

แบบจำลองการจัดลำดับการเคี้ยวในโรงงานน้ำตาลเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน A Cane Sugar Crystallization Process Modeling for Energy conservation

ณัฐดนัย มูลศิริ¹, ชนกันท์ สุขกำเนิด², สมหมาย ปรีเปรม³ และจุฬารัตน์ เบญจปิยะพร⁴

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

ติดต่อ: โทรศัพท์: 043 202 845, โทรสาร: 043 202 849

¹ E-mail: nutdanai-mo@hotmail.com ¹, chasoo@kku.ac.th ², sompre@kku.ac.th ³, julkae@kku.ac.th ⁴

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองกระบวนการเคี้ยวน้ำตาลดิบในโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งซึ่งเป็นการเคี้ยวแบบ 3 ชุดคือ หม้อเคี้ยวชุด A, B และ C สำหรับทำนายปริมาณการใช้ไอน้ำ วัตถุดิบ และการเกิดผลผลิต โดยพัฒนาโปรแกรมและสามารถจำลองการทำงานล่วงหน้า ในระบบหม้อเคี้ยวในเวลา 24 ชั่วโมง โดยการป้อนค่าเริ่มต้น และการกำหนดเงื่อนไข ให้โปรแกรมทำการจัดลำดับการเคี้ยวโดยวิเคราะห์เงื่อนไขต่างๆเช่น ปริมาณน้ำเชื่อม ปริมาณวัตถุดิบของการเคี้ยวเพียงพอ ไอน้ำเพียงพอต่อการเคี้ยว ระดับของหม้อพักไม่เกิดการล้นหม้อผลผลิตที่ได้ เป็นต้น โดยใช้สมมูลมวลและสมมูลพลังงานของระบบหม้อเคี้ยวในการวิเคราะห์แล้วให้แบบจำลองแสดงผลของการจัดลำดับการเคี้ยวของแต่ละชุดหม้อเคี้ยวทั้งหมดภายในเวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อสามารถจำลองกระบวนการการเคี้ยวน้ำตาลทรายดิบได้แล้วได้ทำการจัดระบบการเคี้ยวระหว่างสถานการณ์การเคี้ยวในปริมาณการเคี้ยวเต็มหม้อ (100% load) มีอัตราการหีบอ้อยสูงสุด 28,000 ตันอ้อยต่อวัน ในช่วงฤดูหีบ และ อัตราการหีบอ้อยสูงสุด 16,000 ตันอ้อยต่อวัน ในช่วงฤดูปลายหีบ เพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถลดการใช้ของหม้อเคี้ยวแต่ละชุดหม้อเคี้ยวโดยสามารถลดการใช้หม้อเคี้ยวในชุดหม้อเคี้ยว A ได้ 1 หม้อ ชุดหม้อเคี้ยว B ได้ 2 หม้อ และชุดหม้อเคี้ยว C ได้ 2 หม้อ เมื่อลดจำนวนหม้อเคี้ยวได้แล้วทำให้สามารถลดการใช้ไอน้ำที่ต้องนำไปเลี้ยงหม้อเคี้ยวได้ประมาณ 32 ตัน/ชั่วโมง

คำหลัก: หม้อเคี้ยว, สมมูลมวลและสมมูลพลังงาน, การเคี้ยวน้ำตาลทรายดิบ

Abstract

This research is the simulation of sugar crystallization process in sugar factory which is three boiling system. The objective of simulation is to predict the steam consumption, raw material consumption and generated products of Vacuum Pan A, B and C for 24 hours operation period. The initial condition and operating condition are inputted into the model. The condition for equipment operation for example, the enough raw syrup, steam and space for generated products were checked by the simulation model. The mass and energy balance model were developed in finding the consumption rate of raw material and energy consumption rate.

The developed model was used for process scheduling under maximum load condition of 28,000 ton/day sugar mill and under low load condition of 16,000 ton/day. The results from the model showed

that 1 vacuum pan A can be off, 2 vacuum pans B can be off and 2 vacuum pans C can be off. The reduced number of vacuum pan operation can save 32 ton/hour of steam consumption.

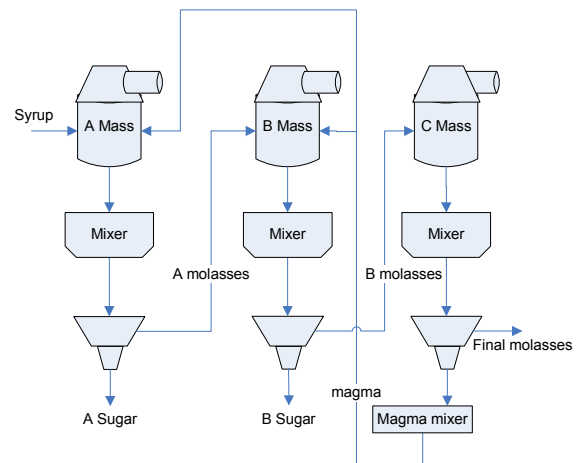
Keywords: Vacuum pan, Mass and Energy balance, Sugar Boiling, Sugar Crystallization

1. บทนำ

จากการวิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลพลังงานในระบบหม้ออุ่น หม้อต้ม และหม้อเคียว [1], [2] พบว่าสาเหตุของการนำไอน้ำจากหม้อไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตของหม้อต้มชุดที่ 1 โดยไม่ได้นำไปผ่านกังหันไอน้ำก่อน มี 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เกิดจากความสกรปรกที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของหม้อต้มชุดที่ 1 สามารถแก้ไขได้โดยการทำความสะอาดประจำวัน กรณีที่ 2 เกิดจากระบบหม้อเคียวซึ่งใช้ไอหัวหม้อของหม้อต้มชุดที่ 1 มาดำเนินการในระบบพบว่าหากระบบหม้อเคียวมีการเคียวในช่วงที่มีความต้องการใช้ไอน้ำสูงสุดพร้อมกันหลายลูก จะทำให้ไอน้ำที่นำมาใช้ในกระบวนการไม่เพียงพอต่อความต้องการ เป็นสาเหตุให้ต้องใช้ไอน้ำจากส่วนอื่นมาช่วยเสริมในกระบวนการผลิต ส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวม ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองกระบวนการเคียวน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาปริมาณการใช้ไอน้ำ วัตถุดิบ และการเกิดผลผลิตพร้อมกันทั้งหมดเพื่อการทำงานที่เหมือนกับการทำงานในระบบหม้อเคียวของจริงมากที่สุด

2. กระบวนการเคียวน้ำตาลทรายดิบ

ในระบบหม้อเคียวใช้ไอหัวหม้อจากหม้อต้มชุดที่ 1 มาเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบโดยกระบวนการเคียวจะเพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้น้ำอ้อยให้ได้ความเข้มข้นตามการเคียวแต่ละชนิด โดยจะเติมตัวล่อผลึกน้ำตาล ซึ่งเรียกว่าเชื้อ (Seed) ลงไปในกระบวนการเคียวด้วย ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการเคียว คือ Massecuite ซึ่งจะนำไปปั่นแยกเป็นน้ำตาล (sugar) และกากน้ำตาล (molasses) ในระบบหม้อปั่นต่อไป ดังรูปที่ 1 แสดงการไหลของวัตถุดิบและเชื้อในระบบหม้อเคียวแบบมีหม้อเคียว 3 ชุด [3]



รูปที่ 1 กระบวนการเคียวน้ำตาลทั่วไปแบบมีหม้อเคียว 3 ชุด

ตารางที่ 1 แสดงวัตถุดิบและเชื้อของผลผลิตต่างๆ

ผลผลิต (product)	เชื้อ(seed)	วัตถุดิบ (material)
A Massecuite	A seed	syrup
A Seed	C magma	syrup
B Massecuite	B Seed	A mol
B Seed	C magma	syrup
C Massecuite	C seed	B-mol
C Seed	A mol+syrup	syrup

ในกระบวนการเคียว A Massecuite, A Seed, B Massecuite, B Seed และ C Massecuite นั้นแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนพอสังเขป คือ

ขั้นตอนที่ 1 ใส่เชื้อเข้าไปประมาณ 40%

ขั้นตอนที่ 2 ใส่วัตถุดิบเข้าไปด้วยต่อเนื่องจนเต็ม

ขั้นตอนที่ 3 รอให้ได้ความเข้มข้น (Brix) ที่ต้องการ

กระบวนการเคียว C seed

ขั้นตอนที่ 1 เคียว Syrup และ A Mol ให้ได้ 84 Brix

ขั้นตอนที่ 2 ใส่ผงน้ำตาล (Slurry) เพื่อสร้างเมล็ด

ขั้นตอนที่ 3 หน่วงเวลาให้เกิดเมล็ดน้ำตาล

ขั้นตอนที่ 4 ปลอยน้ำร้อนเข้าไปเพื่อตัดเมล็ด

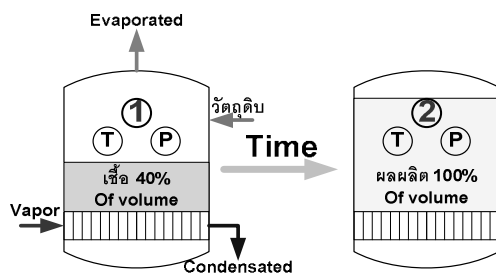
ขั้นตอนที่ 5 เคี้ยวด้วย A mol เข้าไปต่อเนื่องให้เต็ม

ขั้นตอนที่ 6 รอให้ได้ความเข้มข้น (Brix) ที่ต้องการ

ดังตารางที่ 1 จะแสดงส่วนผสมการเคี้ยวน้ำตาล โดยทั่วไปตามรูปที่ 1 แต่ในการเคี้ยวน้ำตาลทรายดิบ ในโรงงานอุตสาหกรรมจริงนั้นอาจจะมีการปรับส่วนผสมและเทคนิคการเคี้ยวแตกต่างกันแล้วแต่การออกแบบระบบหรือผลผลิตที่ต้องการของโรงงานนั้นๆ ตัวอย่างเช่น โรงงานต้องการผลผลิตน้ำตาล A และน้ำตาล B แต่บางโรงงานต้องการเพียงน้ำตาล A เพียงอย่างเดียว หรือบางโรงงานมีปัญหาเรื่องค่า Purity ของ Final molasses อาจมีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมของการการเคี้ยวน้ำตาล เป็นต้น

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เนื่องจากไอน้ำที่ใช้เป็นตัวดำเนินการในระบบหม้อเคี้ยวนั้นได้มาจากไอหัวหม้อของระบบหม้อต้ม ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์สมดุลมวล และสมดุลพลังงานเพิ่มในระบบหม้อเคี้ยวเพื่อทราบความต้องการใช้ไอน้ำทั้งหมดในระบบ โดยโรงงานน้ำตาลแห่งนี้จะมีหม้อเคี้ยวน้ำตาลดิบจำนวน 3 ชุด คือ หม้อเคี้ยว A, B และ C ซึ่งแต่ละชุดมีเทคนิคในการเคี้ยวต่างกัน และในกระบวนการเคี้ยวแต่ละชุดก็จะมีขั้นตอนการดำเนินการ และวิธีการคำนวณที่ต่างกัน ด้วยโดยจะมีการวิเคราะห์สมการหลักๆดังนี้



รูปที่ 2 การใช้วัตถุดิบและการเกิดผลผลิตในหม้อเคี้ยว สมดุลของแข็ง(Solid Mass Balance) ในหม้อเคี้ยวจะสามารถวิเคราะห์ได้จากส่วนผสมที่ใส่ลงไป ในหม้อเคี้ยวทั้งหมด คือ

$$(m \times Bx)_{\text{material}} + (m \times Bx)_{\text{seed}} = (m \times Bx)_{\text{product}} \quad (1)$$

โดย m คือ มวลของส่วนผสม (ton)

Bx คือ ความเข้มข้นของส่วนผสม (Brix)

จากรูปที่ 2 ได้แสดงการใช้วัตถุดิบใน 2 ขั้นตอนในการเคี้ยวคือ ช่วงใส่ Seed และช่วงที่เติมวัตถุดิบเต็มหม้อเคี้ยวแล้ว เมื่อวิเคราะห์สมดุลมวลรวม (Overall mass Balance) ของหม้อเคี้ยวได้สมการ คือ

$$m_{\text{Evaporated}} = m_{\text{material}} + m_{\text{seed}} - m_{\text{product}} \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 จะสามารถหามวลของไอน้ำที่ระเหยออกจากหม้อเคี้ยว (evaporated) มวลของวัตถุดิบ(material) มวลของเชื้อ(seed) และมวลของผลผลิตที่ได้(product)

ในส่วนของสมดุลพลังงาน(Energy Balance) นั้นจะใช้หามวลของไอน้ำ (vapor) ของหม้อเคี้ยวที่ต้องใช้ในการเคี้ยวในแต่ละหม้อ (strike) จากสมการดังนี้

$$Q - W = \sum m_e h_e - \sum m_i h_i + (\sum m_2 u_2 - \sum m_1 u_1)_{CV} \quad (3)$$

$$\text{โดย } \sum m_e h_e = (m h_g)_{\text{Evaporated}} + (m h_f)_{V1} \quad (4)$$

$$\sum m_i h_i = (m h_g)_{V1} + (m C_p T)_{\text{material}} \quad (5)$$

$$m_2 u_2 = (m C_p T)_{\text{product}} \quad (6)$$

$$m_1 u_1 = (m C_p T)_{\text{seed}} \quad (7)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ 4, 5, 6, 7 ลงในสมการที่ 3 และไม่มีการถ่ายเทความร้อนจากระบบสู่สิ่งแวดล้อม ($Q=0$) และไม่เกิดงานเนื่องจากระบบ ($W=0$) จะได้สมการที่หาปริมาณไอน้ำที่ต้องใช้ดังนี้

$$m_{V1} = \frac{[(m h_g)_{\text{Evap}} + (m C_p T)_{\text{mass}} - (m C_p T)_{\text{syrup}} - (m C_p T)_{\text{seed}}]}{(h_{fg})_{V1}} \quad (8)$$

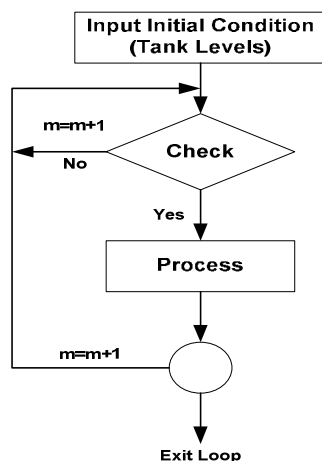
จากสมการที่ 8 จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ซึ่งจะมีบางช่วงของการเคี้ยวที่ไม่มีการใช้วัตถุดิบเนื่องจากการเคี้ยวเพิ่มความเข้มข้น (Brix) โดยสมการที่ 5 จะไม่มีส่วนของวัตถุดิบ (material=0) นั้นเอง หรือการปลอยน้ำร้อนเพื่อตัดเมล็ดจะทำให้วัตถุดิบนั้นเป็นน้ำร้อนทำให้ในส่วน of material จะเป็น $(m h_g)_{\text{material}}$ เป็นต้น

4. การพัฒนาโปรแกรม

ในการพัฒนาแบบจำลองนี้จะใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการสร้างแบบจำลองเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆไม่ว่าจะเป็นตัวแปรต้นและสมการทางคณิตศาสตร์ของสมดุลมวลและพลังงานของแต่ละหม้อเคี้ยว

หลักการในที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการสร้างแบบจำลองกระบวนการเคี้ยวน้ำตาลนั้น พิจารณาจากข้อมูลของปริมาณการใช้ไอน้ำ การใช้วัตถุดิบ และการเกิดผลผลิตของหม้อเคี้ยวแต่ละลูก และเพื่อความละเอียดในการคำนวณจึงได้แบ่งการทำงานของหม้อเคี้ยวแต่ละลูกออกเป็นช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 10 นาที โดยเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะพิจารณาเงื่อนไขหลักๆ 3 เงื่อนไขในแต่ละช่วงเวลา ดังนี้

- 1) ปริมาณการใช้ไอน้ำจะต้องไม่เกินปริมาณไอน้ำจากไอหัวหม้อที่เกิดจากหม้อต้มซุทที่ 1
- 2) การลดลงของการใช้วัตถุดิบจากถังเก็บวัตถุดิบที่ต้นทางต้องไม่ติดลบ (ไม่ขาดแคลนวัตถุดิบ)
- 3) การเพิ่มขึ้นของผลผลิตในถังเก็บที่ปลายทางของการเคี้ยวต้องไม่เกินปริมาณที่กำหนดไว้ (ผลผลิตไม่ล้นถังเก็บ)



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

การพิจารณาเงื่อนไขของโปรแกรมจะพิจารณาทีละคอลัมน์วนลูปไปเรื่อยๆ ($m=m+1$ ก็คือการพิจารณาทีละคอลัมน์ถัดไป) และจะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อไม่มีข้อมูลของเงื่อนไขให้พิจารณาแล้วดังรูปที่ 3

จากการพิจารณาเงื่อนไขดังกล่าวจึงได้ทำการสร้างตารางแสดงปริมาณการใช้ไอน้ำ การใช้วัตถุดิบ และการเกิดผลผลิตในรูปของถังเก็บวัตถุดิบต่อช่วงเวลา 10 นาที เป็นจำนวน 1440 ช่วงเวลา (24 ชั่วโมง) ขึ้นมาดังตารางที่ 2 ซึ่งตารางดังกล่าวนี้สามารถป้อนเงื่อนไขเริ่มต้นได้ และนำมาพล็อตกราฟเพื่อสังเกตแนวโน้มของปริมาณการใช้ไอน้ำ การใช้วัตถุดิบ และการเกิดผลผลิตของระบบหม้อเคี้ยวได้อีกด้วย

การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหม้อเคี้ยวแต่ละลูกมาประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นเนื่องจากกระบวนการเคี้ยวน้ำตาลของโรงงานมีส่วนที่เป็นการเคี้ยวแบบกะด้วย เพื่อความสะดวกในการเขียนโปรแกรมจึงแบ่งการทำงานของหม้อเคี้ยวแบบกะแต่ละลูกออกเป็นการทำงานในแต่ละช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 10 นาที โดยการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้างต้นมาประยุกต์จากตารางที่ 3 ได้แสดงตัวอย่างการเคี้ยว A-Seed ใช้เวลาในการเคี้ยว 2 ชั่วโมง ขนาดหม้อเคี้ยว 120 ลูกบาทก์เมตร สามารถนำมาเปลี่ยนเป็นตารางคำนวณแบบแบ่งเป็นช่วงเวลาได้ดังตารางที่ 4 และจากการคำนวณในตารางที่ 4 สามารถนำมาจัดเป็นตารางการใช้ไอน้ำ วัตถุดิบ และการเกิดผลผลิตของการเคี้ยว A-Seed ที่แบ่งออกเป็นช่วงเวลาดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในเขียนโปรแกรม และในการเคี้ยว A massecuite, A seed, B massecuite, B seed, C Massecuite และ C seed นั้นก็ทำในแบบเดียวกันซึ่งจะแตกต่างกันที่เวลาการเคี้ยว วัตถุดิบ ขนาดหม้อเคี้ยว และขั้นตอนการเคี้ยวนั่นเอง

ในการทำงานของโปรแกรมนั้นเมื่อเราป้อนข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้นได้แก่ ปริมาณไอน้ำจากหม้อต้มซุทที่ 1, ระดับของถังเก็บวัตถุดิบและผลผลิตทุกถัง, ค่า Brix ของวัตถุดิบและผลผลิต เมื่อสั่งให้โปรแกรมเริ่มทำงานก็จะเริ่มตรวจสอบเงื่อนไขถ้าผ่านก็จะทำการเริ่มเคี้ยวแล้วโปรแกรมจะนำตารางการใช้ไอน้ำ วัตถุดิบ และการเกิดผลผลิตของการเคี้ยวที่แบ่งออกเป็นช่วงเวลา

มาห้กลบการใช้วัตถุดิบเมื่อเคียวเสร็จก็จะได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมาที่ระดับของถังเก็บนั่นเอง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
92	Time	99	99	99	99	99	99	99	99
93	Syrup flow (Tons)	22.42	22.42	22.42	22.42	22.42	22.42	22.42	22.42
94	Syrup tank (Tons)	96.62	106.30	115.79	120.44	125.08	129.72	134.36	137.66
95	C-magma tank (Tons)	200.00	200.00	200.00	171.06	171.06	171.06	171.06	136.34
96	A-seed tank (Tons)	194.57	189.15	183.70	178.25	172.80	167.35	161.90	156.52
97	A-sugar (Tons)	4.07	9.13	12.20	16.26	20.32	24.39	28.46	32.52
98	A-mol tank (Tons)	180.07	172.04	164.01	155.98	147.95	139.92	131.90	123.87
99	B-seed tank (Tons)	157.26	153.79	150.31	146.82	143.34	139.85	136.37	132.88
100	B-sugar (Tons)	3.27	6.53	9.80	13.06	16.33	19.59	22.86	26.12
101	B-mol tank (Tons)	104.09	109.17	112.26	116.34	120.43	124.51	128.59	132.67
102	C-seed tank (Tons)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	73.67	73.67	73.67
103	C-sugar (Tons)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104	C-mol tank (Tons)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	Fin-mol tank (Tons)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106	W-seed tank (Tons)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
107	W-mol tank (Tons)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
108	W-sugar (Tons)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
109	Vapor (Ton/Min)	30.07	30.00	29.93	29.41	28.94	27.84	27.77	25.63
110	Vapor Consumption	6.66	6.73	6.26	6.33	6.82	6.90	11.03	11.11

ตารางที่ 2 ตารางแสดงปริมาณของไอน้ำ และวัตถุดิบในถังเก็บในโปรแกรม Excel

	Brix	Purity	Pressure	Pressure	T	Specific heat	Density	Volume	Mass
A-Seed	%	%	bar	kg/cm ²	°C	kJ/(kg·K)	kg/m ³	m ³	Ton
A-seed	87.90	85.09			65.00	1.98	1441.50	120.00	172.98
C-magma	91.13	85.66			60.00	1.90	1446.90	48.00	69.45
Syrup	60.63	85.92			63.00	2.66	1267.10		146.39
Evaporated					65.00				42.86
Vapor 1			0.31	0.30					43.69

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลพลังงานในหม้อเคียว A-Seed รวมทั้งกระบวนการ

Program	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prop. period	11.370	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37
mass of Syrup	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00
Bx of Syrup	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
Syrup specific	69.45	77.79	86.18	94.62	103.11	111.65	120.24	128.89	137.58	146.33	155.13	163.99
mass of Magma	91.13	90.86	90.59	90.32	90.05	89.78	89.52	89.25	88.98	88.71	88.44	88.17
Bx of Magma	1.90	1.90	1.91	1.92	1.92	1.93	1.94	1.94	1.95	1.96	1.96	1.97
Magma specific	77.79	86.18	94.62	103.11	111.65	120.24	128.89	137.58	146.33	155.13	163.99	172.90
mass of A-Seed	90.86	90.59	90.32	90.05	89.78	89.52	89.25	88.98	88.71	88.44	88.17	87.90
Bx of A-Seed	1.90	1.91	1.92	1.92	1.93	1.94	1.94	1.95	1.96	1.96	1.97	1.98
A-Seed specific	3.03	2.96	2.93	2.88	2.83	2.78	2.73	2.67	2.62	2.57	2.51	2.46
Evaporated	3.35	3.34	3.32	3.31	3.29	3.28	3.26	3.25	3.23	3.22	3.20	3.19
Vapor consumption												

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลพลังงานในหม้อเคียว A-Seed แบบแบ่งเป็น 12 ช่วงเวลา

วัตถุดิบ/เวลา	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Syrup used (Tons)	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37	11.37
C-magma used (Tons)	69.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A-Seed used (Tons)												
Vapor cons (Ton/Min)	3.01	3.04	3.07	3.10	3.12	3.15	3.18	3.21	3.24	3.27	3.29	3.32
A-Seed (Tons)												172.90

ตารางที่ 5 การใช้ไอน้ำ วัตถุดิบ และการเกิดผลผลิตของการเคียว A-Seed ที่แบ่งออกเป็นช่วงเวลา

5. กรณีศึกษาจากการใช้โปรแกรม

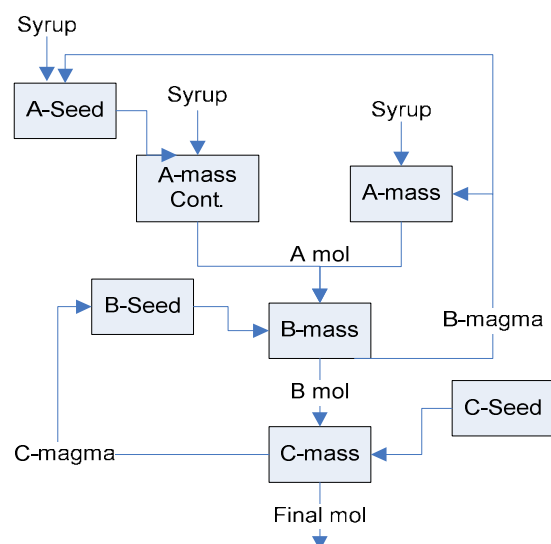
ตัวอย่างของโปรแกรมที่จำนำเสนอต่อไปนี้เป็นของระบบหม้อเคียวในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ซึ่งมีหม้อเคียวโดยมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 6 ข้อมูลชนิดและจำนวนหม้อเคียว

ชนิดหม้อเคียว	จำนวน	ขนาด(จำนวน)
A Seed Batch	2	95(2) m ³
A Mass Batch	3	95(1),55(2) m ³
A Continuous	2	80(2) m ³ /hr
B Seed Batch	3	95(3) m ³
B Batch	6	95(1),55(5) m ³
C Seed Batch	2	95(1),55(1) m ³
C Mass Batch	8	55(8) m ³

ตารางที่ 7 ถังเก็บวัตถุดิบและผลผลิต

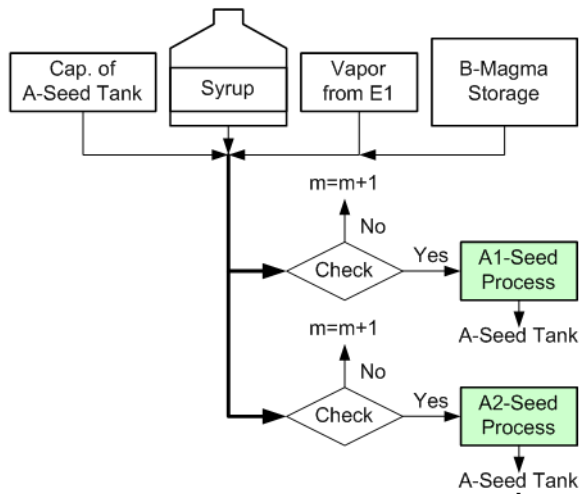
ชนิด	จำนวน	ขนาด
Syrup	2	120, 48 m ³
A seed	1	185 m ³
A mol	2	147, 72 m ³
B Seed	1	119 m ³
B magma	1	123.9 m ³
B mol	2	147, 72 m ³
C seed	1	117 m ³
C magma	1	75.2 m ³



รูปที่ 4 Flow Chart ของระบบทั้งหม้อเคียว

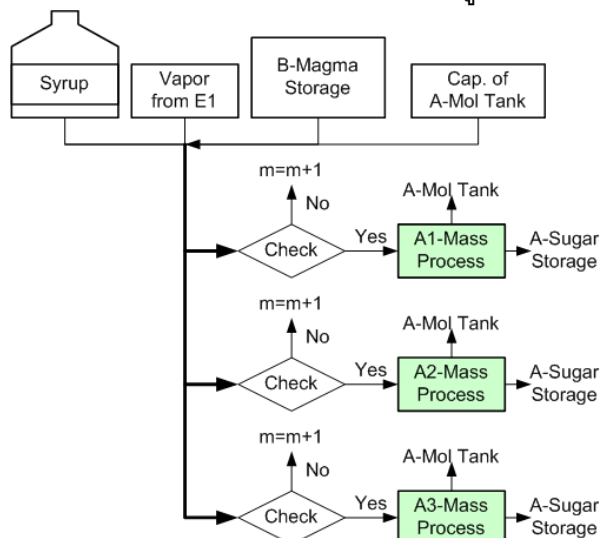
จากข้อมูลข้างต้น เราจะสามารถสร้างเงื่อนไขและโครงสร้างของโปรแกรมได้คือ เงื่อนไขของถังเก็บวัตถุดิบและผลผลิต และการใช้ไอน้ำ วัตถุดิบ และการ

เกิดผลผลิตของการเคี้ยวแต่ละหม้อ (Strike) โดยโครงสร้างของการทำงานของโปรแกรมมีการทำงานคล้ายคลึงกันของระบบหม้อเคี้ยว A, B และ C โดยมี การแยกหม้อเคี้ยว Seed และ Massequite ดังรูปที่ 5 และ 6 ได้แสดงการทำงานของโปรแกรมระบบหม้อ เคี้ยว A Seed และ A Mass



รูปที่ 5 Flow Chart โปรแกรม A Seed

จากรูปที่ 5 การทำงานของโปรแกรมในระบบ A seed นี้ จากตารางที่ 6 มีหม้อเคี้ยว A seed จำนวน 2 หม้อ โดยจะให้โปรแกรมเลือกตรวจสอบเงื่อนไขที่หม้อ ที่ A1 ก่อนตามลำดับเช่นเดียวกับ A mass ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 Flow Chart โปรแกรม A Massequite

6. ผลการใช้โปรแกรมจัดการแผนการเคี้ยว

เมื่อเราได้ทำแบบจำลองจากข้อมูลข้างต้นโดยมี ข้อมูลหม้อเคี้ยวและระบบการเคี้ยวแล้วเมื่อเราทำการ

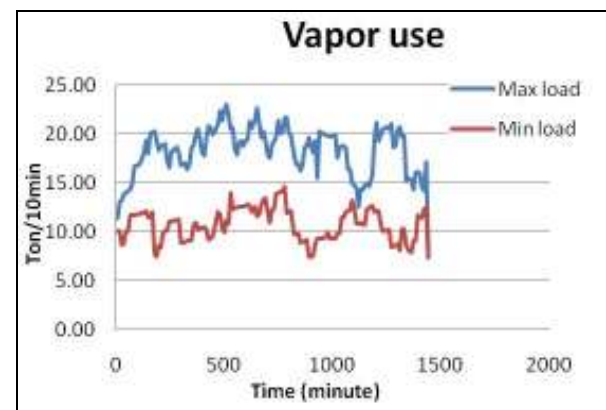
รันโปรแกรมทำการจัดการแผนการเคี้ยว โดยทำการรันใน เปรียบเทียบ 2 โหลดการทำงานคือ ช่วง max load อัตราการหีบอ้อยสูงสุด 28,000 ตันอ้อยต่อวัน ในช่วง ฤดูหีบ (syrup 250 t/hr) และ min load อัตราการหีบ อ้อยสูงสุด 16,000 ตันอ้อยต่อวัน ในช่วงฤดูปลายหีบ (syrup 150 t/hr) ได้ผลการเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงจำนวนการเคี้ยวของหม้อ Batch

หม้อเคี้ยว	Max load (Strike/day)	Min load (Strike/day)
A seed	12	7
A mass	7	1
B seed	10	9
B mass	28	17
C seed	8	5
C mass	21	13

ตารางที่ 9 แสดงผลการเคี้ยวของหม้อ Continuous

หม้อเคี้ยว	Max load (m ³ /hr)	Min load (m ³ /hr)
A mass Cont 1	60	60
A mass Cont 2	70	0

