หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็น เมื่อใช้สารทำความเย็น CFC-12 เปรียบเทียบกับ HFC-134a

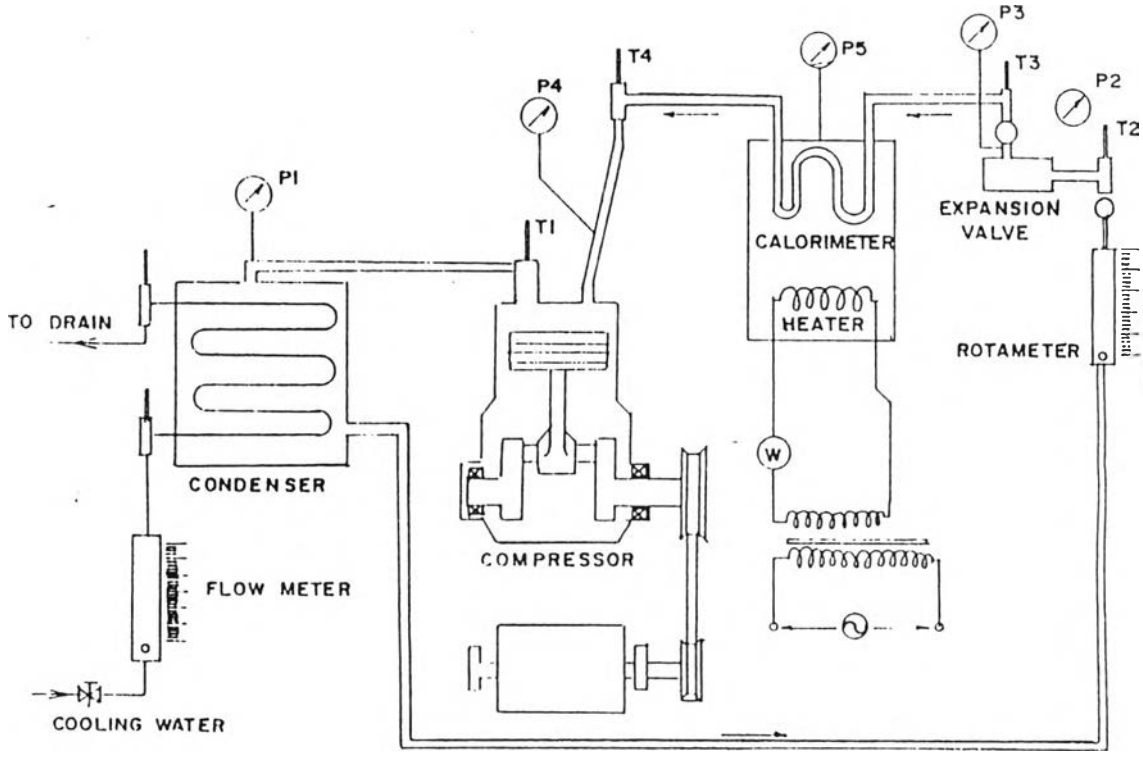
ศึกษาผลกระทบต่อคอมเพรสเซอร์ เมื่อใช้ HFC-134a

ทำการสร้างโปรแกรมการคำนวณสมรรถนะของเครื่องทำความเย็น เพื่อนำมาปรับเทียบกับอุปกรณ์ ซึ่งได้แสดงถึงรายละเอียดในบทที่ 2 แล้ว

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

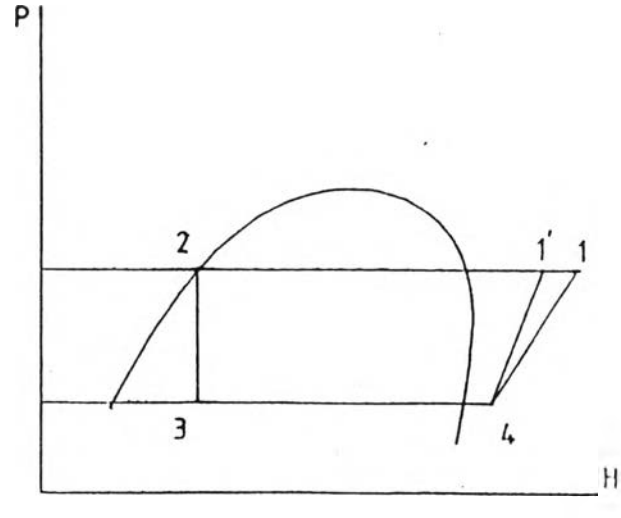
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องของ J&E HALL LAB REFRIGERATION UNIT แสดงในรูปที่ 3.1 รูปที่ 3.2 แสดงไดอะแกรมการทำงานของเครื่อง REFRIGERATION CALORLIMETER และรูปที่ 3.3 แสดง ความดัน - เอ็นทาลปี ชาร์ท ของวัฏจักรทำความเย็นโดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังนี้

รูปที่ 3.1 แสดงเครื่อง REFRIGERATION CALORIMETER ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องทดสอบความเย็น

(REFRIGERATION CALORIMETER)



รูปที่ 3.3 แสดง ความดัน - เอ็นทาลปี ชาร์ท ของวัฏจักรทำความเย็น

3.1.1 คอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในเครื่องทดสอบความเย็น (Refrigeration Calorimeter) เป็นแบบลูกสูบชนิดเปิดถอดได้ (Open Type Reciprocating Compressor) โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบ 40 มม. มีความยาวช่วงชัก 30 มม. จำนวน 2 สูบ ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 1 แรงม้า โดยอาศัยสายพานรูปตัววีทำหน้าที่ในการถ่ายทอดกำลัง

กำลังงานจริงจากการอัดของคอมเพรสเซอร์ที่กระทำต่อสารทำความเย็นคือ

$$W_{act} = m_r (h_1 - h_4) \quad \text{.....(3.1)}$$

โดยที่ W_{act} = กำลังงานจริงจากการอัดของคอมเพรสเซอร์, kW

m_r = อัตราการไหลของสารทำความเย็น, kg/s

h_1 = เอ็นทาลปีของสารทำความเย็นขณะออกจากคอมเพรสเซอร์, kJ/kg

h_4 = เอ็นทาลปีของสารทำความเย็นขณะเข้าสู่คอมเพรสเซอร์, kJ/kg

สำหรับการอัดทางทฤษฎีหรือไอเซนโทรฟิค (Isentropic) จะได้ค่าของเอนโทรปี (Entropy) ของช่วงการอัดคงที่ ดังนั้นกำลังงานของการอัดแบบไอเซนโทรฟิค(Isentropic) ของคอมเพรสเซอร์ที่กระทำต่อสารทำความเย็นคือ

$$W_{isen} = m_r (h_1' - h_4) \quad \text{.....(3.2)}$$

โดยที่ W_{isen}=กำลังงานจากการอัดแบบไอเซนโทรฟิค(Isentropic)ของคอมเพรสเซอร์, kW

h_1' = เอ็นทาลปีของสารทำความเย็นขณะออกจากคอมเพรสเซอร์ เมื่อเป็นการอัดแบบ ไอเซนโทรฟิค(Isentropic), kJ/kg

กำลังขาเข้าของคอมเพรสเซอร์วัดที่เพลาของมอเตอร์

$$W_{motor} = (8.73/60) \text{ x103 Nxm} \quad \text{.....(3.3)}$$

โดยที่ W_{motor} = กำลังขาเข้าของคอมเพรสเซอร์, kW

N = ความเร็วรอบของมอเตอร์, rpm

m = ก้อนน้ำหนักวางบนแขนของไดนาโมมิเตอร์, kg

บริเวณปลายด้านดูดและส่งของตัวคอมเพรสเซอร์ มีอุปกรณ์วัดความดันและอุณหภูมิพร้อมทั้งมีตาแมวสำหรับดูสารทำความเย็นทางด้านดูด

3.1.2 คอนเดนเซอร์

เป็นตัวระบายความร้อนแบบเชลล์ แอนด์ ทิวป์ (Shell & Tube) โดยอาศัยน้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการระบายความร้อน ตัวเครื่องมีมิเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำพร้อมเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิเข้าออกของน้ำ

ความร้อนที่ระบายออกจากตัวคอนเดนเซอร์เมื่อคำนวณหาจากสารทำความเย็น สามารถหาได้จาก

$$Q_c = m_r (h_1 - h_2) \quad .....(3.4)$$

โดยที่ h_2 = เอ็นทาลปีของสารทำความเย็นขณะออกจากคอนเดนเซอร์, kJ/kg ความร้อนในการระบายความร้อนเมื่อคำนวณจากน้ำที่ใช้ระบายความร้อนหาได้จาก

$$Q_c = m_w C_p (Two - Twi) \quad .....(3.5)$$

โดยที่ m_w= อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน, kg/s

C_p = ความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg K

T_{wo}= อุณหภูมิของน้ำขาออก, ^{o} K

T_{wi}= อุณหภูมิของน้ำขาเข้า, ^{o} K

ค่าความร้อนที่คำนวณจากสมการที่ 3.4 และ 3.5 ควรจะมีค่าเท่ากันในทางทฤษฎี แต่อาจจะแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับความแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ

3.1.3 อุปกรณ์ปรับความดัน

ตัวปรับความดันที่ใช้เป็นชนิดความดันคงที่ (Constant Pressure Expansion) สามารถทำการปรับแต่งได้ เพื่อควบคุมการปล่อยสารทำความเย็นให้ไหลผ่านไปในอัตราที่พอดีกับสารที่ทำความเย็นเหลวเกิดขึ้นในคอนเดนเซอร์ และควบคุมจำนวนสารทำความเย็นในตัวคอนเดนเซอร์และตัวอีวาโปเรเตอร์ให้มีจำนวนที่พอดี บริเวณขาเข้าและออกของอุปกรณ์ปรับความดันจะมีอุปกรณ์วัดความดันและอุณหภูมิติดตั้งอยู่

3.1.4 อุปกรณ์วัดขนาดการทำความเย็นที่ตัวอีวาโปเรเตอร์

ประกอบด้วยถึงทรงกระบอกแน่นหนาภายในมีขดท่ออีวาโปเรเตอร์ และเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าซึ่งมีสายไฟฟ้าต่อออกมายังเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ภายในถังทรงกระบอกจะบรรจุสารระเหยง่าย (ในที่นี้เราใช้สาร CFC-12) ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างขดท่ออีวาโปเรเตอร์และเครื่องทำความร้อน นอกจากนี้ยังมีมาตรวัดความดันเพื่อตรวจดูว่าระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลย์หรือยัง

การคำนวณหาขนาดทำความเย็น สามารถหาได้จาก

3.1.4.1 การวัดโดยตรงจากเครื่องทำความร้อน โดยรวมค่าการสูญเสียความร้อนจากตัวเครื่องทำความเย็นเข้าไปด้วย

$$Q_E = Q_W + \text{HEAT GAIN} \qquad \text{.....(3.6)}$$

3.1.4.2 คำนวณหาจากอัตราการไหลของสารทำความเย็นรวมทั้งค่าอุณหภูมิและความดันที่วัดได้

$$Q_E = m_r\ (h_4 - h_3) \qquad \text{.....(3.7)}$$

โดยที่ Q_E = ขนาดการทำความเย็น, kW

Q_w = ขนาดทำความร้อนที่วัดโดยวัตต์มิเตอร์, kW

h_3 = เอ็นทาลปีของสารทำความเย็นขณะเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์, kJ/kg

3.2 วิธีการทดลองเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องทำความเย็น

ในงานวิจัยนี้ การเดินเครื่องทดสอบความเย็น (Refrigeration Calorimeter) เพื่อหาสมรรถนะการทำงานของระบบจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 เดินเครื่องเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบเมื่อใช้สารทำความเย็นเดิม คือ สารทำความเย็น CFC-12

3.2.2 เดินเครื่องเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบเมื่อใช้สารทำความเย็นตัวใหม่ คือ สารทำความเย็น HFC-134a

3.2.3 ศึกษาการปรับแต่งเครื่องทดสอบความเย็นที่ใช้ HFC-134a เป็นสารทำความเย็น โดยทำการปรับขนาดอุปกรณ์ปรับความดัน เพื่อให้เครื่องทดสอบเดินเครื่องในสภาวะที่เหมาะสม

ในระหว่างเดินเครื่องจะทำการปรับปริมาณการไหลของน้ำระบายความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์คงที่อยู่ที่ 33 ^oC และ 35 ^oC เพื่อดูผลของการระบายความร้อนที่มีต่อการทำความเย็น พร้อมทั้งปรับภาระความร้อนขึ้นครั้งละ 50 watt การอ่านค่าต่าง ๆ จะทำการอ่านเมื่อระบบอยู่ในสภาวะสมดุลย์ โดยการรอให้ค่าความดันในตัวคาลอรีมิเตอร์คงที่ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง เมื่อปรับภาระความร้อนแต่ละครั้ง

ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองจะนำมาพล็อตลงบนความดัน - เอ็นทาลปี ชาร์ท ของสารทำความเย็นทั้งสองพร้อมทั้งคำนวณหาค่าประสิทธิภาพต่าง ๆ ดังนี้

ประสิทธิภาพทาง ไอเซนโทรฟิค (Isontropic Efficiency)

$$\eta_{isen} = W_{isen} / W_{act} = (h_{1'} - h_4) / (h_1 - h_4) \quad .....(3.8)$$

ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical Efficiency)

$$\eta_{mech} = W_{act} / W_{motor} \quad .....(3.9)$$

ประสิทธิภาพรวม (Overall Efficiency)

$$\eta_o = W_{isen} / W_{motor} \quad .....(3.10)$$

สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (Coefficient of Performance)

สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะในทางปฏิบัติ

$$COP_{act} = Q_E / W_{act} \quad .....(3.11)$$

สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะรวม

$$COP_{over} = Q_E / W_{motor} \quad .....(3.12)$$

สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะเมื่อเป็นการอัดแบบไอเซนโทรฟิค(Isentropic)

$$COP_{isen} = Q_E / W_{isen} = (h_4-h_3) / (h_1- h_4) \quad .....(3.13)$$

ปริมาตรต่อหน่วยเวลาที่คอมเพรสเซอร์

$$V_A = m_r v_4 \quad .....(3.14)$$

เมื่อ v_4 คือ ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็นขณะเข้าสู่คอมเพรสเซอร์

ปริมาตรลูกสูบต่อหน่วยเวลา

$$V_D = (\pi/4)\ D^2 \times L \times N_C \times N \quad .....(3.15)$$

โดยที่ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบ

L = ความยาวช่วงชักของลูกสูบ

Nc = จำนวนรอบต่อหน่วยเวลาของตัวคอมเพรสเซอร์

N = จำนวนสูบของคอมเพรสเซอร์

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency)

$$\eta_V = V_A / V_D \quad \text{.....(3.16)}$$

3.3 วิธีการทดลองเพื่อศึกษาผลต่อคอมเพรสเซอร์

คอมเพรสเซอร์ที่ใช้เป็นแบบเปิด (Open Type) และเป็นแบบที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมห้องเย็น ดังนั้นจึงสะดวกต่อการซ่อมและถอดประกอบ โดยคอมเพรสเซอร์มีส่วนประกอบย่อยต่างๆ ดังรูปที่ 3.4 แต่มีชิ้นส่วนที่สำคัญบางอย่างเท่านั้นที่ถูกนำมาพิจารณาการสึกหรอ ซึ่งประกอบด้วย ลูกสูบ (No 48) และ ชุดซีล (No.7)

นอกจากนั้นยังมีการพิจารณาผลที่เกิดขึ้นกับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์ โดยที่ระบบของ CFC-12 เป็นสารทำความเย็น จะใช้คู่กับน้ำมันหล่อลื่นแร่ธาตุ (Zerice 68 ของ Esso) และระบบของ HFC-134a ใช้คู่กับโพลิเอสเตอร์ ออลย์ (Castrol SW68 ของ Castrol) ทั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากทาง บริษัท เอสโซ่แสตนดาร์ด ประเทศไทย จำกัดที่ช่วยในการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นก่อนและหลังการใช้งาน ทั้งนี้คุณสมบัติที่ถูกนำมาพิจารณาประกอบด้วย

3.3.1. ค่า ICP (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy) เป็นการหาค่าปริมาณโลหะที่เจือปนในน้ำมัน มีหน่วยเป็นหนึ่งในล้านส่วน (PPM)

3.3.2. ค่า Neutralization เป็นค่าที่ใช้บอกสภาพของน้ำมันที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการรวมตัวกับออกซิเจน

3.3.3. ค่าความหนืด (Viscosity)

3.3.4. ค่าจุดวาบไฟ (Flash Point)

3.3.5. ค่าความชื้น

3.3.6. ค่าไหลเท (Pour Point)

3.3.7. ค่าปริมาณกำมะถัน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติเหล่านี้ถูกแสดงในรูปที่ 3.5 - 3.10

I19101116

3.4 ขั้นตอนการเดินเครื่องเพื่อหาผลกระทบต่ออุปกรณ์

3.4.1 ถอดชิ้นส่วนของคอมเพรสเซอร์ ทำการเปลี่ยนลูกสูบและชุดซีลให้เป็นของใหม่ แล้วทำความสะอาดก่อนประกอบกลับเข้าเหมือนเดิม

3.4.2 เดินเครื่องทำความเย็นด้วยระบบของ CFC-12/ น้ำมันหล่อลื่นแร่ธาตุ เป็นจำนวน 300 ชั่วโมง

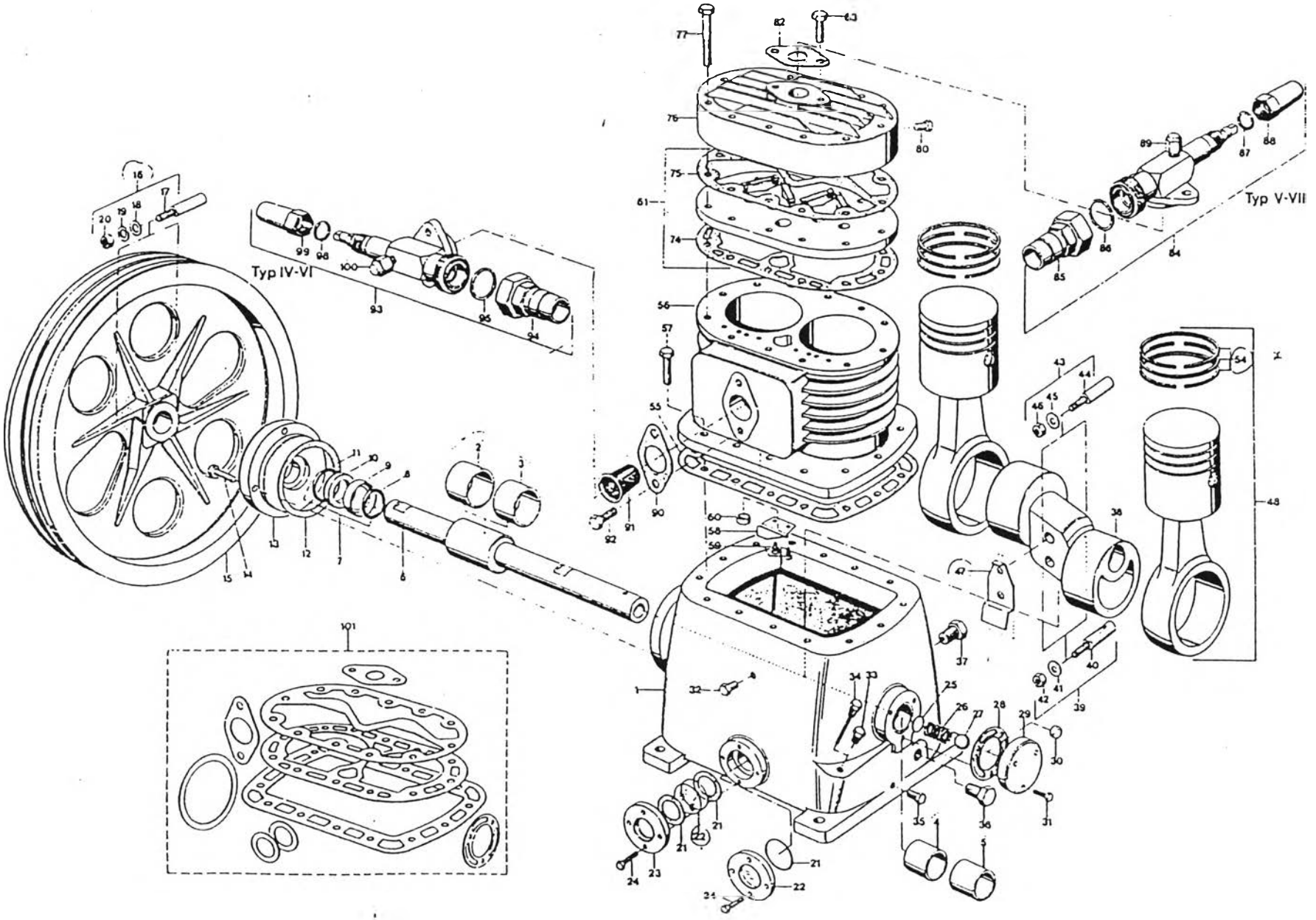
3.4.3 ทำการวิเคราะห์ผลที่เกิดกับอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

ลูกสูบ ถ่ายภาพขยายเพื่อตรวจสภาพของการกัดกร่อน

น้ำมันคอมเพรสเซอร์ วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันที่เปลี่ยนแปลง

3.4.4 เดินเครื่องทำความเย็นด้วยระบบของ HFC-134a/โพลิเอสเตอร์ ออลย์ หลังจากที่ได้ทำการชำระล้างระบบด้วยวิธี Flushing ตามที่กล่าวมาข้างต้น และเปลี่ยนอุปกรณ์เหล่านั้นใหม่

3.4.5 เมื่อเดินเครื่องครบจำนวนชั่วโมงแล้ว ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3



รูปที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบของคอมเพรสเซอร์

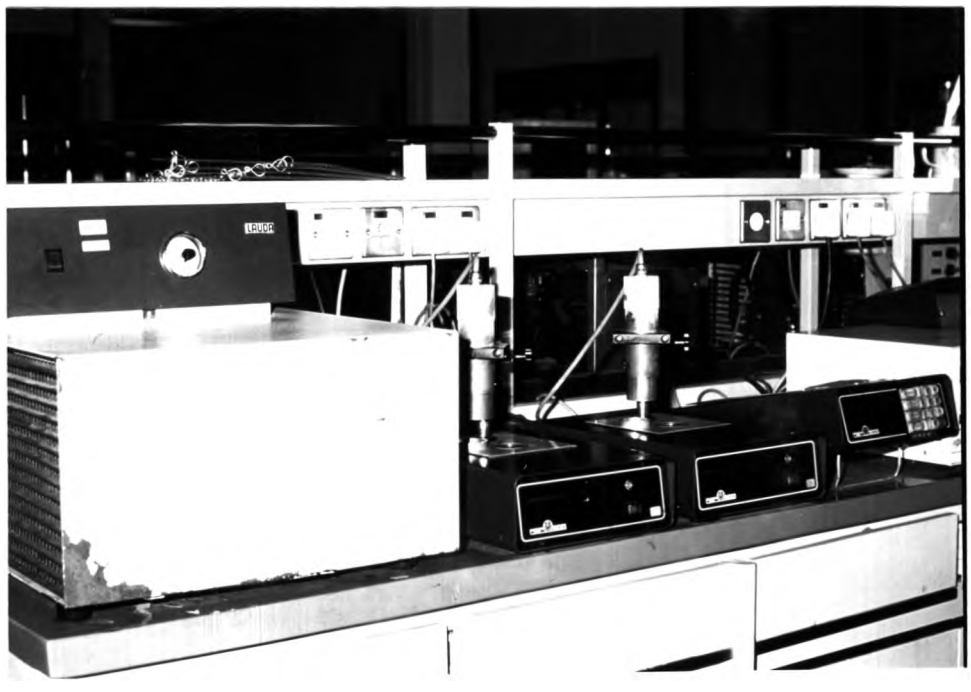
รูป 3.5 เครื่อง ICP ที่ใช้ในการวัดค่าปริมาณโลหะในน้ำมัน

รูป 3.6 เครื่องมือในการวัดค่า NEUTRALIZATION

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 3.7 เครื่องมือในการวัดค่าความหนืด

รูป 3.8 เครื่องมือในการวัดจุดวาบไฟ



รูป 3.9 เครื่องมือในการวัดค่าไหลเมของน้ำมัน (POUR POINT)

รูป 3.10 เครื่องมือใช้ในการวัดค่าปริมาณกำมะถันในน้ำมัน