มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบไล่ ประจำภาคการศึกษาที่ 1 **ประจำปีการศึกษา 2546**

วันที่ : 8 ตุลาคม 2546 **เวลา : 9:00-12:00 น.**

วิชา : 216-434 Power Plant Engineering **ห้อง : R300**

คำสั่ง 1. ข้อสอบมี 2 ตอน ให้ทำทุกข้อ

2. อนุญาตให้นำเอกสารเข้าห้องสอบได้เฉพาะตารางเทอร์โมฯ

3. อนุญาตให้นำเครื่องคิดเลขทุกชนิดเข้าห้องสอบได้

4. ห้ามใช้ดินสอเขียนคำตอบ และตัวอักษรควรมีขนาดอย่างต่ำ 4 มม.

สมการ

$$\omega = \frac{0.622 P_v}{P - P_v}$$

$$P_v = \phi P_{sat}$$

$$\omega_1 h_{g1} + W_A h_{fA} = C_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{g2} + [W_A - (\omega_2 - \omega_1)] h_{fB}$$

สมาน เสนงาม

Michael Allen

ผู้ออกข้อสอบ

๑๙ กันยายน ๒๕๔๖

fin146.doc

Part I

(อาจารย์ สมาน – มีทั้งหมด 6 ข้อ)

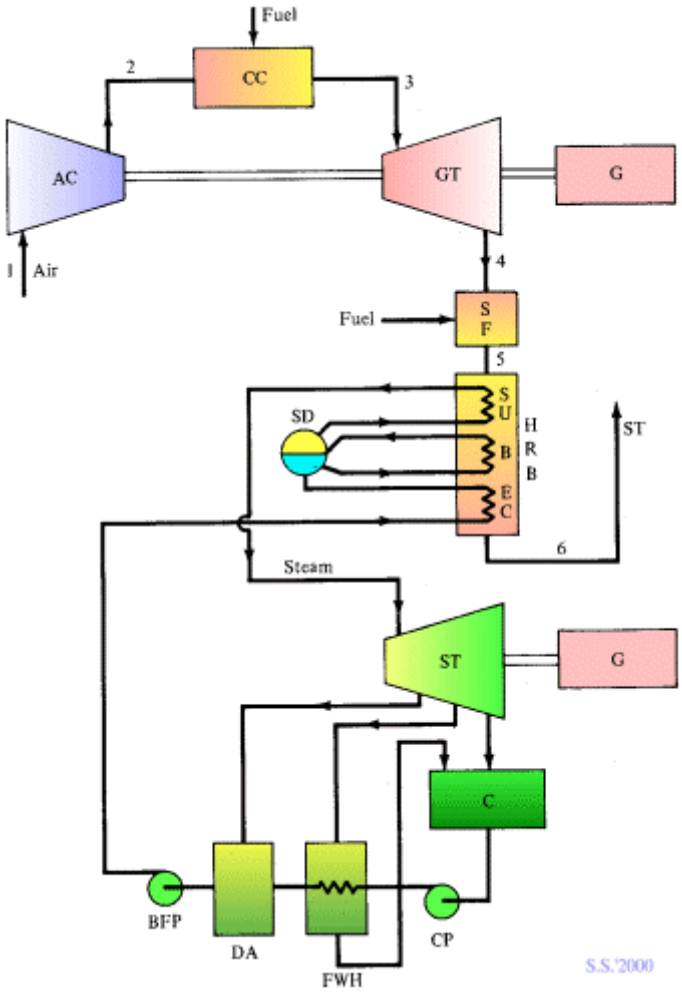
1. จงบรรยายถึงวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิก หลัก ๆ ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน

(20 คะแนน)

2. ชุดอุปกรณ์ต่อไปนี้คืออะไร และส่วนประกอบต่อไปนี้คืออะไร ใช้ทำหน้าที่อะไร

AC, CC, GT, G, SF, HRB, SU, B, EC, SD, ST, C, CP, FWH, DA, และ BFP

(20 คะแนน)



ส่วนประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นดังนี้

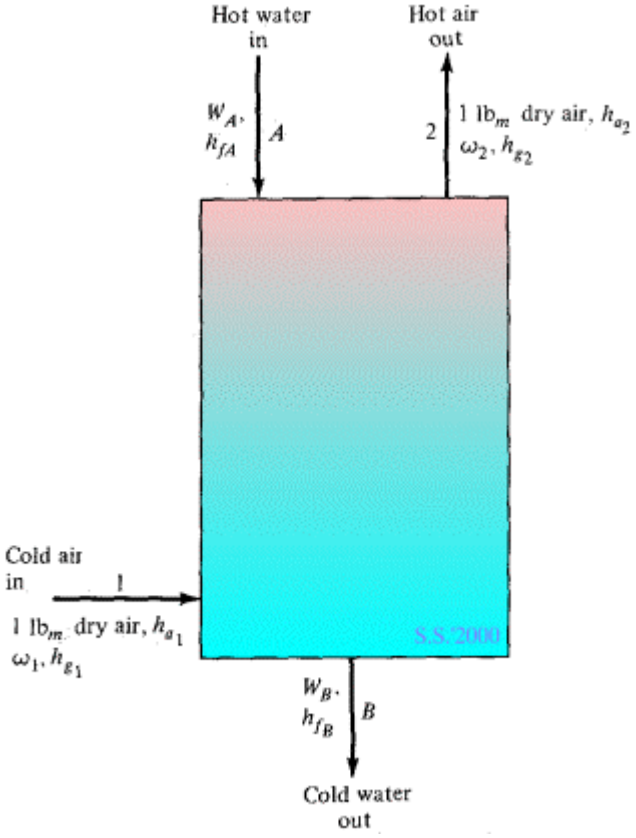
- AC (air compressor) คือ เครื่องอัดอากาศ ทำหน้าที่
- CC
- GT
- G
- SF
- HRB
- SU
- B
- EC
- SD
- ST
- C
- CP
- FWH
- DA
- และ BFP

3. จงบรรยายถึงกรรมวิธีต่าง ๆ ที่ใช้ ในการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า เพื่อให้เพียงพอกับภาระที่มีการเปลี่ยนแปร

(20 คะแนน)

4. หอผึ่งเย็นแรงดูดธรรมชาติมีค่า range เป็น 15^{O}C รับน้ำร้อนอุณหภูมิ 50^{O}C ปริมาณ 10,000 l/s อากาศภายนอกมีอุณหภูมิ 30^{O}C ความดัน 1.012 bar ความชื้นสัมพัทธ์ 70% อากาศที่ออกจากหอผึ่งเย็นมีสภาพอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 40^{O}C จงคำนวณหา อัตราไหลของอากาศที่ใช้ระบายความร้อนนี้ (อากาศมีค่า C_p=1.0048 kJ/kgK)

(30 คะแนน)



(เว้นว่างสำหรับทำโจทย์)

5. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิด CANDU ที่ใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมธรรมชาติ มีกำลังการผลิต 500 MWe ไฟฟ้า ถ้าวัฏจักรแรงคินที่ใช้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 32% จงหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ปริมาณเป็น กิโลกรัมต่อปี จากข้อมูลดังนี้

U^{235} ปริมาณ 1 กรัม มีจำนวนอะตอม = 0.60225×10^{24} /235.0439 อะตอม

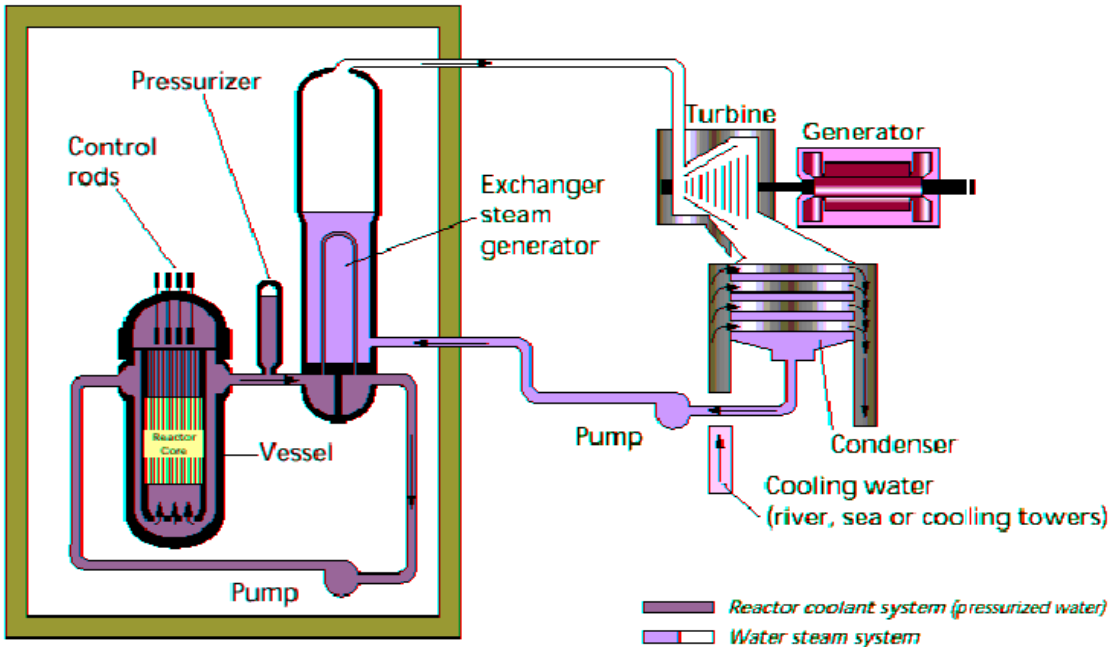
U^{235} ปริมาณ 1 อะตอม แตกตัวได้พลังงาน = 200 MeV

1 MeV = 1.60219×10^{-13} J

(20 คะแนน)

6. จงบรรยายถึงโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิด PWR ตามรูปว่ามีหลักการทำงาน และส่วนประกอบที่สำคัญอะไรบ้าง

(20 คะแนน)



Faculty of Engineering

Examination: Final, Semester 1 Academic Year 2003
Date: October 8, 2003 Time: 9:00-12:00
Subject: 216-434 Power Plant Engineering Room: R300

Part II
(Prof. Michael Allen)

1. Residues from rubber factory are available for use as a fuel.

The Ultimate Analysis is:	Carbon	69.7% $^{w}/_{w}$
	Hydrogen	8.7% $^{w}/_{w}$
	Oxygen	0% $^{w}/_{w}$
	Nitrogen	0% $^{w}/_{w}$
	Sulfur	1.6% $^{w}/_{w}$
	Ash	20% $^{w}/_{w}$
	Moisture	0% $^{w}/_{w}$

Calculate the following on an "ash-free" basis:

1) The approximate empirical formula of the rubber residue as $(C_aH_bS)_n$;
2) The approximate molecular weight according to this empirical formula if n=1.

If the fuel is burned with 7% excess air, calculate the following:

3) The Air/Fuel Ratio on a mass basis;
4) The volume of air required per kilogram of fuel;
5) The Air/Fuel Ratio on a mole basis (moles of air per mole of fuel burned);
6) Moles of products formed per mole of fuel burned.

7) Estimate the mole fraction of
CO_2,
H_2O,
O_2,
N_2,
SO_2 in the flue gases from this combustion.

Data: Atomic weights
Carbon: 12.01115;
Hydrogen: 1.00797;
Oxygen: 15.9994;
Nitrogen: 14.0076;
Sulfur: 32.064

Density of air = 1.16 kg/m^3 at 27^{o}C

(answer)

2. Show that the total power available (P_{tot}) from a wind-turbine in Watts is given by:

$$P_{tot} = \rho A \frac{V^3}{2}$$

where ρ = air density in kg/m^3
A is the cross-sectional area of the airstream intercepted by the wind-turbine (m^2);
and V is the wind velocity (m/sec)

Estimate the total power available from a wind-turbine 2 metres in diameter if the wind velocity is
a) 2 m/s;
b) 4 m/s

How does this affect wind-turbine design?

What does the term "cut-in" velocity mean?

What does the term "cut-out" velocity mean?

What is 'flat rating"?

What is the maximum theoretical efficiency of a wind-turbine?
10%?
20%?
40%?
60%?
80%?
100% ?

What is the usual range of practical wind-turbine efficiencies
5 to 80%?
10 to 60%?
15 to 40%?
20 to 30%?

What does the term "Plant capacity factor" mean?

What is the value of the plant-capacity factor for a typical modern wind-turbine?
10-20%?
20-30%?
30-40%?
40-50%?
50-60%?
60-70%?
70-80%?
80-90%?
90-100%?

Data: Density of air = 1.16 kg/m^3 at 27^{o}C

Michael Allen

(answer)

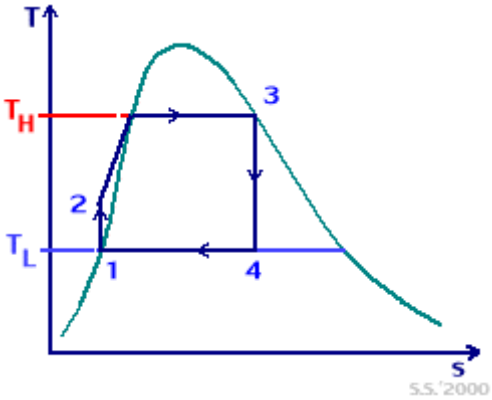
(answer)

เฉลย

1. วัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิก หลัก ๆ ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน ได้แก่

- วัฏจักรแรงคิน
- วัฏจักรเบรตัน
- วัฏจักรร่วม (แรงคินและเบรตัน)

ก. วัฏแรงคิน เป็นวัฏจักรพื้นฐานของระบบที่ใช้ไอ-ของเหลว เช่นเครื่องจักรกังหันไอน้ำ เป็นต้น



วัฏจักรแรงคินอุดมคติ ประกอบขึ้นด้วย 4 กระบวนการย่อย คือ

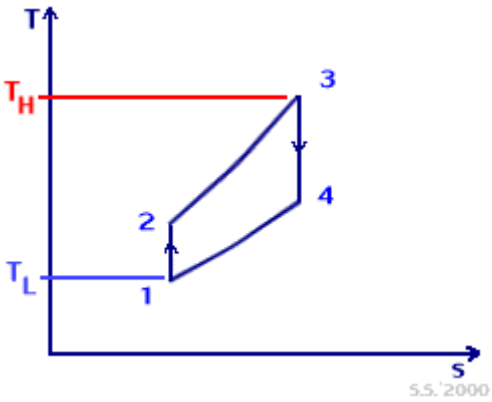
1-2: reversible adibatic compression

2-3: reversible constant pressure heat addition

3-4: reversible adibatic expansion

4-1: reversible constant pressure heat rejection

ข. วัฏจักรเบรตัน เป็นวัฏจักรพื้นฐานที่ใช้ก๊าซร้อน เช่น วัฏจักรกังหันก๊าซ เป็นต้น



วัฏจักรเบรตันอุดมคติ ประกอบขึ้นด้วย 4 กระบวนการย่อย คือ

1-2: reversible adibatic compression

2-3: reversible constant pressure heat addition

3-4: reversible adibatic expansion

4-1: reversible constant pressure heat rejection

ค. วัฏจักรร่วม เป็นระบบที่มี 2 วัฏจักรทำงานร่วมกัน ได้แก่ วัฏจักรเบรตัน ทำงานในช่วงอุณหภูมิสูง แล้วใช้วัฏจักรแรงคิน รับความร้อนเหลือใช้มาทำงานต่อ

---

2. ชุดอุปกรณ์ชุดนี้คือวัฏจักรร่วม (combined cycle). ประกอบด้วยวัฏจักรย่อย 2 วัฏจักร นั่นคือ

- **วัฏจักรกังหันก๊าซ** (gas turbine cycle) ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญในระบบได้แก่ air compressor (AC), combustion chamber (CC), และ gas turbine (GT) โดยที่ไอเสียที่ยังร้อนผ่านเข้าสู่วัฏจักรกังหันไอน้ำ (steam cycle) ต่อไป
- **วัฏจักรกังหันไอน้ำ** (steam cycle) รับความร้อนจากไอเสียกังหันก๊าซ ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญในระบบได้แก่ heat-recovery boiler (HRB), turbine (ST), condenser (C), pump (CP), closed feedwater heaters (FWH), และ deaerating heater (DA). โดยที่ HRB มีส่วนประกอบเป็น economizer (EC), boiler (B), steam drum (SD), และ superheater (SU). มี supplementary fuel bumers (SF) เป็นห้องเผาไหม้เสริม เพื่อเพิ่มความร้อนก่อนเข้า HRB

ส่วนประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นดังนี้

- AC (air compressor) คือ เครื่องอัดอากาศ ทำหน้าที่ อัดอากาศเพิ่มความดันแล้วส่งไปยังห้องเผาไหม้
- CC (combustion chamber) คือ ห้องเผาไหม้ ทำหน้าที่ เผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน
- GT (gas turbine) คือ กังหันก๊าซ ทำหน้าที่ เปลี่ยนรูปพลังงาน เอนธาลปี เป็นพลังงานกล
- G (generator) คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานกล เป็นไฟฟ้า
- HRB (heat-recovery boiler) คือ เครื่องกำเนิดไอน้ำจากความร้อนนำกลับ ทำหน้าที่ ผลิตไอน้ำที่ความดันสูง มีส่วนประกอบย่อย เป็น
  - EC (economizer) คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอีโคโนไมเซอร์ ทำหน้าที่ อุ่นน้ำด้วยความร้อนจากไอเสีย
  - B (boiler) คือ หม้อต้มน้ำ ทำหน้าที่ ต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอ
  - SD (steam drum) คือ สตีมดรัม หรือถังไอน้ำ ทำหน้าที่ รับน้ำเหลว ส่งไปรับความร้อนแล้วแยกไอน้ำแห้ง เพื่อจ่ายไปยังระบบ
  - SU (superheater) คือ เครื่องผลิตไอซูเปอร์ฮีต ทำหน้าที่รับความร้อนเพิ่มเพื่อเปลี่ยนไอน้ำแห้ง ให้เป็นไอซูเปอร์ฮีต
- ST (turbine) คือ กังหันไอน้ำ ทำหน้าที่ เปลี่ยนรูปพลังงาน เอนธาลปีในไอน้ำ เป็นพลังงานกล

- C (condenser) คือ เครื่องควบแน่น ทำหน้าที่ ระบายความร้อนทิ้งเพื่อเปลี่ยนสภาพไอน้ำให้เป็นของเหลว
- CP (condensate pump) คือ ปั๊มน้ำควบแน่น ทำหน้าที่ สูบน้ำที่ควบแน่นแล้ว ส่งหมุนเวียนกลับไปใช้งานรับพลังงานความร้อนอีก
- FWH (closed feedwater heaters) คือ หม้ออุ่นน้ำป้อนชนิดปิด ทำหน้าที่ อุ่นน้ำป้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น
- DA (deaerating heater) คือ หม้ออุ่นน้ำป้อนชนิดเปิด ทำหน้าที่ 2 อย่าง คืออุ่นน้ำป้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น และเป็นที่ระบายก๊าซอื่น ๆ ที่ปะปนอยู่ให้ออกจากระบบ
- BFP (boiler feed pump) ปั๊มน้ำความดันสูง ทำหน้าที่ปั๊มน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำ ที่สตีมดรัม

---

3. วิธีจัดกำลังผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอและเปลี่ยนแปรตามภาระนั้น เกี่ยวข้องโดยตรงกับค่าใช้จ่ายหรือเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงาน มีวิธีการต่าง ๆ ทั้งที่ประสบความสำเร็จมาแล้วและที่กำลังทดสอบอยู่ บางวิธีการเหมาะสำหรับการรับภาระยอด บางชนิดก็ใช้ได้ทั่วไปรวมทั้งรับภาระยอดด้วย วิธีการเหล่านั้น คือ

1. พัฒนาการใช้พลังน้ำให้มาก

พยายามพัฒนาโรงจักรพลังน้ำเท่าที่ทำได้ ในบางประเทศอาจใช้โรงจักรแบบน้ำไหลผ่านดักกลางแม่น้ำ ส่วนประเทศไทยใช้วิธีสร้างเขื่อน ในการใช้น้ำก็ต้องรักษาระดับการใช้ที่เหมาะสมให้ผลิตพลังงานได้มากที่สุด และมีใช้ตลอดปี

2. การใช้ความร้อนไอน้ำร่วมกับพลังน้ำ

วิธีการหรือหลักการนี้เหมาะสมอย่างยิ่งต่อระบบการผลิตไฟฟ้าแบบเครือข่าย กล่าวคือเมื่อผลิตในระบบเครือข่ายนั้น ในฤดูน้ำมากอาจใช้พลังน้ำตลอด 24 ชั่วโมงเลยก็ได้ ขณะที่ในฤดูน้ำน้อยจะสงวนน้ำไว้ใช้รับภาระยอด

3. การใช้โรงจักรเก่า

แม้ว่าโรงจักรเก่าจะมีสมรรถนะและประสิทธิภาพต่ำกว่าโรงจักรรุ่นใหม่ แต่เนื่องจากว่าราคาต้นทุนแรกซื้อโรงจักรนั้นคืนทุนหมดแล้ว จะมีเฉพาะค่าซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง ดังนั้นถ้านำมาใช้งานในสภาพ ตัวประกอบกำลังผลิตต่ำ ๆ คือใช้น้อยใช้เฉพาะช่วงภาระยอด เป็นต้น ก็สามารถประหยัดและถูกกว่าการลงทุนซื้อโรงจักรใหม่

4. การซื้อไฟฟ้าจากเพื่อนบ้าน

วิธีการนี้ทำให้สามารถมีกำลังสำรองในระบบเพิ่มขึ้น และบางกรณีอาจทำให้สามารถแบ่งเบาภาระยอดลงได้ถ้าแต่ละระบบมีตำแหน่งภาระยอดเหลื่อมกัน

