

การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการออกแบบระบบหม้ออุ่นและหม้อต้มโรงงานน้ำตาล Development of Model for Designing of Evaporator and Heater System of Sugar Processing

บันเทิง สีสุตทอง¹, สมหมาย ปรีเปรม² และ ชนกนันท์ สุขกำเนิด³

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

ติดต่อ: โทรศัพท์: 043-202845 ต่อ 125, โทรสาร: 043-202849

E-mail: ¹nineded@hotmail.com ²sompri@kku.ac.th and ³chasoo@kku.ac.th

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตน้ำตาลจะใช้พลังงานความร้อนระเหยน้ำออกจากน้ำอ้อยเพื่อให้ค่าบrix (Brix) ของน้ำอ้อยสูงขึ้นโดยใช้ exhaust steam จากกังหันไอน้ำและไอน้ำแรงดันสูง (live steam) บางส่วนจากหม้อไอน้ำเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน บทความนี้จะนำเสนอการพัฒนาแบบจำลองสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของระบบของหม้ออุ่นและหม้อต้มในโรงงานน้ำตาลที่ทำงานร่วมกัน โดยใช้ไอหัวหม้อจากหม้อต้มและคอนเดนเสท เป็นตัวให้ความร้อนกับหม้ออุ่น เพื่อใช้ประเมินความต้องการใช้ exhaust steam ในหม้อต้ม เมื่อต้องการเพิ่มกำลังการหีบอ้อย โดยใช้ต้นแบบจากโรงงานน้ำตาลที่ใช้หม้อต้ม 5 ผลกระทบ (5 effects) และใช้ไอหัวหม้อกับคอนเดนเสทในการอุ่นน้ำอ้อยในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งจากแบบจำลองที่ได้ทำให้สามารถประเมินปริมาณ exhaust steam ที่ต้องการใช้ในระบบหม้ออุ่นและหม้อต้มกับปริมาณไอหัวหม้อที่ได้ โดยพบว่าไอหัวหม้อที่ได้มีปริมาณมากกว่าความต้องการของหม้อต้มลำดับถัดไป จึงสามารถนำไอหัวหม้อที่เกินไปใช้อุ่นน้ำอ้อยได้ นอกจากนี้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ในการออกแบบขนาดพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของหม้ออุ่นและหม้อต้มที่เหมาะสมกับความต้องการของกระบวนการผลิตน้ำตาลได้อีกด้วย

คำหลัก: น้ำตาล, หม้ออุ่น, หม้อต้ม, สมดุลมวล, สมดุลพลังงาน

Abstract

In sugar processing is used thermal energy to evaporate water out from juice for increasing Brix of juice by the exhaust steam from steam turbine and some live steam from boiler are thermal energy source. This paper present the development model of mass and energy balance of heater and evaporator which is accompany with operating. The vapor steam and condensate are used to thermal heat source into heater. That is for approximate the steam consumption of exhaust steam in evaporator. When crushing rate is require more and more. This model is use prototype from 5 effects multi evaporator and use vapor steam and condensate for juice heating in sugar factory to develop model. From the developed model are causes to approximate the exhaust and vapor steam value generated for using in the evaporator and heater system. That found the vapor steam generated is more than the heat consumption

for heating in the next effect evaporator, which can using for juice heating and appropriate heating surface of heater and evaporator designing for sugar processing requirement.

