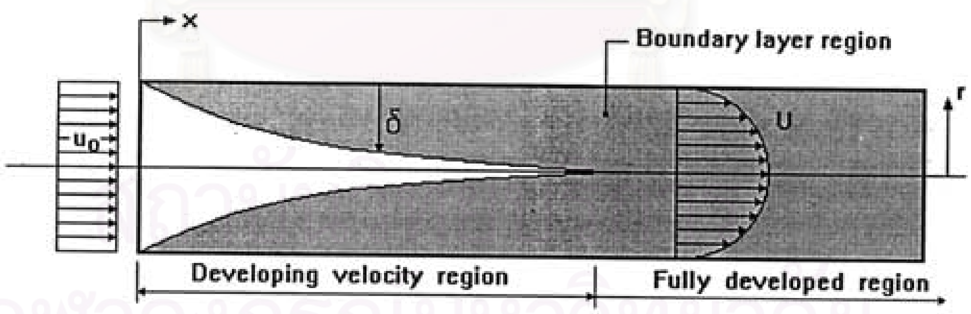
บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 <u>การไหลภายในท่อ (Flow inside Duct)</u>

การไหลภายในท่อเป็นพื้นฐานส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญและได้มีการประยุกต์เพื่อใช้ในงานทางวิศวกรรม เช่น ในระบบปรับอากาศ, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น การไหลภายใน ท่อจะแบ่งลักษณะการไหลของของไหลเป็นการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน อย่างไรก็ตาม ทั้งในกรณีการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วนภายในท่อที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นยังขึ้นอยู่กับสภาวะเงื่อนไขของการไหลและสภาวะทางความร้อนอีกด้วยซึ่งสภาวะดังกล่าวจะอธิบายได้ดังนี้

3.1.1 ชั้นขอบเขตความเร็ว (Velocity Boundary Layer)



รูปที่ 3.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงชั้นขอบเขตความเร็วในท่อกลม

พิจารณาการไหลภายในท่อกลมดังรูปที่ 3.1 เมื่อของไหลมีความเร็วคงที่ u_0 ไหลเข้าที่ทางเข้าชั้นขอบเขตความเร็วจะเริ่มพัฒนาไปตามผนังท่อ ความเร็วของของไหลที่ผิวท่อจะมีค่าเป็น

ศูนย์และมีผลทำให้ความเร็วของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวท่อมีค่าลดลงและมีบางส่วนมีความเร็วของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวท่อมีค่าลดลงและมีบางส่วนมีความเร็วเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นการรักษาความต่อเนื่องของการไหลซึ่งในช่วงปากทางเข้าของท่อจะมีบางส่วนที่อยู่ในบริเวณที่ไม่ได้รับผลกระทบนี้ ความหนาของชั้นขอบเขตความเร็ว (Boundary Layer Thickness, δ_x) จะมีความหนาเพิ่มขึ้นต่อเนื่องตามทิศทางการไหลและมีทิศทางเข้าสู่จุดศูนย์กลางของท่อบริเวณที่อยู่ในช่วงจากปากทางเข้าของท่อถึงบริเวณที่ชั้นขอบเขตของความเร็วไปถึงจุดศูนย์กลางท่อแล้วซึ่งเป็นบริเวณที่มีการพัฒนาการแจกแจงรูปร่างความเร็วแล้ว เราจะเรียกบริเวณที่อยู่ในช่วงดังกล่าวนี้ว่า Hydrodynamic entry region ในบริเวณนี้รูปร่างของความเร็วจะเปลี่ยนแปลงทั้งในแนวแกนและแนวรัศมีของท่อ ส่วนบริเวณที่อยู่หลังจากช่วง Hydrodynamic entry region จะเรียกว่า Hydrodynamically developed region ซึ่งรูปร่างความเร็วจะคงรูปและไม่เปลี่ยนแปลงในแนวแกนของท่อแต่จะเปลี่ยนแปลงในแนวรัศมีเพียงอย่างเดียว

สำหรับการพิจารณาการไหลในท่อว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) หรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) นั้น เราสามารถพิจารณาได้จากค่าเรย์โนลด์สนัมเบอร์ (Renolds Number , Re) ดังสมการต่อไปนี้

$$Re = \frac{\rho u_m D}{\mu} \tag{3.1}$$

เมื่อ Re = ค่าเรย์โนด์สนัมเบอร์

ρ = ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

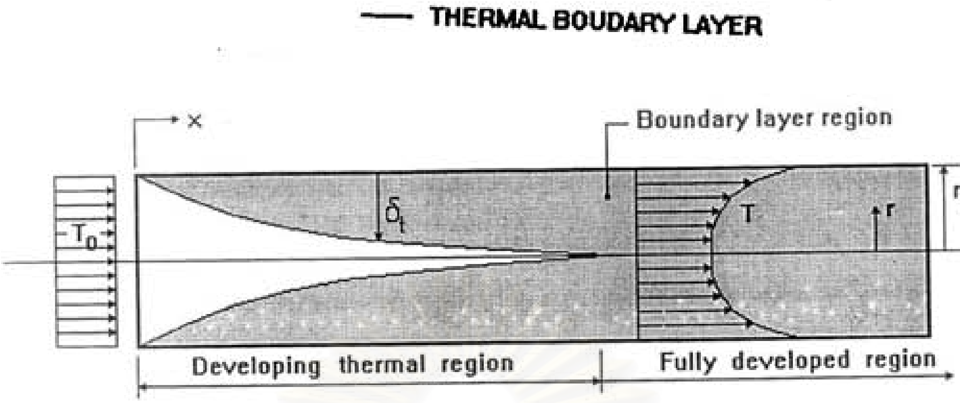
u_m = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ, m

μ = ความหนืดของของไหล, kg/s.m

สำหรับการไหลภายในท่อกลมจะเริ่มมีการไหลแบบปั่นป่วนเมื่อ Re มีค่ามากกว่า 2,300 อย่างไรก็ตามตัวเลขนี้ยังขึ้นกับความหยาบของผิวท่อ, เงื่อนไขที่ทางเข้า และการสั่นของการไหลอีกด้วย

3.1.2 ชั้นขอบเขตความร้อน (Thermal Boundary Layer)



รูปที่ 3.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชั้นขอบเขตอุณหภูมิในท่อกลม

เมื่อพิจารณาผลทางด้านความร้อน เมื่อของไหลไหลผ่านที่ปากทางเข้าของท่อกลมรัศมี r_0 ด้วยอุณหภูมิที่สม่ำเสมอ T_0 ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งถ้ามีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ผิวของท่อการพาความร้อนก็จะเกิดขึ้นภายในท่อโดย Thermal Boundary Layer, Thermal Boundary Thickness (δ_t) และรูปร่างการแจกแจงของอุณหภูมิ (Temperature Profile) ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปในทำนองเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วในชั้นขอบเขตความเร็ว ในช่วงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนภายในท่อเพราะค่าความลาดเอียงของอุณหภูมิที่ผิวด้านในของท่อจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความหนาของชั้นขอบเขตอุณหภูมิ

3.2 สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convective Heat Transfer Coefficient)

ในการออกแบบอุปกรณ์ที่มีการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการไหลของของไหลผ่านภายในท่อที่มีการให้ความร้อนนั้นเราจำเป็นต้องทราบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวท่อซึ่งวิธีการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวนี้จะต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างผิวท่อกับของไหล เพื่อนำไปใช้ในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดภายในท่อต่อไป

เมื่อพิจารณาของไหลที่ไหลผ่านท่อที่มีรัศมี r_0 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยให้ $T(r,x)$ เป็นการกระจายอุณหภูมิในของไหลเมื่อ r และ x เป็นระยะตามแนวรัศมีและตามแนวแกนตามลำดับ การถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวท่อซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ของของไหล เราสามารถใช้สมการการนำความร้อนได้ดังนี้

$$\dot{q}''_{(x)} = -k\frac{\partial T(r,x)}{\partial r}\bigg|_{r=r_o} \tag{3.2}$$

เมื่อ $\dot{q}''_{(x)}$ = ความร้อนที่ให้ต่อหน่วยพื้นที่, W/m^2

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล, $W/m.K$

$\frac{\partial T(r,x)}{\partial r}\bigg|_{r=r_o}$ = ความลาดเอียงของอุณหภูมิที่ผนัง, K/m

สมการ (3.2) ไม่เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากจะต้องหาค่าความลาดเอียงของอุณหภูมิที่ผนัง ซึ่งเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากนี้จึงมีการนิยามค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (local heat transfer coefficient ; $h_{(x)}$) เป็น

$$\dot{q}''_{(x)} = h_{(x)}[T_m(x) - T_w(x)] \tag{3.3}$$

เมื่อ $\dot{q}''_{(x)}$ = ความร้อนที่ให้ต่อพื้นที่, W/m^2

$h_{(x)}$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2.K$

$T_m(x)$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของไหลที่ระยะ x, K

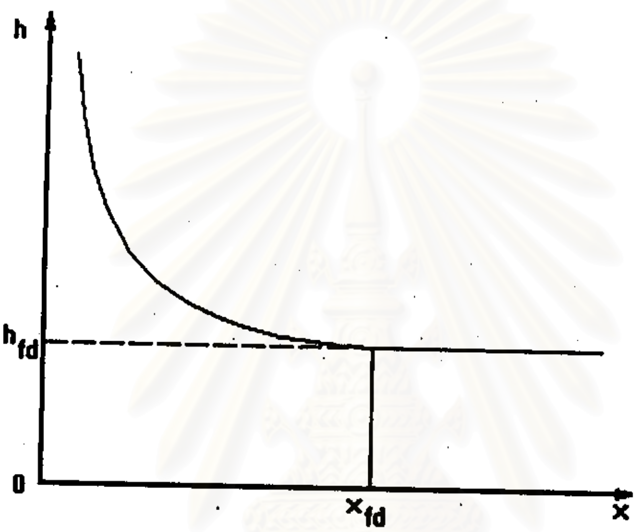
$T_w(x)$ = อุณหภูมิของผนังที่ระยะ x, K

จะเห็นว่าในสมการ (3.3) ถ้าทราบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน $h(x)$ แล้วก็จะทำให้เราสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผนังท่อได้ง่ายเพราะค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลกับอุณหภูมิของผนังเราสามารถหาได้จากการวัดโดยตรง ดังนั้นการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจึงนับว่าเป็นสิ่งที่สะดวกในการนำไปใช้งานและยังใช้ได้ในการไหลในช่วงต่างๆ จากสมการที่ (3.2) และ (3.3) เราสามารถหาค่า $h(x)$ เมื่อรู้ค่าความลาดเอียงของอุณหภูมิที่ผนังได้ดังนี้

$$h_{(x)} = -\frac{k}{T_m(x) - T_w(x)}\frac{\partial T(r,x)}{\partial r}\bigg|_{r=r_o} \tag{3.4}$$

จากสมการ (3.4) จะเห็นว่าค่าความลาดเอียงของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ของของไหลเมื่อเทียบกับ r ที่ผิวด้านในของท่อจะขึ้นอยู่กับค่า δ, กล่าวคือจากรูปที่ 3.2 ที่ปากทางเข้า

ของท่อ x และ δ_t เท่ากับศูนย์ค่าความลาดเอียงของอุณหภูมิจะมีค่ามากและเมื่อ x เพิ่มขึ้นค่า δ_t ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งมีผลทำให้ค่าความลาดเอียงของอุณหภูมิมีค่าลดลงจนถึงตำแหน่งที่เป็นช่วงของการแจกแจงรูปร่างของอุณหภูมิคงรูป (Fully Developed Temperature Profiles) แล้วค่า δ_t ก็จะคงที่ทำให้ค่าความลาดเอียงของอุณหภูมิมีค่าคงที่ นั่นก็คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะมีค่าคงที่ด้วยดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนในช่วงปากทางเข้าของท่อ

3.3 ตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, *Nu*)

เพื่อที่จะให้ค่าของ h สามารถใช้ได้กับสภาพการไหลและการถ่ายเทความร้อนต่างๆ ได้ทั่วไป จึงกำหนดกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless) ที่เรียกว่า Nusselt Number (Nu) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$Nu = \frac{hD}{k} \tag{3.5}$$

เมื่อ Nu = ค่านัสเซลท์นัมเบอร์

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2.K$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ, m

k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล, $W/m.K$

3.4 การไหลในท่อที่มีหน้าตัดไม่เป็นวงกลม (Flow inside Noncircular Duct)

ในกรณีที่การไหลภายในท่อที่มีหน้าตัดเป็นรูปแบบอื่นๆ นอกจากวงกลม เราก็สามารถคำนวณหาค่าของ Re, Nu ได้โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิค (Hydraulic Diameter; D_h) แทนเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อกลม (D) โดยเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิคนั้นจะหาได้จาก

$$D_h = \frac{4A_c}{p} \tag{3.6}$$

เมื่อ D_h = เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิค, m

A_c = พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2

p = เส้นรอบรูปเปียกของท่อ, m

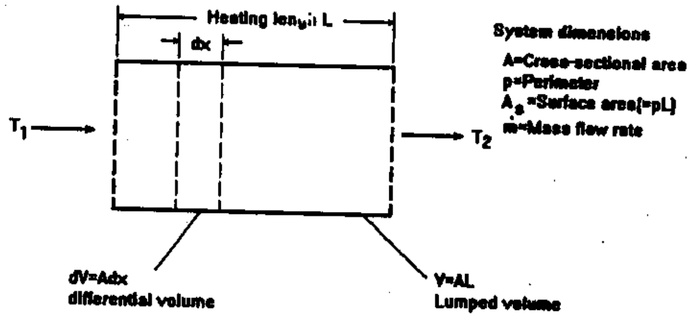
ดังนั้นสำหรับท่อที่มีรูปหน้าตัดเป็นแบบอื่นๆ นอกจากท่อกลม เราจะทราบค่า Re และ Nu ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Re = \frac{\rho u_m D_h}{\mu} \tag{3.7}$$

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \tag{3.8}$$

3.5 สมดุลพลังงาน (Energy Balance)

ในทางปฏิบัติสำหรับการไหลภายในท่อ เราสามารถทำการวิเคราะห์หาอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวท่อกับของไหลที่ไหลผ่านได้ด้วยการใช้วิธีสมดุลย์พลังงาน (Energy Balance) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า, คุณสมบัติของของไหล, อัตราการไหล และอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางออกเป็นค่าที่สามารถกำหนดได้ วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เพื่อต้องการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดและอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่จุดต่างๆ ของท่อใน



รูปที่ 3.4 ปริมาตรควบคุมของท่อที่มีการให้ความร้อนต่อพื้นผิวคงที่

เทอมของเงื่อนไขของตัวแปรที่ทราบค่าและเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวท่อ ในที่นี้จะกล่าวถึงในกรณีที่มีเงื่อนไขขอบเขตเป็นแบบการให้ความร้อนคงที่ (Constant Heat Flux)

สำหรับกรณีที่มีการให้ความร้อนต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่มีค่าคงที่ จะได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดเป็น

$$\dot{q}_c = q''_o A_s = q''_o pL \tag{3.9}$$

เมื่อ $\dot{q}_c$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดในช่วงจากทางเข้าถึงทางออกของท่อ, W

q''_o = อัตราการให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มีค่าคงที่, W / m^2

A_s = พื้นที่ผิวของท่อด้านใน, m^2

p = เส้นรอบรูปของท่อ, m

L = ความยาวท่อ, m

จากกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิค พิจารณาของไหลที่มีปริมาตรเท่ากับ $L.A$ ดังในรูปที่ 3.4 ในกรณีที่ไม่มีการถ่ายเทงานและไม่คิด $\Delta K.E.$, $\Delta P.E.$ จะได้

$$\dot{H}_1 + \dot{q}_c = \dot{H}_2 \tag{3.10}$$

เมื่อ $\dot{H}_1$ = เอนธาลปีของของไหลที่ทางเข้าท่อ, W

$\dot{H}_2$ = เอนธาลปีของของไหลที่ทางออกท่อ, W

$\dot{q}_c$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่ของไหลได้รับขณะที่ไหลผ่านท่อ, W

สำหรับของไหลที่ไหลผ่านท่อ, เราสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่ของไหลได้จากสมการ

$$\dot{q}_c = \dot{m}c_p(T_2 - T_1) \tag{3.11}$$

เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการไหลของของไหล, kg/s

c_p = ความจุความร้อนของของไหล, $J/kg.K$

T_1 = อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่ทางเข้า, K

T_2 = อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่ทางออก, K

ในการหาอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลภายในท่อ (T_b) และอุณหภูมิของผิวท่อที่ตำแหน่งต่างๆ (T_s) นั้น เราสามารถหาได้ด้วยการใช้กฎข้อที่หนึ่งเหมือนกับที่ใช้กับการวิเคราะห์สมดุลย์พลังงานในการหาค่า $\dot{q}_c$ และ T_2 ข้างต้น โดยประยุกต์ใช้กับปริมาตรควบคุมเล็กๆ $A.dx$ ได้ดังนี้

$$\dot{H}_b\Big|_x + q_c'' p dx = \dot{H}_b\Big|_{x+dx} \tag{3.12}$$

เมื่อ q_c'' = อัตราการให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวท่อช่วง dx, W/m^2

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียลได้เป็น

$$q_c'' p = \frac{d\dot{H}_b}{dx} \tag{3.13}$$

และจาก $d\dot{H}_b = \dot{m}c_p dT_b$ แทนลงในสมการ (3.13) จะได้

$$q_c'' p = \dot{m}c_p \frac{dT_b}{dx} \tag{3.14}$$

จากรูป 3.4 มีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$T_b = T_1 \quad \text{ที่} \quad x=0 \tag{3.15}$$

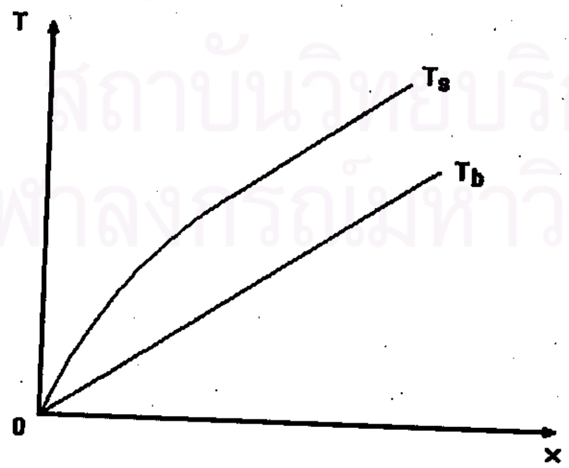
เพื่อหาสมการที่สามารถใช้ในการหาค่า T_b เราจะทำการอินทิเกรตสมการ (3.14) ตลอดความยาว 0 ถึง x จะได้

$$T_b - T_1 = \frac{p}{\dot{m}c_p}\int_0^x q_c'' dx \tag{3.16}$$

สำหรับในกรณีที่มีอัตราการให้ความร้อนต่อพื้นที่คงที่, q_o'' จะได้

$$T_b - T_1 = \frac{q_o'' p}{\dot{m}c_p} x \tag{3.17}$$

สมการ (3.17) นี้ได้แสดงเป็นรูปที่ 3.5 จากรูปจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่ตำแหน่งใดๆ ของท่อนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นตามระยะทางของท่อ เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลดังสมการ (3.17) ไม่ขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและสามารถใช้ได้เหมือนกันทั้งในกรณีการไหลเป็นแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน



รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวท่อและอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล

สำหรับสมการในการหาอุณหภูมิของผิวท่อที่ตำแหน่งใดๆ นั้น จะหาได้จากสมการ (3.16) และสมการ Newton law of cooling ดังนี้

$$q_c'' = h(T_s - T_b) \tag{3.18}$$

$$T_s - T_1 = \frac{q_c''}{h} + \frac{p}{\dot{m}c_p}\int_0^x q_c'' dx \tag{3.19}$$

จากสมการ (3.19) จะสังเกตเห็นว่าค่าอุณหภูมิของผิวท่อ, T_s จะขึ้นกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้วย

3.6 ความสัมพันธ์ของทฤษฎีกับการทดลองในการพาความร้อนภายในท่อ

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากการทดลอง เราจำเป็นต้องสร้างสมการที่มีตัวแปรที่เราสามารถวัดได้โดยตรงจากการทดลองซึ่งในการวิเคราะห์หาสมการที่จะใช้ในการคำนวณจากการทดลองนี้จะอาศัยหลักการสมดุลย์พลังงานในหัวข้อ 3.5 เป็นแนวทาง

จากรูปที่ 3.4 แสดงส่วนหนึ่งของท่อที่มีของไหลไหลผ่านภายในท่อ และมีอัตราการให้ความร้อนต่อตารางเมตรของท่อเป็น q_c'' เราจะพิจารณาส่วนของท่อที่มีความยาว L และมีเส้นรอบรูป p จะได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังท่อและอากาศที่ไหลผ่านที่ตำแหน่งใดๆ ของท่อสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวท่อให้กับอากาศในช่วงที่พิจารณา =
ปริมาณความร้อนที่ของไหลได้รับไปขณะที่ไหลผ่านท่อในช่วงที่พิจารณา

$$\dot{q}_c = h_l pL\Delta T_{l,x} = \rho u_m A_c c_p (T_{m,x} - T_{m,i}) \tag{3.20}$$

เมื่อ
$\dot{q}_c$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดในช่วงที่เราพิจารณา, W
h_l = ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2.K$
p = เส้นรอบรูปของหน้าตัดท่อ, m

L = ความยาวของท่อในช่วงที่เราพิจารณา, m

$\Delta T_{l,x}$ = ค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิ, K

$$= \left(\frac{1}{l}\int_0^l \frac{1}{T_{s,x} - T_{b,x}} dx\right)^{-1}$$

$T_{m,x}$ = อุณหภูมิของของไหลที่ตำแหน่ง x, K

$T_{m,i}$ = อุณหภูมิของของไหลที่ปากทางเข้าท่อ, K

ρ = ความหนาแน่นของของไหลที่อุณหภูมิเฉลี่ย, kg/m^3

u_m = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล ในทิศทางตามความยาวท่อ, m/s

A_c = พื้นที่หน้าตัดของท่อ, m^2

c_p = ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของของไหล, $J/kg.K$

จัดรูปสมการ (3.20) เพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้เป็น

$$h_l = \frac{\rho u_m A_c c_p (T_{m,x} - T_{m,i})}{pL\Delta T_{l,x}} \tag{3.21}$$

จากนิยามของตัวเลขนัสเซลท์ทำให้เราสามารถเขียนสมการ (3.21) ให้อยู่ในรูปของค่า local ของนัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_l ได้ดังนี้

$$Nu_l = \frac{\rho u_m A_c c_p (T_{m,x} - T_{m,i})}{pL\Delta T_{l,x}} \frac{d_h}{k} \tag{3.22}$$

จากสมการ (3.22) นี้จะทำให้เราสามารถนำไปใช้ในการวิจัยเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จากการทดลองโดยตรง และเมื่อจัดรูปใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจะได้เป็น

$$Nu_l = \frac{1}{4} \frac{u_m d_h^2}{\alpha L} \frac{(T_{m,x} - T_{m,i})}{\Delta T_{l,x}} \tag{3.23}$$

เมื่อ L = ความยาวของท่อในช่วงที่เราพิจารณา, m

α = สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนในของไหล, m^2/s

d_h = เส้นผ่าศูนย์กลางไฮโดรลิค, m

3.7 รูปแบบของสมการเอมไพริคัลที่จะใช้ในการงานวิจัย

เนื่องจากในทางทฤษฎีนั้นมีความยุ่งยากในการวิเคราะห์หาสมการคำตอบที่ใช้ในการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ยิ่งถ้าต้องการให้สมการคำตอบที่ได้มีความใกล้เคียงกับปรากฏการณ์ทางกายภาพจริงๆ จะยิ่งเพิ่มความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการหาสมการที่นำมาใช้งานได้ในทางปฏิบัติ เราสามารถใช้ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีด้วยวิธีการไดเมนชั่นแนลแอนาไลซิส ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยลดจำนวนตัวแปรที่เราไม่ทราบค่าจากจำนวนมากๆ ให้มารวมเป็นกลุ่มที่ไม่มีหน่วยเพียงไม่กี่ค่า และจะช่วยให้เรามีแนวทางในการทดลองเพราะเราจะทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่างๆ สำหรับในการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ของไหลไหลผ่านท่อจะได้ความสัมพันธ์เป็น [10]

$$Nu = f(Re, Pr) \tag{3.24}$$

จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Nu, Re และ Pr ในสมการ (3.24) สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการยกกำลังได้เป็น

$$Nu = c\,\mathrm{Re}^{m}\,\mathrm{Pr}^{n} \tag{3.25}$$

สมการที่เป็นที่รู้จักและมักใช้ในการออกแบบสำหรับการพาความร้อนในท่อกลมได้แก่สมการของ Disstus และ Boelter [8] ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{n} \tag{3.26}$$

โดยที่ n = 0.4 สำหรับการให้ความร้อนกับของไหล

n = 0.3 สำหรับการดึงความร้อนออกจากของไหล

สำหรับสมการ (3.25) และสมการ (3.26) เป็นสมการที่ใช้กับการพาความร้อนที่มีการแจกแจงรูปร่างความเร็วและอุณหภูมิคงรูปแล้ว ดังนั้นสำหรับในกรณีของท่อที่สั้นซึ่งจะมีการแจกแจงรูปร่างของความเร็วและอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆ กัน จะต้องมีการดัดแปลงสูตรใหม่ ซึ่งมีผู้ได้ทำการศึกษาและทดลองด้วยการนำเอาตัวประกอบที่เหมาะสมมาคูณกับรูปแบบสมการ (3.5)

สมการของ Nusselt [11] ได้เสนอแนะไว้เป็น

$$Nu = cRe^{m} Pr^{n}\left(\frac{D}{L}\right)^{p} \tag{3.27}$$

เมื่อ c,m,n และ p เป็นค่าคงที่

Boelter,Young และ Iversen [15] เสนอสมการในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ใช้ในช่วง L/D จาก 0.5 ถึง 17 มีสมการ empirical เป็น

$$h_{m} = h_{\infty}\left(1+\frac{KD}{L}\right) \tag{3.28}$$

เมื่อ h_{m} = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย

h_{∞} = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนหลังจากมีการพัฒนาโปรไฟล์ของอุณหภูมิและความเร็วแล้ว

K = 1.4 เมื่อปากทางเข้ามีการพัฒนาโปรไฟล์ของความเร็วแล้ว

= 1.4 เมื่อ L/D มีค่าเท่ากับ 11.2

= 3.0 เมื่อ L/D มีค่าเท่ากับ 2.8

= 5.0 เมื่อมีการงอ 45°

= 6.0 เมื่อมีการงอ 180°

= 7.0 เมื่อมีการงอ 90°

Hoffmann และ Still, Hausen [15] ได้แนะนำให้มีการปรับปรุงสมการของ Nusselt ซึ่งใช้ในกรณี L/D ต่ำกว่า 10 เป็น

$$Nu = 0.027\left[1+\left(\frac{D}{L}\right)^{2/3}\right]\mathrm{Re}^{0.8}\,\mathrm{Pr}^{n} \tag{3.29}$$

เมื่อ n = 0.37 สำหรับการให้ความร้อน

n = 0.30 สำหรับการดึงความร้อนออก

สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาการพาความร้อนแบบบังคับภายในท่อสามเหลี่ยมซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วนโดยเราจะคำนึงถึงอิทธิพลในช่วงปากทางเข้า ซึ่งจะสมมติสมการเอมไพริคัลอยู่ในรูปแบบดังนี้ [13]

$$\frac{Nu_l}{Nu_\infty} = CRe^m (L / D_h)^p \qquad (3.30)$$

ค่า C, m และ p เป็นค่าคงที่ที่หาค่าได้โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองด้วยวิธีการ Least Square และค่า Nu_∞ จะใช้ค่าจากสมการ (3.26) ของ Disstus และ Boelter