



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพระบบการผลิตไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล

A Model of System Improvement for Electricity Cogeneration Sugar Factories

วสันต์ วงษ์ราช¹และ ชนกนันท์ สุขกำเนิด^{2*}

Wasan Wongrat¹ and Chanoknun Sookkumnerd^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

Received: January 2015

Accepted: June 2015

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ เป็นการพัฒนาแบบจำลองสมมูลมวลและพลังงานของระบบผลิตไอน้ำและไฟฟ้าแบบความร้อนร่วมในอุตสาหกรรมน้ำตาล แบบจำลองนี้ใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้ในการศึกษาสภาวะการเดินเครื่องที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตและการลงทุน เพิ่มขีดความสามารถในการวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นโดยรวมของกระบวนการผลิตไอน้ำและไฟฟ้า ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง รวดเร็ว ลดขั้นตอนการคำนวณที่สลับซับซ้อน โดยใช้แบบจำลองที่ทำขึ้นมา จากการศึกษพบว่า แบบจำลองสามารถแสดงผลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงจากโรงงานและจากข้อมูลของโรงไฟฟ้าที่กำลังผลิตของหม้อไอน้ำ 170 ตันต่อชั่วโมง สภาวะความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 431.3 kW/ตันชานอ้อย โดยที่กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองคือ 441.4 kW/ตันชานอ้อย เมื่อนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ด้านการลงทุนพบว่า ที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส ระดับความดันที่ 90 บาร์และ 105 บาร์ ให้ผลตอบแทนทางการลงทุนคุ้มค่าที่สุด โดยที่ระยะเวลาคืนทุน 5.32 และ 5.34 ปี อัตราผลตอบแทนภายใน (%IRR) เท่ากับ 24.25 % และ 24.20% ตามลำดับ

คำหลัก : แบบจำลองโรงไฟฟ้าแบบความร้อนร่วม การลงทุน

*ติดต่อ: chasoo@kku.ac.th โทรศัพท์ 043-202845 โทรสาร 043-202849

Abstract

This study is a model development of mass and energy balance of steam and electricity cogeneration for sugar mills. This program runs on Microsoft Excel and was developed to operate in various conditions relating to production and investment. The purpose is to narrow down the overall analysis of steam and electricity generation and increase accuracy. Study results show the use of this model displays similar results in comparison to the actual data recorded in the factory. The actual steam condition was running steam flow rate of 170 ton/hr at 105 bar, 520°C. The power plant produce the resulted of 431.3 kW/ton bagasse and the simulated result was 441.4 kW/ton bagasse. Based on the comparison between the model and the actual process, it can be conclude that this model can be applied with various operating conditions. For the capital investment, conditions at 540°C with the pressure of 90 bar and 105 bar provide the optimal value. The result found that the payback periods are 5.32 and 5.34 years, and internal rates of return are 24.25% and 24.20%, respectively.

Keywords : Model, Cogeneration, Investment

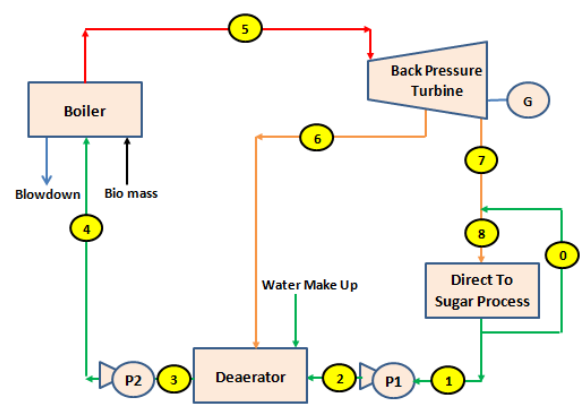
1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่สำคัญได้แก่ พลังงานไฟฟ้าผลิตจากชีวมวล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานด้านนี้เหลืออยู่มาก เนื่องจากเป็นประเทศเกษตรกรรม โรงไฟฟ้าชีวมวลจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับแหล่งพลังงานหมุนเวียนใหม่ที่สำคัญ

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งมีการสร้างและพัฒนาแบบจำลอง ในการคำนวณหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ ปริมาณไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำ ปริมาณไอน้ำที่ส่งไปยังกระบวนการผลิตน้ำตาล และยังสามารถใช้แบบจำลองนี้เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านการลงทุน อันจะส่งผลให้สามารถผลิตพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เลือกสภาวะกระบวนการผลิตไฟฟ้าแบบความร้อนร่วมที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมน้ำตาล

2. การวิเคราะห์กระบวนการผลิตไฟฟ้า

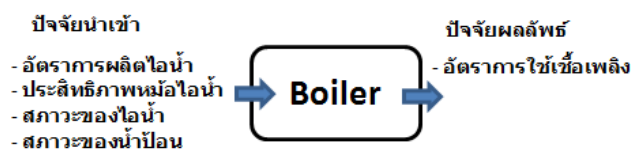
ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะได้แสดงถึงกระบวนการย่อยของการผลิตไฟฟ้า ที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้เชื้อเพลิงและผลิตพลังงาน พร้อมทั้งการวิเคราะห์ซึ่งจะนำเสนอตามลำดับของกระบวนการดังนี้



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตไฟฟ้า [3]

จากรูปที่ 1 ใช้เชื้อเพลิงซานอ้อยในการเผาไหม้ให้พลังงานกับหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำส่งจ่ายไปยังกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำแบบ Back Pressure Turbine จะมีความดันต่ำ ใช้เพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำใน Deaerator และกระบวนการผลิตในโรงงานน้ำตาล [4]

2.1 การวิเคราะห์หม้อไอน้ำ



รูปที่ 2 แบบจำลองย่อยของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำมีหน้าที่ผลิตไอน้ำความดันสูงโดยความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำ ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงซานอ้อย ในการพิจารณาแบบจำลองย่อย ดังรูปที่ 2 โดยปัจจัยนำเข้าจะมี อัตราการผลิตไอน้ำที่ 170 ตัน/ชั่วโมง ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ 90% (เป็นสภาวะค่าที่ใช้จริงในโรงงานเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง) และน้ำป้อนซึ่งมีสภาวะความดันกับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ช่วงความดันต่ำ 18 - 60 บาร์เพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนไปที่ 111 องศาเซลเซียส ความดัน 60 - 110 บาร์เพิ่มไปที่ 161 องศาเซลเซียส และปัจจัยผลลัพธ์ที่ได้คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 1 สภาวะของไอน้ำที่ผลิต

P (Bar)	18	30	40	50	60	70	80	90	105	110
---------	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----

ในงานวิจัยมีสภาวะของการผลิตไอน้ำที่แต่ละความดันดังตารางที่ 1 โดยที่แต่ละความดันมีระดับอุณหภูมิ 360, 380, 400, 450, 500, 520 และ 540 °C การคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิง, $\dot{m}_f$ [1] หาได้จาก

$$\dot{m}_f = \dot{m}_s (h_s - h_w) * 100 / (LHV \eta_b) \quad (1)$$

โดยที่ LHV = 7,200 kJ/kg (ผลทดสอบจากห้องทดลอง)

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

h_s = เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำ (kJ/kg)

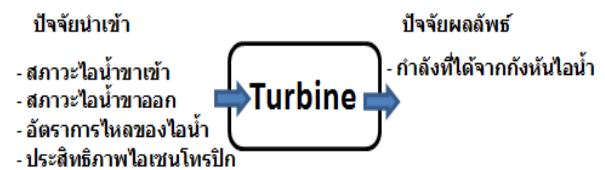
h_w = เอนทาลปีจำเพาะของน้ำป้อน (kJ/kg)

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

η_b = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (%)

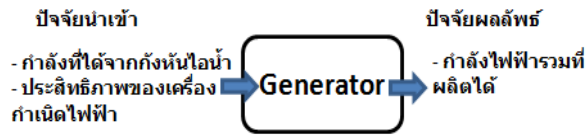
2.2 การวิเคราะห์กังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กังหันไอน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเกี่ยวเนื่องกัน ผู้วิจัยจึงรวมการพิจารณาไว้ด้วยกันดังนี้ กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานจากพลังงานความร้อนในไอน้ำเป็นพลังงานงานกลไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Electric Generator) โดยอาศัยหลักการทำงานสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวดผลิตไฟฟ้าออกมา



รูปที่ 3 แบบจำลองย่อยของกังหันไอน้ำ

ในส่วนของกังหันไอน้ำพิจารณาดังรูปที่ 3 ปัจจัยนำเข้าคือสภาวะของไอน้ำขาเข้าซึ่งเป็นไอน้ำที่ได้จากหม้อไอน้ำ สภาวะน้ำขาออกจะกำหนดโดยประสิทธิภาพไอเซนโทรปิกที่ 80% (คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง) ทำให้สภาวะอุณหภูมิของไอน้ำที่ออกจากกังหันแตกต่างกันโดยที่ความดันเท่ากันสำหรับไอน้ำที่ออกมาอุณหภูมิสูงจะถูกปรับลดอุณหภูมิโดย Desuperheated เพื่อให้เหมาะกับการใช้ในระบบการผลิตน้ำตาล และปัจจัยผลลัพธ์คือกำลังที่ได้จากกังหันไอน้ำซึ่งจะนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 4 แบบจำลองย่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รูปที่ 4 จากกำลังที่ได้จากกังหันไอน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยนำเข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 98% ทำให้ได้ปัจจัยผลลัพธ์ คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กำลังที่ได้จากกังหันไอน้ำใดๆ $\dot{W}_{T,i}$ [2] หาได้จาก

$$\dot{W}_{T,i} = \dot{m}_{s2,i} (h_1 - h_2)_i \quad (2)$$

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

h_1 = เอนทาลปีจำเพาะที่ทางเข้า (kJ/kg)

h_2 = เอนทาลปีจำเพาะที่ทางออก (kJ/kg)

กำลังไฟฟ้ารวมที่ผลิต P_{Gross} หาได้จาก

$$P_{Gross} = \sum \{ \dot{W}_{T,i} (\eta_{g,i} / 100) \} \quad (3)$$

กำลังไฟฟ้าสุทธิ P_{Net} หาได้จาก

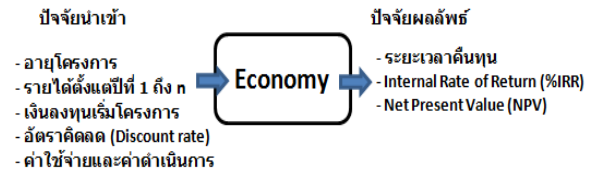
$$P_{Net} = P_{Gross} - P_{Use} - P_{motor \text{ feed pump}} \quad (4)$$

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

P_{Use} = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงงาน (kW)

$P_{motor \text{ feed pump}}$ = กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ปั๊มน้ำป้อนในแต่ละสถานะแรงดัน (kW)

2.3 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 5 แบบจำลองย่อยของด้านเศรษฐศาสตร์

เมื่อได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองของการผลิตไฟฟ้าที่สถานะต่างๆแล้ว นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปแบบของการลงทุน

โดยสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในด้านการลงทุนที่จะสร้างโรงไฟฟ้าที่สถานะต่างๆตามที่ศึกษาโดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ปัจจุบัน ซึ่งกำหนดปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ดังรูปที่ 5

1) ระยะเวลาคืนทุน (Discount Payback Period)

เป็นการค้นหาจุดคุ้มทุนของโครงการที่ทำโดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่า เมื่อมีการลงทุนในโครงการนั้นแล้ว จะใช้ระยะเวลาเท่าใดในการคืนทุน โดยใช้วิธี

คิดลดจากกระแสเงินสดสะสมที่จะได้รับในอนาคต (Present Value of Cash Flow) [5]

$$DPB = A + \frac{B}{C} \quad (7)$$

A = จำนวนงวดก่อนคืนทุน

B = มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่คืนทุน

C = มูลค่าปัจจุบันกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน

2) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (%IRR)

ผลตอบแทนภายในเป็นการประเมินโครงการโดยการพิจารณาอัตราดอกเบี้ยหรือผลตอบแทน ที่ทำให้กระแสเงินสดที่ได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุโครงการเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว เท่ากับเงินสดเมื่อเริ่มต้นโครงการ

จะยอมรับโครงการที่มีวัตถุประสงค์เหมือนกัน ให้เลือกโครงการที่มี IRR สูงที่สุด [1, 2]

$$\sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} - I_0 = 0 \quad (8)$$

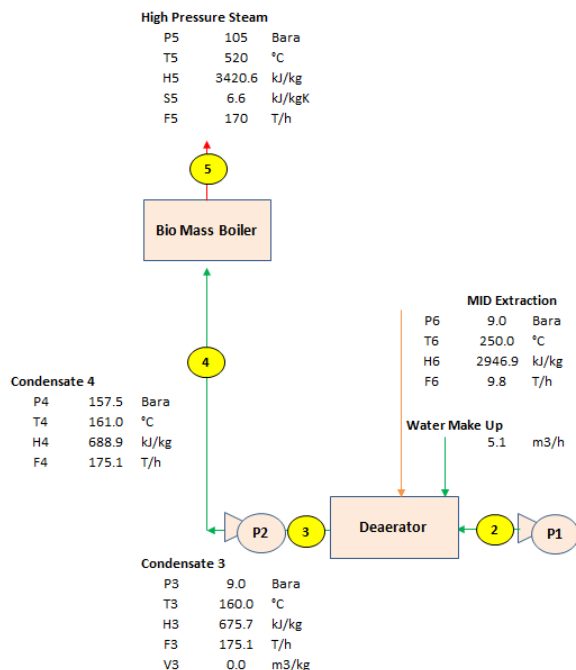
n = อายุของโครงการ

ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment) โดยรายได้จากการขายไฟคำนวณจากหน่วยกำลังไฟฟ้าสุทธิ (Net Power) คูณกับราคาอ้างอิงต่อหน่วยของการไฟฟ้า

3. การพัฒนาแบบจำลอง

3.1 การพัฒนาแบบจำลองของหม้อไอน้ำ



		Input	Output
Boiler Spec			
Steam	Pressure	105	Bara
	Temperature	520	°C
	Flow rate	170	T/h
	Blowdown rate	3	%
Feed water			
	Pressure	157.5	Bara
	Temperature	161	°C
Boiler Efficiency		90	%
Fuel Consumption			
Using	Bagasse		
	Bagasse LHV	7200	kJ/kg
	Bagasse Used	71.667	T/h

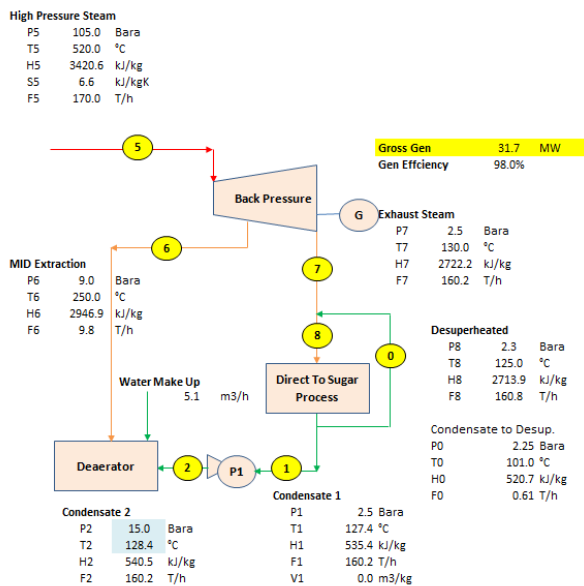
รูปที่ 6 ส่วน Input และ Output ของหม้อไอน้ำ

ในส่วนของแบบจำลองหม้อไอน้ำ จะมีการป้อนค่าความดันและอุณหภูมิของไอน้ำ อุณหภูมิของน้ำป้อนอัตราการ Blowdown ค่า LHV ของเชื้อเพลิงชานอ้อย และประสิทธิภาพหม้อไอน้ำซึ่งกำหนดที่ 90% รวมทั้งอัตราการผลิตไอน้ำที่ต้องการ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคือปริมาณเชื้อเพลิงชานอ้อยที่ใช้

3.2 การพัฒนาแบบจำลองของกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในส่วนของแบบจำลองกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีการกำหนดประสิทธิภาพไอเซนโทรปิค 80% ซึ่งจะมีการป้อนค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นแบบจำลองจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้ คือ ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ (Gross Power)

รวมทั้งการใช้พลังงานความร้อนไปที่แหล่งต่างๆในแต่ละหน่วยผลิตของ กระบวนการนำแบบจำลองย่อยส่วนต่างๆประกอบเข้าด้วยกัน จะได้ภาพรวมของกระบวนการดังรูปที่ 8 ซึ่งจะทราบถึงภาพรวมของการใช้และการผลิตพลังงานทั้งหมด



BOP

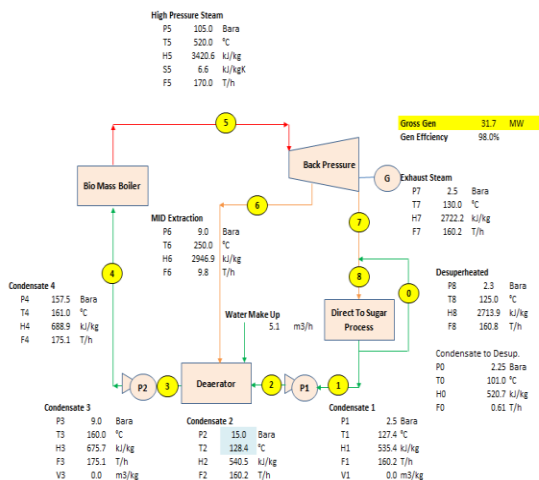
Exhaust to Heat Exc.	160.17	T/h
Steam To Deaerator	9.83	T/h
Demin Makeup	5.1	m ³ /h

Steam Turbine & Generator

Isentropic Efficiency	80	%
Generator Efficiency	98	%

Electrical Gross Gen 31.53 MW
Pump Power Need 1.32 MW
@ Pump Eff 0.65 %

รูปที่ 7 ส่วน Input และ Output ของกังหันไอน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 8 ภาพรวมของแบบจำลองการผลิตไฟฟ้า

3.3 การพัฒนาแบบจำลองด้านเศรษฐศาสตร์

Input		
Input Data		
Output data		
ความดัน	105	Bara
อุณหภูมิ	520	°C
เงินลงทุน	1465.59	ล้านบาท
ราน้อยที่ใช้	71.67	ตัน / ชั่วโมง
ราคาเชื้อเพลิงรวมค่าบริหารจัดการเก็บและป้อน	410	บาท / ตัน
ปริมาณน้ำป้อน	5.1	ตัน / ชั่วโมง
ค่าการกลั่นน้ำเพื่อใช้ป้อนหรือไอน้ำ	25	บาท / ตัน
ชั่วโมงการทำงาน	7200	ชั่วโมง / ปี
ราคาขายไฟฟ้าเฉลี่ย	3.00	บาท / kWh
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้	30.40	เมกะวัตต์
อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	6.98%	%

รูปที่ 9 ส่วน Input ของแบบจำลองด้านการเงิน

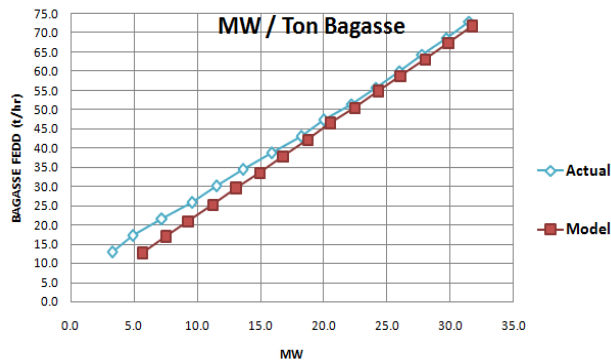
นำปัจจัยผลลัพธ์จากแบบจำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้าคือกำลังไฟฟ้าที่ผลิต (Net Power) ได้เป็นปัจจัยนำเข้าด้านรายได้และอัตราการใช้เชื้อเพลิงเป็นปัจจัยนำเข้าค่าใช้จ่าย และยังมีปัจจัยนำเข้าด้านอื่น ดังรูปที่ 9

Output	
Pay back period (Yr)	5.54
%IRR	23.03%
NPV (Bath)	2,312,241,345
%ROE	22.35%

รูปที่ 10 ส่วน Output แบบจำลองด้านการเงิน

เป็นแบบจำลองผลลัพธ์ด้านการเงินเพื่อช่วยตัดสินใจในการลงทุนดังรูปที่ 10 คือค่าระยะเวลาคืนทุน (Discount Payback Period) และอัตราผลตอบแทนภายใน (%IRR) โดยที่อัตราคิดลดเท่ากันคือ 6.98%

4. ผลที่ได้จากแบบจำลอง



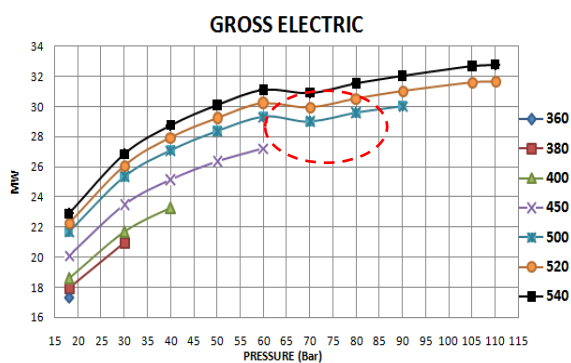
รูปที่ 11 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการผลิตไฟฟ้า

เทียบกับข้อมูลโรงไฟฟ้าที่ความดัน 105 บาร์

520 องศาเซลเซียส

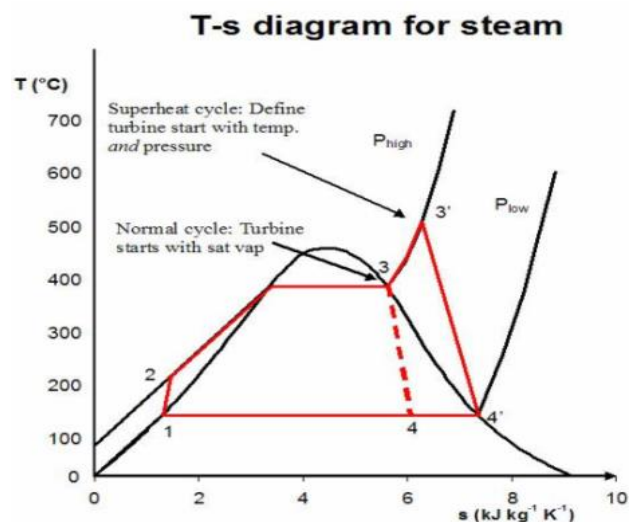
จากรูปที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิงชานอ้อยที่ใช้และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแบบจำลองและโรงไฟฟ้าจากรูปในช่วงอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะต่างกัน โดยแบบจำลองจะสูงกว่า ข้อมูลการเดินเครื่องของโรงงานเนื่องจากในสภาวะการเริ่มจ่ายโหลดของหม้อไอน้ำอุณหภูมิจะต่ำกว่าการออกแบบของ

ผู้ผลิต เมื่อที่โหลดสูงมากกว่า 90% ของหม้อไอน้ำ จะพบว่าแนวโน้มจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากอุณหภูมิจะได้ตามที่ต้องการที่ออกแบบไว้ 520 องศาเซลเซียส



รูปที่ 12 พลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้แต่ละสภาวะ

จากรูปที่ 12 ในสภาวะความดันสูง (>60 bar) เมื่ออุณหภูมิต่ำ (<450°C) จะไม่สามารถกำหนดค่าประสิทธิภาพไอเซนโทปิคได้สูงถึง 80% เนื่องจากสภาวะระดับความดันและอุณหภูมิทางออกของไอน้ำต่ำกว่าความต้องการของโรงงานน้ำตาล (1.5 Bar_g, 125°C) และมีบางส่วนลงถึงจุดเปลี่ยนเฟส (< Saturated Temp.) ซึ่งจะเป็นอันตรายกับใบเบลดของกังหันไอจึงไม่นำสภาวะนั้นมาพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้พบว่าที่ความดันและอุณหภูมิสูง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมากขึ้น เนื่องจากมีพลังงานในไอน้ำมาก จึงสร้างกำลังแก่กังหันเพื่อผลิตไฟฟ้าได้มากตามทฤษฎีของวัฏจักรแรงดัน ซึ่งงานสุทธิที่มากขึ้นเมื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิ ดังแสดงรูปที่ 13 T-s ไดอะแกรมและส่วนของอุณหภูมิไอน้ำป้อนที่แตกต่างกัน โดยความดัน 18 - 60 บาร์ อุณหภูมิ 111 องศาเซลเซียส ความดัน 70 - 110 บาร์ อุณหภูมิ 161 องศาเซลเซียส พบว่าที่ 70 บาร์ ได้ปริมาณไฟฟ้าน้อยกว่าที่ 60 บาร์ ดังรูปที่ 12 แต่ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จะน้อยกว่า โดยที่ปริมาณ MW/ตันชานอ้อย จะมากกว่า ที่ 60 บาร์ ดังแสดงในตารางที่ 2 อุณหภูมิไอน้ำป้อนจึงมีส่วนช่วยในเรื่องของการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับระบบ



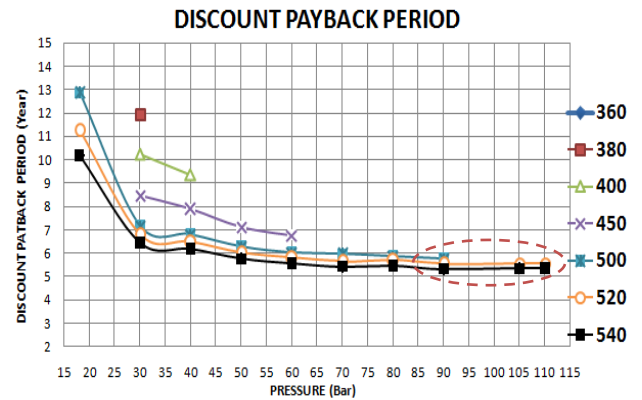
รูปที่ 13 T-s Diagram

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองที่แต่ละความดันโดยระดับอุณหภูมิที่ 540 องศาเซลเซียส อัตราการผลิตไอน้ำ 170 ตัน/ชั่วโมง

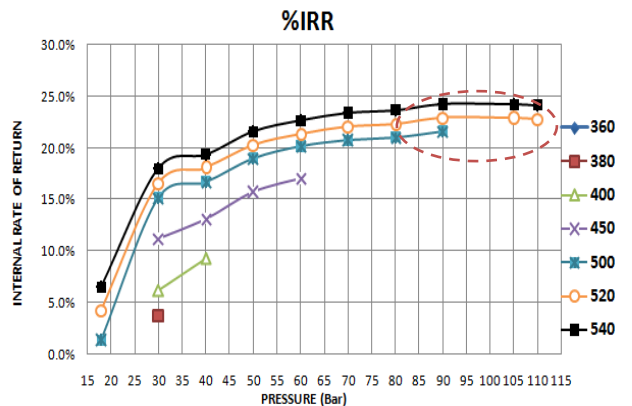
Pressure (Bar)	Bagasse (t/hr)	Gross (MW)	kW/Ton Steam	kW/Ton Bagasse
18	81.1	22.9	134.7	Base
30	80.8	26.84	157.9	+17.7%
40	80.5	28.76	169.2	+26.6%
50	80.2	30.09	177.0	+32.9%
60	79.9	31.10	183.0	+37.9%
70	74.0	30.93	181.9	+48.0%
80	73.7	31.55	185.6	+51.5%
90	73.4	32.05	188.5	+54.5%
105	73.0	32.69	192.3	+58.6%
110	72.9	32.78	192.8	+59.3%

จากตารางที่ 2 เปรียบเทียบ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง โดยใช้ความดัน 18 บาร์ เป็นฐานที่เปรียบเทียบ พบว่าอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของ MW/Ton Bagasse มีแนวโน้มลดลงในช่วงในช่วงความดันสูง

เมื่อเทียบกับในช่วงความดัน 18-60 บาร์ซึ่งแตกต่างกันถึง 10% โดยที่ช่วงความดันสูง 70-105 บาร์ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นเพียง 1-3% ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของ T-s Diagram เมื่อเพิ่มความดันสูงขึ้นโดยที่อุณหภูมิคงที่ อัตราของงานสุทธิที่เพิ่มขึ้นจะลดน้อยลง เนื่องจากเขาใกล้ Critical point พื้นที่การให้พลังงานจะลดน้อยลงหรือแคบลงกว่าบริเวณที่ฐานของโดม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 14 ระยะเวลาคืนทุนของโรงไฟฟ้าที่ระดับความดันและอุณหภูมิต่างๆ (Isentropic 80%)



รูปที่ 15 อัตราผลตอบแทนภายในของโรงไฟฟ้าที่ระดับความดันและอุณหภูมิต่างๆ (Isentropic 80%)

จากปัจจัยผลลัพธ์ของแบบจำลองกระบวนการผลิตไฟฟ้า เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์ในด้านการลงทุน ผลตอบแทนจากการลงทุนแสดงดังรูปที่ 14 และ 15 ทิศทางเป็นตามพลังงานที่ได้รับตามทฤษฎีดังรูปที่ 13 แต่จุดที่ให้

ความคุ้มค่าในด้านการลงทุนคือช่วงระดับความดัน 90 และ 105 บาร์ เนื่องจากที่ความดันและอุณหภูมิมากกว่า จะได้อัตราการเพิ่มของพลังงานที่ไม่คุ้มค่างับอัตราการเพิ่มของการลงทุน

5. สรุปผล

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าโดยการเพิ่มความดันและอุณหภูมิของไอน้ำ รวมถึงการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำเป็นไปตามทฤษฎี แต่ช่วงการเพิ่มในสภาวะใกล้ Critical Point ของ T-s ไดอะแกรม พบว่าอัตราการเพิ่มของพลังงานมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการลงทุน ทำให้ผลตอบแทนจากการลงทุนคุ้มค่าน้อยลง ผลลัพธ์จากแบบจำลอง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของโรงไฟฟ้าที่สภาวะความดัน 105 บาร์ อุณหภูมิ 520 องศาเซลเซียส อัตราการผลิตไอน้ำ 170 ตัน/ชั่วโมง จากแบบจำลองคือ 441.4 kW/ตันชานอ้อย และข้อมูลจากโรงไฟฟ้าคือ 431.3 kW/ตันชานอ้อย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันสามารถนำแบบจำลองไปใช้ได้ และในส่วนของแบบจำลองด้านการลงทุนพบว่าที่ระดับความดันมากกว่า 70 บาร์ จะให้ผลตอบแทนด้านการลงทุนที่น่าสนใจกว่าระดับความดันต่ำ ซึ่งที่ความดัน 90 บาร์และ 105 บาร์ อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส จะให้ผลตอบแทนด้านการลงทุนที่ดีที่สุด คือระยะเวลาคืนทุน 5.32 ปี และ 5.34 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน (%IRR) เท่ากับ 24.25% และ 24.20% ตามลำดับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง มีความใกล้เคียงกับข้อมูลจากโรงงาน หากมีการปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วนของพลังงานความร้อนที่ส่งไปยังกระบวนการผลิตน้ำตาลและการสูญเสียพลังงานตามจุดต่างๆ จะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำและครอบคลุมมากขึ้น ผู้วิจัยคาดว่าจะสามารถนำไปใช้ได้จริงกับโรงงาน เนื่องจากปัจจุบันผู้ปฏิบัติงานยังใช้การคำนวณที่ยังไม่มีความครอบคลุมระบบผลิตไอน้ำและไฟฟ้า และสามารถใช้แบบจำลองนี้ เพื่อวิเคราะห์เลือกสภาวะความดันและอุณหภูมิของโรงไฟฟ้าแบบความร้อนร่วมในอุตสาหกรรมน้ำตาลให้เหมาะสม และยังคุ้มค่าต่อการลงทุน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อัจฉริยา บัวทอง. (2557). การพัฒนาแบบจำลองสมดุลมวลและพลังงานสำหรับโรงน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [2] วรรัตน์ ทศโนธาดา. (2551). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมในโรงงานน้ำตาล. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] Joan M.Ogden, Simone Hochgreb, Michael Hylton.(1990). Steam Economy and Cogeneration in Cane Sugar Factories, International Sugar Journal, Vol.92 No.1099
- [4] E.Hugot. (1986). Handbook of Sugar Engineering. 3rd ed. Elsevier, Amsterdam: Elsevier Science.
- [5] ธนาคารแห่งประเทศไทย. ดอกเบี้ยธนาคาร. สืบค้นเมื่อ เมษายน 2558 เข้าถึงได้ที่ <https://www.bot.or.th/>

