

การศึกษาและวิเคราะห์การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

A STUDY AND ANALYSIS OF HYDROGEN ELECTROLYZER BY USING
SEPARATED ELECTROLYZED CELL PROCESS STAND ALONE



นฤดล คุ่มรักษา

NARUEDOL KUMRAKSA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

การศึกษาและวิเคราะห์การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

นฤคต คุ้มรักษา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

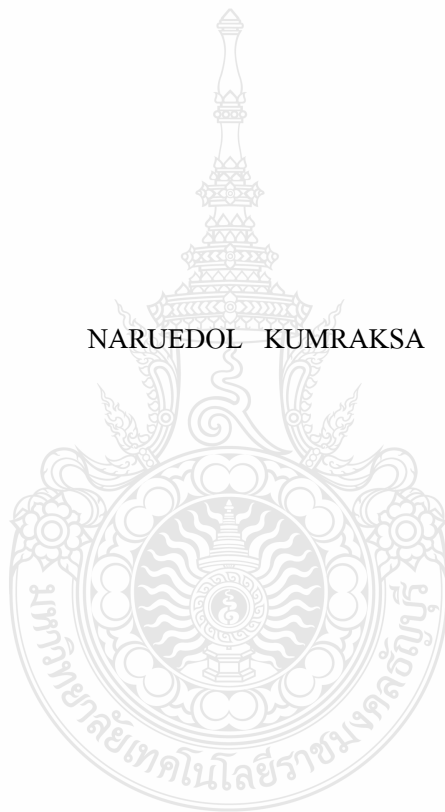
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

**A STUDY AND ANALYSIS OF HYDROGEN ELECTROLYZER BY USING
SEPARATED ELECTROLYZED CELL PROCESS STAND ALONE**

NARUEDOL KUMRAKSA



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นฤตล คุ่มรักษา





ใบรับรองวิทยานิพนธ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและวิเคราะห์การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์
A STUDY AND ANALYSIS OF HYDROGEN ELECTROLIZER BY USING SEPARATED ELECTROLYZED CELL PROCESS STAND ALONE
ชื่อนักศึกษา นายนฤตล คุ่มรักษา
รหัสประจำตัว 114970402003-5
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง
วัน เดือน ปี ที่สอบ 15 พฤษภาคม 2554
สถานที่สอบ ห้องประชุมภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ)

..... กรรมการ

(ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์)

..... กรรมการ

(ดร.สุรินทร์ แหงมงาม)

..... กรรมการ

(ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและวิเคราะห์การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์
นักศึกษา	นาย นฤตล คุ่มรักษา
รหัสประจำตัว	114970402003-5
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอพลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen, H₂) ซึ่งถือได้ว่าเป็นพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูง, สะอาด, และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้รับการคาดหมายและยอมรับว่าจะเป็นส่วนหนึ่งของพลังงานเชื้อเพลิงที่สำคัญอย่างมากในอนาคต ในปัจจุบันนี้กระบวนการเปลี่ยนรูปสารไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ (Steam reforming of hydrocarbons) เป็นกระบวนการที่ใหญ่ที่สุดสำหรับการผลิตพลังงานไฮโดรเจน แต่ปัญหาหลักที่สำคัญมากของกระบวนการนี้คือ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากซึ่งเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อนหรือปรากฏการณ์เรือนกระจก นอกจากนี้แล้วยังประสบปัญหาการขาดแคลนแหล่งของไฮโดรคาร์บอนที่นำมาใช้ในกระบวนการอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอกระบวนการไฮโดรเจนออกจากรุ่นน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส ซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ที่ปลอดภัย และสามารถผลิตพลังงานไฮโดรเจนได้

จากการศึกษาและค้นคว้าการแยกไฮโดรเจนออกจากรุ่นน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ โดยออกแบบแยกเซลล์จำนวน 5 ชุด สามารถเลือกการทำงานในแต่ละเซลล์ เพื่อทำการศึกษาการแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากกันและศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่พื้นผิวของขั้วอิเล็กโทรด แรงดัน กระแส และอุณหภูมิของสารละลาย เนื่องจากกระแสและอุณหภูมิมิมีผลโดยตรงต่อการแยกไฮโดรเจนและออกซิเจน

จากการทดสอบวิธีการแยกไฮโดรเจนออกจากรุ่นน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ซึ่งพบว่าในการแยกเซลล์ จะทำให้ได้ค่าไฮโดรเจนออกมาผสมกับออกซิเจนน้อยมากโดยก๊าซที่ออกมา นั้นจะมีทั้งฝั่งออกซิเจนและฝั่งไฮโดรเจนแยกออกจากกัน โดยนำไฮโดรเจนที่ได้จากการคัดแยกมาเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในอนาคต และนำไปใช้ร่วมกันกับพลังงานชนิดอื่นเช่นการใช้ร่วมกับน้ำมันในรถยนต์เพื่อเป็นอีกทางหนึ่งในการประหยัดและลดการใช้ น้ำมัน

คำสำคัญ: ไฮโดรเจน , อิเล็กโทรไลซิส

Thesis Title : A STUDY AND ANALYSIS OF HYDROGEN ELECTROLIZER
BY USING SEPARATED ELECTROLYZED CELL PROCESS
STAND ALONE

Student Name : Mr.Naruedol Kumraksa

Student ID : 11497040201003-5

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Electrical Engineering

Academic year : 2010

Thesis Advisor : Dr. Boonyang Plangklang

ABSTRACT

This thesis presents a production of Hydrogen which can be considered as powerful, clean and environmentally friendly. Fuel the refore Hydrogen will be a source of fuel that is extremely important in the future. Currently, using of fossil fuel is producing the largest amounts of carbon dioxide that causes global warming or the greenhousegas and more over the fossil resources will be shortage in near futere. Therefore, this research offers a process of hydrogen production from water by electrolysis which is an alternative method for Hydrogen production.

The proposed method to produce Hydrogen from water by electrolysis using separate cells is constructed of 5 separate cells that can function separately in each cell for study the separation of hydrogen and oxygen and variables that affect Electrolyte solution, such as density of electric current at the surface of the electrode, voltage, current and temperature, because the oritically temperature has a direct effect on the separation of hydrogen and oxygen.

The results of the proposed method showe that the isolated cells can produce pure Hydrogen without the mixture with oxygen. This can be sure that the hydrogen can be used in conjunction with other types of energy such as oil in car to save and reduce oil consumption.

Keywords: Hydrogen , Electrolyte

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้ได้ใช้ความพยายามในการรวบรวมข้อมูลเพื่อหวังให้ การศึกษามีความสมบูรณ์มากที่สุด โดยผู้ที่ชี้แนะแนวทางและให้คำปรึกษาแก้ไข ซึ่งแจ้งข้อบกพร่องมา ตลอดระยะเวลาจนสำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาและ คณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาจนการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองสำเร็จสมบูรณ์ได้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณบุคลากรผู้ให้ความรู้แก่ผู้ศึกษา เสนอแนวคิดใหม่ๆ ในการวิจัยรวมถึงวิธี ในการเก็บข้อมูลเพื่อไปวิเคราะห์และประเมินผล ซึ่งนับเป็นข้อมูลหลักในการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เป็นบุคคลสำคัญในการวางรากฐานที่มั่นคงทางด้าน การศึกษาวิชาความรู้ ทำให้มีโอกาสได้ใช้ประสบการณ์ในวิชาชีพ จนได้มีโอกาสมาเรียนรู้ใน สาขาวิชาพลังงานทดแทนที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้น

คุณค่าและประโยชน์อันพึงเกิดจากการศึกษาค้นคว้าฉบับนี้ผู้ศึกษาขอมอบความดีและอุทิศ ใให้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาและผู้มีพระคุณทุกท่าน

นฤตล คุ้มรักษา

15 พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการทำวิทยานิพนธ์	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 ข้อจำกัดของวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ไฮโดรเจน	7
2.3 หลักการทั่วไปของไฮโดรเจน	14
2.4 สารละลายอิเล็กโทรไลต์	20
2.5 อิเล็กโทรไลต์แก่และอิเล็กโทรไลต์อ่อน	21
2.6 สารละลายกรดและสารละลายเบส	26
2.7 การจัดเก็บก๊าซไฮโดรเจน	29
2.8 การเปลี่ยนรูปไฮโดรเจน	31
2.9 ความเป็นไปได้ในการเป็นเชื้อเพลิงทดแทน	31
2.10 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส	32
2.11 กฎของอาโวกาโดร	34
2.12 กฎทรงมวลของสสาร	34
2.13 กฎฟาราเดย์	35
2.14 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและวิธีดำเนินการ	38
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	38
3.2 กระบวนการ Electrolysis การแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วยไฟฟ้า	39
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	40
3.4 ขั้นตอนการออกแบบ	40
3.5 การออกแบบโครงสร้างเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากน้ำ	42
3.6 การออกแบบขั้วอิเล็กโทรด	45
3.7 การกักเก็บและการนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้งาน	46
3.8 การออกแบบชุดควบคุม	48
3.9 สรุปผลการออกแบบ	50
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล	51
4.1 ผลการทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรด	51
4.2 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	58
4.3 สรุป	70
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	71
5.1 สรุป	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	
ก สูตรเคมีและตารางธาตุ	74
ข คู่มือการใช้งาน	80
ค Properties Polypropylene (PP)	85
ง Properties Material	87
จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	89
ประวัติผู้เขียน	114

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางฟิสิกส์เชิงความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของไฮโดรเจนโมเลกุลในสถานะที่เป็นก๊าซ	8
2.2	ค่าคงที่สมดุลระหว่าง Ortho-Hydrogen และ Para-Hydrogen ที่อุณหภูมิต่างๆ	9
2.3	คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน	12
2.4	คุณสมบัติในการเผาไหม้ของก๊าซไฮโดรเจน	13
2.5	วิธีหลักในการผลิตไฮโดรเจน	17
2.6	ค่าคงที่สมดุลระหว่าง Ortho-Hydrogen และ Para-Hydrogen ที่อุณหภูมิต่างๆ	18
2.7	พลังงานจำเพาะ, ความหนาแน่นพลังงาน และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) ที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	19
2.8	อิเล็กโทรไลต์แก่ และอิเล็กโทรไลต์อ่อนบางชนิด	22
2.9	ค่า Specific conductance หรือ conductivity, K ของ KCl ที่เปลี่ยนไปตามความเข้มข้นและอุณหภูมิ	23
2.10	ผลการทดลองการทดสอบการนำไฟฟ้า	26
2.11	ประโยชน์ของสารละลายกรดและเบสบางชนิด	28
2.12	ราคาประเมินของการผลิตไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาของก๊าซธรรมชาติและขนาดของโรงงานที่ผลิต	32
3.1	การเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาทำขั้วอิเล็กโทรด	45
4.1	ปรับแรงดันแหล่งจ่ายไว้ที่ 6 โวลท์	52
4.2	ปรับแรงดันแหล่งจ่ายไว้ที่ 9 โวลท์	53
4.3	ปรับแรงดันแหล่งจ่ายไว้ที่ 12 โวลท์	54
4.4	เพิ่มพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลต	56
4.5	ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้จากการทดสอบ	57
4.6	ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 1 เซล	59
4.7	ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 2 เซล	60
4.8	ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 3 เซล	61
4.9	ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 4 เซล	62
4.10	ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 5 เซล	63

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
4.11 ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ที่ค่ากระแสต่างกันจากการทดสอบ	65
4.12 ทำการใส่สารโพแทสเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 1 ซ้อนโต๊ะ	68
4.13 ทำการใส่สารโพแทสเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 2 ซ้อนโต๊ะ	68
4.14 เพิ่มอุณหภูมิของน้ำขึ้นตั้งแต่ 5 °C – 100 °C	69



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบการให้พลังงานของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	10
2.2	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (แสดงในรูปของคาร์บอน) จากเครื่องยนต์สันดาป	11
2.3	Hydrogen production pathway	15
2.4	การแยกโมเลกุลน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า	16
2.5	คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน	19
2.6	การเป็นอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ของสาร	20
2.7	การแตกตัวของกรดแอซิดิกในน้ำ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์	21
2.8	การทดสอบสารที่มีค่าความเข้มข้น Λ ต่างกัน	24
2.9	การทดสอบการนำไฟฟ้า	25
2.10	ไฮโดรเนียมไอออน	27
2.11	ไฮโดรเนียมไอออนที่อยู่ในรูป H_3O^+ ไอออน	27
2.12	กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส	33
3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	38
3.2	กระบวนการ Electrolysis Process การแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วยไฟฟ้า	39
3.3	การออกแบบชุดทดลองการหาระยะห่างและพื้นที่หน้าตัดแผ่นเพลต	40
3.4	แสดงชุดทดลองการหาระยะห่างเพลต	41
3.5	แสดงอุปกรณ์ภายในชุดทดลอง	41
3.6	การแบ่งเซลล์เครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนด้วยฟองน้ำ	42
3.7	การแบ่งเซลล์เครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนด้วยออลิติก	43
3.8	เครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากน้ำ	43
3.9	โครงสร้างภายในเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากน้ำ	44
3.10	การออกแบบตัวนำไฟฟ้า	45
3.11	การใส่แผ่นตัวนำเข้ากับตัวถัง	46
3.12	การเก็บกักก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการผลิต	47
3.13	การเดินท่อนำก๊าซและการใส่ขั้วไฟในแต่ละเซลล์	47
3.14	ชุดอัดอากาศสำหรับดูดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน	48
3.15	วงจรชุดควบคุมการทำงานของเซลล์แต่ละชุด	48
3.16	ชุดควบคุมการทำงานของเซลล์แต่ละชุด	49
3.17	ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับชุดควบคุมการทำงาน	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.18	อุปกรณ์ทั้งหมดของเครื่องแยกก๊าซ	50
4.1	แสดงชุดทดลองการปรับระยะห่างของแผ่นเพลต	51
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของน้ำกับระยะห่างเพลตที่แรงดัน 6 โวลท์	53
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของน้ำกับระยะห่างเพลตที่แรงดัน 9 โวลท์	54
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของน้ำกับระยะห่างเพลตที่แรงดัน 12 โวลท์	55
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสความต้านทานของน้ำกับระยะห่างเพลตขนาดพื้นที่ 54 ตร.ซม. และขนาดพื้นที่ 108 ตร.ซม. เมื่อมีการระยะห่างของเพลต	57
4.6	วงจรการทดสอบหาค่าอัตราส่วนปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนต่อก๊าซออกซิเจน	58
4.7	วงจรการทดสอบหาปริมาตรของก๊าซที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาโดยสัมพันธ์กับกระแส	59
4.8	ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 1 เซล	60
4.9	ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 2 เซล	61
4.10	ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 3 เซล	62
4.11	ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 4 เซล	63
4.12	ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 5 เซล	64
4.13	วงจรการทดสอบหาค่าพลังงานและประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์	64
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดกับจำนวนเซลล์	69
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและอุณหภูมิ	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมากในการพัฒนาพลังงานในรูปแบบต่างๆเพื่อนำมาใช้แทนพลังงานจากฟอสซิลที่นับวันจะมีราคาแพงและเริ่มจะหมดไปจากโลก ประเทศไทยจึงได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด จากการขยายตัวในส่วนของภาคอุตสาหกรรมและการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศ ได้ส่งผลให้ประเทศต้องพึ่งพาน้ำมันปิโตรเลียมมากขึ้นเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานซึ่งนับวันราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้น นอกจากภาคอุตสาหกรรมแล้ว ความต้องการด้านพลังงานในภาคเศรษฐกิจ สังคมรวมถึงการใช้งานในชีวิตประจำวันก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ดังนั้นประเทศไทยจึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานในประเทศให้มากขึ้น รวมทั้งเร่งรัดนโยบายการประหยัดพลังงานควบคู่กันไปด้วย จึงได้มีการวิจัยพัฒนาพลังงานจากไฮโดรเจน มาเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในอนาคต และนำไปใช้ร่วมกับกับพลังงานชนิดอื่นเช่นการใช้ร่วมกับน้ำมันในรถยนต์เพื่อเป็นอีกทางหนึ่งในการประหยัดและลดการใช้ น้ำมัน รวมถึงการนำไฮโดรเจนมาใช้ในรูปแบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานดั้งเดิมได้ เนื่องจากมีประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น

1. แหล่งพลังงานดั้งเดิมก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งก๊าซชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งเกิดจากการสันดาป (Combustion) ของสารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำมัน แต่พลังงานไฮโดรเจนที่ได้จากน้ำ เป็นพลังงานสะอาด ดังนั้นจึงไม่ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก
2. การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดั้งเดิม ไม่ว่าจะมาจากยานพาหนะหรือแหล่งอุตสาหกรรมต่างๆ ก่อให้เกิดกลุ่มควันและฝุ่นละออง แต่พลังงานไฮโดรเจนจากน้ำ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ
3. พลังงานไฮโดรเจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องใช้พลังงานดั้งเดิมได้ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ และเครื่องยนต์ต่างๆ เป็นต้น
4. ก๊าซไฮโดรเจนสามารถนำไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนา และคาดว่าจะนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

1.2.3 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่พื้นผิวของขั้วอิเล็กโทรด แรงดัน กระแส และอุณหภูมิของสารละลาย

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส คือปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเพื่อแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากน้ำ โดย กระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้า (D.C.) จากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดการแยกตัวของสสาร เครื่องมือที่ใช้แยกสารละลายด้วยไฟฟ้าเรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลต์หรืออิเล็กโทรลิติกเซลล์ ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเครื่องกำเนิดกระแสตรง เช่น เซลล์ไฟฟ้า หรือ แบตเตอรี่ โดยก๊าซที่ออกมาจะมีทั้งฝั่งออกซิเจนและฝั่งไฮโดรเจนแยกออกจากกัน โดยนำไฮโดรเจนที่ได้จากการคัดแยกมาเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในอนาคต และนำไปใช้ร่วมกันกับพลังงานชนิดอื่นเช่นการใช้ร่วมกับน้ำมันในรถยนต์เพื่อเป็นอีกทางหนึ่งในการประหยัดและลดการใช้ น้ำมัน

1.4 ขอบเขตการทำวิทยานิพนธ์

1.4.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

1.4.2 ออกแบบและสร้างระบบการแยกก๊าซ ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

1.4.3 ทดลองและวิเคราะห์ประเมินผลการทำงานและประสิทธิภาพการแยกก๊าซ ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ ทดลอง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์สมมุติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และพื้นฐานวิธีการแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากน้ำด้วยวิธี อิเล็กโทรไลซิส

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและสร้างเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจนออกจากน้ำด้วยวิธี อิเล็กโทรไลซิส

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองการทำงานของระบบ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.6 ข้อจำกัดของการทำวิทยานิพนธ์

งานวิจัยครั้งนี้เป็นศึกษาและวิเคราะห์การแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากน้ำด้วยวิธี อิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์นั้น จะมีตัวแปรที่สำคัญคือ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ วัสดุที่นำมาทำขั้ว อิเล็กโทรด การควบคุมกระแสและอุณหภูมิ การแยกเซลล์เพื่อให้ได้ก๊าซไฮโดรเจนเพื่อนำมาใช้เป็น พลังงานเชื้อเพลิงในอนาคต และนำไปใช้ร่วมกับพลังงานชนิดอื่น ในการออกแบบครั้งนี้ไม่สามารถใช้สมการของฟาราเดย์มาคำนวณเพื่อออกแบบ



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen, H_2) ซึ่งถือได้ว่าเป็นพลังงานเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูง, สะอาด, และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้รับการคาดหมายและยอมรับว่าจะเป็นแหล่งของพลังงานเชื้อเพลิงที่สำคัญอย่างมากในอนาคต ในปัจจุบันนี้กระบวนการเปลี่ยนรูปสารไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ (Steam Reforming of Hydrocarbons) เป็นกระบวนการที่ใหญ่ที่สุดสำหรับการผลิตพลังงานไฮโดรเจน แต่ปัญหาหลักที่สำคัญมากของกระบวนการนี้คือ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากซึ่งเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อนหรือปรากฏการณ์เรือนกระจก นอกจากนี้แล้วยังประสบปัญหาการขาดแคลนแหล่งของไฮโดรคาร์บอนที่นำมาใช้ในกระบวนการอีกด้วย ดังนั้นกระบวนการอื่นซึ่งเป็นทางเลือกใหม่ที่ปลอดภัย และสามารถผลิตพลังงานไฮโดรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงควรได้มีการพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับความต้องการพลังงานไฮโดรเจนในอนาคต

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Cattelan and Wallace [1] ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารมลพิษและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic Converter) ซึ่งทดสอบกับเครื่องยนต์ 3.1 ลิตร 6 สูบ ที่ความเร็วรอบ 1200 และ 1800 รอบต่อนาที ที่ภาระการทำงาน 15 และ 30% ของภาระการทำงานสูงสุด ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ 15% โดยปริมาตร ผลการทดสอบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค (Brake Specific Energy Consumption, BSEC) ของเครื่องยนต์ลดลง 1- 27% โดยมีค่าลดลงมากที่สุด โดยมีค่าลดลงมากที่สุดเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วต่ำและภาระการทำงานต่ำ นอกจากนี้ที่มุ่งมองการจุดระเบิดเดียวกันการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยไฮโดรคาร์บอนมีค่าลดลง 10% เมื่อไม่ใช้แคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ และลดลง 20% เมื่อใช้แคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งแตกต่างจากปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่มีค่าสูงขึ้นประมาณ 10 – 50% เมื่อไม่ใช้แคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ แต่เมื่อใช้แคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อลดอุณหภูมิในการจุดระเบิดลงประมาณ 6 – 8 °C การใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมส่งผลให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์และค่า BSEC ที่ได้จากเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับการใช้ก๊าซธรรมชาติเพียงอย่างเดียว โดยปริมาณไฮโดรคาร์บอนยังคงลดลงทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้แคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์

Hoekstra, Collier and Mulligan [2] ทำการศึกษาปริมาณสารมลพิษและช่วงการขยายตัวของ Lean Limit เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม โดยการทดสอบกับเครื่องยนต์ 8 สูบ ที่ความเร็ว

รอบ 1700 รอบต่อนาที และผลิตกำลังได้ 12.7 กิโลวัตต์ (เป็นการจำลองสภาวะการทำงานของรถบรรทุกขนาดเล็กที่ความเร็ว 69 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (55 ไมล์ต่อชั่วโมง) ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ 11%, 20%, 28% และ 36% โดยปริมาตร ผลการทดสอบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยขยาย Lean Limit โดยสามารถทำงานได้จนถึง Equivalence Ratio เท่ากับ 0.666 (ไฮโดรเจน 11%), 0.625 (ไฮโดรเจน 20, 28 และ 36 %) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมมีส่วนช่วยลดปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน

Raman et.al., [3] สรุปผลการศึกษากการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในก๊าซธรรมชาติของบริษัทที่ปรึกษาทางด้านไฮโดรเจนกับมหาวิทยาลัยแห่งรัฐโคโลราโด โดยแบ่งผลงานวิจัยตามสภาวะการทำงานที่อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศที่แตกต่างกัน คือ ที่อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศเจือจางและพอดี ซึ่งที่อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศเจือจาง ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 5.7 ลิตร 8 สูบ ที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ผลการทดสอบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยขยายขีดจำกัดการเผาไหม้ส่วนผสมบางในเครื่องยนต์ รวมทั้งช่วยให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าลดลงในขณะที่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในส่วนของการทำงานที่อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศพอดี ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 4 ขนาด ซึ่งติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ ผลการทดสอบพบว่า ที่อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศพอดียังไม่สามารถบอกให้ทราบถึงประโยชน์ของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมได้อย่างชัดเจนซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตต่อไป

Swain et.al., [4] ศึกษาผลการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมต่อการขยายขอบเขตล่างของอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เครื่องยนต์ยังสามารถทำงานได้ (Lean Limit) และการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการแพร่กระจายของเปลวไฟในการเผาไหม้ ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 2 ขนาด (Toyota 1.6 ลิตร และ Nissan 2.0 ลิตร) ที่ภาวะการทำงานต่ำ ใช้ก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณ 20% ผลทดสอบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม ช่วยขยาย Lean Limit จนถึง Equivalence Ratio เท่ากับ 0.54 และสามารถเพิ่มความเร็วในการแพร่กระจายของเปลวไฟ (ประมาณร้อยละ 29) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนเบรคให้สูงขึ้นประมาณ 10 – 14%

Bell and Gupta [5] ศึกษาอิทธิพลของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์และปริมาณสารมลพิษ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศเจือจางซึ่งให้ประสิทธิภาพดีที่สุดและมีปริมาณสารมลพิษต่ำที่สุด โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 2.5 ลิตร 4 สูบ ที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิด 50% ของลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสูงสุด ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ 5, 10 และ 15% โดยปริมาตร ผลการทดสอบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยขยายตัวของขอบเขตการเผาไหม้ส่วนผสมบางในเครื่องยนต์ โดยมีค่าต่ำที่สุดที่ Equivalence Ratio เท่ากับ 0.42 และยังช่วยให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน และไฮโดรคาร์บอนลดลง โดยปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าต่ำที่สุด 0.15 g/kW-hr ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่ลดลงมีสาเหตุมาจากการแพร่กระจายของ

เปลวไฟเข้าใกล้ผนังได้มากขึ้นจึงช่วยเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ใน Crevice Volume และ ใกล้กับผนังห้องเผาไหม้ได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ Equivalence Ratio 0.75 – 0.90 การผสมก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซธรรมชาติไม่ส่งผลใดๆ ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ แต่ที่ Equivalence Ratio เท่ากับ 0.64 การเติมก๊าซไฮโดรเจนกลับส่งผลช่วยให้กำลังของเครื่องยนต์สูงขึ้นประมาณ 47% ที่ปริมาณไฮโดรเจน 15%

Larsen and Wallace [6] ทำการศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์จากการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 3.1 ลิตร 6 สูบ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ 15% โดยปริมาตร ทดสอบที่สภาวะการทำงาน 3 สภาวะ คือ ความเร็วต่ำและภาระการทำงานต่ำ (1200 rpm, 10 Nm) ความเร็วสูงสุดและภาระการทำงานกลาง (2000 rpm, 65 Nm) และความเร็วกลางและภาระการทำงานสูง (1500 rpm, 130 Nm) ผลจากการทดสอบพบว่าการใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยขยาย Lean Limit ได้จนถึง Equivalence Ratio เท่ากับ 0.60 นอกจากนี้พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยเฉพาะที่ภาระการทำงานสูง และช่วยลดปริมาณสารมลพิษ โดยปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าลดลง 13 – 32% และไฮโดรคาร์บอนมีค่าลดลง 5- 13%

Sierens and Rosseel [7] ศึกษาอิทธิพลต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของการผสมก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซธรรมชาติในปริมาณต่างกัน โดยทำการทดสอบเครื่องยนต์ 8 สูบ ที่ความเร็ว 3,800 รอบต่อนาที และตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสูงสุด ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ 10 และ 20% ผลการทดสอบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณเล็กน้อยมีส่วนช่วยลดปริมาณสารมลพิษ โดยปริมาณไฮโดรคาร์บอนลดลงมากที่สุดเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ Equivalence Ratio น้อยกว่า 0.8 และปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนลดลงมากที่สุดเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ Equivalence Ratio ต่ำกว่า 0.6 นอกจากนี้พบว่าประสิทธิภาพทางเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้

Dober และคณะ [8] ทำการพัฒนากระบอกสูบสำหรับเครื่องยนต์ใช้ก๊าซธรรมชาติ โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจน 1 % ของเชื้อเพลิงทั้งหมดฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อช่วยในการจุดระเบิด และตั้งชื่อระบบจุดระเบิดแบบใหม่ว่า Hydrogen Jet Ignition หรือ HAJI ผลการทดสอบเครื่องยนต์สูบเดียว ที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสูงสุด พบว่า การใช้ก๊าซไฮโดรเจนช่วยในการจุดระเบิดส่งผลให้ปริมาณสารมลพิษจากพวกออกไซด์ของไนโตรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง ในขณะที่ไฮโดรคาร์บอนมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ยังพบว่าช่วยให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ลดลง

Toshto, Kazuki and Tasuo [9] ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมที่ภาวะการเผาไหม้แบบเจือจางทำการทดสอบจากเครื่องยนต์ 1 สูบ 4 จังหวะ มีอัตราส่วนการอัด 13:1 การจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซมีเทนโดยใช้หัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง ส่วนก๊าซไฮโดรเจนใช้การผสมกับอากาศเข้าสู่ท่อร่วมไอดี ทุกสภาวะการทดสอบได้บันทึกค่าของความดันในกระบอกสูบ ปริมาณสารมลพิษและถ่ายภาพการเผาไหม้

ภายในกระบอกสูบด้วยกล้องความเร็วสูงผ่านทางหัวลูกสูบที่ทาจากควอตซ์ผลการทดสอบพบว่า การใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซมีเทนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน และลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนในขณะที่ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีปริมาณสูงขึ้นเล็กน้อย ส่วนภาพถ่ายแสดงให้เห็นว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซมีเทนทำให้การแพร่ขยายของเปลวมีพื้นที่มากขึ้นและมีช่วงเวลาในการเผาไหม้ลดลง

2.2 ไฮโดรเจน (Hydrogen, H₂)

ไฮโดรเจน เป็นธาตุที่เบาที่สุดและเป็นองค์ประกอบของน้ำที่เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของสิ่งมีชีวิตบนโลก เป็นโมเลกุลมีทั่วไปตามธรรมชาติ บรรยากาศในโลกมีก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 0.1 ppm. มีความแข็งแรงในการยึดโมเลกุล เท่ากับ 436 kJ/mol (104 kcal/mol) ดังนั้น เมื่อต้องการให้ไฮโดรเจนโมเลกุลทำปฏิกิริยา จึงต้องใช้พลังงานเพื่อทำลายความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลดังกล่าว เช่น เพิ่มอุณหภูมิใช้สารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ไฮโดรเจนอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่กลางภายในนิวเคลียส ประกอบด้วยโปรตอน และนิวตรอน และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบนอก เหมือนธาตุอื่นๆ ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป ขึ้นกับจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนที่ต่างกัน ดังนี้

1. ไฮโดรเจน (Hydrogen) มีจำนวนโปรตอน 1 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 1.0078
2. ดิวเทอเรียม (Deuterium) มีจำนวนโปรตอน 2 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 2.0141
3. ทริเทียม (Tritium) มีจำนวนโปรตอน 3 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 3.0161

ก๊าซไฮโดรเจนมีค่าการกระจายของเปลวไฟสูง (High Flame Propagation Speed) และมีพิสัยของการติดไฟกว้าง (Wide Flammability Limits) จึงถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม ซึ่งการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมนี้ได้รับความสนใจในการวิจัยที่ผ่านมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีรายละเอียดของงานวิจัยดังต่อไปนี้

ลักษณะทั่วไปของไฮโดรเจนทั้ง 3 สถานะ ไฮโดรเจนที่เป็นของแข็ง ไม่มีสี โครงสร้างผลึก 6 เหลี่ยม Molar Volume = 22.56 cm³/mol ไฮโดรเจนที่เป็นของเหลวไม่มีสี ค่า Viscosity ค่า เคลื่อนที่ได้เร็ว ไฮโดรเจนที่เป็นก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ ก๊าซไฮโดรเจน 1 ลิตร มีมวล 0.0898 กรัม

เมื่อศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์เชิงความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของไฮโดรเจนโมเลกุลในสภาวะที่เป็นก๊าซที่ความดันบรรยากาศพบว่า ความหนาแน่น (density, ρ) specific heat at constant pressure, Cp viscosity, μ kinematic viscosity, Thermal Conductivity, k absorption coefficient, α และ Prandtl number, Pr ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์เชิงความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของไฮโดรเจนโมเลกุลในสถานะที่เป็นก๊าซ

T (K)	r (kg/m ³)	Cp (kJ/kg·K)	m.107 (N·s/m ²)	n.106 (W/m·K)	k.103 (W/m·K)	a.106 (m ² /s)	Pr
100	0.24255	11.23	42.1	17.4	67.0	24.6	0.707
150	0.16156	12.60	56.0	34.7	101	49.6	0.699
200	0.12115	13.54	68.1	56.2	131	79.9	0.704
250	0.09693	14.06	78.9	81.4	157	115	0.707
300	0.08078	14.31	89.6	111	183	158	0.701
350	0.06924	14.43	98.8	143	204	204	0.700
400	0.06059	14.48	108.2	179	226	258	0.6595
450	0.05386	14.50	117.2	218	247	316	0.689
500	0.04848	14.52	126.4	261	266	378	0.691
550	0.04407	14.53	134.3	305	285	445	0.685
600	0.04040	14.55	142.4	352	305	519	0.678
700	0.03463	14.61	157.8	456	342	676	0.675
800	0.03030	14.70	172.4	569	378	849	0.670
900	0.02694	14.83	186.5	692	412	1030	0.671
1000	0.02424	14.99	201.3	830	448	1230	0.673
1100	0.02204	15.17	213.0	966	488	1460	0.662
1200	0.02020	15.37	226.2	1120	528	1700	0.659
1300	0.01865	15.59	238.5	1279	568	1955	0.655
1400	0.01732	15.81	250.7	1447	610	2230	0.650
1500	0.01616	16.02	262.7	1626	655	2530	0.643
1600	0.0152	16.28	273.7	1801	697	2815	0.639
1700	0.0143	16.58	284.9	1992	742	3130	0.637
1800	0.0135	16.96	296.1	2193	786	3435	0.639
1900	0.0128	17.49	307.2	2400	835	3730	0.643
2000	0.0121	18.25	318.2	2630	878	3975	0.661

