



รายงานโครงการวิจัย

การผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูปปิงรีฟอร์มมิงจากกลีเซอรอล
(Chemical looping reforming for hydrogen production from glycerol)

โดย

นางสาวพิชญา	ธีรกุลกิตติพงศ์	รหัสนิสิต	5832949023
นางสาวภาวิณี	มณีนม	รหัสนิสิต	5832955823

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

ชื่อโครงการ การผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปีงรีฟอร์มมิงจากกลีเซอรอล

ชื่อนิติผู้ทำโครงการ นางสาวพิชญา อีร์กุลกิตติพงศ์
นางสาวภาวิณี มณีนิยม

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์คุณชลาธา

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ


ไฮโดรเจนเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ และยังเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามไฮโดรเจนยังไม่สามารถผลิตได้ในปริมาณที่มากพอ และยังมีต้นทุนการผลิตที่สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลลูบปีง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอล โดยทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ที่ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ใช้ निकิลออกไซด์และไอรอน(II) ออกไซด์บนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวพาออกซิเจน ซึ่งเตรียมโดยวิธีการอิมเพรกเนชัน เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในกระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลลูบปีง จากการทดลองพบว่า निकิลออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวพาออกซิเจนสำหรับกระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลลูบปีง

คำสำคัญ: เคมีคอลลูบปีงรีฟอร์มมิง, ไฮโดรเจน, निकิลออกไซด์, ไอรอน(II)ออกไซด์, กลีเซอรอล

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิติ..... **พิชญา อีร์กุลกิตติพงศ์**.....

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก..... .....

Title Chemical looping reforming for hydrogen production from glycerol

Student name Miss Pitchaya Teerakulkittipong

Miss Pavinee Maneeyom

Advisor Assoc. Prof. Dr. Prapan Kuchonthara

**Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University,
Academic Year 2018**

ABSTRACT

Hydrogen source is an alternative energy which can be used for power generation and it is also a clean energy. However, hydrogen is not available in sufficient quantities and its production cost is still high. Thus, this work was focused on finding the suitable catalyst for use in chemical looping reforming which is a process for produce hydrogen from glycerol. Experiments were carried out in a fixed bed reactor at a constant pressure of 1 atm, temperature of 650 °C and using NiO and Fe₂O₃ supported on Al₂O₃ as the oxygen carrier which was prepared by an impregnation method. The effects of various variables such as catalyst concentration, catalyst type and ability to use in chemical looping reforming process were studied. From the experiment, 15wt% NiO was found to be a suitable oxygen carrier for the chemical looping reforming process.

Keywords: Chemical looping reforming, Hydrogen, NiO, Fe₂O₃, Glycerol

Department of Chemical Technology

Student's signature *Pitchaya Teerakulkittipong*

Major: Chemical Engineering

Advisor's signature *Prapan Kuchonthara*

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือทั้งทางด้านการให้ความรู้และคำปรึกษา ตลอดจนคำแนะนำในการปรับปรุงจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้มอบคำแนะนำ คำติชม และความช่วยเหลือเพิ่มเติมตลอดมา

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงให้ความช่วยเหลือในการซ่อมแซมเครื่องมือที่ชำรุด ทำให้งานวิจัยสามารถประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณนายนิพัทธ์พนธ์ ปะนามะสา และ นางสาวอุษณิษา จันทรวงศ์ไพศาล ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาและเป็นผู้จัดหาสารเคมีในการทำงานวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยเสมอมา และขอขอบพระคุณเพื่อนและพี่ๆที่ให้คำแนะนำและสนับสนุนในด้านต่างๆ จนงานวิจัยสำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบความดีทั้งหลายของงานวิจัยนี้ให้แก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นและผู้ที่ยังไม่ได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อไทย	ก
บทคัดย่ออังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กลีเซอรอล	4
2.2 พลังงานไฮโดรเจน	5
2.3 กระบวนการเคมีคอลลูบปีง	6
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	11
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	11
3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	11
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	12
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	12
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	13
3.4 วิธีดำเนินการทดลอง	14

3.4.1 การเตรียมชุดเครื่องปฏิกรณ์สำหรับงานวิจัย	13
3.4.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	15
3.4.3 ขั้นตอนการทดลอง	16
3.5 สภาพะที่ใช้ในการทดลอง	17
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 และ 15 โดยน้ำหนัก	18
4.2 ผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไฮดรอกไซด์และไฮดรอกไซด์	23
4.3 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สำหรับใช้ในกระบวนการ เคมีคอลลูบิงแบบรีฟอร์มมิง	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 และ 15 โดยน้ำหนัก	31
5.2 ผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไฮดรอกไซด์และไฮดรอกไซด์	31
5.3 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สำหรับใช้ในกระบวนการ เคมีคอลลูบิงแบบรีฟอร์มมิง	32
ข้อเสนอแนะ	32
รายการอ้างอิง	33

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอล	4
3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	14
3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ	16
3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน	17
3.4 สภาวะที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สำหรับใช้ใน กระบวนการเคมีคอลลูบิงแบบรีฟอร์มมิง	17

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของกลีเซอรอล	4
2.2 แหล่งพลังงานไฮโดรเจน	6
2.3 กระบวนการเคมีคอลลูบปีง สำหรับปฏิกิริยาเผาไหม้	7
2.4 กระบวนการเคมีคอลลูบปีง สำหรับปฏิกิริยาการผลิตไฮโดรเจน	8
3.1 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งสำหรับงานวิจัย	12
3.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	13
3.3 แผนผังจำลองชุดเครื่องปฏิกรณ์สำหรับงานวิจัย	14
4.1 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สเทียบตามความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา	18
4.2 ร้อยละผลได้ไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบตามความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา	19
4.3 ร้อยละองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์เทียบตามความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา	21
4.4 อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์เทียบตามความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา	22
4.5 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สเทียบตามชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	23
4.6 ร้อยละผลได้ไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาเทียบตามชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	24
4.7 ร้อยละองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์เทียบตามชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	24
4.8 อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์เทียบตามชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา	25
4.9 อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์เทียบตามจำนวนรอบการเกิดปฏิกิริยา	26
4.10 ปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เทียบตามจำนวนรอบการเกิดปฏิกิริยา	27
4.11 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สเทียบตามจำนวนรอบการเกิดปฏิกิริยา	27
4.12 ผลการวิเคราะห์ XRD	28
4.9 อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์เทียบตามจำนวนรอบการเกิดปฏิกิริยา	29
4.10 ปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เทียบตามจำนวนรอบการเกิดปฏิกิริยา	30
4.11 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สเทียบตามจำนวนรอบการเกิดปฏิกิริยา	30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

ในยุคปัจจุบันที่อุตสาหกรรมมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากโดยในการทำงานส่วนใหญ่มีการใช้เครื่องจักรเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเชื้อเพลิงที่นิยมใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรคือ เชื้อเพลิงจากน้ำมันดิบ แต่ในปัจจุบันราคาน้ำมันดิบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีปริมาณลดลง รวมถึงการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันดิบนั้นเป็นสาเหตุหลักของการปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ที่จะนำมาใช้ทดแทนการใช้้ำมันดิบ นั่นก็คือ เชื้อเพลิงไฮโดรเจน ที่สามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบตามธรรมชาติหลากหลายประเภทเช่น วัสดุชีวมวล แก๊สชีวภาพ แก๊สธรรมชาติ และถ่านหิน แต่สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้กลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจน เพราะในกระบวนการผลิตไปโอดีเซลมักเกิดกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้จำนวนมาก แต่เนื่องจากกลีเซอรอลดิบจากกระบวนการผลิตไปโอดีเซลมีความบริสุทธิ์ต่ำ ทำให้มีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่ต่ำและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นว่าควรนำกลีเซอรอลมาดัดแปลงหรือปรับปรุง เพื่อเพิ่มมูลค่า โดยนำไปเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปิ๊งรีฟอร์มมิง ซึ่งนับว่าเป็นกระบวนการผลิตรูปแบบใหม่ที่ให้ประสิทธิภาพในการผลิต

เชื้อเพลิงไฮโดรเจน เป็นอีกหนึ่งเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ที่กำลังได้รับความนิยมเพราะมีข้อดีหลายประการคือ สามารถใช้งานควบคู่กับเซลล์เชื้อเพลิง สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้ อีกทั้งยังเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษ รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน [1]

กระบวนการเคมีคอลลูบปิ๊งรีฟอร์มมิง เป็นกระบวนการผลิตไฮโดรเจนรูปแบบใหม่ที่ให้ประสิทธิภาพในการผลิตสูง และแตกต่างจากกระบวนการสตรีมรีฟอร์มมิง เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ และไม่มีไนโตรเจนเจือปนอยู่ในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจนที่ได้มีความเข้มข้นมาก ส่งผลให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดไนโตรเจน [2]

หลักการของเคมีคอลลูบปิ๊งรีฟอร์มมิง คือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะออกไซด์เป็นตัวพาออกซิเจนเข้าสู่ระบบเพื่อทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอน โดยโลหะออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับสารไฮโดรคาร์บอนทำให้โลหะออกไซด์สูญเสียออกซิเจนไป และเกิดไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งโลหะออกไซด์ที่สูญเสียออกซิเจนไปนั้นสามารถวนกลับมาใช้ได้ใหม่ โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศที่ป้อนเข้าไป

ทำให้โลหะออกไซด์ที่สูญเสียออกซิเจนไปกลับมาจะมีจำนวนออกซิเจนเท่าเดิม และสามารถไปเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับ สารไฮโดรคาร์บอนได้ใหม่ และวนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ [3]

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มักใช้ในกระบวนการเคมีคอลลูบปิ๊งรีฟอร์มมิงเพื่อผลิตไฮโดรเจนควรมีคุณสมบัติในการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้หลายครั้ง นอกจากนี้ควรมีความสามารถในการขนส่งออกซิเจนได้ดี ซึ่งปกติ แล้วนิยมใช้นิกเกิลออกไซด์ [2] ส่วนตัวรองรับควรเลือกใช้สารที่มีปริมาณออกซิเจนที่สามารถถ่ายเทได้สูง เพราะจะ ช่วยในการทำปฏิกิริยานอกเหนือจากออกซิเจนบนตัวเร่งปฏิกิริยา [4] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้นิกเกิลออกไซด์บน ตัวรองรับอะลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [2] เพราะอ้างอิงจากงานวิจัยที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว และนอกจากนี้ยังได้ ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการ เคมีคอลลูบปิ๊งรีฟอร์มมิง โดยเลือกใช้เหล็กออกไซด์มาเปรียบเทียบกับ เพื่อเลือกชนิดและความเข้มข้นของตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดไปพัฒนาต่อยอดในกระบวนการต่างๆต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน
2. ศึกษาผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน
3. ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการเคมีคอลลูบปิ๊งรีฟอร์มมิง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้กลีเซอรอลเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปิ๊งรีฟอร์มมิง และใช้เครื่องปฏิกรณ์ที่แบบเบดนิ่ง ที่มีการแพคตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาไว้กลางเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าประกอบด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆและผลของตัวแปรต่างๆของภาวะทดลองที่มีต่อปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิต ได้ในกระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลลูบปิ๊ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ก. ในด้านความรู้และประสบการณ์ต่อตัวนิสิตเอง

มีความรู้ ความเข้าใจในขั้นตอนและผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อกระบวนการเคมีคอลลูบปิ๊งรีฟอร์มมิงด้วย กลีเซอรอล สามารถสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้ เพื่อนำมาวางแผนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ และสามารถหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองพร้อม อภิปรายผลที่เกิดขึ้นได้อย่างเป็นเหตุเป็นผล นอกจากนี้ยังได้ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่ง ก่อให้เกิดทักษะการใช้งาน และยังเป็นการฝึกความรับผิดชอบด้วย

ข. ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม

มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณของร้อยละการเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนที่ได้จากกระบวนการเคมีคอลลูบปิงรีฟอร์มมิงด้วยกลีเซอรอล ซึ่งเกิดปฏิกิริยาที่สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ความดัน 1 บรรยากาศ เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์วิธีการผลิตไฮโดรเจนให้ได้ประสิทธิภาพและส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในอนาคต

1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

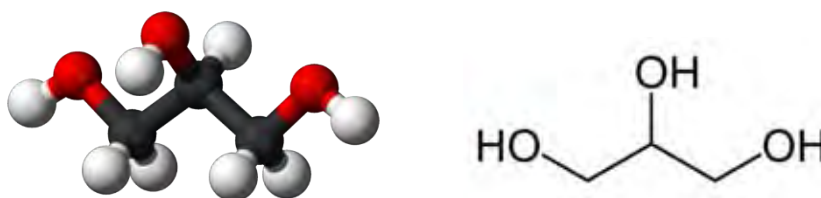
1. ค้นคว้า ศึกษาและทบทวนบทความความวิจัยรวมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
3. เตรียมกลีเซอรอล และเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา NiO และ Fe₂O₃
4. จัดสร้างและปรับแต่งชุดทดลองการผลิตไฮโดรเจน
5. ผลิตไฮโดรเจนจากกลีเซอรอล
 - a. ผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปิงรีฟอร์มมิง
 - ก. ตัวเร่งปฏิกิริยา : NiO และ Fe₂O₃
 - ข. อัตราการไหลของกลีเซอรอลเข้า : 0.1, 0.5 ml/min
 - ค. ความดันที่ใช้ในกระบวนการเคมีคอลลูบปิงรีฟอร์มมิง : 1 บรรยากาศ
 - ง. อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเคมีคอลลูบปิงรีฟอร์มมิง : 650 องศาเซลเซียส
 - b. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการกระบวนการผลิตไฮโดรเจนในด้าน
 - ก. ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊ส
 - ข. ร้อยละผลได้ไฮโดรเจน
 - ค. ร้อยละองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์
 - ง. อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์
5. ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน
6. ศึกษาผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน
7. ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สำหรับใช้ในกระบวนการเคมีคอลลูบปิงแบรีฟอร์มมิง
8. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการศึกษา และ จัดทำรายงานการวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลีเซอรอล

กลีเซอรอล (Glycerol) มีลักษณะเป็นของเหลวใสหนืด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ มีรสหวานเล็กน้อย เป็นสารจำพวกโพลีไฮดริคแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) ที่มีสูตรโมเลกุลคือ $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 92.09 กรัมต่อโมล และมีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-โพรเพนไตรออล (1,2,3-propanetriol) กลีเซอรอลประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ ซึ่งใน 2 หมู่เป็นของไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (Primary hydroxyl) และหมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (Secondary hydroxyl) 1 หมู่ [5]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของกลีเซอรอล [6]

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอล [7]

สมบัติทางกายภาพและเคมี	ข้อมูล
สูตรทางเคมี	$C_3H_8O_3$
มวลโมเลกุล	92.09 กรัมต่อโมล
สถานะและสี	ของเหลว ไม่มีสี
ความถ่วงจำเพาะ	1.2605
ค่าดัชนีหักเหแสง	1.4746
จุดหลอมเหลว	17.9 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	290 องศาเซลเซียส

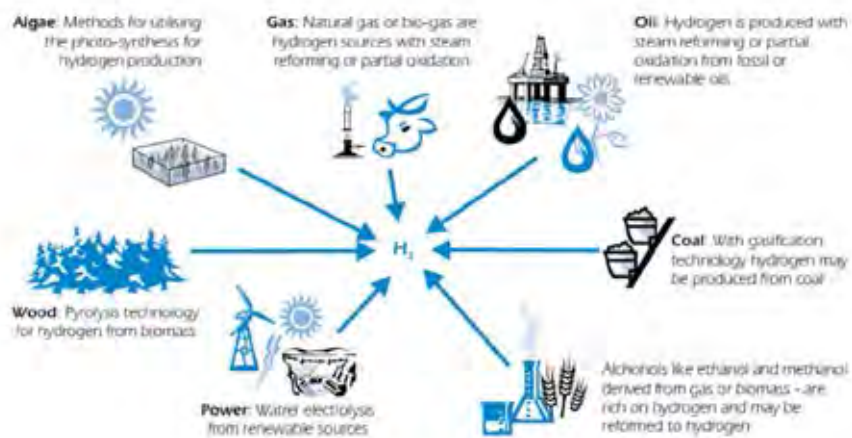
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรอล (ต่อ)

สมบัติทางกายภาพและเคมี	ข้อมูล
สมบัติการละลายใน 100 ส่วน น้ำ แอลกอฮอล์ อีเทอร์	ละลายดีมาก ละลายดีมาก ละลายดีมาก
ความร้อนของการหลอมเหลวที่ 18.07 องศาเซลเซียส	47.49 แคลต่อกรัม
ความหนืดของกลีเซอรอลที่	
ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 100	10 เซนติพอยส์
ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 50	25 เซนติพอยส์
การแพร่กระจายในน้ำ	0.94×10^5 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที

2.2 พลังงานไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาและเล็กที่สุด อีกทั้งยังเป็นองค์ประกอบของน้ำ (H_2O) ที่มีมากที่สุดบนโลก นอกจากนี้ ยังเป็นธาตุที่รวมอยู่ในโมเลกุลของสารประกอบอื่นๆ เช่น สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน (HC) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปิโตรเลียมที่มีความสำคัญสำหรับการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศ คุณสมบัติทั่วไปของไฮโดรเจน คือไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ติดไฟง่าย มีความสะอาดสูง ไม่เป็นพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประโยชน์ของการนำไฮโดรเจนมาใช้งานคือใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และให้ความร้อนออกมาหรือใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงโดยปฏิกิริยาทางเคมีแล้วเกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ทั้งในการขับเคลื่อนรถ ผลิต-กระแสไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กและอื่นๆ ทั้งนี้ยังได้รับการคาดหมายและยอมรับว่าจะเป็นแหล่งของพลังงานเชื้อเพลิงที่สำคัญอย่างมากในอนาคต โดยแหล่งพลังงานไฮโดรเจนแสดงดังรูปที่ 2.2 เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการเผาไหม้กับออกซิเจนโดยจะมีเพียงไอน้ำเป็นผลพลอยได้ ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่ให้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลพลอยได้ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อทำให้โลกร้อนขึ้น [8]

ปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจนเมื่อพิจารณาจากวัตถุดิบเป็นหลักแบ่งออกเป็น 3 แหล่งหลัก คือ จากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม จากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น ชีวมวล และน้ำ เป็นต้น และจากพลังงานนิวเคลียร์



รูปที่ 2.2 แหล่งพลังงานไฮโดรเจน [8]

2.3 กระบวนการเคมีคอลลูบปีง

- **หลักของกระบวนการเคมีคอลลูบปีง**

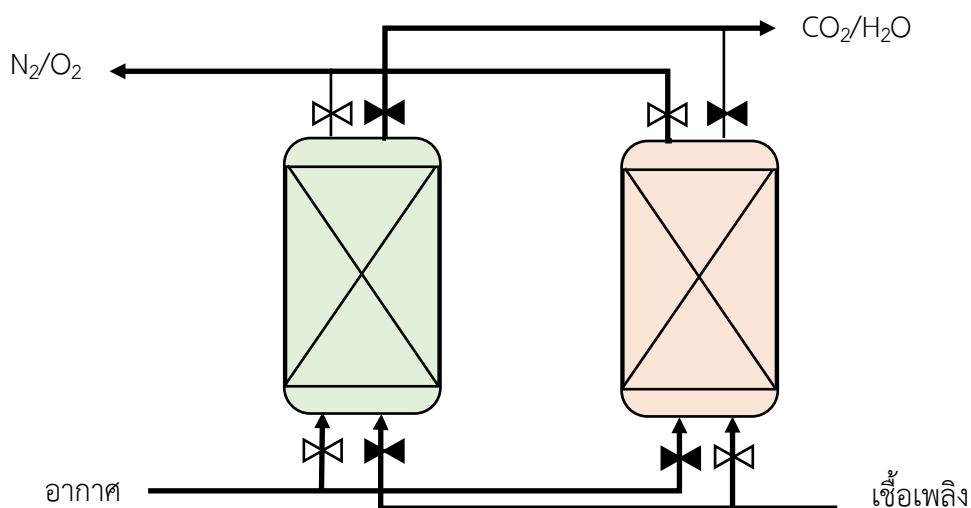
เคมีคอลลูบปีง เป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการทางเคมีที่สามารถใช้ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการนี้แบ่งออก ได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ กรณีที่มีออกซิเจน (oxygen) และกรณีที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารที่ถูกส่งผ่านในกระบวนการ [9] แต่ส่วนใหญ่การประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิง ฟอสซิลจะเป็นกรณีที่สารส่งผ่านเป็นออกซิเจน โดยกระบวนการจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ซึ่งจะมีสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวพาสารที่ถูกส่งผ่าน (carrier) เพื่อคอยป้อนออกซิเจนที่มีปริมาณเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องหรือคอยรับคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกระบวนการส่วนที่หนึ่ง จากนั้นวัสดุของแข็งจะถูกส่งเข้าไปในกระบวนการส่วนที่สอง ซึ่งเป็นส่วนของการเติมสารที่ถูกส่งผ่านกลับเข้าไปในโครงสร้างของวัสดุของแข็งหรือคายสารที่ถูกส่งผ่านออกจากโครงสร้างของวัสดุของแข็ง ก่อนที่จะวนวัสดุของแข็งกลับเข้าไปในกระบวนการส่วนที่หนึ่งต่อไป โดยการผลิตพลังงานด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลผ่านกระบวนการเคมีคอลลูบปีงนี้จะสามารถเกิดขึ้นโดยผ่านปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปฏิกิริยาการแปรสภาพเป็นก๊าซหรือแก๊สซิฟิเคชัน (gasification) และปฏิกิริยาการผลิตก๊าซไฮโดรเจน (H₂ production)

- **กระบวนการเคมีคอลลูบปีง สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้**

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ตามความหมายโดยทั่วไปจะเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงก๊าซตั้งต้น ซึ่งในที่นี้คือเชื้อเพลิงฟอสซิลกับออกซิเจนจากอากาศ ได้ผลิตภัณฑ์หลักออกมาเป็นไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งจะมีการคายความร้อนหรือพลังงานออกมาจากกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นการประยุกต์การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในกระบวนการเคมีคอลลูบปีง ในขั้นตอนแรกเชื้อเพลิงฟอสซิลจะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

กับออกซิเจนที่ได้มาจากวัสดุของแข็งในกระบวนการที่เป็นพวกออกไซด์ของโลหะหรือสารประกอบของโลหะที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (Me_xO_y) เมื่อผ่านการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว วัสดุของแข็งจะเปลี่ยนรูปกลายเป็นโลหะบริสุทธิ์ (Me) หรือออกไซด์ของโลหะที่มีปริมาณของออกซิเจนลดลง (Me_xO_{y-1}) โดยก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีจะยังคงเป็นไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์เช่นเดิม ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะเกิดการควบแน่นตามธรรมชาติและแยกตัวออกจากคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงและพร้อมจะส่งต่อไปเก็บหรือผลิตเป็นสารเคมีตัวอื่นต่อไป

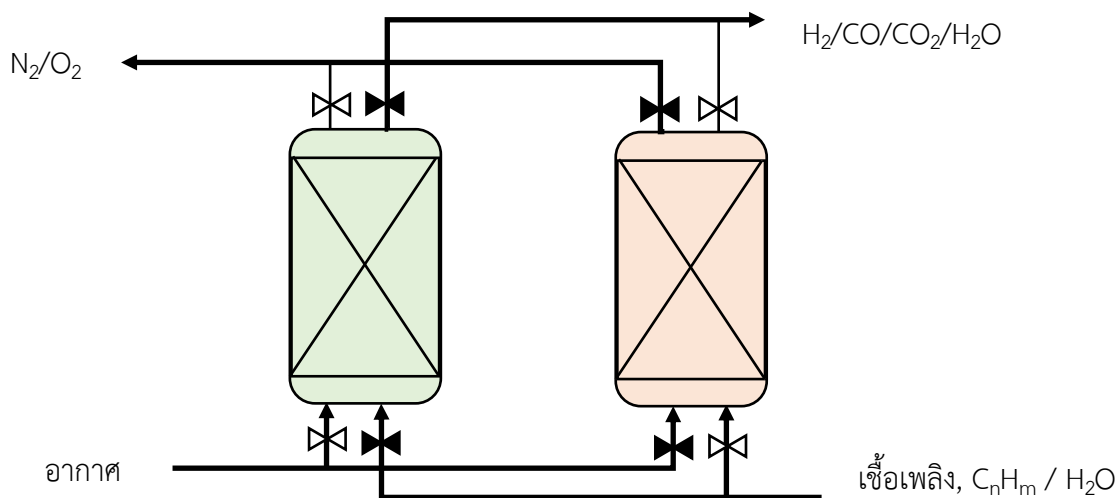
ประเด็นนี้ถือเป็นข้อดีของกระบวนการนี้ที่เหนือกระบวนการอื่นที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน กล่าวคือ เป็นการหลีกเลี่ยงการสัมผัสกันโดยตรงของเชื้อเพลิงกับอากาศที่จะส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้รับลดลง และเป็นการเผาไหม้ที่มีการแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออก โดยกลไกภายในกระบวนการเอง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการแยกก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้ [10] จากนั้นขั้นตอนต่อมาโลหะบริสุทธิ์หรือออกไซด์ของโลหะที่มีปริมาณออกซิเจนลดลงถูกนำเข้าสู่ปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนด้วยอากาศได้ออกไซด์ของโลหะเดิมที่พร้อมจะนำไปป้อนกลับเข้าสู่กระบวนการในรอบต่อไป ส่วนก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะเป็นไนโตรเจนและออกซิเจนที่ยังไม่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อทำการพิจารณาถึงปฏิกิริยาเคมีรวมของทั้งกระบวนการพบว่า ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้ยังเหมือนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยตรงด้วยอากาศ ความร้อนที่ได้รับจะยังมีปริมาณเท่ากับความร้อนที่ได้จากกระบวนการปกติแต่จะไม่มี การสูญเสียความร้อน เนื่องจากไนโตรเจนที่ป้อนเข้าไปกับอากาศในกระบวนการทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น ประสิทธิภาพการเผาไหม้จึงสูงตามไปด้วย



รูปที่ 2.3 กระบวนการเคมีคอลลูบิง สำหรับปฏิกิริยาเผาไหม้

- กระบวนการเคมีคอลลูบปีง สำหรับปฏิกิริยาการผลิตก๊าซไฮโดรเจน [11]

