สุทธินันท์ สมัยกุล
ผู้จัดการโครงการ
บริษัท เอ็นเนอร์ยี่ คอนเซอร์เวชั่น เทคโนโลยี จำกัด

การปรับปรุงคุณภาพน้ำ
โดยไม่ใช้สารเคมีและประหยัดพลังงาน

นอกจากการประหยัดพลังงานแล้ว ยังทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน เพราะไม่ต้องใช้สารเคมี ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม ประหยัดค่าใช้จ่ายในระบบการบำบัดน้ำเสียอีกทางหนึ่ง

การใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ต้นกำลังในระบบความร้อนและความเย็นต่างๆ สารตัวกลางที่ทำหน้าที่ในการถ่ายเทพลังงานความร้อนและความเย็น หรือส่งจ่ายพลังงาน ส่วนมากจะใช้น้ำเป็นตัวกลาง โดยมีการใช้งานทั้งสามสถานะ เช่น การใช้น้ำระบายความร้อนในหอผึ่งน้ำ (cooling tower) การใช้ไอน้ำในหม้อไอน้ำ (boiler) การใช้น้ำแข็งก้อนในการถนอมอาหาร การใช้น้ำระบายความร้อนในรถยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมีความสะดวกในการใช้งานและหาได้ง่าย

การดูแลรักษาอุปกรณ์โดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำถือว่าเป็นงานสำคัญมากอันหนึ่ง ซึ่งน้ำที่มีคุณภาพนอกจากจะทำให้สมรรถนะในการส่งถ่ายความร้อนของเครื่องจักรดีสม่ำเสมอแล้ว ยังทำให้อายุการใช้งานยาวนาน ส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่งด้วย

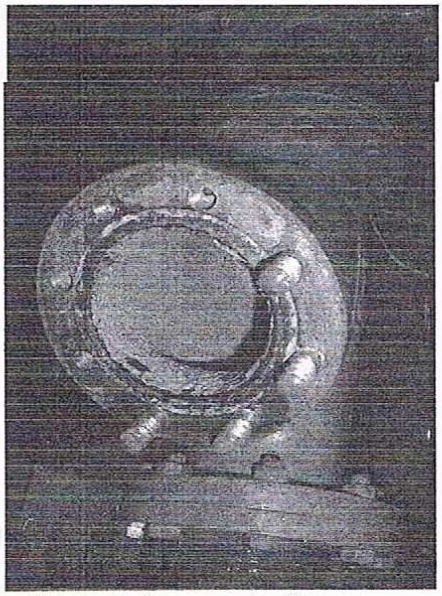
แหล่งที่มาของน้ำที่ใช้งานมีที่มาแตกต่างกัน เช่น บ่อบาดาล แม่น้ำ ลำคลอง น้ำประปา เป็นต้น โดยน้ำที่มาจากธรรมชาติโดยตรงยังไม่ผ่านกระบวนการใดๆ เลย จะเรียกว่า น้ำดิบ ซึ่งจะมีสิ่งสกปรก และแร่ธาตุต่างๆ เจือปนอยู่มาก เมื่อนำไปใช้ในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้สิ่งสกปรก และแร่ธาตุเหล่านี้จับที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และสมรรถนะของเครื่องจักรลดลง โดยสารเจือปนในน้ำส่วนมากจะอยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอย

ผลกระทบจากสารเจือปนในระบบที่ใช้น้ำ

1. การเกิดตะกรัน (scale formation) จะมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยสมรรถนะจะลดลงมากหรือน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับความหนาของตะกรันนั้นๆ ทั้งนี้ตระกรันจะเกิดได้สองลักษณะ คือ จากความร้อนและจากสิ่งมีชีวิต

2. การกัดกร่อน (corrosion) จะมีผลทำให้เนื้อโลหะบางลง โดยเนื้อโลหะเปลี่ยนไปเป็นออกไซด์ หรือเกลือ มีสาเหตุหลักสองสาเหตุ ดังนี้

1. การการกัดกร่อนที่เกิดจากสารละลายในน้ำ เช่น ก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจน เมื่ออยู่ในน้ำจะทำปฏิกิริยากับเหล็ก จะได้เฟอริกออกไซด์ หรือสนิมเหล็ก



รูปที่ 1 ตะกรันที่เกิดในระบบท่อน้ำ

2. กรดจากน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 จะเร่งการกัดกร่อนให้เร็วขึ้น

ใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การใช้งานและการปรับปรุงคุณภาพของน้ำตามลักษณะการใช้งาน จะมีการใช้

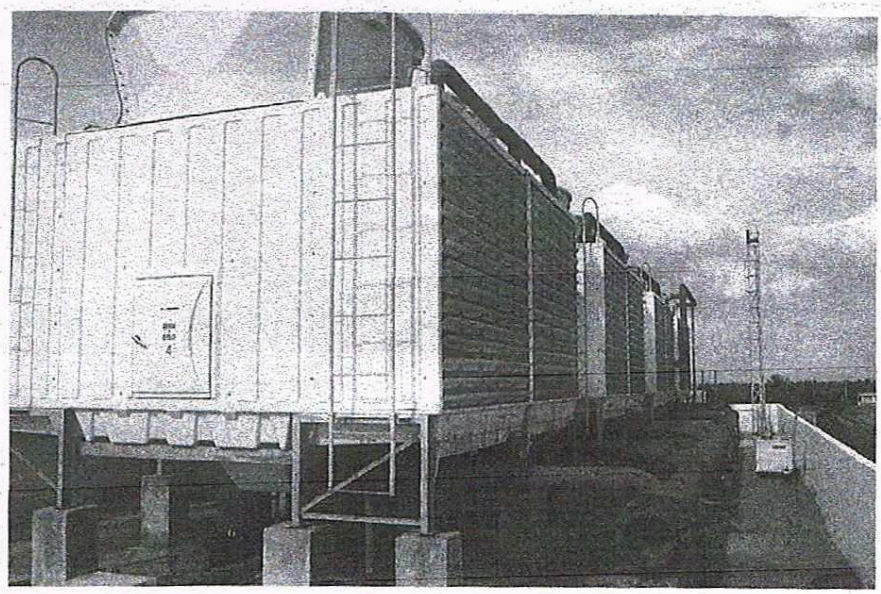
อยู่สองส่วน คือ ใช้น้ำอุณหภูมิปกติ และใช้น้ำอุณหภูมิสูง ซึ่งทั้งสองแบบนั้นทำให้เกิดผลกระทบจากการใช้น้ำได้ทั้งสิ้น ถ้าขาดการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ดี

ปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบหล่อเย็น

ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในระบบหล่อเย็น (water cooled) การลดอุณหภูมิหรือการระบายความร้อนในระบบหล่อเย็นโดยใช้หอผึ่งน้ำ จะอาศัยหลักการระเหยของน้ำ และพาความร้อนออกไปในรูปความร้อนแฝง ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำส่วนหนึ่ง และน้ำที่เหลือจะตกลงในถาด

น้ำที่ใช้ในหอผึ่งน้ำจะสัมผัสกับอากาศตลอด ทำให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก รวมถึงเชื้อโรคต่างๆ และสิ่งมีชีวิตประเภทสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะทำให้เกิดไบโอฟาวลิ่ง (biofouling) เกิดการกัดกร่อนของจุลินทรีย์ (Microbiologycally Influenced Corrosion หรือ MIC) ขึ้นได้ และแบคทีเรียชนิดเหนียวหนืดจะเจริญเติบโตในหอผึ่งน้ำเป็นสาเหตุให้เกิดไบโอฟิล์ม (*biofilm*) แร่ธาตุต่างๆ เมื่อจับตัวกับไบโอฟิล์ม แล้วจะเกิดสภาวะไม่ปั่นป่วน (non-turbulent) และตกผลึก โดยจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อนที่เรียกว่า MIC และไบโอฟิล์ม ยังเป็นแหล่งอาศัยของ สิ่งมีชีวิตที่ผลิตสารเป็นกรด (anaerobic bacteria) ทำให้น้ำมีค่า pH ต่ำลง (มีความเป็นกรดมากขึ้น) เกิดการกัดกร่อนเป็นหลุม (Incalized or pitting corrosion) ซึ่งจะส่งผลให้ขัดขวางการไหลของน้ำ และอายุอุปกรณ์สั้นลง

การแก้ปัญหาที่ผ่านมาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำจะเป็นการใช้สารเคมีเติมในระบบ มีทั้งแบบ oxidizing chemical และ non-oxidizing chemical โดยสารเคมีบางชนิดถูกห้ามใช้เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และที่ยังมีใช้ในปัจจุบัน คือ



รูปที่ 2 หอผึ่งน้ำ

คลอรีน กรดซันฟูริก สารประกอบฟอสฟอรัส และสังกะสี ซึ่งค่อนข้างเป็นอันตรายและต้องคำนึงถึงความเข้มข้นด้วย

โอโซนทดแทนการใช้สารเคมีได้อย่างไร

โอโซนความเข้มข้นสูงเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง ซึ่งมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อได้เร็วกว่าคลอรีน 3,000 เท่า สามารถสลายแก๊สพิษ กลิ่น สี ฯลฯ ได้ดี ป้องกันและกำจัดตะกรัน ตะไคร่น้ำ ไม่ก่อให้เกิดการเพาะพันธุ์ของเชื้อโรคชนิดต่างๆ ในหอผึ่งน้ำเย็น และเมื่อใช้ในระบบทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำจะช่วยลดการทำความสะอาดระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อน รวมถึงประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นมากกว่า 10 %

โอโซนมีผลต่อไบโอฟิลม์ โดยสารที่มีลักษณะเป็นเมือกนี้ถูกปล่อยออกมาจากสิ่งมีชีวิต และจับที่ไบโอฟิล์ม จากนั้นจะถูกออกซิไดซ์ แล้วหลุดออกมา สาหร่ายในหอผึ่งน้ำจะถูกกำจัดโดยการออกซิเดชั่น สลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แบคทีเรียจะถูกออกซิไดซ์ได้ 100 % ในเวลา 2-3 นาที ที่ความเข้มข้นของโอโซนอย่างน้อย 0.44 ppm

สาเหตุการเกิดตะกรันในหอผึ่งน้ำจะเกิดจากสิ่งมีชีวิต เมื่อไบโอฟิล์มเกิดขึ้นที่ขดท่อหรือผนัง จะเป็นแหล่งยึดเกาะของแร่ธาตุต่างๆ และมีความหนามากขึ้น และโอโซนจะเข้าไปออกซิไดซ์เป็นผลให้ความสามารถในการยึดเกาะหายไป

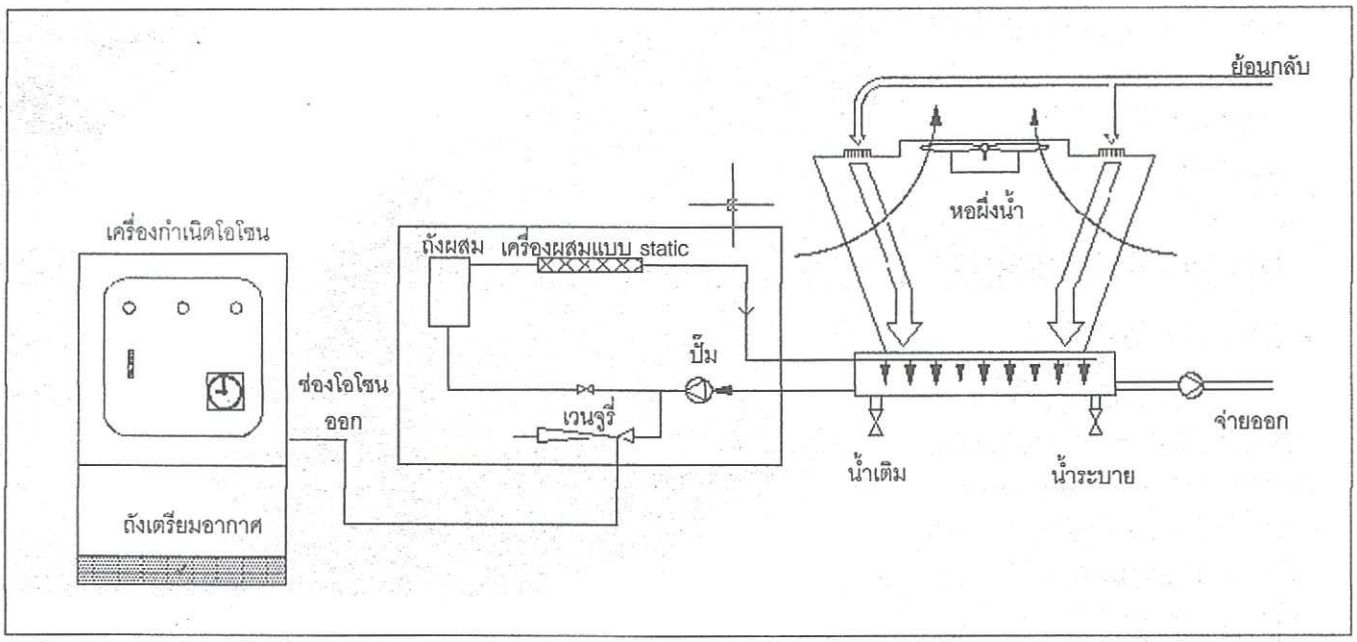
โอโซนประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายได้อย่างไร

จากการใช้โอโซนมาปรับปรุงคุณภาพน้ำแทนสารเคมี ทำให้เกิดความประหยัดได้สามส่วน คือ 1. ลดค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมี 2. ประหยัดพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็น 3. ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดผิวคอนเดนเซอร์ ดังรายละเอียดที่จะเสนอต่อไปนี้

1. ลดค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมี

โดยปกติหอผึ่งน้ำจะสูญเสียน้ำในระบบเฉลี่ยประมาณ 3 % โดยแยกเป็น การสูญเสียจากการระเหย 1.5 % และ จากการปล่อยน้ำ 1.5 % (bleed Off)

ตัวอย่าง หอผึ่งน้ำขนาด 500 ตัน ทำงาน 12 ชั่วโมง มีน้ำหมุนเวียนในระบบ



รูปที่ 3 แผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซนในหอผึ่งน้ำ

1,500 แกลลอนต่อนาที (การออกแบบอัตราการไหลน้ำระบายความร้อน 2.8-3.2 แกลลอนต่อนาที (GPM) ต่อตัน)

- การสูญเสียน้ำจากการระเหย 1.5 % (การสูญเสียจาก bleed off มีปริมาณไม่แน่นอนขึ้นกับคุณภาพน้ำของแต่ละพื้นที่)
  = 22.5 แกลลอนต่อนาที
- การสูญเสียน้ำต่อวัน
  = 22.5 × 60 × 12
  = 16,200 แกลลอนต่อวัน
  = 73.65 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- อัตราการใช้สารเคมีบำบัดตะไคร่และตะกรัน (0.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
  = 0.1 × 73.65
  = 7.36 กิโลกรัมต่อวัน
- ค่าใช้จ่ายจากสารเคมี (100 บาทต่อ 1 กิโลกรัม)
  = 7.36 × 100
  = 736.45 บาทต่อวัน
- ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (การใช้งาน 30 วันต่อเดือน)
  = 736.45 × 30
  = 22,093.50 บาทต่อเดือน

กรณีที่ใช้หอผึ่งน้ำในการระบายความร้อนในระบบการผลิตเพียงอย่างเดียว สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ 22,093.50 บาทต่อเดือน หรือ 265,122.00 บาทต่อปี

2. กรณีใช้หอผึ่งน้ำในเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อใช้เครื่องกำเนิดโอโซนในเครื่องทำน้ำเย็น จะสามารถประหยัดพลังงานจากประสิทธิภาพที่ลดลงจากตะกรันในขดท่อด้านระบายความร้อน จึงทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 10 % ของการใช้พลังงานในระบบนี้

ตัวอย่าง การใช้งานหอผึ่งน้ำร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็น ขนาด 450 ตัน พลังไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (ตันความเย็น) เฉลี่ย กรณีการใช้งานปกติ = 0.85 kW/TR พลังไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (ตันความเย็น) กรณีติดตั้งใช้งานเครื่องกำเนิดโอโซนในระบบระบายความร้อน = 0.75 kW/TR เครื่องทำความเย็นทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวันที่ภาระการใช้งานเฉลี่ย 60 %

- ผลประหยัดที่เกิดขึ้น
  = (0.85 - 0.75) × 450 × 12 × 30 × 0.60
  = 11,664.00 kWh/เดือน

ถ้าค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2.5 บาท/kWh ผลประหยัดที่เกิดขึ้น
  = 29,160.00 บาท/เดือน
  = 349,920.00 บาท/ปี

- รวมผลประหยัดทั้งหมด
  = ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี + พลังงานที่ประหยัดได้
  = 349,920.00 + 265,122.00
  = 615,042.00 บาท/ปี

การใช้หอผึ่งน้ำในระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นลงได้รวม 615,042.00 บาทต่อปี การคำนวณเบื้องต้นยังไม่รวมถึงการประหยัดเวลา และประหยัดสารเคมีในการทำความสะอาดระบบของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งทำให้ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสึกหรอมากตามจำนวนครั้งที่ทำความสะอาด ส่งผลให้สารทำความเย็นรั่วไหลผสมกับน้ำระบายความร้อน และเครื่องทำความเย็นชำรุดจนไม่สามารถใช้งานได้ และยังช่วยชะลอค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนไส้ใน (filling) ของหอผึ่งน้ำทุกๆ 2 ปี ให้มีการใช้งานยาวนาน

มากขึ้น

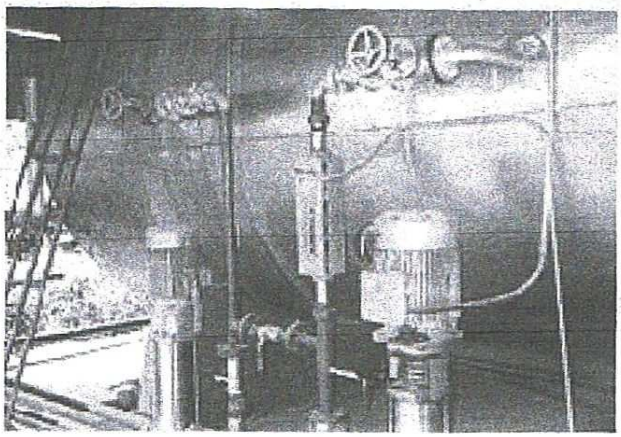
การปรับปรุงคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ

การใช้งานหม้อไอน้ำที่สำคัญส่วนหนึ่ง คือ ระบบน้ำป้อน โดยตะกรันในหม้อไอน้ำเกิดจากน้ำที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) อยู่ในรูปสารละลาย คือ แคลเซียม-ไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และสารแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl) อยู่ในรูปสารละลาย คือ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) โดยสารเหล่านี้มีมากตามการกระด้างของน้ำ(hardness) ซึ่งเมื่อน้ำที่มีความกระด้างสูงกระทบผิวที่ร้อน จะทำให้แคลเซียมในสารประกอบดังกล่าวเปลี่ยนสถานะเป็นธาตุที่แข็ง และยึดติดผนังเป็นตะกรัน

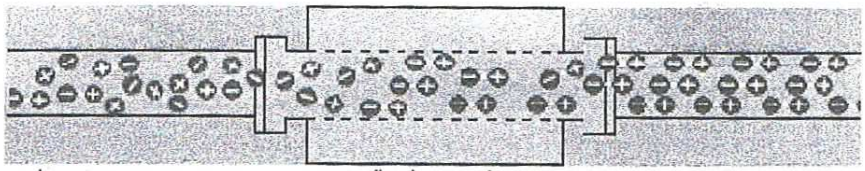
การแก้ปัญหาในปัจจุบัน คือ การใช้สารเคมีในการบำบัดลดการเกิดตะกรันหรือการโบล์ดาวน์ (blow down) ให้บ่อยมากขึ้น เพื่อลดความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำ โดยตะกรันที่เกิดจะเป็นฉนวนกั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและน้ำป้อน เมื่อตะกรันเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลง ส่งผลทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในระบบมากขึ้น

เครื่องสร้างสนามแม่เหล็กช่วยลดตะกรันได้อย่างไร

เครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electro-magnetic) จะทำหน้าที่ป้องกันการเกิดตะกรัน โดยใช้คลื่นพลังงานของสนามแม่เหล็กการจัดเรียงโมเลกุลของสารละลายในน้ำกลับไปเป็นกลางในรูปสารประกอบเดิม ตกผลึกและแขวนลอย ซึ่งสภาพที่ประจุเป็นกลางของสารละลายในน้ำทำให้ไม่สามารถยึดเกาะในอุปกรณ์ได้ การบำบัดคุณภาพของน้ำโดยก่อนการใช้งานเครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า TDS (Total Dissolved Solids) ของน้ำจะสูง เมื่อมีการใช้งานเครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะทำให้ค่า TDS ลดลง แต่ค่า TSS (Total Suspension Solids) จะเพิ่มขึ้น และค่า Conductivity ก็จะสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งสามารถควบคุมโดยการ blow down หรือ bleed off จากระบบได้



รูปที่ 4 การติดตั้งใช้งานเครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในหม้อไอน้ำ



รูปที่ 5 การจัดเรียงโมเลกุลของสารละลายในน้ำ เมื่อผ่านเครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าประหยัดได้อย่างไร

ผลประหยัดจากการใช้เครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า สรุปได้ คือ 1. ประหยัดเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ 2. ลดค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมี 3. ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดพื้นผิวท่อที่เกิดตะกรัน ดังรายละเอียดตามตัวอย่างต่อไปนี้

1. การประหยัดเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ

ตัวอย่าง หม้อไอน้ำขนาด 5 ตัน พิกัดการใช้เชื้อเพลิง 338 ลิตรต่อชั่วโมง การใช้งานเฉลี่ย 60 % เวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน, 30 วันต่อเดือน

• การใช้เชื้อเพลิง

= 338 × 12 × 30 × 0.60

= 73,008 ลิตรต่อเดือน

ถ้าราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย 7 บาทต่อลิตร ดังนั้นคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้

= 73,008 × 7.00

= 511,056.00 บาท/เดือน

หลังจากการใช้งานในเวลา 1 เดือน จะพบว่ามีตะกรันหนาเพิ่มขึ้น 1-2 มิลลิเมตร จากกราฟการสูญเสียพลังงานพบว่าตะกรันหนา 1 มิลลิเมตร จะสูญเสียพลังงาน 5 %

เดือนที่ 2 ค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 5 %

• ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

= 511,056.00 × 0.05

= 25,552.80 บาท/เดือน

= 306,633.60 บาท/ปี

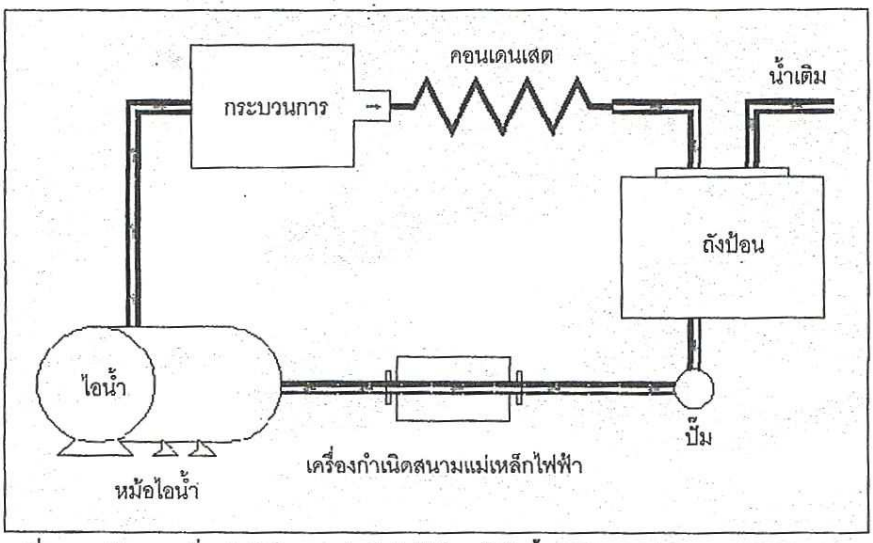
2. ลดค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมี

การใช้งานหม้อไอน้ำขนาด 5 ตัน พิกัดการใช้น้ำป้อน 5,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง การใช้สารเคมีเพื่อลดการเกิดตะกรันประมาณ 50-100 กรัมต่อน้ำป้อน 1 ลูกบาศก์เมตร การใช้งานหม้อไอน้ำเฉลี่ย 60 % เวลาทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน, 30 วันต่อเดือน

• ปริมาณการใช้น้ำป้อนในหม้อไอน้ำ

= 5 × 12 × 30 × 0.60

= 1,080 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน



รูปที่ 6 แผนผังวงจรเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในหม้อไอน้ำ

- ปริมาณสารเคมีบำบัดน้ำป้อน
  = 0.07 × 1,080
  = 75.6 กิโลกรัมต่อเดือน
- ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี (100 บาท/ก.ก.)
  = 75.6 × 100
  = 7,560.00 บาทต่อเดือน
- คิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมด
  = 90,720.00 บาทต่อปี

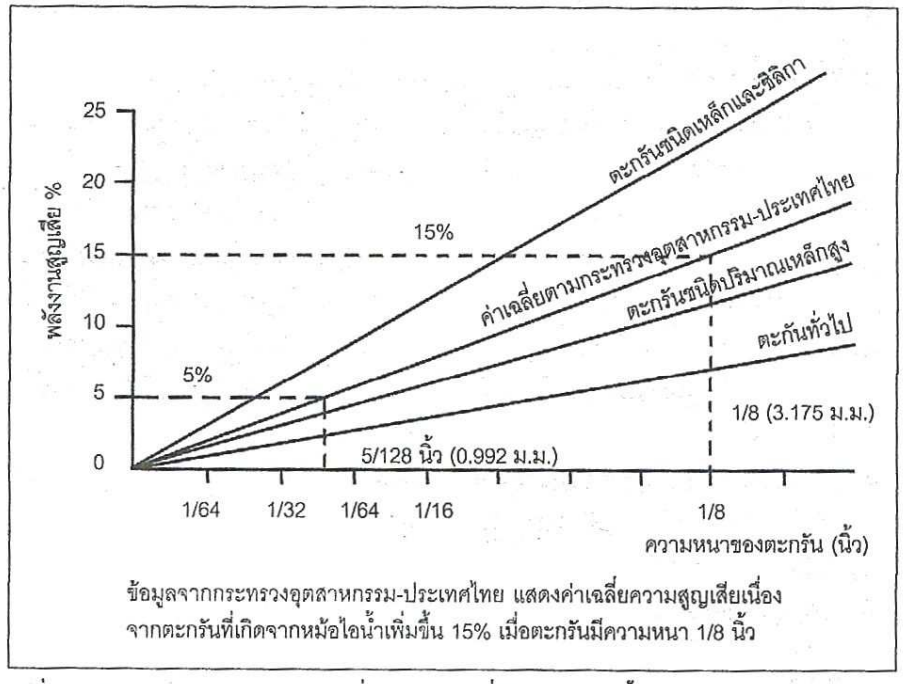
การใช้ เครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ในระบบน้ำป้อนของหม้อไอน้ำ จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานและทางด้านการใช้สารเคมีทั้งหมด 397,353.60 บาทต่อปี

ศักยภาพเทคโนโลยีการปรับสภาพน้ำโดยไม่ใช้สารเคมี

แนวทางการใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ในปัจจุบันเราค่อนข้างให้ความสำคัญกับด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จากแนวทางที่ได้กล่าวเบื้องต้น ระยะเวลาคืนทุนจากผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการลงทุนติดตั้งเครื่องกำเนิดโอโซนในระบบหอผึ่งน้ำมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1.5-3 ปี และผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการลงทุนติดตั้งใช้งานเครื่องสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในหม้อไอน้ำมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1-2 ปี

ผลที่เกิดขึ้นนอกจากการประหยัดพลังงานแล้ว ยังมีความปลอดภัยในการใช้งาน ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อม ประหยัดค่าใช้จ่ายในระบบการบำบัดน้ำเสียอีกทางหนึ่ง โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตอาหาร ซึ่งถูกจำกัดด้วยการใช้สารเคมีกรณีการใช้น้ำในระบบสัมผัสตรงกับผลิตภัณฑ์ หรือเกิดการรั่วไหลเข้าผสมกับผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้องมีการควบคุมเป็นพิเศษ อีกทั้งยังสามารถประหยัดเวลาในการบำรุงรักษาระบบ ช่วยยืดอายุการใช้งานในระบบให้มีการใช้งานยาวนานขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย เช่น ลดการล้างหอผึ่งน้ำ และระยะเวลาการเปลี่ยนไส้ใน (filling) เนื่องจากไม่เกิดตะไคร่และไม่มีตะกรัน อายุการใช้งานของระบบท่อน้ำในหม้อไอน้ำนานขึ้น เนื่องจากไม่มีตะกรัน เป็นต้น

แต่ในการใช้งานเทคโนโลยีดังกล่าวต้องตรวจสอบระบบน้ำในแต่ละพื้นที่ เพื่อหาความเหมาะสมต่อการเลือกขนาดเครื่อง และควรพิจารณาการรับรองผลจากการใช้งานและการรับรองคุณภาพของเครื่องจากผู้จำหน่ายก่อนการเลือกใช้



ข้อมูลจากกระทรวงอุตสาหกรรม-ประเทศไทย แสดงค่าเฉลี่ยความสูญเสียเนื่องจากตะกรันที่เกิดจากหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น 15% เมื่อตะกรันมีความหนา 1/8 นิ้ว

รูปที่ 7 กราฟปริมาณการสูญเสียพลังงานเนื่องจากตะกรันที่เกิดจากหม้อไอน้ำ

เอกสารอ้างอิง

1. *ศุภชัย ปัญญาวีร์*, 2545, "การปรับสภาพน้ำดิบสำหรับระบบระบายความร้อน", วารสารประสิทธิภาพพลังงาน, ปีที่ 11, ฉบับที่ 58, หน้า 48-50
2. กลุ่มงานวิจัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546, "การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้โอโซน", จดหมายข่าว, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 4-7
3. บริษัท เบก้า (ประเทศไทย) จำกัด, "ตะกรัน ต้นเหตุแห่งความสูญเสีย", เอกสารประกอบการนำเสนอผลิตภัณฑ์ ETROMAC, หน้า 6-9