



ชุดทดสอบการไหลของของไหล  
FLUID FLOW TESTING APPARATUS



โดย  
นายวิภู วิศวเวช  
นายอนุชิต อิศราธาร  
นายเอกวิษณุ เอกไทยเจริญ

อาจารย์ที่ปรึกษา  
ดร.ชินรัชย์ เขียรพงษ์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **42466**  
วัน, เดือน, ปี **2 3 พ.ค. 2545**

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ ๒)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดสอบการไหลของของไหล

FLUID FLOW TESTING APARATUS

ผู้จัดทำ

- |                            |              |          |
|----------------------------|--------------|----------|
| 1. นายวิภู วิสวเวช         | รหัสประจำตัว | 40010739 |
| 2. นายอนุชิต อิศราธาร      | รหัสประจำตัว | 40010943 |
| 3. นายเอกวิษณุ เอกไทยเจริญ | รหัสประจำตัว | 40011045 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Fluid Flow Testing Apparatus

นายวิภู วิศวกรรม 40010739

นายอนุชิต อิศราธาร 40010493

นายเอกวิษณุ เอกไทยเจริญ 40011045

ดร. ชินรักษ์ เขียวพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

## บทคัดย่อ

ทฤษฎีทางด้านกลศาสตร์ของไหลนับว่าเป็นทฤษฎีที่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาถึงของไหลที่ไหลภายในท่อ ซึ่งได้รับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ของไหลที่ใช้ก็มีหลายชนิด เช่น อากาศ น้ำ และน้ำมัน เป็นต้น ดังนั้นการที่มีพื้นฐานที่ดีเกี่ยวกับทฤษฎีทางด้านนี้ นับว่ามีประโยชน์มาก

ในการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเรียนรู้ และสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ทดลองและศึกษาเกี่ยวกับการไหลของของไหลภายในท่อ และเมื่อของไหลไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยของไหลที่ใช้ในการทดลองคือ อากาศ และจะทำการทดลองหาค่าความดันตกคร่อม (Pressure drop) และ รูปร่างความเร็ว (Velocity Profile) เมื่ออากาศไหลภายในท่อผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ข้องอที่ติดตั้งแผ่นครีบควบคุมทิศทางการไหลภายใน, Orifice และ Diffuser โดยใช้ Blower เป็นตัวดูดอากาศเข้ามาในชุดการทดลอง

ในปฏิญานีพนธ์นี้ ได้แสดงทฤษฎีที่ใช้ ขั้นตอนการออกแบบและการสร้างอุปกรณ์การทดลอง ขั้นตอนการทำ การทดลองและผลการทดลองที่ได้ และได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลทางทฤษฎีให้เห็นได้อย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Fluid Flow Testing Apparatus

Vipu Visavavaja

Anuchit Isratan

Ekawish Ekthaicharern

Dr. Chinaruk Thianpong

### Abstract

The fluid mechanic theory is considered to be a very important theory, especially in the study of the fluid flow in the pipe, which is applied to use in many industries. There are many types of working fluid such as air, water and oil. So the good basic about this theory is very useful.

The objective of this project is to design and build the laboratory equipment to study about the fluid flow in the pipe and find the result of the pressure drop and velocity profile when the fluid flows through different equipment, such as orifice, diffuser and bend with guide vane. In this project, air is used as working fluid, which is drawn to the system by a blower.

In this thesis, fundamental theory, designing step, apparatus building and experimental procedure were explained. And the experimental results were compared to the theory results.

### กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ ก็เพราะความช่วยเหลือ ให้การสนับสนุน และร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลงได้ก็คือ ดร. ชินรัช เชียรพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณอาจารย์มิ่ง โลกิจแสงทอง และอาจารย์ทวี เทศเจริญ ที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือทางด้านการเขียนแบบ และการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบพระคุณ พี่มณฑา เทียมเมือง และพี่น้องรุติดี ร่วมกระโทก เป็นผู้ให้ความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และการปฏิบัติต่างๆ ในการทำปริญญาครั้งนี้



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

|   | หน้าที่ |
|---|---------|
| บทคัดย่อภาษาไทย   | I       |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ  | II      |
| กิตติกรรมประกาศ   | III     |
| สารบัญ  | IV      |
| บทที่ 1 บทนำ  | 1       |
| 1.1 วัตถุประสงค์งานวิจัย                                    | 1       |
| 1.2 ขอบเขตของงานวิจัย                                       | 1       |
| 1.3 วิธีการดำเนินงาน  | 1       |
| บทที่ 2 การไหลของของไหล                                     | 3       |
| 2.1 ชนิดการไหลของของไหล                                     | 3       |
| 2.2 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย                            | 3       |
| 2.3 สมการความต่อเนื่อง                                      | 5       |
| 2.4 สมการพลังงาน  | 5       |
| บทที่ 3 การไหลในท่อ   | 7       |
| 3.1 ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์                                  | 7       |
| 3.2 สมการทั่วไปสำหรับการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทาน | 8       |
| 3.3 การไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม                               | 10      |
| 3.4 ชั้นความหนืดในการไหลแบบปั่นป่วน                         | 11      |
| 3.5 velocity profile in turbulent flow                      | 12      |
| 3.6 แผนภูมิสำหรับหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน                  | 12      |
| 3.7 ค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองสำหรับการไหลในท่อ      | 15      |
| บทที่ 4 การวัดของไหล  | 19      |
| 4.1 การวัดความดัน   | 19      |
| 4.2 การวัดความเร็ว  | 19      |
| 4.3 การวัดอัตราการไหล                                       | 20      |
| บทที่ 5 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์การทดลอง                      | 26      |
| บทที่ 6 การคำนวณผลทางทฤษฎี                                  | 33      |
| บทที่ 7 ผลการทดลอง  | 37      |
| บทที่ 8 สรุปผลการทดลอง                                      | 41      |
| บรรณานุกรม  | 42      |
| ภาคผนวก   | 43      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 วัตถุประสงค์งานวิจัย

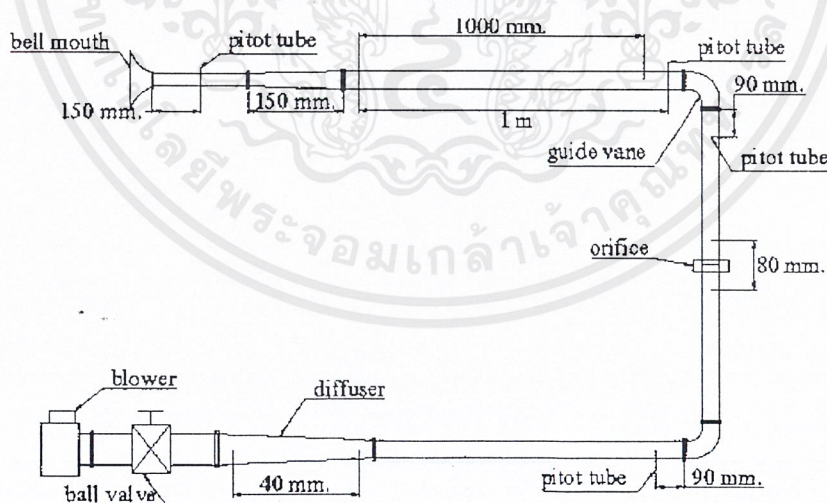
1.1.1. ศึกษา pressure drop ที่เกิดขึ้นจากการไหลของอากาศภายในท่อ

1.1.2. ศึกษาความเร็วของอากาศเมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ

1.1.3. สร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของไหล

### 1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

ปัจจุบันกระบวนการในทางวิศวกรรมการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านในท่อเป็นสิ่งหนึ่งที่มีโอกาสพบได้บ่อยครั้งสำหรับวิศวกร ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการอธิบายและแสดงถึงคุณสมบัติลักษณะของศาสตร์ของการไหลภายในท่อ โดยจะทำการจำลองชุดทดลองขึ้นมา 1 ชุดการทดลอง โดยอาศัยทฤษฎีต่างๆ มาทำการอธิบายโดยชุดการทดลองจะมีการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความดันของของไหล เมื่อผ่านท่อ ผลเมื่อผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล อุปกรณ์เครื่องมือวัดค่า ผลของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดท่อสี่เหลี่ยม และวงกลม การเปลี่ยนทิศทางการไหลของท่อโดยช่องที่ภายในมี Guide vane และไม่มี โดยเปรียบเทียบกับทางทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ โดยอาศัยหลักของพลังงาน สมการความต่อเนื่อง การสูญเสียทางปฏิบัติ ซึ่งในการทดลองเราจะทำการวัดความดันที่จุดต่างๆ รวมถึงความดันตกคร่อม เพื่อนำไปคำนวณหา Pressure Drop อัตราการไหล ความเร็ว และอื่นๆ ค่าการคำนวณทางทฤษฎีและความเป็นจริงมาเปรียบเทียบกัน และอธิบายพฤติกรรมต่างๆ



รูปที่ 1-1 แสดงชุดทดลองการไหลของอากาศผ่านส่วนประกอบต่างๆ

### 1.3 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งก็มีเรื่องหลักๆ อยู่ 3 เรื่องด้วยกัน คือ รูปแบบการไหลของของไหล ทฤษฎีการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อ การวัดเอกลักษณะเป็นเอกสารที่ลงนามแล้ว หรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นให้เขียนไปใช้ประโยชน์การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าต่างๆที่เกิดขึ้นจากการไหลไม่ว่าจะเป็นความดัน ความเร็ว จากนั้นก็จะนำความรู้ที่ได้ศึกษามาทั้งหมดมา ออกแบบชุดทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 5

จากนั้นก็เริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการทดลอง โดยบทที่ 7 จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้ และยัง อธิบายถึงลักษณะที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ส่วนรายละเอียดในบทที่ 6 จะเป็นการตรวจสอบผลที่ได้จาก การทดลองกับผลทางทฤษฎีว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่ และบทที่ 8 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายจะเป็นการสรุป การทำงานและวิจารณ์ผล ผลที่ได้รับจากวิจัย และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้เพิ่มเติม และแนวทาง การนำไปประยุกต์ใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีการไหลของของไหล

#### 2.1 ชนิดการไหลของของไหล

ชนิดการไหลของของไหลมีการแบ่งอยู่หลายลักษณะ ดังต่อไปนี้

การไหลแบบคงตัวและการไหลแบบไม่คงตัว

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

**การไหลแบบคงตัว (Steady flow)** การไหลจะคงตัวก็ต่อเมื่อของไหลนั้นมีคุณลักษณะต่างๆ เช่น ความเร็ว ความดัน ความหนาแน่น และอื่นๆ ที่จุดใดจุดหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของไหลที่ผ่านท่อทางในอัตราไหลที่คงที่

**การไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady flow)** การไหลจะไม่คงตัวก็ต่อเมื่อคุณลักษณะของของไหลตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งหมดขณะที่เกิดการเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่จุดต่างๆ ในของไหล การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลของของไหลที่ผ่านท่อในอัตราการไหลที่ไม่คงที่

**การไหลแบบเอกภาพ (Uniform flow)** ขณะที่ความเร็วในการไหลของของไหลไม่การเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทาง จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในของไหล เช่น การไหลของของเหลวภายใต้ความดันไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางคงที่

**การไหลแบบเอนกภาพ (Non-uniform flow)** ความเร็วของการไหลของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในของไหล เช่น การไหลของของเหลวภายใต้ความดันไหลผ่านท่อขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่คงที่

**การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)** การไหลของของไหลที่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปเป็นแผ่นบางๆ หรือเป็นชั้นเรียบบาง อนุภาคของของไหลจะไม่แตกกระจาย และจะเคลื่อนที่ในแนวขนานเป็นชั้นๆ ไม่ปะปนกัน โดยที่ชั้นของของไหลแต่ละชั้นจะเคลื่อนที่อย่างมีระเบียบราบเรียบ การไหลแบบราบเรียบเกิดจากความหนืดของของไหลที่ไหลเป็นไปตามกฎความหนืดของนิวตัน ( $\tau = \mu dy/dx$ ) ความเร็วในการไหลจะมีค่า

**การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)** การไหลส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Turbulent แทบทั้งสิ้น การไหลของของไหลซึ่งในขณะนั้น อนุภาคของของไหลเคลื่อนตัวแบบไม่เป็นระเบียบ และมีการหมุนวนปั่นป่วนขณะไหลในระหว่างชั้นของของไหลอย่างรวดเร็วตลอดเวลา ความเร็วในการไหลจะมีค่าสูง

#### 2.2 อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย (Flow rate and mean velocity)

อัตราการไหล (Flow rate) คือ ปริมาณของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วเฉลี่ย (Mean velocity) เนื่องจากของไหลมีความหนืด ขณะไหลจึงมีความเสียดทานและความเค้นเฉือนเกิดขึ้นได้เสมอ จึงทำให้ความเร็วของของไหลตลอดพื้นที่หน้าตัดมีค่าไม่เท่ากัน เช่น ของไหลที่ผ่านท่อกลม ที่บริเวณกึ่งกลางท่อจะมีความเร็วสูงสุด และบริเวณผนังท่อมีความเร็วต่ำมากซึ่งอาจมีค่าเป็นศูนย์ได้ ดังนั้นการนำความเร็วของของไหลไปคำนวณย่อมมีความยุ่งยากและสับสนมาก จึงได้มีการกำหนดความเร็วเฉลี่ยขึ้นเพื่อนำไปใช้กับสมการต่างๆ ได้ ความเร็วเฉลี่ยอาจจะหาได้จากสมการ

$$V = \frac{1}{A} \int V dA$$

โดย  $V$  คือ ความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่ง

$Q$  คือ อัตราการไหลของของไหล

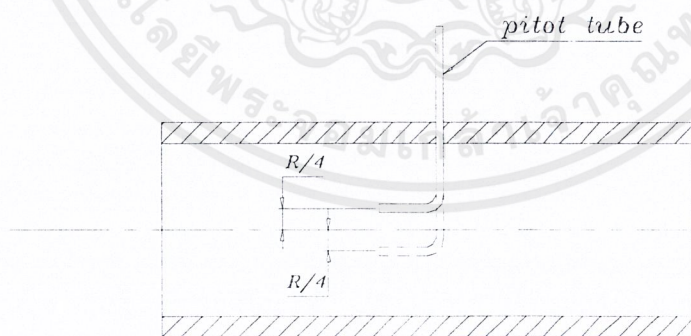
$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

อัตราการไหล มีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ยดังนี้

$$Q = \int_A V dA = AV \quad (2.1)$$

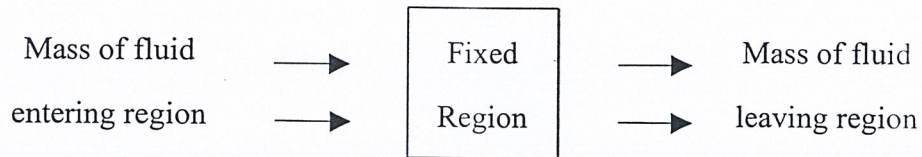
ถ้ารู้ค่าอัตราการไหลแล้วย่อมหาความเร็วเฉลี่ยได้โดยตรง

ในทางปฏิบัตินั้นจะหาค่าความเร็วเฉลี่ยโดยจะวัดขึ้นไปจากแกนท่อเป็นระยะ  $h/4$  และวัดลงมาจากแกนท่อเป็นระยะ  $h/4$  และนำทั้งสองค่าที่ได้มาทำการเฉลี่ย



รูปที่ 1-1 แสดงตำแหน่งการหาความเร็วเฉลี่ย

### 2.3 สมการต่อเนื่อง (Equation of continuity)



รูปที่ 1-2 แสดงมวลของไหลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนด

สสารใน Fixed Region ไม่สามารถสร้างขึ้นเองหรือถูกทำลายได้ ดังนั้นอัตราการไหลที่มวลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนดจะเท่ากับอัตราการไหลที่มวลไหลออกจากขอบเขตที่กำหนดรวมกับอัตราการ Accumulation ของมวลในขอบเขตนั้น ถ้าการไหลเป็นแบบ Steady (ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา) แล้วอัตราการไหลที่มวลไหลเข้าขอบเขตที่กำหนดจะเท่ากับอัตราการไหลที่มวลไหลออกจากขอบเขตที่กำหนด

$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad (2.2)$$

โดย  $V_1, V_2$  เป็นความเร็วของของไหล ( $m/s$ )

$\rho$  เป็นความหนาแน่นของของไหล ( $kg/m^3$ )

$A$  เป็นพื้นที่หน้าตัดของท่อทางไหลในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหล ( $m^2$ )

### 2.4 Energy's Equation

สมการพลังงานจะถูกนำไปใช้กับการไหลของของไหล เมื่อของไหลเคลื่อนที่ก็จะมีพลังงานต่างๆเกิดขึ้นด้วย เช่น พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์ปัญหาของของไหลที่เคลื่อนที่อาจทำได้โดยใช้หลักต่างๆดังนี้

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

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + (u_2 - u_1 - Q_H) - h_m$$

สมการนี้สามารถใช้ได้ทั้งของเหลว ก๊าซ และไอ แต่ต้องเป็นการไหลแบบคงตัว ในการไหลแบบปั่นป่วนค่า  $\alpha$  จะมีค่าเข้าใกล้ 1 มาก เพื่อความสะดวกจึงสมมติให้มีค่าเป็น 1 และถ้าไม่มีเครื่องจักร

ระหว่างหน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 เทอมของ  $h_m$  สามารถตัดทิ้งได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad (2.3)$$

$$h_L = (U_2 - U_1) - Q_H$$

โดย  $h_L$  คือ พลังงานสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานของของไหลต่อหน่วยน้ำหนัก ( $m$ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การไหลในท่อ

ท่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ขนส่งของไหลภายใต้ความดัน ตามปกติท่อที่ใช้จะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม เนื่องจากของไหลในท่อมักมีความดัน ดังนั้นการไหลจึงมักเป็นแบบไหลเต็มท่อและมีการไหลเป็นแบบคงตัว การไหลในท่ออาจเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) หรือแบบปั่นป่วน (Turbulence) โดยการไหลในแต่ละแบบจะมีลักษณะและวิธีการการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันออกไป ปัญหาที่เกี่ยวกับการไหลในท่อส่วนใหญ่จะอาศัยหลักการของพลังงาน สมการความต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียพลังงานของของไหลเมื่อมีการไหลผ่านท่อข้อต่อต่างๆของท่อ ข้องอ และวาล์วที่ใช้บังคับการไหลอีกด้วย

#### 3.1 Reynolds Number

ค่า Reynolds Number เป็นค่าที่สำคัญที่สุดในการที่จะระบุว่า การไหลของของไหลในท่อจะเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และค่าความหนาแน่นของของไหล การแบ่งย่าน Laminar Flow กับ Turbulent Flow จะพิจารณาที่ค่านี้ โดยถ้าค่า Reynolds Number อยู่ในช่วง 0 ถึง 2300 จะเป็นย่าน Laminar Flow แต่ในช่วง 2300 ถึง 4000 จะเป็นย่านวิกฤติ (critical Zone) ซึ่งมีการไหลทั้งสองแบบผสมกัน และถ้า Reynolds Number อยู่ในช่วงที่มากกว่า 4000 จะอยู่ในย่าน Turbulent Flow ในการทดลองนี้ค่า Re ที่ท่อกลมจะอยู่ที่  $7.36 \times 10^4$

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

โดย  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล ( $kg/m^3$ )

$V$  คือ ความเร็วในการไหล ( $m/s$ )

$D$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกลม ( $m$ )

$\mu$  คือ ความหนืดของของไหล ( $kg/m \cdot s$ )

แต่ถ้าท่อที่ใช้ไม่ใช่หน้าตัดวงกลม ( $D = D_h$ )

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

$D_h$  - คือ hydraulic diameter ( $m$ )

$A$  - คือ พื้นที่หน้าตัด ( $m^2$ )

$P$  - คือ the wetted perimeter of pipe ( $m$ )

สำหรับ Rectangular Duct ที่มีความยาวแต่ละด้านเป็น  $b$  และ  $h$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

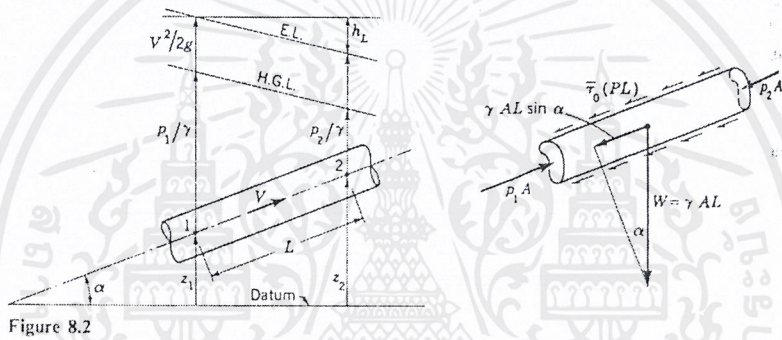
$$D_h = \frac{2bh}{b+h} \quad (3.3)$$

สำหรับท่อกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D$

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

### 3.2 สมการทั่วไปสำหรับการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทาน (General equation for conduit friction)

สมการทั่วไปนี้สามารถใช้ได้ทั้งในกรณีของไหลที่มีการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน



รูปที่ 3-1 แสดงการไหลแบบ Steady Incompressible Flow

โดย  $P$  คือ the wetted perimeter of pipe

$P_1$  คือ ความดันที่ภาคตัด 1

$P_2$  คือ ความดันที่ภาคตัด 2

$L$  คือ ความยาวท่อ

$\gamma$  คือ ความเค้นเฉือนที่ผนังภายในท่อ

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดภายในท่อที่มีขนาดสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 3-1 ที่สภาพสมดุลในการไหลแบบคงตัว ผลรวมของแรงที่กระทำกับของไหลมีค่าเท่ากับศูนย์

$$P_1A - P_2A - \gamma LA \sin \alpha - \tau_0 PL = 0$$

เนื่องจาก  $\sin \alpha = (Z_2 - Z_1)/L$  และหารสมการในแต่ละเทอมด้วย  $A$  และจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} - Z_2 + Z_1 = \frac{\tau_0 PL}{\gamma A} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-1 จะได้สมการดังนี้

$$h_L = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma}\right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma}\right) \quad (3.6)$$

$$h_L = \frac{\Delta P}{\gamma} + Z_1 - Z_2 \quad (3.7)$$

จากสมการที่ (3.5) กับ สมการที่ (3.6) จะได้

$$h_L = \frac{\tau_0 PL}{\gamma A}$$

$$h_L = \frac{4\tau_0 L}{\gamma D_h} \quad (3.8)$$

เมื่อท่อวางอยู่ในแนวระดับ  $Z_2 = Z_1$   
จากสมการที่ (3.7) กับ (3.8) จะได้

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{4\tau_0 L}{\gamma D_h}$$

$$\tau_0 = \frac{\Delta P D_h}{4L} \quad (3.9)$$

สำหรับการไหลในท่อซึ่ง  $\tau_0$  จะขึ้นอยู่กับ  $\rho, \mu, V, D_h$  จากการวิเคราะห์มิติ (Dimensional analysis) โดยเขียนในรูปของหน่วยพื้นฐานจะได้

$$\tau_0 = \frac{C_f \rho V^2}{2} \quad (3.10)$$

แทนค่าสมการ (3.10) ในสมการที่ (3.8) ได้

$$h_L = \frac{4C_f LV^2}{2gD_h}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_L = \frac{fLV^2}{2gD_h} \quad (3.11)$$

ในสมการ (3.11) คือ สมการของ Darcy-Weisbach ใช้สำหรับคำนวณหาการสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานในท่อ

โดย  $f = 4C_f$  เมื่อ  $f$  คือ Friction factor

แทนค่า  $C_f = f/4$  ในสมการที่ (3.10) จะได้

$$\tau_0 = \frac{f\rho V^2}{8}$$

$$f = \frac{4\tau_0}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (3.12)$$

จากความสัมพันธ์ของ Blasius จะได้ค่า friction factor

$$f = 0.316 \text{Re}^{-1/4} \quad (3.13)$$

### 3.3 การไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม

ในการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางของความเร็วจะเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างชั้นของไหล เป็นผลให้เกิดการไหลวนเล็กๆจำนวนมาก ความเค้นเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยส่วนของความหนืดและส่วนของความปั่นป่วน ความเค้นเฉือนของความปั่นป่วนสามารถกำหนดได้เป็น 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 กำหนดให้อยู่ในรูปคล้ายกับการไหลแบบราบเรียบ

$$\tau_{urb} = \eta \frac{du}{dy}$$

โดย  $\eta$  คือ ความหนืดของการไหลวน (Eddy viscosity) ดังนั้นความเค้นเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} + \eta \frac{du}{dy}$$

$$\tau = \rho(\nu + \mathcal{E}) \frac{du}{dy} \quad (3.14)$$

โดย  $\mathcal{E}$  คือ Kinematics eddy viscosity

ในบริเวณชิดกับผนังท่อ ความเค้นเฉือนในส่วนของความหนืดจะมีอิทธิพลสูง ในส่วนของความปั่นป่วนจะมีค่าเป็นศูนย์ และที่ศูนย์กลางท่อ ค่า  $du/dy$  จะเท่ากับศูนย์ จึงทำให้ไม่เกิดความเค้นเฉือนใดๆเลย และทั้งการไหลแบบราบเรียบและปั่นป่วน ความเค้นเฉือนจะมีค่าสูงสุดที่ผนังท่อและจะลดลงแบบ Linear จนถึงศูนย์ที่ศูนย์กลางท่อ

แบบที่ 2 กำหนดให้อยู่ในรูปของความเร็วนที่เปลี่ยนแปลง คือ

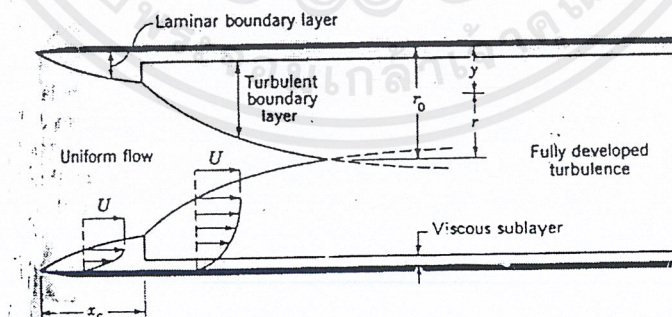
$$\tau_{turb} = -\rho \overline{u'v'}$$

โดย  $u', v'$  คือ ความเร็วในส่วนที่มีเปลี่ยนแปลงในแกน X และ Y ดังนั้น ความเค้นเฉือนทั้งหมดที่เกิดขึ้น คือ

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} - \rho \overline{u'v'}$$

### 3.4 ชั้นความหนืดในการไหลแบบปั่นป่วน

ในการไหลแบบราบเรียบ ถ้าของไหลไหลเข้าโดยปราศจากสิ่งรบกวน ความเร็วของของไหลจะมีค่าเท่ากันตลอดความยาวท่อ ยกเว้นที่ผนังท่อจะมีความเร็วเป็นศูนย์ และเมื่อของไหลไหลไปตามท่อ Velocity profile จะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ Boundary layer จนกระทั่ง Boundary layer จากผนังท่อทั้งสองมาติดกันที่แกนท่อ จึงทำให้เกิด fully developed laminar flow



รูปที่ 3-2 แสดงการเกิด Fully developed turbulence

ส่วนในการไหลแบบปั่นป่วน เมื่อความหนาของ Laminar boundary layer เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้เกิด transition จะทำให้ boundary layer กลายเป็น turbulent ซึ่งความหนาของ turbulent boundary layer นี้โดยทั่วไปแล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะเกิด fully developed turbulent flow เมื่อ boundary layer จากผนังท่อทั้งสองมาติดกันที่แกนท่อ จึงทำให้เกิด fully developed turbulent flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

layer จากผนังท่อทั้งสองมาตัดกันที่แกนท่อ หรือจะอยู่ที่ระยะจากทางเข้าประมาณ 50 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ดังรูปที่ 3-2

### 3.5 velocity profile in turbulent flow

$$V = u_{\max} - 5.75 \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \log \frac{r_0}{r_0 - r} \quad (3.15)$$

สมการนี้ใช้ได้ทั้งท่อผิวเรียบและผิวหยาบ แต่จะไม่เป็นจริงในบริเวณที่ใกล้กับผนังท่อและอัตราส่วนระหว่างความเร็วเฉลี่ยของการไหลและความเร็วที่เส้นผ่านศูนย์กลางท่อซึ่งเรียกว่า Pipe factor คือ

$$\frac{V}{u_{\max}} = \frac{1}{1 + 1.33\sqrt{f}} \quad (3.16)$$

แทนสมการ (3.16) ในสมการ (3.15) จะได้

$$u = (1 + 1.33\sqrt{f})V - 2.04\sqrt{f}V \log \frac{r_0}{r_0 - r} \quad (3.17)$$

ซึ่งสมการ (3.17) นี้ทำให้สามารถเห็นถึงความแตกต่างของ Velocity profile ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

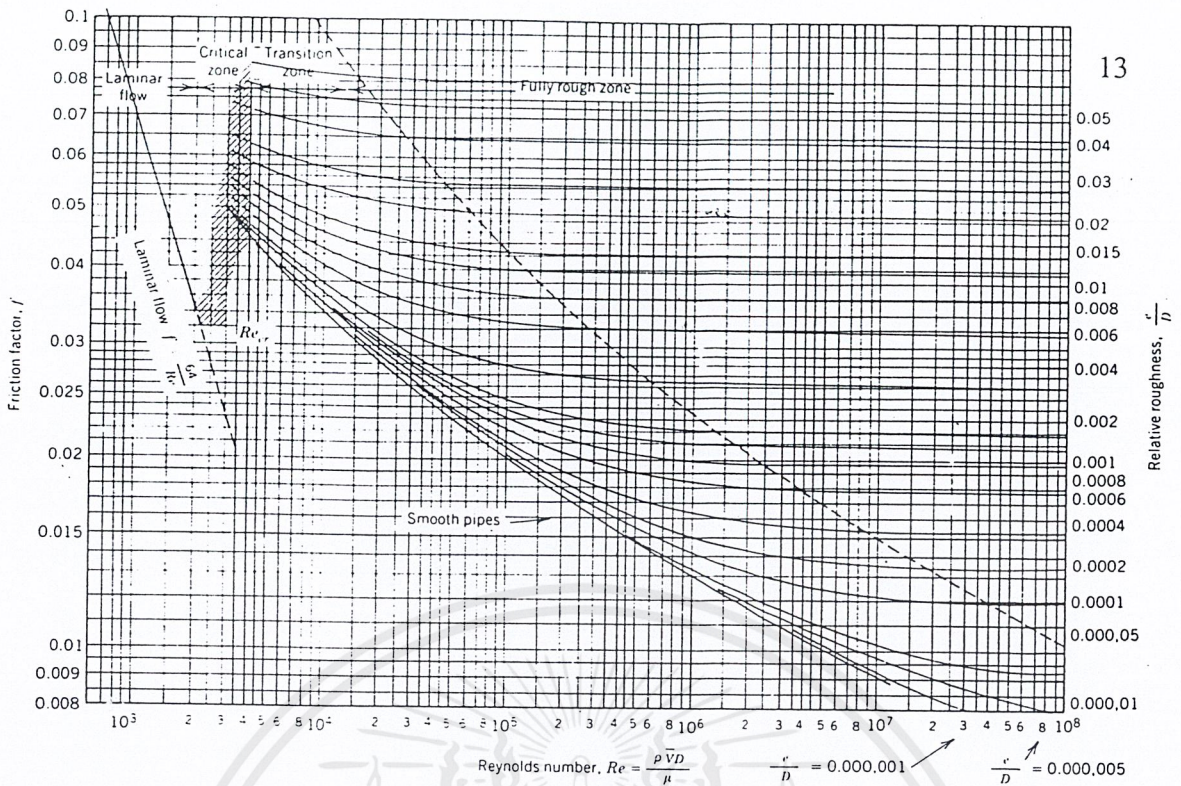
### 3.6 แผนภูมิสำหรับหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (Chart for friction factor)

การหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานนั้นสามารถหาได้จาก แผนภูมิของ Moody (Moody diagram) ดังแสดงในรูปที่ 3-3

แผนภูมิของ Moody เป็นแผนภูมิที่แสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นโดยแกนตั้งด้านซ้ายมือจะแสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน ( $f$ ) และแกนนอนแสดงค่า Reynolds number ส่วนแกนตั้งทางด้านขวาจะเป็นค่าความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อ (relation roughness) โดย

$$\text{ความขรุขระสัมพัทธ์} = \frac{e}{D} \quad (3.18)$$

โดย  $e$  คือ ความขรุขระสัมบูรณ์



รูปที่ 3-3 Friction Factor (Moody diagram)

ความขรุขระสัมบูรณ์ คือ ค่าความสูงเฉลี่ยของความขรุขระที่ผิวของท่อ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำท่อและกรรมวิธีการผลิต ค่าทั่วไปของความขรุขระดูได้จากตารางที่ 3-1 หรือจะใช้แผนภูมิกำหนดค่าความขรุขระสัมพัทธ์เลยก็ได้ดังรูปที่ 3-4 สำหรับท่อที่ผลิตโดยวิธีการขึ้นรูป (Extruded) ของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก และท่อที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกนั้นจะมีผิวเรียบมาก และให้ถือเป็นท่อผิวเรียบ (Smooth pipes)

|  | Millimeters |
|--|-------------|
| Drawn tubing, brass, lead, glass, centrifugally spun cement, bituminous lining, transite | 0.0015      |
| Commercial steel or wrought iron   | 0.046       |
| Welded-steel pipe  | 0.046       |
| Asphalt-dipped cast iron   | 0.12        |
| Galvanized iron  | 0.15        |
| Cast iron, average   | 0.25        |
| Wood stave   | 0.18 to 0.9 |
| Concrete   | 0.3 to 3    |
| Riveted steel  | 0.9 to 9    |

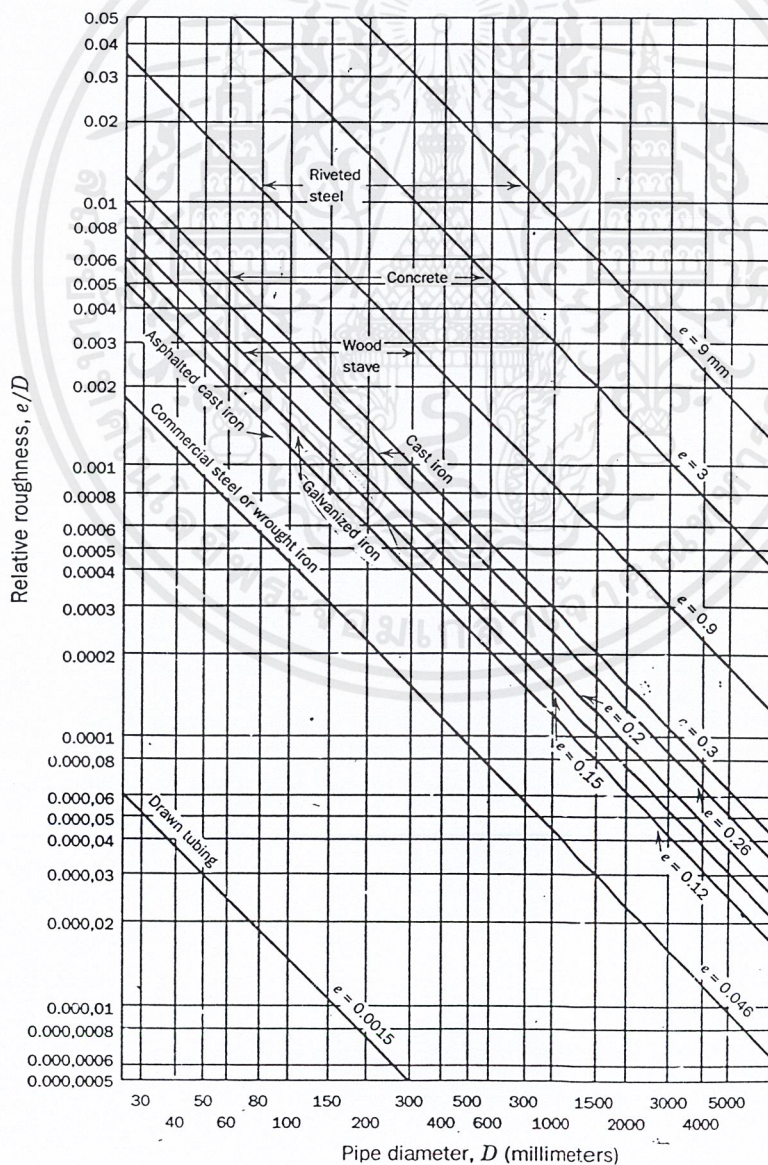
Note:  $\frac{e}{D} = \frac{e \text{ in mm}}{D \text{ in mm}} = 10^{-1} \times \frac{e \text{ in mm}}{D \text{ in cm}}$

ตารางที่ 3-1 แสดงค่าความขรุขระสัมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดเกี่ยวกับการไหลของของไหลที่แสดงไว้ในแผนภูมิของ Moody นี้จะแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง คือ

1. ช่วงที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ ค่า Reynolds number จะน้อยกว่า 2300 ค่า  $f$  จะไม่ขึ้นกับความหยาบหรือความขรุขระของผิวท่อ แต่จะขึ้นกับค่า Reynolds number เพียงอย่างเดียว
2. ช่วงที่การไหลเป็นแบบวิกฤต ในช่วงนี้ค่า Reynolds number จะอยู่ระหว่าง 2300 ถึง 4000 จึงไม่สามารถกำหนดลักษณะการไหลที่แน่นอนได้ เพราะอาจเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วนก็ได้ จึงใช้แผนภูมินี้ไม่ได้
3. ช่วงการไหลเปลี่ยนแปลง ในช่วงนี้ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน จะเป็นฟังก์ชันของค่า Reynolds number และค่าความขรุขระสัมพัทธ์
4. ช่วงที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วน ค่า  $f$  จะไม่ขึ้นกับ Reynolds number แต่จะขึ้นกับค่าความขรุขระสัมพัทธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษา **รูปที่ 3-4 Roughness Factor** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 ค่าการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองสำหรับการไหลในท่อ

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

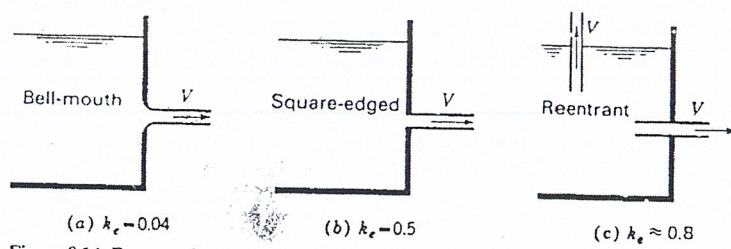
3.7.1 การสูญเสียหลัก (Major loss) ที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อเป็นผลมาจากความเสียดทานนั้น ซึ่งสามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการ (3.11) ของ Darcy-Weisbach สาเหตุที่จัดให้การสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานในท่อเป็นการสูญเสียหลักนั้น เพราะในกรณีที่ท่อมีความยาวมากการสูญเสียแบบนี้จะเกิดขึ้นมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียด้วยเหตุอื่นๆ

3.7.2 การสูญเสียรอง (Minor loss) คือการสูญเสียอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหล ไม่ว่าจะเป็นขนาดหรือทิศทางความเร็ว หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการสูญเสียพลังงานที่มีผลมาจากพลังงานจลน์ หรือเสดความเร็วเปลี่ยนแปลงไปเมื่อไหลผ่านข้อต่อท่อ ข้องอ ข้อเพิ่มหรือลดขนาด การไหลผ่านวาล์วต่างๆ เป็นต้น ในกรณีที่ท่อยาวมาก การสูญเสียรองนี้จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียอันเกิดจากความเสียดทาน ซึ่งอาจจะไม่ต้องนำมาคิดการสูญเสียก็ได้ ดังนั้นสมการที่ใช้หาค่าการสูญเสียรองจึงอยู่ในรูปของเสดความเร็ว ( $V^2/2g$ ) คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย เขียนเป็นสมการได้คือ

$$h = k \frac{V^2}{2g} \quad (3.19)$$

โดย  $k$  คือ สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะขึ้นอยู่กับลักษณะช่องทางที่ของไหลไหลผ่าน ซึ่งมีค่าต่างดังต่อไปนี้

1) การสูญเสียที่ทางเข้าท่อ (loss of head at entrance) จากรูปที่ 3-5 จะแสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่บริเวณปากทางเข้า ( $k_e$ ) ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าถ้าเราทำบริเวณปากทางเข้าให้มีลักษณะเป็น Bell-mouth นั้น จะทำให้ค่าการสูญเสียมีค่าน้อยสุด เนื่องจากจะไม่มีบีบตัวเข้าหากัน (Contraction of stream) เพื่อไหลเข้าท่อและค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียมีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 3-5 แสดงสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ทางเข้า

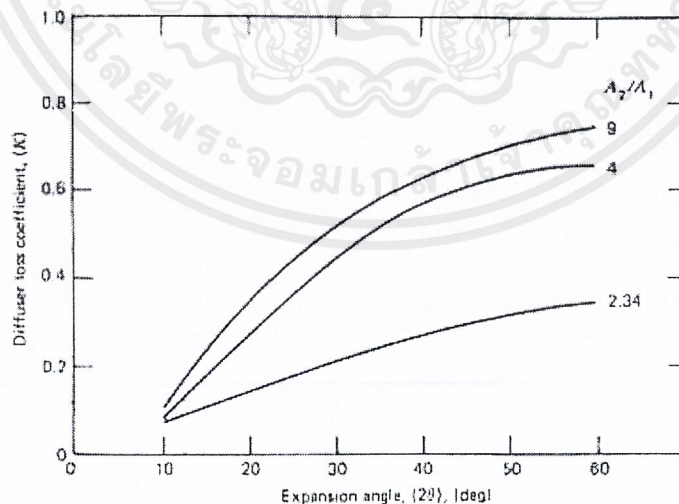
2) การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่หน้าตัดของท่อ (Loss due to changing section area) แบ่งออกได้เป็น

- 2.1) การลดพื้นที่หน้าตัดท่อแบบทันทีทันใด
- 2.2) การลดพื้นที่หน้าตัดท่อแบบค่อยๆลดลง
- 2.3) การขยายพื้นที่หน้าตัดท่อแบบทันทีทันใด
- 2.4) การขยายพื้นที่หน้าตัดท่อแบบค่อยๆขยายขึ้น

การขยายพื้นที่หน้าตัดท่อแบบค่อยๆขยายขึ้นนี้เป็นการช่วยลดค่าการสูญเสียพลังงานให้เกิดขึ้นน้อยลงและลดค่าความเร็วของของไหลในท่อก่อนที่จะปล่อยออก ซึ่งเรียกว่า Diffuser โดยสัมประสิทธิ์การสูญเสียของ Diffuser ( $k_{diff}$ ) นั้นจะประกอบไปด้วยการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานอยู่ด้วยโดยจะแปรตามความยาวของ Diffuser และยังมี การสูญเสียเนื่องจากการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของมุม Diffuser ( $\theta$ ) โดยค่า Loss ที่น้อยที่สุดนั้นจะมี cone angle ( $2\theta$ ) ประมาณ 5-10 องศา ดังรูปที่ 3-6

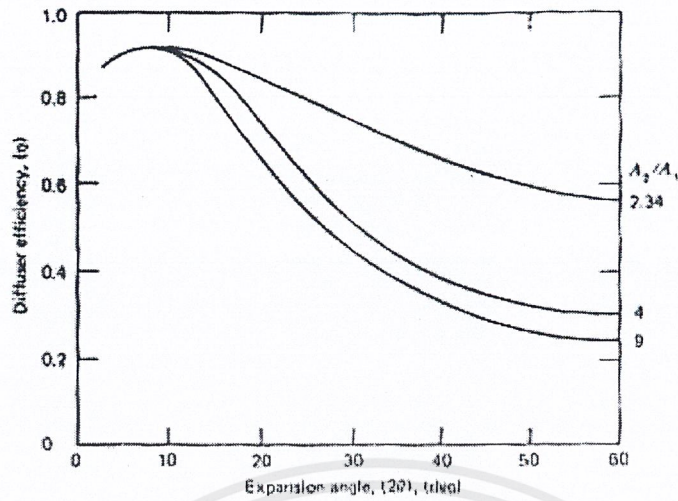
$$h_L = \int \frac{f V^2}{D 2g} dL$$

$$\eta = \frac{Y_{P_{diff}}}{\left\{ \left( \frac{\rho V^2}{2} \right) \left[ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right] \right\}} \quad (3.20)$$



รูปที่ 3-6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของ Diffuser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 แสดงค่าประสิทธิภาพของ Diffuser

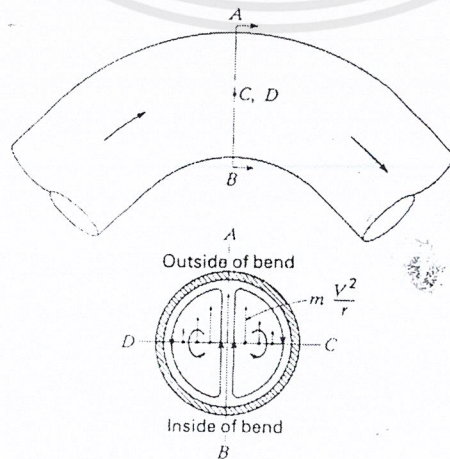
$$k_{diff} = (1-\eta) \left[ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^4 \right] \quad (3.21)$$

โดย  $\eta$  คือ ค่าประสิทธิภาพของ Diffuser

$A_1$  คือ พื้นที่ทางด้านเข้าของของไหลเข้า Diffuser

$A_2$  คือ พื้นที่ทางด้านออกของของไหลออก Diffuser

3) การสูญเสียในข้ออ (Loss in bends) เมื่อของไหลไหลผ่านข้ออหรือท่อที่หักเป็นศอก จะมีผลทำให้เกิดความดันที่โค้งด้านนอก (outside of bend) เพิ่มมากขึ้น และความดันที่โค้งด้านใน (inside of bend) ลดน้อยลง อันเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นที่บริเวณส่วนที่โค้งหรือองศา ในสภาพของความดันที่ไม่เท่ากันนี้จะก่อให้เกิดสภาพการไหลอีกรูปแบบหนึ่งไหลซ้อนขึ้น เรียกว่า secondary flow ดังแสดงในรูปที่ 3-8

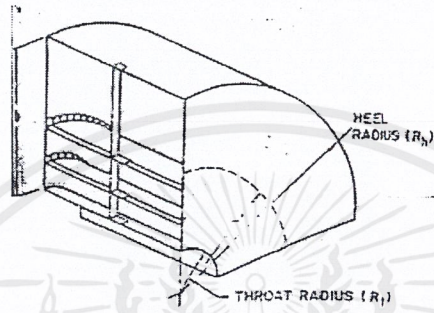


รูปที่ 3-8 แสดงการเกิดการไหลซ้อนภายในข้ออ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบหมุนรอบตัว (spiral flow) ทำให้มีการสูญเสียพลังงานจากส่วนนี้ และการไหลในสภาพดังกล่าวจะต้องใช้ระยะทางที่ยาวพอสมควรจึงจะสามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้ โดยจะอยู่ที่ระยะทางประมาณ 100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ โดยเริ่มนับจากท่อโค้งหรือข้องอนั้น ส่วนค่าแฟกเตอร์การสูญเสีย ( $k_b$ ) จะขึ้นอยู่กับค่า Reynolds number และอัตราส่วนระหว่างรัศมีของท่อโค้งหรือข้องอต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ( $r/D$ )

จากเหตุผลดังกล่าวเราจึงสามารถหาวิธีที่ช่วยลดการสูญเสียในท่อ โค้งหรือข้องอที่มีรัศมีสั้น ด้วยการใส่ Guide vane เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการไหลย้อนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 แสดงข้องอที่ภายในมีการติดตั้ง Guide vane

$$k_b = f \frac{Le}{D} \tag{3.22}$$

โดย  $Le$  คือ ค่าความยาวสมมูลของท่อ

4) การสูญเสียที่วาล์ว (loss caused by valve) ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของวาล์วจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 :ซึ่งอยู่ในสภาวะเปิดสุด โดยวาล์วในสภาวะที่เปิดไม่สุด จะความดันสูญเสียที่มีค่ามากกว่ามากเมื่อเปิดวาล์วไม่สุด

|                        |                       |               |              |             |
|------------------------|-----------------------|---------------|--------------|-------------|
| 90° miter bend         |                       | Without vanes | $K_b = 1.1$  | (20)        |
|                        |                       | With vanes    | $K_b = 0.2$  | (20)        |
| 90° smooth bend        |                       | $r/d = 1$     | $K_b = 0.35$ | (2) and (9) |
|                        |                       | $r/d = 2$     | 0.19         |             |
|                        |                       | $r/d = 4$     | 0.16         |             |
|                        |                       | $r/d = 6$     | 0.21         |             |
|                        |                       | $r/d = 8$     | 0.28         |             |
| Threaded pipe fittings | Globe valve—wide open | $K_b = 10.0$  | (20)         |             |
|                        | Angle valve—wide open | $K_b = 5.0$   |              |             |
|                        | Gate valve—wide open  | $K_b = 0.2$   |              |             |
|                        | Gate valve—half open  | $K_b = 5.6$   |              |             |
|                        | Return bend           | $K_b = 2.2$   |              |             |
|                        | Tee                   | $K_b = 1.8$   |              |             |
|                        | 90° elbow             | $K_b = 0.9$   |              |             |
| 45° elbow              | $K_b = 0.4$           |               |              |             |

ตารางที่ 3-2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของวาล์วและข้องอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การวัดของไหล

การวัดของไหล (Liquid measurement) ประกอบด้วย การหาความดัน ความเร็ว อัตราการไหล โดยการหาอัตราการไหลนั้นจะต้องหาเสดความดันแตกต่างหรือความเร็วเฉลี่ยของของไหลที่หน้าตัดนั้น แล้วจึงนำไปหาอัตราการไหล

#### 4.1 การวัดความดัน (Pressure measurement)

การวัดความดันของของไหลเพื่อนำไปใช้หาความเร็วของของไหล หรืออัตราการไหล เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความดันถูกกำหนดให้อยู่ในสมการพลังงาน ความดันของของไหลแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

1) ความดันสถิตย์ (Static pressure) คือ ความดันที่เกิดจากแรงของไหลที่กระทำตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

2) ความดันเชิงพลวัต (Dynamic pressure) คือ ความดันที่เขียนอยู่ในรูปของความเร็วของของไหล โดยทำการวัดเทียบระหว่างจุด 2 จุด

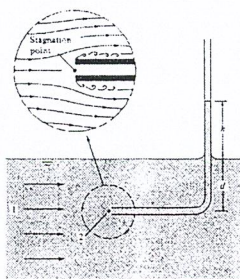
3) ความดันรวม (Total pressure) เป็นผลรวมระหว่างความดันสถิตย์กับความเชิงพลวัต อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันของไหลนั้นมีมากมายหลายอย่าง แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะมานอมิเตอร์แบบหลอดแก้วรูปตัวยู (U-tube manometer)

มานอมิเตอร์แบบหลอดแก้วรูปตัวยู ประกอบด้วยหลอดแก้วโค้งงอรูปตัวยู ซึ่งภายในจะใส่ของเหลวที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าของไหลที่ต้องการวัดความดัน สำหรับของเหลวที่ใส่นั้นจะต้องไม่ผสมกับของไหลที่ต้องการวัดความดัน ในการเลือกใช้ของเหลวเพื่อบ่งบอกความดันจะขึ้นอยู่กับขนาดความดัน และชนิดของของไหลที่ต้องการวัดความดันด้วย เช่น ถ้าความดันต่ำๆก็จะใช้ของเหลวบ่งบอกความดันที่มีความถ่วงจำเพาะน้อย เช่น น้ำ

#### 4.2 การวัดความเร็ว (Velocity measurement)

การหาความเร็วนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะหลอดปิโดท์ (Pitot tube)

หลอดแก้วปิโดท์ (Pitot tube) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วของของไหลที่จุดใดจุดหนึ่ง มีลักษณะหลอดแก้วปลายงอ ในการวัดจะจัดวาง Pitot tube ลงในตำแหน่งที่ต้องการวัดความเร็ว โดยหันปลายงอเข้าหาทิศทางการไหล



รูปที่ 4-1 Pitot tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-1 จุด 1 เป็นจุดใดๆที่ต้องการหาความเร็ว และจุด 2 เป็นจุดนิ่ง (Stagnation Point) ซึ่งเป็นจุดที่ไม่มีความเร็วเลยจึงนิยมให้ความเร็วที่จุดนี้มีค่าเป็นศูนย์ มีแต่ความดันเท่านั้น พิจารณาจุด 1 และ จุด 2 โดยใช้ Bernoulli equation จะได้

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = \text{constant}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (4.1)$$

ถ้ากำหนดให้  $P_2$  เป็นความดัน Stagnation และ  $V_2$  มีค่าเป็นศูนย์ จะได้

$$\text{Dynamic pressure} = P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \rho V_1^2 \quad (4.2)$$

สำหรับความเร็ว

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}} = \sqrt{2gh} \quad (4.3)$$

ในการวัดความเร็วในท่อหรือในที่ปิด จำเป็นต้องรู้เสดความดันสถิตด้วยการตัดท่อ ความยาวส่วนโค้งในการตัดท่อจะวัดตามเส้นศูนย์กลางท่อและรัศมีความโค้งก็วัดถึงเส้นศูนย์กลางเช่นกัน

$$L_b = 0.01745 \phi R \quad (4.4)$$

โดย  $L_b$  คือ ความยาวตัดโค้ง (cm)

$\phi$  คือ มุมตัดโค้ง (องศา)

$R$  คือ รัศมีความโค้ง (cm)

#### 4.3 การวัดอัตราการไหล (Discharge measurement)

ในการวัดอัตราไหลของของไหลภายในท่อ นั้นอาจจะสามารถหาได้โดยการหาความเร็วเฉลี่ยของของไหลโดยใช้ Pitot tube จากนั้นพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของท่อ ดังนั้นอัตราการไหลจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือจะหาได้จากเครื่องมือวัด เช่น Orifice

Orifice มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะมีรูกลม ช่อง Orifice ทางด้านของไหลไหลเข้าจะเป็นมุมฉากคมอยู่ตรงกลางวางกั้นขวางทิศทางการไหลของของไหลในท่อ โดยแนวที่ผ่านจุดศูนย์กลางท่อจะผ่านจุดศูนย์กลางของรูที่เจาะพอดี ทางด้านออกจะทำมุมผายออกประมาณ 45 องศา เพื่อเป็นการลดความเสียหายต่อน้ำ และผิวทางด้านของของไหลไหลเข้าจะต้องเรียบ และตั้งฉากกับแนวท่อ ซึ่ง Orifice นี้เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของไหลที่นิยมมากในงานวิศวกรรม



รูปที่ 4-2 Orifice

ความหนาของแผ่น Orifice จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของท่อ หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง Orifice ความหนาที่สำคัญ คือ ขอบใน Orifice (Orifice edge) ระยะ T ตามรูปที่ 4-2 จะต้องมีค่าไม่เกินนี้

$$T < \frac{d}{8} \quad (4.6)$$

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (4.7)$$

โดย  $T$  คือ ค่าความหนาของแผ่น Orifice

$d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง Orifice

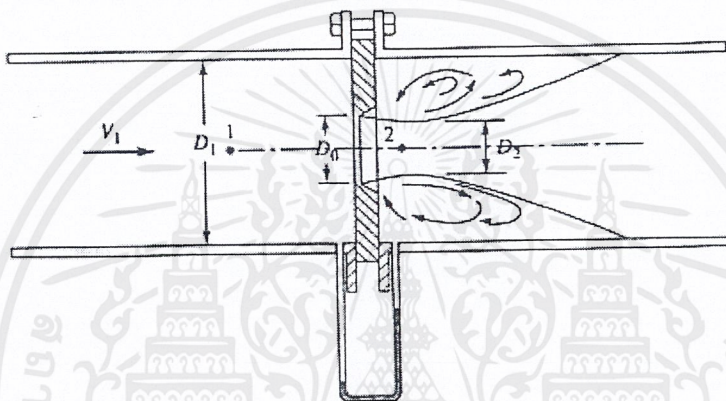
$D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

เพราะระยะ  $d$  จะมีผลโดยตรงต่อค่า Coefficient of discharge แต่ค่าความหนาของแผ่น Orifice จะมีความหนามากกว่าระยะ  $T$  ได้ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของแผ่น Orifice มากขึ้น แผ่น Orifice แบบนี้ใช้วัดทิศทางการไหลได้เพียงทางเดียวเท่านั้น

ขนาดช่อง Orifice จะบอกเป็นอัตราส่วนกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนเบต้า ( $\beta$  ratio) ค่าของ  $\beta$  นี้มีขีดจำกัดเพื่อให้ผลของการวัดมีความเที่ยงตรง และค่า  $\beta$  นี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการต่อจุดวัดความดัน (Pressure tap) ตำแหน่งที่จะทำการต่อจุดวัดความดัน โดยทั่วไป มีด้วยกัน 3 แบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) Vena Contracta taps โดยจุดวัดความดันทางฝั่ง Upstream จะอยู่ที่ระยะเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจากแผ่น Orifice ส่วน Downstream จะอยู่ที่ตำแหน่งที่เกิด Vena contracta
- 2) D and D/2 taps โดยจุดวัดความดันทางฝั่ง Upstream จะอยู่ที่ระยะเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ส่วน Downstream จะอยู่ที่ระยะครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจากแผ่น Orifice
- 3) Corner taps โดยจุดวัดความดันทางฝั่ง Upstream และ Downstream จะติดตั้งไว้ใกล้แผ่น Orifice ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- 4) Flange taps โดยจุดวัดความดันทางฝั่ง Upstream และ Downstream จะมีระยะอยู่ที่ 1 นิ้วจากแผ่น Orifice



รูปที่ 4-3 แสดง Orifice โดยวิธีวัดผลต่างของระดับของไหล

จากสมการ Bernoulli ระหว่างจุด 1 และจุด 2 คือ

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

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad (4.8)$$

สมการไหลต่อเนื่องระหว่างหน้าตัด 1 และ หน้าตัด 2 คือ

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (4.9)$$

$$\text{แต่ } A_2 < A_0 \text{ หรือ } A_2 = C_c A_0 \quad (4.10)$$

โดย  $C_c$  คือ สัมประสิทธิ์การหดตัว

แทนสมการ (4.10) ในสมการ (4.9) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_1 = \frac{C_c A_0 V_2}{A_1} \quad (4.11)$$

แทนสมการ (4.11) ในสมการ (4.8) จะได้

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left[ 1 - \left( C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right] \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad (4.12)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้ว่า

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \left[ \frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{\left[ 1 - \left( C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad (4.13)$$

จากสมการ (4.13) คือความเร็วที่ได้ตามทฤษฎี แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้ว จะมีการสูญเสียพลังงานในขณะที่มีการไหลช่อง Orifice ดังนั้น ความเร็วจริงจะน้อยกว่าความเร็วตามทฤษฎีคือ

$$V_{2r} = C_v V_2 \quad (4.14)$$

โดย  $V_{2r}$  คือ ความเร็วจริง

$C_v$  คือ สัมประสิทธิ์ความเร็ว

ที่หน้าตัด 2 มีอัตราการไหล  $Q = A_2 V_{2r}$

$$Q = (C_c A) (C_v V_2) \quad (4.15)$$

แทนสมการ (4.13) ในสมการ (4.15) จะได้

$$Q = C_c C_v A_0 \sqrt{\frac{2 \left[ \frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{\left[ 1 - \left( C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right]}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2 \left[ \frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{\left[ 1 - \left( \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad (4.16)$$

หรือ

$$Q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2 \left[ \frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{1 - \beta^4}} \quad (4.17)$$

โดย  $C_d$  คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (Discharge coefficient)

$\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}$  คือ The velocity of approach factor หรือแทนด้วย  $E$

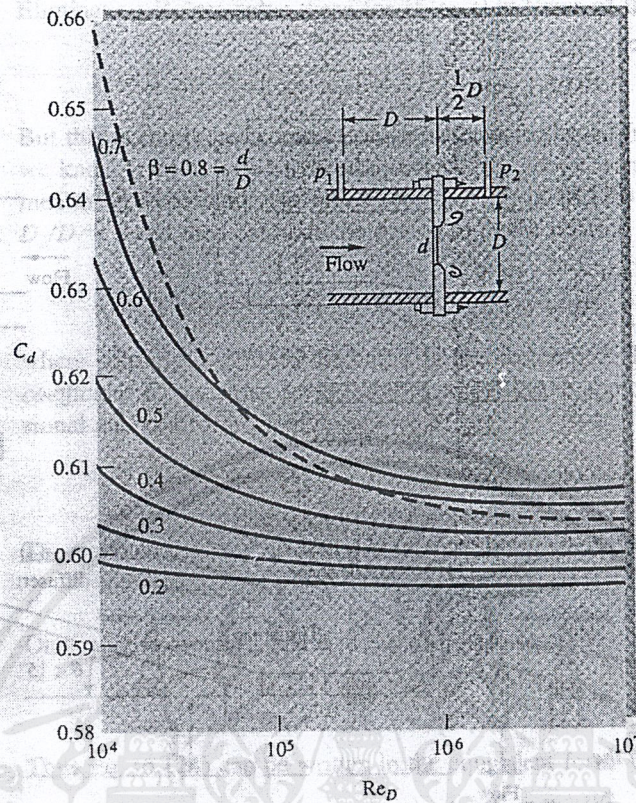
ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลทางทฤษฎีนั้น เมื่อเรารู้ค่า Reynolds number,  $\beta$  ก็  
สามารถหาค่า  $C_d$  ได้โดยดูจากรูปที่ 4-4 หรือจากสมการ

$$C_d = 0.5959 + 0.0312 \beta^{2.1} - 0.184 \beta^8 \quad (4.18)$$

$$+ 0.0029 \beta^{2.5} \left[ \frac{10^6}{\text{Re}} \right]^{0.75} + \frac{0.039 \beta^4}{1 - \beta^4} - 0.0337 L'_2 \beta^3 \quad (4.19)$$

$$L'_2 = \frac{l_2}{D}$$

โดย  $l_2$  คือ ตำแหน่งของจุดวัดความดันทางฝั่ง Downstream



รูปที่ 4-4 แสดงค่า Discharge coefficient of orifice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

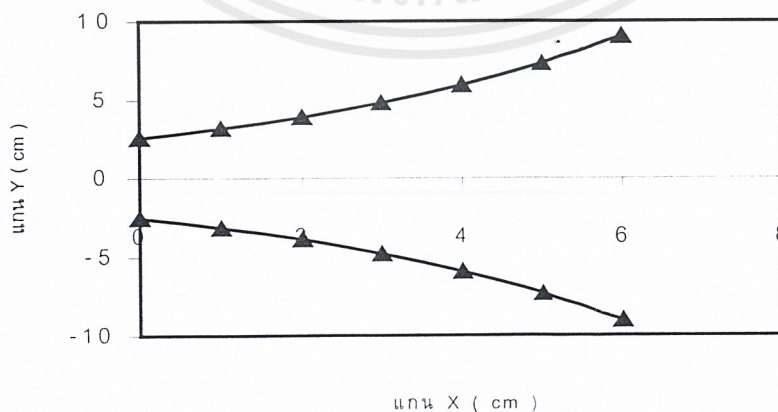
### ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์การทดลอง

ส่วนประกอบของชุดทดลองนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้

- 1) ทางเข้าของอากาศที่มีลักษณะเป็นปากแตร
- 2) ท่ออะคริลิกใส หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม
- 3) ข้อต่อที่ใช้เปลี่ยนจากหน้าตัดสี่เหลี่ยมเป็นหน้าตัดวงกลม
- 4) ท่อ PVC กลม ขนาด 2 นิ้ว
- 5) ข้องอ 90 องศา ที่มี Guide vane อยู่ภายใน
- 6) Orifice
- 7) ข้องอ 90 องศา ที่ไม่มี guide vane
- 8) Diffuser ที่เปลี่ยนขนาดของท่อ PVC จาก 2 นิ้ว เป็น 4 นิ้ว
- 9) ท่อ PVC กลม ขนาด 4 นิ้ว
- 10) Ball Valve
- 11) Flexible Duct
- 12) Blower

ซึ่งรายละเอียดของส่วนประกอบแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

**ปากแตร** เป็นส่วนที่ทำให้การไหลของอากาศที่จะถูกดูดเข้าสู่ท่อเป็นไปอย่างราบเรียบยิ่งขึ้น ซึ่งปากแตรนี้จะทำจากเหล็กแผ่น นำมาตัดให้เป็นรูปโค้ง โดยที่ขนาดของความโค้งของปากแตรหาได้จาก การหาสมการของความโค้งจากแบบของปากแตรต้นแบบที่ได้มีการทำไว้แล้ว และนำมากำหนดเป็นขนาดที่เหมาะสมที่จะจะใช้งาน ด้านปลายที่จะต่อกับท่อในส่วนต่อไป ต้องทำหน้าแปลนติดไว้ โดยทำจากเหล็กแผ่นเช่นกัน ขนาดกว้าง 1 นิ้ว



รูปที่ 5-1 แสดงแบบจำลองของ Bell-mouth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการหาสมการของ Bell-mouth

จากรูปที่ 5-1 จะสังเกตเห็นได้ว่าเส้นกราฟนั้นอยู่ในรูปของสมการ Exponential แต่เนื่องจากเราทราบสมการพื้นฐานของสมการ Exponential ว่าอยู่ในรูปของ

$$Y = ae^{bX} \quad (5.1)$$

แต่เนื่องจากค่าคงที่  $a, b$  เราไม่ทราบ ดังนั้นจากวิชา Numerical method เราใช้วิธี linear regression หาค่าคงที่ทั้งสองโดยเทียบสมการที่ (5.1) กับสมการเชิงเส้นตรง

$$Y = a_0 + b_0 X \quad (5.2)$$

จากนั้นเปลี่ยนสมการที่ (5-1) ให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นตรงจะได้

$$\ln Y = \ln a + bX \ln e = \ln a + bX \quad (5-3)$$

| $X$      | $Y$   | $\ln Y$  | $X^2$  | $XY$     |        |
|----------|-------|----------|--------|----------|--------|
| 0        | -0.81 | -0.21072 | 0      | 0        |        |
| 1        | -0.86 | -0.15082 | 1      | -0.15082 |        |
| 2        | -1    | 0        | 4      | 0        |        |
| 3        | -1.21 | 0.19062  | 9      | 0.57186  |        |
| 4        | -1.5  | 0.40576  | 16     | 1.6218   |        |
| 5.12     | -2.5  | 0.911629 | 26.01  | 4.6731   |        |
| $\Sigma$ | 15.12 | ----     | 1.1508 | 56.01    | 6.7159 |

ตารางที่ 5-1 แสดงระยะของ Bell-mouth ที่วัดจากปากแตรต้นแบบ

จากตารางที่ 5-1 สามารถหาค่า  $a_0, b_0$  ได้ดังนี้

$$a_0 = \frac{(\Sigma \ln Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma XY)(\Sigma X)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \quad (5.4)$$

$$b_0 = \frac{n(\Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma \ln Y)}{n(\Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \quad (5.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าจากตาราง 5-1 ไปแทนในสมการ (5.4) และสมการ (5.5) ได้

$$a_0 = \frac{(1.508 \times 56.01) - (6.7159 \times 15.1)}{(6 \times 56.01) - (15.1^2)} = -0.342$$

$$b_0 = \frac{(6 \times 6.7159) - (15.1 \times 1.1508)}{(6 \times 56.01) - (15.1^2)} = 0.2121$$

นำค่า  $a_0, b_0$  ที่คำนวณได้แทนในสมการ (5.2)

$$Y = -0.3142 + 0.212X$$

จากสมการ (5.2) และสมการ (5.3) เทียบค่าคงที่ได้ดังนี้

$$a_0 = \ln a$$

$$b_0 = b$$

ดังนั้นจะได้

$$a = e^{a_0} = e^{-0.342} = 0.71$$

$$b = b_0 = 0.212$$

แทนค่า  $a, b$  ในสมการ (5.1)

$$Y = 0.71e^{0.212X} \quad (5.6)$$

แต่เนื่องจากปากทางเข้าของชุดทดสอบถูกกำหนดให้จากแกนของท่อมีขนาด 1 นิ้ว หรือ 2.54 ซม. จึงต้องมีค่าคงที่อีกตัวคูณเพิ่มเข้าไป

$$Y = (0.71 \times 7.17)e^{0.212X} = 5.1e^{0.212X} \quad (5.7)$$

$$Y = -(0.71 \times 7.17)e^{0.212X} = -5.1e^{0.212X} \quad (4.8)$$

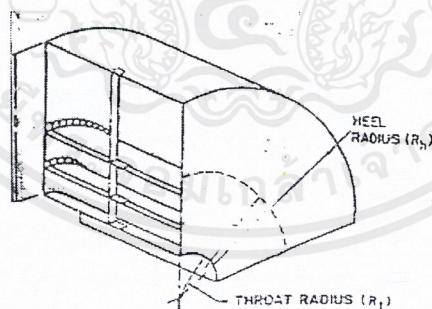
ท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม ขนาด 4x4 cm. ยาว 30 cm. ทำจากแผ่นอะคริลิกใส หนา 4 mm. เหตุผลที่ทำท่อช่วงนี้เป็นท่อสี่เหลี่ยมใสเพราะทำให้สามารถกำหนดและมองเห็นตำแหน่งที่แน่นอนของ Pitot Tube ได้ และขนาดหน้าตัดของพื้นที่หน้าตัดของท่อที่ใช้ก็จะถูกกำหนดให้ใกล้เคียงกับพื้นที่หน้าตัดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อกลมในช่วงต่อไป ซึ่งใช้เป็นท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว นอกจากนี้ต้องทำหน้าแปลนติดทั้งสองด้าน โดยทำจากวัสดุชนิดเดียวกับตัวท่อ ทำเป็นหน้าแปลนสี่เหลี่ยมกว้าง 1 นิ้ว

**การเปลี่ยนหน้าตัดของท่อ** การที่จะนำท่อสี่เหลี่ยมมาต่อกับท่อวงกลม จำเป็นต้องมีข้อต่ออีกตัวหนึ่ง ซึ่งด้านตัดด้านหนึ่งเป็นสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากับท่อสี่เหลี่ยมที่ใช้ และหน้าตัดอีกด้านหนึ่งเป็นวงกลมขนาดเท่ากับท่อ PVC ที่ใช้ การทำข้อต่อนี้สามารถทำได้โดยการเขียนแบบแผ่นคลี่จากขนาดที่เราต้องการใช้ ซึ่งคือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาด 4x4 cm., หน้าตัดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว และความยาวของข้อต่อกำหนดให้ยาว 15 cm. หลังจากนั้นใช้สังกะสีแผ่นมาพับตามแบบแผ่นคลี่ที่ได้เขียนขึ้น และใช้การบัดกรีเชื่อมปลายที่พับมาชนกัน สาเหตุที่ใช้สังกะสีแผ่นมาทำเพราะเนื่องจากเป็นข้อต่อที่มีขนาดเล็ก สังกะสีแผ่นจะสามารถนำมาพับและตัดให้เข้ารูปได้ง่ายกว่าเหล็กแผ่น หลังจากเสร็จแล้วให้ทำหน้าแปลนเชื่อมติดไปทั้งสองด้าน โดยที่ด้านหน้าตัดสี่เหลี่ยมก็ทำหน้าแปลนเป็นรูปสี่เหลี่ยมกว้าง 1 นิ้ว ส่วนด้านหน้าตัดวงกลมก็ทำหน้าแปลนเป็นรูปวงกลมกว้าง 5 cm

ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ในส่วนต่อมาจะเป็นส่วนของท่อกลมขนาด 2 นิ้ว ยาว 1 m. ซึ่งจะใช้เป็นท่อ PVC โดยที่จะมีหน้าแปลน PVC โดยเฉพาะ นำมาติดทาบกับท่อได้เลย จะติดหน้าแปลนนี้ที่ปลายด้านที่ต่อกับข้อต่อเปลี่ยนหน้าตัด ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะติดกับข้องอ 90 องศาที่มี guide vane อยู่ข้างใน

ข้องอ 90 องศา และ Guide Vane สามารถทำได้โดย ในส่วนของข้องอจะใช้ข้องอ PVC และในส่วนของ guide vane ที่อยู่ภายในข้องอ จะทำจากแผ่นพลาสติก นำมาตัดให้โค้งตามความโค้งของข้องอ แล้วใช้กาวติดไว้ภายในข้องอ โดยจะติด guide vane นี้จำนวน 2 อัน ส่วนตำแหน่งในการติดนั้นสามารถหาได้จากการคำนวณ ตามสูตร



รูปที่ 5-2 แสดงข้องอที่ภายในมี Guide vane

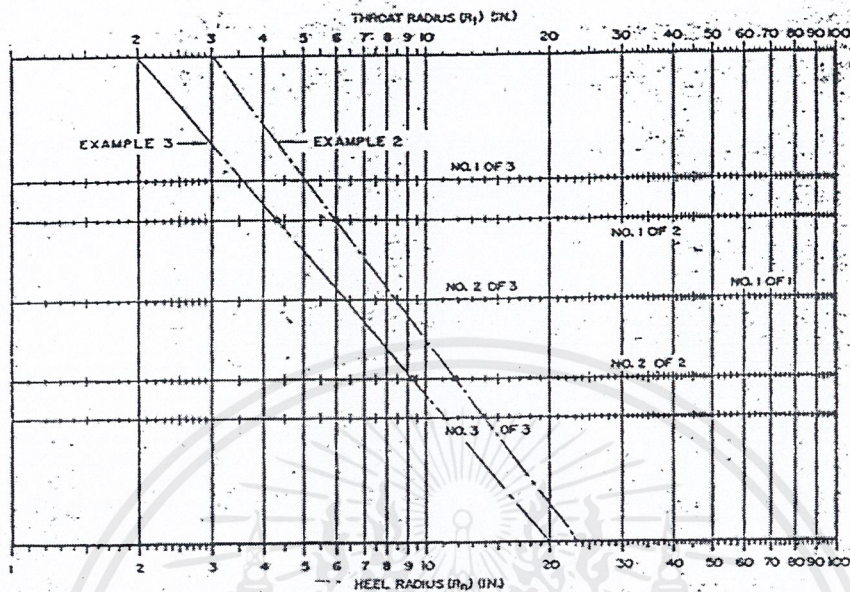
ข้องอที่ใช้เป็นแบบ Round Elbow ซึ่งมีค่า  $R/D = 1.5$

Duct Diameter ( $D$ ) = 2 นิ้ว

$$R_h = R + D/2 \quad (5.9)$$

$$R = D/2 + R_t \quad (5.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-3 แสดงตำแหน่งที่จะติดตั้ง Guide vane

เมื่อได้ค่า  $R_h$  และ  $R_t$  จากสมการ (4.9) และ (4.10) ให้นำ 2 ค่านี้ไป Plot ในรูปที่ 5-3 โดยลากเส้นจากค่าของ  $R_t$  และ  $R_h$  ให้เป็นเส้นตรงในที่นี้เราจะติด Guide Vane แค่ 2 ตัว ดังนั้นให้ดูจุดตัดกราฟของเส้นตรง  $R_t$  และ  $R_h$  กับเส้นในแนวนอนของ No.1 of 2 กับ No.2 of 2 ซึ่งจะได้

$$R_1 = 6.35 \text{ cm.}$$

$$R_2 = 8.255 \text{ cm.}$$

ในการติดข้อนี้เข้ากับท่อ PVC ก็ติดโดยใช้กาวติด PVC

หลังจากที่ผ่านข้ออันนี้แล้ว ส่วนต่อไปก็จะเป็นท่อตรง PVC ขนาด 2 นิ้ว ซึ่งท่อส่วนนี้จะยาว 50 cm. ปลายด้านบนจะติดกับข้อที่มี Guide vane ที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนปลายด้านล่างจะติดกับหน้าแปลน PVC ซึ่งเราจะใช้หน้าแปลน PVC นี้เป็นตัวยึดแผ่น orifice โดยจะต้องใช้หน้าแปลนทั้งหมด 2 ตัว ในการยึดแผ่น orifice ในการทำต้องให้แผ่น orifice อยู่ตรงกลางระหว่างหน้าแปลนทั้ง 2 อันนี้ แล้วไขน็อตอัดให้แน่น ในการยึดติดกันระหว่างหน้าแปลน 2 อัน หรือระหว่างหน้าแปลนกับ Orifice ไม่ว่าจะทำจากวัสดุใดก็แล้วแต่ ต้องมีปะเก็นยางเป็นตัวคั่นไว้เสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้มีอากาศไหลรั่วออกมาได้

**ORIFICE** ในส่วนของแผ่น orifice นี้ จะทำจากแผ่นเหล็กหนา 4 mm. นำมาตัดเป็นรูวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm. เนื่องจากเป็นเหล็กแผ่นที่หนา ดังนั้นต้องตัดโดยใช้ไฟตัด หลังจากที่ได้ตัดมาแล้วจะเห็นว่าขอบของแผ่นวงกลมนั้นจะยังไม่เรียบ ต้องนำไปเจียรให้เรียบ ขึ้นตอนต่อไปคือการเจาะรู กำหนดให้ orifice นี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่จุดศูนย์กลางของแผ่นขนาด 3.5 cm. หลังจากที่ได้เจาะรูไปตามขนาดที่ต้องการแล้ว ต้องใช้มีดกลึงปาดที่ขอบของรูนี้ให้ทำมุม 45 องศา นอกจากนี้ที่แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Orifice นี้ยังต้องมีรูที่จะใช้ยึดกับหน้าแปลน PVC ด้วย และเนื่องจากที่หน้าแปลนนั้นจะมีรูอยู่แล้ว ให้การหาตำแหน่งที่จะเจาะรูที่ orifice ก็สามารรถเจาะตามตำแหน่งของรูที่หน้าแปลนได้เลย

หลังจากที่ผ่านชุดของ Orifice ซึ่งประกอบด้วย แผ่น orifice และหน้าแปลน PVC อีก 2 อันแล้ว ส่วนต่อไปก็จะเป็นท่อตรง PVC ขนาด 2 นิ้ว ยาว 50 cm. ปลายด้านบนของท่อส่วนนี้จะติดกับหน้าแปลน PVC ที่ยึดแผ่น orifice ไว้ ส่วนปลายด้านล่างจะติดกับข้องอ 90 องศา อีกอันหนึ่ง

ข้องอ 90 องศา ข้องออันที่สองนี้เป็นข้องอ PVC เหมือนข้องออันแรกที่ผ่านมา แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่ ข้องออันที่สองนี้ จะไม่มี guide vane อยู่ภายใน

หลังจากที่ผ่านข้องออันที่สองนี้ จะต่อกับท่อตรง PVC ขนาด 2 นิ้ว อีกครั้ง ซึ่งท่อช่วงนี้จะยาว 50 cm. และเป็นช่วงสุดท้ายที่จะเป็นท่อขนาด 2 นิ้ว อีกปลายหนึ่งของท่อนี้จะติดหน้าแปลน PVC ไว้ เพื่อที่จะใช้สำหรับต่อกับส่วนต่อไปซึ่งจะเป็นส่วนของ diffuser

**DIFFUSER** เป็นส่วนที่ใช้ขยายจากท่อกลมขนาด 2 นิ้ว เป็นท่อกลมขนาด 4 นิ้ว โดยที่มีความยาว 55 cm. สามารถทำได้โดยเริ่มจากการเขียนแบบแผ่นคลี่จากขนาดที่กำหนด ตัดเหล็กแผ่นตามแบบที่ได้เขียนไว้ แล้วนำแผ่นเหล็กที่ได้นั้นมาม้วนและตีให้เป็นรูปร่างตามที่ต้องการ และใช้การเชื่อมแก๊สเชื่อมขอบทั้งสองข้างที่ม้วนมาชนกัน หลังจากนั้นต้องทำหน้าแปลนเชื่อมติดทั้งสองด้าน ซึ่งต้องทำจากเหล็กแผ่นที่มีความหนามากกว่าเพื่อความแข็งแรง เนื่องจากเป็นส่วนที่มีน้ำหนักมาก โดยที่ความกว้างของหน้าแปลน ก็จะมีขนาดเท่ากับความกว้างของหน้าแปลน PVC ที่จะนำมายึดติดที่แต่ละด้าน นั่นคือ ปลายที่ต่อกับท่อขนาด 2 นิ้ว ความกว้างของหน้าแปลนก็จะเท่ากับความกว้างของหน้าแปลน PVC ที่ใช้กับท่อ 2 นิ้ว ส่วนปลายด้านที่จะต่อกับส่วนต่อไป ซึ่งเป็นท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ก็จะมีขนาดกว้างของหน้าแปลนเท่ากับความกว้างของหน้าแปลน PVC ที่ใช้กับท่อขนาด 4 นิ้ว

**VALVE** วาล์วที่ใช้จะเป็น ball valve ขนาด 4 นิ้ว ซึ่งหลังจากผ่านท่อขนาด 4 นิ้วมาแล้ว ก็ต้องมีข้อต่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ที่ปลายด้านหนึ่งใช้สวมติดกับท่อ และปลายอีกด้านหนึ่งเป็นเกลียวนอก เพื่อใช้ยึดเข้ากับวาล์วซึ่งมีเกลียวในอยู่ ในการขันเกลียวเข้าด้วยกันต้องใช้เทปพันเกลียวพันที่เกลียวด้วย เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ ส่วนเกลียวอีกด้านหนึ่งของวาล์ว จะขันเข้ากับเกลียวของหางปลา ซึ่งหางปลานี้มีไว้สำหรับให้ท่อ flexible duct สวมเข้ามาได้ และต้องมีเข็มขัดรัดที่ท่อนั้น เพื่อป้องกันการรั่วของอากาศ

**FLEXIBLE DUCT** มีลักษณะเป็นท่อที่มีความยืดหยุ่นในตัวเอง สาเหตุที่ต้องใช้ท่อแบบนี้ เนื่องจากเมื่ออากาศผ่านจากวาล์วมาแล้วก็จะเข้าสู่ blower และ blower ที่ใช้นี้มีขนาดใหญ่ ไม่สามารถที่จะติดตั้งให้ปากทางเข้าอยู่ในแนวเดียวกับแนวของท่อได้เพื่อลดการสั่นสะเทือนที่จะส่งไปยังชุดทดลอง ดังนั้นเพื่อความสะดวกจึงแยก blower ออกมาติดตั้งไว้ต่างหาก โดยทำการติดล้อเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้าย และใช้ท่อ flexible duct ต่อระหว่างแนวท่อกับปากทางเข้าของ blower

หลังจากที่ได้ทำการต่ออุปกรณ์ทุกอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในการทดลองจะต้องมีอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติมขึ้นมาอีก นั่นคือ Pitot tube, manometer, สายยาง นอกจากนี้ยังต้องมีกระแสท่อในจุดต่างๆ ที่ต้องการจะวัดความดัน และทำเกลียวที่รูที่เจาะนั้นให้มีขนาดเท่ากับขนาดของเกลียวของส่วนที่จะใช้สวม

สายยางเพื่อวัดความดัน ซึ่งกำหนดให้ใช้เกลียวขนาด  $mS \times 1.0$  ส่วนในจุดที่จะติดตั้ง Pitot tube ก็ต้องทำเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจาะรูและทำเกลียวเช่นเดียวกัน โดยที่ใช้เกลียวขนาดเดียวกัน เนื่องจาก Pitot tube ต้องสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ ดังนั้นต้องมีบุชทองเหลืองเป็นตัวจับ Pitot tube และมีไม้บรรทัดติดไว้เพื่อบอกระยะความสูงของ Pitot tube ในขณะนั้น ทั้งบุชทองเหลืองและส่วนที่จะใช้สวมสายยางสามารถทำได้โดยการนำทองเหลืองที่เป็นแท่งกลมมากลึง ขนาด

**PITOT TUBE** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หา velocity profile หรือใช้หาตำแหน่งภายในท่อที่อากาศไหลด้วยความเร็วสูงสุดในที่นี้สามารถทำ Pitot tube ได้โดยนำท่อสแตนเลสขนาด 2 mm มาตัดให้งอเป็นมุม 90 องศา นอกจากนี้ยังต้องทำบุชทองเหลืองสวมที่ปลายด้านบนของ Pitot tube เพื่อให้สามารถสวมสายยางได้

**MANOMETER** เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันเป็นความแตกต่างของระดับความสูงของน้ำ มีลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปตัว U สามารถทำได้โดยนำหลอดแก้วตรงมาตัดให้งอเป็นรูปตัว U โดยใช้ไฟเป่า จะได้เป็นลักษณะตามรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การคำนวณผลทางทฤษฎี

จากวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นว่างานวิจัยชุดนี้จะเป็นการศึกษา Pressure Drop ที่เกิดขึ้นจากการไหลในท่อ โดยจุดที่เราจะทำการวัด Pressure Drop มีดังนี้

1. ปลายท่อตรง
2. ช่องอตัวแรกที่ภายในมี Guide vane ติดตั้งอยู่
3. Orifice
4. ช่องอตัวที่สอง
5. Diffuser

#### 6.1 ที่ปลายของท่อตรง

6.1.1 จากชุดทดลองเราได้กำหนดให้ท่อตรงนั้นมีความยาว 1.20 เมตรและที่ใช้เป็นท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 2 นิ้ว หรือ 5.08 ซม. และเราทราบความเร็วเฉลี่ยที่ท่ออะคริลิกใสที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งได้มาจาก Pitot tube โดยเราจะวัดความเร็วนี้ที่ระยะขึ้นไปจากแกนท่อเป็นระยะ  $h/8$  และวัดลงมาจากแกนท่อเป็นเป็นระยะ  $h/8$  และนำทั้งสองค่าที่ได้มาทำการเฉลี่ย จากนั้นใช้สมการความต่อเนื่องหาความเร็วเฉลี่ยที่ท่อพีวีซีที่มีหน้าตัดเป็นทอกลมซึ่งจะได้ความเร็วเฉลี่ย ( $u_m$ ) เท่ากับ  $23.1814 \text{ m/s}$

6.1.2 หาค่า Reynolds number

$$\text{Re} = \frac{\rho u_m D}{\mu} \quad (2.1)$$

โดย  $\rho_{\text{air}}$  ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ  $1.16 \text{ kg/m}^3$

$\mu$  มีค่าเท่ากับ  $1.855 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

$D$  มีค่าเท่ากับ 5.08 ซม.

จะได้

$$\text{Re} = \frac{1.16 \times 23.1814 \times 0.0508}{1.855 \times 10^{-5}} = 7.36 \times 10^4$$

จากค่า Reynolds number ที่ได้พบว่าการไหลเป็นการไหลแบบปั่นป่วน เนื่องจากค่า Reynolds number มีค่ามากกว่า 40000 ดังนั้น ค่า friction factor หรือ ค่า  $f$  ต้องหาจากแผนภูมิ Moody ซึ่งต้องหาค่าต่อไปนี้ก่อน

6.1.3 หาค่าความขรุขระสัมพัทธ์จากรูปที่ 3-4 จะพบว่าค่า  $e/D = 0.00003$

6.1.4 หาค่า  $f$  จากแผนภูมิ Moody ในรูปที่ 3-3 จะได้ว่าค่า  $f = 0.015$

6.1.5 หาค่า  $h_f$  จากสมการ (2.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_L = \frac{fLV^2}{2gD_h} \quad (2.11)$$

$$h_L = \frac{0.015 \times 1.2 \times 23.1814^2}{2 \times 9.81 \times 0.0508} = 9.70 \text{ m}$$

6.1.6 หาค่า Pressure drop ได้จาก

$$\Delta P = \rho g h_L = 1.16 \times 9.81 \times 9.70 = 110.44 \frac{N}{m^2}$$

6.2 ที่ช่องอตัวแรกที่อยู่ในมี Guide vane ติดตั้งอยู่

จากตารางที่ 3-2 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียของช่องอ ( $k$ ) ที่ภายในมี Guide vane มีค่าเท่ากับ 0.2 ดังนั้นหาค่า  $h$  ได้จากสมการที่ (2.19)

$$h = k \frac{V^2}{2g} \quad (2.19)$$

$$h = 0.2 \times \frac{23.1814^2}{2 \times 9.81} = 5.48 \text{ m}$$

$$\Delta P = \rho g h = 1.16 \times 9.81 \times 5.48 = 62.35 \frac{N}{m^2}$$

### 6.3 Orifice

จากชุดทดลอง Orifice ที่ได้ทำการออกแบบมีขนาดต่างๆดังนี้

1. เส้นผ่านศูนย์กลางของช่อง Orifice :  $d = 35.56 \text{ mm} = 0.03556 \text{ m}$
2.  $\beta = 35.56 / 50.8 = 0.7$
3.  $A_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 0.03556^2}{4} = 993.15 \times 10^{-6} \text{ m}^2$
4. ค่า  $C_d$  สามารถหาได้จากรูปที่ 4-4 : ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.615
5.  $Z_2 - Z_1 = 0$
6. หาค่าอัตราการไหล ( $Q = VA$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = 23.1814 \times 2.03 \times 10^{-3} = 47 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

ดังนั้นจากสมการ (3.17) สามารถหาค่าความดันที่ตกคร่อม Orifice ได้ดังนี้

$$Q = C_d A_0 \sqrt{\frac{2 \left[ \frac{P_1 - P_2}{\rho} - g(Z_2 - Z_1) \right]}{1 - \beta^4}} \tag{3.17}$$

จะได้

$$P_1 - P_2 = 2574.5 \text{ N/m}^2$$

6.4 ช่องอตัวที่สอง

จากตารางที่ 3-2 ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียของช่องอ (k) มีค่าเท่ากับ 0.9 ดังนั้นหาค่า h ได้

จากสมการที่ (2.19)

$$h = k \frac{V^2}{2g}$$

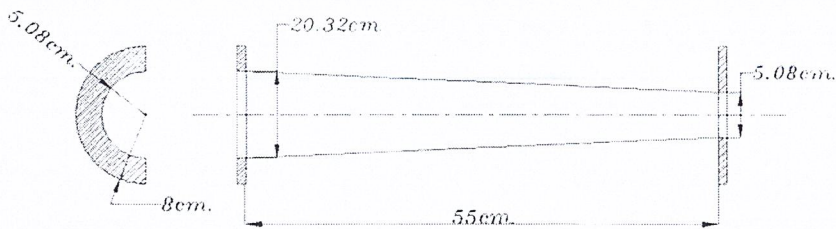
(2.19)

$$h = 0.9 \times \frac{23.1814^2}{2 \times 9.81} = 24.65 \text{ m}$$

$$\Delta P = \rho gh = 1.16 \times 9.81 \times 24.65 = 280.51 \frac{N}{m^2}$$

6.5 Diffuser

จากชุดทดลอง Diffuser ที่ได้ทำการออกแบบมีขนาดต่างๆดังนี้



รูปที่ 6-1 แสดงส่วนต่างๆของ Diffuser

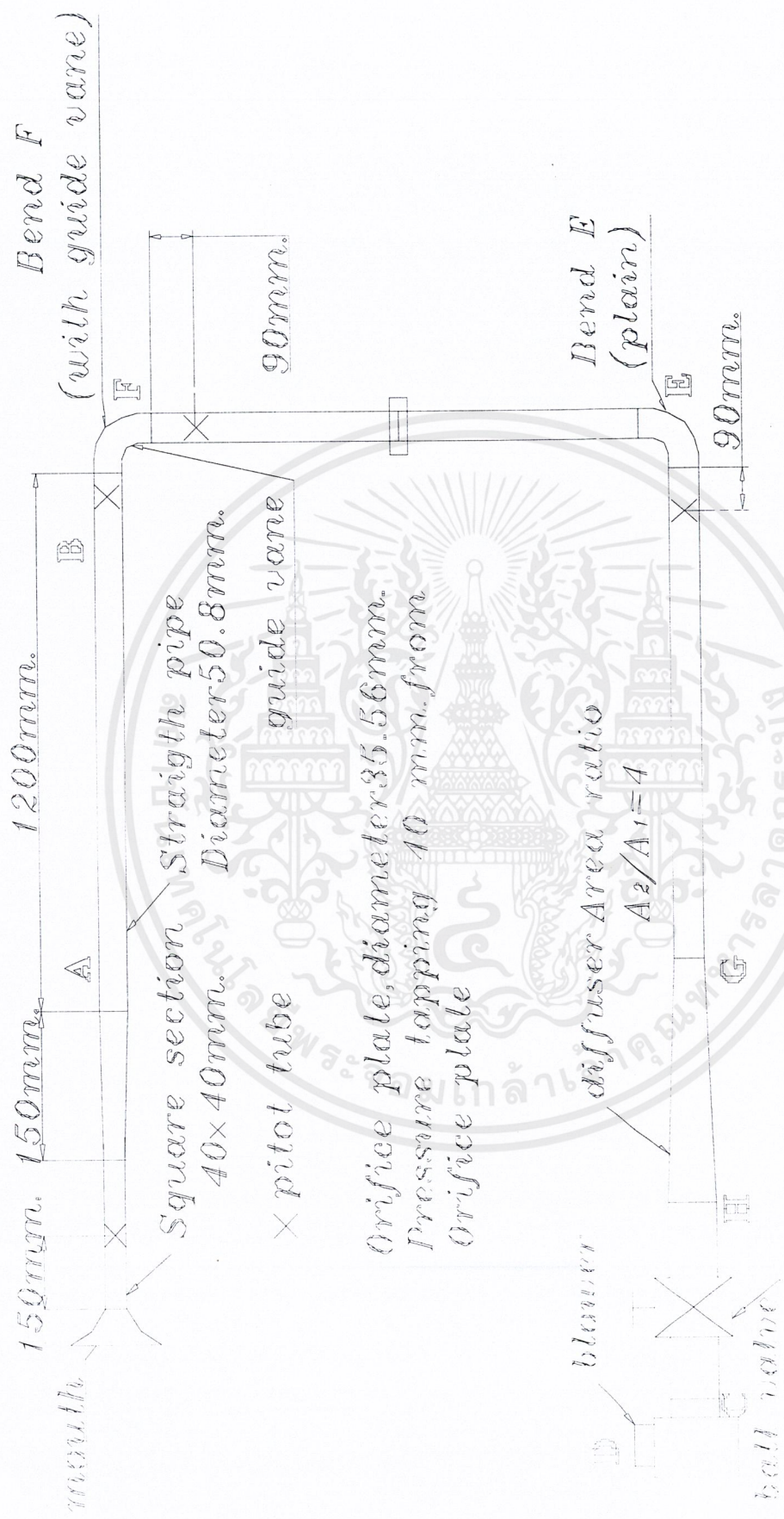
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{4}$
2. ค่า cone angle ( $2\theta$ ) มีค่าเท่ากับ 5
3. ค่าประสิทธิภาพของ Diffuser ( $\eta$ ) จากรูปที่ 3-7 ค่า  $\eta \approx 0.9$   
จากสมการ (2.20) จะได้

$$\eta = \frac{\Delta P_{diff}}{\left\{ \left( \frac{\rho v^2}{2} \right) \left[ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right] \right\}} \quad (2.20)$$

$$\Delta P_{diff} = 262 \frac{N}{m^2}$$





รูปแสดง ระบบและอุปกรณ์การทดลองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### การทดลอง

#### การวัดค่า Pressure drop และการคำนวณ

- บันทึกความดันในห้องทดลอง  $p = 1.01 \times 10^3 \text{ N/m}^2$   
 วัดอุณหภูมิในการทำการทดลอง  $29 \text{ }^\circ\text{C}$   
 แปลงให้เป็นอุณหภูมิบูรณ์  $T = 302 \text{ K}$   
 คำนวณหาความหนาแน่นของอากาศโดยใช้ Ideal gas flow  $\rho = \frac{P}{RT}$   
 ซึ่ง  $R = 287.1 \text{ J/kg K}$   $\rho = 1.16 \text{ kg/m}^3$   
 จะได้ค่า Dynamic viscosity โดยใช้ตารางเทอร์โมไดนามิกส์  $\mu = 1.855 \times 10^{-5} \text{ kg/m s}$
- เปิด Blower และปรับอัตราการไหลในช่วงของปากทางเข้าให้เข้าสู่ระดับที่ต้องการ โดยดูจาก Manometer และแปลงค่า Dynamic pressure นี้ให้เป็นหน่วย S.I.  
 Manometer reading  $\frac{1}{2}\rho v^2 = 51 \text{ mmH}_2\text{O}$   
 แปลงเป็นหน่วย S.I.  $\frac{1}{2}\rho v^2 = 500.139 \text{ N/m}^2$   
 คำนวณหา  $v$  ในส่วนของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม  $v = 29.365 \text{ m/s}$   
 คำนวณหาอัตราการไหลโดยมวล  $\dot{m} = \rho Av = 54.5 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$   
 ใช้ Continuity equation ในการคำนวณหา Mean velocity ( $u_m$ ), Dynamic pressure ( $\frac{1}{2}\rho u_m^2$ ) และ Reynolds number  $\left(\frac{\rho u_m D}{\mu}\right)$  สำหรับท่อกลม  
 $u_m = 23.1814 \text{ m/s}$   
 $\frac{1}{2}\rho u_m^2 = 311.678 \text{ N/m}^2$   
 $Re = 73.6406 \times 10^3$
- บันทึกค่า  $\Delta p$  ของท่อตรงช่วง AB ที่มีความยาว  $L$  และแปลงเป็นหน่วย S.I.  
 $\Delta p = 10 \text{ mmH}_2\text{O} = 98.065 \text{ N/m}^2$   
 คำนวณหา Wall shear stress  $\tau_w = \frac{\Delta p D}{4L}$   $\tau_w = 1.0379 \text{ N/m}^2$   
 และ Friction factor  $f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2}\rho u_m^2}$   $f = 0.00333$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับค่า  $f$  ที่ได้จาก Blasius relationship  $f = 0.079 \text{ Re}^{-1/4} = 0.00479$

4. บันทึกค่า Pressure drop เมื่ออากาศไหลผ่านข้อ E และ F แปลงเป็นหน่วย S.I. และคำนวณหา Loss coefficients

$$K = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho u_m^2}$$

$$\Delta p_F = 65 \text{ mmH}_2\text{O} = 637.43 \text{ N/m}^2 \quad K_F = 2.04$$

$$\Delta p_E = 135 \text{ mmH}_2\text{O} = 1323.9 \text{ N/m}^2 \quad K_E = 4.2476$$

5. บันทึกค่า Pressure drop across the orifice plate ( $\Delta p_o$ ) และ Pressure upstream of the device relative to ambient ( $\Delta p_u$ ) และแปลงทั้งสองค่าให้เป็นหน่วย S.I.

$$\Delta p_o = 205 \text{ mmH}_2\text{O} = 2014.3 \text{ N/m}^2$$

$$\Delta p_u = 122.5 \text{ mmH}_2\text{O} = 1201.3 \text{ N/m}^2$$

Absolute pressure upstream  $p_1 = p_{\text{atm}} + \Delta p_u = 100.124 \times 10^3 \text{ N/m}^2$

คำนวณหา Diameter ratio  $d/D$   $\beta = 0.7$

คำนวณหาความเร็วของ Approach factor  $E = (1 - \beta^4)^{-1/2} = 1.1472$

คำนวณหา Dimensionless distance ของ Downstream pressure tapping from the orifice plate  $L'_2 = \frac{l_2}{D}$  ซึ่ง

$$l_2 = 40 \text{ mm.} \quad L'_2 = 0.787$$

คำนวณหาค่า  $C$  โดยกำหนดให้ค่า  $\text{Re}_D$  มีค่าเท่ากับค่า  $\text{Re}$  ที่หาไว้แล้ว

$$C = 0.5959$$

$$+ 0.0312\beta^{2.1} - 0.1840\beta^8 + 0.0029\beta^{2.5} \left[ \frac{10^6}{\text{Re}_D} \right]^{0.75} + \frac{0.039\beta^4}{(1-\beta^4)} - 0.0337L'_2\beta^3$$

$$C = 0.61$$

คำนวณหา Expansibility factor โดยที่  $\gamma = 1.40$

$$\varepsilon = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \frac{\Delta p_o}{\gamma p_1} = 0.9929$$

ดังนั้น  $\dot{m} = CE\varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p_o \rho} \quad \dot{m} = 47.3 \times 10^3 \text{ kg/s}$

6. บันทึกความแตกต่างของ Pressure เมื่ออากาศไหลผ่าน Diffuser ที่ระยะ G-H แปลงให้เป็นหน่วย S.I. และคำนวณหา Diffuser efficiency

$$\eta = \frac{\Delta p_D}{\frac{1}{2} \rho u_m^2 \left[ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right]}$$

$$\Delta p_D = 25 \text{ mmH}_2\text{O} = 245.166 \text{ N/m}^2 \quad \eta = 0.839$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองการหา Velocity Profile และจุดที่อากาศไหลด้วยความเร็วสูงสุดในท่อ โดยใช้ Pitot Tube

จะทำการวัดที่ 3 จุดด้วยกัน คือ เมื่ออากาศไหลในท่อตรง เมื่ออากาศไหลผ่านช่องอัดตัวแรกที่มี guide vane อยู่ภายใน และเมื่ออากาศไหลผ่านช่องอัดตัวที่สองซึ่งไม่มี guide vane อยู่ภายใน

การวัดจะใช้ Pitot Tube โดยจะเริ่มวัดจากจุดล่างสุดของท่อ และเลื่อน pitot tube ขึ้นมาทีละ 0.5 cm. จาก pitot tube จะมีสายยางต่อกับ manometer ค่าที่วัดได้จะเป็น Dynamic Pressure ทำการแปลงให้เป็นความเร็ว ( $u$ ) และทำการเขียนกราฟระหว่างค่า  $u/u_m$  และ  $y/D$  โดยที่  $y$  คือ ระยะของ pitot tube ที่สูงขึ้นมาจากจุดล่างสุดของท่อ และ  $D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ซึ่งเท่ากับ 5.08 cm.

### - เมื่ออากาศไหลในท่อตรง

| $y$ (cm.) | $P$ (mmH <sub>2</sub> O) | $P$ (N/m <sup>2</sup> ) | $y$ (cm.) | $u$ (m/s) | $y/D$ | $u/u_m$ |
|-----------|--------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-------|---------|
| 4         | 23                       | 225                     | 4         | 19.7      | 0.787 | 0.85    |
| 3.5       | 34                       | 331.3                   | 3.5       | 23.9      | 0.689 | 1.03    |
| 3         | 43                       | 419.7                   | 3         | 26.9      | 0.59  | 1.16    |
| 2.5       | 46                       | 454.7                   | 2.5       | 28        | 0.492 | 1.21    |
| 2         | 43                       | 419.7                   | 2         | 26.9      | 0.412 | 1.16    |
| 1.5       | 38                       | 377.1                   | 1.5       | 25.5      | 0.295 | 1.1     |
| 1         | 25                       | 246.1                   | 1         | 20.6      | 0.197 | 0.887   |
| 1.5       | 10                       | 96.5                    | 0.5       | 12.9      | 0.103 | 0.56    |
| 0         | 0                        | 0                       | 0         | 0         | 0     | 0       |

จากค่าในตารางที่ได้ นำไปเขียนกราฟแสดง Velocity Profile ของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรงได้ โดยเขียนกราฟระหว่างค่า  $u/u_m$  และ  $y/D$  และสามารถเขียนกราฟเปรียบเทียบรูปร่างของ Velocity Profile ได้ ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองจริง ซึ่งก็คือค่าในตาราง และค่าที่ควรจะเป็นในทางทฤษฎี ซึ่งหากค่า  $u$  ได้จากสมการ

$$u = (1 + 1.33\sqrt{f})u_m - (2.04\sqrt{f})u_m \log\left(\frac{R_0}{R_0 - R}\right)$$

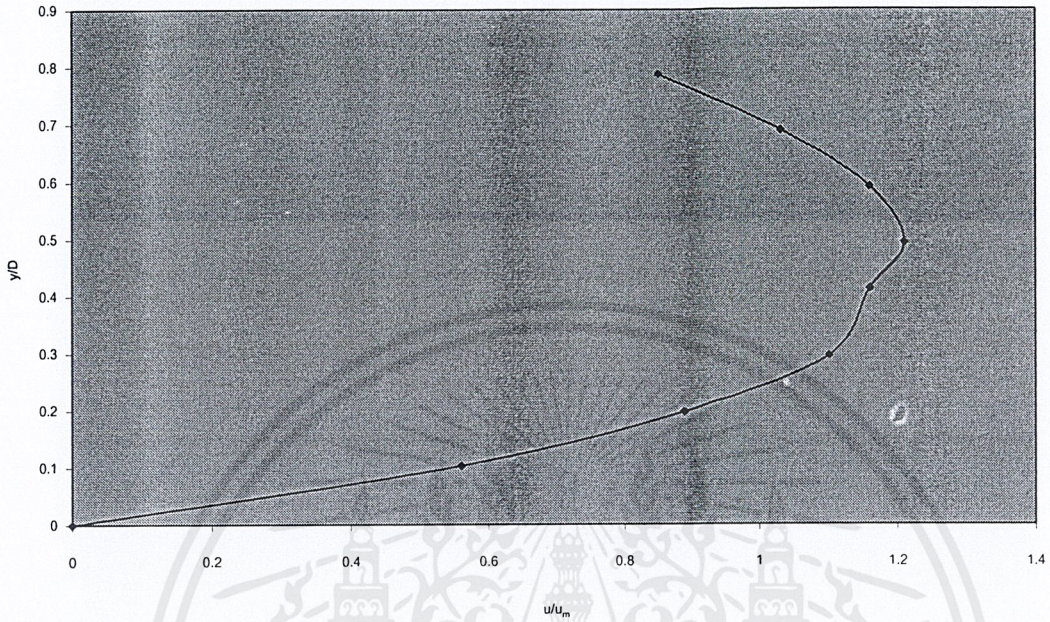
โดยที่  $R_0$  คือ รัศมีของท่อกลม

$R$  คือ ระยะที่ Pitot tube เลื่อนขึ้นลง โดยวัดจากแกนกลางของท่อกลม

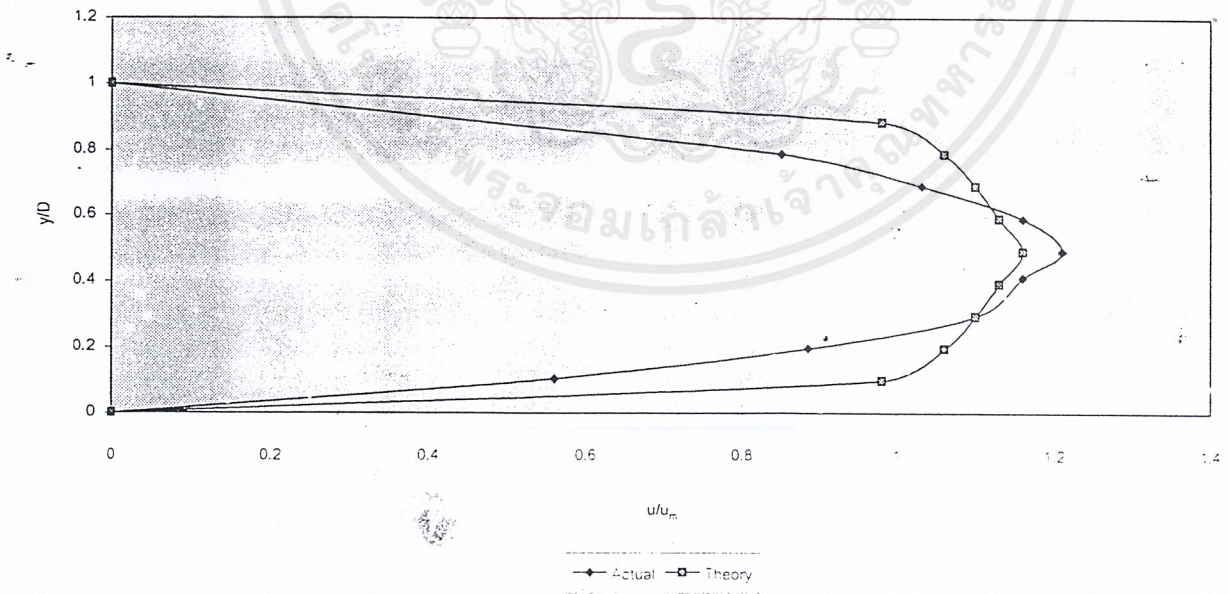
การเปรียบเทียบจะแสดงได้ดังกราฟแสดงการเปรียบเทียบ Velocity Profile ของค่าที่ได้จากการทดลอง และทางทฤษฎี เมื่ออากาศไหลผ่านท่อตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดง Velocity Profile ของอากาศที่ไหลในท่อตรง



รูปที่ 7-1 กราฟแสดง Velocity Profile ของอากาศไหลในท่อตรง



รูปที่ 7-2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Velocity Profile ของค่าที่ได้จากการทดลองและทางทฤษฎี ของอากาศที่ไหลในท่อตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่มี Guide Vane อยู่ภายใน

| y (cm.) | P (mmH <sub>2</sub> O) | P (N/m <sup>2</sup> ) | y (cm.) | u (m/s) | y/D   | u/u <sub>m</sub> |
|---------|------------------------|-----------------------|---------|---------|-------|------------------|
| 4       | 76                     | 794.02                | 4       | 37      | 0.787 | 1.6              |
| 3.5     | 87                     | 855.2                 | 3.5     | 38.1    | 0.689 | 1.645            |
| 3       | 83                     | 815.6                 | 3       | 37.5    | 0.59  | 1.616            |
| 2.5     | 61                     | 601.4                 | 2.5     | 32.2    | 0.492 | 1.389            |
| 2       | 38                     | 377.1                 | 2       | 25.5    | 0.394 | 1.1              |
| 1.5     | 25                     | 241.4                 | 1.5     | 20.4    | 0.295 | 0.88             |
| 1       | 14                     | 141.1                 | 1       | 15.6    | 0.197 | 0.675            |
| 0.5     | 6                      | 60.3                  | 0.5     | 10.2    | 0.098 | 0.44             |
| 0       | 0                      | 0                     | 0       | 0       | 0     | 0                |

จากค่าที่ได้ในตาราง สามารถเขียนกราฟระหว่างค่า  $u/u_m$  และ  $y/D$  ได้ จะได้เป็นกราฟแสดง Velocity Profile เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่มี Guide Vane อยู่ภายใน

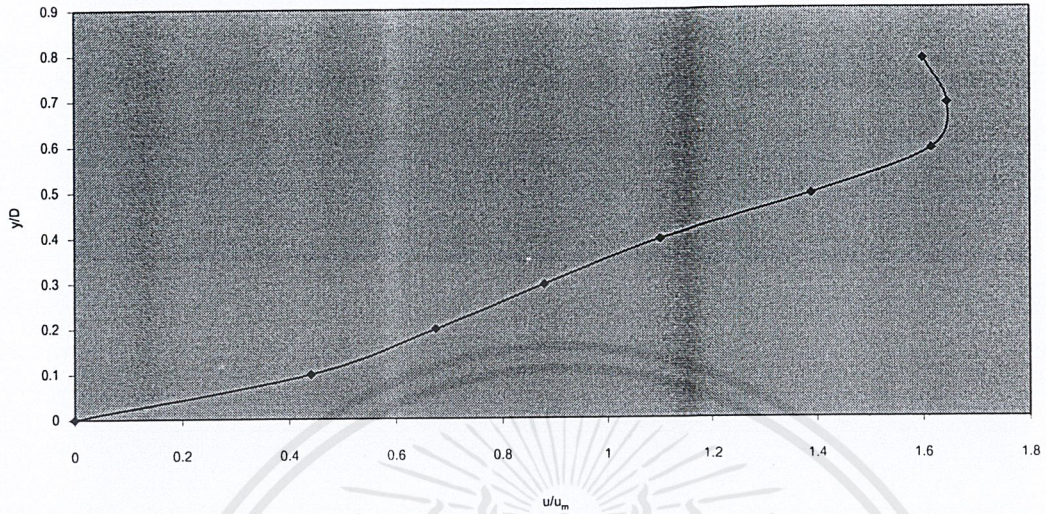
- เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่ไม่มี Guide Vane อยู่ภายใน

| y (cm.) | P (mmH <sub>2</sub> O) | P (N/m <sup>2</sup> ) | y (cm.) | u (m/s) | y/D   | u/u <sub>m</sub> |
|---------|------------------------|-----------------------|---------|---------|-------|------------------|
| 5       | 0                      | 0                     | 5       | 0       | 1     | 0                |
| 4.5     | 133                    | 1308.6                | 4.5     | 47.5    | 0.901 | 2.05             |
| 4       | 129                    | 1270.3                | 4       | 46.8    | 0.813 | 2.02             |
| 3.5     | 122                    | 1195.5                | 3.5     | 45.4    | 0.705 | 1.959            |
| 3       | 113                    | 1107.6                | 3       | 43.7    | 0.606 | 1.886            |
| 2.5     | 99                     | 970.2                 | 2.5     | 40.9    | 0.508 | 1.765            |
| 2       | 84                     | 828.7                 | 2       | 37.8    | 0.409 | 1.63             |
| 1.5     | 69                     | 682.4                 | 1.5     | 34.3    | 0.311 | 1.48             |
| 1       | 60                     | 586.5                 | 1       | 31.8    | 0.212 | 1.374            |

จากค่าที่ได้ในตาราง สามารถนำไปเขียนกราฟระหว่างค่า  $u/u_m$  และ  $y/D$  ได้ จะได้เป็นกราฟแสดง Velocity Profile เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่ไม่มี Guide Vane อยู่ภายใน

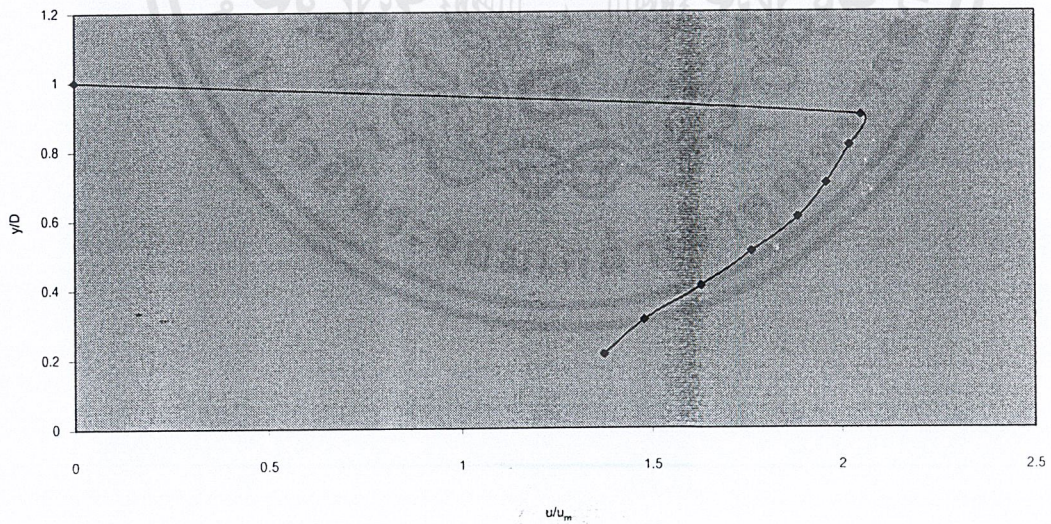
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดง Velocity Profile เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่มี Guide Vane



รูปที่ 7-3 กราฟแสดง Velocity Profile เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่มี Guide Vane

กราฟแสดง Velocity Profile เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่ไม่มี Guide Vane



รูปที่ 7-4 กราฟแสดง Velocity Profile เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่ไม่มี Guide Vane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. Pressure drop ที่ได้จากการทดลอง มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของการไหลของอากาศภายในท่อ โดยที่ค่า Pressure drop จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการไหลเพิ่มขึ้น ดังสมการของ Dynamic pressure

$$P = \frac{1}{2} \rho u^2$$

2. ความเร็วของอากาศที่ไหลในท่อจะมีค่าเพิ่มเมื่อพื้นที่หน้าตัดของท่อมีขนาดเล็กลง ดังจะเห็นได้จากสมการ Continuity

$$u_1 A_1 = u_2 A_2$$

3. จากกราฟของ Velocity Profile ที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 จุด จะเห็นได้ว่า ตำแหน่งที่อากาศไหลด้วยความเร็วสูงสุดในท่อจะแตกต่างกัน โดยที่

- เมื่ออากาศไหลผ่านท่อตรง ตำแหน่งที่อากาศไหลด้วยความเร็วสูงสุดจะอยู่ที่กึ่งกลางท่อ หรือที่ระยะ  $\frac{y}{2}$
- เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่มี Guide Vane อยู่ในตำแหน่งที่อากาศไหลด้วยความเร็วสูงสุดจะอยู่ที่ระยะมากกว่า  $\frac{y}{2}$  เล็กน้อย
- เมื่ออากาศไหลผ่านช่องที่ไม่มี Guide Vane อยู่ในตำแหน่งที่อากาศไหลด้วยความเร็วสูงสุดจะอยู่ที่ระยะมากกว่า  $\frac{y}{2}$  มากขึ้นเมื่อเทียบกับช่องที่มี Guide Vane

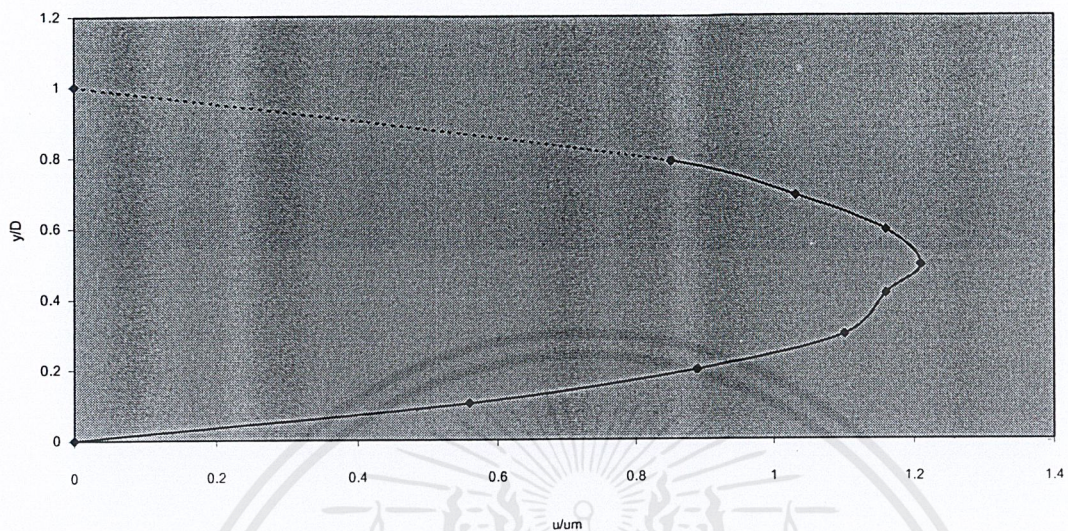
ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า การติดตั้ง Guide Vane ในช่อง จะมีประโยชน์ คือ ทำให้การไหลของอากาศผ่านช่องนั้น เป็นไปอย่างราบเรียบมากขึ้น

4. จากกราฟ Velocity Profile ที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่า Velocity Profile ที่ได้ ได้ไม่เต็มรูป ทั้งนี้เนื่องจากว่า Pitot tube ที่ใช้ในการทำการทดลองนั้น ไม่สามารถเลื่อนขึ้นมาจนชิดผิวท่อด้านบนได้ แต่จากรูปกราฟที่ได้จากการทดลองก็จะเห็นได้ว่า ในการทดลองนี้สามารถเห็นแนวโน้มรูปร่างของ Velocity Profile ได้ถึง 80-85% และสามารถหาตำแหน่งที่อากาศมีความเร็วในการไหลสูงสุดได้

ในกรณีที่ต้องการเห็นรูปร่างของ Velocity Profile เต็มรูป เราก็สามารถสร้างกราฟเพิ่มเติมขึ้นได้จากทฤษฎีของ Ideal Flow ซึ่งกล่าวว่า ของไหลที่ไหลภายในท่อ จะมีความเร็วที่ผิวท่อเป็นศูนย์ จะแสดงได้ในกราฟที่ 1 กราฟที่ 2 และ กราฟที่ 3 และเมื่อทำการเปรียบเทียบกันโดยนำกราฟทั้ง 3 มาเขียนรวมกัน จะได้ดัง กราฟที่ 4

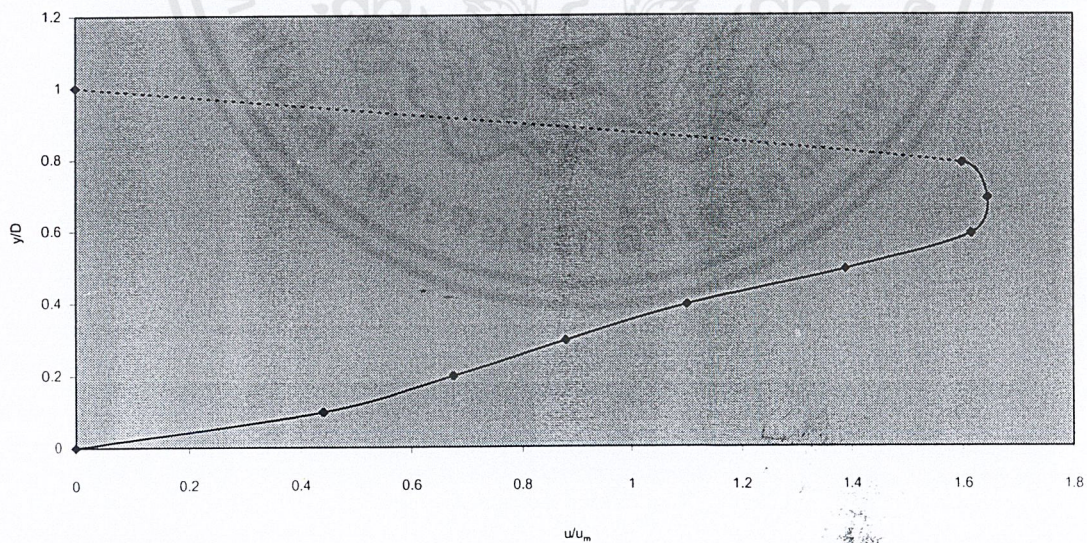
5. จากขั้นตอนการทำการทดลอง และผลการทดลองที่ได้ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ชุดทดลองซึ่งได้สร้างขึ้นนี้ สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองสำหรับหาค่า Pressure drop และหา Velocity Profile ได้

กราฟที่ 1



รูปที่ 8-1 กราฟที่ 1 แสดง Velocity Profile เต็มรูป ของอากาศที่ไหลผ่านท่อตรง

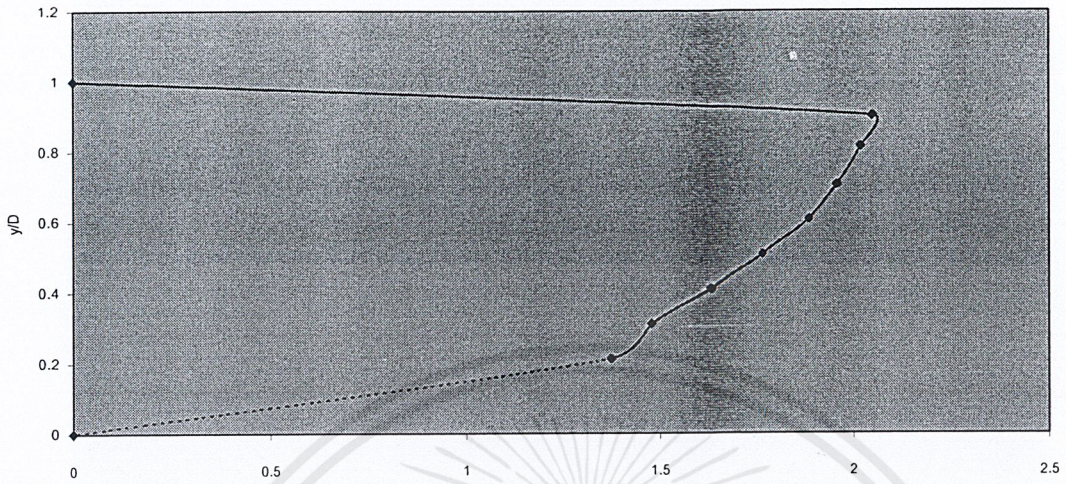
กราฟที่ 2



รูปที่ 8-2 กราฟที่ 2 แสดง Velocity Profile เต็มรูป ของอากาศที่ไหลผ่านช่องที่มี Guide Vane

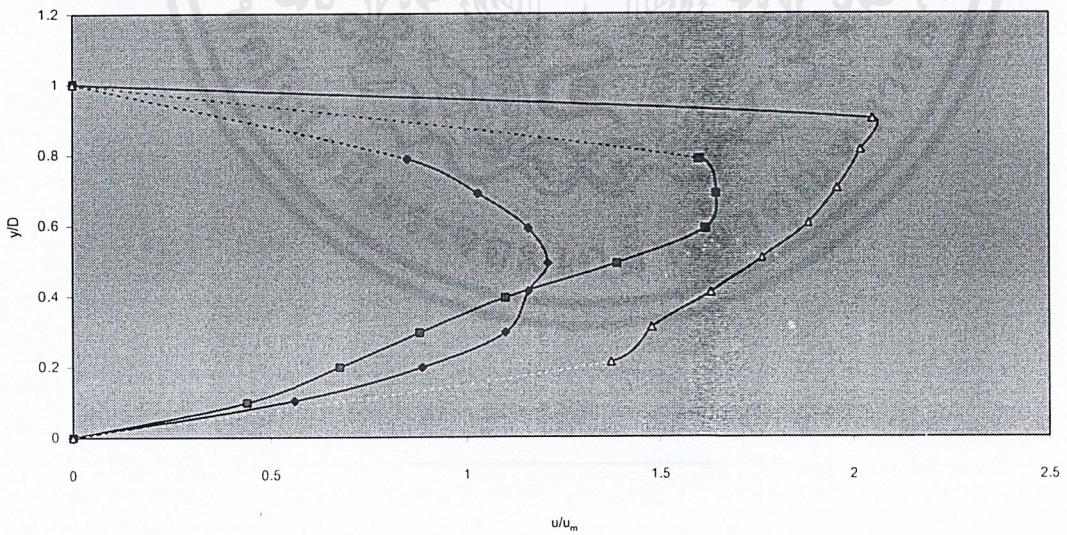
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 3



รูปที่ 8-3 กราฟที่ 3 แสดง Velocity Profile เต็มรูป ของอากาศที่ไหลผ่านช่องที่ไม่มี Guide Vane

กราฟที่ 4



รูปที่ 8-4 กราฟที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบ Velocity Profile

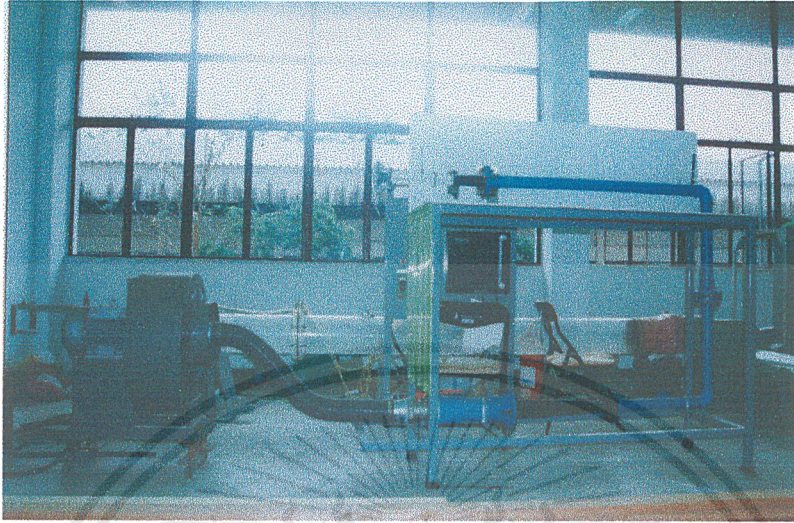
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] สมาน เจริญกิจผลผล, มন্ত্রী พิรุณเกษตร, “กลศาสตร์ของไหล”, ซีเอ็ด
- [2] R. L. Daugherty, Joseph B. Franzini, E. John Finnemore, “Fluid Mechanic with Engineering Applications”, McGraw-Hill, Inc., 1985
- [3] V. L. Streeter, E.B. Wylie, “Fluid Mechanic”, McGraw-Hill Ryerson Limited, 1987
- [4] R. W.Fox, A. T. McDonald, “Introduction to Fluid Mechanic”, John Wiley&Sons, Inc., 1985
- [5] P. M. Gerhart, R. J. Grass, J. I. Hochestein, “Fundamental of Fluid Mechanic”, Addison-Wesley, 1992.
- [6] Robert, Crowe, “Engineering Fluid Mechanics”, Houghton Mifflin Company, 1975
- [7] S. C. Chapra, R. P. Canale, “Numerical Methods for Engineerd’, McGraw-Hill, 1998



## ภาคผนวก

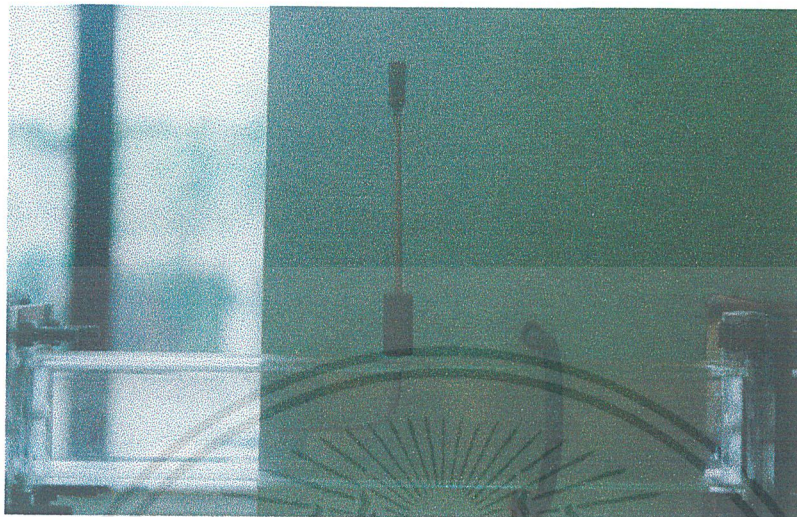


รูปแสดง ระบบและอุปกรณ์การทดลองทั้งหมด

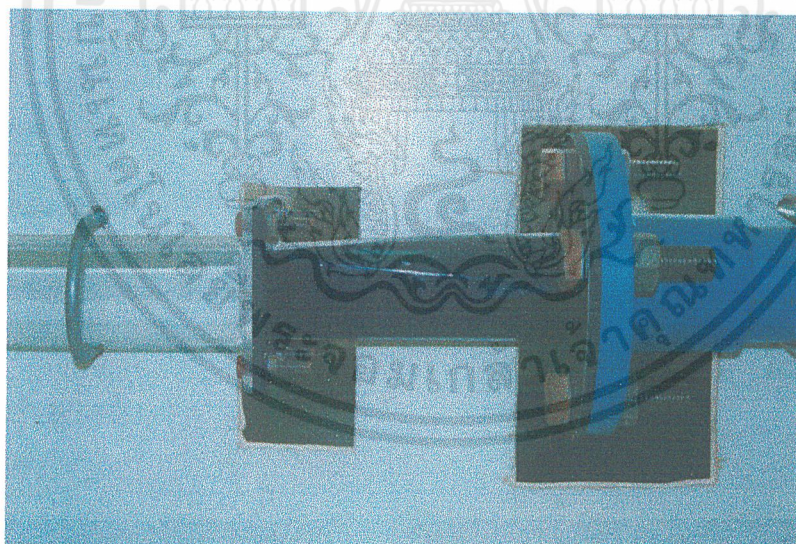


รูปแสดง ปากแตรทางเข้าของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

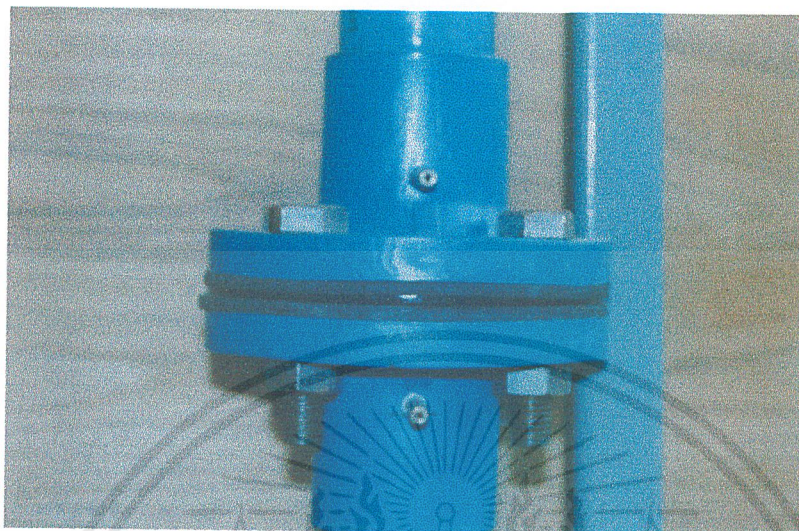


รูปแสดง ท่ออะคริลิกใส หน้าตัดสี่เหลี่ยม และ Pitot tube



รูปแสดง ข้อต่อที่ใช้เปลี่ยนหน้าตัดของท่อจากสี่เหลี่ยมเป็นวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

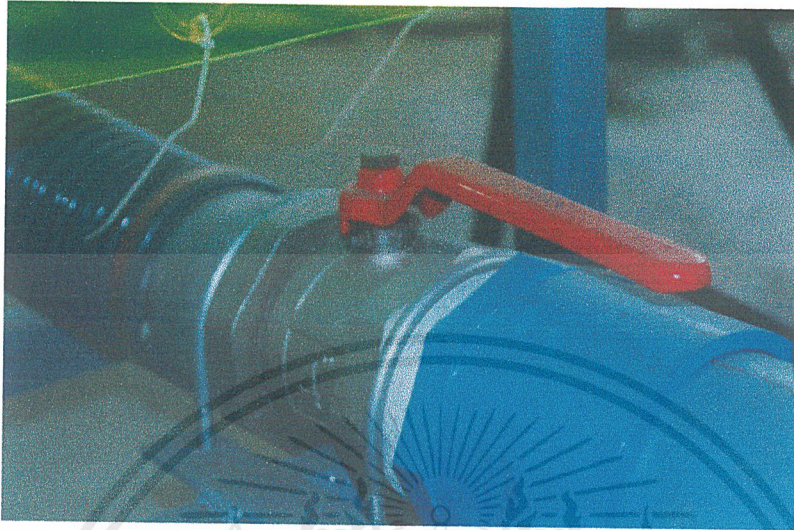


รูปแสดง การติดตั้ง Orifice



รูปแสดงการติดตั้ง Diffuser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

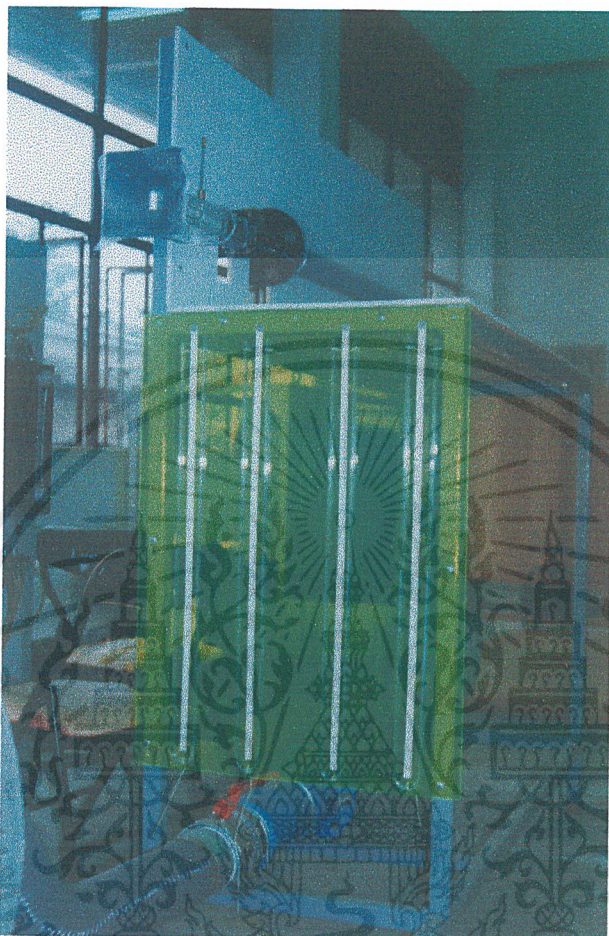


รูปแสดงการติดตั้ง Valve



รูปแสดง Blower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง Manometer และตำแหน่งการติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้