

2-9 ระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า (Electrical Heating System)

2-9.1 การใช้งานระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า

- (1) กระบวนการทำความร้อน (Heating Processes)
- (2) การปรับอากาศ (Air-conditioning Processes)
- (3) การทำความร้อนโดยไฟฟ้ามีอะไรบ้าง ?
- (4) องค์ประกอบในการทำความร้อนโดยไฟฟ้ามีอะไรบ้าง

2-9.2 ระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้ามี่กึ่งชนิด

- (1) ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater)
- (2) ฮีตเตอร์ครีป (Finned Heater) และฮีตเตอร์ท่อกลม (Tubular Heater)
- (3) ฮีตเตอร์จุ่ม (Immersion Heater)
- (4) ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater)
- (5) ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater)
- (6) ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)
- (7) ฮีตเตอร์เส้น (Cable Heater)
- (8) ฮีตเตอร์เส้นแบบ Zone – Parallel

2-9.3 การเลือกระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งาน ทำอย่างไร?

- (1) วิธีการเลือกระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้าทำอย่างไร?
- (2) ข้อได้เปรียบของระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้าแต่ละอุตสาหกรรมเป็นอย่างไร?

2-9.4 การคำนวณการทำความร้อนโดยไฟฟ้าทำอย่างไร?

- (1) ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว
- (2) ระบบไฟฟ้าสามเฟส

2-9.5 วิธีการประหยัดพลังงานระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า ทำอย่างไร?

- (1) การใช้ระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
- (2) การลดการสูญเสียทางไฟฟ้าในระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า
- (3) ลดการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนของระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า
- (4) การนำความร้อนทิ้งจากระบบทำความร้อน ด้วยไฟฟ้ากลับมาใช้ใหม่

2-9.6 แนวทางการควบคุมอุณหภูมิและการทำงานของระบบทำความร้อนด้วยไฟฟ้า

2-9.7 แนวทางการตรวจวินิจฉัย และบำรุงรักษาระบบทำความร้อนด้วยไฟฟ้าทำอย่างไร?

2.9.1 การใช้ระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า

(1) กระบวนการทำความร้อน (Heating Processes)

ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมโลหะ นิยมใช้ฮีตเตอร์ในการให้ความร้อนกับอากาศ เพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้ง ให้ความร้อนกับโลหะเพื่อหลอมโลหะ หรือใช้ความร้อนกับน้ำเพื่อต้มผลิตภัณฑ์ เป็นต้น



รูปที่ 2-9.1 ตู้อบแห้ง



รูปที่ 2-9.2 เตาหลอมโลหะ



รูปที่ 2-9.3 หม้อต้มอาหารสัตว์

(2) การปรับอากาศ (Air-conditioning Processes)

ในสภาวะที่ห้องปรับอากาศหรือบริเวณที่ต้องการปรับอากาศและสิ่งแวดล้อมภายนอกมีอุณหภูมิต่ำกว่า 2.5°C มากๆ การปรับอากาศจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นให้กับห้องปรับอากาศหรือบริเวณที่ต้องการปรับอากาศ โดยให้ความร้อนกับอากาศที่ไหลเวียนในบริเวณดังกล่าว



รูปที่ 2-9.4 การปรับอากาศโดยฮีตเตอร์

(3) การทำความร้อนโดยไฟฟ้ามีอะไรบ้าง ?

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องการความเที่ยงตรงและความแม่นยำของอุณหภูมิ นิยมใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิได้เที่ยงตรงและรวดเร็วกว่าการทำความร้อนโดยระบบอื่น ๆ ระบบการทำความร้อนโดยไฟฟ้า คือ

- ระบบการหลอมพลาสติก
- ระบบอบแห้งหนังสัตว์ สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องหนัง
- ระบบอบแห้งอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า
- ระบบอบแห้งอาหาร / อาหารสัตว์

- ระบบอบแห้งงานหล่อโลหะ
- ระบบให้ความร้อนตาหลอมโลหะ
- ระบบอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับเตาเผา เตาหลอม หม้อไอน้ำ
- ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน
- ระบบละลายน้ำแข็ง

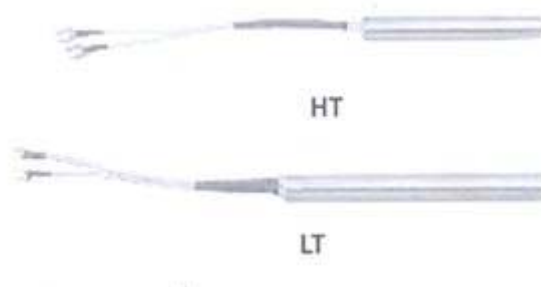
(4) องค์ประกอบในการทำความร้อนโดยไฟฟ้ามีอะไรบ้าง

- ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว หรือไฟฟ้าสามเฟส
- ประเภทการชำระค่าไฟฟ้า อัตราปกติ อัตรา TOD หรืออัตรา TOU
- ปริมาณความร้อน (KW) ที่ต้องการ
- เวลาการใช้งานฮีตเตอร์
- คุณภาพของผลิตภัณฑ์
- ความเป็นฉนวนของฮีตเตอร์

2-9.2 ระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้ามีกี่ชนิด (8 ชนิด)

(1) ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater)

ใช้ให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็กและโลหะ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ High Density และ Low Density (บางครั้งเรียกว่า High Temperature และ Low Temperature ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก ลักษณะการใช้งาน คือใส่ไว้ในช่องบนวัตถุ ความร้อนจะส่งผ่านจากฮีตเตอร์ไปยังวัตถุที่ต้องการให้ความร้อน เช่น ให้ความร้อนแม่พิมพ์ของเครื่องบรรจุหีบห่อ



รูปที่ 2-9.5 ฮีตเตอร์แท่ง (Cartridge Heater)

คุณลักษณะของฮีตเตอร์แท่ง (CARTRIDGE HEATER)

เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความยาว	แรงดัน	กำลังวัตต์
11	150	24, 110, 220, 380 V	110 – 780 W
	180		130 – 940 W
	200		140 – 1040 W
เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความยาว	แรงดัน	กำลังวัตต์
12.7	150	24, 110, 220, 380 V	120 – 900 W
	180		140 – 1080 W
	200		160 – 1200 W
	250		200 – 1500 W

เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความยาว	แรงดัน	กำลังวัตต์
15.8	100	24, 110, 220, 380 V	100 – 300 W
	130		130 – 390 W
	150		150 – 450 W
	180		180 -540 W
	200		200 – 600 W
	250		250 – 750 W
18	120	24, 110, 220, 380 V	130 – 440 W
	150		170 – 510 W
	180		200 – 610 W
	200		220 – 680 W
	250		270 – 850 W
25.4	200	110 , 220 , 380 V	320 – 960 W
	300		480 – 1440 W
	400		640 -1910 W
31.8	200	110 , 220 , 380 v	400 – 1200 w
	300		600 – 1800 w
	400		800 – 2400 w

(2) ฮีตเตอร์ครีป (Finned Heater) และฮีตเตอร์ท่อกลม (Tubular Heater)

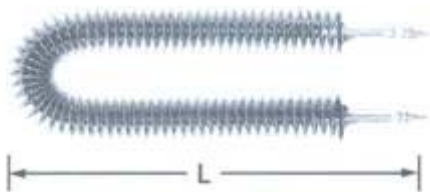
โครงสร้างของ Tubular Heater คือ มีขดลวดความร้อนบรรจุอยู่ในท่อโลหะ ช่องว่างระหว่างขดลวดความร้อน และท่อโลหะ จะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์ และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐาน วัสดุที่ใช้ทำ Tubular Heater มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้

ทองแดง	ใช้กับ	น้ำสะอาด
สแตนเลส 304	ใช้กับ	อากาศที่มีการหมุนเวียน , เตอบ , น้ำ , น้ำมัน , ของเหลว หรือในอุตสาหกรรมอาหารที่มี pH 5-9
สแตนเลส 315	ใช้กับ	อากาศที่มีการหมุนเวียน , กรด , สารละลาย , สารเคมี หรือของเหลวที่มีลักษณะกัดกร่อน
อินโคลอย 800	ใช้กับ	อากาศที่ไม่มีการหมุนเวียน เช่น ในเตอบ , น้ำ , น้ำมัน , และของเหลวทั่วไป

ฮีตเตอร์ครีป (Finned Heater) ทำจาก Tubular Heater ที่ตัดเป็นรูปต่าง ๆ และเพิ่มแผ่นครีปม้วนติดกับฮีตเตอร์ อย่างต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง ส่วนของแผ่นครีปที่เพิ่มขึ้นทำให้ถ่ายเทความร้อนได้เร็วขึ้น ส่วนฮีตเตอร์ท่อกลม คือ Tubular Heater ที่ใช้ให้ความร้อนโดยตรงโดยไม่ติดครีป



รูปที่ 2-9.6 ฮีตเตอร์ครีป



รูปที่ 2-9.7 ฮีตเตอร์ท่อกลม

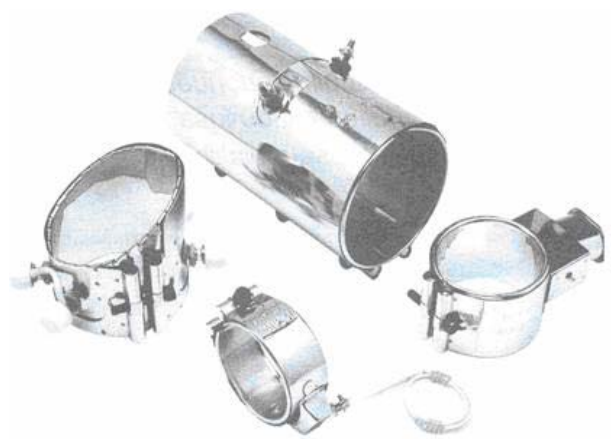
การติดตั้งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ ติดตั้งแบบให้ความร้อนโดยตรง และติดตั้งแบบส่งผ่านความร้อนจากห้องเผาไปยังห้องอบโดยใช้ลมร้อน เป็นฮีตเตอร์ที่ใช้กับอากาศ ไม่ควรใช้กับของเหลว เนื่องจากจะเกิดตะกอนจับที่ครีปของฮีตเตอร์ทำให้ความร้อนไม่สามารถถ่ายเทได้ ในกรณีที่ให้ความร้อนกับอากาศที่ไม่หมุนเวียน ควรเลือกวัสดุที่ใช้ทำฮีตเตอร์เป็นอินโคลอย เนื่องจากมีคุณสมบัติถ่ายเทความร้อนได้ดี และทนอุณหภูมิได้สูงกว่าชนิดอื่น

(3) ฮีตเตอร์จุ่ม หรือ Immersion Heater หรือบางที่เรียกว่า ฮีตเตอร์ต้มน้ำ

ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด สามารถทำความร้อนตั้งแต่ 1000 ถึง 4000 วัตต์ ใช้สำหรับต้มน้ำ – ต้มน้ำมัน งานผสมสารทำจาก Tubular Heater ที่ตัดเป็นรูปตัวยู และเชื่อมติดกับเกลียว ซึ่งมีขนาดเกลียวตั้งแต่ 1", 1 ¼", 1 ½", 2" และ 2 ½" ขนาดเกลียวจะขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นของฮีตเตอร์ ซึ่งมีตั้งแต่ 1U, 2U, 3U, 6U ตามความเหมาะสมของกำลังวัตต์ และความยาวของตัวฮีตเตอร์ ฮีตเตอร์แบบจุ่ม เหมาะสำหรับใช้กับของเหลว เช่น ต้มน้ำหรืออุ่นน้ำมัน การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่อมเกลียวตัวเมียติดกับถังแล้วใส่ฮีตเตอร์แบบเกลียวเข้าไป โดยฮีตเตอร์ขนานกับพื้นถัง ควรระวังไม่ให้ส่วนของฮีตเตอร์โผล่พ้นของเหลว เนื่องจากจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือของเหลวร้อนจัดเกินไป ทำให้อายุการใช้งานสั้น และเพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วถึง ควรติดตั้งใบพัดกวน ของเหลวด้วย



รูปที่ 2-9.8 ฮีตเตอร์จุ่ม



รูปที่ 2-9.9 ฮีตเตอร์รัดท่อ

(4) ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band Heater)