นอกจากการนำกระบวนการเคมีคอลลูบปีงไปใช้ในการผลิตเป็นพลังงานโดยตรงแล้ว กระบวนการนี้ยังสามารถประยุกต์กับการผลิตไฮโดรเจน ซึ่งถือเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการคมนาคมขนส่งในอนาคต เช่น นำไปใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) หรือใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น เมทานอล (Methanol) เพื่อสังเคราะห์ต่อไปเป็นไดเมทิลอีเทอร์หรือดีเอ็มอี (Dimethyl Ether) ปัจจุบันกระบวนการผลิตไฮโดรเจนที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปเกิดจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนสภาพหรือรีฟอร์มมิง (reforming) ของเชื้อเพลิงฟอสซิลจำพวกก๊าซธรรมชาติร่วมกับไอน้ำภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ (tubular reactor) โดยก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ก๊าซดังกล่าวถูกแยกด้วยกระบวนการที่ใช้เทคนิคขั้นสูงและมีราคาแพง อีกทั้งปฏิกิริยาการเปลี่ยนสภาพเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบดูดความร้อนที่จะนำความร้อนมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ที่ก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดการใช้กระบวนการเคมีคอลลูบปีงประยุกต์กับปฏิกิริยาการผลิตไฮโดรเจน แผนภาพของกระบวนการนี้ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อเดิมจะถูกรวมเข้าไปในกระบวนการเคมีคอลลูบปีงบริเวณฝั่งที่ป้อนก๊าซเชื้อเพลิงเข้าไปในกระบวนการสำหรับขั้นตอนของกระบวนการที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับกระบวนการสำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ แต่กระบวนการจะต้องมีการควบคุมปริมาณออกซิเจน เพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ ดังนั้นกระบวนการนี้จะสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ทั้งหมดในกระบวนการแบบเดิม ยกตัวอย่างเช่น จะเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องการความร้อนจากภายนอกป้อนเข้าไปในกระบวนการและถ้ามีการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมก็จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการแยกก๊าซผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นด้วย เป็นต้น



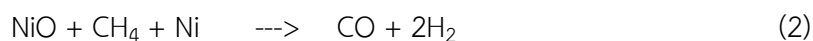
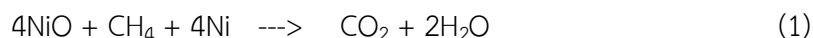
รูปที่ 2.4 กระบวนการเคมีคอลลูบปีง สำหรับปฏิกิริยาการผลิตไฮโดรเจน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lyon และ Cole [12] ได้ศึกษากระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลลูบปิง ซึ่งเป็นกระบวนการใหม่ที่ใช้ตัวพาออกซิเจนเป็นแหล่งของออกซิเจน แนวคิดนี้มีพื้นฐานมาจากการเผาไหม้แบบเคมีคอลลูบปิง ซึ่งตัวพาออกซิเจนทำหน้าที่ในการนำออกซิเจนจากอากาศสู่เชื้อเพลิงโดยไม่เกิดการสัมผัสกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ จึงไม่ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวพาออกซิเจนในการเผาไหม้แบบเคมีคอลลูบปิงจะเกิดออกซิเดชันแบบสมบูรณ์ และเกิดผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนกระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลลูบปิง ตัวพาออกซิเจนจะเกิดออกซิเดชันบางส่วน ซึ่งจะเกิดผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน วัสดุที่นำมาใช้ถ่ายโอนออกซิเจนจึงต้องมีความสามารถในการเกิดรีฟอร์มมิงได้ดีและเกิดได้กับปริมาณต่ำ

Silvester และ คณะ [13] งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยารีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลลูบปิงของวัสดุถ่ายโอนออกซิเจน 2 ชนิด คือ นิกเกิลออกไซด์ (NiO) บนตัวรองรับอลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) และเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO₂) เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำของมีเทนในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง จากการทดสอบด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (TGA) วัสดุถ่ายโอนออกซิเจนนิกเกิลเซอร์โคเนีย (Ni-Zr) สามารถเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดีและมีเสถียรภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์กับมีเทนและเกิดออกซิเดชันกับอากาศได้หลายรอบ ส่วนผลของวัสดุถ่ายโอนออกซิเจนนิกเกิลอลูมินา (Ni-Al) แสดงให้เห็นว่าการเกิดรีดักชันเพิ่มขึ้นในช่วง 12 รอบแรกเนื่องจากผลของนิกเกิลอลูมินา (NiAl₂O₄) และคงที่ในช่วง 8 รอบหลัง และพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมและปริมาณการผลิตไฮโดรเจนของวัสดุถ่ายโอนออกซิเจนทั้งสองลดลงเมื่อเทียบกับจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการเผาแล้วรวมตัวกันเป็นผลึกของนิกเกิลในระหว่างเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าวัสดุถ่ายโอนออกซิเจนนิกเกิลเซอร์โคเนีย (Ni-Zr) มีความเหมาะสมกว่าวัสดุถ่ายโอนออกซิเจนนิกเกิลอลูมินา (Ni - Al) ในแง่ของเสถียรภาพในช่วง 20 รอบของการเกิดรีดักชันและการเกิดรีออกซิเดชันที่ 650 และ 850 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีสมการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้คือ

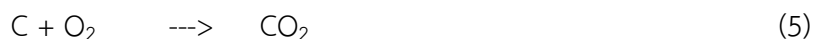
Reduction



Carbon deposition



Oxidation



Jiang และ คณะ [14] งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุตัวพาออกซิเจน นิกเกิลออกไซด์บนตัวรองรับ เซอร์โคเนียมแบบนาโนคอมโพสิตที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนสารที่เป็นเนื้อเดียวกัน (precipitation method) เทียบกับวัสดุตัวพาออกซิเจนแบบรองรับด้วยโลหะแบบธรรมดาที่เตรียมด้วยวิธีอิมเพกเนชัน (Impregnation method) นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มแลนทาไนด์ ซึ่งทดสอบประสิทธิภาพและความเสถียรในการผลิต ไฮโดรเจนของวัสดุตัวพาออกซิเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปีงรีฟอร์มมิงด้วยกลีเซอรอล (CLR) โดยกำหนดให้ ทำที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ทั้งขั้นตอนการป้อนเชื้อเพลิงและขั้นตอนการป้อน อากาศสลับกันไปมา นอกจากนี้ให้ระหว่างการป้อนสารจะมีการป้อนไฮโดรเจนควบคู่กันไป เนื่องจากทำหน้าที่เป็น แก๊สตัวพา นอกจากนี้ยังมีการทดสอบด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปีงรีฟอร์มมิงแบบมีการดูดซับด้วยกลีเซอรอล (SE-CLR) ซึ่งจากผลการทดสอบด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปีงรีฟอร์มมิงด้วยกลีเซอรอลพบว่าเมื่อเสริมโลหะ ซีเรียมบนวัสดุตัวพาออกซิเจนแบบนาโนคอมโพสิตจะให้ค่าร้อยละการเลือกเกิดของไฮโดรเจนสูงสุดร้อยละ 94 และให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลไปเป็นผลิตภัณฑ์เกือบสมบูรณ์ตลอดการทดสอบ ซึ่งได้จำนวนรอบ ทั้งหมด 50 รอบและในส่วนของ การทดสอบด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปีงรีฟอร์มมิงแบบมีการดูดซับจำนวน 50 รอบ พบว่าวัสดุตัวพาออกซิเจนแบบนาโนคอมโพสิตที่เสริมด้วยโลหะซีเรียมจะให้ค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของ ไฮโดรเจนที่ผลิตได้สูงและคงที่ประมาณร้อยละ 95 และให้ค่าร้อยละการสลายตัวแคลเซียมคาร์บอเนตเฉลี่ยร้อยละ 50 โดยไม่มีการให้ความร้อนจากภายนอก

Bloom และ คณะ [15] งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนจากมีเทนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปีง สตรีมรีฟอร์มมิงด้วยกลีเซอรอล (CLSR) โดยใช้ นิกเกิลออกไซด์เป็นวัสดุตัวพาออกซิเจน ซึ่งในกระบวนการผลิต ไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบปีงสตรีมรีฟอร์มมิงจะแบ่งเป็นสองขั้นตอนตามการป้อนสาร กล่าวคือ ขั้นตอน การป้อนสารไฮโดรคาร์บอน เพื่อให้ นิกเกิลออกไซด์เกิดปฏิกิริยารีดักชันกับมีเทนและขั้นตอนถัดมาคือการสลับไป ป้อนน้ำ เพื่อเป็นการเติมออกซิเจนให้แก่โลหะออกไซด์ที่สูญเสียออกซิเจนไปในตอนแรกให้กลับมา มีจำนวน ออกซิเจนเท่าเดิมและสามารถวนกลับไปเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับสารไฮโดรคาร์บอนได้ใหม่ได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) กลีเซอรอลร้อยละ 99.5 (Glycerol)
- 2) นิกเกิลไนเตรตเฮกซะไฮเดรต (Nickel(II) nitrate hexahydrate)
- 3) ไอรอนไนเตรต โนนาไฮเดรต (Iron (III) nitrate nonahydrate)
- 4) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide)
- 5) น้ำปราศจากประจุ (Deionized water)
- 6) สารดูดความชื้น (Silica gel)
- 7) แก๊สอ้างอิง (Standard gas)

- ไฮโดรเจน	ร้อยละ 1
- คาร์บอนไดออกไซด์	ร้อยละ 1
- คาร์บอนมอนอกไซด์	ร้อยละ 1
- อีเทน	ร้อยละ 1
- เอทิลีน	ร้อยละ 1
- มีเทน	ร้อยละ 1
- ไนโตรเจน	ร้อยละ 94

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1) เส้นใยควอทซ์ (Quartz wool)	1	ขวด
2) ปีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร	1	ใบ
3) ปีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร	2	ใบ
4) กระบอกตวง 25 มิลลิลิตร	1	ใบ
5) แท่งแก้วคนสาร	1	แท่ง
6) ถังเก็บแก๊ส 1000 มิลลิลิตร	4	ถัง
7) ถังเก็บแก๊ส 2000 มิลลิลิตร	2	ถัง

8) ขวดน้ำกลั่น	1	ขวด
9) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)	1	แท่ง
10) เครื่องกวนสารละลายและให้ความร้อน (Hotplate Stirrer)	1	เครื่อง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งสำหรับงานวิจัย แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งสำหรับงานวิจัย

ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

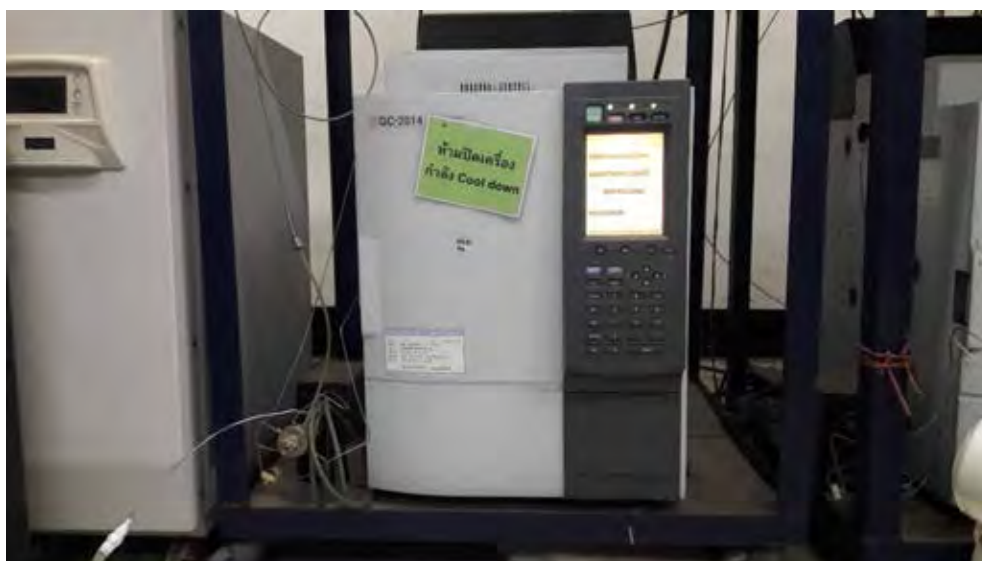
- 1) ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร สำหรับบรรจุกลีเซอรอล
- 2) HPLC Pump จำนวน 1 เครื่อง ทำหน้าที่ดูดจ่ายกลีเซอรอล โดยควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ที่ 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที
- 3) วาล์วกันกลับ (Check valve) สำหรับป้องกันการไหลย้อนกลับของสารป้อน
- 4) เครื่องปฏิกรณ์แบบเบตนิ่ง (Fixed-bed reactor) ทำจากท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว และต่อยาวกับท่อขนาด $\frac{1}{8}$ นิ้ว ซึ่งภายในสามารถบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปที่ตำแหน่งกลางของท่อได้
- 5) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเคมีคอลลูบปีงรีฟอร์มมิ่ง
- 6) ระบบการควบแน่น (Condensing system) เพื่อใช้ในการควบแน่นสารละลายกลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา
- 7) เกจวัดความดัน (Pressure gauge) เพื่อวัดความดันภายในระบบ

- 8) อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) เพื่อควบคุมความดันภายในระบบ
- 9) วาล์วแบบลูกทรงกลม (Ball valve) ใช้ในการปล่อยความดันของระบบให้เป็นความดันบรรยากาศเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง
- 10) เครื่องแยกแก๊สและของเหลว (Gas-liquid separator) เพื่อใช้แยกผลิตภัณฑ์แก๊สกับสารละลายกลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา
- 11) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของแก๊ส (Bubble flow) เพื่อวัดอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์แก๊ส
- 12) อุปกรณ์วัดความชื้น เพื่อวัดความชื้นในผลิตภัณฑ์แก๊ส โดยภายในบรรจุซิลิกาเจล
- 13) ถังเก็บตัวอย่างแก๊ส

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

งานวิจัยนี้ ใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-2014 ดังรูปที่ 3.2 ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยสภาวะที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

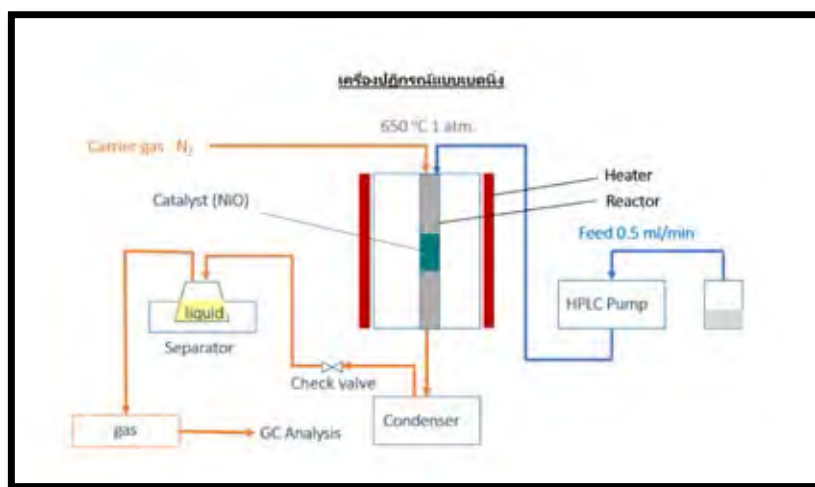
ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

การฉีด (Injection port)	
อุณหภูมิ	120 องศาเซลเซียส
แก๊สพา (Carrier gas)	อาร์กอน (Ar)
ข้อมูลคอลัมน์ (Column Information)	
ชนิดคอลัมน์	Unibeads C packed column
อุณหภูมิเริ่มต้น	50 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิสุดท้าย	180 องศาเซลเซียส
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ	30 องศาต่อนาที
เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์	9.33 นาที
ระบบตรวจวัด (Detector)	
ชนิดระบบตรวจวัด	Thermal Conductivity Detector (TCD)
อุณหภูมิ	180 องศาเซลเซียส
อัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling rate)	40 มิลลิวินาที

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

3.4.1 การเตรียมชุดเครื่องปฏิกรณ์สำหรับงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง และเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเพื่อวิเคราะห์ผลแก๊สผลิตภัณฑ์ โดยแสดงแผนผังจำลองชุดเครื่องปฏิกรณ์สำหรับงานวิจัย ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังจำลองชุดเครื่องปฏิกรณ์สำหรับงานวิจัย

- 1) เตรียมปั๊มสำหรับใช้ในการบ่อนกลีเซอร์อล
- 2) ตัดท่อขนาด 1/16 นิ้ว เพื่อนำไปประกอบกับปั๊ม
- 3) นำท่อขนาด 1/2 นิ้ว ซึ่งมีท่อลดขนาดให้เหลือเพียง 1/8 นิ้ว มาต่อที่จุดเชื่อมเพื่อทำหน้าที่เป็นเครื่องปฏิกรณ์ ผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิเพื่อไปยังเครื่องควบแน่น
- 4) Condenser ในอ่างโพน โดยภายในอ่างจะทำการบรรจุน้ำแข็งไว้ เพื่อทำหน้าที่เป็นเครื่องควบแน่น
- 5) ต่อกิ่งที่ออกจากเครื่องควบแน่นเข้ากับตัวควบคุมความดัน แล้วต่อผ่านจุกยางเพื่อนำไปประกอบกับขวดลูกขมฟู่สำหรับการแยกของเหลวออกจากแก๊ส
- 6) นำท่อขนาด 1/8 นิ้วต่อกับจุกยางเพื่อใช้เป็นท่อก๊าซที่ออกจากขวดลูกขมฟู่มาผ่านสารดูดความชื้น ก่อนจะทำการเก็บตัวอย่างด้วยถุงเก็บแก๊ส

3.4.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

- นิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก
 1. นำนิกเกิลไนเตรตเฮกซะไฮเดรต 4.95 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากัน
 2. ชั่งตัวรองรับอะลูมินา 10 กรัม แล้วนำไปผสมกับสารละลายนิกเกิลไนเตรตเฮกซะไฮเดรต
 3. นำเม็ดอะลูมินาในสารละลายนิกเกิลไนเตรตเฮกซะไฮเดรตไปปั่นกวนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
 4. นำสารที่เตรียมไว้ไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
 5. นำไปเผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จึงจะได้นิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
 6. ทำตามข้อ 1 ถึง 5 แต่เปลี่ยนน้ำหนักนิกเกิลไนเตรตเฮกซะไฮเดรตเป็น 7.43 กรัม เพื่อเตรียมนิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก
- เหล็กบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก
 1. นำไอรอนไนเตรตโนนาไฮเดรต 7.23 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากัน
 2. ชั่งตัวรองรับอะลูมินา 10 กรัม แล้วนำไปผสมกับสารละลายไอรอนไนเตรตโนนาไฮเดรต
 3. นำเม็ดอะลูมินาในสารละลายไอรอนไนเตรตโนนาไฮเดรต ไปปั่นกวนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
 4. นำสารที่เตรียมไว้ไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

5. นำไปเผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จึงจะได้เหล็กบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก
6. ทำตามข้อ 1 ถึง 5 แต่เปลี่ยนน้ำหนักไอรอนไนเตรตโนนาไฮเดรต เป็น 10.85 กรัม เพื่อเตรียมเหล็กบนตัวรองรับอะลูมิเนียมออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

3.4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งโดยให้อยู่บริเวณตรงกลางของท่อ จากนั้นจึงทำการประกอบชุดการทดลอง
2. ทำการวัดอัตราเร็วของแก๊ส (ไนโตรเจน)
3. เมื่ออัตราเร็วของแก๊สคงที่จึงทำการเปิดเครื่องให้ความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่กำหนดในการทำปฏิกิริยา
4. หลังจากนั้นเมื่อได้อุณหภูมิที่กำหนดให้ทำการป้อนกลีเซอรอลเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ตามอัตราเร็วที่ต้องการ
5. ทำการสุ่มตัวอย่างแก๊สและวัดอัตราไหลของแก๊สทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 90 นาที หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
6. ปิด HPLC pump ของกลีเซอรอลและเปิด HPLC pump ของน้ำกลั่น จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างแก๊สและวัดอัตราไหลของแก๊สทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 60 นาที แล้วจึงสลับกลับไปป้อนกลีเซอรอลและเก็บข้อมูลอีกครั้ง เพื่อศึกษาการผลิตไฮโดรเจนแบบวนลูป
7. เมื่อเก็บตัวอย่างได้ครบตามที่ต้องการจึงทำการปิดแก๊สไนโตรเจน และเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ตามลำดับ

3.5 สภาพที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตาราง 3.2 สภาพที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ

การทดลองที่	สารที่ใช้	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	ร้อยละโดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อ นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บรรยากาศ)	แก๊สตัวพา
1	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	-	0	0.1	650	1	ไนโตรเจน
2	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	NiO	10	0.1	650	1	ไนโตรเจน
3	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	NiO	15	0.1	650	1	ไนโตรเจน
4	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	Fe ₂ O ₃	10	0.1	650	1	ไนโตรเจน
5	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	Fe ₂ O ₃	15	0.1	650	1	ไนโตรเจน

หมายเหตุ : แต่ละชุดการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง

3.5.2 ศึกษาผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน

ตาราง 3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน

การทดลองที่	สารที่ใช้	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	ร้อยละโดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บรรยากาศ)	แก๊สตัวพา
2	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	NiO	10	0.1	650	1	ไนโตรเจน
3	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	NiO	15	0.1	650	1	ไนโตรเจน
4	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	Fe ₂ O ₃	10	0.1	650	1	ไนโตรเจน
5	กลีเซอรอลบริสุทธิ์	Fe ₂ O ₃	15	0.1	650	1	ไนโตรเจน

หมายเหตุ : แต่ละชุดการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง

3.5.3 ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สำหรับใช้ในกระบวนการ

เคมีคอลลูปิงแบบรีฟอร์มมิง

ตาราง 3.4 สภาวะที่ใช้ในการทดลองโดยศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สำหรับใช้ในกระบวนการเคมีคอลลูปิงแบบรีฟอร์มมิง

การทดลองที่	สารที่ป้อน	ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)	ร้อยละโดยมวลของตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บรรยากาศ)	แก๊สตัวพา
6	กลีเซอรอล	NiO	5	15	0.1	90	650	1	ไนโตรเจน
	น้ำ	NiO	5	15	0.1	60	650	1	ไนโตรเจน
	กลีเซอรอล	NiO	5	15	0.1	90	650	1	ไนโตรเจน
7	กลีเซอรอล	NiO	10	15	0.1	30	650	1	ไนโตรเจน
	น้ำ	NiO	10	15	0.1	60	800	1	ไนโตรเจน
	กลีเซอรอล	NiO	10	15	0.1	30	650	1	ไนโตรเจน

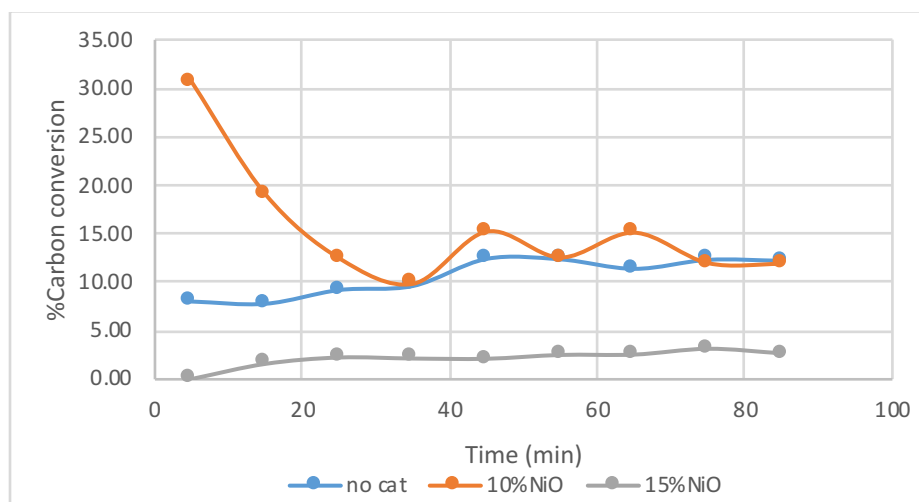
หมายเหตุ : แต่ละชุดการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง

บทที่ 4

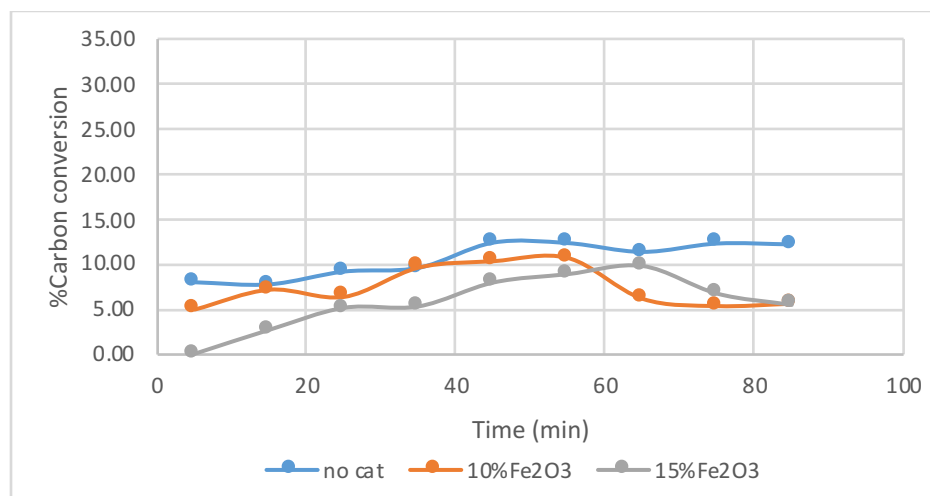
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มข้น ชนิด และประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลลูบิงรีฟอร์มมิงจากกลีเซอรอล โดยทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ และปรับเปลี่ยนความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



(ก)

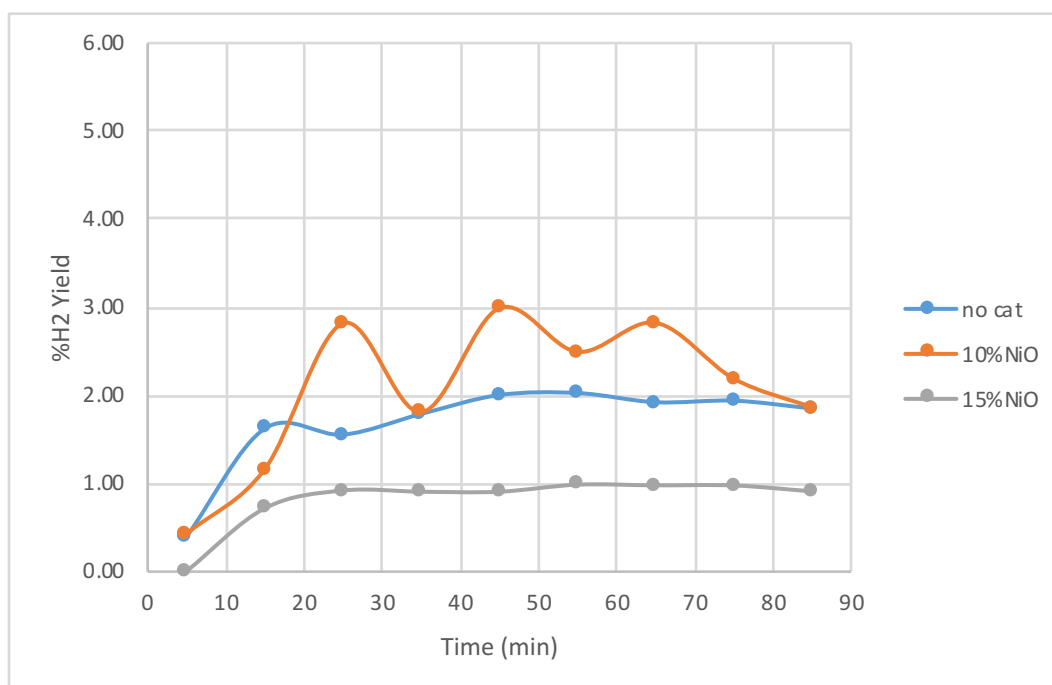


(ข)

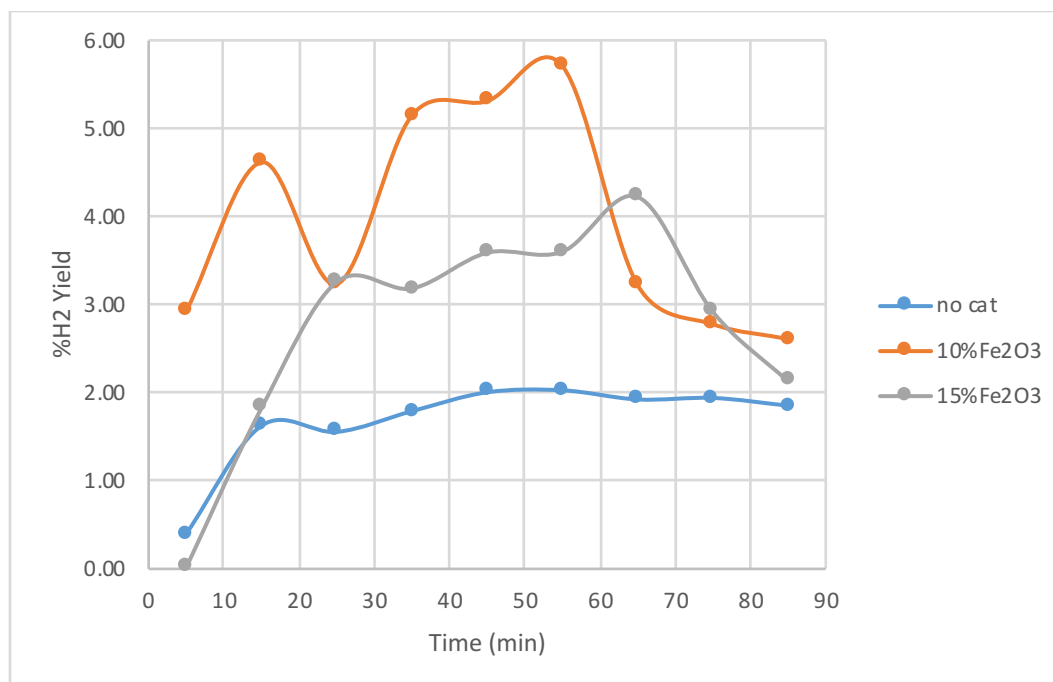
รูปที่ 4.1 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สของตัวเร่งปฏิกิริยา

(ก) นิกเกิลออกไซด์ (ข) ไอรอน(II)ออกไซด์

รูปที่ 4.1 แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 และ 15 โดยน้ำหนักที่มีผลต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และ ไอรอน(II) ออกไซด์ ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของกลีเซอรอลเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที ในช่วงเวลา 90 นาที พบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สโดยไม่มีผลของตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.59 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ของนิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.40 และ 2.04 ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของนิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.38 และ 5.81 ตามลำดับ ซึ่งผลของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สามารถเรียงจากมากไปน้อยได้เป็นที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 0 และ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เกิดขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่ในช่วงต่อมา ที่ความเข้มข้นอื่นๆเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกและค่อยๆคงที่ ส่วนผลของตัวเร่งปฏิกิริยาไอรอน(II)ออกไซด์สามารถเรียงจากมากไปน้อยได้เป็นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกและค่อยๆคงที่ และร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สโดยภาพรวมของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์เกิดได้สูงกว่าไอรอน(II)ออกไซด์ แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของนิกเกิลออกไซด์เกิดได้ต่ำกว่า เนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง ซึ่งเกิดจากการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและเก็บไว้นานเกินไป



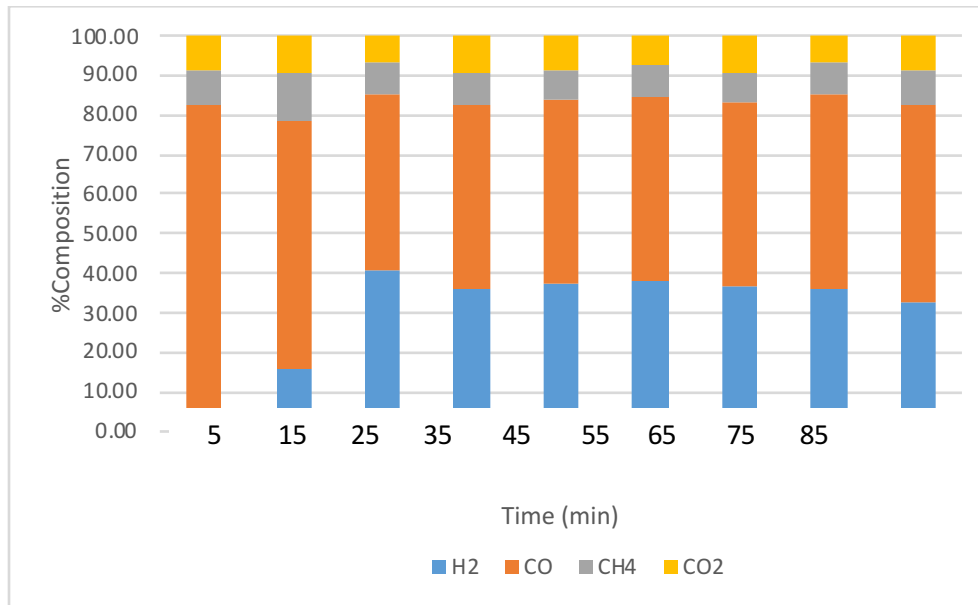
(ก)



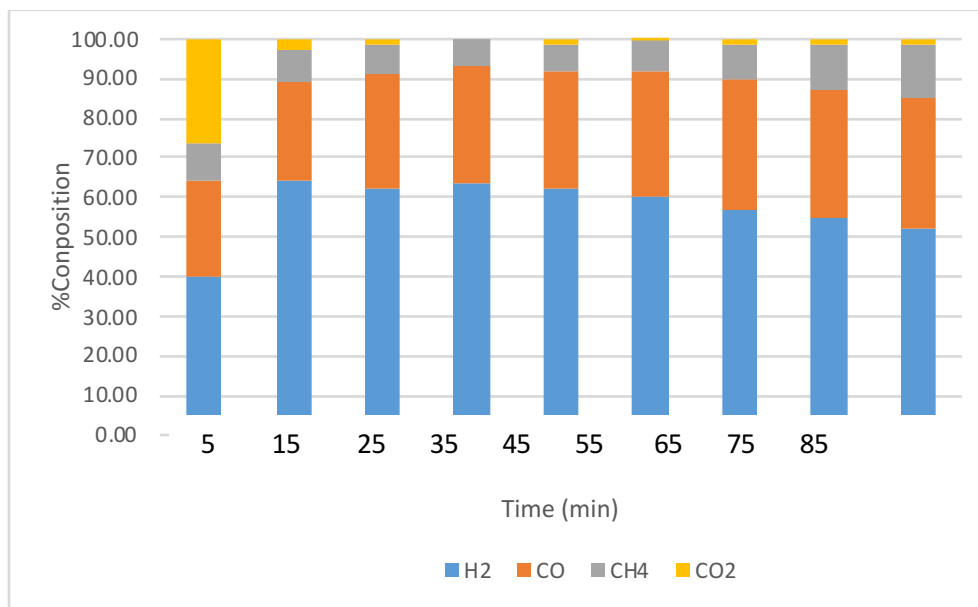
(ข)

รูปที่ 4.2 ร้อยละผลได้ไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยา (ก) นิกเกิลออกไซด์ (ข) ไอรอน(II)ออกไซด์

จากรูปที่ 4.2 แสดงร้อยละผลได้ไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 และ 15 โดยน้ำหนักที่มีผลต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของกลีเซอรอลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตร ต่อนาที ในช่วงเวลา 90 นาที พบว่าร้อยละผลได้ไฮโดรเจนโดยไม่มีผลของตัวเร่งปฏิกิริยา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.68 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของนิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.07 และ 3.95 ตามลำดับ และความเข้มข้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ของนิกเกิลออกไซด์และ ไอรอน(II)ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 และ 2.75 ตามลำดับ ซึ่งผลของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สามารถเรียงจากมากไปน้อยได้เป็นที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 0 และ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊ส โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกและค่อยๆคงที่ ส่วนผลของตัวเร่งปฏิกิริยาไอรอน(II)ออกไซด์สามารถเรียงจากมากไปน้อยได้เป็นที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 15 และ 0 โดยน้ำหนัก ซึ่งร้อยละผลได้ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนคงที่ในช่วงหนึ่งและลดลงในช่วงหลัง เนื่องจากในช่วงแรกยังคงมีโลหะออกไซด์ที่ไม่ถูกรีดิวซ์กับสารไฮโดรคาร์บอนในปริมาณมาก จึงเกิดไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็ว ส่งผลให้กราฟร้อยละผลได้ไฮโดรเจนในช่วงแรกของทั้งสองตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าความชันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย และเมื่อเกิดปฏิกิริยาโลหะออกไซด์จะค่อยๆสูญเสียออกซิเจนไป จนกระทั่งออกไซด์ในโลหะหมด จึงทำให้ไม่สามารถเกิดไฮโดรเจนหรือเกิดในปริมาณที่ลดน้อยลง ดังนั้นจึงส่งผลให้ความชันกราฟร้อยละผลได้ไฮโดรเจนในช่วงเวลาหลังของการทดลองลดลง



(ก)

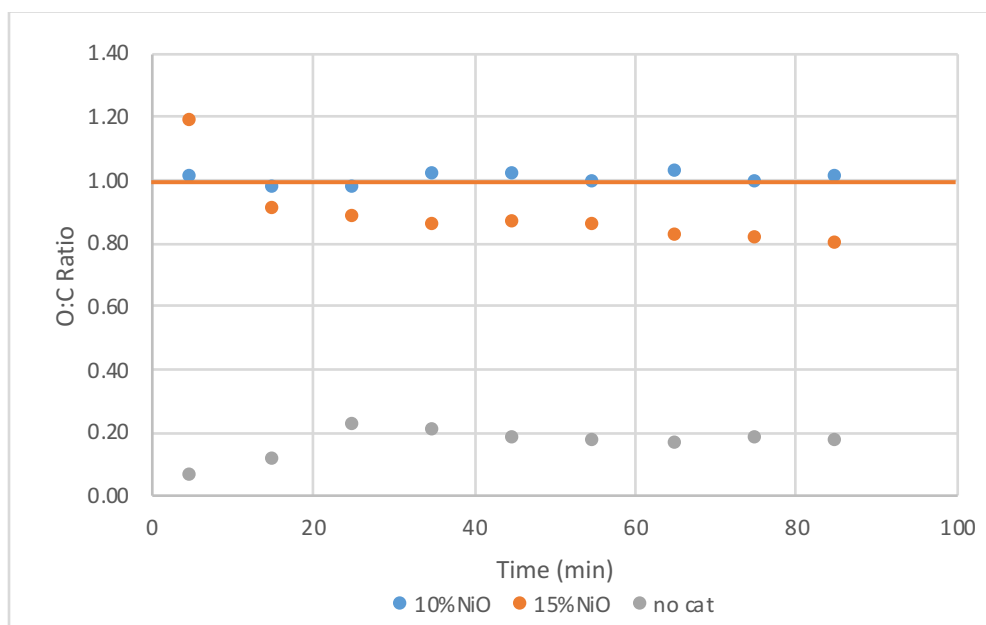


(ข)

รูปที่ 4.3 ร้อยละองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์

(ก) ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นิกเกิลออกไซด์ (ข) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

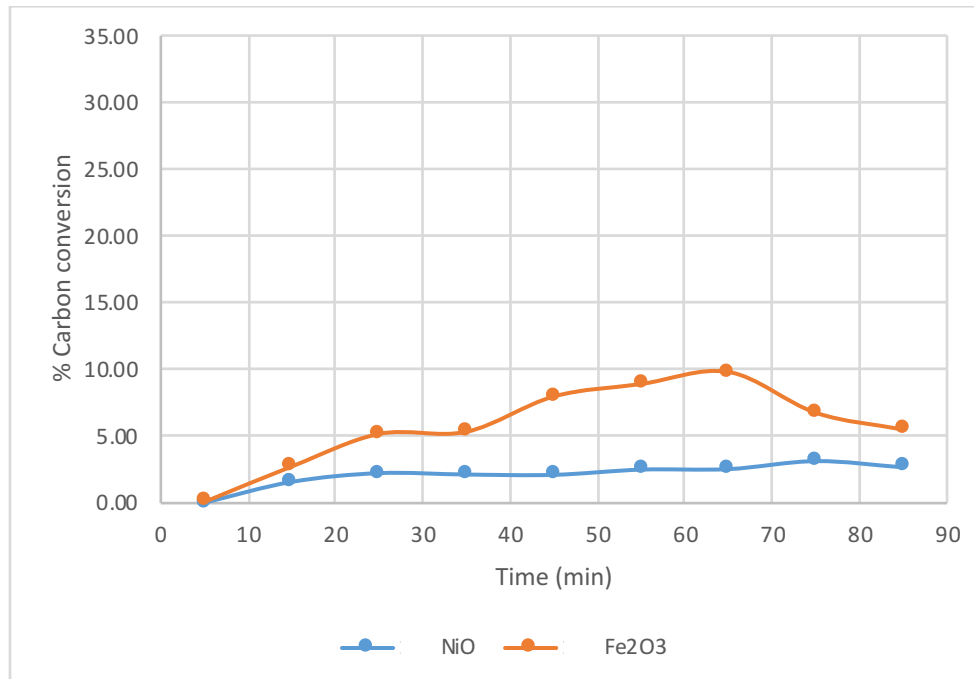
รูปที่ 4.3 แสดงร้อยละประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนนอกไซด์ มีเทนและ คาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียมเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที ในช่วงเวลา 90 นาที พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีร้อยละประกอบของคาร์บอนมอนนอกไซด์มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.22 รองลงมาคือ ไฮโดรเจน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.84 พบมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อย สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีร้อยละประกอบของไฮโดรเจนมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.31 รองลงมาคือ คาร์บอนมอนออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.85 มีมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อยเช่นกัน



รูปที่ 4.4 อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์

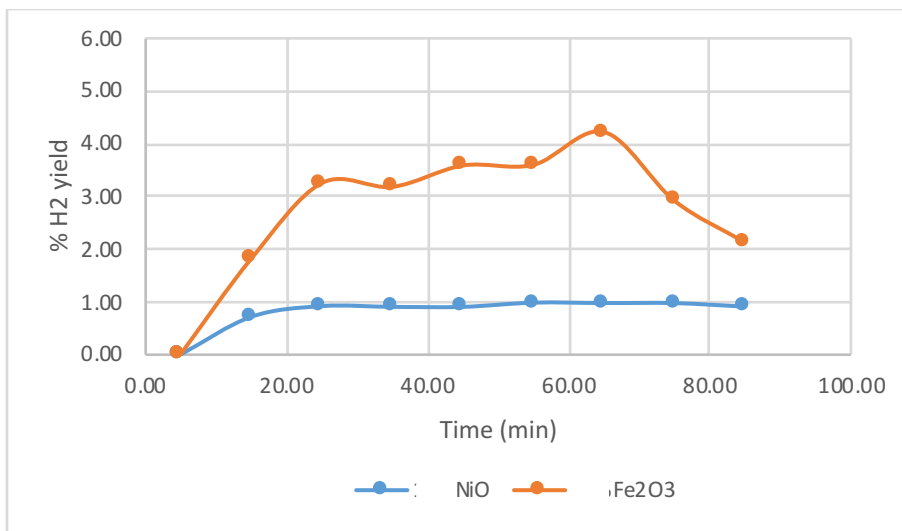
รูปที่ 4.4 แสดงอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สฮีเลียมเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที ในช่วงเวลา 90 นาที พบว่าในช่วงแรกอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักและมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งเมื่อคำนวณอัตราส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สฮีเลียมจะพบว่ามีค่าเท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์อาจทำหน้าที่เป็นตัวถ่ายโอนออกซิเจนได้แต่จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีในช่วงเวลาไม่นาน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่จำกัดและหลังจากนั้นค่าที่ได้ลดลงน้อยกว่า 1 แต่ยังคงมากกว่าค่าที่ได้จากผลของการไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นไปได้ว่าผลที่เกิดขึ้นนั้นมาจากการทำปฏิกิริยาของนิกเกิล

4.2 ผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน



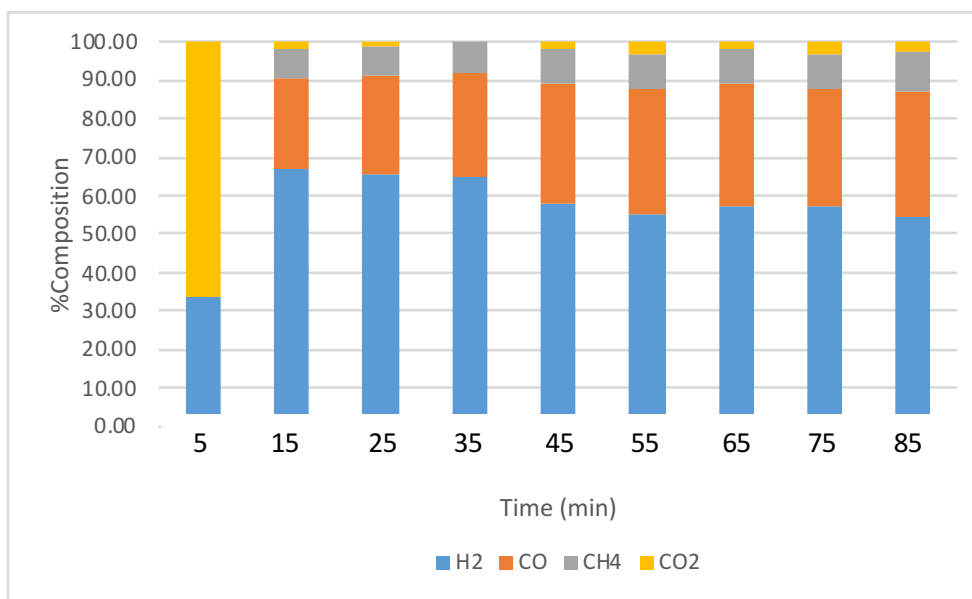
รูปที่ 4.5 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.5 แสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของกลีเซอรอลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที ในช่วงเวลา 90 นาที พบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สของนิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II) ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.04 และ 5.81 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าไอรอน(II)ออกไซด์สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สผลิตภัณฑ์มากกว่านิกเกิลออกไซด์ โดยร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สเพิ่มขึ้นในช่วงแรก เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ยังมีปริมาณมาก เมื่อทำปฏิกิริยาไปเรื่อยๆ กราฟเริ่มจะคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจึงค่อยๆลดลง เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์หมด



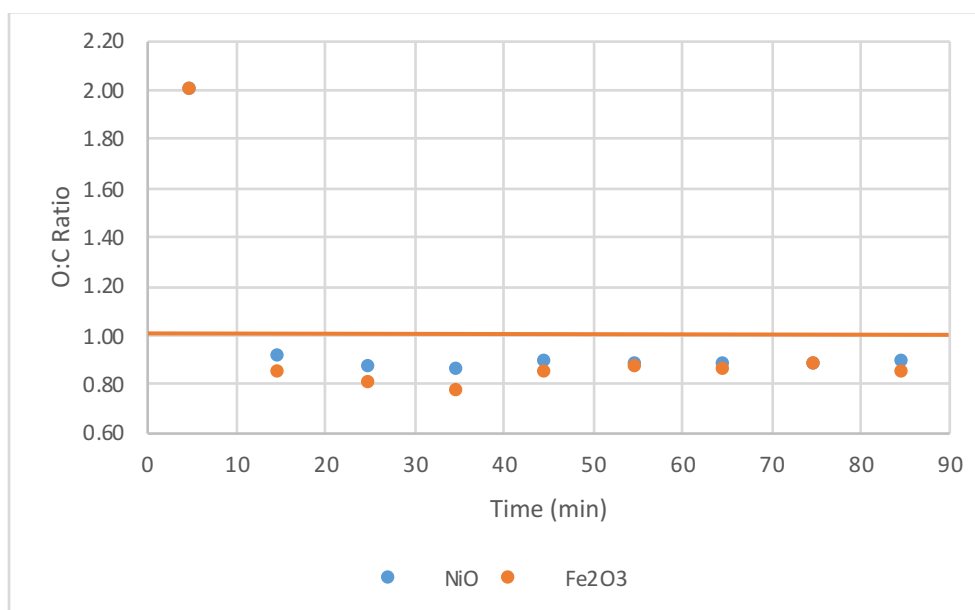
รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.6 แสดงร้อยละผลได้ไฮโดรเจนของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของกลีเซอรอลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาทีในช่วงเวลา 90 นาที พบว่าร้อยละผลได้ไฮโดรเจนของนิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ส่วนร้อยละผลได้ไฮโดรเจนของไอรอน(II)ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.75 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าไอรอน(II)ออกไซด์ให้ผลดีกว่านิกเกิลออกไซด์ และมีแนวโน้มสอดคล้องกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอลเป็นแก๊ส



รูปที่ 4.7 ร้อยละองค์ประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ของไอรอน(II)ออกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.3 (ข) แสดงร้อยละประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนออกไซด์ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้นิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15% โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของกลีเซอรอลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที ในช่วงเวลา 90 นาที พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีร้อยละประกอบของไฮโดรเจนมากที่สุด โดยที่นิกเกิลออกไซด์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.31 ส่วนไอรอน(II)ออกไซด์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 56.97 ซึ่งน้อยกว่านิกเกิลออกไซด์เล็กน้อย และร้อยละประกอบของคาร์บอนมอนออกไซด์มีรองลงมา ตามด้วยมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อย



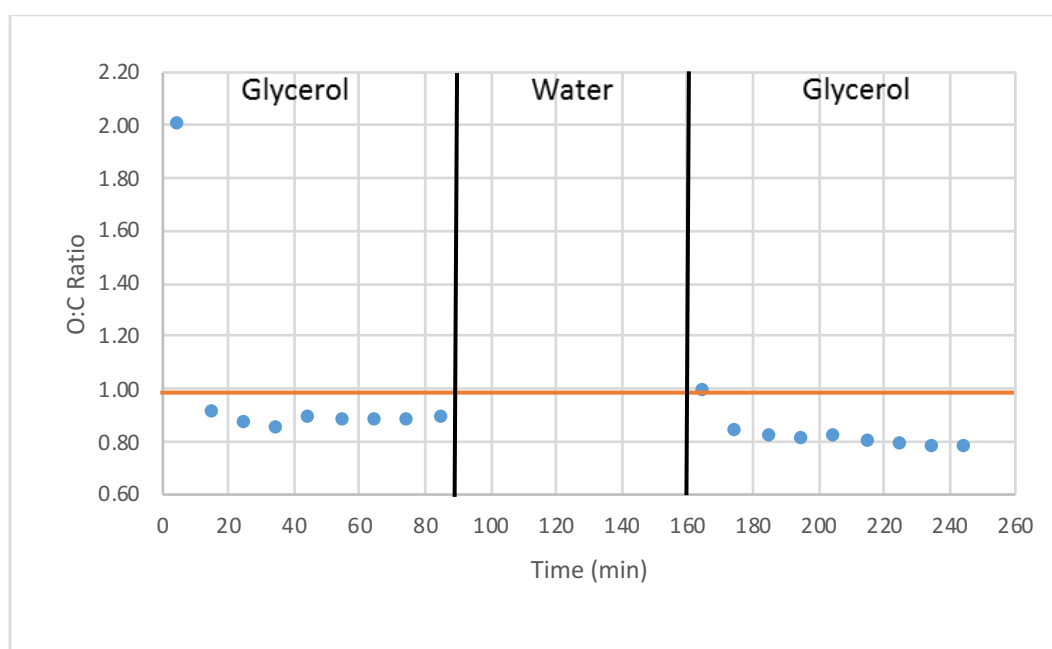
รูปที่ 4.8 อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์

รูปที่ 4.8 แสดงอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ โดยใช้นิกเกิลออกไซด์และไอรอน(II)ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของกลีเซอรอลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที ในช่วงเวลา 90 นาที พบว่าอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองมีค่ามากกว่า 1 ในช่วงเริ่มต้นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ และหลังจากนั้นมีค่าลดลงน้อยกว่า 1 และค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงการทดลอง โดยภาพรวมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์ให้ผลดีกว่าไอรอน(II)ออกไซด์

4.3 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สำหรับใช้ในกระบวนการเคมีคอลรูปแบบ

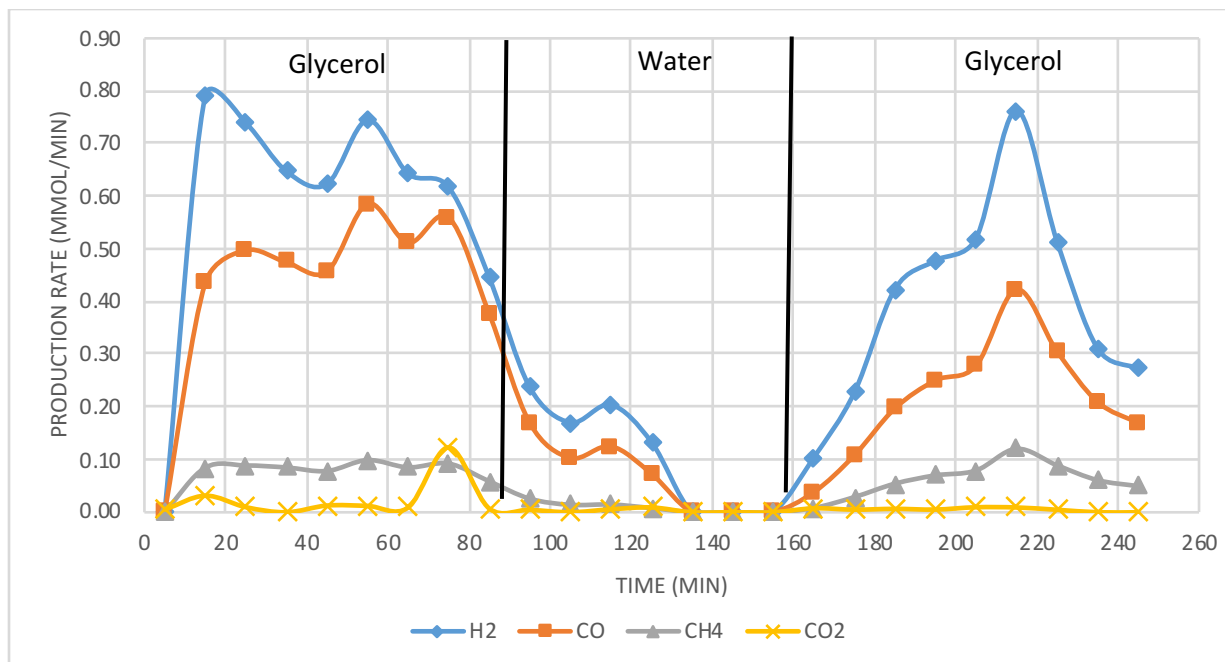
รีฟอร์มมิง

ในขั้นตอนนี้ทำการทดลองโดยใช้นิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 5 กรัม ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง รวมระยะเวลาทั้งหมด 250 นาที ในช่วง 90 นาทีแรกของการทดลอง ทำการป้อนกลีเซอรอลที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ในช่วง 70 นาทีต่อมา ทำการป้อนน้ำที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในช่วง 90 นาทีสุดท้าย ทำการป้อนกลีเซอรอลที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาทีอีกครั้ง

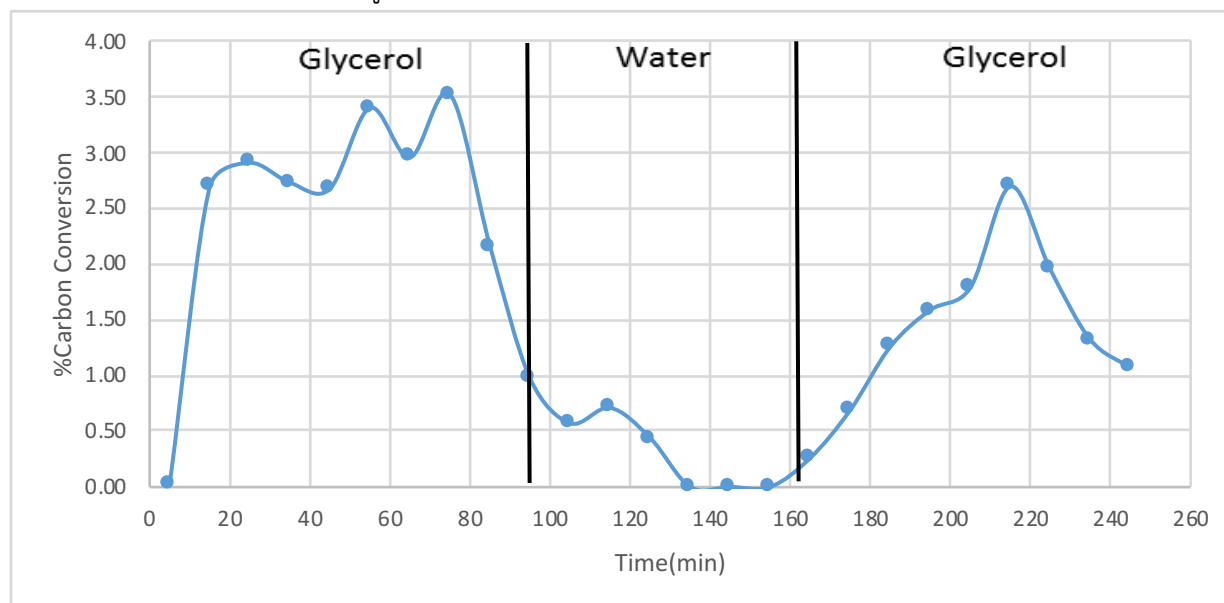


รูปที่ 4.9 อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์

รูปที่ 4.9 แสดงอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ ในช่วงที่ป้อนกลีเซอรอลครั้งแรก พบว่าอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่า 1 ในช่วงเริ่มต้นเพียงช่วงเวลาสั้นๆและหลังจากนั้นมีค่าลดลงน้อยกว่า 1 และค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงการทดลอง หลังจากนั้นทำการป้อนน้ำเป็นระยะเวลา 70 นาที และกลับมาป้อนกลีเซอรอลอีกครั้ง พบว่าอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนกลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้ง แต่ค่าที่ได้มากกว่า 1 เพียงเล็กน้อยและลดลงน้อยกว่า 1 จนสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์



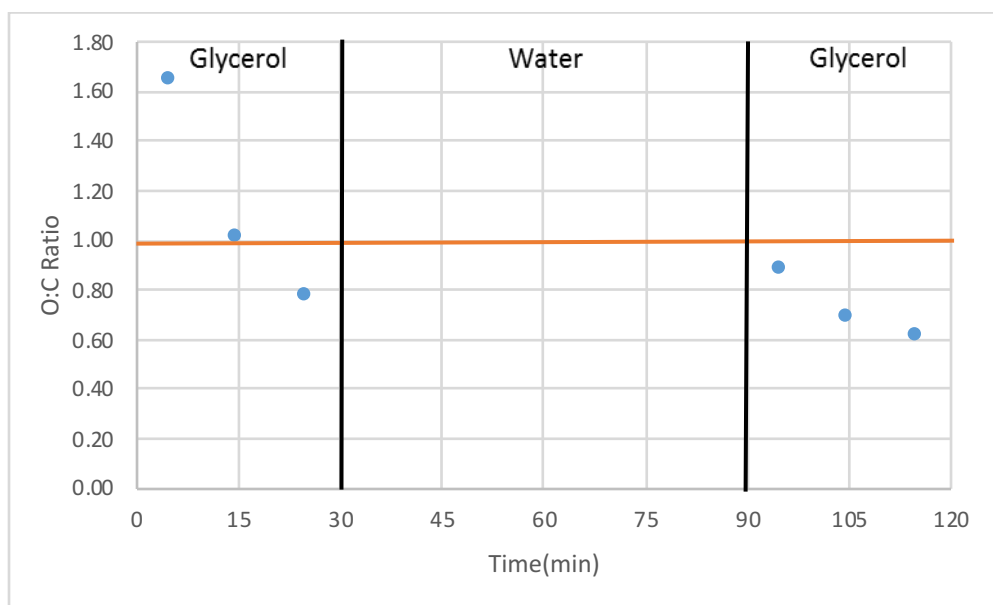
รูปที่ 4.11 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊ส

ปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์(รูปที่ 4.10) ในช่วงที่ป้อนกลีเซอรอลครั้งแรก พบว่าปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเกิดแก๊สไฮโดรเจนในปริมาณมากที่สุด หลังจากนั้นปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งและลดลงอย่างช้าๆในช่วง ในช่วงต่อมาที่ทำการป้อนน้ำ พบว่าเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกเพียงเล็กน้อยและหายไป และในช่วงสุดท้ายที่ป้อนกลีเซอรอลอีกครั้ง พบว่าเกิด

แก๊สผลิตภัณฑ์ขึ้นอีก แต่เกิดในอัตราที่ช้ากว่ารอบก่อนหน้าและเกิดใช้ได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่า และมีแนวโน้มสอดคล้องกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊ส (รูปที่ 4.11)

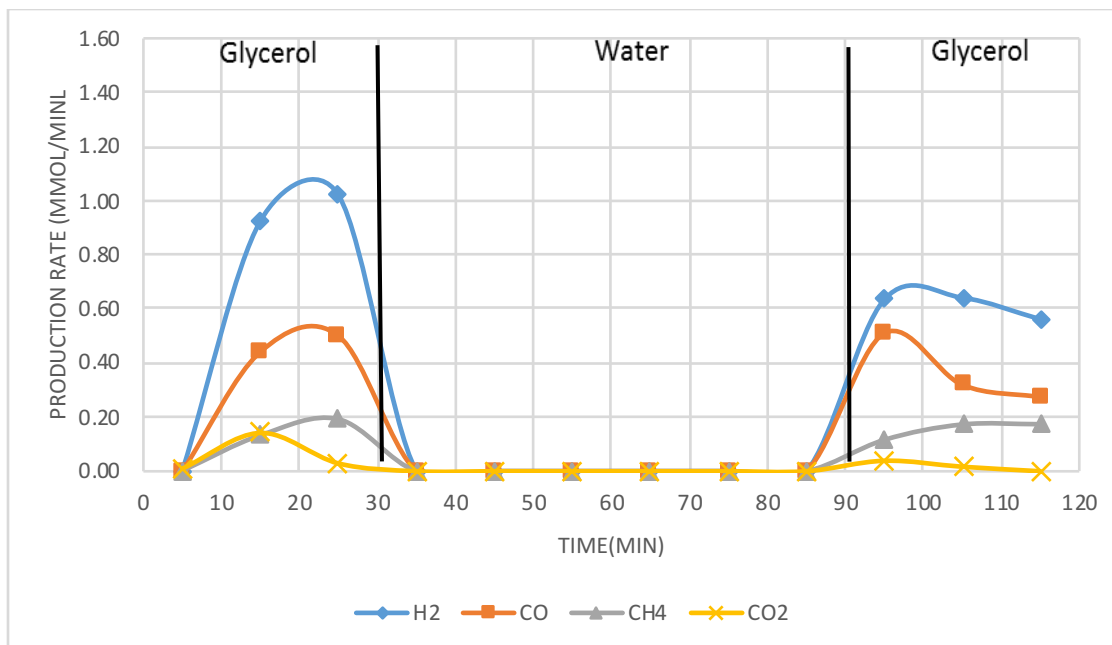
4.3.1 ผลของเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการออกซิไดซ์ด้วยน้ำ

ในครั้งนี้นำทำการทดลองโดยใช้นิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 5 กรัม และที่ความดันบรรยากาศ ในช่วง 30 นาทีแรกของการทดลอง ทำการป้อนกลีเซอรอลที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ในช่วง 60 นาทีต่อมา ทำการป้อนน้ำที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในช่วง 30 นาทีสุดท้าย ทำการป้อนกลีเซอรอลอีกครั้งที่อัตราการไหลเท่ากับ 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส รวมระยะเวลาทั้งหมด 120 นาที เพื่อศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการออกซิไดซ์ด้วยน้ำ

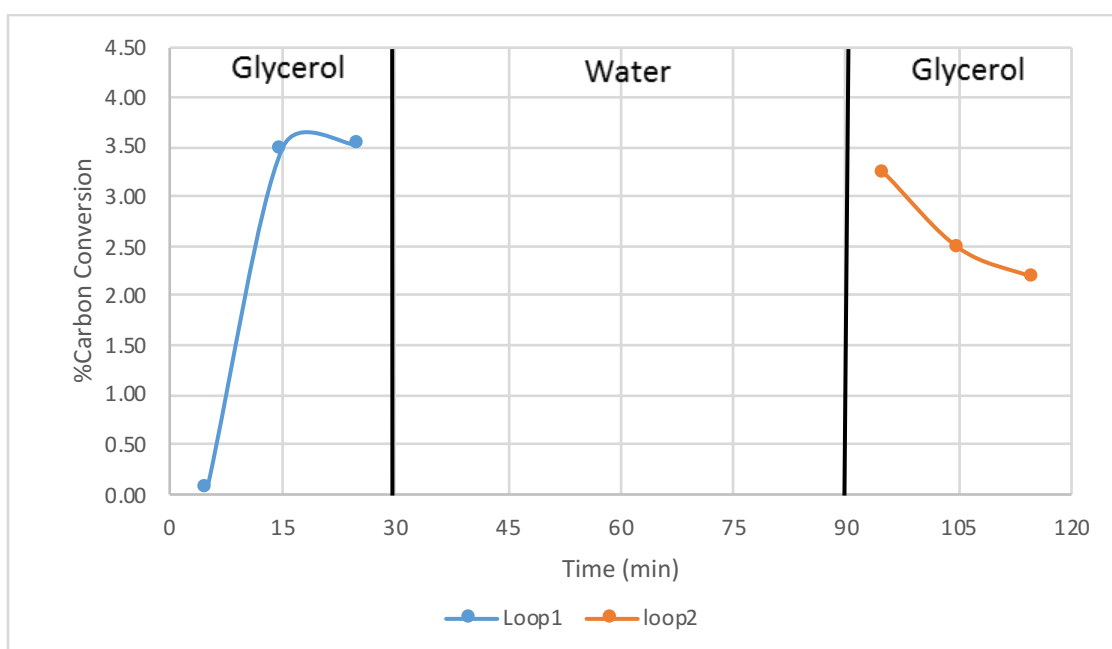


รูปที่ 4.13 อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์

ในการทดลองต้องการศึกษาผลของแก๊สที่เกิดขึ้นจากนิกเกิลออกไซด์เพียงอย่างเดียว จึงป้อนกลีเซอรอลครั้งแรกเพียง 30 นาที ซึ่งพบว่าอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่า 1 จนถึงเวลา 15 นาที ซึ่งสามารถทำงานได้นานกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 5 กรัม หลังจากนั้นค่าที่ได้ค่อยๆ ลดลงน้อยกว่า 1 ช่วงต่อมาทำการป้อนน้ำและกลับมาป้อนกลีเซอรอลอีกครั้ง พบว่าอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนกลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้ง แต่ค่าที่ได้มีน้อยกว่า 1

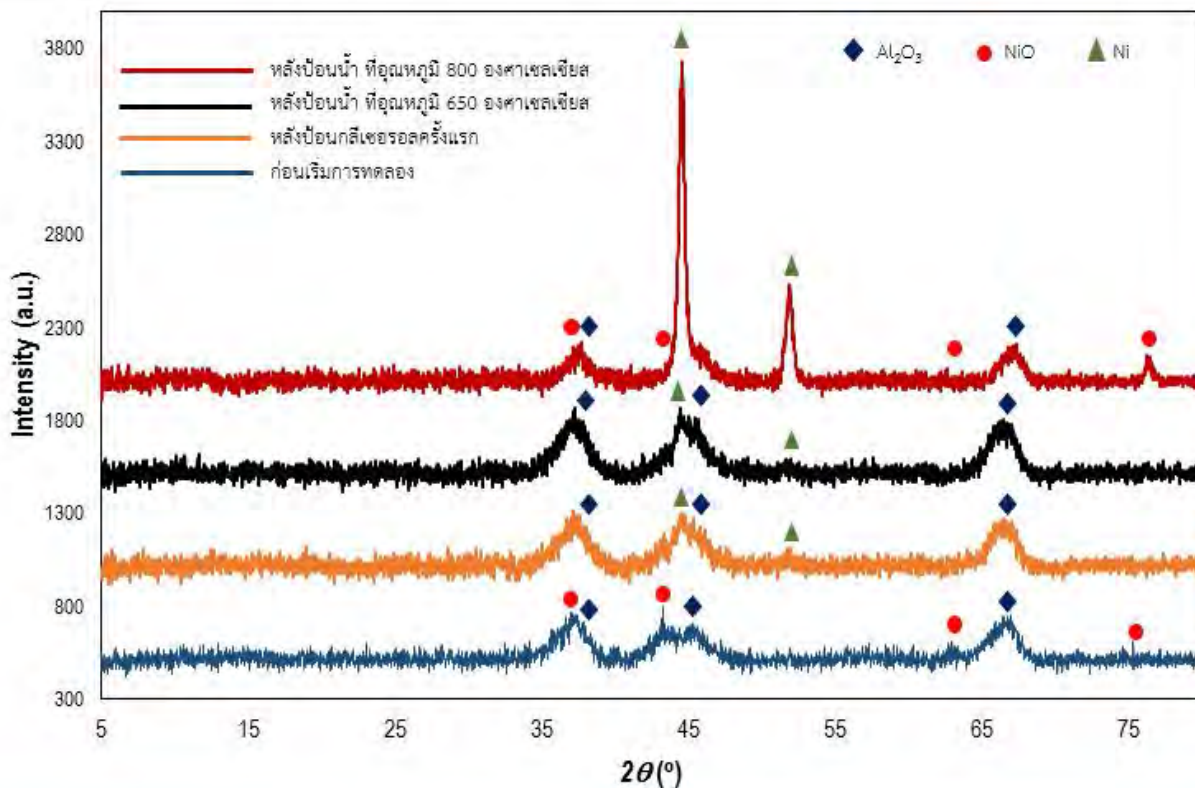


รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.15 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊ส

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ (รูปที่ 4.14) ของช่วงแรกที่ป้อนกลีเซอรอลครั้งกับครั้งที่สอง จะเห็นได้ว่าปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 2 เกิดขึ้นได้น้อยกว่าในครั้งแรก และแนวโน้มของร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊ส (รูปที่ 4.15) ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ XRD

จากผลการวิเคราะห์ XRD ก่อนเริ่มการทดลอง พบว่าเกิดเฟสอะลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวรองรับ และนิกเกิลออกไซด์ซึ่งสามารถให้ออกซิเจนได้ เมื่อทำการทดลองกับกลีเซอรอลแล้วนำมาวิเคราะห์พบว่าเกิดเฟสอะลูมิเนียมออกไซด์และนิกเกิล ซึ่งเป็นผลมาจากการที่นิกเกิลออกไซด์ถูกรีดิวซ์ หลังจากนั้นทำการป้อนน้ำอีกครั้งเพื่อให้เกิดการออกซิไดซ์ จากผลการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดเฟสอะลูมิเนียมออกไซด์และนิกเกิลเช่นเดิม ไม่พบเฟสของนิกเกิลออกไซด์ แต่เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิของการป้อนน้ำเป็น 800 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดเฟสอะลูมิเนียมออกไซด์ นิกเกิลและนิกเกิลออกไซด์ ซึ่งทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของความเข้มข้น ชนิด และประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการเคมีคอลูปิงรีฟอร์มมิงจากกลีเซอรอล โดยทำการทดลองที่ความดันบรรยากาศและปรับเปลี่ยนความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งนิกเกิลออกไซด์และไฮดรอน(II)ออกไซด์ พบว่าตัวเร่งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของทั้งสองตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สและผลได้ของไฮโดรเจนที่มากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก แต่นิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักมีค่าร้อยละองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจนที่มากกว่า อาจกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเกิดดีกว่าก็จริง แต่ก็เกิดแก๊สชนิดอื่นมากด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงควรเลือกใช้นิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแก๊สผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ไปเป็นแก๊สไฮโดรเจน อีกทั้งอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาของนิกเกิลออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ยังมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการถ่ายโอนออกซิเจนที่มีมากกว่า จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งให้ออกซิเจนสำหรับกระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลูปิง

5.2 ผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไฮดรอน(II)ออกไซด์ที่มีผลต่อปริมาณการผลิตไฮโดรเจน

เมื่อพิจารณาผลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์และไฮดรอน(II)ออกไซด์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอน(II)ออกไซด์มีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงกลีเซอรอลเป็นแก๊สและผลได้ของไฮโดรเจนที่มากกว่า ซึ่งบ่งบอกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถผลิตไฮโดรเจนได้ปริมาณมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามผลของอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการถ่ายโอนออกซิเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอน(II)ออกไซด์มีค่าน้อยกว่านิกเกิลออกไซด์ แสดงให้เห็นว่าไฮดรอน(II)ออกไซด์เกิดการถ่ายโอนออกซิเจนได้ไม่ดีสามารถสรุปได้ว่าไฮดรอน(II)ออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถผลิตไฮโดรเจนได้ปริมาณมาก แต่น่ากลับมาใช้ในเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ครั้งต่อไปได้ไม่ดี จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการรีฟอร์มมิงแบบเคมีคอลูปิงซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลายรอบ ดังนั้นนิกเกิลออกไซด์จึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมมากกว่า

5.3 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์สำหรับใช้ในกระบวนการเคมีคอลรูปแบบรีฟอร์มมิง

เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่า ในช่วงแรกอัตราการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่อนข้างคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยายังสามารถทำงานได้ดี หลังจากนั้นอัตราการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากการตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการสูญเสียออกซิเจน(เกิดรีดักชัน) ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเสื่อมประสิทธิภาพ ในช่วง 70 นาทีต่อมาที่ทำการป้อนน้ำ พบว่าเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกเล็กน้อย หลังจากนั้นไม่พบแก๊สผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นอีก ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกลีเซอรอลที่หลงเหลืออยู่ในเครื่องปฏิกรณ์และน้ำที่ป้อนเข้าไปใหม่ และในช่วง 90 นาทีสุดท้ายทำการป้อนกลีเซอรอลอีกครั้ง พบว่าเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ขึ้นอีกครั้ง ซึ่งจากสมมติฐานในตอนแรกที่คาดการณ์ว่าหลังจากป้อนน้ำแล้วนั้นจะทำให้ นิกเกิลเกิดออกซิเดชันกลายเป็นนิกเกิลออกไซด์แล้วนำกลับมาใช้ได้ใหม่ในรูปที่ 2 ชัดแย้งกับผลการวิเคราะห์จาก XRD ซึ่งไม่พบเฟสของนิกเกิลออกไซด์ และผลการคำนวณอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนในแก๊สผลิตภัณฑ์ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 มากจนไม่สามารถยืนยันได้อย่างชัดเจน ซึ่งการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นในรูปที่ 2 อาจเป็นผลมาจากการทำงานของนิกเกิล และเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในระหว่างที่ป้อนน้ำต่ำไปนิกเกิลจึงไม่เกิดออกซิเดชันหรือ ปริมาณนิกเกิลออกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอล จึงปรับเปลี่ยนการทดลองโดยเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการระหว่างป้อนน้ำ ซึ่งผลการทดลองจากการป้อนกลีเซอรอลรูปแรกพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนลดลงช้าขึ้นและปริมาณไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อป้อนน้ำโดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 800 องศาเซลเซียส และทำการทดลองป้อนกลีเซอรอลในรูปที่ 2 เมื่อวิเคราะห์ด้วย XRD พบเฟสของนิกเกิลออกไซด์ ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่านิกเกิลสามารถเกิดการออกซิเดชันกลายเป็นนิกเกิลออกไซด์ได้ที่อุณหภูมิสูง และตัวเร่งปฏิกิริยานี้มาสามารถนำกลับมาใช้ได้อีกครั้ง อัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอนเพิ่มขึ้นจากเดิมแต่ยังคงน้อยกว่ารูปแรก และปริมาณการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์ก็เกิดได้ไม่ดีเท่ารูปแรกเช่นกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำกลับมาใช้ในรูปต่อไปให้มีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าในครั้งแรก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นพร้อมกันเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำ
2. ควรมีการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในสถานะของเหลวและของแข็ง
3. เนื่องจากนิกเกิลออกไซด์ทำงานได้ดีในช่วงเวลาสั้น จึงควรทำการทดลองแต่ละรูปในช่วงเวลาสั้น แต่จำนวนหลายรูปมากกว่าทำการทดลองแต่ละรูปนาน แต่จำนวนน้อยรูป

รายการอ้างอิง

- [1] M. N. Khan, T. Shamim. Exergoeconomic analysis of a chemical looping reforming plant for hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (2007): 4951-4965.
- [2] Z. I. Adiya, V. Dupont, T. Mahmud, Steam reforming of shale gas in a packed bed reactor with and without chemical looping using nickel based oxygen carrier, *International Journal of Hydrogen Energy* 43 (2018): 6904-6917.
- [3] L. F. Diego, M. Ortiz, F.G. Labiano, J. Adanez, A. Abad, P. Gayan, Hydrogen production by chemical-looping reforming in a circulating fluidized bed reactor using Ni-based oxygen carriers, *Journal of Power Sources* 192 (2009): 27-34.
- [4] A. Yahom. Hydrogen production via chemical looping reforming on NiO/CeO₂. Master's Thesis, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2012.
- [5] Remon J, Mercado V, Garcia L, Arauzo J. Effect of acetic acid, methanol and potassium hydroxide on the catalytic steam reforming of glycerol: Thermodynamic and experimental study. *Fuel Processing Technology* 138 (2015) 325–336.
- [6] Abraham, Glycerol as a Pre-Workout. [ออนไลน์] 2016. แหล่งที่มา: <http://supplementsinreview.com/pre-workout/glycerol-pre-workout/> [20 เมษายน 2561].
- [7] Perry, R.H., Green, D.W., Maloney, J.O.H. 1997. *Perry's chemical engineers' handbook*, 7th ed. McGraw-Hill.
- [8] กฤษณา แซ่เฮ้ง. (2561). พลังงานไฮโดรเจน แรงขับเคลื่อนใหม่ ที่ใช้แทนน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ.
- [9] E.J. Anthony, *Solid Looping Cycles: a New Technology for Coal Conversion*, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 47 (2008), 1747-1454.
- [10] L.S. Fan, *Chemical Looping Systems for Fossil Energy Conversions*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, Canada, 2010.

- [11] ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ, Chemical looping ทางเลือกใหม่ในการผลิตพลังงานที่ยั่งยืน, Energy & Environment Technology Vol.38, March 2012.
- [12] R.K. Lyon, J.A. Cole, Unmixed combustion : an alternative to fire, Combustion and Flame Vol.121 (2000): 249-261.
- [13] L. Silvester, A. Antzara, G. Boskovic, E. Heracleous, A. A. Lemonidou, D. B. Bukur, NiO supported on Al₂O₃ and ZrO₂ oxygen carriers for chemical looping steam methane reforming, International Journal of Hydrogen Energy 40 (2015): 7490-7501.
- [14] B. Jing, L. Li, Z. Bian, Z. Li, Y. Sun, Z. Sun, D. Tang, S. Kawi, B. Dou, M. Goula, Chemical looping glycerol reforming for hydrogen production by Ni@ZrO₂ nanocomposite oxygen carriers, International Journal of Hydrogen Energy 43 (2018) 13200-13211.
- [15] R. Bloom, N. Hondow, V. Dupont, M.V. Twing, S.J. Milne, Fibrous aluminosilicate catalyst support for hydrogen production by chemical looping steam reforming, Energy Reports Vol.4 (2018): 733-743.