หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในทางวิศวกรรมหรือในทางอุตสาหกรรม สิ่งหนึ่งที่จะพบอยู่เสมอ คือ ความร้อนนับเป็นเวลานานมาแล้วที่มนุษย์รู้จักความร้อน และได้นำความร้อนมาใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นการหุงหาอาหาร หรือทำความอบอุ่นในฤดูหนาว เมื่อเวลาผ่านไปการใช้ประโยชน์จากความร้อนก็ยิ่งมีการพัฒนาตามขึ้นไป โดยเฉพาะเมื่อเข้าสู่ยุคของอุตสาหกรรมความต้องการพลังงานในรูปต่าง ๆ มีมากขึ้นพลังงานความร้อนก็มีบทบาทที่สำคัญมากขึ้นเป็นเงาตามตัว เมื่ออุตสาหกรรมมีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดของพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมนั้น ๆ ก็มีขนาดใหญ่ ตามไปด้วย ความร้อนใช้เป็นประโยชน์ได้แต่ในขณะเดียวกันความร้อนก็ก่อให้เกิดโทษอย่างมหันต์ขึ้นได้เช่นเดียวกัน ถ้ามีปริมาณความร้อนที่ไม่เหมาะสมในบางสถานที่ และบางเวลา ดังนั้นการใช้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญ ในการใช้งานพลังงานความร้อนหรือในการควบคุมระดับของพลังงานความร้อนก็ตาม กลไกที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่ง เมื่อมีความร้อนและมีสิ่งแวดล้อมคือ การถ่ายเทความร้อน ความรู้ความเข้าใจในคุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการจัดการกับพลังงานความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ระบบเมื่อระบบนั้นต้องการพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้นหรือการถ่ายโอนความร้อนออกจากระบบ เมื่อระบบนั้นไม่ต้องการปริมาณความร้อนที่มากเกินไป หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการระบายความร้อนก็ตาม ในทางวิศวกรรมเมื่อต้องการโอนย้ายหรือถ่ายเทความร้อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งจำเป็นจะต้องสร้างเครื่องมือซึ่งใช้ในการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาเรียกว่าอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนประเภทหนึ่งที่มีใช้งานในงานอุตสาหกรรมมากที่สุดแบบหนึ่งและมีความสำคัญมาก คือ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนประเภทใช้ของไหลเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ในอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนประเภทนี้ตัวกลางจะไหลสัมผัสกับพื้นที่ผิวที่ต้องการถ่ายเทความร้อน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการไหลในท่อ โดยที่ผนังท่อด้านที่สัมผัสกับตัวกลางอาจจะมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิของตัวกลางก็ได้ในกรณีที่การไหลเป็นแบบสถานะเดียว (Single phase) ได้มีผู้ที่มีความสนใจในการไหลในท่อกรณีนี้ และได้ทำการวิจัยรวมทั้งรวบรวมผลงานวิจัยของผู้อื่นไว้อย่างมากมาย ดังเช่น Shah R.K. และ A.L. London (1971) ซึ่งได้ทำการรวบรวมผลงานวิจัยเกี่ยวกับ การถ่ายเทความร้อนในท่อรูปร่างหน้าตัดรูปต่าง ๆ โดยที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar) โดยการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎี ส่วน McAdams (1954) ได้รวบรวมผลงานวิจัยการถ่ายเทความร้อนในท่อโดยการปฏิบัติการ

ทดลองเป็นส่วนใหญ่โดยมีช่วงการไหลตั้งแต่ช่วงราบเรียบไปจนถึงช่วงปั่นป่วน (Turbulent) และ Rohsnow (1973) ได้ทำการรวบรวมผลงานวิจัยทางด้านนี้ไว้มากพอสมควร และอาจใช้ทำการค้นคว้าได้ สำหรับในงานวิจัยนี้สนใจการไหลในท่อซึ่งมีรูปร่างแตกต่างออกไปจากท่อกลม และได้เลือกท่อหน้าตัดรูปวงรีมาทำการวิจัย โดยทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตด้วย ซึ่งเท่าที่พบยังไม่มีการทำการปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับการไหลในท่อวงรี ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนด้วยมาก่อนเลย

1.1 งานวิจัยในอดีต

เมื่อปี พ.ศ. 2518 นายพีรพงศ์ ตั้งศิริมงคล (2518) ได้ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องมือทดลองขึ้นมาเพื่อทำการหาข้อมูลของการพาความร้อนแบบบังคับ โดยมีการไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar) ในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่มีมุมยอดเป็นมุมฉาก โดยมีเงื่อนไขในการทดลอง คือ อุณหภูมิของผนังท่อมีค่าเท่ากันโดยตลอด ในการทดลองได้ทำการทดลองโดยที่การไหลไปถึงช่วง ทรานสิชัน (Transition) ด้วย ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนใช้อากาศ ท่อสามเหลี่ยมที่ใช้ ใช้ท่อทองแดงหนา 1 มิลลิเมตร ขึ้นรูปเป็นรูปสามเหลี่ยม ในการพาความร้อนนั้นอิทธิพลของปากทางเข้ามีผลต่อการทดลองนี้ เนื่องจากท่อที่ใช้เป็นท่อสั้น เมื่อคิดจากความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางไฮโดรลิก (Hydraulic diameter) ของท่อทั้งรูปร่างของความเร็ว (Velocity Profile) และรูปร่างของอุณหภูมิ (Temperature Profile) มีการพัฒนาไปพร้อม ๆ กัน อุณหภูมิผนังท่อที่ใช้มีค่าประมาณ 70 °C และจากการทดลองพีรพงศ์ (2518) ได้เสนอว่า

$$Nu = 0.44Gz^{0.55}$$

ทั้งกรณีท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก และกรณีท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า

เมื่อ Nu = Nusselt number

Gz = Graetz number

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และนำไปเปรียบเทียบกับผลการทำนายทางทฤษฎีของ Montgomery and Wibulswas (1967) ซึ่งจัดในรูปสมการได้ดังนี้

$$Nu = 1.59\ Gz^{0.31}$$

สำหรับกรณีท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า

และ $$Nu = 1.47\ Gz^{0.31}$$

สำหรับกรณีท่อสามเหลี่ยมมุมฉาก

ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2520 พงษ์ธร จรัญญาภรณ์ (2520) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพาความร้อนแบบบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า และสามเหลี่ยมหน้าจั่ว โดยการไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ในการทดลองได้ใช้ทฤษฎีและผลการทดลองเกี่ยวกับการพาความร้อนในท่อสามเหลี่ยมที่มีการไหลแบบราบเรียบ และการพาความร้อนแบบท่อกลมเป็นแนวทาง ท่อสามเหลี่ยมที่ใช้ในการทดลองเป็นท่อสั้นเมื่อคิดจากเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิก วัสดุที่ใช้ทำท่อคือทองแดง ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนใช้อากาศ เงื่อนไขในการทดลองคือ อุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิวท่อ การพัฒนารูปร่างความเร็ว และรูปร่างอุณหภูมิเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน อุณหภูมิผนังท่อมีค่าประมาณ 79 °C จากการทดลอง พงษ์ธร (2520) ได้เสนอว่า

$$Nu = 0.058\ Re^{0.78}\ Pr^{0.4}(L/\ d_H)^{-0.35}$$

โดยที่ Re = Reynolds number

Pr = Prandtl number

d_H = เส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ

เมื่อปี พ.ศ. 2526 นายพงษ์เจต พรหมวงศ์ (2526) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหล เมื่อมีการไหลในท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ของไหลที่ใช้คือ น้ำ อุณหภูมิของของไหลและอุณหภูมิของผนังท่อต่างก็มีค่าเท่ากับอุณหภูมิห้อง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการที่หน้าตัดของท่อลดขนาดลงอย่างฉับพลัน และผลกระทบของการที่หน้าตัดของท่อ

เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันการไหลเป็นแบบราบเรียบที่มีการปรับตัวเต็มที่แล้ว (fully developed flow) ที่ปากทางเข้า ท่อสี่เหลี่ยมที่ใช้เป็นท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยที่มีอัตราส่วนของด้านกว้างต่อด้านสูงเป็น 14 ต่อ 1 สำหรับคอคอดสามารถแปรไป 3 ค่าคือ พื้นที่หน้าตัดของคอคอดต่อพื้นที่หน้าตัดของท่อใหญ่เป็น 1/4, 1/2 และ 2/3 และยังแปรค่าความยาวของคอคอดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกของคอคอดออกไปอีก 5 ค่าคือ 100, 75, 50, 25, 10 และ 5 ซึ่งผลการทดลองได้นำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ โดยทางทฤษฎีของดร.สหัส บัณฑิตกุล ผลการทดลองที่ได้มีตัวประกอบเสียดทานแฟนนิง (Fanning friction factor) สัมประสิทธิ์การลดขนาดของหน้าตัดฉาก (contraction coefficient) และสัมประสิทธิ์การเพิ่มขนาดของหน้าตัดฉาก (expansion coefficient) พงษ์เจต (2526) ได้ให้ข้อสรุปว่า เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎีมีความใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์ดี

ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2528 เรืออากาศโท สุทิน ยาวะโนภาส (2528) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการพาความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมโดยมีการไหลเป็นแบบราบเรียบ การไหลที่ปากทางเข้าเป็นแบบปรับตัวเต็มที่แล้ว ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนใช้น้ำ มีเงื่อนไขในการถ่ายเทความร้อนคือ อุณหภูมิที่ผนังท่อเป็นแบบสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว ท่อสี่เหลี่ยมที่ใช้เป็นท่อหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยที่มีอัตราส่วนของด้านกว้างต่อด้านสูงเป็น 14 ต่อ 1 ในการทดลองได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการที่หน้าต้ดของท่อเพิ่มขึ้น และลดลงอย่างฉับพลันอีกด้วย โดยมีการแปรอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด ของคอคอดต่อพื้นที่หน้าตัด ของท่อใหญ่ไปเป็น 1/4, 1/2, 2/3 และ 1 แปรค่าความยาวของคอคอดต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกของคอคอดออกไปอีก 2 ค่าคือ 10 และ 100 อุณหภูมิที่ผนังด้านในของคอคอดที่ใช้ในการทดลองนี้ สามารถแปรไปได้ 3 ค่าคือ 60 °C, 50 °C และ 26.2 °C (อุณหภูมิห้อง) โดยประมาณ ผลที่ได้จากการทดลองนี้คือ ค่า Nusselt number เฉลี่ยค่า Graetz number ค่า Prandtl number ตัวประกอบเสียดทางแฟนนิง สัมประสิทธิ์การลดขนาดของหน้าตัดฉาก และสัมประสิทธิ์การเพิ่มขนาดของหน้าตัดฉากผลที่ได้นี้ ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีของ ดร.สหัส บัณฑิตกุล โดยได้เสนอสมการการถ่ายเทความร้อนแบบเอมไพริกัล (empirical formular) ซึ่งได้จากการทดลองดังนี้

$$Nu = 2.06\, Gz^{1/3}$$

และ

$$Nu = 7.8$$

ทั้งสองกรณี $L/D_H = 100$

$$Nu = 7.8 \; ; \; B_H < 3.5$$
$$Nu = 2.06 \, Gz^{1/3} \; ; \; 4.4 > B_H > 3.5$$
$$Nu = 2.87 \, B_H$$

ทั้งสามกรณี $L/D_H = 20$

โดยที่ $B_H = Gz^{1/3} \alpha^{1/4}$

α = อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด

= 1 , 2/3 , 1/2 และ 1/4

สำหรับค่าตัวประกอบเสียดทางแฟนนิง สัมประสิทธิ์การลดขนาดของหน้าตัดฉากและสัมประสิทธิ์การเพิ่มขนาดของหน้าตัดฉากซึ่งได้จากงานวิจัยนี้ สุทิน (2528) ได้ให้ข้อสรุปว่ามีความใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ทางทฤษฎีของ ดร.สหัส บัณฑิตกุล และผลการทดลองของ พงษ์เจต (2526)

เมื่อปี ค.ศ. 1962 Dunwoody (1962) ได้ทำการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎีเกี่ยวกับการหาความร้อนแบบบังคับในท่อหน้าตัดรูปวงรีโดยที่การไหลเป็นแบบราบเรียบและอุณหภูมิที่ผนังท่อมีค่าคงที่ ในงานวิจัยนี้ยังได้แสดงถึงการพาความร้อนที่ได้รับผลกระทบจากปากทางเข้าด้วย (Thermal entrnace region) โดยมีเงื่อนไขว่านอกเหนือจากอุณหภูมิของผนังท่อมีค่าคงที่แล้ว ที่ผนังท่อยังต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของของไหลในท่ออีกด้วย คุณสมบัติทางกายภาพของของไหลไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ไม่คิดการกำเนิดความร้อนภายใน (Internal heat generation) ไม่คิดการนำความร้อนในแนวแกนเมื่อเทียบกับการพาความร้อน ผลที่ได้ แสดงในรูปความสัมพันธ์ของ Nusselt number กับ Graetz number เมื่อเป็นคำตอบของการไหลที่มีอิทธิพลของปากทางเข้าเกี่ยวข้องด้วย และเสนอค่า Nusselt number ที่ค่าความเป็นวงรีต่าง ๆ เมื่อเป็นคำตอบของการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่แล้ว

เมื่อปี ค.ศ. 1967 J.Schenck และ Bon Say Han (1967) ได้ทำการขยายการคำนวณของ Dunwoody (1962) ออกไป โดยการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎีที่ค่าความเป็นวงรีบางค่า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ ของ Dunwoody (1967) ในการคำนวณมีเงื่อนไขว่าคุณสมบัติของของไหลไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและของไหลที่ใช้เป็น

ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer mediam) เป็นของไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian fluid) และมีการไหลแบบราบเรียบ ไม่นำความร้อนในแนวแกนมาคิด ซึ่งไม่คิดการกระจายความหนืด คำตอบจากการวิเคราะห์ที่ค่าความเป็นวงรีบางค่า และที่การไหลเป็นแบบพัฒนาเต็มที่แล้ว ได้ผลพ้องกับงานวิจัยของ Dunwoody (1962) เป็นอย่างดี

เมื่อปี ค.ศ. 1969 S. Someswara Rao, N.CH. Pattabhi Ramacharyulu และ V.V.G. Krishnamurty (1969) ได้ทำการแก้ปัญหาการพาความร้อนในท่อวงรีสั้น หรืออิทธิพลของหากทางเข้ามีผลต่อการไหล โดยทำการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎีซึ่งมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ว่า การไหลเป็นแบบพัฒนาเต็มที่ในขณะที่มีการไหลแบบราบเรียบ ของไหลเป็นแบบ Newtonian อัดตัวไม่ได้ ไม่มีการกำเนิดความร้อนภายใน และไม่นำการนำความร้อนในแนวแกนมาคิดเมื่อเปรียบเทียบกับการพาความร้อน ผลของการวิเคราะห์ได้ถูกเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number และ Graetz number และได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการคำนวณของ J. Schenck และ Bon Swy Han (1967) ด้วย

เมื่อปี ค.ศ. 1970 P.A. James (1970) ได้ทำการหาคำตอบของการถ่ายเทความร้อนในช่องทางแคบๆ โดยทำการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎี การไหลเป็นแบบราบเรียบท่อวงรีมีความเป็นวงรีมาก ๆ จนใกล้จะเป็นแผ่นขนาน อุณหภูมิที่ผนังท่อมีค่าคงที่ และอิทธพลของปากทางเข้ามีผลต่อการไหล ได้เสนอคำตอบที่ท่อวงรีมีความแบนมาก จนเป็นแผ่นขนาน โดยที่การไหลมีการพัฒนาทางความร้อนเต็มที่แล้ว (Thermal fully developed flow) และคำตอบในช่องทางเข้าความร้อน (Thrmal entrance region) ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number และ Graetz number ที่ค่าความเป็นวงรีหลาย ๆ ค่า ในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงถึงงานวิจัยของ Tao (1966), Dunwoody (1962) และ ของ Schenk กับ Bong Swy Han (1967) ด้วย

เมื่อ ค.ศ. 1961 L.N. Tao (1966) ได้เสนอว่าปัญหาของการพาความร้อนโดยบังคับในท่อที่มีการไหลเป็นแบบพัฒนาเต็มที่แล้ว มีการไหลเป็นแบบราบเรียบโดยมีแหล่งกำเนิดความร้อนด้วย และค่าความลาดเอียงของอุณหภูมิผนังท่อมีค่าคงที่ สามารถทำการแก้ไขได้โดยใช้วิธีการทางตัวแปรเชิงซ้อน (Complex variable) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่าได้คำตอบเป็นที่น่าพอใจในเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) หนึ่ง ๆ เป็นอย่างดีในปัญหาเบื้องต้นของกรณีซึ่งรวมทั้งการไหลในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า และในท่อวงรีได้แสดงให้เห็นว่าในกรณีของท่อกลมและแผ่นขนาน สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาของท่อวงรีได้โดยตรง ซึ่งคำตอบได้ถูกเสนอในรูปของสมการโพลีโนเมียล (Polynomials) ในงานวิจัยนี้ในกรณี

ของท่อวงรีได้ทำการแก้ปัญหาโดยครอบคลุมค่าความเป็นวงรีทุกค่า

เมื่อ ค.ศ. 1966 V.P. Tyagi (1966) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการไหลในท่อหน้าตัดรูปร่างใด ๆ เป็นท่อยาว โดยการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎี ซึ่งมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบ ไม่ขึ้นกับเวลา (steady) คุณสมบัติของของไหลมีค่าคงที่ มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายในท่อ การไหลเป็นแบบพัฒนาเต็มที่แล้ว ทั้งทางไฮโดรไดนามิก (hydrodynamically) และทางความร้อน (thermally) ทั้งอุณหภูมิของของไหล และอุณหภูมิของผนังท่อ เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างเป็นเส้นตรงในอัตราเดียวกัน ในทิศทางของการไหล ในการวิเคราะห์ได้รวมผลของการกระจายความหนืดของของไหลด้วยและได้แสดงให้เห็นว่า การแก้ปัญหาโดยวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ท่อวงรี ท่อวงกลม และท่อสี่เหลี่ยมแบน งานวิจัยนี้ได้ขยายการวิเคราะห์ของ Tao (1966) ออกไปอีก เนื่องจาก Tao (1966) ไม่ได้คิดการกระจายความหนืดของของไหลในท่อ

เมื่อปี ค.ศ. 1986 M.A. Ebadian , H.C. Topakoglu และ O.A. Arnas (1986) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการไหลในท่อวงรีโดยการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎี วิธีการที่ใช้วิเคราะห์ได้ใช้วิธี successive approximation แก้ปัญหาในพิกัดของวงรี (elliptic coordinate) เงื่อนไขในการวิเคราะห์คือ อุณหภูมิผนังท่อมีค่าคงที่และอีกกรณีหนึ่งคือ การให้ความร้อนมีค่าคงที่ (constant Wall heat flux) การไหลเป็นแบบพัฒนาเต็มที่แล้วทั้งทางไฮโดรไดนามิก (hydrodynamically) และทางความร้อน(thermally) การไหลเป็นแบบราบเรียบ คำตอบได้ถูกแสดงในรูปของการกระจายอุณหภูมิในท่อ และ ค่า Nusselt number ที่ความเป็นวงรีค่าต่าง ๆ และในกรณีที่ท่อวงรีลดความเป็นวงรีลงจนกลายเป็นท่อกลมได้มีการเปรียบเทียบค่า Nusselt number กับท่อกลม ซึ่งได้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าจริง (exact value) ของท่อกลม

เมื่อ ค.ศ. 1964 Lundgren, T.S., E.M. Sparrow และ J.B. Starr (1964) ได้เสนอว่าสามารถหาการสูญเสียความดันในท่อได้ โดยที่มีผลกระทบจากอิทธิพลของปากทางเข้าด้วย โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎี เงื่อนไขในการวิเคราะห์คือการไหลเป็นแบบราบเรียบ การวิเคราะห์ไม่ได้วิเคราะห์จากการพัฒนาความเร็ว ที่ปากทางเข้า แต่ได้ทำการวิเคราะห์จากการพัฒนารูปร่างความเร็วอย่างเต็มที่แล้ว ซึ่งสามารถทำให้หาการสูญเสียความดันของท่อรูปร่างหน้าตัดใด ๆ ได้ รวมทั้งเมื่อรูปร่างความเร็วที่ปากทางเข้าไม่สม่ำเสมอด้วย และได้นำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับท่อกลม ท่อวงรี ท่อสี่เหลี่ยม ท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่ว และท่อวงแหวนด้วย

เมื่อ ค.ศ. 1969 S.T. McComas (1969) ได้ทำการขยายการคำนวณของ

Lundgren et.al. (1964) ออกไป โดยได้เสนอว่าจากการคำนวณของ Lundgren et.al. (1964) นั้นมีจุดอ่อนคือไม่สามารถกำหนดค่าระยะทางการพัฒนาความเร็วของของไหลในท่อจากปากท่อไปได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์โดยทางทฤษฎี และได้แสดงให้เห็นว่าสามารถหาค่าระยะของการพัฒนาความเร็วของการไหลในท่อกลม ท่อวงรี ท่อวงแหวน ท่อสี่เหลี่ยม และท่อสามเหลี่ยมได้ โดยเสนอผลที่ได้ในรูปของตัวเลข

เมื่อ ค.ศ. 1983 M.S. Bhatti (1983) ได้เสนอวิธีแก้ปัญหาของการไหลในท่อวงรี โดยที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ ไม่ขึ้นกับเวลา (steady) ของไหลเป็นแบบนิวโตเนียน (Newtonian) การไหลได้รวมอิทธิพลของปากทางเข้าไว้ด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ทำการขยายการคำนวณของ McComas (1967) ออกไปอีก งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีวิเคราะห์โดยทางทฤษฎี สำหรับการวิเคราะห์ได้ใช้วิธี Karman - Pohlhausen integral เป็นหลักโดยวิเคราะห์จากสมการสมดุลย์มวล (mass balance equation) และสมการสมดุลย์โมเมนตัม (momentum balance equation) จากผลการวิเคราะห์ ค่าของการสูญเสียความดันที่ปากทางเข้า เมื่อเปรียบเทียบกับท่อกลมจะแตกต่างกัน 2 เปอร์เซนต์ ในงานวิจัยนี้ได้หาค่าระยะทางจากปากทางเข้าไปจนเกิดการไหลแบบพัฒนาเต็มที่แล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient) และค่าตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor) ที่อัตราการไหลต่างๆ ในท่อหน้าตัดรูปวงรี ซึ่งมี aspect ratio Ø.25 และ Ø.5Ø ในช่วงการไหลตั้งแต่แบบราบเรียบ (laminar) ไปจนถึงแบบปั่นป่วน (turbulent) ภายใต้เงื่อนไข รูปร่างของความเร็ว (velocity profile) และ รูปร่างของอุณหภูมิ (temperature profile) มีการพัฒนา (developed) ไปพร้อมๆกัน และผนังท่อมีอุณหภูมิคงที่

1.3 ประโยชน์ซึ่งคาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

1. ได้ข้อมูลจากการทดลอง ซึ่งสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในทางปฏิบัติได้
2. ได้เครื่องมือทดลองที่ใช้ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลก

เปลี่ยนความร้อนแบบพาความร้อน

3. ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนสำหรับอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน ที่อยู่ในกรณีเดียวกับงานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย