

ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ในกระแสเลือดของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม



นางสาวกฤษยาพร ทินกร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6565-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF HYDROGEN PEROXIDE ON CO REMOVAL IN FUEL STREAM OF PEM FUEL CELL



Miss Khritsayaporn Thinnakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology
Department of Chemical Technology

Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6565-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ในกระแส
เลือดของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม

โดย นางสาวกฤษยาพร ทินกร

สาขาวิชา เคมีเทคนิค

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สงบทิพย์ พงศ์สถาปดี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สงบทิพย์ พงศ์สถาปดี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา)

นางสาวกฤษยาพร ทินกร: ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ในกระแสเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม (EFFECT OF HYDROGEN PEROXIDE ON CO REMOVAL IN FUEL STREAM OF PEM FUEL CELL) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สงบทิพย์ พงศ์สถาปตี 100 หน้า. ISBN 974-17-6565 -7.

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนจะมีสมรรถนะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงแม้เพียงระดับพีพีเอ็ม งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำการทดลองใน Gas Reactor ซึ่งจำลองมาจากส่วนให้ความชื้นทางขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง ส่วนของการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนแรกศึกษาปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ในไฮโดรเจนและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ วิเคราะห์แก๊สผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาโดย FT-IR พบว่าคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ทำการทดลองเปรียบเทียบโดยใส่น้ำลงไปแทนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าไม่มีการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่สองศึกษาถึงภาวะที่สามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สเชื้อเพลิง วิเคราะห์แก๊สผลิตภัณฑ์โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์คือ ที่อุณหภูมิ 70 °C ใส่สแตนด์สลงไปในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พร้อมกับการฉายแสง UV พบว่าเกิด % CO Conversion เฉลี่ยมากถึง 50% ในระยะเวลา ส่วนที่สามศึกษาผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง ทำการทดลองเปรียบเทียบกับไม่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีความทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่าไม่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ถึง 7 เท่า และในส่วนสุดท้ายศึกษาผลของการลดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความหนาแน่นกระแสของเซลล์เชื้อเพลิงพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากในแก๊สเชื้อเพลิง แต่เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสจะมีค่าใกล้เคียงกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์

ภาควิชาเคมีเทคนิค.....

สาขาวิชาเคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา2547.....

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4572637223: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: PEM FUEL CELL/CO REMOVAL/HYDROGEN PEROXIDE

KHRITSAYAPORN THINNAKORN: EFFECTS OF HYDROGEN PEROXIDE ON CO REMOVAL IN FUEL STREAM OF PEM FUEL CELL. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. SANGHOPTIP PONGSTABODEE, Ph.D.100 pp. ISBN 974-17-6565-7.

The performance of PEM fuel cell significantly dropped when only a few parts per million of CO containing in fuel stream. The objective of this work was to remove CO from fuel gas stream before delivering to anode electrode by using H_2O_2 . The experiment was performed in a gas reactor which duplicated to anode humidifier unit. The experimental was divided into 4 parts. The reaction between CO and H_2O_2 was studied in the first part. The results were analyzed by FT-IR. It was found that CO_2 increased with time. The optimum condition for CO removal from fuel stream was next determined in the second part. The results were analyzed by GC. The highest conversion was found when both stainless steel and UV-C light were introduced into the gas reactor which contained H_2O_2 solution at temperature $70\text{ }^\circ\text{C}$. The average CO conversion could attain at 50 % for long time. Effect of CO removal by using H_2O_2 on a performance of anode catalyst was determined in the third part. When applying H_2O_2 solution to the gas reactor CO tolerance of anode catalyst was greater as much as 7 times. A current density after CO removal from fuel gas stream by H_2O_2 was considered in the last part. The results showed current density on impure H_2 without applying H_2O_2 dropped significantly. On the other hand, when applying H_2O_2 to remove CO from the fuel stream the current density was approaching to that obtained from a case of pure H_2 fuel gas stream.

Department Chemical Technology..... Student's signature.....

Field of study Chemical Technology.. Advisor's signature.....

Academic year2004.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สงบทิพย์ พงศ์สถาปดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และอาจารย์ ดร. อาภาณี เหลืองนฤมิตรชัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือในการทำวิจัย ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความรู้ และคำแนะนำในงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรธน ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชันทอง สุนทรภา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความเห็น คำแนะนำ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านเงินทุน ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา	1
1.2 จุดประสงค์	5
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.4 วิธีการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เซลล์เชื้อเพลิง	6
2.1.1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง	6
2.2 ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง	7
2.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน	10
2.4 ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน	11
2.4.1 ขั้วไฟฟ้า	11
2.4.2 อิเล็กโทรไลต์	12
2.4.3 แผ่นสะสมกระแส	12
2.5 เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	14
2.5.1 การผลิตไฮโดรเจนจากน้ำ	14
2.5.2 การผลิตไฮโดรเจนจากไฮโดรคาร์บอน	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การเก็บไฮโดรเจนในเซลล์เชื้อเพลิง	15
2.6.1 การเก็บไฮโดรเจนโดยการบีบอัด	16
2.6.2 การเก็บในรูปไฮโดรเจนเหลว	16
2.6.3 การเก็บโดยการสร้างพันธะของไฮโดรเจน	16
2.6.4 การเก็บไฮโดรเจนโดยการดูดซับด้วยคาร์บอน	17
2.6.5 การดูดซับด้วยนาโนไฟเบอร์	17
2.6.6 ไฮโดรเจนในรูปไฮโดรคาร์บอน	17
2.7 ผลของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อเซลล์เชื้อเพลิง	17
2.8 วิธีการในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิง	18
2.8.1 ปฏิกริยาออกเตอร์แก๊สซิฟต์	18
2.8.2 ปฏิกริยาเลือกเกิดเป็นมีเทน	19
2.8.3 ปฏิกริยาการเลือกเกิดออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์	19
2.8.4 การขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.10 ความสัมพันธ์กับงานวิจัยที่ทำการศึกษา.....	24
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	26
3.1.1 แก๊ส.....	26
3.1.2 สารเคมี.....	26
3.1.3 อุปกรณ์.....	26
3.2 เครื่องมือวิเคราะห์.....	27
3.2.1 ฟลูออร์ทรานสฟอर्मอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 แก๊สโครมาโทกราฟี.....	28
3.2.3 ระบบควบคุมแก๊ส.....	29
3.2.4 Gas Reactor.....	29
3.2.5 U-Tube Reactor.....	31
3.2.6 ชุดทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง.....	32
3.3 กระบวนการทดลอง.....	33
3.3.1 การทดลองในส่วนที่ 1	35
3.3.2 การทดลองในส่วนที่ 2.....	37
3.3.2.1 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์....	38
3.3.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยา.....	40
3.3.2.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ.....	41
3.3.2.4 ผลของการใช้แสง UV-C.....	41
3.3.2.5 ผลของเฟอร์รัสไอออน.....	42
3.3.3 การทดลองในส่วนที่ 3	44
3.3.4 การทดลองในส่วนที่ 4	45
3.3.4.1 การเตรียม MEA.....	45
3.3.4.2 การทดสอบความหนาแน่นกระแส.....	46
3.5 การคำนวณ.....	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	
4.1 ส่วนที่ 1 : ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์.....	48
4.2 ส่วนที่ 2 : ศึกษาภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์.....	51
4.2.1 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยา.....	54
4.2.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ.....	55
4.2.4 ผลของการใช้แสง UV-C.....	59
4.2.5 ผลของเฟอร์ริสไอออน.....	62
4.3 ส่วนที่ 3 : ศึกษาผลของการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง....	66
4.4 ส่วนที่ 4 : ศึกษาผลของการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อค่าความหนาแน่นกระแส.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	72
5.1 สรุปผลการศึกษา	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก.....	78
ภาคผนวก ข.....	83
ภาคผนวก ค.....	87
ภาคผนวก ง.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	100

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1	ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิงแบ่งตามชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิด..... 8
ตาราง 2.2	ระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด และไอออนที่แพร่ผ่านจากขั้วแอโนดไปยังแคโทด..... 9
ตาราง 2.3	ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ..... 9
ตาราง 2.4	ค่า Oxidation Potential ของสารแต่ละชนิด..... 21



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	หลักการทํางานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	11
รูปที่ 2.2	หอสเซลล์เชื้อเพลิง.....	13
รูปที่ 2.3	ผลของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อสมรรถนะการทํางานของเซลล์เชื้อเพลิง.....	18
รูปที่ 3.1	แก๊สเซลล์ของเครื่อง FT-IR.....	27
รูปที่ 3.2	ระบบการวิเคราะห์แก๊ส.....	28
รูปที่ 3.3	Gas Reactor.....	30
รูปที่ 3.4	หลอด UV.....	31
รูปที่ 3.5	U-Tube Reactor.....	32
รูปที่ 3.6	แผนผังการทํางาน.....	34
รูปที่ 3.7	การวิเคราะห์โดยใช้ FT-IR.....	35
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการวิเคราะห์โดย FT-IR.....	37
รูปที่ 3.9	แผนผังการทํางานของการวิเคราะห์โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี.....	38
รูปที่ 3.10	ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยแก๊สโครมาโทกราฟี.....	40
รูปที่ 3.11	แผนผังการทํางานของหน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	47
รูปที่ 4.1	FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 30 %w/v ที่เวลาต่างๆ.....	49
รูปที่ 4.2	FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและน้ำ ที่เวลาต่างๆ.....	49
รูปที่ 4.3	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 30 °C.....	52
รูปที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยของ %CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 30°C...	53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.5	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	54
รูปที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยของ %CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	55
รูปที่ 4.7	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม มีสแตนเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	56
รูปที่ 4.8	ค่าเฉลี่ยของ %CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม มีสแตนเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ.....	57
รูปที่ 4.9	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 70 °C.....	57
รูปที่ 4.10	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม เมื่อมี UV-C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	59
รูปที่ 4.11	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 70 °C.....	60
รูปที่ 4.12	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 70 °C.....	61
รูปที่ 4.13	ค่าเฉลี่ยของ %CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 70 °C.....	62
รูปที่ 4.14	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 30 °C;โมลของ Fe ²⁺ < โมลของ H ₂ O ₂ = 100 เท่า.....	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.15	%CO conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 30 °C.....	65
รูปที่ 4.16	คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกจาก U-Tube Reactor ที่เวลาใดๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่างกัน.....	67
รูปที่ 4.17	คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกจาก U-Tube Reactor ที่เวลาใดๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่างกัน.....	68
รูปที่ 4.18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และความหนาแน่นกระแสเมื่อใช้แก๊สเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....	70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

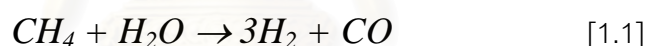
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีอย่างมากมาเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีทางด้านอุตสาหกรรม ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นปัญหาที่ตามมา คือ ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน โดยพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานจากธรรมชาติ เช่น พลังงานจากถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น พลังงานเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้จึงทำให้มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ และมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ นอกจากนี้ผลจากการนำพลังงานจากธรรมชาติเหล่านี้มาใช้ยังก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้เกิดมลพิษขึ้น ไม่ว่าจะเป็นมลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง หรือเกิดกากของเสียที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างมากในปัจจุบัน ในปัจจุบันทั่วโลกได้มีความตื่นตัวทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมกันอย่างมาก มีการศึกษาค้นคว้าแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่เพื่อมาทดแทนแหล่งพลังงานแบบเก่าที่กำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ การแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานอีกทางหนึ่ง คือ การวางแผนใช้พลังงานที่เหลืออยู่อย่างประหยัด เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด กระตุ้นให้มนุษย์มีความตื่นตัวต่อปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และปัญหาสิ่งแวดล้อมที่กำลังทวีความรุนแรงขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน หรือการหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือดีกว่าแหล่งพลังงานเดิม เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) เป็นแหล่งพลังงานแบบใหม่ที่น่าสนใจและมีการศึกษาค้นคว้ากันอย่างมากในหลายประเทศ

เซลล์เชื้อเพลิง เป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ถูกใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง สิ่งที่ปล่อยออกมาจากเซลล์เชื้อเพลิงมีเพียงน้ำและความร้อนเท่านั้น กระบวนการในการผลิตพลังงานของเซลล์เชื้อเพลิงจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา โดยเซลล์เชื้อเพลิงจะเป็นแหล่งพลังงานในอนาคตที่จะมีบทบาทสำคัญ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่ให้ประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากธรรมชาติ พลังงานที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเกิดจากพลังงานเคมี ไม่ได้เกิดจากการเผาไหม้เหมือนกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัจจุบัน ลักษณะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีความคล้ายคลึงกับการทำงานของแบตเตอรี่ (battery) ทำให้ได้กระแสไฟฟ้าและความร้อนออกมาโดยปราศจากการเผาไหม้ นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตเป็นหน่วยเล็กๆ ได้เหมือนกับ

แบตเตอรี่ และนำมาต่อกันได้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า ข้อแตกต่างระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงกับแบตเตอรี่ คือเซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง トラบที่มีการป้อนเชื้อเพลิงให้กับเซลล์เชื้อเพลิง ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นแหล่งพลังงานที่ให้ประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานแบบเดิม นอกจากนี้การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงยังไม่ก่อให้เกิดเสียงดังรบกวน เนื่องจากในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงไม่มีอุปกรณ์ใดที่เคลื่อนที่

เซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 6 ชนิด แต่ละชนิดจะมีลักษณะการทำงานที่เป็นเอกลักษณ์ หนึ่งในนั้นคือเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิและความดันต่ำ น้ำหนักเบา ส่วนประกอบของเซลล์ไม่ซับซ้อนมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับเป็นแหล่งพลังงาน จึงมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ และอุปกรณ์ที่อยู่กับที่ เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงคือไฮโดรเจน โดยทั่วไปแล้วเราจะสมมุติได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่บริสุทธิ์เป็นแก๊สเชื้อเพลิง และอากาศเป็นแก๊สออกซิเดนต์ ในระบบการทำงานเล็กๆ ข้อสมมุตินี้เกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามในระบบการทำงานที่ใหญ่ขึ้น แก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงจะมาจากกระบวนการรีฟอร์มมิงของเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยในกระบวนการรีฟอร์มมิงมักจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมาอยู่ด้วยเสมอ เช่น ปฏิกริยาระหว่างมีเทนและไอน้ำ แสดงดังสมการ



สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงบางชนิดที่ทำงานที่อุณหภูมิสูงจะใช้คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นแก๊สเชื้อเพลิงเช่น เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอนเนตหลอม แต่สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากหากมีคาร์บอนมอนอกไซด์แม้เพียงปริมาณเล็กน้อยปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงจะมีผลอย่างมากกับตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับขั้วแอโนด โดยถ้าเซลล์เชื้อเพลิงใช้ไฮโดรเจนที่มาจากกระบวนการรีฟอร์มมิง คาร์บอนมอนอกไซด์จะต้องถูกทำปฏิกิริยากับไอน้ำก่อนเพื่อลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ให้อยู่ในระดับที่เซลล์ทนได้ปฏิกิริยาดังสมการ 1.2



ปฏิกริยานี้เรียกว่าวอเตอร์แก๊สชิฟต์ซึ่งการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยวิธีนี้คาร์บอนมอนอกไซด์ไม่สามารถเกิดปฏิกริยาได้อย่างสมบูรณ์ จะต้องมีการ์บอนมอนอกไซด์ปริมาณหนึ่งเหลืออยู่เสมอ ซึ่งจะเป็นพิษกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะไปจับอย่างแข็งแรงบนผิวแพลทินัม (Pt) ซึ่งเป็นตัวเร่งตัวเร่งปฏิกริยาสำหรับขั้วแอโนด ทำให้ไฮโดรเจนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกริยาออกซิเดชันได้ ในระบบการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจากเมทานอลโดยผ่านกระบวนการรีฟอร์มมิงด้วยไอน้ำจะได้แก๊สในสัดส่วนต่างๆ กัน (45-75 Vol. % H₂, 15-25 Vol. % CO₂ และ 0.5-1 Vol. % CO) (Sedmak et al., 2002) ได้มีการศึกษาค้นคว้าถึงวิธีการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงหลายวิธี เพื่อปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงให้เพิ่มขึ้น โดยคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถลดปริมาณลงให้เหลือน้อยก่อน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ปฏิกริยาการเลือกเกิด CO ออกซิเดชันโดยวิธีการนี้พบว่าสามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ให้อยู่ในระดับที่น้อยกว่า 1000 พีพีเอ็ม โดยในปัจจุบันพบปฏิกริยาการเลือกเกิด CO ออกซิเดชันสามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ถึง 10 พีพีเอ็ม (Kaewjai, 2001)

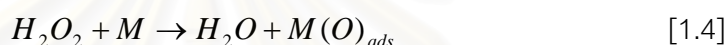
วิธีการปรับปรุงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจากคาร์บอนมอนอกไซด์อีกวิธีการหนึ่งคือการศึกษาค้นคว้าถึงปฏิกริยาสำหรับขั้วแอโนดที่มีความทนทานคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง พบว่าตัวเร่งปฏิกริยาที่เป็นโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและรูทีเนียม สามารถปรับปรุงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงให้มีความทนทานคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ถึง 250 พีพีเอ็ม แต่วิธีการนี้พบว่าไม่สามารถให้ค่าความหนาแน่นกระแสได้เท่ากับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์ได้ และยังมีการศึกษาถึงความทนทานในระยะยาวของตัวเร่งปฏิกริยาอีกต่อไป (Schmidt et al., 1997)

การขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยการฉีดออกซิเจนหรืออากาศปนไปกับแก๊สเชื้อเพลิง เพื่อทำปฏิกริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวของตัวเร่งปฏิกริยา เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ โดยออกซิเจนที่ฉีดเข้าไปจะไปรวมกับไฮโดรเจนเกิดเป็น OH ที่ผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกริยา และทำปฏิกริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกดูดซับอีกที (Chunzhi et al., 2001) อย่างไรก็ตามพบว่าในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ 100 พีพีเอ็ม ที่ปนมากับไฮโดรเจนจะต้องใช้ออกซิเจนฉีดเข้าไปมากเกินพอถึง 4.5 %vol จึงจะสามารถทำปฏิกริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ได้หมด แต่ออกซิเจนที่เหลือจะไปทำปฏิกริยากับไฮโดรเจนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงแทนเกิดเป็นน้ำ ทำให้สูญเสียไฮโดรเจนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงจากปฏิกริยานี้ (Schmidt et al., 2001)

อีกวิธีที่คล้ายคลึงกับวิธีข้างต้นในการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง คือ การใช้สารที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ สามารถสลายตัวและเกิดเป็นออกซิเจนได้ที่ภาวะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ในระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง สมการการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระบบแก๊สเชื้อเพลิงเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้ (Schmidt et al., 1997) ปฏิริยายรวมแสดงดังสมการ



ในขั้นแรกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกตัวสอดคล้องดังสมการ



เมื่อ M เขียนแทนตำแหน่งดูดซับบนผิวของโลหะ โดยปฏิกิริยาในขั้นที่สองจะทำให้เกิดออกซิเจน



จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงเป็นเหตุจูงใจให้สนใจศึกษาการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะถูกขจัดออกก่อนที่จะถูกป้อนไปยังเซลล์เชื้อเพลิง วิธีการนี้จะป้องกันแพลทินัมซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฟฟ้าของขั้วแอโนด จากความเป็นพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์โดยหลังจากที่คาร์บอนมอนอกไซด์ถูกขจัดในกระแสของแก๊สเชื้อเพลิงแล้ว แก๊สเชื้อเพลิงที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นก็จะถูกป้อนไปยังขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงให้เพิ่มขึ้น ข้อดีของการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดปัญหาที่ระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากแก๊สที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีเพียงน้ำและออกซิเจนเท่านั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาหาภาวะที่ดีที่สุดที่สามารถจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงได้ และศึกษาต่อไปถึงว่ามีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงว่าเป็นอย่างไรบ้าง เมื่อคาร์บอนมอนอกไซด์ถูกขจัดออกไปโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.2 จุดประสงค์

1. ศึกษาการลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์
2. หาภาวะที่ดีที่สุดในการลดคาร์บอนมอนอกไซด์จากแก๊สเชื้อเพลิง
3. ศึกษาผลกระทบต่อการนำไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์มาใช้งานจริงในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สเชื้อเพลิง เพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
2. สามารถนำไปใช้งานกับระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน
2. ศึกษาสมบัติและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนรวมถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบและสร้างเครื่องมือพร้อมวางแผนการทดลองตามตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา
4. เริ่มทำการทดลองโดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในกระแสเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ซึ่งประกอบด้วย
 - ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์
 - อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา
 - ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ
 - แสง UV
 - สารละลายเหล็ก (เพอร์ริสไดออกไซด์)
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
6. เขียนวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

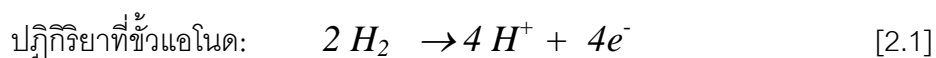
2.1 เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงคือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานที่เก็บอยู่ในรูปเชื้อเพลิงเคมีไปเป็นกระแสไฟฟ้าและความร้อน โดยเกิดจากการรวมกันระหว่างปฏิกิริยาเคมีและการถ่ายโอนประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง กระบวนการนี้จะให้กระแสไฟฟ้า น้ำ และความร้อนออกมาตลอดเวลา โดยพลังงานที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงจะเป็นสัดส่วนกับอัตราของเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งจะถูกจำกัดโดยขนาดของเซลล์เชื้อเพลิงอีกที

2.1.1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าที่มีความพรุน 2 ขั้ว คือขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode) วางประกบกันโดยตรงกลางของขั้วทั้งสองจะเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของแข็งทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนโปรตอนจากแอโนดไปยังแคโทด ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยไฮโดรเจนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าทางด้านแอโนด ออกซิเจนเป็นแก๊สออกซิเดนต์ (Oxidant) ถูกป้อนเข้าทางด้านแคโทด เมื่อไฮโดรเจนถูกป้อนเข้าทางด้านแอโนดเจอกับแพลทินัมซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับขั้วแอโนด โมเลกุลของไฮโดรเจนจะแตกตัวเป็นโปรตอน (H^+) และอิเล็กตรอน (e^-) โดยโปรตอนจะแพร่ผ่านสารอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิงส่วนอิเล็กตรอนจะวิ่งผ่านวงจรด้านนอกทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและวิ่งไปรวมตัวกับโปรตอนที่ขั้วแคโทด ต่อมาโปรตอนและอิเล็กตรอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ถูกป้อนเข้ามาทางด้านขั้วแคโทดรวมตัวกันเป็นน้ำ โดยสามารถแยกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดได้ดังนี้

ปฏิกิริยาทางด้านขั้วแอโนดไฮโดรเจนจะแตกตัวเกิดเป็นโปรตอน (H^+) และปล่อยอิเล็กตรอนออกมาดังสมการ 2.1



ส่วนขั้วแคโทดออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนที่วิ่งผ่านวงจรด้านนอกมายังขั้วแคโทดและโปรตอนที่ผ่านมาอิเล็กโทรไลต์มายังขั้วแคโทดดังสมการ 2.2



2.2 ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงที่ศึกษาอยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิดโดยแตกต่างกันที่ลักษณะและการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วการแบ่งประเภทของเซลล์เชื้อเพลิงจะแบ่งตามชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิด โดยอิเล็กโทรไลต์เป็นวัสดุที่อยู่ตรงกลางระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงแบ่งออกได้เป็น 6 ชนิด คือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) หรือบางที่เรียกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์แข็ง (Solid Polymer Fuel Cell, SPFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) และเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) โดยแบ่งตามชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์แสดงดังตาราง 2.1

นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงยังสามารถแบ่งได้ตามอุณหภูมิการทำงานได้ดังนี้ คือ เซลล์เชื้อเพลิงประเภททำงานที่อุณหภูมิต่ำจะทำงานที่อุณหภูมิ 80 – 200 °C เช่นเซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน เป็นต้น ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้เหมาะที่จะใช้กับยานอวกาศและรถยนต์ ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงประเภททำงานที่อุณหภูมิสูงจะทำงานที่อุณหภูมิ 600 – 1000 °C เช่นเซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง เป็นต้น โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานที่ภาวะอุณหภูมิสูงเหมาะสำหรับในกรณีที่ต้องการผลิตกระแสไฟฟ้าและต้องการความร้อนในปริมาณมาก

ปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงเกิดขึ้นทางด้านขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงยกเว้นเซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรง โดยปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง โปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์อย่างต่อเนื่อง โดยไฮโดรเจนจะเป็นเชื้อเพลิงและถูกป้อนเข้าทางด้านขั้วแอโนด เซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลโดยตรงจะแตกต่างจากชนิดอื่นๆ ตรงที่ว่าจะฉีดเชื้อเพลิงในรูปสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (เมทานอล) เข้าไปยังขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง

ตาราง 2.1 ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิงแบ่งตามชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิด (US Department of Energy)

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง	อิเล็กโทรไลต์	แก๊สเชื้อเพลิง	แก๊สออกซิเจน	อุณหภูมิการทำงาน	ประสิทธิภาพ
Alkaline (AFC)	Potassium hydroxide	Hydrogen	Pure oxygen	< 80 °C	50 - 70%
Proton Exchange Membrane (PEMFC)	Solid polymer membrane	Hydrogen	Pure or atmospheric oxygen	75 °C	35 - 60%
Direct Methanol (DMFC)	Solid polymer membrane	Methanol solution in water	Atmospheric oxygen	75 °C	35 - 40%
Molten Carbonate (MCFC)	Alkali-Carbonates	Hydrogen, methane	Atmospheric oxygen	650 °C	40 - 55%
Phosphoric Acid (PAFC)	Phosphorous	Hydrogen	Atmospheric oxygen	210 °C	35 - 50%
Solid Oxide (SOFC)	Ceramic Oxide	Hydrogen, methane	Atmospheric oxygen	800 - 1000 °C	45 - 60%

ปฏิกิริยาที่เกิดทางด้านขั้วแอโนดและขั้วแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิง และโปรตอนที่แพร่ผ่านอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปแสดงดังตารางที่ 2.2

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับขั้วแอโนดและขั้วแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ที่ภาวะอุณหภูมิที่ต้องการตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะที่ใช้จึงเป็นพวกโลหะตระกูลสูงเช่น แพลทินัม ที่ภาวะอุณหภูมิสูงพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นจึงไม่ต้องการตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกลุ่มโลหะตระกูลสูงซึ่งมีราคาแพง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแสดงดังตาราง 2.3

ตาราง 2.2 ระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด และไอออนที่แพร่ผ่านจากขั้วแอโนดไปยังแคโทด (Laminie et al., 2000)

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง	ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด	ไอออนที่แพร่ผ่าน	ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด
AFC	$2 H_2 + 4 HO^- \rightarrow 4 H_2O + 4e^-$	$\leftarrow OH^-$	$O_2 + 4e^- + 2 H_2O \rightarrow 4 HO^-$
PEMFC	$H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2e^-$	$H^+ \rightarrow$	$O_2 + 4 H^+ + 4e^- \rightarrow 2 H_2O$
MCFC	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$ $CO + CO_3^{2-} \rightarrow 2CO_2 + 2e^-$	$\leftarrow CO_3^{2-}$	$O_2 + 2CO_2 + 4e^- \rightarrow CO_3^{2-}$
PAFC	$H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2e^-$	$H^+ \rightarrow$	$O_2 + 4 H^+ + 4e^- \rightarrow 2 H_2O$
SOFC	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$ $CO + O^{2-} \rightarrow CO_2 + 2e^-$ $CH_4 + 4O^{2-} \rightarrow 2 H_2O + CO_2 + 8e^-$	$\leftarrow O^{2-}$	$O_2 + 4e^- \rightarrow 2 O^{2-}$

ตาราง 2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ (Laminie et al., 2000)

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง	ตัวเร่งปฏิกิริยาของขั้วแอโนด	ตัวเร่งปฏิกิริยาของขั้วแคโทด
AFC	Pt, Ag	Pt, Ag
PEMFC	Pt, Pt/Ru	Pt
MCFC	Ni, Ni/Cr	Li/NiO
PAFC	Pt	Pt/Cr/Co, Pt/Ni
SOFC	Ni/ZrO ₂	LaSrMnO ₃

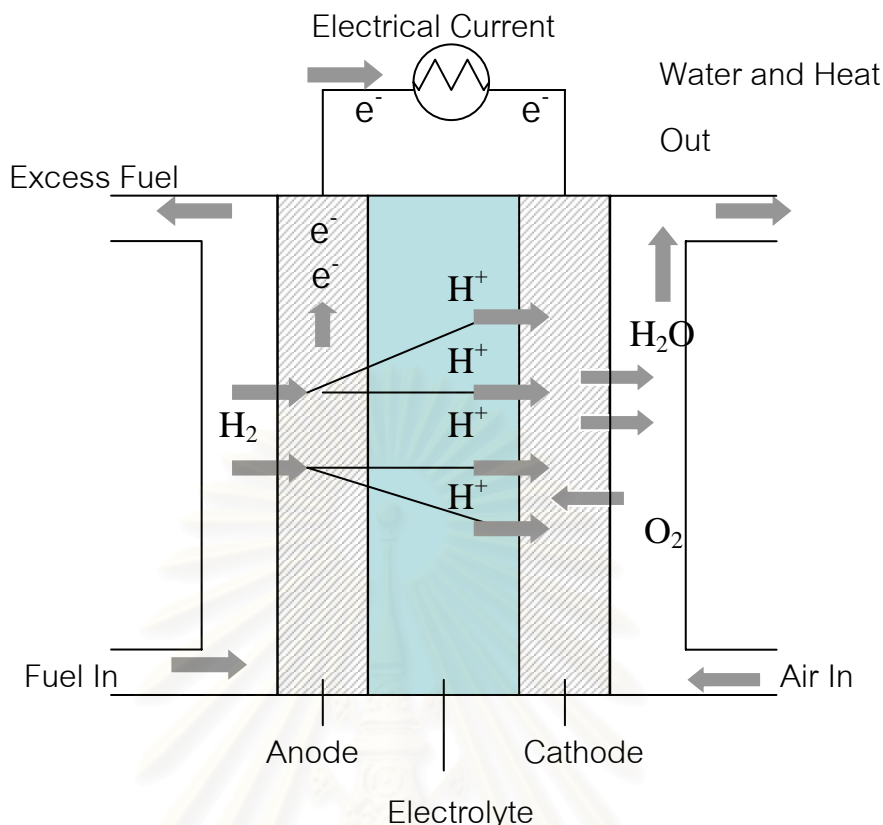
เนื่องจากในงานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน ดังนั้นจึงจะกล่าวรายละเอียดในส่วนต่อไปเฉพาะเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนเท่านั้น

2.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน (PEMFC)

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนหรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์ของแข็งจะเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ให้ค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูง เมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบอื่น จึงเหมาะกับการใช้งานในอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่เช่น รถยนต์ เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนสามารถทำงานได้ที่ภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำคือ อยู่ในช่วง 60 – 100 °C และความดัน 1 – 2 บรรยากาศ นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนยังใช้เชื้อเพลิงที่มาจากกระบวนการรีฟอร์มมิงของไฮโดรคาร์บอนได้

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนใช้พอลิเมอร์แข็ง (ซัลโฟเนตโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน) เป็นสารอิเล็กโทรไลต์จึงช่วยป้องกันการกัดกร่อนภายในเซลล์ และมีความปลอดภัยมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว โดยแผ่นพอลิเมอร์แข็งจะถูกประกบด้านนอกด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเกาะอยู่ด้านในที่ติดกับอิเล็กโทรไลต์ เมื่อไฮโดรเจนถูกป้อนเข้าทางด้านขั้วแอโนด จะแตกตัวตรงผิวหน้าของแพลทินัมซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอนและโปรตรอนออกมา โดยอิเล็กตรอนจะวิ่งผ่านวงจรด้านนอกทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและวิ่งต่อไปยังขั้วแคโทด ส่วนโปรตรอนจะแพร่ผ่านเมมเบรนไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนและออกซิเจนที่ขั้วแคโทดอีกที โดยปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดจะเกิดเป็นน้ำและถูกขจัดออกจากเซลล์พร้อมกับแก๊สที่ออกจากขั้วแคโทด ในระหว่างการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีการปล่อยความร้อนออกมา ความร้อนจากเซลล์เชื้อเพลิงสามารถถูกดึงออกจากเซลล์ได้ด้วยกระบวนการหล่อเย็น ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนขึ้นอยู่กับความสามารถในการส่งถ่ายไอออนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด ดังนั้นไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงจะต้องมีความชื้น เพราะกระบวนการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านเยื่อแผ่นจะต้องใช้น้ำในการนำไอออน หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนแสดงในรูป 2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน

2.4 ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน

2.4.1 ขั้วไฟฟ้า (Electrode)

เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วคือ ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ซึ่งในบางกรณีอาจมี 3 ขั้ว คือ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) เช่นในการวัดแบบครึ่งเซลล์บนขั้วไฟฟ้าจะมีตัวเร่งปฏิกิริยาเกาะอยู่เพื่อทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา ขั้วไฟฟ้าทางด้านแอโนดจะเป็นแหล่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนทางด้านแคโทดจะเป็นแหล่งเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ขั้วไฟฟ้าที่ดีควรมีความต้านทานต่ำหรือมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้สูงและมีความพรุนสูง เนื่องจากความพรุนของขั้วไฟฟ้าจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาบนขั้วไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสจะต้องมีสมบัติในการทนต่อการกัดกร่อน เป็นสารในกลุ่มโลหะตระกูลสูงเช่น แพลทินัม การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าภายในเซลล์เชื้อเพลิงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแหล่งที่เกิดปฏิกิริยาไปยังตัวเก็บประจุ ในขณะที่เดียวกันโปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์ยังขั้วแคโทด

2.4.2 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

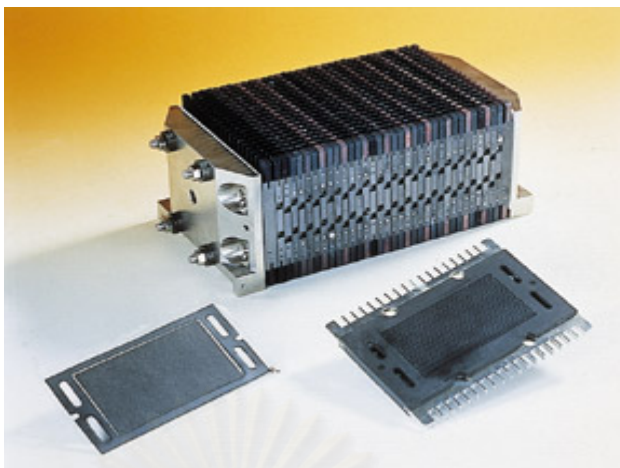
อิเล็กโทรไลต์ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนจะเป็นพอลิเมอร์แข็ง ทำหน้าที่ในการถ่ายเทไอออนที่เกิดจากปฏิกิริยาบนขั้วแอโนดให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดโดยอิเล็กโทรไลต์ที่ดีจะต้องมีสมบัติดังต่อไปนี้ (สุกัญญา, 2547)

- มีค่าการนำไอออนสูงแต่มีค่าการนำอิเล็กตรอนต่ำ
- มีค่าการแพร่ของแก๊สต่ำ
- มีขนาดที่แน่นอนไม่มีการบวม
- มีค่าความแข็งแรงเชิงกลสูงสามารถทนต่อแรงบีบอัดได้สูง
- มีค่าการแพร่ของน้ำต่ำ
- มีค่าความต้านทานต่อการสูญเสียน้ำ (หรือต้านทานต่อการเกิด Dehydration)
- มีค่าความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน และไฮโดรไลซิส
- มีการถ่ายเทแคทไอออนสูง (cation)
- พื้นที่ผิวของเยื่อแผ่นต้องสามารถเชื่อมตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกาะบนพื้นผิวได้ดีมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity)

2.4.3 แผ่นสะสมกระแส (Current Collector)

โดยทั่วไปแล้วเซลล์เชื้อเพลิงหนึ่งเซลล์ไม่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากนัก เนื่องจาก ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เพียงเซลล์เดียวมีค่าน้อย ดังนั้นในการใช้งานจริง ๆ เซลล์เชื้อเพลิงจะถูกนำมาต่อกันเป็นแบบอนุกรม หรือเรียกว่าห่อเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell stack) แสดงดังรูป 2.2 โดยจำนวนเซลล์เชื้อเพลิงของห่อเซลล์จะขึ้นกับปริมาณค่าความต่างศักย์ที่ต้องการ หรือกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 หอเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell stacks) (US Department of Energy)

การต่อของเซลล์เชื้อเพลิงจะต่อกันแบบอนุกรมโดยคั่นกลางด้วยแผ่นสะสมกระแสแบบสองขั้ว (bi-polar current collector plates) แผ่นสะสมกระแสนี้จะต้องมีความแข็งแรง ทนต่อการกัดกร่อนและสามารถนำไฟฟ้าได้ดี ภายในแผ่นสะสมกระแสจะถูกเจาะเป็นช่องเพื่อให้แก๊สไหลผ่านและทำหน้าที่กระจายแก๊สให้สัมผัสกับขั้วไฟฟ้า โดยใช้ช่องทางการไหลของแก๊สเป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลของแก๊ส นอกจากนี้แผ่นสะสมดังกล่าวยังทำหน้าที่เชื่อมต่อเซลล์ทางไฟฟ้าเป็นลักษณะการต่อแบบอนุกรม อิเล็กตรอนที่ผลิตจากกระบวนการเคมีไฟฟ้าในเซลล์จะถูกส่งต่อไปยังเซลล์ถัดไปโดยผ่านแผ่นสะสมกระแส นอกจากนี้แผ่นสะสมกระส่ายังทำหน้าที่แยกเซลล์ออกจากกันคือ ป้องกันไม่ให้แก๊สที่ไหลผ่านขั้วแคโทดของเซลล์หนึ่งผสมเข้ากับแก๊สที่ป้อนเข้าขั้วแอโนดของเซลล์ที่อยู่ติดกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบอื่น เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน ถูกคาดหวังว่าจะเป็นแหล่งพลังงานต้นๆ ที่จะนำมาใช้กับยานพาหนะ และอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้สามารถทำงานได้ที่ภาวะอุณหภูมิต่ำ และสามารถเริ่มการทำงานได้อย่างรวดเร็ว ข้อได้เปรียบของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนมีดังต่อไปนี้

- มีการกัดกร่อนน้อยเนื่องจากของเหลวในเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้มีเพียงน้ำเท่านั้น
- โครงสร้างของเซลล์ไม่ซับซ้อน ง่ายในการประกอบเป็นเซลล์เชื้อเพลิง
- มีความทนทาน
- สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำ
- สามารถบีบอัดให้มีขนาดเล็กและมีรูปร่างตามที่ต้องการได้จึงมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากกว่าแบบอื่น

- อย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนยังมีข้อเสียคือ
- ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของขั้วแอโนดและขั้วแคโทดมีราคาแพง
- อิเล็กโทรไลต์มีราคาแพง
- ยังคงมีปัญหาด้านการจัดการน้ำภายในเซลล์
- ทนต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ได้น้อย

2.5 เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ให้ประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานเคมีจากไฮโดรเจนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิง ไฮโดรเจนมีอยู่ในส่วนประกอบตามธรรมชาติอยู่แล้วเช่น น้ำ อากาศ อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะเก็บไฮโดรเจนที่เพียงพอ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจะต้องใช้ไฮโดรเจนที่มาจากสารประกอบต่างๆ ที่มีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบ เพราะไม่สามารถสกัดไฮโดรเจนได้จากพื้นดินเหมือนกับน้ำมันหรือถ่านหิน เนื่องจากไฮโดรเจนไม่ได้อยู่ในรูปเดียวกับสารเหล่านี้ อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงจากฟอสซิลจะมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบในปริมาณหนึ่ง ไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานสำคัญสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนในปัจจุบัน

2.5.1 การผลิตไฮโดรเจนจากน้ำ

เมื่อแยกน้ำออกจะเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนซึ่งสามารถสะสมไว้เป็นแหล่งพลังงานได้ การแยกน้ำเพื่อให้ได้ออกซิเจนและไฮโดรเจนเรียกว่ากระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) วิธีการแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีการนี้จะต้องใช้ความร้อน โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการแยกพันธะไฮโดรเจนและออกซิเจนของน้ำให้เป็นแก๊สออกซิเจนและแก๊สไฮโดรเจนจะอยู่ที่อุณหภูมิ 2800 °C ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วเป็นอุณหภูมิที่สูงมากทำได้ยาก ดังนั้นจึงแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนด้วยกระบวนการพื้นฐาน

กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis of water) ในสเกลเล็กๆ สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกแห่ง โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังน้ำ เป็นการเพียงพอที่จะทำให้เกิดฟองของไฮโดรเจนที่ขั้วแคโทดและฟองของออกซิเจนที่ขั้วแอโนด ซึ่งเป็นวิธีการง่าย ๆ ในการแยกน้ำ การแยกโดยวิธีนี้จะไม่คุ้มค่า เนื่องจากต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกเพื่อให้ได้ไฮโดรเจนและนำไฮโดรเจนที่ได้มาใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงอีกที

2.5.2 การผลิตไฮโดรเจนจากไฮโดรคาร์บอน

การผลิตไฮโดรเจนจากไฮโดรคาร์บอนเป็นกระบวนการที่ถูกต้องที่สุด โดยการเปลี่ยนรูปแก๊สธรรมชาติหรือไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ ไปเป็นไฮโดรเจนด้วยกระบวนการรีฟอร์มมิง (reforming process) ไฮโดรเจนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากกระบวนการนี้ ในการที่จะแยกไฮโดรเจนจากไฮโดรคาร์บอนหรือแก๊สธรรมชาติ (โดยส่วนใหญ่จะเป็นมีเทน, CH_4) โดยกระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการรีฟอร์มมิงโดยใช้ไอน้ำ มีเทนจะถูกผสมกับไอน้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดัน และมีตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าร่วมด้วย กระบวนการนี้สามารถผลิตคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนออกมา ปฏิกิริยาในขั้นที่สองถัดจากกระบวนการรีฟอร์มมิงคือปฏิกิริยา water gas shift โดยปฏิกิริยานี้สามารถเพิ่มไฮโดรเจนได้มากขึ้นจากปฏิกิริยาที่เกิดจากน้ำกับคาร์บอนมอนอกไซด์

2.6 การเก็บไฮโดรเจนในเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงใช้ไฮโดรเจนในรูปของไฮโดรเจนบริสุทธิ์ โดยแก๊สธรรมชาติหรือเชื้อเพลิงเหลวอื่นๆ ถูกเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนจากกระบวนการรีฟอร์มมิง ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานสำคัญ แต่ไม่สะดวกในการเก็บไฮโดรเจนในปริมาณมากเพื่อใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากในการเก็บไฮโดรเจนให้ได้ปริมาณมากนั้นจะต้องเก็บภายใต้ภาวะความดันสูง ซึ่งจะเสี่ยงต่อการระเบิดจึงไม่ปลอดภัยในการเก็บรูปแบบนี้ การเก็บไฮโดรเจนในรูปแบบอื่นจะได้เปรียบกว่าทางด้านความปลอดภัยเช่น เก็บอยู่ในรูปของ เมทานอล หรือแก๊สธรรมชาติ และผ่านกระบวนการรีฟอร์มมิงไปเป็นไฮโดรเจนอีกทีจะมีความปลอดภัยกว่า

เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เรียกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบตรง (direct fuel cells) ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนในรูปสารประกอบของไฮโดรเจนแล้วผ่านกระบวนการรีฟอร์มมิงไปเป็นไฮโดรเจนอีกทีเรียกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบอ้อม (indirect fuel cells) โดยในกระบวนการที่เปลี่ยนจากสารประกอบไฮโดรเจนมาเป็นไฮโดรเจนนี้จะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิของกระบวนการนี้จะสูง และต้องมีการติดอุปกรณ์เพิ่มขึ้นมาเพื่อเปลี่ยนสารประกอบเหล่านี้ไปเป็นไฮโดรเจน (reformer) แต่ระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นแก๊สเชื้อเพลิงจะทำงานที่อุณหภูมิต่ำ

2.6.1 การเก็บไฮโดรเจนโดยการบีบอัด

การบีบอัดไฮโดรเจน (compressed hydrogen) เหมือนกับการบีบอัดแก๊สธรรมชาติ โดยปกติแล้วไฮโดรเจนถูกเก็บใน cylindrical tanks ที่ระดับความดัน 200 และ 250 บาร์ จะเก็บไฮโดรเจนได้มากถึง 50 ลิตร โดยแท็งก์เหล่านี้จะทำมาจากอลูมิเนียม หรือ คาร์บอน/แกรไฟท์ เป็นส่วนประกอบ โดยไฮโดรเจนที่มาจากกระบวนการบีบอัดสามารถใช้ได้ในงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กต่าง ๆ หรือใช้ทางการขนส่ง

2.6.2 การเก็บในรูปไฮโดรเจนเหลว

ในการที่จะลดปริมาตรของไฮโดรเจนเพื่อการเก็บไว้ใช้งานให้มีปริมาณมาก โดยเฉพาะการเก็บไว้ในเครื่องยนต์ จึงต้องมีการทำให้ไฮโดรเจนให้เป็นของเหลว (liquefaction) ข้อดีของไฮโดรเจนเหลวเนื่องจากมีสัดส่วนของพลังงานและมวลสูง ซึ่งเป็นสามเท่าของแก๊สโซลีน ไฮโดรเจนเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความหนาแน่นของพลังงานสูง ไฮโดรเจนเหลวจึงมักเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในยานอวกาศ อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะเก็บไฮโดรเจนให้ได้ในปริมาณมาก

2.6.3 การเก็บโดยการสร้างพันธะของไฮโดรเจน

การสร้างพันธะของไฮโดรเจน (bonded hydrogen) กับพื้นที่ผิวของโลหะผสมจะเป็นการเก็บที่ปลอดภัยที่สุด ไม่มีไฮโดรเจนปลดปล่อยออกมาในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ แต่วิธีการเก็บไฮโดรเจนในรูปนี้จะกะกะและใหญ่ ตัวอย่างโลหะผสมเช่น โลหะผสมระหว่างเหล็กและไททาเนียม (FeTi) ถูกใช้ในการเก็บไฮโดรเจนโดยการให้ไฮโดรเจนสร้างพันธะกับพื้นที่ผิวของโลหะผสมโดยโลหะผสมจะถูกทำให้เป็นเม็ดเล็กๆ (granules) ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับโลหะผสมให้มีปริมาณมากเพียงพอ โดยไฮโดรเจนจะถูกฉีดเข้าไปบนผิวของวัสดุด้วยความดันสูง โดยในการสร้างพันธะระหว่างตัวโลหะผสมและไฮโดรเจนจะปลดปล่อยความร้อนออกมา โดยความร้อนที่ปล่อยออกมานี้สามารถนำกลับไปใช้ในการสลายพันธะระหว่างไฮโดรเจนและตัวโลหะผสมนี้ได้ที่

2.6.4 การเก็บไฮโดรเจนโดยการดูดซับด้วยคาร์บอน

เทคนิคการดูดซับด้วยคาร์บอน (carbon adsorption techniques) จะเกี่ยวข้องกับการสร้างพันธะระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน ไฮโดรเจนจะถูกบีบเข้าไปในคอนเทนเนอร์ซึ่งมีอนุภาคของคาร์บอนบรรจุอยู่ วิธีการนี้จะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนเท่ากับกระบวนการสร้างพันธะระหว่างไฮโดรเจนและโลหะผสม ข้อดีของวิธีการนี้คืออุณหภูมิต่ำกว่า

2.6.5 การดูดซับด้วยคาร์บอนนาโนไฟเบอร์

อีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจอย่างมากในปัจจุบันคือเทคโนโลยีทางด้านคาร์บอนนาโนไฟเบอร์ (carbon nanofibre technology) ซึ่งวิธีการนี้สามารถเก็บสำรองไฮโดรเจนไว้ใช้งานได้มากถึง 70% โดยน้ำหนักของไฮโดรเจน ซึ่งเป็นปริมาณที่มาก เนื่องจากโลหะผสมสามารถเก็บไฮโดรเจนได้อยู่ในช่วง 2 - 4 % โดยน้ำหนักเท่านั้น ด้วยการเก็บไฮโดรเจนโดยวิธีการนี้พบว่าสามารถเก็บไฮโดรเจนใช้ในเครื่องยนต์ได้มากถึง 5000 กิโลเมตรโดยไม่มีการเติมเชื้อเพลิงเพิ่ม ซึ่งวิธีการนี้เป็น การตอบสนองของความต้องการพื้นฐาน

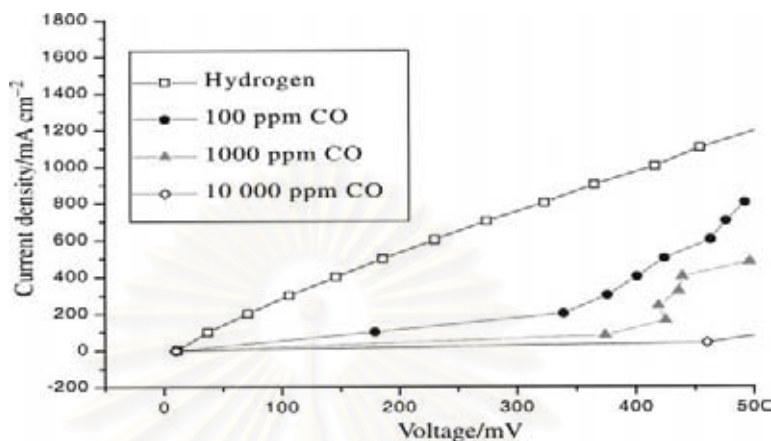
2.6.6 ไฮโดรเจนในรูปไฮโดรคาร์บอน

การเก็บไฮโดรเจนในรูปของไฮโดรคาร์บอนเช่น โพรเพน แก๊สธรรมชาติ หรือแก๊สโซลีน โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนโดยกระบวนการรีฟอร์มมิง วิธีการนี้กำลังพัฒนาอยู่ในปัจจุบัน แก๊สที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีสัดส่วนของไฮโดรเจน 35 - 75% คาร์บอนไดออกไซด์ 15 - 25 % และคาร์บอนมอนอกไซด์ 50 - 50000 พีพีเอ็ม โดยคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับไฮโดรเจนที่ได้จากกระบวนการรีฟอร์มมิงจะก่อให้เกิดปัญหากับเซลล์เชื้อเพลิง

2.7 ผลของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อเซลล์เชื้อเพลิง

ไฮโดรเจนที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่มาจากกระบวนการรีฟอร์มมิงจึงมักมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับกระบวนการผลิตไฮโดรเจนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเสมอ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วแม้มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงในระดับพีพีเอ็มก็จะมีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก เนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์จะถูกดูดซับอย่างแข็งแรงบนผิวของ

แพลทินัม ทำให้แพลทินัมไม่สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของไฮโดรเจนได้อีกต่อไป สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจึงลดลงอย่างเห็นได้ชัด



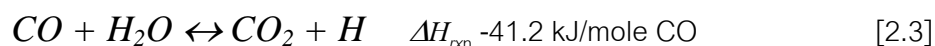
รูปที่ 2.3 ผลของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง (Carrette et al., 2000)

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจะลดลงอย่างชัดเจนหากมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงทางด้านแอโนดเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นแก๊สเชื้อเพลิง

2.8 วิธีการในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิง (World Patent number 9915460)

2.8.1 ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์

ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ (Water-Gas Shift Reaction) เป็นกระบวนการในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ที่น่าสนใจ นอกจากสามารถขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้แล้วยังเป็นการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนอีกด้วย อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาไฟอร์มิงไม่สามารถขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกไปให้อยู่ในระดับที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทนทานได้ เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ (reversible reaction) ปฏิกิริยาวอเตอร์แก๊สชิฟต์ แสดงดังสมการ 2.3

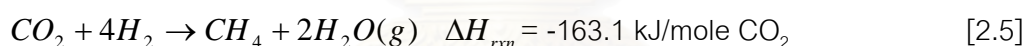
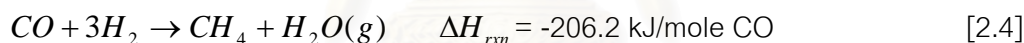


ปฏิกิริยานี้จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน โดยในกระบวนการจะใช้ไอน้ำมากเกินไปเพื่อทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

2.8.2 ปฏิกิริยาเลือกเกิดเป็นมีเทน

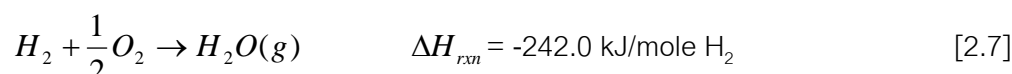
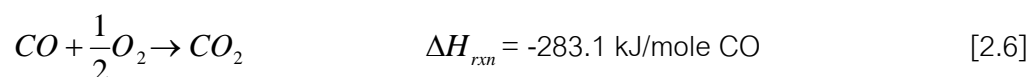
ปฏิกิริยาเลือกเกิดเป็นมีเทน (Selective Methanation) ของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลงมาให้อยู่ในระดับต่ำ (4000 - 100 พีพีเอ็ม) แต่ข้อเสียหลักของวิธีการนี้คือกระบวนการเกิดเป็นมีเทนในแต่ละโมเลกุลของคาร์บอนมอนอกไซด์ต้องใช้ไฮโดรเจนถึงสามโมเลกุล ดังนั้นวิธีการนี้ถ้าปริมาณความเข้มข้นเริ่มต้นของคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในปริมาณสูงจะสูญเสียไฮโดรเจนในปริมาณมาก เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาเลือกเกิดเป็นมีเทน (นิกเกิล) จะเปลี่ยนทั้งคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นมีเทน

ในปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นมีเทนสามารถเกิดได้ 2 ปฏิกิริยาดังนี้



2.8.3 ปฏิกิริยาการเลือกเกิดออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์

คาร์บอนมอนอกไซด์สามารถถูกขจัดออกไปจากแก๊สเชื้อเพลิงโดยปฏิกิริยาการเลือกเกิดออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์ (Selective CO oxidation) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดได้ 2 ปฏิกิริยา



ปฏิกิริยานี้สามารถจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยๆและไฮโดรเจนมากเกินพอจะแย่งทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแทน ปริมาณออกซิเจนที่ฉีดเข้าไปเพื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์จึงสำคัญมาก เพราะออกซิเจนที่เหลือจะไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซึ่งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงแทนทำให้สูญเสียไฮโดรเจน อย่างไรก็ตามแก๊สที่ได้จากกระบวนการรีฟอร์มมิงมักจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมาในปริมาณที่ไม่คงที่ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ฉีดเข้าไปเพื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์จะต้องแปรผันตามปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าปฏิกิริยาการเลือกเกิดออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จาก 0.1 – 10 %vol ให้อยู่ในระดับ 350 – 750 พีพีเอ็มและสูญเสียไฮโดรเจนเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการจัดการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ปริมาณน้อยๆ ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงทำได้ยาก ถ้าใช้ปฏิกิริยานี้จะสูญเสียไฮโดรเจนไปในปริมาณมาก

2.8.4 การจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นสารที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ สลายตัวแบบเฮเทอโรไลซิสและเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรง นอกจากนี้การสลายตัวยังสะอาดไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นสารที่มีความว่องไวสูงจะสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วหากมีสารปนเปื้อนปนอยู่ ปฏิกิริยาโดยรวมของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์แสดงดังสมการต่อไปนี้



นอกจากนี้ในระหว่างการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะเกิด hydroxyl radical ($\cdot OH$) ซึ่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงรองจากฟลูออรีน สามารถที่จะออกซิไดซ์คาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ตาราง 2.4 แสดงค่า Oxidation Potential ของสารแต่ละชนิด

ตาราง 2.4 แสดงค่า Oxidation Potential ของสารแต่ละชนิด (Mandat et al., 2004)

Oxidant	Oxidation Potential, Volts
Fluorine	3.0
Hydroxyl radical	2.8
Ozone	2.1
Hydrogen peroxide	1.8
Potassium permanganate	1.7
Chlorine dioxide	1.5
Chlorine	1.4

ฟลูออรีนจะให้ค่า Oxidation Potential ที่สูงแต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานเนื่องจากเป็นพิษ hydroxyl radical จึงน่าสนใจนำมาใช้ขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ในระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงออกซิเจนไม่สามารถใช้ในการออกซิเดชันคาร์บอนมอนอกไซด์ได้โดยตรงเนื่องจากต้องการพลังงานสูงในการสลายพันธะระหว่างออกซิเจนกับออกซิเจน และปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจนจะเกิดได้ช้ามาก ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นสารที่มีราคาถูกหาได้ทั่วไป ในการเก็บสำรองไว้ใช้ก็จะสะดวก ซึ่งแตกต่างกับโอโซนที่มีค่าออกซิเดชันสูงแต่ไม่เหมาะกับการใช้งานเนื่องจากเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม (TLV 0.1 พีพีเอ็ม) (Mandat et al., 2004)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีผู้ศึกษาวิธีการในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากกระแสเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนหลายวิธี เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง โดยในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์จะมี 2 วิธี คือ electrochemical method ซึ่งวิธีการนี้จะปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับขั้วแอโนดให้มีความทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง และ non-electrochemical method ศึกษาการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

V.M. Schmidt et al. (1997) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง โดยการเติมสารที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ วิธีนี้เป็นปรับปรุงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อใช้เชื้อเพลิงที่มาจากกระบวนการรีฟอร์มมิงของเมทานอลที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนอยู่ ในการทดลองได้เติม

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปในส่วนให้ความชื้นของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าเกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นออกซิเจนที่อยู่ในภาวะกระตุ้น (active oxygen) จากผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมาในระดับ 100 พีพีเอ็ม ให้มีสมรรถนะเท่ากับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ไม่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในส่วนให้ความชื้น ซึ่งพบว่าสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด การที่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปช่วยปรับปรุงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงให้เพิ่มขึ้นเนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์ถูกขจัดออกไปโดยทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในส่วนให้ความชื้นทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ไม่เกาะบนผิวแพลทินัมสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจึงเพิ่มขึ้น

J. Divisek et al. (1998) ศึกษาการปรับปรุงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง 2 วิธี คือ electrochemical และ non-electrochemical โดยวิธีการแรกศึกษาถึงตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง เช่นโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและรูทีเนียม พบว่าโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและรูทีเนียมสามารถทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ในระดับ 250 พีพีเอ็ม วิธีที่สองทดลองเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปในส่วนให้ความชื้นทางด้านแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงพบว่าสามารถปรับปรุงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมาในระดับ 100 พีพีเอ็ม ให้มีสมรรถนะใกล้เคียงกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์ การที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดออกซิเจนที่อยู่ในภาวะกระตุ้น (active oxygen) ไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สเชื้อเพลิงเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

R.J. Bellows et al. (1998) ศึกษาการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใส่ลงไปในส่วนให้ความชื้นของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยให้ส่วนให้ความชื้นที่ทำจากวัสดุ 2 ชนิด คือสแตนเลสและโพลีโพรพิลีน (PP) พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 % ที่ใส่ลงในส่วนให้ความชื้นที่ทำจากสแตนเลสเกิดฟองอากาศ แต่ในส่วนให้ความชื้นที่ทำจากโพลีโพรพิลีนไม่เกิดฟองอากาศ แสดงว่าสแตนเลสของส่วนให้ความชื้นทำหน้าที่เร่งการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงนำหลักการนี้ไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงโดยนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ใส่ลงไปในส่วนให้ความชื้นของหน่วยทดสอบซึ่งทำจากสแตนเลสและทดลองผ่านไฮโดรเจนที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมา 100 พีพีเอ็มเข้ามาในระบบพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์จะมีค่าใกล้เคียงกับการใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรเจนบริสุทธิ์

V.M. Schmidt et al. (2001) ศึกษาปฏิกิริยา electrochemical และ non-electrochemical ของระบบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์บนขั้วแพลทินัมในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 โมลาร์โดยทำการวิเคราะห์ด้วย mass spectroscopy แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาจะถูกวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อการดูดซับและออกซิไดซ์คาร์บอนมอนอกไซด์ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 โมลาร์ และมีการใส่กระแสแบบไม่คงตัว (current transients) ให้กับ CVs และ MSCVs ที่ตำแหน่งสัญญาณ $m/z = 32$ และ $m/z = 44$ ผลการทดลองที่ได้พบว่าเป็นชั้นของคาร์บอนมอนอกไซด์บนตำแหน่งผิวหน้าของแพลทินัม เมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในสารละลาย พบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถออกซิไดซ์คาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้

A.T. Haug et al. (2002) พบว่าโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและรูทีเนียม สามารถทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มากกว่าแพลทินัมทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง ในงานวิจัยนี้ทำการวางชั้นบางๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยา รูทีเนียมอยู่บนคาร์บอนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมและช่องทางไหลของแก๊สสำหรับขั้วแอโนด เพื่อทำหน้าที่ให้คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงเกิดการออกซิไดซ์บนตำแหน่งผิวหน้าของชั้นนี้ ก่อนที่คาร์บอนมอนอกไซด์จะไปเจอกับตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับขั้วแอโนด ในส่วนนี้คาร์บอนมอนอกไซด์สามารถที่จะออกซิไดซ์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ออกซิเจนที่ฉีดปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง จากการทดลองฉีดออกซิเจน 2 % และมีคาร์บอนมอนอกไซด์ 100 พีพีเอ็ม พบว่าสามารถทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แพลทินัมและรูทีเนียมฟิลเตอร์ ทำการกรองคาร์บอนมอนอกไซด์ มีสมรรถนะดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้โลหะผสมระหว่างแพลทินัมและรูทีเนียมออกซิเจนในกระแสเชื้อเพลิงจะเกิดเป็นกลุ่มไฮดรอกซิลบนฟิลเตอร์และออกซิไดซ์คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกดูดซับไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ข้อดีของวิธีการนี้คือช่วยป้องกันไม่ให้คาร์บอนมอนอกไซด์สัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมโดยตรง การที่จะทำให้ฟิลเตอร์นี้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ ในงานวิจัยนี้ได้เสนอไว้ว่าต้องวางไว้ในตำแหน่งหน้าสุดและเชื่อมต่อกับขั้วแอโนดและจะต้องประกบด้วยเนฟฟิออน เพื่อให้ไอออนเคลื่อนผ่านและเพื่อเป็นตัวนำโปรตอนทางหนึ่งด้วย จึงจะได้รับประโยชน์สูงสุดจากฟิลเตอร์นี้

US Patent No. 6429019 B1. (2002) ศึกษากระบวนการทำไฮโดรเจนให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง โดยผลิตเครื่องมือและคิดวิธีการในการควบคุมความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการรีฟอร์มมิง เครื่องมือนี้สามารถป้องกันตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในเซลล์จากพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยการควบคุมคาร์บอนมอนอกไซด์ในรีฟอร์มเมทแก๊สให้ลดลงอยู่ในระดับที่ตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิงสามารถรับได้ ซึ่งระบบการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์นี้จะเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นมีเทนซึ่งไม่เป็นพิษกับตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง ในระบบจะทำการควบคุมคาร์บอนมอนอกไซด์โดยตรวจจับสัญญาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา เพื่อส่งสัญญาณไปตัวตรวจจับสัญญาณอื่นๆ ภายในเซลล์เช่นตัวนิกเกิดที่ใช้ควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ในปฏิกิริยา

R.C. Urian et al (2003) ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าสำหรับขั้วแอโนดเมื่อแก๊สเชื้อเพลิงมีทั้งคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการรีฟอร์มมิง ในการทดลองนี้จะศึกษาโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและรูทีเนียมในสัดส่วน 1:1 และโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและโมลิบดีนัมในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อศึกษาถึงผลของคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง สัดส่วนของรีฟอร์มเมทแก๊สที่ทำการศึกษาจะอยู่ที่ไฮโดรเจน 45% คาร์บอนมอนอกไซด์ 10 พีพีเอ็ม คาร์บอนไดออกไซด์ 15% และมีเทน 1% ส่วนที่เหลือเป็นไนโตรเจน ผลของคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและรูทีเนียมจะไม่เป็นแนวโน้มที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและโมลิบดีนัมต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าความทนทานต่อตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็นสัดส่วนกับสัดส่วนโดยน้ำหนักของโลหะผสมระหว่างแพลทินัมและโมลิบดีนัม

2.10 ความสัมพันธ์กับงานวิจัยที่ทำการศึกษา

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการไหนที่จะเก็บไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ให้พอเพียงสำหรับใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งการเก็บไฮโดรเจนในเซลล์เชื้อเพลิงยังเป็นการเสี่ยงต่อการระเบิดและเป็นการยากในการเติมไฮโดรเจนแต่ละครั้งหากไฮโดรเจนหมด เนื่องจากการเติมภายใต้ภาวะความดันสูง การเก็บไฮโดรเจนในรูปไฮโดรคาร์บอนแล้วผ่านกระบวนการรีฟอร์มมิงไปเป็นไฮโดรเจนจึงน่าสนใจ แต่วิธีการนี้มักมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับกระบวนการผลิตไฮโดรเจนอยู่เสมอ ซึ่งการมีคาร์บอนมอนอกไซด์เพียงระดับพีพีเอ็มก็จะทำให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในการทดลองนี้จึงศึกษาการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์-

ออกไซด์เพื่อลดความเป็นพิษของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีต่อตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับซั้วแอนด์ โดยทำการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงก่อนที่จะเข้าสู่ตัวเร่งปฏิกิริยา วิธีการที่ใช้ในงานวิจัยคือการเติมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ลงไปในส่วนให้ความร้อนของเซลล์เชื้อเพลิงทางด้านแอโนด ศึกษาผลของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ที่ซั้วแอนด์ และผลต่อความหนาแน่นกระแสของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 แก๊ส

- คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 500 พีพีเอ็มโมลในไฮโดรเจน จากบริษัท ไทยอินดัสเตีรียแก๊ส จำกัด (มหาชน)
- แก๊สมาตรฐาน (Standard Gas) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 250 พีพีเอ็มโมล และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 100 พีพีเอ็มโมลในไฮโดรเจน จากบริษัท ไทยอินดัสเตีรียแก๊ส จำกัด (มหาชน)
- ไฮโดรเจน (H₂) ความบริสุทธิ์สูง 99.999% จากบริษัท ไทยอินดัสเตีรียแก๊ส จำกัด (มหาชน)
- ออกซิเจนความบริสุทธิ์สูง 99.999% จากบริษัท แพรกซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- ไนโตรเจน (N₂) บริสุทธิ์ 99.995% จากบริษัท ไทยอินดัสเตีรียแก๊ส จำกัด (มหาชน)

3.1.2 สารเคมี

- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) AR grade 30 wt% จากเมอร์ค เยอร์มัน
- เฟอรัส (II) ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (FeSO₄·7H₂O) AR grade จาก เมอร์ค เยอร์มัน
- โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO₄) AR grade จากเมอร์ค เยอร์มัน
- โซเดียมออกซาลेट (Na₂C₂O₄) AR grade จากเมอร์ค เยอร์มัน
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 37 % จากเมอร์ค เยอร์มัน
- กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) 98% จากเมอร์ค เยอร์มัน

3.1.3 อุปกรณ์

- Gas Chromatograph (GC): Thermo Finnigan 2000
- Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR): Perkin Elmer System 2000
- Potentiostat/Galvanostat: Autolab Module PGSTAT30

- ระบบท่อและวาล์ว จาก Swagelock
- Gas reactor ทำจาก Borosilicate glass
- ชุดควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ hot plate และดิจิตอลเทอร์มิสเตอร์
- หลอด UV-C ขนาด 4 วัตต์ ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรของ Sylvania

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์

3.2.1 ฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)

เครื่อง FT-IR ใช้สำหรับวิเคราะห์คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลือและคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ซึ่งในการทดลองจะเป็นการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพเท่านั้น โดยใช้แก๊สเซลล์ขนาดความยาว 10 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร หน้าต่างของเซลล์ (windows) ทำด้วยโพแตสเซียมโบรมาไค (KBr) วัดการส่งผ่านแสง IR (% transmittance) ในช่วง $4000 - 370 \text{ cm}^{-1}$ ในแต่ละเวลาที่ทำการศึกษาจะวิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้งและนำมาเฉลี่ยที่เวลาใดๆ ทำการวิเคราะห์ที่เวลา 0 2 4 8 และ 16 นาที แก๊สเซลล์แสดงในรูป 3.1

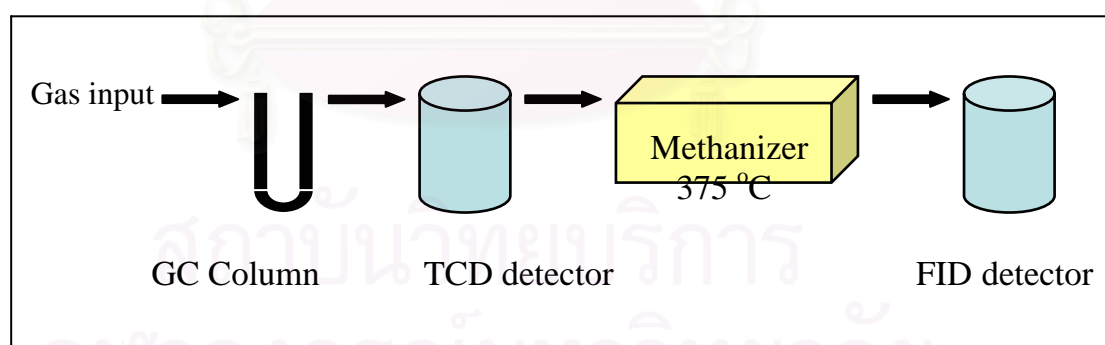


รูปที่ 3.1 แก๊สเซลล์ของเครื่อง FT-IR

3.2.2 แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph, GC)

แก๊สจากปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ในไฮโดรเจน ถูกวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ของ Thermo Finnigan Trace GC ที่มีระบบฉีดตัวอย่างเป็นแบบอัตโนมัติ ตั้งอุณหภูมิของ oven ไว้ที่ 120 °C ใช้ตัวอย่างปริมาณ 50 ไมโครลิตรต่อหนึ่งครั้ง คอลัมน์ที่ใช้คือ Carbosphere, 80/100 mesh เป็นสแตนเลส ความยาว 10 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว ใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพา อัตราการไหลของแก๊สพา 30 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์ 130 °C คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนโดย methanizer ที่ต่ออยู่ระหว่างคอลัมน์และดีเทคเตอร์ และตรวจวัดโดยเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (FID) อุณหภูมิของ methanizer และดีเทคเตอร์ คือ 375 °C และ 150 °C ตามลำดับ สัญญาณที่ได้ถูกประมวลผลโดยใช้โปรแกรมของ Thermo Finnigan Chrome Card.

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีสอบเทียบด้วยแก๊สมาตรฐานคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ โครมาโทแกรมของแก๊สตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปสามารถระบุตำแหน่งของคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเปรียบเทียบเวลากับโครมาโทแกรมที่ใช้แก๊สมาตรฐาน ปริมาณของแก๊สทั้ง 2 หาโดยการเปรียบเทียบกับพื้นที่ใต้กราฟของแก๊สมาตรฐาน ระบบการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.2



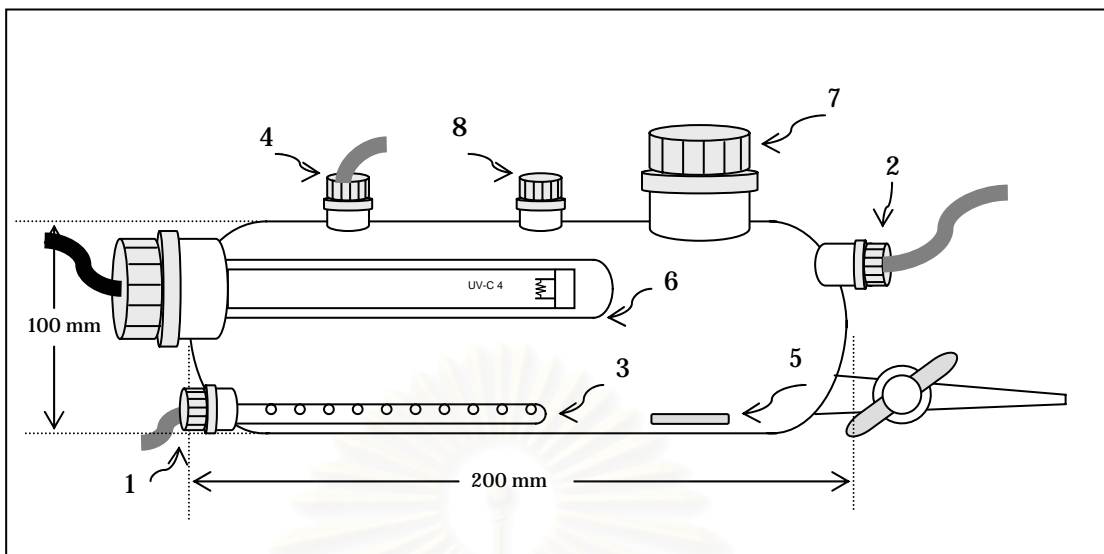
รูปที่ 3.2 ระบบการวิเคราะห์แก๊ส

3.2.3 ระบบควบคุมแก๊ส

ระบบควบคุมแก๊สประกอบด้วยวาล์ว, ท่อขนาด 1/8 นิ้ว, เครื่องควบคุมอัตราการไหล ก่อนที่จะเริ่มการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละครั้งทำการไล่ระบบด้วยไฮโดรเจนผ่าน วาล์ว ท่อ gas reactor และระบบฉีดตัวอย่างของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประมาณ 15 นาที เพื่อ ไล่แก๊สปนเปื้อนที่อาจตกค้างในระบบ โดยเฉพาะคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่ง หากปนอยู่อาจทำให้การทดลองเกิดการผิดพลาดได้ อัตราการไหลของแก๊สที่ใช้ในการทดลอง ควบคุมโดยใช้วาล์วและมิเตอร์ อัตราการไหลของแก๊สจะถูกควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลองใน อัตรา 50 มิลลิลิตรต่ออนาที แก๊สเกิดจากปฏิกิริยาจะไหลผ่านมายังส่วนดักความชื้นซึ่งบรรจุ ซิลิกาเจลเพื่อจับความชื้นในแก๊สไม่ให้เข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

3.2.4 Gas Reactor

ในการทดลองนี้คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ใน gas reactor แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจำลองมาจากส่วนให้ความชื้นของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน โดย gas reactor ทำด้วย borosilicate glass มี ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ความยาว 200 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร มีหลอด UV ขนาด 4 วัตต์ อยู่ภายใน แสดงดังรูปที่ 3.4 เสียบอยู่ภายใน ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อ่างน้ำร้อนวาง บนแผ่นให้ความร้อน อ่านอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล แก๊สตั้งต้นจะผ่านเข้าด้านล่าง ของ gas reactor และทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่บรรจุอยู่ภายใน แก๊สที่ เกิดจากปฏิกิริยาจะผ่านออกมาทางด้านบนของ gas reactor

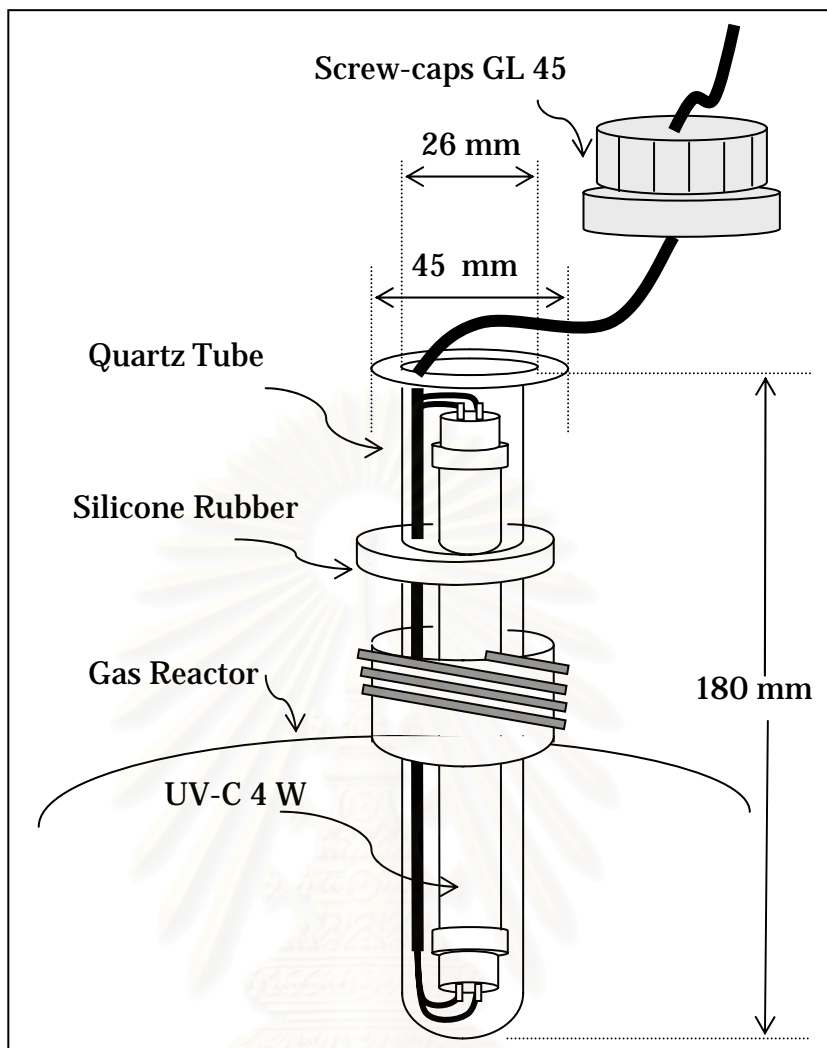


รูปที่ 3.3 Gas Reactor

ส่วนประกอบต่างๆของ gas reactor มีดังนี้

- 1) ทางเข้าของแก๊ส ขนาดเกลียว GL14, ขนาดท่อ 1/8 นิ้ว
- 2) ทางออกของแก๊ส ขนาดเกลียว GL14 ขนาดท่อ 1/8 นิ้ว
- 3) หลอดแก้วยาวเจาะเป็นรูเล็กหลายๆ รู เพื่อให้แก๊สที่ผ่านเข้ามาเกิดเป็นฟองเล็กๆ เพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดี
- 4) ทางเข้าของไฮโดรเจนที่ใช้ใส่แก๊สที่ตกค้างในระบบ ขนาดเกลียว GL14, ขนาดท่อ 1/8 นิ้ว
- 5) แท่งคนแม่เหล็ก ใช้กวนสารละลายให้เข้ากันด้วยความเร็ว 250 รอบ/นาที
- 6) หลอดบรรจุหลอด UV 4 วัตต์ ขนาดเกลียว GL 45
- 7) ช่องเติมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ขนาดเกลียว GL 45
- 8) ช่องสำรวจ ขนาดเกลียว GL14

ส่วนต่อต่างๆระหว่างแก้ว ท่อ หรือจุกปิดจะใช้ยางซิลิโคนหรือแหวนยางซิลิโคนรองเสมอ เพื่อป้องกันการรั่วของแก๊ส

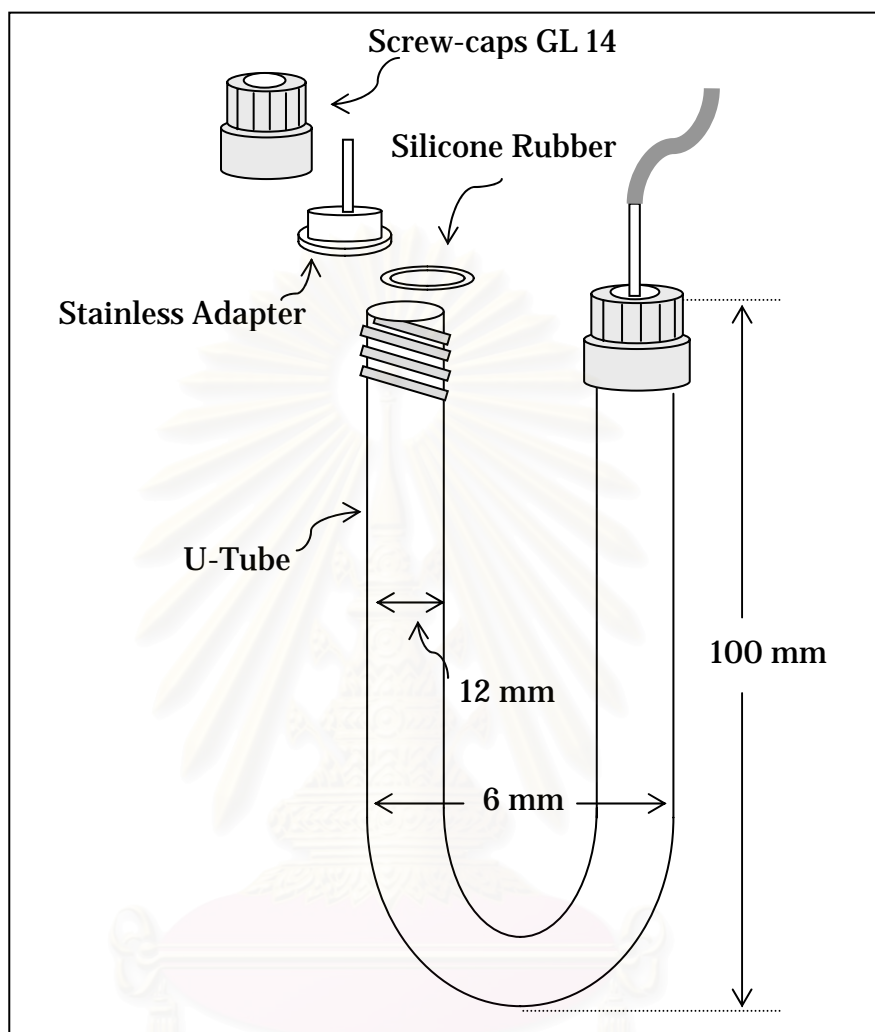


รูปที่ 3.4 หลอด UV

3.2.5 U-Tube Reactor

ในการทดสอบผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ที่ใช้สำหรับ ชั่วแอนด์ของเซลล์เชื้อเพลิง จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ตัว คือ Pt 10 %wt/Vulcan XC-72, Pt 20 %wt/Vulcan XC-72 และ Pt 20 %wt-Ru 10%wt/Vulcan XC-72 บรรจุใน U-tube reactor ซึ่งเป็น หลอดแก้วรูปตัวยู ทำจาก borosilicate glass ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความยาว 80 มิลลิเมตร ขนาดเกลียว GL12 ต่อกับท่อขนาด 1/8 นิ้ว ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกบรรจุอยู่ระหว่าง โควอทซ์ แก๊สปฏิกิริยาที่ออกมาจาก gas reactor จะผ่านเข้ามาที่ด้านหนึ่งของ U-tube reactor เจอกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ใน U-tube reactor แล้วผ่านออกไปอีกด้านหนึ่ง ผ่านไปยังส่วนดัก ความชื้น ผ่านเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของแก๊สผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิของ U-tube reactor ควบคุมโดยใช้อ่างน้ำร้อนวางบน hot plate อ่านอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มิสเตอร์แบบดิจิตอล รูป U-tube reactor ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาบรรจุอยู่ แสดงในรูป 3.5



รูปที่ 3.5 U-Tube Reactor

3.2.6 ชุดทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Test Station)

ความหนาแน่นของกระแสทดสอบโดยชุดทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งส่วนประกอบของชุดทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก

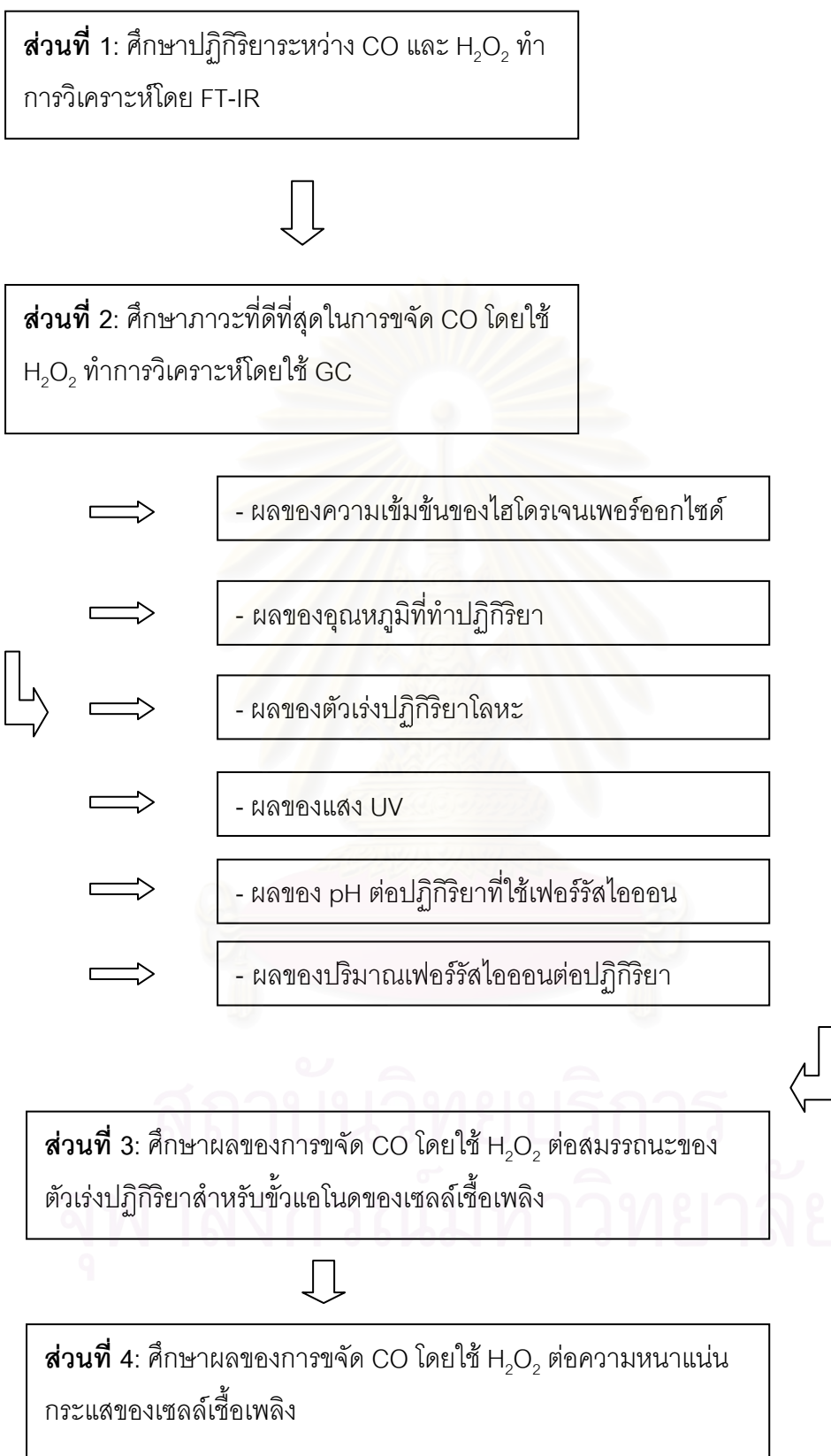
- ส่วนควบคุมอัตราการไหล (mass flow controller): ของ MKS Instrument รุ่น M100 ใช้สำหรับควบคุมอัตราการไหลของไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนด ออกซิเจนที่ขั้วแคโทด และไนโตรเจนที่ใช้เป็นแก๊สสำหรับไล่ทำความสะอาดระบบ

- ส่วนให้ความชื้น (Humidifier): ทำจากสแตนเลสทั้งทางด้านแอโนด และแคโทด
- ส่วนวิเคราะห์โวลต์และความหนาแน่นกระแส (Voltage and Current Density Measurement): ใช้เครื่อง Potentiostat/Galvanostat สำหรับวัดความหนาแน่นกระแสในเซลล์เชื้อเพลิง
- เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตรอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC): ของบริษัท ElectroChem, Inc. รุ่น FC05-01SP-REF ส่วน Membrane Electrode Assembly (MEA) เตรียมโดยการอัด

3.3 กระบวนการทดลอง

ส่วนของการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ซึ่งแผนผังขั้นตอนการทดลองแสดงในรูป 3.6

- **ส่วนที่ 1** ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจน วิเคราะห์แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาด้วยเครื่อง FT-IR
- **ส่วนที่ 2** ศึกษาภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ วิเคราะห์แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
- **ส่วนที่ 3** ศึกษาผลของการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง
- **ส่วนที่ 4** ศึกษาผลของการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการลดคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อค่าความหนาแน่นกระแส (current density) ของเซลล์เชื้อเพลิง

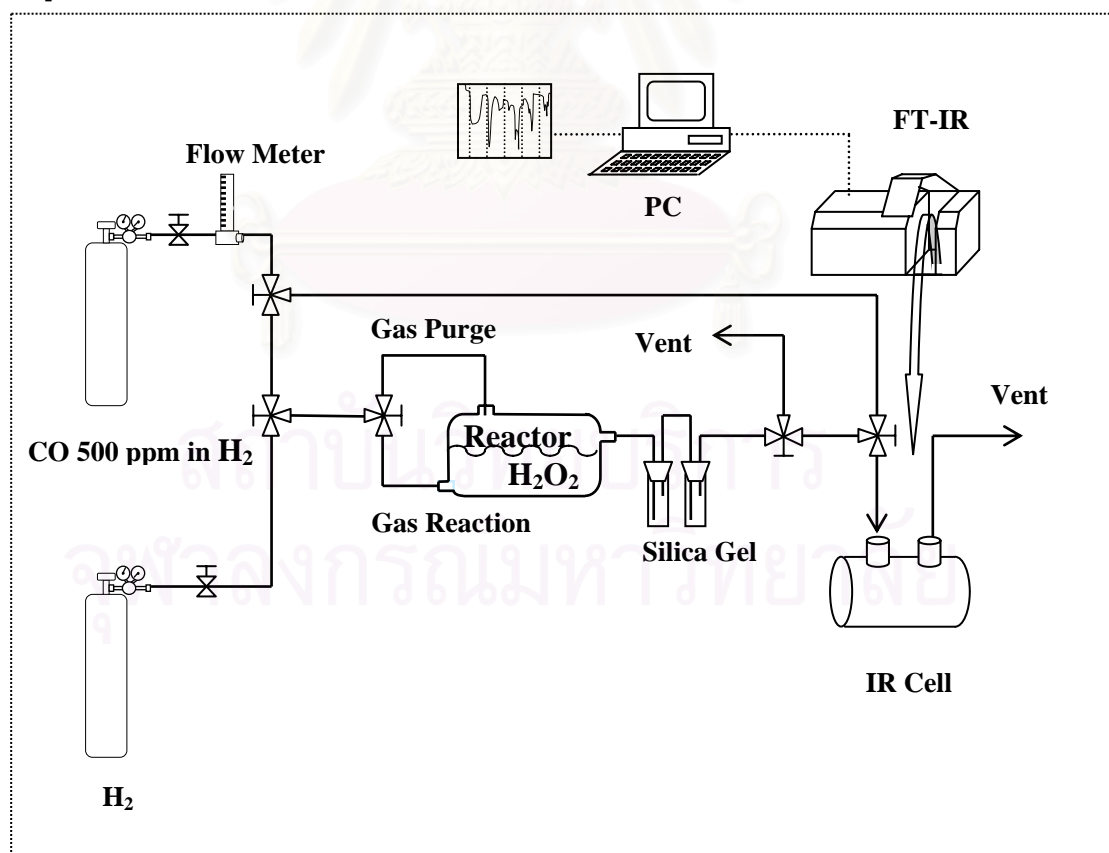


รูปที่ 3.6 แผนผังการทำงาน

3.3.1 การทดลองในส่วนที่ 1

ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจน วิเคราะห์แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาด้วยเครื่อง FT-IR

เครื่อง FT-IR ใช้สำหรับวิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาและคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยา แต่การวิเคราะห์ด้วย FT-IR จะใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพได้เท่านั้น ไม่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าการดูดกลืนแสง IR ที่ต่ำ พีคของแก๊สทั้ง 2 จึงไม่สูงมากนัก ประกอบกับไม่สามารถควบคุมปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ในสิ่งแวดล้อมให้คงที่ได้ ดังนั้นความแม่นยำในการทดสอบที่เวลาต่างๆกันจึงไม่คงที่ อีกทั้งความชื้นของแก๊สที่ออกมาจาก gas reactor จะทำให้น้ำค้างของแก๊สเซลล์ที่ทำจากสารประเภทเกลือละลายได้ แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วย FT-IR สามารถใช้ศึกษาคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาในส่วนต่อไป การวิเคราะห์ด้วย IR แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์โดยใช้ FT-IR

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในส่วนแรกนี้ FT-IR ใช้สำหรับวิเคราะห์แก๊สผลิตภัณฑ์ซึ่งก็คือคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาของคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 30%w/v ที่อุณหภูมิ 30 °C เนื่องจากการใช้เทคนิคทาง IR สามารถวิเคราะห์แก๊สผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็วทุกขณะที่ เทคนิคทาง IR ใช้วิเคราะห์แก๊สเชิงคุณภาพได้ดี แต่การวิเคราะห์เชิงปริมาณทำได้ยาก ขั้นตอนการวิเคราะห์คือ

1) ก่อนเริ่มทำการทดลองทำการไล่ระบบด้วยไฮโดรเจนเพื่อไล่แก๊สอื่น ๆ ที่ปนอยู่ในระบบ แสดงในรูป 3.8 (1)

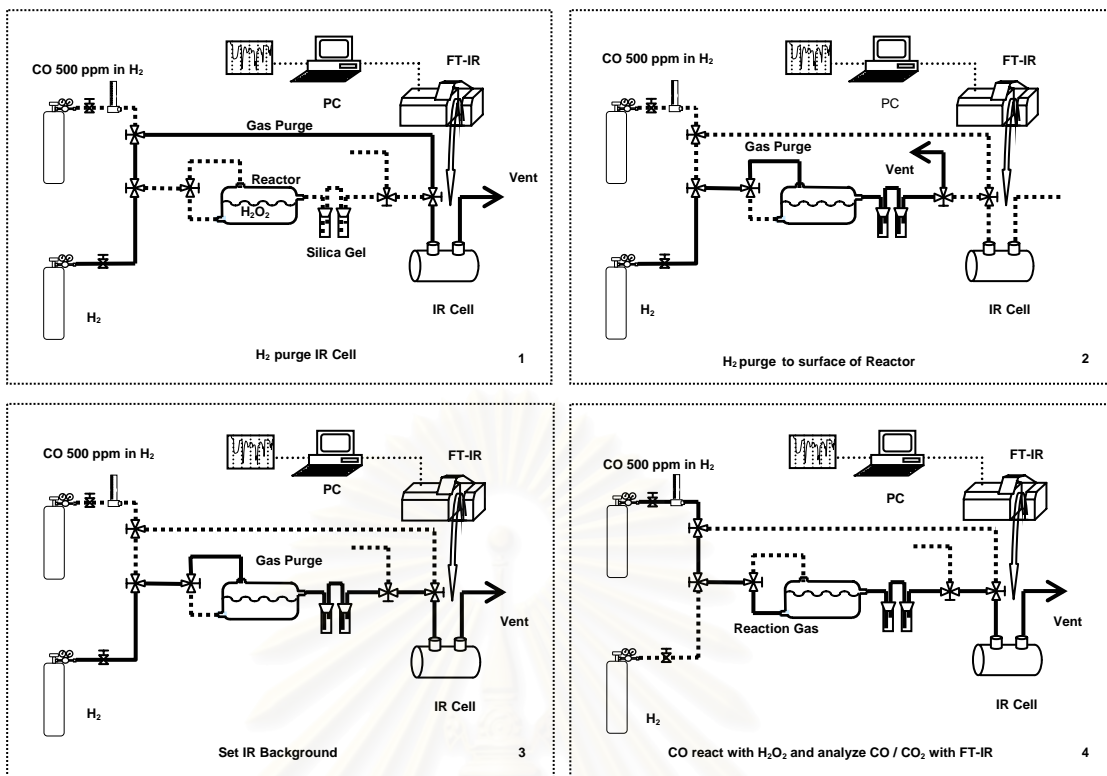
2) เติมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 30 %w/v ปริมาณ 250 มิลลิลิตร ลงใน gas reactor ผ่านไฮโดรเจนเข้าไปที่ผิวหน้าของ gas reactor เป็นเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อไล่แก๊สอื่น ๆ ที่ปนอยู่ในระบบ แสดงในรูป 3.8 (2)

3) เปิดวาล์วให้ไฮโดรเจนผ่านเข้า IR แก๊สเซลล์ วัดการดูดกลืนแสง IR เป็นค่าพื้นหลัง (background) ถ้ามีพีคของคาร์บอนไดออกไซด์และหรือคาร์บอนมอนอกไซด์ปรากฏอยู่ให้ ผ่านไฮโดรเจนต่อไปอีกและวัดการดูดกลืนแสง IR ใหม่จนไม่มีพีคทั้ง 2 อีก แสดงในรูป 3.8 (3)

4) คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนผ่านเข้าสู่ด้านล่างของ gas reactor ด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตรต่อนาที คาร์บอนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ผ่านส่วนดักความชื้น และเข้าสู่แก๊สเซลล์ วัดการดูดกลืนแสง IR ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประมาณ 2300 cm^{-1} และคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ประมาณ 2100 cm^{-1} ที่เวลา 0 2 4 8 และ 16 นาที แสดงดังรูป 3.8 (4)

5) ทำซ้ำขั้นตอน 1 – 4 แต่ใช้น้ำกลั่นแทนไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 30%w/v

6) เปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาต่างๆระหว่างการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 30%w/v และการใช้น้ำกลั่น

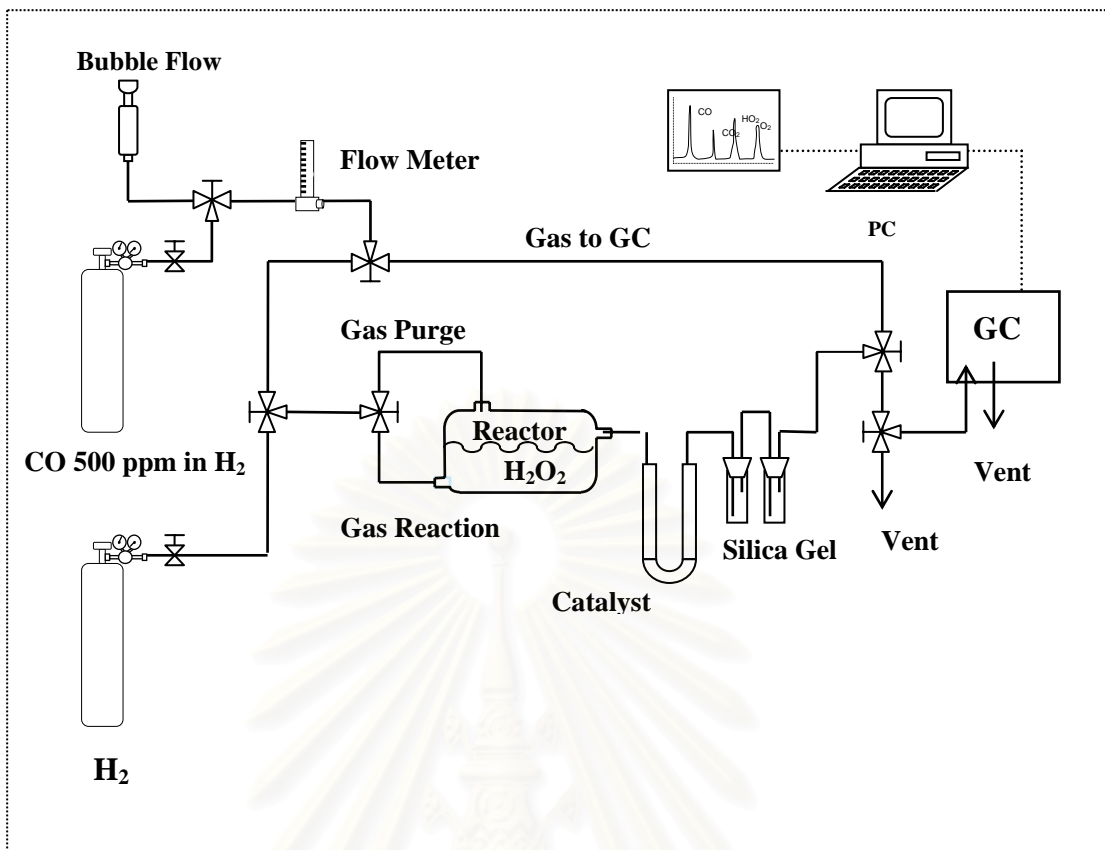


รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดย FT-IR

3.3.2 การทดลองในส่วนที่ 2

ศึกษาภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์วิเคราะห์แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

ในส่วนนี้จะวิเคราะห์แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ เครื่องมือวิเคราะห์ในส่วนนี้ประกอบด้วยระบบควบคุมแก๊ส gas reactor และเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แสดงในรูป 3.9 การวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยในการทดลองส่วนนี้จะหาภาวะที่ดีที่สุดในการลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ภาวะที่ศึกษาคือผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลของอุณหภูมิ ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ ผลของแสง UV-C และผลของเฟอร์รัสไอออน โดยจะวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 155 นาที ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถบอกถึงอัตราการการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นได้



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของกรวิเคราะห์โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี

3.3.2.1 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อการลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ศึกษาที่อุณหภูมิคงที่ 30°C ความดันบรรยากาศ (ตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆในการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-1)

ขั้นตอนการทดลอง

- 1) เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 10 20 และ 30 %w/v โดยเจือจางสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 33 %w/v ด้วยน้ำกลั่น
- 2) เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 %w/v 250 มิลลิลิตร ลงใน gas reactor ผ่านไฮโดรเจนเข้าสู่ระบบของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีเพื่อไล่แก๊สที่ตกค้างในระบบ ตรวจสอบโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีถ้ายังคงมีให้ผ่านไฮโดรเจนต่อไปอีก แสดงใน รูป 3.10 (1)
- 3) เมื่อแก๊สปนเปื้อนที่ตกค้างในระบบหมดไปจากระบบแล้ว ผ่านแก๊สมาตรฐาน (standard gas) คาร์บอนมอนอกไซด์ 250 พีพีเอ็ม/คาร์บอนไดออกไซด์ 100 พีพีเอ็มเข้าสู่เครื่อง

แก๊สโครมาโทกราฟ ด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตร/นาที หาระยะเวลาที่แก๊สทั้ง 2 ออกมาจากคอลัมน์ (retention time) สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ 250 พีพีเอ็ม และคาร์บอนไดออกไซด์ 100 พีพีเอ็ม แสดงในรูป 3.10 (2)

4) ผ่านไฮโดรเจนเข้าสู่ผิวหน้าของ gas reactor ประมาณ 15 นาที เพื่อไล่แก๊สที่ตกค้างในระบบ ตรวจสอบโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แสดงในรูป 3.10 (3)

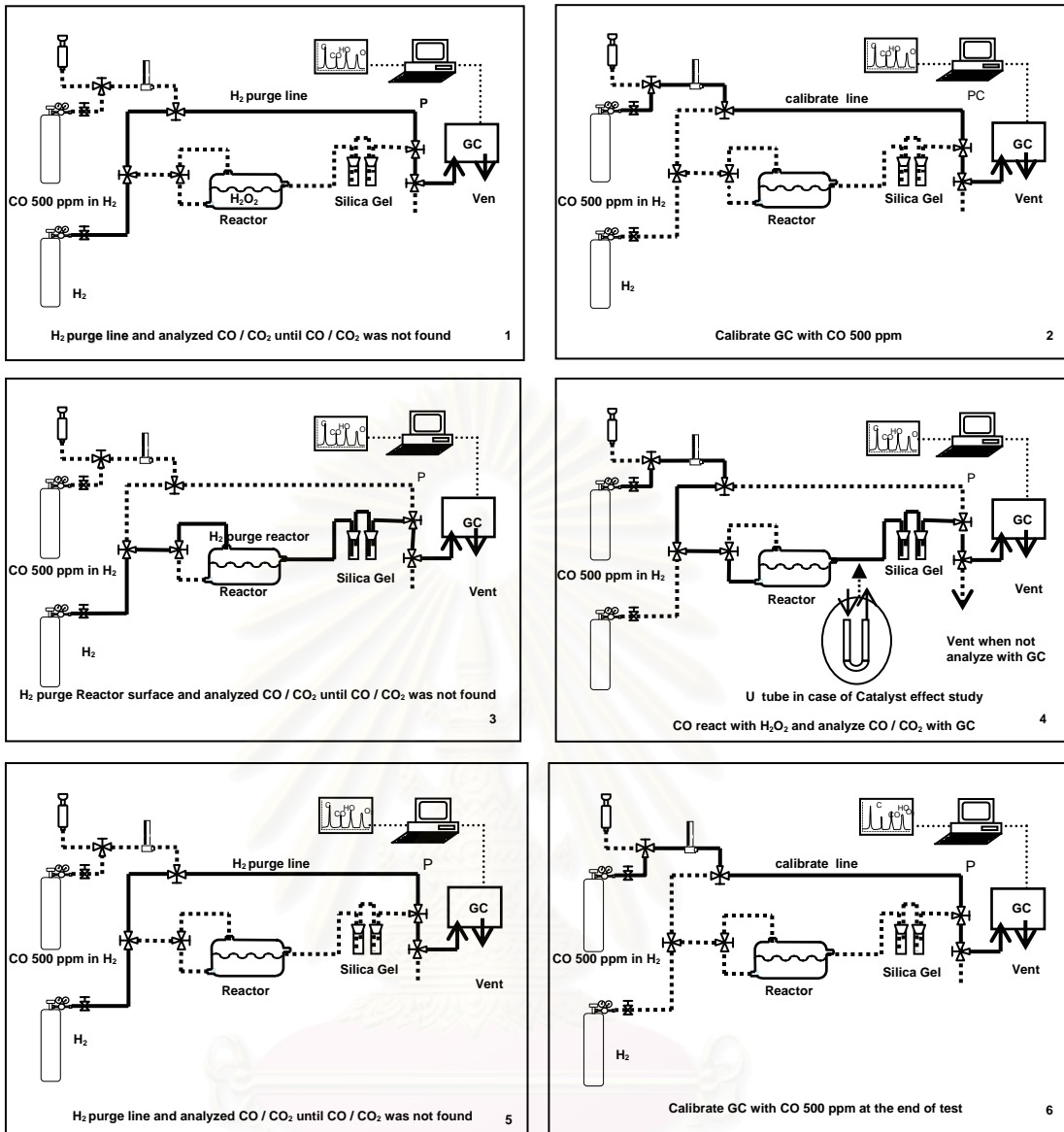
5) ผ่านคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนเข้าสู่ด้านล่างของ gas reactor ด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตร/นาที แก๊สปฏิกิริยาที่ได้ออกจาก gas reactor ทางด้านบน เข้าสู่ส่วนวัดความชื้น หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ณ เวลา 0 5 20 35 50 65 80 95 110 125 140 และ 155 นาทีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แสดงในรูป 3.10 (4)

6) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ผ่านไฮโดรเจนเข้าสู่ระบบวาล์วของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟเพื่อไล่แก๊สปนเปื้อนที่อาจค้างในระบบ ตรวจสอบว่ามีแก๊สปนเปื้อนในระบบหรือไม่โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ แสดงในรูป 3.10 (5) เมื่อคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์หมดไปจากระบบแล้ว ผ่านแก๊สมาตรฐานคาร์บอนมอนอกไซด์ 250 พีพีเอ็ม/คาร์บอนไดออกไซด์ 100 พีพีเอ็ม เข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตร/นาที อีกครั้งหนึ่ง พื้นที่ใต้กราฟของแก๊สทั้ง 2 ในตอนแรก (ข้อ 3) และครั้งหลัง ต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแสดงในรูป 3.10 (6)

7) เริ่มการทดลองใหม่โดยเปลี่ยนเป็นสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 10 20 และ 30 %w/v แทน ทำซ้ำข้อ 2 – 6

8) หา %CO Conversion สร้างกราฟระหว่าง %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ ในแต่ละความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ใช้

9) ทำการทดลองชุดควบคุมโดยใช้น้ำแทนสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยแก๊สโครมาโทกราฟี

3.3.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยา

ในการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่ต่อปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ และ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะทำการทดลองใน gas reactor โดยอุณหภูมิที่ทำการทดลองจะควบคุม โดยใช้อ่างน้ำร้อนซึ่งให้ความร้อนโดย hot plate อุณหภูมิที่ทำการศึกษาคือ 30 °C 50 °C และ 70 °C และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ใช้จะเท่ากันทุกๆ การทดลองโดยใช้ค่า ความเข้มข้นที่ให้ค่า %CO Conversion สูงที่สุดในการศึกษาถึงผลของความเข้มข้นในการทดลอง

3.3.2.1 ขั้นตอนในการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาผลของความเข้มข้นของ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในข้อ 3.3.2.1 ข้อ 2 - 7 แต่ในข้อ 7 เปลี่ยนตัวแปรจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นอุณหภูมิของ gas reactor ที่ 30 °C 50 °C และ 70 °C แทน (ตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆในการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-2)

3.3.2.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ

ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะที่ใช้ในการทดลองนี้คือสแตนเลส 316 เนื่องจากเป็นวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงอยู่แล้ว โดยเป็นส่วนประกอบของระบบท่อและวาล์ว ต่างๆ สแตนเลสสามารถเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยเกิดเป็นพันธะระหว่างโลหะ และ OH radical ที่ได้มาจากการสลายตัวอย่างช้าๆ ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการศึกษาถึงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะจะทำการศึกษาควบคู่ไปกับอุณหภูมิ เพื่อที่จะศึกษาถึงค่า %CO Conversion ที่เวลาต่าง ๆ

ในการทดลองจะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นที่ให้ค่า %CO Conversion สูงสุดซึ่งได้จากข้อ 3.3.2.1 พร้อมกับใส่ท่อสแตนเลสที่ตัดเป็นท่อนสั้นๆลงใน gas reactor ด้วย ขั้นตอนการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในข้อ 3.3.2.1 ข้อ 2 - 7 แต่ในข้อ 7 เปลี่ยนตัวแปรจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นอุณหภูมิของ gas reactor ที่ 30 °C 50 °C และ 70 °C แทน (ตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆในการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-3)

3.3.2.4 ผลของการใช้แสง UV-C

ในการศึกษาถึงผลของ UV-C ในการเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะใช้แสง UV ที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร เนื่องจากความยาวคลื่นระดับนี้สามารถทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวออกเป็น OH radical ได้มากกว่า ในการทดลองจะทำการศึกษาควบคู่ไปกับผลของอุณหภูมิ เพื่อต้องการศึกษาว่าที่อุณหภูมิต่างๆ การฉายแสง UV จะมีผลต่อค่า %CO Conversion ต่างกันหรือไม่ โดยอุณหภูมิที่ทำการศึกษาจะอยู่ที่ 30 °C 50 °C และ 70 °C

การทดลองจะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นที่ให้ค่า %CO Conversion สูงสุดในข้อ 3.3.2.1 พร้อมกับประกอบชุดหลอด UV ลงไปใน gas reactor ด้วย โดยไม่ต้องใส่ท่อสแตนเลส ขั้นตอนการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในข้อ 3.3.2.1 ข้อ 2 - 7 แต่ในข้อ 7 เปลี่ยนตัวแปรจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นอุณหภูมิของ gas reactor ที่ 30 °C 50 °C และ 70 °C แทน

ในการทดลองนี้เมื่อได้อุณหภูมิที่ให้ค่า %CO Conversion สูงสุดแล้ว ทดสอบผลของสแตนเลส ร่วมกับผลของ UV โดยใช้ท่อสแตนเลสที่ตัดเป็นท่อนสั้นๆ พร้อมกับชุดหลอด UV ลงไปใน gas reactor และใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และอุณหภูมิที่ให้ค่า %CO Conversion สูงสุด ทดสอบตามขั้นตอนข้อ 3.4.2.1 (ตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆในการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-4)

3.3.2.5 ผลของเฟอร์รัสไอออน

ในการศึกษาถึงผลของเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) จะใช้เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมาในกระแสเชื้อเพลิง เนื่องจากในงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาพบว่าเฟอร์รัสไอออน สามารถเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ จึงเป็นปฏิกิริยาที่ช่วยเสริมกับ UV เนื่องจากทั้งปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์รัสไอออนกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และปฏิกิริยาระหว่างแสง UV กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างช่วยกันเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งคู่ จึงน่าสนใจที่จะนำมาศึกษาถึงผลของปฏิกิริยานี้ต่อการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ ปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเฟอร์รัสไอออนและแสง UV เรียกว่าโฟโตเฟนตอน (Photo-Fenton) อุณหภูมิที่ทำการศึกษาคือ 30 °C เนื่องจากปฏิกิริยาโฟโตเฟนตอนเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จึงเกิดได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้จะเป็นความเข้มข้นที่ให้ค่า %CO Conversion สูงที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา อัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเฟนตอน จะขึ้นกับ pH และปริมาณของเฟอร์รัสไอออนเป็นสำคัญ (Muruganadham et al., 2004) ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงผลของปริมาณเฟอร์รัสไอออนและ pH ที่มีผลต่อ %CO Conversion โดย pH ของสารละลายที่ทำการศึกษาคืออยู่ในช่วง pH 1 pH 3 และ pH 5 ในส่วนของการศึกษาผลของปริมาณเฟอร์รัสไอออนจะทำการศึกษาปริมาณ (โมล) ของเฟอร์รัสไอออนที่น้อยกว่าปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 100 เท่า 200 เท่า และ 300 เท่า

ผลของ pH ของสารละลาย

ในแต่ละการทดลองที่ทำการศึกษาผลของ pH ของสารละลายที่มีต่อการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์จะกำหนดตัวแปรต่างๆ ในการทดลองให้คงที่เช่น อุณหภูมิของ gas reactor ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แสง UV ปริมาณของเฟอร์รัสที่เติมลงไป และอัตราไหลของแก๊สที่เข้าทำปฏิกิริยาให้เหมือนกัน

เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นที่ให้ %CO Conversion สูงสุดซึ่งได้จากข้อ 3.3.2.1 ปริมาณ 250 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายเท่ากับ 1 ด้วยกรด ซัลฟิวริกเจือจาง แล้วเติมลงใน gas reactor คำนวณปริมาณเฟอร์รัสไอออนที่ต้องใช้เป็นโมล ให้มี ปริมาณโมลน้อยกว่าโมลของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 100 เท่า เติมลงใน gas reactor กวนด้วย แท่งแม่เหล็กให้เข้ากัน อุณหภูมิของ gas reactor ควบคุมที่ 30 °C ตลอกการทดลองและเพิ่ม หลอด UV เข้าไปใน gas reactor

ขั้นตอนการทดลองเช่นเดียวกับในข้อ 3.3.2.1 ข้อ 2 – 7 แต่ในข้อ 7 เปลี่ยนตัวแปรจาก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นปรับ pH ของสารละลายให้ได้ 1 3 และ 5 แทน (ตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆในการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-5)

ผลของปริมาณเฟอร์รัสไอออนในสารละลาย

ในส่วนนี้เมื่อได้ pH ที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้นแล้วจะหาปริมาณเฟอร์รัสไอออนที่ เหมาะสมในการที่จะเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกำหนดตัวแปร คงที่ต่างๆให้เหมือนกับการทดลองข้างต้น คือความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ ของ gas reactor ควบคุมที่ 30 °C แสง UV อัตราการไหลของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เข้าทำ ปฏิกิริยา และ pH (ใช้ค่า pH ที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น) แต่เปลี่ยนปริมาณเฟอร์รัส ไอออนที่เข้าทำปฏิกิริยา

เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์โดยใช้ความเข้มข้นที่ให้ %CO Conversion สูงสุดในข้อ 3.3.2.1 ปริมาณ 250 มิลลิลิตร จากนั้นคำนวณโมลของเฟอร์รัสไอออนให้น้อยกว่าโมล ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 50 เท่า 100 เท่า และ 200 เท่า โดยคำนวณจากความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ใช้ในปริมาณ 250 มิลลิลิตร ปรับ pH ของสารละลายให้ได้ค่าเท่ากับค่า pH ที่ให้ %CO Conversion สูงสุดตามข้างต้น เติมลงใน gas reactor กวนด้วยแท่งแม่เหล็กให้เข้า กัน อุณหภูมิของ gas reactor ควบคุมที่ 30 °C ตลอกการทดลองและเพิ่มหลอด UV เข้าไปใน gas reactor

ขั้นตอนการทดลองเช่นเดียวกับในข้อ 3.3.2.1 ข้อ 2 – 7 แต่ในข้อ 7 เปลี่ยนตัวแปรจาก ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เป็นจำนวนโมลของเฟอร์รัสไอออนน้อยกว่า ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 50 เท่า 100 เท่า และ 200 เท่า (ตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆในการทดลอง แสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-6)

3.3.3 การทดลองในส่วนที่ 3

ศึกษาผลของการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของเซลล์เชื้อเพลิง

การทดลองในส่วนนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนคือ Pt 10 wt%/Vulcan XC-72, Pt 20 wt%/Vulcan XC-72 และ Pt 20 wt%-Ru 10wt%/Vulcan XC-72 ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกบรรจุใน U-tube reactor ดังรูป 3.5 ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 70 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง การทดลองในส่วนนี้จะทำต่อเนื่องจากการทดลองในส่วนที่สอง ซึ่งใช้ภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงในส่วนที่สองมาศึกษาต่อถึงผลต่อตัวเร่งปฏิกิริยา ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกจาก U-tube reactor ที่เวลาต่างๆ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยถ้ามีคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาจาก U-tube reactor แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเริ่มเสื่อมสภาพ เนื่องจากผิวหน้าถูกปกคลุมด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้ (ตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆในการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-7)

- 1) ใช้ภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์จากการทดลองในส่วนที่ 2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ใน gas reactor ขั้นตอนการทดลองเหมือนในส่วนที่สองแต่นำ U-tube reactor ซึ่งบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยามาต่อ
- 2) บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.05 กรัมใน U-tube reactor อยู่ระหว่างชั้นของใยควอทซ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาใน ใช้ Pt 10 wt%/Vulcan XC-72 Pt 20 wt%/Vulcan XC-72 และ Pt 20 wt%-Ru 10 wt%/Vulcan XC-72
- 3) ทำการวิเคราะห์คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกจาก U-tube reactor ที่เวลาต่างๆด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จนกว่าจะตรวจพบคาร์บอนมอนอกไซด์
- 4) เปลี่ยนชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและเริ่มการทดลองใหม่จากข้อ 1-3
- 5) ทำการทดลองเปรียบเทียบผลแต่เปลี่ยนจากสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ เป็นน้ำกลั่นปริมาณ 250 มิลลิลิตรแทน ภาวะอื่นๆ คืออุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ใน gas reactor และตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิดใน U-tube reactor ยังเหมือนเดิม

3.3.4 การทดลองในส่วนที่ 4

ศึกษาผลของการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการลดคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อค่าความหนาแน่นกระแสของเซลล์เชื้อเพลิง

ทำการศึกษาศมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงในหน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน (fuel cell test station) แสดงดังรูป 3.11 การทดลองในส่วนนี้จะแทนที่ส่วนให้ความชื้นทางด้านขั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงด้วย gas reactor ศึกษาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อมีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง โดยทำการทดลองเปรียบเทียบ 3 การทดลอง คือ 1) ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นแก๊สเชื้อเพลิง 2) ใช้ไฮโดรเจนที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มปนอยู่ และ 3) ไฮโดรเจนที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 ปนอยู่ในแต่ถูกขจัดด้วยสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ตามภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในส่วนที่ 2 เปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงของทั้ง 3 การทดลอง (ตารางแสดงค่าตัวแปรต่างๆในการทดลองแสดงในภาคผนวก ก ตาราง ก-8)

3.3.4.1 การเตรียม Membrane Electrode Assembly (MEA)

MEA ที่ใช้ในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน จะประกอบด้วยขั้วแอโนดและแคโทดวางประกบกันโดยมีเมมเบรนวางอยู่ตรงกลาง ขั้วไฟฟ้าที่นำมาเตรียม MEA จะมีแพลทินัมอยู่ในปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยขั้วไฟฟ้าที่ใช้จะมีขนาด 5 ตารางเซนติเมตร ในการเตรียม MEA จะต้องทำความสะอาดเมมเบรนก่อนจึงจะนำเมมเบรนและขั้วไฟฟ้ามารวมประกอบ MEA อีกที

- การเตรียม Membrane (Laminie et al., 2000)

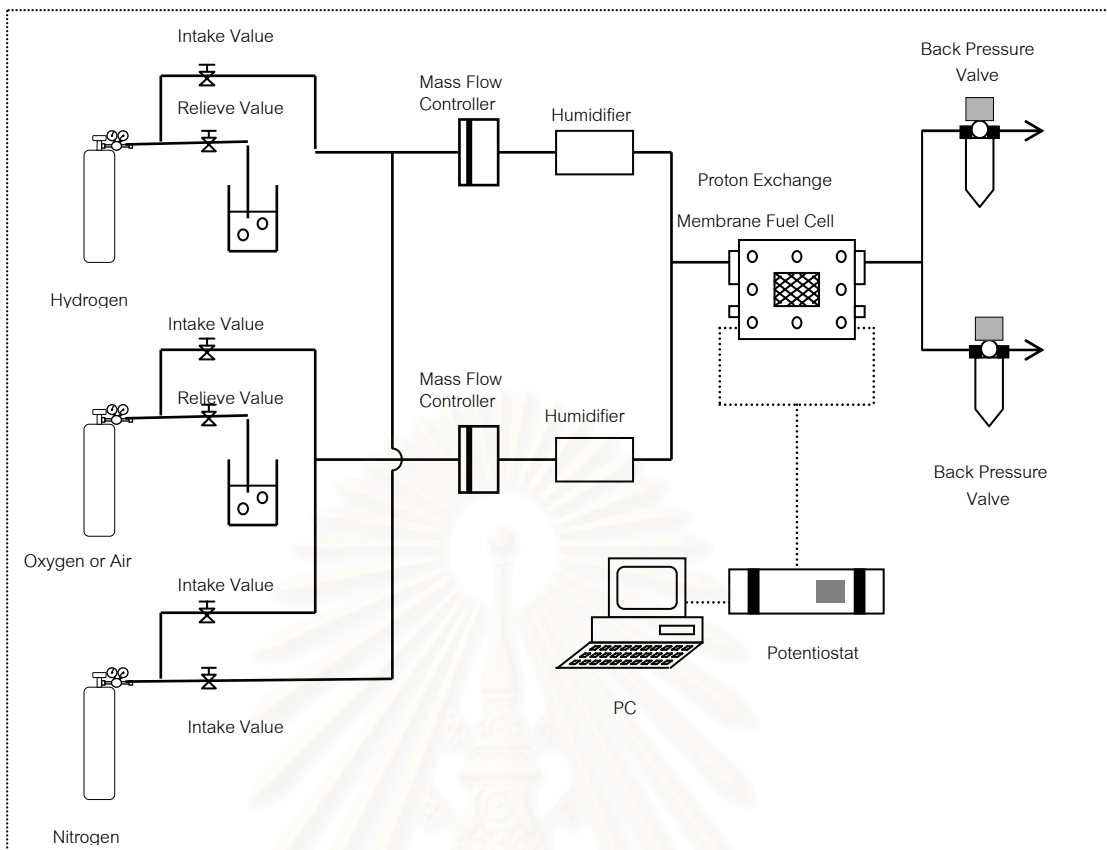
ในขั้นแรกนำเนฟฟิออนเมมเบรน (Nafion 117) มาทำความสะอาดโดยการแช่ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 3 %w/w ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อขจัดสารอินทรีย์ที่อยู่บนผิวหน้าของเมมเบรน นำเมมเบรนแช่ต่อในกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อขจัดไอออนของโลหะ ขั้นตอนนี้สุดท้ายนำเยื่อแผ่นไปแช่ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรอีกครั้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในขั้นสุดท้ายนี้จะทำสามครั้งเพื่อไล่คลอไรด์ไอออนออกให้หมด

- การประกอบ MEA

นำขั้วไฟฟ้าประกบกันทั้งสองด้านโดยมีเมมเบรนวางอยู่ตรงกลาง นำแผ่นพลาสติกกันความร้อนวางด้านนอกเพื่อป้องกันไม่ให้ MEA ติดกับเหล็กและวางแผ่นเหล็กเรียบประกบด้านนอกสุดอีกครั้ง ทำการอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 130 °C ความดัน 50 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตรเป็นเวลา 1.5 นาที หลังจากนั้นนำ MEA ที่ได้เก็บในโถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

3.3.4.2 การทดสอบความหนาแน่นกระแส

- 1) นำ MEA ประกอบเข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ควบคุมอุณหภูมิของเซลล์ให้อยู่ที่ 80 °C ผ่านไนโตรเจนเข้าที่ขั้วแอโนดและแคโทดด้วยอัตรา 200 มิลลิลิตร/นาที นาน 60 นาที เพื่อไล่แก๊สปนเปื้อนในระบบ
- 2) เปิดไฮโดรเจนด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตร/นาที ผ่านตัวควบคุมอัตราการไหล (mass flow controller) และส่วนให้ความชื้นเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงด้านแอโนด ส่วนออกซิเจนเข้าทางด้านขั้วแคโทดโดยผ่านตัวควบคุมอัตราการไหลและส่วนให้ความชื้นด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตรต่อนาที
- 3) เปิดเครื่อง Potentiostat/Galvanostat ก่อนที่จะเริ่มการทดลองเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อทำการอุ่นเครื่อง เปิด GPES โปรแกรม ตั้งค่าความต่างศักย์ต่างๆ ที่ต้องการเก็บค่ากระแส เมื่อครบเวลากดปุ่ม cell enable ที่เครื่อง Potentiostat/Galvanostat และเริ่มเก็บค่าการทดลอง
- 4) เริ่มการบันทึกเมื่อค่าถึง open circuit voltage กดปุ่มเซลล์ cell enable bottom และตามด้วยปุ่ม start ที่โปรแกรม GPES ทำการเก็บค่าของแต่ละความต่างศักย์ที่ตั้งไว้
- 5) เปลี่ยน MEA และเริ่มการทดลองใหม่อีกครั้งโดยเปลี่ยนจากไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นไฮโดรเจนที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนอยู่ 500 พีพีเอ็ม เริ่มทำการทดลองใหม่จาก 2-4
- 6) เริ่มการทดลองที่ใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยการนำ gas reactor มาต่อแทนส่วนให้ความชื้นทางด้านแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงและใช้ภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 2 หลังจากนั้นทำการทดลองตาม 2-4
- 7) เมื่อสิ้นสุดการทดลองปิดโปรแกรม GPES และปิดเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานของหน่วยทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน

3.5 การคำนวณ

การคำนวณค่า %CO Conversion

ในการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะทำการคำนวณจากแก๊สที่ออกจาก gas reactor ที่เวลาต่าง ๆ โดยจะคำนวณเป็น %CO Conversion ที่เวลาใด ๆ แล้วผลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟ % CO Conversion ที่เวลาต่าง ๆ แสดงสมการ

$$\%CO \text{ conversion} = \frac{[CO_2]}{[CO]_0} \times 100 \tag{3.1}$$

$[CO_2]$ = ปริมาณของ CO_2 ในแก๊สผลิตภัณฑ์

$[CO]_0$ = ปริมาณของ CO ที่เข้าทำปฏิกิริยา

การคำนวณค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อหาความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละขวดจะแสดงอย่างละเอียดในภาคผนวก ค

บทที่ 4

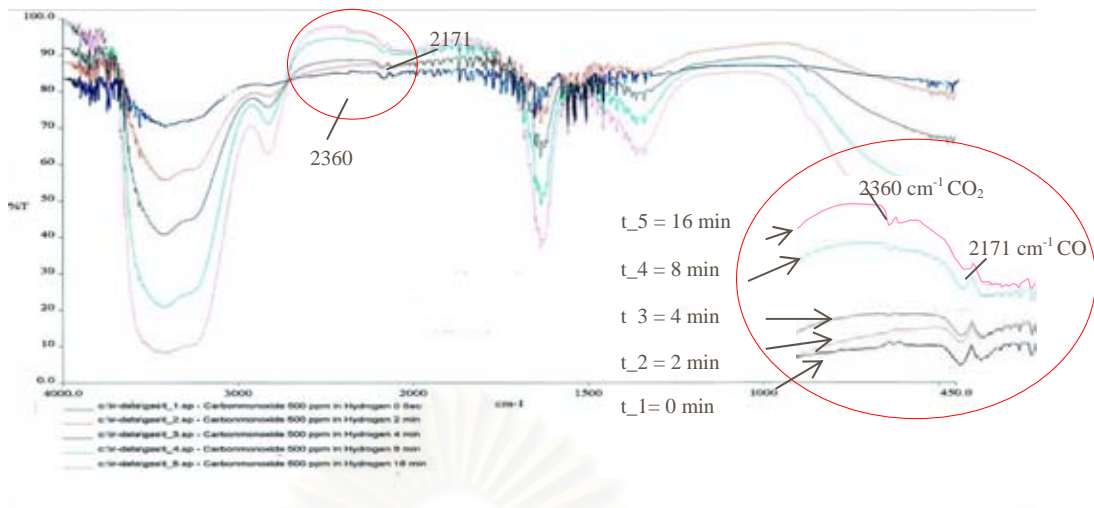
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ส่วนที่ 1 ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจน

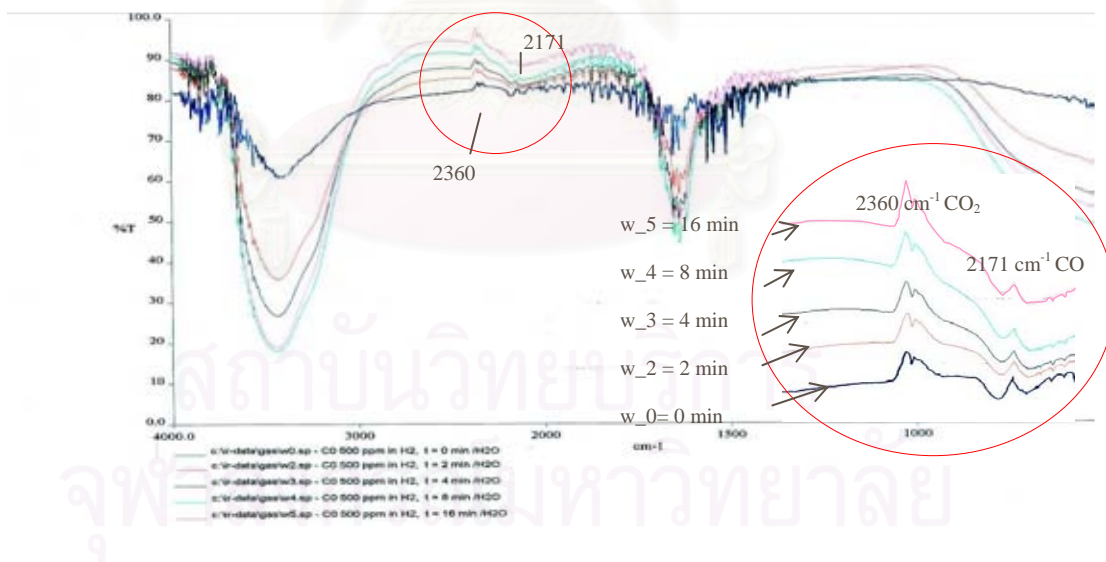
ในการทดลองนี้จะใช้ FT-IR ในการวิเคราะห์พื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์โดยใช้ FT-IR ได้ง่ายกว่า คาร์บอนมอนอกไซด์ การจับกันของออกซิเจนและคาร์บอนของคาร์บอนไดออกไซด์จะจับกันด้วย พันธะสอง (double bond) สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าเมื่อแสง IR ส่งผ่านเข้าไป สิ้นพันธะ ซึ่งจะแตกต่างกับคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อะตอมของออกซิเจนกับคาร์บอนจับกันด้วย พันธะสาม (triple bond) ที่มีความแข็งแรงทำให้แสง IR ไปสั่นได้น้อยจึงมองเห็นการเปลี่ยนแปลง ยาก โมเลกุลที่จับกันด้วยพันธะสาม เช่นคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจน (N_2) จึงไม่นิยม วิเคราะห์ด้วย FT-IR ตำแหน่งพีคของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 2360 cm^{-1} ส่วนพีคของคาร์บอน มอนอกไซด์จะอยู่ที่ 2171 cm^{-1} ตำแหน่งของพีคทั้งสองยืนยันโดยการใส่แก๊สมาตรฐานผ่านเข้า แก๊สเซลล์ และวัดการดูดกลืนแสง IR

รูปที่ 4.1 แสดงถึง FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนไหลผ่านไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่วนรูปที่ 4.2 แสดงถึง FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มใน ไฮโดรเจนไหลผ่านน้ำ

ตาราง ข-1 ในภาคผนวก ข. แสดงพื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์วัดที่ 2360 cm^{-1} เปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และน้ำ ในการหาพื้นที่ได้กราฟต้อง เปลี่ยนหน่วยวัดจาก %การส่งผ่านแสง (%Transmittance, %T) เป็นค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) ก่อนแล้วคำนวณด้วยโปรแกรม Spectrum 2000 ของเครื่อง FT-IR หน่วยวัด เป็น การดูดกลืนแสงต่อเซนติเมตร ($A\cdot\text{cm}^{-1}$)



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 30 %w/v ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและน้ำ ที่เวลาต่างๆ

เมื่อคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใน gas reactor พบว่าพื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยในตอนแรกพื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์จะอยู่ที่ -0.1105 A/cm ที่เวลา 0 นาที (คิดเป็นค่าพื้นหลัง) และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น พื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่ม จากเวลา 2 4 8 และ 16 นาที ที่เวลา 16 นาที IR สเปคตรัมจะแสดงค่าพื้นที่ได้กราฟอยู่ที่ 0.2026 A cm^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ใช้น้ำ ในตอนเริ่มแรกที่เวลา 0 นาที พื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ $-0.3994 \text{ A cm}^{-1}$ แต่เมื่อเวลาผ่านไปเรื่อย ๆ พื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์ก็ลดลง (เป็นค่าลบมากขึ้น) และที่เวลาสุดท้ายที่ 16 นาที พื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็น $-0.7746 \text{ A cm}^{-1}$ ซึ่งน้อยลง เทียบกับเวลาในตอนเริ่มต้น

จากการทดลองนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อ คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ในไฮโดรเจน ผ่านเข้าไปใน gas reactor ที่มีสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ พบว่าคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสามารถเขียนเป็น สมการได้ดังสมการที่ 4.1



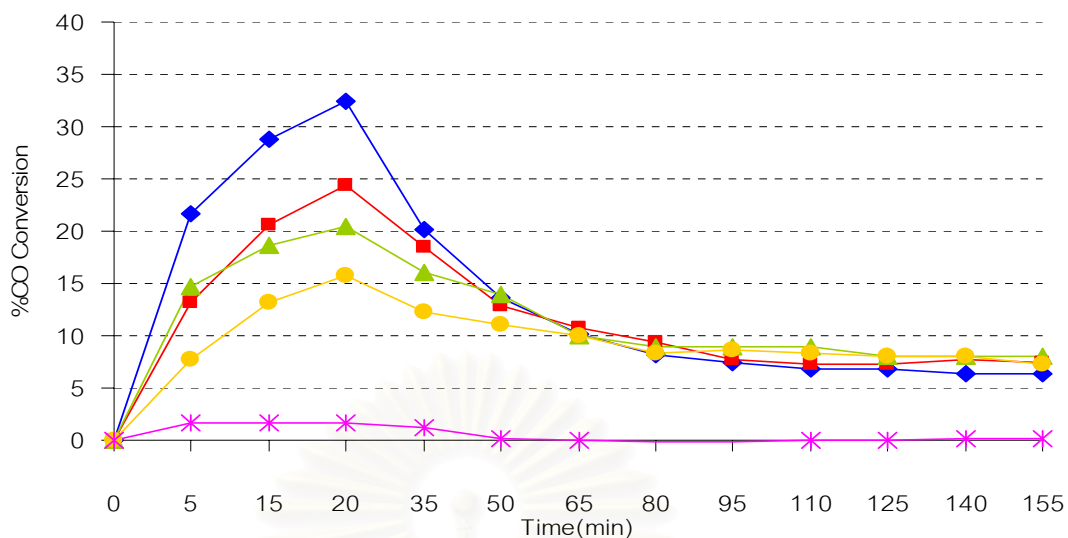
การทดลองนี้สรุปได้ว่าคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้ แต่ว่าการวิเคราะห์โดยเทคนิคทางด้าน IR ไม่เหมาะสมที่จะวิเคราะห์แก๊สเนื่องจากเป็นการยากที่จะควบคุมสิ่งแวดล้อมในการทดลองแต่ละครั้งให้เหมือนกัน เช่นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์หรือความชื้นในบรรยากาศ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ในสิ่งแวดล้อมจะรบกวนการทดสอบ จึงทำการทดลองซ้ำได้ยาก นอกจากนี้ หน้าต่างของแก๊สเซลล์ทำจากสารประเภทเกลือไม่สามารถทนต่อความชื้นได้ โดยจะดูดซับความชื้นที่ปนมากับแก๊สหรือในสิ่งแวดล้อมทำให้หน้าต่างของเซลล์ละลายไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป ข้อดีของ FT-IR คือใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลเพียง 1 นาทีก็สามารถวิเคราะห์ผลซ้ำได้ถึง 10 ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีซึ่งวิเคราะห์ได้ยากและใช้เวลานาน เมื่อทราบทดลองในส่วนที่หนึ่งแล้วว่าคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ จึงทำการศึกษาต่อในส่วนที่สอง เป็นการหาภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งจะช่วยเพิ่มสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงให้เพิ่มขึ้น

4.2 ส่วนที่ 2 ศึกษาภาวะที่ดีที่สุดในการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

ภาวะและตัวแปรต่างๆมีผลโดยตรงต่อปฏิกิริยาระหว่าง คาร์บอนมอนอกไซด์และ สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ การวิเคราะห์ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เพื่อดูค่า %CO Conversion ของคาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ เวลาต่างๆ แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาออกจาก gas reactor ไปยังส่วนดักความชื้นและเข้าสู่เครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ผ่านเข้าสู่ gas reactor ด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตรต่อนาที ที่ความดันบรรยากาศ แก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้จะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และออกซิเจน เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี จะทำการเก็บค่าแก๊ส ผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่างๆ วิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิด โดยเปรียบเทียบค่ากับแก๊ส มาตรฐานที่ได้ฉีดเข้าไปตอนแรก คำนวณ %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในสมการ 3.1 ในบทที่ 3 ค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ ที่คำนวณได้จะนำมาเขียนเป็นกราฟเทียบกับเวลา การทดลองส่วนนี้ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ ที่เกิดปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ การใช้แสง UV และการใช้เฟอร์ริสไอออนร่วมกับแสง UV โดย ในส่วนของเฟอร์ริสจะศึกษาถึงผลของ pH และปริมาณเฟอร์ริสไอออน

4.2.1 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 %w/v 10 %w/v 20 %w/v และ 30 %w/v โดยการเจือจางไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เข้มข้น 33%w/v ด้วยน้ำกลั่น เติมลงใน gas reactor ผ่านแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนเข้าทำปฏิกิริยาด้วยอัตรา 50 มิลลิลิตรต่อนาที ทดลองที่อุณหภูมิ 30°C ความดันบรรยากาศ คาร์บอนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ วิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี มาคำนวณค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ นำมาเขียน กราฟระหว่าง %CO Conversion และเวลาได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 30 °C; (◆) H₂O₂ 5 %w/v; (■) H₂O₂ 10 %w/v; (▲) H₂O₂ 20 %w/v; (●) H₂O₂ 30 %w/v; (*) น้ำกลั่น

จากรูปที่ 4.3 แสดงค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ โดยจากกราฟพบว่าในทุกๆ การทดลองค่า %CO Conversion จะสูงในช่วงแรกแต่หลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 50 นาทีที่ค่า Conversion จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอยู่ในระดับคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปนานมากขึ้น ข้อมูลค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ แสดงใน ภาคผนวก ข ตาราง ข-2

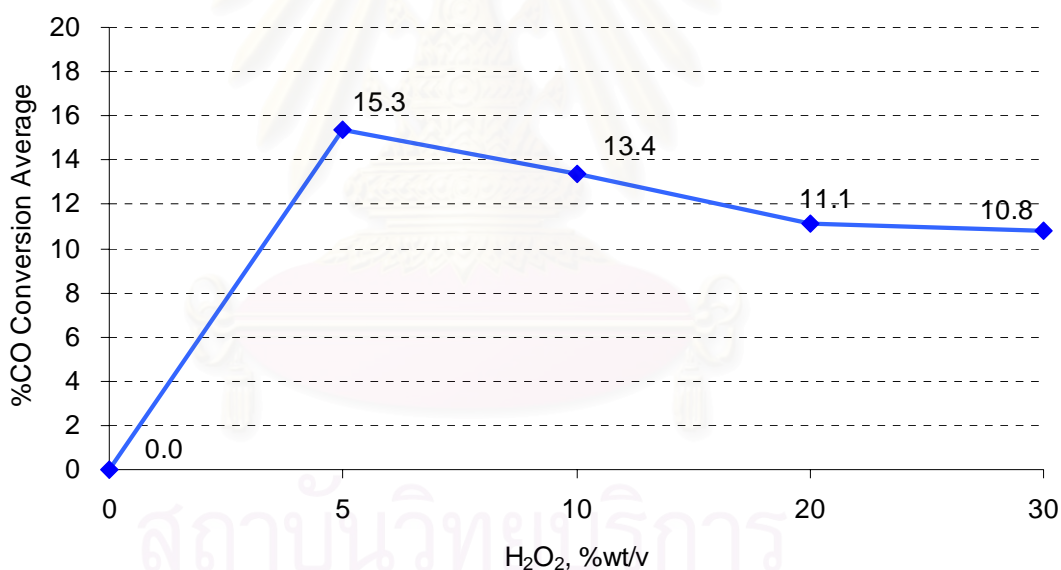
อธิบายได้ว่าเมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์สลายตัวจะได้ไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radical, •OH) ซึ่ง •OH เป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงมากสามารถไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ สมการการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ 4.2 และ 4.3 แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น •OH และไฮโดรเจนเรดิคัล (hydrogen radical, H•) จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่มากเกินไปเกิดเป็นเพอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัล (perhydroxyl radicals, HO₂•) หรือ H• ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนก็สามารถเกิดเป็น HO₂• ได้อีก ซึ่ง HO₂• นี้สามารถรวมตัวกันเองเกิดเป็นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ หรือรวมตัวกับ •OH เกิดเป็นน้ำ ดังสมการ 4.4 - 4.8 (Allen et al., 1995)





ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะทำให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และ $\bullet OH$ ลดลง และเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการ 4.3 ลดลง อันเป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณของ HO_2^{\bullet} ซึ่งจะไปแข่งทำปฏิกิริยากับ $\bullet OH$ ได้มากกว่า ค่า %CO Conversion จึงลดลงเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น

เมื่อคิดค่า %CO Conversion เฉลี่ยในช่วงเวลา 155 นาทีที่ทดสอบ พบว่าที่ความเข้มข้นสารละลาย ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5 %w/v จะให้ค่า %CO Conversion ที่สูงที่สุด ถัดมาเป็น 10 %w/v 20 %w/v และ 30 %w/v ตามลำดับเมื่อเขียนกราฟเฉลี่ยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนดังรูปที่ 4.4

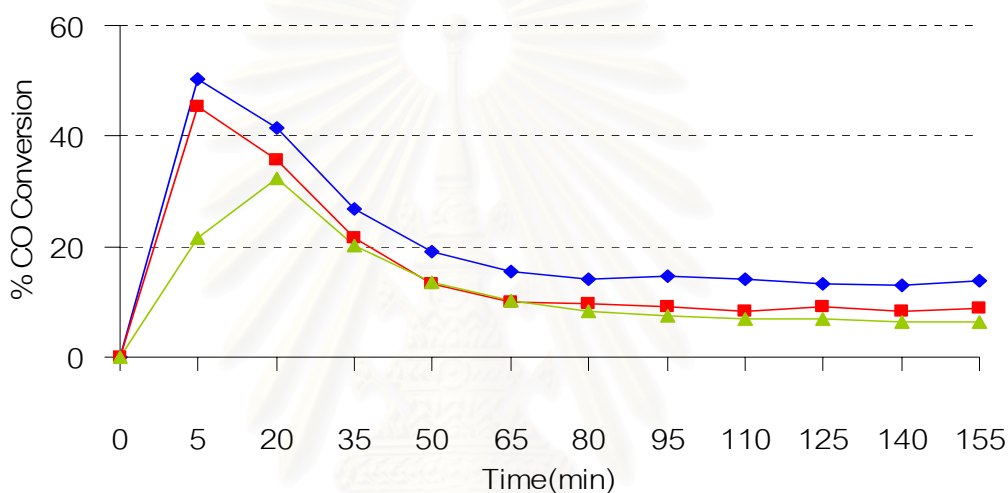


รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 30 °C

เมื่อได้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ดีที่สุด คือ 5 %w/v จากนั้นจึงนำความเข้มข้นนี้ไปศึกษาต่อถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่า %CO Conversion ในการทดลองต่อไป

4.2.2 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยา

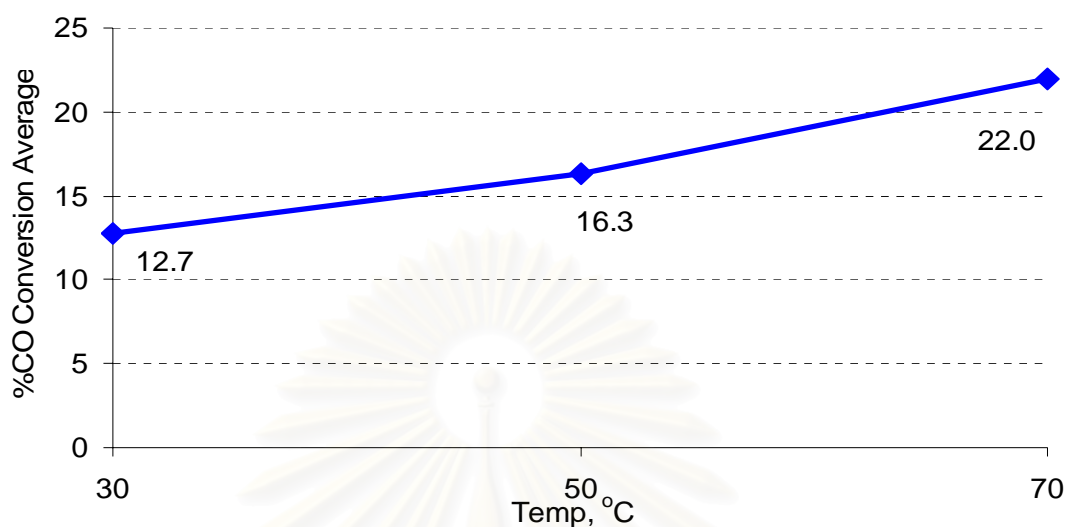
ในการศึกษาผลของอุณหภูมิจะทำการศึกษาโดยกำหนดให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าคงที่ในทุกๆ การทดลองโดยจะใช้ความเข้มข้นที่ให้ค่า %CO Conversion สูงที่สุดจากการทดลองที่แล้ว คือความเข้มข้น 5 %w/v เติมลงไปใน gas reactor อุณหภูมิที่ทำการศึกษาคือ 30 °C 50 °C และ 70 °C แก๊สที่ทำปฏิกิริยาคือคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจน ค่า %CO Conversion ที่เวลาใดๆ แสดงดังรูปที่ 4.5 ข้อมูลค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ แสดงใน ภาคผนวก ข ตาราง ข-3



รูปที่ 4.5 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิต่างๆ; (◆)70 °C; (■) 50 °C; (▲) 30 °C

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ค่า %CO Conversion เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ที่ 70 °C %CO Conversion สูงที่สุดถึง 50 % ในช่วง 5 นาทีแรก โดยสูงกว่าที่ 50 °C และ 30 °C ตามลำดับ แต่หลังจากนั้นก็ลดลงเหมือนในการทดลองที่แล้ว เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวได้มากขึ้นทำให้เกิด $\cdot\text{OH}$ ได้มากกว่าที่อุณหภูมิ 30 °C โอกาสที่คาร์บอนมอนอกไซด์จะไปทำปฏิกิริยากับ $\cdot\text{OH}$ จึงมีมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ สมการแสดงปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และ $\cdot\text{OH}$ แสดงดังสมการ 4.2 – 4.3 ในตอนเริ่มแรกค่า CO conversion สูงขึ้นในทุกๆอุณหภูมิการทดลองแต่เมื่อเวลาผ่านไป CO conversion จะลดลงเหมือนกับการทดลองที่ผ่านมา เป็นผลมาจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แย่งทำปฏิกิริยากับ $\cdot\text{OH}$ เกิดเป็น $\text{HO}_2\cdot$ ซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์แต่จะรวมตัวกันเองเกิดเป็นไฮโดรเจนเพอร์-

ออกไซด์ แต่ในการทดลองนี้ที่อุณหภูมิสูงไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถที่จะแตกตัวเป็น $\cdot\text{OH}$ ได้มากกว่า ดังนั้นโอกาสในการเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์จึงมีมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ



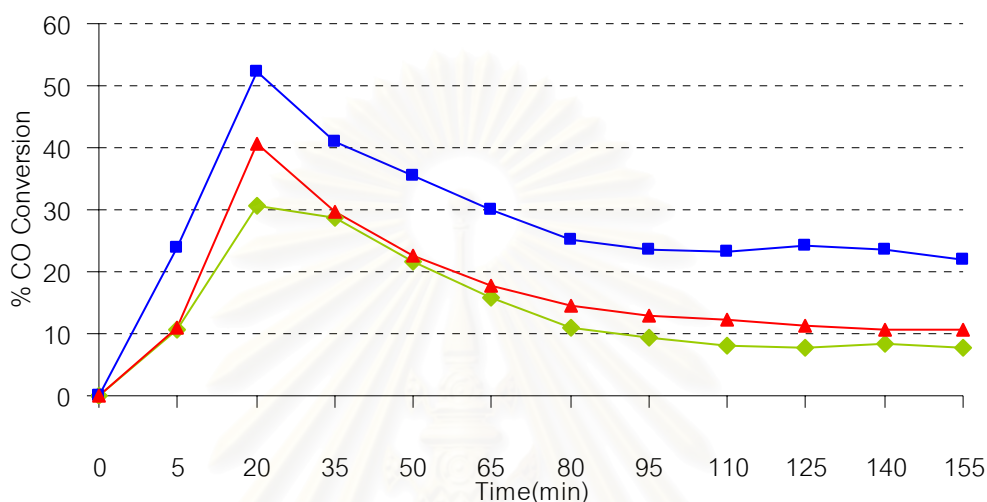
รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อพิจารณาค่า %CO Conversion เฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษาและภายในเวลา 155 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 70 °C จะให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุด จึงนำค่าอุณหภูมิต่างๆ ไปศึกษาต่อถึงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะที่มีต่อค่า %CO Conversion ในการทดลองต่อไป ในการศึกษานี้ไม่ได้ทดลองที่อุณหภูมิมากกว่า 70 °C เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวให้น้ำและออกซิเจนที่อุณหภูมิ 100 °C (Merck Schuchardt, 2005) ซึ่งเป็นข้อจำกัดของ gas reactor ที่ทำด้วยแก้วไม่สามารถทนต่อแรงดันที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิได้ และที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความชื้นในระบบมากเกินไป นอกจากนี้ที่อุณหภูมิ 70 °C ยังเป็นอุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มด้วย

4.2.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ

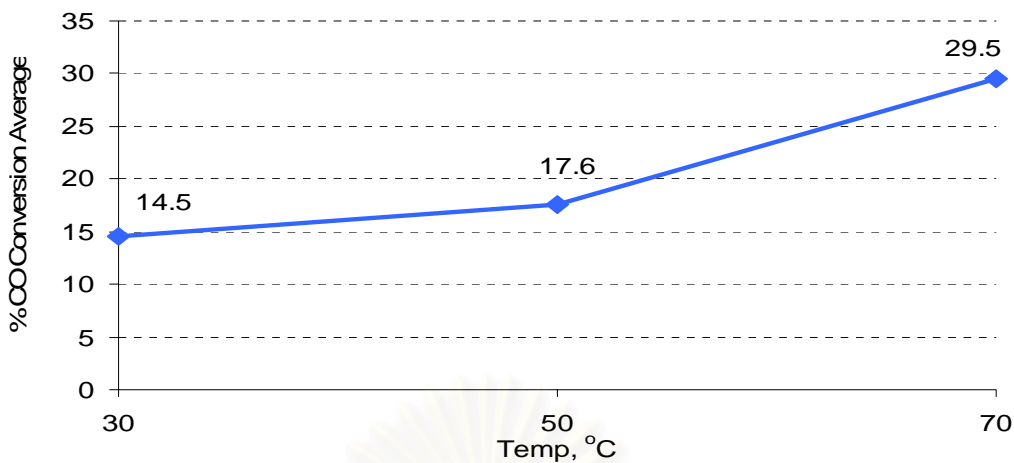
ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะสามารถเร่งให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวอย่างช้าๆ บนผิวหน้าของโลหะเกิดพันธะระหว่างโลหะและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (M-OH bond) (Miller et al, 2001) การทดลองเลือกใช้สแตนเลส เนื่องจากเป็นวัสดุที่เป็นส่วนประกอบในระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยจะเป็นวัสดุของส่วนให้ความชื้น ระบบท่อและวาล์วของเซลล์เชื้อเพลิง ในส่วนนี้จะใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 %w/v และท่อสแตนเลสที่

ตัดเป็นท่อนสั้นๆ ใส่ลงใน gas reactor ซึ่งจำลองเป็นส่วนให้ความร้อนของเซลล์เชื้อเพลิง ทดลองศึกษาควบคุมไปกับการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยอุณหภูมิที่ทำการศึกษาคือจะอยู่ที่ 30 °C 50 °C และ 70 °C ตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %CO Conversion และเวลาแสดงดังรูปที่ 4.7 ข้อมูลค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ แสดงใน ภาคผนวก ข ตาราง ข-4



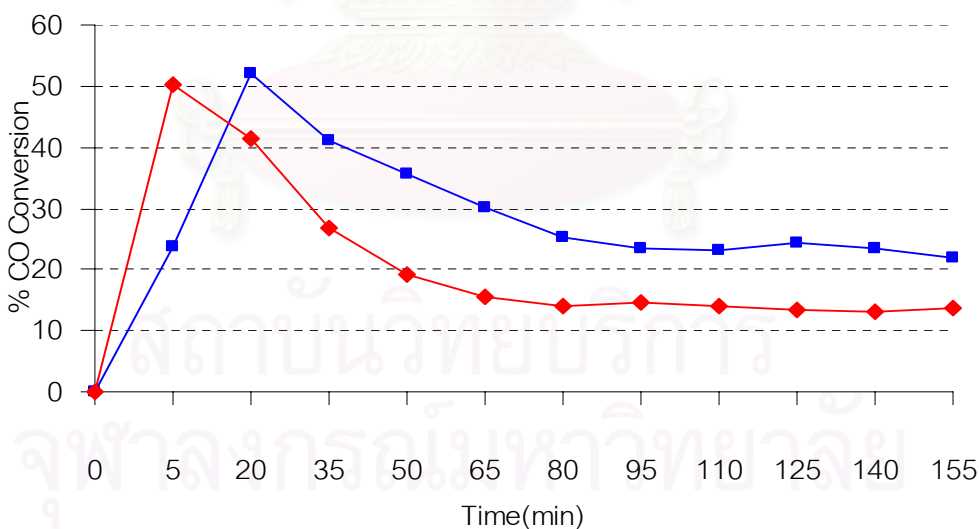
รูปที่ 4.7 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม มีสแตนเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิต่างๆ; (■) 70 °C; (▲) 50 °C; (◆) 30 °C

จากรูปที่ 4.7 แสดง %CO Conversion ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าที่ 70 °C จะให้ %CO Conversion ที่สูงสุด รองลงมาเป็น 50 °C และ 30 °C ตามลำดับ นั่นคืออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม มีสแตนเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion ในช่วงเวลา 155 นาที โดยอุณหภูมิที่ให้ค่า conversion ที่สูงที่สุดคือ 70 °C เปรียบเทียบ %CO Conversion ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อใส่และไม่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาสแตนเลสลงไป แสดงดังรูป 4.9



รูปที่ 4.9 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 70 °C; (♦) ไม่เติมสแตนเลส; (■) เติมสแตนเลส

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อเติมสแตนเลสลงไปจะให้ค่า %CO Conversion สูงกว่าไม่เติมที่อุณหภูมิเดียวกัน คือสูงสุด 52% และคงที่อยู่ที่ประมาณ 24% ส่วนเมื่อไม่เติมสแตนเลสค่า %CO Conversion สูงสุด 50% แต่ในระยะยาวอยู่ที่ประมาณ 14% ปฏิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์บนผิวสแตนเลสแสดงดังสมการ 4.9 – 4.11 (Bellows et al., 1998)

ปฏิริยารวม



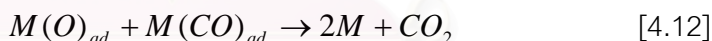
การสลายตัวในขั้นแรก



เมื่อ M เขียนแทนตำแหน่งดูดซับบนผิวของโลหะ ปฏิริยาในขั้นต่อมาเป็นการรวมตัวกันเกิดเป็นออกซิเจน



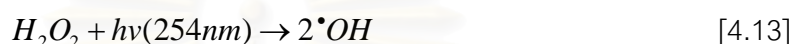
คาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกดูดซับอยู่บนผิวหน้าโลหะ จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่สร้างพันธะกับโลหะ (M-O) ที่มาจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ปฏิริยาแสดงดังสมการ 4.12



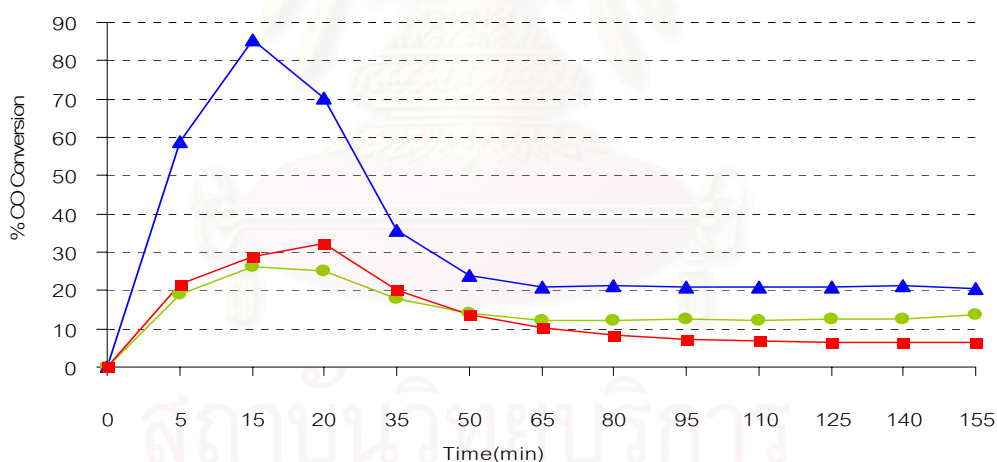
เมื่อเติมสแตนเลสลงไปเป็นตัวเร่งปฏิริยาในสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดตำแหน่งในการทำปฏิริยาของคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้น แทนที่จะเกิดการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จากอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว คาร์บอนมอนอกไซด์จึงทำปฏิริยากับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น

4.2.4 ผลของการใช้แสง UV-C

แสง UV เป็นส่วนประกอบหลักของปฏิกิริยา photolysis ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แสง UV-C ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตรใช้ในการศึกษาถึงผลของ UV ในการทดลองนี้ เนื่องจากแสง UV ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกตัวให้ $\cdot\text{OH}$ ได้มากกว่าในปฏิกิริยาอื่น ๆ โดยในการทดลองนี้จะทำการศึกษาถึงผลของ UV ที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อต้องการเปรียบเทียบว่าที่อุณหภูมิต่างๆ แสง UV มีผลกับการทดลองอย่างไรบ้าง ปฏิกิริยา photolysis ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แสดงดังสมการที่ 4.13 (Allen et al., 1995)

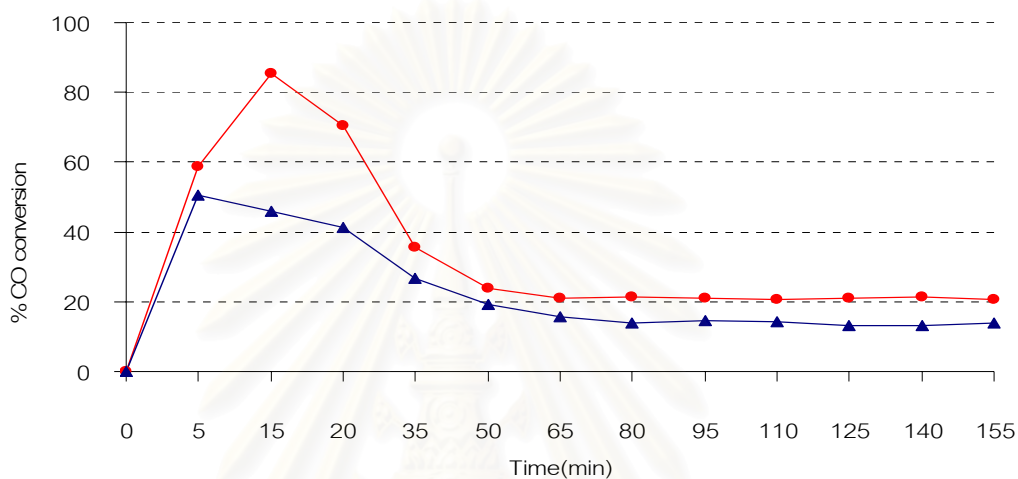


การทดลองโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5%w/v ทำปฏิกิริยากับ 500 พีพีเอ็ม คาร์บอนมอนอกไซด์ พร้อมกับผ่านแสง UV เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ข้อมูลค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.10 และภาคผนวก ข ตาราง ข-5



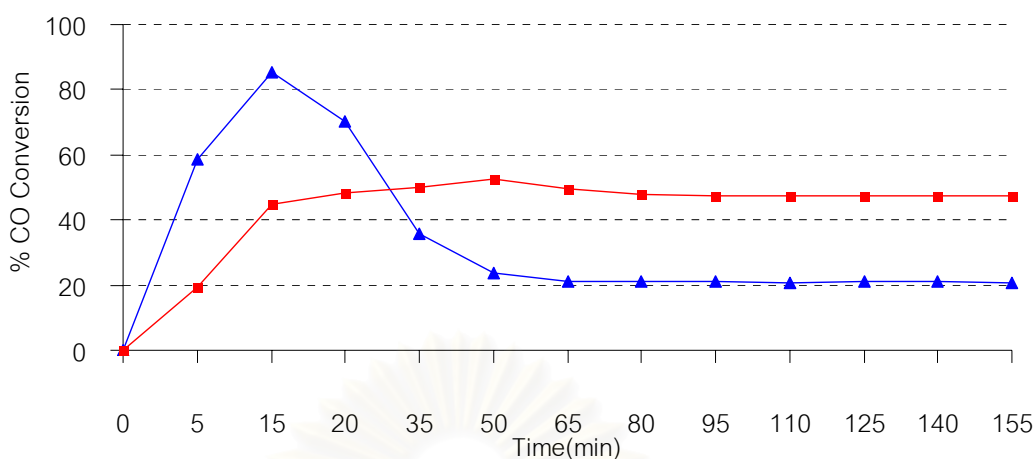
รูปที่ 4.10 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับ คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม เมื่อมี UV-C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิต่างๆ; (▲) 70 °C; (■) 50 °C; (■) 30 °C

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลของแสง UV ต่อ %CO Conversion โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น %CO Conversion จะเพิ่มขึ้น ค่า conversion มากสุดถึง 85 % ที่อุณหภูมิ 70 °C เนื่องจากที่อุณหภูมินี้จะเกิด $\cdot\text{OH}$ ได้มากขึ้น โดย $\cdot\text{OH}$ ที่เกิดมากขึ้นสามารถรวมตัวกับคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สเชื้อเพลิงเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ 4.3



รูปที่ 4.11 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 70 °C; (▲) ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาใดๆ; (●) มี UV เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

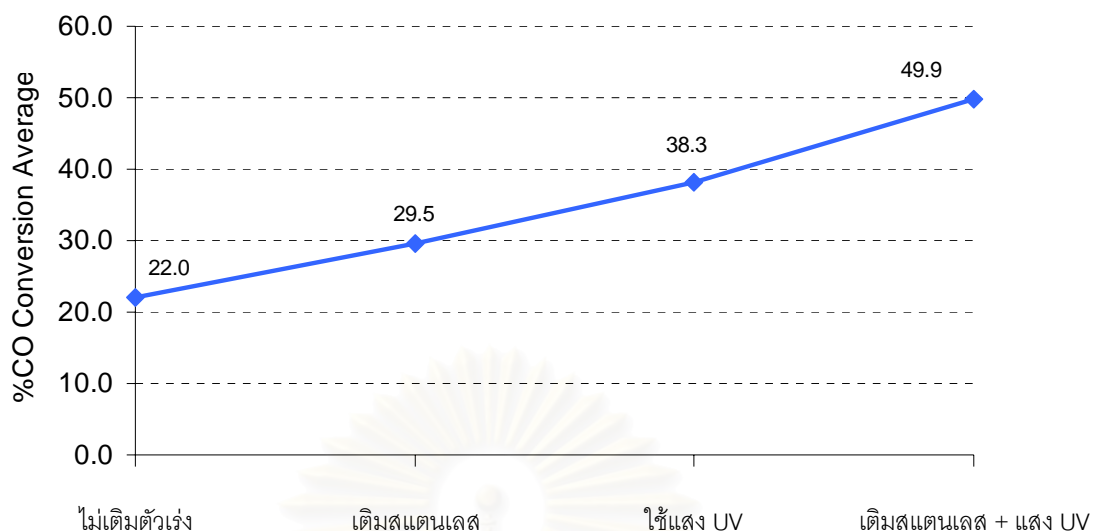
จากรูปที่ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างใช้ UV และไม่ใช้ UV ที่อุณหภูมิเดียวกันที่ 70 °C พบว่าเมื่อฉายแสง UV จะให้ %CO Conversion สูงสุดถึง 85 % และคงที่ 21 % ในระยะยาว เนื่องจากแสง UV สามารถเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ให้สลายตัวไปเป็น $\cdot\text{OH}$ ได้ดีกว่าปฏิกิริยาดังกล่าวแล้วในสมการ 4.13



รูปที่ 4.12 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 70 °C; (▲) มี UV เป็นตัวเร่ง; (●) มี UV และสแตนเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เมื่อทดลองใช้แสง UV ร่วมกับสแตนเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5%w/v ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.12 คือ %CO Conversion ในระยะสั้นที่ 15 นาทีแรกใช้แสง UV เพียงอย่างเดียว จะให้ %CO Conversion สูงที่สุดถึง 85% แต่เมื่อเวลาผ่านไปหลังจาก 15 นาทีแล้ว %CO Conversion จะลดลงอยู่ที่ 21% ในขณะที่การทดลองที่เติมสแตนเลสลงไปพร้อมกับการให้แสง UV พบว่า %CO Conversion คงที่ตลอดอยู่ที่ 50% ไม่ลดลงเหมือนกับการทดลองที่ใช้แสง UV เพียงอย่างเดียว

แสง UV สามารถเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปเป็น $\cdot\text{OH}$ ได้อย่างรวดเร็ว ดังสมการ 4.13 แต่ในขณะเดียวกัน $\cdot\text{OH}$ ก็สามารถไปรวมตัวกับ $\text{HO}_2\cdot$ ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ แต่จะไปทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อีกครั้ง ดังนั้น %CO Conversion จึงลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นสแตนเลสลงไปใน gas reactor ด้วยทำให้เกิดพันธะ M-OH ระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และผิวของสแตนเลส ซึ่งคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนพื้นผิวของสแตนเลสเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ การเติมสแตนเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้มีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นดังสมการ 4.12 ในขณะที่การใช้แสง UV เพียงอย่างเดียวจะให้ผลดีในระดับหนึ่ง แต่ถ้ามีการเพิ่มสแตนเลสเข้าไปด้วยจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้มากขึ้น %CO Conversion ระยะยาวจึงดีขึ้นในอัตราที่คงที่ตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 70 °C

จากรูปที่ 4.13 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่าง %CO Conversion เฉลี่ยของปฏิกิริยาที่ 70 °C เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกัน โดยจะเห็นว่าเมื่อเติมสแตนเลสพร้อมกับการฉายแสง UV ที่อุณหภูมิ 70 °C จะให้ค่า %CO Conversion สูงที่สุด

4.2.5 ผลของเฟอร์รัสไอออน

เฟอร์รัสไอออนสามารถเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิด $\cdot\text{OH}$ ได้เหมือนกัน โดยปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เฟอร์รัสและมีแสง UV เข้าร่วมเรียกว่าปฏิกิริยาโฟโตเฟนตอน (Photo-Fenton) การทดลองในส่วนนี้ทดลองใช้ปฏิกิริยาโฟโตเฟนตอน ในการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิง การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Fenton reagent (Fe^{2+}) เกิดขึ้นได้เนื่องจากการที่เฟอร์รัสเร่งการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดเป็น $\cdot\text{OH}$ ในตัวกลางที่เป็นกรด โดย $\cdot\text{OH}$ จะมีค่า oxidation potential ที่สูงมาก (2.8 eV) (Mandal et al., 2004) โดยปฏิกิริยาสามารถที่จะให้ $\cdot\text{OH}$ เพิ่มเติมจากปฏิกิริยา photolysis ($\cdot\text{OH}$) ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีในตัวกลางที่เป็นกรด ปฏิกิริยานี้จะให้ $\cdot\text{OH}$ อย่างซ้ำๆ ดังแสดงในสมการ 4.14

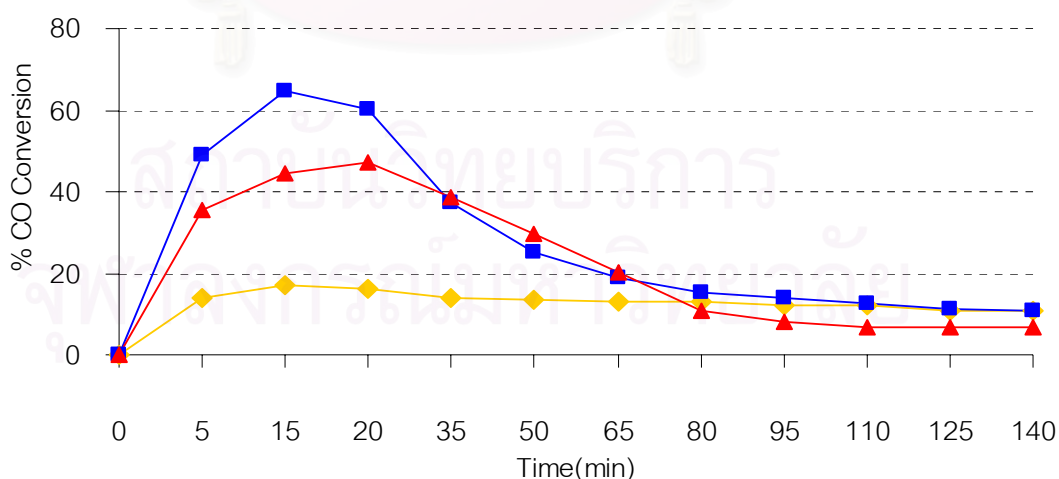


ในการทดลองนี้จะศึกษาหาภาวะที่ดีที่สุดในการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ในปฏิกิริยาที่ใช้เฟอร์รัสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า pH ของสารละลายเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเฟนทอน และสัดส่วนของเฟอร์รัสไอออนต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้ดี

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Muruganandham et al., 2004) มีผู้ศึกษาปริมาณเฟอร์รัสไอออนในสารละลายที่เหมาะสมในการให้ $\cdot\text{OH}$ คือต้องอยู่ในปริมาณโมลของเฟอร์รัสน้อยกว่าโมลของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 100 เท่า ปฏิกิริยาโฟโตเฟนทอนจึงจะเกิดได้ดี ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึง pH ที่เหมาะสมของปฏิกิริยา และปริมาณเฟอร์รัสไอออนที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยา เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่ดีที่สุดในการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิง

4.2.5.1 ผลของ pH ของสารละลาย

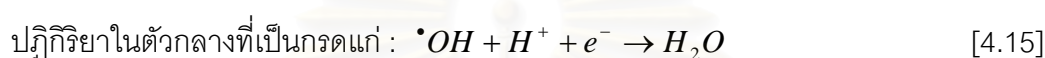
pH ของสารละลายในปฏิกิริยาโฟโตเฟนทอนที่ทำการศึกษาในการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน คือ pH 1 pH 3 และ pH 5 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 °C ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5 %w/v ในการทดลองนี้จะศึกษาผลของ pH ต่อ %CO Conversion จึงกำหนดให้ปริมาณของเฟอร์รัสไอออนมีค่าคงที่ ในปริมาณที่น้อยกว่าโมลของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 100 เท่า ทำการเก็บข้อมูล %CO Conversion ที่เวลาต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.14 ข้อมูลค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ แสดงใน ภาคผนวก ข ตาราง ข-6



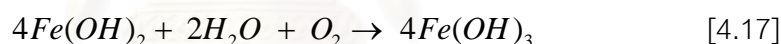
รูปที่ 4.14 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 30 °C; โมลของ $\text{Fe}^{2+} < \text{H}_2\text{O}_2 = 100$ เท่า; (■) pH = 3; (▲) pH = 5; (◆) pH = 1

เมื่อทำการเปรียบเทียบ %CO Conversion ที่ pH 1 pH 3 และ pH 5 พบว่าที่ pH 3 จะให้ %CO Conversion ที่สูงที่สุด ต่อมาเป็น pH 5 และ pH 1 ตามลำดับ นั่นคือที่ pH 3 เกิด $\cdot\text{OH}$ ตามสมการ 4.14 ได้ดีที่สุด การที่ $\cdot\text{OH}$ เกิดขึ้นมากทำให้เกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มากขึ้น %CO Conversion จึงมากขึ้น

pH ของสารละลายควบคุมการเกิด $\cdot\text{OH}$ ของปฏิกิริยาโฟโตเพนตอน และควบคุมความเข้มข้นของเฟอร์รัสไอออนในสารละลาย ดังนั้น pH จะเป็นตัวแปรที่สำคัญมากของปฏิกิริยาโฟโตเพนตอน ในกรณีที่ pH ของสารละลายเป็น 1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะถูกจำกัดเนื่องจาก $\cdot\text{OH}$ ที่เกิดในปฏิกิริยาจะไปทำปฏิกิริยากับโปรตอนในกรดเกิดเป็นน้ำดังแสดงในสมการที่ 4.15



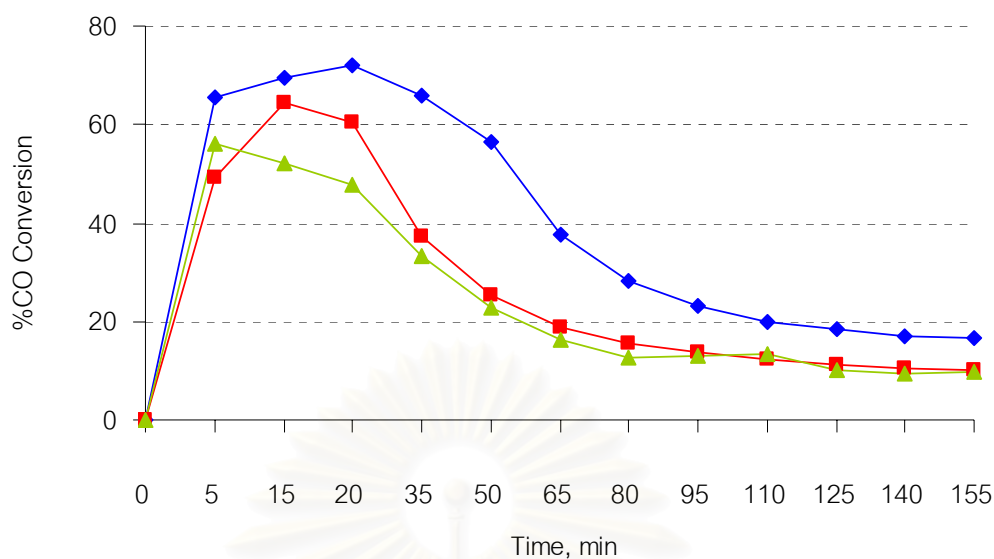
ในขณะที่ pH 5 เฟอร์รัสที่เติมลงไปเพื่อต้องการให้ไปจับกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพื่อให้เกิดเป็น $\cdot\text{OH}$ กลับไปเกิดเป็น กลุ่มก้อนของ hydroxo complex ของ เฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เกิดขึ้นในปฏิกิริยาดังแสดงในสมการที่ 4.16 - 4.17 (Muruganandham et al., 2004)(สุรงค์, 2535)



Fe^{3+} ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ pH 5 จะเกิดเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงและไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้อีก

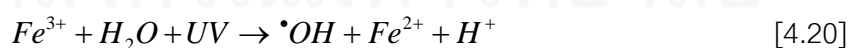
4.2.5.2 ผลของปริมาณเฟอร์รัสในสารละลาย

ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของปฏิกิริยาโฟโตเพนตอน เนื่องจากความสามารถในการเกิด $\cdot\text{OH}$ ของปฏิกิริยาที่เกิดจากเฟอร์รัสไปทำให้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์แตกตัวเป็น $\cdot\text{OH}$ ในตัวกลางที่เป็นกรด นอกจาก pH ของสารละลายแล้วปริมาณของเฟอร์รัสที่เติมลงไปก็มีผลอย่างมากต่อปฏิกิริยาโฟโตเพนตอน ในการทดลองนี้จะศึกษาถึงผลของปริมาณเฟอร์รัสไอออน โดยทำการทดลองที่ pH 3 ซึ่งเป็น pH ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่แล้ว ปริมาณของเฟอร์รัสไอออนที่ทำการศึกษาคือจะอยู่ที่น้อยกว่าโมลของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 50 เท่า 100 เท่า และ 200 เท่า โดยในการทดลองจะใส่เฟอร์รัสลงใน gas reactor ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.15 ข้อมูลค่า %CO Conversion ที่เวลาต่างๆ แสดงใน ภาคผนวก ข ตาราง ข-7



รูปที่ 4.15 %CO Conversion เมื่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5% ทำปฏิกิริยากับ คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 30 °C; pH = 3; (▲) โมล Fe²⁺ < H₂O₂ = 50 เท่า; (■) โมล Fe²⁺ < H₂O₂ = 100 เท่า; (◆) โมล Fe²⁺ < H₂O₂ = 200 เท่า

ในปฏิกิริยาที่ศึกษาถึงผลของปริมาณเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์พบว่า %CO Conversion แปรผันแบบผกผันกับปริมาณเฟอร์รัส โดยเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์จะเร่งการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดเป็น $\cdot\text{OH}$ อย่างรวดเร็วในตอนแรกทำให้ %CO Conversion จะสูงในช่วงแรกในทุกๆ ปริมาณเฟอร์รัสที่ทำการทดลอง แต่เมื่อเวลาผ่านไป %CO Conversion จะลดลง จากรูปที่ 4.15 พบว่าที่โมลเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์น้อยกว่าโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 เท่า จะให้ %CO Conversion สูงที่สุด ถัดมาเป็น 100 เท่า และ 50 เท่า ปฏิกิริยาของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์แสดงดังสมการ 4.18 - 4.21 (Muruganandham et al., 2004)



ปฏิกิริยาโฟโตเฟนตอนจะให้ประสิทธิภาพมากกว่าปฏิกิริยา photochemistry เนื่องจากสามารถผลิต $\cdot\text{OH}$ ได้มากกว่าโดยปฏิกิริยา photochemistry จะให้ $\cdot\text{OH}$ ดังสมการที่ 4.18 แต่สำหรับปฏิกิริยาโฟโตเฟนตอนจะได้ $\cdot\text{OH}$ ทั้งจากสมการ 4.18 และ 4.19 โอกาสในการเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์จึงมีมากกว่า แต่เมื่อปริมาณของเฟอร์รัสไอออนที่เติมลงไปเพิ่มมากขึ้นจะไปเร่งให้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์สลายตัวอย่างรวดเร็วเกิดเป็นออกซิเจน ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดได้ยากกว่า $\cdot\text{OH}$ ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่ดี %CO Conversion จึงลดลง เมื่อโมลของ Fe^{2+} ที่เติมลงไปเพิ่มมากขึ้น

จากการทดลองในส่วนที่สองพบว่าภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิง คือใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 %w/v อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 70 °C และมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิดไปพร้อม ๆ กันคือเติมสแตนเลสลงไปพร้อมด้วยการฉายแสง UV-C พบว่าเป็นภาวะที่ให้ %CO Conversion สูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่น ๆ โดยในการทดลองที่ใช้เฟอร์รัสไอออนพบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองคือ pH 3 ซึ่งมีภาวะเป็นกรดจึงไม่เหมาะสมกับระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนเนื่องจากจะเกิดการกัดกร่อนระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงทำให้เกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ปฏิกิริยาของเฟอร์รัสจะควบคุมปฏิกิริยาให้เป็นไปตามที่ต้องการยากเนื่องจากมีความซับซ้อนของปฏิกิริยามากยังไม่มีการพิสูจน์ได้แน่ชัดว่าปฏิกิริยาเป็นไปในแนวไหน

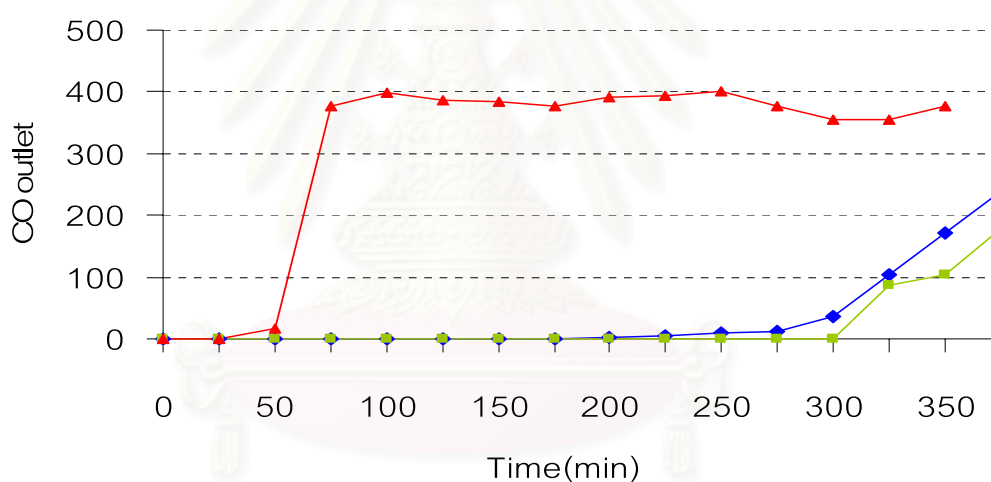
ดังนั้นการทดลองในส่วนต่อไปในส่วนที่ 3 จึงใช้ภาวะที่สามารถขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มากที่สุด ศึกษาต่อถึงผลของการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ซั้วแอโนด

4.3 ส่วนที่ 3 ศึกษาผลของการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับซั้วแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง

การทดลองในส่วนนี้จะทำการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องการศึกษาลงใน U-tube reactor แก๊สเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนอยู่ทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ใน gas reactor คาร์บอนมอนอกไซด์บางส่วนจะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลือจะถูกป้อนมาพร้อมกับไฮโดรเจนและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ไปยัง U-tube reactor โดยคาร์บอนมอนอกไซด์จะถูกขจัดอีกครั้งที่ผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ ออกซิเจนที่ได้จากการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์มาทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (Bellows et al., 1997) การทดลองในส่วนนี้จะ

แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง โดยการทดลองแรกใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ส่วนการทดลองที่สองเป็นการทดลองเปรียบเทียบโดยใช้น้ำใส่ลงไปแทนไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพื่อดูว่าหากไม่ใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์แล้วผลที่ได้จะเป็นอย่างไร ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มี 3 ชนิด ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของเซลล์เชื้อเพลิงคือ 1) Pt 10 %wt/Vulcan XC-72 2) Pt 20 %wt/Vulcan XC-72 และ 3) Pt 20 %wt-Ru 10 %wt/Vulcan XC-72

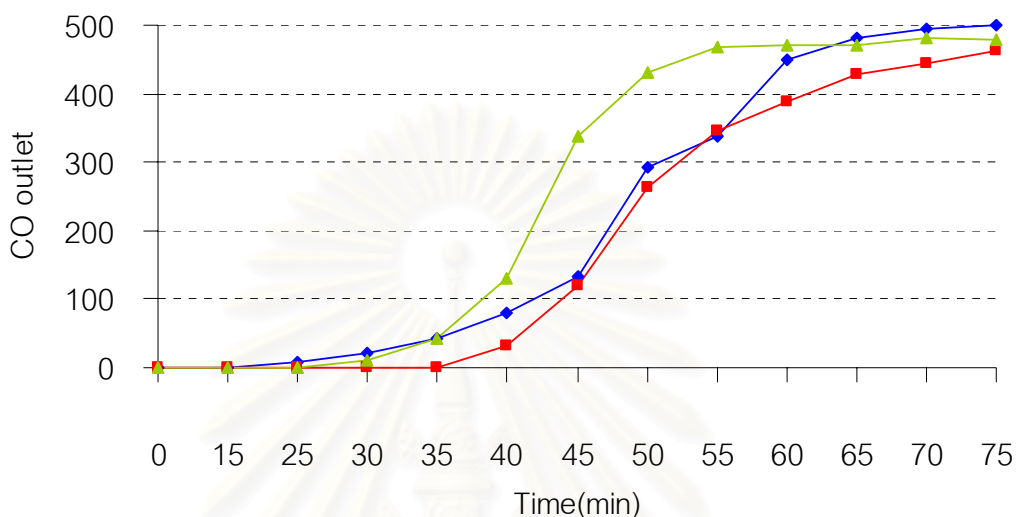
ภาวะที่ใช้ในการทดลองในส่วนที่ 3 นี้คืออุณหภูมิ 70 °C ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 5 %w/v มีการฉายแสง UV-C และเติมสแตนเลสใน gas reactor โดยจากผลการทดลองในส่วนที่ 2 ที่ผ่านมามีพบว่าสามารถจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ได้มากถึง 50% และเมื่อนำ gas reactor ในส่วนที่ 2 มาต่อกับ U-tube reactor ในส่วนที่ 3 ทำการวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกจาก U-tube reactor ที่เวลาต่างๆ โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ถ้าพีคของคาร์บอนมอนอกไซด์เริ่มปรากฏแสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเริ่มสูญเสียสภาพแล้ว นำผลที่ได้มาเขียนกราฟเทียบกับเวลาแสดงดังรูปที่ 4.16 และรูป 4.17



รูปที่ 4.16 CO ที่ออกจาก catalyst reactor ที่เวลาใดๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่างชนิดกัน; (▲) Pt 10 %wt/ Vulcan; (◆) Pt 20 %wt/ Vulcan; (■) Pt 10 % -Ru 10 % wt/ Vulcan; เติมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5 %w/v ใน gas reactor อุณหภูมิ 70 °C

รูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (พีพีเอ็มโมล) ที่ออกจาก U-tube reactor ที่เวลาใดๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างชนิดกัน โดยรูปที่ 4.16 จะเติมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5% w/v ลงใน gas reactor ส่วนรูปที่ 4.17 จะเติมน้ำกลั่นลงไปแทนไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อเติมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ลงใน gas reactor และใช้ภาวะที่ดีที่สุดในการจัดการคาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถตรวจพบ

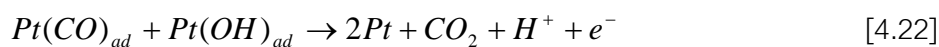
คาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 6 ชั่วโมงเมื่อใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt 20%/Vulcan และ Pt 20%-Ru10%/Vulcan แต่เมื่อแทนที่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ใช้ด้วยน้ำพบว่าสามารถตรวจพบคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ออกจาก U-tube reactor เมื่อเวลาผ่านไปเพียง 35 นาที และเริ่มมีมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปถึง 50 นาที



รูปที่ 4.17 CO ที่ออกจาก catalyst reactor ที่เวลาใดๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับชั่วคราวชนิดต่างชนิดกัน (▲) Pt 10 %wt/ Vulcan; (◆) Pt 20 %wt/ Vulcan; (■) Pt 10 % -Ru 10 % wt/ Vulcan; เติมน้ำกลั่นใน gas reactor อุณหภูมิ 70 °C

จากการทดลองนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าในส่วนของ การเติมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ลงไปเพื่อขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิง คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มที่ปนมากับแก๊สเชื้อเพลิงถูกขจัดออกไปก่อนใน gas reactor หลังจากนั้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลืออยู่ส่วนหนึ่งจะผ่านไปยัง U-tube reactor พร้อมกับออกซิเจนที่ได้จากการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ หรือไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่อยู่ในสถานะไอ คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลืออยู่เมื่อเจอตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับชั่วคราวจะรวมตัวกับออกซิเจนที่ได้จากการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์บนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาอีกครั้งหนึ่ง เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองจะเห็นว่าเวลาผ่านไปนานถึง 6 ชั่วโมงจึงจะเริ่มปรากฏพีคของคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จึงเป็นการช่วยทำความสะอาดผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทางหนึ่ง

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตำแหน่งแพลทินัมซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับขั้วแอโนดแสดงดังสมการที่ 4.22 (Schmidt et al., 2001)



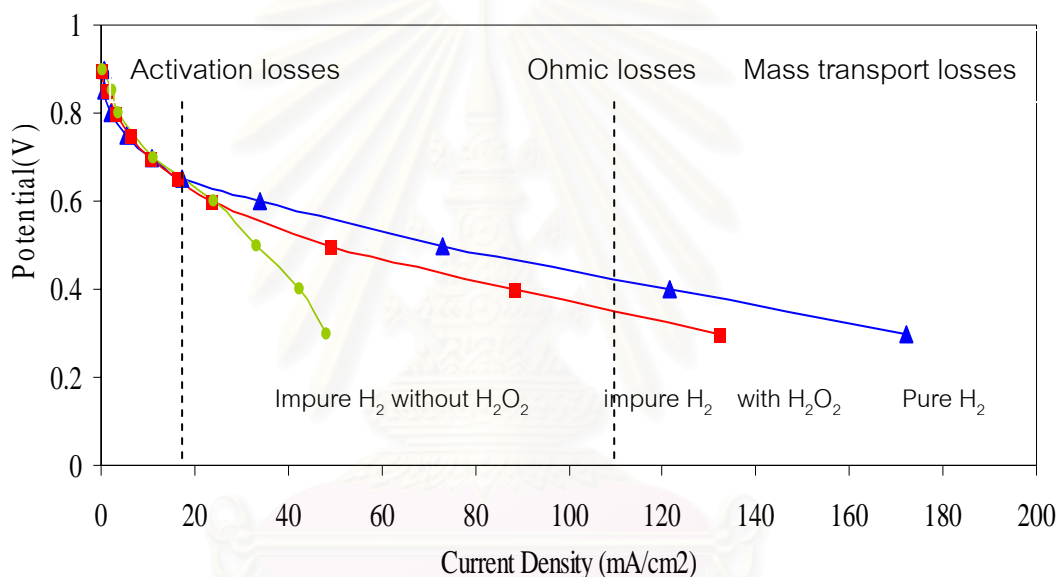
ส่วนในการทดลองที่ใช้ Pt 10%/Vulcan พบว่าพีคของ คาร์บอนมอนอกไซด์ จะเริ่มปรากฏเมื่อเวลาผ่านไปเพียง 60 นาที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการออกซิไดซ์คาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์บนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาต้องการพื้นที่ในการให้คาร์บอนมอนอกไซด์จับและในขณะเดียวกันต้องการพื้นที่บนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะเร่งให้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์แตกตัว ถ้าพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยเกินไปหรือมากเกินไปปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ไม่ดี (Schmidt et al., 2001) เพราะฉะนั้นในการทดลองนี้ปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ อาจจะมีมากเกินไป หรือพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาอาจจะน้อยเกินไป ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเสียสภาพอย่างรวดเร็วภายใน 50 นาที

4.4 ส่วนที่ 4 ศึกษาผลของการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการลดคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อค่าความหนาแน่นกระแสของเซลล์เชื้อเพลิง

การทดลองในส่วนนี้ต้องการศึกษาว่าเมื่อคาร์บอนมอนอกไซด์ถูกขจัดออกไปโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์แล้วจะมีผลอย่างไรต่อค่าความหนาแน่นกระแสในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งในการทดลองจะนำ gas reactor มาต่อแทนส่วนให้ความชื้นของเซลล์เชื้อเพลิงทางด้านแอโนด ในส่วนนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็นสามการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองแรกจะใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นแก๊สเชื้อเพลิงและใส่น้ำลงไปในส่วนให้ความชื้นทางด้านแอโนด การทดลองที่สองเปลี่ยนจากไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นไฮโดรเจนที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มปนอยู่ และการทดลองที่สามเป็นการทดลองที่ใช้ไฮโดรเจนที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มปนอยู่ และเติมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5% w/v พร้อมกับ UV-C และสแตนเลสลงใน gas reactor ผลการทดลองทั้งสามการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.18

จากผลการทดลองในรูป 4.18 พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสของเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็วในการทดลองที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนอยู่ 500 พีพีเอ็มและใช้น้ำเติมใน gas reactor แต่เมื่อเติมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5% w/v พร้อมกับใช้แสง UV-C และโลหะสแตนเลสใน gas reactor พบว่าความหนาแน่นกระแสของเซลล์จะมีค่าใกล้เคียงกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์ เป็นที่น่าสังเกตว่าทั้งสามการทดลองนี้จะแสดงผลช่วง

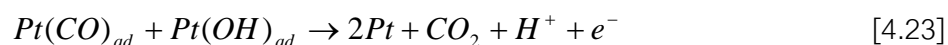
Activation losses เหมือนกัน แต่พอเข้าสู่ช่วง Ohmic losses และ Mass transport losses ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดโดยพบว่าความหนาแน่นของกระแสจะตกอย่างรวดเร็ว เมื่อใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ปนอยู่ 500 พีพีเอ็ม และไม่ใช่ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการขจัด ในขณะที่ความหนาแน่นกระแสจากกรณีที่ใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์ ที่เป็นเช่นนี้เพราะคาร์บอนมอนอกไซด์จะถูกขจัดโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ การที่ค่าความหนาแน่นกระแสของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงเนื่องจากเกิด over voltage ทางด้านแอโนด ซึ่งเกิดจากการดูดซับอย่างแข็งแรงของ คาร์บอนมอนอกไซด์บนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ไฮโดรเจนไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และความหนาแน่นกระแสเมื่อใช้แก๊สเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ: (▲) ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นแก๊สเชื้อเพลิง เต็มน้ำใน gas reactor; (■) ใช้ไฮโดรเจนที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มและเติมไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ใน gas reactor; (●) ใช้ไฮโดรเจนที่มีคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็ม เต็มน้ำใน gas reactor

เมื่อใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยการแทนที่ส่วนให้ความชื้นทางด้านขั้วแอโนดด้วย gas reactor ในการทดลองที่สอง คาร์บอนมอนอกไซด์ จะถูกขจัดออกในส่วนนี้ก่อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน reactor แสดงดังสมการ 4.9 - 4.12

หลังจากนั้น คาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เหลือจะถูกป้อนไปพร้อมกับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่อยู่ในสถานะแก๊สไปเกิดปฏิกิริยากันอีกครั้งเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์บนผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับขั้วแอโนด โดยปฏิกิริยาบนผิวหน้าของขั้วแอโนดแสดงดังสมการ 4.23 (Schmidt et al., 2001)



การใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์พร้อมกับ UV และสแตนด์เลสในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีค่าความหนาแน่นกระแสใกล้เคียงกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นแก๊สเชื้อเพลิง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การทดลองในส่วนที่ 1 จะทำการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจน และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์โดยใช้ FT-IR การทดลองในส่วนนี้เพื่อต้องการศึกษาว่าคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนมากับไฮโดรเจนสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้หรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาในส่วนต่อไป จากการทดลองโดยตรวจวัดด้วย FT-IR พบว่าเมื่อผ่านคาร์บอนมอนอกไซด์ลงใน gas reactor ที่บรรจุสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ IR สเปกตรัมแสดงถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ใช้ น้ำแทนไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ พบว่า IR สเปกตรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เมื่อทราบจากการทดลองแล้วว่าปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์สามารถเกิดขึ้นได้จริง จึงทำการศึกษาต่อในการทดลองส่วนที่ 2 เพื่อหาภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

การทดลองในส่วนที่ 2 แบ่งการทดลองย่อยๆ ออกเป็น 5 การทดลองเพื่อหาภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์

การทดลองแรกศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่าที่ความเข้มข้น 5 %w/v จะให้ค่า %CO Conversion เฉลี่ยสูงที่สุด

ในส่วนของคุณสมบัติเมื่อความเข้มข้นไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์คงที่ 5 %w/v พบว่าคุณสมบัติการทำงานของ gas reactor ที่ 70 °C จะให้ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion สูงสุดคือ 22 %

การศึกษผลของตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิดคือสแตนเลสและแสง UV-C พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเร่งการแตกตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 5 %w/v ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น โดยคุณสมบัตินการทำงานของ gas reactor ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การเกิดปฏิกิริยามากขึ้น คุณสมบัติที่เหมาะสมในการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 คือ 70 °C โดยในตัวเร่งปฏิกิริยาสแตนเลสให้ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion 30 % และตัวเร่งปฏิกิริยา UV-C ให้ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion 38 % ในขณะที่อุณหภูมิ 70 °C เท่ากันแต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาใดๆ ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion เพียงแค่ 22 %เท่านั้น การทดลองส่วนนี้แสดง

ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion สูงสุดถึง 50 % เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิดคือสแตนเลสและ UV-C ร่วมกัน

การทดลองต่อมาศึกษาปฏิกิริยาโฟโตเฟนตอนซึ่งเป็นการใช้เฟอร์ริสไอออนร่วมกับ UV ในการเร่งการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าที่ pH 3 และจำนวนโมลของเฟอร์ริสไอออนน้อยกว่าโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 200 เท่า จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาในการเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion 41 % แต่การใช้ปฏิกิริยาโฟโตเฟนตอนไม่เหมาะสมที่จะใช้งานจริงในเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากภาวะการทำงานที่เป็นกรด pH 3 และความซับซ้อนของปฏิกิริยาซึ่งยังอธิบายได้ไม่ชัดเจน

ดังนั้นภาวะที่ดีที่สุดในการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากแก๊สเชื้อเพลิงโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือ ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 %w/v อุณหภูมิ 70 °C และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสแตนเลสร่วมกับแสง UV-C โดยจะให้ค่าเฉลี่ยของ %CO Conversion สูงสุดถึง 50 %

ในการศึกษาผลของการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดในส่วนที่ 3 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ศึกษาสามชนิดบรรจุใน U-tube reactor ทำการศึกษาโดยใช้ภาวะที่ดีที่สุดข้างต้น พบว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถเพิ่มสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีความทนทานกับคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่าไม่ใช้ได้ถึง 7 เท่า นอกจากนี้พบว่าหลังจากที่คาร์บอนมอนอกไซด์ถูกขจัดออกโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใน gas reactor แล้ว คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เหลืออยู่ยังสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกแทนที่ตัวเร่งปฏิกิริยาจะสูญเสียสภาพไปไปเนื่องจากถูกคาร์บอนมอนอกไซด์ปกคลุมพื้นผิว

ในส่วนสุดท้ายทำการศึกษาถึงผลของการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อค่าความหนาแน่นกระแสเมื่อใช้ภาวะที่ดีที่สุดข้างต้น พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงใกล้เคียงกับการใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งแตกต่างอย่างชัดเจนกับเมื่อไม่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เห็นได้จากค่า current density จะลดลงอย่างรวดเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 %w/v อุณหภูมิ 70 °C และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสแตนเลสร่วมกับแสง UV-C สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยไม่มีผลเสียต่อตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิง โดยที่

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงใกล้เคียงกับการใช้ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นแก๊สเชื้อเพลิง ในการศึกษาต่อไปควรที่จะออกแบบ gas reactor ให้ใช้เป็นส่วนให้ความร้อนที่สามารถใช้งานได้จริง โดยออกแบบเป็นสแตนเลสที่มีหลอด UV-C บรรจุอยู่ สามารถให้ความร้อนได้ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถไหลเข้าส่วนให้ความร้อนพร้อมกับแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อเข้าทำปฏิกิริยาในส่วนนี้อย่างต่อเนื่อง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาจะดูดออกจากส่วนให้ความร้อนและเวียนกลับเข้าไปใช้ใหม่ตลอดเวลา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- สุกัญญา ทองคำ. ผลของขั้วไฟฟ้าแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- สุรางค์ อนุกุล. ปฏิบัติการเคมีคุณภาพวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- Allen, T. L.; Fink, W. H.; and Volman, D. H. Photochemistry of gaseous hydrogen peroxide carbon monoxide system. Journal of Photochemistry. 85 (1995):201-205.
- Bellows, R. J.; Marucchi-Soos, E.; and Reynolds, R. P. The Mechanism of CO Mitigation in Proton Exchange Membrane Fuel Cells Using Dilute H₂O₂ in the Anode Humidifier. Electrochemical and Solid-State Letter. 1 (1998): 69.
- Brodreent, D. J.; Prater, D. N.; and Rusel, J. J. Novel Fuel cell using Hydrogen Peroxide [Online]. Available from: <http://www.swiftenterprises.net>.
- Chunzhi, H.; Kenz, M. R.; and Fenton, J. M. Selective Oxidation of CO in Hydrogen under Fuel Cell Operating Conditions. Journal of Electrochemical Society, 148, 10 (2001): A1116-A1124.
- Divisek, J.; Oetjen, H. F.; Peinecke, V.; Schmidt, V. M.; and Stimming, U. Components for PEM fuel cell systems using hydrogen and CO containing fuels. Journal of Electrochimica Acta. 143 (1998): 3811-3815.
- Haug, A. T.; White, R. E.; Weidner, J. W.; and Huang, W. Development of a Novel CO Tolerant Proton Exchange Membrane Fuel Cell Anode. Journal of Electrochemical Society, 149(2002): A862-A867.
- Jan, A. G. The History of Improving Automobile Emissions: Infrared Spectroscopic Analysis of Tailpipe Exhaust over a Serveral-Decade Model-Year Range. The Chemical Editor. 8, 6(2003).
- Kaewjai Khumvilaisak. Selective CO Oxidation in the presences of Hydrogen for fuel cell applications. Master's Thesis, Petrochemical Technology, The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2001.

- Klaus, E. B.; Bernd, R. U.; Joachim, S. U.; Raimund, S. U. Device and method for combined purification and compression of hydrogen containing CO and the use thereof in fuel cell assemblies. US Patent 6361896 B1. 2002.
- Laminie, J., Dick, D. Fuel Cell Systems Explained. Chichester: John Wiley & Sons, 2000.
- Mandal, A.; Ojha, K.; Asim K. De; Bhattacharjee, S. Removal of catchol from aqueous solution by advanced photo-oxidation process. Journal of Chemical Engineering, 102(2004): 203-208.
- Merck Schuchardt, Hydrogen Peroxide Safety Data Sheet [Online]. 2005. Available from: <http://www.merck.co.th/en/manual/msds/thai/8222/822287.htm>
- Miller, D. O.; Rusek, J. J. Electrocatalysis in hydrogen peroxide cells. 4th Annual Hydrogen Peroxide Conference, Netherlands, June 2001 [Online]. Available from: <http://www.swiftenterprises.net>.
- Muruganadham, M.; Swaminathan, M. Decolorization of Reactive Orange 4 by Fenton and photo-Fenton oxidation technology. Dyes and Pigments, 63(2004): 315-321.
- Schmidt, V. M.; Oetjen, H.-F.; and Divisek, J. Performance Improvement of a PEMFC Using Fuels with CO by Addition of Oxygen-Envolving Compounds. Journal of Electrochemical Society, 144(1997): L237.
- Schmidt, V. M.; Rodriguez, J. L.; and Pastor, E. The Influence of H₂O₂ on the Adsorption and Oxidation of CO on Pt Electrodes in Sulfuric Acid Solution. Journal of Electrochemical Society, 148, 4(2001): A293-A298.
- Schneider, R. F. Titration of Hydrogen Peroxide Solution [Online]. 2005. Available from: <http://www.ic.sunysb.edu/Class/che133/lectures/susb035.pdf>
- Sedmak, G.; Hocevar, S.; and Levec, L. Kinetic of Selective CO Oxidation in excess of H₂ over the nanostructured Cu_{0.1}Ce_{0.9}O_{2-y} Catalyst. Journal of Catalysis. 213(2003): 135-150.
- Urian, R. C.; Gulla, A. F.; and Mukerjee, S. Electrocatalysis of reformate tolerance in proton exchange membranes fuel cell. Journal of Electrocatalytical Chemistry, 554 555(2003): 427-437.
- Van Keulen. Hydrogen Purification. World Patent 9915460. 1999.
- Volman, D. H. Photochemistry of gaseous hydrogen peroxide carbon monoxide system. Journal of Photochemistry. 100(1996): 1-3.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ตัวแปรในการทดลอง 3.3.2.1 ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

การทดลองชุดที่	ความเข้มข้นสารละลาย H ₂ O ₂	อุณหภูมิ (°C)
1	5 %w/v	30 °C
2	10 %w/v	30 °C
3	20 %w/v	30 °C
4	30 %w/v	30 °C
5	น้ำกลั่น	30 °C

ตาราง ก-2 ตัวแปรในการทดลอง 3.3.2.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิ

การทดลองชุดที่	ความเข้มข้นสารละลาย H ₂ O ₂	อุณหภูมิ (°C)
1	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1	30 °C
2	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1	50 °C
3	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1	70 °C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 ตัวแปรในการทดลอง 3.3.2.3 ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ

การทดลองชุดที่	อุณหภูมิ (°C)	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ความเข้มข้นสารละลาย H_2O_2
1	30 °C	สแตนเลส	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.4.2.1
2	50 °C	สแตนเลส	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.4.2.1
3	70 °C	สแตนเลส	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.4.2.1

ตาราง ก-4 ตัวแปรในการทดลอง 3.3.2.4 ศึกษาผลของการใช้แสง UV-C

การทดลองชุดที่	อุณหภูมิ (°C)	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ความเข้มข้นสารละลาย H_2O_2
1	30 °C	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1
2	50 °C	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1
3	70 °C	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1
4	70 °C	แสง UV-C พร้อม กับสแตนเลส	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-5 ตัวแปรในการทดลอง 3.2.2.5 ศึกษาผลของ pH ของสารละลายในปฏิกิริยาโฟโตเฟน-
ตอน

การทดลองชุดที่	pH	ปริมาณโมล $Fe^{2+} < H_2O_2$	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ความเข้มข้นสารละลาย H_2O_2	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
1	1	100 เท่า	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1	30 $^{\circ}C$
2	3	100 เท่า	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1	30 $^{\circ}C$
3	5	100 เท่า	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1	30 $^{\circ}C$

ตาราง ก-6 ตัวแปรในการทดลอง 3.3.2.5 ศึกษาผลของปริมาณเฟอร์ริสไฮดรอกไซด์ในสารละลาย

การทดลองชุดที่	โมล $Fe^{2+} < H_2O_2$	pH	ตัวเร่งปฏิกิริยา	ความเข้มข้นสารละลาย H_2O_2	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)
1	50 เท่า	pH ที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.5 ส่วนแรก	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.4.2.4	30 $^{\circ}C$
2	100 เท่า	pH ที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.4.2.5 ส่วนแรก	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.4.2.1	30 $^{\circ}C$
3	200 เท่า	pH ที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.4.2.5 ส่วนแรก	UV-C	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.4.2.1	30 $^{\circ}C$

ตาราง ก-7 ตัวแปรในการทดลอง 3.3.3 ศึกษาผลของการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีต่อสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง

การทดลองชุดที่	Catalysts reactor		Gas Reactor		
	ตัวเร่งปฏิกิริยา	อุณหภูมิ (°C)	ตัวเร่งปฏิกิริยา	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้นสารละลาย H ₂ O ₂
1	Pt 10 wt% / Vulcan	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	UV-C + สแตนเลส	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1
2	Pt 20 wt% / Vulcan	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	UV-C + สแตนเลส	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1
3	Pt 20 wt% -Ru 10 wt%	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	UV-C + สแตนเลส	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	ความเข้มข้นที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.1
4	Pt 10 wt% / Vulcan	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	UV-C + สแตนเลส	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	น้ำกลั่น
5	Pt 20 wt% / Vulcan	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	UV-C + สแตนเลส	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	น้ำกลั่น
6	Pt 20 wt% -Ru 10 wt%	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	UV-C + สแตนเลส	อุณหภูมิที่ให้ผลสูงที่สุดในการทดลอง 3.3.2.4	น้ำกลั่น

ตาราง ก-8 ตัวแปรในการทดลอง 3.3.4 ศึกษาถึงผลของการขจัดคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่มีต่อค่าความหนาแน่นกระแส

การทดลอง ชุดที่	แอโนด		แคโทด	
	แก๊ส เชื้อเพลิง	ส่วนให้ความร้อน	แก๊ส เชื้อเพลิง	ส่วนให้ความร้อน
1	H ₂	น้ำกลั่น	O ₂	น้ำกลั่น
2	500 ppm CO / H ₂	น้ำกลั่น	O ₂	น้ำกลั่น
3	500 ppm CO / H ₂	H ₂ O ₂ + ตัวเร่งปฏิกิริยา ภาวะที่ให้ ผลสูงที่สุดใน การทดลองส่วนที่ 2	O ₂	น้ำกลั่น

ภาคผนวก ข

ตาราง ข.1 พื้นที่ใต้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ

500 พีพีเอ็ม คาร์บอนมอนอกไซด์ ทำปฏิกิริยากับ	พื้นที่ใต้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์, A.cm ⁻¹				
	0 นาที	2 นาที	4 นาที	8 นาที	16 นาที
H ₂ O ₂ 30%w/v	-0.1105	-0.0420	0.0131	0.0329	0.2026
H ₂ O	-0.3994	-0.5366	-0.5790	-0.6551	-0.7746

ตาราง ข-2 ผลของความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

เวลา, นาที	อุณหภูมิ 30 °C				
	%CO Conversion				
	ชุดที่ 1 H ₂ O ₂ 5%w/v	ชุดที่ 2 H ₂ O ₂ 10%w/v	ชุดที่ 3 H ₂ O ₂ 20%w/v	ชุดที่ 4 H ₂ O ₂ 30%w/v	ชุดที่ 5 Water
0	0	0	0	0	0
5	22	13	15	8	2
20	32	24	20	16	2
35	20	18	16	12	1
59	14	13	14	11	0
65	10	11	10	10	0
80	8	9	9	8	0
95	7	8	9	9	0
110	7	7	9	8	0
125	7	7	8	8	0
140	6	8	8	8	0
155	6	7	8	7	0

ตาราง ข-3 ผลของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยา

เวลา, นาที	H ₂ O ₂ 5 %w/v		
	%CO Conversion		
	ชุดที่ 1 30 °C	ชุดที่ 2 50 °C	ชุดที่ 3 70 °C
0	0	0	0
5	22	45	50
20	32	36	41
35	20	21	27
50	14	13	19
65	10	10	16
80	8	10	14
95	7	9	15
110	7	8	14
125	7	9	13
140	6	8	13
155	6	9	14

ตาราง ข-4 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ

เวลา, นาที	H ₂ O ₂ 5 %w/v + ตัวเร่งปฏิกิริยาสดแทนเลส		
	%CO Conversion		
	ชุดที่ 1 30 °C	ชุดที่ 2 50 °C	ชุดที่ 3 70 °C
0	0	0	0
5	10	11	24
20	31	41	52
35	29	30	41
50	22	23	36
65	16	18	30
80	11	15	25
95	9	13	24
110	8	12	23
125	8	11	24
140	8	11	23
155	8	10	22

ตาราง ข-5 ผลของการใช้แสง UV-C

เวลา, นาที	H ₂ O ₂ 5 %w/v + ตัวเร่งปฏิกิริยา UV-C			
	%CO Conversion			
	ชุดที่ 1 30 °C	ชุดที่ 2 50 °C	ชุดที่ 3 70 °C	ชุดที่ 4 70 °C + สแตนเลส
0	0	0	0	0
5	22	19	59	20
15	29	26	85	45
20	32	25	70	48
35	20	18	36	50
50	14	14	24	53
65	10	12	21	50
80	8	12	21	48
95	7	12	21	47
110	7	12	21	47
125	6	12	21	47
140	6	12	21	47
155	6	14	21	47

ตาราง ข-6 ผลของ pH ของสารละลายในการทดลองที่ปริมาณ Fe²⁺ คงที่

เวลา, นาที	Fe ²⁺ < H ₂ O ₂ 100 เท่า, H ₂ O ₂ 5 %w/v อุณหภูมิ 30 °C + ตัวเร่งปฏิกิริยา UV-C		
	% CO Conversion		
	ชุดที่ 1 pH = 1	ชุดที่ 2 pH = 3	ชุดที่ 3 pH = 5
0	0	0	0
5	14	49	35
15	17	65	44
20	16	60	47
35	14	37	38
50	14	25	30
65	13	19	20
80	13	15	11
95	12	14	8
110	12	12	7
125	11	11	7
140	11	11	7

ตาราง ข-7 ผลของปริมาณ Fe^{2+} ในสารละลาย ที่ pH คงที่

เวลา, นาที	pH = 3, H_2O_2 5 %w/v อุณหภูมิ 30 °C + ตัวเร่งปฏิกิริยา UV-C		
	% CO Conversion		
	ชุดที่ 1 $\text{Fe}^{2+} < \text{H}_2\text{O}_2$ 50 เท่า	ชุดที่ 2 $\text{Fe}^{2+} < \text{H}_2\text{O}_2$ 100 เท่า	ชุดที่ 3 $\text{Fe}^{2+} < \text{H}_2\text{O}_2$ 200 เท่า
0	0	0	0
5	56	49	65
15	52	65	69
20	48	60	72
35	33	37	66
50	23	25	56
65	16	19	38
80	13	15	28
95	13	14	23
110	13	12	20
125	10	11	18
140	9	11	17
155	10	10	17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Schneider, 2005)

ค-1 ทฤษฎี

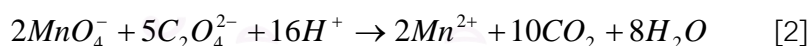
งานวิจัยนี้ใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ในการวิเคราะห์หาปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเมื่อเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาพที่เป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจาง จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้



โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีสีม่วง ในสารละลายแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) จะไม่มีสี ถ้าเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สีม่วงจะหายไปทราบเท่าที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หลงเหลืออยู่ให้ทำปฏิกิริยากับเปอร์แมงกาเนต

สัดส่วนของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือ 2 โมลของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตทำปฏิกิริยากับ 5 โมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ถ้าทราบความเข้มข้นของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จะสามารถหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายได้โดยการคำนวณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไม่เป็นสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ เนื่องจากสามารถสลายตัวอย่างช้าๆในน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิได้ สารมาตรฐานปฐมภูมิที่ใช้คือโซเดียมออกซาลेट ($Na_2C_2O_4$)

ปฏิกิริยาระหว่างเปอร์แมงกาเนตไอออนและออกซาลेटไอออนในสารละลายที่เป็นกรดแสดงดังสมการ



ในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตให้เป็นสารละลายมาตรฐานจุดสิ้นสุดของปฏิกิริยาคือหยดแรกที่ทำให้สารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีม่วง

ค-2 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตให้เป็นสารละลายมาตรฐาน

สารเคมี

1. โซเดียมออกซาลेट บริสุทธิ์อบแห้ง บรจโซเดียมออกซาลेटบริสุทธิ์ ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ MW = 134.00) ใส่ขวดซึ่ง อบที่ $105-110^\circ\text{C}$ นาน 2 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็นอย่างน้อย 30 นาที ในเดซิเคเตอร์
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, H_2O_2 30 %w/w
3. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต, KMnO_4 0.02 โมลาร์ ซึ่งโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.6 กรัม ใส่ปิกเกอร์ขนาด 800 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา ต้มจนเดือด 20 – 30 นาที ทิ้งให้เย็นในที่มืดข้ามคืน กรองด้วย sinter glass โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ ปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
4. กรดซัลฟิวริก, H_2SO_4 4 โมลาร์ ละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 22 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 78 มิลลิลิตรอย่างระมัดระวัง

การทดลอง

1. เติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 โมลาร์ในบิวเรตต์ที่แห้งสะอาด ปริมาตรตรงขีดเริ่มต้น
2. ชั่งโซเดียมออกซาลेट 0.1675 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่น 50 – 60 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริก 4 โมลาร์ 10 มิลลิลิตรอย่างระวังลงในขวดรูปชมพู่ เขย่าเบาๆ ให้โซเดียมออกซาลेटละลาย อุณหภูมิร้อนถึง 80°C ระวังอย่าให้เดือด
4. ไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต พร้อมทั้งกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก ตลอดเวลา ในการไทเทรตครั้งแรกสีชมพูจะจางลงอย่างรวดเร็ว ถ้าเกิดตะกอนสีน้ำตาลให้เติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตอย่างรวดเร็ว ไทเทรตจนสีชมพูเริ่มหายไปอย่างช้าๆ โซเดียมเปอร์แมงกาเนตให้ช้าลง จุดยุติของปฏิกิริยาจะได้สีชมพูคงที่ 15 วินาที บันทึกปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้
5. ทำซ้ำข้อ 2 – 4 ปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ต้องไม่แตกต่างกัน 1 หยด
6. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นโมลาร์

$$C1 = (2/5) \times (W/134) \times (1000/V)$$

เมื่อ $C1 =$ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (โมลาร์)

$W =$ น้ำหนัก $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (กรัม)

$V =$ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไป (มิลลิลิตร)

ค-3 การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การทดลอง

1. ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ H_2O_2 30 %w/w 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แกว่งให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน สารละลายที่ได้จะเป็นสารละลายเจือจาง 100 เท่า (100X)

2. ปิเปตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในข้อ 1 มา 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริก 4 โมลาร์ 10 มิลลิลิตรอย่างระวังลงในขวดรูปชมพู่ เขย่าให้เข้ากัน

3. ไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต 0.02 โมลาร์ พร้อมทั้งกวนด้วยแท่งแม่เหล็กตลอดเวลา จุดยุติของปฏิกิริยาจะได้สีชมพูคงที่ 15 วินาที บันทึกปริมาณโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนตที่ใช้

4. ทำซ้ำข้อ 2 – 3 ปริมาณโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนตที่ใช้ต้องไม่แตกต่างกัน 1 หยด

5. คำนวณหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นโมลาร์

$$C_2 = C_1 \times (5/2) \times (V_1/V_2) \times F$$

เมื่อ C_2 = ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (โมลาร์)

C_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต (โมลาร์)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ = 10 มิลลิลิตร

F = เฟคเตอร์ของการละลาย (Dilution factor)

คำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในหน่วย

$$\% \text{ w/v} = C_2 \times (34.02 / 10)$$

$$\% \text{ w/w} = C_2 \times (34.02 / 10) \times (1 / 1.12)$$

ค-4 ผลการทดลอง

หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย 0.02 โมลาร์โพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต

	น้ำหนักของ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (กรัม)	ปริมาตรของ KMnO_4 (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น KMnO_4 (C_1)
ครั้งที่ 1	0.1670	24.5	0.0203
ครั้งที่ 2	0.1688	24.9	0.0202
เฉลี่ยความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพอร์แมงกาเนต			0.0202 M

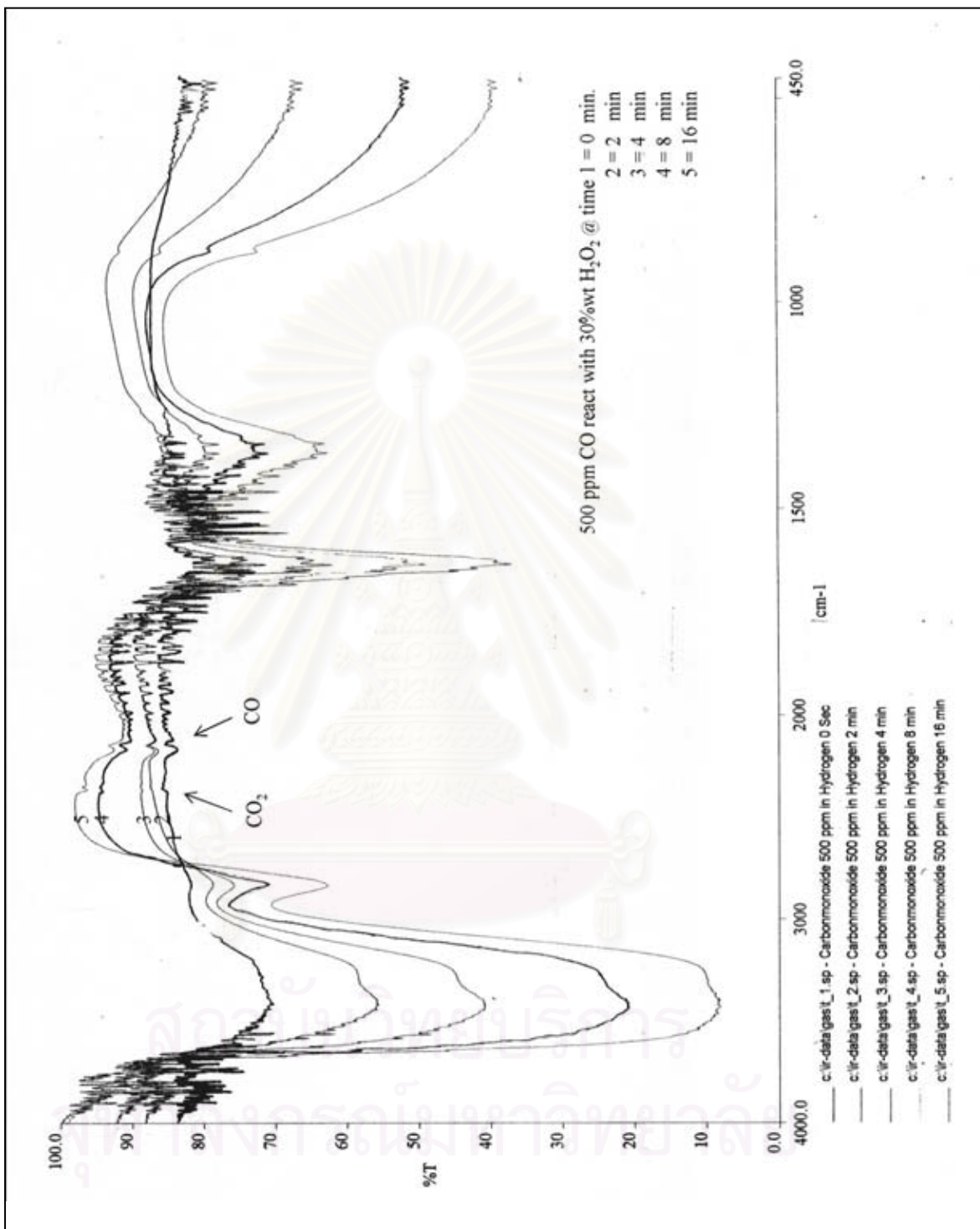
การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

	ความเข้มข้น ของ KMnO_4 , C1	ปริมาตรของ KMnO_4 , V1	ปริมาตรของ H_2O_2 , V2	Dilution factor, F	ความเข้มข้นของ H_2O_2 , C2
ครั้งที่ 1	0.0202	19.6	10	100	9.898
ครั้งที่ 2	0.0202	19.7	10	100	9.948
ความเข้มข้นเฉลี่ยของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์					9.923 M 33.76 %w/v 30.14 %w/w

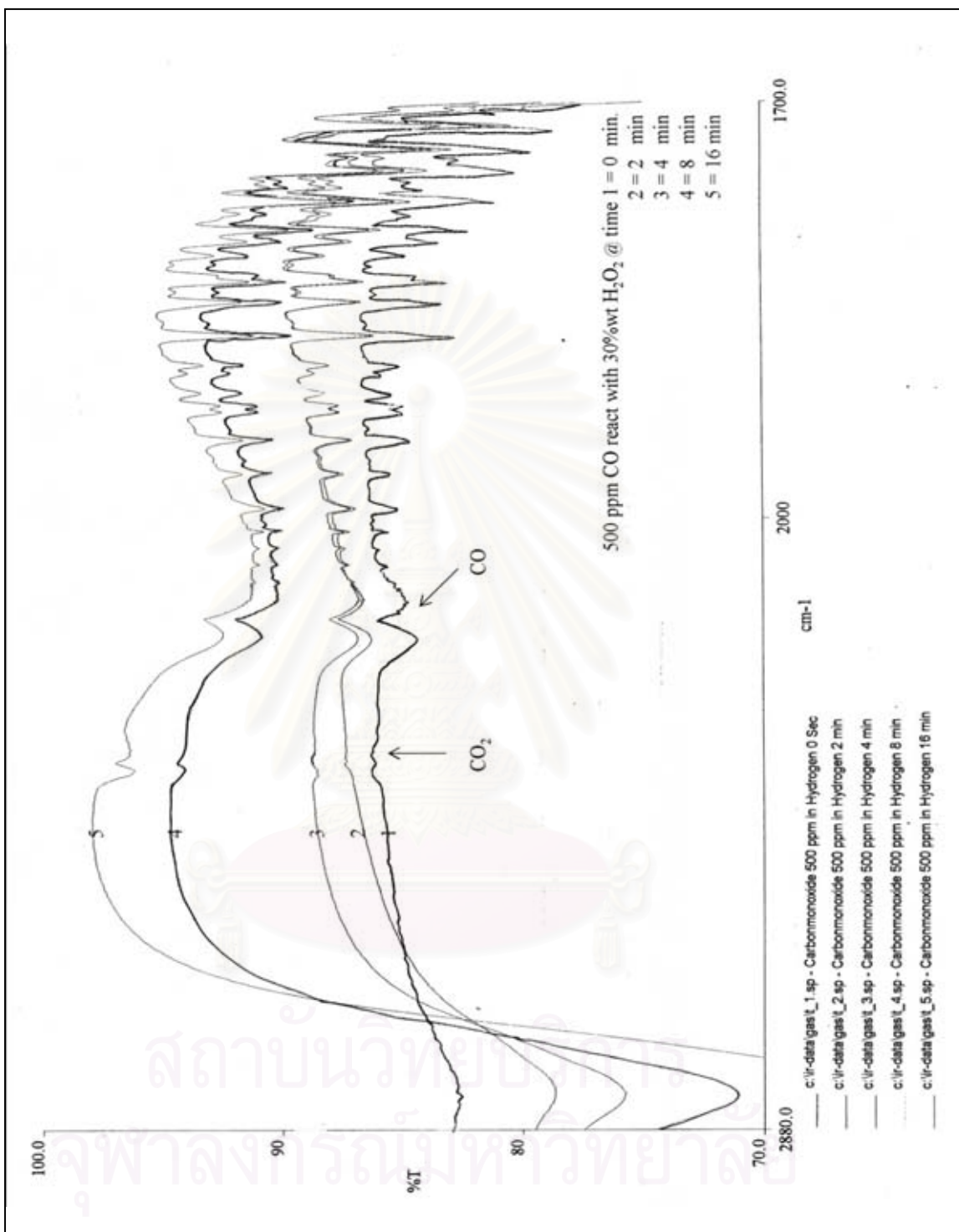


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

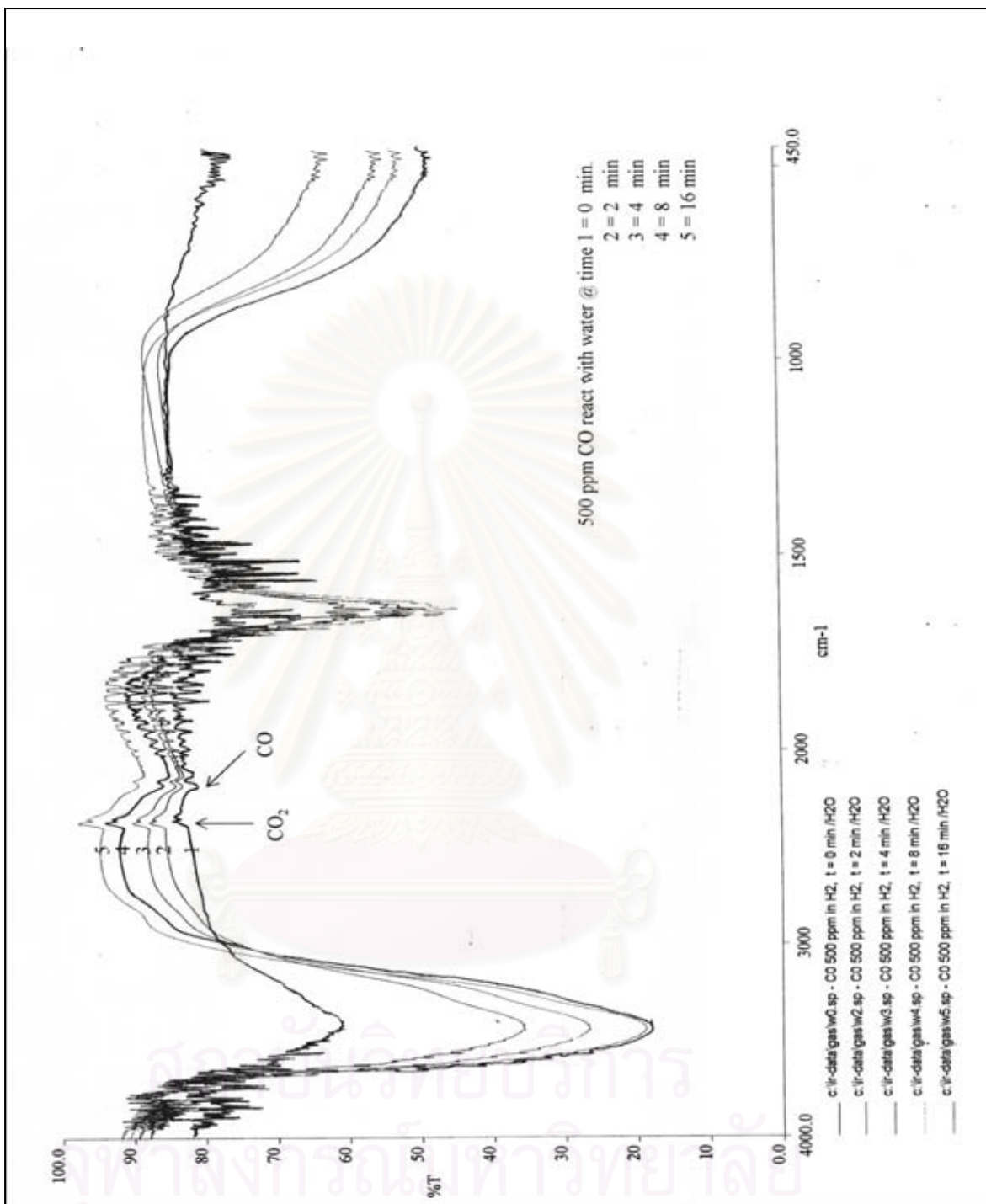
ภาคผนวก ง



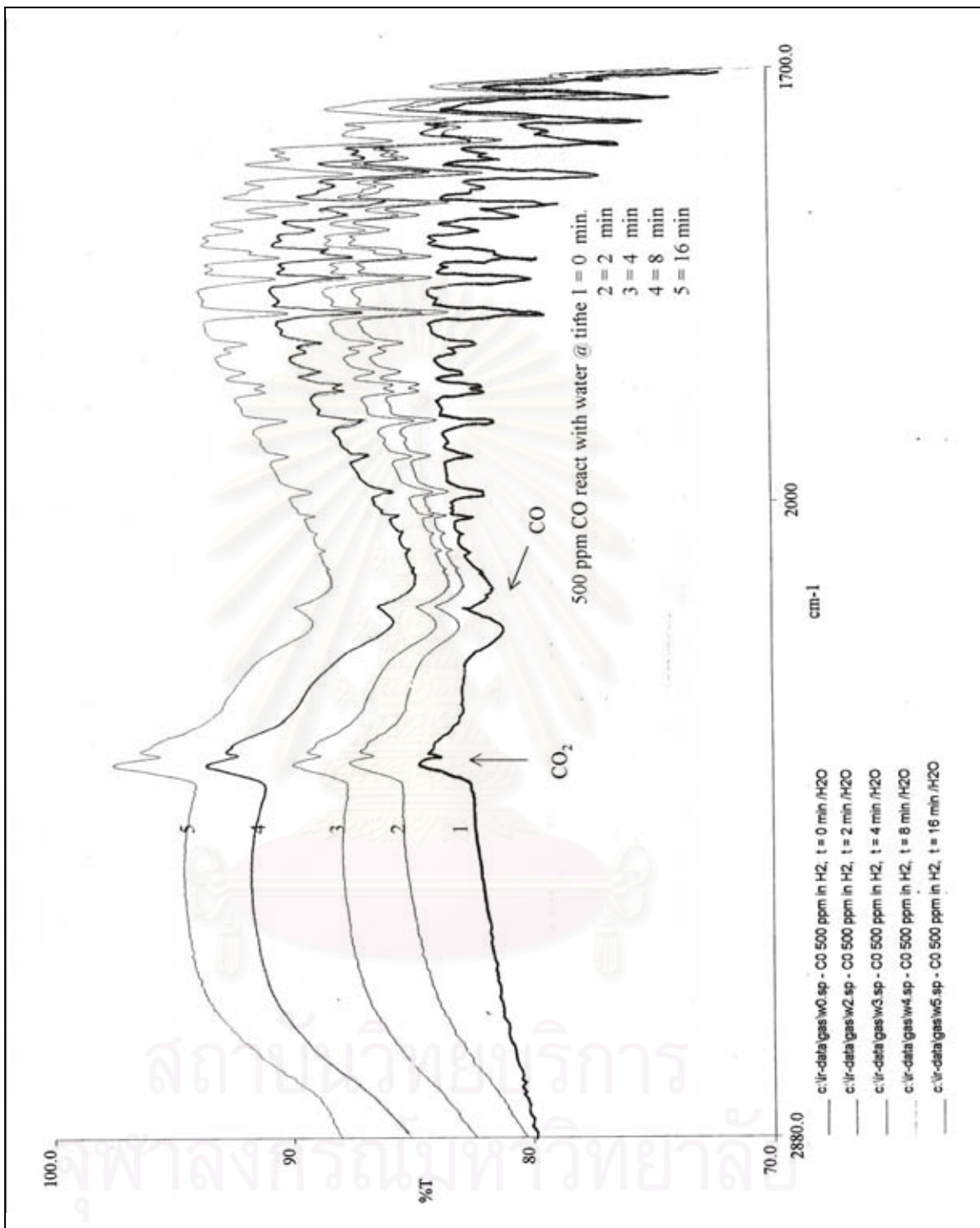
รูปที่ ง-1 FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 %w/v ที่เวลาต่างๆ



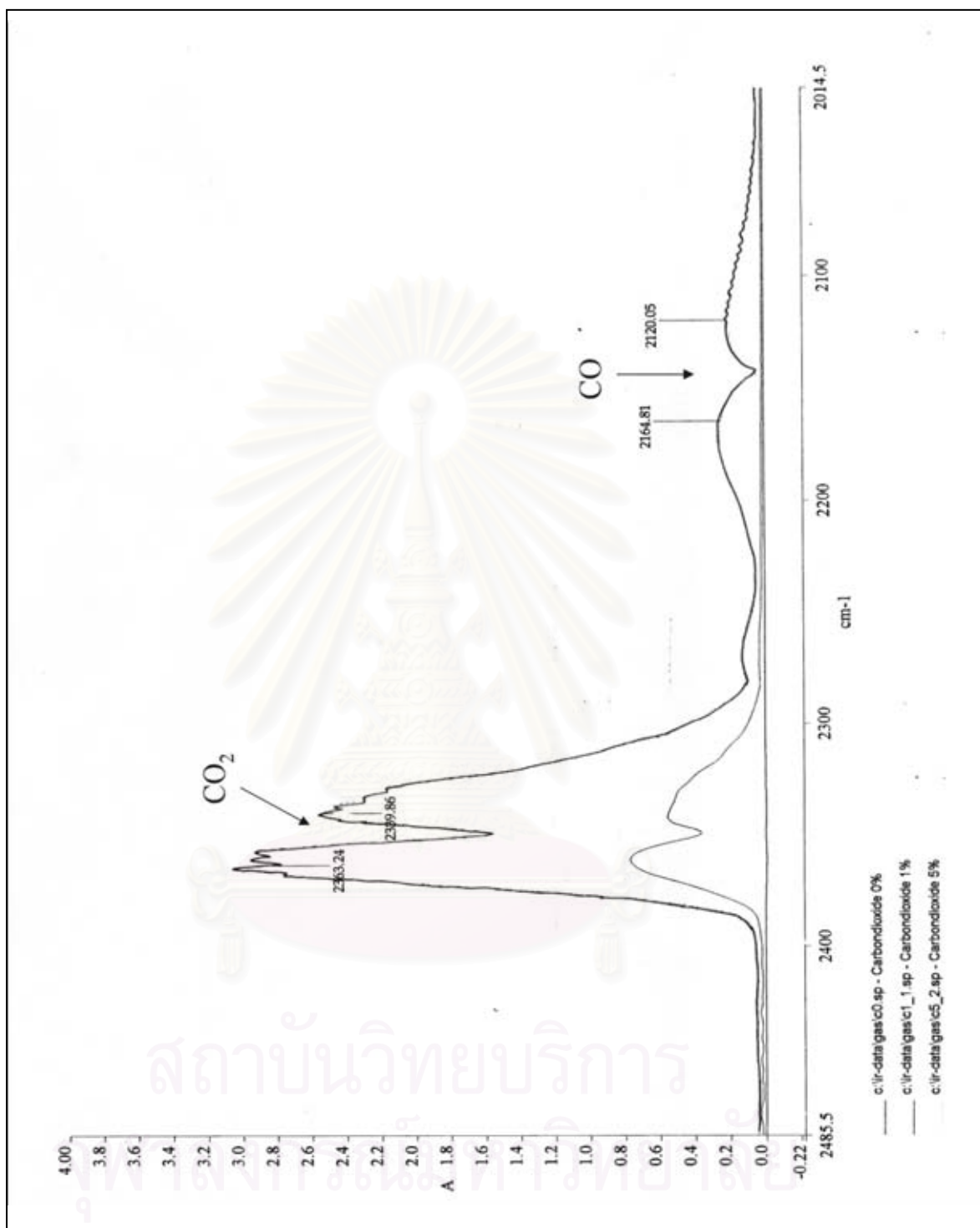
รูปที่ ง-2 FT-IR สเปคตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและไฮโดรเจนเพอร็อกไซด์ 30 %w/v ที่เวลาต่างๆ



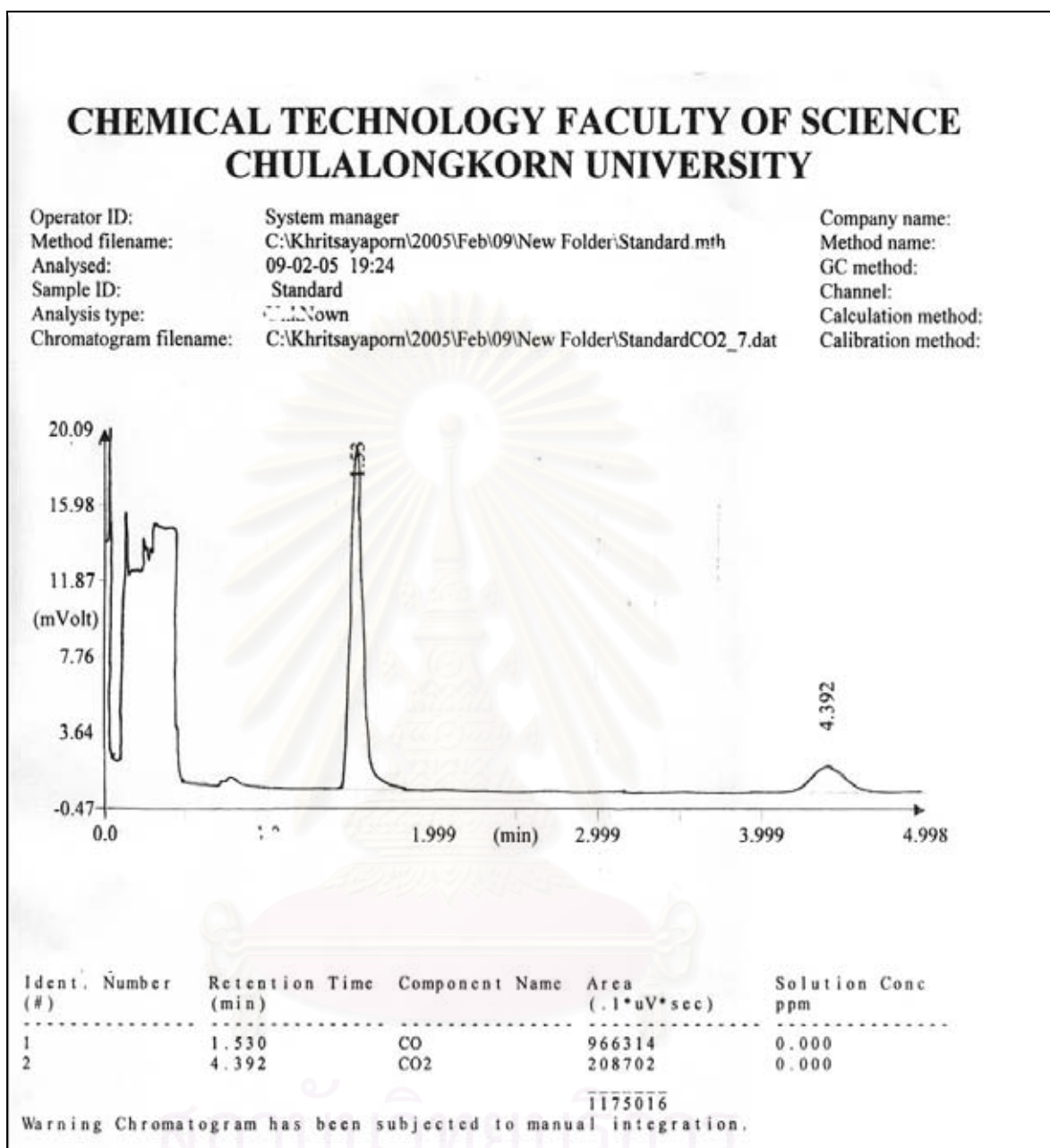
รูปที่ ง-3 FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและน้ำ ที่เวลาต่างๆ



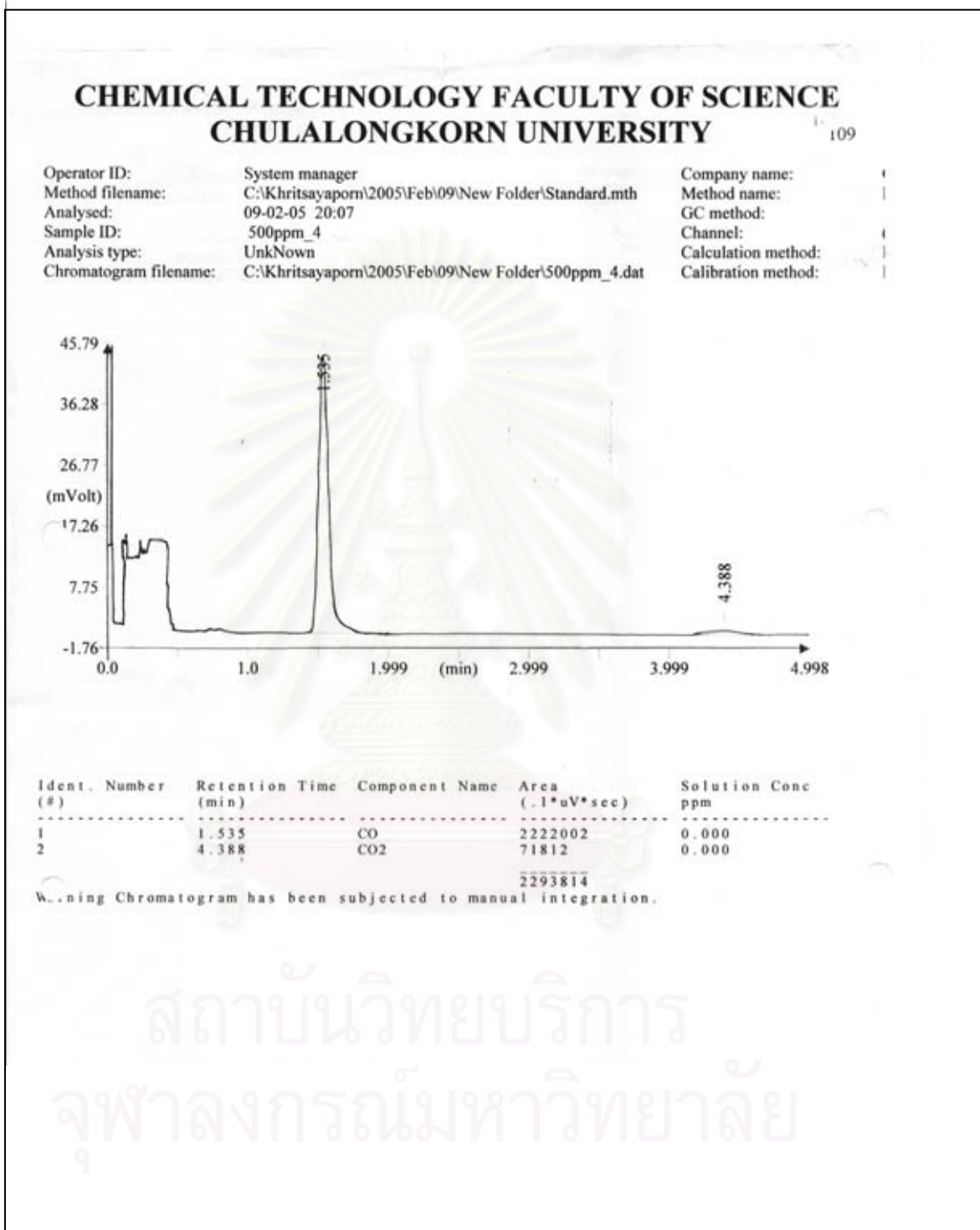
รูปที่ ง-4 FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนและน้ำ ที่เวลาต่างๆ



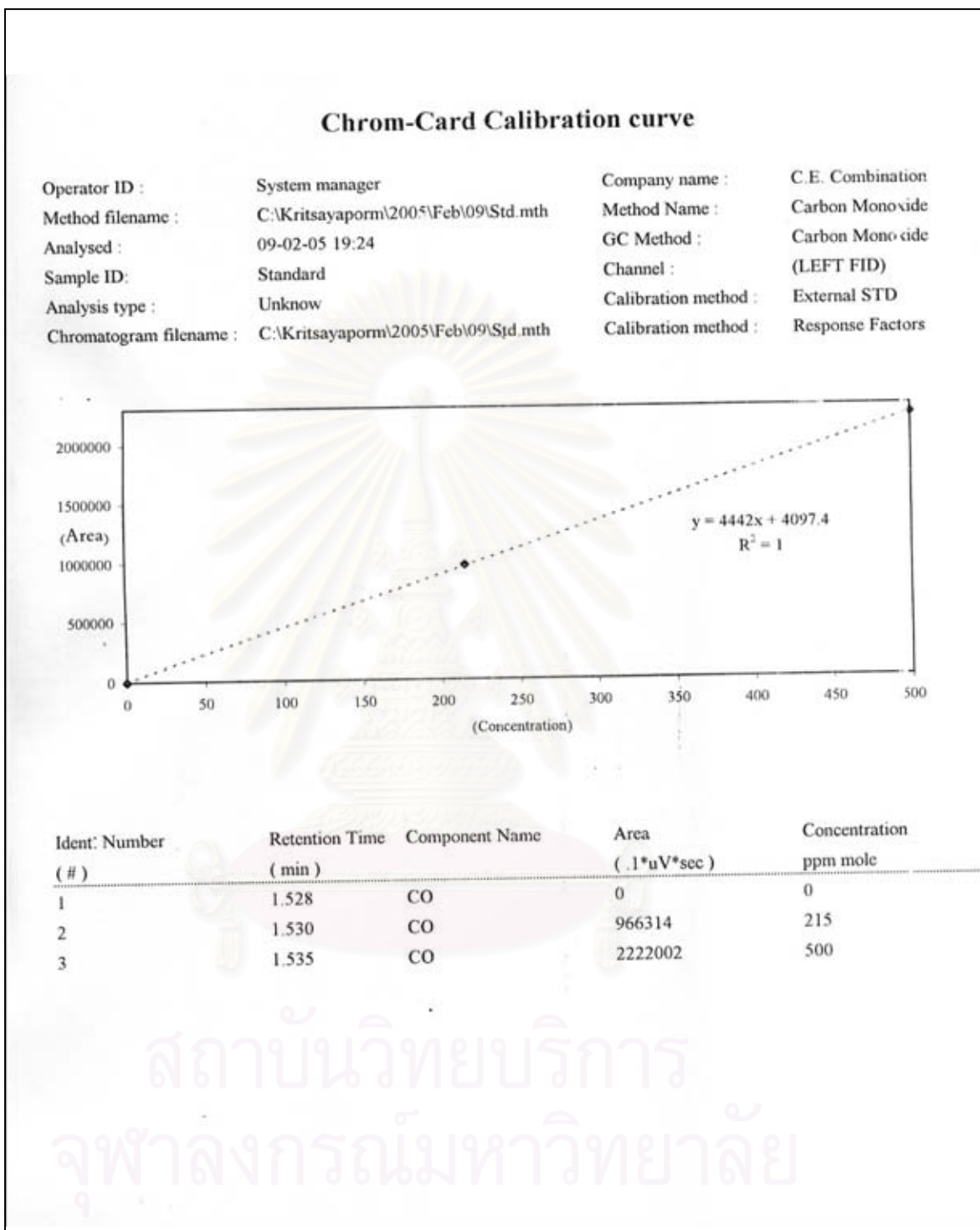
รูปที่ ง-5 FT-IR สเปคตรัมแสดงตำแหน่งของคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊ส
แก๊สมาตรฐาน



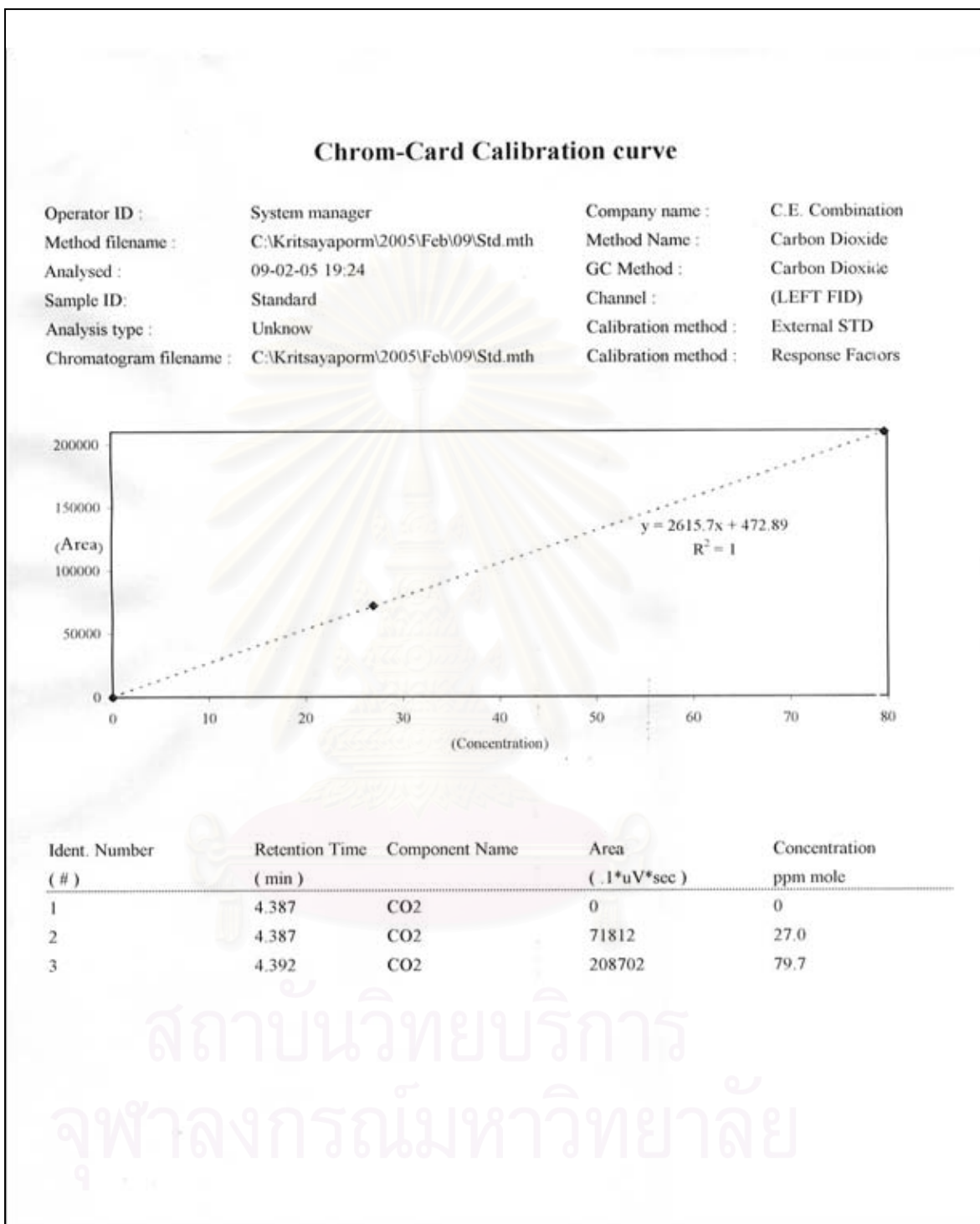
รูปที่ ง-6 พื้นที่ใต้พีคของแก๊สมาตรฐานคาร์บอนมอนอกไซด์ 215 พีพีเอ็มและคาร์บอนไดออกไซด์ 79.7 พีพีเอ็ม



รูปที่ ง-7 พื้นที่ใต้พีคของแก๊สมาตรฐานคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มและคาร์บอนไดออกไซด์ 27 พีพีเอ็ม



รูปที่ ง-8 Calibration curve ของ คาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0 215 และ 500 พีพีเอ็ม



รูปที่ ง-9 Calibration curve ของ คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0 27.0 และ 79.7 พีพีเอ็ม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ส่วนที่ 1 ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจน

ในการทดลองนี้จะใช้ FT-IR ในการวิเคราะห์พื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์โดยใช้ FT-IR ได้ง่ายกว่า คาร์บอนมอนอกไซด์ การจับกันของออกซิเจนและคาร์บอนของคาร์บอนไดออกไซด์จะจับกันด้วย พันธะสอง (double bond) สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายกว่าเมื่อแสง IR ส่งผ่านเข้าไป สันพันธะ ซึ่งจะแตกต่างกับคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อะตอมของออกซิเจนกับคาร์บอนจับกันด้วย พันธะสาม (triple bond) ที่มีความแข็งแรงทำให้แสง IR ไปสั่นได้น้อยจึงมองเห็นการเปลี่ยนแปลง ยาก โมเลกุลที่จับกันด้วยพันธะสาม เช่นคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจน (N₂) จึงไม่นิยม วิเคราะห์ด้วย FT-IR ตำแหน่งพีคของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 2360 cm⁻¹ ส่วนพีคของคาร์บอน มอนอกไซด์จะอยู่ที่ 2171 cm⁻¹ ตำแหน่งของพีคทั้งสองยืนยันโดยการใส่แก๊สมาตรฐานผ่านเข้า แก๊สเซลล์ และวัดการดูดกลืนแสง IR

รูปที่ 4.1 แสดงถึง FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง คาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มในไฮโดรเจนไหลผ่านไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่วนรูปที่ 4.2 แสดงถึง FT-IR สเปกตรัมของแก๊สผลิตภัณฑ์ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ 500 พีพีเอ็มใน ไฮโดรเจนไหลผ่านน้ำ

ตาราง ข-1 ในภาคผนวก ข. แสดงพื้นที่ได้กราฟของคาร์บอนไดออกไซด์วัดที่ 2360 ซม⁻¹ เปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และน้ำ ในการหาพื้นที่ได้กราฟต้อง เปลี่ยนหน่วยวัดจาก %การส่งผ่านแสง (%Transmittance, %T) เป็นค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) ก่อนแล้วคำนวณด้วยโปรแกรม Spectrum 2000 ของเครื่อง FT-IR หน่วยวัด เป็น การดูดกลืนแสงต่อเซนติเมตร (A.cm⁻¹)

เรียน ท่านอาจารย์เกียรติยศ
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ขอเรียนขอโทษที่ส่งผลการทดลองและวิจารณ์ผลมาช้าเกินไป
 เนื่องจากผมได้ไปศึกษาเกี่ยวกับ FTIR เหนื่อยพอสมควร
 จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ
 อรุณ พงษ์

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทร. 02-218-4954

ที่ วันที่ 11 เมษายน 2548

เรื่อง การใช้เทคนิค FTIR ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สงบทิพย์ พงศ์สถานบดี

จากการที่อาจารย์ได้สอบถามความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค FTIR ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้น ผมขอเรียนให้ทราบดังนี้

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เทคนิคทางด้าน FTIR ได้ถูกพัฒนาอย่างรวดเร็ว จากเทคนิคที่ใช้งานด้านการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเป็นหลัก จนกระทั่งปัจจุบันนี้ FTIR เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ใช้งานได้หลากหลายแทบจะทุกรูปแบบของตัวอย่าง ไม่ว่าจะเป็นของเหลว ของแข็ง และก๊าซ ขอเพียงสารนั้นสามารถดูดกลืนแสง IR ได้เท่านั้น ทั้งนี้เป็นเพราะการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IR เป็น non-destructive technique ไม่ทำให้ตัวอย่างเสียไป เครื่อง FTIR ราคาไม่แพง และมี accessory สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างประเภทต่างๆ ให้เลือกใช้ได้อย่างหลากหลาย ทำให้การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยเทคนิค FTIR เป็นการวิเคราะห์แบบ routine และ online ในหลายๆกรณี ซึ่งอาจารย์สามารถค้นเอกสารอ้างอิงได้จากฐานข้อมูล ISI จะทำให้อาจารย์ได้เห็นภาพและการประยุกต์รูปแบบต่างๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อทราบ และขอยืนยันว่าเทคนิค FTIR สามารถใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณได้จริง



(รองศาสตราจารย์ ดร. ออมร เพชรสม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกฤษยาพร ทินกร เกิดวันที่ 23 กรกฎาคม 2521 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศจังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จ การศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร มหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย