ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

เครื่องกำเนิดโอโซน อุปกรณ์ที่สำคัญและข้อมูลทั่วไปของเครื่องกำเนิดโอโซน

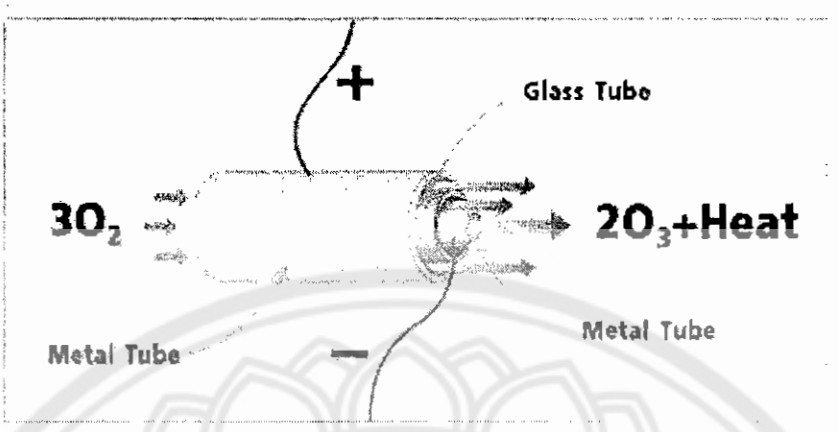
ก.1 ข้อมูลทั่วไปของโอโซน

ก.1.1 ธรรมชาติของโอโซน

โอโซน (Ozone; O_3) เป็นธาตุพื้นฐานตัวหนึ่งในธรรมชาติ เป็นก๊าซที่ปราศจากสี ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม เป็นก๊าซที่ไม่เสถียรและสลายตัวได้ด้วยตัวเอง (Self-decomposition) ได้ง่ายเพื่อกลับไปเป็นออกซิเจนในเวลาสั้น โอโซนสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติโดยเกิดขึ้นจากการที่รังสีอาทิตย์ (รังสี UV ความยาวของคลื่น 185 mm.) ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนในชั้นบรรยากาศที่ระดับความสูง 20-50 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเลแตกตัวออกเป็นอะตอมของออกซิเจนซึ่งอะตอมของออกซิเจนที่เกิดการแตกตัวนี้จะไปทำปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นโอโซน โดยปกติโอโซนจะมีอยู่ในอากาศจำนวนเล็กน้อยประมาณ 0.01-0.03 ppm.

นอกจากการเกิดขึ้นตามธรรมชาติแล้ว โอโซนยังสามารถถูกผลิตขึ้นได้โดยการใช้รังสี UV และการใช้ Corona discharges generator เครื่องสร้างโอโซนชนิดหลอดรังสี UV จะใช้พลังงานจากไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับมักใช้ช่วงความยาวคลื่นของรังสีต่ำกว่า 200 mm. ถ้าความยาวคลื่นสูงกว่านี้จะทำให้ได้ก๊าซโอโซนน้อยลงและกลับมีก๊าซพิษมากขึ้นนิยมใช้กับการผลิตขนาดเล็กโดยการใช้รังสี UV นั้นจะทำให้อะตอมของออกซิเจนในอากาศเกิดการแตกตัวเพื่อให้เกิดการฟอร์มตัวเป็นโอโซน ซึ่งวิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายต่ำและอากาศที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องเป็นอากาศแห้งเพื่อนำมาผลิตเป็นโอโซน สำหรับการใช้ Corona discharges generator นั้น อุปกรณ์จะประกอบไปด้วยแผ่น Electrode 2 แผ่น Discharge gap แคบๆ นั้นจะเป็นบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านซึ่งจะเกิดเป็นแสงสีฟ้า (Blue glow) ซึ่งเรียกว่า "Corona" ซึ่งเมื่ออากาศผ่านเข้าไปในช่องว่างนี้ออกซิเจนในอากาศบางส่วนจะถูกทำให้เกิดการแตกตัวโดยกระแสไฟฟ้า ซึ่งออกซิเจนอะตอมนี้จะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นโอโซนขึ้นมา

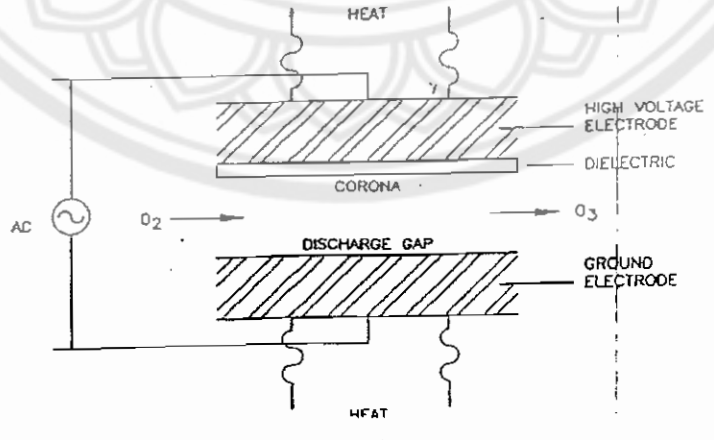
ในการผลิตโอโซนโดยวิธีนี้อากาศที่ใช้จำเป็นต้องเป็นอากาศแห้ง (Dry air) เนื่องจากถ้าใช้อากาศชื้น (Moist air) แล้วความชื้นจะทำให้การผลิตก๊าซโอโซนได้น้อยลงและจะทำให้เกิดกรดไนตริกขึ้นจาก by-product ที่เป็น nitric oxide ซึ่งกรดไนตริกนี้สามารถทำให้ generator และอุปกรณ์อื่นๆ ถัดไปในระบบเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้อากาศหรือก๊าซที่จะนำมาใช้ผลิตโอโซนนั้นต้องแน่ใจว่ามีสารไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซมีเทน เจือปนอยู่น้อยกว่า 15 ppm. เพราะสารไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวขัดขวางการเกิดก๊าซโอโซนและถ้าในอากาศมีสารไฮโดรคาร์บอนเกินร้อยละ 1 ก็จะไม่มีก๊าซโอโซนเกิดขึ้น



รูปที่ ก.1 Basic Ozone Generator

ปกติโอโซนจะเป็นก๊าซที่ไม่คงตัวและจะสลายตัวกลายเป็นออกซิเจนทันที แล้วให้พลังงานออกมาจำนวนหนึ่ง ดังสมการ $O_3 \rightarrow 1.5O_2 + \Delta H$ (พลังงาน) = -140 kJ/mol โดยทั่วไปที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 25 °C จะมีค่าครึ่งชีวิตถึง 3 เดือน ถ้าในอากาศมีสารที่จะทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนจะมีอายุสั้นลงอีก

การสลายตัวของก๊าซในน้ำจะเร็วกว่าในอากาศ จากการทดลองที่ความดันอากาศ 752 ทอร์ อุณหภูมิ 22 °C ในน้ำที่ความสูง 42 cm. ถ้าเป็นน้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Bidistilled water) จะมีค่าครึ่งชีวิตที่ 10 ชั่วโมง ถ้าเป็นน้ำที่สกัดแร่ธาตุออก (Demineralized, conductivity = 1.35 µs/cm) มีค่าครึ่งชีวิต 80 นาที ถ้าเป็นน้ำประปาก็จะมีค่าครึ่งชีวิตเพียง 20 นาที ถ้ามีแสงแดด สภาพแวดล้อมมีความเป็นด่าง มีกระบวนการออกซิเดชั่นก้าวหน้าร่วมอยู่ด้วย เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีรังสี UV และตัวเร่งอื่นๆ ค่าครึ่งชีวิตก็จะยิ่งสั้นลง



รูปที่ ก.2 Basic Ozone Generator

ก.1.2 คุณลักษณะที่สำคัญของก๊าซโอโซน

ก.1.2.1 โอโซนเป็นก๊าซที่ทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้อย่างยอดเยี่ยม

ก.1.2.2 กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดให้โอโซน (ซึ่งเป็นก๊าซที่ให้ความปลอดภัยสูง) ใช้ ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรค ใช้ในโรงงานผลิตภัณฑ์บรรจุขวด หรือในการผลิตที่คล้ายคลึงกัน

ก.1.2.3 โอโซนสามารถนำมาใช้เพื่อขจัดกลิ่นต่างๆ

ก.1.2.4 โอโซนสามารถนำมาใช้เพื่อผลิตน้ำบริสุทธิ์

ก.1.2.5 โอโซนเป็นก๊าซที่ฆ่าเชื้อโรคและไวรัสต่างๆให้ผลเป็นเยี่ยมและปลอดภัย

ก.1.2.6 โอโซนไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างคลอรามีน หรือสารตกค้างอื่นๆ เช่น ไดรฮาโลมีเทน

ก.1.2.7 โอโซนมีคุณสมบัติดีเยี่ยมในการกำจัดหรือแยกย่อยโลหะจำพวกเหล็ก แมงกานีส ซัลเฟอร์ ตะกั่ว และสามารถกำจัดอนุภาคกัมมันตรังสี (Radon) ในน้ำ

ก.1.2.8 โอโซนเป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติยอดเยี่ยมในการบำบัดน้ำเสีย จุดเด่นอีกประการหนึ่งคือ ไม่ก่อสารตกค้างที่เป็นอันตราย โอโซนจะกลายสภาพเป็นออกซิเจนในที่สุด

ก.1.2.9 เนื่องจากโอโซนมีสภาพเป็นก๊าซ O_3 เพียงชั่วคราว จึงไม่สามารถบรรจุหรือเก็บไว้ในขวด โอโซนจะมีการผลิตได้ ณ จุดผลิตเท่านั้น

ก.1.2.10 โอโซนจะแปรสภาพเป็นออกซิเจนภายใน 20-90 นาทีในน้ำ หรือ 8 วินาที - 50 นาทีในอากาศ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศและน้ำในขณะนั้น

ก.2 การติดตั้งและใช้งาน

ข.2.1 Chiller ที่จะติดตั้งระบบการทำความสะอาดด้วย Ozone จะต้องเป็น Chiller ที่มีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

ข.2.2 ใช้พื้นที่สำหรับการติดตั้งอย่างน้อย 1 m. × 1 m.

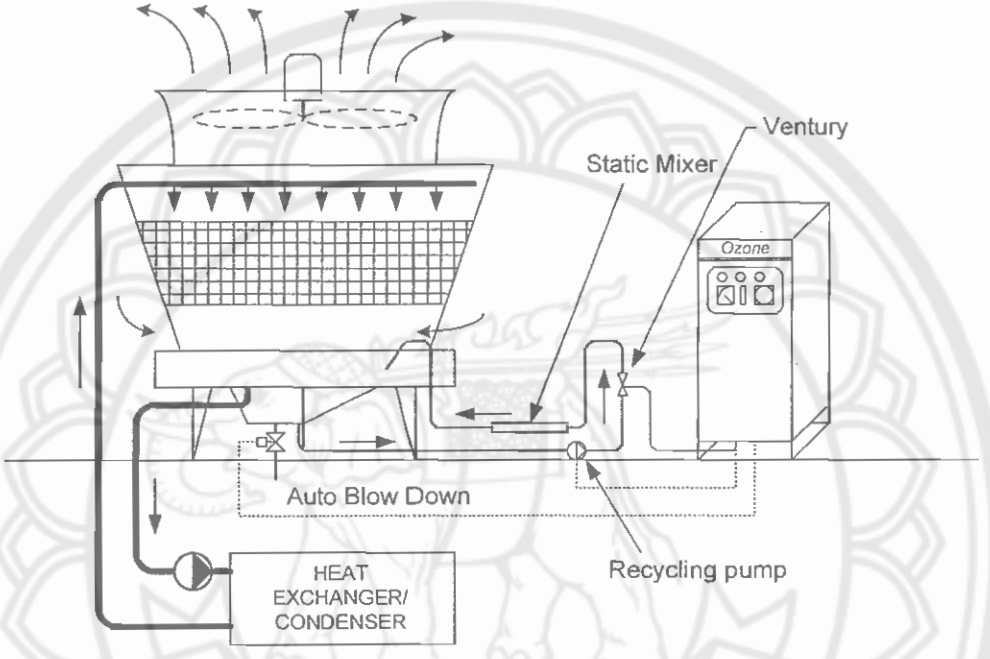
ข.2.3 ควบคุมค่า pH ไว้ประมาณ 8.5 สำหรับหอผึ่งเย็นของเครื่องทำความเย็นและไม่เกิน 9.0 สำหรับหอผึ่งเย็นของ Industrial Cooling (มีน้ำในระบบมากกว่า 1,000 ลูกบาศก์เมตร) หรือน้ำหมุนเวียนตั้งแต่ 10,000 ลูกบาศก์เมตร ต่อ ชั่วโมง

ข.2.4 จะต้องควบคุมปริมาณโอโซนที่ละลายในน้ำตั้งแต่ 0.1 ppm.

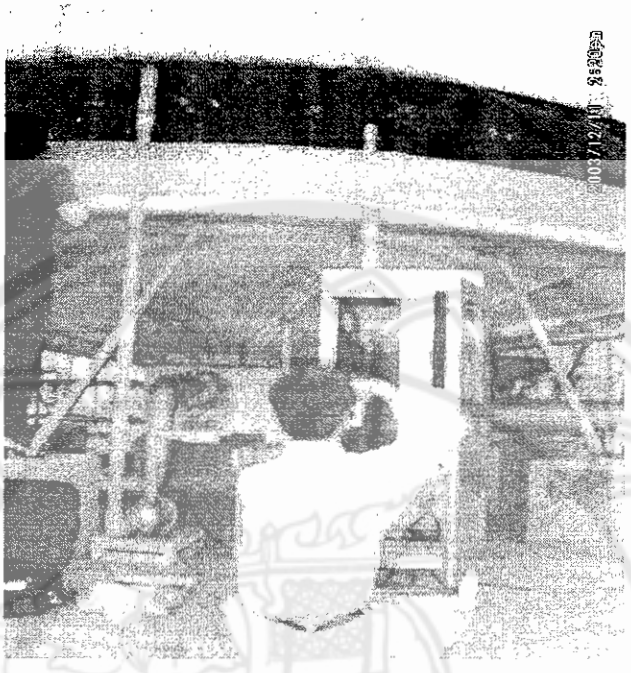
ข.2.5 หากน้ำที่ใช้ป้อน (Make up) เป็นน้ำกร่อยไม่ควรทำน้ำอ่อนเพราะมีการกัดกร่อนอย่างรุนแรง

ข.2.6 ไม่ควรใช้คลอรีลร่วมกับโอโซน ในสภาวะที่เป็นด่างหรือค่า pH มากกว่า 8 เพราะจะเกิดการหักล้างกับกระบวนการกำจัดตะใคร่น้ำ

ข.2.7 อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนที่หอผึ่งน้ำจะต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 135° F



รูปที่ ก.3 การติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซน



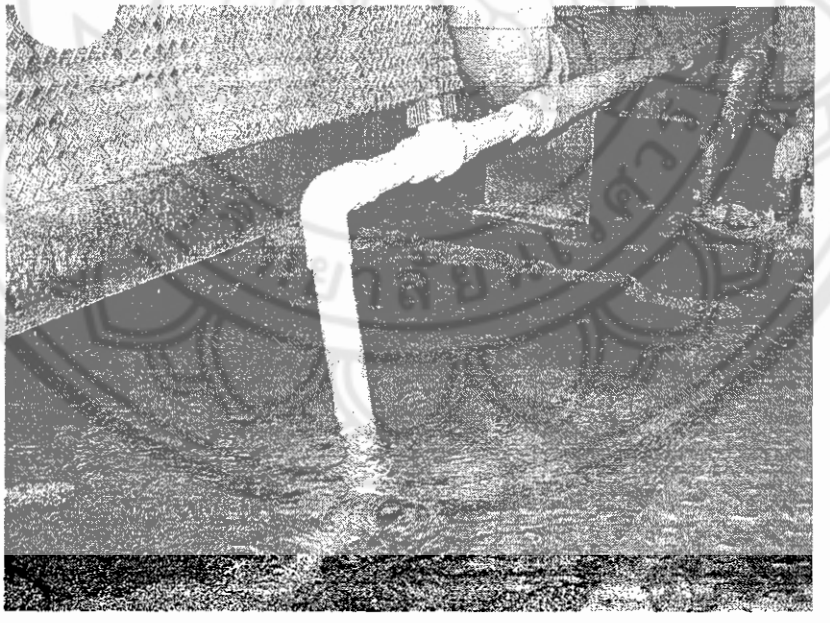
รูปที่ ก.4 การติดตั้งที่หน้างานจริง

รูปที่ ก.5 การเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดโอโซนเข้ากับ Cooling Tower

รูปที่ ก.6 ภาพด้านข้างการติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซนกับ Cooling Tower

รูปที่ ก.7 การเติมโอโซนลงไปในน้ำ

รูปที่ ก.8 น้ำ Blow Down ก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซน



รูปที่ ก.9 น้ำ Blow Down หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซน

ก.3 สิ่งที่ต้องพึงระวังหรือหลีกเลี่ยงเมื่อมีการใช้โอโซน

ความล้มเหลวในการใช้โอโซนกับระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับหอผึ่งน้ำเย็นนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะเกี่ยวข้องกับการที่โอโซนไม่สามารถละลายในน้ำได้เพียงพอ เพื่อที่จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในน้ำ หรือการที่อุณหภูมิในการทำงานของระบบหอผึ่งน้ำเย็นสูง เกินไป ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำในระบบหอผึ่งน้ำนั้นได้ผลดี จึงควรหลีกเลี่ยงสิ่งต่อไปนี้

ก.3.1 อากาศ น้ำ ที่มีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณสูง ซึ่งจะทำให้มีค่า COD มีค่าสูง ซึ่งโอโซนจะออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของโอโซนที่เหลืออยู่ไม่เพียงพอสำหรับการบำบัดน้ำต่อไปนี้

ก.3.1.1 อุณหภูมิของน้ำที่สูงเกิน 110 °F (43 °C) ซึ่งอุณหภูมิของน้ำที่สูงจะไปลด residence time ของโอโซน

ก.3.1.2 น้ำ make up ที่มีความกระด้างมาก คือ มีความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) มากกว่า 500 ppm. หรือน้ำ make up ที่มีความสกปรก (ในบางครั้งจะมีการแนะนำให้ใช้น้ำ make up ที่เป็นน้ำอ่อนหรือน้ำที่ผ่านการกรองมาแล้ว)

ก.3.1.3 ระบบท่อที่ยาวมากๆ ซึ่งต้องการ residence time ที่นานเพื่อให้การใช้โอโซนในการบำบัดมีประสิทธิภาพ ซึ่งถ้า residence time ไม่นานพอประสิทธิภาพของการใช้โอโซนจะลดลง เช่น ทำให้โอโซนฆ่าเชื้อโรคต่างๆ ไม่หมด จึงทำให้มีหลงเหลืออยู่ในระบบได้

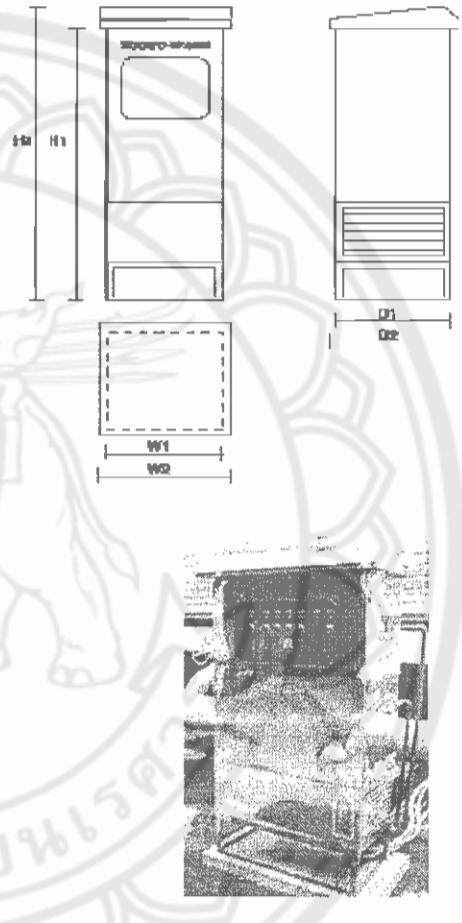
อุณหภูมิของหอผึ่งเย็นก็เป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลว เมื่อมีการใช้โอโซนที่อุณหภูมิสูงกว่า 110 °F (43 °C) ความสามารถในการละลายของโอโซนในน้ำจะเป็นศูนย์ไม่ว่าความเข้มข้นของโอโซนที่เป็นก๊าซที่ป้อนเข้ามาจะเป็นค่าเท่าไหร่ก็ตาม แม้แต่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 110 °F นั้น เช่นที่ 104 °F (40°C) โอโซนก็ยังละลายในน้ำได้น้อยกว่า 3 ppm.

ก.4 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดโอโซน

ก.6.4.1 เครื่องกำเนิดโอโซน

ก.6.4.1.1 คุณลักษณะเฉพาะ

- Model : OZG90G
- Ozone Capacity : 90 g/hr
- Feed Gas Supply : Dry Air / Oxygen
- Air Flow Rate : 4-6 m^3/hr
- Cooling System : Water Cooled
- Discharge Voltage : 10 kV@ >400 Hz
- Ozone Tube : Load Break Down by Corona Discharge
- Ozone Mixer : Static Mixer Method
- Ozone Injection : Ventury Vacuum Operation
- Cabinet Casing : Stainless Steel Outdoor Type
- Power Consumption : 1.2 kW
- Dimension WxHxD : 1.14x1.95x0.67 m
- Weight : 170 kg



รูปที่ ก.10 แสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดโอโซน

ก.6.4.1.2 การนำมาใช้งาน

ระบบผลิตโอโซน นำมาใช้ ลดการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ, ลดการเกิดตะกรันและตะไคร่น้ำ, ลดค่าบำรุงรักษาระบบ และลดปริมาณน้ำทิ้ง, ป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม และอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสมกับ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

ก.6.5 อุปกรณ์ภายในเครื่องกำเนิดโอโซน

ก.6.5.1 หลอดผลิตโอโซน (1)

ก.6.5.2 Flow meter (2)

ก.6.5.3 Inlet Dry Air (3)

ก.6.5.4 Outlet Ozone (gas) (4)

ก.6.5.5 Pressure Detector (5)

ก.6.5.6 HV Transformer (6)

ก.6. 5.7 Power & Control Terminals (7)

ก.6.5.8 Converter Board (8)

ก.6.5.9 Timer for Water Pump Control (9)

ก.6.5.10 Magnetic Contactor & Overload protection for Ozone and Water Pumps (10)

ก.6.5.11 Control Relay (11)

ก.6.5.12 Fuses (12)

ก.6.5.13 Circuit Breaker (13)

ก.6.5.14 Phase Loss Detector (14)

ก.6.5.15 Limit Switch for Door Locked Protection (15)

ก.6.5.16 Fluorescent Lamp (16)

ก.6.5.17 Ozone Leakage Detector

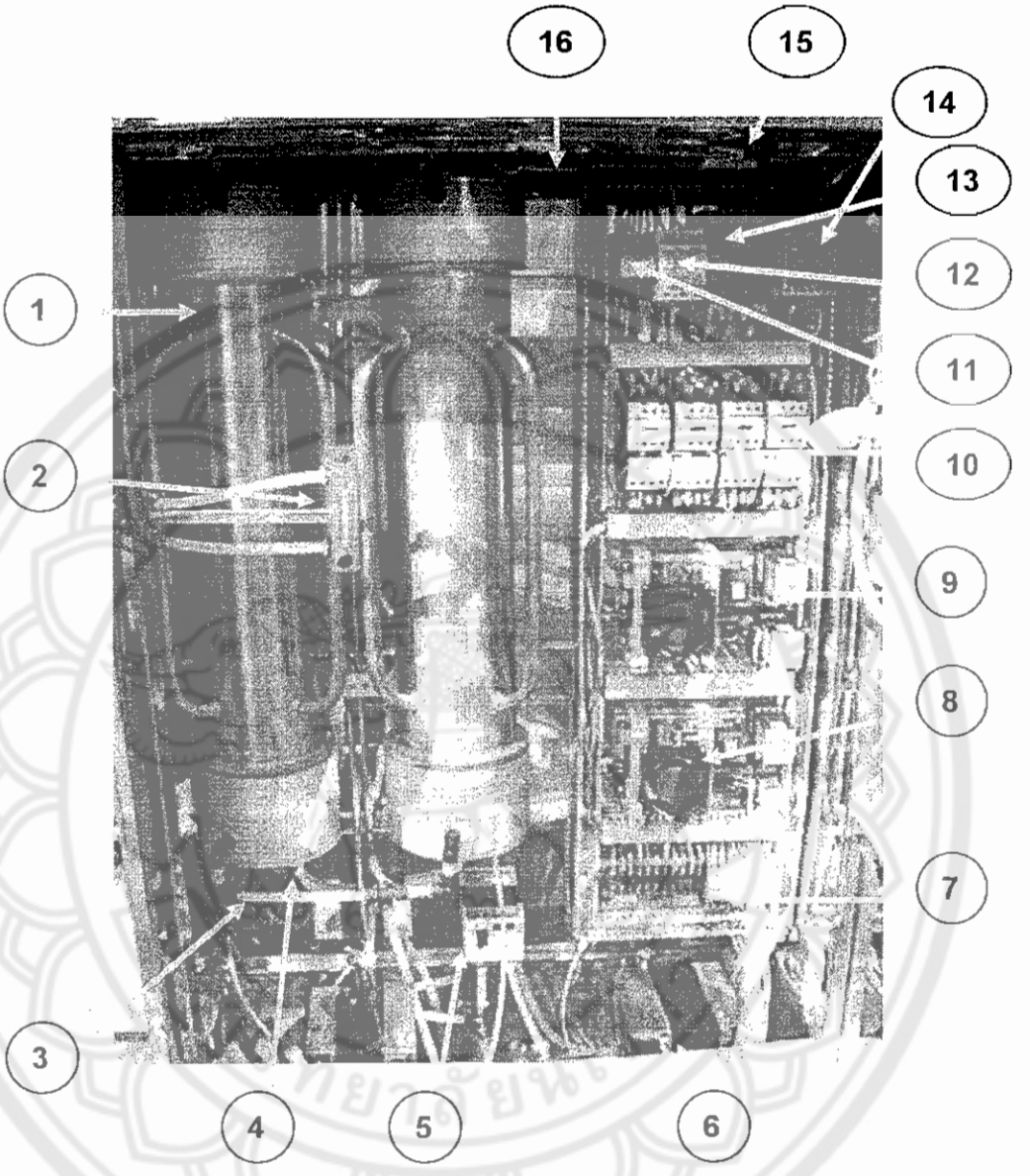
ก.6.5.18 Code Detector

ก.6.5.19 Ventilation Fan

ก.6.5.20 Amp meter

ก.6.5.21 Indicating Lamp

ก.6.5.22 Selector Switch



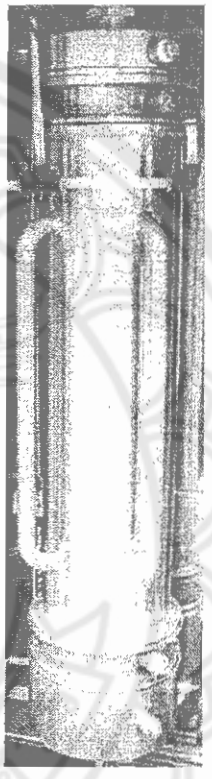
รูปที่ ก.11 แสดงอุปกรณ์ภายในเครื่องกำเนิดโอโซน

