

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างหอกลั่น

ในกระบวนการกลั่นนี้เป็นการแยกสาร 2 หรือมากกว่า 2 องค์ประกอบออกจากกันเพื่อให้สารนั้นบริสุทธิ์ขึ้น โดยการใช้ความร้อนช่วยในการกลั่นแยก สารที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะระเหยขึ้นไปก่อน จากนั้นไอที่ระเหยขึ้นไปจะถูกควบแน่นกลับเป็นของเหลวโดย condenser ที่เวลาใด ๆ สารผสมตั้งต้นจะมีสารที่ระเหยง่ายลดลง การพัฒนาประสิทธิภาพหอกลั่น การดำเนินการ และควบคุมให้ได้ตามต้องการได้จะเป็นทางที่ดีที่สุดที่จะลดต้นทุนของการดำเนินการ การออกแบบสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์จำเป็นต้องวิเคราะห์ กำหนดก่อนทำการสร้างเครื่องจริง ซึ่งจะมีขั้นตอนในการสร้างที่คณะผู้ดำเนินโครงการต้องการนำเสนอ เพื่อที่จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ และผู้ที่ต้องการที่สร้างเครื่องกลั่นเอทานอล หรือพัฒนาเครื่องกลั่นเอทานอลให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

3.1 การออกแบบหม้อต้มซ้ำ

การสร้างเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์จะสามารถสร้างโดยการกำหนดขนาดความจุของหม้อต้มซ้ำเพื่อบรรจุน้ำสำหรับสารตั้งต้นที่มีเอทิลแอลกอฮอล์ผสมอยู่เพื่อให้การเติมแต่ละครั้งสามารถกลั่นเอทานอลได้ ปริมาณตามต้องการ โดยทั่วไปหม้อต้มซ้ำเป็นถังทรงกระบอก ดังนั้นเพื่อให้สามารถบรรจุสารตั้งต้นได้ครั้งละ 30 ลิตร หม้อต้มจึงถูกออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 ซม. และสูง 40 ซม. ดังรูปที่ 3.1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.)

3.2 การหาขนาดฮีตเตอร์

ขอบเขตกำหนดให้หอกลั่นสามารถผลิตเอทานอลได้วันละไม่น้อยกว่า 10 ลิตร ดังนั้นหากน้ำสำที่หมักได้มีเอทานอลอยู่ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และแต่ละครั้งใช้น้ำสำ 30 ลิตร ก็จะสามารถกลั่นเอทานอลได้ประมาณ 4.5 ลิตรต่อการเติมสาร 1 ครั้ง ดังนั้นจะต้องเดินเครื่องหอกลั่น 3 ครั้งต่อวัน นั่นคือใช้เวลาครั้งละ 4 ชั่วโมง โดยจะต้องสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำสำที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่จะสามารถเริ่มผลิตเอทานอลได้ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 และใช้เวลากลั่นอีก 3 ชั่วโมง ขนาดของฮีตเตอร์หาได้จากสมการ

$$Q = \frac{mc_p(T_2 - T_1)}{t}$$

เมื่อ Q = ขนาดของฮีตเตอร์ (W)

m = มวลของน้ำสำแต่ละครั้งที่ทำการกลั่น (~30 kg)

c_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำสำ (~4.177 kJ/kg. K)

T_2 = อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำสำ (~100 C)

T_1 = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำสำ (~30 C)

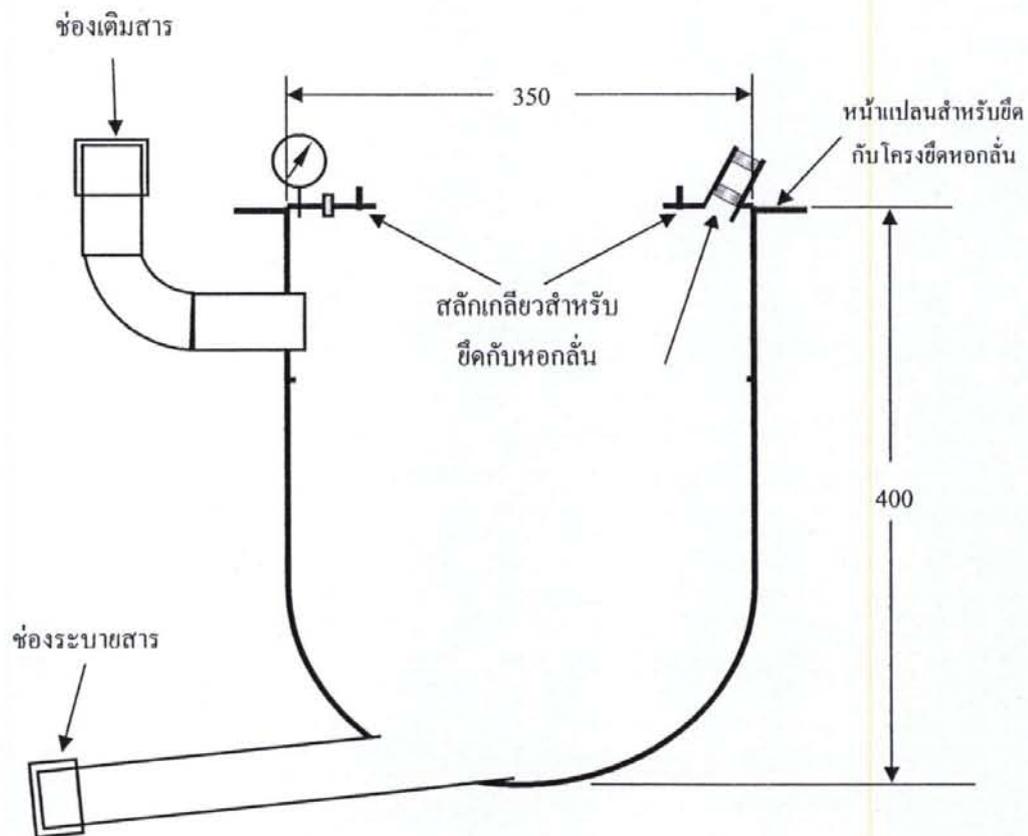
t = เวลาที่ใช้ในการต้มน้ำสำ (~3,600 sec)

ดังนั้นขนาดของฮีตเตอร์ที่ต้องใช้คือ

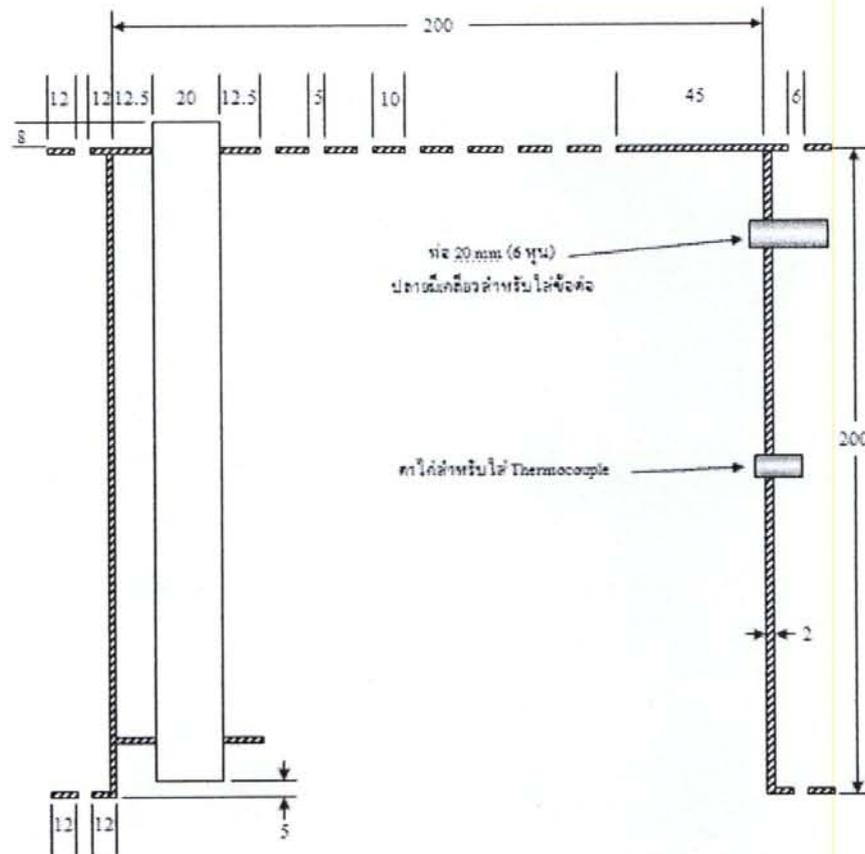
$$Q = \frac{30 \times 4.177 \times (100 - 30)}{3600} = 2.43 \text{ kW} \approx 2.5 \text{ kW}$$

3.3 การออกแบบหม้อกลั่น

เนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติที่สามารถกัดกร่อนโลหะได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวการ
สร้างทั้งหม้อต้มซ้่าและหม้อกลั่นจึงถูกออกแบบให้ใช้สแตนเลสทั้งหมด โดยหม้อกลั่นแต่ละชั้นมีลักษณะ
เป็นชั้นๆ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ลักษณะของหม้อต้มซ้่า



