

การพัฒนาแบบจำลองสมดุลมวลและพลังงานสำหรับโรงงานน้ำตาล The Model Development of Mass and Energy Balance for a Sugar Mill

อัจฉริยา บัวทอง*, สมหมาย ปรีเปรม และ ชนกนันท์ สุขกำเนิด

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

*ติดต่อ: puii.acha@hotmail.com, โทร 043-202845, โทรสาร 043-202849

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาแบบจำลองสมดุลมวลและพลังงานของกระบวนการผลิตน้ำตาลและระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้ในการศึกษาการใช้เทคโนโลยีและสภาวะการเดินเครื่องที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการผลิตและการใช้พลังงานของโรงงานน้ำตาล เพื่อชี้ความสามารถในการวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นโดยรวมของกระบวนการผลิตน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล อันจะมีความแม่นยำ รวดเร็ว สามารถลดขั้นตอนการคำนวณที่ซับซ้อนแก่ผู้ใช้งานในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยหลักการเดิมซ้ำๆ ด้วยการใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจากการศึกษาแบบจำลองพบว่า แบบจำลองสามารถแสดงผลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงจากโรงงาน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ขายต่อปริมาณอ้อยที่หีบจากแบบจำลองคือ 10.53, 12.62 kWh/ตันอ้อย ซึ่งข้อมูลจากโรงงานคือ 10.24, 11.95 kWh/ตันอ้อย และปริมาณการใช้ไอน้ำต่อปริมาณอ้อยจากแบบจำลองคือ 400.5, 409.6 กิโลกรัมไอน้ำ/ตันอ้อย ซึ่งข้อมูลจากโรงงานคือ 401.2, 413.4 กิโลกรัมไอน้ำ/ตันอ้อย

คำหลัก: แบบจำลอง, โรงงานน้ำตาล, สมดุลมวลและพลังงาน

Abstract

This research is a study of model development of mass and energy balance of sugar production and the generation of electricity regarding the use of technology in various conditions relating to production and energy consumption of sugar mill. Moreover, to narrow down the overall analysis or sugar processes, accuracy, frequency and how it is user-friendly. Study results show the use of this model displays mirroring results in comparison to a data recorded from a factory. The model displayed 10.53, 12.62 kWh/ton cane of electrical energy per ton of cane and 400.5, 409.6 kg steam/ton cane of steam consumption per ton of cane, which is the recorded data from factory resulted 10.24, 11.95 kWh/ton of cane and 401.2, 413.4 kg steam/ton cane in order.

Keywords: Model, Sugar mill, Mass and energy balance

1. บทนำ

โรงงานน้ำตาล มีขั้นตอนและกระบวนการผลิตมากมาย ซับซ้อน ซึ่งล้วนเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้า

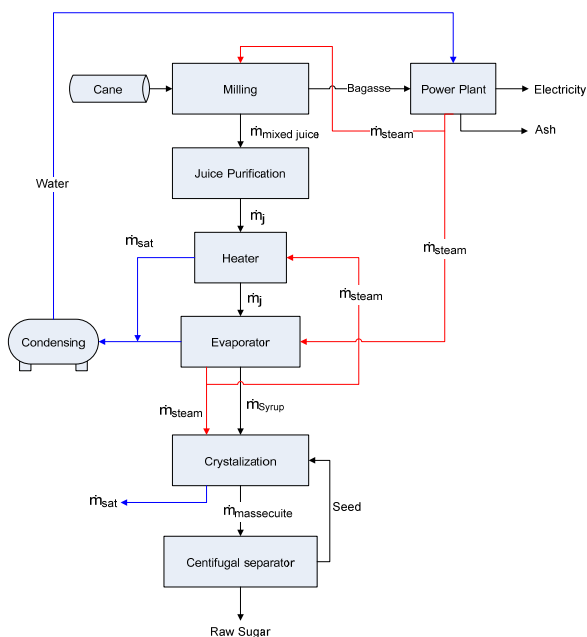
จากกระบวนการที่ซับซ้อนของการผลิตน้ำตาล การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นโดยรวม โดยการป้อนข้อมูลที่ได้จากบันทึกประจำวัน มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยการสร้างแบบจำลองที่มีแบบจำลองย่อยของแต่ละ

ETM-90

อุปกรณ์ และมีการคำนวณข้อมูลที่ได้จากการป้อนเข้าไปอยู่ภายใน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งสามารถใช้แบบจำลอง ในการคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ – เหลือใช้, พลังงานไฟฟ้าที่เหลือส่งขายต่อต้นอ้อย, ปริมาณไอน้ำที่ใช้ต่อต้นอ้อย และยังสามารถใช้แบบจำลองนี้เพื่อวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นโดยรวมของโรงงานได้ล่วงหน้า อันจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดต้นทุนของการผลิตได้ด้วย

2. การวิเคราะห์กระบวนการผลิตน้ำตาลและผลิตไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะได้แสดงถึงกระบวนการย่อยของการผลิตน้ำตาล ที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้า พร้อมทั้งการวิเคราะห์ ซึ่งจะนำเสนอตามลำดับของกระบวนการดังนี้

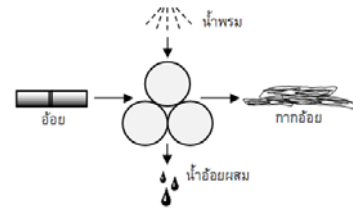


รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตน้ำตาล [1]

2.1 การวิเคราะห์กระบวนการชดเชกหีบ

กระบวนการชดเชกหีบ เป็นกระบวนการแรกที่มีการเปลี่ยนแปลงของมวลและพลังงาน เมื่อพิจารณา มวลที่ผ่านเข้าออกในชดเชกหีบอย่างง่ายนั้น จะพบว่า มวลที่ป้อนเข้าไปคือ อ้อยและน้ำที่ใช้พรมอ้อยที่ชดเชกหีบ ส่วนมวลที่ได้ออกมาคือ กากอ้อยและน้ำอ้อยผสมที่ได้จากการหีบ โดยส่วนใหญ่แล้ว โรงงานน้ำตาลจะ

กำหนดปริมาณของน้ำที่ใช้พรมอ้อยที่ชดเชกหีบ และ ปริมาณกากอ้อยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอ้อยที่เข้าหีบไว้



รูปที่ 2 กระบวนการชดเชกหีบ

สำหรับการคำนวณในส่วนของกระบวนการชดเชกหีบมีดังนี้

การคำนวณหาปริมาณกากอ้อยจากการหีบ, $\dot{m}_{Bag}$

$$\dot{m}_{Bag} = \dot{m}_{Cane} (\%Bag / 100) \quad (1)$$

การคำนวณหาปริมาณน้ำพรมที่ชดเชกหีบ, $\dot{m}_{lm}$

$$\dot{m}_{lm} = \dot{m}_{Cane} (\%lm / 100) \quad (2)$$

การคำนวณหาปริมาณน้ำอ้อยผสมที่ได้, $\dot{m}_j$

$$\dot{m}_j = \dot{m}_{Cane} + \dot{m}_{lm} - \dot{m}_{Bag} \quad (3)$$

$\dot{m}_{Cane}$ = ปริมาณอ้อยที่ป้อนเข้าหีบ, (t/h)

