

## การลดการระเหยของน้ำร้อนในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

### The reduction of vaporization of boiling water in the fruit canning process

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ<sup>1\*</sup> ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์<sup>1</sup> จักรพันธ์ กัณหา<sup>1</sup> และ วรพจน์ พันธุ์คง  
<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม 61 ถนนพหลโยธิน  
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร 02-5791111 โทรสาร 02-5611721

\*E-mail: [apirak@spu.ac.th](mailto:apirak@spu.ac.th)

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม 61 ถนนพหลโยธิน  
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร 02-5791111 โทรสาร 02-5611721

E-mail: [worapoj@spu.ac.th](mailto:worapoj@spu.ac.th)

apirak sawadkit<sup>1\*</sup>, teapagon counaphonwivat<sup>1</sup>, jagapan gunha<sup>1</sup>, and worapoj phankong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University  
61 Phaholyothin Rd., Jatujak, Bangkok 10900 Tel : 02-5791111, Fax : 02-5611721

\*E-mail: [apirak@spu.ac.th](mailto:apirak@spu.ac.th)

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University  
61 Phaholyothin Rd., Jatujak, Bangkok 10900 Tel : 02-5791111, Fax : 02-5611721

E-mail: [worapoj@spu.ac.th](mailto:worapoj@spu.ac.th)

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ เป็นการศึกษามาตรการประหยัดไอน้ำโดยการลดการระเหยของน้ำร้อนในอุปกรณ์ที่ใช้ในการต้มฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋องในโรงงานแห่งหนึ่ง ซึ่งใช้สับปรดเป็นวัตถุดิบหลัก มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 150,000 ตันต่อปี ทำงาน 2,504 ชั่วโมงต่อปี ขั้นตอนเริ่มจากการศึกษาผลการวิเคราะห์พลังงานของเครื่องอบฆ่าเชื้อซึ่งมีลักษณะเป็นถังทรงเหลี่ยมทำด้วยแตนเลส ขนาดกว้าง 1.62 เมตร ยาว 7.32 เมตร และสูง 0.34 เมตร ใช้ไอน้ำอิ่มตัวความดัน 1.0 บาร์ ปริมาณเฉลี่ย 80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพเครื่องเท่ากับ 36.43% มาตรการประหยัดไอน้ำที่ใช้มี 2 มาตรการคือการลดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผนังถังโดยใช้สาร nunsulate ทาเคลือบที่ผิวด้านนอกของผนังเครื่องฯ อัตราผลตอบแทนการลงทุนของมาตรการ 218% ระยะเวลาคืนทุน 0.5 ปี สำหรับมาตรการลดการระเหยของน้ำร้อนโดยใช้ลูกบอลทรงกลมที่ทำจากพลาสติกประเภท polycarbonate ลอยปิดผิวเพื่อลดการระเหยของความร้อนที่ผิวน้ำ อัตราผลตอบแทนการลงทุนของมาตรการเท่ากับ 91.82% ระยะเวลาคืนทุน 1.19 ปี และจากมาตรการทั้งสองทำให้ประสิทธิภาพเครื่องฯ เพิ่มขึ้นเป็น 44.41% คิดเป็นไอน้ำที่ประหยัดได้ 17.95%

คำสำคัญ : การระเหย / เครื่องอบฆ่าเชื้อ / ผลไม้กระป๋อง / สมดุลพลังงาน / การประหยัดไอน้ำ

#### Abstract

This research aimed to study vapor saving measure by reducing the vaporization of boiling water used for sterilization in

fruit canning process in a pineapple-processed factory with an average productivity of 150,000 tons and 2,504 working hours per year. The study began with the energy analysis of the sterilizer machine which is a stainless rectangular tank, 1.62 meters wide, 7.32 meters long, and 0.34 meters high, using 1.0 bar saturated vapor pressure, averagely 80 kilograms per hour, and working at 36.43% performance. A vapor saving measures used was the reduction of heat transfer via the tank wall by coating the outer wall with nunsulate chemical. This measure provided 218 % return on investment within 0.5 year payback period. Another measure was the use of a round plastic ball made of polycarbonate floating over the surface to reduce the vaporization of boiling water through water surface. This measure provided 91.82% return on investment within 1.19 year payback period. Both measures increased 44.41% machine performance and saved 17.95% vapor.

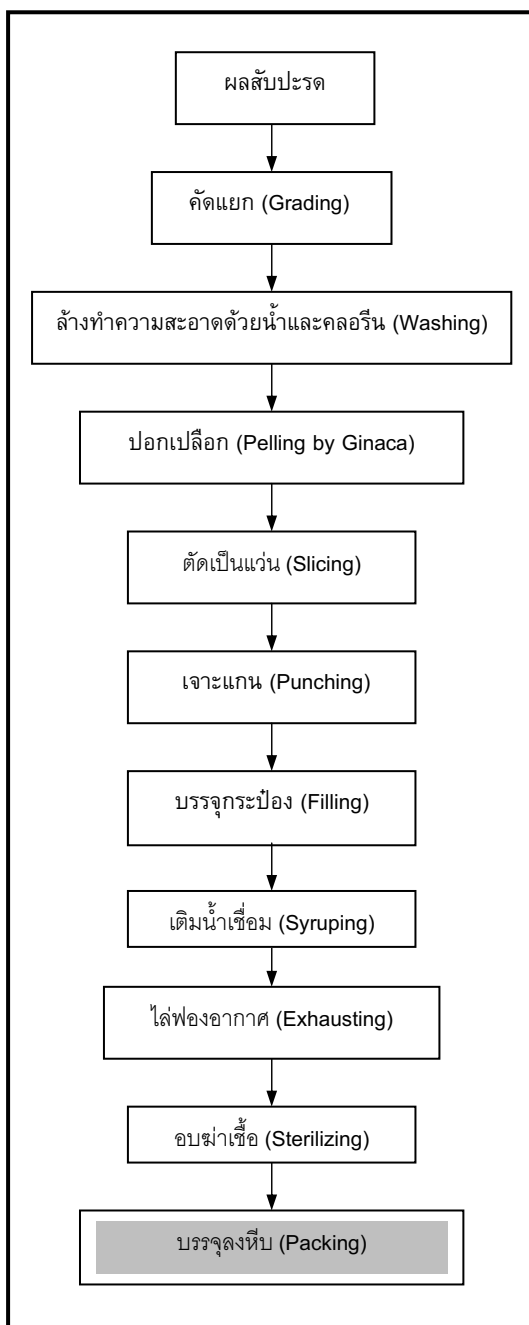
Keywords : vapouring / sterilizer machine / canned fruit / energy balance / steam conservation

#### 1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตโดยทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมสิ่งทอ อาหาร เครื่องอุปโภคบริโภค ฯลฯ มักอาศัยความร้อนจากไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต การตรวจสอบบำรุงรักษา รวมทั้งซ่อมแซม อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบไอน้ำอย่างสม่ำเสมอ นอกจากจะทำให้

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบดีขึ้นแล้วยังสามารถประหยัดไอน้ำ และเชื้อเพลิงที่ใช้ได้ดังที่แสดงใน [1,2]

ในการศึกษาได้เลือกเอากระบวนการผลิตผลไม้กระป๋องซึ่งมีการใช้ ไอน้ำในกระบวนการอบฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หรือสับประรดกระป๋อง โดยอาศัยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่สามารถทำได้และไม่กระทบกับกระบวนการผลิตและตัวผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยผลการการสมดุลความร้อนของเครื่องจักรเพื่อดูการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากนั้นจึงเลือกใช้มาตรการที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้อยสุดเพื่อทำให้เกิดการประหยัดไอน้ำ ผลที่ได้จากโครงการนี้ สามารถนำไปใช้กับกลุ่มอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรมอื่น ๆ ที่มีลักษณะการใช้พลังงานในเครื่องจักรที่มีรูปแบบการทำงานใกล้เคียงกัน



รูปที่ 1 แผนผังการผลิตสับประรดกระป๋อง

## 2. ขั้นตอนการผลิตสับประรดกระป๋อง

สับประรดถูกลำเลียงเข้าสู่แผนกรับวัตถุดิบและส่งเข้าระบบ โดย screw grader เพื่อทำการคัดแยกขนาด รวมทั้งตรวจสอบทางกายภาพและจะถูกลำเลียงผ่านบ่อน้ำร้อน ที่มีคลอรีนผสมอยู่เพื่อฆ่าล้างทำความสะอาด จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการตัดหัวท้าย แล้วปอกเปลือกด้วยเครื่อง ginaca ที่สามารถปรับแต่งระยะของใบมีดให้พอเหมาะกับขนาดของผลสับประรดไม่หนาหรือบางเกินไป บางครั้งอาจมีเศษของตาสับประรดติดอยู่ที่ผลหลังการปอกเปลือกก็จะมีพนักงานที่คอยตรวจสอบจิกตาออกจนหมด และนำไปล้างทำความสะอาดอีกครั้ง จากนั้นสับประรดจะถูกตัดออกเป็นแว่นตามความหนาที่กำหนด ขึ้นอยู่กับขนาดกระป๋องที่บรรจุ ซึ่งมีขนาด 20, 30 และ 108 OZ. เมื่อสับประรดถูกตัดเป็นแว่นแล้วจะถูกเจาะแกน เสร็จแล้วจึงนำเข้าระบบบรรจุกระป๋องด้วยเครื่อง can loader และเติมน้ำเชื่อมลงในกระป๋องเพื่อควบคุมคุณภาพและรสชาติให้เป็นไปตามความต้องการ กระบวนการบรรจุเนื้อสับประรดและน้ำเชื่อมนี้ จะอยู่ภายใต้ความต้องการของลูกค้ำว่าสัดส่วนของเนื้อสับประรดกับน้ำเชื่อมเป็นเท่าไร หลังการเติมน้ำเชื่อมจะผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อไล่ฟองอากาศโดยเครื่อง exhaust box และถูกส่งผ่านสายพานลำเลียงไปยังเครื่อง seamer เพื่อทำการปิดฝาหลังจากนั้นจึงส่งไปยังเครื่องอบฆ่าเชื้อ (cooker) แผนผังขั้นตอนการผลิตแสดงในรูปที่ 1

ลักษณะการผลิตและใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตของโรงงาน ซึ่งได้จากหม้อไอน้ำที่มีพิกัด 16 บาร์ 14 ตัน/ชั่วโมง เป็นชนิดไอเอ็มตัวมีความดันใช้งาน 12 บาร์ ไอน้ำที่ผลิตได้จะถูกส่งผ่านไปในระบบท่อส่งไอน้ำผ่านวาล์วลดความดัน (Reducing valve) เพื่อให้ได้ความดันเท่ากับความต้องการของเครื่องจักรนั้น ๆ ไอน้ำที่ผลิตจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องอบฆ่าเชื้อและกระบวนการผลิตอื่น ๆ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับหม้อไอน้ำเป็นน้ำมันเตาเกรดซี ราคา 11.50 บาท/ลิตร มีค่าความร้อนสูง (HHV) 39,893 กิโลจูล/ลิตร รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงแผนผังการผลิตและส่งจ่ายไอน้ำให้กับกระบวนการอบฆ่าเชื้อในโรงงาน

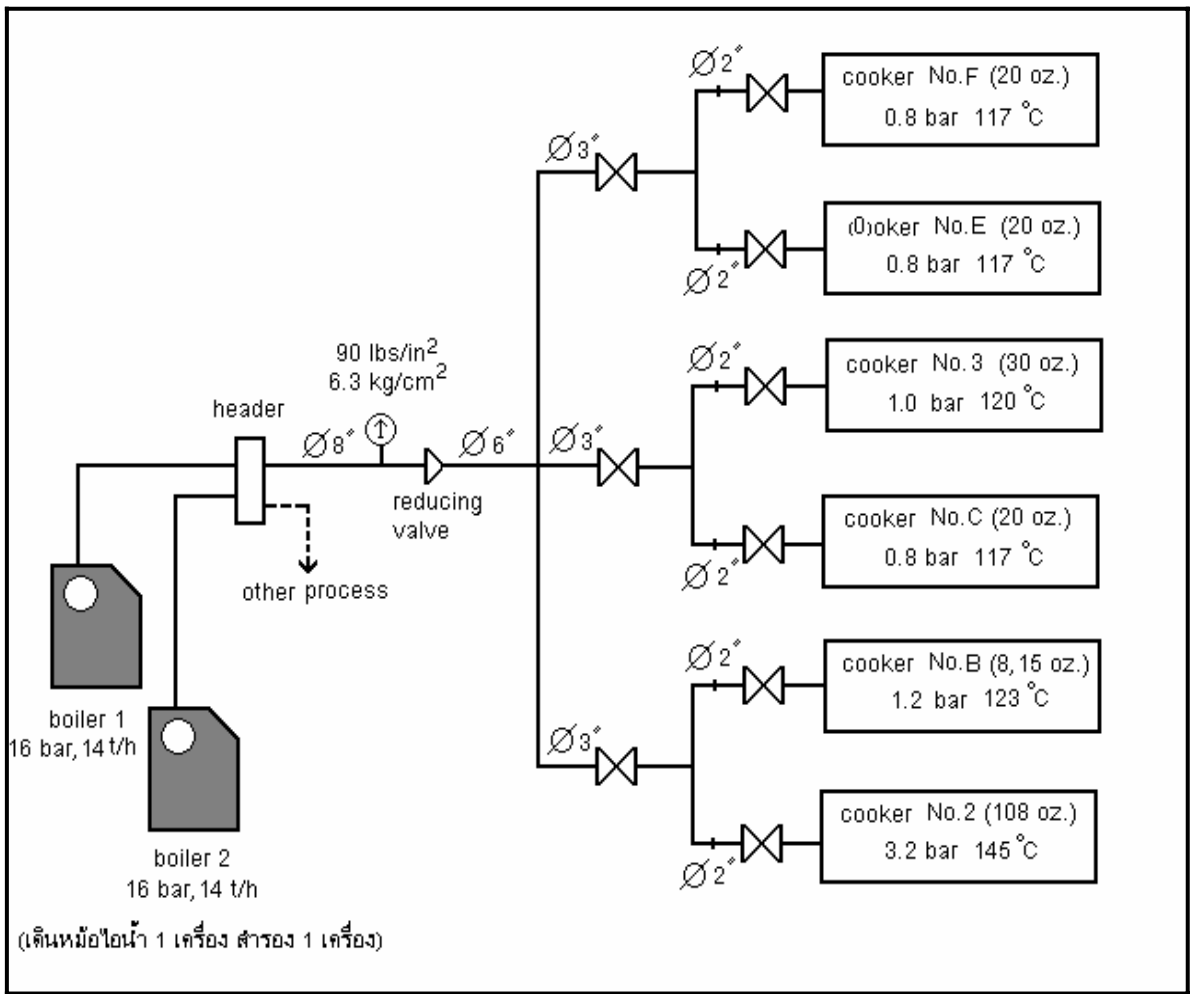
## 3. กรรมวิธีการศึกษา

เครื่องจักรที่ใช้ ในการเครื่องอบฆ่าเชื้อมีลักษณะเป็นอ่างบรรจุไอน้ำร้อนจำนวนสองชั้น แต่ละชั้นกว้าง 1.62 m ยาว 7.32 m และสูง 0.34 m ใช้ไอน้ำไอเอ็มตัวความดัน 1.0 bar.g ปริมาณเฉลี่ย 80 kg/hr อุณหภูมิไอน้ำร้อนที่ใช้ในการต้มผลิตภัณฑ์ประมาณ 97 – 99 °C จากลักษณะการใช้งานพบว่า มีการสูญเสียความร้อนออกจากตัวเครื่องหลายทิศทางซึ่งได้ทำการตรวจวัดเพื่อสมดุลความร้อน และหามาตรการในการประหยัดโดยมีละเอียดดังนี้

### 3.1 การวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย

การวิเคราะห์มวล และความร้อนที่ถ่ายเทเข้าและออกจากระบบตามลักษณะของเครื่องอบฆ่าเชื้อที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3 นั้นการวิเคราะห์อาศัยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดคุณสมบัติต่าง ๆ จริงตามสภาวะการทำงานเช่นปริมาณไอน้ำที่ใช้ อุณหภูมิ ความดัน ฯลฯ นอกจากนั้นยังอาศัยข้อมูลจากเอกสารรวมทั้งสมมติฐานต่าง ๆ ที่ได้กำหนดขึ้น โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

ETM041



รูปที่ 2 แผนผังการผลิตและใช้น้ำของโรงงาน

3.1.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบไปด้วย [2,3]

1. การสมดุลมวลของระบบ

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

โดยที่  $m_v$  คือ มวลของน้ำระเหย  $m_s$  คือ มวลไอน้ำเข้าระบบ

2. ความร้อนจากไอน้ำ

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

โดยที่  $h_g$  คือ เอนทัลปีไอน้ำขาเข้า

3. ความร้อนจากผลิตภัณฑ์

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

โดยที่  $m_p$  คือ มวลผลิตภัณฑ์ที่เข้า  $C_p$  คือ ความร้อนจำเพาะของสับประตส่วนที่เป็นเนื้อ (1.7166 kJ/kg)  $\Delta T$  คือ ผลต่างของอุณหภูมิผลิตภัณฑ์เข้าออก

4. ความร้อนจากน้ำที่ระเหย

$$Q_{\text{น้ำระเหย}} = m_v h_g \quad (4)$$

โดยที่  $h_g$  คือ เอนทัลปีของน้ำระเหย

5. ความร้อนสูญเสียออกจากผนังถัง [4] เกิดจากการถ่ายเทออกจากผิวผนังโดยการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนสู่บรรยากาศ ดังนี้

การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อน

$$Q_{cv} = h A (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

โดยที่  $h$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ  $A$  คือ พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน (จากขนาดมิติของเครื่อง)  $T_s$  คือ อุณหภูมิผิวผนังถึง  $T_\infty$  คืออุณหภูมิบรรยากาศบริเวณโรงงาน

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคำนวณตามสมการ

$$h = \frac{Nu_L k}{L} \quad (6)$$

โดยที่  $Nu_L$  คือ นัสเซลท์นัมเบอร์ (Nusselt number) สำหรับกรณีนี้ อุณหภูมิผนังแผ่นเรียบจะมีค่าคงที่และแผ่นเรียบวางในแนวตั้ง  $k$  คือ ความสามารถในการนำความร้อนของอากาศ  $L$  คือ ความสูงผนังวางในแนวตั้งของเครื่องอบฆ่าเชื้อ

คำนวณนัสเซลท์นัมเบอร์ สำหรับผนังแนวตั้งของเครื่องอบฆ่าเชื้อได้จากสมการที่ (7) ซึ่งใช้ได้กับลักษณะการไหลของอากาศที่ผ่านผนังทั้ง

การไหลที่เป็นแบบลามินาร์และเทอร์บิวเลนซ์ หรือ  $10^{-1} < Ra_L < 10^{12}$  เมื่อ  $Ra_L$  คือ เรย์เลย์นัมเบอร์ (Rayleigh number)

$$Nu_L = \left\{ 0.825 + \frac{(0.387 Gr_L Pr)^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (7)$$

โดยที่  $Pr$  คือ พรันทน์ัมเบอร์ (Prandtl number) และ  $Gr_L$  คือ แกร์ชอฟนัมเบอร์ (Grashof number) คำนวณจากสมการ

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2} \quad (8)$$

การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน

$$Q_{RA} = \sigma \varepsilon A (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (9)$$

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

$\varepsilon$  คือ Emittance ของผิวเครื่องจักรเท่ากับ 0.7 [4]

การสูญเสียความร้อนรวมทั้งออกจากผนัง

$$Q_{\text{ผ่านผนัง}} = Q_{CV} + Q_{RA} \quad (10)$$

6. การสูญเสียความร้อนอื่น ๆ จะมีองค์ประกอบหลายส่วน ซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงหรือแก้ไขได้ เช่น การอมความร้อนจากตัวเครื่องจักรส่วนที่เป็นโลหะ ระบบสายพานลำเลียง การถ่ายเทความร้อนที่กั้นถังน้ำร้อน ฯลฯ แต่ก็มีค่าไม่มากนักเมื่อเทียบกับเทอมอื่น ๆ

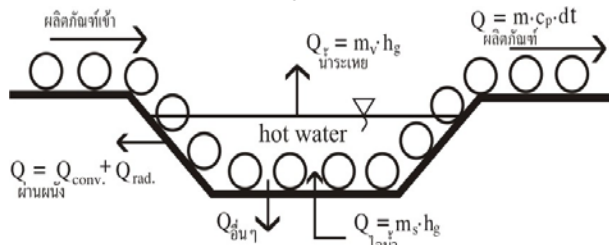
7. การสมดุลความร้อน จากกรรมวิธีและใช้สมการข้างต้นสามารถสมดุลระบบได้ตามสมการที่(11) ทิศทางการถ่ายเทความร้อนในระบบแสดงในรูปที่ 3

$$Q_{\text{ไอน้ำ}} = Q_{\text{ผลิตภัณฑ์}} + Q_{\text{ระเหย}} + Q_{\text{ผ่านผนัง}} + Q_{\text{อื่นๆ}} \quad (11)$$

3.1.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบฆ่าเชื้อ ( $\eta_{\text{cooker}}$ ) โดยพิจารณาจากความร้อนที่ผลิตภัณฑ์ได้รับต่อความร้อนที่ใช้ทั้งหมดตามสมการที่(12)

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

$$\text{หรือ } \eta_{\text{cooker}} = \frac{Q_{\text{ผลิตภัณฑ์}}}{Q_{\text{ไอน้ำที่ใช้}}} \times 100\% \quad (12)$$



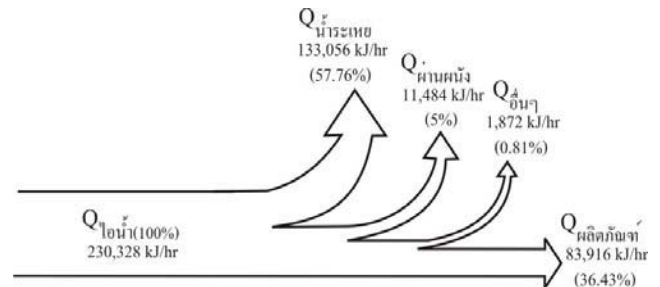
รูปที่ 3 การสมดุลความร้อนของเครื่องอบฆ่าเชื้อ

### 3.2 มาตรการที่ใช้ในการประหยัด

จากการสมดุลพลังงานความร้อนตามทิศทางการไหลของความร้อนที่แสดงในรูปที่ 3 ทำให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานความร้อนของเครื่องอบฆ่าเชื้อในแต่ละส่วนแสดงผลอยู่ในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า การสูญเสียความร้อนจะเกิดมากที่สุดจากการระเหยที่ผิวน้ำร้อน คิดเป็นร้อยละ

57.76 ของความร้อนที่ใช้ จากนั้นจึงได้กำหนดมาตรการที่ใช้ในการลดการสูญเสียจากการถ่ายเทผ่านผนังและการระเหยของน้ำร้อนดังนี้

1. การลดการสูญเสียความร้อนที่ผิวน้ำร้อน โดยการทาดัวยสาร nunsulate ซึ่งมีลักษณะเป็นฉนวนสำหรับทาเคลือบผิวผนังสแตนเลสด้านนอก สามารถลดอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสของถังจากเดิม 73 °C เหลือ 51 °C ลดลงประมาณ 22 °C ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนชั้นที่ทา
2. การลดการระเหยที่ผิวน้ำร้อน โดยการใช้ลูกบอลพลาสติกชนิด polycarbonate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 35 mm. สำหรับใช้ลอยปิดผิวหน้าน้ำร้อนในพื้นที่ผิวน้ำ 4.86 m<sup>2</sup> หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ของพื้นที่ผิวน้ำร้อนทั้งหมด



รูปที่ 4 Sankey diagram สมดุลพลังงานก่อนปรับปรุง

3.2.1 การประเมินผลประหยัด จากปริมาณความร้อนสูญเสียที่ถ่ายเทออกจากผนังหลังการทาดัวยฉนวน และอัตราการระเหยของน้ำร้อนที่ลดลง โดยนำผลที่ได้มาประเมินผลการประหยัดจากปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ใช้กับหม้อไอน้ำที่ลดลง และเทียบกับต้นทุนของเชื้อเพลิงน้ำมันเตาโดยอาศัยสมการที่(13)

$$\eta_b = \frac{Q_{\text{loss}}}{m_f HHV} \quad (13)$$

โดยที่  $\eta_b$  คือ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสมมติให้มีค่าเท่ากับ 80%  $Q_{\text{loss}}$  คือ ปริมาณความร้อนสูญเสียที่ลดลงจากมาตรการที่ใช้ในการประหยัด  $m_f$  คือ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง HHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ

เมื่อทราบผลการประหยัดในรูปปริมาณของเชื้อเพลิงจากสมการที่ 13 แล้วนำมาเทียบกับราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยคำนวณตามสมการที่(14)ดังนี้

$$A = m_f C_f OP.hr \quad (14)$$

โดยที่  $A$  คือ เงินที่ประหยัดได้ต่อปีโดยคิดจากรายได้ของปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง  $C_f$  คือ ราคาค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไอน้ำ  $OP.hr$  คือ ชั่วโมงทำงานในรอบปี

3.2.2 การประเมินผลตอบแทนการลงทุน [5] ประเมินจากรยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน ผลตอบแทนของมาตรการต่าง ๆ ที่เข้าเกณฑ์ควรมีระยะเวลาคืนทุนที่ต่ำกว่า 7 ปี หรือมีอัตราผลตอบแทนภายในสูงกว่า 25% โดยมีวิธีการประเมินดังนี้

1. ระยะเวลาคืนทุน (payback period, n) ซึ่งหาได้จากสมการที่ (15) ดังนี้

$$P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = A \quad (15)$$

โดยที่  $P$  คือ เงินลงทุน  $n$  คือ ระยะเวลาคืนทุน  $i$  คือ อัตราดอกเบี้ย  
สมมติเท่ากับ 12.5 % ต่อปี

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return, IRR)

$$\sum_{t=1}^N \frac{A}{[1+IRR]^t} - P = 0 \quad (16)$$

โดยที่  $t$  คือ ปีที่พิจารณา  $N$  คือ อายุการใช้งานอุปกรณ์  $IRR$  คือ  
อัตราผลตอบแทนภายใน (ร้อยละ)

#### 4. ผลการวิเคราะห์

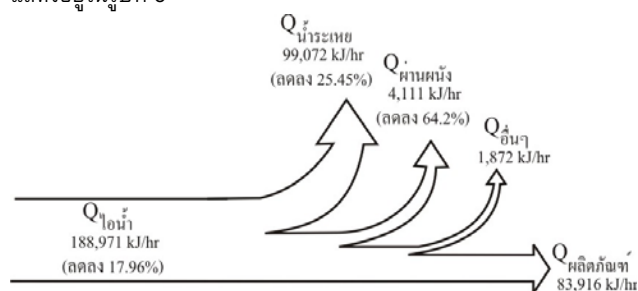
##### 4.1 การลดการสูญเสียความร้อนที่ผนังถัง

การใช้สาร nunsulate ซึ่งเป็นวัสดุประเภทนวนความร้อนใช้ทา  
เคลือบผิวของเครื่องอบฆ่าเชื้อ ทำให้อุณหภูมิของผนังลดลงจากเดิม  
73 °C เหลือ 51 °C ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิผิวผนังกับอุณหภูมิ  
แวดล้อมลดลงและประเมินการสูญเสียความร้อนโดยอาศัยผลต่างของ  
อุณหภูมิตั้งกล่าวพบที่สามารถลดการสูญเสียความร้อนได้ 7,373 kJ/hr  
หรือร้อยละ 64.2 เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง คิดเป็นปริมาณน้ำมัน  
เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เท่ากับ 0.213 ลิตร/ชั่วโมง โดยมีเงินลงทุน 3,040  
บาท คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 6,652 บาท/ปี อายุใช้งานกำหนดที่ 5 ปี  
ผลตอบแทนการลงทุนของมาตรการ 218 % ระยะเวลาคืนทุน 0.5 ปี

##### 4.2 การลดการระเหยที่ผิวน้ำร้อน

โดยการใช้ลูกบอลทรงกลมลอยปิดผิวน้ำของน้ำร้อนในพื้นที่ผิว  
4.86 m<sup>2</sup> สามารถการสูญเสียความร้อนได้จากการระเหยที่ผิวน้ำ  
ร้อนได้ 33,984 kJ/hr หรือร้อยละ 25.54 เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง  
คิดเป็นปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เท่ากับ 1.07 ลิตร/ชั่วโมง  
โดยมีเงินลงทุนในการดำเนินการมาตรการนี้ 35,200 บาท คิดเป็นเงิน  
ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เท่ากับ 29,606 บาท/ปี อายุใช้งานกำหนดที่  
5 ปี ผลตอบแทนการลงทุนของมาตรการ 91.82 % ระยะเวลาคืนทุน  
1.19 ปี

ผลการลดการสูญเสียความร้อนหลังปรับปรุงโดยมาตรการทั้งสอง  
แสดงอยู่ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 Sankey diagram สมดุลพลังงานหลังปรับปรุง

#### 5. สรุป

การวิเคราะห์พบว่าสภาพเดิมเครื่องจักรที่ใช้มีการสูญเสียความ  
ร้อนเกิดขึ้นมาก สาเหตุจากการออกแบบโครงสร้างเดิมที่มีจุดอ่อนที่ต้อง  
แก้ไข และจากมาตรการทั้งสองที่เลือกใช้พบว่าสามารถประหยัดไอน้ำ  
ในกระบวนการผลิตได้ 17.96% คิดเป็นค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้  
เท่ากับ 36,258 บาท/ปี หลังการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่อง  
เพิ่มขึ้นเป็น 44.41% และทั้งสองมาตรการนี้มีระยะเวลาการคืนทุนสั้น

และให้ผลตอบแทนสูง โดยยังมีโอกาสที่จะขยายผลที่จะนำไปใช้กับ  
เครื่องอบฆ่าเชื้อเครื่องอื่น ที่ใช้อยู่ภายในโรงงานหรือเครื่องจักรประเภท  
อื่น ๆ ที่มีลักษณะการใช้งานใกล้เคียงกัน

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการ  
วิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม ประจำปี 2548

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และจุลละพงศ์ จุลละโพธิ "การประหยัดไอน้ำ  
ในโรงงานยาสูบ" วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่  
11 ฉบับที่ 1 พ.ศ.2543 หน้า 95-103
- [2] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และคณะ, 2548, "การประหยัดไอน้ำใน  
กระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง", การประชุมเครือข่าย  
วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม  
2548, โรงแรมเดอะรอยัลพาราไดส์, จ.ภูเก็ต หน้า 803-808
- [3] W.C.Turner, Energy Management Handbook, Aee Publication  
1993, pp. 180-185
- [4] J.P.holman, Heat Transfer, Mc.Graw-hill , 1992 pp 342-350
- [5] Reay, D.A., Industrial Energy Conservation , Pergamon, 1979  
pp 315-327