

จังหวัดเจริญสุข¹ จริกร หนูน้อย² ทวีศักดิ์ สิงห์ครุฑ³ พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร⁴ ชีรพงศ์ บรริรักษ์⁵

ชุดทดลองวัดอัตราการไหลของอากาศแบบวัดค่าความแตกต่างของแรงดันโดยใช้หัวฉีด
The Flow Measurement Demonstration with Pressure Differential Method
Using Nozzle

บทคัดย่อ

การวัดอัตราการไหลของอากาศภายในท่อโดยใช้สมการเบอร์นูลลีนั้นทำได้ยากเนื่องจากจำเป็นต้องทราบตัวแปรหลักหลายตัวแปรเพื่อใช้หาค่าอัตราการไหลของอากาศ (Robert and Alan, 1998) ดังนั้นการศึกษานี้จึงเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สมการเบอร์นูลลีโดยกำหนดตัวค่าแปรหลักในสมการเป็นค่าคงที่ และใช้ผลการทดลองคำนวณหาค่าคงที่ดังกล่าว โดยการประยุกต์ใช้วิธีสมการถดถอยแบบเชิงเส้นกับข้อมูลไม่เชิงเส้น (ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2544) ปัจจัยหลักที่จะทำให้ได้ค่าคงที่ที่ถูกต้องคือการออกแบบชุดอุปกรณ์ให้ได้มาตรฐาน ในกรณีนี้ได้ออกแบบตามมาตรฐาน ISO-5167-1 (ISO 5167-1, 2003) และ ISO-5167-3 (ISO 5167-3, 2003) ผลการทดลองวัดอัตราการไหลของ

อากาศ พบว่าค่าความผิดพลาดมากที่สุดไม่เกินร้อยละ ร้อยละ 4 เมื่อเทียบกับการคำนวณจากสมการเบอร์นูลลี (Robert and Alan, 1998) และตามมาตรฐาน ISO-5167-1 กำหนดค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ไว้ที่ไม่เกินร้อยละ 6 (ISO 5167-3, 2003)

Abstract

This paper is the study of the flow measurement using the Bernoulli equation. Due to many unknown variables, the Bernoulli equation is modified. The unknown variables are expressed as a constant. The constant is obtained through regression analysis.

Our experiments showed that in order to obtain an accurate constant, we must have a well-designed measuring instrument. The BS-EN-ISO 5167-1 was designed for this experimentation. The maximum flow rate error was 4%. Under the International Standard Organization (ISO), an acceptable error rate is 6%.

^{1, 4}อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
^{2, 3}บัณฑิตสาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

1. บทนำ

เครื่องมือสำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศภายในท่อ ปัจจุบันมีให้เลือกใช้มากมายไม่ว่าจะเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์หรือไม่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เวนจูรี หัวฉีด และออริฟิสต์ ดังแสดง ในภาพ 1 ซึ่งตามความเหมาะสมในการใช้งานเครื่องมือวัดชนิดหัวฉีดมีความเหมาะสมมากกว่าเครื่องมือวัดชนิดอื่น เนื่องจากมีราคาถูกกว่า เวนจูรี และให้ความเที่ยงตรงในการวัดมากกว่าออริฟิสต์ค่าความถูกต้องของการวัดมากกว่า ออริฟิสต์ ดังนั้นโครงการงานวิศวกรรมนี้จึงเลือกใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิดหัวฉีด



ภาพ 1 เครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิดเวนจูรี หัวฉีด และออริฟิสต์ ตามลำดับ

เนื่องจากสมการเบอร์นูลลีที่ใช้กับเครื่องมือวัดชนิดหัวฉีด (สมการที่ 2) มีหลายตัวแปรซึ่งจำเป็นต้องทราบค่าทำให้ยุ่งยากในการใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้สะดวกในการใช้งานโครงการงานวิศวกรรมนี้ จึงได้นำเสนอวิธีการปรับค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการเบอร์นูลลีให้เป็นค่าคงที่ (สมการที่ 5) และทดลองเพื่อเก็บข้อมูลหาค่าคงที่ (K) ดังกล่าว ตามระเบียบวิธีประยุกต์สมการถดถอยแบบเชิงเส้นกับข้อมูลไม่เชิงเส้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศภายในโดยให้หัวฉีดเป็นการประยุกต์ใช้สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli equation)

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

โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

- 1) ของไหลมีความหนืดน้อยมากจึงไม่คิดค่าความเสียดทาน
 - 2) การไหลของอากาศภายในท่อเป็นการไหลในสภาวะคงตัว (Steady state)
 - 3) อากาศเป็นของไหลยุบตัวไม่ได้
 - 4) พิจารณาปริมาตรควบคุมตามเส้นกระแส
 - 5) อากาศเป็นของไหลที่มีความเร็วสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด
- การไหลสมการหาอัตราการไหลสำหรับเครื่องมือวัดชนิดหัวฉีด

$$Q_2 = K A_1 \sqrt{2 \Delta P / \rho} \quad (2)$$

โดย

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (Flow coefficient),

$$K = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

สำหรับ ASME long – radius flow nozzle หาค่าได้จาก

$$C = 0.9975 - \frac{6.53 \beta^{0.5}}{Re_{D_1}^{0.5}} \quad (3)$$

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (4)$$

สมการที่ 2 มีค่าความผิดพลาด $\pm 2.0 \%$ สำหรับ

$$0.25 < \beta < 0.75 \text{ และ } 10^4 < Re_{D_1} < 10^7$$

2.2 สมการหาอัตราการไหลจากค่าความดันแตกต่างที่หัวฉีด

สมการที่ 5 ได้จากการประยุกต์สมการที่ 2

$$Q_s = K \times \sqrt{h} \quad (5)$$

เมื่อ

Q_s คือ อัตราการไหลตามสมการที่ 5 มีหน่วยเป็น (λ/s)

K คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่ซึ่งได้จากการประยุกต์สมการถดถอยแบบเชิงเส้นกับสมการที่ 5 มีหน่วยเป็น

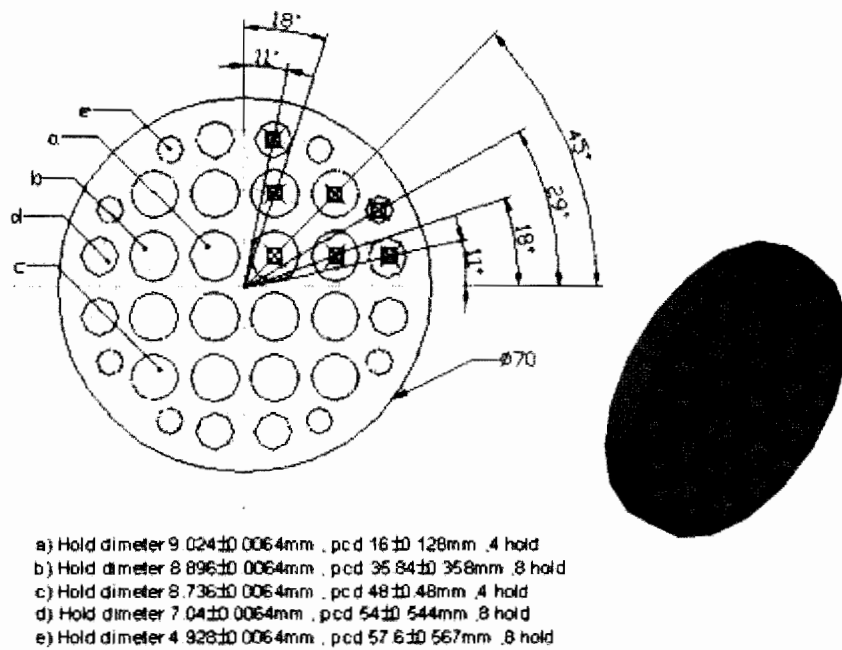
$$\lambda/(s \times \sqrt{mm})$$

h คือ ค่าความดันแตกต่าง ได้จากผลการทดลองมี

หน่วยเป็น (mm)

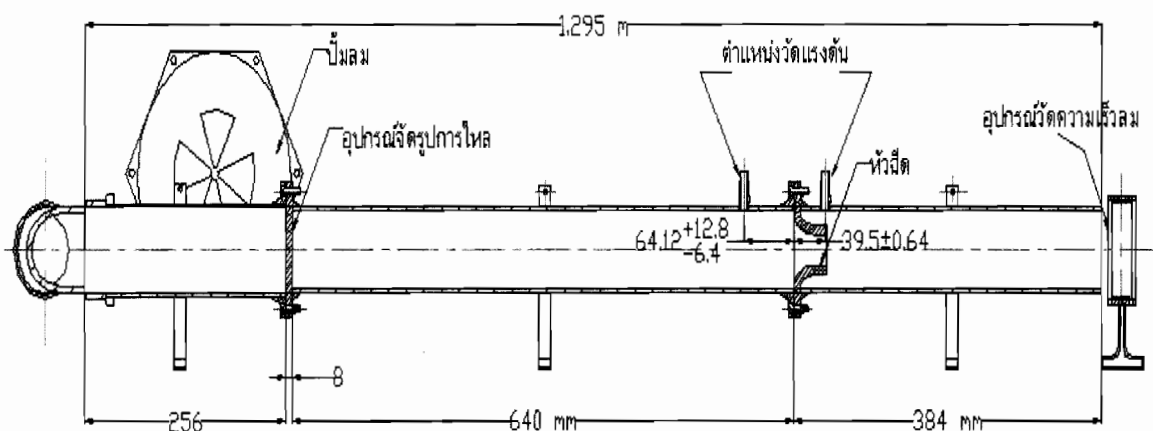
3. การออกแบบชุดทดลอง

ชุดทดลองวัดอัตราการไหลของอากาศภายในท่อ ได้ออกแบบตามมาตรฐาน BS-EN-ISO-5167-1 และ TECHNICAL REPORT



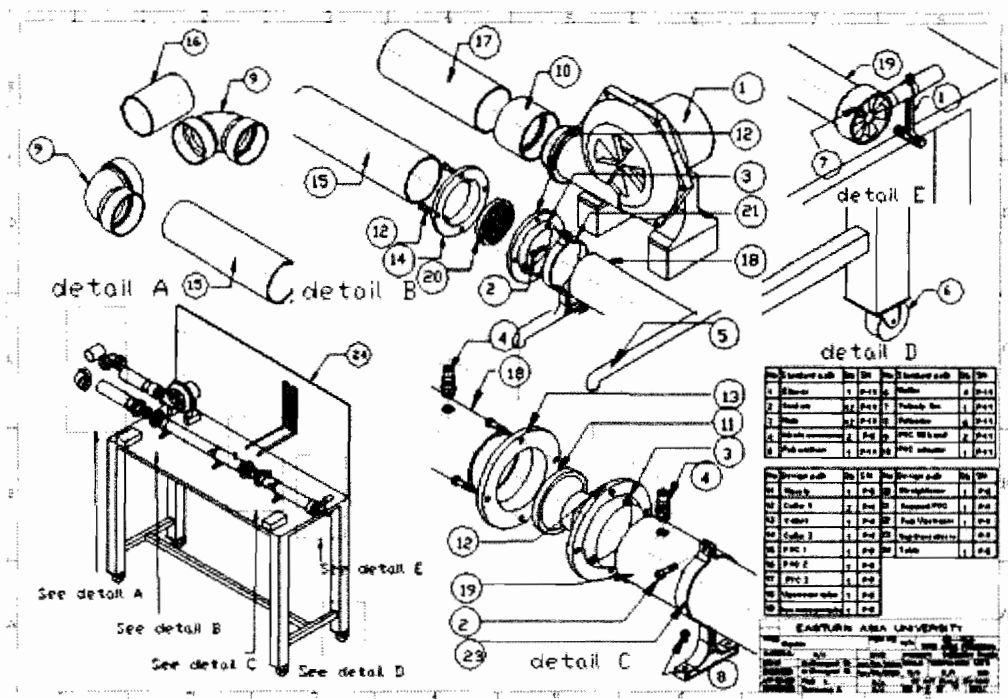
ภาพ 4 แสดงสัดส่วนของชุดจัดรูปแบบการไหล

ภาพ 4 แสดงสัดส่วนอุปกรณ์จัดรูปแบบการไหลภายในท่อ ให้การไหลเป็นแบบราบเรียบ โดยออกแบบตามมาตรฐาน ISO 5167-3



ภาพ 5 แสดงระยะห่างก่อนและหลังเข้าหัววัด

ภาพ 5 แสดงสัดส่วนความยาวก่อนเข้าหัววัดและหลังเข้าหัววัด ซึ่งกำหนดตามมาตรฐานเนื่องจากมีผลกระทบกับการไหลของไหล



ภาพ 6 ส่วนประกอบชุดวัดอัตราการไหลของอากาศภายในท่อโดยใช้หัวฉีด

ภาพ 6 แสดงส่วนประกอบของชุดทดลองชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถใช้อุปกรณ์มาตรฐานที่มีขายตามท้องตลาดได้ และบางส่วนต้องออกแบบเองให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานกำหนด

การหาค่าสัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ เริ่มต้นจากการเลือกขนาดท่อให้เหมาะสมกับขนาดของปั๊มลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อจะนำไปใช้เป็นตัวแปรหลัก ในการคำนวณหาค่าสัดส่วนของอุปกรณ์

4. ผลการทดลอง

ตาราง 1

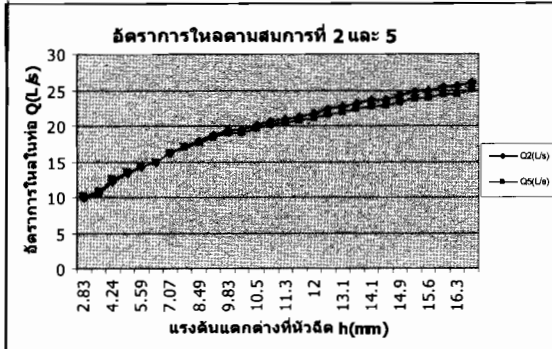
อัตราการไหลจากสมการที่ 2 และสมการที่ 5

h(mm)	Q2(l/s)	Q5(l/s)	Error%	h(mm)	Q2(l/s)	Q5(l/s)	Error%
2.83	9.80	10.21	4	11.31	20.99	20.42	3
3.18	10.51	10.83	3	11.67	21.34	20.73	3
4.24	12.28	12.50	2	12.02	21.69	21.05	3
4.95	13.37	13.50	1	12.73	22.35	21.66	3
5.59	14.30	14.35	0	13.08	22.68	21.95	3
6.01	14.90	14.88	0	13.58	23.13	22.37	3
7.07	16.26	16.14	1	14.07	23.58	22.77	3
7.78	17.11	16.93	1	14.14	23.67	22.83	4
8.49	17.94	17.68	1	14.85	24.28	23.39	4
9.19	18.73	18.40	2	15.41	24.76	23.83	4
9.83	19.43	19.03	2	15.56	24.90	23.94	4
9.90	19.52	19.10	2	16.12	25.38	24.37	4
10.47	20.10	19.64	2	16.26	25.51	24.48	4
10.96	20.60	20.10	2	16.97	26.09	25.01	4

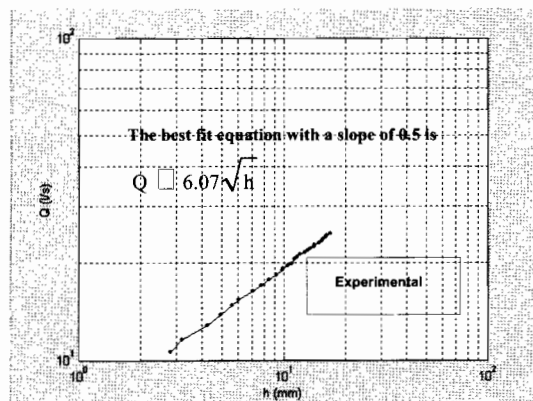
Q2 คือ ผลการคำนวณจากสมการเบอร์นูลลี

Q5 คือ ผลการทดลอง

จากตาราง 1 พบว่าที่อัตราไหลสูงสุดมีค่าแตกต่างกันสูงสุดถึงร้อยละ 4



ภาพ 4 เปรียบเทียบอัตราการไหลตามสมการที่ 2 และสมการที่ 5



ภาพ 5 ลอการิทึมของสมการที่ 5

เอกสารอ้างอิง

ปราโมชน์ เดชะอำไพ. (2544). ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

International Standard, ISO 5167-1. (2003). *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Part-1 General principles and requirements.*

ISO copyright office. Switzerland: standards institute, Measurement of fluid flow.

International Standard, ISO 5167-3. (2003). *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. Part-3 Nozzles and Venturi nozzles.* ISO copyright. Switzerland: standards institute, Measurement of fluid flow.

Robert, W. & Alan, T. (1998). *Introduction to Fluid Mechanics* (5th). New York: Wiley.

5. สรุป

จากการประยุกต์สมการเบอร์นูลลีเพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศภายในท่อ เป็นผลทำให้ลดตัวแปรเหลือเพียงหนึ่งตัวคือตัวแปรแรงดันแตกต่างระหว่างคอคออด (h) เป็นผลทำให้สามารถใช้งานสมการเบอร์นูลลีได้ง่ายกว่าสมการเบอร์นูลลีในทางทฤษฎี

และพบค่าความผิดพลาดสูงสุดไม่เกินร้อยละ 4 ซึ่งมาตรฐานกำหนดค่าความผิดพลาดไว้ไม่เกินร้อยละ 6

6.ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้สนใจสร้างชุดทดลองเครื่องมือวัดอัตราการไหลอีกสองชนิดคือ เวนจูรี และออริฟิส สามารถใช้โครงงานวิศวกรรมนี้เป็นแนวทางได้ อีกทั้งยังสามารถออกแบบชุดการทดลองเพิ่มเติมให้สามารถมองเห็นการไหลของอากาศภายในท่อ ด้วยการทำให้อากาศในท่อมืดทึบมองเห็นได้ แต่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศด้วย