รูปที่ 3.2 ลักษณะของหอกถันแต่ละชั้น

3.4 การคำนวณหาขนาดคอนเดนเซอร์

วิเคราะห์ในส่วนของเอธานอล

ที่อุณหภูมิ 100°C (373 K) จะสามารถหาคุณสมบัติของเอทิลแอลกอฮอล์ที่สถานะไอ ดังนี้

$$\rho = 1.189\text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4.218\text{ kJ/kg.K}$$

$$K = 0.0186\text{ W/m.K}$$

$$p_r = 0.795$$

$$\mu = 0.7085 \times 10^{-5}\text{ N.s/m}^3$$

$$\text{อัตราการไหล } 9.10\text{ ml/min} = 9.10\text{ ml/min} \times 1\text{L}/1000\text{ml} \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{L} \times 1\text{min}/60\text{s}$$

$$= 1.517 \times 10^{-7}\text{ m}^3/\text{s}$$

ดังนั้น

$$\dot{V}_{al} = 1.517 \times 10^{-7}\text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_{al} = \rho H_2O \times S_{al} \times V_{al}$$

$$= (1000) (0.786) (1.517 \times 10^{-7})$$

$$m_{al} = 1.1921 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

วิเคราะห์ในส่วนของน้ำ

น้ำที่อุณหภูมิ 32°C (305 K) มีคุณสมบัติดังนี้

$$\rho = 995.58 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 4.177 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$K = 0.616 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$P_r = 5.12$$

$$\mu = 8.34 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

โดยกำหนดการไหลเป็นแบบ Steady flow (SFEE)

$$\text{กำหนดให้ } \Delta KE = \Delta PE = W = Q = 0$$

$$m_w C_{pw} (T_2 - T_1) = m_{al} C_{pal} (T_2 - T_1)$$

$$m_w (4.218)(315 - 307) = (0.00011921)(2.981)(373 - 306)$$

$$\therefore m_w = 0.00070559 \text{ kg/s}$$

$$\dot{V}_w = \frac{m_w}{\rho_w}$$

$$\dot{V}_w = \frac{0.00070559}{4.218} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\dot{V}_w = 0.00016728 \text{ m}^3 / \text{s}$$

เนื่องจาก $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$
 $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$

ดังนั้นอัตราการไหลโดยปริมาตรของน้ำที่ต้องใช้ในการระบายความร้อนคือ

$$(1.6728 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}) (\frac{1 \text{ L}}{10^{-3} \text{ m}^3}) (\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}) = 10.036 \text{ L/min}$$

$$= 10.036 \text{ L/min}$$

ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำในการระบายความร้อนด้วยอัตราไหลโดยปริมาตรเท่ากับ 10.036 L/min

3.5 การคำนวณหาพื้นที่การถ่ายเทความร้อน

จากสมการ 2.9

$$q = UA \Delta T_m$$

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอก

$$\Delta T_m = \frac{(T_{ho} - T_{co})(T_{hi} - T_{ci})}{\ln \left[\frac{(T_{ho} - T_{co})}{(T_{hi} - T_{co})} \right]}$$

อุณหภูมิที่ไอเอธานอลไหลเข้า (T_{hi}) = 42 °C

อุณหภูมิที่ไอเอธานอลไหลออก (T_{ho}) = 37 °C

อุณหภูมิที่อากาศไหลเข้า (T_{ci}) = 32 °C

อุณหภูมิที่อากาศไหลออก (T_{co}) = 35 °C

แต่สภาพในการทดลอง อุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดจึงใช้อุณหภูมิเฉลี่ย

$$\Delta T_m = \frac{(42 - 32)(37 - 35)}{\ln \left(\frac{42 - 32}{37 - 35} \right)}$$

$$\Delta T_m = 8.685 \text{ C}$$

จากสมการ

$$q = m_h C_h (T_{h,in} - T_{h,out})$$

ที่อุณหภูมิ 42 C ค่า $C_p = 4.179 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

แทนค่าในสมการ

$$q = 0.00070559 \times 4179 \times (315 - 310)$$

$$q = 14,743.303 \text{ W}$$

แทนค่าในสมการ

$$q = UA \Delta T_m$$

$$A = \frac{(8.685 + 273) \times 5}{14,743.303}$$

$$\therefore A = 0.09 \text{ m}^2$$



สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

ดังนั้นจึงใช้หม้อน้ำที่มีขนาด 30×30 cm

3.6 การคำนวณหาขนาดของปั๊ม

ให้อัตราการไหล $Q = 0.00016728 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.01905m

ยาว 2 m

$$\text{จะได้ } V = \frac{Q}{A} = \frac{1.6728 \times 10^{-4}}{\frac{\pi}{4} (0.01905)^2} = 0.6 \text{ m/s}$$

ที่อุณหภูมิ 30 C เปิดตารางน้ำได้ค่า

$$\rho = 997 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0.798 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$$

$$\text{ได้ } Re = \frac{\rho DV}{\mu} = \frac{997 \times 0.01905 \times 0.6}{0.798 \times 10^{-3}} = 14,280.34$$

เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

$$\text{จากสมการ } \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f + \sum h_m - h_p$$

$$P_1 = P_2 \quad \text{และ} \quad V_1 = V_2 \quad \text{จะได้}$$

$$r_{\text{pump}} = \rho g Q h_p$$

$$= 997 \times 9.81 \times 0.0035 \times 2.1 = 72 \text{ W}$$

$$\begin{aligned}
 0 + 0 + Z_1 &= 0 + 0 + Z_2 + h_f + \sum h_m - h_p \\
 h_p &= Z_2 - Z_1 + h_f + \sum h_m \\
 h_p &= Z_2 - Z_1 + \frac{V^2}{2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum k \right)
 \end{aligned}$$

ค่า K ของข้อต่อและข้องอต่าง ๆ จะได้

$$\text{ข้องอ } 90^\circ \text{ 2 ตัว} = 0.9 \times 2$$

$$\text{ปากทางเข้าต่อเป็นมุมฉาก 1 ตัว} = 0.04$$

$$\text{ปลายท่อส่งออก 1 ตัว} = 1$$

ได้
$$\sum k = (0.9 \times 2) + 0.04 + 1 = 2.84$$

และท่อพลาสติก มี $\varepsilon = 0.0015$

จะได้
$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.0015}{1.905} = 0.0007874$$

แทนค่าในสมการพลังงาน $Z_1 = 0.5 \text{ m}$ และ $Z_2 = 2 \text{ m}$ ได้

$$\begin{aligned}
 h_p &= (2 - 0) + \frac{0.6^2}{2(9.81)} \left[(0.018) \frac{(2.5)}{(0.01905)} + 2.84 \right] \\
 &= 2.1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

หาค่ากำลังของปั๊ม

$$\begin{aligned}
 P_{\text{pump}} &= \rho g Q h_p \\
 &= 997 \times 9.81 \times 0.0035 \times 2.1 = 72 \text{ W} \\
 &= \frac{72}{746} = 0.097 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

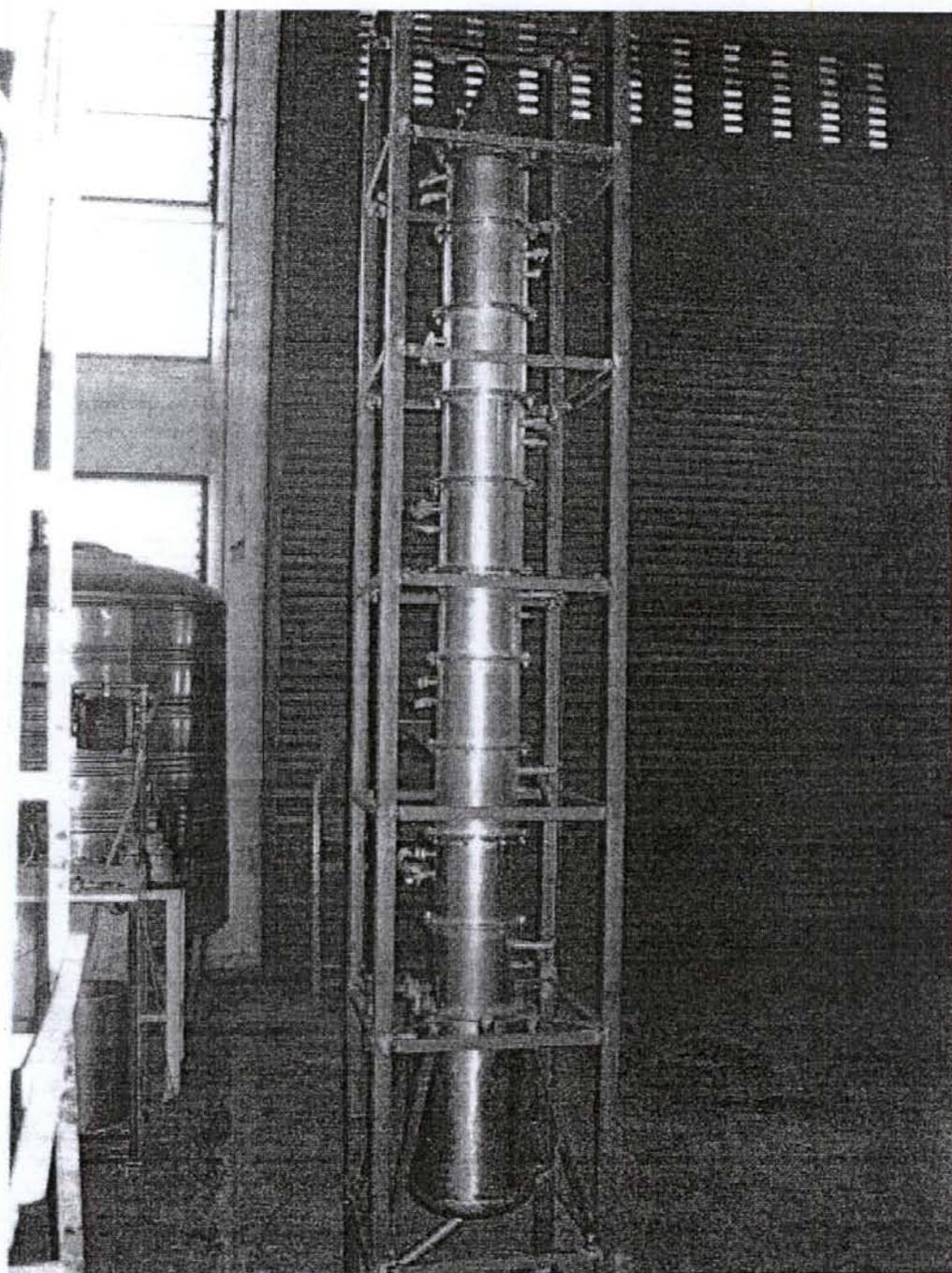
ถ้าประสิทธิภาพของปั๊ม 60-70% ปั๊มต้องการกำลังประมาณ

$$\frac{0.097}{0.6} = 0.16 \text{ Hp}$$

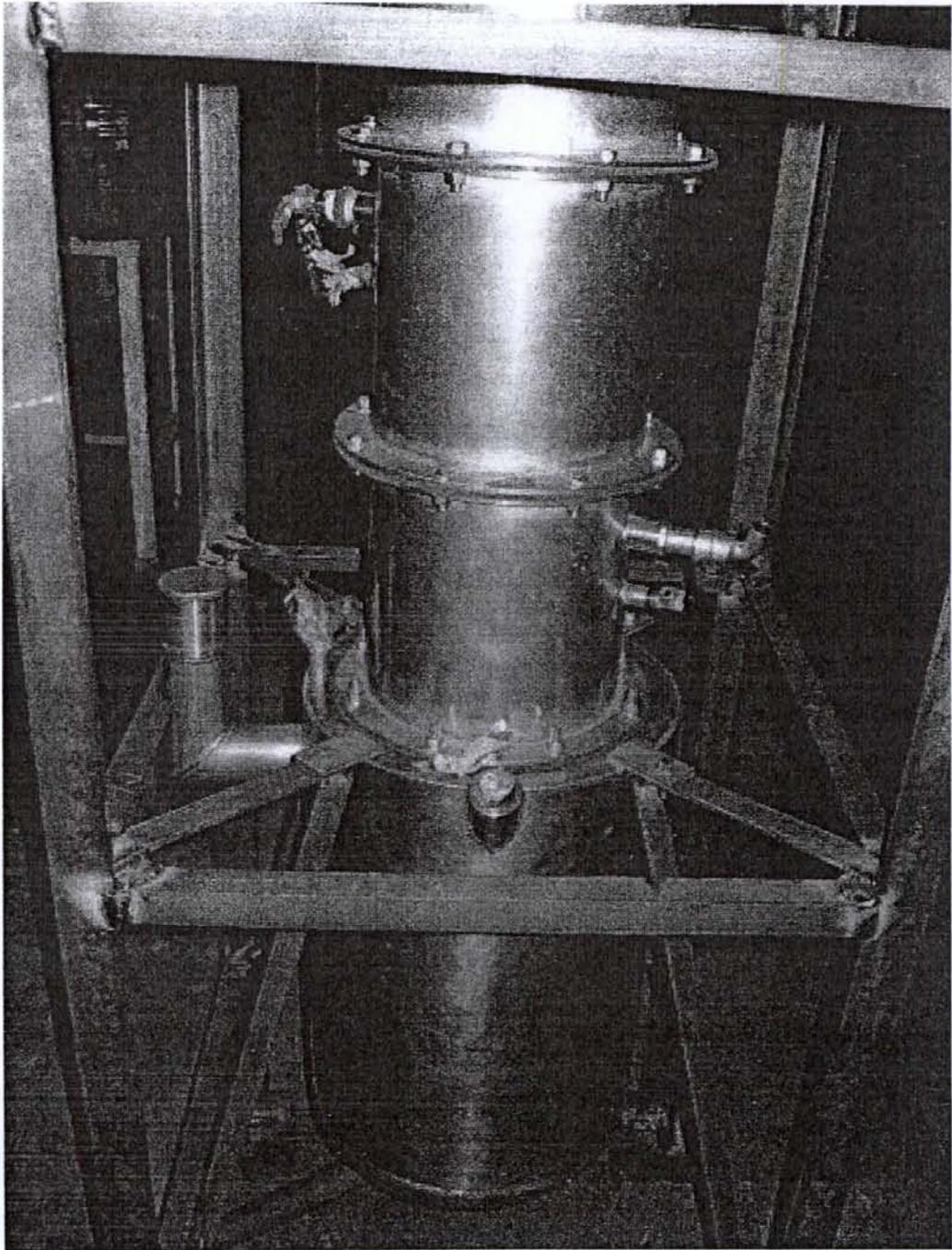
ฉะนั้นควรเลือกใช้ปั๊มขนาด 0.25 hp หรือ $\frac{1}{4}$ hp

3.7 การประกอบหอกลับ

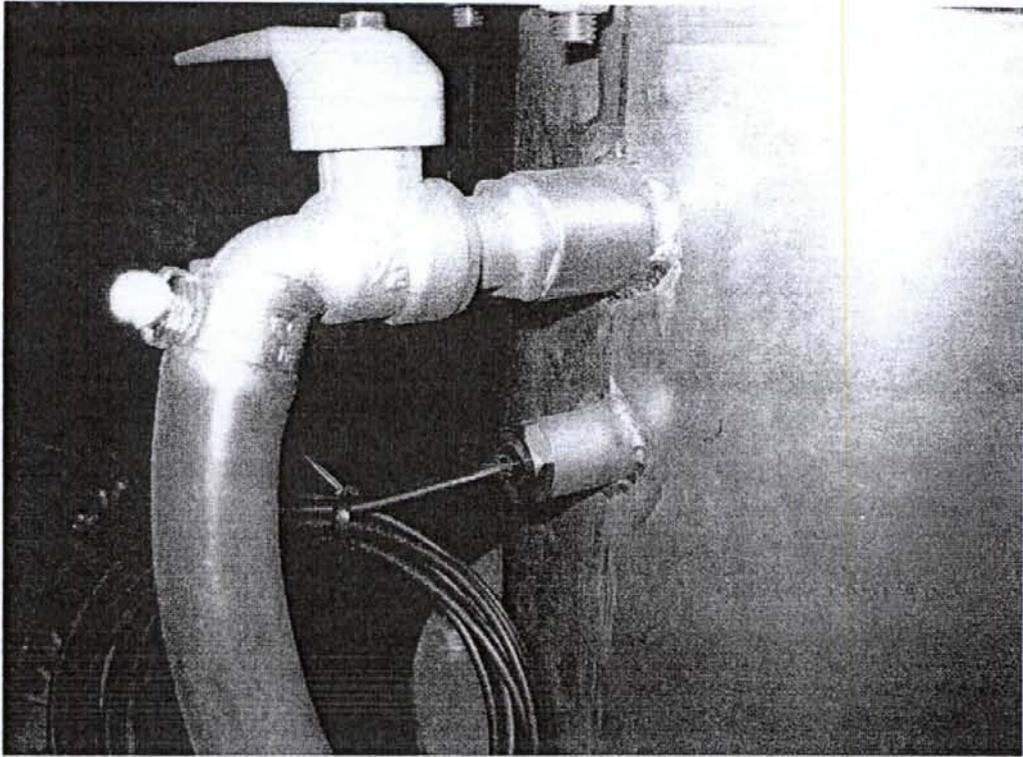
- 3.7.1 สร้างทำหอกลับแบบแยกชั้น ยึดต่อกันด้วยนอตและกันร้าวด้วยประเก็น แต่ละชั้นมีช่องสำหรับ วัตถุประสงค์และสามารถเปิด-ปิดเพื่อให้ไอของสารออกจากแต่ละชั้นขณะทำการทดลองได้
- 3.7.2 จัดทำโครงสร้างสำหรับยึดหอกลับ และใช้ระดับน้ำปรับให้ได้ระดับที่ดีที่สุด
- 3.7.3 นำหม้อต้มที่ประกอบกับใบกวนเรียบร้อยแล้ว มาประกอบกับ โครงยึดหอกลับ
- 3.7.4 นำชั้นหอกลับมาประกอบกับหม้อต้มที่ชั้น โดยยึดให้แน่นกับ โครงยึดหอกลับ
- 3.7.5 สร้างระบบหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่นที่ใช้ได้ทั้งระบบมือหมุนเพื่อยกถังน้ำ (ไม่ใช่ ปั๊มน้ำ) และแบบใช้ไฟฟ้ายกถังน้ำและมีปั๊มน้ำไฟฟ้า
- 3.7.6 สร้างเครื่องควบแน่นระบายความร้อนด้วยน้ำ
- 3.7.7 ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น เครื่องมือวัดความดันภายในหม้อต้มและชั้น บนสุดของหอกลับ และเครื่องบันทึกอุณหภูมิจุดต่างๆ
- 3.7.8 ประกอบฮีตเตอร์ไฟฟ้าและระบบควบคุมเพื่อใช้ในการทดลอง
- 3.7.9 ติดตั้งกล่องควบคุมและต่อระบบไฟฟ้า



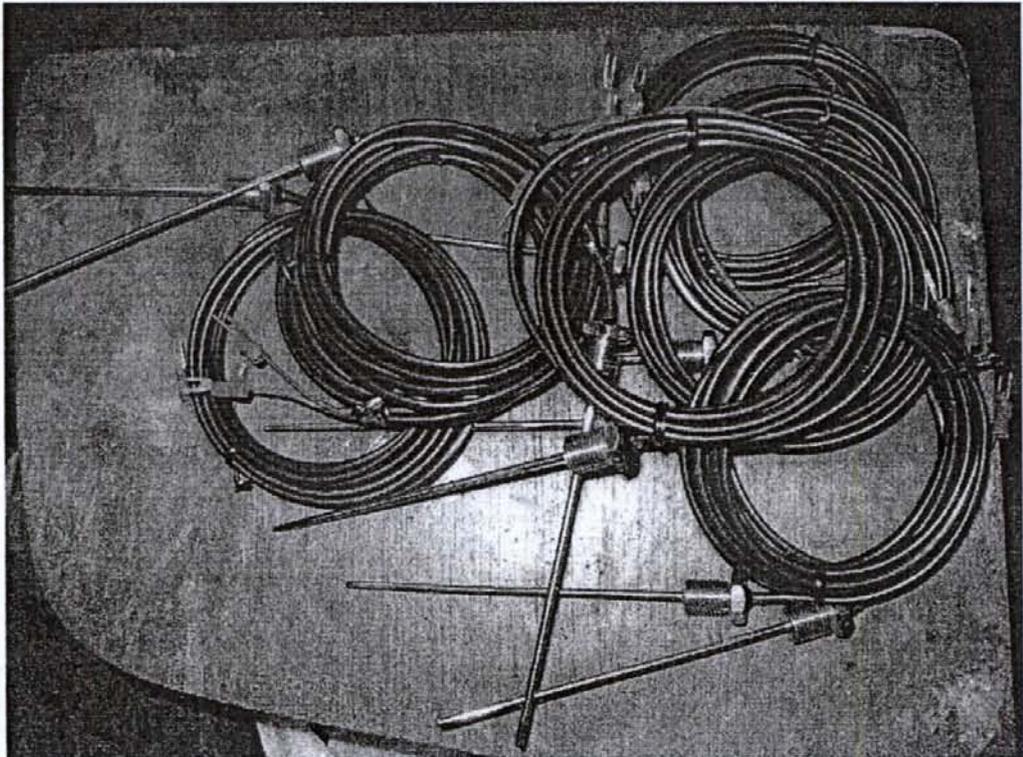
รูปที่ 3.3 หอกกลั่นที่ประกอบด้วยหม้อต้มและ โครงขีดแล้ว



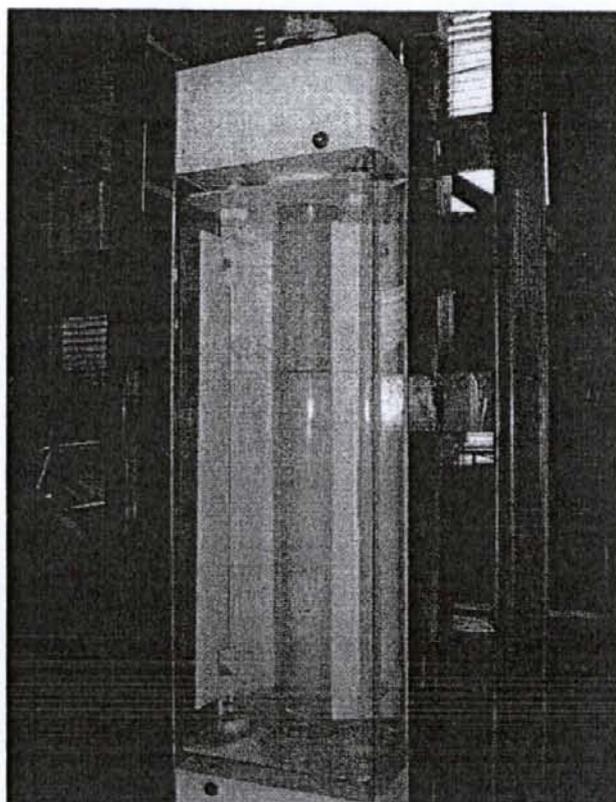
รูปที่ 3.4 ลักษณะการขีดหม้อต้ม หอกลับและ โครงขีด



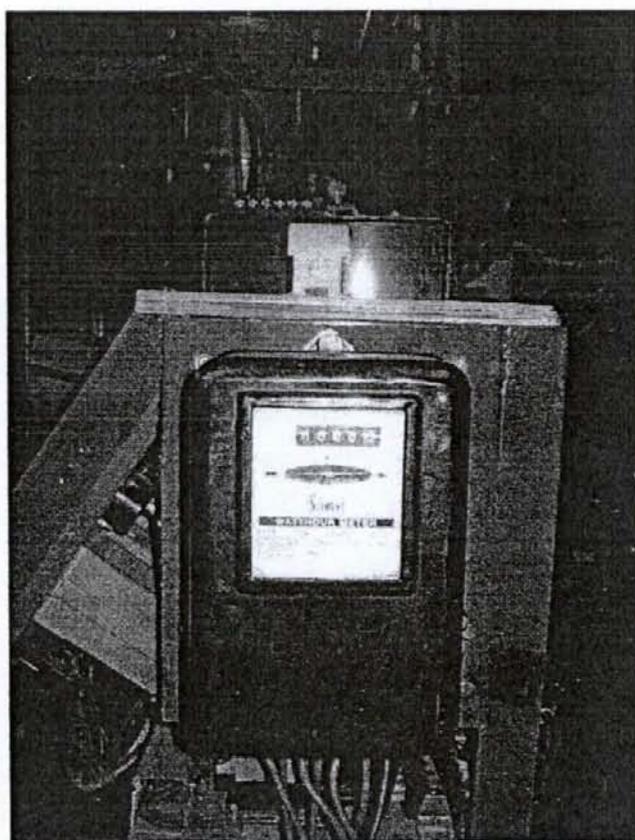
รูปที่ 3.5 การติดตั้ง Thermocouple



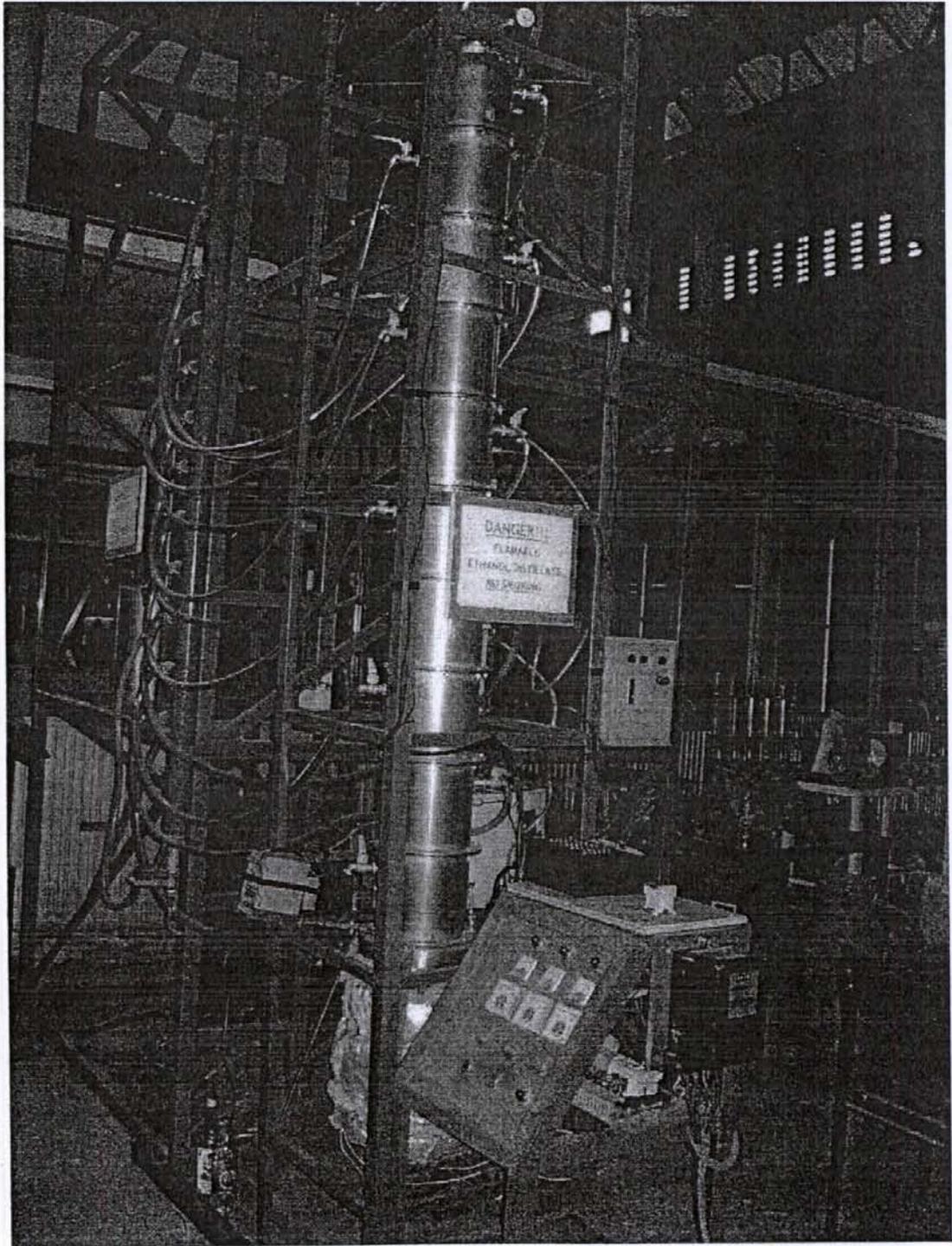
รูปที่ 3.6 Thermocouples (type K)



รูปที่ 3.7 Flow meter



รูปที่ 3.8 Watt-hour meter



รูปที่ 3.9 หอกลั่นที่ประกอบสมบูรณ์