การลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลในระบบการให้ความร้อนของยางมะตอย ด้วยการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน

Reduction of Diesel Consumption in the Asphalt Heating System by the Replacement of the Burners of the Hot-oil Boilers

โปรดปราน สิริธีรศาสน์*, ณัฐรัตน์ ไผ่งาม, และวชิรพรรณ นาคดิลก

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

***ติดต่อ E-mail:** sprod@tu.ac.th, **เบอร์โทรศัพท์:** 02 564 3003 ต่อ 3130

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลในการเผาไหม้เพื่อนำความร้อนไปให้ความร้อนแก่ยางมะตอยในระบบการให้ความร้อนของยางมะตอยซึ่งใช้น้ำมันร้อน (hot oil) เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน (hot-oil boiler) จากเดิมที่เป็นชนิด natural draft ให้เป็นชนิด forced draft ทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1, 2, และ 3 ซึ่งเดิมมีร้อยละอากาศเกินพอเท่ากับ 79.55, 87.32, และ 84.60 ตามลำดับ เป็นหัวเผาชนิด forced draft เช่นเดียวกับหัวเผาของหม้อต้มน้ำร้อนเครื่องที่ 4 ซึ่งมีร้อยละอากาศเกินพอเท่ากับ 32.29 ทำให้สามารถประหยัดน้ำมันดีเซลไปได้เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 360,000, 1,050,000, และ 810,000 บาทต่อปี สำหรับเครื่องที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1, 2, และ 3 มีความคุ้มค่าในการลงทุนทั้ง 3 เครื่อง โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ในช่วง 2.3-8.9 ล้านบาท มีอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) ในช่วงร้อยละ 71-245 ซึ่งสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน (ร้อยละ 7.5) และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) ในช่วง 5 เดือน ถึง 1 ปี 5 เดือน ซึ่งน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของอายุโครงการ (10 ปี)

คำสำคัญ: ยางมะตอย, หม้อต้มน้ำมันร้อน, หัวเผาชนิด forced draft, การวิเคราะห์เชิงเทคนิค, การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

Abstract

The main objective of this study was to assess the feasibility of the reduction of diesel consumption by the replacement of the existing natural-draft burners of the hot-oil boilers with

the forced-draft ones, in both technical and economic aspects. It was found that the replacement of the burners #1, #2, and #3, whose existing excess-air percentages were 79.55, 87.32, and 84.60%, respectively, with the forced-draft ones as *per* the burner #4, whose existing excess-air percentage was 32.29%, could lead to the diesel savings of 360,000, 1,050,000, and 810,000 Baht a year, respectively. It was also found that the replacement of the existing burners #1, #2, and #3 with the forced-draft ones was economically feasible. The net present values (NPVs) were found to be within the range of 2.3-8.9 million Baht. The internal rates of return (IRRs) ranged from 71-245%, which were much higher than the current lending interest rate (7.5%). The payback periods (PBs) were in the range of 5-17 months, which were well shorter than a half of the project lifetime (10 years of 120 months).

Keywords: Asphalt, Hot-oil boiler, Forced-draft burner, Technical analysis, Economic evaluation

บทนำ

ยางมะตอย (asphalt หรือ bitumen) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดหรือกึ่งของแข็งสีดำหรือสีน้ำตาลแก่แกมดำ และมีความสามารถในการยืดหยุ่นสูง [1] เนื่องจากยางมะตอยมีคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานที่ดี มีความสามารถในการป้องกันน้ำซึมผ่าน และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่หลากหลาย เป็นต้น [1] จึงทำให้มีการใช้ประโยชน์จากยางมะตอยอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในส่วนของการก่อสร้างถนนหรือพื้นผิวต่างๆ [1] ทั้งนี้ ยางมะตอยที่จะนำมาใช้ได้ต้องอยู่ในสภาพของเหลว ทำให้ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งต้องใช้พลังงานเป็นอย่างมาก จากการศึกษากระบวนการให้ความร้อนของยางมะตอยในโรงงานผลิตยางมะตอยแห่งหนึ่งพบว่าต้องมีการหลอมยางมะตอยให้อยู่ในสภาพกึ่งของเหลวตลอดเวลา เพื่อความสะดวกต่อการถ่ายเทในการขนส่งเพื่อนำมาใช้งานในการสร้างถนน ทั้งนี้ โรงงานดังกล่าวให้ความร้อนแก่ยางมะตอยโดยใช้น้ำมันร้อน (hot oil) เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งน้ำมันร้อนดังกล่าวได้รับความร้อนจากหม้อต้มน้ำมัน (hot-oil boiler) ที่มีหัวเผา (burner) ที่ใช้น้ำมันดีเซล (diesel oil) เป็นเชื้อเพลิง จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าโรงงานดังกล่าวใช้หัวเผาทั้งหมด 4 หัวเผา ซึ่งมีร้อยละของอากาศเกินพอ (excess air) เท่ากับ 79.55, 87.32, 86.40, และ 32.29 สำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1 (#1), 2 (#2), 3 (#3), และ 4 (#4) ตามลำดับ โดยที่หัวเผา #1, #2, และ #3 เป็นหัวเผาชนิด natural draft ขณะที่หัวเผา #4 เป็นหัวเผาชนิด forced-draft

การที่หัวเผามีร้อยละของอากาศเกินพอที่สูงทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ (หรือก๊าซไอเสีย) ในปริมาณที่สูงตามไปด้วย [2-4] เนื่องจากก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้มีองค์ประกอบหลักคือก๊าซ

ไนโตรเจน (ซึ่งเข้าสู่ระบบการเผาไหม้ในรูปของอากาศ โดยเข้ามาพร้อมกับออกซิเจน) ในปริมาณที่สูง โดยสูงถึงประมาณร้อยละ 80-85 [2-4]

การลดการสูญเสียความร้อนอันเนื่องมาจากการมีก๊าซไนโตรเจนในก๊าซไอเสียมากเกินไปสามารถทำได้โดยการลดปริมาณอากาศเกินพอลง อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องมีการใช้อากาศเกินพอจำนวนหนึ่งเพื่อป้องกันการเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากการผสมกันที่ไม่ทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ [2-4]

วิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดปริมาณอากาศเกินพอคือการใช้หัวเผาชนิด forced draft ซึ่งจะทำให้การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นไปแบบปั่นป่วน (turbulent) ส่งผลให้เชื้อเพลิงกับอากาศผสมกันอย่างทั่วถึง จึงต้องการอากาศเกินพอในปริมาณที่น้อยลง [2-4]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลในการเผาไหม้เพื่อนำความร้อนที่ได้ไปให้ความร้อนแก่ยางมะตอยในระบบการให้ความร้อนของยางมะตอยที่ใช้น้ำมันร้อนเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน (hot-oil boiler) จากเดิมที่เป็นชนิด natural draft ให้เป็นชนิด forced draft ทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยทำการคำนวณปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลที่ลดลงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนหัวเผาเป็นชนิด forced draft พร้อมทั้งใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ อันได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value: NPV) อัตราผลตอบแทนคิดลด (internal rate of return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (payback period: PB) ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการเปลี่ยนหัวเผาเป็นชนิด forced draft

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา ดังนี้

1) ตรวจวัดข้อมูลของก๊าซไอเสีย (flue gas) ที่ได้จากการเผาไหม้ในแต่ละหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน โดยวัดร้อยละของก๊าซออกซิเจน (O_2) ไนโตรเจน (N_2) คาร์บอนได้ออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ (H_2O) ด้วยเครื่องวัดยี่ห้อ Testo รุ่น 330-2 LX และนำค่าร้อยละของก๊าซต่างๆ ที่วัดได้มาคำนวณร้อยละของอากาศเกินพอ $\left(\%\mathrm{XA}\right)$ โดยใช้สมการที่ (1) โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ (complete combustion)

$$\%\mathrm{XA} = \frac{\left(n_{\mathrm{O}_2}\right)_{\text{flue gas}}}{\frac{\left(n_{\mathrm{N}_2}\right)_{\text{flue gas}}}{\frac{79}{21}} - \left(n_{\mathrm{O}_2}\right)_{\text{flue gas}}} \times 100 \qquad (1)$$

ทั้งนี้ รวมถึงการตรวจวัดอุณหภูมิที่ขาเข้าและออกของเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) และอากาศ ในแต่ละหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนโดยใช้เครื่องวัดยี่ห้อ Testo รุ่น 330-2 LX ด้วย

2) คำนวณปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในแต่ละหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนในสภาวะปกติ (หรือในปัจจุบัน) $\left(Q_{\text{before}}\right)$ โดยกำหนดให้

- น้ำมันดีเซลมีสูตรเคมี (เฉลี่ย) เป็น $C_{14}H_{30}$ และมีมวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 198 g/mol [5]
- สมการเคมีคือ

$$C_{14}H_{30}+\frac{43}{2}O_2 \rightarrow 14CO_2+15H_2O \qquad (2)$$

(ตั้งสมมติฐานว่าการเผาไหม้สมบูรณ์)

- อากาศที่ใช้สำหรับการคำนวณการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลมีองค์ประกอบคือ ก๊าซออกซิเจน (O_2) ร้อยละ 21 และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ร้อยละ 79
- ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในแต่ละหัวเผา $\left(Q\right)$ คำนวณจากสมการที่ (3) ดังนี้

$$Q=\sum\left(\frac{n_i}{\nu_i}\Delta H_r^o\right)+\sum_{\text{output}}\left(n_j h_j\right)-\sum_{\text{input}}\left(n_j h_j\right) \qquad (3)$$

โดยที่

ΔH_r^o = Heat of reaction ของปฏิกิริยาตามสมการที่ (2) [kJ/mol]

n_i = อัตราการไหลเชิงโมลของ $C_{14}H_{30}$ [mol/h]
[ทั้งนี้ อัตราการไหลของน้ำมันดีเซล หรือ $C_{14}H_{30}$ คำนวณจากอัตราการผลิตความร้อนสูงสุดของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่องหารด้วยค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล $\left(\text{LHV}_{\text{diesel}}\right)$]

ν_i = สัมประสิทธิ์ (coefficient) ของ $C_{14}H_{30}$ ในสมการที่ (2)

n_j = อัตราการไหลเชิงโมลของสารต่างๆ ที่เข้าและออกจากหัวเผา [mol/h]
[ซึ่งได้จากการทำสมดุลมวลสารตามสมการที่ (2)]

h_j = ค่า specific enthalpy ของสารต่างๆ ที่เข้าและออกจากหัวเผาที่อุณหภูมิต่างๆ [kJ/mol]

3) คำนวณปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลเมื่อมีการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1 (#1), 2 (#2), และ 3 (#3) จากเดิมที่เป็นชนิด natural draft เป็นชนิด forced draft $\left(Q_{\text{after}}\right)$ ซึ่งทำให้ร้อยละอากาศเกินพอเท่ากับร้อยละของอากาศเกินพอของหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 4 (นั่นคือ ใช้หัวเผา #4 เป็นกรณีฐาน หรือ base case นั่นเอง) โดยใช้สมการที่ (3)

4) คำนวณปริมาณความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนหัวเผา #1, #2, และ #3 ซึ่งเป็นหัวเผาชนิด natural draft เป็นหัวเผาชนิด forced draft $\left(Q_{\text{increase}}\right)$ โดยใช้สมการที่ (4)

$$Q_{\text{increase}} = Q_{\text{after}} - Q_{\text{before}} \tag{4}$$

5) คำนวณร้อยละของน้ำมันดีเซลที่ใช้ลดลง $\left(\%\ \text{diesel savings}\right)$ โดยใช้สมการที่ (5)

$$\%\text{diesel savings} = \frac{\dfrac{Q_{\text{increase}}}{\text{LHV}_{\text{diesel}}}}{\text{Diesel flow rate}} \times 100 \tag{5}$$

6) คำนวณค่าเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่ประหยัดได้ $\left(\text{cost of diesel savings}\right)$ โดยใช้สมการที่ (6)

$$\text{Cost of diesel savings} = \frac{\%\text{diesel savings}}{100} \times \text{Diesel flow rate} \times \frac{\text{Hours}}{\text{year}} \times \text{Price of diesel} \tag{6}$$

โดยที่

$\dfrac{\text{Hours}}{\text{year}}$ = จำนวนชั่วโมงของการใช้งานหัวเผาต่อปี ซึ่งเท่ากับ $365 \times 24 = 8,760$ ชั่วโมง/ปี

Price of diesel = ราคาของดีเซล ซึ่งกำหนดไว้ที่ 23 Baht/L (เป็นราคาซื้อขายภายใน)

7) คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value: NPV) ซึ่งคือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนเริ่มแรก โดยใช้อัตราส่วนคิดลด (discount rate: i) มาปรับมูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาให้มาอยู่ ณ ค่าปัจจุบัน (present value: PV) โดยใช้สมการที่ (7) [6]

$$\text{NPV} = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{\left(1+i\right)^t} - C_0 \tag{7}$$

โดยที่

B_t = รายได้ของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (หรือเดินระบบ) และค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_0 = ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก

i = อัตราส่วนคิดลด (discount rate) หรืออัตราเงินเฟ้อ

t = ปีของการดำเนินงานโครงการ (ปีที่ 1, 2, 3, ..., n)

n = อายุของโครงการ

8) คำนวณอัตราผลตอบแทนคิดลด (internal rate of return: IRR) หรือค่า r ซึ่งเป็นอัตราผลตอบแทนที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก [6] นั่นคือคำนวณหาค่า r ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ (0) หรือ

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{\left(1+r\right)^t} - C_0 = 0 \tag{8}$$

โดยที่

B_t = รายได้ของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (หรือเดินระบบ) และค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_0 = ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก

t = ปีของการดำเนินงานโครงการ (ปีที่ 1, 2, 3, ..., n)

n = อายุของโครงการ

9) คำนวณระยะเวลาคืนทุน (payback period: PB) หรือค่า t ซึ่งหมายถึงระยะเวลาการดำเนินการโครงการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก [6] นั่นคือคำนวณหาค่า t ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ (0)

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{\left(1+i\right)^t} - C_0 = 0 \tag{9}$$

โดยที่

B_t = รายได้ของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (หรือเดินระบบ) และค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t

C_0 = ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก

i = อัตราส่วนคิดลด (discount rate) หรืออัตราเงินเฟ้อ

t = ปีของการดำเนินงานโครงการ (ปีที่ 1, 2, 3, ..., n)

n = อายุของโครงการ

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

องค์ประกอบของก๊าซไอเสียและอุณหภูมิที่เข้าและออกของสารต่างๆ สำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่องที่จำเป็นสำหรับการทำสมดุลมวลสารและพลังงานและการคำนวณร้อยละของอากาศเกินพอเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซไอเสียและอุณหภูมิที่ขาเข้าและออกของสารต่างๆ สำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่อง

หัวเผา #	อุณหภูมิของอากาศขาเข้า (^{o}C)	อุณหภูมิของดีเซลขาเข้า (^{o}C)	อุณภูมิของก๊าซไอเสีย (^{o}C)	ร้อยละของก๊าซต่างๆ ในก๊าซไอเสีย			
				O_2	N_2	CO_2	H_2O
1	36	36	262	8.8	74.72	6.8	9.68
2	36	36	264	9.3	75.05	6.6	9.05
3	36	36	222	9.4	77.16	6.5	6.94
4	36	36	254	5.0	77.06	9.0	8.94

เมื่อนำข้อมูลของก๊าซไอเสียไปคำนวณร้อยละของอากาศเกินพอโดยใช้สมการที่ (1) จะได้ร้อยละของอากาศเกินพอสำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละของอากาศเกินพอสำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่อง

หัวเผา #	ร้อยละของอากาศเกินพอ
1	79.55
2	87.32
3	84.60
4	32.29

จากผลการคำนวณร้อยละของอากาศเกินพอที่แสดงในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าหัวเผา #4 มีร้อยละของอากาศเกินพอต่ำที่สุด เนื่องจากหัวเผา #4 เป็นหัวเผาชนิด forced draft ขณะที่หัวเผา #1, #2, และ #3 ซึ่งเป็นหัวเผาชนิด natural draft มีค่าของร้อยละของอากาศเกินพอสูงกว่าหัวเผา #4 ถึงประมาณ 2.5-2.7 เท่า

ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงใช้ข้อมูลของร้อยละของอากาศเกินพอของหัวเผา #4 เป็นกรณีฐาน (base case) สำหรับการคำนวณต่างๆ ของหัวเผา #1, #2, และ #3 ทั้งนี้ เพื่อลดร้อยละของอากาศเกินพอในหัวเผาเหล่านี้ อันจะนำไปสู่การลดการสูญเสียความร้อนและการประหยัดเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ของหัวเผา #1, #2, และ #3

อัตราการไหลของน้ำมันดีเซลสำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่อง (#1, #2, และ #3) สามารถคำนวณได้จากการนำอัตราการผลิตความร้อนสูงสุดของหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่องมาหารด้วยค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล $\left(\mathrm{LHV}_{\mathrm{diesel}}\right)$ (ใช้ค่าความร้อนและความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 42,600 kJ/kg และ 0.85 kg/L [5] ตามลำดับ) ซึ่งค่าอัตราการไหลของดีเซลที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลสำหรับหัวเผาต่างๆ ก่อนเปลี่ยนเป็นหัวเผาชนิด forced draft $\left(Q_{\mathrm{before}}\right)$ ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อมีการเปลี่ยนหัวเผาเป็นชนิด forced draft $\left(Q_{\mathrm{after}}\right)$ ซึ่งจะทำให้หัวเผา #1, #2, และ #3 มีร้อยละของอากาศเกินพอเท่ากับ 32.29 (เท่ากับร้อยละของอากาศเกินพอของหัวเผา #4) และปริมาณความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนเผาให้เป็นชนิด forced draft $\left(Q_{\mathrm{increase}}\right)$

จากปริมาณความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนหัวเผาเป็นชนิด forced draft $\left(Q_{\mathrm{increase}}\right)$ จะนำไปสู่การคำนวณร้อยละของน้ำมันดีเซลที่ใช้ลดลงและค่าเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่ประหยัดได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากตารางที่ 3 จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยการพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) ทั้งนี้ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ มีดังนี้

1) ต้นทุนในการลงทุนเริ่มต้น คือราคาหัวเผาชนิด forced draft ซึ่งมีมูลค่าเท่ากับ 400,000 บาท/เครื่อง
2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการรายปี (เป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและการเดินระบบให้ความร้อน) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 70,500 บาท/ปี
3) อายุโครงการ (อายุการใช้งานของหัวเผา) เท่ากับ 10 ปี
4) อัตราเงินเฟ้อ เท่ากับร้อยละ 1 [7]
5) อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (เฉลี่ย) เท่ากับร้อยละ 7.5 [8]

ตารางที่ 3 อัตราการผลิตความร้อนสูงสุด อัตราการไหลของน้ำมันดีเซล ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากหัวเผาก่อน $\left(Q_{\mathrm{before}}\right)$ และหลัง $\left(Q_{\mathrm{after}}\right)$ การเปลี่ยนหัวเผาเป็นชนิด forced draft ปริมาณความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้น $\left(Q_{\mathrm{increase}}\right)$ ร้อยละของน้ำมันดีเซลที่ใช้ลดลง และค่าเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่ประหยัดได้ต่อปี สำหรับหัวเผาแต่ละเครื่อง

หัวเผา #	อัตราการผลิตความร้อนสูงสุด (MJ/h)	อัตราการไหลของดีเซล (kg/h)	Q_{before} (MJ/h)	Q_{after} (MJ/h)	ΔQ (MJ/h)	ร้อยละของดีเซลที่ใช้ลดลง	ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)
1	1,670	39.2	1,406	1,467	61	3.84	360,000
2	4,180	98.1	3,497	3,672	175	4.51	1,050,000
3	4,180	98.1	3,628	3,768	140	3.49	810,000

ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งพบว่า

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) สำหรับการเปลี่ยนหัวเผาทั้ง 3 เครื่อง มีค่าเป็นบวกทั้งหมด แสดงว่าการลงทุนมีผลกำไร นั่นคือมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าสูงกว่ามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนเริ่มแรก
- อัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) มีค่าสูงถึงร้อยละ 71-245 ซึ่งสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน (ร้อยละ 7.5) แสดงว่าการลงทุนเปลี่ยนหัวเผาทั้ง 3 เครื่อง เป็นชนิด forced draft มีผลตอบแทนที่สูงกว่าการนำเงินไปลงทุนด้วยการนำไปให้บุคคลหรือหน่วยงานอื่นกู้
- ระยะเวลาคืนทุน (PB) อยู่ในช่วง 5 เดือน ถึง 1 ปี 5 เดือน ซึ่งน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของอายุโครงการ (10 ปี) แสดงว่ามีระยะเวลาที่สูงในการได้ผลตอบแทนจากการลงทุน

ดังนั้น จึงสมควรลงทุนในการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำร้อนเครื่องที่ 1, 2, และ 3 จากเดิมที่เป็นชนิด natural draft ให้เป็นชนิด forced draft

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนด้านการลงทุนด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ 3 เครื่องมือ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) ของการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำร้อนเครื่องที่ 1, 2, และ 3 ให้เป็นชนิด forced draft

หัวเผา #	NPV (ล้านบาท)	IRR (ร้อยละ)	PB
1	2.3	71	1 ปี 5 เดือน
2	8.9	245	5 เดือน
3	6.6	185	7 เดือน

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของการลดปริมาณการใช้น้ำมันเซลในกระบวนการให้ความร้อนยางมะตอยด้วยการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนให้เป็นชนิด forced draft มีผลการศึกษาที่สามารถสรุปได้ ดังนี้

- สามารถประหยัดน้ำมันดีเซลได้เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 360,000, 1,050,000, และ 810,000 บาทต่อปี สำหรับการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ
- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) สำหรับการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1, 2, และ 3 มีค่าเท่ากับ 2.3, 8.9, และ 6.6 ล้านบาท ตามลำดับ
- อัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) มีค่าเท่ากับร้อยละ 71, 245, และ 185 สำหรับการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1, 2, และ 3

- ระยะเวลาคืนทุน (PB) สำหรับการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1, 2, และ 3 เท่ากับ 5 เดือน, 1 ปี 5 เดือน, และ 7 เดือน ตามลำดับ

ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนจากเดิมที่เป็นชนิด natural draft ให้เป็นชนิด forced draft มีความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). (2550). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยางมะตอยและการนำไปใช้งาน. บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน): กรุงเทพฯ.

[2] สำเริง จักรใจ. (2547). การเผาไหม้. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.

[3] Rangland, K.W. & Bryden, K.M. (2011). Combustion Engineering, 2nd ed. CRC Press: USA.

[4] Turns, S.R. (2012). An Introduction to Combustion: Concepts and Applications, 3rd ed. McGraw-Hill: USA.

[5] Walsh, M. & Shah, J.J. (1997). Clean Fuels for Asia: Technical Options for Moving Toward Unleaded Gasoline and Low-Sulfur Diesel. The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank: USA.

[6] Park, C.S. (2013). Fundamentals of Engineering Economy, 3rd ed. Pearson Education, Inc.: USA.

[7] ธนาคารแห่งประเทศไทย. อัตราเงินเฟ้อ. [อินเตอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มิ.ย. 61]. จาก http://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=409

[8] อัตราดอกเบี้ยเงินกู้. [อินเตอร์เน็ต]. [สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มิ.ย. 61]. จาก https://www.sanook.com/money/463299/