18402

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

T096718

เรื่อง

การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบน๊อซเซิล

(Design and Assembling Nozzle Flow Meter)

โดย

1. นายศารทูล ธรรมโชโต รหัส 41044432
2. นายนิพล เวียงอินทร์ รหัส 41044463
3. นายสุเทพ จารุทรรศน์พิมล รหัส 41044469

ปก.
ศ356ก
2545

สมทบ.....
เลขทะเบียน 96718
วัน.เดือน.ปี - 4 JUN 2009

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 12/มิ.ย./45

(อ.ณรงค์สุข ชัยชยอภิ) อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบน๊อซเซิล

(Design and Assembling Nozzle Flow Meter)

จัดทำโดย

นายศารทูล ธรรมโชโตรหัส 4104443

นายนิพล เวียงอินทร์รหัส 41044463

นายสุเทพ จารุทรรศพิมลรหัส 41044469

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายศารทูล ธรรมโชโต, นายนิพล เวียงอินทร์ และนายสุเทพ จารุทรรศพิมล : การออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการการไหลแบบหัวฉีด (Design and Assembling Nozzle Flow Meter)
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์สนธิสุข ธีระชัยชยุติ

บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด ทำการออกแบบและสร้างขึ้นจากท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d_1) 5.4 เซ็นติเมตร ประกบกับหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d_2) 2.5 เซ็นติเมตร จากนั้นนำมาโนมิเตอร์รูปตัวยู(U – tube Manometer)มาต่อเข้ากับอุปกรณ์แล้วนำชุดวัดอัตราการไหลมาติดตั้งเข้ากับระบบท่อและปั๊มน้ำ หลังจากนั้นทำการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของน้ำ โดยบันทึกผลต่างของระดับความสูง(h)ของของเหลว(น้ำมันเครื่อง)ในมาโนมิเตอร์ และปริมาตรของน้ำที่ตวงได้ในเวลา 30 วินาที ที่ระดับค่า h ต่างกันทำการทดลอง 10 ค่าๆละ 7 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของแต่ละค่า h และนำค่า h มาคำนวณหาค่าอัตราการไหลตามทฤษฎี จากการทดลองวัดอัตาการไหลของน้ำเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าปรับแก้ของอุปกรณ์ หรือค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Cd) พบว่าเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีดที่สร้างขึ้นมีค่า Cd เท่ากับ 0.973 และสมการวัดอัตราการไหลของอุปกรณ์ชุดนี้ คือ $Q = 2.12 \times 10^{-3}\sqrt{\Delta h}$ หลังจากนั้นทำการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำอีกครั้งด้วยอุปกรณ์ชุดเดิม เพื่อทำการทวนสอบอุปกรณ์ โดยทำการวัดอัตราการไหลที่ระดับ h ต่างๆกัน 10 ค่าๆละ 3 ครั้ง วัดปริมาตรน้ำและคำนวณหาค่าอัตราการไหลจากสมการของเครื่อง พบว่าค่าอัตราการไหลที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ตามสมการของเครื่อง โดยเฉลี่ยแล้วเครื่องมือชุดนี้มีเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด ± 3.518 ซึ่งย่านการใช้งานของเครื่องอยู่ที่อัตราการไหลไม่เกิน 30 ลิตรต่อนาที

ศารทูล ธรรมโชโต 12-4-45
นิพล เวียงอินทร์
สุเทพ จารุทรรศพิมล

ลายมือชื่อนักศึกษา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์สนธิสุข ธีระชัยชยุติ สำหรับคำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ไข จนปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดจนอาจารย์ท่านอื่นๆและเจ้าหน้าที่ของภาควิชาที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด นอกจากนี้ขอขอบคุณกนกวรรณ สุภาภรณ์ รัตนะ วีระชัยและเพื่อนๆคนอื่นๆที่ช่วยค้นคว้าหาข้อมูลและให้ยืมเครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ด้วย

นายศาลทูล ธรรมโชโต
นายนิพล เวียงอินทร์
นายสุเทพ จารุทรรศน์พิมล
20 มีนาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	2
2.1 ความดันและหน่วยวัดความดัน	2
2.2 ความดันที่เกิดจากของเหลว	3
2.3 รูปแบบของความดัน	4
2.4 มาโนมิเตอร์รูปตัว U	6
2.5 ทฤษฎี Bernoulli สำหรับ Fluid ที่เป็นของเหลว	8
2.6 มิเตอร์ทุติยภูมิหรือมิเตอร์ความเร็ว	10
2.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของการ Discharge	13
2.8 พฤติกรรมการไหลของ Fluid ในท่อ	15
3. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	16
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 วิธีการทดลอง	16
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	19
4.1 ผลการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำเพื่อหาค่า Cd	19
4.2 ผลการคำนวณหาค่า Cd ที่ระดับค่า h ต่างๆ	20
4.3 ผลการคำนวณหาค่าผิดพลาดของอุปกรณ์	22
5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก ก	25
ภาคผนวก ข	27
ประวัติผู้แต่ง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. อัตราการไหลของน้ำที่ระดับค่า h ต่างๆก่อนคำนวณหาค่า Cd	19
2. ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Cd) ที่ะดับค่า h ต่างๆ	20
3. อัตราการไหลของน้ำในการทดสอบเครื่องมือ	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.	แสดงความดันที่เกิดจากของเหลว	4
2.	แสดงมาโนมิเตอร์รูปตัว U	6
3.	แสดงความตึกผิวของของไหลในหลอด	7
4.	แสดงของไหลแบบ Steady	8
5.	แสดงชนิดต่างๆของมิเตอร์ความสูงเปลี่ยนแปลง	11
6.	แสดงแบบของน๊อซเซิลชนิดต่างๆ	13
7.	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Cd และR_d	14
8.	แสดงธรรมชาติความเร็วของ Fluid ภายในท่อ	15
9.	แสดงแบบของน๊อซเซิลชนิด I.S.A	17
10.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Qideal และ h ก่อนหาค่า Cd	21
11.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Qactual และ h ก่อนหาค่า Cd	21
12.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Qideal และ h ที่ปรับแก้ด้วยค่า Cd แล้ว	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบในทางอุตสาหกรรมอาหาร โดยทั่วไปแล้วจะพบบ่อยมากในรูปของของไหล ซึ่งอัตราการไหลของสารสถานะนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการแปรรูปอาหารที่มีของไหลในขั้นตอนการผลิต ดังนั้นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลจึงมีความจำเป็นมากต่อกระบวนการผลิต แต่การสั่งซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ประเภทนี้มีค่าใช้จ่ายสูง เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต จึงควรมีการศึกษาการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ชนิดนี้ขึ้นใช้งานเอง

น๊อซเซิล (Nozzle Flow Meter) เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ออกแบบง่ายและสามารถทำขึ้นได้จากวัสดุหลายชนิดไม่ว่าจะเป็นเหล็กหรือแสตนเลส อุปกรณ์เสริมต่างๆก็ง่ายต่อการสร้างและติดตั้ง นอกจากนี้น๊อซเซิลยังมีความแข็งแรง ใช้ได้ดีกับของไหลที่มีสารแขวนลอย และอ่านค่าได้ถูกต้องมากกว่าอุปกรณ์ประเภทเดียวกัน น๊อซเซิลจึงเหมาะต่อการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการไหลขึ้นใช้งานเอง

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบน๊อซเซิล
2. เพื่อศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ความดันและหน่วยวัดความดัน

ความดันและหน่วยวัดความดัน (Pressure and its Measuring Units)
ความดันเป็นค่าตัวแปร (Variable) ที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่ง ค่าของตัวแปรอื่นๆในระบบ (Process Measurement) สามารถวัดได้ในรูปความดันทั้งสิ้น เช่น

- การวัดค่า Flow แบบใช้ตัววัดน๊อซเซิลทำให้เกิดค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียล
- การวัดระดับของของเหลวในภาชนะโดยใช้หลักการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล ที่เกิดจากสแตติกเฮด (Static Head)
- การวัดอุณหภูมิแบบเติมของเหลวในกระเปาะ (Filled Thermal) เปลี่ยนค่าอุณหภูมิเป็นความดันก่อนแล้วอ่านอุณหภูมิในรูปความดัน

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำลงอย่างสม่ำเสมอในแนวตั้งฉากบนพื้นที่ที่กำหนด ถ้ากำหนดให้ F แรงที่กระทำ, A คือ พื้นที่ที่ถูกกระทำ. P คือ ความดันที่เกิดขึ้น จะได้

$$P = F/A$$

แรงที่กระทำอาจเกิดจากของเหลว (Liquids) ก๊าซ (Gas) หรือของแข็ง (Solids) ก็ได้

<u>หน่วยมาตรฐานสากลของความดัน (S. I Units)</u>

แรงที่กระทำมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton) 1 N = 1 $kg.m/s^2$ กระทำลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะได้ความดัน = 1 ปาสคาล (Pa)

$$1\ Pa = 1\ N/m^2$$

ผู้ที่กำหนดหน่วยความดันนี้ขึ้นมาคือ Blaise Pascal แต่ปาสคาลเป็นหน่วยเล็ก ต่อมา Bar จึงได้กำหนดหน่วยในทางปฏิบัติขึ้น

$$1\ bar = 100{,}000\ Pa = 10^5\ Pa$$

ค่าความดัน 1 bar นี้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าความดัน 1 บรรยากาศ และ 1 kg/cm^2 มาก หน่วยความดัน bar นี้ต่อไปจะเป็นหน่วยมาตรฐานสากลทุกประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ค่าเปรียบเทียบกับหน่วยที่มีอยู่เดิม</u>

ค่าความดันบรรยากาศโดยประมาณ (Technical Atmosphere)

1 kg/cm^2 = 0.981 bar

ค่าความดันบรรยากาศทางฟิสิกส์ (Physical Atmosphere)

1 atm = 1.01325 bar

หน่วยอังกฤษ

1 psi = 0.068947 bar

ในรูปความสูงของน้ำและปรอท

1 mH_2O = 0.09806 bar

1 inH_2O = 0.00249089 bar

1 inHg = 0.034531 bar

โดยกำหนดให้ 1 บรรยากาศ = 760 mmHg ที่ปรอท 0^0C และมีความเร่งจากแรงโน้มถ่วง = 9.80665 m/s^2

1 mmHg = ความดันอันเกิดจากความสูงของปรอท 1 mm ที่ปรอท มีความหนาแน่น = 1.5951 g/cm^2 และมีความเร่งจากแรงโน้มถ่วง = 9.80665 m/s^2

1 mH_2O = ความดันอันเกิดจากความสูงของน้ำ 1 เมตร มีค่าความหนาแน่นคงที่ 1 g/cm^2และมีความเร่งจากแรงโน้มถ่วง = 9.80665 m/s^2

2.2 ความดันที่เกิดจากของเหลว (Pressure of Liquids)

ของเหลวมีมวลหนาแน่นกว่าก๊าซมาก ในทางปฏิบัติถือว่าของเหลวเป็นสารที่อัดตัวไม่ลง (Incompressible) ถ้าเปรียบเทียบกับก๊าซแล้ว ก๊าซเป็นสารที่อัดตัวได้ (Compressible) เมื่อของเหลวถูกบรรจุอยู่ในภาชนะ โมเลกุลของของเหลวจะทับถมกันไปเรื่อยๆจากบนลงสู่ล่างทำให้ความดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามขนาดความสูงของของเหลวนั้น ความดันที่เกิดจากของเหลวลักษณะนี้เรียกว่า สแตติกเฮด (Static Head) หรือเรียกสั้นๆว่า เฮด (Head)

ถ้ากำหนดให้ P คือ ความดันอันเกิดจากของเหลว (bar)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m3)

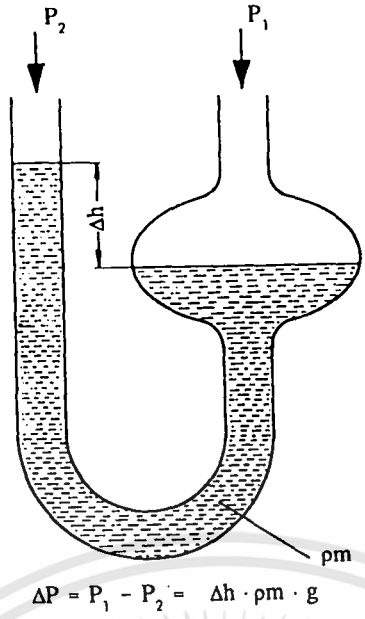
h คือ ความสูงของของเหลว (m)

และ g คือ แรงโน้มถ่วง (m/s2)

จะได้ $P = \rho gh$

ค่าสแตติกเฮดของของเหลวที่มีความสูงเท่ากัน จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวนั้น ปรอทจะทำให้เกิดสแตติกเฮด 13.6 เท่าของของน้ำในความสูงที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงความดันที่เกิดจากของเหลว

ตามรูปที่ 1 เป็นการวัดโดยอาศัยความต่างระดับของของเหลวค่าความดันหาได้จากสูตร

$$P = P_1 - P_2 = \rho g \Delta h$$

เครื่องวัดแบบนี้เรียกว่า มาโนมิเตอร์ (Manometer) เป็นวิธีการวัดที่เก่าแก่ที่สุดเมื่อสมัยยุคแรกของเครื่องจักรไอน้ำก่อนที่จะมีเครื่องมือวัดหลายอย่างเช่นปัจจุบัน

2.3 รูปแบบของความดัน (Types of pressure)

รูปแบบของความดันแตกต่างกันไปตามจุดอ้างอิง (Reference) ที่มีค่าเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติจะมี 4 รูปแบบคือ

- ความดันสมบูรณ์ (Absotute Pressure)
- ความดันเกจ (Gauge Pressure)
- ความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure)
- Vacuum (ความดันในช่วงต่ำกว่าบรรยากาศ)

<u>ค่าความดันสมบูรณ์</u>

ค่าความดันสมบูรณ์มีจุดสูญญากาศ (Absolute Vacuum) ค่าที่กำหนดเป็นความดันสัมบูรณ์ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น “abs” หรือ “a” เช่น bar_{abs}, Psia หรือ kg/cm^2_{abs} ค่าความดันสัมบูรณ์นี้เป็นค่าที่ใช้สำหรับการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิก เช่น การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Boiler)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันเกจ (Guage Pressure)

ค่าความดันเกจจะอ้างอิงค่าศูนย์ (Zero Reference) ที่ความดันบรรยากาศ โดยค่าที่บอกจะเป็นค่าที่สูงกว่าความดันบรรยากาศขึ้นไป ซึ่งค่าความดันบรรยากาศนี้จะถือที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (Mean Sea Level) มีค่าเท่ากับ 1.01325 bar_{abs} ถ้าวัด ณ จุดใด บนพื้นโลกจะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 5% ในค่าที่กำหนดเป็นความดันเกจนี้ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น g หรือ G เช่น bar_g, kg/cm^2_G หรือ Psig

ถ้าเปรียบเทียบค่าความดันสัมบูรณ์กับความดันเกจแล้ว ความดันสัมบูรณ์จะมีค่ามากกว่า 1.01325 bar หรือ 14.696 Psi

$$P_{abs} = P_g + \text{Atmosphere}$$

ความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure)

เป็นการบอกค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุด ความดันดิฟเฟอเรนเชียลจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ความดันทั้งสองจุดที่วัดที่ค่าเท่ากัน

ค่าที่กำหนดเป็นความดันแตกต่างจะมีตัวย่อท้ายว่า d หรือ D เช่น kg/cm^2_D Psid หรือ bar_d บางครั้งอาจเขียนย่อว่า ΔP ซึ่งหมายถึงค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลเช่นเดียวกัน ในการใช้งานตัวกรองน้ำมัน (Starainer) เราสามารถกำหนดเวลาทำความสะอาดของตัวกรองนี้ได้โดยดูค่าความดันดิเฟอเรนเชียล ที่หน้าและหลังตัวเอง ถ้าค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลน้อยแสดงว่าตัวกรองยังสะอาดแต่ถ้าค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลสูงขึ้นแสดงว่ามีสิ่งสกปรกมาติดมากแล้ว จะชี้บอกว่าถึงเวลาจะเปลี่ยนตัวกรองได้หรือยัง

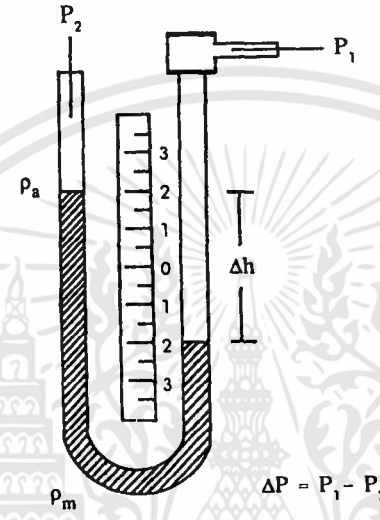
Vacuum (ความดันในช่วงต่ำกว่าบรรยากาศ)

จะอ้างอิงจุดศูนย์ที่ความดันบรรยากาศและค่าจะมากขึ้นเมื่อความดันลดลง ค่าจะได้สูงสุดที่จุดศูนย์ของความดันสัมบูรณ์ (Zero Absoluite) Vacuum นี้บางทีจะเรียกว่าความดันลบ (Negative Pressure) นิยมกำหนดหน่วยเป็นค่าความสูงของของเหลว เช่น mmHg , inHg หรือถ้ามีค่าน้อยๆ อาจกำหนดเป็น mmH_2O , inH_2O และจะมีตัวย่อต่อท้ายด้วย Vac (Vacuum) เช่น 758 $mmHg_{Vac}$ ซึ่งหมายถึงมีค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศลงไป 758 mmHg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 มาโนมิเตอร์รูปตัว U (U – tube Manometer)