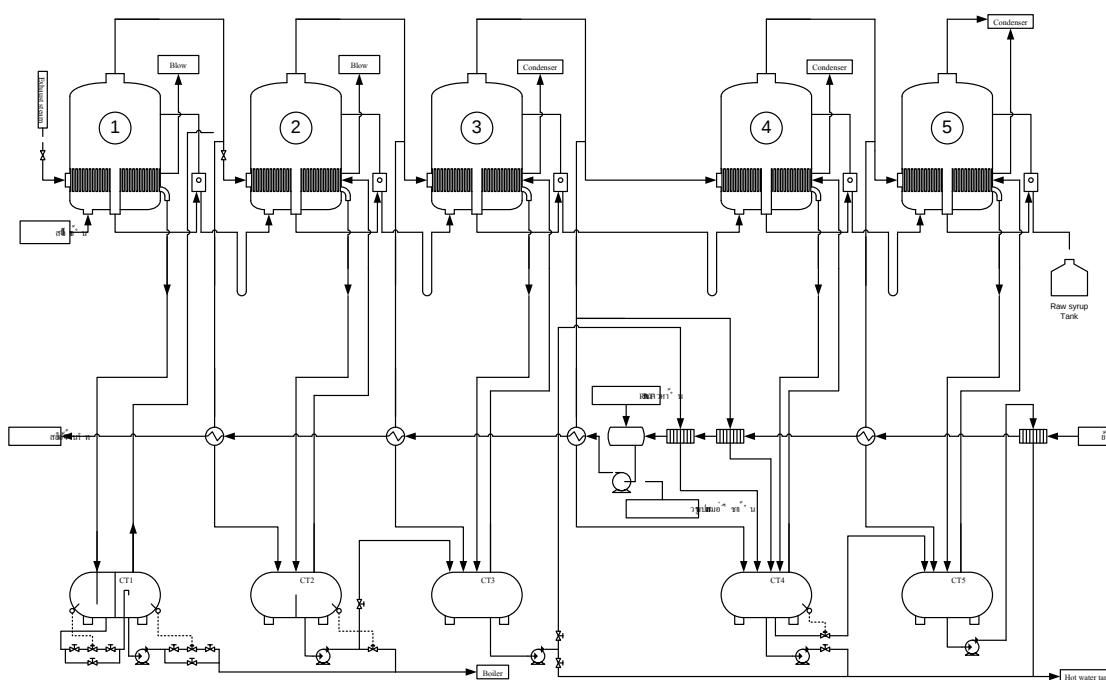
Keywords: sugar, heater, evaporator, mass balance, energy balance

1. บทนำ

การผลิตน้ำตาลในปัจจุบัน โดยทั่วไป กระบวนการพื้นฐานในการผลิตจะคล้ายคลึงกัน กล่าว คือ มีการหีบ อุ่น พักใส ต้ม เคี้ยว และปั่น ซึ่งในการ พัฒนาระบวนการผลิตได้มีการนำ exhaust steam ที่ ผ่านกังหันไอน้ำมาเป็นแหล่งความร้อนในกระบวนการ ต้มระเหย

ในการทำงาน เริ่มต้นจากการที่น้ำอ้อยผสมที่ หีบได้ จะถูกปั๊มส่งไปที่หม้ออุ่นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ สูงขึ้น จาก 45 °C ไปเป็น 103 °C แล้วส่งไปที่ กระบวนการพักใส น้ำอ้อย จะได้ น้ำอ้อยใส ส่งไปยัง หม้อต้มชุดที่แรกซึ่งเป็นหม้อต้มที่ใช้ exhaust steam เป็นตัวให้ความร้อนก่อนจะเคี้ยวให้ตกผลึกน้ำตาลต้อง ผ่านการต้มระเหยแบบหลายชั้นก่อน เพื่อให้ใช้ พลังงานน้อยลง [1] โดยส่วนใหญ่โรงงานน้ำตาลจะใช้ ระดับชั้นการต้ม 4 ถึง 5 ลำดับชั้น เพราะสามารถได้

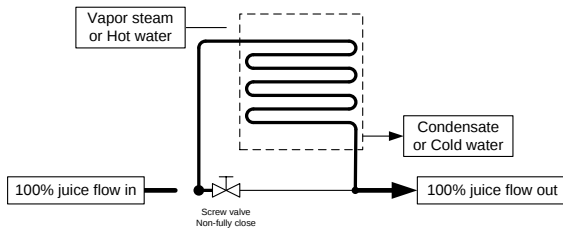
ความร้อนได้มีประสิทธิภาพสูง [2] เมื่อน้ำในน้ำอ้อยใส ได้รับความร้อนจะ ระเหยออกในสถานะไออิ่มตัว เรียกว่าไอหัวหม้อ (Vapor steam) ซึ่งไอหัวหม้อที่ เกิดขึ้นนี้สามารถใช้เป็นแหล่งความร้อน เพื่อใช้ในชุด หม้อต้มระเหยในลำดับถัดไป และยังสามารถใช้อุ่น น้ำอ้อยผสมก่อนเข้าพักใสได้อีกทางหนึ่ง [3] โดยไอหัว หม้อจะแยกนำไปใช้ในหม้ออุ่น กับหม้อต้มในลำดับ ถัดไป แต่ไอหัวหม้อชุดที่ 1 จะมีการใช้ในอุปกรณ์อื่น ด้วย โดยความดันในแต่ละหม้อต้มจะลดลงไปเรื่อยๆ จากปั๊มสุญญากาศที่ลดความดันที่หม้อต้มชุดสุดท้าย เพื่อควบคุมอุณหภูมิต้มระเหยให้ต่ำลง ซึ่งในการสร้าง ระบบหม้ออุ่นและหม้อต้มระเหยจะต้องทราบถึง ปริมาณไอที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปใช้ประเมิณพื้นที่ของ หม้ออุ่นและหม้อต้มให้เหมาะสมกับกำลังการผลิต ซึ่ง จะช่วยในการออกแบบ และสร้างระบบหม้ออุ่นและ หม้อต้มให้เหมาะสมกับพื้นที่ๆ มีอยู่ได้



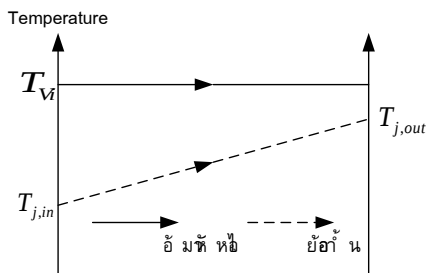
รูปที่ 1 Schematic diagram ของระบบหม้ออุ่นและหม้อต้ม

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหม้ออุ่น

หม้ออุ่นจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำอ้อยผสมให้สูงขึ้น โดยไม่เกิดการระเหยของน้ำอ้อยภายในหม้ออุ่นมวลของน้ำอ้อยผสมไหลผ่านเข้าหม้ออุ่นทั้งหมด และใช้ไอหัวหม้อเป็นแหล่งความร้อน สำหรับไอหัวหม้อชุดสุดท้ายจะไม่ใช้ในหม้ออุ่น



รูปที่ 2 Schematic diagram ของหม้ออุ่น



รูปที่ 3 การกระจายตัวของอุณหภูมิในหม้ออุ่น

ซึ่งสามารถหา อัตราการใช้ไอหัวหม้อภายในหม้ออุ่นชุดที่ i ($\dot{m}_{vhi}$) ได้จากการทำสมดุลพลังงาน

$$\sum \dot{m}h_{in} = \sum \dot{m}h_{out}$$

จะได้ว่า

$$\dot{m}_{vhi} = \frac{\dot{m}_{j,in} C_{p,j,in} (T_{j,out} - T_{j,in})}{h_{fg @ T_{Vi}}} \quad (1)$$

เมื่อ $\dot{m}_{j,in}$ = อัตราการไหลของน้ำอ้อยผสม
 $C_{p,j,in}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยผสม
เข้าหม้ออุ่น

$T_{j,out}$ = อุณหภูมิน้ำอ้อยผสมที่ออกหม้ออุ่น

$T_{j,in}$ = อุณหภูมิน้ำอ้อยผสมที่เข้าหม้ออุ่น

$h_{fg @ T_{Vi}}$ = Latent heat ที่อุณหภูมิ T_{Vi}

T_{Vi} = อุณหภูมิของไอหัวหม้อลำดับ i

โดยที่ค่า $T_{j,out}$ จะประเมินได้จากสมการของการถ่ายโอนความร้อนภายในหม้ออุ่น

$$\dot{Q} = \dot{m}_{vhi} h_{fg @ T_{Vi}} = U_{hi} A_{hi} \Delta T_m$$

$$T_{j,out} = T_{Vi} - e^{-\left(\frac{U_{hi} A_{hi}}{\dot{m}_{j,in} C_{p,j,in}}\right)} (T_{Vi} - T_{j,in}) \quad (2)$$

เมื่อ U_{hi} = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมของหม้ออุ่นลำดับ i
 A_{hi} = พื้นที่ผิวสัมผัสความร้อนรวมของหม้ออุ่นลำดับ i

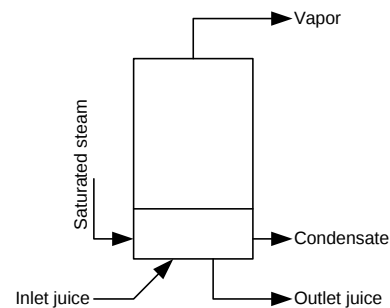
ซึ่งจากการทดลองของ Hugot [7] ได้ประเมินค่า U_{hi} ไว้ตามสมการ

$$U_{hi} = 0.7 \times 10^{-3} T_{Vi} \left(\frac{u_i}{1.8}\right)^{0.8} \quad (3)$$

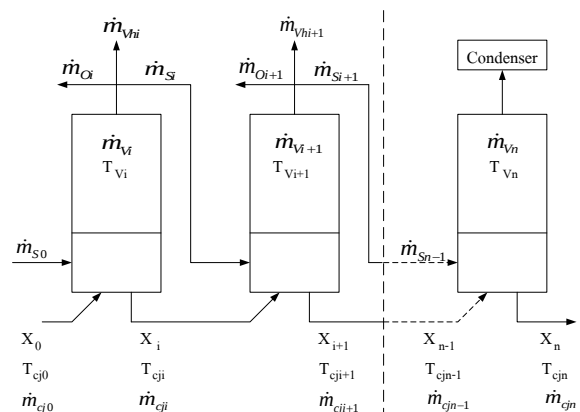
โดยให้ u_i คือความเร็วของน้ำอ้อยผสมที่ไหลภายในท่อในของหม้ออุ่นลำดับ i

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหม้อต้ม

หม้อต้มเมื่อได้รับความร้อนจาก exhaust steam หรือไอหัวหม้อแล้ว จะทำให้น้ำอ้อยระเหยไอหัวหม้อขึ้นมา โดยจะสมมติให้ exhaust steam ที่ใช้ให้ความร้อนคายความร้อนแฝงทั้งหมดให้กับน้ำอ้อย และไอหัวหม้อที่ได้เกิดจากค่า Brix ที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 4 Schematic diagram ของหม้อต้ม



รูปที่ 5 มวลที่เข้า/ออกจากชุดหม้อต้มชุดที่ i ถึง n

สมดุลมวลของของแข็ง

$$\dot{m}_{c,jn-1} X_{n-1} = \dot{m}_{c,jn} X_n \quad (4)$$

สมดุลมวลของน้ำอ้อย

$$\dot{m}_{c,jn-1} = \dot{m}_{c,jn} + \dot{m}_{Vn} \quad (5)$$

สมดุลของมวลไอน้ำที่แยกไปใช้งาน

$$\dot{m}_{Vi} = \dot{m}_{Oi} + \dot{m}_{Vhi} + \dot{m}_{Si} \quad (6)$$

สมดุลพลังงาน

$$\dot{m}_{Sn-1} = \frac{\sum (\dot{m}h)_{in} - \sum (\dot{m}h)_{out}}{h_{fg@T_{Vn-1}}}$$

$$\left(\dot{m}_{Vn} h_{Vn} + \dot{m}_{c,jn} C_{p,c,jn} T_{c,jn} - \dot{m}_{c,jn-1} C_{p,c,jn-1} T_{c,jn-1} \right) \quad (7)$$

เมื่อ $\dot{m}_{c,jn-1}$ = อัตราการไหลของน้ำอ้อยใสเข้าหม้อต้มชุดที่ n

$\dot{m}_{c,jn}$ = อัตราการไหลออกของน้ำอ้อยใสออกจาก

หม้อต้มชุดที่ n

X_{n-1} = Brix น้ำอ้อยใสเข้าหม้อต้มชุด n

X_n = Brix น้ำอ้อยใสออกหม้อต้มชุด n

$\dot{m}_{Vn}$ = อัตราเกิดไอน้ำหม้อต้มชุด n

$\dot{m}_{Oi}$ = อัตราการใช้ไอน้ำในอุปกรณ์อื่น หรือไอน้ำ

หม้อที่เหลือใช้งานจากหม้อต้มชุด i

$\dot{m}_{Si}$ = อัตราการใช้ไอน้ำเพื่อให้ความร้อนแก่หม้อต้ม

ชุด i

$C_{p,c,jn-1}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยใสที่

ไหลเข้าหม้อต้ม ชุด n

$C_{p,c,jn}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยใสที่

ไหลออกหม้อต้ม ชุด n

$T_{c,jn-1}$ = อุณหภูมิของน้ำอ้อยใสเข้าหม้อต้ม n

$T_{c,jn}$ = อุณหภูมิของน้ำอ้อยใสออกหม้อต้ม n

โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ และ

$$T_{c,jn} = T_{Vn} + BPE \quad (8)$$

เมื่อ BPE = Boiling point elevation หาได้จาก

$$BPE = \frac{2X}{100 - X} \quad (9)$$

โดยที่ T_{Vn} หาได้จากอุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำในชุดหม้อต้ม n ที่ความดัน $P_{n,abs}$ ซึ่งหาได้จากสมการความดันลดในชุดหม้อต้ม

$$\Delta P_{drop} = \frac{P_{0,abs} - P_{n,abs}}{n}$$

$$P_{n,abs} = P_{n-1,abs} - \Delta P_{drop} \quad (10)$$

สำหรับค่าความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยผสม และน้ำอ้อยใสสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_{p,j} = 4.1868 - X(0.0297 - 4.6 \times 10^{-5} P) + 7.5 \times 10^{-5} X \cdot T \quad (11)$$

โดยที่ P = ค่า Purity ของน้ำอ้อย

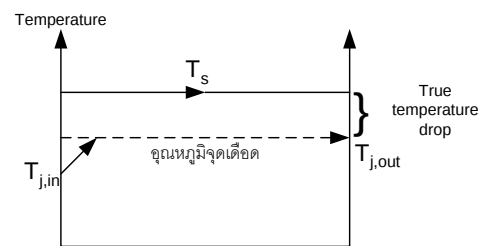
4. การคำนวณเพื่อหาขนาดของพื้นที่ของการถ่าย

โอนความร้อนรวมภายในหม้ออุ่นและหม้อต้ม

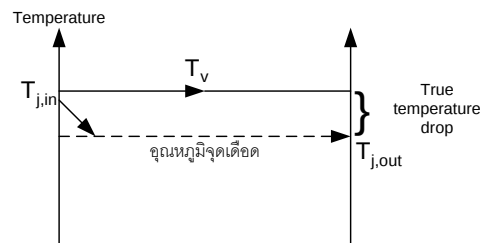
สำหรับหม้ออุ่นสามารถหาพื้นที่การถ่ายโอนความร้อนรวมได้จากการแปลงสมการที่ (2) เพื่อหาค่าพื้นที่ได้ โดยได้ว่า

$$A_{hi} = \frac{\dot{m}_j C_{p,j} \ln \left(\frac{T_{Vi} - T_{ji+1}}{T_{Vi} - T_{ji}} \right)}{U_{hi}} \quad (12)$$

แต่ในส่วนของหม้อต้มจะมีความแตกต่างจากหม้ออุ่นที่มีการระเหยของน้ำในน้ำอ้อยทำให้ การประเมินพื้นที่การถ่ายโอนความร้อนจะต้องใช้ค่า ΔT_m อีกแบบ ซึ่งการกระจายตัวของความร้อนในหม้อต้มจะเป็นตามรูปที่ 6 และ 7



รูปที่ 6 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหม้อต้มชุดแรก



รูปที่ 7 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในของหม้อต้มชุดถัดไป

โดยแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการระเหยของน้ำใน
น้ำอ้อยจะทำให้อุณหภูมิของน้ำอ้อยในหม้อต้มคงที่อยู่
ค่าหนึ่งตามความดันในหม้อต้มนั้น และเพิ่มขึ้นเมื่อค่า
Brix ของน้ำอ้อยเพิ่มขึ้น จึงใช้ค่า ΔT_m เป็นผลต่าง
ระหว่างอุณหภูมิไอที่ใช้ให้ความร้อนกับอุณหภูมิขา
ออกจากหม้อต้มแทน

$$\Delta T_m = T_{Sn-1} - T_{cjin} \quad (13)$$

จะได้สมการที่ใช้ในการคำนวณหาพื้นที่การถ่าย
โอนความร้อนรวมของหม้อต้ม (A_{Vn}) ว่า

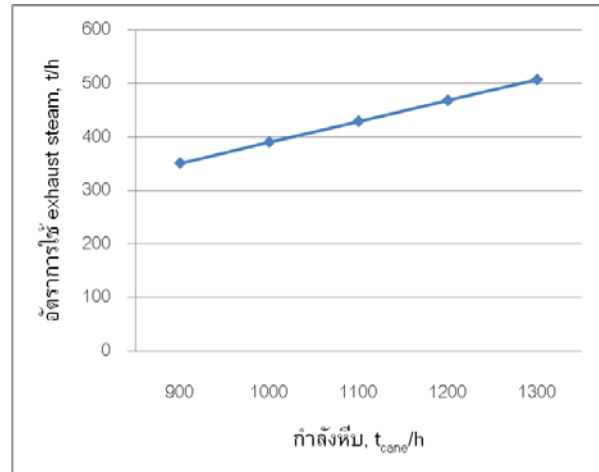
$$A_{Vn} = \frac{\dot{m}_{Sn-1} h_{fg @ T_{Vn-1}}}{U_{Vn} (T_{Sn-1} - T_{cjin})} \quad (14)$$

5. การคำนวณการเกิดไอดีด้วยแบบจำลอง

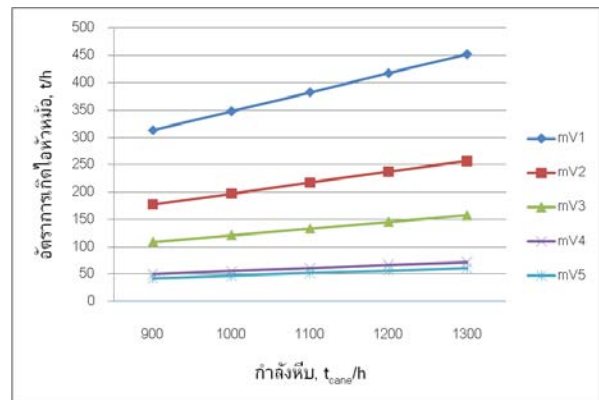
ในการคำนวณด้วยแบบจำลองจะกำหนดช่วง
ของค่ากำลังหีบตั้งแต่ 900 ถึง 1300 ตันอ้อยต่อชั่วโมง
สำหรับค่า Brix จะกำหนดค่าที่เข้าและออกแต่ละหม้อ
ต้มโดยใช้ค่าตัวอย่างจากโรงงานที่ช่วงกำลังหีบ 900
ตันต่อชั่วโมงคือ 15, 23, 33, 45, 54 และ 65
ตามลำดับซึ่งในตัวอย่างผลการคำนวณด้วย Excel
และโปรแกรม X-Steam เพื่อช่วยหาค่าคุณสมบัติของไอน้ำ
ในสภาวะต่างๆ จะเห็นได้ในรูปที่ 10

6. ผลการใช้แบบจำลองเพื่อหาไอในแต่ละจุด

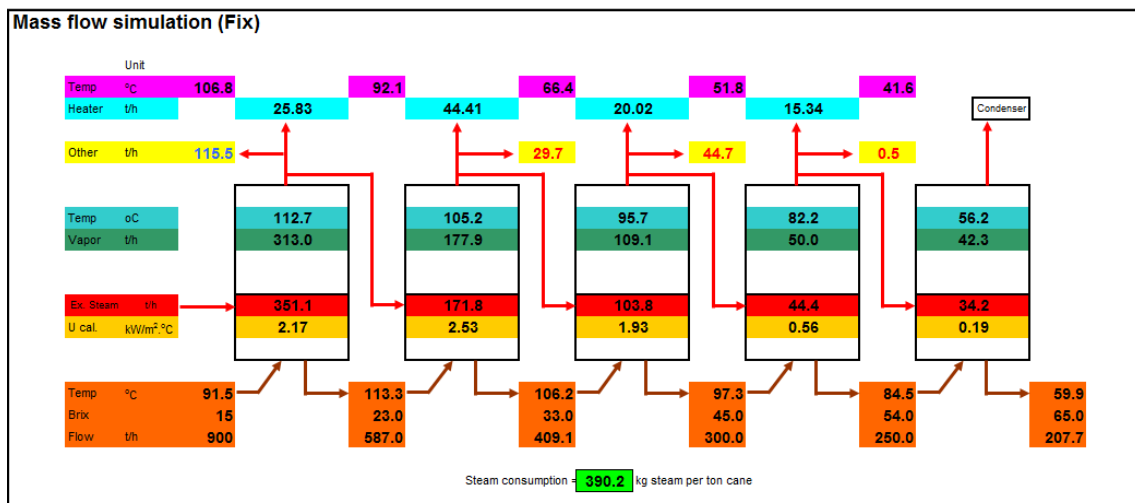
จากการปรับอัตราการไหลเข้าของน้ำอ้อยใส่ที่
เข้าหม้อต้มชุดที่ 1 ในแบบจำลองเพื่อพิจารณาการใช้
exhaust steam อัตราเกิดไอดีหม้อการใช้ไอดีหม้อ
ในหม้ออุ่นและไอดีหม้อที่เหลือจากการใช้งาน



รูปที่ 8 ปริมาณ exhaust steam ที่ต้องการใช้เพิ่มขึ้น
ตามกำลังหีบ

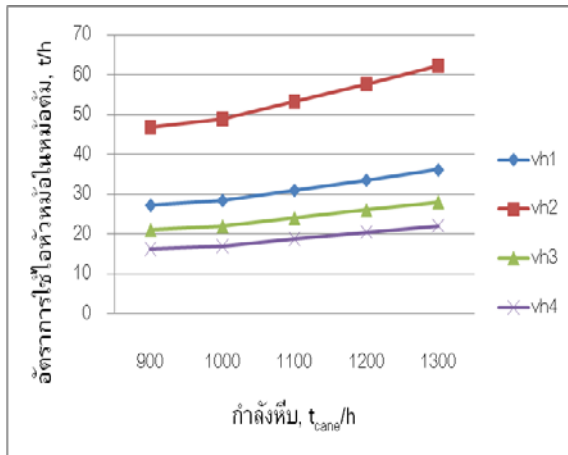


รูปที่ 9 ปริมาณไอดีหม้อที่เกิดในแต่ละชุดหม้อต้มที่
เปลี่ยนแปลงไปตามกำลังหีบ

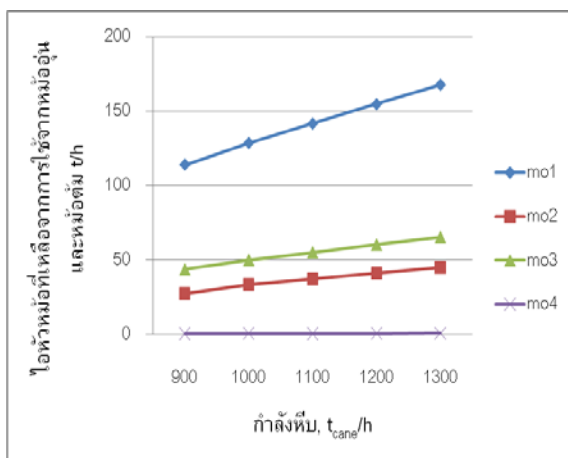


รูปที่ 10 ตัวอย่างผลการคำนวณใน Excel

จากรูปที่ 8 จะแสดงให้เห็นว่าลักษณะการเพิ่มขึ้นของไอหัวหม้อที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และไอหัวหม้อที่เกิดขึ้นทุกชุดจะเพิ่มขึ้นทั้งหมดตามกำลังหีบที่เพิ่มขึ้น



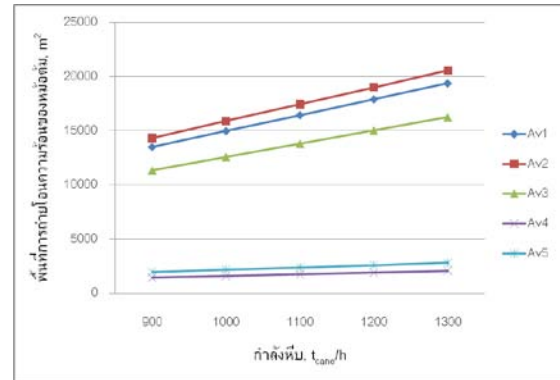
รูปที่ 11 ปริมาณการใช้ไอหัวหม้อที่หม้ออุ่นเมื่อ กำลังหีบเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 12 ปริมาณไอหัวหม้อที่เหลือใช้

โดยเมื่อนำปริมาณไอที่เกิดขึ้น และความ ต้องการปริมาณไอน้ำในแต่ละจุดแล้วจะพบว่าปริมาณ ไอหัวหม้อชุดที่ 1 จะมีมากที่สุดเพื่อนำไปใช้ใน กระบวนการเคี้ยว ซึ่งจะเพิ่มตามกำลังหีบด้วย

ในรูปที่ 13 เมื่อทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายโอนความร้อนรวมของหม้อต้มแต่ละชุดจะนำไป คำนวณในสมการที่ (14) เพื่อประเมินพื้นที่การถ่าย โอนความร้อนของหม้ออุ่นและหม้อต้มแต่ละชุดได้



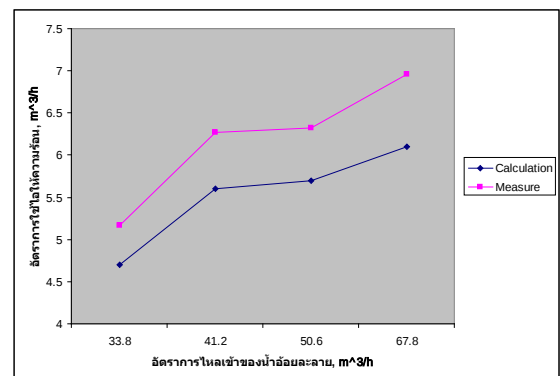
รูปที่ 13 ขนาดพื้นที่ถ่ายโอนความร้อนที่ เปลี่ยนแปลงไปตามกำลังหีบ

7. การเปรียบเทียบแบบจำลองกับหม้อต้มรีไฟน์

การเปรียบเทียบแบบจำลองกับระบบหม้อ

อุ่นและหม้อต้มจริงนั้นจะทำได้ยากเนื่องจากระบบมี ขนาดใหญ่ทำให้การติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าเพื่อ เปรียบเทียบกับแบบจำลองทำได้ยาก และมีมูลค่าสูง แต่ในระบบหม้อต้มรีไฟน์ เป็นกระบวนการต้มระเหย ที่สามารถควบคุมได้ง่ายเนื่องจากไม่ขึ้นกับปริมาณ อ้อยที่เข้ามาหีบในโรงงาน มีกระบวนการต้มระเหย และโครงสร้างแบบเดียวกับหม้อต้มน้ำอ้อยใส จึง สามารถใช้เป็นตัวแทนเปรียบเทียบความแตกต่างของ แบบจำลองได้

โดยทำการปรับอัตราการไหลเข้าของน้ำอ้อย ละลายประมาณระหว่าง 30 – 70 m^3/h แล้ว คำนวณหาค่าไอที่ใช้ทางทฤษฎี มาเปรียบเทียบกับ อัตราการกลั่นตัวของคอนเดนเสทที่วัดได้จริง ด้วย สมการเดียวกันกับชุดหม้อต้มน้ำอ้อยใส



รูปที่ 14 กราฟเปรียบเทียบการใช้ไอน้ำที่ได้จากการ คำนวณกับค่าที่วัดได้จริงของหม้อต้มรีไฟน์ชุดที่ 1

8. สรุป

จากแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น ทำให้ประเมินความต้องการในการใช้น้ำเสียในกระบวนการอุ่นและต้มน้ำตาล และปริมาณไอหัวหม้อที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อต้องการเพิ่มกำลังหีบได้ โดยพบว่าความต้องการใช้ exhaust steam เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังหีบเพิ่ม และสามารถนำไปใช้คำนวณกลับเพื่อหาขนาดพื้นที่การถ่ายโอนความร้อนรวมของหม้อต้มแต่ละชุดได้ ซึ่งพบว่าขนาดของหม้อต้มที่มีความดันใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศและมากกว่า จะมีขนาดใหญ่เมื่อคำนวณจากแบบจำลอง เพราะมีการใช้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำอ้อยมาก

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ควรมีการทดลองเพื่อหาค่าโดยละเอียดเพราะการต้มระเหยภายในหม้อต้ม น้ำในน้ำอ้อยจะมีการเปลี่ยนแปลงจากของเหลว กลายเป็นไอน้ำ อีกทั้งสารตัวกลางที่รับความร้อนเป็นสารผสมทำให้มีผลกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมมาก ซึ่งจะสังเกตได้จากหม้อต้มชุดหลังที่ค่า Brix สูง (ชุดหม้อต้มที่ 4 และ 5) จะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่ต่ำเมื่อเทียบกับ หม้อต้มชุดก่อนหน้า

จากรูปที่ 14 จะเห็นว่าปริมาณไอที่ใช้ให้ความร้อนจริงจะมากกว่าค่าที่คำนวณได้เนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนให้กับส่วนอื่น เช่นผนังหม้อต้มหรือไอที่ไม่สามารถกลั่นตัวได้ ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์ละเอียดในส่วนของ heat loss ว่ามีจุดใดบ้าง แต่ได้มีการประมาณการจากสมาคมอ้อยแห่งออสเตรเลีย และหนังสือที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมน้ำตาลและเทคโนโลยีน้ำตาลว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นให้ใช้ในช่วง 2-5% ของพลังงานไอน้ำที่ใส่เข้าไปในหม้อต้ม

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ โครงการ U-IRC สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Grabowski, J. Kleme, K. Urbaniec, G. Vaccari, X. X. Zhu, Minimum energy consumption in sugar production by cooling crystallisation of concentrated raw juice, Applied Thermal Engineering, Volume 21, Issues 13-14, p1319-p1329, 2001
- [2] J. Raghu Ram, Rangan Banerjee, Energy and cogeneration targeting for a sugar factory, Applied Thermal Engineering, Volume 23, Issue 12, p1567-p1575, 2003
- [3] M. Higa, A.J. Freitas, A.C. Bannwart, R.J. Zemp, Thermal integration of multiple effect evaporator in sugar plant, Applied Thermal Engineering, Applied Thermal Engineering, In Press, Corrected Proof, In Press, Corrected Proof, 2008
- [4] จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล, บูรณาการระบบพลังงานความร้อนและไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 1999
- [5] S.C. Kamate, P.B. Gangavati, Exergy analysis of cogeneration power plants in sugar industries, Applied Thermal Engineering, In Press, Corrected Proof, 2008
- [6] G.H. Jenkins, Introduction to cane sugar technology, Elsevier Publishing company, 1966
- [7] E. Hugot, Handbook of Sugar Engineering, 3rd ed., Elsevier Science Publisher B.Y., 1986
- [8] Cheng Eel, Thermal analysis of a sugar mill in Taiwan, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1989