



การศึกษาการนำความร้อนที่กลับมาใช้ลดความชื้นในเศษทองเหลืองของโรงงานผลิตหัวเตาแก๊สในครัวเรือน

A Study on Utilizing Waste Heat for Reducing Moisture Content in Brass Scrap at a Household Gas Burner Factory

รสรินทร์ คุ่มเขตร^{*1} และ ไชยณรงค์ จักรธรานนท์²

Rotsarin Khumket^{*1} and Chainarong Chaktranond²

นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต^{*1}

Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Rangsit Center^{*1}.

รองศาสตราจารย์ ดร. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต²

Associate Professor, Dr., Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Rangsit Center².

*Corresponding author, cchainar@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำไอเสียที่ปล่อยทิ้งจากเตาเผาแก๊ส LPG กลับมาใช้สำหรับเตาอบที่พัฒนาขึ้นเพื่ออบเศษทองเหลืองเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตให้นำกลับมาหลอมใหม่ เตาอบมีขนาด 890 cm. (ยาว) x 120 cm. (กว้าง) x 41.5 cm. (ความสูง) และถูกติดตั้งด้านบนของเตาเผา ความร้อนจากเตาเผาส่งผ่านท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง inlet 31 cm. outlet 35 cm. ซึ่งตั้งที่ปลายปล่องไอเสียของเตาเผาและอยู่ด้านล่างของเตาอบ ที่ผนังด้านข้างของเตาอบติดตั้งแผ่นบานเลื่อนสำหรับนำเศษทองเหลืองเข้าออกจากเตาอบ ตัวแปรที่ศึกษา คือ (1) ขนาดช่องเปิด ($x = 0 - 170$ cm.) ของบานเลื่อนที่เปิดเพื่อระบายก๊าซร้อนและ (2) ระยะเวลาในการอบแห้ง

จากการทดสอบพบว่าขนาดช่องเปิด (x) มีผลต่ออัตราการใช้ LPG หาก $x < 150$ cm. ก๊าซร้อนในเตาเผาเกิดการไหลได้ยากขึ้นส่งผลทำให้ต้องเพิ่มอัตราการใช้ LPG มากขึ้นเพื่อรักษาอุณหภูมิเตาเผาให้ได้ตามที่กำหนด แต่หาก $x > 150$ cm. จะเกิดการสูญเสียความร้อนสูงจากก๊าซร้อนไหลออกผ่านช่องเปิด (x) ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิอบในเตาอบลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่ $x = 150$ cm. จะทำให้อัตราการใช้ LPG ต่ำที่สุด (372.065 m³/h) นอกจากนี้ยังพบว่าที่สภาวะนี้ยังให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุด โดยสามารถลดความชื้นได้ประมาณ 4% ที่เวลาในการอบแห้ง 11 ชั่วโมง และปริมาณความชื้นคงเหลือในเศษทองเหลืองลดลงยังส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเตาหลอมลดลง 29.5% และปริมาณของเสียจากการหลอมลดลง 84.37% ด้วยเช่นกัน ดังนั้นการที่นำไอเสียที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้งานจริงสามารถช่วยลดปริมาณของเสียและลดต้นทุนด้านพลังงานให้กับอุตสาหกรรมที่ใช้เศษทองเหลือง และโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา

คำสำคัญ: เศษทองเหลือง การใช้ประโยชน์จากความร้อนของไอเสีย เตาอบ

Abstract

This research experimentally investigated the reuse of exhaust gas released from an LPG-fired furnace for a developed drying oven used to dry brass scrap remaining from the manufacturing process so that it can be remelted. A drying oven with dimensions of 890 cm x 120 cm x 41.5 cm was installed above the furnace. Heat from the furnace was transferred through a steel pipe with a diameter 31 cm (inlet) and 35 cm (outlet) installed at the end of the exhaust stack of the furnace and located below the oven. Sliding panels were installed on the side walls of the oven for loading and unloading of the brass chips. The studied parameters included: (1) the opening size ($x = 0 - 170$ cm) of the sliding panel used for releasing hot gas, and (2) the drying time.

The experimental results showed that the opening size (x) affected the LPG consumption rate. When $x < 150$ cm, the hot gas in the furnace could not flow easily, resulting in an increased LPG consumption rate to maintain the required furnace temperature. However, when $x > 150$ cm, significant



heat loss occurred as hot gas escaped through the opening, which was observed from the rapid decrease in the drying temperature in the oven. At $x = 150$ cm, the LPG consumption rate was the lowest (~ 372.065 m³/h), the highest drying rate was also achieved, reducing the moisture content by approximately 4% within 11 hours. Furthermore, the reduction of moisture content in the brass scrap decreased the electrical energy consumption of the melting furnace by 29.5% and reduced slag generation from the melting process by 84.37%. Therefore, reusing exhaust gas in practical applications can reduce waste generation and energy costs for industries using brass scrap and for the case-study factory.

Keywords: Brass Scrap, Waste Heat Utilization, Drying Oven

บทนำ

ในอุตสาหกรรมผลิตโลหะกระบวนการรีดร้อน (Hot Extrusion) ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ต้องทำให้บิลเล็ต (Billet) มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 500°C (Farhat, Faraj, Hachem, Castelain, & Khaled, 2022) เพื่อให้ชิ้นงานโลหะอ่อนตัวและสามารถขึ้นรูปได้ตามที่ต้องการ ด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิภายในเตาเผาและสิ่งแวดล้อมส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนจำนวนมากจากส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความร้อนจากไอเสียที่ปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม การนำความร้อนจากไอเสียซึ่งยังคงมีอุณหภูมิสูงกลับมาใช้ใหม่ได้จะสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Farhat et al., 2022; Rao, Zhao, Huang, Duan, & He, 2015; Jouhara, Khordehgah, Almahmoud, & Delpech, 2018)

สำหรับโรงงานผลิตหัวเตาแก๊สทองเหลืองที่ใช้ในครัวเรือนที่ศึกษา ก่อนเข้ากระบวนการรีดทองเหลืองเส้น (Brass Rod Extrusion) ทองเหลืองบิลเล็ตจะถูกนำเข้าเตาเผาทำให้มีอุณหภูมิสูงถึง 800°C เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตแบบกึ่งต่อเนื่องเตาเผาต้องรักษาอุณหภูมิภายในเตาให้สูงถึงที่กำหนดอยู่ตลอดเวลาทำให้ต้องเผาไหม้อย่างต่อเนื่องและปล่อยไอเสียปริมาณมากสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งในโรงงาน SME ส่วนใหญ่ก๊าซไอเสียจะถูกปล่อยทิ้งโดยไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ แม้ว่าจะยังมีอุณหภูมิสูงอยู่

งานวิจัยนี้พัฒนาและสร้างเตาอบเพื่อใช้อบแห้งเศษทองเหลืองซึ่งปนเปื้อนด้วยน้ำยาหล่อเย็นจากกระบวนการกลึงเพื่อนำกลับมาหลอมใหม่โดยใช้ความร้อนจากไอเสียที่ปล่อยทิ้ง และศึกษาผลของขนาดช่องเปิด (x) เพื่อระบายก๊าซร้อนระหว่างเตาเผาทำงานแทนการปล่อยทิ้งโดยตรง และศึกษาระยะเวลาในการอบแห้ง รวมถึงผลกระทบของความชื้นที่คงเหลือในเศษทองเหลืองหลังผ่านกระบวนการอบที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของเตาหลอมไฟฟ้าและปริมาณการเกิดของเสียหรือสลาก (Slag) หลังผ่านกระบวนการหลอม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาการนำความร้อนจากเตาเผามาใช้ในการอบแห้งเศษทองเหลืองซึ่งกักเก็บที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเพื่อนำกลับมาใช้หลอมใหม่ และหาผลการประหยัดพลังงานในการอบแห้งเศษทองเหลืองซึ่งกักเก็บ
2. ศึกษาผลของขนาดช่องเปิดที่ผนังด้านข้างของเตาอบที่มีผลต่ออัตราการใช้ก๊าซแอลพีจีในการกระบวนการเผาทองเหลือง และที่มีผลต่อการสูญเสียความร้อนของเตาอบ
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเปิดใช้งานเตาเผา และระยะเวลาในการอบแห้งทองเหลือง

วิธีการวิจัย

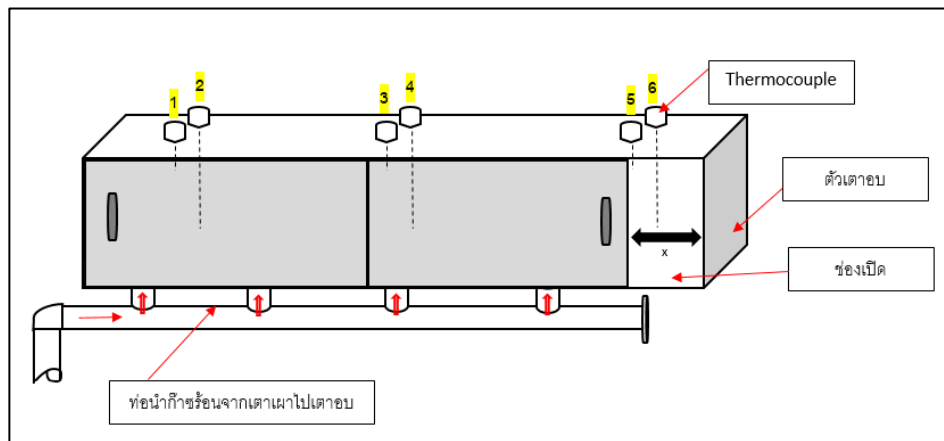
ในงานวิจัยนี้ออกแบบและวิเคราะห์การนำความร้อนเหลือทิ้งจากไอเสียของเตาเผาในกระบวนการอัดขึ้นรูปมาใช้อบแห้งเศษทองเหลืองด้วยเตาอบที่สร้างขึ้น ก่อนการอบแห้งเศษทองเหลืองซึ่งปนเปื้อนด้วยน้ำยาหล่อเย็น (Coolant) จากกระบวนการกลึง (Lathe) จะถูกนำมาอัดเป็นแท่งทรงกระบอก อุณหภูมิแต่ละตำแหน่งในเตาเผาจะถูกควบคุมด้วยการปรับอัตราการป้อนก๊าซ LPG เพื่อให้อุณหภูมิชิ้นงานเหมาะสมต่อการรีดบิลเล็ตตามที่กำหนดไว้ ที่ส่วนหัวเตาเผารักษาอุณหภูมิไว้ที่ 800–840 °C ส่วนกลางเตาเผาที่ 760–780 °C และส่วนท้ายเตาเผาที่ 720–740 °C ในการทดสอบกำหนดใช้งานเตาเผาวันละ 12 ชั่วโมง โดยบิลเล็ตจะถูกป้อนเข้าเตาเผา 240 ครั้งต่อวัน แต่ละบิลเล็ตมีน้ำหนัก 137.02 kg และถูกเผาเป็นเวลา 126 นาที แล้วนำออกจากเตา ในระหว่างการเผาประตูเตาทั้งทางเข้าและทางออกจะถูกปิด ยกเว้นช่วงนำบิลเล็ตออกไปรีดซึ่งจะเปิดครั้งละนาน 1 นาที ปล่อยไอเสียมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 cm อุณหภูมิอากาศรอบ ๆ เตาเผามีค่า 27 °C

1. วิธีการทดลอง

1.1 นำเศษทองเหลืองที่ปนเปื้อนน้ำยาหล่อเย็นจากการกลึงชิ้นงาน เข้าเครื่องอัดเศษ เพื่อทำให้เป็นก้อน ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. ยาว 50 มม.

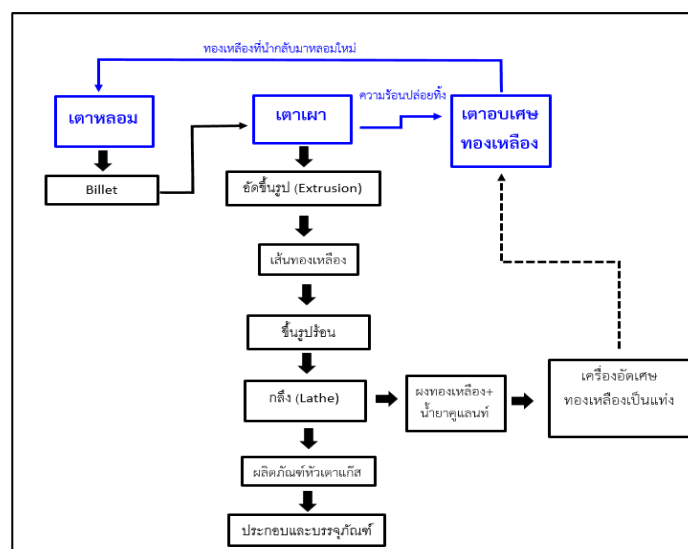
1.2 บรรจุก้อนทองเหลืองที่ได้ลงในถังให้มีน้ำหนักถังละ 8 kg จำนวน 8 ถัง ใส่ น้ำยาหล่อเย็นปริมาณ 3000 ml ต่อ น้ำหนักเศษทองเหลือง 30 kg กำหนด น้ำหนักเศษทองเหลืองรวม น้ำยาหล่อเย็นต่อถังที่ถังละ 1000 kg เพื่อให้ได้ปริมาณ ความชื้นตั้งแต่ต้นที่เท่ากันทุกถัง

1.3 นำเศษทองเหลืองเข้าเตาเผา และเริ่มใช้งานเตาเผา พร้อมทั้งเก็บข้อมูลต่าง ๆ เช่น ปริมาณการใช้ LPG จากมิเตอร์แก๊ส (Top gas Model 750HP ความละเอียด 0.01 m³) น้ำหนักจากเครื่องชั่งน้ำหนัก (พิกัด 2 ton Indicator 0.5 kg) อุณหภูมิภายในเตาเผาและเตาอบที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples) Type K (ค่าความละเอียด 1 °C) ตามตำแหน่งต่าง ๆ (รูปที่ 1) คำน้ำหนักและอุณหภูมิจะถูกวัดทุก ๆ 60 นาที จน น้ำหนักเศษทองเหลืองต่อถังลดลงมาเหลือ 960 kg



รูปที่ 1 รูปเตาอบ ขนาดช่องเปิด (x) และตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิ

1.4 จากนั้นนำเศษทองเหลืองที่ได้เข้าสู่เตาหลอมไฟฟ้า ระหว่างการหลอมทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเตาหลอม โดยใช้อุปกรณ์ Data Logger (Chauvin Arnoux C.A 8220) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเตาหลอมเปลี่ยนแปลงตามการปรับค่าของผู้ควบคุมเตาหลอม หากสีของทองเหลืองขณะหลอม (ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิของทองเหลืองขณะหลอม) ไม่ได้ตามที่กำหนดผู้ดูแลเตาจะทำการปรับค่า



รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการผลิตทั้งหมด



2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ความร้อนสัมผัสที่ชิ้นงานได้รับ (Cengel, & Ghajar, 2020)

ความร้อนชิ้นงานทองเหลือง (ค้ำเตา)

$$m \cdot C_p (T_{\text{entry}} - T_{\text{in}}) \quad (1)$$

โดยที่ m = มวลชิ้นงาน (kg) C_p brass = ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของทองเหลืองในช่วงอุณหภูมิ (เลือกใช้ 0.42 kJ/kg·K) T_{entry} = อุณหภูมิเป้าหมายก่อนเข้าแท่นรีด T_{in} = อุณหภูมิตอนเริ่มอุ่น (เช่น อุณหภูมิห้อง)

2.2 สมการกรณีอัตราความร้อน (Rate Form) (Cengel and Ghajar, 2020)

ความร้อนชิ้นงานทองเหลือง (INPUT) เมื่อคิดแบบต่อเนื่อง (kg/h)

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \Delta T \quad (2)$$

โดยที่ $\dot{Q}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อน (MJ/h) $\dot{m}$ = อัตรามวล (kg/h)

2.3 สมการประสิทธิภาพเตา (Furnace Efficiency) (สมชาย ศรีสวัสดิ์ และ อนุชา พรหมอินทร์ พ.ศ. 2561)

$$\eta_{\text{furnace}} = Q_{\text{fuel}} / Q_{\text{useful}} \quad (3)$$

ใช้อัตรามวลต่อเวลา $\dot{m}$ (kg/h):

$$\dot{Q}_{\text{fuel}} = \frac{\dot{m} \cdot c_p (T_{\text{entry}} - T_{\text{in}})}{\eta_{\text{furnace}}} \times (1 + \text{เพื่อสูญเสีย})$$

2.4 สมการ Heat Capacity ของห้องเตา (Lumped Capacitance) (สมชาย ศรีสวัสดิ์ และ อนุชา พรหมอินทร์, 2561)

$$Q_{\text{heat-up}} = C_{\text{air}} + \text{structure} \Delta T \quad (4)$$

ห้องที่ดูดซับความร้อน = (heat-up + hold)

heat-up ช่วงอุ่นอุณหภูมิขึ้น ห้อง/โครงสร้าง (ไม่รวมชิ้นงาน)

$$\text{heat-up} = C_{\text{air}} + \text{struct} \Delta T$$

hold ช่วงถืออุณหภูมิ (steady state) ในงานนี้ใช้ 10 ชั่วโมง

$$\text{hold} = (UA + \dot{m} \cdot c_p) \Delta T$$

2.5 สมการการสูญเสียความร้อน (Steady-State Heat Loss) (วรพล ชูชัย และ ธนกร ภู่วิชัย, 2562)

$$\dot{Q} = (UA + \dot{m} \cdot c_p) \Delta T \quad (5)$$

2.6 สมการสมดุลพลังงานทั้งระบบ (Overall Energy Balance) (วรพล ชูชัย และ ธนกร ภู่วิชัย, 2562)

$$Q_{\text{input}} = Q_{\text{work piece}} + Q_{\text{furnace}} + Q_{\text{loss}} \quad (6)$$

ผลการวิจัย

เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาคิดเป็นพลังงานที่ป้อนเข้า 26,800 MJ (7,444.44 kWh) ซึ่งคำนวณได้จาก สมการที่ (1) และส่งพลังงานไปใช้ที่เตาอบและการสูญเสีย (Output and loss) ได้แก่ ความร้อนที่ห้องดูดซับ 11,400 MJ (3,166.67 kW) ความร้อนที่ชิ้นงานดูดซับ 12,726 MJ (3,535.00 kW) และสูญเสียที่กระบวนการผลิต 2,674 MJ (742.78 kW) ตามลำดับ (รูปที่ 2) แผนภาพกระบวนการผลิตทั้งหมด

เตาเผาจะถูกใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน โดยเศษทองเหลืองถูกนำเข้าสู่เตาอบในช่วงเริ่มต้นที่เตาเผาถูกใช้งาน และยังคงอบแห้งทองเหลืองต่อไปอีก 2 ชั่วโมงหลังจากเตาเผาปิดใช้งาน ในระหว่างการเผาประตู่ทางเข้าและทางออกของเตาเผาจะถูกปิดสนิท และจะเปิดเฉพาะตอนนำแท่งทองเหลืองออกจากเตาเท่านั้น โดยมีรอบการทำงาน คือ เปิด 1 ครั้งในทุก ๆ 3 นาที และใช้ระยะเวลาในการเปิด ครั้งละ 1 นาที หลังจากนั้นประตู่จะถูกปิดสนิทจนกว่าจะสิ้นสุดกระบวนการอบ โดยกำหนดให้ขนาดช่องเปิดด้านข้างของเตาอบเป็นตัวแปรต้น โดยแทนค่าด้วย x

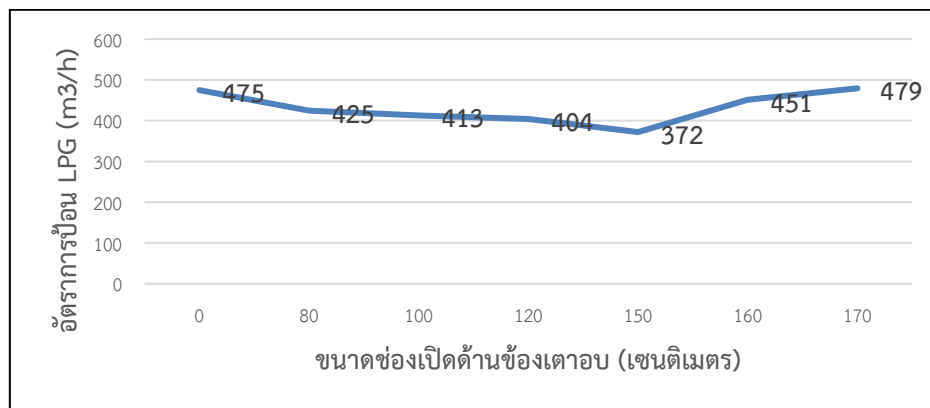


จากการเก็บข้อมูล พบว่า ขนาดช่องเปิดมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิภายในเตาอบ โดยเมื่อขนาดช่องเปิดน้อยกว่าหรือมากกว่า 150 เซนติเมตร จะส่งผลให้อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ทั้ง 6 ตำแหน่งภายในเตาอบลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ขนาดช่องเปิดยังมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง โดยพบว่า การปรับช่องเปิดให้มีขนาดน้อยกว่าหรือมากกว่า 150 เซนติเมตร ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น

1. ผลของช่องเปิด x ที่ส่งผลต่ออัตราการการใช้ LPG

รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการป้อนก๊าซ LPG ที่ช่องเปิดขนาดต่าง พบว่าขนาดช่องเปิดที่ 150 cm อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซ LPG ต่ำที่สุด ($372.065 \text{ m}^3/\text{h}$) เนื่องจาก ก๊าซไอเสียถูกนำไปใช้ในเตาอบ ดังนั้นหากช่องเปิดขนาดเล็กเกินไป จะทำให้เกิดการอินของก๊าซร้อน ภายในเตาเผา ก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ไหลออกจากเตาเผาได้ยากขึ้นส่งผลต่อการไหลของความร้อนเข้าสู่เตาอบ และยังส่งผลต่อการเผาไหม้ LPG เนื่องจากก๊าซไอเสียคั่งค้างภายในเตาเผา ดังนั้นเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในเตาเผาให้ได้มาตรฐานการผลิตทำให้ต้องป้อน LPG เพิ่มขึ้น

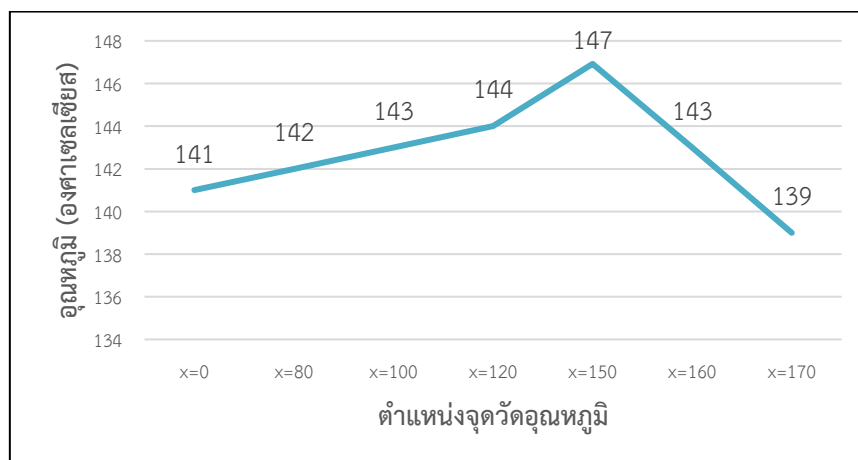
หากช่องเปิดมีขนาดมากกว่า 150 cm ก๊าซร้อนภายในเตาอบจะไหลออกมากขึ้นส่งผลทำให้สูญเสียความร้อนมากขึ้นทั้งในส่วนของเตาอบและเตาเผา ดังนั้นจึงต้องเพิ่มการป้อนก๊าซ LPG เพื่อชดเชยพลังงานที่สูญเสียไป



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการป้อนก๊าซ LPG ที่ช่องเปิดขนาดต่าง

2. ผลของขนาดช่องเปิดที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในเตาอบ

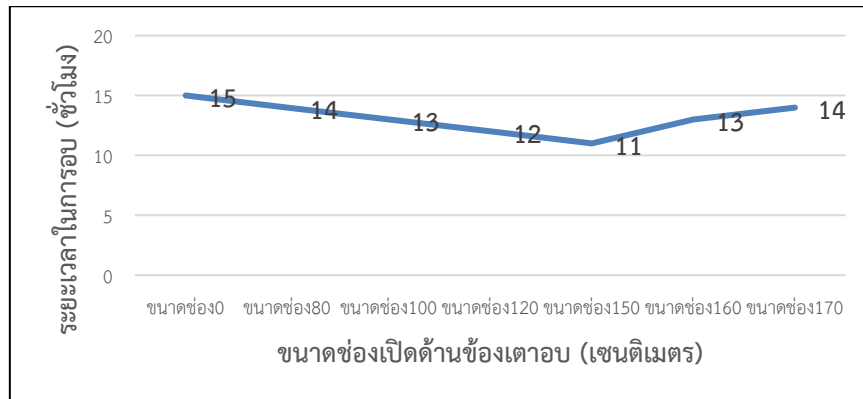
จากที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ขนาดช่องเปิดที่มีผลต่อการไหลของก๊าซร้อนทั้งในเตาเผาและเตาอบ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งที่แตกต่างกัน หากช่องเปิดมีขนาดกว้างหรือแคบเกินไปจะส่งผลต่ออุณหภูมิของก๊าซร้อนภายในเตาอบ โดยที่ช่องเปิดขนาด 150 cm จะรักษาอุณหภูมิของก๊าซร้อนในเตาอบตามทุกตำแหน่งวัดอุณหภูมิได้มากที่สุด



รูปที่ 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยตามตำแหน่งวัดต่าง ๆ ภายในเตาอบที่ช่องเปิดขนาดต่าง ๆ

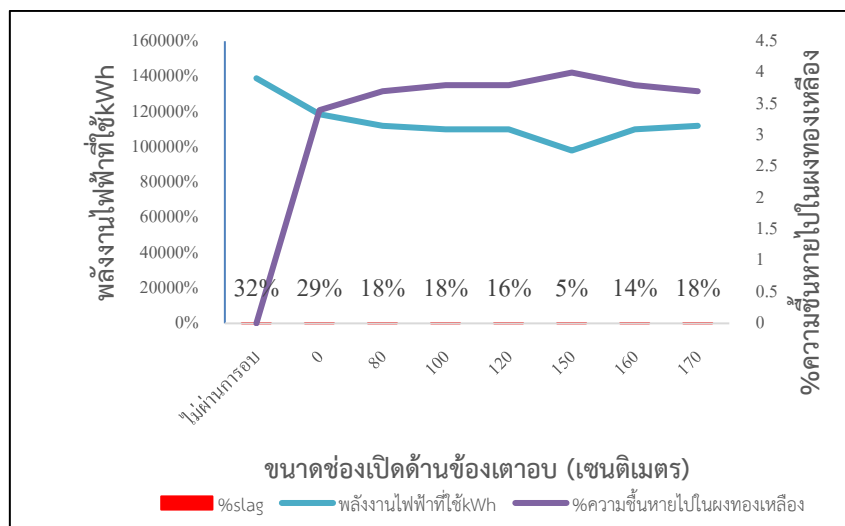
3. ผลของขนาดช่องเปิดเตาอบที่มีผลต่อเวลาในการอบแห้ง

รูปที่ 5 ควบคุมน้ำหนักของแท่งทองเหลืองที่ผ่านการอบแห้งหรือความชื้นลดลง 4% หากน้ำหนักมากกว่า 960 kg ยังคงอบแห้งทองเหลืองต่อไป จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อช่องเปิดมีขนาด 150 cm จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดช่องเปิดอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิเตาอบในรูปที่ 4 กล่าวคือหากอุณหภูมิภายในเตาอบยังคงสูง จะทำให้ความชื้นในแท่งทองเหลืองระเหยออกได้มากขึ้น ส่งผลทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลง



รูปที่ 5 เปรียบเทียบขนาดช่องเปิดที่มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง

นอกจากนี้เมื่อนำแท่งทองเหลืองที่ได้จากการอบโดยไม่ควบคุมน้ำหนักไปเข้าเตาหลอม พบว่า น้ำหนักงานที่ได้มี slag แตกต่างกันเมื่อความชื้นในแท่งทองเหลืองแตกต่างกัน หากใช้ช่องเปิดที่ 150 cm ความชื้นที่คงเหลือในแท่งทองเหลืองจะต่ำสุด ซึ่งส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ slag ที่น้อยลง ดังรูปที่ 6 รวมถึงกำลังไฟฟ้าของเตาหลอมที่ปรับค่าระหว่างการหลอมตามของเหลวที่ต่ำสุดเช่นกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือหากความชื้นในแท่งทองเหลืองคงเหลือมากจะทำให้ต้องใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับเตาหลอมยิ่งสูง



รูปที่ 6 เปรียบเทียบขนาดช่องเปิดต่อปริมาณความชื้นที่มีผลต่อ ไฟฟ้า น้ำหนักงานดี Slag และ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้

4. การวิเคราะห์ผลประหยัด

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการใช้ LPG ที่ขนาดช่องเปิด $x = 150$ เทียบกับที่ $x = 0$ cm พบว่า สามารถลดปริมาณการใช้ LPG สำหรับเตาเผาได้ 102.9 m³ ต่อวัน หรือคิดเป็นผลประหยัด 5,315 บาทต่อวัน และจากที่กล่าวมาข้างต้น การลดความชื้นในเศษทองเหลืองมีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการหลอมของเตาหลอมไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ลดลงมีค่า 180 หน่วยต่อวัน หรือคิดเป็นผลประหยัด 720 บาทต่อวัน นอกจากนี้สัณฐานที่เกิดขึ้นจากการหลอมก็มีจำนวนน้อยลงทำให้เพิ่มจำนวนทองเหลืองบิลเลตที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ 84.37% ต่อวัน



สรุป

งานวิจัยนี้ พบว่า การนำความร้อนจากไอเสียของเตาเผามาใช้อบแห้งเศษทองเหลืองที่เหลือทิ้งจากกระบวนการกลึง ให้ความคุ้มค่าการลงทุน และจากผลการทดสอบเตาอบที่ออกแบบ พบว่า ขนาดช่องเปิดเพื่อระบายก๊าซร้อนขณะเตาเผาทำงานมีผลต่อการทำงานของเตาเผา เตาอบ และเตาอบที่ช่องเปิดขนาด 150 cm เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเตาอบที่ออกแบบซึ่งจะให้ความชื้นคงเหลือในเศษทองเหลืองและอัตราการใช้ LPG สำหรับเตาเผาต่ำที่สุด และความชื้นที่คงเหลือต่ำสุดยังส่งผลต่อการใช้พลังงานของเตาหลอมไฟฟ้าต่ำสุดด้วยเช่นกันจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การนำเศษทองเหลืองกลับมาใช้ใหม่สามารถลดต้นทุนวัสดุ ไฟฟ้า และ LPG ได้

ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบครั้งนี้ ใช้ความชื้นคงที่ แต่หน้างานจริงความชื้นของเศษทองเหลืองไม่เท่ากันในทุกล็อต ดังนั้นควรติดตั้งระบบ VFD (Variable Frequency Drive) ร่วมกับเซนเซอร์วัดความชื้นและอุณหภูมิแบบ Real-time เพื่อปรับขนาดช่องเปิดหรือความเร็วรอบพัดลมระบายอากาศโดยอัตโนมัติ (Automated Damper Control) แทนการใช้ค่าคงที่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ บริษัท เอส ซี จี (ไทยแลนด์) จำกัด เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนทั้งอุปกรณ์และทุนวิจัย รวมถึงอำนวยความสะดวกในการสร้างอุปกรณ์เพื่อทดสอบและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ภายในโรงงาน ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและการนำเสนอผลงาน

เอกสารอ้างอิง

- วรพล ชูชัย และ ธนกร ภูวชัย. (2562). การอบแห้งเศษโลหะด้วยความร้อนทิ้งจากเตาเผาอุตสาหกรรม. *วารสารวิจัยพลังงาน*, 14(1), 45-54.
- สมชาย ศรีสวัสดิ์ และ อนุชา พรหมอินทร์. (2561). การศึกษาการนำพลังงานความร้อนทิ้งจากกระบวนการอุตสาหกรรมกลับมาใช้. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, 45(2), 23-132,
- Cengel, Y.A, & Ghajar, A.J. (2020). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Application*, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education
- Farhat, O., Faraj, J., Hachem, F., Castelain, C., & Khaled, M. (2022). Recent developments in geothermal-assisted absorption cooling systems: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, Article 100387. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100387>
- Jouhara, H., Khordeghah, N., Almahmoud, S., & Delpech, B. (2018). Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 268–289. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2018.04.017>
- Rao, Z., Zhao, Y., Huang, C., Duan, C., & He, J. (2015). Recent developments in evaporating droplets and sprays: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 46, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2014.07.001>