

การประหยัดไอน้ำในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

Steam Conservation in Canned Fruit Manufacturing Process

พรเทพ กลิ่นรอด¹ วันชัย ทรัพย์ศิริ¹ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ^{2*}¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900*Email: apirak@spu.ac.thPornthep Klenrod¹ Wanchai Subhsiri¹ Apirak Sawadkit^{2*}¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University, Jatujak Bangkok 10900²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University, Jatujak Bangkok 10900*Email: apirak@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ เป็นการศึกษามาตรการประหยัดไอน้ำในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋องที่ใช้สับปะรดเป็นวัตถุดิบหลัก มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 150,000 ตันต่อปี ระยะเวลาการทำงาน 2,504 ชั่วโมงต่อปี การศึกษาเริ่มจากการวิเคราะห์การใช้พลังงานความร้อนของเครื่องอบฆ่าเชื้อ มีลักษณะเป็นถังทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำด้วยสแตนเลส ขนาดกว้าง 1.62 เมตร ยาว 7.32 เมตร และสูง 0.34 เมตร ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 1.2 บาร์ ปริมาณเฉลี่ย 85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากการสมดุลพลังงานความร้อนพบว่า การสูญเสียเกิดมากที่สุดจากการระเหยที่ผิวน้ำร้อนคิดเป็น 57.76% ของความร้อนที่ใช้ ประสิทธิภาพเครื่องเท่ากับ 30.76% มาตรการประหยัดไอน้ำที่ใช้คือการปิดช่องทางน้ำล้นออกจากเครื่องและห้วาล์วลดปริมาณไอน้ำเพื่อให้ไอน้ำในระบบอยู่ในสมดุล โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ การประหยัดโดยวิธีดังกล่าวสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและน้ำประปาได้ 10,256 บาทต่อปี ประหยัดไอน้ำได้ 5.67% โดยมีระยะเวลาคืนทุน 0.87 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน 94.4 %

คำหลัก : ผลไม้กระป๋อง / เครื่องอบฆ่าเชื้อ / สมดุลพลังงาน / การประหยัดไอน้ำ

Abstract

This article studies steam conservation method in the manufacturing process of canned fruit where pineapple is used as the raw material. The average manufacturing output is 150,000 tons per year; the plant operates 2,504 hours per year. The study began with analyzing the heat energy consumed by the sterilization machine, a 1.62m.x 7.32m.x 0.34m. rectangular stainless tank, using 1.2 bars of saturated steam pressure at an average of 85 kilograms per hour. By balancing the heat energy, it was revealed that loss occurred primarily from vaporization at the hot water surface, equaling 57.76% of the total heat used. The machine efficiency was 30.76%. The conservation measure used was covering overflowing waterway, and decelerating the steam valve to decrease steam amount so as to balance the water in the system without affecting the raw material. The above process helped save 10,256 baht per year from the

manufacturing cost of fuels for producing steam and tap water.

5.67% of the steam was conserved. The break-even point is 0.87 year, and the internal rate of return is within 94.4%.

Keywords : canned fruit / cooker / energy balance / steam conservation

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอ อาหาร เครื่องอุปโภคบริโภค ฯลฯ มักอาศัยความร้อนจากไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต การตรวจสอบบำรุงรักษา ซ่อมแซมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบไอน้ำอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งมาตรการในการประหยัดไอน้ำนั้น นอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบดีขึ้นแล้วยังสามารถประหยัดไอน้ำและเชื้อเพลิงที่ใช้งานได้ดังตัวอย่างที่แสดงอยู่ใน [1]

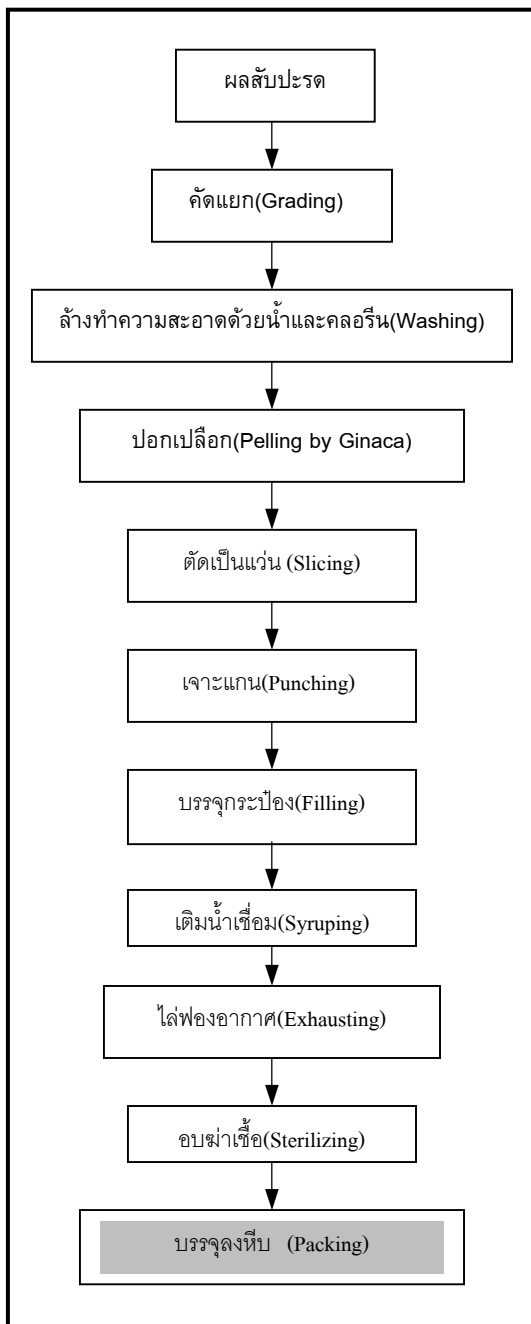
ในการศึกษาได้เลือกกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋องซึ่งมีการใช้ไอน้ำในกระบวนการอบฆ่าเชื้อสับปะรดกระป๋อง โดยเริ่มจากการสมดุลความร้อนภายในเครื่องจักรเพื่อดูการใช้และการสูญเสียที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงใช้มาตรการที่สามารถทำได้ทันทีและมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้อยที่สุดเพื่อให้เกิดการประหยัดไอน้ำ ผลการศึกษาที่ได้นี้สามารถนำไปใช้กับกลุ่มอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรมอื่น ๆ ที่มีการใช้พลังงานในเครื่องจักรที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

2. ขั้นตอนการผลิตสับปะรดกระป๋องและการใช้ไอน้ำ

การผลิตจะเริ่มจาก ผลสับปะรดถูกลำเรียงเข้าสู่แผนกรับวัตถุดิบและส่งเข้าระบบโดย screw grader เพื่อทำการคัดแยกขนาด รวมทั้งตรวจสอบทางกายภาพและจะถูกลำเรียงผ่านบ่อน้ำร้อน ที่มีคลอรีนผสมอยู่เพื่อชะล้างทำความสะอาด จากนั้นสับปะรดจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการตัดหัวท้าย แล้วปอกเปลือกด้วยเครื่อง ginaca ที่สามารถปรับแต่งระยะของใบมีด ให้พอเหมาะกับขนาดของผลสับปะรดไม่หนาหรือบางเกินไป และนำไปล้างทำความสะอาดอีกครั้ง จากนั้นสับปะรดจะถูกตัดออกเป็นแว่นตามความหนาที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดกระป๋องที่บรรจุมีขนาด 20, 30 และ 108 OZ. เมื่อสับปะรดถูกตัดเป็นแว่นแล้ว จะถูกเจาะแกน เสร็จแล้วจึงนำเข้าสู่ระบบบรรจุกระป๋องด้วยเครื่อง can loader และเติมน้ำเชื่อม (syruping) ลงในกระป๋องเพื่อควบคุมคุณภาพรสชาติ กระบวนการบรรจุเนื้อสับปะรดและเติมน้ำเชื่อมนี้จะอยู่ภายใต้การควบคุมน้ำหนัก และสัดส่วนตามที่ลูกค้าต้องการ

หลังจากเติมน้ำเชื่อมจะต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อน เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากกระป๋องโดยเครื่อง exhaust box และถูกส่งผ่านระบบสายพานลำเลียงไปยังเครื่อง seamer เพื่อทำการปิดฝา จากนั้นจึงส่งไปยังเครื่องอบฆ่าเชื้อ (cooker) แผนผังขั้นตอนการผลิตแสดงในรูปที่ 1

ลักษณะการผลิตและใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตของโรงงาน ซึ่งได้จากหม้อไอน้ำที่มีพิกัด 16 บาร์ 14 ตัน/ชั่วโมง เป็นชนิดไออิมตัวมีความดันใช้งาน 12 บาร์ ไอน้ำที่ผลิตได้จะถูกส่งผ่านไปในระบบท่อส่งไอน้ำผ่านวาล์วลดความดัน (reducing valve) เพื่อให้ได้ความดันเท่ากับความต้องการของเครื่องจักรนั้น ๆ ไอน้ำที่ผลิตจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของเครื่องอบฆ่าเชื้อและกระบวนการผลิตอื่น ๆ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อไอน้ำเป็นน้ำมันเตาเกรดซี ราคา 10.50 บาท/ลิตร มีค่าความร้อนสูง (HHV) 39,893 กิโลจูล/ลิตร รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงแผนผังการผลิตและส่งจ่ายไอน้ำให้กับกระบวนการอบฆ่าเชื้อ



รูปที่ 1 แผนผังการผลิตสับประดกระป๋อง

3. กรรมวิธีการศึกษา

จากการศึกษาระบบการผลิตและเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงาน พบว่าเครื่องอบฆ่าเชื้อ(ระบบเปิด) ซึ่งใช้สำหรับการต้มกระป๋องผลิตภัณฑ์ที่ถูกส่งผ่านเข้าไปโดยสายพานลำเลียง ลักษณะเครื่องเป็นอ่างน้ำร้อนสองชั้นทำด้วยสแตนเลสแต่ละชั้นมีขนาด กว้าง 1.62 m ยาว 7.32 m และสูง 0.34 m ใช้ไอน้ำอิมตัวความดันเฉลี่ย 1.2 bar ปริมาณเฉลี่ย 85 kg/hr (ข้อมูลจากการตรวจวัดจริง) มีการสูญเสียความร้อนออกจากตัวเครื่องหลายทิศทางซึ่งได้ทำการตรวจวัด เพื่อสมมูลเพื่อหาปริมาณการใช้ ไอน้ำและการสูญเสียที่เกิดขึ้นดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย

ในการวิเคราะห์จะอาศัยข้อมูล จากตรวจวัดตามสภาวะการทำงานปกติ และข้อมูลจากตำรา เอกสาร รวมทั้งสมมติฐานต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นเพื่อความเหมาะสมตามที่ทิศทางของการถ่ายเทมวลและความร้อนที่เข้าและออกระบบซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 3 โดยมีรายละเอียดของวิธีการรวมทั้งสมการที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

3.1.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบไปด้วย[2]

1. การสมมูลมวลของระบบ

$$m_v = m_s - m_w \quad (1)$$

โดยที่ m_v คือมวลของน้ำระเหย m_s คือมวลไอน้ำเข้าระบบ m_w คือมวลของน้ำล้น

2. ความร้อนจากไอน้ำ

$$Q_{\text{ไอน้ำ}} = m_s h_g \quad (2)$$

โดยที่ h_g คือเอนทัลปีไอน้ำขาเข้า

3. ความร้อนจากผลิตภัณฑ์

$$Q_{\text{ผลิตภัณฑ์}} = m_p C_p \Delta T \quad (3)$$

โดยที่ m_p คือมวลผลิตภัณฑ์ที่เข้า C_p คือความร้อนจำเพาะของผลสับประด (1.7166 kJ/kg) [3] ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิผลิตภัณฑ์

4. ความร้อนจากน้ำล้น

$$Q_{\text{น้ำล้น}} = m_w h_f \quad (4)$$

โดยที่ h_f คือเอนทัลปีของน้ำที่ล้น

5. ความร้อนจากน้ำที่ระเหย

$$Q_{\text{น้ำระเหย}} = m_v h_g \quad (5)$$

โดยที่ h_g คือเอนทัลปีของน้ำที่ระเหย

6. ความร้อนสูญเสียออกจากผนังถัง[4] เกิดจากการถ่ายเทโดย

การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนสู่บรรยากาศดังนี้

การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อน

$$Q_{CV} = h A (T_s - T_\infty) \quad (6)$$

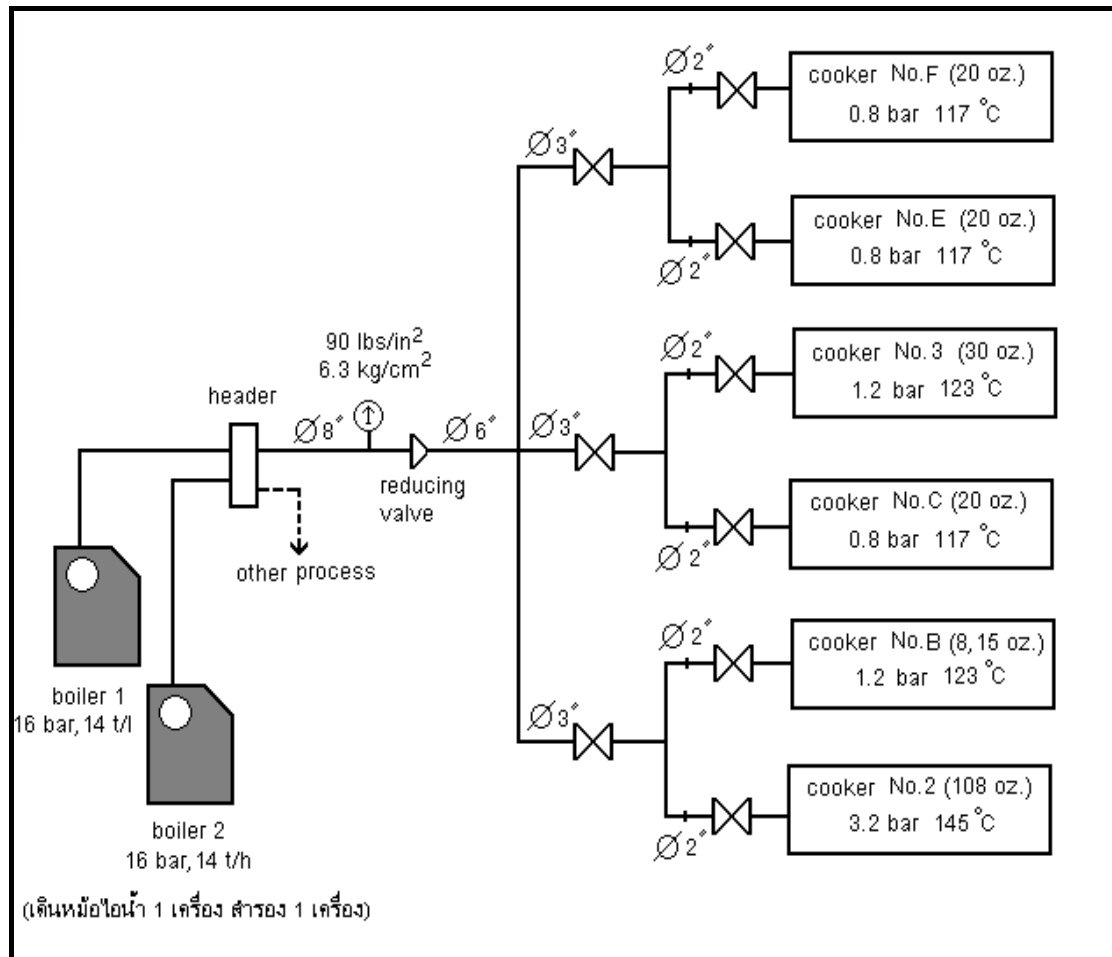
โดยที่ h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน A คือพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน(จากขนาดมิติของเครื่อง) T_∞ คืออุณหภูมิผิวผนังถัง T_s คืออุณหภูมิบรรยากาศ

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคำนวณตามสมการ

$$h = \frac{Nu_L k}{L} \quad (7)$$

โดยที่ Nu_L คือนัสเซลท์นัมเบอร์ (nusselt number) k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ L คือความสูงของผนัง

ค่านัสเซลท์นัมเบอร์ สำหรับผนังแนวตั้งคำนวณจากสมการที่ (8) ซึ่งใช้ได้กับลักษณะการไหลของอากาศที่ผ่านผนังทั้งการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บิวเลนซ์



รูปที่ 2 แผนผังการผลิตและส่งจ่ายไอน้ำ

$$Nu_L = \left\{ 0.825 + \frac{(0.387 Gr_L Pr)^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (8)$$

โดยที่ Pr คือพารามิเตอร์ (prandtl number) และ Gr_L คือแกร์ซอพนัมเบอร์ (grashof number) คำนวณจากสมการ

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2} \quad (9)$$

โดยที่ g คือค่าคงที่ β คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย ν คือความหนืดจลน์ของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน

$$Q_{RA} = \sigma \varepsilon A (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (10)$$

โดยที่ σ คือค่าคงที่ของสเตฟานและโบลซ์แมน ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

ε คือ Emissance ของผิวเครื่องจักรเท่ากับ 0.7 [4]

การสูญเสียความร้อนออกจากผนัง

$$Q_{\text{ผ่านผนัง}} = Q_{CV} + Q_{RA} \quad (11)$$

7. การสูญเสียความร้อนอื่น ๆ จะมีองค์ประกอบหลายส่วน ซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงหรือแก้ไขได้ เช่น การอมความร้อนจากตัวเครื่องจักรส่วนอื่น ๆ ที่เป็นโลหะ ระบบสายพานลำเลียง ฯลฯ แต่ก็มีความไม่มากนักเมื่อเทียบกับเทอมอื่น ๆ

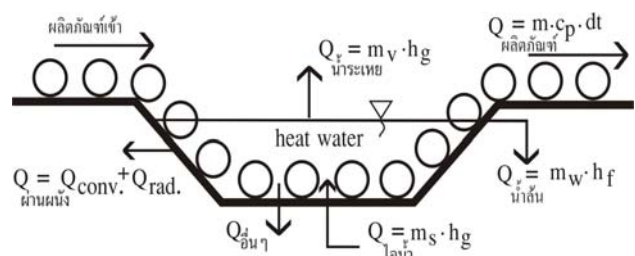
8. การสมดุลความร้อน โดยอาศัยกรรมวิธีและสมการข้างต้น สามารถสมดุลระบบ ได้ตามสมการ

$$Q_{\text{ไอน้ำ}} = Q_{\text{ผลิตภัณฑ์}} + Q_{\text{น้ำดื่ม}} + Q_{\text{น้ำระเหย}} + Q_{\text{ผ่านผนัง}} + Q_{\text{อื่น ๆ}} \quad (12)$$

3.1.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบฆ่าเชื้อ คำนวณจากการใช้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ต่อความร้อนจากไอน้ำที่ใช้ทั้งหมด เป็นอัตราส่วนร้อยละตามสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน} = \frac{\text{ความร้อนที่ให้กับผลิตภัณฑ์}}{\text{ความร้อนจากไอน้ำที่ใช้}}$$

$$\text{หรือ } \eta_{\text{cooker}} = \frac{Q_{\text{ผลิตภัณฑ์}}}{Q_{\text{ไอน้ำที่ใช้}}} \times 100\% \quad (13)$$



รูปที่ 3 สมดุลพลังงานความร้อนและมวลที่ถ่ายเทเข้าออกระบบ

3.2 มาตรการที่ใช้ในการประหยัด

จากกรรมวิธีที่ใช้ในการสมดุลพลังงานความร้อนทำให้ทราบทิศทางในการประหยัดพลังงานความร้อนที่สูญเสียซึ่งสามารถทำได้ทันที

มาตรการที่เลือกใช้เป็นการติดตั้งวาล์วปิดช่องทางของน้ำล้นและลดปริมาณไอน้ำทางเข้าโดยวิธีหรัวาล์วจากความดันปกติที่ 1.2 bar เหลือประมาณ 0.9 bar ซึ่งทำให้อุณหภูมิน้ำร้อนในช่วงทำงานลดลงจากเดิมที่ 97-99 °C ลงมาอยู่ในช่วง 95-97 °C (อ่านจากเกจวัดหน้าเครื่อง) และจากการตรวจสอบพบว่าไม่ทำให้เกิดผลกระทบกับผลิตภัณฑ์แต่อย่างใด วิธีการดังกล่าวสามารถประหยัดน้ำประปาและพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับน้ำที่ล้นซึ่งสามารถเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลงและประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ดังนี้

3.2.1 ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ [3] คำนวณจากปริมาณความร้อนที่ติดไปกับน้ำล้นซึ่งสามารถประเมินเป็นมูลค่าได้โดยเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไอน้ำจากสมการ

$$V_f = \frac{Q_{\text{น้ำล้น}}}{HHV} \quad (14)$$

โดยที่ V_f คือปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ $Q_{\text{น้ำล้น}}$ คืออัตราความร้อนจากน้ำล้น HHV คือค่าความร้อนสูงเชื้อเพลิงน้ำมันเตา

เมื่อทราบผลการประหยัดในรูปเชื้อเพลิงแล้วสามารถเทียบกับราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยคำนวณจากสมการ

$$C_s = V_f C_f OP.hr \quad (15)$$

โดยที่ C_s คือมูลค่าเงินค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ C_f คือราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไอน้ำ $OP.hr$ คือชั่วโมงทำงานต่อปี

3.2.2 ปริมาณน้ำที่ประหยัดได้ จากข้อมูลการตรวจวัดพบว่าปริมาณน้ำล้นที่ออกจากเครื่องอบฆ่าเชื้อเฉลี่ย 0.035 m³/hr เมื่อปิดช่องทางน้ำล้นจะสามารถประหยัดค่าน้ำประปาโดยคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{ค่าน้ำประปาที่ประหยัดได้} = V_w C_w OP.hr \quad (16)$$

โดยที่ V_w คือปริมาณน้ำที่ประหยัดได้ C_w คือค่าน้ำประปา

3.2.3 การประเมินผลตอบแทนการลงทุน[5]

ดัชนีที่ใช้ในการประเมินผลตอบแทนได้แก่

1. ระยะเวลาคืนทุน (payback period, n) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = A \quad (17)$$

โดยที่ P คือเงินลงทุนในการติดตั้งวาล์วและท่อวัดระดับน้ำสแตนเลส n คืออายุการใช้งานของวาล์วและท่อสแตนเลส i คืออัตราดอกเบี้ย A คือเงินที่ประหยัดได้จากค่าน้ำประปาและเชื้อเพลิง

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return, IRR)

$$\sum_{t=1}^N \frac{A}{[1+IRR]^t} - P = 0 \quad (18)$$

โดยที่ t คือปีที่พิจารณา N เป็นอายุการใช้งานของวาล์วและท่อสแตนเลส IRR คืออัตราผลตอบแทนภายใน

ผลตอบแทนที่เข้าเกณฑ์ ควรมีระยะเวลาคืนทุนที่ต่ำกว่า 7 ปีหรือมีอัตราผลตอบแทนภายในสูงกว่า 25 %

4. ผลการวิเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์อัตราความสูญเสีย

จากการวิเคราะห์โดยวิธีที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3 ประกอบกับข้อมูลการตรวจวัดและสมมติฐานต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้น ได้ข้อสรุปของการใช้พลังงานความร้อนในเครื่องอบฆ่าเชื้อและสัดส่วนของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ ประกอบด้วย น้ำล้น การถ่ายเทผ่านผนังถัง การระเหย อื่น ๆ ตามไดอะแกรมที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3 การสูญเสียมากที่สุดเกิดจากการระเหยของน้ำร้อนบริเวณผิวหน้า ซึ่งมีค่ามากถึง 57.76% ประสิทธิภาพของเครื่องอบฆ่าเชื้อมีค่าเท่ากับ 30.76%

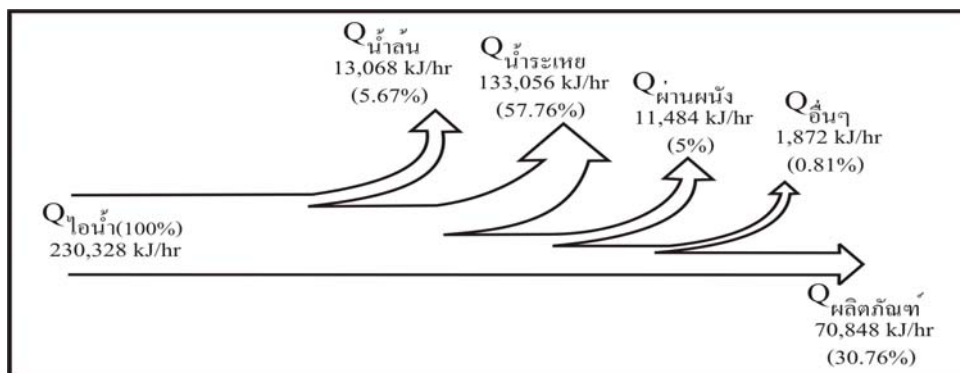
4.2 ผลการประหยัด

จากมาตรการที่ใช้ในการประหยัดโดยไม่ให้มีการล้นของน้ำออกจากตัวเครื่องโดยการหรัวาล์วเพื่อให้น้ำอยู่ในระดับความสูงและมีอุณหภูมิที่พอเหมาะกับการใช้งานสามารถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำได้ 8,941 บาทต่อปี ปริมาณน้ำประปาที่ประหยัดได้คิดเป็นมูลค่า 1,315 บาทต่อปี ประสิทธิภาพของเครื่องฯ เพิ่มขึ้นเป็น 32.61% มาตรการดังกล่าวมีระยะเวลาคืนทุน 0.87 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน 94.4% ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนมาก

5. สรุป และวิจารณ์ผล

ผลการวิเคราะห์เครื่องจักรที่ใช้ในการอบฆ่าเชื้อสับประดกระป๋องพบว่าสภาพปัจจุบันเครื่องจักรมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการออกแบบโครงสร้างเดิมทำให้เกิดการสูญเสียจากระบบได้ง่าย มาตรการที่ใช้ในการศึกษาเป็นมาตรการที่ลงทุนน้อยและให้ผลตอบแทนค่อนข้างสูง การลงทุนจะมีแต่ส่วนของการติดตั้งหลอดแก้วใสเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบระดับความสูงของน้ำในถังไม่ให้สูงเกินความต้องการหลังจากปิดช่องทางน้ำออก และการลงทุนติดตั้งบอลลวาล์วที่ท่อทางน้ำล้น ผลของการประหยัดพบว่าสามารถลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและค่าน้ำประปาได้รวมทั้งสิ้น 10,256 บาทต่อปี คิดเป็นไอน้ำที่ประหยัดได้เท่ากับ 5.67%

สำหรับมาตรการอื่น ๆ เช่นการหุ้มฉนวนเครื่องจักร การจัดตารางการผลิตเพื่อให้การไหลของผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง การนำน้ำร้อนกลับมาอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ฯลฯ จากการประเมินพบว่ามาตรการที่กล่าวมากระทำได้ยาก และบางมาตรการไม่คุ้มค่าการลงทุน



รูปที่ 4 ไดอะแกรมแสดงผลการสมดุลพลังงานของระบบ

แต่ได้ให้คำแนะนำในเรื่องการซ่อมแซมและปรับปรุงฉนวนหุ้มท่อไอน้ำ ซึ่งทางโรงงานก็ได้ทำการปรับปรุงและแก้ไขเป็นอย่างดี

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการงานอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2547

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และจุลละพงศ์ จุลละโพธิ์ “การประหยัดไอน้ำในโรงงานยาสูบ” วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 พ.ศ.2543 หน้า 95-103
- [2] W.C.Turner, Energy Management Handbook, Aee Publication 1993, pp. 180-185
- [3] Reay, D.A., Industrial Energy Conservation , Pergamon, 1979 pp 315-327
- [4] J.P.holman, Heat Transfer, Mc.Graw-hill , 1992 pp 342-350
- [5] W.F.Stoker, Design of Thermal Systems, Mc.Graw-hill , 1989 pp 27-45