ตามรูปที่ 2 เมื่อมีความดันแตกต่าง ความดันด้านสูงจะดันให้ของเหลวจากด้านขวาของหลอดแก้วไหลไปยังอีกข้างหนึ่ง ของเหลวจะหยุดเมื่อแรงที่เกิดจากความดันแตกต่างสมดุลกับแรงที่เกิดจากน้ำหนักของของเหลวในหลอดแก้วด้านซ้าย



รูปที่ 2 มาโนมิเตอร์รูปตัว U แสดงหลักการของมาโนมิเตอร์

ถ้ากำหนดให้

g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง

ρm คือ ความหนาแน่นของของเหลว

ρa คือ ความหนาแน่นของ Fluid เหนือของเหลวในที่นี้หมายถึงอากาศ

จะได้ $P_1 - P_2 = \Delta h (\rho m - \rho a) \cdot g$

เพราะเหตุว่า $\rho m >> \rho a$

ในทางปฏิบัติจึงถือว่า $\rho a = 0$

ดังนั้น $\Delta P = \Delta h \cdot \rho m \cdot g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

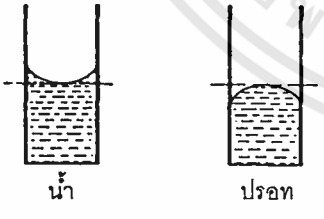
จากสมการจะเห็นว่าผลต่างของความดันขึ้นอยู่กับความสูงแตกต่างของของเหลว และความหนาแน่นของของเหลว ดังนั้นการเลือกชนิดของของเหลวและกำหนดความสูงของท่อแก้ว จึงเป็นการกำหนดขนาดของความดันที่จะวัด เช่น ถ้ากำหนดความสูงของท่อแก้ว 1 เมตร-น้ำ จะใช้ความดันได้ 0 – 98.1 mbar ปรอทจะใช้วัดความดันได้ 0 – 1.3342 bar

ของเหลวที่ใช้ปัจจุบันได้แก่ น้ำ ปรอท และน้ำมันผสมที่ไม่ระเหย

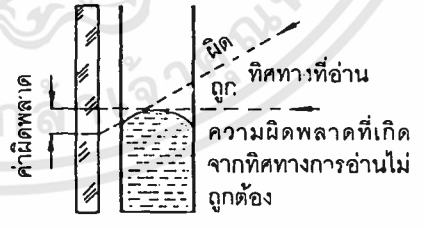
คุณสมบัติของของเหลวที่จะเติมลงในมาโนมิเตอร์จะต้องเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาหรือรวมตัวกับสาร (Fluid) ที่ต้องการวัดความดันในระบบ จะต้องไม่เป็นพิษ ไม่กัดกร่อน แข็งตัว หรือเดือดในสภาวะการใช้งาน

ความผิดพลาดของการวัดด้วยวิธีนี้ประมาณ $\pm$0.3% สำหรับการวัดที่ต้องการค่าที่แน่นอน อุณหภูมิที่ต่างไปจากค่าที่กำหนด (ค่า Reference) ความบริสุทธิ์ของของเหลว ความดันบรรยากาศ ณ จุดที่วัดที่อาจเปลี่ยนไปจะต้องนำมาคำนวณแก้ด้วย ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้จะทำให้ความหนาแน่นของของเหลวเปลี่ยนไป อันจะทำให้ค่าความผิดพลาดสูงขึ้นทั้งสิ้น

ค่าความตึงผิวของของเหลว (Surface Tension) ที่ใช้เติมลงในมาโนมิเตอร์จะทำให้ระดับของของเหลวไม่เรียบ น้ำหรือน้ำมันผสมมีค่าความตึงผิวต่ำ ทำให้มีน้ำบางส่วนเกาะกับผิวผนังภายในท่อ ตามรูป 3.1 ซึ่งผลของความตึงผิวนี้จะทำให้อ่านค่าผิดไปได้ ค่าที่ถูกต้องต้องอ่านจากระดับศูนย์กลางภายในท่อ ตามรูปที่ 3.2 การอ่านค่าที่ผิดพลาดนี้เรียกว่า พาราแลกซ์ (Parallax)



รูปที่ 3.1ส่วนโค้งที่ผิวของของเหลวจะเกิดขึ้นเนื่องจากค่าความตึงผิว



รูปที่3.2 เกิดขึ้นเนื่องจากค่าความตึงผิวของของเหลวที่อาจทำให้อ่านค่าผิดไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาโนมิเตอร์รูปตัว U นี้เป็นแบบที่ใช้วัดความดันแตกต่าง ΔP ถ้าด้านที่มีความดันเปิดสู่บรรยากาศ ค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้เป็นค่าความดันเกจ หรือจะใช้วัดค่า Vacuum ก็ได้ ย่านการใช้งานของมาโนมิเตอร์เริ่มจากค่าต่ำกว่าบรรยากาศ (Vacuum) จนถึงความดันประมาณ 1 bar มาโนมิเตอร์รูปตัว U ใช้ในงานสอบเทียบค่า (Calibration) ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) และชี้บอกความดัน ณ จุดที่วัด (Local Indication)

<u>ข้อดีและข้อย่อยของมาโนมิเตอร์</u>

ข้อดี (Advantages)

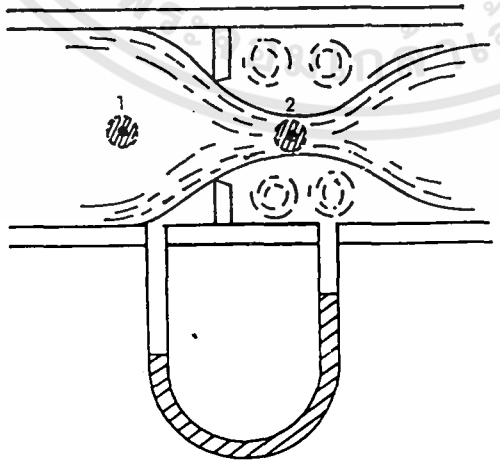
1. เหมาะสำหรับงานวัดค่าความดันต่ำๆจาก 1-2 mm H_2O ไปจนถึง 1 bar สามารถใช้วัด Vacuum หรือความดันดิฟเฟอเรนเชียลค่าต่ำๆได้ดี
2. ให้ความเที่ยงตรง (Accuracy) และความไวในการวัดสูง (Sensitivity)
3. สามารถเลือกของเหลวที่มีความหนาแน่น (Density) ต่างๆกันได้มาก
4. เป็นแบบ ที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก สามารถทำขึ้นใช้เองได้

ข้อด้อย (Disadvantages)

1. ไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อเกิดความดันเกินขนาด (Over Range)
2. วัดความดันได้ในย่านความดันต่ำๆเท่านั้น
3. อาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือเกิดการระเหยตัว กลั่นตัว ถ้าเลือกของเหลวที่ใช้เติมไม่ถูก
4 ต้องปรับระดับก่อนการใช้งานทุกครั้ง

2.5 ทฤษฎี Bernoulli สำหรับ Fluid ที่เป็นของเหลว

ทฤษฎีของ Bernoulli กล่าวว่า "ของไหลแบบ Steady (อัตราการไหลสม่ำเสมอหรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ) ที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้วผลบวก Velcity Head, Pressure Head และ Elevation Head ในทุกจุดของท่อจะเป็นค่าคงที่" ดังในรูปที่ 4



รูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ V_1 คือ ความเร็วของ Fluid ที่จุด 1

V_2 คือ ความเร็วของ Fluid ที่จุด 2

P_1 คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 1

P_2 คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 2

Z_1 คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 1

Z_2 คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 2

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

γ คือ ค่าน้ำหนักจำเพาะของ Fluid

ตามสมการของ Bernoulli เปรียบเทียบที่จุด 1 และ จุด 2 จะได้

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{r_1} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{r_2} + Z_2 \qquad 1$$

จากสมการที่ 1 เนื่องจากระดับ $Z_1 = Z_2$ และ $r_1 = r_2$ $\therefore$ จะได้

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{r} \qquad 2$$

เนื่องจากสภาพการไหลเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuity Flow) ดังนั้น P ปริมาณการไหลของ Fluid ที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด ณ จุดใดๆ ของท่อจะต้องมีค่าคงที่เสมอ นั่นคือปริมาณการไหกล ณ จุด 1 และจุด 2 จะต้องมีค่าเท่ากัน

ถ้าให้ A_1 และ A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดที่จุด 2 ตามลำดับ

จะได้ $A_1 V_1 = A_2 V_2$ 3

จากสมการที่ 3 $V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2$ 4

นำค่า V_1 สมการที่ 4 แทนค่าในสมการที่ 2 จะได้ $V_2^2 \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right] = 2g \frac{(P_1 - P_2)}{r}$ 5

$\therefore$ จะได้ $$V_2 = \sqrt{\frac{\frac{2g(P_1 - P_2)}{r}}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \qquad 6$$

V_2 เป็นความเร็วของ Fluid ผ่านน๊อซเซิล ดังนั้นปริมาณการไหล Q = A_2 V_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจากสมการที่ 6 $$A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{\frac{2g(P_1 - P_2)}{r}}{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad 7$$

ดังนั้นสมการ $$Q = A_2 D_d \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{r} \Big/ (1-\beta^2)} \quad 8$$

เมื่อ $\beta = A_2/A_1$

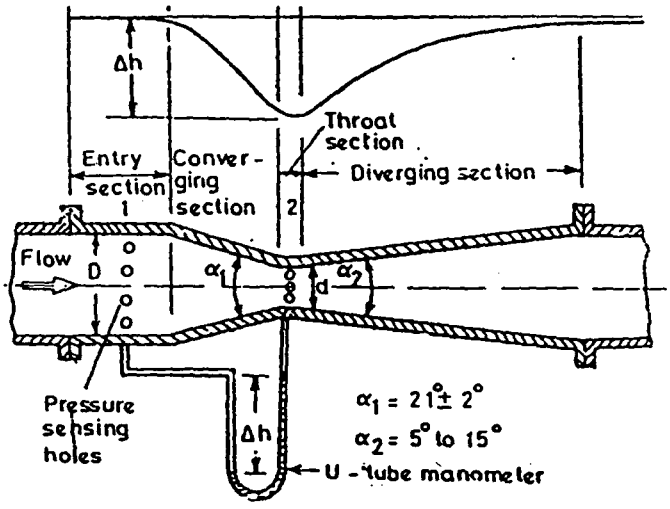
2.6 มิเตอร์ทุติยภูมิหรือมิเตอร์ความเร็ว

มิเตอร์ทุติยภูมิหรือมิเตอร์ความเร็วจัดอยู่ในประเภทของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลชนิดวินิจฉัย (inferential type) อันนี้เป็นเพราะว่ามันไม่ได้ทำการวัดการไหลโดยตรงแต่จะวัดบางสิ่งบางอย่างที่มีความสัมพันธ์กับการไหลแทน เครื่องมือเหล่านี้โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของมิเตอร์วัดการไหลชนิดกีดขวาง (obstruction type) คำว่า " มิเตอร์ชนิดกีดขวาง " จะใช้กับอุปกรณ์ที่กระทำเหมือนกับการวางสิ่งกีดขวางในช่องทางเดินของของไหลที่กำลังไหลเป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในที่ตั้ง ผลที่ตามมากับการที่ความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงจะสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของความดันในการไหล การเปลี่ยนแปลงของความดันนี้มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของของไหล มันเป็นที่น่าสังเกตว่าอุปกรณ์เหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดของโหลด (loading error) ในค่าที่ถูกต้อง เพราะการกีดขวางทำให้ค่าความต้านทานในระบบการไหลเพิ่มขึ้นและเป็นผลให้อัตราการไหลลดลงไปเล็กน้อย

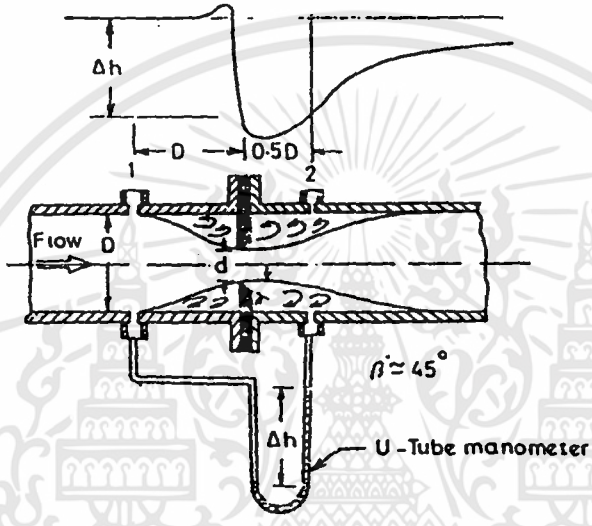
<u>มิเตอร์ความสูงเปลี่ยนแปลง (Variable Head Meters)</u>

มิเตอร์เหล่านี้มีสาระสำคัญอยู่ที่การทำให้ของไหลไหลผ่านส่วนที่คอดรัด อันมีผลทำให้เกิดความเร่งในของไหลซึ่งเป็นเหตุให้ความดันลดลง ขนาดความดันตกคร่อมสามารถวัดได้โดยง่าย และมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหล รูปแบบของการต้านที่ใช้กับการไหลก็คือหลอดเวนทูรี (Venturi tube) แผ่นออริฟิค (Orifice plate) และน๊อซเซิล (Nozzle) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5

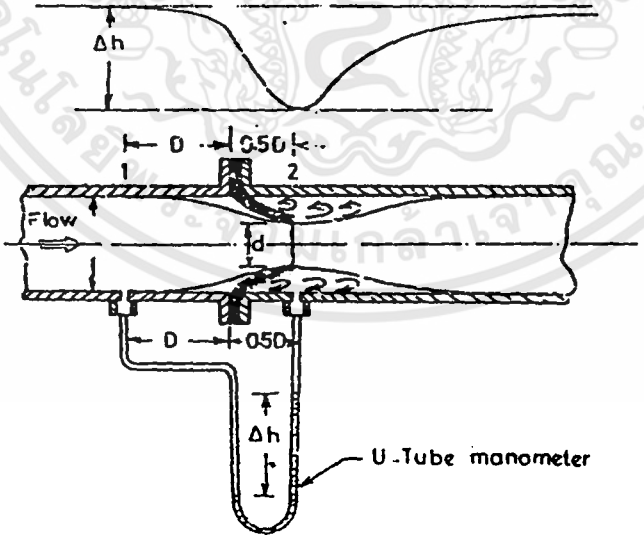
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เวนทูรีมิเตอร์



ออริฟิคมิเตอร์



น๊อทเซิลมิเตอร์

รูปที่ 5 ชนิดต่างๆของมิเตอร์ความสูงเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของความดันในเครื่องมือวัดความดันแตกต่างเหล่านี้ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5 ด้วยตำแหน่งที่มีความดันต่ำสุดตั้งอยู่ที่ทางน้ำไหลด้านล่าง (down steam) ถัดจากจุดที่ต้านไปเล็กน้อย จุดที่ซึ่งน้ำไหล (stream) แคบที่สุดเราเรียกจุดนั้นว่า " Vena-contracta" ถัดไปจากจุดนี้ ความดันจะค่อยๆเพิ่มขึ้น แต่ความดันนี้ไม่สามารถกลับไปเท่ากับความดันทางด้าน upstream ได้ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียความดันอย่างถาวร ขนาดของการสูญเสียนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการต้านและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์วัด อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางที่คอดรัดกับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ D ถูกเรียกว่า " อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (diameter ratio)" ถ้าอัตราส่วนนี้เล็กมากๆการเปิดให้ของของไหลไหลผ่านก็จะแคบและการสูญเสียความดันจะสูง ประสิทธิภาพของการวัดจะลดลง ถ้าอัตราส่วนค่อนข้างใหญ่การสูญเสียความดันค่อนข้างน้อยทำให้การวัดมีความเที่ยงตรง ในทางปฏิบัติอัตราส่วนนี้จะอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.6 สมการทั่วไปของสำหรับอัตราการไหลของอุปกรณ์เหล่านี้สามารถหาได้ดังนี้

กำหนดให้ ความดัน ความเร็ว และพื้นที่ของทางไหลของของไหลที่จุดที่ 1 หรือทางไหลด้านบน (upstream) เป็น p_1 V_1 และ A_1 ในทำนองเดียวกัน จุดที่ 2 ทางน้ำไหลด้านล่าง (downstream) เป็น p_2 V_2 และ A_2 และสมมุติว่าของไหลเป็นชนิดไม่สามารถอัดตัวได้นั้นคือความหนาแน่นของมันจะไม่เปลี่ยนแปลงขณะไหล

ใช้สมการการไหลอย่างต่อเนื่อง (continuity equation) เราจะได้อัตราการไหล

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

ใช้สมการ Bernoulli (สมมุติว่าการไหลเป็นอุดมคติ) เราจะได้

$$p_1 + \rho V^2_1 / 2 = p_2 + \rho V^2_2 / 2$$

ความแตกต่างความสูงของความดัน (Δh) จะให้โดย

$$(p_1 - p_2) / \rho g = \Delta h$$

กำจัด V_1 และ V_2จากสมการ และแทนค่าของ Δh จากสมการที่ เราจะได้อัตราการไหลทางอุดมคติเป็น

$$Q_{ideal} = \left[A_1 A_2 / \sqrt{A^2_1 - A^2_2} \right] \sqrt{2g\Delta h}$$

ในทางปฏิบัติ อัตราการไหลของของไหลที่แท้จริงจะน้อยกว่า ที่ให้ไว้ในสมการเสมอ เพราะว่ามีการสูญเสียในการไหลองของไหลอันเนื่องจากความเสียดทาน และการเคลื่อนที่ไหลวน เมื่อพิจารณาการสูญเสียอันนี้ เราจะนิยามคำว่า " สัมประสิทธิ์การปล่อย " Cd (Coeffcient of Discharge) เหมือนกับ

$$Cd = Q_{actual} / Q_{idcal}$$

ดังนั้น เราสามารถเขียนสมการอัตราการไหลของของไหลที่แท้จริงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_{actual} = Cd[A_1A_2/\sqrt{A^2_1 - A^2_2}]\sqrt{2g\Delta h}$$

สมการที่ สามารถเขียนใหม่ในรูปแบบที่ง่ายขึ้นเป็น

$$Q_{actual} = CdK\sqrt{\Delta h}$$

เมื่อ K คือค่าคงที่ของอุปกรณ์กีดขวางการไหล และ

$$K = [A_1A_2/\sqrt{A^2_1 - A^2_2}]\sqrt{2g\Delta h}$$

Cd คือ สัมประสิทธิ์ของการปล่อย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของการไหล อุปกรณ์กีดขวาง และค่า Reynold number ของการไหลซึ่งมีค่าเท่ากับ $\rho VD / \mu$

2.7 ค่าสัมประสิทธิ์ของการ Discharge

ตามรูปที่ 6 เป็นน๊อซเซิลตาม ASME Power Test Codes " Instrument and Apparatus" Part 5, Chapter 4, 1959

$$\beta = d/D$$

ค่า β ต่ำ ($\beta < 0.5$)

$r_1 = d$

$r_2 = 2/3d$

$L_t = 0.6d$

$t >$ 1/8 นิ้ว แต่ $<$ ½ นิ้ว

$t_2 >$ 1/8 นิ้ว แต่ $<$ 0.15 นิ้ว

ค่า β ต่ำ ($\beta > 0.25$)

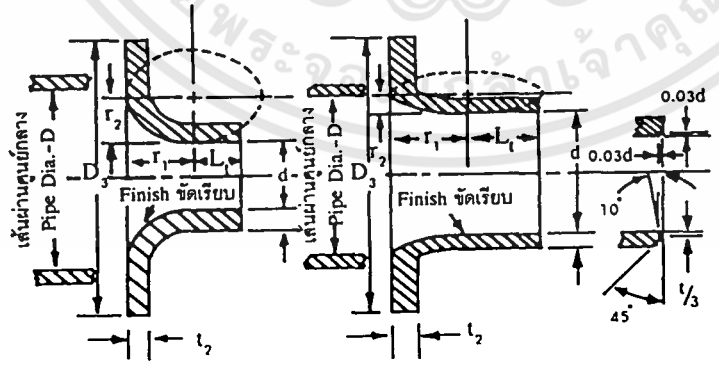
$r_1 = 1/2d$

$r_2 = ½ (D - d)$

L_t มากกว่า 0.6d หรือน้อยกว่า 1/3d

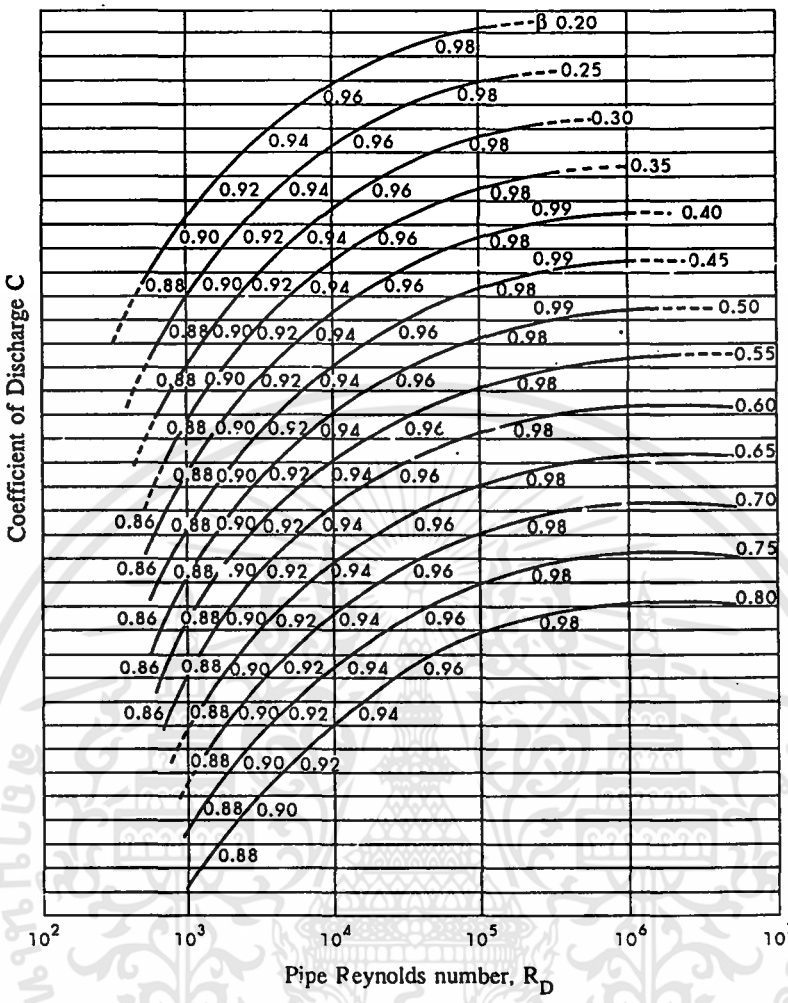
$2t$ มีค่า $< D - [d +$ 1/8 นิ้ว]

$t_2 >$ 1/8 นิ้ว แต่ $< 0.15D$



รูปที่ 6 การออกแบบน๊อซเซิลแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

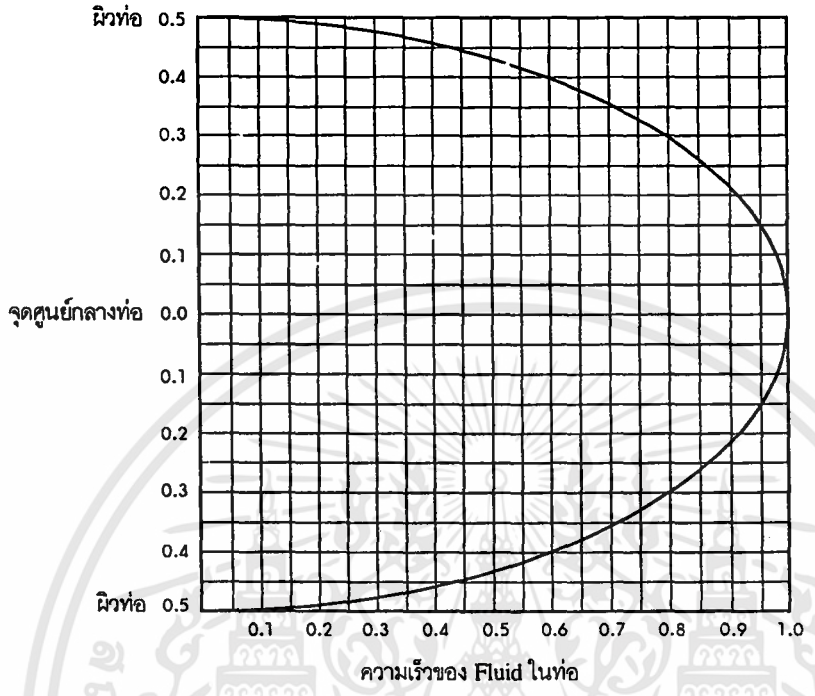


ตามกราฟในรูปที่ 7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Cd และ R_D ในนอซเซิลที่มีขนาด β ต่างๆจาก 0.20 ถึง 0.8 การเปลี่ยนแปลงค่าของ Cd มีลักษณะคล้ายแบบเวนทูรี ค่า R_D ในย่านใช้งานควรมีค่าสูงกว่า 10^5 ขึ้นไป เพราะเป็นย่านที่ Cd เปลี่ยนแปลงค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 พฤติกรรมการไหลของ Fluid ในท่อ

พฤติกรรมการไหลของ Fluid เป็นความรู้ทั่วไปที่ต้องทราบไว้เพื่อใช้พิจารณาในการติดตั้งเพื่อให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้อง



รูปที่ 8 แสดงธรรมชาติความเร็วของ Fluid ภายในท่อ (Velocity Profile) ณ จุดต่างๆแกนตั้งคือ เส้นตัดขวางของท่อใน แนวตั้งฉากจากผิวท่อด้านบนมายังผิวท่อด้านล่าง แกนนอนคือ ความเร็วในการไหลของ Fluid ในท่อ ณ จุดต่างๆ จะเห็นว่าความเร็วที่ผิวท่อจะเป็นศูนย์และเพิ่มขึ้นเมื่อห่างจากผิวท่อไปเรื่อยๆ จุดที่มีความเร็วสูงสุดคือ ที่จุดศูนย์กลางท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

น๊อซเซิล (Nozzle)
ปั๊มน้ำ Lowara รุ่น CEA 80 / 5
กระบอกตวง ขนาด 2,000 มล.
มาโนมิเตอร์ (Manometer U – Tube)
ตัวอย่างของไหล (Fluid)น้ำ
ถังน้ำ
นาฬิกาจับเวลา
น้ำมันหล่อลื่น
ยาง O-Ring
กาวทาประเก็น

3.2 วิธีการทดลอง

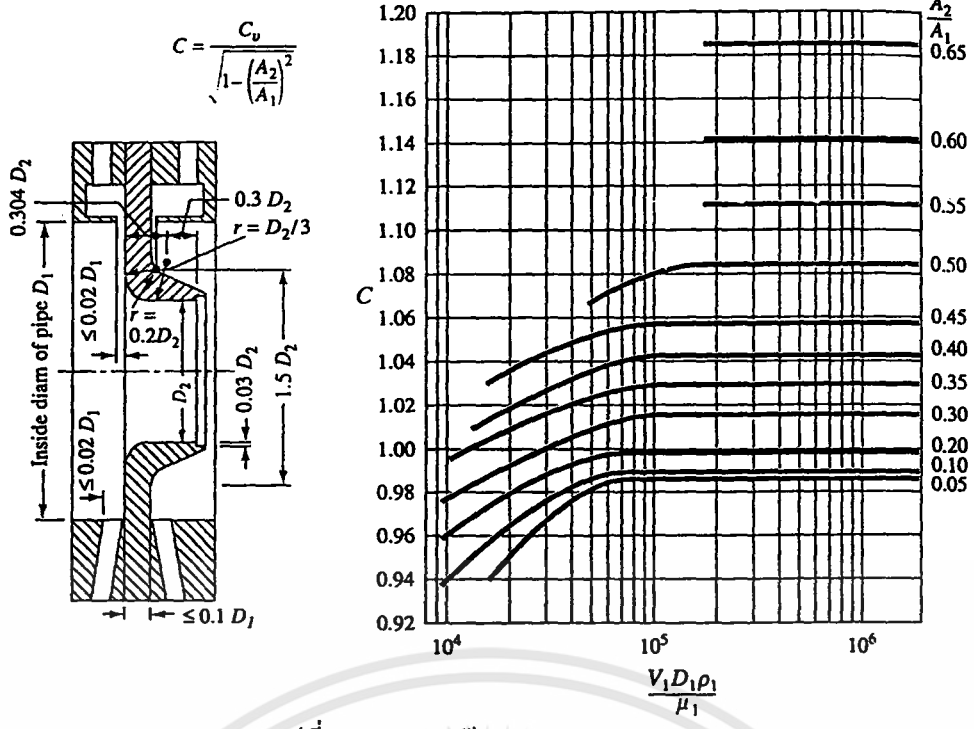
ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องมือ Nozzle Flow Meter

รวบรวมข้อมูลและรายละเอียดต่างๆที่ใช้ในออกการออกแบบน๊อซเซิล และมาโนมิเตอร์ชนิดหลอดแก้วรูปตัว U รวมทั้งเลือกชนิดวัสดุ และกำหนดขนาดของน๊อซเซิลที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและติดตั้งหน้าแปลน, อุปกรณ์อื่นๆที่ประกอบเข้ากับชุดปั๊มน้ำ และระบบท่อ

ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือ

เขียนแบบ Nozzleบนกระดาษเขียนแบบ โดยออกแบบตามแบบมาตรฐานของน๊อซเซิลชนิด I.S.A ดังรูปที่ 9 ให้ท่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D_1) 5.4 เซนติเมตร และน๊อซเซิลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D_2) 2.5 เซนติเมตร เลือกเหล็กเป็นวัสดุในการทำเพราะราคาถูก แล้วส่งแบบให้ช่างเหล็กกลึอุปกรณ์ ส่วนมาโนมิเตอร์เลือกใช้ชุดอุปกรณ์ทดลองวิทยาศาสตร์ที่มีขายที่ศึกษาภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 แบบของนๆซเซิลระบบ I.S.A

<u>ทำการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ทั้งหมด</u>

เมื่อได้เครื่องมือ และอุปกรณ์มาแล้วนั้น ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือให้เรียบร้อย แล้วทำการตรวจสอบการติดตั้งอย่าให้น้ำรั่วได้โดยใช้กาวประเก็นทาที่รอยต่อต่างๆของอุปกรณ์ และตรวจสอบการทำงานของระบบในทุกส่วนก่อนการทดลอง คำนวณหาน้ำหนักจำเพาะของของไหลที่ใช้บรรจุในมาโนมิเตอร์

<u>ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของ Fluid ในท่อ</u>

ทดลองวัดอัตราการไหลโดยเปิดปั๊มน้ำแล้วปรับวาล์วเพื่อควบคุมการไหลของน้ำ ปล่อยให้น้ำไหลในท่อครู่หนึ่งเพื่อให้อัตราการไหลคงที่ จดบันทึกค่าผลต่างความสูงของระดับของเหลว (Δh)ในมาโนมิเตอร์ แล้วทำการวัดปริมาตรของน้ำที่ไหลออกจากท่อในเวลา 30 วินาที จดบันทึกค่าไว้ โดยใช้ถังรองน้ำไว้แล้ววัดด้วยกระบอกตวง ทำการทดลองซ้ำแต่ปรับวาล์วให้มีอัตราการไหลต่างๆกัน ทำการทดลอง 10 ค่าความสูงๆละ 7 ซ้ำ

<u>ทำการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ</u>

นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่ค่า Δh ทุกซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหล นำข้อมูลของอัตราการไหลของน้ำที่วัดจากการทดลองที่ค่า Δh ต่างมาหาค่าเฉลี่ยเช่นกัน นำอัตราการไหลที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาการทดลอง

<u>ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Cd) และสมการอัตราการไหลของอุปกรณ์</u>

คำนวณหาค่า Cd จากสมการ

$$Cd = Q_{actual} / Q_{ideal}$$

คำนวณหาสมการอัตราการไหล (Q) จากสมการ

$$Q = A_2\, Cd \sqrt{2g\Delta h}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96718

<u>ทำการทวนสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น</u>

ทำการลดลองวัดอัตราการไหลเหมือนเดิม โดยทำการทดลองวัดที่ค่า Δh 10 ค่าๆละ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการไหลจากสมการการไหลของอุปกรณ์ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง นำค่าอัตราการไหลทั้งสองมาคำนวณหาค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.2 ผลการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำเพื่อหาค่า Cd

ตารางที่ 1 อัตราการไหลของน้ำที่ระดับค่า Δh ต่างๆก่อนคำนวณหาค่า Cd

Q_{actual}		Δh	Q_{ideal}	p
ml/s	m^3/s	m	m^3/s	N/m^2
165.20	0.000165	0.0065	0.000183	54.39
217.93	0.000218	0.0095	0.000221	79.50
249.70	0.000250	0.0125	0.000253	104.61
283.93	0.000284	0.0160	0.000287	133.90
309.57	0.000310	0.0190	0.000312	159.01
335.07	0.000335	0.0225	0.000340	188.30
358.33	0.000358	0.0265	0.000369	221.78
382.13	0.000382	0.0310	0.000399	301.29
399.20	0.000399	0.0340	0.000418	343.13
478.87	0.000479	0.0440	0.000476	594.21

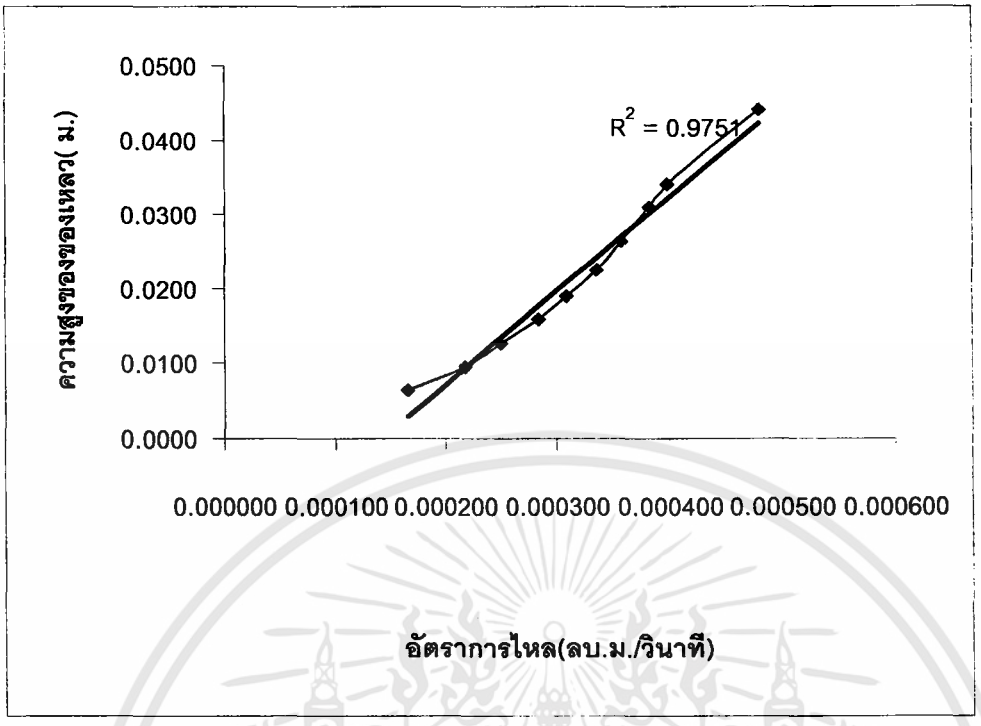
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการคำนวณหาค่า Cd ที่ระดับค่า h ต่างๆ

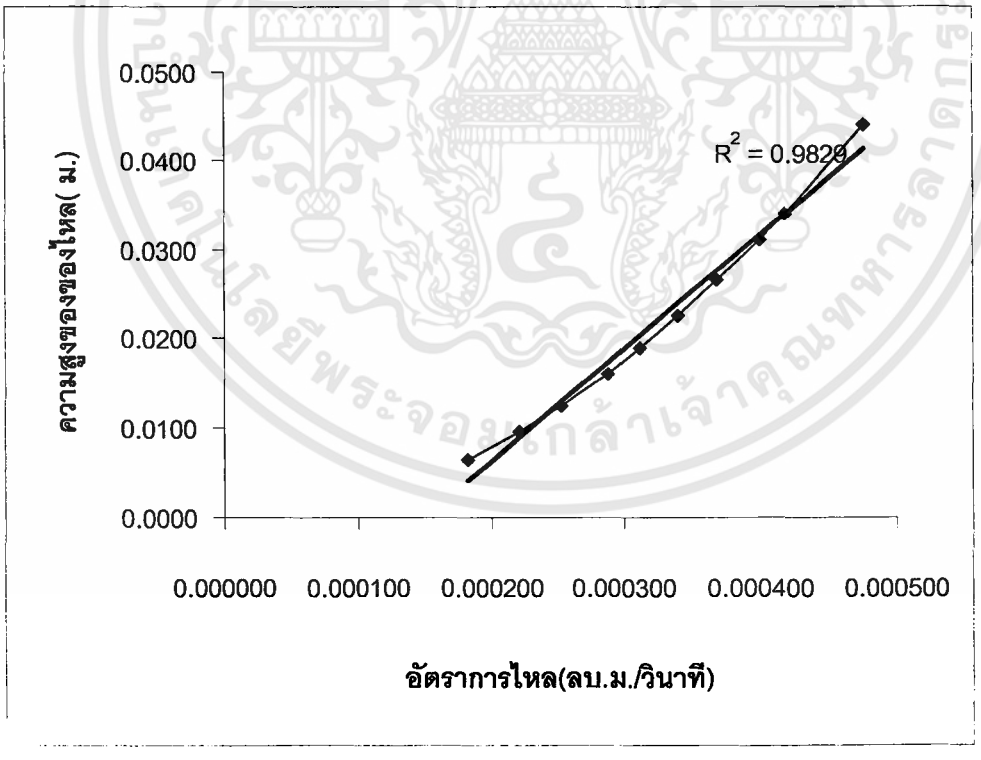
ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Cd) ที่ระดับค่า Δ h ต่างๆ

Δh	p	Cd
m	N/m^2	
0.0065	54.39	0.903
0.0095	79.50	0.986
0.0125	104.61	0.987
0.0160	133.90	0.989
0.0190	159.01	0.992
0.0225	188.30	0.986
0.0265	221.78	0.971
0.0310	301.29	0.958
0.0340	343.13	0.955
0.0440	594.21	1.006
	เฉลี่ย	**0.973**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Q_{actual} และค่า Δh ก่อนหาค่า Cd



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Q_{idcal} และค่า Δh ก่อนหาค่า Cd

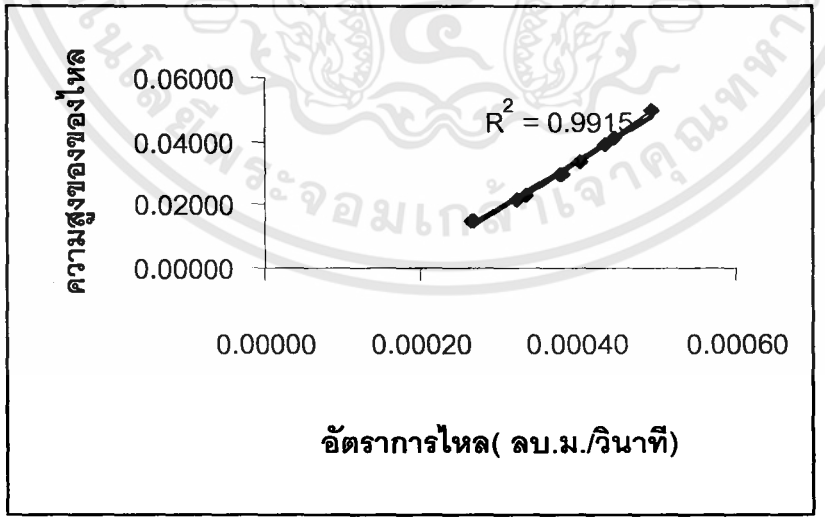
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดกลางเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ธาตุกระบัง

3.3 ผลการคำนวณหาค่าผิดพลาดของอุปกรณ์

ตารางที่ 3 แสดงอัตราการไหลของน้ำในการทวนสอบเครื่องมือ

Q (m^3/s)			Δh (m)	Q_{ideal} (m^3/s)	Error(%)			
1	2	3			1	2	3	เฉลี่ย
0.000275	0.000276	0.000270	0.014500	0.000266	3.383	3.759	1.504	2.882
0.000279	0.000278	0.000277	0.015000	0.000270	3.333	2.963	2.593	2.963
0.000328	0.000325	0.000323	0.021500	0.000324	1.235	0.309	0.309	0.617
0.000346	0.000350	0.000348	0.023000	0.000335	3.284	4.478	3.881	3.881
0.000383	0.000376	0.000381	0.029500	0.000379	1.055	0.792	0.528	0.792
0.000398	0.000399	0.000396	0.030000	0.000382	4.188	4.450	3.665	4.101
0.000416	0.000435	0.000420	0.035000	0.000404	2.970	7.673	3.960	4.868
0.000460	0.000460	0.000453	0.039000	0.000436	5.505	5.505	3.899	4.969
0.000475	0.000488	0.000480	0.041000	0.000447	6.264	9.172	7.383	7.606
0.000505	0.000508	0.000506	0.050000	0.000494	2.227	2.834	2.429	2.497
							เฉลี่ย	3.518



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Q_{idcal} ที่ปรับแก้ด้วยค่า Cd แล้วและค่า Δh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าสามารถออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของน้ำแบบน๊อซเซิล (Nozzle Flow Meter) ในระบบ I.S.Aขึ้นใช้งานเองได้ และใช้น้ำมัน (ความหนาแน่น 1.195×10^{-4} kg/m^3) เป็นของเหลวในมาโนมิเตอร์ โดยเครื่องมือวัดอัตราการไหลเครื่องนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (C_d) เท่ากับ 0.973 เมื่อนำค่า C_d ที่ได้มาหาสมการวัดอัตราการไหลของเครื่องมือชุดนี้จะได้ $Q = 2.21 \times 10^{-3} \sqrt{\Delta h}$ ซึ่สามารถวัดอัตราการไหลได้เลยเมื่อทราบค่า Δh ของของไหลในมาโนมิเตอร์

เมื่อทำการทวนสอบความถูกต้องของเครื่องพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ย $\pm$ 3.518 และช่วงการใช้งานอยู่ที่ระดับความดันประมาณ 121.35 - 418.46 N/m^2 หรือที่ระดับความสูง (h) ประมาณ 1.5 - 5 .0 เซนติเมตร หรือที่อัตราการไหลไม่เกิน 30 ลิตรต่อนาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาต่อถึงเรื่องการวัดอัตราการไหลของของไหลชนิดอื่นๆอีกนอกจากน้ำ ซึ่งจะทำให้สามารถนำอุปกรณ์ชนิดนี้ไปใช้งานได้กว้างขวางขึ้น

2. ควรมีการศึกษาต่อถึงผลของของเหลวในมาโนมิเตอร์ต่อการวัดอัตราการไหลที่ความดันสูง โดยทำการเปลี่ยนของเหลวในมาโนมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ผศ.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์. 2541. หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 160 หน้า.

