ชื่อ ..... สกุล.....

รหัส.....

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2547

วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2547 เวลา 13:30-16:30 น

วิชา 220-341 กลศาสตร์ของไหล 2 (SECTION 01) ห้องสอบ R300

คำชี้แจง

1. ให้เขียน "ชื่อ-สกุล" และ "รหัส" ที่หัวกระดาษด้านขวามือที่หน้าแรกและเขียน "รหัส" ที่หัวกระดาษทุกหน้าที่เหลือ
2. ข้อสอบมีทั้งหมด 5 ข้อ รวม 110 คะแนน (คิดเป็นคะแนนเต็ม 100 คะแนน) ดังแสดงในตารางข้างล่าง
3. ข้อสอบมี 10 หน้า ไม่มีหน้าใดที่ไม่มีข้อความ ห้ามแกะหรือฉีกข้อสอบออกจากเล่ม
4. ห้ามนำเอกสารใดๆ เข้าห้องสอบ ทุจริตจะได้เกรด E ทุกกรณี
5. ห้ามหยิบหรือยืมสิ่งของใดๆ ของผู้อื่นในห้องสอบ
6. ถ้าพิจารณาเห็นว่าค่าตัวแปรหรือข้อสมมุติฐานต่างๆ ที่โจทย์กำหนดให้มายังไม่เพียงพอต่อการคำนวณ ให้สมมุติค่าขึ้นมาเองตามหลักการที่เหมาะสม และจะต้องเขียนข้อสมมุตินั้นลงในคำตอบด้วย

ตารางแสดงคะแนนการสอบปลายภาค

ข้อที่	ข้อย่อย	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	เนื้อหา
1	1.1	10		Kinematics of Fluid : Conduit Flow
	1.2	10		Kinematics of Fluid : Open Channel Flow
2	-	15		Exact Solution of Navier-Stokes Equation
3	3.1	10		Drawing Flow Net
	3.2	10		Potential Flow Theory
4	4.1	15		Boundary Layer Theory
	4.2	15		Turbulent Boundary Layer
5	5.1	10		Pipe Flow : Head Losses in Pipe
	5.2	15		Pipe Flow : Design of Pump
รวม	9	110		คิดคะแนนเต็ม 100 คะแนน (โบนัส 10 คะแนน)

ผู้ออกข้อสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พยอม รัตนมณี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

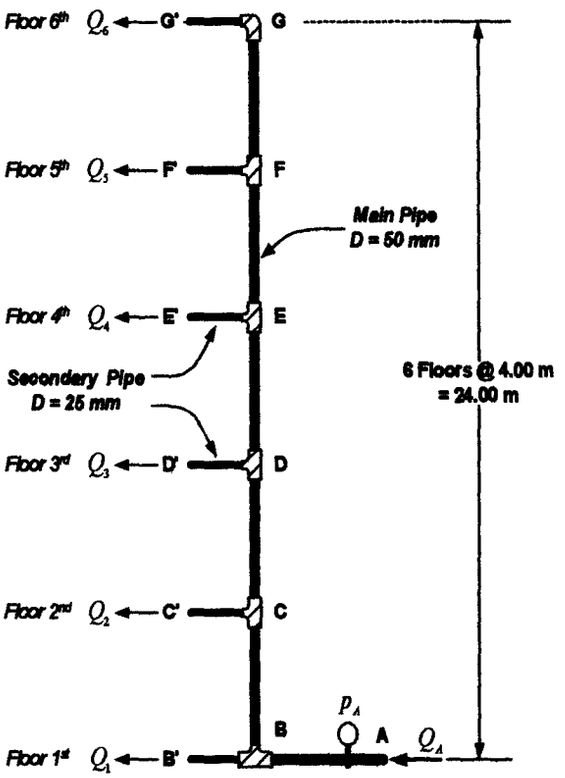
รหัส.....

ข้อที่ 1 (20 คะแนน) เพื่อทดสอบความรู้ความเข้าใจเรื่อง "จลนศาสตร์ของการไหล"

ข้อที่ 1.1 (10 คะแนน) สูบน้ำ (ρ = 1,000 kg/m^3) จากระดับพื้น (กำหนดให้เป็นจุด A มีค่าระดับ +0.00 m) ขึ้นอาคารสูง 6 ชั้น มีความสูงชั้นละ 4 เมตรเท่าๆ กัน ด้วยอัตราการไหล Q_A ขนาด 28.3 m^3/hr เข้าสู่ท่อหลัก (Main Pipe) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm จากนั้นจึงกระจายเข้าสู่ท่อรอง (Secondary Pipe) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ในอัตรา Q_1 = 7.4, Q_2 = 6.0, Q_3 = 5.2, Q_4 = 4.1 , และ Q_5 = 3.0 m^3/hr ดังแสดงในรูป ถ้ากำหนดให้ความดันที่จุด A เท่ากับ 250 kPa และสมมุติว่าการไหลในระบบท่อนี้ไม่มีการสูญเสียเฮด

(ก) จงคำนวณหาความดันที่จุด F'

(ข) แรงในแนวดิ่งที่กระทำต่อ "ข้อต่อ G"



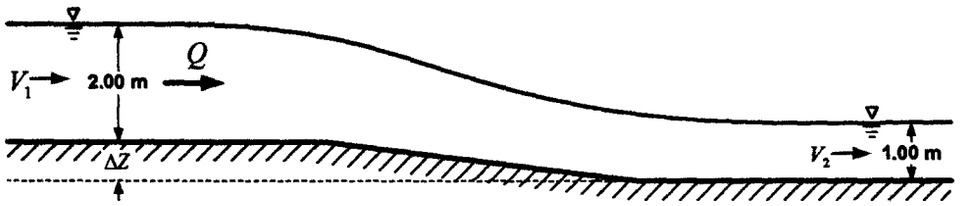
วิธีทำ

รหัส.....

ข้อที่ 1.2 (10 คะแนน) การไหลคงที่ในคลองต่างระดับสายหนึ่ง มีอัตราการไหล (Q) เท่ากับ 60 m^3/s ถ้าคลองช่วงแรกมีความกว้าง 15 m มีความลึกของการไหล 2 m ส่วนคลองช่วงที่สอง มีความกว้าง 12 m มีความลึกของการไหล 1 m และกำหนดให้การสูญเสียเฮด (Head Loss) ของการไหลเท่ากับ 0.25 m จงหา

(ก) ค่าระดับแตกต่างของท้องน้ำ (ΔZ)

(ข) ความเร็วของการไหลในคลองช่วงที่สอง (V_2)



วิธีทำ

รหัส.....

ข้อที่ 2 **(15 คะแนน)** เพื่อทดสอบความรู้ความเข้าใจเรื่อง "Exact Solution of Boundary Layer Equation"

คำตอบของสมการการไหลบริเวณชั้นขอบผิว (Boundary Layer Equation) ที่เสนอโดย Blasius (1908) ถือเป็นคำตอบโดยตรงที่มีความถูกต้องมากที่สุดวิธีหนึ่ง ในกรณีที่ $dp/dx = 0$ การหาคำตอบของ Blasius ได้กำหนดตัวแปรต่างๆ ขึ้นดังนี้

ให้ $\eta = y\sqrt{\frac{U_\infty}{\nu x}} = \frac{y}{x}R_x^{1/2}$ (A)

$\psi = \sqrt{2\nu U_\infty x}\, f(\eta)$ (B)

$u = U_\infty f'(\eta)$ (C)

$v = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{U_\infty \nu}{x}}(\eta f' - f)$ (D)

เมื่อ $f'(\eta) = \frac{df(\eta)}{d\eta} = \frac{u}{U_\infty}$ (E)

และ $f''(\eta) = \frac{d^2 f(\eta)}{d\eta^2}$ (F)

พบว่าได้คำตอบดังแสดงในตาราง

$\eta = y\sqrt{\frac{U_\infty}{\nu x}}$	f	$f' = \frac{u}{U_\infty}$	f''	$\frac{1}{2}(\eta f' - f)$
0.0	0.0000	0.0000	0.3321	0.0000
0.2	0.0066	0.0664	0.3320	0.0033
0.4	0.0266	0.1328	0.3315	0.0133
0.6	0.0597	0.1989	0.3301	0.0298
0.8	0.1061	0.2647	0.3274	0.0528
1.0	0.1656	0.3298	0.3230	0.0821
1.2	0.2380	0.3938	0.3166	0.1173
1.4	0.3230	0.4563	0.3079	0.1579
1.6	0.4203	0.5168	0.2967	0.2033
1.8	0.5295	0.5748	0.2829	0.2525
2.0	0.6500	0.6298	0.2668	0.3048
2.2	0.7812	0.6813	0.2484	0.3589
2.4	0.9223	0.7290	0.2281	0.4136
2.6	1.0725	0.7725	0.2065	0.4679
2.8	1.2310	0.8115	0.1840	0.5206
3.0	1.3968	0.8461	0.1614	0.5707
3.2	1.5691	0.8761	0.1391	0.6172
3.4	1.7470	0.9018	0.1179	0.6595
3.6	1.9295	0.9233	0.0981	0.6972
3.8	2.1161	0.9411	0.0801	0.7301
4.0	2.3058	0.9555	0.0642	0.7582
4.2	2.4981	0.9670	0.0505	0.7816
4.4	2.6924	0.9759	0.0390	0.8007
4.6	2.8883	0.9827	0.0295	0.8161
4.8	3.0853	0.9878	0.0219	0.8280
5.0	3.2833	0.9916	0.0159	0.8372
5.2	3.4819	0.9943	0.0113	0.8441
5.4	3.6809	0.9962	0.0079	0.8492
5.6	3.8803	0.9975	0.0054	0.8528
5.8	4.0799	0.9984	0.0037	0.8554
6.0	4.2796	0.9990	0.0024	0.8571
7.0	5.2793	0.9999	0.0002	0.8601
8.0	6.2792	1.0000	0.0000	0.8604
8.8	7.0792	1.0000	0.0000	0.8604

หลักการดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์เพื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำมัน SAE30 ที่อุณหภูมิ 20^0 C ($\rho = 888$ kg/m^3, $\nu = 0.50\times10^{-3}$ m^2/s) ที่ไหลด้วยความเร็ว 2.00 m/s ผ่านแผ่นวัตถุแผ่นบางและแบนเรียบ ที่มีความยาวตามแนวการไหล (L) เท่ากับ 4.00 m มีความกว้าง (W) เท่ากับ 1.2 m

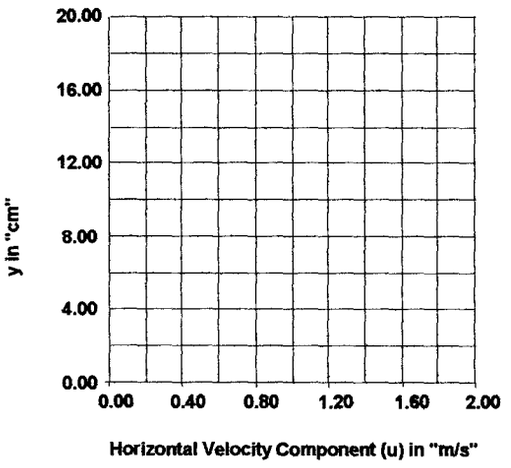
รหัส.....

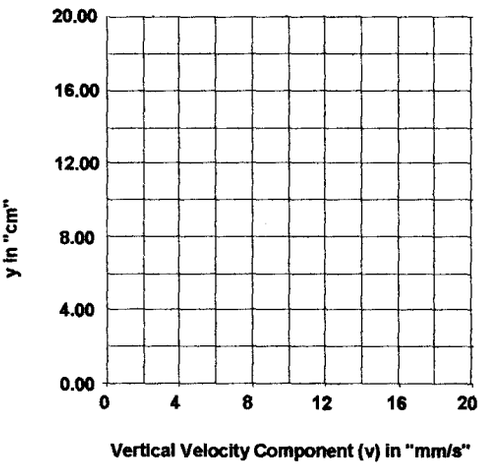
(ก) จงคำนวณหาความหนาของชั้นขอบผิว (δ) ที่ระยะ $x = 1.60$ m จากปลายเริ่มต้นของแผ่นวัตถุ

(ข) ที่ตำแหน่ง $x = 1.60$ m จงเขียนกราฟแสดงการกระจายความเร็วในแกนราบ (u) และในแนวดิ่ง (v) ที่ระดับ y เท่ากับ $0, 1, 2, 4, 10$ และ 20 cm จากผิวบนของแผ่นวัตถุ (ให้เขียนลงในกราฟที่กำหนดให้)

(ค) จงหาค่าหน่วยแรงเฉือนที่ผิว (Wall Shear Stress) ของแผ่นวัตถุ

วิธีทำ

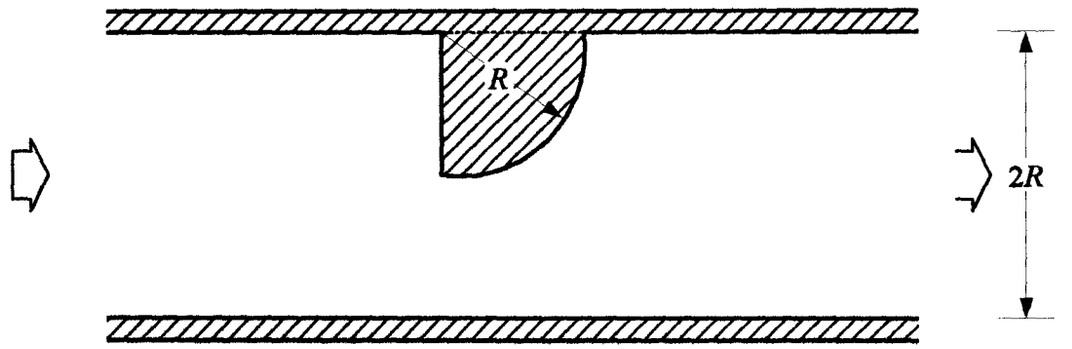




รหัส.....

ข้อที่ 3 (20 คะแนน) เพื่อทดสอบความรู้ความเข้าใจเรื่อง "ทฤษฎีการไหลภายใต้ศักยภาพ"

ข้อที่ 3.1 (10 คะแนน) จากสนามการไหลที่กำหนดให้ดังแสดงในรูป จงเขียนตาข่ายการไหล โดยกำหนดให้จำนวนช่องการไหล (Flow Channel) เท่ากับ 4 ช่อง



ข้อที่ 3.2 (10 คะแนน) ของเหลวชนิดหนึ่งไหลในสนามการไหล ซึ่งมีฟังก์ชั่นการไหล (Stream Function) ซึ่งบรรยายด้วยสมการ $\psi = 2xy$

(ก) จงหาเวกเตอร์ความเร็วของการไหล (V)

(ข) จงหาสมการของอัตราการหมุน (ความเร็วเชิงมุม)

(ค) จงหาฟังก์ชั่นศักยภาพความเร็ว (Velocity Potential Function : ϕ)

รหัส.....

ข้อที่ 4 (30 คะแนน) เพื่อทดสอบความรู้ความเข้าใจเรื่อง "Boundary Layer Theory"

ข้อที่ 4.1 (15 คะแนน) การหาคำตอบโดยประมาณ (Approximate Solution) ของสมการไหลในบริเวณชั้นขอบผิว สามารถทำได้โดยการสมมุติฟังก์ชั่นของความเร็ว u ที่เหมาะสม ทั้งนี้ค่าคงที่ต่างๆ ของสมการความเร็วสามารถหาได้จากเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ทั้ง 4 ข้อ คือ

$$u = 0 \quad \text{ที่ } y = 0 \tag{A}$$

$$u = U_\infty \quad \text{ที่ } y = \delta \tag{B}$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad \text{ที่ } y = \delta \tag{C}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad \text{ที่ } y = 0 \tag{D}$$

ถ้าสมมุติให้การกระจายความเร็วภายในชั้นขอบผิวอยู่ในรูปสมการยกกำลังสอง (Parabolic Velocity Profile) ซึ่งมีสมการว่า

$$\frac{u}{U_\infty} = A + By + Cy^2 \tag{E}$$

จงใช้เงื่อนไขขอบเขตดังกล่าวและสมการในรูปอินทิเกรตของ Von Karman เพื่อ

(ก) หาค่าคงที่ A, B และ C ในพจน์ของ δ

(ข) หาความหนาของชั้นขอบผิว δ ในพจน์ของ ν, U_∞ และ x

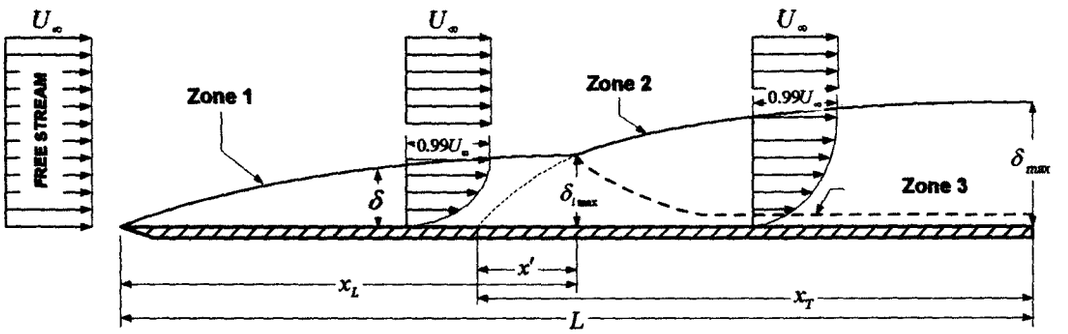
(ค) หาค่าหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อผิวของแผ่นของแข็ง τ_0 ในพจน์ของ ρ, U_∞, ν และ x

วิธีทำ

รหัส.....

ข้อที่ 4.2 (15 คะแนน) เพื่อทดสอบความรู้ความเข้าใจเรื่อง "Turbulent Boundary Layer"

เมื่อของไหลไหลเข้าสู่บริเวณชั้นขอบผิว (Boundary Layer Region) ลักษณะการกระจายความเร็วของการไหลอาจแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ดังแสดงในรูป การไหลในช่วงแรกมีความยาวเป็นระยะ x_L โดยในช่วงนี้ความหนาของชั้นขอบผิว (δ) คำนวณได้จาก $\delta = 5\sqrt{x\nu/U_\infty}$ จนกระทั่งค่าเรย์โนลด์มากถึงวิกฤต (Critical Reynolds Number: $R_{e_{crit}}$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 500,000 สภาพการไหลจะเข้าสู่ช่วงที่สอง ซึ่งความหนาของชั้นการไหลสามารถหาได้จาก $\delta = 0.38xR_e^{-1/5}$ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงฉุด (Drag Coefficient : C_f) คำนวณได้จาก $C_f = 0.074R_{eL}^{-1/5} - 1700R_{eL}^{-1}$



อากาศที่อุณหภูมิ 20° C ($\rho = 1.20$ kg/m^3, $\nu = 1.60\times10^{-5}$ m^2/s) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (U_∞) เท่ากับ 4 m/s ผ่านแผ่นวัตถุซึ่งมีความยาว (L) 5.00 m มีความกว้าง (W) 2.50 m จงหา

(ก) ค่า δ_{max}

(ข) ค่า δ_{1max}

(ค) ค่าแรงฉุด F_D ที่กระทำต่อแผ่นวัตถุนี้ (ให้คิดที่เฉพาะผิวบนเท่านั้น)

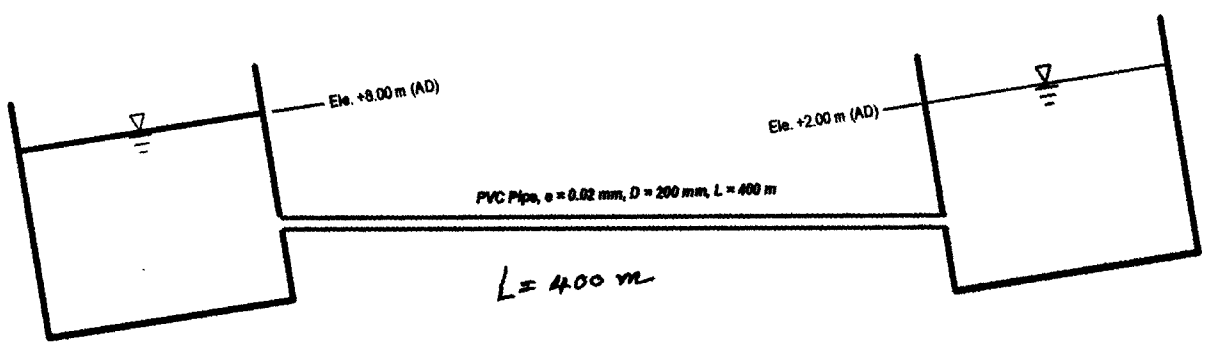
วิธีทำ

รหัส.....

ข้อที่ 5 **(25 คะแนน)** เพื่อทดสอบความรู้ความเข้าใจเรื่อง "Conduit Flows"

ข้อที่ 5.1 **(10 คะแนน)** ใช้ท่อ PVC ขนาด 200 mm ส่งน้ำ ($\nu = 1\times10^{-6}$ m^2/s) จากถัง A มายังถัง B ดังแสดงในรูป จงคำนวณหาอัตราการไหลในท่อดังกล่าว กำหนดให้สมการของค่า Friction Factor (f) หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

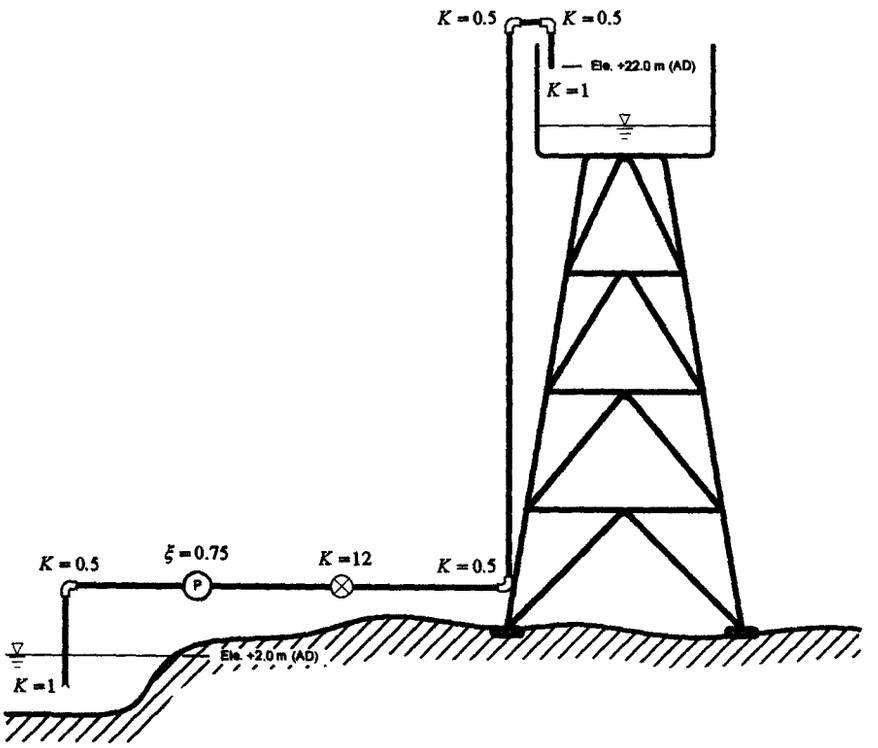
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left\{\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.1286}{R_e^{0.89}}\right\}$$



วิธีทำ

รหัส.....

ข้อที่ 5.2 (15 คะแนน) จงหาขนาดของเครื่องสูบน้ำที่ต้องใช้ในการส่งน้ำ ($\nu = 1\times10^{-6}$ m^2/s) ขึ้นสู่ถังจ่ายขนาดความจุ 100 m^3 โดยกำหนดให้ช่วงเวลาของการสูบน้ำให้เต็มถังนี้เท่ากับ 2 ชั่วโมง โดยใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ซึ่งมีค่า f = 0.018 ท่อมีความยาวรวม 120 m ดังแสดงในรูป



วิธีทำ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2547

วันที่ : 30 ก.ย. 2547 เวลาสอบ : 13:30-16:30

วิชา : กลศาสตร์ของไหล 2 (220-341) ห้องสอบ : R300

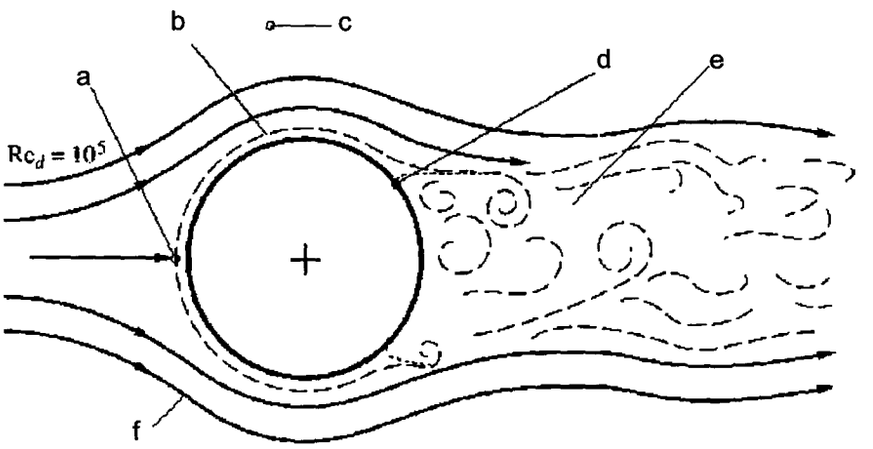
คำสั่ง

1. ข้อสอบนี้สำหรับ **นักศึกษาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม**
2. ข้อสอบมี 4 หน้า จำนวน 7 ข้อ
3. ให้สมมติค่าต่างๆได้ตามหลักวิชากลศาสตร์ของของไหล
4. **ห้ามนำตำราหรือสูตรใด ๆเข้าห้องสอบ**
5. ให้นำเครื่องคำนวณเข้าห้องสอบได้
6. **ห้ามนำข้อสอบออกนอกห้องสอบ**

ผู้ออกข้อสอบ นายสมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์

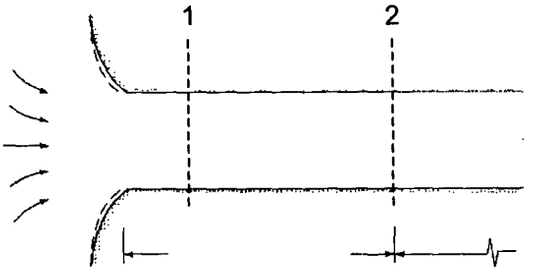
---

1. เขียนคำศัพท์เทคนิค (technical term) (a ถึง f) ของการไหลผ่านแท่งทรงกระบอกในรูปข้างล่างนี้ (3 คะแนน)



รูปข้อ 1

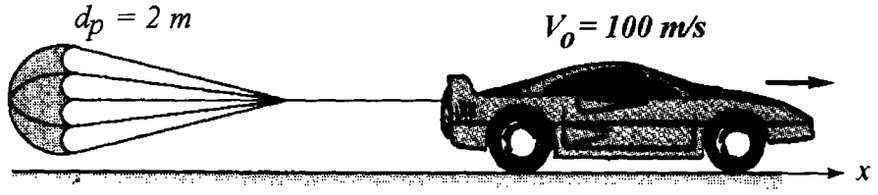
2. การไหลในท่อที่แสดงในรูป จงวาดรูปแสดงคุณลักษณะการไหลต่อไปนี้ (4 คะแนน)
   (a) ชั้นขอบผิว
   (b) การกระจายความเร็วที่หน้าตัด (1) และ (2)
   (c) อธิบายพฤติกรรมการไหลในแต่ละช่วง (โดยย่อ ความยาวไม่เกิน 3 บรรทัด)



รูปข้อ 2

3. น้ำไหลด้วยความเร็ว 0.5 m/s เข้าสู่ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm จงประมาณระยะที่การไหลเริ่มเป็นแบบ fully developed flow (กำหนดให้ $\mu_{น้ำ}$=0.001 kg/m.s, Re_{tr} = 3.2x10^5, Laminar $\frac{\delta}{x}=\frac{5.0}{\sqrt{Re_x}}$ และ Turbulence $\frac{\delta}{x}=\frac{0.376}{(Re_x)^{1/5}}$) (7 คะแนน)

4. รถแข่งมีมวลเท่ากับ 1500 kg และมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 1 m^2 แล่นด้วยความเร็ว 100 m/s ทำการชลอความเร็วด้วยร่มชูชีพที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 m จงคำนวณเวลาที่ความเร็วของรถลดลงจนมีค่าเท่ากับ 10 m/s (กำหนดให้ ความหนาแน่นอากาศ ρ = 1.2 kg/m^3 และ C_D ของรถและร่มชูชีพเท่ากับ 0.5 และ 1.5 ตามลำดับ) (9 คะแนน)



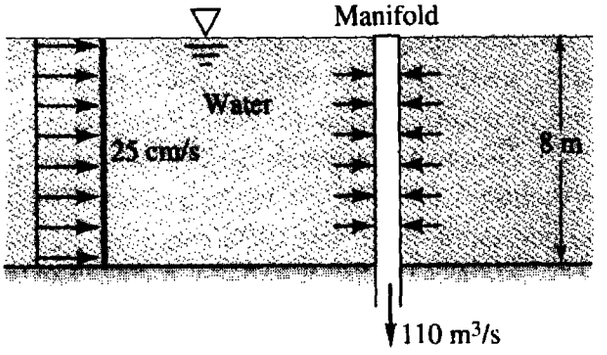
รูปข้อ 4

5. ระบบระบายความร้อนของโรงไฟฟ้า ประกอบด้วยท่อสูบน้ำแนวดิ่งที่มีความสูง 8 m ซึ่งสูบน้ำในอัตรา 110 m^3/s ถ้ากระแสน้ำชายฝั่งทะเลมีความเร็วเท่ากับ 25 cm/s จงร่างเส้นการไหลผ่านท่อที่เกิดขึ้น และหาระยะที่สภาพแวดล้อมได้รับผลกระทบจากการสูบน้ำนี้

กำหนดให้

$$V_r = -\frac{1}{r}\frac{\partial \psi}{\partial \theta} \qquad V_\theta = \frac{\partial \psi}{\partial r}$$

(7 คะแนน)



รูปข้อ 5

6. ระบบสูบน้ำประกอบด้วยปั๊มน้ำสองเครื่องต่อกันแบบขนาน และท่อส่งน้ำทำด้วยเหล็ก (Ɛ=0.01 in) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 in ยาว 5,280 ft ระดับน้ำระหว่างถังบนและล่างต่างกันอยู่ 150 ft กำหนดให้ การสูญเสียรองมีค่า K เท่ากับ 0.75 และ

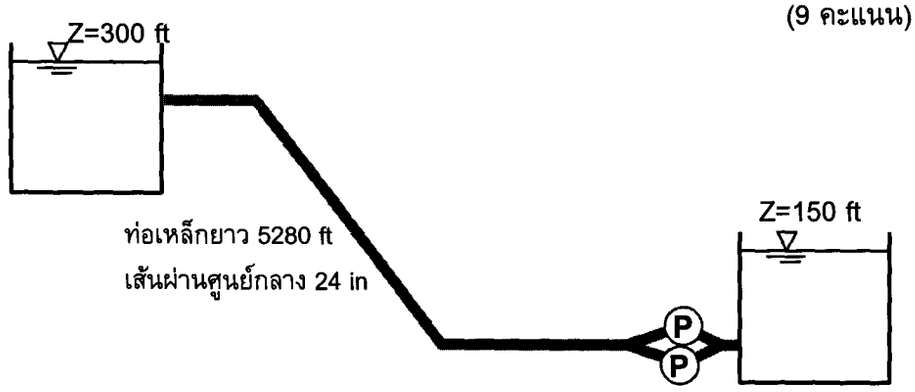
$$\frac{1}{f^{1/2}} = -1.8\log\left[\frac{6.9}{\mathrm{Re}_d} + \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7}\right)^{1.11}\right]$$

จงหา

a) สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ต้องการของปั๊มและอัตราการไหล ในหน่วย gpm (1000 gpm = 2.228 ft^3/s)

b) ถ้าน้ำไหลในอัตรา 20,000 gpm จงเขียน EGL และ HGL ของการไหลในท่อ ลงในกระดาษกราฟ

(9 คะแนน)



รูปข้อ 6

7. ระบบสูบน้ำในข้อ 6 ถ้าปั๊มทั้งสองมีขนาดใบพัดเท่ากับ 32 in เท่ากันและทำงานที่การหมุน 1170 rpm จงหา (7 คะแนน)

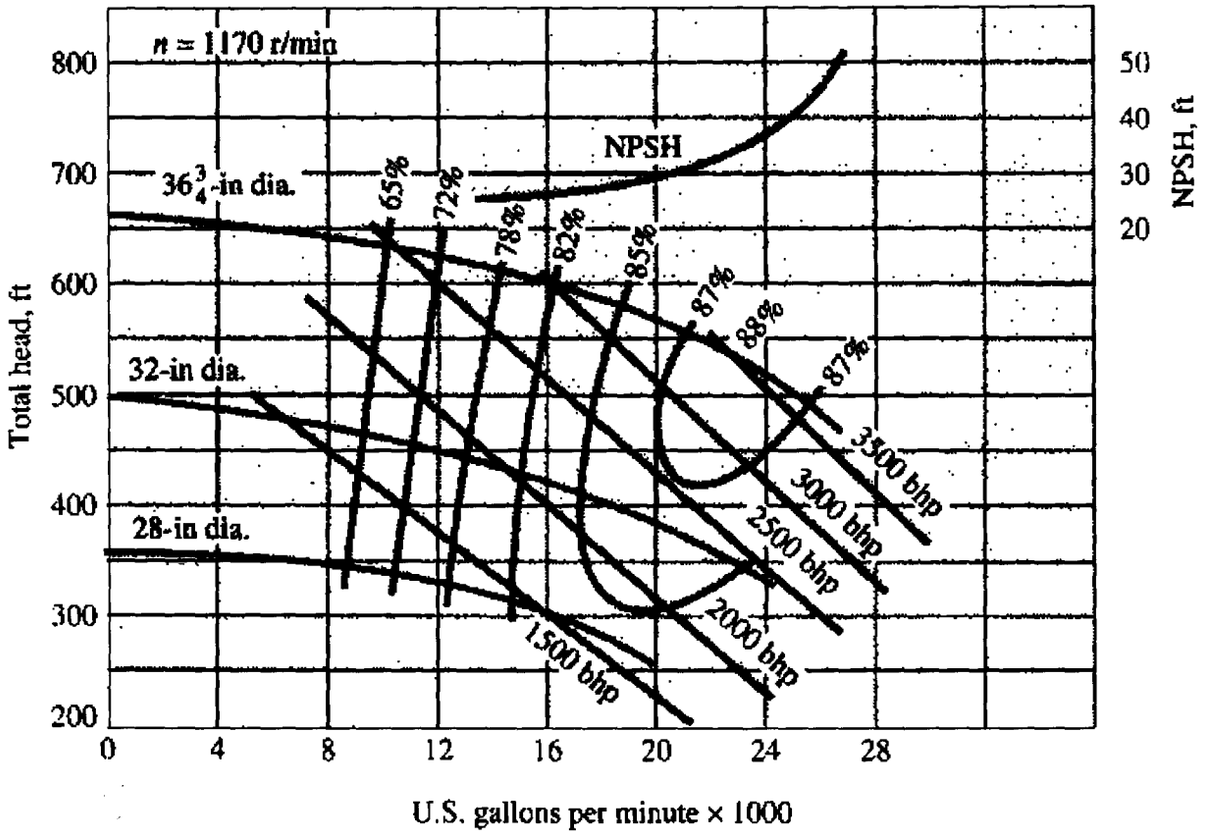
   a) อัตราการสูบน้ำเข้าถังในหน่วย gpm

   b) กำลังม้าที่ต้องใช้และประสิทธิภาพของแต่ละปั๊ม

   c) ประสิทธิภาพรวมของปั๊ม

   d) NPSH คืออะไร และหา NPSH ของแต่ละปั๊มที่ใช้นี้

   ข้อแนะนำ ให้ส่งแผนภูมิการปฏิบัติงานของปั๊มในโจทย์ข้อนี้มาด้วย



รูปข้อ 7 แผนภูมิการปฏิบัติงานของปั๊ม