หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 การสำรวจงานวิจัยที่ทำมาแล้ว

ในอดีตและปัจจุบันได้มีการค้นคว้าศึกษาถึงพฤติกรรมของการไหล และการส่งถ่ายความร้อนในท่อชนิดต่าง ๆ กันอย่างกว้างขวาง ทั้งโดยการทดลองและการวิเคราะห์ทางทฤษฎี สำหรับการศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลในท่อที่มีขนาดลดลง และเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันนั้นยังมีน้อยมาก จากการศึกษาในวิทยานิพนธ์ที่มีผู้ศึกษาในเรื่องที่ใกล้เคียงได้มีผู้ศึกษาการไหลของของไหลผ่านท่อกลมยาว และท่อสี่เหลี่ยมสามารถหาความสัมพันธ์ในการไหลดังนี้ [4, 5, 7, 10, 13, 19, 22, 24, 25]

$$L/D_h = CRe \quad \text{.....(1.1)}$$

ค่า C จะแปรเปลี่ยนจาก 0.0288 ถึง 0.07 เมื่อการไหลมีการถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อกลม [10] จะได้ว่า

$$L/D_h = 0.05\,RePr \quad \text{.....(1.2)}$$

ซึ่งใช้ได้ทั้งกรณีอุณหภูมิผิวท่อเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวและอัตราการให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สม่ำเสมอตลอดพื้นผิว

Kreith [18] ได้ศึกษาสมรรถนการถ่ายเทความร้อนในกรณีทั่ว ๆ ไป และได้เสนอสูตรเอมไพริกัล ดังนี้

$$Nu_m = 1.86\,Gz^{0.33}\,(\mu_b/\mu_s)^{0.14} \quad \text{.....(1.3)}$$

สำหรับกรณีการไหลแบบลามินาร์ที่มีการปรับตัวเต็มที่ในท่อสี่เหลี่ยมยาว และสำหรับท่อกลมสั้น ซึ่งได้เสนอสูตรดังนี้

$$Nu_m = (Gz/4)\ln\left(\frac{1}{1-2.6Pr^{-0.167}Gz^{-0.5}}\right) \quad \text{.....(1.4)}$$

โดย $Gz = RePrD_h/L$, μ_b และ μ_s คือค่าความหนืดที่อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในท่อ

Knudsen, J.G.Andkatz, D.L., [17] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนระหว่างแผ่นขนาน โดยการคำนวณจากทฤษฎี และได้เสนอสูตรดังนี้

$$Nu_m = 1.85Gz^{1/3} \qquad Gz > 71.4 \quad \text{.....(1.5)}$$

$$= 7.6 \qquad Gz < 71.4$$

สำหรับกรณีอุณหภูมิที่ผิวแผ่นเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว

Mercer, et al [28] ได้ศึกษาโดยการทดลองเกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับแบบลามินาร์ ในท่อ ขนานโดยใช้อากาศเป็นของไหลได้ศึกษาพฤติกรรมของนัสเซลท์นัมเบอร์เฉพาะที่และนัสเซลท์นัมเบอร์เฉลี่ย ค่า Re จาก 300-1500, aspect ratios = 2-8 การให้อุณหภูมิที่ผิวแผ่นเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว ได้เสนอสูตรเอมไพริกัลสำหรับนัสเซลท์นัมเบอร์เฉลี่ยดังนี้

สำหรับกรณีการให้อุณหภูมิผิวแผ่นขนานเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิว

$$Nu_m = 2\left[3.77 + \frac{0.066\ (Re.\ Pr.b/2X)^{1.2}}{1 + 0.1(Pr)^{0.87}(Re.b/2X)^{0.7}}\right] \quad \text{..... (1.5ก)}$$

เมื่อ b = ระยะระหว่างแผ่น

X = ระยะตามความยาวของแผ่น

ค่า Pr จาก 0.1 ถึง 10.0

Stephan [29] ได้ศึกษาโดยการทดลองลักษณะเดียวกันกับ Mercer, et al [28] ซึ่งได้เสนอสูตรเอมไพริกัล สำหรับกรณีการถ่ายเทความร้อนระหว่างแผ่นขนานโดยใช้อากาศเป็นของไหล ดังนี้

$$Nu_m = 7.55 + \frac{0.024\ (Pr.Re.D_h/L)^{1.14}}{1 + 0.0358Pr^{0.81}(Re.D_h/L)^{0.64}} \quad \text{.....(1.5ข)}$$

จะเห็นว่าจะแตกต่างกันเฉพาะค่าคงที่เท่านั้น

ในปี ค.ศ. 1967 S.R. Montgomery and P. Wibulswas [30] ได้ทำการวิเคราะห์โดยเชิงเลขจากสมการการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลของอากาศผ่านท่อสี่เหลี่ยมในขณะที่ความเร็วและอุณหภูมิปรับตัวพร้อมกัน การให้อุณหภูมิที่ผิวเป็นแบบเท่ากันตลอดพื้นผิวและการให้อุณหภูมิต่อหน่วยความยาวสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว ซึ่งมีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านกว้าง (aspect ratios) เท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 6 จากการวิเคราะห์จะพบว่า ค่านัสเซลท์นัมเบอร์เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเมื่อ aspect ratios เพิ่มขึ้นโดยเริ่มจากระยะทางจากปากทางเข้าของท่อขนานสี่เหลี่ยมในทั้ง 2 กรณี และ Pr จะมีผล

ต่อ ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนซึ่งจะได้ Pr = 0 เป็นขีดจำกัดบน และ Pr = ∞ เป็นขีดจำกัดล่าง ผลที่ได้เปรียบกับผลของท่อกลม, แผ่นขนาน และผลการทดลอง

ในปี ค.ศ. 1976 นายพีรพงศ์ ตั้งศิริมงคล [26] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพาความร้อนในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ซึ่งมีมุมยอด $2\theta = 60^{\circ}$ และ 90° ตามลำดับเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกยาว 1 นิ้ว ความยาวแบบละ 9 และ12 นิ้ว โดยประมาณ ใช้อากาศเป็นของไหลไหลแบบลามินาร์ คือ Re สูงถึง 4,000 ซึ่งมีข้อกำหนดคืออุณหภูมิผนังท่อเท่ากันตลอดพื้นผิวประมาณ 70° C ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กัน ผลการทดลอง ได้นำมาเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีในวิทยานิพนธ์ปริญญาเอกของ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์ จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างนัสเซลท์นัมเบอร์ (Nu) กับเกรตนัมเบอร์ (Gz) เมื่อเทียบกับทางทฤษฎีจะได้ว่า ที่ค่าเกรตนัมเบอร์ต่ำกว่า 70 จะมีผลใกล้เคียงกัน ส่วนที่ Gz สูง ๆ จะมีค่าเบี่ยงเบนไป โดยเฉพาะผลของท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากจะเบี่ยงเบนมากกว่า ความคลาดเคลื่อนนี้ อาจเนื่องมาจากของไหลที่ทดลองมีอุณหภูมิต่างกัน จากอุปกรณ์การทดลองและการอ่านค่าต่าง ๆ ผิดพลาดได้บ้าง และได้สูตรเอมไพริกัลสำหรับคำนวณออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับท่อทั้งสองแบบ คือ $Nu = 0.44\ Gz^{0.66}$ ซึ่งใช้ Gz ในช่วง 30-550

ในปี ค.ศ.1977 นายพงษ์ธร จรัญญากรณ์ [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Turbulence) คือ Re 6000 -60000 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างนัสเซลท์นัมเบอร์ (Nu) กับ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re), พรานเดิ้ลนัมเบอร์ (Pr) กับความยาวท่อต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก (L/D_h) ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ใช้ทฤษฎีและผลการทดลองเกี่ยวกับการพาความร้อนของอากาศในท่อสามเหลี่ยมที่มีการไหลแบบลามินาร์ และการพาความร้อนในท่อกลมเป็นแนวทาง ท่อที่ทำการทดลองมี 2 ชนิด คือ ท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า และท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ซึ่งมีความยาวแบบละ 300 มม. และ 130 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกประมาณ 25.4 มม. ท่อทำด้วยแผ่นทองแดงหนา 1 มม. สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิวคือประมาณ 358 K จะเห็นว่า L/D_h มีผลต่อนัสเซลท์นัมเบอร์ อิทธิพลของช่วงปากทางเข้าของการไหลและช่วงปากทางเข้าของการ

ถ่ายเทความร้อน มีอิมธิพลต่อการพาความร้อนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในท่อที่ค่อนข้างสั้น นั่นคือ สำหรับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ และค่าแพรนด์เติลนัมเบอร์คงที่ที่ค่าหนึ่ง ๆ นัสเซลท์นัมเบอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าอัตราส่วน L/D_h ลดลง และนายพงษ์ธรฯได้เสนอแนะให้ใช้สูตรเอมไพริกัลสำหรับออกแบบเกี่ยวกับการพาความร้อนในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วนในช่วงที่มีการแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อม ๆ กันของอากาศ สำหรับสภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว คือ $Nu = 0.058\ Re^{0.78}\ Pr^{0.44}\ (L/D_h)^{-0.35}$ ในช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ 6000 -60000 และสำหรับ L/D_h ไม่เกินที่หาจากสูตรของ Latzko[1*]

ในปี ค.ศ.1978 ดร.สหัส บัณฑิตกุล [3] ได้ศึกษาพฤติกรรมของการไหลและการพาความร้อน โดยบังคับแบบลามินาร์ในท่อที่มีขนาดลดลง และเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน โดยวิธีวิเคราะห์โดยเชิงเลขเพื่อแก้สมการ Navier-Strokes และ Energy Equation โดยมีสมมติฐานดังนี้

1. การไหลของน้ำเป็นแบบลามินาร์ ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ไม่เกิน 2000
2. การไหลและการพาความร้อนด้วยน้ำเป็นแบบ Steady State และ Two-dimension
3. คุณสมบัติทางกายภาพของของไหลคงที่
4. ไม่คิดแรงลอยตัว
5. การแจกแจงความเร็วที่ปากทางเข้าเป็นรูปพาราโบลิก และความเร็วที่ชั้นติดผนัง = 0
6. สภาพการให้ความร้อนที่ผนังท่อคอคอดมี 2 แบบคือ แบบอุณหภูมิเท่ากันตลอดพื้นผิวและแบบอัตราการให้ความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สม่ำเสมอตลอดพื้นผิว
7. อัตราส่วนความยาวท่อคอคอดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก (L/D_h) เปรเปลี่ยนจาก 0.67 ถึง 200
8. อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของท่อคอคอดต่อพื้นที่หน้าตัดท่อขนานก่อนถึงท่อคอคอด (σ) เปลี่ยนไประหว่าง 0 ถึง 1
9. Viscous dissipation มีค่าน้อยมาก

1* Mc Adams,OP.cit,PP.224-226

ผลจากการศึกษาได้แจกแจงอุณหภูมิในท่อคอดแบบยาว และแบบสั้น ได้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความยาวของท่อคอดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก - (X/D_h) กับค่านัสเซลท์นัมเบอร์เฉพาะที่ภายใต้สมมุติฐาน ซึ่งมีรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง [3] การศึกษานี้เป็นแนวทางในการเลือกออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในวงการอุตสาหกรรม เช่น ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู หม้อน้ำรังผึ้งรถยนต์ ฯลฯ

ในปี ค.ศ. 1878 Weisbach ได้เขียนหนังสือเกี่ยวกับทฤษฎีทางเครื่องกล ซึ่งรวบรวมผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี และการทดลอง และได้เสนอผลของความเสียดทานของการไหลของน้ำในท่อที่มีขนาดเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างฉับพลันเป็นสูตรการสูญเสียความดันดังนี้

$$h_{loss} = \xi V^2/2g_c \quad \text{.....(1.6)}$$

ซึ่ง V คือความเร็วของของไหล, g_c คือ Conversion factor

ξ คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งจะมีค่า 0.480 สำหนับท่อลดขนาดอย่างฉับพลัน และ $(1/\sigma - 1)^2$ สำหรับท่อที่เพิ่มขนาดขึ้นอย่างฉับพลัน