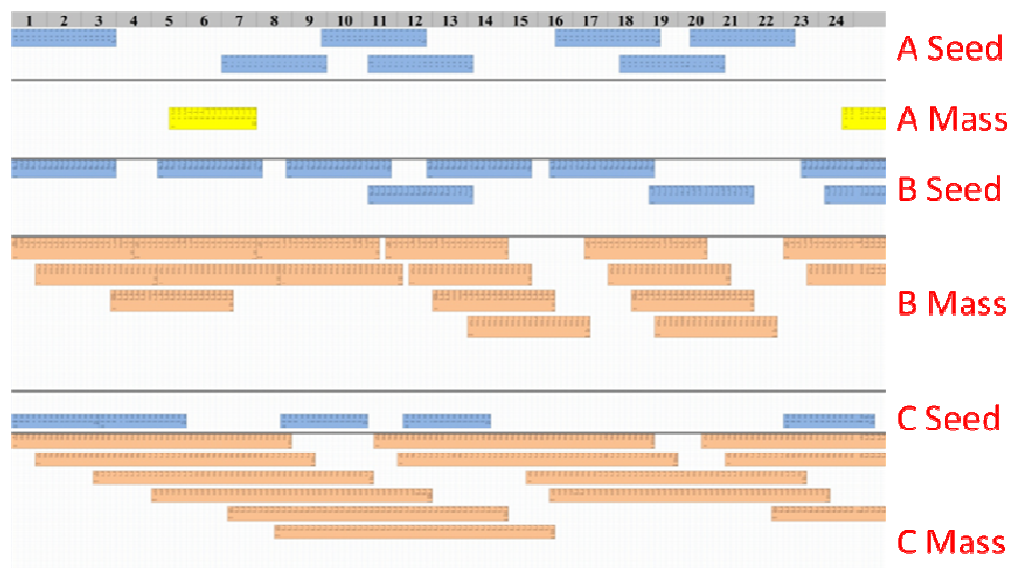


รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงไอน้ำของ max และ min load

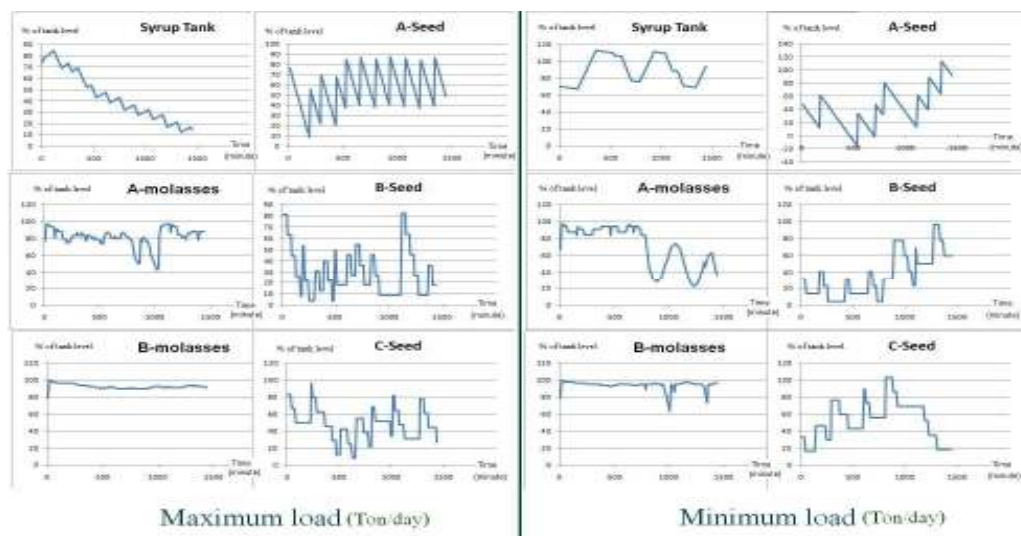
จากรูปที่ 7 ได้แสดงถึงการเปรียบเทียบการใช้ไอน้ำของ max load และ min load ซึ่งจะเห็นว่ามีการ ลดลงของการใช้ไอน้ำเนื่องจากการหีบที่ลดลงทำให้ น้ำเชื่อมเข้าสู่ระบบเคี้ยวลดลงและทำให้การใช้ไอน้ำ ของระบบเคี้ยวลดลงด้วย



รูปที่ 8 แสดงการจัดตารางการเคี้ยวของระบบหม้อเคี้ยวในเวลา 24 ชั่วโมง max load



รูปที่ 9 แสดงการจัดตารางการเคี้ยวของระบบหม้อเคี้ยวในเวลา 24 ชั่วโมง min load



รูปที่ 10 แสดงระดับของถังพักของวัตถุดิบและเชื้อ

7. สรุปผล

จากการนำผลการทดลองใช้โปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของ Maximum load และ Minimum load โดยป้อนข้อมูลของน้ำเชื่อมลงไป เพื่อให้โปรแกรมจัดตารางเปรียบเทียบกันพบว่า

- 1) จากรูปที่ 8 และ 9 ได้แสดงผลการเคี้ยวไว้ในตารางที่ 8 นั้นจะเห็นว่าสามารถลดการใช้งานของหม้อเคี้ยวได้แก่หม้อเคี้ยว A mass 1 หม้อ, หม้อเคี้ยว B mass 2 หม้อ, หม้อเคี้ยว C mass 2 หม้อ
- 2) จากตารางที่ 9 สามารถลดการใช้หม้อเคี้ยวแบบต่อเนื่องได้ (continuous vacuum pan) โดยสามารถปิดการใช้งานได้ 1 หม้อเคี้ยว
- 3) เนื่องจากการลดการใช้หม้อเคี้ยวแบบต่อเนื่องลงได้ จึงทำให้ประหยัดการใช้งานไอน้ำในระบบหม้อเคี้ยวได้ประมาณ 32 ตัน/ชั่วโมง จากการปิดใช้งานหม้อเคี้ยว

ผลการเปรียบเทียบทั้งสองนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจในการจัดการระบบเคี้ยวน้ำตาลว่าจะสามารถหยุดการใช้งานของหม้อเคี้ยวได้หรือไม่ ซึ่งหมายถึงการปิดวาล์วไอน้ำที่ต้องเลี้ยงอุณหภูมิของหม้อเคี้ยวที่ไม่มีการใช้งานหรือรอการใช้งานอยู่ซึ่งจะทำให้ลดการใช้ไอน้ำได้อีก ส่วนในรูปที่ 10 นั้นจะแสดงสถานะของถังพักในแต่ละถังว่ามีระดับเท่าใดแล้วใน 100% จะเห็นได้ว่าไม่มีการล้นของถังพักเลย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุทธิศักดิ์ ป้องกันภัย, ดร.ชนกนันท์ สุขกำเนิด, รศ. ดร.สมหมาย ปรีเปรม. (2552). การศึกษาผลกระทบของการกำหนดสถานะการผลิตน้ำตาลดิบต่ออัตราการใช้ไอน้ำ. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] Maeda-Chen. (1985). Cane Sugar Handbook a manual for cane sugar manufacturers and their chemists: Wiley Publisher in New York.
- [3] จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล. (2542). บุรณาการระบบพลังงานความร้อนและไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.