

บทที่ 6

ผลการทดลอง

จากการวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับปรุงสมรรถนะของเตาหลอมทองแดงโดยใช้ อุปกรณ์อุ่นอากาศ ซึ่งมีผลการทดลองที่สรุปได้ดังนี้

6.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. สตาร์ทเตาพักและวางเอียงของระบบการหลอมทองแดงเพื่อให้ น้ำทองแดงในเตาพักละลาย ตามขั้นตอนการสตาร์ทเตาพักและวางเอียง
2. เมื่อสังเกตว่า น้ำทองแดงในเตาพักเริ่มละลายก็ทำการสตาร์ทเตาหลอมตามขั้นตอนการสตาร์ทเตาหลอม โดยใช้แผ่นทองแดงลงในเตาหลอมก่อนเพื่อป้องกันเปลวไฟจากหัวเผาปะทะผนังเตามากจนเกินไป ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้อิฐผนังเตาพังได้ หลังจากนั้นทำการจุดหัวเผาของเตาหลอมโดยเริ่มตั้งแต่หัวเผาแถว A , B และ C จำนวนทั้งสิ้น 26 หัวตามลำดับ เมื่อหัวเผาทุกตัวติดแล้ว จึงทำการตรวจสอบค่าการเผาไหม้ของหัวเผาแต่ละหัว โดยทำการตรวจสอบค่า CO ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.80 – 3.00 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พร้อมปรับเปลวไฟไปด้วย จนหัวเผาทุกตัวทำงานอยู่ในสภาวะปกติและ น้ำทองแดงไหลออกมาจากปากเตาหลอม จึงดำเนินการใส่แผ่นทองแดงลงในเตาหลอม
3. ตรวจสอบสภาวะการทำงานของเตาหลอมโดยการตรวจสอบ อุณหภูมิอากาศที่ Blower อุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่หัวเผา และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นรอบเตา
4. วัดอุณหภูมิผนังเตาหลอม และปริมาณก๊าซไอเสียของเตาหลอมเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาหลอมก่อนที่จะติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ
5. สตาร์ทอุปกรณ์อุ่นอากาศโดยการเปิดวาล์วก๊าซและลมของหัวเผาจุดนำ (Pilot burner) ก่อน จากนั้นเปิดวาล์วก๊าซและอากาศของหัวเผาหลักเพื่อให้ก๊าซและอากาศเข้าสู่หัวเผา โดยสังเกตผ่านช่องมองไฟ (Sight glass) จนหัวเผาหลักติด จึงทำการปรับเปลวไฟของหัวเผาหลักให้มีเสถียรภาพมากที่สุด
6. ทำการบันทึกค่า อุณหภูมิของอากาศเข้าและออกจากอุปกรณ์อุ่นอากาศ อุณหภูมิผนังอุปกรณ์อุ่นอากาศ และปริมาณก๊าซไอเสียของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

6.2 สมดุลความร้อนของเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง

ก่อนที่จะเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอมทองแดง โรงงานได้ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอม ดังนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบสมรรถนะของเตาหลอมในขณะที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง จึงต้องคำนวณสมดุลความร้อนในเตาหลอมทองแดง โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก และรายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข ผลการคำนวณความร้อนที่เข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ปริมาณความร้อนที่เข้าและออกเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า	%
ความร้อนเข้า				
ความร้อนของเชื้อเพลิง	Q_f	MJ/hr	30,606.80	99.57
ความร้อนของอากาศเผาไหม้	Q_{sa}	MJ/hr	130.77	0.43
ความร้อนเข้ารวม		MJ/hr	30,737.57	100.00
ความร้อนออก				
ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับทองแดง	Q_{cu}	MJ/hr	13,291.15	43.24
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย	Q_{fluc}	MJ/hr	15,601.40	50.76
ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำหล่อเย็น	Q_w	MJ/hr	372.18	1.21
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา	Q_{wall}	MJ/hr	474.19	1.54
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	Q_{co}	MJ/hr	840.06	2.73
ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	Q_{un}	MJ/hr	158.59	0.52
ความร้อนออกรวม		MJ/hr	30,737.57	100.00

6.3 สมดุลความร้อนของเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (ก่อนติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ)

เมื่อเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติในเตาหลอมทองแดง (ก่อนติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ) สามารถคำนวณปริมาณความร้อนเข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงได้ดังแสดงในตารางที่ 6.2 และตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนเข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวและก๊าซธรรมชาติ โดยข้อมูลและวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก และ ข ตามลำดับ

ตารางที่ 6.2 ปริมาณความร้อนที่เข้าและออกเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (ก่อนติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ)

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า	%
ความร้อนเข้า				
ความร้อนของเชื้อเพลิง	Q_f	MJ/hr	27,837.81	99.83
ความร้อนของอากาศช่วยเผาไหม้	Q_{sa}	MJ/hr	48.26	0.17
ความร้อนเข้ารวม		MJ/hr	27,886.07	100.00
ความร้อนออก				
ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับทองแดง	Q_{cu}	MJ/hr	13,138.12	47.11
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย	Q_{fluc}	MJ/hr	12,401.30	44.47
ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำหล่อเย็น	Q_w	MJ/hr	744.36	2.67
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา	Q_{wall}	MJ/hr	423.66	1.52
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	Q_{co}	MJ/hr	970.75	3.48
ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	Q_{un}	MJ/hr	207.88	0.75
ความร้อนออกรวม		MJ/hr	27,886.07	100.00

หมายเหตุ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงโรงงานกำหนดโดยปริมาณค่า CO ในหัวเผามีค่าเท่ากับ 1.8 – 3.0 ppm ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการปรับอัตราส่วนการเผาไหม้ของเตาหลอมทองแดง

ตารางที่ 6.3 ค่าเปรียบเทียบความร้อนเข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซ
ปิโตรเลียมเหลวและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงก่อนการใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศ

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	LPG		NG (ก่อนใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศ)		เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่าง
			ค่า	%	ค่า	%	%
ความร้อนเข้า							
ความร้อนของเชื้อเพลิง	Q_f	MJ/hr	30,606.80	99.57	27,837.81	99.83	0.26
ความร้อนของอากาศช่วยเผาไหม้	Q_{sa}	MJ/hr	130.77	0.43	48.26	0.17	-0.30
ความร้อนเข้ารวม		MJ/hr	30,737.57	100.00	27,886.07	100.00	
ความร้อนออก							
ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับทองแดง	Q_{cu}	MJ/hr	13,291.15	43.24	13,138.12	47.11	3.87
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย	Q_{fluc}	MJ/hr	15,601.40	50.76	12,401.30	44.47	-6.29
ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำหล่อเย็น	Q_w	MJ/hr	372.18	1.21	744.36	2.67	1.46
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา	Q_{wall}	MJ/hr	474.19	1.54	423.66	1.52	-0.02
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	Q_{co}	MJ/hr	840.06	2.73	970.75	3.48	0.75
ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	Q_{un}	MJ/hr	158.59	0.52	207.88	0.75	0.23
ความร้อนออกรวม		MJ/hr	30,737.57	100.00	27,886.07	100.00	

6.4 สมดุลความร้อนของเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (หลังติดตั้ง อุปกรณ์อุ่นอากาศ)

เมื่อเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติในเตาหลอมทองแดงและทำการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศเพื่อทำการอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้ สามารถคำนวณปริมาณความร้อนเข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงและระบบได้ดังแสดงในตารางที่ 6.4 และ 6.5 ซึ่งแสดงค่าเปรียบเทียบความร้อนเข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงก่อนและหลังการใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศ (เมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง) และตารางที่ 6.6 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าและออกจากระบบเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (หลังติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ) โดยข้อมูลและวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก และ ข ตามลำดับ

ตารางที่ 6.4 ปริมาณความร้อนที่เข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (หลังติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ)

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า	%
ความร้อนเข้า				
ความร้อนของเชื้อเพลิง	Q_f	MJ/hr	24,812.70	97.55
ความร้อนของอากาศช่วยเผาไหม้	Q_{sa}	MJ/hr	623.29	2.45
ความร้อนเข้ารวม		MJ/hr	25,435.99	100.00
ความร้อนออก				
ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับทองแดง	Q_{cu}	MJ/hr	13,255.00	52.11
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย	Q_{fluc}	MJ/hr	7,778.64	30.58
ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำหล่อเย็น	Q_w	MJ/hr	1,871.59	7.36
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา	Q_{wall}	MJ/hr	459.42	1.81
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	Q_{co}	MJ/hr	698.75	2.75
ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	Q_{un}	MJ/hr	1,372.60	5.40
ความร้อนออกรวม		MJ/hr	25,435.99	100.00

ตารางที่ 6.5 ค่าเปรียบเทียบความร้อนเข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงก่อนและหลังการใช้ อุปกรณ์อุ่นอากาศ (เมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง)

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ก่อนใช้		หลังใช้		เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
			ค่า	%	ค่า	%	
ความร้อนเข้า							
ความร้อนของเชื้อเพลิง	Q_f	MJ/hr	27,837.81	99.83	24,812.70	97.55	-2.28
ความร้อนของอากาศช่วยเผาไหม้	Q_{sa}	MJ/hr	48.26	0.17	623.29	2.45	2.28
ความร้อนเข้ารวม		MJ/hr	27,886.07	100.00	25,435.99	100.00	
ความร้อนออก							
ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับทองแดง	Q_{cu}	MJ/hr	13,138.12	47.11	13,255.00	52.11	5.00
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย	Q_{fluc}	MJ/hr	12,401.30	44.47	7,778.64	30.58	-13.89
ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำหล่อเย็น	Q_w	MJ/hr	744.36	2.67	1,871.59	7.36	4.69
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา	Q_{wall}	MJ/hr	423.66	1.52	459.42	1.81	0.29
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	Q_{co}	MJ/hr	970.75	3.48	698.75	2.75	-0.73
ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	Q_{un}	MJ/hr	207.88	0.75	1,372.60	5.40	4.65
ความร้อนออกรวม		MJ/hr	27,886.07	100.00	25,435.99	100.00	

ตารางที่ 6.6 ปริมาณความร้อนที่เข้าและออกจากระบบเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (หลังติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ)

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า	%
ความร้อนเข้า				
ความร้อนของเชื้อเพลิง	Q_f	MJ/hr	26,274.27	99.98
ความร้อนของอากาศช่วยเผาไหม้	Q_{sa}	MJ/hr	4.61	0.02
ความร้อนเข้ารวม		MJ/hr	26,278.88	100.00
ความร้อนออก				
ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับทองแดง	Q_{cu}	MJ/hr	13,255.00	50.44
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย	Q_{fluc}	MJ/hr	8,551.21	32.54
ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำหล่อเย็น	Q_w	MJ/hr	1,871.59	7.12
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา	Q_{wall}	MJ/hr	460.18	1.75
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	Q_{co}	MJ/hr	704.48	2.68
ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	Q_{un}	MJ/hr	1,436.42	5.47
ความร้อนออกรวม		MJ/hr	26,278.88	100.00

6.5 สมดุลความร้อนของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศและทดลองอุ่นอากาศเพื่อเผาไหม้ในหัวเผาของเตาหลอมทองแดง และทำการบันทึกค่าและทำสมดุลความร้อนของอุปกรณ์อุ่นอากาศ จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6.7 โดยข้อมูลและวิธีที่ใช้ในการคำนวณแสดงใน ภาคผนวก ก และ ข ตามลำดับ

ตารางที่ 6.7 ปริมาณความร้อนที่เข้าและออกอุปกรณ์อุ่นอากาศเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่า	%
ความร้อนเข้า				
ความร้อนของเชื้อเพลิง	$Q_{f,pre}$	MJ/hr	1,461.57	99.69
ความร้อนของอากาศช่วยเผาไหม้	$Q_{sa,pre}$	MJ/hr	4.61	0.31
ความร้อนเข้ารวม		MJ/hr	1,466.18	100.00
ความร้อนออก				
ความร้อนที่ถ่ายเทให้อากาศในอุปกรณ์อุ่นอากาศ	Q_{hot}	MJ/hr	623.29	42.51
ความร้อนสูญเสียในก๊าซเสีย	Q_{fluc}	MJ/hr	772.57	52.69
ความร้อนสูญเสียผ่านผนังเตา	Q_{wall}	MJ/hr	0.76	0.05
ความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	Q_{co}	MJ/hr	5.73	0.39
ความร้อนสูญเสียอื่น ๆ	Q_{un}	MJ/hr	63.82	4.35
ความร้อนออกรวม		MJ/hr	1,466.18	100

6.6 วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากการตรวจสอบอุปกรณ์อุ่นอากาศในโรงงาน เบื้องต้นผู้วิจัยได้ดำเนินการซ่อมแซมปรับปรุง อุปกรณ์อุ่นอากาศให้สามารถใช้งานร่วมกับเตาหลอมทองแดงได้ จากนั้นจึงเริ่มดำเนินการทดลองใช้ อุปกรณ์อุ่นอากาศเพื่อทำให้อากาศเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ และสมรรถนะของเตาหลอมทองแดง จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ อันประกอบด้วย การเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ การคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนของอุปกรณ์อุ่นอากาศ และการคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาหลอมทองแดงก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ โดยมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

1. การทดลองก่อนติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ สามารถแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ดังนี้

1.1 การทดลองก่อนติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศโดยใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอมทองแดง พบว่า อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่บริเวณปล่องไอเสียประมาณ $365\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความร้อนสูญเสียเนื่องจากก๊าซไอเสีย 50.76% และประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาหลอมทองแดง 43.24% ซึ่งเมื่อพิจารณาความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย จะพบว่ามีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียสูงถึง 16% (ความร้อนในส่วนต่างๆที่เข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงถูกแสดงโดยแผนภาพ Sankey ในรูปที่ 6.1)

1.2 การทดลองก่อนติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอมทองแดง พบว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่บริเวณปล่องไอเสียประมาณ $406\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสีย 44.47% และประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาหลอมทองแดง 47.11% (ความร้อนในส่วนต่างๆที่เข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงถูกแสดงโดยแผนภาพ Sankey ในรูปที่ 6.2) ซึ่งเมื่อพิจารณาความร้อนสูญเสียในก๊าซไอเสียพบว่ายังมีปริมาณสูงคือ ประมาณเกือบครึ่งหนึ่งของพลังงานที่เข้าสู่เตาหลอมทองแดง และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงพบว่าความร้อนสูญเสียเนื่องจากก๊าซไอเสียลดลง เนื่องจากว่ามีปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียน้อยกว่า คือ 14.25% แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติแทนก๊าซปิโตรเลียมเหลวแล้วพบว่า เวลาขณะที่เริ่มหลอมจนกระทั่งน้ำทองแดงไหลเข้าสู่เตาพักจะเพิ่มขึ้น การปรับค่าออกซิเจนในน้ำทองแดงในช่วงแรกของการหลอมจะค่อนข้างยาก ซึ่งคอยดูแลการปรับการเผาไหม้ของหัวเผาแต่ละหัวอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจาก

1.2.1 อิฐผนังเตาหลอมทั้ง ทำให้แผ่นทองแดงค้างอยู่ในเตาหลอม ส่งผลกระทบต่อการละลายของน้ำทองแดงทำให้ไม่ทันต่อการหล่อ และปริมาณออกซิเจนในน้ำทองแดงเพิ่มสูงขึ้น

1.2.2 สภาพของเตาหลอมผ่านการใช้งานมานาน เมื่อทำการซ่อมแซมแต่ละครั้งที่หยุดทำการผลิต จะทำให้การผลิตครั้งต่อไปมีประสิทธิภาพดี ในช่วงประมาณสัปดาห์แรกของการหลอม (โรงงานทำการหลอม 15 วัน และหยุด 15 วัน) หลังจากนั้นก็จะเกิดปัญหาการควบคุมออกซิเจนในน้ำทองแดงอีก ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของทองแดงที่ได้

1.2.3 อุณหภูมิของก๊าซเชื้อเพลิงที่ต่ำมาก (ประมาณ 14°C) ทำให้การละลายของน้ำทองแดงในเตาหลอมช้า ส่งผลต่อคุณภาพของลวดทองแดงที่ผลิตได้

2. การทดลองหลังติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ เมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงของเตาหลอมทองแดงโดยเปรียบเทียบกับก่อนการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ พบว่า

2.1 อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่บริเวณปล่องไอเสียของเตาหลอมทองแดง มีค่าประมาณ 341.8°C และความร้อนสูญเสียเนื่องจากก๊าซไอเสียมีค่า 30.58 % ปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียลดลงจาก 14.25 % เป็น 13.03 % ทำให้อัตราส่วนอากาศลดลงจาก 3.11 เป็น 2.63 เนื่องจากเมื่อทำการอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อุณหภูมิเปลวไฟสูง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น จึงทำให้ออกซิเจนที่ออกมากับไอเสียน้อยลง ซึ่งออกซิเจนส่วนนี้จะเป็นตัวพาความร้อนสูญเสียจากก๊าซไอเสียออกไป จึงทำให้ปริมาณก๊าซไอเสียและอุณหภูมิลดลง สำหรับออกซิเจนที่วัดได้ดังกล่าวเกิดเนื่องจากการป้อนปริมาณอากาศส่วนเกินที่ลดลง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำทองแดงลดลงตามไปด้วย ทำให้ลวดทองแดงที่ผลิตได้มีคุณภาพเป็นไปตามที่โรงงานต้องการ

2.2 จากการทดลองอุ่นอากาศ สามารถวัดอุณหภูมิได้ 92°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงที่สุดในการทดลองเพราะการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นกว่านี้ จะมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ปรับความดันก๊าซ ซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งานที่อุณหภูมิสูง โดย Zero regulator ของหัวเผาแต่ละหัวมีช่วงการทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 66°C และ Zone regulator ที่ควบคุมก๊าซสำหรับหัวเผาแถว A, B และ C ทำงานได้ที่อุณหภูมิประมาณ 260°C

2.3 ปริมาณความร้อนที่สูญเสียอื่นๆ มีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากผนังเตามีรอยรั่วทำให้เกิดความร้อนออกมาจากเตาหลอม อันเป็นผลมาจากการกระแทกผนังเตาของทองแดงทำให้ผนังด้านในของเตาหลอมแตก โดยความร้อนในส่วนต่างๆที่เข้าและออกจากเตาหลอมทองแดงถูกแสดงในแผนภาพ Sankey ในรูปที่ 6.3

2.4 ประสิทธิภาพทางความร้อนเมื่อคิดทั้งระบบมีค่าเท่ากับ 50.44 % (Sankey diagram ของปริมาณความร้อนที่เข้าและออกจากระบบแสดงในรูปที่ 6.4)

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นนั้นจะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบหลอมทองแดงเพิ่มขึ้น เพราะการที่อากาศเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิเปลวไฟสูงขึ้น (การคำนวณอุณหภูมิเปลวไฟแอดเดียแบติกของก๊าซธรรมชาติแสดงในภาคผนวก ข) และก๊าซร้อน

จากการสันดาปจะคายความร้อนส่วนหนึ่งออกโดยการถ่ายเทความร้อนในรูปของการพาและแผ่รังสี ความร้อนให้กับทองแดง ส่วนที่เหลือจะถูกพาออกไปโดยออกซิเจนและไนโตรเจนกลายเป็นก๊าซไอเสีย ออกจากปล่องไอเสียของเตาหลอม

3. ประสิทธิภาพทางความร้อนของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

การหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของอุปกรณ์อุ่นอากาศสามารถแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ประสิทธิภาพทางความร้อนที่หาได้จากการปรับปรุงหลักการทำสมดุลความร้อนของ Shires (อ้างถึงใน [20]) เพื่อให้เข้ากับปัญหาของอุปกรณ์อุ่นอากาศที่ใช้ในการวิจัย โดยเพิ่มเทอมของ ความร้อนที่ได้จากอากาศเผาไหม้ และประสิทธิภาพทางความร้อน พบว่ามีค่า 46.21 % แต่ค่าที่ได้เป็น ค่าประมาณเนื่องจากประสิทธิภาพทางความร้อนดังกล่าวหาได้จากปริมาณก๊าซร้อนที่ถ่ายเทความร้อนในรูปของการพาและแผ่รังสีความร้อนไปสู่กลุ่มท่อในอุปกรณ์อุ่นอากาศ

ส่วนการพาความร้อนในท่อจะต้องทำการวัดอุณหภูมิผิวท่อและสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ ท่อ แต่จากการทดลองไม่สามารถวัดอุณหภูมิผิวท่อได้ เพราะลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์อุ่น อากาศไม่เอื้ออำนวยให้ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิได้ (รูปกลุ่มท่อในอุปกรณ์อุ่นอากาศแสดงในภาคผนวก ค) ดังนั้นประสิทธิภาพทางความร้อนจริงจะน้อยกว่าประสิทธิภาพที่หาได้จากหลักการทำสมดุลความร้อนของ Shires

กรณีที่ 2 จากการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนโดยการวัดอุณหภูมิทางเข้าและ ทางออกของอุปกรณ์อุ่นอากาศ พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับ 42.51 % ซึ่งค่าที่ได้น้อยกว่า ในกรณีที่ 1 เนื่องจาก ความร้อนบางส่วนถูกดูดกลืนในผิวท่อ ทำให้ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่อากาศ ในท่อจริงน้อยกว่าในกรณีที่ 1

4. ปริมาณออกซิเจนในน้ำทองแดง

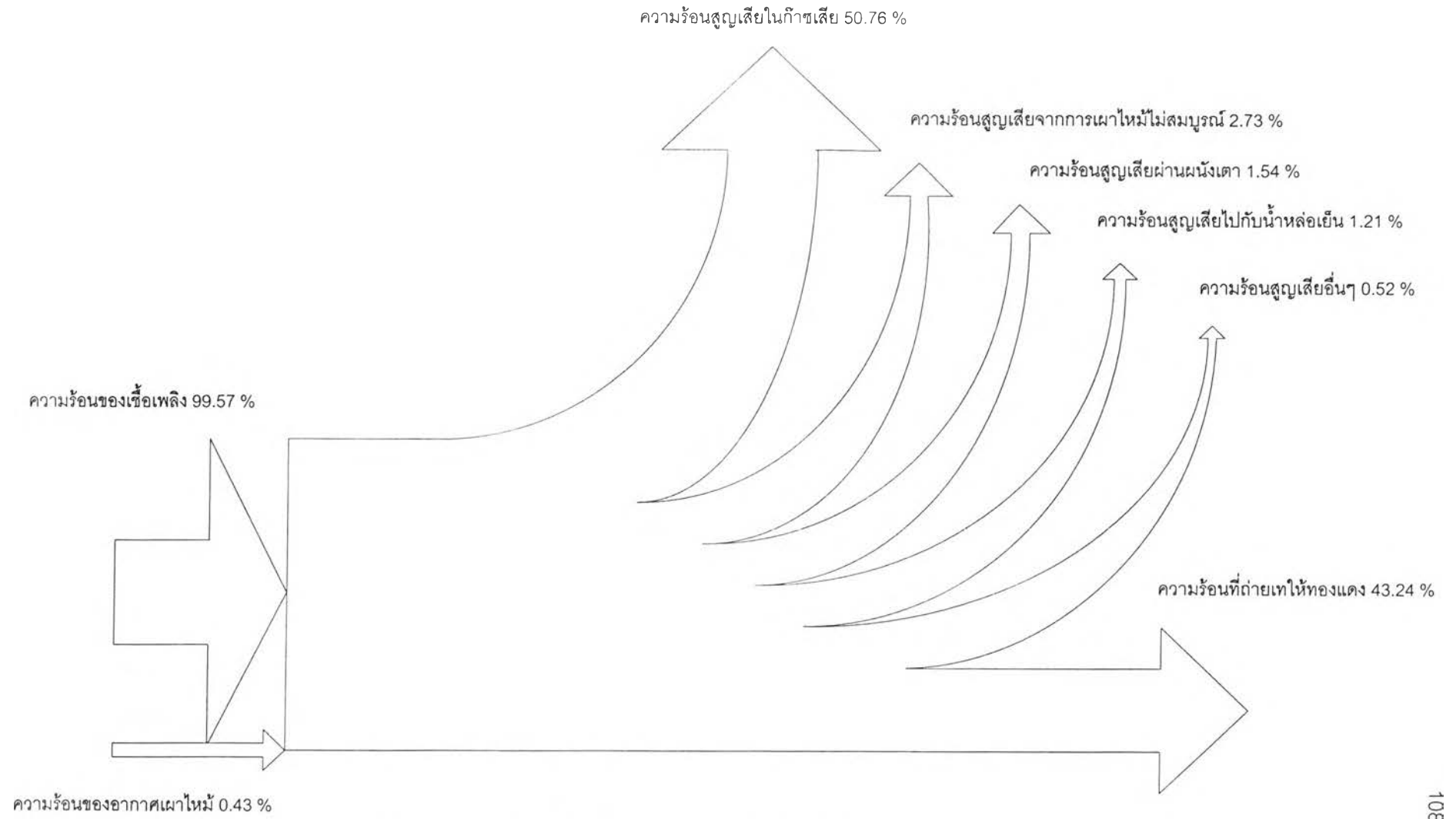
จากการทดลองพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเผาไหม้สูงขึ้นมีผลทำให้แนวโน้มของปริมาณ ออกซิเจนในน้ำทองแดงลดลงดังแสดงในรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิอากาศเผาไหม้สูงค่าปริมาณ ออกซิเจนในน้ำทองแดงจะน้อยกว่าที่อุณหภูมิอากาศเผาไหม้ต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิอากาศเผาไหม้สูง การเผาไหม้ที่เกิดจะสมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณอากาศส่วนเกินน้อยลง (ในกระบวนการผลิตของ โรงงานต้องควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำทองแดงที่อยู่ในเตาพักให้น้อยกว่า 600 ppm และควบคุม อุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 1100 – 1165 °C จึงจะสามารถทำการหล่อและรีดทองแดงได้) ซึ่งทางโรงงาน ควบคุมคุณภาพลวดทองแดงให้มีออกซิเจนเจือปนได้น้อยกว่า 600 ppm เพราะข้อกำหนดของโรงงาน

คือ ทองแดงคุณภาพเกรดหนึ่งจะต้องมีออกซิเจนเจือปนในลวดทองแดงไม่เกิน 250 ppm ส่วนถ้าเกินกว่านี้ก็เป็นลวดทองแดงที่มีคุณภาพด้อยกว่า แต่ต้องไม่เกิน 600 ppm ในกรณีที่มีปริมาณออกซิเจนในลวดทองแดงเกินกว่าค่าดังกล่าว จะถือว่าลวดทองแดงที่ได้นี้เป็นของเสีย ต้องนำกลับมาหลอมใหม่

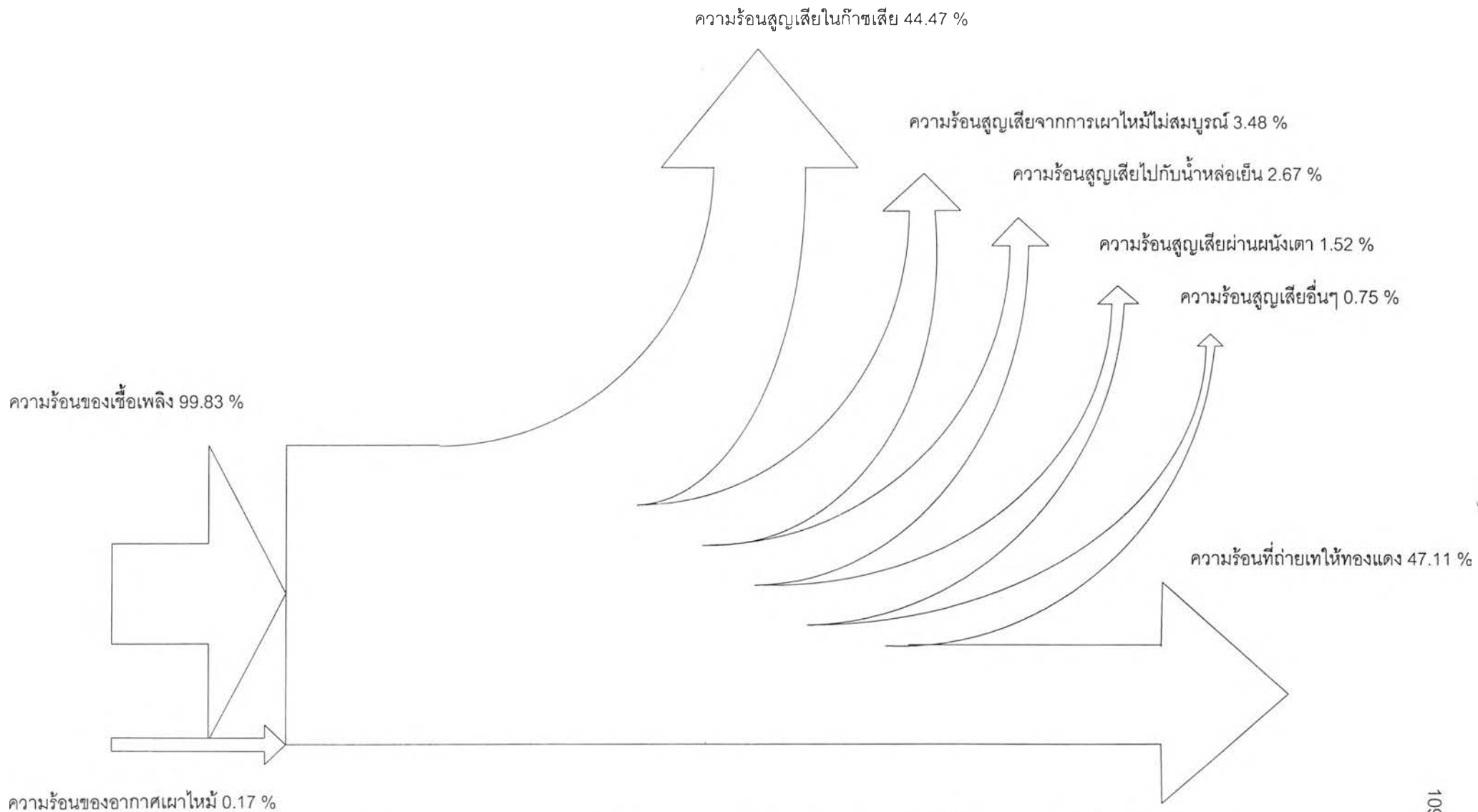
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเผาใหม่จะทำให้น้ำทองแดงมีปริมาณออกซิเจนเจือปนน้อยลง ทำให้การผลิตลวดทองแดงของโรงงานมีคุณภาพตามที่โรงงานต้องการได้

5. ปริมาณการผลิต

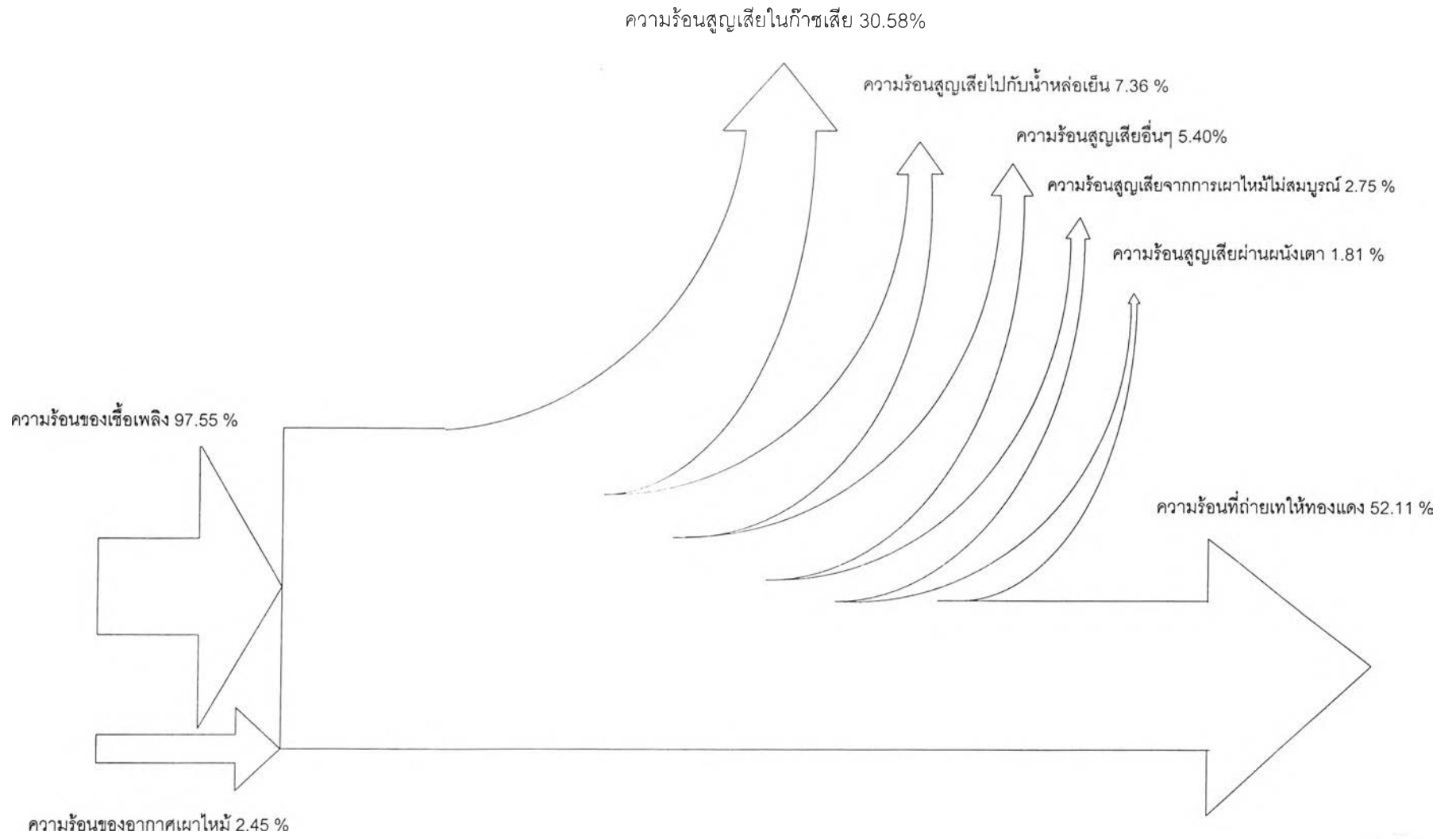
จากการทดลองพบว่ากำลังการผลิตของโรงงานเพิ่มขึ้นประมาณ 0.2 ตันต่อชั่วโมง จาก 22 ตันต่อชั่วโมง เป็น 22.2 ตันต่อชั่วโมงเมื่อใช้อุปกรณ์อุ่นอากาศช่วยในการอุ่นอากาศเผาใหม่ให้กับเตาหลอมทองแดง ซึ่งเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงาน



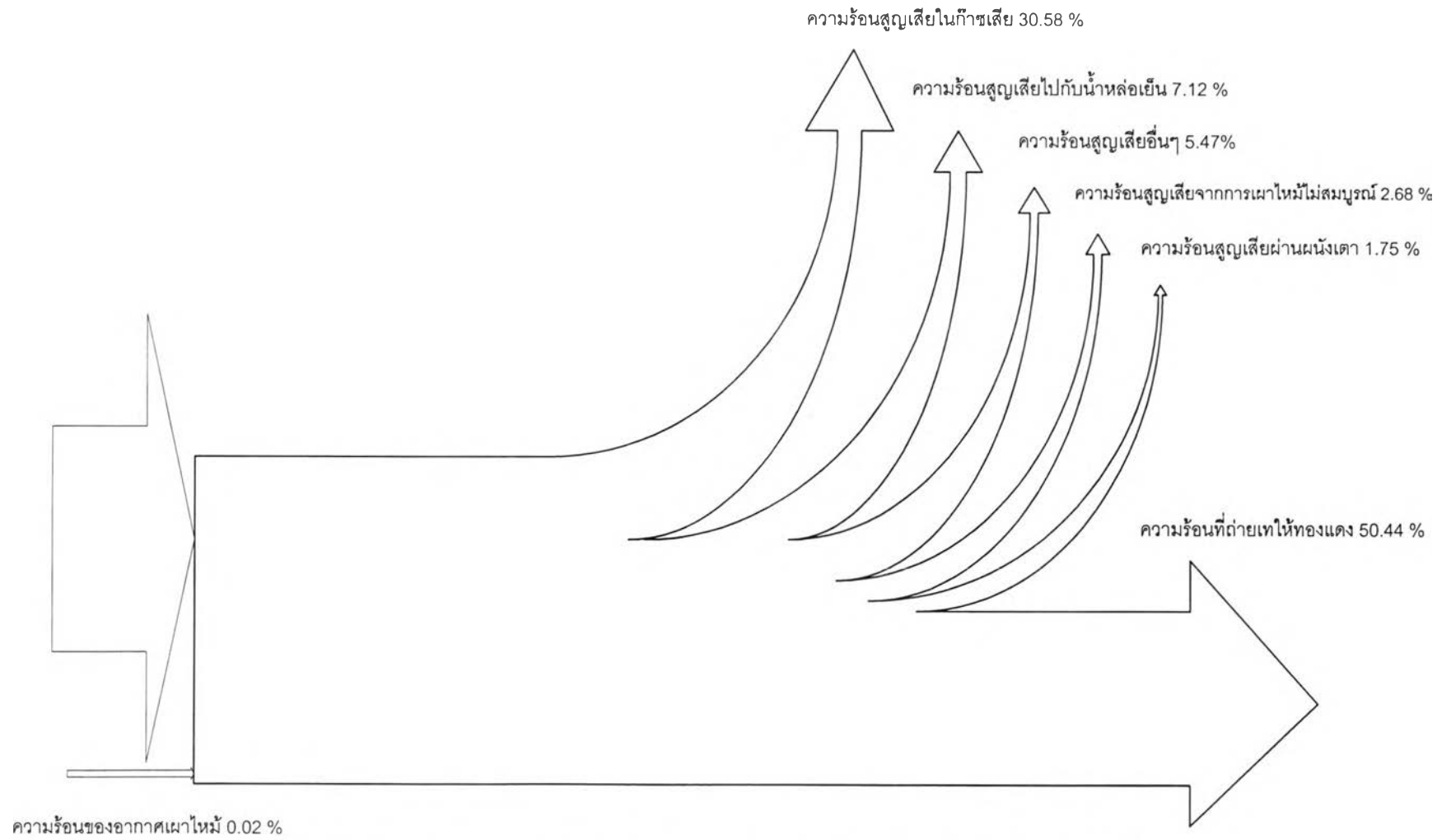
รูปที่ 6.1 Sankey diagram เมื่อใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในเตาหลอมทองแดง



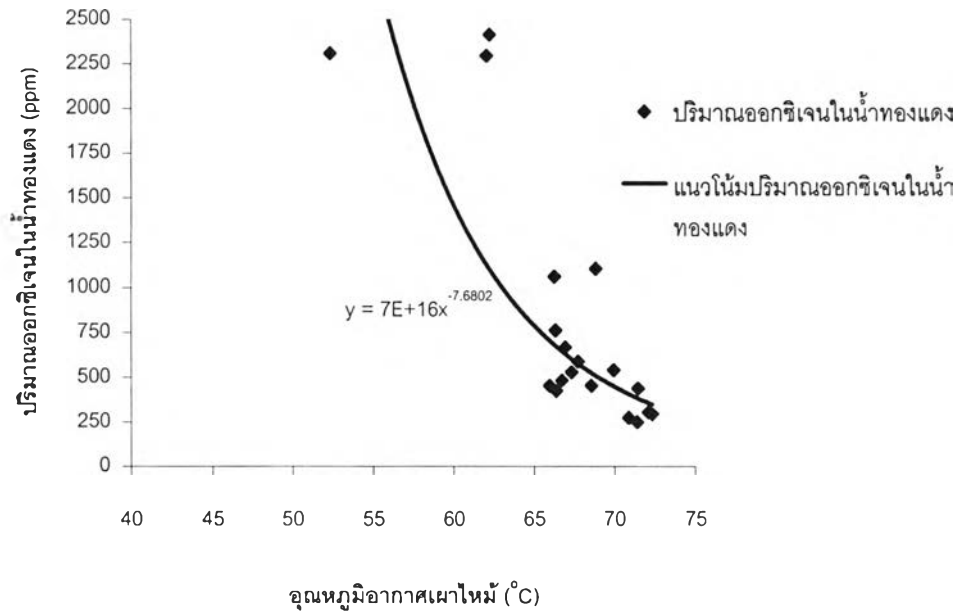
รูปที่ 6.2 Sankey diagram ของเตาหลอมทองแดงเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (ก่อนติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ)



รูปที่ 6.3 Sankey diagram ของเตาหลอมเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (หลังติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ)



รูปที่ 6.4 Sankey diagram ของระบบเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (หลังติดตั้งอุปกรณ์อุ่นอากาศ)



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศเผาไหม้กับปริมาณออกซิเจนในน้ำทองแดง