บทที่ ๔

ผลการวิจัย

๔.๑ ผลการทดลองและการอภิปราย

ผลการทดลองเพื่อศึกษาการพาความร้อนโดยบังคับภายในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน ได้แสดงไว้ในรูปของกราฟตั้งแต่รูปที่ ๔-๑ ถึง ๔-๔ ส่วนข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ก. และตัวอย่างการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข.

๔.๑.๑ อิทธิพลของเรย์โนลด์สนัมเบอร์

รูปที่ ๔-๑ และ ๔-๒ เป็นรูปที่ได้จากการพล็อตค่าเรย์โนลด์สนัมเบอร์ Re กับค่าเฉลี่ยแบบล็อกของนัสเซลท์นัมเบอร์ Nu_1 ลงบนกระดาษกราฟซนิดล็อก-ล็อก ของท่อทั้งสี่อันที่ทำการทดลอง คือ ท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า ซึ่งมีค่า L/d_h เป็น 5.04 และ 11.39 และท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ซึ่งมีค่า L/d_h เป็น 4.95 และ 11.64 เส้นกราฟแต่ละเส้นที่ปรากฏในรูปทั้งสอง เป็นเส้นกราฟที่ลากใกล้เคียงกับจุดที่ได้จากการทดลองมากที่สุด และได้จากค่า L/d_h คงที่ กราฟทุกเส้นปรากฏเป็นเส้นตรง แสดงว่า เมื่อ L/d_h คงที่

$$Nu_1 = C_1 Re^m Pr^{0.4} \qquad .....(4-1)$$

ซึ่งเป็นผลลักษณะเดียวกับท่อกลม

แต่เนื่องจากเส้นกราฟทั้งสองของแต่ละรูปวางตัวอยู่ในแนวที่ต่างกันบ้าง แสดงว่าเทอม L/d_h มีผลต่อนัสเซลท์นัมเบอร์

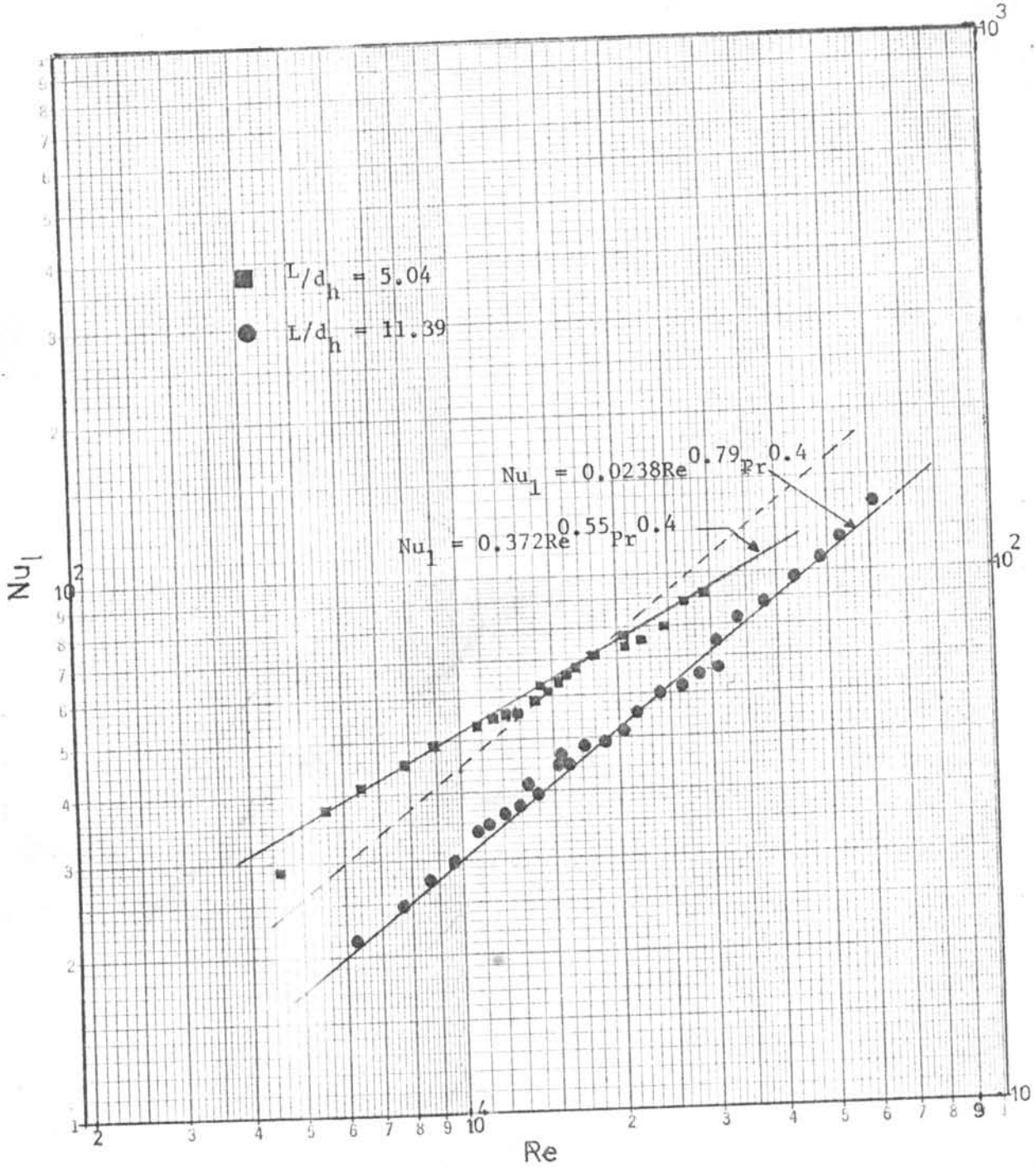

Fig.4-1 Data for turbulent forced convection in equilateral triangular ducts with simultaneously developing velocity and temperature profiles, and thermal boundary condition of uniform wall temperature. Pr = 0.71 Dashed line is result for circular duct(by Nusselt) for L/d = 11.39

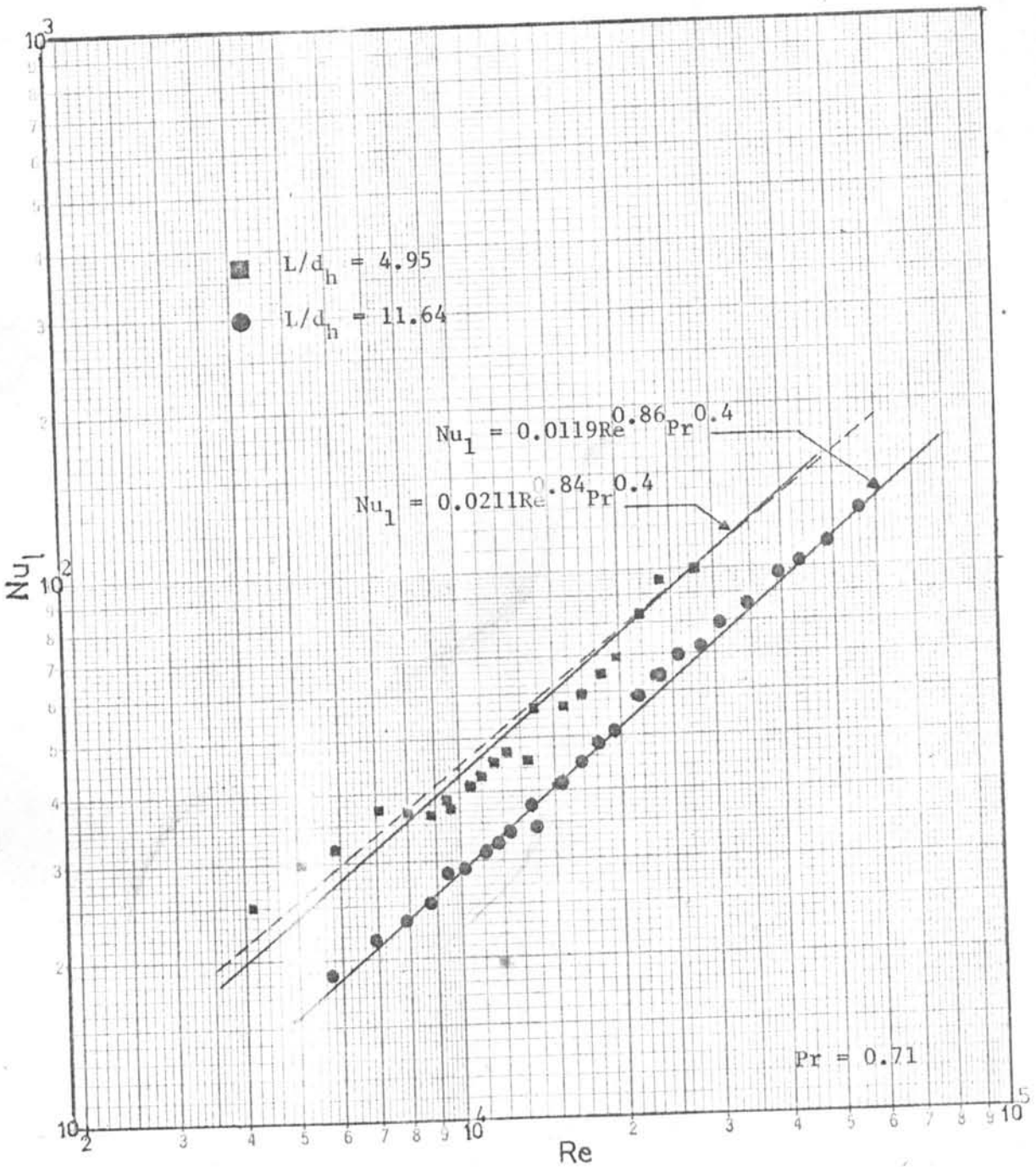

Fig.4-2 Data for turbulent forced convection in right-angled isosceles triangular ducts with simultaneously developing velocity and temperature profiles, and thermal boundary condition of uniform wall temperature. Dashed line is result for circular duct(by Nusselt) for L/d = 11.64

๔.๑.๒ อิทธิพลของระยะทางเข้า

เพื่อพิจารณาอิทธิพลของระยะทางเข้าในแง่ของการไหลและการถ่ายเทความร้อนต่อการพาความร้อนในท่อ สำหรับค่าเรย์โนลด์สนัมเบอร์คงที่ค่าหนึ่งๆ ได้ทำการพล็อตระหว่างค่าของ Nu_1 กับ L/d_h ของท่อทั้งสี่อัน ลงบนกระดาษกราฟชนิดล็อก-ล็อก ดังแสดงไว้ในรูปที่ ๔-๓ จากกราฟที่ได้นี้ใช้เป็นแนวทางประมาณค่ายกกำลังของเทอม L/d_h คือ p ในสมการ (๒-๕) ซึ่งจากข้อมูลของเราได้ค่า p ประมาณ -๐.๓๕

ดังนั้นรูปของสมการ(๔-๑) จึงได้รับการดัดแปลงเป็น

$$Nu_1 = CRe^m Pr^{0.4} (L/d_h)^{-0.35} \qquad \text{.....(4-2)}$$

ซึ่งเป็นรูปสมการที่สามารถแสดงอิทธิพลของระยะทางเข้าทั้งในแง่ของการไหลและการถ่ายเทความร้อนได้ด้วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็นรูปสูตรสำหรับคำนวณเกี่ยวกับการพาความร้อนในท่อ ซึ่งการแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูป พร้อมๆกัน

แต่สมการ(๔-๒) สามารถใช้เป็นสูตรคำนวณในการทำงานออกแบบได้ ก็ต่อเมื่อรู้ค่า C และ m แล้ว จากผลที่ได้ดังปรากฏในรูปที่ ๔-๑ และ ๔-๒ ซึ่งให้เห็นว่า การพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมทั้งสองชนิด คือ ท่อสามเหลี่ยมด้านเท่า และท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกันมาก นอกจากนี้ การวิจัยการพาความร้อนในท่อสามเหลี่ยมซึ่งมีการไหลแบบราบเรียบ[1] ผลการทดลองของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉากรวมเข้าด้วยกันเป็นกราฟเดียว ดังนั้นในการหาค่า C และ m เราจะลองหาร่วมกันเป็นค่า C และ m ทั้งของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก

ในการหาค่า C และ m เราพล็อตค่า $Nu_1 (L/d_h)^{0.35}$ กับ Re ของท่อทั้งสี่อันลงบนกระดาษกราฟชนิดล็อก-ล็อก แผ่นเดียวกัน ดังแสดงในรูป ๔-๔ จากลักษณะของจุดที่ปรากฏชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลของท่อทั้งสองชนิดสามารถรวมกันได้ โดยการป้อนข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อหาสมการซึ่งใกล้เคียงกับจุดเหล่านี้มากที่สุดได้ค่า C = ๐.๐๖๕๗ และm= ๐.๗๘

---

[1] Tan[illegible]imonko[illegible] cit.

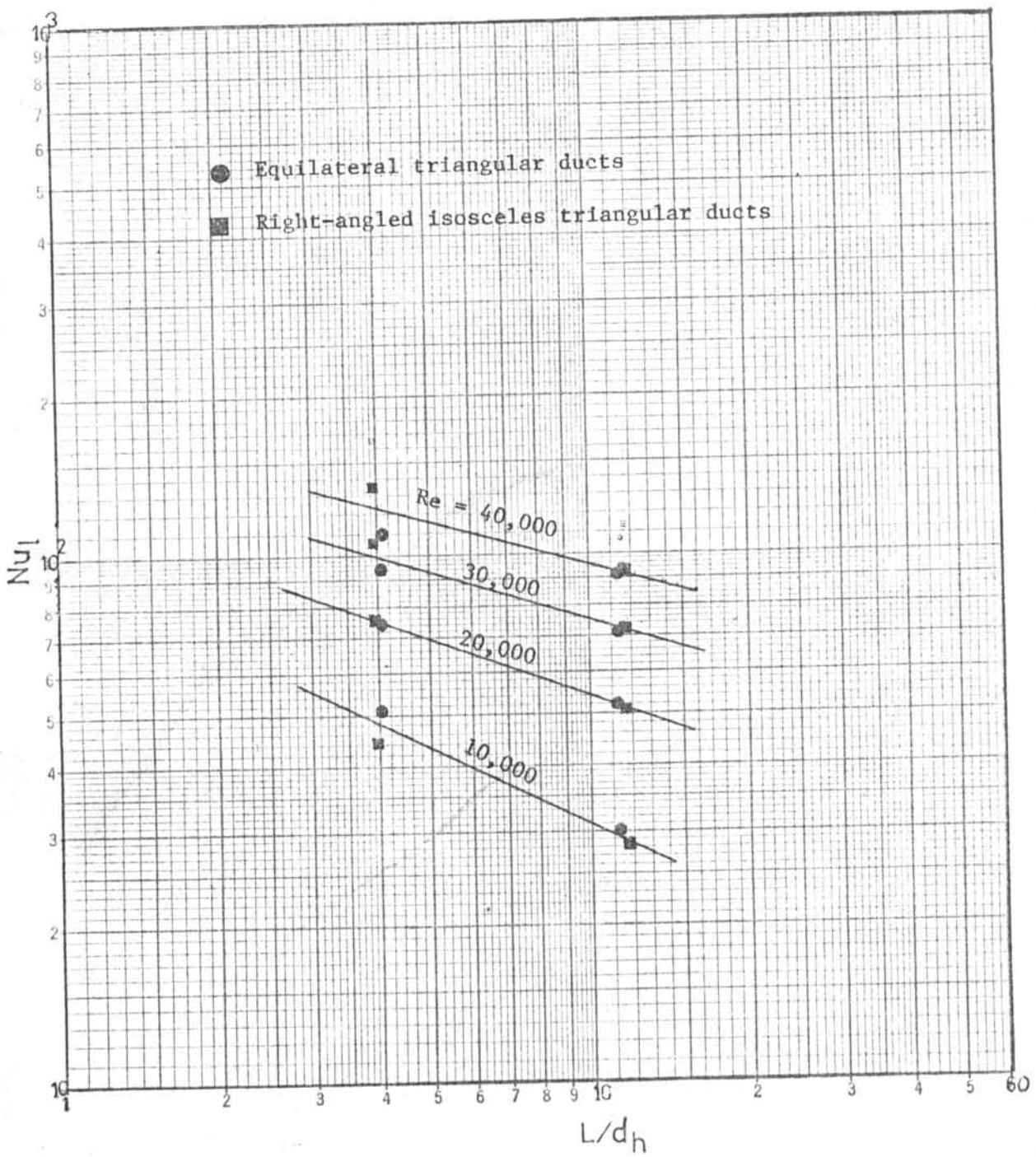

Fig.4-3 Measured logarithmic mean Nusselt number, Nu_1, plotted against length-diameter ratio, L/d_h, for turbulent forced convection in triangular ducts with uniform wall temperature. Pr = 0.71

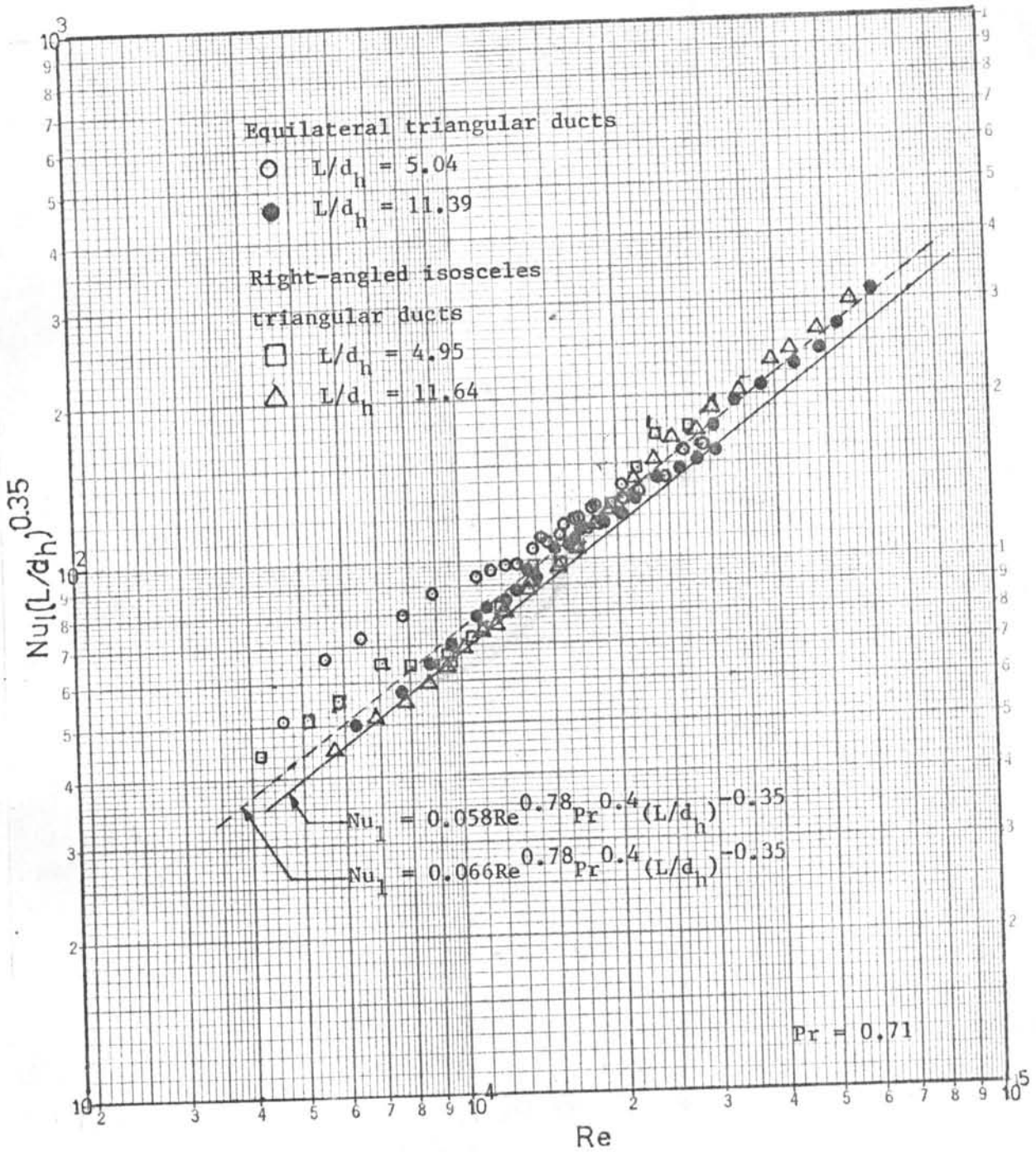

Fig.4-4 $Nu_1(L/d_h)^{0.35}$ plotted against Re f0r turbulent forced convection in triangular ducts with simultaneously developing velocity and temperature profiles, and thermal boundary condition of uniform wall temperature.

เมื่อแทนเข้าไปในสมการ(๔-๒) ได้

$$Nu_1 = 0.0657Re^{0.78}Pr^{0.4}(L/d_h)^{-0.35} \quad .....(4-4)$$

อย่างไรก็ตาม เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่ออกแบบ เล็กเกินไปสำหรับการทำงานที่จุดบางจุดตามกราฟในรูปที่ ๔-๔ เส้นกราฟที่ใช้เป็นหลักในการออกแบบควรลากโดยให้มีจุดที่ได้จากการทดลองอยู่เหนือเส้นกราฟนี้เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งโดยอาศัยหลักเกณฑ์นี้ เราได้สมการ

$$Nu_1 = 0.058Re^{0.78}Pr^{0.4}(L/d_h)^{-0.35} \quad .....(4-5)$$

เป็นสมการที่ขอเสนอแนะให้ใช้ออกแบบเกี่ยวกับการพาความร้อนในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สำหรับสภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อแบบอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว

๔.๒ <u>ข้อสรุป</u>

จากผลการทดลองเกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับ ในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ที่มีการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สำหรับสภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อแบบ (T1) ดังแสดงในรูปที่ ๔-๑ และ ๔-๒ ชี้ให้เห็นอย่างเด่นชัดว่า อิทธิพลของช่วงปากทางเข้าของการไหลและช่วงปากทางเข้าของการถ่ายเทความร้อน มีอิทธิพลต่อการพาความร้อนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในท่อที่ค่อนข้างสั้น นั่นคือ สำหรับค่าเรย์โนลด์สนัมเบอร์ และค่าแพรนด์เดิลนัมเบอร์ คงที่ค่าหนึ่งๆ นัสเซลท์นัมเบอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิคของท่อคือ L/d_h ลดลง ดังนั้นในการคำนวณออกแบบเกี่ยวกับการพาความร้อนในท่อสามเหลี่ยม จะต้องนำข้อมูลนี้มาพิจารณาด้วย เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ นอกจากนี้ ผลการทดลองนี้ ยังชี้ให้เห็นอีกว่า การพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วนมีคุณลักษณะใกล้เคียงกันมาก และสามารถใช้สูตรคำนวณออกแบบสูตรเดียวกันได้ คุณสมบัติต่างๆของของไหลที่ใช้ในการคำนวณ เป็นคุณสมบัติที่ Mean bulk temperature.

ในการสร้างสูตรเอมไพริกัลจากผลการทดลอง ได้นำข้อสังเกตเหล่านี้มาพิจารณาด้วย ซึ่งได้สูตรใช้คำนวณออกแบบเกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม ซึ่งมีการไหลแบบปั่นป่วน ในช่วงที่การแจกแจงความเร็ว และการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สำหรับสภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อแบบ (T1) คือ

$$Nu_1 = 0.058Re^{0.78}Pr^{0.4}(L/d_h)^{-0.35}$$

ซึ่งใช้ได้ทั้งท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าและท่อสามเหลี่ยมหน้าจั่วมุมฉาก ในช่วงเรย์โนลด์สนัมเบอร์ 6,000-60,000 และสำหรับค่า L/d_h ไม่เกินที่หาจากสูตรของ Latzko[2] สำหรับท่อกลม ซึ่งเอามาใช้กับท่อสามเหลี่ยมโดยอนุโลม.

๔.๓ ข้อเสนอแนะ

การพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการไหลแบบปั่นป่วน ยังมีงานและแง่มุมอีกหลายด้านที่ควรจะได้ทำการศึกษาขยายวงกว้างออกไป เพื่อเพิ่มพูนความรู้และข้อมูลซึ่งจำเป็นในการออกแบบเกี่ยวกับการพาความร้อนในท่อสามเหลี่ยมให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อันเป็นปัจจัยสำคัญในการปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ขอเสนอแนะงานเกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยมที่มีการไหลแบบปั่นป่วน ที่ควรจะได้ทำการศึกษาต่อไป ดังนี้

๑. ศึกษาและเก็บข้อมูลในช่วงที่การแจกแจงความเร็วและการแจกแจงอุณหภูมิกำลังเปลี่ยนรูปพร้อมๆกัน สำหรับสภาพการให้ความร้อนที่ผิวท่อแบบ (H)

๒. ศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลของแพรนด์เติลนัมเบอร์ Pr ต่อนัสเซลท์นัมเบอร์ Nu ให้ใกล้ชิดขึ้น โดยใช้ของไหลหลายๆชนิดเป็นตัวพาความร้อนในท่อ

๓. ศึกษาวิเคราะห์ในเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับการพาความร้อนโดยบังคับในท่อสามเหลี่ยม สำหรับทุกกรณีที่ได้ทำการศึกษาโดยการทดสองมาแล้ว.

---

[2] McAdams, op. cit., pp.224-226.