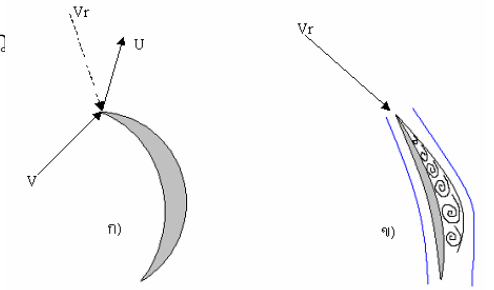
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานโครงการ

2.1 ทฤษฎีและหลักการ

ใบพัดจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นจะต้องให้การไหลของของไหลเข้าสู่ใบพัดเกิดความปั่นป่วนน้อยที่สุดนั่นคือ ของไหลจะต้องไหลเข้าสู่ใบพัดในทิศทางสัมผัสกับตัวใบพัด แต่ถ้าหากความเร็วสัมพัทธ์ไม่อยู่ในแนวสัมผัสกับใบพัดแล้วจะเกิดการแยก (Separation) ซึ่งจะก่อให้เกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็ว ตามมุมที่เบี่ยงแบนไปตกแนวสัมผัสส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ ลดลงอย่างมากในบางครั้งถึงแม้ว่าการไหลเข้าจะอยู่ในแนวสัมผัสก็อาจเกิดการแยกตัวขึ้นได้ทั้งนี้เนื่องจากความโค้งของใบพัดหรือการแยกตัวของของไหล ซึ่งจะทำให้ชั้นขอบเขตหนาขึ้นจนกระทั่งหยุดนิ่ง การสูญเสียเหล่านี้เรียกว่า การสูญเสียเนื่องจากการกระตุก หรือความปั่นป่วน (shock or turbulence loses)

เมื่อของของไหลไหลออกจากชุดใบพัดต่อเนื่อง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วทั้งขนาดและทิศทาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ของโมเมนต์ตัม และเกิดงานต่อใบพัดโดยจุดประสงค์ในการสร้างใบพัด คือ ต้องการให้ของไหลไม่มีโมเมนต์ของโมเมนต์ตัม เหลืออยู่เลยหลังจากกระทบกับใบพัดแล้ว กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือต้องการให้ของไหลถ่ายโอนพลังงานทั้งหมดให้กับใบพัดเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนั้นการออกแบบใบพัดจำเป็นต้องมีการจัดวางใบพัดและรูปลักษณะของทางน้ำเข้ากับใบพัดให้เหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการออกแบบ ในขณะเดียวกันการออกแบบจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของปริมาณงานต่อหน่วยมวลสารที่ต้องการ และความหนาแน่นของมวลสารอีกด้ว

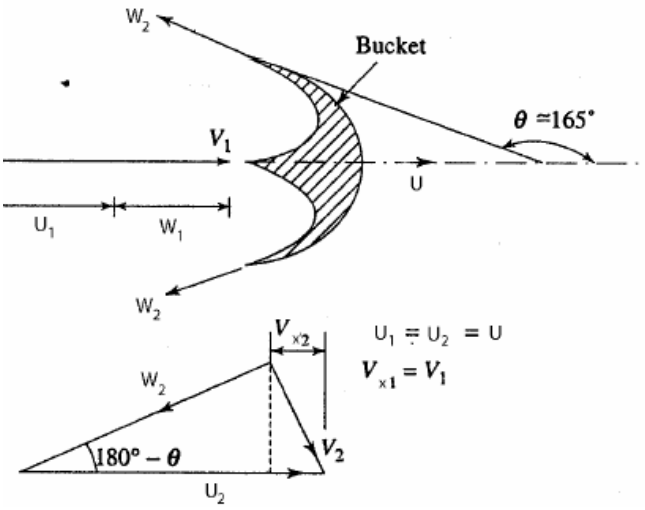


รูปที่ 2.1 ภาพทิศทางการไหลของของไหล

ก) การไหลเข้าสู่ใบพัดในแนวสัมผัสกับใบพัด และ ข) การไหลเข้าสู่ใบพัดไม่สัมผัสกับใบพัดทำให้เกิดการแยกตัว

2.1.1 หลักการในการออกแบบ

เนื่องจากในการออกแบบใบพัดในการศึกษานี้ ใช้หลักการของกังหันแบบเพลตัน ซึ่งสามารถหาได้จากหลักการของแรงพลวัติกระทำกับใบพัดที่เคลื่อนที่ พิจารณารูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงทิศทางของของเหลวที่มีความเร็ว (V_1) พุ่งกระทบใบพัดที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว u ดังนั้นจะได้ว่า ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำเทียบกับใบพัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $V_1 = W_1 + u$ โดยสมมติให้ใบพัดไม่มีความเสียดทาน ที่ขาออกจากใบพัดความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำเทียบกับใบพัดจะเท่ากับ W_2 ซึ่ง เท่ากับ $W_1 = W_2 = W$ จากสมการไหลต่อเนื่อง (Q = Constant) [4]



รูปที่ 2.2 แสดงทิศทางของของเหลว ก่อน และหลังกระทบกับใบพัด

จาก $F = \rho Q (W_{2x} - W_{1x})$ (2.1)

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

Q = อัตราไหลของของเหลวที่กระทบใบพัด = $AW = A (V_1 - u)$

จะได้ว่า

$W_{2x} = W\cos\theta = (V_2 - u)\cos\theta$

และ

$$W_{1x} = V_1 - u$$

แทนค่า W_{2x} และ W_{1x} ลงในสมการ (2.1) จะได้

$$F_x = \rho A\ (V_1 - u)^2(\ 1- \cos\ \theta\ )$$

แต่เนื่องจากแรงบิดของล้อกังหัน $T = F_x\ (D/2)$ ดังนั้นจะได้

$$T = \rho A\ (V_1 - u)^2(\ 1- \cos\ \theta\ )\ (D/2) \qquad (2.2)$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อกังหัน

θ คือ มุมของใบพัดขาออก

ในขณะที่ แรงบิดของล้อกังหันทั้งระบบของล้อกังหันของทั้งระบบเท่ากับ

$$T = \rho A\ (V_1 - u)(\ 1- \cos\ \theta\ )\ (D/2) \qquad (2.3)$$

และจะได้กำลังงานของล้อกังหันเท่ากับ $P = T\omega = (2Tu) / D$ ซึ่งจะได้

$$P = \rho A V_1\ u\ (V_1 - u)(\ 1- \cos\ \theta\ ) \qquad (2.4)$$

และเมื่อทราบความเร็วรอบก็จะสามารถหาขนาดของล้อกังหันได้จากความสัมพันธ์

$$U = \pi Dn / 60 \qquad (2.5)$$

เมื่อ n คือความเร็วรอบของล้อกังหัน (rpm)

2.1.2 ประสิทธิภาพของกังหัน

การหาประสิทธิภาพของกังหันนั้น ส่วนใหญ่จะใช้ประสิทธิภาพเชิงชลศาสตร์นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่กังหันทำได้ กับ กำลังงานที่มีอยู่ในการไหลของของเหลวจากสมการ (2.4) และกำลังงานของการไหลของของเหลว จะได้ว่า

$$\eta_h = 2(u / V_1)[(1- (u / V_1)) (1- \cos \theta) \quad (2.6)$$

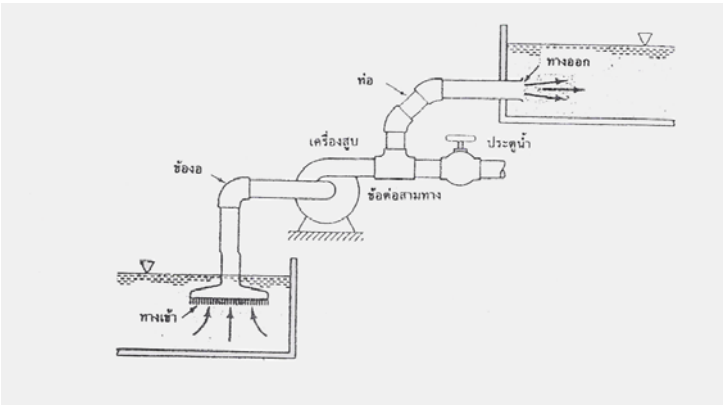
พิจารณา สมการ (2.6) จะได้ว่าประสิทธิภาพเชิงไฮโดรลิค เท่ากับ 100 % เมื่อ

$u = V_1 / 2$ และ $\theta = 180^{\circ}$

นั่นหมายความว่า กำลังงานจากการไหลของของเหลวจะถูกส่งถ่ายไปยังกังหันได้ทั้งหมดหรือไม่ กำลังงานหลงเหลือในของเหลวขาออกเลย ($V_2 = 0$) ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ เพราะใบพัดมีแรงเสียดทาน

2.2 การไหลในท่อ

เนื้อหาในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสภาพการไหลในท่อซึ่งมีผลมาจากความหนืดของของไหล ลักษณะการไหลแบบราบเรียบและปั่นป่วนภายในท่อ วิธีการคำนวณหาค่าความสูญเสียเฮดเนื่องจากความเสียดทานของท่อ อัตราการไหล และขนาดของท่อที่จำเป็นต้องใช้โดยวิธีต่างๆ การสูญเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ท่อประเภทต่างๆ ซึ่งเรียกการสูญเสียรอง (Minor loss) ระบบที่ของเครื่องสูบตลอดจนการคำนวณเกี่ยวกับระบบท่อในลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างองค์ประกอบต่างๆในระบบท่อ [Munson, 1994]

2.2.1 แผนภาพของ Moody (Moody Diagram)

การหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานโดยการคำนวณดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นอาจจะไม่สะดวกต่อการใช้งานเท่ากับการหาค่าจากแผนภาพซึ่งแผนภาพแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่ได้รับการนิยมใช้มากที่สุดคือ แผนภาพที่เขียนขึ้นโดย L.F. Moody (1944) เรียกว่าแผนภาพของ Moody ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นผลมาจากการนำสมการต่างๆในหัวข้อที่แล้วมาพล็อตกราฟในกระดาษกราฟสเกลล็อก (log-log graph) โดยใช้ข้อมูลที่ดีที่สุดเท่าที่สามารถหามาได้ แผนภาพของ Moody ประกอบไปด้วยตัวเลขแสดงค่าบนสามแกน คือ แกนนอนเป็นค่า Reynolds Number แกนตั้งด้านขวาแสดงค่าความขรุขระสัมพัทธ์ และแกนตั้งด้านซ้ายแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน นอกจากนี้เพื่อความสะดวกในการที่จะไม่ต้องคำนวณค่า Reynolds Number ในกรณีของอากาศและน้ำที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$ F จึงได้แสดงตัวเลขของผลคูณของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) กับความเร็ว (V) ไว้ที่แกนนอนด้านบน แต่สำหรับอากาศและน้ำที่มีอุณหภูมิแตกต่างจากนี้ ก็จำเป็นต้องคำนวณ ค่า Reynolds Number แล้วใช้แกนนอนด้านล่างตามปกติ

เส้นกราฟในแผนภาพของ Moody แบ่งออกเป็น 4 ช่วงคือช่วงแรกสำหรับการไหลแบบราบเรียบซึ่งมีค่า Reynolds Number น้อยกว่า 2000 ช่วงที่สองสำหรับการไหลแบบวิกฤติซึ่งมีค่า Reynolds Number อยู่ระหว่าง 2000 ถึง 4000 การไหลในช่วงนี้อาจจะเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วนก็ได้ทำให้ค่าต่างๆ ไม่แน่นอน ช่วงที่สามเป็นการไหลแบบเปลี่ยนแปลงซึ่งค่า f จะแปรผันกับทั้ง Reynolds Number และความขรุขระสัมพัทธ์ และช่วงสุดท้ายเป็นช่วงสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ (complete turulence) ซึ่งค่า f ไม่ขึ้นอยู่กับ Reynolds Number แต่จะแปรผันตามความขรุขระสัมพัทธ์เพียงอย่างเดียว

จากแผนภาพของ Moody จะเห็นว่าไม่มีเส้นแบ่งช่วงการไหลอย่างชัดเจนระหว่างการไหลแบบเปลี่ยนแปลงกับการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม R.J.S. Pigott ได้แบ่งช่วงการหลดังกล่าวด้วยเส้นประดังแสดงในรูปที่ ซึ่งเส้นประดังกล่าวนั้นได้มาจากสมการ $R = 3500(\varepsilon/D)$

ในการใช้แผนภาพของ Moody จำเป็นจะต้องคำนวณหาค่าความขรุขระสัมพัทธ์ ซึ่งค่าความขรุขระสัมบูรณ์ของท่อแต่ละชนิดสามารถหาได้จาก ตาราง 2.1 ทั้งนี้เนื่องจาก (ε/D) ไม่มีมิติ ดังนั้น ทั้งความขรุขระสัมบูรณ์และความขรุขระสัมพัทธ์ของท่อที่มีขายตามท้องตลาดสามารถหาได้จาแผนภาพรูปที่ 2.6 ซึ่งจัดทำโดย L.F. Moody เช่นกัน อย่างไรก็ตามการที่จะใช้แผนภาพต่างๆ

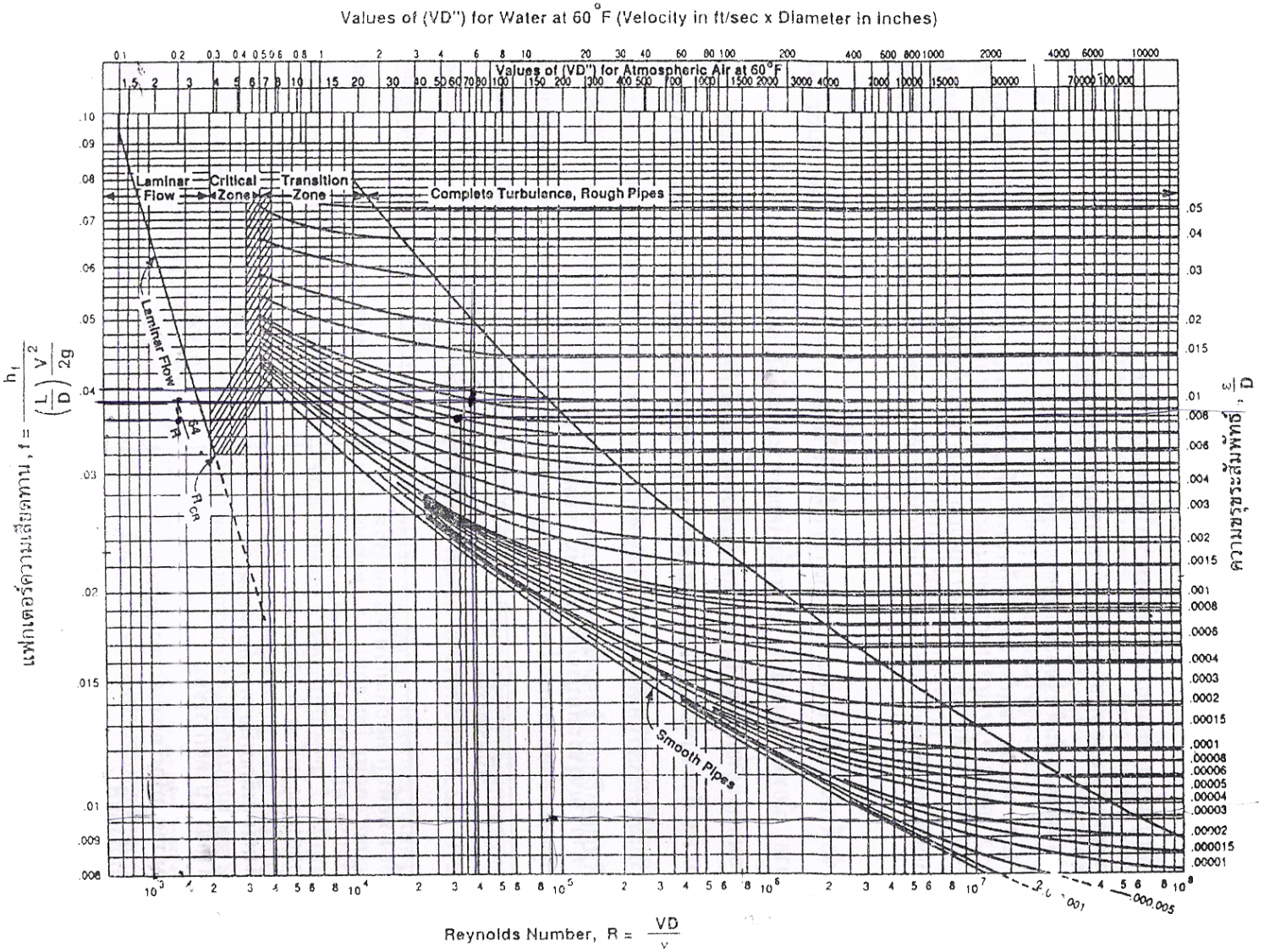
ข้อพึงสังเกตคือค่าของ ε ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นของท่อชนิดต่างๆ ที่อยู่ในสภาพใหม่เอี่ยมและสะอาด เมื่อท่อเก่าลงจะมีค่า ε สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ท่อมีขนาดเล็ก เพราะจะมีสนิมและตะกอนเกาะอยู่ที่ผนังด้านในของท่อทำให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดลดลง ในทางปฏิบัติค่าของ f อาจจะคลาดเคลื่อน 5 % สำหรับท่อเรียบ และ 10 % สำหรับท่อขรุขระที่เป็นท่อใหม่ ดังนั้นถ้าหากเป็นท่อเก่าก็จำเป็นต้องมีการปรับค่า ε เพื่อให้ได้ค่า f ที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.1 ค่าความขรุขระสัมบูรณ์ของท่อใหม่ ชนิดต่าง [วินัย, 1993]

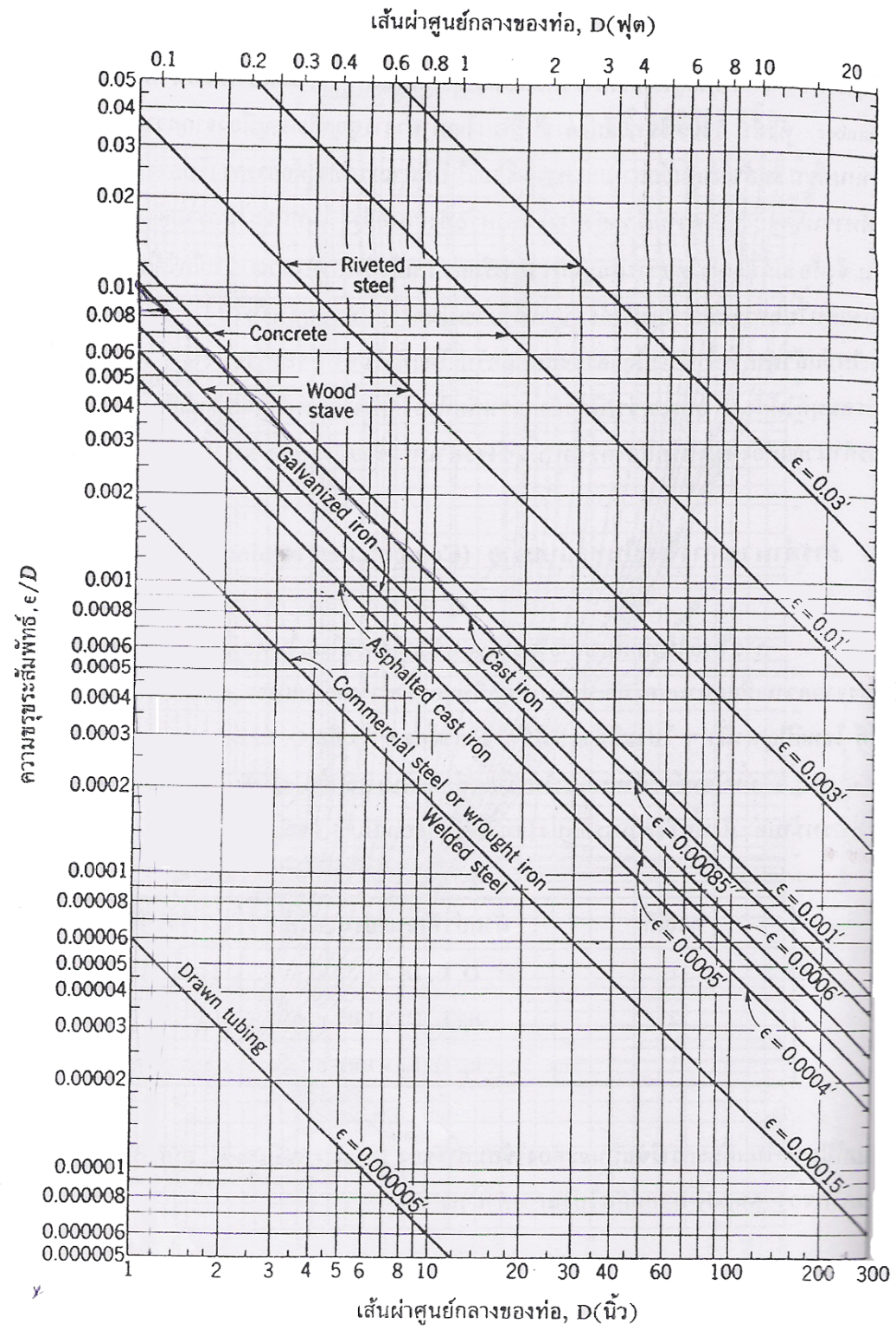
ชนิดของท่อ	**ความขรุขระสัมบูรณ์ (ε)**	
	ฟุต	**มม.**
1) ท่อทองเหลือง ท่อดีบุก หลอดแก้วที่ได้จากการรีด ท่อซีเมนต์ที่หล่อ โดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และท่อที่เคลือบภายในด้วย bituminous	0.00005	0.0015
2) ท่อเหล็กกล้าหรือเหล็กเหนียวตามท้องตลาด	0.00015	0.046
3) ท่อเหล็กกล้าที่ขึ้นรูปด้วยการเชื่อม	0.00015	0.046
4) ท่อเหล็กหล่อที่เคลือบหรือฉาบด้วยยางมะตอย	0.004	0.12
5) ท่อเหล็กอาบสังกะสี	0.0005	0.15
6) ท่อเหล็กหล่อโดยเฉลี่ย	0.00085	0.25
7) ท่อไม้	0.0006 – 0.003	0.18 – 0.9
8) ท่อคอนกรีต	0.001 – 0.01	0.3 – 3.0
9) ท่อเหล็กกล้าที่ย้ำหมุด	0.003 – 0.03	0.9 – 9.0

ในกรณีที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ซึ่งค่า F จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ V2 แต่ไม่ขึ้นอยู่กับค่า Reynolds Number ดังนั้นค่าของ f อาจจะหามาจากการสมมติค่าความขรุขระสัมพันธ์ โจทย์ ปัญหาทั่วไป ที่อยู่ในช่วงการไหลแบบเปลี่ยนค่า f จะแปรเปลี่ยนไปตามค่าของ Reynolds Number ดังนั้นหากโจทย์ ต้องการให้คำนวณหาค่าการสูญเสียเฮดเนื่องจากความเสียดทานภายในท่อที่กำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความเร็วมาให้ ก็สามารถทำได้อย่างตรงไปตรงมา แต้ถ้าโจทย์ต้องการให้หาขนาดของท่อ ความเร็วของการไหล หรือทั้งสองอย่าง ในที่นี้จะไม่ทราบค่า

Reynolds Number ดังนั้นจึงต้องแก้โดยการสมมติค่า R หรือค่า f แล้วทำการคำนวณ ซึ่งเมื่อได้ผลออกมาแล้วจำเป็นจะต้องกลับไปตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นตรงกับที่สมมติหรือไม่ ถ้าหากไม่ตรงก็ต้องสมมติขึ้นมาใหม่แล้วทำการคำนวณและตรวจสอบต่อไป โดยทั่วไปค่า f จะอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.07 ดังนั้น จึงควรสมมติให้ค่า f อยู่ระหว่างพิสัยดังกล่าวเพื่อที่จะได้ค่าจากการคำนวณใกล้เคียงกับค่าที่สมมติ ภายในการคำนวณเพียงหนึ่งหรือสองครั้งเท่านั้นซึ่งสามารถช่วยประหยัดเวลาได้อย่างมาก


Values of (VD") for Water at 60 °F (Velocity in ft/sec x Diameter in inches)
Values of (VD") for Atmospheric Air at 60 °F
Laminar Flow
Critical Zone
Transition Zone
Complete Turbulence, Rough Pipes
Laminar Flow
Smooth Pipes
R_{CR}
$\frac{h_f}{\left(\frac{L}{D}\right)\frac{V^2}{2g}}$
แฟกเตอร์ความเสียดทาน, f =
ความขรุขระสัมพัทธ์ $\frac{\varepsilon}{D}$
Reynolds Number, $R = \frac{VD}{\nu}$

รูปที่ 2.4 แผนภาพของ Moody [Moss, 1990]



รูปที่ 2.5 แผนภาพค่าขรุขระสัมบูรณ์(หน่วยเป็นฟุต) และความขรุขระสัมพัทธ์ท่อที่มีขายตามท้องตลาด [Daugherty, 1989]

2.2.2 การสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ท่อ (Loss in pipe fittings)

อุปกรณ์ท่อหมายถึง ส่วนต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการติดตั้งระบบท่อ เช่น ข้อต่อต่างๆ ข้องอ วาล์ว และประตูน้ำ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของการไหลดังนั้นการสูญเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ท่อจึงสามารถระบุได้ในรูปของ

$$h_L = k\,(V^2/2g) \qquad (2.24)$$

โดยที่ v คือความเร็วในท่อซึ่งมีขนาดเท่ากับอุปกรณ์นั้นๆ และ k คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียเฮดของอุปกรณ์ท่อซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 อนึ่งบางกรณีในตารางที่ 2.2 นั้นอาจระบุการสูญเสียเฮดในรูปของ E_L หรือ h_v ซึ่งก็คือ h_L ในสมการที่ (2.24) นั่นเองและค่า ในตารางที่ 2.2 นั้นมีหน่วยเป็นฟุต

การสูญเสียรอง อาจระบุในรูปของความยาวท่อสมมูลย์ (Equivalent length; $L_{e)}$ ของท่อขนาดต่างๆ ความยาวท่อสมมูลย์คือความยาวของท่อซึ่งมีการสูญเสียเฮดเท่ากับการสูญเสียรองต่างๆ หรือการสูญเสียหลัก นั่นคือ

$$L_e = KD / f \qquad (2.25)$$

โดยที่ คือความยาวท่อสมมูลย์ของท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง D ส่วน K คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียเฮดอย่างเดียวหรือหลายๆอย่างรวมกัน และ f คือ แฟคเตอร์ความเสียดทานของท่อ

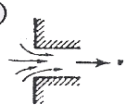
ในกรณีที่การสูญเสียรองมีค่าที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้ไม่อาจละเลยได้ในการนำมาคิดคำนวณ อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีสามารถตัดการสูญเสียรองทิ้งได้เมื่อ

1) การสูญเสียรองทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 5 % ของการสูญเสียเฮด เนื่องจากความเสียดทานในท่อ เพราะตามปกติในการคำนวณหาการสูญเสียหลักนั้น จะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5 % ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องรวมการสูญเสียรองเข้าไป

2) โดยทั่วไป อาจจะตัดการสูญเสียรองทิ้งไปได้เมื่อระยะระหว่างตำแหน่งของอุปกรณ์ท่อที่ทำให้เกิดการสูญเสียรองนั้นมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์การสูญเสียเฮดของอุปกรณ์ท่อต่างๆ [Simon, 1981]

Use the equation $h_L = kv^2/2g$ unless otherwise indicated. Energy loss E_L equals h_L, head loss in feet.

① 

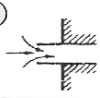
Perpendicular square entrance:

$k = 0.50$ if edge is sharp.

②

Perpendicular rounded entrance:

$R/d =$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
$k =$	0.25	0.17	0.08	0.05	0.04

③ 

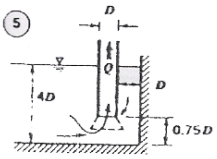
Perpendicular reentrant entrance:

$k = 0.8$

④

Additional loss due to skewed entrance:

$$k = 0.505 + 0.303 \sin \alpha + 0.226 \sin^2 \alpha$$

⑤ 

Suction pipe in sump with conical mouthpiece:

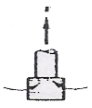
$$E_L = D + \frac{5.6Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Without mouthpiece:

$$E_L = 0.53D + \frac{4Q}{\sqrt{2g}D^{1.5}} - \frac{v^2}{2g}$$

Width of sump shown: $3.5D$

(After I. Vágás)

⑥ 

Strainer bucket:

$k = 10$ with foot valve

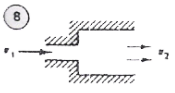
$k = 5.5$ without foot valve

(By Agroskin)

⑦

Standard Tee, entrance to minor line

$k = 1.8$

⑧ 

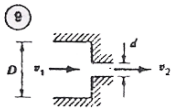
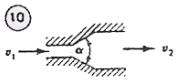
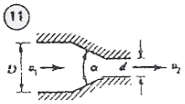
Sudden expansion:

$$E_L = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$$

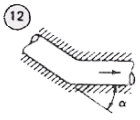
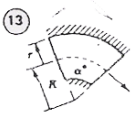
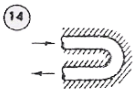
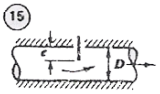
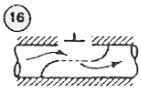
or

$$E_L = \left(\frac{v_1}{v_2} - 1\right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$$

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)สัมประสิทธิ์การสูญเสียเฮดของอุปกรณ์ท่อต่างๆ

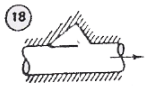
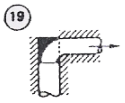
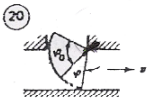
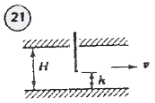
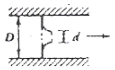
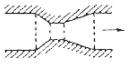
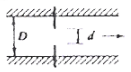
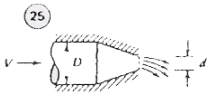
(9) 	**Sudden contraction:** $(d/D)^2 =$ 0.01 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 $k =$ 0.5 | 0.5 | 0.42 | 0.33 | 0.25 | 0.15 use v_2 in equation (4.15)
(10) 	**Diffusor:** $E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$ $\alpha° =$ 20 | 40 | 60 | 80 $k =$ 0.20 | 0.28 | 0.32 | 0.35
(11) 	**Confusor:** $E_L = k(v_1^2 - v_2^2)/2g$

$\alpha° =$	6	10	20	40	60	80	100	120	140
k for $D = 3d$	0.12	0.16	0.39	0.80	1.0	1.06	1.04	1.04	1.04
$D = 1.5d$	0.12	0.16	0.39	0.96	1.22	1.16	1.10	1.06	1.04

(12) 	**Sharp elbow:** $k = 67.6 \times 10^{-6}(\alpha°)^{2.17}$ (By Gibson)
(13) 	**Bends:** $k = (0.13 + 1.85(r/R)^{3.5})\sqrt{\alpha°/180°}$ (By Hinds)
(14) 	**Close return bend:** $k = 2.2$
(15) 	**Gate valve:** $e/D =$ 0 | 1/4 | 3/8 | 1/2 | 5/8 | 3/4 | 7/8 $k =$ 0.15 | 0.26 | 0.81 | 2.06 | 5.52 | 17.0 | 97.8
(16) 	**Globe valve:** $k = 10$ when fully open

Rotary valve:

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) สัมประสิทธิ์การสูญเสียเฮดของอุปกรณ์ท่อต่างๆ

(18) 	Check valves: Swing type $k = 2.5$ when fully open Ball type $k = 70.0$ Lift type $k = 12.0$	
(19) 	Angle valve: $k = 5.0$ if fully open	
(20) 	Segment gate in rectangular conduit: $k = 0.3 + 1.3\left[\left(\frac{1}{n}\right)\right]^2$ where $n = \varphi/\varphi_0$ = the rate of opening with respect to the central angle. (By Abelyev)	
(21) 	Sluice gate in rectangular conduit: $k = 0.3 + 1.9\left[\left(\frac{1}{n}\right) - n\right]^2$ where $n = h/H$. (By Burkov)	
(22) 	Measuring nozzle: $E_L = 0.3\,\Delta p$ for $d = 0.8D$ $E_L = 0.95\,\Delta p$ for $d = 0.2D$ where Δp is the measured pressure drop. (By A.S.M.E.)	
(23) 	Venturi meter: $E_L = 0.1\,\Delta p$ to $0.2\,\Delta p$ where Δp is the measured pressure drop.	
(24) 	Measuring orifice, square edged: $E_L = \Delta p\left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)$ where Δp is the measured pressure drop.	
(25) 	Confusor outlet: $d/D = \mid 0.5 \mid 0.6 \mid 0.8 \mid 0.9 \mid$ $k = \mid 5.5 \mid .4 \mid 2.55 \mid 1.1 \mid$ (By Mostkov)	