Chapter 10: การไหลในท่อ

10.1 การสูญเสียกำลังงานในท่อ (h_L)

ในระหว่างการไหลในท่อจะเกิดความต้านทาน อันเนื่องมาจากแรงเสียดทานของผิวท่อ อันเนื่องมาจากความขรุขระของผิวท่อ และความสูญสียอันเนื่องมาจากการไหลผ่านอุปกรณ์ พวก ข้อต่อ วาล์ว หาก ทราบความสญเสียที่เกิดขึ้น จะทำให้สามารถคำนวณหากำลังที่ต้องทำให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านท่อไปได้ ขนาดของท่อ หรืออัตราการไหลที่ปลายท่อต่างๆได้

การสูญเสียระหว่างการไหลในระบบท่อและอุปกรณ์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ก)การสูญเสียหลัก (major loss)

เกิดจากความเสียดทานของผิวท่อ ความยาวท่อ และความเร็วในการไหล

ข) การสูญเสียรอง (minor loss)

เกิดจากการสูญเสียเมื่อของไหลไหลผ่านอุปกรณ์ เช่นข้อต่อ วาล์ว ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดในระหว่างการไหลผ่าน

10.2 เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re)

เป็นตัวแปรไร้มิติ ไม่มีหน่วย หาได้จากอัตราส่วนของแรงเนื่องจากความเฉื่อยต่อแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล ใช้เป็นเกณฑ์การแบ่งแยกลักษณะการไหลว่าเป็นแบบราบเรียบ (laminar flow) หรือไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

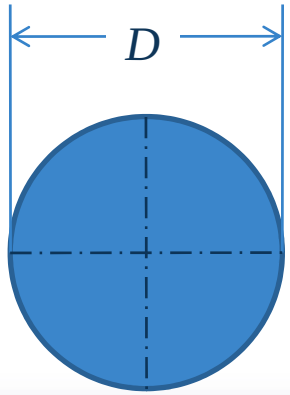
<u>สำหรับการไหลในท่อแล้ว</u>

หาก Re< 2,000 จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ

หาก Re> 2,000 จะเริ่มเป็นการไหลแบบปั่นป่วนผสมกับการไหลแบบราบเรียบ

หาก Re> 4,000 จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

10.2.1 การหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) สำหรับการไหลในท่อ



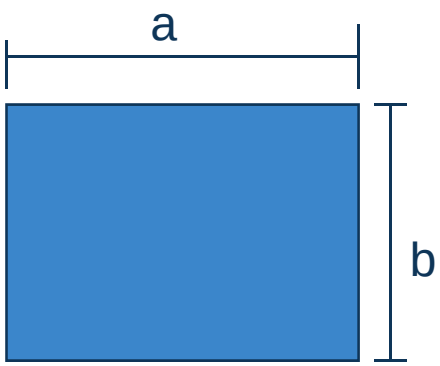
ก) สำหรับการไหลในท่อกลม

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

ข) สำหรับการไหลในท่อไม่กลม $\mathrm{Re} = \frac{\rho V D_h}{\mu} = \frac{V D_h}{\nu}$

เมื่อ ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเสมือนเสมือน (D_h) คือ

$$D_h = \frac{4 \times cross\,section\,area\,of\ the\,duct}{perimeter\,of\ duct\,in\,contact\,with\ fluiid} = \frac{4A}{P}$$



10.3 แฟคเตอร์ความสียดทาน (f)

- เป็นแฟคเตอร์ที่ไม่มีหน่วย ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าการสูญเสียหลัก
- แฟคเตอร์ความเสียดทาน (f) แปรผกผันกับค่า Re

10.3.1 แฟคเตอร์ความเสียดทานสำหรับการไหลแบบราบเรียบ

หาก Re< 2,000

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

10.3.2 แฟคเตอร์ความเสียดทานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

ให้ทำการหาค่า f จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f และ Re โดยที่ต้องทราบค่าอัตราส่วนความขรุขระต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (e/D) ดังมีลำดับในการหาต่อไปนี้

การหาค่า f สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน

1) หาค่า Re หากมากกว่า 2, 000 ให้

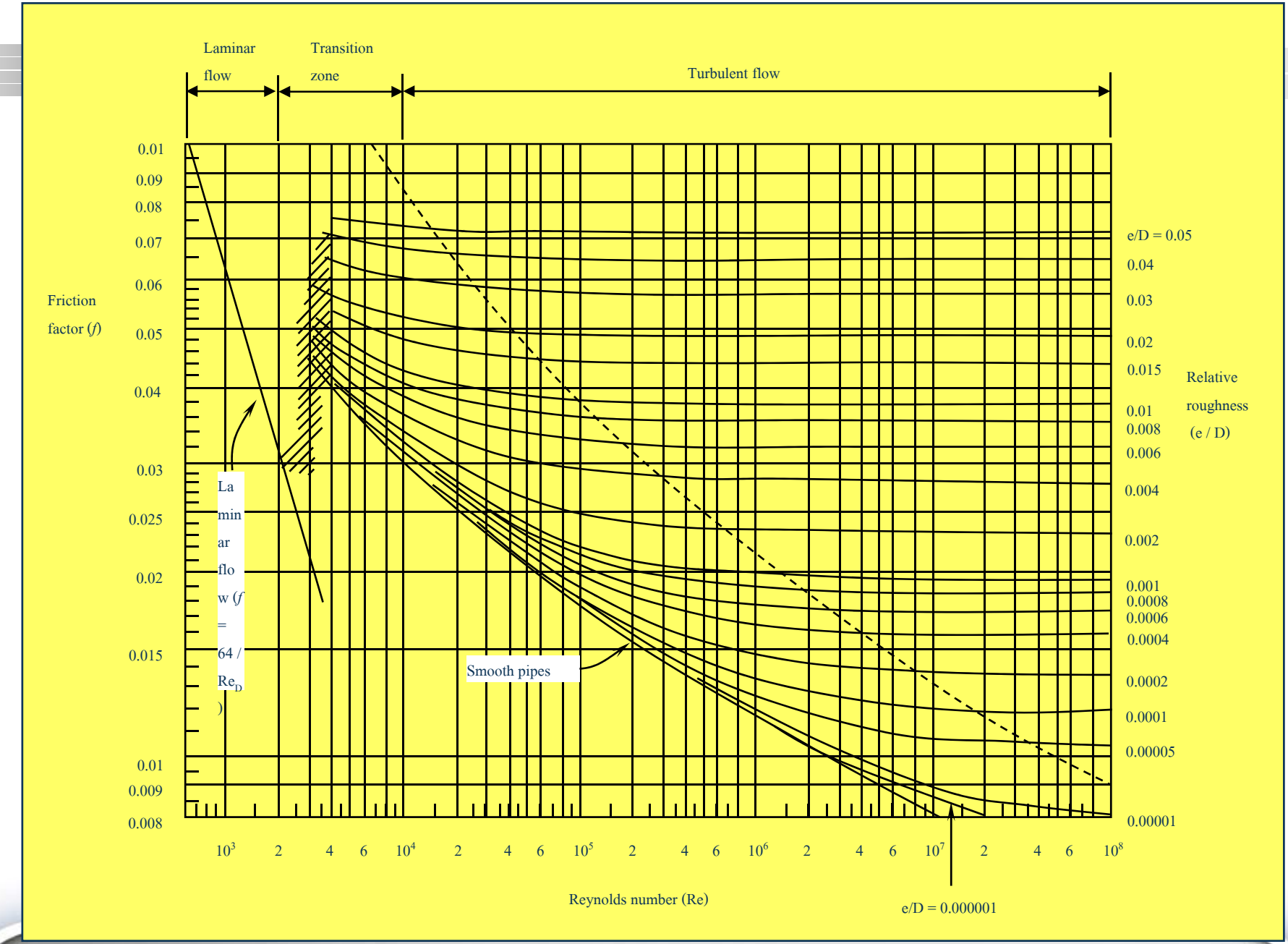
2) หาค่าความขรุขระท่อ e จากวัสดุที่ทำท่อ (ตารางค่าความขรุขระ)

ความขรุขระของท่อ

ชนิดของวัสดุ	ความขรุขระ(e) mm
เหล็กหล่อ	0.254
เหล็กกัลวาไนซ์	0.152
เหล็กเคลือบยางมะตอย	0.127
แผ่นไม้	0.061
คอนกรีต	0.122
แผ่นเหล็กเหนียวย้ำด้วยหมุดย้ำ	0.183
ทองเหลือง	0.0015
ทองแดง	0.0015

3) หาอัตราส่วน e/D (ความขรุขระ/ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ)

4) หาค่า f จากกราฟเมื่อทราบ Re และ e/D


Laminar flow
Transition zone
Turbulent flow
Friction factor (f)
0.01
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.025
0.02
0.015
0.01
0.009
0.008
Laminar flow (f = 64 / Re_D)
Smooth pipes
e/D = 0.05
0.04
0.03
0.02
0.015
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0.001
0.0008
0.0006
0.0004
0.0002
0.0001
0.00005
0.00001
Relative roughness (e / D)
10^3 2 4 6 10^4 2 4 6 10^5 2 4 6 10^6 2 4 6 10^7 2 4 6 10^8
Reynolds number (Re)
e/D = 0.000001

LOGO

10.4 การหาค่าการสูญเสียหลัก ($h_{L,major}$)

$$h_{L,major} = f \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g}$$

สำหรับท่อกลม $D_h = D$

$$h_{L,major} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ

$h_{L,major}$	= *ค่าการสูญเสียหลัก [m]*
f	= *แฟคเตอร์ความเสียดทาน*
L	= *ความยาวท่อ [m]*
D	= *เส้นผ่าศูนย์กลางท่อกลม [m]*
D_h	= *เส้นผ่าศูนย์กลางท่อเสมือน [m]*
V	= *ความเร็วในการไหล [m/s]*
g	= *ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก [m/s^2]*

10.4 การหาค่าการสูญเสียรอง ($h_{L,minor}$)

$$h_{L,\min or} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ $h_{L,minor}$ = *ค่าการสูญเสียรอง [m]*

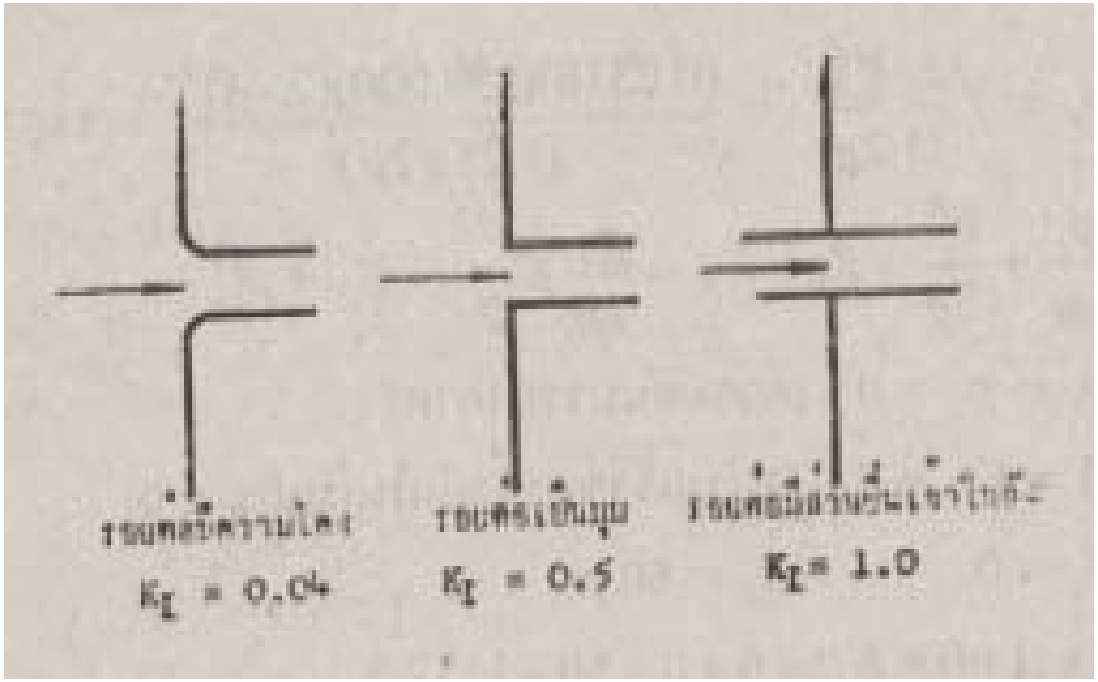
K_L = *สัมประสิทธิ์การสูญเสียของอุปกรณ์*

V = *ความเร็วในการไหล [m/s]*

g = *ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก [m/s^2]*

โดยการหาค่า K_L นั้นขึ้นอยู่กับ อุปกรณ์ที่ไหลผ่านและ ความเร็วที่ไหลผ่านมีหลักการหาดังนี้

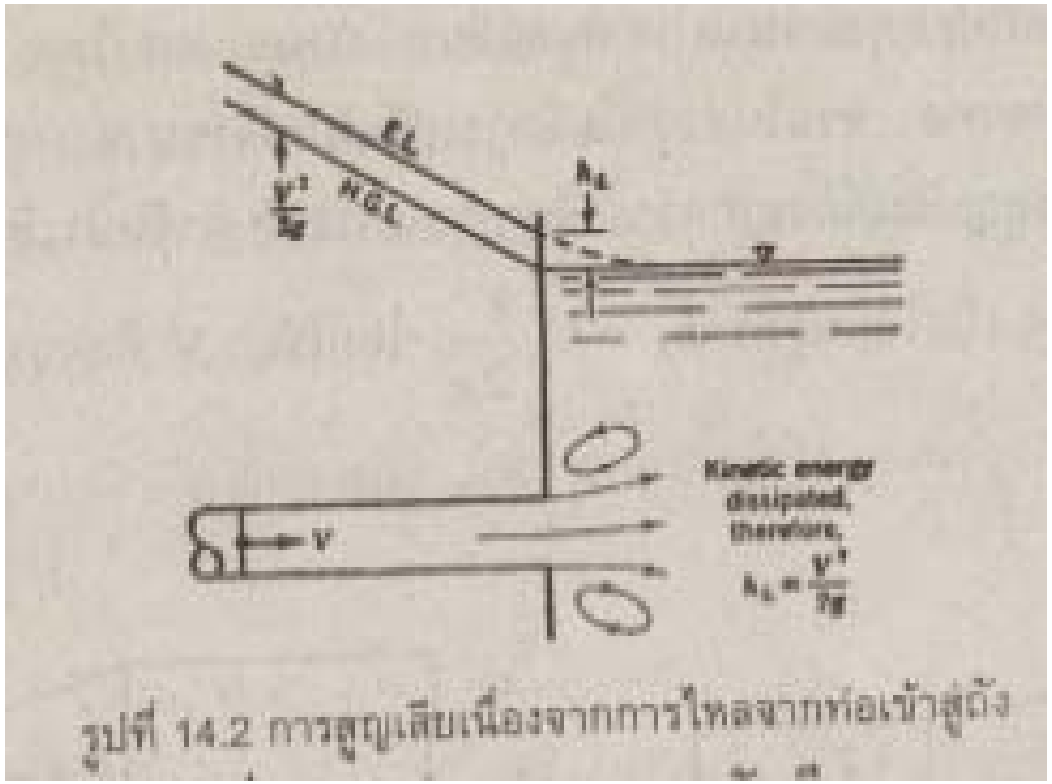
10.4.1 การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลจากถังเข้าสู่ท่อ



$$h_{L,\min or} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ V = ความเร็วในการไหลในท่อ $[m/s]$

10.4.2 การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง



รูปที่ 14.2 การสูญเสียเนื่องจากการไหลจากท่อเข้าสู่ถัง

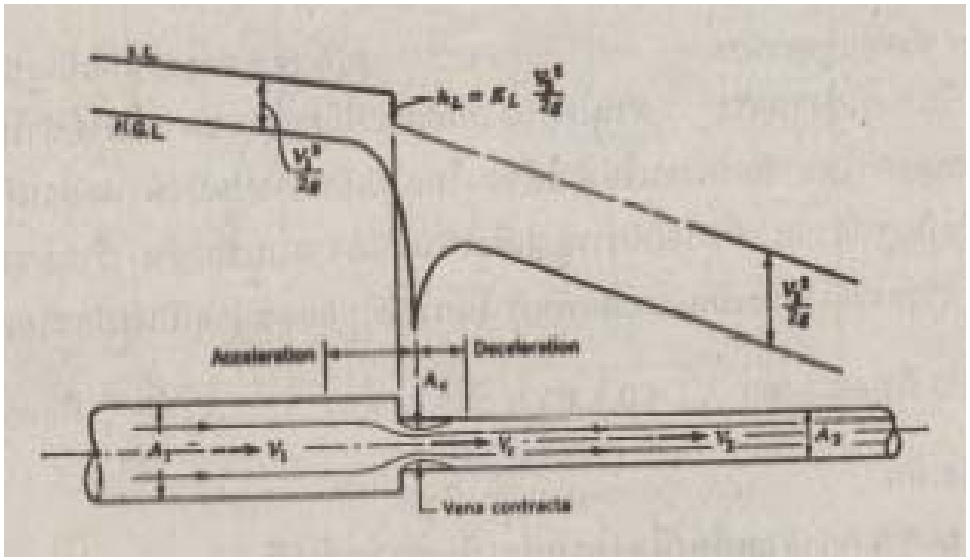
$$h_{L,\min or} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

$$K_L = 1$$

$$h_{L,\min or} = \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ V = *ความเร็วในการไหลในท่อ* $[m/s]$

10.4.3 การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลในท่อที่มีการลดขนาดทันที



$$h_{L,\min or} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ V = *ความเร็วในการไหลในท่อที่เล็กกว่า* $[m/s]$

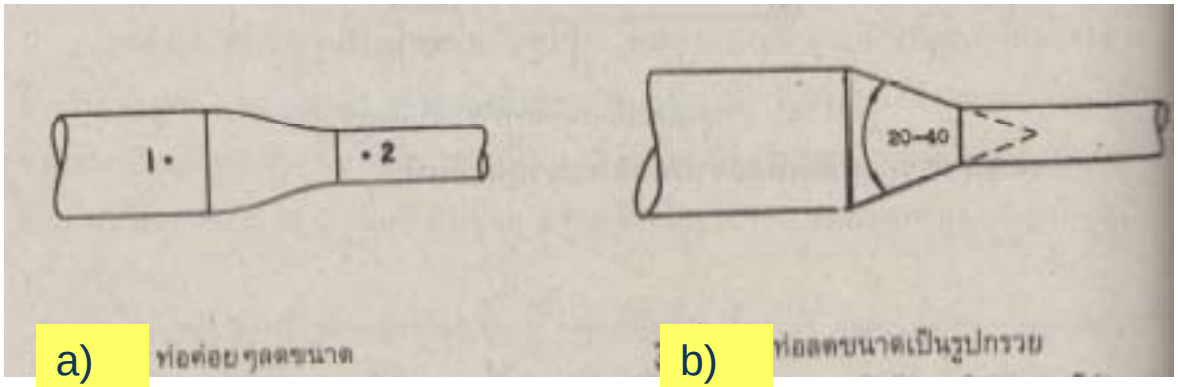
K_L *ให้หาค่าจากตารางเมื่อทราบอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด* A_2/A_1

ตารางที่ 15

ค่า K_L ของท่อลดขนาด

A_2/A_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
K_L	0.50	0.46	0.41	0.36	0.30	0.24	0.18	0.12	0.06	0.02

10.4.4 การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลในท่อที่ค่อยๆลดขนาด



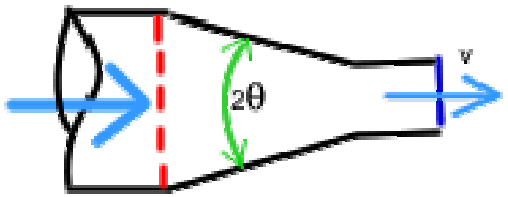
$$h_{L,\min or} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ V = ความเร็วในการไหลในท่อที่เล็กกว่า [m/s]

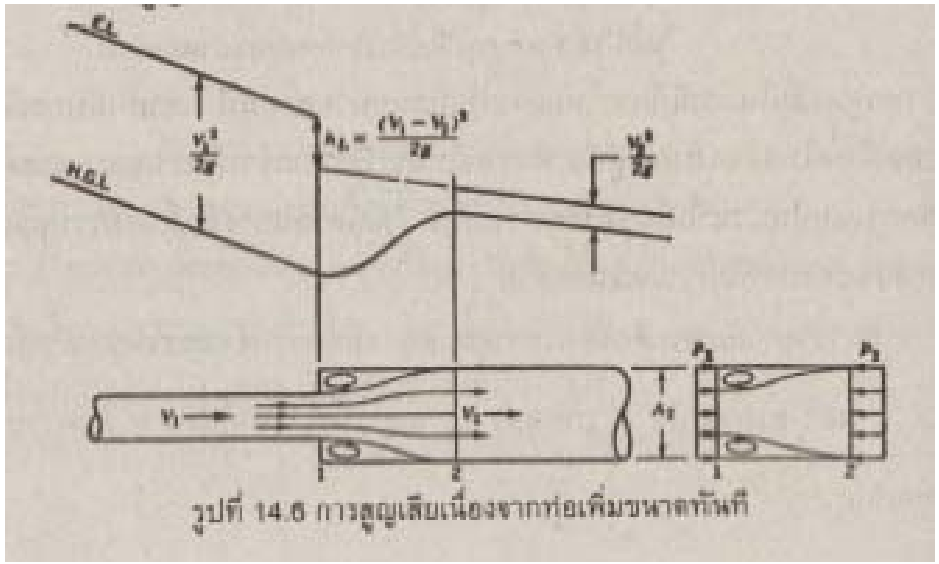
K_L =0.04 หากการลดขนาดเป็นดังรูป a)

หากการลดขนาดเป็นดังรูป b) ซึ่งเป็นการลดโดยใช้ข้อต่อลด

มุมข้อลดขนาดรูปกรวย= 2θ	ค่า K ในกรณีที่ท่อลดขนาดทีละน้อย
30	0.02
45	0.04
60	0.07



10.4.5 การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลในท่อที่มีการเพิ่มขนาดทันที



รูปที่ 14.6 การสูญเสียเนื่องจากท่อเพิ่มขนาดทันที

$$h_{L,\min or} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

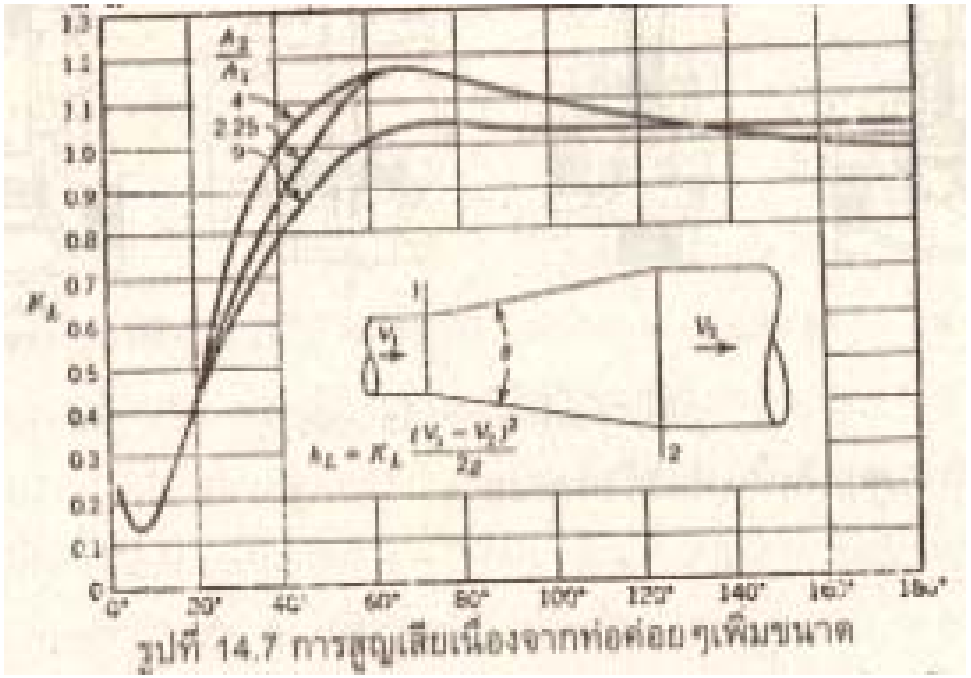
เมื่อ $V = V_1 - V_2$ = *ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงในการไหล* $[m/s]$

$K_L = 1$

$$h_{L,\min or} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

เมื่อ $V_1 > V_2$

10.4.6 การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลในท่อที่ค่อยๆเพิ่มขนาด



รูปที่ 14.7 การสูญเสียเนื่องจากท่อค่อย ๆเพิ่มขนาด

$$h_{L,\min or} = K_L \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

เมื่อ $V_1 > V_2$

เมื่อ $V = V_1 - V_2$ = ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงในการไหล $[m/s]$

K_L หาจากกราฟเมื่อรู้ค่า มุมกรวยเพิ่มขนาด (θ) และค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด A_2/A_1

10.4.7 การสูญเสียรองเนื่องจากการไหลผ่านข้องอ สามทางและวาล์ว

ตารางที่ 14

ค่า K_L ของข้อต่อแบบต่าง ๆ

ชนิดของวาวล์และข้อต่อ			K_L
ข้อต่อ 90 องศา			0.9
ข้อต่อ 45 องศา			0.4
เข้าสู่ท่อแยกรูปตัว T			0.4
ออกจากท่อแยกรูปตัว T			1.8
โกลบวาวล์	เปิด	100%	10
	เปิด	75%	11
	เปิด	50%	12.5
เกทวาวล์	เปิด	100%	0.2
	เปิด	75%	1
	เปิด	50%	5
	เปิด	25%	24
ฟูทวาวล์	ยิ้ง		1.5
	ลิฟท์		10
เช็ควาวล์	ยิ้ง		2.5
	บอล		4
	ลิฟท์		15

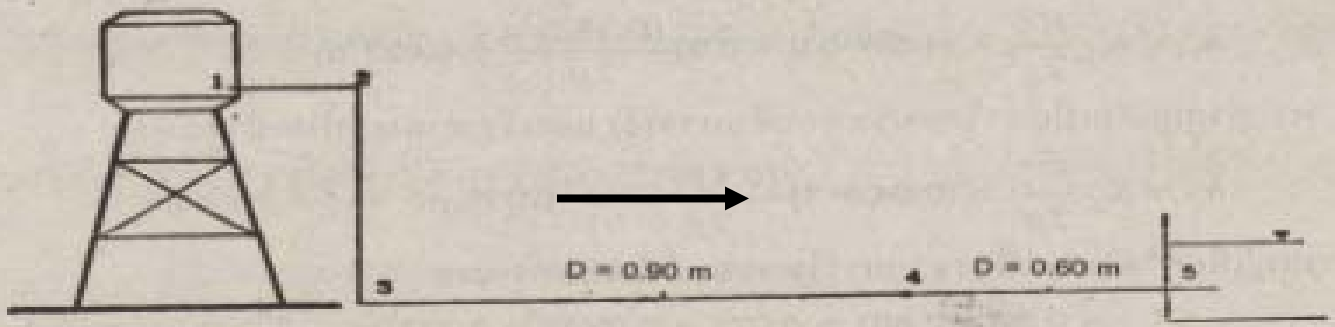
$$h_{L,\min or} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ V= *ความเร็วในการไหลผ่านอุปกรณ์* $[m/s]$

K_L *หาจากตาราง*

ตัวอย่าง

EX 10.1 จงหาความสูญเสียกำลังงานเนื่องจากการไหลของน้ำผ่านท่อคอนกรีต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 m ซึ่งมีค่า e = 3 mm ยาว = 3000 m และผ่านท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 m ยาว 1500 m ข้อต่อระหว่างท่อทั้งสองนี้ มีมุม θ = 60 องศา น้ำไหลด้วยอัตราการไหล 0.243 m^3/s และผ่านท่ออื่นๆดังรูป



หมายเลข 1 คือ รอยต่อที่มีการยื่นท่อเข้าในถัง

หมายเลข 2, 3 คือ ข้อต่อ 90 องศา

หมายเลข 4 คือ ข้อต่อลดขนาด θ = 60 องศา

หมายเลข 5 คือ ปลายท่อที่ยื่นเข้าในถังเก็บ

- คำนวณหาค่าความเร็วในท่อต่างๆจากอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่กำหนดให้

$V_{1=}$ ความเร็วในท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 m

$V_{2 =}$ ความเร็วในท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 m

- อัตราการไหลเชิงปริมาตร $=V_1A_1=V_2A_2$
- V_1= อัตราการไหลเชิงปริมาตร / A_1
- V_2= อัตราการไหลเชิงปริมาตร / A_2

- หาการสูญเสียของท่อและอุปกรณ์ของท่อ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 m
- ค่าการสูญเสียหลัก

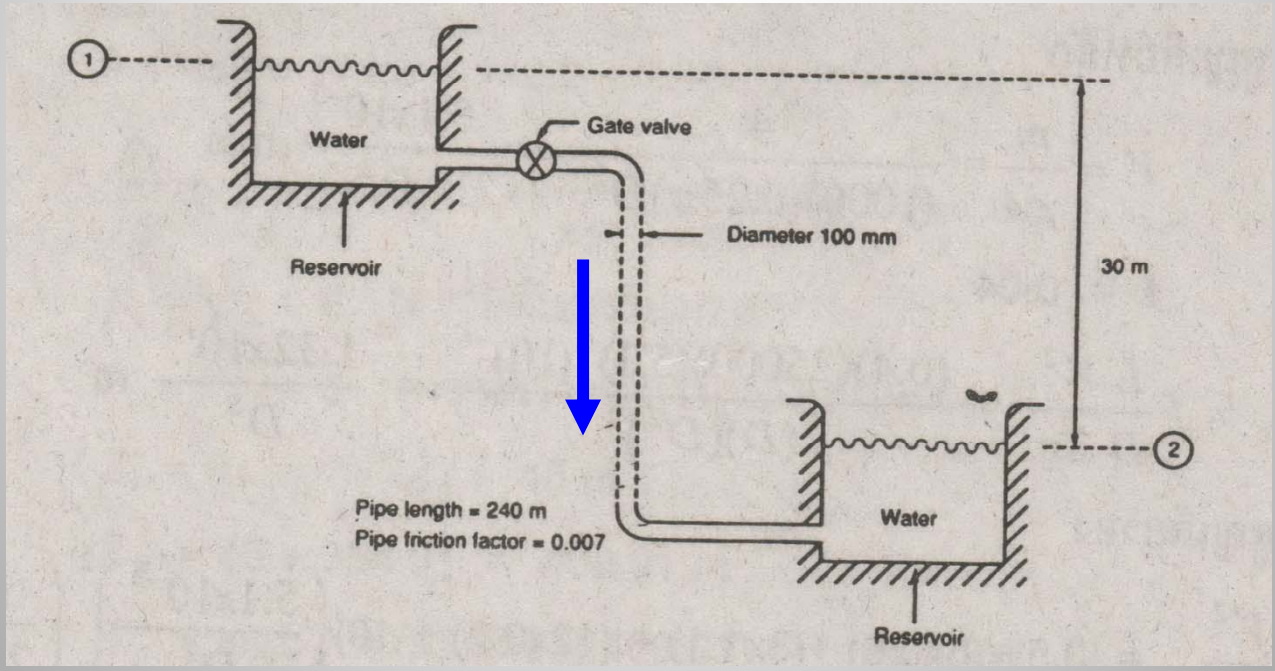
$$h_{L,major} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

- ค่าการสูญเสียรอง

$$h_{L,\min or} = K_L \frac{V^2}{2g}$$

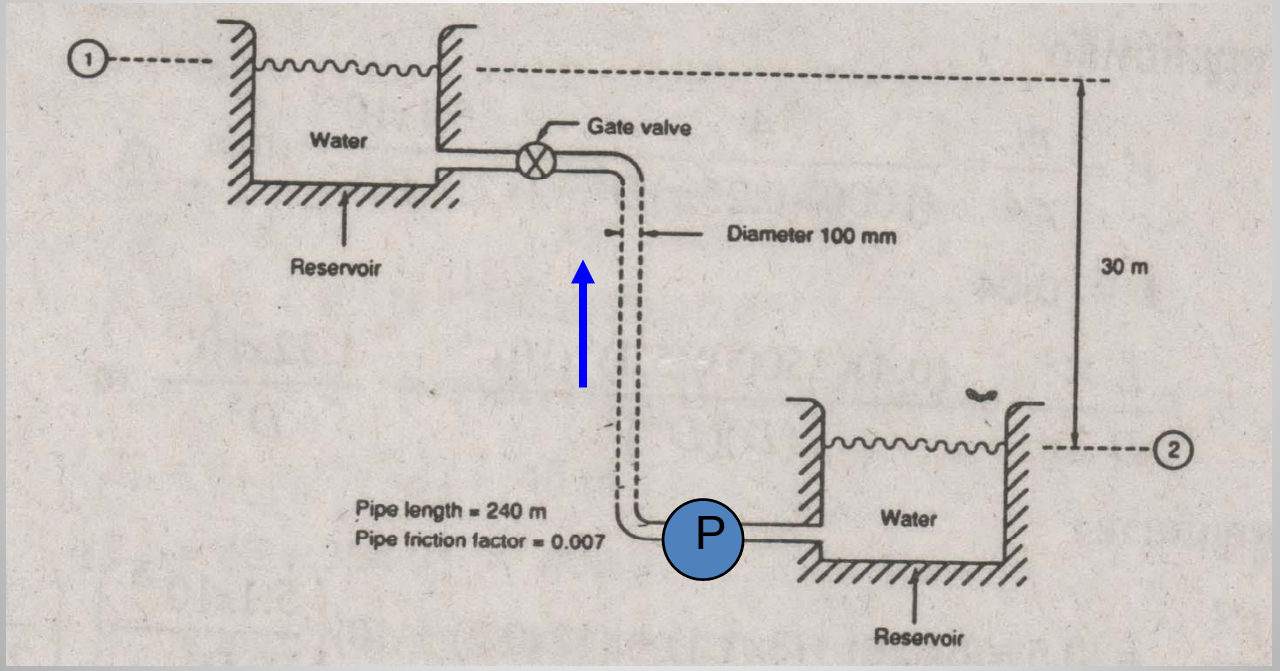
EX 10.2

- ถังเก็บน้ำสองถังต่อถึงกันด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm ยาว 240 m ระดับความสูงแตกต่างของถังทั้งสองเท่ากับ 30 m กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานของท่อเท่ากับ 0.028 จงหาปริมาณการไหลของน้ำในท่อ ค่าการสูญเสียรอง โดยที่ใกล้ทางออกของถังน้ำถังบนมีเกทวาล์วเปิดเต็มที่อยู่หนึ่งตัว



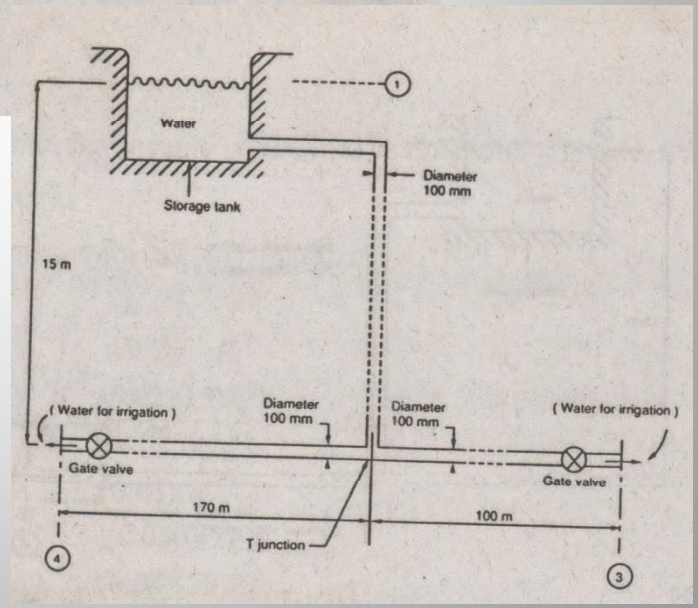
EX 10.3

- จากตัวอย่าง 10.2 หากต้องการปั๊มน้ำจากถังใบล่างขึ้นสู่ถังด้านบนต้องใช้กำลังของปั๊มขนาดเท่าใด



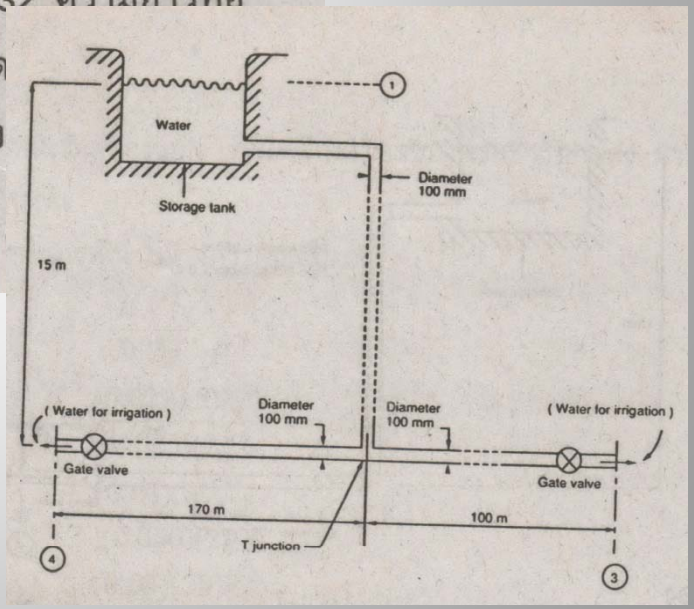
EX 10.4

14.9 เกษตรกรเก็บน้ำไว้ในถังเก็บขนาดใหญ่ตั้งอยู่บนหอสูง ระดับของน้ำในถังอยู่สูงกว่าพื้น 15 m จากถังมีท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อ 0.04 ต่อน้ำลงมาเพื่อใช้งาน ที่ตำแหน่งความยาวท่อ 150 m มีการแยกน้ำออกเป็นสองทางด้วยข้อต่อสามทาง ทางหนึ่งต่อไปยังแปลงพืชสวน ด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.04 ความยาวท่อ 100 m อีกทางหนึ่งต่อไปยังแปลงพืชไร่ด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.032 ความยาวท่อ 170 m โดยที่ปลายท่อทั้งสองมีเกทวาวล์ติดตั้งอยู่ท่อละหนึ่งตัว เมื่อเปิดวาวล์ที่ปลายท่อแปลงพืชไร่และแปลงพืชสวนพร้อมกัน จงหาปริมาณการไหลของน้ำจากถังเก็บ, ปริมาณน้ำที่จ่ายที่แปลงพืชไร่ และปริมาณน้ำที่จ่ายที่แปลงพืชสวน



การบ้าน

14.9 เกษตรกรเก็บน้ำไว้ในถังเก็บขนาดใหญ่ตั้งอยู่บนหอสูง ระดับของน้ำในถังอยู่สูงกว่าพื้น 15 m จากถังมีท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อ 0.04 ต่อน้ำลงมาเพื่อใช้งาน ที่ตำแหน่งความยาวท่อ 150 m มีการแยกน้ำออกเป็นสองทางด้วยข้อต่อสามทาง ทางหนึ่งต่อไปยังแปลงพืชสวน ด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.04 ความยาวท่อ 100 m อีกทางหนึ่งต่อไปยังแปลงพืชไร่ด้วยท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.032 ความยาวท่อ 170 m โดยที่ปลายท่อทั้งสองมีเกทวาวล์ติดตั้งอยู่ท่อละหนึ่งตัว เมื่อเปิดแปลงพืชไร่และแปลงพืชสวนพร้อมกัน จงหาปริมาณการไหลของน้ำจากถังที่จ่ายที่แปลงพืชไร่ และปริมาณน้ำที่จ่ายที่แปลงพืชสวน



www.themegallery.com

- น้ำมันถูกปั๊มด้วยอัตราการไหล 2400 kg/s จากถังเก็บที่ชายฝั่ง ไปยังโรงกลั่นที่อยู่ห่างไป 150 km ผ่านท่อเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 m เป็นระยะทาง 75 km และท่อเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 m เป็นระยะทาง 75 km หากถังที่โรงกลั่นอยู่สูงกว่าถังที่ชายฝั่ง เท่ากับ 40 m กำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำมันเท่ากับ 800 kg/m^3 ค่าความหนืด 0.25 kg/m.s จงหากำลังปั๊มที่ต้องใช้ในการส่งน้ำมัน

www.themegallery.com

- ต้องการส่งน้ำจากถังเก็บน้ำใต้ดินของอาคาร EN6 ขึ้นสู่ถังเก็บน้ำขนาด 3 m^3 ที่อยู่ด้านบนดาดฟ้าของอาคาร ซึ่งถังดังกล่าวติดตั้งอยู่สูงจากพื้นดาดฟ้าเท่ากับ 5 m อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.005 m^3/s กำหนดให้ท่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mmทั้งท่อทางดูดและท่อทางเข้า จงออกแบบการวางท่อดังกล่าว กำหนดให้ปั๊มที่ใช้ในการส่งน้ำมีประสิทธิภาพเท่ากับ 70% จงหาค่าการสูญเสียจากระบบท่อที่ได้ออกแบบ และคำนวณหากำลังของปั๊มที่ต้องใช้ส่งน้ำ

www.themegallery.com