

การพัฒนาเซลล์ชนิดนี้จนถึง ๘๗๐) โดยถนนน้ำด้วยไฟฟ้า  
DEVELOPMENT OF H<sub>2</sub>O GENERATING BY ELECTROLYSIS



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิง (HHO) โดยการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า

## DEVELOPMENT OF HHO GENERATING BY ELECTROLYSIS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงนอกรายชื่อของนักศึกษาและผู้ดูแลโครงการที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

# **DEVELOPMENT OF HHO GENERATING BY ELECTROLYSIS**

**MISS NILAWAN      MITRUANGSIN**

**MISS NISACHON      BOONMA**

**MISS PRAPATSORN      BIATHONG**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT**

**OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

**IN APPLIED PHYSICS**

**FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์ที่สอนที่มหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิง (HHO) โดยการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า

DEVELOPMENT OF HHO GENERATING BY ELECTROLYSIS

ชื่อนักศึกษา นางสาวนิลาวัลย์ มิตรเรืองศิลป์

นางสาวนิสาชล บุญมา

นางสาวประภัสสร เบี้ยทอง

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อารีย์ วิเชียรฉาย

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการ		ลายมือชื่อ
รศ.วิชาญ	เตชิตชีระ	
รศ.สาหร่าย	เล็กชะอุ่ม	
ดร.ศ.ทิพวรรณ	คล้ายบุญมี	 คล้ายบุญมี
รศ.ดร.อารีย์	วิเชียรฉาย	 อารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิง (HHO) โดยการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนิลาวัณย์	มิตรเรืองศิลป์
	นางสาวนิสาชล	บุญมา
	นางสาวประภัสสร	เบ็ญทอง
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อารีย์	วิเชียรฉาย

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดลองสร้างเครื่องผลิตก๊าซ HHO โดยเป็นการสร้างเครื่องผลิต HHO แบบ Wet Cell และทำการทดสอบเครื่องผลิตก๊าซ HHO โดยอาศัยกระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษารสละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถช่วยในการผลิตแก๊ส HHO ได้ดีที่สุด ซึ่งผลการทดลองพบว่าสารละลาย NaOH นั้นสามารถช่วยในการผลิตก๊าซ HHO ได้ดีที่สุด การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการไหลของก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการพัฒนา ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณการไหลของก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบนั้นสามารถให้ปริมาณการไหลของก๊าซได้น้อยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาสามารถให้ปริมาณการไหลของก๊าซสูงสุดที่ความเข้มข้น 4.0 โมล ได้อัตราเร็วของก๊าซ HHO 413 cc/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คำสำคัญ :** ก๊าซ HHO , Wet cell , สารละลายอิเล็กโทรไลต์

<b>Title</b>	Development Of HHO Generating By Electrolysis
<b>Students</b>	Miss Nilawan Mitruangsin Miss Nisachon Boonma Miss Prapatsorn Biathong
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Aree Wichienchai

### ABSTRACT

This project was studied how to produce HHO fuel gas of wet cell and dry cell by electrolysis technique. Both cells were tested on the various electrolytes (NaOH, NaHCO<sub>3</sub> and KOH) and selected one. The NaOH electrolyte was selected to involve with producing HHO gas on this experiment for wet cell. The preliminary performance of the wet cell was shown flow rate output HHO gas 413 cc/min at given 4 mol of NaOH.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Key Words :** HHO gas , Wet cell , Dry cell

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยขอมอบบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขออน้อมบูชาท่านบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้วยความรักและเมตตา

นิลาวัณย์ มิตรเรืองศิลป์  
 นิสาชล บุญมา  
 ประภัสสร เบี้ยทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	XI

<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 ปฏิกริยาไฟฟ้าและสมบัติของน้ำ	3
2.1.1 น้ำ ( $H_2O$ )	3
2.1.1.1 สมบัติของน้ำ	4
2.1.2 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส	10
2.1.3 ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรด	11
2.1.4 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution)	11
2.1.5 ปฏิกริยาเคมีไฟฟ้า	11
2.1.5.1 เลขออกซิเดชัน (Oxidation Number)	11
2.1.5.2 ปฏิกริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.6 เซลล์ไฟฟ้าเคมี	13
2.1.6.1 เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell)	13
2.1.6.2 เซลล์อิเล็กโตรไลต์	13
2.1.7 สมบัติของก๊าซ	14
2.1.8 ไฮโดรเจน	14
2.1.8.1 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน	15
2.1.8.2 ประโยชน์ของก๊าซไฮโดรเจน	15
2.1.9 ออกซิเจน	15
2.1.9.1 คุณสมบัติของก๊าซออกซิเจน	16
2.2 เชื้อเพลิงและการวิเคราะห์	16
2.2.1 เชื้อเพลิง	16
2.2.2 วิธีการวิเคราะห์เชื้อเพลิง	17
2.2.2.1 ก๊าซโครมาโตกราฟี	17
2.2.2.2 เครื่องมือก๊าซโครมาโตกราฟี	23
2.3 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	36
2.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	37
2.3.2 หลักการทำงานของแกลแวนอมิเตอร์	38
2.3.3 แอมมิเตอร์ (Ammeter)	38
2.3.3.1 คุณสมบัติของแอมมิเตอร์ที่ดี	39
2.3.3.2 การนำไปใช้งาน	39
2.3.4 โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)	39
2.3.4.1 การนำไปใช้วัด	40

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1 ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์เชื้อเพลิง HHO GAS	41
3.1.1 ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงแบบ Dry cell	41
3.1.2 ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงแบบ Wet cell	44
3.2 ขั้นตอนการทดสอบเครื่องผลิตก๊าซ HHO	46
3.3 การทดลอง	46
3.3.1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถช่วยในการผลิตแก๊ส HHO ได้ดี	46
3.3.2 ทดลองเปรียบเทียบปริมาณ Output Gas ของเซลล์ต้นแบบกับเซลล์ที่พัฒนา	46
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	<b>50</b>
4.1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถช่วยในการผลิตแก๊ส HHO ได้ดี	50
4.1.1 การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเพื่อใช้สำหรับการทดลอง	55
4.2 เปรียบเทียบปริมาณ Output Gas ของเซลล์ต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา	55
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	60
<b>บทที่ 5 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>62</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย	2
2.1 จำนวนโมเลกุลของน้ำในการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ 1 โมเลกุล และระยะทางระหว่างโมเลกุล ของน้ำ 2 โมเลกุลที่เกาะเกี่ยวกัน	4
2.2 จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของน้ำและสารประกอบอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน	5
2.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำและน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ	6
2.4 ความร้อนจำเพาะของสารต่าง ๆ เทียบกับน้ำ	7
2.5 ความดันไอของน้ำ ( $P_w$ ) ที่อุณหภูมิต่างๆ	20
2.6 ค่าสำหรับแก้ไขเมื่อเกิดการลดความดัน	22
2.7 เฟสของเหลวหรือซัสเพนดที่นิยมใช้บางตัว	30
4.1 สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อน้ำ 800 มิลลิลิตร	48
4.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำ 800 มิลลิลิตร	50
4.3 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำ 800 มิลลิลิตร	51
4.4 ปริมาณ Output Gas ของสารละลาย $\text{NaHCO}_3$ , $\text{NaOH}$ , $\text{KOH}$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ	53
4.5 แสดงค่าผลการทดลองของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบ	56
4.6 แสดงค่าผลการทดลองของเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา	58
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแส อุณหภูมิ และ Output Gas ของเซลล์เชื้อเพลิง ต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

ตารางที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ	3
2.2 การยึดเกาะระหว่างโมเลกุลของน้ำโดยพันธะไฮโดรเจน	4
2.3 การเรียงโมเลกุลของน้ำและเกลือแกงในสภาพสารละลาย	8
2.4 แสดงเซลล์กัลวานิก	13
2.5 เซลล์อิเล็กโทรไลต์	13
2.6 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่องมือก๊าซโครมาโตกราฟี	24
2.7 เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซโดยวิธีสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของฟองสบู่	25
2.8 ภาพแสดงส่วนประกอบของส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (Sample Chamber)	27
2.9 Hydrogen Flame Detector (HFD)	32
2.10 Flame ionization detector (FID)	33
2.11 ทอร์มัลคอนดักติวิตีเทคเตอร์	33
2.12 Flame photometric detector	34
2.13 Electron Capture Detector (ECD)	35
2.14 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	37
2.15 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	37
2.16 สัญลักษณ์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	37
2.17 สัญลักษณ์ของแกลเวนอมิเตอร์	38
2.18 แสดงการต่อแอมป์มิเตอร์เพื่อใช้งาน	39
2.19 แสดงการต่อโวลต์มิเตอร์เพื่อใช้งาน	40
3.1 ก. อุปกรณ์สำหรับทำเครื่องแยก HHO GAS แบบ Dry Cell ข. เครื่องแยก HHO GAS แบบ Dry Cell เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์	41
3.2 แสดงการออกแบบเซลล์เครื่องผลิต HHO	42
3.3 ภาพแสดงลำดับขั้นตอนการประกอบเครื่องผลิต HHO แบบ Dry cell	43
3.4 เครื่องแยก HHO Gas แบบ Wet cell	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับเอาไว้ใช้งานเอกสารฉบับนี้ไปจนหมดหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.5 ก. แผ่นชั้นระหว่างขั้ว ข. แผ่นขั้ว	44
3.6 แสดงการเรียงรูปแบบเซลล์	45
3.7 รูปแบบเซลล์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์	45
3.8 ภาพแสดงการต่อวงจรสำหรับการทดลอง	46
3.9 แสดงภาพเซลล์ต้นแบบและเซลล์ที่พัฒนา	47
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Gas กับปริมาณสารละลาย NaHCO <sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นต่างๆ	49
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ อุณหภูมิกับปริมาณสารละลาย NaHCO <sub>3</sub> ที่ความเข้มข้นต่างๆ	50
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Gas กับปริมาณสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ	51
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ อุณหภูมิกับปริมาณสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ	51
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Gas กับปริมาณสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ	52
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ อุณหภูมิกับปริมาณสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ	53
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Gas กับปริมาณสารละลาย NaHCO <sub>3</sub> , NaOH, KOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ	54
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ,NaHCO <sub>3</sub> และKOH	54
4.9 แสดงปริมาณ Output Gas ของเซลล์ต้นแบบ	57
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ต้นแบบ	57
4.11 แสดงปริมาณ Output Gas ของเซลล์ที่พัฒนา	58
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ที่พัฒนา	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยที่ดำเนินการขึ้นโดยไม่เอื้อประโยชน์ต่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหานี้และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Output Gas กับปริมาณความเข้มข้นของสาร NaOH ของ เซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา	60
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของเซลล์ต้นแบบกับเซลล์ที่พัฒนา	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อและสัญลักษณ์

### คำย่อและสัญลักษณ์

### ความหมาย

Anode

ขั้วแอโนด (ขั้วบวก) ขั้วที่เกิดออกซิเดชันได้แก่ ขั้ว A เพราะให้ e

B

Beta source

C

Graphite (มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าหรือกึ่งตัวนำไฟฟ้า)

Cu

Copper (ธาตุทองแดง ที่มีเลขอะตอม 29)

°C

Celsius (หน่วยวัดอุณหภูมิสากล เดิมใช้องศาเซนติเกรดปัจจุบันองศาเซลเซียสเพื่อเป็นเกียรติแก่ Anders Celsius)

Cathode

แคโทด (ขั้วลบ) ขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันได้แก่ขั้ว B เพราะรับ e

ECD

Electron Capture Detector (เป็นดีเทคเตอร์ที่ไวต่อสารประกอบอินทรีย์ที่มีอะตอมของธาตุที่มี electronegativity)

Fe

เหล็ก ที่มีเลขอะตอม 29

F

Adjusted flow rate (ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของตัวพาในคอลัมน์)

Fm

อัตราการไหลของตัวพาที่ออกจากคอลัมน์

FID

Flame ionization detector (ตรวจวัดสารตัวอย่างอินทรีย์ที่ระเหยกลายเป็นไอ)

FPD

Flame photometric detector ให้ก๊าซไฮโดรเจน ทำให้เกิดเปลวไฟ

GC

Gas chromatography (ก๊าซโครมาโตกราฟี)

GSC

Gas-solid chromatography (เทคนิคการวิเคราะห์การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของแข็ง )

GLC

Gas-liquid chromatography (เทคนิคการวิเคราะห์ การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว)

HHO GAS

Hydroxy Gas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

H<sub>2</sub>O

เป็นสูตรทางเคมีของน้ำ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H<sup>+</sup>

ไฮโดรเจนไอออน

## คำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

### คำย่อและสัญลักษณ์

### ความหมาย

HFD	Hydrogen Flame Detector (ค้นพบโดย Scott (ค.ศ. 1955) ต้องใช้ไฮโดรเจนหรือส่วนผสมของก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซอื่นเป็นตัวพา
I	กระแสไฟฟ้าหน่วยแอมแปร์ (A)
ICP	Emission in an inductively coupled plasma ( เครื่องวัดสเปกตรัมแสงในช่วงที่ความยาวคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงอุลตราไวโอเลต
j	Values of the pressure drop correction factor
$K_w$	Dissociation constant (ค่าคงที่ของการแตกตัวของน้ำ) มีค่าเท่ากับ $1 \times 10^{-14}$
$^{\circ}K$	เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิของ SI มีค่าเท่ากับ องศาเซลเซียส+273.15
LPG	Liquefied petroleum gas (ก๊าซที่หนักกว่าอากาศ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น)
M	น้ำหนักของเฟสอยู่กับที่
NGV	Natural gas vehicles ( ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ )
NMR	Neuclear magnetic resonance (กระบวนการดูดกลืนที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของนิวเคลียสในสนามแม่เหล็กภายนอก )
NPD	Nitrogen-phosphorus detector (ตัดแปลงมาจากดีเทคเตอร์ชนิด FID ให้มีความไวต่อสารประกอบที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
OH <sup>-</sup>	ไฮดรอกซิลไอออน
O <sub>2</sub>	ก๊าซออกซิเจน
pH	positive potential of the hydrogen ions (ค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน )
Pt	Platinum ( แพลททินัม )
ppm	Parts per million (ส่วนในล้านส่วน )
$P_w$	ความดันไอของน้ำ อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
$P_0$	ความดันของก๊าซตัวพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะทางเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

## คำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

คำย่อและสัญลักษณ์	ความหมาย
$\bar{P}$	ค่าเฉลี่ยของความดันตลอดคอลัมน์
Q	ปริมาณไฟฟ้าหน่วยเป็นคูลอมป์ (Coulomb)
T	เวลาของการทำอิเล็กโตรไลซิส หน่วยเป็นวินาที (Sec)
TR	อุณหภูมิห้อง
t	เวลาของการไหล
t <sub>m</sub>	เวลาที่ใช้ในการเดินทางออกจากคอลัมน์
TCD	Thermal conductivity detector (วัดค่าการนำความร้อนของก๊าซ)
VR	Retention volume (รีเทนชันโวลูม)
V <sub>g</sub>	Specific retention volume (รีเทนชันโวลูมจำเพาะ)
V <sub>m</sub>	Carrier retention volume (รีเทนชันโวลูมของตัวพา)
V <sub>n</sub>	Net retention volume (ความดันเฉลี่ยตลอดคอลัมน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องมาจากการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ๆจึงมีความสำคัญต่อประเทศไทยอย่างยิ่ง เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แหล่งพลังงานทดแทนต่างๆดังกล่าว ได้แก่ พลังงานจากชีวมวล พลังน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ประเทศไทยได้มีการพัฒนาและใช้พลังงานทดแทนมาเป็นเวลานานแล้ว เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำ จากพลังงานแสงอาทิตย์ จากแรงลมและจากความร้อนใต้พิภพ รวมทั้งการใช้มูลสัตว์ผลิตก๊าซสำหรับการเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม พลังงานทดแทนดังกล่าวที่สามารถผลิตได้เองยังมีปริมาณน้อยมากและมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้จากน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ

สำหรับงานวิจัยนี้ HHO GAS จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการหาพลังงานเชื้อเพลิงชนิดใหม่ นำมาใช้งาน เนื่องจากเชื้อเพลิงชนิดนี้เป็นพลังงานทดแทนที่สะอาดและไม่มีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงนับได้ว่าเชื้อเพลิงชนิด HHO GAS นี้อาจจะเข้ามามีบทบาทที่สำคัญในอนาคตในรูปแบบของการพัฒนาพลังงานในประเทศต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเกิด HHO GAS ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส
2. เพื่อศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้เหมาะสมกับระบบ
3. เพื่อให้ได้เครื่องกำเนิด HHO ที่ผลิตและทดสอบ HHO ได้

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างเครื่องกำเนิด HHO GAS
2. ทำการวิเคราะห์ HHO GAS ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

### 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

## ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวกับ HHO GAS

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการสร้างเครื่องกำเนิด HHO GAS

ขั้นตอนที่ 3 ทดลองสร้างเครื่องกำเนิด HHO GAS เพื่อผลิต HHO GAS

ขั้นตอนที่ 4 จัดทำรายงานผลการดำเนินงานวิจัย

## วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน										
	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	
ขั้นตอนที่ 1											
ขั้นตอนที่ 2											
ขั้นตอนที่ 3											
ขั้นตอนที่ 4											

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงกระบวนการการผลิต HHO GAS
2. ได้ทราบถึงกระบวนการวิจัยในเรื่องการสร้าง HHO GAS ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ
3. ได้ความรู้ในการสร้างเชื้อเพลิงชนิดใหม่และสามารถนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

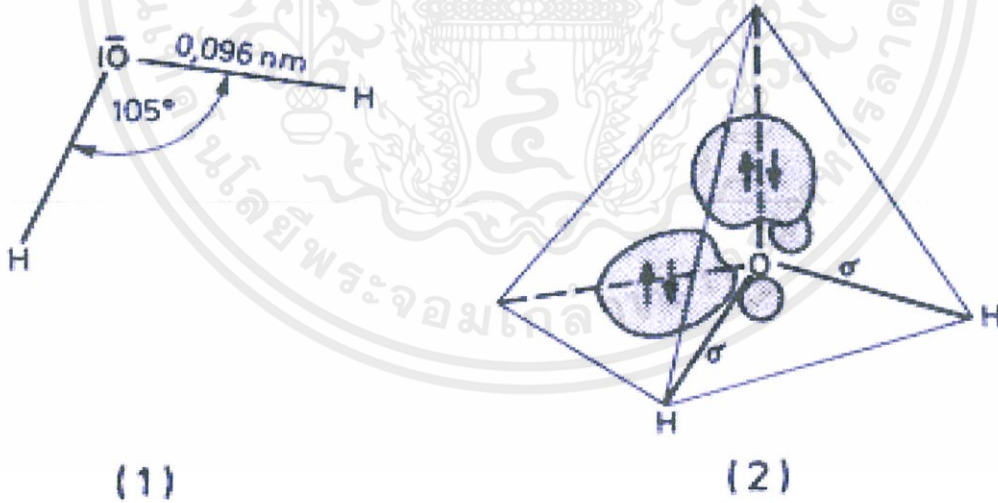
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปฏิกริยาไฟฟ้าและสมบัติของน้ำ

##### 2.1.1 น้ำ ( $H_2O$ )

โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยออกซิเจน 1 อะตอม จับกับไฮโดรเจน 2 อะตอม โดยพันธะโควาเลนต์ และการที่อะตอมของออกซิเจนมีอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegativity) มากกว่าไฮโดรเจน โมเลกุลของน้ำจึงมีขั้ว 2 ขั้ว (dipole) โดยอะตอมของไฮโดรเจนจะเป็นบวกเล็กน้อย ขณะที่อะตอมของออกซิเจนจะเป็นลบเล็กน้อย และเนื่องจากโมเลกุลของน้ำมีการกระจายประจุไม่สมดุลพันธะระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจนจึงไม่เป็นเส้นตรง มุมระหว่างพันธะในโมเลกุลเดี่ยวของน้ำในสถานะไอจะมีค่า 104.5 องศา และมีการกระจายของประจุรอบๆ โมเลกุลของน้ำเป็นมุมที่ใกล้เคียงกับมุมเตตระฮีดรัลคือ 105 องศา ความยาวของพันธะระหว่างไฮโดรเจนกับออกซิเจนอะตอมคือ 0.096 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

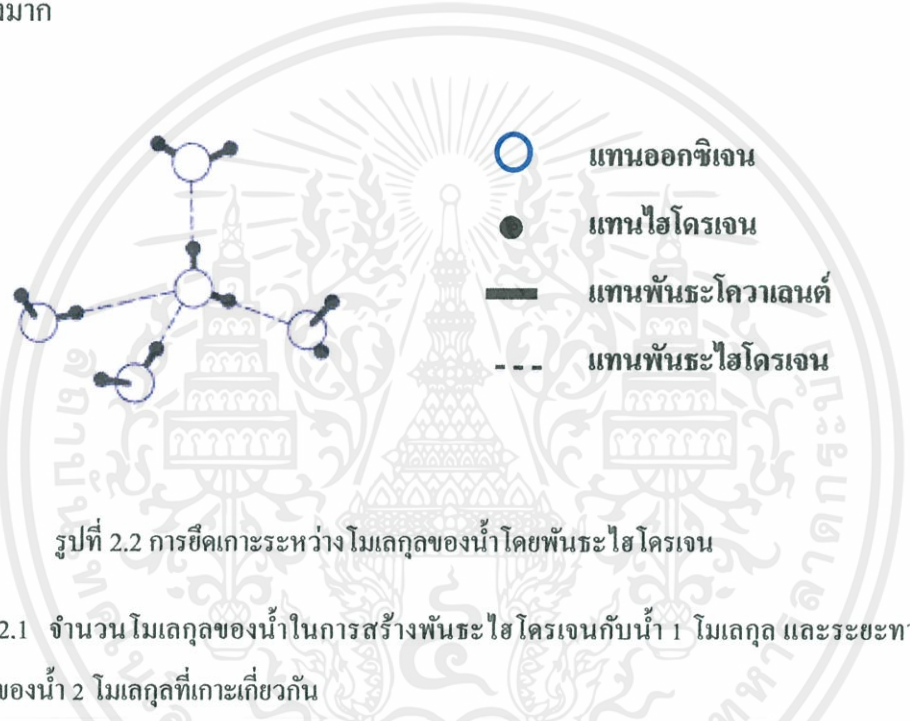
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) โครงสร้างโมเลกุลทางเรขาคณิต

(2) วงโคจรของประจุรอบๆ โมเลกุลเป็นรูปเตตระฮีดรัลในสามมิติ

การมีขั้วของน้ำและการกระจายประจุแบบเตตระฮีดรัลทำให้แต่ละ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวและของแข็ง สามารถยึดเกาะกับน้ำได้อีก 4 โมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดการเรียงตัวเป็น 3 มิติ ในรูปแบบเตตระฮีดรัล ดังรูปที่ 2.2 สำหรับน้ำที่อยู่ในสถานะเป็นของเหลว บางครั้งอาจมีจำนวนโมเลกุลของน้ำที่จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 2.1 พันธะไฮโดรเจนมีพลังงาน 2-40 กิโลจูล/โมล ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับพันธะโควาเลนต์ระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจน ซึ่งมีค่าถึง 335 กิโลจูล/โมล แต่เนื่องจากมีโมเลกุลของน้ำยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนจำนวนมาก จึงทำให้น้ำมีสมบัติแตกต่างจากสารอื่นที่น้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกันก่อนข้างมาก



รูปที่ 2.2 การยึดเกาะระหว่าง โมเลกุลของน้ำโดยพันธะไฮโดรเจน

ตารางที่ 2.1 จำนวน โมเลกุลของน้ำในการสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ 1 โมเลกุล และระยะทางระหว่าง โมเลกุล ของน้ำ 2 โมเลกุลที่เกาะเกี่ยวกัน

สถานะและอุณหภูมิ (°C)	จำนวน โมเลกุลที่เกาะเกี่ยวกัน	ระยะระหว่าง 2 โมเลกุล (Å)
น้ำแข็ง (0)	4.0	2.76
น้ำ (1.5)	4.4	2.9
น้ำ (83)	4.9	3.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 สมบัติของน้ำ

น้ำมีสมบัติต่างๆ เช่น จุดเดือด จุดหลอมเหลว ความหนาแน่น ความหนืด ความร้อนจำเพาะ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอ การนำความร้อน และการเป็นตัวทำละลายของน้ำเป็นสมบัติทางกายภาพของน้ำ ส่วนสมบัติทางเคมีของน้ำ เช่น การแตกตัวของโมเลกุลน้ำ ค่าพีเอชของน้ำและการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

1. จุดเดือด และจุดหลอมเหลว เมื่อน้ำในสถานะของเหลวได้รับความร้อนจะเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆและเกิดฟองอากาศเล็กๆ ฟูขึ้นสู่ผิวน้ำ เนื่องจากอากาศละลายในน้ำร้อนได้น้อยกว่าน้ำเย็น และเมื่ออุณหภูมิใกล้เดือดจะเกิดฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้น และที่อุณหภูมิน้ำเดือดจะเกิดฟองมากขึ้นและเร็วขึ้น และแตกก่อนที่จะถึงผิวน้ำจึงทำให้น้ำมีลักษณะกระเพื่อม เรียกว่าน้ำเดือด ซึ่งการฟูขึ้นของฟองอากาศ จะต้องมีแรงดันเพียงพอที่จะเอาชนะแรงกดของบรรยากาศ น้ำบริสุทธิ์เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ ( 760 มิลลิเมตรของปรอทหรือ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ) ส่วนน้ำที่อยู่ในสถานะเป็นของแข็ง เมื่อได้รับความร้อนจะทำให้โมเลกุลมีการ สั่นสะเทือนมากขึ้น จนเกิดการแลกเปลี่ยนพันธะไฮโดรเจนไปมาจนไม่สามารถคงรูปได้จึงเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว น้ำบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลว 0 องศาเซลเซียส และเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนมีการแลกเปลี่ยนไปมาจึงมีผลให้น้ำ 1 โมเลกุล เกาะเกี่ยวกับน้ำโมเลกุลอื่นได้เพิ่มขึ้นและระยะทางระหว่างโมเลกุลของน้ำ 2 โมเลกุลที่ติดกันจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2.1 และน้ำมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลจำนวนมาก การจะทำให้พันธะไฮโดรเจนแตกสลายจึงต้องใช้พลังงานสูง จึงมีผลให้น้ำมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงกว่าสารอื่นๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 จุดเดือดและจุดหลอมเหลวของน้ำและสารประกอบอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน

ชื่อสาร	สูตร โมเลกุล	น้ำหนัก โมเลกุล	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)
มีเทน	CH <sub>4</sub>	16	-161	-184
แอมโมเนีย	NH <sub>3</sub>	17	-33	-78
ไฮโดรเจนฟลูออไรด์	HF	20	19	-92
น้ำ	H <sub>2</sub> O	18	100	0

2. ความหนาแน่น หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร น้ำมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.9982 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และเพิ่มมากขึ้นเป็น 0.9998 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แต่เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสความหนาแน่นของน้ำจะลดลงเป็น 0.9168 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังข้อมูลในตารางที่ 2.3 น้ำมีความหนาแน่นสูงสุดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพราะที่อุณหภูมินี้ โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมีโมเลกุลของน้ำอิสระน้อยที่สุด ทำให้มีความหนาแน่นมากที่สุด

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำและน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่างๆ

สมบัติของน้ำ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
	0	20	40	60	80	100
ความดันไอ	4.58	17.53	55.32	149.40	355.2	760.0
ความหนาแน่น	0.998	0.9982	0.9922	0.9832	0.9718	0.9583
ความร้อนจำเพาะ	1.0074	0.9988	0.9980	0.9994	1.0023	1.0070
ความร้อนในการเป็นไอ	597.2	586.0	547.7	563.3	551.3	538.9
การนำความร้อน	0.486	0.515	0.540	0.561	0.576	0.585
แรงตึงผิว	75.62	72.75	69.55	66.17	62.60	58.84
ความหนืด	1.792	1.002	0.653	0.466	0.355	0.282
ดัชนีการหักเหแสง	1.3338	1.3330	1.3306	1.3272	1.3230	1.3180
ความดันไอ	4.58	3.01	1.24	0.77	0.47	0.28
ความร้อนในการหลอมเหลว	79.8	-	-	-	-	-
ความร้อนในการระเหิด	677.8	-	-	666.7	-	662.3
ความหนาแน่น	0.9168	0.9171	0.9178	0.9182	0.9185	0.9188
ความร้อนจำเพาะ	0.4837	-	-	0.4647	-	0.4504

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาดังกล่าวและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความร้อนจำเพาะ น้ำมีความร้อนจำเพาะสูงซึ่งเป็นสมบัติที่ผิดปกติอีกประการหนึ่งของน้ำที่แตกต่างจากสารประกอบอื่นๆ ทำให้น้ำสามารถดูดความร้อนหรือคายความร้อนออกมาได้เป็นจำนวนมากขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำในการดูดซับความร้อนหรือเก็บรักษาความร้อนไว้ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต น้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวและของแข็งจะมีความร้อนจำเพาะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และน้ำมีความร้อนจำเพาะสูงเมื่อเทียบกับสารอื่นๆ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความร้อนจำเพาะของสารต่าง ๆ เทียบกับน้ำ

ชนิดของสาร	ความร้อนจำเพาะ (cal/g)
อากาศ	0.3329
อะลูมิเนียม	0.214
เหล็กหล่อ	0.119
น้ำ	1.0
น้ำมันมะกอก	0.47

4. ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอ น้ำมีความร้อนแฝงในการหลอมเหลวและการกลายเป็นไอสูง เนื่องจากมีแรงยึดของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ เป็นจำนวนมาก ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวของน้ำ หมายถึง จำนวนพลังงานเป็นแคลอรีที่สามารถเปลี่ยนน้ำแข็ง 1 กรัมที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นของเหลวที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งมีค่าเป็น 80 แคลอรีต่อกรัม หรือ 1,436 กิโลแคลอรีต่อโมล

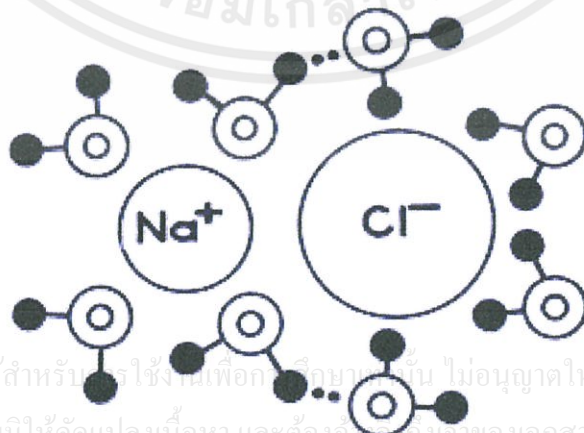
เมื่อน้ำได้รับพลังงานหรือความร้อนเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้นและพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายไปเรื่อยๆ แต่น้ำก็ยังคงรักษาสถานะเป็นของเหลวได้ จนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส และหากเราต้มต่อไป อุณหภูมิจะไม่เพิ่มขึ้น เพราะพลังงานความร้อนจะถูกใช้ในการทำลายพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำจนหมด ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ จำนวนพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ใช้เปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอ เรียกว่า ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำ

คือ จำนวนพลังงานความร้อนเป็นแคลอรีที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำ 1 กรัม จากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 539 แคลอรีต่อกรัม หรือ 9.705 กิโลแคลอรีต่อโมล การที่น้ำมีค่าความร้อนแฝงและความจุความร้อนสูง มีความสำคัญมากต่อกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะการแช่เยือกแข็งและการทำแห้ง รวมทั้งมีการนำไอน้ำมาใช้ประโยชน์ในการฆ่าเชื้อในอาหารกระป๋อง

5. แรงตึงผิว หมายถึง ความคงทนของผิวน้ำต่อแรงที่มากระทำหรือแรงที่ใช้รักษารูปทรงของหยดน้ำไว้ แรงตึงผิวของน้ำจะแสดงให้เห็นเมื่อลอยเข็มลงบนผิวน้ำอย่างระมัดระวังเข็มจะลอยน้ำได้ การที่เข็มลอยน้ำได้เนื่องจากผิวน้ำมีลักษณะเหมือนมีเยื่อบางๆ ปิดไว้ เมื่อน้ำรวมตัวกันอยู่ แรงตึงผิวจะเกิดขึ้น ไม่มากนัก เนื่องจากผิวสัมผัสมีน้อย คำว่า แรงตึงผิวจะใช้เมื่อน้ำสัมผัสกับอากาศ แต่ถ้าน้ำสัมผัสกับของแข็งหรือของเหลวเราจะเรียกว่าแรงตึงผิวที่หน้าสัมผัส

6. ความหนืด น้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีความหนืด 1.002 เซนติพอยส์ เมื่ออุณหภูมิลดลงความหนืดของน้ำจะเพิ่มขึ้น น้ำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส มีความหนืด 1.792 เซนติพอยส์ (ตารางที่ 2.3)

7. การเป็นตัวทำละลายของน้ำ น้ำเป็นสารที่มีขั้วจึงสามารถละลายสารอื่นๆ ที่มีขั้วได้ทั้งนี้ เพราะแรงดึงดูดระหว่างสารที่มีขั้วกับน้ำมีแรงมากกว่าพันธะไฮโดรเจนซึ่งเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำ ดังตัวอย่างการละลายของเกลือแกงในน้ำ (รูปที่ 2.3) สารที่มีขั้วทั้งหลาย เช่น น้ำตาลทราย เกลือแร่ต่าง ๆ เช่น เกลือแคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต สามารถละลายน้ำได้ และเกลือแร่ต่างๆ เหล่านี้มักพบในดินและในชั้นของหินที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้น้ำเหล่านั้นเกิดความกระด้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 การเรียงโมเลกุลของน้ำและเกลือแกงในสภาพสารละลาย

8. การแตกตัวของน้ำ โมเลกุลของน้ำสามารถแตกตัวออกเป็นไฮโดรไอออนและไฮดรอกซิลไอออนอย่างละเท่าๆ กันดังสมการต่อไปนี้



ดังนั้นน้ำบริสุทธิ์จะมีสมบัติเป็นกลางคือ ไม่เป็นกรดและไม่เป็นด่าง และน้ำบริสุทธิ์แตกตัวได้น้อยมากคือ 1 โมลของน้ำ จะแตกตัวได้ไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกซิลไอออนอย่างละ  $1.8 \times 10^{-9}$  โมล น้ำ 1 โมลหนัก 18 กรัม ดังนั้นน้ำบริสุทธิ์ 1 ลิตร ซึ่งหนัก 1,000 กรัม จะมีน้ำจำนวน  $1,000/18$  โมล ซึ่งเท่ากับ 55.56 โมล ดังนั้น น้ำบริสุทธิ์ 1 ลิตร จะมีไฮดรอกซิลไอออนและไฮโดรเจนไอออน  $1.8 \times 10^{-9} \times 55.56$  โมล ซึ่งเท่ากับ  $1.0 \times 10^{-7}$  โมล

9. ค่าพีเอช (pH) ของน้ำ ค่าพีเอช หมายถึง ค่า  $-\log$  ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน และเนื่องจากน้ำบริสุทธิ์ที่ 25 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเท่ากับ  $10^{-7}$  โมล/ลิตร

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] \\ &= 7 \end{aligned}$$

น้ำบริสุทธิ์จึงมีค่าพีเอชเป็น 7 และถ้ามีพีเอชลดลงแสดงว่า ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจะเพิ่มขึ้น น้ำนั้นจะมีฤทธิ์เป็นกรด

$$\begin{aligned} K_w &= [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.10^{-7} \times 1 \times 10^{-7} = 10^{-14} \\ &= \log [\text{H}^+] + \log [\text{OH}^-] = \log 10^{-14} \\ &= \text{pH} + \text{pOH} = 14 \end{aligned}$$

ดังนั้นสเกลของค่าพีเอชจึงถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 14 และพีเอช 7 เป็นค่าที่เป็นกลาง พีเอชต่ำกว่า 7 เป็นกรด สูงกว่า 7 เป็นด่าง

10. การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสนอกจากน้ำจะเป็นตัวทำละลายที่สำคัญแล้ว น้ำยังมี

หน้าที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิต เช่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





### 2.1.2 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) เป็นวิธีการในการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นในสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือเกลือที่หลอมเหลวโดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก อุปกรณ์ที่ใช้ทำกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสเรียกว่า “เซลล์แบบอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Cell)” ลักษณะของเซลล์จะมีอิเล็กโทรด 2 อัน จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ปลายอีกข้างหนึ่งของอิเล็กโทรดต่อเข้ากับอุปกรณ์จ่ายกระแสตรง เช่น แบตเตอรี่ ฯลฯ อิเล็กโทรดเป็นตัวนำพากระแสในลวดโลหะที่ใช้ ส่วนตัวนำพากระแสในสารละลายคือไอออน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นที่บริเวณอิเล็กโทรดทั้งสองที่สัมผัสกับสารละลาย ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในการเกิดกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระแส ความต่างศักย์ วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโทรดและรูปแบบของเซลล์

หลักการเบื้องต้นของการแยกก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า

Water  $\longrightarrow$  Hydrogen + Oxygen  
สามารถแสดงด้วยสมการเคมี คือ

$\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2 + \text{O}_2$   
ทำการดุลสมการเคมีเมื่ออยู่ในรูปของก๊าซจะได้ดังสมการเคมีต่อไปนี้



จากสมการน้ำ 2 โมเลกุลประกอบด้วยก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) 2 โมเลกุล และก๊าซออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) 1 โมเลกุล ซึ่ง  $\text{H}_2$  จะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นประจุบวก และ  $\text{O}_2$  จะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นประจุลบซึ่งจะวิ่งไปที่ขั้วไฟฟ้าบวก ดังนั้นจะพบว่าที่ขั้วไฟฟ้าลบจะเกิด  $\text{H}_2$  และขั้วไฟฟ้าบวกจะเกิด  $\text{O}_2$  ซึ่งที่กล่าวมาข้างต้นเป็นหลักการเบื้องต้นของการแยกไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้า

### 2.1.3 ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่มีการนำข้อมูลนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารนี้ถือว่าผิดกฎหมาย

ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ขั้วไฟฟ้าส่วนใหญ่ทำจากโลหะเป็นตัวนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าอาจทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านโดยไม่ให้เกิดปฏิกิริยา เรียกว่า ขั้วไฟฟ้าเฉื่อย (Inert)

electrode) เช่น แพลทินัม (Pt) แกรไฟต์ (C) เป็นต้น หรือขั้วไฟฟ้าอาจเป็นทั้งตัวกลางให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านและมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาคัวย เรียกว่า ขั้วไฟฟ้ากัมมันต์ (Active electrode) เช่น ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) เป็นต้น ในเซลล์ไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 นี้

#### 2.1.4 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution)

คือสาร ที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวก หรือ ไอออนลบเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็นสารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้ ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดเกลือ (HCl) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

#### 2.1.5 ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

##### 2.1.5.1 เลขออกซิเดชัน (Oxidation Number)

เลขออกซิเดชันเป็นเพียงตัวเลขที่กำหนดขึ้นมา เพื่อบ่งชี้ภาวะทางไฟฟ้าของแต่ละอะตอมของธาตุหรือแต่ละไอออน โดยคิดจากจำนวนอิเล็กตรอนที่อะตอมนั้นๆ ได้รับเพิ่มหรือเสียอิเล็กตรอนไปถ้าอะตอมนั้นเสียหรือให้อิเล็กตรอนไป อะตอมนั้นก็แสดงเลขออกซิเดชันเป็นบวก ถ้าอะตอมนั้นได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามา อะตอมนั้นก็แสดงเลขออกซิเดชันเป็นลบ แต่ถ้าอะตอมนั้นไม่ได้รับหรือไม่ได้ให้อิเล็กตรอน อะตอมนั้นก็จะมีเลขออกซิเดชันเป็นศูนย์

สารประกอบทุกชนิดไม่ว่าจะเกิดการรวมกันระหว่างอะตอมต่างๆด้วยพันธะใดก็ตาม แต่ละอะตอมจะมีค่าเลขออกซิเดชันเป็นบวกหรือลบนั่นขึ้นอยู่กับว่าอะตอมนั้นให้หรือรับอิเล็กตรอนในกรณีการให้และรับอิเล็กตรอนนี้จะเห็นได้ชัดเจนในสารประกอบพวกไอออนิก โดยพวกโลหะจะเป็นฝ่ายให้อิเล็กตรอนส่วนอโลหะเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน

##### 2.1.5.2 ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีสารที่ให้และสารที่รับอิเล็กตรอนเพื่อสารนั้นทำปฏิกิริยากัน ดังนั้นในปฏิกิริยารีดอกซ์จึงเกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนกัน ซึ่งมีผลทำให้เลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงเพิ่มหรือลดด้วยเสมอ ในปฏิกิริยารีดอกซ์ จะมีปฏิกิริยาย่อยเกิดขึ้น 2 ชนิดเสมอ

2.1.5.2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) คือปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน สารที่ให้อิเล็กตรอนเรียกว่า “ตัวรีดิวซ์” ผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้สารนั้นมีเลข

## ออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

2.1.5.2.2 ปฏิกริยารีดักชัน (Reduction Reaction) คือปฏิกิริยาที่มีการจับอิเล็กตรอน สารที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเรียกว่า “ตัวออกซิไดซ์” ผลของปฏิกริยารีดักชันทำให้สารนั้นมีเลขออกซิเดชันลดลง

### ปริมาณสัมพันธ์ในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

เนื่องจากประโยชน์ที่สำคัญของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสคือการใช้กระแสไฟฟ้าการผลิตสารเคมีในอุตสาหกรรมจึงมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับปริมาณสารที่เกิดขึ้นซึ่งเรียกว่า ปริมาณสัมพันธ์ในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

ไมเคิลฟาราเดย์ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้ากับปริมาณสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่ขั้วไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลซิส หน่วยปริมาณไฟฟ้าที่ใช้มีหน่วยเป็นคูลอมป์ (Coulomb, Coul) ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์

$$Q = IT \quad (2.1)$$

เมื่อ  $Q$  = ปริมาณไฟฟ้าหน่วยเป็นคูลอมป์ (Coulomb)

$I$  = กระแสไฟฟ้าหน่วยแอมแปร์ (A)

$T$  = เวลาของการทำอิเล็กโทรไลซิส หน่วยเป็นวินาที (Sec)

ปริมาณสารที่ฟาราเดย์ใช้คือ หน่วยกรัมสมมูลน้ำหนัก 1 กรัมสมมูลของสารใดๆคือน้ำหนักเป็นกรัมของสารที่เกิดขึ้น เนื่องจากการได้รับหรือเสียอิเล็กตรอน น้ำหนัก 1 กรัมสมมูลของสาร = น้ำหนักของสาร 1 โมล (g)/ $n$  เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่ให้ออกไปหรือรับเข้ามาต่อ 1 โมลของสาร

ไมเคิลฟาราเดย์ได้เขียนข้อสรุปเป็นกฎจากการทดลองว่า

1. ปริมาณสารซึ่งเกิดขึ้น หรือใช้ไปที่ขั้วไฟฟ้าของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลติกนั้น

2. เมื่อผ่านปริมาณไฟฟ้าที่เท่ากันลงไปในเซลล์อิเล็กโทรไลติกจะเกิดสารต่างๆที่ขั้วไฟฟ้าในปริมาณสมมูลเคมีที่เท่ากัน ถ้าใช้สาร 1 โมล ( $6.02 \times 10^{23}$ ) จะเกิดสารต่างๆเท่ากับ 1 กรัม สมมูลปริมาณอิเล็กตรอนที่ใช้สามารถหาเป็นปริมาณไปเข้าในหน่วยของคูลอมป์ได้

อิเล็กตรอน 1 อนุภาคมีประจุ  $1.602 \times 10^{-19}$  คูลอมป์

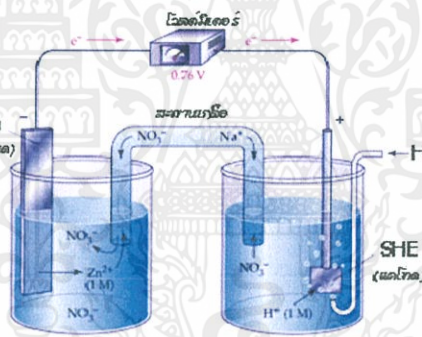
อิเล็กตรอน 1 โมลมีประจุ  $6.02 \times 10^{23} \times 1.602 \times 10^{-19}$  คูลอมป์

ดังนั้นอิเล็กตรอน 1 โมล = 96489 หรือประมาณ 96,500 คูลอมป์ ปริมาณไฟฟ้าของอิเล็กตรอน 1 โมล เรียกเป็นชื่อเฉพาะว่าปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ (F) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ = 1 โมลของอิเล็กตรอน = 96,500 คูลอมป์ ทำให้เกิดสารที่ขั้วไฟฟ้า 1 กรัมสมมูลเท่ากับในอิเล็กโทรไลซิส

กฎของฟาราเดย์สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณก๊าซและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า

### 2.1.6 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

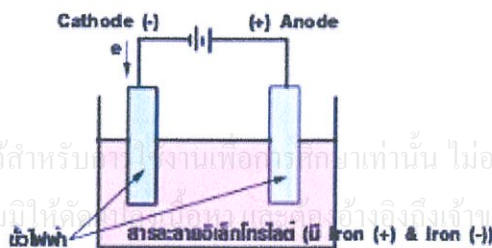
2.1.6.1 เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ 2 ครึ่งเซลล์มาต่อกัน และเชื่อมให้ครบวงจรโดยใช้สะพานไอออนต่อระหว่างครึ่งเซลล์ไฟฟ้าทั้งสอง



รูปที่ 2.4 แสดงเซลล์กัลวานิก

- แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ให้อิเล็กตรอนไหลออกเป็นขั้วลบ
- แคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันรับอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนไหลเข้าเป็นขั้วบวก

2.1.6.2 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ คือ เซลล์ที่ผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเซลล์อิเล็กโทรไลต์ติดกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 2.5 เซลล์อิเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำใบงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกสารประกอบไอออนิกหลอมเหลวด้วยไฟฟ้าจะแตกตัวให้ไอออนบวกและไอออนลบ ไอออนบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ (Cathode) เพื่อรับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยารีดักชันและไอออนลบเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก (Anode) เพื่อให้อิเล็กตรอนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

### 2.1.7 สมบัติของก๊าซ

ก๊าซมีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งมีปริมาณและรูปร่างไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ แต่เมื่อก้าวถึงก๊าซจะต้องระบุถึงปริมาตร อุณหภูมิ และความดัน

ปริมาตร (Volume) เนื่องจากโมเลกุลของก๊าซมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา และฟุ้งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ ปริมาตรของก๊าซจึงมักหมายถึงปริมาตรของภาชนะที่ใช้บรรจุก๊าซนั้นๆ หน่วยที่ใช้ทั่วไปได้แก่ ลิตร หรือลูกบาศก์เซนติเมตร

อุณหภูมิ (Temperater) ในการคำนวณเรื่องก๊าซนิยมใช้มาตราส่วนเคลวิน หรือเรียกว่ามาตราส่วนสัมบูรณ์

ความดัน (Pressure) หมายถึงแรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงนั้น ในกรณีที่ก๊าซอยู่ในภาชนะ ความดันของก๊าซเกิดจากการที่โมเลกุลของก๊าซชนผนังภาชนะนั้น หน่วยความดันที่นิยมใช้ได้แก่บรรยากาศ

### 2.1.8 ไฮโดรเจน

ไฮโดรเจน เป็นธาตุที่เบาที่สุดและเป็นองค์ประกอบของน้ำที่เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของสิ่งมีชีวิตบนโลก เป็นโมเลกุลที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ บรรยากาศในโลกมีก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 0.1 ppm. มีความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลเท่ากับ 436 กิโลจูล/โมล (104 กิโลแคลอรี/โมล) ดังนั้น เมื่อต้องการให้โมเลกุลไฮโดรเจนทำปฏิกิริยา จึงต้องใช้พลังงานเพื่อทำลายความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลดังกล่าว เช่น เพิ่มอุณหภูมิ ใช้สารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ไฮโดรเจนอะตอมประกอบด้วย นิวเคลียสที่อยู่ตรงกลาง ภายในนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอน และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบนอก เหมือนธาตุอื่นๆ ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป ขึ้นกับจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนที่ต่างกันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด 1. ทั้ง ไฮโดรเจน (Hydrogen) มีจำนวนโปรตอน 1 โปรตอนจำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอม

เท่ากับ 1.0078

2. ดิวเทอเรียม (Deuterium) มีจำนวน โปรตอน 2 โปรตอนจำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 2.0141
3. ทริเทียม (Tritium) มีจำนวน โปรตอน 3 โปรตอนจำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 3.0161

#### 2.1.8.1 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

1. ไม่มีสีและกลิ่น
2. มีอุณหภูมิจุดระเบิดสูงกว่าน้ำมันที่ 570 องศาเซลเซียส
3. เป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบาที่สุด
4. มีจุดเดือดต่ำมากที่ -253 องศาเซลเซียส
5. ติดไฟง่าย
6. ไม่เกิดประกายไฟขณะที่มีการเผาไหม้
7. มีการเผาไหม้ที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ออกไซด์ในขณะที่มีการสันดาป กล่าวคือ ในกระบวนการเผาไหม้ระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนจะได้พลังงานและน้ำออกมาเท่านั้น

#### 2.1.8.2 ประโยชน์ของก๊าซไฮโดรเจน

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ เช่น เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ
2. เป็นก๊าซมาตรฐานสำหรับการทดลองทางวิทยาศาสตร์
3. เป็นวัตถุดิบในทางอุตสาหกรรมหลายชนิด
4. นำไฮโดรเจนเหลวเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องบินไอพ่นและเป็นเชื้อเพลิงของ รถยนต์

#### 2.1.9 ออกซิเจน

ออกซิเจนเป็นแก๊สชนิดหนึ่งมีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ  $O_2$  เป็นแก๊สที่มีความสำคัญมากต่อการ

ดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ อากาศที่เราใช้หายใจทุกวันนี้มีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณ 21% โดย คำนวณค่า ปริมาตรมีไนโตรเจน 78% อีก 1% เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและอื่น ๆ แก๊สออกซิเจน ที่จะรวมตัวกับแก๊สอะเซทิลีนจะให้ค่าความร้อนสูงนั้นต้องเป็นออกซิเจนบริสุทธิ์

### 2.1.9.1 คุณสมบัติของก๊าซออกซิเจน

1. ไม่ติดไฟ แต่ช่วยให้ไฟติด
2. ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ในสภาพเป็นแก๊ส แต่ในสภาพของเหลวจะมีสีน้ำทะเลอ่อน
3. เป็นได้ทั้ง 3 สถานะ คือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง
4. มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ - 183 องศาเซลเซียส และกลายเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 218 องศาเซลเซียส ออกซิเจนบริสุทธิ์ในสภาพของเหลวจะใช้ช่วยในการจับคั้นจรวด ส่วนออกซิเจนที่อยู่ในสภาพแก๊สจะบรรจุขวดใช้สำหรับช่วยในการหายใจของนักบิน และคนไข้ในงานแพทย์ ในส่วนของงานอุตสาหกรรมจะใช้ในงานเชื่อมและงานตัด ออกซิเจนเมื่อรวมตัวกับธาตุอื่นจะเกิดปฏิกิริยาเรียกว่า “ออกซิเดชัน” (Oxidation) การเกิดออกซิเดชันนี้ ถ้าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะมีความร้อนและมีแสงเกิดขึ้น ซึ่งเราเรียกว่า “การสันดาป” ตัวอย่างการเกิดออกซิเดชันได้แก่ การเกิดสนิมในเนื้อเหล็ก แต่ปฏิกิริยาได้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ จึงมีความร้อนเกิดขึ้นน้อย ในขณะที่ขั้วกันเหล็กที่กำลังร้อนจัดเมื่อเพิ่มออกซิเจนเข้าจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อมีความดันลมช่วยเป่าก็จะทำให้เนื้อเหล็กที่กำลังเกิดออกซิเดชันหลุดออกทำให้เหล็กขาดออกจากกัน จากหลักการที่กล่าวมาจึงนำไปใช้กับการตัดเหล็กด้วยแก๊สได้เป็นอย่างดี

## 2.2 เชื้อเพลิงและการวิเคราะห์

### 2.2.1 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง หมายถึง สารที่สามารถเผาไหม้ได้โดยง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนและความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นสามารถนำมาใช้งานได้อย่างคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการจะนำสิ่งใดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้นั้น จำเป็นต้องสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมาก สามารถจัดหามาใช้ได้อย่างสะดวก เก็บรักษา ขนส่ง และใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้ สารที่เกิดจากการเผาไหม้ (เช่น ไอเสีย ขี้เถ้า เป็นต้น) ต้องไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ทางอากาศ ทางน้ำ ฯลฯ

เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้ตามสภาพทางกายภาพ เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อการพาณิชย์ได้

เชื้อเพลิงแข็ง หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ และ ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชนิดนี้ส่วนมากจะประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน และ เถ้า เมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศแล้วจะให้พลังงาน

ความร้อนออกมา โดยปกติเมื่อเกิดเผาไหม้คาร์บอนจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนไฮโดรเจนเมื่อเกิดการเผาไหม้จะได้น้ำ เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากธรรมชาติได้แก่ ถ่านหิน หินน้ำมัน ถ่านไม้ และถ่านโค้ก เป็นต้น

เชื้อเพลิงเหลว หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ เชื้อเพลิงประเภทนี้ ได้แก่ น้ำมันที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม น้ำมันจากพืช น้ำมันจากสัตว์ เป็นต้น เชื้อเพลิงเหลวเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้มากในประเทศไทยโดยจะนิยมใช้กับยานพาหนะ และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพราะสะดวกต่อการใช้งาน และ ให้ค่าทางความร้อนสูง เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้กันส่วนมากจะได้ออกจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา เป็นต้น สำหรับเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากพืชผลการเกษตร เช่น การผลิตไบโอดีเซล การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ เป็นต้น

เชื้อเพลิงก๊าซ หมายถึง เชื้อเพลิงที่มีสถานะที่เป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติ หรืออาจหมายถึงก๊าซทุกชนิดที่สามารถนำมาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดการเผาไหม้ทำให้ได้พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีสารไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และ ก๊าซแต่ละชนิดจะให้ความร้อนจากการเผาไหม้ที่ไม่เท่ากัน เช่น ก๊าซชีวมวล ก๊าซธรรมชาติหรือ ก๊าซ N.G.V. ก๊าซ L.P.G. เป็นต้น

## 2.2.2 วิธีการวิเคราะห์เชื้อเพลิง

### 2.2.2.1 ก๊าซโครมาโตกราฟี

ก๊าซโครมาโตกราฟี (GC) เป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์ ด้วยวิธีโครมาโตกราฟี ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะมีความสามารถแยกและวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้ และยังให้ผลเที่ยงตรง รวดเร็วกว่าเทคนิคโครมาโตกราฟี ก๊าซโครมาโตกราฟี มีเทคนิคในการวิเคราะห์ 2 วิธี คือ การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของแข็ง เรียกว่า “gas-solid chromatography” (GSC) และ การใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว เรียกว่า “gas-liquid chromatography” (GLC) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีเฟสเคลื่อนที่ได้เป็นก๊าซ เทคนิคทั้งสองได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยที่เทคนิคของ GLC เป็นที่นิยมกันมากกว่า ก๊าซโครมาโตกราฟี ใช้ได้กับสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ อุณหภูมิของคอลัมน์เท่านั้น ดังนั้นวิธีการของ ก๊าซโครมาโตกราฟีจึงเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยก

สารประกอบอินทรีย์เท่านั้น เพราะ สารประกอบอินทรีย์สามารถกลายเป็นไอได้ง่าย จะไม่ใช้วิธี ก๊าซโครมาโตกราฟีสำหรับการ วิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ เพราะสารประกอบอินทรีย์ไม่ สามารถกลายเป็นไอได้ใน อุณหภูมิปกติ (ที่ทำการทดลอง) ของคอลัมน์ วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี สามารถใช้ในการ วิเคราะห์ได้ทั้งทางคุณภาพและทางปริมาณ

### หลักการของก๊าซโครมาโตกราฟี (PRINCIPLES OF GAS CHROMATOGRAPHY)

หลักการของก๊าซโครมาโตกราฟี คือ เฟสเคลื่อนที่ต้องเป็นก๊าซ และสารตัวอย่างที่ใส่ ลงในคอลัมน์ ต้องมีสภาพเป็น ไอตั้งแต่บริเวณส่วนบนสุดของคอลัมน์ การอีลูทสารตัวอย่างออก จากคอลัมน์เกิด จากแรงพาของเฟสเคลื่อนที่ ซึ่งเรียกว่า ตัวพา (carrier) สำหรับตัวพาที่ใช้ ต้องเป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือฮีเลียม อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างแต่ละชนิดในคอลัมน์ขึ้นอยู่กับ การละลายของสารตัวอย่างนั้นๆ ในเฟสอยู่กับที่หรือขึ้นอยู่กับ สัมประสิทธิ์ของการกระจาย ซึ่ง ทฤษฎีของการกระจาย การอีลูท การเกิดแบนด์หรือพีก และ ทฤษฎีเพลตของก๊าซโครมาโตกราฟี นั้นเหมือนกับทฤษฎีต่างๆ ไปของโครมาโตกราฟี เนื่องจากก๊าซมีคุณสมบัติที่เกิดการเปลี่ยนแปลง อัตราการไหลและปริมาตรได้ง่าย ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันของคอลัมน์ ซึ่งมีผล โดยตรงต่อรีเทนชัน ไทม์ของ สารตัวอย่าง เพราะรีเทนชัน ไทม์แปรผันตรงข้ามกับอัตราการไหลของ ตัวพา ถ้าอัตราการไหล เพิ่มขึ้นรีเทนชัน ไทม์จะลดลง ดังนั้นในเรื่องของก๊าซโครมาโตกราฟีจึงใช้รี เทนชัน ไวลูม ( $V_R$ ) แสดงการเปรียบเทียบหรือพิสูจน์สารมากกว่ารีเทนชัน ไทม์ เพราะรีเทนชัน ไวลูม ไม่ขึ้นอยู่กับ อัตราการไหลของตัวพา และตัวแปรของคอลัมน์อีกหลายตัว แต่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ ของสาร ตัวอย่างและเฟสอยู่กับที่ ถ้ารีเทนชัน ไวลูมถูกวัดจากคอลัมน์ต่างชนิดกัน คือมีปริมาตรของ เฟส อยู่กับที่ต่างกัน ค่ารีเทนชัน ไวลูมที่ได้จะต่างกัน ในกรณีนี้ไม่สามารถนำค่ารีเทนชัน ไวลูมมา เปรียบเทียบกันได้ ถ้าต้องการเปรียบเทียบค่ารีเทนชัน ไวลูมที่ได้จากการทดลองที่ใช้คอลัมน์ ต่างกัน ต้องเปลี่ยนค่ารีเทนชัน ไวลูมที่วัดได้ให้เป็นค่ารีเทนชัน ไวลูมจำเพาะ (Specific retention volume),  $V_g$  โดยสามารถพิสูจน์สูตรสำหรับหาค่า  $V_g$  ให้อยู่ในเทอมของข้อมูลที่ ได้จากการทดลองได้

รีเทนชัน ไวลูมจำเพาะของสารตัวอย่างแต่ละชนิดสามารถหาค่าได้โดยมีหลักการ ดังนี้ ในการทำก๊าซโครมาโตกราฟีจำเป็นต้องทราบค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของตัวพาใน คอลัมน์ ( $F$ ) ที่มีอุณหภูมิของคอลัมน์เท่ากับ  $T_c$  แต่โดยปกติแล้วอัตราการไหลสามารถวัดได้ เมื่อตัวพาออกจาก คอลัมน์ ( $F_m$ ) ซึ่งเป็นอัตราการไหล ณ อุณหภูมิห้อง ( $T_R$ ) เราสามารถ แก้ไขอัตราการ ไหลของตัวพา ที่วัดได้ ณ อุณหภูมิห้องให้เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของตัว พาในคอลัมน์ได้จากสมการ

$$F = F_m \frac{T_c}{T_R} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$T_c$  และ  $T_R$  มีหน่วยเป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์

สมการที่ 2.1 ได้มาจากคำนิยามของอัตราการไหลคือ ปริมาตรหารด้วยเวลา

$$F = \frac{V}{t}$$

$$V = Ft \quad (t = \text{เวลาของการไหล})$$

และจากกฎของชาร์ลส์ (Charles' Law)

$$V \propto T$$

$$V = kT$$

$$\therefore Ft = kT$$

ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของตัวพาในคอลัมน์ที่มีอุณหภูมิ  $T_c$  คือ

$$F = \frac{k}{t} T_c$$

อัตราการไหลของตัวพาที่อุณหภูมิห้อง คือ

$$F_m = \frac{k}{t} T_R$$

นำสองสมการหารกัน จะได้สมการที่ (2.1)

เนื่องจากอัตราการไหลของตัวพาที่ออกจากคอลัมน์ ( $F_m$ ) สามารถวัดด้วยมิเตอร์วัด ฟองสบู่ (soap-bubble flowmeter) ซึ่งก๊าซตัวพาต้องผ่านลงในน้ำสบู่ก่อน ดังนั้น ต้องมีการ แก้ไขค่าอัตราการไหลของตัวพาให้ถูกต้อง เทอมที่จะแก้ไขค่าอัตราการไหลให้ถูกต้อง คือ  $\frac{P_0 - P_w}{P_0}$  เมื่อ  $P_0$  หมายถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่าการตีพิมพ์หรือการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ ไปใช้  
ความดันของก๊าซตัวพาที่ออกมาจากคอลัมน์  $P_w$  คือความดัน ไอของน้ำ  $P_0 - P_w$  คือความดันของก๊าซ  
ตัวพาที่ทำให้ฟองสบู่ลอยขึ้น แล้วอ่านค่าอัตราการ ไหลได้จากมิเตอร์ นั่นคือสมการที่ 2.1 ที่แก้ไข  
ความดันให้ถูกต้อง คือ

$$F = F_m \frac{T_C}{T_R} \times \left( \frac{P_0 - P_w}{P_0} \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

ค่าความดันไอของน้ำเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 2.5  
 ตารางที่ 2.5ค่าความดันไอของน้ำเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	$P_{w \text{orr}}$
15	12.8
16	13.6
17	14.5
18	15.5
19	16.5
20	17.5
21	18.7
22	19.8
23	21.1
24	22.4
25	23.8
26	25.2

ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของตัวพาในคอลัมน์ (F) บางทีเรียกว่า Adjusted flow rate สามารถใช้  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 คำนวณหาค่ารีเทนชันไวลูม ตามสมการ คือ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_R = t_R F$$

สำหรับองค์ประกอบที่ไม่เหลืออยู่ในคอลัมน์ หรือถูกพาออกจากคอลัมน์ พร้อมกับ การเคลื่อนที่ของตัวพาที่อากาศ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเดินทางออกจากคอลัมน์คือ  $t_m$  ตาม สมการ สามารถหาค่ารีเทนชัน โวลุ่มของตัวพาได้ คือ

$$V_m = t_m F$$

ทั้งค่า  $V_R$  และ  $V_m$  ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของความดันตลอดคอลัมน์ เมื่อความดัน ก่อนเข้าคอลัมน์ มีค่าเป็น  $P_i$  และความดันเมื่อออกจากคอลัมน์คือ  $P_0$  ดังนั้นต้องมีการแก้ไขค่า  $V_R$  และ  $V_m$  ให้เป็นปริมาตรที่สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของความดันตลอดคอลัมน์ ซึ่งเทอม ที่ใช้ในการแก้ไขคือค่า  $j$  ถ้าให้  $V_R^0$  และ  $V_m^0$  คือ ปริมาตรที่แก้ไข นั่นคือ

$$V_R^0 = j t_R F \dots \dots \dots (2.3)$$

$$V_m^0 = j t_m F \dots \dots \dots (2.4)$$

ในเมื่อ  $j = \frac{P_0}{P}$

$\bar{P}$  คือ ค่าเฉลี่ยของความดันตลอดคอลัมน์ ค่าเฉลี่ยความดันตลอดคอลัมน์ ไม่ได้หา ได้ง่ายๆ จากการเฉลี่ยของความดันก่อนเข้าคอลัมน์กับที่ออกจากคอลัมน์  $\left(\frac{P_i + P_0}{2}\right)$  แต่ ค่าเฉลี่ยความดันตลอดคอลัมน์สามารถหาได้จากสมการ

$$\bar{P} = \frac{2}{3} \left( \frac{P_i^3 - P_0^3}{P_i^2 - P_0^2} \right) * (1)$$

$$\therefore j = \frac{P_0}{P} = \frac{3}{2} \left[ \frac{(P_i/P_0)^2 - 1}{(P_i/P_0)^3 - 1} \right] \dots \dots \dots (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ในกรณีที่มีความดันเข้าเท่ากับความดันออกแฟลคเตอร์  $j$  จะมีค่า = 1 ซึ่งไม่เป็นไปตาม สมการที่ (2.5) ในกรณีนี้ไม่จำเป็นต้องแก้ไขค่า  $V_R$  และ  $V_m$  สามารถใช้ค่า  $V_R$  แทน  $V_R^0$  และ  $V_m$  แทน  $V_m^0$

ได้ จะเห็นได้ว่า  $j$  คือ ค่าสำหรับแก้ไขเมื่อเกิดการลดความดัน ซึ่งขึ้นอยู่กับ  $P_i/P_0$  ตามปกติ  $P_0$  ต้องน้อยกว่า  $P_i$  ตามตารางที่ 2.6 แสดงค่า  $j$  เมื่อมี อัตราส่วนของ  $P_i/P_0$  ต่างๆ กัน

ตารางที่ 2.6 ค่าสำหรับแก้ไขเมื่อเกิดการลดความดัน (Values of the pressure drop correction factor),  $j$

P	j	P/P <sub>0</sub>	j
1.00	1.00	1.80	0.695
1.10	0.952	1.90	0.668
1.20	0.907	2.00	0.643
1.30	0.865	2.10	0.619
1.40	0.826	2.20	0.597
1.50	0.790	2.30	0.576
1.60	0.756	2.40	0.557
1.70	0.725	2.50	0.539

\*(1) การพิสูจน์ที่มาของสมการนี้ สามารถดูได้ในหนังสือเฉพาะเรื่องของก๊าซโครมาโตกราฟี เช่น H. Purnell; Gas Chromatography, John Wiley and Sons: New York, 1962, p. 67.

ความแตกต่างระหว่างรีเทนชันโวลูมของสารตัวอย่าง กับรีเทนชันโวลูมของตัวพาหรือเฟสเคลื่อนที่ เรียกว่า Adjusted retention volume ( $V'_R$ )

$$V'_R = V_R - V_m$$

$$= Ft_R - Ft_m$$

$$= F(t_R - t_m) \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

รีเทนชันไทม์ของตัวพา ( $t_m$ ) ในก๊าซโครมาโตกราฟี ตามปกติวัดจากรีเทนชันไทม์ ของพิก

อากาศที่ปนมากับสารตัวอย่าง เมื่ออากาศไม่เป็นตัวหน่วงในคอลัมน์ ถ้าให้เน็ทรีเทนชันโวลูม (net retention volume),  $V'_R$  คือ adjusted retention volume ที่มี การแก้ไข ความดันเป็นความดันเฉลี่ยตลอดคอลัมน์แล้ว นั่นคือ

$$V_n = V_R' j = F(t_R - t_m)j \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{หรือ} \quad = V_R^0 - V_m^0 \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

เพื่อให้โวลูมของสารตัวอย่างชนิดเดียวกัน ที่ทำในห้องปฏิบัติการคนละที่ คือมีขนาดและความยาวคอลัมน์ต่างกัน สามารถเปรียบเทียบกันได้ ค่ารีเทนชันโวลูมต้องมีการ แก้ไขปริมาณของเฟสอยู่กับที่ซึ่งบรรจุในคอลัมน์และอุณหภูมิ ซึ่งค่าที่แก้ไขแล้วนี้เรียกว่า รีเทนชันโวลูมจำเพาะ ( $V_g$ ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าเนทรีเทนชัน โวลูมตามสมการที่ (2.9) คือ

$$V_g = V_n \times \frac{1}{M} \times \frac{273}{T_c} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

M คือ น้ำหนักของเฟสอยู่กับที่ การนำค่า  $V_n$  คูณกับค่า  $\frac{1}{M}$  นั้น เป็นการแก้ค่า เนทรีเทนชันโวลูมให้เป็นค่าเนทรีเทนชันโวลูมเมื่อมีเฟสอยู่กับที่ 1 กรัม ส่วนอัตราส่วน  $\frac{273}{T_c}$  นำมาคูณกับ  $V_n$  เพื่อปรับสภาพค่าเนทรีเทนชันโวลูม ให้เป็นค่าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หรือ 273 องศาเคลวิน แทนค่าสมการที่ 2.7 และ 2.8 ลงในสมการที่ 2.9 จะได้

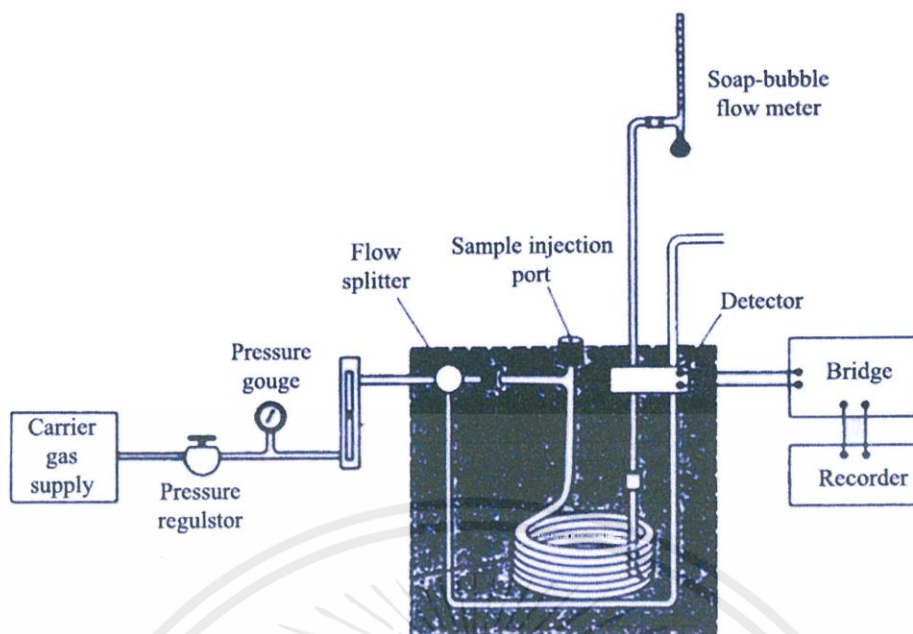
$$V_g = \frac{F(t_R - t_m)j}{M} \times \frac{273}{T_c} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{หรือ} \quad V_g = \frac{V_R^0 - V_m^0}{M} \times \frac{273}{T_c} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

สมการที่ 2.10 เป็นสมการสำหรับคำนวณหาค่า  $V_g$  จากข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการ ทดลอง โดยใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี ซึ่งมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์ทางคุณภาพ เพราะ สามารถใช้เป็นค่าที่เปรียบเทียบกันได้ แม้ว่าจะทำการทดลองต่างสถานที่กัน สารชนิดเดียวกันย่อมมีค่า  $V_g$  เท่ากัน ดังนั้น ด้วยวิธีการหาค่า  $V_g$  จากการทำก๊าซโครมาโตกราฟีจะทำให้ สามารถพิสูจน์ได้ว่าสารตัวอย่างนั้นคืออะไรได้

#### 2.2.2.2 เครื่องมือก๊าซโครมาโตกราฟี

เครื่องมือที่ใช้ในก๊าซโครมาโตกราฟีมีส่วนประกอบหลายส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทั้งแบบ GSC และการค่า และ GLC จะมีส่วนประกอบต่างๆ เหมือนกัน แตกต่างกันเฉพาะชนิดของ สารที่บรรจุในคอลัมน์ ดังนั้นเทคนิคและวิธีการวิเคราะห์ต่างๆ จึงเหมือนกัน



รูปที่ 2.6 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่องมือก๊าซโครมาโตกราฟี

ก๊าซตัวพาจะบรรจุไว้ในถังที่สามารถควบคุมความดันของก๊าซที่ปล่อยออกมาได้ สารตัวอย่างที่ถูกฉีดเข้าไปในเครื่องก่อนเข้าสู่คอลัมน์ ต้องถูกความร้อนทำให้กลายเป็นไอก่อน หลังจากนั้นจึงผ่านไปนในคอลัมน์ โดยมีก๊าซเป็นตัวพา หลังจากสารตัวอย่างถูกอีลูตออกจากคอลัมน์ด้วยก๊าซตัวพาจะเข้าสู่เครื่องตรวจวัด (Detector) ตัววัดจะเปลี่ยนขนาดของสารตัวอย่างให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ถ้าสารตัวอย่างมีปริมาณมาก สัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก็จะมีมาก สัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัววัดจะส่งไปยังเครื่องบันทึก เครื่องบันทึกจะบันทึกเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับขนาดของสัญญาณที่ได้รับ จากเครื่องวัด (Detector Response) ถ้าเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องมือก๊าซโครมาโตกราฟีกับการทำงานของร่างกายมนุษย์ จะได้ว่า ตัววัดเปรียบเสมือนสมองและคอลัมน์เปรียบเสมือนหัวใจ

พิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องมือก๊าซโครมาโตกราฟีตามลำดับดังนี้

#### 2.2.2.2.1 ก๊าซตัวพา (CARRIER GAS)

ก๊าซที่เป็นก๊าซตัวพาต้องเป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างได้ ก๊าซที่ใช้ทั่วไปคือ ฮีเลียม ไนโตรเจน และอาร์กอน ก๊าซเหล่านี้ไม่เป็นพิษต่อผู้ทดลอง ในบางกรณีไฮโดรเจนหรือก๊าซอื่นบางตัวก็สามารถใช้เป็นก๊าซตัวพาได้ ตามความเป็นจริงแล้ว ก๊าซไฮโดรเจนใช้ได้ผลดีที่สุดแต่ไม่ค่อยนิยมใช้ เพราะเกิดอันตรายได้ง่าย

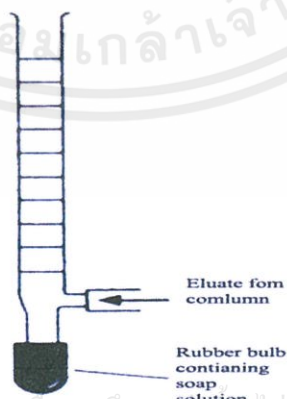
สรุปได้ว่าอัตราการไหลของก๊าซตัวพามีความสำคัญอยู่ 2 ประการ คือ

มีผลต่อค่ารีเทนชัน ไทม์ขององค์ประกอบของสารตัวอย่างที่ผ่านในคอลัมน์ ถ้า อัตราการไหลเร็วจะทำให้องค์ประกอบของสารออกจากคอลัมน์ได้เร็ว และลักษณะพีคจะกว้างมีผลต่อขนาดของสัญญาณของเครื่องดีเทคเตอร์ คือถ้าไหลช้าจะทำให้ความสูง ของพีคเพิ่มขึ้น ดังนั้นการควบคุมการไหลของก๊าซตัวพา จึงเป็นสิ่งสำคัญมากในการทำก๊าซ โครมาโตกราฟี การควบคุมการไหลของก๊าซทำได้โดยการควบคุมความดัน นอกจากนี้จะมี เครื่องควบคุมความดันของก๊าซแล้วต้องมีเส้นลวดที่มีรูเล็กๆ เป็นคาปิลลารีเข้าช่วยด้วย ซึ่งจะ ทำให้ตั้งระยะการไหลของก๊าซได้กว้างขึ้นจาก 0-200 ลบ.ซม. ต่อนาที หรือมีความดันเป็น 0-60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

วิธีวัดการไหลของก๊าซ ก๊าซที่ผ่านลงในคอลัมน์หรือออกจากคอลัมน์สามารถควบคุมการไหลได้ และจาก ความสำคัญของการไหลของก๊าซตัวพาดังที่กล่าวมา ตลอดจนค่าอัตราการไหลของก๊าซตัวพา

วิธีสังเกตการเคลื่อนที่ของฟองสบู่ (soap bubble)

วิธีนี้ใช้น้ำสบู่ใส่ลงในบิวเรตให้อยู่ที่ก้นของบิวเรตแล้วปล่อยก๊าซตัวพาออกจากเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีให้เข้าไปในบิวเรตทางข้างล่าง จะทำให้เกิดฟองสบู่ สังเกตการเคลื่อนที่ของฟองสบู่และจับตาดูในระยะ 1 นาที ปริมาตรของฟองสบู่ที่กระจายขึ้นไปในบิวเรตคือปริมาตรของก๊าซเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรใน 1 นาที เครื่องวัดอัตราการไหล ของก๊าซ (Flow meter) แบบนี้มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ (Flow meter) โดยวิธีสังเกตการณ์เคลื่อนที่ ของฟองสบู่

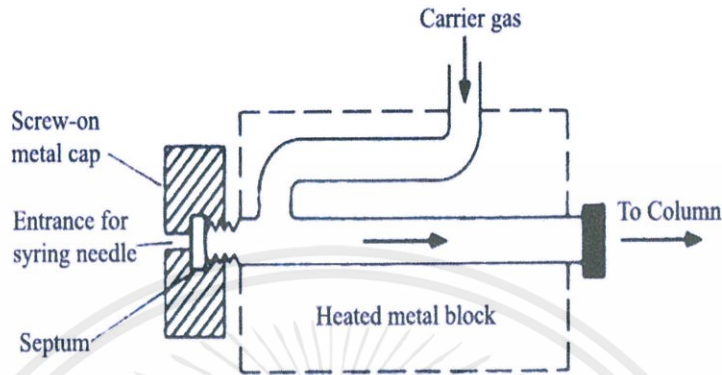
ก๊าซและสารตัวอย่างที่ไหลออกจากคอลัมน์จะไหลเข้าเครื่องวัดทางด้านข้างที่อยู่ตอนล่างของกัมบิวเรต ที่ตอนล่างของบิวเรตจะถูกปิดด้วยลูกยางและบรรจุน้ำสบู่ไว้เหนือหลอด ด้านข้างที่ก๊าซไหลเข้ามา ก๊าซที่ไหลมาจากคอลัมน์จะทำให้ น้ำสบู่เป็นฟอง แล้วเคลื่อนที่ขึ้นไป ตามบิวเรต ปริมาตรที่ฟองสบู่ใช้เคลื่อนที่ไปในบิวเรตต่อนาที คืออัตราเร็วของก๊าซนั่นเอง เรา สามารถเคลิเบรทสเกลที่บิวเรต (Calibrate) ให้สามารถอ่านเป็นอัตราการไหลของก๊าซใน หน่วย ลบ.ซม./นาที่ ได้

นอกจากนี้ลักษณะของเครื่องวัดอาจทำเป็นหลอดแก้วที่มีลูกบอลเบาๆ บรรจุอยู่ เมื่อผ่าน ก๊าซทางด้านล่างของหลอดแก้ว ความดันของก๊าซจะดันให้ลูกบอลลอยสูงขึ้น ความสูงของ ลูกบอล จะสัมพันธ์กับอัตราการไหลของก๊าซ สามารถเคลิเบรทสเกลให้อ่านค่าเป็นอัตราการ ไหลได้ เช่นกัน เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซในเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี สามารถไว้ได้ 2 ตำแหน่ง คือ ไว้ในตำแหน่งที่ก๊าซตัวพาท่อออกจากคอลัมน์ และไว้ในตำแหน่งก่อนที่ก๊าซตัวพาจะ เข้าคอลัมน์ ซึ่ง อยู่ระหว่างถังก๊าซกับส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง เพื่อควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ ตัวพา

#### 2.2.2.2.2 ระบบฉีดสารตัวอย่าง (SAMPLE INJECTION SYSTEM)

การฉีดสารตัวอย่างลงสู่คอลัมน์ในการทำก๊าซโครมาโตกราฟีต้องใส่ให้มีปริมาณน้อย ที่สุด และรวดเร็วที่สุด สารตัวอย่างจะมีคุณลักษณะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ถ้าเป็นของเหลว จะต้อง ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซก่อนที่จะเข้าคอลัมน์ด้วยความร้อนตรงส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง ปริมาณ ของสาร ตัวอย่างที่ใช้ ถ้าเป็นของเหลวประมาณ 0.005 ถึง 0.05 ลบ.ซม. ถ้าเป็นก๊าซ ประมาณ 1 ถึง 10 ลบ. ซม. เทคนิคในการนำสารตัวอย่างเข้าไปในคอลัมน์ขึ้นอยู่กับ คุณสมบัติของสารตัวอย่าง ถ้าสารตัวอย่างเป็นก๊าซสามารถนำใส่เข้าไปในคอลัมน์ได้หลายวิธี สำหรับงานที่เป็นกิจวัตรควรใช้ ระบบที่มีวาล์วปิดเปิดมากกว่า (gas sampling valve) ซึ่งทำให้ก๊าซผ่านเข้าเครื่องโดยตั้งปริมาตรได้ อย่างอัตโนมัติ สำหรับวิธีการใช้สารตัวอย่างบรรจุใน เข็มฉีดยา แล้วฉีดเข้าไปในคอลัมน์ก็สามารถ ทำได้แต่ได้ผลไม่ดีเท่ากับการใช้ระบบที่มีวาล์ว ถ้าสารตัวอย่างเป็นของเหลวสามารถนำเข้าสู่ คอลัมน์ได้โดยใช้เข็มฉีดยา (Syringe) เข็มฉีดยา ที่ใช้ต้องเป็นชนิดไมโครที่สามารถวัดขนาดได้ ละเอียดถึง 0.005 ลบ.ซม. ตามปกติสาร ตัวอย่างที่ใช้ก๊าซโครมาโตกราฟีจะเป็นของเหลวที่ อุดมหมู่มีห้อง เมื่อฉีดสารตัวอย่างก่อนเข้าสู่ คอลัมน์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไออย่างรวดเร็ว ณ บริเวณที่ เรียกว่า Sample chamber ซึ่ง ณ บริเวณนี้ต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารตัวอย่าง แต่ต้องไม่ สูงจนทำให้สารตัวอย่างเกิด การสลายตัวได้ หลังจากนั้นก๊าซตัวพาจะพาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์

ส่วนของ sample chamber จะมีรูปร่างได้หลายแบบแล้วแต่บริษัทผู้ผลิตออกแบบ แต่ไม่ว่าจะมีรูปร่างอย่างไร หน้าที่การทำงานจะเหมือนกัน ถ้าคุณภาพของส่วนประกอบของ Sample Chamber จะมี ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงส่วนประกอบของส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (Sample Chamber)

ถ้าสารตัวอย่างเป็นของแข็งจะทำการวิเคราะห์โดยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟีโดยตรงไม่ได้ ต้องใช้เทคนิคการนำสารตัวอย่างมาทำปฏิกิริยาทางเคมีให้ได้สารประกอบที่กลายเป็นไอได้ จากนั้นจึงนำไปฉีดเข้าคอลัมน์ เช่น กรดไขมันสามารถเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) ที่กลายเป็นไอได้โดยทำปฏิกิริยากับโบรอนไตรคลอไรด์ หรือโบรอน ไตรฟลูออไรด์ใน สารละลายเมทานอล ในบางกรณีใช้วิธีการเดิมส่วนของเครื่องมือไพโรไลซิส (Pyrolysis equipment) เข้ากับเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี สารตัวอย่างที่เป็นของแข็งจะถูกใส่ในเครื่องไพโรไลซิส เมื่อให้ความร้อนสูงพอจะสามารถกลายเป็นไอได้ ไอของสารตัวอย่างจะถูกพาเข้าไป ในเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีด้วยก๊าซตัวพา เครื่องไพโรไลซิสก๊าซโครมาโตกราฟีใช้สำหรับการ วิเคราะห์สารจำพวกโพลีเมอร์ และสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ การใช้วิธีการนี้ต้องระมัดระวัง วิธีการทดลองอย่างดี ต้องมีการตรวจสอบสารมาตรฐานเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมี Reproducibility ที่ดี

### 2.2.2.2.3 คอลัมน์ (COLUMN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ไปยังที่อื่น

1. Packed column คอลัมน์ชนิดนี้มีทั้งแบบที่ทำด้วยแก้วและทำด้วยโลหะ มี ลักษณะเป็นหลอดที่

มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 1 ถึง 8 มิลลิเมตร มีความยาวได้ ตั้งแต่ 2 ถึง 20 เมตร ถ้ามี

ความยาวมากๆ หลอดคอลัมน์จะถูกขดเป็นวงกลม (coil) เพื่อให้บรรจุลงในเตา (oven) ได้ คอลัมน์ชนิดนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้ง 2 แบบ

2. Capillary column คอลัมน์ชนิดนี้ใช้ได้เฉพาะการวิเคราะห์แบบ GLC เท่านั้น ความยาวของคอลัมน์มีค่ามากตั้งแต่ 10 ถึง 100 เมตร หรือมากกว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายในประมาณ 0.2 ถึง 0.5 มิลลิเมตร คอลัมน์คาปิลลารีส่วนใหญ่หรือเกือบทั้งหมดทำด้วย หลอดแก้ว เหตุผลที่ไม่ใช้โลหะเพราะโลหะสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีได้หลายชนิด และ เมื่อภายในคอลัมน์ต้องใช้อุณหภูมิสูงอาจทำให้โลหะเกิดปฏิกิริยาบางอย่างในคอลัมน์ได้ ตามปกติอุณหภูมิของคอลัมน์ต้องสูงกว่า จุดเดือดของสารตัวอย่าง 10 ถึง 25 องศาเซลเซียส การใช้ คาปิลลารีคอลัมน์ ในการทำ GLC ไม่ต้องใช้ของแข็งซัพพอร์ท (Solid Support) วิธีเตรียม คอลัมน์ทำได้โดยใช้ของเหลวซึ่งเป็นเฟสอยู่กับที่ใส่ในคาปิลลารีคอลัมน์ของเหลวนั้นจะฉาบที่ผิว ของคอลัมน์เป็นฟิล์มบางๆ ที่มีความหนาน้อยกว่า 1  $\mu\text{m}$  ความหนาของแผ่นฟิล์มของเหลว นั้นจะมีผลต่อการแยกด้วย คอลัมน์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการแยกสูงกว่า packed column ถึง 100 เท่า และสามารถใช้กับขนาดของสารตัวอย่างที่น้อยกว่า 0.01  $\mu\text{l}$  ความจุของ คอลัมน์คาปิลลารีสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยฉาบผิวของคอลัมน์แก้วด้วยวัสดุที่มีรูพรุน เช่น แกรไฟต์, โลหะออกไซด์ และซิลิเกต เสียก่อนให้มีลักษณะเป็น thin layer ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่ ผิวที่จะให้ของเหลวมาฉาบอยู่มากขึ้น เป็นการเพิ่มความจุของคอลัมน์การใช้คอลัมน์คาปิลลารี พบว่าผลของการลดลงของความดัน (pressure drop) เกิดขึ้นน้อยมากจนตัดทิ้งได้ คือ สามารถคิดค่า  $j = 1$  ค่าอัตราส่วน  $\text{m s V/V}$  ของคอลัมน์ชนิดนี้มีค่าในช่วง 100 ถึง 300 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะมีผลตามทฤษฎีมากมายหลายพันผล

จากการพิจารณาชนิดของคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลอง และวัสดุที่บรรจุภายในคอลัมน์สรุปได้ว่าวัสดุที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์มี 3 ชนิด คือ ของแข็งที่ทำหน้าที่เป็นเฟสอยู่กับที่ ของแข็งซัพพอร์ท และของเหลวที่ทำหน้าที่เป็นเฟสอยู่กับที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ของแข็งที่ทำหน้าที่เป็นเฟสอยู่กับที่ (Stationary solid phase)

ของแข็งชนิดนี้ใช้เฉพาะ packed column เท่านั้น ซึ่งนำไปใช้กับการวิเคราะห์ที่ เรียกว่า

GSC ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายของก๊าซสารตัวอย่างระหว่งเฟสของก๊าซที่ เคลื่อนที่กับเฟสของแข็งที่อยู่กับที่มีค่าสูงมาก เมื่อเทียบกับการใช้เฟสอยู่กับที่เป็นของเหลว

- ของแข็งซัพพอร์ท (Solid Supports)

วัสดุชนิดนี้ใช้กับการวิเคราะห์แบบ GLC เท่านั้น มีหน้าที่ช่วยทำให้ของเหลวซึ่งเป็น เฟสอยู่กับที่ ถูกยึดอยู่ในคอลัมน์ได้ และทำให้เฟสอยู่กับที่หรือของเหลวนั้นมีโครงสร้างทาง กายภาพที่เหมาะสม ของแข็งซัพพอร์ทต้องเป็นสารที่เสถียร ๓ อุณหภูมิของคอลัมน์ที่ใช้ในการ ทดลอง จะต้อง มีขนาดที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ ของแข็งซัพพอร์ทที่ใช้ส่วนใหญ่ได้มาจาก diatomaceous earths ( $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งประกอบด้วยกรูฟของ hydrated silica มีวิธีการอยู่หลาย วิธีที่จะทำให้ diatomaceous earths กลายเป็นของแข็งซัพพอร์ทที่ดี ถ้านำ diatomaceous earth มาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส จะได้สารของแข็งสีชมพู ซึ่งมีชื่อเรียกกันว่า โครโมซอร์บ พี (Chromosorb P) โครโมซอร์บ พี สามารถมีกลุ่มฟังก์ชันนอลเป็นโพลาร์ได้ ทำให้สามารถใช้เป็นของแข็งดูดซับใน GSC ได้ด้วย ถ้าไม่นำมาฉาบด้วยของเหลว แต่ เนื่องจากหลังจากที่โครโมซอร์บดูดซับสารตัวอย่างแล้ว ความสามารถในการอีลูทไม่ดีพอ จึง ต้องใช้ของเหลวฉาบบน โครโมซอร์บอีกทีหนึ่ง จึงจะทำให้การอีลูทเกิดได้ดี ทำให้โครโมซอร์บมี หน้าที่เพียงเป็นของแข็งซัพพอร์ท ความสามารถในการดูดซับจึง ขึ้นอยู่กับของเหลวที่ฉาบ สำหรับชื่อ โครโมซอร์บชนิดต่างๆ นั้นเป็นชื่อทางการค้า (trade name) ของบริษัทผู้ผลิต

ถ้า diatomaceous earth ถูกนำมาเผาโดยมีโซเดียมคาร์บอเนตผสมอยู่จะได้ ของแข็งสีขาวที่ เรียกว่า โครโมซอร์บดับบลิว (Chromosorb W) ถ้านำ diatomaceous earth มาทำด้วยวิธีการอื่นๆ จะได้ของแข็งซัพพอร์ทชนิดอื่นๆ อีกเช่น โครโมซอร์บ เอ (Chromosorb A) และโครโมซอร์บ จี (Chromosorb G) โครโมซอร์บชนิดต่างๆ ที่นำมาใช้ยังมีอีกหลายเกรด ขึ้นอยู่กับขนาดเมซของมัน ปกติมีค่าอยู่ในช่วง 30/50 ถึง 80/100 เมซ ขนาดที่นิยมใช้กัน มากที่สุดคือ 30/60 และ 60/80 เมซ ของแข็งซัพพอร์ทที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ GLC ต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. มีความพรุนสม่ำเสมอ ขนาดของรูพรุนไม่เกิน 10 ไมครอน
2. มีพื้นที่ผิวมากประมาณ 1-20 ตารางเมตร ต่อกรัม
3. มีความแข็งไม่แตกง่าย
4. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง
5. มีขนาดและรูปร่างเป็นแบบเดียวกันตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

-ของเหลวที่ทำหน้าที่เป็นเฟสอยู่กับที่ (Stationary liquid phase)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ของเหลวนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ซับสเตรต (Substrate) เป็นของเหลวที่มีจุด เดือดสูง ใช้ฉาบบน  
ของแข็งซัพพอร์ท ซึ่งใช้บรรจุใน packed column หรือฉาบที่ผิวของ คอลัมน์คาปิลลารีในการทำ

GLC ของเหลวที่สามารถใช้เป็นขั้วเสถียรได้มีหลายร้อยชนิด สำหรับตัวที่นิยมใช้และใช้กันมากได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.7 ของเหลวที่สามารถนำมาใช้เป็นเฟสอยู่กับที่ได้ในการทำ GLC ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

1. เป็นตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับองค์ประกอบที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น มีโพลาไรตีเหมือนกับสารตัวอย่าง
2. ต้องทำให้เกิดการแบ่งส่วนที่แตกต่างกันของแต่ละองค์ประกอบในสารตัวอย่างระหว่างเฟสทั้งสอง
3. เสถียรที่อุณหภูมิสูงๆ
4. มีความดันไอที่อุณหภูมิกายในคอลัมน์ต่ำ
5. ไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารตัวอย่าง

ตารางที่ 2.7 เฟสของเหลวหรือขั้วเสถียรที่นิยมใช้บางตัว

Liquid Phase	Typical Samples	Polarity*	Max. Temp., Co
Squalane	Hydrocarbons	N	125
Apiezon L	High boiling hydrocarbons, esters, ethers	N	300
Methyl silicone	Steroids, pesticides, alkaloids, esters	N	300
Dinonyl phthalate	All types	I	175
Silicone oil	All types	I	275
Diethyleneglycol succinate	Esters	P	200
Carbowax 20M	Alcohols, aromatics amines, ketones	P	250
Polyamid Resin	Amino compounds	P	300
$\beta$ , $\beta$ -Oxydipropionitrile	Olefins, alcohols,	P	100

#### 2.2.2.2.4 ดีเทคเตอร์ (DETECTOR)

ดีเทคเตอร์เปรียบเสมือนสมองของเครื่อง ก๊าซโครมาโตกราฟี ทำหน้าที่ตรวจสอบสาร ที่ออกจากคอลัมน์ว่ามีปริมาณมากน้อยเท่าไร ดังนั้น ดีเทคเตอร์ที่ใช้ต้องไวต่อสารมาก และมี reproducibility ด้วย ถ้าพิจารณาการทำงานของเครื่องดีเทคเตอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. เมื่อสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์แล้วเข้าเครื่องดีเทคเตอร์ที่สามารถวัดปริมาณได้ โดยตรง
2. เมื่อสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์เข้าเครื่องดีเทคเตอร์ ดีเทคเตอร์จะทำหน้าที่ ตรวจสอบขนาดแล้ว เปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่ง ไปยังเครื่องบันทึก

ชนิดของดีเทคเตอร์แบบที่ 1 ได้แก่

\*Automatic Recording Buret เครื่องดีเทคเตอร์นี้คิดโดย James และ Martin (ค.ศ. 1952) ใช้เฉพาะไอสารที่เป็นกรดหรือเบส ไอของสารที่ระเหยออกมาจะดูดซึมเข้าไปใน ดีเตรชัน เซลล์ และถูกดีเตรตโดยอัตโนมัติ

\*ไนโตรมิเตอร์ (Nitrometer) นำมาใช้โดย Janak (ค.ศ. 1953) เครื่องนี้ใช้ได้ เฉพาะการใช้ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เป็นตัวพาเท่านั้น

\*Infrared Analyzer วิธีนี้แนะนำโดย Martin และ Smart (ค.ศ. 1955) ไอของ สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์สามารถดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้แตกต่างกันตามปริมาณและ ชนิดของสาร ดังนั้นไอของสารที่ออกจากคอลัมน์จึงสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อโดยวิธี Infrared spectrophotometry

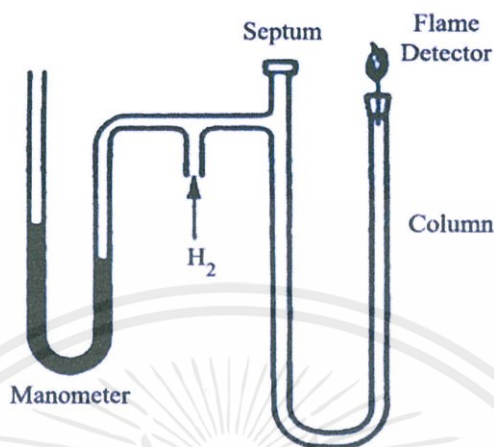
\*Mass spectrometer องค์ประกอบที่ออกจากคอลัมน์ในการทำก๊าซโครมาโตกราฟีสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อโดยใช้เครื่องมือ mass spectrometer ซึ่งทำให้สามารถพิสูจน์ หรือทำนายชนิดของ องค์ประกอบต่างๆ ได้ดีเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมาก เพราะได้ผลดี

นอกจากนี้อาจใช้เครื่องมือของทางสเปกโตรสโคปิกชนิดอื่นๆ เป็นดีเทคเตอร์ได้ โดย นำ เครื่องมือนั้นมาต่อเข้ากับคอลัมน์ของก๊าซโครมาโตกราฟี เช่น atomic absorption, emission in an inductively coupled plasma (ICP), nuclear magnetic resonance (NMR) และ x-ray absorption หรืออาจใช้เครื่องดีเทคเตอร์ที่วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสาร ที่ออกมาจากคอลัมน์ เช่น Conductometric detector, Coulometric detector หรือใช้เครื่อง ดีเทคเตอร์ที่วัดกัมมันตภาพรังสีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคุณใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเครื่องดีเทคเตอร์แบบที่ 2 ได้แก่

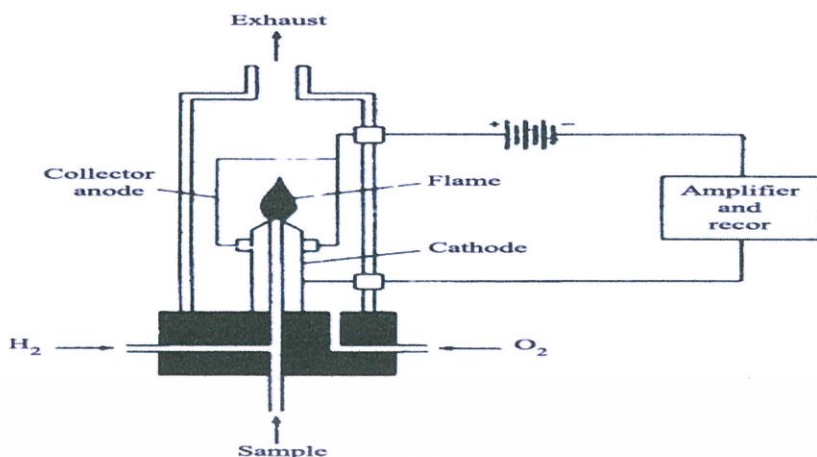
\*Hydrogen Flame Detector (HFD) ค้นพบโดย Scott (ค.ศ. 1955) ต้องใช้ ก๊าซไฮโดรเจนหรือ ส่วนผสมของก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซอื่นเป็นตัวพา คีเทคเตอร์ชนิดนี้เป็นชนิด ที่ง่ายและธรรมดา ที่สุด มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Hydrogen Flame Detector (HFD)

ก๊าซไฮโดรเจนที่เป็นตัวพาเมื่อผ่านออกจากคอลัมน์จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดเปลวไฟขึ้น โดยที่ ไฮโดรเจนจะถูกเผาผลาญแล้วให้เปลวไฟที่ไม่มีสี เมื่อใส่สารตัวอย่างซึ่งเป็นสารอินทรีย์ เข้าไปใน คอลัมน์จะถูกก๊าซไฮโดรเจนซึ่งใช้เป็นตัวพาเข้าไปยังเปลวไฟ จะมีผลทำให้เปลวไฟ เกิดสีเหลือง เนื่องจากเกิดการเผาผลาญสารอินทรีย์ เมื่อเกิดเปลวไฟสีเหลืองขึ้นเราก็ทราบได้ทันทีว่าสารอินทรีย์ ถูกอีลูตออกจากคอลัมน์แล้ว อาจใช้นาฬิกาจับเวลาเมื่อเกิดเปลวไฟสีเหลือง ขึ้น จะทำให้ทราบว่าค่า รีเทนชันไทม์ได้ สำหรับปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกอีลูตออกมาจะมี ผลทำให้เปลวไฟสีเหลืองที่ เกิดขึ้นมีขนาดสูงหรือต่ำ ถ้าปริมาณสารมีมากเปลวไฟที่ได้จะสูง และถ้าปริมาณสารมีน้อยเปลวไฟ จะต่ำ หรือให้แสงที่โชติช่วงต่างกัน ดังนั้น ถ้าสามารถวัด ความร้อนแรงของเปลวที่เกิดขึ้นหรือวัด ความเข้มของแสงที่เกิดขึ้นได้ ก็สามารถหาปริมาณของ สารตัวอย่างอินทรีย์ได้ เพราะปริมาณของ สารจะสัมพันธ์โดยตรงกับความร้อนแรงของเปลวไฟ หรือความเข้มของเปลวไฟ ดังนั้นเราสามารถ ใช้ thermocouple วัดความร้อนแรงของเปลวไฟ หรือใช้ photo cell วัดความเข้มของเปลวไฟ

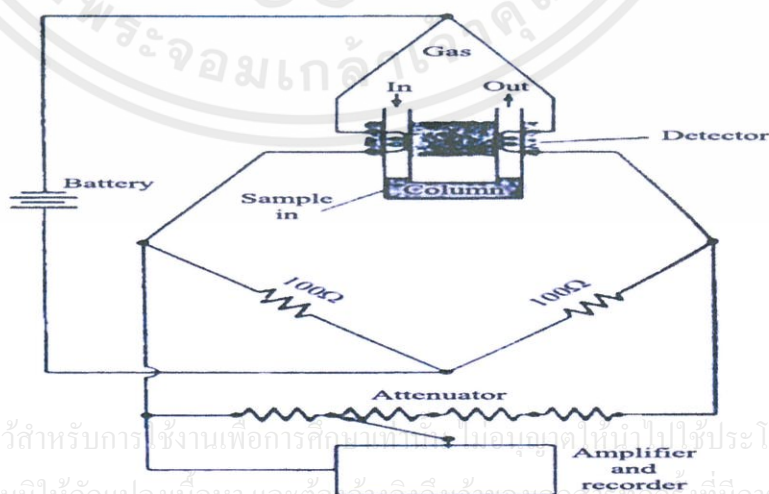
\*Flame ionization detector (FID) เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ทุกตัวสามารถ เกิดการไอ ออนไนซ์ (ionization) ได้ในเปลวไฟ ทำให้เกิดกระแสของไอออนที่สามารถสะสมอยู่ระหว่างขั้วที่มี ประจุตรงข้าม 2 ขั้วได้ตามปริมาณของไอออน กระแสที่เกิดขึ้นนี้ยังมีปริมาณ น้อยต้องใช้เครื่อง อิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อขยายให้มีปริมาณกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้น คีเทคเตอร์ชนิดนี้จึงมี ราคาแพงพอสมควร ลักษณะของคีเทคเตอร์ชนิดนี้มีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Flame ionization detector (FID)

เครื่องดีเทคเตอร์ชนิด FID สามารถตรวจวัดสารตัวอย่างอินทรีย์ที่ระเหยกลายเป็นไอ ได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นสารประกอบที่ถูกออกซิไดซ์มาแล้ว เช่น Carbonyl และ Carboxyl group สารประกอบอินทรีย์ที่ไม่สามารถตรวจสอบด้วยดีเทคเตอร์ชนิดนี้ได้

\*Thermal conductivity detector (TCD) เทอร์มัลคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์ ประกอบด้วยใยเส้นลวด (filament) ที่ทนความร้อนอยู่ตรงกลางหลอดเล็กๆ หรือแท่งโลหะที่ ก๊าซต้องผ่านเข้าไป ใยเส้นลวดจะถูกทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า เมื่อผ่านสารที่ถูกแยกพร้อม ก๊าซตัวพาไปยังเส้นลวด มันจะเป็นตัวนำความร้อนออกจากใยเส้นลวด ทำให้ความร้อนของใย เส้นลวดเปลี่ยนแปลง เมื่อปรับ ความร้อนของใยเส้นลวดให้เท่าเดิม โดยปรับความต้านทานของ วงจรไฟฟ้า จะทำให้เกิดสัญญาณ ส่งเข้าเครื่องบันทึกผล (Recorder) ซึ่งขนาดของสัญญาณจะ สัมพันธ์กับปริมาณของสารตัวอย่าง นั่นเอง ลักษณะของเทอร์มัลคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์แสดงไว้ ในรูปที่ 2.11

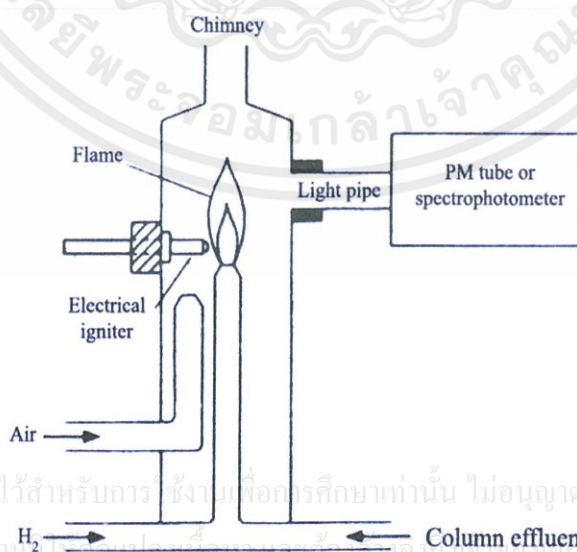


รูปที่ 2.11 เทอร์มัลคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ในอนาคตหากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากดีเทคเตอร์ชนิดนี้ เป็นชนิดหนึ่งที่วัดค่าการนำความร้อนของก๊าซ ดังนั้นจึง เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรักษาให้ผนังของเครื่องดีเทคเตอร์มีอุณหภูมิคงที่เสมอ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ทางปริมาณได้ผลถูกต้อง ตารางที่ 6.5 เป็นตารางแสดงค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของไอของสารชนิดต่างๆ จากตารางจะเห็นว่าก๊าซไฮโดรเจน และ ฮีเลียมมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ มาก ดังนั้นควรใช้ก๊าซไฮโดรเจน หรือฮีเลียม เป็นก๊าซตัวพาผ่านไปในเครื่องก่อน จนกระทั่งอุณหภูมิของดีเทคเตอร์คงที่ หลังจากอีลูทสารตัวอย่างต่างๆ ที่เป็นสารอินทรีย์ออกจากคอลัมน์เข้าดีเทคเตอร์จะปรากฏว่า การนำความร้อนของก๊าซออกจากใยเส้นลวดจะลดลง ทำให้ใยเส้นลวดมีอุณหภูมิสูงขึ้น วงจรไฟฟ้าจะไม่สมดุลเกิดการปรับใหม่เพื่อทำให้ความร้อนของใยเส้นลวดเท่าเดิม จึงทำให้เกิด เป็นสัญญาณไปยังเครื่องบันทึก แต่ถ้าใช้ในไฮโดรเจนเป็นก๊าซตัวพาจะทำให้ความไวลดลง เพราะว่าค่าการนำความร้อนของไฮโดรเจนใกล้เคียงกับสารตัวอย่างมาก

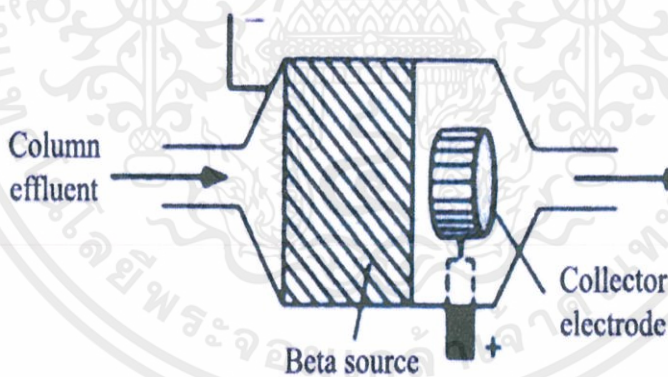
\*Flame photometric detector (FPD) ดีเทคเตอร์ชนิดนี้ให้ก๊าซไฮโดรเจน ทำให้เกิดเปลวไฟ เช่นเดียวกับ FID แทนที่จะวัดปริมาณไอออนของสารตัวอย่างที่เกิด ไอออนไนซ์ FPD จะใช้หลอด photomultiplier วัดปริมาณแสงที่ถูกปล่อยออกมาในเปลวไฟ เมื่อไอออนของสารตัวอย่างเข้าไปในเปลวไฟ ตามปกติ FPD จะใช้ในการวิเคราะห์ สารประกอบที่มีซัลเฟอร์หรือฟอสฟอรัส หรือสารประกอบจำพวก organometallic ที่มีอะตอม ของโลหะที่สามารถถูก excited ในเปลวไฟของไฮโดรเจนได้ หรือสารประกอบที่มีอะตอมของ ฮาโลเจน



รูปที่ 2.12 Flame photometric detector

\*Electron Capture Detector (ECD) หลักการของดีเทคเตอร์ชนิดนี้ คือ ก๊าซ ตัวพาที่ออกจากคอลัมน์เข้าดีเทคเตอร์จะถูกทำให้เกิดการไอออไนซ์ด้วยรังสีเบต้า ( $\beta$ ) ที่เกิด จากสารกัมมันตภาพรังสี เช่น  $^3\text{H}$  หรือ  $^{63}\text{Ni}$  หรือ  $^{55}\text{Fe}$  จากการไอออไนซ์จะทำให้เกิด อิเล็กตรอนและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นนี้จะวิ่งไปที่ขั้วสะสม (collector electrode) ทำให้เกิดความ ต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง และยังมีอิเล็กตรอนเหลืออยู่อีกจำนวนหนึ่งเป็น electron cloud ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เมื่อมีสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์เข้าไปในดีเทคเตอร์โมเลกุลของ สารตัวอย่างจะดูดกลืนอิเล็กตรอนไว้ได้จำนวนหนึ่งตามปริมาณของสารตัวอย่าง ทำให้กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้เกิดเป็นสัญญาณ ส่งไปยังเครื่องบันทึก

ก๊าซตัวพาที่เหมาะสมสำหรับ ECD คือไนโตรเจน หรืออาร์กอน +10% มีเทน ความไวของเครื่องขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของก๊าซตัวพาซึ่งทำให้เกิด electron cloud และ อุณหภูมิของดีเทคเตอร์เนื่องจากก๊าซออกซิเจนและน้ำเป็นสารที่ดูดกลืนอิเล็กตรอนได้ ดังนั้น ถ้าก๊าซตัวพามีน้ำหรือออกซิเจนปนอยู่จะทำให้ความไวของเครื่องดีเทคเตอร์ลดลง ลักษณะของ ดีเทคเตอร์ ECD แสดงไว้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 Electron Capture Detector (ECD)

ECD เป็นดีเทคเตอร์ที่ไวต่อสารประกอบอินทรีย์ที่มีอะตอมของธาตุที่มี electronegativity สูง เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ออกซิเจน และฮาโลเจน ECD เป็นดี เทคเตอร์ที่ใช้ได้ดีสำหรับงาน วิเคราะห์สารจำพวกยาฆ่าแมลง สารประกอบอินทรีย์ที่มีตะกั่วและ พวก polychlorinatedbiphenyl ECD ไม่สามารถวิเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอนที่ อิ่มตัวได้ สารประกอบที่ไม่สามารถใช้กับดีเทคเตอร์ FID และ TCD สามารถนำมาใช้กับ ECD ได้ผล sPCB

\*ดีเทคเตอร์ชนิดอื่นๆ ยังมีดีเทคเตอร์ชนิดอื่นๆ อีกนอกเหนือจากที่กล่าวมา ซึ่ง ได้ผลิตขึ้นมาสำหรับใช้กับงานเฉพาะอย่างหรือเป็นดีเทคเตอร์ที่ดัดแปลงแก้ไขมาจากดีเทคเตอร์ ที่กล่าวมาแล้วเพื่อให้มีความไวสูงขึ้นสำหรับงานเฉพาะอย่างที่ต้องการ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ดีเทคเตอร์ (Nitrogen-phosphorus detector , NPD) ดีเทคเตอร์ชนิดนี้ได้ ดัดแปลงมาจากดีเทคเตอร์ชนิด FID เพื่อให้มีความไวต่อสารประกอบที่มีไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสเท่านั้น ดีเทคเตอร์ NPD มีเกลืออัลคาไลเฮไลด์ (alkali-halide salt) วางอยู่เหนือ เปลวไฟ เกลืออัลคาไลด์จะมีผลทำให้ความไวของดีเทคเตอร์ที่มีต่อสารประกอบของไนโตรเจน

การพิจารณาว่าควรเลือกใช้ดีเทคเตอร์ชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารและความไว ของดีเทคเตอร์ ดีเทคเตอร์แต่ละชนิดเหมาะสำหรับวิเคราะห์สารแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ต้อง เลือกใช้ให้ตรงตามความสามารถของมัน อย่างไรก็ตามเราสามารถสรุปได้ว่า ดีเทคเตอร์ที่ดี ต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

1. เสียงรบกวนที่เกิดขึ้นควรมีน้อยมาก (Low noise level)
2. มีความไวสูง (High sensitivity) และควรวัดต่อไอของสารทุกชนิด
3. มีความรู้สึกต่อสารอย่างรวดเร็ว แม้ว่ามีปริมาณน้อย (Rapid response) ใน การอีลูทสารออกจากคอลัมน์ สารที่ออกจากคอลัมน์จะค่อยๆ ออกมาทีละน้อยจนถึงมาก แล้ว ลดน้อยลงอีกทำให้เกิดเป็นพีก ดังนั้นดีเทคเตอร์ต้องรู้สึกหรือติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ของสารได้ดี จึงจะทำให้เกิดพีกและการแยกชั้นได้
4. ผลที่ได้จากเครื่องดีเทคเตอร์จะต้องเหมือนกันทุกครั้งเมื่อใช้สารตัวอย่างชนิด เดียวกัน (high reproducibility)
5. ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซตัวพา หรืออุณหภูมิ และไม่ เกิดปฏิกิริยาต่อก๊าซตัวพา
6. ไม่ทำลายหรือเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งมี ความสำคัญมาก ถ้าต้องการเก็บสารที่แยกได้นี้ไปทำการวิเคราะห์ต่อไป
7. ราคาถูก

ยังไม่มีดีเทคเตอร์ชนิดใดที่มีคุณสมบัติครบถ้วนทุกข้อความที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้น การเลือกใช้อุปกรณ์ดีเทคเตอร์ที่มีคุณสมบัติที่ดีมากที่สุด ซึ่งนิยมใช้กัน 2 ชนิด คือ TCD และ FID

### 2.3 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

### 2.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

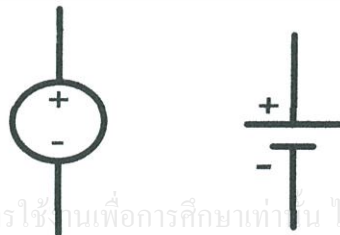
แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง คือ แหล่งจ่ายที่กระแสไฟฟ้าไหลทิศทางเดียวปกติกระแสไฟฟ้าจะไหลจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าไปยังจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้ามกับกระแสไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.14 ที่มีแรงดันเป็นบวก และตัวอย่างของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (ก) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (ข) แหล่งจ่าย ไฟฟ้า (Power Supply) (ค) แบตเตอรี่ (Battery) (ง) ถ่านไฟฉาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

- แกลเวนอมิเตอร์ (Galvanometer) คือ เครื่องมือวัดพื้นฐานทางไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ทั้งกระแส ไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า แต่จะวัดได้ปริมาณน้อยๆ ดังนั้นจึงนิยมนำไปดัดแปลงใช้วัดกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าและความต้านทาน

### 2.3.2 หลักการทำงานของแกลเวนอมิเตอร์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในขดลวดจะทำให้ขดลวดหมุนได้ เนื่องจากเกิดแรงกระทำระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบๆขดลวดกับสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กและถ้ามีเข็มติดกับขดลวดเข็มก็จะเบนไปด้วย การเบนของเข็มจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในขดลวด กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มของแกลเวนอมิเตอร์เบนได้สูงสุดจะมีค่าจำกัดค่าหนึ่ง เรียกว่า "กระแสสูงสุดของแกลเวนอมิเตอร์" ถ้ากระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปในแกลเวนอมิเตอร์มากกว่าค่าจำกัดดังกล่าวนี้จะทำให้แกลเวนอมิเตอร์เสียหายได้ ซึ่งสัญลักษณ์แสดงได้ดังรูปที่ 2.17

ดังนั้น การที่จะนำแกลเวนอมิเตอร์ไปใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า จึงต้องทำการดัดแปลงเสียก่อน



รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ของแกลเวนอมิเตอร์

### 2.3.3 แอมมิเตอร์ (Ammeter)

แอมมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งดัดแปลงจากการนำความต้านทาน (ชัณฑ์) ที่มีค่าน้อยๆ มาต่อขนานกับแกลเวนอมิเตอร์ เพื่อแบ่งกระแสไม่ให้ไหลผ่านแกลเวนอมิเตอร์มากเกินไป จนทำให้แกลเวนอมิเตอร์พังได้เมื่อเราต้องการวัดกระแสที่มีค่ามากๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เรื่องนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไขหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. นำชัณฑ์ต่อขนานกับแกลเวนอมิเตอร์
2. ชัณฑ์ต้องมีค่าน้อยๆ เพื่อให้กระแสแยกไหลผ่านชัณฑ์มากๆ เพื่อช่วยลดกระแสที่จะไหล

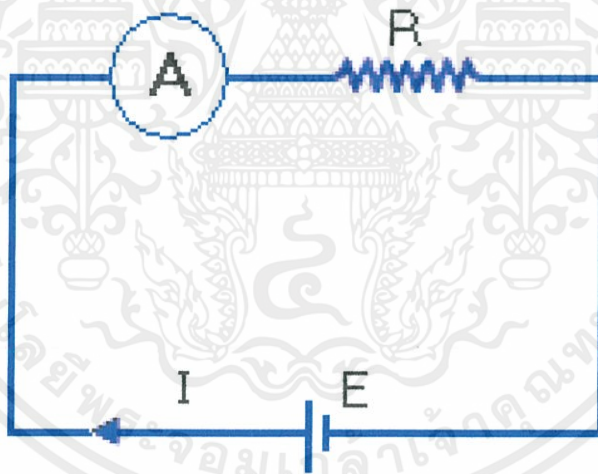
## ผ่านเกลแวนอมีเตอร์

### 2.3.3.1 คุณสมบัติของแอมมิเตอร์ที่ดี

1. มีความแม่นยำสูง ซึ่งเกิดจากการนำขั้วที่มีความต้านทานน้อยๆ มาต่อ เพื่อว่าเมื่อนำแอมมิเตอร์ไปต่ออนุกรมในวงจรแล้ว จะไม่ทำให้ความต้านทานรวมของวงจรเปลี่ยนแปลงทำให้กระแสที่วัดได้มีความแม่นยำสูงหรือมีความผิดพลาดจากการวัดน้อย
2. มีความไว (Sensitivity) สูงเมื่อขั้วมีค่าน้อยๆ กระแสที่ไหลผ่านขั้ว จะมีค่ามาก ทำให้กระแสที่ไหลผ่านเกลแวนอมีเตอร์มีค่าน้อย นั่นคือ แอมมิเตอร์ที่ดีจะสามารถตรวจวัดค่ากระแสน้อยๆ ได้ กล่าวคือ แม้วงจรจะมีกระแสไหลเพียงเล็กน้อย แอมมิเตอร์ก็สามารถวัดค่าได้

### 2.3.3.2 การนำไปใช้งาน

ใช้แอมมิเตอร์ไปต่ออนุกรมในวงจรในสายที่ต้องการทราบค่ากระแสที่ไหลผ่าน เหมือนกับการวัดกระแสน้ำก็ต้องนำเครื่องมือวัด ไปจุ่มลงน้ำด้วยดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงการต่อแอมป์มิเตอร์เพื่อใช้งาน

### 2.3.4 โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)

- โวลต์มิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ตกระหว่างจุดสองจุดใดๆ

เมื่อนำไปวัดจึงต้องนำไปต่อคร่อมจุดที่ต้องการวัด

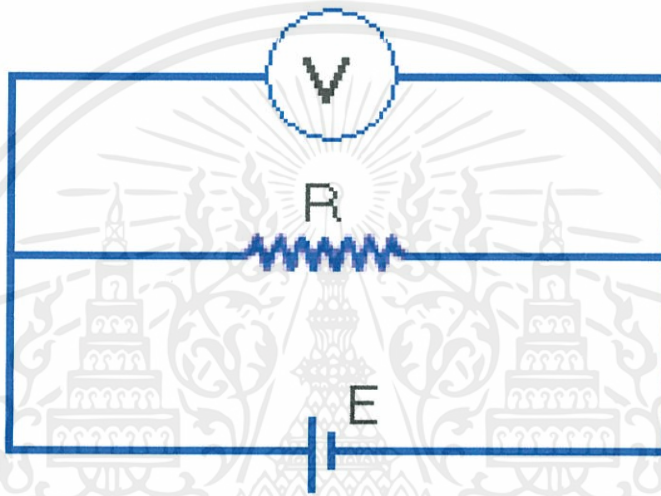
- โวลต์มิเตอร์ คัดแปลงจากการนำความต้านทานที่มีค่าสูงมาต่ออนุกรมกับเกลแวนอมีเตอร์

-สาเหตุที่นำความต้านทานสูงๆ มาต่อ เพราะต้องการให้โวลต์มิเตอร์ มีความต้านทานภายในสูงมากๆ เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสในวงจรแยกไหลมาเข้าโวลต์มิเตอร์ ซึ่งจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านจุดที่ต้องการวัดมีค่าน้อยลง เป็นผลให้การวัดเกิดความคลาดเคลื่อน

### 2.3.5.1 การนำไปใช้วัด

นำโวลต์มิเตอร์ไปต่อขนานหรือต่อคร่อมจุดที่ต้องการวัดแรงดันในวงจรแสดงได้ดังรูปที่

2.19 ค่าแรงดันที่โวลต์มิเตอร์อ่านค่าได้ จะเป็นแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน



รูปที่ 2.19 แสดงการต่อโวลต์มิเตอร์เพื่อใช้งาน

### 2.3.5.2 คุณสมบัติของ โวลต์มิเตอร์ที่ดี

1. มีความแม่นยำสูงซึ่งเกิดจากการนำความต้านทาน  $R$  ที่มีค่าสูงมากๆ ต่ออนุกรมกับแกลเวนโอมิเตอร์ เพื่อป้องกันมิให้มีกระแสแยกไหลผ่าน โวลต์มิเตอร์ ทำให้กระแสไหลผ่านจุดที่ต้องการวัดทั้งหมด ค่าแรงดันที่วัดได้ จึงมีความผิดพลาดน้อย
2. มีความไวสูง แม้ค่าแรงดันมีค่าต่ำมากก็สามารถตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

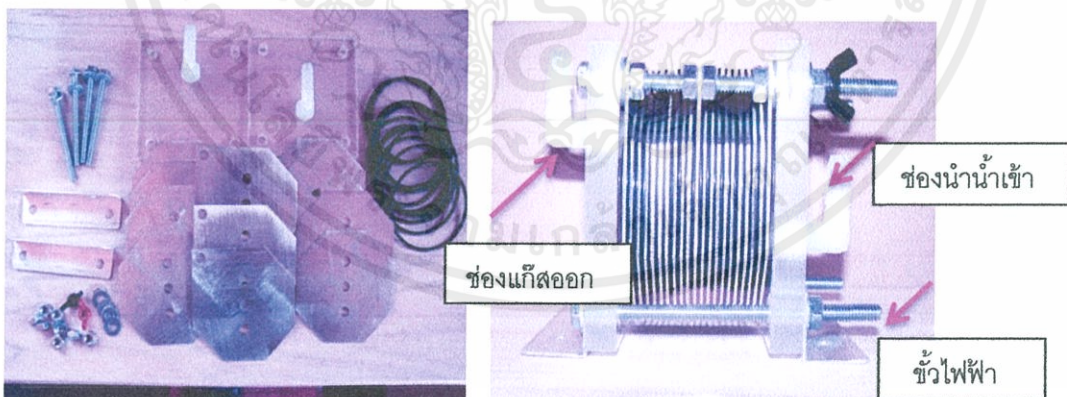
## การดำเนินงานออกแบบและสร้าง

### 3.1 ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์เชื้อเพลิง HHO GAS

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลการดำเนินงานการออกแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิง HHO GENERATOR เครื่องผลิตเชื้อเพลิงจากการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าในรูปของแก๊ส HHO มีจุดมุ่งหมายเพื่อผลิตสิ่งประดิษฐ์เพื่อหาพลังงานทดแทนเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิง HHO GAS ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิง HHO GAS นั้นมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ DRY CELL (เซลล์แห้ง) และแบบ WET CELL (เซลล์เปียก)

#### 3.1.1 ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงแบบ DRY CELL

เครื่องแยก HHO GAS แบบ Dry Cell ถูกออกแบบมาเพื่อแยกไฮโดรเจนจากน้ำโดยให้น้ำไหลผ่านตัวเซลล์ ทำให้ไม่สะสมความร้อนภายในเซลล์ ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนที่ออกมาสม่ำเสมอ ด้วยขนาดตัวเซลล์ที่มีขนาดเล็กทำให้ติดตั้งง่าย ปลอดภัย โครงสร้างของ Dry cell ใช้สแตนเลสเป็นสื่อนำไฟฟ้าทนการกัดกร่อนสูงจากน้ำยาเคมี เพื่อการใช้งานที่ยาวนานกว่าโลหะชนิดอื่นซึ่งเครื่องแยก HHO แบบ Dry cell แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



ก

ข

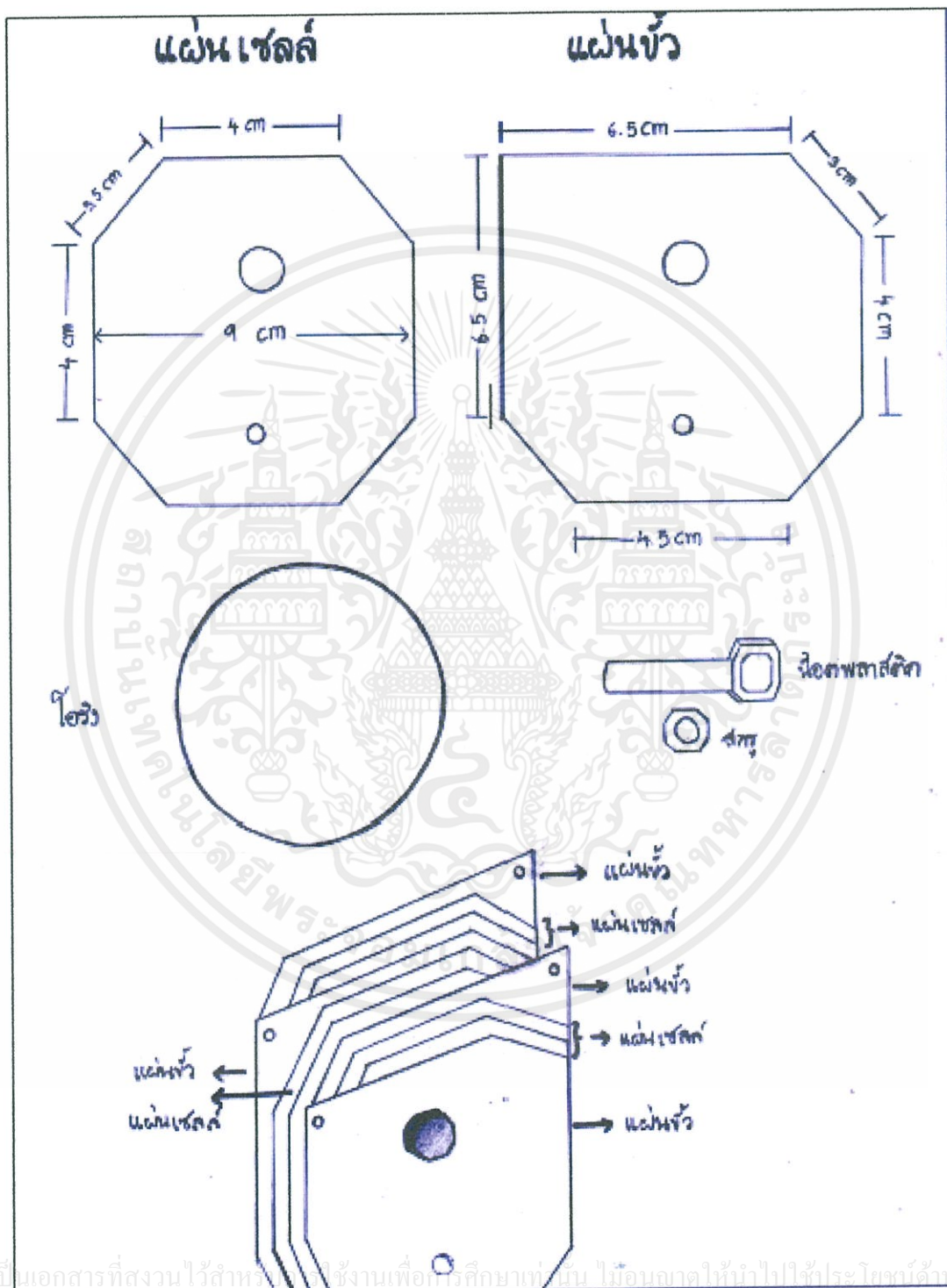
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ลิขสิทธิ์จะอยู่ที่ผู้พัฒนาและเจ้าของเรื่อง ซึ่งหากมีข้อสงสัยใดๆ กรุณาติดต่อผู้พัฒนาไปใช้

รูปที่ 3.1 (ก) อุปกรณ์สำหรับทำเครื่องแยก HHO GAS แบบ Dry cell (ข) เครื่องแยก HHO GAS แบบ Dry cell เมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์

### 3.1.1.1 ขั้นตอนการออกแบบแบบเครื่องแยก HHO GAS

1. วาดและออกแบบเซลล์ที่จะนำไปสร้างดังรูปที่ 3.2
2. วัดขนาดและบันทึกรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อนำไปสร้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบเซลล์เครื่องผลิต HHO

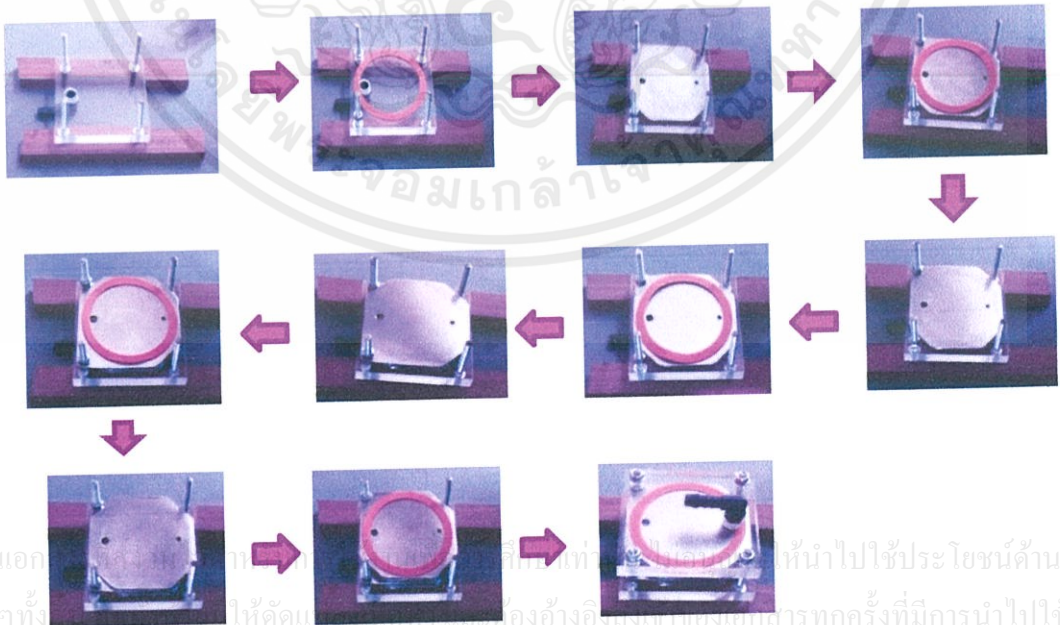
การสร้างเครื่องผลิต HHO แบบ Dry cell สามารถทำได้ดังนี้คือ

### อุปกรณ์

1. แผ่นสแตนเลส
2. แผ่นอะคลิลิก
3. สกรู น็อต และแหวนรองน็อต
4. โอริง
5. ข้อต่อ

### ขั้นตอนการทำ

1. ตัดสแตนเลสให้ได้เป็นรูปคั้งที่ต้องการจากนั้นนำไปเจาะรูสำหรับยึดขั้วและเจาะรูสำหรับเป็นช่องให้แก๊สและน้ำไหลผ่าน
2. นำแผ่นอะคลิลิกเจาะรูทั้ง 4 มุมเพื่อไว้ใส่สกรูและแผ่นขั้ว
3. จากนั้นนำแผ่นสแตนเลสมาวางบนแผ่นอะคลิลิกโดยแผ่นแรกให้เป็นแผ่นขั้วจากนั้นนำโอริงมาวางและตามด้วยแผ่นสแตนเลสที่เป็นแผ่นเซลล์มาวางซ้อนอีกประมาณ 3-4 แผ่นซึ่งแต่ละแผ่นจะต้องใส่โอริงกันเสมอและจากนั้นถึงจะใส่แผ่นขั้วอีกครั้งทำงานครบ
4. เมื่อใส่แผ่นจนครบก็ไขน็อตให้แน่น ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ให้ตัดและทิ้งอย่างอื่นที่ปรากฏในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 ภาพแสดงลำดับขั้นตอนการประกอบเครื่องผลิต HHO แบบ Dry cell

### 3.1.2 ศึกษากระบวนการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงแบบ Wet Cell

เครื่องแยก HHO GAS แบบ Wet Cell เป็นการนำขดแผ่นเซลล์จุ่มลงไปใต้น้ำ เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยากับทุกแผ่นเซลล์และได้แก๊ส HHO ที่มากขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ที่ทำปฏิกิริยามากขึ้นและไม่เกิดการรั่วของน้ำออกมา

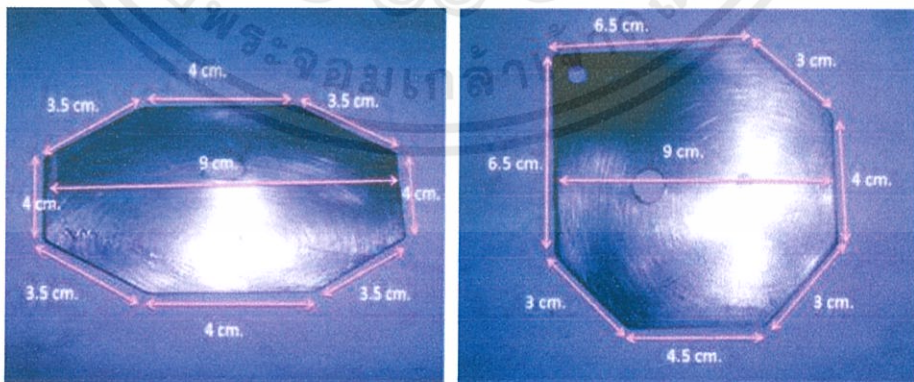


รูปที่ 3.4 เครื่องแยก HHO GAS แบบ Wet Cell

เนื่องจากผู้ทำการทดลองได้ทดลองเครื่องผลิต HHO แบบ Dry cell แล้วประสบปัญหาเรื่องการรั่วไหลของน้ำ ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงตัดสินใจเลือกที่จะทำการทดลองผลิตเครื่องแยก HHO GAS แบบ Wet Cell ซึ่งจะมีกระบวนการออกแบบและสร้างดังต่อไปนี้

#### 3.1.2.1 การสร้างเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิต HHO แบบ Wet Cell

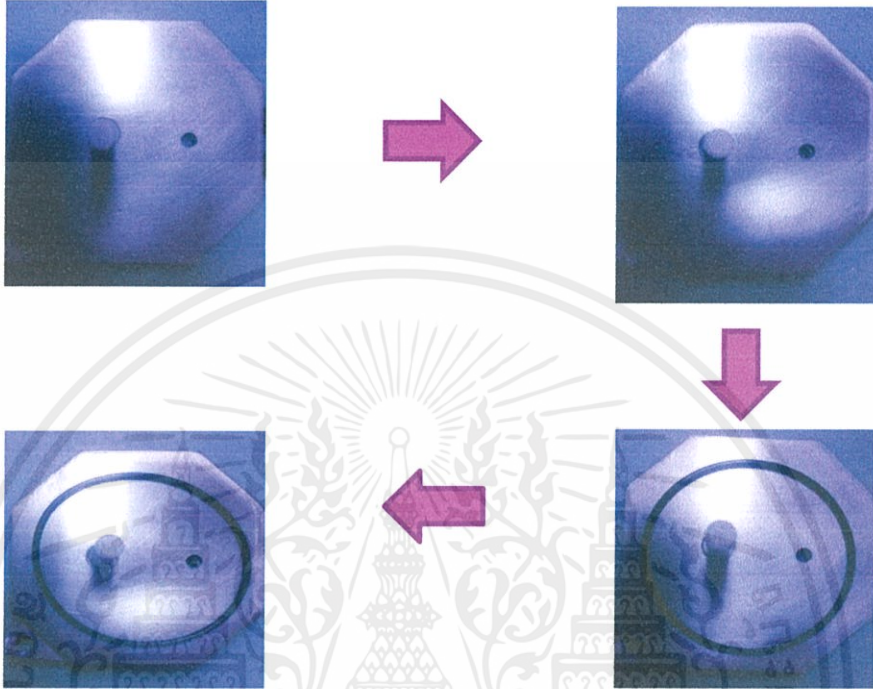
1. นำแผ่นสแตนเลสตามแบบดังรูปที่ 3.5
2. นำแผ่นสแตนเลสมาเจาะรูสำหรับยึดขั้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

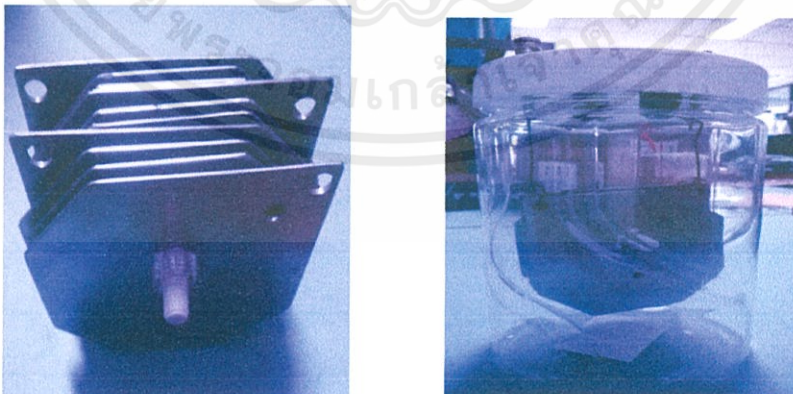
รูปที่ 3.5 ก. แผ่นกั้นระหว่างขั้ว ข. แผ่นขั้ว

3. จากนั้นนำแผ่นสแตนเลสตามวาง โดยแผ่นแรกให้เป็นแผ่นขั้วจากนั้นนำ โอรังมาวางและตามด้วยแผ่นสแตนเลสที่เป็นแผ่นเซลล์มาวางซ้อนอีกประมาณ 2-3 แผ่นซึ่งแต่ละแผ่นจะต้องใส่โอรังกันเสมอและจากนั้นถึงจะใส่แผ่นขั้วอีกครั้งทำงานครบ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการเรียงรูปแบบเซลล์

4. เมื่อใส่แผ่นจนครบจึงไขน็อตให้แน่น  
5. นำเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้ไปประกอบเข้ากับตัวกระบอกพลาสติก ดังรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ประกอบเสร็จงานเพื่อการศึกษา. เซลล์ที่ประกอบเข้ากับกระบอกใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 รูปแบบเซลล์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

### 3.2 ขั้นตอนการทดสอบเครื่องผลิตแก๊ส HHO

ขั้นตอนที่ 1 นำสาร โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไปชั่งที่ความเข้มข้น 1 โมล

ขั้นตอนที่ 2 นำน้ำบริสุทธิ์มาเทใส่ในกระบอกพลาสติกใสและเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป จากนั้นทำการปิดฝาให้สนิท

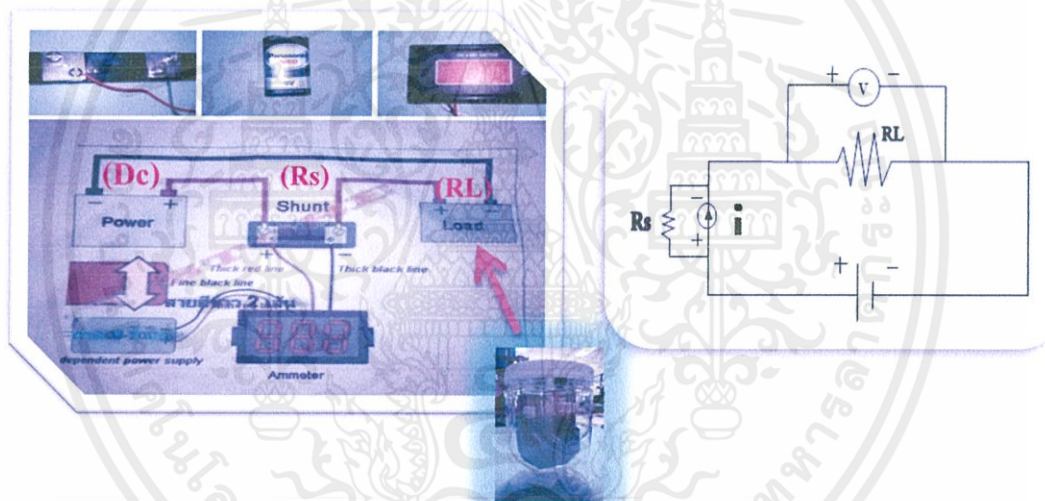
ขั้นตอนที่ 3 นำน้ำมาใส่กระบอกพลาสติกใสอีก 1 กระบอก เพื่อไว้สำหรับเป็นตัว Bubble

ขั้นตอนที่ 4 นำสายขมมาต่อเข้ากับตัวเครื่องผลิต HHO ออกไปยังตัว Bubble

ขั้นตอนที่ 5 ต่อสายไฟจาก power supply DC ไปยังขั้วไฟฟ้าของตัวเครื่องและทำการต่อมัลติมิเตอร์เพื่อวัดกระแสและแรงดัน ไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.8

ขั้นตอนที่ 6 ทำการสังเกตว่ามี Gas ออกมาทางสายขมเข้าสู่กระบอก Bubble หรือไม่

ขั้นตอนที่ 7 ทำการแก้ไขหากมีข้อบกพร่องและทำการทดลองในตอนต่อไป



รูปที่ 3.8 ภาพแสดงการต่อวงจรที่ใช้ในการทดลอง

### 3.3 การทดลอง

3.3.1 การทดลองศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถช่วยในการผลิตแก๊ส HHO ได้ดี

ทำการทดลองโดยใช้สาร  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  และ  $\text{KOH}$  ที่ความเข้มข้นเท่ากันตั้งแต่ 0.5-2.0 โมล โดยเพิ่มความเข้มข้นขึ้นทีละ 0.25 โมล สังเกตและวัดปริมาณ Output Gas ของแต่ละความเข้มข้น ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่ใช้ประโยชน์

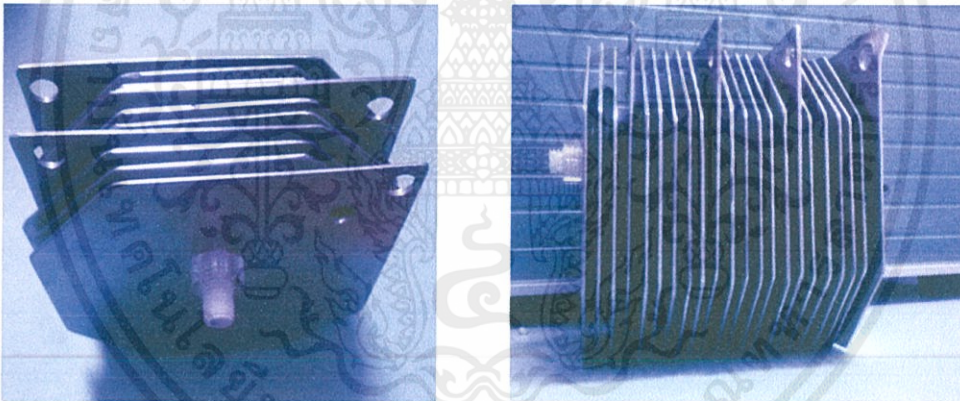
3.3.2 การทดลองเปรียบเทียบปริมาณ Output Gas ของเซลล์เชื้อเพลิงเดิมกับเซลล์เชื้อเพลิงที่มี

การพัฒนา

สำหรับการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาเพื่อดูปริมาณ Output Gas ว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เราพัฒนานั้นสามารถให้ปริมาณ Output Gas ได้ดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบหรือไม่โดยใช้สารละลาย NaOH ในการทดลองที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1.0-4.0 โมล โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.5 โมล สังเกตและวัดปริมาณ Output Gas ของแต่ละความเข้มข้น ที่ได้จากการทดลอง

### 3.3.2.1 การพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิง

เดิมเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบนั้นจะมีแผ่นเซลล์ทั้งหมดจำนวน 10 แผ่น ซึ่งจะแบ่งเป็นแผ่นขั้วบวก 2 แผ่น และแผ่นขั้วลบอีก 2 แผ่น วางซ้อนกันดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 สำหรับการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบนั้นคือการทำการเพิ่มจำนวนแผ่นเซลล์จากเดิม 10 แผ่นเป็น 22 แผ่น โดยแบ่งเป็นแผ่นขั้วบวก 4 แผ่น และแผ่นขั้วลบ 4 แผ่น วางเรียงสลับกัน โดยมีแผ่นเซลล์กั้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบจำนวน 2 แผ่นเช่นเดียวกับเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบ



a. เซลล์ต้นแบบ

b. เซลล์ที่พัฒนา

รูปที่ 3.9 แสดงภาพเซลล์ต้นแบบและเซลล์พัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เครื่องผลิตเชื้อเพลิงจากการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าในรูปแบบของแก๊ส HHO มีจุดมุ่งหมายเพื่อผลิตสิ่งประดิษฐ์เพื่อหาพลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดใดที่สามารถผลิตแก๊ส HHO ได้ดี ซึ่งผู้จัดทำได้ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ 3 ชนิด คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{KOH}$ ) ในการทำการทดลองและ การทดลองที่ 2 คือการทดลองเปรียบเทียบปริมาณการไหลของแก๊ส HHO ของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา

การทดลองในครั้งนี้เราเลือกใช้สารละลาย 3 ชนิด คือโซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{KOH}$ ) เนื่องจากสารทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นสารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนเป็นไอออนบวกหรือไอออนลบเคลื่อนที่อยู่ ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็นสารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้และสารละลายทั้ง 3 ชนิดนี้สามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่สูงมากนัก นอกจากนี้ในการทดลองต่างๆของเราได้ถูกจำกัดในเรื่องของแหล่งจ่ายไฟเนื่องจากอุปกรณ์ของเรามีขีดจำกัดในการทำงานสูงสุดแค่ 15 แอมป์เท่านั้น

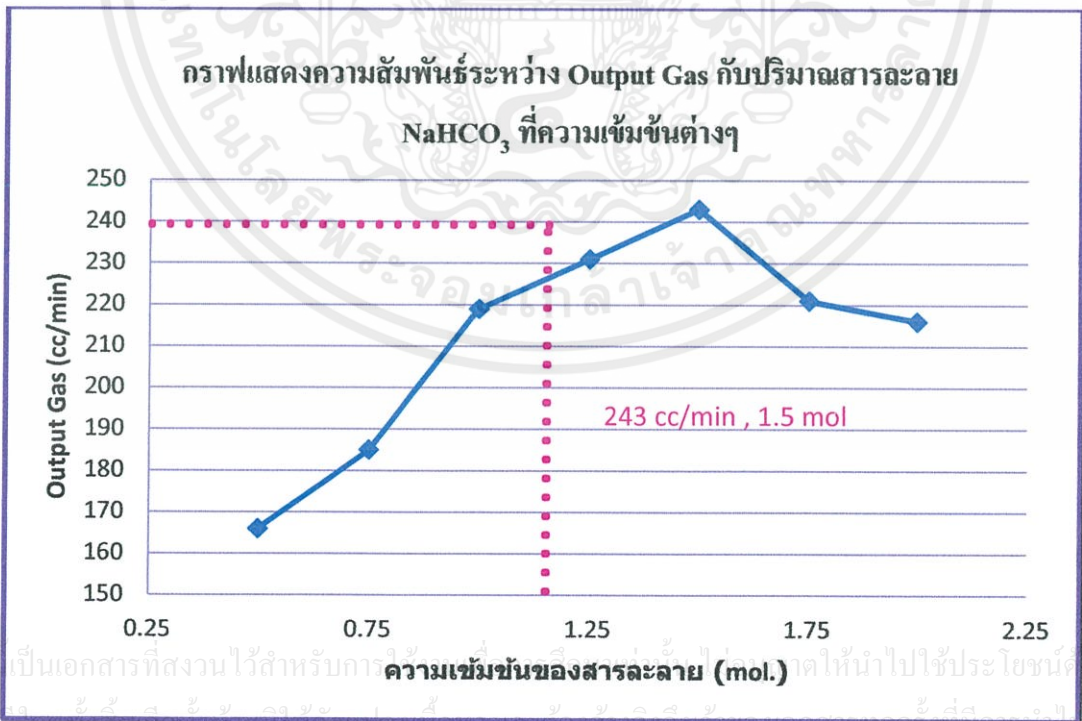
#### 4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถช่วยในการผลิตแก๊ส HHO ได้ดี

จากการทดลองได้ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ 3 ชนิด คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{KOH}$ ) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.1 สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อน้ำ 800 มิลลิลิตร

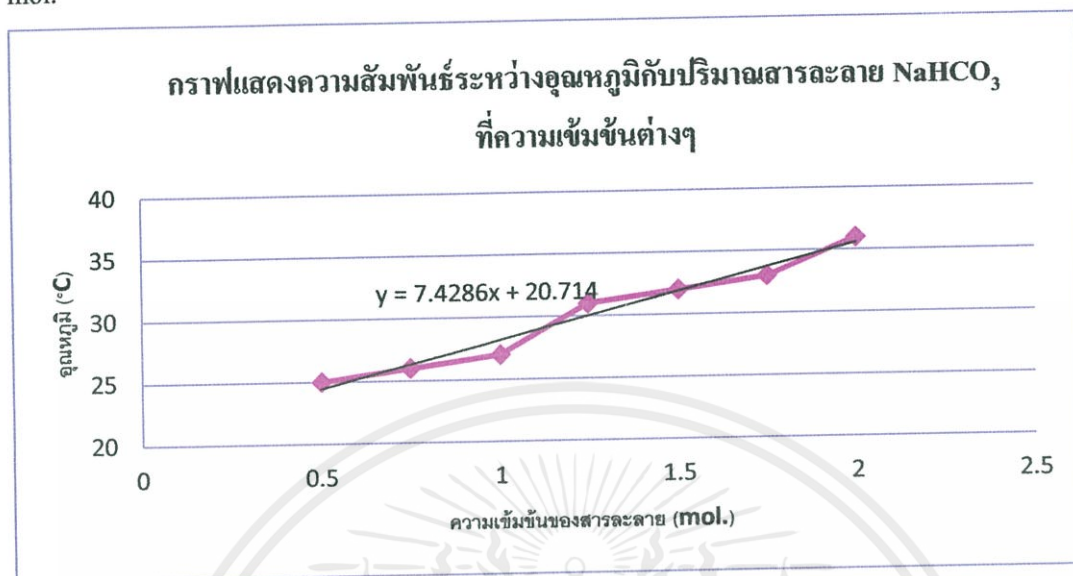
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า .  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (mol.)	I (Amp.)	V (Volt.)	W (watt)	R <sub>กำหนด</sub> ( $\Omega$ )	T <sub>ก่อน</sub> ( $^{\circ}\text{C}$ )	T <sub>หลัง</sub> ( $^{\circ}\text{C}$ )	R <sub>ก่อน</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>หลัง</sub> ( $\Omega$ )	Output Gas (cc/min)
0.5	7.1	7.91	56.161	1.114	20	25	0.4	0.9	166
0.75	7.3	7.70	56.210	1.064	20	26	0.4	1.2	185
1.0	7.4	7.66	56.600	1.035	20	27	0.4	1.4	219
1.25	7.7	7.38	56.826	0.958	20	31	0.4	1.8	231
1.50	8.1	7.02	56.862	0.866	20	32	0.4	2.2	243
1.75	8.5	6.69	56.565	0.787	20	33	0.4	2.3	221
2.0	8.6	6.58	56.588	0.765	20	36	0.4	2.4	216



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Gas กับปริมาณสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.1 พบว่าปริมาณการไหลของก๊าซที่ได้มีอัตราเร็ว 243 cc/mol ที่เข้มข้น 1.5 mol.



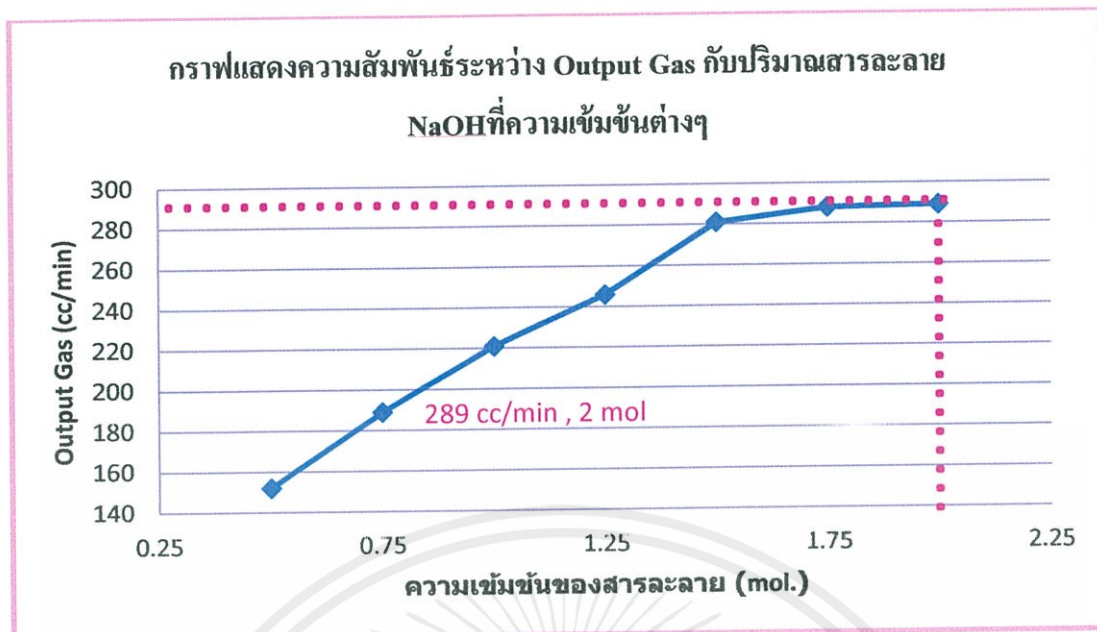
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ความชันที่ได้จากกราฟนี้มีค่าเท่ากับ 7.4286

ตารางที่ 4.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ค่อน้ำ 800 มิลลิลิตร

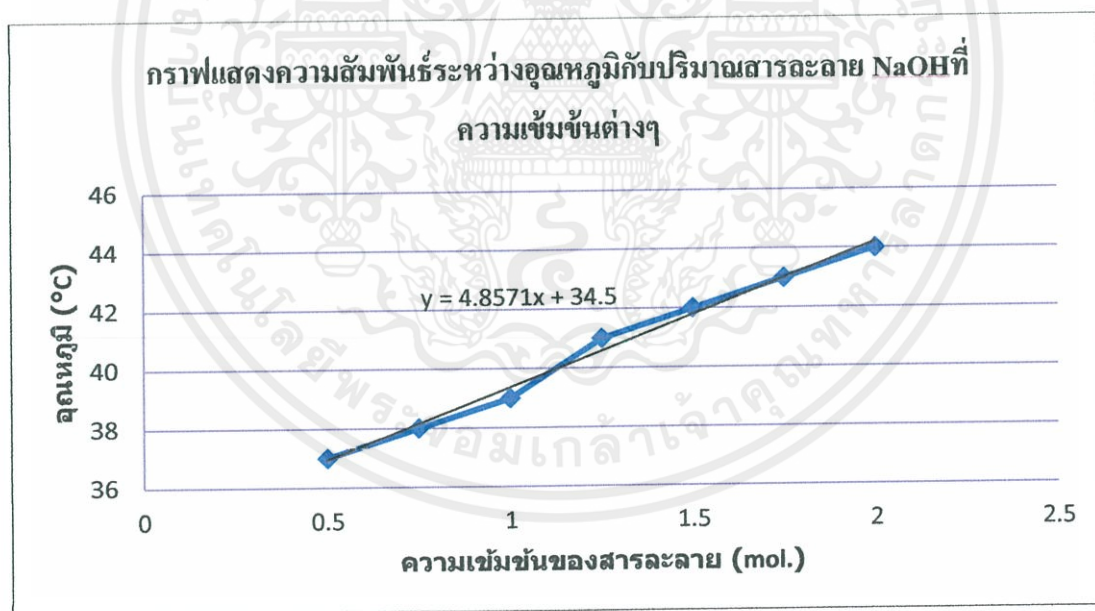
ความเข้มข้น (mol.)	I (Amp.)	V (Volt.)	W (watt)	$R_{\text{คำนวณ}}$ ( $\Omega$ )	$T_{\text{ก่อน}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{หลัง}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$R_{\text{ก่อน}}$ ( $\Omega$ )	$R_{\text{หลัง}}$ ( $\Omega$ )	Output Gas (cc/min)
0.5	9.9	5.70	56.430	0.575	31	37	0.4	0.7	152
0.75	10.3	5.47	56.341	0.531	34	38	0.4	1.0	189
1.0	11.8	4.75	56.050	0.402	36	39	0.4	1.3	221
1.25	11.9	4.71	56.049	0.395	39	41	0.4	1.6	246
1.50	12.7	4.48	56.896	0.352	42	42	0.4	1.8	281
1.75	12.9	4.38	56.502	0.339	43	43	0.4	2.1	288
2.0	13.3	4.27	56.791	0.32	44	44	0.4	2.3	289

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงการศึกษาเท่านั้น ในอนาคตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Gas กับปริมาณสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.3 พบว่าปริมาณการไหลของก๊าซที่ได้มีอัตราเร็ว 289 cc/mol ที่เข้มข้น 2.0 mol.

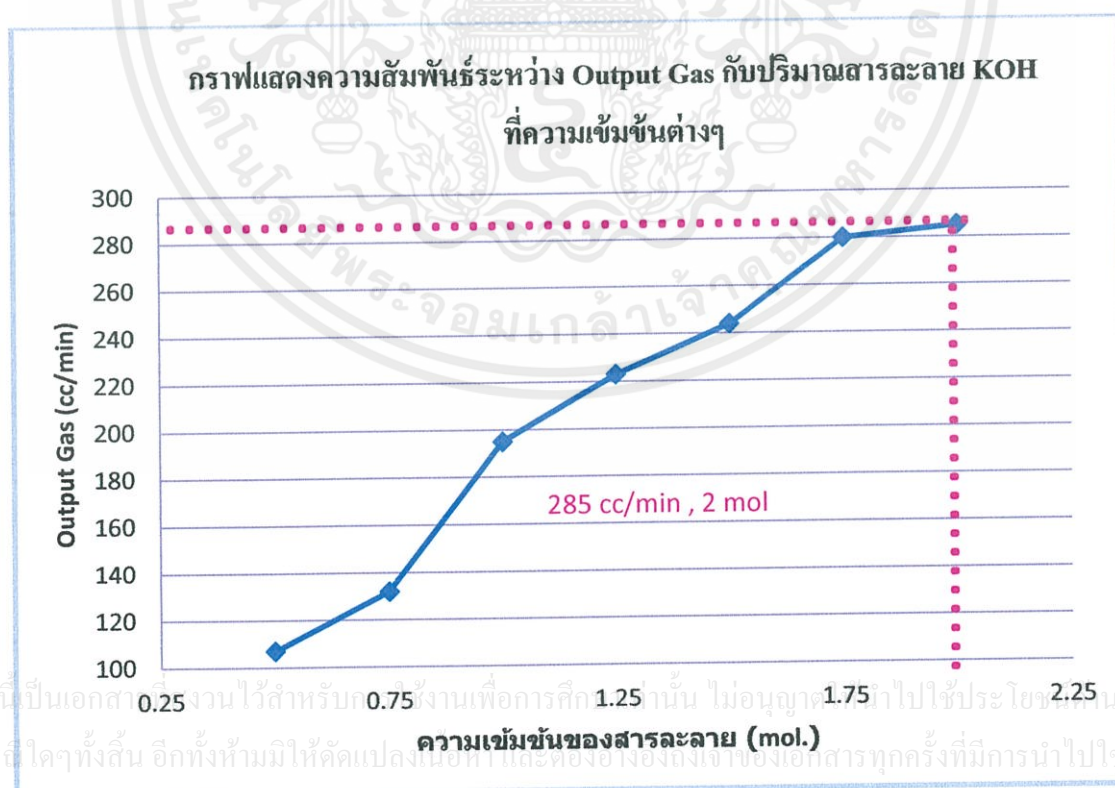


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ความ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 หน้าที่ได้จากกราฟนี้มีค่าเท่ากับ 4.8571  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

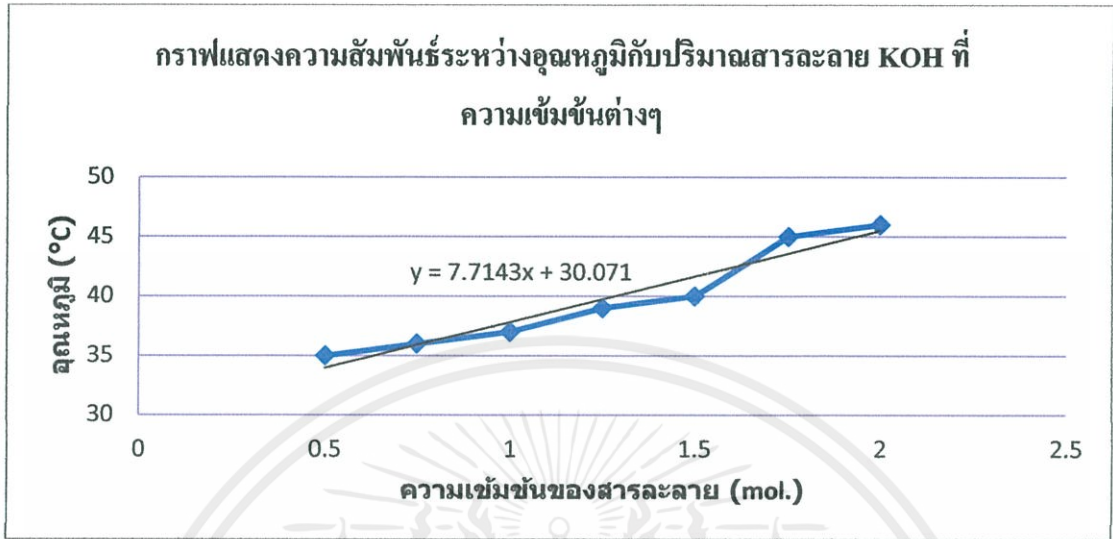
ตารางที่ 4.3 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ค่อน้ำ 800 มิลลิลิตร

ความเข้มข้น (mol.)	I (Amp.)	V (Volt.)	W (watt)	R <sub>คำนวณ</sub> ( $\Omega$ )	T <sub>ก่อน</sub> ( $^{\circ}\text{C}$ )	T <sub>หลัง</sub> ( $^{\circ}\text{C}$ )	R <sub>ก่อน</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>หลัง</sub> ( $\Omega$ )	Output Gas (cc/min)
0.5	9	6.30	56.700	0.7	30	35	0.4	0.7	107
0.75	9.8	5.76	56.112	0.587	31	36	0.4	1.6	132
1.0	11	5.10	56.100	0.463	34	37	0.4	1.8	195
1.25	11.7	4.84	56.628	0.413	36	39	0.4	2.1	223
1.50	12.5	4.52	56.500	0.361	39	40	0.4	2.7	244
1.75	13	4.36	56.680	0.335	44	45	0.4	3.0	280
2.0	13.2	4.30	56.760	0.325	45	46	0.4	3.3	285



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Gas กับปริมาณสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ

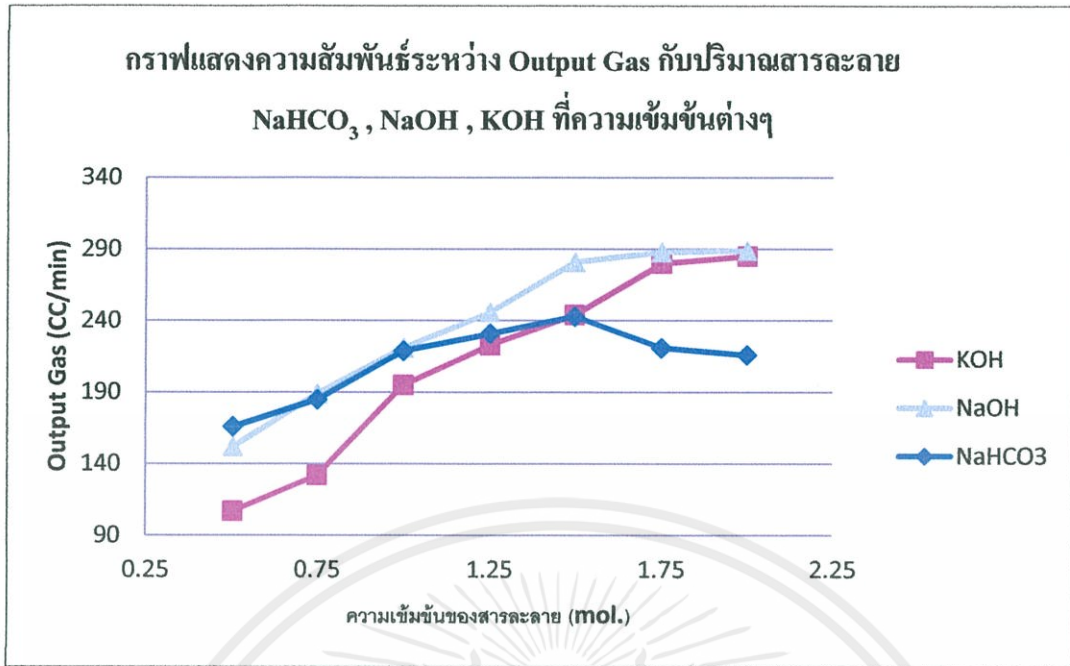
จากกราฟรูปที่ 4.5 พบว่าปริมาณการไหลของก๊าซที่ได้มีอัตราเร็ว 285 cc/mol ที่เข้มข้น 2.0 mol.



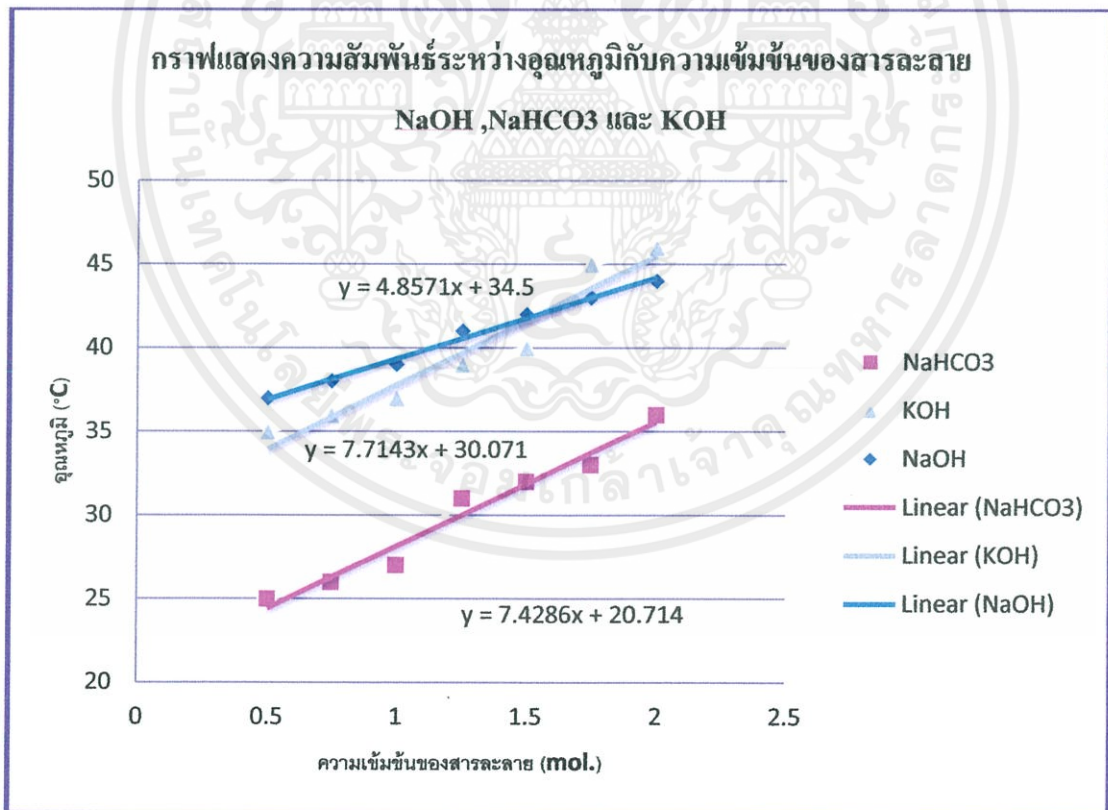
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณสารละลาย KOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากกราฟรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิก็น่าจะเพิ่มขึ้นด้วย ความชันที่ได้จากกราฟนี้มีค่าเท่ากับ 7.7143

จากการทดลองโดยใช้สารอิเล็กโตรไลต์ทั้ง 3 ชนิดเมื่อนำค่าปริมาณ Output Gas มาเปรียบเทียบกับกันจะได้ค่าดังตารางที่ 4.4 ตารางที่ 4.4 ปริมาณ Output Gas ของสารละลาย  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (mol)	Output Gas ของ $\text{NaHCO}_3$ (cc/min)	Output Gas ของ $\text{NaOH}$ (cc/min)	Output Gas ของ $\text{KOH}$ (cc/min)
0.5	166	152	107
0.75	185	189	132
1.0	219	221	195
1.25	231	246	223
1.50	243	281	244
1.75	221	288	280
2.0	216	289	285



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output Gas กับปริมาณสารละลาย NaHCO<sub>3</sub>, NaOH , KOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของสารละลาย NaOH , NaHCO<sub>3</sub> และ KOH

จากกราฟรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าสารที่เป็นตัวช่วยให้ผลิตแก๊ส HHO ได้ดีที่สุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) รองลงมาคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO<sub>3</sub>)

#### 4.1.1 การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเพื่อใช้สำหรับการทดลอง

ในการทำการทดลองครั้งนี้จำเป็นที่จะต้องทราบความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้แต่ละชนิด ซึ่งการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายสามารถคำนวณได้ดังนี้คือ

$$\text{น้ำหนักสมมูลของค่า} = \frac{MW \text{ ของค่า}}{\text{จำนวน } OH^- \text{ ของค่า}}$$

เช่น น้ำหนักสมมูลของ  $NaOH = \frac{MW \text{ ของ } NaOH}{\text{จำนวน } OH^- \text{ ของ } NaOH}$

$$= \frac{(22.990 + 15.990 + 1.008)}{1} = 40$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า NaOH 40 กรัม เท่ากับ 1 สมมูล

น้ำหนักสมมูลของ  $NaHCO_3 = \frac{MW \text{ ของ } NaHCO_3}{\text{จำนวน } OH^- \text{ ของ } NaHCO_3}$

$$= \frac{[22.990 + 1.008 + 12.010 + (15.999 \times 3)]}{1} = 84$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า NaHCO<sub>3</sub> 84 กรัม เท่ากับ 1 สมมูล

น้ำหนักสมมูลของ  $KOH = \frac{MW \text{ ของ } KOH}{\text{จำนวน } OH^- \text{ ของ } KOH}$

$$= \frac{(39.098 + 15.990 + 1.008)}{1} = 56$$

หรืออาจกล่าวได้ว่า KOH 56 กรัม เท่ากับ 1 สมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อผลของการใช้งานเอกสารฉบับนี้

## 4.2 การทดลองเปรียบเทียบปริมาณ Output Gas ของเซลล์เชื้อเพลิงเดิมกับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการ

พัฒนา

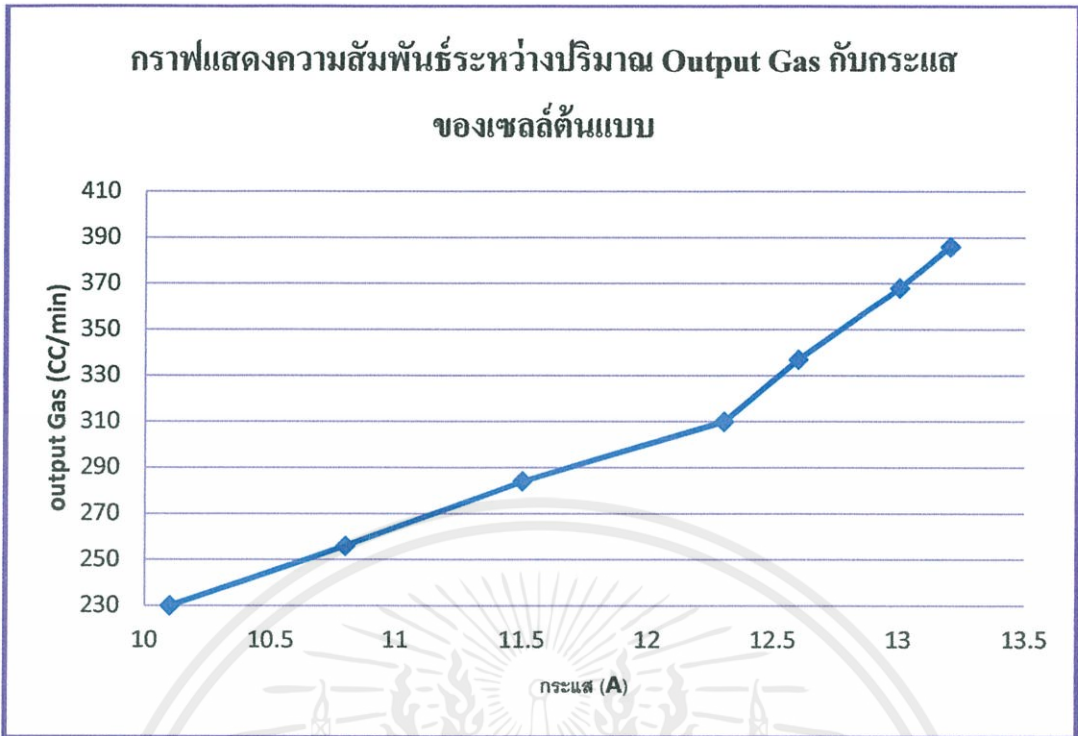
จากการทดลองที่ 4.1 เราได้เลือกใช้สาร NaOH มาใช้ในการทดลองที่ 4.2 เนื่องจากสาร NaOH นั้นสามารถให้เกิดปริมาณ Output Gas ได้ดีกว่าสาร  $\text{NaHCO}_3$  และ KOH ดังนั้นในการทดลองนี้เป็นการทดสอบปริมาณ Output Gas ที่ได้จากการใช้เซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้มีการพัฒนาแล้ว โดยทำการควบคุมตัวแปรต้นคือ ปริมาณความเข้มข้นของสาร NaOH และกำหนดค่าวัดตัวให้มีค่าเท่ากันทุกปริมาณความเข้มข้น ซึ่งผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าผลการทดลองของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบ

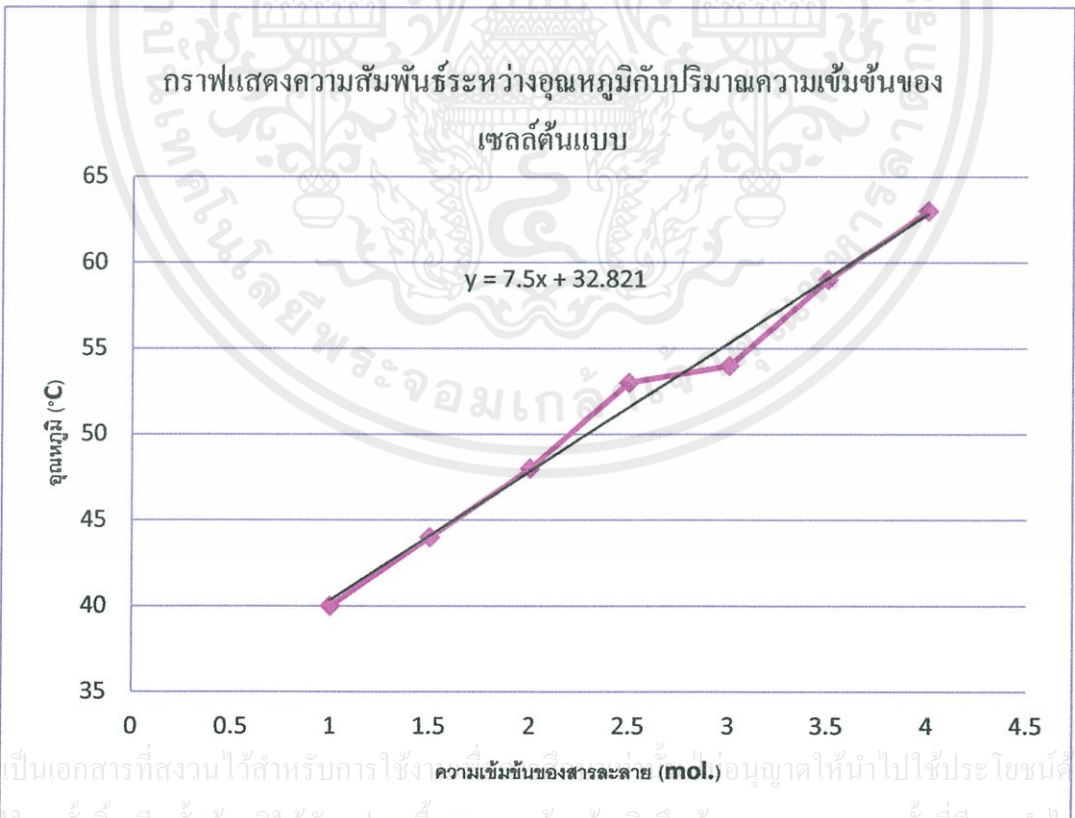
ความเข้มข้น (mol.)	I (Amp.)	V (Volt.)	W (watt)	R <sub>คำนวณ</sub> ( $\Omega$ )	T <sub>ก่อน</sub> ( $^{\circ}\text{C}$ )	T <sub>หลัง</sub> ( $^{\circ}\text{C}$ )	R <sub>ก่อน</sub> ( $\Omega$ )	R <sub>หลัง</sub> ( $\Omega$ )	Output Gas (cc/min)
1.0	10.1	5.70	57.570	0.5643	39	40	0.4	1.4	230
1.5	10.8	5.33	57.564	0.4935	44	44	0.4	1.7	256
2.0	11.5	5.01	57.616	0.4118	48	48	0.4	2.1	284
2.5	12.3	4.68	57.564	0.3696	54	53	0.4	2.6	310
3.0	12.6	4.6	57.960	0.3650	56	54	0.4	3.2	337
3.5	13	4.45	57.87	0.3590	61	59	0.4	3.4	368
4.0	13.2	4.35	57.42	0.3539	65	63	0.4	3.7	386

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้ข้อมูลไปเพื่อตีตราพระหว่างปริมาณ Output Gas กับปริมาณกระแสได้  
ดังนี้



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณ Output Gas ของเซลล์ต้นแบบ



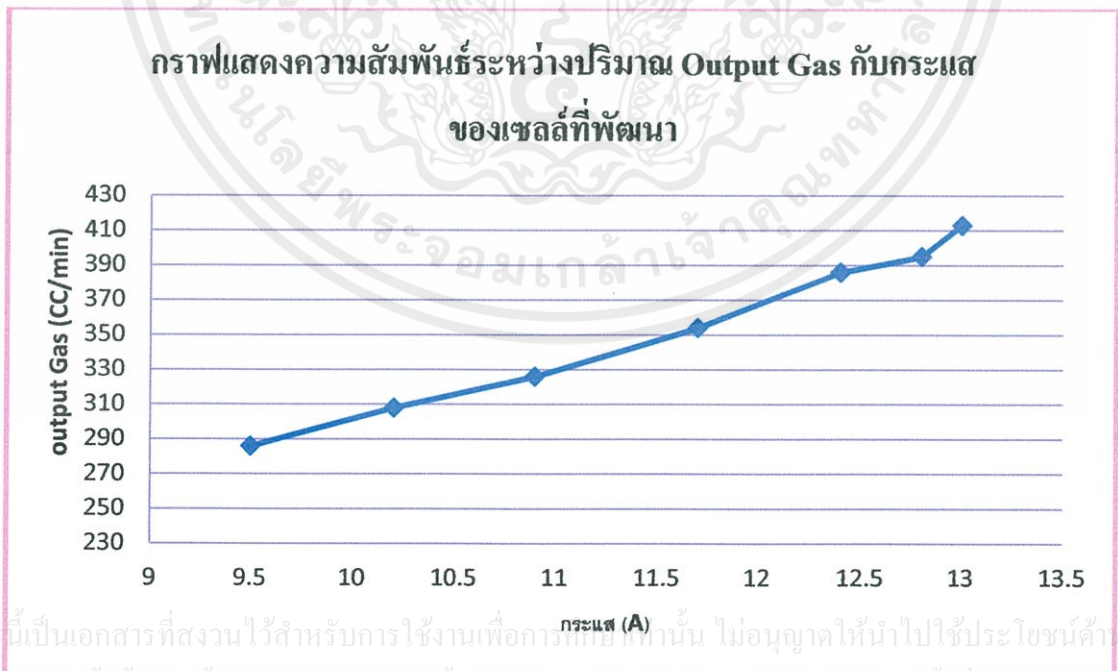
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ความเข้มข้นของสารละลาย (mol.) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์เผยแพร่ข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าผลการทดลองของเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา

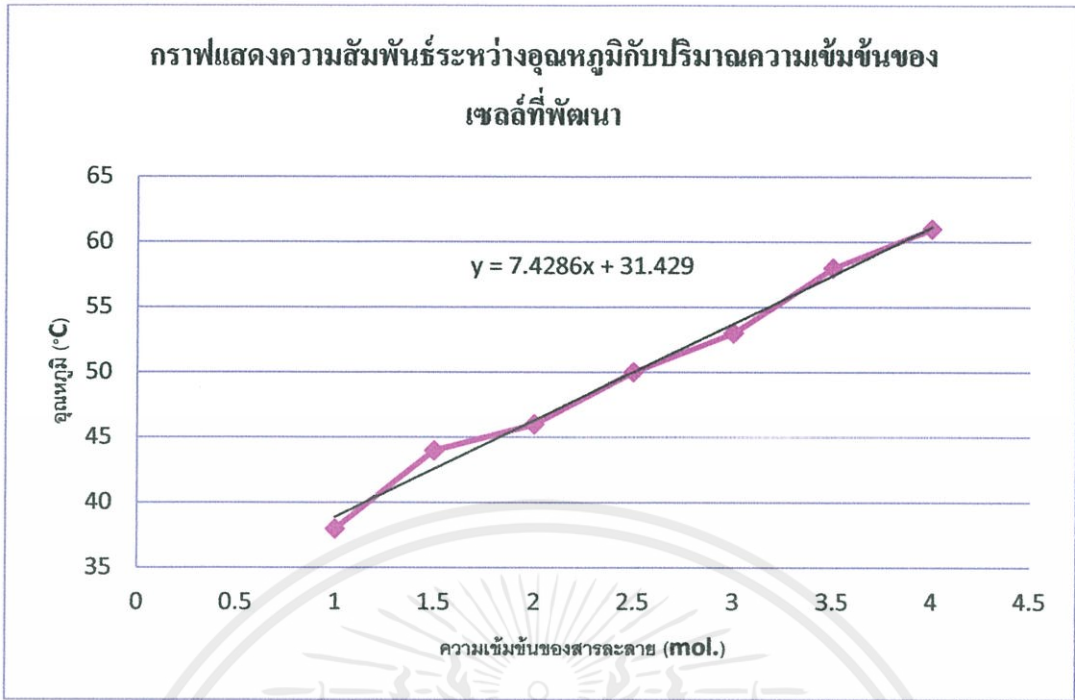
ความเข้มข้น (mol.)	I (Amp.)	V (Volt.)	W (watt)	R คำนวณ ( $\Omega$ )	T ก่อน ( $^{\circ}\text{C}$ )	T หลัง ( $^{\circ}\text{C}$ )	R ก่อน ( $\Omega$ )	R หลัง ( $\Omega$ )	Output Gas (cc/min)
1.0	9.5	6.01	57.095	0.6134	39	38	0.4	1.1	286
1.5	10.2	5.64	57.528	0.5326	44	44	0.4	1.4	308
2.0	10.9	5.28	57.552	0.4127	48	46	0.4	1.7	326
2.5	11.7	4.72	57.564	0.3958	54	50	0.4	2.3	354
3.0	12.4	4.63	57.412	0.3877	56	53	0.4	2.8	386
3.5	12.8	4.47	57.216	0.3750	61	58	0.4	3.2	395
4.0	13	4.40	57.200	0.3704	65	61	0.4	3.4	413

จากตารางที่ 4.6 สามารถนำข้อมูลไปพล็อตกราฟระหว่างปริมาณ Output Gas กับปริมาณความเข้มข้นได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณ Output Gas ของเซลล์ที่พัฒนา



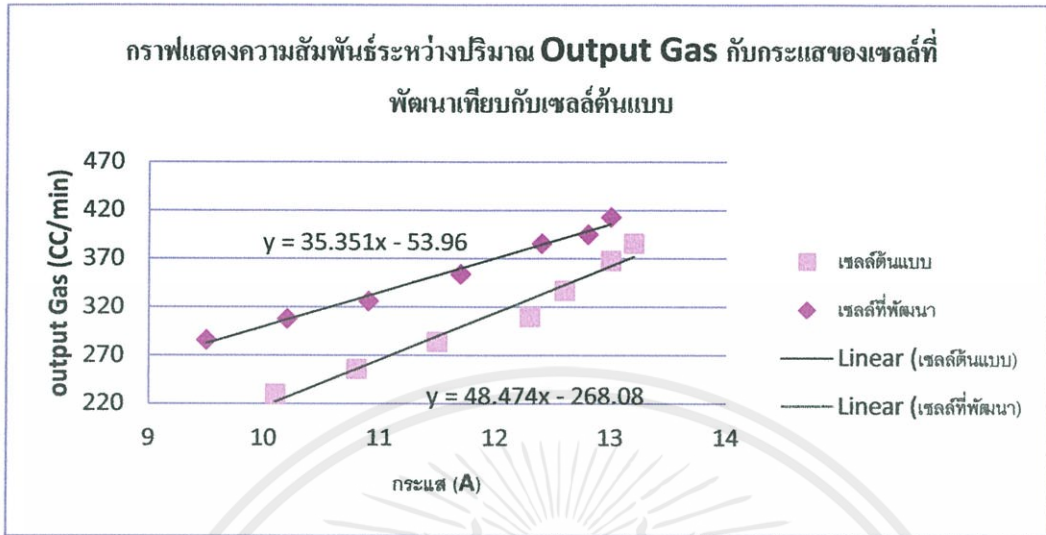
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ที่พัฒนา

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 สามารถนำค่ากระแส อุณหภูมิ และ Output Gas ของเซลล์เชื้อเพลิง  
ต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาแล้วมาเปรียบเทียบ ได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากระแส อุณหภูมิ และ Output Gas ของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์  
เชื้อเพลิงที่พัฒนา

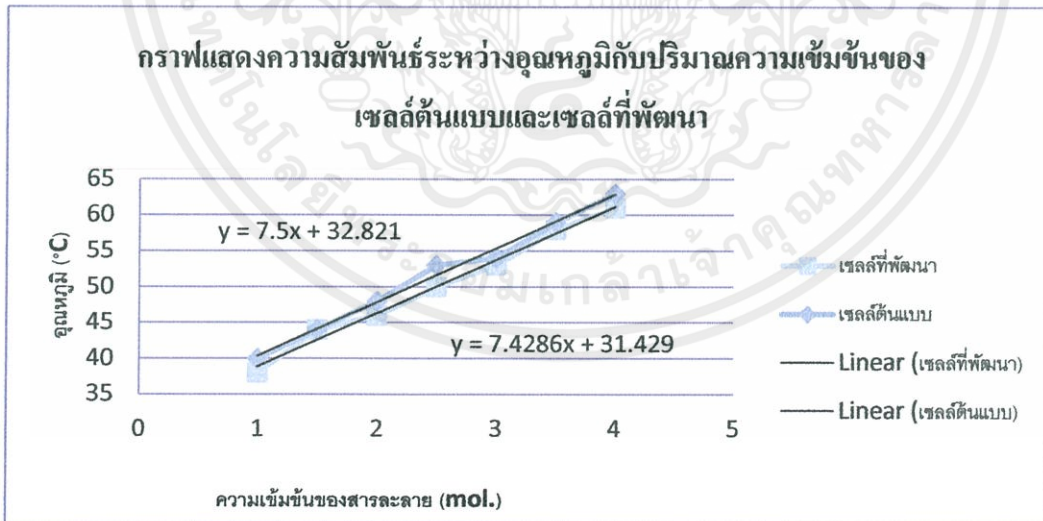
ความ เข้มข้น (mol)	I เซลล์ต้นแบบ (Amp)	I เซลล์ที่ พัฒนา (Amp)	$\Delta T$ เซลล์ต้นแบบ (°C)	$\Delta T$ เซลล์ที่พัฒนา (°C)	Output Gas เซลล์ต้นแบบ (cc/min)	Output Gas เซลล์ที่พัฒนา (cc/min)
1.0	10.1	9.7	1	1	0.1414	286
1.5	10.8	10.4	0	0	0.183	308
2.0	11.5	11.8	0	2	0.2242	326
2.5	12.3	12	2	4	0.2898	354
3.0	12.6	12.2	2	3	0.2994	386
3.5	13	12.4	2	3	0.3058	395
4.0	13.2	12.5	3	4	0.3125	413

จากตารางที่ 4.7 สามารถนำข้อมูลไปพล็อตกราฟระหว่างปริมาณ Output Gas กับปริมาณความเข้มข้นของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Output Gas กับปริมาณความเข้มข้นของสาร NaOH ของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา

จากตารางที่ 4.7 ทำให้ทราบว่าที่ความเข้มข้นของสาร NaOH เท่ากัน แบบเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาให้ปริมาณ Output Gas มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบและเซลล์ที่พัฒนานั้นใช้กระแสที่น้อยกว่าและช่วยลดความร้อนได้ดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณความเข้มข้นของเซลล์ต้นแบบและเซลล์ที่พัฒนา เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- จากการทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถช่วยเร่งปฏิกิริยาในการผลิตแก๊ส HHO ได้ดีที่สุด โดยได้ทำการทดลองด้วยสายละลาย 3 ชนิดคือ  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  และ  $\text{KOH}$  ที่ปริมาณความเข้มข้นเท่ากัน โดยเริ่มตั้งแต่ 0.5 โมลถึง 2.00 โมล และทำการกำหนดค่าวัตต์ให้มีค่าเท่ากันทุกปริมาณความเข้มข้นคือ 56 วัตต์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าสารที่ให้ Output Gas ได้ดีคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) รองลงมาคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{KOH}$ ) และ โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ )

- จากการทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ Output Gas ของเซลล์เชื้อเพลิงเดิมกับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการพัฒนา ซึ่งจากตารางที่ 4.8 แสดงถึงความสามารถในการผลิตแก๊ส HHO ของเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา จะให้ได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบนั้นสามารถให้ปริมาณ Output Gas ได้น้อยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนา โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาสามารถให้ปริมาณ Output Gas สูงสุดที่ความเข้มข้น 4 โมล ให้แก๊ส HHO 413 cc/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิง (HHO) โดยการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเกิด HHO GAS ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสซึ่งในการพัฒนาระบบจะเป็นการแก้ไขข้อบกพร่องของระบบเดิม ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. จากการทดลองหาสารละลายที่ช่วยในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสพบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นช่วยที่ทำให้เกิดปริมาณ Output Gas ได้ดี
2. หลังจากการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการผลิตแก๊ส HHO เทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงต้นแบบ จากการวิจัยในระยะต้นนี้พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยให้ผลิต แก๊ส HHO ได้เพิ่มขึ้น ในการทดลองนี้ได้ แก๊ซ HHO ออกมาที่อัตรา 413 cc/min ที่ศักดา 4.40 โวลท์ กระแส 13 แอมป์ และนำไปทดสอบการเป็นก๊าซเชื้อเพลิงด้วยการจุดติดไฟ

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หาวิธีระบายความร้อนให้กับ Reactor
2. สร้าง Reactor ให้มีความแข็งแรงแน่นอนและคงทนต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] พิธิภูษั วัฒนผดุงศักดิ์. 2542. “ไฟฟ้ากระแส.” : กรุงเทพฯ : นิโ อ ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์.  
เอกสารอ้กสำเนา.
- [2] พ้ชรี ธีรจินดาขจร. 2552. “การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายเพื่อปฏิบัติการเคมี  
วิเคราะห์.” พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- [3] คณะวิทยาศาสตร์, ม.สงขลานครินทร์. “เซลล์เชื้อเพลิง : เทคโนโลยีสะอาด.” [Online].  
เข้าถึงได้จาก :[http://banburee.psu.ac.th/Department/CHEM/Chemistry/  
chemworld.html](http://banburee.psu.ac.th/Department/CHEM/Chemistry/chemworld.html).2547.
- [4] <http://www.oknation.net/blog/krunut/2010/11/26/entry>
- [5] <http://www.thaigoodview.com/node/17983>
- [6] <http://energy-idea.blogspot.com/2012/10/power-supply-direct-current.html>
- [7] <http://www.lesa.biz/earth/hydrosphere/water-properties>
- [8] [http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file\\_handbook/Pre\\_Heat/pre\\_heat\\_3.pdf](http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_3.pdf)
- [9] [http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/1451-](http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/1451)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



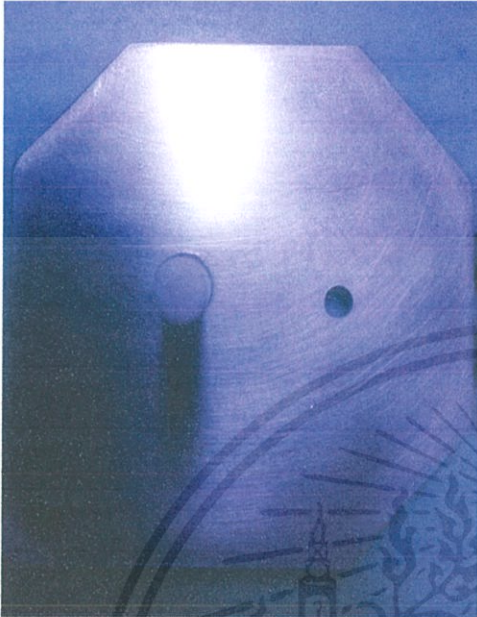
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ตารางธาตุ \*

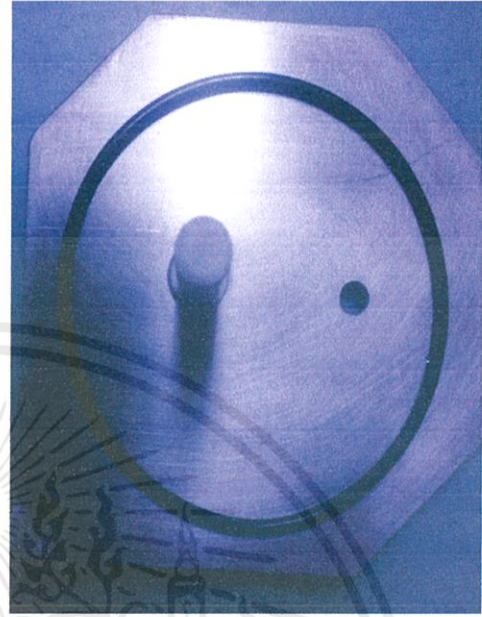
IA		IIA												VIIA	VIII				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Li ลิเทียม	Be เบริลียม											B โบรอน	C คาร์บอน	N ไนโตรเจน	O ออกซิเจน	F ฟลูออรีน	Ne นีออน		
11	12	ธาตุแอมัลแกม										Al อะลูมิเนียม	Si ซิลิคอน	P ฟอสฟอรัส	S ซัลเฟอร์	Cl คลอรีน	Ar อาร์กอน		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K โพแทสเซียม	Ca แคลเซียม	Sc สแกนเดียม	Ti ไทเทเนียม	V วานาเดียม	Cr โครเมียม	Mn แมงกานีส	Fe เหล็ก	Co โคบอลต์	Ni นิกเกิล	Cu ทองแดง	Zn สังกะสี	Ga กัลเลียม	Ge เจอร์เมเนียม	As อาร์เซนิก	Se ซีลีเนียม	Br โบรมีน	Kr คริปทอน		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb รูบิเดียม	Sr สตรอนเชียม	Y อิตเรียม	Zr เซอร์โคเนียม	Nb นิกเกิล	Mo โมลิบดีนัม	Tc เทคนีเชียม	Ru รูทีเนียม	Rh โรเดียม	Pd แพลตินัม	Ag เงิน	Cd แคดเมียม	In อินเดียม	Sn ดีบุก	Sb แอนติโมนี	Te เทลลูเรียม	I ไอโอดีน	Xe ซีนอน		
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72		
Cs ซีเซียม	Ba แบเรียม	La แลนทานัม	Hf แฮฟเนียม	Ta ทังสเตน	W ทังสเตน	Re เรเนียม	Os ออสเมียม	Ir อิริเดียม	Pt แพลตินัม	Au ทองคำ	Hg ปรอท	Tl ตะกั่วขาว	Pb ตะกั่ว	Bi บิสมัท	Po พอลอเนียม*	At แอสทาทีน*	Rn เรดอน*		
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104		
Fr แฟรนเชียม*	Ra เรเดียม*	Ac แอกทิเนียม*	Unq อูนควินเนียม*	Unq อูนควินเนียม*	Unq อูนควินเนียม*	Ce ซีเรียม	Pr พรอมิเทียม	Nd นีโอดิเมียม	Pm ปรมิเทียม	Sm สมิทเทียม	Eu ยูโรเปียม	Gd กาดอลินัม	Tb เทอร์บียม	Dy ดีสมียม	Ho โฮลมีเนียม	Er เออร์เบียม	Tm ทิมมูเนียม	Yb ยtterbium	Lu ลูทีเชียม
						90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
						Th ทอเรียม	Pa พรอทอกทีเนียม	U ยูเรเนียม	Np เนปทูเนียม	Pu พลูโทเนียม	Am แอมริเทียม	Cm เคมริเทียม	Bk แบคทีเรียม	Cf เคฟเวียม	Es แฮสเชียม	Fm เฟรมเมียม	Md เมนเดลิฟเวียม	No โนบิเลียม	Lr ลอเรนเซียม

\* สัญลักษณ์ของธาตุสังกะสีและธาตุที่มีเลขอะตอม 101-104 และ 106-118 ยังไม่เป็นที่นิยมนัก

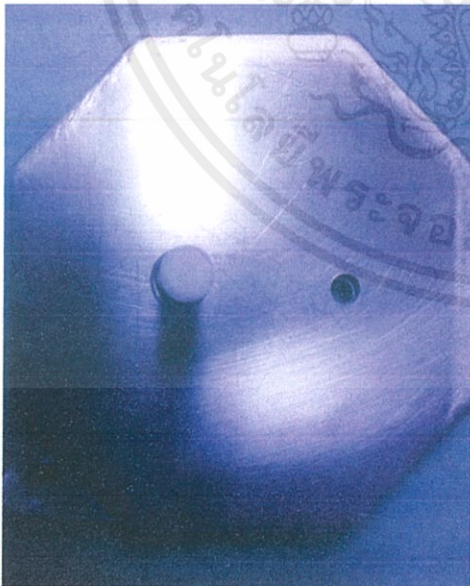
## ภาพแสดงขั้นตอนการประกอบเซลล์



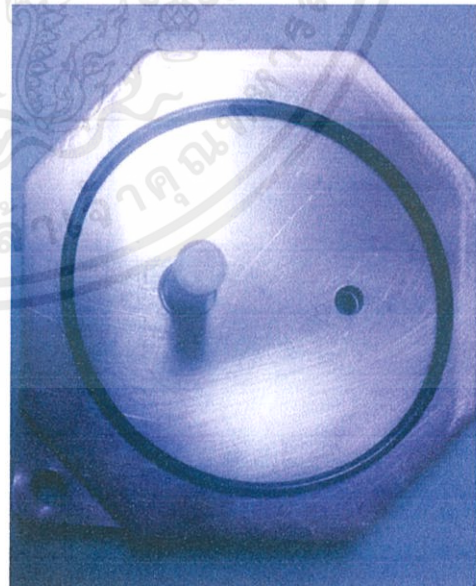
1. นำแผ่นสแตนเลสมาวาง  
โดยแผ่นแรกให้เป็นแผ่นขั้ว



2. นำโอริงมาวาง



3. ตามด้วยแผ่นสแตนเลส  
ที่เป็นแผ่นเซลล์มาวางซ้อน

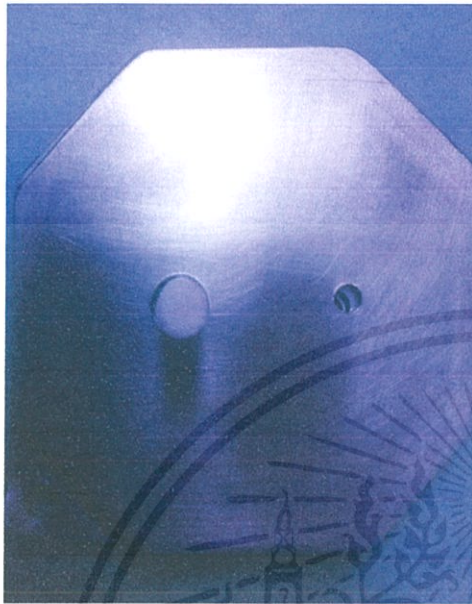


4. นำโอริงมาวางที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในเงื่อนไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์

## ภาพแสดงขั้นตอนการประกอบเซลล์ (ต่อ)



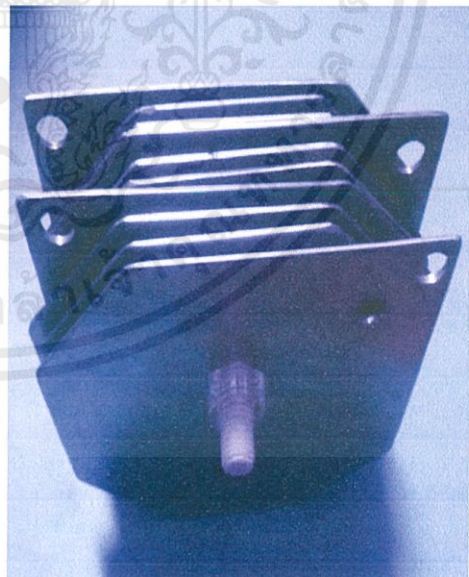
5. แผ่นเซลล์มาวางซ้อน



6. นำโอรังมาวาง



7. ใส่แผ่นขั้วอีกครั้ง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น  
ทำซ้ำอีกครั้งจนครบ



8. เมื่อใส่แผ่นจนครบไขน็อตให้แน่น  
และนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กลุ่มวิจัยได้รับจากโรงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกครั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ทำซ้ำอีกครั้งจนครบ และนำไปใช้งาน