การเปรียบเทียบการใช้พลังงานและสมรรถนะจากการเปลี่ยน Recuperator ที่ใช้กับ Reheating Furnace

Comparison on energy use and performance of changing recuperator for reheating furnace

มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล[1]

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานและสมรรถนะจากการเปลี่ยน recuperator ที่ใช้กับ reheating furnace การศึกษาเริ่มจากการวัดข้อมูลต่างๆ เพื่อคำนวณสมดุลพลังงานและสมดุลพลังงานของ recuperator และทำสมดุลพลังงานของ reheating furnace ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเหล็กเส้นสำหรับงานก่อสร้าง ในการทำงาน 3 ช่วงคือ ช่วงอุ่นเตา ช่วงก่อนเข้าการผลิต และช่วงการผลิตต่อเนื่อง พบว่า recuperator เดิมมีอากาศรั่วภายใน recuperator สูงถึงร้อยละ 14.8 เมื่อเทียบกับอากาศที่เข้าเตาทั้งหมด ค่า effectiveness สูงขึ้นเล็กน้อย การถ่ายเทความร้อนลดลง ค่า overall heat transfer ลดลง การเปลี่ยน recuperator ทำให้อากาศเข้าเตามีอุณหภูมิสูงขึ้น 80.4 $^{\circ}$C ในช่วงทำงานปกติ ส่งผลให้การเผาไหม้ภายในเตาดีขึ้นสามารถลดอากาศส่วนเกินลงได้ และลดปริมาณอากาศและปริมาณก๊าซที่ไหลผ่าน recuperator ทำให้มีการประหยัดพลังงานเฉลี่ยร้อยละ 19.8

คำสำคัญ: recuperator, reheating furnace, energy saving, steel, effectiveness

[1]อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. บทนำ

อุปกรณ์ recuperator ที่ศึกษาเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซเสียปล่อยทิ้งจากเตา Reheating furnace ให้แก่อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้ร้อนขึ้น การออกแบบ recuperator เดิมอาจจะยังไม่คำนึง ถึงการประหยัดพลังงานมาก และเมื่อใช้ recuperator ไประยะหนึ่งแล้ว จะมีรอยรั่วเกิดขึ้น เนื่องจากการกัดกร่อนของกรด ดังนั้นเมื่อใช้ recuperator ไประยะหนึ่งแล้วจะต้องมีการตรวจสอบการรั่วของอากาศเข้าสู่ก๊าซร้อน และจะต้องมีการเปลี่ยนท่อผิวถ่ายเทความร้อน หรืออาจจะเปลี่ยน recuperator ทั้งเครื่องเพื่อที่จะได้การออกแบบใหม่ที่ใช้วัสดุที่ดีขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาพ recuperator เดิมว่ามีอากาศรั่วเข้าก๊าซเสียเพียงใด สมรรถนะเป็นอย่างไร การศึกษาสมรรถนะโดยอาศัยสมรรถนะโดยวิธี NTU-method

2. สภาพเดิมของ recuperator

recuperator ใช้กับเตา reheating furnace ยี่ห้อ bendotti สำหรับอุ่นแท่ง billet ให้ร้อนถึงอุณหภูมิประมาณ 1,100 °C เพื่อผลิตแท่งเหล็กที่มีหน้าตัดกลม เตามีกำลังการผลิต 40 ตัน/ชั่วโมงรูปที่ 1-2 เป็นภาพของ reheating furnace ที่ศึกษา โดยมี recuperator เป็นแบบ 2-pass ที่มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อน 97 ตารางเมตร อุ่นอากาศให้ได้อุณหภูมิประมาณ 300 °C รูปที่ 3 เป็น recuperator เดิม รูปที่ 4-9 เป็นอุปกรณ์การวัดต่างๆ

ปัญหาของ recuperator เดิมคือมีการรั่วภายใน recuperator และอุ่นอากาศได้อุณหภูมิน้อยเกินไป

รูปที่ 1 ภาพ reheating furnace ที่ศึกษา

รูปที่ 2 เป็นภาพด้านข้างของเตา reheating furnace

รูปที่ 3 recuperator เดิม

รูปที่ 4 การวัดอุณหภูมิผนังเตา reheating furnace

รูปที่ 5 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซเสียจากเตา reheating furnace และ recuperator

รูปที่ 6 การวัดอุณหภูมิก๊าซเสียที่ผ่าน recuperator

รูปที่ 7 การบึกทึกอุณหภูมิต่างด้วย data logger

รูปที่ 8 manometer ที่ใช้วัดความดันของก๊าซเสีย

3. การวิเคราะห์สมรรถนะของ recuperator

การวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน **recuperator** ทั้งตัวเดิมและตัวใหม่ ด้วยวิธี NTU-method

4. สภาพหลังการเปลี่ยน recuperator

โรงงานได้ทำการเปลี่ยน recuperator ใหม่เป็นขนาด 268.3 m^2 โดยใช้เตา reheating furnace เดิมทำให้อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเผาไหม้ประมาณ 400 $^{\circ}C$ นอกจากนี้อากาศร้อนที่ช่วยการเผาไหม้ยังส่งผลให้น้ำมันมีการเผาไหม้ได้ดีขึ้น ทำให้สามารถลดปริมาณออกซิเจนหรืออากาศส่วนเกินที่ส่งเข้าห้องเผาไหม้ กล่าวคือปริมาณออกซิเจนในก๊าซเสียลดลงจาก 14% เหลือเพียง 3.2% ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเตาดีขึ้นอีก

รูปที่ 9 recuperator ใหม่ที่ได้ติดตั้งแล้ว

ตารางที่ 1 ข้อมูลการใช้พลังงานของเตา reheating ในช่วงทำงานปกติ

รายการ	หน่วย	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
อัตราการใช้น้ำมันเตา	ลิตร/ชั่วโมง	1117.5	717.4
อุณหภูมิอากาศเข้าเตา	^{o}C	307	387.4
อุณหภูมิน้ำมันเตา	^{o}C	116	121
O_2	%	15.8	3.17
อุณหภูมิก๊าซเสียเข้า recuperator	^{o}C	536	644.4
ผลผลิต	ตัน/ชั่วโมง	36.7	27.8
SEC	kJ/kg	1237.8	1035
SEC	ลิตร/ตัน	31.2	26.1

ตารางที่ 2 การทำงานเตา reheating และสมรรถนะของ recuperator ในช่วงทำงานปกติ

ข้อมูล	หน่วย	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
อุณหภูมิก๊าซเสียเข้า recuperator	^{o}C	536	644.4
อุณหภูมิก๊าซเสียออกจาก recuperator	^{o}C	237	404.4
ความดันก๊าซเสียที่ลดลงเมื่อผ่าน recuperator	Pa	257	24.3
อุณหภูมิอากาศที่เข้า recuperator	^{o}C	50	47.4
อุณหภูมิอากาศที่ออกจาก recuperator	^{o}C	307	387.4
การคำนวณพบว่า			
ก๊าซเสียมีอัตราการไหล	kg/kg of fuel	38.4	17.1
อากาศมีอัตราการไหล	kg/kg of fuel	39.3	13.55
อากาศรั่วเข้าก๊าซเสีย	kg/kg of fuel	5.7	-
สมรรถนะของ recuperator			
Cc=mCpAir,	kW/K	10.06	2.84
Ch=mCpGas	kW/K	12.47	4.31
$Cr=C_{min}/C_{max}$		0.81	0.69
Q_{max}	kW	4,891.2	1,695
effectiveness		0.53	0.57
flue gas pressure drop	Pa	257	24
U-value	W/m^2/K	128.6	11.0

5. การเปรียบเทียบจากการเปลี่ยน recuperator สรุปได้ว่า

5.1 การรั่วของอากาศใน recuperator ลดลงจาก 5.7 kg/kg_fuel เหลือ 0 เป็นการลดลงอย่างชัดเจน

5.2 อากาศที่อุ่นได้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 80.4 ^{o}C การเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญมีผลต่อการใช้พลังงาน

5.3 การไหลขออากาศลดลงจาก 39.3 kg/kg of fuel ลงเหลือ 13.55 kg/kg of fuel เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศ เพิ่มขึ้นทำให้ปรับ

อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ มีผลทำให้ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิง

5.4 การ effectiveness ของอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มจาก 0.53 ขึ้นเป็น 0.57

5.5 ค่า Q_{max} มีค่าลดลงจาก 4,891.2 kW เหลือ 1,695 kW เนื่องปริมาณการไหลของอากาศและก๊าซเสียที่ผ่าน recuperator ลดลงอย่างมาก

5.6 การใช้พลังงาน ค่า SEC ลดลง 202.8 kJ/kg หรือ 5.1 ลิตร/ตัน

5.7 ค่า U-value มีค่าลดลง เนื่อง recuperator เดิมมีอัตรากการใช้อากาศมาก และก๊าซเสียมากเช่นกันทำให้ความเร็วของกระแสทั้งสองผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูง ส่งผลให้ค่า convection coefficient มีค่าสูงส่งผลให้ค่า U-value ของ recuperator เดิมมีค่าสูง แต่การถ่ายเทความร้อนที่สูงไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากอากาศส่วนเกินมีมาก

6. ปัญหาการเปลี่ยน recuperator

เนื่องจากเตา reheating เดิมมีการใช้อากาศในการเผาไหม้สูงกว่าความต้องการจริงมาก การออกแบบ recuperator ใหม่ไม่ได้ลดอัตราส่วนอากาศให้เหมาะสมก่อน เมื่อติดตั้ง recupertor ใหม่แล้วและได้ปรับอัตราส่วนอากาศให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ทำให้ปริมาณอากาศและปริมาณก๊าซเสียที่ไหลผ่าน recuperator ลดลงอย่างมาก ส่งผลให้ recuperator มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมากเกินความจำเป็น ซึ่งพิจารณาได้จากค่า U-value มีค่าลดลงอย่างมาก เนื่องจากความเร็วของอากาศและก๊าซเสียใน recuperator มีค่าลดลง

7. ข้อแนะนำก่อนการออกแบบ recuperator

เนื่องจาก recuperator เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ด้วนการอุ่นอากาศที่ช่วยการเผาไหม้ในเตา reheating furnace เอง ก่อนจะออกแบบ recuperator จะต้องลดการสูญเสียต่างๆให้เหลือน้อยที่สุดก่อนในกรณีนี้ควรเป็นอัตราส่วนอากาศในกรณีที่ furnace ทำงานที่ในช่วงปกติหรือ rolling อัตราส่วนอากาศที่ใช้จริงต่ออากาศในทางทฤษฎีเป็น 1.73 ซึ่งสูงมากควรจะพยายามลดให้เหลือ 1.3 โดยการทำความสะอาดหรือเปลี่ยนหัวฉีดน้ำมัน เพิ่มอุณหภูมิน้ำมันเตาให้อยู่ระหว่าง 120-130 $^{\circ}$C ปรับความดันน้ำมันเตาให้เหมาะสม แล้วปรับอัตราส่วนอากาศ หากสามารถลดอัตราส่วนอากาศให้เหมาะสมได้จะทำให้การออกแบบ recuperator มีขนาดที่ไม่ใหญ่เกินไปและจะเหมาะสมกับการทำงานมากขึ้น และจะทำให้ราคาของ recuperator ต่ำลง

8. ผลการประหยัดพลังงาน การประหยัดพลังงานในแต่ละช่วงการทำงาน

8.1 ในช่วงการอุ่นเตาเมื่อติดตั้ง recuperator ใหม่ แล้วพบว่า อุณหภูมิอากาศเข้าเตามีอุณหภูมิ 97.9 $^{\circ}$C ทำให้ มีการใช้น้ำมันเตาลดลงในช่วงนี้เฉลี่ยถึง 218.7 ลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิก๊าซเสียเพิ่มขึ้น115 $^{\circ}$C และอุณหภูมิน้ำมันเตาเพิ่มขึ้น 8.5 $^{\circ}$C การตรวจวัดไม่สามารถกระทำที่อัตราการผลิตเดิมได้เนื่องการวัดจากการทำงานจริงอัตราการผลิตจะขึ้นอยู่กับสภาวะตลาดและสภาพของกระบวนการรีด ซึ่งมีปัญหามากกว่ากว่าเตา reheating furnace

8.2 ในช่วง rolling อุณหภูมิอากาศที่เข้าเตาเพิ่มขึ้น 80.4 $^{\circ}$C มีการใช้น้ำมันเตาลดลงในช่วงนี้เฉลี่ยถึง5.1 ลิตรต่อตันผลผลิต (ดูตารางที่ 3)

8.3 ในช่วงการทำงาน pre-rolling การอนุรักษ์พลังงานมีผลไม่ชัดเจนเนื่องจากการทำงานเป็นช่วงๆจึงไม่สามารถสรุปผลการประหยัดพลังงานไม่ชัดเจนจากตัวเลขของอุณหภูมิ

อากาศที่ช่วยการเผาไหม้สูงขึ้นอย่างชัดเจนแต่ตัวการใช้น้ำมันเตาไม่สอดคล้องกันจึงไม่สามารถสรุปผลในช่วงนี้ได้ แต่จากการทำงานในช่วงนี้น้อยเมื่อเทียบกับในช่วง rolling การไม่นำผลประหยัดในส่วนนี้มาประเมินรวมด้วยก็มีผลไม่มากนัก สรุปการทำงานในช่วง pre-rolling ไม่ได้นำมาประเมินผลการประหยัดพลังงาน

ตารางที่ 3 สรุปผลการประหยัดพลังงานได้เป็น

ผลผลิตต่อปี	ตัน/ปี	109,462.05
ชั่วโมงการอุ่นเตาต่อปี	ชั่วโมง/ปี	700.00
ผลการประหยัดพลังงานในช่วงอุ่นเตา	ลิตร/ชั่วโมง	218.70
	ลิตร/ปี	153,090.00
ผลการประหยัดพลังงานในช่วง rolling ต่อเนื่อง	ลิตร/ตัน	5.10
	ลิตร/ปี	558,256.46
รวมผลการประหยัดพลังงานต่อปี	ลิตร/ปี	711,346.46
	MJ/ปี	28,290,248.52
	GJ/ปี	28,290.25
	toe/ปี	669.69
รวมการใช้พลังงานต่อปี	ลิตร/ปี	3,592,999.00
	MJ/ปี	28,290,249
	GJ/ปี	28,290.25
	toe/ปี	669.69
ผลการประหยัดพลังงานต่อปี	ร้อยละ	19.80

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนการศึกษา

ขอขอบคุณบริษัท ทีดีซี สตีลกรุ๊ป จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ทำการศึกษา

10. เอกสารอ้างอิง

[1] A.F. Mills. Heat Transfer. IRWIN, 1992.

[2] มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล. การศึกษาการออกแบบ Recuperator ที่ใช้กับเตาเผาเหล็ก (Reheating Furnace)ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อประหยัดพลังงาน. สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2553.

[3]วรวุฒิ มั่นสกุล.การศึกษาพัฒนาอุปกรณ์อุ่นอากาศด้วยไอเสีย สำหรับเตาเผาอุสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.