

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ข้อสอบปลายภาค ประจำภาคปลาย ปีการศึกษา 2553

วิชา 185 232 Thermodynamics II

วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2554

เวลา 13.00-16.00 น.

ผู้ออกและตรวจข้อสอบ: รศ.ดร.สมหมาย ปรีเปรม

คำสั่ง

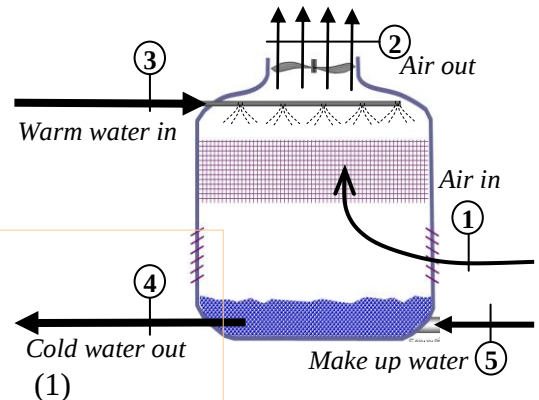
1. ให้เขียน ชื่อ-สกุล กลุ่ม ห้องสอบ และ ที่นั่งสอบ ลงในกระดาษข้อสอบทุกแผ่น
2. ข้อสอบทั้งหมดมี 4 ข้อ จำนวน 5 แผ่นรวมทั้งแผ่นนี้ ให้ทำทุกข้อ
3. มีตาราง Thermodynamics แจกให้ ห้ามขีดเขียนในตารางโดยเด็ดขาด
4. อนุญาตให้ใช้เครื่องคำนวณที่ไม่มีการบันทึกข้อมูลของรายวิชานี้ไว้
5. ห้ามนำเอกสารใดๆออกจากห้องสอบ
6. ให้ทำข้อสอบในแผ่นข้อสอบของข้อนี้ๆเท่านั้น (สามารถใช้ด้านหลังได้)

ชื่อ-สกุล.....รหัส กลุ่ม.....ห้องสอบ.....ที่นั่งสอบ.....

ข้อ	คะแนนเต็ม	คะแนน
1	20	
2	10	
3	15	
4	15	
รวม	60	

ชื่อ-สกุล.....รหัส กลุ่ม.....ห้องสอบ.....ที่นั่งสอบ.....

1) A wet cooling tower is to cool 25 kg/s of cooling water from 40 °C to 30°C at a location where the atmospheric pressure is 96 kPa. Atmospheric air enters the tower at 20°C, and 70 percent relative humidity and leaves saturated at 35°C. Make up water is available at 20°C. Neglecting the power input to the fan, determine (a) the volume flow rate of air into the cooling tower and (b) the mass flow rate of the required makeup water. (20 marks)



System : Air & Water flow through a cooling tower

Assumption : SSSF, neglect Q_{cv} , W_{cv} , ΔKE , ΔPE

Analysis

air mass balance: $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$

Water mass balance: $\sum \dot{m}_{wi} = \sum \dot{m}_{we}$

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 + \dot{m}_{v1} + \dot{m}_{makeup} &= \dot{m}_4 + \dot{m}_{v2} \\ \dot{m}_3 + \omega_1 \dot{m}_a + \dot{m}_{makeup} &= \dot{m}_4 + \omega_2 \dot{m}_a \end{aligned}$$

but $\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_w$ (2)

therefore, $\dot{m}_{makeup} = \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1)$ (3) Answer

Properties determination:

to determine specific humidity, ω at each state point:

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} \quad (\text{where } P_g = P_{sat@T}) \quad \text{and} \quad \omega = \frac{0.622 P_v}{(P - P_v)} \quad (\text{kg water / kg dry air})$$

Energy Balance: $\dot{Q}_{cv} + \sum \dot{m}_i h_i = \dot{W}_{cv} + \sum \dot{m}_e h_e$ (4)

$$[\dot{m}_{a1} h_1 + \dot{m}_3 h_3] = [\dot{m}_{a2} h_2 + \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_{makeup} h_5]$$

$$\dot{m}_a (h_2 - h_1) + \dot{m}_{makeup} h_5 = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_4 h_4$$

$$\dot{m}_a (h_2 - h_1) + \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1) h_5 = \dot{m}_w (h_3 - h_4)$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_3 (h_3 - h_4)}{(h_2 - h_1) + (\omega_2 - \omega_1) h_5} \quad (5)$$

then $\dot{V}_1 = v_1 \dot{m}_a$ (6) Answer

to determine enthalpy, h at each state point:

$$h = h_a + \omega h_v \quad (\text{kJ / kg dry air})$$

where; $h_a = 1.005 T_{db}$ and $h_v = 2500.9 + 1.82 T_{db}$ or $h_v \cong h_g \text{ at } T_{db}$

Water side: All states are Subcooled liquid

therefore, $h = h_f$ at T

specific volume of air at inlet, $v_1 = \frac{R_a T_1}{P_1} \quad \text{m}^3 / \text{kg da.}$

Properties and Calculations

Row	Variable	Formular	State 1	State 2	Unit
1	T_{bd}	Given	20	35	C
2	RH	Given	70	100	%
3	P	Given	96.00	96.00	kPa
4	P_g	Steam Table $P_{sat}@T_{db}$	2.3390	5.6280	kPa
5	P_v	$\%RH * P_{g1}$	1.6373	5.6280	kPa
6	C_{pAir}	Constants	1.005	1.005	kJ/kg-K
7	C_{pVap}	Constants	1.82	1.82	kJ/kg-K
8	C_{pLiq}	Constants	4.19	4.19	kJ/kg-K
9	h_{fRef}	Constants	2500.90	2500.90	kJ/kg
10	h_a	$C_{pAir} * T_{db}$	20.10	35.18	kJ/kg
11	h_v	$h_{fRef} + (C_{pVap} * T_{wb})$	2537.30	2564.60	kJ/kg
12	w	$0.622 * P_v / (P - P_v)$	0.01079	0.03874	kg/kg da.
13	h	$h_a + (w * h_v)$	47.48	134.52	kJ/kg da.
14	v	$(0.287 * (T_{db} + 273.16)) / (P - P_v)$	0.8916	0.9786	m ³ /kg da.

Row	Variable	Formular	Value	Unit
15	T_3	Given	40	C
16	T_4	Given	30	C
17	m_3	Given	25	kg water/s
18	h_3	hf at T_3	167.57	kJ/kg
19	h_4	hf at T_4	125.79	kJ/kg
20	$\dot{m}_{air}$	eqn (5)	12.51	kg da/s
21	$\dot{V}_{air}$	$\dot{m}_{air} \times v_{a1}$	11.15	m ³ /s
22	$\dot{m}_{makeup}$	eqn(3)	0.35	kg water/s
23		Water loss	1.40	%

[answer](#)[answer](#)

(a) the volume flow rate of air into the cooling tower is 11.15 m³/s **Answer**

(b) the mass flow rate of the required makeup water is 0.35 kg/s **Answer**

ชื่อ-สกุล.....รหัส กลุ่ม.....ห้องสอบ.....ที่นั่งสอบ.....

2) Methane (CH_4) is burned with an unknown amount of air during a combustion process. An analysis of the combustion products **on dry basis** is as follow: $\text{CO}_2 = 10.00\%$, $\text{CO} = 0.53\%$, $\text{O}_2 = 2.37\%$, $\text{N}_2 = 87.10\%$. Determine (a) the air-fuel ratio (b) the dew-point temperature of the products, and (c) the percentage of theoretical air used during this process. (10 marks)

System: $\text{CH}_4 + \text{Air}$; Combustion

Assumption: Ideal gas

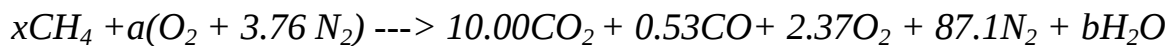
Analysis: $\%n_i = \%V_i$

$$AF = m_{\text{air}}/m_{\text{fuel}}$$

$$\% \text{theore air} = AF_{\text{actual}}/AF_{\text{theor.}} \times 100\%$$

Solution

(a) **Combustion eqn. based on 100 kmol of DRY PRODUCTS**



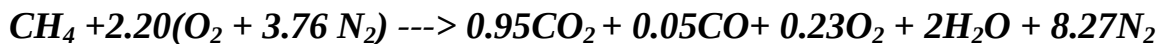
$$\text{C balance: } x = 10.00 + 0.53 = 10.53$$

$$\text{N}_2 \text{ balance: } a = 87.1/3.76 = 23.16$$

$$\text{H}_2 \text{ balance: } b = 4x/2 = 21.06$$

$$\text{O}_2 \text{ balance: } 2a = 46.33 = 2 \times 10.00 + 0.53 + 2.37 \times 2 + b = 46.33 \text{ check}$$

Divided by x to get the combustion equation based on 1 kmol of fuel

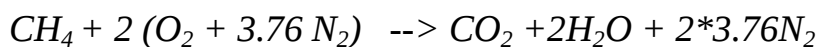


$$\text{mass of air, } m_{\text{air}} = NM = (2.20 \times 4.76 \text{ kmol})(28.97 \text{ kg/kmol}) = 303.4 \text{ kg}$$

$$\text{mass of fuel, } m_{\text{fuel}} = NM = (1.0 \text{ kmol})[(12+4) \text{ kg/kmol}] = 16.0 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Air-Fuel ratio} &= (Nm)_{\text{air}}/(Nm)_{\text{fuel}} = (303.4 \text{ kg})/(16 \text{ kg}) \\ &= \mathbf{18.96 \text{ kg air/kg fuel}} \quad \text{Answer} \end{aligned}$$

(b) **Theoretical Combustion**



$$\text{mass of air, } m_{\text{air}} = NM = (2.0 \times 4.76 \text{ kmol})(28.97 \text{ kg/kmol}) = 275.8 \text{ kg}$$

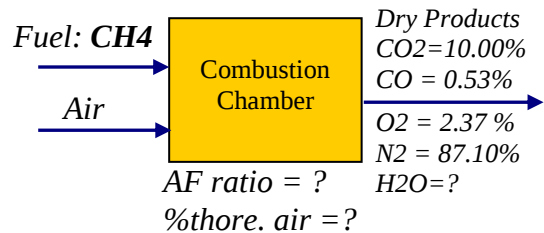
$$\text{mass of fuel, } m_{\text{fuel}} = NM = (1.0 \text{ kmol})[(12+4) \text{ kg/kmol}] = 16.0 \text{ kg}$$

$$\text{Theoretical Air-Fuel ratio} = (Nm)_{\text{air}}/(Nm)_{\text{fuel}} = (275.8)/(16 \text{ kg})$$

$$\text{AF theoretical} = \mathbf{17.2372 \text{ kg air/kg fuel}}$$

$$\% \text{Excess air} = [\text{AF}_{\text{actual}}/\text{AF}_{\text{theoretical}}] \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{(18.96 \text{ kg air/kg fuel}) / (17.24 \text{ kg air/kg fuel}) \times 100} \\ &= \mathbf{110.0 \%} \quad \text{Answer} \end{aligned}$$



ชื่อ-สกุล.....รหัส กลุ่ม.....ห้องสอบ.....ที่นั่งสอบ.....

3. Benzene gas (C_6H_6) at $25^\circ C$ is burned during a steady-flow combustion process with 95 percent theoretical air that enters the combustion chamber at $25^\circ C$. All the hydrogen in the fuel burns to H_2O , but part of the carbon burns to CO . If the products leave at 1000 K . Determine the heat transfer from the combustion chamber during this process. (15 marks)

System: cv combustion chamber:

Combustion: $C_6H_6 + \text{Air}$

Assumptions:

1. SSSF process
2. $w = 0$, $\Delta KE = \Delta PE = 0$
3. Air and combustion gases are ideal gas

Analysis:

1. Write the combustion equation equation based on 1 kmol of C_6H_6
2. Apply 1 st Law to determine Q_{cv}

$$Q_{cv} + \sum N_i \bar{h}_i = W_{cv} + \sum N_e \bar{h}_e$$

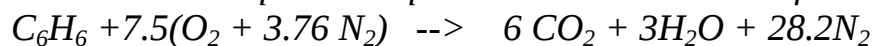
$$\sum N_i \bar{h}_i = \sum N_e \bar{h}_e$$

$$\sum N_R \{ \bar{h}_f^\circ + (\bar{h} - \bar{h}^\circ) \}_R = \sum N_P \{ \bar{h}_f^\circ + (\bar{h} - \bar{h}^\circ) \}_P$$

$$\because \text{reactants are at reference state } (\bar{h} - \bar{h}^\circ)_R = 0$$

$$\sum N_R \{ \bar{h}_f^\circ \}_R = \sum N_P \{ \bar{h}_f^\circ + (\bar{h} - \bar{h}^\circ) \}_P$$

Theoretical Combustion equation equation based on 1 kmol of C_6H_6



Combustion with 95% theoretical air



$$C \text{ balance: } x + y = 6$$

$$O \text{ balance: } 2x + y + 3 = 0.95 \cdot 7.5 \cdot 2 = 14.25$$

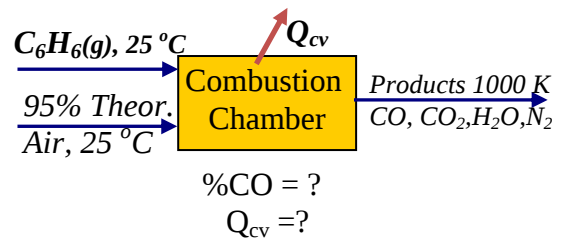
$$2x + y = 11.25$$

$$x = 11.25 - 6 = 5.25$$

$$y = 6 - 5.25 = 0.75$$

$$z = 0.95 \cdot 7.5 \cdot 3.76 = 26.79$$

therefore the combustion equation is ($T_p = 1,000\text{ K}$, so water is in vapor form)



Energy analysis of the combustion process

Reactants at 25 °C: $H_R = h_f^\circ(C_6H_6) = 82,930 \text{ kJ/kmol}$

Products at 1000 K

Components	<i>n</i>	h_f°	h_{1000}	h_{298}	$(h_i - h_{298})$	nh
	(Kmol)	(kJ/kmol)	(kJ/kmol)	(kJ/kmol)	(kJ/kmol)	(kJ)
CO₂	5.25	- 393,520	42,769	9,364	33,405	-1,890,603.8
CO	0.75	- 110,530	30,335	8,669	21,666	-66,648.0
H₂O	3.00	- 241,820	35,882	9,904	25,978	-647,526.0
N₂	26.79	-	30,129	8,669	21,460	574,913.4
Sum (H_p)						- 2,029,864.4

$$Q_{cv} = H_p - H_r = -2,112,794.4 \text{ kJ/kmol fuel}$$

$$M_{fuel} = 78 \text{ kg/kmol}$$

$$q_{cv} = -2,112,794.4 \text{ (kJ/kmol fuel)} / 79 \text{ (kg/kmol)}$$

$$= -27,087.1 \text{ kJ/kg}$$

the heat transfer from the combustion chamber is 27,087.1 kJ/kg fuel Answer

ชื่อ-สกุล.....รหัส กลุ่ม.....ห้องสอบ.....ที่นั่งสอบ.....

4. Consider a supersonic wind tunnel as shown in the figure below. Air enters a **converging-diverging nozzle** at 4 MPa and 25°C with a low velocity. The cross-sectional area of the test section is equal to the exit area of the nozzle, which is 5 m². If it is required that the velocity of the air entering the test section is one and a half time of the speed of sound (Mach number, Ma = 1.5).

(a) Calculate the pressure, temperature, velocity, and mass flow rate in the test section. (10 marks)

(b) Explain why the air inside this system must be very dry. (5 marks)

System: Air, Conv.-Div.Nozzle

Assumption: Ideal gas, constant sp.ht.

Isentropic flow

Analysis: $V_1 = 0$ then

$T_{01} = T_1$ and $P_{01} = P_1$

Isentropic flow: $P_{02} = P_{01}$, $T_{02} = T_{01}$

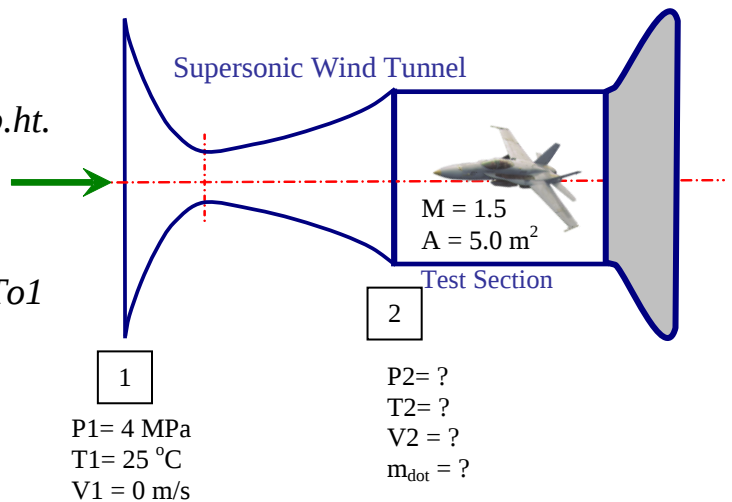
$\dot{m} = \rho A V$

$V = MC$

Solution:

$P_0 = 4 \text{ MPa} = 4000 \text{ kPa}$

$T_0 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$



At the exit plane

Using Table A-34 for $M = 1.5$, $P/P_0 = 0.27240$, and $T/T_0 = 0.68965$

$P_2 = 0.2724 P_0 = 0.2724 * 4000 \text{ kPa} = \mathbf{1,089.6 \text{ kPa}}$ Answer

$T_2 = 0.68965 T_0 = 0.68965 * 298 \text{ K} = \mathbf{205.5 \text{ K}}$ Answer

Table A1, A2 for air at 300K; $R = 0.287 \text{ kJ/kgK}$ and $k = 1.4$

Sonic velocity, $c = \sqrt{kRT} = \sqrt{1.4 * (287 \text{ J/kgK}) * 205.5 \text{ K}} = 287.4 \text{ m/s}$

Velocity, V = $Mc = 1.5 * 287.4 \text{ m/s} = \mathbf{431.0 \text{ m/s}}$ Answer

Density, $\rho = P/RT = (1,089.6 \text{ kPa}) / (0.287 \text{ kJ/kgK} * 205.5 \text{ K})$
 $= 18.47 \text{ kg/m}^3$

The exit area, $A = 5 \text{ m}^2$

The mass flow rate of air, $\dot{m}$ = $\rho AV = (18.47 \text{ kg/m}^3)(5 \text{ m}^2)(431.0 \text{ m/s})$
 $= \mathbf{39,813.4 \text{ kg/s}}$ Answer

อากาศที่ไหลในอุโมงค์ลมนี้ มีความเร็วสูงมาก (เหนือเสียง) ส่งผลให้อุณหภูมิลดต่ำลงอย่างมาก เช่น ในกรณีนี้ลดลงเป็น 205 K หรือ ประมาณเกือบ -70°C ดังนั้นหากในอากาศมีความชื้น มันจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง (น้ำแข็ง)ทันที เกิดน้ำแข็งนี้แม้จะมีขนาดเล็กมากแต่มันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเหนือเสียง นอกจากจะรบกวนกระแสอากาศทำให้การวัดปริมาณต่างๆผิดพลาดแล้ว ยังสามารถทำความเสียหายให้อุปกรณ์ต่างๆได้อีกด้วย ดังนั้น ใน Supersonic Wind Tunnel จึงจำเป็นต้องใช้อากาศที่แห้ง โดยกำจัดความชื้นในอากาศออกก่อน