รศ.สุนันท์ ศรัณยนิตย์. 2542. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 520หน้า.

สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. 2542. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 284 หน้า.

Giles, R. W. 1962. Fluid Mechanics and Hydraulics. 2nd ed. New York : McGraw-Hill. 480 pp.

Spink, L. K. 1967. Principles and Practice of Flowmeter Engineering. 9th ed. Foxboro : Mass. 750 pp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การคำนวณอัตราการไหลก่อนหารค่า Cd

$$Q_{ideal} = A_2\sqrt{2g\Delta h/(1-\beta^2)}$$

กำหนดให้ $\beta = A_2/A_1$

$d_1 = 0.25$ m

$d_2 = 0.54$ m

จะได้ $A_1 = 2.29 \times 10^{-3}$ m^2

$A_2 = 4.91 \times 10^{-4}$ m^2

$\beta = 0.463$

จากตารางที่ 1 ค่า h เท่ากับ 0.0065

$$Q_{ideal} = (4.91 \times 10^{-4})\sqrt{2(9.8)(0.463)/(1-0.463^2)}$$

$$= 0.000183 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย (Cd)

$$Cd = Q_{actual}/Q_{ideal}$$

จากตารางที่ ค่า $Q_{actual} = 0.000165$ m^3/s

$Q_{ideal} = 0.000183$ m^3/s

จะได้ $Cd = 0.000165 / 0.000183$

$= 0.903$

3. การคำนวณหาอัตราการไหลที่ปรับแก้ด้วยค่า Cd แล้ว

$$Q_{ideal} = A_2Cd\sqrt{2g\Delta h/(1-\beta^2)}$$

เมื่อ Cd เท่ากับ 0.973

$$Q_{ideal} = (4.91 \times 10^{-4})(0.973)\sqrt{2(9.8)h/(1-0.463^2)}$$

$$= 2.21 \times 10^{-3}\sqrt{\Delta h}$$

จากตารางที่ 3 ค่า Δh เท่ากับ 0.0145 m

$$Q_{ideal} = 2.21 \times 10^{-3}\sqrt{0.0145} = 0.000266 \text{ m}^3/\text{s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด

$$\text{Error (\%)} = \frac{(Q_{actual} - Q_{ideal}) \times 100\%}{Q_{actual}}$$

จากตารางที่ 3 $Q_{idealช} = 0.000266$

$Q_{actual} = 0.000275$

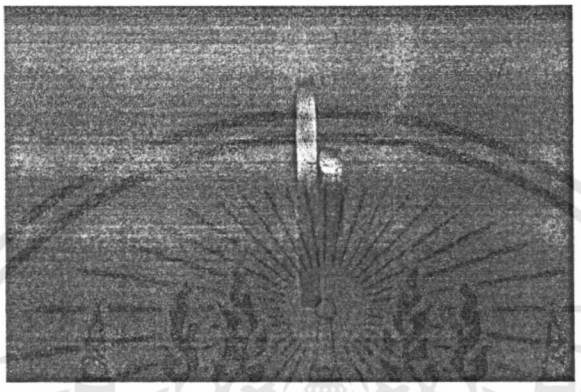
จะได้

$$\text{Error (\%)} = \frac{(0.000275 - 0.000266) \times 100\%}{0.000275}$$

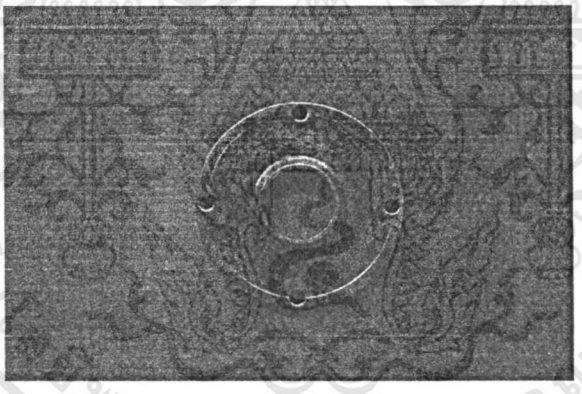
$$= \pm 3.383\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

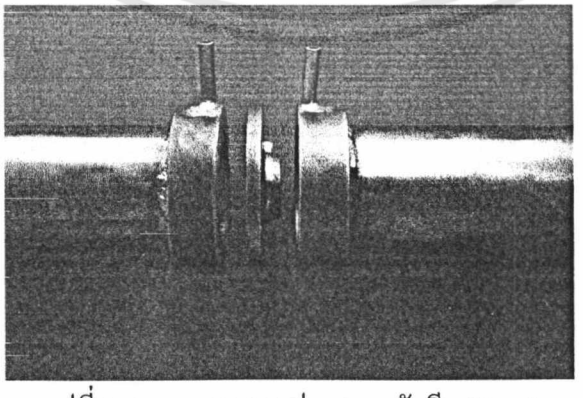
ภาคผนวก ข



รูปที่ 1 ภาพแสดงหัวฉีด Nozzle ด้านข้าง

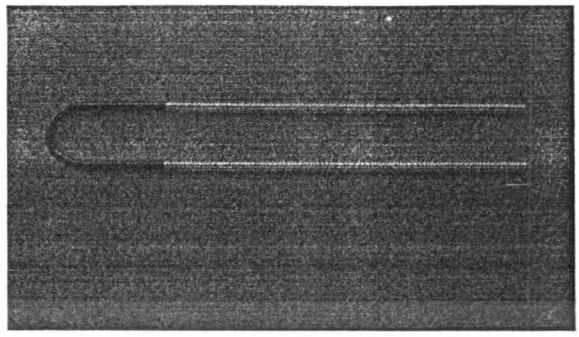


รูปที่ 2 ภาพแสดงหัวฉีด Nozzle ด้านหน้า

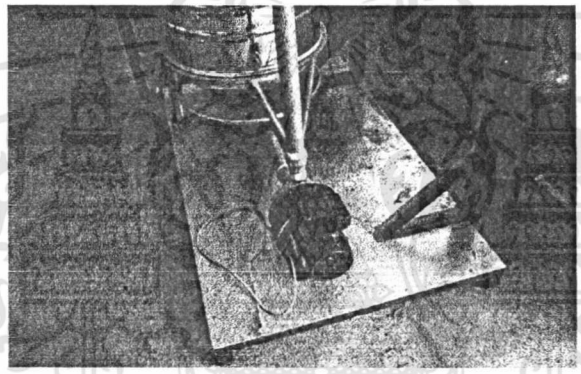


รูปที่ 3 ภาพแสดงการประกอบหัวฉีด Nozzle

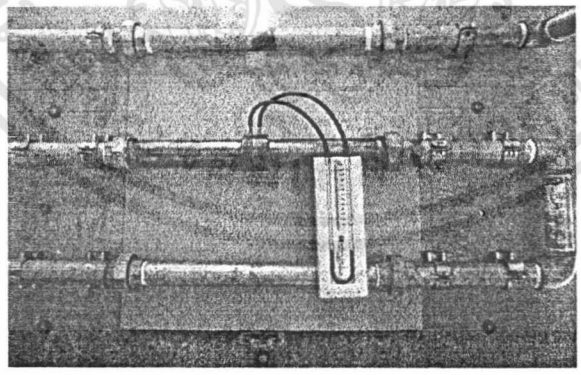
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 หลอดแก้วรูปตัว U



รูปที่ 5 ปั๊มน้ำ



รูปที่ 6 กา รติดตั้งเครื่องมือวัดกับระบบท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. นายสุเทพ จารุทรรศน์พิมล

เกิดวันที่	8 มกราคม 2521
ภูมิลำเนา	บ้านเลขที่ 94 ซอยซูสกุล1 ถนนพหลโยธิน ตำบลหนองแค อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี 18140
การศึกษา	จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนหนองแค"สรกิจพิทยา"จังหวัดสระบุรี
ปัจจุบัน	ศึกษาอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

2. นายนิพล เวียงอินทร์

เกิดวันที่	1 กุมภาพันธ์ 2521
ภูมิลำเนา	บ้านเลขที่ 250/207 หมู่1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลลำผักกูด อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
การศึกษา	จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนวัดนวลนรดิศ กรุงเทพมหานคร
ปัจจุบัน	ศึกษาอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

2. นายศาลทูล ธรรมชูโต

เกิดวันที่	2 มกราคม 2524
ภูมิลำเนา	บ้านเลขที่ 147/1 ถนนสุขุมวิท 81 แขวงพระโขนง เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร
การศึกษา	จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนวัดเทพศิรินทร์ กรุงเทพมหานคร
ปัจจุบัน	ศึกษาอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้