5. การติดตั้งโรงจักรดีเซลหรือกังหันแก๊สเพื่อรับภาระยอด

โรงจักรชนิดนี้มีความสามารถในการเริ่มเดินเครื่องได้เร็ว ไม่ต้องอุ่นเครื่องนานเหมือนโรงจักรกังหันไอน้ำ เหมาะสำหรับการรับภาระยอด นอกจากนี้ราคาโรงจักรก็ไม่สูงมาก โดยเฉพาะโรงจักรกังหันแก๊สส่วนใหญ่เป็นชุดสำเร็จการติดตั้งง่าย ทำงานที่ความเร็วรอบสูงจึงใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเล็กและราคาต่ำลง

6. การใช้แบตเตอรี่

ปรกติไม่เหมาะกับระบบกระแสสลับ เหมาะกับระบบกระแสตรงมากกว่า และมีความจุไม่สูงนัก

7. การใช้หม้อสะสมไอน้ำ

การเก็บสะสมพลังงานความร้อนที่ได้จากไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำในการใช้ไอน้ำที่มีภาวะเปลี่ยนแปร ทำให้ลักษณะภาระที่ปรากฏต่อเครื่องกำเนิดไอน้ำสม่ำเสมอราบเรียบดีขึ้น ระบบที่มีการใช้กันมากคือ ระบบของรูทส์ (Ruths system) พลังงานที่สะสมในหม้อสะสมไอน้ำแบบรูทส์ จะอยู่ในรูปน้ำร้อนอุณหภูมิสูง โดยการประจุพลังงานจากไอน้ำเข้า และจ่ายเป็นไอน้ำออกไปในช่วงจ่ายพลังงาน ปัจจัยสำคัญของระบบนี้คือ ค่าความแตกต่างความดันระหว่างหม้อไอน้ำและท่อไอน้ำหลัก หม้อสะสมไอน้ำใบหนึ่งยิ่งมีค่าความแตกต่างความดันสูง ยิ่งสะสมพลังงานได้มาก ลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมคือการใช้ไอน้ำที่มีความต้องการสูง ๆ ต่ำ ๆ

8. การใช้อ่างสะสมพลังน้ำ

สามารถนำพลังงานส่วนเกินจากการผลิตในระบบ โดยเฉพาะในระบบเครือข่ายที่มีกำลังการผลิตเกินพอในช่วงเวลานอกภาระยอด (off peak) ใช้สำหรับการสูบน้ำขึ้นไปเก็บเหนือเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำที่มีความดันหัว (head) สูง เมื่อต้องการใช้พลังงานเพิ่มในระบบเช่นในช่วงเวลาภาระยอด (peak) ก็สามารถปล่อยออกมาขับกังหันน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าได้

---

4. จากตารางไอน้ำ ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ อุณหภูมิ $30^{O}C$, $P_{sat} = 4.246$ kPa

ความดันบรรยากาศ $P = 1.012$ bar = 101.2 kPa

ความดันไอน้ำ $P_v = \phi P_{sat} = 0.7 \times 4.246 = 2.9722$ kPa

ดังนั้น ความดันของอากาศแห้ง = 101.2 – 2.9722 = 98.2278 kPa

$$\omega_1 = \frac{0.622P_v}{P - P_v} = \frac{0.622 \times 2.9722}{98.2278} = 0.018821$$

จากตารางไอน้ำ ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ อุณหภูมิ 40^{O}C, P_{sat} = 7.384 kPa

$$\omega_2 = \frac{0.622P_{sat}}{P - P_{sat}} = \frac{0.622 \times 7.384}{93.816} = 0.048956$$

จากตารางไอน้ำ h_{g1}= 2556.3 kJ/kg h_{g2}= 2574.3 kJ/kg

จากโจทย์ T_A= 50^{O}C T_B = 50 - 15 = 35^{o}C

อัตราไหลของน้ำร้อน = 10,000 l/s = 10,000/(0.001012x1000) = 9881.423 kg/s

จากตารางไอน้ำ h_{fA} = 209.33 kJ/kg v_{fA} = 001012 m^3/kg h_{fB} = 146.68 kJ/kg

จากสมการสมดุลพลังงาน

$$\omega_1 h_{g1} + W_A h_{fA} = C_p(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{g2} + [W_A - (\omega_2 - \omega_1)]h_{fB}$$

แทนค่า

$$0.018821 \times 2556.3 + W_A(209.33) = 1.0048(40 - 30) + 0.048956 \times 2574.3 + [W_A - (0.048956 - 0.018821)] \times (146.68)$$

$$48.10648 + 209.33W_A = 10.048 + 126.0274 + 146.68W_A - 4.420202$$

ดังนั้น W_A = 1.33358 kg_{water}/kg_{da}

ดังนั้น อัตราไหลของอากาศ $= \frac{\dot{W}_A}{W_A} = \frac{9881.423}{1.33358} = 7409.70$ kg/s **ตอบ**

---

5. โรงไฟฟ้านิวเคลียร์

กำลังผลิตไฟฟ้า = 500 MW_e

กำลังผลิตความร้อน = $\frac{500}{0.32}$ = 1562.5 MW_{th}

= $\frac{1562.5 \times 10^6}{1.60219 \times 10^{-13}}$ = 9.75228x10^{21} MeV

ดังนั้น การแตกตัวของ U^{235} = $\frac{9.75228 \times 10^{21}}{200}$ = 4.87614x10^{19} อะตอม/วินาที

อัตราการใช้ U^{235} = $\frac{4.8761 \times 10^{19}}{0.60225 \times 10^{24} / 235.0439}$ = 0.019030412 กรัม/วินาที

= $\frac{0.019030412 \times 3600 \times 24 \times 365}{1000}$

= 600.14 กิโลกรัม/ปี **ตอบ**

---

6. โรงไฟฟ้า PWR ตามรูปมีหลักการทำงาน คือ มีปฏิกิริยาแตกตัว (fission) ของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์เข้มข้น เช่น U^{235} อย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ (chain reaction) จากการชนของนิวตรอนกับนิวเคลียส

ของเชื้อเพลิง (นิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่จะถูกน้ำชนิดหนัก ซึ่งทำหน้าที่เป็น moderator หน่วงให้ช้าลงเพื่อทำปฏิกิริยาต่อไป) ในปฏิกรณ์ทำให้มีพลังงานความร้อนเกิดขึ้น ถ่ายเทให้น้ำชนิดหนัก (heavy water) ที่ทำหน้าที่เป็นสารหล่อเย็น (coolant) ในวงรอบปฐมภูมิ ซึ่งจะหมุนเวียนไปถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำในวงรอบทุติยภูมิ ซึ่งเป็นสารทำงาน (working fluid) ของวัฏจักรแรงคิน ให้ทำงานผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการหมุนกังหันไอน้ำต่อไป

ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

Reactor vessel ถังปฏิกรณ์ เป็นถังความดันสูง 2250 psi

Reactor core ประกอบขึ้นด้วยแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ที่จัดเรียงอย่างเป็นระเบียบ

Control rods เป็นแท่งควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์

Pressuriser เป็นถังรักษาความดันในระบบให้คงที่

Circulating pumps เป็นปั๊มน้ำชนิดหนัก ที่ใช้หล่อเย็นระบบ

Steam generator เป็นเครื่องกำเนิดไอน้ำ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับ coolant

Steam turbine เป็นกังหันไอน้ำ ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงาน

Condenser เครื่องควบแน่นไอน้ำ ในวัฏจักรแรงคิน

Pump สำหรับสูบน้ำ หมุนเวียนกลับจากคอนเด็นเซอร์ เข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ

Electric generator เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับเปลี่ยนรูปพลังงานกลให้เป็นไฟฟ้า

Worked solutions

1. Residues from rubber factory are available for use as a fuel.

The Ultimate Analysis is:	Carbon	69.7% $^{w}/_{w}$
	Hydrogen	8.7% $^{w}/_{w}$
	Oxygen	0% $^{w}/_{w}$
	Nitrogen	0% $^{w}/_{w}$
	Sulfur	1.6% $^{w}/_{w}$
	Ash	20% $^{w}/_{w}$
	Moisture	0% $^{w}/_{w}$

Calculate the following on an "ash-free" basis:

1) The approximate empirical formula of the rubber residue as $(C_aH_bS)_n$;

$(C_{116.2876}H_{172.9694}S)_n$

Atomic weight	12.0115	1.00797	15.9994	14.0067	32.064		
	C	H	O	N	S	Ash	
Weight %	**69.7**	**8.7**	**0**	**0**	**1.6**	**20**	100 Total wt%
Ash Free basis	0.87125	0.10875	0	0	0.02		80 Less ash
Ash Free/ Atomic Wt	0.072535	0.10789	0	0	0.000624		
Normalised	116.2876	172.9694	0	0	1		
Empirical formula	$(C_{116.2876}$	$H_{172.9694}$			$S)_n$		
	1396.788	174.348	0	0	32.064		1603.2 MW
Moles formed	116.2876	86.48472			1		160.5299 mols O2 needed
	CO2	H2O			SO2		160.5299 mols O2 to be supplied (stoichiometric amount)
	Excess air =			**7**	**%**	so 1.07 ×160.53	=171.767 actual mols O_2 supplied per mol
						171.767×1/0.21 =	817.9381 mols of air/mol of fuel
						817.9381× 28.85/1603.2	= 14.72 kg/kg
0.07 × 160.5299 = XS O_2 =	11.23709	646.1711	=	N_2 from air	= 0.79/0.21 × 171.767		CO2 + H2O + O2 + N2 + SO2 = 861.1805
	0.135033	0.100426	0.013048	0.750332	0.001161	Sum = 1	CO_2 / 861.18, H_2O / 861.18 O_2 / 861.18, N_2 / 861.18 SO_2 /816.18
	CO2	H2O	O2	N2	SO2		

2) The approximate molecular weight according to this empirical formula if n=1.

