



ประสิทธิภาพและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ โรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่น

Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emission of Cogeneration Power Plant

ธรรมบุญ หนูฤทธิ์¹ ศิริพล ทองอ่อน² จันทิมา รวีลายเงิน³ และเสกสรร พาป้อง⁴

Thammanoon Noorit¹ Siripol Tongorn² Chantima Rewlay-ngoen³ and Seksan Papong⁴

¹⁻³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Department of Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

⁴ สถาบันเทคโนโลยีและสารสนเทศเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

Technology and Informatics Institute for Sustainability (TIIS), National Science and Technology Development Agency (NSTDA)

*Corresponding Author: E-mail: chantima.r@rmutp.ac.th

Received: 12 ธ.ค. 65 Revised: 30 ม.ค. 66 Accepted: 15 มี.ค. 66

DOI: 10.14416/j.ted.2025.06.006

บทคัดย่อ

โรงไฟฟ้าแบบโคเจนเนอเรชั่นใช้กังหันก๊าซเป็นเครื่องต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยใช้ประโยชน์จากไอเสียหรือความร้อนเหลือทิ้งในการผลิตไอน้ำ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนและประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าแบบโคเจนเนอเรชั่นที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยโรงไฟฟ้าในการศึกษาครั้งนี้มีการนำระบบทำความเย็นแบบอัดไอมาใช้ เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าที่กังหันก๊าซ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ (Gross Generation) เพิ่มขึ้น 7.09% เมื่อเทียบกับการไม่ใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงไฟฟ้าแบบโคเจนเนอเรชั่นชนิดใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติมีค่าอยู่ระหว่าง 49.64%-49.90% ขึ้นอยู่กับการใช้งานระบบทำความเย็น

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตตามมาตรฐาน ISO 14040-44 โดยกำหนดหน่วยการทำงานเป็นพลังงานไฟฟ้าสุทธิ 1 MJ และพลังงานความร้อนสุทธิ 1 MJ ขอบเขตการประเมินครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านท่อ การแยกก๊าซธรรมชาติและการผลิตไฟฟ้าและความร้อน โดยใช้โปรแกรม SimaPro 8.3.3 วิธี ReCiPe (H) ผลการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าและความร้อน คิดเป็น 0.092 kgCO₂eq. และ 0.0876 kgCO₂eq. ตามลำดับ โดยผลกระทบหลักมาจากการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งผลการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลฐานในการหาแนวทางการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

คำสำคัญ: โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ก๊าซเรือนกระจก ก๊าซธรรมชาติ ประสิทธิภาพ



Abstract

Cogeneration power plant uses gas turbines as prime movers for generating electrical energy and heat energy, as well as utilized exhaust gas or waste heat to create process steam. The purpose of this research is to analyze the efficiency and greenhouse gas emission of cogeneration by using natural gas fuel. Cogeneration is the use of heat engine or power station to generate electricity and useful heat at the same time. This power plant included vapor compression system is a commonly used to produce cooling in the power generation for reduce the temperature of the inlet air at gas turbine. It was found that gross generation of electrical produce with the vapor compression system increased by 7.09% compare with excluded vapor compression system. The cogeneration plant used combustion from natural gas between 49.64%-49.90% of thermal efficiency depend on cooling system.

Greenhouse gas (GHG) emissions assessment of cogeneration power plant of this study using the life cycle assessment principle to according with ISO 14040-44. The functional unit of 1 MJ of net electrical energy and 1 MJ of net thermal energy. The system boundary included natural gas as well, onshore and offshore gas transportation, gas separation and cogeneration power plant. The next step is impact assessment used SimaPro 8.3.3 program, assessment method: ReCiPe (H). This results, GHG emissions from electricity and heat production are 0.092 and 0.0876 kg CO₂ eq., respectively, with the main impact from cogeneration power plant. This approach can be used to baseline for the ways to improve energy efficiency and environment performance in the future.

Keywords: Cogeneration power plant, Greenhouse gases, Natural gas, Efficiency

1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักที่ถูกใช้ในชีวิตประจำวัน เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่า มนุษย์มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่มากขึ้น เนื่องจากการพัฒนาของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปและการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ ด้านอุตสาหกรรมการผลิตและด้านการคมนาคม เป็นต้น เพื่อตอบสนองความต้องการไฟฟ้าของประชาชนในประเทศ จึงจำเป็นต้องมีการจัดหาพลังงานเพิ่มขึ้น พลังงานความร้อนร่วม (Cogeneration) คือ ระบบที่สร้างพลังงานและความร้อนพร้อมกันจากแหล่งพลังงานเดียวกัน [1] โดยพลังงานที่สร้างขึ้น ได้แก่ พลังงานกล พลังงานความร้อนและพลังงานเคมี เช่นเดียวกันยังสามารถสร้างพลังงานความร้อนและความเย็น ที่สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย ระบบสามารถผลิตได้ทั้งกระแสไฟฟ้าและความร้อน จากการศึกษาของรวิธรวัชร ชมพู่ [2] ระบบพลังงานความร้อนร่วมจากปิโตรเลียม หากผลิตไฟฟ้าเพียง

อย่างเดียวประสิทธิภาพเพียง 16% และหากผลิตไฟฟ้าร่วมกับความร้อนประสิทธิภาพจะสูงถึง 30% และวุฒิพงศ์ จันทกริ [3] ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับความร้อน พบว่า ที่สภาวะเหมาะสมประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับความร้อนประมาณ 38% นอกจากนี้พบว่า ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ถ้าเทียบกับการผลิตไฟฟ้าอย่างเดียว [4]

หากพิจารณากำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมในปี 2564 พบว่า มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับปี 2554 และในอนาคตกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้น เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า 54% [5] ใช้ก๊าซธรรมชาติ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่น ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนและไอน้ำที่ได้จากการรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทน (Steam Methane Reforming Storage) ผลการศึกษาพบว่า



บทความวิจัย

ประสิทธิภาพและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าโคเจนเนอร์เรชัน

ในช่วงการผลิตไฟฟ้าสูงสุด ไอน้ำที่ได้จากการรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทนมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน [6] จากรายงานการใช้พลังงานพบว่า หากใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน [7] จึงเป็นที่มาของงานวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าแบบโคเจนเนอร์เรชัน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าแบบโคเจนเนอร์เรชันที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

2.2 เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าแบบโคเจนเนอร์เรชันที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

3. สมมติฐานการวิจัย

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำประกอบไปด้วยกังหันก๊าซ จำนวน 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ จำนวน 1 เครื่อง ไฟฟ้าที่ผลิตได้จำหน่ายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และไอน้ำจะจำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมใกล้เคียง การผลิตพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำโดยพิจารณาจากกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ใช้ในการปั่นเครื่องให้กำเนิดไฟฟ้า โดยพิจารณาประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงไฟฟ้าร่วมกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอโดยใช้สารทำความเย็นชนิด R134a เป็นต้น

ขอบเขตการศึกษาในการประเมินก๊าซเรือนกระจกของแหล่งก๊าซธรรมชาติมาจาก 2 แหล่งคือ แหล่งที่มาจากอ่าวไทยขนส่งผ่านท่อไปโรงแยกก๊าซและส่งไปโรงไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตและแหล่งก๊าซธรรมชาติที่มาจากพม่าจะเข้าสู่

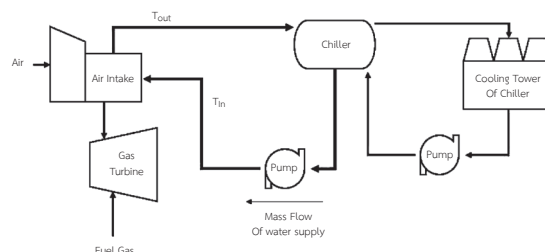
โรงไฟฟ้าและขนส่งก๊าซผ่านท่อสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้า

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 รวบรวมข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าโคเจนเนอร์เรชันที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงขนาดกำลังการผลิต 137 เมกะวัตต์ ในพื้นที่จังหวัดระยอง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยพิจารณาจากอัตราการใช้ก๊าซธรรมชาติในการเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อน

4.2 คำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็นำมาใช้ระบบและขายไฟฟ้าให้กับลูกค้ารายย่อย โดยโรงไฟฟ้าจะมีระบบการทำความเย็นแบบอัดไอซึ่งใช้ในการผลิตความเย็นสำหรับกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยพื้นฐานคือ การส่งผ่านความร้อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งผ่านวัฏจักรการทำความเย็นประกอบไปด้วย เครื่องอัดไอ เครื่องควบแน่น เครื่องระเหย และสารทำความเย็นที่ใช้ในกระบวนการ โดยทั่วไปนั้นสารทำความเย็นจะมีจุดเดือดต่ำ สามารถใช้ในกระบวนการควบแน่นหรือระเหยเปลี่ยนสถานะได้ดี หลักการลดอุณหภูมิของอากาศเข้าของกังหันก๊าซ จะใช้น้ำเป็นตัวกลางให้การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยแบ่งออกเป็น 2 วัฏจักร คือ วัฏจักรทำความเย็นของกังหันก๊าซและวัฏจักรระบายความร้อนทิ้งที่หอทำความเย็น ดังแสดงในภาพที่ 1

นอกจากนี้การลดอุณหภูมิอากาศเข้าของกังหันก๊าซจะช่วยเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันก๊าซ ซึ่งการเปรียบเทียบระบบการผลิตพลังงานที่ได้จากโรงไฟฟ้าแบบโคเจนเนอร์เรชันการพิจารณาแบบมีและไม่มีระบบการทำความเย็นแบบอัดไอของการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการทำความเย็นของระบบแบบอัดไอ



ตารางที่ 1 เปรียบเทียบที่มีระบบการผลิตการทำความเย็นและไม่มีระบบการผลิตการทำความเย็นแบบอัดไอ

Description	Excluded Cooling System		Included Cooling System	
	Values	Unit	Values	Unit
Gas Turbine 1	44360	kW	47150	kW
-Air inlet	30.64	°C	22.03	°C
Gas Turbine 2	44390	kW	47180	kW
-Air inlet	30.65	°C	21.76	°C
Steam Turbine	33490	kW	36590	kW
Process steam	29.86	ton/hr	15.94	ton/hr
Gross Generation	122250	kW	130920	kW
Total fuel consumption	9.169×10^8	kJ	9.564×10^8	kJ

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากข้อ 4.1 จะแสดงในตารางที่ 1 เพื่อคำนวณกำลังการผลิตของกังหันก๊าซกับอุณหภูมิของอากาศแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการเดินเครื่องกังหันก๊าซที่อุณหภูมิ 30.64 °C กับการเดินเครื่องกังหันก๊าซที่ใช้ระบบทำความเย็นให้อากาศเข้ามีอุณหภูมิ 22 °C พบว่ากำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเป็น 130,920 kW คิดเป็นร้อยละ 7.09 เทียบกับตอนไม่ใช้ระบบทำความเย็น เมื่อมีการใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งช่วยลดอุณหภูมิอากาศเข้าของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่กังหันก๊าซ ปริมาณความร้อนที่ถูกดึงออกมาผ่านตัวกลางที่ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานและถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

ทั้งนี้ในระบบทำความเย็นแบบอัดไอดังแสดงภาพที่ 1 มีสารทำความเย็นเป็นตัวกลางในการทำความเย็น ถูกนำมาช่วยลดอุณหภูมิอากาศเข้า เพื่อช่วยเพิ่มปริมาตรอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการดูดซับพลังงานความร้อนออกจากอากาศเข้า อุณหภูมิของน้ำที่ซิลเลอร์ก่อนและหลังเข้ากังหันก๊าซ เท่ากับ 12.73 °C และ 21.32 °C ตามลำดับ อัตราการไหลของน้ำ 585 ตันต่อชั่วโมง เมื่อความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.18 kJ/kg.K โดยปริมาณความร้อนที่ดึงออกจากระบบดูดอากาศของกังหันก๊าซ ประมาณ 5,834.46 kW ปริมาณพลังงานความร้อนนี้จะใช้ประกอบ

การคำนวณดังตารางที่ 1

4.3 การคำนวณประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า

1) ประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ กังหันก๊าซคือการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ถูกอัดให้มีอุณหภูมิและความดันสูงเพื่อป้อนกังหันที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าประสิทธิภาพของกังหันก๊าซพิจารณาจากสัดส่วนของกำลังที่ผลิตได้กับพลังงานที่ใช้ในปั่นกังหัน ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ เช่น อัตราส่วนการอัดของอากาศ อุณหภูมิในห้องสันดาป และคุณภาพของส่วนประกอบกังหันก๊าซ โดยการคำนวณหาประสิทธิภาพของกังหันก๊าซแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ประสิทธิภาพการอัดอากาศ ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ ประสิทธิภาพของกังหันก๊าซ

ประสิทธิภาพของการเผาไหม้

คำนวณจากสัดส่วนของพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้กับปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงที่ใช้ ได้ดังสมการที่ (1)

$$\eta_b = \frac{C_a[T_4 - T_3]}{fuel_{ratio} \times (HHV)} \quad (1)$$

เมื่อ η_b คือ ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ของกังหันก๊าซ
 C_a คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.005 kJ/kg.K



บทควาณวธิ จัย

ประสิทธิภาพและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่น

$fuel_{ratio}$ คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
 T_4 คือ อุณหภูมิของอากาศออกจากกังหันก๊าซ (°C)
 T_3 คือ อุณหภูมิของอากาศหลังการเผาไหม้ (°C)
 HHV คือ ค่าความร้อนค่าสูงของก๊าซธรรมชาติ
กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 37.26 MJ/m³ [8]

ประสิทธิภาพทางความร้อนของกังหันก๊าซ

คำนวณจากสัดส่วนของปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้จากกังหันก๊าซกับปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการปั่นกังหัน ดังสมการที่ (2)

$$\eta_{th,Brayton} = \frac{\dot{Q}_{net}}{\dot{Q}_{in}} = 1 - \frac{\dot{Q}_{net}}{\dot{Q}_{in}} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \quad (2)$$

เมื่อ $\eta_{th,Brayton}$ คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของกังหันก๊าซ

$\dot{Q}_{net}$ คือ ปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ (kW)

$\dot{Q}_{in}$ คือ ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิง (kW)

ตารางที่ 2 สถานะของกังหันไอน้ำขณะผลิตพลังงานไฟฟ้า

Description	High Pressure Steam		Low Pressure Steam		Process Steam	
	Values	Unit	Values	Unit	Values	Unit
Mass Flow	33.56	kg/s	4.99	kg/s	8.29	kg/s
Steam Enthalpy	3484	kJ/kg	2990.14	kJ/kg	2839.05	kJ/kg
Thermal Energy	116920	kW	14920	kW	23530	kW

การคำนวณหาประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำร่วมกับสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถพิจารณาให้อยู่ในสัดส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กับพลังงานความร้อนของไอน้ำ โดยที่พลังงานที่จ่ายให้กับลูกค้าไอน้ำอุตสาหกรรมจะถูกหักออกจากปริมาณพลังงานความร้อนที่นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้างดสมการที่ (3)

$$\eta_{steam\ turbine} = \frac{\text{Amount of electricity(MW)}}{HP+LP-Extraction} \quad (3)$$

เมื่อ HP และ LP คือ ปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำแรงดันสูงและต่ำ ตามลำดับ และ Extraction คือ ปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่จ่ายให้กับลูกค้าอุตสาหกรรม

เมื่อกำนวณประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันตามตารางแสดงสถานะของกังหันไอน้ำขณะผลิตพลังงานไฟฟ้า

T_2 คือ อุณหภูมิของอากาศหลังการอัด (°C)

T_1 คือ อุณหภูมิของอากาศก่อนการอัด (°C)

เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการใช้กับไม่ใช้ระบบทำความเย็นร่วมกับระบบดูดอากาศของกังหันก๊าซ จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศมีค่าลดลง จะทำให้ค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากระบบทำความเย็น โดยคำนวณประสิทธิภาพของกังหันก๊าซจากสมการที่ (2)

2) ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันไอน้ำประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำที่มีกระบวนการของไอน้ำหลายความดันสามารถคำนวณในพื้นฐานของ ความดัน อุณหภูมิและเอนทาลปีของไอน้ำ จะอยู่ในรูปของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำโดยการผลิตกระแสไฟฟ้าจะพิจารณาในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ร่วมกับสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังตารางที่ 2

พบว่า ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันไอน้ำอยู่ที่ 30.92%

3) ประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงไฟฟ้าแบบโคเจนเนอเรชั่นประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าคำนวณได้จากประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency: η_{th}) ของกระบวนการหรือวัฏจักรใด ๆ คือ กำลังที่ได้จากระบบ (Power Output) กับพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Heat Input) โดยพิจารณาจากอัตราการใช้ก๊าซธรรมชาติในการเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อน พบว่า ปริมาณของพลังงานที่ต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Heat Rate) ของโรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่นในหน่วย kJ/kWh การคำนวณหาปริมาณพลังงานดังกล่าว จะต้องใช้ค่ากำลังการผลิตรวมของโรงไฟฟ้าจากปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ผลิตได้รูปพลังงานไฟฟ้าและ



พลังงานความร้อน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันก๊าซ 2 เครื่อง และกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง จะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้ากำหนดประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันไอน้ำมีค่าประมาณ 30% [10] ประสิทธิภาพทางความร้อน มีความสัมพันธ์โดยตรงกับใช้ปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงเท่ากับ 3600 kJ เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า 1 kWh โดยอัตราการใช้ปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าสามารถแสดงอยู่ในรูปของปริมาณของพลังงานที่ต้องการผลิตพลังงานไฟฟ้า

4) ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามแนวทางของ ISO14040-44 ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา การจัดทำบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและการแปลผลการศึกษา

4.1) การกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา เพื่อคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกตลอดช่วงวงจรชีวิตของการผลิตของไฟฟ้าสุทธิ 1 MJ และ 1 MJ ของความร้อนสุทธิของการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้า โดยในส่วนของการใช้ก๊าซธรรมชาติมาจาก 2 แหล่ง คือ จากอ่าวไทย ขนส่งมาทางท่อ ผ่านโรงแยกก๊าซธรรมชาติและส่งผ่านท่อไปยังโรงไฟฟ้า และอีก 1 แหล่งมาจากพม่า ขนส่งโดยท่อเข้าสู่โรงไฟฟ้าและขนส่งมายังทางท่อมายังโรงไฟฟ้า

4.2) การจัดทำบัญชีรายการหลังจากการกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตการศึกษา ข้อมูลบัญชีรายการการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 MJ และความร้อน 1 MJ แสดงในตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 แสดงแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา แบ่งออกเป็นข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิที่มาจากแหล่งข้อมูลหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 3 บัญชีรายการการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 MJ และความร้อน 1 MJ

รายการ	ปริมาณ	หน่วย	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์			รายการสารขาออก		
ไฟฟ้า	1	MJ	มลพิษทางอากาศ		
ความร้อน (ไอน้ำ)	1	MJ	ฝุ่นละออง	2.076	mg/m ³
รายการสารขาเข้า			NO _x	18.34	ppm
พลังงาน/เชื้อเพลิง			SO ₂	0.567	ppm
ก๊าซธรรมชาติ	3.91x105	kg	CO	0.07	ppm
น้ำ	1300	m3	มลพิษทางน้ำ		
สารเคมี			น้ำเสีย	400	m ³
Phosphorus	88	kg			
Dimethylamine	73.7	kg			
Hydrochloric Acid	894	kg			
Sulfuric Acid	91.5	kg			
Sodium Hydroxide	119	kg			



บทควา ม วิ จ ัย

ประสิทธิภาพและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่น

4.3) การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมการประเมินผลทางสิ่งแวดล้อมใช้โปรแกรม SimaPro 8.3.3 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการศึกษาวิจัยการของกระบวนการเพื่อการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยใช้วิธีประเมินผลกระทบ

ชั้นกลาง ReCiPe (H) และมีการปันส่วนข้อมูลโดยค่าพลังงานระหว่างไฟฟ้ากับไอน้ำที่ผลิตได้คือ 96% และ 4% ตามลำดับในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าและความร้อน

ตารางที่ 4 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลปฐมภูมิ	แหล่งข้อมูล	ข้อมูลทุติยภูมิ	แหล่งข้อมูล
การขนส่งทางท่อในทะเล	ระยะทาง 410 กิโลเมตร	ก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทย	ฐานข้อมูลของประเทศไทย
การขนส่งทางท่อบนบก	ระยะทาง 30 กิโลเมตร	ก๊าซธรรมชาติจากพม่า	
โรงไฟฟ้า	กระบวนการผลิตไฟฟ้า		

5. ผลการวิจัย

5.1 การผลิตไฟฟ้าจากระบบโคเจนเนอเรชั่น พิจารณาจากวิธีการเดินเครื่อง 2 รูปแบบ คือ การเดินเครื่องแบบไม่ใช้ระบบทำความเย็นและแบบใช้ระบบทำความเย็น ระบบทำความเย็นดังกล่าวใช้สารทำความเย็นชนิด R-134a เป็นสารในการดูดซับความร้อนและใช้น้ำเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนจากบริเวณห้องดูดอากาศของกังหันก๊าซมายังพื้นที่ระบบทำความเย็น มีหอหล่อเย็นที่ใช้น้ำในการระบายความร้อนออกจากระบบทำความเย็น ลักษณะการเดินเครื่องเดินตามแผนการจำหน่ายไฟฟ้าและในขณะเดียวกันมีการจ่ายพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของไอน้ำให้ลูกค้าในพื้นที่อุตสาหกรรมใกล้เคียง การเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายต้องใช้ระบบทำความเย็นเพื่อช่วยเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันก๊าซและกำลังการผลิตไอน้ำจะเพิ่มขึ้นตามกระบวนการของระบบ โดยการใช้ประโยชน์ความร้อนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการเผาไหม้ ดังตารางที่ 5 แบ่งการพิจารณาเป็น 4 ช่วงเวลาคือ 12.00, 15.00, 18.00 และ 21.00 น. ที่เวลา 12.00 น. ยังไม่มีการใช้ระบบทำความเย็น แต่ยังคงจ่ายไอน้ำให้กับลูกค้า คิดเป็นปริมาณพลังงานความร้อนอยู่ที่ 6,967.33 kW และกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 122,240 kW อัตราการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเป็นพลังงานความร้อนอยู่ที่ 7,214.29 kJ/kWh ประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ที่ 49.90% ที่เวลา 15.00 น. มีการใช้ระบบทำความเย็นเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของกังหันก๊าซ 7.09% เทียบจากช่วงเวลา 12.00 น.

ซึ่งมีกำลังการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 130,950 kW และจ่ายไอน้ำให้กับลูกค้าประมาณ 3,719.33 kW โดยอัตราการเปลี่ยนรูปของพลังงานเชื้อเพลิงเป็นไฟฟ้าเท่ากับ 7251.92 kW มีประสิทธิภาพทางความร้อน 49.64% จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่มีการใช้ระบบทำความเย็นมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากกังหันก๊าซมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น จากอากาศขาเข้าของกังหันก๊าซมีอุณหภูมิลดลงทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นและมีการปรับลดอัตราการใช้พลังงานไอน้ำ

เมื่อพิจารณาช่วงเวลากลางคืน กำลังการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ ที่เวลา 18.00 น. ที่มีการใช้ระบบทำความเย็นเทียบกับช่วงเวลา 21.00 น. ที่รวมและไม่รวมระบบทำความเย็น พบว่าอัตราการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเป็นไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางความร้อนต่างกันเพียงเล็กน้อย



ตารางที่ 5 กำลังการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพทางความร้อน

รายการ	เวลา 12.00 น.	เวลา 15.00 น.	เวลา 18.00 น.	เวลา 21.00 น.	หน่วย
	ไม่ใช้ ระบบทำความเย็น	ไม่ใช้ ระบบทำความเย็น	ไม่ใช้ ระบบทำความเย็น	ไม่ใช้ ระบบทำความเย็น	
กังหันก๊าซตัวที่ 1	44360	47180	45940	45940	kW
กังหันก๊าซตัวที่ 2	44390	47180	45970	45630	kW
กังหันไอน้ำ	33490	36590	36620	36620	kW
ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้	122240	130950	128530	128190	kW
ปริมาณไอน้ำอุตสาหกรรม	6967.33	3719.33	3658.5	3663.3	kW
ปริมาณการใช้ไฟในโรงไฟฟ้า	2110	2780	2690	2140	kW
ปริมาณของพลังงานที่ต้องการ ผลิตพลังงานไฟฟ้า	7214.29	7251.92	7224.24	7229.85	kJ/kW
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	9.169×108	9.564 ×108	9.355 ×108	9.378 ×108	kJ
ประสิทธิภาพทางความร้อน ของโรงไฟฟ้า	49.90	49.64	49.83	49.79	%

5.2 การเกิดก๊าซเรือนกระจก การเกิดก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้า 1 MJ และผลิตพลังงานในรูปของไอน้ำ 1 MJ พบว่า ปริมาณการเกิดมลภาวะก๊าซเรือนกระจกในรูปแบบของการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.092 kgCO₂ มาจากการผลิตก๊าซธรรมชาติ 5.50E-03 kg CO₂ eq. การขนส่งก๊าซธรรมชาติ 1.14E-04 kg CO₂ eq. เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานความร้อนในรูปไอน้ำนั้น พบว่า กระบวนการผลิตไอน้ำปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.0876 kg CO₂ eq. ใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตไอน้ำ 5.23E-03 kg CO₂ eq. และขนส่งก๊าซธรรมชาติ 1.09E-04 kg CO₂ eq.

6. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล

1) ผลการศึกษาประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่นที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 รูปแบบ คือ ระบบที่รวมและไม่รวมระบบทำความเย็น ในช่วงเวลาเป็นช่วงกลางวันและช่วงกลางคืนในช่วงเวลา

กลางวันอุณหภูมิภายนอกสูง ส่วนช่วงกลางคืนอุณหภูมิภายนอกลดลงพบว่าในช่วงกลางวันการใช้เชื้อเพลิงในระบบที่รวมระบบทำความเย็นมีการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่า เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าว เป็นช่วงที่มีการสะสมพลังงานความร้อนสูงสุด ส่งผลให้อุณหภูมิภายนอกค่อนข้างสูง ระบบจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงในการช่วยระบายความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยที่ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ช่วงเวลา 15.00 น. เพิ่มขึ้น 7.09% เมื่อเทียบกับช่วงเวลา 12.00 น. ที่ไม่ใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ระบบที่รวมระบบทำความเย็นการใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าระบบที่ไม่รวมระบบทำความเย็น เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกต่ำ ทั้งนี้ไอน้ำยังคงผลิตตลอดเวลาแม้จะมีการไม่ใช้งาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่รวมระบบทำความเย็นในช่วงกลางวันต่ำ ส่วนช่วงกลางคืนประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่า ระบบที่ไม่รวมระบบทำความเย็น โดยประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 49.64%-49.90% ทั้งนี้หากต้องการประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น เพิ่มกังหันก๊าซ [11] เป็นต้น



บทความวิจัย

ประสิทธิภาพและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชั่น

2) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งก๊าซธรรมชาติมาจาก 2 แหล่ง คือจากอ่าวไทยและพม่า ขนส่งผ่านท่อมายังโรงแยกก๊าซ พบว่า ที่การผลิตไฟฟ้าก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน 0.092 kg CO₂ eq. และไอน้ำก่อให้เกิดโลกร้อนประมาณ 0.0876 kg CO₂ eq. ทั้งนี้ในอนาคตควรหาแนวทางการเข้าสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของโรงไฟฟ้า (Carbon neutrality) เช่น ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลร่วมด้วย และทั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมและโรงไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ramadhani, F., Hussain, M. A., & Mokhlis, H. (2019). A comprehensive review and technical guideline for optimal design and operations of fuel cell-based cogeneration systems. *Process*, 7(12), 950. <https://doi.org/10.3390/pr7120950>
- [2] รวิธรวัชร ชมพู. (2559). การวิเคราะห์ศักยภาพการใช้พลังงานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้า Co-generation ขนาด 27 MWe ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [3] วุฒิพงศ์ จันทร์กร. (2545). การหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] Gvozdenac, D. (2017). High efficiency cogeneration: CHP and non-CHP energy. *Energy*, 125, 269-278.
- [5] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2566). กำลังผลิตในระบบพลังงานไฟฟ้า. [สืบค้นเมื่อวันที่ 26 มกราคม 2566]. จาก <https://www.egat.co.th/home/statistics-all-annual/>
- [6] Komarov, I. I., Rogalev, A. N., Kharlamova, D. M., Naumov, V. Yu., & Shabalova, S. I. (2021). Comparative analysis of the efficiency of using hydrogen and steam methane reforming storage at combined cycle gas turbine for cogeneration. *Journal of Physics: Conference Series*, 2053(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2053/1/012007>
- [7] World Energy Council, (2004). Comparison of Energy Systems Using Life Cycle Assessment.
- [8] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2565). สถิติการนำเข้าก๊าซธรรมชาติในไทย. [สืบค้นเมื่อวันที่ 29 มกราคม 2566]. จาก <https://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/ngv-statistic>
- [9] Miller, J. M. (2017). The combined cycle and variations that use HRSGs. In *Heat recovery steam generator technology* Elsevier. (pp. 17-43).
- [10] Alstom Renewable (Switzerland) Ltd. (2014). Industrial steam turbines: Technical proposal. Alstom Renewable. (pp. 20-27).
- [11] ชนากร พิมพ์สิน. (2560). การศึกษารูปแบบการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าแผลดเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.