



การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานไอน้ำความดันต่ำสำหรับไอน้ำเหลือใช้จากกระบวนการผลิต

The Power Generator by Low-Pressure for Waste Steam from the Production Process

อุทัย ผ่องรัศมี^{1*}, เสนีย์ ศิริไชย¹, ขวัญชัย หนานแนน¹ และวิเชียร เข้มเงิน²

Uthai Phongrasmee^{1*}, Seney Sirichai¹, Kwanchai Nanan¹ and Vichian Kamngern²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

²สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

¹ Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

² Interior Architecture, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: Uthai_mt@hotmail.com

Received: 11 March 2019 | Revised: 20 June 2019 | Accepted: 26 July 2019

บทคัดย่อ

หม้อน้ำเป็นอุปกรณ์ผลิตไอน้ำในงานอุตสาหกรรมผลิตและบริการ ซึ่งจะนำไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิต ในขณะที่เดียวกันก็ยังมีไอน้ำที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตประมาณ 5-7 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดัน 0.5-3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 112-150 องศาเซลเซียส การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะทางกลของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำ และเพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการลงทุนติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่าด้านการออกแบบใช้กังหันไอน้ำแบบแรงผลักดัน ใช้หัวฉีดติดตั้งจำนวน 3 หัว แต่ละหัวทำการฉีด 20 องศา ใช้ความดันไอน้ำในการทดสอบที่ 0.5-3.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผลการวิเคราะห์ที่ความดันไอน้ำ 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรได้กำลังทางกลสูงสุด 3.00 กิโลวัตต์ ประสิทธิภาพทางกลสูงสุด 2.61 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกำลังทางไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด 310 วัตต์ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด 0.87 เปอร์เซ็นต์ และราคาค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 11,871.83 บาทต่อปี ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน 7.54 ปี

คำสำคัญ: กังหันไอน้ำความดันต่ำ เครื่องผลิตไฟฟ้า ไอน้ำ



Abstract

The boiler is a steam generator for service and industrial field, in which steam is used for the production process. Meanwhile, there is the waste steam from such process as 5-7% at pressure 0.5-3.0 kg/cm² and temperature 112-150 °C. This research aimed to design and build the power generator system by a low-pressure steam turbine in order to study the parameters effecting to the mechanical performance and analyze breakeven of the power generation installation. The results showed that we could design and build using the reaction steam turbine with the install 3 nozzles and corner 20 degrees at pressure steam 0.5-3.0 kg/cm². The results analysis at maximum 3 kg/cm², the mechanical power was 3.00 kW and maximum mechanical efficiency was 2.61%. The maximum electrical power was 310 w. and maximum electrical efficiency was 0.87%. By using this generator, cost saving was 11,871.83 bahts/year. The pay-back period was about 7.54 years.

Keywords: Low-pressure steam turbine, Power generator, Steam

บทนำ

ปัจจุบันจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีการใช้หม้อน้ำ (Boiler) ไม่น้อยกว่า 186 ลูก ซึ่งมีขนาดอัตราการผลิตไอน้ำที่แตกต่างกันไปตั้งแต่ 500-3,000 kg/h โดยความดันใช้ไอน้ำ 3-20 kg/cm² ไอน้ำดังกล่าวถูกใช้ในกระบวนการผลิตและการบริการ ซึ่งในทางปฏิบัติพบว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้แก่ไอน้ำประมาณ 70-75% ส่วนที่เหลือจะสูญเสียพลังงานไปกับแก๊สร้อนทิ้งประมาณ 15-20% สูญเสียกับน้ำโบล์ดวอเตอร์ประมาณ 5% และสูญเสียไปกับการแผ่รังสีและการพาความร้อนประมาณ 5% อย่างไรก็ตาม ไอน้ำที่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตนั้นยังมีปริมาณความร้อนประมาณ 112-150 °C ที่ความดันประมาณ 0.3-5.0 kg/cm² [1] ประเด็นที่น่าสนใจของวิจัยนี้คือ “การนำพลังงานไอน้ำความดัน

ต่ำที่เหลือใช้มาผลิตกระแสไฟฟ้า” เพื่อให้เกิดการใช้ไอน้ำอย่างมีประสิทธิภาพของหม้อน้ำ และเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมบริการ

หม้อน้ำเป็นอุปกรณ์ผลิตไอน้ำ ซึ่งปัจจุบันหม้อน้ำมีหลายประเภท เช่น ชนิดท่อไฟและชนิดท่อไฟในกรณีของหม้อน้ำแบบท่อไฟ ปริมาณความร้อน การเทความร้อนวิ่งอยู่ภายในท่อ ส่วนปริมาณน้ำอยู่ภายนอกท่อ แบบท่อไฟปริมาณน้ำจะวิ่งอยู่ภายในท่อ ส่วนปริมาณความร้อนถ่ายเทจะอยู่ภายนอกท่อ ในการเลือกใช้หม้อน้ำที่จะเป็นชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการใช้ความดันใช้ไอน้ำ เช่น ถ้าเป็นหม้อน้ำแบบท่อไฟจะใช้ไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 12 kg/cm² ซึ่งสถานะไอน้ำจะเป็นไอน้ำอิ่มตัวกับไอน้ำแห้ง (Superheated steam ต่ำ) และถ้าต้องการไอน้ำที่มีปริมาณความดันไอน้ำสูงเกิน 12 kg/cm² จะต้อง



เลือกใช้น้ำหม้อน้ำแบบท่อน้ำ หม้อน้ำประเภทนี้จะสามารถผลิตไอน้ำที่ความดันสูงได้และจะมีความปลอดภัยสูง ในปัจจุบันการนำไอน้ำเหลือใช้จากกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมบริการมีการศึกษาน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากความดันใช้ไอน้ำที่เหลือค่อนข้างต่ำ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา [2] พบว่ามีการศึกษาไอน้ำส่วนนี้มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำขนาดเล็ก โดยการสร้างใบกังหันและนำไอน้ำมาให้ความร้อนเป็นไอน้ำ (Superheated steam) ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้จากทางกลและทางไฟฟ้าค่อนข้างต่ำหากเปรียบเทียบกับความต้องการใช้พลังงานในการแลกเปลี่ยนไอน้ำทำให้เป็นไอน้ำ นอกจากนี้งานวิจัยในต่างประเทศ ยังมีการศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำของโรงไฟฟ้า [3] โดยการสร้างแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ของโรงงานไฟฟ้าความร้อนและการนำความดันไอน้ำมาใช้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ต่างๆ และคุณภาพไอน้ำ (x) บริเวณทางออกที่ต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพกังหันไอน้ำ

การออกแบบและสร้างระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำให้เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับไอน้ำที่เหลือจากการใช้ในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม จะทดสอบที่ความดันใช้ไอน้ำ 0.5-3.0 kg/cm² ซึ่งงานวิจัยนี้จะเลือกกังหันไอน้ำแบบแรงผลักดัน [4] ที่มีลักษณะเดียวกันกับกังหันไอน้ำที่ใช้ในโรงงานไฟฟ้ามาใช้ โดยกังหันชนิดนี้จะเหมาะสมกับความดันใช้ไอน้ำที่เหลือ (ต่ำ) ไม่เกิน 12 kg/cm² โดยมีหัวฉีด (Nozzle) ติดตั้งอยู่กับกังหันไอน้ำจำนวน 3 ตัว แต่ละตัววางทำมุม 20 องศาเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพทางกลและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังนี้

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบการผลิตไฟฟ้าจากกังหันไอน้ำความดันต่ำ
2. เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะทางกลและทางไฟฟ้า
3. เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการออกแบบและสร้างระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำและทดสอบการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำในการวิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะทางกล การวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำและวิเคราะห์จุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ ดังมีรายละเอียดสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

กำลังไอน้ำที่เหลือใช้, $P_{Tur,inlet}$

$$P_{Tur,inlet} = m_w(h_1-h_4) \quad (1)$$

เมื่อ m_w = มวลของน้ำ (kg/s)

h_1 = ค่าเอนทัลปีทางเข้าของกังหันไอน้ำ (J/kg)

h_4 = ค่าเอนทัลปีทางออกของกังหันไอน้ำ (J/kg)

กำลังงานที่ได้จากชุดกังหันไอน้ำ, $P_{Tur,isen}$

$$P_{Tur,isen} = m_s(h_3-h_2) \quad (2)$$

เมื่อ m_s = มวลของไอน้ำ (kg/s)

h_3 = ค่าเอนทัลปีของไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำความดันต่ำ (J/kg)

h_2 = ค่าเอนทัลปีของไอน้ำก่อนเข้าสู่ชุดกังหันไอน้ำความดันต่ำ (J/kg)

กำลังงานทางกลของกังหันไอน้ำ, P_m



$$P_m = T\omega \quad (3)$$

$$P_m = 2\pi Tn/60 \quad (4)$$

เมื่อ $T =$ แรงบิด (Nm)

$\omega =$ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

$n =$ ความเร็วรอบก้าน (rpm)

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้, P_{oe}

$$P_{oe} = IV \quad (5)$$

เมื่อ $I =$ กระแสไฟฟ้า (A)

$V =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)

ประสิทธิภาพทางกล, $\eta_{T,m}$

$$\eta_{T,m} = \frac{P_{Tur,gen}}{P_m} \quad (6)$$

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า, $\eta_{T,oe}$

$$\eta_{T,oe} = \frac{P_{Tur,gen}}{P_{oe}} \quad (7)$$

อุปกรณ์ชุดทดลอง

การดำเนินการออกแบบและสร้างระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำจะใช้ร่วมกับหม้อน้ำแบบความร้อนไหลผ่านทางเดียว (Once-Through Boiler) ที่มีความดันไอน้ำสูงสุด 7 บาร์ ซึ่งในการทดสอบจะนำไอน้ำที่เหลือจากการใช้ไอน้ำมีความดันประมาณ 0.5-3.0 kg/cm² ผ่านหัวฉีด 3 หัว เพื่อขับกังหันไอน้ำแบบแรงผลัก ซึ่งกำลังที่ได้จากกังหันจะส่งผ่านมายังแกนเพลลาของกังหันหลังจากนั้นจะส่งผ่านโดยใช้สายพานไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ขนาด 200 kW. ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm. ซึ่งจะทดสอบโดยอาศัยโหลดจากหลอดไฟฟ้า และเมื่อไอน้ำออกจากกังหันไอน้ำความดันต่ำจะไหลเข้าไปยังถังดับไอน้ำเพื่อ

ระบายความร้อนออกจากไอน้ำจนเปลี่ยนเป็นสถานะของเหลว

กังหันไอน้ำแบบแรงผลักดันก้านดอกลาวาล [5] ซึ่งเป็นกังหันไอน้ำแบบพื้นฐาน เหมาะกับการใช้ไอน้ำที่มีความดันต่ำที่มีการออกแบบและสร้างง่ายที่สุด ซึ่งประกอบด้วยใบกังหันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.012 m ความกว้างใบกังหันเท่ากับ 0.007 m ดังแสดงใน Figure 1 และหัวฉีด (Nozzle) ไอน้ำจำนวน 3 หัววางทำมุม 20 องศา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.007 m



Figure 1. Reaction steam turbine

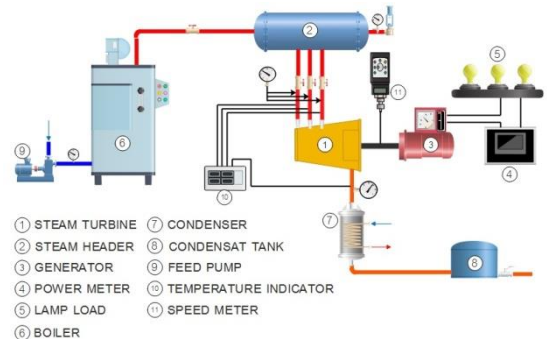


Figure 2. Steam turbine diagram



Figure 3. Steam turbine set

จาก Figure 2 และ 3 แสดงไดอะแกรมและส่วนประกอบหลักของชุดระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำ มีอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้ กังหันไอน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชุดควบคุมแสดงผลต่างๆ ชุดจำลองโหลดทางไฟฟ้า อุปกรณ์วัดความดันไอน้ำทางเข้า-ออก ชุดกังหัน และอุปกรณ์ควบแน่นไอน้ำ

เงื่อนไขการทดสอบ

ในการดำเนินการวิจัยการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำ ในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบกังหันไอน้ำโดยหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางกลที่ความดันหัวฉีดต่างกัน และการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้วิธีเพิ่มโหลดทางไฟฟ้าให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ตาม Table 1

Table 1. Testing condition

Variable	Scope
1. อัตราการผลิตไอน้ำของหม้อน้ำ	8-62 kg/h.
2. ความดันใช้ไอน้ำที่เหลือใช้ขับกังหันไอน้ำ	0.5-3.0 kg/cm ²
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด	0.007 m.
4. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	0.072 m.
5. จำนวนหัวฉีด	3 หัว
6. มุมการฉีดไอน้ำ	20°

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำ ซึ่งในการวิเคราะห์ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะทางกลชุดกังหันไอน้ำความดันต่ำ การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้า และวิเคราะห์จุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ไว้ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไอน้ำกับความดันที่หัวฉีด

ผลการวิเคราะห์ระหว่างความดันไอน้ำที่หัวฉีดที่ 0.5-3.0 kg/cm² (Figure 4) โดยการทดสอบหัวฉีด 1, 2 และ 3 หัว ที่อัตราการผลิตไอน้ำระหว่าง 8-62 kg/h. ผลการวิจัยพบว่าที่อัตราการผลิตไอน้ำที่ 62 kg/h. จะได้พลังงานไอน้ำเฉลี่ย 5.62-41.21 kW. และพลังงานไอน้ำก่อนเข้าสู่ชุดกังหันไอน้ำเฉลี่ย 4.50-36.04 kW. สาเหตุที่พลังงานไอน้ำที่ทางเข้าสู่ชุดกังหันไอน้ำน้อยกว่าพลังงานไอน้ำเหลือใช้ เพราะว่ามีพลังงานไอน้ำบางส่วนสูญเสียไปจากการแผ่รังสีความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมตามแนวท่อส่งไอน้ำก่อนเข้าสู่ชุดกังหันไอน้ำความดันต่ำ

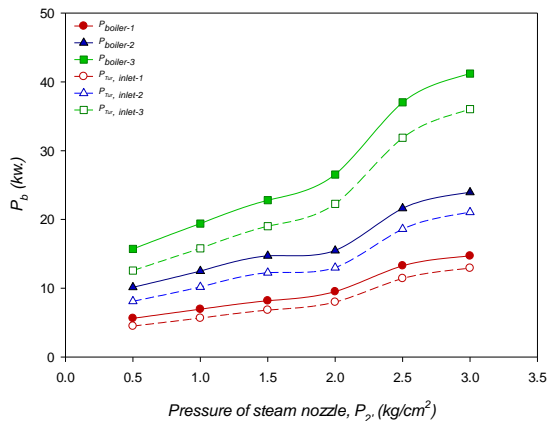


Figure 4. Relationship between steam pressure and nozzle pressure

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ได้จากชุดกังหันความดันต่ำกับความดันที่หัวฉีด

Figure 5 เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ได้กับความดันที่หัวฉีดที่ 0.5-3.0 kg/cm² ผลการทดสอบได้กำลังเฉลี่ยที่ 0.54 kW., 0.99 kW. และ 1.49 kW. ผลการวิเคราะห์กำลังงานที่ได้จากกังหันไอน้ำแบบกระบวนกรไอเซนโทรปิกจะมีค่าสูงสุดที่ 3 kW

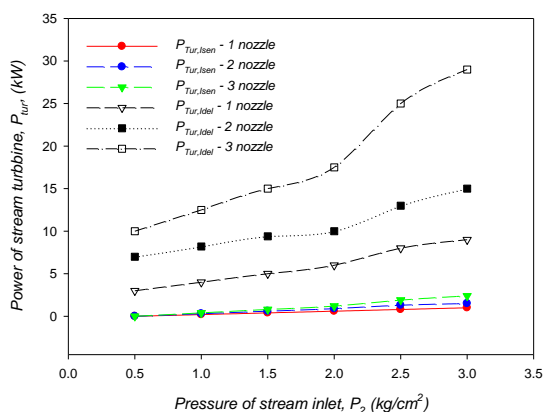


Figure 5. Relationship between powers obtained from low pressure steam turbine and nozzle pressure

เมื่อความดันหัวฉีด 3 kg/cm² (3 หัว) ดังนั้นถ้าปริมาณไอน้ำเหลือใช้ถ้ามีความดันสูงและอุณหภูมิสูงจะทำให้ได้กำลังที่ได้จากกังหันเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นไปตามสมการ (2)

$$P_{Tur} = m(h_3-h_2)$$

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพไอน้ำ (x) ที่ออกจากกังหันกับความดันที่หัวฉีด

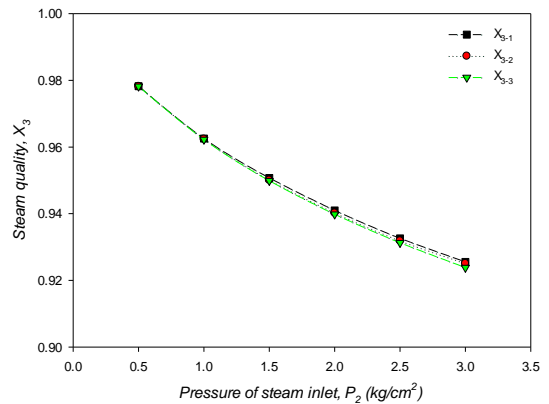


Figure 6. Relationship between steam quality from steam turbine and nozzle pressure

Figure 6 เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพไอน้ำที่ออกจากกังหันกับความดันที่หัวฉีดที่ 0.5-3.0 kg/cm² ผลจากการทดสอบหัวฉีด 1.2 และ 3 หัว ซึ่งได้คุณภาพไอน้ำ (x) ที่ออกจากกังหันไอน้ำเฉลี่ย 0.94 (94%) เท่ากันทั้ง 3 หัวฉีด ผลจากการวิเคราะห์คุณภาพไอน้ำพบว่าที่ความดันหัวฉีด 0.5-3.0 kg/cm² มีคุณภาพไอน้ำที่ออกมาจากกังหันไอน้ำที่ไม่แตกต่างกัน สำหรับกรณีทดสอบหัวฉีด 1, 2 และ 3 หัวสาเหตุที่ยังคงมีปริมาณไอน้ำสูงออกมาจากกังหันเพราะการเลือกใช้ขนาดของกังหันไอน้ำความดันต่ำไม่เหมาะสมทำให้กำลังไอน้ำเหลือใช้ ตลอดจนการติดตั้งหัวฉีดมีมุมมากเกินไป จึงส่งผลต่อปริมาณไอน้ำที่ออกมาจากกังหันสูง ตามลำดับ

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรง

ผลึกของกังหันไอน้ำกับความดันที่หัวฉีด

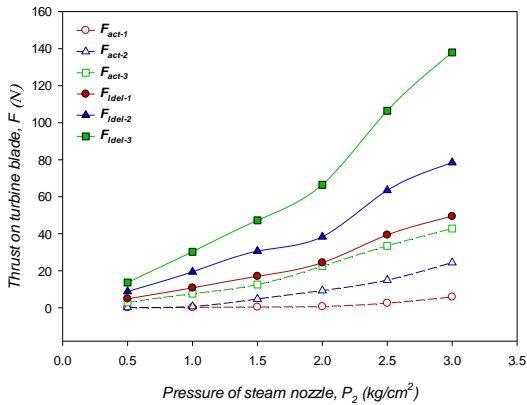


Figure 7. Relationship between turbine blade thrust and nozzle pressure

Figure 7 เป็นผลกรการวิเคราะห์ระหว่างแรงผลึกของกังหันไอน้ำกับความดันหัวฉีด ผลการทดสอบหัวฉีด 1, 2 และ 3 ซึ่งได้แรงผลึกของกังหันไอน้ำ (F) การทดสอบและแรงผลึกทางทฤษฎี 2.97 N (27.16 N), 12.35 N (43.67 N) และ 22.90 (75.83 N) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แรงผลึกของกังหันไอน้ำที่เงื่อนไขเดียวกันพบว่า แรงผลึกในทางทฤษฎีจะสูงกว่าแรงผลึกที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติทุกหัวฉีด ทั้งนี้เพราะแรงผลึกในทางทฤษฎีนั้นยังไม่คิดปัจจัยที่สูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบของกังหันไอน้ำความดันต่ำ เช่น ความดันตกคร่อมภายในและการสูญเสียการถ่ายเทความร้อนภายในอุปกรณ์ของระบบ ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้สมการแรงดันพื้นฐาน

$$P_{om} = FV_B = m_s v_s (v_{s1} \cos \theta - v_{s2} \cos \delta)$$

เมื่อ F = แรงดล (N)

V_B = ความเร็วแผ่นเรียบ (m/s)

5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตก

คร่อมของกังหันไอน้ำกับความดันที่หัวฉีด

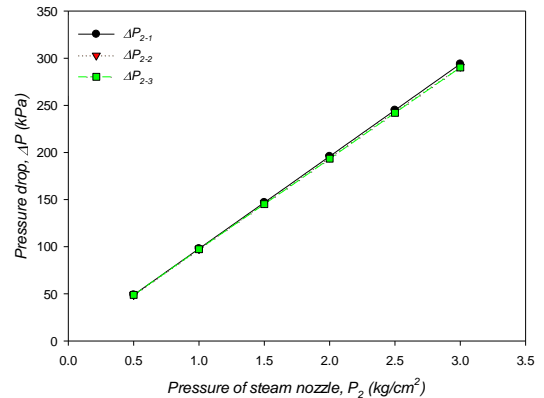


Figure 8. Relationship between pressure drop and nozzle pressure

Figure 8 เป็นผลกรการวิเคราะห์ระหว่างความดันตกคร่อมหรือความดันลด (Pressure drop) ภายในชุดกังหันไอน้ำกับความดันที่หัวฉีดที่ 0.5-3.0 kg/cm² ในกรณีทดสอบหัวฉีด 1, 2 และ 3 หัว ผลการทดสอบมีความดันตกคร่อมเฉลี่ยที่ 89.8 kPa, 170.47 kPa และ 169.50 kPa พบว่าถ้าความดันหัวฉีดสูงกว่าความดันตกคร่อมจะสูงขึ้นตามเพราะว่าในระบบเกิดการสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

6. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์กำลังงานทางกลกับความดันที่หัวฉีด

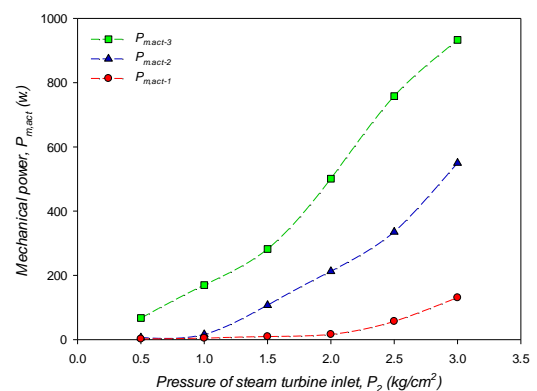


Figure 9. Relationship between mechanical power and nozzle pressure



Figure 9 เป็นผลการวิเคราะห์ที่ความดันหัวฉีด 3 kg/cm² ในกรณีทดสอบหัวฉีด 1, 2 และ 3 หัว ซึ่งได้กำลังทางกลสูงสุด 130.62-933.19 W. และมีประสิทธิภาพทางกลสูงสุดเฉลี่ย 1.01-2.61% และมีประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิกสูงสุดเฉลี่ย 8.34-8.54% ผลการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพที่ได้มาค่อนข้างต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเนศ เทียมเศวต [3] ที่ได้ทำการศึกษาพัฒนาและปรับปรุงโรงจักรต้นกำลังไอน้ำจำลองโดยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ค่อนข้างต่ำ สาเหตุมาจากการรั่วไหลที่บริเวณลูกปืนของแกนเพลากังหันไอน้ำและได้ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของความร้อนเท่ากับ 3.6% และประสิทธิภาพของระบบโรงจักรเท่ากับ 2.8%

7. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางไฟฟ้ากับความดันที่หัวฉีด

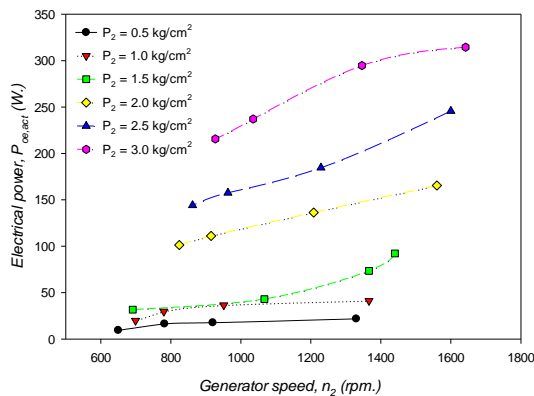


Figure 10. Relationship between *electrical power* and nozzle pressure

Figure 10 เป็นผลการวิเคราะห์ที่ความดันหัวฉีดสูงสุด 3 kg/cm² ในกรณีทดสอบหัวฉีด 1, 2 และ 3 หัว ผลการทดสอบได้กำลังทางไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 34.14-314.49 W. ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1,377-1,642 rpm. ซึ่งเป็นค่าที่ให้กำลังงานไฟฟ้าสูงสุด สำหรับการเลือกใช้กังหันแบบแรงผลึก เดอลาวาล และติดตั้งหัวฉีด 3 หัว วางท่ามุม 20 องศาเท่านั้น

8. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทางไฟฟ้ากับความดันที่หัวฉีด

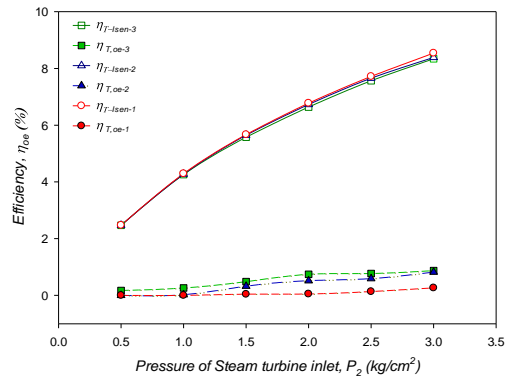


Figure 11. Relationship between *electrical efficiency* and nozzle pressure

Figure 11 เป็นผลการวิเคราะห์ระหว่างประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ความดันที่หัวฉีดที่ 1, 2 และ 3 หัว ที่ความดัน 0.5-3.0 kg/cm² ผลการทดสอบได้กำลังทางไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 314.2 W. ได้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.87% และประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิก เท่ากับ 8.54% ที่ความดันหัวฉีด 3 kg/cm² จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่ได้ต่ำ เพราะว่าการกำลังงานที่ใช้จากชุดกังหันไอน้ำได้กำลังค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะว่าระบบการส่งจ่ายกำลังไอน้ำมีการสูญเสียพลังงานไอน้ำและมีการสูญเสียกำลังจากระบบการส่งจ่ายกำลัง เช่น สายพาน และอุปกรณ์ระบบต่าง ๆ

9. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำความดันต่ำที่ผลิตกับต้นทุนการสร้าง โดย



คิดชั่วโมงการทำงานที่ 24 ชั่วโมง พบว่าผลตอบแทนได้กำลังที่ผลิตได้สูงสุด 2,754.93 บาท/ปี คิดเป็นราคา ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 11,871.83 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 7.54 ปี

สรุปผลการวิจัย

การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานไอน้ำความดันต่ำสำหรับไอน้ำเหลือใช้จากกระบวนการผลิตที่ใช้ดำเนินการวิจัยสำหรับการออกแบบและสร้างเพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าที่ความดันหัวฉีด 0.5-3.0 kg/cm² สำหรับจำนวนหัวฉีด 1, 2 และ 3 หัว ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้ ด้านสมรรถนะของพลังงานไอน้ำจากหม้อน้ำมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.62-41.21 kW พลังงานที่เข้ากังหันไอน้ำความดันต่ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.04 kW พลังงานไอน้ำแบบไอเซนโทรปิกมีค่าเฉลี่ย 3.00 kW และประสิทธิภาพแบบไอเซนโทรปิกเท่ากับ 8.54% มีคุณภาพไอน้ำที่ออกจากชุดกังหันเท่ากับ 0.97% มีแรงผลักดันจากไอน้ำที่กระทำกับใบพัดเท่ากับ 137.97 N มีกำลังทางกลของกังหันไอน้ำเท่ากับ 9.33 kW ที่ความเร็วของกังหัน 5,900-8,00 rpm มีกำลังทางไฟฟ้าเท่ากับ 0.31 kW ที่ความเร็วรอบเจนเนอเรเตอร์เท่ากับ 1400-1500 rpm มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเท่ากับ 0.87% และการประเมินจุดคุ้มทุนเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังทางไฟฟ้าที่ผลิตใช้กับต้นทุนการสร้างระบบโดยการคิดชั่วโมงการทำงานของระบบ 24 ชั่วโมง สำหรับการนำไอน้ำเหลือใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่ให้มีหม้อน้ำจะมีความคุ้มค่าเหมาะสมกับการลงทุนแต่ต้องแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิและความดันสูญเสียในระบบก่อนจึงจะเกิดความคุ้มค่าสำหรับการลงทุนที่เพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ได้สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้และขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้การสนับสนุนการใช้ห้องปฏิบัติการและครุภัณฑ์ สนับสนุนการวิจัย จนทำให้งานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2550. สถิติการขอขึ้นทะเบียนการใช้หม้อน้ำ, กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
2. ดิเรก ไหมแพง. 2551. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
3. ธเนศ เทียมเศวต. 2554. การศึกษาพัฒนาและปรับปรุงโรงจักรต้นกำลังไอน้ำจำลองให้สามารถทำงานได้และผลิตกระแสไฟฟ้าได้จริง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
4. นิตยา กานต์ กันตร์พีเกสร. 2558. สถานภาพ การผลิตพลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตพลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งด้านกรรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. สืบค้นจาก <http://webkc.dede.co.th/testmax/nodo/2551>.
5. Ganjekkaviri, A. 2015. Operation and the effect of steam turbine outlet gustily on the output power of combine cycle power plant science



direct. *Energy conversion and management*,
89(2015): 231-243.

6. Urosovich, D. 2013. Calculation of the power loss coefficient of steam turbine as a part of cogeneration plant. *Science Direct, Energy*, 59(2013): 642-651.