ในปี ค.ศ. 1950, Kays [16] เสนอผลในรูป Semi-empirical ของสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน K_c และ K_e ของท่อกลมและท่อเหลี่ยมที่มีขนาดลดลง และเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน ซึ่งวัดความดันลดและคำนวณโดยใช้สมการของ Darcy ดังนี้

$$P_{Expansion} = K_e \rho v^2/2g_c \quad \text{.....(1.7)}$$

$$P_{Contraction} = K_c \rho v^2/2g_c \quad \text{.....(1.8)}$$

จาก P คือความดันลด, v คือความเร็วเฉลี่ยของของไหลในท่อ, ρ คือความหนาแน่นของของไหล สูตรดังกล่าวใช้ได้เฉพาะ L/D_h ที่มีค่ามาก ๆ เท่านั้น เขาได้ศึกษาทั้งในช่วงลามินาร์ และเทอร์บูเลนท์ ขณะที่การไหลปรับตัวเต็มที่แล้วได้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง k_c และ K_e กับอัตราส่วนพื้นที่ σ ที่ค่า Re ต่าง ๆ กัน

Eckert and Irvine, J.R., [9] ได้ศึกษาตัวประกอบความเสียดทานของการไหลของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ในท่อที่มีหน้าตัดรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม เขาได้คำนวณหาค่าตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิ่ง, f สำหรับท่อขนานและอ่านจากกราฟได้ $f=24/Re$

Bunditkul และ Yang [1,2] ได้ศึกษา K_c, K_e ในท่อคอคอดที่มีความยาววิกฤติในท่อขนานยาว และค่า Correction Factor สำหรับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน และตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิ่ง ได้ศึกษาค่า C_c, C_e และ C_f ตามลำดับ สำหรับการไหลในท่อขนานคอคอดแบบสั้น ยังได้แจกแจงความดันในทั้งสองกรณี โดยใช้ Finite Difference ซึ่งมีสมการเนเวีย-สโตก และสมการพลังงาน

ในปี ค.ศ. 1984 นายพงษ์เจต พรหมวงศ์ [4] ได้ศึกษาโดยการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ ของการไหลแบบลามินาร์ ซึ่งมีผลกระทบมาจากความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ลดขนาดหน้าตัดฉากลง และเพิ่มหน้าตัดฉากขึ้นอย่างฉับพลัน โดยใช้น้ำเป็นของไหลในท่อขนานที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นในหน้าตัดเป็น 14:1 การไหลที่ทางเข้าเป็นแบบลามินาร์ในลักษณะที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงถึง 4000 พื้นที่หน้าตัดของท่อคอคอดเลือกเปลี่ยนไป 3 ครั้ง คือ 1/4,1/2, และ 2/3 เท่าของพื้นที่หน้าตัดท่อก่อนถึงท่อคอคอด ซึ่งแต่ละครั้งมีความยาวของท่อคอคอดเปลี่ยนไปต่าง ๆ เช่นกัน ผลการทดลองที่ได้มีตัวประกอบเสียดทานแฟนนิ่ง สัมประสิทธิการเพิ่มขนาดหน้าตัดฉาก ผลที่ได้ นี้นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเชิงเลขของ ดร.สหัส บัญฑิตกุล [1,2,3] จะเห็นว่าสำหรับท่อคอคอดแบบยาวจะได้ค่า K_c (สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของท่อขนานที่ลดขนาดลงอย่างฉับพลัน) สูงกว่าผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ค่า K_e (สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดันของท่อขนานที่เพิ่มขนาดขึ้นอย่างฉับพลัน) ต่ำกว่าผลวิเคราะห์ทางทฤษฎี บริเวณใกล้ที่ลดและเพิ่มขนาดอย่างฉับพลัน บริเวณใกล้ปากทางเข้าและออกท่อคอคอดมีผลต่อความดันลดมาก สำหรับท่อคอคอดแบบสั้น การลดขนาดและเพิ่มขนาดอย่างฉับพลันนั้นมีผลต่อความดันทั้งภายในท่อคอคอดด้วย การแจกแจงความดันที่ปากทางออกท่อคอคอดมีความคลาดเลื่อนจากผลทางทฤษฎี และคอคอดทำให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น

จะเห็นว่าวิทยานิพนธ์ของนายพงษ์เจต ฯ ได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลวิเคราะห์เฉพาะที่อุณหภูมิห้องเท่านั้น ดังนั้นจึงเป็นการจำกัดขอบเขตของการศึกษาอยู่เฉพาะพฤติกรรมของตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิ่งเท่านั้น

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิของผิวท่อคอคอดสูงกว่าอุณหภูมิห้อง อีก 2 ครั้ง คือ 50° C และ 60° C โดยประมาณ และดังนั้นจึงสามารถขยายขอบ

เขตการศึกษา ให้ครอบคลุมถึงอิทธิพลของค่านัสเซลท์นัมเบอร์ (Nu) และเกรตนัมเบอร์ (Gz) ที่มีต่อการไหลลักษณะนี้ได้ด้วย นอกเหนือจากนี้แล้วยังได้ศึกษาพฤติกรรมของตัวประกอบความเสียดทาน แฟนนิ่ง และการแจกแจงความดัน เมื่อมีความร้อนเกี่ยวข้อง

1.2 จุดประสงค์ในการวิจัย

ก. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการพาความร้อน โดยบังคับแบบลามินาร์ในท่อขนานที่มีขนาดลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน ในอัตราส่วนต่าง ๆ กันสำหรับท่อคอดทั้งแบบสั้นและแบบยาว

ข. เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลการวิเคราะห์โดยเชิงเลข เนื่องจากการศึกษาโดยการวิเคราะห์โดยเชิงเลขจำเป็นต้องมีการยืนยันผลจากการทดลองเพื่อให้การวิเคราะห์โดยเชิงเลขน่าเชื่อถือมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาโดยการทดลองครั้งนี้ เป็นการศึกษาพฤติกรรมการพาความร้อนโดยบังคับแบบลามินาร์ในท่อสี่เหลี่ยมที่มีขนาดลดลง และเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันโดยใช้น้ำเป็นของไหล สภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อคอดคอดเป็นแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิวท่อคอดคอดคือ อุณหภูมิที่ 50°C, 60°C และที่อุณหภูมิห้อง ท่อขนานก่อนที่ของไหลเข้าและออกส่วนทดสอบมีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นในหน้าตัดเป็น 14:1 การไหลเป็นแบบลามินาร์ในลักษณะที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์สูงถึง 2000 พื้นที่หน้าตัดของท่อคอดคอดเปลี่ยนไป 4 ขนาดคือ 1, 2/3, 1/2, และ 1/4 เท่าของพื้นที่หน้าตัดท่อขนานก่อนถึงท่อคอดคอด แต่ละขนาดมีอัตราส่วนความยาวของท่อคอดคอดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก (L/D_h) เปลี่ยนไปด้วยคือ L/D_h =10 และ 100 เป็นท่อคอดคอดแบบสั้นและแบบยาวตามลำดับ การศึกษาพฤติกรรมดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ

1. ศึกษาพฤติกรรมทางด้านนัสเซลท์นัมเบอร์ (Nu) และเกรตนัมเบอร์ (Gz)
2. ศึกษาพฤติกรรมทางด้านตัวประกอบความเสียดทานแฟนนิ่ง และการแจกแจงความดันเมื่อมีความร้อนเกี่ยวข้อง ซึ่งยังไม่ปรากฏผลศึกษา โดยการทดลองมาก่อน

ผลจากการทดลองครั้งนี้ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลจากการศึกษาทางการวิเคราะห์โดยเชิงเลข ในวิทยานิพนธ์ปริญญาเอกของ ดร.สหัส บัณฑิตกุล [3]