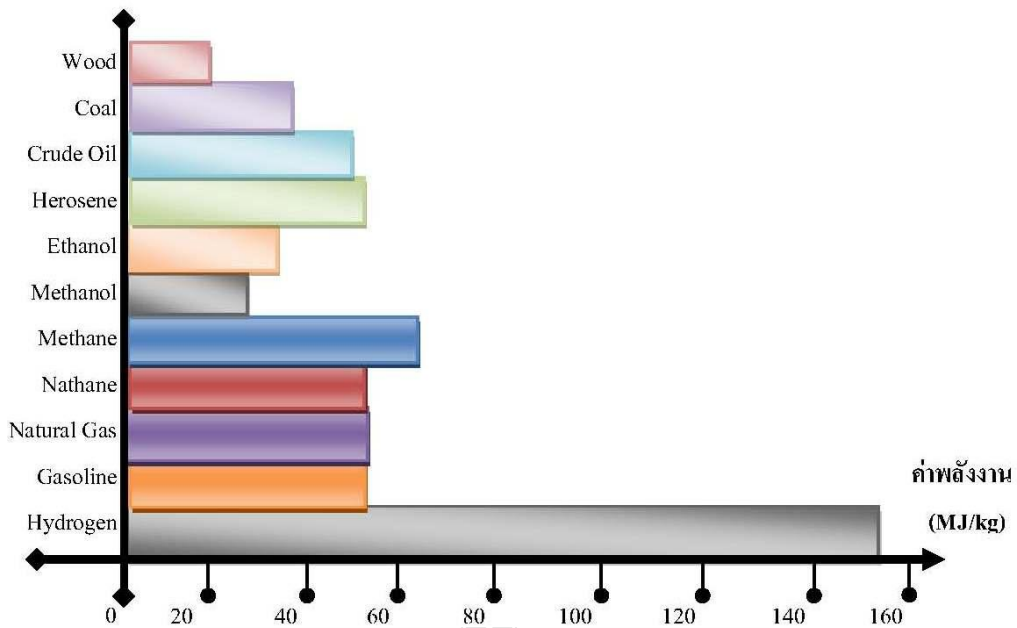
โมเลกุลของไฮโดรเจน มี 2 รูปแบบ คือ Ortho-hydrogen และ Para-hydrogen ทั้งสองชนิดมีลักษณะการหมุนของนิวเคลียสอะตอม โดย Ortho-Hydrogen มีนิวเคลียสอะตอมที่ประกอบเป็นโมเลกุลหมุนไปในทิศทางเดียวกัน ส่วน Para-Hydrogen มีนิวเคลียสอะตอมที่ประกอบเป็นโมเลกุลหมุนไปในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้คุณสมบัติด้าน Thermodynamics แตกต่างกัน แต่คุณสมบัติทางเคมีไม่ต่างกัน อัตราส่วนสมดุลระหว่าง Ortho-hydrogen : Para-hydrogen = 3:1 ที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า Normal Hydrogen และ Para-hydrogen เป็นรูปแบบไฮโดรเจนที่มีพลังงานต่ำ ความร้อนจากปฏิกิริยาในการเปลี่ยน Normal Hydrogen ไปเป็น Para-Hydrogen เรียกว่า DH ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่สมดุลระหว่าง Ortho-Hydrogen และ Para-Hydrogen ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°K)	Para-Hydrogen ที่สภาวะสมดุล (%)	DH (kJ/mol)
	100.0	-1.0627
10	100.0	
20	99.82	
25	99.01	
30	97.02	
35	93.45	
40	88.73	
50	77.05	-1.062
75	51.86	-0.9710
100	38.62	
150	28.60	
200	25.97	-0.3302
300	25.07	-0.556
> 500	25.00	

การละลายของไฮโดรเจนในของเหลวได้น้อย จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยไฮโดรเจนมีค่าการละลายที่ $273.15\text{ °K} = 1.755 \times 10^3\text{ mol\%}$ การละลายของไฮโดรเจนในโลหะเนื่องจากอะตอมที่เล็กที่สุดและเบาที่สุด ด้วยเหตุนี้ไฮโดรเจนจึงเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในจักรวาล (ออกซิเจนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดบนโลก แต่ทว่าโลกเป็นเพียงส่วนเล็กๆ ในจักรวาล) บนโลกแม้ว่าจะมีไฮโดรเจนน้อย ถึงกระนั้นก็ยังมียังมีอยู่ในชั้นบรรยากาศถึง 3% อุณหภูมิตามปกติ โมเลกุลของออกซิเจนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่านาที่ละ 4 ไมล์ โมเลกุลของไฮโดรเจนเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลของออกซิเจน คือมันจะเคลื่อนที่เร็วถึงนาที่ละ 7 ไมล์ (ความเร็วที่ได้นี้เป็นค่าความเร็วเฉลี่ย) ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนที่ก็จะเร็วขึ้นด้วย

ชนิดของเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบการให้พลังงานของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

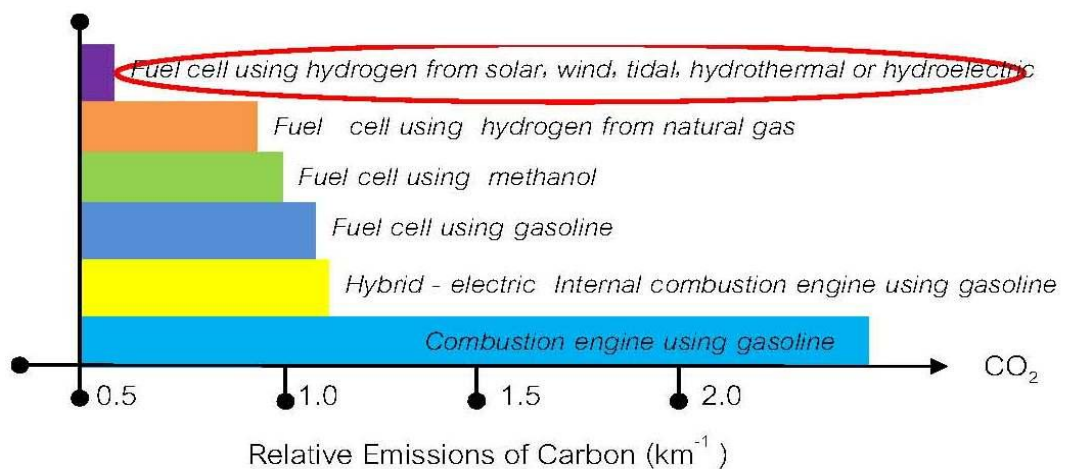
ก๊าซไฮโดรเจนถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงอนาคต ทั้งนี้เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจน โดยจะมีเพียงไอน้ำเป็นผลพลอยได้ ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลพลอยได้ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการทำให้โลกร้อนขึ้น (Global Warming) จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนนั้นสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ มาก ฉะนั้นพลังงานจากเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจึงมีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำมาใช้ นอกจากนี้ยังสามารถนำก๊าซไฮโดรเจนไปผลิตกระแสไฟฟ้าโดยป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) ซึ่งขณะนี้นักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจเป็น

อย่างมากในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงมาประยุกต์ เพื่อใช้ในด้านต่างๆ เนื่องจากประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ มาก ดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานดั้งเดิมได้

คุณประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ของก๊าซไฮโดรเจน

1. แหล่งพลังงานดั้งเดิมก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งก๊าซชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเกิดจากการสันดาป (Combustion) ของสารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำมัน แต่พลังงานไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด ไม่ ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นจึงไม่ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก
2. การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดั้งเดิม ไม่ว่าจะมาจากยานพาหนะหรือแหล่งอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก่อ ให้ เกิดกลุ่มควันและฝุ่นละออง แต่พลังงานไฮโดรเจนไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเหล่านี้
3. พลังงานไฮโดรเจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องใช้พลังงานดั้งเดิมได้ เช่น ใช้เป็น เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน เครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องกังหัน และเครื่องไอพ่น
4. ค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้จากไฮโดรเจนจะมากกว่าค่าพลังงานเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และ เชื้อเพลิงจากแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลและเอทานอลถึง 2.5 และ 5 เท่า ตามลำดับ
5. ก๊าซไฮโดรเจนสามารถนำไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งอยู่ ระหว่างการพัฒนาและคาดว่าจะนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอนาคต

รูปแบบเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (แสดงในรูปของคาร์บอน) จากเครื่องยนต์สันดาป

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสันดาปของ เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ ที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการ สันดาปของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากก๊าซ ไฮโดรเจน โดยเฉพาะก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากพลังงานธรรมชาติจะมีค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือน กระจกน้อยที่สุด

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน	
ชื่อ, สัญลักษณ์, หมายเลข	ไฮโดรเจน, H, 1
อนุกรมเคมี	อโลหะ
หมู่, คาบ, บล็อก	1, 1, s
ลักษณะ	ไม่มีสี
มวลอะตอม	1.00794 (7) กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	1s1
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	1
คุณสมบัติของอะตอม	
โครงสร้างผลึก	Hexagonal
สถานะออกซิเดชัน	1, -1 (แอมโฟเทอริกออกไซด์)
อิเล็กโตรเนกาติวิตี	2.20 (พอลิงสเกล)
พลังงานไอออไนเซชัน	ระดับที่ 1: 1312.0 กิโลจูล/โมล
รัศมีอะตอม	25 pm
รัศมีอะตอม (คานาน)	53 pm (รัศมีของบอห์ร์)
รัศมีโควาเลนต์	37 pm
รัศมีวานเดอร์วาลส์	120 pm
คุณสมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ก๊าซ
ความหนาแน่น	(0 °C, 101.325 kPa) 0.08988 กรัม/ลิตร
จุดหลอมเหลว	14.01 K (-259.14 °C)
จุดเดือด	20.28 K (-252.87 °C)
Triple point	13.8033 K, 7.042 kPa
ความร้อนของการหลอมเหลว	(H2) 0.117 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	(H2) 0.904 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) (H2) 28.836 J/(mol·K)
อุณหภูมิวิกฤต	32.19 K
ความดันวิกฤต	1.315 MPa
ความหนาแน่นวิกฤต	30.12 g/L

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน (ต่อ)

อื่น ๆ					
การนำความร้อน		(300 K) 180.5 mW/(m·K)			
ความเร็วเสียง		(ก๊าซ, 27 °C) 1310 m/s			
เลขทะเบียน CAS		1333-74-0			
การจัดเรียงทางแม่เหล็ก		???			
ไอโซโทปที่น่าสนใจของก๊าซไฮโดรเจน					
iso	NA	ครึ่งชีวิต	DM (MeV)	DP	
1H		99.985%		H เสถียร	โดยมี 0 นิวตรอน
2H		0.015%		H เสถียร	โดยมี 1 นิวตรอน
3H	trace	12.32 y	β^-	0.019	3He

จากตารางที่ 2.3 ให้เห็นค่าต่าง ๆ ของตัวก๊าซไฮโดรเจน เพื่อที่จะนำมาพิจารณานำคุณสมบัติและความสามารถของไฮโดรเจนไปใช้ให้เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติในการเผาไหม้ของก๊าซไฮโดรเจน

Propertie	Hydrogen
Chemical Formula	H ₂
Molecular Mass	2.02
Composition ,Mass %	
Carbon	0
Hydrogen	100
Specific Gravity,15.5°c (60°)	0.07
Octane No.	130 +
Autoignition Temperatue,°c	565-582
Flame Speed (m/s)	2.70

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติในการเผาไหม้ของก๊าซไฮโดรเจน (ต่อ)

Flammability Limits, Volume %	
Lower	4.1
Higher	74
Heating Value	
Higher,MJ/kg	142
Lower,MJ/kg	120
Stoichiometric Air/Fule,by Mass	34.4:1

จากตารางที่ 2.4 เห็นว่าก๊าซไฮโดรเจนมีการเผาไหม้ที่รวดเร็ว เนื่องจากมีค่า Octane Number ที่สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป อีกทั้งสูงกว่าก๊าซธรรมชาติและคู่ได้จากค่า Stoichiometric เปรียบเทียบของอากาศกับไฮโดรเจน คือ 14.7: 1 ถึง 34.4: 1

2.3 หลักการทั่วไปของไฮโดรเจน

แนวความคิดของกระบวนการแยกโมเลกุลน้ำ (Water Splitting Reaction) เพื่อผลิตพลังงานไฮโดรเจน ได้ถูกพัฒนาขึ้นเนื่องจากความมั่นใจที่ว่า กระบวนการนี้สามารถเป็นแหล่งของพลังงานไฮโดรเจนที่ยั่งยืน (Sustainable Energy) แหล่งของสารตั้งต้นที่นำมาใช้ในการผลิตพลังงานในกระบวนการนี้ซึ่งได้แก่ แหล่งน้ำ ก็เป็นแหล่งพลังงานที่สามารถหาได้อย่างไม่จำกัด นอกจากนี้พลังงานไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้ก็ไม่มีสารผลิตภัณฑ์อื่นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรอบอีกด้วย

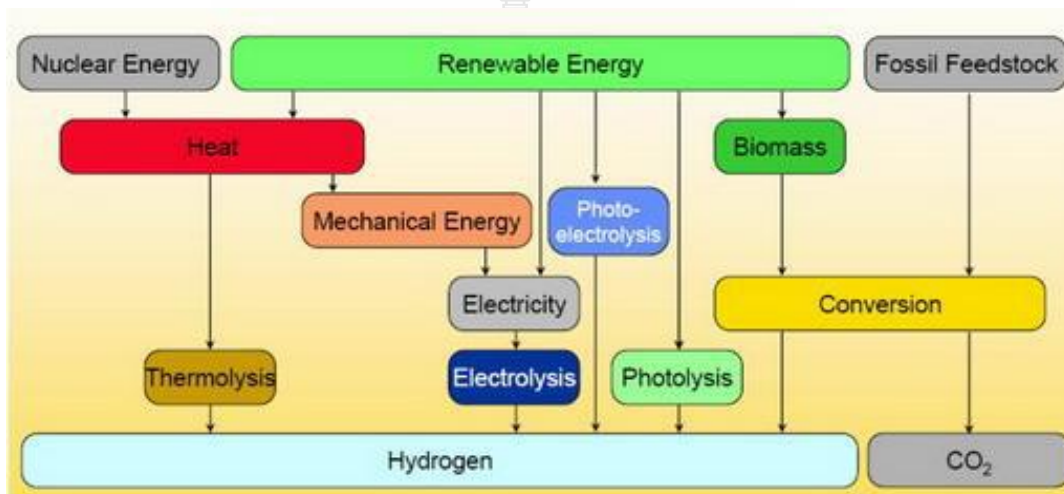
2.3.1 หลักการแยกไฮโดรเจน ออกจากน้ำ

หลังจากการแตกตัวของน้ำ ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ H_2O จะได้ก๊าซ 2 ชนิด คือ ไฮโดรเจน (H_2) และ ออกซิเจน (O_2) ดังนั้นเมื่อเราทำการแยกก๊าซทั้งสองชนิดออกจากกัน จะสามารถนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้ประโยชน์ได้ โดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะตัวในการจุดระเบิดของไฮโดรเจนซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงว่าไฮโดรเจนนั้นสามารถปลดปล่อยพลังงานออกมาได้อย่างมหาศาล ส่วนก๊าซออกซิเจนจะสามารถระเหยไปสู่บรรยากาศ เมื่อก๊าซไฮโดรเจนไม่ถูกนำไปใช้ จะสามารถมารวมตัวกับก๊าซออกซิเจน และกลับกลายเป็นน้ำ กลับคืนสู่ผิวโลกได้ดังเดิม

เนื่องจากลักษณะทางเคมีของน้ำมีส่วนประกอบเพียงสองส่วนคือ ไฮโดรเจนและออกซิเจนเท่านั้น จึงไม่สามารถเกิดก๊าซเสียหรือเขม่าควันจากคาร์บอน ได้ ถึงแม้ว่าน้ำที่ถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันของเราจะมีแร่ธาตุอื่นๆผสมอีกมาก แต่ผลจากการแยก ก๊าซทั้งสองชนิดนี้ด้วยวิธี Electrolysis จะทำให้แร่ธาตุต่างๆเหล่านั้นตกตะกอนออกมาเป็นตะกอน ซึ่งสามารถทำความสะอาดได้ไม่ยาก และสามารถลดปัญหาเหล่านี้ลงได้ โดยการเลือกใช้น้ำที่สะอาด เช่น น้ำดื่ม น้ำกลั่น น้ำกรอง

2.3.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในปัจจุบัน

ในปัจจุบันการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเมื่อพิจารณาจากวัตถุดิบเป็นหลักแบ่งออกเป็น 2 แหล่งหลัก คือ เชื้อเพลิงฟอสซิล จากพวกก๊าซธรรมชาติ ถ่าน น้ำมัน และเชื้อเพลิงจากพลังงานหมุนเวียน เช่น ชีวมวลและน้ำ โดยอาศัยแหล่งพลังงานธรรมชาติ (เช่น แสงแดด ลม คลื่น และน้ำ) ดังแสดงในภาพ 2.3 โดยเทคโนโลยีในการผลิตไฮโดรเจนต่างๆ อยู่ในขั้นตอนของการศึกษาวิจัยและพัฒนา ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบ การพัฒนาเทคโนโลยี ความต้องการพลังงาน นโยบายการเมือง และราคาซึ่งจะมีผลต่อเทคโนโลยีต่างๆ เช่น Electrolysis ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนจากน้ำเกิดขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1920 และมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ ต่อมาในปี ค.ศ.1960 การผลิตไฮโดรเจนได้ค่อยๆ เปลี่ยนไปเป็นการผลิตไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและยังคงเป็นแหล่งในการผลิตไฮโดรเจนในเชิงพาณิชย์มาจนถึงทุกวันนี้



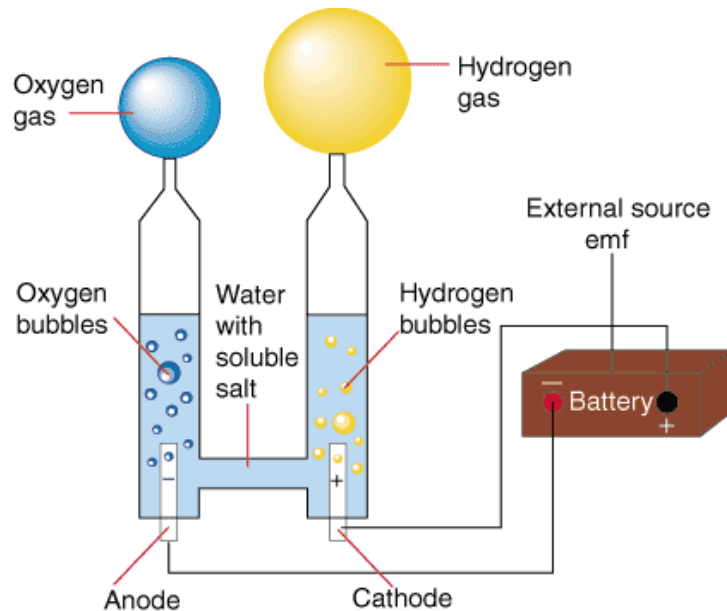
รูปที่ 2.3 Hydrogen production pathway

จากรูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งพลังงานเบื้องต้นที่เชื่อมโยงกับการบริโภคพลังงาน โดยไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานที่มีความยืดหยุ่นค่อนข้างสูงในด้านการผลิต เนื่องจากแหล่งพลังงานไฮโดรเจนเป็นได้ทั้งจากธรรมชาติ คือ พลังงานจากฟอสซิล พลังงานจากนิวเคลียร์ จากพลังงานทดแทน อีกทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแหล่งพลังงานดังกล่าวสามารถนำมาผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ทั้งสิ้น

การผลิตก๊าซไฮโดรเจน สามารถแบ่งได้ 3 เทคโนโลยีหลัก คือ

1. Thermal Process เป็นการให้ความร้อนกับแหล่งพลังงาน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ชีวมวล เชื้อเพลิงเหลว เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจน เช่น Reforming Gasification Partial Oxidation High-temperature Water Splitting

2. Electrolysis Process เป็นการใช้ไฟฟ้าเพื่อแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ แต่ขึ้นกับแหล่งในการผลิตกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างของแหล่งในการผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Sources)



รูปที่ 2.4 การแยกโมเลกุลน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า

ที่มา: <http://run-on-water.blogspot.com/2008/05/electrolysis.html>

3. Photolytic Process or Biophotolysis (นิวเคลียร์) เป็นการ ใช้พลังงานแสงเพื่อแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน เช่น Photo biological Water Splitting Photo electrochemical Water Splitting ปัจจุบันการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในเชิงพาณิชย์จะผลิตจากก๊าซธรรมชาติ โดยวิธี Steam Reforming เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ถูกที่สุด

การใช้พลังงานนิวเคลียร์ผลิตไฮโดรเจนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้น มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าวิธีอื่น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไม่ลดลง ถ้าการผลิตไฮโดรเจนใช้น้ำมันเบนซินหรือน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีการปล่อย CO₂ ออกมา พลังงานนิวเคลียร์มีราคาต่ำกว่า เชื้อมันได้มากกว่า มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าปริมาณมากโดยใช้พื้นที่น้อยกว่า และที่สำคัญคือ ไม่มีการปล่อยก๊าซที่ทำให้เกิดมลภาวะ หรือก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากไม่มีการเผาไหม้เกิดขึ้น

สรุป กระบวนการผลิตหลักๆ ของก๊าซไฮโดรเจน แบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ

1. ความร้อน (Thermal Production)
2. วิธีทางเคมี (chemical Production)
3. วิธีทางชีวภาพ (Biological Production)

ตารางที่ 2.5 วิธีหลักในการผลิตไฮโดรเจน

หลักการเบื้องต้น	กระบวนการ	วัตถุดิบ	พลังงาน	การปล่อยพลังงานออกมา
ความร้อน	การแปรรูปมาเป็นไอน้ำ	ก๊าซธรรมชาติ	ไอน้ำอุณหภูมิสูง 700-1100 °C	มีเล็กน้อยจากการแยกตัว (Sequestration) ของคาร์บอน
	การแยกน้ำด้วยความร้อนทางเคมี (Thermochemical)	น้ำ	ความร้อนสูงจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ Advanced gas-cooled	ไม่มี
	Gasification (การแปรรูปเป็นก๊าซ)	ถ่าน (Coal), ชีวมวล	ไอน้ำและออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงและแรงดันสูง	มีเล็กน้อยจากการแยกตัวของคาร์บอน
	Pyrolysis (การแยกสลายด้วยความร้อน)	ชีวมวล (Biomass)	ไอน้ำความร้อนสูงพอประมาณ	มีเล็กน้อยจากการแยกตัวของคาร์บอน
ไฟฟ้าเคมี	Electrolysis (การแยกสารด้วยไฟฟ้า)	น้ำ	ไฟฟ้าจากพลังงานลม แสงอาทิตย์, น้ำ, และนิวเคลียร์	ไม่มี
		น้ำ	ไฟฟ้าจากถ่านหินหรือก๊าซธรรมชาติ	มีเล็กน้อยจากการผลิตไฟฟ้า
	Photoelectro-chemical (ไฟฟ้าเคมีทางแสง)	น้ำ	แสงอาทิตย์ส่องโดยตรง	ไม่มี
ชีววิทยา	Photobiological (ชีววิทยาแสงอาทิตย์)	น้ำและพืคลสาหร่าย	แสงอาทิตย์ส่องโดยตรง	ไม่มี
	การย่อยทางชีวภาพ (Anaerobic)	ชีวมวล	ความร้อนสูง	มีเล็กน้อย
	การหมักด้วยจุลินทรีย์	ชีวมวล	ความร้อนสูง	มีเล็กน้อย

ตารางที่ 2.6 ค่าคงที่สมดุลระหว่าง Ortho-Hydrogen และ Para-Hydrogen ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°K)	Para-Hydrogen ที่สถานะสมดุล (%)	DH (kJ/mol)
	100.0	-1.0627
10	100.0	
20	99.82	
25	99.01	
30	97.02	
35	93.45	
40	88.73	
50	77.05	-1.062
75	51.86	-0.9710
100	38.62	
150	28.60	
200	25.97	-0.3302
300	25.07	-0.556
> 500	25.00	

คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจนโลกแม้ว่าจะมีไฮโดรเจนน้อย ถึงกระนั้นก็ยังมีปนอยู่ในชั้นบรรยากาศถึง 3% อุณหภูมิตามปกติ โมเลกุลของออกซิเจนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่านาที่ละ 4 ไมล์ โมเลกุลของไฮโดรเจนเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลของออกซิเจน คือมันจะเคลื่อนที่เร็วถึงนาที่ละ 7 ไมล์ (ความเร็วที่ได้นี้เป็นค่าความเร็วเฉลี่ย) ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการเคลื่อนที่ก็จะเร็วขึ้นด้วย

1. ไม่มีสีและกลิ่น
2. มีอุณหภูมิจุดระเบิดสูงกว่าน้ำมันที่ 570 องศาเซลเซียส
3. เป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบาที่สุด
4. มีจุดเดือดต่ำมากที่สุดที่ -253 องศาเซลเซียส
5. ติดไฟง่าย
6. ไม่เกิดประกายไฟขณะที่มีการเผาไหม้
7. มีการเผาไหม้ที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ออกไซด์

ในขณะที่มีการสันดาป กล่าวคือ ในกระบวนการเผาไหม้ระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน จะได้พลังงาน และน้ำออกมาเท่านั้น



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

ตารางที่ 2.7 พลังงานจำเพาะ, ความหนาแน่นพลังงาน และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

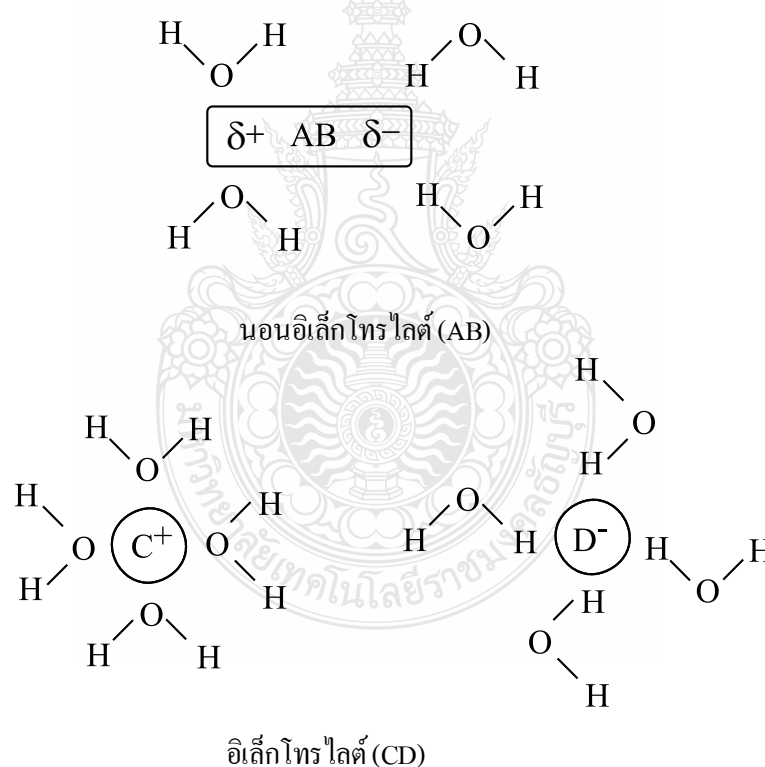
เชื้อเพลิง	พลังงานจำเพาะ (kJ/g)	ความหนาแน่น พลังงาน (kWh/gal)	สูตรทางเคมี	ปริมาณ CO ₂ (lbs/gal)
โพรเพน	50.4	26.8	C ₃ H ₈	13
เอทานอล	29.7	24.7	C ₂ H ₅ OH	13
เบนซิน	46.5	36.6	C ₇ H ₁₆	20
ดีเซล	45.8	40.6	C ₁₂ H ₂₆	22
ไบโอดีเซล	39.6	35.0	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	19
มีเทน	55.8	27.0	CH ₄	3
น้ำมัน	47.9	40.5	C ₁₄ H ₃₀	20
ไม้	14.9	11.3	-	9 (ประมาณ)
ถ่าน	30.2	22.9	-	19 (ประมาณ)
ไฮโดรเจน	141.9	10.1	H ₂	0

2.4 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

2.4.1 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) หมายถึง สารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวก หรือไอออนลบเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็นสารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้ ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดเกลือ (HCl) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายของเกลือ KNO_3 เป็นต้น โดยในสารละลายดังกล่าวประกอบด้วยไอออน H^+ , Cl^- , OH^- , K^+ และ NO_3^- ตามลำดับ

2.4.2 นอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte) หมายถึง สารที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อละลายน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจาก สารพวกนอนอิเล็กโทรไลต์ จะไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น น้ำบริสุทธิ์ น้ำตาล แอลกอฮอล์ เป็นต้น

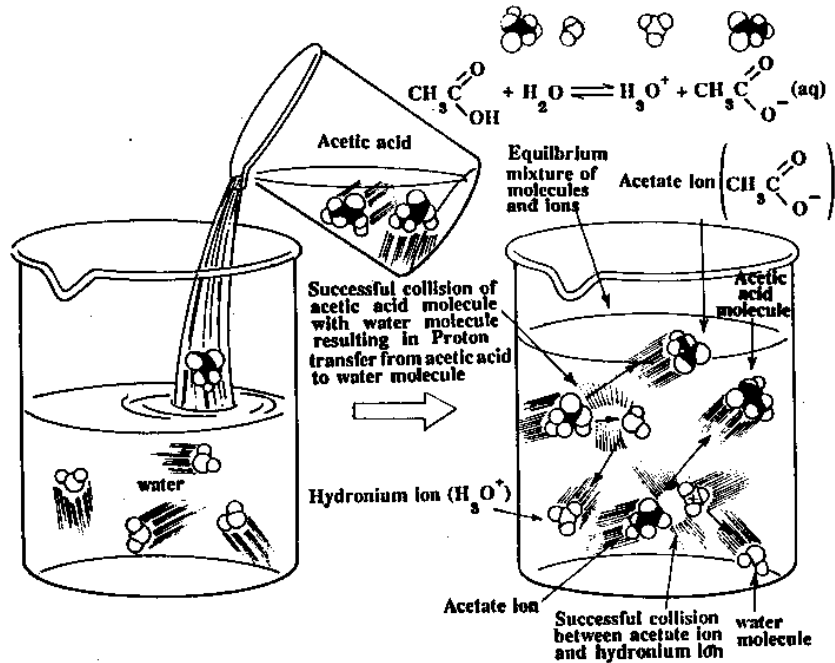
ความแตกต่างของสารอิเล็กโทรไลต์และนอน-อิเล็กโทรไลต์ พิจารณาจากสาร 2 ชนิดที่มีสูตร AB กับ CD เมื่อละลายน้ำจะรวมกันน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้



รูปที่ 2.6 การเป็นอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ของสาร

จากรูปที่ AB เป็นสารนอนอิเล็กโทรไลต์ เพราะ AB ไม่ละลายน้ำและไม่แตกตัวเป็นไอออน CD เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ เพราะ CD จะแตกตัวได้ C^+ และ D^- ไอออนซึ่งถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ

จากรูปที่ ก. AB เป็นสารอนอิเล็กโทรไลต์ เพราะ AB ไม่ละลายน้ำและไม่แตกตัวเป็นไอออน ส่วนภาพ ข. CD เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ เพราะ CD จะแตกตัวได้ C^+ และ D^- ไอออนซึ่งถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ



รูปที่ 2.7 การแตกตัวของกรดอะซิติกในน้ำ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

2.5 อิเล็กโทรไลต์แก่และอิเล็กโทรไลต์อ่อน

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ นำไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน เนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของอิเล็กโทรไลต์ไม่เท่ากัน อิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่า ก็จะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าอิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยกว่า อิเล็กโทรไลต์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.5.1 อิเล็กโทรไลต์แก่ (Strong Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์แก่ หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้มาก อาจจะแตกตัวได้ 100% และนำไฟฟ้าได้ดีมาก เช่น กรดแก่ และเบสแก่ และเกลือส่วนใหญ่จะแตกตัวได้ 100% เป็นต้น

2.5.2 อิเล็กโทรไลต์อ่อน (Weak Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์อ่อน หมายถึง สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวได้บางส่วน นำไฟฟ้าได้น้อย

ตารางที่ 2.8 อิเล็กโทรไลต์แก่ และอิเล็กโทรไลต์อ่อนบางชนิด

อิเล็กโทรไลต์แก่ (นำไฟฟ้าได้ดี)	อิเล็กโทรไลต์อ่อน (นำไฟฟ้าได้ไม่ดี)
เกลือที่ละลายน้ำทั้งหมด	CH ₃ COOH
H ₂ SO ₄	H ₂ CO ₃
HNO ₃	HNO ₂
HCl	H ₂ SO ₃
HBr	H ₂ S
HClO ₄	H ₂ C ₂ O ₄
NaOH	H ₃ BO ₃
KOH	HClO
Ca(OH) ₂	NH ₄ OH
Ba(OH) ₂	HF

2.5.3 การนำไฟฟ้าในสารละลาย

ในกรณีนี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนเช่นกัน (ซึ่งประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบเสมอ - ไม่มีไอออนเดี่ยวๆ และไม่มีอิเล็กตรอนในสารละลาย) การวัดการนำไฟฟ้าในกรณีนี้จะต้องอาศัยขั้วไฟฟ้า (Electrode) 2 อันซึ่งทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำ จุ่มลงในของเหลวและอีกด้านของขั้วไฟฟ้านี้จะต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้าที่ใช้ให้แรงดัน V คงที่ และวัดกระแส I (ของเหลวในที่นี้มักจะหมายถึงสารละลาย เพราะ Molten Salt ต้องใช้อุณหภูมิสูงทำได้ยากกว่า) สารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดีจะเรียกว่า electrolyte ซึ่งตรงข้ามกับ non-electrolyte เนื่องจาก การนำไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว (Area, A) และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (Distance, d) ด้วย ดังนั้นเพื่อ Correction ผลจาก Dimension ของขั้วไฟฟ้า จึงได้มีการสนใจวัดเป็นค่า conductivity (K) โดยที่ $K=L\theta$ โดย θ คือ Cell constant สำหรับชุดขั้วไฟฟ้าหนึ่งๆ (ขั้วที่ใช้วัดอาจเป็นแบบจุ่มลงในสารละลาย หรือแบบเตาสารละลายลงใน Cell) ซึ่ง $\theta = d/A$ ดังนั้นหน่วยของ K คือ $S\ cm^{-1}$ ค่า θ อาจหาได้จากการวัด Conductance ของสารละลายที่ทราบค่า Conductivity เช่น สำหรับ KCl ค่า K ที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆ ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ค่า Specific conductance หรือ conductivity, K ของ KCl ที่เปลี่ยนไปตามความเข้มข้น และอุณหภูมิ

ความเข้มข้น (M)	การนำไฟฟ้าจำเพาะของสารละลาย KCl (ซีเมน /ซม.)		
	18 °C	20 °C	25 °C
0.001	1.271×10^{-4}	1.326×10^{-4}	1.469×10^{-4}
0.010	1.225×10^{-3}	1.278×10^{-3}	1.413×10^{-3}
0.100	1.119×10^{-2}	1.167×10^{-2}	1.288×10^{-2}
1.000	0.982×10^{-1}	1.021×10^{-1}	1.118×10^{-1}

ค่า Conductivity ของสารละลายหนึ่งๆ จึงมีค่าเท่ากันไม่ว่าจะวัดด้วยเครื่องมือใด แต่ค่า Conductance ที่วัดได้จะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับ θ หรือ A และ d โดย $L=K/\theta = (KA)/d$ ค่า Conductivity ของสารละลายขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย และจำนวนไอออนที่นิยมวัดออกมาในรูปความเข้มข้นนั่นเอง ความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ ขนาดของประจุ (charge, z) ของไอออน ขนาด (size, radius, r) ของไอออน ความหนืดของสารละลาย (Viscosity, η) อุณหภูมิ(Temperature,T) การถูกห้อมล้อมด้วยโมเลกุลของตัวทำละลาย (Solvation)และโมเลกุลหรือไอออนอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลถึงการบดบังประจุ ทำให้ประจุที่แสดงออก (Effective Charge) ของไอออนนั้นต่ำลงด้วย ความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนดูจากค่า Mobility (u) ดังสมการ

$$u = (|z| e) / (6\pi \eta r) \quad (2.1)$$

โดย e คือขนาดประจุของ 1 อิเล็กตรอนหรือโปรตอน (Elementary Charge Constant)

พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นค่า K จะเพิ่มขึ้น โดยค่า K สัมพันธ์กับความเข้มข้นและ Mobility ของไอออนต่างๆ ดังสมการ

$$K = F \sum_i |z_i| u_i C_i \quad (2.2)$$

โดย F คือ Faraday Constant (96485 C/mol) และ i แทนไอออนที่ i, C คือความเข้มข้นของไอออนในหน่วย mol/ cm³

จากสมการนี้บอกเราสองอย่าง

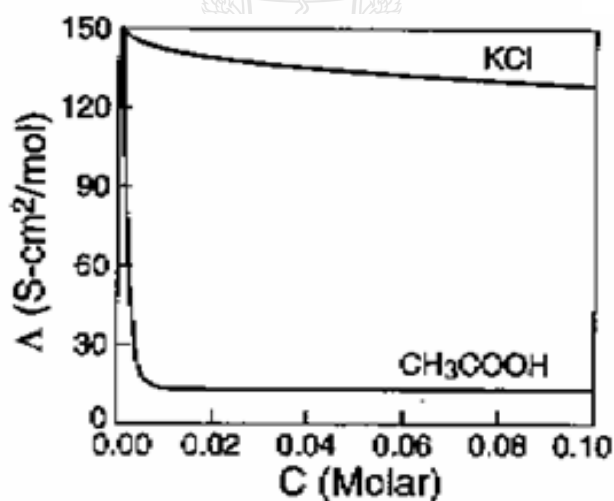
(1) ค่า K ขึ้นอยู่กับสมบัติของแต่ละไอออน (ประจุ & Mobility)

(2) ค่า K แปรผันโดยตรงกับความเข้มข้น เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่า K ของสารละลายต่างชนิดกันได้จะต้องเปรียบเทียบสารละลายที่มีความเข้มข้น (Total Ionic Concentration) เท่ากัน นั่นคือต้องใช้ค่า Molar Conductivity (Λ) โดย

$$\Lambda = \kappa / C \quad (2.3)$$

เมื่อ C คือความเข้มข้นของไอออนที่สนใจเปรียบเทียบ (ไอออนบวกหรือลบ, โดยที่ Counter Ion ของมันต้องเหมือนกัน) (mol/cm^3) หน่วยของ Λ คือ $\text{S cm}^2/\text{mol}$

ดังนั้นค่า Λ ของ 0.1 M KCl และ 1M KCl ควรจะมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตามพบว่าค่า Λ ของสารละลายหนึ่งๆ ก็เปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของสารละลายด้วยขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบที่นำมาเตรียมเป็นสารละลาย ทั้งนี้เพราะสารประกอบเกิดเป็นไอออน (ionization) ได้ไม่เท่ากัน โดยทั่วไปค่า Λ ที่ความเข้มข้นต่ำจะมีค่ามากกว่า Λ ที่ความเข้มข้นสูง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 การทดสอบสารที่มีค่าความเข้มข้น Λ ต่างกัน

สารประกอบที่มีค่า Λ ไม่เปลี่ยนแปลงมากมากนักเมื่อมีความเข้มข้นต่างกันเรียกว่า Strong Electrolytes เช่น KCl, NaCl ส่วนสารที่ความเข้มข้นมีผลต่อค่า Λ มากเรียกว่า Weak Electrolyte เช่น CH_3COOH (สาเหตุที่ Λ น้อยลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารเกิด Ionization or Dissociation ได้น้อยลง และเกิดการบดบังประจุของไอออน)

ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของสารต่างชนิดกันจึงนิยมใช้ค่า Limiting Molar Conductivity (Λ^0) ซึ่งก็คือ Λ ที่ Infinite Dilution โดยหาได้จากจุดตัดแกน y ของกราฟในรูปที่ 2.7 นั้นเอง ในทางปฏิบัติได้จากการ Fitting ข้อมูลจากการทดลองเข้ากับสมการ Kohlrausch's Law

$$\Lambda = \Lambda^0 - K C^{1/2} \quad (2.4)$$

โดย K คือค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิด electrolyte ว่าเป็นแบบ 1:1 (MA) 2:1 (M_2A) ฯลฯ

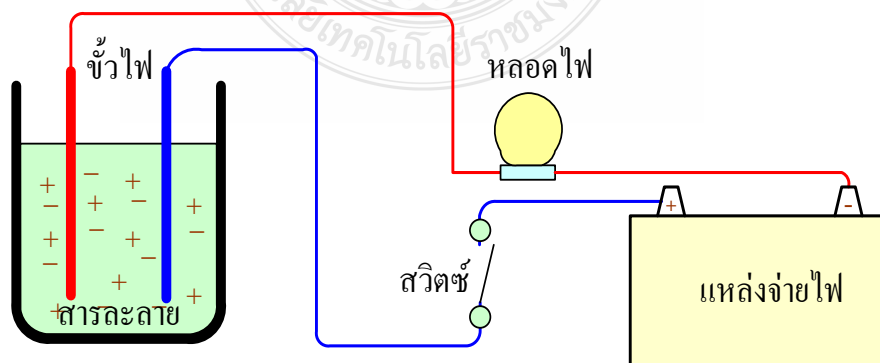
ได้มีการหา Λ^0 สำหรับ electrolyte ต่างๆ พบว่า Λ^0 เป็นผลรวมของการนำไฟฟ้าของ Cations และ Anions แต่ละชนิดที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งเป็นไปตาม Kohlrausch's Law of Independent Migration of Ions

$$\Lambda^0 = \nu_+ \lambda_+^0 + \nu_- \lambda_-^0 \quad (2.5)$$

โดย ν_+ และ ν_- คือ stoichiometric coefficients ของ cations และ anions ตามลำดับ เช่น $K_4Fe(CN)_6$ มี $\nu_+ = 4$ และ $\nu_- = 1$ เพราะมี $4 K^+$ ต่อ $1 Fe(CN)_6^{4-}$ ส่วน λ_+^0 และ λ_-^0 เรียกว่า limiting ionic molar conductivities ซึ่งจะมีการรวบรวมไว้ใน Handbook ต่างๆ ซึ่งมักจะระบุอุณหภูมิเท่ากับ $25^\circ C$

2.5.4 สารละลายที่นำไฟฟ้า

สารละลายที่นำไฟฟ้า ได้แก่ สารละลายของกรด เบส และเกลือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ต่อเข้ากับแหล่งให้พลังงานไฟฟ้า (ให้ศักย์ไฟฟ้า) หลอดไฟ และ สวิตซ์ให้ครบวงจรดังภาพ



รูปที่ 2.9 การทดสอบการนำไฟฟ้า

วิธีทดสอบ เมื่อทดสอบแล้วเพื่อให้ครบวงจร ถ้าสารละลายในภาชนะเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ หลอดไฟจะสว่างขึ้น แสดงว่าสารละลายนั้นนำไฟฟ้าได้

ตารางที่ 2.10 ผลการทดลองการทดสอบการนำไฟฟ้า

สารที่ใช้ทดสอบ	ผลการทดสอบ
น้ำบริสุทธิ์	ไม่นำไฟฟ้า (หลอดไฟไม่สว่าง)
น้ำที่มีน้ำตาลละลายอยู่	ไม่นำไฟฟ้า (หลอดไฟไม่สว่าง)
ยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)	ไม่นำไฟฟ้า (หลอดไฟไม่สว่าง)
สารละลายเกลือ NaCl	นำไฟฟ้า (หลอดไฟสว่าง)
สารละลายเกลือ K_2SO_4	นำไฟฟ้า (หลอดไฟสว่าง)
สารละลายกรด HCl	นำไฟฟ้า (หลอดไฟสว่าง)
สารละลายกรดแอซิติก (CH_3COOH)	นำไฟฟ้าน้อย (หลอดไฟสว่างน้อย)
สารละลายเบส NaOH	นำไฟฟ้า (หลอดไฟสว่าง)
สารละลายเบส NH_4OH	นำไฟฟ้า (หลอดไฟสว่าง)

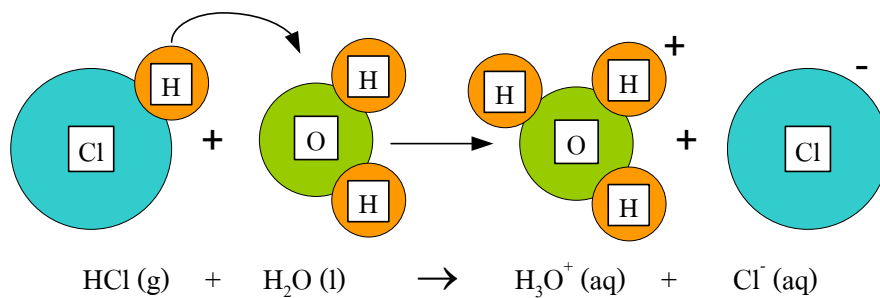
ผลที่ได้อธิบายได้ว่า สารละลายที่ไม่มีไอออนอยู่ เช่น น้ำ หรือน้ำตาลทรายที่ละลายอยู่ในน้ำมัน จะมีพันธะแบบโคเวเลนต์ ไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ จึงไม่นำไฟฟ้า แต่ NaCl HCl เมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวเป็น Na^+ , Cl^- หรือ H^+ , Cl^- ซึ่งเป็นไอออนที่เคลื่อนที่ในสารละลายทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้นได้

2.6 สารละลายกรดและสารละลายเบส

จากการศึกษาสมบัติของสารละลายพบว่าสารละลายกรดและสารละลายเบสเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นำไฟฟ้าได้เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสทำปฏิกิริยากับโลหะและเกลือ กรดและเบสสามารถแตกตัวเป็นไอออนเมื่อเป็นสารละลาย เราจะศึกษาต่อไปถึงไอออนในสารละลายกรดและเบส ซึ่งทำให้สารละลายแสดงสมบัติเฉพาะตัวดังกล่าว

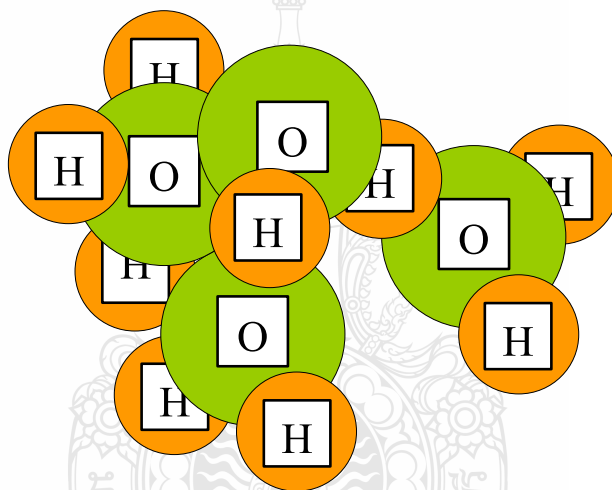
2.6.1 ไอออนในสารละลายกรด

ในสารละลายกรดทุกชนิด จะมีไอออนที่เหมือนกันอยู่ส่วนหนึ่งคือ H^+ หรือ เมื่อรวมกับน้ำได้เป็น H_3O^+ (ไฮโดรเนียมไอออน) ทำให้กรดมีสมบัติเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งเกิดจากกรด HCl ละลายในน้ำ โมเลกุลของ HCl และ น้ำต่างก็เป็นโมเลกุลโคเวเลนต์มีขั้ว ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วของ HCl และน้ำ โดยที่โปรตอน (H) ของ HCl ถูกดึงดูดโดยโมเลกุลของน้ำเกิดเป็นไฮโดรเนียมไอออน ($\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+$) ในบางครั้งเขียนแทน H_3O^+ ด้วย H^+ โดยเป็นที่เข้าใจว่า H^+ นั้นจะอยู่ร่วมกับโมเลกุลของน้ำในรูป H_3O^+ เสมอ



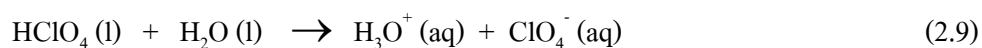
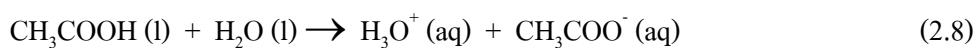
รูปที่ 2.10 ไฮโดรเนียมไอออน

ไฮโดรเนียมไอออนในน้ำไม่ได้อยู่เป็นไอออนเดี่ยว แต่จะมีน้ำหลายโมเลกุลมาล้อมรอบอยู่ด้วย เช่น อาจอยู่ในรูปของ H_5O_2^+ , H_7O_3^+ , H_9O_4^+ เป็นต้น



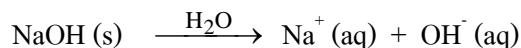
รูปที่ 2.11 ไฮโดรเนียมไอออนที่อยู่ในรูป H_9O_4^+ ไอออน

ตัวอย่าง สมการแสดงการแตกตัวเป็นไอออนของกรดในน้ำ

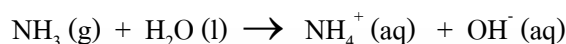
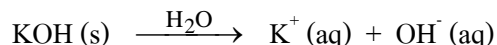


2.6.2 ไอออนในสารละลายเบส

ในสารละลายเบสทุกชนิดจะมีไอออนที่เหมือนกันอยู่คือ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ซึ่งทำให้เบสมีสมบัติเหมือนกัน และมีสมบัติต่างไปจากกรด ตัวอย่างเช่น เมื่อ NaOH ละลายน้ำจะแตกตัวได้ OH^- ดังนี้



หรือตัวอย่างอื่นๆ ได้แก่



2.6.3 ประโยชน์ของสารละลายกรดและเบสในชีวิตประจำวัน

สารละลายกรดและเบสมีบทบาทที่สำคัญในชีวิตประจำวัน ทั้งมีอยู่ในธรรมชาติและที่สังเคราะห์ขึ้นใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ในด้านอาหาร อุตสาหกรรมการแพทย์ ตัวอย่างเช่น น้ำส้มสายชู น้ำส้ม น้ำมะนาว เหล่านี้ล้วนเป็นสารละลายกรด น้ำส้มสายชูประกอบด้วยกรดแอซิติก น้ำส้มและน้ำมะนาวประกอบด้วยกรดซิตริก นอกจากนี้ก็มีกรดคาร์บอนิกในน้ำโซดา กรดซัลฟิวริกในสารละลายที่อยู่ในแบตเตอรี่ สารละลายเบสที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวันได้แก่ โซดาทำขนม (Na_2CO_3) เมื่อละลายในน้ำจะเป็นเบสมีลด์ออฟแมกนีเซียมหรือ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ใช้เป็นยารักษาโรคในกระเพาะอาหาร เป็นต้น

ตารางที่ 2.11 ประโยชน์ของสารละลายกรดและเบสบางชนิด

กรดหรือเบส	ประโยชน์
กรดไฮโดรคลอริก (HCl)	1. ใช้ในอุตสาหกรรมเตรียมสารเคมีต่างๆ 2. ใช้ในการผลิตผงชูรส 3. ใช้ในการถลุงโลหะ 4. ใช้ในห้องปฏิบัติการและในทางการแพทย์ 5. ใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำยาล้างเครื่องสุขภัณฑ์ 6. มีในกระเพาะอาหารสำหรับใช้ในการย่อยโปรตีน
กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	ใช้เป็นสารเริ่มต้นที่สำคัญอย่างหนึ่งในอุตสาหกรรมเคมี เช่น การผลิตปุ๋ย เส้นใยสังเคราะห์ ทำแบตเตอรี่

ตารางที่ 2.11 ประโยชน์ของสารละลายกรดและเบสบางชนิด (ต่อ)

กรดหรือเบส	ประโยชน์
กรดไนตริก (HNO_3)	1. ใช้ในการผลิตปุ๋ยเคมีและสารเคมี 2. ใช้ในการทดสอบอัลบูมินในปัสสาวะ (อัลบูมินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง กรดไนตริกจะทำให้โปรตีนแข็งตัวและตกตะกอนได้ สารสีเหลือง)
กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3)	เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของน้ำอัดลมที่เกิดจากการละลายของก๊าซ CO_2 ในน้ำ
กรดไฮโปคลอรัส (HClO)	ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคในห้องน้ำ
กรดโบริก (H_3BO_3)	ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคและใช้เป็นน้ำยาล้างตา
กรดแอสทิลซาลิซิลิก ($\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$)	ใช้ทำยาแอสไพริน
กรดแอสคอร์บิกหรือวิตามินซี	พบในผลไม้ประเภทส้ม ใช้รักษาโรคเลือดออกตามไรฟัน
กรดออกซาลิก ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)	ใช้กำจัดรอยเปื้อนสนิม
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	1. ใช้แก้ดินเปรี้ยว 2. สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใช้ลดกรดในกระเพาะอาหาร
มิลค์ออฟแมกนีเซียม ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)	1. ใช้เป็นยาลดกรดในกระเพาะ 2. แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ผสมน้ำในลักษณะสารแขวนลอย ใช้เป็นยาขี้ถ่าย
แอมโมเนีย (NH_3)	1. ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยาล้างกระจกและในน้ำยาปรับผ้านุ่ม 2. สารละลายแอมโมเนีย-แอมโมเนียมคาร์บอเนต ใช้ดมแก้ลม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	1. ใช้ในการทำสบู่ 2. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตผงชูรส 3. ใช้กำจัดไขมันหรือสารอินทรีย์ จึงนิยมใช้ล้างท่อระบายน้ำ

2.7 การจัดเก็บก๊าซไฮโดรเจน

เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่มีความไวไฟ แม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในบรรยากาศก็สามารถทำให้เกิดการติดไฟได้อย่างรวดเร็ว อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ จึงมีการพิจารณาถึงความปลอดภัยในการกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนเป็นอย่างมาก อาจกักเก็บได้ในถึงในรูปแบบของ ของเหลว ก๊าซ หรือของแข็งในรูปสารประกอบเคมี ซึ่งมีวิธีการกักเก็บไฮโดรเจนมี 2 วิธีหลักๆ คือ การกักเก็บด้วยวิธีทางเคมี และการเก็บรักษาด้วยวิธีทางกายภาพ

2.7.1 การกักเก็บด้วยวิธีทางเคมี โดยวิธีการเก็บมีอยู่ 3 รูปแบบคือ

1) เก็บในรูปของน้ำ การนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้จะต้องใช้อุณหภูมิในการแยกสลายพันธะของก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนออกจากน้ำสูงถึง 2,000 °C แต่ถ้าหากต้องการให้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิห้อง ต้องให้กระบวนการทางเคมีอื่นร่วมด้วย โดยอาจจะใช้โลหะอัลคาไลด์ เช่น ลิเทียม (Li) หรือ โซเดียม (Na) ทำปฏิกิริยากับน้ำ เพื่อแยกก๊าซไฮโดรเจนออกมา เป็นต้น

2) เก็บในรูปแบบของแอมโมเนีย การนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้โดยใช้ปฏิกิริยาควบคุมความร้อนดังสมการเคมีดังนี้



กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 600 °C ในอุปกรณ์แยกก๊าซ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นก๊าซไฮโดรเจนไม่สมบูรณ์ และเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับกลายเป็นแอมโมเนีย (NH_3)

3) เก็บในรูปเมทัลไฮไดรไรด์ คือ การเก็บในรูปสารประกอบเคมี โดยใช้สารเมทัลไฮไดรไรด์ โดยการเก็บด้วยวิธีนี้ต้องคำนึงถึงน้ำหนักถังและอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยสามารถเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณ 2 – 3 % ของน้ำหนักถัง

2.7.2 การเก็บรักษาด้วยวิธีทางกายภาพ

1) การเก็บในลูกแก้ว โดยที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 - 100 ไมครอน มีความหนาประมาณ 1 - 10 ไมครอน โดยอาศัยหลักการแพร่ (Diffusion) ของก๊าซไฮโดรเจนที่มีอุณหภูมิสูงผ่านผนังลูกแก้ว โดยการให้ความร้อนแก่ลูกแก้วจนมี อุณหภูมิประมาณ 300 - 400 °C ที่ความดัน 400 - 500 bar ซึ่งจะทำให้ก๊าซไฮโดรเจนสามารถแพร่ผ่านผนังลูกแก้วเข้าไปภายใน จากนั้นทำให้ลูกแก้วเย็นลงที่อุณหภูมิประมาณ 20 °C ซึ่งความเร็วในการแพร่ของก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่ลูกแก้วจะลดลงในขณะที่ความดันภายในลูกแก้วลดลง วิธีนี้สามารถเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณ 4.6 % โดยปริมาตร แต่เนื่องจากความแตกต่างระหว่างบรรยากาศภายนอกและภายในลูกแก้วค่อนข้างมากทำให้ก๊าซไฮโดรเจนแพร่ออกมาภายนอกได้ง่าย ดังนั้น ถ้าหากเลือกใช้วิธีนี้จะต้องรีบนำไฮโดรเจนมาใช้หลังมีการบรรจุแล้ว

2) การเก็บในรูปของเหลวอุณหภูมิต่ำ โดยไฮโดรเจนจะกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -253 °C และต้องทำการเก็บไว้ในถังที่มีความดันต่ำมากๆ (Cryogenic Container) ซึ่งมีความหนาแน่น 70 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งหากต้องการปริมาณเชื้อเพลิงเท่ากับเบนซินแล้ว จะต้องใช้ถังที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ใช้บรรจุเบนซินถึง 4 เท่า

3) การเก็บในรูปก๊าซในถังความดันสูง เป็นการเก็บในถังเก็บ ซึ่งถ้าเป็นถังเก็บขนาดใหญ่จะเก็บเป็นถังทรงกลมแต่ถ้าเป็นถังเก็บขนาดเล็กจะเป็นถังรูปทรงกระบอก

2.8 การเปลี่ยนรูปไฮโดรเจน

การเปลี่ยนรูปไฮโดรเจนไปเป็นพลังงานอาจกระทำได้โดยผ่านกระบวนการสันดาป (Combustion) ตามปกติหรือโดยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิง

การสันดาปไฮโดรเจนไปเป็นพลังงาน อาจกระทำได้เช่นเดียวกับกระบวนการสันดาปของเบนซิน หรือก๊าซธรรมชาติ เทคโนโลยีการสันดาปไฮโดรเจนนี้มีใช้อยู่ในโครงการด้านอวกาศของ NASA และกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา เช่น ใช้ในเครื่องยนต์หลักของกระสวยอวกาศและเครื่องยนต์ของจรวด ปัจจุบันมีงานวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง เช่น บริษัท Ford และ BMW ได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์ “Hydrogen Internal Combustion Engine (H₂ - ICE)” สำหรับยานยนต์

สำหรับการเปลี่ยนรูปจากไฮโดรเจนไปเป็นพลังงาน โดยใช้เซลล์เชื้อเพลิง เป็นการใช้พลังงานเคมีของไฮโดรเจนในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนเนื่องจากพลังงานที่ได้เป็นปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical reaction) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการสันดาปทั่วไป ปัจจุบันประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงอยู่ที่ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มเป็น 80 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้ในระบบความร้อนร่วมไฟฟ้า (Combined Heat and Power)

หน้าที่ของเซลล์เชื้อเพลิง คือ การผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากไฮโดรเจน เทคโนโลยีที่ใช้มีหลายแบบ แต่แบบที่ได้รับความนิยมในการพัฒนาสำหรับในระบบขนส่ง การผลิตไฟฟ้า ฯลฯ คือ เซลล์เชื้อเพลิง “Proton Exchange Membrane, PEM”

2.9 ความเป็นไปได้ในการเป็นเชื้อเพลิงทดแทน

ในทางเทคนิค ก๊าซไฮโดรเจนสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้แต่การที่จะสามารถใช้ทดแทนได้จริงยังต้องขึ้นกับราคาของไฮโดรเจนและราคาของอุปกรณ์ในการเปลี่ยนแปลงไฮโดรเจนไปเป็นพลังงานเพื่อใช้ประโยชน์

ปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจนที่ถูกที่สุด ได้จากกระบวนการ “Steam Methane Reforming” ตารางที่ 2.12 ราคาประเมินของการผลิตไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงราคาของก๊าซธรรมชาติและขนาดของโรงงานที่ผลิต

ตารางที่ 2.12 ราคาประเมินของการผลิตไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
ราคาของก๊าซธรรมชาติและขนาดของโรงงานที่ผลิต หมายเหตุ : GJ = Gigajoules

Bulk H ₂ gas costs, 2004 USD			
NG price, \$/GJ	Plant size, tons/day	Plant Cost, \$	H ₂ gas cost, \$/kg
3.5	22	23 M	1.8
7.0	22	23 M	2.4
15.0	22	23 M	4.1
3.5	80	44 M	1.2
7.0	80	44 M	1.9
15.0	80	44 M	3.0
3.5	600	210 M	0.7
7.0	600	210 M	1.0
15.0	600	210 M	2.7

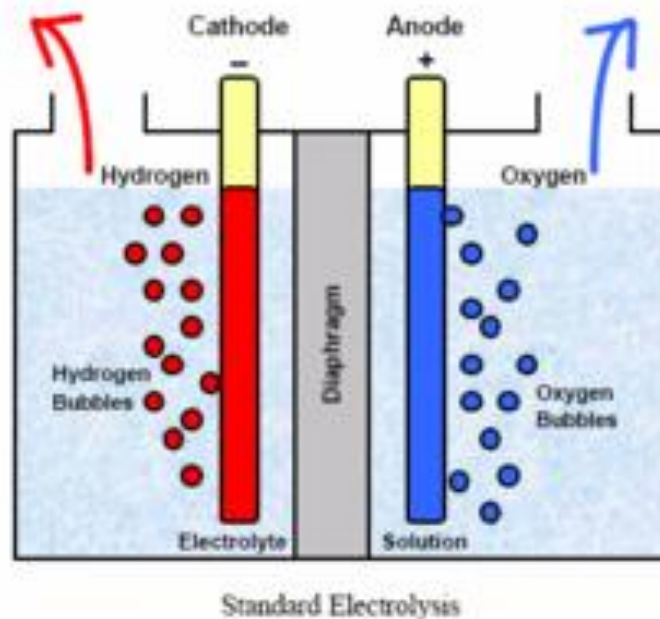
ราคาของไฮโดรเจนที่ผลิตได้ยังไม่รวมภาษี และอยู่ในสภาพก๊าซ ถ้าจะทำให้เป็นของเหลว ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายประมาณ 1.3 – 3 เหรียญสหรัฐ/กก. เมื่อรวมถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ภาษี ฯลฯ ราคาของไฮโดรเจนอาจสูงถึง 7.3 เหรียญสหรัฐ/กก. โดยที่ 1 กิโลกรัมอาจเทียบเท่า 1 แกลลอนเบนซินเทียบเท่า (Gasoline Gallon Equivalent, gge.) นั่นคือ ราคาไฮโดรเจนเป็น 7.3 เหรียญสหรัฐ/ gge ขณะที่ราคาของเบนซินในสหรัฐอเมริกาอยู่ที่ประมาณ 3.15 เหรียญสหรัฐ/ gge ราคานี้จึงไม่ดึงดูดใจให้ผู้ใช้หันไปใช้ แต่ที่ราคานี้ในสหภาพยุโรป ไฮโดรเจนจะสามารถแข่งขันกับเบนซินได้ เพื่อช่วยให้มีการวิจัยและพัฒนาวิธีการผลิต การนำส่ง และการเก็บ ซึ่งจะช่วยลดราคาไฮโดรเจนลงมาแข่งขันได้ในตลาดสหรัฐอเมริกา กระทรวงพลังงานสหรัฐอเมริกา (Department of Energy, DOE) ได้มีการกำหนดเป้าหมายของราคาไฮโดรเจนที่มีการนำส่งโดยไม่รวมภาษี สำหรับปี ค.ศ. 2015 ไว้ที่ 2-3 เหรียญสหรัฐ/ gge

2.10 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)

“น้ำ” มีองค์ประกอบทางเคมี คือ ไฮโดรเจน 2 โมเลกุล และออกซิเจน 1 โมเลกุล (H₂O) เมื่อจะนำมาใช้เป็นพลังงานขับเคลื่อนในรถยนต์ เราไม่สามารถใช้น้ำเติมแทนน้ำมันได้โดยตรง แต่ต้องเข้าสู่กระบวนการที่เรียกว่า “อิเล็กโทรไลซิส” (Electrolysis) เพื่อแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากกันด้วยวิธีการทางไฟฟ้า

อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) คือ กระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้า (DC) จากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดการแตกตัวเป็นไอออน การเคลื่อนที่ของไอออนเป็นตัวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า เครื่องมือที่ใช้แยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้าเรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลต์ หรืออิเล็กโทรลิติกเซลล์ ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเครื่องกำเนิดกระแสตรง (DC) เช่น เซลล์ไฟฟ้า หรือ แบตเตอรี่

ประสิทธิภาพของกระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 70 – 75 % ในทางทฤษฎีเราต้องใช้พลังงานขนาด 237 kJ/mol เพื่อแยกน้ำดั่งนั้นที่ความดัน 1 atm อุณหภูมิ 25 °C เราจะได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าขนาด 1.23 Volt โดยระบบจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 83 % จะเห็นได้ว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้นั้นมีค่าไม่สูงมากนักทำให้การผลิตก๊าซไฮโดรเจน ด้วยวิธีนี้ในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ยังมีข้อจำกัดพอสมควร ตัวอย่างเช่น จะต้องใช้น้ำ หรือในที่นี้ก็คือ สารอิเล็กโทรไลต์ ในปริมาณมาก น้ำที่ใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์มากเพื่อช่วยยืดอายุการทำงานของขั้วประจุไฟฟ้า อีกทั้งขั้วประจุไฟฟ้าที่ใช้ต้องมีการหุ้มเมมเบรนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยา สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นเหตุผลที่ทำให้ต้นทุนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธีแยกน้ำด้วยไฟฟ้ายังคงมีราคาสูง



รูปที่ 2.12 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

2.11 กฎของอาโวกาโดร

อะมีดีโอ อาโวกาโดร (Amedeo Avogadro) นักวิทยาศาสตร์สาขาเคมีชาวอิตาลี เกิดที่เมืองตูริน ประเทศอิตาลี ผู้ได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้สร้างทฤษฎี “โมลาริตี” ที่ว่าด้วยเรื่องของน้ำหนักโมเลกุล เลขอาโวกาโดร และ กฎอาโวกาโดร ชื่ออาโวกาโดรนี้ตั้งเพื่อเป็นเกียรติแก่เขา ในปี พ.ศ. 2354 อาโวกาโดรได้สร้างสมมติฐานที่เรียกในเวลาต่อมาว่า “กฎอาโวกาโดร” ดังกล่าว ที่ว่าปริมาตรของก๊าซจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากันถ้าอยู่ภายใต้ความดันที่เท่ากันและมีอุณหภูมิที่เท่ากัน สมมติฐานนี้ไม่ได้รับการยอมรับจนกระทั่งเมื่อ “เคนนิชชาโร” พิสูจน์ได้เมื่อประมาณ ปี พ.ศ. 2394 - พ.ศ. 2402

2.11.1 กฎของอาโวกาโดร [16]

กฎของอาโวกาโดรกล่าวว่า ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (อุณหภูมิและความดัน) ก๊าซทุกชนิดที่มีปริมาตรเท่ากันจะมีจำนวนโมเลกุลและจำนวนโมลเท่ากัน เช่น ก๊าซออกซิเจน 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีจำนวนโมลและโมเลกุลเท่ากับก๊าซไฮโดรเจน 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน และยังเท่ากับจำนวนโมลและโมเลกุลของก๊าซอื่น ๆ ที่มีปริมาตรเท่ากันภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกัน สรุปคือ “ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ก๊าซทุกชนิดที่มีปริมาตรเท่ากัน จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากัน” เนื่องจากจำนวนอนุภาคของก๊าซ สัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนโมลของก๊าซ กล่าวคือ ก๊าซใดๆ 1 โมล จะมี 6.023×10^{23} อนุภาค และมีปริมาตร 22.4 L (ที่ STP) ดังนั้นกฎของอาโวกาโดร จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น “เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนโมลของก๊าซ”

2.11.2 ค่าคงที่อาโวกาโดร

เลขอาโวกาโดร (Avogadro's Number) หรือค่าคงที่อาโวกาโดร (Avogadro's Constant) คือจำนวนอนุภาคต่อหนึ่งโมล กล่าวคือ ก๊าซ 1 โมล มีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ STP มีจำนวน 6.023×10^{23} อนุภาค

2.12 กฎทรงมวลของสสาร (Law of Conservation of Mass) [17]

อ็องตวน - โลว์รอง เดอ ลาวัวซีเยร์ (Antoine - Laurent de Lavoisier) เป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1774 ลาวัวซีเยร์ ได้ทำการทดลองเผาเมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ (2HgO) ซึ่งเป็นของแข็งในภาชนะปิดพบว่าได้ปรอทและก๊าซออกซิเจน จากการศึกษาพบว่า มวลของ 2HgO เท่ากับผลบวกของมวลของ Hg กับ O_2 จึงได้สรุปเป็นกฎทรงมวลของสสารว่า “มวลของสารทั้งหมดก่อนการเปลี่ยนแปลงจะเท่ากับมวลของสารทั้งหมดหลังการเปลี่ยนแปลง” การเผาเมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ จะให้ผลิตภัณฑ์ออกมา 2 ชนิด ได้แก่ เมอร์คิวรี (ปรอทเหลว) และก๊าซออกซิเจน ดังสมการ



2.13 กฎฟาราเดย์

ในปี ค.ศ. 1834 ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้กับปริมาณของสารที่เกิดขึ้นในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ดังนี้

2.13.1 กฎการแยกสลายด้วยไฟฟ้าข้อที่ 1 ของฟาราเดย์

กฎข้อที่ 1 ของฟาราเดย์ กล่าวว่า ปริมาณของสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วไฟฟ้าระหว่างกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์

$$V \sim Q \quad (2.12)$$

เมื่อ Q คือปริมาณของค่าไฟฟ้า โดยทั่วไปจะวัดในหน่วยของคูลอมบ์ (ปริมาณของไฟฟ้าทั้งหมดที่วิ่งผ่านพื้นที่ตัดขวางของตัวนำ ที่มีกระแสไหลผ่าน 1 A ในช่วงเวลา 1 วินาที) นิยมใช้สัญลักษณ์ Q

ปริมาณไฟฟ้าหาได้จากสมการ [18]

$$Q = I \times t \quad (2.13)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณไฟฟ้าในหน่วยคูลอมบ์
 I คือ กระแสไฟฟ้าหน่วย (A)
 t คือ เวลา (s)

จากสมการที่ (2.6) ดังนั้น

$$V = I \times t \quad (2.14)$$

2.13.2 กฎการแยกสลายด้วยไฟฟ้าข้อที่ 2 ของฟาราเดย์ [19]

กฎข้อที่ 2 ของฟาราเดย์ กล่าวว่า เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าปริมาณที่เท่ากันลงไป สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ จะพบว่าจำนวนโมลของสารต่างๆ ที่เกิดที่ขั้วแอโนดหรือขั้วแคโทดจะเป็นส่วนกลับของขนาดประจุที่อยู่บนไอออนนั้นๆ

2.13.3 คงที่ฟาราเดย์

ค่าคงที่ฟาราเดย์เป็นปริมาณค่าไฟฟ้าต่อหนึ่งโมลของอิเล็กตรอน มีค่าที่ยอมรับในปัจจุบันคือ $96485.3399 \text{ C mol}^{-1}$

$$F = eN_A \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } N_A &= 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ e &= 1.602 \times 10^{-19} \text{ C} \\ \text{ดังนั้น } F &= 1.60210 \times 10^{-19} \text{ C} \times 6.02252 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ F &= 96485.3399 \text{ C mol}^{-1} \end{aligned}$$

กฎของฟาราเดย์สามารถสรุปได้ดังนี้

$$m = \left(\frac{Q}{F} \right) \left(\frac{M}{z} \right) \quad (2.16)$$

- เมื่อ
- m คือ มวลของสารที่ถูกปล่อยให้เป็นอิสระที่ขั้วไฟฟ้า
 - Q คือ ประจุค่าไฟฟ้ารวมที่ผ่านสาร
 - F คือ ค่าคงที่ฟาราเดย์ เท่ากับ $96485.3399 \text{ C mol}^{-1}$
 - M คือ มวลโมเลกุลของสาร
 - z คือ จำนวนอิเล็กตรอนรอบนอกของสาร

M/z จะเท่ากับน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลง สำหรับกฎข้อที่หนึ่งของฟาราเดย์
ค่า F, M และ z เป็นค่าคงที่ เพื่อให้ค่าของ Q เพิ่มขึ้นและค่า m ก็จะเพิ่มตาม สำหรับกฎข้อที่สอง
ของฟาราเดย์ ค่า F, Q และ z เป็นค่าคงที่ เพื่อที่จะให้ค่าของ $\left(\frac{M}{z} \right)$ เพิ่มขึ้น และค่า m ก็จะเพิ่มตาม ใน
กรณีที่ค่ากระแสไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลซิสคงที่จะได้

$$m = \left(\frac{It}{F} \right) \left(\frac{M}{z} \right) \quad (2.17)$$

และ

$$n = \left(\frac{It}{F} \right) \left(\frac{1}{z} \right) \quad (2.18)$$

- เมื่อ
- n คือ ปริมาณของสาร (จำนวนโมล) ที่ได้ปลดปล่อย $n = m / M$
 - t คือ เวลารวมทั้งหมด

2.14 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยสรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ปริมาณสารมลพิษและช่วงการขยายตัวของขอบเขตการเผาไหม้จากการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม ผลการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าการเติมก๊าซไฮโดรเจนในก๊าซธรรมชาติส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้น ปริมาณสารมลพิษบางชนิดมีค่าลดลง และช่วยขยายตัวของขอบเขตการเผาไหม้ส่วนผสมบางในเครื่องยนต์ แม้ว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมจะมีประโยชน์มากก็ตาม แต่ก็มีข้อเสียในด้านระยะเวลาในการทำงาน เนื่องจากการกัดกร่อนของขั้วไฟฟ้า (Electrode) และที่สำคัญคืออันตรายที่เกิดจากไฟย้อนกลับ (Backfire) ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยีนี้ได้อย่างแพร่หลาย ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการพัฒนาของขั้วไฟฟ้า (Electrode) และเทคนิคการป้องกันไฟย้อนกลับ เพื่อนำไปสู่การใช้งานจริงอย่างแพร่หลาย ซึ่งแต่ละระบบจะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปดังเสนอในรายละเอียดข้างต้น



บทที่ 4

การทดลองและวิเคราะห์ผล

จากที่ได้ทำการศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลของการแยกสารของน้ำเพื่อให้ได้ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจนด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส การทดลองการเกิดปฏิกิริยาที่มีผลมาจากปัจจัยหลายๆอย่างเช่น การปรับระยะห่างของแผ่นเพลต การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลต ไปจนถึงการเพิ่มความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์และการทดสอบการแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส โดยเราจะใช้ชุดทดลองตามรูปที่ 4.1 ปรับระยะห่างของแผ่นเพลตและกำหนดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลตจากนั้นจะทำการบันทึกผลและสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 ชุดทดลองการปรับระยะห่างของแผ่นเพลต

4.1 ผลการทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรด

4.1.1 การทดลองสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยทำการเลือกสารละลายที่จะใช้มา 4 ชนิด น้ำกลั่น น้ำประปา น้ำกลั่นผสม (K_2CO_3) และน้ำกลั่นผสมเกลือ โดยทำการวัดที่แรงดัน 6 , 9 และ 12 Volt ตามลำดับ ทำการปรับความห่างของเพลตตั้งแต่ 7 cm. จนถึง 1 cm. ทำการวัดค่ากระแสและความต้านทานของสารละลายทำการจดบันทึกในตารางที่ 4.1 ระดับแรงดัน 6 Volt ตารางที่ 4.2 ระดับแรงดัน 9 Volt และตารางที่ 4.3 ระดับแรงดัน 12 Volt และบันทึกผลลงในตาราง

การทดลองที่ 1 การหาค่าความแตกต่างระหว่างน้ำแต่ละชนิดกับความต้านทานเมื่อพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 54 ตารางเซนติเมตร และระยะห่างเพลต 2 อันกับแรงดันเปลี่ยนไป

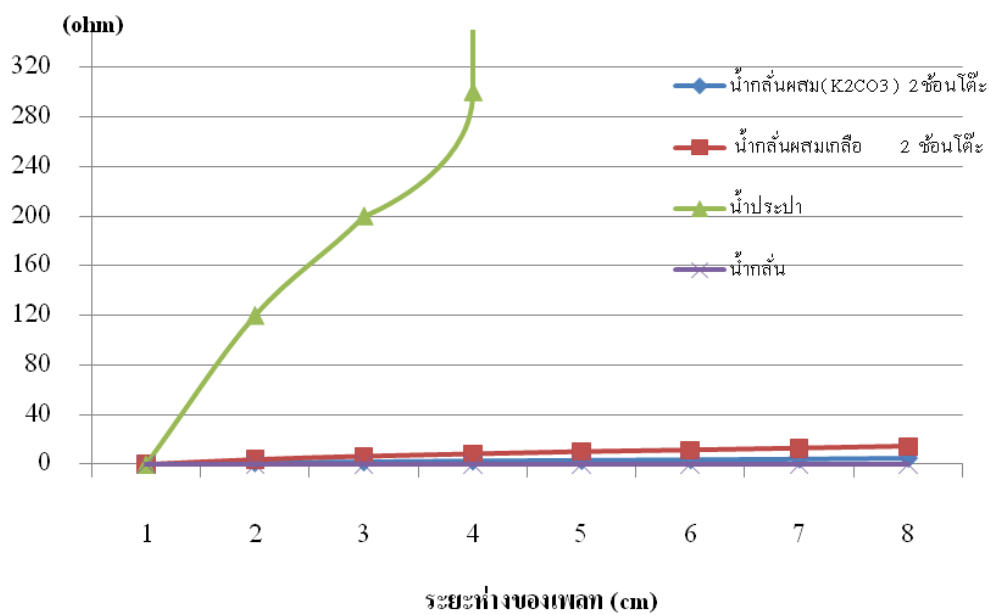
ตารางที่ 4.1 ปรับแรงดันแหล่งจ่ายไว้ที่ 6 โวลท์

ระยะห่าง เพลต (cm)	น้ำกลั่น		น้ำประปา		น้ำกลั่นผสม(K_2CO_3) 2ช้อนโต๊ะ		น้ำกลั่นผสมเกลือ 2 ช้อนโต๊ะ	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	0	∞	0.05	120	4.58	1.31	1.59	3.77
2	0	∞	0.03	200	2.98	2.01	0.94	6.38
3	0	∞	0.02	300	2.23	2.69	0.73	8.21
4	0	∞	0	∞	1.91	3.14	0.6	10
5	0	∞	0	∞	1.63	3.68	0.53	11.32
6	0	∞	0	∞	1.42	4.22	0.47	12.76
7	0	∞	0	∞	1.24	4.83	0.42	14.28

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าน้ำกลั่นเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าน้ำประปาและน้ำที่มีการผสมสารอิเล็กโทรไลต์ เพราะค่ามีความต้านที่สูงมากแต่เมื่อมีการผสมสารอิเล็กโทรไลต์ลงไปนั้นก็ทำให้น้ำไฟฟ้าได้ ส่วนที่น้ำประปานั้นสามารถนำไฟฟ้าได้แต่ไม่ค่อยดีนักก็เป็นเพราะว่าในน้ำประปามีสารอื่นๆ เช่น คลอรีนหรือสิ่งสกปรกปะปนมากับน้ำจึงนำไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง

ความต้านทาน



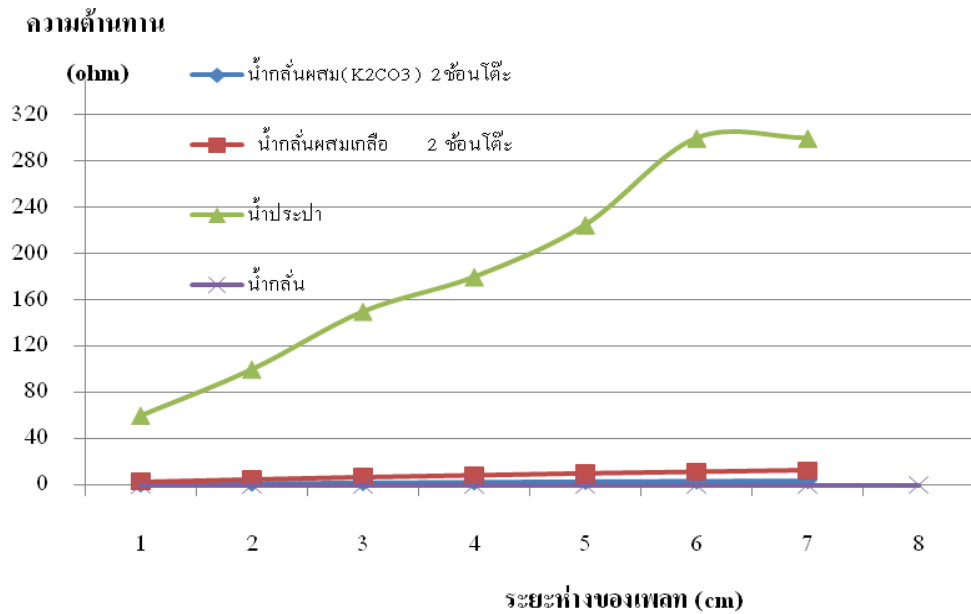
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของน้ำกับระยะห่างหลอดที่แรงดัน 6 โวลต์

ตารางที่ 4.2 ปรับแรงดันแหล่งจ่ายไว้ที่ 9 โวลต์

ระยะห่าง หลอด (cm)	น้ำกลั่น		น้ำประปา		น้ำกลั่นผสม(K ₂ CO ₃) 2ซ้อ่นโต๊ะ		น้ำกลั่นผสมเกลือ 2 ซ้อ่นโต๊ะ	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	0	∞	0.15	60	8.76	1.02	2.88	3.12
2	0	∞	0.09	100	5.11	1.76	1.74	5.17
3	0	∞	0.06	150	3.92	2.29	1.29	6.97
4	0	∞	0.05	180	3.08	2.92	1.06	8.49
5	0	∞	0.04	225	2.65	3.39	0.9	10
6	0	∞	0.03	300	2.38	3.78	0.8	11.25
7	0	∞	0.03	300	2.18	4.12	0.72	12.5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นน้ำกลั่นก็ยังคงสถานะเดิมอยู่คือความต้านทานยังสูงมากและน้ำประปาก็ยังคงนำไฟฟ้าได้ไม่ดีเช่นเดิมแต่เมื่อมองน้ำกลั่นที่ผสมสารอิเล็กโทรไลต์แล้วเห็นได้ว่า ความต้านทานลดลงเมื่อเริ่มลดระยะห่างของแผ่นเพลตลงทำให้การเดินทางของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ดีขึ้น



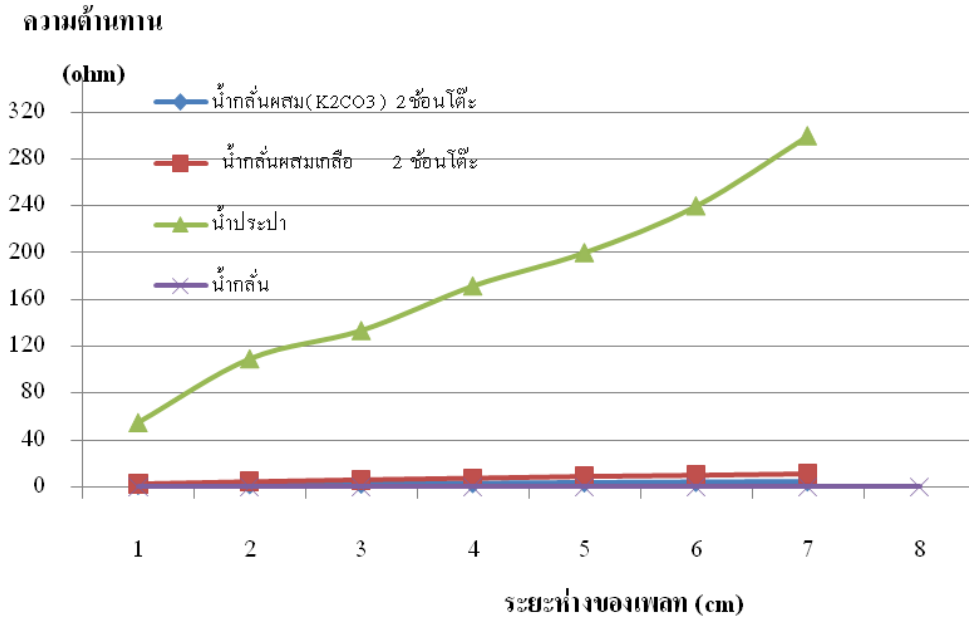
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของน้ำกับระยะห่างเพลตที่แรงดัน 9 โวลต์

ตารางที่ 4.3 ปรับแรงดันแหล่งจ่ายไว้ที่ 12 โวลต์

ระยะห่าง เพลต (cm)	น้ำกลั่น		น้ำประปา		น้ำกลั่นผสม(K ₂ CO ₃) 2 ซ้อนโต๊ะ		น้ำกลั่นผสมเกลือ 2 ซ้อนโต๊ะ	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	0	∞	0.22	54.54	12	1	5.2	2.3
2	0	∞	0.11	109.09	7.13	1.68	2.77	4.33
3	0	∞	0.09	133.33	5.49	2.18	2.01	5.97
4	0	∞	0.07	171.42	4.44	2.7	1.6	7.5
5	0	∞	0.06	200	3.7	3.24	1.33	9.02
6	0	∞	0.05	240	3.24	3.7	1.19	10.08
7	0	∞	0.04	300	2.9	4.13	1.06	11.32

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 12 โวลต์ การนำไฟฟ้าของน้ำแต่ละแบบก็ค่อยๆดีขึ้นความต้านทานก็เริ่มลดลงแล้วถ้ายังเพิ่มแผ่นเพลตให้มีพื้นที่หน้าตัดมากยิ่งขึ้นก็จะยิ่งทำให้การเดินทางของกระแสไฟฟ้านั้นสะดวกมากขึ้นซึ่งจะเห็นได้ในการทดลองถัดไป



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของน้ำกับระยะห่างเพลตที่แรงดัน 12 โวลต์

4.1.2 การหาค่าความแตกต่างระหว่างพื้นที่หน้าตัดเพลตขนาดกับความต้านทานของน้ำกลั่นผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) ในปริมาณ 2 ซ้อนโต๊ะ โดยทำการวัดที่แรงดัน 12 Volt ทำการปรับความห่างของเพลตตั้งแต่ 7 cm. จนถึง 1 cm. ทำการวัดค่ากระแสและความต้านทานของสารละลายทำการจดบันทึกในตารางที่ 4.1 ระดับแรงดัน 6 Volt ตารางที่ 4.2 ระดับแรงดัน 9 Volt และตารางที่ 4.3 ระดับแรงดัน 12 Volt และบันทึกผลลงในตาราง

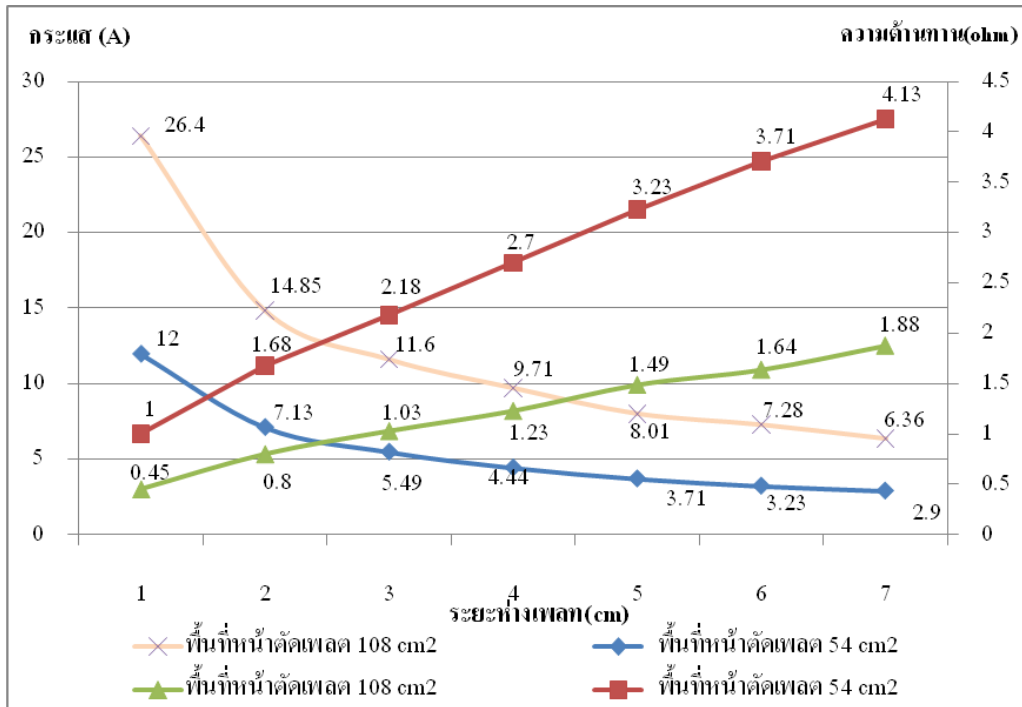
การทดลองที่ 2 การหาค่าความแตกต่างระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับค่าความต้านทานของน้ำกลั่นผสม โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) ในปริมาณ 2 ซ้อน โตะที่แรงดันเท่ากับ 12 โวลต์

ตารางที่ 4.4 เพิ่มพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลต

ระยะห่างเพลต (cm)	พื้นที่หน้าตัดเพลต 54 cm ²		พื้นที่หน้าตัดเพลต 108 cm ²	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	12	1	26.4	0.45
2	7.13	1.68	14.85	0.8
3	5.49	2.18	11.6	1.03
4	4.44	2.7	9.71	1.23
5	3.71	3.23	8.01	1.49
6	3.23	3.71	7.28	1.64
7	2.9	4.13	6.36	1.88

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำขนาดของพื้นที่หน้าตัดแผ่นเพลตเพลตขนาดพื้นที่ 54 ตร.ซม. และขนาดพื้นที่ 108 ตร.ซม. เพื่อทดสอบการนำกระแส และความต้านทานของน้ำจากการศึกษาและวิเคราะห์เมื่อพื้นที่ของขั้วอิเล็กโทรดมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ค่าความต้านทานของน้ำลดลง ยิ่งระยะห่างของแผ่นเพลตเลื่อนเข้ามาวางอยู่ใกล้กันมากเท่าใดค่าความต้านทานก็จะยิ่งลดลงมาต่ำมากเท่านั้นซึ่งแสดงให้เห็นได้จากรูปที่ 4.5



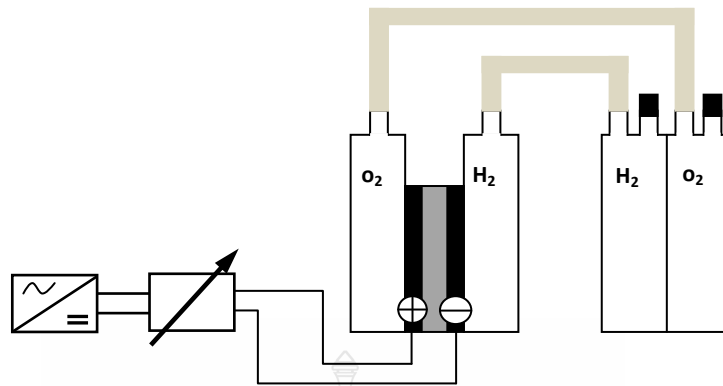
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสความต้านทานของน้ำกับระยะห่างเพลทขนาดพื้นที่ 54 ตร.ซม. และขนาดพื้นที่ 108 ตร.ซม. เมื่อมีการระยะห่างของเพลท

ตารางที่ 4.5 ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้จากการทดสอบ

	Gas Volumes produced in ml
Hydrogen	350
Oxygen	174

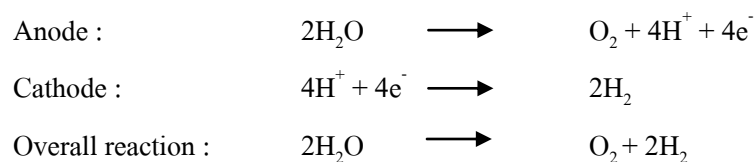
4.2 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.2.1 ผลการทดสอบการวัดหาอัตราส่วนปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน

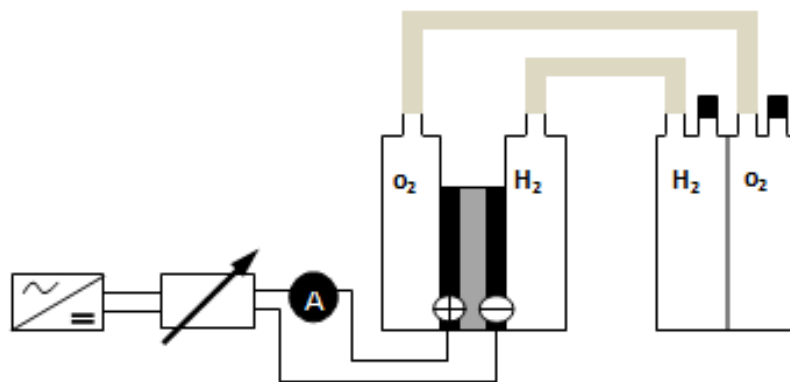


รูปที่ 4.6 วงจรการทดสอบหาอัตราส่วนปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนต่อก๊าซออกซิเจน

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.5 พบว่าอัตราส่วนปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ต่อปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ คือ 2 : 1 ซึ่งอัตราส่วนที่ได้ดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงทฤษฎีพื้นฐานและกฎทางเคมี น้ำไม่ใช่ธาตุแต่เกิดจากสาร 2 ชนิด ที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำ มีสถานะเป็นก๊าซภายใต้สภาวะปกติ กฎทรงมวลของสารและกฎของอาโวกาโดรจะช่วยในการอธิบายอัตราส่วนของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม ดังนั้นจึงผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้เป็น 2 เท่าของการผลิตก๊าซออกซิเจน เป็นไปตามกฎทรงมวลของสาร และด้วยเหตุผลที่ว่าภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เท่ากัน ทำให้ผลิตไฮโดรเจนได้เป็น 2 เท่า เป็นไปตามกฎอาโวกาโดร สามารถเขียนสมการเคมีที่เกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด พร้อมทั้งสมการของปฏิกิริยาโดยรวม ได้ดังนี้



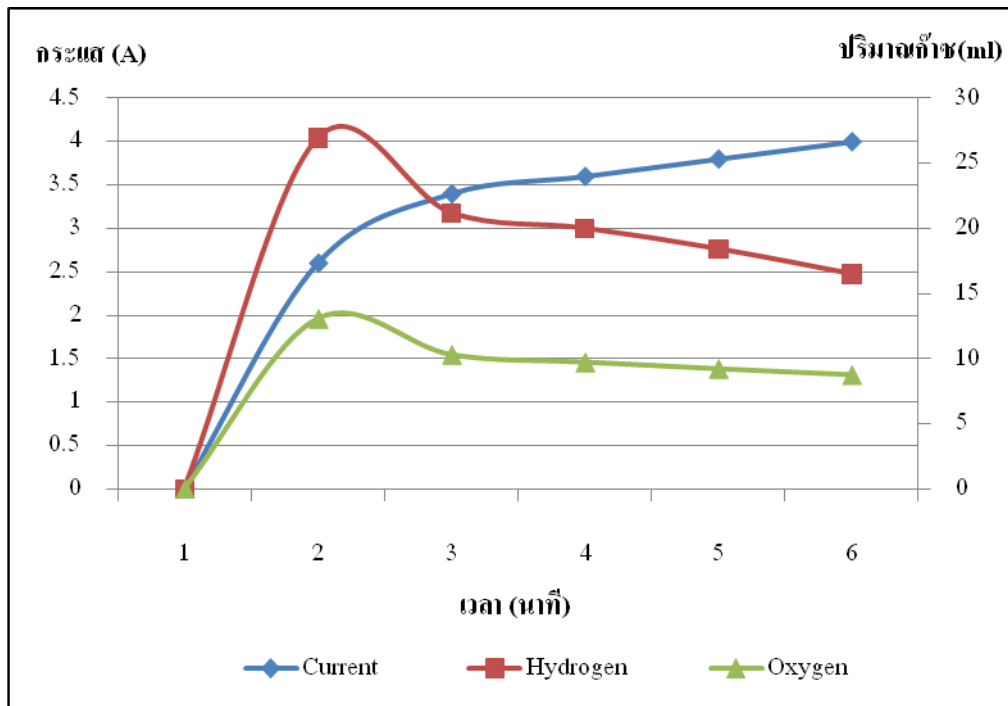
4.2.2 ผลการทดสอบการวัดปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาโดยสัมพันธ์กับกระแส



รูปที่ 4.7 วงจรการทดสอบหาปริมาณของก๊าซที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาโดยสัมพันธ์กับกระแส