$\%Bag$ = เปอร์เซนต์กากอ้อยที่ได้จากการหีบ, (%)

$\%lm$ = เปอร์เซนต์น้ำพรมที่ใช้, (%)

2.2 การวิเคราะห์หม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำ มีหน้าที่ผลิตไอน้ำความดันสูงโดยความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำ ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกากอ้อย เราสามารถทราบอัตราการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ ได้จากปริมาณไอน้ำไอเสียที่ใช้ในกระบวนการ (พิจารณาว่าไม่มีการสูญเสีย) ซึ่งในกรณีของโรงไฟฟ้าที่ใช้ back pressure steam turbine ปริมาณไอน้ำที่ต้องการใช้ ที่ผลิตมาจากหม้อไอน้ำนั้นจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณไอน้ำที่นำเข้าไปใช้ในหม้อต้มระเหยเพื่อหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้ของหม้อไอน้ำ

การคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิง, $\dot{m}_f$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_s (h_s - h_w) * 100 / (HHV \eta_b) \quad (4)$$

$$\text{โดย } HHV = (4600 - 12s - 46w) * 4.1823 \quad (5)$$

การคำนวณหาเชื้อเพลิงที่เหลือใช้, $\dot{m}_B$

$$\dot{m}_B = \dot{m}_{Bag} - \dot{m}_f \quad (6)$$

$\dot{m}_s$ = อัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ, (t/h)

h_s = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำ, (kJ/kg)

ETM-90

h_w = เอนทาลปีจำเพาะของน้ำป้อน, (kJ/kg)
 HHV = ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง, (kJ/kg)
 η_o = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ, (%)
 s = เปอร์เซนต์ซูโครสในกากอ้อย, (%)
 w = เปอร์เซนต์ความชื้นในกากอ้อย, (%)
 $\dot{m}_{Bag}$ = กากอ้อยที่ได้จากการหีบ, (t/h)

2.3 การวิเคราะห์อุปกรณ์ต้นกำลัง

อุปกรณ์ต้นกำลังที่มีใช้ในโรงงานมี 2 ประเภทด้วยกัน คือมอเตอร์ไฟฟ้าและกังหันไอน้ำ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์พลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้า

การคำนวณของมอเตอร์ไฟฟ้าขับอุปกรณ์
 การคำนวณหา kW ของมอเตอร์ขับอุปกรณ์ใดๆ, kW_i

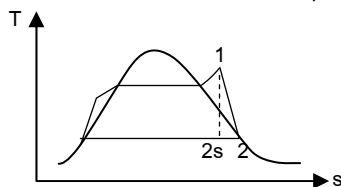
$$kW_i = \frac{(kWh/tc)_i \times \text{ตันอ้อย}}{\text{ชั่วโมง}} \quad (7)$$

การคำนวณหาผลรวมของกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ใช้ขับอุปกรณ์, kW_{motor}

$$\sum(n \cdot kW_i) = kW_{motor} \quad (8)$$

n = จำนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใดๆ, (ตัว)

การคำนวณของกังหันไอน้ำขับอุปกรณ์ใดๆมีดังนี้



รูปที่ 3 การขยายตัวของไอน้ำที่กังหันไอน้ำ

เมื่อพิจารณาการขยายตัวของกังหันไอน้ำ ดังรูปที่ 3 สามารถทำการคำนวณกังหันไอน้ำขับอุปกรณ์ได้ดังนี้

การคำนวณหาค่าเอนทาลปีจำเพาะที่ทางออก, h_2

พิจารณาที่สภาวะความดันไอน้ำที่ทางออก, P_2 จำเป็นต้องหาค่า h_f , h_{fg} , s_f , และ s_{fg} ดังนี้

จากความสัมพันธ์ของกระบวนการไอเซนโทรปิกที่กระบวนการมีค่าเอนโทรปีคงที่ $s_{2s} = s_1$

$$x_{2s} = (s_{2s} - s_f) / s_{fg} \quad (9)$$

$$h_{2s} = h_f + x_{2s}(h_{fg}) \quad (10)$$

ดังนั้น เอนทาลปีจำเพาะที่ทางออก, h_2

$$h_2 = h_1 - [(h_1 - h_{2s})(\eta_s/100)] \quad (11)$$

การคำนวณหาอัตราการไหลของไอน้ำที่ทางเข้ากังหันไอน้ำ, $\dot{m}_{s1}$

$$\dot{m}_{s1} = \dot{W}_T / (h_1 - h_2) \quad (12)$$

P_2 = ความดันไอน้ำที่ทางออก, (bar)

h_1 = เอนทาลปีจำเพาะที่ทางเข้า, (kJ/kg)

h_2 = เอนทาลปีจำเพาะที่ทางออก, (kJ/kg)

h_f = เอนทาลปีจำเพาะของของเหลวอิ่มตัว, (kJ/kg)

h_{fg} = เอนทาลปีจำเพาะของการกลายเป็นไอ, (kJ/kg)

h_{2s} = เอนทาลปีจำเพาะที่ทางออกสำหรับกระบวนการไอเซนโทรปิก, (kJ/kg)

s_f = เอนโทรปีจำเพาะของของเหลวอิ่มตัว, (kJ/kg K)

s_{fg} = เอนโทรปีจำเพาะของการกลายเป็นไอ, (kJ/kg K)

s_{2s} = เอนโทรปีจำเพาะที่ทางออกสำหรับกระบวนการไอเซนโทรปิก, (kJ/kg K)

x_{2s} = ค่าคุณภาพไอน้ำที่ทางออกสำหรับกระบวนการไอเซนโทรปิก

η_s = ประสิทธิภาพไอเซนโทรปิก, (%)

2.4 การวิเคราะห์กังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เนื่องจากกังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเกี่ยวเนื่องกัน ผู้วิจัยจึงรวมการพิจารณาไว้ด้วยกันดังนี้

การคำนวณหาค่าเอนทาลปีจำเพาะที่ทางออก, h_2

ทำการคำนวณหาค่าเอนทาลปีจำเพาะที่ทางออก

เช่นเดียวกับการหา h_2 ตามสมการ (9) – (11)

การคำนวณกำลังที่ได้จากกังหันไอน้ำใดๆ, $\dot{W}_{T,i}$

$$\dot{W}_{T,i} = \dot{m}_{s2,i} (h_1 - h_2)_i \quad (13)$$

การคำนวณกำลังไฟฟ้ารวมที่ผลิต, P_{Gross}

$$P_{Gross} = \sum \{ \dot{W}_{T,i} (\eta_{g,i} / 100) \} \quad (14)$$

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสุทธิ, P_{Net}

$$P_{Net} = P_{Gross} - P_{Use} - kW_{motor} \quad (15)$$

$\dot{m}_{s2,i}$ = อัตราการไหลของไอน้ำที่เข้ากังหันใดๆ, (t/h)

