บทที่ 3

การวัดอัตราการไหลในท่อ

ในการวัดอัตราการไหลในท่อนั้นจะมีวิธีการที่จะทำการวัดได้หลายแบบ โดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดที่จะกล่าวถึงในที่นี้จะเป็นวิธีการวัดเบื้องต้นที่เป็นพื้นฐานวัดอัตราการไหลและเป็นมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไป (1) ซึ่งอาศัยหลักการของความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะไหลผ่านอุปกรณ์เครื่องวัด มี 3 ชนิดด้วยกันคือแผ่นออริฟิซ (ORIFICE PLATE) หัวฉีด (NOZZLE) และท่อเวนจูรี (VENTURI TUBES) เนื่องจากเครื่องมือทั้งสามนี้ใช้หลักการอันเดียวกันจึงมีส่วนรายละเอียดในการออกแบบติดตั้ง และวิธีการคำนวณอัตราการไหลที่คล้าย คลึงกันมาก

3.1 การไหลผ่านคอคอด (CONTRACTION)

การวัดอัตราการไหลโดยใช้หลักการความดันสูญเสียจะมีส่วนสำคัญคือ การไหลผ่านช่องแคบที่สุดหรือคอคอดของอุปกรณ์การวัดเพื่อให้เกิดความต้านทานการไหล ขนาดหน้าตัดของการไหลจะมีการเปลี่ยนแปลง คอคอดการไหลจะเกิดขึ้นร่วมศูนย์กลาง (COAXIAL CONTRACTION) ค่าความดันสูญเสียขณะไหลผ่านคอคอดนี้มีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการไหลที่กำลังผ่านคอคอดขณะนั้น โดยหลักของกลศาสตร์ของไหล สภาพการไหลที่ทางเข้าสู่คอคอดจะมีอัตราเร่ง ความเร็วจะเพิ่มขึ้นจนถึงคอคอดหลังจากนั้นจะเป็นอัตราหน่วง ความเร็วการไหลจะลดลงโดยตำแหน่งการเกิดคอคอดการไหลจะเกิดขึ้นที่ระยะประมาณ หนึ่งเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กสุดของอุปกรณ์ด้านทางไหลออกจากผลการเกิดคอคอดการไหล จะทำให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดการไหลและความเร็วจริงที่ตำแหน่งต่าง ๆ มีค่าต่างไปจากค่าที่คำนวณได้โดยตรงจากหลักของกลศาสตร์ของไหลเมื่อต้องการหาค่าที่ถูกต้องแท้จริง จะต้องมีการปรับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สัมประสิทธ์ต่าง ๆ ช่วยได้แก่

สัมประสิทธิ์พื้นที่ของคอคอด (COEFFICIENT OF CONTRACTION) C_c เป็นค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของกระแสการไหลที่คอคอดการไหล (VENA CONTRACTA) ต่อพื้นที่หน้าตัดของคอคอดที่คำนวณจากขนาดช่วงแคบสุดของอุปกรณ์

$$C_c = \frac{\text{AREAR OF VENA CONTRACTA}}{\text{AREA OF ORIFICE}}$$

ค่าสัมประสิทธิ์นี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่า ความดัน ขนาด และรูปร่างลักษณะของคอคอดเล็กน้อย

สัมประสิทธิ์ความเร็ว (COEFFICIENT OF VELOCITY) C_v เป็นค่าอัตราส่วนความ

เร็วของกระแสของที่คอคอดการไหล (VENA CONTRACTA) ต่อค่าความเร็วที่คอคอดที่คำนวณโดยตรงจากสมการอัตราการไหล

$$C_v = \frac{\text{ACTUAL VELOCITY OF VENA CONTRACTA}}{\text{THEORETICAL VELOCITY}}$$

ค่าความเร็วจริงต่างไปจากทฤษฎี เนื่องจากความเสียดทานจากความหนืดของของไหลที่ช่วงของคอคอด ค่าสัมประสิทธิ์นี้ปรกติจะเปลี่ยนแปลงไม่มาก และมีค่าประมาณเท่ากับ 1.00 ค่าความเร็วทฤษฎีหาจากสมการ $V = (2gh)^{1/2}$ ที่คอคอดการไหล (VENA CCONTRACTA)

สัมประสิทธิ์การจ่าย (DISCHARGE COEFFICIENT) C_d เป็นอัตราส่วนของค่าอัตราการไหลที่จ่ายจริง ต่อค่าการจ่ายออกตามทฤษฎีคอคอดการไหล

$$C_d = \frac{\text{ACTUAL DISCHARGE}}{\text{THEORETICAL DISCHARGE}}$$

$$C_d = \frac{\text{ACTUAL VELOCITY}}{\text{THEORETICAL VELOCITY}} \times \frac{\text{ACTUAL AREA}}{\text{THEORETICAL AREA}}$$

$$C_d = C_v C_c$$

สัมประสิทธิ์ความต้านทาน (RESISTANCE COEFFICIENT) C_r คืออัตราส่วนความดันสูญเสียที่คอคอด ต่อค่าความดันที่จ่ายเข้าสู่คอคอด

$$C_r = \frac{\text{HEAD LOSS IN THROAT}}{\text{HEAD SUPPLY TO THROAT}}$$

ค่านี้เกิดจากความต้านของผนังคอคอดปรกติจะมีค่าต่ำ

3.2 สมการอัตราการไหลผ่านคอคอด

เมื่อสมมติให้การไหลไม่มีความหนืด ของไหลที่ไหลไม่สามารถอัดตัวได้ สภาวะการไหลเป็นแบบมิติเดียวในทิศทางตามแนวศูนย์กลางของท่อและสมมาตรรอบตัว เราจะสามารถใช้สมการ

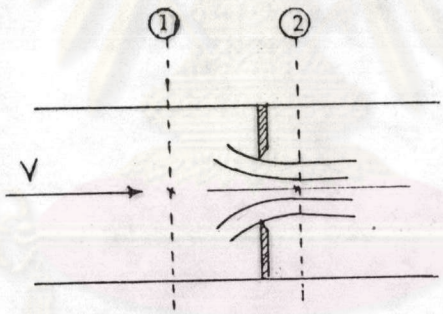
ความต่อเนื่อง (CONTINUITY) และสมการเบอร์นูรี (BERNOULLI) ในการหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับค่าความดันสูญเสียที่คอคอดของอุปกรณ์ได้

สมการความต่อเนื่อง (CONTINUITY) อัตราการไหลปริมาตรจะมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดคูณกับค่าความเร็วเฉลี่ย และจะมีค่าเท่ากันทุก ๆ ตำแหน่งของท่อในท่อเส้นทางเดียว

$$Q_v = A_1V_1 = A_2V_2 = A_3V_3 \quad \text{.....(18)}$$

สมการเบอร์นูรี (BERNOULLI) เมื่อของไหลมีการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่น ๆ ค่าพลังงานรวม (TOTAL ENERGY) จะมีค่าคงที่และเท่ากันในทุก ๆ ตำแหน่งเมื่อพิจารณาการไหลระหว่างทางเข้าคอคอดตำแหน่ง (1) กับที่คอคอด (2) โดยแทน

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V^2_1}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V^2_2}{2g} + Z_2 = \text{CONSTANT} \quad \text{.....(19)}$$



ความสัมพันธ์จากสมการที่ (18) ลงในสมการที่ (19) แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$V^2_2[1-(A_2/A_1)^2] = 2(P_1-P_2)/\rho+2g(Z_1-Z_2)$$

$$V^2_2 = \frac{A^2_1}{A^2_1-A^2_2}\,[2(P_1-P_2)/\rho+2g(Z_1-Z_2)]$$

ดังนั้นจะได้

$$V_2 = \frac{A_1\,[2(P_1-P_2)/\rho+2g(Z_1-Z_2)]^{1/2}}{[A^2_1-A^2_2]^{1/2}} \quad \text{.....(20)}$$

และสมการอัตราการไหล

$$Q_v = A_2 V_2$$

$$Q_v = \frac{A_1 A_2 [2(P_1-P_2)/\rho + 2g(Z_1-Z_2)]^{1/2}}{[A^2_1 - A^2_2]^{1/2}} \quad \text{.....(21)}$$

สมการที่ (21) นี้สามารถใช้คำนวณสำหรับเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ใช้หลักการความดันสูญเสียที่คอคอดการไหล (VENA-CONTRACTA) ของอุปกรณ์ โดยวางตำแหน่งทิศทางของเครื่องมืออย่างไรก็ได้แต่ถ้าหากวางอุปกรณ์การวัดในแนวระดับแล้วจะได้ค่า $2g(Z_1-Z_2)=0$ สมการอัตราการไหลจะเป็น

$$Q_v = \frac{A_1 A_2 [2(P_1-P2)]^{1/2}}{[A^2_1 - A^2_2]^{1/2} \rho} \quad \text{.....(22)}$$

จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของอุปกรณ์ A_1 A_2 ค่าคุณสมบัติของไหล ρ และค่าความดันที่สูญเสียตกคร่อมอุปกรณ์ (P_1-P_2) แต่ในการใช้อุปกรณ์การวัดดังกล่าวนี้ปรกติจะวัดค่าความดันสูญเสียในรูปของความสูงเทียบเท่าความดัน (EQUIVALENT HEAD) โดยใช้มาโนมิเตอร์ เพื่อความสะดวกในการคำนวณเราจะหาสมการอัตราการไหลในเทอมของความสูง (PRESSURE HEAD) ที่อ่านได้จากมาโนมิเตอร์ โดยให้ของไหลใช้งาน (WORKING FLUID) มีความหนาแน่น ρ ความสูง h และความถ่วงจำเพาะ S ส่วนมาโนมิเตอร์ใช้ของเหลว (MANOMETER FLUID) ที่มีความหนาแน่น ρ_m ความสูงที่ h_m และความถ่วงจำเพาะ S_m ความดันสูญเสียเทียบเท่าความสูงหาได้คือ

$$P_1-P_2 = \rho g h_m(\rho_m/\rho - 1) \quad \text{.....(23)}$$

$$P_1-P_2 = \rho g h_m(S_m/S - 1)$$

จะได้สมการอัตราการไหล

$$Q_v = \frac{A_1 A_2 [2gh_m(\rho_m/\rho - 1)]^{1/2}}{[A^2_1 - A^2_2]^{1/2}} \quad \text{.....(24)}$$

ซึ่งจากสมการที่ได้นี้ถ้าทราบค่าความดันสูญเสียเทียบเท่าความสูงที่คอคอดก็สามารถคำนวณค่าอัตราการไหลได้ทันที สมการที่ผ่านมาทั้งหมดนี้ได้จากการสมมติสภาวะ และเงื่อนไขต่าง ๆ ในตอนต้น แต่สภาวะความจริงที่เกิดขึ้นขณะไหลผ่านคอคอดไม่ได้เป็นไปตามสมมติคือ การไหลเกิดขึ้นในสองมิติเป็นอย่างน้อย ของไหลจะต้องมีความหนืด มีผลของลักษณะรูปร่างของคอคอด และชิ้นขอบเขตการไหลวนบริเวณทางเข้า และทางออกทำให้ค่าความเร็วที่แต่ละภาคตัดมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ และไม่คงที่เท่ากันโดยตลอด พื้นที่หน้าตัดของคอคอดการไหลจริงเล็กกว่าช่วงคอคอด จากความจริงเหล่านี้จะพบว่า ค่าอัตราการไหลจริงจะมีค่าแตกต่างไปจากค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (22) หรือสมการที่ (24) เพื่อให้ได้ค่าอัตราการไหลที่ใกล้ความจริงมากขึ้นจะต้องมีตัวประกอบค่าต่าง ๆ เป็นตัวแก้ค่าได้แก่สัมประสิทธิ์การไหล (FLOW COEFFICIENT) ตัวประกอบการขยายตัว (EXPANSIBILITY FACTOR) โดยที่สัมประสิทธิ์การไหล (FLOW COEFFICIENT) เป็นตัวแก้ค่าอัตราการไหล กำหนดให้เป็นผลคูณของ ค่าสัมประสิทธิ์การจ่าย (DISCHARGE COEFFICIENT) C กับค่าตัวประกอบความเร็ว E (VELOCITY APPROACH FACTOR) $E=(1-\beta^4)^{-1/2}$ สมการอัตราการไหลที่สมบูรณ์จะเป็น

$$Q_v = \alpha\epsilon A_2[2(P_1-P_2)/\rho]^{1/2} \qquad \text{.....(25)}$$

เมื่อเทียบกับสมการที่ (22) แล้วจะได้ความสัมพันธ์ที่ตรงกันคือ

$$\frac{A_1}{[A^2_1-A^2_2]^{1/2}} = E$$

$$\alpha = CE$$

หรือสมการอัตราการไหลเขียนได้อีกรูปหนึ่ง

$$Q_v = CE\epsilon\pi d^2/4[2gh]^{1/2} \qquad \text{.....(26)}$$

สมการที่ (25) และสมการที่ (26) นี้จะเป็นสมการหลักในการหาอัตราการไหลของอุปกรณ์วัดอัตราการไหล โดยค่า

E เป็นค่าคงที่ความเร็วขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างของเครื่องวัด

C เป็นสัมประสิทธิ์การจ่ายของอุปกรณ์มีค่าขึ้นอยู่กับขนาด และ R_D ของการไหลที่

อุปกรณ์

ϵ เป็นตัวประกอบการขยายตัวมีค่าขึ้นอยู่กับ ความดัน และคุณสมบัติเฉพาะตัวของแก๊ส

3.3 เครื่องวัดอัตราการไหลในท่อ

เครื่องวัดอัตราการไหลที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน (2) และเครื่องมือทั้งสามชนิดที่จะกล่าวถึงจะใช้หลักการเดียวกันคือ ความสัมพันธ์ของความดันสูญเสียที่อุปกรณ์เป็นตัวแปรเบื้องต้นในการคำนวณค่าอัตราการไหล ซึ่งจะได้กล่าวถึง ขอบเขตการใช้งาน ลักษณะทั่วไปรวมทั้งข้อกำหนดในการติดตั้งที่สำคัญ ๆ ต่อไป

3.3.1 ขอบเขตการใช้งาน เครื่องมือเหล่านี้จะใช้ประกอบไว้ในท่อกลมที่มีของไหลไหลเต็มท่อ เครื่องมือจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความแตกต่างความดันระหว่างทางเข้า และทางออกของอุปกรณ์ ปรกติใช้งานช่วงความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียงในตัวกลางของไหลการไหลเป็นแบบคงที่ (STEADY FLOW) หรือทางปฏิบัติยอมรับการเปลี่ยนแปลงค่าน้อย ๆ ได้สภาวะของไหลจะต้องเป็นชนิดเดียวกันโดยตลอด ใช้วัดในท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 50 มิลลิเมตร จนถึง 1,200 มิลลิเมตร หรือค่าเรย์โนลนัมเบอร์ (REYNOLD NUMBER) 3,150 ขึ้นไปความถูกต้องการวัดจะขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการปรับเทียบ (CALIBRATION) ซึ่งปรกติจะใช้การทดลองโดยตรงก็สามารถทำได้แต่จะต้องมีจำนวนครั้ง และปริมาณค่าอัตราการไหลมากพอที่ยอมรับได้ในความสมบรูณ์ของระบบ ผลที่ได้จะนำไปเป็นค่าคงที่ในการใช้งานโดยจะต้องกำจัดความไม่แน่นอนที่อาจจะเกิดขึ้นออกไป อุปกรณ์ในเครื่องมือวัดจะแบ่งเป็นสองส่วน หลักได้แก่ อุปกรณ์ขั้นต้น (PRIMARY DEVICE) เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบเข้ากับท่อที่จะทำการวัด เพื่อสร้างสัญญาณความดันแตกต่าง อุปกรณ์ขั้นต้นรวมไปถึงจุดสำหรับวัดความดัน (PRESSURE TAPPING) ด้วย และอุปกรณ์ขั้นที่สอง (SECONDARY DEVICE) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจากอุปกรณ์ขั้นต้นให้เป็นค่าเอ้าท์พุท (OUTPUT) ที่อ่านได้หรือเป็นค่าที่สามารถนำไปหาค่าอัตราการไหลที่ต้องการได้ ในช่วงนี้จะกล่าวถึงเฉพาะอุปกรณ์ขั้นต้นเพียงอย่างเดียวก่อน ส่วนอุปกรณ์ขั้นที่สองนั้นจะได้กล่าวถึงในตอนต่อไป

อุปกรณ์ขั้นต้นสำหรับการวัดอัตราการไหลในท่อมี 3 ชนิดได้แก่

a. แผ่นออริฟิซ (ORIFICE PLATES)

- แผ่น (PLATE) จะมี 2 แบบคือ ขอบทางเข้าเป็นมุมฉาก (SQUARE EDGE) และแบบขอบทางเข้าเป็นรูปกรวย (CONICAL EDGE)

- จุดวัดความดัน (PRESSURE TAPPING) มี 3 แบบคือ จุดวัดความดันที่มุม (CORNER TAPPING) ซึ่งมีสองลักษณะการออกแบบเป็น จุดวัดเฉพาะ (INDIVIDUAL TAPPING) กับจุดวัดเป็นวงแหวนรอบตัว พร้อมกับห้วงสมดุลย์ความดัน (CARRIER RING WITH ANNULAR

016901

SLOT), จุดวัดความดันที่ระยะ D และ D/2 และจุดวัดความดันที่ระยะ 1" (FLANG TAPPING)

b. หัวฉีด (NOZZLES) มี 2 แบบมาตรฐานตามการออกแบบคือ

- หัวฉีดแบบ ISA 1932 (ISA-1932 NOZZLES) มีสองลักษณะของการออกแบบเมื่อค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางมีค่ามากกว่า 2/3 และน้อยกว่าค่า 2/3

- หัวฉีดแบบรัศมียาว (LONG RADIUS NOZZLE) มีสองลักษณะการออกแบบตามค่าอัตราส่วนแกนยาวต่อแกนสั้นของวงรีที่เป็นส่วนโค้งทางเข้าเป็นชนิดอัตราส่วนสูง (HIGH RATIO) และอัตราส่วนต่ำ (LOW RATIO)

c. เวนจูรี (VENTURI) มีสองแบบของมาตรฐานตามการออกแบบคือ

- ท่อเวนจูรีแบบเก่า (CLASSICAL VENTURI TUBE) มีสองลักษณะวิธีการสร้างได้ 3 วิธีได้แก่ การหล่อจากแบบทรายแล้วตกแต่งผิวที่คอคอด หล่อจากแบบแล้วตกแต่งผิวที่คอคอดกับทางเข้า และการทำจากเหล็กแผ่นม้วนต่อเข้าด้วยกันโดยวิธีการเชื่อมมีการตกแต่งผิวที่คอคอด

- ท่อเวนจูรีผสมหัวฉีด (VENTURI NOZZLE) ลักษณะทางเข้าเป็นหัวฉีดทางออกเป็นเวนจูรี ออกแบบได้สองลักษณะคือ แบบมาตรฐาน และแบบทางออกสั้น เนื่องจากถ้าค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์ต่ำกว่า 2/3 จะสามารถตัดบริเวณทางออกให้สั้นลงได้

3.3.2 สัญลักษณ์และนิยาม ในการคำนวณ และแจกแจงรายละเอียดต่าง ๆ นั้นจะเกี่ยวข้องกับความหมายและส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ และนิยามที่ระบุต่อไปนี้เป็นหลักเสมอสัญลักษณ์ที่พบบ่อย ๆ และจำเป็นต้องใช้มีดังตารางที่ 1

อัตราการไหล (FLOW RATE) เป็นปริมาณของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านหน้าตัดของท่อต่อหนึ่งหน่วยเวลาอาจจะวัดเป็นมวลเรียกว่า อัตราการไหลมวล (MASS FLOW RATE) หรือวัดเป็นปริมาตร (VOLUME FLOW RATE) ค่าอัตราการไหลทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันมาก

อุปกรณ์ขั้นต้น (PRIMARY DEVICES) เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของเครื่องวัดอัตราการไหลจะใช้เพื่อสร้างสัญญาณเริ่มต้นเพื่อส่งต่อไปอุปกรณ์อื่น ๆ โดยที่สัญญาณที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการไหล ลักษณะสัญญาณจะเป็นเช่นไรขึ้นอยู่กับหลักการทำงานของเครื่องมือวัดนั้น ๆ อุปกรณ์ขั้นต้นจะอยู่ภายในท่อหรือติดตั้งนอกท่อก็ได้

อุปกรณ์ขั้นที่สอง (SECONDARY DEVICES) เป็นอุปกรณ์ที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ขั้นต้นเพื่อทำการแปลความหมาย หรือผ่านขบวนการแล้วแสดงผล บันทึกค่าซึ่งค่าที่อุปกรณ์นี้แสดงไม่จำเป็นต้องเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้เพื่อหาอัตราการไหลที่ต้องการได้

ความยาวช่วงตรง (STRAIGHT LENGTH) หมายถึง ท่อตรงที่ขนาดรูปร่างของหน้าตัดคงที่ และไม่เปลี่ยนแปลงตลอดความยาวที่กำหนด ปรกติหน้าตัดจะเป็นรูปวงกลม แต่อาจจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือวงแหวนความยาวช่วงตรงจะใช้ที่ท่อทางเข้าและทางออกจากอุปกรณ์ขั้นต้นเพื่อควบคุมสภาวะการไหลที่อุปกรณ์ขั้นต้น

อุปกรณ์ปรับสภาวะการไหล (FLOW STRAIGHTENER) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อขจัดหรือลดค่าความเร็วในทิศทางใด ๆ ที่ไม่ใช่แนวแกนของท่อ สภาวะการไหลหลังจากผ่านอุปกรณ์นี้จะมีการกระจายความเร็วถือเป็นมิติเดียวเฉพาะแนวแกนท่อ การใช้อุปกรณ์นี้ช่วยจะทำให้ได้สภาวะการไหลที่ดีขึ้นโดยใช้ความยาวท่อตรงเท่าเดิม

การกระจายความเร็วที่สมบูรณ์ (FULLY DEVELOPED VELOCITY DISTRIBUTION) เป็นสภาวะการไหลในท่อที่การกระจายความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงจนถึงที่สุด ซึ่งหลังจากนั้นจะมีการกระจายที่คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกสภาวะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการไหลผ่านท่อตรงที่ยาวมากกว่าหรือเท่ากับค่าความยาวจำกัดค่าหนึ่ง

การไหลแบบคงที่ (STEADY FLOW) เป็นการไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล หรือทางปฏิบัติยอมรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเล็กน้อยได้ขึ้นอยู่กับ ความละเอียดที่ต้องการซึ่งบางครั้งเป็นการยากที่จะควบคุม

อุณหภูมิทำงาน (WORKING TEMPERATURE) เป็นอุณหภูมิสถิตย์ของของไหลที่ตรงบริเวณทางเข้าสู่อุปกรณ์ขึ้นต้นใช้ในการหาคุณสมบัติของของไหลที่ไหลผ่านอุปกรณ์เพื่อการคำนวณ

ความดันทำงาน (WORKING PRESSURE) เป็นความดันสถิตย์ของของไหลที่จะไหลเข้าสู่อุปกรณ์ขึ้นต้นค่านี้ใช้เพื่อหาคุณสมบัติของไหล และหาอัตราส่วนความดันของอุปกรณ์

ออริฟิซหรือคอคอด (ORIFICE OR THROAT) เป็นช่วงของอุปกรณ์ขึ้นต้นที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุดวัดเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ซึ่งจะใช้คำนวณหาขนาดพื้นที่คอคอด หรือหาคอคอดการไหล

อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (DIAMETER RATIO) เป็นค่าอัตราส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของออริฟิซ หรือคอคอดต่อค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางเข้า หรือทางออกที่ติดตั้งอุปกรณ์ขึ้นต้น

รูเจาะวัดความดัน (PRESSURE TAPPING) เป็นรูกลมขนาดเล็ก หรือร่องวงแหวนที่เจาะ หรือตัดผ่านผนังท่อตามเส้นรอบวง มีขอบด้านในเรียบกับผิวภายในของท่อ ความดันที่วัดได้จากรูเจาะนี้จะเป็นค่าความดันสถิตย์

วงแหวนสมดุลย์ความดัน (PIEZOMETER RING) เป็นวงแหวนที่มีผิวปิดโดยรอบพื้นที่ว่างภายในจะต่อกับรูเจาะวัดความดันอย่างน้อย 2 จุด ที่อยู่บนภาคตัดเดียวกันจะมีท่อต่อสัญญาณความดันไปยังอุปกรณ์ขึ้นที่สอง

ห้องวงแหวน (ANNULAR CHAMBER) เป็นห้องที่อยู่รอบท่อใช้เพื่อสมดุลย์ความดันจะมีร่องวงแหวน (ANNULAR CHAMBER) ต่อไปยังผิวภายในท่อ ซึ่งเป็นแบบหนึ่งของการวัดความดันที่มุม (CORNER TAPPING) โดยการใส่ร่องวงแหวนรอบตัวตามเส้นรอบวงภายในผนังท่อ แทนที่จะเป็นรูเจาะวัดความดันธรรมดา

ออริฟิซขอบมุมฉาก (SQUARE EDGE ORIFICE PLATE) คือแผ่นบางที่เจาะรูกลมตรงกลางขอบรูเจาะทั้งสองด้านจะมีขอบที่เป็นมุมฉากคม ที่จะต้องแต่งอย่างดี

ออริฟิซขอบปากเฉียง (CONICAL ENTRANCE ORIFICE PLATE) เป็นแผ่นบางที่มีรูเจาะเช่นเดียวกับแบบขอบมุมฉาก แต่ขอบรูเจาะด้านทางเข้าจะมีการปาดออกเป็นมุมเฉียงทำให้ทางเข้ามีลักษณะเป็นรูปกรวยแผ่นออริฟิซจะทำการปาดทางเข้าเช่นนี้ เมื่อตัวแผ่นมีความหนามากกว่าปรกติ และเพื่อเป็นการลดความหนารูเจาะ

ความดันสถิตย์ (STATIC PRESSURE) เป็นค่าความดันที่ได้จากการต่อเครื่องมือวัดความดันเข้ากับรูเจาะวัดความดันที่ผนังท่อ ซึ่งปลายรูเจาะด้านในท่อจะต้องเรียบพอดี ตามข้อกำหนด ค่าความดันสถิตย์ จะหมายถึงค่าสัมบูรณ์ (ABSOLUTE) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ความดันแตกต่าง (DIFFERENTIAL PRESSURE) เป็นผลต่างของความดันสถิตย์ที่วัดจากรูเจาะวัดความดันที่ด้านบน (ทางเข้า) และด้านล่าง (ทางออก) ของอุปกรณ์ขั้นต้นที่ประกอบอยู่กับท่อตรง การวัดจะต้องมีระดับอ้างอิงอันเดียวกัน ถ้าใช้ระดับอ้างอิงต่างกันจะต้องคิดผลที่เกิดขึ้นกับค่าที่อ่านได้ด้วยเสมอ

อัตราส่วนความดันแตกต่าง (DIFFERENTIAL PRESSURE RATIO) เป็นค่าความดันแตกต่างหารด้วยความดันสถิตย์ที่ศูนย์กลางของหน้าตัดท่อที่จุดวัดความดันด้านบน (ทางเข้า) ของอุปกรณ์ขั้นต้น

อัตราส่วนความดัน (PRESSURE RATIO) เป็นค่าความดันสถิตย์ที่จุดวัดความดันด้าน (ทางออก) ต่อค่าความดันสถิตย์ที่จุดวัดความดันทางด้านบน (ทางเข้า) ของอุปกรณ์ขั้นต้น

อัตราส่วนความเร็วเสียง (ACOUSTIC RATIO) เป็นค่าของความแตกต่างความดันของอุปกรณ์ หารด้วยผลคูณของความดันทางเข้าอุปกรณ์ กับค่ายกกำลัง เมื่อการเปลี่ยนแปลงไปตามขบวนการไอเซ็นโทรปิค (ISENTROPIC EXPONENT)

ค่ายกกำลังตามขบวนการไอเซ็นโทรปิค (ISENTROPIC EXPONENT) เป็นค่าคงที่ของตัวยกกำลังของแก๊สที่มีการเปลี่ยนแปลงตามขบวนการไอเซ็นโทรปิค หาได้จากอัตราส่วนของความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ต่อ ความจุความร้อนที่ปริมาตรคงที่ ค่านี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะแก๊สแต่ละชนิด

ตัวประกอบความเร็ว (VELOCITY APPROACH FACTOR) เป็นค่าคงที่ของความเร็วหรือขนาดพื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์ขั้นต้นหาได้จากความสัมพันธ์

$$E = \frac{A_1}{[A^2_1 - A^2_2]^{1/2}} = \frac{D^2}{[D^4 - d^4]^{1/2}} = \frac{1}{[1 - B^4]^{1/2}}$$

3.4 หลักการวัดและการคำนวณอัตราการไหล

3.4.1 หลักการของเครื่องวัด อุปกรณ์ขั้นต้นที่ใช้จะอาศัยหลักการทำให้เกิดความแตกต่างของความดันระหว่างทางเข้า และทางออกของอุปกรณ์ จากค่าความดันแตกต่างนี้จะมีความสัมพันธ์อยู่กับอัตราการไหลตามสมการ

$$q_m = \alpha\epsilon\pi d^2/4[2\Delta P/\rho_1]^{1/2} \qquad \text{.....(27)}$$

หรือ

$$q_m = CE\epsilon\pi d^2/4[2\Delta P/\rho_1]^{1/2} \qquad \text{.....(28)}$$

และ

$$q_v = q_m/\rho_1$$

สมการเหล่านี้เป็นความสัมพันธ์หลักที่จะใช้ในการหาอัตราการไหล และตัวแปรอื่น ๆ ในสมการในงานเกี่ยวกับการวัดอัตราการไหลทั้งหมด

3.4.2 การหาอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (β) ของอุปกรณ์ขั้นต้น ในทางปฏิบัตินั้นจะพบว่า เราพอจะประมาณค่า อัตราการไหล ความเร็ว หรือขนาดท่อที่ต้องการจะวัดได้คร่าว ๆ แล้ว ถ้าหากเรากำหนดหรือเลือกชนิดของอุปกรณ์ และแบบที่แน่นอน ก็จะสามารถหาค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (β) ของอุปกรณ์ได้ ตัวแปรหนึ่งที่สำคัญคือค่าความดันแตกต่าง (ΔP) จะต้องเลือกค่าให้เหมาะสม และคำนึงถึงความเป็นไปได้หลาย ๆ ด้านประกอบกัน เมื่อได้ค่าของตัวประกอบก็ใช้สมการอัตราการไหลหาค่าคงที่ $\alpha\beta^2$

$$\alpha\beta^2 = 4q_m/\epsilon\pi D^2[2\Delta P\rho_1]^{1/2} \qquad \text{.....(12)}$$

เราก็จะได้ค่า $\alpha\beta^2$ หรือ $CE\beta^2$ นั้นเอง

โดยค่า C เป็นฟังก์ชั่นของ β และ R_D ถ้ากำหนดชนิด และแบบของอุปกรณ์ก็จะใช้ความสัมพันธ์ตามสมการในมาตรฐานได้ ส่วนค่า E เป็นฟังก์ชั่นของ β เพียงตัวเดียว ดังนั้นค่า β โดยประมาณก็จะหาได้ทันที เมื่อต้องการค่าที่ละเอียดมากขึ้นก็จะต้องแทนค่ากลับไปอีกครั้งหนึ่งสำหรับการออกแบบเบื้องต้น และค่าตัวแปรที่เลือกไม่ได้อยู่ในย่านวิกฤติแล้ว แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปจากเดิมก็ยังคงสามารถใช้งาน และยอมรับได้

3.4.3 การหาอัตราการไหล ค่าอัตราการไหลจะได้จากการแทนค่าในสมการโดยตรง ซึ่งมีบางค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเป็นปัญหาอยู่เล็กน้อย ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (α) หรือ ค่า CE แต่ก็มีข้อสังเกตุที่สำคัญคือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

a. ค่า α=CE โดยที่ E เป็นค่าคงที่ค่า C ขึ้นอยู่กับ β และ R_{-D} ส่วน R_{-D} มีค่าขึ้นอยู่กับค่า q_m อีกต่อหนึ่ง ความสัมพันธ์ของ α หรือ C กับค่า q_m จึงต้องผ่านตัวแปร R_{-D} เป็นตัวกลางจึงเป็นการยากที่จะให้คำนวณครั้งเดียวได้ค่าที่แน่นอนถูกต้อง ถ้าหากต้องการค่าที่ละเอียดมาก ๆ แล้วจำเป็นจะต้องใช้วิธีการแทนค่าซ้ำ ๆ หลายรอบ (ITERATION) ค่าเริ่มต้นของ α ปรกติจะเลือกใช้ค่า $R_{-D} = 10^5$ แต่โดยทั่ว ๆ ไปค่า R_{-D} จะมีผลน้อยมากในบางงานอาจจะไม่มีความจำเป็นขนาดที่ต้องคิดผลนี้

b. ค่าความดันแตกต่าง (ΔP) (DIFFERENCE PRESSURE) จะมีค่าเพิ่มและลดตามค่า q_m แต่ความสัมพันธ์ไม่ได้เป็นสัดส่วนตรง

c. ค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) และ (D) ที่ใช้ในสมการจะต้องเป็นขนาดจริงที่สภาวะการใช้งานซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความดันมาก ๆ จะต้องคิดผลกระทบด้วย

d. จะต้องทราบสภาวะของของไหลที่ทำการวัด

3.4.4 การหาค่าความหนาแน่นมวล (DENSITY) ค่าความหนาที่ระนาบทางเข้าจะต้องใช้ในการคำนวณค่านี้อาจจะหาได้โดยตรง หรือจากความดันสถิตย์ อุณหภูมิ และคุณลักษณะของของไหลที่ระนาบนี้ ค่าความดันสถิตย์ที่ด้านทางเข้าจะทำการวัดโดยทำรูเจาะ หรือทำเป็นวงแหวนวัดความดัน หรืออาจจะแยกท่อมาจากจุดวัดความดันที่ใช้หาความดันแตกต่างก็ได้แต่การต่อพ่วงอุปกรณ์วัดความดันสถิตย์เข้ากับอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างจะต้องไม่มีผลกระทบต่อการอ่านค่า หรือทำให้ค่าเพี้ยนไป ค่าความดันใช้คำนวณจะต้องใช้ที่ระดับจุดศูนย์กลางท่อซึ่งอาจมีค่าต่างไปจากที่ผนังท่อ ถึงแม้ความหนาแน่น และความหนืดจะหาได้จากอุณหภูมิทางออกของอุปกรณ์ด้วย อุปกรณ์วัดอุณหภูมิจะต้องมีขนาดเล็ก และกินเนื้อที่ติดตั้งน้อยที่สุด ระยะการติดตั้งห่างจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหลประมาณ 5D ถ้าหากของไหลเป็นแก๊ส อุณหภูมิทางเข้าอาจคำนวณได้จากอุณหภูมิทางออก โดยสมมติให้การไหลผ่านอุปกรณ์ขั้นต้นเป็นไปตามสมการในขบวนการไอเซนโทรปิค (ISENTROPIC) การหาความหนืด ความดันสถิตย์ และอุณหภูมิด้วยวิธีการอื่น ๆ ก็สามารถใช้และยอมรับได้ ถ้าหากมีความเชื่อถือได้ว่าวิธีการวัดนั้นไม่รบกวนการไหลในทิศทางใด ๆ ส่วนอุณหภูมิใช้งานของอุปกรณ์ขั้นต้นจะถือว่าเท่ากับอุณหภูมิของไหลที่ทางเข้า

3.5 การเลือกอุปกรณ์ขั้นต้น ขั้นตอนแรกในการวัดอัตราการไหลคือ การเลือกชนิดและแบบของอุปกรณ์ขั้นต้นที่เหมาะสมซึ่งจะต้องพิจารณาในหลาย ๆ ด้านประกอบกันได้แก่ ขนาดท่อ ค่าอัตราการไหล หรือค่า R_{-D} ที่จะวัด ความดันสูญเสียที่อุปกรณ์ ความละเอียดที่จะสามารถอ่านได้ในย่านการใช้งาน นอกจากนี้ยังต้องคิดถึงวิธีการให้มาซึ่งอุปกรณ์ที่ต้องการได้แก่ ราคา วิธีการผลิตการติดตั้ง ซึ่งมีผลเกี่ยวข้องไปถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่ในระบบท่อด้วย อีกทั้งยังกระทบไปถึงอุปกรณ์ขั้นที่สองที่จะใช้วัดค่าความดันแตกต่างที่มีความสำคัญต่อความละเอียด (ACCURACY)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของระบบการวัด

หลักการทั่วไปจะอาศัยคุณสมบัติของอุปกรณ์เป็นหลักคือ ถ้าพิจารณาค่าความดันแตกต่างแล้ว ออริฟิชจะมีค่าสูงสุดมากกว่าเวนจูรีประมาณ 4-6 เท่าตัวที่ค่าการออกแบบเดียวกันส่วนหัวฉีดมีค่าความดันแตกต่างต่ำกว่าออริฟิชประมาณ 3 เท่าตัว การที่มีค่าความดันแตกต่าง (ΔP) แตกต่างกันนี้มีผลต่อไปถึงอุปกรณ์ขั้นที่สองคือ ถ้า ΔP มากจะสามารถใช้มาโนมิเตอร์ที่มีความละเอียดไม่ต้องสูงนัก แต่ถ้า ΔP ต่ำจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้มาโนมิเตอร์ที่สามารถอ่านได้ละเอียด (RESOLUTION) สูง ๆ ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าราคาอุปกรณ์ขั้นที่สองนี้จะแพงมาก ถ้าหากใช้อุปกรณ์ขั้นที่สองที่ค่าอ่านละเอียด ไม่ดีแล้วจะส่งผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นความผิดพลาดของการวัดสูง หรือความละเอียดต่ำจนไม่อาจจะยอมรับได้ ในด้านการสร้างหรือราคาอุปกรณ์ขั้นต้นนั้นออริฟิชทำง่ายที่สุด ส่วนหัวฉีดนั้นทำยากมาก และจะต้องตัดส่วนโค้งและขัดละเอียดส่วนเวนจูรีนั้นมีความยากมากที่สุด แต่ถ้าพิจารณาเครื่องวัดชนิดใดชนิดหนึ่งแล้วจะต้องพิจารณาลึกลงไปอีกถึงแบบของจุดวัดความดัน การวัดความดันแบบ CARRIER RING WITH ANNULAR SLOT นั้นจะมีเสถียรภาพ (STABILITY) ของความดันดีที่สุด แต่ทำยากที่สุดเช่นกันเพราะต้องมีห้องสมดุลย์ความดัน (BALANCING CHAMBER) สำหรับงานทดสอบหรือวิจัยเบื้องต้น แล้วมักจะพิจารณาออริฟิชก่อนเนื่องจากการสร้างง่าย ให้ค่าความดันแตกต่าง (ΔP) สูงเหมาะที่จะใช้กับมาโนมิเตอร์ทั่ว ๆ ไปได้ในขณะที่ให้ความละเอียดสูงกว่าหัวฉีดและเวนจูรี เมื่อวัดที่เงื่อนไข และสภาวะของไหลเดียวกัน แต่สำหรับงานวัดที่ถือความดันสูญเสียเป็นหลักสำคัญแล้วจะใช้หัวฉีด และเวนจูรี โดยเฉพาะของไหลที่มีความหนืด และความหนาแน่นมาก ๆ

3.6 ความต้องการทั่วไปในการวัดอัตราการไหล ในระหว่างที่ทำการวัดจะต้องแน่ใจว่าเป็นไปตามความต้องการ และเงื่อนไขกำหนดมาตรฐานการวัดอัตราการไหลนั้นจึงจะถือว่าได้มาตรฐานอย่างสมบูรณ์ ซึ่งข้อกำหนดที่สำคัญได้แก่ การผลิต การติดตั้งสภาพของอุปกรณ์สภาวะของไหลที่จะทำการวัด เพราะถ้าหากการวัดอยู่นอกขอบเขตกำหนดเหล่านี้แล้วค่าความผิดพลาดหรือความเพี้ยนที่เกิดขึ้น ขณะทำการวัดจะเพิ่มขึ้น

3.6.1 อุปกรณ์ขั้นต้น จะต้องทำการออกแบบ ผลิต ติดตั้ง และใช้งานตามข้อกำหนดของมาตรฐานเท่านั้นถ้าหากลักษณะการผลิต ติดตั้งและใช้งานนอกขอบเขตกำหนดจะต้องทำการปรับเทียบ (CALIBRATE) ที่สภาวะเดียวกับสภาวะการใช้งานจริงเสมอ สภาพของอุปกรณ์จะต้องได้รับการเอาใจใส่ดูแลตรวจสอบหลังจากการใช้งานและก่อนการใช้งานตามระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าการวัดที่มั่นใจได้ ต้องมั่นสังเกตุ ฝุ่น , ผง หรือสิ่งเจือปนที่ติดมากับของไหล อาจจะมาสะสม หรือปกคลุมที่อุปกรณ์ขั้นต้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่าย (C) และ / หรือสัมประสิทธิ์การไหล (α) มีค่าเปลี่ยนไปจากเดิมตามระยะเวลาที่ใช้งาน

3.6.2 ชนิดของของไหล ของไหลที่วัดจะต้องเป็นเนื้อเดียว มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ การวัดใช้ได้ทั้งของเหลวและแก๊ส (COMPRESSIBLE AND INCOMPRESSIBLE FLUID) สารละลายบางชนิดที่มีการกระจายของคุณสมบัติที่ดีก็อาจจะใช้ได้เมื่อใช้สำหรับแก๊สจะต้องมีการระบายของเหลวที่อาจจะอยู่ที่ส่วนล่างของท่อออกให้หมด ส่วนการวัดของเหลวก็เช่นกันอาจจะมีแก๊สบางส่วนในระบบการวัดต้องจัดให้มีจุดใส่แก๊สที่จะปิดกั้นการไหล และอยู่ในท่อนำสัญญาณความดัน ซึ่งทำให้ค่าการอ่านเครื่องวัดผิดพลาดได้

3.6.3 สภาวะของของไหล การไหลขณะทำการวัดจะต้องมีสภาวะคงที่ (STEADY STATE) แต่ทางปฏิบัตินั้นคงเป็นไปได้ยากมากจึงยอมรับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยได้การวัดนี้ใช้กับการไหลที่เป็นห้วง ๆ (PULSATION FLOW) ไม่ได้แต่ถ้าจำเป็นก็อาจจะใช้ได้ถ้ามีอุปกรณ์ประกอบเพิ่มเติม การไหลผ่านอุปกรณ์ขั้นต้นจะต้องไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (STATE) ข้ามเฟส (PHASE) การคำนวณขณะไหลผ่านอุปกรณ์จะถือเป็นไปตามขบวนการไอโซเทอร์มอล (ISOTHERMAL) สำหรับของเหลว และการเปลี่ยนแปลงเป็นไปตามสมการขบวนการไอเซ็นโทรปิค (ISENTROPIC) สำหรับของไหลที่เป็นแก๊ส และกรณีแก๊สจะต้องคิดผลของการอัดตัวได้ (EXPANSIBILITY) และค่าอัตราส่วนความดันทางออกต่อความดันทางเข้าจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า Ø.75 ถ้าอัตราส่วนความดันนี้ต่ำกว่ากำหนดการประมาณค่าความผิดพลาดจะต้องคิดเพิ่มจากเดิม ที่สมการบอกไว้เสมอ

3.7 วิธีการติดตั้งอุปกรณ์ขั้นต้น

3.7.1 ความต้องการทั่วไป ที่ภาคตัดท่อจุดติดตั้งอุปกรณ์การวัดจะต้องมีการไหลเต็มท่อ ท่อเป็นชนิดหน้าตัดเป็นวงกลมเท่านั้น การกระจายความเร็วจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงสมบูรณ์ (FULLY DEVELOPE VELOCITY PROFILE) และสภาวะการไหลควรมีการควบคุมให้ได้มาตรฐาน ท่อที่ต่อทางเข้า และออกจะต้องเป็นทรงกระบอกตรงหน้าตัดคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด ข้อต่อแยก หรือสิ่งกีดขวางการไหลอื่น ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหล และค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (β) ควรใช้ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ไม่ต่ำกว่า 4 ค่าที่แต่ละภาคตัดใน 3 ตำแหน่งคือ ระยะห่าง D , D/2 และตรงภาคตัดวัดความดันทางเข้าอุปกรณ์ ความกลมของภาคตัดท่อทางเข้า และออกจากอุปกรณ์ ตรวจสอบด้วยสายตาก็เพียงพอ ผิวภายในด้านทางเข้าอุปกรณ์ในระยะ 1ØD จะต้องรักษาให้สะอาด

3.7.2 ความยาวช่วงตรงต่ำสุด อุปกรณ์นี้จะต้องติดตั้งอยู่ระหว่างท่อทางเข้าและทางออก ที่มีค่าความยาวช่วงตรงไม่ต่ำกว่าค่ากำหนด เพื่อลดการรบกวนการไหลที่อาจจะเกิดขึ้นและให้ได้สภาวะการเปลี่ยนแปลงที่สมบูรณ์ (FULLY DEVELOPE VELOCITY PROFILE) ค่าความยาวต่ำสุดจะขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อท่อทางเข้าที่มี ข้องอ ข้อต่อ อุปกรณ์อื่น ๆ ในทือ ค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง และชนิดของอุปกรณ์ขั้นต้น ค่าความยาวช่วงตรงต่ำสุด แนะนำไว้

ตามตารางที่ 1

ค่าความยาวในตารางจะกำหนดเป็นจำนวนเท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (D) โดยค่าที่อยู่นอกวงเล็บเป็นค่าที่ไม่ต้องคิดผลที่ทำให้เพิ่มความไม่แน่นอน ของสัมประสิทธิ์การไหล (+Ø % α) ส่วนค่าในวงเล็บเป็นความยาวที่จะต้องคิดค่าความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์การไหล ±Ø.5 % สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดเป็นพิเศษแล้วควรจะใช้ค่าความยาวเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของค่านอกวงเล็บ แต่ถ้าค่าความยาวท่อตรงที่ต่ำกว่ากำหนดในตารางแล้วจะถือว่าอยู่นอกขอบเขตกำหนดของมาตรฐาน จึงไม่มีข้อมูลหรือรายละเอียดการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลให้ นอกจากพิจารณาความยาวท่อตรง แล้วยังมีส่วนเกี่ยวข้องอื่นที่จะช่วยให้ระบบการวัดสมบรูณ์ยิ่งขึ้น ได้แก่ ที่ทางเข้าท่อตรงหรือต้นทาง ควรจะมีการเปิดให้มีการไหลเต็มท่อ การควบคุมอัตราการไหลควรกระทำที่ทางด้านนอกของเครื่องวัด ถ้าหากก่อนถึงทางเข้าท่อตรงใช้วาวล์ ควรเป็นแบบประตู (GATE VALVE) การหาตำแหน่งรูเจาะวัดความดัน ควรพิจารณาระนาบการเลี้ยวของท่อ หรือการแยกของท่อทางเข้าประกอบ จะต้องพยายามให้แกนรูเจาะวัดความดัน ตั้งฉากกับระนาบการเลี้ยว หรือการแยกของท่อ ค่าความยาวท่อตรงตามตารางเป็นค่าที่ทดลองในระบบท่อที่ด้านบนก่อนเข้าส่วนของท่อตรงมีความยาวมาก จึงมีผลกระทบจากข้อต่อ หรือข้องอต่าง ๆ น้อยมากซึ่งถือเป็นระบบที่สมบรูณ์มาก แต่ในการติดตั้งใช้งานปรกตินั้นไม่สามารถกระทำได้ จึงมีข้อสังเกตุเพื่อเป็นแนวทางพิจารณาประกอบการติดตั้งที่สำคัญได้แก่

a. ถ้าหากทางเข้าของท่อ (ต้นทาง) เปิดสู่ที่ว่าง หรือถังปิดที่มีขนาดใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นการต่อโดยตรง หรือด้วยวิธีการผ่านข้อต่ออื่น ๆ ก็ตาม ค่าความยาวท่อตรงทางเข้า อุปกรณ์ขั้นต้นควรใช้ไม่ต่ำกว่า 3ØD

b. ถ้าหากมีข้องอที่ไม่ใช่ 9Ø° ติดตั้งอนุกรมกันที่ทางเข้าท่อ ระยะห่างจากข้องอตัวสุดท้าย กับอุปกรณ์ขั้นต้นจะต้องเป็นไปตามตารางกำหนด ส่วนระยะห่างระหว่างข้องออื่น ๆ ควรใช้ระยะห่างเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของค่าความยาวในตารางกำหนดที่ค่าอัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง (β) = Ø.7 แต่ในกรณีนี้ไม่รวมไปถึงข้อต่อลดขนาดแบบสมมาตร

3.7.3 อุปกรณ์ปรับสภาวะการไหล อุปกรณ์นี้จะใช้ใน 2 จุดประสงค์ใหญ่คือ เมื่อต้องการความมั่นใจในระบบท่อที่จะทำการวัด ซึ่งปรกติใช้ในงานที่ต้องการความละเอียดเป็นพิเศษ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเพิ่มความยาวท่อตรงอีกมากนัก กับอีกกรณีหนึ่ง คือ เมื่อท่อที่ต้องการติดตั้งอุปกรณ์การวัดมีขนาดโตมาก การที่จะทำให้ได้ความยาวท่อตรงตามกำหนดต้องสิ้นเปลืองสูงมาก การใช้อุปกรณ์ปรับสภาวะการไหลจะช่วยได้มากอุปกรณ์ปรับสภาวะการไหลได้แก่ STRAIGHTENER และ SCREEN STRAIGHTENER เป็นอุปกรณ์ที่ขจัดความเร็วในทิศทางที่ไม่ต้องการ (SWIRL) สภาวะการไหลหลังจากผ่าน STRAIGHTENER จะสมมติการไหลเป็นแบบมิติเดียวในแนวแกนท่อ ส่วนสกรีน (SCREEN) จะช่วยเพิ่มการรบกวน (TURBULENCE) เพื่อให้เกิดการกระจายความ

ตารางที่ 1

ค่าความยาวท่อตรงต่ำสุดสำหรับอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

β	ทางเข้า				ทางออก
	ข้องอ 90°	ข้องอ 90° บนระนาบ	ข้องอ 90° ต่างระนาบ	ท่อลด	รวมค่าที่เหมาะสมทั้งหมด
≤0.20	10 (6)	14 (7)	34 (17)	5	4 (2)
0.25	10 (6)	14 (7)	34 (17)	5	4 (2)
0.30	10 (6)	16 (8)	34 (17)	5	5 (2.5)
0.35	12 (6)	16 (8)	36 (18)	5	5 (2.5)
0.40	14 (7)	18 (9)	36 (18)	5	6 (3)
0.45	14 (7)	18 (9)	38 (19)	5	6 (3)
0.50	14 (7)	20 (10)	40 (20)	6 (5)	6 (3)
0.55	16 (8)	22 (11)	44 (22)	8 (5)	6 (3)
0.60	18 (9)	26 (13)	48 (24)	9 (5)	7 (3.5)
0.65	22 (11)	32 (16)	54 (27)	11 (6)	7 (3.5)
0.70	28 (14)	36 (18)	62 (31)	14 (7)	7 (3,5)
0.75	36 (18)	42 (21)	70 (35)	22 (11)	8 (4)
0.80	46 (23)	50 (25)	80 (40)	30 (15)	8 (4)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ค่าความยาวท่อตรงต่ำสุดสำหรับอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

β	ทางเข้า			ทางออก
	ท่อขยาย	โกลบวาวล์	เกทวาวล์	รวมค่าที่เหมาะสมทั้งหมด
≤0.20	16 (8)	18 (9)	12 (6)	4 (2)
0.25	16 (8)	18 (9)	12 (6)	4 (2)
0.30	16 (8)	18 (9)	12 (6)	5 (2.5)
0.35	16 (8)	18 (9)	12 (6)	5 (2.5)
0.40	16 (8)	20 (10)	12 (6)	6 (3)
0.45	17 (9)	20 (10)	12 (6)	6 (3)
0.50	18 (9)	22 (11)	12 (6)	6 (3)
0.55	20 (10)	24 (12)	14 (7)	6 (3)
0.60	22 (11)	26 (13)	14 (7)	7 (3.5)
0.65	25 (13)	28 (14)	16 (8)	7 (3.5)
0.70	30 (15)	32 (16)	20 (10)	7 (3.5)
0.75	38 (19)	36 (18)	24 (12)	8 (4)
0.80	54 (27)	44 (22)	30 (15)	8 (4)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

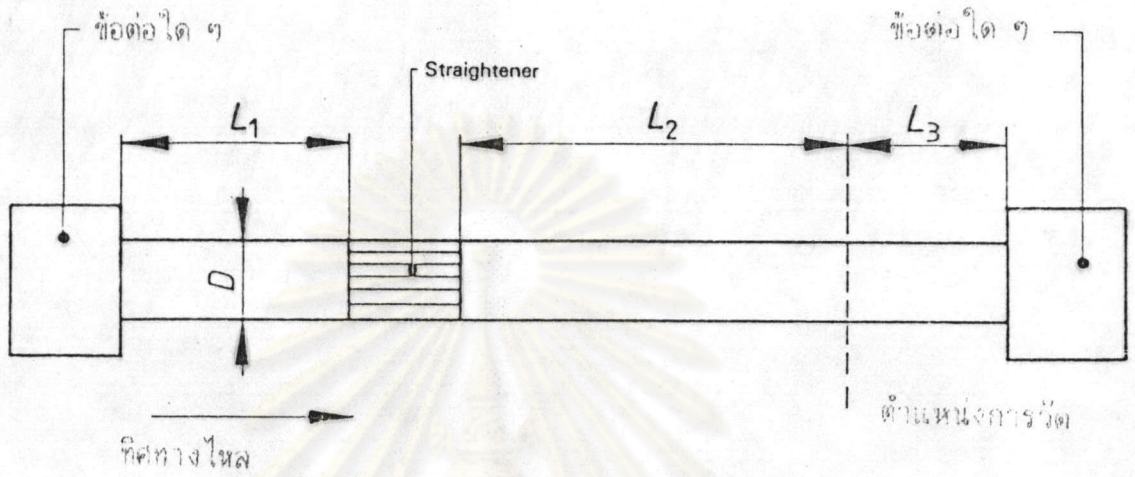
ตารางที่ 1 (ต่อ)

ค่าความยาวท่อตรงต่ำสุดสำหรับอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

β	ข้องอ 90°	ข้องอ 90° บนระนาบ	ข้องอ 90° ต่างระนาบ	ท่อลด	ท่อขยาย
0.30	0.5	1.5 (0.5)	(0.5)	0.5	1.5 (0.5)
0.35	0.5	1.5 (0.5)	(0.5)	1.5 (0.5)	1.5 (0.5)
0.40	0.5	1.5 (0.5)	(0.5)	2.5 (0.5)	1.5 (0.5)
0.45	1.0 (0.5)	1.5 (0.5)	(0.5)	4.5 (0.5)	2.5 (1)
0.50	1.5 (0.5)	2.5 (1.5)	(8.5)	5.5 (0.5)	2.5 (1.5)
0.55	2.5 (0.5)	2.5 (1.5)	(12.5)	6.5 (0.5)	3.5 (1.5)
0.60	3.0 (1.0)	3.5 (2.5)	(17.5)	8.5 (0.5)	3.5 (1.5)
0.65	4.0 (1.5)	4.5 (2.5)	(23.5)	9.5 (1.5)	4.5 (2.5)
0.70	4.0 (2.0)	4.5 (2.5)	(27.5)	10.5 (2.5)	5.5 (3.5)
0.75	4.5 (3.0)	4.5 (3.5)	(29.5)	11.5 (3.5)	6.5 (4.5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เร็ว (VELOCITY PROFILE) ที่เหมาะสม



รูปที่ 1 ระยะการติดตั้งอุปกรณ์ปรับสภาวะการไหล

ระยะในการติดตั้ง STRAIGHTENER ตามรูปควรมีค่าที่เหมาะสมดังนี้

$L_1 \geq 3D$

$L_2 \geq 5D$

$L_3 \geq 2D$

การเลือกแบบหรือชนิดของ STRAIGHTENER จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการได้แก่ ความดันสูญเสีย การกระจายความเร็ว การลดการไหลวน (SWIRL) และคุณสมบัติเฉพาะอื่น ๆ เนื่องจากแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติเหล่านี้ต่าง ๆ กัน STRAIGHTENER ที่ใช้กัน และยอมรับทั่วไปจะมีด้วยกัน 5 แบบซึ่งข้อมูลรายละเอียดการออกแบบจะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้ได้แก่

TYPE A ZANKER STRAIGHTENER

TYPE B SPRENKLE STRAIGHTENER

TYPE C TUBE BUNDLE STRAIGHTENER

TYPE D A M C A STRAIGHTENER

TYPE E' Etoile STRAIGHTENER

3.7.4 ท่อระบายของเหลวและไล่แก๊ส (DRAIN AND VENT HOLES) ที่บริเวณทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์ขั้นต้นจำเป็นจะต้องจัดให้มี ช่องระบายผง ตะกอน หรือของเหลวที่บริเวณด้านล่างต่ำสุด และถ้าหากใช้วัดของเหลวแล้วก็จะต้องมีจุดไล่แก๊สที่ด้านบนของท่อช่องระบายเหล่านี้จะต้องปิดสนิทขณะทำการวัดอัตราการไหล ตำแหน่ง หรือระยะห่างของรูระบายจะต้องคิดถึง การรบกวนสัญญาณของอุปกรณ์ขั้นต้น ขนาดรูระบายจะต้องมีขนาดไม่เกิน 8 % ของขนาดท่อ (D) ระยะห่างจากอุปกรณ์ขั้นต้นไม่ต่ำกว่า 0.5D ระนาบแกนรูระบายจะต้องไม่ทับกับระนาบรูเจาะวัดความดันต่าง ๆ เพราะอาจทำให้เกิดการรบกวนกันได้

3.7.5 การติดตั้งและประเก็นกันรั่ว การติดตั้งต้องมีทิศทางการไหลที่ถูกต้องมุมเบี่ยงเบนของความตั้งฉากกันไม่ควรเกิน ±1 องศา การติดตั้งชุดอุปกรณ์เข้ากับท่อนั้น ค่าเบี่ยงเบนของการเยื้องศูนย์กลางที่ยอมให้ (e_x) จะมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นความไม่แน่นอนของอัตราการไหลหรือสัมประสิทธิ์การไหลดังนี้

สำหรับ

$$0 < e_x < \frac{0.0005D}{0.1+2.3\beta^4}$$

ไม่ต้องคิดความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์การไหล (α) เพิ่ม

$$\frac{0.0005D}{0.1+2.3\beta^4} < e_x < \frac{0.005D}{0.1+2.3\beta^4}$$

จะต้องเพิ่มความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์การไหล ±0.3 %

รอยต่อระหว่างชิ้นส่วนอาจจะใช้กาว หรือปะเก็นกันรั่ว ปะเก็นรอยต่อควรเลือกใช้บางที่สุดและความหนาสูงสุดไม่ควรเกิน 3 % ของค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ของท่อ ในการทากาวหรือตัดปะเก็นก็ตามจะต้องระวังไม่ให้มีส่วนเกินยื่นเข้าไปภายในท่อ ไม่ว่าจะเป็นรอยต่อที่ใดก็ตาม ส่วนเกินเหล่านี้มีผลกระทบต่อระบบการวัดทำให้เพิ่ม ความผิดพลาดขึ้นอย่างมาก