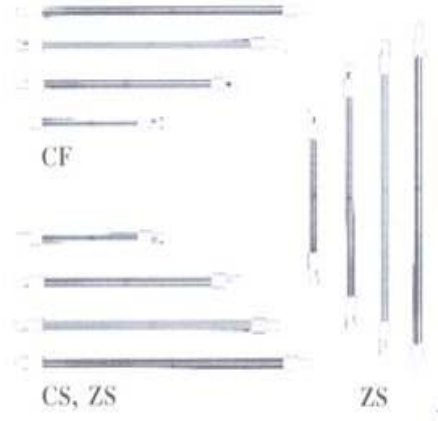
ออกแบบสำหรับท่อ หรือถังรูปทรงกระบอก ฉนวนของฮีตเตอร์ทำจาก แผ่น Mica และลวดฮีตเตอร์เป็นแบบแบน (Ribbon Wire Heating Element) จึงทำให้ฮีตเตอร์ชนิดนี้ มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ขนาด 25 มม. หรืออาจใหญ่ถึง 600 มม. ก็ได้ ส่วนความกว้างอยู่ระหว่าง 20 – 300 มม. ตัวถังด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กหรือ สแตนเลสเหมาะสำหรับให้ความร้อนกับเครื่องฉีดพลาสติก มีอีกชื่อหนึ่งว่า ฮีตเตอร์กระบอก

(5) ฮีตเตอร์แผ่น (Strip Heater)

โครงสร้างจะเป็นแบบเดียวกับฮีตเตอร์รีดท่อ แต่รูปทรงจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า เหมาะสำหรับให้ความร้อนกับแม่พิมพ์



รูปที่ 2-9.10 ฮีตเตอร์แผ่น



รูปที่ 2-9.11 ฮีตเตอร์อินฟราเรด

(6) ฮีตเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)

ลักษณะการทำงานเป็นการส่งผ่านความร้อนแบบแผ่รังสี (เหมือนกับที่ดวงอาทิตย์ส่งความร้อนมายังโลก) จึงมีประสิทธิภาพสูง ความสูญเสียต่ำ ประหยัดไฟได้ 30 – 50% สามารถให้ความร้อนวัตถุได้ถึงเนื้อใน จึงทำให้ประหยัดเวลาได้ 1–10 เท่า (การให้ความร้อนแบบการพา และการนำความร้อนจะทำให้วัตถุร้อนเฉพาะที่ผิว แล้วค่อยๆ ซึมเข้าไปเนื้อในจึงใช้เวลานาน) มีขนาดเล็กกว่าฮีตเตอร์แบบทั่วๆ ไป ทำให้ประหยัดเนื้อที่ การติดตั้ง และการถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมบำรุงง่ายมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่มีเปลวไฟ ตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูง ไฟไม่รั่ว และให้รังสีช่วง 3 – 10 μm . ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุเกือบทุกชนิดสามารถดูดซับรังสีได้ดี

การประยุกต์ใช้งาน

- ใช้ในการอบแห้งต่าง ๆ เช่น สี, แล็กเกอร์, กาว, เมล็ดพันธุ์พืช, อีพอกซี
- ใช้กับอุตสาหกรรมพลาสติก อบพลาสติกให้อ่อนตัวก่อนนำไปเข้าเครื่องเป่า
- ใช้กับอุตสาหกรรมอาหาร ขนมปัง เบเกอรี่
- ใช้ในวงการแพทย์ เช่น การอบฆ่าเชื้อ, ห้องอบเด็กทารก
- ใช้กับอุตสาหกรรมเคลือบผิวต่าง ๆ เช่น เคลือบสี, ผิว, เซรามิค, มีรามีน

ข้อควรระวัง

- การให้ความร้อนแบบอินฟราเรด สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ ตัววัตถุจะต้องดูดซับรังสีได้ดี ดังนั้น วัตถุบางชนิดที่มีผิวมันวาว หรือมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี จะไม่เหมาะกับการให้ความร้อนด้วยวิธีนี้
- ถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิ พยายามวางหัววัตถุอุณหภูมิให้ใกล้วัตถุมากที่สุด หรือใช้หัววัตถุอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

(7) ฮีตเตอร์เส้น (Cable Heater)

ฮีตเตอร์เส้นแบบ Self Regulating ทำงานโดยการปรับกำลัง output เหมาะสมเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลัง output จะลดลง ฮีตเตอร์เส้นแบบนี้จะไม่สามารถทำให้เกิดความร้อนสูงได้ด้วยเหตุนี้จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้งานเพื่อ

ป้องกัน การจับตัวเป็นน้ำแข็งในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ หรือนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมทำความเย็น ด้วยโครงสร้างของ Self Regulating จึงสามารถใช้กับท่อและข้อต่อพลาสติกหรือ PVC ต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย



รูปที่ 2-9.12 ฮีตเตอร์เส้น

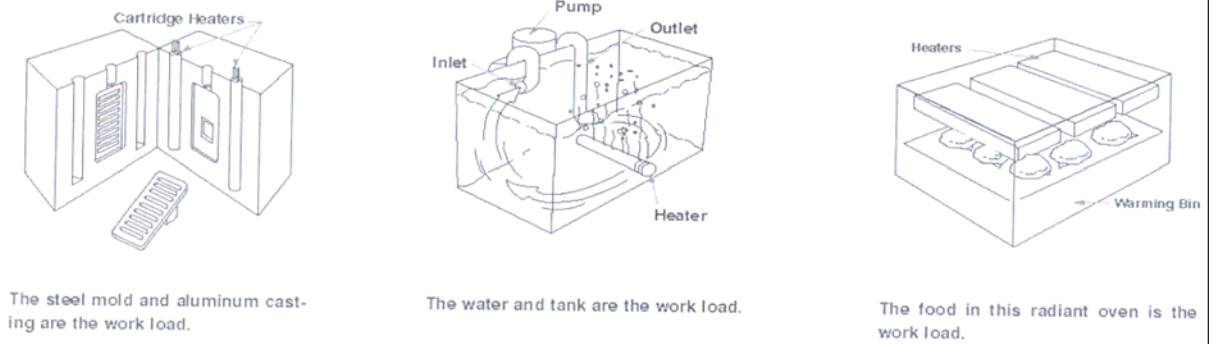
(8) ฮีตเตอร์เส้นแบบ Zone – Parallel

ทำงานด้วยหลักการลดความร้อน เป็นฉนวนไฟฟ้าภายนอกหุ้มด้วยซิลิโคน สามารถกันน้ำได้ ป้องกันการรั่วไหลของไฟฟ้าได้ดีเยี่ยม มีความยืดหยุ่น ติดงอได้ตามความต้องการ ใช้งานอุ่นน้ำมันเตา ใช้อุ่นน้ำยาง ใช้อุ่นซีอกโกเลต เป็นต้น

2-9.3 การเลือกระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ทำอย่างไร?

(1) วิธีการเลือกระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า ทำอย่างไร?

- วิศวกรต้องตรวจเช็คขนาดและความสามารถของฮีตเตอร์ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาที่ระบบทำความเย็น และระบบปรับอากาศของโรงงาน / อาคาร
- ขนาดของฮีตเตอร์ที่กำหนดต้องให้การรับรองความถูกต้องจากบริษัทผู้ผลิต
- ขนาดกำลังของฮีตเตอร์ต้องไม่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าขณะเริ่มทำงาน
- กำหนดฮีตเตอร์ให้ถูกต้องและเหมาะสมกับงานที่ใช้
- กำหนดการสูญเสียความร้อนจากฮีตเตอร์ให้ถูกต้อง
- ออกแบบระบบให้มีผลต่างอุณหภูมิก่อนและหลังใช้ฮีตเตอร์ให้น้อยสุด
- พิจารณาพิกัดสายไฟฟ้าภายในโรงงานให้เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ที่เพิ่มขึ้น
- เลือกตำแหน่งการติดตั้งฮีตเตอร์และเครื่องจักรที่ใช้ฮีตเตอร์ที่ไม่มีผลกับ Coolin load ของโรงงาน / อาคาร
- เลือกระบบไฟฟ้าเฟสเดียวหรือสามเฟส ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- เลือกฮีตเตอร์ที่ค่าสูญเสียต่ำ



รูปที่ 2-9.13 การใช้งานฮีตเตอร์กับกระบวนการอุตสาหกรรม

(2) ข้อได้เปรียบของระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้าแต่ละอุตสาหกรรมเป็นอย่างไร?

- อุตสาหกรรมพลาสติก
 1. การติดตั้งฮีตเตอร์กับเครื่องฉีดพลาสติกทำได้ง่ายกว่าระบบความร้อนอื่น ๆ
 2. การควบคุมอุณหภูมิเที่ยงตรง แม่นยำ และรวดเร็วกว่าระบบความร้อนอื่น ๆ
 3. การเปลี่ยน-ถอดประกอบทำได้สะดวกกว่าระบบความร้อนอื่น ๆ
 4. การบำรุงรักษาทำได้สะดวกกว่าระบบความร้อนอื่น ๆ
- อุตสาหกรรมโลหะ / อโลหะ
 1. เหมาะสำหรับเตาหลอมขนาดเล็ก
 2. ติดตั้งง่าย และควบคุมการทำงานได้ง่ายกว่าระบบอื่น ๆ
 3. กรณีชำรุดหรือเสียหาย สามารถเปลี่ยนเพียงบางส่วน ไม่ต้องเปลี่ยนทั้งหมด
 4. สามารถเลือกการทำงานเฉพาะเตาหลอมได้
 5. เหมาะสำหรับเตาอบโลหะขนาดเล็ก ต้องการอุณหภูมิปานกลาง ถึงอุณหภูมิสูง
 6. บำรุงรักษาง่าย
- อุตสาหกรรมเครื่องหนัง
 1. สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ
 2. ลงทุนต่ำกว่าระบบความร้อนอื่น ๆ
 3. ออกแบบและติดตั้งง่ายกว่าระบบความร้อนอื่น ๆ
- อุตสาหกรรมอาหาร
 1. ใช้งานกับระบบที่มีขนาดเล็ก
 2. ลดขั้นตอนและต้นทุนการเดินทางที่กรณีใช้ไอน้ำ
 3. ติดตั้งและถอดประกอบง่ายกว่าระบบอื่น ๆ
 4. ควบคุมอุณหภูมิได้สะดวกและง่ายกว่าระบบอื่น ๆ
- อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
 1. ติดตั้งง่ายกว่าระบบทำความร้อนด้วยไอน้ำ / น้ำมันร้อน
 2. ลดปัญหาการรั่วไหลของไอน้ำหรือน้ำมันร้อน
 3. ควบคุมการทำงานได้รวดเร็ว

2.9.4 การคำนวณการทำความร้อนโดยไฟฟ้าอย่างไร?

$$\text{Electric Power Consumption of Heater (kWh)} = \left(\frac{\text{Heat of Load (kW)} + \text{Heat Loss System (kW)} - \text{Heat Recovery (kW)}}{\text{Heater Eff } \eta_H \times \text{Heat Exchanger Eff } \eta_H} \right) \times \text{Operating Time (hr)}$$

การคำนวณภาระทางไฟฟ้าของระบบฮีตเตอร์ พิจารณาจาก Ohm's Law คือ

(1) ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว

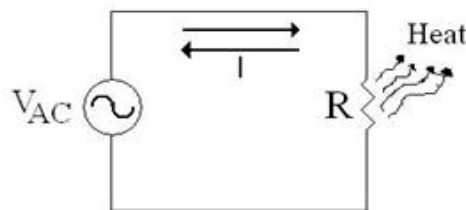
กำลังไฟฟ้า P (Watt) = $I^2 R$ = $V.I$ = V^2 / R

P = กำลังไฟฟ้า (W)

V = แรงดันไฟฟ้า (Volt)

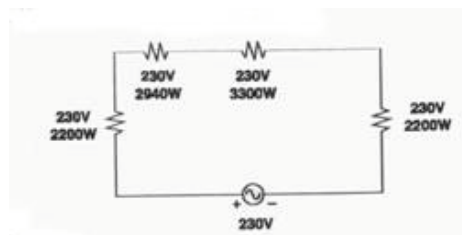
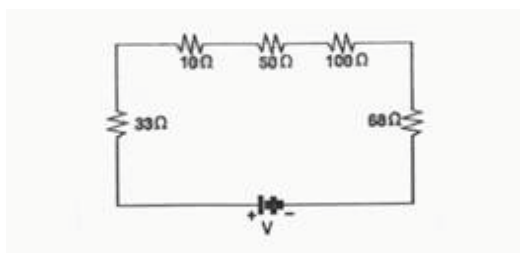
I = กระแสไฟฟ้า (Amp)

R = ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)



รูปที่ 2-9.14 ฮีตเตอร์ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว

- วงจรไฟฟ้าอนุกรม

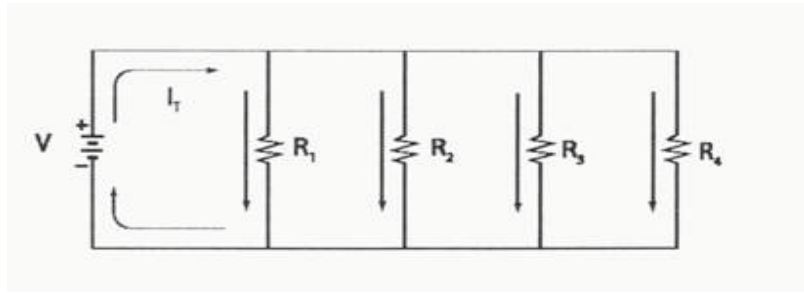


รูปที่ 2-9.15 วงจรไฟฟ้าฮีตเตอร์อนุกรม

ความต้านทานรวม $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$

กำลังไฟฟ้ารวม $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$

- วงจรไฟฟ้าขนาน

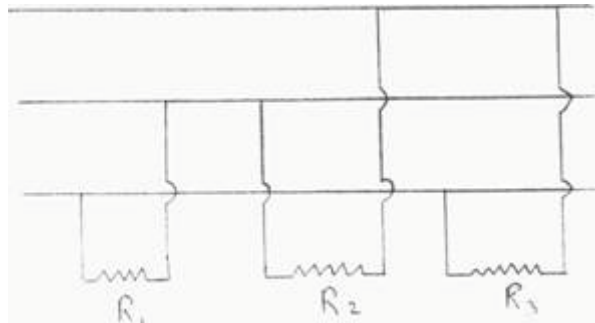


รูปที่ 2-9.16 วงจรไฟฟ้าฮีตเตอร์ขนาน

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

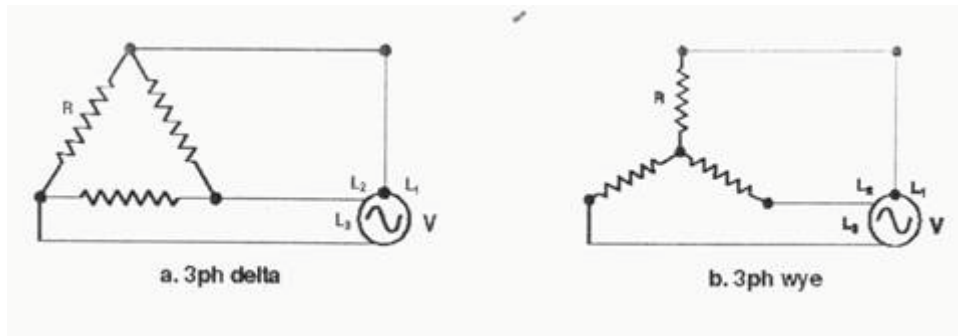
(2) ระบบไฟฟ้าสามเฟส

- ระบบไฟฟ้าสามเฟส 2 สาย



รูปที่ 2-9.17 ระบบฮีตเตอร์ 3 เฟส 2 สาย

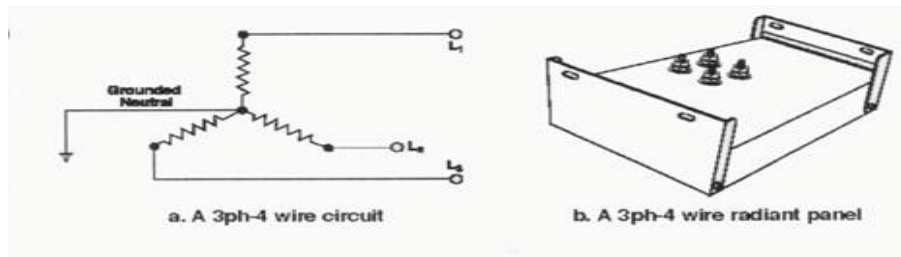
- ระบบไฟฟ้าสามเฟส 3 สาย



รูปที่ 2-9.18 ฮีตเตอร์สามเฟส Delta

รูปที่ 2-9.19 ฮีตเตอร์สามเฟส Wye

- ระบบไฟฟ้าสามเฟส 4 สาย



รูปที่ 2-9.20 ฮีตเตอร์สามเฟส 4 สาย

กำลังไฟฟ้าฮีตเตอร์สามเฟส $P = \sqrt{3} V.I \cos\phi$

$\cos\phi$ คือ Power Factor

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ต้องการออกแบบติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับต้มน้ำ ปริมาณ 1,000 ลิตร จงออกแบบขนาดของฮีตเตอร์ที่ใช้ต้มน้ำให้มีอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นจาก 25°C เป็น 100°C โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง อัตราค่าไฟฟ้า 2.95 บาทต่อหน่วย

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	Ec	B/kWh	2.95	จากใบแจ้งหนี้ไฟฟ้า
1.2 ชั่วโมงการใช้งานของฮีตเตอร์ต่อวัน	hr	hr/d	1	จากแผนการปฏิบัติงาน
1.3 ปริมาณการผลิต	m _p	kg	1000	จากแผนการผลิต
1.4 อุณหภูมิผลผลิต	T _i	°C	25	จากข้อมูลการตรวจวัด
1.5 อุณหภูมิผลผลิตที่ต้องการ	T _o	°C	100	จากแผนการผลิต
1.6 ความร้อนจำเพาะผลผลิต	C _p	kg/kJ°C	4.187	จากตารางคุณสมบัติ
1.7 จำนวนวันทำงานต่อปี	d	d/y	300	จากการใช้งานจริง
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 ปริมาณความร้อน $Q_H = m_p \times C_p \times (T_o - T_i)$	Q _H	kJ	314,025.00	
2.2 ขนาดฮีตเตอร์ $WH = Q_H / (hr \times 3,600)$	WH	kW	87.23	
2.3 พลังงานไฟฟ้า $E_s = WH \times hr \times d$	E _s	kWh/y	26,169.00	
2.4 ค่าพลังงานไฟฟ้า $S_c = E_s \times E_c$	S _c	B/y	77,198.55	

