

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าใน กระบวนการหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาล

Feasibility Study of Electric Motor Replacement to Steam Turbine of Sugar Cane Mill in Sugar Factory

จุฬารัตน์ เบญจปิยะพร¹ และ สุชาติ ใจหาญ²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

² โรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว ต.โคกสะอาด อ.ภูเขียว จ.ชัยภูมิ 36110

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 043 202 845, โทรสาร: 043 202 849, E-mail: julkae@kku.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลจากอ้อยส่วนใหญ่เป็นระบบผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม (Cogeneration หรือ Combined Heat and Power, CHP) และจัดว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ไม่มีขยะเหลือทิ้ง (Zero Waste Industry) มีการใช้กากอ้อยที่เหลือจากการหีบสกัดน้ำอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำส่งให้แก่กังหันไอน้ำในกระบวนการหีบอ้อยและกังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้า ไอน้ำที่ผ่านกังหันแล้วจะถูกใช้ในกระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อยต่อไปซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการใช้ไอน้ำในโรงงานน้ำตาล จากนโยบายพลังงานแห่งชาติที่ให้มีการขยายการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ส่งผลให้โรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียวหาวิธีการลดการใช้ไอน้ำในส่วนกระบวนการผลิตน้ำตาลและใช้ไอน้ำในส่วนผลิตไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มรายได้ ไอน้ำส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหีบอ้อย ซึ่งกังหันไอน้ำในกระบวนการหีบอ้อยมีประสิทธิภาพต่ำกว่ากังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจึงได้มีศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว โดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จำลองโครงข่ายการใช้ไอน้ำของโรงงานที่มีความซับซ้อนด้วยวิธีสมดุลมวลและพลังงานไอน้ำร่วมกับการวิเคราะห์ผลกระทบด้านพลังงานและด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินศักยภาพและผลตอบแทนการลงทุนของโครงการเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาลต่อไป

คำหลัก: พลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วม เปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กระบวนการหีบอ้อย สมดุลมวล และพลังงานไอน้ำ

Abstract

Sugar mill industry is known as a co-generation of heat and power or Combined Heat and Power (CHP) by burning bagasse in a boiler furnace to produce steam and supply to a turbine driving an electric generator which generates power for the factory and the steam leaving the turbine exhaust flows to the heating equipment for sugar manufacture. It is also called as Zero Waste Industry since bagasse, a

biomass fuel, is the waste generated by the sugar mill process from sugar cane. In order to induce more investors to produce electricity from renewable energy, in 2007 the Ministry of Energy set a target to purchase power from SPPs using renewable energy. Also initiated was another supportive scheme, “Adder Provision” an additional energy purchasing price on top of the normal prices that power producers will receive when selling electricity to the Power Utilities. This initiated the sugar factory to improve the steam usage in sugar process for to increase electricity production. Steam turbine in the sugar cane milling process has less efficient than steam generator. The replacement steam turbine with electric motor could increase generate electricity. Steam balance equations of factory were formulated as a function of a number of steam turbine in the sugarcane milling process by using the mass & energy balance and performance data of steam turbine. The calculation shows that the replacing could result in an increase of electric power. This work study the feasibility of the replacement in terms of effects in energy, economic and investment by using data from Phu Khieo sugar factory.

Keywords: Combined Heat and Power (CHP), electric motor replacement to steam turbine, sugar cane milling process, steam and mass balances

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมเกษตรที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากอ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจอันดับสามรองจากข้าวและมันสำปะหลัง อีกทั้งไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำตาลทรายอันดับต้นๆของโลก[1,2] โรงงานน้ำตาลใช้ระบบผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้ารวม ซึ่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงสูงและจัดว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ไม่มีขยะเหลือทิ้ง เพราะมีการใช้กากอ้อยที่เหลือจากการหีบสกัดน้ำอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำส่งให้แก่กังหันไอน้ำในกระบวนการหีบอ้อยและกังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้าใช้ในโรงงาน ไฟฟ้าส่วนที่เหลือขายเข้าสายส่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตในลักษณะของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small power producer – SPP ไม่เกิน 90 MW) หรือขนาดเล็กมาก (Very small power producer – SPP ไม่เกิน 10 MW) ส่วนไอน้ำที่ผ่านกังหันแล้วจะถูกใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลต่อไป

การใช้ชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานทดแทนและพลังงานสะอาดหรือเรียกว่าพลังงานหมุนเวียนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เป็นต้นเหตุของภาวะ

โลกร้อน[3,4] ดังนั้นเพื่อจูงใจให้เกิดผู้ผลิตไฟฟ้าที่ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเข้ามาผลิตไฟฟ้ามากขึ้น คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติได้ขยายการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก และขนาดเล็กมาก สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนโดยมีอัตรารับซื้อไฟฟ้าส่วนเพิ่ม (Adder) [5,6] ส่งผลให้การใช้พลังงานไอน้ำในโรงงานน้ำตาลมีมูลค่ายิ่งขึ้น โรงงานน้ำตาลส่วนใหญ่จึงหันมาลงทุนสร้างโรงไฟฟ้ามากขึ้น [7]

โรงไฟฟ้าระบบ Cogeneration ที่ใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงหลักในประเทศมีจำนวน 30 แห่ง แต่ประสิทธิภาพการผลิตความร้อนและไฟฟ้ารวมโดยส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับที่ต่ำ อีกทั้งการจัดการทางด้านวัตถุดิบเชื้อเพลิงยังไม่ดีพอทำให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบได้โดยเฉพาะในฤดูที่ไม่มีกากอ้อยซึ่งยาวนานถึง 6 เดือนต่อปี [8] โรงงานบางแห่งจึงเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้กากอ้อยโดยการลดความชื้นก่อนเข้าห้องเผาไหม้ ทั้งวิธีให้ความร้อนแก่กากอ้อยหรือใช้แรงบีบสกัดน้ำจากกากอ้อยอีกครั้ง แต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากปริมาณที่มากของกากอ้อย หรือโดยการนำเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมาใช้ เช่นกังหันไอน้ำแบบ Extraction condensing turbine ซึ่งใช้

พลังงานไอน้ำได้คุ้มต่ำกว่ากังหันไอน้ำแบบ Condensing และกังหันไอน้ำแบบ Back-pressure ที่นิยมใช้ในโรงงานน้ำตาลส่วนใหญ่ [9] แต่มีเพียงไม่กี่แห่งเท่านั้นที่ได้นำเทคโนโลยีประสิทธิภาพสูงนี้มาใช้ เนื่องจากเป็นการลงทุนค่อนข้างสูง [8]

เพื่อใช้พลังงานไอน้ำผลิตไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดจึงมีการศึกษาเพื่อลดการใช้ไอน้ำในส่วนของการผลิตน้ำตาลหรือใช้ไอน้ำอย่างคุ้มค่าที่สุด Ogden et al. [9] ศึกษาเชิงออกแบบโรงไฟฟ้า Cogeneration ที่ใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้ Extraction condensing turbine ทำให้ลดการใช้ไอน้ำจากกระบวนการผลิต และ ผลิตไฟฟ้าเพิ่มได้ Ataei [10] ศึกษาการเปลี่ยนกังหันที่ขับเคลื่อนด้วยไอน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำ (25-30%) มาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทน ทำให้ขายไฟฟ้าได้มากขึ้น เพราะกังหันผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงกว่า (65-70%) โรงงานน้ำตาลที่อเมริกาหลายแห่งเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้า [11,12]

เนื่องจากไอน้ำส่วนใหญ่ประมาณ 60% จะใช้ที่กังหันไอน้ำในกระบวนการหีบอ้อย และที่เหลือจะใช้ในการผลิตไฟฟ้า หากเปลี่ยนกังหันหีบอ้อยเป็นมอเตอร์จะลดการใช้ไอน้ำที่กระบวนการหีบอ้อยและจะเพิ่มไอน้ำไปที่กังหันไฟฟ้าได้มากขึ้น แต่สภาวะไอน้ำที่ผ่านกังหันไฟฟ้าและกังหันลูกหีบจะไม่ใช่อะไรเหมือนกัน เมื่อต้องมารวมกันแล้วส่งต่อไปที่กระบวนการผลิตน้ำตาล ทำให้มีการปรับสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการต้มระเหยน้ำตาล ผลการศึกษาของการเปลี่ยนกังหันไอน้ำที่มีประสิทธิภาพต่ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า [10-12] และจากข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายมอเตอร์ [7] เป็นการคำนวณในภาพรวมซึ่งทำให้ทราบแต่เพียงผลการประหยัด แต่ไม่พบผลการศึกษาเชิงวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบพลังงานของโรงงาน ซึ่งหากทราบผลกระทบด้านพลังงานก่อนการลงทุนจะทำให้โรงงานมีการวางแผนงานงบประมาณเพื่อรองรับปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม

จึงเป็นที่มาของการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มการผลิตไฟฟ้าของโรงงานน้ำตาลระบบ Cogeneration ที่ใช้กากอ้อยเป็นเชื้อเพลิงหลัก เมื่อเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อย โดยใช้ข้อมูลของโรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ เป็นกรณีศึกษา ใช้วิธีสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จำลองโครงข่ายการใช้ไอน้ำของโรงงานที่มีความซับซ้อนด้วยวิธีสมดุลมวลและพลังงานร่วมกับการวิเคราะห์ผลกระทบด้านพลังงานและด้านเศรษฐศาสตร์ และประเมินศักยภาพและผลตอบแทนเพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจต่อไป

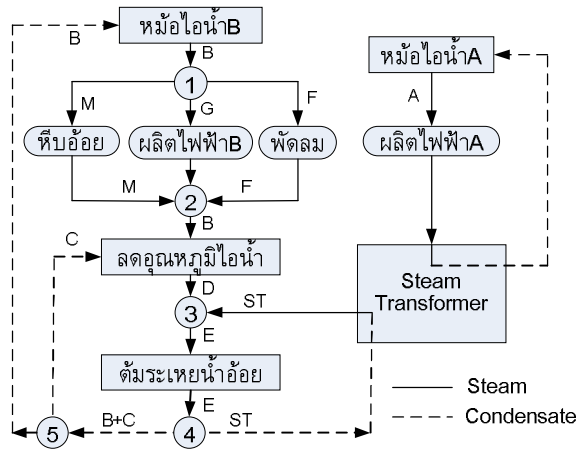
2. ลักษณะการใช้ไอน้ำในโรงงานน้ำตาล

ไอน้ำแรงดันสูงและอุณหภูมิสูงจากหม้อไอน้ำถูกส่งไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ จนมีแรงดันและอุณหภูมิลดลง และจะถูกปรับให้มีแรงดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมด้วยการสเปรย์น้ำคอนเดนเสดเข้าผสมก่อนถูกส่งไปใช้ในกระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อย เพื่อระเหยน้ำออกจากน้ำอ้อยให้มีความเข้มข้นสูงและตกผลึกเป็นเกล็ดน้ำตาลออกมา

กังหันไอน้ำที่ใช้ในโรงงานน้ำตาลจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ส่วนคือ กังหันไอน้ำในกระบวนการหีบอ้อย (Milling process) กังหันไอน้ำขับเคลื่อนพัดลมของหม้อไอน้ำ (Induce draft fan) และกังหันไอน้ำขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Steam generator) โรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว ใช้ไอน้ำส่วนใหญ่ที่กังหันไอน้ำในกระบวนการหีบอ้อย และใช้บางส่วนที่กังหันไอน้ำขับเคลื่อนพัดลมของหม้อไอน้ำ และที่เหลือจะใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในโรงงานและขายให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จากรูปที่ 1 เมื่อเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อย สัดส่วนไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการหีบอ้อย (m_m) จะน้อยลง และสัดส่วนไอน้ำผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า B (m_g) จะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิไอน้ำที่ออกจากกังหันหีบอ้อยสูงกว่าไอน้ำที่ออกจากกังหันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่งผลทำให้สภาวะไอน้ำรวมที่ออกจากกังหันไอน้ำทั้งหมดมีอุณหภูมิต่ำลง การใช้น้ำคอนเดนเสด (m_c) เพื่อปรับสภาวะไอน้ำจะลดลง ดังนั้นจึงใช้ไอน้ำจาก Steam

transformer (m_{ST}) ชดเชย เพื่อรักษาปริมาณไอน้ำใน
การต้มระเหยน้ำอ้อยให้เท่าเดิม



รูปที่ 1 แผนผังการใช้ไอน้ำในโรงงาน

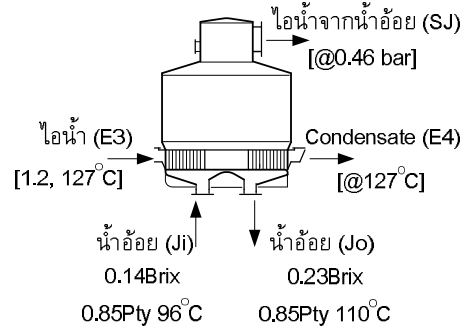
จะเห็นว่าการเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์
ไฟฟ้าจะส่งผลกระทบเป็นทอดๆ ดังนั้นการศึกษา
ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ การสร้างสมการของ
ระบบโครงข่ายพลังงานไอน้ำของโรงงานจะทำให้
สามารถเข้าใจผลกระทบได้แม่นยำขึ้น

3. สมการจำลองโครงข่ายการใช้ไอน้ำ

สร้างสมการสมดุลมวลและพลังงานไอน้ำใน
กระบวนการผลิตโดยใช้ข้อสมมติให้เป็นกระบวนการ
ไหลคงที่ที่สภาวะคงที่ของของไหลก่อดัดไม่ได้ ไม่คิด
ผลกระทบของการสูญเสียความร้อนที่อุปกรณ์และ
ระบบท่อ ใช้ข้อมูลตรวจวัดค่าความดันและอุณหภูมิไอน้ำ
ก่อนและหลังเข้าอุปกรณ์ อัตราการใช้ปริมาณไอน้ำ
อ้างอิงจากคู่มือกังหันไอน้ำ และคำนวณปริมาณ
น้ำอ้อยจากปริมาณอ้อยเข้าหีบเฉลี่ยต่อวัน โดย
กำหนดให้อัตราการหีบอ้อยคงที่ ดังนั้นปริมาณการใช้
ไอน้ำที่กระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อยจะมีค่าคงที่
ปริมาณน้ำอ้อยคำนวณจากการสมดุลมวลใน
กระบวนการหีบอ้อย คือ ปริมาณอ้อยเข้าหีบรวมกับ
ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมอ้อยขณะหีบและหักปริมาณกาก
อ้อยออก แบ่งสมการการคำนวณปริมาณการใช้ไอน้ำ
เป็นสามส่วนตามลักษณะอุปกรณ์ คือ หม้อต้มระเหย
น้ำอ้อย กังหันไอน้ำและพัดลม และอุปกรณ์ลด
อุณหภูมิไอน้ำ

3.1 หม้อต้มระเหยน้ำอ้อย

ไอน้ำที่เข้ากระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อยจะมีการ
ควบคุมแรงดันและอุณหภูมิ น้ำอ้อยเข้าและออกจาก
หม้อต้มระเหยจะมีสภาวะตามที่ระบุในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อย

เพื่อคำนวณหาปริมาณไอน้ำที่เข้ากระบวนการต้ม
ระเหยน้ำอ้อย ($m_E = m_{E3} = m_{E4}$) พิจารณาสมดุลมวล
และพลังงานที่กระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อยได้สมการ

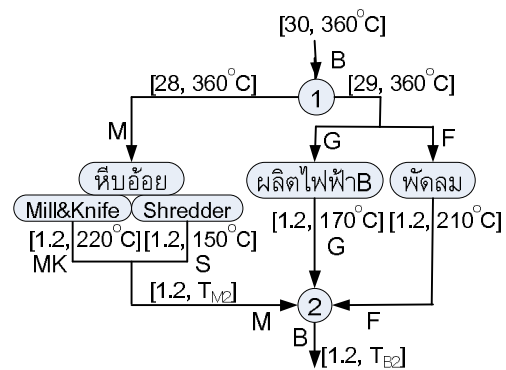
$$m_E = (m_{Jo}h_{Jo} + m_{SJ}h_{SJ} - m_{Ji}h_{Ji}) / (h_{E3} - h_{E4}) \quad (1)$$

$$\text{โดยที่ } m_{SJ} = m_{Ji} - m_{Jo} = m_{Ji}(1 - \text{Brix}_{Ji} / \text{Brix}_{Jo}) \quad (2)$$

$$h_J = \{4.18 - [2.51 - 0.0075(T_J) + 33(1 - \text{Pty}_J)]\text{Brix}_J\}T_J \quad (3)$$

h คือ enthalpy (kJ/kg) T คืออุณหภูมิ (K หรือ °C)
Brix คือ ค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อย Pty คือค่า purity
ของน้ำอ้อย สภาวะไอน้ำแทนเป็น $[P, T \text{ °C}]$ P คือ
ความดัน (bar(g)) และ @ หมายถึงไออิ่มตัวหรือน้ำ
อิ่มตัว

3.2 กังหันไอน้ำและพัดลม

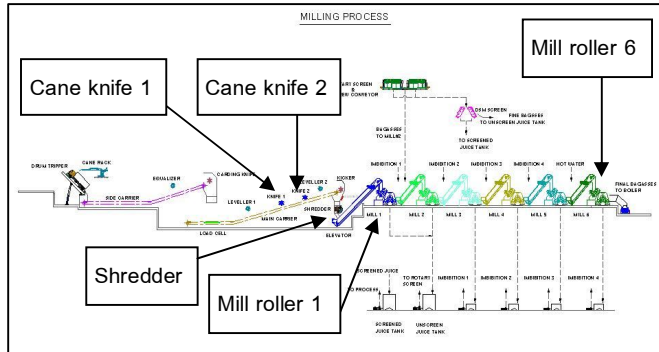


รูปที่ 3 แผนผังการใช้ไอน้ำในกังหันไอน้ำ

จากรูปที่ 3 ไอน้ำจากหม้อไอน้ำ (m_B) จะถูกส่งไป
ยังกังหันไอน้ำหีบอ้อย (m_M) กังหันไอน้ำผลิตไฟฟ้า

(m_G) และกัณฑ์ไอน้ำขับพัดลมหม้อไอน้ำ (m_F) ตาม
สภาวะที่แสดงในรูป

กัณฑ์ไอน้ำในกระบวนการหีบอ้อยมีทั้งหมด 9
เครื่อง คือ กัณฑ์ไอน้ำขับมีด (Cane Knife) 2 เครื่อง
กัณฑ์ไอน้ำขับเครื่องหีบอ้อย (Mill roller) 6 เครื่อง
และกัณฑ์ไอน้ำขับเครื่องย่อยอ้อย (Shredder) 1
เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 4 แสดงกระบวนการหีบอ้อย

กัณฑ์ขับมีดและหีบอ้อยจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า
กัณฑ์ไอน้ำเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะใช้ปริมาณไอน้ำ
มากกว่ากัณฑ์ไฟฟ้าประมาณ 40% เมื่อเทียบกำลัง
งานที่ได้เท่ากัน ดังนั้นจะเปลี่ยนกัณฑ์ขับมีดและหีบ
อ้อยโดยสมการที่สร้างขึ้นจะเป็นสมการที่มีตัวแปรเป็น
จำนวนกัณฑ์ขับมีดและหีบอ้อยสูงสุด 8 เครื่อง ($0 \leq n \leq 8$) ดังนั้นปริมาณไอน้ำจากชุดหีบอ้อยคือ

$$m_M = m_S + n(m_{MK}) \quad (4)$$

โดยที่ $m_S = SR_S SF_S (h_{M1} - h_S) / 1000 \quad (5)$

$$m_{MK} = SR_{MK} SF_{MK} (h_{M1} - h_{MK}) / 1000 \quad (6)$$

SR คือ Steam rate (kg/kWh) และ SF คือ Steam flow
(kg/s) เป็นปริมาณการใช้ไอน้ำจากคู่มือกัณฑ์ไอน้ำดัง
แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้ไอน้ำจากคู่มือกัณฑ์ไอน้ำ

กัณฑ์ไอน้ำ	Steam rate SR (kg/kWh)	Steam flow SF (kg/s)
มีดและหีบอ้อย (MK)	12.47	6.46
เครื่องย่อยอ้อย (S)	9.05	18.75
ผลิตไฟฟ้า (G)	8.96	-
พัดลมหม้อไอน้ำ (F)	14	1.98

ปริมาณไอน้ำจากพัดลมหม้อไอน้ำคือ

$$m_F = SR_F SF_F (h_{F1} - h_{F2}) / 1000 \quad (7)$$

ปริมาณไอน้ำเข้ากัณฑ์ไอน้ำผลิตไฟฟ้าคือ

$$m_G = m_B - m_S - n(m_{MK}) - m_F \quad (8)$$

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้คือ

$$P_G = (m_B - m_S - n(m_{MK}) - m_F) / SR_G \quad (9)$$

h_{B2} คำนวณได้จากสมมูลมวลและพลังงานที่จุด 2 จาก
รูปที่ 3 ดังนี้

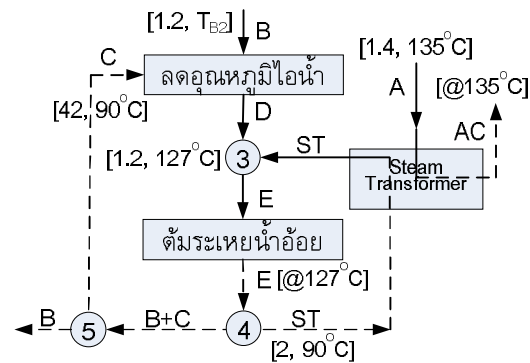
$$h_{B2} = (m_G h_{M1} + m_S h_S + n(m_{MK}) h_{MK} + m_F h_{F2}) / m_B \quad (10)$$

จะเห็นได้ว่า h_{B2} เป็นฟังก์ชันกับ n หากทราบ m_B ซึ่ง
เป็นข้อมูลนำเข้าจากความสามารถผลิตไอน้ำของหม้อ
ไอน้ำ B ($m_B = 360 \text{ T/h}$)

3.3 อุปกรณ์ปรับสภาวะไอน้ำ

เพื่อปรับสภาวะไอน้ำให้เหมาะสมในกระบวนการ
หีบอ้อยจะใช้การสเปรย์ด้วยคอนเดนเสด จากการ
สมมูลมวลและพลังงานที่อุปกรณ์ปรับสภาวะไอน้ำใน
รูปที่ 5 ได้สมการของปริมาณคอนเดนเสดคือ

$$m_C = m_B (h_{D3} - h_{B2}) / (h_C - h_{D3}) \quad (11)$$



รูปที่ 5 แผนผังการใช้ไอน้ำในอุปกรณ์ปรับสภาวะ

h_{D3} และ h_C คำนวณได้จากสภาวะดังในรูปที่ 5
ดังนั้น m_C เป็นฟังก์ชันกับ n หากทราบปริมาณไอน้ำ
(m_B) จากหม้อไอน้ำ B ซึ่งปัจจุบันมีปริมาณน้อยกว่า
ความต้องการใช้ไอน้ำที่กระบวนการต้มระเหยน้ำอ้อย
(m_E) ดังนั้นจึงต้องใช้ไอน้ำจาก Steam transformer
(m_{ST}) เข้ามาเสริม ส่งผลให้การใช้ ไอน้ำจากหม้อไอน้ำ
A มากขึ้น ซึ่งจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดเพื่อไม่ให้
กระทบต่อการผลิตไฟฟ้าA จากการสมมูลพลังงานที่
Steam transformer ในรูปที่ 5 คำนวณ m_A ได้ดังนี้

$$m_A = m_{ST} (h_{ST3} - h_{ST4}) / (h_A - h_{AC}) \quad (12)$$

โดยที่ $m_{ST} = m_E - m_B - m_C$ (13)

3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณ

สมการจำลองโครงข่ายการใช้ไอน้ำของโรงงาน โดยใช้วิธีสมดุลมวลและพลังงานนี้ถูกสร้างบนโปรแกรม Microsoft Excel และใช้ steam table จาก open source ที่เขียนเป็นโปรแกรมพร้อมใช้งาน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการ จึงทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อ $n = 8$ กับข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงานในโรงงาน ซึ่งได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดไว้ทั้งหมด 3 ตำแหน่งเพื่อวัดค่า ดังนี้คือ ปริมาณการผลิตไฟฟ้าของเครื่องผลิตไฟฟ้า B ปริมาณ Condensate จาก Steam transformer และปริมาณไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ B ดังแสดงในตารางที่ 2 ค่าแตกต่างสูงสุดและค่าเฉลี่ยไม่เกิน 10% และ 2 % ตามลำดับ ถือว่าการคำนวณมีความน่าเชื่อถือได้

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบสมการการคำนวณ

เปรียบเทียบค่าการ คำนวณจากการตรวจวัด	ค่าแตกต่าง สูงสุด (%)	ค่าแตกต่าง เฉลี่ย (%)
P_G (MW/day)	7.78	1.69
m_{ST} (T/h)	9.64	1.13
m_B (kg steam/Ton cane)	5.36	0.14

4. ผลการศึกษา

จากข้อมูลของโรงงานในปีที่ผ่านมา เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้ 15-16 MW ซึ่งยังไม่เต็มความสามารถที่ทำได้ (24 MW) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าได้มากขึ้นกว่าเดิม ในกรณีศึกษานี้จะศึกษาผลกระทบด้านพลังงานของโรงงานเมื่อเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้การผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดไม่เกินความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1 ผลกระทบด้านพลังงาน

สรุปผลกระทบด้านพลังงานจากสมการคำนวณเมื่อเปลี่ยนกังหันไอน้ำในกระบวนการหีบอ้อยเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าสูงสุดได้ 3 เครื่อง ($n = 5$) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลกระทบด้านพลังงาน

จำนวนกังหัน	$n = 8$	$n = 7$	$n = 6$	$n = 5$
จำนวนมอเตอร์	0	1	2	3
P_G (MW)	15.68	17.76	19.84	21.92
m_C (T/h)	19.46	18.65	17.84	17.03
m_{ST} (T/h)	100.5	101.3	102.1	102.9
m_A (T/h)	108.7	109.5	110.4	111.3

เมื่อนำไปสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบและจำนวนมอเตอร์ ($8 - n$) สรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น

$$P_G = 2.08(8 - n) + 15.68 \text{ MW} \quad (14)$$

2. ปริมาณน้ำเข้าอุปกรณ์ปรับสภาวะไอน้ำลดลง

$$m_C = -0.81(8 - n) + 19.46 \text{ T/h} \quad (15)$$

3. ปริมาณไอน้ำเสริมมากขึ้น

$$m_{ST} = 0.8(8 - n) + 100.5 \text{ T/h} \quad (16)$$

4. ปริมาณไอน้ำจากหม้อไอน้ำ A มากขึ้น

$$m_A = 0.87(8 - n) + 108.67 \text{ T/h} \quad (17)$$

การเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อย เป็นวิธีการที่สามารถลดการใช้ไอน้ำที่กระบวนการหีบอ้อยลงและเพิ่มการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าได้ โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นในอัตราตามสมการที่ (14) ปริมาณน้ำเข้าอุปกรณ์ปรับสภาวะไอน้ำลดลงเป็นผลให้ต้องใช้ปริมาณไอน้ำเสริมเพิ่มขึ้น จากสมการที่ (16) – (17) พบว่าปริมาณไอน้ำจากหม้อไอน้ำ A จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่มากกว่าปริมาณไอน้ำเสริมเล็กน้อย จากข้อมูลโรงงานระบุว่าหม้อไอน้ำ A จ่ายไอน้ำยังไม่เต็มกำลังการผลิตสูงสุดซึ่งยังสามารถจ่ายไอน้ำได้อีก 6 T/h ในกรณีศึกษาเมื่อเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เครื่องจะใช้ไอน้ำเพิ่มขึ้น 2.61 T/h จึงไม่กระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของหม้อไอน้ำ A แต่จะใช้เชื้อเพลิงกากอ้อยเข้าหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น 0.967 T/h (2.7 ตันไอน้ำ/ตันอ้อย)

4.2 ผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์

ผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ประเมินการลงทุนพิจารณาตามรายละเอียดดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้าภาระโหลด 80 % โดยเลือก (ขนาด, ประสิทธิภาพ) = (2000 kW, 95.8 %) เมื่อเปลี่ยนกังหันเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าจำนวน 2 เครื่อง เลือกเปลี่ยนที่ Cane knife ชุดที่ 1 และ 2 กรณีเปลี่ยน 3 เครื่องเลือกเปลี่ยนที่ Mill roller ชุดที่ 1 เลือกมอเตอร์ (650 kW, 92.5 %) สำหรับขับลูกป้อน และ (15007 kW, 94 %) สำหรับขับลูกหีบ
2. จำนวนวันหีบอ้อย 130 วัน 24 ชั่วโมงต่อวัน
3. ราคาขายไฟฟ้าให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2.50 บาทต่อหน่วย
4. บั๊มน้ำเข้าอุปกรณ์ลดอุณหภูมิไอน้ำใช้แรงดันที่ 42 bar(g) และบั๊มน้ำเข้า Steam transformer ใช้แรงดันที่ 2 bar(g) ดังนั้นการลดปริมาณการใช้ไอน้ำคอนเดนเสทที่บั๊มน้ำแรงดันสูงลง 0.81 T/h และเพิ่มที่บั๊มน้ำแรงดันต่ำในปริมาณที่เท่ากัน จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่บั๊มน้ำได้ โดยคิดจากสมการ $P_p = p_g QH$

เมื่อคำนวณตามรายละเอียดและเงื่อนไขข้างต้นจะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4 กำลังงานไฟฟ้า (MW) และรายได้ (บาทต่อปี) เมื่อเปลี่ยนกังหันเป็นมอเตอร์จำนวน 1 2 และ 3 เครื่อง

ตารางที่ 4 กำลังงานไฟฟ้า* (P) และรายได้**

จำนวนกังหัน	n = 7	n = 6	n = 5
จำนวนมอเตอร์	1	2	3
P ผลิตได้เพิ่ม*	2.08	4.16	6.24
P จ่ายให้มอเตอร์*	1.67	3.34	5.18
P จำหน่ายเพิ่ม*	0.41	0.82	1.06
P บั๊มน้ำลดลง*	0.90	1.81	2.7
ขายไฟฟ้า**	3,198,000	6,396,000	8,268,000
ลดพลังงานที่บั๊มน้ำ**	7,020	14,118	21,060
ลดค่าซ่อมบำรุงกังหัน**	100,000	200,000	300,000
ค่าซ่อมบำรุงมอเตอร์**	20,000	40,000	80,000
รายได้รวมสุทธิ**	3,285,020	6,650,118	8,669,060

* หน่วย MW, ** หน่วย บาท/ปี

4.3 การลงทุนและผลตอบแทน

การคำนวณผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การลงทุนและผลตอบแทน

จำนวนกังหัน	n = 7	n = 6	n = 5
จำนวนมอเตอร์	1	2	3
เงินลงทุน (บาท)	18,200,000	36,400,000	57,400,000
อายุโครงการ (ปี)	20	20	20
รายได้สุทธิ (บาทต่อปี)	3,285,020	6,650,118	8,669,060
ค่าเสื่อม (บาทต่อปี)	910,000	1,820,000	2,870,000
NPV	11,647,243	23,793,946	14,869,105
IRR (%)	13.16	13.27	10.10
Payback Period (ปี)	7.6	7.5	9.9

หมายเหตุ – คิดอัตราดอกเบี้ยที่ 5%

จากการศึกษาผลกระทบทั้งด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์ และการลงทุน สามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อย ควรเปลี่ยนเพียง 2 เครื่อง คือมีดชุดที่ 1 และชุดที่ 2 จะเหมาะสมที่สุดโดยมีอัตราคืนทุน (IRR) 13.27% (IRR ควรมากกว่า 11% และเพราะการลงทุนเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขับลูกหีบจะสูงมาก) และมีผลกระทบด้านพลังงานดังนี้

1. จำหน่ายไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น 0.87 MW
2. ประหยัดพลังงานของบั๊มน้ำคอนเดนเสท 1.81 kW
3. หม้อไอน้ำ A ใช้กากอ้อยเพิ่มขึ้น 0.644 T/h
4. ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงกังหันไอน้ำที่สูงกว่าการบำรุงรักษาของมอเตอร์

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาล โดยการสร้างสมการจำลองโครงข่ายการใช้ไอน้ำของโรงงานที่มีความซับซ้อนด้วยวิธีสมมูลมวลและพลังงาน บนโปรแกรม Microsoft Excel และใช้ steam table จาก open source ที่เขียนเป็นโปรแกรมพร้อมใช้งาน พบว่าเป็นวิธีที่ให้ผลการศึกษาด้านพลังงานได้ละเอียดมากกว่าการคำนวณในภาพรวมที่นิยมใช้ศึกษาก่อนการลงทุน ทำให้โรงงานมีการวางแผนงานและงบประมาณเพื่อรองรับปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม และจากกรณีศึกษาสรุปได้ว่าการเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็น

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นวิธีการที่สามารถลดการใช้ไอน้ำที่กระบวนการหีบอ้อยลงและเพิ่มการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าได้โดยมีปริมาณไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นกับจำนวนมอเตอร์ไฟฟ้าเมื่อพิจารณาผลกระทบด้านพลังงานทำให้ทราบข้อมูลการใช้พลังงานที่บ่มลลดลงและการเพิ่มกากอ้อยเพื่อเพิ่มปริมาณไอน้ำเสริม และเมื่อพิจารณาผลกระทบในด้านเศรษฐศาสตร์และด้านผลตอบแทนการลงทุนรวมด้วยจะได้ข้อมูลการประเมินเชิงศักยภาพที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานน้ำตาลมิตรภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษานี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สมบัติ ขอทวีวัฒนา (2546). เทคโนโลยีน้ำตาล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[2] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2550). รายงานการศึกษาแนวโน้มการค้าน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายขาวโลก, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.ocsb.go.th/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/06/2553.

[3] Wakamura, Y. (2003). Utilization of Bagasse Energy in Thailand, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 8(3), 253-260.

[4] ไทยแลนด์อินดัสตรีทอคอม (2551). ภาวะโลกร้อนผลที่มีต่ออุตสาหกรรมไทย, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.thailandindustry.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/06/2553.

[5] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (2544). อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กที่ใช้พลังงานหมุนเวียนวารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 53 กรกฎาคม-กันยายน 2544, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/06/2553.

[6] Pallapa R. (2008). Thailand's approach to promoting clean energy to the electricity sector, Forum on Clean Energy, Good Governance and Regulation 16 – 18 March 2008 Singapore.

[7] สุชาติ ใจหาญ (2552). การศึกษาผลกระทบด้านพลังงานของโรงงานน้ำตาล กรณีเปลี่ยนกังหันไอน้ำเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการหีบอ้อย, การศึกษาอิสระ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[8] สุนิรัตน์ (2550). การผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมน้ำตาล, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.vcharkarn.com/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/06/2553.

[9] Ogden, J. M., Hochgreb, S. and Hylton, M (1990). Steam economy and cogeneration in cane sugar factories, Int. Sugar JNL, 92(1099), 131-140.

[10] Ataei, A. (2009). Modification of Co-Generation Plant in a Sugar Cane Factory Reduction of Power Deficit, Research Journal of Environmental Sciences 3(6): 619 – 630.

[11] Rockwell Automation (2002). Value proposition: La union mill generates energy and revenue with medium voltage drive solution, URL: www.ab.com/, access on 12/12/ 2008

[12] ABB Switzerland Ltd (2008). ACS 1000 variable speed drive help to increase revenues at sugar plant, URL: <http://www.abb.com/>, access on 30/12/2008.