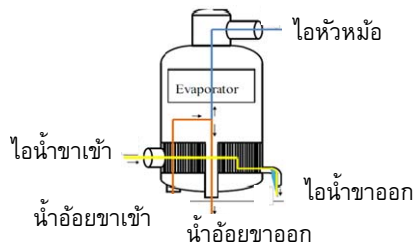
$\eta_{g,i}$ = ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดๆ, (%)

P_{Use} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงงาน (kW)

ETM-90

2.5 การวิเคราะห์หม้อต้มระเหย

หม้อต้มระเหย มีหน้าที่ให้ความร้อนกับน้ำอ้อย เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำอ้อย จากการแลกเปลี่ยนความร้อนของไอน้ำไอเสีย ที่มาจากกังหันไอน้ำกับน้ำอ้อยในหม้อต้มระเหยชุดแรกที่เป็นตัวกำหนดความต้องการใช้ไอน้ำ ซึ่งน้ำอ้อยเกิดการเดือดและระเหยไอน้ำออกมา ไอน้ำบางส่วนจะถูกดึงไปใช้ในหม้อเดี่ยว หม้ออุ่น หรืออื่นๆ ซึ่งหม้อต้มระเหยทั้งหมด 5 ชุด มีการทำงานแบบเดียวกัน จนกระทั่งหม้อต้มชุดสุดท้าย จะได้น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นมากออกมา



รูปที่ 4 แผนภาพการไหลของหม้อต้มระเหย [2]
การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำอ้อยขาออกหม้อต้มชุดแรก, $\dot{m}_{j1}$

จาก สมการสมดุลมวลของแข็ง ;

$$\dot{m}_{j1} = \dot{m}_{j0} Bx_0 / Bx_1 \quad (16)$$

การคำนวณหาอัตราการไหลของไอน้ำหม้อ, $\dot{m}_{v1}$
เมื่อพิจารณาการไหลของมวลเข้าเท่ากับมวลออก;

$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_{j1} - \dot{m}_{j0} \quad (17)$$

การคำนวณหาอัตราการไหลของไอน้ำไอเสียที่เข้าหม้อต้มชุดแรก, $\dot{m}_{s2}$

เมื่อพิจารณาสมดุลพลังงานของหม้อต้มชุดแรก
อัตราการใช้ไอน้ำไอเสีย จะได้ว่า

$$\dot{m}_{s2} = (\dot{m}_{v1} h_{v1} + \dot{m}_{j1} Cp_{j1} T_{j1} - \dot{m}_{j0} Cp_{j0} T_{j0}) / (h_v - h_L) \quad (18)$$

$$\text{โดย } Cp_{ji} = 4.1868 - (Bx)(0.0297 - 4.6 \times 10^{-5} P) + (7.5 \times 10^{-5})(Bx)(T) \quad (19)$$

การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำเชื่อมที่ได้จากหม้อต้มชุดสุดท้าย, $\dot{m}_{\text{syrup}}$

เมื่อพิจารณาสมดุลมวลของแข็ง;

$$\dot{m}_{\text{syrup}} = \dot{m}_{j0} Bx_0 / Bx_{\text{syrup}} \quad (20)$$

$\dot{m}_{j0}$ = อัตราการไหลของน้ำอ้อยขาเข้าหม้อต้ม, (t/h)

$\dot{m}_{j1}$ = อัตราการไหลของน้ำอ้อยขาออกหม้อต้ม, (t/h)

Bx_0 = ค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อยเข้าหม้อต้ม, ($^{\circ}Bx$)

Bx_1 = ค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อยออกหม้อต้ม, ($^{\circ}Bx$)

h_{v1} = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำหม้อ, (kJ/kg)

h_v = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัวที่ขาเข้าหม้อ, (kJ/kg)

h_L = เอนทาลปีจำเพาะของของเหลวอิ่มตัวที่ขาออกหม้อ, (kJ/kg)

Cp_{j0} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ขาเข้าหม้อต้ม, (kJ/kg K)

Cp_{j1} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ขาออกหม้อต้ม, (kJ/kg K)

T_{j0} = อุณหภูมิน้ำอ้อยที่เข้าหม้อต้ม, ($^{\circ}C$)

T_{j1} = อุณหภูมิน้ำอ้อยที่ออกหม้อต้ม, ($^{\circ}C$)

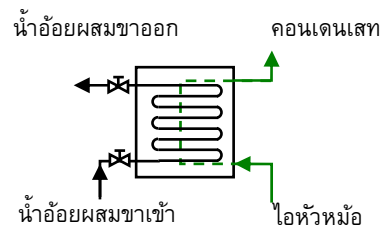
P = ค่า Purity ของน้ำอ้อย

$\dot{m}_{\text{syrup}}$ = อัตราการไหลของน้ำเชื่อมที่ได้จากหม้อต้มชุดสุดท้าย

Bx_{syrup} = ค่าความเข้มข้นของน้ำเชื่อม, ($^{\circ}Bx$)

2.6 การวิเคราะห์หม้ออุ่นน้ำตาล

หม้ออุ่นน้ำตาล เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้กับน้ำอ้อยผสม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อต้มระเหย ซึ่งมีความต้องการไอน้ำหม้อจากหม้อต้มระเหยเพื่อมาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับหม้ออุ่นที่มีน้ำอ้อยผสมไหลผ่าน



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการไหลของหม้ออุ่น
การคำนวณหาอัตราการใช้ไอน้ำหม้อใด ๆ ในหม้ออุ่นน้ำตาล, $\dot{m}_{vh,i}$

เมื่อพิจารณาสมดุลพลังงานของหม้ออุ่น อัตราการใช้ไอน้ำไอเสีย จะได้ว่า

$$\dot{m}_{vh,i} = \dot{m}_{ji} Cp_{ji} (T_{j,out} - T_{j,in}) / (h_v - h_L)_{vh,i} \quad (21)$$

$T_{j,out}$ = อุณหภูมิน้ำอ้อยที่ออกหม้ออุ่น, ($^{\circ}C$)

$T_{j,in}$ = อุณหภูมิน้ำอ้อยที่เข้าหม้ออุ่น, ($^{\circ}C$)

ETM-90

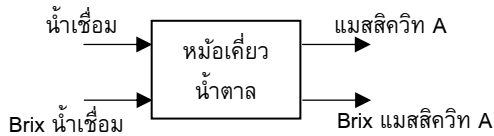
h_v = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัวที่เข้าหม้อ
อุ่น, (kJ/kg)

h_L = เอนทาลปีจำเพาะของของเหลวอิ่มตัวที่ขาออก
หม้อ, (kJ/kg)

โดย C_{p_i} สามารถหาได้จากสมการที่ (19)

สำหรับการคำนวณหาค่า h_{2s} สามารถคำนวณได้
ตามสมการที่ (9) – (11) ดังที่กล่าวมาแล้ว

2.7 การวิเคราะห์หม้อเคียวน้ำตาล



รูปที่ 6 แผนภาพสมดุลมวลของแข็งของหม้อเคียว

สำหรับการคำนวณหม้อเคียว ให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์
คือ อัตราการไหลของน้ำตาลทรายดิบ และปริมาณ
การใช้ไอน้ำหม้อในการเคียว มีรายละเอียดดังนี้

การคำนวณหาอัตราการไหลแมสสลิควิท A, $\dot{m}_{massA}$

สมดุลมวลของแข็งของหม้อเคียวน้ำตาล;

$$\dot{m}_{massA} = \dot{m}_{syrup} Bx_{Syrup} / Bx_{massA} \quad (22)$$

Bx_{massA} = ค่าความเข้มข้นของน้ำเชื่อม, ($^{\circ}Bx$)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การตกผลึกของน้ำตาลทราย
[3] จากสมการ

$$Crystal\%mass A = \frac{purity_{massA} - purity_{molasses}}{100 - purity_{molasses}} \quad (23)$$

การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำตาลทรายดิบ,

$$\dot{m}_{A Sugar}$$

$$\dot{m}_{A Sugar} = (Crystal \% mass A) \times \dot{m}_{massA} \quad (24)$$

การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำตาลทรายดิบที่
เกิดขึ้นจริง, $\dot{m}_{Sugar}$

$$\dot{m}_{Sugar} = \dot{m}_{A Sugar} \times Yield \quad (25)$$

$$\text{โดย } Yield = (2 \times Pol) - 100 \quad (26)$$

ลำดับต่อไป จะเป็นการคำนวณหาอัตราการใช้ไอน้ำ
หม้อเพื่อใช้ในการเคียวน้ำตาล โดยคำนวณจาก
สมการสมดุลมวลและพลังงานที่ระบบหม้อเคียว ดังนี้

จากสมการสมดุลมวล สามารถคำนวณหาอัตรา
การระเหยของไอน้ำจากหม้อเคียว, $\dot{m}_{evap}$

$$\dot{m}_{evap} = \dot{m}_{syrup} - \dot{m}_{massA} \quad (27)$$

การคำนวณหาอัตราการใช้ไอน้ำหม้อในหม้อเคียว,
 $\dot{m}_{vapor}$ โดยสมดุลพลังงานจะแบ่งการพิจารณาเป็น 2
กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อเป็นการเคียวแบบต่อเนื่อง

$$\dot{m}_{vapor} = [(\dot{m} h_g)_{Evap} + (\dot{m} CpT + PV)_{MassA} - (\dot{m} CpT)_{Syrup}] / (h_{fg})_{Vapor} \quad (28)$$

กรณีที่ 2 เมื่อการเคียวเป็นแบบ batch

$$\dot{m}_{vapor} = [(\dot{m} h_g)_{Evap} + (\dot{m} CvT)_{MassA} - (\dot{m} CvT)_{Syrup}] / (h_{fg})_{Vapor} \quad (29)$$

$\dot{m}_{syrup}$ = อัตราการไหลน้ำเชื่อมเข้าหม้อเคียว, (t/h)

Bx_{Syrup} = ค่าความเข้มข้นของน้ำเชื่อมที่เข้าหม้อเคียว,
($^{\circ}Bx$)

Bx_{massA} = ค่าความเข้มข้นของแมสสลิควิท A, ($^{\circ}Bx$)

$\dot{m}_{evap}$ = อัตราการไหลไอน้ำที่ระเหยจากหม้อเคียว,
(t/h)

$h_{g,Evap}$ = เอนทาลปีไออิ่มตัวของไอน้ำที่ระเหยจาก
หม้อเคียว, (kJ/kg)

$\dot{m}_{massA}$ = อัตราการไหลของแมสสลิควิท A, (t/h)

Cv_{MassA} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของแมสสลิควิท
A, (kJ/kg K)

T_{MassA} = อุณหภูมิของแมสสลิควิท A, ($^{\circ}C$)

P_{MassA} = ความดันของแมสสลิควิท A, (bar)

V_{MassA} = ปริมาตรของแมสสลิควิท A, (m^3)

Cv_{Syrup} = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเชื่อม,
(kJ/kg K)

T_{Syrup} = อุณหภูมิของน้ำเชื่อม, ($^{\circ}C$)

$h_{fg,Vapor}$ = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของไอน้ำ
หม้อ, (kJ/kg)

$T_{evaporated}$ = อุณหภูมิไอน้ำที่ระเหยจากหม้อเคียว, ($^{\circ}C$)

T_{massA} = อุณหภูมิของแมสสลิควิท A, ($^{\circ}C$)

3. การพัฒนาแบบจำลอง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2 สำหรับการ
วิเคราะห์อุปกรณ์ย่อยแต่ละอุปกรณ์ ในหัวข้อนี้ จะได้
แสดงถึง การพัฒนาแบบจำลองลงในโปรแกรม
Microsoft Excel โดยแต่ละอุปกรณ์ถูกแยกไว้ในแต่ละ
แผ่นงานอย่างชัดเจน ดังนี้

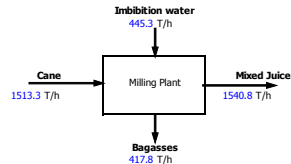
ETM-90

3.1 การพัฒนาแบบจำลองย่อยชุดลูกหีบ

Milling Model

Cane Crushed	36319.7 tcd
Bagasse % cane	27.6 % Cane
Imbibition % cane	29.4 % Cane
Operating hour	24.0 hr(s)

รูปที่ 7 ส่วน Input ของชุดลูกหีบในแผนงาน Input



Mass Balance

$$\text{Cane} + \text{Imbibition water} = \text{Mixed Juice} + \text{Bagasse}$$

When			
Cane	=	1513 T/h	36,320 T/d
Imbibition water	=	29.4 % Cane	
Bagasse	=	27.6 % Cane	
Then			
Imbibition water	=	445.32 T/h	10,687.7 T/d
Bagasse	=	417.83 T/h	10,027.9 T/d
Mixed Juice	=	1540.82 T/h	36,979.6 T/d

รูปที่ 8 แผนงานแบบจำลองย่อยของชุดลูกหีบ

3.2 การพัฒนาแบบจำลองย่อยหม้อไอน้ำ

Boiler Model

Sucrose % bagasse	16 % Bagasse
Moisture % bagasse	46.5 % Bagasse

Boiler for Milling

Pressure	30 bar	Pressure	bar
1			
T Hpteam(°C)	350	T Hpteam(°C)	
T Feed water(°C)	110	T Feed water(°C)	
Boiler efficiency(%)	66.7	Boiler efficiency(%)	
Boiler size(t/h)	64.8	Boiler size(t/h)	
2			
T Hpteam(°C)	320	T Hpteam(°C)	
T Feed water(°C)	110	T Feed water(°C)	
Boiler efficiency(%)	66.7	Boiler efficiency(%)	
Boiler size(t/h)	33.8	Boiler size(t/h)	
3			
T Hpteam(°C)	380	T Hpteam(°C)	
T Feed water(°C)	110	T Feed water(°C)	
Boiler efficiency(%)	66.7	Boiler efficiency(%)	
Boiler size(t/h)	108.8	Boiler size(t/h)	

Boiler for Power plant

P Hpteam	40 bar	P Hpteam	30 bar	P Hpteam	20 bar
T Hpteam	485 °C	T Hpteam	380 °C	T Hpteam	350 °C
1					
Boiler size(t/h)	109.7	Boiler size(t/h)	93.4	Boiler size(t/h)	28.6
T Feed water(°C)	110	T Feed water(°C)	110	T Feed water(°C)	110
Boiler efficiency(%)	71.0	Boiler efficiency(%)	66.7	Boiler efficiency(%)	60.2
2					
Boiler size(t/h)	109.7	Boiler size(t/h)		Boiler size(t/h)	28.6
T Feed water(°C)	110	T Feed water(°C)		T Feed water(°C)	110
Boiler efficiency(%)	71.0	Boiler efficiency(%)		Boiler efficiency(%)	60.2
3					
Boiler size(t/h)		Boiler size(t/h)		Boiler size(t/h)	28.6
T Feed water(°C)		T Feed water(°C)		T Feed water(°C)	110
Boiler efficiency(%)		Boiler efficiency(%)		Boiler efficiency(%)	60.2

รูปที่ 9 ส่วน Input ของหม้อไอน้ำในแผนงาน Input

Pressure	40 Bar	Pressure	30 Bar	Pressure	20 Bar
Temperature	485 °C	Temperature	380 °C	Temperature	350 °C
1					
Boiler size(t/h)	109.7	Boiler size(t/h)	93.4	Boiler size(t/h)	28.6
P Hpteam(bar)	40	P Hpteam(bar)	30	P Hpteam(bar)	20
T Hpteam(°C)	485	T Hpteam(°C)	380	T Hpteam(°C)	350
T Feed water(°C)	110	T Feed water(°C)	110	T Feed water(°C)	110
Boiler efficiency(%)	71.0	Boiler efficiency(%)	66.7	Boiler efficiency(%)	60.2
Outlet enthalpy,h1 (kJ/kg)	3411.5	Outlet enthalpy,h1 (kJ/kg)	3411.5	Outlet enthalpy,h1 (kJ/kg)	3411.5
Inlet enthalpy,h2 (kJ/kg)	461.4	Inlet enthalpy,h2 (kJ/kg)	461.4	Inlet enthalpy,h2 (kJ/kg)	461.4
Steam Flow rate,m _{st} (T/h)	109.7	Steam Flow rate,m _{st} (T/h)	93.4	Steam Flow rate,m _{st} (T/h)	28.6
Fuel consumption,m _f (T/h)	46.0	Fuel consumption,m _f (T/h)	40.2	Fuel consumption,m _f (T/h)	13.4
Calculated					
Total Steam Consumption (m _{st})	398.7	Total Steam Consumption (m _{st})	398.7	Total Steam Consumption (m _{st})	398.7
Total Fuel Consumption (m _f)	176.3	Total Fuel Consumption (m _f)	176.3	Total Fuel Consumption (m _f)	176.3
Remain Bagasses	153.8	Remain Bagasses	153.8	Remain Bagasses	153.8

รูปที่ 10 แผนงานแบบจำลองย่อยของหม้อไอน้ำ

3.3 การพัฒนาแบบจำลองย่อยกังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Turbo-Gen for Power plant						
	Pressure	40 bar	Pressure	30 bar	Pressure	20 bar
1	TG size (MW)	24	TG size (MW)	9.7	TG size (MW)	10
	Steam Consump.(t/h)	140.2	Steam Consump.(t/h)	93.4	Steam Consump.(t/h)	85.9
	P Outlet (bar)	1.5	P Outlet (bar)	1.5	P Outlet (bar)	2
	Isentropic eff. (%)	80	Isentropic eff. (%)	60	Isentropic eff. (%)	75
	Generator eff. (%)	98	Generator eff. (%)	98	Generator eff. (%)	98
2	TG size (MW)	11.9	TG size (MW)		TG size (MW)	
	Steam Consump.(t/h)	79.1	Steam Consump.(t/h)		Steam Consump.(t/h)*	
	P Outlet (bar)	1.5	P Outlet (bar)		P Outlet (bar)	2
	Isentropic eff. (%)	70	Isentropic eff. (%)		Isentropic eff. (%)	75
	Generator eff. (%)	98	Generator eff. (%)		Generator eff. (%)	98
3	TG size (MW)	0	TG size (MW)		TG size (MW)	
	Steam Consump.(t/h)	0.0	Steam Consump.(t/h)*		Steam Consump.(t/h)	0.0
	P Outlet (bar)	1.5	P Outlet (bar)		P Outlet (bar)	2
	Isentropic eff. (%)	70	Isentropic eff. (%)		Isentropic eff. (%)	75
	Generator eff. (%)	98	Generator eff. (%)		Generator eff. (%)	98

รูปที่ 11 ส่วน Input ของกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแผนงาน Input

Turbo-Gen for power plant	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Input									
P Hpteam, P1 (bar)	40	40	40	30	30	30	20	20	20
T Hpteam, T1 (°C)	485	485	485	380	380	380	350	350	350
P Outlet, P2 (bar)	1.5	1.5	1.5	1.5			2	2	2
Isentropic eff, η _s (%)	80	70	70	60			75	75	75
Generator eff, η _g (%)	98	98	98	98			98	98	98
TG size (Generated Power) (MW)	24.0	11.9	7.047	9.7			8.7		
Sz ₂ (kJ/kg.K)	7.047	7.047	7.047	6.854	6.854	6.854	6.958	6.958	6.958
Sf (kJ/kg.K)	1.434	1.434	1.434	1.434			1.530	1.530	1.530
Sg (kJ/kg.K)	7.223	7.223	7.223	7.223			7.127	7.127	7.127
Sf _g (kJ/kg.K)	5.789	5.789	5.789	5.789			5.597	5.597	5.597
Xz ₂ (kJ/kg)	0.970	0.970	0.970	0.936			0.970	0.970	0.970
h _f (kJ/kg)	467.1	467.1	467.1	467.1			504.7	504.7	504.7
h _g (kJ/kg)	2693.1	2693.1	2693.1	2693.1			2706.2	2706.2	2706.2
h _{f,g} (kJ/kg)	2226.0	2226.0	2226.0	2226.0			2201.6	2201.6	2201.6
h ₂ (kJ/kg)	2625.5	2625.5	2625.5	2551.3			2639.9	2639.9	2639.9
h ₁ (kJ/kg)	3411.5	3411.5	3411.5	3185.8	3185.8		3137.6	3137.6	3137.6
h ₂ (kJ/kg)	2782.7	2861.3	2861.3	2805.1			2764.3	2764.3	2764.3
WT (MW)	24.5	12.1		9.9			8.9		
m _{st} (T/h)	140.2	79.1		93.4			85.9		
kWh	576000	284499		232324			209464		
Calculated									
steam consumption (t/h)	398.7	Total W _T		55.4	MW				
Turbine work, W _T (MW)	55.4	Total E _g		54.3	MW				
Generated Power (MW)	54.3	E _{use}		38.3	MW				
Net kWh	382367.0	E _{net}		15.9	MW				
kWh/tc	10.5								

รูปที่ 12 แบบจำลองย่อยกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.4 การพัฒนาแบบจำลองย่อยอุปกรณ์ต้นกำลัง

Prime Mover

Prime Mover	Mill A									
	Turbine					Motor				
	kW/tc	Set(s)	η _{isen} (%)	P steam(bar)	T steam(°C)	P outlet(bar)	kW/tc	Set(s)		
Preparation	0.027	1	65	30	350	1.5	0.5000	1		
	0.027	1	65	30	350	1.5	0.5000	1		
		1	65	30	350	1.5	0.5000	1		
knives	0.025	1	60	30	320	1.5	0.4500	1		
		1	60	30	320	1.5	0.5000	1		
Shredder	0.022	1	60	30	380	1.5	0.8781	1		
Mill roller	0.022	1	60	30	380	1.5	0.2580	1		
	0.022	1	60	30	380	1.5	0.2790	1		
	0.022	1	60	30	380	1.5	0.2489	1		
	1	60	30	380	1.5	0.2074	1			

รูปที่ 13 ส่วน Input ของอุปกรณ์ต้นกำลัง

Prime Mover Sub-Model

Prime Mover Sub-Model	Turbine size (requirement)									
	kW/tc	Set(s)	η _{isen} (%)	P Steam	T Steam	kW	steam(kg/s)	steam(t/h)		
•Cane Preparation	0.0272	1	65	30	350	987.9	9.02	32.5		
	0.0271	1	65	30	350	984.3	8.98	32.3		
	1	65	30	350				0.0		
•Cane knives	0.025	1	60	30	320	908.0	9.39	33.8		
		1	60	30	320			0.0		
•Shredder	0.022	1	60	30	380	799.0	7.56	27.2		
•Milling	0.022	1	60	30	380	799.0	7.56	27.2		
	0.022	1	60	30	380	799.0	7.56	27.2		
	1	60	30	380				0.0		
Calculated						6,076	(m _{st})	207.4		

ETM-90

(ก)

Motor Drive				
	kWh/tc	Set(s)	kW	kWh
Cane Preparation	0.5000 kWh	1	756.7	18,159.9
	0.5000 kWh	1	756.7	18,159.9
	0.5000 kWh	1	756.7	18,159.9
	0.5000 kWh	1	756.7	18,159.9
	0.0000 kWh	0	-	-
Cane Knives set	0.4500 kWh	1	681.0	16,343.9
	0.5000 kWh	1	756.7	18,159.9
	0.0000 kWh	0	-	-
	0.0000 kWh	0	-	-
	0.0000 kWh	0	-	-
Shredder	0.8781 kWh	1	1,328.8	31,891.6
	0.0000 kWh	0	-	-
	0.0000 kWh	0	-	-
	0.0000 kWh	0	-	-
	0.0000 kWh	0	-	-
Milling set	0.2580 kWh	1	390.4	9,370.2
	0.2790 kWh	1	422.2	10,133.2
	0.2489 kWh	1	376.7	9,040.3
	0.2074 kWh	1	313.9	7,533.6
	0.0000 kWh	0	-	-
Other machine	5.9340 kWh	1	8,980.0	215,521.2
	3.4110 kWh	2	5,161.9	123,886.5
	2.3640 kWh	1	3,577.5	85,859.8
	6.0530 kWh	1	9,160.1	219,843.2
	2.7450 kWh	1	4,154.1	99,697.6
	0.0000 kWh	0	-	-
	0.0000 kWh	0	-	-
	0.0000 kWh	0	-	-
	0.0000 kWh	0	-	-
			38,330.0	919,920.2

From $E_{net} = E_{gr} - E_{use}$

When $E_{gr} = 54.3$ MW
 $E_{use} = 38.3$ MW
 $E_{net} = 15.9$ MW

(ข)

รูปที่ 14 (ก) แบบจำลองย่อยกังหันไอน้ำขับอุปกรณ์

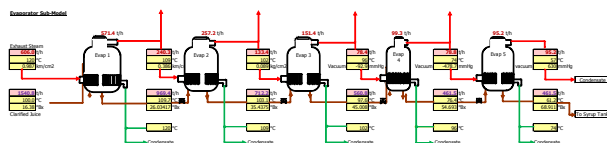
(ข) แบบจำลองย่อยมอเตอร์ไฟฟ้าขับอุปกรณ์

3.5 การพัฒนาแบบจำลองย่อยหม้อต้มระเหย

Evaporator Model

	Evap 1	Evap 2	Evap 3	Evap 4	Evap 5
T Steam °C	120	109	102	96	74
T Juice °C	100	114	113	102	87
Brix Juice °Bx	16.4				
Purity	84.1	84.1	84.1	84.1	84.1
Brix Juice out °Bx	26.0	35.4	45.0	54.7	68.9
P Steam mmHg					630

รูปที่ 15 ส่วน Input ของหม้อต้มระเหย



Evaporator (Input)

Parameter	Unit	Evap 1	Evap 2	Evap 3	Evap 4	Evap 5
T Steam in	°C	120	109	102	96	74
T Juice in	°C	100	114	113	102	87
Brix Juice in	°Bx	16.38	26.03	35.44	45.01	54.69
Purity		84.05	84.05	84.05	84.05	84.05
Brix Juice out	°Bx	26.03	35.44	45.01	54.69	68.91
P Steam out	mmHg					630

Evaporator (Output)

Parameter	Unit	Evap 1	Evap 2	Evap 3	Evap 4	Evap 5
Juice flow in	t/h	1540.8	969.4	712.2	560.8	461.5
Specific heat of Juice in	kJ/kg °C	3.8865	3.7368	3.5717	3.3684	3.1307
Juice flow out	t/h	969.4	712.2	560.8	461.5	366.2
Specific heat of Juice out	kJ/kg °C	3.7284	3.5453	3.3537	3.0873	2.7226
Enthalpy of condensate	kJ/kg	503.8	457.1	427.5	402.2	309.8
Steam flow in	t/h	606.0	240.3	133.4	78.4	78.4
Enthalpy of steam	kJ/kg	2705.9	2689.5	2678.7	2669.2	2632.9
Steam Ratio (out/in)		0.9429	1.0706	1.1349	1.2672	1.2078
Steam flow out (evaporated)	t/h	571.4	257.2	151.4	99.3	95.2
Enthalpy of steam out	kJ/kg	2689.5	2678.7	2669.2	2632.9	2603.1

Syrup	366.2 t/h
Steam consumption	606.0 t/h

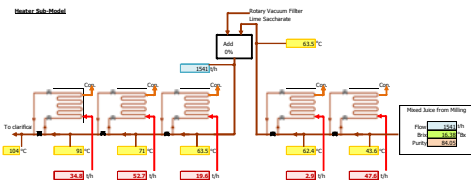
รูปที่ 16 แบบจำลองย่อยหม้อต้มระเหย

3.6 การพัฒนาแบบจำลองย่อยหม้ออุ่นน้ำอ้อย

Heater Model

	Heater 5	Heater 4	Heater 3	Heater 2	Heater 1
T Juice °C	91	71	63.5	62.4	43.6
Brix Juice °Bx	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
Purity	84.1	84.1	84.1	84.1	84.1
T Juice °C	104	91	71	63.5	62.4
Brix Juice °Bx	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
Purity	84.1	84.1	84.1	84.1	84.1

รูปที่ 17 ส่วน Input ของหม้ออุ่นน้ำอ้อย



Heater (Input)

Parameter	Unit	Heater 5	Heater 4	Heater 3	Heater 2	Heater 1
T Juice in	°C	91	71	63.5	62.4	43.6
Brix Juice in	°Bx	16.38	16.38	16.38	16.38	16.38
Purity		84.05	84.05	84.05	84.05	84.05
T Juice out	°C	104	91	71	63.5	62.4
Brix Juice out	°Bx	16.38	16.38	16.38	16.38	16.38
Purity		84.05	84.05	84.05	84.05	84.05
Juice flow in	t/h	1540.8	1540.8	1540.8	1540.8	1540.8
Juice flow out	t/h	1541	1541	1541	1540.8	1540.8
T Steam in	°C	109	102	96	96	74
T Condensate	°C	109	102	96	96	74
Specific heat of Juice in	kJ/kg °C	3.8754	3.8509	3.8417	3.8403	3.8172
Specific heat of Juice out	kJ/kg °C	3.8914	3.8754	3.8509	3.8417	3.8403
Enthalpy of steam	kJ/kg	2689.5	2678.7	2669.2	2669.2	2632.9
Condensate flow	t/h	34.8	52.7	19.6	2.9	47.6
Enthalpy of condensate	kJ/kg	457.1	427.5	402.2	402.2	309.8

Heater (Output)

Steam flow in	t/h	34.8	52.7	19.6	2.9	47.6
---------------	-----	------	------	------	-----	------

รูปที่ 18 แบบจำลองย่อยหม้ออุ่นน้ำอ้อย

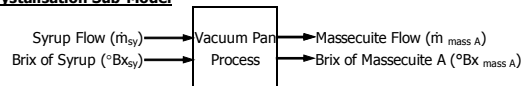
3.7 การพัฒนาแบบจำลองย่อยหม้อเคี้ยวน้ำตาล

Vacuum Pan Model

A Sugar Pol	98.9 %Pol
Masseccuite A Brix	93.5 °Bx
Masseccuite A purity	85.4
Masseccuite Temperature	65.0 °C
Masseccuite Density	1517.6 kg/m3
Molasses purity	34.9

รูปที่ 19 ส่วน Input ของหม้อเคี้ยวน้ำตาล

Crystallisation Sub-Model



Input and Output Data of VP process

Input	$\dot{m}_{sy}$	=	366.2 t/h
	Bx_{sy}	=	68.9 °Bx
	A Sugar Pol	=	98.9 %Pol
	Masseccuite A Brix	=	93.5 °Bx
	Masseccuite A pi	=	85.4
	Molasses purity	=	34.9

Yield	=	97.7 %
$\dot{m}_{mass A}$	=	269.9 t/h
crystal %	=	0.77 %
final molasses	=	60.7 t/h
A Sugar	=	209.1 t/h
∴ A Sugar	=	204.4 t/h

กรณีที่ 1 Energy Balance เมื่อ $h=u+Pv$

$\dot{m}_{evaporated} = \dot{m}_{\text{Fine Syrup}} - \dot{m}_{\text{Masseccuite}}$	=	96.4	t/h
$\dot{m}_{\text{vapor}} = (\dot{m}_{hg})_{\text{evap}} + (\dot{m}_{CpT} + PV)_{\text{masseccuite}} - (\dot{m}_{CpT})_{\text{Fine Syrup}} / (h_{fg})_{\text{vap}}$			t/h
$C_{pmass} = 2.2325$			t/h
Volume = 177.8 m3			t/h
$\dot{m}_{\text{vapor}} = 103.23$			t/h

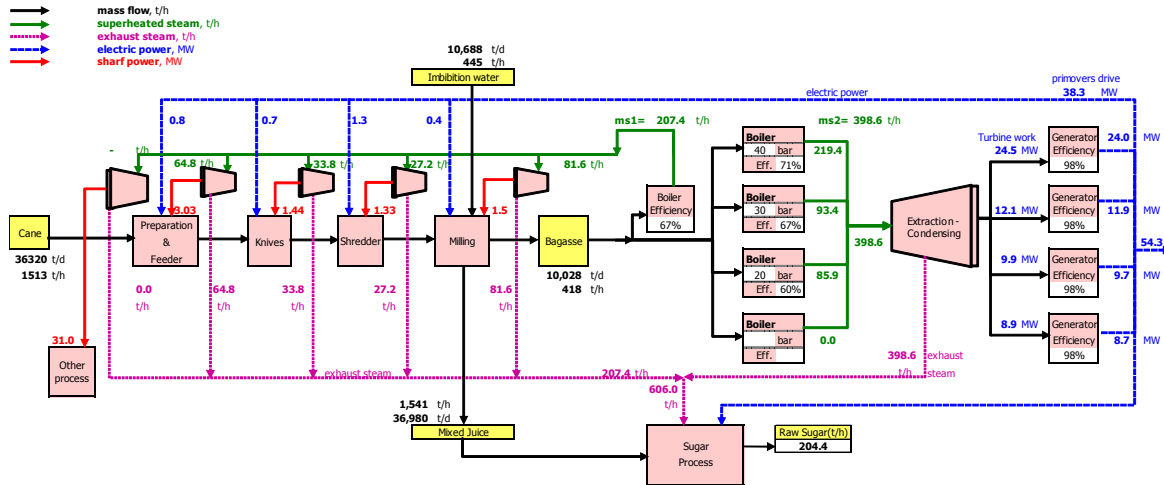
กรณีที่ 2 Energy Balance เมื่อ $h=u$

$\dot{m}_{evaporated} = \dot{m}_{\text{Fine Syrup}} - \dot{m}_{\text{Masseccuite}}$	=	96.4	t/h
$\dot{m}_{\text{vapor}} = (\dot{m}_{hg})_{\text{evap}} + (\dot{m}_{CpT})_{\text{masseccuite}} - (\dot{m}_{CpT})_{\text{Fine Syrup}} / (h_{fg})_{\text{vap}}$			t/h
$C_{pmass} = 2.2325$			t/h
Volume = 177.84 m3			t/h
$\dot{m}_{\text{vapor}} = 103.21$			t/h

รูปที่ 20 แบบจำลองย่อยหม้อเคี้ยวน้ำตาล

ETM-90

3.8 การพัฒนาแผนภาพการไหลของแบบจำลอง



รูปที่ 21 แผนภาพแบบจำลองโดยรวม

3.9 แผนงานสรุปผลจากแบบจำลองย่อยทั้งหมด

In Season				
In	1	Year		
Crushing Season	130	Days		
	tons/hour	tons/day	tons/year	
Cane	1513.3	36,319.7	4,721,562	
Mixed Juice	1540.8	36,979.6	4,807,343	
Bagasses				
Total	417.8	10,027.9	1,303,623	
Used @ Boiler for Milling	87.7	2,105.4	273,704	
Used @ Boiler for Power plant	176.3	4,231.5	550,100	
Remain	153.8	3,690.9	479,819	
Syrup	366.2	8,790.0	1,142,695	
Raw Sugar	204.4	4,905.8	637,757	
Steam consumption	606.07	14,545.6	1,890,926	
For Milling	207.4	4,978.0	647,134	
For Power Plant	398.7	9,567.6	1,243,792	
Turbine Work Output			MW	
Generated Power			55.4	
Total			54.3	
Use			38.3	
Net			15.9	
kWh			kWh	
Generated			1,302,287	
Use			919,920	
Net			382,367.0	
MWh/ton cane	0.01053		10.53	
kg steam/ton cane	0.400		400.5	
Power for prime mover motors Sufficient Power and remaning 15.9 MW				
Steam for prime mover turbine Sufficient Steam				

รูปที่ 22 แผนงานแสดงผลที่ได้จากแบบจำลองทั้งหมด

4. ผลที่ได้จากแบบจำลอง

จากการป้อนข้อมูลบันทึกประจำวันจากโรงงานลงในแบบจำลอง เพื่อทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริง สามารถแสดงในรูปแบบของตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองย่อยชุดลูกหีบเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง

ผลลัพธ์	ชุดที่ 1		ชุดที่ 2	
	แบบจำลอง	ข้อมูลจริง	แบบจำลอง	ข้อมูลจริง
น้ำพรมที่ใช้ (t/h)	445.3	445.3	340.3	340.3
กากอ้อย (t/h)	417.8	417.8	376.4	376.4

น้ำอ้อยผสม (t/h)	1540.8	1540.7	1309.7	1309.6
------------------	--------	--------	--------	--------

ตารางที่ 2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองย่อยหม้อไอน้ำเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง

ผลลัพธ์	ชุดที่ 1		ชุดที่ 2	
	แบบจำลอง	ข้อมูลจริง	แบบจำลอง	ข้อมูลจริง
กากอ้อยที่ใช้ (t/h)	264.0	265.41	325.1	330.8
กากอ้อยเหลือ (t/h)	153.8	152.49	51.3	45.6

ตารางที่ 3 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองย่อยกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทียบกับข้อมูลจริง

ผลลัพธ์	ชุดที่ 1		ชุดที่ 2	
	แบบจำลอง	ข้อมูลจริง	แบบจำลอง	ข้อมูลจริง
อัตราการใช้น้ำ (t/h)	606.0	607.3	605.8	609.2
งานของกังหัน (MW)	55.4	54.7	53.6	52.2
กำลังไฟฟ้าที่ได้ (MW)	54.3	53.8	51.9	51.1
กำลังไฟฟ้าสุทธิ (MW)	15.9	15.5	16.5	16.1
พลังงานไฟฟ้า(kWh/tc)	10.53	10.24	12.6	11.95
Kg ไอน้ำ/ตันอ้อย	400.5	401.2	409.6	413.4

ตารางที่ 4 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองย่อยหม้อต้มระเหยกับข้อมูลจริง

ผลลัพธ์	ชุดที่ 1		ชุดที่ 2	
	แบบจำลอง	ข้อมูลจริง	แบบจำลอง	ข้อมูลจริง
อัตราการใช้น้ำ (t/h)	606.0	607.2	605.8	609.2
น้ำเชื่อมที่ได้ (t/h)	366.2	354.9	356.2	349.3

จากข้อมูลที่แสดงในตารางข้างต้น เป็นข้อมูลที่สามารรถทำการเปรียบเทียบจากข้อมูลที่มีอยู่ได้ส่วนข้อมูลย่อยของแบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้า - กังหันไอน้ำขับเคลื่อน หม้ออุ่น หม้อเคียว มีความยุ่งยากซับซ้อน

ETM-90

และขาดอุปกรณ์ในการวัด ทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองที่ทำได้

[3] Hugot, E. (1986), Handbook of Sugar Engineering, 3rd ed, Elsevier, Amsterdam.

5. สรุปผล

จากผลทั้งหมดที่ได้จากการใช้แบบจำลอง ให้ผลลัพธ์ที่มีความใกล้เคียงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงของโรงงานสำหรับ ส่วนที่สามารถทำการเปรียบเทียบได้ โดยข้อมูลที่สำคัญหลัก ๆ คือ พลังงานไฟฟ้าที่สามารถส่งขายต่อปริมาณอ้อยที่หีบจากแบบจำลองคือ 10.53, 12.62 kWh/ตันอ้อย ซึ่งข้อมูลจากโรงงานคือ 10.24, 11.95 kWh/ตันอ้อย และปริมาณการใช้ไอน้ำต่อปริมาณอ้อยจากแบบจำลองคือ 400.5, 409.6 กิโลกรัมไอน้ำ/ตันอ้อย ซึ่งข้อมูลจากโรงงานคือ 401.2, 413.4 กิโลกรัมไอน้ำ/ตันอ้อย ที่สามารถอธิบายพลังงานใช้ในกระบวนการอยู่ในรูปของไอน้ำต่อตันอ้อย และพลังงานที่ได้จากกระบวนการอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าต่อตันอ้อย แต่ก็ยังขาดข้อมูลบางส่วนที่จะช่วยความสมบูรณ์ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานี้ได้

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจริงนั้น หากมีการปรับปรุงเพิ่มเติม ผู้วิจัยคาดว่าจะสามารถนำไปใช้ได้จริงกับโรงงาน เนื่องจากปัจจุบันผู้ปฏิบัติงานยังใช้การคำนวณที่ยังไม่มีความครอบคลุมทั้งระบบโรงงานและสามารถใช้แบบจำลองนี้ เพื่อวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นโดยรวมของโรงงานได้ล่วงหน้า อันจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดต้นทุนของการผลิตได้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐดนัย มูลศิริ. (2555), การพัฒนาแบบจำลองสมดุลมวลและพลังงานเพื่อการวางแผนการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตน้ำตาล. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [2] สฤณี ป้องกันภัย, ชนกนันท์ สุขกำเนิด, สมหมาย ปรีเปรม. (2552). การศึกษาผลกระทบของการกำหนดสถานะการผลิตน้ำตาลดิบต่ออัตราการใช้อไอน้ำ การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนครเหนือ