บทที่ ๓

การออกแบบ

๓.๑ วัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิคของการทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

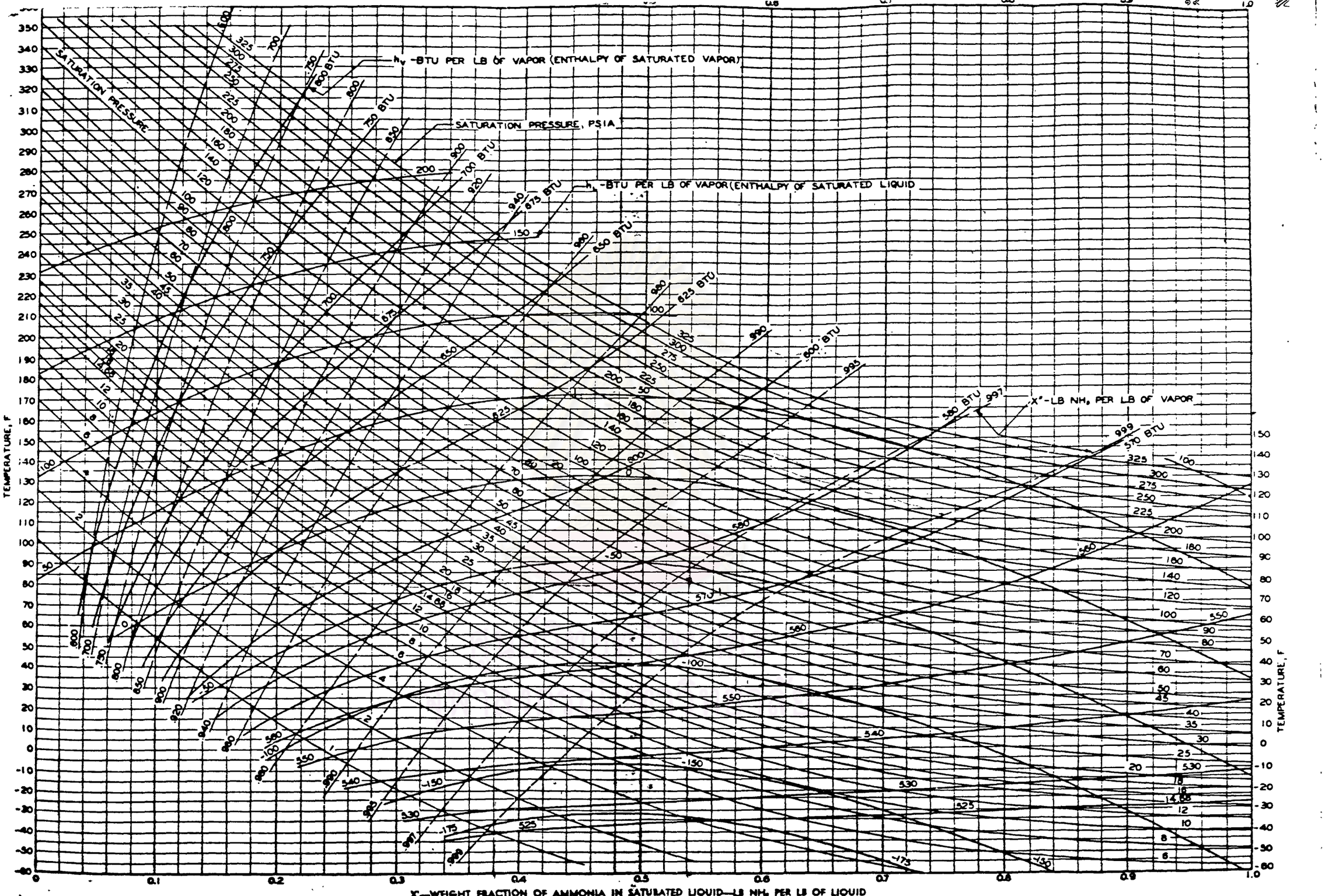
เนื่องจาก working fluid ที่ใช้มี ๒ ชนิด คือ น้ำกับแอมโมเนีย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องแยกการอธิบายออกเป็น ๒ ส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวกับความเข้มข้นของแอมโมเนียใน collector และวัฏจักรการทำความเย็นโดยทั่วไป

๓.๑.๑ การหาความเข้มข้นของ NH_3-H_2O solution ของ collector

เนื่องจากต้องการผลิตน้ำแข็งจึงสมมุติให้ อุณหภูมิที่ evaporator coil เป็น 18 °F (-7.8 °C) ค่าความดันไออิ่มตัวของแอมโมเนียบริสุทธิ์ที่อุณหภูมินี้จะเป็น 45 psia (306 kPa) จากข้อมูลที่ได้มา อุณหภูมิของบรรยากาศในเชียงใหม่ตอนกลางคืนมีค่าประมาณ 75 °F (24 °C) ที่อุณหภูมิ 75 °F ความดัน 45 psia จาก P-T-X diagram ของแอมโมเนียกับน้ำจะได้ค่าความเข้มข้นสมดุลย์ มีค่าเป็น ๐.๕ อันเป็นค่าความเข้มข้นของ solution ที่จะใส่ลงใน collector ซึ่งจะเป็นจุดที่ ๑ ดังแสดงในรูปที่ ๑๐

เนื่องจากอุณหภูมิน้ำในตอนกลางวันในเชียงใหม่มีค่าเฉลี่ยเป็น 77 °F (25 °C) จึงให้อุณหภูมิของน้ำใน condenser tank มีค่าเป็น 77 °F (25 °C) ด้วย ค่าความดันอิ่มตัวของแอมโมเนียบริสุทธิ์ที่อุณหภูมินี้จะเป็น 145 psia และเนื่องจากความดันของ solution นี้ยังไม่สูงพอที่ไอแอมโมเนียจะกลั่นตัวได้ใน condenser ทำให้ความเข้มข้นของ solution ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงได้จุดที่ ๒

