

บทที่ 11 เตาอุตสาหกรรม

11.1 องค์ประกอบของระบบ

เตาอุตสาหกรรมที่ใช้งานอยู่ในโรงงานมีความหลากหลาย เตาแต่ละประเภทมีลักษณะและการทำงานที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ เตายังมีอุณหภูมิทำงานที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานของเตาแตกต่างกันไปด้วย โดยทั่วไป เตาอุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิสูงจะใช้พลังงานสูงและเกิดการสูญเสียความร้อนสูง เมื่อเทียบกับเตาที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ตารางแสดงอุณหภูมิทำงานของเตาอุตสาหกรรม

ประเภทเตา (แยกตามลักษณะการใช้งาน)	อุณหภูมิภายในเตา (°C)
เตาอบเหล็ก	600 - 1,100
เตาหลอมแก้ว	1,000 - 1,300
เตาเผาเซรามิกส์	700 - 1,100
เตาเผาซีเมนต์	650 - 700
เตาเผากำจัดของเสีย	650 - 1,000

ประเภทของเตาอุตสาหกรรมประกอบไปด้วย

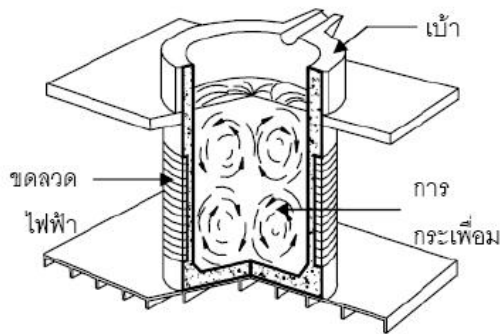
ก. เตาหลอมใช้พลังงานไฟฟ้า

เตาหลอมไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้หลอมโลหะ เตาหลอมไฟฟ้าที่ใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ ได้แก่

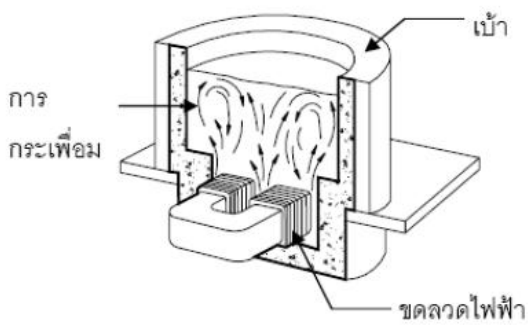
ก.1 เตาเหนี่ยวนำ (Induction Furnace)

เตาเหนี่ยวนำใช้งานหลอมโลหะทั้งในกลุ่มเหล็กและนอกกลุ่มเหล็ก เตาเหนี่ยวนำจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เตาเหนี่ยวนำแบบไม่มีแกน (Coreless Type) และ เตาเหนี่ยวนำแบบช่อง (Channel Type) ดังรูปที่ 11.1 แสดงรูปร่างของเตาเหนี่ยวนำทั้งสองแบบ เตาเหนี่ยวนำแบบไม่มีแกนมีขดลวดพันอยู่รอบแก้ว ในขณะที่เตาเหนี่ยวนำแบบช่องมีขดลวดพันอยู่รอบแกนที่ติดตั้งอยู่ส่วนนอกของแก้วหลอม

เตาเหนี่ยวนำให้ความร้อนแก่โลหะที่ใช้หลอมโดยอาศัยการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแก่ขดลวดเพื่อกำเนิดสนามแม่เหล็ก เตาเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นที่โลหะ ความต้านทานของโลหะที่มีต่อกระแสเหนี่ยวนำเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ในการหลอมโลหะ



เตาเหนี่ยวนำแบบไม่มีแกน



เตาเหนี่ยวนำแบบช่อง (Induction Furnace)

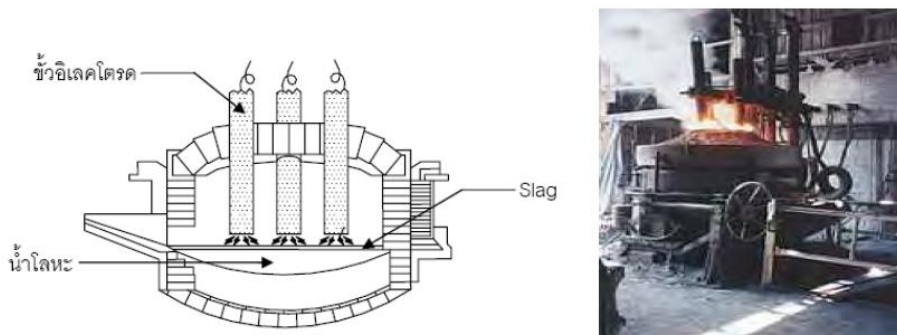
รูปที่ 11.1 แสดงเตาเหนี่ยวนำทั้ง 2 แบบ

แรงที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กจะช่วยให้ น้ำโลหะกระเพื่อม การกระเพื่อมช่วยกวน น้ำโลหะให้เป็นเนื้อเดียวกัน โลหะผสมที่เติมเข้าไปเพื่อปรับส่วนประกอบจะกลมกลืนไปกับน้ำโลหะได้อย่างรวดเร็ว และทั่วถึง อย่างไรก็ตามการกระเพื่อมมีผลเสียคือทำให้น้ำโลหะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้มากขึ้นและผนังเตาถูกกัดกร่อนได้มากขึ้น การสูญเสียพลังงานสำหรับเตาหลอมไฟฟ้าประกอบไปด้วย

- การสูญเสียทางไฟฟ้า (ระบบจ่ายไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า คอยล์ ขั้วอิเล็กโตรด)
- การสูญเสียผ่านผนังเตาโดยการนำความร้อน
- การสูญเสียเนื่องจาก Slag
- การสูญเสียจากฝาเตาโดยการแผ่รังสี

ก.2 เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric-Arc Furnace)

เตาอาร์คไฟฟ้ามักใช้ในงานหลอมเหล็กกล้า เตาอาร์คไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนที่เกิดจากการอาร์คทางไฟฟ้าเพื่อหลอมโลหะ เตาอาร์คไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เตาอาร์คไฟฟ้าทางอ้อม (Indirect-Arc Furnace) และ เตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง (Direct-Arc Furnace) สำหรับเตาอาร์คไฟฟ้าทางอ้อม การอาร์คจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโตรด 2 ขั้ว ส่วนเตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง การอาร์คจะเกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโตรดและโลหะที่ใช้ หลอม รูปที่ 11.2 แสดงเตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง



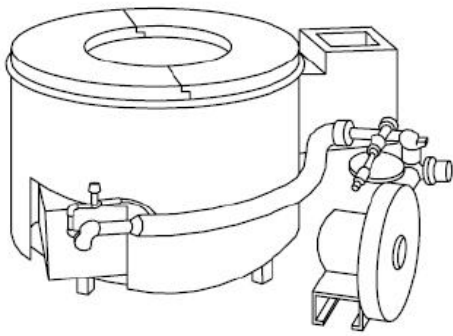
รูปที่ 11.2 เตาอาร์คไฟฟ้าทางตรง

ข. เตาหลอมใช้พลังงานเชื้อเพลิง

เตาหลอมใช้เชื้อเพลิงใช้ความร้อนจากการสันดาปหลอมโลหะ เตาหลอมเชื้อเพลิงที่ใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ ได้แก่ เตาบ้า เตาคิวโปลา และเตาสะท้อนความร้อน

ข.1 เตาบ้า (Crucible Furnace)

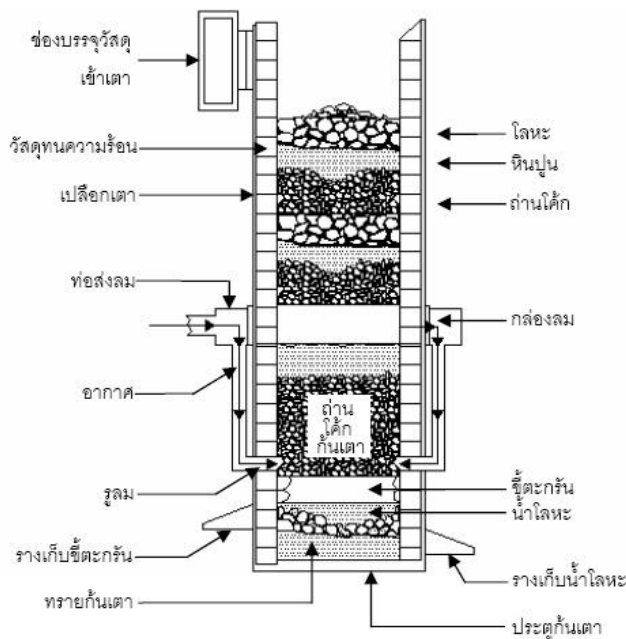
เตาบ้ามักใช้ในงานหลอมโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีปริมาณน้อย เตาบ้าถือว่าเป็นเตาหลอมโลหะที่เก่าแก่ที่สุดและมีโครงสร้างง่ายที่สุด รูปที่ 11.3 แสดงรูปร่างของเตาบ้า ซึ่งประกอบด้วยบ้าบรรจุโลหะที่ทำจาก กราไฟต์ (Clay-Graphite) หรือ ซิลิกอนคาร์ไบด์ (Silicon-Carbide) และเปลือกที่ทำจากวัสดุทนความร้อนโดยมีเหล็กหุ้มอยู่ด้านนอก เปลือกดังกล่าวทำหน้าที่กักความร้อนจากการสันดาปให้ถ่ายเทไปบ้าให้มากที่สุด ความร้อนจากการสันดาปจะไม่ได้สัมผัสกับโลหะที่ใช้หลอมโดยตรง แต่ถ่ายเทโดยบ้าที่บรรจุโลหะ โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาบ้า ได้แก่ น้ำมัน และก๊าซ อย่างไรก็ตามบางครั้งอาจใช้ถ่านหินหรือถ่านโค้ก



รูปที่ 11.3 เตาเผา

ข.2 เตาคิวโปลา (Cupola Furnace)

เตาคิวโปลาใช้ในงานหลอมเหล็กหล่อ และใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง เตาคิวโปลา มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กทรงกระบอกแนวตั้ง ภายในบุด้วยวัสดุทนความร้อน ที่ก้นของเตาเป็นแอ่ง (Well) พักน้ำโลหะที่หลอมเหลวก่อน ที่น้ำโลหะจะถูกจ่ายออก รูปที่ 11.4 แสดงรูปร่างของเตาคิวโปลา



รูปที่ 11.4 เตาคิวโปลา

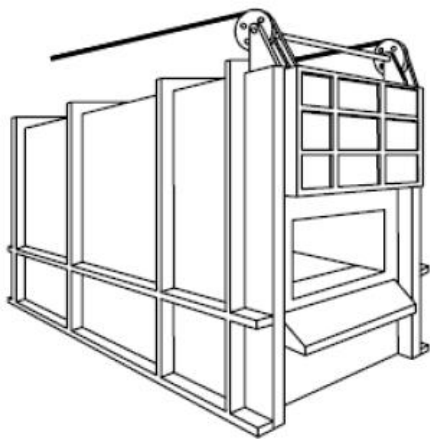
ภายในเตาคิวโปลาจะบรรจุด้วยชั้นของถ่านโค้ก หินปูน (Limestone) และเหล็กที่ใช้หล่อ สลับกันไปผ่านทางช่องบรรจุวัสดุที่ด้านบนของเตา ชั้นของถ่านโค้กที่อยู่ใกล้กับรูปจ่ายลม (Tuyere) จะเกิดการสันดาป (เราเรียกเขตนี้ว่า เขตสันดาปหรือเขตเพิ่มออกซิเจน) ความร้อนจากการสันดาปจะหลอมชั้นของโลหะที่อยู่ใกล้กับเขตสันดาป โลหะที่

หลอมเหลวจะไหลลงสู่แอ่งพักน้ำโลหะ เมื่อถ่านโค้กชั้นแรกถูกสันดาปจนหมด ถ่านโค้กชั้นถัดไปก็จะเลื่อนลงมาแทนที่ ด้วยวิธีนี้กระบวนการสันดาปและการหลอมก็สามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง

ข.3 เตาสะท้อนความร้อน (Reverberatory Furnace)

เตาสะท้อนความร้อนใช้ในงานหลอมโลหะนอกกลุ่มเหล็กครั้งละปริมาณมากๆ โครงสร้างของเตาสะท้อนความร้อนจะเป็นห้องที่บุด้วยวัสดุทนไฟ ภายในห้องมีอ่างสำหรับบรรจุโลหะที่ใช้หลอม หัวเผา (Burner) จะฉีดเชื้อเพลิงซึ่งเป็นน้ำมันหรือก๊าซให้มาสันดาปในห้องดังกล่าว ความร้อนจากการสันดาปถ่ายเทเข้าสู่โลหะที่ใช้หลอมโดยวิธีการแผ่รังสีทั้งจากเปลวไฟโดยตรงและจากเพดานเตาที่ดูดซับความร้อนจากเปลวไฟ

เตาสะท้อนความร้อนบางตัวอาจมีปั๊มหมุนเวียนน้ำโลหะเพื่อเพิ่มผลผลิต ลดการใช้เชื้อเพลิง และให้น้ำโลหะผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น รูปที่ 11.5 แสดงลักษณะของเตาสะท้อนความร้อน



รูปที่ 11.5 เตาสะท้อนความร้อน

11.2 นิยามประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ

11.2.1 ความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (LHV) หมายถึง ค่าพลังงานความร้อนต่อมวลที่ได้จากเชื้อเพลิงเมื่อมีการสันดาปแล้ว

11.2.2 $SEC_{furnace}$ (Specific Energy Consumption of Furnace) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ป้อนเข้าเตาอุตสาหกรรมต่อปริมาณผลผลิตที่ได้

$$SEC_{furnace} = \frac{Q_f}{P}$$

โดยที่

Q_f = พลังงานที่ป้อนให้กับเตา (MJ/hr, MJ/Batch)

P = ปริมาณผลผลิตที่ออกจากเตา (kg, ชั่ง , Batch)

11.3 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันไม่มีกฎหมายเกี่ยวกับการสำรวจ ตรวจสอบ หรือวิเคราะห์ประสิทธิภาพหรือสมรรถนะพลังงาน

11.4 แนวทางการสำรวจและการเก็บข้อมูลวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

เครื่องมือหรือมาตรวัดที่ต้องใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ ประกอบด้วย

1. มาตรวัดอัตราการไหลเชื้อเพลิงในกรณีเตาเชื้อเพลิงและมาตรวัดพลังงานไฟฟ้ากรณีเตาไฟฟ้า
2. มาตรวัดผลผลิต หรือวิธีการตรวจนับผลผลิต

การตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพหรือสมรรถนะพลังงาน

1. ตรวจสอบการใช้พลังงานโดย

1.1 กรณีเตาเชื้อเพลิงตรวจสอบค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิง ต่อเวลาหรือ ต่อ Batch จากนั้นคำนวณเป็น

MJ โดยสมการ

$$Q_f = \dot{m} \times LHV$$

โดยที่

\dot{m} = อัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลาหรือต่อ Batch

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงต่อมวลโดยใช้ค่าจากผู้ผลิตหรือค่ามาตรฐานของ พพ.

1.2 กรณีเตาไฟฟ้าตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเวลาหรือต่อ Batch จากนั้นคำนวณเป็น MJ โดย

สมการ

$$Q_f = kWh \times 3.6$$

โดยที่

kWh = พลังงานไฟฟ้าต่อเวลาหรือต่อ Batch

ค่า 3.6 = ค่าแปลงหน่วยจาก kWh เป็น MJ

2. ตรวจสอบหรือตรวจนับปริมาณผลผลิตต่อเวลาหรือต่อ Batch
3. นำค่าที่ได้จากการตรวจสอบมาคำนวณโดยสมการ

$$SEC_{furnace} = \frac{Q_f}{P}$$

ตัวอย่างตารางตรวจวัดและวิเคราะห์

ตารางการตรวจวัดเตาอุตสาหกรรม

หมายเลขเครื่อง _____, วันที่ตรวจวัด _____, สถานที่ใช้งาน _____
 ผู้ผลิต _____, ประเภท/แบบ _____, โครงการ _____
 ปีที่ผลิต _____, พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน (m²) _____, สภาพอุณหภูมิ _____
 เวลาทำงาน (h/y) _____, รูปร่างภายนอก (m) กว้าง _____, ยาว _____, สูง _____ เส้นผ่าศูนย์กลาง _____

	สภาวะการใช้งาน	หน่วย	สัญลักษณ์	ข้อมูล	แหล่งที่มา
กำลังการผลิตติดตั้ง	ชนิดพลังงาน (ไฟฟ้า/น้ำมันเตา/LPG/NG)	-	-		Name Plate
	อัตราการใช้พลังงาน	MJ/hr	E_{rated}		Name Plate
	อัตราการผลผลิต	kg/hr	P_{rated}		Name Plate
	$SEC_{furnace}$	MJ/kg	SEC_{rated}		Name Plate
กำลังการผลิตจริง	ชนิดผลิตภัณฑ์	-	-		จากการตรวจวัด
	ปริมาณผลผลิตป้อนเข้า	kg/hr	P_{in}		จากการตรวจวัด
	ปริมาณผลผลิตออกจากเตา	kg/hr	P_{out}		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิผลิตภัณฑ์เข้าเตา	°C	T_{in}		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ออกจากเตา	°C	T_{out}		จากการตรวจวัด
เชื้อเพลิง	ปริมาณการใช้	kg/hr	m_f		จากการตรวจวัด
	ค่าความร้อนต่ำ	kJ/kg	LHV		จากข้อมูลผู้ขายหรือค่ามาตรฐาน
	อุณหภูมิเชื้อเพลิงป้อนเข้าเผาไหม้	°C	T_f		จากการตรวจวัด
อากาศป้อน	อุณหภูมิ	°C	T_a		จากการตรวจวัด
	ความชื้นสัมพัทธ์	%RH	RH		จากการตรวจวัด
Surface Temp.	อุณหภูมิผิวเฉลี่ยด้านข้าง (ซ้าย)	°C	T_g		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิผิวเฉลี่ยด้านข้าง (ขวา)	%	O_2		จากการตรวจวัด
Flue Gas	อุณหภูมิผิวเฉลี่ยด้านบน	%	CO_2		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิ T_g	°C	T_g		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ O_2	%	O_2		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ CO_2	%	CO_2		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ CO	ppm	CO		จากการตรวจวัด
	อัตราส่วนอากาศ	-	M		$M = 21 / 21 - O_2$
	สมรรถนะพลังงาน	MJ/kg	$SEC_{furnace}$		$SEC_{furnace} = \frac{m_f \times LHV}{P_{out}} \times 100$
หมายเหตุ					

11.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ตัวอย่างที่ 1 เตาหลอมอลูมิเนียมมีอัตราการหลอม 50 kg/hr ที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงชนิด LPG ที่ 4.0 m³/hr จากการเก็บข้อมูลการใช้งานพบว่ามีการหลอมเฉลี่ยที่ 35.6 kg/hr ใช้เชื้อเพลิง 3.07 m³/hr จงคำนวณหาสมรรถนะในการใช้พลังงาน

วิธีการคำนวณ

ก. พิกัดสมรรถนะ

$$\begin{aligned} \text{ค่า LHV ของ LPG} &= 26.62 \text{ MJ/m}^3 \\ \text{พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง} &= 4.0 \text{ m}^3/\text{hr} \times 26.62 \text{ MJ/m}^3 \\ &= 106.48 \text{ MJ/hr} \\ \text{SEC}_{\text{rate}} &= (106.48 \text{ MJ/hr}) / (50 \text{ kg/hr}) \\ &= 2.13 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

ข. สภาวะจริง

$$\begin{aligned} \text{ค่า LHV ของ LPG} &= 26.62 \text{ MJ/m}^3 \\ \text{พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง} &= 3.07 \text{ m}^3/\text{hr} \times 26.62 \text{ MJ/m}^3 \\ &= 81.72 \text{ MJ/hr} \\ \text{SEC}_{\text{furnace}} &= (81.72 \text{ MJ/hr}) / (35.6 \text{ kg/hr}) \\ &= 2.30 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

11.6 ตัวอย่างมาตรการที่ประสบความสำเร็จ

ตัวอย่างที่ 1 มาตรการนำความร้อนทิ้งจากไอเสียของเตาเผาหมายเลข 3-4 กลับมาใช้ที่เตาอบ Dryer

Press 5-8

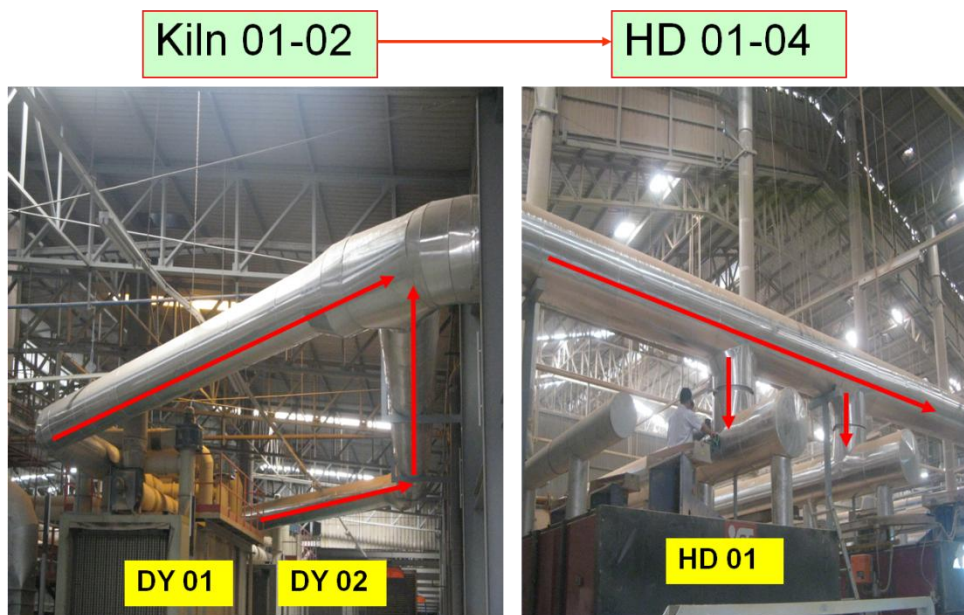
ความเป็นมา

โรงงานประกอบด้วยเตาเผากระเบื้องจำนวน 8 เตา ซึ่งมีลักษณะการใช้งานเหมือนกัน ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยไอเสียจากการเผาไหม้ส่วนหนึ่งจะนำไปใช้บริเวณหน้าเตา (~10,000 M³/hr) ส่วนหนึ่งจะนำไปใช้อบกระเบื้องก่อนเข้าเตาเผา (~10,000 M³/hr) และอีกส่วนหนึ่งปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ (~10,000 M³/hr) ซึ่งอุณหภูมิที่ปล่อยทิ้งมีค่าประมาณ 170-200 °C

ในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้อง เมื่อมีการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูป (Press Machine) จะส่งเข้าไปอบที่เตาอบ Dryer Press ซึ่งเตาอบ Dryer Press ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยอบให้ได้อุณหภูมิ 140 °C ก่อนที่จะส่งไปกระบวนการเคลือบสี ลงลายกระเบื้อง และส่งไปกระบวนการเผาต่อไป

แนวคิดในการปรับปรุง

ปรับปรุงโดยการต่อท่อนำไอเสียจากเตาเผาไปใช้ที่เตาอบ Dryer Press ซึ่งสามารถนำไอเสียไปใช้ได้โดยตรง โดยไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์

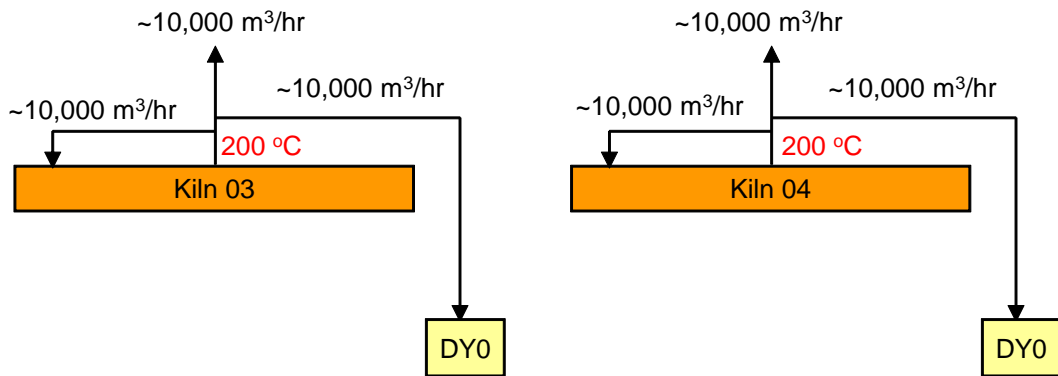


รูปที่ 11.6 ท่อนำไอเสียจากเตาเผา

ผลการปรับปรุง

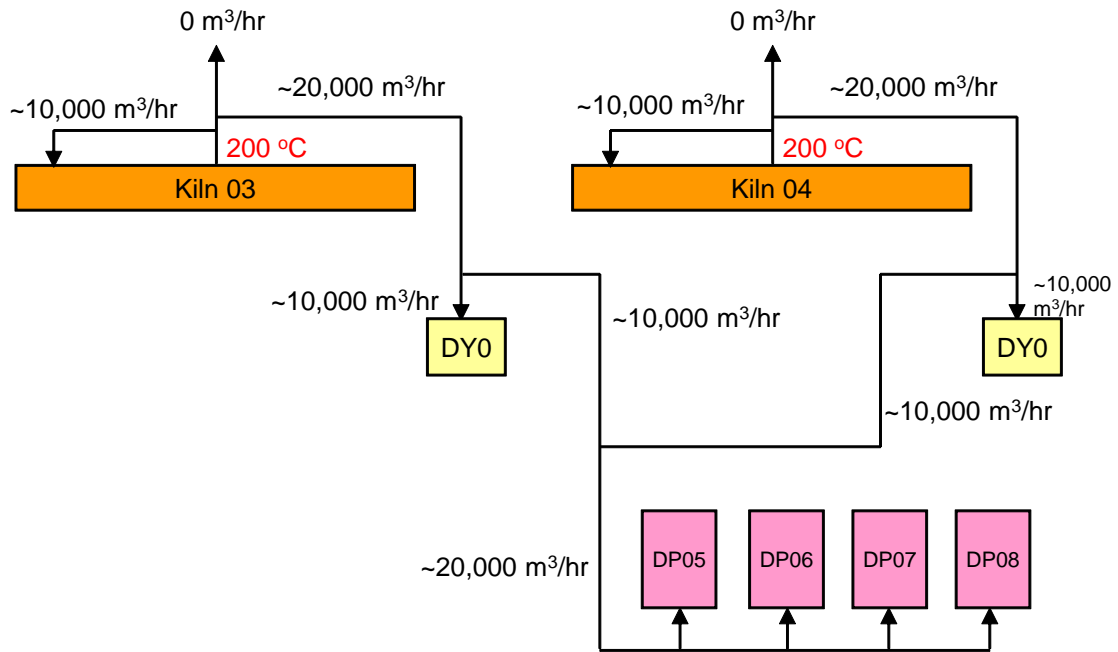
Heat Recovery to Dryer Press No. 05, 06, 07, 08

Before



SEC ก่อนปรับปรุง (Apr 10)	0.0181	M ³ _{ng} /kg
Average Production (Apr 10)	166,081	kg/day
Inlet Temp of Product	40	oC
Outlet Temp of Product	140	oC
Cp of Soil (Dry)	0.8	kJ/kg.K
Total Heat Absorp to Dryer Press (01,02)	3,001.37	M ³ _{ng} /day
	102.81	MMBtu/day
	108,467.55	MJ/day
Heat Absorp to Product	13,286,459	kJ/day
	12.59 (12.25%)	MMBtu/day

After



Heat from Flue Gas

Flue Gas Flow Rate (80% of Design)	16,000.00	m ³ /hr
Flue Gas Temp (Temp Drop 20%)	160	oC
Ambient Temp	40	oC
Cp of Flue Gas	0.332	kcal/m ³ .K
Heat from Flue Gas	637,440.00	kcal/hr
	2,668.96	MJ/hr
	2.53	MMBtu/hr
	60.72	MMBtu/day

Saving

NG Saving	59.05	%
	60.72	MMBtu/day
(350 Day/Yr)	21,250.50	MMBtu/yr
NG Cost (Jan - Apr 10)	336.81	฿/MMBtu
Cost Saving	7,157,380	฿/yr

Investment

Total Investment	2,000,000	฿
Payback Period	0.28	yr

ตัวอย่างที่ 2 มาตรการการลดระยะความสูงของช่องเปิดที่ฝาเตาหลอมเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ทางโรงงานใช้เตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำในการหลอมเหล็ก โดยที่เตาแต่ละชุดจะมีฝาปิดเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน (ทั้งเตาหลอมและเตา Hold)

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ฝาเตาที่ปิดอยู่เดิมมีระยะความสูงจากปากเตามากเกินไป เนื่องมาจากการติดตั้งที่ไม่เหมาะสมและผลกระทบจากการใช้งานในแต่ละวัน ทำให้มีพื้นที่การสูญเสียความร้อนมากกว่าปกติ



รูปที่ 11.7 สภาพการใช้งานฝาเตาหลอม (ก่อนปรับปรุง)

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

1. ดำเนินการปรับลดระยะความสูงของฝาเตาจากความสูงเดิมประมาณ 10-20 cm. ลงมาเหลือ 3-4 cm. พร้อมกับปรับ Alignment ใหม่ให้ฝาเตาอยู่ในแนวขนานกับปากเตาและปิดพื้นที่ปากเตาให้ได้มากที่สุด
2. วัดค่าอุณหภูมิที่บริเวณปากเตา และขนาดของพื้นที่สูญเสียความร้อนที่ลดลงได้
3. คำนวณผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่าจากปริมาณความร้อนสูญเสียที่ลดลงได้

สภาพหลังปรับปรุง

ภายหลังการดำเนินการแล้วเสร็จ ทางทีมงานด้านพลังงานพบว่าสามารถลดอุณหภูมิใช้งานของเตาหลอมขนาด 3,500 kW จำนวน 2 ชุด (Line M5) ลงได้จาก $1,560^{\circ}\text{C}$ เหลือ $1,540^{\circ}\text{C}$ โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพการหล่อเหล็กแต่อย่างใด



รูปที่ 11.8 สภาพการใช้งานเตาหลอม (หลังปรับปรุง)

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

Furnace No.	ตัวแปร	หน่วย	No.1	No.2	Hold	No.1	Hold
Line Name			M5	M5	M5	M10	M10
ขนาดพื้นที่สูญเสียความร้อนที่ลดลง	A	ตร.ม.	0.207	0.207	0.173	0.207	0.207
อุณหภูมิผิวถ่ายเทความร้อน (หน้าปากเตา)	Ts	°C	1,240	1,170	1,280	1,150	1,290
อุณหภูมิอ้างอิง	Tr	°C	35	35	35	35	35
ค่า Emissivity	e	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี	Q	kW	18.43	15.24	17.10	14.41	20.99
Operating Hour	H	ชั่วโมง/ปี	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600
%Safety Factor	%SF	%	70	70	70	70	70
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E	kWh/ปี	72,246	59,741	67,032	56,487	82,281
		ktoe/ปี	0.0062	0.0051	0.0057	0.0048	0.0070

Furnace No.	ตัวแปร	หน่วย	No.1	No.2	B	C	Hold
Line Name			M11	M11	M9	M9	M9
ขนาดพื้นที่สูญเสียความร้อนที่ลดลง	A	ตร.ม.	0.242	0.242	0.726	0.207	0.761
อุณหภูมิผิวถ่ายเทความร้อน (หน้าปากเตา)	Ts	°C	1,260	1,245	1,160	1,200	1,320
อุณหภูมิอ้างอิง	Tr	°C	35	35	35	35	35
ค่า Emissivity	e	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี	Q	kW	22.71	21.83	51.99	16.55	83.27
Operating Hour	H	ชั่วโมง/ปี	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600
%Safety Factor	%SF	%	70	70	70	70	70
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E	kWh/ปี	89,023	85,574	203,801	64,876	326,418
		ktoe/ปี	0.0076	0.0073	0.0174	0.0055	0.0278

หมายเหตุ: สูตรการคำนวณ $Q = 5.67 \times 10^{-8} \times e \times A \times ((Ts + 273.15)^4 - (Tr + 273.15)^4) / 1,000$

$$E = Q \times H \times \%SF$$

พลังงานไฟฟ้ารวมที่ประหยัดได้ = 1,107,479 kWh/ปี

คิดเทียบเป็นน้ำมันดิบได้ = 0.0944 ktoe/ปี

คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ = 1,107,479 kWh/ปี x 2.71 บาท/kWh

= 3,001,268 บาท/ปี