

M 191586

DN 123136



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การเตรียมอุปกรณ์สร้างพลังงานสะอาดจากขยะอลูมิเนียม

Preparation of reactor generation clean energy from waste
aluminum



นายพรชัย ชินสา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
รับ
วันลงทะเบียน..... 15 พ.ค. 2560
เลขทะเบียน..... 249779
เลขเรียกหนังสือ..... 628.44 พ172ก 2558

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

๑.2

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2557)

หัวข้อวิจัย	การเตรียมอุปกรณ์สร้างพลังงานสะอาดจากขยะอลูมิเนียม
ผู้ดำเนินการวิจัย	นายพรชัย ชินสา
ที่ปรึกษา	รศ.ดร. เก็จวลี พฤกษาทร ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รศ.ดร. เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หน่วยงาน	สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ.	2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเตรียมอุปกรณ์สร้างก๊าซไฮโดรเจนและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของก๊าซไฮโดรเจน ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม, ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), อุณหภูมิของน้ำ และชนิดของน้ำ เครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่เตรียมขึ้น มีทั้งหมด 5 ส่วน คือ ถังใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถังปฏิกรณ์สำหรับทำปฏิกิริยามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 10 ซม. หนา 0.5 ซม. สูง 20 ซม. ถังน้ำกรองก๊าซขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 10 ซม. หนา 0.5 ซม. ถังใส่น้ำสำหรับให้ก๊าซผ่านเข้ามาแทนที่น้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 10 ซม. หนา 0.5 ซม. สูง 20 ซม.

ผลที่ได้ อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนและร้อยละผลได้ของการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมและน้ำในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ผลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 15 - 25 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิของน้ำ และชนิดของน้ำ เช่นน้ำประปา น้ำทะเล และน้ำปราศจากไอออน ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 200 - 400 มล./นาที่/กรัมของอลูมิเนียม และร้อยละผลได้สูงสุดประมาณ 93 โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ นำไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็ล พบว่าให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์

Research Title	Preparation of reactor generation clean energy from waste aluminum
Researcher	Mr. Pornchai Chinnasa
Research Consultants	Assoc. Prof. Dr. Kejvalee Pruksathorn, Department of Chemical Technology, Chulalongkorn University Assoc. Prof. Dr. Ekaphan Swatsitang, Department of Physics Khan Kean University Rajabhat Maha Sarakham University
Year	2015

ABSTRACT

This research was conducted to prepare hydrogen generator and study factors that influence the occurrence of water-aluminum ratio, concentration of sodium hydroxide, water temperature and type of water. Hydrogen generator consists of five parts such as the sodium hydroxide tank which has a 10 cm outside diameter, 0.5 cm thickness and 20 cm high.

The production rate and yield of hydrogen from the reaction of water-aluminum different proportions have been investigated. Result of various factors including the water-aluminum ratio, concentration of sodium hydroxide as 15-20 percent by weight, water temperature and type of water like tap water, sea water and deionized water at room temperature have an impact on hydrogen production. The rate of hydrogen production in the range of 200 – 400 ml/min/g of aluminum and about 93 percent yield that depending on various factors. Hydrogen production was applied to the Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cell that gave a performance close commercial hydrogen.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เกี้ยวลี พงกษาทร ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ รองศาสตราจารย์ ดร. เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรุณาให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัย เป็นทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ขอขอบคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์และฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ตลอดจนเป็นกำลังใจให้ตลอดมาในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้ทำการวิจัย ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดาของผู้ทำการวิจัย ที่ให้การอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ เวลา จนสำเร็จตาม ความมุ่งหมาย คุณค่าและเกียรติภูมิใดๆ อันพึงมีในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตเวทิต์คุณแก่บิดา มารดา และบูรพาจารย์ทุกท่าน

พรชัย ชินสา

2558

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
สมมติฐานการวิจัย	2
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไฮโดรเจน	4
2.2 คุณสมบัติของไฮโดรเจน	4
2.3 ประโยชน์และการนำไปใช้	7
2.4 การผลิตไฮโดรเจน	8
2.5 ความหมายอลูมิเนียม	12
2.6 กฎของก๊าซ	15
2.7 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน	18
2.8 โครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM	18
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21

	หน้า
บทที่ 3	
วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 เครื่องมือในการวิจัย	24
3.1.1 วัสดุในการสร้างเครื่อง	24
3.1.2 เครื่องมือพื้นฐาน	24
3.1.3 เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์	25
3.1.4 อุปกรณ์ทางด้านเคมี	25
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	25
ตอนที่ 1 ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจน จากขยะอะลูมิเนียม	35
ตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลการเกิดของไฮโดรเจน	36
บทที่ 4	
ผลการวิจัย	39
4.1 การออกแบบสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์	39
4.2 ผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำ และอะลูมิเนียม	41
4.3 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีผลต่อการ เกิดก๊าซไฮโดรเจน	43
4.4 ผลของอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน	44
4.5 ผลของชนิดของน้ำที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน	48
4.6 ผลของการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง ชนิดพีอีเอ็ม	51
บทที่ 5	
สรุปผลการวิจัยอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	45
สรุปผลการวิจัย	45
อภิปรายผล	46
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	46
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	46
บรรณานุกรม	47
บรรณานุกรมภาษาไทย	47

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	47
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก แสดงตัวอย่างการคำนวณ	51
ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิจัย	53
ภาคผนวก ค อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม	64
ภาคผนวก ง สารเคมี อุปกรณ์และภาพประกอบการทำวิจัย	68
ประวัติผู้วิจัย	74



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติทางฟิสิกส์เชิงความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆของไฮโดรเจนในสภาวะที่เป็นก๊าซ	5
ข-1	แสดงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 wt% ผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม	53
ข-2	แสดงสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 wt% ผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม ร้อยละผลได้	54
ข-3	แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	55
ข-4	แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละผลได้	55
ข-5	แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร ผลของอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน	58
ข-6	แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร ผลของชนิดของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ร้อยละผลได้	59
ข-7	แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร ผลของชนิดของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน	60
ข-8	แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร ผลของชนิดของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ร้อยละผลได้	61
ข-9	แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร ผลของการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็ลเซลล์-โวลท์	62
ข-10	แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร ผลของการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็ลเซลล์-วัตต์	63

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ปริมาณการผลิตไฮโดรเจนทั่วโลก	8
2.2	สัดส่วนการใช้ไฮโดรเจนแบ่งตามประเทศ และทวีป	9
2.3	รายละเอียดกระบวนการเคมีความร้อน	11
2.4	แสดงการทดลองของบอยล์	15
2.5	แสดงการทดลองของชาร์ลส์	16
2.6	โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM 1 เซลล์ (Single cell)	19
2.7	โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM เมื่อนำมาต่อกันแบบชั้น	19
2.8	เซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM	20
3.1	แสดงกระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจน	26
4.1	แสดงวิธีการทดลองการสร้างก๊าซไฮโดรเจน	30
4.2	ส่วนประกอบเครื่องมือวัดในถัง Reactor	31
4.3	การออกแบบของเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยโปรแกรม sketchup pro	32
4.4	การสร้างของเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจน	32
4.5	อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่แตกต่างกัน	33
4.6	ร้อยละผลได้ไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่แตกต่างกัน	34
4.7	ร้อยละผลได้ไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม	34
4.8	อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่แตกต่างกัน	36
4.9	ร้อยละผลได้การเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่แตกต่างกัน	36
4.10	ร้อยละผลได้การเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์	37
4.11	อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกัน	38
4.12	ร้อยละอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกัน	39
4.13	ร้อยละอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกัน	39
4.14	อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาชนิดของน้ำที่แตกต่างกัน	41
4.15	ร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาชนิดของน้ำที่แตกต่างกัน	41

4.16	ร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาชนิดของน้ำที่แตกต่างกัน	42
4.17	ความต่างศักย์ กำลังไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงกับกระแสไฟฟ้า	43
ค-1	อะคริลิกพลาสติกแบบแผ่น	64
ค-2	ท่อก๊าซ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 6 มิลลิเมตร	64
ค-3	ท่ออะคริลิกพลาสติกใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร	65
ค-4	เกลียวเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และน็อต	65
ค-5	เทปขาวพันเกลียวและท่อพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 25 มิลลิเมตร	66
ค-6	อุปกรณ์ข้อต่อก๊าซ	66
ค-7	โอรัง (ยางพารา)	67
ง-1	ประแจ ขนาดเบอร์ 10	68
ง-2	เทอร์โมมิเตอร์	68
ง-3	ถุงมือและผ้าปิดจมูก	69
ง-4	ชุดทำโอรังจากยางพารา	69
ง-5	เวอร์เนียคาลิเปอร์	70
ง-6	น้ำกลั่นบริสุทธิ์	70
ง-7	เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ (OHAUS) รุ่น PA4102	71
ง-8	หมุนน็อตด้วยประแจเพื่อปิดฝาโดยยึดระหว่างฝาปิดกับฐานรอง	71
ง-9	การทำปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมแผ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	72
ง-10	น้ำไหลออกมาโดยก๊าซเข้ามาแทนที่ในถังน้ำ รองด้วยภาชนะใส่น้ำที่วางบนเครื่องชั่งดิจิตอล	72
ง-11	ชุดการทดลองการผลิตไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม	73

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

พลังงานเชื้อเพลิงมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้นซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสิ้นเปลือง (Nonrenewable energy) แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านปริมาณและความต้องการที่มีมากขึ้น ทำให้เชื้อเพลิงเหล่านี้มีราคาเพิ่มสูง การแก้ไขปัญหาเบื้องต้นเป็นการรณรงค์ให้ใช้เชื้อเพลิงอย่างประหยัดแล้วยังพยายามคิดค้นหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน แหล่งพลังงานเหล่านี้ลักษณะของแหล่งพลังงานใหม่เหล่านี้ที่มาทดแทนต้องเป็นแหล่งพลังงานอย่างยั่งยืน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมให้พลังงานสูงและราคาไม่แพงพลังงานจากก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen, H₂) ก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจเพราะเป็นพลังงานที่สะอาด (Clean energy) ให้พลังงานสูงและราคาไม่แพง เหมาะกับเป็นแหล่งพลังงานทดแทน ก๊าซไฮโดรเจนถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีบทบาทสำคัญในอนาคตทั้งนี้เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจนโดยจะมีเพียงไอน้ำและความร้อนที่เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงอื่นเมื่อเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO₂) เป็นผลิตภัณฑ์ มีผลทำให้เกิดภาวะก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) โดยที่ภาวะก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อการทำให้โลกร้อนขึ้น (Global warming) นอกจากนี้ยังสามารถนำก๊าซไฮโดรเจนไปผลิตกระแสไฟฟ้าโดยป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมากในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงกว่าอุปกรณ์การผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ มาก ดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานสิ้นเปลืองได้ [1]

ในกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีราคาแพงและมีกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่ซับซ้อน จึงมีแนวคิดที่จะสร้างอุปกรณ์การผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่มีต้นทุนถูกและผลิตพลังงานสะอาดของก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียมที่มีปริมาณมากและเป็นการลดปริมาณขยะที่มีอยู่โดยมีขั้นตอนการผลิตที่ง่ายและเหมาะสมเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในอนาคต โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียม โซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ดังนั้นการเตรียมอุปกรณ์การสร้างพลังงานไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียมใช้ต้นทุนต่ำและเพิ่มการผลิตก๊าซไฮโดรเจนให้มีปริมาณมากพอเพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในชีวิตรประจำวัน อีกทั้งยังสามารถพัฒนาสู่กระบวนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม เพื่อเป็นทรัพยากรพลังงานที่ยั่งยืนในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมอุปกรณ์สร้างก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียม
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน
3. ศึกษาประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียม

ขอบเขตการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนของน้ำต่ออลูมิเนียม, ชนิดของน้ำ ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยา และอุณหภูมิ
2. วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ผลิตก๊าซไฮโดรเจนเป็น Acrylic plastic
3. ชนิดของน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยาในการทดลองมี 3 ชนิด น้ำทะเล น้ำบริสุทธิ์ และน้ำประปา
4. ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
5. เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเป็นเซลล์เชื้อเพลิงจาก Horizon Fuel cell ขนาด 30 วัตต์

สมมติฐานการวิจัย

1. ได้อุปกรณ์ผลิตพลังงานสะอาดจากขยะอะลูมิเนียมที่เตรียมจากวัสดุหาง่ายและมีราคาถูก
2. ได้ข้อมูลเรื่องขนาดพื้นผิวสัมผัสของอลูมิเนียม อัตราส่วนของน้ำต่ออลูมิเนียม ชนิดของน้ำ ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิ ที่เหมาะสมในการผลิตไฮโดรเจน
3. ได้ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงจากก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียมใกล้เคียงกับก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)

เครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen generator) ขยะอะลูมิเนียม (Aluminum waste), พลังงานสะอาด (Clean energy) พลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen energy) เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell), ถังการเกิดปฏิกิริยา (Reactor)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อุปกรณ์ผลิตพลังงานสะอาดจากขยะอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่หาง่ายและมีราคาถูก
2. ได้พลังงานทดแทนที่ให้ค่าความร้อนสูงและเผาไหม้ได้สะอาด
3. ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต่างจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทที่มีก๊าซที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนหรือปรากฏการณ์เรือนกระจกเกิดขึ้น
4. เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรมจากอุปกรณ์ต้นแบบ
5. เป็นแนวทางในการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงในชุมชนช่วยลดค่าใช้จ่ายจากเดิมที่ต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงในปัจจุบัน



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฮโดรเจน

พลังงานทั้งหมดในเอกภพมีจุดเริ่มต้นมาจากสิ่งเดียวกัน คือไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีโครงสร้างอะตอมง่ายที่สุดที่มนุษย์รู้จักแต่ละอะตอมของไฮโดรเจนมีโปรตอนและอิเล็กตรอนอย่างละ 1 ตัวเท่านั้น ดาวฤกษ์ทุกดวงเริ่มต้นมาจากไฮโดรเจนพลังงานในระบบสุริยะของเราก็มาจากไฮโดรเจนดวงอาทิตย์เป็นลูกกลมที่ประกอบด้วยก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซฮีเลียม ภายในดวงอาทิตย์อะตอมของไฮโดรเจน 4 อะตอมจะรวมตัวกันกลายเป็นอะตอมของฮีเลียมและได้พลังงานแผ่รังสีออกมา กระบวนการนี้เรียกว่าปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบรวมตัว (Nuclear fusion) พลังงานที่แผ่รังสีมานี้ทำให้สิ่งที่มีชีวิตทั้งหลายบนโลกสามารถดำรงอยู่ได้พลังงานแสงอาทิตย์ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ทำให้เกิดลม ฝนตกพลังงานถูกเก็บไว้ในรูปของเชื้อเพลิงฟอสซิล พลังงานส่วนใหญ่ที่เราใช้ทุกวันนี้มาจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีจุดเริ่มต้นจากไฮโดรเจน ไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่มีมากที่สุดไม่ใช่เฉพาะบนโลกเท่านั้นแต่รวมถึงในเอกภพด้วยมีประมาณ 90% ของเอกภพโดยน้ำหนักอย่างไรก็ตามโดยปกติจะไม่พบในรูปของไฮโดรเจนบริสุทธิ์ (H_2) ไฮโดรเจนจะรวมกับธาตุอื่นที่พบมากที่สุด คือ รวมกับออกซิเจนเป็นน้ำ (H_2O) และในสารอินทรีย์รวมถึงพืช ปิโตรเลียม ถ่านก๊าซธรรมชาติ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ สิ่งที่น่าสนใจสำหรับไฮโดรเจนคือไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ที่สะอาดไม่ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (ก๊าซเรือนกระจก) หรือปล่อยก๊าซพิษและสามารถใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า การขนส่งและพลังงานอื่นๆที่ต้องการแหล่งพลังงานที่ใช้กันส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ความต้องการที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและแหล่งผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัดทำให้เกิดปัญหาตลาดแคลน น้ำมันเชื้อเพลิงอีกทั้งการใช้้ำมันเชื้อเพลิงยังมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม จากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงมีการศึกษาค้นคว้าแหล่งพลังงานเพื่อทดแทนเพื่อทดแทนพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานไฮโดรเจน ซึ่งพลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานที่สะอาดและไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะพลังงานไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่มีการศึกษาวิจัยและพัฒนากันอย่างกว้างขวาง [2]

2.2 คุณสมบัติของไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุดและเป็นองค์ประกอบของน้ำที่เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของสิ่งมีชีวิตบนโลกเป็นโมเลกุลมีทั่วไปตามธรรมชาติ บรรยากาศในโลกมีก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 0.1 พีพี

เอี่ยม มีความแข็งแรงในการยึดโมเลกุล เท่ากับ 436 kJ/mol (104 kcal/mol) ดังนั้นเมื่อต้องการให้ไฮโดรเจนโมเลกุลทำปฏิกิริยาจึงต้องใช้พลังงานเพื่อทำลายความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลดังกล่าว เช่น เพิ่มอุณหภูมิใช้สารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ไฮโดรเจนอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียส อยู่กลางภายในนิวเคลียส ประกอบด้วยโปรตอน และนิวตรอน และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบนอกเหมือนธาตุอื่นๆ ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทปขึ้นกับจำนวนโปรตอน และจำนวนนิวตรอนที่ต่างกันดังนี้

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

ลักษณะทั่วไปของไฮโดรเจนทั้ง 3 สถานะไฮโดรเจนที่เป็นของแข็ง ไม่มีสี โครงสร้างผลึก 6 เหลี่ยม ปริมาตร = $22.56 \text{ cm}^3/\text{mol}$ ไฮโดรเจนที่เป็นของเหลวไม่มีสีค่าความหนืดต่ำเคลื่อนที่ได้เร็ว ไฮโดรเจนที่เป็นก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษก๊าซไฮโดรเจน 1 ลิตร มีมวล 0.0898 กรัมเมื่อศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์เชิงความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆของไฮโดรเจนโมเลกุลในสภาวะที่เป็นก๊าซที่ความดันบรรยากาศ พบว่า ความหนาแน่น (density, ρ) ความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (specific heat at constant pressure, C_p) ความหนืด (viscosity, μ) ความหนืดจลน์ (kinematic viscosity, ν) การนำความร้อน (Thermal Conductivity, k) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมซาบ (absorption coefficient, a) และ Prandtl number (Pr) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์เชิงความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆของไฮโดรเจนในสภาวะที่เป็นก๊าซ [3]

T (K)	ρ (kg/m^3)	C_p ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)	$\mu \cdot 10^7$ ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)	$\nu \cdot 10^6$ ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	$k \cdot 10^3$ ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	$\alpha \cdot 10^6$ (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

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์เชิงความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆของไฮโดรเจนในสภาวะที่เป็นก๊าซ (ต่อ) [3]

T (K)	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (W/m·K)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
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

2.3 ประโยชน์และการนำไปใช้

พลังงานไฮโดรเจนจัดได้ว่าเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในโลกอนาคต การผลิตพลังงานไฮโดรเจนจากแหล่งของพลังงานที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้และไม่หมดไป เช่น น้ำและแสงอาทิตย์ จึงเป็นการพัฒนาพลังงานไฮโดรเจนอย่างยั่งยืน ประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด จากระบบเดิมเศรษฐกิจต้องพึ่งพาผลผลิตจากภาคการเกษตรเป็นหลัก แต่ปัจจุบันผลผลิตส่วนใหญ่มาจากภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจากการขยายตัวในส่วนของภาคอุตสาหกรรม การเพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมและการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศ ได้ส่งผลให้ประเทศต้องพึ่งพาน้ำมันปิโตรเลียมมากขึ้นเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งนับวันราคาน้ำมันในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้น นอกจากภาคอุตสาหกรรมแล้ว ความต้องการพลังงานในภาคเศรษฐกิจ สังคมรวมถึงการใช้งานในชีวิตประจำวันก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ดังนั้นประเทศไทยจึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานในประเทศให้มากขึ้น รวมถึงเร่งรัดนโยบายการประหยัดพลังงานควบคู่กันไปด้วย ก๊าซไฮโดรเจนถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงอนาคต เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจนโดยจะมีเพียงไอน้ำเป็นผลพลอยได้ ซึ่งแตกต่างจากพลังงานเชื้อเพลิงอื่นที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลพลอยได้ ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกส่งผลทำให้เกิดโลกร้อนนอกจากนี้ยังสามารถนำก๊าซไฮโดรเจนไปผลิตกระแสไฟฟ้า ป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) เซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับความนิยม คือ เซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม (Proton Exchange Membrane Fuel cell) เนื่องจากมีการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ หลักการทำงานอาศัยเชื้อเพลิงคือ ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนจากอากาศเป็นแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เรียกว่า ออกซิเดชันของก๊าซไฮโดรเจน ได้เป็นโปรตอนไหลผ่านแผ่นเมมเบรน (Membrane) และอิเล็กตรอนไหลผ่านวงจรภายนอก ทั้งโปรตอนและอิเล็กตรอนไหลทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งทำด้วยแพลตินัมจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันจนได้น้ำบริสุทธิ์ออกมา แรงดันไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเซลล์มีค่าประมาณ 1 โวลต์ ซึ่งถ้านำมาต่ออนุกรมกัน (Fuel cell stack) จะต้องใช้แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้วมาคั่นระหว่างเซลล์เพื่อเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งขณะนี้นักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจอย่างมากในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้ด้านต่างๆ เนื่องจากประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ มาก ดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ เนื่องจากคุณประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยสรุปดังนี้

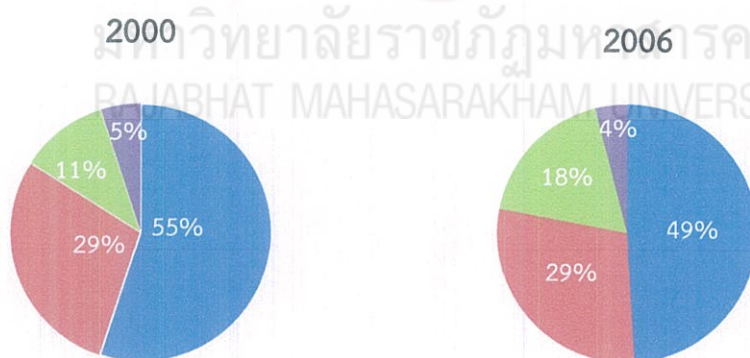
1. แหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งก๊าซชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อสภาพเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดการสันดาปของสารประกอบอินทรีย์เช่นน้ำมัน แต่พลังงานไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก

2. การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดั้งเดิม ไม่ว่าจะจากยานพาหนะหรืออุตสาหกรรมต่างๆ ก่อให้เกิดกลุ่มควันและฝุ่นละออง แต่พลังงานไฮโดรเจน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเหล่านี้

3. พลังงานไฮโดรเจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน เครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องกังหัน และเครื่องไอพ่น
4. ค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้จากไฮโดรเจนมีค่ามากกว่าพลังงานเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และเชื้อเพลิงจากแอลกอฮอล์
5. ก๊าซไฮโดรเจนสามารถนำไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนาและคาดว่าจะนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอนาคต

2.4 การผลิตไฮโดรเจน

ในปัจจุบันมีการผลิตไฮโดรเจนขนาดใหญ่เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น โรงกลั่นน้ำมันและการผลิตแอมโมเนียและเมทานอลโดยส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตพื้นที่ที่มีการใช้งานไฮโดรเจนโดยมีการประมาณกันว่าทั่วโลกมีปริมาณการผลิตรวมกัน 50 ล้านตันโดยประมาณโดย 96 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตไฮโดรเจนทั้งหมดใช้วัตถุดิบที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลโดยแบ่งออกเป็นก๊าซธรรมชาติ 49 เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลว (น้ำมันเชื้อเพลิง) 29 เปอร์เซ็นต์และถ่านหิน 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วน 4 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือเป็นการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrolysis)

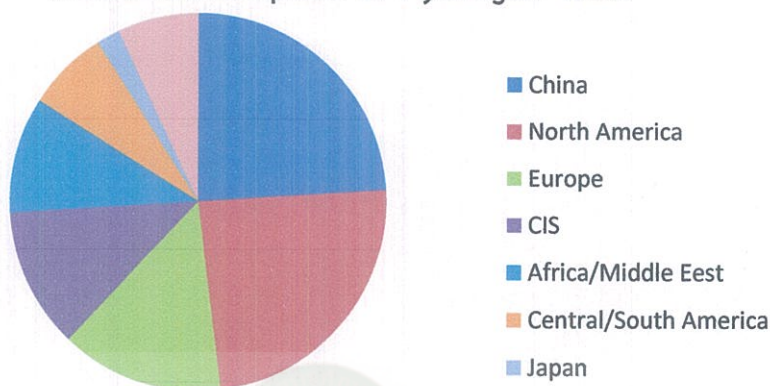


รูปที่ 2.1 ปริมาณการผลิตไฮโดรเจนทั่วโลก [4]

รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรเจนซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตไฮโดรเจนด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงจาก 55 เปอร์เซ็นต์ในปี ค.ศ. 2000 เป็น 29 เปอร์เซ็นต์ในปี ค.ศ. 2006 เนื่องมาจากสภาวะราคาน้ำมันโลกที่มีราคาสูงขึ้นอย่างมากในขณะที่ผู้ผลิตไฮโดรเจนหันมาใช้ก๊าซธรรมชาติแทนกันมากขึ้นจากสัดส่วน 29 เปอร์เซ็นต์ในปี ค.ศ. 2000 เป็น 49 เปอร์เซ็นต์ในปี

ค.ศ. 2006 ในขณะที่การผลิตไฮโดรเจนด้วยการแยกน้ำด้วยไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เหตุผลหลักที่วิธีการแยกน้ำด้วยไฟฟ้ายังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้ราคาของไฮโดรเจนแปรตามราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิล

World Consumption of Hydrogen- 2009



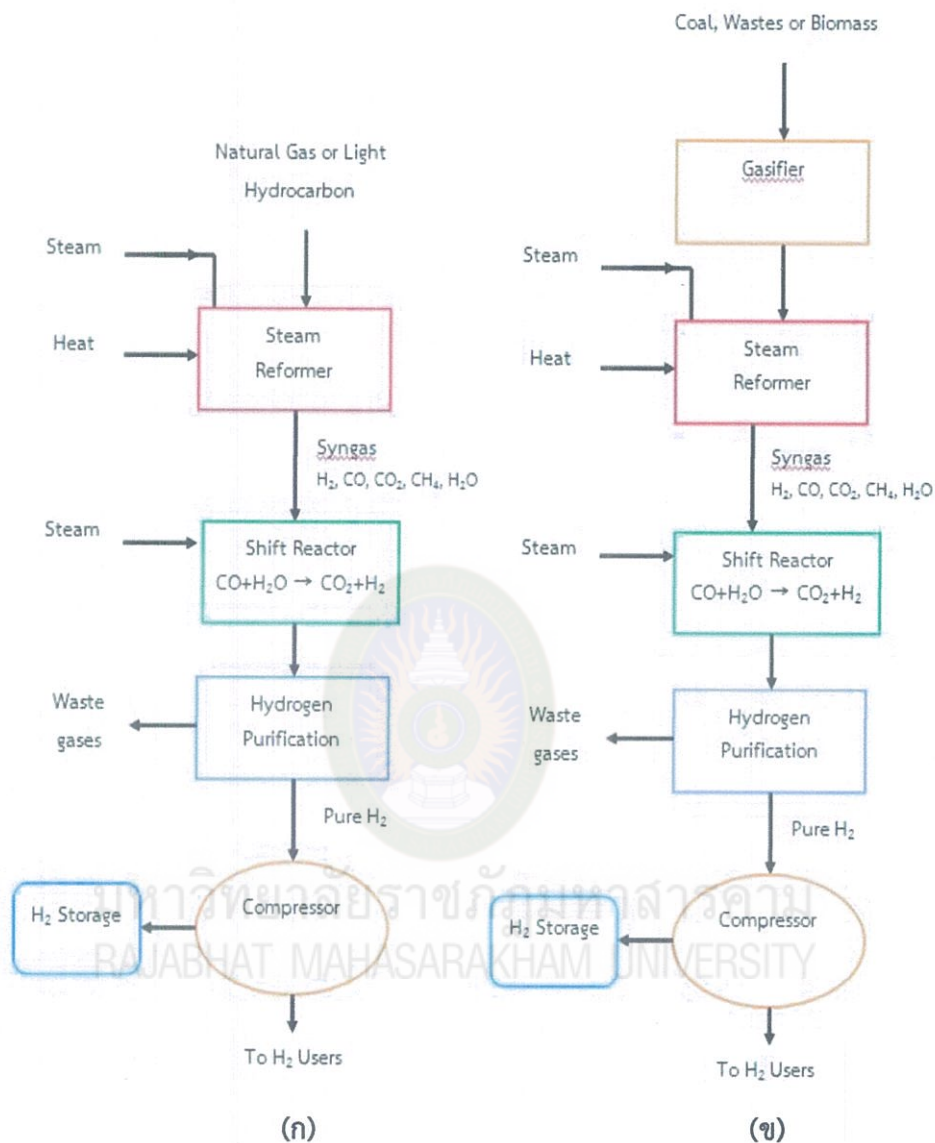
รูปที่ 2.2 สัดส่วนการใช้ไฮโดรเจนแบ่งตามประเทศ และทวีป [5]

จากรูปที่ 2.2 แสดงสัดส่วนการใช้ไฮโดรเจนแบ่งตามประเทศและทวีปในปี ค.ศ. 2009 จะเห็นว่าจีนเป็นประเทศที่มีการใช้ไฮโดรเจนเป็นปริมาณมากที่สุดในโลกซึ่งคิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์และเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับการใช้ไฮโดรเจนของกลุ่มประเทศในทวีปอเมริกาเหนือในปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจนก๊าซธรรมชาติจะอาศัยกระบวนการด้วยกระบวนการรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทนด้วยไอน้ำ (SMR) ในปัจจุบันวิธีการผลิตไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์มีด้วยกันหลายวิธีเช่นวิธีทางเคมีความร้อนซึ่งใช้การแยกไฮโดรเจนจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและการแยกน้ำด้วยพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนยังมีวิธีอื่นๆ ที่เริ่มเห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้นดังเช่นการผลิตไฮโดรเจนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีหรือการผลิตด้วยวิธีทางชีวเคมี

2.4.1 กระบวนการเคมีความร้อน (Thermo chemical Process) ไฮโดรเจนสามารถผลิตโดยวิธีทางเคมีโดยอาศัยความร้อนโดยมีวัตถุดิบที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ชีวมวล และสิ่งปฏิกูลอาศัย เครื่องปฏิกรณ์เคมีอุณหภูมิสูงโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ก๊าซสังเคราะห์ซึ่งประกอบไปด้วยไฮโดรเจน (H_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และมีเทน (CH_4) จากนั้นจะนำไปผ่านกระบวนการเพิ่มเติมเพื่อให้มาซึ่งไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ขึ้นจากหลักการดังกล่าวได้มีการพัฒนากระบวนการต่างๆ ขึ้นมาด้วยกันหลายวิธีเช่นกระบวนการรีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำ (Steam Reforming) และกระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.4.1.1 กระบวนการรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทนด้วยไอน้ำ วิธีการนี้เป็นการผลิตไฮโดรเจนจาก ก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นที่รู้จักกันมาเป็นเวลานานและในปัจจุบันเป็นกระบวนการที่มีการนำไปใช้งานกัน มากที่สุดในการผลิตเชิงพาณิชย์หลักการใช้ในการแปลงผันก๊าซธรรมชาติให้เป็นไฮโดรเจนนั้นจะมี ส่วนเกี่ยวข้องของไอน้ำ (Steam Reforming) ออกซิเจน (Partial Oxidation) หรือทั้งสองอย่าง (Autothermal Reforming) รูปที่ 2.3 (ก) แสดงรายละเอียดกระบวนการรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทน ด้วย ไอน้ำในทางปฏิบัติไฮโดรเจนที่ได้ (ซึ่งจะมีสัดส่วนประมาณ 70-80%) จะมีส่วนผสมของ คาร์บอนมอนอกไซด์คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนซึ่งจำเป็นต้องผ่านกระบวนการกำจัดสารประกอบ เหล่านี้เพื่อให้ได้ไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์พอที่จะนำไปใช้งานได้ด้วยกระบวนการ water-gas shift โดยการ ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ทำปฏิกิริยากับไอน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งในขั้นตอนนี้จะได้ คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มเข้ามาด้วยโดยส่วนใหญ่คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการผลิต ไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้จะถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศอย่างก็ตามในปัจจุบันได้มีการดำเนินกระบวนการ จับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เรียกว่า Carbon Sequestration ยังมีกระบวนการทางเคมีความร้อนอีก 2 วิธีคือกระบวนการเผาไหม้บางส่วน (Partial Oxidation) และกระบวนการออกซิเดชันของมีเทน ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ได้มีการใช้เชิงพาณิชย์แล้วด้วย เช่นกันอย่างไรก็ตามก็ยังคงมีการวิจัยและปรับปรุง ประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้นกระบวนการเผาไหม้บางส่วนเป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของมีเทน โดยตรงขณะที่กระบวนการออกซิเดชันของมีเทนเป็นการทำงานร่วมกันของกระบวนการรีฟอร์ม มิ่งและกระบวนการเผาไหม้บางส่วนโดยมีการทำปฏิกิริยาของมีเทนออกซิเจนและไอน้ำ

2.4.1.2 กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันด้วยชีวมวลถ่านหินและสิ่งปฏิกูล ในกระบวนการ เหล่านี้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนรูปของแข็งเช่นชีวมวล (ของเหลือจากการเกษตรจากกระบวนการ แปรรูปไม้หรือพืชพลังงาน) ถ่านหินหรือสิ่งปฏิกูลจะถูกทำให้เป็นไอที่อุณหภูมิสูงโดยจะได้ก๊าซ สังเคราะห์ (Syngas) ออกมาจากนั้นจะมีขั้นตอนใกล้เคียงกับกระบวนการรีฟอร์มมิ่งที่กล่าวมาข้างต้น นั่นคือการกักสารเจือปนเพื่อให้ได้ไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ขึ้นก่อนที่ราคาของก๊าซธรรมชาติจะมีราคาถูกลง ในประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันด้วยถ่านหินดังแสดงใน รูปที่ 2.3 (ข) ซึ่ง ยังเป็นที่นิยมใช้อยู่ในประเทศจีนและประเทศในทวีปยุโรปสำหรับกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันด้วยชีวมวลนั้นจะเหมือนกับของถ่านหินหากแต่ใช้อุณหภูมิต่ำกว่าและมีกระบวนการกำจัดสารเจือปนที่ แตกต่างกันเนื่องจากไฮโดรเจนที่ได้จากกระบวนการนี้จะปนเปื้อนซัลเฟอร์สำหรับกระบวนการก๊าซซิฟิ เคชันด้วยสิ่งปฏิกูลของแข็งที่ได้จากชุมชนนั้นได้มีการดำเนินการเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าซึ่งสามารถนำไป ประยุกต์ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนได้



รูปที่ 2.3 รายละเอียดกระบวนการเคมีความร้อน [6]

(ก) การรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทนด้วยไอน้ำ (ข) กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน

2.4.2 กระบวนการไฟฟ้าเคมี กระบวนการไฟฟ้าเคมีเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนโดยการใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกพันธะของน้ำออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจนไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าทุกชนิดสามารถใช้ได้กับกระบวนการนี้ยกตัวอย่างเช่นไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปหรือจากพลังงานทดแทน เช่น ลมหรือแสงอาทิตย์ เป็นต้น อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าเรียกว่าอิเล็กโทรไลเซอร์ (Electrolyzer) สำหรับอิเล็กโทรไลเซอร์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันใช้

เทคโนโลยีของอัลคาไลน์รวมถึงการใช้เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane (PEM) ซึ่งมีคุณสมบัติในการเริ่มและหยุดการทำงานได้รวดเร็วและสามารถตอบสนองต่ออัตราการผลิตได้ตินอกจากนั้นยังได้มีการพัฒนาอิเล็กโทรไลเซอร์ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์แบบออกไซด์ของแข็งทำงานงานที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียสทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนสูงขึ้น เนื่องจากการแยกตัวของน้ำเกิดเนื่องจากความร้อนในระบบทำให้ประสิทธิภาพโดยประมาณของอิเล็กโทรไลเซอร์อยู่ที่ 70% – 85% อย่างไรก็ตามราคาในการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับราคาพลังงานไฟฟ้าเป็นสำคัญวิธีนี้สามารถแข่งขันได้กับกระบวนการรีฟอร์มมิ่งก๊าซธรรมชาติได้ก็ต่อเมื่อราคาไฟฟ้ามีราคาถูกในปัจจุบันได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนโดยเฉพาะลมและการใช้พลังงานนิวเคลียร์มาใช้ในกระบวนการแทนพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไป

2.4.3 กระบวนการชีวเคมี กระบวนการนี้เป็นการผลิตไฮโดรเจนโดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือจุลินทรีย์และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเหล่านี้จะเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นไฮโดรเจนนอกจากนี้ยังสามารถใช้ชีวมวลซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในการผลิตไฮโดรเจนได้อีกด้วยเช่นของเหลือทิ้งจากการเกษตรหรือจากโรงงานอุตสาหกรรมวิธีการนี้ถือได้ว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกล่าวคือใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ รวมทั้งยังช่วยลดปริมาณของเสียลงได้ด้วยอย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังอยู่ในขั้นตอนวิจัยและพัฒนาซึ่งยังมีข้อเสียคือมีประสิทธิภาพต่ำความสามารถในการผลิตถูกจำกัดด้วยความเข้มของแสงที่ได้รับต้นทุนของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพยังมีราคาสูงกระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้แบ่งออกได้อีกหลายวิธี เช่น การแตกตัวด้วยแสงโดยตรงและโดยอ้อมการหมักในที่มืดและในที่มืดและในที่มืดต่อด้วยที่มีแสงเป็นต้น

2.4.4 กระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากอลูมิเนียม ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับอลูมิเนียมโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้สมการดังนี้



2.5 ความหมายอลูมิเนียม

อลูมิเนียม (ภาษาอังกฤษสะกดได้ว่าaluminiumหรือ aluminum ในอเมริกาเหนือ) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย ในธรรมชาติอลูมิเนียมพบในรูปแร่บอกไซต์เป็นหลัก และมีคุณสมบัติเด่น คือ ต่อด้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี (เนื่องจากปรากฏการณ์ passivation) แข็งแรง และน้ำหนักเบา มีการใช้อลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย และอลูมิเนียมสำคัญต่อเศรษฐกิจโลก

อย่างมาก ขึ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยานและสำคัญในด้านอื่น ๆ ของการขนส่งและการสร้างอาคาร ซึ่งต้องการน้ำหนักเบา ความทนทาน และความแข็งแรง

2.5.1 ประเภทและคุณสมบัติอลูมิเนียม

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 1xxx เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้มีเหล็ก และซิลิคอนเป็นธาตุหลัก (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350, อื่นๆ) ซึ่งเป็นประเภทที่ต้านทานการกัดกร่อนได้ดี, สภาพการนำความร้อน และนำไฟฟ้าสูง, คุณสมบัติทางกลต่ำ และใช้งานได้ดี สามารถเพิ่มความแข็งแรงระดับปานกลางได้โดยอาจได้รับจากการกระบวนการเพิ่มความเครียด

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 2xxx เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201.0, 203.0, 206.0, 224.0, 242.0 อื่นๆ) ต้องการกระบวนการอบร้อนเพื่อให้ได้คุณสมบัติสูงสุด ในสภาวะกระบวนการอบร้อนนี้ ค่าคุณสมบัติทางกลจะคล้ายกันหรือบางที่อาจสูงกว่าในบรรดาเหล็กคาร์บอนต่ำ และในบางชนิดการทำกระบวนการอบร้อนซ้ำ จะทำให้สามารถเพิ่มคุณสมบัติทางกลได้ การอบร้อนนี้จะเพิ่มค่าจุดคราก แต่จะทำให้เสียสภาพการยึดตัว ซึ่งจะทำให้ค่าต้านทานแรงดึงไม่ดี

อลูมิเนียมอัลลอยด์ประเภท 2xxx ไม่ใช่ตัวต้านทานการกัดกร่อนที่ดีเหมือนกับอลูมิเนียมอัลลอยด์ประเภทอื่น และภายใต้สภาวะการกัดกร่อนแบบต่างๆอาจจะทำให้เกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนได้ เกรดอลูมิเนียมประเภท 2xxx จะมีประโยชน์ต่อส่วนที่ต้องการความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงสุด 150°C (300°F) แต่ยกเว้นเกรด 2219 อลูมิเนียมอัลลอยด์เกรดนี้มีขีดจำกัดในการเชื่อม แต่อัลลอยด์บางชนิดในประเภทนี้จะมีรูปแบบการแปรรูปที่ดีเยี่ยม ส่วนอลูมิเนียมเกรด 2021 เป็นเกรดที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการใช้ผลิตอากาศยาน

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 3xxx เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (3003, 3004, 3105, 383.0, 385.0, A360, 390.0) โดยปกติแล้วจะไม่สามารถใช้การอบร้อนได้ แต่มีค่าความแข็งแรงมากกว่าประเภท 1xxx อยู่ 20% เพราะข้อจำกัดของปริมาณแมกนีเซียม (สูงสุดที่ 1.5%) ที่สามารถเพิ่มเข้าไปในอลูมิเนียมได้ ซึ่งแมกนีเซียมจะถูกใช้เป็นธาตุหลักในอัลลอยด์บางชนิดเท่านั้น

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 4xxx เกรดของอลูมิเนียมประเภทนี้ (4032, 4043, 4145, 4643, อื่นๆ) มีซิลิคอนเป็นธาตุหลัก ซึ่งสามารถเพิ่มได้ในปริมาณที่เพียงพอ (สูงสุด 12%) ที่จะทำให้เกิดการลดช่วงการหลอมเหลว ด้วยเหตุนี้ อลูมิเนียม-ซิลิคอนอัลลอยด์จึงถูกใช้ทำเป็นลวดเชื่อมและใช้ในการเชื่อมประสานอลูมิเนียม ในช่วงการหลอมเหลวต่ำ แทนการใช้โลหะ อลูมิเนียมอัลลอยด์ที่บรรจุซิลิคอนมากพอจะทำให้เห็นเป็นสีเทาดำเหมือนถ่าน เมื่อเสร็จสิ้นการอนอดิกออกไซด์ (anodic oxide) จะถูกนำไปใช้ และด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่ต้องการสำหรับการใช้งานด้านสถาปัตยกรรม

เกรดอลูมิเนียม ประเภท 5xxx ธาตุหลักของอัลลอยด์ประเภทนี้คือ แมกนีเซียม เมื่อถูกใช้เป็นธาตุหลัก หรือใช้ร่วมกับแมงกานีส จะทำให้มีค่าความแข็งแรงปานกลาง และสามารถ

ทำการชุบแข็งได้ แมกนีเซียมจะส่งผลมากกว่าแมงกานีสในเรื่องของความแข็ง (แมกนีเซียม 0.8% เท่ากับ แมงกานีส 1.25%) และยังสามารถเพิ่มได้ในปริมาณมากอีกด้วย อลูมิเนียมอัลลอยด์ในประเภทนี้ (5005, 5052, 5083, 5086, อื่นๆ) ใช้ในงานเชื่อมได้ดี และต้านทานการกัดกร่อนจากน้ำได้ดี แต่อย่างไรก็ตามการผลิตจะจำกัดอยู่ที่การขึ้นรูปเย็น และใช้อุณหภูมิในการดำเนินงานที่ 150°F สำหรับแมกนีเซียมอลูมิเนียมอัลลอยด์ เพื่อหลีกเลี่ยงความอ่อนแอที่เกิดจากการแตกร้าวเนื่องจากการกัดกร่อนภายใต้แรงเค้น (stress-corrosion cracking)

เกรตอลูมิเนียม ประเภท 6xxx อลูมิเนียมอัลลอยด์ในประเภท 6xxx คือ (6061, 6063) ประกอบไปด้วยซิลิคอน และแมกนีเซียม ในปริมาณที่มากพอในการขึ้นรูป magnesium silicide (Mg_2Si) ซึ่งทำให้สามารถทำกระบวนการอบร้อนได้ แต่ก็มี ความแข็งไม่เท่ากับประเภท 2xxx และ 7xxx โดยประเภท 6xxx นี้จะสามารถทำการขึ้นรูปได้ดี, เชื่อมง่าย, แปรรูปร่าง และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ด้วยความแข็งแรงแบบปานกลาง เกรตอลูมิเนียมในประเภทที่สามารถทำการ heat-treatable ได้นี้ อาจจะขึ้นรูปในแบบ T4 temper (แก้ปัญหการอบร้อนได้ แต่ไม่สามารถเร่งการอบร้อนได้) และเพิ่มความแข็งหลังจากการขึ้นรูปแบบคุณสมบัติ T6 โดยการเร่งการอบร้อน

เกรตอลูมิเนียม ประเภท 7xxx สังกะสีประมาณ 1 ถึง 8% เป็นธาตุหลักในประเภท 7xxx อลูมิเนียมอัลลอยด์ (7075, 7050, 7049, 710.0, 711.0, อื่นๆ) และเมื่อทำการรวมกับแมกนีเซียมในปริมาณเล็กน้อย ผลที่ได้คือจะมีค่าความแข็งแรงแรงตั้งแต่ระดับปานกลางจนถึงสูงมาก ส่วนธาตุอื่นๆเช่น ทองแดง และโครเมียม ก็ถูกเพิ่มเข้าไปในปริมาณเล็กน้อยเหมือนกัน อัลลอยด์ประเภท 7xxx ถูกใช้ทำเป็นโครงสร้างลำตัวของอุปกรณ์มือถือ และชิ้นส่วนที่มีความเค้นสูง อลูมิเนียมอัลลอยด์ความแข็งแรงแรงสูง 7xxx จะแสดงการลดความต้านทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากการกัดกร่อนภายใต้แรงเค้น (stress-corrosion cracking) และถูกใช้ใน temper ที่มีอายุเกินมาเล็กน้อย เพื่อให้ได้การรวมกันของความแข็งแรงแรง, ความต้านทานการกัดกร่อน และค่าความต้านทานการแตกหัก

เกรตอลูมิเนียม ประเภท 8xxx ประเภท 8xxx (8006, 8111, 8079, 850.0, 851.0, 852.0) สงวนไว้สำหรับการผสมกับธาตุอื่นๆ นอกเหนือจากที่ใช้สำหรับประเภท 2xxx ถึง 7xxx เหล็ก และนิกเกิลถูกใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงแรง โดยไม่มีการสูญเสียสภาพการนำไฟฟ้า และถูกใช้อย่างแพร่หลายเช่นอัลลอยด์ตัวนำ 8017 อลูมิเนียม-ลิเทียม อัลลอยด์ 8090 มีความแข็งแรง และความแข็งสูงเป็นพิเศษ เพราะถูกพัฒนาให้ใช้กับงานอากาศยาน และอลูมิเนียมอัลลอยด์ในประเภท 8000 สอดคล้องกับของระบบ Unified Numbering A98XXX

2.6 กฎของก๊าซ

ก๊าซประกอบด้วยอนุภาคเล็กมากจำนวนมากมายโดยแต่ละอนุภาคเรียกว่าโมเลกุลโดยโมเลกุลของก๊าซจะอยู่ห่างกันมากกว่าโมเลกุลของของแข็งและของเหลวเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของก๊าซมีค่าน้อยมากทำให้โมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่ตลอดเวลาโดยมีทิศทางไม่แน่นอนก๊าซสามารถฟุ้งกระจายได้ง่ายความดันปริมาตรและอุณหภูมิมีผลทำให้สมบัติต่างๆ ของก๊าซเปลี่ยนแปลงไปในการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของก๊าซเราสามารถจัดแบ่งก๊าซออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas) หมายถึงก๊าซที่ถูกสมมติขึ้นเพื่อใช้อธิบายคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซโดยไม่ว่าที่สภาวะใดก็ตามก๊าซนี้จะปฏิบัติตามกฎต่างๆ ของก๊าซซึ่งก๊าซนี้ไม่มีอยู่จริง ในธรรมชาติ

ก๊าซจริง (Real Gas) หมายถึงก๊าซที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติเช่น O_2 , CO_2 เป็นต้นโดยก๊าซนี้ไม่เป็นไปตามกฎของก๊าซยกเว้นเมื่ออุณหภูมิสูงและความดันต่ำก๊าซจริงจะมีสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซอุดมคติ ซึ่งในการอธิบายกฎต่างๆ ของก๊าซนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการทดลองและใช้ก๊าซอุดมคติในการอธิบายดังนี้

2.6.1 กฎของบอยล์ (Boyle's Law) เป็นกฎที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของก๊าซโดยผู้ที่ค้นพบกฎนี้ คือ โรเบิร์ตบอยล์ (Robert Boyle) พบว่า “เมื่ออุณหภูมิและมวลของก๊าซคงที่ความดันสัมบูรณ์ของก๊าซจะแปรผกผันกับปริมาตรของก๊าซ” หมายความว่าเมื่อความดันสัมบูรณ์มีค่าเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาตรของก๊าซลดลงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการทดลองของบอยล์

ถ้าให้ P แทนความดันสัมบูรณ์ของก๊าซ , V แทนปริมาตรของก๊าซและ T แทนอุณหภูมิของก๊าซจะได้

$$\text{ที่ } T \text{ คงที่} \quad v \propto \frac{1}{P}$$

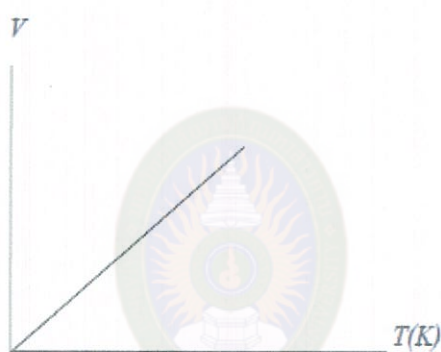
หรืออาจเขียนได้ว่า $PV = k$ เมื่อ k แทนค่าคงที่โดยจะพบว่าที่อุณหภูมิกคงที่ผลคูณระหว่างความดันสัมบูรณ์กับปริมาตรของก๊าซใดๆ มีค่าคงที่ซึ่งถ้าความดันของก๊าซเปลี่ยนแปลงจาก P_1 เป็น P_2 ปริมาตรของก๊าซจะเปลี่ยนจาก V_1 เป็น V_2 จะได้

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (2.4)$$

2.6.2 กฎของชาร์ลส์ (Charles's Law) เป็นกฎที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของก๊าซโดยผู้ที่ค้นพบกฎนี้คือ Jacques Charles พบว่า “ถ้าให้ความดันและมวลของก๊าซคงที่ ปริมาตรจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของก๊าซ” สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ที่ P คงที่ $V \propto T$
 โดยที่ $\frac{V}{T} = k$ ซึ่ง k เป็นค่าคงที่เมื่อความดันและมวลของก๊าซคงที่ ถ้าปริมาตรของก๊าซเปลี่ยนจาก V_1 เป็น V_2 และอุณหภูมิของก๊าซเปลี่ยนจาก T_1 เป็น T_2 จะได้

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.5 แสดงการทดลองของชาร์ลส์
 RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.6.3 กฎของเกย์ลูสแซก (Gay Lussac's Law) เป็นกฎที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของก๊าซโดยผู้ที่ค้นพบกฎนี้คือ Gay Lussac พบว่า “ถ้าให้ปริมาตรและมวลของก๊าซคงที่ ความดันจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของก๊าซ” สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

V คงที่ $P \propto T$
 โดยที่ $\frac{P}{T} = k$ ซึ่ง k เป็นค่าคงที่เมื่อปริมาตรและมวลของก๊าซคงที่ ถ้าความดันของก๊าซเปลี่ยนจาก P_1 เป็น P_2 และอุณหภูมิของก๊าซเปลี่ยนจาก T_1 เป็น T_2 จะได้

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (2.6)$$

เมื่อรวมกฎของบอยล์ชาร์ลส์และเกย์ลูสแซกเข้าด้วยกันจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันปริมาตรและอุณหภูมิของก๊าซเมื่อมวลของก๊าซมีค่าคงที่ดังนี้

หรืออาจเขียนได้ว่า $PV \propto T$
 $\frac{PV}{T} = k \quad (2.7)$

โดยที่ k เป็นค่าคงที่จากการทดลองพบว่าก๊าซทุกชนิดที่ STP ($T = 273 \text{ K}$, $P = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) ก๊าซ 1 โมลจะมีปริมาตร (V) $22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ถ้าคิดที่ก๊าซ n โมลจะมีปริมาตร $22.4 \times 10^{-3} n \text{ m}^3$ เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.4) จะได้

$$k = \frac{(1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(22.4 \times 10^{-3} n \text{ m}^3)}{(273 \text{ K})}$$

$$\text{ดังนั้น } k = 8.314n \text{ J/mol.K}$$

ถ้าให้ $R = 8.314 \text{ J/mol.K}$ แทนค่าคงที่สากลของก๊าซ (Universal gas constant) สมการที่ (2.4) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$PV = nRT \quad (2.8)$$

เมื่อ P เป็นความดันมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

V เป็นปริมาตรมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

T เป็นอุณหภูมิมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

n เป็นจำนวนโมลมีหน่วยเป็นโมล (mol)

R เป็นค่าคงที่สากลของก๊าซมีค่า 8.314 J/mol.K

(คำแนะนำ: จำนวนโมล (n) = $\frac{m}{M}$ โดยที่ m แทนมวลของก๊าซในหน่วยกรัมและ M แทนมวลโมเลกุลของก๊าซในหน่วยกรัมต่อโมล)

เรียกสมการที่ (2.5) ว่ากฎของก๊าซอุดมคติ (Ideal gas law) หรือสมการสถานะของก๊าซอุดมคติ (Equation of state for an ideal gas) ซึ่งสมการนี้แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสามคือความดันปริมาตรและอุณหภูมิโดยพิจารณาที่จำนวนโมลของก๊าซ

ถ้าให้ก๊าซจำนวน n โมล เปลี่ยนเป็น $2n$ โมล ความดันของก๊าซเปลี่ยนจาก P_1 เป็น P_2 ปริมาตรของก๊าซเปลี่ยนจาก V_1 เป็น V_2 และอุณหภูมิของก๊าซเปลี่ยนจาก T_1 เป็น T_2 จะได้

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \quad (2.9)$$

ถ้า $n_1 = \frac{m_1}{M}$ และ $n_2 = \frac{m_2}{M}$ โดย m_1 และ m_2 แทนมวลของก๊าซในหน่วยกรัมและ M แทนมวลโมเลกุลของก๊าซในหน่วยกรัมต่อโมล สมการที่ (2.6) เขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2 T_2} \quad (2.10)$$

แต่ถ้าก๊าซมีมวลคงที่ ($m_1 = m_2$) จะได้

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2.11)$$

สมการข้างต้นจะใช้คำนวณหาค่าความดันปริมาตรและอุณหภูมิเมื่อเปลี่ยนจากสภาวะหนึ่งไปสู่อีกสภาวะหนึ่ง

2.7 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน

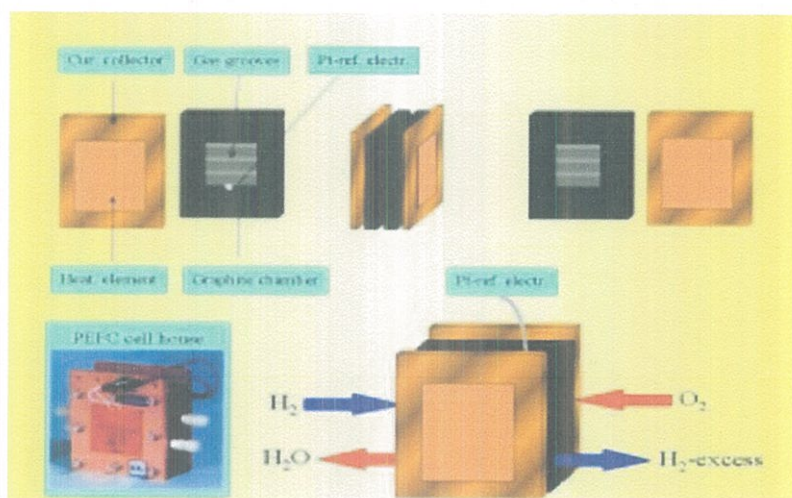
ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนเป็นการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้กับไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎีสมการ ดังนี้

$$\text{ร้อยละผลได้} = \frac{\text{ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้}}{\text{ไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100 \% \quad (2.12)$$

2.8 โครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM

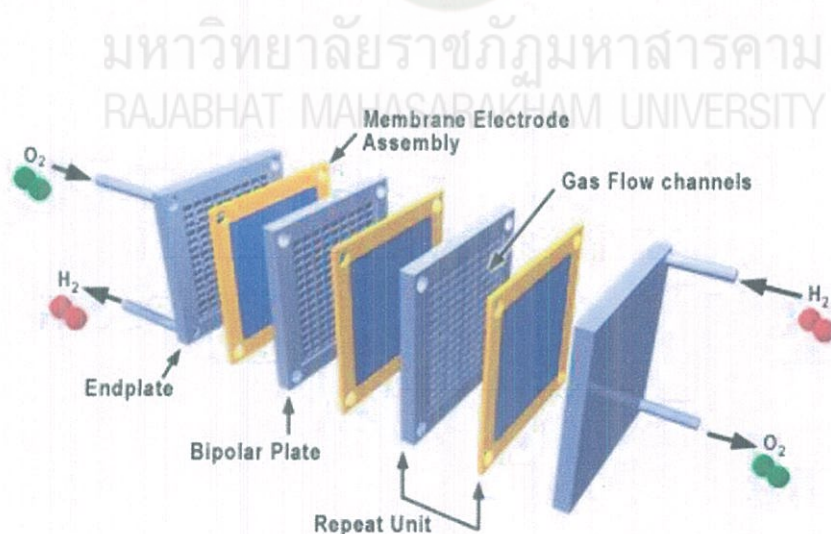
โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ประกอบด้วยอิเล็กโทรดทางด้านเชื้อเพลิง (ขั้วแอโนด) และอิเล็กโทรดทางด้านออกซิเจน (ขั้วแคโทด) ซึ่งต่างก็ทำมาจากวัสดุ Porous-carbon โดยมีแพลทินัม (Pt) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) กระจายตัวและฝังตัวอยู่ที่ขั้วทั้งสองอย่างสม่ำเสมอเพื่อช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้นและมีแผ่น Gas Diffusion Backing ประกบปิดอีกชั้นหนึ่งเพื่อทำหน้าที่เป็นช่องทางผ่านของแก๊สที่เข้ามาทำปฏิกิริยาและรักษาความชื้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงด้วย และทั้งสองขั้วจะถูกแยกออกจากกันด้วยชั้นอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติการนำโปรตอนได้ดี (Ion-Conducting) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนโปรตอนระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทดด้วยเหตุนี้เองจึงได้เรียกว่า Proton Exchange Membrane (PEM) โดยอิเล็กโทรไลต์มีสมบัติเป็นตัวนำสำหรับโปรตอนแต่เป็นฉนวนสำหรับอิเล็กตรอนและมีตัวกันการแทรกซึมของแก๊สด้วย เมื่อนำแต่ละส่วนประกอบมารวมกัน จะเรียกรวมกันว่า Membrane Electrode Assembly (MEA)

ในการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงหนึ่งเซลล์นั้นจะต้องมีแผ่นประกบที่ต้องวางอยู่แต่ละด้านของ MEA โดยแผ่นประกบนี้ต้องถูกทำให้ผิวหน้าที่สัมผัสกับ MEA เป็นช่องการไหลของแก๊ส (Flow -channel) เพื่อเป็นทางเดินของแก๊สให้เข้าทำปฏิกิริยาที่ขั้วอิเล็กโทรด ต้องมีสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีและทนต่อสภาวะความเป็นกรดสูงได้ เรียกแผ่นประกบนี้ว่า แผ่นช่องทางการไหลของแก๊ส (Flow field plate) และทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าโดยวัสดุที่นิยมใช้คือ แกรไฟต์ นอกจากนั้นยังต้องมีแผ่นประเก็น (Gasket) ที่มีสมบัติยืดหยุ่น ทนต่ออุณหภูมิสูงและแรงกดอัดได้ดี ซึ่งวัสดุที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันคือ Teflon หรือ Silicone โดยทำหน้าที่ป้องกันแก๊สไม่ให้รั่วซึม ซึ่งจะแทรกไว้ในแต่ละหน้าประกบกันระหว่างแผ่นนำกระแสไฟฟ้ากับ MEA องค์ประกอบทั้งหมดจะถูกประกบติดกันเรียกว่า เซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM 1 เซลล์ (Single cell) [7]

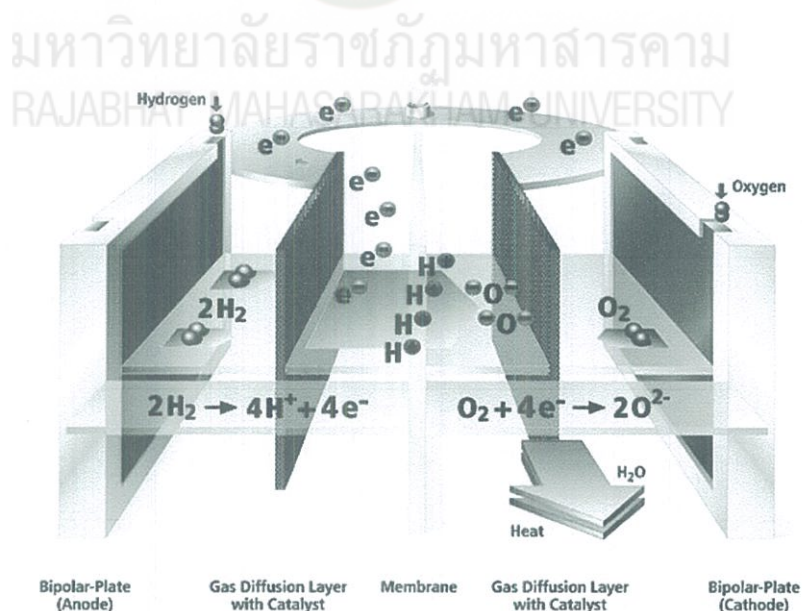
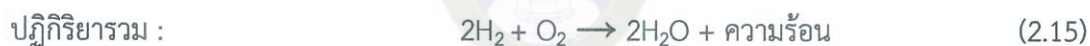
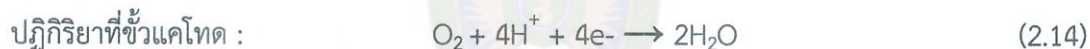
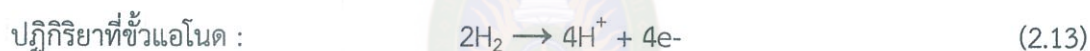
สำหรับการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงหลายๆเซลล์หรือเรียกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบชั้น (Fuel cell stack) จะเป็นการนำเซลล์เชื้อเพลิงมาเรียงต่อกันหรือเรียงซ้อนกันเป็นชั้น (รูปที่ 2.7) เพื่อเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้า โดยใช้แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้ว เป็นตัวเชื่อมเซลล์โดยทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนดของเซลล์หนึ่งและขั้วแคโทดของอีกเซลล์หนึ่ง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM เมื่อนำมาต่อกันแบบชั้น (Fuel cell stack) [8]

เซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM มีการทำงานที่อุณหภูมิต่ำมีประสิทธิภาพสูงเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง จึงมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาองค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น ในการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สามารถทำได้โดยนำเซลล์มาต่ออนุกรมกัน (Fuel cell stack) โดยใช้แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้วมาเชื่อมต่อระหว่างเซลล์

เซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ได้รับความนิยมมากเพราะให้ความหนาแน่นพลังงานสูงและมีข้อได้เปรียบที่น้ำหนักเบาและปริมาตรน้อยเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น เซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ใช้พอลิเมอร์แข็งเป็นอิเล็กโทรไลต์และใช้คาร์บอนพรุนเป็นขั้วไฟฟ้าโดยมีแพลทินัม (Pt) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากรูปที่ 2.9 ไฮโดรเจนไหลเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงทางขั้วแอโนดและถูกแยกออกเป็นไฮโดรเจนไอออน (โปรตอน) และอิเล็กตรอน ไฮโดรเจนไอออนแพร่ผ่านเมมเบรนที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ผ่านไปยังขั้วแคโทด ในขณะที่อิเล็กตรอนไหลผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกกำลังให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ออกซิเจนถูกป้อนเข้าทางด้านแคโทดในเซลล์เชื้อเพลิง และรวมเข้ากับอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนไอออน กลายเป็นน้ำและความร้อน ปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงเป็นดังสมการต่อไปนี้



รูปที่ 2.8 เซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM [9]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Er-Dong Wang (2008); ได้สร้างและศึกษาเครื่องสร้างไฮโดรเจนที่ปลอดภัยและง่ายต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาทางเคมีของอลูมิเนียมและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟือเอ็่ม ผลที่ได้ ความเข้มข้น อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 38 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 25 wt% ประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงเซลล์ชนิดฟือเอ็่ม เครื่องสร้างก๊าซไฮโดรเจนแสดงการปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงที่กระแสดความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากความต้านทาน protonic ลดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนของเมมเบรน เครื่องสร้างก๊าซไฮโดรเจนมีความเสถียร สามารถทำงานเซลล์เดี่ยวภายใต้กระแสไฟฟ้า 500 mA เกือบ 5 ชั่วโมง

Cheng-Chuan Wang, et al (2011); ทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของกระบวนการสร้างก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้ผงอลูมิเนียม 0.25 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 โมล ขนาด 3, 5, 7, 10, 13, 15 มิลลิลิตรตามลำดับ โดยอุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์ ขนาด 10 มิลลิลิตร เกิดไฮโดรเจนได้ดีที่สุดกว่าขนาดอื่นๆ อยู่ที่ 400 มิลลิลิตร แสดงให้เห็นถึง การทำปฏิกิริยาของอลูมิเนียมในการแก้ปัญหา น้ำ สารจำพวกอัลคาไลน์เป็นวิธีที่ง่ายและสามารถลดต้นทุนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสำหรับการใช้งานหลายที่ใช้สารเคมีไฮโดรด์ที่เป็นวัตถุดิบในการสร้างก๊าซไฮโดรเจน การทดลองเบื้องต้นกับ NaOH แสดงผลของจำนวนปริมาณและอุณหภูมิในการเพิ่มผลิตก๊าซไฮโดรเจน นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาของอลูมิเนียมบริสุทธิ์เป็นสิ่งที่ดีสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน และสามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้มากยิ่งขึ้น

Jung-Tae Park et al (2013) ทำการศึกษาการสร้างไฮโดรเจนจากน้ำใช้กลไกการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาที่ศึกษาใช้สารจำพวกชอบน้ำเป็นส่วนผสมของอลูมิเนียม แคลเซียมออกไซด์ น้ำแลโซเดียม ผสมสารที่เรียกว่า CNC (Carboxymethylcellulose) ผสมกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์อัดเม็ดเป็นก้อน โดยควบคุมอัตราการเกิดของก๊าซไฮโดรเจนด้วยขนาดและรูปร่างของเม็ดเป็นแบบทรงกลม (M1) และเป็นแบบไม่เป็นรูป (M2) ผสมกับสาร CNC ทดสอบการเกิดก๊าซไฮโดรเจน พบว่าสารที่ผสม M1 40 wt% และ M2 48 wt% และผสมสาร CNC อีก 12 wt% จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนดีที่สุดในแง่ของเวลาที่มากที่สุด ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ PEMFC สามารถทำสอบการทำงานได้นานเกิน 5 ชั่วโมงโดยได้ถูกพัฒนาใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 50 วัตต์

Shani Elitzur et al (2014) ศึกษาอัตราและร้อยละผลได้ของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมและน้ำ ผลของตัวแปรต่างๆพบว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำและอะลูมิเนียม อุณหภูมิของน้ำ และตัวเร่งปฏิกิริยาของลิเทียมที่ร้อยละ 1- 5 ชนิดของน้ำคือ น้ำประปา น้ำกลั่น และน้ำทะเลที่อุณหภูมิห้อง พบว่าอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนอยู่ในช่วงอัตรา 200 – 600 ml/min/g Al

ร้อยละผลได้ 90% ขึ้นกับตัวแปรต่างๆ มีการประยุกต์ใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแทนแบตเตอรี่

Chien-Hung Lin , Sung-Ying Tsai (2012) ได้ทำการศึกษาทดสอบแผ่นนำกระแสไฟฟ้าสองขั้วแบบอลูมิเนียมเคลือบสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง PEM ประสิทธิภาพการทำงานของอลูมิเนียมอัลลอย (AA5052) สำหรับระบบเซลล์เชื้อเพลิง PEMFC ที่เคลือบด้วย Ni-P โดยใช้กระบวนการเคลือบแบบ physical vapour deposition (PVD) และทดสอบการกัดกร่อนด้วยวิธี Potentiodynamic polarization ที่ (0.5 M H₂SO₄ + 2 ppm HF) แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำของ (hydrophobic) และป้องกันการกัดกร่อน การเคลือบ Ni-P แสดงพฤติกรรมไม่ชอบน้ำ จึงช่วยเพิ่มการป้องกันน้ำที่ขั้วแคโทด จะเป็นประโยชน์เพื่อลดอัตราการกัดกร่อนของโลหะ ในการทดสอบการกัดกร่อนภายใต้สภาวะจำลองเซลล์ ความหนาแน่นกระแสการกัดกร่อนของอลูมิเนียมอัลลอย (AA5052) ที่เคลือบด้วย Ni-P สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง PEM พบว่าที่มุม 80.51° ของการเคลือบ Ni-P มีค่าความต้านทานกระแสการกัดกร่อนที่ดี พร้อมทั้งมีค่าการนำของกระแสไฟฟ้าเป็น $2.72 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ และของอลูมิเนียมอัลลอย (AA5052) ที่ไม่ได้เคลือบ Ni-P เป็น $1.47 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ ตามลำดับ จะเห็นว่าการเคลือบ Ni-P สามารถรักษาประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าและต้านทานการกัดกร่อนได้ดีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เซลล์เชื้อเพลิงเกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวและลดความต้านทานผิวสัมผัส นอกจากนี้แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้วอลูมิเนียมเคลือบ Ni-P จะเข้ามาแทนที่แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้วแบบดั้งเดิมและยังสามารถลดต้นทุนการผลิตเซลล์เชื้อเพลิง PEM

Ha Na Yu et al. (2011) ได้ทำการศึกษาการเตรียมแผ่นนำกระแสไฟฟ้าสองขั้วแบบคอมโพสิตเคลือบแกรไฟต์/คาร์บอนไฟเบอร์ / อีพ็อกซี ที่ความหนา 2 μm และ 50 μm เพื่อลดความต้านทานภายในระหว่างชั้นการแพร่กระจายของก๊าซ (gas diffusion layers) โดยการนำ แผ่นนำกระแสไฟฟ้าสองขั้วแบบคอมโพสิตเคลือบแกรไฟต์/คาร์บอนไฟเบอร์ / อีพ็อกซี มาเคลือบด้วยวิธีการ แกรไฟต์เคลือบพอยล์ แบบรีดร้อน (Laminating) ที่อุณหภูมิ 80 องศา ภายใต้แรงกด 1 เมกะปาสคาล พบว่าจากการวัดความต้านทานรวมภายในผ่านความหนา (through -thicknes) พบว่าแผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้วแบบคอมโพสิตที่เคลือบด้วยวิธีการ แกรไฟต์เคลือบพอยล์ แบบรีดร้อน (Laminating) ที่ความหนา 2 μm และ 50 μm ที่มีการเตรียมผิวชิ้นงานภายใต้แรงกดของการบีบอัดที่ 1 เมกะปาสคาล ทำให้ความต้านทานภายในของแผ่นนำกระแสไฟฟ้าสองขั้วแบบคอมโพสิตเคลือบแกรไฟต์/คาร์บอนไฟเบอร์ / อีพ็อกซี มีชั้นการแพร่กระจายของก๊าซ (gas diffusion layers) ที่ดีและ มีความต้านทานภายในลดลง แต่ที่ความหนาน้อยกว่า 2 μm จะทำให้แผ่นชิ้นงานแตกหัก และที่ความหนาที่มากกว่า 50 μm จะทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้ามากขึ้นจึง สรุปได้ว่าแผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้วแบบคอมโพสิตเคลือบแกรไฟต์/คาร์บอนไฟเบอร์ / อีพ็อกซี ที่ความหนา 2 μm และ 50 μm เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับแผ่นโลหะนำกระแสไฟฟ้าสองขั้ว

AmaniE.Fetohi ,และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาความแตกต่างของวัสดุอลูมิเนียมอัลลอยด์ที่เคลือบด้วย Ni-Co-p ของแผ่นนำกระแสไฟฟ้าสองขั้วแบบโลหะเคลือบผิวสำหรับใช้งานในเซลล์เชื้อเพลิง PEM อลูมิเนียมที่ศึกษาได้แก่ Pure Al, aluminum alloy 6061 (AA6061) , aluminum alloy 3004 (AA3004) และaluminum alloy 1050 (AA1050) ถูกเคลือบด้วย Ni-Co-P โดยใช้เทคนิค electroplating power supply (ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า) ตรวจสอบด้วย Scanning electron microscopy (SEM) และ energy dispersive X-ray (EDX) ในการศึกษาลักษณะพื้นผิว และองค์ประกอบทางเคมี ของพื้นผิวอลูมิเนียมที่เคลือบด้วย Ni-Co-P และการกัดกร่อน ตรวจสอบโดยใช้เทคนิค potentiation dynamic polarization (0.5 M H₂SO₄ p 2 ppm HF) พร้อมทดสอบการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อม ใน cathodic PEMFCs ใช้การทดสอบด้วยเทคนิค potentiostatic polarization ที่ E=160 mV (MMS) หลังจากการตรวจสอบการทำงานของ aluminum alloy 1050 (AA1050) ที่เคลือบด้วย Ni-Co-P พบว่าสามารถป้องกันการกัดกร่อนที่สูง และมีค่าความต้านทานเชิงผิวสัมผัส(ICR) ลดลง พื้นผิวมีการนำไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้วัสดุอลูมิเนียม aluminum alloy 1050 (AA1050) ที่เคลือบด้วย Ni-Co-P เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในแผ่นนำกระแสไฟฟ้าสองขั้วแบบโลหะอลูมิเนียมเคลือบสำหรับใช้งานใน (PEMFC)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย สามารถจำแนกออกเป็นส่วนของวัสดุในการสร้างเครื่อง
เครื่องมือพื้นฐาน เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ทางด้านเคมี ดังต่อไปนี้

3.1.1 วัสดุในการสร้างเครื่อง

1. ท่ออะคริลิกพลาสติกใสยาว 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร
2. แผ่นอะคริลิกพลาสติกใสขนาด 1x1 เมตร จำนวน 3 แผ่น
3. ท่อพลาสติก เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาด 25 มิลลิเมตร
4. ท่อก๊าซ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาด 6 มิลลิเมตร
5. เกลียวเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 เส้น
6. วาล์วเปิด-ปิด ขนาด 1/8 จำนวน 7 ตัว
7. เกลียวหางปลา 1/8 จำนวน 5 ตัว
8. เกลียวข้ออ 1 ตัว
9. ทางปลาสามทาง
10. น็อตตัวเมีย 36 ตัว
11. เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิทัล รุ่น TMO-10
12. เครื่องวัดความดัน รุ่น OKURA
13. เครื่องวัดอัตราการไหล รุ่น FLUKE 922 Flow meter

3.1.2 เครื่องมือพื้นฐาน

1. นาฬิกาจับเวลา (Blue) รุ่น AXA31ZX
2. ไขเลื่อย
3. ไม้เมตร
4. กระดาษทราย
5. คัตเตอร์
6. ถุงมือและผ้าปิดจมูก

7. ประแจ
8. ส่วนเจาะ
9. ผ้าหรือฟองน้ำสำหรับล้างอุปกรณ์
10. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ รุ่น winton
11. เทปขาวพันเกลียว
12. ปืนยิงกาวร้อน

3.1.3 เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์

1. เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ (OHAUS) รุ่น PA4102
2. กล้องดิจิตอล (digital)
3. อิเล็กทรอนิกส์ โหลด 1200W DC Electronic Load (M9714)
4. PEM Fuel cell (H-30 Horizon)

3.1.4 อุปกรณ์ทางด้านเคมี

1. ปีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร 2 ใบ
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4. น้ำกลั่น น้ำประปา
5. อลูมิเนียมแบบแผ่น
6. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
7. ก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์ (บริสุทธิ์ 99.9999)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะมีขั้นตอนการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม และปัจจัยต่างๆ เช่น อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม, ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์, อุณหภูมิของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และชนิดของน้ำ

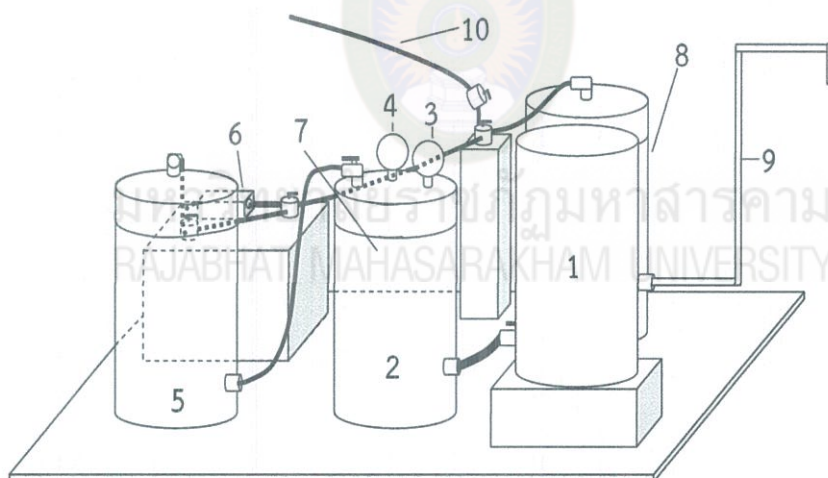
ตอนที่ 1 ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียม

ขั้นที่ 1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล

1. ศึกษาข้อมูลของวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจน
2. ศึกษาคุณสมบัติของอะลูมิเนียมแบบแผ่น
3. ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมกับน้ำ

ขั้นที่ 2 ออกแบบเครื่องมือ จัดหาอุปกรณ์และทำการสร้างเครื่องมือ

1. ศึกษาการออกแบบเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ
2. ออกแบบเครื่องมือตามแบบของงานวิจัยที่ศึกษามาแล้ว และเปลี่ยนแปลงปรับปรุงเพิ่มเติม
3. จัดหาอุปกรณ์ตามแบบที่ต้องการ
4. ทำการสร้างหรือประกอบเครื่องสร้างไฮโดรเจน ตามที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

หมายเลข 1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

หมายเลข 2 ถังปฏิกรณ์

หมายเลข 3 เครื่องวัดอุณหภูมิ

หมายเลข 4 เครื่องวัดความดันของก๊าซ

หมายเลข 5 ถังน้ำ

หมายเลข 6 ตัวดูดความชื้น

หมายเลข 7 เครื่องวัดอัตราการไหล

หมายเลข 8 ถังน้ำ

หมายเลข 9 ท่อส่งน้ำ

หมายเลข 10 ท่อก๊าซ

ตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลการเกิดของไฮโดรเจน

ขั้นที่ 1 การเตรียม

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
2. เตรียมน้ำประปา
3. เตรียมน้ำทะเล (น้ำผสมเกลือแกง NaCl 4.2 wt%) [11]

การเตรียมแผ่นอลูมิเนียม

1. ตัดแผ่นอลูมิเนียมที่ขนาด 2x2 มิลลิเมตร ที่น้ำหนัก 2 กรัม

ขั้นที่ 2 ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม

1. นำแผ่นอลูมิเนียมที่เตรียมไว้ใส่ลงในถัง Reactor หมายเลข 2 ในรูปที่ 3.1 แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 wt% จากหมายเลข 1 แล้วเปิดวาล์วให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไหลลงไปใน Reactor หมายเลข 2 ที่ปริมาณ 15 มิลลิเมตร ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมเท่ากับ 7.5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
2. นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ หมายเลข 7 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลาและร้อยละผลได้ของการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลา
3. ทำการทดลองซ้ำ ในข้อ 1 และข้อ 2 เปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม จาก 7.5 เป็น 10, 12.5 และ 15
4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนดีที่สุด

ขั้นที่ 3 ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

1. นำแผ่นอลูมิเนียมที่เตรียมไว้ใส่ลงในถัง Reactor หมายเลข 2 ในรูปที่ 3.1 แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 15 wt% จากหมายเลข 1 แล้วเปิดวาล์วให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไหลลงไปใน Reactor หมายเลข 2 เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมในขั้นที่ 2 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
2. นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ หมายเลข 7 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลาและร้อยละผลได้ของการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลา

3. ทำการทดลองซ้ำ ในข้อ 1 และข้อ 2 เปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จาก 15 เป็น 20 และ 25 wt%
4. เลือกความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนดีที่สุด

ขั้นที่ 4 อุณหภูมิของน้ำ

1. นำแผ่นอลูมิเนียมที่เตรียมไว้ใส่ลงในถัง Reactor หมายเลข 2 ในรูปที่ 3.1 แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นน้ำที่ 25 องศาเซลเซียส จากหมายเลข 1 แล้วเปิดวาล์วให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไหลลงไป ใน Reactor หมายเลข 2 เลือกความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ขั้นที่ 3 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
2. นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ หมายเลข 7 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลาและร้อยละผลได้ของการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลา
3. ทำการทดลองซ้ำ ในข้อ 1 และข้อ 2 เปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำจาก 25 เป็น 35, 55 และ 75 องศาเซลเซียส
4. เลือกอุณหภูมิของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนดีที่สุด

ขั้นที่ 5 ชนิดของน้ำ

1. นำแผ่นอลูมิเนียมที่เตรียมไว้ใส่ลงในถัง Reactor หมายเลข 2 ในรูปที่ 3.1 แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากหมายเลข 1 แล้วเปิดวาล์วให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไหลลงไป ใน Reactor หมายเลข 2 เลือกอุณหภูมิของน้ำขั้นที่ 4 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
2. นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ หมายเลข 7 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลาและร้อยละผลได้ของการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลา
3. ทำการทดลองซ้ำ ในข้อ 1 และข้อ 2 เปลี่ยนชนิดของน้ำจาก น้ำกลั่น เป็น น้ำประปาและน้ำทะเล
4. เลือกชนิดของน้ำ ที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนดีที่สุด

ขั้นที่ 6 นำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็่ม

1. นำแผ่นอลูมิเนียมที่เตรียมไว้ใส่ลงในถัง Reactor หมายเลข 2 ในรูปที่ 3.1 แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากหมายเลข 1 แล้วเปิดวาล์วให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไหลลงไปใน Reactor หมายเลข 2 เลือกชนิดของน้ำชั้นที่ 5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
2. นำก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ในข้อที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็่ม (H-30 Horizon) ทดสอบที่ความดัน 1 atm และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
3. นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ไหลด เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง
4. ทำการทดลองซ้ำ ในข้อ 1 และข้อ 2 เปลี่ยนชนิดของก๊าซไฮโดรเจนจากก๊าซที่ผลิตได้เป็น ก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์
5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงที่ทดสอบด้วยก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้และก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม และปัจจัยในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

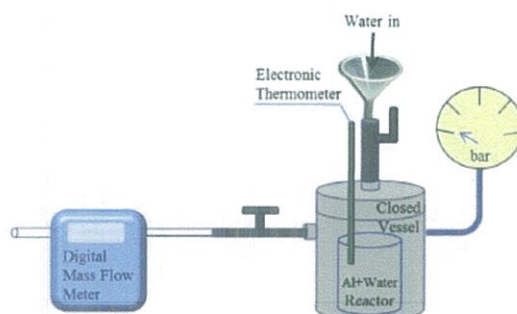
1. ศึกษาและออกแบบเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม
2. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของไฮโดรเจน ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม, ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), อุณหภูมิของน้ำ และชนิดของน้ำ

4.1 การออกแบบสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม

ผลจากการออกแบบเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม ได้ออกแบบวิธีการทดลอง โดยนำอลูมิเนียมกับน้ำใส่ลงใน ถัง Reactor ทำปฏิกิริยาได้ก๊าซไฮโดรเจนออกมา จากนั้น ก๊าซไหลมายังน้ำเพื่อทำให้ก๊าซแทนที่น้ำ น้ำไหลมายังภาชนะใส่น้ำโดยภาชนะใส่น้ำนั้นรองด้วยเครื่องชั่ง เพื่อที่จะวัดปริมาณน้ำดัง รูปที่ 4.1 และรายละเอียดในการวัดในถัง Reactor ประกอบด้วย เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความดัน และเครื่องวัดอัตราการไหล ดัง รูปที่ 4.2



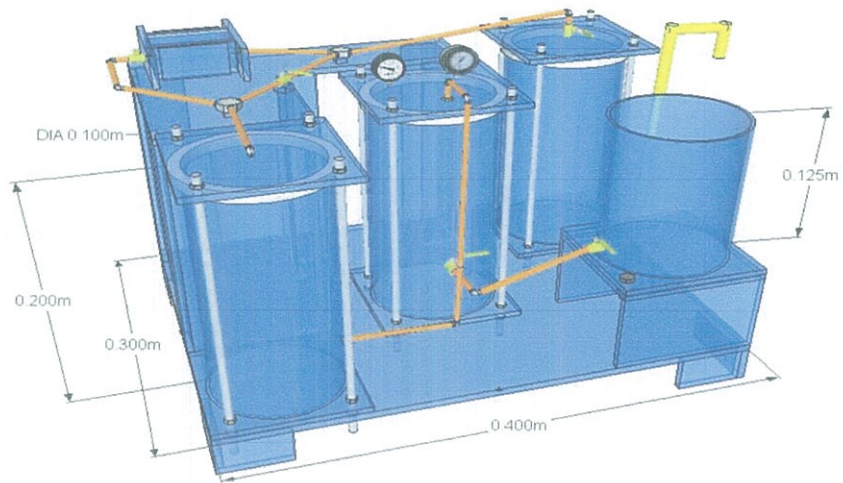
รูปที่ 4.1 แสดงวิธีการทดลองการสร้างก๊าซไฮโดรเจน [12]



รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบเครื่องมือวัดในถัง Reactor [13]

การออกแบบวิธีการผลิตก๊าซไฮโดรเจน และอุปกรณ์ต่างๆในการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจน จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่ปรากฏขนาดและอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจน ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนแบบจำลองจากโปรแกรม sketchup pro จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จาก sketchup pro มาสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจน ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ประกอบด้วย

1. ถังใส่น้ำ มีความสูง 12.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ฐานวางรอง 8 เซนติเมตร เพื่อให้ตัวถังอยู่สูงกว่า Reactor ให้น้ำไหลลงไปใน Reactor
2. ถัง Reactor มีความสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร จากเงื่อนไขใช้สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ มีความเป็นเบสสูง ต้องใช้ถัง Reactor ทนต่อความดันและความร้อนที่เกิดขึ้นของก๊าซไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยา
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดอุณหภูมิของก๊าซภายใน Reactor
4. เครื่องวัดความดัน วัดความดันภายใน Reactor
5. เครื่องวัดอัตราการไหล วัดอัตราการไหลที่ออกจาก Reactor
6. ถังกรองตะกอน มีความสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร เป็นถังใส่น้ำเพื่อที่จะให้สิ่งปฏิกูลที่มากับก๊าซตกตะกอนและลดอุณหภูมิของก๊าซ ลดลง
7. ถังเก็บก๊าซ มีความสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ถังนี้จะเติมน้ำเต็มถังเพื่อจะให้ก๊าซที่ไหลผ่าน มาแทนที่น้ำ



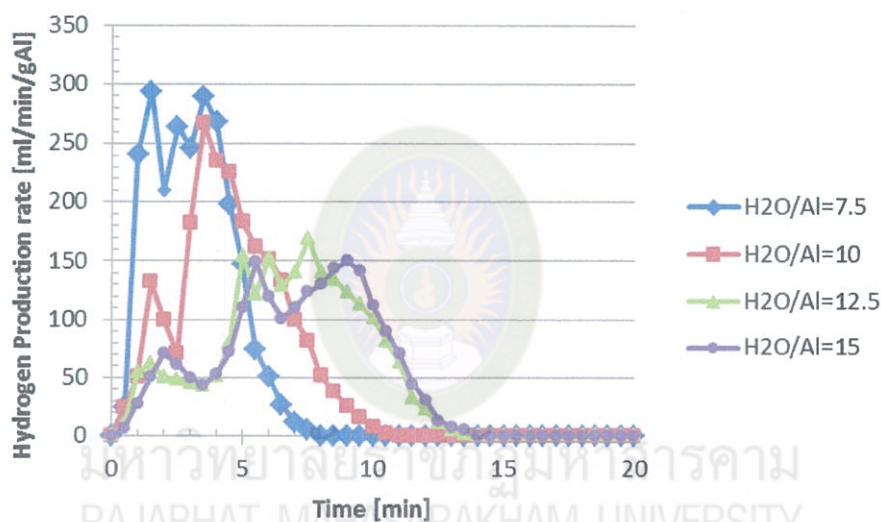
รูปที่ 4.3 การออกแบบของเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยโปรแกรม sketchup pro



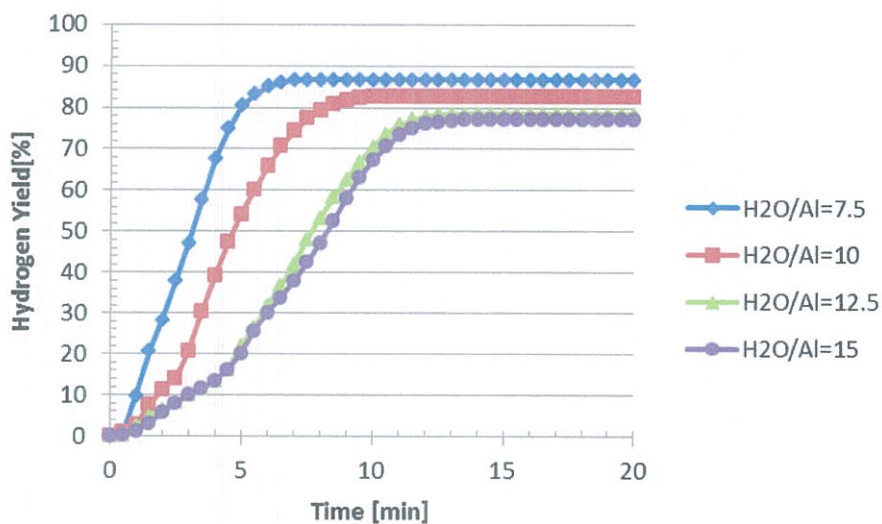
รูปที่ 4.4 การสร้างของเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจน

4.2 ผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม

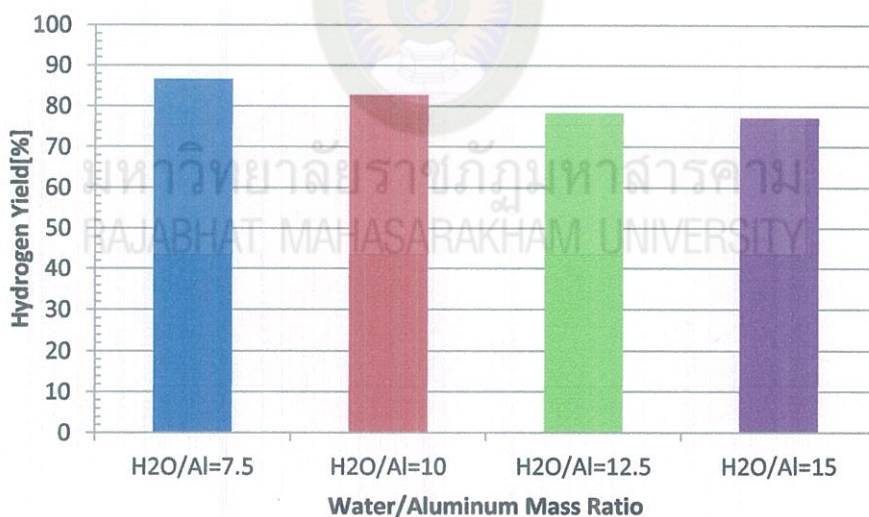
เมื่อนำแผ่นอลูมิเนียมขนาด 2x2 ตารางมิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม ใส่ลงในถัง Reactor จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 wt% แล้วเปิดวาล์วถึงใส่น้ำ ให้น้ำไหลลงไปใน ถัง Reactor ปริมาณน้ำ 15 มิลลิลิตร ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมเท่ากับ 7.5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำข้อมูลอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นเปลี่ยนค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมจาก 7.5 เป็น 10, 12.5 และ 15 นำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลาและร้อยละผลได้ของการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลา



รูปที่ 4.5 อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่แตกต่างกัน (2 g Al, 20%wt NaOH)



รูปที่ 4.6 ร้อยละผลได้ไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่แตกต่างกัน (2 g Al, 20%wt NaOH)



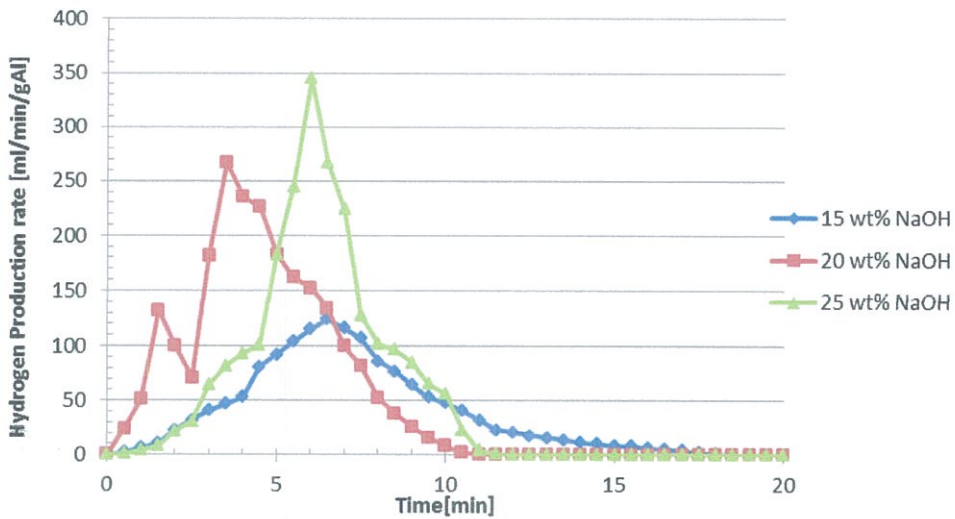
รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม (2 g Al, 20%wt NaOH)

จากรูปที่ 4.5 พบว่า อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่อัตราส่วน 7.5 , 10, 12.5 และ 15 มีแนวโน้มพบว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 0-5 วินาที จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 6-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจน อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 ลดลง

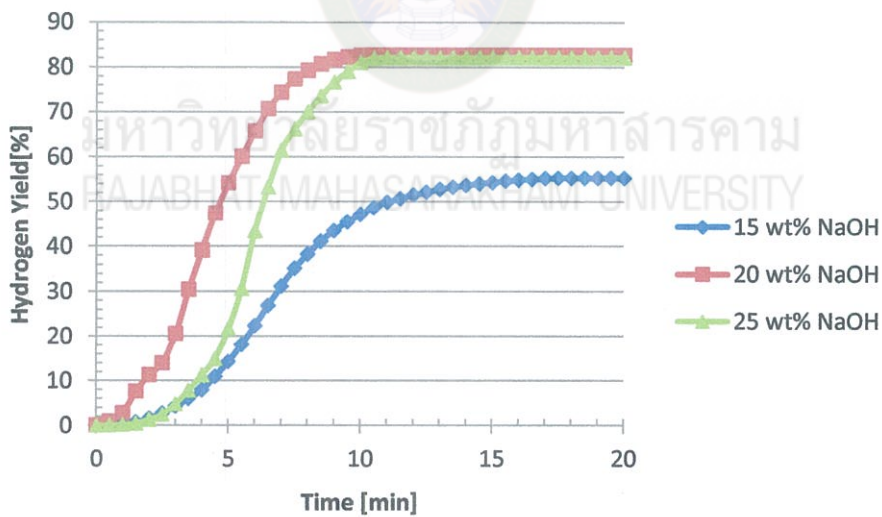
เร็วกว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 10, 12.5 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 และ 10 ช่วงเวลาประมาณ 0-5 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 และ 10 ใกล้เคียงกัน จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 6-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจน อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 ลดลงเร็วกว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 10 รูปที่ 4.6 และ 4.7 เป็นผลของร้อยละผลได้ไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่แตกต่างกัน พบว่าร้อยละผลได้ของการเกิดไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยที่อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 มีค่าร้อยละผลได้มากกว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 10, 12.5 และ 15 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไฮโดรเจนและร้อยละผลได้เกิดไฮโดรเจน พบว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 และ 10 ช่วงเวลาประมาณ 0-5 วินาที จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 6-20 วินาที มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นใกล้เคียงกัน อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 ลดลงเร็วกว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 10, 12.5 และ 15 ตามลำดับ ร้อยละผลได้ของอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 เท่ากับ 86.6 อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 10 เท่ากับ 82.6, อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 12.5 เท่ากับ 78.4 และอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 15 เท่ากับ 77.1 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 10 เหมาะสมกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน เพราะมีอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนและร้อยละผลได้ใกล้เคียงกับ อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 7.5 แต่อัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนช้ากว่า

4.3 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

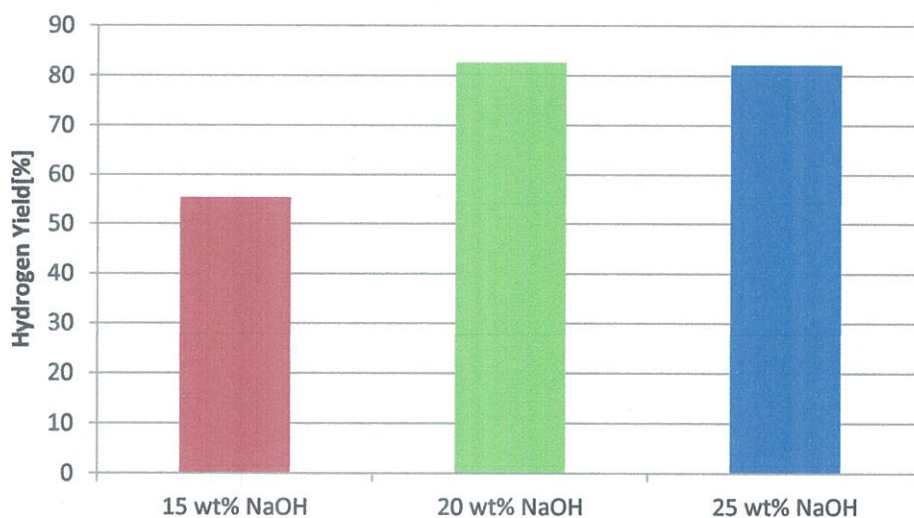
เมื่อนำแผ่นอลูมิเนียมขนาด 2x2 ตารางมิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม ใส่ลงในถัง Reactor จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 wt% แล้วเปิดวาล์วถึงใส่น้ำ ให้น้ำไหลลงไป ใน ถัง Reactor ปริมาณน้ำ 15 มิลลิลิตร ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมเท่ากับ 7.5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำข้อมูลอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นเปลี่ยนค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 wt% เป็น 15 และ 25 นำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลาและร้อยละผลได้ของการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลา



รูปที่ 4.8 อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่แตกต่างกัน (2 g Al)



รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้การเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่แตกต่างกัน (2 g Al H₂O/Al=10)



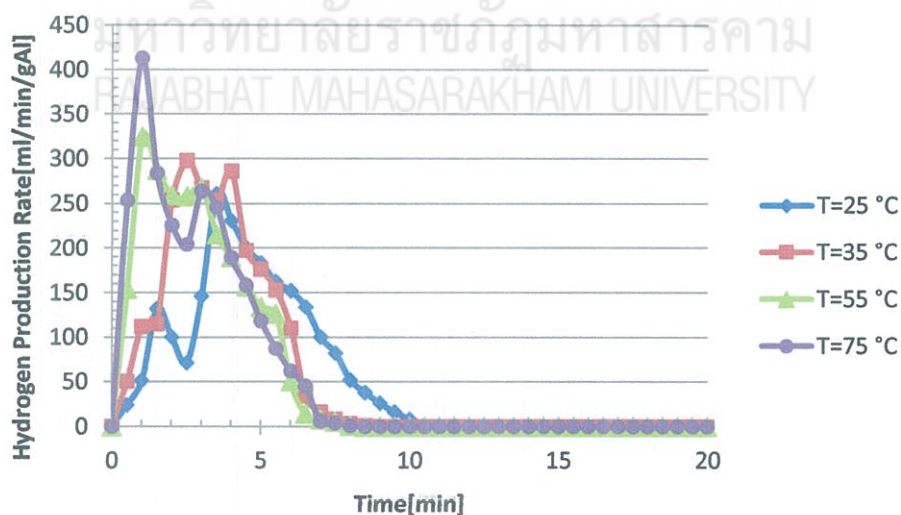
รูปที่ 4.10 ร้อยละผลได้การเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
(2 g Al H₂O/Al=10)

จากรูปที่ 4.9 พบว่า อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 15, 20 และ 25 wt% มีแนวโน้มพบว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 0-4 วินาที จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 5-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 15 wt% ลดลงเร็วกว่า ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 และ 25 wt% ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 และ 25 wt% ช่วงเวลาประมาณ 0-4 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 และ 25 wt% ใกล้เคียงกัน จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 5-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 15 wt% ลดลงเร็วกว่า ค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 และ 25 wt% ตามลำดับ รูปที่ 4.9 และ 4.10 เป็นผลของร้อยละผลได้ไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่แตกต่างกัน พบว่าร้อยละผลได้ของการเกิดไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยที่ อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 wt% มีค่าร้อยละผลได้มากกว่า อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 15 และ 25 wt% เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไฮโดรเจนและร้อยละผลได้เกิดไฮโดรเจน พบว่า ร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 15, 20 และ 25 wt% ช่วงเวลาประมาณ 0-4 วินาที มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 5-20 วินาที มีแนวโน้มลดลง ร้อยละผลได้ของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 15 wt% เท่ากับ 55.3 ร้อยละผลได้ของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอก

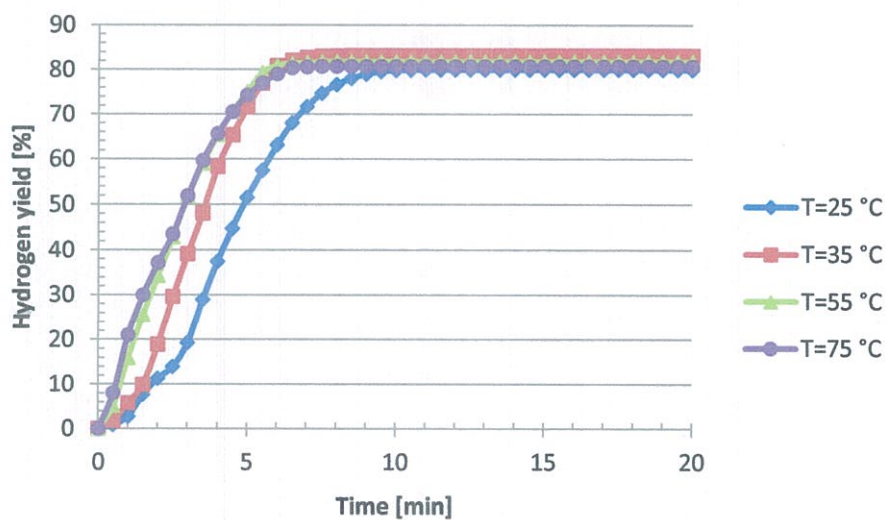
ไซด์ที่ 20 wt% เท่ากับ 82.6, และร้อยละผลได้ของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 15 wt% เท่ากับ 82.2 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 wt% เหมาะสมกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน เพราะมีอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนและร้อยละผลได้ใกล้เคียงกับอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 25 wt% แต่มีอัตราการการเพิ่มขึ้นของก๊าซไฮโดรเจน ช่วงเวลาประมาณ 0-4 วินาที มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเร็วกว่า

4.4 ผลของอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

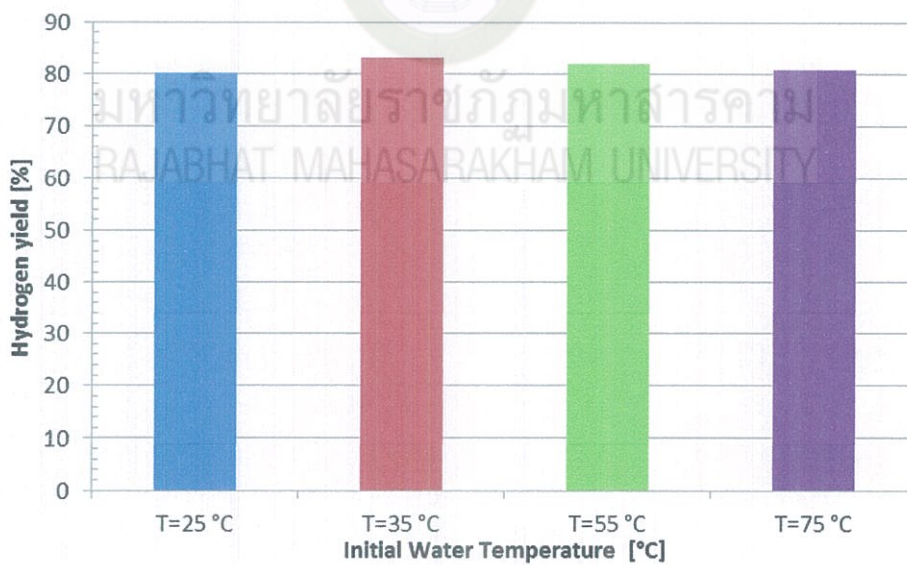
เมื่อนำแผ่นอลูมิเนียมขนาด 2x2 ตารางมิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม ใส่ลงในถัง Reactor จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 wt% แล้วเปิดวาล์วถึงใส่น้ำกลั่น ให้น้ำไหลลงไปในถัง Reactor ปริมาณน้ำ 20 มิลลิลิตร ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมเท่ากับ 10 วัตอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำข้อมูลอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส เป็น 35, 55 และ 75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลาและร้อยละผลได้ของการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลา



รูปที่ 4.11 อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกัน (2 g Al, 20 wt% NaOH, $H_2O/Al=10$)



รูปที่ 4.12 ร้อยละอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกัน (2 g Al, 20 wt% NaOH, H₂O/Al=10)



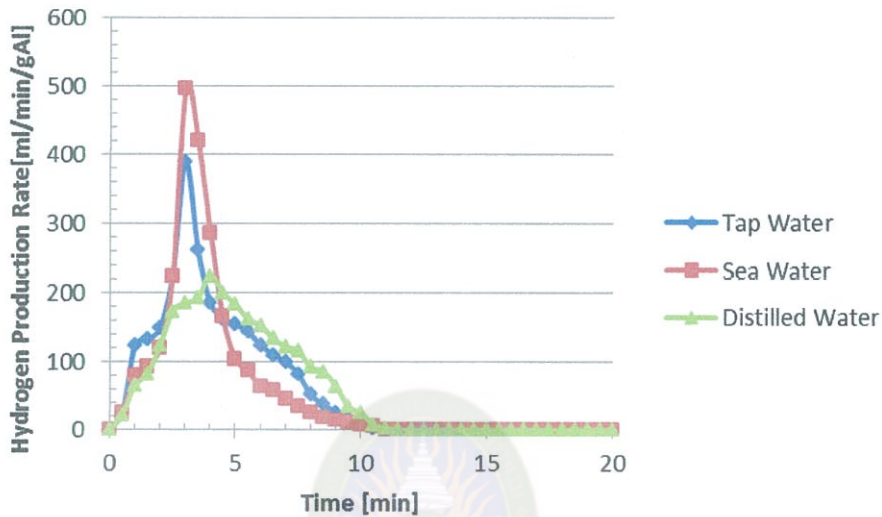
รูปที่ 4.13 ร้อยละอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกัน (2 g Al, 20 wt% NaOH, H₂O/Al=10)

จากรูปที่ 4.10 พบว่า อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำ 25, 35, 55 และ 75 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มพบว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นสำหรับอุณหภูมิ 55 และ 75 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลาประมาณ 0-2 วินาที จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 3-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลงและอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นสำหรับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลาประมาณ 0-3 วินาที จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 4-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนอุณหภูมิของน้ำที่อุณหภูมิ 55 และ 75 องศาเซลเซียสลดลงใกล้เคียงกัน โดยลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ รูปที่ 4.12 และ 4.13 เป็นผลของร้อยละผลได้ไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำที่แตกต่างกัน พบว่าร้อยละผลได้ของการเกิดไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยที่ อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำ 35 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละผลได้มากกว่า น้ำอุณหภูมิ 25, 55 และ 75 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไฮโดรเจนและร้อยละผลได้เกิดไฮโดรเจน พบว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นสำหรับอุณหภูมิ 55 และ 75 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลาประมาณ 0-2 วินาที จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 3-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลงและอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นสำหรับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลาประมาณ 0-3 วินาที จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 4-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง ร้อยละผลได้ของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 79.9 ร้อยละผลได้ของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำ 35 องศาเซลเซียส เท่ากับ 83.2 ร้อยละผลได้ของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำ 55 องศาเซลเซียส เท่ากับ 83.2 และร้อยละผลได้ของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำ 75 องศาเซลเซียส เท่ากับ 80.7 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำ 35 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน เพราะมีอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนและร้อยละผลได้มีค่ามากที่สุด

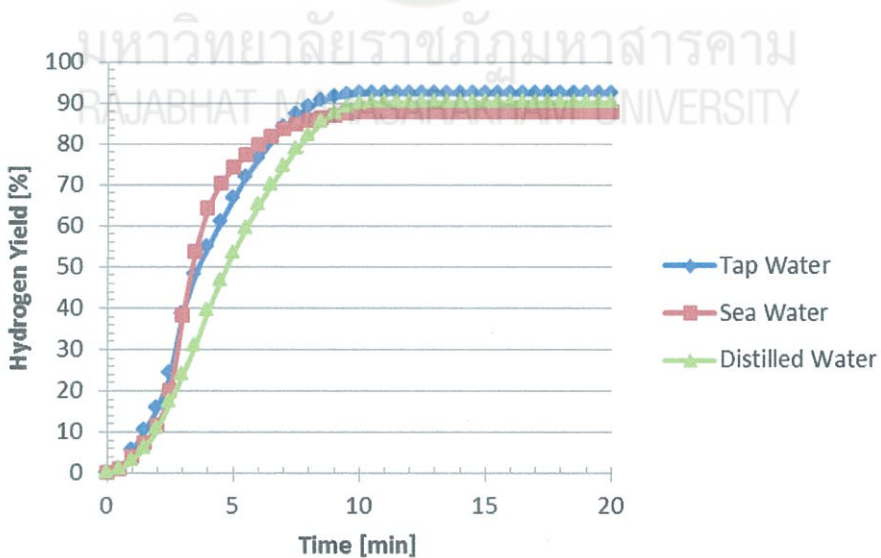
4.4 ผลของชนิดของน้ำที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

เมื่อนำแผ่นอลูมิเนียมขนาด 2x2 ตารางมิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม ใส่ลงในถัง Reactor จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 wt% แล้วเปิดวาล์วถังใส่น้ำกลั่น ให้น้ำไหลลงไปในถัง Reactor ปริมาณน้ำ 20 มิลลิลิตร ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมเท่ากับ 10 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำข้อมูลอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นเปลี่ยนน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นน้ำประปา และ น้ำทะเล นำข้อมูล

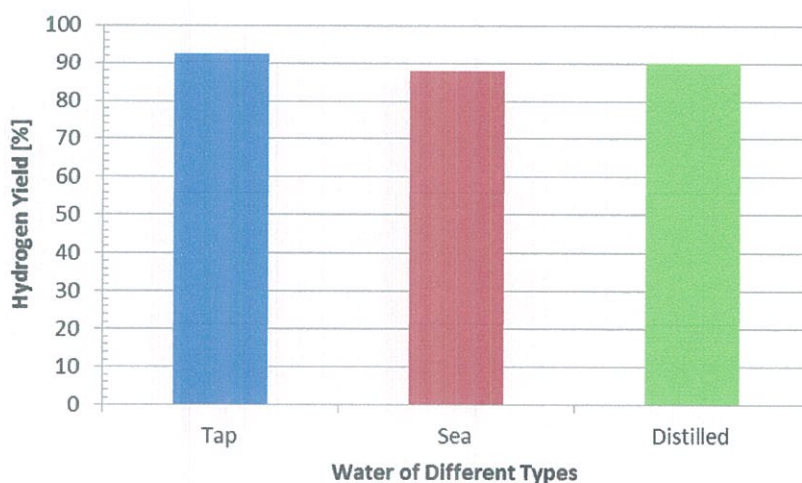
มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลาและร้อยละผลได้ของการเกิดของไฮโดรเจนกับเวลา



รูปที่ 4.14 อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาชนิดของน้ำที่แตกต่างกัน (2 g Al, 20 wt% NaOH, $H_2O/Al=10, T=35^{\circ}C$)



รูปที่ 4.15 ร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาชนิดของน้ำที่แตกต่างกัน (2 g Al, 20 wt% NaOH, $H_2O/Al=10, T=35^{\circ}C$)

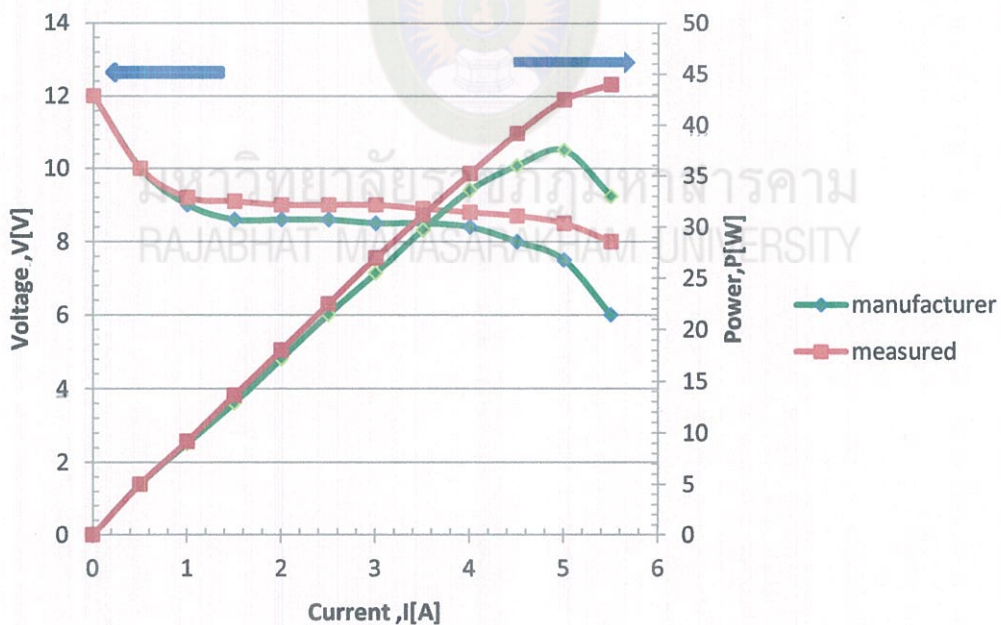


รูปที่ 4.16 ร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาชนิดของน้ำที่แตกต่างกัน (2 g Al, 20 wt% NaOH, $H_2O/Al=10$, $T=35^{\circ}C$)

จากรูปที่ 4.14 พบว่า อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับชนิดของน้ำประปา น้ำทะเล และน้ำกลั่น มีแนวโน้มพบว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 0-3 วินาที จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 4-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนน้ำทะเล ลดลงเร็วกว่า น้ำประปา และ น้ำกลั่น ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ชนิดของน้ำกลั่นและน้ำทะเล ช่วงเวลาประมาณ 0-4 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกัน จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 5-20 วินาที อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราการลดลงสำหรับชนิดของน้ำทะเลลดลงเร็วกว่า น้ำประปาและน้ำกลั่นตามลำดับ รูปที่ 4.15 และ 4.16 เป็นผลของร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับชนิดของน้ำที่แตกต่างกัน พบว่าร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยที่ อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับน้ำประปา มีค่าร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับน้ำทะเลและน้ำกลั่น เมื่อพิจารณาอัตราการเกิดไฮโดรเจนและร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจน พบว่า ร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับน้ำประปา น้ำทะเล และน้ำกลั่น ช่วงเวลาประมาณ 0-3 วินาที มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จากนั้นช่วงเวลาประมาณ 4-20 วินาที มีแนวโน้มลดลง ร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับน้ำประปาเท่ากับ 92.4 ร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับน้ำทะเลเท่ากับ 87.8 และร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับน้ำกลั่น เท่ากับ 90.2 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกอัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับน้ำประปา เหมาะสมกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน เพราะมีอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนและร้อยละผลได้อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับน้ำประปา มีค่ามากที่สุด

4.6 ผลของการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็่ม

เมื่อนำแผ่นอลูมิเนียมขนาด 2x2 ตารางมิลลิเมตร น้ำหนัก 2 กรัม ใส่ลงในถัง Reactor จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 20 wt% แล้วเปิดวาล์วถังใส่น้ำกลั่น ให้น้ำไหลลงไปอยู่ในถัง Reactor ปริมาณน้ำ 20 มิลลิลิตร ได้อัตราส่วนระหว่างน้ำประปาและอลูมิเนียมเท่ากับ 10 วัตต์อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส นำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้มา ทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็่ม (H-30 Horizon) ทดสอบที่ความดัน 1atm และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์โหลด มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า จากนั้นวิเคราะห์ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงเปลี่ยนชนิดของก๊าซไฮโดรเจนจากก๊าซที่ผลิตได้เป็นก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงที่ทดสอบด้วยก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้และก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์



รูปที่ 4.17 ความต่างศักย์ กำลังไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงกับกระแสไฟฟ้า (P=1atm, T=80°C)

จากรูปที่ 4.17 พบว่า เมื่อนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้มาและไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์ ทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพีอีเอ็ม (H-30 Horizon) ทดสอบที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส วัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์โหลด เมื่อพิจารณากราฟทางด้านซ้ายมือ เป็นความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพีอีเอ็มที่ป้อนก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกับก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์ และเมื่อพิจารณากราฟทางด้านขวามือ เป็นความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพีอีเอ็มที่ป้อนก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกับก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

5.1 การออกแบบวิธีการผลิตก๊าซไฮโดรเจน และอุปกรณ์ต่างๆ ในการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนประกอบด้วย

5.1.1 ถังใส่น้ำ มีความสูง 12.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ฐานวางรอง 8 เซนติเมตร เพื่อให้ตัวถังอยู่สูงกว่า Reactor ให้น้ำไหลลงไปใน Reactor

5.1.2 ถัง Reactor มีความสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร จากเงื่อนไขใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีความเป็นเบสสูง ต้องใช้ถัง Reactor ทนต่อความดันและความร้อนที่เกิดขึ้นของก๊าซไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยา

5.1.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดอุณหภูมิของก๊าซภายใน Reactor

5.1.4 เครื่องวัดความดัน วัดความดันภายใน Reactor

5.1.5 เครื่องวัดอัตราการไหล วัดอัตราการไหลที่ออกจาก Reactor

5.1.6 ถังกรองตะกอน มีความสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร เป็นถังใส่น้ำเพื่อที่จะให้สิ่งปฏิกูลที่มากับก๊าซตกตะกอนและลดอุณหภูมิของก๊าซลดลง

5.1.7 ถังเก็บก๊าซ มีความสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ถังนี้จะเติมน้ำเต็มถังเพื่อจะให้ก๊าซที่ไหลผ่าน มาแทนที่น้ำ

5.2 ผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม

อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 10 เหมาะสมกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ร้อยละผลได้ อัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียมที่ 10 เท่ากับ 82.6 มีอัตราการการเพิ่มของก๊าซไฮโดรเจนที่สูงและมีอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนช้า

5.3 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 wt% เหมาะสมกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ร้อยละผลได้ของค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 wt% เท่ากับ 82.6 มีอัตราการการเพิ่มของก๊าซไฮโดรเจนที่สูงและมีอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนช้า

5.4 ผลของอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาสำหรับอุณหภูมิของน้ำ 35 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ร้อยละผลได้สำหรับอุณหภูมิของน้ำ 35 องศาเซลเซียส เท่ากับ 83.2 มีอัตราการเพิ่มของก๊าซไฮโดรเจนที่สูงและมีอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนช้า

5.5 ผลของชนิดของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

อัตราการเกิดไฮโดรเจนกับเวลาชนิดของน้ำประปา เหมาะสมกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ร้อยละผลได้สำหรับชนิดของน้ำประปา เท่ากับ 92.4 มีอัตราการเพิ่มของก๊าซไฮโดรเจนที่สูงและมีอัตราการลดลงของก๊าซไฮโดรเจนช้า

5.6 ผลของการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเซลล์

ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า มีประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเซลล์ที่ป้อนก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ค่าใกล้เคียงกับก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์ และความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า มีประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเซลล์ที่ป้อนก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ค่าใกล้เคียงกับก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์

อภิปรายผล

การออกแบบเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนใช้วัสดุที่ทำด้วยอะคริลิกพลาสติก เพราะทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีและการออกแบบขนาดนั้นเป็นการออกแบบเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนต้นแบบขนาดเหมาะสมสำหรับวิจัย ก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะเกิดช่วงเวลาสั้นๆยังไม่คงที่

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

งานวิจัยนี้การออกแบบเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนใช้วัสดุที่ทำด้วยอะคริลิกพลาสติก ยังขาดความแข็งแรงคงทนของอุปกรณ์ และก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะเกิดก๊าซช่วงเวลาสั้นๆยังใช้แทนก๊าซไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์ไม่ได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้การออกแบบเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนใช้วัสดุที่ทำด้วยอะคริลิกพลาสติก ไม่สามารถเพิ่มอุณหภูมิในถัง Reactor ได้ ควรออกแบบเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนใช้วัสดุที่ทำด้วยโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเช่น เหล็กกล้าไร้สนิม การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเซลล์ยังขาดเครื่องทดสอบ Test station สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้มาตรฐาน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

[1] พลังงาน, กระทรวง. (2554).รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย ทดสอบ ระบบผลิตไฮโดรเจนจากน้ำใช้ในรถยนต์และกำหนดแนวทางพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานไฮโดรเจนรองรับแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี

[Online].Available:<http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/Bib14394>

[2] พลังงาน, กระทรวง. คุณสมบัติของไฮโดรเจน. (2555).

[Online]. Available:<http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bers/1>

[3] กฤษณา แซ่เฮ็ง.(2554).พลังงานไฮโดรเจน แรงขับเคลื่อนใหม่ที่ใช้น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ.[Online].Available:<http://www.manager.co.th/daily/ViewNews.aspx?NewsID=9540000077925>

[4] ปรียา อนุพงษ์อองอาจ. กฎของก๊าซ. (2553).

[Online].Available:www.rsu.ac.th/science/physics/pom/physics1/gas/gas.

[5] วินซ์ แก้วโกมินทวงษ์. (2549). การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการนำพลังงานไฮโดรเจนมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์. เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา วิชา เศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

[6] Rosenband V, Gany A. Application of activated aluminum powder for generation of hydrogen from water. Int J Hydrogen Energy 2010;35:10898e904.

[7] Wang HZ, Leung DYC, Leung MKH, Ni M. A review on hydrogen production using aluminum and aluminum alloys. Renew Sustain Energy Rev 2009;13(4):845e53.

[8] Kravchenko OV, Semenenko KN, Bulychev BM, Kalmykov KB. Activation of aluminum metal and its reaction with water. J Alloys Compd 2005;397(1e2):58e62.

[9] Ziebarth JT, Woodall JM, Kramer RA, Choi G. Liquid phaseenabled reaction of AlGa and AlGaeInSn alloys with water. Int J Hydrogen Energy 2011;36:5271e9.

- [10] Wang H, Chang Y, Dong S, Lei Z, Zhu Q, Luo P, et al. Investigation of hydrogen production using multicomponent aluminum alloys at mild conditions and its mechanism. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:1236e43.
- [11] Ilyukhina AV, Ilyukhin AS, Shkolnikov EI. Hydrogen generation from water by means of activated aluminum. *Int J Hydrogen Energy* 2012;37:16382e7.
- [12] Fan MQ, Xu F, Sun LX. Studies on hydrogen generation characteristics of hydrolysis of the ball milling Al-based materials in pure water. *Int J Hydrogen Energy* 2007;32:2809e15.
- [13] Mahmoody K, Alinejad B. Enhancement of hydrogen generation rate in reaction of aluminum with water. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:5227e32.
- [14] Uehara K, Takeshita H, Kotaka H. Hydrogen gas generation in the wet cutting of aluminum and its alloys. *J Mater Process Technol* 2002;127(2):174e7.
- [15] Alinejad B, Mahmoodi K. A novel method for generating hydrogen by hydrolysis of highly activated aluminum nanoparticles in pure water. *Int J Hydrogen Energy* 2009;34(19):7934e8.
- [16] Razavi-Tousi SS, Szipunar JA. Effect of structural evolution of aluminum powder during ball milling on hydrogen generation in aluminum-water reaction. *Int J Hydrogen Energy* 2013;38:795e806.
- [17] Soler L, Macana´s J, Muñoz M, Casado J. Aluminum and aluminum alloys as sources of hydrogen for fuel cell applications. *J Power Sources* 2007;169(1):144e9.
- [18] Soler L, Macana´s J, Muñoz M, Casado J. Synergistic hydrogen generation from aluminum, aluminum alloys and sodium borohydride in aqueous solutions. *Int J Hydrogen Energy* 2007;32:4702e10.
- [19] Yavor Y, Goroshin S, Bergthorson J, Frost D, Stowe R, Ringuette S. Aluminum-water reaction kinetics at temperatures up to 150°C. In: 9th international symposium on special topics in chemical propulsion (9-ISICP), Quebec, Canada; July 9e13, 2012.
- [20] Yavor Y, Goroshin S, Bergthorson J, Frost D, Stowe R, Ringuette S. Enhanced (2013) hydrogen generation from aluminum-water reactions. *Int J Hydrogen Energy*

[21] Vlaskin MS, Shkolnikov EI, Bersh AV. (2011) Oxidation kinetics of micron-sized aluminum powder in hightemperature boiling water. Int J Hydrogen Energy

Fig. 20 e Power vs. time provided by a Horizon H-30 fuel cell with a 1.8 U resistance load during a hydrogen production experiment.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

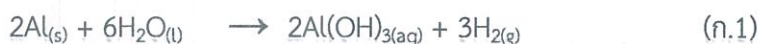


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

แสดงตัวอย่างการคำนวณ

1. หาร้อยละผลได้ของก๊าซไฮโดรเจน



จากสูตรหาร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน

$$\text{ร้อยละผลได้} = \frac{\text{ปริมาตรของไฮโดรเจนที่ผลิตได้}}{\text{ปริมาตรไฮโดรเจนจากทฤษฎี}} \times 100\% \quad (\text{ก.2})$$

เมื่อปริมาตรของไฮโดรเจนที่ผลิตได้ โดยคำนวณจากสมการ (ข.2)

$$\text{ปริมาตรไฮโดรเจนจากทฤษฎี} = (a\%/27) \times 1.5 \times 24.45 \times m$$

$$a\% = \text{เปอร์เซ็นต์อลูมิเนียม}$$

$$m = \text{มวลของอลูมิเนียมที่ใช้}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากสมการหาปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซไฮโดรเจนโดยคำนวณจาก

สมการ

$$\rho = m / V \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

m คือ มวล (กรัม)

V คือ ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

เมื่อแทนค่ามวลของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยก๊าซไฮโดรเจน 153.47 กรัม และความหนาแน่นของน้ำ 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร แทนค่าในสมการ (ก.3)

$$\rho = m / V$$

จะได้

$$1 = 153.47 / V$$

$$V = 153.47 / 1$$

$$V = 153.47$$

ดังนั้น ปริมาตรที่ได้เท่ากับ 153.47 ลูกบาศก์เซนติเมตร

จากนั้นคำนวณหาปริมาตรไฮโดรเจนจากทฤษฎี = $(a\%/27) \times 1.5 \times 24.45 \times m$

เมื่อ $a\%$ คือ 0.99 m คือ มวลของอลูมิเนียมที่ใช้

จะได้

$$= (0.99/27) \times 1.5 \times 24.45 \times 0.4$$

$$= 0.5379 \text{ ลิตร}$$

เปลี่ยนหน่วยลิตรเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

จะได้

$$= 0.5379 \times 1,000$$

$$= 537.9 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิจัย

จากการทดลองหาค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของไฮโดรเจน ได้แก่ ผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ผลของอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ผลของชนิดของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจนและผลของการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็ลล์ ได้ผล ดังตารางที่ ข-1 - ข-10

ตารางที่ ข-1 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร โดยใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 wt% ผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม

เวลา (วินาที)	H ₂ O/Al = 7.5 (ml)	H ₂ O/Al = 10 (ml)	H ₂ O/Al = 12.5 (ml)	H ₂ O/Al = 15 (ml)
0	0	0	0	0
0.5	25	24	10	7
1	241	51	54	28
1.5	294	132	62	51
2	210	100	50	71
2.5	264	71	48	62
3	246	182	45	50
3.5	289	267	43	44
4	268	235	51	53
4.5	198	226	78	72
5	147	183	154	110
5.5	74	162	121	149
6	51	152	152	120
6.5	27	134	128	101
7	12	100	140	110
7.5	5	82	169	124

8	0	52	140	130
8.5	0	38	134	144
9	0	26	123	150
9.5	0	16	112	142
10	0	8	101	112
10.5	0	2	81	90
11	0	0.5	63	71
11.5	0	0	32	45
12	0	0	22	31
12.5	0	0	11	13
13	0	0	4	8
13.5	0	0	1	5
14	0	0	0	0.4

ตารางที่ ข-2 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร โดยใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 wt% ผลของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างน้ำและอลูมิเนียม ร้อยละผลได้

เวลา (วินาที)	H ₂ O/Al = 7.5 (%)	H ₂ O/Al = 10 (%)	H ₂ O/Al = 12.5 (%)	H ₂ O/Al = 15 (%)
0	0	0	0	0
0.5	0.92	0.88	0.36	0.25
1	9.79	2.76	2.35	1.28
1.5	20.62	7.62	4.64	3.16
2	28.36	11.30	6.48	5.78
2.5	38.08	13.92	8.25	8.06
3	47.14	20.62	9.90	9.90
3.5	57.79	30.46	11.49	11.52
4	67.66	39.11	13.37	13.48

4.5	74.95	47.44	16.24	16.13
5	80.36	54.18	21.91	20.18
5.5	83.09	60.14	26.37	25.67
6	84.97	65.74	31.97	30.09
6.5	85.96	70.68	36.68	33.81
7	86.40	74.36	41.84	37.86
7.5	86.59	77.38	48.06	42.43
8	86.59	79.30	53.22	47.21
8.5	86.59	80.69	58.15	52.52
9	86.59	81.65	62.68	58.04
9.5	86.59	82.24	66.81	63.27
10	86.59	82.54	70.53	67.40
10.5	86.59	82.61	73.51	70.71
11	86.59	82.63	75.83	73.33
11.5	86.59	82.63	77.01	74.99
12	86.59	82.63	77.82	76.13
12.5	86.59	82.63	78.23	76.61
13	86.59	82.63	78.37	76.90
13.5	86.59	82.63	78.41	77.09
14	86.59	82.63	78.41	77.10

ตารางที่ ข-3 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร
ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

เวลา (วินาที)	%NaOH = 15 (ml)	%NaOH = 20 (ml)	%NaOH = 25 (ml)
0	0	0	0
0.5	2	24	1
1	6	51	4
1.5	10	132	8
2	23	100	22

2.5	32	71	31
3	41	182	64
3.5	47	267	82
4	53	235	93
4.5	81	226	101
5	92	183	183
5.5	104	162	245
6	115	152	345
6.5	124	134	267
7	116	100	224
7.5	107	82	128
8	86	52	102
8.5	77	38	97
9	64	26	85
9.5	53	16	65
10	48	8	56
10.5	41	2	23
11	32	0.5	4
11.5	23	0	1
12	21	0	0
12.5	18	0	0
13	16	0	0
13.5	14	0	0
14	11	0	0

ตารางที่ ข-4 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร
ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละผลได้

เวลา (วินาที)	%NaOH = 15 (%)	%NaOH = 20 (%)	%NaOH = 25 (%)
0	0	0	0
0.5	0.07	0.88	0.03
1	0.29	2.76	0.18
1.5	0.66	7.62	0.47
2	1.51	11.30	1.28
2.5	2.68	13.92	2.43
3	4.19	20.62	4.78
3.5	5.93	30.46	7.80
4	7.88	39.11	11.23
4.5	10.86	47.44	14.95
5	14.25	54.18	21.69
5.5	18.08	60.14	30.71
6	22.32	65.74	43.42
6.5	26.88	70.68	53.25
7	31.16	74.36	61.51
7.5	35.10	77.38	66.22
8	38.26	79.30	69.98
8.5	41.10	80.69	73.55
9	43.46	81.65	76.68
9.5	45.41	82.24	79.07
10	47.18	82.54	81.14
10.5	48.69	82.61	81.98
11	49.87	82.63	82.13
11.5	50.71	82.63	82.17
12	51.49	82.63	82.17

12.5	52.15	82.63	82.17
13	52.74	82.63	82.17
13.5	53.25	82.63	82.17
14	53.66	82.63	82.17

ตารางที่ ข-5 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร
ผลของอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

เวลา (วินาที)	tem = 25 (ml)	tem = 35 (ml)	tem = 55 (ml)	tem = 75 (ml)
0	0	0	0	0
0.5	24	50	154	254
1	51	112	324	413
1.5	132	115	287	284
2	100	254	259	226
2.5	71	298	258	204
3	146	267	267	264
3.5	261	254	215	246
4	231	286	189	189
4.5	200	197	157	158
5	183	176	134	118
5.5	162	153	126	87
6	152	110	50	62
6.5	134	34	14	45
7	100	16	8	6
7.5	82	8	5	4
8	52	3	1	1
8.5	38	1	0	0
9	26	0	0	0

9.5	16	0	0	0
10	8	0	0	0
10.5	2	0	0	0
11	0.5	0	0	0

ตารางที่ ข-6 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร
ผลของอุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ร้อยละผลได้

เวลา (วินาที)	tem = 25 (%)	tem = 35 (%)	tem = 55 (%)	tem = 75 (%)
0	0	0	0	0
0.5	0.88	1.78	5.15	8.01
1	2.76	5.77	15.99	21.03
1.5	7.62	9.87	25.59	29.99
2	11.30	18.92	34.26	37.12
2.5	13.92	29.54	42.89	43.55
3	19.30	39.05	51.83	51.88
3.5	28.91	48.10	59.02	59.64
4	37.42	58.29	65.35	65.60
4.5	44.78	65.31	70.60	70.58
5	51.52	71.59	75.08	74.30
5.5	57.49	77.04	79.30	77.05
6	63.09	80.96	80.97	79.00
6.5	68.02	82.17	81.44	80.42
7	71.71	82.74	81.71	80.61
7.5	74.73	83.02	81.88	80.74
8	76.64	83.13	81.91	80.77
8.5	78.04	83.17	81.91	80.77

9	79.00	83.17	81.91	80.77
9.5	79.59	83.17	81.91	80.77
10	79.88	83.17	81.91	80.77
10.5	79.96	83.17	81.91	80.77
11	79.98	83.17	81.91	80.77

ตารางที่ ข-7 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร
ผลของชนิดของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

เวลา (วินาที)	Water tap (ml)	Sea (ml)	Distilled (ml)
0	0	0	0
0.5	24	25	22
1	124	80	65
1.5	132	92	82
2	149	120	124
2.5	226	223	173
3	389	495	185
3.5	261	420	192
4	185	286	224
4.5	162	165	200
5	154	104	183
5.5	143	87	162
6	124	64	152
6.5	110	59	134
7	100	46	122
7.5	82	34	116
8	52	26	92

8.5	38	19	86
9	26	15	64
9.5	16	12	35
10	8	8	25
10.5	2	5	8
11	0.5	0	2

ตารางที่ ข-8 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร
ผลของชนิดของน้ำเริ่มต้นที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ร้อยละผลได้

เวลา (วินาที)	Water tap (%)	Sea (%)	Distilled (%)
0	0	0	0
0.5	0.88	0.92	0.81
1	5.45	3.86	3.20
1.5	10.31	7.25	6.22
2	15.80	11.67	10.79
2.5	24.12	19.88	17.16
3	38.45	38.12	23.97
3.5	48.06	53.59	31.04
4	54.88	64.12	39.30
4.5	60.84	70.20	46.66
5	66.51	74.03	53.40
5.5	71.78	77.23	59.37
6	76.35	79.59	64.97
6.5	80.40	81.76	69.90
7	84.08	83.46	74.40
7.5	87.10	84.71	78.67

8	89.02	85.67	82.06
8.5	90.42	86.37	85.23
9	91.38	86.92	87.58
9.5	91.97	87.36	88.87
10	92.26	87.66	89.79
10.5	92.33	87.84	90.09
11	92.35	87.84	90.16

ตารางที่ ข-9 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร
ผลของการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็ล กระแส-โวลท์

current (A)	Voltage- manufacturer (V)	Voltage- measurement (V)
0	12	12
0.5	10	10
1	9	9.2
1.5	8.6	9.1
2	8.6	9
2.5	8.6	9
3	8.5	9
3.5	8.5	8.9
4	8.4	8.8
4.5	8	8.7
5	7.5	8.5
5.5	6	8

ตารางที่ ข-10 แสดงตารางการเกิดไฮโดรเจนของอลูมิเนียมแผ่น ขนาด 2x2 เซนติเมตร
ผลของการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไปประยุกต์ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็ลล์ กระแส-วัตต์

current (A)	watt- manufacturer (V)	watt- measurement (V)
0	0	0
0.5	5	5
1	9	9.2
1.5	12.9	13.65
2	17.2	18
2.5	21.5	22.5
3	25.5	27
3.5	29.75	31.15
4	33.6	35.2
4.5	36	39.15
5	37.5	42.5
5.5	33	44

ภาคผนวก ค

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม

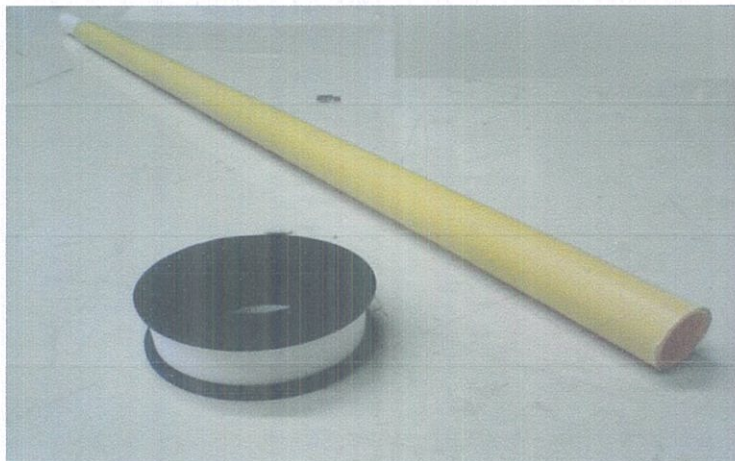
ในการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียมนี้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ ค-1 อะคริลิกพลาสติกแบบแผ่น



รูปที่ ค-2 ท่อก๊าซ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 6 มิลลิเมตร

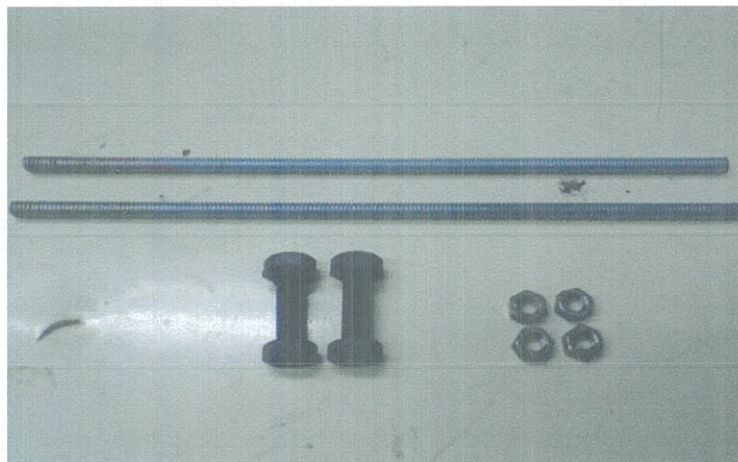


รูปที่ ค-3 เทปขาวพันเกลียวและท่อพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 25 มิลลิเมตร



รูปที่ ค-4 อุปกรณ์ข้อต่อก๊าซ

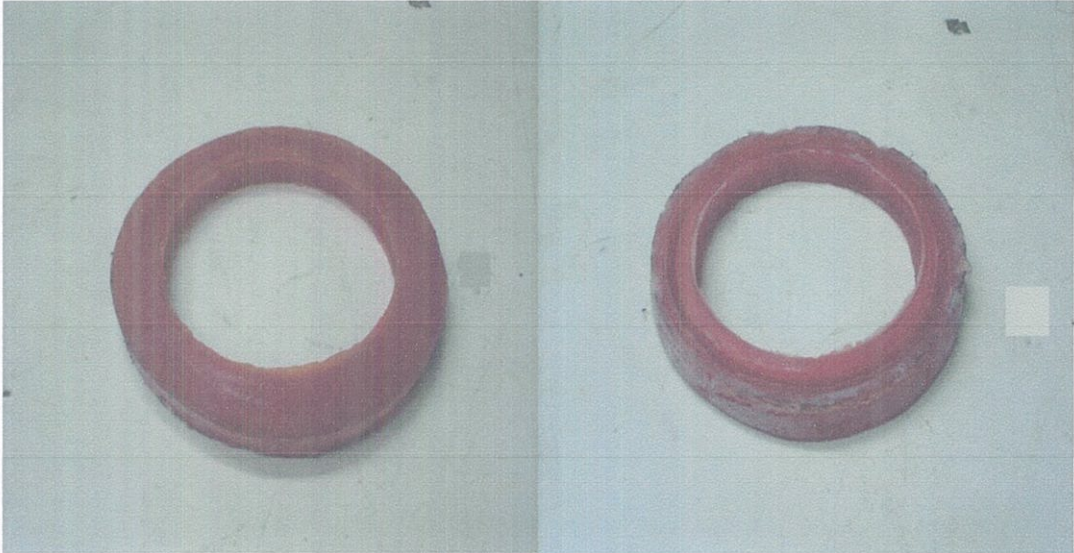
1. วาล์วเปิด-ปิด ขนาด 1/8
2. เกลียวทางปลา 1/8
3. ทางปลาสามทาง
4. เกลียวข้องอ



รูปที่ ค-5 เกลียวเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และน็อต



รูปที่ ค-6 ท่ออะคริลิกพลาสติกใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ ค-7 โอรัง (ยางพารา)



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

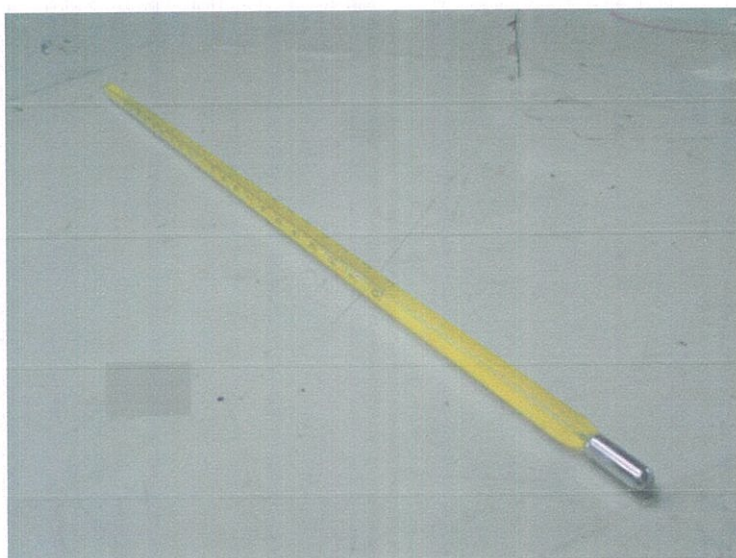
ภาคผนวก ง

สารเคมี อุปกรณ์และภาพประกอบการทำวิจัย

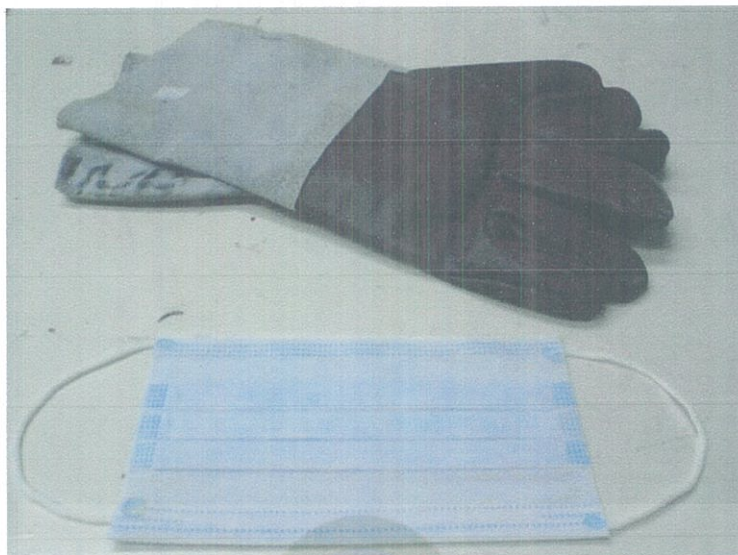
ในการทำวิจัยนี้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ ง-1 ประแจ ขนาดเบอร์ 10



รูปที่ ง-2 เทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ ง-3 ถุงมือและผ้าปิดจมูก



รูปที่ ง-4 ชุดทำโอรังจากยีส

1. ยีส
2. ท่อ พีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.5 ซม.
3. แผ่นไม้อัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม.
4. ดินน้ำมัน
5. เจลปิโตรเลียม



รูปที่ ง-5 เวอร์เนียคาลิปเปอร์



รูปที่ ง-6 น้ำกลั่นบริสุทธิ์



รูปที่ ง-7 เครื่องชั่งดิจิทัล 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ (OHAUS) รุ่น PA4102



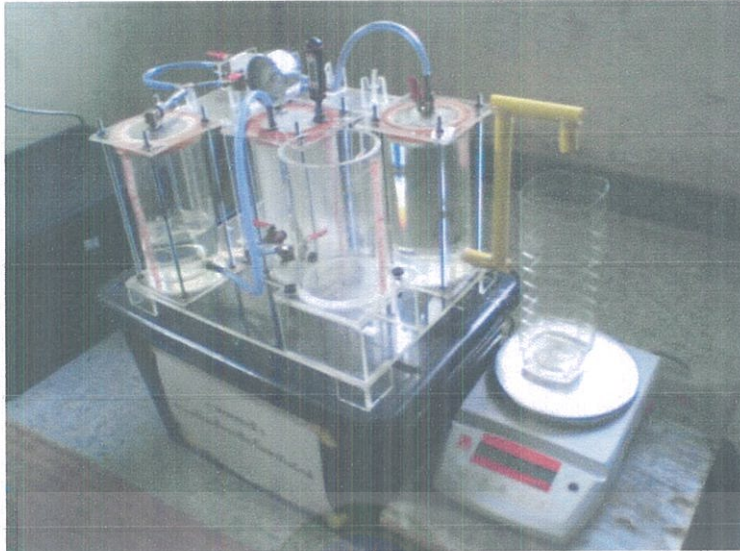
รูปที่ ง-8 หมุนน็อตด้วยประแจเพื่อปิดฝาโดยยึดระหว่างฝาปิดกับฐานรอง



รูปที่ ง-9 การทำปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมแผ่นกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)



รูปที่ ง-10 น้ำไหลออกมาโดยก๊าซเข้ามาแทนที่ในถังน้ำ รองด้วยภาชนะใส่น้ำที่วางบนเครื่องชั่ง
ดิจิตอล



รูปที่ ง-11 ชุดการทดลองการผลิตไฮโดรเจนจากชยะอลูมิเนียม



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายพรชัย ชินสา
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Pornchai Chinnasa
2. เลขหมายประจำตัวประชาชน 334160112984 1
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
เลขที่ 80 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000
โทรศัพท์ 087-0659622
E-mail : chinnasa@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาโท วท.ม. เทคโนโลยีเชื้อเพลิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 - ปริญญาตรี วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
 - พลังงานทดแทน พลังงานไฮโดรเจน และเซลล์เชื้อเพลิง
7. งานวิจัย
P. Chinnasa, K. Pruksathorn and S. Woramongkolchai., "Preparation of metal coated carbon composite bipolar plate", The 12th National Graduate Research Conference, Khon Kean University, Thailand, February 12 – 13, (2009)