

การวิเคราะห์สภาวะการดำเนินงานและการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ของกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอล

Analysis of Operating Condition and Environmental Evaluation of Hydrogen Production from Glycerol

วรณี แพ่งจันทัก¹, หาญพล พึ่งรัมย์¹, ไพรัช อูสุภรัตน์¹, อมรชัย อภรณ์วิชานพ² และจิตติ มังคละศิริ³

Woranee Paengjantuek¹, Harnpon Phunggrassami¹, Phairat Usubharatana¹,

Amornchai Arpornwichanop² and Jitti Mungkalasiri³

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

³ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จ.ปทุมธานี 12120

E-mail: pworanee@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอลที่แตกต่างกัน 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (Steam reforming) กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) และกระบวนการออโตเทอร์มอลรีฟอร์มมิ่ง (Auto thermal reforming) โดยวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิต เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมโดยใช้การจำลองกระบวนการด้วยโปรแกรม HYSYS และทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ผลจากการศึกษาพบว่า กระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (Steam reforming) ให้ประสิทธิภาพในการผลิตที่ดีที่สุด เนื่องจากผลิตไฮโดรเจนได้ปริมาณมากที่สุด แต่เป็นกระบวนการที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูงเนื่องจากเป็นกระบวนการดูดความร้อน นอกจากนี้ ผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตแสดงให้เห็นว่า กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation) เป็นกระบวนการที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทนออกมาในปริมาณมากที่สุด เมื่อเทียบกับกระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (Steam reforming) และกระบวนการออโตเทอร์มอลรีฟอร์มมิ่ง (Auto thermal reforming)

Abstract

This research has studied hydrogen production from glycerol at three different procedures; steam reforming, partial oxidation and auto thermal reforming processes. Factors affecting the process are analyzed to find an optimal operating condition. Hydrogen production process is simulated via HYSYS program. In addition, environmental impact assessment is studied. The results show that steam reforming process has the highest efficiency as the highest H₂ production yield. However, steam reforming process needs more energy because of endothermic reaction. Moreover, partial oxidation process has greater environmental impact compared with steam reforming and auto thermal reforming processes as the highest gas emissions.

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น การแสวงหาพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ๆ จึงมีความสำคัญ เนื่องจากพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด และการใช้พลังงานเหล่านั้นยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ด้วยเหตุนี้การใช้พลังงานทางเลือก อาทิ ไบโอดีเซล หรือ เอทานอล จึงมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว [1]

RECEIVED 3 June, 2011

ACCEPTED 4 October, 2011

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกอย่างหนึ่งที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการทางด้านพลังงานได้เป็นอย่างดี ทั้งยังมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล [2] อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น จะได้ไบโอดีเซลเป็นผลผลิตหลัก และได้กลีเซอรอลเป็นผลผลิตพลอยได้ของกระบวนการโดยประมาณ 10% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งปริมาณกลีเซอรอลในตลาดจะแปรผันตามกำลังการผลิตไบโอดีเซล ในปัจจุบันพบว่า กลีเซอรอลมีบทบาททางการตลาด เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน เช่น อุตสาหกรรมอาหาร (Food) พอลิเมอร์ (Polymer) และการประยุกต์ใช้ในทางเภสัชกรรม (Applied pharmaceuticals) และมีราคาสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในหลายปีที่ผ่านมา นอกจากนี้การผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอลก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ [3]

ปัจจุบันไฮโดรเจนกำลังได้รับความสนใจและถูกยอมรับว่าเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่สำคัญในอนาคต ซึ่งมีศักยภาพสามารถแทนที่การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง และพลังงานได้เป็นอย่างดี ไฮโดรเจนเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ สะอาด และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์อย่างยานพาหนะที่พบว่ามีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนยังสามารถนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษ อย่างเช่น ก๊าซเรือนกระจก ที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้ทำให้พลังงานไฮโดรเจนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานดั้งเดิมอย่างผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมหรือก๊าซธรรมชาติได้เป็นอย่างดี [4]

กระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอลนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดในทางอุตสาหกรรม คือ การแปรรูปด้วยไอน้ำ (Steam reforming: SR) โดยการเปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำให้กลายเป็นของผสมระหว่างไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเป็น

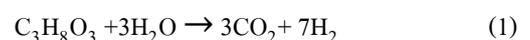
เทคโนโลยีที่มีความมั่นคงสูงและประหยัด [5] นอกจากนี้ยังมีอีก 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (Partial oxidation: POX) กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงและอากาศผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว จะเกิดการแยกส่วนโดยการเผาไหม้ในถังแปรรูป (Reformer) ข้อดีของกระบวนการนี้คือ เป็นกระบวนการแบบคายความร้อน สามารถกำเนิดความร้อนด้วยตัวเองได้ [6] และกระบวนการออโตเทอร์มอลรีฟอร์มมิ่ง (Auto thermal reforming: ATR) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผสมผสานระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (SR) และกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (POX) ซึ่งกระบวนการนี้มีข้อดีคือ ใช้พลังงานต่ำ แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 3 กระบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน ออกมา ระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งก๊าซเหล่านี้เป็นก๊าซพิษที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเป็นปัญหาที่สำคัญมากสำหรับภาคอุตสาหกรรม [7-8]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตไฮโดรเจนจาก ทั้ง 3 กระบวนการข้างต้น กล่าวคือ กระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (SR) กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (POX) และ กระบวนการออโตเทอร์มอลรีฟอร์มมิ่ง (ATR) ด้วยการจำลองกระบวนการ (Simulation) บนโปรแกรม HYSYS โดยศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อหาสภาวะในการดำเนินงานที่เหมาะสมที่ทำให้ผลิตก๊าซไฮโดรเจนมากที่สุด และประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทนซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีด้วย

2. กระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอล

กลีเซอรอลสามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรเจนได้โดยการทำปฏิกิริยาทางเคมี [9] ซึ่งกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้ ได้แก่

การแปรรูปด้วยไอน้ำ (Steam reforming: SR)



$$; \Delta H_{298K} = +127.67 \text{ kJ/mol}$$

ปัจจัยเหล่านี้สอดคล้องกับสมการปฏิกิริยา (สมการที่ 1 ถึง 3) นอกจากนี้เนื่องจากสารตั้งต้น คือกลีเซอรอลที่ใช้ในกระบวนการเป็นผลิตภัณฑ์ได้มาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นค่าความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอล (%wt) จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่นำมาศึกษาด้วย โดยสามารถแจกแจงการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขอบเขตการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอล

	อุณหภูมิ (K)	อัตราส่วน S/G	อัตราส่วน O/G	ความบริสุทธิ์กลีเซอรอล (%wt)
การแปรรูปด้วยไอน้ำ (SR)	O	O	X	O
กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (POX)	O	X	O	O
กระบวนการออกซิเดชันเต็มรูปแบบ (ATR)	O	O	O	O

หมายเหตุ O ทดลอง, X ไม่มีผลต่อกระบวนการ

5. ผลการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยและหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมของกระบวนการ

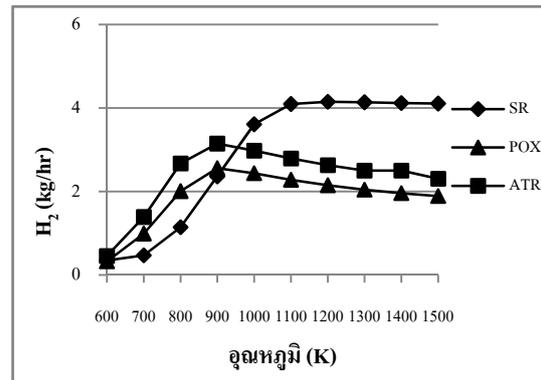
ในการทดลองนี้จะใช้สภาวะเริ่มต้นกระบวนการตามค่าสัมประสิทธิ์จากสมการปฏิกิริยา โดยกระบวนการ SR จะมีค่า S/G เท่ากับ 3 กระบวนการ POX จะมีค่า O/G เท่ากับ 1.5 และกระบวนการ ATR จะมีค่า S/G เท่ากับ 1.5 และ O/G เท่ากับ 0.75 และความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอล 80 %wt ซึ่งช่วงของการดำเนินงานแสดงในตารางที่ 2 [10]

ตารางที่ 2 แสดงปัจจัยและขอบเขตในการศึกษา

ปัจจัย	ขอบเขตที่ทำการศึกษา
อุณหภูมิ (K)	600 – 1500
อัตราส่วน S/G	1 - 9
อัตราส่วน O/G	0.5 - 3
ความบริสุทธิ์กลีเซอรอล (%wt)	80 - 100

5.1 อุณหภูมิ (เคลวิน, K)

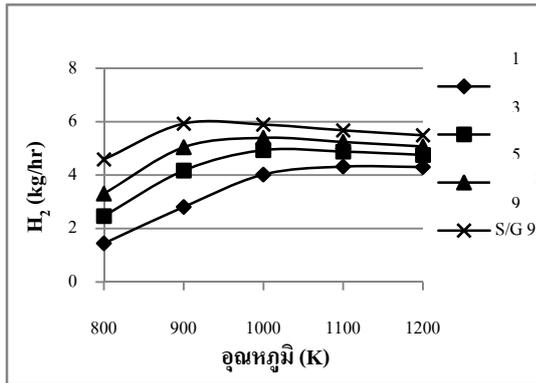
กระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (SR) เป็นกระบวนการดูดความร้อน จึงต้องการใช้พลังงานสูงในการเกิดทำให้เกิดปฏิกิริยา ส่งผลให้ต้องการอุณหภูมิในการดำเนินงานสูงตามไปด้วย แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 1100 เคลวิน ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จะคงที่ สำหรับกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (POX) และกระบวนการออกซิเดชันเต็มรูปแบบ (ATR) นั้นเป็นกระบวนการคายความร้อน ดังนั้นสภาวะอุณหภูมิที่ต้องการใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจึงต่ำกว่าดังแสดงได้ในรูปที่ 2 นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้สูงมากขึ้นกว่า 900 เคลวิน ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาข้างเคียง Reverse Water Gas Shift มีอิทธิพลเหนือปฏิกิริยาหลักของกระบวนการ



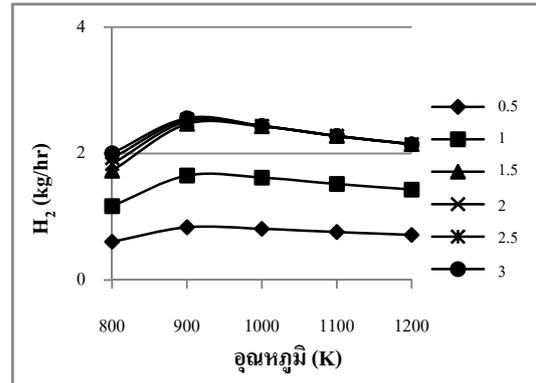
รูปที่ 2 ปริมาณ H₂ ที่ผลิตได้ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆของกระบวนการ SR POX และ ATR

5.2 อัตราส่วนไอน้ำต่อกลีเซอรอล (S/G)

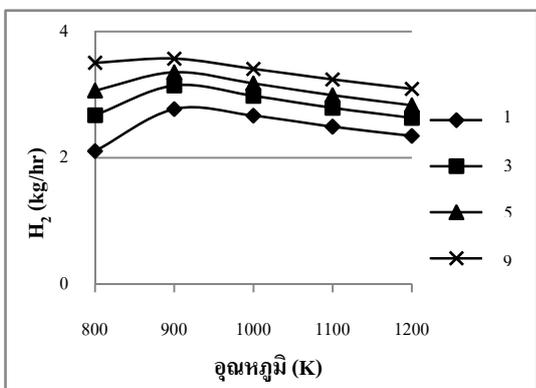
ปัจจัยนี้จะมีผลต่อกระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (SR) และกระบวนการออกซิเดชันเต็มรูปแบบ (ATR) ดังตารางที่ 1 จากผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า ทั้งสองกระบวนการ SR และ ATR นี้มีแนวโน้มคล้ายกัน คือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วน S/G จะส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้สูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูป (Reforming) เกิดได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



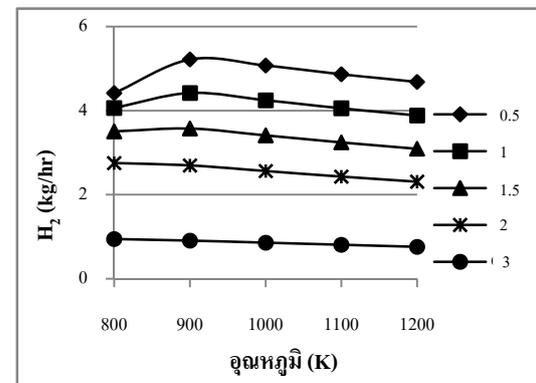
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณ H₂ จากกระบวนการ SR ที่ S/G ต่างๆ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณ H₂ จากกระบวนการ POX ที่อัตราส่วน O/G ต่างๆ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณ H₂ จากกระบวนการ ATR ที่ S/G ต่างๆ ที่ O/G เท่ากับ 0.75



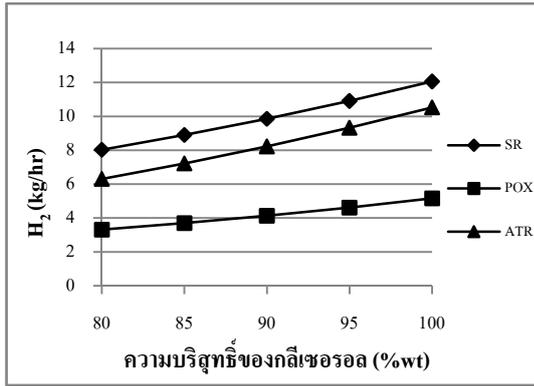
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณ H₂ จากกระบวนการ ATR ที่ O/G ต่างๆ ที่ S/G เท่ากับ 1.5

5.3 อัตราส่วนออกซิเจนต่อกลีเซอรอล (O/G)

โดยผลจากการศึกษาพบว่า กระบวนการ POX นั้น เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วน O/G จะส่งผลให้ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้เพิ่มสูงขึ้นจนถึง 2.5 kg H₂/hr จากนั้นจะคงที่และลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากเมื่อปริมาณออกซิเจนมากขึ้น ปฏิกิริยา Reverse water gas shift ก็จะทำให้ได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการ ATR จะให้ผลในทางตรงกันข้ามคือ ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วน O/G สูงขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยา Reverse water gas shift ดังแสดงในรูปที่ 6

5.4 ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอล (%wt)

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น เมื่อทำการแยกไบโอดีเซลออกแล้ว ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เหลือคือ กลีเซอรอล ซึ่งมักจะมี โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ น้ำปนอยู่ด้วย โดยทั่วไปจะมีอัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อน้ำต่อโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ (Glycerol: H₂O: H₂) ประมาณ 0.9031 : 0.0054 : 0.0915 และเมื่อนำกลีเซอรอลที่ได้นี้มาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจนจึงควรมีการเพิ่มความบริสุทธิ์ให้สูงขึ้น เพื่อให้ได้ปริมาณไฮโดรเจนที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7 จากรูปแสดงให้เห็นว่า กระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือกระบวนการออกโทเทอร์มอลรีฟอร์มมิ่ง และกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน



รูปที่ 7 ปริมาณ H₂ ที่ผลิตได้ที่ความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลต่างกันที่สภาวะเริ่มต้นและอุณหภูมิ 900 เคลวิน

6. สรุปผลการวิจัย

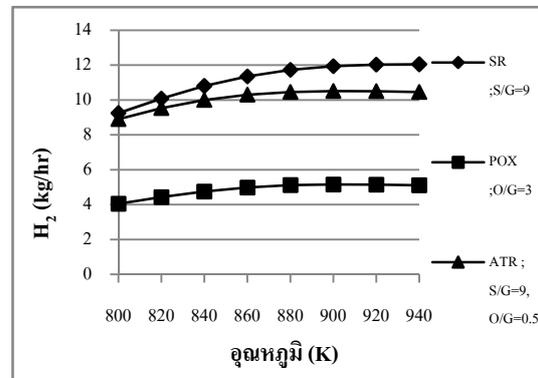
6.1 การหาสภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการดำเนินงานเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจนมากที่สุดนั้น พบว่า กระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (SR) เป็นกระบวนการที่ต้องการอุณหภูมิในการดำเนินงานสูงที่สุด (ประมาณ 935 เคลวิน) เนื่องจากเป็นกระบวนการดูดความร้อน ในขณะที่กระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (POX) และกระบวนการออกซิเดชัน-ฟอร์มมิ่ง (ATR) ใช้อุณหภูมิในการดำเนินงานไม่สูงมากและมีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณ 905 เคลวิน และ 910 เคลวิน ตามลำดับ) เนื่องจากเป็นกระบวนการคายความร้อน นอกจากนี้ค่าอัตราส่วน S/G ควรมีค่าเท่ากับ 9 สำหรับกระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ และ ค่าอัตราส่วน O/G ควรมีค่าเท่ากับ 3 สำหรับกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน และ สำหรับกระบวนการออกซิเดชัน-ฟอร์มมิ่งนั้นค่าอัตราส่วน S/G ควรมีค่าเท่ากับ 9 และค่าอัตราส่วน O/G ควรมีค่าเท่ากับ 0.5 ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งผลจากการดำเนินงานที่สภาวะนี้จะทำให้กระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำสามารถผลิตไฮโดรเจนได้ปริมาณสูงที่สุด 13.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง รองลงมาคือกระบวนการออกซิเดชัน-ฟอร์มมิ่ง ปริมาณ 11.9 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน ปริมาณ 7.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่

3

ตารางที่ 3 ปริมาณก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่สภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสม

Gas (kg/hr)	SR	POX	ATR
H ₂	13.827	7.542	11.899
CO ₂	91.495	124.912	130.764
CO	0.221	3.621	0.165
Methane	0.533	0.520	0.367
H ₂ O	109.431	3.497	109.431



รูปที่ 8 สภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมในการผลิตไฮโดรเจน

6.2 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

จากวิกฤตการณ์โลกร้อนในปัจจุบันทำให้ทุกภาคส่วนมีความตระหนักถึงผลกระทบจากการดำเนินงานต่างๆที่มีต่อสภาวะแวดล้อมมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมที่ถูกมองว่าเป็นตัวการหลักที่ทำให้เกิดปัญหาโลกร้อน เนื่องจากการปล่อยก๊าซพิษออกมาในทุกกิจกรรมของการดำเนินงาน ดังนั้นในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจาก กลีเซอรอลนี้ จึงทำการวิเคราะห์หาค่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซมีเทนจากกระบวนการผลิตทั้ง 3 รูปแบบ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต (ตารางที่ 3) แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นต่อก๊าซไฮโดรเจน 1 กิโลกรัมต่อ

ชั่วโมง พบว่ากระบวนการออกซิเดชันบางส่วน (POX) จะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนออกไซด์ และมีเทน ออกมาในปริมาณมากที่สุด 16.562 0.480 และ 0.069 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ รองลงมาคือกระบวนการออกซิเดชันแบบเต็มรูปแบบ (ATR) ซึ่งจะปล่อย CO₂ 10.989 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และกระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (SR) จะปล่อย CO₂ 6.617 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สำหรับก๊าซ CO และก๊าซมีเทนนั้นกระบวนการ SR และ ATR จะมีการปลดปล่อยในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ประมาณ 0.015 (CO) และ 0.035 (มีเทน) กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า กระบวนการออกซิเดชันบางส่วนเป็นกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

7. แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต

7.1 การนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้

ในกระบวนการผลิตทั้ง 3 กระบวนการนี้ จะมีพลังงานความร้อนเหลือทิ้งในปริมาณมาก ดังแสดงในตารางที่ 4 จากตารางจะเห็นได้ว่ามีพลังงานความร้อนที่ถูกคายออกมาจากแต่ละกระบวนการ (ค่าที่ติดลบ) ซึ่งพลังงานความร้อนเหล่านี้สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการ ทำให้ช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้

ตารางที่ 4 ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนในแต่ละกระบวนการ

พลังงาน (kJ/hr)	SR	POX	ATR
Evaporator	643,946	280,527	663,403
Reformer	385,054	-325,234	-796,501
Cooler	259,750	276,715	270,993
WGS reactor	37,002	49,313	27,664
Purification	-4.01E+05	-502,641	-575,026
รวม	924,752	-221,320	-409,467

7.2 การนำน้ำเหลือทิ้งจากกระบวนการกลับมาใช้

จากข้อมูลผลการดำเนินงานในตารางที่ 3 พบว่ากระบวนการแปรรูปด้วยไอน้ำ (SR) และกระบวนการออกซิเดชันแบบเต็มรูปแบบ (ATR) มีไอน้ำเกิดขึ้นจำนวนมากเนื่องมาจากมีการใช้น้ำเป็นวัตถุดิบในปริมาณมาก ซึ่งไอน้ำที่เกิดขึ้นนี้สามารถนำกลับมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการได้ (Recycle) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากไอน้ำที่ออกมาจากหน่วยการผลิตสุดท้ายนั้นจะมีสารปนเปื้อนอย่าง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน ซึ่งจำเป็นต้องทำให้บริสุทธิ์ด้วยหน่วยการทำบริสุทธิ์ (Purification unit) นอกจากนั้นไอน้ำบริสุทธิ์ที่ได้ยังมีอุณหภูมิสูง จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งเครื่องทำความเย็น (Cooler) เพื่อลดอุณหภูมิก่อนจะป้อนเข้าที่เครื่องทำระเหย (Evaporizer) ดังนั้นหากเราจะนำน้ำที่เกิดในกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ ควรจะพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการนำมาใช้ด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนงานวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่เอื้อเฟื่องงบประมาณในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] K. Yee, K. Tan, A. Abdullah and K. Lee, "Life cycle assessment of palm biodiesel: Revealing facts and benefits for sustainability" Applied Energy, Vol. 86, 2009, pp. 189-196.

[2] S. Basha, K. Gopal and S. Jebaraj, "A review on biodiesel production, combustion, emission and performance" Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, 2009, pp. 1628-1634.

[3] S. Adhikari, S. Fernando and A. Haryanto, "Hydrogen production from glycerol: An update" Energy Conversion and Management, Vol. 50, 2009, pp. 2600-2604.

[4] M. Ni, D. Leung and M. Leung, "A review on reforming bio-ethanol for hydrogen production" *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 32, 2007, pp. 3238-3247.

[5] J. Sun, X. Qiu, F. Wu, W. Zhu, W. Wang and S. Hao, "Hydrogen from steam reforming of ethanol in low and middle temperature range for fuel cell application" *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 29, 2004, pp. 1075-1081.

[6] S. Kumar, S. Kumar and J. Prajapati, "Hydrogen production by partial oxidation of methane: Modeling and simulation" *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, 2009, pp. 6655-6668.

[7] H. Wang, X. Wang, M. Li, S. Li, S. Wang and X. Ma, "Thermodynamic analysis of hydrogen production from glycerol autothermal reforming" *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, 2009, pp. 5683-5690.

[8] S. Authayanun, A. Arpornwichanop, W. Paengjuntuek and S. Assabumrungrat, "Thermodynamic study of hydrogen production from crude glycerol autothermal reforming for fuel cell applications" *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 35, 2010, pp. 6617-6623.

[9] G. Jirachotdaecho, "Thermodynamic analysis of hydrogen production from glycerol with different reforming processes" Master Thesis, Chulalongkorn University, Thailand, 2009.

[10] S. Adhikari, S. Fernando, S. Gwaltney, S. To, R. Bricka, P. Steele and A. Haryanto, "A Thermodynamic analysis of hydrogen production by steam reforming of glycerol" *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 32, 2007, pp. 2875-2880.