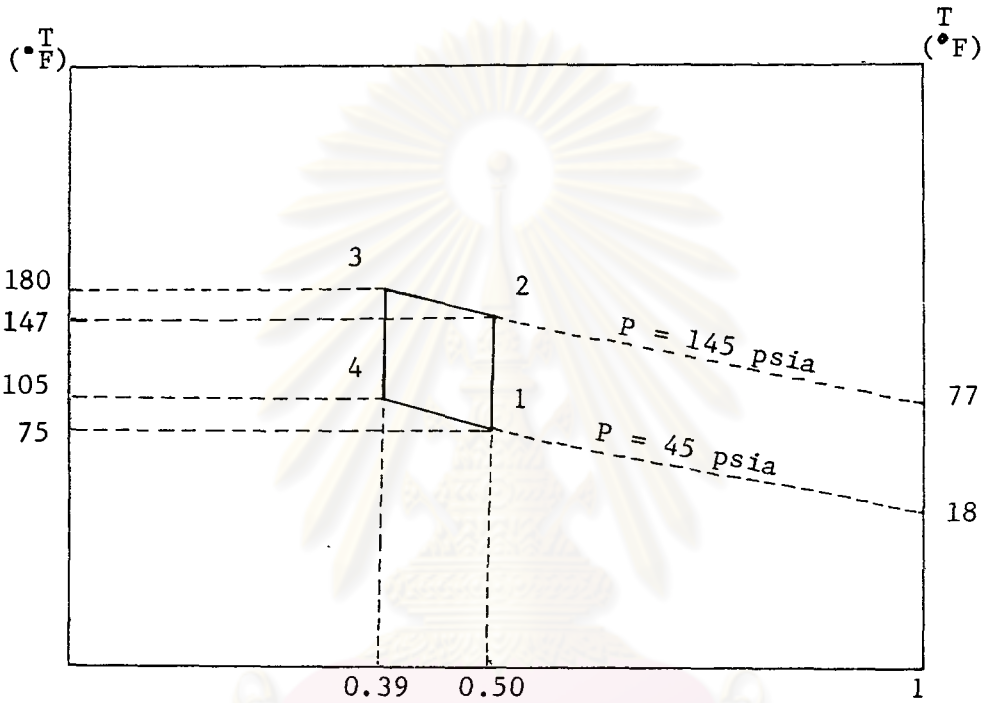
เนื่องจาก solar collector ที่ใช้เป็นแบบ flat plate จึงไม่สามารถทำอุณหภูมิสูงได้ จึงให้อุณหภูมิสูงสุดของ solution เป็น 180 °F และเนื่องจากไอแอมโมเนียกลั่นใน condenser ที่ความดันคงที่ ดังนั้น ความดันของ solution จึงคงที่ด้วยจึงได้จุดที่ ๓ ที่จุด ๓ นี้ความเข้มข้นจะเป็น ๐.๓๔



Refrigeration and Air Conditioning, 2nd ed.
Jordan and Priester, Prentice-Hall, Inc.
NARONA'S

Fig. 9 (Reprinted, by permission, from *Refrigerating Engineering*, Vol. 58, No. 10, Oct., 1950.)

ในตอนกลางคืนจะมีการระบายความร้อนจาก collector ทำให้ความดันของ solution ลดต่ำลง โดยที่ความเข้มข้นของ solution ไม่เปลี่ยนแปลง และเนื่องจากแอมโมเนียระเหยใน evaporator ที่มีความดันคงที่ ดังนั้น ความดันของ solution ที่จุด ๔ จึงมีค่าเป็น ๔๕ psia จึงได้จุด ๔



X_L = weight fraction of ammonia in saturated liquid
(lb NH_3/lb of liquid)

รูปที่ ๑๐ ideal thermodynamics cycle

๓.๒ การคำนวณ load ของตู้เย็น

ผลที่ต้องการในการออกแบบตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์คือ ให้สามารถผลิตน้ำแข็งใน cooling box ได้ในอัตรา ๒๒ ปอนด์ (10 kg) ต่อวัน จากน้ำที่อุณหภูมิ 82 °F (28 °C) และน้ำแข็งที่ได้จะอยู่ขอบนอกของ cold storage

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ load จะใช้หน่วย SI ในการคำนวณบางตอนแล้วจึงแปลงเป็นหน่วยอังกฤษ load ที่คำนวณจะเป็น load ที่เกิดขึ้นใน ๑ วัน

load ของตู้เย็นประกอบด้วย

1. Ice conversion load

2. Air chamber load

3. Transmission heat load

ปริมาณความร้อน (Q_1) ที่ต้องนำออกจากน้ำ ๑๐ กิโลกรัมต่อวัน ที่อุณหภูมิ 28 °C ให้กลายเป็นน้ำที่อุณหภูมิ 0 °C

จาก $Q_1 = mC_p\Delta T$

C_p = specific heat = 4.180 kJ/kg-°C

m = มวลของน้ำ 10 kg/day

ΔT = 28-0 = 28°C

จะได้ $Q_1 = 10 \times 4.180 \times 28$

$= 1170$ kJ/day

ปริมาณความร้อน (Q_2) ที่ต้องนำออกจากน้ำ ๑๐ กิโลกรัมต่อวัน ที่อุณหภูมิ 0 °C เพื่อให้เป็นน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 °C

จาก $Q_2 = ml$

เมื่อ l = Latent heat ของน้ำ = 334.4 kJ/kg

$Q_2 = 10 \times 334.4$

$Q_2 = 3344$ kJ/day

Air chamber load ของ cold storage (Q_3)

ปริมาตร ของ cooling box (V) = $0.3 \times 0.36 \times 0.36$

$V = 0.04\ m^3$

จาก $Q_3 = m_a C_{pa} \Delta T$

เมื่อ m_a = มวลของอากาศ = $V\gamma$

γ = specific volume ของอากาศ = $1.23\ kg/m^3$

C_{pa} = specific heat ของอากาศ = 1.048 kJ/kg-°C

ΔT = การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ =28-0 =28°C

Q_3 = $1.23 \times 0.04 \times 1.048 \times 28$

Q_3 = 1.4 kJ/day

Transmission heat load

จะถือว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศกับผิวกล่องมีค่ามาก เมื่อเทียบกับการนำความร้อนของผิวกล่อง ดังนั้น อุณหภูมิที่ผิวกล่องจึงเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศ

จาก $Q = \frac{kA\Delta T}{x}$

เมื่อ k = conductivity ของโฟมที่ใช้บุผนัง = 0.0375 J/m-s-°C

x = ความหนาของโฟมที่ใช้บุผนังทุกด้าน = 0.12 m

A = พ.ท.ผิวกล่อง = $2(0.36 \times 0.36)+4(0.30 \times 0.36) = 0.9\ m^2$

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศนอกกล่องกับน้ำแข็งภายใน = 28 °C

$Q_4 = \frac{0.0375 \times 0.9 \times 28}{0.12} \left(\frac{12 \times 3600}{1000} \right)$

= 340 kJ/day

Total load

ใช้ safety factor 1.28 เพื่อชดเชย load ที่เกิดจากรอยรั่วต่าง ๆ ของ cooling box [6]

total load = $1.28(Q_1+Q_2+Q_3+Q_4)$

= 1.28(1170+3344+1.4+340)

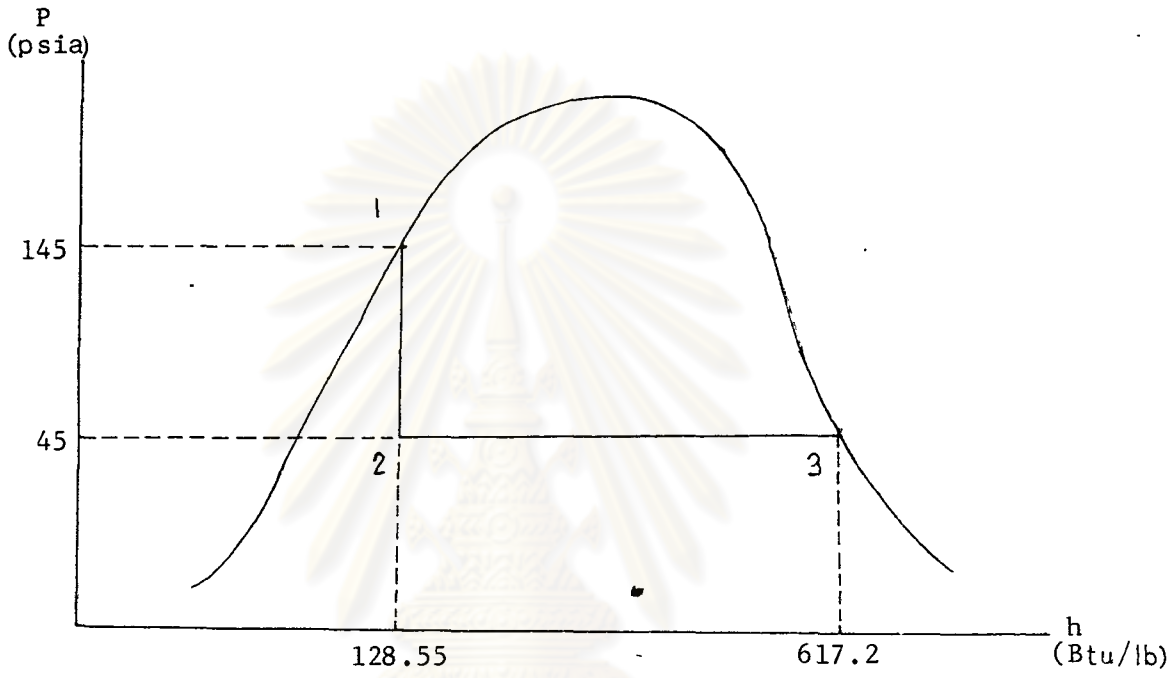
= 6235 kJ/day

= 6014 Btu/day

๓.๓ <u>ระบบการทำความเย็น</u>

เนื่องจากระบบมี rectifier ดังนั้นการคำนวณจะใช้คุณสมบัติของแอมโมเนียบริสุทธิ์

เมื่อเราได้พิจารณาถึง pressure-enthalpy diagram ของขบวนการทำความเย็น จะมีขบวนการต่างๆดังต่อไปนี้



รูปที่ ๑๑ ขบวนการทำความเย็น บน p-h diagram

ขบวนการ ๑-๒ เป็นขบวนการลดความดัน โดยแอมโมเนียเหลวจาก receiver จะไหลผ่าน expansion valve ทำให้มีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอบางส่วน แต่ค่า enthalpy สำหรับขบวนการนี้จะมีค่าคงที่

ขบวนการ ๒-๓ เป็นขบวนการทำความเย็น โดยแอมโมเนียเหลวที่ไหลออกมาจาก expansion valve จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้กลายเป็นไอที่ evaporator coil จึงทำให้ evaporator coil เย็นลง จากนั้นไอของแอมโมเนียก็จะไปถูกดูดละลายใน collector ซึ่งขณะนี้เย็นตัวลงแล้วและทำตัวเป็น absorber

ขบวนการที่ ๑-๒ และ ๒-๓ นี้จะเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืน โดยจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนออกจาก collector ด้วยเพื่อให้อุณหภูมิของ collector ต่ำลงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะการที่อุณหภูมิของ collector ต่ำลงมากเท่าใดก็จะทำให้อุณหภูมิของแอมโมเนียใน evaporator coil ยิ่งต่ำลงเท่านั้น จะเป็นผลให้ประสิทธิภาพของวัฏจักรสูงตามไปด้วย

เมื่อเราได้ทราบเกี่ยวกับวัฏจักรของตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ก็เป็นการง่ายในการคำนวณหาปริมาณของแอมโมเนียที่จำเป็นต้องใช้ในระบบ โดยจะเห็นว่าขบวนการทำความเย็นเกิดขึ้นในขบวนการ ๒-๓ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลง enthalpy ของแอมโมเนียในขบวนการนี้ จึงเป็นผลของการทำความเย็น (cooling effect)

จากสมการสมดุลย์ทางความร้อน

เมื่อให้ m = มวลของแอมโมเนียที่ต้องใช้ในขบวนการทำความเย็น

ความร้อนจาก cooling box = ความร้อนที่แอมโมเนียรับไป

$$6014 = m(h_3-h_2) \quad \text{(พิจารณาจากรูป ๑๑)}$$

$$6014 = m(617.2-128.55)$$

$$m = 12.3 \text{ lb/day } (5.5 \text{ kg/day})$$

ปริมาณของแอมโมเนียที่ต้องผลิตได้ = 12.3 lb/day (5.5 kg/day)

พิจารณา ammonia balance ใน collector

ให้มวลทั้งหมดของสารละลายแอมโมเนียที่ต้องการใช้เป็น M lb

มวลของแอมโมเนียก่อนระเหยจาก collector - มวลของแอมโมเนียหลังระเหยจาก collector = มวลของแอมโมเนียที่กลั่นได้

$$0.5M - 0.39(M-12.3) = 12.3$$

$$0.5M - 0.39M + (0.39 \times 12.3) = 12.3$$

$$M = \frac{12.3 - 0.39\ (12.3)}{0.5 - 0.39}$$

มวลของสารละลายแอมโมเนียที่ต้องการใช้ = 67.2 lb (30 kg)

การออกแบบ evaporator coil

จาก $Q = U A \Delta T$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ถายเทให้กับแอมโมเนียใน evaporator coil ใน ๑ ชั่วโมง

ΔT = อุณหภูมิแตกต่างระหว่างแอมโมเนียใน evaporator coil กับจุดเยือกแข็งของน้ำที่ความดันบรรยากาศ

= 32-18 = 14°F (7.7°C)

สำหรับ direct expansion coil ที่แช่อยู่ในน้ำนิ่ง

over all heat transfer coefficieng U = 9 Btu/ft^2-°F-hr (10)

ให้เวลาที่แอมโมเนียใช้ในการระเหย = ๑๐ ชั่วโมงต่อวัน

$$Q = \frac{6015}{10} = 601.5 \text{ Btu/hr}$$

$$A = \frac{Q}{U \Delta T}$$

$$= \frac{601.5}{9 \times 14} = 4.78 \text{ ft}^2 \ (0.444 \text{ m}^2)$$

ถ้าใช้ท่อ A P I norminal size 1/2 นิ้ว (OD = 0.84 นิ้ว) ทำเป็น evaporator coil ดังนั้นความยาวที่ต้องการ

$$= \frac{4.78}{0.22} = 21.698 \text{ ft } (6.16 \text{ m})$$

ดังนั้นจะใช้ท่อ A P I norminal size 1/2 นิ้ว สำหรับ evaporator coil มีความยาว 22 ft (6.5 m)

การออกแบบ condenser

condenser จะทำหน้าที่กลั่นไอของแอมโมเนีย จากอุณหภูมิ ๑๘๐°F ความดัน ๑๔๕ psia ให้กลายเป็นแอมโมเนียเหลวที่อุณหภูมิ ๙๗°F ที่ความดันเดียวกัน

จะสมมุติว่า condenser ทำงาน ๘ ชั่วโมงต่อวัน (เฉพาะตอนที่มีแสงแดด) โดยจะนำความร้อนออกไปเป็นปริมาณ

$$Q = m\,(h_v - h_l)$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ condenser ต้องระบายออกจากไอแอมโมเนีย

h_v = enthalpy ของไอแอมโมเนียจาก collector เฉลี่ย

= 620 Btu/lb

h_l = enthalpy ของแอมโมเนียเหลวที่อุณหภูมิ ๗๗°F ความดัน ๑๔๕psia

= 128.5 Btu/lb

จะได้ $Q = 12.3\,(620-128.5)$

$= 6049$ Btu/day

หรือ $= \frac{6049}{8} = 756.2$ BTU/hr

หาความยาวของ condenser coil

จาก $Q = U\ A\ \Delta T_m$

เมื่อ U = over all heat transfer coefficient

= 9 Btu/ft^2-°F-hr

A = พื้นที่ผิวของท่อด้านนอก

ΔT_m = log mean temperature difference

$$= \frac{(T_{il}-T_{oe}) - (T_{ie}-T_{ol})}{\ln\left[\frac{T_{il}-T_{oe}}{T_{ie}-T_{ol}}\right]}$$

โดย T_{il} = อุณหภูมิของแอมโมเนียเหลวที่ออกจาก condenser = 77°F

T_{ie} = อุณหภูมิของไอแอมโมเนียจาก collector = 180°F

T_{oe} = อุณหภูมิของน้ำใน condenser tank ก่อน condensing process

= 75°F

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมมุติให้ว่าน้ำใน condenser tank หลังจาก condensing process แล้วมีอุณหภูมิสูงขึ้น ๔°F

T_{ol} = อุณหภูมิของน้ำใน condenser tank หลัง condensing process

= 75 + 4 = 79°F

จะได้ $\Delta T_m = \frac{(77-75) - (180-79)}{\ln\left[\frac{(77-75)}{(180-79)}\right]} = 25.24°F$

$A = \frac{Q}{U \times \Delta T_m}$

$= \frac{756.2}{9 \times 25.24} = 3.33\ ft^2\ (0.31\ m^2)$

ใช้ท่อ API norminal size 1/2 นิ้วทำ condensor coil จะได้ความยาวของท่อที่ใช้

$= \frac{A}{\pi(\text{เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ})}$

$= \frac{3.33 \times 12}{\pi \times 0.84} = 15.1\ ft\ (4.5\ m)$

ดังนั้นจะใช้ท่อ A P I norminal size 1/2 นิ้ว สำหรับ condenser coil มีความยาว 16 ft (4.9 m)

หาปริมาณของน้ำที่ต้องบรรจุใน condenser tank

จาก $Q = m\ Cp\ \Delta T$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับใน condensing process

= 6049 Btu/day

m = มวลของน้ำที่ต้องบรรจุใน condenser tank

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำ ก่อนและหลัง condensing process

จะได้ $m = \frac{6049}{1 \times 4} = 1512\ lb\ (675\ kg)$

คิดเป็นปริมาตร $= \frac{1512}{62.4} = 244\ ft^3\ (0.69\ m^3)$

ดังนั้น condenser tank จะต้องมีปริมาตรอย่างน้อย = 24.4 ft^3(0.69m^3)

หาขนาดของ receiver

ปริมาตรของ receiver = มวลของแอมโมเนียเหลว x ปริมาตรจำเพาะ

= 12.3 × 0.027

= 0.332 ft^3 (0.0094 m^3)

ดังนั้นปริมาตรของ receiver = 0.34 ft^3 (0.0094 m^3)

ออกแบบ collector

พลังงานที่ต้องการจาก collector = พลังงานที่เหลืออยู่ใน collector เมื่อยุติ evaporation process + พลังงานของไอแอมโมเนียที่ออกจาก collector - พลังงานของ solution ก่อน heating process

= (68.26-12.3)70+12.3(620)-68.26(-65)

= 15385 Btu (16865 kJ)

ให้ flat plate collector มีประสิทธิภาพประมาณ 30.6% (ดูในภาคผนวก ก.)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลกโดยเฉลี่ย = 20 MJ/day-m^2

ดังนั้นพื้นที่ของ collector ที่ต้องการ = $\frac{16865}{0.306 \times 20 \times 10^3}$ = 2.756 m^2

ขนาดของ collector ที่สร้างจริงจะใช้ plate ขนาด 1.2x2.4 m ให้พื้นที่

= 1.2x2.4 = 2.88 m^2

ขนาดของท่อต่างๆบน collector

ท่อที่อยู่บน plate ใช้ท่อขนาด ๑ นิ้ว (norminal size) จำนวน ๑๒ ท่อ (schedule 40) กับท่อไหลกลับ (return line) ๒ ท่อ

ปริมาตรภายในของท่อทั้ง ๑๔ ท่อ = $\frac{14 \times \pi(1.049)^2 \times 9}{4 \times (12)^2}$ = 0.757 ft^3

= (0.0214 m^3)

bottom header ใช้ท่อเหล็ก ๔ นิ้ว (norminal size) ยาว ๑.๔ เมตร

ท่อล่างจะมีปริมาตร $= \frac{140 \times \pi (4.026)^2}{30.48 \times 4 \times (12)^2}$

$= 0.4061 \text{ ft}^3 \ (0.0115 \text{ m}^3)$

รวมปริมาตร bottom header และท่อบน collector plate

$= 0.757 + 0.4061 = 1.163 \text{ ft}^3 \ (0.033 \text{ m}^3)$

การเลือกขนาดของ top header จะต้องเลือกให้มีปริมาตรมากกว่าปริมาตรของ solution

top header ใช้ท่อเหล็ก ๕ นิ้ว (norminal size) ยาว ๑.๔ เมตร

top header จะมีปริมาตร $= \frac{140 \times \pi (5.047)^2}{30.48 \times 4 \times (12)^2}$

$= 0.6382 \text{ ft}^3 \ (0.068 \text{ m}^3)$

จาก P-T-X diagram ได้ specific volume ของ ammonia solution 50 %

$= 0.025 \text{ ft}^3/\text{lb}$

ปริมาตรของ solution ที่ใช้ $= 67.2 \times 0.025 = 1.68 \text{ ft}^3$

ปริมาตรของ solution ใน top header $= \frac{1.68 - 1.1631}{0.6382} = 81\ \%$ นับว่าใช้ได้

๓.๔ <u>การสร้างส่วนประกอบของตู้เย็นพลังงานแสงอาทิตย์</u>

Cooling box

Evaporator coil ทำด้วยท่อ API norminal size 1/2 นิ้ว (SCH 80) ยาว 22 ฟุต ขดเป็นรูปวงกลมซ้อนกัน เส้นผ่าศูนย์กลางของขดประมาณ 1 ฟุต ลักษณะส่วนอื่นตลอดจน dimension แสดงดังรูปที่ 12

Condenser unit

Condenser coil ทำจากท่อ API (SCH 80) norminal size 1/2นิ้วขดเป็นวงกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๒๕ นิ้ว ระยะระหว่างแต่ละชั้นของท่อประมาณ ๒ นิ้ว ใส่ไว้

ในถัง ferro cement ที่บรรจุน้ำเต็ม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๒.๕ ฟุต สูง ๖.๗ ฟุต ลักษณะได้แสดงดังรูปที่ ๑๓

Receiver

Receiver ทำด้วยท่อ API (SCH 40) norminal size ๔ นิ้ว ยาวประมาณ ๓.๗ ฟุต ปิดหัวท้าย ตั้งไว้ในแนวดิ่งใน condenser tank มี sight glass ยื่นออกมานอกถัง เพื่อให้สามารถอ่านปริมาณของแอมโมเนียที่อยู่ในถังได้ ภาพการติดตั้งได้แสดงไว้ดังรูปที่ ๑๓

Collector

ได้บรรยายไว้แล้ว ลักษณะของ collector ดังแสดงในรูปที่๑๔,๑๕

๓.๕ <u>การทดสอบส่วนประกอบต่างๆ</u>

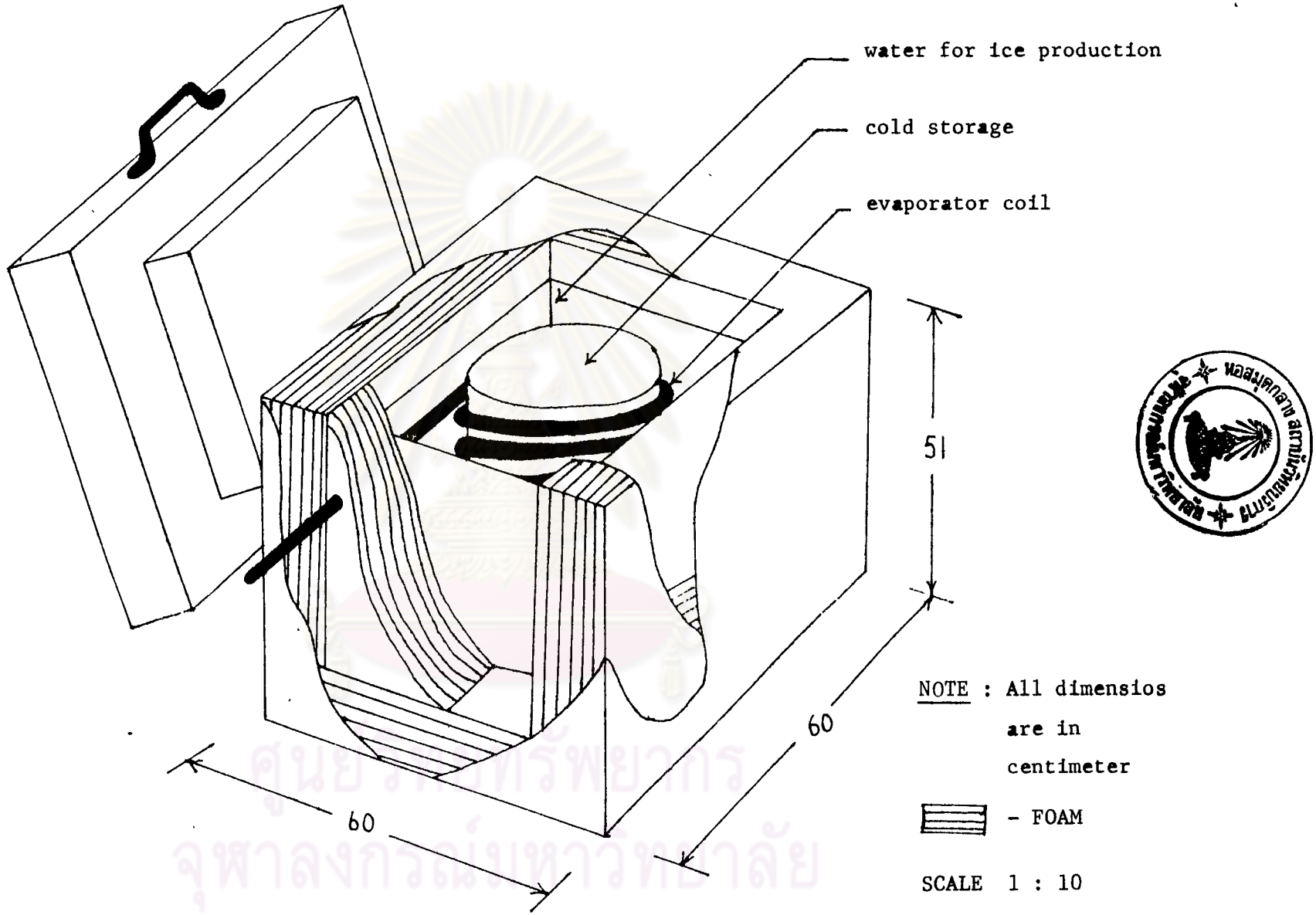
การทดสอบส่วนประกอบต่างๆนั้น แบ่งการทดสอบออกได้เป็น ๒ ขั้นตอนคือ

๑. การทดสอบที่ความดันต่ำ

๒. การทดสอบที่ความดันสูง

การทดสอบที่ความดันต่ำนี้ใช้อากาศเป็นตัวทดสอบ โดยอัดอากาศที่ความดันประมาณ ๖๐ psig เข้าไปในชิ้นส่วนที่ต้องการทดสอบ จากนั้นใช้น้ำสบู่ขันๆทาตรงบริเวณรอยต่อ เพื่อดูว่ามีจุดใดที่มีการรั่ว ถ้าจุดใดรั่วจะมีฟองอากาศผุดขึ้นมองเห็นได้ชัด เมื่อพบแล้วก็เชื่อมปิดรอยรั่วนั้นเสียก่อน แล้วจึงนำมาทดสอบใหม่จนไม่พบรอยรั่วแล้ว จึงสามารถนำไปทดสอบที่ความดันสูงต่อไป

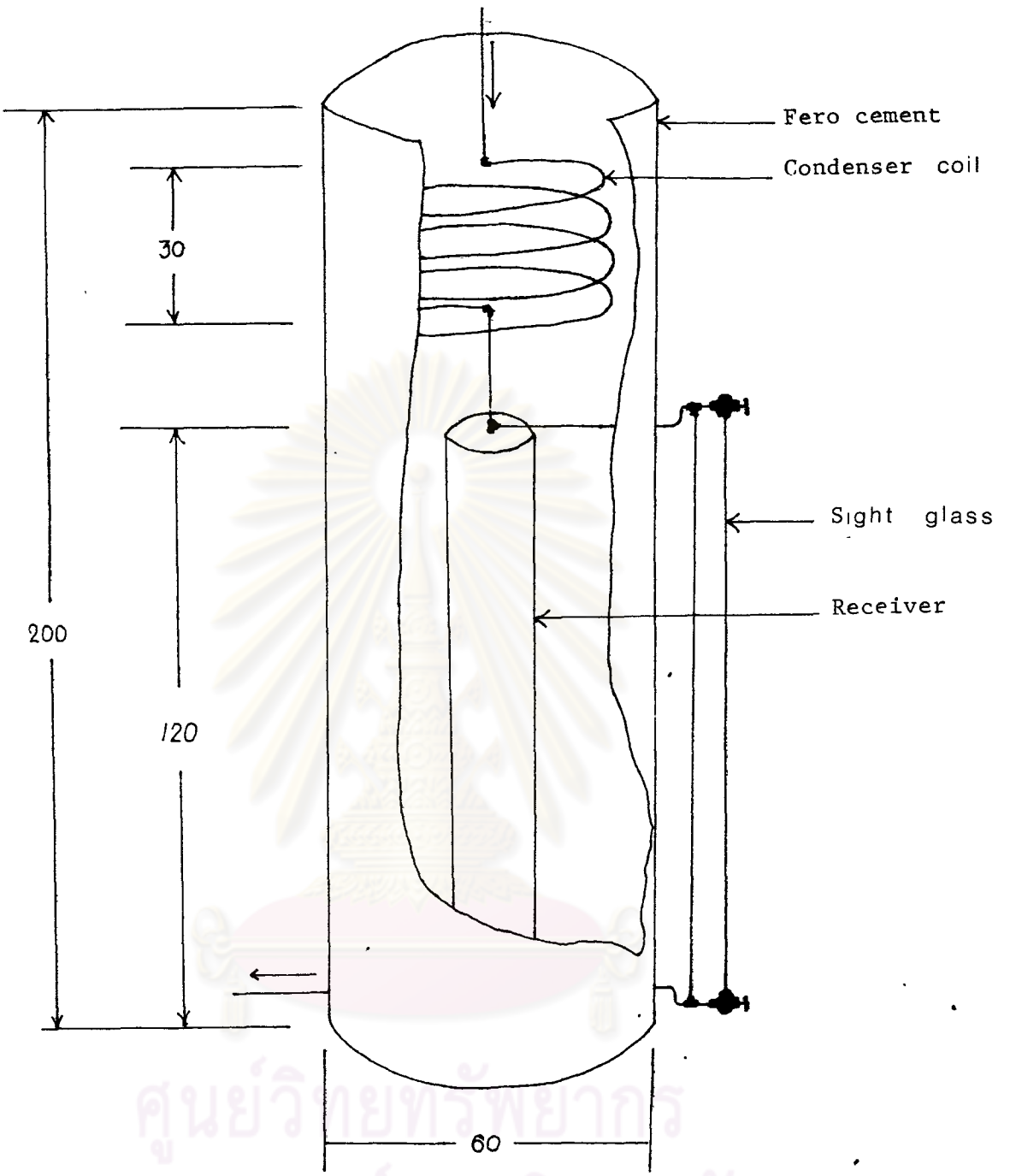
การทดสอบที่ความดันสูงนี้เป็นการทดสอบถึงความคงทนของท่อ เป็นการทดสอบโดยใช้น้ำ เพราะน้ำเป็นของเหลวที่อัดไม่ได้ ดังนั้นถ้าเกิดรอยรั่วเพียงเล็กน้อยค่าความดันของน้ำจะลดลงมาก การทดสอบทำได้โดยการอัดน้ำที่ความดันสูงประมาณ ๓๐๐ psig (ประมาณ ๒ เท่าของความดันจริงที่ใช้งาน) เข้าไปในชิ้นส่วนแต่ละชิ้นและทิ้งไว้ ๒๔ ชั่วโมง ถ้าความดันลดลงจากเดิมไม่เกิน ๒๐ psi ก็ถือว่าใช้ได้ ถ้าหากว่าความดันลดลงมากกว่านี้ก็ต้องนำไปทดสอบหารอยรั่วใหม่ แล้วจึงนำมาทดสอบที่ความดันสูงอีกครั้งหนึ่ง



หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑๒ ภาพแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของ cooling box



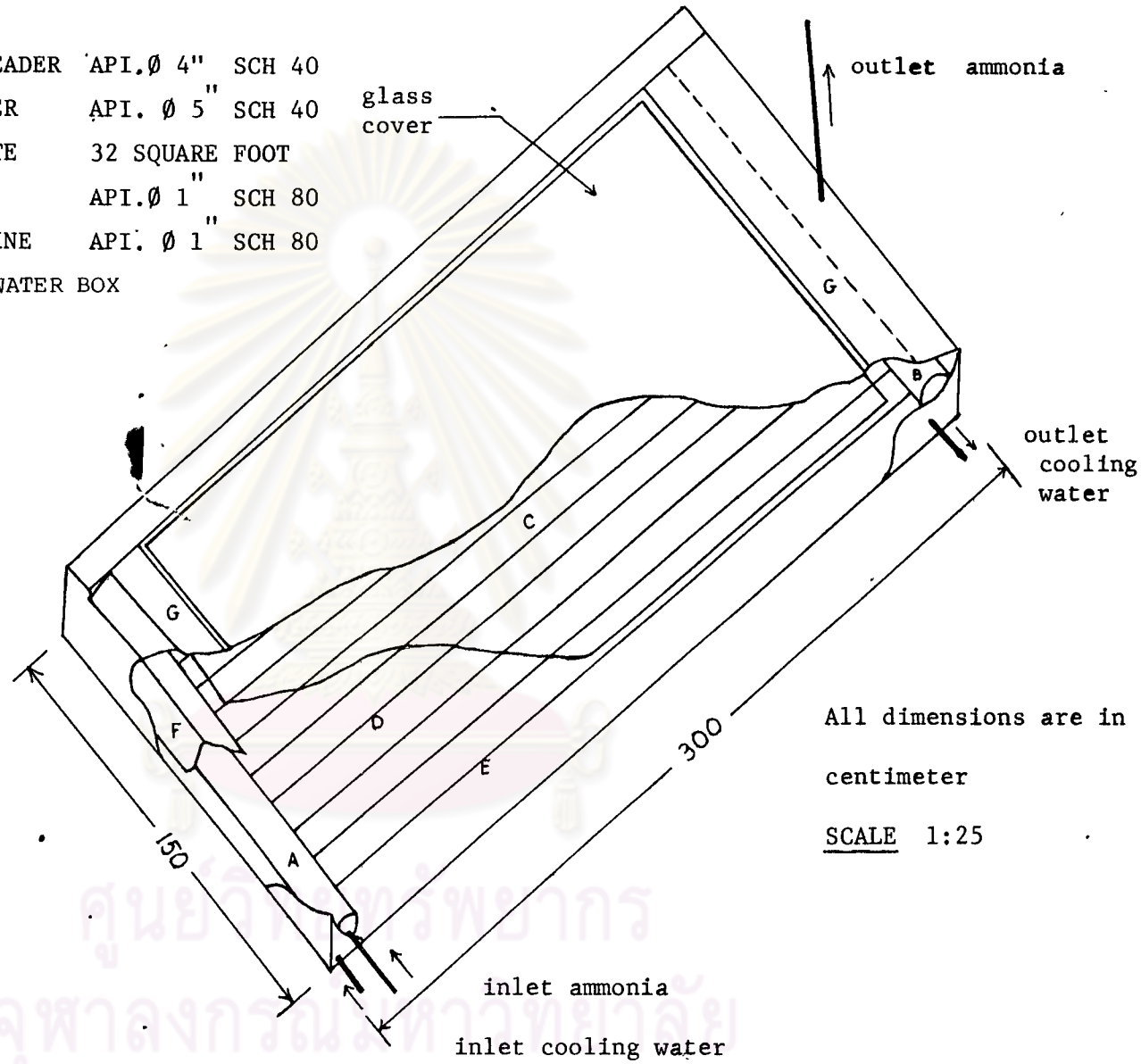
NOTE : All dimensions are in centimeter

รูปที่ ๑๓ CONDENSER & RECEIVER

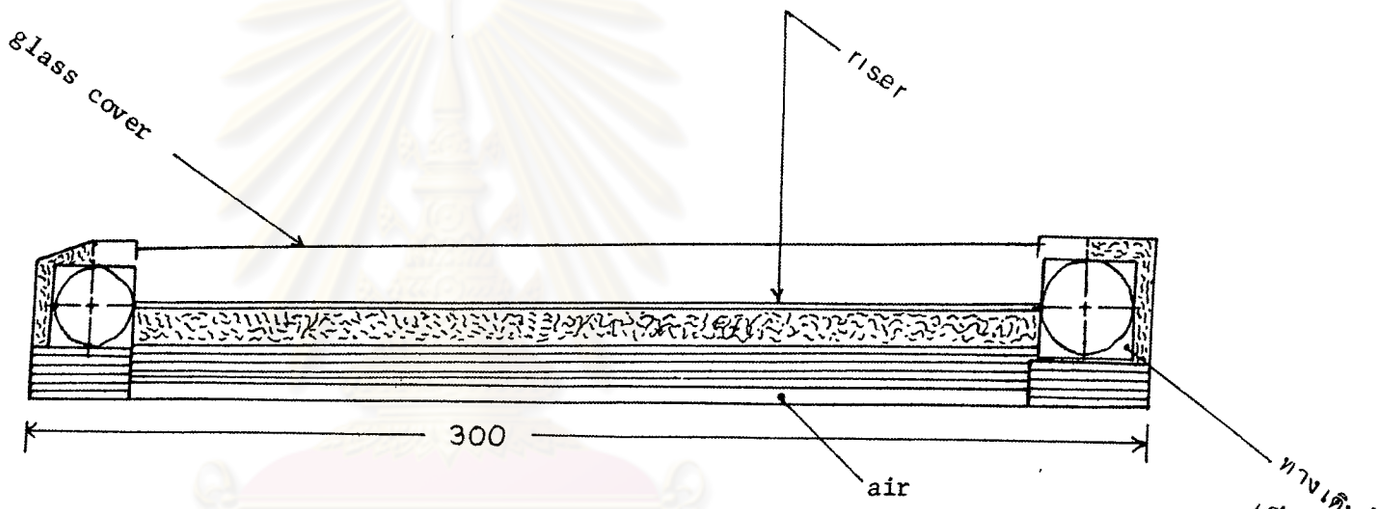
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NOTE :

A -	BOTTOM HEADER	API.Ø 4"	SCH 40
B -	TOP HEADER	API. Ø 5"	SCH 40
C -	FLAT PLATE	32 SQUARE FOOT	
D -	RISERS	API.Ø 1"	SCH 80
E -	RETURN LINE	API. Ø 1"	SCH 80
F -	COOLING WATER BOX		
G -	WINDOW		



รูปที่ ๑๔ แผงรับแสงอาทิตย์(solar collector)



NOTE :
All dimensions are in centimeters

- FOAM :
- GLASS WOOL

COLLECTOR INSULATOR

รูปที่ ๑๔

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย