มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบปลายภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 2 ประจำปีการศึกษา 2547

วันที่ 3 มีนาคม 2548 เวลา 9.00-12.00 น.

วิชา 216-332 Heat Transfer ห้อง R200, R201

คำสั่ง

1. ข้อสอบมีทั้งหมด 6 ข้อ ให้ทำทุกข้อ
2. ให้ทำในตัวข้อสอบนี้ และให้เขียนได้ทั้ง 2 หน้า
3. ห้ามนำเอกสารใด ๆ เข้าห้องสอบ
4. ให้เขียนชื่อ และรหัสนักศึกษาในข้อสอบทุกแผ่น

กำหนดให้

1. Stefan-Boltzmann constant $\sigma = 5.6697\text{x}10^{-8}\ \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

ผศ.ดร.ชูเกียรติ คุปตานนท์
อ.พุทธิพงศ์ แสนสบาย
ผู้ออกข้อสอบ

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
1	20	
2	20	
3	20	
4	20	
5	20	
6	20	
คะแนนรวม	120	

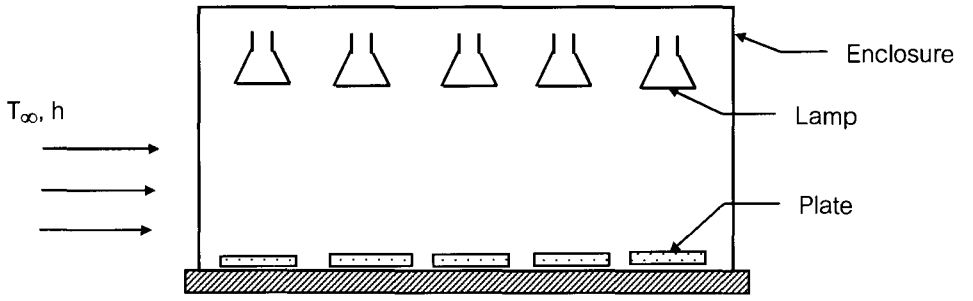
ชื่อ-สกุล.....

รหัส.....

สังกัดหลักสูตรวิศวกรรม.....

ตอน.....

ข้อ 1) กระบวนการพ่นสีบนแผ่นโลหะจำเป็นต้องอบสีให้แห้ง โดยใช้ infrared lamp โดยที่อุณหภูมิของแผ่นโลหะต้องเท่ากับ 140 ^{o}C แผ่นโลหะจะวางอยู่ในห้องอบที่เป็นผนังปิดขนาดใหญ่ ด้านบนของแผ่นโลหะมีค่า emissivity = 0.8 และถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศโดยการพาความร้อน อากาศมีอุณหภูมิ T_{∞} = 27 ^{o}C และสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h = 20 W/m^2 K การแผ่รังสีของผนังประมาณได้เท่ากับ G_{wall} = 450 W/m^2 โดยค่า absorptivity ของโลหะต่อรังสีจากผนังเป็น α_{wall} = 0.7 จงหาพลังงานของการแผ่รังสีของหลอดไฟ G_{lamp} เมื่อค่า absorptivity ของโลหะต่อรังสีจากหลอดไฟเป็น α_{lamp} = 0.6



ข้อ 2) ในการทดลอง เพื่อศึกษาการดึงความร้อนจากไอเสียมาใช้ประโยชน์ โดยการใช้ท่อทองแดง (k = 386 W/m°C) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน, ID= 25mm และเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก, OD= 28 mm มีความยาว 4 m ซึ่งมีน้ำไหลด้วยอัตรา 0.2 kg/s ในท่อ โดยอุณหภูมิของน้ำไหลเข้าที่ 30°C ไอเสียที่อุณหภูมิ 500°C ไหลผ่านท่อด้วยความเร็ว 5 m/s ดังรูป จงหา

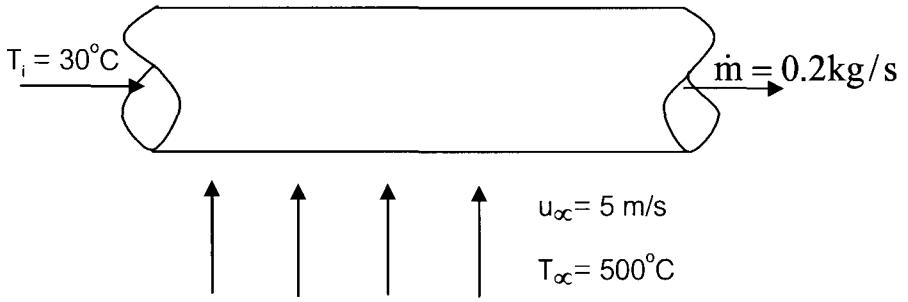
2.1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

2.2) อัตราการถ่ายเทความร้อน

2.3) อุณหภูมิของน้ำไหลออกจากท่อ

ในการแก้ปัญหาสมมุติให้ไอเสียมีคุณสมบัติเหมือนอากาศและมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ ρ= 0.6423 kg/m^3, C_p = 1.0392 kJ/kg °C, μ = 2.848x10^{-5} kg/m·s, k = 0.0436 W/ m·K , Pr = 0.680

และให้คุณสมบัติต่างของน้ำมีค่าดังนี้ ρ= 996.07kg/m^3, C_p = 4.17925 kJ/kg °C, ν = 0.745x10^{-6} m^2/s, k = 0.620 W/ m·K , Pr = 5.01 สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนให้ใช้สมการที่แนบในท้ายข้อสอบ

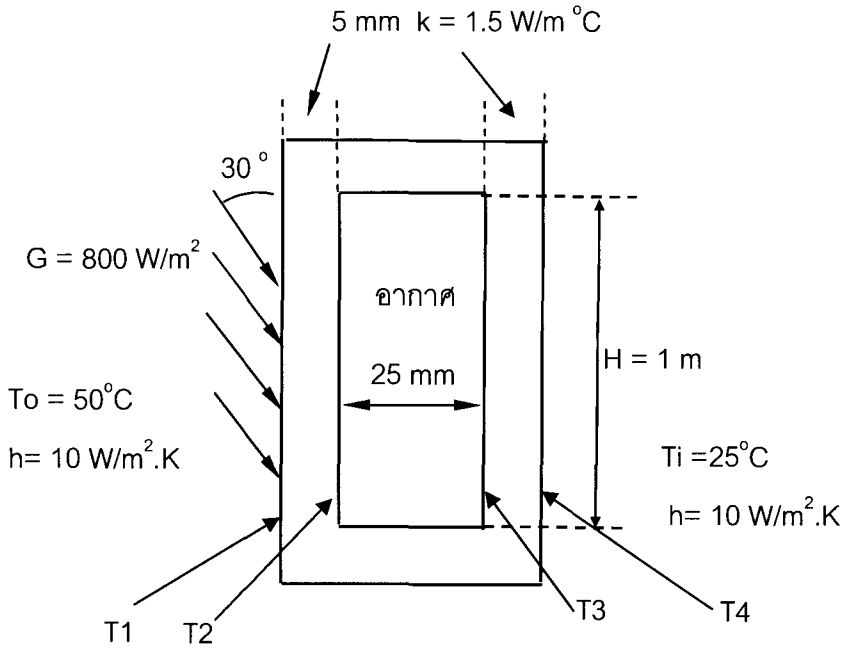


ข้อ 3) ผนังบ้านชนิดพิเศษถูกออกแบบเพื่อใช้สร้างบ้านในทะเลทราย โดยผนังมีลักษณะดังรูป วัสดุที่ใช้ทำผนังทั้งสองด้านมีค่าการนำความร้อน k = 1.5 W/m.K มีความหนา 5 mm ตรงกลางมีช่องว่าง 25 mm โดยมีความกว้างและสูงเท่ากับ 1mX1m และภายในช่องวางมีอากาศบรรจุอยู่ ในช่วงกลางวัน พลังงานจากแสงอาทิตย์ตกกระทบผนังในอัตรา 800 W/m^2 ทำมุม 30° กับระนาบของผนัง อุณหภูมิบรรยากาศเท่ากับ 50°C อากาศภายในบ้านมีอุณหภูมิ 25°C สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับกระเบื้องทั้งภายในและภายนอกบ้านเท่ากับ 10 $W/m^2.K$ วัสดุที่ใช้ทำผนังมีค่า emissivity และ absorptivity เท่ากับ 0.8 และ effective sky temperature คือ 285 K (หากไม่ต้องคิดการแผ่รังสีความร้อนภายในบ้าน) จงหา

3.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง 1 แผ่นสู่ภายในบ้าน

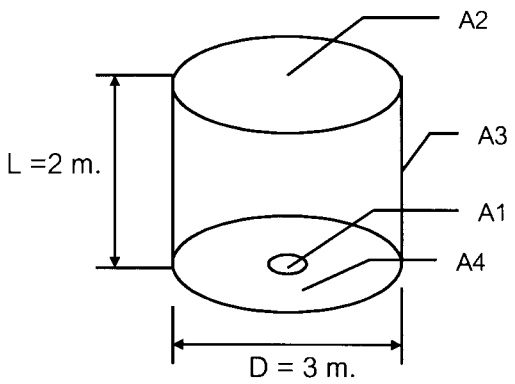
3.2 อุณหภูมิ T1, T2, T3 และ T4

ในการวิเคราะห์ให้เริ่มต้นสมมุติสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติในช่องว่างอากาศเป็น 1.9 $W/m^2.K$ จึงหาอุณหภูมิ ทั้ง 4 จุด

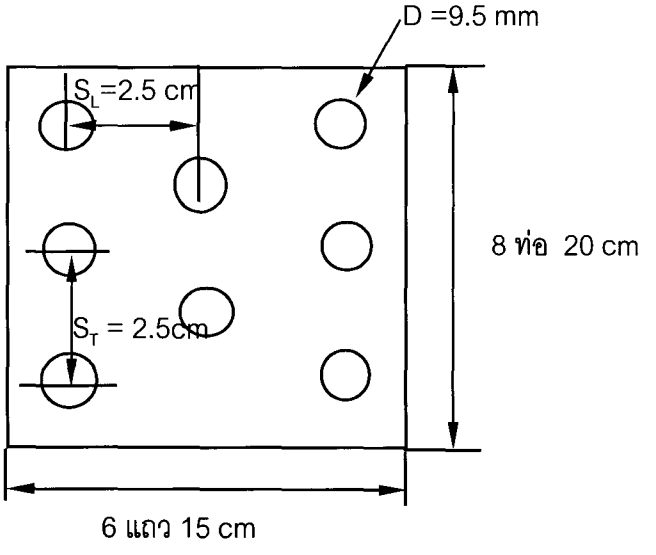


ข้อ 4) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด shell and tube แบบ one tube pass ถูกใช้ควบแน่นไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 150°C (h_{fg} = 2,114.3 kJ/kg) โดยใช้น้ำที่อุณหภูมิ 30°C เป็นสารหล่อเย็น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมี จำนวนท่อเท่ากับ 100 ท่อ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D = 2.5cm (ท่อผนังบางมาก) อัตราการไหลของน้ำภายในท่อเท่ากับ 50 kg/s ส่วนไอน้ำไหลภายใน shell มีสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 3,500 W/m^2.K ไอน้ำมีอัตราการไหล 2.5 kg/s หากต้องการควบแน่นไอน้ำเป็นน้ำทั้งหมด จงหาความยาวท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (กำหนดให้ใช้ LMTD Method)

ข้อ 5) พิจารณาระนาบทึบ (opaque) 3 ระนาบดังรูป จงหาค่า view factor , F_{13} และอัตราการถ่ายเทความร้อนจากระนาบ A1สู่ระนาบ A3 หาก A1 = 0.5 m^2, T_1 = 500 K และ T_3 = 300 K, โดยมีค่า $\varepsilon = \alpha$ = 0.8 เท่ากันทุกระนาบ โดยค่า view factor F_{12} หาได้จากสมการดังนี้ $F_{12} = D^2/(D^2+4L^2)$



ข้อ 6) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (compact heat exchanger) ชนิด fin-tube ทำจากท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง D = 9.5 mm (ผนังท่อบางมาก) กว้าง W = 1.2 m fin ทำจากอะลูมิเนียมแผ่น(k = 206 W/m.K) หนา 1 mm, ลึก L = 15 cm, สูง H = 20cm ความหนาแน่นของ fin คือ 315 fin/m เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประกอบด้วยท่อ 6 แถวๆละ 8 ท่อ โดยมีระยะต่างๆดังรูป เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ ถูกใช้เพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ 25°C โดยอากาศมีอัตราการไหล 2.0 kg/s แหล่งความร้อนได้จากน้ำร้อนอุณหภูมิ 95°C ซึ่งน้ำมีอัตราการไหล 1.44 kg/s ไหลภายในท่อ ให้พิจารณา fin เป็น circular disk fin มีรัศมีเทียบเท่าเป็น $R_o = \sqrt{\frac{S_T S_L}{\pi}}$ และไม่ต้องคำนึงถึง thermal contact resistance ระหว่าง fin กับ ท่อทองแดง สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านอากาศมีค่า 130 W/m^2.K และ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำมีค่า 3,800 W/m^2.K จงหาอัตราการถ่ายเทความร้อน และ อุณหภูมิขาออกของของไหลทั้งสอง (กำหนดให้ใช้ ε-NTU method และค่าต่างๆ ให้ใช้สมการที่แนบมาในท้ายข้อสอบ)



คุณสมบัติของอากาศให้ใช้ค่าต่อไปนี้ ρ = 1.13076 kg/m^3, C_p= 1.00656 kJ/kg°C, μ = 2.0069x10^{-5} kg/m·s, k = 0.02723 W/mK , Pr = 0.705

คุณสมบัติต่างของน้ำมีค่าดังนี้ ρ= 997.355kg/m^3, C_p = 4.20625 kJ/kg°C, ν = 0.329x10^{-6} m^2/s, k = 0.674 W/mK , Pr = 1.98

สมการที่จำเป็น

1. สัมประสิทธิ์การพาความร้อน สำหรับการไหลในท่อแบบ turbulent

$$Nu = 0.023\,Re^{0.8}\,Pr^{n}$$ n = 0.4 for heating และ n= 0.3 for cooling

Fluid properties are evaluated at the bulk mean temperature T_b.

2. Heat transfer coefficient for flow across a single circular cylinder

$$Nu = (0.4\,Re^{0.5} + 0.06\,Re^{2/3})\,Pr^{0.4},$$

Fluid properties are evaluated at the film temperature T_f.

3. Heat transfer coefficient for free convection in enclosed spaces

$$Nu_\delta = c(Ra_\delta)^n\left(\frac{H}{\delta}\right)^m; \qquad c = 0.197,\ n = 1/4,\ m = -1/9$$

where $Ra_\delta = \dfrac{g\beta(T_h - T_c)\delta^3}{\nu^2}Pr,$

$$Nu_\delta = h\delta/k$$

δ = thickness of fluid layer; H = height of fluid layer;

Fluid properties are evaluated at the mean temperature $(T_h+T_c)/2$.

4. Fin efficiency $\eta_f = \dfrac{\tanh(mL)}{mL}$, $mL = L\sqrt{\dfrac{2h}{kt}}$ For circular fin, $L = R_o - R_i$ and t = fin thickness, area-weighted fin efficiency $\eta' = \beta\eta_f + 1 - \beta$ where $\beta = A_f / A_{total}$

5. Compact heat exchanger $G = M/A_{min}$ (kg/m^2.s) เมื่อ A_{min} = minimum free-flow cross-sectional area $D_h = \dfrac{4LA_{min}}{A_{total}}$, $Re = \dfrac{GD_h}{\mu}$,

$$N = NTU = \frac{AU}{C_{min}},$$

$$U = \frac{1}{\dfrac{A_{total}}{A_i h_i} + \dfrac{1}{\eta' h_a}},$$

$$\varepsilon = 1 - \exp\left(\frac{N^{0.22}\{\exp[-CN^{0.78}] - 1\}}{C}\right)$$

Table B-1 Physical properties of gases at atmospheric pressure

T, K	ρ, kg/m³	c_p, kJ/kg·°C	μ, kg/m·s	ν, m²/s ×10⁶	k, W/m·K	α, m²/s ×10⁴	Pr
Air							
100	3.6010	1.0266	0.6924 × 10⁻⁵	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.488	9.49	0.02227	0.13161	0.722
300	1.1774	1.0057	1.983	15.68	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	28.86	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680

Physical properties of water

t, C	ρ, kg/m³	c_p, kJ/kg·°C	ν, m²/s	k, W/m·K	α, m²/s ×10⁷	Pr
0	1,002.28	4.2178	1.788 × 10⁻⁶	0.552	1.308	13.6
20	1,000.52	4.1818	1.006	0.597	1.430	7.02
40	994.59	4.1784	0.658	0.628	1.512	4.34
60	985.46	4.1843	0.478	0.651	1.554	3.02
80	974.08	4.1964	0.364	0.668	1.636	2.22
100	960.63	4.2161	0.294	0.680	1.680	1.74
120	945.25	4.250	0.247	0.685	1.708	1.446
140	928.27	4.283	0.214	0.684	1.724	1.241
160	909.69	4.342	0.190	0.680	1.729	1.099
180	889.03	4.417	0.173	0.675	1.724	1.004