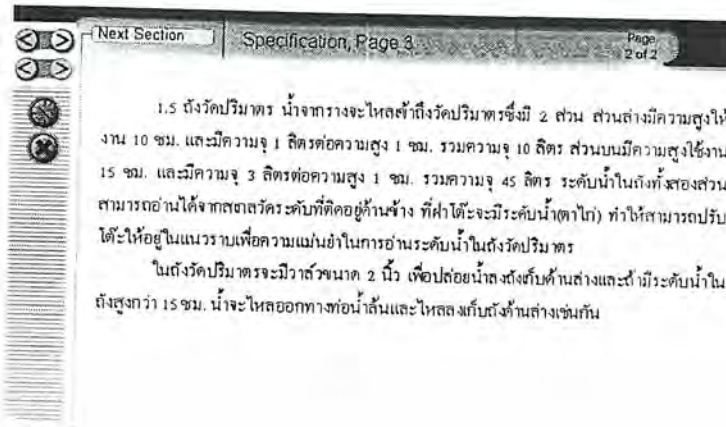
รูปที่ 4.2.1 โต้ะชลศาสตร์ (Hydraulic Bench)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.2.2



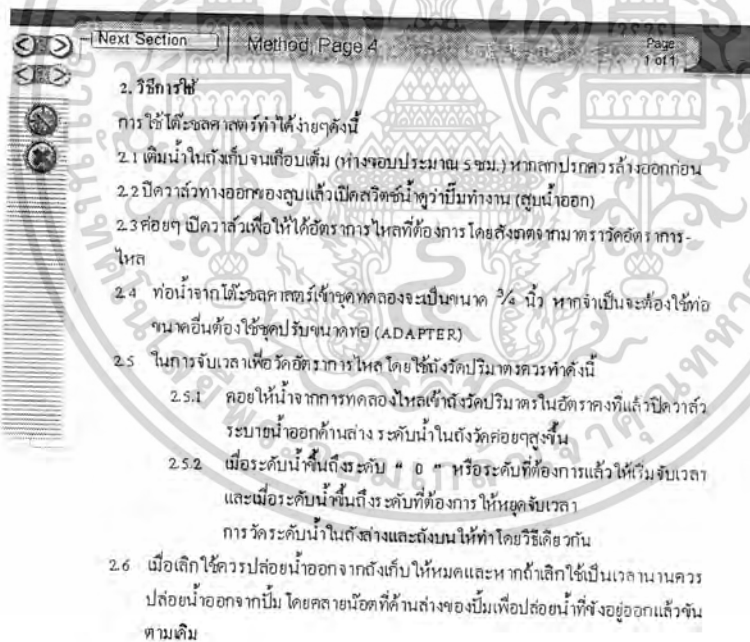
รูปที่ 4.2.2 รายละเอียดของโต้ะชลศาสตร์

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.2.3



รูปที่ 4.2.3 รายละเอียดของโต๊ะชลศาสตร์ (ต่อ)

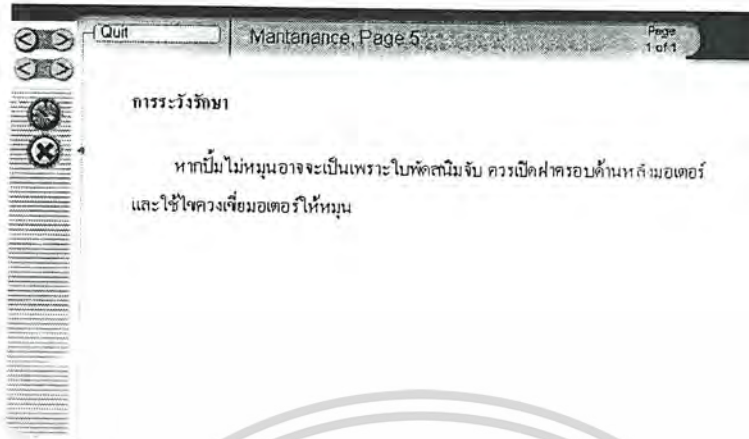
4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑤ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.2.4



รูปที่ 4.2.4 วิธีการใช้โต๊ะชลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 69) การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข **5** (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.2.5



รูปที่ 4.2.5 การระวังรักษา

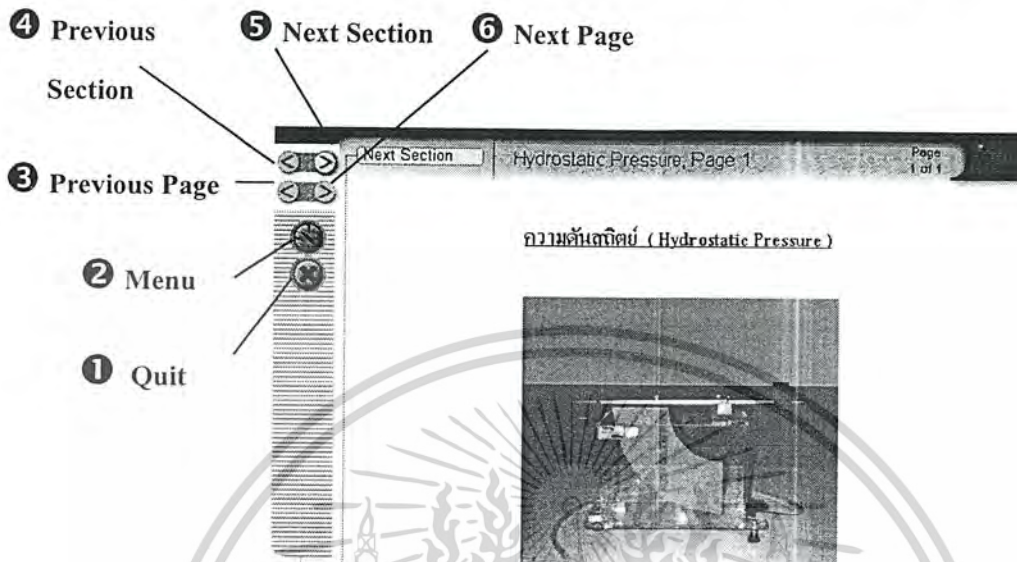
หมายเหตุ

เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข **1** (Quit)



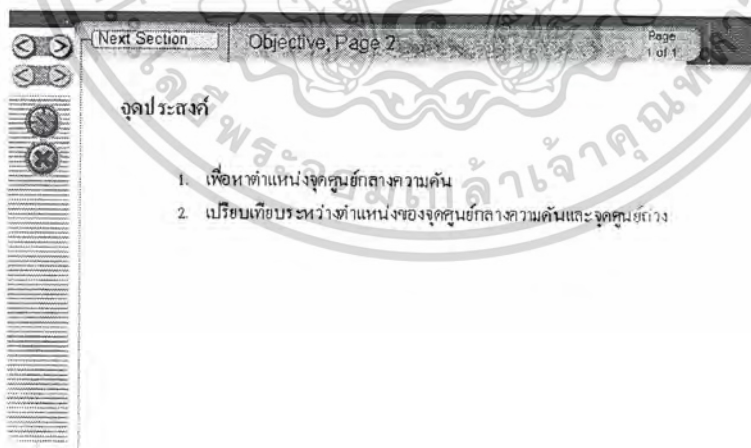
4.3 ความดันสถิตย (Hydrostatic Pressure)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.3.1



รูปที่ 4.3.1 ความดันสถิตย (Hydrostatic Pressure)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.3.2



รูปที่ 4.3.2 จุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.3.3

Next Page Theory, Page 3 Page 1 of 6

ทฤษฎี

เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับจุดศูนย์กลางความดันของของไหลกระทำต่อผิวที่จมอยู่ในของไหล มีทฤษฎีเบื้องต้นที่จะทำความเข้าใจต่อไปนี้

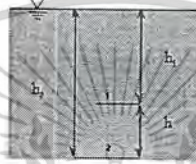
1. ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงความดันของของไหลตามความลึกซึ่งกล่าวไว้ว่า

“ความดันของของไหล (ที่อยู่ในหรือถูกพิจารณาว่าอยู่นิ่ง) จะเพิ่มขึ้นตามความลึกที่วัดจากผิวของของไหล” ซึ่งแสดงได้โดยสมการ

$$P = \rho gh \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ P = ความดันของของไหล มีหน่วยเป็น นิวตัน/ม²
 ρ = ความหนาแน่นของของไหล มีหน่วยเป็น กก./ม³
 g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีหน่วยเป็น ม./วินาที²
 h = ความลึกของของไหลที่วัดจากผิวของของไหล มีหน่วยเป็นเมตร

พิจารณาปริมาตรทรงกระบอกของของไหลซึ่งอยู่ในแนวตั้งและปริมาตรทรงกระบอกนั้นจมอยู่ในของไหลสถิตย์ที่มีปริมาตรใหญ่มากตามรูป



รูป การเปลี่ยนแปลงความดันของของไหลตามความลึก

รูปที่ 4.3.3 ทฤษฎี

4) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.3.4

Next Page Theory, Page 4 Page 2 of 6

จะได้ แต่ ดังนั้น หรือ

$$P_2 - P_1 = \rho g(h_2 - h_1)$$

$$h = h_2 - h_1$$

$$P_2 - P_1 = \rho gh$$

$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

ถ้าเลือกให้จุดที่ (1) อยู่ที่ผิวของของไหล ดังนั้น P_1 จะเป็นความดันบรรยากาศ

$$P_2 = P_{atm} + \rho gh \quad \text{----- (2)}$$

ถ้าพิจารณาโดยใช้ความดันเกจ (Gauge pressure) $P_{gauge} = 0$

ดังนั้น $P_2 = \rho gh$

2. ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันของของไหลสถิตย์ที่กระทำบนผิวที่จมอยู่ในของไหล “ขนาดของแรงดันทั้งหมดของของไหลสถิตย์ที่กระทำบนผิวที่จมอยู่ในของไหลมีค่าเท่ากับผลคูณของความดันที่จุดศูนย์กลาง (Center) ของพื้นที่ผิวนั้น” ซึ่งแสดงได้โดยสมการ

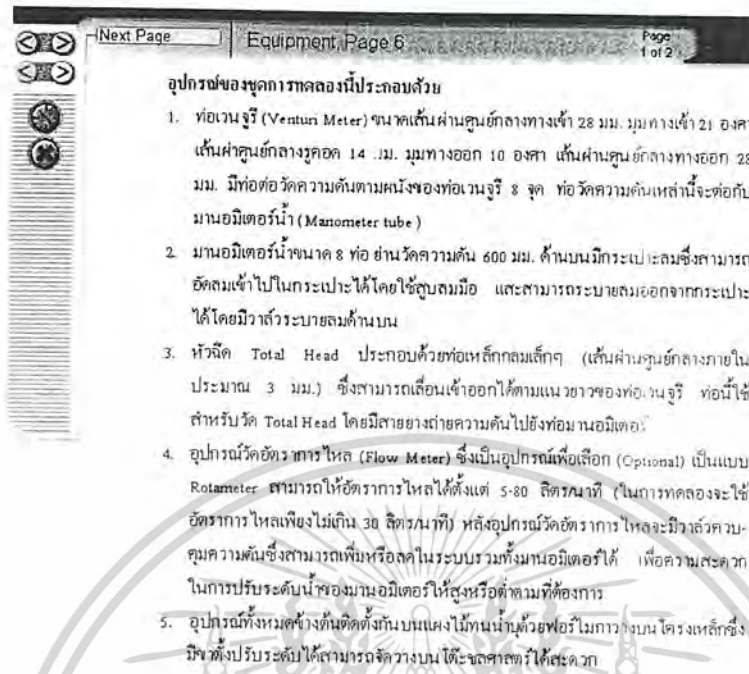
$$F = \rho g h_c A$$

- เมื่อ F = แรงดันทั้งหมดของไหลสถิตย์ มีหน่วยเป็น นิวตัน
 h = ความลึกของของไหลที่วัดจากผิวของของไหลถึงจุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิว มีหน่วยเป็นเมตร
 A = พื้นที่ผิวที่จมอยู่ในของไหล มีหน่วยเป็น ตารางเมตร
 ρ และ g ขึ้นอยู่กับที่กำหนดไว้ในสมการที่ (1)
- พิจารณาหน่วยเวกเตอร์ มีหน่วยเท่ากับ A วาเอือท่ามม θ กับผิวหน้าอิสระของของไหลดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 4.3.4 ทฤษฎี (ต่อ)

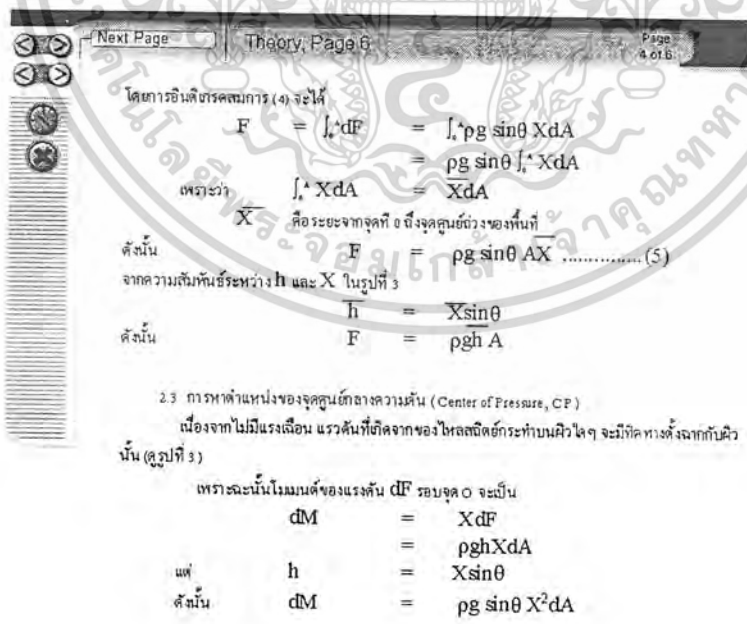
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.3.5



รูปที่ 4.3.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.3.6



รูปที่ 4.3.6 ทฤษฎี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.3.7

Next Page Theory, Page 7 Page 5 of 6

ฉะนั้น $M = \int_A dM = \int_A \rho g X^2 \sin \theta dA$
 $= \rho g \sin \theta \int_A X^2 dA$
 เพราะว่า $\int_A X^2 dA = I_o$
 $=$ โมเมนต์ที่สองของพื้นที่รอบจุด O
 ดังนั้น $M = \rho g \sin \theta I_o \dots\dots\dots(7)$
 เมื่อ $M =$ โมเมนต์ทั้งหมดของแรงดันรอบจุด O
 $= FX_p$ (ดูรูปที่ 3)
 เพราะฉะนั้นจะได้ $FX_p = \rho g I_o \sin \theta$
 จากสมการ(5) $F = \rho g A \bar{X} \sin \theta$
 ดังนั้น $\rho g A \bar{X} X_p \sin \theta = \rho g I_o \sin \theta$
 ผลคือ

$$X_p = \frac{I_o}{A \bar{X}}$$

จากทฤษฎีของแกนขนาน (Parallel Axis Theorem) จะได้

ดังนั้น $I_o = I_{cc} + A X^2$
 $X_p = \frac{I_{cc} + A X^2}{I_{cc} + A X^2}$
 หรือ $X_p = \frac{A \bar{X}}{X} + \frac{I_{cc}}{XA}$

รูปที่ 4.3.7 ทฤษฎี (ต่อ)

8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.3.8

Next Section Theory, Page 8 Page 6 of 6

เมื่อ $X_p =$ ระยะจากจุด O ตามแนวเอียงถึงจุดศูนย์กลางของควมดัน (CP) มีหน่วยเป็นเมตร
 $X =$ ระยะจากจุด O ตามแนวเอียงถึงจุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิว A มีหน่วยเป็นเมตร
 $I_{cc} =$ โมเมนต์ที่สองของพื้นที่ A รอบจุดศูนย์กลาง
 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจุดศูนย์กลางของควมดันจะอยู่ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิวเสมอ อนึ่งค่า I_{cc} ของพื้นที่รูปร่างต่างๆกันนั้น จะหาได้จากหนังสือกลศาสตร์ของไหล และกลศาสตร์ของแข็งทั่วไป

รูปที่ 4.3.8 ทฤษฎี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.3.9

Next Page | Equipment Page 9 | Page 1 of 2

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Equipments)

อุปกรณ์สำหรับทดลองหาจุดศูนย์กลางความดัน

พื้นที่ผิวที่จะทดลองหาจุดศูนย์กลางความดันจะอยู่ในแนวตั้งหรือ $\theta = 90$ องศา
พื้นที่ผิวมีขนาดกว้าง 75 มม. สูง 100 มม.

ผิวทรงกระบอกกลาง $1/4$ ของวงกลมรัศมีภายใน 100 มม. รัศมีภายนอก 200 มม.
ความหนาของแผ่นอยู่ที่ 0 ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของทรงกระบอกกลาง

รูปที่ 5 อุปกรณ์ทดลองหาจุดศูนย์กลางของความดัน

ขณะไม่มีน้ำในถังน้ำหนัก P ซึ่งปรับระยะจากจุดหมุน O ได้จะถูกปรับให้ถ่วงน้ำหนักกับน้ำหนักของ
คันและส่วนของทรงกระบอกให้สมดุลในแนวราบ โดยไม่ต้องมีน้ำหนัก m มาตั้งที่ปลายคัน ฉะนั้นน้ำหนัก P จะ
ไม่มีผลต่อการทดลอง

รูปที่ 4.3.9 อุปกรณ์การทดลอง

10) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.3.10

Next Page | Theory Page 7 | Page 5 of 6

ดังนั้น $M = \int \rho g X^2 \sin \theta dA$
 $= \rho g \sin \theta \int X^2 dA$
 เพราะ $\int X^2 dA = I_0$
 = โมเมนต์ที่สองของพื้นที่รอบจุด O
 ดังนั้น $M = \rho g \sin \theta I_0$ (7)
 เมื่อ $M = F X_p$ (ดูรูปที่ ๖)
 เพราะฉะนั้นจะได้ $F X_p = \rho g I_0 \sin \theta$
 จากสมการ (๖) $F = \rho g A \bar{X} \sin \theta$
 ดังนั้น $\rho g A \bar{X} X_p \sin \theta = \rho g I_0 \sin \theta$
 ผลคือ $X_p = \frac{I_0}{A \bar{X}}$

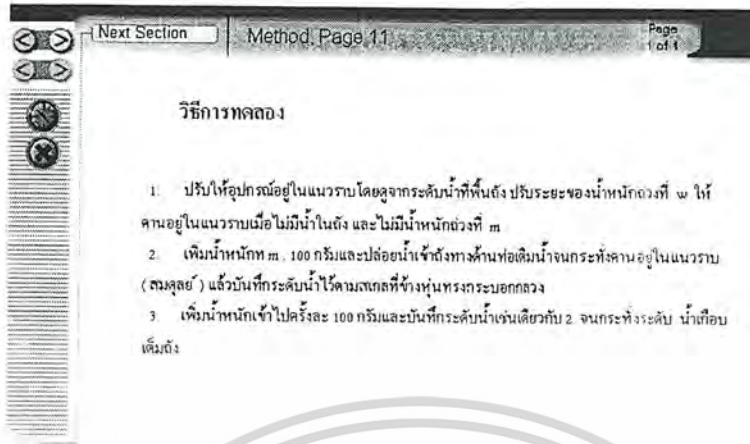
จากทฤษฎีของแกนขนาน (Parallel Axis Theorem) จะได้

ดังนั้น $I_0 = I_{cc} + A \bar{X}^2$
 $X_p = \frac{I_{cc} + A \bar{X}^2}{A \bar{X}}$
 หรือ $X_p = \bar{X} + \frac{I_{cc}}{A \bar{X}}$

รูปที่ 4.3.10 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ)

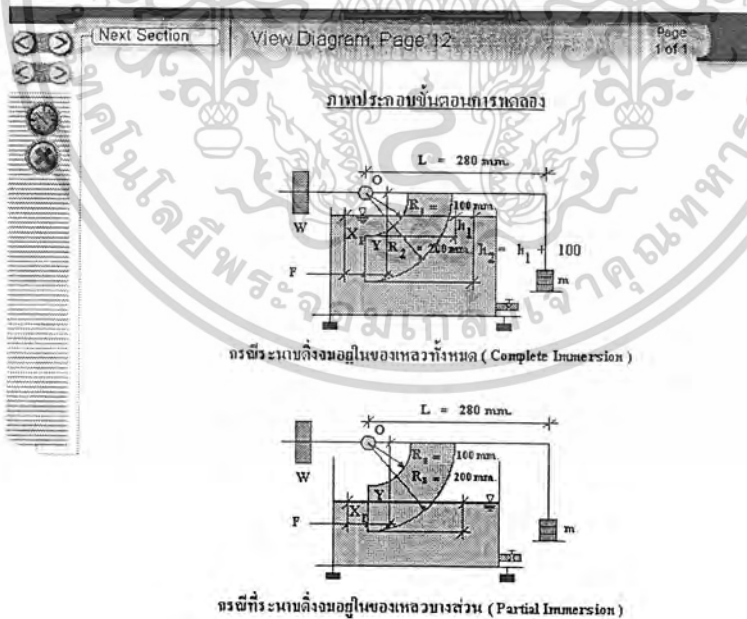
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.3.11



รูปที่ 4.3.11 วิธีการทดลอง

12) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.3.12



รูปที่ 4.3.12 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
-76-
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจตุรูปที่ 4.3.13

Calculation, Page 13

วิธีกรคำนวณ

- กรณีของเหลวท่วมผิวความดัน

จุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิว = จุดศูนย์กลางของพื้นที่ (75)(100) มม.

จากสมการที่ 3

$$F = \rho g h A$$

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ = 1000 กก./ม³

g = อัตราเร่งของแรงดึงดูดของโลก = 9.81 ม./วินาที²

h = ความลึกของของไหลที่วัดจากผิวของของเหลวถึงจุดศูนย์กลางของพื้นที่ผิว

$$= (h_1 + h_2 + 100)/2 = h_1 + 50 \cdot 10^3$$

A = พื้นที่ผิวที่จมอยู่ในของเหลว = (75)(100) (10⁻⁶ ม²)

$$F = (1000 \text{ กก./ม}^3) (9.81 \text{ ม./วินาที}^2) (h_1 + 50) (10^3 \text{ ม.}) (7500) (10^{-6} \text{ ม}^2)$$

$$= 9.81 (h_1 + 50) (75) (10^4 \text{ กก-ม./วินาที}^2) = \text{นิวตัน}$$

จากสมการ $\bar{X} = h \sin \theta = h$ ($\theta = 90^\circ$)

$$I_{cc} = BH^3/12 = (75)(100^3)/12 \text{ มม.}^3$$

$$I_{cc}/AX = (75)(100^3)/(12)(75)(100)(h_1 + 50)$$

X_p ทดลอง

$$= X + I_{cc}/AX$$

$$= (h_1 + 50) + (75)(100^3)/(12)(75)(100)(h_1 + 50)$$

รูปที่ 4.3.13 วิธีกรคำนวณ

14) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจตุรูปที่ 4.3.14

Calculation, Page 14

จากสมการที่ (11) X_p ทดลอง

$$= Y - R_1 + h_1$$

$$= mgL/F - R_1 + h_1$$

$$= mgL/\rho g h A - 100 + h_1$$

$$= mL/\rho h A - 100 + h_1$$

$$X_p = mL/\rho (h_1 + 50) A - 100 + h_1$$

m และ h_1 ได้จากการทดลอง

$$\rho = 1000 \text{ กก./ม}^3$$

$$L = 280 \text{ มม.}$$

$$A = (75)(100 \text{ มม.}^2) = (75)(100)(10^{-6} \text{ ม}^2)$$

- กรณีของเหลวไม่ท่วมพื้นที่ผิวความดัน

$$h = h_2/2 = X$$

$$A = (h_2)(75 \text{ มม.}^2)$$

$$I_{cc} = (75)(h_2^3)/12$$

$$R_2 = Y + (h_2 - X_p)$$

X_p ทดลอง

$$= Y - R_2 + h_2$$

$$R_2 = 200 \text{ มม.}$$

$$Y = mgL/F = mgL/\rho g h A = 2mL/\rho h A$$

ดังนั้น X_p ทดลอง

$$= 2mL/\rho h A - 200 + h_2$$

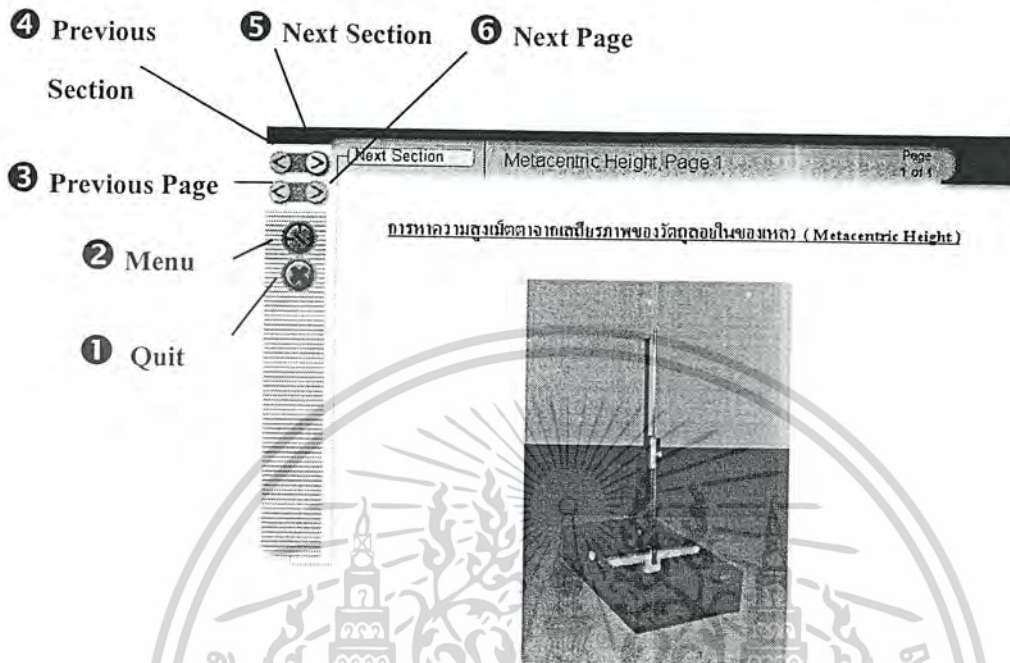
รูปที่ 4.3.14 วิธีกรคำนวณ (ต่อ)

หมายเหตุ หากต้องการออกจากโปรแกรม ให้คลิกปุ่มกากบาท 1 (Quit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

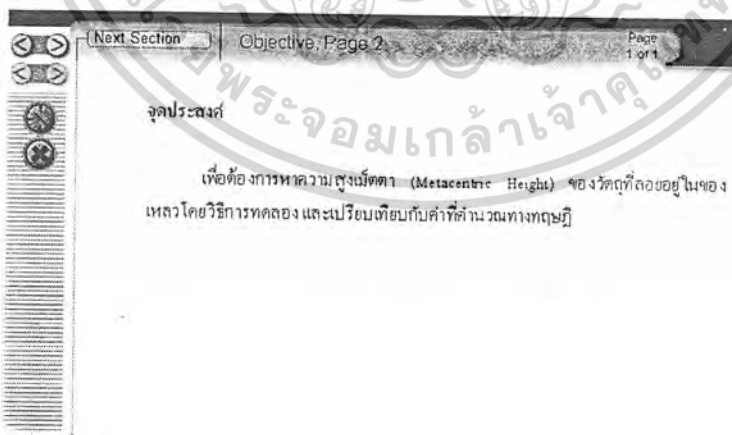
4.4 การหาความสูงเมตตาเซนตริก (Metacentric Height)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.4.1



รูปที่ 4.4.1 การหาความสูงเมตตาเซนตริก (Metacentric Height)

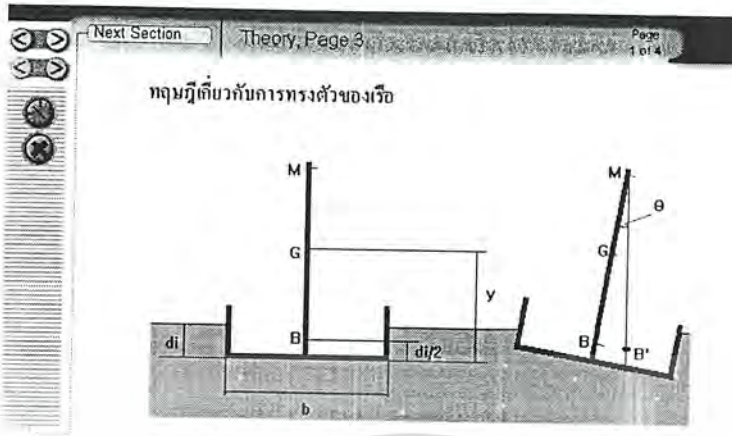
2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.4.2



รูปที่ 4.4.2 จุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

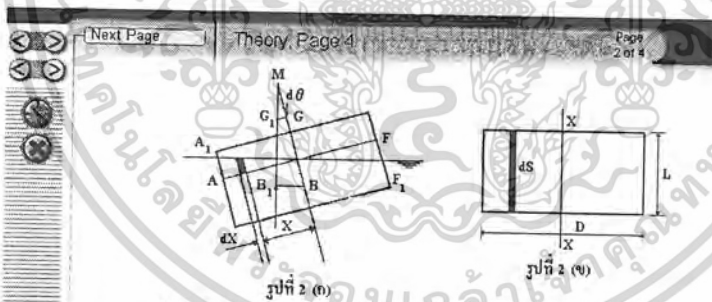
3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.4.3



จากรูป เป็นรูปเรือที่ทรงตัวอยู่ในแนวราบ น้ำหนักของเรือจะก่ดลงผ่านจุด G ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของเรือ ขณะเดียวกันก็จะมีแรงยกของน้ำที่ก่ดแทนที่ขึ้นผ่านจุด B ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของน้ำที่ก่ดแทนที่ น้ำหนักของเรือและแรงยกของน้ำนี้จะมีค่าเท่ากันแต่ทิศทางตรงกันข้าม สำหรับการศึกษาศึกษาเกี่ยวกับเสถียรภาพของเรือนี้ เราจะพิจารณากรณีที่เรือเอียงไปเล็กน้อยเป็นมุม $d\theta$ แสดงดังรูปหน้าถัดไป

รูปที่ 4.4.3 ทฤษฎี

4) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.4.4



เมื่อเรือเอียงจุดศูนย์กลางของน้ำหนักที่ถูกแทนที่จะย้ายจากจุด B ไปจุด B₁ และแนวแรงพอง (แนวตั้ง) จะเลยไปตัดแนวเส้น BC ที่จุด M ซึ่งเราเรียกจุดนี้ว่าจุดศูนย์กลางเมตตา
แรงหมุนอันเกิดจากน้ำหนักของเรือผ่านจุด G และแรงพองผ่านจุด B₁ จะทำให้เรือพยายามบิดกลับให้อยู่ในแนวราบทำให้เรือมีเสถียรภาพ แต่ถ้าจุด M อยู่ต่ำกว่าจุด G แรงหมุนจากน้ำหนักเรือผ่านจุด G และแรงพองผ่านจุด B₁ จะทำให้เรือเอียงมากขึ้นทำให้เรือไร้เสถียรภาพ และถ้าจุด G และจุด M ทับกันพอดี เรือก็จะอยู่ในสภาพเป็นกลาง

เราอาจทดลองหาหระยะ GM ความสูงเมตตาเซนตริกได้โดยการเลื่อนน้ำหนักถ่วงตามแนวนอนไปจากจุดศูนย์กลาง G ให้ ω เป็นน้ำหนักเลื่อนตามแนวนอน และ w เป็นน้ำหนักของเรือทั้งหมด สมมติว่า ω เลื่อนไปเป็นระยะ dx จากแนวศูนย์กลางเราจะได้จุดศูนย์กลางของเรือเลื่อนไปเป็นแนวขนานกับพื้นเรือเป็นระยะเท่ากับ $\omega/w dx$ ซึ่งในขณะนั้นเรือจะทรงตัวมีงอยู่ในแนวเอียงเป็นมุม $d\theta$ กับแนวเดิม

รูปที่ 4.4.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.4.5

Next Page Theory, Page 5 Page 3 of 4

จะโน้มระยะ $G G_1 = \omega/W \cdot dX_1$
 ขณะเดียวกัน $G G_1 = GM \tan d\theta$
 ฉะนั้นเราจะได้ $\omega/W \cdot dX_1 = GM \tan d\theta$
 $GM = \omega/W \cdot dX_1 / d\theta$

เราสามารถวัดค่า $dX_1/d\theta$ ได้จากการทดลองและซึ่งน้ำหนัก ω และ W ได้เราสามารถหา
 ค่าความสูงเมตาเซนตริกได้
 ในทางทฤษฎีสามารถหาระยะ $B M$ ได้จากจลนศาสตร์ของเรือและปริมาตรของน้ำที่เรือเข้าแทนที่

รูปที่ 2 (ก) รูปที่ 2 (ข)

จากรูปที่ 2 (ก) แรงหมุนที่เกิดจากจุดศูนย์กลางของแรงพุ่งเลื่อนจากจุด B ไป B_1 จะได้จาก
 แรงพุ่งที่เพิ่มขึ้นตามสามเหลี่ยม $A A_1 C$ และแรงพุ่งที่ลดลงตามสามเหลี่ยม $C F F_1$
 แรงหมุนนี้คิดได้จาก ปริมาตรเล็กๆของเนื้อที่ dS ในรูปที่ 2 (ข) มีความสูงเท่ากับ $X \cdot d\theta$
 ในรูปที่ 2 (ก) ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ $X \cdot dS \cdot d\theta$

รูปที่ 4.4.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.4.6

Next Section Theory, Page 5 Page 4 of 4

จะโน้มน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ = $\rho \cdot X \cdot dS \cdot d\theta$
 ρ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ
 แรงหมุนของปริมาตรเล็กๆนี้รอบจุด B = $\gamma \cdot X^2 \cdot dS \cdot d\theta$
 ฉะนั้นแรงหมุนทั้งหมดรอบจุด B = $\int \gamma \cdot X^2 \cdot dS \cdot d\theta$
 $= \gamma \cdot d\theta \cdot \int X^2 \cdot dS$ (1)

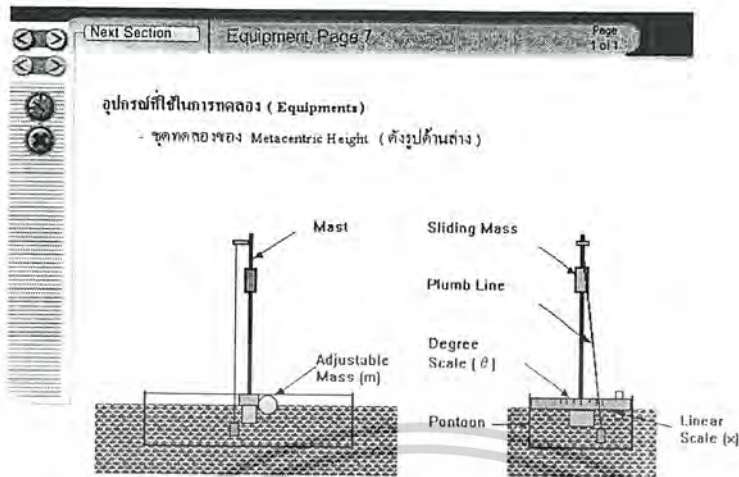
แต่ $\int X^2 \cdot dS = I$ = โมเมนต์ที่สองรอบแกนหมุน XX ตามรูปที่ 2 (ข)
 $I = LD^3/12$

ขณะเดียวกันแรงหมุนนี้เราอาจหาได้จากแรงพุ่งของน้ำศูนย์กลางด้วยระยะทางเคลื่อนที่ไป
 ให้ V = ปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่

ดังนั้น แรงพุ่ง = γV
 แรงหมุน = $\gamma V BB_1$ (2)
 ดังนั้น $\gamma V BB_1 = \gamma \cdot d\theta \cdot \int X^2 \cdot dS$
 แต่ $BB_1 = BM \cdot d\theta$
 ดังนั้น $\gamma V \cdot BM \cdot d\theta = \gamma \cdot d\theta \cdot \int X^2 \cdot dS = \gamma \cdot d\theta \cdot I$
 จะได้ $BM = I/V$

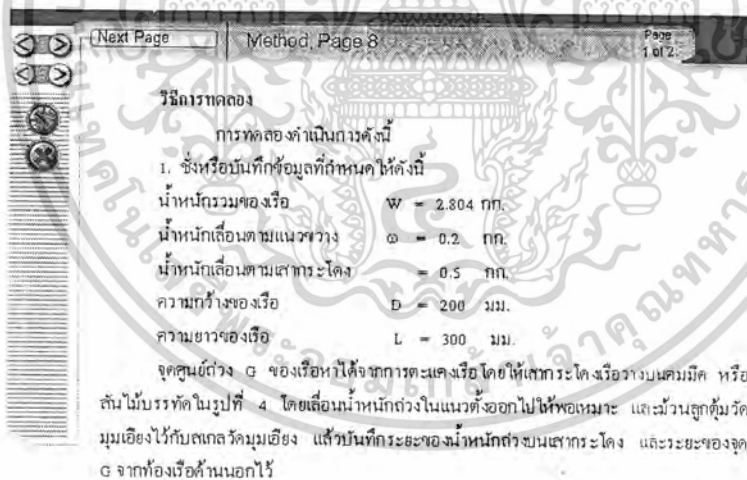
รูปที่ 4.4.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.4.7



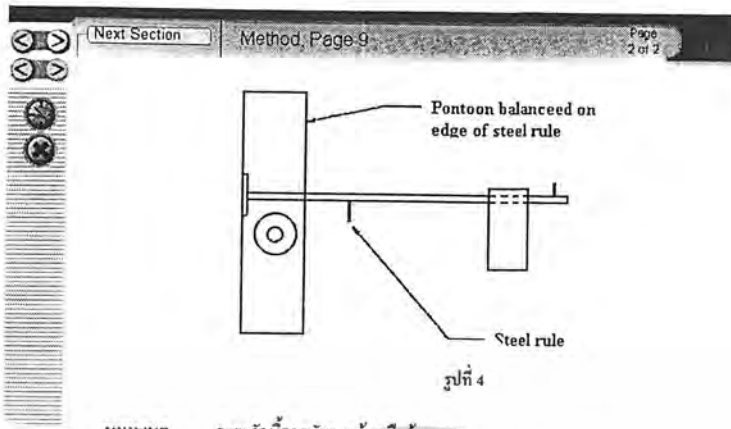
รูปที่ 4.4.7 อุปกรณ์การทดลอง

8) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.4.8



รูปที่ 4.4.8 วิธีการทดลอง

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.4.9



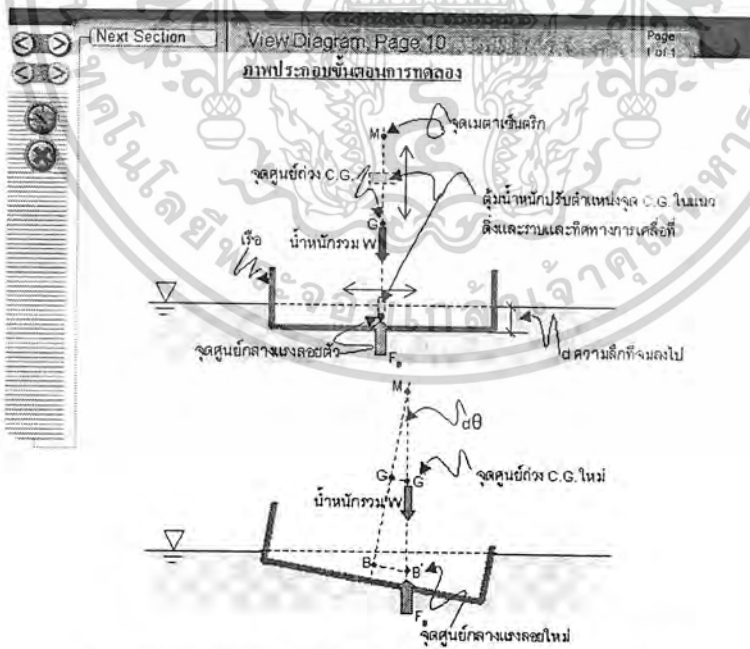
รูปที่ 4

หมายเหตุ ระยะวัดนี้ควรนับจากท้องเรือด้านนอก

2. เอาเรือลอยในอ่าง ตำแหน่งมุมเอียงควรเป็น 0 องศาเมื่อน้ำหนักเลื่อนตามแนวขวาง อยู่กึ่งกลางเรือ
3. เลื่อนน้ำหนักเลื่อนตามแนวขวาง ห่างออกไปจากจุดกึ่งกลาง แล้วบันทึกระยะห่างและมุมเอียงของเรือเอาไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของน้ำหนักเลื่อนตามแนวขวาง
4. เลื่อนตำแหน่งของน้ำหนักบนเสากะโคงและบันทึกตำแหน่งไว้ แล้วทำ 3.3 ซ้ำอีก

รูปที่ 4.4.9 วิธีการทดลอง (ต่อ)

10) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.4.10



ภาพแสดงจุด M และ C.G. ของวัตถุเรือในสถานะที่เรือเอียงอันเนื่องมาจาสถานะ C.G. เปลี่ยนไป

รูปที่ 4.4.10 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.4.11

วิธีการคำนวณ

$$I = LD^3/12 = (360)(200)^3/12 \text{ มม.}^4$$

$$= 2.4 \cdot 10^6 \text{ มม.}^4$$

ปริมาตรของน้ำที่ถูกเรือแทนที่ $V = W/10^3 \text{ ม.}^3 = 2.804 \cdot 10^3 \text{ ม.}^3$

$$BM = I/V = 2.4 \cdot 10^6 / 2.804 \cdot 10^3 = 0.856 \text{ ม.} = 85.6 \text{ มม.}$$

เรือจะจมน้ำลึก $= V/LD = 2.804 \cdot 10^3 / 0.36 \cdot 0.2 = 0.0389 \text{ ม.}$

ดังนั้น ความสูงของจุดศูนย์กลาง CB $= 38.94/2 = 19.45 \text{ มม.}$

ความสูงของจุดศูนย์กลางกึ่งกลางตามแนวนอนน้ำ, CM $= BM \cdot CB$

$$= 85.6 \cdot 19.45 = 66.15 \text{ มม.}$$

เมื่อตะแคงเรือเพื่อหาจุดศูนย์กลาง ผลการวัดเป็นดังนี้

ระยะน้ำหนักถ่วงบนเสากระโดงห่างจากท้องเรือ $= Y_1 = 375 \text{ มม.}$

จุดศูนย์กลางห่างจากท้องเรือ $= Y = 120 \text{ มม.}$

ซึ่งระยะ Y จะเปลี่ยนไปตามระยะ Y₁

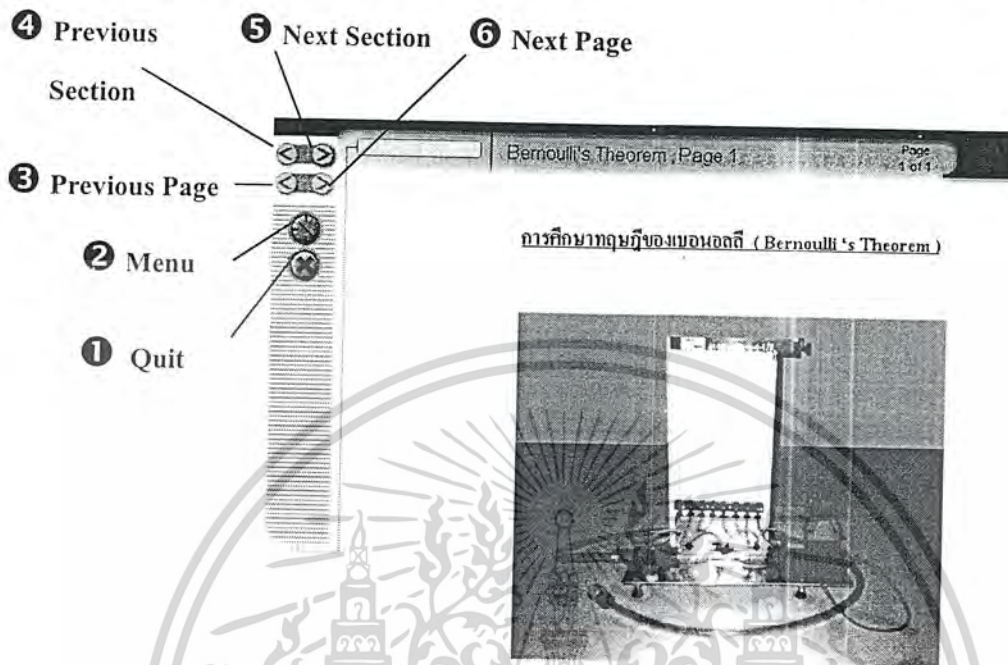
รูปที่ 4.4.11 วิธีการคำนวณ

หมายเหตุ

เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

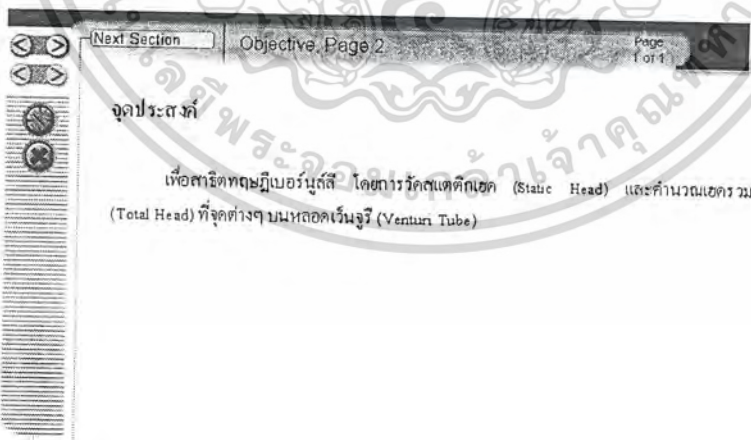
4.5 การศึกษาทฤษฎีของเบอนอลลี (Bernoulli 's Theorem)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.5.1



รูปที่ 4.5.1 การศึกษาทฤษฎีของเบอนอลลี (Bernoulli 's Theorem)

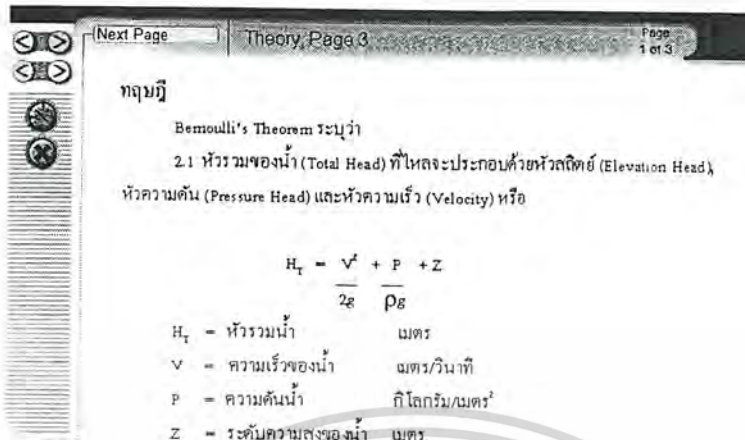
2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.5.2



รูปที่ 4.5.2 จุดประสงค์

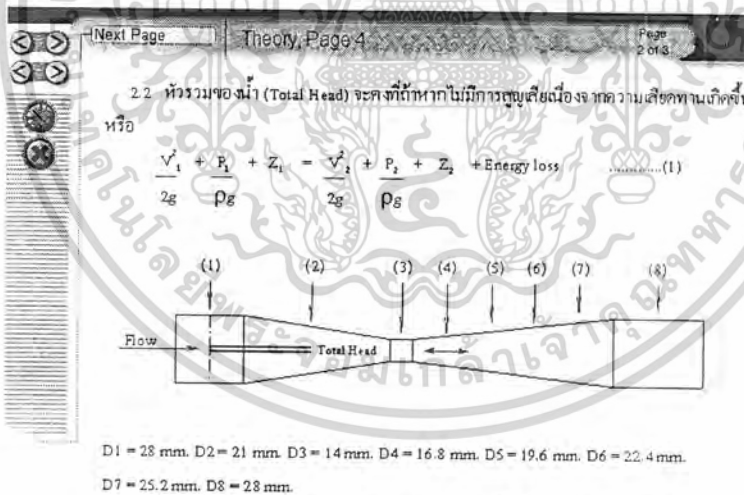
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.5.3



รูปที่ 4.5.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.5.4



ในการพิจารณาไหลในแนวระนาบ Z_1 จะเท่ากับ Z_2 และในกรณีที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 อยู่ใกล้กันการสูญเสียพลังงานระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะน้อยมาก ฉะนั้น

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} \dots\dots(2)$$

รูปที่ 4.5.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.5.5

หรือ
$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{P_2}{\rho g} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad \dots\dots(3)$$

จะเห็นว่าจุดที่ 1 และจุดที่ 2 มีเส้นผ่านศูนย์กลางท่อแตกต่างกัน V_1 และ V_2 ก็จะมีค่าแตกต่างกันด้วย ฉะนั้นรัศมีความดันระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ก็แตกต่างกันด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นได้โดยความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ในมานอมิเตอร์

ในทำนองเดียวกันเราอาจจะเทียบ Total Head ระหว่างจุดใดจุดหนึ่งกับปลายท่อ Total Head

$$H_T = \frac{V_T^2}{2g} + \frac{P_T}{\rho g} + Z_T = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 \quad \dots\dots(4)$$

ในกรณีนี้ $Z_T = Z_1$ และ $V_T = 0$

$$\frac{P_T}{\rho g} = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} \quad \dots\dots(5)$$

หรือ
$$\frac{P_T}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} = \frac{V_1^2}{2g} = \text{Velocity Head} \quad \dots\dots(6)$$

จะเห็นว่า Velocity Head สามารถแสดงได้ด้วยผลต่างระหว่าง Total Head ($P_T/\rho g$) และ Pressure Head ($P_1/\rho g$) ที่มานอมิเตอร์

รูปที่ 4.5.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.5.6

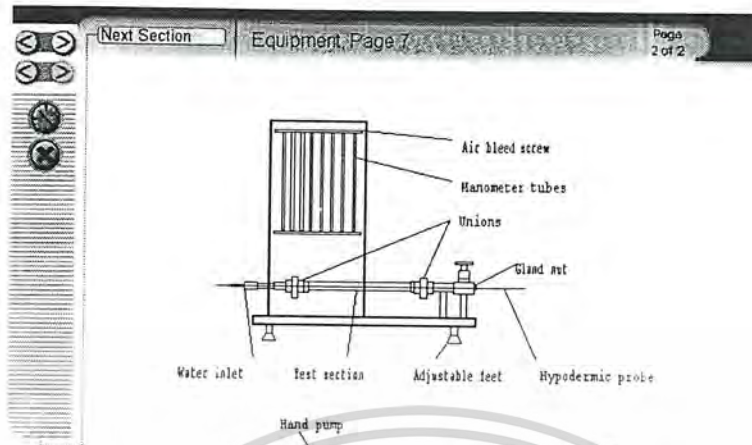
อุปกรณ์ของชุดการทดลองมีประกอบด้วย

1. ท่อเวนจูรี (Venturi Meter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า 28 มม. มุมทางเข้า 21 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางรูออก 14 มม. มุมทางออก 10 องศา เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก 28 มม. มีท่อวัดความดันตามคาน้ำของท่อเวนจูรี 8 จุด ท่อวัดความดันเหล่านี้จะต่อกับมานอมิเตอร์น้ำ (Manometer tube)
2. มานอมิเตอร์น้ำขนาด 8 ท่อ ยานวัดความดัน 600 มม. ด้านบนมีกระเปาะเป่าลมซึ่งสามารถอัดลมเข้าไปในกระเปาะได้โดยใช้สเปลมมือ และสามารถระบายลมออกจากกระเปาะได้โดยมีวาล์วระบายลมด้านบน
3. หัวฉีด Total Head ประกอบด้วยท่อเหล็กกลมเล็กๆ (เส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 3 มม.) ซึ่งสามารถเลื่อนเข้าออกได้ตามแนวของท่อเวนจูรี ท่อนี้ใช้สำหรับวัด Total Head โดยมีสายยางถ่ายความดันไปยังท่อมานอมิเตอร์
4. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Meter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เพื่อเลือก (Optional) เป็นแบบ Rotameter สามารถให้อัตราการไหลได้ตั้งแต่ 5-80 ลิตร/นาที (ในการทดลองจะใช้อัตราการไหลเพียงไม่เกิน 30 ลิตร/นาที) หลังอุปกรณ์วัดอัตราการไหลจะมีวาล์วควบคุมความดันซึ่งสามารถเพิ่มหรือลดในระบบรวมทั้งมานอมิเตอร์ได้ เพื่อความสะดวกในการปรับระดับน้ำของมานอมิเตอร์ให้สูงหรือต่ำตามที่ต้องการ
5. อุปกรณ์ทั้งหมดข้างต้นติดตั้งกันบนแผงไม้ทึบน้ำด้วยฟอริไมทาร์วางบนโครงเหล็กซึ่งมีขั้วปรับระดับได้สามารถจัดวางบนโต๊ะสเตลลิตรีได้สะดวก

รูปที่ 4.5.6 อุปกรณ์การทดลอง

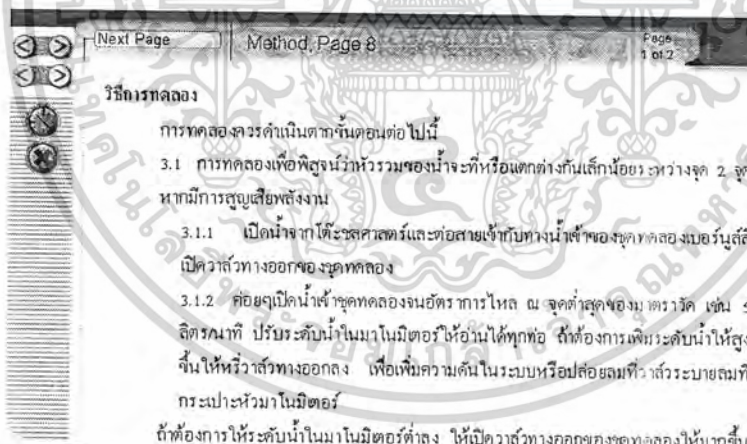
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 86 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.5.7



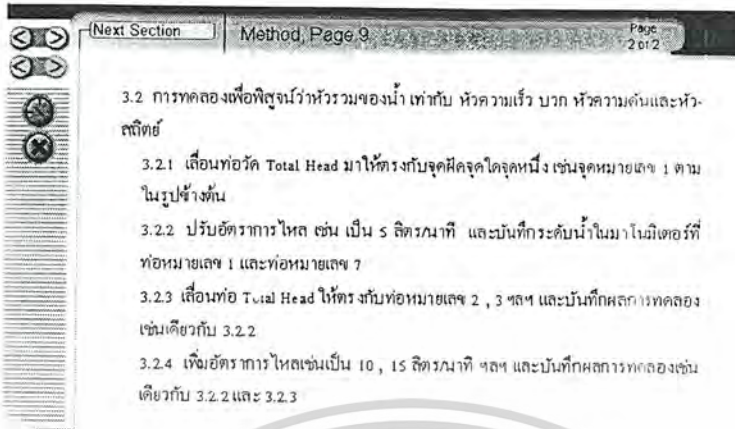
รูปที่ 4.5.7 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ)

8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.5.8



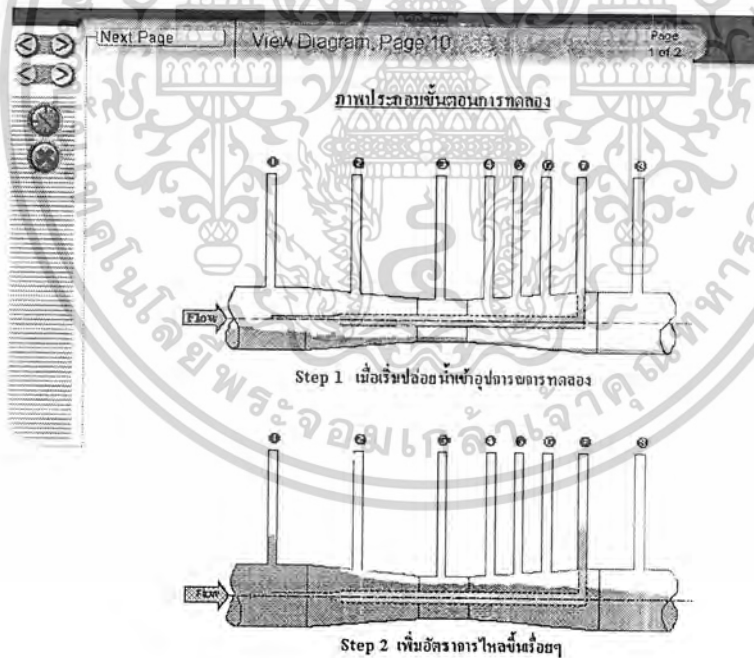
รูปที่ 4.5.8 วิธีการทดลอง

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.5.9



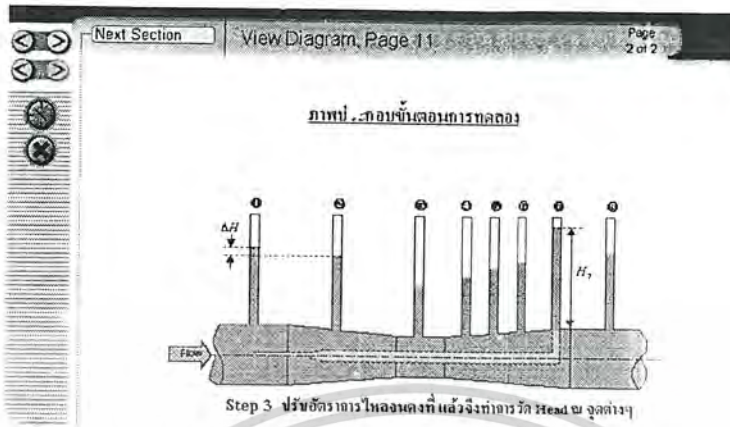
รูปที่ 4.5.9 วิธีการทดลอง (ต่อ)

10) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑤ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.5.10



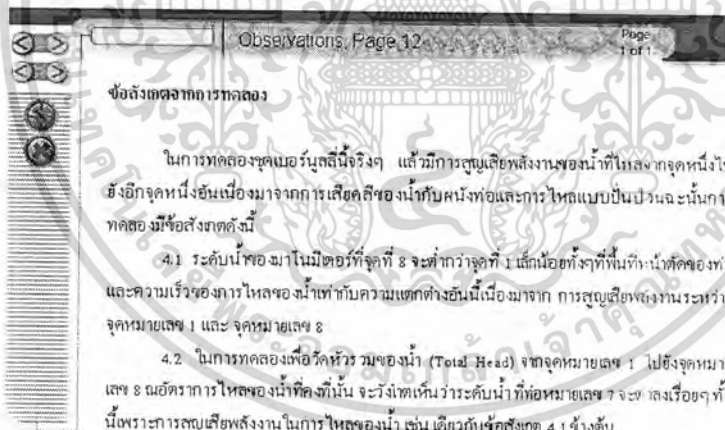
รูปที่ 4.5.10 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

11) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอผังรูปที่ 4.5.11



รูปที่ 4.5.11 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

12) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑤ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอผังรูปที่ 4.5.12

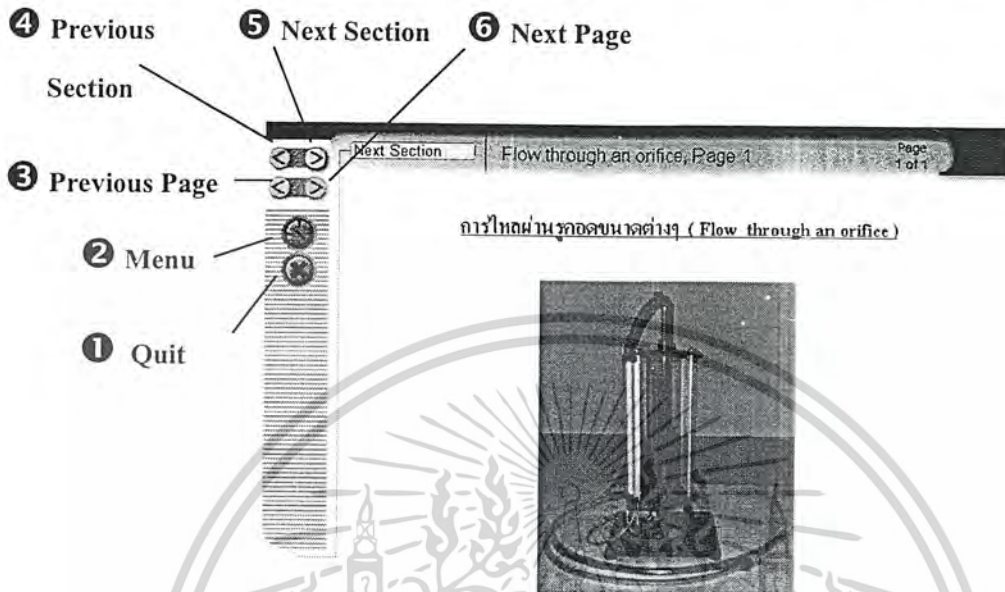


รูปที่ 4.5.12 ข้อสังเกตจากการทดลอง

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่มกากบาท หมายเลข ① (Quit)

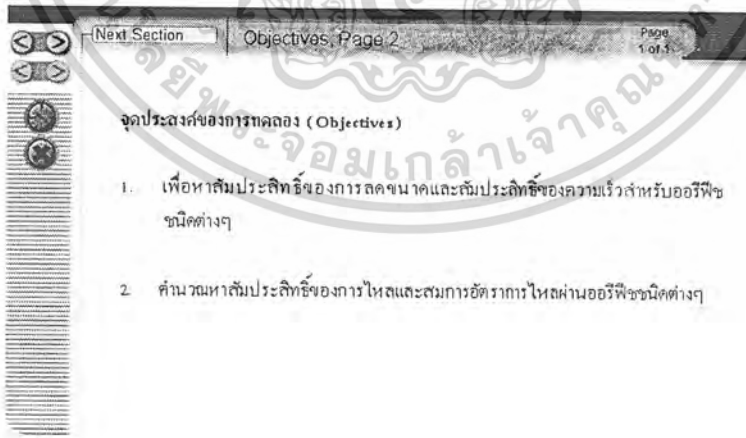
4.6 การไหลผ่านรูคอด (Flow through an orifice)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.6.1



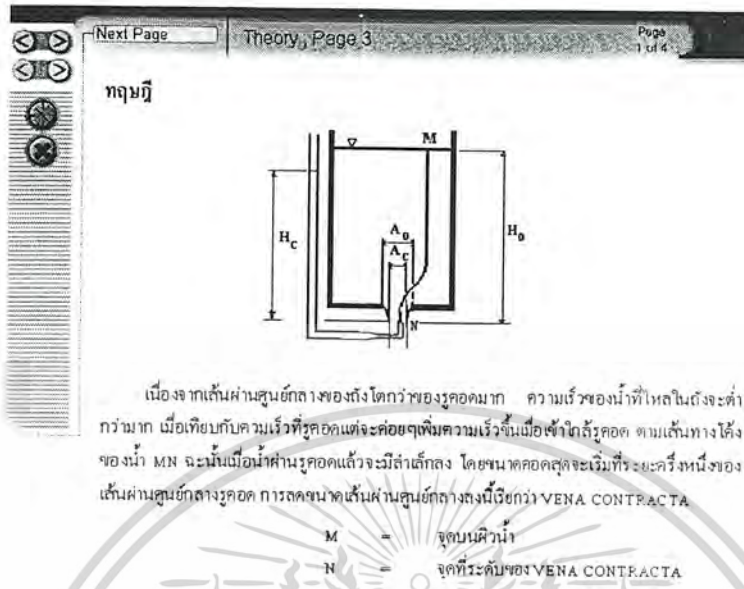
รูปที่ 4.6.1 การไหลผ่านรูคอด (Flow through an orifice)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.6.2



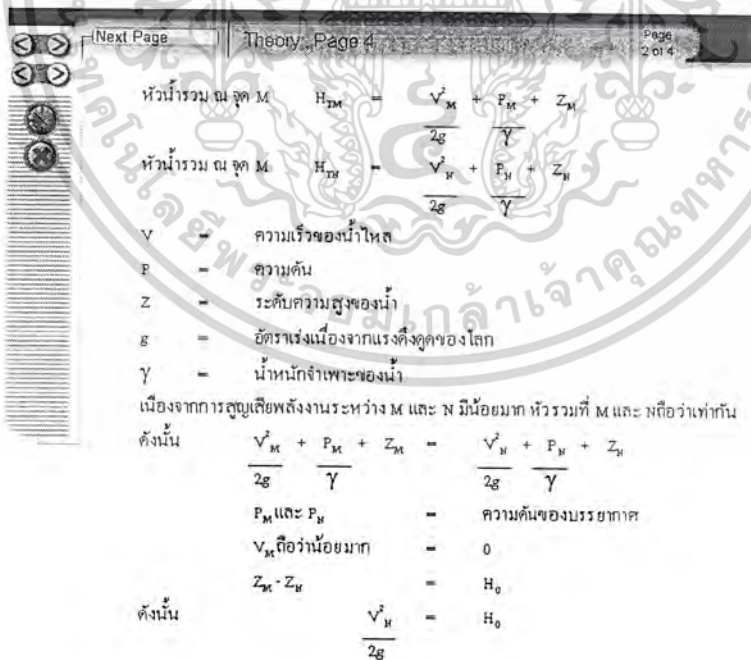
รูปที่ 4.6.2 จุดประสงค์

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.6.3



รูปที่ 4.6.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.6.4



รูปที่ 4.6.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.6.5

Next Page Theory, Page 5 Page 3 of 4

เพื่อให้สอดคล้องกับ H_0 เราจะเรียกความเร็วของน้ำ ณ จุด M นี้ใหม่ว่า V_0 ซึ่งเป็นความเร็วทางทฤษฎี

ดังนั้น
$$V_0 = \sqrt{2gH_0}$$

แต่เมื่อน้ำไหลผ่านรูคอคจะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วน ความเร็วจริงของน้ำ ณ VENA CONTRACTA = V_c ซึ่งต่ำกว่า V_0

ความเร็ว V_c นี้วัดจากปากท่อปีโตตโดย
$$V_c = \sqrt{2gH_c}$$
 และ H_c จะมีค่าน้อยกว่า H_0

อัตราส่วน
$$\frac{V_c}{V_0} = \sqrt{\frac{H_c}{H_0}} = C_v$$
 สัมประสิทธิ์ความเร็ว (COEFFICIENT OF VELOCITY)

กำหนดตัวกันให้ $A_0 =$ พื้นที่หน้าตัดของรูคอค
 $A_c =$ พื้นที่หน้าตัดของ VENA CONTRACTA

$$CC = \frac{A_c}{A_0}$$
 สัมประสิทธิ์การหดตัว (COEFFICIENT OF CONTRACTION)

รูปที่ 4.6.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.6.6

Next Page Theory, Page 6 Page 4 of 4

และถ้าเราพิจารณาที่อัตราการไหลของน้ำผ่านรูคอคเราพบว่า

อัตราการไหลตามทฤษฎี $= Q_0 = V_0 A_0 = A_0 \sqrt{2gH_0}$

อัตราการไหล $= Q_c = V_c A_c = A_c \sqrt{2gH_c}$

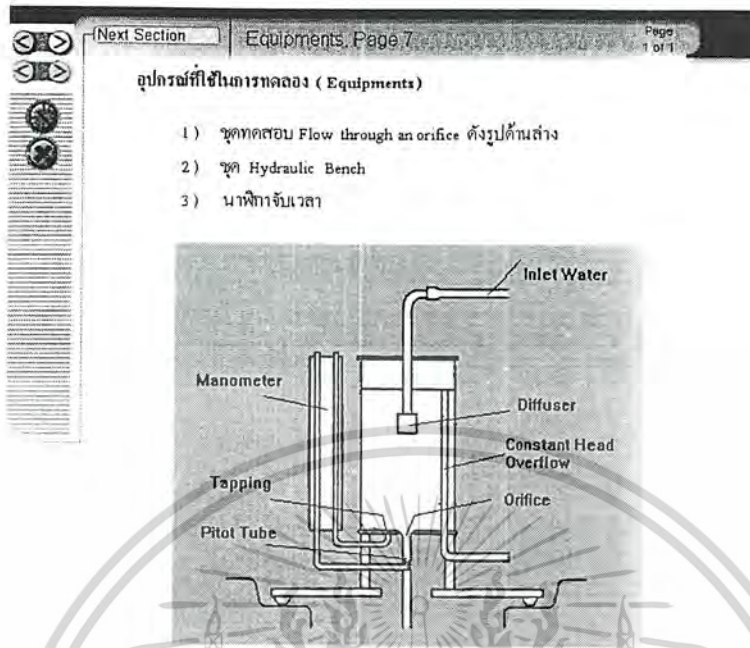
เราได้สัมประสิทธิ์ของการไหล (COEFFICIENT OF DISCHARGE) C_D

$$C_D = \frac{Q_c}{Q_0} = \frac{V_c A_c}{V_0 A_0} = \frac{Q_c}{\sqrt{2gH_0} A_0}$$

ดังนั้นเราจะได้ $C_D = C_v C_c$

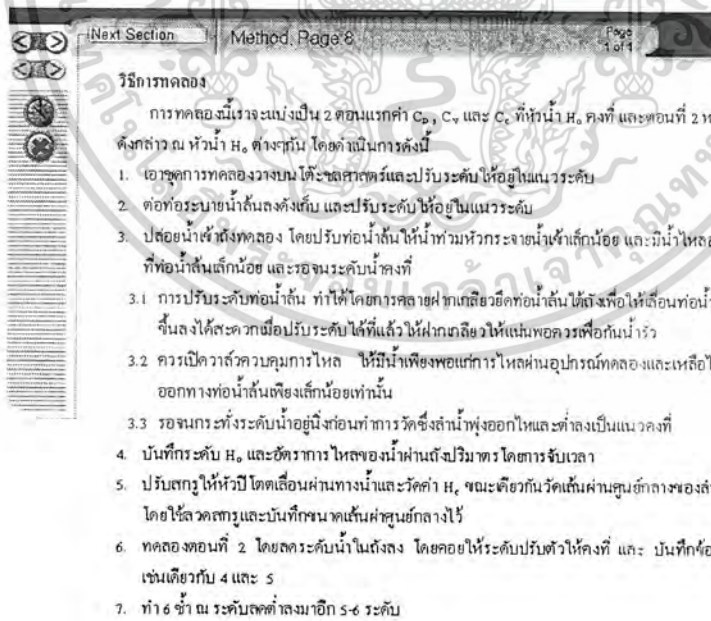
รูปที่ 4.6.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.6.7



รูปที่ 4.6.7 อุปกรณ์การทดลอง

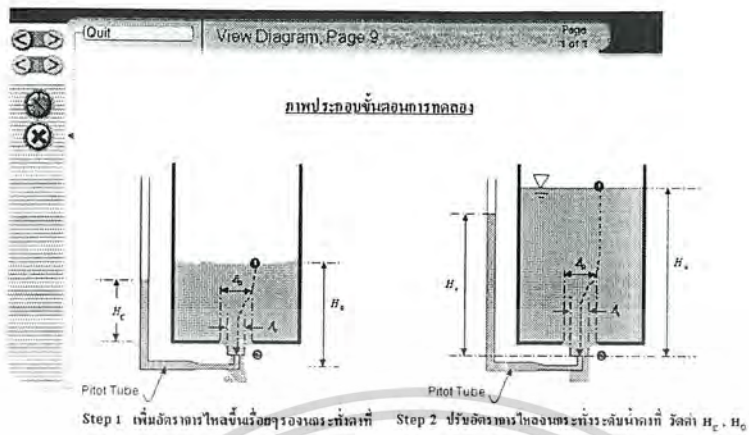
8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.6.8



รูปที่ 4.6.8 วิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.6.9



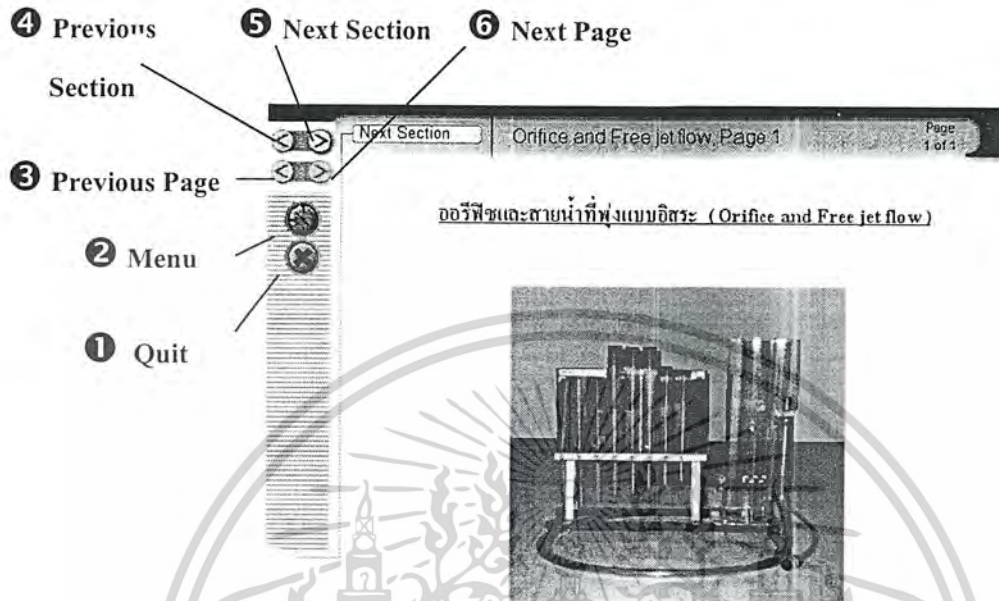
รูปที่ 4.6.9 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)



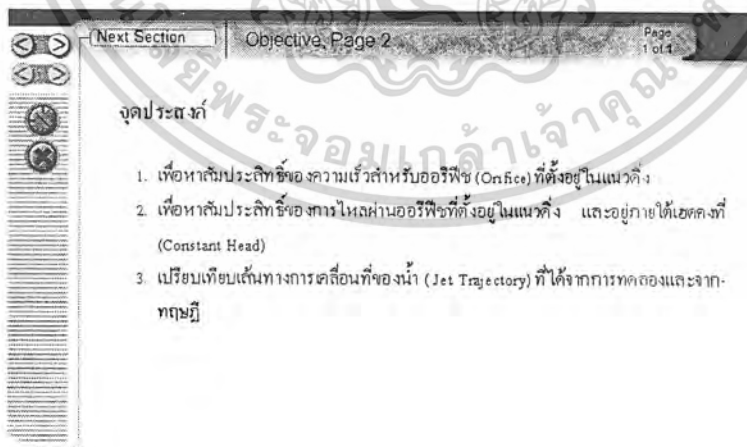
4.7 ออร์ฟิชและสายน้ำที่พุ่งแบบอิสระ (Orifice and Free Jet Flow)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.7.1



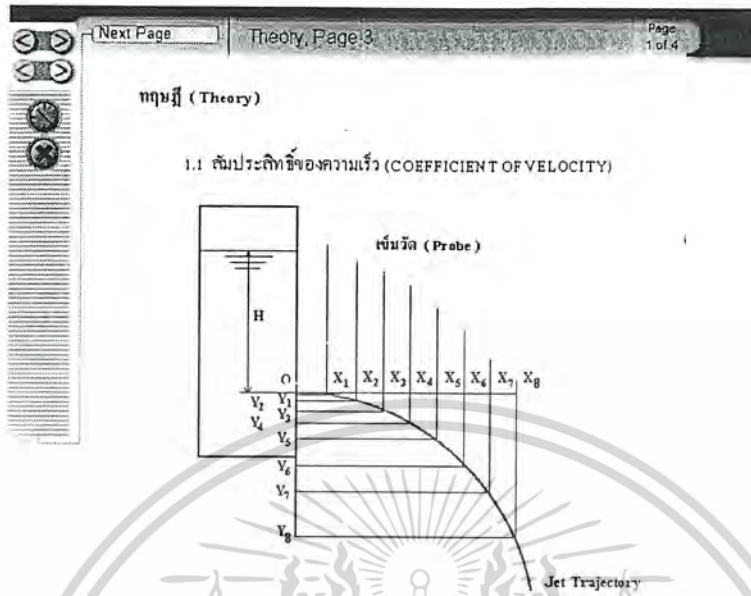
รูปที่ 4.7.1 ออร์ฟิชและสายน้ำที่พุ่งแบบอิสระ (Orifice and Free Jet Flow)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.7.2



รูปที่ 4.7.2 จุดประสงค์

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ๕ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.7.3



รูปที่ 4.7.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ๖ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.7.4

Theory, Page 4 Page 2 of 4

ที่ระดับความสูงของน้ำ H เหนือรูคอคความเร็วของน้ำตามแนวอนหันรูคอค คือ $\sqrt{2gH}$
 เมื่อน้ำไหลผ่านรูคอคแล้วจะไหลด้วยความเร็ว 2 มิตี คือ ความเร็วตามแนวอนหันและแนวตั้ง หากถือ
 ว่าความต้านทานของอากาศมีค่าน้อยมาก V จะมีค่าคงที่
 ขณะเดียวกันน้ำจะตกต่ำลงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก โดยเริ่มด้วยความเร็วในแนวตั้ง
 เท่ากับ 0 ณ รูคอค
 ให้ U เป็นความเร็วในแนวตั้ง

$$U = gt$$

$$t = \text{เวลาเป็นวินาที}$$

$$Y = 1/2 Ut = 1/2 gt^2$$

$$Y = \text{ระยะทางในแนวตั้ง}$$
 สำหรับการทดลองนี้ให้ลำน้ำสัมผัสกับปลายเข็ม ณ จุด 1,2,3.....8
 ตามลำดับ

ให้ระยะตามแนวอนหันจาก	0-1	=	X_1	
	0-2	=	X_2	ฯลฯ
และให้ระยะทางตามแนวตั้งจาก	0-1	=	Y_1	
	0-2	=	Y_2	ฯลฯ

รูปที่ 4.7.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.7.5

จาก $Y = \frac{v^2}{2g}$

$t = \sqrt{\frac{2Y}{g}}$

$t_1 = \sqrt{\frac{2Y_1}{g}}$

$t_2 = \sqrt{\frac{2Y_2}{g}}$

ขณะเดียวกัน $X_1 = v_1 t_1$

$X_2 = v_2 t_2$ ฯลฯ

$t = \frac{X_1}{v_1} = \sqrt{\frac{2Y_1}{g}}$

$v_1 = \frac{X_1}{\sqrt{2Y_1/g}}$

จากกราฟที่ตำแหน่งปลายเข็มเรหาค่า v_1, v_2 ได้
 ดังนั้นเรหาค่า v ที่แท้จริง ณ จุด h หรือ v_1 ได้ ห่างเดียวกันเรหาค่า v_2, v_3 ฯลฯ ได้ค่า v ที่ได้จริง
 เปรียบกับความเร็วตามทฤษฎีเราเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของความเร็ว (COEFFICIENT OF VELOCITY) หรือ C_v

$$C_{v1} = \frac{v_1}{V} = \frac{X_1 / \sqrt{(2Y_1)(2gH)/g}}{\sqrt{2Y_1 H}}$$

เราจงหา C_v ที่ระดับน้ำต่างๆ ได้โดยการปรับระดับของท่อน้ำขึ้น และ สำหรับจุดอื่นใดก็ได้โดย
 การเปลี่ยนขนาดรูคอด

รูปที่ 4.7.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.7.6

1.2 สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านรูคอด (COEFFICIENT OF DISCHARGE, C_d)
 จากการทดลอง น้ำที่ไหลออกจากชุดการทดลองจะไหลผ่านถึงวัดปริมาตร ฉะนั้นเราสามารถวัดอัตราการไหลได้

อัตราการไหลตามทฤษฎี $= VA = Q$

$V =$ ความเร็วตามทฤษฎี $= \sqrt{2gH}$ เมตร

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของรูคอด $= \pi d^2/4$ เมตร²

$D =$ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูคอด (เมตร)

อัตราการไหลจริงหาได้จาก การจับเวลาของถังวัดปริมาตร $= Q_d$

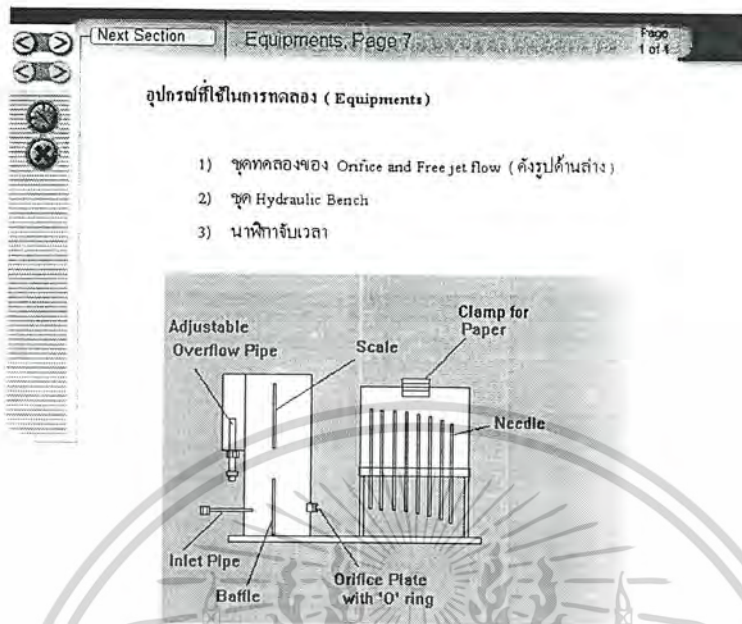
ดังนั้น สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านรูคอด $C_d = \frac{Q_d}{Q}$

$= \frac{Q_d}{\pi d^2 (\sqrt{2gH})/4}$

จากการทดลองจะพบว่า Q_d มีค่าน้อยกว่า Q ทั้งนี้เพราะเมื่อน้ำไหลผ่านรูคอดทางเดินของ
 น้ำจะโค้งเข้าหาแกนกลาง ทำให้ลำน้ำขนาดเล็กกว่ารูคอด
 การที่มีพื่นทเล็กกว่ารูคอดลงนี้เรียกว่า VENA-CONTRACTA ซึ่งจะเกิดขึ้นตั้งแต่ระยะ
 ประมาณ ครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางรูคอดเป็นต้นไป

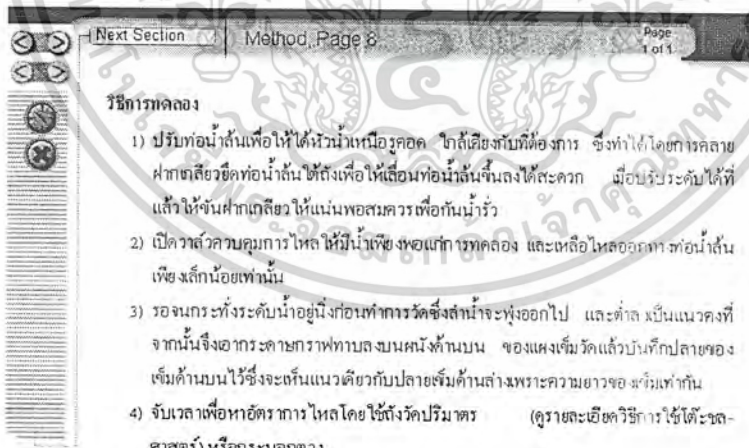
รูปที่ 4.7.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ๕ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.7.7



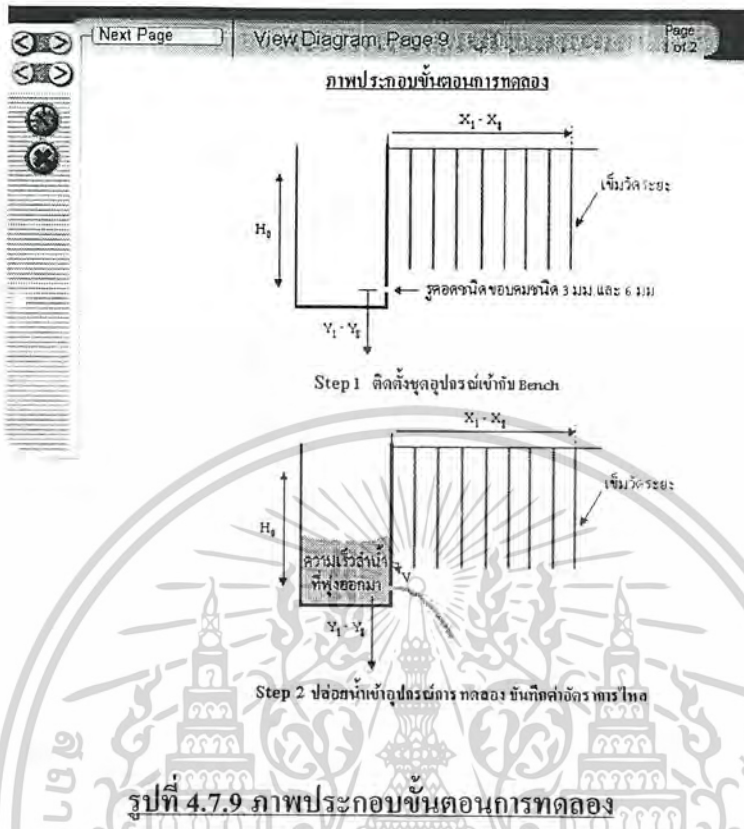
รูปที่ 4.7.7 อุปกรณ์การทดลอง

8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ๕ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.7.8



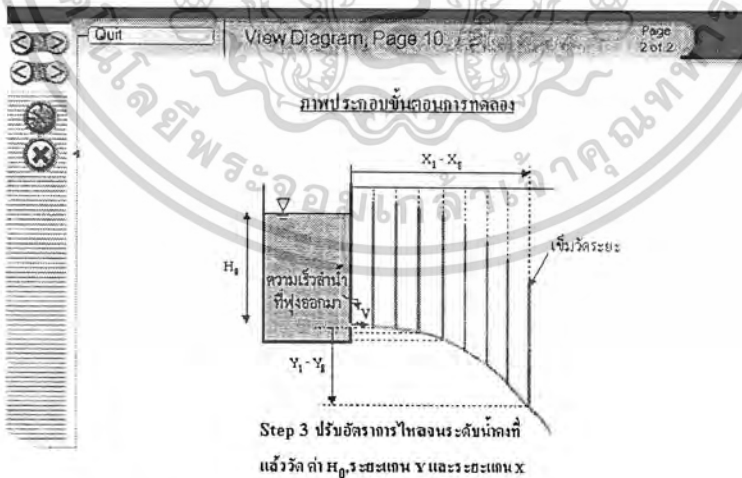
รูปที่ 4.7.8 วิธีการทดลอง

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.7.9



รูปที่ 4.7.9 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

10) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.7.10



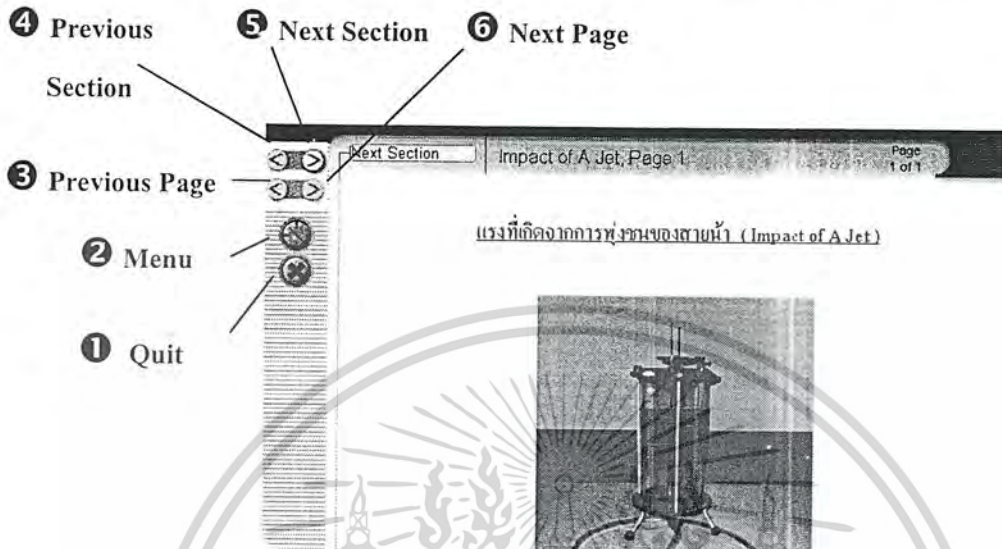
รูปที่ 4.7.10 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

หมายเหตุ เมื่อดำเนินการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 99 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

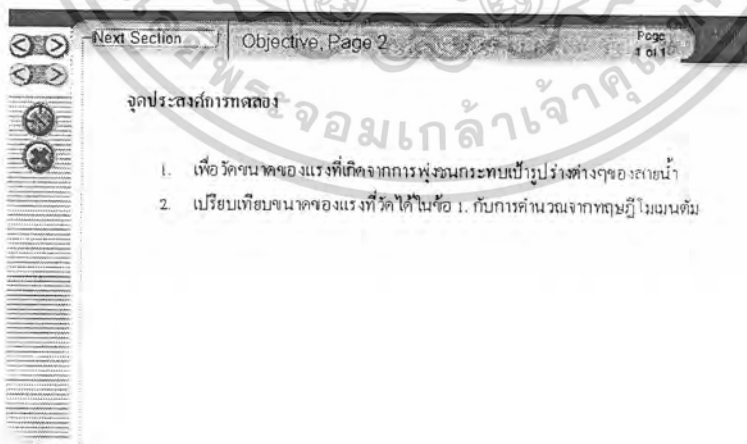
4.8 แรงที่เกิดจากการพุ่งชนของสายน้ำ (Impact of A Jet)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.8.1



รูปที่ 4.8.1 แรงที่เกิดจากการพุ่งชนของสายน้ำ (Impact of A Jet)

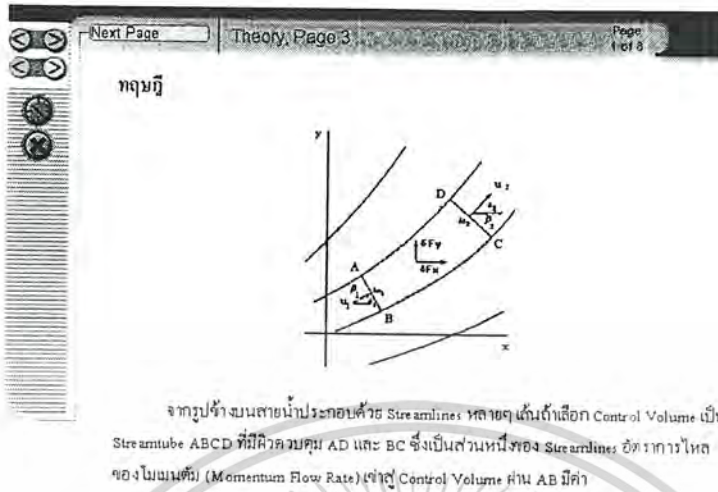
2) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.8.2



รูปที่ 4.8.2 จุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

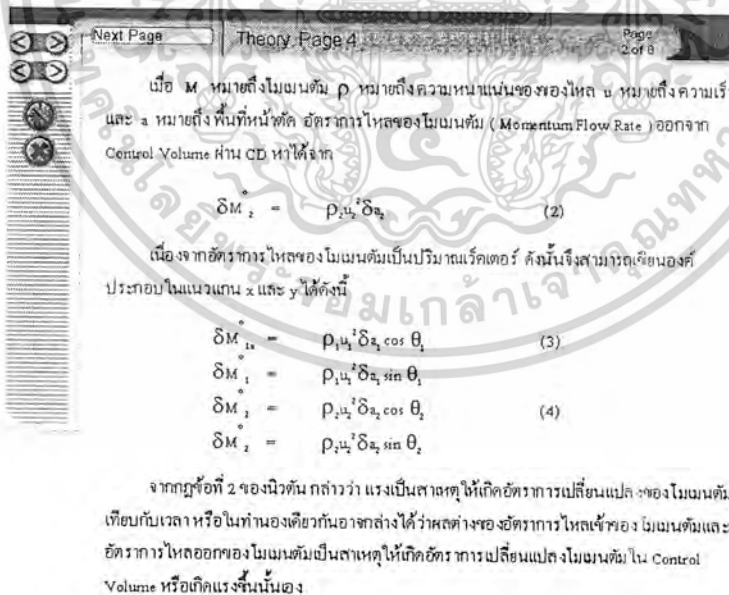
3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอผังรูปที่ 4.8.3



$$\delta M_1 = \rho_1 u_1^2 \delta a_1 \quad (1)$$

รูปที่ 4.8.3 ทฤษฎี

4) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอผังรูปที่ 4.8.4



รูปที่ 4.8.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.8.5

Next Page Theory Page 5 Page 3 of 8

ถ้าให้ δF_x เป็นองค์ประกอบของแรง δF พิจารณาในแนวแกน x ดังนั้นองค์ประกอบของแรงตามแกน x ที่เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม เขียนได้ดังนี้

$$\delta F_x = \rho_1 u_1^2 \cos \theta_1 \delta a_1 - \rho_2 u_2^2 \cos \theta_2 \delta a_2 \quad (5)$$

ในทำนองเดียวกัน องค์ประกอบของแรง δF พิจารณาในแนวแกน y ที่เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม ในแกน y ก็สามารถเขียนได้เป็น

$$\delta F_y = \rho_1 u_1^2 \sin \theta_1 \delta a_1 - \rho_2 u_2^2 \sin \theta_2 \delta a_2 \quad (6)$$

เมื่ออัตราการไหลเป็นแบบคงที่ (Steady Flow) จากสมการการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuity Equation) จะได้อัตราการไหลเข้าของมวลน้ำ ย่อมเท่ากับ ได้อัตราการไหลออกของมวลน้ำ

$$\rho_1 u_1 \delta a_1 = \rho_2 u_2 \delta a_2 \quad (7)$$

รูปที่ 4.8.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.8.6

Next Page Theory Page 6 Page 4 of 8

ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการที่ (7) ลงในสมการที่ (5) และสมการที่ (6) จะได้

$$\delta F_x = \rho_1 u_1 (u_1 \cos \theta_1 - u_2 \cos \theta_2) \delta a_1 = \rho_1 u_1 (u_1 \cos \theta_1 - u_2 \cos \theta_2) \delta a_1 \quad (8)$$

$$\delta F_y = \rho_1 u_1 (u_1 \sin \theta_1 - u_2 \sin \theta_2) \delta a_1 = \rho_1 u_1 (u_1 \sin \theta_1 - u_2 \sin \theta_2) \delta a_1 \quad (9)$$

ถ้าพิจารณาสายน้ำที่พุ่ง (Jet) ทั้งหมดเป็น Control Volume จะได้แรงทั้งหมดที่เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม ดังนี้

$$\delta F_x = \rho_1 u_1 (u_1 \cos \theta_1 - u_2 \cos \theta_2) a_1 = \rho_1 u_1 (u_1 \cos \theta_1 - u_2 \cos \theta_2) a_1 \quad (10)$$

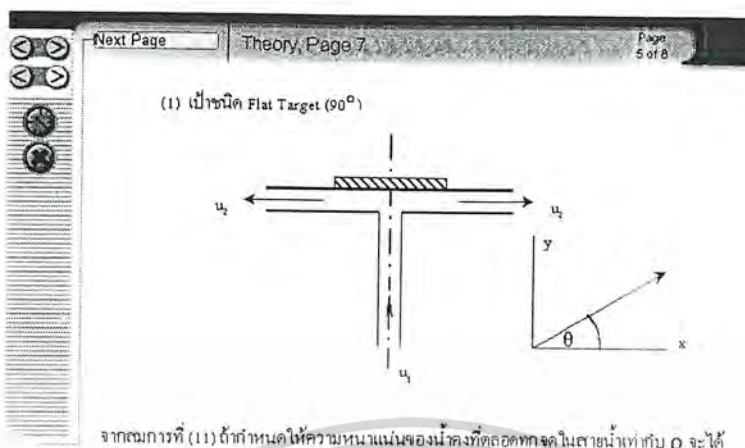
$$\delta F_y = \rho_1 u_1 (u_1 \sin \theta_1 - u_2 \sin \theta_2) a_1 = \rho_1 u_1 (u_1 \sin \theta_1 - u_2 \sin \theta_2) a_1 \quad (11)$$

ต่อจากนี้จะนำสมการที่ (10) และ (11) มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณแรงที่เกิดจากการที่สายน้ำพุ่งเข้าชนเป้าหมายประเภทต่าง ๆ ดังนี้

ในการทดลองครั้งนี้กำหนดให้สายน้ำพุ่งจากด้านล่างขึ้นบน ในแนวตั้ง ดังนั้นองค์ประกอบต่างของแรงหรือความเร็ว จึงมีเฉพาะในแนวตั้งหรือ ตามแกน y เท่านั้น

รูปที่ 4.8.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.8.7



จากผลการที่ (11) ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำคงที่ตลอดทุกจุดในสายน้ำเท่ากับ ρ จะได้

$$F_y = \rho_1 u_1 (u_2 \sin \theta_2 - u_1 \sin \theta_1) a_1$$

แต่

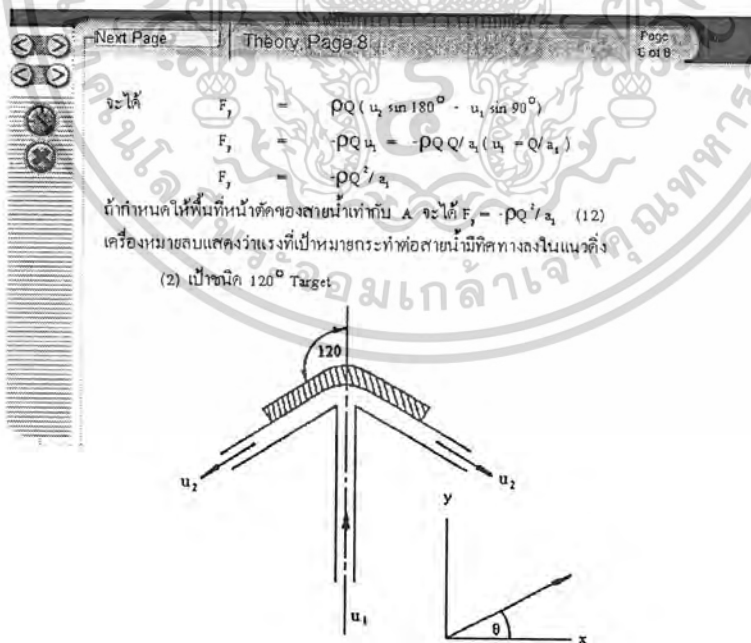
$$Q = u_1 a_1 = u_2 a_2$$

$$\theta_1 = 90^\circ$$

$$\theta_2 = 180^\circ$$

รูปที่ 4.8.7 ทฤษฎี (ต่อ)

8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.8.8



จะได้

$$F_y = \rho Q (u_2 \sin 180^\circ - u_1 \sin 90^\circ)$$

$$F_y = -\rho Q u_1 = -\rho Q Q / a_1 (u_1 - Q / a_1)$$

$$F_y = -\rho Q^2 / a_1$$

ถ้ากำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของสายน้ำเท่ากับ A จะได้ $F_y = -\rho Q^2 / a_1$ (12)

เครื่องขยายแสงแสดงว่าแรงที่เป้าหมายกระทำต่อสายน้ำมีทิศทางลงในแนวตั้ง

(2) เป้าชนิด 120° Target

รูปที่ 4.8.8 ทฤษฎี (ต่อ)

9) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.8.9

จากสมการที่ (11) เมื่อแทนค่า p_1 ด้วย p ของน้ำที่มีค่าคงที่ตลอดและแทน $\theta_2 = 90^\circ$
 $\theta_2 = 210^\circ$ และแทน $Q = u_1 A_1 = u_2 A_2 = u_1 A$ เมื่อ A แทนพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของสาย
 น้ำจะได้

$$F_x = \rho u (u_1 \sin 210^\circ - u_2 \sin 90^\circ)$$

และถ้ากำหนดให้ $u_1 = u_2 = \frac{Q}{A}$ จะได้

$$F_x = \rho Q \left(\frac{-Q}{2A} - \frac{Q}{A} \right) = \frac{-3\rho Q^2}{2A} \quad (13)$$

เครื่องหมายลบของสมการที่ (13) หมายถึงแรงที่เป้าหมายกระทำต่อสายน้ำมีทิศทางลงในแนวตั้ง

รูปที่ 4.8.9 ทฤษฎี (ต่อ)

10) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.8.10

(3) เป้าชนิด Hemispherical Target (180°)

จากสมการที่ (11) เมื่อแทนค่า p_1 ด้วย p ของน้ำ แทนค่า u_1 ด้วย Q แทนค่า $\theta_1 = 90^\circ$ และ $\theta_2 = 270^\circ$ จะได้

$$F_x = \rho u (u_1 \sin 270^\circ - u_2 \sin 90^\circ)$$

$$= \rho u (-u_2 - u_1)$$

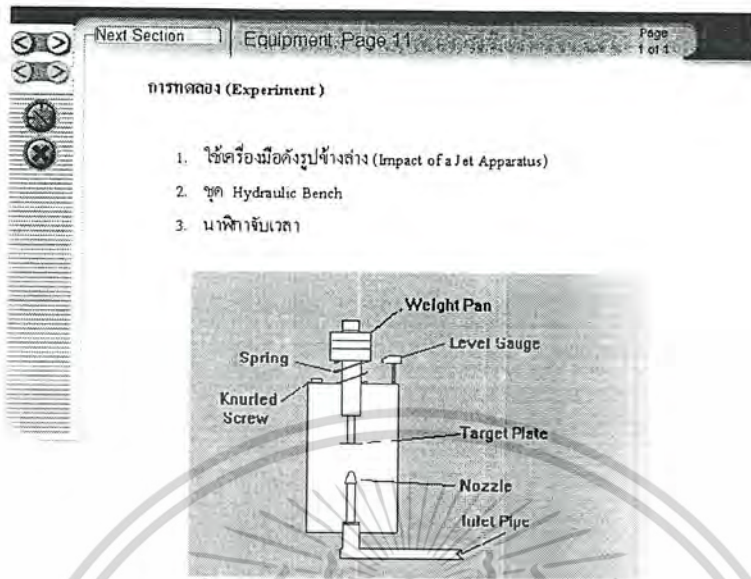
และถ้ากำหนดให้ $u_1 = u_2 = Q/A$ จะได้

$$F_x = \rho Q \left(\frac{-Q}{A} - \frac{Q}{A} \right) = \frac{-2\rho Q^2}{A} \quad (14)$$

เครื่องหมายลบแสดงว่าแรงที่เป้าหมายกระทำต่อสายน้ำมีทิศทางลงในแนวตั้ง

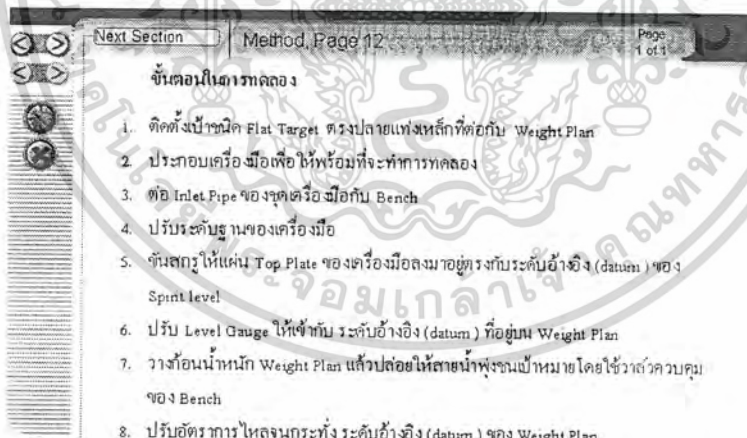
รูปที่ 4.8.10 ทฤษฎี (ต่อ)

11) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.8.11



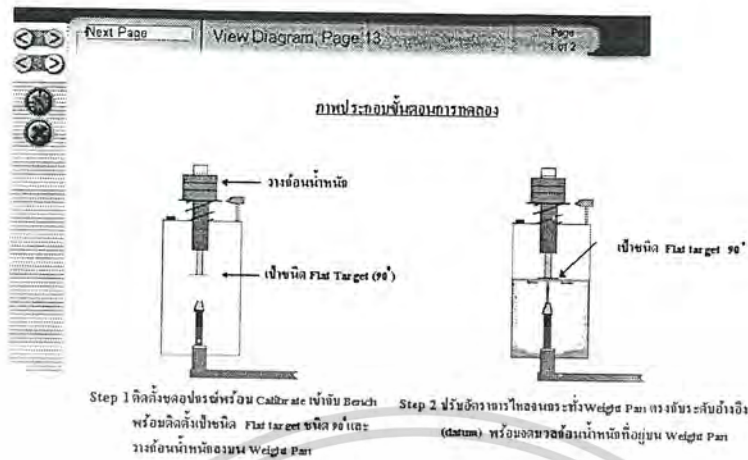
รูปที่ 4.8.11 อุปกรณ์การทดลอง

12) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.8.12



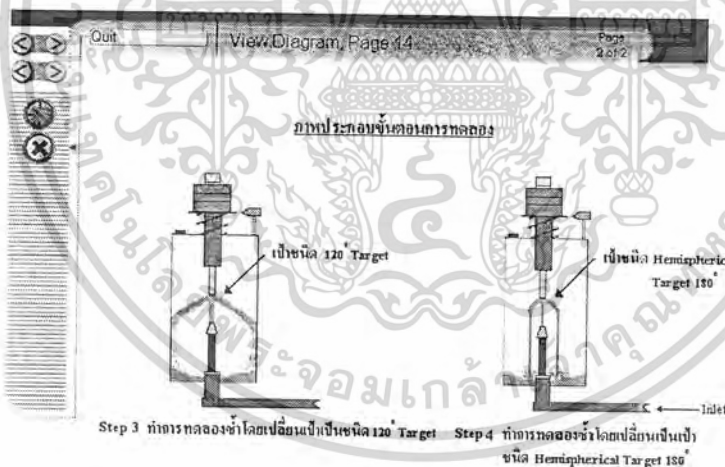
รูปที่ 4.8.12 ขั้นตอนการทดลอง

13) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.8.13



รูปที่ 4.8.13 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

14) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.8.14

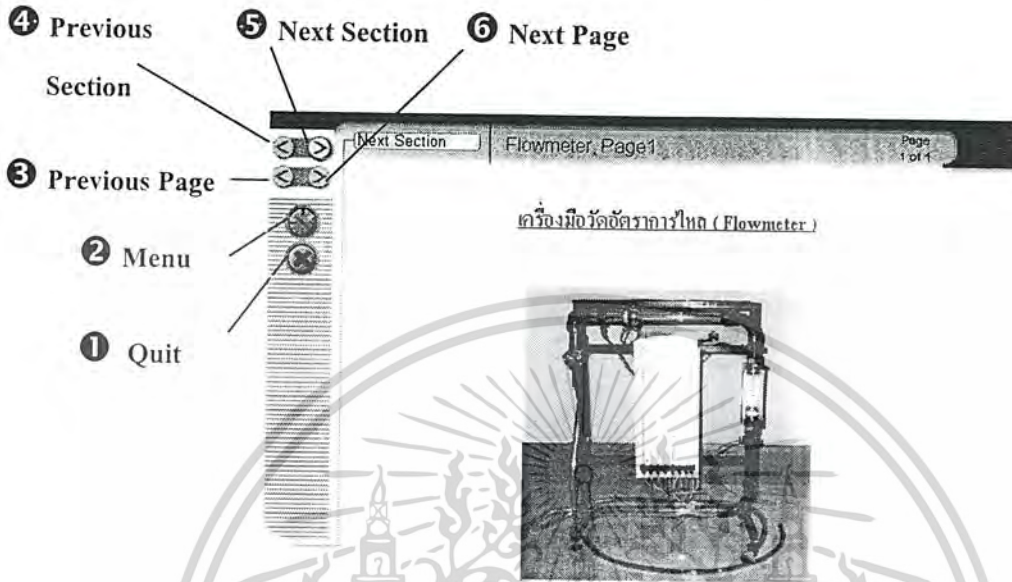


รูปที่ 4.8.14 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

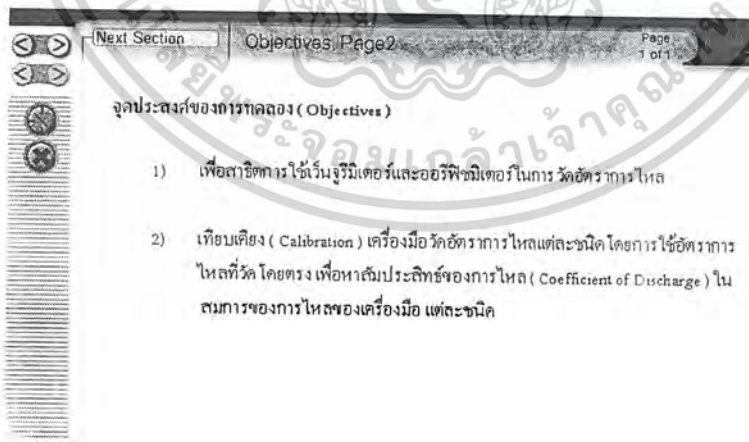
4.9 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flowmeter)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.9.1



รูปที่ 4.9.1 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flowmeter)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.9.2

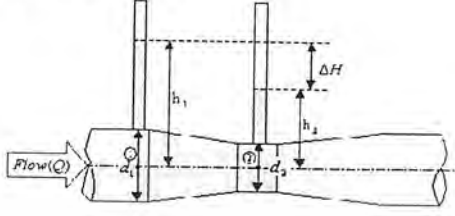


รูปที่ 4.9.2 จุดประสงค์

3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.9.3

Next Page Theory, Page3 Page 1 of 5

ทฤษฎีที่พิจารณา (Theory)
 1) เวนจูรีมิเตอร์ (Venturi Meter)



จากรูปได้สมมติพิจารณาสมการสมดุลระหว่างจุด 1 กับจุด 2 จะได้

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

สมการที่ (1) นี้ได้พิจารณาความสูงได้เนื่องจากภายในแผ่นเวนจูรีมิเตอร์จากสมการทางไหลแบบต่อเนื่องระหว่างจุดที่ 1 กับจุดที่ 2 จะได้

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

เมื่อ $A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ = พื้นที่หน้าตัดของท่อ

$A_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$ = พื้นที่หน้าตัดของเวนจูรีมิเตอร์บริเวณคอขวด

รูปที่ 4.9.3 ทฤษฎี

4) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.9.4

Next Page Theory, Page4 Page 2 of 5

$$V_1 = \frac{A_2 V_2}{A_1} = \left[\frac{d_2}{d_1} \right]^2 V_2 \quad (2)$$

แทนสมการที่ [2] ลงในสมการที่ [1] และแทนค่า $Z_1 = Z_2$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \left[\frac{d_2}{d_1} \right]^2 \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3)$$

พิจารณาสมการเวนจูรีมิเตอร์ที่จุด 1 และ 2 จะได้

$$\frac{P_1}{\gamma} = h_1 \quad \text{และ} \quad \frac{P_2}{\gamma} = h_2 \quad (4)$$

แทนสมการที่ [4] ลงในสมการที่ [3] จะได้

$$h_1 + \left[\frac{d_2}{d_1} \right]^2 \frac{V_2^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

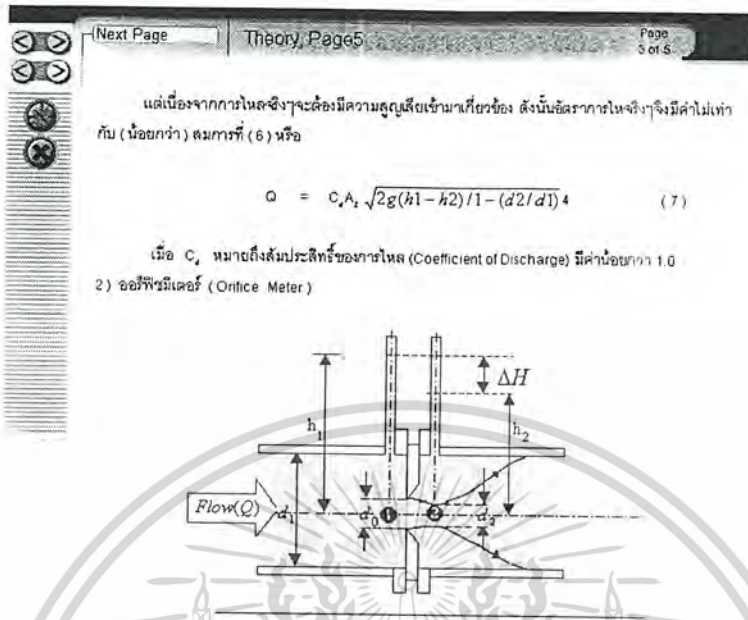
$$V_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2) / 1 - (d_2/d_1)^4} \quad (5)$$

ดังนั้นอัตราการไหลผ่านเวนจูรีมิเตอร์เมื่อไม่ได้วัดความสูงเฉลี่ยเนื่องจากทกผล

$$Q = A_2 V_2 = A_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2) / 1 - (d_2/d_1)^4} \quad (6)$$

รูปที่ 4.9.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.9.5



รูปที่ 4.9.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.9.6

ซึ่งจุดที่ 2 คือจุดบริเวณคอขวด (Vena Contracta) สมการการไหลแบบอัดเนื้อจะรวมว่าจุดที่ 1 กับ 2 ได้

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (9)$$

เมื่อ $A_1 =$ พื้นที่หน้าตัดของท่อ $= \frac{\pi d_1^2}{4}$

$A_2 =$ พื้นที่หน้าตัดของสายน้ำที่บริเวณคอขวด $= \frac{\pi d_2^2}{4}$

แทนค่า A_1 และ A_2 ลงในสมการที่ (9) และจัดเทอม V_1 ให้อยู่ในรูปของ V_2 จะได้

$$V_1 = \frac{(d_2)^2 V_2}{d_1^2} \quad (10)$$

แทนสมการที่ (10) ลงในสมการที่ (8) จะได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{(d_2)^2 V_2^2}{d_1^2 2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (11)$$

แต่จากมาตรวัดจะได้อีก $\frac{P_1}{\gamma} = h_1$ และ $\frac{P_2}{\gamma} = h_2$

แทนค่า $\frac{P_1}{\gamma}$ และ $\frac{P_2}{\gamma}$ ลงในสมการที่ (11) จะได้

$$h_1 + \frac{(d_2)^2 V_2^2}{d_1^2 2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (12)$$

$$V_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2) / (1 - (d_2/d_1)^4)}$$

รูปที่ 4.9.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.9.7

Next Section Theory, Page 7 Page 5 of 5

จากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของสายน้ำที่บริเวณคอนเทกตา (A_2) กับพื้นที่ของช่องเออร์ทิซ (A_0)
 หรือ $C_c = A_2 / A_0 = d_2^2 / d_0^2$
 หรือ $d_2^2 = (C_c) d_0^2$ (13)

แทนสมการที่ (13) ลงในสมการที่ (12) จะได้

$$V_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2) / (1 - C_c^2 (d_0/d)^4)} \quad (14)$$

เนื่องจากมีความต่อเนื่องที่เกิดขึ้นจากการไหลผ่านเออร์ทิซ จึงทำให้ความเร็วที่บริเวณคอนเทกตามีค่าน้อยกว่าสมการที่ (14) หรือ

$$V_2 = C_c \sqrt{2g(h_1 - h_2) / (1 - C_c^2 (d_0/d)^4)} \quad (15)$$

อัตราการไหล $Q = A_2 V_2 = C_c A_0 V_2$

$$Q = C_c A_0 \sqrt{2g(h_1 - h_2) / (1 - C_c^2 (d_0/d)^4)}$$

$$Q = C_c A_0 \sqrt{2g(h_1 - h_2) / (1 - C_c^2 (d_0/d)^4)} \quad (16)$$

$$Q = C_c A_0 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (17)$$

เมื่อ $C = C_c / \sqrt{1 - C_c^2 (d_0/d)^4}$ (18)

รูปที่ 4.9.7 ทฤษฎี (ต่อ)

8) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.9.8

Next Section Equipments, Page 8 Page 1 of 1

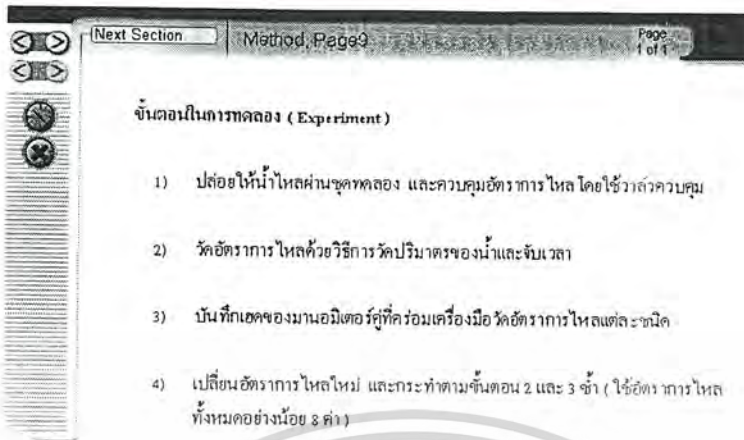
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Equipments)

- 1) ชุดทดสอบเพื่อทำการวัดอัตราการไหล ดังแสดงในรูปด้านล่างนี้
- 2) ชุด Bench
- 3) นาฬิกาจับเวลา

Diagram labels: Orifice Plate, Flow Control Valve, Outlet Pipe, Inlet Pipe, Typical Tapping Connection, Air Bleed Screws, Variable Area Meter, Hand Pump, Venturi Meter Connection.

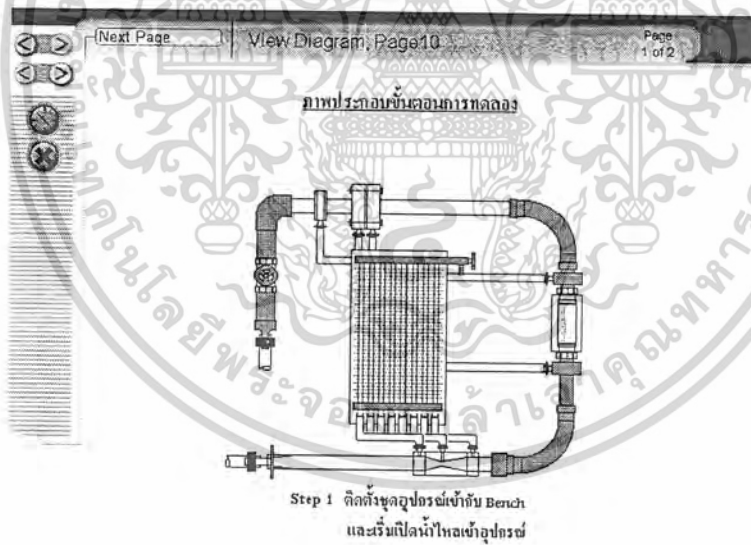
รูปที่ 4.9.8 อุปกรณ์การทดลอง

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจตุรูปที่ 4.9.9



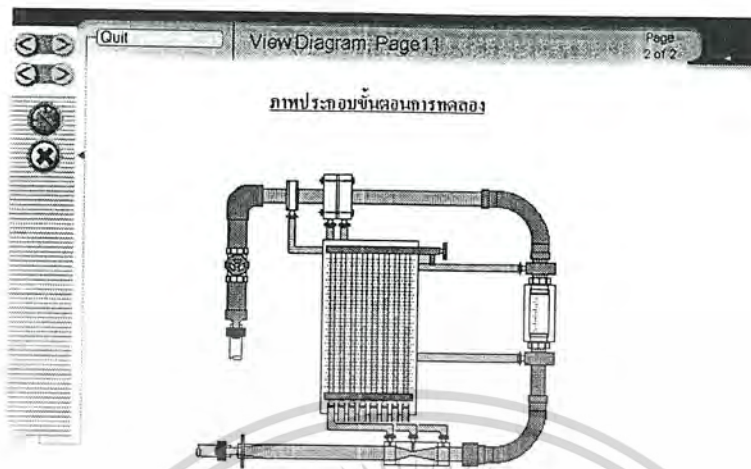
รูปที่ 4.9.9 ขั้นตอนการทดลอง

10) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจตุรูปที่ 4.9.10



รูปที่ 4.9.10 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

11) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.9.11



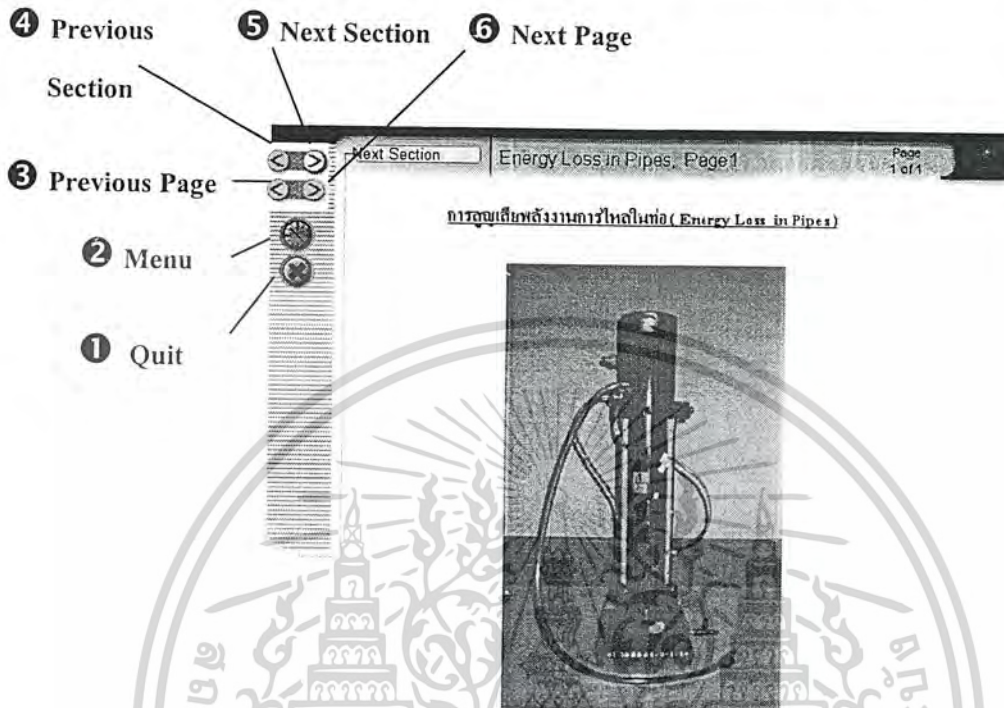
Step 2 เพิ่มอัตราการไหลขึ้นช้าๆ จนกระทั่งระดับน้ำ
ในเขื่อนอัตโนมัติที่วางที่แฉับตัดค่า

รูปที่ 4.9.11 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข ① (Quit)

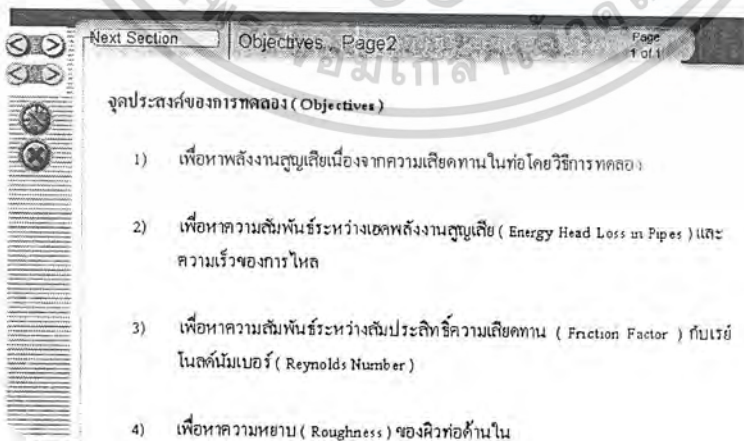
4.10 การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ (Energy Loss in Pipes)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.10.1



รูปที่ 4.10.1 การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ (Energy Loss in Pipes)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.10.2



รูปที่ 4.10.2 จุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา - 113 - และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.10.3

Next Page Theory, Page 3 Page 1 of 8

ทฤษฎีที่พิจารณา (Theory)

โดยการใส่ทฤษฎีของเบอร์นูลลีระหว่างจุดที่ 1 และ 2 ของท่อจะได้

$$Z_1 + P_1/g + v_1^2/2g = Z_2 + P_2/g + v_2^2/2g + H_{L1,2}$$

$$H_{L1,2} = (Z_1 - Z_2) + (P_1/g - P_2/g) = (Z_1 - Z_2) + (P_1 - P_2)/g \quad (1)$$

ไม่ปรากฏเทอมของ $v_1^2/2g$ และ $v_2^2/2g$ เนื่องจากท่อมีขนาดเท่ากันตลอด ดังนั้นความเร็วของ v_1 เท่ากับ v_2 เทอมทั้งสองที่กล่าวข้างต้นจึงหักล้างกันไป

รูปที่ 4.10.3 ทฤษฎี

4) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.10.4

Next Page Theory, Page 4 Page 2 of 6

ทิวจานดิฟเฟอเรนเชียลแมนอมิเตอร์ (Differential Manometer)

ความดันที่จุด M = ความดันที่จุด N

$$P_1 + g(H_1 + Z) = P_2 + g(Z - R) + SgR$$

$$P_1 - P_2 = SgR - gH_1 - gR = (S-1)gR - gH_1$$

$$\text{ฉะนั้น } (P_1 - P_2)/g = ((S-1)R - H_1) \quad (2)$$

แทนสมการที่ (2) ลงในสมการที่ (1) และแทนค่า $(Z_1 - Z_2)$ ของสมการที่ (1) ด้วย H_1 จะได้

$$H_{L1,2} = H_1 + ((S-1)R - H_1) = (S-1)R \quad (3)$$

เนื่องจากเสถียรสูญเสีย (Energy Head Loss) สำหรับภาวทดลองครั้งนี้เกิดเนื่องจากความเสียดทานของท่อ (Friction Head Loss) ดังนั้นจึงเปลี่ยนสมการที่ (3) เป็น

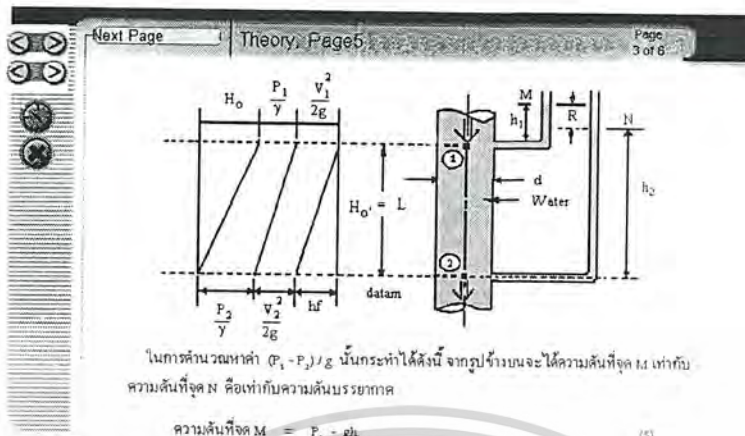
$$hf = H_{L1,2} = H_1 + ((S-1)R - H_1) = (S-1)R \quad (4)$$

ในกรณีที่จุดทดลองโรมันอมิเตอร์ชนิดธรรมดา มิใช่ดิฟเฟอเรนเชียลแมนอมิเตอร์ ดังแสดงในรูปหน้าถัดไป

รูปที่ 4.10.4 ทฤษฎี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาแต่อย่างใดต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.10.5



ในการคำนวณหาค่า $(P_1 - P_2)/\rho g$ นั้นกระทำดังนี้ จากรูปข้างบนจะได้ความดันที่จุด M เท่ากับ ความดันที่จุด N คือเท่ากับความดันบรรยากาศ

$$\text{ความดันที่จุด M} = P_1 - \rho h_1 \quad (5)$$

$$\text{ความดันที่จุด N} = P_2 - \rho h_2 \quad (6)$$

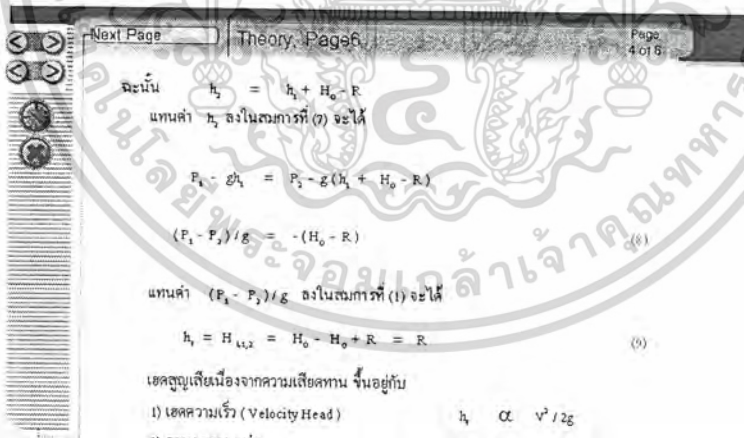
$$\text{สมการที่ (5)} = \text{สมการที่ (6)}$$

$$P_1 - \rho h_1 = P_2 - \rho h_2$$

$$\text{แล้ว } h_1 + R = h_2 + H_0 \quad (7)$$

รูปที่ 4.10.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.10.6



$$\text{ฉะนั้น } h_1 = h_2 + H_0 - R$$

แทนค่า h_1 ลงในสมการที่ (7) จะได้

$$P_1 - \rho h_1 = P_2 - \rho (h_2 + H_0 - R)$$

$$(P_1 - P_2)/\rho g = -(H_0 - R) \quad (8)$$

แทนค่า $(P_1 - P_2)/\rho g$ ลงในสมการที่ (1) จะได้

$$h_f = H_{L,2} = H_0 - H_0 + R = R \quad (9)$$

เหตุผลเนื่องมาจากความเสียดทาน ขึ้นอยู่กับ

- 1) เสดความเร็ว (Velocity Head) $h_f \propto v^2/2g$
- 2) ความยาวของท่อ $h_f \propto L$
- 3) ปฏิภาคกลับกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ $h_f \propto 1/D$

$$\text{ดังนั้น } h_f \propto L v^2 / D \cdot 2g \quad (10)$$

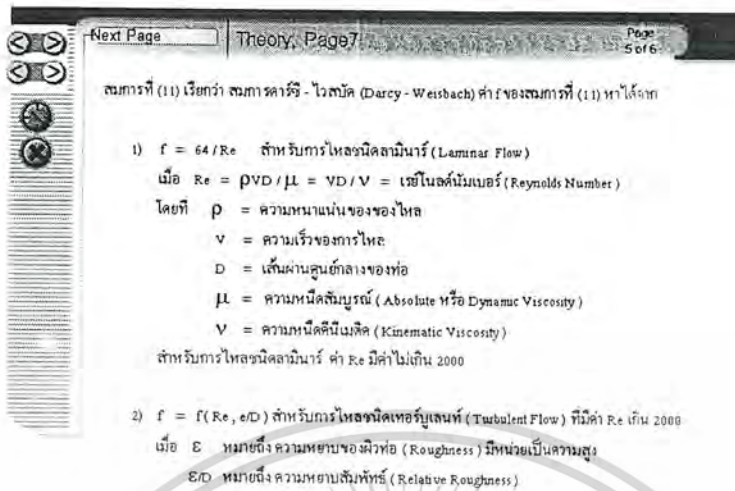
ถ้ากำหนดให้ f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor) สมการที่ (10) เขียนใหม่เป็น

$$h_f = f L v^2 / D \cdot 2g \quad (11)$$

รูปที่ 4.10.6 ทฤษฎี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา - 115 - ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

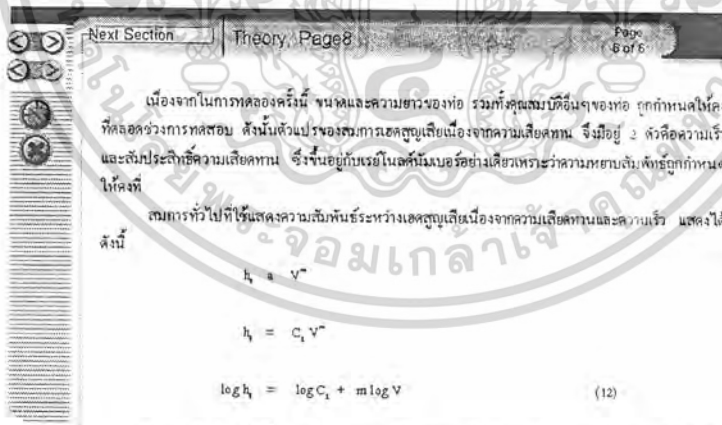
7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.10.7



ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction Factor) สามารถหาได้จากแผนภูมิ Moody-Diagram) ที่มีอยู่ในหนังสือกลศาสตร์ของไหลทุกเล่ม เมื่อรู้ความหยาบของผิวท่อและเลขเรย์โนลด์สในท่อนองกลับกัน ก็สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากการทดลองและรู้ค่าเลขเรย์โนลด์สก็หาค่าความหยาบของท่อจากแผนภูมิได้เช่นกัน

รูปที่ 4.10.7 ทฤษฎี (ต่อ)

8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.10.8



สำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ในสมการที่ (11) อาจเขียนความสัมพันธ์ทั่วๆไปที่กับเลขเรย์โนลด์สได้ดังนี้

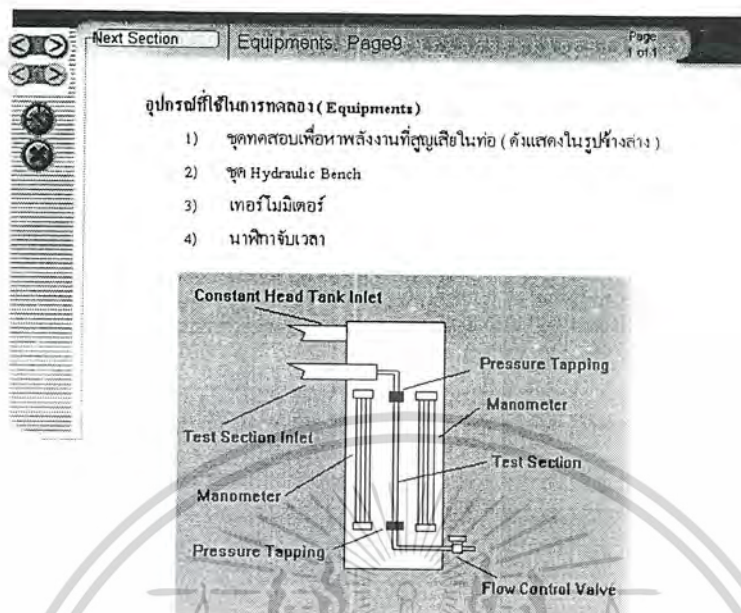
$$f = C_2 Re^n$$

$$\log f = \log C_2 + n \log Re \quad (13)$$

รูปที่ 4.10.8 ทฤษฎี (ต่อ)

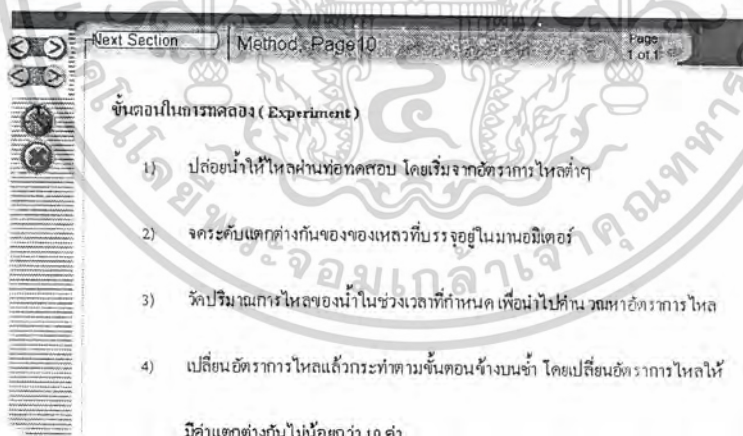
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.10.9



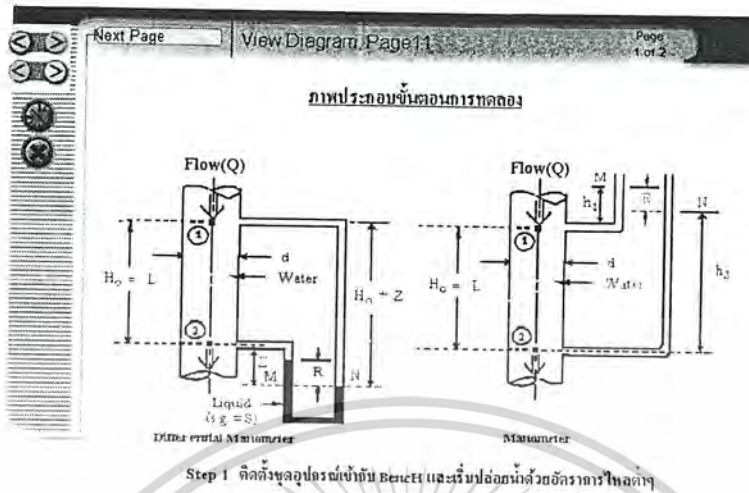
รูปที่ 4.10.9 อุปกรณ์การทดลอง

10) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.10.10



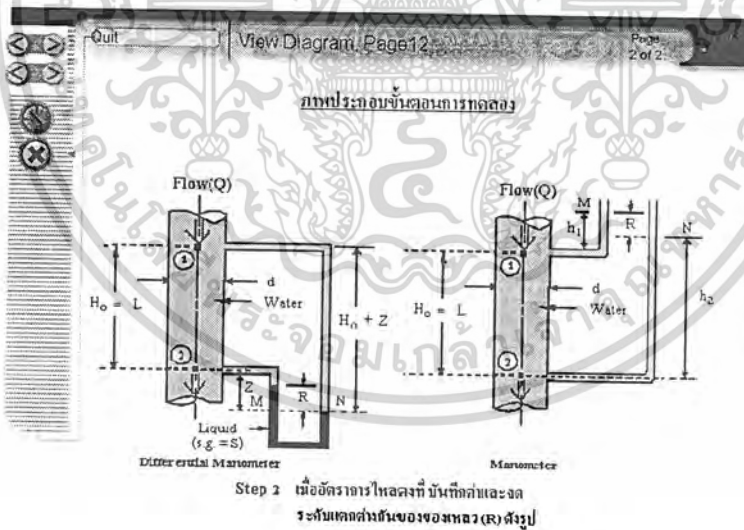
รูปที่ 4.10.10 วิธีการทดลอง

11) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.10.11



รูปที่ 4.10.11 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

12) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.10.12

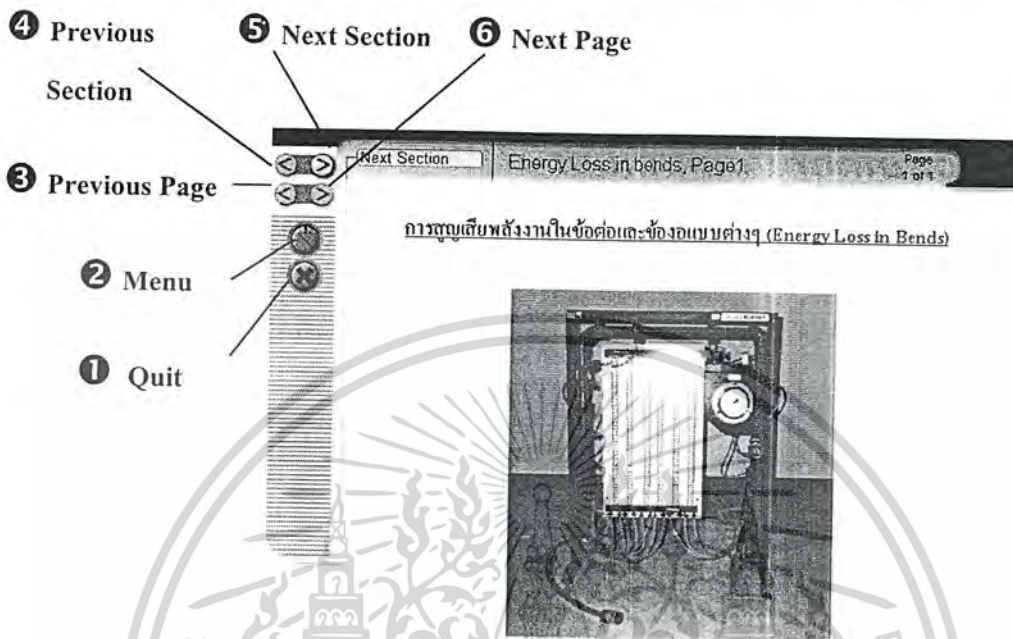


รูปที่ 4.10.12 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

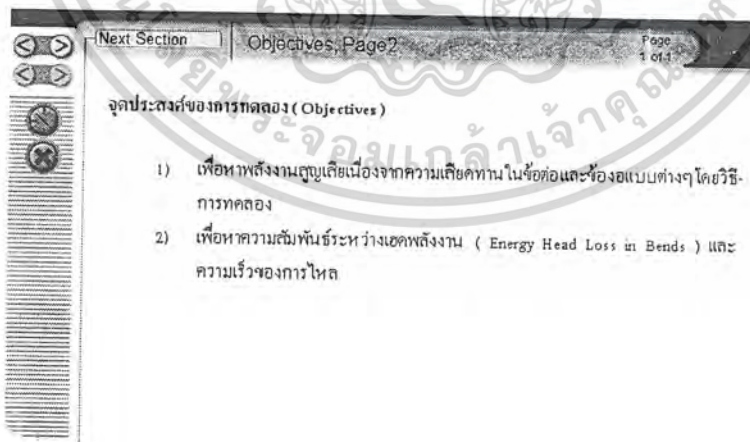
4.11 การสูญเสียพลังงานในข้อต่อและข้องอแบบต่างๆ (Energy Loss in Bends)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.11.1



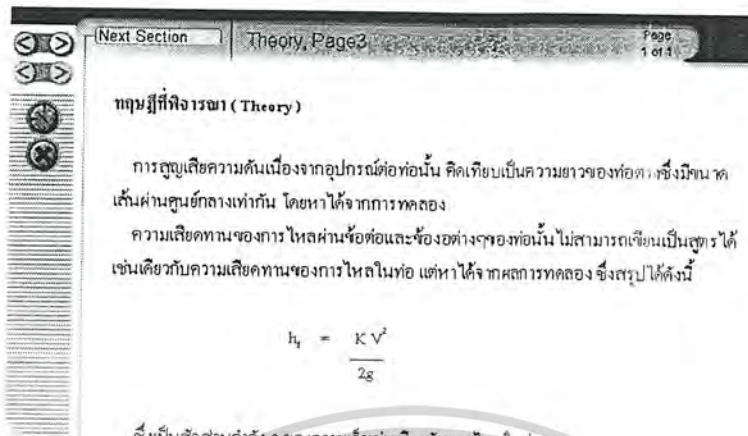
รูปที่ 4.11.1 การสูญเสียพลังงานในข้อต่อและข้องอแบบต่างๆ (Energy Loss in Bend)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.11.2



รูปที่ 4.11.2 จุดประสงค์

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.11.3



ซึ่งเป็นสัดส่วนกำลัง 2 ของความเร็วเช่นเดียวกับการไหลในท่อตรง
 ฉะนั้น ในบางครั้งจึงมีผู้บันทึกค่าของความเสียดทานของการไหลผ่านข้อต่อและข้อต่อต่างๆ
 ของท่อเทียบเป็นความยาวของท่อตรง (L_e)
 ค่า K จากแหล่งข้อมูลต่างๆ และค่าความยาวเทียบเท่าของท่อตรง (L) เทียบได้จากการวาง

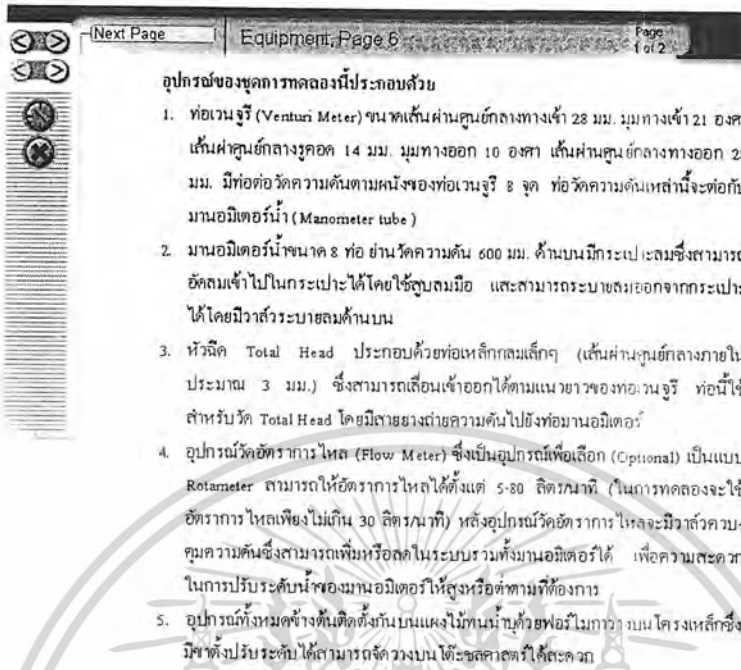
รูปที่ 4.11.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.11.4



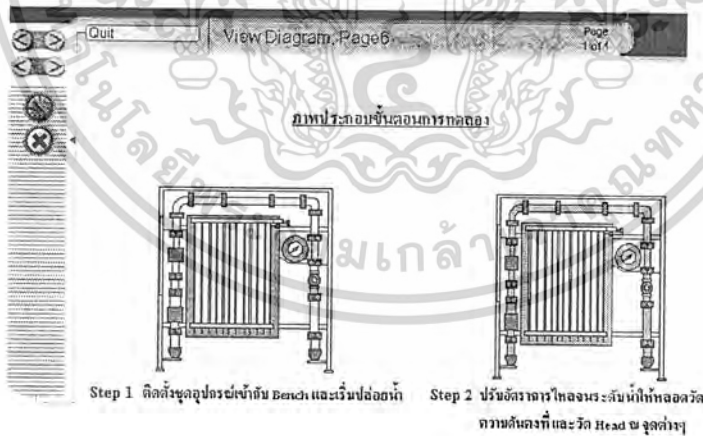
รูปที่ 4.11.4 อุปกรณ์การทดลอง

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑤ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.11.5



รูปที่ 4.11.5 อุปกรณ์การทดลอง

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑤ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.11.6



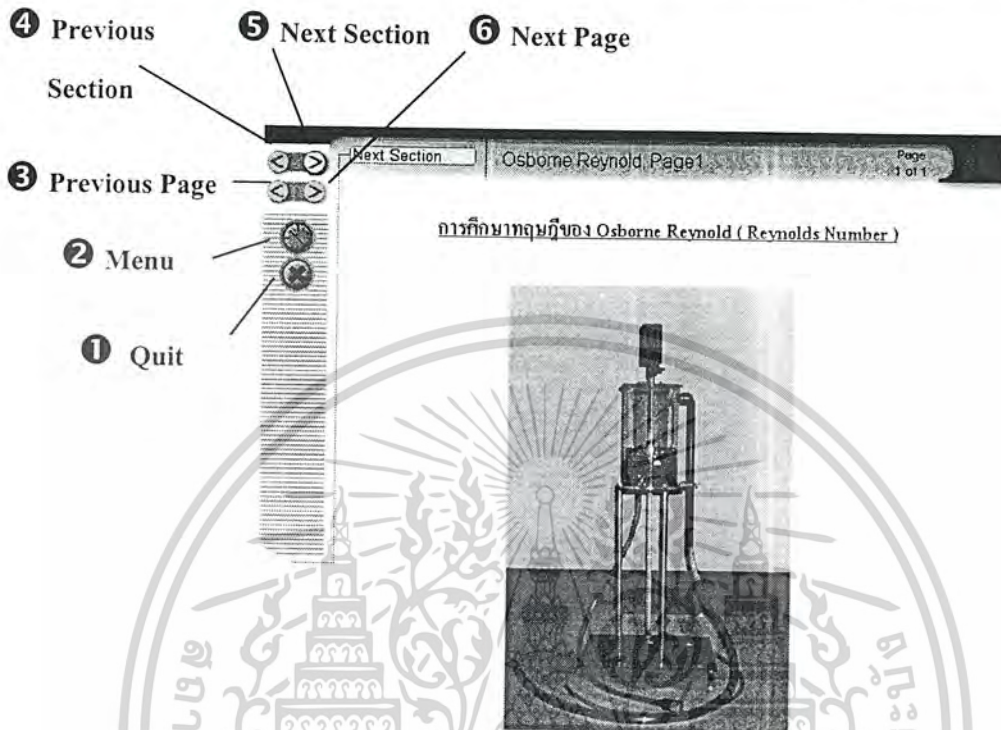
รูปที่ 4.11.6 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

หมายเหตุ

หากต้องการออกจากโปรแกรม ให้กดปุ่มกากบาท หมายเลข ① (Quit)

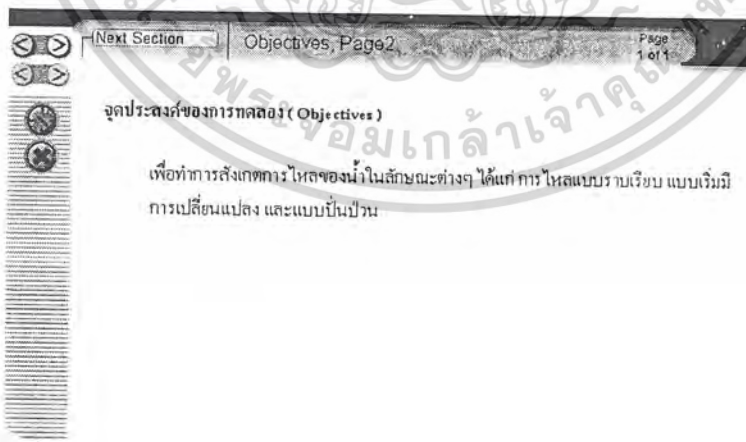
4.12 การศึกษาทฤษฎีของ Osborne Reynold (Reynolds Number)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.12.1



รูปที่ 4.12.1 การศึกษาทฤษฎีของ Osborne Reynold (Reynolds Number)

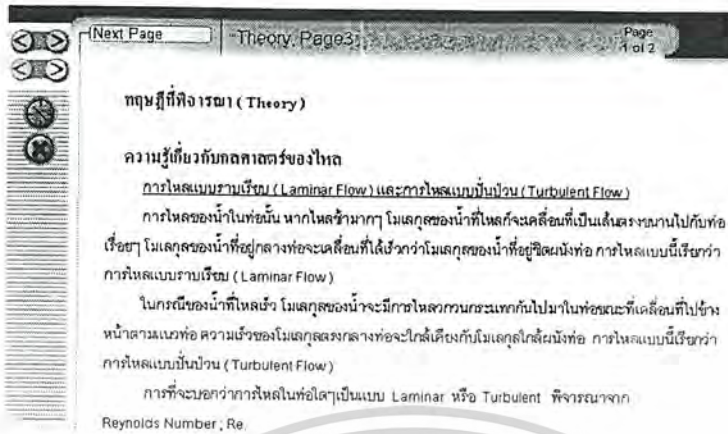
2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.12.2



รูปที่ 4.12.2 จุดประสงค์

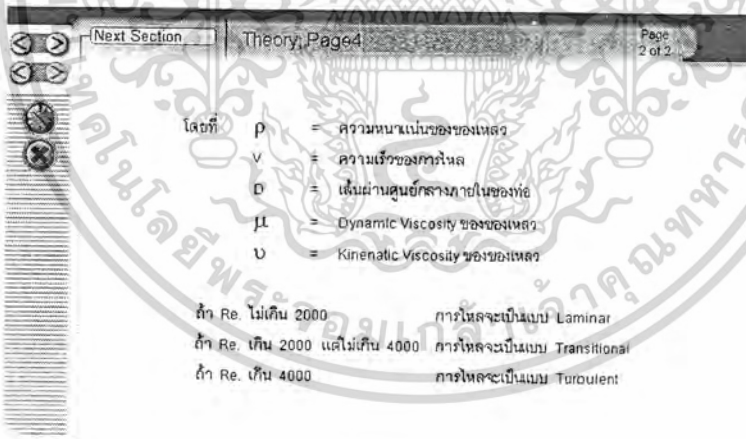
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.12.3



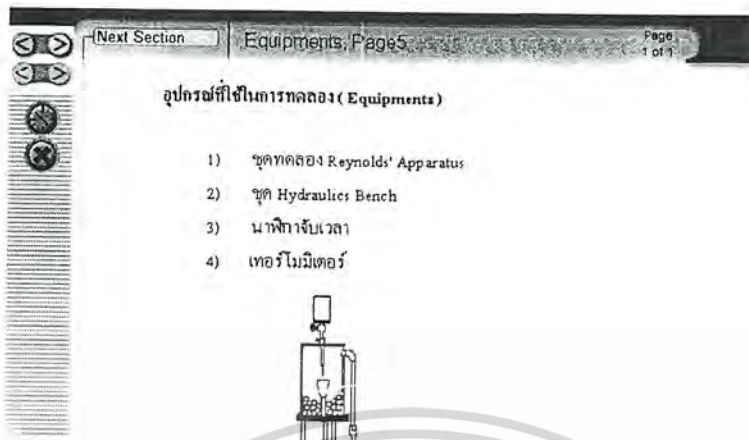
รูปที่ 4.12.3 ทฤษฎี

4) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.12.4

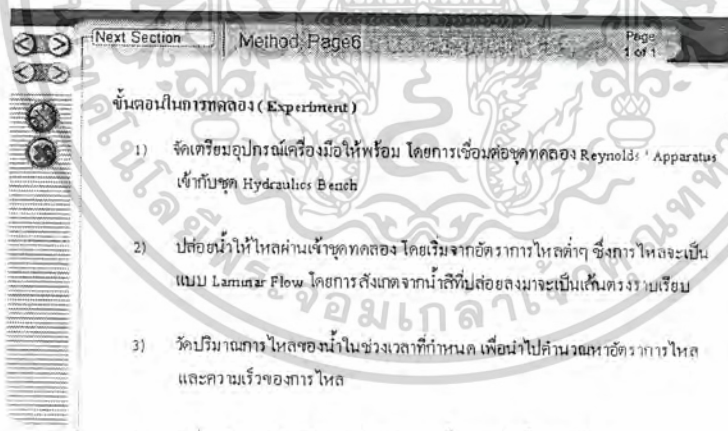


รูปที่ 4.12.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.12.5

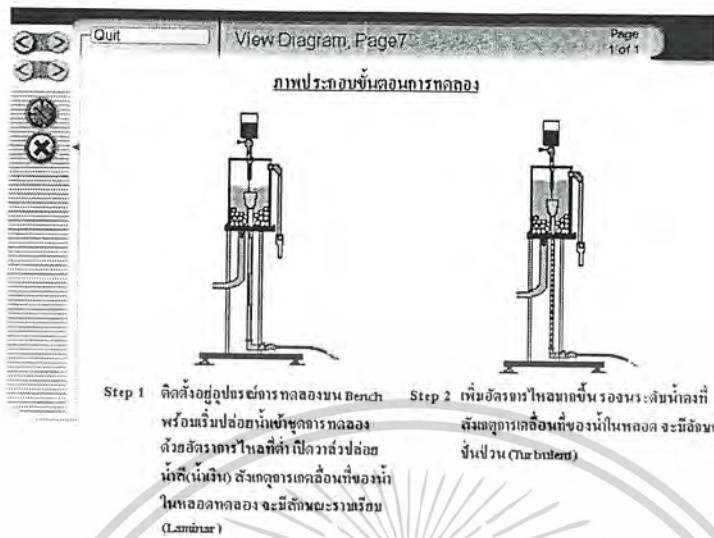


6) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.12.6



รูปที่ 4.12.6 วิธีการทดลอง

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.12.7



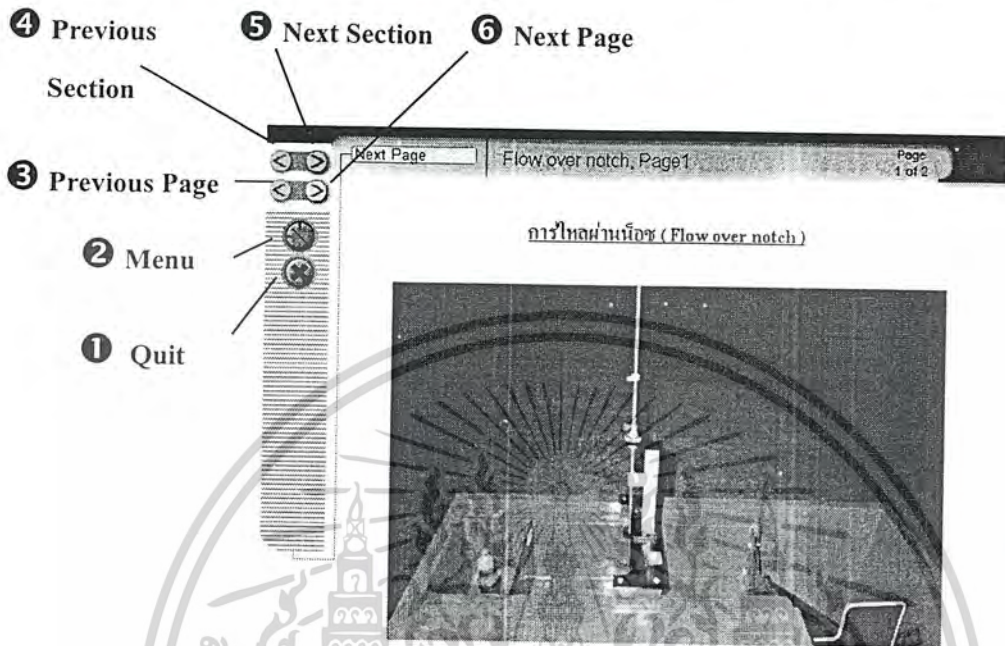
รูปที่ 4.12.7 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

หมายเหตุ

เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

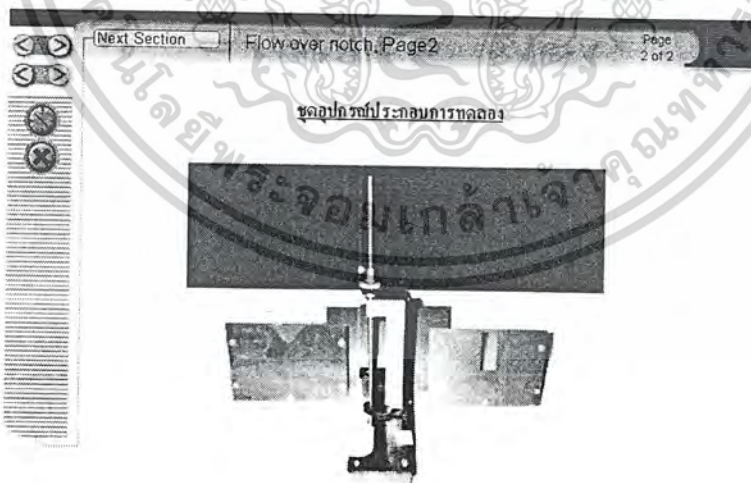
4.13 การไหลผ่านน๊อช (Flow over notch)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.13.1



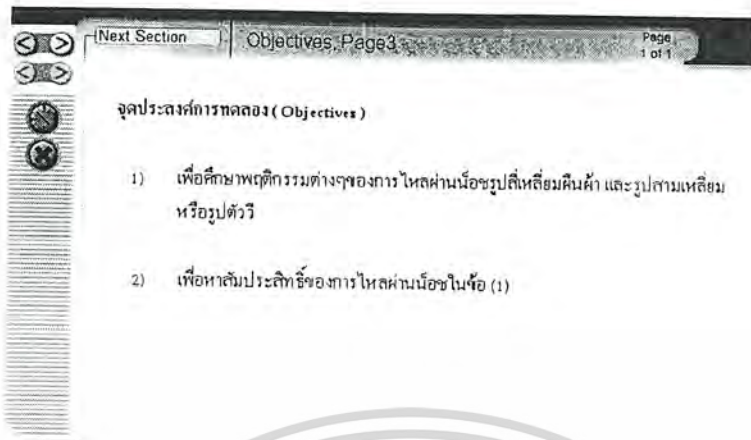
รูปที่ 4.13.1 การไหลผ่านน๊อช (Flow over notch)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.13.2



รูปที่ 4.13.2 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.13.3



รูปที่ 4.13.3 จุดประสงค์

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.13.4



จากรูปด้านบน พิจารณาอัตราการไหลผ่านแถบหน้าค้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่หน้าตัด dA หรืออัตราการไหล dQ จะได้

$$dQ = v dA$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$dA = L dh$$

เมื่อ v หมายถึงความเร็วของการไหลที่ความลึก h จากผิวน้ำ

L หมายถึงความกว้างของช่อง

รูปที่ 4.13.4 ทฤษฎี

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข **6** (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.13.5

Next Page Theory, Page 5 Page 2 of 4

ดังนั้น $dQ = \sqrt{2gh} \cdot Ldh$ (1)

อัตราการไหลทั้งหมดผ่านน้ชหรือ Q หาได้จาก

$$Q = \int dQ = \int_0^H \sqrt{2gh} \cdot Ldh$$

$$Q = \sqrt{2g} L (2h^{3/2})_0^H = 2/3 (\sqrt{2g} L H^{3/2})$$
 (2)

แต่เนื่องจากการไหลผ่านน้ชจะต้งมีค่าสูญเสียพลังงาน ดังนั้นอัตราการไหลผ่านน้ชจึงจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่แสดงในสมการที่ (2) หรือมีค่า

$$Q = 2/3 (C_d \sqrt{2g} L H^{3/2})$$
 (3)

เมื่อ C_d หมายถึงสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านน้ช (Coefficient of Discharge) มีค่าน้อยกว่า 1

รูปที่ 4.13.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข **6** (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.13.6

Next Page Theory, Page 6 Page 3 of 4

2) น้ชรูปสามเหลี่ยมหรือรูปตัววี (Triangular or V-Notch)

จากรูปด้านบนระดับน้ำอยู่สูงจากจุดยอดแหลมของน้ชเท่ากับ H และน้ชมีมุมยอด θ
 อัตราการไหลของน้ำผ่านพื้นที่เล็ก ๆ ที่แสดงด้วยแถบเส้นประมีค่า

$$dQ = v dA$$

เมื่อ v หมายถึงความเร็วของการไหลผ่านแถบเส้นประเล็ก ๆ $= \sqrt{2gh}$
 dA หมายถึงพื้นที่หน้าตัดของแถบเส้นประเล็ก ๆ $= 2(H-h) \tan(\theta/2) dh$

ดังนั้น $dQ = \sqrt{2gh} \cdot 2(H-h) \tan(\theta/2) dh$ (4)

รูปที่ 4.13.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.13.7

(Next Section) Theory, Page 7 Page 4 of 4

อัตราการไหลทั้งหมดผ่านบ่อกหรือ O ได้จากการอินทิเกรตสมการที่ (4) ดังนี้

$$Q = \int dQ = \int_0^H \sqrt{2gh} \cdot 2(H-h) \tan(\theta/2) dh$$

$$Q = 2 \tan(\theta/2) \sqrt{2g} \int_0^H (H-h) \sqrt{2g} dh$$

$$Q = 2 \tan(\theta/2) \sqrt{2g} \left(\frac{2Hh^{3/2}}{3} - \frac{2h^{5/2}}{5} \right)_0^H$$

$$Q = 2 \tan(\theta/2) \sqrt{2g} \left(\frac{2H^{5/2}}{3} - \frac{2H^{5/2}}{5} \right)$$

$$Q = 2 \tan(\theta/2) \sqrt{2g} \left(\frac{4}{15} H^{5/2} \right)$$

$$Q = (8/15) \tan(\theta/2) \sqrt{2g} H^{5/2} \quad (5)$$

แต่การไหลจริงจะมีค่าต่ำกว่าสมการที่ (5) เนื่องจากมีการไหลมีความสูญเสีย ดังนั้นอัตราการไหลจริงๆ คือ

$$Q = (8/15) C_d \tan(\theta/2) \sqrt{2g} H^{5/2} \quad (6)$$

เมื่อ C_d หมายถึงสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (Coefficient of Discharge) มีค่าน้อยกว่า 1

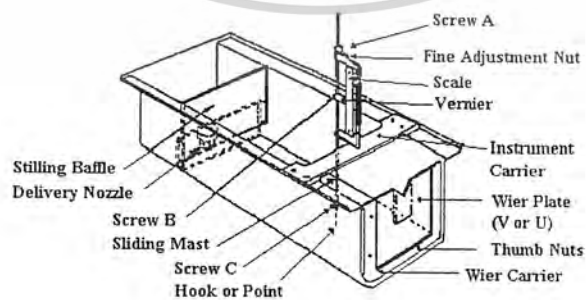
รูปที่ 4.13.7 ทฤษฎี (ต่อ)

8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.13.8

(Next Section) Equipments, Page 8 Page 1 of 1

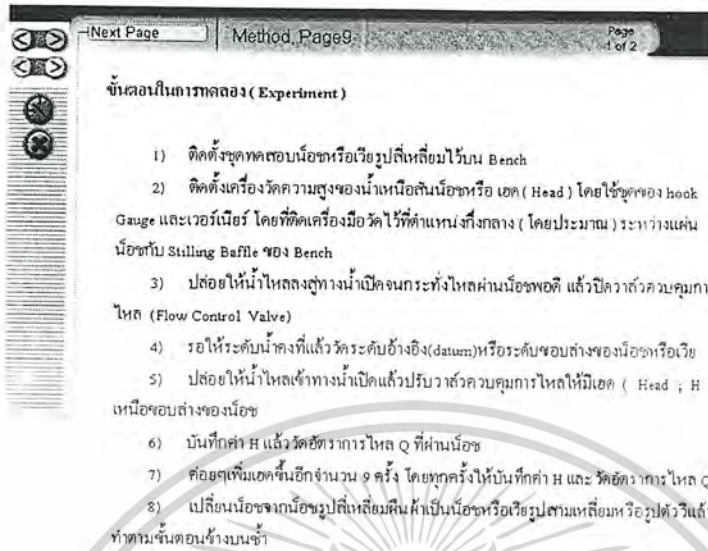
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Equipments)

- 1) ชุดทดสอบมือขวดยวีย์ ตั้งแสดงในรูปข้างล่าง
- 2) ชุด Bench (ใช้ตั้งน้ำระบบหมุนเวียนแทนได้)
- 3) นาฬิกาจับเวลา



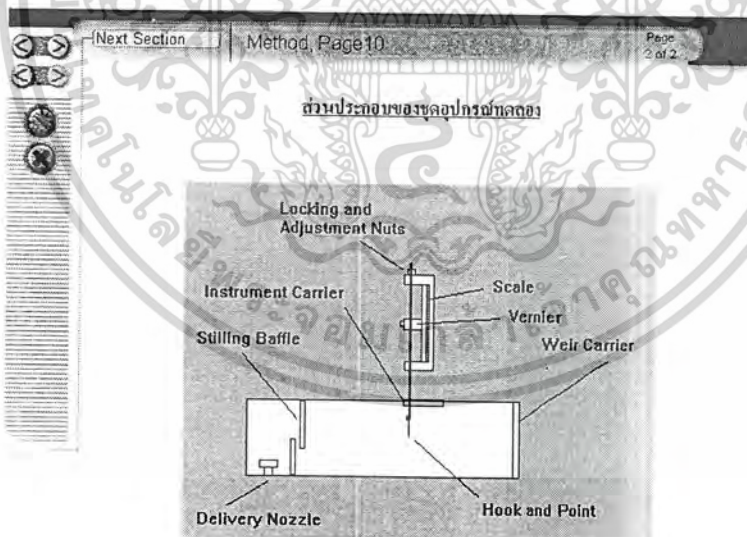
รูปที่ 4.13.8 อุปกรณ์การทดลอง

9) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.13.9



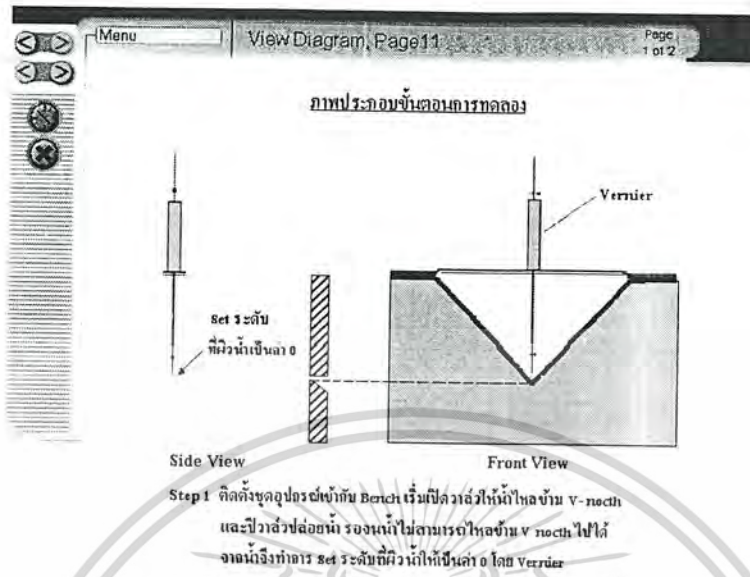
รูปที่ 4.13.9 วิธีการทดลอง

10) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.13.10



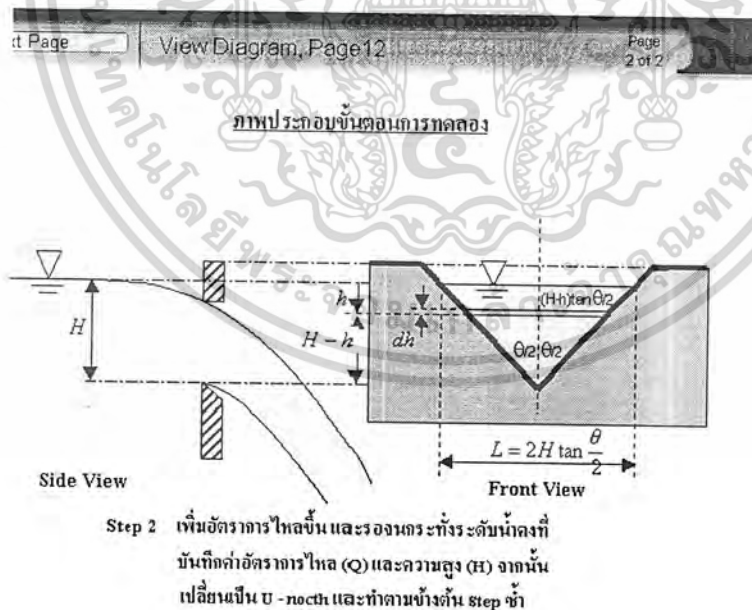
รูปที่ 4.13.10 วิธีการทดลอง (ต่อ)

11) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.13.11



รูปที่ 4.13.11 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

12) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.13.12



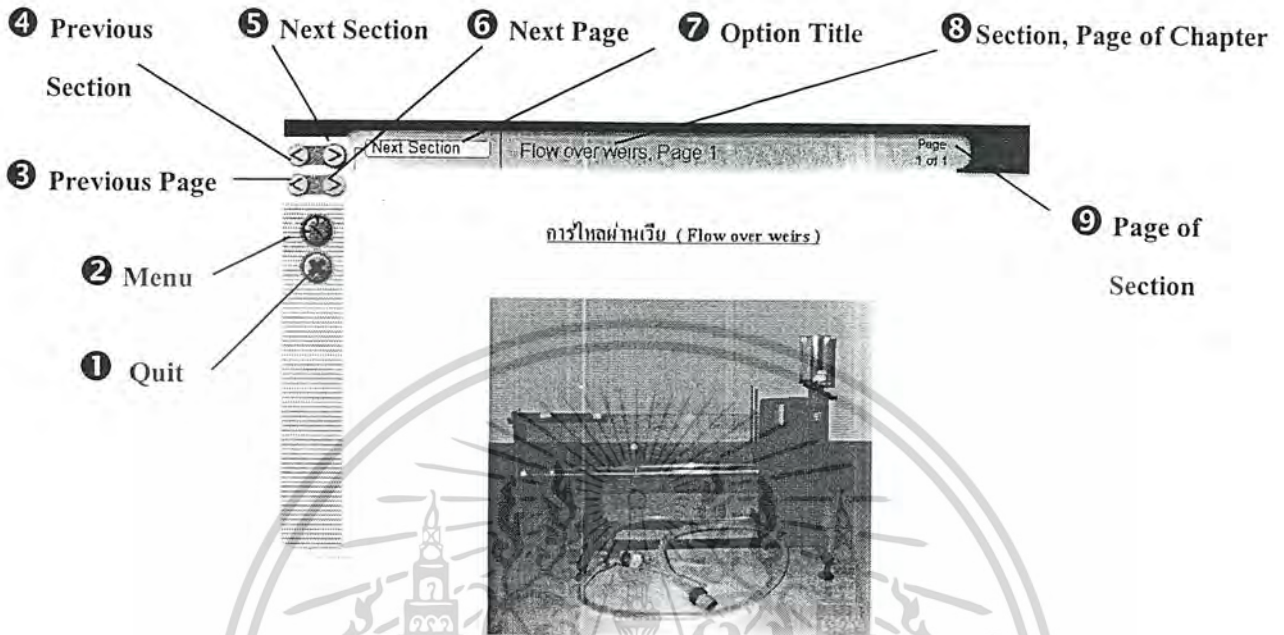
รูปที่ 4.13.12 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 การไหลผ่านเวีย (Flow over weirs)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.14.1

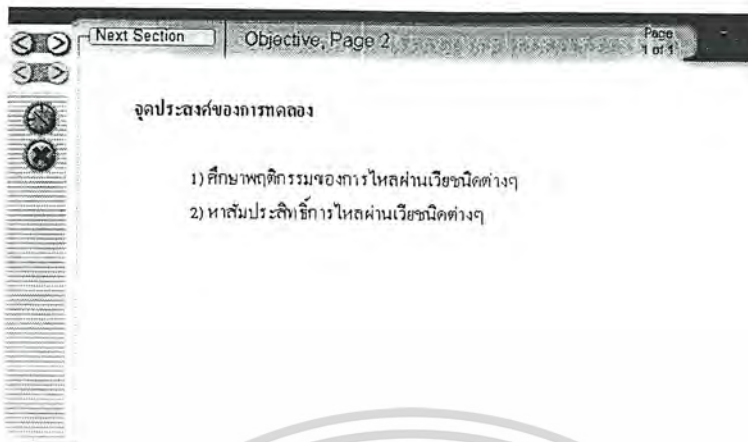


รูปที่ 4.14.1 การไหลผ่านเวีย (Flow over weirs)

ลักษณะการใช้งานของปุ่มกดต่างๆ มีดังนี้

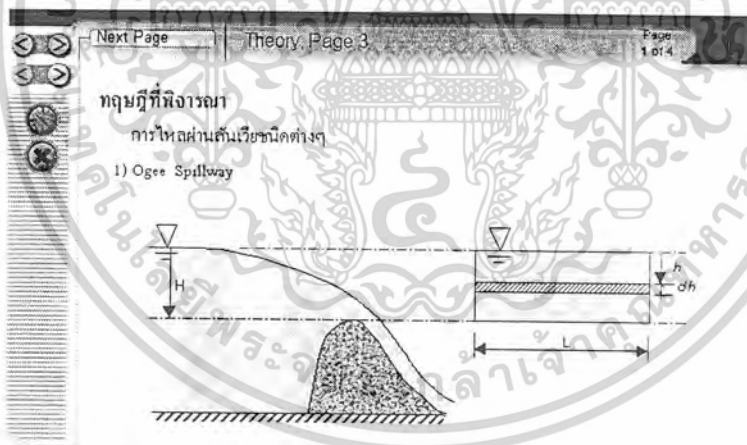
- ① Quit ออกจากจากโปรแกรม
- ② Menu แสดงส่วนประกอบของเนื้อหาทั้งหมด และคลิกไปหน้าที่ต้องการได้ทันที
- ③ Previous Page กลับไปหน้าจอที่ผ่านมา (ภายในหัวข้อเดียวกัน)
- ④ Previous Section กลับไปหัวข้อที่ผ่านมา
- ⑤ Next Section ไปยังหัวข้อถัดไป
- ⑥ Next Page ไปยังหน้าจอที่ผ่านมา (ภายในหัวข้อเดียวกัน)
- ⑦ Option Title แสดงความหมายของปุ่มที่ท่านต้องการเลือก
- ⑧ Section, Page of Chapter แสดงหัวข้อและตำแหน่งหน้าของบทนั้นๆ
- ⑨ Page of Section แสดงตำแหน่งหน้าของหัวข้อนั้นๆ

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.14.2



รูปที่ 4.14.2 จุดประสงค์

3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.14.3



จากรูปด้านบนปริมาณน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดแถบเล็กๆที่มีพื้นที่หน้าตัด dA และอยู่ต่ำกว่า
คือน้ำ h มีค่า

$$dQ = v dA$$

แต่ $v = \sqrt{2gh}$ และ $dA = L dh$

เมื่อ $L =$ ความยาวของสัน Ogee Spillway

รูปที่ 4.14.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.14.4

Next Page Theory Page 4 Page 2 of 4

ดังนั้น $dQ = \sqrt{2gh} \cdot Ldh$

$$Q = \int dQ = \int_0^H \sqrt{2gh} Ldh$$

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} LH^{3/2} \quad (1)$$

เมื่อ H = ความสูงของคาน้ำจากสันของ Ogee Spillway
 แต่ในการไหลผ่านสัน Ogee Spillway ย่อมมีความสูญเสียเกิดขึ้น ทำให้อัตราการไหลผ่านสันเวียงจริง ๆ น้อยกว่าค่า Q จากสมการที่ (1)

ดังนั้น $Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} LH^{3/2} \quad (2)$


เมื่อ C_d หมายถึงสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่าน Ogee Spillway มีค่าน้อยกว่า 1.0

รูปที่ 4.14.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.14.5

Next Page Theory Page 5 Page 3 of 4

2) Broad-crested Weirs



จากรูปด้านบน เมื่อใช้สมการเบอร์นอลลีระหว่างจุดที่ 1 กับ 2 จะได้

$$H = h + \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \sqrt{2g(H-h)}$$

$$Q = C_d L h \sqrt{2g(H-h)} \quad (3)$$

เมื่อ L หมายถึงความยาวของสันเวียง

รูปที่ 4.14.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.14.6

Next Section Theory, Page 6 Page 4 of 4

อัตราการที่ (3) ใหม่จะได้

$$Q = C_d L \sqrt{2g} (Hh^2 - h^3)^{1/2} \quad (4)$$

จะเห็นว่า Q มีค่ามากที่สุดเมื่อ $(Hh^2 - h^3)$ มากที่สุด ดังนั้น

$$dQ/dh = 2Hh - 3h^2 = 0$$

ดังนั้น $h = 2/3 H$

แทนค่า $h = 2/3 H$ ลงในสมการที่ (4) จะได้

$$Q = 1.705 C_d L H^{3/2} \quad (5)$$

รูปที่ 4.14.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.14.7

Next Section Equipment, Page 7 Page 1 of 1

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Equipment)

- 1) แบบจำลองของ Ogee Spillway และ Broad-crested Weirs
- 2) ชุดทางน้ำเปิด (Open channel) พร้อมอุปกรณ์ของชุดทดลอง
- 3) นาฬิกาจับเวลา

Dye Reservoir Undershot Weir Overshot Weir

Flow Control Valve

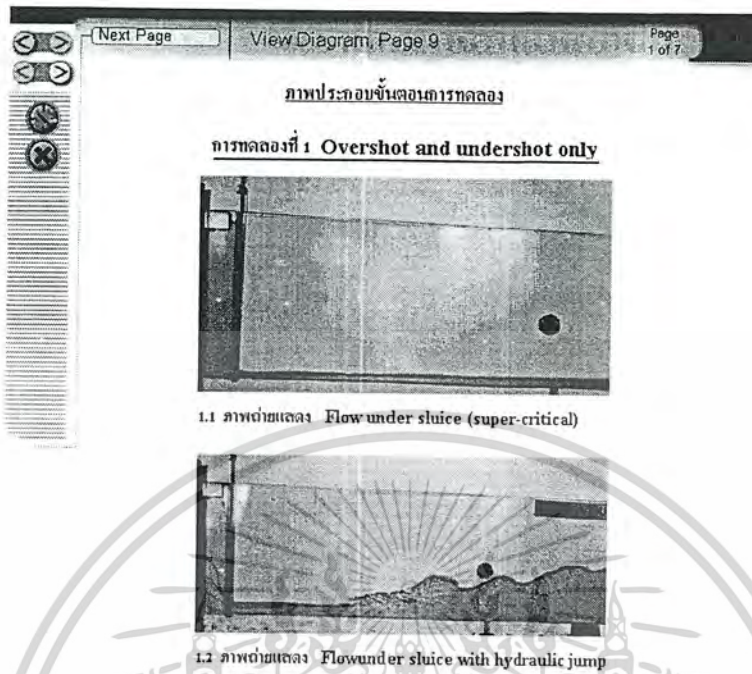
Dye hyperdermics

Marbles

Inlet Pipe

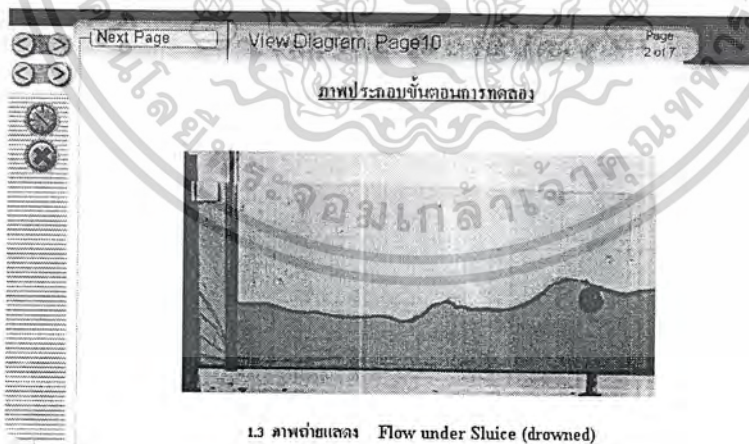
รูปที่ 4.14.7 อุปกรณ์การทดลอง

8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ๕ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.14.8



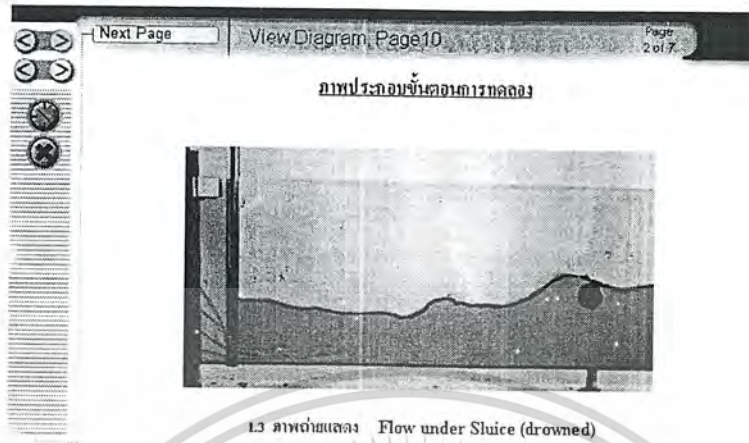
รูปที่ 8 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

9) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ๖ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.14.9



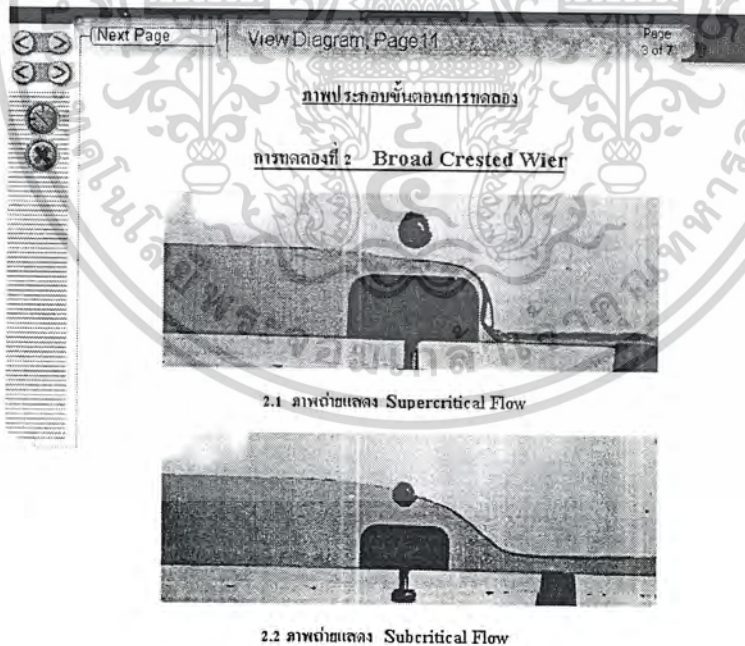
รูปที่ 4.14.9 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

10) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.14.10



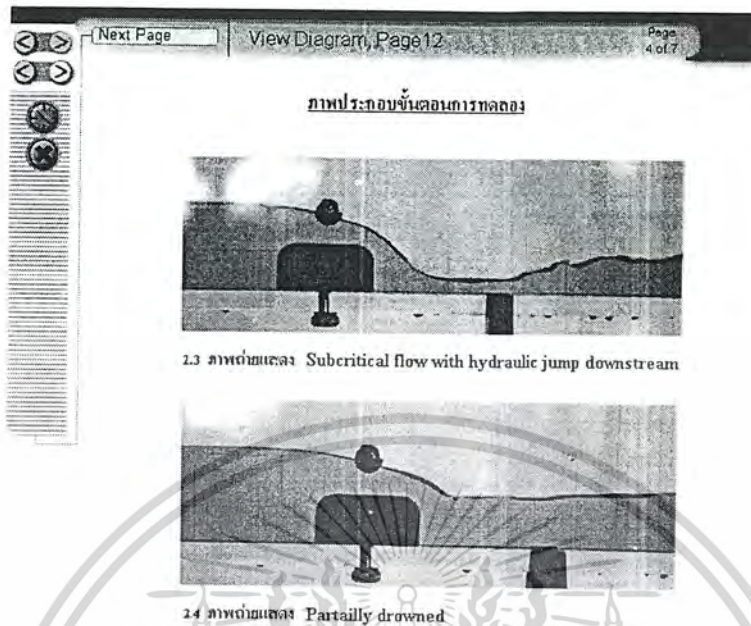
รูปที่ 4.14.10 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

11) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.14.11



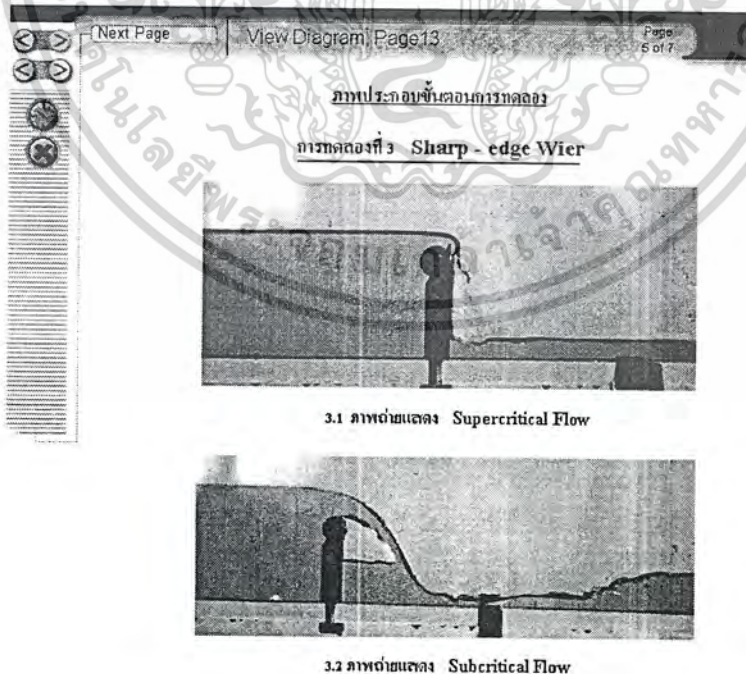
รูปที่ 4.14.11 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

12) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.14.12



รูปที่ 4.14.12 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

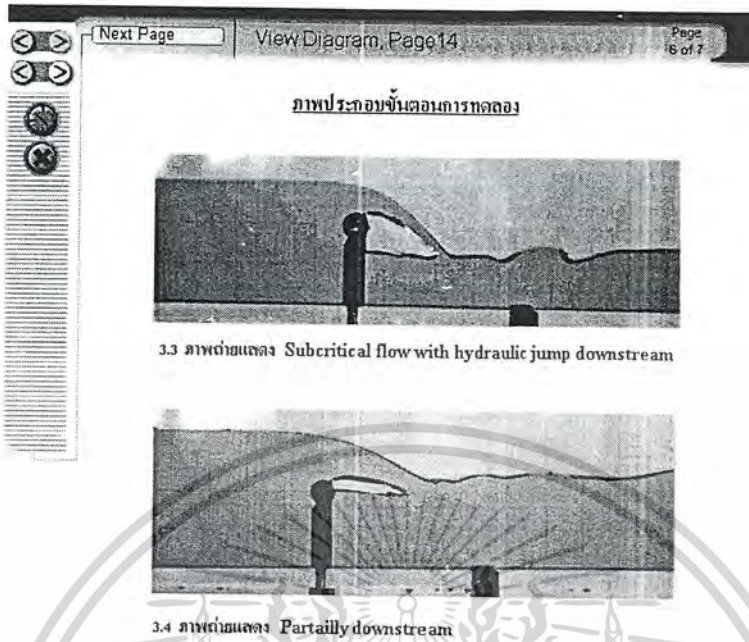
13) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.14.13



รูปที่ 4.14.13 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

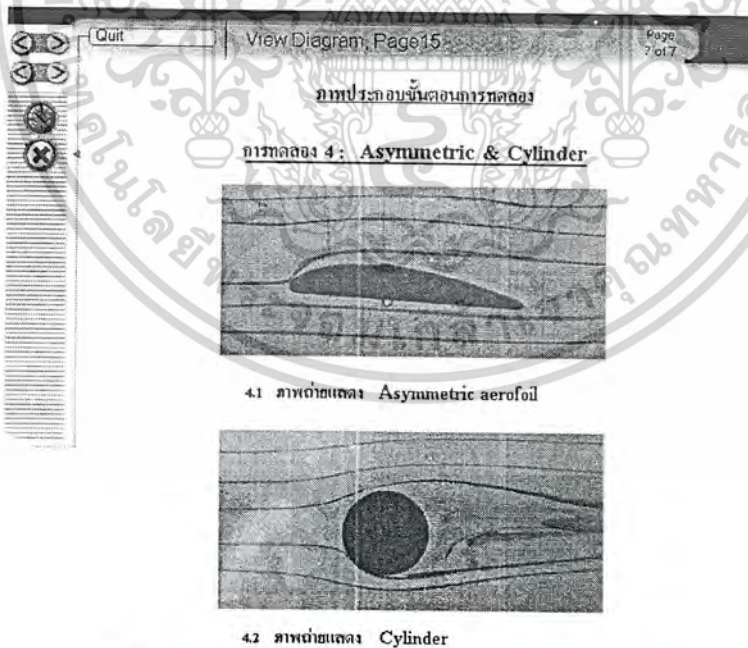
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.14.14



รูปที่ 4.14.14 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

15) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.14.15



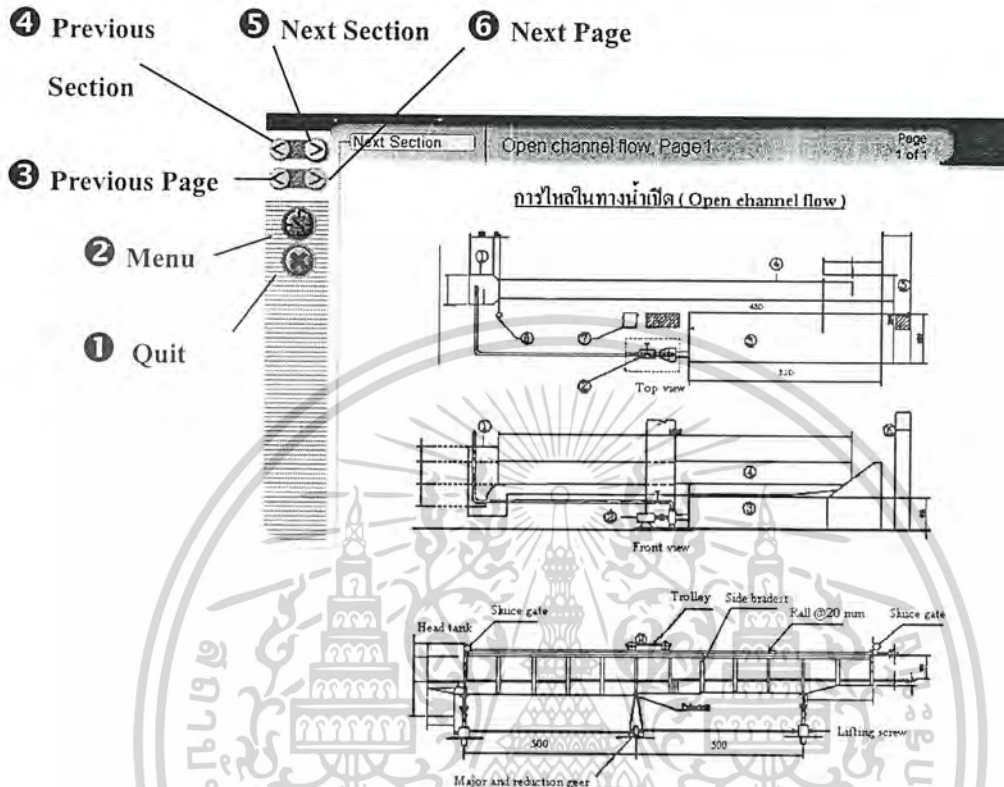
รูปที่ 4.14.15 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

หมายเหตุ

หากต้องการออกจากโปรแกรม ให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข ① (Quit)

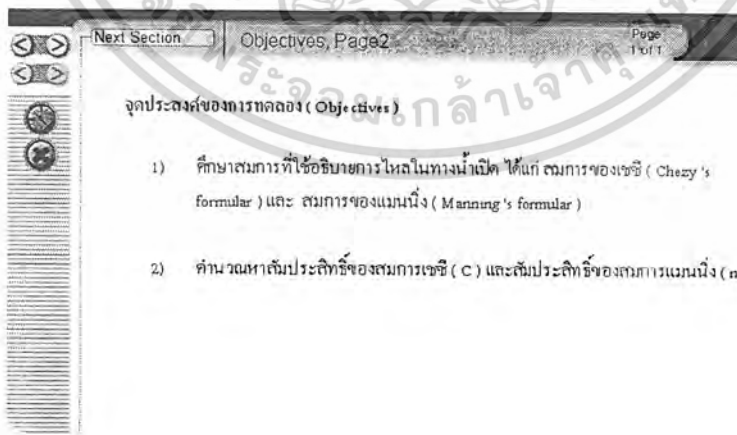
4.15 การไหลในทางน้ำเปิด (Open channel flow)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.15.1



รูปที่ 4.15.1 การไหลในทางน้ำเปิด (Open channel flow)

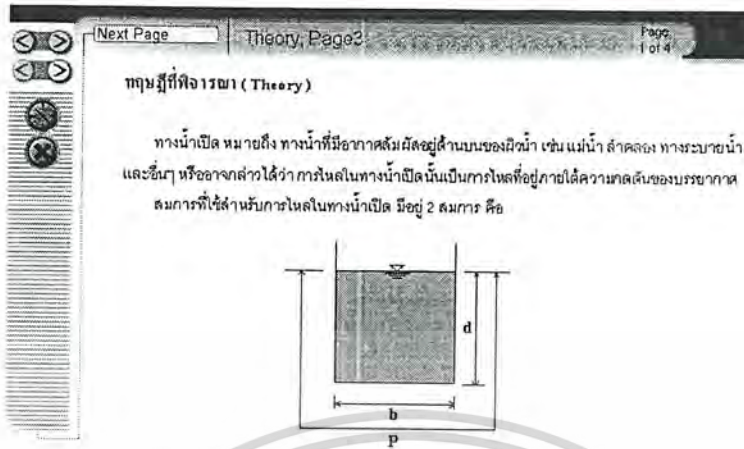
2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.15.2



รูปที่ 4.15.2 จุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.15.3



1) สมการของเชซี (Chezy's formular)

$$V = C \sqrt{RS} = \text{ความเร็วของการไหล} \quad (1)$$

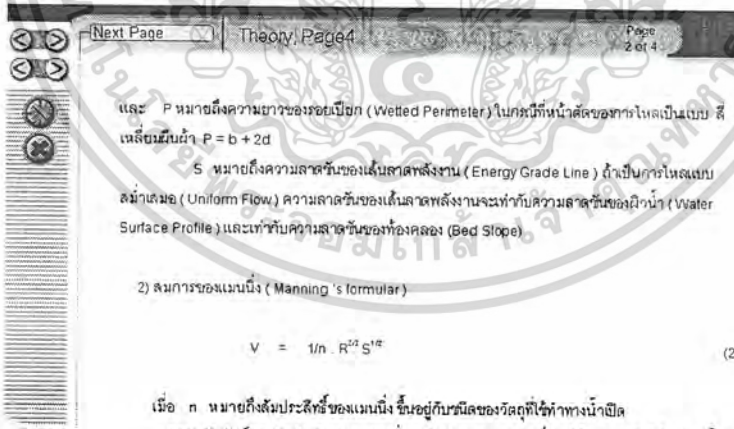
เมื่อ C หมายถึงสัมประสิทธิ์ของเชซี

R หมายถึงรัศมีไฮดรอลิก (Hydraulic Radius)

$R = A/P$ เมื่อ A หมายถึงพื้นที่หน้าตัดของการไหล = bd

รูปที่ 4.15.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.15.4



และ P หมายถึงความยาวของรอบเปียก (Wetted Perimeter) ในกรณีที่หน้าตัดของการไหลเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า $P = b + 2d$

S หมายถึงความลาดชันของเส้นลาดพลังงาน (Energy Grade Line) ถ้าเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) ความลาดชันของเส้นลาดพลังงานจะเท่ากับความลาดชันของผิวหน้า (Water Surface Profile) และเท่ากับความลาดชันของท้องคลอง (Bed Slope)

2) สมการของแมนนิง (Manning's formular)

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (2)$$

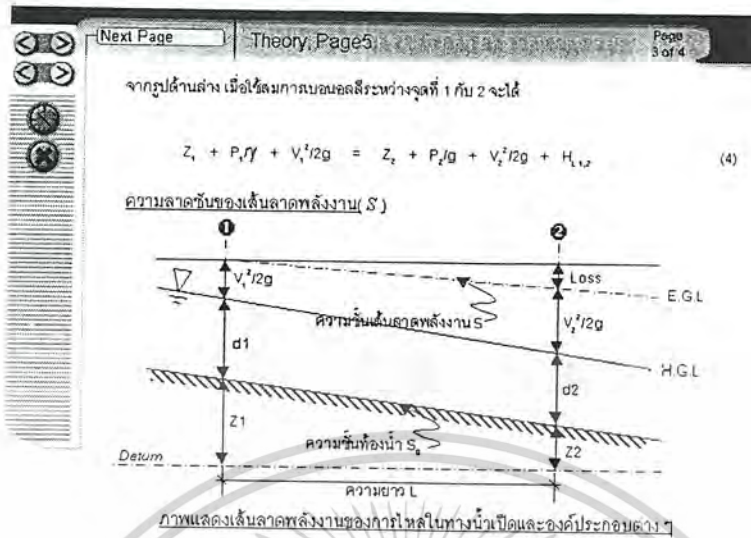
เมื่อ n หมายถึงสัมประสิทธิ์ของแมนนิง ซึ่งอยู่กับวัสดุของวัสดุที่ใช้ทำทางน้ำเปิด

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C ของสมการที่ (1) กับค่า n ของสมการที่ (2) ได้จากการจับให้สมการทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะได้

$$C = 1/n \cdot R^{1/6} \quad (3)$$

รูปที่ 4.15.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.15.5

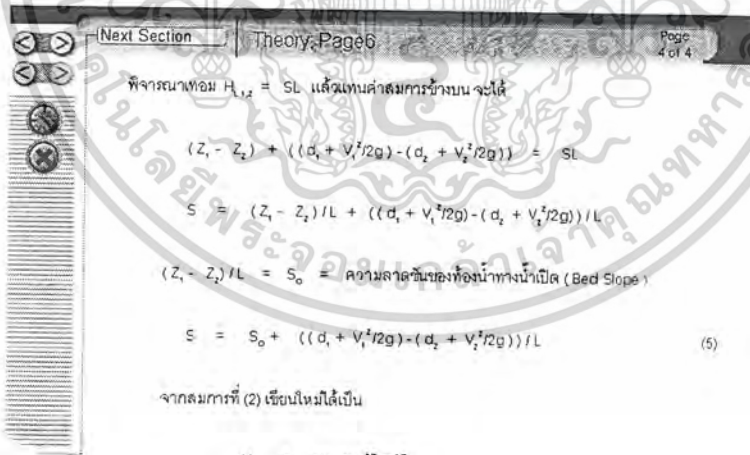


แต่ $P_1/\gamma = d_1$ และ $P_2/\gamma = d_2$ ดังนั้นสมการที่ (4) เขียนใหม่ได้เป็น

$$Z_1 + d_1 + V_1^2/2g = Z_2 + d_2 + V_2^2/2g + H_{L,1-2}$$

รูปที่ 4.15.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.15.6



$$V_m = 1/n R_m^{2/3} S^{1/2}$$

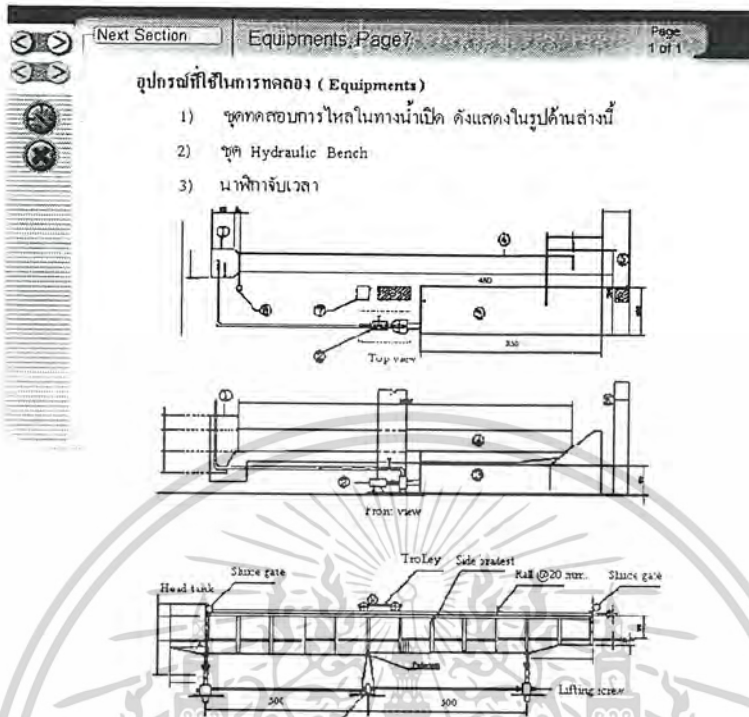
เมื่อ $V_m = (V_1 + V_2)/2$ และ $R_m = (R_1 + R_2)/2$

ดังนั้น $n = (R_m^{2/3} S^{1/2}) / V_m \quad (6)$

โดยที่ S นามาก่อนจากสมการที่ (5)

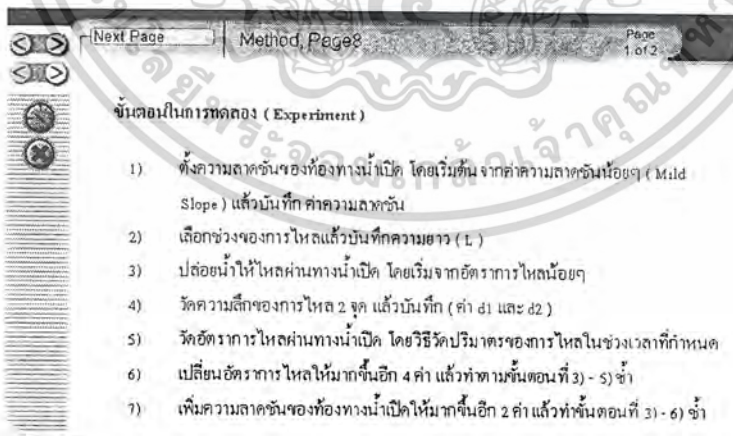
รูปที่ 4.15.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.15.7



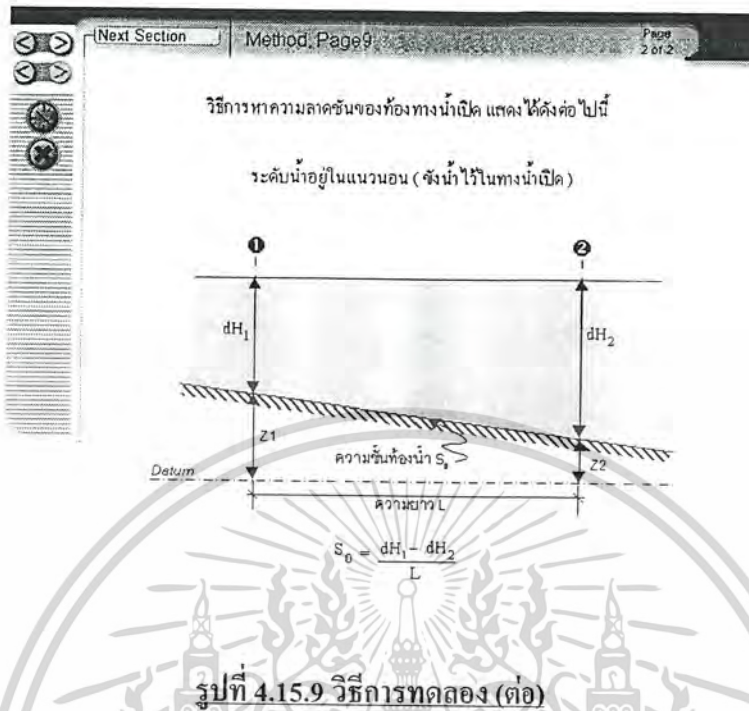
รูปที่ 4.15.7 อุปกรณ์การทดลอง

8) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.15.8



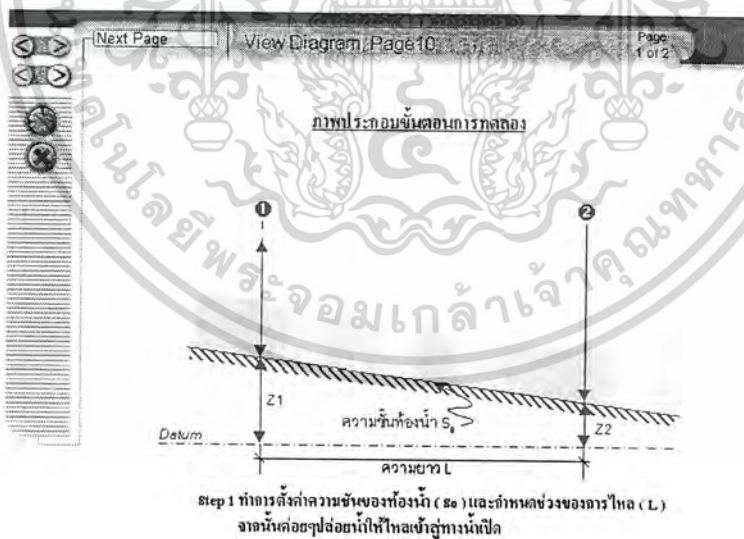
รูปที่ 4.15.8 วิธีการทดลอง (ต่อ)

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.15.9



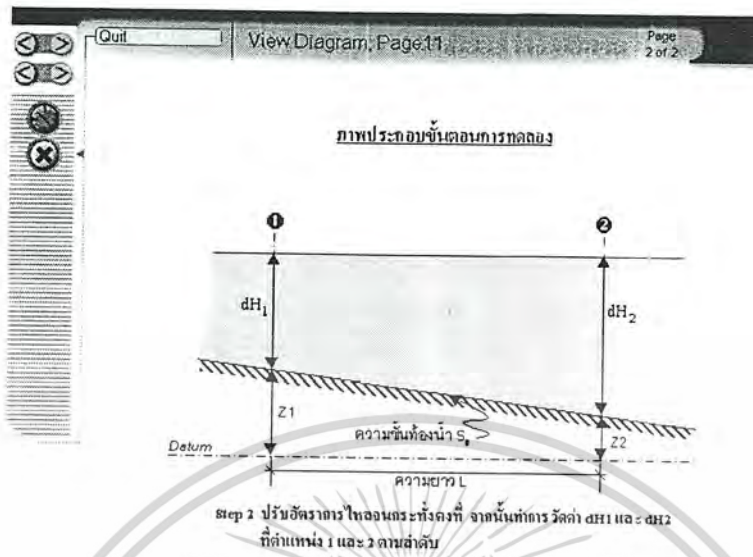
รูปที่ 4.15.9 วิธีการทดลอง (ต่อ)

10) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.15.10



รูปที่ 4.15.10 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

11) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.15.11

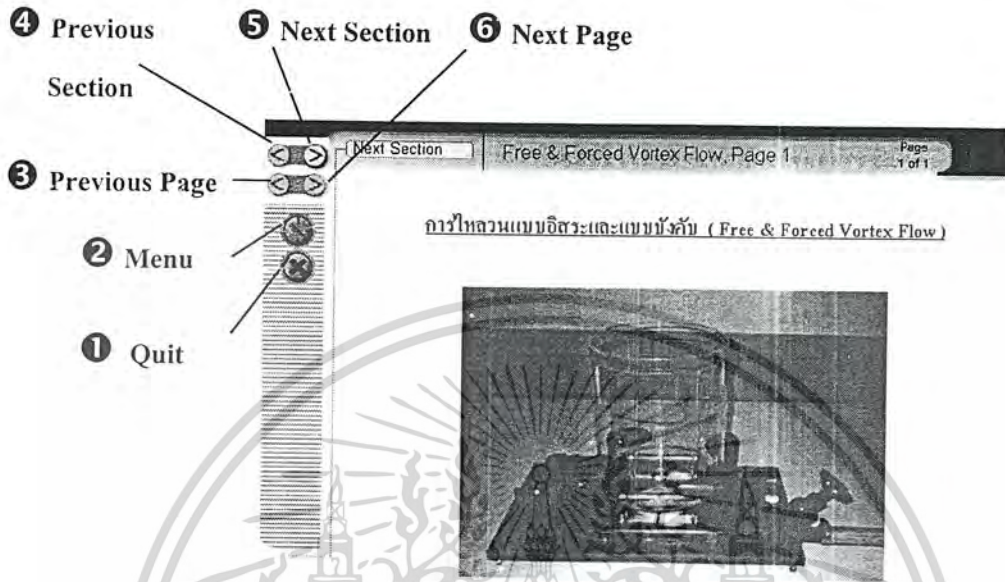


รูปที่ 4.15.11 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจาก โปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข ① (Quit)

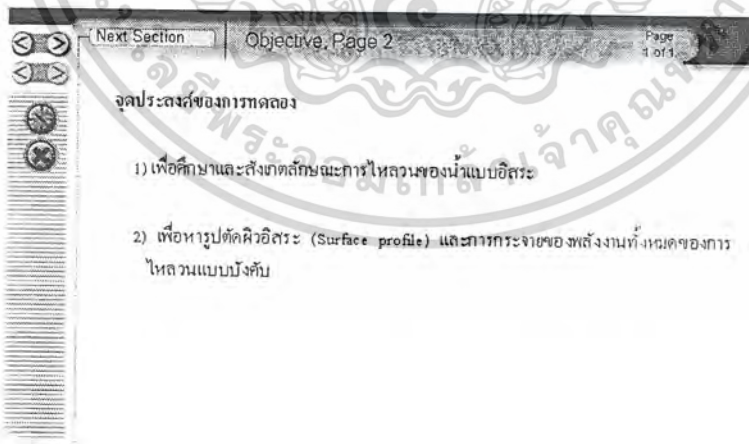
4.16 การไหลวนแบบอิสระและแบบบังคับ (Free & Forced Vortex Flow)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.16.1



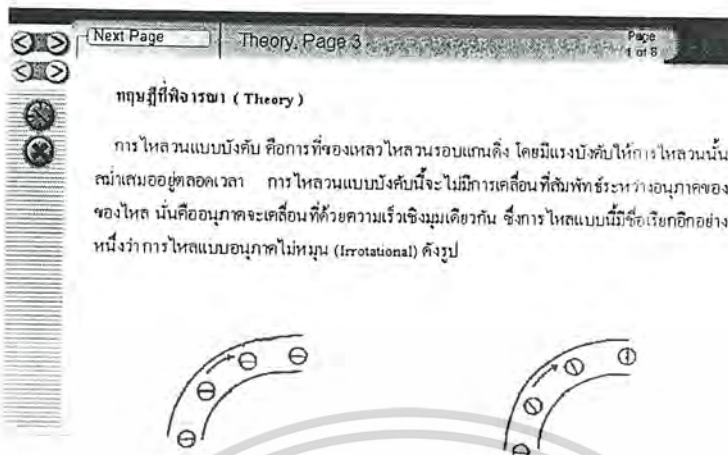
รูปที่ 4.16.1 การไหลวนแบบอิสระและแบบบังคับ (Free & Forced Vortex Flow)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.16.2



รูปที่ 4.16.2 จุดประสงค์

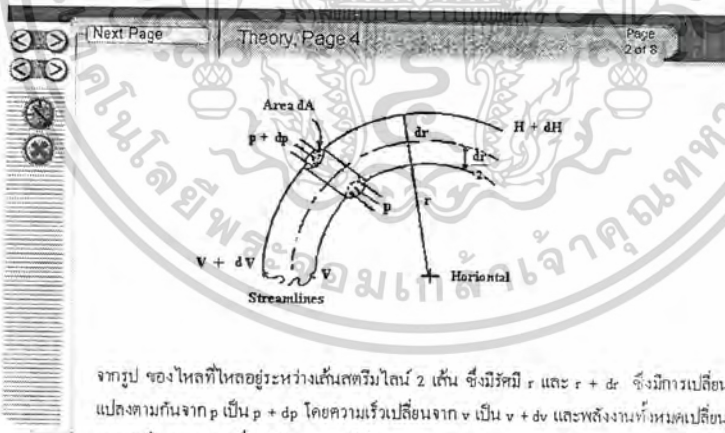
3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.16.3



1) การเปลี่ยนแปลงความดันตามแนววิถีในระนาบราบของสตรีมไลน์ (Streamlines) ที่มีศูนย์กลางร่วมกัน ดังรูปหน้าถัดไป

รูปที่ 4.16.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.16.4



จากรูป ของไหลที่ไหลอยู่ระหว่างเส้นสตรีมไลน์ 2 เส้น ซึ่งมีรัศมี r และ r + dr จึงมีการเปลี่ยนแปลงตามกันจาก p เป็น p + dp โดยความเร็วเปลี่ยนจาก v เป็น v + dv และพลังงานทั้งหมดเปลี่ยนจาก H เป็น H + dH เมื่ออยู่ในสมดุลจะได้

แรงหนีศูนย์กลาง = ความแตกต่างของแรงดันที่กระทำต่อสตรีมไลน์ทั้งสอง

$$\frac{mV^2}{r} = \frac{\rho dA dr (v + (dv/2))^2}{r + (dr/2)} = (p + dp) dA - p dA$$

รูปที่ 4.16.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.16.5

จกรูปใหม่จะได้

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\rho (v + (dv/2))^2}{r + (dr/2)}$$

ถ้า v และ r มีค่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับ dv และ dr แล้วสามารถตัด dv และ dr ทิ้งได้ ดังนั้น

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\rho v^2}{r} \quad (1)$$

2) การเปลี่ยนแปลงความดันจากเซกเมนต์ไลน์เส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่งในการไหลวนแบบบังคับจากสมการ (1) จะได้

$$dp = \rho \omega^2 r dr \quad (\text{เนื่องจาก } v = \omega r)$$

เมื่อทำการอินทิเกรตระหว่างเซกเมนต์ไลน์ (1) และ (2) แล้วหารตลอดด้วย ρg จะได้ว่า

$$\frac{(p_2 - p_1)}{\rho g} = \frac{\omega^2 (r_2^2 - r_1^2)}{2g}$$

รูปที่ 4.16.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.16.6

ซึ่งเป็นสมการพาราโบลา ดังรูป

จากรูป กำหนดให้จุด A เป็นจุดต่ำสุดของผิวโค้งพาราโบลา ซึ่งอยู่ในระนาบที่ผ่านจุด O โดยอยู่ห่างจากจุด O ในแนวรัศมีเท่ากับ r จะได้ว่า ความดันแตกต่างกันระหว่างจุด A กับจุด O เป็น

$$\frac{(p_A - p_o)}{\rho g} = \frac{\omega^2 (r_A^2 - r_o^2)}{2g}$$

แต่ $r_o = 0$ และ $p_o = 0$ = ความดันบรรยากาศ (เมื่อคิดเป็นความดันเกจ) จะได้ว่า

$$Z_A = \frac{p_A}{\rho g} = \frac{\omega^2 r_A^2}{2g} \quad (2)$$

เมื่อ Z_A = ความลึกของน้ำจากผิวอิสระถึงจุด A

ฉะนั้นสรุปได้ว่า ความดันในระนาบที่ผ่านจุด O จะมากขึ้นตามความยาวรัศมี

รูปที่ 4.16.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอผังรูปที่ 4.16.7

Next Page Theory Page 7 Page 5 of 8

3) การเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งหมดตามแนวรัศมีในระบบารบของสตริมไลน์เส้นโค้งที่มีศูนย์กลางร่วมกัน จากรูปที่ 2 จะได้ว่า

$$H + dH = \frac{(p + dp)}{\rho g} + \frac{(v + dv)^2}{2g} + Z$$

และ

$$H = p / \rho g + v^2 / 2g + Z$$

ฉะนั้น

$$dH = dp / \rho g + 2vdv / 2g + dv^2 / 2g$$

เนื่องจาก dv มีค่าน้อย ฉะนั้น dv^2 จึงมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ จะได้ว่า

$$dH = dp / \rho g + 2vdv / 2g$$

หารตลอดด้วย dr และแทนค่า $dp/dr = \rho v^2 / r$ จากสมการที่ (1) จะได้ว่า

$$dH / dr = v (v/r + dv/dr) / g \quad (3)$$

รูปที่ 4.16.7 ทฤษฎี (ต่อ)


8) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอผังรูปที่ 4.16.8

Next Page Theory Page 8 Page 6 of 8

4) การเปลี่ยนแปลงพลังงานทั้งหมดจากสตริมไลน์เส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่งในการไหลวนแบบบังคับ จากสมการที่ (3) แทน $\omega = v/r = dv/dr$ จะได้ว่า

$$dH = 2\omega^2 r dr / g$$

เมื่อทำการอินทิเกรตระหว่างสตริมไลน์ (1) และ (2) จะได้

$$H_2 - H_1 = \omega^2 (r_2^2 - r_1^2) / g$$


จากรูป กำหนดให้ระนาบที่ผ่านจุดต่ำสุดของส่วนโค้ง เป็นระดับเปรียบเทียบ ดังนั้นความแตกต่างของพลังงานทั้งหมดระหว่างจุด 0 และจุด B จะเป็น

$$H_B - H_0 = \omega^2 (r_B^2 - r_0^2) / g$$

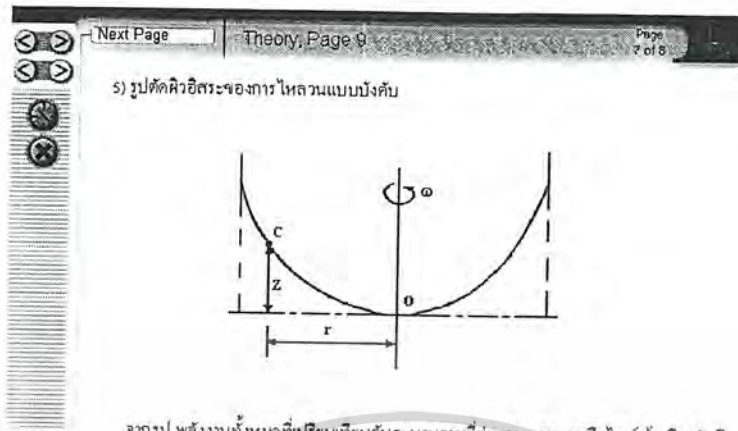
แต่ $r_0 = 0$ และ $H_0 = 0$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$H_B = \omega^2 r_B^2 / g \quad (4)$$

ฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าพลังงานทั้งหมดในระบบารบที่ผ่านจุด 0 จะมากขึ้นตามความยาวรัศมี

รูปที่ 4.16.8 ทฤษฎี (ต่อ)

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.16.9



จากรูป พลังงานทั้งหมดที่เปรียบเทียบกับระนาบราบที่ผ่านจุด o ของศรทริมไลนัเห็นเดียวกันมีค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ

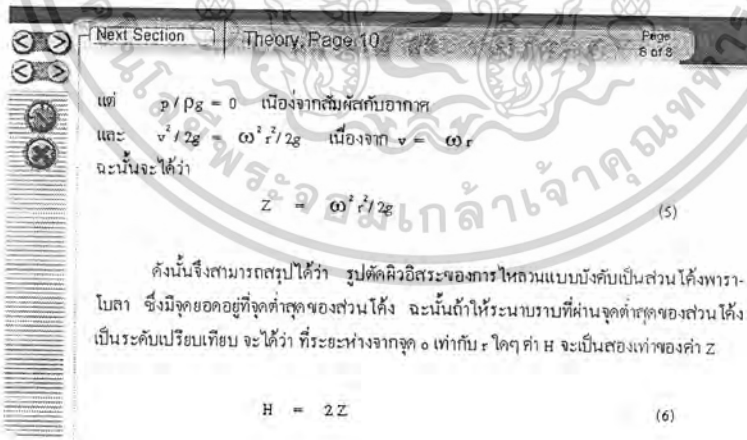
$$H = p / \rho g + v^2 / 2g + Z$$

พิจารณาจุด c ซึ่งอยู่บนผิวอิสระ โดยจุด o อยู่ห่างจากจุดต่ำสุดของส่วนโค้งในระนาบราบเท่ากับ r จะได้

$$H = \omega^2 r^2 / g$$

รูปที่ 4.16.9 ทฤษฎี (ต่อ)

10) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.16.10



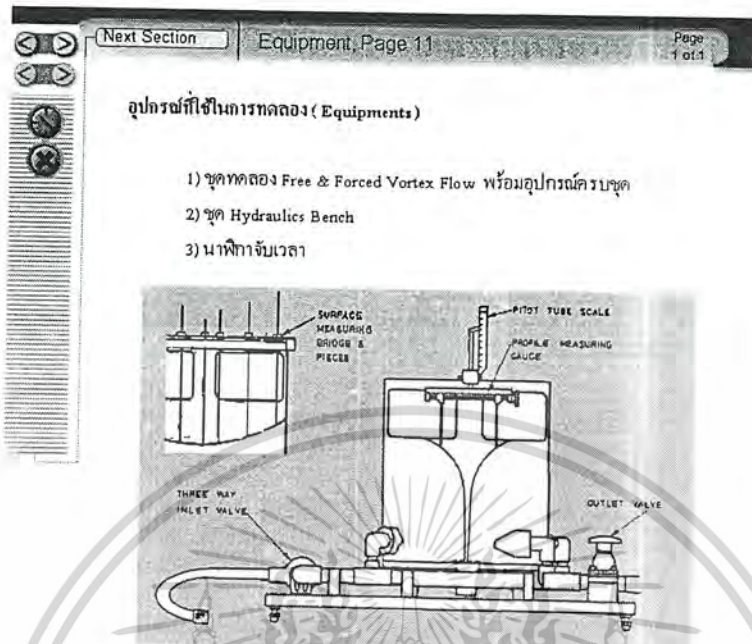
ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า รูปตัดผิวอิสระของการไหลวนแบบบังคับเป็นส่วนโค้งพาราโบลา ซึ่งมีจุดยอดอยู่ที่จุดต่ำสุดของส่วนโค้ง ฉะนั้นถ้าให้ระนาบราบที่ผ่านจุดต่ำสุดของส่วนโค้งเป็นระดับเปรียบเทียบ จะได้ว่า ที่ระยะห่างจากจุด o เท่ากับ r โดยค่า H จะเป็นสองเท่าของค่า Z

$$H = 2Z$$

(6)

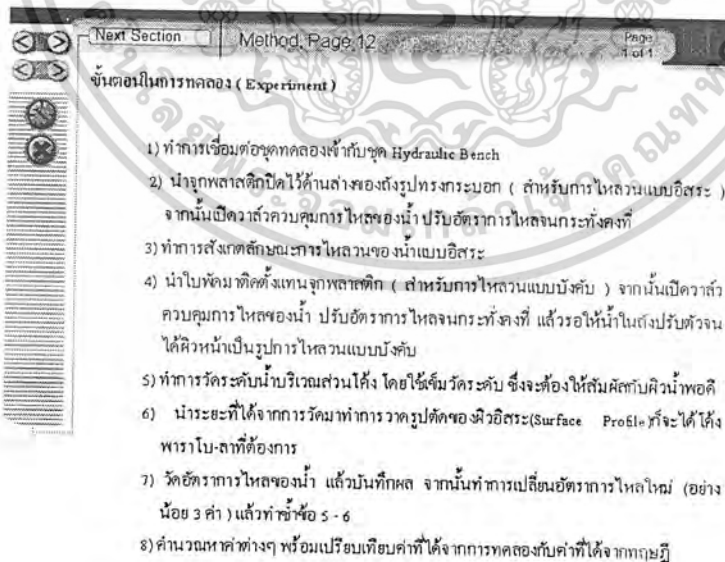
รูปที่ 4.16.10 ทฤษฎี (ต่อ)

11) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.16.11



รูปที่ 4.16.11 อุปกรณ์การทดลอง

12) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.16.12



รูปที่ 4.16.12 ขั้นตอนการทดลอง

13) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.16.13



รูปที่ 4.16.13 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

14) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.16.14



รูปที่ 4.16.14 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

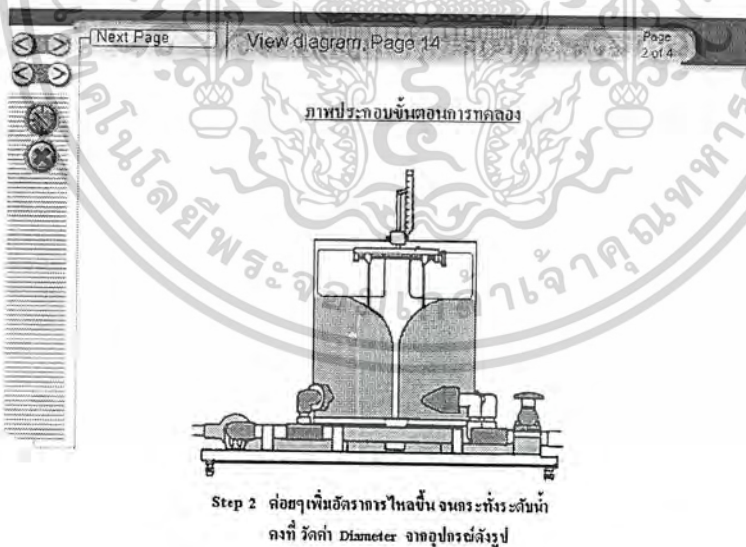
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.16.15



รูปที่ 4.16.15 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

16) เมื่อกดปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.16.16

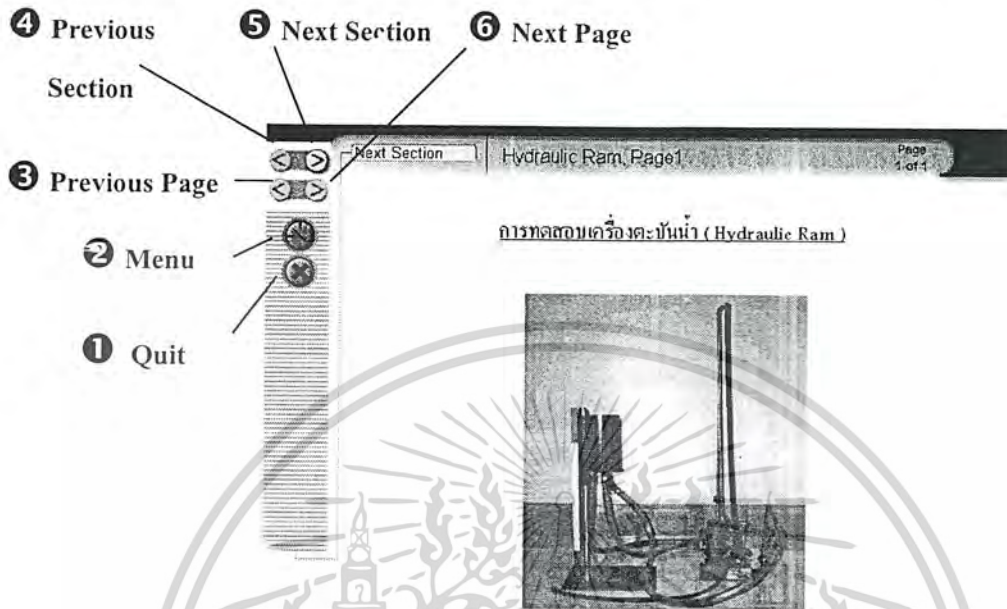


รูปที่ 4.16.16 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข ① (Quit)

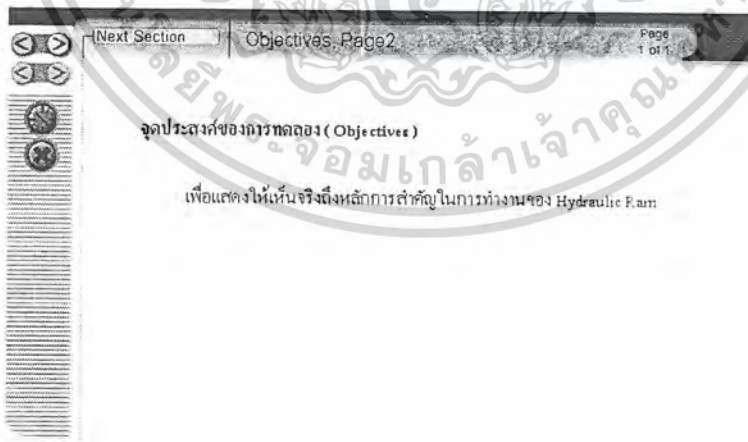
4.17 การทดสอบเครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.17.1



รูปที่ 4.17.1 การทดสอบเครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ๕ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.17.2



รูปที่ 4.17.2 จุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอรูปที่ 4.17.3

Theory Page 3

ทฤษฎี (Theory)
หลักการทํางานของ Hydraulic Ram มีดังต่อไปนี้

กำหนด แรงดัน F_1 มีค่าขึ้นอยู่กับความสูง h_1 และ ความดันของ Air Compressor ดังสมการ

$$F_1 = (P_{air\ compressor} + \rho g h_1) A_{valve}$$

Note: F_1 จะมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างมีขอบเขตจำกัด $F_1 \rightarrow F_{loss}$ Control Valve 1

แรง F_2 มีค่าขึ้นอยู่กับน้ำหนักมวลที่กดทับ ดังสมการ

$$F_2 = mg$$

Note: $F_2 > F_{loss}$ Control Valve 2

แรงที่เกิดจาก momentum ของการไหลของมวลน้ำซึ่งมีค่าเป็น

$$F_{momentum} = m \cdot v$$

รูปที่ 4.17.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอรูปที่ 4.17.4

Theory Page 4

ขั้นตอนการทํางานมีดังต่อไปนี้

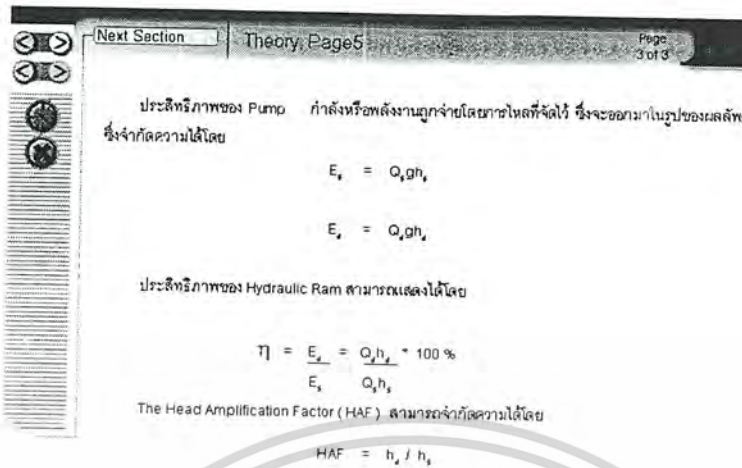
State 1 เมื่อความดันใน Compressor มีค่าน้อย จะทำให้ $F_1 < F_{momentum} < F_2$ ทำให้มวลน้ำสามารถไหลเข้าสู่ถังทาง Valve 1 ได้ โดยการกระทบของมวลน้ำ ทำให้ระดับน้ำในถัง h_1 สูงขึ้น ชัดอากาศใน Compressor ให้มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ Valve 2 ปิดสนิทเนื่องจาก $F_2 = mg$

State 2 เมื่อน้ำในถังสูงขึ้นและชัด Compressor จะมีค่าความดันมากพอที่จะทำให้ $F_1 > F_2$ ทำให้น้ำไม่สามารถไหลเข้าไปได้ เพราะ Valve 1 ปิด น้ำในถังจะถูกอัดด้วย Air Compressor ไปยังแหล่งรับน้ำ มวลน้ำที่ไหลมาจากแหล่งน้ำก็จะทำให้เกิดแรงกระทบ $F_{momentum}$ กระแทกให้น้ำไหลออกทาง Valve 2 แทน (เพราะไม่สามารถไหลผ่านทาง Valve 1 ได้)

State 3 เมื่อ Air Compressor ชัดน้ำในถังไปยังแหล่งรับน้ำ ทำให้แรงดันของ Compressor มีค่าลดลงทำให้ระบบกลับไปสู่ State 1 อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งกาทํางานจะวนเวียนไปอย่างนี้เรื่อย ๆ

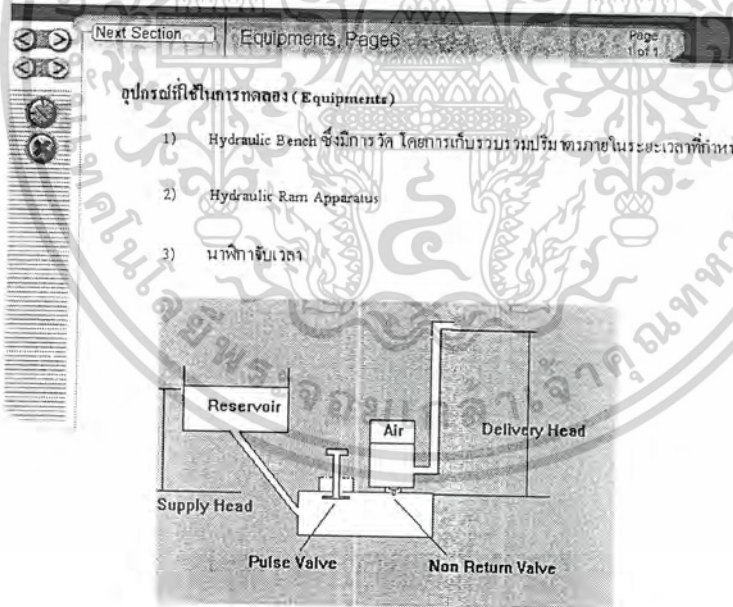
รูปที่ 4.17.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.17.5



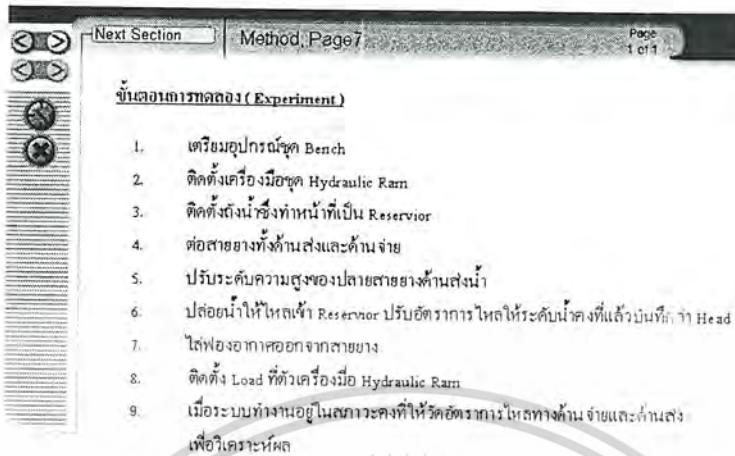
รูปที่ 4.17.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.17.6



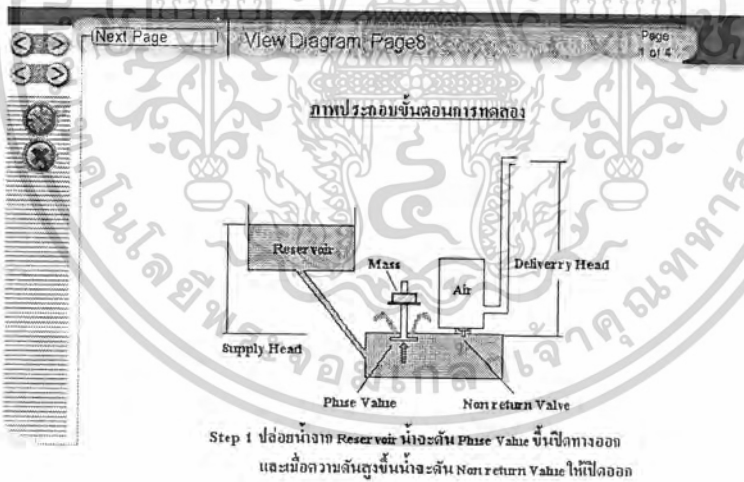
รูปที่ 4.17.6 อุปกรณ์การทดลอง

7) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.17.7



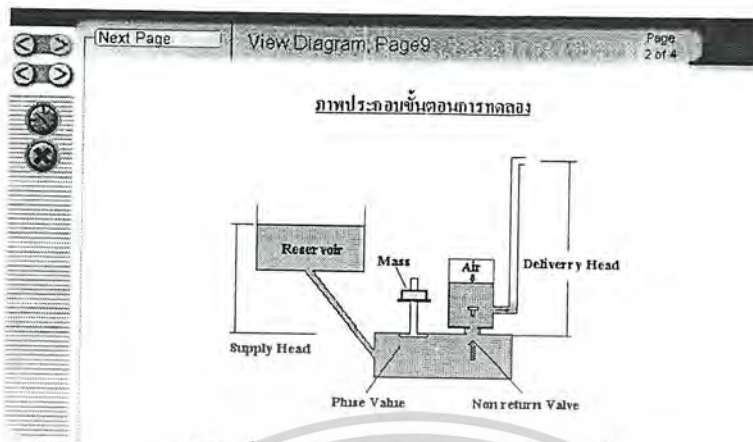
รูปที่ 4.17.7 ขั้นตอนการทดลอง

8) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.17.8



รูปที่ 4.17.8 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

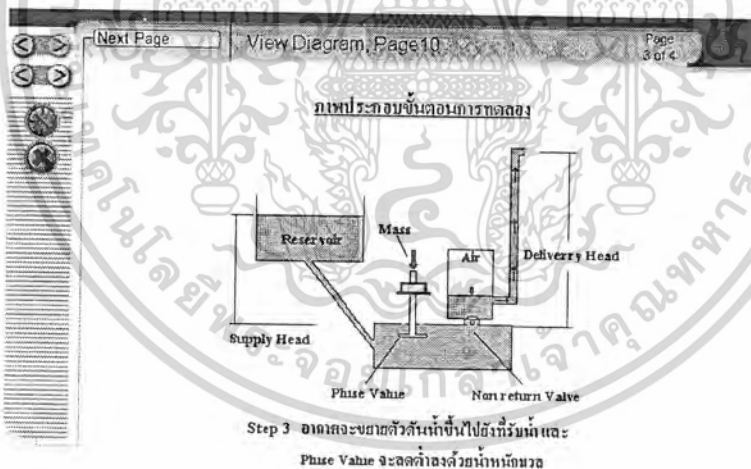
9) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.17.9



Step 2 เมื่อ Non return Valve เปิดออก อากาศถูกบีบอัด จนกระทั่งน้ำ
ไม่สามารถไหลเข้าได้อีก Non return Valve จะค่อยๆกลองบเปิด

รูปที่ 4.17.9 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

10) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.17.10



Step 3 อากาศจะขยายตัวดันน้ำขึ้นไปยังที่รั้วน้ำและ
Phase Valve จะลดค่าลงด้วยน้ำหนักมวล

รูปที่ 4.17.10 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

11) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑥ (Next Page) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.17.11

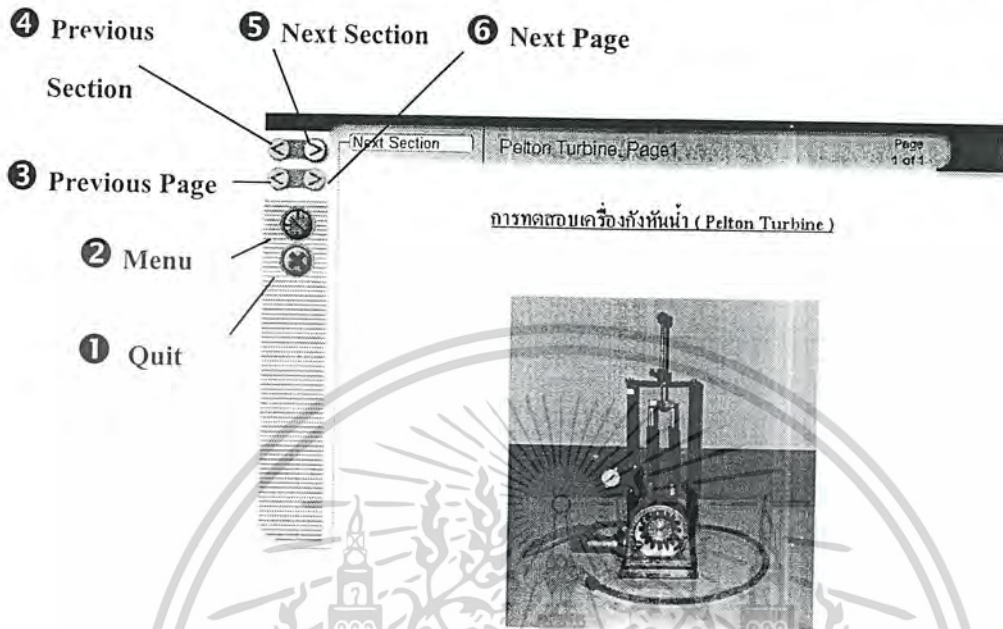


รูปที่ 4.17.11 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง (ต่อ)

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข ① (Quit)

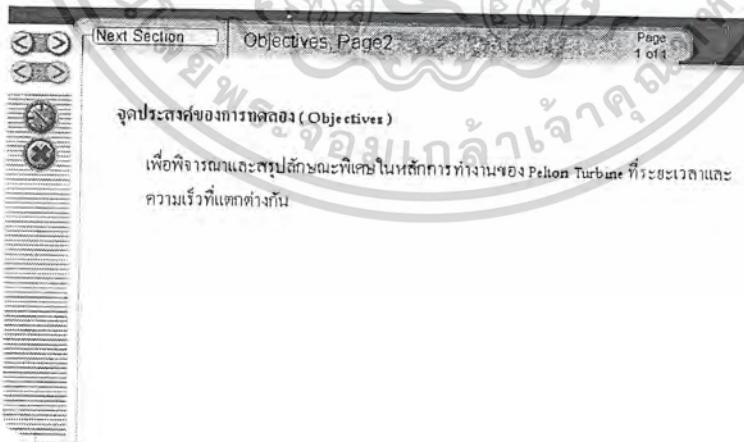
4.18 การทดสอบเครื่องกังหันน้ำ (Pelton Turbine)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.18.1



รูปที่ 4.18.1 การทดสอบเครื่องกังหันน้ำ (Pelton Turbine)

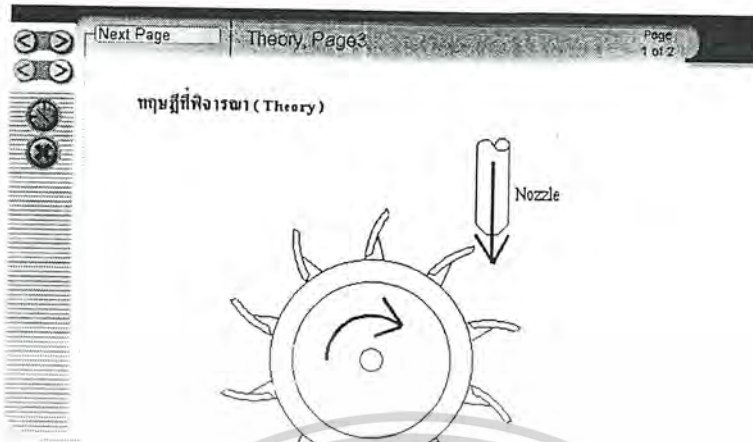
2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.18.2



รูปที่ 4.18.2 จุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.18.3



เส้นโค้งที่ได้มาจากทกราฟงานของกังหันได้มาจากวิธีเดียวกับกับ Pump ในเรื่องของความเร็ว ซึ่งก็จะเป็นคือแปรหลัก เมื่อเกิด Plotting Power, ประสิทธิภาพ, Torque (การหมุน) และ Discharge

รูปที่ 4.18.3 ทฤษฎี

4) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอจดังรูปที่ 4.18.4

ทฤษฎีที่เจาะณา (Theory)

พลังงานกล = การหมุน * ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็น พว

$$P_m = T \omega$$

เมื่อ $T = \text{force} \times \text{radius}$ หน่วยเป็น Nm
 $\omega = 2\pi (\text{Rev}/\text{min}) / 60$ หน่วยเป็น rad / s

และ พลังงานน้ำ $P_w = \rho g H Q$ หน่วยเป็น พว

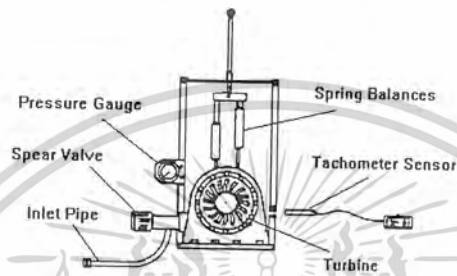
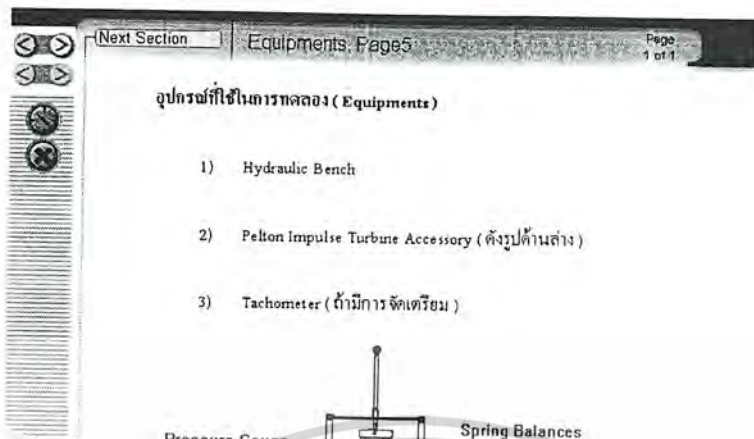
เมื่อ $\rho = \text{density of water} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$
 $g = 9.81 \text{ m} / \text{s}^2$
 $H = \text{inlet head} \text{ m}$
 $Q = \text{flow rate} \text{ m}^3 / \text{s}$

จะได้ว่า

ประสิทธิภาพของกังหัน $\eta\% = (P_m / P_w) \times 100 \%$

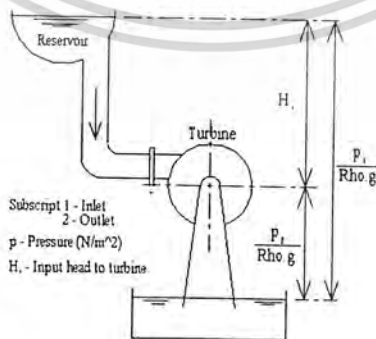
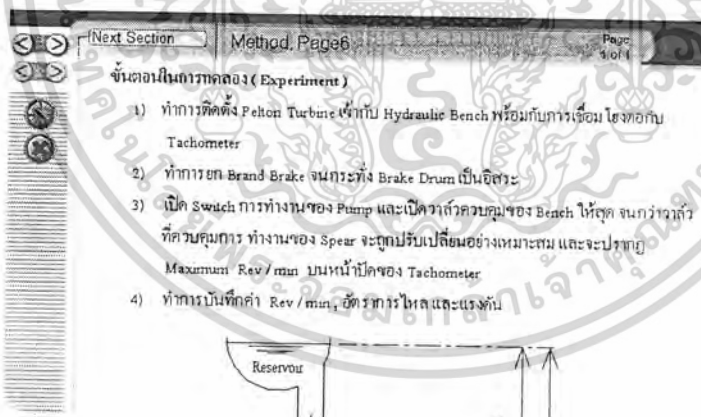
รูปที่ 4.18.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.18.5



รูปที่ 4.18.5 อุปกรณ์การทดลอง

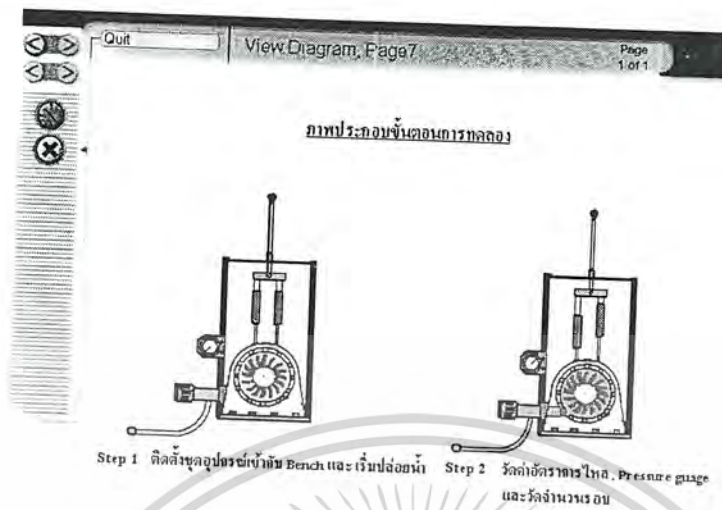
6) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.18.6



รูปที่ 4.18.6 ขั้นตอนในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.18.7

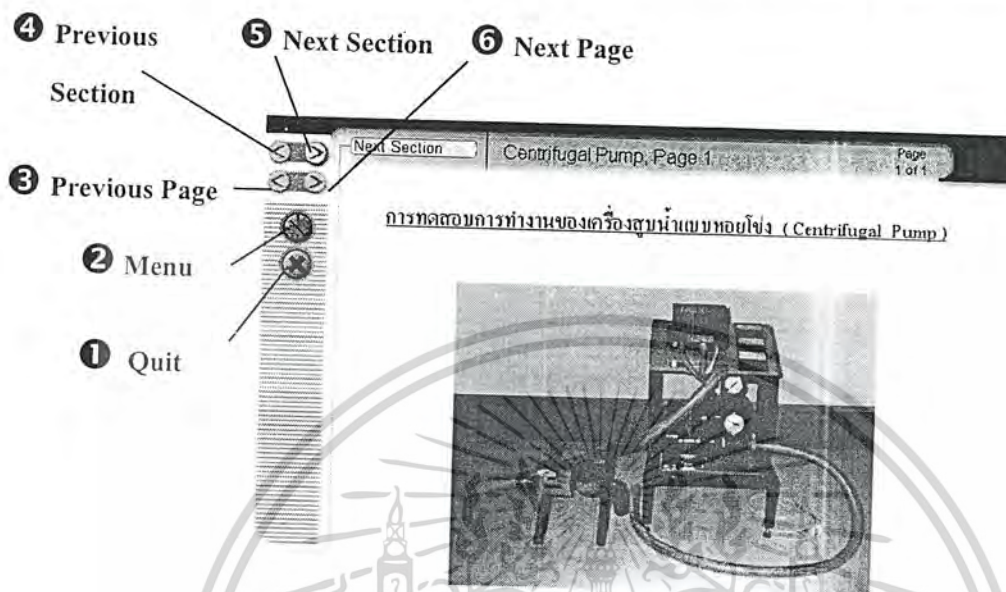


รูปที่ 4.18.7 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

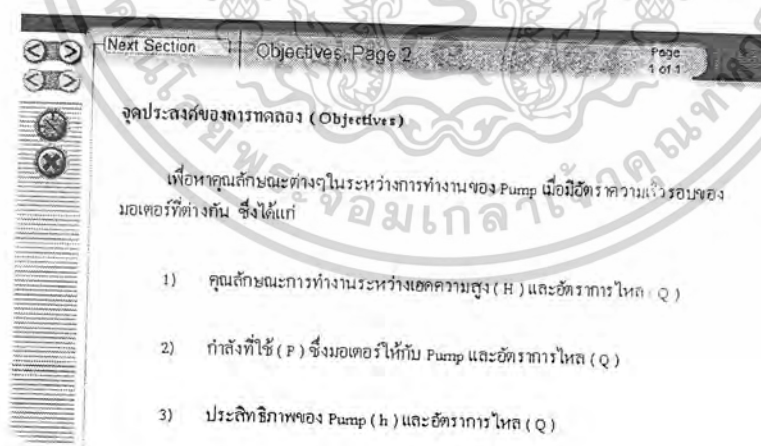
4.19 การทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.19.1



รูปที่ 4.19.1 การทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump)

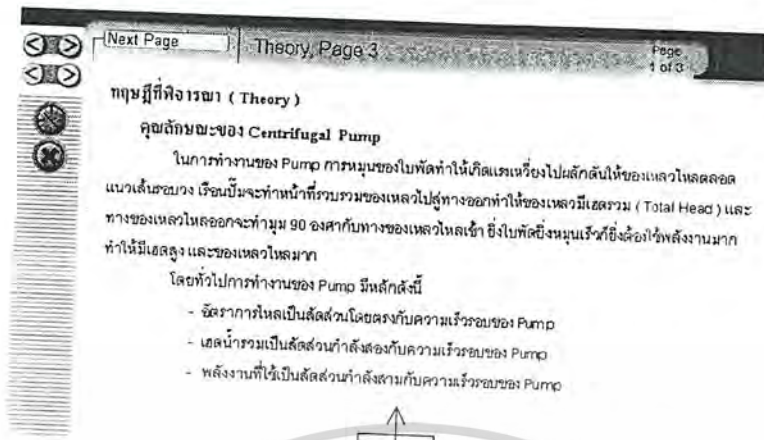
2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.19.2



รูปที่ 4.19.2 จุดประสงค์

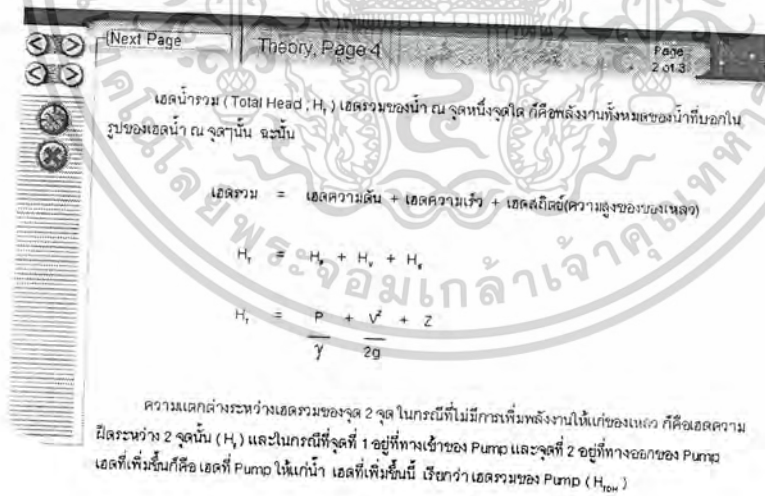
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.19.3



รูปที่ 4.19.3 ทฤษฎี

4) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.19.4



รูปที่ 4.19.4 ทฤษฎี (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.19.5

Next Section Theory, Page 5 Page 3 of 3

ในกรณีที่ H_1 น้อยมากถือว่าเป็นศูนย์ และระดับทางเข้าและออกของ Pump อยู่ในระดับ (Z) เดียวกัน
จะนับ

$$H_{Tot} = H_{fz} - H_{f1} + H_{fz} - H_{f1}$$

ประสิทธิภาพของ Pump หาได้จาก

$$\eta = \frac{\text{กำลังที่ได้ (กำลังน้ำ)}}{\text{กำลังที่ใช้}} \times 100 \%$$

$$= P_1 / P_0$$

$$= \rho g HQ / 2\pi NT$$

โดยที่

- ρ = เหน้จํานวน m
- H = อัตราการไหล m^3/s
- N = จำนวนรอบต่อวินาที
- T = พลังงานหมุน = $F \cdot r$ = แรง รัศมีการหมุน $N.m$

รูปที่ 4.19.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอตั้งรูปที่ 4.19.6

Next Section Equipments, Page 6 Page 1 of 1

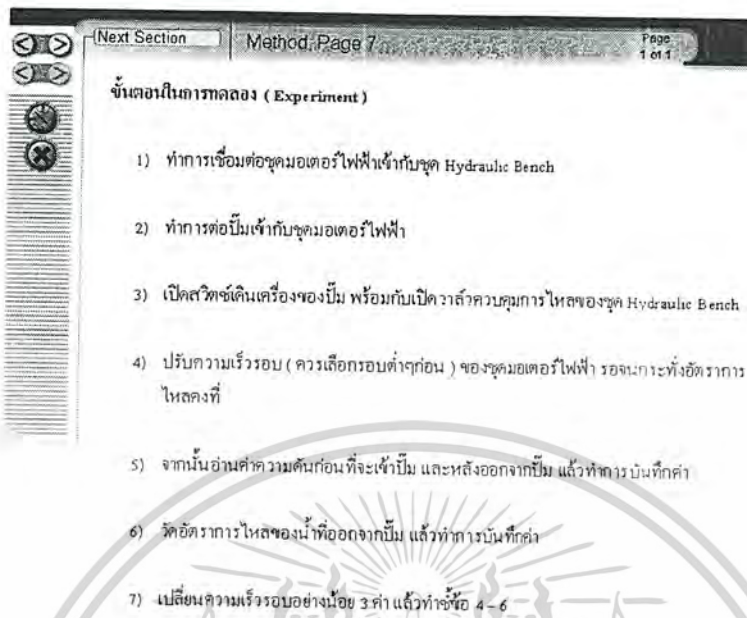
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (Equipments)

- 1) ชุดทดลองปั๊ม พร้อมอุปกรณ์ครบชุด
- 2) ชุดมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนความเร็วรอบได้ พร้อมเครื่องวัดรอบ
- 3) มาตรวัดความดันน้ำ ทั้งก่อนเข้าและหลังจากออกจากปั๊ม
- 4) ชุด Hydraulic Bench
- 5) นาฬิกาจับเวลา

The diagram shows a hydraulic bench setup. On the left, there is a 'Motor Control' unit connected to 'Meters' and 'Pressure gauges'. A pipe leads from the meters to a 'Pressure Gauge' and a 'Control Valve'. Below the control valve is a 'Diffuser'. At the bottom of the setup is a 'Sump Drain Valve'.

รูปที่ 4.19.6 อุปกรณ์การทดลอง

7) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.19.7



รูปที่ 4.19.7 ขั้นตอนการทดลอง

8) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.19.8

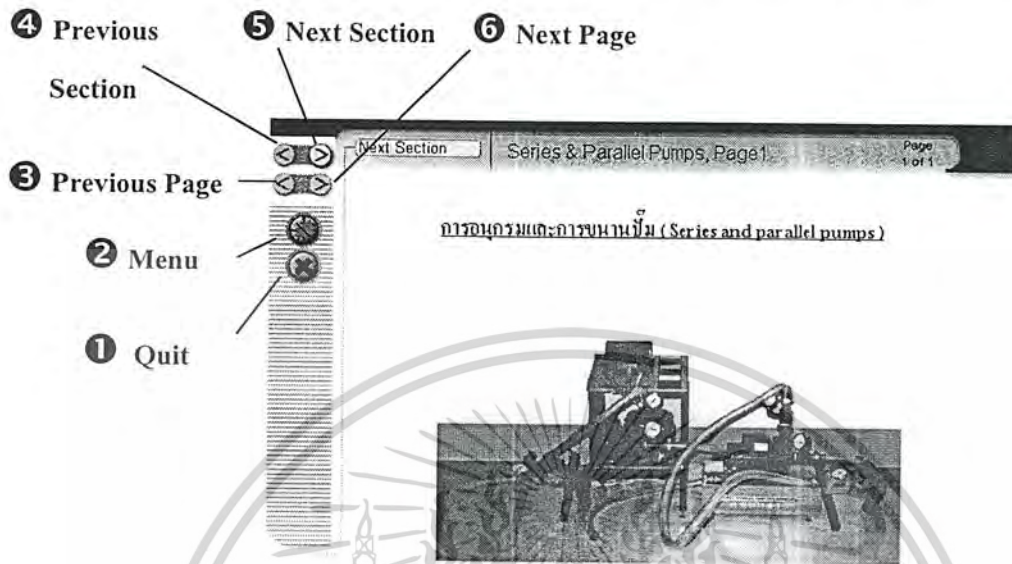


รูปที่ 4.19.8 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

หมายเหตุ เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

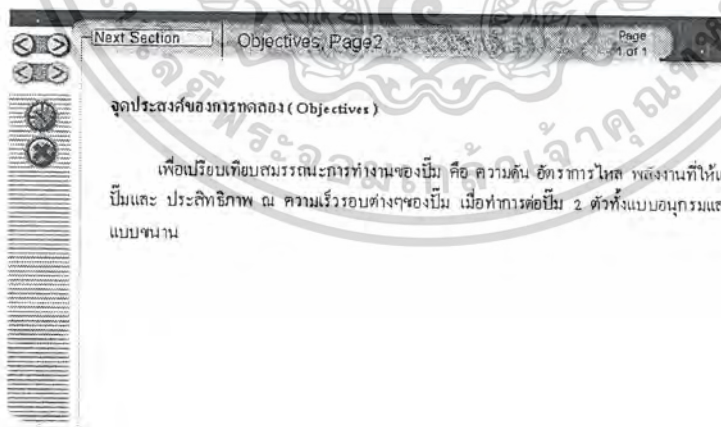
4.20 การต่อปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน (Series and Parallel Pumps)

1) เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งาน ดังรูปที่ 4.20.1



รูปที่ 4.20.1 การต่อปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน (Series and Parallel Pumps)

2) เมื่อคลิกปุ่มหมายเลข ⑤ (Next Section) จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 4.20.2



รูปที่ 4.20.2 จุดประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.20.3

ทฤษฎีที่ 1 (Theory)

บียัดระบบอนุกรมและแบบขนาน

บียัดแต่ละตัวมีสมรรถนะการทำงานต่างกัน ในกรณีที่บียัด 2 ตัวเป็นขนาดเดียวกัน แต่ต่างกันที่เส้นผ่านศูนย์กลางของไมทิล ซึ่งบียัดที่มีไมทิลขนาดเล็กจะทำให้หน้าและปริมาณการไหลต่ำกว่าบียัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของไมทิลขนาดใหญ่ ณ ความเร็วรอบเดียวกัน

1) ในกรณีที่บียัด 2 ตัวต่อแบบอนุกรม อัตราการไหลของบียัดที่ 1 และบียัดที่ 2 จะมีค่าเท่ากัน

เสตน้ารวมของบียัดทั้ง 2 ตัว = เสตน้าตัวที่ 1 + เสตน้าตัวที่ 2

$$H_{รวม} = H_{1} + H_{2}$$

ในทางปฏิบัติเสตน้ารวมจะต่ำกว่า $H_{1} + H_{2}$ เล็กน้อย เนื่องจากมีการสูญเสียที่จุดใช้งานในระบบเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.20.3 ทฤษฎี

4) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.20.4

2) ในกรณีที่บียัด 2 ตัวต่อแบบขนานกัน ความดันของน้ำที่ทางดูดและทางจ่ายจะเท่ากัน หรือเสตน้าจะเท่ากัน

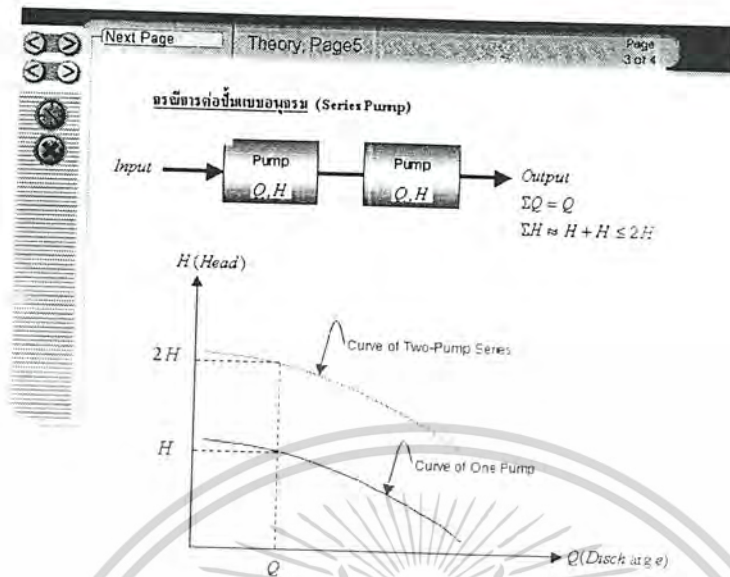
อัตราการไหลรวม = อัตราการไหลของบียัดที่ 1 + อัตราการไหลของบียัดที่ 2

$$Q_{รวม} = Q_{1} + Q_{2}$$

ในทางปฏิบัติ อัตราการไหลรวมจะน้อยกว่า $Q_{1} + Q_{2}$ เล็กน้อย เนื่องจากมีการสูญเสียที่จุดใช้งานในระบบเพิ่มขึ้น

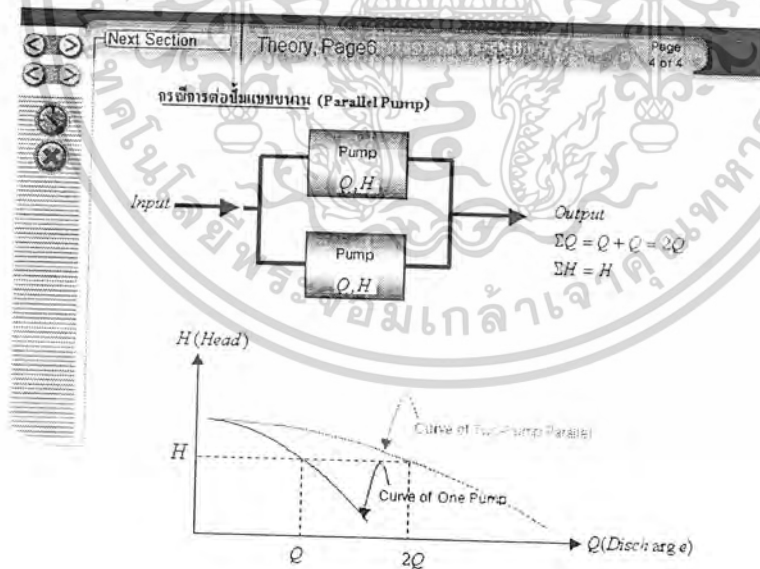
รูปที่ 4.20.4 ทฤษฎี (ต่อ)

5) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.20.5



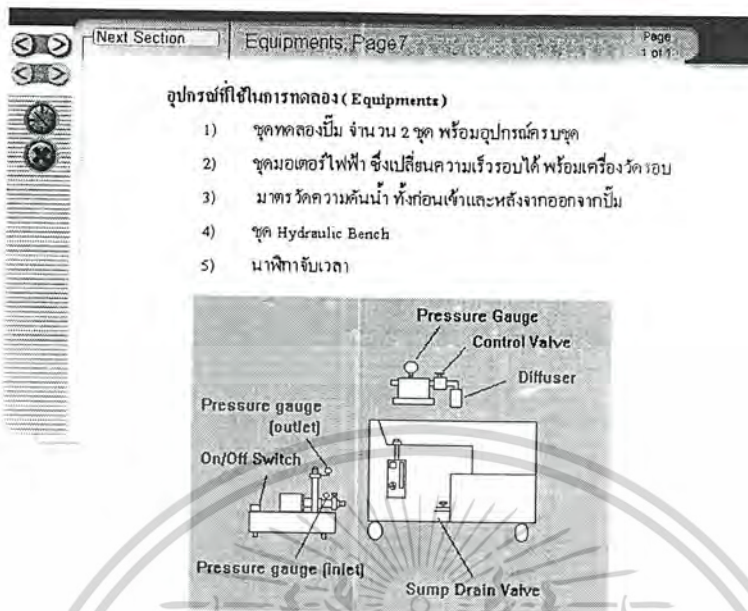
รูปที่ 4.20.5 ทฤษฎี (ต่อ)

6) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 6 (Next Page) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.20.6



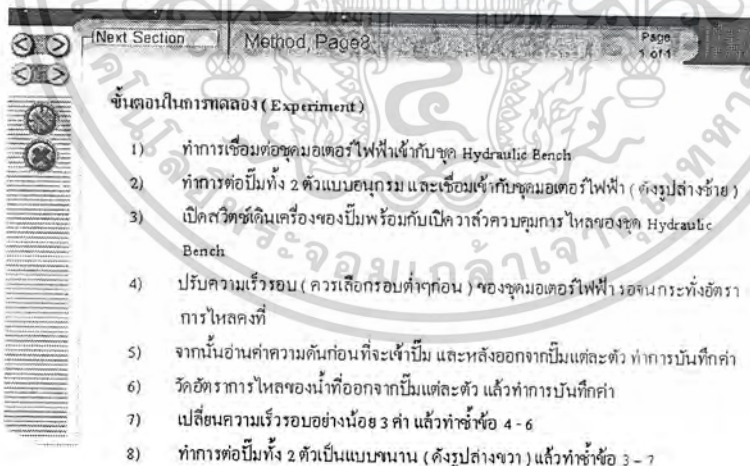
รูปที่ 4.20.6 ทฤษฎี (ต่อ)

7) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.20.7



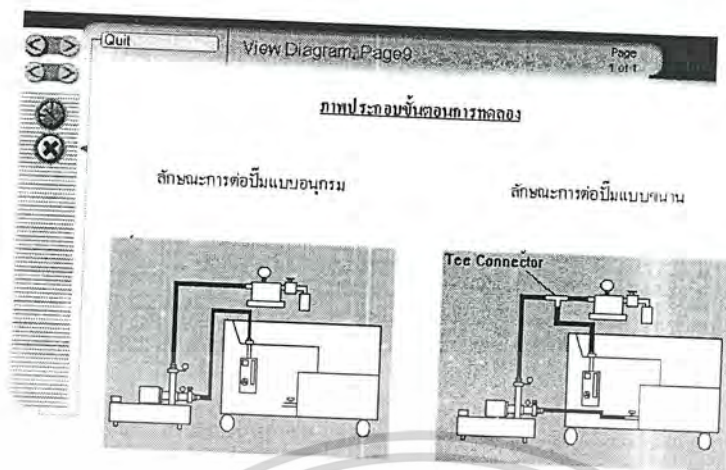
รูปที่ 4.20.7 อุปกรณ์การทดลอง

8) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.20.8



รูปที่ 4.20.8 ขั้นตอนการทดลอง

9) เมื่อกดปุ่มหมายเลข 5 (Next Section) จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.20.9



รูปที่ 4.20.9 ภาพประกอบขั้นตอนการทดลอง

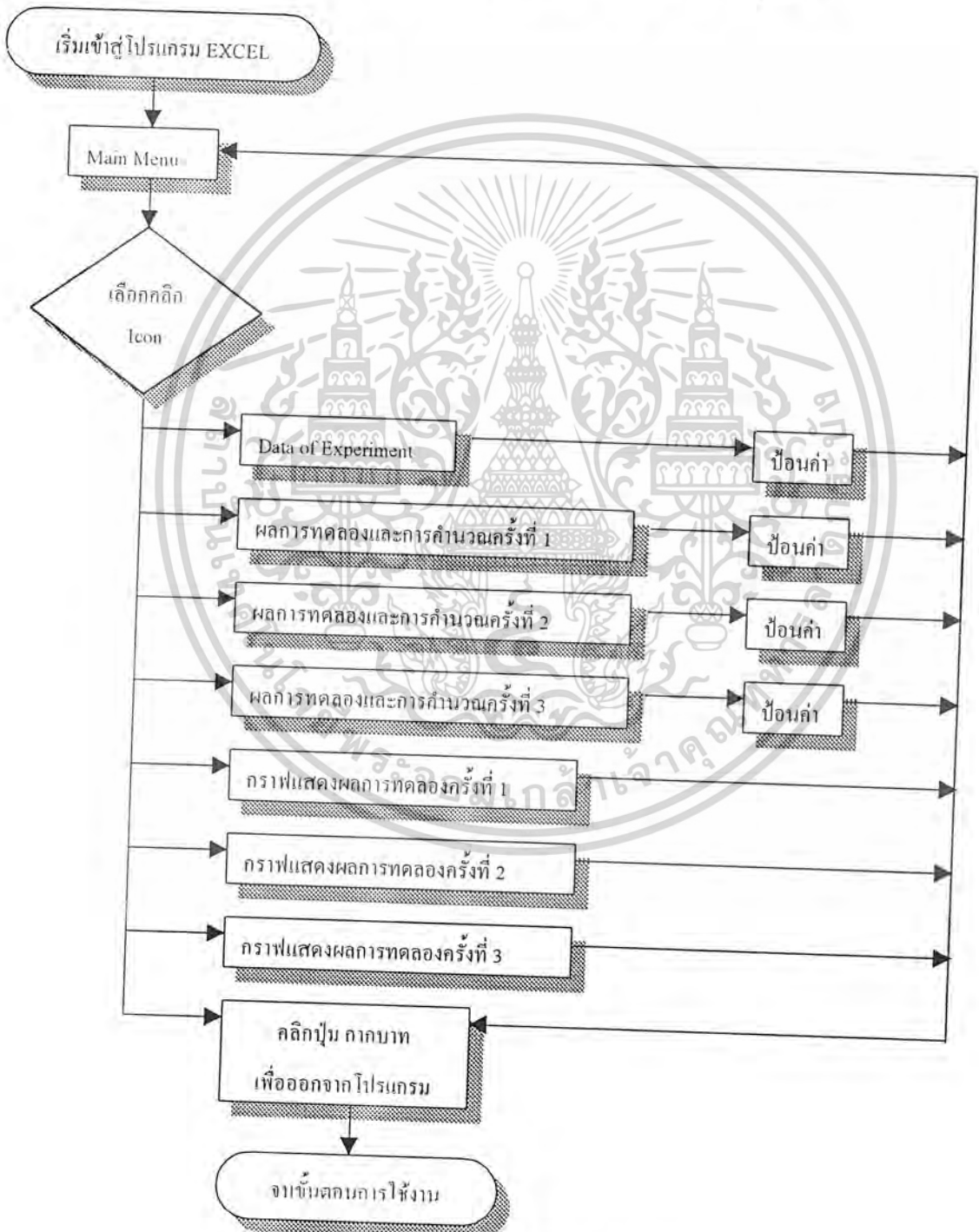
หมายเหตุ

เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่มกากบาท หมายเลข 1 (Quit)

บทที่ 5

วิธีการใช้งานจากโปรแกรมเพื่อทำการป้อนค่าข้อมูลต่างๆ

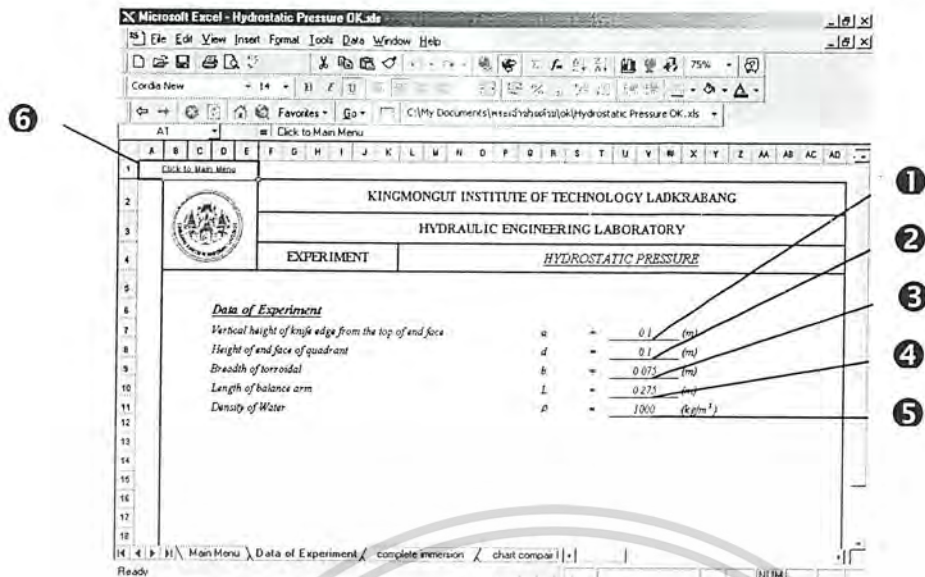
ในบทนี้ กล่าวถึง วิธีการใช้งานจากโปรแกรมเพื่อทำการป้อนค่าข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยการทำงานทดลองต่างๆ สำหรับขั้นตอนการใช้งานจากโปรแกรม Excel ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ Data of Experiment จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.1.2

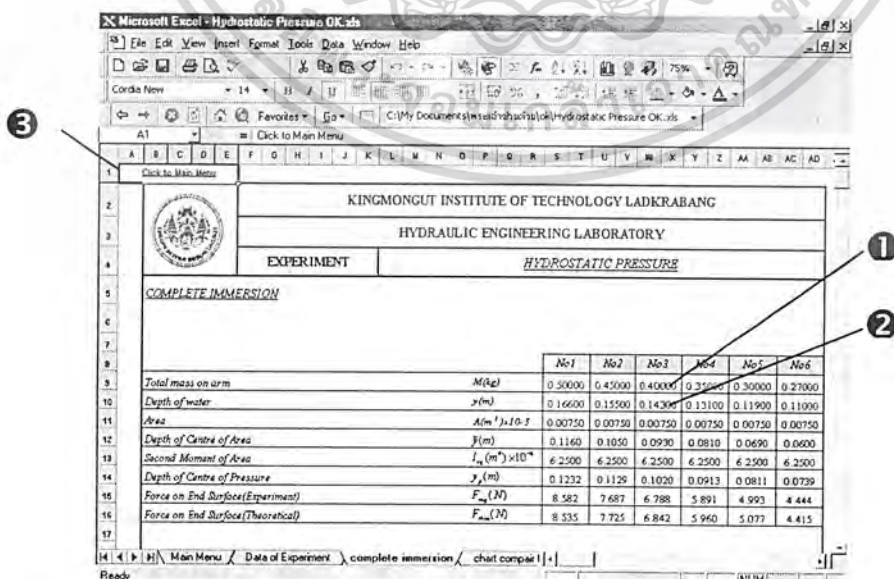


รูปที่ 5.1.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้อาจการวัดค่าของอุปกรณ์ ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 Vertical height of knife edge from the top of end face (a หน่วยเป็น m.)
- 2 Height of end face of quadrant (d หน่วยเป็น m.)
- 3 Breadth of torroidal (b หน่วยเป็น m.)
- 4 Length of balance arm (L หน่วยเป็น m.)
- 5 Density of water (ρ หน่วยเป็น kg./m³)
- 6 กดคลิกเมาส์เมื่อต้องการกลับไปสู่หน้า Main Menu

3) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณสำหรับ Complete Immersion จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.1.3



รูปที่ 5.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ❶ ช่องให้กรอกค่า Total mass on arm (M ; Kg) ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- ❷ ช่องให้กรอกค่า Depth of water (y ; m) ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- ❸ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 4) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ Partial Immersion จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.1.4

❸

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY							
EXPERIMENT	HYDROSTATIC PRESSURE						
PARTIAL IMMERSION							
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Total mass on arm	M(kg)	0.200	0.190	0.170	0.160	0.150	0.130
Depth of water	y(m)	0.092	0.092	0.087	0.084	0.081	0.072
Area	A(m ²)*10 ⁻³	0.00713	0.00690	0.00653	0.00630	0.00608	0.00540
Depth of Centre of Area	\bar{y} (m)	0.0475	0.0460	0.0435	0.0420	0.0405	0.0360
Second Moment of Area	I_x (m ⁴)*10 ⁸	5.3596	4.8668	4.1156	3.7044	3.3215	2.3328
Depth of Centre of Pressure	\bar{y}_p (m)	0.0633	0.0613	0.0580	0.0562	0.0540	0.0480
Force on End Surface(Experiment)	F_x (N)	3.205	3.027	2.692	2.510	2.336	1.839
Force on End Surface(Theoretical)	F_{xt} (N)	3.320	3.114	2.784	2.586	2.414	1.907

❶

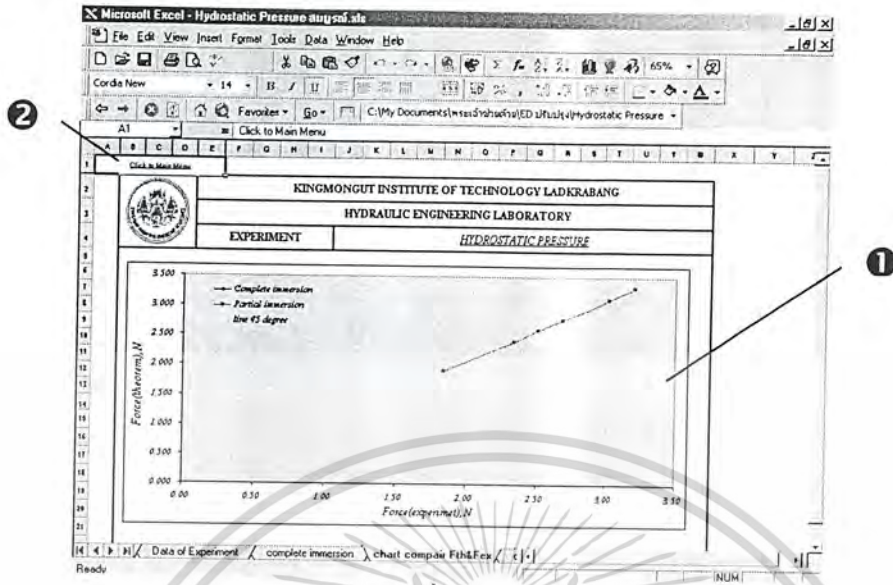
❷

รูปที่ 5.1.4

- ❶ ช่องให้กรอกค่า Total mass on arm (M ; Kg) ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- ❷ ช่องให้กรอกค่า Depth of water (y ; m) ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- ❸ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

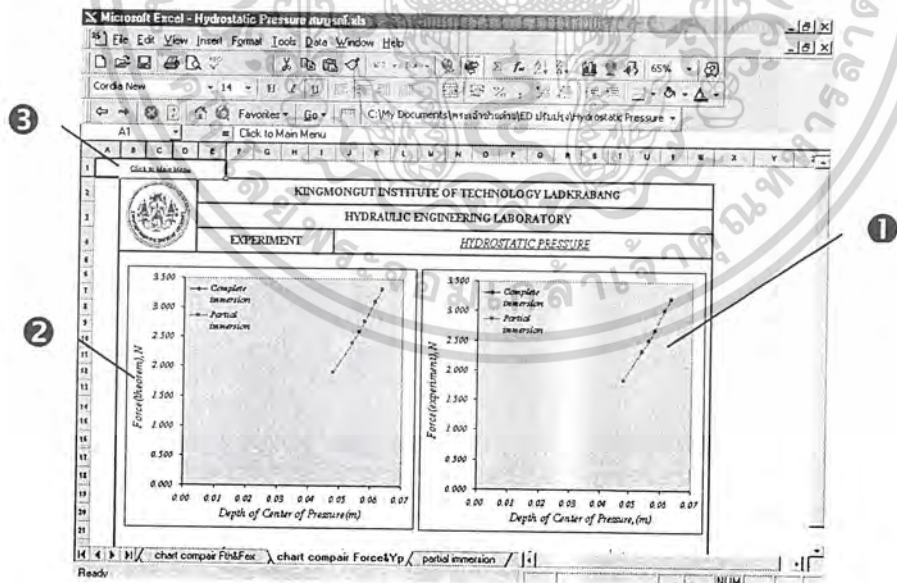
หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 5) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงกระทำที่วัดได้กับทฤษฎี จะพบกับ หน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.1.5



รูปที่ 5.1.5

- 1) กราฟแสดงผลข้อมูลระหว่างแรงกระทำที่วัดได้กับทฤษฎี
 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่ หน้า Main Menu
 6) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟเปรียบเทียบระหว่างแรงกระทำกับระยะกระทำจากผิวของเหลว จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.1.6

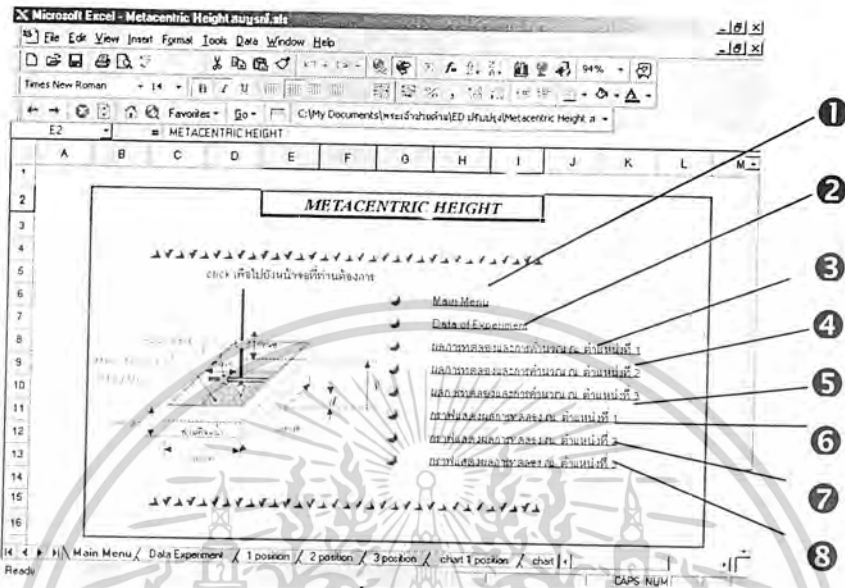


รูปที่ 5.1.6

- 1) กราฟแสดงผล ระหว่างแรงกระทำจากการทดลองกับระยะกระทำกับผิวของเหลว
 2) กราฟแสดงผล ระหว่างแรงกระทำจากทฤษฎีกับระยะกระทำกับผิวของเหลว
 3) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่ หน้า Main Menu

5.2 METACENTRIC HEIGHT

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง METACENTRIC HEIGHT จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูปที่ 5.2.1



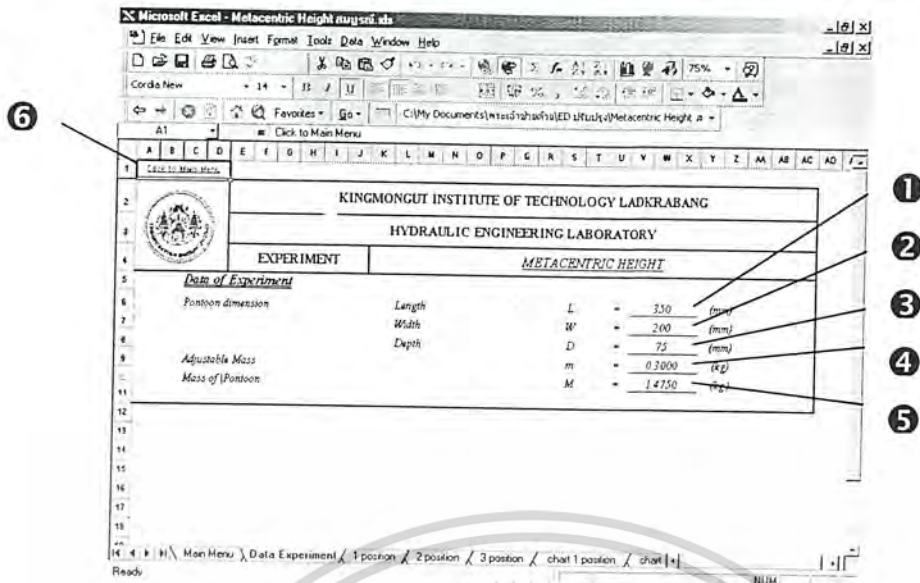
รูปที่ 5.2.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ① Main Menu
- ② Data of Experiment
- ③ ผลการทดลองและการคำนวณ ณ ตำแหน่งที่ 1
- ④ ผลการทดลองและการคำนวณ ณ ตำแหน่งที่ 2
- ⑤ ผลการทดลองและการคำนวณ ณ ตำแหน่งที่ 3
- ⑥ กราฟแสดงผลการทดลอง ณ ตำแหน่งที่ 1
- ⑦ กราฟแสดงผลการทดลอง ณ ตำแหน่งที่ 2
- ⑧ กราฟแสดงผลการทดลอง ณ ตำแหน่งที่ 3

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Data of Experiment จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.2.2

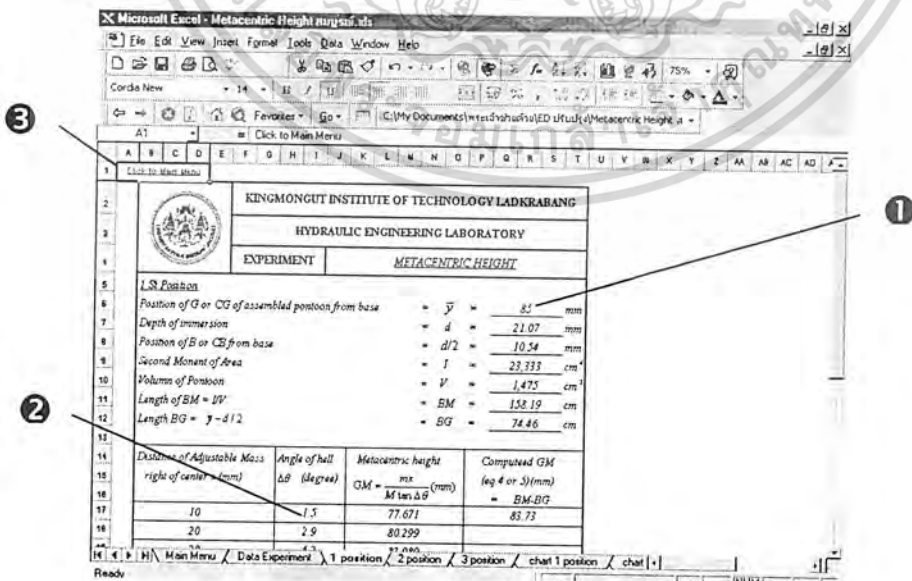


รูปที่ 5.2.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้อากการวัดค่าของอุปกรณ์ ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 Pontoon dimension : Length (L หน่วยเป็น mm.)
- 2 Pontoon dimension : Width (W หน่วยเป็น mm.)
- 3 Pontoon dimension : Depth (D หน่วยเป็น mm.)
- 4 Adjustable mass (m หน่วยเป็น kg.)
- 5 Mass of pontoon (M หน่วยเป็น kg.)
- 6 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

3) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ ณ ตำแหน่งที่ 1 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.2.3

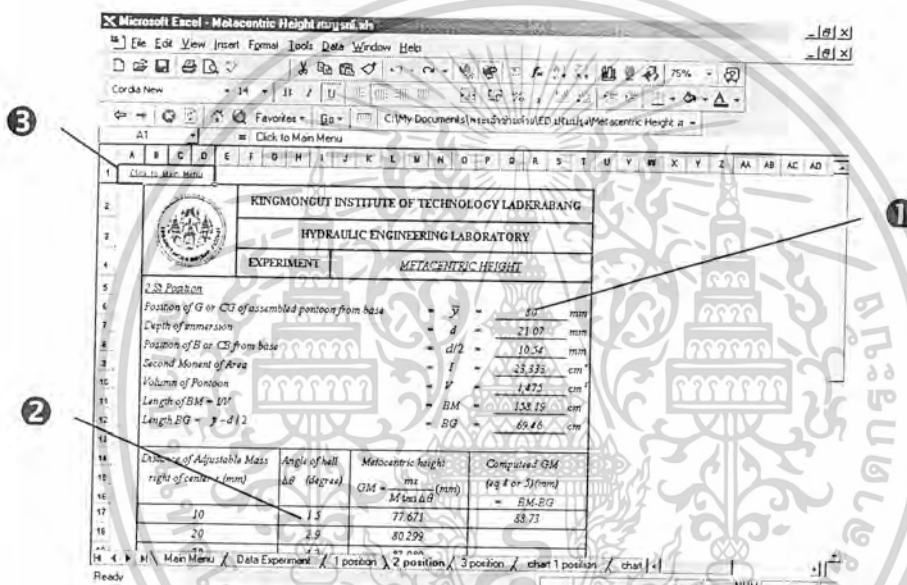


รูปที่ 5.2.3

- ❶ ช่องให้กรอกค่า \bar{Y} (ตำแหน่งของจุด CG ของ Pontoon จากฐาน)ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- ❷ ช่องให้กรอกค่า Angle of heel ($\Delta\theta$) ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- ❸ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำนีในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 4) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ ณ ตำแหน่งที่ 2 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.2.4

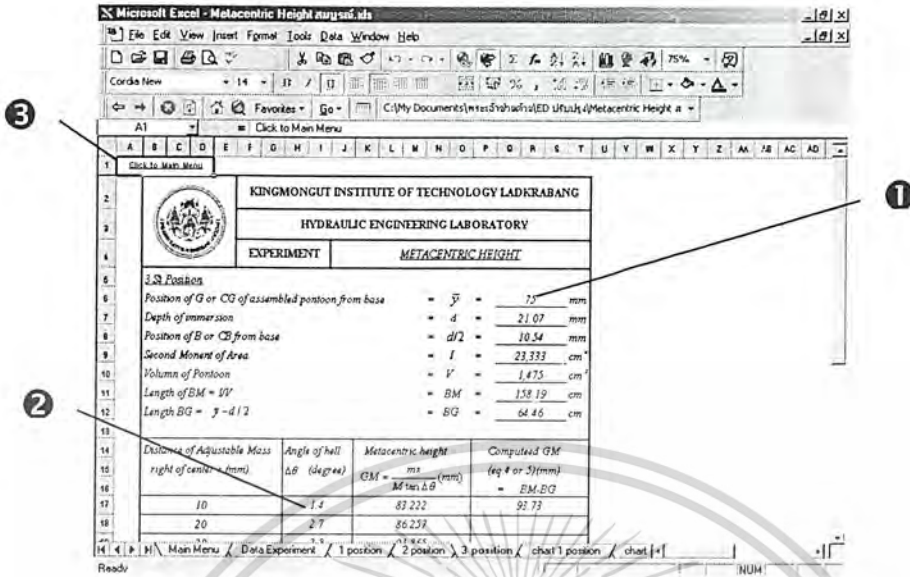


รูปที่ 5.2.4

- ❶ ช่องให้กรอกค่า \bar{Y} (ตำแหน่งของจุด CG ของ Pontoon จากฐาน)ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- ❷ ช่องให้กรอกค่า Angle of heel ($\Delta\theta$) ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- ❸ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำนีในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 5) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ ณ ตำแหน่งที่ 3 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.2.5

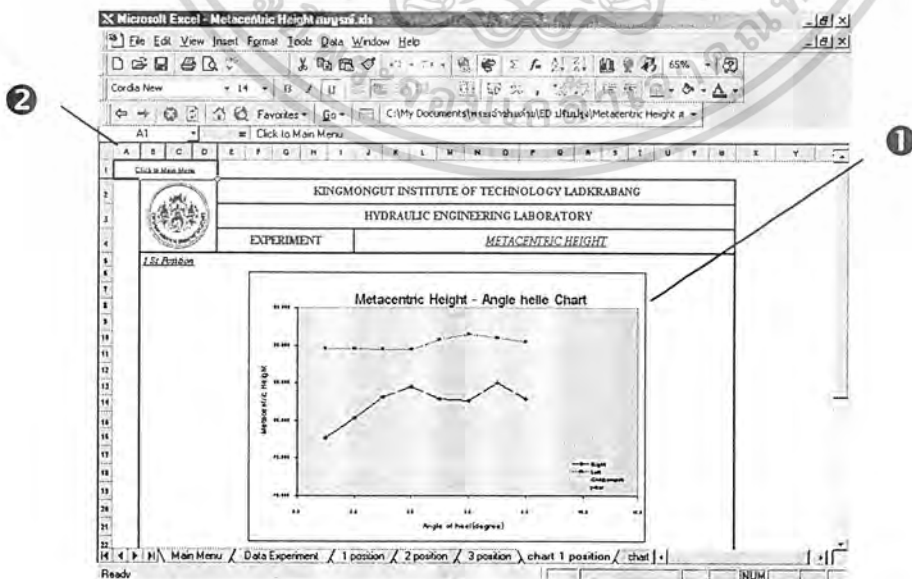


รูปที่ 5.2.5

- 1 ช่องให้กรอกค่า \bar{Y} (ตำแหน่งของจุด CG ของ Pontoon จากฐาน) ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- 2 ช่องให้กรอกค่า Angle of heel ($\Delta\theta$) ซึ่งจะแสดงเป็นตัวหนังสือสีน้ำเงิน
- 3 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

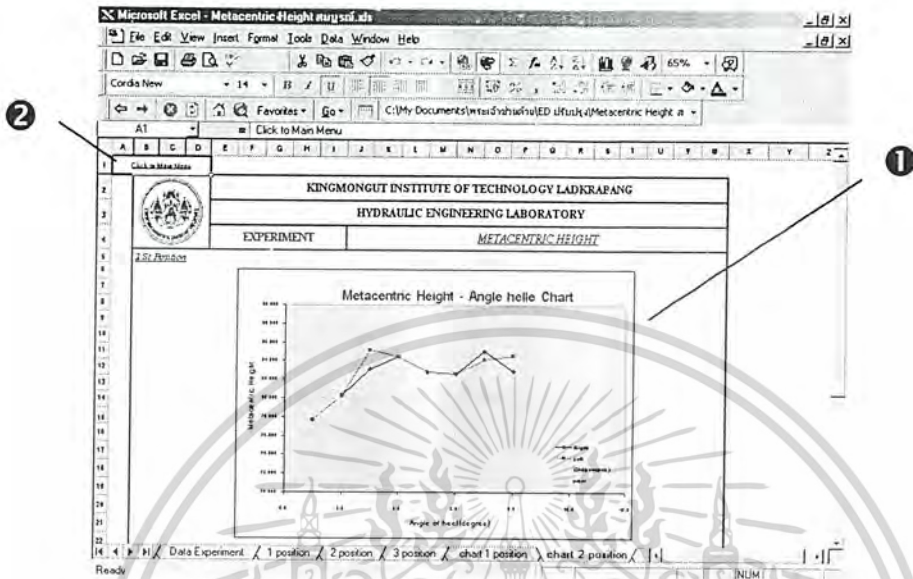
หมายเหตุ ตัวหนังสือสีค่าในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 6) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง ณ ตำแหน่งที่ 1 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.2.6



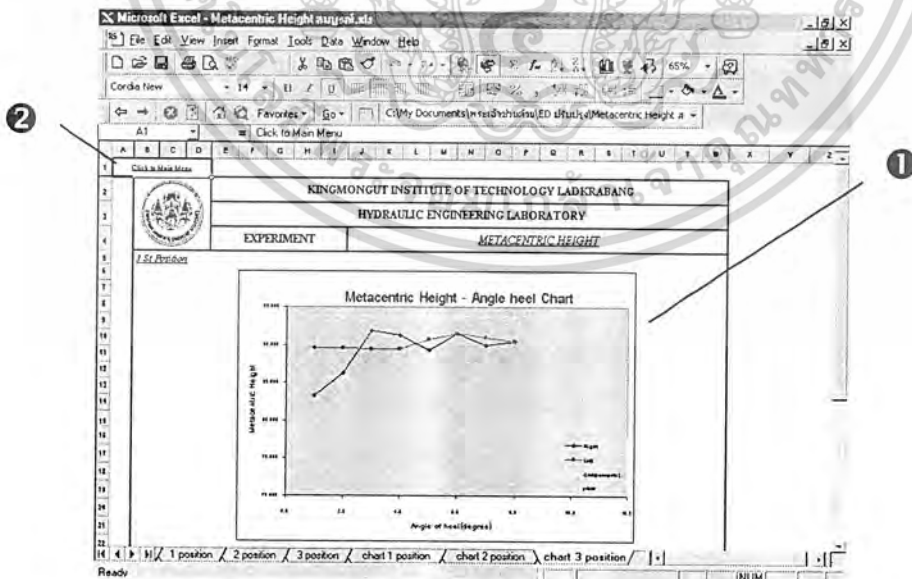
รูปที่ 5.2.6

- 1) กราฟแสดงผล ระหว่าง Metacentric Height กับ Angle of heel (ตำแหน่งที่ 1)
 - 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu
- 7) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง ณ ตำแหน่งที่ 2 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.2.7



รูปที่ 5.2.7

- 1) กราฟแสดงผล ระหว่าง Metacentric Height กับ Angle of heel (ตำแหน่งที่ 2)
 - 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu
- 8) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง ณ ตำแหน่งที่ 3 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.2.8



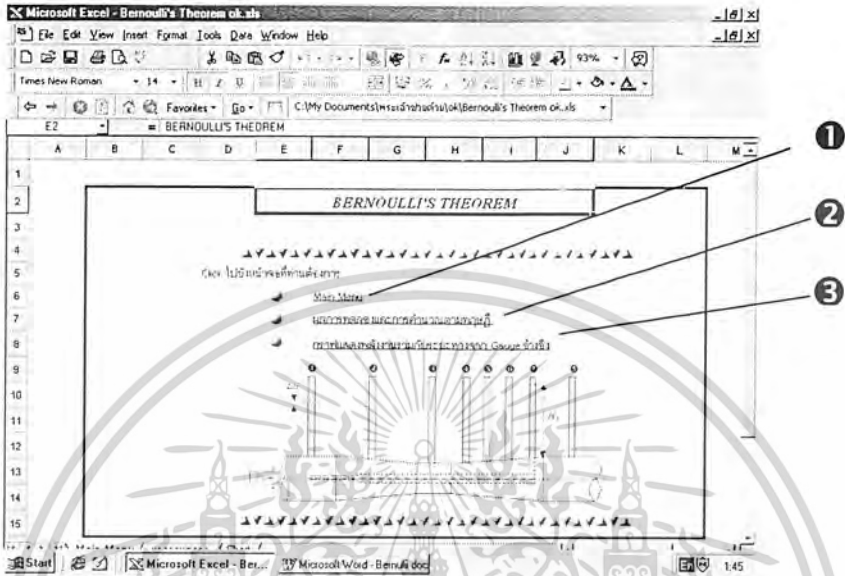
รูปที่ 5.2.8

- 1) กราฟแสดงผล ระหว่าง Metacentric Height กับ Angle of heel (ตำแหน่งที่ 3)
- 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 BERNOULLI 'S THEOREM

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง BERNULLI 'S THEOREM จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูปที่ 5.3.1



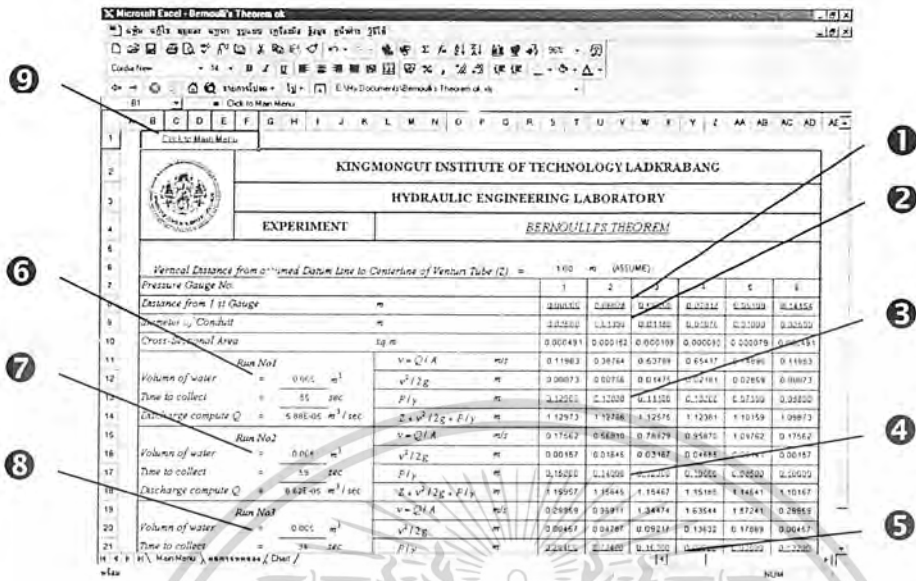
รูปที่ 5.3.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณตามทฤษฎี
- ❸ กราฟแสดงพลังงานรวมทั้งระยะทางจาก Gauge อ่างอิง

1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.3.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณตามทฤษฎี จะพบกับหน้าจอที่ แสดง ดังรูปที่ 5.3.2



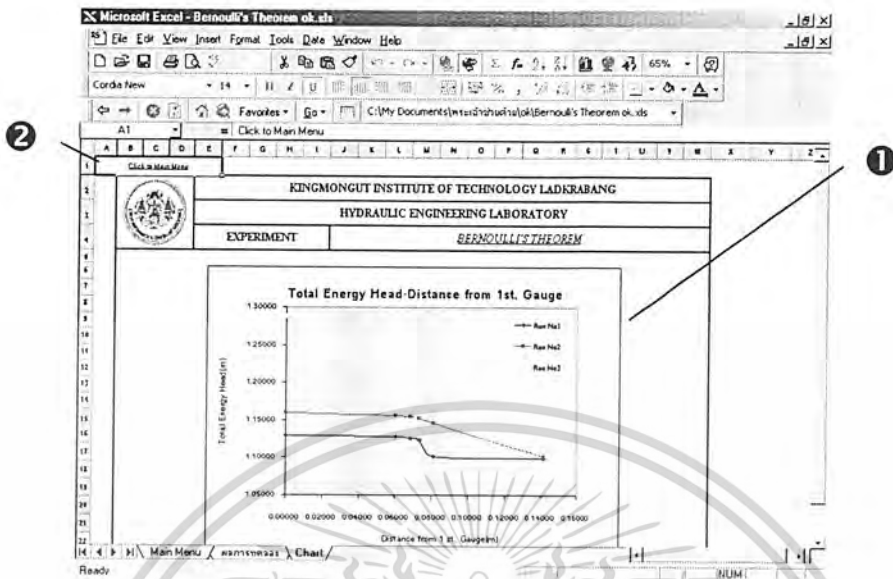
รูปที่ 5.3.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้อาจกรอกรัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 ช่องให้กรอกค่า Distance from 1st Gauge (m.)
- 2 ช่องให้กรอกค่า Diameter of conduit (m.)
- 3 ช่องให้กรอกค่า Pressure ที่วัดได้ ณ หลอดต่างๆ จากการทดลองครั้งที่ 1
- 4 ช่องให้กรอกค่า Pressure ที่วัดได้ ณ หลอดต่างๆ จากการทดลองครั้งที่ 2
- 5 ช่องให้กรอกค่า Pressure ที่วัดได้ ณ หลอดต่างๆ จากการทดลองครั้งที่ 3
- 6 ช่องให้กรอกค่า Volume และ Time ของน้ำที่วัด จากการทดลองครั้งที่ 1
- 7 ช่องให้กรอกค่า Volume และ Time ของน้ำที่วัด จากการทดลองครั้งที่ 2
- 8 ช่องให้กรอกค่า Volume และ Time ของน้ำที่วัด จากการทดลองครั้งที่ 3
- 9 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 3) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงพลังงานรวมกับระยะทางจาก Gauge อ้างอิง จะพบกับ หน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.3.3

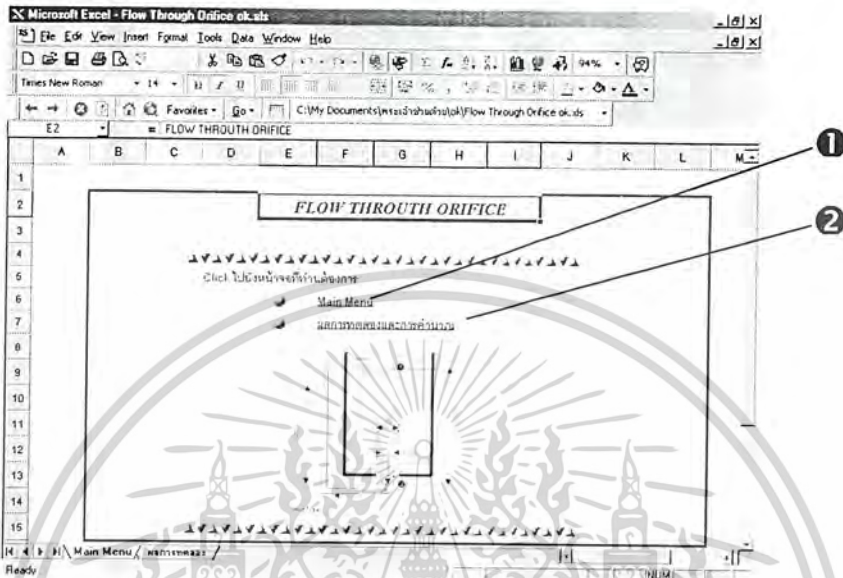


รูปที่ 5.3.3

- 1 กราฟแสดง Total Energy Head - Distance from 1st Gauge
 2 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5.4 FLOW THROUGH AN ORIFICE

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง FLOW THROUGH AN ORIFICE จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูปที่ 5.4.1



รูปที่ 5.4.1

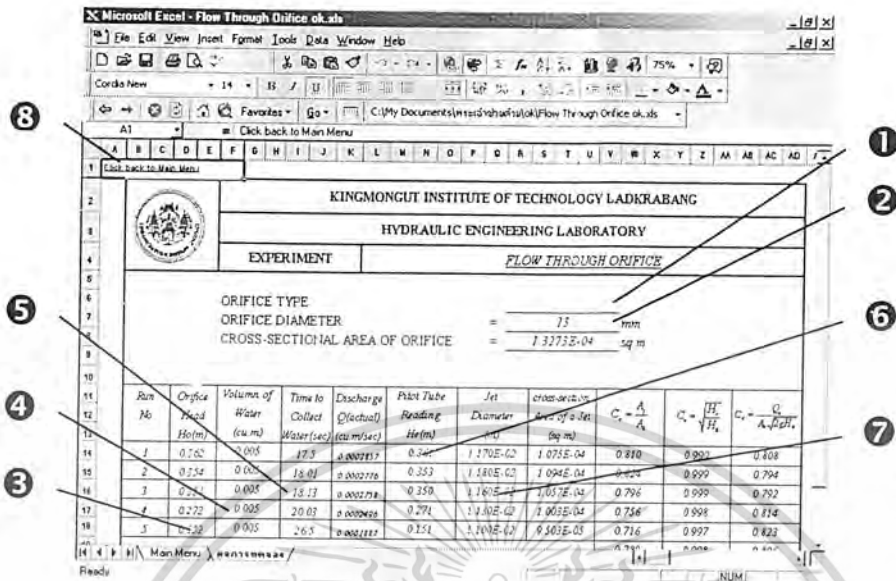
ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ① Main Menu
- ② ผลการทดลองและการคำนวณ

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้าจอ นั้นแล้ว

2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.4.2



รูปที่ 5.4.2

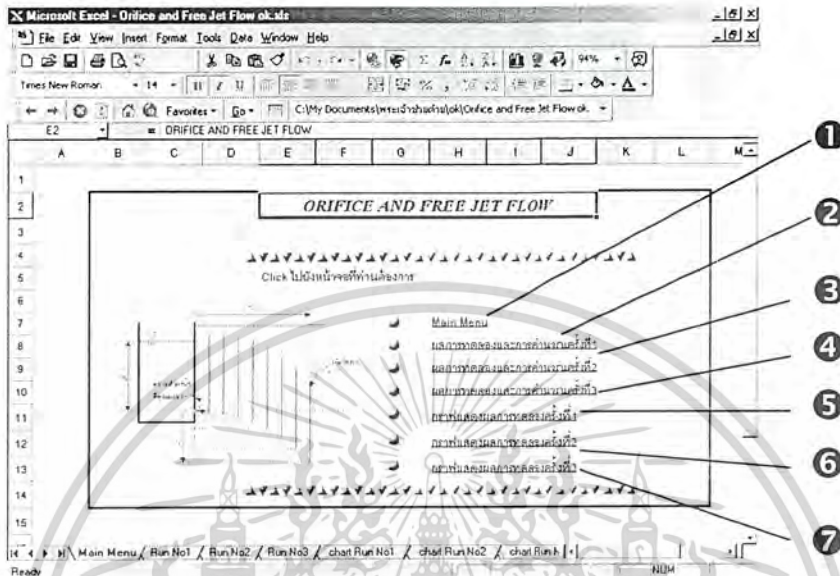
ให้กรอกข้อมูลที่ได้อากการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① ช่องให้กรอกชนิดของ Orifice (เช่น A, B, Standard เป็นต้น)
- ② ช่องให้กรอกค่า Diameter Orifice (มีหน่วยเป็น mm.)
- ③ ช่องให้กรอกค่า Orifice Head (H_0) (มีหน่วยเป็น m.)
- ④ ช่องให้กรอกค่า Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m^3 .)
- ⑤ ช่องให้กรอกค่า Time collect Water (มีหน่วยเป็น sec)
- ⑥ ช่องให้กรอกค่า Pitot Tube Reading (H_c) (มีหน่วยเป็น m.)
- ⑦ ช่องให้กรอกค่า Jet Diameter d_j (มีหน่วยเป็น m.)
- ⑧ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับไปเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีน้ำเงินในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

5.5 ORIFICE AN JET FLOW

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง ORIFICE AN JET FLOW จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.5.1



รูปที่ 5.5.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ① Main Menu
- ② ผลการทดลองและการคำนวณครั้งที่ 1
- ③ ผลการทดลองและการคำนวณครั้งที่ 2
- ④ ผลการทดลองและการคำนวณครั้งที่ 3
- ⑤ กราฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 1
- ⑥ กราฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 2
- ⑦ กราฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 3

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.5.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

- 2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณครั้งที่ 1 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.5.2

Microsoft Excel - Orifice and Free Jet Flow.xls

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY
EXPERIMENT ORIFICE AND FREE JET FLOW

DIAMETER OF ORIFICE (Do) = 6.00 mm
AREA OF ORIFICE (Ao) = 28.27 mm²

Run No	d (mm)	A _o (mm ²)	H (mm)	C _v	A _v (mm ²)	Volume water (m ³)	t (sec)	Q (actual) (m ³ /s)	Q (theoretical) (m ³ /s)	C _d Form Eq 1	C _d = C _v C _d	x (mm)	y (mm)	y (rad)	C _v Form Eq 2	C _d Form Eq 3
1	5.30	21.10	200	0.840	1.411E-02	8.13	6.519E-03	0.000203	0.000203	0.706	0.447	5.1	3.1	0.1	0.517	1.110
2	4.0	12.57	200	0.840	1.047E-02	8.13	6.519E-03	0.000203	0.000203	0.706	0.447	16.0	16.0	0.1	0.517	0.902
3	1.30	1.07	220	0.840	1.047E-02	8.13	6.519E-03	0.000203	0.000203	0.706	0.447	22.0	7.8	0.1	0.810	0.425
4	1.0	0.785	30	0.840	1.047E-02	8.13	6.519E-03	0.000203	0.000203	0.706	0.447	30.0	32.0	0.1	0.894	0.792
5	2.50	3.93	50	0.840	1.047E-02	8.13	6.519E-03	0.000203	0.000203	0.706	0.447	50.0	50.0	0.1	0.906	0.781
6	2.60	4.07	10	0.840	1.047E-02	8.13	6.519E-03	0.000203	0.000203	0.706	0.447	10.0	10.0	0.1	0.911	0.760
7	3.50	3.87	100	0.840	1.047E-02	8.13	6.519E-03	0.000203	0.000203	0.706	0.447	100.0	100.0	0.1	0.910	0.761
8	5.00	7.85	130	0.840	1.047E-02	8.13	6.519E-03	0.000203	0.000203	0.706	0.447	130.0	130.0	0.1	1.005	0.706

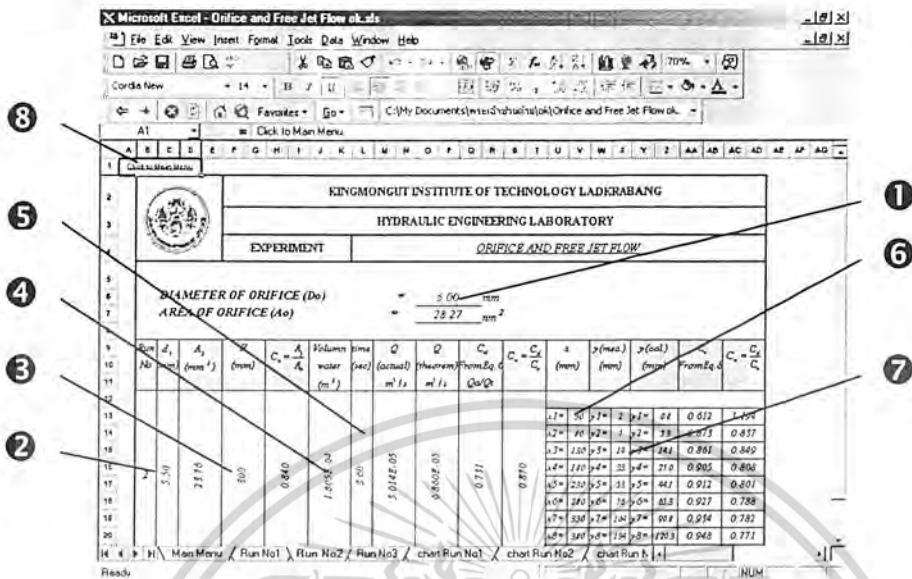
รูปที่ 5.5.2

ให้กรอกข้อมูลที่ ได้จากการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 ช่องให้กรอกค่า Distance of Orifice (mm.)
- 2 ช่องให้กรอกค่า Diameter of jet (mm.)
- 3 ช่องให้กรอกค่า H (ความสูงของผิวน้ำวัดเทียบกับจุดกึ่งกลางของ Orifice ; mm.)
- 4 ช่องให้กรอกค่า Volume of water (m³) ที่วัดได้ จากการทดลองครั้งที่ 1
- 5 ช่องให้กรอกค่า เวลา (sec) จากการวัด Volume of water
- 6 ช่องให้กรอกค่า x (ระยะแกน X โดยจุดกำเนิดอยู่ที่สายพุ่งออกจาก Orifice ; mm.)
- 7 ช่องให้กรอกค่า y (ระยะแกน Y โดยจุดกำเนิดอยู่ที่สายพุ่งออกจาก Orifice ; mm.)
- 8 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีน้ำเงินในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

3) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณครั้งที่ 2 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.5.3



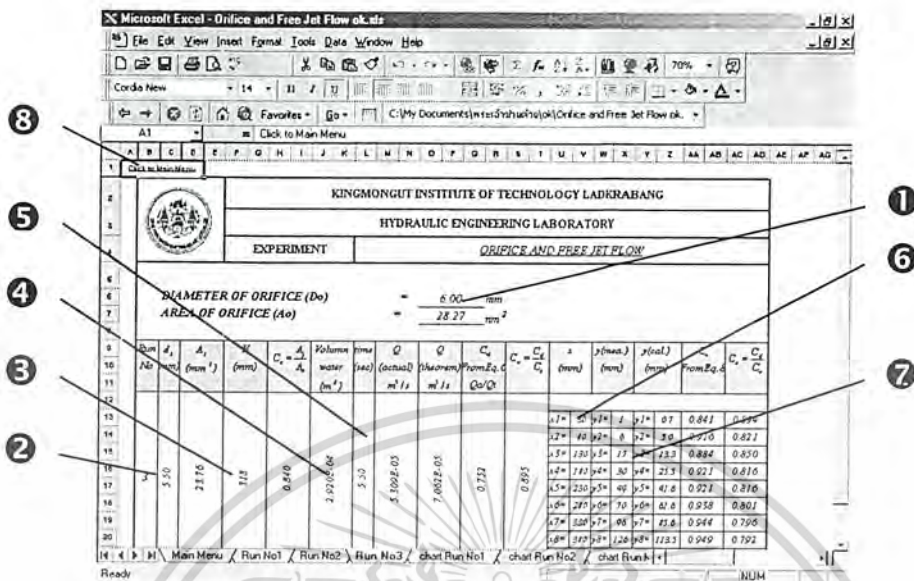
รูปที่ 5.5.3

ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① ช่องให้กรอกค่า Distance of Orifice (mm.)
- ② ช่องให้กรอกค่า Diameter of jet (mm.)
- ③ ช่องให้กรอกค่า H (ความสูงของผิวน้ำวัดเทียบกับจุดกึ่งกลางของ Orifice ; mm.)
- ④ ช่องให้กรอกค่า Volume of water (m³) ที่วัดได้ จากการทดลองครั้งที่ 2
- ⑤ ช่องให้กรอกค่า เวลา (sec) จากการวัด Volume of water
- ⑥ ช่องให้กรอกค่า x (ระยะแกน X โดยจุดกำเนิดอยู่ที่สายพุ่งออกจาก Orifice ; mm.)
- ⑦ ช่องให้กรอกค่า y (ระยะแกน Y โดยจุดกำเนิดอยู่ที่สายพุ่งออกจาก Orifice ; mm.)
- ⑧ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

4) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณครั้งที่ 3 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.5.4



รูปที่ 5.5.4

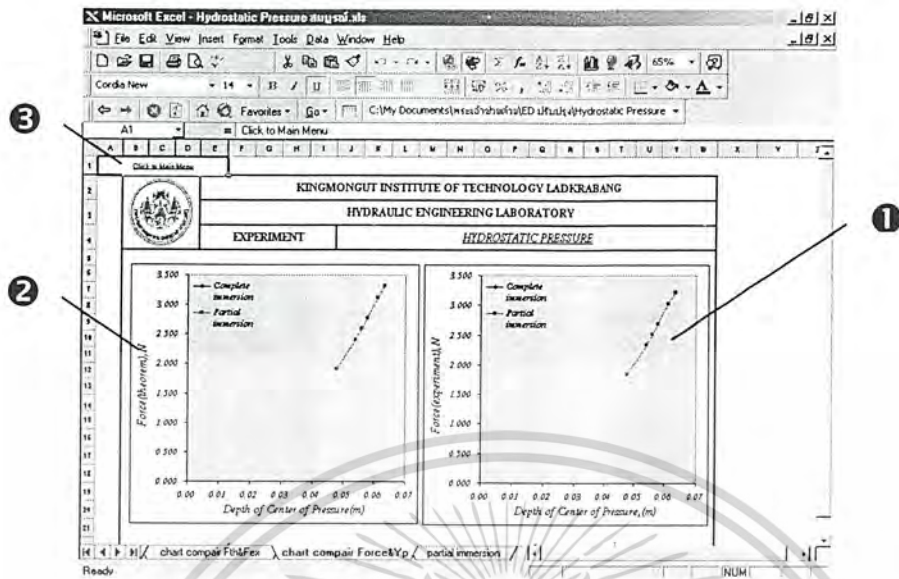
ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① ช่องให้กรอกค่า Distance of Orifice (mm.)
- ② ช่องให้กรอกค่า Diameter of jet (mm.)
- ③ ช่องให้กรอกค่า H (ความสูงของผิวน้ำวัดเทียบกับจุดกึ่งกลางของ Orifice ; mm.)
- ④ ช่องให้กรอกค่า Volume of water (m^3) ที่วัดได้ จากการทดลองครั้งที่ 3
- ⑤ ช่องให้กรอกค่า เวลา (sec) จากการวัด Volume of water
- ⑥ ช่องให้กรอกค่า x (ระยะแกน X โดยจุดกำเนิดอยู่ที่สายพุ่งออกจาก Orifice ; mm.)
- ⑦ ช่องให้กรอกค่า y (ระยะแกน Y โดยจุดกำเนิดอยู่ที่สายพุ่งออกจาก Orifice ; mm.)
- ⑧ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

5. เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 1 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

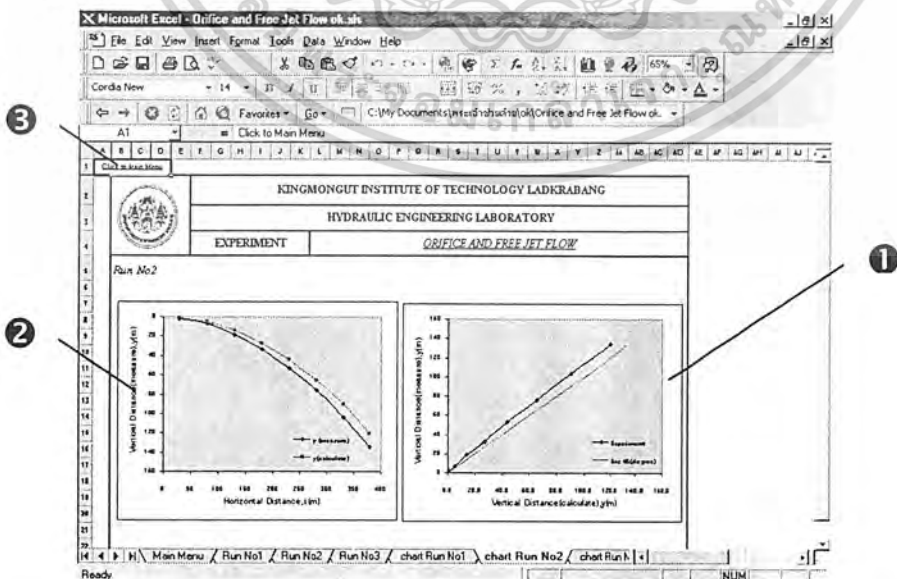
5.5.5



รูปที่ 5.5.5

- 1 กราฟแสดงผลข้อมูลระหว่าง Vertical Distance, y กับ Horizontal Distance, x
- 2 กราฟแสดงผลข้อมูลระหว่าง Vertical Distance (measure) , y กับ Vertical Distance (Calculated), y
- 3 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

6) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่กราฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 2 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.5.6



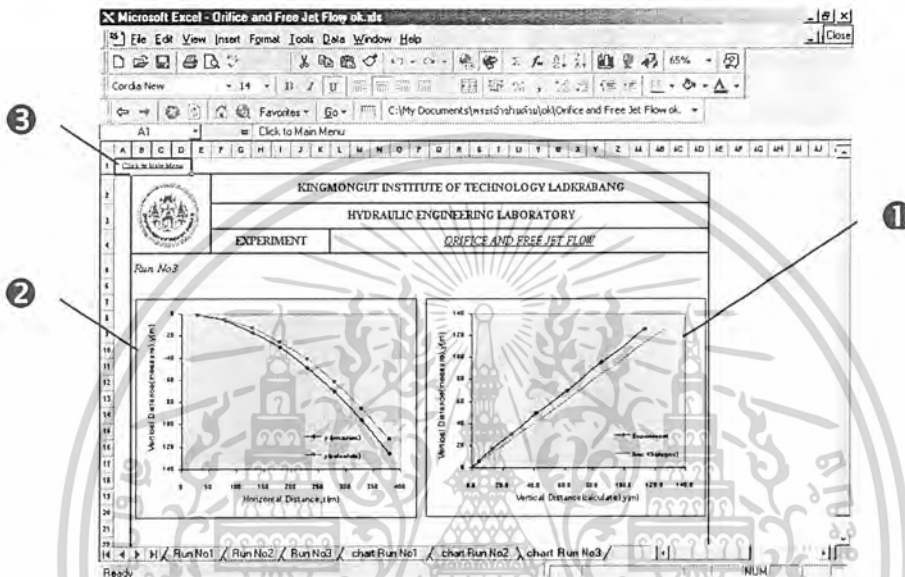
รูปที่ 5.5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 191๕ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ❶ กราฟแสดงผลข้อมูลระหว่าง Vertical Distance, y กับ Horizontal Distance, x
- ❷ กราฟแสดงผลข้อมูลระหว่าง Vertical Distance (measure) , y กับ Vertical - Distance (Calculated), y
- ❸ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

7. เมื่อคลิกเมาส์ไปที่กราฟแสดงผลการทดลองครั้งที่ 3 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.5.7

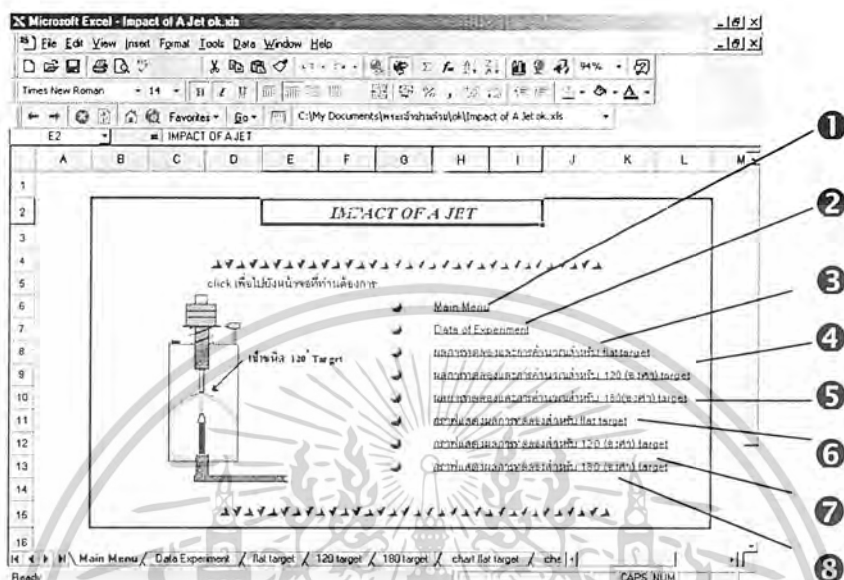


รูปที่ 5.5.7

- ❶ กราฟแสดงผลข้อมูลระหว่าง Vertical Distance, y กับ Horizontal Distance, x
- ❷ กราฟแสดงผลข้อมูลระหว่าง Vertical Distance (measure) , y กับ Vertical - Distance (Calculated), y
- ❸ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5.6 IMPACT OF A JET

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง IMPACT OF A JET จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.6.1



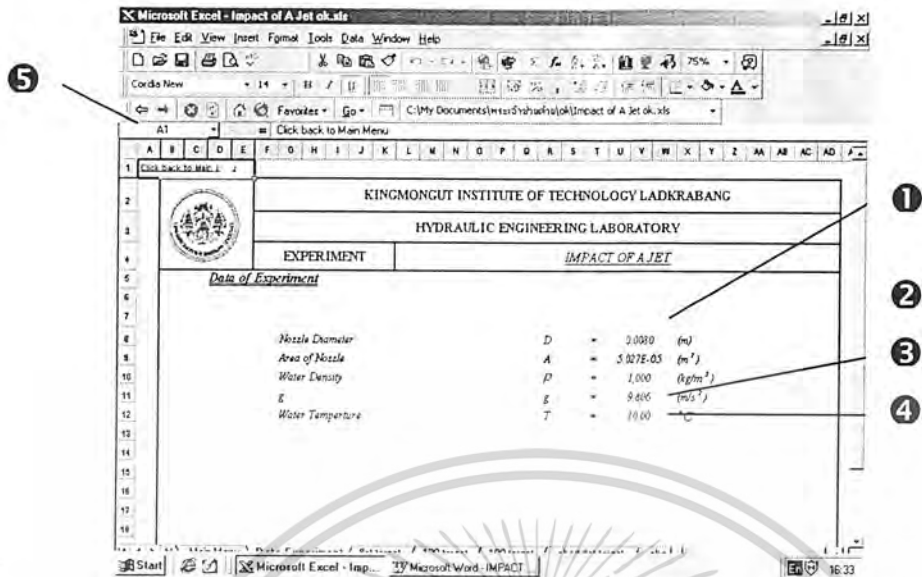
รูปที่ 5.6.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ① Main Menu
- ② Data of Experiment
- ③ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ Flat Target
- ④ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ 120 (องศา) Target
- ⑤ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ 180 (องศา) Target
- ⑥ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ Flat Target
- ⑦ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ 120 (องศา) Target
- ⑧ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ 180 (องศา) Target

1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.6.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ Data of Experiment จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.6.2

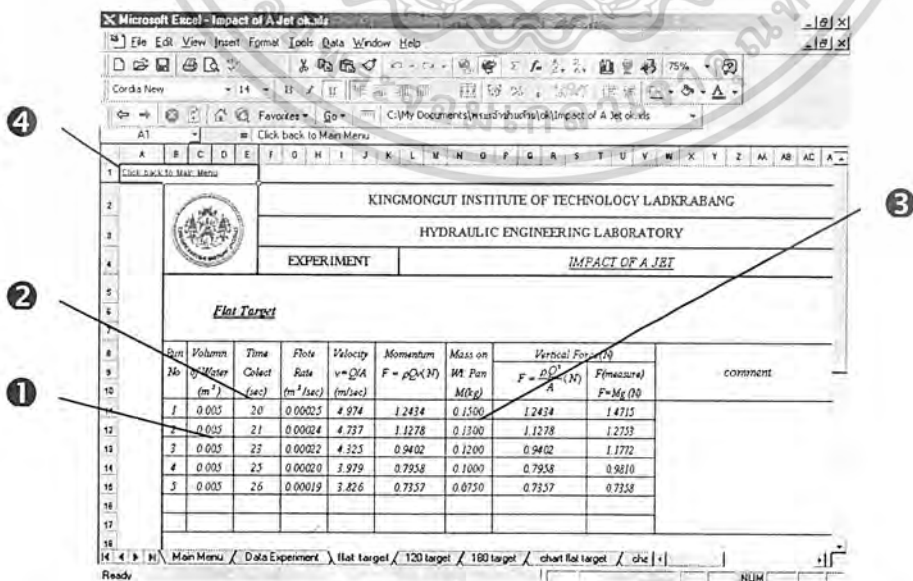


รูปที่ 5.6.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกการวัดค่าของอุปกรณ์ ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 Nozzle diameter (หน่วยเป็น m.)
- 2 Water Density (ρ หน่วยเป็น m^3/s)
- 3 $g = 9.81$ (g หน่วยเป็น m/s^2)
- 4 Water Temperature (หน่วยเป็น $^{\circ}C$)
- 5 กดคลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

3) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ Flat Target จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.6.3



รูปที่ 5.6.3

ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① Volume of Water (V หน่วยเป็น m^3 .)
- ② Time (t หน่วยเป็น sec.)
- ③ Mass ที่วางบน weight Pan (M หน่วยเป็น kg.)
- ④ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 4) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ 120 (องศา) Target จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.6.4

Run No	Volume of Water (m^3)	Time Collect (sec)	Flute Rate (m^3/sec)	Velocity $v=QA$ (m/sec)	Momentum $F = \rho Qv(N)$	Mass on Wt Pan $M(kg)$	Vertical Force $F = \frac{3\rho Q^2}{2A} (N)$	$F_{mass}(N)$ $F=Mg (N)$	comment
1	0.005	20	0.00025	4.974	1.2434	0.2990	1.8651	1.960	
2	0.005	22	0.00023	4.521	1.0276	0.1670	1.5434	1.7653	
3	0.005	24	0.00021	4.145	0.8653	0.1609	1.2932	1.5696	
4	0.005	26	0.00019	3.826	0.7337	0.1400	1.1036	1.3734	
5	0.005	32	0.00016	3.168	0.4837	0.0990	0.7286	0.8329	

รูปที่ 5.6.4

ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① Volume of Water (V หน่วยเป็น m^3 .)
- ② Time (t หน่วยเป็น sec.)
- ③ Mass ที่วางบน weight Pan (M หน่วยเป็น kg.)
- ④ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 5) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ 180 (องศา) Target จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.6.5

No	Volume No of Water (m ³)	Time Collect (sec)	Flote Rate (m ³ /sec)	Velocity v=Q/A (m/sec)	Momentum F = ρQ (VA) (N)	Mass on M Pan (kg)	Vertical Force (N) F = $\frac{2\rho Q^2}{A}$ (N) F=Mg (N)	comment
1	0.005	27	0.00022	4.325	0.9402	0.2000	1.8808	1.960
2	0.005	28	0.00018	3.553	0.6744	0.1500	1.2688	1.4715
3	0.005	31	0.00016	3.209	0.5175	0.1250	1.0351	1.2263
4	0.005	35	0.00014	2.842	0.4060	0.0950	0.8120	0.9320
5	0.005	45	0.00011	2.210	0.2436	0.0500	0.4912	0.4905

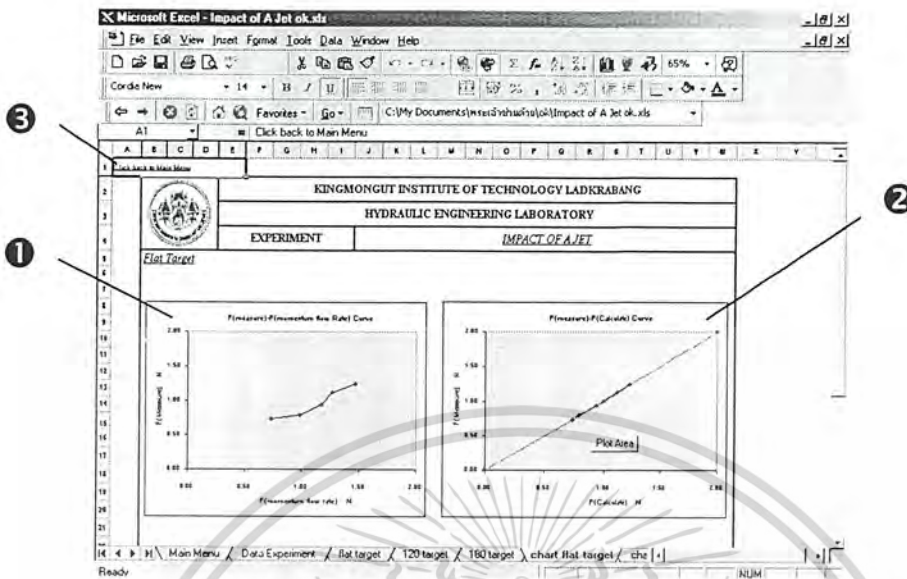
รูปที่ 5.6.5

ให้กรอกข้อมูลที่ ได้จากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① Volume of Water (V หน่วยเป็น m³.)
- ② Time (t หน่วยเป็น sec.)
- ③ Mass ที่วางบน weight Pan (M หน่วยเป็น kg.)
- ④ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่ หน้า Main Menu

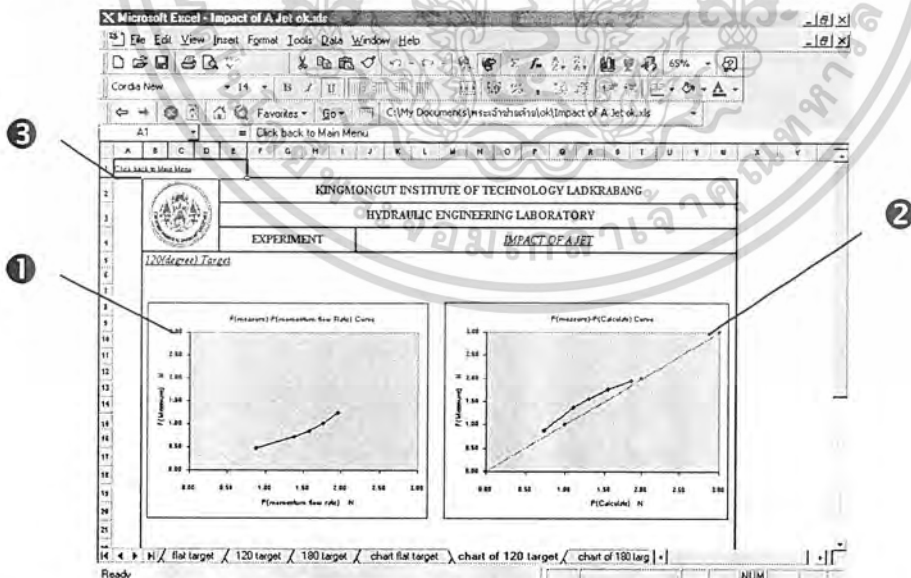
หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 6) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ Flat Plate จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.6.6



รูปที่ 5.6.6

- 1) กราฟแสดงผล ระหว่าง F (measured) กับ F (Momentum Flow Rate)
 - 2) กราฟแสดงผล ระหว่าง F (measured) กับ F (calculate)
 - 3) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu
- 7) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ 120 (องศา) จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.6.7

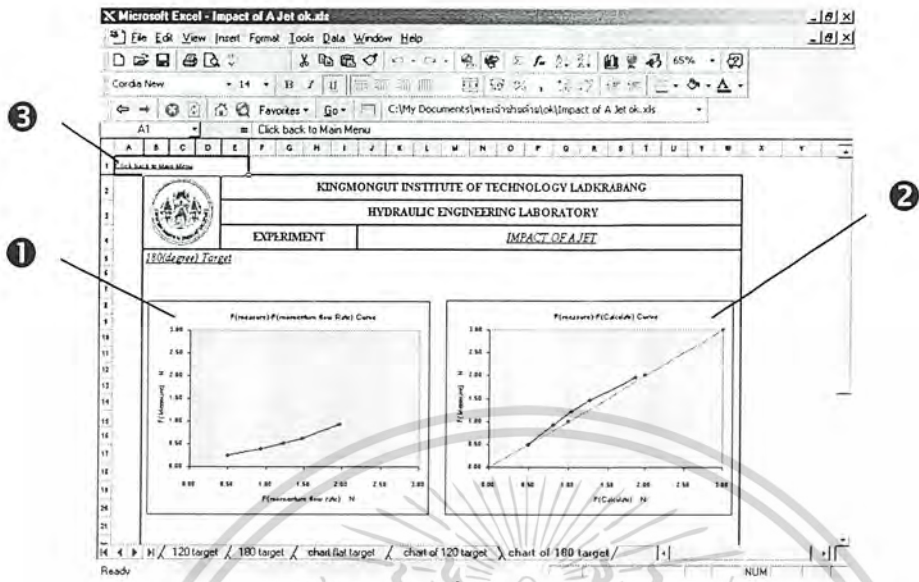


รูปที่ 5.6.7

- 1) กราฟแสดงผล ระหว่าง F (measured) กับ F (Momentum Flow Rate)
- 2) กราฟแสดงผล ระหว่าง F (measured) กับ F (calculate)
- 3) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 1977 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ 180 (องศา) จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.6.8



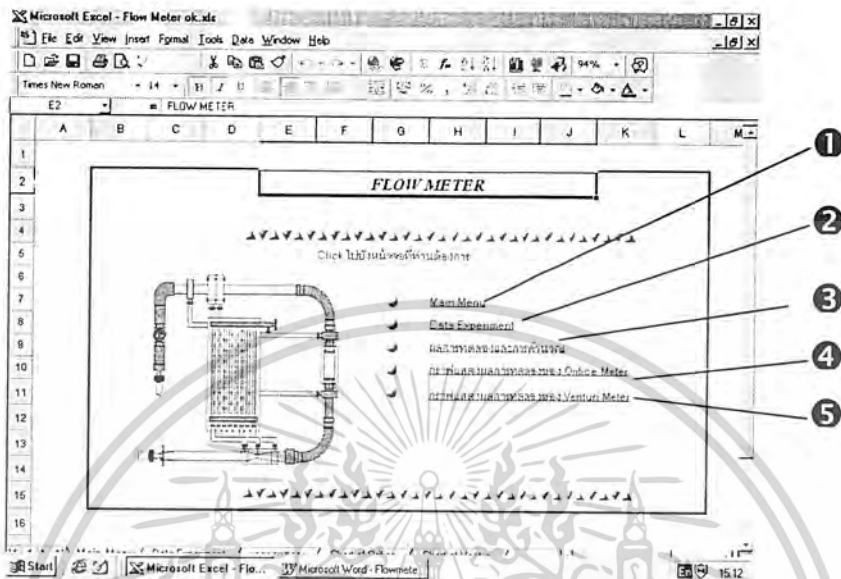
รูปที่ 5.6.8

- 1) กราฟแสดงผล ระหว่าง F (measured) กับ F (Momentum Flow Rate)
- 2) กราฟแสดงผล ระหว่าง F (measured) กับ F (calculate)คลิกเมาส์
- 3) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่ หน้า Main Menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 1988 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 FLOWMETER

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง FLOWMETER จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.7.1



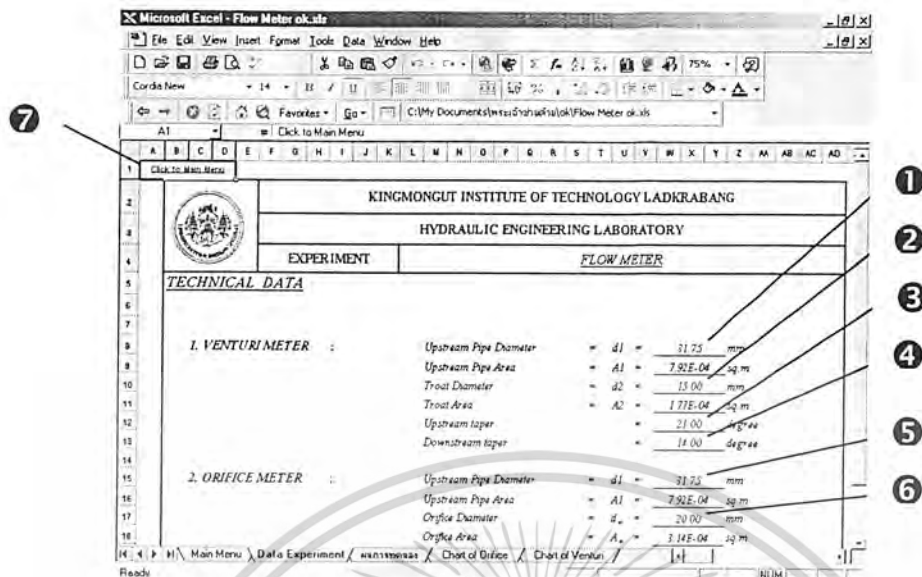
รูปที่ 5.7.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ Data of Experiment
- ❸ ผลการทดลองและกรคำนวณ
- ❹ กราฟแสดงผลการทดลองของ Orifice Meter
- ❺ กราฟแสดงผลการทดลองของ Venturi Meter

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.7.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Data of Experiment จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.7.2



รูปที่ 5.7.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกการวัดค่าของอุปกรณ์ ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① Upstream pipe diameter (Venturi Meter) (d₁ หน่วยเป็น mm.)
- ② Throat diameter (Venturi Meter) (d₂ หน่วยเป็น mm.)
- ③ Upstream taper (Venturi Meter) (หน่วยเป็น degree)
- ④ downstream taper (Venturi Meter) (หน่วยเป็น degree)
- ⑤ Upstream pipe diameter (Orifice Meter) (d₁ หน่วยเป็น mm.)
- ⑥ Orifice diameter (Orifice Meter) (d₀ หน่วยเป็น mm.)
- ⑦ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีน้ำเงินในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

3) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.7.3

Run No	Volume of Water to be Collected (cu.m)	Time to Collect (sec)	Flow Rate $Q(10^{-3})$ (cu.m/sec)	VENTURI METER				ORIFICE METER			
				h1 (m)	h2 (m)	h1-h2 (m)	$h_1-h_2^{1.5}$ (m ^{1.5})	h1 (m)	h2 (m)	h1-h2 (m)	$h_1-h_2^{1.5}$ (m ^{1.5})
1	0.005	71.62	69.81	0.202	0.192	0.012	0.100	0.145	0.142	0.005	0.071
2	0.005	67.96	72.57	0.212	0.208	0.012	0.116	0.155	0.147	0.005	0.071
3	0.005	61.17	81.82	0.221	0.206	0.012	0.116	0.162	0.155	0.007	0.084
4	0.005	54.21	92.23	0.231	0.217	0.014	0.118	0.170	0.162	0.006	0.089
5	0.005	50.67	98.68	0.240	0.225	0.015	0.122	0.179	0.169	0.010	0.100
6	0.005	48.26	103.61	0.251	0.233	0.018	0.134	0.188	0.176	0.012	0.110
7	0.005	45.42	110.08	0.259	0.239	0.020	0.141	0.190	0.182	0.013	0.114
8	0.005	42.75	118.06	0.268	0.243	0.023	0.152	0.202	0.188	0.014	0.118
9	0.005	39.24	127.42	0.281	0.255	0.026	0.161	0.213	0.196	0.017	0.130
10	0.005	35.11	131.20	0.293	0.264	0.029	0.170	0.222	0.205	0.017	0.130
11	0.005	27.04	139.84	0.303	0.270	0.033	0.183	0.230	0.210	0.018	0.141

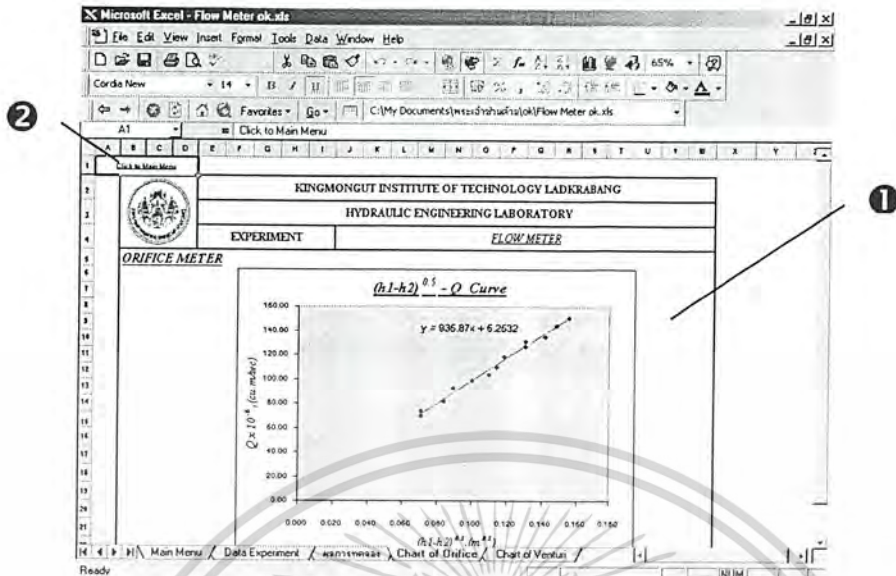
รูปที่ 5.7.3

ให้กรอกข้อมูลที่ได้อาจจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 Volume of water to be collected (m³)
- 2 Time to collect water (sec)
- 3 วัดค่า Pressure Head ของ Venturi meter ณ ตำแหน่งที่ 1 (h₁; m.)
- 4 วัดค่า Pressure Head ของ Venturi meter ณ ตำแหน่งที่ 2 (h₂; m.)
- 5 วัดค่า Pressure Head ของ Orifice meter ณ ตำแหน่งที่ 1 (h₁; m.)
- 6 วัดค่า Pressure Head ของ Orifice meter ณ ตำแหน่งที่ 2 (h₂; m.)
- 7 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีน้ำเงินในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

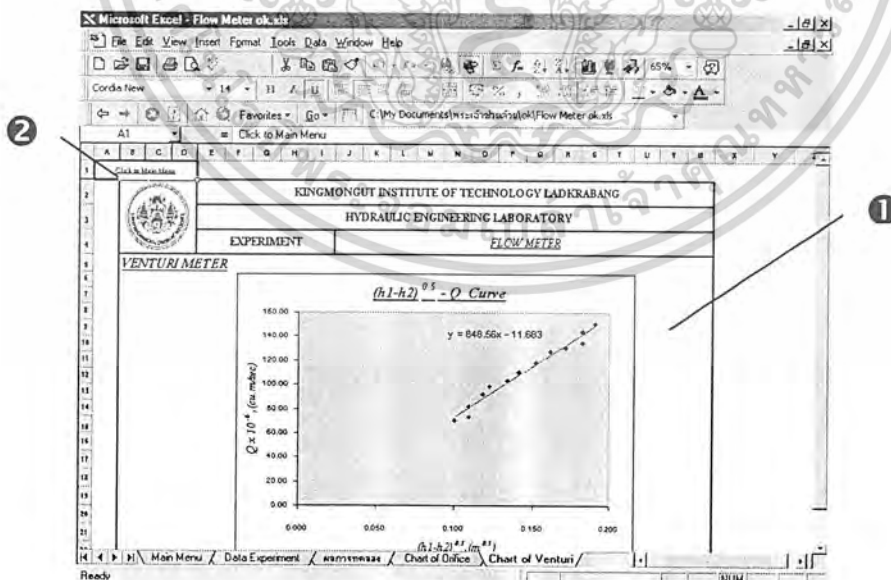
- 4) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลองของ Orifice Meter จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.7.4



รูปที่ 5.7.4

- 1) กราฟแสดงผลระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากการวัด(Q) กับ $\sqrt{h_1 - h_2}$ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่า สัมประสิทธิ์การไหล (Cd) สำหรับ Orifice Meter
- 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

- 5) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลองของ Venturi Meter จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.7.5

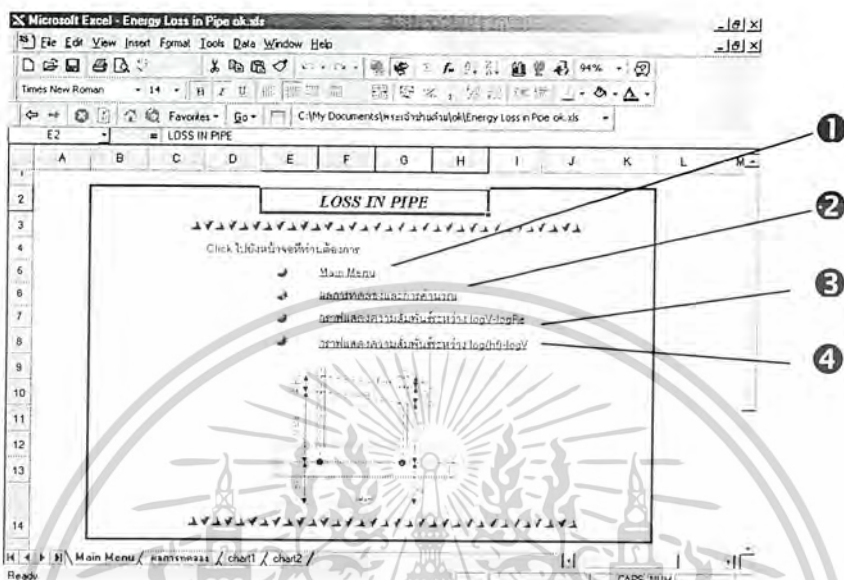


รูปที่ 5.7.5

- 1) กราฟแสดงผลระหว่างอัตราการไหลที่ได้จากการวัด(Q) กับ $\sqrt{h_1 - h_2}$ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่า สัมประสิทธิ์การไหล (Cd) สำหรับ Venturi Meter
- 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5.8 ENERGY LOSS IN PIPES

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง ENERGY LOSS IN PIPE จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.8.1



รูปที่ 5.8.1

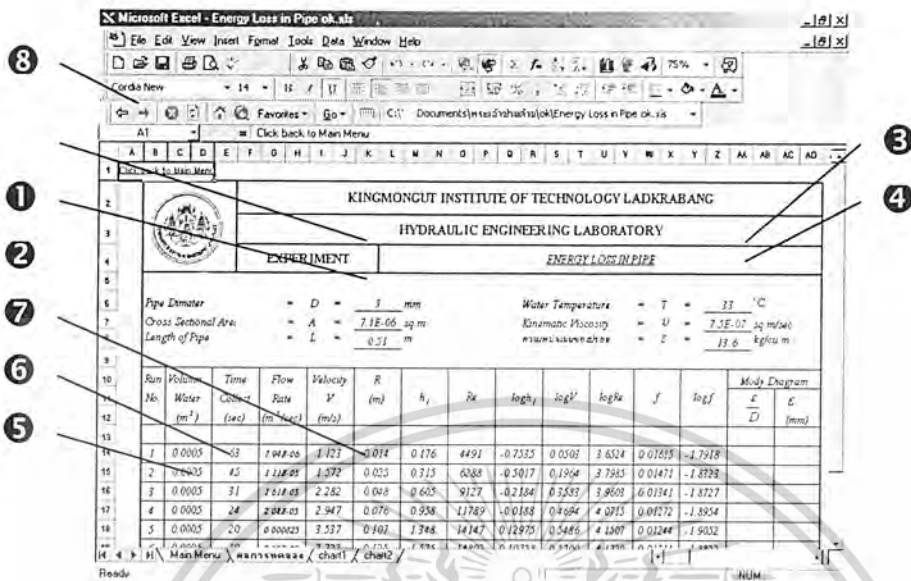
ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณ
- ❸ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log f - \log Re$
- ❹ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log(h_p) - \log V$

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.8.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.8.2



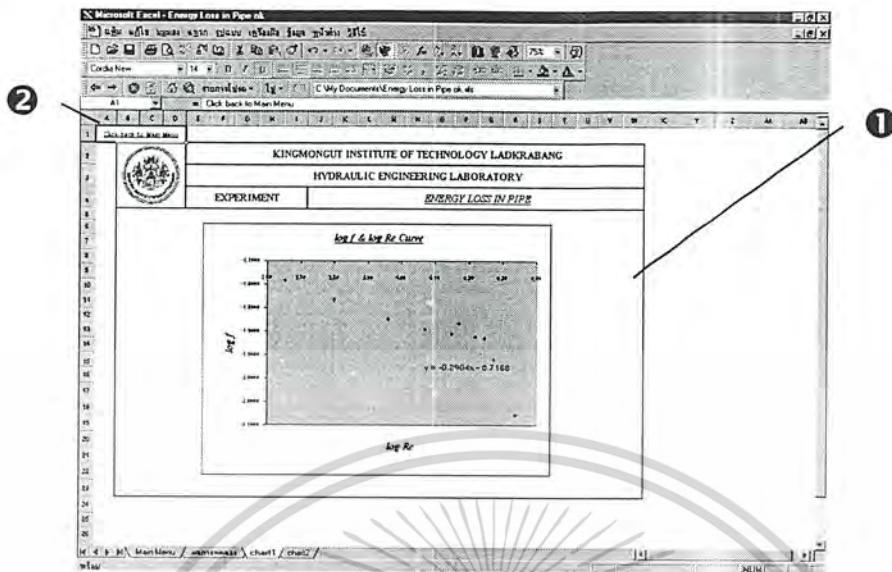
รูปที่ 5.8.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกจากการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 ช่องให้กรอกค่า Distance from 1st Gauge (m.)
- 2 ช่องให้กรอกค่า Diameter of conduit (m.)
- 3 ช่องให้กรอกค่า Pressure ที่วัดได้ ณ หลอดต่างๆ จากการทดลองครั้งที่ 1
- 4 ช่องให้กรอกค่า Pressure ที่วัดได้ ณ หลอดต่างๆ จากการทดลองครั้งที่ 2
- 5 ช่องให้กรอกค่า Volume of water (m³.)
- 6 ช่องให้กรอกค่า Time (sec)
- 7 ช่องให้กรอกค่า R คือ ความแตกต่างของ ระดับของเหลวใน Manometer (m.)
- 8 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

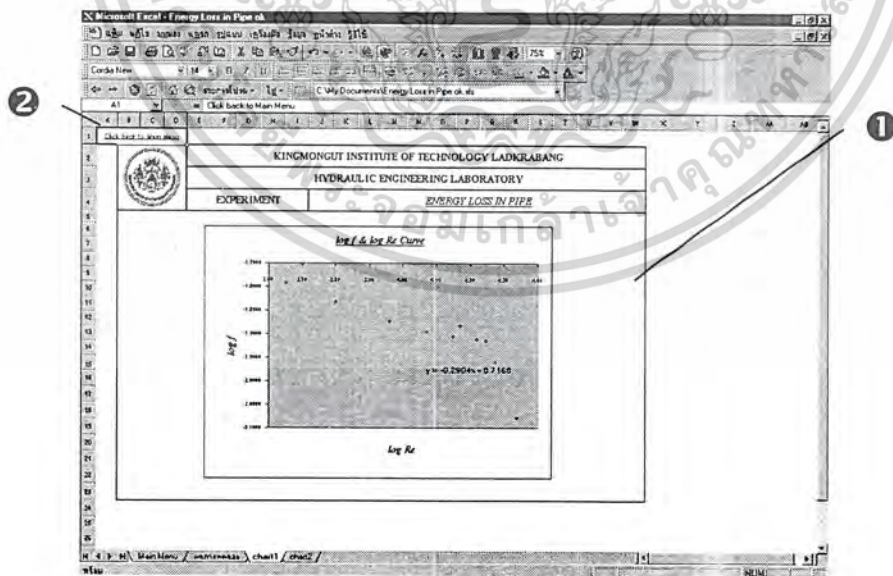
หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 3) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log f - \log Re$ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.8.3



รูปที่ 5.8.3

- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log f - \log Re$ เพื่อไปหาความสัมพันธ์ของ Head loss (h_f) ต่อไป
 - 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu
- 4) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log h_f - \log V$ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.8.4

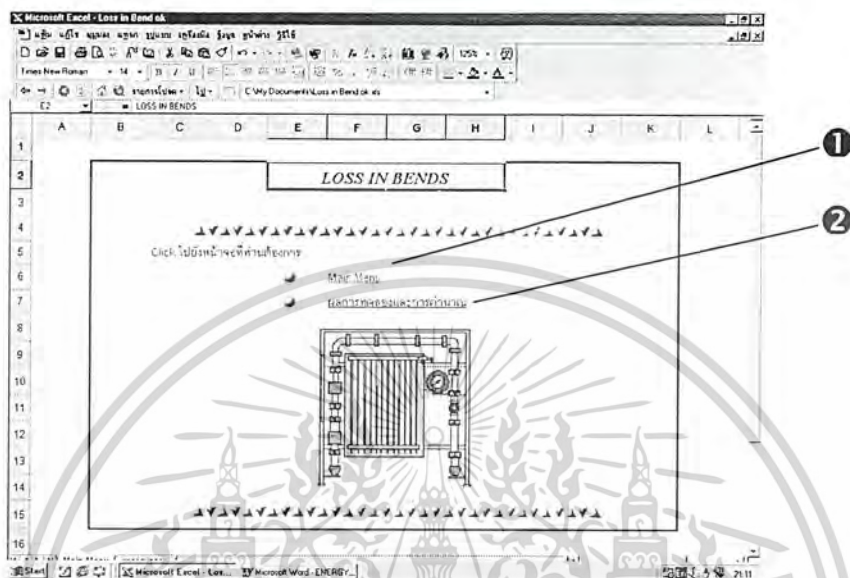


รูปที่ 5.8.4

- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log h_f - \log V$ เพื่อไปหาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (τ) ต่อไป
- 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5.9 ENERGY LOSS IN BENDS

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง ENERGY LOSS IN BEND จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.9.1



รูปที่ 5.9.1

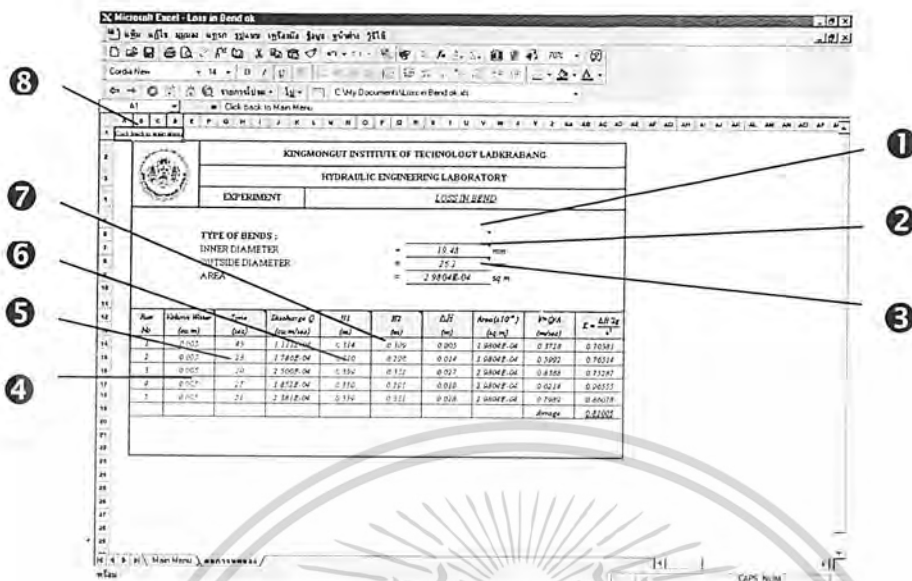
ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณ

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.9.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้าจอ นั้นแล้ว

2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.9.2



รูปที่ 5.9.2

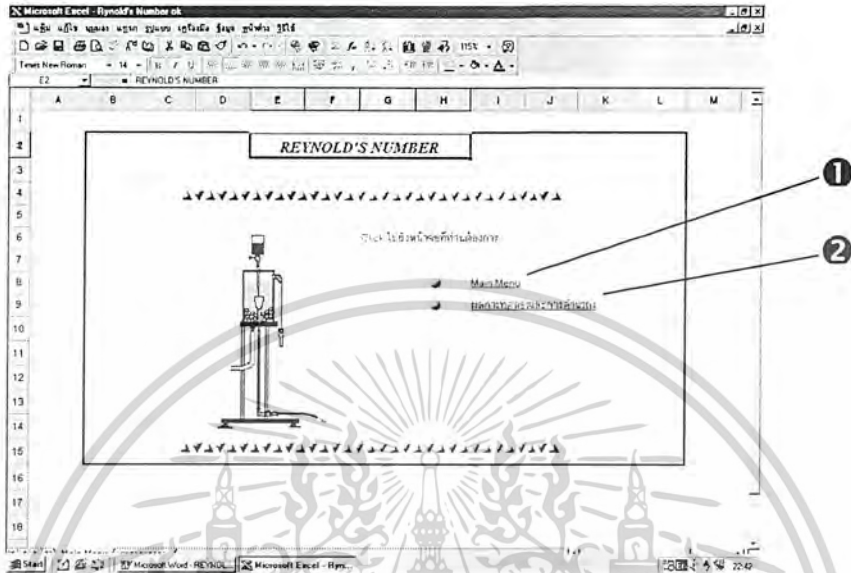
ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงิน ซึ่งที่มุมของหัวข้อจะมีจุดสี่แฉกเพียงนำเมาส์ไปวางค้างไว้จะเห็น Comment อธิบาย

- ① ระบุชนิดของอุปกรณ์
- ② Inner Diameter (มีหน่วยเป็น mm.)
- ③ Outside Diameter (มีหน่วยเป็น mm.)
- ④ ช่องให้กรอกค่า Volume of Water (มีหน่วยเป็น m³)
- ⑤ ช่องให้กรอกค่า Time (มีหน่วยเป็น sec)
- ⑥ ช่องให้กรอกค่า Pressure Head (H1) ที่วัดได้ ณ ตำแหน่งที่ 1 (มีหน่วยเป็น mm.)
- ⑦ ช่องให้กรอกค่า Pressure Head (H2) ที่วัดได้ ณ ตำแหน่งที่ 2 (มีหน่วยเป็น mm.)
- ⑧ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีน้ำเงินในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

5.10 OSBORNE REYNOLD

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง REYNOLD'S NUMBER จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.10.1



รูปที่ 5.10.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณ

- 1) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.10.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.10.2

Run No.	Volume Water (cu m)	Time (sec)	Discharge Q (cu m/sec)	Temperature (°C)	$U(10^{-6})$	Diameter (mm)	Area (sq cm)	$U \cdot Q/A$	Re = vD	Result
1	0.175	10	2.03E-02	30.0	0.69	1.00	0.7854	25.719	2.661	Turbulent
2	0.176	10	2.00E-02	30.0	0.69	1.00	0.7854	25.719	2.661	Turbulent
3	0.176	10	1.76E-02	30.0	0.69	1.00	0.7854	22.409	2.518	Turbulent
4	0.162	10	1.63E-02	30.0	0.69	1.00	0.7854	20.626	2.318	Turbulent
5	0.158	10	1.58E-02	30.0	0.69	1.00	0.7854	20.177	2.250	Turbulent
6	0.158	10	1.24E-02	30.0	0.69	1.00	0.7854	15.811	1.811	Laminar
7	0.154	10	1.24E-02	30.0	0.69	1.00	0.7854	15.768	1.774	Laminar
8	0.15	10	5.00E-03	30.0	0.69	1.00	0.7854	6.259	7.15	Laminar
9	0.146	10	4.80E-03	30.0	0.69	1.00	0.7854	6.112	6.97	Laminar
10	0.137	10	2.80E-03	30.0	0.69	1.00	0.7854	3.265	4.07	Laminar

รูปที่ 5.10.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้อีกจากการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

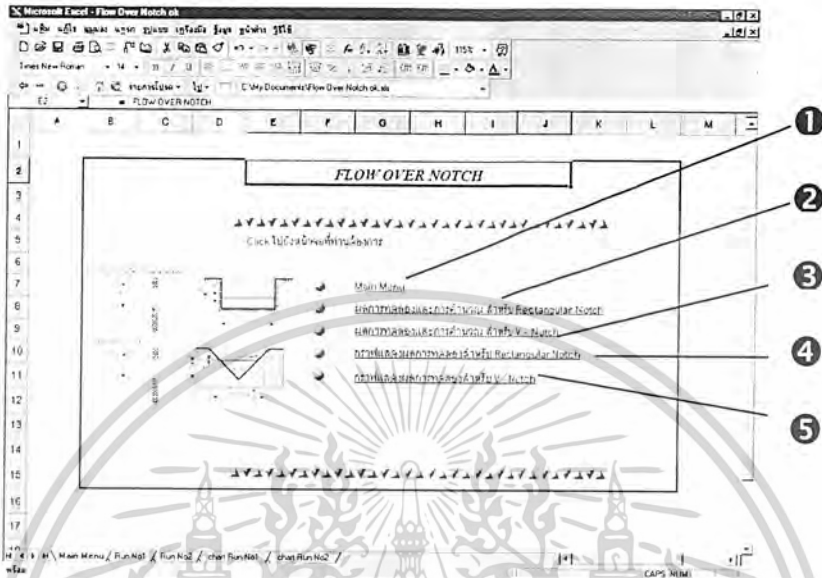
- ① ช่องให้กรอกค่า Volume of Water (มีหน่วยเป็น m^3)
- ② ช่องให้กรอกค่า Time (มีหน่วยเป็น sec)
- ③ ช่องให้กรอกค่า Temperature (มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส)
- ④ ช่องให้กรอกค่า $U (10^{-6})$ (มีหน่วยเป็น m^2/s)
- ⑤ ช่องให้กรอกค่า Diameter (10^{-2}) (มีหน่วยเป็น m)
- ⑥ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ 1 ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

2 ช่องหมายเลขที่ 3 , 4 และ 5 ให้กรอกเฉพาะในแถว Run NO.1 เท่านั้น ซึ่งในแถวอื่นจะเปลี่ยนค่าตามทันที

5.11 FLOW OVER NOTCH

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง FLOW OVER NOCTH จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.11.1



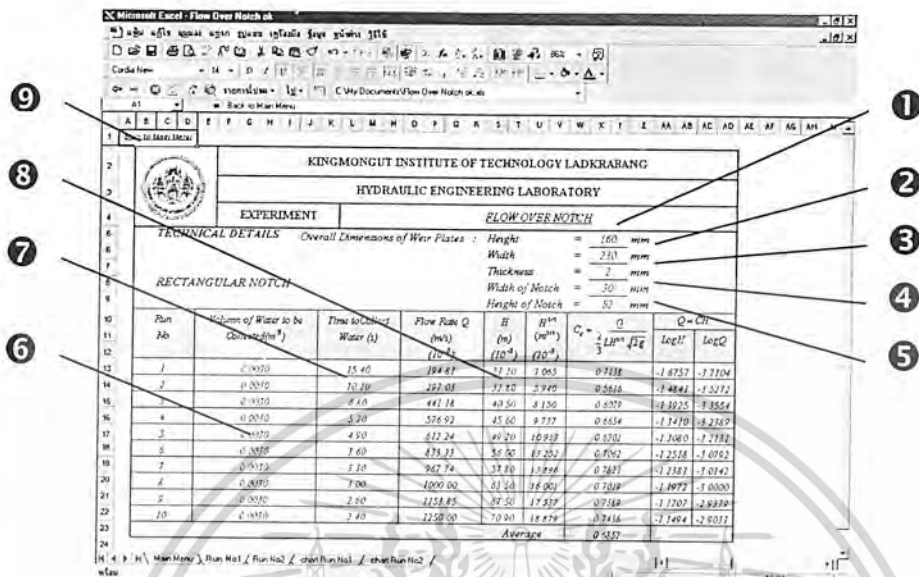
รูปที่ 5.11.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ Rectangular Notch
- ❸ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ V - Notch
- ❹ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ Rectangular Notch
- ❺ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ V - Notch

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.11.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองสำหรับ Rectangular Notch จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.11.2



รูปที่ 5.11.2

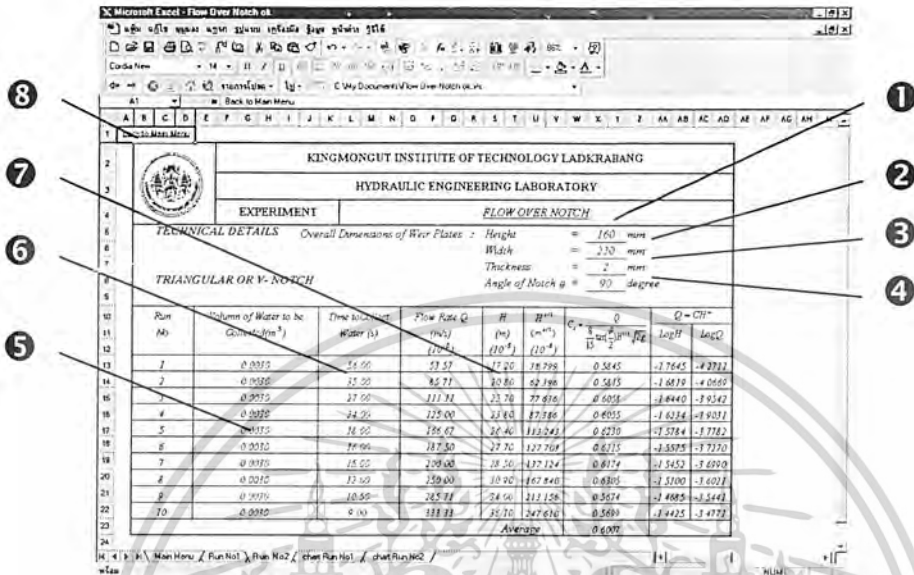
ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกจากการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 Overall dimensions of weir plate : Height (มีหน่วยเป็น mm.)
- 2 Overall dimensions of weir plate : Weight (มีหน่วยเป็น mm.)
- 3 Overall dimensions of weir plate : Thickness (มีหน่วยเป็น mm.)
- 4 Rectangular Notch : Weight of notch (มีหน่วยเป็น mm.)
- 5 Rectangular Notch : Height of notch (มีหน่วยเป็น mm.)
- 6 Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m³.)
- 7 Time to be collected (มีหน่วยเป็น sec)
- 8 กรอกค่าความสูงของน้ำเหนือขอบล่างของ Notch (H มีหน่วยเป็น m.)
- 9 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

3) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองสำหรับ V - Notch จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.11.3



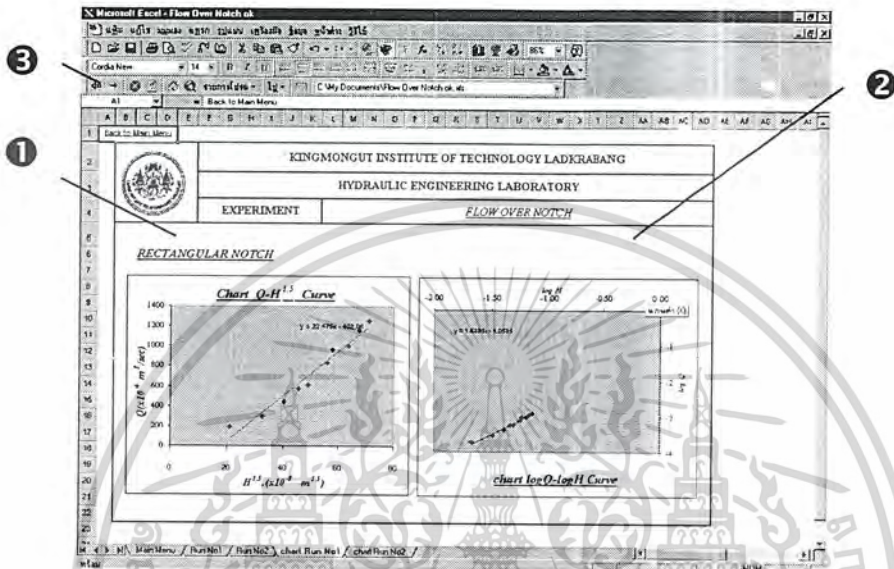
รูปที่ 5.11.3

ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกจากวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① Overall dimensions of weir plate : Height (มีหน่วยเป็น mm.)
- ② Overall dimensions of weir plate : Weight (มีหน่วยเป็น mm.)
- ③ Overall dimensions of weir plate : Thickness (มีหน่วยเป็น mm.)
- ④ Angle of Triangular or V - Notch (weir) (มีหน่วยเป็น degree)
- ⑤ Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m³.)
- ⑥ Time to be collected (มีหน่วยเป็น sec)
- ⑦ กรอกค่าความสูงของน้ำเหนือขอบล่างของ Notch (H มีหน่วยเป็น m.)
- ⑧ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

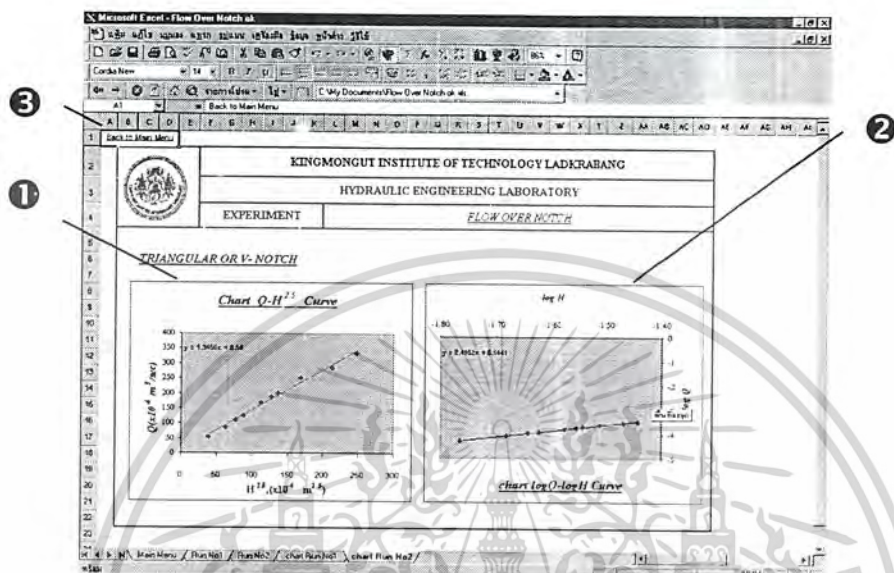
- 4) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ Rectangular Notch จะพบกับ หน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.11.4



รูปที่ 5.11.4

- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ $H^{3/2}$ เพื่อนำ Slope ไปหาค่าของสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (C_d) ต่อไป
- 2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Q$ กับ $\log H$ เพื่อนำ Slope ไปหาสมการทั่วไปของอัตราการไหลผ่าน Notch ($Q = CH^m$) ต่อไป
- 3) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

- 5) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ V - Notch จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.11.5

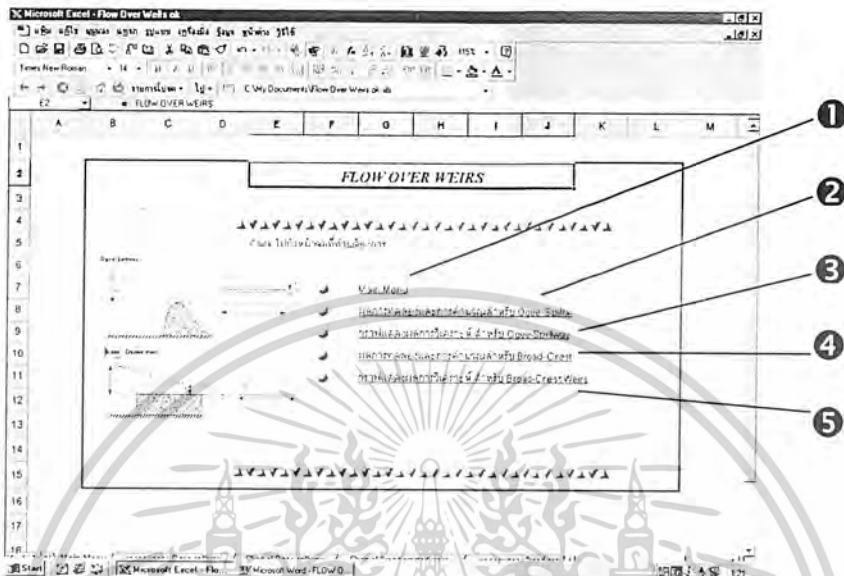


รูปที่ 5.11.5

- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ $H^{5/2}$ เพื่อนำ Slope ไปหาค่าของสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (C_d) ต่อไป
- 2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Q$ กับ $\log H$ เพื่อนำ Slope ไปหาสมการทั่วไปของอัตราการไหลผ่าน Notch ($Q = CH^m$) ต่อไป
- 3) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการคลิกเข้าสู่หน้า Main Menu

5.12 FLOW OVER WEIRS

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง FLOW OVER WEIRS จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.12.1



รูปที่ 5.12.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ Ogee Spillway
- ❸ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ Ogee Spillway
- ❹ ผลการทดลองและการคำนวณ สำหรับ Broad-crested Weirs
- ❺ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ Broad-crested Weirs

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.12.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองสำหรับ Ogee Spillway จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.12.2

Run No.	Volume of Water to be Collected (cm ³)	Time to Collect water (sec)	Flow Rate Q (cm ³ /sec)	Head H (m)	$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{g} H^{3/2}$		$Q = CH^m$		Comment
					H ^{3/2}	C _d	log H	log Q	
7	0.5	85	0.0059	0.033	0.00599	0.55908	-1.48149	-2.2201	
7	0.5	27	0.0185	0.067	0.01734	0.72746	-1.17193	-1.6212	
14	0.5	22	0.0417	0.092	0.03135	0.75749	-1.00495	-1.1802	
4	0.5	6	0.0825	0.121	0.04314	0.82047	-0.91000	-1.2041	
5	0.5	7	0.0714	0.144	0.05464	0.74023	-0.84164	-1.1461	
6	0.5	5	0.1000	0.16	0.06400	0.88483	-0.79588	-1.0000	
7	0.5	5	0.1000	0.17	0.07000	0.80292	-0.76955	-1.0000	
8	0.5	5	0.1000	0.176	0.07364	0.76866	-0.75449	-1.0000	
9	0.5	5	0.1000	0.172	0.07510	0.75407	-0.74958	-1.0000	
10	0.5	5	0.1000	0.177	0.07573	0.74716	-0.74715	-1.0000	
			Average			0.76203			

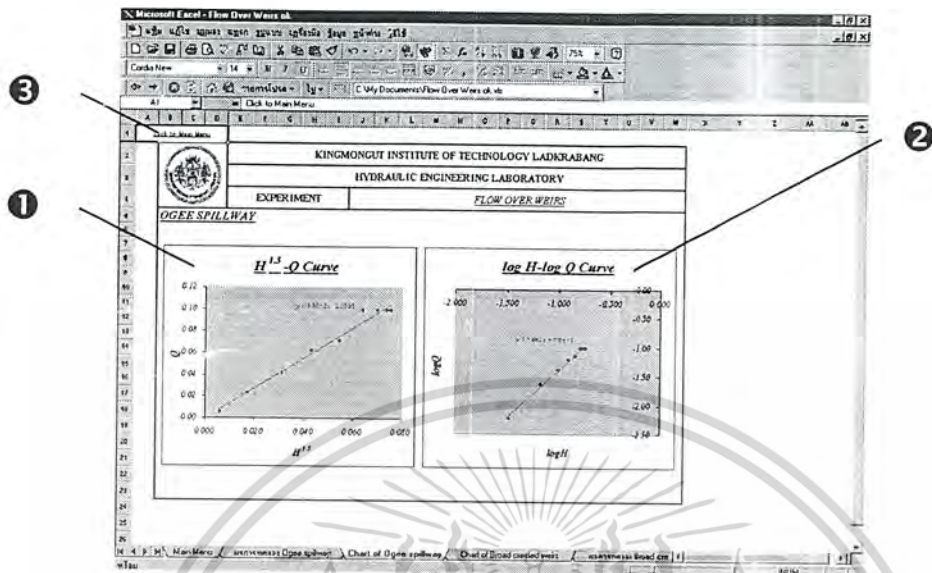
รูปที่ 5.12.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 Ogee Spillway : Length of crest (L) (มีหน่วยเป็น cm.)
- 2 Ogee Spillway : Height of Ogee Spillway (P) (มีหน่วยเป็น cm.)
- 3 Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m³.)
- 4 Time to be collected (มีหน่วยเป็น sec)
- 5 กรอกค่าความสูงของน้ำเหนือสัน Ogee Spillway (H มีหน่วยเป็น m.)
- 6 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีน้ำเงินในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 3) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ Ogee Spillway จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.12.3



รูปที่ 5.12.3

- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ $H^{3/2}$ เพื่อนำ Slope ไปหาค่าของสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (Cd) ต่อไป
- 2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Q$ กับ $\log H$ เพื่อนำ Slope ไปหาสมการทั่วไปของอัตราการไหลผ่านสันของ Ogee Spillway ($Q = CH^m$) ต่อไป
- 3) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

- 4) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองสำหรับ Broad – crested Weirs จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.12.4

KINGMONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG										
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY										
EXPERIMENT					FLOW OVER WEIRS					
BROAD-CRESTED WEIRS										
LENGTH OF CREST					= 59.8 cm	THICKNESS OF WEIRS		= 20.7 cm		
HEIGHT OF Ogee SPILLWAY					= 20.2 cm					
Run No.	Volume of Water to be Collected (cu m)	Time to Collect water (sec)	Flow Rate Q (cu m/sec)	Head H (m)	$Q = 1.705 C_d L H^{3/2}$		$Q = CH^{3/2}$		COMMENT	
					H m	C _d	log H	log Q		
1	0.5	200	0.0025	0.071	0.00546	0.81847	-1.50844	-2.3010		
2	0.5	19	0.0263	0.067	0.02566	1.00560	-1.06048	-1.5798		
3	0.5	11	0.0455	0.126	0.04473	0.84142	-0.99968	-1.4150		
4	0.5	8.5	0.0588	0.175	0.05806	0.99900	-0.82391	-1.2504		
5	0.5	8.6	0.0581	0.173	0.07196	1.00222	-0.78165	-1.1915		
6	0.5	7.5	0.0667	0.184	0.06217	1.06572	-0.72154	-1.0492		
7	0.5	5.1	0.0980	0.207	0.09418	1.00135	-0.85401	-1.0170		
8	0.5	5	0.1000	0.274	0.09900	0.99073	-0.69859	-1.0000		
9	0.5	5	0.1000	0.215	0.10149	0.85893	-0.65938	-1.0000		
10	0.5	5	0.1000	0.222	0.10486	0.92756	-0.65165	-1.0000		
Average						0.92555				

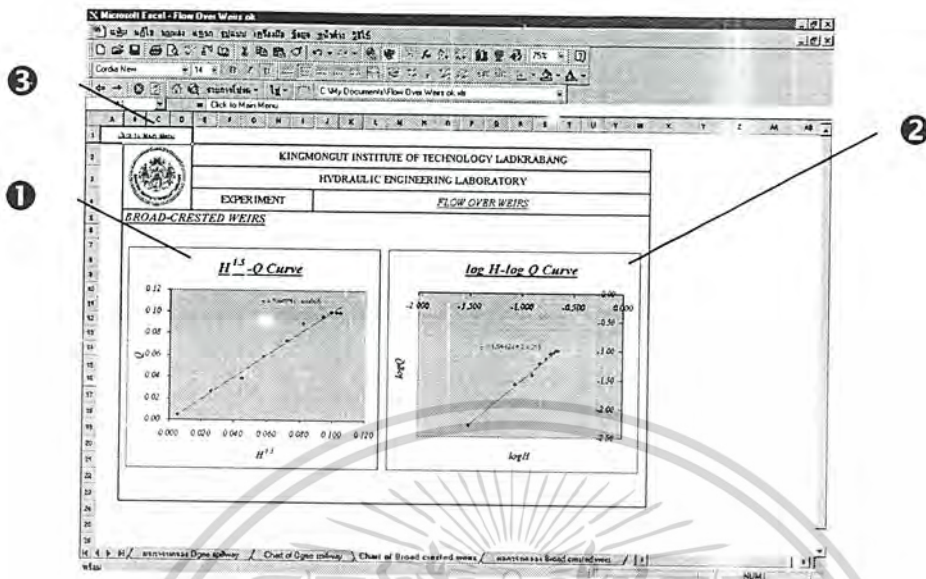
รูปที่ 5.12.4

ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากกรวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 Broad – crested Weir : Length of crest (L) (มีหน่วยเป็น cm.)
- 2 Broad – crested Weir : Height of weir (P) (มีหน่วยเป็น cm.)
- 3 Broad – crested Weir : Thickness of weir (B) (มีหน่วยเป็น cm.)
- 4 Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m³.)
- 5 Time to be collected (มีหน่วยเป็น sec)
- 6 กรอกค่าความสูงของน้ำเหนือสัน Broad – crested Weir (H มีหน่วยเป็น m.)
- 7 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 5) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลอง สำหรับ Broad – crested Weirs จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.12.5

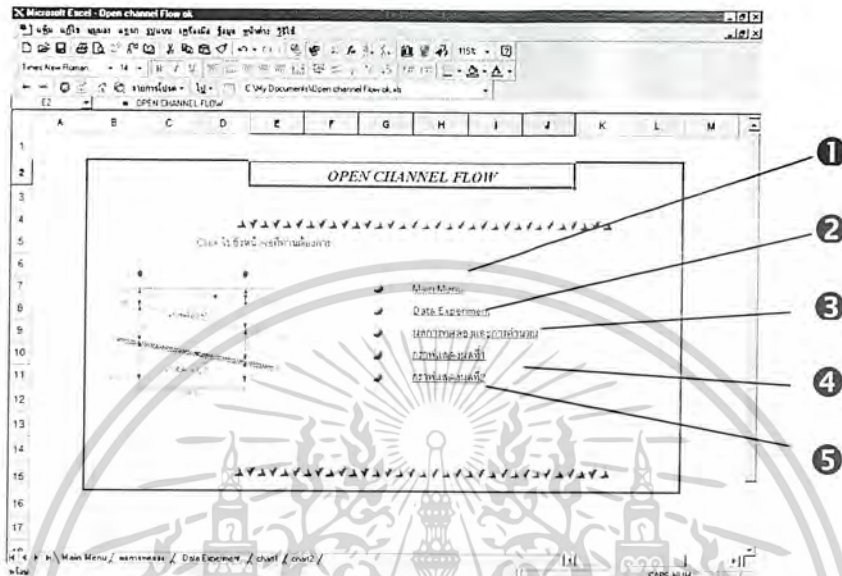


รูปที่ 5.12.5

- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ $H^{3/2}$ เพื่อนำ Slope ไปหาค่าของสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (C_d) ต่อไป
- 2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log Q$ กับ $\log H$ เพื่อนำ Slope ไปหาสมการทั่วไปของอัตราการไหลผ่านสันของ Broad – crested Weirs ($Q = CH^m$) ต่อไป
- 3) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5.13 OPEN CHANNEL FLOW

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง OPEN CHANNEL FLOW จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.13.1



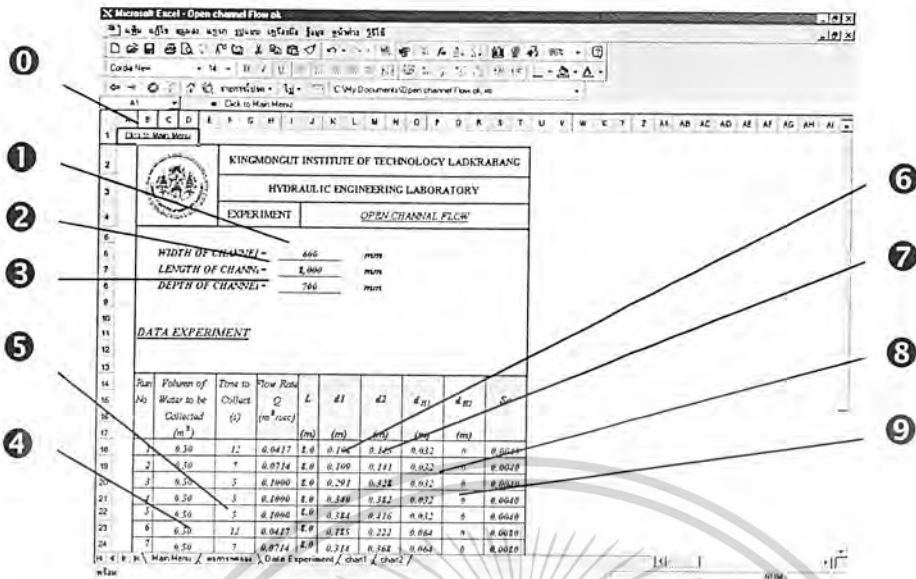
รูปที่ 5.13.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ Data Experiment
- ❸ ผลการทดลองและการคำนวณ
- ❹ กราฟแสดงผลที่ 1
- ❺ กราฟแสดงผลที่ 2

1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.13.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Data Experiment จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.13.2



รูปที่ 5.13.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้ออกจากวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- ① Width of Channel (มีหน่วยเป็น mm.)
- ② Length of Channel (มีหน่วยเป็น mm.)
- ③ Depth of Channel (มีหน่วยเป็น mm.)
- ④ Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m^3 .)
- ⑤ Time to be collected (มีหน่วยเป็น sec)
- ⑥ ความลึกของน้ำขณะไหล ณ ตำแหน่งที่ 1 (d_1 มีหน่วยเป็น m.)
- ⑦ ความลึกของน้ำขณะไหล ณ ตำแหน่งที่ 2 (d_2 มีหน่วยเป็น m.)
- ⑧ ความลึกของน้ำที่ขังไว้ ณ ตำแหน่งที่ 1 (d_{H1} มีหน่วยเป็น m.)
- ⑨ ความลึกของน้ำที่ขังไว้ ณ ตำแหน่งที่ 2 (d_{H2} มีหน่วยเป็น m.)
- ⑩ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีน้ำเงินในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

3) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

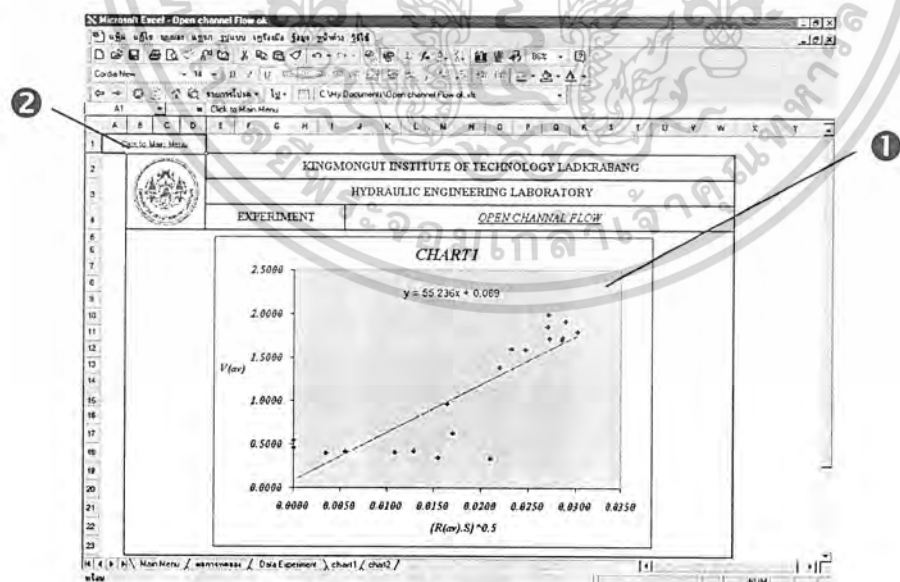
5.13.3

รูปที่ 5.13.3

1) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลในหน้า Data - Experiment ที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

4) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลที่ 1 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.13.4

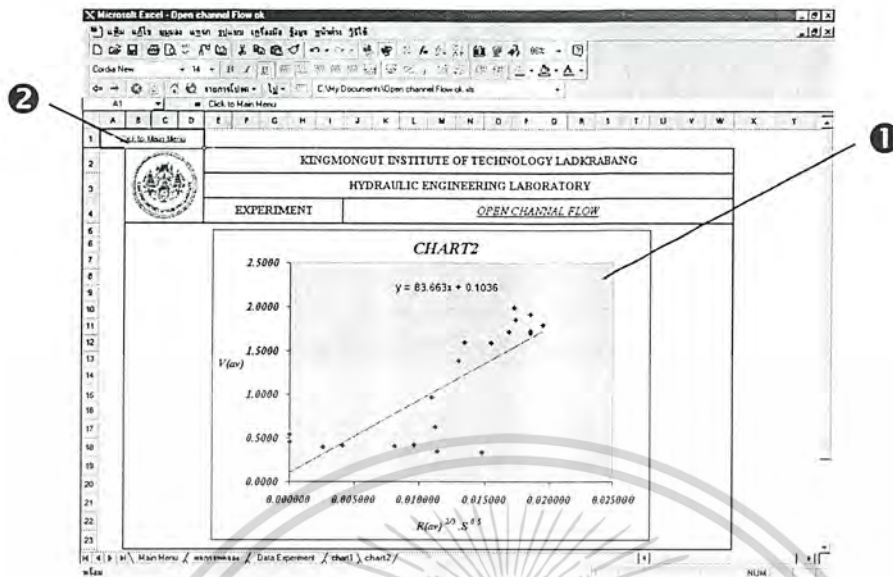


รูปที่ 5.13.4

1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{AV} กับ $(R_{AV}.S)^{1/2}$ เพื่อนำ Slope ไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเซซี (C) ต่อไป

2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลที่ 2 จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.13.5

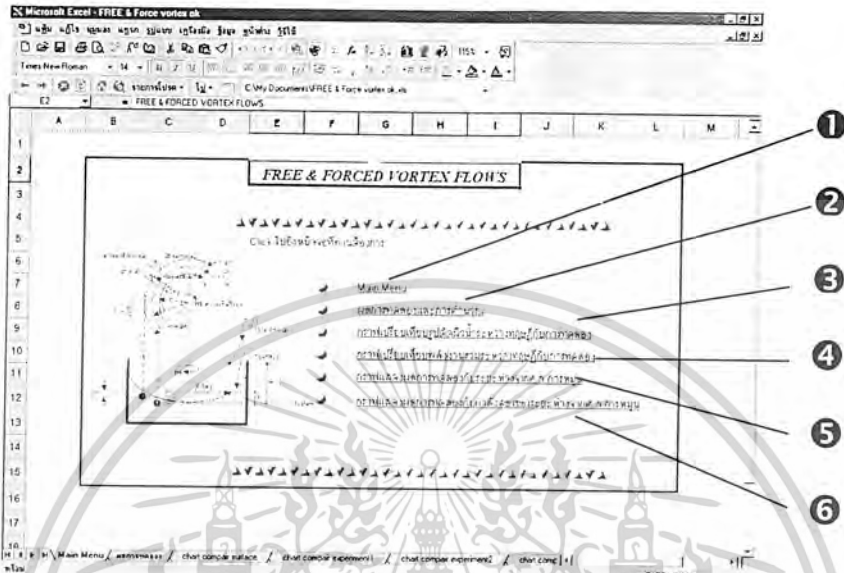


รูปที่ 5.13.5

- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{AV} กับ $R_{AV}^{2.3} \cdot S^{1.2}$ เพื่อนำ Slope ไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแมนนิง (n) ต่อไป
- 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5.14 FREE & FORCED VORTEX FLOW

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง FREE & FORCE VORTEX FLOW จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.14.1



รูปที่ 5.14.1

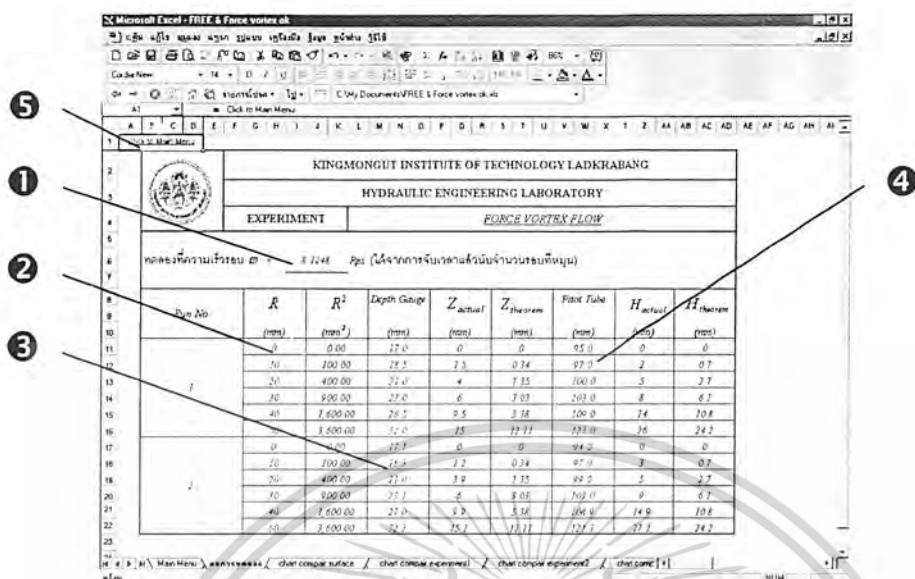
ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณ
- ❸ กราฟเปรียบเทียบรูปตัดผิวน้ำระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง
- ❹ กราฟเปรียบเทียบพลังงานรวมระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง
- ❺ กราฟแสดงผลการทดลองกับระยะห่างจากศก.การหมุน
- ❻ กราฟแสดงผลการทดลองกับกำลังสองของระยะห่างจากศก.การหมุน

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.14.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.14.2



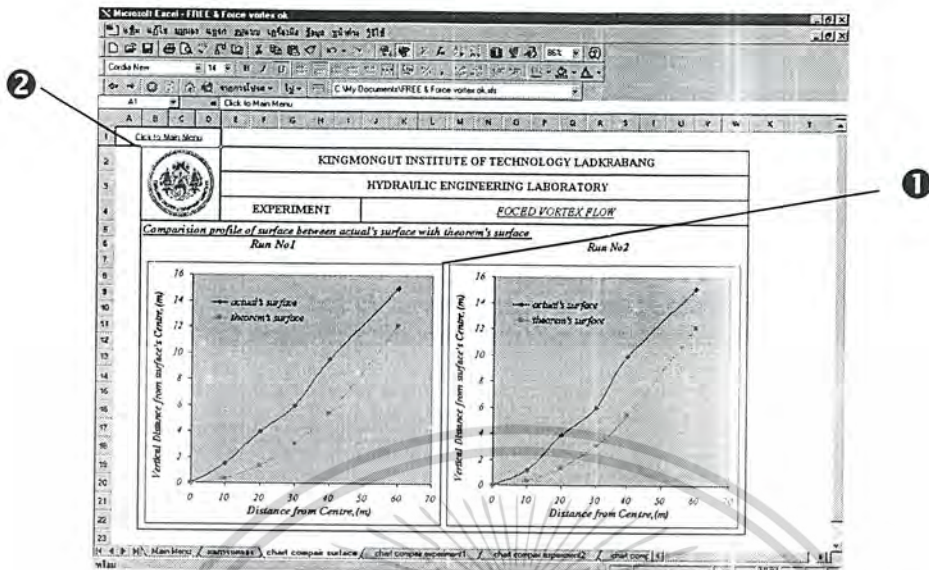
รูปที่ 5.14.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้

- 1 ความเร็วรอบ ω (มีหน่วยเป็น รอบ/วินาที)
- 2 รัศมีของการหมุน R (มีหน่วยเป็น mm.)
- 3 อ่านเครื่องมือวัดความลึก Depth Gauge (มีหน่วยเป็น mm.)
- 4 อ่านจากหลอด Pitot tube (มีหน่วยเป็น mm.)
- 5 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

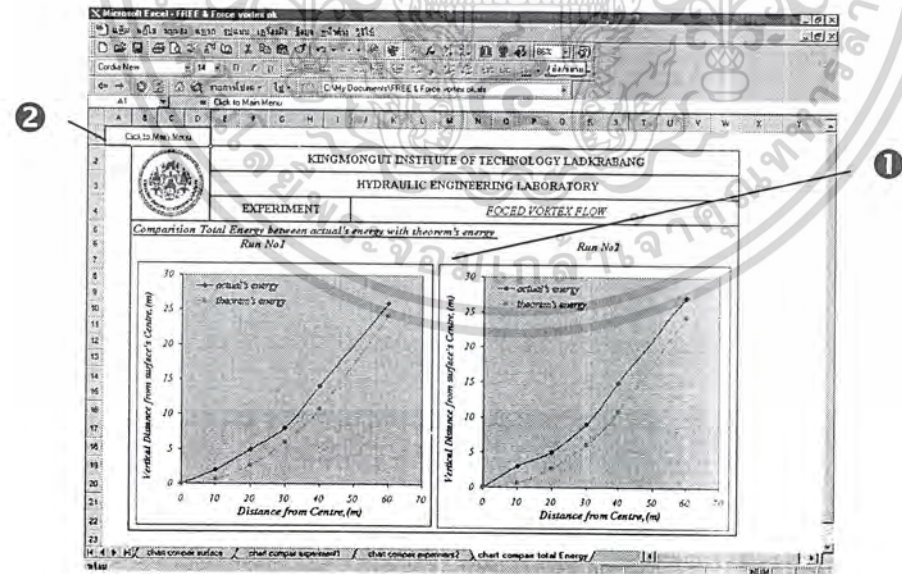
หมายเหตุ ตัวหนังสือสีน้ำเงินในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

- 3) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟเปรียบเทียบรูปตัดผิวหน้าระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.14.3



รูปที่ 5.14.3

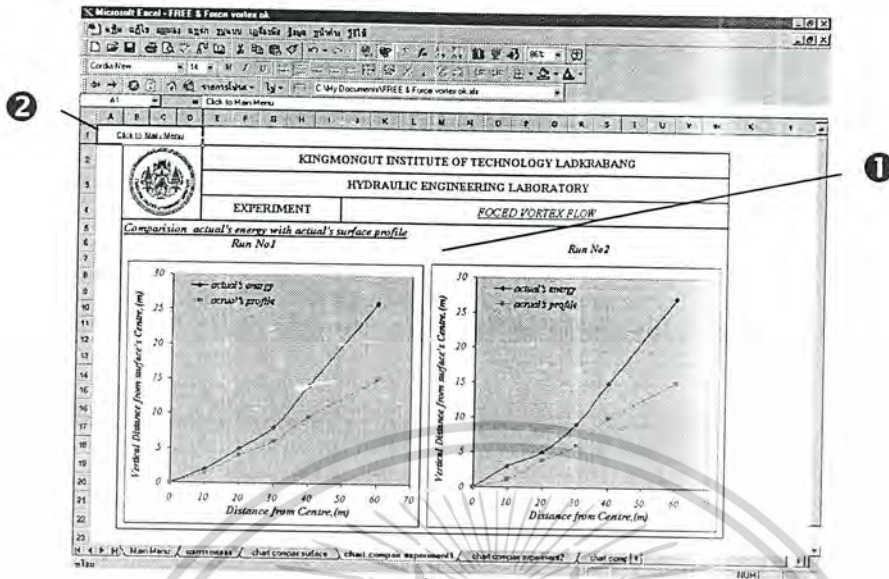
- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะในแนวตั้งจากศูนย์กลางของผิวน้ำกับระยะตามแนวรัศมี ของทฤษฎีกับการทดลอง (Run No. 1) และ (Run No. 2)
- 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu
- 4) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ กราฟเปรียบเทียบพลังงานรวมระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.14.4



รูปที่ 5.14.4

- 1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะในแนวตั้งจากศูนย์กลางของผิวน้ำกับระยะตามแนวรัศมี ของทฤษฎีกับการทดลอง (Run No. 1) และ (Run No. 2)
- 2) คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลองกับระยะห่างจากศก.การหมุน จะพบกับ หน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.14.5

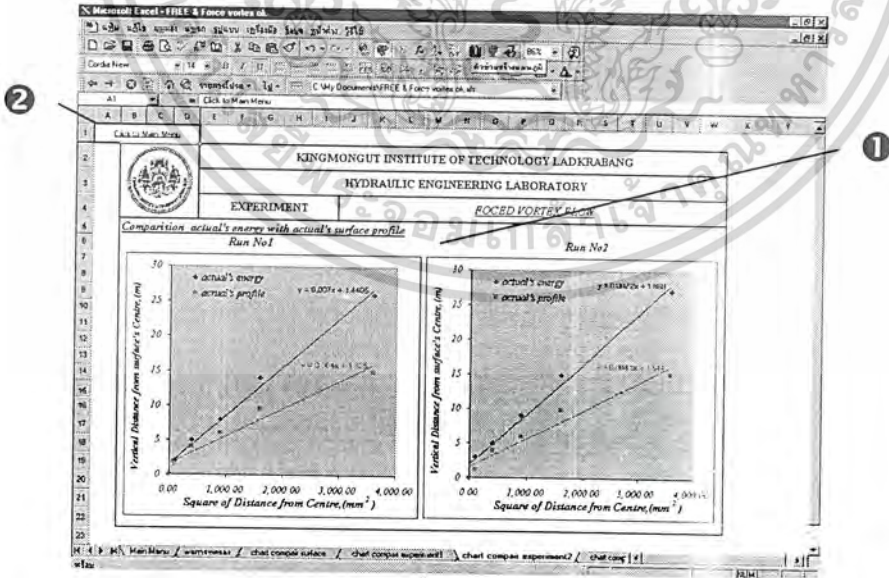


รูปที่ 5.14.5

1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ ในแนวตั้งจากศูนย์กลางของผิวน้ำกับระยะตามแนวรัศมี ของทฤษฎีกับการทดลอง (Run No. 1) และ (Run No. 2)

2) คลิกเมาส์ เมื่อดต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

6) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ กราฟแสดงผลการทดลองกับกำลังสองของระยะห่างจากศก.การหมุนจะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.14.6



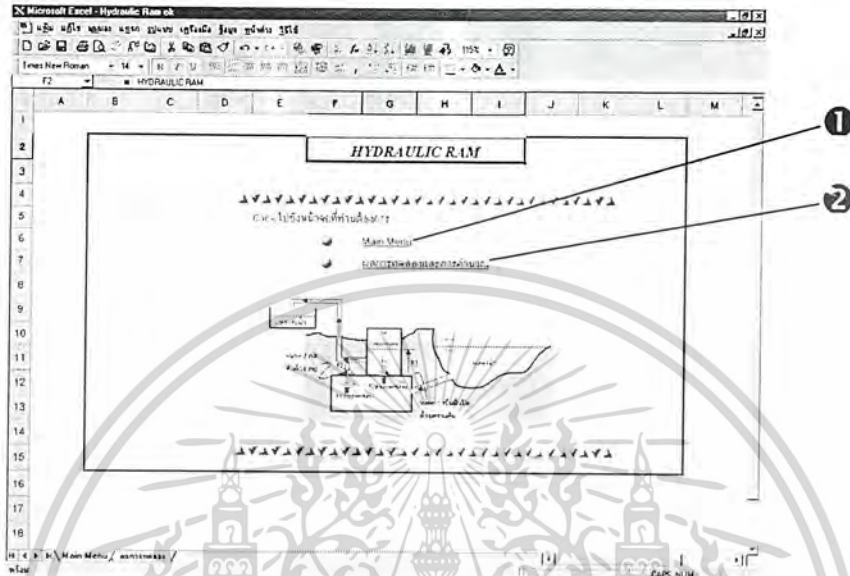
รูปที่ 5.14.6

1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ ในแนวตั้งจากศูนย์กลางของผิวน้ำกับระยะตามแนวรัศมียกกำลังสอง ของทฤษฎีกับการทดลอง (Run No. 1) และ (Run No.2)

2) คลิกเมาส์ เมื่อดต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

5.15 HYDRAULIC RAM

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง HYDRAULIC RAM จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.15.1



รูปที่ 5.15.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณ

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.15.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.15.2

KINGMONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG											
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY											
EXPERIMENT						HYDRAULIC RAM					
No	Load on Pulse Valve (kg)	Reservoir Head (m)	Delivery Head (m)	Reservoir Volume Collected (lit)	Time to Collect (sec)	Supply Flow Rate ($Q_s \times 10^{-3}$ (m ³ /sec))	Delivery Volume Collected (10^{-3} m ³)	Time to Collect (sec)	Delivery Flow Rate ($Q_d \times 10^{-3}$ (m ³ /sec))	Pumping Efficiency (%)	Head Loss (m)
1	0.972	2.25	1.75	4.0	7.0	1.4286	17.5	25	8.5	5.95	1.171
2	0.972	2.25	1.75	10.0	10.0	2.5000	19.0	20	9.5	7.80	1.178
3	0.972	2.25	1.75	15.0	15.0	2.3750	18.0	20	9.0	5.85	1.177
4	0.972	1.95	1.25	8.0	8.0	1.5000	14.0	20	7.0	6.02	1.164
5	0.972	1.40	1.00	11.8	11.8	1.5257	18.0	20	9.0	5.87	1.161
6	0.972	0.95	1.00	14.0	14.0	1.4286	18.0	20	9.0	5.77	1.161
Average										5.88	1.162

รูปที่ 5.15.2

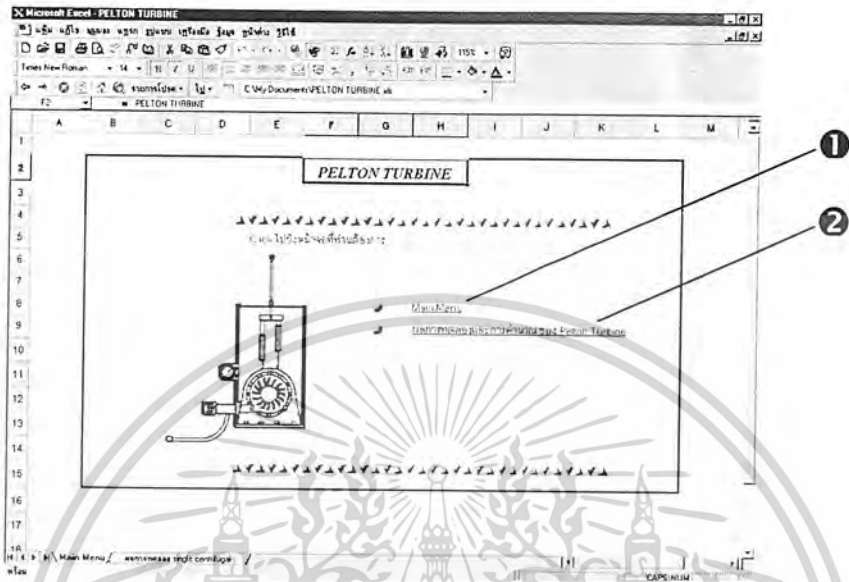
ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าจากการทดลอง ในช่องที่ตัวหนังสือสีน้ำเงินดังนี้ โดยที่มุมบนขวาของช่องหัวข้อที่ให้กรอกข้อความ จะมี Comment อธิบาย

- ① ป้อนค่าน้ำหนักที่กดทับบน Pulse Value (m มีหน่วยเป็น kg.)
- ② ป้อนค่าระดับความสูงของ Reservoir (H_1 มีหน่วยเป็น mm.)
- ③ ป้อนค่าระดับความสูงของ Delivery (H_2 มีหน่วยเป็น mm.)
- ④ ป้อนค่าปริมาตรน้ำที่วัดได้ของ Reservoir (V มีหน่วยเป็น $\times 10^{-3}$ m³)
- ⑤ ป้อนค่าเวลาในการวัดปริมาตรน้ำ (t มีหน่วยเป็น sec)
- ⑥ ป้อนค่าปริมาตรน้ำที่วัดได้ของ Delivery (V_d มีหน่วยเป็น $\times 10^{-3}$ m³)
- ⑦ ป้อนค่าเวลาในการวัดปริมาตรน้ำ (t_d มีหน่วยเป็น sec)
- ⑧ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่กรอกข้างต้น(ตัวหนังสือสีน้ำเงิน)

5.16 PELTON TURBINE

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง PELTON TURBINE จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.16.1



รูปที่ 5.16.1

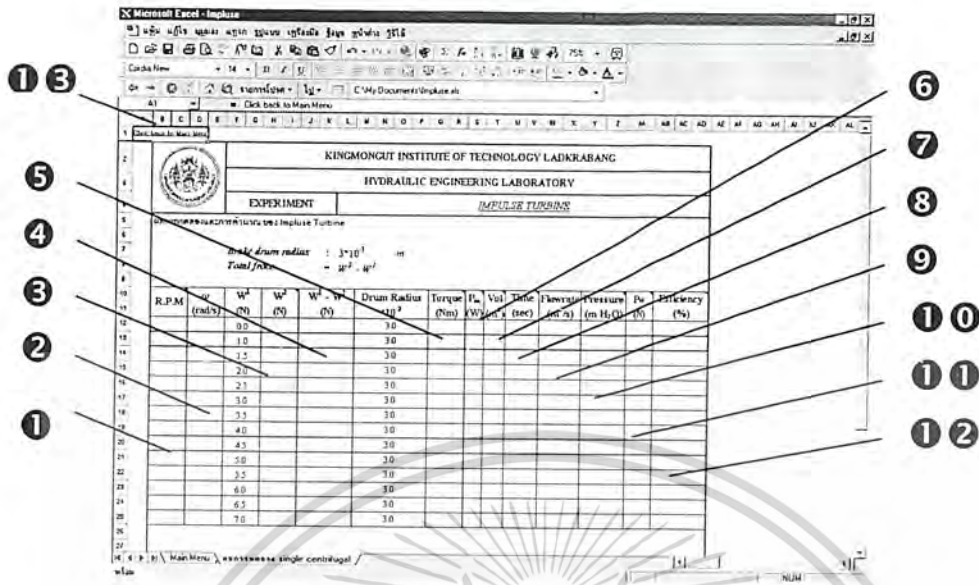
ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- 1 Main Menu
- 2 ผลการทดลองและการคำนวณของ Pelton turbine

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.16.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่หน้านั้นแล้ว

2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่

5.16.2



รูปที่ 5.16.2

ให้กรอกข้อมูลที่ได้อาจกรอกรวดค่าจากการทดลอง (โดยที่มุมบนขวาของช่องหัวข้อที่ให้กรอกข้อความ จะมี Comment อธิบาย)

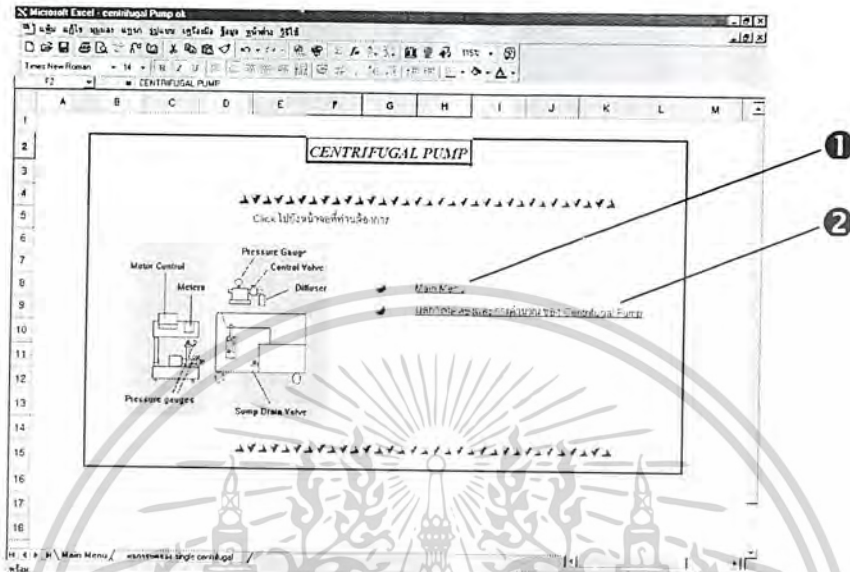
- ❶ ป้อนค่า R.P.M. คือใน 1 นาที Turbine หมุนกี่รอบ (มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที)
- ❷ ความเร็วเชิงมุม (ω) = $2\pi(\text{R.P.M.})/60$ (มีหน่วยเป็น rad/s)
- ❸ ป้อนค่าแรงในสายรอก (W^2) (มีหน่วยเป็น N.)
- ❹ ผลต่างของแรง $W^1 - W^2$ (มีหน่วยเป็น N.)
- ❺ Torque = $(W^1 - W^2) * 3 * 10^{-3}$ (มีหน่วยเป็น Nm.)
- ❻ กำลังที่ได้รับ ($P_m = T * \omega$) (มีหน่วยเป็น Watt)
- ❼ ป้อนค่าปริมาตรน้ำที่วัดได้ (มีหน่วยเป็น m^3)
- ❽ ป้อนค่าเวลาในช่วงที่วัดปริมาตรน้ำ (มีหน่วยเป็น sec)
- ❾ อัตราการไหล Q (มีหน่วยเป็น m^3/sec)
- ❿ ป้อนค่า Pressure ที่อ่านได้จาก Gauge (มีหน่วยเป็น $m \text{ H}_2\text{O}$)
- ⓫ กำลังที่ให้ ($P_w = \rho g H Q$) (มีหน่วยเป็น Watt)
- ⓬ ประสิทธิภาพของ Turbine ($\eta\% = P_m / P_w * 100$)
- ⓭ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าคงที่ ที่กำหนดให้ผลการทดลองเป็นไปใน

แนวเดียวกัน สำหรับผู้ที่ทำการทดลองทุกกลุ่ม

5.17 CENTRIFUGAL PUMP

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง CENTRIFUGAL PUMP จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.17.1



รูปที่ 5.17.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ❶ Main Menu
- ❷ ผลการทดลองและการคำนวณของ Centrifugal Pump

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.17.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

- 2) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.17.2

R.P.M.	Inlet Pressure (m H ₂ O)	Discharge Pressure (m H ₂ O)	Gauge Correction (m H ₂ O)	Total Head (m H ₂ O)	Volume (cm ³)	Time (sec)	Q (cm ³ /sec)	Water Power (P = ρgHQ) (Watt)	Amps	Volts	Power Input (Watt)	Efficiency (%)
2,000.00	0.80	0.80										
2,500.00	0.80	0.80										
3,000.00	0.80	0.80										
3,500.00	0.80	0.80										
4,000.00	0.80	0.80										
4,500.00	0.80	0.80										
5,000.00	0.80	0.80										
5,500.00	0.80	0.80										
6,000.00	0.80	0.80										
6,500.00	0.80	0.80										
7,000.00	0.80	0.80										
7,500.00	0.80	0.80										

รูปที่ 5.17.2

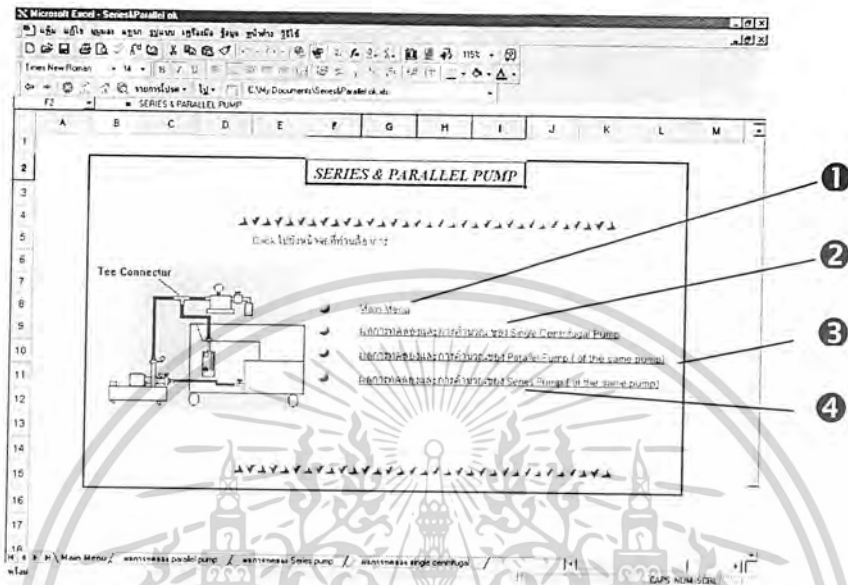
ให้กรอกข้อมูลที่ได้อาจการวัดค่าจากการทดลอง (โดยที่มุมบนขวาของช่องหัวข้อที่ให้กรอกข้อความ จะมี Comment อธิบาย)

- 1 ป้อนค่า Inlet Pressure (มีหน่วยเป็น m H₂O)
- 2 ป้อนค่า Discharge Pressure (มีหน่วยเป็น m H₂O)
- 3 Total head = (Inlet Pressure - Discharge Pressure) - Gauge correction Head (มีหน่วยเป็น m H₂O)
- 4 ป้อนค่า ปริมาณน้ำที่วัดได้ (มีหน่วยเป็น m³)
- 5 ป้อนค่าเวลาในช่วงที่วัดปริมาณน้ำ (มีหน่วยเป็น sec)
- 6 อัตราการไหล Q (มีหน่วยเป็น m³/sec)
- 7 กำลังที่ได้รับ Water Power ($P_w = \rho g H Q$) (มีหน่วยเป็น Watt)
- 8 ป้อนค่า กระแสไฟฟ้า (I) ที่อ่านได้จากมาตรวัด (มีหน่วยเป็น Amps)
- 9 ป้อนค่า ความต่างศักย์ (V) ที่อ่านได้จากมาตรวัด (มีหน่วยเป็น Volts)
- 10 กำลังที่ให้ (Power Input = I * V) (มีหน่วยเป็น Watt)
- 11 ประสิทธิภาพของ Pump ($\eta\% = \text{Water power} / \text{Input Power} * 100$)
- 12 คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าคงที่ ที่กำหนดให้ผลการทดลองเป็นไปในแนวเดียวกัน สำหรับผู้ที่ทำการทดลองทุกกลุ่ม

5.18 SERIES & PARALLEL PUMPS

เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรม EXCEL เรื่อง SERIES & PARALLEL PUMPS จะพบหน้าจอที่พร้อมสำหรับการใช้งานดังรูป 5.18.1



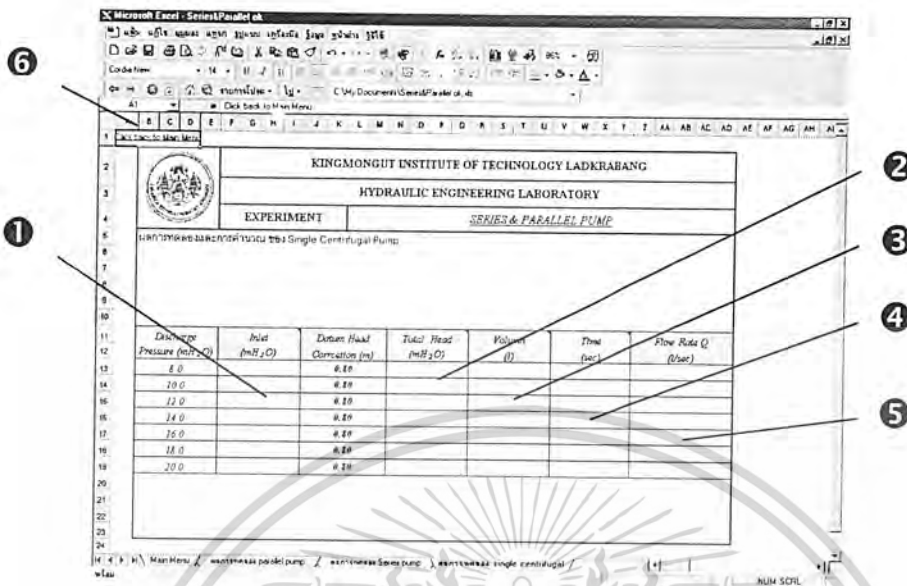
รูปที่ 5.18.1

ประกอบไปด้วย Icon ที่สามารถ Link ไปยังหน้าต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ① Main Menu
- ② ผลการทดลองและการคำนวณของ Single Centrifugal Pump
- ③ ผลการทดลองและการคำนวณ Parallel Pump (of the same Pump)
- ④ ผลการทดลองและการคำนวณ Series Pump (of the same Pump)

- 1) เมื่อคลิกเมาส์ไปที่ Main Menu จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.18.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอักษรจะเปลี่ยนสีเข้มขึ้น หมายถึง ได้เข้าไปสู่ที่หน้านั้นแล้ว

- 2) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณของ Single Centrifugal Pump จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.18.2



รูปที่ 5.18.2

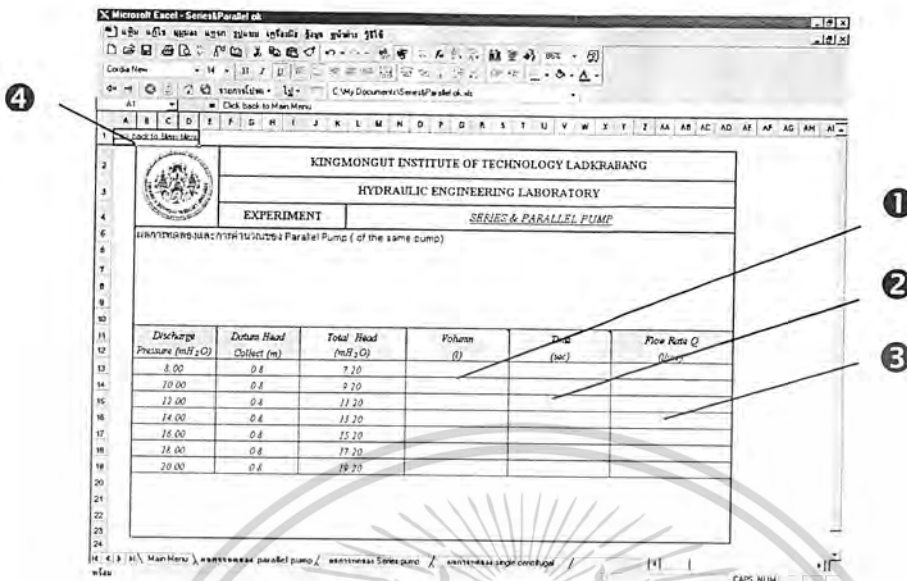
ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากการทดลองในช่องว่าง โดยจะมีค่าบรรยายบอกไว้ที่มุมของหัวข้อ (ซึ่งจะเห็นเป็นจุดสี่แฉกที่มุม เพียงนำมาใส่ไปวางค้ำไว้)

- ① ป้อนค่าความดันที่ทางเข้า Pump (Inlet Pressure) (มีหน่วยเป็น m H₂O.)
- ② Total Head = (Discharge – Inlet) – Datum Head (มีหน่วยเป็น m H₂O.)
- ③ ป้อนค่า Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m³.)
- ④ ป้อนค่า Time to be collected (มีหน่วยเป็น sec)
- ⑤ Flow Rate (Q) (มีหน่วยเป็น m³./sec)
- ⑥ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าคงที่เริ่มต้นที่ Set ไว้ให้เป็นไปในแนวทางเดียวกันของทุกๆ กลุ่มที่ทำการทดลอง

นำผลการทดลองที่ได้ไปวาดกราฟระหว่าง Head กับ Flow rate ในที่นี้ไม่ได้ทำการแสดงไว้เนื่องจากไม่มีผลการทดลองที่แท้จริง

3) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ Parallel Pump (of the same Pump) จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.18.3



รูปที่ 5.18.3

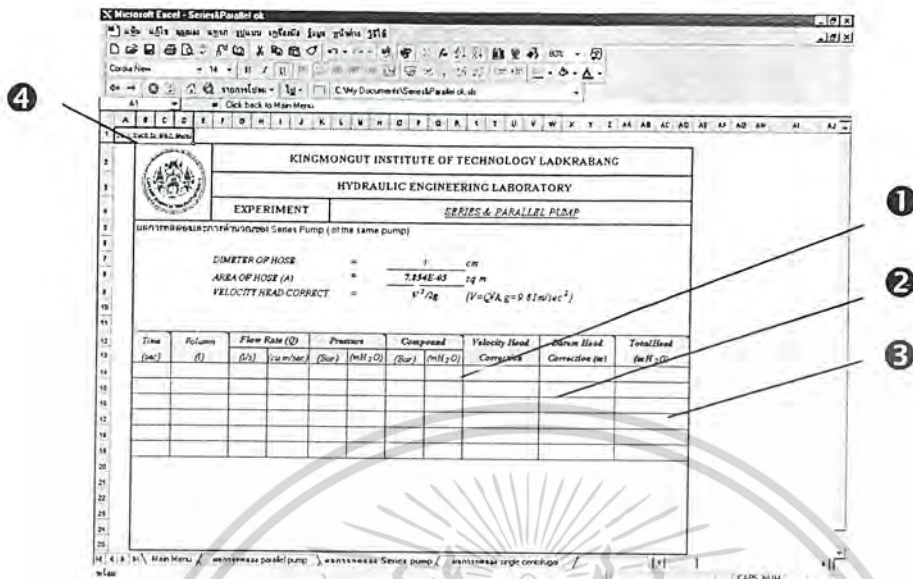
ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากการทดลองในช่องว่าง โดยจะมีค่าบรรยายบอกไว้ที่มุมของหัวข้อ (ซึ่งจะเห็นเป็นจุดสี่แฉกที่มุม เพื่อนำเมาส์ไปวางข้างไว้)

- ① ป้อนค่า Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m³.)
- ② ป้อนค่า Time to be collected (มีหน่วยเป็น sec)
- ③ Flow Rate (Q) (มีหน่วยเป็น m³./sec)
- ④ คลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ 1 ตัวหนังสือสีดำในตารางเป็นค่าคงที่เริ่มต้นที่ Set ไว้ให้เป็นไปในแนวทางเดียวกันของทุกๆ กลุ่มที่ทำการทดลอง

2 นำผลการทดลองที่ได้ไปวาดกราฟระหว่าง Head กับ Flow rate ในที่นี้ไม่ได้ทำการแสดงไว้เนื่องจากไม่มีผลการทดลองที่แท้จริง

- 4) เมื่อกดคลิกเมาส์ไปที่ ผลการทดลองและการคำนวณ Parallel Pump (of the same Pump) จะพบกับหน้าจอที่แสดงดังรูปที่ 5.18.4



รูปที่ 5.18.4

ให้กรอกข้อมูลที่ได้จากการทดลองในช่องว่าง โดยจะมีค่าบรรยายบอกไว้ที่มุมของหัวข้อ (ซึ่งจะเห็นเป็นจุดสีแดงที่มุม เพียงนำเมาส์ไปวางค้างไว้)

- ① ป้อนค่า Time to be collected (มีหน่วยเป็น sec)
- ② ป้อนค่า Volume of Water to be collected (มีหน่วยเป็น m^3 .)
- ③ Flow Rate (Q) (มีหน่วยเป็น m^3 ./sec กับ l/s)
- ④ Pressure gauge (มีหน่วยเป็น Bar กับ $m H_2O$.)
- ⑤ Compound gauge (มีหน่วยเป็น Bar กับ $m H_2O$.)
- ⑥ Velocity Head Correction = $V^2 / 2g$ ซึ่ง $V = Q/A$
- ⑦ ระยะห่างระหว่าง gauge centers (Datum Head correction)
- ⑧ Total Head = (Pressure + Velocity head + Datum Head correction)-Compound.
- ⑨ กดคลิกเมาส์ เมื่อต้องการกลับเข้าสู่หน้า Main Menu

หมายเหตุ นำผลการทดลองที่ได้ไปวาดกราฟระหว่าง Total Head กับ Flow rate ในที่นี้ไม่ได้ทำการแสดงไว้เนื่องจากไม่มีผลการทดลองที่แท้จริง

สรุปผลการทำโครงการพิเศษและข้อเสนอแนะ

สำหรับสื่อประกอบการเรียนการสอนที่จัดทำขึ้นมาจะเกี่ยวกับการทดลองทางชลศาสตร์ (HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY) โดยส่วนประกอบจะกล่าวถึงจุดประสงค์ การทดลอง ทฤษฎีบท อุปกรณ์การทดลอง และวิธีการทดลองพร้อมภาพประกอบ นอกจากนี้ยัง แสดงผลการทดลองในรูปของตาราง ซึ่งสามารถป้อนข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองลงไปได้และจะ แสดงผลออกมาในรูปของกราฟโดยอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกแก่ผู้ทำการทดลอง โดยทางคณะผู้ จัดทำ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าสื่อประกอบการเรียนการสอนที่จัดทำขึ้นมาจะสามารถสร้างประโยชน์ ให้กับผู้ใช้ได้มาก ซึ่งผลการศึกษาที่จะได้รับ คือ


- 1) ทำให้ผู้ใช้ทราบถึงขั้นตอนการทดลองและหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในวิชา Hydraulic Engineering Laboratory ได้เป็นอย่างดี
- 2) สร้างความสะดวกมากยิ่งขึ้นในการศึกษาและการทดลองในวิชา Hydraulic Engineering Laboratory ซึ่งสามารถทำการศึกษได้ด้วยตนเอง
- 3) เพื่อพัฒนาขีดความสามารถของสื่อการสอนในวิชา Hydraulic Engineering Laboratory ของภาควิชาวิศวกรรมโยธาให้มีความทันสมัยมากขึ้น
- 4) เพื่อเป็นประโยชน์ต่อภาควิชาวิศวกรรมโยธาและนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนใน รายวิชา Hydraulic Engineering Laboratory




ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

	KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG						
	HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY						
	EXPERIMENT	<u>HYDROSTATIC PRESSURE</u>					
COMPLETE IMMERSION							
		No1	No2	No3	No4	No5	No6
Total mass on arm	<i>M(g)</i>	0.50000	0.45000	0.40000	0.35000	0.30000	0.27000
Depth of water	<i>y(m)</i>	0.16600	0.15500	0.14300	0.13100	0.11900	0.11000
Area	<i>A(m²) × 10⁻³</i>	0.00750	0.00750	0.00750	0.00750	0.00750	0.00750
Depth of Centre of Area	<i>y_c(m)</i>	0.1160	0.1050	0.0950	0.0810	0.0690	0.0600
Second Moment of Area	<i>I_{xc}(m⁴) × 10⁻⁴</i>	6.2500	6.2500	6.2500	6.2500	6.2500	6.2500
Depth of Centre of Pressure	<i>y_p(m)</i>	0.1292	0.1129	0.1020	0.0913	0.0811	0.0739
Force on End Surface (Experiment)	<i>F_{ex}(N)</i>	8.582	7.687	6.788	5.891	4.993	4.444
Force on End Surface (Theoretical)	<i>F_{ex}(N)</i>	8.535	7.725	6.842	5.960	5.077	4.415

ตารางภาคผนวก 1. ความดันสถิตย (Hydrostatic Pressure)

	KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG						
	HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY						
	EXPERIMENT	<u>BERNOULLI'S THEOREM</u>					
<i>Vertical Distance from assumed Datum Line to Centerline of Venturi Tube (Z) = 1.00 m (ASSUME)</i>							
Pressure Gauge No.		1	2	3	4	5	6
Distance from 1 st Gauge	<i>m</i>	0.0000	0.0602	0.0656	0.0731	0.0810	0.1415
Diameter of Conduit	<i>m</i>	0.0250	0.0139	0.0112	0.0107	0.0100	0.0250
Cross-Sectional Area	<i>sqm</i>	0.000491	0.000152	0.000103	0.000090	0.000073	0.000491
Run No1							
Volume of water	= 0.005 m ³	<i>v = Q/A m/s</i>					
Time to collect	= 85 sec	<i>v²/2g m</i>					
Discharge compute Q	= 5.88E-05 m ³ /sec	<i>P/γ m</i>					
		<i>Z+v²/2g+P/γ m</i>					
		0.11583	0.38764	0.53729	0.65417	0.74536	0.11583
Run No2							
Volume of water	= 0.005 m ³	<i>v = Q/A m/s</i>					
Time to collect	= 82 sec	<i>v²/2g m</i>					
Discharge compute Q	= 6.62E-05 m ³ /sec	<i>P/γ m</i>					
		<i>Z+v²/2g+P/γ m</i>					
		0.17562	0.56810	0.73229	0.95270	1.09762	0.17562
Run No3							
Volume of water	= 0.005 m ³	<i>v = Q/A m/s</i>					
Time to collect	= 34 sec	<i>v²/2g m</i>					
Discharge compute Q	= 0.000147 m ³ /sec	<i>P/γ m</i>					
		<i>Z+v²/2g+P/γ m</i>					
		1.28887	1.27187	1.25517	1.23332	1.21563	1.2657

ตารางภาคผนวก 2 การศึกษาทฤษฎีของเบอนอลลี (Bernoulli's Theorem)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY			
EXPERIMENT	METACENTRIC HEIGHT		
1 St Position			
Position of G or CG of assembled position from base	$\bar{y} = 83$ mm		
Depth of immersion	$d = 21.07$ mm		
Position of B or CB from base	$d/2 = 10.54$ mm		
Second Moment of Area	$I = 211111$ cm ⁴		
Volume of Piston	$V = 1473.00$ cm ³		
Length of Bb - BV	$Bb = 138.19$ cm		
Length BG - $\bar{y} - d/2$	$BG = 72.46$ cm		
Distance of adjustable distance of cone x (mm)	Angle of heel α (degrees)	Metacentric height $G\bar{M} = \frac{m \cdot x}{d \cdot \cos \alpha}$ (mm)	Computed GM (eq. 4 or 5) (mm) = BM - BG
10	1.3	77.671	81.73
20	2.9	82.299	
30	4.2	81.089	
40	5.3	84.491	
50	7.0	82.824	
60	8.4	82.641	
70	9.3	81.079	
80	12.1	82.933	
Distance of adjustable distance of cone x (mm)	Angle of heel α (degrees)	Metacentric height $G\bar{M} = \frac{m \cdot x}{d \cdot \cos \alpha}$ (mm)	Computed GM (eq. 4 or 5) (mm) = BM - BG
10	1.3	83.626	81.73
20	2.6	83.380	
30	3.9	83.103	
40	5.2	83.373	
50	6.4	82.663	
60	7.6	81.460	
70	8.8	82.913	
80	10.2	82.433	

ตารางภาคผนวก 3 การหาความสูงเมตตาเซนตริก (Metacentric Height)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG										
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY										
EXPERIMENT	FLOW THROUGH ORIFICE									
ORIFICE TYPE : _____										
ORIFICE DIAMETER = 13 mm										
CROSS-SECTIONAL AREA OF ORIFICE = $1.3273E-04$ ตร.ม.										
Run No	Orifice Head (Ho) (m)	Volume of Water (cu.m)	Time to Collect Water (sec)	Discharge Q(actual) (cu.m/sec)	Pitot Tube Reading He (m)	Jet Diameter (m)	cross-section Area of a Jet (sq.m)	$C_v = \frac{A_j}{A_o}$	$C_d = \frac{H_e}{H_o}$	$C_c = \frac{Q}{A_o \sqrt{2gH_o}}$
1	0.302	0.005	17.5	0.0002857	0.361	1.170E-02	1.075E-04	0.810	0.999	0.808
2	0.354	0.005	18.01	0.0002716	0.353	1.180E-02	1.094E-04	0.824	0.999	0.794
3	0.351	0.005	18.13	0.0002758	0.350	1.160E-02	1.057E-04	0.796	0.999	0.792
4	0.272	0.005	20.03	0.0002496	0.271	1.130E-02	1.003E-04	0.756	0.998	0.814
5	0.152	0.005	26.5	0.0001887	0.151	1.100E-02	9.503E-05	0.716	0.997	0.823
Average								0.780	0.998	0.806

ตารางภาคผนวก 4 การไหลผ่านรูคอด (Flow through an orifice)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG															
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY															
EXPERIMENT				ORIFICE AND FREE JET FLOW											
DIAMETER OF ORIFICE (D_o) = 6.00 mm AREA OF ORIFICE (A_o) = 28.27 mm ²															
Run No	d_o (mm)	A_o (mm ²)	H (mm)	$C_d = \frac{A_v}{A_o}$	Volume water (m ³)	Time (sec)	Q (actual) (m ³ /s)	Q (theoretical) (m ³ /s)	C_d From Eq. 6	$C_d = \frac{C_d}{C_d}$	x (mm)	y (mm)	y (cal) (mm)	C_d From Eq. 8	$C_d = \frac{C_d}{C_d}$
1	5.50	23.76	260	0.840	1.418E-04	3.12	4.519E-05	6.894E-05	0.708	0.842	$x_1=30$	$y_1=3$	$y_1=0.9$	0.537	1.318
											$x_2=80$	$y_2=10$	$y_2=6.2$	0.784	0.902
											$x_3=130$	$y_3=22$	$y_3=16.3$	0.859	0.823
											$x_4=180$	$y_4=39$	$y_4=32.2$	0.894	0.792
											$x_5=230$	$y_5=62$	$y_5=50.9$	0.906	0.781
											$x_6=280$	$y_6=87$	$y_6=75.4$	0.931	0.760
											$x_7=330$	$y_7=121$	$y_7=104.7$	0.930	0.761
											$x_8=380$	$y_8=158$	$y_8=138.8$	1.003	0.706
											Average =				

ตารางภาคผนวก 5 ออร์ฟิซและสายน้ำที่พุ่งแบบอิสระ (Orifice and free jet flow)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG									
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY									
EXPERIMENT				IMPACT OF A JET					
Flat Target									
Run No	Volume of Water (m ³)	Time Collect (sec)	Flote Rate (m ³ /sec)	Velocity $v=Q/A$ (m/sec)	Momentum $F = \rho Qv(N)$	Mass on Wt. Pan $M(kg)$	Vertical Force(N)		comment
							$F = \frac{\rho Q^2}{A} (N)$	$F=mg (N)$	
1	0.005	20	0.00025	4.974	1.2434	0.1500	1.2434	1.4715	
2	0.005	21	0.00024	4.737	1.1278	0.1300	1.1278	1.2753	
3	0.005	23	0.00022	4.325	0.9402	0.1200	0.9402	1.1772	
4	0.005	25	0.00020	3.979	0.7958	0.1000	0.7958	0.9810	
5	0.005	26	0.00019	3.826	0.7357	0.0750	0.7357	0.7358	

ตารางภาคผนวก 6 แรงที่เกิดจากการพุ่งชนของสายน้ำ (Impact of A Jet)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 - 241 -
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG											
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY											
EXPERIMENT			FLOW METER								
Run No	Volume of Water to be Collected (cu.m)	Time to Collect Water (sec)	Flow Rate $Q \times 10^4$ (cu.m/sec)	VENTURIMETER				ORIFICEMETER			
				h_1 (m)	h_2 (m)	h_1-h_2 (m)	h_1-h_2 ^{4.5} (m ^{4.5})	h_1 (m)	h_2 (m)	h_1-h_2 (m)	h_1-h_2 ^{4.5} (m ^{4.5})
1	0.005	71.62	69.81	0.203	0.193	0.010	0.100	0.145	0.140	0.005	0.071
2	0.005	67.96	73.57	0.212	0.200	0.012	0.110	0.152	0.147	0.005	0.071
3	0.005	61.11	81.82	0.221	0.209	0.012	0.110	0.162	0.155	0.007	0.084
4	0.005	54.21	92.23	0.231	0.217	0.014	0.118	0.170	0.162	0.008	0.089
5	0.005	50.67	98.69	0.240	0.225	0.015	0.122	0.179	0.169	0.010	0.100
6	0.005	48.26	103.61	0.251	0.233	0.018	0.134	0.188	0.176	0.012	0.110
7	0.005	45.42	110.08	0.259	0.239	0.020	0.141	0.195	0.182	0.013	0.114
8	0.005	42.35	118.06	0.268	0.245	0.023	0.152	0.202	0.188	0.014	0.118
9	0.005	39.24	127.42	0.281	0.255	0.026	0.161	0.213	0.196	0.017	0.130
10	0.005	38.11	131.20	0.293	0.264	0.029	0.170	0.222	0.205	0.017	0.130
11	0.005	37.08	134.84	0.303	0.270	0.033	0.182	0.230	0.210	0.020	0.141
12	0.005	34.68	144.18	0.310	0.277	0.033	0.182	0.237	0.215	0.022	0.148
13	0.005	33.14	150.88	0.318	0.282	0.036	0.190	0.244	0.220	0.024	0.155


ตารางภาคผนวก 7 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flowmeter)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG														
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY														
EXPERIMENT			ENERGY LOSS IN PIPE											
Pipe Diameter = D = 3 mm			Water Temperature = T = 33 °C											
Cross Sectional Area = A = 7E-05 sqm			Kinematic Viscosity = ν = 8E-07 sqm/sec											
Length of Pipe = L = 0.51 m			ความหนืดจลนศาสตร์ = ν = 136 kg/cm											
Run No	Volume Water (m ³)	Time Collect (sec)	Flow Rate (m ³ /sec)	Velocity V (m/s)	R (m)	h_f	f_e	$\log h_f$	$\log V$	$\log f_e$	f'	$\log f$	Moody Diagram	
													$\frac{e}{D}$	ϵ (mm)
1	0.0005	65	1.94E-06	1.123	0.014	0.176	4491	-0.7535	0.0503	3.6524	0.0161	-1.7918		
2	0.0005	45	1.11E-05	1.572	0.025	0.315	6288	-0.5017	0.1964	3.7985	0.0147	-1.8323		
3	0.0005	31	1.61E-05	2.282	0.048	0.605	9127	-0.2184	0.3583	3.9603	0.0134	-1.8727		
4	0.0005	24	2.08E-05	2.947	0.076	0.958	11789	-0.0188	0.4694	4.0715	0.0127	-1.8954		
5	0.0005	20	0.000025	3.537	0.107	1.348	14147	0.1298	0.5486	4.1507	0.0124	-1.9052		
6	0.0005	19	2.63E-05	3.723	0.125	1.575	14892	0.1973	0.5709	4.1729	0.0131	-1.8822		
7	0.0005	17	2.94E-05	4.161	0.146	1.840	16644	0.2647	0.6192	4.2212	0.0123	-1.9114		
8	0.0005	16	3.13E-05	4.421	0.164	2.066	17684	0.3152	0.6455	4.2476	0.0122	-1.9156		
9	0.0005	15	3.33E-05	4.716	0.168	2.117	18863	0.3257	0.6735	4.2756	0.011	-1.9592		
10	0.0005	13	3.83E-05	5.441	0.17	2.142	21765	0.3308	0.7357	4.3378	0.0083	-2.0783		

ตารางภาคผนวก 8 การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ (Energy loss in Pipe)

		KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							
		HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY							
EXPERIMENT		<u>LOSS IN BEND</u>							
<p>TYPE OF BENDS :</p> <p>INNER DIAMETER = <u>19.48</u> mm</p> <p>OUTSIDE DIAMETER = <u>26.2</u> mm</p> <p>AREA = <u>2.9804E-04</u> sq.m</p>									
Run No	Volume Water (cu.m)	Time (sec)	Discharge Q (cu.m/sec)	H1 (m)	H2 (m)	ΔH (m)	Area($\times 10^{-4}$) (sq.m)	V=Q/A (m/sec)	$K = \frac{\Delta H \cdot 2g}{v^4}$
1	0.005	45	1.111E-04	0.314	0.309	0.005	2.9804E-04	0.3728	0.70581
2	0.005	28	1.786E-04	0.310	0.296	0.014	2.9804E-04	0.5992	0.76514
3	0.005	20	2.500E-04	0.359	0.332	0.027	2.9804E-04	0.8388	0.75287
4	0.005	27	1.857E-04	0.310	0.291	0.019	2.9804E-04	0.6214	0.96555
5	0.005	21	2.381E-04	0.359	0.331	0.028	2.9804E-04	0.7989	0.86078
Average									0.81003

ตารางภาคผนวก 9 การสูญเสียพลังงานการไหลในข้อต่อแบบต่างๆ (Energy loss in Bends)

		KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG									
		HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY									
EXPERIMENT		<u>REYNOLD'S NUMBER</u>									
Run No	Volume Water (cu.m)	Time (sec)	Discharge Q (cu.m/sec)	Temperature (°C)	$\nu(10^{-4})$ (sq.m/s)	Diameter 10^{-2} (m)	Area 10^{-4} (m ²)	V=Q/A 10^{-2} (m/s)	Re = $\frac{vD}{\nu}$	Result	
1	0.202	10	2.020E-02	30.0	0.89	1.00	0.7854	25.719	2.890	Turbulent	ขุ่นไม่เป็นชั้น
2	0.2	10	2.000E-02	30.0	0.89	1.00	0.7854	25.465	2.861	Turbulent	ขุ่นไม่เป็นชั้น
3	0.176	10	1.760E-02	30.0	0.89	1.00	0.7854	22.409	2.518	Turbulent	ขุ่นไม่เป็นชั้น
4	0.162	10	1.620E-02	30.0	0.89	1.00	0.7854	20.626	2.318	Turbulent	ขุ่นไม่เป็นชั้น
5	0.158	10	1.580E-02	30.0	0.89	1.00	0.7854	20.117	2.260	Turbulent	ขุ่นไม่เป็นชั้น
6	0.128	10	1.280E-02	30.0	0.89	1.00	0.7854	16.297	1.831	Laminar	ขุ่นจาง
7	0.124	10	1.240E-02	30.0	0.89	1.00	0.7854	15.788	1.774	Laminar	ขุ่นจาง
8	0.05	10	5.000E-03	30.0	0.89	1.00	0.7854	6.366	715	Laminar	ขุ่นจาง
9	0.048	10	4.800E-03	30.0	0.89	1.00	0.7854	6.112	687	Laminar	ขุ่นจาง
10	0.028	10	2.800E-03	30.0	0.89	1.00	0.7854	3.565	401	Laminar	ขุ่นจาง

ตารางภาคผนวก 10 การศึกษาทฤษฎีของ Osborne Reynold (Reynold's Number)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG								
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY								
EXPERIMENT	FLOW OVER NOTCH							
TECHNICAL DETAILS Overall Dimensions of Weir Plate : Height = 160 mm Width = 230 mm Thickness = 2 mm RECTANGULAR NOTCH Width of Notch = 30 mm Height of Notch = 82 mm								
Run Nb	Volume of Water to be Collected (m ³)	Time to Collect Water (s)	Flow Rate Q (m ³ /s) (10 ⁻⁴)	H (m) (10 ⁻¹)	H ^{1.5} (m ^{1.5}) (10 ^{-1.5})	$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} L H^{1.5} \sqrt{2g}}$	$Q = CH^m$	
							log H	log Q
1	0.0030	15.40	194.81	21.10	3.065	0.7138	-1.6757	-3.7104
2	0.0030	10.10	297.03	32.80	5.940	0.5616	-1.4841	-3.5272
3	0.0030	6.80	441.18	40.50	8.150	0.6079	-1.3925	-3.3554
4	0.0030	5.20	576.92	45.60	9.737	0.6654	-1.3410	-3.2389
5	0.0030	4.90	612.24	49.20	10.913	0.6301	-1.3080	-3.2131
6	0.0030	3.60	833.33	56.00	13.252	0.7002	-1.2518	-3.0792
7	0.0030	3.10	967.74	57.80	13.896	0.7821	-1.2381	-3.0142
8	0.0030	3.00	1000.00	63.50	16.001	0.7019	-1.1972	-3.0000
9	0.0030	2.60	1153.85	67.50	17.537	0.7389	-1.1707	-2.9379
10	0.0030	2.40	1250.00	70.90	18.879	0.7436	-1.1494	-2.9031
Average						0.6852		

ตารางภาคผนวก 11 การไหลผ่านน็อก (Flow over Notch)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG									
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY									
EXPERIMENT	FLOW OVER WEIRS								
OGEE SPILLWAY LENGTH OF CREST = 59.8 cm HEIGHT OF OGEE SPILLWAY = 20.3 cm									
Run Nb	Volume of Water to be Collected (cu.m)	Time to Collect water (sec)	Flow Rate Q (cu.m/sec)	Head H (m)	$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} H^{1.5}$		$Q = CH^m$		comment
					H ^{1.5}	C _d	log H	log Q	
1	0.5	83	0.0060	0.033	0.00599	0.56906	-1.48149	-2.2201	
2	0.5	21	0.0239	0.067	0.01734	0.77746	-1.17393	-1.0232	
3	0.5	12	0.0417	0.089	0.03115	0.75749	-1.00436	-1.3802	
4	0.5	8	0.0625	0.123	0.04314	0.82047	-0.91009	-1.2041	
5	0.5	7	0.0714	0.144	0.05464	0.74023	-0.84164	-1.1461	
6	0.5	5	0.1000	0.16	0.06400	0.88483	-0.79588	-1.0000	
7	0.5	5	0.1000	0.17	0.07009	0.80792	-0.76955	-1.0000	
8	0.5	5	0.1000	0.176	0.07384	0.76666	-0.75449	-1.0000	
9	0.5	5	0.1000	0.178	0.07510	0.75407	-0.74958	-1.0000	
10	0.5	5	0.1000	0.179	0.07573	0.74776	-0.74715	-1.0000	
Average						0.76263			

ตารางภาคผนวก 12 การไหลผ่านเวีย (Flow over Weirs)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG												
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY												
EXPERIMENT						HYDRAULIC RAM						
Run No	Load on Valve (kg)	Reservoir Head HI (m)	Delivery Head HI (m)	Reservoir Volume Collected (l)	Time to Collect (sec)	Supply Flow Rate Q_s (10^{-3} cum/sec)	Delivery Volume Collected (10^{-3} cum)	Time to Collect (sec)	Delivery Flow Rate Q_d (10^{-3} cum/sec)	Pumping Efficiency %	Head Amplification Factor HAF	
1	0.010	0.9850	1.350	1.00	7.0	1.4286	17.00	20	8.50	5.95	1.371	
2	0.010	0.9800	1.350	3.00	12.0	2.5000	19.00	20	9.50	3.80	1.378	
3	0.050	0.9900	1.300	3.00	19.5	1.5385	18.30	20	9.15	5.95	1.313	
4	0.050	0.9900	1.350	3.00	19.0	1.5789	19.00	20	9.50	6.02	1.364	
5	0.050	0.9980	1.400	3.00	18.8	1.5957	18.10	20	9.05	5.67	1.403	
6	0.100	0.9850	1.400	3.00	16.0	1.8750	14.00	20	7.00	3.73	1.421	
										Average	5.19	1.375

ตารางภาคผนวก 13 การทดสอบการทำงานของเครื่องตะบันน้ำ (Hydraulic Ram)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG													
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY													
EXPERIMENT							IMPULSE TURBINE						
ผลจากทดลองและกราดคำนวณ ของ Impulse Turbine													
Brake drum radius : 3×10^{-3} m													
Total force = $W^1 - W^2$													
R.P.M	ω (rad/s)	W^1 (N)	W^2 (N)	$W^1 - W^2$ (N)	Drum Radius $\times 10^{-3}$	Torque (Nm)	P_s (W)	Vol (m^3)	Time (sec)	Flowrate (m^3/s)	Pressure (mH ₂ O)	P_w (N)	Efficiency (%)
		0.0			3.0								
		1.0			3.0								
		1.5			3.0								
		2.0			3.0								
		2.5			3.0								
		3.0			3.0								
		3.5			3.0								
		4.0			3.0								
		4.5			3.0								
		5.0			3.0								
		5.5			3.0								
		6.0			3.0								
		6.5			3.0								
		7.0			3.0								


ตารางภาคผนวก 14 การทดสอบการทำงานของเครื่องกังหันน้ำ (Pelton Turbine)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG												
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY												
EXPERIMENT						CENTRIFUGAL PUMP						
ผลการทดลองและการคำนวณของ Centrifugal Pump												
R.P.M	Inlet Pressure (mH ₂ O)	Discharge Pressure (mH ₂ O)	Gauge Correction Head	Total Head (mH ₂ O)	Volume (cu.m)	Time (sec)	Q (cu.m/Sec)	Water Power (P = ρgHQ) (Watt)	Amps	Volts	Power Input (Watt)	Efficiency (η %)
2,000			0.80									
2,000			0.80									
2,000			0.80									
2,000			0.80									
2,500			0.80									
2,500			0.80									
2,500			0.80									
2,500			0.80									
3,000			0.80									
3,000			0.80									
3,000			0.80									
3,000			0.80									

ตารางภาคผนวก 15 การทดสอบการทำงานของปั๊มรูปหอยโข่ง (Centrifugal Pump)

KINGMONGUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG					
HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY					
EXPERIMENT			SERIES & PARALLEL PUMP		
ผลการทดลองและการคำนวณของ Parallel Pump (of the same pump)					
Discharge Pressure (mH ₂ O)	Drawn Head Collect (m)	Total Head (mH ₂ O)	Volume (l)	Time (sec)	Flow Rate Q (l/sec)
8.00	0.8	7.20			
10.00	0.8	9.20			
12.00	0.8	11.20			
14.00	0.8	13.20			
16.00	0.8	15.20			
18.00	0.8	17.20			
20.00	0.8	19.20			

ตารางภาคผนวก 16 การต่อปั๊มแบบอนุกรมและแบบขนาน (Series and Parallel Pumps)

		KINGMONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG						
		HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY						
EXPERIMENT		FORCE VORTEX FLOW						
ทดลองที่ความเร็วรอบ $\omega = 8.1248 \text{ Rps}$ (ได้จากการจับเวลาแล้วนับจำนวนรอบที่หมุน)								
Run No	R (mm)	R^2 (mm ²)	Depth Gauge (mm)	Z_{actual} (mm)	$Z_{theorem}$ (mm)	Pitot Tube (mm)	H_{actual} (mm)	$H_{theorem}$ (mm)
1	0	0.00	17.0	0	0	95.0	0	0
	10	100.00	18.5	1.5	0.34	97.0	2	0.7
	20	400.00	21.0	4	1.35	100.0	5	2.7
	30	900.00	23.0	6	3.08	103.0	8	6.1
	40	1,600.00	26.5	9.5	5.39	108.0	14	10.8
	60	3,600.00	32.0	15	12.11	121.0	26	24.2
2	0	0.00	17.1	0	0	94.0	0	0
	10	100.00	18.3	1.2	0.34	97.0	3	0.7
	20	400.00	21.0	3.9	1.35	99.0	5	2.7
	30	900.00	23.1	6	3.08	103.0	9	6.1
	40	1,600.00	27.0	9.9	5.39	108.0	14.9	10.8
	60	3,600.00	32.2	15.1	12.11	121.1	27.1	24.2

ภาคผนวก 17 การหมุนวนแบบอิสระและแบบบังคับ (Free and forced vortex flow)



KINGMONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

HYDRAULIC ENGINEERING LABORATORY

EXPERIMENT

OPEN CHANNEL FLOW

Run No	AJ bd1	PJ b+2d1	RI A1/P1	A2 bd2	P2 b+2d2	R2 A2/P2	R(av) (R1+R2)/2	V1 Q/A1	V2 Q/A2	$\frac{V(av)}{(V1+V2)/2}$	$\frac{V^2}{2g}$	$\frac{V^2}{d_1 + \frac{V^2}{2g}}$	$\frac{V^2}{2g}$	$\frac{V^2}{d_1 + \frac{V^2}{2g}}$	$\frac{V^2}{2g}$	$\frac{V^2}{d_1 + \frac{V^2}{2g}}$	S ₀	S	$\sqrt{R(av)S}$	$R^{2/3}(av)S^{1/2}$	n	C
1	0.065	0.816	0.0794	0.068	0.826	0.0821	0.08075	0.6430	0.6146	0.6288	0.02107	0.12907	0.01925	0.13225	0.004	0.00360	0.0171	0.011214	0.0178	36.864		
2	0.065	0.818	0.0800	0.085	0.882	0.0959	0.08793	1.0922	0.8443	0.9682	0.06080	0.16980	0.03633	0.17733	0.004	0.00306	0.0164	0.010935	0.0113	59.044		
3	0.175	1.182	0.1477	0.197	1.256	0.1567	0.15220	0.5727	0.5081	0.5404	0.01672	0.30772	0.01316	0.34116	0.004	-0.00018	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!		
4	0.204	1.280	0.1594	0.229	1.364	0.1680	0.16371	0.4902	0.4363	0.4632	0.01225	0.35225	0.00970	0.39170	0.004	-0.00093	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!		
5	0.230	1.368	0.1684	0.250	1.432	0.1743	0.17136	0.4340	0.4006	0.4173	0.00960	0.39360	0.00818	0.42418	0.004	0.00018	0.0055	0.004111	0.0099	75.662		
6	0.111	0.970	0.1144	0.133	1.044	0.1276	0.12101	0.3754	0.3128	0.3441	0.00718	0.19218	0.00499	0.22699	0.008	0.00365	0.0210	0.014779	0.0430	16.374		
7	0.188	1.228	0.1534	0.221	1.336	0.1653	0.15934	0.3791	0.3235	0.3513	0.00733	0.32133	0.00533	0.37333	0.008	0.00150	0.0155	0.011380	0.0324	22.731		
8	0.218	1.326	0.1643	0.253	1.444	0.1753	0.16980	0.4591	0.3949	0.4270	0.01074	0.37374	0.00795	0.42995	0.008	0.00097	0.0129	0.009571	0.0224	33.201		
9	0.230	1.368	0.1684	0.267	1.490	0.1792	0.17381	0.4340	0.3745	0.4043	0.00960	0.39360	0.00715	0.45215	0.008	0.00068	0.0109	0.008130	0.0201	37.147		
10	0.232	1.374	0.1690	0.272	1.506	0.1805	0.17474	0.4307	0.3679	0.3993	0.00945	0.39645	0.00690	0.45090	0.008	0.00007	0.0035	0.002601	0.0065	114.796		
11	0.031	0.702	0.0436	0.029	0.698	0.0421	0.04286	1.3617	1.4172	1.3894	0.09450	0.14850	0.10237	0.15137	0.012	0.01127	0.0220	0.012998	0.0094	63.235		
12	0.047	0.756	0.0619	0.043	0.744	0.0581	0.05998	1.5263	1.6534	1.5898	0.11873	0.19673	0.13934	0.21134	0.012	0.01017	0.0247	0.015456	0.0097	64.358		
13	0.055	0.784	0.0704	0.053	0.776	0.0680	0.06922	1.8116	1.8939	1.8528	0.16727	0.25927	0.18282	0.27082	0.012	0.01056	0.0270	0.017322	0.0093	68.539		
14	0.059	0.796	0.0739	0.057	0.790	0.0722	0.07301	1.7007	1.7544	1.7275	0.14742	0.24542	0.15687	0.25187	0.012	0.01119	0.0286	0.018481	0.0107	60.432		
15	0.060	0.800	0.0750	0.058	0.792	0.0727	0.07386	1.6667	1.7361	1.7014	0.14158	0.24158	0.15362	0.24962	0.012	0.01099	0.0285	0.018459	0.0108	59.704		
16	0.027	0.690	0.0391	0.025	0.684	0.0368	0.03799	1.5432	1.6534	1.5983	0.12138	0.16638	0.13934	0.18134	0.016	0.01413	0.0232	0.013432	0.0084	68.989		
17	0.044	0.746	0.0587	0.040	0.732	0.0541	0.05564	1.6508	1.8038	1.7173	0.13555	0.20855	0.16583	0.23183	0.016	0.01309	0.0272	0.016828	0.0098	63.198		
18	0.053	0.778	0.0686	0.047	0.758	0.0625	0.06559	1.8727	2.1097	1.9912	0.17874	0.26774	0.22685	0.30585	0.016	0.01124	0.0271	0.017239	0.0087	73.351		
19	0.055	0.784	0.0704	0.050	0.766	0.0650	0.06771	1.8116	2.0080	1.9098	0.16727	0.25927	0.20551	0.28851	0.016	0.01234	0.0289	0.018458	0.0097	66.058		
20	0.059	0.796	0.0739	0.053	0.776	0.0680	0.07096	1.7007	1.8939	1.7973	0.14742	0.24542	0.18282	0.27082	0.016	0.01282	0.0302	0.019409	0.0108	59.582		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] W.R. Lomax & A.J. Saul, "Laboratory Work in Hydraulics", Granada Publishing, 1979.
- [2] Armfield, "Engineering Teaching and Research Equipment (Instruction Manual)", Technicom Engineering Co.,Ltd., Bangkok.
- [3] ESSOM, "เอกสารประกอบชุดอุปกรณ์การทดลอง", ESSOM Co.,Ltd., Bangkok.
- [4] S.K.LIKHI, "Hydraulics Laboratory Manual", Wiley Eastern Limited & New Age International Limited, Newdelhi, 1995.
- [5] กิตติพงษ์ จิระบุติ, "คู่มือปฏิบัติการวิศวกรรมชลศาสตร์ (Hydraulic Engineering Laboratory CIVL0362)", ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2539.
- [6] ไตรรัตน์ ศรีวัฒนา, ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล, พงศ์ศักดิ์ เสริมสาธิต, "การทดลองทางชลศาสตร์", ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กันยายน 2524.
- [7] คณะอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, "การทดลองทางชลศาสตร์ (CVE 394 Hydraulics Laboratory)", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- [8] วีระพนธ์ คำดี, "Macromedia Authorware 5", Success Media Co.,Ltd., Bangkok.