

กรณีศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ

A Case Study of Enhancement of Crude Oil Fired Heater Efficiency

ธีรโชติ รัตนหัตถการ¹ ยุทธพันธ์ จุมพล² ธงชัย บุญกิตติวดี² นริศรา ทองบุญชู¹
และ อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

² แผนกการสันดาป บริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) 42/1 หมู่ที่ 1 ถนนสุขุมวิท กิโลเมตรที่ 124
ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

*ติดต่อ: teerachot.r@gmail.com, kwanchal@kmitl.ac.th, โทรศัพท์/โทรสาร 02-326-4424

บทคัดย่อ

โครงการนี้ดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบของหน่วยกลั่นน้ำมันดิบโดยเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบที่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาจากท่อแบบสลักเกลียวเป็นท่อแบบมีครีปซึ่งมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนสูงกว่า 42 % พบว่าหลังจากที่ได้กำจัดผลกระทบของอุณหภูมิน้ำมันดิบขาเข้าที่มีต่ออุณหภูมิของไอเสียและอัตราการใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวผสมกับแก๊สโรงกลั่นหรือแก๊สเชื้อเพลิง (Fuel gas) แล้ว เมื่อกลั่นน้ำมันดิบที่ X t SRF/วัน อุณหภูมิของไอเสียที่ออกจากเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบลดลงจาก 450 °C เหลือ 303 °C ค่ารวมประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจาก 79 % เป็น 84 % สามารถลดการใช้แก๊สเชื้อเพลิงลงได้ 4.73 t SRF/วัน คิดเป็นราคาแก๊สเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ประมาณ 30 ล้านบาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนจากการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบ 1 ปี 7 เดือน นอกจากนี้ประเมินการลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเพิ่มอุณหภูมิได้ประมาณ 4,000 t CO₂ equivalent/ปี เทียบเท่ากับมูลค่าของคาร์บอนเครดิตประมาณ 1.2 ล้านบาทต่อปี เมื่อราคาคาร์บอนเครดิต ณ วันประเมินเท่ากับ 300 บาท/ t CO₂ equivalent

คำหลัก: ประสิทธิภาพ เตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ ท่อแบบมีครีป คาร์บอนเครดิต

Abstract

This work enhanced thermal efficiency of the crude oil fired heater in a refinery plant. Correspondingly, studded tubes in the convection section of the crude oil fired heater for crude oil transfer were replaced by finned tubes with higher heat transfer area of 42 %. By excluding the effect of inlet temperature of the crude oil on flue gas temperature and the consumption of fuel gas (the mixture of liquefied petroleum gas and refinery gas), the temperature of flue gas decreased from 450 to 303 °C at the crude oil production capacity of X t SRF/d. The thermal efficiency of the crude oil fired heater increased from 79 to 84 % resulting in less fuel gas consumption about 4.73 t SRF/d. Fuel gas saving was found to be 30 million Baht a year at the payback period with respect to finned tubes installation of 1 year 7 months. This project reduced the carbon dioxide emission of approximately 4,000 t CO₂ equivalent/yr which was equivalent to the carbon credit of 1.2 million Baht a year at carbon credit price of 300 Baht/ t CO₂ equivalent.

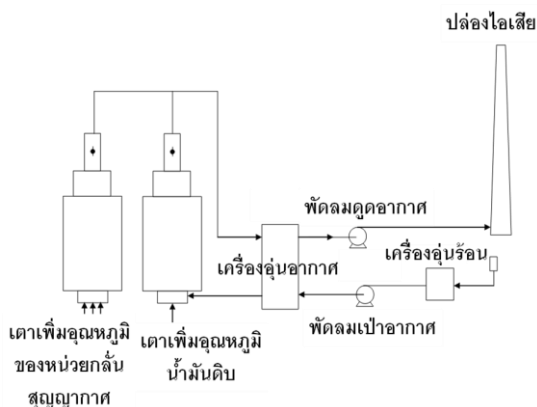
Keywords: Efficiency, Crude Oil Fired Heater, Finned Tube, Carbon Credit

AEC-2046

1. บทนำ

เตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบของหน่วยกลั่นมีหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันดิบจาก 180-185°C ให้ได้ประมาณ 300°C ก่อนส่งเข้าหอกลั่น จากการวัดอุณหภูมิของไอเสียจากเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบพบว่า มีค่า 450 °C แสดงว่าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบมีประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) ต่ำ และมีพลังงานสูญเสียออกไปกับไอเสีย ส่งผลต่อการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจกที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน โดยทั่วไปเตาเพิ่มอุณหภูมิในโรงกลั่นที่มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ดี ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันดิบเข้า 250-350 °C อุณหภูมิของไอเสียควรอยู่ระหว่าง 300-400 °C [1]

เตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบที่เป็นกรณีศึกษาสามารถใช้พลังงานได้ทั้งแก๊สเชื้อเพลิงและน้ำมันเตา มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ชุดท่อส่งน้ำมันดิบที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบสลักเกลียว (Studded tubes) ติดตั้งอยู่ในส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพา (Convection section) ที่อยู่ด้านบนของส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี เตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบนี้อยู่ในระบบเครื่องอุ่นอากาศแบบสมดุล (Balanced draft air pre- heater system) และติดตั้งร่วมกับเตาเพิ่มอุณหภูมิของหน่วยกลั่นสุญญากาศ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบและเตาเพิ่มอุณหภูมิของหน่วยกลั่นสุญญากาศในระบบเครื่องอุ่นอากาศแบบสมดุล

ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีครีป (รูปที่ 2ก) มีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อแบบสลักเกลียว (รูปที่ 2ข) [2] ท่อแบบมีครีปใช้ได้เฉพาะกับเชื้อเพลิงประเภทแก๊ส ในขณะที่ท่อแบบสลักเกลียวใช้ได้กับเชื้อเพลิงแก๊สและของเหลว ดังนั้นเนื่องจากเชื้อเพลิงหลักที่ใช้กับเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบที่เป็นกรณีศึกษาคือแก๊สโรงกลั่น โครงการนี้จึงพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบโดยเปลี่ยนใช้ท่อแบบมีครีปแทนท่อแบบสลักเกลียว



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก) ท่อแบบมีครีป และ (ข) ท่อแบบสลักเกลียว

2. การดำเนินงาน

2.1 ตัวแปรที่ใช้คำนวณประสิทธิภาพเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบก่อนและหลังการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบที่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ

ในการทำกรณีฐาน (Base case) ของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ ใช้ค่าของตัวแปรต่างๆ ของแต่ละส่วนที่เกี่ยวข้องที่เก็บจาก 3 แหล่ง ได้แก่ Plant information program เอกสารการออกแบบของบริษัท และฐานข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ ดังนี้

- เตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ ได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันดิบขาเข้า อุณหภูมิของน้ำมันดิบขาเข้าและขาออก ร้อยละองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง อัตราการไหลเชิงมวลและอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงขาเข้า อัตราการไหลเชิงมวลและอุณหภูมิขาเข้าของอากาศสำหรับการเผาไหม้ ร้อยละของแก๊สออกซิเจนที่มากเกินพอ และอุณหภูมิของไอเสียขาออก

- หอกลั่นน้ำมันดิบ ได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลของดิสทิลเลตที่ออกจากหอกลั่น

AEC-2046

- เตาเพิ่มอุณหภูมิของหน่วยกลั่นสุญญากาศ ได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเชื้อเพลิงขาเข้า อัตราการไหลเชิงมวลของกากกันหอกลิ้นขาเข้า ร้อยละของแก๊สออกซิเจนที่มากเกินไป และอุณหภูมิของไอเสียออก

2.2 ประสิทธิภาพทางความร้อนและอัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ประสิทธิภาพทางความร้อน คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนที่นำไปใช้ (\dot{Q}_u) กับปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เข้าระบบ (\dot{Q}_{in}) ดังสมการที่ 1

$$\% \text{ eff} = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_{in}} \times 100 \quad (1)$$

คำนวณ \dot{Q}_u และ \dot{Q}_{in} ได้จากการดูความร้อนกระแสดขาเข้ากับความร้อนกระแสดขาออกของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ [3] ดังสมการที่ 2

$$\dot{Q}_{rls} + \dot{Q}_f + \dot{Q}_a = \dot{Q}_u + \dot{Q}_s + \dot{Q}_l \quad (2)$$

ความร้อนกระแสดขาเข้าประกอบด้วยความร้อนจากการเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิง (\dot{Q}_{rls}) ความร้อนสัมผัสของแก๊สเชื้อเพลิง (\dot{Q}_f) ความร้อนสัมผัสของอากาศ (\dot{Q}_a) ส่วนความร้อนกระแสดขาออกประกอบด้วยความร้อนที่น้ำมันดิบได้รับ (\dot{Q}_u) ความร้อนสัมผัสของไอเสีย (\dot{Q}_s) และความร้อนสูญเสียจากการแผ่รังสี (\dot{Q}_l)

สำหรับการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ คำนวณจากแฟกเตอร์การปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตามชนิดของเชื้อเพลิง (EF_{fuel}) และอัตราการใช้เชื้อเพลิง (FC_{fuel}) ดังสมการที่ 3

$$CO_2 \text{ emission} = EF_{fuel} \times FC_{fuel} \quad (3)$$

แฟกเตอร์การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และค่าความร้อนขั้นต่ำของแก๊สเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน IPCC (The Intergovernmental Panel on

Climate Change) เท่ากับ 57,600 kg CO₂ /GJ และ 49.5 TJ/Gg ตามลำดับ [4]

2.3 เปรียบเทียบปัจจัยที่ต้องการศึกษาก่อนและหลังการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบแบบมีคืบ

ปัจจัยที่ต้องการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิของไอเสียที่ทางออกของส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ อุณหภูมิของไอเสียขาเข้าเครื่องอุ่นอากาศ อุณหภูมิของไอเสียที่ปล่องอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ อัตราการใช้เชื้อเพลิง ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ และอัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ การเปรียบเทียบปัจจัยที่ต้องการศึกษาต้องควบคุมตัวแปรจากหัวข้อ 2.1 ที่มีผลกระทบ ดังนี้ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันดิบที่เข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ อุณหภูมิของน้ำมันดิบขาเข้าและขาออกเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ และร้อยละของดิสทิลเลตที่ออกจากหอกลิ้นน้ำมันดิบ โดยเปรียบเทียบที่ค่าของตัวแปรก่อนและหลังการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แต่กรณีของอุณหภูมิของน้ำมันดิบขาเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบไม่สามารถเลือกใช้ค่าก่อนการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบได้ เพราะระหว่างการหยุดผลิตประจำรอบ บริษัทได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้อุ่นน้ำมันดิบก่อนส่งเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบ ทำให้อุณหภูมิของน้ำมันดิบขาเข้าสูงขึ้นจากค่าเดิม (180-185°C) จึงคำนวณปรับแก้ค่าของปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการศึกษาโดยให้ค่าความร้อนที่น้ำมันดิบได้รับหลังการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบเท่ากับก่อนการปรับปรุง

2.4 คำนวณระยะเวลาคืบและมูลค่าคาร์บอนเครดิต

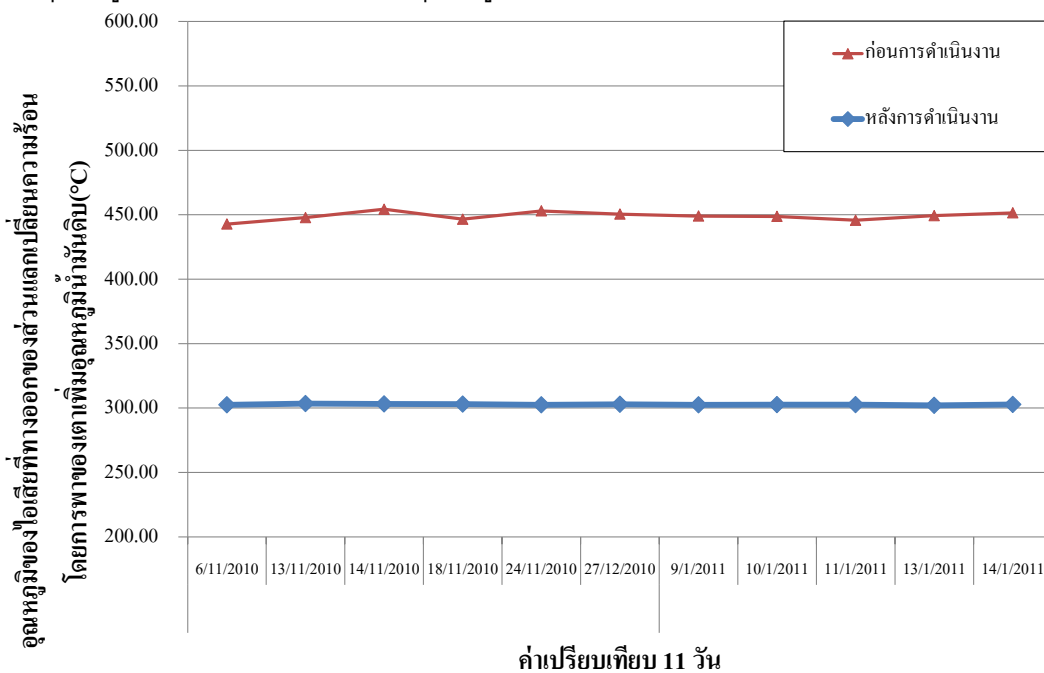
3. ผลการดำเนินงาน

หลังการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบที่ทางออกของส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบจากแบบมีคืบจะได้ค่าต่างๆ ที่

AEC-2046

ต้องการศึกษาซึ่งมาจากการคำนวณโดยใช้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบหลังการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบเป็นแบบมีครีป และตัวแปรควบคุมของวันนั้นๆ ชุดท่อส่งน้ำมันดิบแบบมีครีปมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนสูงกว่าชุดท่อแบบสลักเกลียวที่ใช้อยู่ประมาณ 42 % ดังนั้นการแลกเปลี่ยนความร้อนให้น้ำมันดิบที่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาสูงขึ้น และอุณหภูมิของไอเสียที่ออกจากเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบลดลงจาก 450 เหลือ 303 °C เมื่อกำลังการผลิตน้ำมันดิบ X t SRF/วัน ดังรูปที่ 3 การลดลงของอุณหภูมิของไอเสียจากเตาเพิ่มอุณหภูมิ

น้ำมันดิบ ส่งผลให้อุณหภูมิของไอเสียขาเข้าเครื่องอุ่นอากาศสำหรับเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบลดลงจาก 420 เหลือ 340 °C และอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบลดลงจาก 316 เหลือ 256 °C (จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบใช้ความร้อนทั้งจากไอเสียจากเตาเพิ่มอุณหภูมิของหน่วยกลั่นสุญญากาศ) ซึ่งเมื่อพิจารณาในภาพรวมการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบมีความคุ้มค่าเพราะได้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาสูงขึ้น

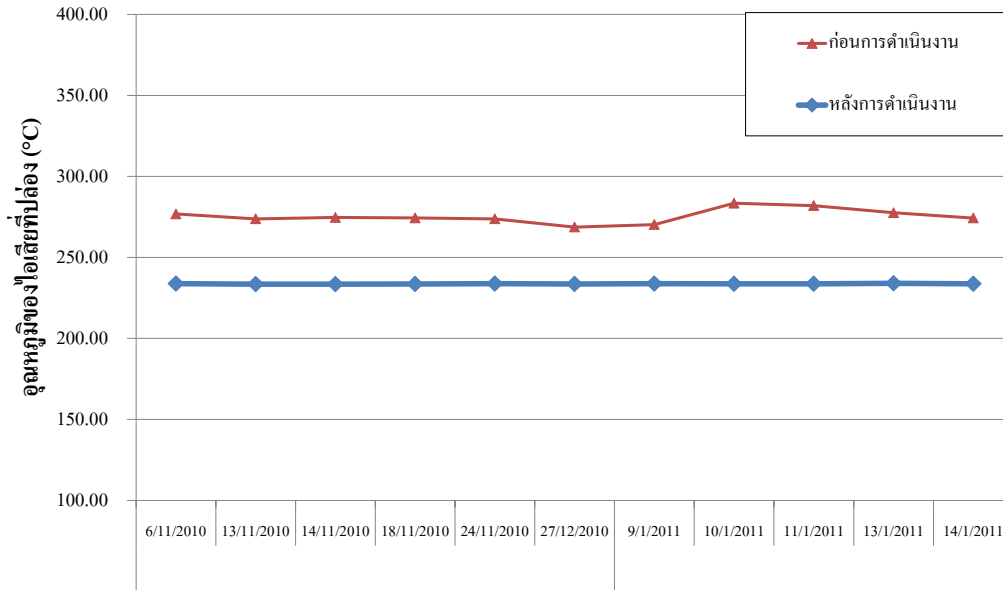


รูปที่ 3 อุณหภูมิของไอเสียที่ทางออกของส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาก่อนและหลังการเปลี่ยนใช้ชุดท่อส่งน้ำมันแบบมีครีป : กรณีศึกษา 11 วัน เปรียบเทียบที่อุณหภูมิขาเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบเท่ากัน

รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิของไอเสียที่ปล่อง พบว่าอุณหภูมิของไอเสียที่ปล่องหลังการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบลดลงจาก 275 เหลือ 234 °C ไอเสียส่วนนี้คือไอเสียที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศขาเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบที่เครื่องอุ่นอากาศ จึงมีอุณหภูมิลดลงตามอุณหภูมิของไอเสียขาเข้าเครื่องอุ่นอากาศ

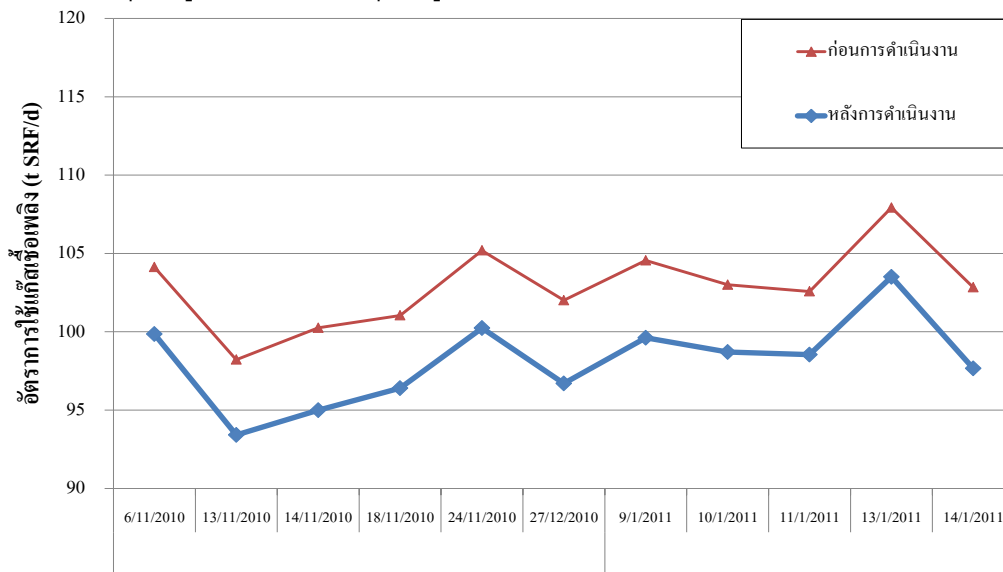
สำหรับอัตราการใช้แก๊สเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 5 เห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ย 98 t SRF/d (SRF คือ Standard refinery fuel หมายถึง เชื้อเพลิงโรงกลั่นมาตรฐาน) ซึ่งลดลงจาก 103 t SRF/d เพราะประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอเสียที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้กับน้ำมันดิบที่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาสูงขึ้น

AEC-2046



ค่าเปรียบเทียบ 11 วัน

รูปที่ 4 อุณหภูมิของไอเสียที่ปล่อยก่อนและหลังการเปลี่ยนใช้ชุดท่อส่งน้ำมันแบบมีคريب : กรณีศึกษา 11 วัน
เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบเท่ากัน



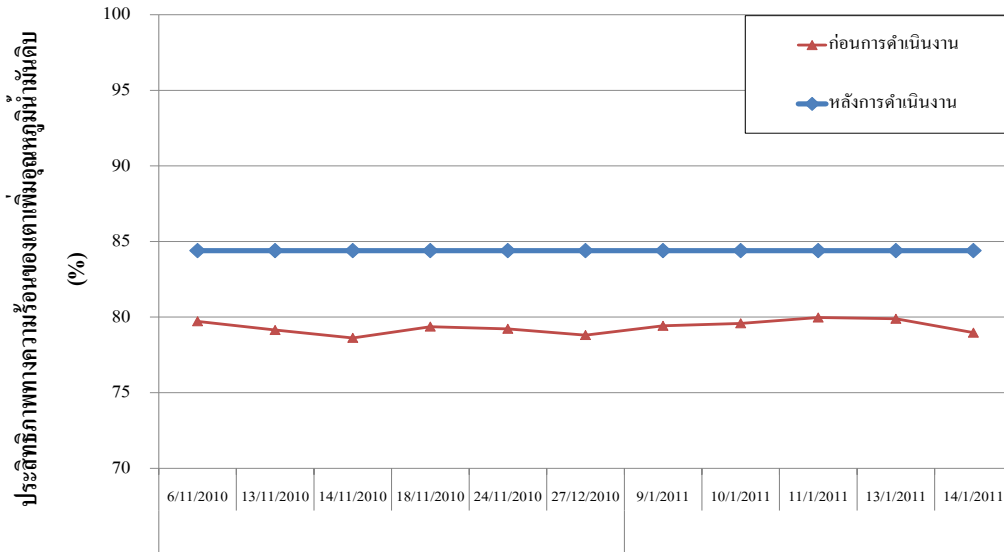
ค่าเปรียบเทียบ 11 วัน

รูปที่ 5 อัตราการใช้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนและหลังการเปลี่ยนใช้ชุดท่อส่งน้ำมันแบบมีคريب : กรณีศึกษา 11 วัน
เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบเท่ากัน

จากรูปที่ 6 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบสูงขึ้นจาก 79 เป็น 84 %
อัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิงกับอากาศภายในเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบลดลงจาก 86,881

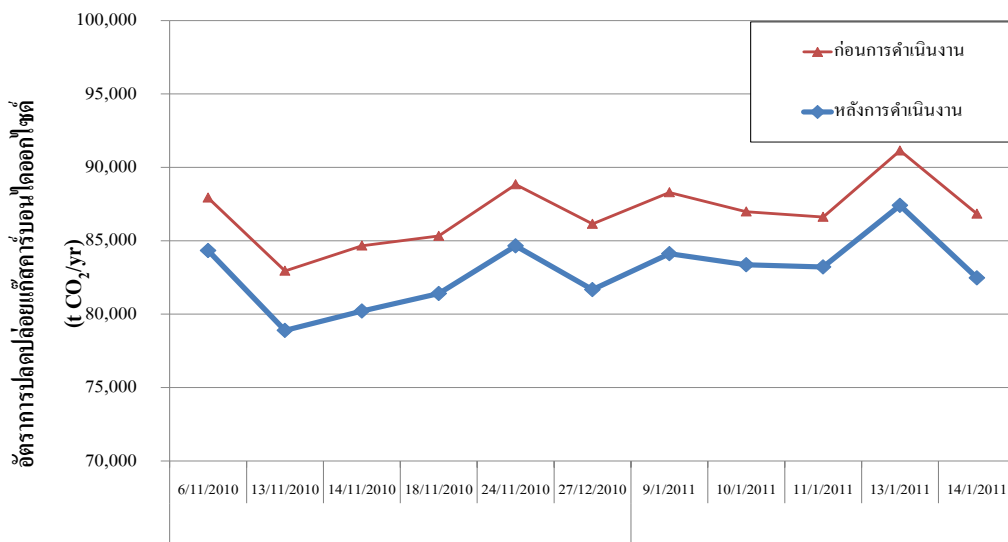
เหลือ 82,883 t CO₂ equivalent/ปี ดังรูปที่ 7 จำนวนมูลค่าคาร์บอนเครดิตจากอัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงได้ประมาณ 1.2 ล้านบาทต่อปี เมื่อราคาคาร์บอนเครดิต ณ วันประเมิน เท่ากับ 300 บาท/ t CO₂ equivalent

AEC-2046



ค่าเปรียบเทียบ 11 วัน

รูปที่ 6 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบก่อนและหลังการเปลี่ยนใช้ชุดท่อส่งน้ำมันแบบมีครีบ : กรณีศึกษา 11 วัน เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบเท่ากัน



ค่าเปรียบเทียบ 11 วัน

รูปที่ 7 อัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนและหลังการเปลี่ยนใช้ชุดท่อส่งน้ำมันแบบมีครีบ : กรณีศึกษา 11 วัน เปรียบเทียบที่อุณหภูมิเข้าเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบเท่ากัน

4. สรุปผลการดำเนินงาน

จากกรณีศึกษาี้หลังการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบที่ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบจากแบบสลักเกลียวเป็นแบบครีบบที่มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบจาก 79 เป็น 84% ลดอุณหภูมิของไอเสียที่

ออกจากเตาเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดิบเป็น 303°C ลดการใช้แก๊สเชื้อเพลิงประมาณ 4.73 t SRF/d คิดเป็นมูลค่าแก๊สเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ 30 ล้านบาทต่อปี โดยมีระยะคืนทุนจากการเปลี่ยนชุดท่อส่งน้ำมันดิบ 1 ปี 7 เดือน และปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 4,000 t CO₂ equivalent/ปี คิดเป็นมูลค่าคาร์บอนเครดิต 1.2 ล้านบาทต่อปี

AEC-2046

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้บริหารของบริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) และทีมงานแผนกการสินค้าทุกท่าน ที่สนับสนุนการทำโครงการ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] เอกสารบริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน).

[2] Thumann, A. (1988). *Guide to Improving Efficiency of Combustion System*.

Lilburn : The Fairmont Press, Inc.

[3] Hassan, Al-Haj I. *Fired Process Heaters*.URL:

www.intechopen.com/download/pdf/11623, access on 20/6/2012.

[4] IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol.2*. Hayama: IGES.