บทที่ 4

การสูญเสียหัวความดันในท่อไม้ไผ่

การศึกษาการสูญเสียหัวความดัน (**Head loss**) เมื่อน้ำไหลในท่อไม้ไผ่ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน (**Friction loss**) และการสูญเสียหัวความดัน เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านข้อปล้องของท่อไม้ไผ่การหาค่าการสูญเสียหัวความดันที่เกิดขึ้น เมื่อน้ำไหลผ่านในช่วงความยาวหนึ่งของท่อไม้ไผ่ สามารถหาได้โดย การวัดค่าพลังงานที่เกิดขึ้น ที่ปลายทั้งสองของช่วงความยาวนั้น ผลต่างของค่าพลังงานที่วัดได้ ก็คือ การสูญเสียหัวความดันในช่วงความยาวของท่อไผ่นั้นนั่นเอง สำหรับในบทนี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลที่ได้ เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าการสูญเสียหัวความดัน ทั้งสองกรณี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 เครื่องมือในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1 ตัวอย่างท่อไม้ไผ่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 – 8 ซม. 10 ตัวอย่าง

2 เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง ขนาด 3 แรงม้า เพื่อสูบน้ำจากแหล่งเก็บน้ำเข้าสู่ท่อส่งน้ำซึ่งติดประตูน้ำ (**Valve**) ที่ปลายท่อ สำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

3 หลอดแก้ววัดความดัน (**Piezometer**)

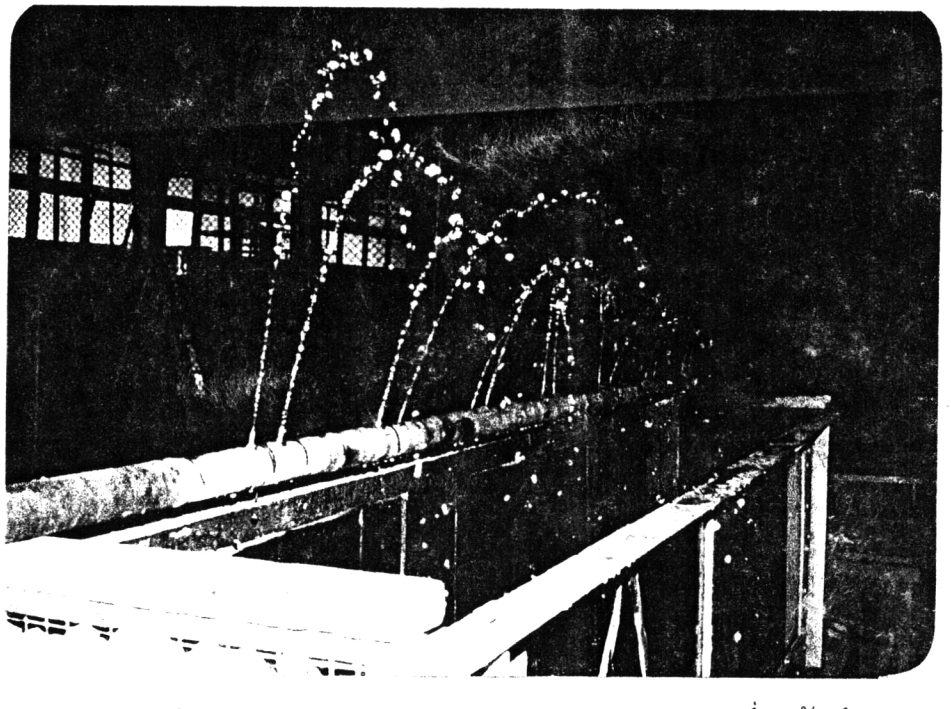
4 เทอร์โมมิเตอร์ ใช้วัดอุณหภูมิ เพื่อหาค่าความหนาแน่น (ρ) และความหนืด (μ) ของน้ำ

5 นาฬิกาจับเวลา ถังน้ำและเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำ

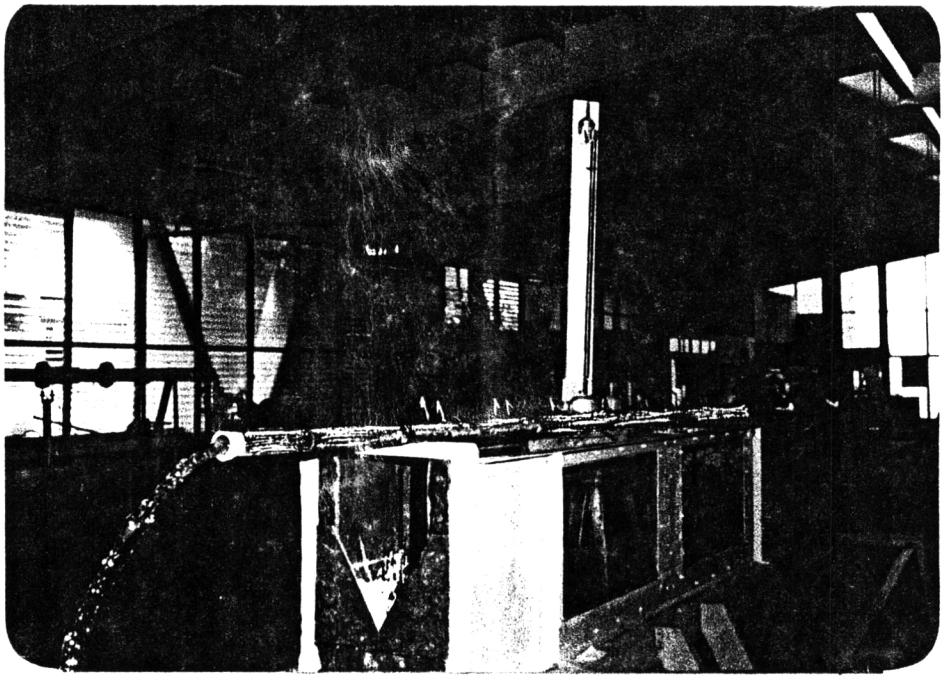
4.2 วิธีทดลอง

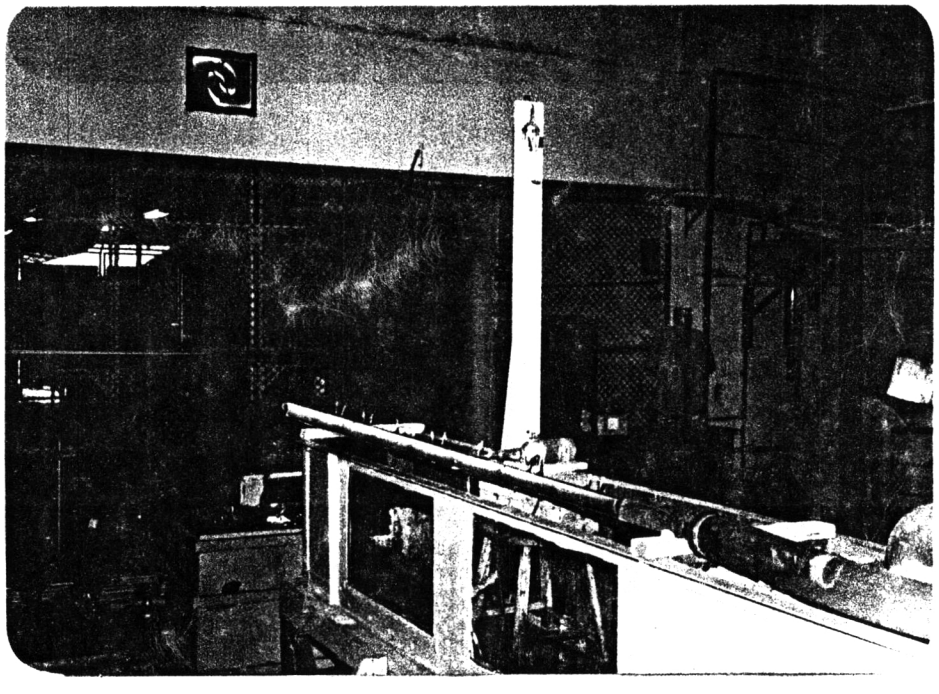
ท่อไม้ 10 ตัวอย่าง ที่นำมาทดลอง จะถูกเจาะรูจำนวน 2 รู ระหว่างข้อไม้ทุกๆข้อ ในช่วงความยาวที่พิจารณา แต่ละรูจะอยู่ห่างจากข้อปล้อง ประมาณ 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อไม้นั้นๆ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบ อันอาจจะเกิดจาก การไหลของน้ำผ่านผนังข้อปล้อง รูที่เจาะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. มีท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม. ยาว 2.5 ซม. ทำหน้าที่เป็นท่อเชื่อม (Pressure tap) ต่อจากรูที่เจาะเหล่านี้ไปยังแผงคิดหลอดแก้ว (Piezometer) สำหรับอ่านค่าความดันที่เกิดจากการไหลของน้ำในท่อไม้ (รูปที่ 4-1)

ท่อไม้แต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาทดลอง โดยนำไปวางบนรางน้ำทดลอง ซึ่งอยู่ในแนวราบ ปลายข้างหนึ่งของท่อไม้ จะอยู่เหนือถังน้ำที่วางอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนัก ส่วนปลายท่ออีกข้างหนึ่งจะต่อกับท่อยาง แล้วจึงนำท่อยางไปต่อกับท่อส่งน้ำที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ (รูปที่ 4-2)



รูปที่ 4-1 การติด Pressure tap บนท่อไม้ไผ่





รูปที่ 4–2 การทดลอง เพื่อหาค่าการสูญเสียหัวความดันในท่อไม้ไผ่

สำหรับขั้นตอนการทดลองต่อไปมีดังนี้

1 ยึดท่อไผ่กับรางน้ำทดลองซึ่งอยู่ในแนวราบ โดยใช้เชือกรัด เพื่อไม่ให้ท่อไผ่เคลื่อนไหว ระหว่างทำการทดลอง

2 เดินเครื่องสูบน้ำ เพื่อสูบน้ำให้ไหลเข้าท่อส่งน้ำ ที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้ โดยเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำจากน้อยไปหามาก จำนวน 5 ค่าด้วยกัน

3 รวบรวมข้อมูลต่างๆ โดยใช้ **Piezometer** วัดค่าหัวความดัน ณ ตำแหน่งต่างๆของท่อไผ่ หลังจากอ่านค่าหัวความดันเสร็จแล้ว จึงทำการวัดอุณหภูมิ และชั่งน้ำหนักของน้ำ ที่ไหลลงสู่ถังน้ำบนเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำ (ดูภาคผนวก ข)

4 หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้ว จึงนำท่อไผ่ไปตัดเพื่อหาพื้นที่หน้าตัดของท่อ ณ ตำแหน่งต่างๆที่อ่านค่าหัวความดัน โดยวิธีเขียนรูปหน้าตัดภายในของท่อไผ่ลงบนกระดาษ แล้วใช้ **Polar planimeter** วัดหาพื้นที่ พื้นที่ที่อ่านได้จะถูกนำไปใช้ในการหาค่าความเร็วของการไหล และค่าหัวความดันความเร็ว(**Velocity head**) ณ ตำแหน่งต่างๆที่อ่านค่าหัวความดัน (ดูภาคผนวก ข)

5 นำข้อมูลต่างๆที่ได้ มาทำการคำนวณและวิเคราะห์

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การไหลของน้ำในท่อไผ่ทั้ง 10 ตัวอย่าง ได้แก่ ค่าหัวความดัน (**Pressure head**) และความเร็วของน้ำที่ไหล ณ ตำแหน่งต่างๆของท่อไผ่ ซึ่งจะถูกนำไปแทนค่าลงในสมการเบอร์นูลี (สมการ 2-1) เพื่อหาค่าการสูญเสียหัวความดัน ในช่วงความยาวหนึ่งของท่อไผ่ ซึ่งจะได้ทั้งการสูญเสียหัวความดันเนื่องจากความเสียดทาน และการสูญเสียหัวความดัน เนื่องจากน้ำไหลผ่านข้อปล้องของท่อไผ่ ดังแสดงในภาคผนวก ข

4.3.1 การสูญเสียหัวความดัน เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านข้อปลอง

เมื่อนำค่าความเร็วในการไหลของน้ำ และค่าการสูญเสียหัวความดัน ที่ข้อปล้องไปแทนค่าลงในสมการ 2-3 ($h = KV^2/2g$)จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียหัวความดัน (Loss coefficient ; K) ของข้อไผ่นั้นได้ ดังแสดงในภาคผนวก ค

4.3.2 การสูญเสียหัวความดัน เนื่องจากความเสียดทาน

เมื่อนำค่าความเร็วในการไหลของน้ำ และค่าการสูญเสียหัวความดันเนื่องจากความเสียดทานของท่อไผ่ ไปแทนค่าลงในสมการ Darcy - Weisbach (สมการ 2-4) จะสามารถหาค่าตัวประกอบความฝืด (Friction factor ; f) ของตัวอย่างท่อไผ่นั้นได้ ดังแสดงในภาคผนวก ง

4.4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์ผลการทดลอง

4.4.1 สัมประสิทธิ์การสูญเสียหัวความดัน (Loss coefficient ; K) ของข้อไผ่

ตารางในภาคผนวก ค แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียหัวความดัน (K) ของข้อไผ่ขนาดต่างๆ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.27 - 5.07 ค่า K ของข้อไผ่จะขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของรูที่เจาะข้อปล้องนั้นๆ กล่าวคือค่า K จะต่ำลง เมื่อขนาดของรูที่เจาะข้อปล้องโตและเรียบขึ้น

เมื่อพิจารณา ขนาดของรูที่เจาะข้อปล้องของท่อไผ่ตัวอย่างต่างๆ จะเห็นว่าท่อไผ่ที่มีขนาดใหญ่ จะมีขนาดของรูที่เจาะข้อปล้องโตกว่าท่อไผ่ที่มีขนาดเล็กกว่า ดังนั้นในกรณีที่คิดว่า การเจาะข้อปล้องของท่อไผ่ด้วยเหล็กเส้น จะมีโอกาสของความน่าจะเป็น ที่จะได้ขนาดและลักษณะของรูที่เจาะใกล้เคียงกันแล้ว ก็กล่าวได้ว่า ท่อไผ่ที่มีขนาดใหญ่กว่า จะมีค่า K ของข้อปล้อง ต่ำกว่าท่อไผ่ที่มีขนาดเล็ก หรือกล่าวได้ว่า ท่อไผ่ที่มีขนาดใหญ่กว่า จะเกิดการสูญเสียหัวความดันที่ข้อปล้อง ต่ำกว่า

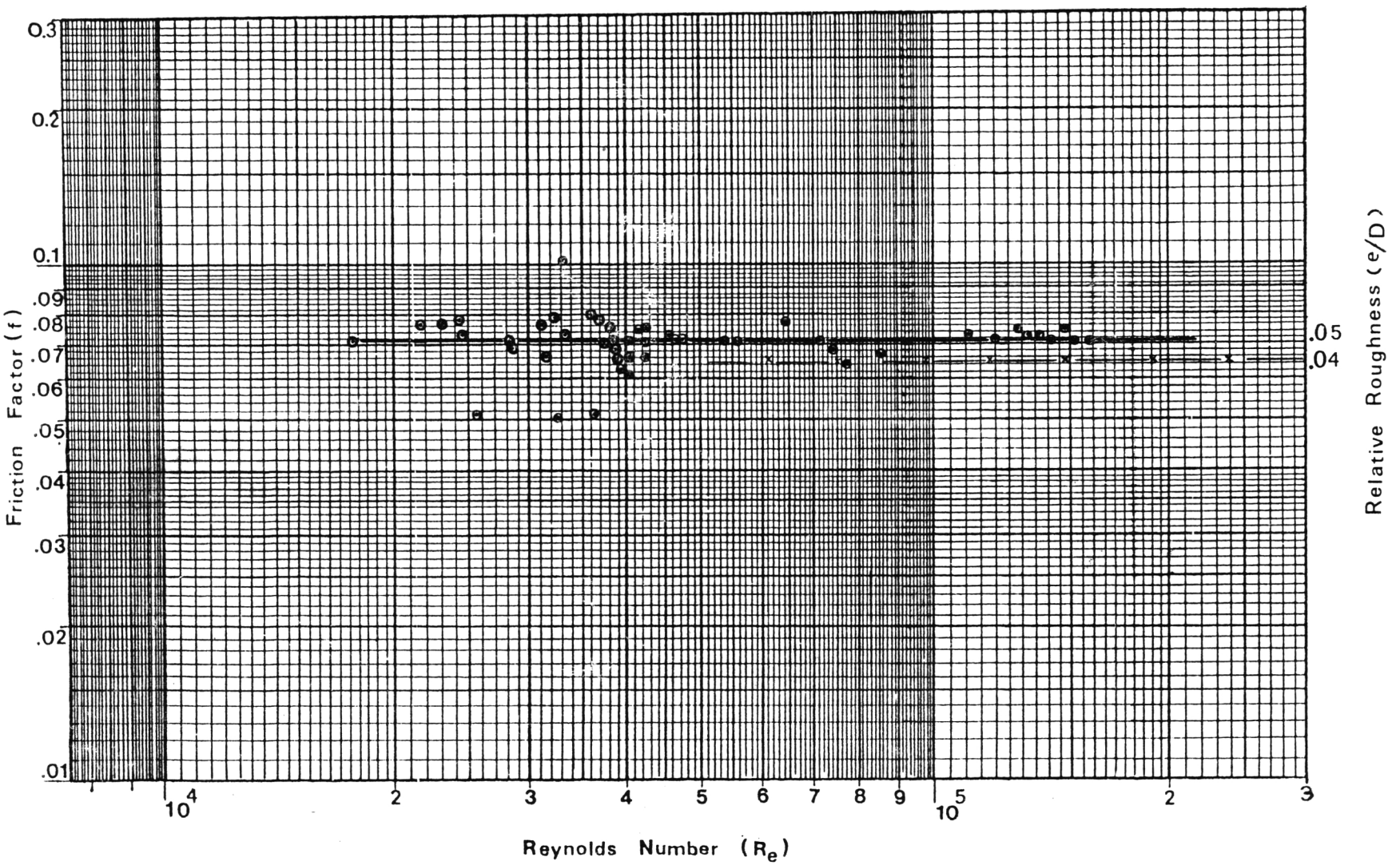
ท่อไผ่ที่มีขนาดเล็กกว่า

สำหรับค่า **K** เฉลี่ย ของข้อปล้องขนาดต่างๆ จะมีค่าเท่ากับ 2.79 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**Standard deviation**) เท่ากับ 1.26 จะเห็นว่าค่า **K** ของข้อปล้องต่างๆ กระจายไปจากค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูง ทั้งนี้เพราะการทดลองครั้งนี้ ใช้วิธีหลวงข้อปล้องด้วยเหล็กเส้น จึงทำให้รูที่เจาะข้อปล้องต่างๆ มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน ดังนั้นการที่จะหาค่าการสูญเสียหัวความดัน เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านข้อปล้องที่ถูกต้อง จึงต้องวัดจากของจริงเท่านั้น

4.4.2 ตัวประกอบความฝืด (**Friction factor**)

ตารางในภาคผนวก ง แสดงถึง ค่าตัวประกอบความฝืด ของ ตัวอย่างท่อไผ่ ที่เรย์โน นัมเบอร์ ต่างๆ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.0506 – 0.0798 จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ ผลการทดลองของผู้อื่นที่ผ่านมา ซึ่งตัวประกอบความฝืด มีค่าประมาณ 0.046 – 0.050 ทั้งนี้มีสาเหตุมาจาก การหลวงข้อปล้องด้วยเหล็กเส้น ซึ่งปลายแหลมของเหล็กเส้น จะไปขูดถูกผิวภายในของท่อระหว่างการหลวง ทำให้ผิวภายในของท่อขรุขระเพิ่มขึ้น

เมื่อนำค่าเรย์โน นัมเบอร์ และ ตัวประกอบความฝืด ของท่อไผ่ตัวอย่างต่างๆที่ได้จากการทดลอง ไปพล็อตลงในกระดาษ **log – log** จะได้กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง ตัวประกอบความฝืด และ เรย์โน นัมเบอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4 – 3 การทดลองครั้งนี้ใช้ค่าเรย์โน นัมเบอร์ ตั้งแต่ 17,000 ขึ้นไป ดังนั้นการไหลของน้ำในท่อไผ่ จึงเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (**Turbulent flow**) เมื่อพิจารณากราฟในรูปที่ 4–3 จะเห็นว่า ตัวประกอบความฝืด ของท่อไผ่ขนาดต่างๆจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเกาะเป็นกลุ่มและกระจายในลักษณะเป็นเส้นตรง ไปตามค่าเรย์โน นัมเบอร์ ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับกราฟของ **Moody Diagram** (รูปที่ 2–4) คือที่เรย์โน นัมเบอร์ สูงๆ ตัวประกอบความฝืด ค่อนข้างคงที่ โดยจะขึ้นกับความขรุขระของผิวภายในของท่อเท่านั้น



รูปที่ 4–3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เรย์โนนัมเบอร์
และตัวประกอบความฝืดของท่อไอ

สำหรับการทดลองครั้งนี้ ตัวประกอบความฝืดของท่อไม้ไผ่ จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0712 ซึ่งเมื่อเทียบใน **Moody Diagram** แล้ว จะให้ค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (**Relative roughness ; e/D**) ของท่อไผ่ประมาณ 0.05 สำหรับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวประกอบความฝืด ของท่อไผ่ตัวอย่างต่างๆ จะมีค่าเท่ากับ 0.008 แสดงว่า ตัวประกอบความฝืดของท่อไผ่ขนาดต่างๆ มีการกระจายไปจากค่าเฉลี่ยเล็กน้อย

จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่า การสูญเสียหัวความดันในท่อไม้ไผ่ จะสูงมาก โดยเฉพาะ การสูญเสียหัวความดันที่ข้อปล้องจะสูงมาก แต่สามารถที่จะลดการสูญเสียนี้ ให้น้อยลงได้ ด้วยการใช้ลำไผ่ที่มีขนาดโตขึ้น และทลวงข้อปล้องออกให้กว้างและเรียบ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องเจาะข้อปล้อง ดังนั้น จึงควรนำลำไผ่มาใช้เป็นท่อส่งน้ำ เพื่อการเกษตรขนาดเล็ก เท่านั้น