

แบบจำลองการพัฒนากระบวนการนำก๊าซทิ้งที่ระบายออกจากการผลิตปิโตรเลียมและปิโตรเคมีกลับมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง

PROCESS DEVELOPMENT MODELLING OF GAS FLARING RECOVERY FROM PETROLEUM AND PETROCHEMICAL PRODUCTION FOR POWER GENERATION USING SOLID OXIDE FUEL CELL

จุฑามาศ ไชยชาญสกุล¹, แดง แซ่เบ๊², ญาณิพร พัทธวรโชติ³ และ ผศ.ดร.อมรชัย อารณวิชานพ¹

Juthamart Chaichansakul¹, Dang Saebea² and Yaneeporn Patcharavorachot³ and Amornchai Arpornwichanop¹

¹หน่วยปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมกระบวนการเชิงคำนวณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

³ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ติดต่อ E-mail: juthamart.c@student.chula.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 064-4259362

บทคัดย่อ

ก๊าซทิ้งที่ถูกปล่อยออกมาจากหอเผาทิ้งในกระบวนการผลิตปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบที่เป็นก๊าซเรือนกระจก ปัจจุบันอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ได้มีการศึกษาเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซจากหอเผาทิ้ง รวมถึงการนำก๊าซทิ้งที่ระบายออกจากระบบการผลิตก่อนส่งไปยังหอเผาทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกและการสูญเสียพลังงานจากการเผาไหม้ก๊าซในหอเผาทิ้งอีกด้วย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำก๊าซทิ้งที่ระบายออกจากระบบการผลิตกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง แบบจำลองระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ก๊าซทิ้งจากระบบการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม โดยมีก๊าซไฮโดรเจน มีเทน อีเทน โพรเพน และบิวเทน เป็นองค์ประกอบหลัก ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการ แอสเพน พลัส และได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงกับข้อมูลการทดลองในเอกสารอ้างอิง แบบจำลองระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซทิ้ง ภายใต้สภาวะการดำเนินงานต่างๆ ของระบบเซลล์เชื้อเพลิง ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อใช้ก๊าซทิ้งเป็นเชื้อเพลิง และความสามารถในการลดปริมาณก๊าซทิ้งที่ระบายออกจากระบบการผลิตที่จะส่งไปยังหอเผาทิ้ง

คำสำคัญ: เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง, ก๊าซทิ้งที่ระบายออกจากระบบการผลิต, พลังงานไฟฟ้า, การออกแบบกระบวนการ,

Abstract

Flare gas in petroleum and petrochemical industries is a significant source of greenhouse gas emissions. Thus, many studies have been explored to reduce flare gas emissions. Flare gas recovery is considered as an interesting approach to minimize the greenhouse gas emissions and to reduce an energy consumption in a gas flaring system. In this study, Flare gas is used as fuel

to produce electrical energy by using Solid Oxide Fuel Cell (SOFC). Modelling of the SOFC using the flare gas from refinery process, consisting of hydrogen methane ethane propane and butane, is performed by using Aspen Plus simulator and validated with experimental data in literature. The developed model was analysed for the flare gas compositions under operating conditions of SOFC which affect to electrical efficiency of the SOFC and the reduction of flare gas through flare system.

Keywords: Solid Oxide Fuel Cell, Flare Gas, Electrical Energy, Process design, Simulation

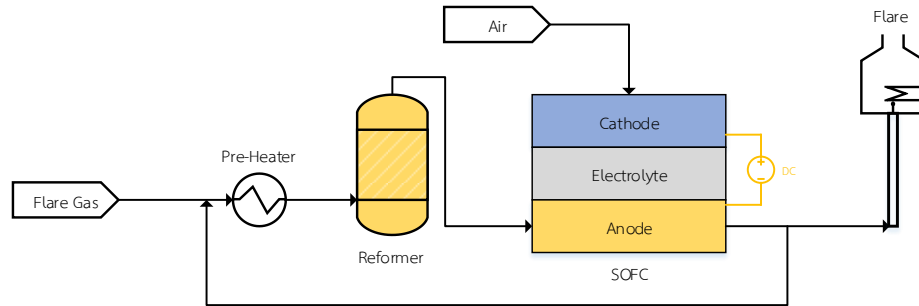
บทนำ

ในโรงงานอุตสาหกรรมกลุ่มการผลิตปิโตรเลียมและปิโตรเคมี มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตจำนวนมาก ซึ่งสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ไม่สามารถที่จะปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้โดยตรง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการกำจัด การเผาก๊าซทิ้งด้วยหอเผาทิ้งเป็นวิธีการกำจัดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย ปัจจุบันมีการศึกษาเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซจากหอเผาทิ้ง รวมถึงการนำก๊าซที่ระบายออกจากกระบวนการผลิตก่อนส่งไปยังหอเผาทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกและการสูญเสียพลังงานจากการเผาไหม้ก๊าซในหอเผาทิ้งอีกด้วย จากข้อมูลองค์ประกอบของก๊าซทิ้งจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมพบว่า มีองค์ประกอบหลักคือ ไฮโดรเจน มีเทน อีเทน โพรเพน และบิวเทน [1] ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งได้ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงกว่ากระบวนการผลิตไฟฟ้าเชิงความร้อน เนื่องจากสามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีในก๊าซไฮโดรเจนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง [2] กรณีที่ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ สามารถเปลี่ยนรูปเชื้อเพลิงเหล่านี้ไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนได้ด้วยกระบวนการรีฟอร์มมิง (reforming process) [3]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำก๊าซทิ้งที่ระบายออกจากกระบวนการกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง แบบจำลองระบบเซลล์เชื้อเพลิงถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการ แอสเพน พลัส ซึ่งได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับข้อมูลอ้างอิงของ Zhang และคณะ [4] เนื่องจากงานวิจัยของ Zhang และคณะ เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย และไม่ได้มีความซับซ้อนมากนัก ทำให้สามารถอธิบายให้บุคคลทั่วไปเข้าใจได้ง่าย ยิ่งไปกว่านั้น แบบจำลองนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน และพัฒนาต่อได้หลากหลาย แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนี้ได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซทิ้งที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าภายใต้สภาวะการดำเนินงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง ที่มีต่อประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ก๊าซทิ้งเป็นเพลิง และความสามารถในการลดปริมาณก๊าซทิ้งที่ระบายออกจากกระบวนการผลิตที่จะส่งไปยังหอเผาทิ้ง

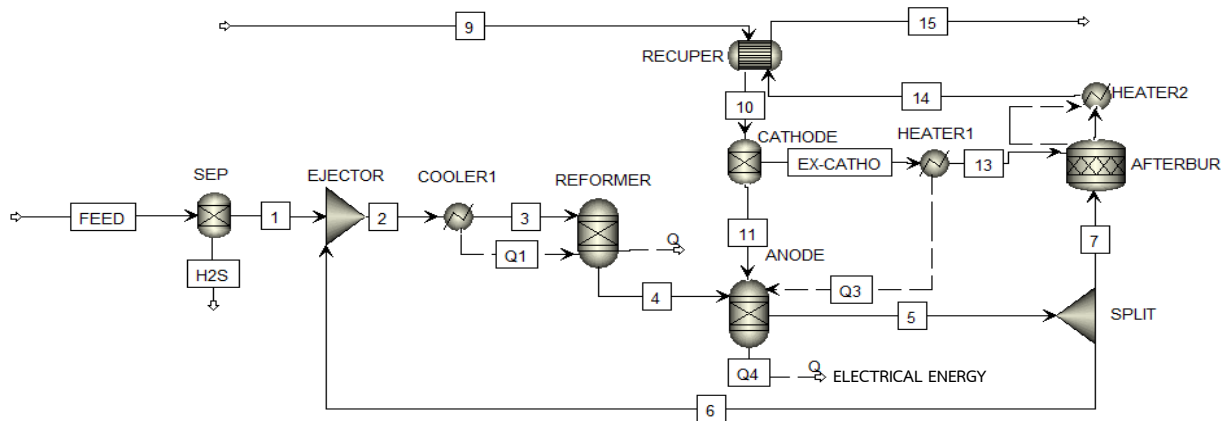
การสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็ง

กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง โดยใช้ก๊าซทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นเชื้อเพลิงนั้นประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซทิ้งจากกระบวนการผลิต เครื่องปฏิกรณ์ที่เรียกว่ารีฟอร์มเมอร์ เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็งซึ่งประกอบด้วยขั้วแอโนด แคโทด และอิเล็กโทรไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 1



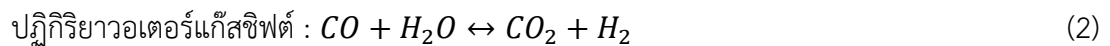
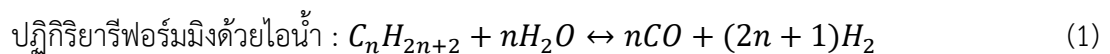
รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง

งานวิจัยนี้ได้จำลองกระบวนการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งโดยใช้โปรแกรมแอสเพน พลัส แบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยหน่วยปฏิบัติการย่อยจำนวน 9 หน่วยปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 2

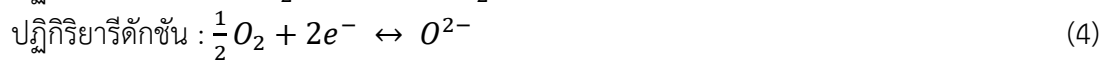
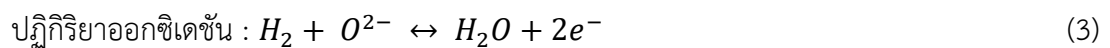


รูปที่ 2 แบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งด้วยโปรแกรมแอสเพน พลัส

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องรีฟอร์มเมอร์เพื่อเปลี่ยนรูปสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นก๊าซไฮโดรเจนมีดังนี้ [4]



ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งประกอบด้วย [4]



ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลของเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซที่ระบายออกจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมในการนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งมีสัดส่วนขององค์ประกอบดังนี้ บิวเทน 0.0329 คาร์บอนไดออกไซด์ 0.0168 คาร์บอนมอนอกไซด์ 0.003 อีเทน 0.0578 เอทิลีน 0.0031 ไฮโดรเจน 0.3394 ไนโตรเจน 0.0124 ไนโตรเจน 0.0033 ไนโตรเจน 0.0228 มีเทน 0.2414 ไนโตรเจน 0.1087 บิวเทน เพนเทน 0.0552 ที่อุณหภูมิ 25 °C และความดัน 1.03 bar [1]

ผลการจำลองและการวิเคราะห์

ก่อนที่จะนำแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่พัฒนาขึ้นไปใช้ศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซที่ระบายออกจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ ได้มีการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า ที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับข้อมูลอ้างอิงของ Zhang และคณะ [4] โดยเซลล์เชื้อเพลิงดำเนินการที่อุณหภูมิ 1000 °C และความดัน 1.08 bar และป้อนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ที่ประกอบด้วย มีเทน 0.81 อีเทน 0.029 โพรเพน 0.04 บิวเทน 0.002 ไนโตรเจน 0.143 และ คาร์บอนมอนอกไซด์ 0.009 [4] ด้วยอัตราการไหล 1.07 kmol/h ดังแสดงในตารางที่ 1

จากการจำลองกระบวนการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ของแข็งที่ใช้ก๊าซที่ระบายออกจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมที่สถานะการดำเนินงานต่าง ๆ พบว่า เมื่ออุณหภูมิและความดันของระบบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าผลิตได้จากเซลล์เชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้น โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบสามารถผลิตได้คือ 2260 kW โดยใช้ก๊าซที่ระบายออกจากกระบวนการผลิตป้อนเข้าสู่ระบบ 647 kg/h ที่สถานะดำเนินงานที่อุณหภูมิ 990 °C และ ความดัน 3 bar โดยเซลล์เชื้อเพลิงจะมีประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 34.6

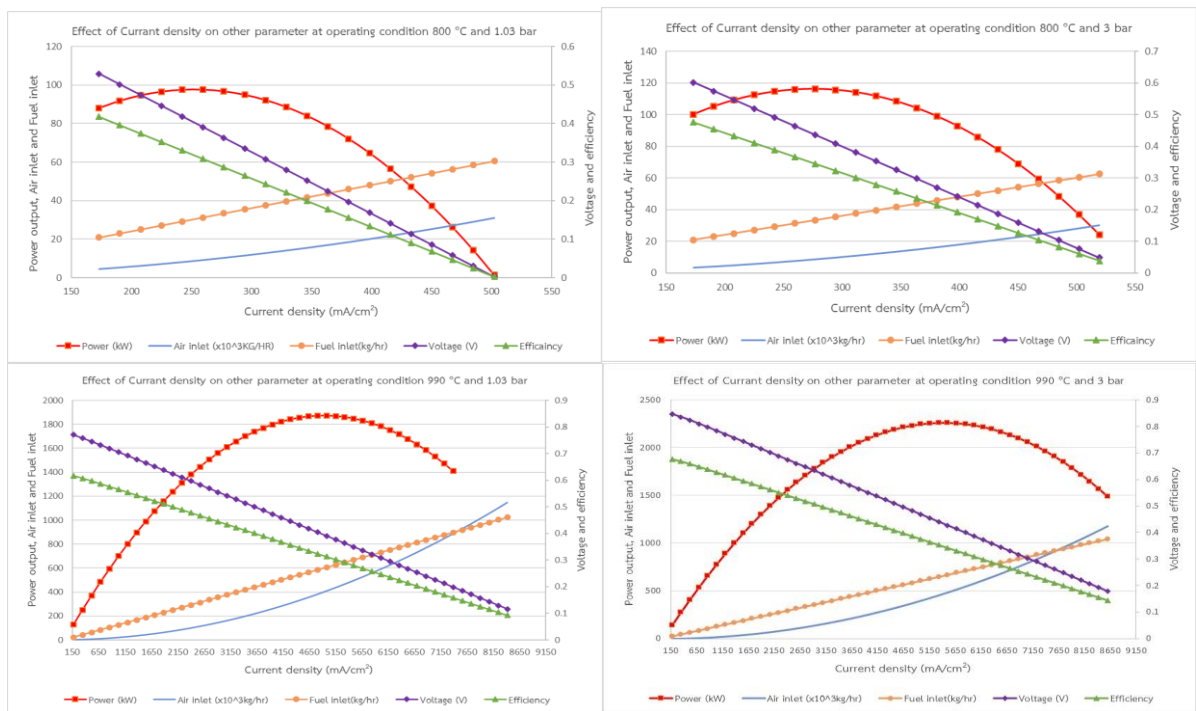
จากสถานะดำเนินงานสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงพบว่าสามารถลดปริมาณก๊าซที่ระบายออกจากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียมที่จะส่งไปยังหอเผาที่ได้ถึง 647 kg/h จึงเป็นการลดการเกิดกระบวนการเผาไหม้ที่หอเผาที่ได้อและลดการปล่อยมลพิษจากหอเผาที่อีกด้วย

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการจำลองกระบวนการกับข้อมูลอ้างอิง [4]

	ผลจากข้อมูลอ้างอิง [4]	ผลจากการจำลองกระบวนการ	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
Current density (mA/cm ²)	178	181.49	1.96
Cell voltage (V)	0.70	0.68	2.86
Power output (kW)	120	119.19	0.68

ตารางที่ 2 ผลของสภาวะการดำเนินงานเซลล์เชื้อเพลิง

พารามิเตอร์	อุณหภูมิ 800 °C	อุณหภูมิ 990 °C
ความดันดำเนินงาน 1.03 bar		
Fuel inlet (kmol/hr)	31.3	585
Current density mA/cm ²	260	4850
Cell voltage (V)	0.391	0.402
Power output (kW)	97.5	1870
Efficiency (%)	30.9	31.8
ความดันดำเนินงาน 3 bar		
Fuel inlet (kmol/hr)	35.5	647
Current density mA/cm ²	277	5369
Cell voltage (V)	0.393	0.438
Power output (kW)	105	2260
Efficiency (%)	31.1	34.6



รูปที่ 3 กราฟแสดงผลของกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่ของเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีต่อค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่อุณหภูมิ 800 และ 990 °C ความดัน 1.03 และ 3 bar

กำลังไฟฟ้าสูงสุด และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งนั้นแปรผันตรงกับความดันและอุณหภูมิในการดำเนินการของเซลล์เชื้อเพลิง ดังนั้นเมื่อทำการปรับสภาวะดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิงให้เพิ่มสูงขึ้น พบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งนั้นจะเพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 3 ที่สภาวะดำเนินงานที่ 990 °C และความดัน 3 bar เซลล์เชื้อเพลิงจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด

สรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลอ้างอิงของ Gabriele[1] ก๊าซทิ้งที่ระบายออกจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมนี้มีปริมาณเฉลี่ย 400 kg/h นั้นหมายความว่าระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งนี้สามารถรองรับปริมาณก๊าซทิ้งที่ระบายออกมาทั้งหมดได้ โดยที่สภาวะดำเนินงานที่อุณหภูมิ 990 °C ความดัน 3 bar จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1910 kW ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงคิดเป็นร้อยละ 47.8 ดังนั้นเมื่อติดตั้งระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งเข้ากับระบบหอเผาทิ้งแล้ว ในสภาวะการดำเนินงานปกติของกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมนี้ จะไม่มีปริมาณก๊าซทิ้งที่ต้องส่งไปทำการเผาไหม้ที่หอเผาทิ้ง เว้นแต่จะเกิดสภาวะฉุกเฉินขึ้นภายในกระบวนการผลิตจนทำให้มีปริมาณก๊าซทิ้งสูงกว่า 647 kg/h ก๊าซทิ้งเหล่านั้นจึงจะถูกส่งไปเผาไหม้ที่หอเผาทิ้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gabriele Comodi, Massimiliano Renzi, Mose Rossi. (2016). Energy efficiency improvement in oil refineries through flare gas recovery technique to meet the emission trading targets. *Energy* 109(2016), 1-12.
- [2] ธีระศักดิ์ เสภาภรณ์ .(2549). ทำความรู้จักกับเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) พลังงานสะอาดแห่งอนาคต . อินดัสเทรียล เทคโนโลยี รีวิว (Industrial technology review). ปีที่ 12 ฉบับที่ 157 (ต.ค. 2549) หน้า 166-175. [หนังสืออิเล็กทรอนิกส์] เข้าถึงได้จาก : URL : <https://goo.gl/mZYVPN>. 5 มิถุนายน 2561.
- [3] Stephen H. Clarke, Andrew L. Dicks*, Kevin Pointon, Thomas A. Smith, Angie Swann. (1997). Catalytic aspects of the steam reforming of hydrocarbons in internal reforming fuel cells. *Catalysis Today* 38(1997), 411-423.
- [4] W.Zhang, E. Croiset, P.L. Douglas, M.W Fowler, E. Entchev. (2005). Simulation of a tubular solid oxide fuel cell stack using AspenPlus™ unit operation models. *Energy Conversion and Management* 46 (2005) 181–196.
- [5] Mohamad Ameri และคณะ. (2011). simulation of an atmospheric SOFC and gas turbine hybrid system using Aspen plus software. *internal journal of energy research*, 412-425.