

การวิเคราะห์พลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิงของอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

กฤษณะ อาสน์สุวรรณ¹ วิทยา พวงสมบัติ¹ และ รัฐศักดิ์ พรหมมาศ^{2*}

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

E-mail: ¹kritsana.asu@rmutr.ac.th, ¹withaya.pua@rmutr.ac.th, ^{2*}ratthasak.pro@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือการประเมินสมรรถนะของหม้อไอน้ำแบบใช้ถ่านหินควบคู่ไปกับมุมมองด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ ที่โหลดของหม้อไอน้ำ 25%, 50%, 75% และ 100% โดยหม้อไอน้ำที่ใช้ในการดำเนินการ เป็นหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่ม มีกำลังการผลิตไอน้ำ 16 Ton/h (ไอน้ำอิ่มตัว) ที่ความดัน 8 bar พร้อมทั้งมีอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ โดยดำเนินการเก็บและบันทึกข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ ตลอดระยะเวลา 1 ปี จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า พลังงานจากถ่านหิน พลังงานที่ไอน้ำได้รับและประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นตามโหลดของหม้อไอน้ำ และชั่วโมงการทำงานร้อยละ 80 ของการทำงานตลอดปีของหม้อไอน้ำอยู่ที่ 50% และ 75% ของโหลดหม้อไอน้ำนั้นมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม 28,710.53 tCO₂eq/y และคิดเป็น ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม 14,770,416.01 THB/y และเมื่อพิจารณาการทำงานของหม้อไอน้ำที่โหลดของหม้อไอน้ำ 25%, 50%, 75% และ 100% ตลอดทั้งปีจะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม 35,007.23 tCO₂eq/y และคิดเป็นต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม 18,009,819.40 THB/y

คำสำคัญ: หม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหิน คาร์บอนไดออกไซด์ พลังงาน ต้นทุนด้านพลังงาน โหลดหม้อไอน้ำ

* Corresponding author, e-mail: ratthasak.pro@rmutr.ac.th

An Analysis of Energy and Carbon Emission in Coal-Fired Boiler of Beverage Industry

Kritsana Asuwan¹, Withaya Puangsombat¹ and Ratthasak Prommas^{2*}

¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

E-mail: ¹kritsana.asu@rmutr.ac.th, ¹withaya.pua@rmutr.ac.th, ^{2*}ratthasak.pro@rmutr.ac.th

Abstract

The aim of this work is to assess the coal-fired boiler along with the combination of the energetic, environment and economic point of view at 25%, 50%, 75% and 100% of load boiler. The capacity of coal-fired boiler is 16 Ton/h, 8 bar (saturated vapor) with an economizer. The operation was conducted to collect and record data throughout the year. The results shown that energy in coal, energy in steam and energetic efficiency were increased with increase in load boiler. Eighty percentage of operating time (1 year), 50% and 75% in load boiler emitted the CO₂ emission into the atmosphere by approximately 28,710.53 tCO₂eq/y and the environmental cost value is 14,770,416.01 THB/y. Considering the operating boiler's load throughout the year, the CO₂ emission into the atmosphere and the environmental cost value were 35,007.23 tCO₂eq/y and 18,009,819.40 THB/y, respectively.

Keywords: Coal-fired boiler, Carbon-dioxide, Energy, Environmental cost, Load boiler

* Corresponding author, e-mail: ratthasak.pro@rmutr.ac.th

Received: 24 02 2025 / Revised: 03 04 2025 / Accepted: 23 05 2025

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการขยายตัวของสังคมและจำนวนประชากรรวมถึงการเข้าสู่สังคมผู้สูงวัยนั้น ทำให้มีการบริโภคพลังงานสูงขึ้นและมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการเกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในหลายมิติ ในขณะที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นตามปริมาณการขยายตัวของประชากรด้วยทำให้เกิดผลเสียต่อการดำเนินชีวิตและสุขภาพของประชาชน พลังงานส่วนใหญ่ที่มีความต้องการประกอบไปด้วย พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงฟอสซิลคิดเป็น 80% [1] ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ปล่อยมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อมค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบอื่น Bunyamanid et al. [1] แสดงค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานและคาร์บอนเฉลี่ยและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จีของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม มีค่าเท่ากับ 0.436 kgCO₂eq/kWh และ 7.995 GJ/MWh และ 60% ตามลำดับ

การวิเคราะห์ค่าเอ็กเซอร์จีและเศรษฐศาสตร์อุณหภาพของโรงไฟฟ้าแก๊สในประเทศไทย [2] ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหม้อไอน้ำเป็นส่วนประกอบหลักที่มีส่วนทำให้เกิดการสูญเสียทั้งหมด โดยมีประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จี 30% ในขณะที่กังหันไอน้ำมีประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จี 76% การใช้พลังงานความร้อนทั้งหมดและต้นทุนการลงทุนทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้ารวมด้วยแก๊สคือ 1,062 MJ/Ton และ 1.2 ล้านเหรียญสหรัฐ (1 เหรียญสหรัฐ = 35 บาท) ตามลำดับ ในประเทศไนจีเรีย โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สได้รับการคัดเลือกให้ศึกษาเศรษฐศาสตร์อุณหภาพของระบบ โดยการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ระบบ [3] จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าห้องเผาไหม้เป็นส่วนประกอบที่ทำลายเอ็กเซอร์จิมากที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนประกอบวงจรอื่น ๆ โดยเปอร์เซ็นต์การทำลายเอ็กเซอร์จีในห้องเผาไหม้จะอยู่ระหว่าง 86.05% ถึง 94.6% และโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในหลายประเทศ [4-8] ได้รับมีการศึกษาและตรวจสอบสมรรถนะของอุปกรณ์ทั้งหมดของโรงงานทั้งในส่วนของคุณภาพการใช้พลังงานรวมทั้งประสิทธิภาพของเอ็กเซอร์จีของแต่ละส่วนประกอบ โดยใช้สมการสมดุลพลังงานและเอ็กเซอร์จีของอุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่สิ่งแวดล้อมมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อเพลิงฟอสซิล [9-15] ได้ศึกษาและประเมินค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมด้วย

ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องตีมีการใช้ไอน้ำเพื่อให้ความร้อนในกระบวนการผลิตและส่วนใหญ่จะใช้หม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ทำให้มีการปล่อยมลภาวะออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก จึงได้มีการประเมินทั้งด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ถ่านหิน เพื่อให้ทราบถึงต้นทุนทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพลังงานที่ใช้ประโยชน์ ประสิทธิภาพพลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ โดยประเมินในด้านพลังงาน เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ในอุตสาหกรรมเครื่องตี

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แผนภาพกระบวนการผลิตเครื่องดื่มดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย หม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง อุปกรณ์แยกไอน้ำที่มาจากหม้อไอน้ำ (Steam header) อุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (Economizer) อุปกรณ์ดักก๊าซที่ละลายในน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำออก (Deaerator) และกระบวนการผลิตเครื่องดื่ม (Beverage process production) โดยทำการพิจารณาเฉพาะหม้อไอน้ำและอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (บล็อก A)

3.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของหม้อไอน้ำ

สมการสมดุลมวลและสมดุลพลังงานถูกนำมาใช้เพื่อดำเนินการพิจารณาสมรรถนะของหม้อไอน้ำและอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ และมีสมมติฐานในการพิจารณา ดังนี้ 1) พิจารณากระบวนการภายใต้สภาวะคงตัว 2) ไม่พิจารณาถึงพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ สามารถถูกรูปสมการได้ดังนี้

สมการสมดุลมวล

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (1)$$

เมื่อ $\sum \dot{m}_i$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลที่ทางเข้าของหม้อไอน้ำ (kg/s)

$\sum \dot{m}_e$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลที่ทางออกของหม้อไอน้ำ (kg/s)

สมการสมดุลพลังงาน

$$\sum_i \dot{E}_i + \dot{Q}_{cv} = \sum_e \dot{E}_e + \dot{W}_{cv} \quad (2)$$

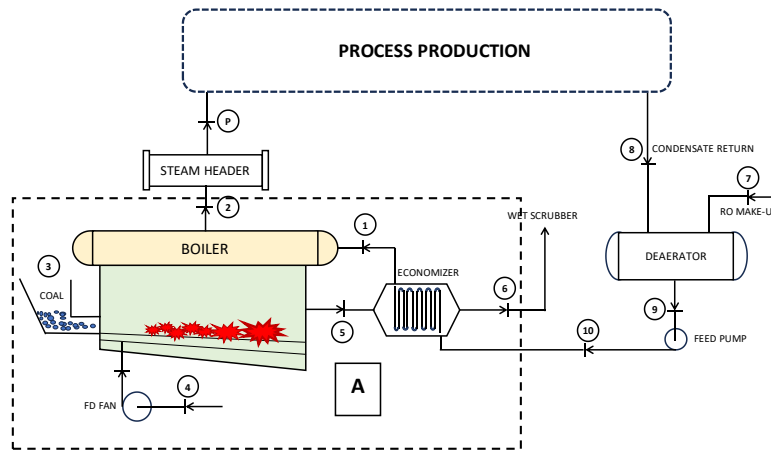
เมื่อ $\sum_i \dot{E}_i$ คือ อัตราพลังงานที่ไหลเข้าหม้อไอน้ำ (kW)

$\sum_e \dot{E}_e$ คือ อัตราพลังงานที่ไหลออกจากหม้อไอน้ำ (kW)

$\dot{Q}_{cv}$ คือ อัตราความร้อนที่ถ่ายเทผ่านปริมาตรควบคุมของหม้อไอน้ำ (kW)

$\dot{W}_{cv}$ คือ งานที่ถ่ายเทผ่านปริมาตรควบคุมของหม้อไอน้ำ (kW)

ปกติแล้วประสิทธิภาพพลังงานของหม้อไอน้ำ (η) สามารถประเมินได้โดยตรงจากสัดส่วนของพลังงานที่น้ำสามารถดึงความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้ (Input energy) ต่อพลังงานที่ป้อนให้กับหม้อไอน้ำ (Output energy) ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินซึ่งจะได้พลังงานจากการปลดปล่อยพลังงานจากการเผาไหม้ของถ่านหิน และพลังงานที่ใช้ประโยชน์คือไอน้ำที่ได้จากหม้อไอน้ำ สามารถคำนวณประสิทธิภาพหม้อไอน้ำได้จาก



รูปที่ 1 แผนภาพกระบวนการผลิตเครื่องต้ม

$$\eta = \frac{\dot{m}_w(h_{w,o} - h_{w,i})}{\dot{m}_{CF}(CHV_{CF})} \quad (3)$$

เมื่อ $\dot{m}_w$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำป้อน (kg/s)

$\dot{m}_{CF}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของถ่านหิน (kg/s)

$h_{w,i}$ คือ เอนทัลปีของน้ำป้อนที่ทางเข้าหม้อไอน้ำ (kJ/kg)

$h_{w,o}$ คือ เอนทัลปีของไอน้ำที่ทางออกหม้อไอน้ำ (kJ/kg)

CHV_{CF} คือ ค่าความร้อนของถ่านหิน (kJ/kg)

3.2 เศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้กันแพร่หลายทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ CO₂ ที่เพิ่มขึ้นยังก่อให้เกิดปัญหาบางอย่าง เช่น ภาวะโลกร้อนและมลพิษทางสิ่งแวดล้อมเพื่อแก้ไขปัญหานี้และลดการปล่อย CO₂ ทั่วโลก หลายประเทศได้ดำเนินมาตรการต่าง ๆ ดังนั้นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม (ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม) ที่ดำเนินการตามเป้าหมายนี้จะดำเนินการโดยใช้ราคาการปล่อย CO₂ ซึ่งในการศึกษานี้การลดการปล่อย CO₂ คำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\varphi_{en,CO_2} = \Psi_{CO_2} \dot{Q}_{uen} \quad (4)$$

จากสมการ (4) Ψ_{CO_2} แสดงค่า CO₂ ที่ปล่อยออกมาจากถ่านหิน โดยค่านี้ถูกกำหนดเป็น 2.08 kgCO₂eq/kWh โดยการทบทวนการศึกษาในเอกสาร [9-12] และ $\dot{Q}_{uen}$ คือ อัตราพลังงานความร้อนรวมของหม้อไอน้ำ ราคาคาร์บอนระหว่างประเทศ (International Carbon Price, z_{CO_2}) มีค่าอยู่ในช่วง 13 USD/tCO₂eq ถึง 16 USD/tCO₂eq และจะใช้ค่าเฉลี่ย คือ 14.5 USD/tCO₂eq ในการคำนวณ ดังนั้นมูลค่าต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม (Z_{en,CO_2}) สามารถคำนวณได้โดยใช้

$$Z_{en,CO_2} = z_{CO_2} \times \varphi_{en,CO_2} \quad (5)$$

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยได้ตรวจสอบอุปกรณ์และรายละเอียดของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงรวมทั้งใช้เครื่องมือที่มีความเหมาะสมกับลักษณะงานและมีค่าความแม่นยำเพียงพอในการเก็บข้อมูลการทดลองของหม้อไอน้ำดังแสดงในหัวข้อถัดไป

4.1 เตรียมการเก็บรวบรวมข้อมูล

หม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (coal-fired boiler) มีกำลังการผลิตไอน้ำ 16 Ton/h (ไอน้ำอิ่มตัว) ที่ความดัน 8 bar ทำงานร่วมกับอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพ (economizer) โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำที่ (boiler load) ที่ 25%, 50%, 75% และ 100% ของโหลดหม้อไอน้ำ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าห้องเผาไหม้ ($T_{i, ch}$) อุณหภูมิห้องเผาไหม้ (T_{ch}) อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่เข้า ($T_{i, eco}$) และออก ($T_{o, eco}$) จากอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ อุณหภูมิน้ำที่เข้า ($T_{w, i, eco}$) และออก ($T_{w, e, eco}$) จากอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ อุณหภูมิ และความดัน ($T_{o, boil}$, $p_{o, boil}$) ของไอน้ำที่ออกจากหม้อไอน้ำ อุณหภูมิผิวของหม้อไอน้ำ ($T_{sf, boil}$) อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{amb}) ปริมาณอากาศ ($\dot{m}_a$) ปริมาณถ่านหิน ($\dot{m}_{cf}$) ปริมาณน้ำที่ทางเข้า ($\dot{m}_w$) อุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงปี 2566

4.2 อุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วย สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K ช่วงการวัดอุณหภูมิ 0-1,250 °C มีค่าความแม่นยำ $\pm 5\%$ เครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki: Model-LR 8400-20) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก (Micronics portaflo: MF220B มีค่าความแม่นยำ $\pm 0.5\%$ ถึง $\pm 2\%$) อุปกรณ์วัดความเร็วลมแบบลวดความร้อน (KIMO: Model VT100 ช่วงความเร็วลมและอุณหภูมิของอากาศที่แนะนำสำหรับการใช้งาน 0.15-30 m/s และ -20 ถึง 80 °C ตามลำดับ) เกจวัดแรงดันไอน้ำ (WEKSLER: Model-EA14 ช่วงการวัดความดัน 0-200 psi) อุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้า (KYORITSU KEW 6305: Model-8125, 500A) เครื่องวัดอุณหภูมิ-ความชื้น (UNI-T: UT330C ค่าความแม่นยำ $\pm 0.5\%$ ถึง $\pm 3\%$) เครื่องวิเคราะห์การเผาไหม้ (Testo 330-2LL: ช่วงการวัดอยู่ที่ -40 °C ถึง 1,200 °C ค่าความแม่นยำ ± 0.5 °C ที่ 0 °C ถึง 1,000 °C) และเครื่องมือวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (Neonics: WT700 ช่วงการวัดอยู่ที่ -50 °C ถึง 750 °C ค่าความแม่นยำ ± 1.5 °C)

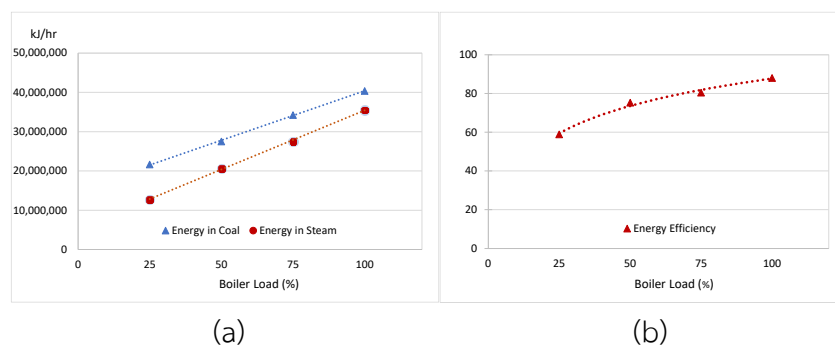
5. ผลและวิจารณ์

จากการดำเนินการตรวจวัดและเก็บข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมเครื่องต้ม โดยทำการเก็บข้อมูลตลอดช่วงเวลา 1 ปี และทำการวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำที่โหลดของหม้อไอน้ำที่แตกต่างกัน คือ 25%, 50%, 75% และ 100% และทำการประเมินค่าต่างๆที่ได้จากการทำงานของหม้อไอน้ำ ดังนี้

5.1 ด้านพลังงาน

ในหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำนั้น พลังงานบางส่วนสูญเสียไปกับการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง การสูญเสียผ่านพื้นผิวของหม้อไอน้ำและความร้อนสูญเสียบางส่วนถูกนำกลับมาใช้ในการอุ่นน้ำป้อนที่อุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

รูปที่ 2 (a) แสดงปริมาณพลังงานจากถ่านหินและพลังงานที่ไอน้ำได้รับที่โหลดต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำ จะเห็นได้ว่าพลังงานของถ่านหินที่ 25%, 50%, 75% และ 100% โหลดหม้อไอน้ำ อยู่ที่ 21,668,110 kJ/h, 27,505,597 kJ/h, 34,248,806 kJ/h และ 40,388,194 kJ/h ตามลำดับ และจากการสูญเสียความร้อนในหม้อไอน้ำทำให้ความร้อนที่ไอน้ำได้รับ ที่ 25%, 50%, 75% และ 100% ของโหลดหม้อไอน้ำ มีค่าอยู่ที่ 12,746,225 kJ/h, 20,693,568 kJ/h, 27,531,797 kJ/h และ 35,533,142 kJ/h ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณประสิทธิภาพพลังงาน แสดงในรูปที่ 2 (b) ประสิทธิภาพพลังงานของหม้อไอน้ำที่ 25%, 50%, 75% และ 100% ของโหลดหม้อไอน้ำ จึงมีค่า 58.82%, 75.26%, 80.39 และ 87.98% ตามลำดับ



รูปที่ 2 พลังงานจากถ่านหินและพลังงานที่ไอน้ำได้รับและประสิทธิภาพพลังงานที่โหลดต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำ

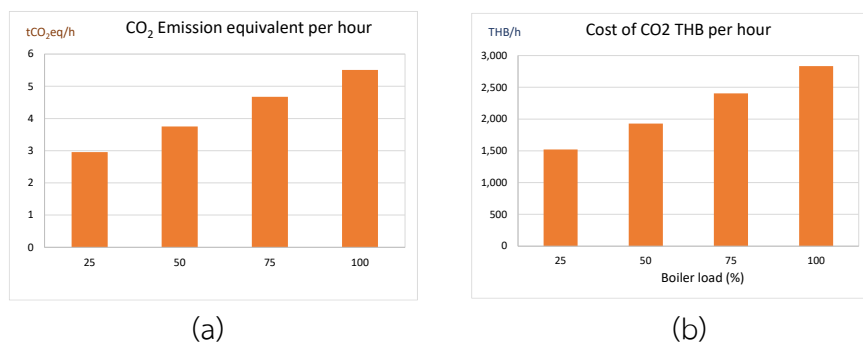
จะเห็นได้ว่าพลังงานจากถ่านหิน พลังงานที่ไอน้ำได้รับและประสิทธิภาพพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นตามโหลดหม้อไอน้ำ เนื่องจากเมื่อโหลดของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นปริมาณของถ่านหินก็เพิ่มขึ้นตามโหลดของหม้อไอน้ำด้วย ประกอบกับการสูญเสียอื่นที่มีค่าคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาทิ การสูญเสียผ่านฉนวนความร้อน การสูญเสียจากน้ำระบายทิ้ง เป็นต้น จึงมีผลต่อค่าประสิทธิภาพพลังงานที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามโหลดหม้อไอน้ำด้วยเช่นกัน

5.2 ด้านเศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม

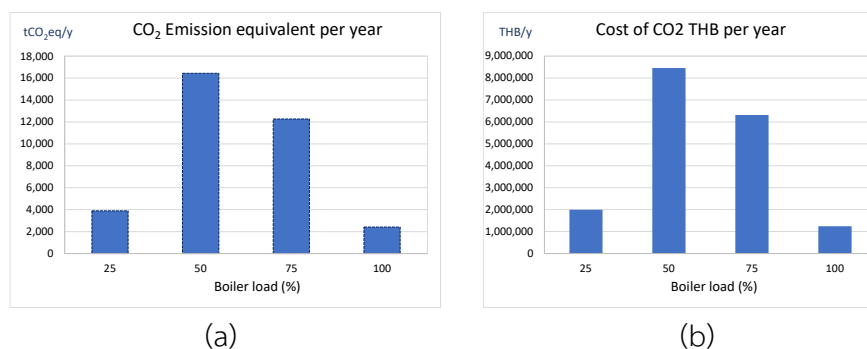
หลังจากการใช้ถ่านหินในการผลิตไอน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องดื่มแล้วนั้นถ่านหินที่เผาไหม้ในเตาเผาได้ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นต้องมีการประเมินการปล่อยคาร์บอนจากการผลิตไอน้ำด้วยถ่านหิน ดังแสดงในรูปที่ 3 (a) จะเห็นได้ว่าปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าที่ 25%, 50%, 75% และ 100% โหลดหม้อไอน้ำอยู่ที่ 2.96 tCO₂eq/h, 3.75 tCO₂eq/h, 4.67 tCO₂eq/h และ 5.51 tCO₂eq/h ตามลำดับ ซึ่งปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามโหลดหม้อไอน้ำด้วย เมื่อนำไปประเมินต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 3 (b) จะเห็นได้ว่าต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมมีค่าเพิ่มขึ้นตามโหลดของหม้อไอน้ำเช่นเดียวกัน

จากการทำงานของหม้อไอน้ำที่ทำงานตลอดช่วงระยะเวลา 1 ปี การทำงานของหม้อไอน้ำที่ 25%, 50%, 75% และ 100% ของโหลดหม้อไอน้ำ มีเวลาการทำงาน 1,314 ชั่วโมง, 4,380 ชั่วโมง, 2,628 ชั่วโมง และ 438 ชั่วโมง ตามลำดับ

เมื่อนำมาประเมินค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหม้อไอน้ำและต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งปี แสดงในรูปที่ 4 (a) และ (b) จะเห็นได้ว่าที่ 50% ของโหลดหม้อไอน้ำมีชั่วโมงการทำงานมากที่สุดและคิดเป็นร้อยละ 50 ของการทำงานตลอดปี เมื่อนำมาประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ 16,433.30 tCO₂eq/y และคิดเป็นต้นทุนทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ 8,454,273.65 THB/y และที่ 100% โหลดของหม้อไอน้ำจะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมและต้นทุนทางด้านสิ่งแวดล้อมน้อยสุด ทั้งนี้เนื่องจากมีชั่วโมงการทำงานตลอดปี ประมาณร้อยละ 5 ของการทำงานตลอดปี และเมื่อประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมและต้นทุนทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดเวลาการทำงานรวมทั้งปีจะมีค่า 35,007.23 tCO₂eq/y และ 18,009,819.40 THB/y ตามลำดับ



รูปที่ 3 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมของหม้อไอน้ำต่อชั่วโมงที่โหลดต่าง ๆ



รูปที่ 4 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมของหม้อไอน้ำต่อปีที่โหลดต่าง ๆ

6. สรุปผล

จากผลการประเมินการทำงานของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินในอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ที่การทำงาน 25%, 50%, 75% และ 100% โหลดหม้อไอน้ำ และมีเวลาการทำงาน 1,314 ชั่วโมง, 4,380 ชั่วโมง, 2,628 ชั่วโมง และ 438 ชั่วโมง ตามลำดับ สามารถสรุปการศึกษาที่สำคัญได้ ดังนี้

1. ปริมาณพลังงานจากถ่านหิน พลังงานที่ไอน้ำได้รับและประสิทธิภาพพลังงาน ที่โหลดต่าง ๆ ของหม้อไอน้ำ เพิ่มขึ้นตามภาระโหลดของหม้อไอน้ำ

2. ที่ 50% และ 75% ของโหลดหม้อไอน้ำ มีประสิทธิภาพพลังงาน 75.26% และ 80.39% และมีชั่วโมงการทำงานรวมกัน 80% ของการทำงานตลอดทั้งปี

3. ที่ 50% และ 75% ของโหลดหม้อไอน้ำ มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมและต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมอยู่ที่ 3.75 tCO₂eq/h และ 4.67 tCO₂eq/h และ 54.40 THB/h และ 67.74 THB/h ตามลำดับ

4. การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมและต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งปีของหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 35,007.23 tCO₂eq/y และ 18,009,819.40 THB/y ตามลำดับ

จากข้อสรุปพบว่า หม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่การทำงาน 50% และ 75% ของโหลดหม้อไอน้ำ มีชั่วโมงการทำงานรวมประมาณ 80% ของชั่วโมงการทำงานตลอดปีและคิดเป็นการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมและต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมอยู่ที่ 28,710.53 tCO₂eq/y และ 14,770,416.01 THB/y

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี อีกทั้งขอขอบคุณบุคลากรของวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ ที่ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bunyamanid, Y., Limphitakphong, N., Chavalparit, O., Tantisattayakul, T. (2016). *An analysis of energy and carbon intensities and exergy efficiency in natural gas combined-cycle power plants: A case study of Thailand*. MATEC Web of Conference, 68.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/20166814001>
- [2] Peerapong, P., Limmeechokchai, B., (2009). Exergetic and thermoeconomic analyses of the rice-husk power plant in Thailand. *J. of Metals, Materials and Minerals*, 9(2), 9-14.
- [3] Oyedepo, S. O., Fagbenle, R. O., Adefila, S. S., Alam, M. M. (2015). Thermoeconomic and thermoenviroeconomic modeling and analysis of selected gas turbine power plants in Nigeria. *Energy Science & Engineering*, 3(5), 423-442.
- [4] Aljundi, I. H. (2009). Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. *Applied Thermal Engineering*, 29(2-3), 324-328.

- [5] Elhelw, M., Al Dahma, K.S., Attia, A.E.H. (2019). Utilizing exergy analysis in studying the performance of a steam power plant at two different operation modes. *Applied Thermal Engineering*, 150, 285–293.
- [6] Hou, D., Shamsaei, N., Zhang, Y., Liu, S., Chen, Y., Zhang S. (2012). Exergy analysis of a thermal power plant using a modeling approach, *Clean Technol. Environ. Policy*, 14(5), 805–813.
- [7] Ahmadi, G., Toghraie, D. (2016). Energy and exergy analysis of montazeri steam power plant in Iran, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 56, 454–463.
- [8] Shamet, O., Ahmed, R. E., Abdalla, K. E. H. (2021). Energy and exergy analysis of a steam power plant in Sudan, *African Journal of Engineering and Technology*, 1(1), 1-13.
<https://doi.org/10.47959/AJET.2021.1.1.4>
- [9] Varun, Bhat, I. K., Prakash, R. (2009). LCA of renewable energy for electricity generation systems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1067-1073.
- [10] Su, D., Jia, Y., Alva, G., Liu, L., Fang, G. (2017). Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic-thermal solar collectors integrated with phase change materials. *Energy Conversion and Management*, 131, 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.002>
- [11] Tripathai, R., Tiwari, G. N., Dwivedi, V. K. (2016). Overall energy, exergy and carbon credit analysis of N partially covered Photovoltaic Thermal (PVT) concentrating collector connected in series. *Solar Energy*, 136, 260-267. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.07.002>
- [12] Pandey, A. K., Laghari, I. A., Kumar, R. R., Chopra, K., Samykano, M., Abusorrah, A. M., Sharma, K., Tyagi, V. V. (2021). Energy, exergy, exergoeconomic and enviroeconomic (4-E) assessment of solar water heater with/without phase change material for building and other applications: A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, 101139.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101139>
- [13] Ceylan, İ., Gürel, A. E., Ergün, A., Ali, İ. H. G., Ağbulut, Ü., Yıldız, G. (2021). A detailed analysis of CPV/T solar air heater system with thermal energy storage: A novel winter season application. *J. Building Engineering*, 42, 103097. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103097>
- [14] Caliskan, H. (2015). Novel approaches to exergy and economy based enhanced environmental analyses for energy systems. *Energy Conversion and Management*, 131, 79-89.
- [15] Yaghoubirad, M., Azizi, N., Ahmadi, A., Zarei, Z. (2022). *Performance assessment of a solar PV module for different climate classifications based on energy, exergy, economic and environmental parameters*. *Energy Reports*, 8, 15712-15728.