ก.6.6 ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ

ก.6.6.1 หลอดผลิตโอโซน (Ozone Generator Chamber)

ก.6.6.1.1 คุณสมบัติเฉพาะ

- Structure : Corona Discharge between the surface of two quartz tubes
- Ozone Capacity : 45 g/hr
- Feed Gas : Oxygen / Dry Air , - 50 °C DP at 1 bar , 0.01 micron. Max Particle Size, 0.001 micron. Max Oil Concentration
- Feed Gas Flow Rate : 25-50 litre/min
- Cooling Method : Air cooled for quartz tubes and water cooled for jacket
- Power Supply : 220 V 50 Hz / HV 10,000 V > 400 Hz
- Power Consumption : 0.6 kW
- Dimension (cm) : Length 90 x Diameter 16
- Weight : 41 kg



รูปที่ ก.12 หลอดผลิตโอโซน

ก.6.6.1.2 การนำมาใช้งาน

หลอดผลิตโอโซน ทำหน้าที่ผลิตโอโซนจากอากาศแห้งหรือออกซิเจนโดยที่ก๊าซทั้งสองเกิดการแตกประจุด้วยหลักการของ Corona Discharge ซึ่งเป็นปรากฏการณ์หนึ่งในระบบไฟฟ้าแรงดันสูง เมื่อมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงที่ผิวตัวนำ ก๊าซรอบตัวนำนั้นจะเกิดการแตกตัวได้ สำหรับเครื่องกำเนิดโอโซนนั้นแรงดันไฟฟ้าสูงจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้หม้อแปลงเพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับหลอดผลิตโอโซนในการผลิตก๊าซโอโซน ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในหลอดผลิตโอโซนถูกระบายด้วยน้ำและลม

ก.6.6.2 High Voltage Transformer

ก.6.6.2.1 คุณสมบัติเฉพาะ

- ใช้แปรงแรงดันจากแรงดันต่ำ 220V, >400 Hz มาแรงดันสูง 10 kV, >400 Hz
- พิกัดกำลังไฟฟ้า 2.5 kVA

รูปที่ ก.13 High Voltage Transformer

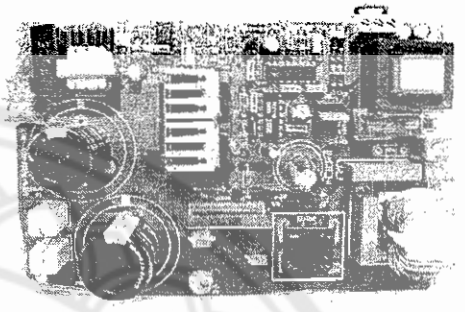
ก.6.6.2.2 การนำมาใช้งาน

High Voltage Transformer ถูกใช้ในการสร้างแรงดันสูง เพื่อป้อนให้กับหลอดผลิตโอโซน โดยที่ความถี่ใช้งานมีค่ามากกว่า 400 Hz เพื่อสร้างปริมาณก๊าซโอโซนในปริมาณสูง หม้อแปลงนี้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับแรงดันพิกัดที่ 10 kV ดังนั้นการออกแบบจึงต้องหล่อเรซินเพื่อไม่ให้เกิดการ Breakdown ระหว่างขดลวด

ก.6.6.3 Converter Board

ก.6.6.3.1 คุณสมบัติเฉพาะ

- แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V, 50 Hz เป็น 220 V, 300 – 1000 Hz
- มีวงจร Soft Start เพื่อลดกระแสกระชาก ขณะที่เครื่องเริ่มผลิตโอโซน
- มีวงจรป้องกันคลื่นรบกวนที่เกิดจาก Line



รูปที่ ก.14 Converter Board

ก.6.6.3.2 การนำมาใช้งาน

หน้าที่หลักของบอร์ดควบคุมนี้คือ สร้างสัญญาณความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างโอโซน โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง เพื่อจ่ายพลังงานให้หลอดผลิตโอโซน

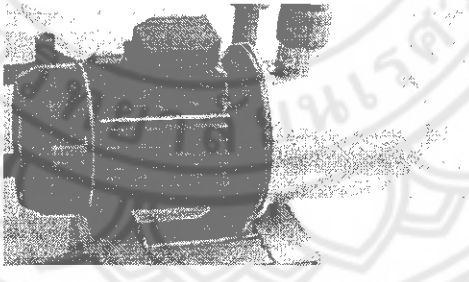
ก.6.6.4 Recycling Pump

ก.6.6.4.1 คุณสมบัติเฉพาะ

- Type : Centrifugal pump, 2 Stages horizontal Not Self Priming
- Max Suction Pressure : 6 Bar
- Minimum Flow : 8-10 m^3/hr @ 40 m. head
- Temperature Range : 15 to +90 ^{O}C
- Ambient Temperature : Up to 40 ^{O}C

ก.6.6.4.2 มอเตอร์

- Type : Induction Motor, 2 Poles
- Voltage : 3-Phase, 230/400 V (Standard Voltage; Tolerance +10% at 50 Hz $\pm$ 6% at 60 Hz)
- Rated Speed : 2900 rpm
- Ingress protection : IP 55
- Insulation Class : F
- Power Output : 1.85 kW



รูปที่ ก.15 มอเตอร์

ก.6.6.4.3 การนำมาใช้งาน

ปั๊มน้ำทำหน้าที่ดูดน้ำจาก Cooling Tower เพื่อมาผสมกับก๊าซโอโซนที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดโอโซน แล้วจ่ายน้ำกลับไปสู่ Cooling Tower

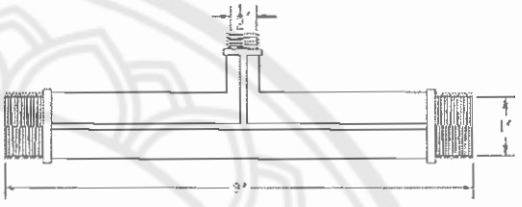
ก.6.6.5 Ventury

ก.6.6.5.1 คุณสมบัติเฉพาะ

- Structure : Inline Mounting between Pipe Run
- Materials : Case Nylon : Brown Colour
- Flow Rate : 1.0 – 4.8 m^3/hr.
- Operating Pressure

  Input Pressure : 2.2 - 6.4 Bar

  Output Pressure : 1.2 – 4.8 Bar
- Suction Gas : 20 – 30 Litre/min. at Flow Rate 4 m^3/hr
- Dimension : See Figure
- Approx. Weight : 250 g.



รูปที่ ก.16 Ventury

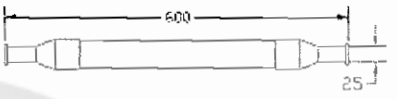
ก.6.6.5.2 การนำมาใช้งาน

Ventury จะทำหน้าที่ผสมก๊าซโอโซน ลงในน้ำ Cooling ด้วยอัตราการ Suction ที่ 20 –30 Litre/min. ประสิทธิภาพการละลายน้ำอยู่ที่ 50-80% ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำและปริมาณการไหลเวียนของน้ำ

ก.6.6.6 Static Mixer

ก.6.6.6.1 คุณสมบัติเฉพาะ

- Cooling Water Flow Rate : > 1 m/s
- Strength Run of Water Pipe : > 200 mm.
- Dimensions (mm.) : See Figure
- Operation Temperature : 4°C - 80°C
- Thread Connector : 1" NPT both ends
- Approx. Weight : 1.2 kg.



รูปที่ ก.17 Static Mixer

ก.6.6.6.2 การนำมาใช้งาน

Static Mixer ทำงานร่วมกับระบบโอโซน จะแยกอะตอมของโอโซนในน้ำ โดยอาศัยการเพิ่มความเร็วของน้ำ ขณะที่น้ำผ่านเข้า Static Mixer หลังจากนั้น โครงสร้างโมเลกุลของสสารในน้ำบางอย่าง จะเปลี่ยนแปลงประจุ ทำให้เกิดการตกผลึกของสารละลายในน้ำ

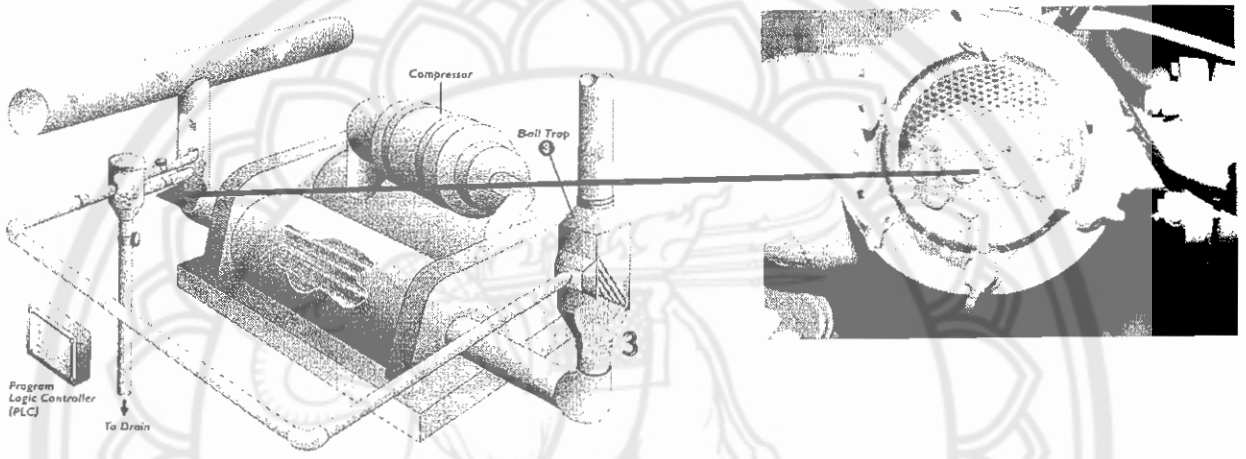
ภาคผนวก ข.

แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบล้างท่ออัตโนมัติ

ข.1 ขั้นตอนการทำงานของ Ball Technic System

ข.1.1 จังหวะที่ 1 "การพักลูกบอล"

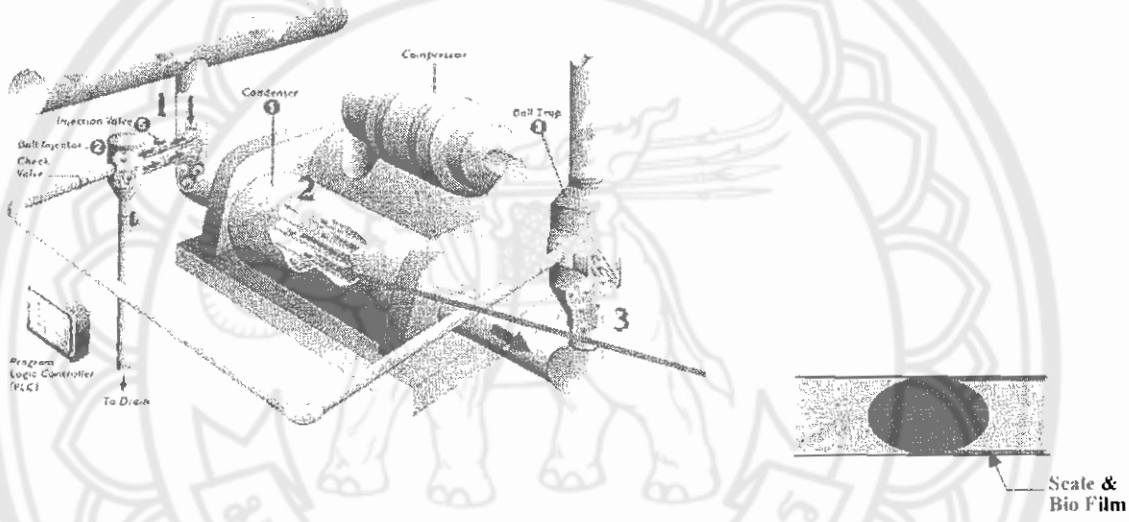
ตามปกติ "ลูกบอล" จะพักนิ่งๆ อยู่ที่ Injector เพื่อรอการทำงานตาม Cycle ทำให้สามารถตรวจสอบหรือเปลี่ยนลูกบอลได้ง่ายมาก โดยผ่านทาง Sight Glass และการที่ "ลูกบอล" พักอยู่นิ่งๆ ทำให้อายุของลูกบอลยืนยาวและไม่ไปรบกวนระบบน้ำหล่อเย็น



รูปที่ ข.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของ Ball Technic ในจังหวะที่ 1 "การพักลูกบอล"

ข.1.2 จังหวะที่ 2 "การส่งลูกบอลเข้าทำความสะอาด Condenser"

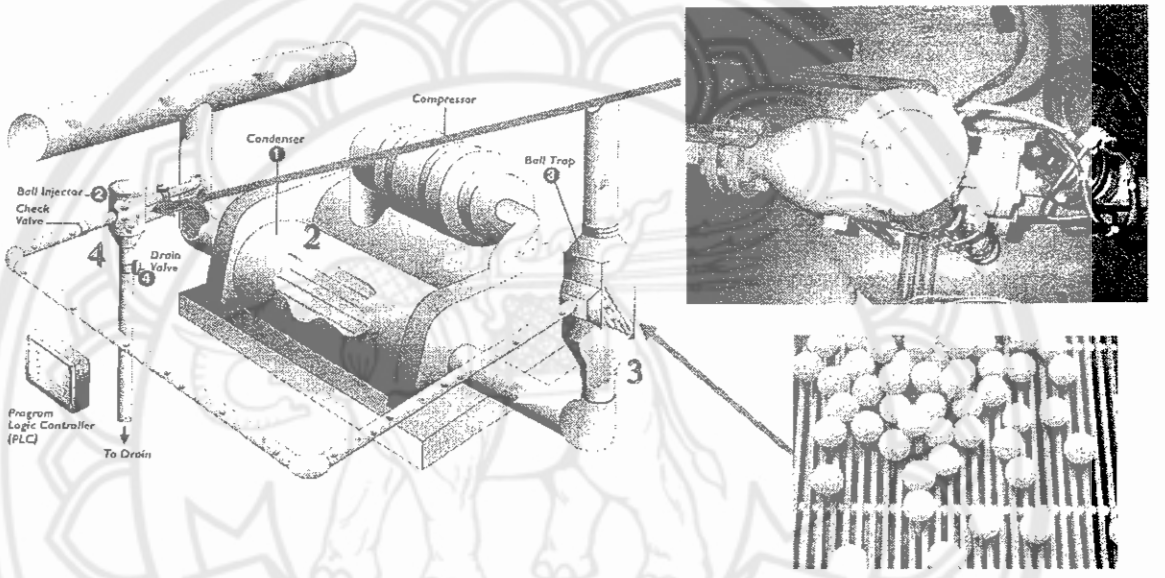
"PLC" จะส่งคำสั่งให้ Solenoid Valve ตัวบนทำการเปิดน้ำจาก Main inlet pipe ซึ่งมีทั้งแรงดันและกำลังน้ำ อย่างมากมายให้ไหลเข้ามาพา "ลูกบอล" ออกจาก Injector เข้าสู่ระบบระบายความร้อนตามการออกแบบของ Ball Technic โดยไม่ต้องใช้พลังงานเสริมจากปั๊มน้ำหรือมอเตอร์หรือปั๊มลม ส่งผลให้ Ball Technique System เป็นระบบที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดและดูแลรักษาง่ายที่สุด



รูปที่ ข.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของ Ball Technic ในจังหวะที่ 2
"การส่งลูกบอลเข้าทำความสะอาด"

ข.1.3 จังหวะที่ 3 "การนำลูกบอลกลับมาหมุนเวียนใช้"

"PLC" จะส่งคำสั่งให้ Drain Valve ตัวล่างทำการเปิดน้ำจาก Drain Pipe ซึ่งต่อเชื่อมจาก Injector ออกสู่นอกระบบ เป็นผลทำให้เกิดแรงดูด "ลูกบอล" กลับมายัง Injector อย่างรวดเร็วและดำเนินการล้าง "ลูกบอล" และระบายสิ่งสกปรกออกจากระบบน้ำหล่อเย็น โดยไม่ต้องใช้พลังงานและอุปกรณ์เพิ่มเติม ทำให้คุณภาพของน้ำหล่อเย็นดีอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ ข.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของ Ball Technic ในจังหวะที่ 3 "การนำลูกบอลกลับมาหมุนเวียนใช้"

ภาคผนวก ค.
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องทำน้ำเย็น

ค. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องทำน้ำเย็นและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

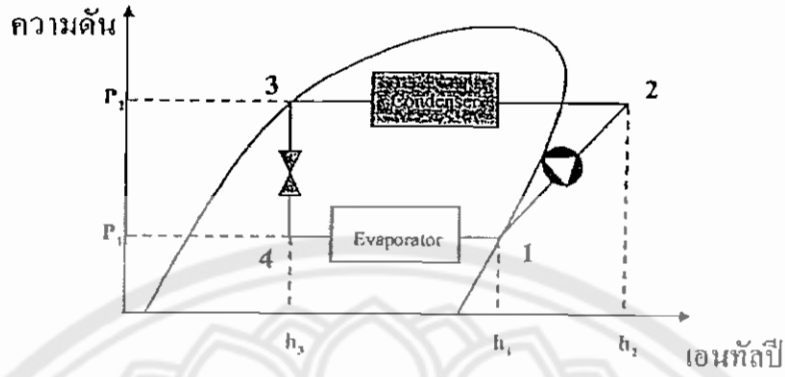
ค.1 ความรู้ทั่วไปและส่วนประกอบเกี่ยวกับเครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็นจะประกอบด้วย วงจรทำความเย็น (Refrigeration Cycle) ด้านอีวาโปเรเตอร์จะไม่ทำความเย็นให้อากาศโดยตรง โดยจะไปทำความเย็นให้กับน้ำเมื่อน้ำเย็นแล้วจึงใช้น้ำเป็นตัวกลางถ่ายทอดความเย็นต่อไป สาเหตุที่ต้องใช้น้ำเป็นตัวกลางถ่ายทอดความเย็นเนื่องจากน้ำสามารถสูบจ่ายไปได้ไกล โดยไม่มีปัญหาการรั่วและการควบคุมปริมาณทำได้ง่าย ซึ่งก็จะมีผลทำให้การควบคุมอุณหภูมิแม่นยำขึ้นและต้นทุนต่ำกว่าสารทำความเย็นมาก การติดตั้งเครื่องอัดสารทำความเย็นในห้องติดตั้งเฉพาะจึงทำให้ไม่มีปัญหาเสียงดัง

ค.1.1 หลักการทำงานวัฏจักรอัดไอเครื่องอัดสารทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็นโดยทั่วไปเป็นแบบอัดไอ จะประกอบด้วย เครื่องอัดไอ (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องทำระเหย (Evaporator) และวาล์วขยายตัว (Expansion Valve) โดยที่แต่ละตัวทำหน้าที่แตกต่างกัน ดังนี้

การทำความเย็นของระบบปรับอากาศ จะอาศัยหลักการระเหยของสารทำความเย็นและเนื่องจากสารทำความเย็นมีราคาแพง ประกอบกับการให้ระเหยทิ้งไปจะทำให้เกิดผลกับสภาพแวดล้อม เมื่อสารทำความเย็นระเหยและทำความเย็นแล้วจึงต้องนำไปควบแน่นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หลักการควบแน่นอาศัยการเพิ่มความดันให้กับไอระเหยหรืออัด (Press) ไอ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า คอมเพรสเซอร์ (Compressor) จนไอระเหยนั้นกลายเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่อัดนี้ ไอระเหยก็จะคายความร้อนออกมาด้วย เราก็ต้องมีวิธีการในการระบายความร้อนนี้ออกไป โดยอาจจะใช้ น้ำ (Water-cooled) ในการระบายความร้อน เมื่อสารทำความเย็นกลายเป็นของเหลวแล้ว การทำให้ของเหลวระเหยเพื่อทำความเย็นอีกครั้ง จะอาศัยการลดความดันลง โดยผ่านอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Valve) ซึ่งจากที่กล่าวมานี้สามารถแสดงด้วยวงจรการทำความเย็น (Refrigeration Cycle) ได้ดังนี้



รูปที่ ค.1 แสดงวัฏจักรเครื่องอัดสารทำความเย็น

ค.1.1.1 กระบวนการอัดไอ 1-2 (Compression process) สารทำความเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำระเหยในสถานะอิ่มตัวที่ความดันและอุณหภูมิต่ำที่สภาวะที่ 1 ถูกเพิ่มความดันโดยการอัดตัวแบบไอเซนโทรปิคในคอมเพรสเซอร์ไปสู่สภาวะที่ 2 ซึ่งเป็นร้อนยวดยิ่ง สารทำความเย็นที่สภาวะนี้จะถูกทำให้เย็นลงในคอนเดนเซอร์

ค.1.1.2 กระบวนการควบแน่น 2-3 (Condensation process) ความร้อนจากสารทำความเย็นจะถ่ายเทไปสู่อากาศที่ใช้ระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์ เมื่อสารทำความเย็นผ่านคอนเดนเซอร์จะอยู่ในสภาพของเหลวอิ่มตัว (สภาวะที่ 3) และจะถูกลดความดันขณะผ่าน Throttling process

ค.1.1.3 กระบวนการลดความดันในวาล์วขยายตัว 3-4 (Throttling process) ไปสู่สภาวะที่ 4 ซึ่งเป็นของผสมระหว่างสารทำความเย็นและไอของสารทำความเย็น สารทำความเย็นที่สภาวะนี้มีความดันและอุณหภูมิต่ำและไหลเข้าสู่เครื่องทำระเหยเพื่อรับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น

ค.1.1.4 กระบวนการทำระเหย 4-1 (Evaporation process) ความร้อนจากผลิตภัณฑ์ก็จะถูกดูดเพื่อใช้ในการระเหยของของเหลวให้เป็นก๊าซพลังงานหรือความร้อน

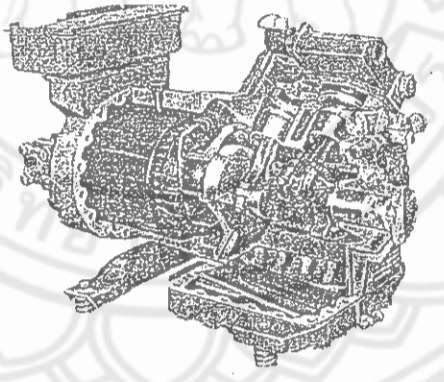
ค.1.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น

ค.1.2.1 เครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor)

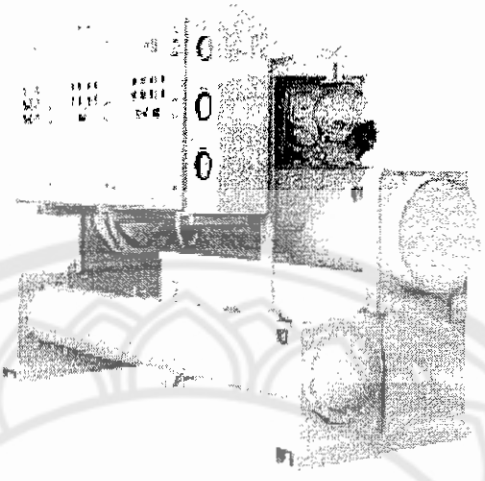
อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบหลังจากสารทำความเย็นผ่านกระบวนการทำระเหยเพื่อให้มีความดันสูง

ค.1.2.2 เครื่องอัดสารทำความเย็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor)

มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับเครื่องยนต์ในรถยนต์ โดยใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนการทำงานของลูกสูบให้ดูดสารทำความเย็นจากอีวาโปเรเตอร์และส่งไปยังคอนเดนเซอร์ คอมเพรสเซอร์แบบนี้เป็นแบบที่ใช้มาตั้งแต่เครื่องปรับอากาศรุ่นแรกหากมีโครงสร้างที่มีชุดลูกสูบและมอเตอร์อยู่ภายในกระป๋องเดียวกันซึ่งเชื่อมปิดสนิทเรียกว่า Sealed Hermetic Compressor หากมีโครงสร้างที่สามารถเปิดฝาสูบออกได้เรียกว่า Semi Hermetic Compressor ซึ่งแบบหลังนี้มักจะใช้ขนาดแรงม้าตั้งแต่ 5 แรงม้าขึ้นไป มีรุ่นที่เป็นรุ่นปกติและรุ่นที่ประหยัดไฟฟ้าและรุ่นตั้งแต่ 10 แรงม้าขึ้นไปมักจะมีอุปกรณ์ลดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงได้ โดยการยกลิ้นของลูกสูบขึ้น ที่เรียกว่า Unloaded เพื่อช่วยประหยัดไฟเมื่อภาละต่ำลง



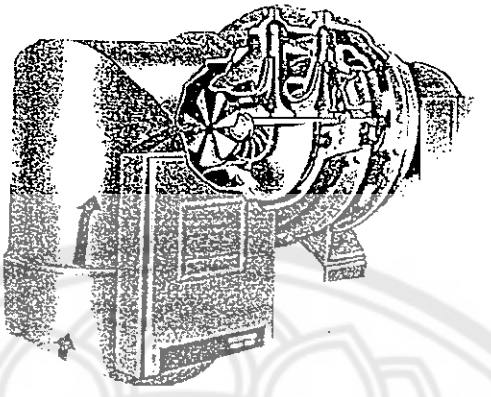
รูปที่ ค.2 แสดงลักษณะเครื่องอัดสารทำความเย็นแบบลูกสูบ



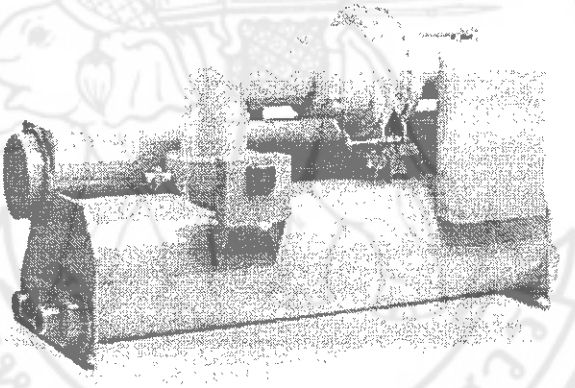
รูปที่ ค.3 แสดงเครื่องทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Water Chiller)

ค.1.2.3 เครื่องอัดสารทำความเย็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal Compressor)

ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) ขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นคอมเพรสเซอร์ที่สามารถขับเคลื่อนปริมาณสารทำความเย็นได้มากและมีประสิทธิภาพสูงสามารถใช้กับสารทำความเย็นใหม่ที่ไม่ก่อให้เกิด CFC การปรับลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์อาศัย Inlet Vane ซึ่งเป็นลิ้นที่ขับด้วยมอเตอร์เพื่อควบคุมปริมาณสารทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์และช่วยประหยัดพลังงานเมื่อภาระของเครื่องลดลงการทำงานของใบพัดจะทำงานที่ความรอบรอบสูงถึง 8,000-10,000 รอบ/นาที จึงต้องมีการทดรอบของมอเตอร์หากโครงสร้างเป็นชนิดที่มีมอเตอร์อยู่ในเรือนเดียวกันเรียกว่า Hermetic ซึ่งมักจะนิยมโครงสร้างแบบนี้หรือในบางกรณีหรือกรณีที่เครื่องมีขนาดใหญ่มากหรือใช้มอเตอร์ที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น หรือมอเตอร์พิเศษหรือใช้เครื่องยนต์ขับก็อาจจะให้มอเตอร์อยู่นอกเรือน ซึ่งเย็นกว่า Open Type บางรุ่นอาจจะออกแบบให้มีใบพัดทำงานต่อกันหลายชุดเรียกว่า Multi-Stage โดยประกอบกับชุดระบายความร้อนระหว่างชุดใบพัด (Intercooler) ก็จะทำให้ได้คอมเพรสเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงและอาจจะทำงานที่ความเร็วรอบลดลงได้



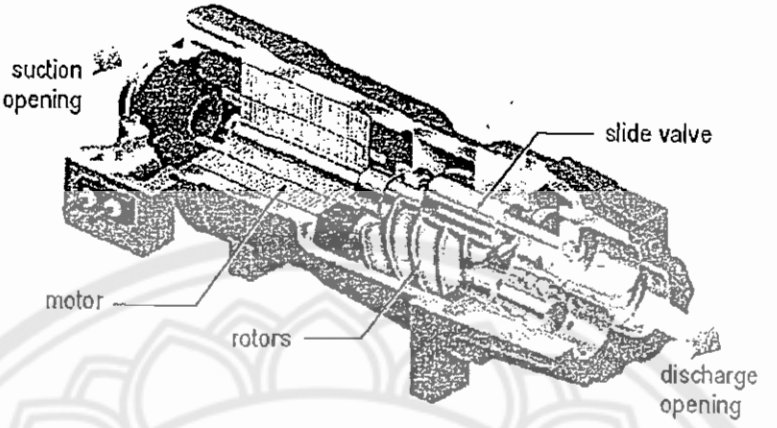
รูปที่ ค.4 แสดงเครื่องอัดสารทำความเย็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal Compressor)



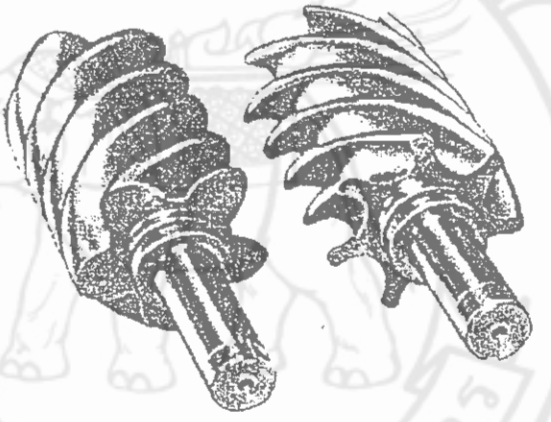
รูปที่ ค.5 แสดงเครื่องทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal Water Chiller)

ค.1.2.4 เครื่องอัดสารทำความเย็นแบบสกรู (Screw Compressor)

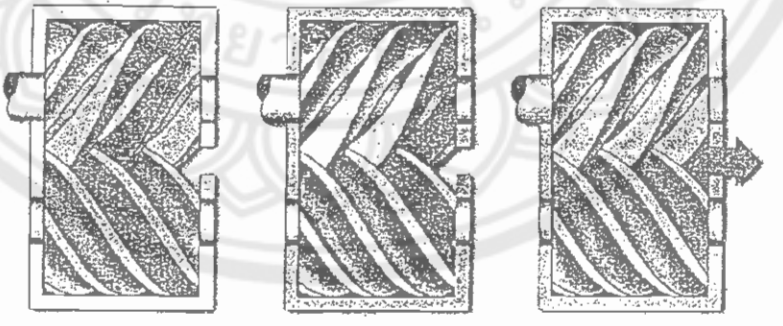
มักจะใช้กับเครื่องที่มีแรงม้ามากๆ ขนาดเล็กก็จะอยู่ในช่วง 50 แรงม้าขึ้นไป เดิมใช้กันมากในระบบห้องเย็นเนื่องจากสามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดี มีความคงทนสูงแต่มีราคาแพง หลังจากที่มีเรื่อง CFC ทำให้คอมเพรสเซอร์แบบหอยโข่งมีปัญหาและมีการใช้สารทำความเย็นที่มีความดันการทำงานสูงกว่าความดันบรรยากาศ (High Pressure Refrigerant เช่น R-22, R-134a) แทนการใช้การทำความเย็นที่มีความดันการทำงานต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Low Pressure Refrigerant เช่น R-11, R-12) ทำให้มีผู้หันมาใช้สกรูคอมเพรสเซอร์กันมากขึ้น เมื่อมีการผลิตมากขึ้นราคาจึงถูกกว่าเดิมและมีการนำสกรูคอมเพรสเซอร์มาใช้ในเครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) มากขึ้นสามารถปรับลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์โดยอาศัยลิ้นเลื่อน (Sliding Valve) เพื่อควบคุมปริมาณสารทำความเย็นเข้าคอมเพรสเซอร์ได้ การทำงานมักจะทำงานที่ความเร็วรอบ 2900 รอบ/นาที



รูปที่ ค.6 แสดงลักษณะเครื่องอัดสารทำความเย็นแบบสกรู (Screw Compressor)



ก.แสดงชิ้นส่วนในการอัดสารทำความเย็น



จังหวะที่ 1 จังหวะที่ 2 จังหวะที่ 3

ข.แสดงจังหวะการดูดและอัดสารทำความเย็นตามลำดับ

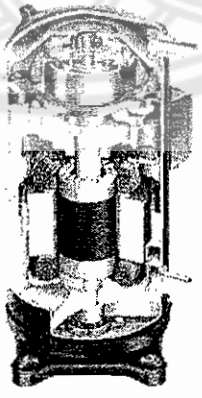
รูปที่ ค.7 แสดงชิ้นส่วนและลักษณะการอัดสารทำความเย็น

รูปที่ ค.8 แสดงเครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรู (Screw Water Chiller)

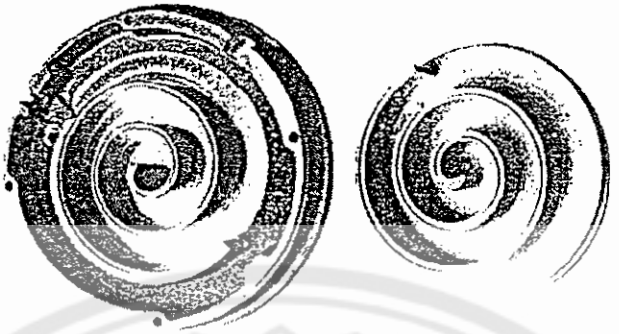
ค.1.2.5 เครื่องอัดสารทำความเย็นแบบก้นหอย

เป็นคอมเพลสเซอร์ซึ่งมีสมรรถนะอายุการใช้งานและประสิทธิภาพที่เหนือกว่าคอมเพรสเซอร์แบบเดิมที่ใช้อยู่ในขนาดการทำความเย็นเท่าๆ กัน สโครลคอมเพรสเซอร์ เป็นคอมเพรสเซอร์ขนาดเล็กและขนาดกลางมีชิ้นส่วนเคลื่อนที่น้อยกว่าลูกสูบถึง 64 % และมีแรงบิดต่ำกว่าลูกสูบ 70 % ซึ่งลดการสั่นสะเทือนได้ดี ลักษณะของสโครลคอมเพรสเซอร์ จะเป็นแผ่นวงกลม 2 วง มีครอบหมุนแบบก้นหอยสองแผ่นประกบคู่กัน ก้นหอยตัวบนจะอยู่กับที่ ส่วนตัวล่างจะถูกเหวี่ยงเป็นวงโคจรโดยเพลาของมอเตอร์ต่อตรงมาจากด้านล่าง เพื่อทำการอัดสารทำความเย็น

ระหว่างแผ่นประกบทั้งสองมีทิปซีล (tip seal) เพื่อกักสารทำความเย็นในขดก้นหอยไม่ให้เล็ดลอดออกมา ก้นหอยตัวบนทำด้วยเหล็กหล่อเพื่อลดการสึกหรอของตัวก้นหอยกับทิปซิลตัวล่าง ซึ่งทำจากอลูมิเนียมหล่อ เพื่อให้น้ำหนักเบาและประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อนแนวแกนของก้นหอยตัวล่าง ดังรูปที่ ค.9 และรูปที่ ค.10

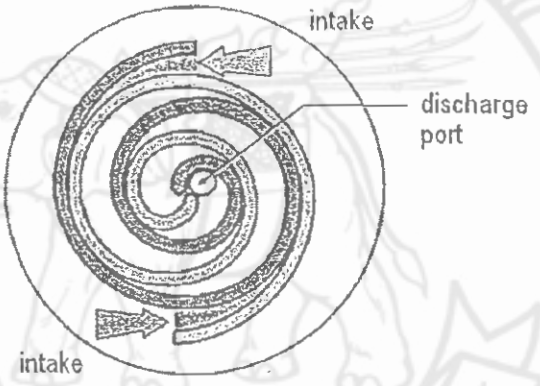


ก. แสดงเครื่องอัดสารทำความเย็นแบบก้นหอย

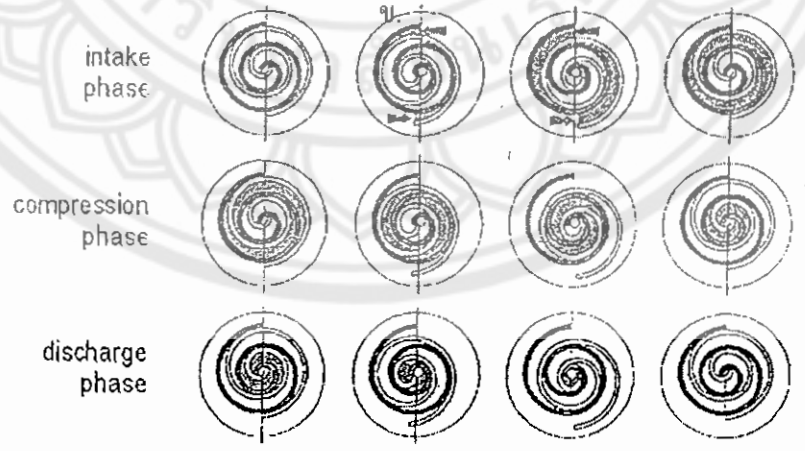


ข. แสดงแผ่นวงกลม 2 วงมีครีบหมุนแบบก้นหอย

รูปที่ ค.9 แสดงเครื่องอัดสารทำความเย็นแบบก้นหอย (Scroll compressor)



ก. แสดงการดูดสารทำความเย็น



ค. จังหวะแสดงการทำงานสามจังหวะคือ จังหวะดูด, อัดและคายสารทำความเย็น

รูปที่ ค.10 แสดงการอัดสารทำความเย็น

ค.1.3 ความสามารถของการทำความเย็น (ตันความเย็น) ตามชนิดของคอมเพรสเซอร์ มีดังต่อไปนี้

คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw Compressors) ขนาดที่นิยมมีตั้งแต่ขนาดเล็ก จนถึงใหญ่ ประมาณ 20-450 ตันความเย็น

คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Reciprocating Compressors) ขนาดที่นิยมใช้มีตั้งแต่ขนาดเล็ก จนถึงขนาดปานกลาง ประมาณ 15-250 ตันความเย็น

คอมเพรสเซอร์แบบก้อนหอย (Scroll Compressor) ทั่วไป มีใช้ขนาด 1-120 ตันความเย็น

คอมเพรสเซอร์แบบหอยโข่ง (Centrifugal Compressor) ใช้สำหรับระบบทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ ประมาณ 200-2,000 ตันความเย็น

ตารางที่ ค.1 แสดงความสามารถของการทำความเย็น (ตันความเย็น) ตามชนิดของคอมเพรสเซอร์

ชนิดของคอมเพรสเซอร์	ขนาดการทำความเย็น
คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw Compressors)	20-250
คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ (Reciprocating Compressors)	15-250
คอมเพรสเซอร์แบบก้อนหอย (Scroll Compressors)	1-120
คอมเพรสเซอร์แบบหอยโข่ง (Centrifugal Compressors)	200-2,000

ค.1.4 ระบบท่อในระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง (Piping System for Central Air System)

ระบบท่อของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์กลางจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบท่อด้านน้ำเย็นกับระบบท่อด้านระบายความร้อน โดยที่ในระบบท่อทั้ง 2 ด้านนั้นจะใช่ท่อชนิดเดียวกัน คือ ท่อ Schedule 40 ซึ่งสามารถทนแรงดันได้ 250-400 psi โดยระบบท่อของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์กลางจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

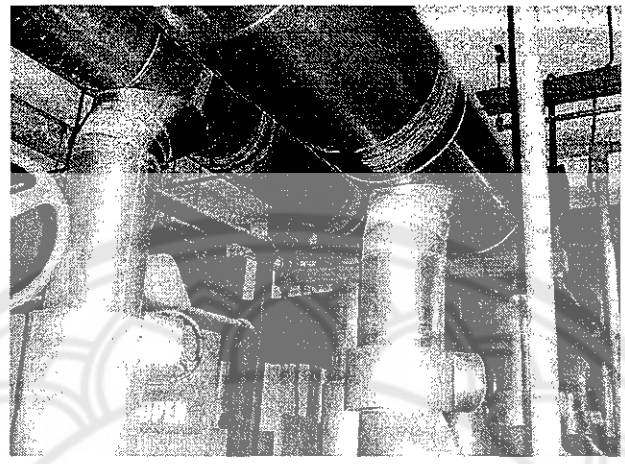
ค.1.4.1 ระบบท่อน้ำเย็น (Chilled Water Piping)

ระบบท่อน้ำเย็นก็คือ ระบบท่อที่น้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) ส่งไปยังเครื่องส่งลมเย็น (Air handling unit หรือ AHU) และเครื่องจ่ายลมเย็น (Fan coil unit หรือ FCU) และเมื่อน้ำร้อนขึ้นก็นำกลับมาทำให้น้ำเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นใหม่ จัดว่าเป็นระบบปิด (Close System) เพราะน้ำเย็นจะหมุนเวียนอยู่อย่างนี้ภายในระบบท่อเรื่อยๆ เมื่อน้ำพร่องลงมาเนื่องจากรั่วหรือมีการระบายน้ำทิ้งบ้าง จึงจะเติมน้ำเข้ามาชดเชย ซึ่งมักจะเติมกันที่ถังที่เรียกว่า Expansion ซึ่งมีประโยชน์มากจากปริมาตรของน้ำจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเนื่องจากระบบเป็นระบบปิดดังกล่าวแล้ว จึงต้องมีที่ให้น้ำที่ขยายตัวไปพักไว้ หากไม่มีจะเกิดความ

ดันจากการขยายตัวของน้ำ ทำให้ระบบท่อเสียหายได้การหมุนเวียนของน้ำเย็น อาศัยแรงขับเคลื่อนจากเครื่องสูบน้ำเย็น (Chiller Water Pump) ท่อน้ำเย็นที่ส่งน้ำเย็นเรียกว่า Chilled Water Supply จะมีน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 7 องศาเซลเซียส ท่อน้ำเย็นหลังจากออกจาก FCU และ AHU เรียนกว่า Chilled Water Return จะมีน้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 12 องศาเซลเซียส ท่อทั้งหมดจะต้องหุ้มฉนวนเพราะที่อุณหภูมินี้ หากไม่หุ้มฉนวนจะน้ำเกาะและหยดลงเป็นทางได้การเดินท่อน้ำเย็นจะต้องมีการพิจารณาความดันน้ำในท่อไม่ให้แตกต่างกันมากระหว่างต้นทางและปลายทางของท่อไม่เช่นนั้นมักจะมีปัญหาในการควบคุมปริมาณน้ำเข้า FCU และ AHU ดังนั้นหากพบว่าท่อเดินไกลก็อาจจะต้องแบ่งเครื่องสูบน้ำเย็น เป็นชุดที่มีความดันสูงและชุดที่มีความดันปานกลางหรืออาจจะต้องเดินท่อเป็นแบบที่เรียกว่า Reverse Return เพื่อเฉลี่ยให้ระยะทางท่อไป – กลับ FCU หรือ AHU ใกล้เคียงกันทุกตัวการควบคุมอุณหภูมิในระบบปรับอากาศในกรณีที่ใช้ระบบน้ำเย็นนี้ อาศัยเทอร์โมสตัทเหมือนกัน โดยเทอร์โมสตัทจะวัดอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศแล้วไปสั่งการทำงานของวาล์วควบคุมปริมาณน้ำเย็นอัตโนมัติซึ่งจะติดอยู่ที่ FCU และ AHU แต่ละตัว โดยถ้าห้องอุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้ วาล์วก็จะหรี่ให้น้ำเย็นไหลเข้าคอยล์เย็นน้อยลง

โดยที่ระบบท่อในด้านนี้จะต้องทำการหุ้มฉนวนไว้ตลอดทั้งเส้นเพื่อไม่ให้ความเย็นของน้ำถ่ายเทออกสู่สภาวะภายนอกและยังต้องมีการทำสัญลักษณ์บนฉนวนเพื่อที่จะได้ทราบว่าท่อด้านน้ำเย็นจ่ายหรือด้านน้ำเย็นกลับ ดังรูปที่ ค.12

รูปที่ ค.11 แสดงลักษณะเครื่องส่งลมเย็น (Air handling unit หรือ AHU)



รูปที่ ค.12 แสดงท่อด้านน้ำเย็น

โดยถ้าห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น เทอร์โมสตัทก็จะสั่งให้วาล์วเปิดให้น้ำเย็นไหลเข้าคอยล์เย็นมากขึ้นและถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้วาล์วก็จะหรี่ให้น้ำเย็นไหลเข้าคอยล์เย็นน้อยลง อุปกรณ์ประกอบในระบบท่อน้ำเย็นยังมีอีกหลายอย่าง เช่น วาล์วเปิด-ปิด ที่จะติดตั้งไว้ตามจุดที่สำคัญ เพื่ออำนวยความสะดวกในการซ่อมบำรุงหรือเดินท่อเพิ่ม วาล์วระบายน้ำที่จุดต่ำสุดของท่อเพื่อระบายตะกอน เช่น ขี้เชื่อมที่อยู่ในท่อวาล์วปรับปริมาณน้ำ (Balancing Valve) เพื่อช่วยในการปรับสมดุลของระบบ วาล์วระบายอากาศ (Air Vent) เพื่อระบายอากาศที่ค้างอยู่ในท่อและตามคอยล์เย็นใน FCU และ AHU ข้อต่อเพื่อรับการขยายยืดหดตัวของท่อ (Expansion Valve) ข้อต่ออ่อน (Flexible Connector) เพื่อลดการส่งผ่านของการสั่นสะเทือนจากเครื่องสูบน้ำ เครื่องวัดความดัน ที่วัดอุณหภูมิ ฯลฯ คอยล์เย็นที่ทำงานปกติจะต้องเย็นและมีน้ำเกาะและหยดไหลอยู่ตลอดเวลา หากคอยล์แห้งเย็นชืดๆ แสดงว่าผิดปกติจะต้องดูว่าน้ำเย็นไหลเข้าคอยล์เย็นได้สะดวกหรือไม่ และมีลมค้างอยู่ในท่อน้ำหรือคอยล์น้ำเย็นหรือไม่ เพราะลมที่ค้างอยู่จะขวางไม่ให้น้ำไหล (Air Block) ต้องไล่อากาศนี้ออกทาง Air Vent

ค.1.4.2 ระบบท่อระบายความร้อน (Condenser Water)

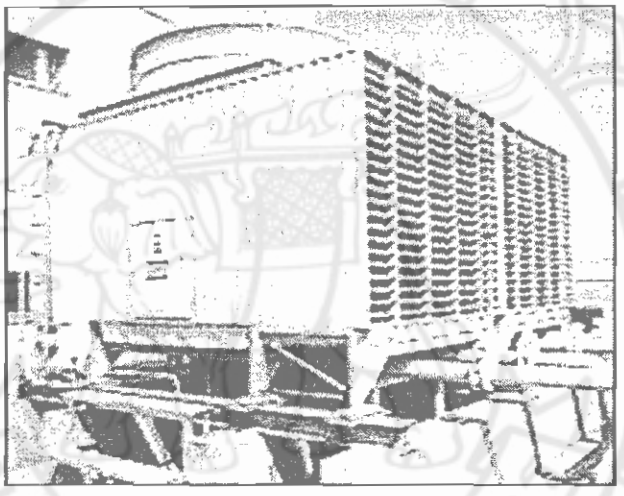
การระบายความร้อนสำหรับเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled) จะต้องมีระบบท่อน้ำระบายความร้อน ระบบนี้จะประกอบด้วยหอระบายความร้อน (Cooling Tower) ท่อน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Piping) และเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) โดยเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนน้ำระบาย

ความร้อนผ่านคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อน้ำร้อนจากประมาณ 32-38 องศาเซลเซียส ก็จะถูกส่งไปยังหอระบายความร้อน

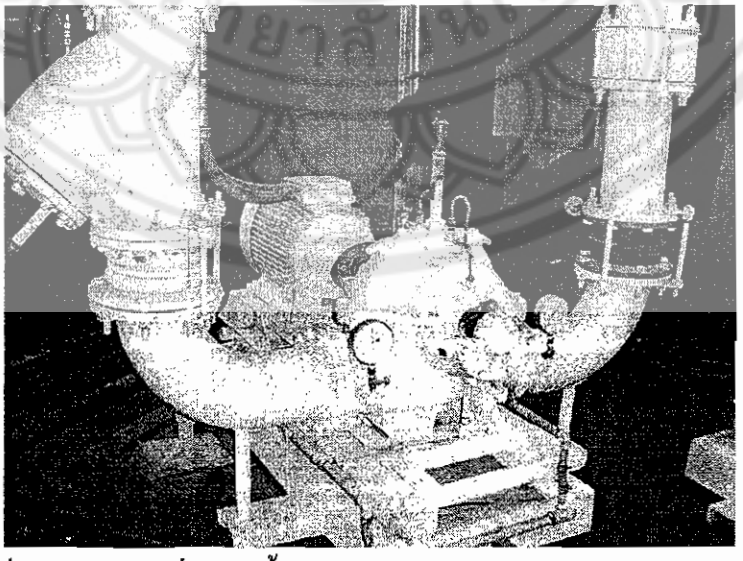
รูปที่ ค.13 แสดงลักษณะท่อด้านระบายความร้อน (Condenser)

ซึ่งจะทำให้น้ำเย็นลงและนำกลับมาใช้ระบายความร้อนใหม่วนไปอย่างนี้เรื่อยๆ อย่างไรก็ตาม ระบบนี้นับเป็นระบบเปิด (Open System) เนื่องจากหอระบายความร้อนมีลักษณะเป็นหอฉีดน้ำและมีอ่างรับ จึงไม่จำเป็นต้องมีถังสำหรับการขยายตัวของน้ำอีก การเติมน้ำก็จะเติมที่อ่างของหอระบายความร้อนเลย ดังที่ได้กล่าวแล้วว่า หอระบายความร้อนนั้นใช้น้ำเป็นปริมาณมาก เนื่องจากการระเหยของน้ำส่วนหนึ่ง การที่น้ำโดนพัดลมของหอระบายความร้อนดูดทิ้งเองส่วนหนึ่ง การที่น้ำล้นทิ้งส่วนหนึ่ง รวมทั้งการที่ต้องระบายทิ้งเพื่อลดปริมาณสารแขวนลอยและตะกอนอีกส่วนหนึ่ง โดยทั่วไปปริมาณน้ำจะเป็นประมาณ 2-3 % ของปริมาณน้ำหมุนเวียนและมากพอๆ กับการใช้น้ำสำหรับกิจกรรมอื่นๆ ทั้งหมดในอาคารเลยทีเดียวอุณหภูมิในระบบน้ำยังเหมาะกับการเกิดตะกอน ตะไคร่และเชื้อแบคทีเรียอีกด้วย จึงต้องมีการเติมสารเคมี เพื่อป้องกันสิ่งเหล่านี้ หาไม่แล้วประสิทธิภาพของระบบอาจจะลดลงได้ ละอองน้ำจากหอระบายความร้อนหากโดนกระจกหรืออาคารจะทำให้สกปรกและยากกับการทำความสะอาด จึงไม่ควรให้ละอองน้ำนี้เป้าใส่อาคารและ**ต้องไม่ให้คนหายใจเอาละอองนี้เข้าเป็นประจำ เพราะจะทำให้เป็นโรคทางเดินหายใจได้ตำแหน่งที่ตั้งหอระบายความร้อนจะต้องพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นการออกแบบอาคาร โดยจัดให้มีพื้นที่พอเพียงมีการระบายอากาศที่ดีไม่รบกวนบริเวณข้างเคียง ไม่อยู่ใกล้ตำแหน่งของการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าอาคาร โดยตรวจสอบทิศทางลมด้วย นอกจากนี้จะต้องดูความสูงของหอระบายความร้อนด้วยซึ่งมักจะมีความสูง 3-6 เมตร เลยทีเดียว ในบริเวณที่มีความวิกฤตเรื่องความดังของเสียง เช่น โรงแรม โรงพยาบาล จะต้องพิจารณาว่าเสียงของหอระบายความร้อนจะรบกวนหรือไม่ หากรบกวนก็**

จะต้องใช้รุ่นที่เรียกว่า Low Noise หรือติดตั้งกล่องเก็บเสียงเพิ่มเติม การสั่นของหอระบายความร้อนก็มองข้ามไม่ได้ เพราะเป็นการสั่นที่มีความถี่ต่ำและยากต่อการกำจัด หากตั้งอยู่บนพื้นหลังคาที่มีความหนาไม่มากก็ควรจะเสริมพื้นให้หนาขึ้นและใส่สปริงรับรับชุดพัดลมและมอเตอร์โครงสร้างของหอระบายความร้อนมีหลายรูปแบบ แต่ที่นิยมเป็นมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ แบบที่มีรูปเป็นถังวงกลมทำด้วยไฟเบอร์กล๊าส มีการออกแบบเป็น Counter Flow แบบนี้จะมีราคาถูกแต่ประสิทธิภาพต่ำและใช้น้ำมาก อีกแบบคือ ทรงสี่เหลี่ยมทำด้วยไฟเบอร์กล๊าสหรือกระเบื้องหรือโลหะมีการออกแบบเป็น Cross Flow แบบนี้จะมีราคาแพงกว่า แต่ประสิทธิภาพสูงใช้พื้นที่น้อยกว่าและใช้น้ำน้อยกว่าถึงประมาณ 30 %



รูปที่ ค.14 แสดงลักษณะหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)



รูปที่ ค.15 แสดงเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump)

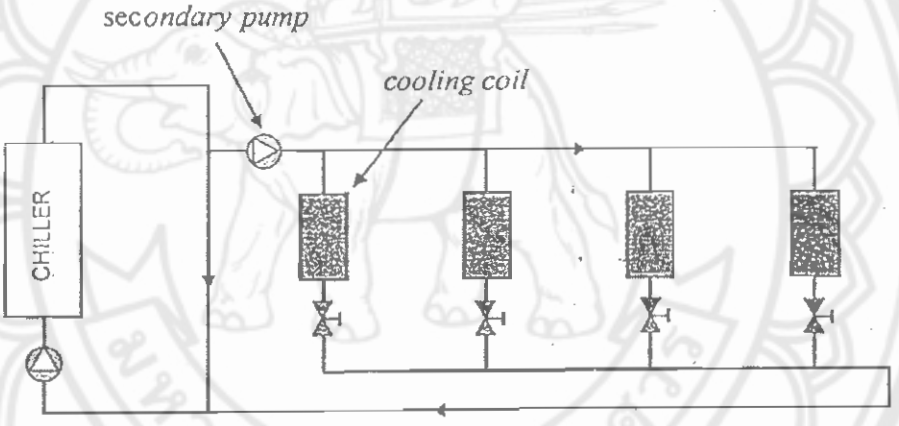
ค.1.5 วงจรท่อน้ำเย็น การออกแบบระบบท่อน้ำเย็นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

ค.1.5.1 ระบบนำน้ำหมุนเวียนกลับโดยอ้อม (Reverse return piping)

จากรูปที่ ค.16 จะเห็นได้ว่าท่อด้านไปและกลับของคอยล์เย็นทุกตัวในระบบท่อแบบ Reverse return นั้นเกือบจะเท่ากันหมด

ข้อดีของ Reverse return piping คือค่า Pressure difference ที่คอยล์ทำความเย็นทุกตัวเกือบเท่ากันหมด การปรับแต่งปริมาณน้ำเย็นให้เข้าสู่คอยล์เย็นตามต้องการ ภายหลังการติดตั้งแล้วเสร็จจึงทำได้ง่าย เสียเวลาและค่าใช้จ่ายน้อยเหมาะสำหรับคอยล์ทำความเย็นที่ค่า Pressure drop ของทุกตัว มีค่าต่ำหรือใกล้เคียงกัน

ข้อเสียของ Reverse return piping คือต้นทุนสูง เพราะต้องใช้ท่อยาวกว่าปกติทั้งยังสิ้นเปลืองเนื้อที่ในการติดตั้งมากอีกด้วย



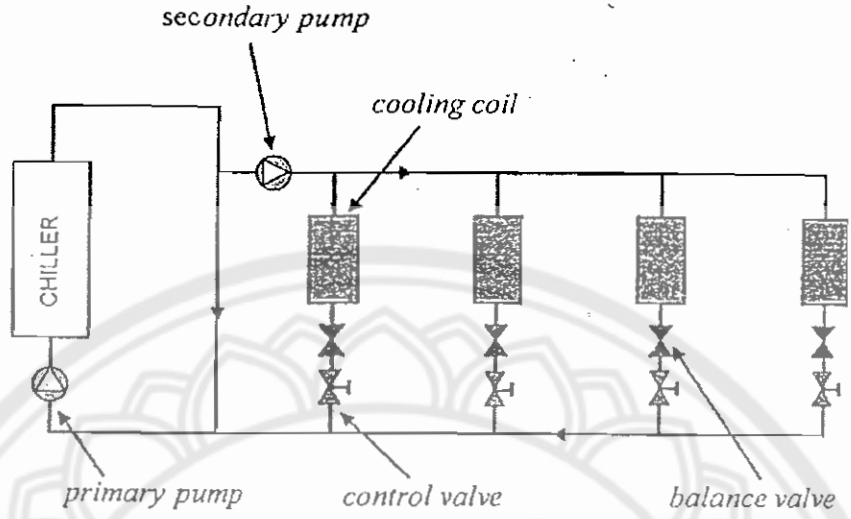
รูปที่ ค.16 แสดงระบบท่อน้ำเย็นแบบ Reverse return piping

ค.1.5.2 ระบบนำน้ำหมุนเวียนกลับโดยตรง (Direct return piping)

จากรูปที่ ค.17 จะเห็นได้ว่าคอยล์ทำความเย็นที่อยู่ใกล้เครื่องสูบน้ำมากที่สุด จะมีความยาวรวมของเส้นท่อด้านไปและกลับสั้นกว่าคอยล์ทำความเย็นตัวที่อยู่ไกลออกไป

ข้อดีของ Direct return piping คือ ต้นทุนต่ำ ใช้เนื้อที่ติดตั้งน้อย การออกแบบทำได้ง่าย

ข้อเสียของ Direct return piping คือ การปรับแต่งระบบภายหลังการติดตั้ง เพื่อให้น้ำเย็นทุกตัวตามปริมาณที่ได้ออกแบบไว้นั้น ทำได้ลำบากและเสียเวลามาก จึงต้องติดตั้ง Balancing valve ที่ท่อน้ำด้านกลับของคอยล์เย็นทุกตัวเพื่อใช้ในการปรับแต่งปริมาณน้ำโดยเฉพาะ ระบบท่อน้ำนี้เหมาะสำหรับคอยล์ทำความเย็นที่ค่า Pressure drop แต่ละตัวค่อนข้างสูงหรือแตกต่างกันมาก



รูปที่ ค.17 แสดงระบบท่อน้ำเย็นแบบ Direct return piping

ค.1.6 ปั๊มน้ำสำหรับระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง (Pump for Central Air System)

ในระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลางนั้น ปั๊มน้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบ โดยที่ปั๊มน้ำที่นิยมใช้จะเป็นปั๊มหอยโข่ง ซึ่งใช้หลักการของการให้พลังงานจากแรงหนีศูนย์กลางแก่ของเหลวที่ถูกดูดเข้ามาในตัวปั๊ม

ค.1.6.1 ข้อดีและข้อเสียของปั๊มหอยโข่ง

ค.1.6.1.1 ข้อดี

ค.1.6.1.1.1 ลักษณะของโครงสร้างและส่วนประกอบที่ง่ายไม่ซับซ้อนยุ่งยาก

ค.1.6.1.1.2 มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวเพียง 2-3 ชิ้น

ค.1.6.1.1.3 การสัมผัสเสียดสีของชิ้นส่วนที่ต้องมีช่องว่างแคบมีน้อย

ค.1.6.1.1.4 มีการสูญเสียพลังงานในการส่งกำลังน้อย

ค.1.6.1.1.5 สมรรถภาพการทำงานเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีการกระแทกหรือสั่นสะเทือนของของไหล

ค.1.6.1.1.6 สามารถทำงานที่สภาพการปิดทางเข้าออกจากตัวปั๊ม โดยไม่เกิดแรงดันสูงมากนัก

ค.1.6.1.1.7 สารที่ใช้ในการหล่อลื่นชิ้นส่วนและของไหลที่เคลื่อนที่อยู่ภายในปั๊มไม่มีโอกาสมาสัมผัสกันได้

ค.1.6.1.1.8 มีความกะทัดรัด มีน้ำหนักเบา

ค.1.6.1.1.9 สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ต้นกำลัง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าได้โดยตรงมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

ค.1.6.1.1.10 สามารถบำรุงรักษาได้ง่าย มีการซ่อมแซมเพียงส่วนน้อย

ค.1.6.1.1.11 มีราคาค่อนข้างถูก

ค.1.6.1.2 ข้อเสีย

ค.1.6.1.2.1 เป็นปั๊มที่ไม่สามารถดูดของเหลวขึ้นมาเองได้ ยกเว้นแต่จะติดอุปกรณ์ล่อน้ำหรือติดฟุตวาล์วเข้าช่วย

ค.1.6.1.2.2 มีประสิทธิภาพต่ำสำหรับการส่งของไหลไปมาน้อยกว่า 10 แกลลอนต่อนาทีและความดันสูงกว่า 30 ฟุต

เมื่อเปรียบเทียบข้อดีกับข้อเสียของปั๊มหอยโข่งจะเห็นว่ามีข้อดีอยู่มากมายหลายประการจึงทำให้ปั๊มประเภทนี้เป็นที่นิยมในระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง

ค.1.6.2 ระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลางจะแบ่งการใช้ปั๊มหอยโข่งเป็น 2 ประเภท

ค.1.6.2.1 แบบ Ensuction

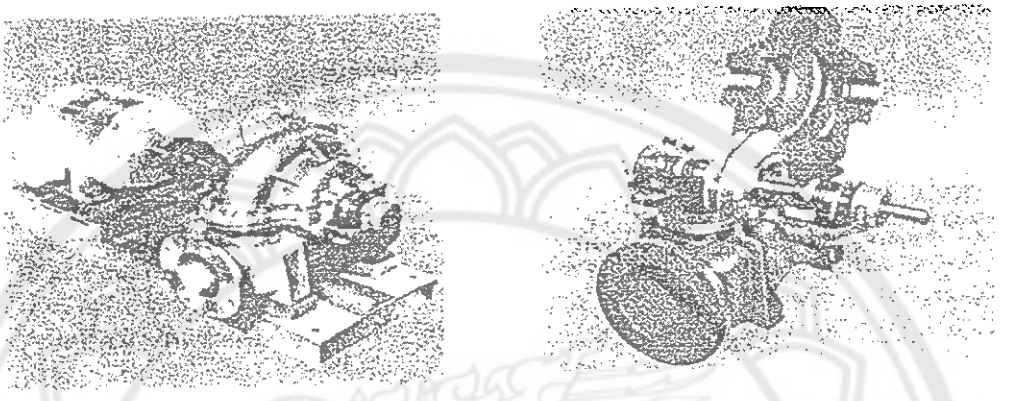
ลักษณะจะเป็นดังรูปที่ ค.18 โดยตัวเรือนของปั๊มจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นโครงห่อหุ้มใบพัดกับส่วนที่เป็นเฟรมเพื่อไว้ยึดแกนสำหรับต่อเข้ากับมอเตอร์ เป็นปั๊มที่มีปริมาณการสูบและความดันตั้งแต่ปานกลางจนถึงปริมาณที่มากขึ้นไป

ก.แสดงลักษณะของปั๊ม ข.แสดงส่วนประกอบของปั๊ม

รูปที่ ค.18 แสดงปั๊มหอยโข่งแบบ Ensuction

ค.1.6.2.2 แบบ Horizontally Split

ลักษณะจะเป็นดังรูปที่ ค.19 เป็นปั๊มขนาดใหญ่ที่สุด ตัวเสื้อสูบสามารถแบ่งแยกได้ตามแกนนอน การต่อกับตัวขับจะใช้ผ่านคัปปลิง มีปริมาณและแรงดันในการสูบสูงสุด



รูปที่ ค.19 แสดงปั๊มหอยโข่งแบบ Horizontally Split

ตารางที่ ค.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของปั๊มทั้ง 2 ประเภท

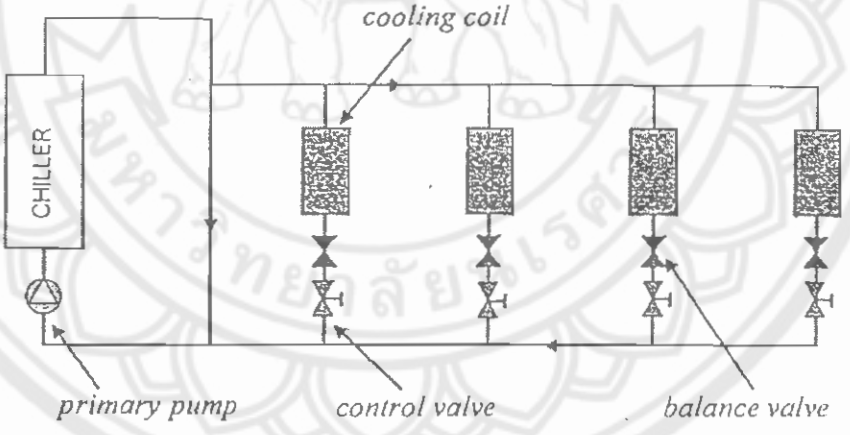
คุณสมบัติ	ประเภทปั๊ม	
	Ensuction	**Horizontally Split**
ปริมาณการสูบและแรงดัน	ปานกลางถึงมาก	มาก
อายุการใช้งานและความแข็งแรง	มาก	มาก
การตัดต่อคัปปลิงและการตั้งศูนย์	ต้องมี	ต้องมี
ฐานสำหรับการติดตั้ง	ต้องมี	ต้องมี
เนื้อที่การติดตั้ง	น้อย	มาก
ระดับการติดตั้ง	แนวนอน	แนวนอนหรือแนวตั้ง
การต่อท่อกับปั๊ม	เกลียวหรือหน้าแปลน	หน้าแปลน
การถอดท่อเมื่อทำการซ่อมบำรุง	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง
การซ่อมแซมปั๊ม	ง่าย	ง่าย
ทิศทางการดูดของของเหลว	ทิศทางเดียว	2 ทิศทาง
สเตจของปั๊ม	สเตจเดียว	สเตจเดียวหรือหลายเสตจ

ค.1.6.3 ระบบปั๊มแบบ Primary และแบบ Primary-Secondary

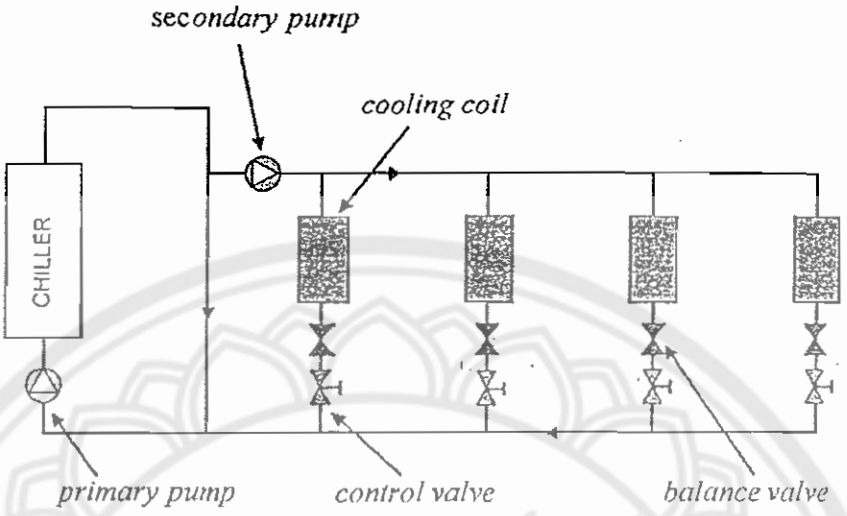
ในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ ส่วนมากจะเป็นระบบ Primary Pumping หมายความว่ามีปั๊มเพียงชุดเดียว จ่ายน้ำไปที่ทั้งเครื่องทำน้ำเย็นและที่ส่วนของการทำความเย็น ดังรูปที่ ค.20 อีกระบบที่มีใช้กันแต่ไม่ค่อยพบเห็น คือ ระบบ Primary-Secondary Pumping ซึ่งต้องมีปั๊ม 2 ชุด คือ Primary และ Secondary ดังรูปที่ ค.21

ความแตกต่างโดยหลักของทั้ง 2 ระบบ คือในระบบ Primary จะใช้ปั๊มชุดเดียวซึ่งต้องทำงานหนักเพื่อจ่ายน้ำเย็นในปริมาณคงที่ ทั้งส่งไปยังเครื่องทำน้ำเย็นและส่งไปยังส่วนของการทำความเย็น การที่ปั๊มทำงานในปริมาณคงที่ ในอัตราที่มากที่สุดคือ ตามขนาดของเครื่องทำน้ำเย็น จะทำให้ใช้กำลังไฟฟ้าในการขับมอเตอร์มากสุดเช่นกัน เป็นผลทำให้ค่าไฟเพิ่มสูงขึ้น

ส่วนในระบบ Primary-Secondary จะมีปั๊ม 2 ชุด โดยที่ชุดของ Primary จะมีขนาดเล็กกว่า เพราะทำหน้าที่เพียงจ่ายน้ำเย็นให้กับเครื่องทำน้ำเย็น เท่านั้น ซึ่งจะจ่ายน้ำในอัตราคงที่ ขณะที่ชุดของ Secondary จะจ่ายน้ำเย็นส่งไปยัง ส่วนของการทำความเย็นซึ่งอยู่ไกลกว่า ส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่กว่าปั๊มชุดแรก แต่สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระในส่วนของการทำความเย็น จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้มีค่าลดลง



รูปที่ ค.20 แสดงระบบปั๊มแบบ Primary Pumping



รูปที่ ค.21 แสดงระบบปั๊มแบบ Primary-Secondary Pumping

ค.1.7 ฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุที่ป้องกันไม่ให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้โดยสะดวก ฉนวนกันความร้อนส่วนมากจะอาศัยหลักการที่ว่าอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว ดังนั้นฉนวนส่วนใหญ่จะมีอากาศแทรกมากมายภายในเนื้อวัสดุ อากาศเหล่านี้เกิดขึ้นโดยการอัดเส้นใยหรือเม็ดวัสดุเล็กๆ เข้าด้วยกัน หรือเป็นช่องว่างเล็กๆ (Cell) ซึ่งเกิดจากเนื้อเยื่อของวัสดุเอง ช่องว่างเหล่านี้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะต้านการไหลของอากาศ ภายในทำให้การสูญเสียความร้อนโดยวิธีการพา (Convection) ลดลง การสูญเสียโดยการนำความร้อนของเนื้อวัสดุฉนวนน้อยลงเมื่อฉนวนมีขนาดเล็ก หรือผนังของช่องว่างเบาๆ ทำให้มีระยะทางยาวและวกวนไปมาในเนื้อฉนวนมากขึ้นนอกจากนี้เนื้อวัสดุของฉนวนเองต้องมีการนำความร้อนต่ำและมีสีทึบหรือสะท้อนแสงเพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยวิธีการแผ่รังสี

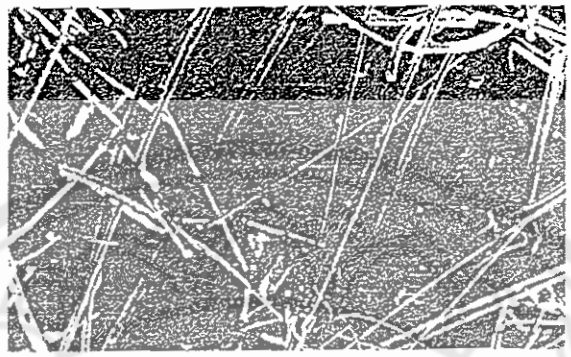
ค.1.7.1 ฉนวนกันความร้อนจำแนกประเภทตามโครงสร้างภายใน

ค.1.7.1.1 ฉนวนชนิดเซลปิด (Open Cell type) เช่น ฉนวนใยแก้ว ดังรูปที่ ค.22 มีคุณสมบัติดังนี้

ค.1.7.1.1.1 จะมีอากาศแทรกอยู่ในเนื้อฉนวน ทำให้สามารถมีการแทรกซึมของความชื้นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ง่าย

ค.1.7.1.2 จะต้องใช้วัสดุกันความชื้น (Vapor Barrior) ห้าทับฉนวนอีกชั้น เช่น แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

ค.1.7.1.3 การติดตั้งฉนวนนี้จะต้องพิถีพิถันพอสมควร



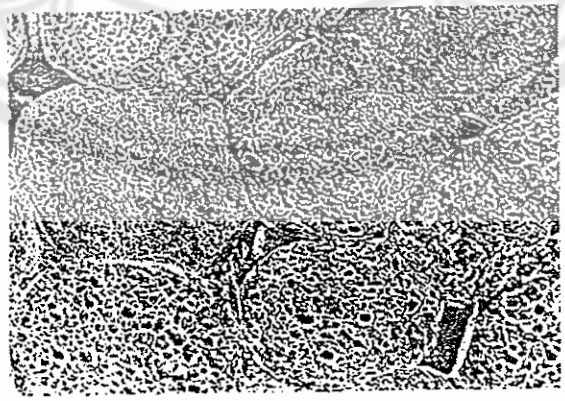
รูปที่ ค.22 แสดงภาพขยายฉนวนใยแก้วซึ่งเป็นเซลเปิด

ค.1.7.1.2 ฉนวนชนิดเซลอัด (Interconnection cell type) เช่น ฉนวน Polystylene Foam เป็นฉนวนทำจากการนำเม็ดโฟมมาอัดเชื่อมเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ ค.23 มีคุณสมบัติดังนี้

ค.1.7.1.2.1 มีช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างเม็ดโฟม จึงยังมีอากาศแทรกซึมอยู่ภายในเนื้อฉนวนเหมือนกับฉนวนชนิดเซลเปิดเพียงแต่ช่องว่างที่เกิดขึ้นน้อยกว่าฉนวนชิดเซลเปิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการอัดดิดกัน

ค.1.7.1.2.2 ต้องใช้วัสดุกันความชื้น (Vapor Barrier) หุ้มทับฉนวนอีกชั้น เช่น ที่ผิวฉนวนจะทาด้วย Finote และใช้ผ้าดิบพันรอบ

ค.1.7.1.2.3 การติดตั้งฉนวนชนิดนี้จะต้องใช้ช่างที่มีความประณีตและพิถีพิถันในการติดตั้งมากพอสมควร



รูปที่ ค.23 แสดงภาพขยายของฉนวนโฟมซึ่งจัดเป็นฉนวนชนิดเซลอัด

ค.1.7.1.3 ฉนวนชนิดเซลกึ่งปิด (Semi-closed cell type) เช่น ฉนวน Polyurethane Foam ดังรูปที่ ค.24 มีคุณสมบัติดังนี้

ค.1.7.1.3.1 เป็นฉนวนที่มีลักษณะเป็นเซลอิสระเล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมากแต่ละเซลมีผนังแต่กั้นไม่สมบูรณ์ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า 10% ตาม ASTM D1056

ค.1.7.1.3.2 ใช้ฉนวนชนิดนี้หุ้มท่อนำความร้อนเป็นส่วนใหญ่ ไม่นิยมนำมาหุ้มท่อนำความเย็นหรือท่อน้ำเย็น

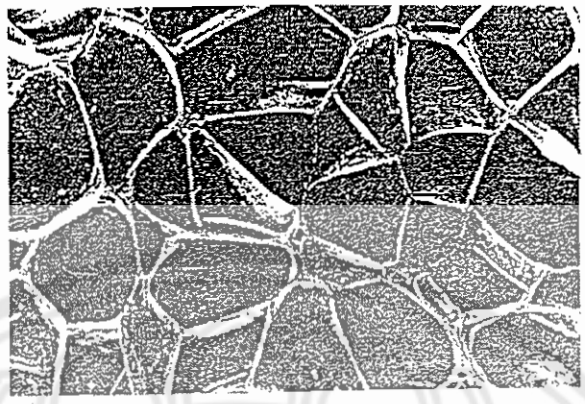
รูปที่ ค.24 ภาพขยายของฉนวนโพลียูรีเทนซึ่งจัดเป็นฉนวนกึ่งเซลปิด

ค.1.7.1.4 ฉนวนชนิดเซลปิด (Closed cell type) เช่น ฉนวนยางดังรูปที่ ค.25 มีคุณสมบัติดังนี้

ค.1.7.1.4.1 เป็นฉนวนที่ผลิตจากยางสังเคราะห์หรือยางสังเคราะห์ผสมพลาสติกซึ่งมีลักษณะเป็นเซลอิสระเล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมาก แต่ละเซลมีผนังกั้นไม่ทะลุถึงกัน

ค.1.7.1.4.2 ฉนวนชนิดเซลปิดจะมีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า 10 % ตาม ASTM D 10556

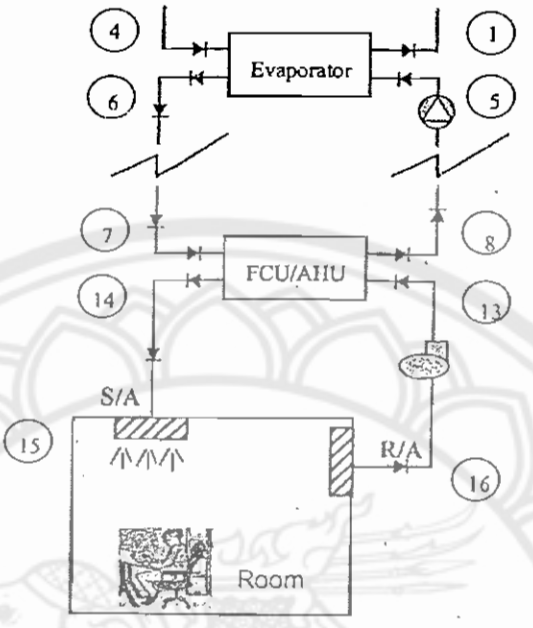
ง.1.7.1.4.3 สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว แต่ก็มีข้อควรระวังตรงบริเวณรอยต่อฉนวน



รูปที่ ค.25 แสดงภาพของฉนวนยางซึ่งจัดเป็นฉนวนเซลปิด

ค.1.8 เครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit/Fan Coil Unit)

ระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากสวนกลางจะอาศัยเครื่องส่งลมเย็นที่เรียกกันสั้นๆ ว่า Air Handing Unit (AHU) และ Fan Coil Unit (FCU) เป็นอุปกรณ์รับน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำจากเครื่องทำน้ำเย็นมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องที่มีอุณหภูมิสูง โดยที่น้ำเย็นอุณหภูมิต่ำนี้จะเป็นสื่อพาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องจากเครื่องส่งลมเย็น ผ่านระบบท่อเข้าสู่ส่วนทำน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อคายความร้อนที่นำพานี้ออกไป กลายเป็นน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำไหลเวียนกลับไปสู่ระบบอีกครั้งหนึ่งดังแสดงในวงจรดังรูปที่ ค.26 ซึ่งส่วนมากแล้วเครื่องส่งลมเย็นจะประกอบไปด้วยขดท่อทองแดงหลายๆ แถววางตัวในแนวตั้งฉากหรือเอียงทำมุมกับการเคลื่อนที่ของอากาศที่ดูดเข้ามาโดยพัดลมของเครื่องส่งลมเย็นและบริเวณโดยรอบของผิวท่อทองแดงจะมีครีบ (Fin) ที่ทำจากอลูมิเนียมติดอยู่เพื่อเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทความร้อนกับอากาศ ดังรูปที่ ค.27 แสดงลักษณะเครื่องส่งลมเย็นแบบต่างๆ



รูปที่ ค.26 แสดงระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลางด้าน Air Site

ก. เครื่องส่งลมเย็นแบบตั้งพื้น

ข.เครื่องส่งลมเย็นแบบติดฝ้าเพดานรุ่น

ค.เครื่องส่งลมเย็นแบบเปลือยรุ่น

จ.เครื่องส่งลมเย็นแบบต่อท่อรุ่น

รูปที่ ค.27 แสดงเครื่องส่งลมเย็นแบบต่างๆ

ซึ่งความแตกต่างของ AHU และ FCU สามารถพิจารณาได้จากตารางเปรียบเทียบข้างล่างนี้

ตารางที่ ค.3 เปรียบเทียบระหว่าง AHU และ FCU

AHU	FCU
ใช้ไฟ 3 เฟส	ใช้ไฟ 1 เฟส
ขนาดการทำความเย็น 5 ตันขึ้นไป	ขนาดการทำความเย็นน้อยกว่า 5 ตันขึ้น
มอเตอร์ขนาดใหญ่	มอเตอร์ขนาดเล็ก
ใช้สายพานต่อระหว่างมอเตอร์กับเครื่องเป่าลมเย็น	ต่อเพลาของมอเตอร์เข้ากับเครื่องเป่าลมเย็น
เครื่องเป่าลมจะอยู่หน้าคอยล์	เครื่องเป่าลมจะอยู่หลังคอยล์

ค.1.9 การควบคุมการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเย็นผ่านเครื่องส่งลมเย็น

การควบคุมการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลจะช่วยให้สามารถรักษาสภาวะความสบาย (Thermal comfort) ของผู้คนที่อยู่ภายในห้องปรับอากาศได้เป็นอย่างดี ซึ่งการควบคุมดังกล่าวนี้จะมีอุปกรณ์สำหรับช่วยแปลงค่าอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า (Electric Signal) เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้สัมพันธ์กับภาระที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีวิธีการควบคุม ดังนี้

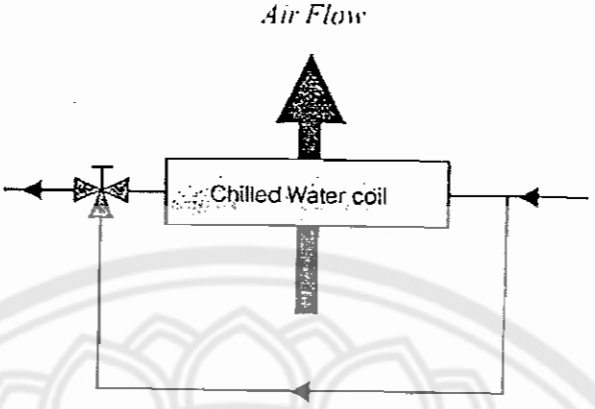
ค.1.9.1 วาล์วควบคุมชนิด 3 ทาง (Three-Way Modulating Valve Control)

วาล์วชนิดนี้จะทำการปรับลดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องส่งลมเย็นเมื่อภาระความร้อนลดลงดังรูปที่ ค.28 ซึ่งจะมีผลทำให้ระบบมีคุณลักษณะ ดังนี้

ค.1.9.1.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลกลับเข้าสู่ระบบทำน้ำเย็น จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามภาระที่เกิดขึ้น

ค.1.9.1.2 อัตราการไหลของน้ำเย็นจะมีค่าคงที่ที่ทุกๆ ภาระความร้อนที่เกิดขึ้น ส่งผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้สำหรับขับเครื่องสูบน้ำ

ค.1.9.1.3 การปรับสมดุลของอัตราการไหลของน้ำทำได้ยาก



รูปที่ ค.28 แสดงวาล์วควบคุมชนิด 3 ทาง

ค.1.9.2 วาล์วควบคุมชนิด 2 ทาง (Two-Way Modulating Valve Control)

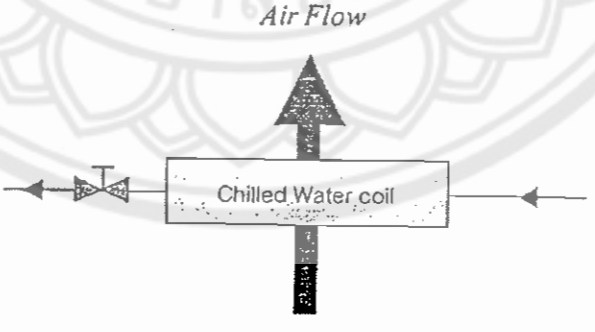
วาล์วชนิดนี้จะคล้ายคลึงกับวาล์วชนิดแรก แต่แตกต่างกันตรงที่ไม่มีท่อแยกดังรูปที่ ค.29 และเมื่อนำมาติดตั้งจะมีผลทำให้ระบบมีคุณลักษณะ ดังนี้

ค.1.9.2.1 อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้ากลับสู่ระบบท่อน้ำเย็น จะมีค่าคงที่

ค.1.9.2.2 อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ผ่านเครื่องส่งลมเย็นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามภาระความร้อนที่เกิดขึ้น เป็นผลทำให้ประหยัดพลังงานที่ใช้สำหรับขับเครื่องสูบน้ำ

ค.1.9.2.2 การปรับสมดุลของอัตราการไหลของน้ำทำได้ง่าย

จากคุณลักษณะข้างต้น และด้วยเหตุผลของการประหยัดพลังงานและสามารถลดต้นทุนในการติดตั้งท่อน้ำเย็นทำให้วาล์วควบคุมชนิด 2 ทาง เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน



รูปที่ ค.29 แสดงวาล์วควบคุมชนิด 2 ทาง

ค.1.10 หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

หอผึ่งน้ำหรือหอระบายความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยน้ำระบายความร้อนจะหมุนเวียนอยู่ในระบบ โดยใช้ปั๊มน้ำเป็นตัวขับดันน้ำให้เกิดการเคลื่อนที่เพื่อระบายความร้อนออกจากคอยล์ร้อน ของเครื่องปรับอากาศ

หลักการระบายความร้อน ใช้หลักการระเหยตัวของน้ำโดยอากาศเป็นตัวกลางในการรับความร้อนจากน้ำ อากาศจะรับความร้อนจากน้ำได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกต่างกันมาก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะต่ำมาก ซึ่งสภาวะอากาศขณะนั้นจะมีความสามารถในการรับน้ำได้มาก แต่เมื่อไรก็ตามอุณหภูมิทั้ง 2 เท่ากัน แสดงว่าอากาศนั้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำจึงไม่สามารถรับน้ำเข้าไปได้

ดังนั้นหอผึ่งน้ำเย็นจะมีสมรรถนะสูง เมื่อติดตั้งอยู่ในบริเวณที่มีอากาศค่อนข้างแห้ง ซึ่งมีความสามารถในการรับน้ำได้มาก นั่นคือ จะระบายความร้อนออกได้ดี หอผึ่งน้ำเย็นโดยทั่วไปจะทำให้น้ำร้อนฉีดลงมาแล้วใช้อากาศจากบรรยากาศไหลผ่านน้ำร้อนที่ตกลงมา เพื่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดลง การทำให้น้ำ 1 kg ระเหยกลายเป็นไอต้องการความร้อนประมาณ 2,512 KJ (2,381 Btu) เพื่อการระบายความร้อนแฝงโดยการระเหยน้ำส่วนหนึ่ง น้ำส่วนใหญ่ที่เหลือก็จะถูกทำให้เย็นลง ถ้าน้ำระเหยไป 1% น้ำจะถูกทำให้เย็นลงได้ประมาณ 6 °C

ค.1.10 ชนิดของหอผึ่งน้ำ

หอผึ่งน้ำ แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนไหวของลมเป็น 2 ชนิด ดังนี้

ค.1.10.1 หอผึ่งน้ำที่ใช้ระบบไหลเวียนลมตามธรรมชาติ (Atmospheric tower)

เป็นหอผึ่งน้ำที่ไม่ใช้อุปกรณ์ขับดันลมให้เกิดการเคลื่อนที่ผ่านกระแสน้ำที่ฉีดลงมา ดังนั้นหอผึ่งน้ำแบบนี้จะใช้การไหลของกระแสลมตามธรรมชาติผ่านน้ำที่ฉีดตกเป็นฝอยละอองลงสู่ด้านล่างส่งผลให้ความสามารถของหอผึ่งน้ำแบบนี้ต่ำ เนื่องจากความเร็วลมต่ำมาก จึงต้องใช้พื้นที่ในการสัมผัสกันของอากาศและน้ำมากจึงไม่นิยมใช้ในปัจจุบัน

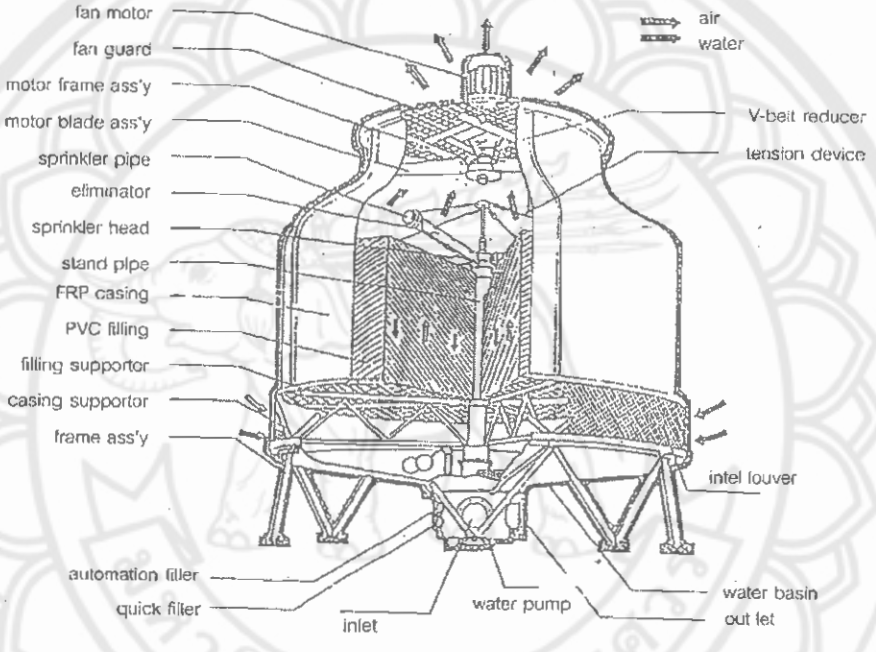
ค.1.10.2 หอผึ่งน้ำที่ใช้อุปกรณ์ขับดันลมให้เกิดการเคลื่อนที่ (Mechanical draft tower)

เป็นหอผึ่งน้ำที่ใช้พัดลมดูด (Induced draft) หรือเป่าลม (Forced draft) ให้ผ่านหรือสัมผัสกับกระแสน้ำที่ฉีดลงมา ปัจจุบันนิยมใช้หอผึ่งน้ำแบบนี้เนื่องจากสามารถควบคุมได้มาก และใช้พื้นที่ในการสัมผัสกันของอากาศและน้ำน้อยทำให้มีขนาดเล็กและส่วนใหญ่นิยมใช้หอผึ่งน้ำที่ใช้พัดลมดูดอากาศผ่านกระแสน้ำมากกว่าที่ใช้พัดลมเป่าผ่านกระแสน้ำที่ฉีดตกลงสู่ด้านล่าง

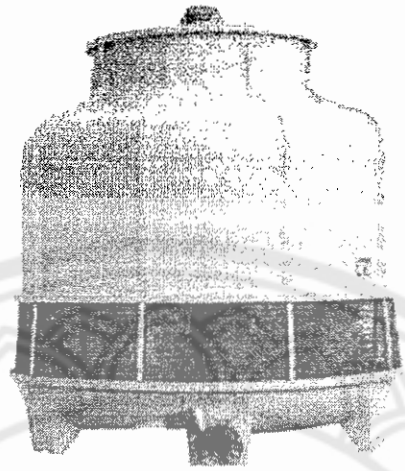
หอผึ่งน้ำแบ่งตามลักษณะที่ใช้พัดลมดูดอากาศผ่านกระแสน้ำที่ฉีดตกลงสู่ด้านล่าง ที่นิยมใช้กัน โดยทั่วไปมี 2 แบบ ดังนี้

ค.1.10.2.1 หอผึ่งน้ำแบบไหลสวนทางกัน (Counter Flow Type Cooling Tower)

เป็นหอผึ่งน้ำที่อากาศและน้ำไหลสวนทางกัน (Counter Flow) โดยอากาศจะไหลขึ้น ส่วนน้ำจะไหลลง ดังนั้นจึงใช้พื้นที่ในแนวสูงมากกว่าแนวราบ โดยทั่วไปหอผึ่งน้ำจะใช้น้ำต่อพื้นที่ผิวประมาณ 7 $m^3/h/m^2$ ดังรูปที่ ค.30 และรูปที่ ค.31



รูปที่ ค.30 แสดงลักษณะภายในของหอผึ่งน้ำแบบไหลสวนทางกัน

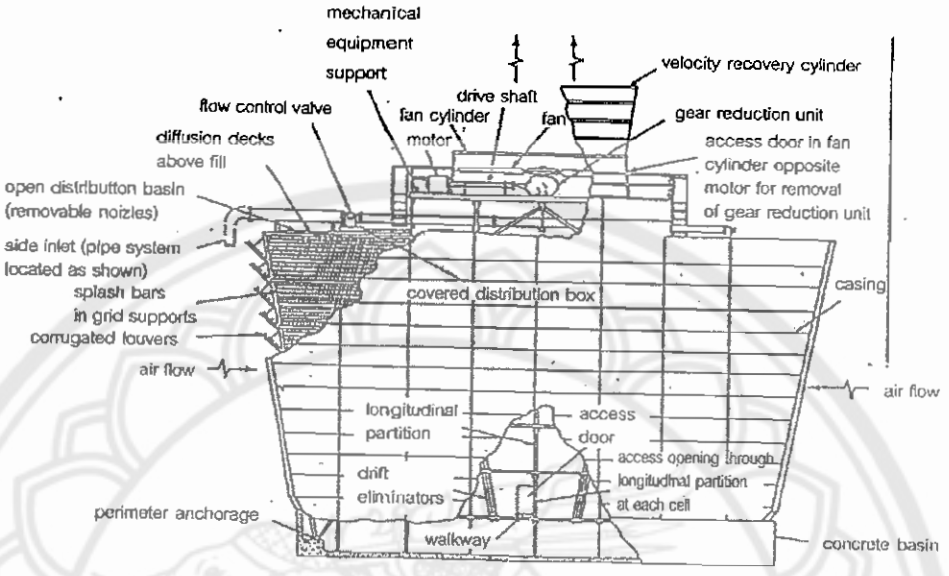


รูปที่ ค.31 แสดงหอผึ่งน้ำแบบไหลสวนทางกัน

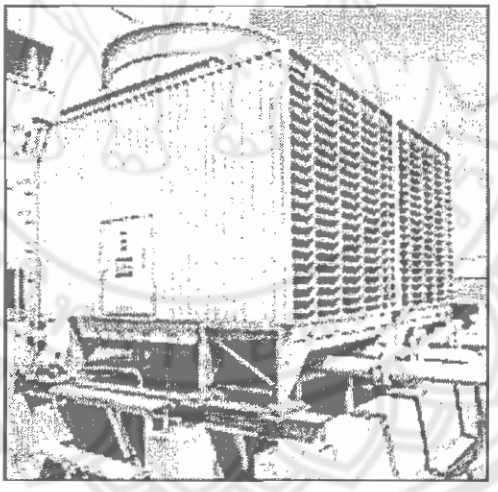
ค.1.10.2.2 หอผึ่งน้ำแบบไหลตัดกัน (Cross Flow Type Tower)

เป็นหอผึ่งน้ำที่อากาศไหลเข้าด้านข้างผ่านน้ำที่ตกลงมา แล้วจึงไหลออกทางด้านบน ทำให้กระแสน้ำที่ไหลลงมาตามฟิลลิ่งตลอดสายน้ำได้สัมผัสกับอากาศใหม่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งตรงกันข้ามกับหอผึ่งน้ำแบบไหลสวนทางกันที่กระแสน้ำล่างสุดจะได้สัมผัสกับอากาศเย็น แต่ส่วนบนขึ้นไปของกระแสน้ำกับอากาศที่ร้อนขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความสามารถของหอผึ่งน้ำแบบไหลตัดกันดีกว่าแบบไหลสวนทางกัน

โดยทั่วไปส่วนประกอบที่สำคัญที่ต่างกันคือ หอผึ่งน้ำแบบไหลตัดกันจะไม่มีชุดสปริงเกอร์ไปพ์ ดังนั้นน้ำจะพ่นลงผ่านฟิลลิ่งโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ทั่วไปหอผึ่งน้ำแบบนี้จะใช้กับหอผึ่งน้ำที่มีขนาดใหญ่มากๆ เพราะแบบไหลสวนทางกันจะมีความสูงมาก แต่ข้อเสียของหอผึ่งน้ำแบบไหลตัดกัน คือจะใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากดังรูปที่ ค.32 และรูปที่ ค.33



รูปที่ ค.32 แสดงลักษณะภายในของหอผึ่งน้ำแบบไหลตัดกัน



รูปที่ ค.33 แสดงหอผึ่งน้ำแบบไหลสวนตัดกัน

ค.1.10.3 ส่วนประกอบของหอผึ่งน้ำ

ค.1.10.3.1 พัดลม (Fan)

พัดลมทำหน้าที่ดูดลมผ่านช่องว่างของไส้ใน (Filling) ซึ่งมีน้ำไหลผ่านตกลงสู่อ่างน้ำ จึงทำให้น้ำที่ตกลงสู่อ่างเย็นลง แต่ลมที่สัมผัสกับน้ำจะมีอุณหภูมิสูงและชื้นขึ้น ดังนั้นลมดังกล่าวจะต้อง ถูกพัดลมพ่นไปให้ไกลบริเวณรอบๆ หอผึ่งน้ำ มีเช่นนั้นพัดลมจะดูดลมที่มีความชื้นสูงผ่านหอผึ่งน้ำส่งผลให้หอผึ่งน้ำระบายความร้อนไม่ได พัดลมถูกขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบทนทานน้ำ แบริ่งที่ใช้เป็นแบบอัดจารบีปิดมิดชิดเพื่อตัดปัญหาการต้องอัดจารบีบ่อยๆ

ค.1.10.3.2 มอเตอร์พัดลม (Motor)

มอเตอร์พัดลมเป็นแบบทนน้ำ เนื่องจากมีละอองน้ำสัมผัสกับตัวมอเตอร์ตลอดเวลา พัดลมขนาดใหญ่ๆ จะต่อกับเฟืองทดรอบให้ต่ำลง โดยพัดลม มอเตอร์และเฟืองทดรอบจะติดตั้งอยู่บนถังโดยมีเหล็กยึดแข็งแรง

ค.1.10.3.3 หัวฉีดน้ำ (Water sprayer) หรือสปริงเกอร์ไปป์ (Springer pipe)

หัวฉีดน้ำหรือสปริงเกอร์ไปป์ จะติดตั้งอยู่ด้านใต้พัดลมแต่อยู่บนไส้ใน (Filling) โดยทั่วไปหอผึ่งน้ำขนาด 2-40 ตัน จะใช้หัวฉีดน้ำแบบติดตาย (Water sprayer) แต่หอผึ่งน้ำขนาดมากกว่า 50 ตัน หัวฉีดน้ำจะหมุนไปรอบๆ (Springer pipe)

ค.1.10.3.4 ไส้ในหรือฟิลลิ่ง (Filling)

เป็นส่วนที่อยู่ใต้สปริงเกอร์ไปป์ แต่อยู่เหนืออ่างน้ำ (Water tank) เป็นส่วนที่ทำให้น้ำที่ถูกฉีดลงมาสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดขึ้นไป ดังนั้นส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของหอผึ่งน้ำ ไส้ในอาจทำจากแผ่นพลาสติกไวนีลคลอไรด์ จึงทำให้อายุการใช้งานไม่ยาวนานมากนักและควรดูแลรักษาให้ปราศจากตะกรันและตะกอนติดที่ผิว

ค.1.10.3.5 เครื่องกรอง (Strainer)

เครื่องกรองเป็นอุปกรณ์สำหรับกรองไม่ให้สิ่งสกปรกจากหอผึ่งน้ำเข้าไปในเครื่องควบแน่น (Condenser) โดยเครื่องกรองจะติดตั้งอยู่ทางออกของหอผึ่งน้ำ

ค.1.10.3.6 อ่างน้ำ (Water tank)

อ่างน้ำทำด้วยใยแก้วและสานด้วยเรซิน เช่นเดียวกับตัวถัง (Caseing) จึงมีน้ำหนักเบาและทนทานต่อการกัดกร่อน อ่างน้ำเป็นตัวกักเก็บน้ำที่ตกลงมาก่อนที่จะเข้าท่อ เพื่อไปยังเครื่องควบแน่นน้ำที่มีขนาดใหญ่มากๆ เพราะแบบไหลสวนทางกันจะมีความสูงมาก แต่ข้อเสียของหอผึ่งน้ำแบบไหลตัดกัน คือจะให้พื้นที่ในการติดตั้งมาก

ตารางที่ ค.4 เปรียบเทียบระหว่างหอผึ่งน้ำแบบไหลสวนทางกัน (Counter Flow) และหอผึ่งน้ำแบบไหลสวนตัดกัน (Cross Flow)

หอผึ่งน้ำเย็นแบบไหลสวนทางกัน (Connter Flow)	หอผึ่งน้ำเย็นแบบไหลสวนตัดกัน (Cross Flow)
1. อากาศจากบรรยากาศไหลเข้าจากด้านล่างผ่านน้ำที่ตกลงมาแล้วจึงไหลออกทางด้านบน	1. อากาศจากบรรยากาศไหลเข้าจากด้านข้างผ่านน้ำที่ตกลงมาแล้วจึงไหลออกทางด้านบน
2. ใช้สปริงเกอร์ในการฉีดน้ำลงผ่านฟิลลิ่ง	2. น้ำจะพ่นลงผ่านฟิลลิ่งโดยแรงโน้มถ่วงของโลก
3. ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยแต่มีความสูง	3. ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก
4. ใช้กับหอผึ่งน้ำขนาดทั่วไป	4. ใช้กับหอผึ่งน้ำขนาดใหญ่มากๆ
5. ความสามารถในการระบายความร้อนน้อยกว่าหอผึ่งน้ำแบบไหลตัดกัน	5. ความสามารถในการระบายความร้อนสูงกว่าหอผึ่งน้ำแบบไหลสวนทางกัน

ค.1.10.4 สารทำความเย็น (Refrigerant)

เครื่องทำน้ำเย็น มี หลักการทำงาน คือ ใช้คุณสมบัติในการระเหยของของเหลวและความร้อนแฝงจากการระเหย เนื่องจากได้ใช้ความร้อนแฝงไปในการระเหยความเย็นลักษณะนี้ก็คือความเย็นที่เราสามารถนำมาใช้ในการปรับอากาศ โดยคุณสมบัติที่ดีของสารทำความเย็นคือระเหยได้เร็วและมีค่าความร้อนแฝงมาก จะได้ความเย็นมากๆ ในเวลาที่สั้นลง คือสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน, ฟลูออรีน, คลอรีนและไฮโดรเจน เป็นหลักจะมีคุณสมบัติที่ว่านี้ จึงได้มีการสังเคราะห์สารทำความเย็น (Refrigerant) หรือเรียกว่า ฟรีออน (Freeon หมายถึง ชื่อเรียกทางการค้าของผู้ผลิตคือ ดูปองท์) มีชื่อเรียกต่างๆ กัน กำหนดรหัสตัวเลขตามองค์ประกอบและน้ำหนักโมเลกุลที่ต่างกัน เช่น R-11, R-12, R-22, R-502 โดย R-12 ใช้ในเครื่องปรับอากาศติดรถยนต์ ส่วน R-22 ใช้ในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก และ R-502 ใช้ในเครื่องทำความเย็นและ R-11, R-12 มีใช้อยู่ในเครื่องทำน้ำเย็น ปัจจุบันมีการพบว่าสารเหล่านี้ ก่อให้เกิดปัญหากับโอโซนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะทำให้โลกนี้ให้พ้นจากรังสี

อุลตราไวโอเลตเป็นช่องโหว่ทางขั้วโลก จึงมีข้อตกลงระหว่างประเทศที่เรียกว่า Montreal Protocal เพื่อจำกัดปริมาณการใช้สารนี้โดยเฉพาะสารที่มีองค์ประกอบของคลอรีน (CI), ฟลูออรีน (F) และคาร์บอน (C) หรือที่เรียกกันว่า CFC (Chlorofluoro Carbon) เนื่องจากสารตัวนี้สามารถตกค้างอยู่ในชั้นบรรยากาศได้ยาวนาน ในขณะเดียวกันก็จะทำลายโอโซนไปได้เรื่อยๆ นอกจากนี้ยังกล่าวกันว่า ทำให้แสงอาทิตย์ที่เข้ามายังโลกสะท้อนกลับออกไปสู่นอกโลกได้น้อยลง ทำให้บรรยากาศของโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงมีการกำหนดค่าความสามารถในการทำลายโอโซน เรียกว่า ODP (Ozone Depletion Potential) และความสามารถในการทำให้โลกร้อนขึ้น เรียกว่า GWP (Global Warming Potential)

ตารางที่ ค.5 แสดงค่าดัชนี ODP และ GWP ของสารทำความเย็น

	R-11	R-12	R-22	R-502	R-123	R-134a
	(CFC-11)	(CFC-22)	(HCFC-22)	(CFC-502)	(HCFC-123)	(HCFC-134a)
ODP	1.0	1.0	0.05	0.23	0.02	0.00
GWP	1.0	2.8	0.34	3.75	0.02	0.26

สาร CFC ที่จะต้องถูกกำจัดให้หมดไปได้แก่ R-11, R-12 และ R-502 โดยสารทดแทนส่วนมากจะเป็นสารทำความเย็นผสม หรือ Blended Refrigerant มีชื่อทางการค้าว่า SUVA เพื่อทดแทน R-11, R-12, R-22, R-502 สารทำความเย็นบางตัวสามารถใช้กับอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศเดิมได้ แต่สารทำความเย็นบางตัวจะต้องออกแบบเครื่องใหม่เลย สาเหตุที่ต้องออกแบบใหม่เพราะหากใช้เครื่องเดิมกับสารทำความเย็นทดแทนเหล่านี้มักจะมีความสามารถในการทำความเย็นลดลงหรือประสิทธิภาพลดลง นอกจากนี้ในการพิจารณาเลือกใช้สารทำความเย็นยังมีมาตรฐานกำหนดเกี่ยวกับอันตรายเมื่อหายใจเอาสารนี้เข้าไปเมื่อเกิดการรั่วของสารนี้ด้วย

ภาคผนวก ง.

แสดงวิธีการใช้งานและติดตั้งเครื่องมือวัด

ง.1 วิธีการใช้และติดตั้งเครื่องมือวัด

การใช้เครื่องมือวัดในการวัดพลังงานต้องวัดในเวลาเดียวกัน เนื่องจากภาระการทำความเย็นมี การขึ้นลงตลอดเวลา จึงต้องติดเครื่องมือให้ครบทุกชิ้นก่อนทำการวัดพลังงาน โดยจะแบ่งตามลักษณะการวัดได้ 2 วิธี คือ แบบช่วงเวลา คือ จะทำการตรวจวัดในขณะที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุด โดยมีลักษณะการวัดคือ บันทึกผลทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และการวัดแบบระยะยาว คือ บันทึกผลทุกๆ 15 นาที ใช้เวลาในการวัดทั้งวัน

ง.1.1 การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหล

ง.1.1.1 เลือกจุดที่ต้องการติดตั้งเครื่องมือวัด เลือกได้ทั้งด้านส่งน้ำเย็นหรือด้านน้ำเย็นกลับ โดยจุดวัดจะต้องอยู่ห่างจากข้องอและวาล์วต่างๆ ซึ่งควรเป็นบริเวณท่อตรงเพื่อจะได้อัตราการไหลที่ราบเรียบ ไม่ปั่นป่วน

ง.1.1.2 นำมีดคัตเตอร์มาตัดฉนวนกันความร้อนออก

ง.1.1.3 นำตลับเมตรมาทำการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

ง.1.1.4 นำค่าเส้นผ่าศูนย์กลางที่วัดได้ไปเปิดตารางหาค่า Outside Diameter (ภาคผนวก จ.) เพื่อนำค่าไปกรอกในเครื่องมือวัดอัตราการไหล (จะกล่าวในหัวข้อถัดไป)

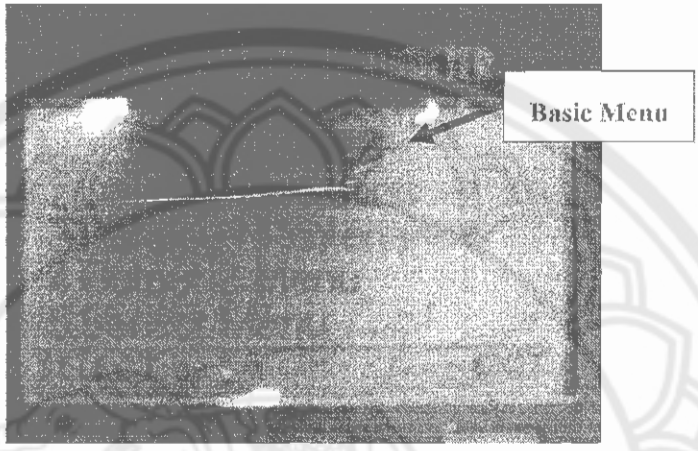
ง.1.1.5 จะทำให้ทราบว่าจะต้องติดตั้งตัวส่งสัญญาณ (Transducer) ห่างกันเท่าไร

ง.1.1.6 นำคัตเตอร์หรือไขควงมาทำสัญลักษณ์ตรงตำแหน่งที่จะติดตั้งตัวส่งสัญญาณ (Transducer) เพื่อที่จะได้ขูดสีที่ทาอยู่กับท่อออก

ง.1.1.7 เมื่อเตรียมอุปกรณ์เสร็จแล้วก็ให้ทำการติดตั้งตัวส่งสัญญาณ (Transducer)

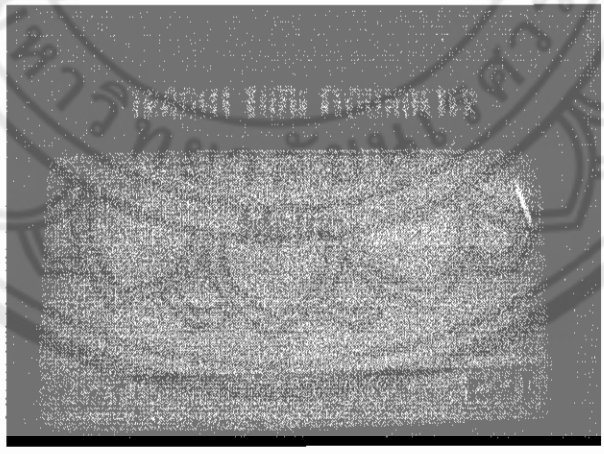
ง.1.2 วิธีใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหล

ง.1.2.1 เริ่มจากเปิดเครื่องจะขึ้น Basic Menu ดังแสดงในรูปที่ ง.1 จากนั้นให้กด SELECT



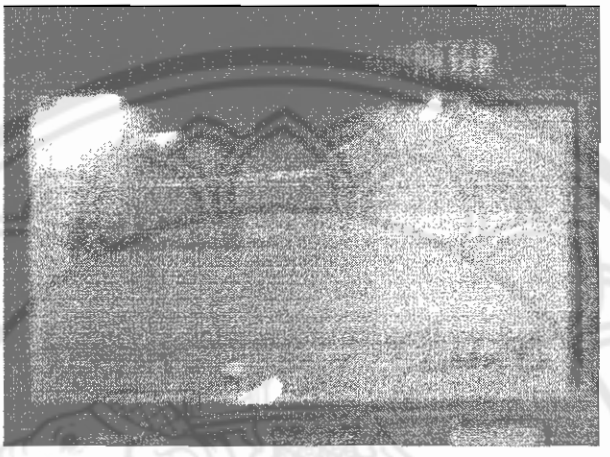
รูปที่ ง.1 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.2 หน้าจอจะปรากฏดังรูปที่ ง.2 จากนั้นจะสามารถกำหนดหน่วยที่จะใช้ โดยกดที่ EDIT เพื่อกำหนด หน่วยที่จะใช้ ดังแสดงในรูปที่ ง.3



รูปที่ ง.2 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.3 หน้าจอจะปรากฏให้เราเลือกหน่วย English หรือ Metric ให้เลือก จากนั้นกด ACCEPT ดังแสดงดังรูปที่ ง.3



รูปที่ ง.3 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.4 หลังจากที่เลือกหน่วยตามที่ต้องการแล้วจะปรากฏหน้าจอ แสดงดังรูปที่ ง.4 (สมมุติเลือกหน่วย Metric)

รูปที่ ง.4 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.5 กดลงหน้าจอจะปรากฏแสดงดังรูปที่ ง.5

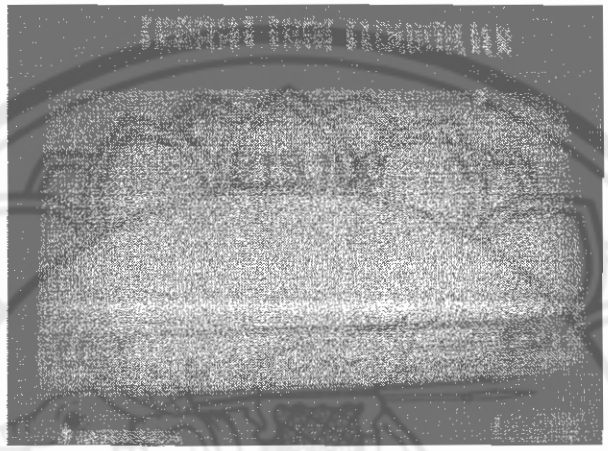
รูปที่ ง.5 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.6 กด EDIT เพื่อเลือกรูปแบบการส่งสัญญาณ (Transducer) โดยเลือกไปที่ Transducer Mount ปรากฏ

การส่งสัญญาณแบบ	Z	ใช้กับขนาดท่อ	12	นิ้ว ขึ้นไป	
การส่งสัญญาณแบบ	V	ใช้กับขนาดท่อ	6-12	นิ้ว	
การส่งสัญญาณแบบ	W	ใช้กับขนาดท่อ	1-6	นิ้ว	ดังแสดงในรูปที่ ง.6

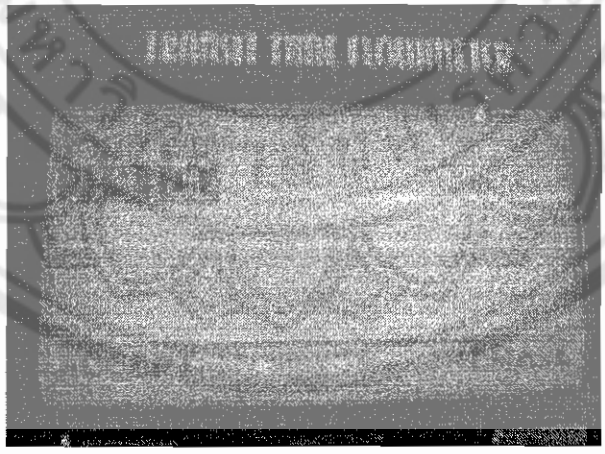
รูปที่ ง.6 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.7 เลือกรูปแบบการวัดตามต้องการ จากนั้นให้กด ACCEPT แล้วกดลงจะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ ง.7



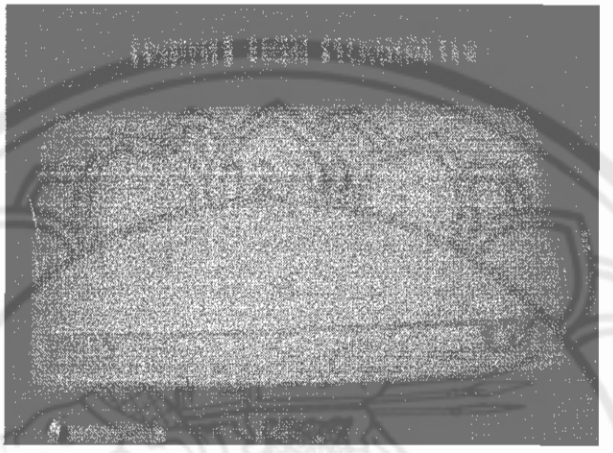
รูปที่ ง.7 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.8 กด EDIT เพื่อใส่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ (Pipe OD) เพื่อกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อแสดงในภาคผนวก จ.) ดังแสดงดังรูปที่ ง.8



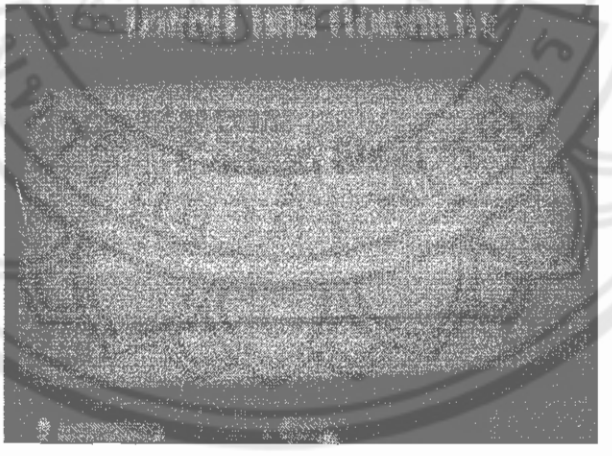
รูปที่ ง.8 แสดงการใส่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ

ง.1.2.9 จากนั้นให้กดลงจะปรากฏ Pipe WT ให้ใส่ค่าตามตารางท่อ ภาคผนวก จ. ดังแสดงใน รูปที่ ง.9



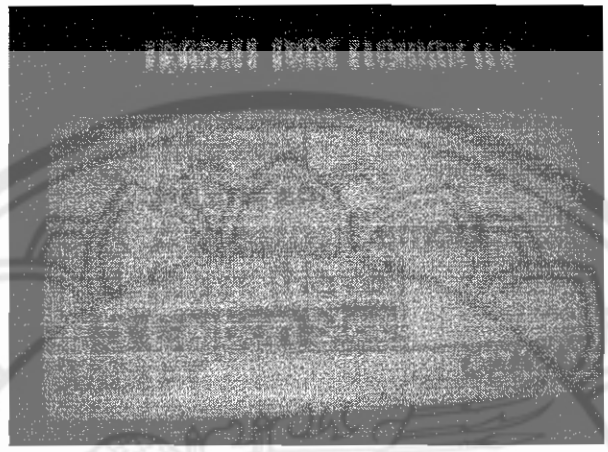
รูปที่ ง.9 แสดงการใส่ข้อมูล Pipe WT

ง.1.2.10 เมื่อใส่ค่า Pipe WT เรียบร้อยแล้วกดลง จะปรากฏหน้าจอดังแสดงในรูปที่ ง.10



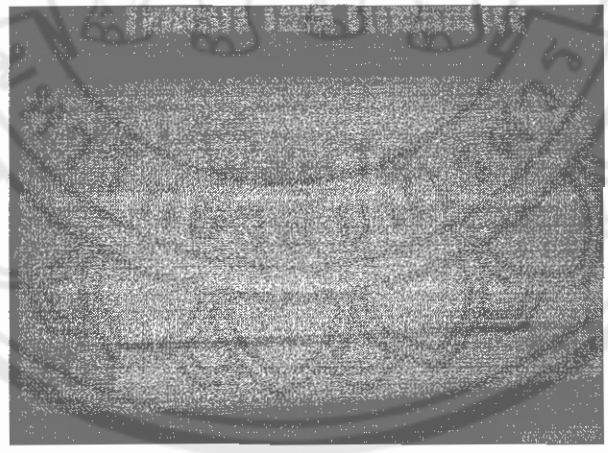
รูปที่ ง.10 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.11 กด EDIT เพื่อเลือก Pipe Material เพื่อจะได้กำหนดชนิดของท่อ ดังแสดงในรูปที่ ง.11



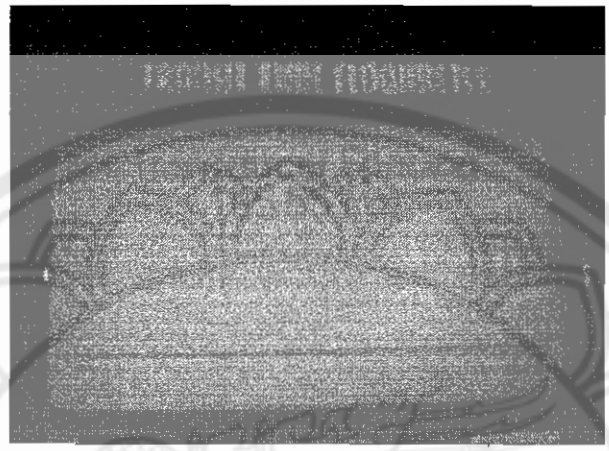
รูปที่ ง.11 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.12 เมื่อเลือก Pipe Material ได้แล้วให้กด ACCEPT แล้วกดลง จากนั้นจะปรากฏหน้าจอดังแสดงดังรูปที่ ง.12 เพื่อให้เลือก Liquid Type เพื่อที่จะได้กำหนดชนิดของของเหลวที่ไหลอยู่ในท่อ



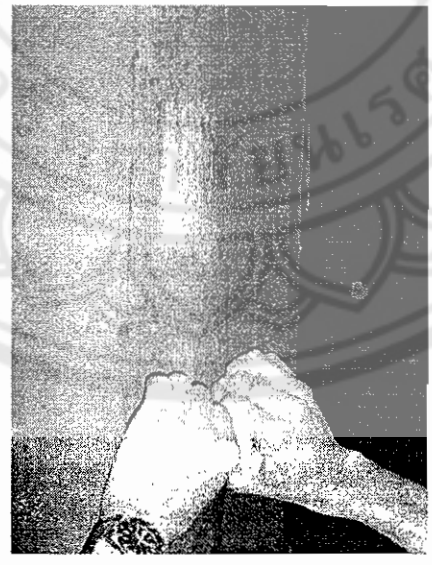
รูปที่ ง.12 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.13 จากนั้นให้กดลงเรื่อยๆ จะปรากฏหน้าจอดังแสดงในรูปที่ ง.13

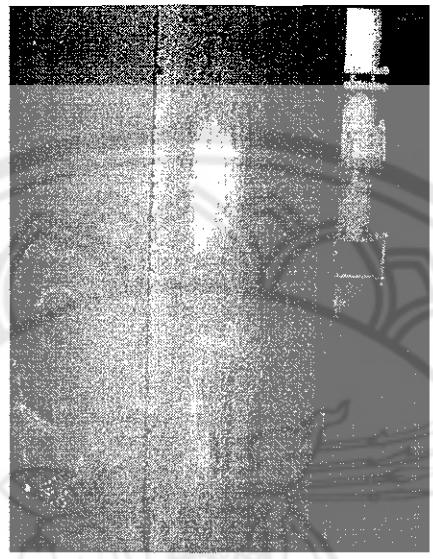


รูปที่ ง.13 แสดงภาพจอมอนิเตอร์ของเครื่องวัดอัตราการไหล

ง.1.2.14 จากรูปที่ ง.13 แสดงระยะห่างของตัวส่งสัญญาณ (Transsducer) ที่จะทำการติดตั้ง เมื่อได้ระยะห่างของสัญญาณ (Transsducer) แล้วทำการขูดสี หรืออาจจะใช้เครื่องเจียร์มือขัด แล้วใช้ผ้าสะอาดเช็ดให้เอี่ยม ดังแสดงในรูปที่ ง.4



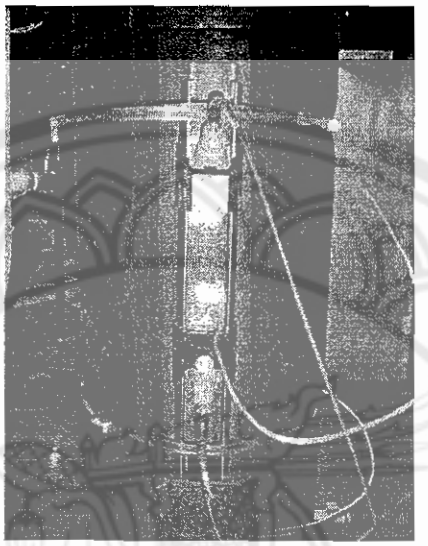
รูปที่ ง.14 แสดงลักษณะการขัดท่อก่อนทำการติดตั้งเครื่องมือวัด



รูปที่ ง.15 แสดงบริเวณที่จะทำการตรวจวัด

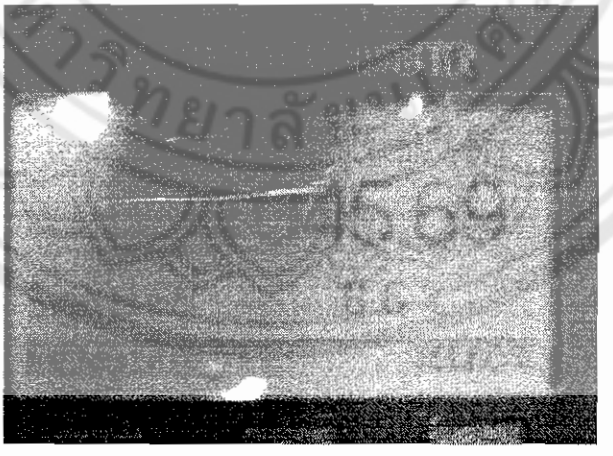
ง.1.2.15 ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหล ดังแสดงในรูปที่ ง.16

รูปที่ ง.16 แสดงการติดตั้งตัวรับสัญญาณ (Transducer)



รูปที่ ง.17 แสดงตัวรับสัญญาณ (Transducer) เมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อย

ง.1.2.16 เมื่อทำการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ให้ทำการบันทึกข้อมูลค่าอัตราการไหล ซึ่งสามารถอ่านได้จากบริเวณจอของตัวเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ ง.18



รูปที่ ง.18 แสดงผลของอัตราการไหลหน่วย GPM

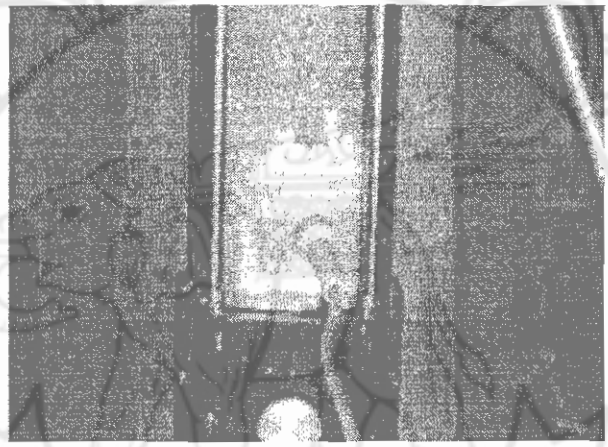
ง.1.2.17 บันทึกผลทุก 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ง.1.3 การติดตั้งและวิธีใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำเย็น

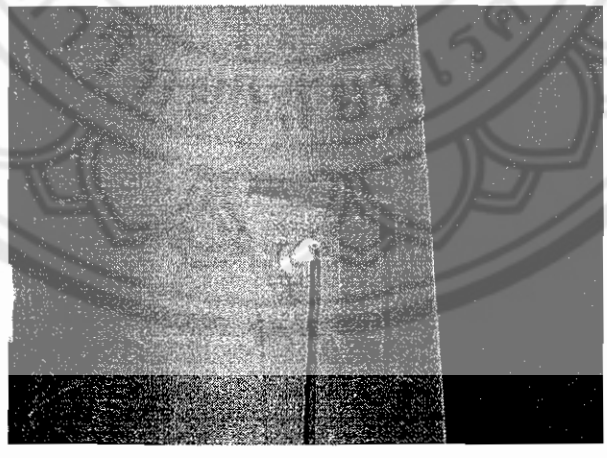
ง.1.3.1 **นำมีดคัตเตอร์ตัดฉนวนบริเวณด้านส่งน้ำเย็น/ด้านน้ำเย็นกลับ จากนั้นให้ทำการขูดสี** ออกในบริเวณที่จะทำการติดตั้งจุดรับสัญญาณ

ง.1.3.2 ทำการติดตั้งจุดรับสัญญาณอุณหภูมิน้ำทั้งด้านส่งน้ำเย็นและด้านน้ำเย็นกลับ

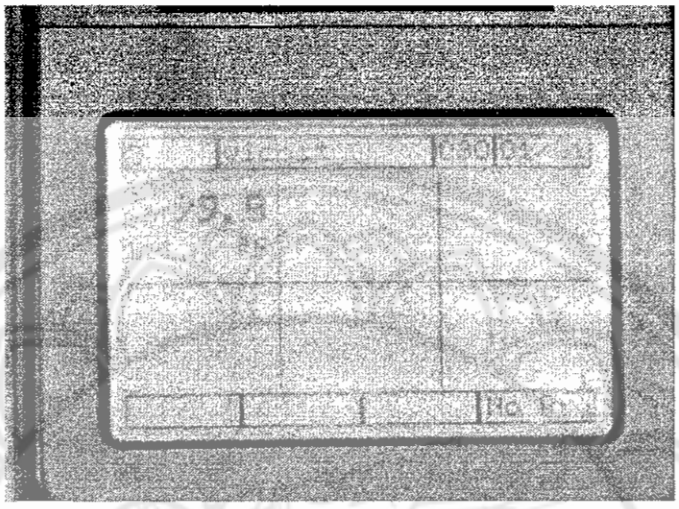
ง.1.3.3 เปิดเครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำเย็นเมื่อค่าอุณหภูมิขึ้นมา ปล่อยทิ้งไว้สักครู่แล้วบันทึกผล ทุก 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ ง.20



ก.แสดงการติดตั้งตัวรับสัญญาณอุณหภูมิด้านส่งน้ำเย็น



ข.แสดงการติดตั้งตัวรับสัญญาณอุณหภูมิด้านน้ำเย็นกลับ



ค.แสดงผลอุณหภูมิที่ปรากฏทางจอมอนิเตอร์

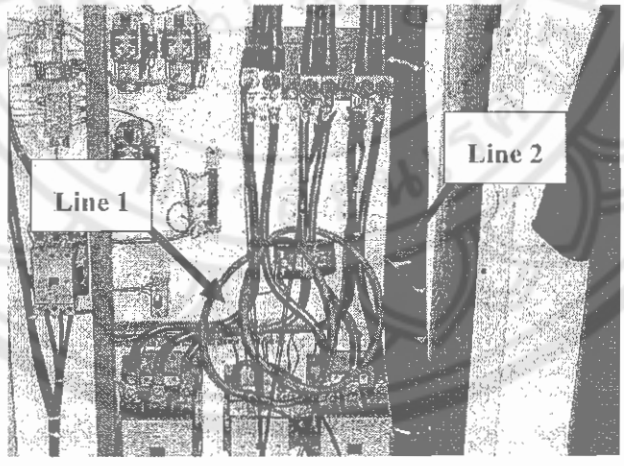
รูปที่ ง.19 แสดงการติดตั้งเครื่องมือและการวัดอุณหภูมิน้ำเย็น

ง.1.4 การติดตั้งและวิธีใช้เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

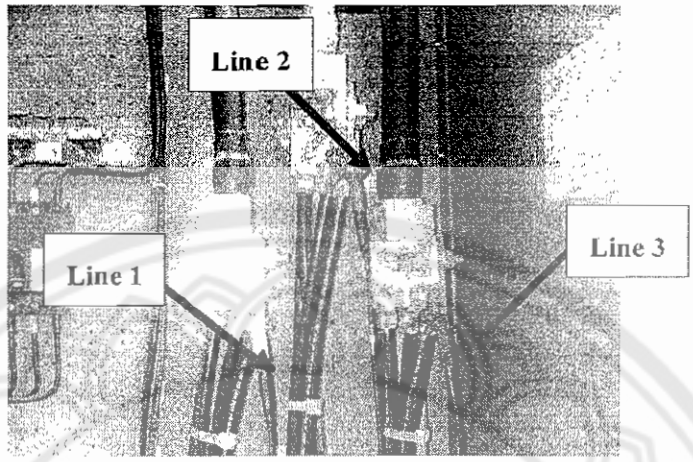
ง.1.4.1 ทำการต่อเชื่อมอุปกรณ์ต่างๆ ให้เรียบร้อยดังรูปที่ ง.20

รูปที่ ง.20 แสดง ELITE Pro, สายเชื่อมต่อ CTและสายเชื่อมต่อกับ Computer

ง.1.4.2 นำตัว CT (Current Transformer) มาคล้องเข้ากับสาย Line 1และ Line 2 พร้อมทั้งนำตัวหนีบโวลต์หนีบยัง Line 1, Line 2 และ Line 3 ดังรูปที่ ง.21 และ ง.22 ตามลำดับ

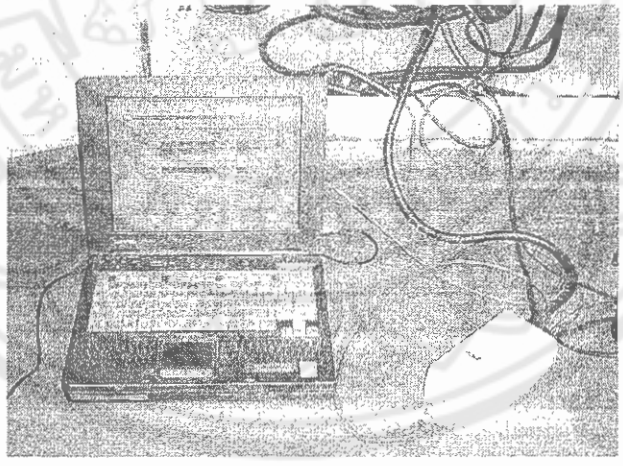


รูปที่ ง.21 แสดงการคล้อง CT และตัวหนีบโวลต์ที่สายไฟ



รูปที่ ง.22 แสดงการหนีบตัวหนีบโวลต์

ง.1.4.2 จากนั้นให้ทำการเปิดคอมพิวเตอร์แล้ว Log ON เข้าไปยังโปรแกรม ELITE Pro (ขั้นตอนการใช้งานภาคผนวก ฉ.) แล้วทำการตั้งค่าให้มีการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ ง.23



รูปที่ ง.23 แสดงคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลจากการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

ภาคผนวก จ.

ตารางแสดงชนิดและข้อมูลต่างๆ ของท่อที่ใส่ข้อมูลลงในเครื่องมือวัดอัตราการไหล

ตาราง จ.1 ตารางแสดงขนาดของท่อเหล็กเหนียว

Pipe size	Outside diameter		Schedule	Wall thickness		Internal diameter		Flow area	
In.	In.	mm.		In.	mm.	ft.	mm.	ft^2	mm^2
1/8	0.405	10.26	40(STD)	0.068	1.73	0.02242	6.83	0.0003947	36.64
			80(XS)	0.095	2.41	0.01792	5.47	0.0002522	23.50
1/4	0.540	13.72	40(STD)	0.088	2.24	0.03033	8.24	0.0007227	67.06
			80(XS)	0.119	3.02	0.02517	7.68	0.0004974	46.32
3/4	0.675	17.14	40(STD)	0.091	2.31	0.04108	12.52	0.0013260	123.30
			80(XS)	0.128	3.20	0.03525	10.74	0.0009758	90.59
1/2	0.840	21.34	40(STD)	0.109	2.77	0.05183	15.80	0.0021100	196.10
			80(XS)	0.147	3.74	0.04550	13.85	0.0016250	150.80
			160	0.188	4.78	0.03867	11.78	0.0011740	109.00
			(XXS)	0.294	7.47	0.21000	6.40	0.0003464	32.17
3/4	1.050	26.67	40(STD)	0.113	2.87	0.06867	20.93	0.0037030	3,334.10
			80(XS)	0.154	3.92	0.06183	18.83	0.0030030	278.50
			160	0.219	5.56	0.06100	15.55	0.0020430	189.80
			(XXS)	0.308	7.82	0.03617	11.03	0.0010270	95.65
1	1.315	33.40	40(STD)	0.133	3.38	0.06742	26.64	0.0060020	557.40
			80(XS)	0.179	4.55	0.07975	24.30	0.0049950	508.30
			160	0.250	6.35	0.06792	20.70	0.0036230	336.50
			(XXS)	0.358	9.09	0.04992	15.22	0.0019570	131.50
1 1/4	1.660	42.16	40(STD)	0.140	3.56	0.11500	35.04	0.0103900	964.30
			80(XS)	0.191	4.85	0.10650	32.46	0.0089080	827.50
			160	0.250	6.35	0.09667	29.46	0.0073390	681.60
			(XXS)	0.382	9.70	0.07467	22.76	0.0043790	406.90
1 1/2	1.900	48.26	40(STD)	0.145	3.68	0.13420	40.90	0.0141400	1,313.00
			80(XS)	0.200	5.08	0.12500	38.10	0.0122700	1,140.00
			160	0.281	7.14	0.11150	33.98	0.0097640	906.80
			(XXS)	0.400	10.16	0.09167	27.94	0.0066000	613.10

ตาราง จ.1 ตารางแสดงขนาดของท่อเหล็กเหนียว (ต่อ)

Pipe size	Outside diameter		Schedule	Wall thickness		Internal diameter		Flow area	
In.	In.	mm.		In.	mm.	ft.	mm.	ft^2	mm^2
2	2.375	60.34	40(STD)	0.154	3.91	0.17230	52.52	0.0233000	2,166.00
			80(XS)	0.218	5.54	0.16160	49.26	0.0205100	1,906.00
			160	0.344	8.74	0.14060	42.86	0.0155200	1,443.00
			(XXS)	0.436	11.07	0.12530	38.20	0.0123200	1,146.00
2 1/2	2.875	73.03	40(STD)	0.203	5.16	0.20580	62.71	0.0332500	3,089.00
			80(XS)	0.276	7.01	0.19360	59.01	0.0294300	2,735.00
			160	0.375	9.53	0.17710	53.97	0.0246300	2,288.00
			(XXS)	0.552	14.02	0.14760	44.99	0.0171100	1,590.00
3	3.500	88.90	40(STD)	0.216	5.49	0.25570	77.92	0.0513400	4,769.00
			80(XS)	0.300	7.62	0.24170	73.66	0.0458700	4,261.00
			160	0.438	11.13	0.21870	66.64	0.0375500	3,488.00
			(XXS)	0.600	15.24	0.19170	58.42	0.0288500	2,680.00
3 1/2	4.000	101.60	40(STD)	0.226	5.74	0.29570	90.12	0.0686600	6,379.00
			80(XS)	0.318	8.08	0.28030	85.44	0.0617200	5,733.00
4	4.500	114.30	40(STD)	0.237	6.02	0.33500	103.30	0.0884100	8,219.00
			80(XS)	0.337	8.56	0.31980	97.18	0.0798400	7,417.00
			120	0.438	11.13	0.30200	92.04	0.0716300	6,654.00
			160	0.531	13.49	0.28650	87.32	0.0644700	5,988.00
			(XXS)	0.674	17.12	0.26270	80.06	0.0541900	5,034.00
5	5.563	141.30	40(STD)	0.258	6.55	0.42060	128.20	0.1389000	12,910.00
			80(XS)	0.375	9.53	0.40110	122.20	0.1263000	11,730.00
			120	0.500	12.70	0.38030	115.90	0.1136000	10,550.00
			160	0.625	15.88	0.35940	109.50	0.1015000	9.417.00
			(XXS)	0.750	19.05	0.33860	103.20	0.0900400	8,360.00
6	6.625	168.30	40(STD)	0.280	7.11	0.50540	154.10	0.2006000	18,650.00
			80(XS)	0.432	10.97	0.48010	146.40	0.1810000	16,830.00

ตาราง จ.1 ตารางแสดงขนาดของท่อเหล็กเหนียว (ต่อ)

Pipe size	Outside diameter		Schedule	Wall thickness		Internal diameter		Flow area	
In.	In.	mm.		In.	mm.	ft.	mm.	ft^2	mm^2
6	6.625	168.30	120	0.562	14.27	0.45840	139.80	0.1650000	15,350.00
			160	0.719	18.26	0.48230	131.80	0.1467000	13,640.00
			(XXS)	0.864	21.95	0.40810	124.40	0.1308000	12,150.00
8	8.625	219.10	20	0.250	6.35	0.67710	206.40	0.3601000	33,460.00
			30	0.277	7.04	0.67260	205.00	0.3553000	33,010.00
			40(STD)	0.322	8.18	0.66510	202.70	0.3474000	32,207.00
			60	0.406	10.31	0.65110	198.50	0.3329000	30,950.00
			80(XS)	0.500	12.70	0.63540	193.70	0.3171000	29,470.00
			100	0.594	15.09	0.61980	188.90	0.3017000	28,030.00
			120	0.719	18.26	0.59890	182.60	0.2817000	26,190.00
			140	0.812	20.62	0.58340	177.90	0.2673000	24,860.00
			(XXS)	0.875	22.23	0.57290	174.60	0.2578000	23,940.00
			160	0.906	23.01	0.56780	173.10	0.2532000	23,530.00
10	10.750	237.10	20	0.250	6.35	0.85420	260.40	0.5730000	33,260.00
			30	0.307	7.80	0.84470	257.50	0.5604000	52,080.00
			40(STD)	0.365	9.27	0.83500	254.60	0.5476000	50,910.00
			60(XS)	0.500	12.70	0.81250	247.70	0.5185000	48,190.00
			80	0.594	15.09	0.79680	242.90	0.4987000	46,340.00
			100	0.719	189.27	0.77600	236.60	0.4730000	43,970.00
			120	0.844	21.44	0.75520	230.20	0.4470000	41,620.00
			140(XXS)	1.000	25.40	0.72920	222.30	0.4176000	38,810.00
			160	1.125	28.58	0.70830	215.90	0.3941000	36,610.00
12	12.750	323.90	20	0.250	6.35	1.02100	311.20	0.8185000	79,060.00
			30	0.330	8.38	1.00800	307.10	0.7972000	74,071.00
			(STD)	0.375	9.53	1.00000	304.80	0.7854000	72,970.00
			40	0.406	10.31	0.99480	303.30	0.7773000	72,250.00

ตาราง จ.1 ตารางแสดงขนาดของท่อเหล็กเหนียว (ต่อ)

Pipe size	Outside diameter		Schedule	Wall thickness		Internal diameter		Flow area	
In.	In.	mm.		In.	mm.	ft.	mm.	ft^2	mm^2
12	12.750	323.90	60	0.562	14.27	0.96880	295.30	0.7372000	68,490.00
			80	0.688	17.48	0.94780	288.90	0.7056000	65,550.00
			100	0.844	21.44	0.92180	281.00	0.6647000	62,020.00
			120(XXS)	1.000	25.40	0.89580	273.10	0.6303000	58,580.00
			140	1.125	28.58	0.87500	266.70	0.6013000	55,860.00
			160	1.312	33.32	0.84380	257.20	0.5592000	51,960.00
14	14.000	355.60	30(STD)	0.375	9.55	1.10400	336.60	0.9575000	88,930.00
			160	1.406	35.71	0.93230	284.20	0.6827000	63,440.00
16	16.000	406.40	30(STD)	0.375	9.53	1.27100	387.30	1.2680000	117,800.00
			160	1.594	40.49	1.06800	325.40	0.8953000	83,160.00
18	18.000	457.20	(STD)	0.375	9.53	1.43800	438.10	1.6230000	150,700.00
			160	1.781	45.42	1.20300	366.70	1.1370000	105,600.00
20	20.000	508.00	20(STD)	0.375	9.53	1.60400	488.90	2.0210000	187,700.00
			160	1.969	50.01	1.33900	408.00	1.4070000	130,700.00
22	22.000	558.80	20(STD)	0.375	9.53	1.77100	539.70	2.4630000	228,800.00
			160	2.125	53.98	1.48000	450.80	1.7180000	159,600.00
24	24.000	609.60	20(STD)	0.375	9.53	1.93800	590.50	2.9480000	273,900.00
			160	2.344	59.54	1.60900	490.50	2.0340000	189,000.00
26	26.000	660.40	(STD)	0.375	9.53	2.10400	641.30	3.4470000	323,000.00
28	28.000	711.20	(STD)	0.375	9.53	2.27100	692.10	4.0500000	376,200.00
30	30.000	762.60	(STD)	0.375	9.53	2.43800	742.90	4.6660000	433,500.00
32	32.000	812.80	(STD)	0.375	9.53	2.60400	793.40	5.3260000	494,400.00
34	34.000	863.60	(STD)	0.375	9.53	2.77100	844.50	6.0300000	560,100.00
36	36.000	914.40	(STD)	0.375	9.53	2.93800	896.30	6.7770000	629,500.00
38	38.000	955.20	-	0.375	9.53	3.10400	946.10	7.5680000	703,000.00
40	40.000	1,016.00	-	0.375	9.53	3.27100	996.90	8.4030000	780,500.00

ตาราง จ.2 ตารางแสดงขนาดของท่อเหล็กหล่อ

Pipe size	Outside diameter		Thickness	Wall thickness		Internal diameter		Flow area	
In.	In.	mm.	Class	In.	mm.	ft.	mm.	ft^2	mm^2
3	3.96	100.60	22	0.32	8.1	0.2670	84.80	0.06012	5,595.00
4	4.80	121.90	22	0.35	8.9	0.3414	104.10	0.09168	8,511.00
6	6.90	175.30	22	0.38	9.7	0.5117	155.90	0.20560	19,090.00
8	9.05	229.90	22	0.41	10.4	0.6858	209.10	0.36940	34,340.00
10	11.10	281.90	22	0.44	11.2	0.8517	259.50	0.56960	52,890.00
12	13.20	335.60	23	0.52	13.2	1.0130	308.90	0.80650	74,940.00
14	15.30	388.60	24	0.59	15.0	1.1770	358.60	1.08700	101,000.00
16	17.40	442.00	24	0.63	16.0	1.3450	410.00	1.42100	132,000.00
18	19.50	495.30	24	0.68	17.3	1.5120	460.70	1.79500	166,700.00
20	21.60	548.60	24	0.72	18.3	1.6800	512.00	2.21700	205,900.00
24	25.80	655.30	24	0.79	20.1	2.0180	615.10	3.19900	297,200.00
30	32.00	812.80	25	0.99	25.1	2.5010	762.60	4.91500	456,800.00
36	38.30	972.90	25	1.10	27.9	3.0080	917.10	7.10800	660,600.00
45	44.50	1,130.00	25	1.22	31.0	3.5050	1068.00	9.64900	895,800.00
48	50.80	1,290.00	25	1.33	33.8	4.0212	1222.00	12.64000	1,174,000.00

ตาราง จ.3 ตารางแสดงขนาดของท่อทองแดงไร้ตะเข็บ

Pipe size	Outside diameter		Type	Wall thickness		Internal diameter		Flow area	
In.	In.	mm.		In.	mm.	ft.	mm.	ft^2	mm^2
1/4	0.375	9.53	K	0.035	0.89	0.02542	7.75	0.000507	7.17
			L	0.030	0.76	0.02625	8.01	0.000541	50.39
3/8	0.500	12.70	K	0.049	1.25	0.33600	10.22	0.000881	82.03
			L	0.035	0.89	0.03583	10.92	0.001008	93.66
			M	0.025	0.64	0.03750	11.42	0.001104	102.40
1/2	0.625	15.88	K	0.049	1.24	0.04392	13.40	0.001515	141.00
			L	0.400	1.02	0.04542	13.84	0.001620	150.50
			M	0.028	0.71	0.04742	14.46	0.001766	164.20
5/8	0.750	19.05	K	0.049	1.24	0.05433	15.57	0.002319	215.60
			L	0.042	1.07	0.05550	16.91	0.002419	224.60
3/4	0.875	22.22	M	0.066	1.65	0.06208	18.92	0.003027	281.10
			K	0.045	1.14	0.06542	19.94	0.003361	312.30
			L	0.032	0.81	0.06758	20.60	0.035870	333.30
1	1.125	28.58	M	0.065	1.65	0.08292	25.28	0.005400	501.90
			K	0.050	1.27	0.08542	26.04	0.005730	532.60
			L	0.035	0.89	0.08792	26.80	0.006071	564.10
1 1/4	1.375	34.93	M	0.065	1.65	0.13080	31.63	0.008454	785.80
			K	0.055	1.40	0.10540	32.13	0.008728	810.80
			L	0.042	1.07	0.10780	32.79	0.009090	844.40
1 1/2	1.625	41.28	M	0.072	1.83	0.12340	37.62	0.011960	1,112.00
			K	0.060	1.52	0.12540	38.24	0.012350	1,148.00
			L	0.049	1.24	0.12730	38.80	0.012720	1,182.00
2	2.125	53.98	M	0.083	2.11	0.16330	49.76	0.020930	1,195.00
			K	0.070	1.78	0.16540	50.42	0.021490	1,997.00
			L	0.058	1.48	0.16740	51.02	0.027010	2,044.00
2 1/2	2.625	66.68	K	0.095	2.41	0.20290	61.86	0.032340	3,005.00

ตาราง จ.3 ตารางแสดงขนาดของท่อทองแดงไร้ตะเข็บ (ต่อ)

Pipe size	Outside diameter		Type	Wall thiekness		Internal diameter		Flow area	
In.	In.	mm.		In.	mm.	ft.	mm.	ft^2	mm^2
2 1/2	2.625	66.68	L	0.080	2.03	0.2054	62.62	0.03314	3,080.00
			M	0.065	1.65	0.2079	63.38	0.03395	4,017.00
3	3.125	79.38	K	0.109	2.77	0.2423	73.84	0.04609	4,282.00
			L	0.090	2.29	0.2425	74.80	0.04730	4,394.00
			M	0.072	1.83	0.2484	75.72	0.04870	4,503.00
3 1/2	3.625	92.08	K	0.120	3.05	0.2821	85.98	0.06249	5,806.00
			L	0.100	2.54	0.2854	87.00	0.06398	5,945.00
			M	0.083	2.11	0.2883	87.86	0.06523	6,063.00
4	4.125	104.08	K	0.134	3.40	0.3214	98.00	0.08114	7,543.00
			L	0.110	2.79	0.3254	99.22	0.08317	7,732.00
			M	0.095	2.41	0.3279	99.98	0.08445	7,815.00
5	5.125	130.20	K	0.160	4.06	0.4004	122.10	0.12590	11,710.00
			L	0.125	3.18	0.4063	123.80	0.12960	12,050.00
			M	0.109	2.77	0.4089	124.70	0.13130	12,210.00
6	6.125	155.60	K	0.192	4.88	0.4787	145.80	0.17980	16,700.00
			L	0.140	3.56	0.4871	148.50	0.18630	17,320.00
			M	0.122	3.10	0.4901	143.90	0.18860	17,530.00
8	8.125	206.40	K	0.271	6.88	0.6319	192.60	0.31360	29,150.00
			L	0.200	5.08	0.6438	196.20	0.32550	30,250.00
			M	0.170	4.32	0.6488	197.80	0.33060	30,720.00
10	10.125	257.20	K	0.388	8.59	0.7874	240.00	0.48700	45,250.00
			L	0.250	6.35	0.8021	244.50	0.50530	46,950.00
			M	0.212	5.38	0.8084	246.40	0.51330	47,680.00
12	12.125	308.00	K	0.405	10.29	0.9429	287.40	0.69830	64,880.00
			L	0.280	7.11	0.9638	293.80	0.72950	67,790.00
			M	0.254	6.45	0.9681	295.10	0.73610	68,400.00

ภาคผนวก ฉ.

ขั้นตอนการใช้งาน ELITE Pro.

ฉ. ขั้นตอนการใช้งาน Elite Pro.

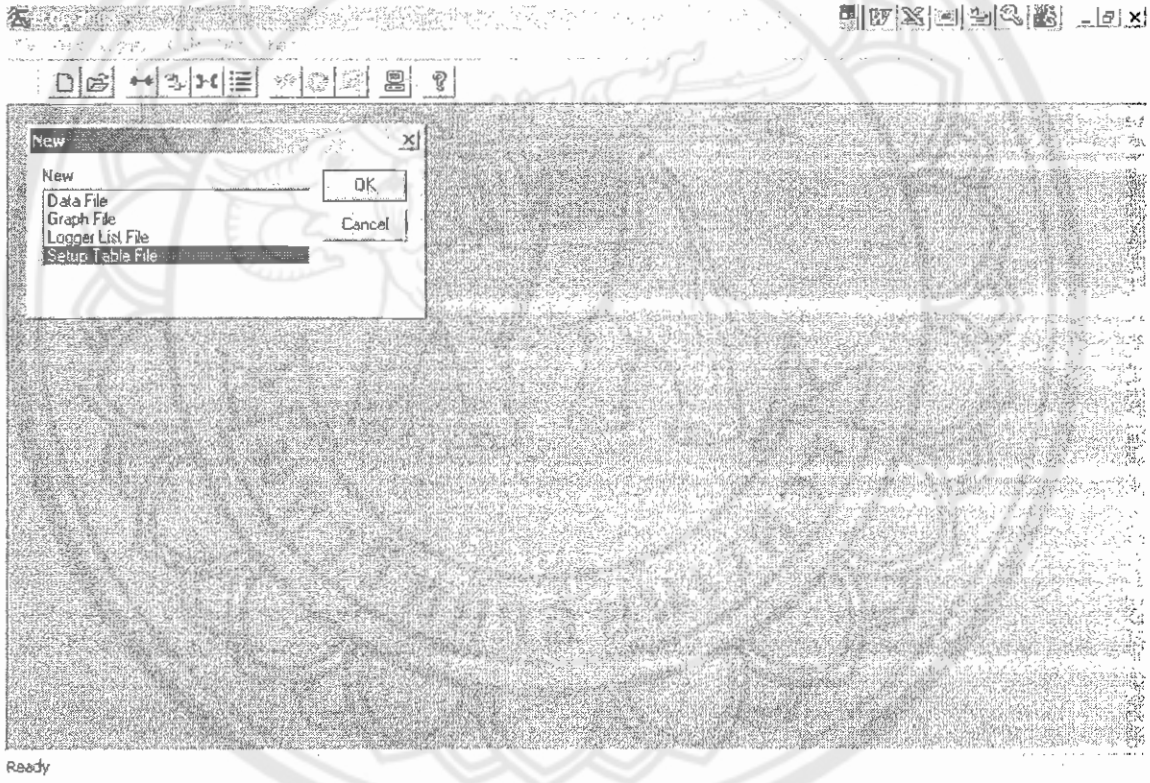
การใช้งาน Elite Pro ในการเก็บข้อมูลนั้นจะต้องโปรแกรมตัวเครื่องเสียก่อน

ฉ.1 การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ฉ.1.1 นำสาย RS-232 ที่ให้มากับเครื่องต่อเข้ากับ Elite Pro และอีกด้านหนึ่งต่อกับพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์

ฉ.1.2 เปิดโปรแกรม Elite log ขึ้นมา

ฉ.1.3 ตรวจสอบความถูกต้องในการติดต่อ จากนั้นให้เลือก *New → Setup..Table..File* จะแสดงหน้าจอดังนี้ เพื่อที่จะได้เลือก Line Frequency และ Integration Period ที่ต้องการต่อไป



รูปที่ ฉ.1 แสดงหน้าจอของโปรแกรม ELITE Pro.

ฉ.1.4 จากนั้นคิกปุ่ม OK

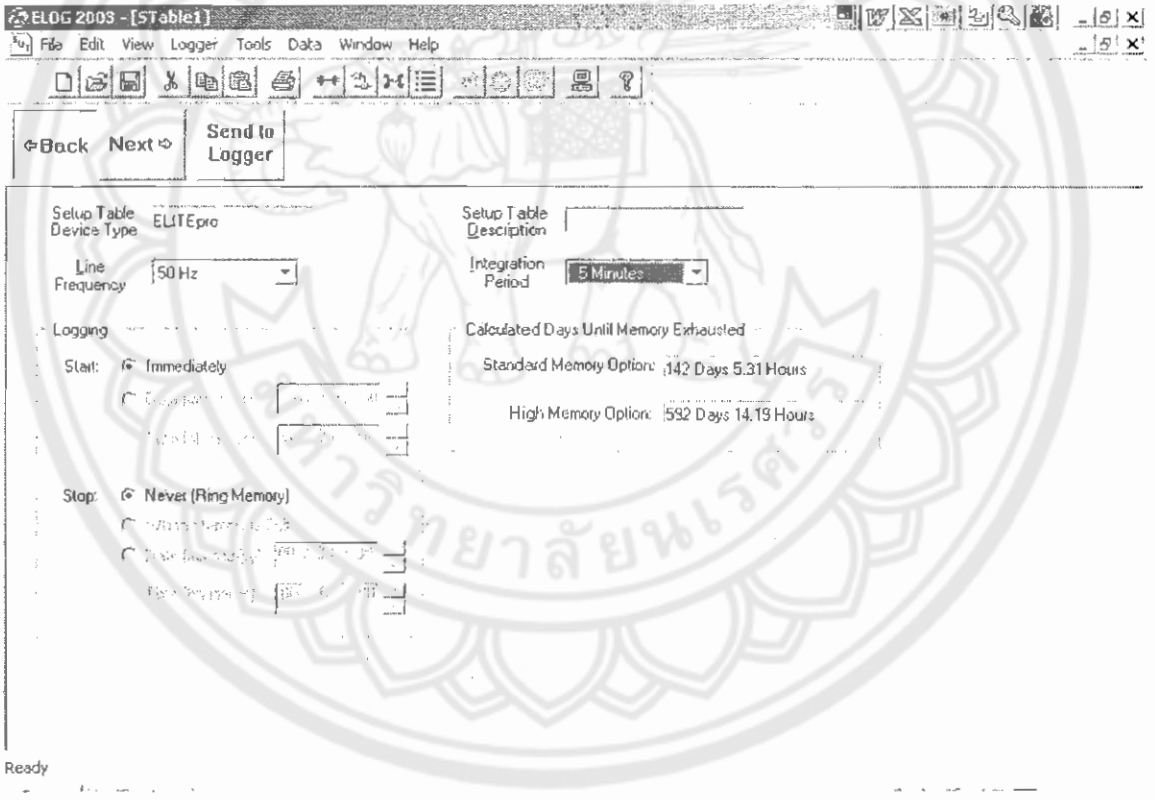
ฉ.1.5 ตั้งเวลาของเครื่องที่ได้ *Logger → Logger.Clock*

* Manualy Set Logger time	: เป็นการตั้งเวลาด้วยมือ
* Synchronize Time to Match PC	: เป็นการตั้งเวลาให้ตรงกับเครื่องคอมพิวเตอร์

ฉ.2 การกำหนดค่าให้กับ Elite Pro

ฉ.2.1 เลือกเมนูบาร์ *Logger* → Re *tieve..Logger..Setup..Table* หรือในกรณีที่ต้องการกำหนดขึ้นมาใหม่ให้เลือก *Flee → New → Setup..Table..File*

ฉ.2.2 จะแสดงหน้าจอดังรูป ฉ.2



รูปที่ ฉ.2 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Elite pro.

ฉ.2.2.1 เลือกความถี่ (Line Frequency) ที่ตองการวัดโดยมีให้เลือกระหว่าง 50 Hz และ60 Hz

ฉ.2.2.2 เลือกเวลาในการตรวจจับข้อมูล (Integration Period) ว่ามีความเร็วในการเก็บเท่าใด

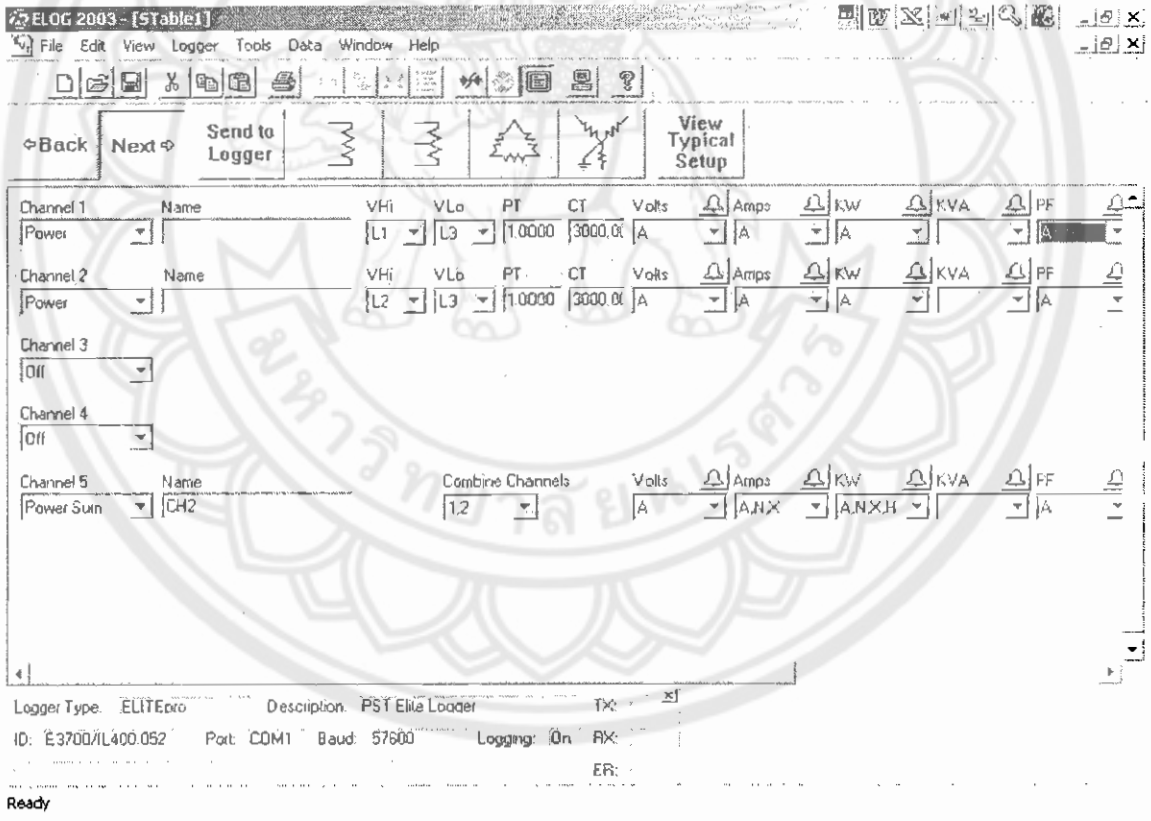
ฉ.2.2.3 กำหนดช่วงเวลาในการทำงาน (Logging) โดยกำหนดเวลาเริ่มต้น (Start) และเวลาหยุดทำงาน (Stop)

ฉ.2.2.4 ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถดูจำนวนที่สามารถเก็บข้อมูลได้จาก Calculated Days Until Memory Exhausted ในส่วนของ Standard Memory Option

* หมายเหตุ ในส่วนนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อกำหนดเวลาในการตรวจจับข้อมูล ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล และจำนวนตัวแปรที่กำหนดให้บันทึกในหน้าถัดไป

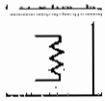
ฉ.2.3 จากนั้นกดปุ่ม Next

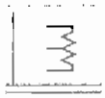
ฉ.2.4 หน้าจอจะแสดงดังนี้



รูปที่ ฉ.3 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Elite pro.

ฉ.2.5 เลือกรูปแบบการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า โดยมีความหมายดังนี้

 ต่อกับระบบไฟฟ้าแบบ Single Phase

 ต่อกับระบบไฟฟ้าแบบ Single Phase 3 wire

ต่อกับระบบไฟฟ้าแบบ 3 Phase 3 wire

ต่อกับระบบไฟฟ้าแบบ 3 Phase 4 wire

แสดงรูปวิธีการต่อลักษณะการวัดแบบต่างๆ

เมื่อกดปุ่มเลือกประเภทการต่อแล้วโปรแกรมจะถามขนาดของแคล้มป์ที่ต่อเข้ากับ Elite Pro (ให้กำหนดข้อมูลลงไป) จากนั้นโปรแกรมจะกำหนดจำนวนของเฟสตามประเภทที่เลือกอัตโนมัติ

ฉ.2.6 เลือกตัวแปรที่ต้องการเก็บลงในหน่วยความจำ คือ Volte, Amp, KW, KVA, KVAR, PF โดยจำนวนของตัวแปรจะมีผลต่อระยะเวลาในการบันทึกข้อมูลซึ่งถ้าหากเลือกตัวแปรเก็บมากระยะเวลาในการเก็บข้อมูลจะลดลง

ฉ.2.7 เมื่อกำหนดค่าเสร็จเรียบร้อย ให้กดปุ่ม

Send..to..Logger → *Overwrite..active..table* → *Continue..Logger* เพื่อส่งคุณสมบัติการทำงานที่กำหนดไปยังเครื่องมือเพื่อนำไปเก็บข้อมูลต่อไป

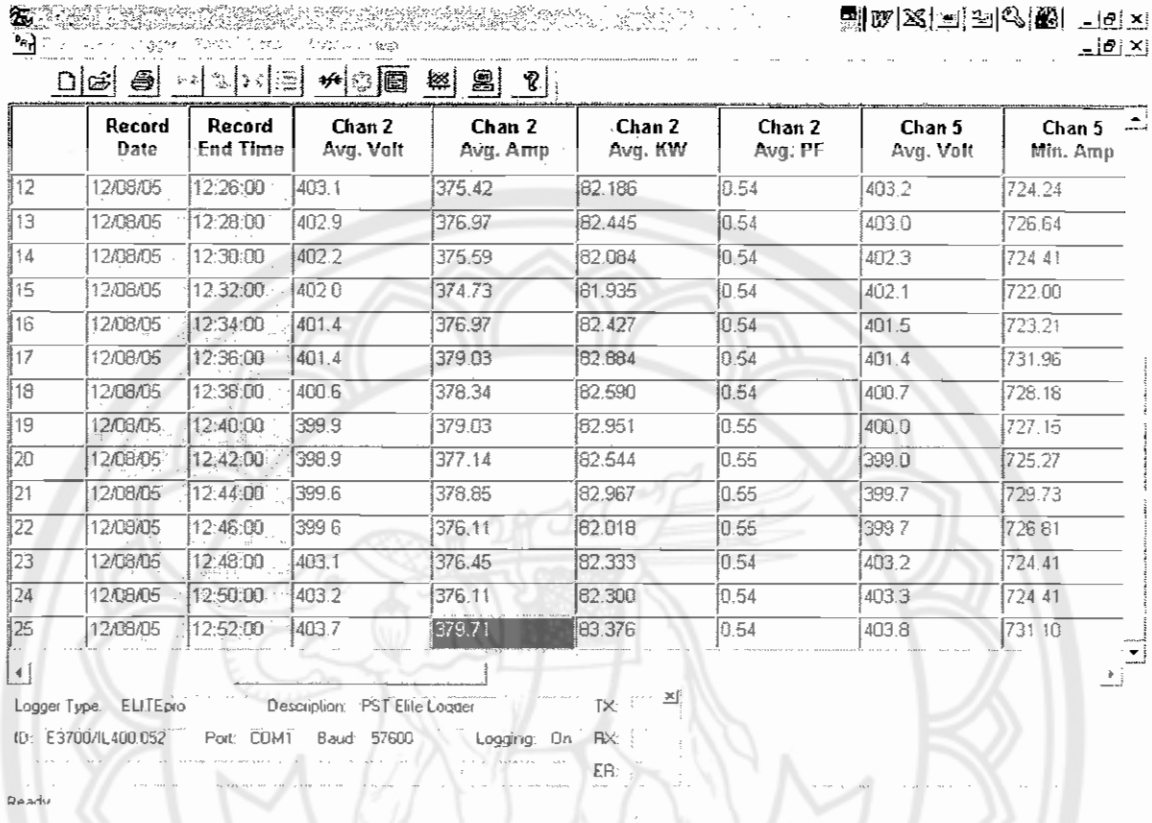
*** หมายเหตุ** ขณะนี้เราสามารถถอด Elite Pro ออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปเก็บข้อมูลที่หน้างานได้แล้ว

ฉ.3 การดาวน์โหลดข้อมูลจากหน่วยความจำของ Elite Pro

ฉ.3.1 หลังจากเก็บข้อมูลจากระบบไฟฟ้าที่วัดมาแล้ว ให้นำสาย RS-232 ต่อเข้ากับ Elite Pro

ฉ.3.2 เลือกเมนูบาร์ *Logger* → Re*tieve..Data..From..Logger*

ฉ.3.3 โปรแกรมจะแสดงข้อมูลดังรูป ฉ.4



	Record Date	Record End Time	Chan 2 Avg. Volt	Chan 2 Avg. Amp	Chan 2 Avg. KW	Chan 2 Avg. PF	Chan 5 Avg. Volt	Chan 5 Min. Amp
12	12/08/05	12:26:00	403.1	375.42	82.186	0.54	403.2	724.24
13	12/08/05	12:28:00	402.9	376.97	82.445	0.54	403.0	726.64
14	12/08/05	12:30:00	402.2	375.59	82.084	0.54	402.3	724.41
15	12/08/05	12:32:00	402.0	374.73	81.935	0.54	402.1	722.00
16	12/08/05	12:34:00	401.4	376.97	82.427	0.54	401.5	723.21
17	12/08/05	12:36:00	401.4	379.03	82.884	0.54	401.4	731.96
18	12/08/05	12:38:00	400.6	378.34	82.590	0.54	400.7	728.18
19	12/08/05	12:40:00	399.9	379.03	82.951	0.55	400.0	727.15
20	12/08/05	12:42:00	398.9	377.14	82.544	0.55	399.0	725.27
21	12/08/05	12:44:00	399.6	378.85	82.967	0.55	399.7	729.73
22	12/08/05	12:46:00	399.6	376.11	82.018	0.55	399.7	726.81
23	12/08/05	12:48:00	403.1	376.45	82.333	0.54	403.2	724.41
24	12/08/05	12:50:00	403.2	376.11	82.300	0.54	403.3	724.41
25	12/08/05	12:52:00	403.7	379.71	83.376	0.54	403.8	731.10

รูปที่ ฉ.4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการดาวน์โหลดข้อมูลจากหน่วยความจำ Elite pro.

ฉ.4 จากนั้นก็ให้ทำการจดบันทึกข้อมูลเพื่อที่จะได้นำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อไป

ภาคผนวก ช.

ตัวอย่างการคำนวณค่าการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าในการลงทุน

ช.1 ตัวอย่างการคำนวณค่าการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าในการลงทุน

โครงงานนี้ได้ทำการคำนวณค่าการใช้พลังงานและทำการวิเคราะห์ทางด้านการเงิน เมื่อมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซนในระบบหอผึ่งน้ำ การติดตั้งเครื่องล้างท่ออัตโนมัติและการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นใหม่ โดยที่ผู้ดำเนินโครงงานได้เสนอการแสดงการคำนวณดังนี้ คือ

ช.1.1 เมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซนในระบบหอผึ่งน้ำ

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> อาคาร A (อาคารที่ทำการศึกษา) ใช้เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 500 ตันความเย็น อายุเครื่อง 10 ปี เดินเครื่อง 12 ชั่วโมง/วัน (10.00 น. – 22.00 น.) และ 365 วัน/ปี เครื่องหมายเลข A5 มีค่าการใช้พลังงานจากการตรวจวัด 0.910 kW/Ton

<u>วิธีทำ</u>

โดยที่ เมื่อติดตั้งโอโซนในระบบหอผึ่งน้ำแล้วสามารถลดการใช้พลังงานได้ 0.076 kW/Ton
คิดค่าไฟเฉลี่ย 3 บาท/kWh
ข้อสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากหัวข้อ 4.2.3.1

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นเก่า

การใช้พลังงานไฟฟ้า = (พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น)(ขนาดเครื่องทำน้ำเย็น)(ชั่วโมงการทำงาน)
= (0.910)(500)(12×365)
= 1,992,900 kWh/ปี

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นใหม่

การใช้พลังงานไฟฟ้า = (พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น)(ขนาดเครื่องทำน้ำเย็น)(ชั่วโมงการทำงาน)
= (0.910 – 0.076)(500)(12×365)
= 1,826,460 kWh/ปี

การคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14

คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้	=	1,992,900 - 1,826,460 kWh/ปี
	=	166,440 kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	166,440×3
	=	499,320 บาท/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดสุทธิต่อปี = 499,320 – 9,855 + 64,576

= 554,041 บาท/ปี

การคำนวณหาระยะคืนทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{300,000}{554,041} = 0.541 \text{ ปี}$$

การคำนวณหาค่าผลตอบแทนการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.16

$$\text{ผลตอบแทนการลงทุน (ROI)} = \frac{[(554,041 \times 5 - 300,000]}{300,000} \times 100\%$$

$$= 823.40\ \%$$

การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.18 โดยที่ i = 7.25% ต่อปี

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)} = -300,000 + 554,041\left[\frac{(1+0.0725)^5 - 1}{0.0725 \times (1+0.0725)^5}\right]$$

$$= 1,956,551.925$$

การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) = 257.642 %

ช.1.2 เมื่อติดตั้งเครื่องล้างท่ออัตโนมัติ

ตัวอย่างที่ 2 อาคาร A (อาคารที่ทำการศึกษา) ใช้เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 500 ตันความเย็น อายุเครื่อง 10 ปี เดินเครื่อง 12 ชั่วโมง/วัน (10.00 น. – 22.00 น.) และ 365 วัน/ปี เครื่องหมายเลข A5 มีค่าการใช้พลังงานจากการตรวจวัด 0.910 kW/Ton

วิธีทำ

โดยที่ เมื่อติดตั้งเครื่องล้างท่ออัตโนมัติแล้วสามารถลดการใช้พลังงานได้ 0.068 kW/Ton
คิดค่าไฟเฉลี่ย 3 บาท/kWh
ข้อสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากหัวข้อ 4.3.3.1

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นเก่า

การใช้พลังงานไฟฟ้า = (พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น)(ขนาดเครื่องทำน้ำเย็น)(ชั่วโมงการทำงาน)
= (0.910)(500)(12×365)
= 1,992,900 kWh/ปี

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นใหม่

การใช้พลังงานไฟฟ้า = (พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น)(ขนาดเครื่องทำน้ำเย็น)(ชั่วโมงการทำงาน)
= (0.910 – 0.068)(500)(12×365)
= 1,843,980 kWh/ปี

การคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14

คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ = 1,992,900 – 1,843,980 kWh/ปี
= 148,920 kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 148,920 ×3
= 446,760 บาท/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดสุทธิต่อปี = 446,760 – (12,000 + 2,000) + 5,760
= 438,520 บาท/ปี

การคำนวณหาระยะคืนทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{438,520}{400,000} = 0.912 \text{ ปี}$$

การคำนวณหาค่าผลตอบแทนการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.16

$$\text{ผลตอบแทนการลงทุน (ROI)} = \frac{[(438{,}520 \times 5 - 400{,}000]}{400{,}000} \times 100\%$$

$$= 448.150\ \%$$

การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.18 โดยที่ i = 7.25% ต่อปี

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)} = -400{,}000 + 438{,}520\left[\frac{(1+0.0725)^5 - 1}{0.0725 \times (1+0.0725)^5}\right]$$

$$= 1{,}386{,}046.791$$

การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19

$$\text{อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)} = 109.640\%$$

ช.1.3 เมื่อเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นใหม่

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> อาคาร A (อาคารที่ทำการศึกษา) ใช้เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 500 ตันความเย็น อายุเครื่อง 10 ปี เดินเครื่อง 12 ชั่วโมง/วัน (10.00 น. – 22.00 น.) และ 365 วัน/ปี เครื่องหมายเลข A5 มีค่าการใช้พลังงานจากการตรวจวัด 0.910 kW/Ton

<u>วิธีทำ</u>

โดยที่ เครื่องทำน้ำเย็นใหม่มีค่าการใช้พลังงาน 0.583 kW/Ton
คิดค่าไฟเฉลี่ย 3 บาท/kWh
ข้อสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากหัวข้อ 4.4.3.1

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นเก่า

การใช้พลังงานไฟฟ้า = (พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น)(ขนาดเครื่องทำน้ำเย็น)(ชั่วโมงการทำงาน)
= (0.910)(500)(12×365)
= 1,992,900 kWh/ปี

การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นใหม่

การใช้พลังงานไฟฟ้า = (พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น)(ขนาดเครื่องทำน้ำเย็น)(ชั่วโมงการทำงาน)
= (0.583)(500)(12×365)
= 1,276,770 kWh/ปี

การคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14

คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ = 1,992,900 – 1,276,770 kWh/ปี
= 716,130 kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 716,130 ×3
= 2,148,390 บาท/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดสุทธิต่อปี = 2,148,390 – 200,000
= 1,948,390 บาท/ปี

การคำนวณหาระยะคืนทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15

$$\text{ระยะคืนทุน} = \frac{4,830,000}{1,948,390} = 2.479 \text{ ปี}$$

การคำนวณหาค่าผลตอบแทนการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.16

$$\text{ผลตอบแทนการลงทุน (ROI)} = \frac{[(1{,}948{,}390 \times 15 - 4{,}830{,}000]}{4{,}830{,}000} \times 100\%$$

$$= 505.090\ \%$$

การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.18 โดยที่ i = 7.25% ต่อปี

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

$$= -4{,}830{,}000 + 1{,}948{,}390\left[\frac{(1+0.0725)^{15}-1}{0.0725\times(1+0.0725)^{15}}\right]$$

$$= 12{,}638{,}920.957$$

การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายใน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.19

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) = 40.36 %