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับ เพื่ออบแห้งชิ้นงานอลูมิเนียมอัตราการผลิต 1,000 กิโลกรัม/วัน จาก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็น 300 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง อัตราค่าไฟฟ้า 2.95 บาทต่อหน่วย

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	Ec	B/kWh	2.95	จากใบแจ้งหนี้ไฟฟ้า
1.2 ชั่วโมงการใช้งานของฮีตเตอร์ต่อวัน	hr	hr/d	10	จากแผนการปฏิบัติงาน
1.3 ปริมาณการผลิต	m _p	kg	1500	จากแผนการผลิต
1.4 อุณหภูมิผลผลิต	T _i	°C	50	จากข้อมูลการตรวจวัด
1.5 อุณหภูมิผลผลิตที่ต้องการ	T _o	°C	300	จากแผนการผลิต
1.6 ความร้อนจำเพาะผลผลิต	C _p	kg/kJ°C	2.4	จากตารางคุณสมบัติ
1.7 จำนวนวันทำงานต่อปี	d	d/y	300	จากการใช้งานจริง
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 ปริมาณความร้อน $Q_H = m_p \times C_p \times (T_o - T_i)$	Q _H	kJ	900,000.00	
2.2 ขนาดฮีตเตอร์ $WH = Q_H / (hr \times 3,600)$	WH	kW	25.00	
2.3 พลังงานไฟฟ้า $E_s = WH \times hr \times d$	E _s	kWh/y	75,000.00	
2.4 ค่าพลังงานไฟฟ้า $S_c = E_s \times E_c$	S _c	B/y	221,250.00	

2-9.5 วิธีการประหยัดพลังงานระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า ทำอย่างไร?

(1) การใช้ระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

- ระบบฉนวนความร้อนของอุปกรณ์ / เครื่องจักรติดตั้งฮีตเตอร์ต้องมีคุณภาพดี
- ควบคุมอุณหภูมิการทำงานให้ถูกต้องกับผลิตภัณฑ์
- เลือกชนิดของฮีตเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- ประเมินศักยภาพการนำความร้อนที่กลับมาใช้ใหม่

การคำนวณอัตราการนำความร้อนและพาความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า

$$Q_A \text{ หรือ } Q_B = \frac{W \cdot C_p \cdot \Delta T}{3.412}$$

Q_A = ปริมาณความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิ (kWh)

Q_B = ปริมาณความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการ (kWh)

W = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (kg)

$$C_p = \text{ค่าความจุความร้อนของผลิตภัณฑ์ (kJ/kg. } ^\circ\text{C)}$$

$$\Delta_T = \text{ผลต่างอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (T สุดท้าย - T เริ่มต้น)}$$

ปริมาณความร้อนที่ใช้เปลี่ยนสถานะของโลหะ

$$Q_m = \frac{WHf}{3.142}$$

$$Q = \text{ความร้อนที่ใช้สำหรับหลอมโลหะ หรือระเหย (wh)}$$

$$Hf = \text{ความร้อนแฝงของโลหะ Btu/lb/kT/kg}$$

(2) การลดการสูญเสียทางไฟฟ้าในระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า

- ปรับตั้งกระแสไฟฟ้าให้ถูกต้องกับภาระการทำความร้อน
- ปรับตั้งแรงดันไฟฟ้าให้ถูกต้องกับชนิดของฮีตเตอร์
- เลือกชนิดของลวดฮีตเตอร์ที่มีค่าการสูญเสียความต้านทานไฟฟ้าต่ำ
- ติดตั้งฮีตเตอร์และตรวจสอบการสมดุลทางไฟฟ้า
- ตรวจสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ควบคุมเสมอ ๆ
- ตรวจสอบตำแหน่งการไหลเวียนของอากาศภายในตู้อบ / ห้องอบ
- ลดปัญหาการเพิ่มความต้านทานจากการเชื่อมขดลวดฮีตเตอร์ด้วยลวดเชื่อมต่างชนิดกัน

(3) ลดการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนของระบบทำความร้อนโดยไฟฟ้า

การสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อน

$$Q_{L1} = \frac{kA \Delta T(te)}{3.412.L} = \frac{kA \Delta T(te)}{L}$$

เมื่อ $Q_L =$ การสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อน wh

$k =$ ค่าการนำความร้อนของผนัง $Btu.in / f_i^2 . F (w/m^\circ C)$

$te =$ เวลาการทำงาน (hr)

$L =$ ความหนาของผนัง (in) (m)

การสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน

$$Q_{L2} = AF_{SL}C_F$$

$Q_{L2} =$ การสูญเสียความร้อนจากการพาความร้อน kWh

$A =$ พื้นที่ผิวผนัง m^2

$F_{SL} =$ แฟคเตอร์การสูญเสียตั้งรูป

$C_F =$ แฟคเตอร์พื้นที่ผิวความร้อน

พื้นที่ผิวความร้อนวางแนวบนหงายขึ้น = 1.29

พื้นที่ผิววางแนวบนคว่ำลง = 0.63

พื้นที่ผิววางแนวตั้ง = 1.00

การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน

$$Q_{L3} = A F_{SL}e$$

$Q_{L3} =$ การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน (kWh)

$e =$ ค่าการแผ่รังสีความร้อน

(4) การนำความร้อนทิ้งจากระบบทำความร้อน ด้วยไฟฟ้ากลับมาใช้ใหม่

ศักยภาพความร้อนทิ้งพิจารณาจากสมการ

$$Q_{waste} = m \cdot C_p \Delta T$$

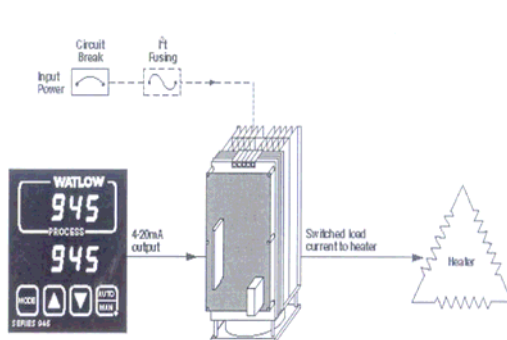
$$Q_{waste} = \text{ปริมาณความร้อนทิ้ง kW}$$

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

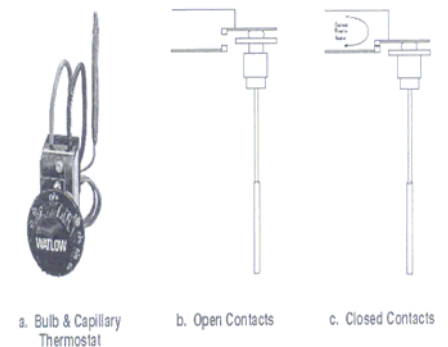
โรงงาน ECON ปรับปรุงห้องอบสีเดิมใช้ขดลวดความร้อน 500 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ เป็นขดลวดความร้อนขนาด 420 กิโลวัตต์ 380 โวลต์ ห้องอบสีใช้งาน 12 ชั่วโมง 300 วันต่อปี อัตราค่าไฟฟ้า 2.95 บาทต่อหน่วย

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	E_C	B/kWh	2.95	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า
1.2 ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	hr	h/y	3,600	จากการใช้งานจริง
1.3 พิกัดฮีตเตอร์เดิม	WH _i	kW	500	จากการตรวจวัด
1.4 พิกัดฮีตเตอร์ใหม่	WH _o	kW	420	จากการออกแบบ
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 พลังงานไฟฟ้าของฮีตเตอร์ที่ลดลง $E_H = WH_i - WH_o$	E_H	kW	80.00	
2.2 พลังงานไฟฟ้าลดลงต่อปี $E_S = WH \times hr$	E_S	kWh/y	288,000.00	
2.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง $S_C = E_S \times E_C$	S_C	B/y	849,600.00	

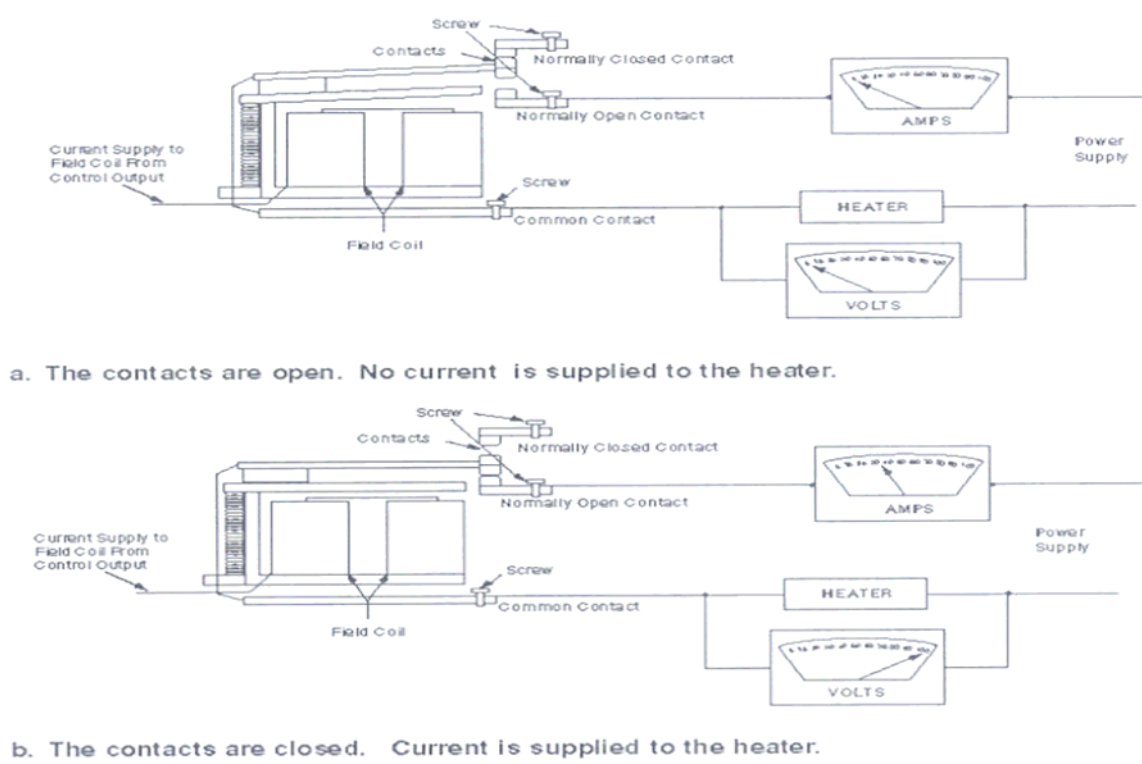
2-9.6 แนวทางการควบคุมอุณหภูมิและการทำงานของระบบทำความร้อนด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 2-9.21 การควบคุมอุณหภูมิฮีตเตอร์



รูปที่ 2-9.22 ชุดควบคุมอุณหภูมิฮีตเตอร์



รูปที่ 2-9.23 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์แบบเปิด และแบบปิด

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ออกแบบวงจรไฟฟ้าที่เหมาะสมของห้องอบสีโดยใช้ฮีตเตอร์ขนาด แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ พิกัดกระแสไฟฟ้า 15 แอมป์ต่อฮีตเตอร์ 1 ชุด โรงงานต้องการใช้เวลาในการอบสี 3 ชั่วโมงต่อครั้ง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
1.1 กระแสไฟฟ้า	I	Amp	15	จากการตรวจวัด
1.2 แรงดันไฟฟ้า	V	Volt	380	จากการตรวจวัด
1.3 Power Factor	cos ϕ	-	0.9	จากการตรวจวัด
1.4 ชั่วโมงทำงาน	hr	h	3	จากการออกแบบระบบ
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
2.1 ระบบเดลตา(Δ) พลังงานไฟฟ้า				
$W_{\Delta} = \sqrt{3} \times V \times \left(\frac{I}{3}\right) \times \cos \phi$		kW	8.89	
2.2 ระบบสตาร์(λ) พลังงานไฟฟ้า		kW	2.96	

หมายเหตุ ระบบ Δ ให้ความร้อนเร็วกว่า λ ประมาณ 3 เท่า

2-9.7 แนวทางการตรวจวินิจฉัย และบำรุงรักษาระบบทำความร้อนด้วยไฟฟ้าอย่างไร

- การตรวจ วินิจฉัย เครื่องทำความร้อนและอุปกรณ์อื่นในระบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างไร ?

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
1. ฮีทเตอร์ไม่ทำงาน 1.1 สวิตช์ควบคุมไม่ต่อวงจร 1.2 ฟิวส์ขาด 1.3 สายไฟขาด/ชำรุด 2. ฟิวส์ระบบฮีทเตอร์มีความร้อนสูงกว่าปกติ 3. ฟิวส์ป้องกันความร้อน/ไม่มี (Thermal fuse) ไม่ทำงาน 3.1 ไม่ติดตั้ง 3.2 ชำรุดขณะซ่อมบำรุง 4. เทอร์โมสแตสไม่ทำงาน 4.1 ฟิวส์ความร้อน 4.2 ระบบสายไฟฟ้า 4.3 ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 4.4 เทอร์โมสแตทชำรุด 4.5 การจ่ายกระแสไฟฟ้า 5. ฟิวส์ความร้อนทำงานตลอดเวลา 5.1 ของไหลภายในฟิวส์ 5.2 ฟิวส์ชำรุด 5.3 คุณสมบัติของเหลว 5.4 กรณีใช้ฟิวส์ไฟฟ้า 5.5 อุณหภูมิของเหลว	ฮีทเตอร์ไม่ร้อน ฮีทเตอร์ไม่ร้อน ฟิวส์ร้อนมาก/หลอมตัว ไม่ต่อวงจร ชำรุด ติดตั้งระบบไฟฟ้าเป็นสามเฟส L1/L2 หรือ L1/L3 ระบบไม่ทำงาน ไม่มีไฟฟ้า ระดับต่ำกว่าปกติ เกิดรอยอาร์คที่ฟิวส์ ค่าความหนืดไม่ถูกต้อง ความร้อนสูงกว่าปกติ (Overheat) อุณหภูมิเกิน 180 °F	1.1 ตรวจสอบการทำงานของสวิตช์โดยใช้โวลต์ แอมป์มิเตอร์ วัดค่าแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้า 1.2 ตรวจสอบ และเปลี่ยนใหม่ 1.3 ตรวจสอบ และเปลี่ยนใหม่ 2. ตรวจสอบความต้านทานของฟิวส์โดยเครื่องมือวัด กรณีไม่ถูกต้องหรือชำรุดเปลี่ยนใหม่ 3.1 ติดตั้งตามขนาดของฮีทเตอร์ 3.2 ตรวจสอบและติดตั้งตามขนาดของฮีทเตอร์ 4.1 ตรวจสอบวงจรไฟฟ้า และติดตั้งฟิวส์ป้องกันความร้อน 4.2 ตรวจสอบกรณีชำรุด เปลี่ยนใหม่ 4.3 ตรวจสอบระบบไฟฟ้า/เดินระบบไฟฟ้าใหม่ 4.4 ตรวจสอบและเปลี่ยน แก๊ซใหม่ 4.5 ตรวจสอบตามหัวข้อที่1 5.1 ตรวจสอบระดับและปริมาณของเหลวให้ถูกต้อง 5.2 เปลี่ยนฟิวส์ป้องกันความร้อน 5.3 ตรวจสอบคุณสมบัติความหนืดไม่ถูกต้อง ควรเปลี่ยนใหม่ 5.4 ตรวจสอบการทำงานของรีเลย์ สายไฟ , ขดคอยล์ ต้องถูกต้องตามสเปค 5.5 เปลี่ยนฟิวส์ป้องกันความร้อนใหม่

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
6.เทอร์โมสแตซ์ชนิด Bimetallic ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ 6.1 ระดับของเหลว 6.2 คุณสมบัติความหนืดของ ของเหลว 6.3 สายไฟฟ้า 7.ความร้อนของฮีทเตอร์ลดลง 7.1 แรงดันไฟฟ้า 7.2 ระบบส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 8. ระบบไฟฟ้ารั่ว 8.1 ฉนวนความร้อน ฮีทเตอร์ 8.2 สายกราวด์	ต่ำกว่าปกติ ความหนืดต่ำกว่ากำหนด ชำรุด/สกปรก ต่ำกว่า 380 โวลท์ หรือ 220 โวลท์ ชำรุดหรือเสียหายเนื่องจากมีขนาดต่ำกว่าการออกแบบ ชำรุดหรือ เปียก สัมผัสกับสายไฟฟ้า	6.1 เต็มให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 6.2 ตรวจสอบและเปลี่ยนใหม่ 6.3 ตรวจสอบ ทำความสะอาด เปลี่ยนใหม่ 7.1 ตรวจสอบและปรับตั้งแรงดันไฟฟ้า 380 โวลท์ หรือ 220 โวลท์ 7.2 ตรวจสอบ ขนาด และพิกัดของอุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า/เปลี่ยนให้อยู่ในค่ามาตรฐาน 8.1 หยุดการทำงานของฮีทเตอร์/ตรวจสอบและเปลี่ยนใหม่ 8.2 หยุดการทำงาน ตรวจสอบ และแก้ไข

○ การบำรุงรักษาระบบทำความร้อนด้วยไฟฟ้า เพื่อการประหยัดพลังงานมีอะไรบ้าง ?

รายละเอียดการดำเนินงาน	ระยะเวลาที่เหมาะสม
1. ทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ - ชุดควบคุมอุณหภูมิ - ฟิวส์ - หน้า Contact ระบบไฟฟ้า	ทุกเดือน ทุกสัปดาห์ ทุกเดือน
2. มีการดำเนินการต่อไปนี้ - ตรวจสอบการทำงานของเทอร์โมสแตซ์ เพื่อให้ควบคุมอุณหภูมิได้อย่างถูกต้อง - ตรวจสอบสภาพ ฉนวนความร้อนของฮีทเตอร์ - ตรวจสอบระบบฉนวนความร้อนของอุปกรณ์ใช้ฮีทเตอร์	ทุก 6 เดือน
3. ตรวจสอบและจดบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อไปนี้ เพื่อใช้วิเคราะห์ ประสิทธิภาพการทำงานของฮีทเตอร์ - กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ - อุณหภูมิของฮีทเตอร์ - ระบบวงจรไฟฟ้าของฮีทเตอร์	ทุก 6 เดือน