(116.2876 × 12.0115 + 174.348 × 1.00797 + 1 × 32.064) × n = 1603.2 × n

If the fuel is burned with 7% excess air, calculate the following:

3) The Air/Fuel Ratio on a mass basis; *14.72 kg/kg*

4) The volume of air required per kilogram of fuel; *14.72 / 1.16 = 12.7 m^3/kg of fuel*

5) The Air/Fuel Ratio on a mole basis (moles of air per mole of fuel burned);
817.9381 mols/mol of fuel burned

6) Moles of products formed per mole of fuel burned.
861.1805 total mols of products per mol of fuel burned

7) Estimate the mole fraction of
CO_2 : *= 116.2876/861.1805= 0.1350*
H_2O: *= 86.48472/861.1805= 0.1004*
O_2 : *= 11.23709/861.1805= 0.0130*
N_2 : *= 646.1711/861.1805= 0.7503*
SO_2 : *= 1/861.1805= 0.0012*

in the flue gases from this combustion.

Data: Atomic weights
Carbon: 12.01115;
Hydrogen: 1.00797;
Oxygen: 15.9994;
Nitrogen: 14.0076;
Sulfur: 32.064

Density of air = 1.16 kg/m^3 at 27°C

2. Show that the total power available (P_{tot}) from a wind-turbine in Watts is given by:

$$P_{tot} = \rho A \frac{V^3}{2}$$

where ρ = air density in kg/m^3
A is the cross-sectional area of the airstream intercepted by the wind-turbine (m^2);
and V is the wind velocity (m/sec)

*Stream kinetic energy = ½ **mv**^{2} where **m** is the mass of air moving at velocity **v**.*
*But the rate at which the mass flows = ρ**Av** where ρ is the density of the air, **A** is the cross-sectional area of the airstream intercepted by the wind turbine and **v** is the air velocity.*

Therefore rate of kinetic energy or total power available

$$P_{tot} = \rho A \frac{V^3}{2}$$

Estimate the total power available from a wind-turbine 2 metres in diameter if the wind velocity is

a) 2 m/s; $\frac{1}{2}\rho AV^3 = 1.16\ kg/m^3 \times \rho\ (2)^2/4\ m^2 \times 2^3\ m^3/sec^3 = 14.56\ W$

b) 5 m/s $\frac{1}{2}\rho AV^3 = 1.16\ kg/m^3 \times \rho\ (2)^2/4\ m^2 \times 4^3\ m^3/sec^3 = 116.62\ W$

How does this affect wind-turbine design?

It means that if the wind speed doubles, the total power available rises by a factor of $2^3 = 8$. The wind-turbine must be designed for sudden changes of wind velocity or it will be destroyed. It also means that if it is designed to work efficiently at low wind velocities, it may have to be stopped at high wind velocities because the power being developed cannot be safely handled.

What does the term "cut-in" velocity mean?

The minimum velocity at which the windmill comes into operation is called the cut- in velocity.

What does the term "cut-out" velocity mean?

This is the wind velocity at which the wind-turbine must cut out if it is not to be damaged

What is 'flat rating"?

Power generating windmills are designed to produce their full power at a design velocity less than the maximum prevailing wind velocity. So power is rejected above the design velocity. This is flat rating.

What is the maximum theoretical efficiency of a wind-turbine?

10%?
20%?
40%?
60%?
80%?
100% ?

What is the usual range of practical wind-turbine efficiencies

5 to 80%?
10 to 60%?
15 to 40%?
20 to 30%?

What does the term "Plant capacity factor" mean?

The ratio of the total energy generated per unit time to the total generation capacity is called the plant capacity factor. It is about 30 to 40% so installed capacity must be higher than what is needed

What is the value of the plant-capacity factor for a typical modern wind-turbine?

10-20%?
20-30%?
30-40%?
40-50%?
50-60%?
60-70%?
70-80%?
80-90%?
90-100%?

Data: Density of air = 1.16 kg/m^3 at 27^{o}C

Michael Allen