อิทธิพลของปริมาณนิกเกิลที่มีต่อการเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของเอทานอลด้วยไอน้ำของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินา

EFFECTS OF NICKEL LOADING ON PERFORMENCE OF Ni/Al_2O_3 FOR ETHANOL STEAM REFORMING

นางสาวณัฐณิชา ณัฐนรากร

นางสาวสุชาดา ที่รัก

เล่มที่.....

เลขทะเบียน 62584

วัน,เดือน,ปี 19 ส.ค. 2549

b 11626422

i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECTS OF NICKEL LOADING ON PERFORMENCE OF Ni/Al_2O_3 FOR ETHANOL STEAM REFORMING

Miss Natnicha Natnarakorn

Miss suchada Teerak

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อิทธิพลของปริมาณนิกเกิลที่มีต่อการเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งเอทานอลด้วยไอน้ำของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินา			
นักศึกษา	นางสาวณัฐณิชา	ณัฐนรากร	เลขประจำตัว	46015532
	นางสาวสุชาดา	ที่รัก	เลขประจำตัว	46015553
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี			
พ.ศ.	2548			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. ดวงกมล ณ ระนอง			

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. ดวงกมล ณ ระนอง)

.....กรรมการ
(รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
(ดร. พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง อิทธิพลของปริมาณนิกเกิลที่มีต่อการเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของเอทานอลด้วยไอน้ำของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินา

จัดทำโดย นางสาวณัฐณิชา ณัฐนรากร เลขประจำตัว 46015532

นางสาวสุชาดา ที่รัก เลขประจำตัว 46015553

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ดวงกมล ณ ระนอง

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาที่มีปริมาณนิกเกิลเท่ากับ 0.5, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งเตรียมด้วยวิธีเคลือบฝัง โดยทำการทดลองด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ เพื่อวัดปริมาณของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยป้อนสารตั้งต้นที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อเอทานอลเท่ากับ 3 : 1 โดยโมล และอัตราการไหลในสภาวะแก๊สเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที จากการทดลองพบว่าไฮโดรเจนที่ได้จากการทำปฏิกิริยามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณนิกเกิลที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามเอทิลีนที่เกิดขึ้นมีปริมาณลดลงเมื่อปริมาณนิกเกิลเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากสัดส่วนของจำนวนตำแหน่งว่องไวที่เร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำจะมากขึ้นเมื่อปริมาณโลหะนิกเกิลเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Effects of nickel loading on performance of Ni/Al_2O_3 for ethanol steam reforming	
By	Miss Natnicha Natnarakorn	ID.NO. 46015532
	Miss Suchada Teerak	ID.NO. 46015553
Advisor	Asst. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong	
Report for	Bachelor Degree of Engineering (Chemical Engineering)	
	Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering	
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	

ABSTRACT

This research is a study of ethanol steam reforming reaction using Ni/Al_2O_3 catalysts with different Ni contents (0.5, 5, 10 and 15 wt%). The catalyst was prepared by impregnation method. The reaction experiment was performed using a packed-bed reactor to measure the amount of products formed. The reaction condition was set at atmospheric pressure and constant temperature of 500°C. The feed introduced to the reactor has a molar ratio of water to ethanol of 3 : 1 by mole and total feed rate in gas phase of 200 cm^3/min. The result showed the amount of hydrogen produced from the reaction increased with the nickel content whereas the produced ethylene decreased with the nickel content. This should be according to increasing of an active site for ethanol steam reforming with the nickel content.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาผศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะและช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา และ ดร. พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล กรรมการสอบตรวจปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำจนทำให้มีปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลงได้

ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคุณรัตนาภร ยางสวัสดิ์ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังให้คำชี้แนะและช่วยแก้ปัญหาในด้านต่างๆเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาของผู้วิจัยที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆเรื่องจนผู้วิจัยสามารถทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

อนึ่งยังมีผู้มีพระคุณอีกหลายท่านที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวนาม ถ้ามีสิ่งผิดพลาดประการใดในรายงานนี้ คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญรูป.....VI
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 ทฤษฎี.....3
2.1.1 เซลเชื้อเพลงพลังงานแห่งอนาคต.....3
2.1.2 การผลิตก๊าซไฮโดรเจน.....6
2.1.3 การทำไฮโดรเจนให้บริสุทธิ์.....8
2.1.4 การเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์.....10
2.1.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีเคลือบฝัง.....10
2.2ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....12
บทที่ 3 การทดลอง.....13
3.1 การทำปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งเอทานอลด้วยไอน้ำ.....13
3.2 การวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟ.....16
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....20
4.1 ผลการทดลอง.....20
4.1.1 ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา.....20
4.1.2 อัตราการไหลเชิงโมลของไฮโดรเจนที่ได้จากการทำปฏิกิริยา.....21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.3 ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากการทำปฏิกิริยา.....22
4.1.4 อัตราส่วนความเข้มข้นของอัตราส่วนระหว่าง
ไฮโดรเจนต่อเอทิลีนที่ปริมาณนิกเกิลต่างๆ.....23
4.2 การวิเคราะห์ผล.....24
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....26
เอกสารอ้างอิง.....27
ภาคผนวก.....28
ภาคผนวก ก.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง.....5
รูปที่ 3.1 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา.....17
รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ.....18
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....19
รูปที่ 4.1.1 ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา.....20
รูปที่ 4.1.2 อัตราส่วนการไหลเชิงโมลของไฮโดรเจนที่ได้จากการทำปฏิกิริยา.....21
รูปที่ 4.1.3 ก.ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากการทำปฏิกิริยา.....22
รูปที่ 4.1.3 ข.ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากการทำปฏิกิริยา.....22
รูปที่ 4.1.4 อัตราส่วนความเข้มข้นของอัตราส่วนระหว่าง
ไฮโดรเจนต่อเอทิลีนที่ปริมาณนิกเกิลต่างๆ.....23
รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของไฮโดรเจน.....28
รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอัตราการเพิ่มของประชากรสูงและเทคโนโลยีที่ใช้มีการพัฒนามากขึ้น แต่แหล่งกำเนิดพลังงานมีปริมาณจำกัด จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคตได้ เราจึงจำเป็นต้องหาพลังงานอย่างอื่นขึ้นมาทดแทน

ไฮโดรเจนสามารถนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีระหว่างก๊าซออกซิเจนกับก๊าซไฮโดรเจนในการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีที่สะสมอยู่ภายในเชื้อเพลิงไปเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้ไฮโดรเจนจึงเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงและในอนาคตเราสามารถนำก๊าซไฮโดรเจนไปเป็นเชื้อเพลิงได้อย่างกว้างขวาง

ก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมทั่วไปได้จากกระบวนการรีฟอร์มมิ่งของก๊าซธรรมชาติด้วยไอน้ำ ก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้ต้องอาศัยก๊าซธรรมชาติเป็นสารตั้งต้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน แต่เอทานอลสามารถผลิตได้จากการหมักพืชผลทางการเกษตรจึงถือว่าเป็นวัตถุดิบหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่น่าสนใจและนำมาใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ นอกจากนี้เอทานอลยังเป็นสารที่ไม่อันตราย และสะดวกในการเก็บรักษา

ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจรจากเอทานอลสามารถทำได้โดยปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของเอทานอลเป็นซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$C_2H_5OH + 3H_2O \longrightarrow 6H_2 + 2CO_2 \qquad (1)$$

และ

$$C_2H_5OH + H_2O \longrightarrow 4H_2 + 2CO \qquad (2)$$

ตังเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาได้ถูกนำมาใช้ในการเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำอย่างแพร่หลาย เพราะนิกเกิลเป็นโลหะที่มีความว่องไว มีราคาถูก คงทนและผลิตได้ง่าย เอทานอลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกัน ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาจึงน่าจะมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งเอทานอลด้วยไอน้ำด้วยเช่นกัน เพื่อให้สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากเอทานอล ได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้สำหรับปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งเอทานอลด้วยไอน้ำโดยงานวิจัยนี้จะสนใจพิจารณาบทบาทในการเร่งปฏิกิริยาของโลหะนิกเกิลและตัวรองรับอะลูมินาด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณโลหะนิกเกิลที่เติมลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับอะลูมินา สำหรับปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของเอทานอลด้วยไอน้ำ
2. เพื่อศึกษาผลของปริมาณนิกเกิลที่มีต่อการกระจายของผลิตภัณฑ์ที่ได้ สำหรับปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของเอทานอลด้วยไอน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

วัดความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของเอทานอลด้วยไอน้ำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีเคลือบฝัง โดยกำหนดให้มีปริมาณนิกเกิลเท่ากับ 0.5, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นแบบเบดบรรจุทำงานภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ที่ 500 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บรรยากาศ อัตราส่วนของน้ำต่อเอทานอลต่อน้ำที่ใช้คือ 3:1 โดยโมล อัตราการป้อนสารรวมเป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่ผ่านมา
2. ปรับปรุงและติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
3. ออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยา
4. ติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยา
5. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการเคลือบฝัง (Impregnation)
6. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลปริมาณนิกเกิลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา
7. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง
8. จัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์สำหรับการเลือกเกิดของก๊าซไฮโดรเจน
2. ทราบข้อมูลพื้นฐานสำหรบการนำไปใช้ในการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาให้เหมาะในการนำไปใช้เร่งปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของเอทานอลด้วยไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 เซลเชื้อเพลงพลังงานแห่งอนาคต [1]

ในช่วงที่ผ่านมาแหล่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นและแหล่งพลังงานที่มีอยู่จำกัด ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำมัน จากสาเหตุดังกล่าวจึงเกิดการค้นคว้าและพัฒนาแหล่งพลังงานเพื่อทดแทนพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งทางเลือกหนึ่งก็คือเซลเชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงคืออุปกรณ์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี-ไฟฟ้าระหว่าออกซิเจนกับไฮโดรเจนซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานของเชื้อเพลิง ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ไม่ต้องผ่านการเผาไหม้ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์นี้ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ทั้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ 1-3 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงและชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายแบบขึ้นอยู่กับสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเช่นเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจนไฮโดรเจน-ไฮดราซีน โพรเพน-ออกซิเจน เป็นต้น และชนิดที่นิยมใช้คือ เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เพราะเมื่อปฏิกิริยาในเซลล์เกิดขึ้นแล้วนอกจากพลังงานจะได้น้ำบริสุทธิ์เกิดขึ้นและความร้อนไว้ใช้ตามความเหมาะสมด้วย นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ยังไม่ทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนเพราะไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เซลล์เชื้อเพลิงมีลักษณะคล้ายเซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วหรือที่เรียกกันว่าแบตเตอรี่เซลล์เชื้อเพลิงยังไม่เป็นที่นิยมใช้ทั่วไปอย่างแบตเตอรี่เพราะต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ในครั้งแรกสูงและยังมีอันตรายต้องใช้ความรู้เฉพาะ ควบคุมหลายประการ แต่ในปัจจุบันได้นำมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดเช่นโทรศัพท์มือถือ ปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาจะเกิดเมื่อผ่านก๊าซไฮโดรเจนเข้าไป

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิดแต่ทุกชนิดจะให้กระแสไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง(DC) ที่สามารถนำไปขับมอเตอร์ หลอดไฟ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ได้ โดยชนิดของตัวเซลล์เชื้อเพลิง จะแบ่งโดยสารเคมีที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นหลักโดยมีชนิดดังต่อไปนี้

1. Proton exchange membrane fuel cell(PEMFC) เป็นชนิดที่ได้รับความนิยมและจะถูกนำไปใช้ในรถยนต์ในอนาคต

2 . Alkaline fuel cell(AFC) เป็นชนิดแรกที่มีการสร้างขึ้นมา เคยถูกใช้ในโครงการอวกาศของสหรัฐในช่วงปี 1960 แต่เนื่องจากระบบไวต่อการปนเปื้อนมากจึงต้องใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจนบริสุทธิ์เท่านั้นทำให้ระบบมีราคาสูงมากไม่สามารถนำมาขายในท้องตลาดได้

3. Phosphoric-acid fuel cell(PAFC) เป็นระบบที่มีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้ในสถานีรถไฟฟ้าขนาดเล็ก เนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าแบบ PEMFC ทำให้ต้องใช้เวลาในการอุ่นระบบที่นานกว่าทำให้มันไม่เสถียรในการนำมาใช้ในรถยนต์

4. Solid oxide fuel cell(SOFC) เป็นระบบที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่เนื่องมาจากสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาก แต่เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิสูงมาก(ประมาณ 1,832 องศาฟาเรนไฮต์) ทำให้มีปัญหาเรื่องเสถียรภาพ แต่มีข้อดีตรงที่ว่า ไอน้ำอุณหภูมิสูงที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการนี้ สามารถนำไปใช้ปั่นกังหันต่อได้ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นอย่างมาก

5. Molten carbonate fuel cell(MCFC) เป็นอีกประเภทหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่ แต่ชนิดทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า คือที่ประมาณ 1,112 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 600 องศาเซลเซียสและยังสามารถให้ไอน้ำความดันสูงเพื่อมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วยและเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า SOFC ทำให้ไม่ต้องใช้วัสดุพิเศษจึงทำให้ระบบนี้ใช้งบประมาณที่น้อยกว่า

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทโดยแบ่งตามประเภทของสารพาประจุ (Electrolyte) เซลล์เชื้อเพลิงจะแบ่งโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

1. **ขั้วแอโนด(Anode)** เป็นขั้วลบ มีหน้าที่ส่งอิเล็กตรอนออกจากขั้ว โดยอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา

$$H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^- \qquad (3)$$

โดยที่ขั้วจะมีช่องที่ติดกับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งฉาบอยู่บนผิวหน้าของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยปฏิกิริยาจะเกิดเมื่อผ่านก๊าซไฮโดรเจนเข้าไป

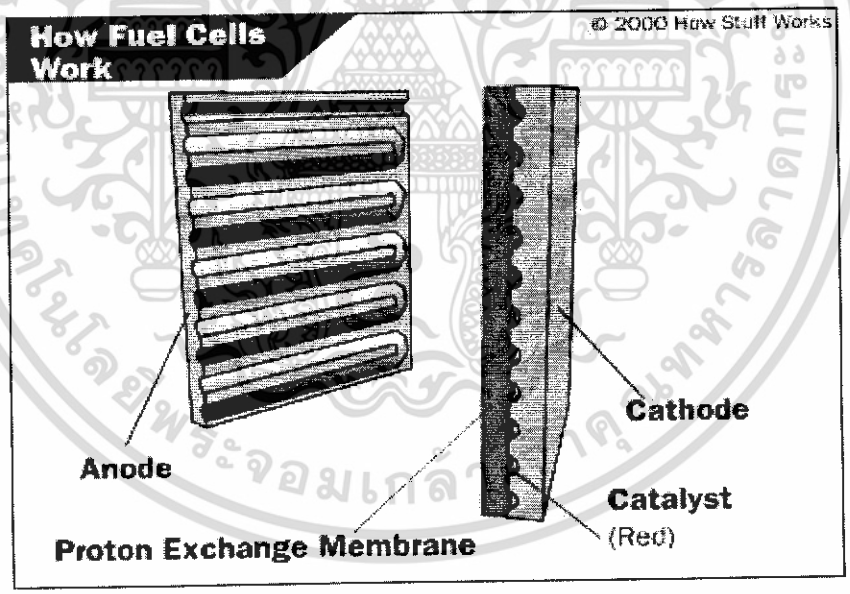
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ขั้วแคโทด(Cathode)** เป็นขั้วบวก โดยมีช่องติดกับเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ทำหน้าที่รับโปรตอนและก๊าซออกซิเจนซึ่งถูกปล่อยออกมาที่ผิวหน้าของเยื่อซึ่งฉาบตัวเร่งปฏิกิริยาเอาไว้และทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนกลับมาจากวงจรภายนอก เพื่อรวมกันเป็นน้ำ ดังปฏิกิริยา

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow H_2O \qquad (4)$$

3. สารพาประจุ(Electrolyte) เป็นส่วนที่มีความสำคัญ เพราะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนชนิดต่างๆและเป็นส่วนที่เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละประเภทแตกต่างกัน โดยประเภทที่เรากล่าวถึงอยู่นี้คือสารพาประจุ จะเป็นเพียงเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน(Proton exchange membrane) เท่านั้นซึ่งมีลักษณะเหมือนแผ่นพลาสติกในการทำครัว โดยจะให้โปรตอนผ่านได้ แต่จะไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน

4. ตัวเร่งปฏิกิริยา(Catalyst) เป็นวัสดุพิเศษที่ช่วยให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆเกิดได้ดี โดยส่วนใหญ่จะเป็นผงแพลทินัมเคลือบอยู่บนแยกแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งจะมีลักษณะขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจน และ ออกซิเจน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

หลักการทำงานคือ ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกปล่อยไปในด้านแอโนดโดยใช้ความดัน เมื่อก๊าซไปสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา ก็จะเกิดการแตกตัวเป็น โปรตอนและอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะถูกส่งไปยังวงจรภายนอก ส่วนโปรตอนนั้นจะผ่านช่องของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนไปยังขั้วแคโทด ซึ่งจะไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่รับมาจากวงจรภายนอก รวมไปถึงอะตอมของออกซิเจนซึ่งแตกตัวโดยการเร่งของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำขึ้นมา ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนนี้จะนำไปใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้เพื่อประโยชน์ในงานด้านต่างๆแต่เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่อันตราย เนื่องจากติดไฟได้จึงไม่เหมาะสมในการบรรจุ หรือเคลื่อนย้ายไปมาและทำให้มีการพัฒนา Fuel Processor ซึ่งมีหลักการคือ

1. ใช้เครื่อง Reformer เปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ น้ำ และก๊าซออกซิเจนให้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2. ใช้เครื่อง Catalytic Converter เปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. จากนั้นก็นำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้ได้ตามความต้องการ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ปล่อยสู่อากาศต่อไป

วิธีนี้นอกจากจะเพิ่มความปลอดภัยแล้วยังเป็นการประหยัดอีกด้วยเนื่องจากสามารถเปลี่ยนสารอื่นให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนได้

2.1.2 การผลิตก๊าซไฮโดรเจน[3]

การผลิตไฮโดรเจนชนิดเกรดธรรมดา(Regular purity) ซึ่งมีประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ทั้งหมดใช้วิธีการผลิตแบบ Steam – Hydrocarbon process เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ใช้วิธีการ Pro-oxidation อาทิ เช่น Steam – Iron process, Cracking of Ammonia, Thermal dissociation of Natural Gas, Fermention เป็นต้น ส่วนการผลิตไฮโดรเจนบริสุทธิ์จะใช้วิธี Electrolytic process หรือโดยการทำผลผลิตชนิดธรรมดาให้บริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Thermochemical Method

เป็นวิธีผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้ความร้อนและปฏิกิริยาเคมีในการเปลี่ยนสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไปเป็นไฮโดรเจน เช่น

1.1 กระบวนการรีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำ(Steam Reforming)

เป็นกระบวนการที่อาศัยน้ำในการทำปฏิกิริยากับก๊าซธรรมชาติหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น เช่น แนฟทา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารผสมไฮโดรเจน คาร์บอนมอนออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินา เพราะมีราคาถูกกว่าโลหะชนิดอื่นๆ ที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน ตัวรองรับอะลูมินาที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี และทนอุณหภูมิได้ถึง 1,500 องศาเซลเซียส มีปฏิกิริยาเกิดดังสมการ

$$C_nH_m + nH_2O \longrightarrow nCO + (m/2 + n)H_2 \quad (5)$$

$$CO + H_2O \longrightarrow CO_2 + H_2 \quad (6)$$

ปฏิกิริยาที่ 5 เป็นปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำซึ่งเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนอย่างรุนแรง ต้องทำที่อุณหภูมิประมาณ 760 – 980 องศาเซลเซียส ความดันต่ำประมาณ 20 บรรยากาศและต้องมีไอน้ำมากเกินพอเพื่อป้องกันการเกิดคาร์บอน ปฏิกิริยาที่ 6 เป็นปฏิกิริยา Water gas shift ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนต้องทำที่อุณหภูมิต่ำและมีไอน้ำมากเกินพอ

1.2 Partial Oxidation Processes

เป็นกระบวนการการผลิตก๊าซสังเคราะห์ที่สามารถใช้สารตั้งต้นได้หลากหลาย ตั้งแต่แก๊สธรรมชาติไปจนถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลว โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังสมการ

$$C_nH_{2n} + n/2CO_2 \longrightarrow nCO + nH_2 \quad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Electrolytic Method[4]

เป็นการผลิตไฮโดรเจนที่ต้องการความบริสุทธิ์ โดยผ่านไฟฟ้ากระแสตรงในสารละลายด่างเพื่อแยกน้ำดังสมการ

$$2H_2O \longrightarrow 2H_2(g) + O_2(g) \quad (8)$$

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ตามทฤษฎีต้องใช้ความต่างศักย์ 1.23 โวลต์ที่อุณหภูมิห้อง แต่ในความเป็นจริงต้องใช้ 2.0 – 2.25 โวลต์เพราะเกิดแรงดันเกิน(Over voltage) ของไฮโดรเจนที่ขั้วอิเล็กโทรดและเกิดความต้านทานภายในเซลล์ ในทางการค้าสารละลายที่ใช้คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ ใช้เหล็กเป็นขั้วแคโทด และใช้เหล็กชุบนิกเกิลเป็นขั้วแอโนด โดยมีแผ่นใยหินบางๆ (Asbestos diaphragm) เป็นตัวกั้น ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส ความบริสุทธิ์ของไฮโดรเจนที่ได้ประมาณ 99.7 เปอร์เซ็นต์

3. Photolytic Method

เป็นการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจน และออกซิเจน แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

3.1 Photoelectrolysis คือกระบวนที่แสงอาทิตย์ถูกดูดกลืนในสารกึ่งตัวนำ (Semicondutor) เพื่อแยกน้ำทำให้เกิดไฮโดรเจนและออกซิเจน ในปัจจุบันกระบวนการดังกล่าวมีเพียงเล็กน้อย

3.2 Photobiological คือกระบวนการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ให้ผลผลิตไฮโดรเจนในกิจกรรมเมตาโบลิค (Metabolic) โดยใช้พลังงานแสง

2.1.3 การทำไฮโดรเจนให้บริสุทธิ์ (HYDROGEN PURIFICATION)

Carbon Monoxide Conversionor Shift Reaction and Methanation

ในการขจัดสิ่งเจือปนที่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยวิธี Water-gas-shife reaction หรือใช้ Copper liquor เป็นตัวดูดซึมคาร์บอนมอนอกไซด์ Copper liquor ที่มักใช้เสมอคือ Cuprous ammonium ($Cu(NH_3)_2COOH$)

Hot Potassium Carbonate Process

วิธีการนี้ใช้สำหรับกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณมากๆ และเป็นวิธีการที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตก๊าซหลายอย่าง ก๊าซที่ผ่านกรรมวิธีกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีนี้จะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพียงประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามในการทำให้ก๊าซบริสุทธิ์ อาจใช้วิธี Girbotol process ก่อนแล้วจึงใช้ Potassium carbonate process ตามอีกขั้นตอนหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Girbotol Process

กระบวนการนี้เป็นวิธีการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซอื่นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมกันมากเป็นวิธีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารดูดซับ (Absorber) ซึ่งส่วนใหญ่มักใช้สารละลายเอมีน (Monoethanolamine)

กระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นแบบต่อเนื่อง โดยการผ่านสารละลายที่เป็นสารดูดซับเข้าไปในหอดูดซับ (Absorber) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะออกจากก๊าซผสม ก๊าซที่เหลือคือไฮโดรเจนจะถูกแยกออกทางส่วนบนของหอดูดซึม สารละลายที่ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ไว้แล้วจะถูกสูบเข้าไปใน Reactivator และให้ความร้อนโดยการพ่นไอน้ำเพื่อคายคาร์บอนไดออกไซด์ออกจะได้สารละลายที่มีความว่องไวต่อการดูดซึมกลับคืนมาสามารถนำไปใช้ได้อีก ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะแยกออกทางส่วนบนของหอ Reactivator เพื่อผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลวและคาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (Dry ice) ต่อไปก๊าซที่ทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีนี้จะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เหลืออยู่เพียง 0.01 เปอร์เซ็นต์

Cryogenic Liquid Purification

วิธีนี้เหมาะสำหรับการแยกที่มีสิ่งเจือปนต่ำ เช่นกรณีทำไฮโดรเจนให้บริสุทธิ์ โดยการทำก๊าซที่ทำให้บริสุทธิ์เย็นลงมากๆที่ 300 psi และอุณหภูมิ -180°C แล้วล้างด้วยมีเทนเพื่อกำจัด ก๊าซไนโตรเจน และล้างก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ออก ล้างด้วยโพรเพนเหลว เพื่อกำจัดมีเทนผลที่ได้จะได้ไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์ถึง 99.9 เปอร์เซ็นต์

Diffusion Purification

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้กำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นก๊าซที่นิยมกันมากและมีประสิทธิภาพสูงเช่น Palladium Diffusion ใช้ทำไฮโดรเจน 50 เปอร์เซ็นต์ให้มีความบริสุทธิ์สูงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ [5]

1. นิยามและความสำคัญ

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมคือตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous Catalysts) ซึ่งโดยทั่วไปมีสถานะเป็นของแข็ง ใช้เร่งปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นเป็นของเหลวหรือแก๊ส เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งนั้นมีความแข็งแรงเชิงกล ทนทานต่อความดันและอุณหภูมิสูง สามารถแยกออกจากสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นได้ง่าย ในกรณีที่สารตั้งต้นเป็นของเหลว สารตั้งต้นมักจะผสมอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ในสภาวะที่ต้องการ และการแยกผลิตภัณฑ์อาจทำได้โดยการกลั่น สำหรับสารตั้งต้นที่เป็นแก๊สนั้นสารตั้งต้นจะผ่านเข้าไปทางปลายข้างหนึ่งของเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor) และผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งบรรจุอยู่บนเบด(Bed)เกิดการดูดซับบนผิวหน้าของตัวเร่งก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้า ซึ่งอาจเป็นการจับตัวกันของสารตั้งต้นบนผิวหน้า หรือมีการเปลี่ยนโครงสร้างแล้วสารผลิตภัณฑ์จะหลุดออกจากผิวหน้าออกมาจากปลายอีกข้างหนึ่งของเครื่องปฏิกรณ์

2. องค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบหลักคือ องค์ประกอบว่องไวเพื่อช่วยให้ทำปฏิกิริยา (Active component) และตัวรองรับ (Support) หรือตัวพา (Carrier) มักเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง เพื่อให้เกิดการง่ายต่อการกระจายตัวของสารว่องไวในการทำปฏิกิริยามากขึ้น

2.1.5 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีเคลือบฝัง

วิธีเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบมีตัวรองรับสามารถแบ่งได้ 3 วิธีดังนี้ คือ วิธีตกตะกอน (Precipitation) วิธีแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange) และวิธีการเคลือบฝัง(Impregnation) โดยวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดคือวิธีเคลือบฝัง เพราะสามารถทำได้ง่ายและใช้เวลาน้อย

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีเคลือบฝังประกอบด้วยกระบวนการหลายขั้นตอน และสภาวะที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนจะเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจึงต้องทำภายใต้สภาวะที่กำหนดขึ้นและควบคุมอย่างระมัดระวัง เพื่อให้โลหะว่องไวมีการกระจายตัวดีอาจเลือกใช้สารที่มีความเป็นรูพรุนมากเป็นตัวรองรับ นอกจากนี้สิ่งเจือปนต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตั้งต้นสำหรับเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาก็อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งว่องไว การเลือกเกิดและอายุการใช้งานด้วย

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีเคลือบฝังสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1.Impregnation เป็นการทำให้สารละลายเกลือของโลหะว่องไวเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุนโดยหยดสารละลายเกลือลงบนตัวรองรับอย่างช้าๆ ปัจจัยต่าง ๆที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของตัวเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาได้แก่ความเข้มข้นของสารละลาย การผสม อุณหภูมิ และเวลา สารละลายของโลหะว่องไวที่ใช้มักเป็นสารละลายที่มีประจุลบ เช่นไนเตรท ซึ่งมักไม่เสถียรเมื่อโดนความร้อนและขนาดเฉลี่ยของอนุภาคนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ หากใช้สารละลายโลหะที่มีความเข้มข้นสูงแนวโน้มจะทำให้เกิดอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งใหญ่กว่าใส่โลหะที่เป็นสารละลายเจือจาง พื้นที่ผิวของรูพรุนซึ่งเป็นพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าเป็นสัดส่วนกับปริมาตรของรูพรุน ซึ่งปริมาตรของแต่ละรูพรุนมักมีขนาดไม่เท่ากัน

2. Drying เป็นการทำให้โลหะว่องไวฝังตัวลงบนตัวรองรับโดยการให้ความร้อนในระหว่างนี้สารละลายตั้งต้น (Percursor) จะเกาะลงบนพื้นผิวภายในรูพรุนของตัวรอบรับ อัตราการทำให้แห้งมีผลต่อการกระจายตัวของสารตั้งต้น โดยหากอัตราการทำให้แห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกลือของโลหะถูกเคลื่อนย้ายมาอยู่บริเวณปากของรูพรุน ซึ่งทำให้การกระจายตัวของโลหะบนตัวรองรับไม่สม่ำเสมอ

3. Calcination เป็นการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นเพื่อให้เกลือของโลหะว่องไวสลายตัวกลายเป็นสารประกอบออกไซด์

4. Activation เป็นกระบวนการกระตุ้นภายใต้บรรยากาศที่มีแก๊สซึ่งมีคุณสมบัติเป็น reducing agent เพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มีความว่องไว มักทำโดยใช้ไฮโดรเจน (อาจเจือจางด้วยไนโตรเจน) คาร์บอนมอนนอกไซด์ หรือ mild reducing agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งด้วยน้ำเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ผลิตไฮโดรเจน โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อน ปริมาณไฮโดรเจนที่ได้และการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับสภาวะต่างๆ ที่ใช้ทำการทดลองชนิดของโลหะว่องไวและตัวรองรับ

Xinjie Zhang และคณะ[6] ศึกษาพฤติกรรมตัวรองรับอะลูมินาที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะปริมาตรของรูพรุนที่แตกต่างกัน ที่ใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์บนตัวรองรับอะลูมินา ซึ่งงานวิจัยนี้จะศึกษาการเกิดปฏิกิริยา Oxidative dehydrogenation ของอีเทนไปเป็นเอทิลีนจากการทดลองพบว่าผลได้ของเอทิลีนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนระหว่าง ปริมาตรรูพรุนกับพื้นที่ผิวของตัวรองรับที่ใช้ และใช้วิธีวิเคราะห์ลักษณะและสมบัติโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ XRD TEM และ H_2 – TPR จากการวิเคราะห์วิเคราะห์ลักษณะและสมบัติโครงสร้างตัวเร่งปฏิกิริยา พบ ว่าคุณสมบัติทางกายภาพมีผลต่อการกระจายตัวของนิกเกิลออกไซด์ ผลึกของนิกเกิลออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่าตัวรองรับอะลูมินาที่มีปริมาตรของรูพรุนมีขนาดเล็กกว่า จะทำให้นิกเกิลออกไซด์สามารถกระจายตัวได้บนตัวรองรับอะลูมินาที่มีปริมาตรรูพรุนใหญ่กว่า จากการศึกษาดังกล่าวได้อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นบนพื้นฐาน ของปริมาตรรูพรุนของตัวรองรับกับสมบัติทางกายภาพของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ การที่นิกเกิลออกไซด์สามารถกระจายตัวบนรองรับอะลูมินาได้ดี จะทำให้เร่งการเปลี่ยนแปลงอีเทนไปเป็นเอทิลีน แต่ถ้ามีผลึกนิกเกิลออกไซด์มีขนาดใหญ่บนตัวรองรับอะลูมินา จะเร่งการเปลี่ยนแปลงอีเทนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และสรุปได้ว่าปริมาตรรูพรุนของตัวรองรับ เป็นตัวกำหนดการกระจายตัวของนิกเกิลออกไซด์บนตัวรองรับอะลูมินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การทำปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งเอทานอลด้วยไอน้ำ

3.1.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเคลือบฝัง (Impregnation)

สารเคมี

1. นิกเกิลไนเตรต ($Ni(NO_3)_2.6H_2O$) เกรดสำหรับใช้ในห้องทดลอง ของบริษัท UNILAB
2. อะลูมินา (Al_2O_3) ขนาด 700-230เมช ของบริษัท MERCK
3. น้ำบริสุทธิ์ (H_2O) เกรด HPLC ของบริษัท LAB-SCAN
4. แก๊สไฮโดรเจน (H_2) เกรดUltra high purity ของบริษัท ฉัตรกร สเปเชียลแก๊ส
5. แก๊สไนโตรเจน(N_2) เกรด Ultra high purity ของบริษัท ฉัตรกร สเปเชียลแก๊ส

อุปกรณ์

1. ครกบดสารเคมี
2. ตะแกรงคัดขนาด
3. เครื่องชั่งสารเคมี
4. บีกเกอร์
5. บิวเรต
6. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
7. Magnetic stirrer

ขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเคลือบฝัง

1. บดอะลูมินา (Al_2O_3) ด้วยครกบดสาร
2. นำไปคัดขนาดให้ได้ขนาด 60-80 เมช
3. นำอะลูมินาที่คัดขนาดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง
4. นำอะลูมินาที่อบแล้วมาใส่บีกเกอร์ 1 กรัม เติมน้ำให้ท่วมจนสามารถกวนได้ด้วย Magnetic stirrer
5. ค่อยๆหยดสารละลายนิกเกิลไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($Ni(NO_3)_2.6H_2O$) ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ปริมาตร 3.78 มิลลิลิตร พร้อมทั้งกวนและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
6. นำสารละลายที่ได้ไประเหยน้ำออกในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้งเป็นผง
7. นำของแข็งที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง แล้วก็นำไปแคลไซน์ (Calcine) ต่อที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. นำไปรีดิวซ์ (Reduce) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยใช้ แก๊สไนโตรเจนผสมกับแก๊สไฮโดรเจน เพื่อให้ได้ไฮโดรเจน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
9. นำไปอัดเม็ด แล้วนำไปบดและคัดขนาดให้ได้ 60-80 เมชอีกครั้ง

สภาวะที่ทำการทดลอง

น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา	0.1	กรัม
อุณหภูมิ	500	องศาเซลเซียส
ความดัน	1	บรรยากาศ
อัตราการไหลของสารป้อน	200	มิลลิลิตร/นาที
อัตราส่วนโมลระหว่างน้ำกับเอทานอล	3 : 1	

3.1.2 การปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา

สารเคมี

1. แก๊สไฮโดรเจน (H_2) เกรดUltra high purity ของบริษัท ฉัตรกร สเปเชียลแก๊ส
2. แก๊สไนโตรเจน(N_2) เกรด Ultra high purity ของบริษัท ฉัตรกร สเปเชียลแก๊ส

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา (รูปที่ 3.1) มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ

1. ชุดควบคุมการไหลของแก๊ส (Flow Controller)
2. เครื่องปฏิกรณ์เคมี (Reactor) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร ทำด้วยแก้วควอทซ์ (รูปที่ 2)
3. เตาเผาไฟฟ้า (Heater)

การปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา

เริ่มจากการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาดังรูปที่ 3.2 แล้วเปิดแก๊สไนโตรเจนไหลผ่านตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ เป็น 550 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิถึง 550 องศาเซลเซียสแล้วก็เริ่มขั้นตอนการปรับตัวเร่งปฏิกิริยาคือ

1. เปิดแก๊สผสมของไนโตรเจนกับไฮโดรเจน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ปิดแก๊สไนโตรเจนเพื่อให้ได้แก๊สไฮโดรเจน 100 เปอร์เซ็นต์ นาน 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ใช้ในการปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา

อุณหภูมิที่ใช้	550	องศาเซลเซียส
อัตราการไหล		
10 เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจนในแก๊สผสมไนโตรเจน	1.67×10^{-6}	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
100ไฮโดรเจน	1.67×10^{-6}	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

3.1.3 การทำปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำ

สารเคมี

1. เอทานอล (C_2H_5OH) บริสุทธิ์ 95 % ของบริษัท LAB-SCAN
2. น้ำเกรด HPLC ของบริษัท LAB-SCAN

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาจะแสดงดังรูปที่ 3.3 มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. ชุดควบคุมการไหลของแก๊ส (Flow Controller)
2. เครื่องปฏิกรณ์เคมี (Reactor) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร ทำด้วยแก้วควอทซ์(รูปที่ 3.2)
3. เตาเผาไฟฟ้า (Heater)

การทดลอง

1. เตรียมสารตั้งต้น น้ำและเอทานอล
2. วัดอัตราการไหลของสารป้อนก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์
3. ปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา
4. ลดอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง
5. ป้อนสารตั้งต้นเข้าเครื่องปฏิกรณ์เพื่อทำปฏิกิริยา
6. เมื่อสารตั้งต้นผ่านเข้าเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลา 10 นาที จึงเก็บตัวอย่างสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา ทำเช่นนี้ทุก 60 นาทีจนกว่าจะเข้าสู่สภาวะคงตัว
7. หยุดการป้อนสารตั้งต้นและลดอุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการเปิดแก๊สไนโตรเจนผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโตกราฟ(Gas Chromatograph)

สารเคมี

1. Porapak Q (80 – 100 เมช) ของบริษัท GL Science
2. Molecular Sieve 5A (60 – 100 เมช) ของบริษัท Water Corporation
3. แก๊สฮีเลียม (He) เกรดUltra high purity ของบริษัท ฉัตรกร สเปเชียลแก๊ส
4. แก๊สไนโตรเจน(N_2) เกรด Ultra high purity ของบริษัท ฉัตรกร สเปเชียลแก๊ส

อุปกรณ์

เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟประกอบด้วย

1. เครื่องตรวจวัดแบบ Thermal Conductivity Detector (TCD)
2. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ Analog ที่วัดได้จาก TCD
3. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้
4. คอลัมน์ที่ใช้แยกสาร 2 คอลัมน์ คือ

   4.1 ท่อสแตนเลสขนาด 1/8 นิ้วภายในบรรจุ Porapak Qเพื่อใช้แยก คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน เอทิลีน อีเทน น้ำ อะเซทัลดีไฮด์ และเอทานอล

   4.2 ท่อสแตนเลสขนาด 1/8 นิ้วภายในบรรจุ Molecular Sieve 5A เพื่อใช้แยก ไฮโดรเจน มีเทน และคาร์บอนมอนอกไซด์

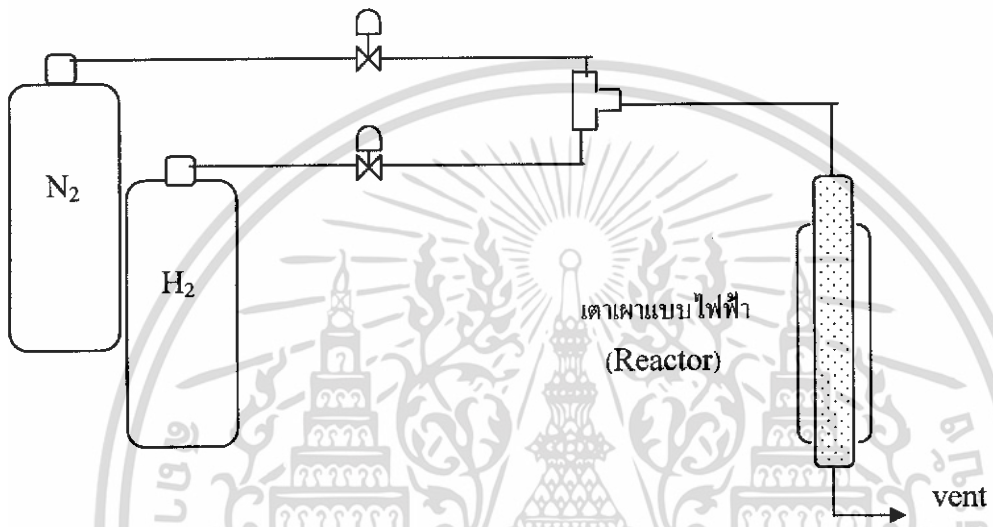
การทดลอง

การหารีเทนชันไทม์(Retention Time) ของแก๊สต่างๆ

1. เก็บตัวอย่างของแก๊สแต่ละชนิด(น้ำ อะเซทัลดีไฮด์ เอทานอล อะซิโตน และไฮโดรเจน)
2. วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ
3. หาเวลาการเกิดพีกของสารแต่ละชนิด

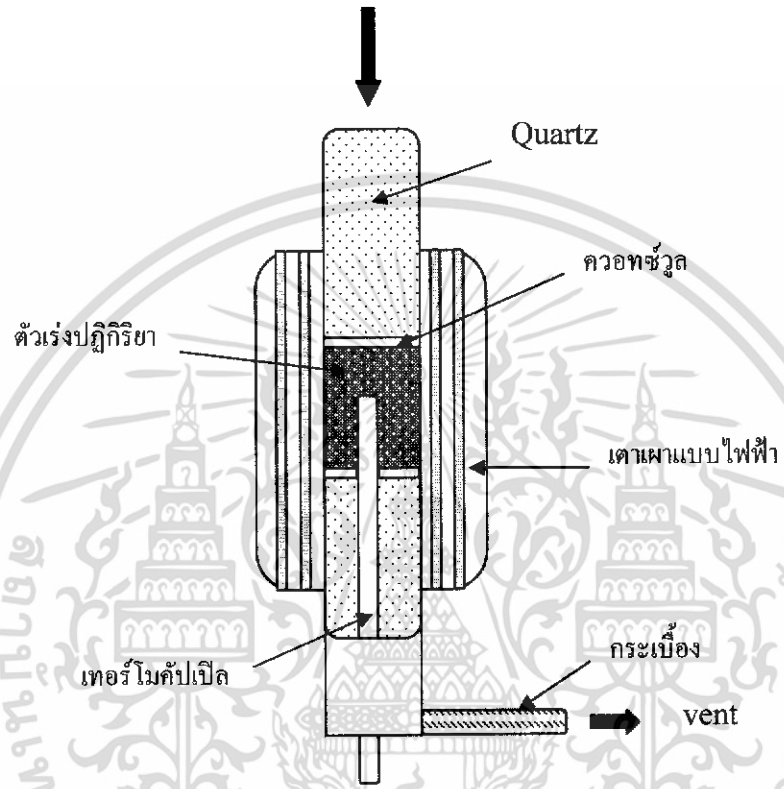
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



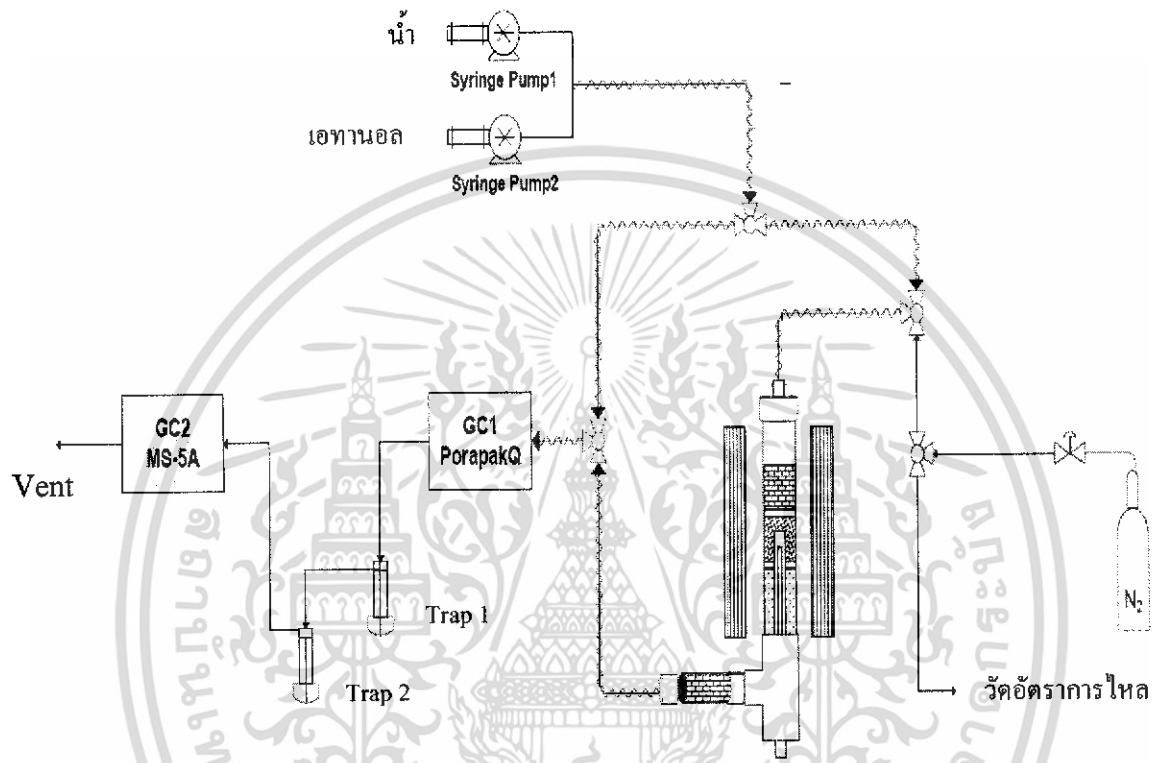
รูปที่ 3.1 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ปรับสภาพตัวเร่งปฏิกิริยา

62584
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

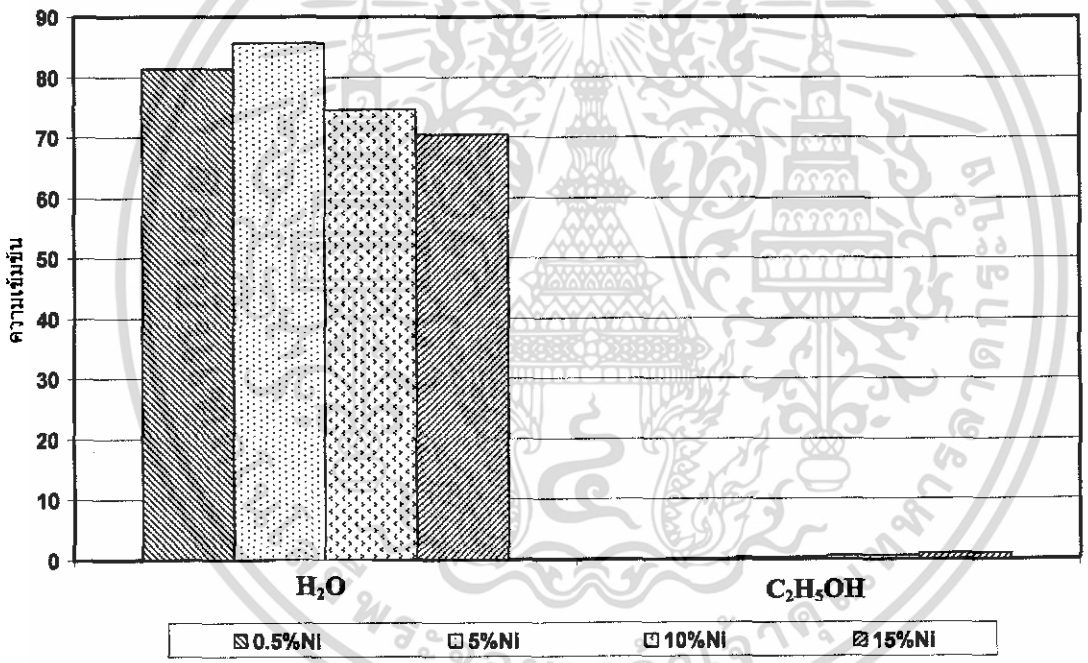
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินา ที่มีต่อการเกิดไฮโดรเจนและการกระจายของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งเตรียมโดยวิธี Impregnation ปริมาณนิกเกิลที่ใช้คือ 0.5, 5, 10และ 15เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นแบบเบดบรรจุ (Packed bed reactor) อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้นที่ใช้คือน้ำต่อเอทานอลเท่ากับ 3:1 โดยโมล ภายใต้สภาวะความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิคงที่ที่ 500 องศาเซลเซียส

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

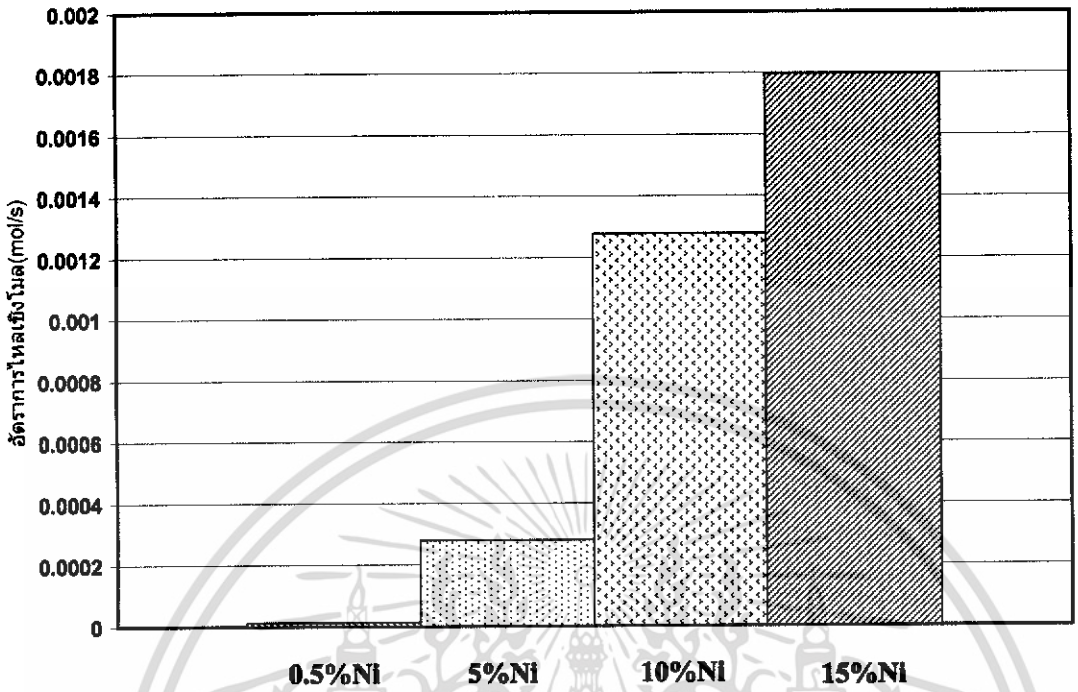


รูปที่ 4.1.1 ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.1.1 พบว่าเอทานอลถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยาจนเกือบหมด แต่ยังมีน้ำเหลือจากการทำปฏิกิริยาเป็นปริมาณมากสำหรับทุกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณนิกเกิล 5 % มีน้ำเหลือจากการทำปฏิกิริยาเป็นปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 อัตราการไหลเชิงโมลของไฮโดรเจนที่ได้จากการทำปฏิกิริยา



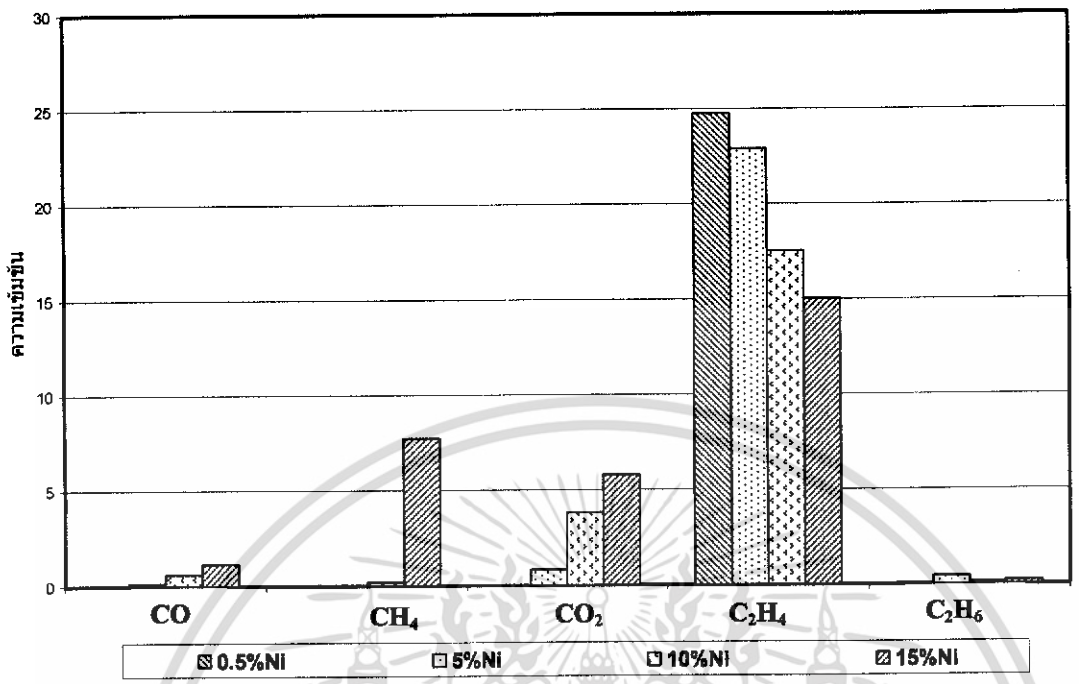
รูปที่ 4.1.2 อัตราการไหลเชิงโมลของไฮโดรเจนที่ได้จากการทำปฏิกิริยา

รูปที่ 4.1.2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณนิกเกิลที่เติมลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

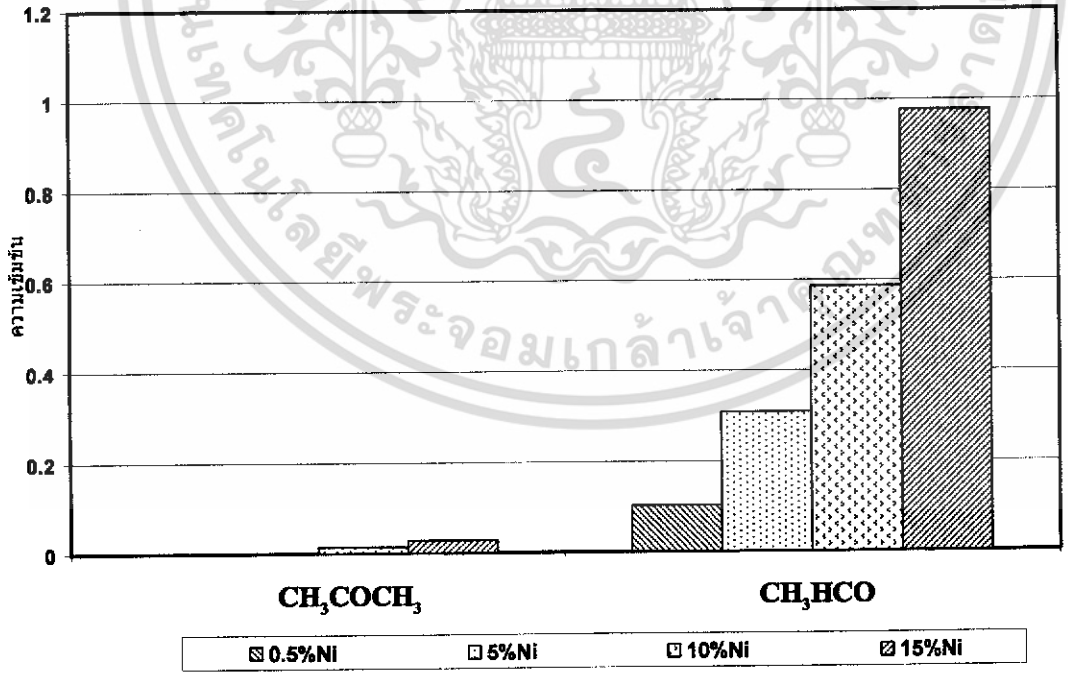
4.1.3 ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา

4.1.3 ก.ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 4.1.3 ก. ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้จากการทำปฏิกิริยา

4.1.3ข.ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทำปฏิกิริยา



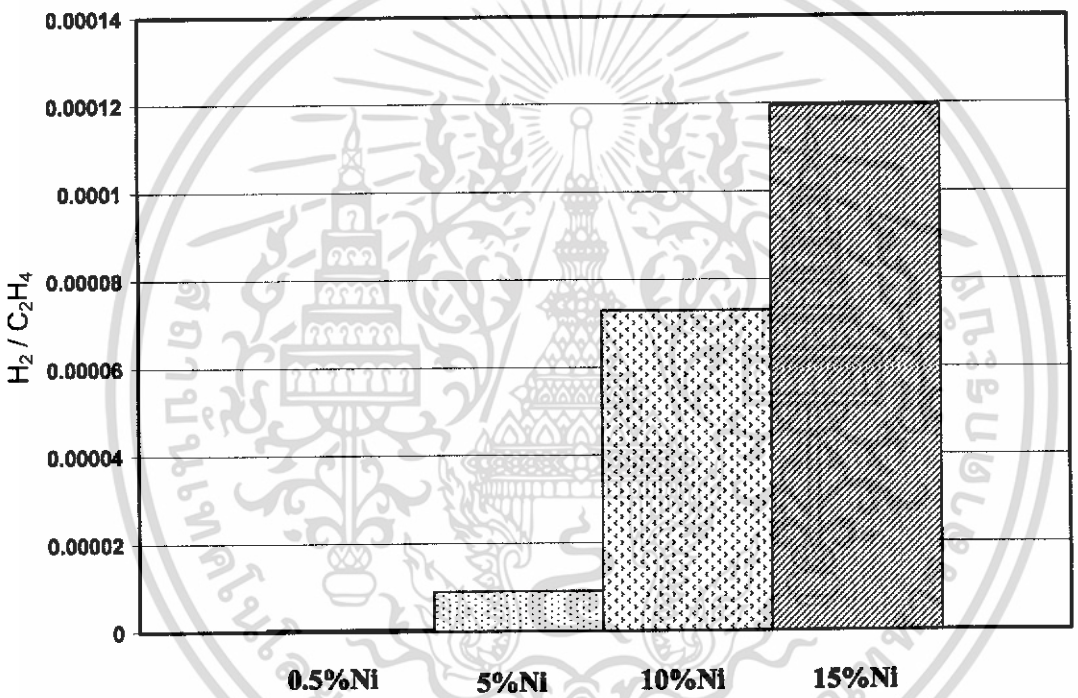
รูปที่ 4.1.3 ข. ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1.3 ก. จะเห็นว่าปริมาณของ CO, CO_2และ CH_4 เพิ่มขึ้นตามปริมาณนิกเกิลที่มีในตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่ปริมาณของ C_2H_4 จะเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้าม คือ ลดลงตามปริมาณนิกเกิล ส่วน C_2H_6 ที่เกิดมีปริมาณน้อยมากไม่ขึ้นกับปริมาณของนิกเกิลที่เติมลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.1.3 ข. พบว่าหากตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณนิกเกิลน้อยคือ 0.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ไม่เกิด CH_3COCH_3 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ CH_3COCH_3 และ CH_3CHO พบว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณนิกเกิลในตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1.4 อัตราส่วนความเข้มข้นของอัตราส่วนระหว่าง H_2 ต่อ C_2H_4 ที่ปริมาณนิกเกิลต่างๆ



รูปที่ 4.1.4 อัตราส่วนความเข้มข้นของอัตราส่วนระหว่าง H_2 ต่อ C_2H_4ที่ปริมาณนิกเกิลต่างๆ

จากรูปที่ 4.1.4 พบว่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ H_2ต่อC_2H_4 ที่เกิดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณนิกเกิลที่เติมลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเอทานอลทำปฏิกิริยากับน้ำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินาจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลายชนิด คือ H_2, CO, CH_4, CO_2, C_2H_6, C_2H_4, CH_3CHO และ CH_3COCH จากการรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยที่ผ่านมาและพิจารณาผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นประกอบ ทำให้ทราบว่าภายใต้สภาวะที่ทำการทดสอบจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ขึ้นพร้อมกัน ดังแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

Ethanol Steam Reforming

$$C_2H_5OH + H_2O \longrightarrow 2CO + 4H_2 \quad (9)$$

$$C_2H_5OH + 3H_2O \longrightarrow 2CO_2 + 6H_2 \quad (10)$$

Ethanol Dehydration

$$C_2H_5OH \longrightarrow C_2H_4 + H_2O \quad (11)$$

Ethylene hydrogenation

$$C_2H_4 + H_2 \longrightarrow C_2H_6 \quad (12)$$

Ethanol decomposition to methane

$$C_2H_5OH \longrightarrow CO + CH_4 + H_2 \quad (13)$$

Ethanol dehydrogenation

$$C_2H_5OH \longrightarrow CH_3CHO + H_2 \quad (14)$$

Ethanol Decomposition to Acetone

$$2C_2H_5OH \longrightarrow CH_3COCH_3 + CO + 3H_2 \quad (15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากปริมาณเอทานอลที่ถูกใช้ในปฏิกิริยามีมากกว่าปริมาณน้ำที่ถูกใช้ในปฏิกิริยาอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.1.1) ทำให้สันนิษฐานได้ว่าเอทานอลส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยากับน้ำในระบบ แต่จะถูกใช้ไปโดยลำพังซึ่งอาจเกิดได้หลายรูปแบบตามสมการที่ 11, 13-15

เมื่อพิจารณาว่าการเพิ่มปริมาณของโลหะว่องไวจะทำให้บทบาทการเร่งปฏิกิริยาของตัวรองรับอะลูมินาลดลง จากรูปที่ 4.1.3 ก. และ ข. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณของ CO, CH_4, CO_2, CH_3COCH_3 และ CH_3COH เพิ่มขึ้นตามปริมาณนิกเกิลที่เติมลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ทราบว่าตำแหน่งว่องไวบนโลหะนิกเกิลมีส่วนช่วยเร่งปฏิกิริยาที่ 9, 10 และ 13-15 ส่วนปริมาณของ C_2H_4 ที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโลหะว่องไวทำให้ทราบว่าปฏิกิริยาการดึงน้ำออกจากเอทานอลตามสมการที่ 11 เกิดบนตำแหน่งว่องไวที่เป็นตัวรองรับ

ผลการทดลองในรูปที่ 4.1.2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณนิกเกิลที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ทำการศึกษามีส่วนช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างเอทานอลกับไอน้ำ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะพบว่าในแต่ละช่วงที่เพิ่มปริมาณโลหะนิกเกิลเท่าๆ กันคือ จาก 0.5% เป็น 5%, จาก 5% เป็น 10% และจาก 10% เป็น 15% จะทำให้ปริมาณของไฮโดรเจนที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่แตกต่างกัน แม้ว่าปริมาณโลหะนิกเกิล 15% จะทำให้เกิดไฮโดรเจนเป็นปริมาณสูงสุดก็ตาม แต่การเพิ่มปริมาณโลหะนิกเกิลจาก 10% ไปเป็น 15% ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมาจึงสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณของนิกเกิลจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นในช่วงปริมาณนิกเกิลที่เลือกมาทำการศึกษา (0.5, 5, 10, 15 %)

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมหาอัตราส่วนของสารตั้งต้นที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] http:// www.fuelcell.org

[2] http://www.rmotphysics.com

[3] George T.Austin, **Shreve's Chemical Process Industries**, 5th edition, McGraw-Hill Book company

[4] ธีระพงษ์ จิตรเกื้อกูล. สิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา. อรวรรณ จารุมงคลกุล.**ปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งของเอทานอลด้วยไปน้ำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับอะลูมินา**

[5] จตุพร วิทยาคุณ. นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. **การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์**

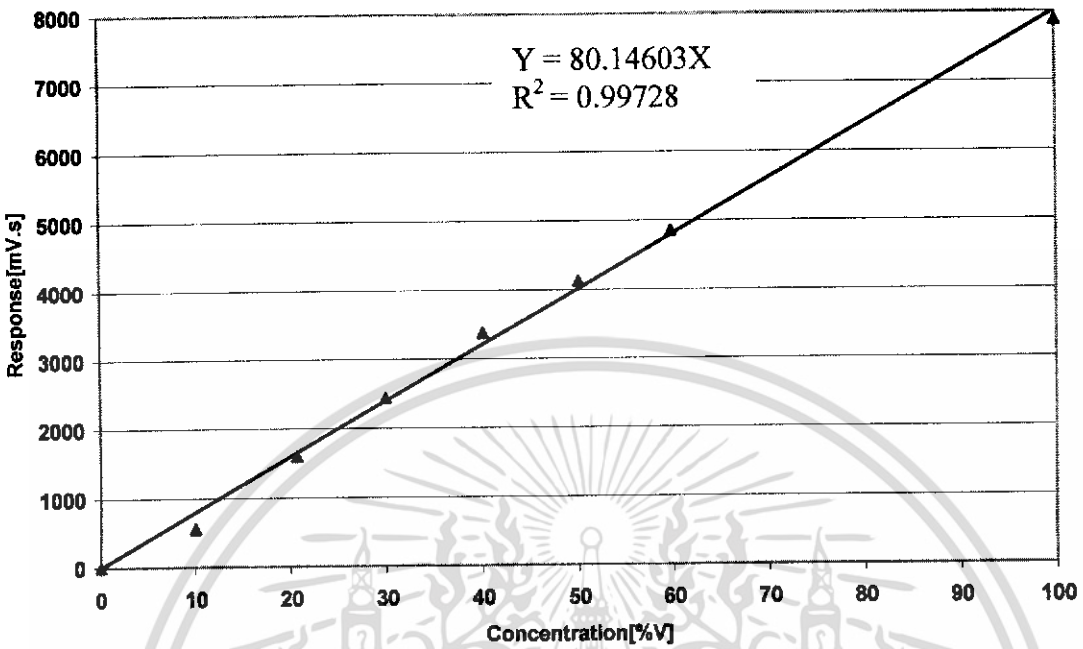
[6] Xinjie Zhang, Jixin Liu, Yi Jing, Youchag Xie, **Support effects on the catalytic behavior of Ni/Al_2O_3 for oxidative dehydrogenation of ethane to ethylene**, Applied Catalysis A: General 240 (2003) 143-150

[7] Martyn V. Twigg, **Catalyst Handbook**, 2st ed., 1996

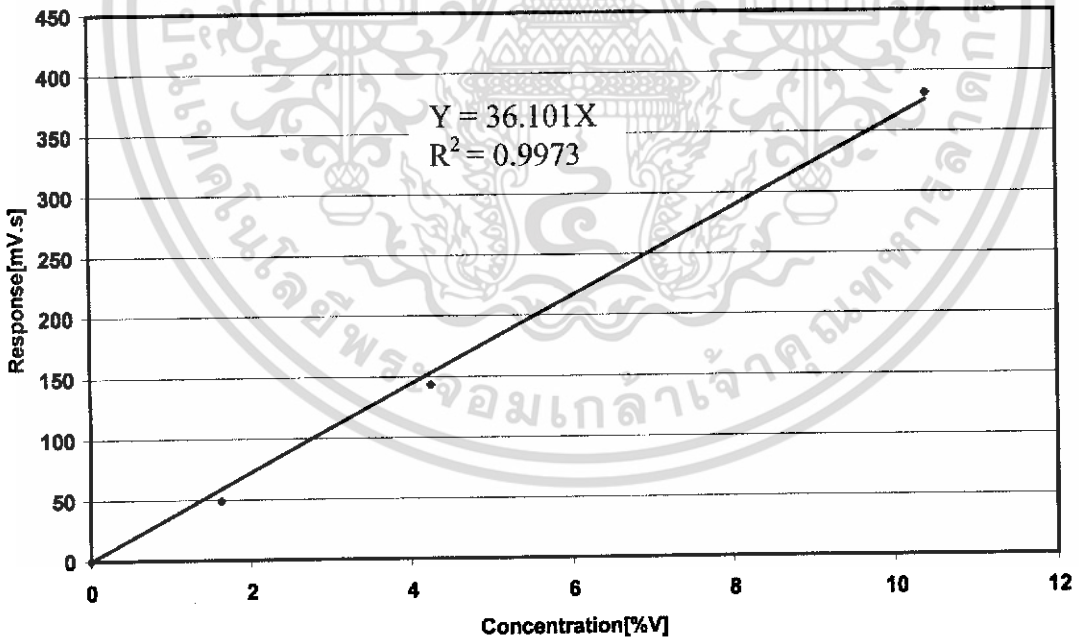
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ ก-1 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของไฮโดรเจน



รูปที่ ก-2 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้