ตารางที่ 4.6 ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 1 เซลล์

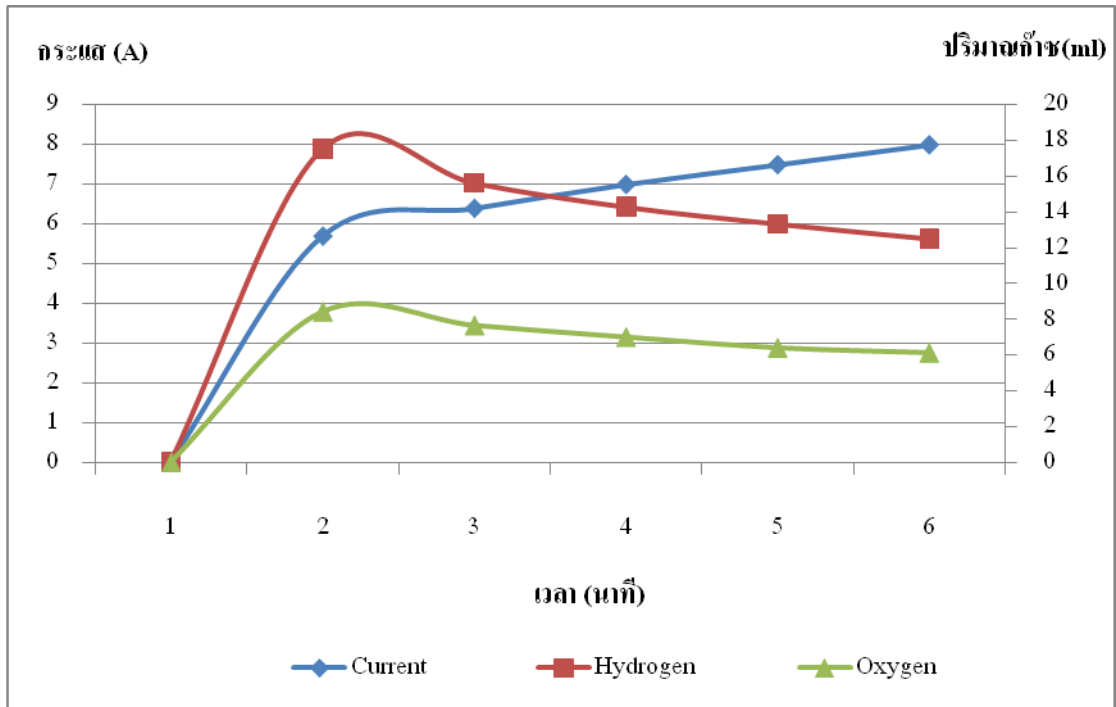
Time t in min	Current I in A	Hydrogen				Oxygen			
		Volume H ₂ in ml		ΔV in ml	$\Delta V/I$ in ml/min	Volume O ₂ in ml		Δv in ml	$\Delta V/I$ in ml/min
		Start	End			Start	End		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.6	0	70	70	26.92	0	34	34	13.07
2	3.4	70	142	72	21.17	34	69	35	10.29
3	3.6	142	214	72	20	69	104	35	9.72
4	3.8	214	284	70	18.42	104	139	35	9.21
5	4	284	350	66	16.5	139	174	35	8.75



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 1 เซลล์

ตารางที่ 4.7 ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 2 เซลล์

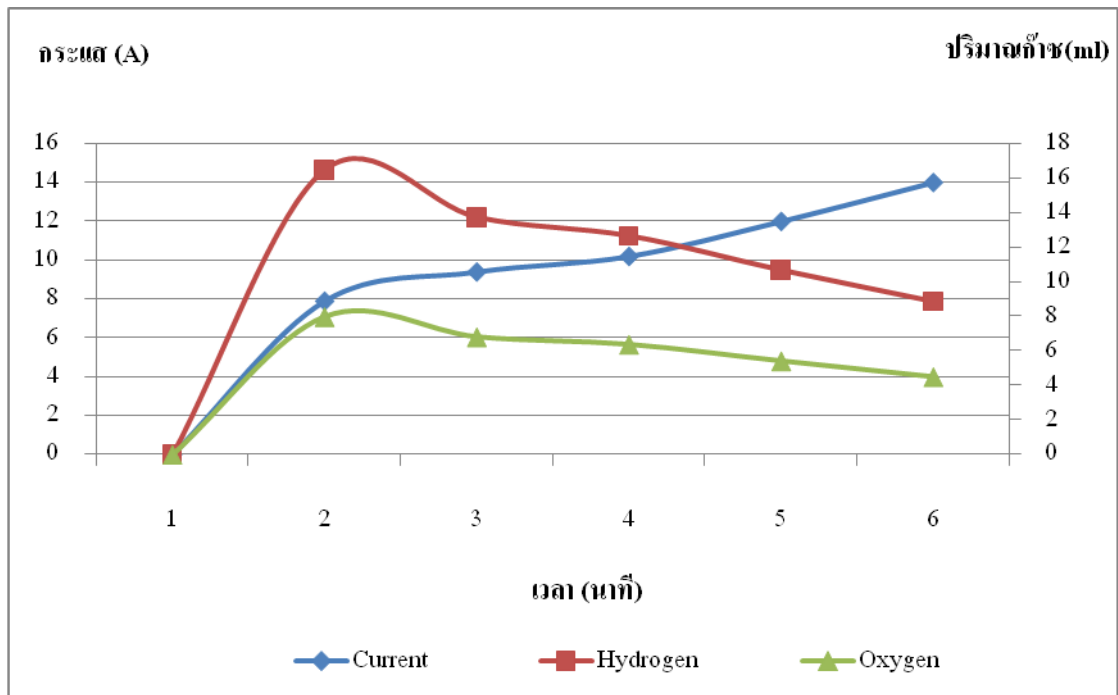
Time t in min	Current I in A	Hydrogen				Oxygen			
		Volume H ₂ in ml		ΔV in ml	$\Delta V/I$ in ml/min	Volume O ₂ in ml		Δv in ml	$\Delta V/I$ in ml/min
		Start	End			Start	End		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5.7	0	100	100	17.54	0	48	48	8.42
2	6.4	100	200	100	15.62	48	97	49	7.65
3	7	200	300	100	14.28	97	146	49	7
4	7.5	300	400	100	13.33	146	194	48	6.4
5	8	400	500	100	12.5	194	243	49	6.12



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 2 เซลล์

ตารางที่ 4.8 ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 3 เซลล์

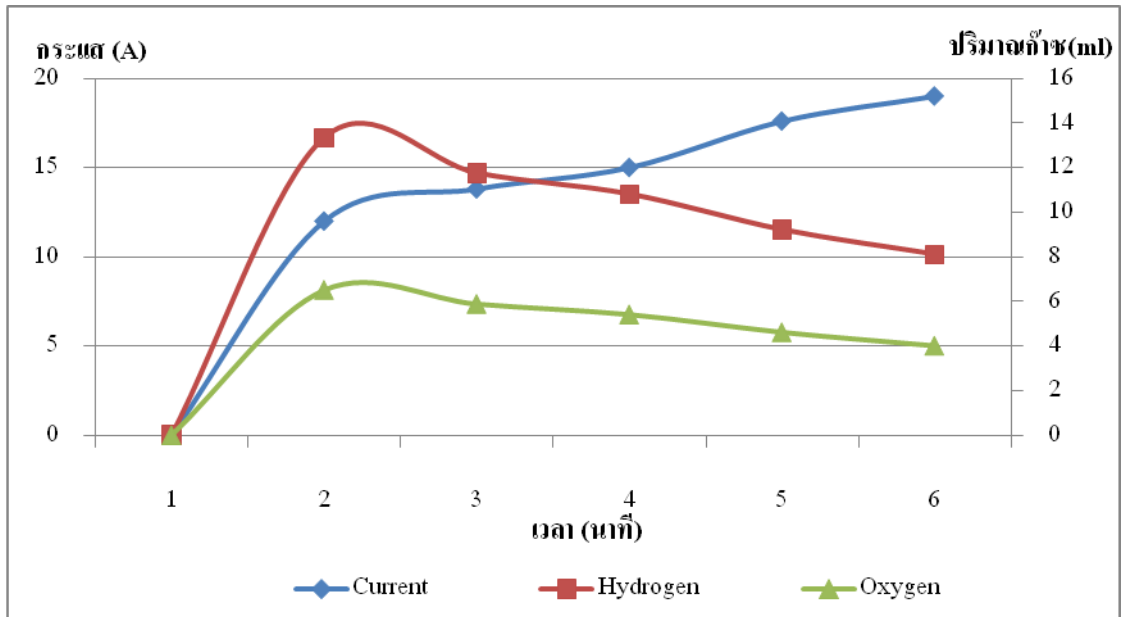
Time t in min	Current I in A	Hydrogen				Oxygen			
		Volume H ₂ in ml		ΔV in ml	$\Delta V/I$ in ml/min	Volume O ₂ in ml		Δv in ml	$\Delta V/I$ in ml/min
		Start	End			Start	End		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	7.9	0	130	130	16.45	0	63	63	7.97
2	9.4	130	259	129	13.72	63	127	64	6.80
3	10.2	259	388	129	12.64	127	192	65	6.37
4	12	388	516	128	10.66	192	257	65	5.41
5	14	516	640	124	8.85	257	318	63	4.5



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 3 เซลล์

ตารางที่ 4.9 ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 4 เซลล์

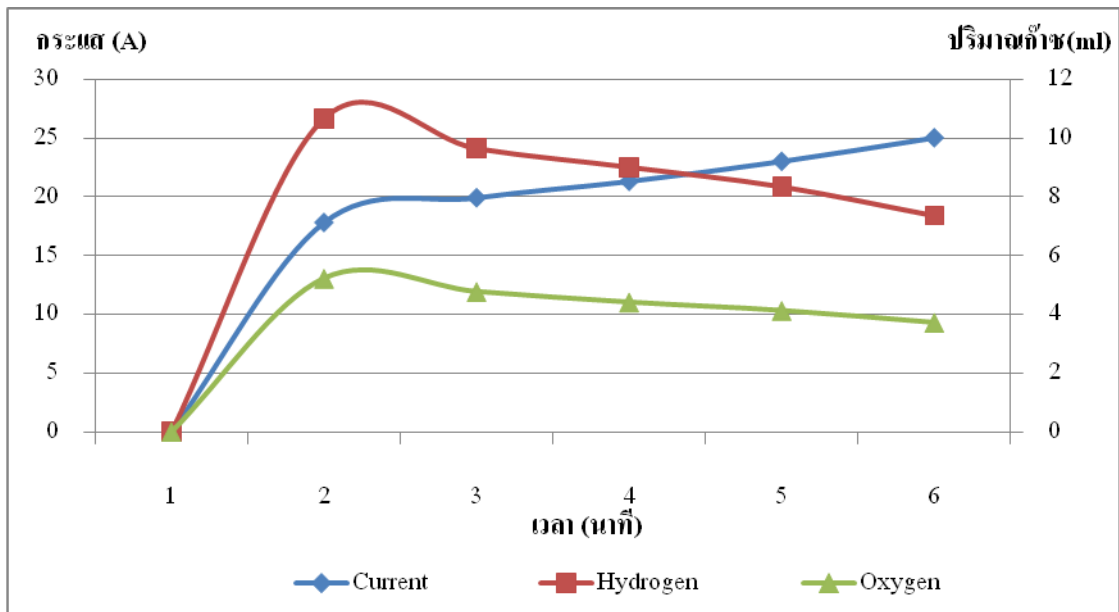
Time t in min	Current I in A	Hydrogen				Oxygen			
		Volume H ₂ in ml		ΔV in ml	$\Delta V/I$ in ml/min	Volume O ₂ in ml		Δv in ml	$\Delta V/I$ in ml/min
		Start	End			Start	End		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12	0	160	160	13.33	0	78	78	6.5
2	13.8	160	322	162	11.74	78	159	81	5.86
3	15	322	484	162	10.8	159	240	81	5.4
4	17.6	484	646	162	9.2	240	321	81	4.6
5	19	646	800	154	8.1	321	397	76	4



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 4 เซลล์

ตารางที่ 4.10 ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 5 เซลล์

Time t in min	Current I in A	Hydrogen				Oxygen			
		Volume H ₂ in ml		ΔV in ml	$\Delta V/I$ in ml/min	Volume O ₂ in ml		Δv in ml	$\Delta V/I$ in ml/min
		Start	End			Start	End		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	17.8	0	190	190	10.67	0	93	93	5.22
2	19.9	190	382	192	9.64	93	188	95	4.77
3	21.3	382	574	192	9.01	188	282	94	4.41
4	23	574	766	192	8.34	282	377	95	4.13
5	25	766	950	184	7.36	377	470	93	3.72

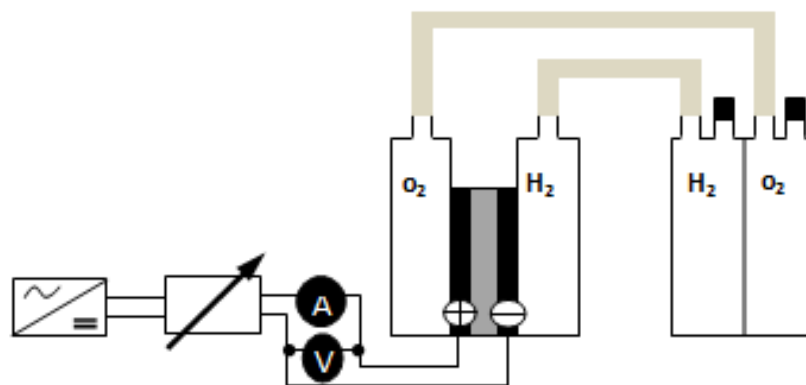


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลาที่ 5 เซลล์

ในการทดสอบนี้ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ กระแสไฟฟ้าที่ใช้และเวลาที่ใช้ ปริมาตรของก๊าซที่ผลิตได้จำนวนหนึ่ง จะใช้เวลาค่าๆ หนึ่ง และจะใช้ค่ากระแสที่แตกต่างกัน สำหรับค่ากระแสที่ต่ำ (0.1 A) จะใช้เวลาในการวัดประมาณ 6 นาที สำหรับค่ากระแสสูง (0.5 A) จะใช้เวลาแค่เพียง 2 นาที

จากรูปที่ 4.3 สามารถสรุปได้ว่า ปริมาตรของก๊าซที่ผลิตได้เป็นสัดส่วนกับกระแสและเวลา เป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ คือ $V \sim I \times t$ เมื่อ $I \times t = Q$ ดังนั้น $V \sim Q$ เป็นไปตามสมการที่ (2.6)

4.1.3 ผลการทดสอบการหาค่าประสิทธิภาพพลังงานและค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์



รูปที่ 4.13 วงจรการทดสอบหาค่าพลังงานและประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์

ตารางที่ 4.11 ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ที่ค่ากระแสต่างกันจากการทดสอบ

Current (A)	Voltage (V)	Time t in min	Volume H2 in ml Start	Volume H2 in ml End	ΔV in ml
0.1	1.56	12	0	9	9
0.5	1.85	4	9	25	16

คำนวณค่าประสิทธิภาพพลังงานของอิเล็กโทรไลเซอร์ได้จาก

$$\eta_E (\%) = \frac{[\text{Chemical energy in Joules } H_2]}{[\text{Electrical energy in Joules}]} \quad (4.1)$$

คำนวณค่าปริมาณไฟฟ้าได้จาก

$$\text{Electrical energy in Joules } H_2 (E_{el}) = V \times I \times t \quad (4.2)$$

เมื่อ V คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

t คือ เวลา (s)

คำนวณค่าพลังงานเคมีได้จาก

$$\text{Energy content of consumed } H_2 (E_{ch}) = V_{exp.} \times H_{0(V)} \quad (4.3)$$

เมื่อ $V_{exp.}$ คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากการทดสอบ

$H_{0(V)}$ คือ ค่าพลังงานเชื้อเพลิงของไฮโดรเจนเมื่อเทียบกับปริมาตรหาได้จาก

$$H_{0(V)} = H_0 \times \frac{1}{V_m} \quad (4.4)$$

เมื่อ H_0 คือ ค่าเชื้อเพลิงของก๊าซไฮโดรเจนในหนึ่งโมล มีค่าเท่ากับ 286 kJ/mole

V_m คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนในหนึ่งโมล มีค่าเท่ากับ 24,414 ml (1 bar, 20 °C)

แทนค่าในสมการ (4.4)

$$H_{0(v)} = 286 \frac{\text{kJ}}{\text{mole}} \times \frac{1 \text{ mole}}{24,414 \text{ ml}} = 11.71 \frac{\text{J}}{\text{mole}}$$

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.3 จำนวนค่าประสิทธิภาพพลังงานของอิเล็กโทรไลต์เซอร์ในค่ากระแสที่ต่างกันได้ดังนี้

ค่าประสิทธิภาพพลังงานของอิเล็กโทรไลต์เซอร์ ที่กระแส 0.1 A

จากสมการที่ (4.2)

$$E_{el} = 1.56 \text{ V} \times 0.1 \text{ A} \times 720 \text{ s} = 112.3 \text{ J}$$

จากสมการที่ (4.3)

$$E_{ch} = 9 \text{ ml} \times 11.71 \frac{\text{J}}{\text{mole}} = 105.3 \text{ J}$$

แทนค่าที่ได้ในสมการที่ (4.1)

$$\eta_E = \frac{105.3 \text{ J}}{112.3 \text{ J}} \times 100 = 93.8 \%$$

ค่าประสิทธิภาพพลังงานของอิเล็กโทรไลต์เซอร์ ที่กระแส 0.5 A

จากสมการที่ (4.2)

$$E_{el} = 1.85 \text{ V} \times 0.5 \text{ A} \times 720 \text{ s} = 222.0 \text{ J}$$

จากสมการที่ (4.3)

$$E_{ch} = 16 \text{ ml} \times 11.71 \frac{\text{J}}{\text{mole}} = 187.2 \text{ J}$$

แทนค่าที่ได้ในสมการที่ (4.1)

$$\eta_E = \frac{187.2 \text{ J}}{222.0 \text{ J}} \times 100 = 84.3 \%$$

จากผลการคำนวณจะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพพลังงานของอิเล็กโทรไลต์เซอร์จะลดลงเมื่อค่ากระแสเพิ่มขึ้น และแรงดันก็จะสูงขึ้นด้วย เพราะว่าการสูญเสียเนื่องจากแรงดันเกิน (Excess voltages) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขั้วไฟฟ้า เช่น ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ความถ่วงในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ค่าความต้านทานในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และอิเล็กโทรไลต์เซอร์ก็มีค่าความต้านทานในตัวของมันเองเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากความร้อนสะสม

ค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลต์เซอร์เป็นอัตราส่วน ระหว่างปริมาณของก๊าซที่ผลิตได้และปริมาณของก๊าซที่คำนวณทางทฤษฎี จำนวนค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ได้จากสมการ

$$\eta_F (\%) = \frac{\text{Volume (H}_2\text{)}_{\text{exp.}}}{\text{Volume (H}_2\text{)}_{\text{theoretical}}} \quad (4.5)$$

เมื่อ $V_{\text{exp.}}$ คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากการทดสอบ
 $V_{\text{theo.}}$ คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้กฎฟาราเดย์

$$V_{\text{theo.}} = \frac{[\text{Electrical charge in Coulombs}]}{[\text{Electrical charge delivered by one mol H}_2]} \times [\text{Volume (H}_2\text{) per mol}] \quad (4.6)$$

$$V_{\text{theo.}} = \frac{I \times t \times V_m}{z \times F} \quad (4.7)$$

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้า (A)
 t คือ เวลา (s)
 V_m คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนในหนึ่งโมล มีค่าเท่ากับ 24,414 ml (1 bar, 20 °C)
 F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ เท่ากับ 96,486 C mol⁻¹
 z คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่เกินเท่ากับ 2 (สำหรับกรณีของ H₂)

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.3

คำนวณปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่กระแส 0.1 A จากสมการที่ (4.7) ได้ผลดังนี้

$$V_{\text{theo.}} = \frac{0.1 \text{ A} \times 720 \text{ s} \times 24,414 \text{ ml/mole}}{2 \times 96,486 \text{ As/mole}} = 9.1 \text{ ml}$$

คำนวณปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่กระแส 0.5 A จากสมการที่ (4.7) ได้ผลดังนี้

$$V_{\text{theo.}} = \frac{0.5 \text{ A} \times 240 \text{ s} \times 24,414 \text{ ml/mole}}{2 \times 96,486 \text{ As/mole}} = 15.2 \text{ ml}$$

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.3 และค่าคำนวณปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนตามกฎของฟาราเดย์ สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพพลังงานของอิเล็กโทรไลเซอร์ในค่ากระแสที่ต่างกัน ดังนี้

ค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์ ที่กระแส 0.1 A จากสมการที่ (4.5)

$$\eta_E = \frac{9 \text{ ml}}{9.1 \text{ ml}} \times 100 \approx 100 \%$$

ค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์ ที่กระแส 0.5 A
จากสมการที่ (4.5)

$$\eta_E = \frac{16 \text{ ml}}{15.2 \text{ ml}} \times 100 \approx 100 \%$$

ในทางทฤษฎีค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ที่จะต้องเข้าใกล้ 100 % ถ้าน้อยกว่านี้แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของระบบ เช่น การกัดกร่อน

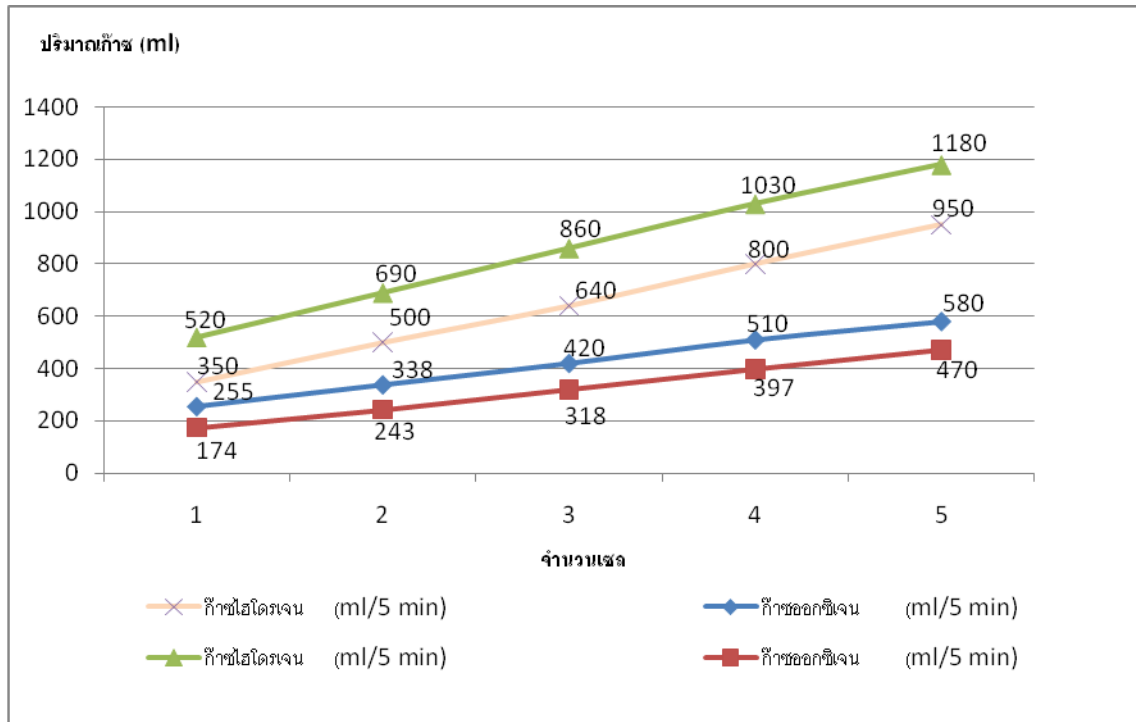
การทดลองที่ 4 วัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่ได้จากการแยกด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส

ตารางที่ 4.12 ทำการใส่สารโพแทสเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 1 ซ้อนโต๊ะ

จำนวนเซลล์ (ชุด)	1	2	3	4	5
กระแส (A)	4	8	14	19	25
ก๊าซไฮโดรเจน (ml/5 min)	350	500	640	800	950
ก๊าซออกซิเจน (ml/5 min)	174	243	318	397	470

ตารางที่ 4.13 ทำการใส่สารโพแทสเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 2 ซ้อนโต๊ะ

จำนวนเซลล์ (ชุด)	1	2	3	4	5
กระแส (A)	6	14	25	32	39
ก๊าซไฮโดรเจน (ml/5 min)	520	690	860	1030	1180
ก๊าซออกซิเจน (ml/5 min)	255	338	420	510	580



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดกับจำนวนเซลล์

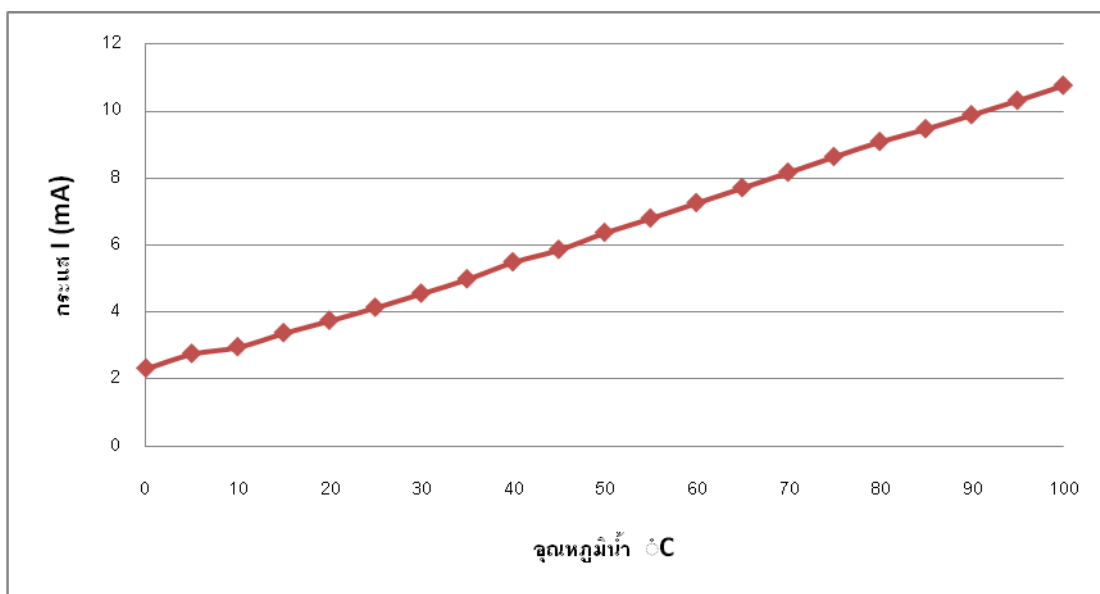
วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4 จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นนั้นจะมีอัตราส่วนการเกิดอยู่ที่ 2:1 โดยที่ก๊าซไฮโดรเจนจะเกิดมากกว่าก๊าซออกซิเจนซึ่งก็แสดงให้เห็นได้ว่าการทดลองนี้เป็นไปตามทฤษฎี ส่วนความเข้มข้นของสารที่ใส่ลงไปนั้นก็เป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้ได้ก๊าซมากหรือน้อยแต่ทั้งนี้และทั้งนั้นก็ไม่ต้องมองเรื่องสารอย่างเดียวเพราะกระแสกับจำนวนเซลล์ก็มีผลไม่น้อยเช่นกัน แต่จากตารางที่จำนวนเซลล์ที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 ชุดเพราะดูจากปริมาณการกินกระแสแล้วมีความเป็นสัดส่วนที่ดีและอยู่ในขนาดที่สามารถรับได้อยู่ไม่สูงมากจนเกินไปสำหรับชุดอุปกรณ์ทดสอบนี้

การทดลองที่ 5 ทดสอบการนำไฟฟ้าตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

ตารางที่ 4.14 เพิ่มอุณหภูมิของน้ำขึ้นตั้งแต่ 5°C – 100 °C

อุณหภูมิ น้ำ °C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
การนำไฟฟ้า I (mA)	2.76	2.96	3.38	3.75	4.14	4.56	4.99	5.5	5.87	6.38
อุณหภูมิ น้ำ °C	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
การนำไฟฟ้า I (mA)	6.81	7.27	7.72	8.18	8.65	9.1	9.48	9.9	10.33	10.78



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและอุณหภูมิ

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 5 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิก็นมีผลเกี่ยวข้องกับการนำกระแสด้วยเช่นกันคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กระแสมีค่ามากขึ้นตามซึ่งเป็นการแปรผันตามกันระหว่างกระแสและอุณหภูมิ

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและทดสอบจะพบว่าความเข้มข้นของสารละลายจะมีผลโดยตรงต่อการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ถ้าความเข้มข้นสารละลายมากจะนำไฟฟ้าได้ดี แต่มีข้อเสียที่ใช้พลังงานมาก(กระแสสูง) ถ้าความเข้มข้นสารละลายน้อยจะนำไฟฟ้าได้ไม่ค่อยดี แต่มีข้อดีที่ใช้พลังงานน้อย(กระแสต่ำ) และที่สำคัญวัสดุที่ใช้ในการทำขั้วไฟฟ้า (Electrode) ถ้าวัสดุต่างชนิดกันจะเกิดการนำไฟฟ้าที่ต่างกันและทนการกัดกร่อนที่เวลาแตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาค้นคว้าพบว่า การแยกก๊าซออกจากน้ำด้วยปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า (Electrolysis Process) มี 2 ประการหลัก ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบระบบ และ อุปกรณ์ คือ วัสดุที่ใช้ทำขั้ว Electrode และ Control Unit Pulse Width Modulation ที่ใช้ควบคุม กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ เพื่อนาอุปกรณ์และเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาใช้งานได้จริง

5.1 สรุป

การศึกษาระบวนการแยกก๊าซด้วยไฟฟ้า (Electrolysis Process) จากการศึกษาค้นคว้าตลอดจนได้ทำการทดลองพบว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้กระบวนการแยกก๊าซหรือก๊าซที่ได้ ไม่ได้เป็นไปอย่างที่คาดหวังไว้ในเบื้องต้น ดังนี้

5.1.1 วัสดุที่นำมาทำขั้ว Electrode เดิมทีการผลิตหรือการแยกก๊าซวัสดุที่นิยมใช้กัน คือ Platinum ซึ่งมีราคาแพงมาก แต่การทดลองในครั้งนี้ได้เปรียบเทียบวัสดุหลายชนิด จนสรุปได้ว่า Titanium มีความสามารถในการใช้งานได้จริง ประสิทธิภาพอาจดีไม่เท่า Platinum แต่ก็สามารถใช้งานได้ในระดับที่น่าพอใจ และสามารถหาค่าจุดคุ้มทุนได้

5.1.2 รูปแบบของขั้ว Electrode จากเดิมที่นิยมใช้กันในแบบแผ่นเรียบเรียงซ้อนกัน ก็สามารถใช้ในรูปร่างอื่นๆ ในการทำขั้ว Electrode แล้วใช้งานได้จริง ในการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยการใช้แผ่นตะแกรงมีผลต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

5.1.3 ก๊าซไฮโดรเจนมีผลทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สูงขึ้น 18 - 21%

5.1.4 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบอยู่ที่ประมาณ 3.5 – 4 แอมแปร์ เป็นระดับกระแสไฟฟ้าที่เพียงพอกับการแยกก๊าซเพื่อใช้ในระบบและจากการทดสอบกับรถบรรทุก ISUSU เครื่องยนต์ 6 HE1 195 แรงม้า ขนาดไดนาโม 124 โวลต์ 55 แอมแปร์ พบว่าถ้ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ระบบมากกว่า 8 แอมแปร์ ทำให้ไดนาโมของรถเริ่มมีปัญหาในการชาร์ตไฟฟ้า คือ ในตอนกลางวันมีการใช้กระแสไฟฟ้า เช่น การเปิดแอร์ วิทยูเครื่องเสียง ยังคงใช้งานได้ปกติ แต่ในเวลากลางคืน มีการใช้ไฟหน้ารถ จะทำให้วิทยูเครื่องเสียงใช้งานไม่ได้และเมื่อมีการดับเครื่องยนต์ การสตาร์ทเครื่องใหม่เริ่มมีปัญหา เนื่องจากไดนาโมไม่สามารถชาร์ตไฟฟ้าได้ทันต่อการใช้งาน ถ้ามีการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของรถพร้อมๆ กัน

5.1.5 อุณหภูมิมีผลต่ออายุการใช้งานของชุดอุปกรณ์แยกก๊าซ อุณหภูมิที่เหมาะสมไม่เกิน 70°C เนื่องจากอุณหภูมิจะแปรผันตามกระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน ถ้าหากมีอย่างใดอย่างหนึ่งสูงขึ้นส่งผลให้อีกอย่างสูงขึ้นตามกันไป และความร้อนก็มีผลต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่ใช้โดยตรงอีกด้วย

5.1.6 เนื่องจากวัสดุทนต่อการสึกหรอได้ดี ปริมาณสารละลายต่ำกระแสไฟฟ้าต่ำ ทำให้การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก

5.1.7 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน พบว่ารถที่ใช้ระยะทางมากขึ้นเท่าไร ระยะเวลาของจุดคุ้มทุนเร็วขึ้น ทำให้การลงทุนในระบบนี้เป็นที่น่าสนใจอย่างมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนจะเพิ่มมากขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับการพัฒนารูปแบบของขั้ว Electrode เพราะถ้าสามารถเพิ่มปริมาณก๊าซไฮโดรเจนให้มากพอ น่าจะนำไปสู่การพัฒนาการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซไฮโดรเจนโดยตรง

5.2.2 ในเรื่องของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบ ถ้าในการทาปฏิกิริยาได้มีการพัฒนาให้มีการใช้กระแสน้อยลง จะยังมีประโยชน์กับยานพาหนะ กล่าวคือ การสูญเสียพลังงานที่ป้อนให้ระบบน้อยลงแต่พลังงานที่ได้รับเพิ่มขึ้น

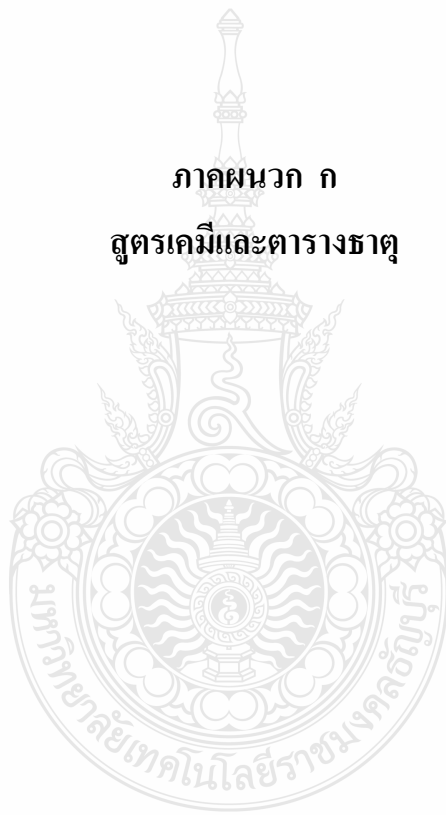
5.2.3 การปรับปรุงจุดเชื่อมต่อต่างๆ มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากโมเลกุลที่เล็กที่สุดและเบา กว่าอากาศ ทำให้โอกาสเกิดการรั่วซึมสูงขึ้น

5.2.4 ถ้ามีการส่งเสริมในภาคอุตสาหกรรมและภาคขนส่งอย่างจริงจัง ค่าการใช้พลังงาน มวลรวมของประเทศจะลดลงได้มาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bell, S.R. and Gupta, M. (1997). Extension of Lean Operating Limit for Natural Gas Fuelling of a Spark Ignited Engine Using Hydrogen Blending. *Combustion Science and Technology*, 85(07), 39 – 43. ศึกษาอิทธิพลของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์และปริมาณสารมลพิษ
- [2] Hoekstra, R.L., Collier, K. and Mulligan, N. (1994). Demonstration of Hydrogen Mixed Gas Vehicle. *Proceeding of 10th World Hydrogen Energy Conference*, 3(96), ทำการศึกษาปริมาณสารมลพิษและช่วงการขยายตัวของ Lean Limit เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม
- [3] Raman, V., Hansel, J., Fulton, J., Lynch, F. and Bruderly, D. (1994). Hythane-An Ultra Clean Transportation Fuel. *Proceeding 10th World Hydrogen Energy Conference*. 3(96), 1797 – 1806.
- [4] M.Durr, A.Crudon, “Dynamic model of a lead-acid battery for use in a domestic fuel cell system” *Journal of power Sources* 161(2006) 1400-1411.
- [5] Cattelan and Wallace, 1994 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารมลพิษและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic Converter) *Hydrogen Energy* Volume 29, Issue 14, November 2004, Pages 1527-1539
- [6] Swain, M. R., Yusuf, M., Dulger, Z. and Swain, M. N. (1993). The Effects of Hydrogen Addition on Natural Gas Engine Operation. *Society of Automotive Engineers Transactions*, 8(5), 105 – 107.
- [7] Yusuf, M., Swain, M.R., Swain, M.N. and Dulger, Z. (1997). An Approach to Lean Burn Natural Gas Fuelled Engine through Hydrogen Addition. *Proceedings of 30th ISATA Conference*, 5(2), 177 – 185.
- [8] Watson, H.C. and Lawrence, J. (1998). Hydrocarbon Emissions from HAJI Equipped Ultra-lean Burn SI Engine. *Society of Automotive Engineers Transactions*, 8(5), 150 - 151
- [9] Toshio S., Kazuki, S. and Tasuo N. (2000). Combustion and Emissions in Methane DI Stratified Charge Engine with Hydrogen Pre-Mixing. *Society of Automotive Engineers of Japan*, 29(40), 177-182.
- [10] Sierens, R. and Rosseel, E. (2000). Variable Composition Hydrogen/Natural Gas Mixtures for Increased Engine Efficiency and Decreased Emissions. *ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. 2(5), 79 – 81.
- [11] สุมิตรา จรสโรจน์กุล. (2545). เซลล์เชื้อเพลิงพลังงานสะอาดทางเลือกแห่งอนาคต. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
- [12] Dober, G.G. and Watson H.C. (1999). Modelling the Flame Enhancement of A HAJI Equipped Spark Ignition Engine. *Society of Automotive Engineers Transactions*, 18(1), 98–99.

ภาคผนวก ก
สูตรเคมีและตารางธาตุ



ตารางธาตุ

1 IA		2 IIA		3-10 IIIB-VIIB										11 IB		12 IIB		13-18 IIIA-VIIIA																																																																							
1 H ไฮโดรเจน 1.00784	2 He ฮีเลียม 4.002602	3 Li ลิเทียม 6.941	4 Be เบริลเลียม 9.012182	5 B โบรอน 10.811	6 C คาร์บอน 12.0107	7 N ไนโตรเจน 14.0064	8 O ออกซิเจน 15.9994	9 F ฟลูออรีน 18.9984032	10 Ne นีออน 20.1797	11 Na โซเดียม 22.989770	12 Mg แมกนีเซียม 24.3050	13 Al อะลูมิเนียม 26.981538	14 Si ซิลิคอน 28.0855	15 P ฟอสฟอรัส 30.973761	16 S กำมะถัน 32.065	17 Cl คลอรีน 35.453	18 Ar อาร์กอน 39.948	19 K โพแทสเซียม 39.0983	20 Ca แคลเซียม 40.078	21 Sc สแกนเดียม 44.955910	22 Ti ไทเทเนียม 47.867	23 V วานาเดียม 50.9415	24 Cr โครเมียม 51.9961	25 Mn แมงกานีส 54.938049	26 Fe เหล็ก 55.847	27 Co โคบอลต์ 58.933200	28 Ni นิกเกิล 58.6934	29 Cu ทองแดง 63.546	30 Zn สังกะสี 65.409	31 Ga แกลเลียม 69.723	32 Ge เจอร์เมเนียม 72.64	33 As แอสเซนดีน 74.92160	34 Se ซีลีเนียม 78.96	35 Br โบรอน 79.904	36 Kr คริปทอน 83.798	37 Rb รูบิเดียม 85.4678	38 Sr สตรอนเชียม 87.62	39 Y ยทเรียม 88.90585	40 Zr เซอร์โคเนียม 91.224	41 Nb นิกเกิล 92.90638	42 Mo โมลิบดีนัม 95.94	43 Tc เทคนีเชียม (98)	44 Ru รูทีเนียม 101.07	45 Rh โรเดียม 102.90550	46 Pd แพลตินัม 106.42	47 Ag เงิน 107.8682	48 Cd แคดเมียม 112.411	49 In อินเดียม 114.818	50 Sn ดีบุก 118.710	51 Sb แอนติโมนี 121.760	52 Te เทลลูเรียม 127.60	53 I ไอโอดีน 126.90447	54 Xe ซีนอน 131.293	55 Cs ซีเซียม 132.90545	56 Ba แบเรียม 137.327	57 to 71 Lanthanides	72 Hf ฮาฟเนียม 178.49	73 Ta ทังสเตียม 180.9479	74 W ทังสเตียม 183.84	75 Re เรเนียม 186.207	76 Os ออสเมียม 190.23	77 Ir อิริเดียม 192.227	78 Pt แพลตินัม 195.078	79 Au ทองคำ 196.96655	80 Hg ปรอท 200.59	81 Tl ทาลัม 204.3833	82 Pb ตะกั่ว 207.2	83 Bi บิสมัท 208.98038	84 Po โปโลเนียม (209)	85 At แอสทาทีน (210)	86 Rn เรดอน (222)	87 Fr ฟรันทเซียม (223)	88 Ra เรเดียม (226)	89 to 103 Actinides	104 Rf รูทเรเนียม (261)	105 Db ดบิเลียม (262)	106 Sg ซีบิเรียม (266)	107 Bh บิเรียม (264)	108 Hs แฮสเซียม (269)	109 Mt เมิทเทเนียม (268)	110 Ds ดิสเคียม (271)	111 Rg โรเจอร์ียม (272)	112 Uub ยูบิเคียม (285)	113 Uut ยูทเทเนียม (284)	114 Uuq ยูอูควิเนียม (289)	115 Uup ยูอูเปเนียม (288)	116 Uuh ยูอูแฮเนียม (282)	117 Uus ยูอูเสียม (286)	118 Uuo ยูอูออกเตียม (284)

โลหะแอลคาไล
 โลหะแอลคาไลเอิร์ธ
 โลหะทรานซิชัน
 แลนทาไนด์
 แอ็กไทนด์
 โลหะหลังทรานซิชัน
 ฮาโลเจน
 ก๊าซมีตระกูล
 C
 Br
 H
 Tc
 Synthetic

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

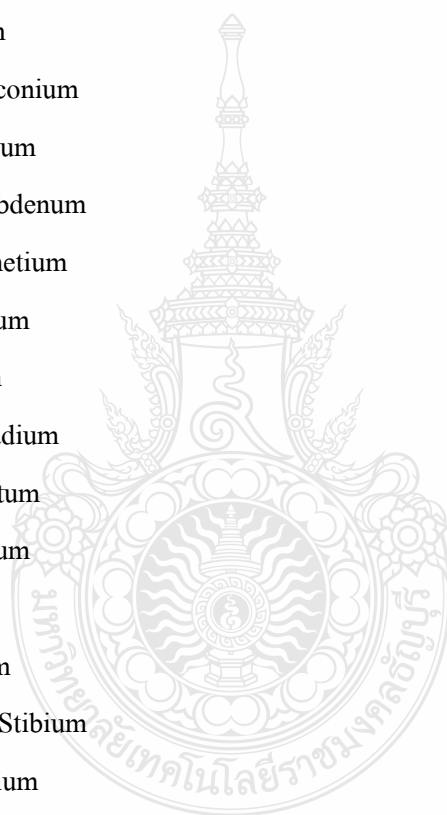
Design Copyright © 1997 Michael Davah (michael@davah.com), <http://www.davah.com/periodic/>

รายชื่อของธาตุตามหมายเลข

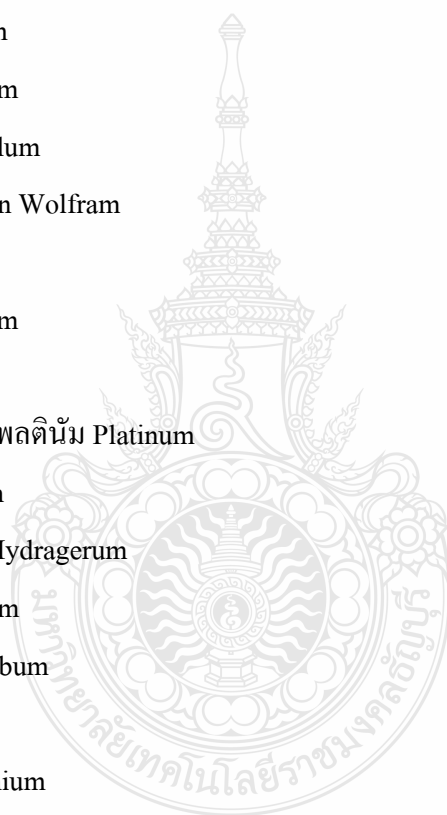
เลขอะตอม สัญลักษณ์ ชื่อธาตุ ชื่อธาตุภาษาอังกฤษ ชื่อธาตุภาษาละติน หมายถึง

- 1 H ไฮโดรเจน Hydrogen Hydrogenium
- 2 He ฮีเลียม Helium
- 3 Li ลิเทียม Lithium
- 4 Be เบริลเลียม Beryllium
- 5 B โบรอน Boron
- 6 C คาร์บอน Carbon
- 7 N ไนโตรเจน Nitrogen
- 8 O ออกซิเจน Oxygen
- 9 F ฟลูออรีน Fluorine
- 10 Ne นีออน Neon
- 11 Na โซเดียม Sodium Natrium
- 12 Mg แมกนีเซียม Magnesium
- 13 Al อะลูมิเนียม Aluminium หรือ Aluminum
- 14 Si ซิลิคอน Silicon
- 15 P ฟอสฟอรัส Phosphorus
- 16 S กำมะถัน หรือ ซัลเฟอร์ Sulfur หรือ Sulphur
- 17 Cl คลอรีน Chlorine
- 18 Ar อาร์กอน Argon
- 19 K โพแทสเซียม Potassium Kalium
- 20 Ca แคลเซียม Calcium
- 21 Sc แสแกนเดียม Scandium
- 22 Ti ไทเทเนียม Titanium
- 23 V วาเนเดียม Vanadium
- 24 Cr โครเมียม Chromium
- 25 Mn แมงกานีส Manganese
- 26 Fe เหล็ก Iron Ferrum
- 27 Co โคบอลต์ Cobalt
- 28 Ni นิกเกิล Nickel
- 29 Cu ทองแดง Copper Cuprum

- 30 Zn สังกะสี Zinc
31 Ga แกลเลียม Gallium
32 Ge เจอร์เมเนียม Germanium
33 As สารหนู Arsenic
34 Se ซีลีเนียม Selenium
35 Br โบรมีน Bromine
36 Kr คริปทอน Krypton
37 Rb รูบิเดียม Rubidium
38 Sr สตรอนเชียม Strontium
39 Y อิตเทรียม Yttrium
40 Zr เซอร์โคเนียม Zirconium
41 Nb ไนโอเบียม Niobium
42 Mo โมลิบดีนัม Molybdenum
43 Tc เทคนิเชียม Technetium
44 Ru รูทีเนียม Ruthenium
45 Rh โรเดียม Rhodium
46 Pd แพลเลเดียม Palladium
47 Ag เงิน Silver Argentum
48 Cd แคดเมียม Cadmium
49 In อินเดียม Indium
50 Sn ดีบุก Tin Stannum
51 Sb พลวง Antimony Stibium
52 Te เทลลูเรียม Tellurium
53 I ไอโอดีน Iodine
54 Xe ซีโนน Xenon
55 Cs ซีเซียม Caesium
56 Ba แบเรียม Barium
57 La แลนทานัม Lanthanum
58 Ce ซีเรียม Cerium
59 Pr เพรซีโอดิเมียม Praseodymium
60 Nd นีโอดีเมียม Neodymium
61 Pm โพรมิเทียม Promethium



- 62 Sm ซามาเรียม Samarium
63 Eu ยูโรเปียม Europium
64 Gd กาโดลิเนียม Gadolinium
65 Tb เทอร์เบียม Terbium
66 Dy ดิสโพรเซียม Dysprosium
67 Ho โฮล์มเนียม Holmium
68 Er เออร์เบียม Erbium
69 Tm ทูเลียม Thulium
70 Yb อิตเตอร์เบียม Ytterbium
71 Lu ลูทีเซียม Lutetium
72 Hf ฮาฟเนียม Hafnium
73 Ta แทนทาลัม Tantalum
74 W ทังสแตน Tungsten Wolfram
75 Re รีเนียม Rhenium
76 Os ออสเมียม Osmium
77 Ir อิริเดียม Iridium
78 Pt ทองคำขาวหรือแพลตินัม Platinum
79 Au ทอง Gold Aurum
80 Hg ปรอท Mercury Hydragerum
81 Tl ทาลเลียม Thallium
82 Pb ตะกั่ว Lead Plumbum
83 Bi บิสมัท Bismuth
84 Po โปโลเนียม Polonium
85 At แอสทาทีน Astatine
86 Rn เรดอน Radon
87 Fr แฟรนเซียม Francium
88 Ra เรเดียม Radium
89 Ac แอกทิเนียม Actinium
90 Th ธอเรียม Thorium
91 Pa โพรแทกทิเนียม Protactinium
92 U ยูเรเนียม Uranium
93 Np เนปจูเนียม Neptunium

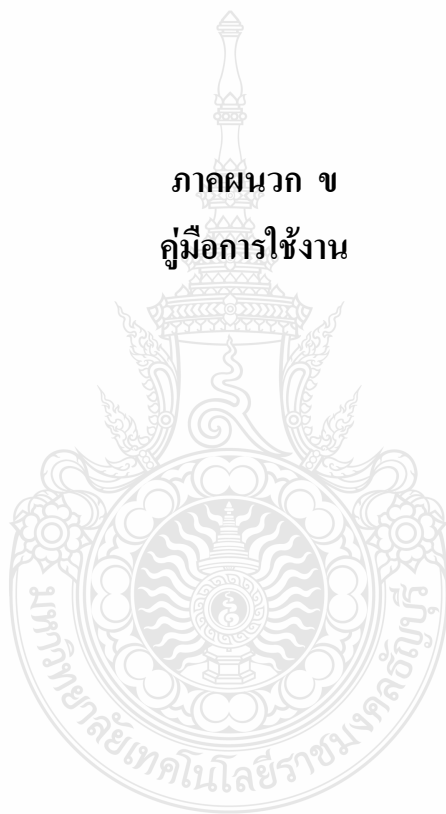


- 94 Pu พลูโตเนียม Plutonium
 95 Am อเมริเซียม Americium
 96 Cm คูเรียม Curium
 97 Bk เบอรัคเคียม Berkelium
 98 Cf แคลิฟอร์เนียม Californium
 99 Es ไอน์สไตเนียม Einsteinium
 100 Fm เฟอร์เมียม Fermium
 101 Md เมนเดเลเวียม Mendelevium
 102 No โนเบลเลียม Nobelium
 103 Lr ลอว์เรนเซียม Lawrencium
 104 Rf รูเทอร์ฟอร์ดเดียม Rutherfordium
 105 Db ดับเนียม Dubnium
 106 Sg ซีบอร์เกียม Seaborgium
 107 Bh บอห์เรียม Bohrium
 108 Hs แฮสเซียม Hassium
 109 Mt มีทเนอร์เรียม Meitnerium
 110 Ds คาร์มสตัดเดียม Darmstadtium
 111 Rg เรินต์เกนเนียม Roentgenium
 112 Uub อุนอุนเบียม Ununbium
 113 Uut อุนอุนตรีียม Ununtrium
 114 Uug อุนอุนควอดเดียม Ununquadium
 115 Uup อุนอุนเพนเทียม Ununpentium
 116 Uuh อุนอุนเฮกเซียม Ununhexium
 117 Uus อุนอุนเซปเทียม Ununseptium
 118 Uuo อุนอุนออกเทียม Ununoctium

สัญลักษณ์ที่บอกสถานะของสาร

- (aq) หมายถึง บอกสถานะของสารละลายว่าผสมกับน้ำ
 (s) หมายถึง บอกว่าสถานะของสารนี้เป็นของแข็ง
 (l) หมายถึง สถานะของสารชนิดนี้เป็นน้ำ
 (g) หมายถึง บอกว่าสารชนิดนี้มีสถานะเป็นก๊าซ
 (δ) หมายถึง ใช้บ่งบอกความเป็นบวก หรือลบ ของสารนอนอิเล็คโทรไลต์

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้งาน



คู่มือการใช้งาน

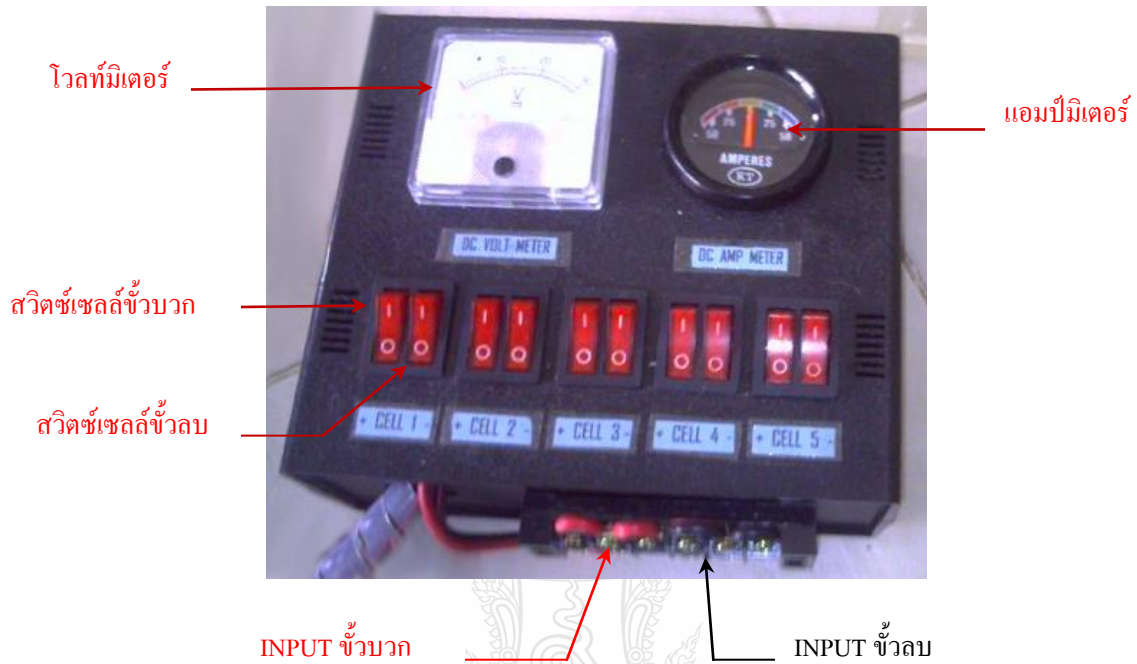
ขั้นตอนการใช้งาน

1. เติมน้ำผสมสารอิเล็กโทรไลต์ลงในชุดทดลองทางช่องเติมน้ำ โดยให้ระดับน้ำอยู่ประมาณหมายเลข 4 ของตัวบอกระดับน้ำ
2. ต่อชุดปั๊มดูดอากาศเข้ากับชุดเซลล์อิเล็กโทรไลซิส โดยที่ขั้วบวกจะเป็นก๊าซออกซิเจน และขั้วลบเป็นก๊าซไฮโดรเจน โดยเราจะสังเกตง่าย ๆ ว่าขั้วบวกต่อสายสีแดง ส่วนขั้วลบต่อสายสีดำ
3. การต่อชุดควบคุมเซลล์ เราจะนำไฟจาก power supply ต่อเข้าสู่ชุดควบคุมเซลล์ทางด้าน INPUT ของชุดควบคุมโดยสายสีแดงเป็นขั้วบวก ส่วนสายสีดำเป็นขั้วลบ
4. ปิดวาล์วควบคุมอากาศที่ต่ออยู่กับท่อก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจน
5. เปิดชุดปั๊มอากาศเพื่อไล่อากาศในเครื่องใช้เป็นสุญญากาศ
6. เปิดชุดเซลล์โดยการกดสวิทช์สีแดง ที่อยู่บนชุดควบคุมเซลล์โดยจะมีทั้งหมด 5 เซลล์ ยิ่งจำนวนเซลล์มากปริมาณก๊าซก็จะมากตาม
7. หลังจากเปิดชุดเซลล์แล้วเราจะทำการปรับวาล์วควบคุมอากาศเพื่อให้ปริมาณก๊าซที่ได้ สัมพันธ์กับการใช้งาน
8. หลังจากปรับวาล์วเสร็จเรียบร้อยแล้วก็สามารถนำก๊าซไปใช้งานได้

* หมายเหตุ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่ติดไฟง่าย เปลวไฟไม่มีสีจึงจำเป็นต้องระมัดระวังในการใช้งาน

ชุดควบคุมเซลล์อิเล็กโทรไลซิส

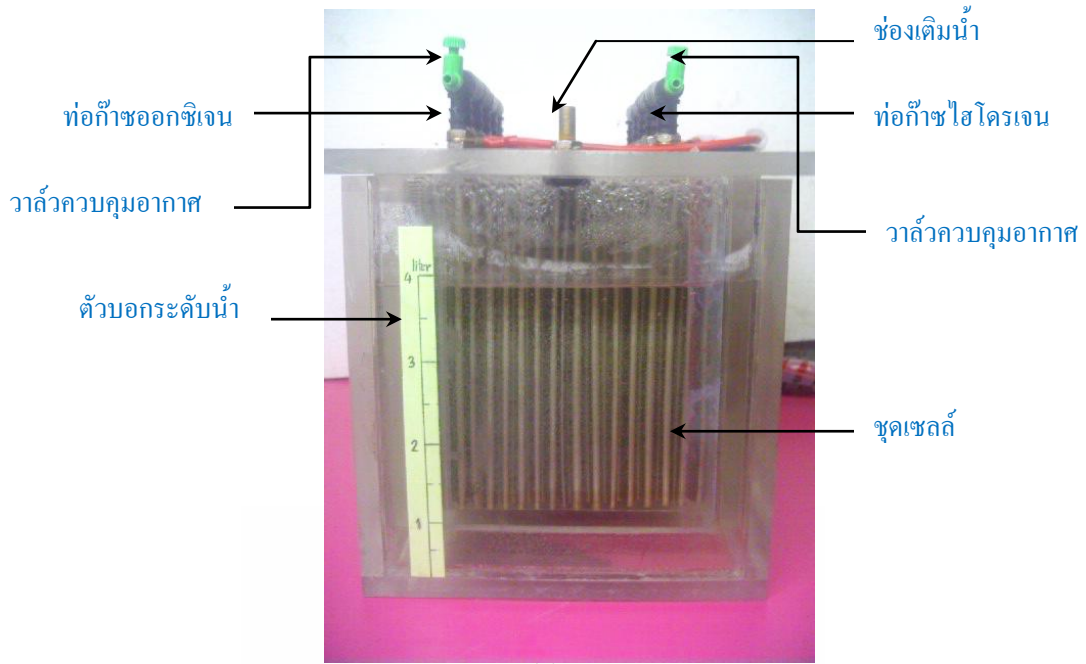
ในชุดควบคุมนี้จะประกอบด้วย ด้านINPUT ที่รองรับไฟตั้งแต่ 0 V – 30 V มีมิเตอร์บอกปริมาณไฟฟ้า และมีมิเตอร์บอกปริมาณกระแส และชุดเปิดปิดเซลล์โดยจะแบ่งออกเป็น 5 เซลล์ โดยที่แต่ละเซลล์จะแยกบวกและลบ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 ชุดควบคุมเซลล์อิเล็กโทรไลซิส

เซลล์อิเล็กโทรไลซิส

เซลล์อิเล็กโทรไลซิสประกอบด้วยเซลล์จำนวน 5 เซลล์ ท่อก๊าซออกซิเจน และท่อก๊าซไฮโดรเจน ตัวบอกระดับน้ำ และช่องเติมน้ำ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 เซลล์อิเล็กโทรไลซิส

ปั๊มดูดอากาศ

ปั๊มดูดอากาศประกอบด้วยตัวดูดอากาศทางด้านออกซิเจน และทางด้านไฮโดรเจนโดยจะแสดง
 ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 ปั๊มดูดอากาศ

power supply

ในส่วนของแหล่งจ่ายนั้น เราสามารถเลือกใช้ชุดหม้อแปลงหรือแบตเตอรี่ หรือสามารถใช้ทั้ง 2 อย่างพร้อมกันได้ เมื่อต้องการกระแสสูงๆ จากรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 Power supply

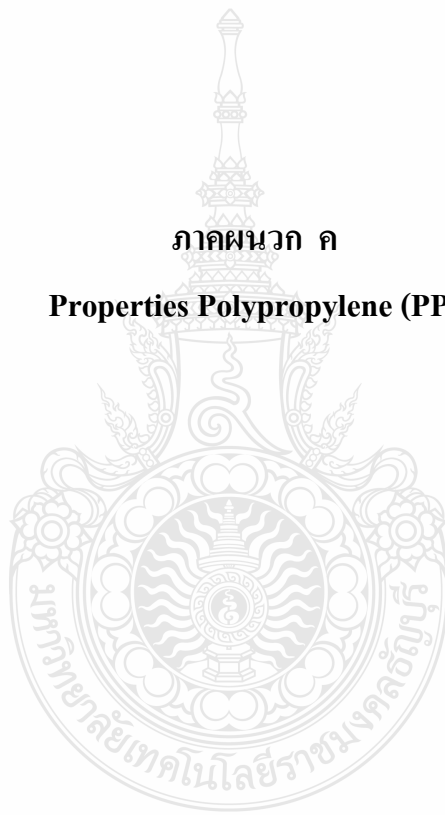
จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะสามารถนำมาประกอบเป็นชุดแยกออกซิเจน และไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสได้ดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 ชุดต้นแบบแยกน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส

ภาคผนวก ค

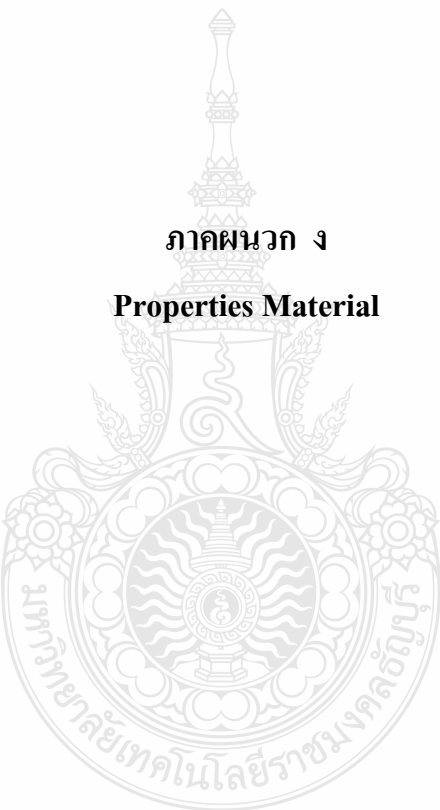
Properties Polypropylene (PP)



ภาคผนวก ก Properties Polypropylene (PP)

ตารางที่ 11 แสดง Properties Polypropylene (PP)

PP Properties	ASTM	Unit	PP
Mechanical properties			
Specific Gravity	D792		.905
Elongation	D638	%	10~20
Tensile Strength	D638	psi	4,800
Flexural Strength	D790	psi	5,400
Compressive Strength	D695		6,000
Tensile Elastic Modulus (Young's Modulus)	D638	(10~5)psi	1.6
Flexural Modulus	D790	(10~5)psi	1.7~2.5
Hardness Durometer	D785	Rockwell R	80~110
Impact Strength IZOD 73°F/23°C	D256	notched ft/lbs/in	0.5~2.2
Thermal properties			
Melting Point		°C(°F)	121(250)
Upper Service Temperature(20,000h)		°C(°F)	104(220)
Flame Rating**		UL94	n.r.
Thermal Conductivity	C117	10~4 cal/sec/cm2,°C/cm	2.8
Electrical properties			
Dielectric Constant	D150	1kHz	2.2~2.6
Dissipation Factor	D150	1kHz	0.0005~0.0018
Dielectric Strength	D149	125 MILV.	475~660
Volume Resistivity	D257	ohm-cm at 730F,50% RH	10~17
General properties			
Chemical/Solvent Resistance			Excellent
Water Absorption, 24h	D570	%	<0.03
RefractiveIndex			1.51~1.54
Arc Resistivity	D495	sec	100~160



ภาคผนวก ง

Properties Material

ภาคผนวก ง Properties Material

ตาราง 12 แสดง Properties Material

Material	Atomic number	Atomic weight	Density (g/cm ³)	Melting point(°C)	Thermal expansion Coefficient (°C)	Specific heat (cal/gr/°C)
Titanium	22	47.9	4.51	1 668	8.4x10-6	0.124
Ti-6Al-4V	-	-	4.4	1 650	8.6x10-6	0.138
Iron	26	55.85	7.86	1 530	12x10-6	0.11
Stainless Steel 18-6 (AISI 304)	-	-	7.93	1 400	17x10-6	0.12
Aluminum	13	26.97	2.7	660	23x10-6	0.21
Aluminum Alloy(75S-T6)	-	-	2.8	476	23x10-6	0.23
Magnesium	12	24.32	1.7	650	25x10-6	0.24
Nickel	28	58.69	8.9	1 456	15x10-6	0.11
Hastelloy C	-	-	8.9	1 305	11.3x10-6	0.092
Copper	29	63.57	8.9	1 083	17x10-6	0.092

Material	Thermal conductivity (cal/cm ² /sec/°C/cm)	Electrical resistivity (μW-cm)	Electrical conductivity (%IACS)	Yong's modulus (MPa)	Poisson's ratio
Titanium	0.041	55	3.1	106 000	0.34
Ti-6Al-4V	0.020	175	0.98	110 000	0.34
Iron	0.15	9.7	18	206 000	0.31
Stainless Steel 18-6 (AISI 304)	0.039	72	2.4	200 000	0.30
Aluminum	0.49	2.7	64	69 000	0.33
Aluminum Alloy(75S-T6)	0.29	5.8	30	71600	0.33
Magnesium	0.38	4.3	40	44 800	0.35
Nickel	0.22	9.5	18	206 000	0.30
Hastelloy C	0.03	130	1.3	204 000	-
Copper	0.962	1.724	100	108 000	0.34

ภาคผนวก จ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





RAMUTSB

- Group 1** Power Electronics, Electric Machines, Motor Control and Drive, Measurement, Control and Robotics.
- Group 2** Power System, Transmission and Distribution, High Voltage and Electrical Energy Generating Systems.
- Group 3** Renewable Energy, Energy Saving Technologies, Industry Specific Energy Conversion and Conditioning Technologies.
- Group 4** Telecommunication, Electronics, Information and Communication Technologies, Antennas, Microwave Theory and Techniques.
- Group 5** Computer Technologies and Network, Computer Graphics, Machine Learning and Human-Computer Interaction.
- Group 6** Education in Electrical Engineering, Simulation Software and Design tools, Related Topics in Electrical Engineering.

Between 9-11 March 2011

At ARIT Nonthaburi Campus
(North Zone) Rajamangala University
of Technology Suvarnabhumi



ELECTRICAL ENGINEERING NETWORK 2011



เกรียงไกร เหลืองอำพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กิจจา ลักษณ์อำนวยพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
กิตติวงศ์ สุธรรมโน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
กิตติวุฒิ จินนะบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
เกษม เนื้อแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
โกศล นิธิโสภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
โกศล โอฬารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
จงเจริญ คุ้มบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
จตุรงค์ จตุรเชตชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
จรินทร์ จุลวานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
จัดจตุฤทธิ์ ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตสาธิต
เจษฎา พรหมเกษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เฉลิมชาติ มานพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
เฉลิมยว เกตุแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ชลากร สุวรรณสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ชาญชัย เศรษฐธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ชูศักดิ์ กมลขันดิธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ไชยยันต์ บุญมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ณัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ณรงค์ นันทกุศล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ณัฐพงศ์ สอนองคุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



ณัฐพันธ์ พันธนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ณัฐพล หาอุปละ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณุพล คำปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
คุณย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
คุณิต อุทิศสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ตะวัน ขุนอาสา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
เต็มศักดิ์ แสนเพียง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เดือนใจ อาชีวะพานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ทอง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ทัศนะ อมทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ธงชัย คล้ายคลึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ธวัช เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ธานี สมวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ธีรพล เหมือนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นคร ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นครินทร์ ศรีปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นพพร พชรประภิติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
นภัทร วัฒนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
นราวิทย์ กิจเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นรินทร์ หลักทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นาคยา คล้ายเรือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศรีราชา
นิติพงษ์ ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นิติพงษ์ สมไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นิพนธ์ วงศ์ท่า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นิพนธ์ สุนทรหุด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
นิลมิต นิลาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ



นิวัตร จารุวาระกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
บุญช่วย เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปฎิวัติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประกาศิต ศรีทะแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ประดิษฐ์ เพื่อนหมื่นไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ประดิษฐ์ แสงยศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประทีป แสงด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ประมุข อุมหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประวิช เปรียบเหมือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ปรีชา สาคะรังษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ศศ.ณัฐวุฒิ โสมะเกษตรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พร้อมศักดิ์ อภิตติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พันธ์ พิริยะวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
พิชัย เฟ่งพันธุ์พัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
พิชัย อยู่เปล่า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
พินิจ ศรีธรร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
พินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พิสิทธิ์ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
พิสิษฐ์ ลีวชนกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พีรพล จิราพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
พูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ภักววัฒน์ จันทร์ตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ภานุมาศ แสนพวง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
มงคล ดำนบบำรุงตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
มังกร ศิริจันทร์ชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มาณพ ณะคำดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
มาลียา ตั้งจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



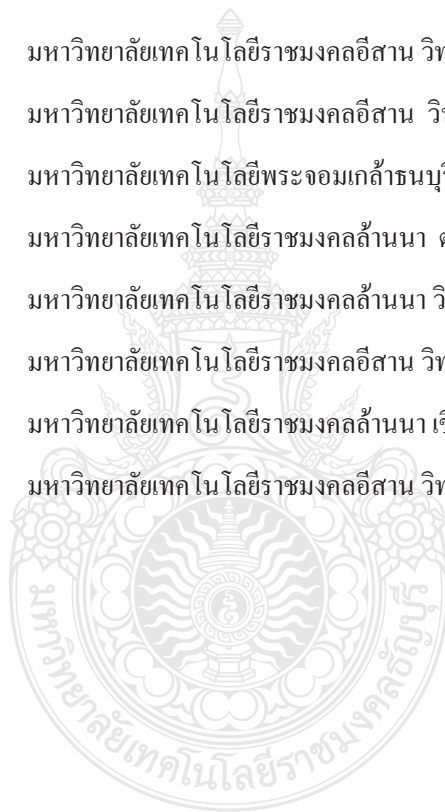
มีชัย แจ่มใส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ยุทธนา กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ยุทธนา ขำสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รัก สกุดพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เรวัต ธรรมสนธิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วณพันธ์ ้วยวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
วิชัย สิมมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
วันชัย ททรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วารุณี กรุดพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วารุณี ศรีสงคราม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วิจิตร กิณเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิชัย ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิชา จันที	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิชิต สุทธิพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิฑูรย์ พรหมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
วินัย เมธาวิทิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิบูลย์ ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิรัตน์ นักรองดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิโรจน์ เพชรพันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
วิวัฒน์ เจริญสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วีระ ขันยาภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
วีระชัย จรบูรมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
วีระยุทธ รัตนคุณศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วุฒิชัย ส่งงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ศรีศักดิ์ น้อยไร่ภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ



ศักดิ์ชัย ระวีกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ศิริชัย แดงอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศิริชัย ลาภาสระน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ศุภลักษณ์ ศรีตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สมเกียรติ อุดมहरษากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สมเกียรติ ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สมชัย หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมชาย เบียนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมนึก เครือสอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
สมพร ศรีวัฒนพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สยาม ประจูดทะเลศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สรรรพล คุ่มทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สรายุช ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สันติ อัสวศรีพงษ์ศรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
สันติภาพ โคตทะเล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
สาคร ปันตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สาริต รุ่งสว่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สายชล ชูดเจือจิ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ลำเรียง อินท่าไม้	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สุภูมิ จุฬางตุรศิริระรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สุชาติ จันทรจรมานิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุทธินันท์ ต้นโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
สุพจน์ จันทรวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สุรเชษฐ์ เดชฟูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สุรพันธ์ โล่ห์เพชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุรสิทธิ์ แสันทอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

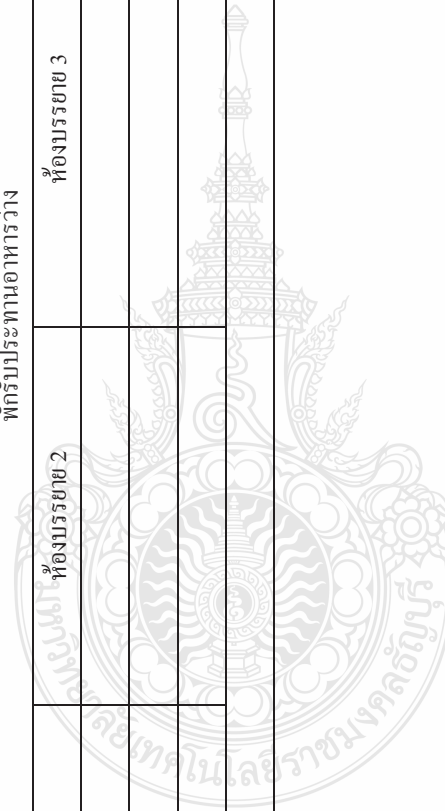


สุรินทร์ แห่งมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สุวัลยา ศิริศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
องอาจ แสดใหม่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อนนท์ นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
อนันต์ โสภิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อโนชา รุ่งโรจน์วัฒนศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อัศวิน แก้วสิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ขอบคุณ ไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาภาพล มหาวีระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อิษฎา บุญญาอรุณเนตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อุดม เครือเทพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
อุเทน คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ
อุรา ดันมีแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เอกชัย ชัยดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
เอกวิทย์ หายักวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร





วันศุกร์ที่ 11 มีนาคม 2554			
นำเสนอบทความ	ห้องบรรยาย 1	ห้องบรรยาย 2	ห้องบรรยาย 3
09.00 - 10.20	PW2	PW2	EN3
Session Chair	ดร.นงนุช คัลยเวียง KU ศศ.วารุณี ศรีสงคราม RMUTSB	ศศ.ดร.สำเร็จ อินทามิ SPU ศศ.ดร.ปรีชา สาครรงค์ RMUTSB	รศ.นภัทร วัฒนเทพินทร์ RMUTSB อ.พัชรนันท์ ศรีธนาอุทัยกร RMUTSB
บทความลำดับที่	PW2_14 – PW2_16	PW2_10 – PW2_13	EN3_25 – EN3_28
10.20 – 10.40	พักรับประทานอาหารว่าง		
นำเสนอบทความ	ห้องบรรยาย 1	ห้องบรรยาย 2	ห้องบรรยาย 3
10.40 - 12.00			
Session Chair			
บทความลำดับที่			
12.00 – 13.00			



การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

Hydrogen Electrolizer by Using Separated Electrolyzed Cell Process

นฤมล กุ่มรักษา และ ดร.บุญยังปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ : 0-2549-3571 E-mail: mcgogoal@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมากในการพัฒนาพลังงานในรูปแบบต่างๆ เพื่อนำมาใช้แทนพลังงานจากฟอสซิลที่นับวันจะมีราคาแพงและเริ่มจะหมดไปจากโลกประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ดังนั้นประเทศไทยจึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานในประเทศให้มากขึ้น รวมทั้งเร่งรัดนโยบายการประหยัดพลังงานควบคู่กันไปด้วย จึงได้มีการวิจัยพัฒนาพลังงานจากไฮโดรเจนมาเป็นเชื้อเพลิงร่วมในรถยนต์รวมถึงการนำไฮโดรเจนในรูปแบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานได้ บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ซึ่งพบว่าการแยกเซลล์จะทำให้ได้ค่าไฮโดรเจนออกมาผสมกับออกซิเจนน้อยมากโดยก๊าซที่ออกมานั้นจะมีทั้งฝั่งออกซิเจนและฝั่งไฮโดรเจนแยกออกจากกัน และทำการศึกษาค่าตัวแปรที่มีผลต่อ สารละลายอิเล็กโทรไลต์และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่พื้นผิวของขั้วไฟฟ้า เพื่อควบคุม แรงดัน กระแส และ อุณหภูมิของสารละลาย เนื่องจากกระแสและอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการแยกไฮโดรเจนและออกซิเจน

คำสำคัญ: ไฮโดรเจน , อิเล็กโทรไลต์ซิส

Abstract

The current global focus is very much in the development of energy in various forms to be used instead of fossil energy are more expensive day by day and started to go away from the world, Thailand has developed continuously. Therefore, Thailand would be necessary to find energy resources in the country more. As well as intensive energy policy simultaneously with has a research and development of energy from hydrogen as fuel in cars as well as bringing together in a hydrogen fuel cell for application in areas as high performance. Thus, hydrogen energy is another alternative that can be used to replace energy. This paper presents a method to separate hydrogen from water by electrolysis of cist separate cells, which showed that the isolated cells could be obtained without the hydrogen from the mixture with oxygen,

very little by gas released will be. Oxygen and hydrogen-side and side separately. And the variables that affect Electrolyte solution and the list of current density at the surface of the electrode to control the flow pressure and temperature of the solution. Because of the current and temperature have a direct effect on the separation of hydrogen and oxygen.

Keywords: Hydrogen , Electrolyte

1. คำนำ

บทความนี้ได้นำเสนอหลักการเบื้องต้นการแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ การออกแบบจะเน้นถึงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของตัวนำ (อิเล็กโทรไลต์) และทำการศึกษาค่าตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมี คือค่า pH ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่พื้นผิวของขั้วไฟฟ้า โดยนำความรู้พื้นฐานทางด้านเคมีมาศึกษาร่วมกับทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อควบคุมแรงดัน กระแส และอุณหภูมิของสารละลาย เนื่องจากกระแสและอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้า จึงทำให้อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการแยกไฮโดรเจนและออกซิเจน ดังนั้นจึงกำหนดคุณสมบัติของตัวนำและสารละลาย เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

2. ไฮโดรเจน

ไฮโดรเจน เป็นธาตุที่เบาที่สุดและเป็นองค์ประกอบของน้ำที่เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของสิ่งมีชีวิตบนโลก เป็นโมเลกุลมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ บรรยากาศในโลกรวมก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 0.1 ppm. มีความแข็งแรงในการยึดโมเลกุล เท่ากับ 436 kJ/mol (104 kcal/mol) ดังนั้นเมื่อต้องการให้โมเลกุลไฮโดรเจนทำปฏิกิริยา จึงต้องใช้พลังงานเพื่อทำลายความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลดังกล่าว เช่น เพิ่มอุณหภูมิ ใช้สารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ไฮโดรเจนอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสที่อยู่ตรงกลางภายในนิวเคลียส ประกอบด้วยโปรตอน และนิวตรอน และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบนอก เหมือนธาตุอื่นๆ ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป ขึ้นกับจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนที่ต่างกัน ดังนี้

1. ไฮโดรเจน (Hydrogen) มีจำนวนโปรตอน 1 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอม เท่ากับ 1.0078

2. ดิวเทอเรียม (Deuterium) มีจำนวนโปรตอน 2 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอม เท่ากับ 2.0141
3. ทริเทียม (Tritium) มีจำนวนโปรตอน 3 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอม เท่ากับ 3.0161

2.1 การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธี อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)

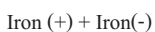
คือกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรง จากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างเช่น อิเล็กโทรลิซิส และการชุบ (ขบวนการที่ผ่านกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี)

2.1.1 เครื่องมือที่ใช้แยกสารละลายด้วยไฟฟ้า

เซลล์อิเล็กโทรไลต์ หรืออิเล็กโทรลิติกเซลล์ ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเครื่องกำเนิดกระแสตรง (D.C) เช่น เซลล์ไฟฟ้า หรือ แบตเตอรี่

ขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือแผ่นตัวนำที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อกับเซลล์ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ แบ่งเป็นแอโนด และแคโทด

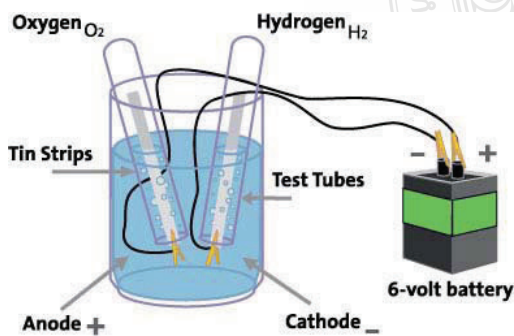
สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ เพราะมี



Iron (+) วังไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ เกิดปฏิกิริยรีดักชัน จึงเรียกขั้วลบว่า แคโทด และเรียกไอออนบวกว่าแคตไอออน(cation)

Iron (-) วังไปให้ e⁻ ที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า แอโนด และเรียก Iron (-) ว่าแอนไอออน (Anion)

ดังนั้น ที่ Anode มีคือ ไอออนลบ และที่ Cathode มีคือ ไอออนบวก และAnode (oxidation) ตรงกับขั้วบวก Cathode (Reduction) ตรงกับขั้วลบ



รูปที่ 1 การทดลองแยกโมเลกุลน้ำด้วยไฟฟ้า

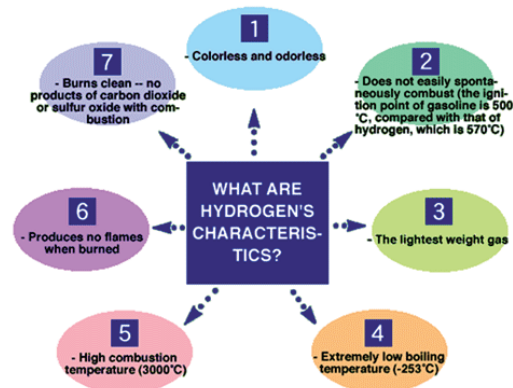
ผลจากการแยกก๊าซด้วยวิธี อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) เราจะได้ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน ในอัตราส่วน 2:1 โดยที่ก๊าซไฮโดรเจนจะออกทางขั้วลบ (+) และก๊าซออกซิเจนออกทางขั้วบวก (-)

2.2.2 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

1. ไม่มีสีและกลิ่น
2. มีอุณหภูมิจุดระเบิดสูงกว่าน้ำมันที่ 570 องศาเซลเซียส

3. เป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบาที่สุด
4. มีจุดเดือดต่ำมากที่ -253 องศาเซลเซียส
5. ติดไฟง่าย
6. ไม่เกิดประกายไฟขณะที่มีการเผาไหม้
7. มีการเผาไหม้ที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในขณะที่มีการสันดาป กล่าวคือ ในกระบวนการเผาไหม้ระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน จะได้พลังงาน และน้ำออกมาเท่านั้น



รูปที่ 2 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

2.2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

2.2.1 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) หมายถึง สารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวก หรือ ไอออนลบเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็น สารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้ ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดเกลือ (HCl) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายของเกลือ KNO₃ เป็นต้น โดยในสารละลายดังกล่าวประกอบด้วยไอออน H⁺, Cl⁻, OH⁻, K⁺ และ NO₃⁻ ตามลำดับ

2.2.2 นอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte) หมายถึง สารที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อละลายน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจาก สารพวกนอนอิเล็กโทรไลต์ จะไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น น้ำบริสุทธิ์ น้ำตาล แอลกอฮอล์ เป็นต้น

3. การออกแบบเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

ในการออกแบบโครงสร้างเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนออกจากรูปร่างจำเป็นต้องทำให้ออกซิเจนมีความคงทนแข็งแรง สามารถทนต่อปฏิกิริยาที่จะเกิดภายในถังนั้น ได้ดังนั้นแผ่นอะคิลิคส่วนใหญ่ควรเป็นแบบหนา 10 mm ดังรูปที่ 3 การออกแบบจะคำนึงถึงต้นทุนการผลิต วัสดุที่นำมาใช้งานและจุดคุ้มทุนของการลงทุน



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

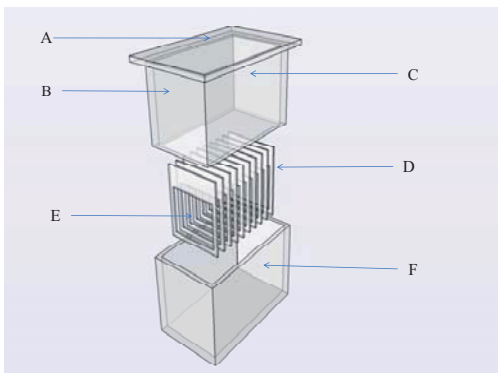
การทดสอบ

เพื่อหาว่าวัสดุชนิดใดจะมีความเหมาะสมในการที่จะนำมาทำเป็นขั้ว Electrode ที่ดีใช้งานได้ตามความต้องการและเหมาะสม มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาชนิดของวัสดุที่จะนำมาทำการทดลองตามลำดับ ดังนี้

- ราคา (Price)
- การนำไฟฟ้า (Conductivity)
- ความต้านทานการกัดกร่อนจากสารเคมี
- ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength)

การคัดเลือกวัสดุเพื่อสร้างอิเล็กโทรดในขั้นนี้ได้ทำการคัดเลือกวัสดุมา 4 ชนิด ซึ่งจะมีเหตุผลเบื้องต้นในการเลือกต่างกันดังนี้

- วัสดุ Aluminium 5083
- วัสดุ Stainless 304
- วัสดุ Stainless 316-L
- วัสดุ Titanium

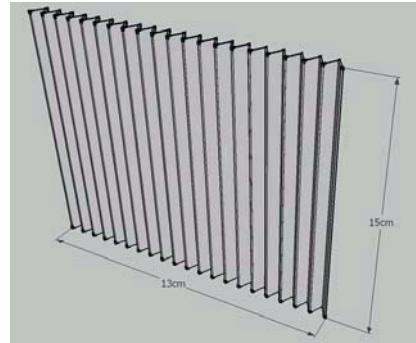


รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

อุปกรณ์และขั้นตอนการทำเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

- A → แผ่นอะคลิคหนา 10 mm ขนาด 19×30 cm² จำนวน 1 แผ่น
- B → แผ่นอะคลิคหนา 10 mm ขนาด 15×15 cm² จำนวน 2 แผ่น

- C → แผ่นอะคลิคหนา 10 mm ขนาด 15×26.5 cm² จำนวน 2 แผ่น
- D → แผ่นอะคลิคหนา 2 mm ขนาด 13×15 cm² จำนวน 2 แผ่น
- E → น้ำฟองน้ำหนา 0.5 cm และแผ่นสแตนเลสปิดทับเพื่อแยกเซลล์
- F → ถังขนาดกว้าง 17.5 cm ยาว 28.5 cm สูง 18 cm



รูปที่ 5 แสดงการออกแบบตัวนำไฟฟ้า

ในการออกแบบตัวนำไฟฟ้านั้นเรานำถึงพื้นที่หน้าตัดของตัวนำเป็นหลักซึ่งถ้ายิ่งพื้นที่หน้าตัดของตัวนำมากก็จะสามารถนำไฟฟ้าได้ดีมากขึ้นดังนั้นจึงทดลองออกแบบตัวนำแบบระนาบซ้อนและทำแผ่นตัวนำให้เป็นรูปลูกคลื่นเพื่อลดพื้นที่ของขนาดเครื่องให้มีขนาดไม่ใหญ่นเกินไปและวัสดุที่ใช้ทำตัวนำนั้นจะสแตนเลสซึ่งราคาไม่แพงมากและการนำไฟฟ้าได้ระดับพอใช้สามารถทนการกัดกร่อนได้สูง ขนาดกว้าง 15 cm ยาว 45 cm เมื่อทำการประกอบตัวเครื่องแล้วจะสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 5 เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 6 โดย 1 เซลล์ประกอบด้วยแผ่นตัวนำ 2 แผ่นคือขั้วบวกและขั้วลบ



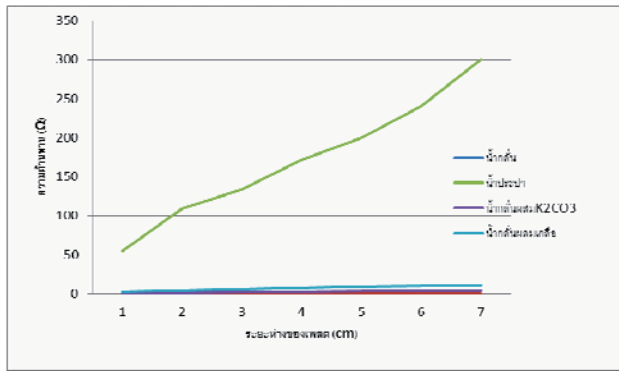
ภาพที่ 6 แสดงเครื่องมือทดลอง

4. ผลการทดลอง

จากการทดสอบที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 6.9, 12 โวลท์ การนำไฟฟ้าของสารละลายแต่ละชนิด ความต้านทานจะไม่เท่ากันถ้าแรงดันไฟฟ้ามากค่าความต้านทานจะลดลง และถ้าอิเล็กโทรดมีพื้นที่หน้าตัดมากจะทำให้น้ำกระแสไฟฟ้านั้นสะดวกมากขึ้น

ตารางที่ 1 การทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์

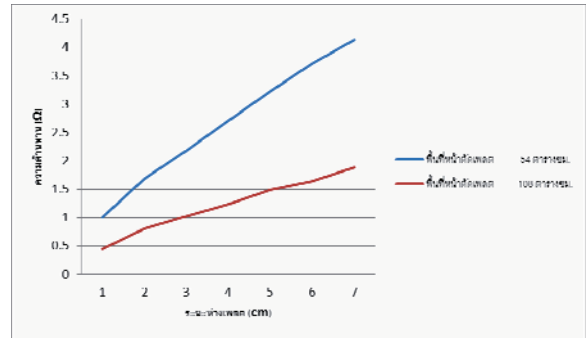
ระยะห่าง เพลต (cm)	น้ำกลั่น		น้ำประปา		น้ำกลั่นผสม (K ₂ CO ₃) 2 ซ้อนโต๊ะ		น้ำกลั่นผสม เกลือ 2 ซ้อน โต๊ะ	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต. (Ω)
1	0	∞	0.22	54.54	12	1	5.2	2.3
2	0	∞	0.11	109.09	7.13	1.68	2.77	4.33
3	0	∞	0.09	133.33	5.49	2.18	2.01	5.97
4	0	∞	0.07	171.42	4.44	2.7	1.6	7.5
5	0	∞	0.06	200	3.7	3.24	1.33	9.02
6	0	∞	0.05	240	3.24	3.7	1.19	10.0
7	0	∞	0.04	300	2.9	4.13	1.06	11.3



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และระยะห่างขั้วอิเล็กโทรด

ตารางที่ 2 การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดเพื่อทดสอบการนำไฟฟ้าและกระแส

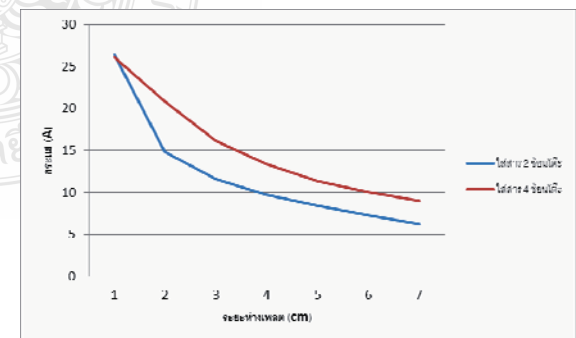
ระยะห่าง เพลต (cm)	พื้นที่หน้าตัดเพลต 54 cm ²		พื้นที่หน้าตัดเพลต 108 cm ²	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	12	1	26.4	0.45
2	7.13	1.68	14.85	0.8
3	5.49	2.18	11.6	1.03
4	4.44	2.7	9.71	1.23
5	3.71	3.23	8.01	1.49
6	3.23	3.71	7.28	1.64
7	2.9	4.13	6.36	1.88



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรดที่ขนาดต่างกันในระยะต่างๆ

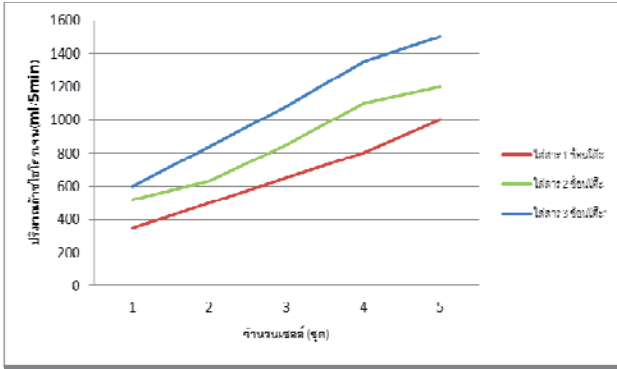
ตารางที่ 3 การทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในความชื้นที่ต่างกัน

ระยะห่าง เพลต (cm)	โพแทสเซียม คาร์บอเนต 2 ซ้อนโต๊ะ		โพแทสเซียม คาร์บอเนต 4 ซ้อนโต๊ะ	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	26.46	0.45	26.09	0.45
2	14.85	0.8	20.84	0.57
3	11.6	1.03	16.09	0.74
4	9.71	1.23	13.38	0.89
5	8.4	1.42	11.34	1.05
6	7.28	1.64	10.04	1.19
7	6.26	1.91	8.97	1.33

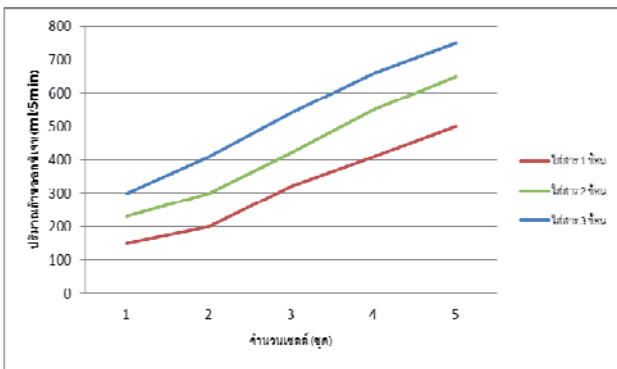


รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับระยะห่างเพลตเมื่อเพิ่มสารละลายอิเล็กโทรไลต์

EN3_25



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นกับจำนวนเซลล์



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นกับจำนวนเซลล์

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษากระบวนการแยกก๊าซด้วยไฟฟ้า (Electrolysis Process) จากการศึกษาค้นคว้าทดลองจนได้ทำการทดลองพบว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้กระบวนการแยกก๊าซหรือก๊าซที่ได้ ไม่ได้เป็นไปอย่างที่คาดหวังไว้ในเบื้องต้น ดังนี้

1. วัสดุที่นำมาทำขั้ว Electrode เดิมที่การผลิตหรือการแยกก๊าซวัสดุที่นิยมใช้กัน คือ Platinum ซึ่งมีราคาแพงมาก แต่การทดลองในครั้งนี้ได้เปรียบเทียบวัสดุหลายชนิด จนสรุปได้ว่า Titanium มีความสามารถในการใช้งานได้จริง ประสิทธิภาพอาจดีไม่เท่า Platinum แต่ก็สามารถใช้งานได้ในระดับที่น่าพอใจ และสามารถหาค่าจลนศาสตร์ได้
2. รูปแบบของขั้ว Electrode จากเดิมที่นิยมใช้กันในแบบแผ่นเรียบเรียงซ้อนกัน ก็สามารถใช้ในรูปแบบอื่นๆ ในการทำขั้ว Electrode แล้วใช้งานได้จริง ในการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยการใช้แผ่นตะแกรงมีผลต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cattelan and Wallace, 1994 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารมลพิษและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งแคทาไลติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic Converter) Hydrogen Energy Volume 29, Issue 14, November 2004, Pages 1527-1539
- [2] Hoekstra R. L., Collier, K and Mulligan N., Demonstration of Hydrogen Mixed Gas Vehicles, Proceedings, 10th World Hydrogen Energy Conference, Cocoa Beach, Vol.3, 1994

ทำการศึกษาปริมาณสารมลพิษและช่วงการขยายตัวของ Lean Limit เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม

- [3] Bell and Gupta, 1997 J. Eng. Gas Turbines Power January 2000 Volume 122, Issue 1, 135 (6 pages) doi:10.1115/1.483191

ศึกษาอิทธิพลของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์และปริมาณสารมลพิษ

- [4] (Larsen and Wallace, 1997) ทำการศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์จากการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม

การประชุมวิชาการ

เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7

7th Conference on Energy Network of Thailand

3-5 พฤษภาคม 2554

ณ Phuket Orchid Resort and Spa จังหวัดภูเก็ต

จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-NETT 2011

สารจากนายกสภามหาวิทยาลัย สารจากอธิการบดี สารจากคณบดี สารจากประธานจัดงาน
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย คณะกรรมการจัดงาน ผู้ทรงคุณวุฒิ
จำนวนบทความ บทความยอดเยี่ยม กำหนดการ แผนที่ห้องการนำเสนอ

บทความกลุ่ม Renewable Energy		บทความกลุ่ม Applied Energy	
Renewable Energy 01	AEN01-AEN06	Applied Energy 01	BEN01-BEN06
Renewable Energy 02	AEN07-AEN12	Applied Energy 02	BEN07-BEN12
Renewable Energy 03	AEN13-AEN18	Applied Energy 03	BEN13-BEN18
Renewable Energy 04	AEN19-AEN24	Applied Energy 04	BEN19-BEN24
Renewable Energy 05	AEN25-AEN31	Applied Energy 05	BEN25-BEN31
Renewable Energy 06	AEN32-AEN38	Applied Energy 07	BEN32-BEN38
Renewable Energy 08	AEN39-AEN44	Applied Energy 09	BEN39-BEN44
Renewable Energy 11	AEN45-AEN51	Applied Energy 12	BEN45-BEN51

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

คณะกรรมการที่ปรึกษาโครงการ

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	ประธานที่ปรึกษา
รองอธิการบดีทุกฝ่าย	
ผู้อำนวยการกองคลัง	
ผู้อำนวยการกองนโยบายและแผน	
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการดำเนินงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญโรดม	ประธาน
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ผศ.ดร.สมหมาย ผิวสอาด)	รองประธานคนที่ 1
ดร.วิรัช โยชนรินทร์	รองประธานคนที่ 2
รองคณบดีและผู้ช่วยคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกฝ่าย	
หัวหน้าภาควิชาในคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกภาควิชา	
หัวหน้าสำนักงานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์	
ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์	กรรมการและเลขานุการ
ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายบทความ

- ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์
- ผศ.ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์
- ผศ.ผ่องศรี ศิวราชักดิ์
- ดร.สถาพร ทองวิก
- ดร.สุรินทร์ แห่งมงาม
- ดร.สโรชา เจริญวัย
- ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์
- ดร.กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล
- นายสมชาย เบียนสูงเนิน
- นายประชุม คำพุ่ม
- นายวินัย จันท์เพ็ง

คณะกรรมการฝ่ายสถานที่และยานพาหนะ

- ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
- ดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ
- ดร.อำนาจ เรืองวารี
- ดร.ศิริชัย ต่อสกุล
- นายพงษ์ศักดิ์ อ่ำภา
- นายพร้อมศักดิ์ อภิรติกุล
- นายประเสริฐ หาขานนท์

คณะกรรมการฝ่ายจัดหารายได้และการลงทะเบียน

- ดร.วิรัช โยชนรินทร์
- ดร.มนทิพย์ ล้อสุริยนต์
- ดร.ฉันทิพย์ คำนวนทิพย์
- ดร.ฉัตรชัย วีระนิติสกุล
- ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง

คณะกรรมการฝ่ายพิธีการและการต้อนรับ

- ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
- ดร.สรพงษ์ ภาสุปรีย์
- ดร.นที ศรีสวัสดิ์
- นายองอาจ แสดีใหม่
- นายอโณทัย ผลสุวรรณ
- ผศ.วรุณศิริ จักรบุตร
- นางวีราพรณ์ ผิวสอาด
- นางปรางทอง โอเจริญ
- นางสาวบุษราภรณ์ จิตจำเนียร
- นางสาวบุญฤตา มั่นทองสุข
- นางสาวสุริศา จันทรบุตร

คณะกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์

- ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์
- นายเชษฐรัตน์ ใจถวิล
- นางสาวชลธิชา ศรีอุบล

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบันองค์กร
ศ.ดร.บัณฑิต	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.บัณฑิต	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.ทองเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร.ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ศ.ดร.สมชาติ	โสภณรณฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วัฒนพงศ์	รักษ์วีเชียร	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รศ.ดร.นำยุทธ	สงศ์ธนาพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.จู่ไรรัตน์	ดวงเดือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.อุดมเกียรติ	นนทแก้ว	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ชนาคม	สุนทรชัยนาคแสง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สินชัย	ชินวรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พินิจ	งามสม	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.วิทยา	ยงเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.คณิต	วัฒนวิเชียร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.วารุณี	เตี้ย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร.เสริม	จันทร์นาย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.ชนัดชัย	กุลวราวิชพงษ์	มหาวิทยาลัยสุรนารี
รศ.ดร.ศุภชาติ	จงไพบูลย์พัฒนา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.อดิศักดิ์	นาถกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ชัชวาล	ตันทกิตติ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.สักกมน	เทพหัสติน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุรัชชัย	มัจฉาชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.เวคิน	ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.สมชัย	หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.สมหมาย	ผิวสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.พูลเกียรติ	นาคะวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ภาวิณี	ศักดิ์สุนทรศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.เจริญพร	เลิศสถิตจรรยา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.ณัฐพล	ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพ็ชรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.อำไพศักดิ์	ทีบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ชวลิต	ถีนวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ประชาสันติ	ไตรยสุทธิ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.นุภาพ	แย้มไตรพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน/องค์กร
ผศ.ดร.ติกะ	บุณนาค	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
ผศ.ดร.ไชยณรงค์	จักรธรานนท์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ผศ.ดร.อชิตพล	ศศิธรานุวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ	ดุขฎี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.สุรจิตร์	พระเมือง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ผศ.ดร.สุนทรีพร	ดวงใหญ่	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.สมบูรณ์	สารสิทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผศ.ดร.สมชาย	มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.นริส	ประทีนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.บัลลังก์	เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชัยพล	ธงชัยสุรชต์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สุธรรม	ปทุมสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ปัญญา	คังตระกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.เกียรติชัย	รักษาชาติ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.กิตติ	สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.กุสกาณา	กุบาฮา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ศิวะ	อัจฉริยวิริยะ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.กอดขวัญ	นามสงวน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผศ.ดร.ณัฏราชัย	นิมมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ณัฐ	กาศยปนนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.นิพนธ์	เกตจ้อย	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.วารุณี	อริยวิริยะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ผศ.ดร.อาทิตย์	โสทรโยม	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ดร.กอบศักดิ์	ศรีประภา	สำนักงาน พัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ
ดร.อนุสรณ์	แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.ประภาพงษ์	วางทุกษ์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ดร.พิสิษฐ์	มณีโชติ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ประพิฑาริ	ธนารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ผดุงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ดร.รวิภา	ยงประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
อ.ณรงค์	วัชรเสถียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.วิทยา	พวงสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.สุขฤดี	สุขใจ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.วเรศ	วีระชัย	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.จันทนา	กัญชรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ศิรินุช	จินดารักษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.นพนันท์	นานคงแนบ	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.ชนากานต์	อาษาสุจริต	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.อัมพร	กัญชรรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบัน/องค์กร
อ.รัตนากร	ระวิงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.บริสุทธิ์	สุทธิสงค์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.วิรัชชัย	โรยรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.สถาวร	ทองวิก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิภิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.สุรินทร์	แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.วินัย	จันทร์เพ็ญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.สโรชา	เจริญวัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.มนตรีพิชัย	ล้อสุริยนต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.ฉันทพิชัย	คำนวนทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.ฉัตรชัย	วีระนิตสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.สุมนมาลย์	เนียมกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.จักรี	ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
อ.ประชุม	คำพูด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.ณรงค์ชัย	โอเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.พงษ์ศักดิ์	อำภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.อำนาจ	เรืองวารี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.ณัฐภัทร	พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.ศิริชัย	ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.สรพงษ์	ภาสุปรีย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลชัยบุรี
ดร.กิตติ	สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.วิชชากร	จารุศิริ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ธนาธิป	สุ่มอ้อม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.อาจรี	ศุภสิทธิ์กุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.นฤภัทร	ตั้งมั่นคงวารกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ฉันทนา	พันธุ์เหล็ก	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.วรัตน์	ป๋ตรประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.วิศิษฐ์	ลีลาผาดิกุล	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.พัฒนา	รักความสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณรงค์	อึ้งกิมบัวน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ชาญณรงค์	อัครเทศานุภาพ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.ชลธิศ	เอี่ยมวรวิมลกุล	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร.วรรณิ	เอกศิลป์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ประชา	บุญยวานิชกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ธนาธิป	สุ่มอ้อม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.อำนาจ	ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
นายอำนาจ	องสถิตย์	กระทรวงพลังงาน
ดร.ยุทธนา	ข้าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กำหนดการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 ประจำปี 2554



เวลา	วันพฤหัสบดี ที่ 5 พฤษภาคม 2554			
Room	Orchid A	Orchid B	Orchid C	Orchid D
08:45-10:15	Renewable Energy 08	Renewable Energy 09	Energy Conservations 07	Renewable Energy 10
Chair	ดร.จันทนา กุญชรรัตน์ (KMUTT)	รศ.ดร.อดิศักดิ์ นาถกรณกุล (KMUTT)	ผศ.ดร.รัชช เกิดชื่น (RMUTI)	รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์ (KMITL)
Paper ID	AEN39-AEN44	BEN39-BEN44	CEN39 – CEN44	DEN39-DEN44
10.15 - 10.30	รับประทานอาหารว่าง			
10:30-12:00	Renewable Energy 11	Renewable Energy 12	Energy Conservations 08	Renewable Energy 13
Chair	ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ (RMUTT)	ดร.เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปรการ (RMUTT)	ผศ.ดร.ชัยพล ธงชัยสุรชิตกุล (KMUTNB)	ผศ.ดร.สุมิตรา จรสโรจน์กุล (MTEC)
Paper ID	AEN45-AEN51	BEN45 – BEN51	CEN45-CEN51	DEN45-DEN51
12.00 -13.00	รับประทานอาหารกลางวัน			
13.00 – 13.30	พิธีปิดการประชุม ห้อง A โดย ผศ.ดร.สมชัย หิรัญวิโรตม ประธานจัดงาน			



การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

Hydrogen Electrolizer by Using Separated Electrolyzed Cell Process

นฤดล คุ่มรักษา และ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ : 0-2549-3571 E-mail: boonyang.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมากในการพัฒนาพลังงานในรูปแบบต่างๆเพื่อนำมาใช้แทนพลังงานจากฟอสซิลที่นับวันจะมีราคาแพงและเริ่มจะหมดไปจากโลกประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ดังนั้นประเทศไทยจึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานในประเทศให้มากขึ้น รวมทั้งเร่งรัดนโยบายการประหยัดพลังงานควบคู่กันไปด้วย จึงได้มีการวิจัยพัฒนาพลังงานจากไฮโดรเจนมาเป็นเชื้อเพลิงร่วมในรถยนต์รวมถึงการนำไฮโดรเจนในรูปแบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานได้ บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ซึ่งพบว่าการแยกเซลล์จะทำให้ได้ค่าไฮโดรเจนออกมาผสมกับออกซิเจนน้อยมากโดยก๊าซที่ออกมานั้นจะมีทั้งฝั่งออกซิเจนและฝั่งไฮโดรเจนแยกออกจากกัน และทำการศึกษาดูแปรที่มีผลต่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่พื้นผิวของขั้วไฟฟ้าเพื่อควบคุม แรงดัน กระแส และอุณหภูมิของสารละลาย เนื่องจากกระแสและอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการแยกไฮโดรเจนและออกซิเจน

คำสำคัญ: ไฮโดรเจน , อิเล็กโทรไลต์

Abstract

The current global focus is very much in the development of energy in various forms to be used instead of fossil energy are more expensive day by day and started to go away from the world, Thailand has developed continuously. Therefore, Thailand would be necessary to find energy resources in the country more. As well as intensive energy policy simultaneously with has a research and development of energy from hydrogen as fuel in cars as well as bringing together in a hydrogen fuel cell for application in areas as high performance. Thus, hydrogen energy is another alternative that can be used to replace energy. This paper presents a method to separate hydrogen from water by electrolysis of cist separate cells, which showed that the isolated cells could be obtained without the hydrogen from the mixture with oxygen, very little by gas released will be. Oxygen and hydrogen-side and side separately.

And the variables that affect Electrolyte solution and the list of current density at the surface of the electrode to control the flow pressure and temperature of the solution. Because of the current and temperature have a direct effect on the separation of hydrogen and oxygen.

Keywords: Hydrogen , Electrolyte

1. คำนำ

บทความนี้ได้นำเสนอหลักการเบื้องต้นการแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ การออกแบบจะเน้นถึงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของตัวนำ (อิเล็กโทรไลต์) และทำการศึกษาดูแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมี คือค่า pH ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่พื้นผิวของขั้วไฟฟ้า โดยนำความรู้พื้นฐานทางด้านเคมีมาศึกษาร่วมกับทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า เพื่อควบคุม แรงดัน กระแส และอุณหภูมิของสารละลาย เนื่องจากกระแสและอุณหภูมิจะสูงขึ้นเรื่อยๆในขณะที่เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้า จึงทำให้อุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อการแยกไฮโดรเจนและออกซิเจน ดังนั้นจึงกำหนดคุณสมบัติของตัวนำและสารละลาย เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

2. ไฮโดรเจน

ไฮโดรเจน เป็นธาตุที่เบาที่สุดและเป็นองค์ประกอบของน้ำที่เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของสิ่งมีชีวิตบนโลก เป็นโมเลกุลมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ บรรยากาศในโลกมีก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 0.1 ppm. มีความแข็งแรงในการยึดโมเลกุล เท่ากับ 436 kJ/mol (104 kcal/mol) ดังนั้น เมื่อต้องการให้โมเลกุลไฮโดรเจนทำปฏิกิริยา จึงต้องใช้พลังงานเพื่อทำลายความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลดังกล่าว เช่น เพิ่มอุณหภูมิใช้สารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ไฮโดรเจนอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสที่อยู่ตรงกลาง ภายในนิวเคลียส ประกอบด้วยโปรตอน และนิวตรอน และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบนอก เหมือนธาตุอื่นๆ ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทปขึ้นกับจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนที่ต่างกัน ดังนี้

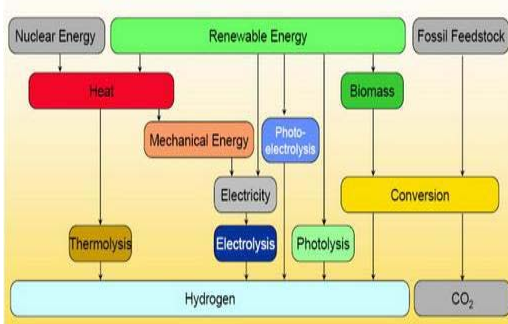
1. ไฮโดรเจน (Hydrogen) มีจำนวนโปรตอน 1 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอม เท่ากับ 1.0078
2. ดิวเทอเรียม (Deuterium) มีจำนวนโปรตอน 2 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอม เท่ากับ 2.0141
3. ทริเทียม (Tritium) มีจำนวนโปรตอน 3 โปรตอน จำนวน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอม เท่ากับ 3.0161

2.1 การผลิตก๊าซไฮโดรเจน สามารถแบ่งได้ 3 เทคโนโลยีหลัก

Nuclear Energy เป็นการใช้พลังงานแสงเพื่อแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน

Electrolysis Process เป็นการใช้ไฟฟ้าเพื่อแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ (Renewable Sources)

Thermal Process เป็นการใช้ความร้อนกับแหล่งพลังงาน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ชีวมวล เชื้อเพลิงเหลว



รูปที่ 1 แสดง Hydrogen production pathway

2.2 การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธี อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)

คือกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรง จากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างเช่น อิเล็กโทรลิซิม และการชุบ (ขบวนการที่ผ่านกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี)

2.2.1 เครื่องมือที่ใช้แยกสารละลายด้วยไฟฟ้า

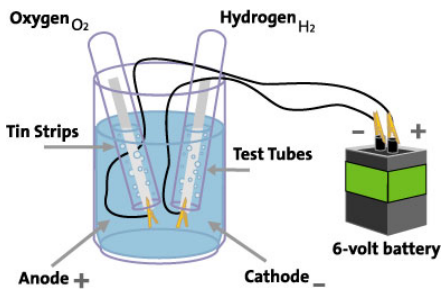
เซลล์อิเล็กโทรไลต์ หรืออิเล็กโทรลิติกเซลล์ ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเครื่องกำเนิดกระแสตรง (D.C) เช่น เซลล์ไฟฟ้า หรือ แบตเตอรี่

ขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือแผ่นตัวนำที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อกับเซลล์ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ แบ่งเป็นแอโนด และ แคโทด
สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ เพราะมี Iron (+) + Iron(-)

Iron (+) วิ่งไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จึงเรียกขั้วลบบว่า แคโทด และเรียกไอออนบวกว่าแคตไอออน(cation)

Iron (-) วิ่งไปให้ e- ที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่าแอโนด และเรียก Iron (-) ว่าแอนไอออน (Anion)

ดังนั้น ที่ Anode มีคือ ไอออนลบ และที่ Cathode มีคือ ไอออนบวก และAnode (oxidation) ตรงกับขั้วบวก Cathode (Reduction) ตรงกับขั้วลบ



รูปที่ 2 การทดลองแยกโมเลกุลน้ำด้วยไฟฟ้า

ผลจากการแยกก๊าซด้วยวิธี อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)

เราจะได้ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน ในอัตราส่วน 2:1 โดยที่ก๊าซไฮโดรเจนจะออกทางขั้วลบ (+) และก๊าซออกซิเจนออกทางขั้วบวก(-)

2.2.2 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

1. ไม่มีสีและกลิ่น
2. มีอุณหภูมิจุดระเบิดสูงกว่าน้ำมันที่ 570 องศาเซลเซียส
3. เป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบาที่สุด
4. มีจุดเดือดต่ำมากที่สุด -253 องศาเซลเซียส
5. ติดไฟง่าย
6. ไม่เกิดประกายไฟขณะที่มีการเผาไหม้
7. มีการเผาไหม้ที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

และซัลเฟอร์ออกไซด์ในขณะที่มีการสันดาป กล่าวคือ ในกระบวนการเผาไหม้ระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน จะได้พลังงาน และน้ำออกมาเท่านั้น

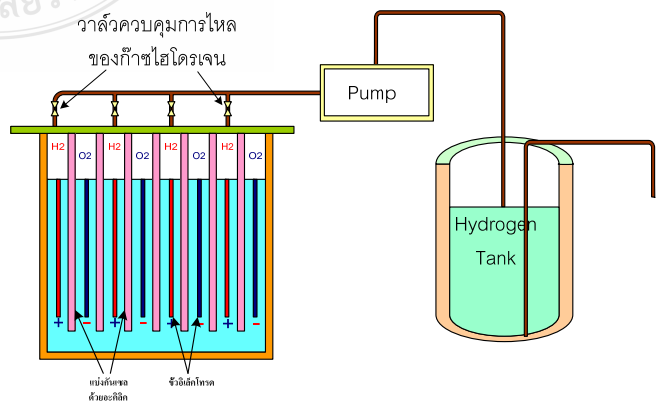
2.3 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

2.3.1 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) หมายถึง สารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวก หรือ ไอออนลบเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็น สารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้ ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดเกลือ (HCl) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายของเกลือ KNO₃ เป็นต้น โดยในสารละลายดังกล่าวประกอบด้วยไอออน H⁺, Cl⁻, OH⁻, K⁺ และ NO₃⁻ ตามลำดับ

2.3.2 นอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte) หมายถึง สารที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อละลายน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจาก สารพวกนอนอิเล็กโทรไลต์ จะไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ เช่น น้ำบริสุทธิ์ น้ำตาล แอลกอฮอล์ เป็นต้น

3. การออกแบบเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

ในการออกแบบโครงสร้างเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน ออกจากน้ำนั้นจำเป็นต้องทำให้อากาศมีความคงทน แข็งแรง สามารถทนต่อปฏิกิริยาที่จะเกิดภายในถังตั้งนั้นแผ่นอะคลิสิกส่วนใหญ่ควรเป็นแบบหนา 10 mm ดังรูปที่ 3 การออกแบบจะคำนึงถึงต้นทุนการผลิต วัสดุที่นำมาใช้งานและจุดคุ้มทุนของการลงทุน



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

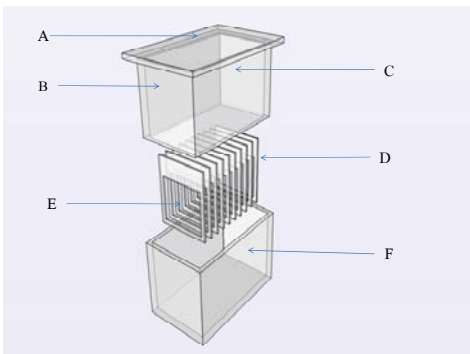
การทดสอบ

เพื่อหาว่าวัสดุชนิดใดจะมีความเหมาะสมในการที่จะนำมาทำเป็นขั้ว Electrode ที่ติดตั้งได้ตามความต้องการและเหมาะสม มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาชนิดของวัสดุที่จะนำมาทำการทดลองตามลำดับ ดังนี้

- ราคา (Price)
- การนำไฟฟ้า (Conductivity)
- ความต้านทานการกัดกร่อนจากสารเคมี
- ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength)

การคัดเลือกวัสดุเพื่อสร้างอิเล็กโทรดในที่นี้ได้ทำการคัดเลือกวัสดุมา 4 ชนิด ซึ่งจะมีเหตุผลเบื้องต้นในการเลือกต่างกันดังนี้

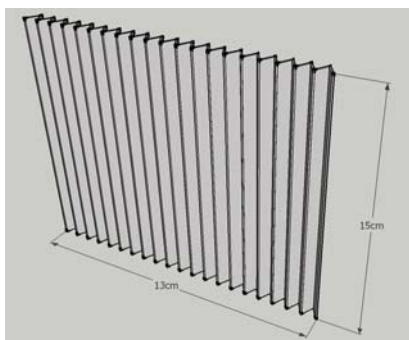
- วัสดุ Aluminium 5083
- วัสดุ Stainless 304
- วัสดุ Stainless 316-L
- วัสดุ Titanium



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างภายในเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

อุปกรณ์และขั้นตอนการทำเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน

- A → แผ่นอะคิลิกหนา 10 mm ขนาด 19×30 cm² จำนวน 1 แผ่น
- B → แผ่นอะคิลิกหนา 10 mm ขนาด 15×15 cm² จำนวน 2 แผ่น
- C → แผ่นอะคิลิกหนา 10 mm ขนาด 15×26.5 cm² จำนวน 2 แผ่น
- D → แผ่นอะคิลิกหนา 2 mm ขนาด 13×15 cm² จำนวน 2 แผ่น
- E → นำฟองน้ำหนา 0.5 cm และแผ่นสแตนเลสปิดทับเพื่อแยกเซลล์
- F → ถังขนาดกว้าง 17.5 cm ยาว 28.5 cm สูง 18 cm



รูปที่ 5 แสดงการออกแบบตัวนำไฟฟ้า

ในการออกแบบตัวนำไฟฟ้านั้นเรานำค่าหนึ่งถึงพื้นที่หน้าตัดของตัวนำเป็นหลักซึ่งถ้ายิ่งพื้นที่หน้าตัดของตัวนำมากก็จะสามารถนำไฟฟ้าได้ตีมากขึ้นดังนั้นจึงทดลองออกแบบตัวนำแบบระนาบซ้อนและทำแผ่นตัวนำให้เป็นรูปลูกคลื่นเพื่อลดพื้นที่ของขนาดเครื่องให้มีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไปและวัสดุที่ใช้ทำตัวนำนั้นจะสแตนเลสซึ่งราคาไม่แพงมากและการนำไฟฟ้าได้ระดับพอใช้สามารถทนการกัดกร่อนได้สูง ขนาดกว้าง 15 cm ยาว 45 cm เมื่อทำการประกอบตัวเครื่องแล้วจะสามารถแบ่งได้ทั้งหมด 5 เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 6 โดย 1 เซลล์ประกอบด้วยแผ่นตัวนำ 2 แผ่นคือขั้วบวกและขั้วลบ

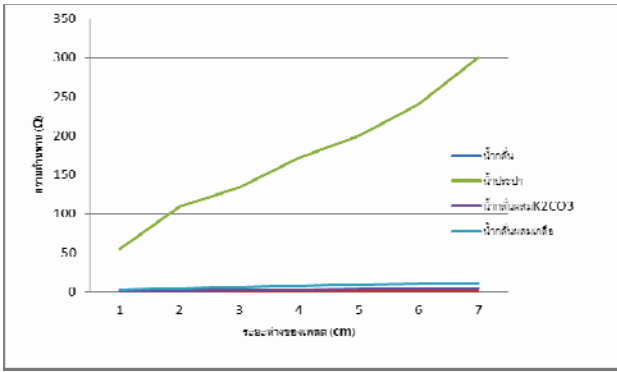


ภาพที่ 6 แสดงเครื่องมือทดลอง

4. ผลการทดลอง

จากการทดสอบที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 6,9,12 โวลท์ การนำไฟฟ้าของสารละลายแต่ละชนิด ความต้านทานจะไม่เท่ากันถ้าแรงดันไฟฟ้ามากค่าความต้านทานจะลดลง และถ้าอิเล็กโทรดมีพื้นที่หน้าตัดมากจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้านั้นสะดวกมากขึ้น ตารางที่ 1 การทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์

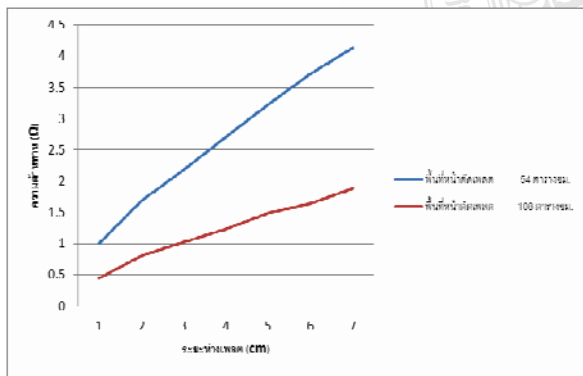
ระยะห่างเฟลต (cm)	น้ำกลั่น		น้ำประปา		น้ำกลั่นผสม (K ₂ CO ₃) 2 ซ้อนโต๊ะ		น้ำกลั่นผสมเกลือ 2 ซ้อนโต๊ะ	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	0	∞	0.22	54.54	12	1	5.2	2.3
2	0	∞	0.11	109.09	7.13	1.68	2.77	4.33
3	0	∞	0.09	133.33	5.49	2.18	2.01	5.97
4	0	∞	0.07	171.42	4.44	2.7	1.6	7.5
5	0	∞	0.06	200	3.7	3.24	1.33	9.02
6	0	∞	0.05	240	3.24	3.7	1.19	10.08
7	0	∞	0.04	300	2.9	4.13	1.06	11.32



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และระยะห่างขั้วอิเล็กโทรด

ตารางที่ 2 การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรดเพื่อทดสอบการนำไฟฟ้าและกระแส

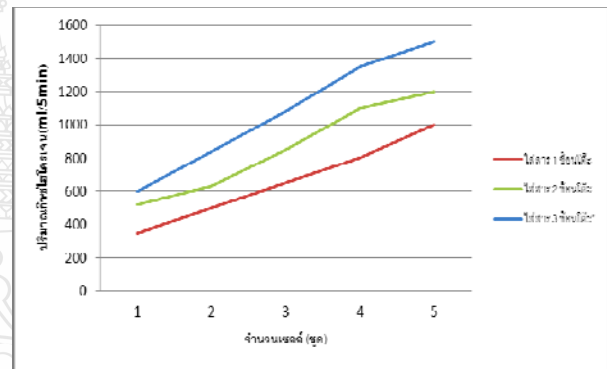
ระยะห่าง เพลต (cm)	พื้นที่หน้าตัดเพลต 54 cm ²		พื้นที่หน้าตัดเพลต 108 cm ²	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	12	1	26.4	0.45
2	7.13	1.68	14.85	0.8
3	5.49	2.18	11.6	1.03
4	4.44	2.7	9.71	1.23
5	3.71	3.23	8.01	1.49
6	3.23	3.71	7.28	1.64
7	2.9	4.13	6.36	1.88



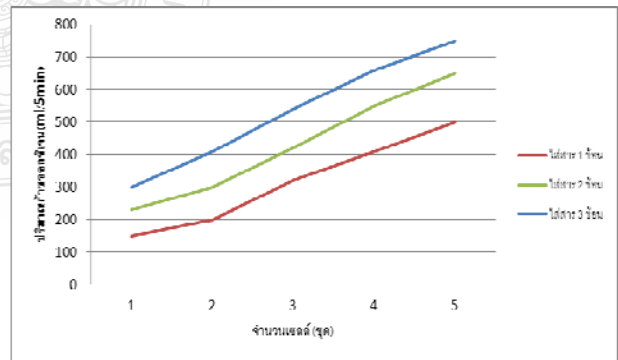
รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรดที่ขนาดต่างกันในระยะต่าง ๆ

ตารางที่ 3 การทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในความเข้มข้นที่ต่างกัน

ระยะห่าง เพลต (cm)	โพแทสเซียม คาร์บอเนต 2 ซ้อนโต๊ะ		โพแทสเซียม คาร์บอเนต 4 ซ้อนโต๊ะ	
	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)	กระแส (A)	ค.ต.ท (Ω)
1	26.46	0.45	26.09	0.45
2	14.85	0.8	20.84	0.57
3	11.6	1.03	16.09	0.74
4	9.71	1.23	13.38	0.89
5	8.4	1.42	11.34	1.05
6	7.28	1.64	10.04	1.19
7	6.26	1.91	8.97	1.33



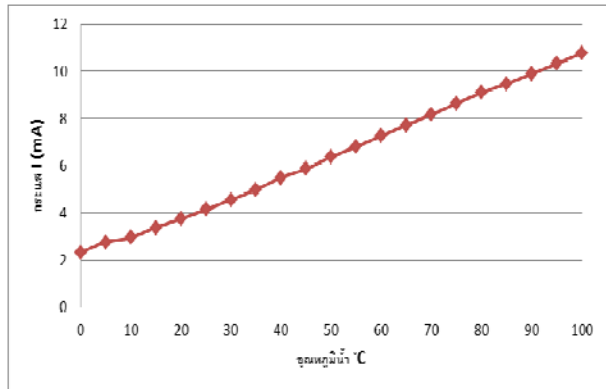
รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดกับจำนวนเซลล์



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เกิดกับจำนวนเซลล์

ตารางที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการนำไฟฟ้าของสารละลาย

อุณหภูมิ น้ำ ๐C	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
การนำไฟฟ้า I (mA)	2.76	2.96	3.38	3.75	4.14	4.56	4.99	5.5	5.87	6.38
อุณหภูมิ น้ำ ๐C	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
การนำไฟฟ้า I (mA)	6.81	7.27	7.72	8.18	8.65	9.1	9.48	9.9	10.33	10.78



รูปที่ 11 กราฟแสดงเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการนำไฟฟ้าของสารละลาย

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษากระบวนการแยกก๊าซด้วยไฟฟ้า (Electrolysis Process) จากการศึกษาค้นคว้าทดลองจนได้ทำการทดลองพบว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้กระบวนการแยกก๊าซหรือก๊าซที่ได้ ไม่ได้เป็นไปอย่างที่คาดหวังไว้ในเบื้องต้น ดังนี้

- วัสดุที่นำมาทำขั้ว Electrode เดิมที่การผลิตหรือการแยกก๊าซวัสดุที่นิยมใช้กัน คือ Platinum ซึ่งมีราคาแพงมาก แต่การทดลองในครั้งนี้ได้เปรียบเทียบวัสดุหลายชนิด จนสรุปได้ว่า Titanium มีความสามารถในการใช้งานได้จริง ประสิทธิภาพอาจดีไม่เท่า Platinum แต่ก็สามารถใช้งานได้ในระดับที่น่าพอใจ และสามารถหาค่าจุดคุ้มทุนได้
- รูปแบบของขั้ว Electrode จากเดิมที่นิยมใช้กันในแบบแผ่นเรียบเรียงซ้อนกัน ก็สามารถใช้ในรูปแบบอื่นๆ ในการทำขั้ว Electrode แล้วใช้งานได้จริง ในการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่า การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยการใช้แผ่นตะแกรงมีผลต่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Cattelan and Wallace, 1994 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารมลพิษและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งแคทาลิติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic Converter) Hydrogen Energy Volume 29, Issue 14, November 2004, Pages 1527-1539

[2] Hoekstra R. L., Collier, K and Mulligan N., Demonstration of Hydrogen Mixed Gas Vehicles, Proceedings, 10th World Hydrogen Energy Conference, Cocoa Beach, Vol.3, 1994

ทำการศึกษาปริมาณสารมลพิษและช่วงการขยายตัวของ Lean Limit เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม

[3] Bell and Gupta, 1997 J. Eng. Gas Turbines Power January 2000 Volume 122, Issue 1, 135 (6 pages) doi:10.1115/1.483191

ศึกษาอิทธิพลของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์และปริมาณสารมลพิษ

[4] (Larsen and Wallace, 1997) ทำการศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์จากการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม



นายณตล คุ่มรักษา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายนฤตล คุ่มรักษา
วัน เดือน ปีเกิด	3 ตุลาคม 2517
ที่อยู่	48/260 หมู่บ้านเคซี 2 ซอยหทัยราษฎร์ 39 ถนนหทัยราษฎร์ แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ ไปรษณีย์ 10510
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ ปี 2547
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2538 – 2543	ทำงานที่บริษัทศรีอุทองจำกัด ตำแหน่งช่างเทคนิค ลักษณะงาน งาน ก่อสร้างสถานีไฟฟ้าและสายส่งไฟฟ้า ทั้งระบบแรงสูงและระบบแรง ต่ำให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต, การไฟฟ้าภูมิภาค, การไฟฟ้านครหลวง
พ.ศ. 2543 - 2547	ทำงานบริษัท ไมซ์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด ตำแหน่งผู้เชี่ยวชาญระบบ จำหน่าย คู่มือระบบไฟฟ้าและเครื่องกล อาคารสูงประกอบด้วย กรมสรรพากร พหลโยธินซอย 7 (ซอยอารีย์)
พ.ศ. 2547 - ปัจจุบัน	เป็นเจ้าของกิจการ บริษัทอาร์ เอ็น ซี โกล วิศวกรรมจำกัด รับเหมาก่อสร้างปล่องลิฟต์ , ก่อสร้างอาคาร , ก่อสร้างเตาเผาขยะ , ก่อสร้างเตาเผาศพปลอดมลพิษ
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	

นฤตล คุ่มรักษา , บุญยัง ปลั่งกลาง , การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ , การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 วันที่ 9-11 มีนาคม พ.ศ. 2554 ณ อาคารวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ เขตเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

นฤตล คุ่มรักษา , บุญยัง ปลั่งกลาง , การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ , การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 ประจำปี 2554 วันที่ 3-5 พฤษภาคม พ.ศ. 2554 สถานที่จัดงาน Phuket Orchid Resort and Spa จังหวัดภูเก็ต จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี