รูปแบบของรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์
แหล่งทุน : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

1. ปกนอก
2. รองปก
3. ปกใน
4. บทคัดย่อภาษาไทย
5. บทคัดย่อภาษาอังกฤษ
6. กิตติกรรมประกาศ
7. สารบัญ
8. สารบัญตาราง
9. สารบัญภาพ / แผนภูมิ / อื่น ๆ (ถ้ามี)
10. บทที่ 1 บทนำ
11. บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
12. บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
13. บทที่ 4 ผลการวิจัย
14. บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ
15. บรรณานุกรม
16. ภาคผนวก (ผู้ทรงคุณวุฒิ, เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย , แบบสอบถาม หรืออื่น ๆ)
17. ประวัติผู้วิจัย
18. สันเล่มรายงานการวิจัย (ระบุเลขรหัส ชื่องานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย ปีพ.ศ.ที่ทำเสร็จ)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หมายเหตุ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK

รายงานการวิจัย

เรื่อง

สร้างเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนผลิตไฟฟ้าจากน้ำ

Fabrication backup power proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) generation electrical from water

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พรชัย ชิณสา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เก็จวลี พฤกษาทร ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ รองศาสตราจารย์ ดร. เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรุณาให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัย เป็นทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ขอขอบคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์และฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ตลอดจนเป็นกำลังใจให้ตลอดมาในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้ทำการวิจัย ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดาของผู้ทำการวิจัย ที่ให้การอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ เวลา จนสำเร็จตาม ความมุ่งหมาย คุณค่าและเกียรติภูมิใดๆ อันพึงมีในโครงงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตเวทีคุณแก่บิดา มารดา และบูรพาจารย์ทุกท่าน

คณะผู้วิจัย

2561

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย สร้างเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนผลิตไฟฟ้าจากน้ำ

ผู้ดำเนินการวิจัย นาย พรชัย ชิณสา

ที่ปรึกษา รศ.ดร. เก็จวลี พฤกษาทร ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร. เอกพรรณ สวัสดิ์ชิตัง ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หน่วยงาน สาขาวิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปี พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากก๊าซไฮโดรเจนและปัจจัยการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาผสมอลูมิเนียมและน้ำทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน ผลของตัวแปรต่าง ๆที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจน เช่นอัตราส่วนน้ำ,สัดส่วนอลูมิเนียมต่อคาร์บอนนาโนทิวป์(CNT) ความเข้มเข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และขนาดอนุภาคของวัสดุผสมคาร์บอนนาโนทิวป์(CNT) กับอลูมิเนียม โดยเครื่องกำเนิดก๊าซไฮโดรเจนประกอบด้วย ถังใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม.หนา 0.5 ซม.สูง 15 ซม. ถังการเกิดปฏิกริยาก๊าซไฮโดรเจนและถังก๊าซแทนที่น้ำ โดยแต่ละส่วนกว้าง 3 ซม.ยาว 4 ซม.สูง 8 ซม

ผลการทดลองพบว่าร้อยละผลได้และอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำและตัวเร่งปฏิกิริยาผสมอลูมิเนียม ผลของตัวแปรต่าง ๆที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮดรเจน เช่นอัตราส่วนน้ำ,สัดส่วนอลูมิเนียมต่อคาร์บอนนาโนทิวป์(CNT) ความเข้มเข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และขนาดของอนุภาค คาร์บอนนาโนทิวป์(CNT) /อลูมิเนียม พบว่าสัดส่วนอลูมิเนียมต่อคาร์บอนนาโนทิวป์(CNT) 0-5 โดยปริมาตรของคาร์บอนนาโนทิวป์(CNT) ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนและน้ำ ทำให้ได้อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในช่วง 500 - 700 มิลลิลิตรต่อนาทีต่อมวลเป็นกรัมของอะลูมิเนียม (ml/min/g Al) ได้ร้อยละผลได้การเกิดก๊าซไฮโดรเจนสูงสุด ร้อยละ 90.01 จากการสร้างก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาผสมอลูมิเนียมและน้ำทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน ได้นำก๊าซไฮโดรเจนไปประยุกต์ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (PEM) เพื่อสร้างแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่สะอาดและสร้างแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้า

Research Title	Fabrication backup power proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) generation electrical from water
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, Khon Kean University
Organization	Program in Physics Faculty Science and Technology Rajabhat Maha Sarakham University
Year	2018

ABSTRACT

This research fabrication hydrogen generator and effects of hydrogen gas from aluminum and hydrogen production the reaction between activated aluminum and water has been investigated. The effect of different parameters such as water aluminum ratio, CNT and the activation of NaOH into the aluminum particles and pellets nanotubes/aluminum composite with pressure ratio. Reactor hydrogen generation consists of NaOH tank outside diameter 8 cm thick 0.5 cm high 15 cm reactor tank, filter cylinder and gas replaces the water tank. By each part wide 3 cm long 4 cm high 8 cm.

The result rate and yield of hydrogen production from the reaction between activated aluminum and water has been investigated. The effects of different parameters such as water, aluminum ratio and aluminum particle size are being experimented with. The in-house developed aluminum activation method involves 0-5 v% CNT of the NaOH-based activator which is diffused into the aluminum particles. Hydrogen production rates in the range of 500- 700 ml/min/g Al, at a yield of about 90.01%, depending on operating parameters, were demonstrated. The work studied the application in proton exchange membrane (PEM) fuel cells in order to generate green electric energy, demonstrating theoretical specific electric energy storage.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญภาพ.....ช

บทที่ 1 บทนำ.....1
ความเป็นมาและความสำคัญ.....1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
ขอบเขตการวิจัย.....3
สมมติฐานการวิจัย.....3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
ท่อนาโนคาร์บอน.....3
คุณสมบัติท่อนาโนคาร์บอน.....4
ไฮโดรเจน.....7
คุณสมบัติของไฮโดรเจน.....7
การผลิตก๊าซไฮโดรเจน.....13
ความหมายของอลูมิเนียม.....14
กฎของก๊าซ.....17
กฎของอาร์คีมีดีส.....18
ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน.....19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....19

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....22
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....22
วิธีการการทดลอง.....24
การประยุกต์ใช้งาน.....31

บทที่ 4 ผลการวิจัย.....34
การออกแบบสร้างเครื่องมือ.....34
ผลของความดันอัดเม็ดอลูมิเนียม.....37
ผลของการผสมท่อนาโนคาร์บอน.....46
ผลของการนำไปใช้งาน.....46

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....49
สรุปผลการวิจัย.....49
อภิปรายผล.....52
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้.....52

บรรณานุกรม.....53
บรรณานุกรมภาษาไทย.....53
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ.....54

ภาคผนวก.....55
ภาคผนวก ก การคำนวณการวิจัย.....56
ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิจัย.....62
ภาคผนวก ค อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....74
ภาคผนวก ง สารเคมี อุปกรณ์และภาพประกอบการทำวิจัย.....79
ประวัติผู้วิจัย.....85

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ข-1	เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน 1 เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน 2 N/m^2, 3 N/m^2, 5 N/m^2	63
ข-2	เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน **2** เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน 2 N/m^2, 3 N/m^2, 5 N/m^2	64
ข-3	เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน **3** เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน 2 N/m^2, 3 N/m^2, 5 N/m^2	65
ข-4	เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน **4** เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน **2** N/m^2 3 N/m^2 5 N/m^2	66
ข-5	เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน **5** เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน 2 N/m^2, 3 N/m^2, 5 N/m^2	67
ข-6	เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของอลูมิเนียมที่ความดัน **2 N/m^2, 3 N/m^2,** 5 N/m^2	68
ข-7	เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของอลูมิเนียมที่ความดัน 5 N/m^2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ	69
ข-8	การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของตัวเร่งปฏิกริยา Pt	70
ข-9	การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของตัวเร่งปฏิกริยา Pt (ต่อ)	71
ข-10	การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของตัวเร่ง ปฏิกริยา CdS/CNT/C	72
ข-11	การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของตัวเร่ง ปฏิกริยา CdS/CNT/C (ต่อ)	73

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ท่อนาโนคาร์บอน	3
2.2	ท่อนาโนคาร์บอนแบบมีผนังชั้นเดียวหรือผนังเดี่ยว (singlewall carbon nanotube : SWCNT)	4
2.3	ท่อนาโนคาร์บอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 นาโนเมตร	5
2.4	แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนและแหล่งปล่อยอิเล็กตรอน	6
2.5	ปริมาณการผลิตไฮโดรเจนทั่วโลก	8
2.6	สัดส่วนการใช้ไฮโดรเจนแบ่งตามประเทศและทวีป	9
2.7	รายละเอียดกระบวนเคมีความร้อน	12
2.8	แสดงการทดลองของบอยล์	15
2.9	การทดลองของชาร์ลส์	16
2.10	การทดลองของอาร์คีมีดีส	18
3.1	แสดงวิธีการสร้างไฮโดรเจน	24
3.2	แสดงกระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจน	25
3.3	แสดงการออกแบบบล็อคอัดเม็ด	28
3.4	นำสาร CNT/Al ใส่บล็อค	28
3.5	ประกอบแบบเข้า	29
3.6	นำบล็อกเข้าเครื่องอัดเม็ด	29
3.7	นำเม็ดออกจากบล็อก	29
3.8	เม็ด CNT/Al ที่ได้จากการอัดเม็ด	30
3.9	การออกแบบนำไปใช้งานของเครื่องผลิตไฮโดรเจน	31
3.10	MEA มาประกอบเป็นเซลล์เชื้อเพลิงแบบเซลล์เดี่ยว	32
3.11	ทดสอบประสิทธิภาพด้วยเครื่อง Fuel cell test station	33
4.1	การออกแบบสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์	35
4.2	การออกแบบสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์	35
4.3	ภาพการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียม	36
4.4	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา	38
4.5	ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน	38

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.6	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา	39
4.7	ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน	39
4.8	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา	40
4.9	ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน	40
4.10	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา	41
4.11	ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน	41
4.12	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา	42
4.13	ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน	42
4.14	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา	43
4.15	ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน	43
4.16	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา	44
4.17	ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนเวลา	44
4.18	การออกแบบการนำไปใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน	45
4.19	แสดงการนำไปใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียม	46
4.20	โพลาไรเซชันของชุดเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวที่ใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C เทียบกับขั้วไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ที่เตรียมจาก Pt/C	47
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส ความต่างศักย์และกาลังไฟฟ้าที่เตรียมจากตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C และ Pt/C	48
ค-1	อะคลิคพลาสติกแบบแผ่น	75
ค-2	ท่อนำก๊าซ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 6 มิลลิเมตร	75
ค-3	เทปขาวพันเกลียวและท่อพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 25 มิลลิเมตร	76
ค-4	อุปกรณ์ข้อต่อก๊าซ	76
ค-5	เกลียวเส้น เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร และน็อต	77
ค-6	ท่ออะคิลิคพลาสติกใสเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 10 เซนติเมตร หน้า 0.5 เซนติเมตร	77
ค-7	โอริง (ยางพารา)	78
ง-1	ประแจ ขนาดเบอร์ 10	80
ง-2	เทอร์โมมิเตอร์	80
ง-3	ถุงมือและผ้าปิดจมูก	81
ง-4	ชุดโอริงจากยางพารา	81

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ง-5	เวอร์เนียคาลิปเปอร์	82
ง-6	น้ำกลั่นบริสุทธิ์	82
ง-7	เครื่องชั่งดิจิตอล	83
ง-8	หมุนน็อตด้วยประแจเพื่อปิดฝายึดระว่างฝาปิดกับฐานรอง	83
ง-9	การทำปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมกับแผ่นโซเดียมไฮดรอกไซด์	84
ง-10	ชุดการทดลองการผลิตไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียม	84

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ในการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซไฮโดรเจนจะต้องทราบถึงกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ความสำคัญของการผลิตพลังงานไฟฟ้า และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซไฮโดรเจน

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานเชื้อเพลิงมีบทบาทต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์เช่น น้ำมันก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้นซึ่งพลังงานเหล่านี้ล้วนเป็นแหล่งพลังงานสิ้นเปลือง (Nonrenewable Energy) แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านปริมาณและความต้องการที่มีมากขึ้นทำให้เชื้อเพลิงเหล่านี้มีราคาเพิ่มสูงการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นเป็นการรณรงค์ให้ใช้เชื้อเพลิงอย่างประหยัดแล้วยังพยายามคิดค้นหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนแหล่งพลังงานเหล่านี้ลักษณะของแหล่งพลังงานใหม่นี้ที่มาทดแทนต้องเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมให้พลังงานสูงและราคาไม่แพงพลังงานจากก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen, H_2) จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความสนใจเพราะเป็นพลังงานที่สะอาด (Clean Energy) ที่ให้ค่าความร้อนสูงและมีราคาไม่แพง เหมาะกับเป็นแหล่งพลังงานทดแทนก๊าซไฮโดรเจนถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีบทบาทสำคัญในอนาคตทั้งนี้เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการเผาไหม้กับก๊าซออกซิเจนโดยจะมีเพียงไอน้ำและความร้อนที่เป็นผลิตภัณฑ์ (Product) ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงอื่นเมื่อเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide, CO_2) เป็นผลิตภัณฑ์ มีผลทำให้เกิดภาวะก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) โดยที่ภาวะก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบโดยตรงต่อการทำให้โลกร้อนขึ้น (Global Warming) นอกจากนี้ยังสามารถนำก๊าซไฮโดรเจนไปผลิตกระแสไฟฟ้าโดยป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมากในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงกว่าอุปกรณ์การผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ มากดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานสิ้นเปลืองได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ทั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของพลังงานทดแทน จึงได้นำองค์ความรู้เรื่องการผลิตก๊าซไฮโดรเจนมาผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อใช้ในครัวเรือน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสร้างก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำ
2. ศึกษาระบบเครื่องสำรองไฟฟ้าสร้างไฟฟ้าจากก๊าซไฮโดรเจน
3. ออกแบบและสร้างนวัตกรรมเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบใหม่สร้างไฟฟ้าจากน้ำ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ได้นวัตกรรมเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบใหม่สร้างไฟฟ้าจากน้ำ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1 สร้างก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาน้ำและขยะอะลูมิเนียม ที่มีท่อนาโนคาร์บอนและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยา

2 สร้างเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนกำลังไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์

3 เตรียมขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรนโดยเทคนิคการฉีดพ่น

4 ศึกษาการเตรียมขั้วอิเล็กโทรดขนาด 49 ตารางเซนติเมตรเท่านั้น

5 สร้างเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนผลิตไฟฟ้าจากน้ำขนาด 100 วัตต์

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

2 สามารถสร้างเซลล์เชื้อเพลิงแบบหน่วยชั้นที่เหมาะสมในการผลิตกระไฟฟ้าที่มาจาก

3 พลังงานไฮโดรเจน เผยแพร่ในงานนำเสนองานวิจัยทั้งระดับชาติ หรือนานาชาติ

4 นำเซลล์เชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้กับเครื่องสำรองไฟฟ้า

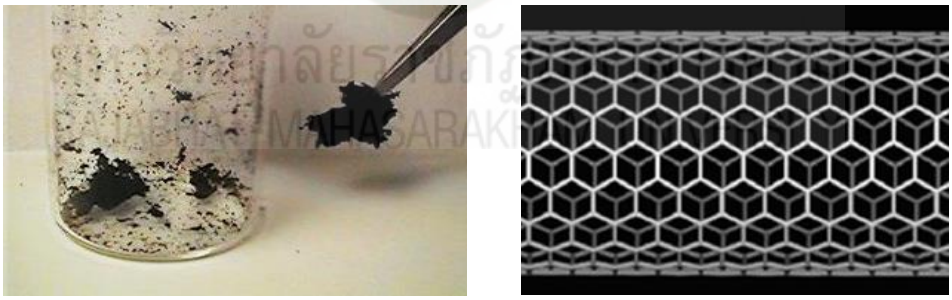
5 จดสิทธิบัตรนวัตกรรมเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบใหม่สร้างไฟฟ้าจากน้ำ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบและสร้างเครื่อง สำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอนจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎี ข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ท่อนาโนคาร์บอน

ท่อนาโนคาร์บอน เป็นโครงสร้างนาโนที่เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ได้รับความสนใจอย่างมากที่สุดจากนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกในขณะนี้ทั้งนี้เนื่องจากว่าท่อนาโนคาร์บอนเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีลักษณะโครงสร้างพิเศษที่แตกต่างไปจากอัญรูปทั้งหมดของธาตุคาร์บอนได้ 3 แบบ ก็คือเพชร กราไฟต์ และบัคมินสเตอร์ฟลูเลอรีน โดยท่อนาโนคาร์บอนนี้เกิดขึ้นจากอะตอมคาร์บอนที่จัดเรียงตัวกันเป็นแผ่นซึ่งมีความลื่นไหลสูงเหมือนกับโครงสร้างของกราไฟต์ อะตอมคาร์บอนเหล่านี้เชื่อมโยงกันเป็นตาข่ายที่มีรูรูปหกเหลี่ยมแต่มีลักษณะที่ม้วนตัวเข้าหากันเป็นท่อหรือเป็นหลอด จึงทำให้โครงสร้างนาโนนี้มีคุณสมบัติที่พิเศษหลายประการ **ดังรูปที่** 2.1



(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 ท่อนาโนคาร์บอน

(ก) ผงท่อนาโนคาร์บอน

(ข) โครงสร้างการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนภายในท่อนาโนคาร์บอน

ที่มา (สถาบันการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล, 2553)

ท่อนาโนคาร์บอนเป็นท่อขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร โดยเป็นท่อที่สังเคราะห์ขึ้นมาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออยู่ในช่วงระหว่าง 0.4-4.0 นาโนเมตร เท่านั้นและยังสามารถสังเคราะห์โครงสร้างที่มีความยาวได้ถึง 10 ไมโครเมตร และท่อนาโนคาร์บอนสามารถสังเคราะห์

ได้โดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบมีผนังชั้นเดียวหรือผนังเดี่ยว (singlewall carbonnanotube **:** SWCNT**)** และแบบที่เป็นผนังหลายชั้น (multiwall carbon nanotube **:** MWCNT**) (**ซึ่งคล้ายกับการเอาท่อเล็กซ้อนกันในท่อใหญ่หลายๆชั้น) แสดงได้ **ดังรูปที่** 2.2

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.2 แบบมีผนังชั้นเดียวหรือผนังเดี่ยว (singlewall carbon nanotube **:** SWCNT**)** และแบบที่เป็นผนังหลายชั้น (multiwall carbon nanotube **:** MWCNT**)**
(ก**)** ท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว
(ข**)** กลุ่มของท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว
(ค**)** ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น
ที่มา (สถาบันเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล, 2553**)**

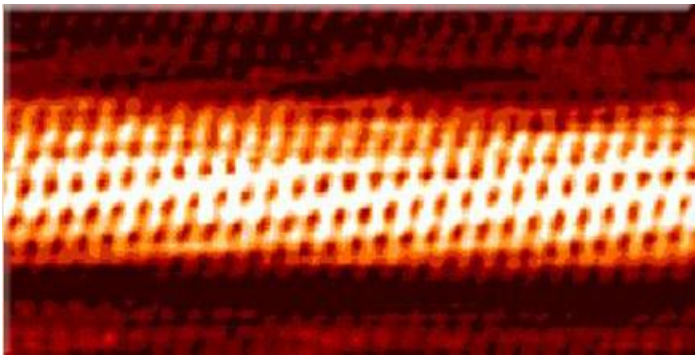
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2 คุณสมบัติท่อนาโนคาร์บอน

ท่อนาโนคาร์บอนเป็นโครงสร้างนาโนที่เหล่านักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาและพบว่าเป็นโครงสร้างที่มีคุณสมบัติพิเศษหลายด้าน ซึ่งสามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายในอนาคต

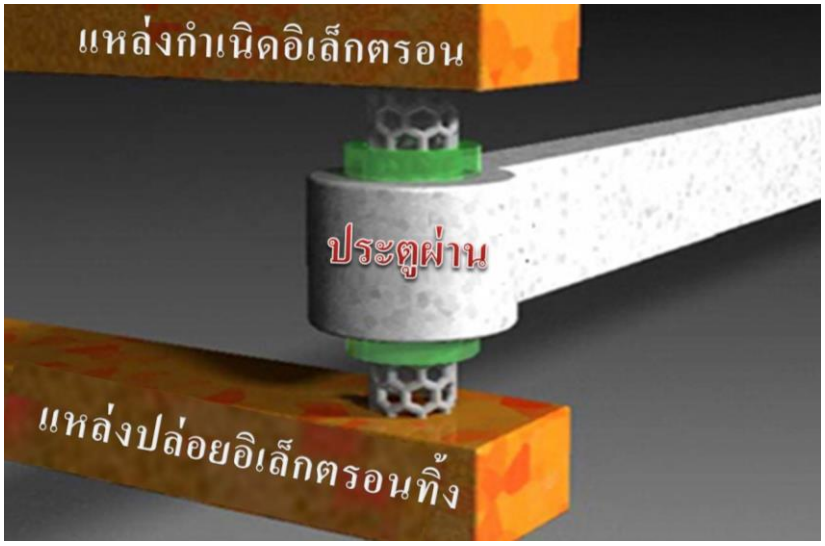
2.2.1 **คุณสมบัติเชิงกล** สิ่งที่พิเศษของท่อนาโนคาร์บอนนี้คือสามารถเป็นโครงสร้างนาโนที่มีความแข็งแกร่งน้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นอย่างมาก โดยจากการศึกษาของเหล่านักวิทยาศาสตร์ และได้กล่าวไว้ว่าท่อนาโนคาร์บอนนี้เป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแกร่งมากกว่าเหล็กเกินกว่า 60 เท่า และท่อนาโนคาร์บอนยังมีน้ำหนักที่เบามาก อีกทั้งเป็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถทนต่อแรงดึงได้มากกว่า 20 เท่า จึงได้มีการนำมาใช้เป็น

วัสดุเสริมแรงในผลิตภัณฑ์หลายชนิด อย่างเช่น อุปกรณ์กีฬากอล์ฟและเทนนิส และมีแนวโน้มในการใช้ผลิตเป็นโครงสร้างของเครื่องบินอีกด้วย



รูปที่ 2.3 ท่อนาโนคาร์บอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 นาโนเมตร
ที่มา (สถาบันการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล, 2553**)**

2.2.2 **คุณสมบัติเชิงไฟฟ้า** จุดเด่นที่น่าสนใจเป็นอย่างมากสำหรับท่อนาโนคาร์บอน คือสามารถเป็นได้ทั้งสารกึ่งตัวนำ หรือเซมิคอนดัคเตอร์ และเป็นตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด หรือซูเปอร์คอนดัคเตอร์ คือตัวนำที่ไม่มีแรงต้านไฟฟ้าเลย โดยขึ้นอยู่กับกระบวนการสังเคราะห์การจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนตามผนังของท่อ สัดส่วนองค์ประกอบ และวัตถุชนิดอื่นที่ผสมลงไปในโครงสร้างท่อนาโน และเนื่องด้วยเป็นโครงสร้างที่เล็กมากในระดับนาโน ท่อนาโนคาร์บอนจึงมีคุณสมบัติควอนตัม คือสามารถควบคุมการไหลของอิเล็กตรอนแบบไม่ต่อเนื่อง โดยอาจจะสามารถควบคุมการไหลทีละกลุ่มของอิเล็กตรอน หรือควบคุมการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทีละตัวได้ จึงได้มีการนำมาใช้งานในการผลิตเป็นทรานซิสเตอร์ที่มีความเร็วสูงและมีความต้านทานต่ำมาก และมีการนำมาพัฒนาในการสร้างเกทพื้นฐานเชิงตรรกะ (logic gate**)** ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างระบบของคอมพิวเตอร์นาโน รวมทั้งมีการพัฒนาที่จะนำท่อนาโนคาร์บอนไปใช้แทนโลหะ ในส่วนที่เป็นขั้วในตัวหลอดสำหรับจ่ายลำอิเล็กตรอนในการประดิษฐ์จอภาพแบบรังสีแคโทด ที่ใช้ในจอทีวี หรือจอคอมพิวเตอร์ด้วยคุณสมบัติที่เหนือกว่าคือสามารถให้ความสม่ำเสมอ ให้ปริมาณที่เพียงพอ และมีอายุการใช้งานของการจ่ายอิเล็กตรอนนานกว่า นอกจากนั้นแล้วยังไม่จำเป็นต้องใช้ในสุญญากาศ และยังเป็นการประหยัดพลังงาน เนื่องจากสามารถจ่ายอิเล็กตรอนได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่จำเป็นต้องเผาไส้หลอดให้แดงอย่างกรณีการใช้โลหะ แสดงได้ **ดังรูปที่** 2.4



รูปที่ 2.4 แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนและแหล่งปล่อยอิเล็กตรอน
ที่มา (สถาบันการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล, 2553**)**

นอกเหนือจากคุณสมบัติพิเศษทั้งในด้านอิเล็กทรอนิกส์และทางด้านวัสดุศาสตร์แล้วมีรายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับท่อนาโนคาร์บอนในด้านนาโนเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อใช้เป็นพาหะในการทำยีนหรือพันธุกรรมบำบัด (gene therapy**)** โดยปกติแล้วการทำยีนบำบัด คือการนำส่งยีนที่ขาดหายไปหรือต้องการใช้ในการรักษาโรคเข้าสู่ร่างกายของผู้ป่วยเพื่อใช้ในการสร้างโปรตีนที่เหมาะสมซึ่งเคยมีการนำวิธีการนี้มาใช้ในการรักษาโรคได้หลายชนิด เช่น โรคมะเร็ง โรคเอดส์ โรคติดเชื้อ และในวัคซีน และในปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกมีความตื่นตัวในการทำวิจัย โดยการนำยีนที่ร่างกายขาดหายไปมาทำการตัดต่อในห้องทดลองและให้แก่คนไข้ แต่การนำยีนเดี่ยวๆ เข้าสู่ร่างกายโดยตรงไม่สามารถทำได้ เนื่องจากยีนไม่สามารถเคลื่อนผ่านผนังเซลล์ได้ด้วยตัวเองจึงได้มีการศึกษาพาหะในการนำส่งไม่ว่าจะเป็นไวรัส ไลโปโซม หรือพอลิเมอร์ ซึ่งในภายหลังกลุ่มนักวิจัยพบว่าการดัดแปลงโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนโดยการทำให้มีสายของอะตอมออกซิเจนและคาร์บอนยื่นออกมานอกท่อนาโนคาร์บอน และทำการเชื่อมต่อกับกับหมู่อะมิโนที่มีประจุบวกจากการดัดแปลงนี้ทำให้ท่อนาโนคาร์บอนสามารถละลายน้ำได้ดีและมีประจุบวกอยู่โดยรอบเนื่องจากประจุของท่อนาโนคาร์บอนและดีเอ็นเอที่ตรงข้ามกัน (ดีเอ็นเอมีประจุลบจากหมู่ฟอสเฟต) ทำให้เกิดเป็นแรงดึงดูดขึ้น โดยเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของท่อนาโนคาร์บอนที่มี ดีเอ็นเออยู่รอบๆ และจากผลการวิจัยโดยการเพาะเลี้ยงในเซลล์สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยพบว่า ท่อนาโนคาร์บอนบรรจุดีเอ็นเอสามารถเข้าสู่เซลล์และนำส่งสู่นิวเคลียสได้ และเหนี่ยวนำทำให้ เกิดการสร้างโปรตีนได้ นอกจากนี้ไม่พบการเป็นพิษต่อเซลล์จากท่อนาโนคาร์บอนด้วย การสังเคราะห์ท่อนาโนในปัจจุบันนั้นไม่ได้มีเพียงแต่การสังเคราะห์จากธาตุคาร์บอนเท่านั้น ยังมีการสร้างท่อนาโน

จากธาตุอื่นๆ อีกมากมาย เช่น ท่อนาโนพอร์ไฟริน หรือที่ทำมากจากซิลิกอน แต่โดยมากแล้วท่อนาโนที่ไม่ได้ทำมาจากธาตุคาร์บอน มักจะเรียกกันว่าเป็นเส้น ลวดนาโน (nanowire) เช่น เส้นลวดนาโนซิลิกอน เป็นต้น

2.3 ไฮโดรเจน

พลังงานทั้งหมดในเอกภพมีจุดเริ่มต้นมาจากสิ่งเดียวกันคือไฮโดรเจน ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีโครงสร้างอะตอมง่ายที่สุดที่มนุษย์รู้จัก แต่ละอะตอมของไฮโดรเจนมีโปรตอนและอิเล็กตรอน อย่างละ 1 ตัวเท่านั้น ดาวฤกษ์ทุกดวงเริ่มต้นมาจากไฮโดรเจนพลังงาน ในระบบสุริยะของเราก็มาจากไฮโดรเจนดวงอาทิตย์เป็นลูกกลมที่ประกอบด้วยก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซฮีเลียม ภายในดวงอาทิตย์อะตอมของไฮโดรเจน 4 อะตอมจะรวมตัวกันกลายเป็นอะตอมของฮีเลียมและได้พลังงานแผ่รังสีออกมากระบวนการนี้เรียกว่า ปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบรวมตัว (Nuclear fusion) พลังงานที่แผ่รังสีมานี้ทำให้สิ่งที่มีชีวิตทั้งหลายบนโลกสามารถดำรงอยู่ได้ พลังงานแสงอาทิตย์ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ ทำให้เกิด ลม ฝนตก พลังงานถูกเก็บไว้ในรูปของเชื้อเพลิงฟอสซิลพลังงานส่วนใหญ่ที่เราใช้ทุกวันนี้มาจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีจุดเริ่มต้นจากไฮโดรเจน ไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่มีมากที่สุดไม่ใช่เฉพาะบนโลกเท่านั้นแต่รวมถึงในเอกภพด้วยมีประมาณ 90% ของเอกภพโดยน้ำหนักอย่างไรก็ตามโดยปกติจะไม่พบในรูปของไฮโดรเจนบริสุทธิ์ (H_2) ไฮโดรเจนจะรวมกับธาตุอื่นที่พบมากที่สุดคือรวมกับออกซิเจนเป็นน้ำ (H_2O) และในสารอินทรีย์รวมถึงพืชปิโตรเลียม ถ่าน ก๊าซธรรมชาติและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ สิ่งที่น่าสนใจสำหรับไฮโดรเจนคือไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ที่สะอาดไม่ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (ก๊าซเรือนกระจก) หรือปล่อยก๊าซพิษและสามารถใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าการขนส่งและพลังงานอื่นๆที่ต้องการแหล่งพลังงานที่ใช้กันส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ความต้องการที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและแหล่งผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัดทำให้เกิดปัญหาคลาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงอีกทั้งการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงยังมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม จากเหตุการณ์ดังกล่าวจึงมีการศึกษาค้นคว้าแหล่งพลังงานเพื่อทดแทนเพื่อทดแทนพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงเช่นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพและพลังงานไฮโดรเจน ซึ่งพลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานที่สะอาดและไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะพลังงานไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่มีการศึกษาวิจัยและพัฒนากันอย่างกว้างขวาง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

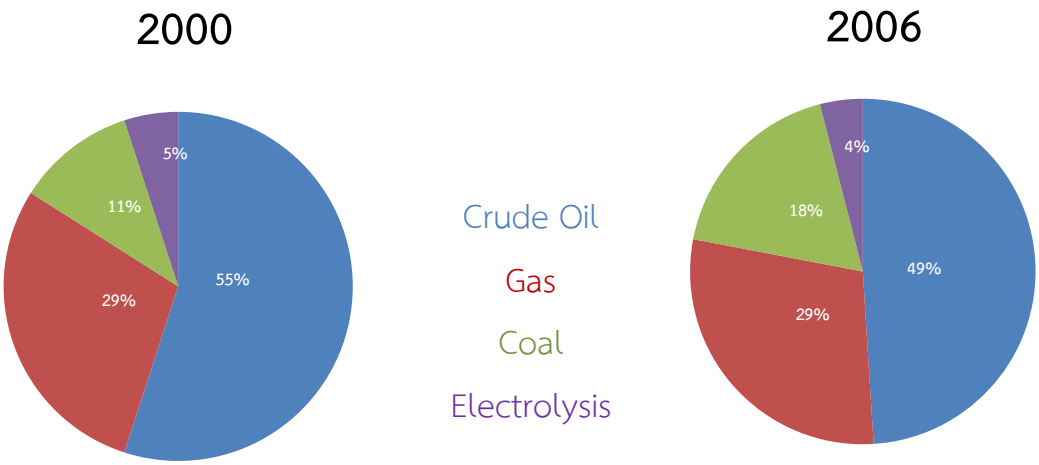
2.4 คุณสมบัติของไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่เบาที่สุดและเป็นองค์ประกอบของน้ำที่เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดของสิ่งมีชีวิตบนโลก เป็นโมเลกุลมีทั่วไปตามธรรมชาติบรรยากาศในโลกมีก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 0.1 ppm. มีความแข็งแรงในการยึดโมเลกุล เท่ากับ 436 kJ/mol (104 kcal/mol) ดังนั้น เมื่อต้องการให้ไฮโดรเจนโมเลกุลทำปฏิกิริยา จึงต้องใช้พลังงานเพื่อทำลายความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลดังกล่าว เช่น เพิ่มอุณหภูมิ ใช้สารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ไฮโดรเจนอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียส์ อยู่กลาง ภายในนิวเคลียส์ ประกอบด้วยโปรตอน และนิวตรอน และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบนอกเหมือนธาตุอื่นๆ ไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทปขึ้นกับจำนวนโปรตอน และจำนวนนิวตรอนที่ต่างกัน

2.5 การผลิตไฮโดรเจน

ในปัจจุบันมีการผลิตไฮโดรเจนขนาดใหญ่เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมด้านเคมี เช่น โรงกลั่นน้ำมัน และการผลิตแอมโมเนียและเมธานอล โดยส่วนใหญ่จะเป็นการผลิต ณ พื้นที่ที่มีการใช้งานไฮโดรเจน โดยมีการประมาณกันว่า ทั่วโลกมีปริมาณการผลิตรวมกัน 50 ล้านตันโดยประมาณโดย 96 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตไฮโดรเจนทั้งหมดใช้วัตถุดิบที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยแบ่งออกเป็นก๊าซธรรมชาติ 49 เปอร์เซ็นต์ เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลว (น้ำมันเชื้อเพลิง) 29 เปอร์เซ็นต์ และถ่านหิน 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วน 4 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือเป็นการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) แสดงได้ **ดังรูปที่** 2.5

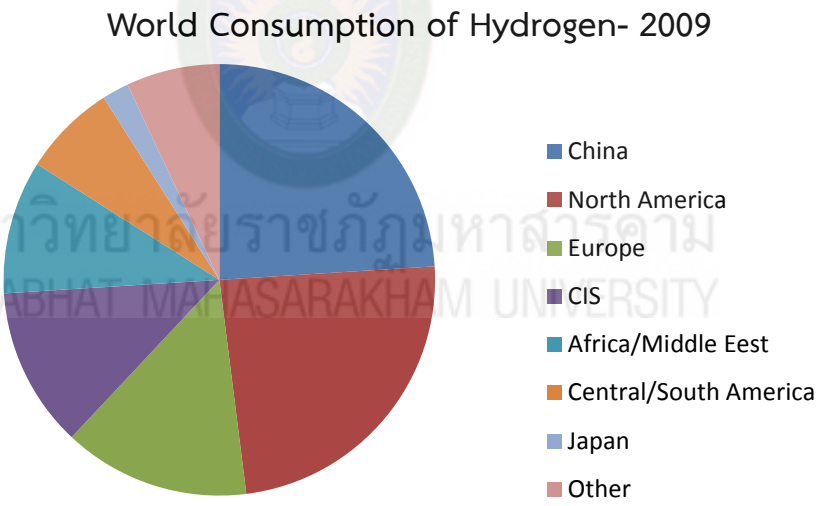
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.5 ปริมาณการผลิตไฮโดรเจนทั่วโลก
ที่มา (กระทรวงพลังงาน, 2553)

รูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนวัตถุดิบในการผลิตไฮโดรเจน ซึ่งจะเห็นได้ว่า การผลิตไฮโดรเจนด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงจาก 55 เปอร์เซ็นต์ในปี ค.ศ. 2000 เป็น 29 เปอร์เซ็นต์ในปี ค.ศ. 2006 เนื่องมาจากสภาวะราคาน้ำมันโลกที่มีราคาสูงขึ้นอย่างมาก ในขณะที่ผู้ผลิตไฮโดรเจนหันมาใช้ก๊าซธรรมชาติแทนกันมากขึ้นจากสัดส่วน 29 เปอร์เซ็นต์ในปี ค.ศ. 2000 เป็น 49 เปอร์เซ็นต์ในปี ค.ศ. 2006 ในขณะที่การผลิตไฮโดรเจนด้วยการแยกน้ำด้วยไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเหตุผลหลักที่วิธีการแยกน้ำด้วยไฟฟ้ายังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้ราคาของไฮโดรเจนแปรตามราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิล

การใช้ไฮโดรเจนแบ่งตามประเทศและทวีปในปี ค.ศ. 2009 จะเห็นได้ว่าจีนเป็นประเทศที่มีการใช้ไฮโดรเจนเป็นปริมาณมากที่สุดในโลกซึ่งคิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์ และเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับการใช้ไฮโดรเจนของกลุ่มประเทศในทวีปอเมริกาเหนือแสดงได้ **ดังรูปที่** 2.6



รูปที่ 2.6 สัดส่วนการใช้ไฮโดรเจนแบ่งตามประเทศและทวีป
ที่มา (กระทรวงพลังงาน, 2553)

ในปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจนก๊าซธรรมชาติจะอาศัยกระบวนการ ด้วยกระบวนการรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทนด้วยไอน้ำ (SMR) ในปัจจุบันวิธีการผลิตไฮโดรเจนเชิงพาณิชย์มีด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีทางเคมีความร้อน ซึ่งใช้การแยกไฮโดรเจนจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และการแยกน้ำด้วยพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน ยังมี

วิธีอื่นๆ ที่มีการเริ่มเห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้นดังเช่น การผลิตไฮโดรเจนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี หรือการผลิตด้วยวิธีทางชีวเคมี

2.5.1 กระบวนการเคมีความร้อน (Thermo chemical Process)

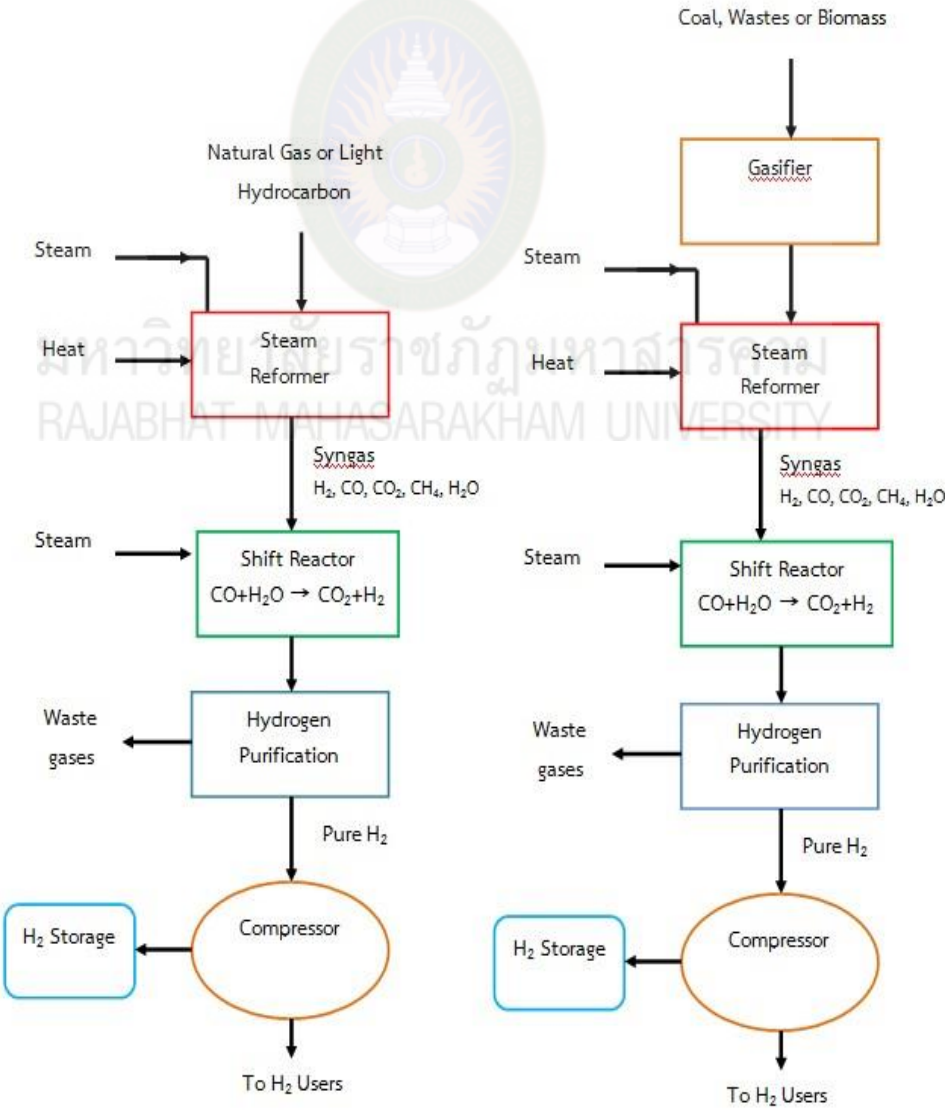
ไฮโดรเจนสามารถผลิตโดยวิธีทางเคมีโดยอาศัยความร้อน โดยมีวัตถุดิบที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่นก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ชีวมวล และสิ่งปฏิกูล อาศัยเครื่องปฏิกรณ์เคมีอุณหภูมิสูงโดยผลลัพธ์ที่ได้คือก๊าซสังเคราะห์ซึ่งประกอบไปด้วยไฮโดรเจน (H_2), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), น้ำ (H_2O) และมีเทน (CH_4) จากนั้นจะนำไปผ่านกระบวนการเพิ่มเติมเพื่อให้มาซึ่งไฮโดรเจน ที่บริสุทธิ์ขึ้น จากหลักการดังกล่าวได้มีการพัฒนากระบวนการต่างๆขึ้นมาด้วยกันหลายวิธี เช่นกระบวนการรีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำ (Steam Reforming) และ กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) ดังแสดงใน **รูปที่** 2.7

1. **กระบวนการรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทนด้วยไอน้ำ** ในวิธีการแบบนี้เป็นการผลิตไฮโดรเจนจากก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นที่รู้จักกันมาเป็นเวลานาน และในปัจจุบันเป็นกระบวนการที่มีการนำไปใช้งานกันมากที่สุดในการผลิตเชิงพาณิชย์ หลักการที่ใช้ในการแปลงผันก๊าซธรรมชาติให้เป็นไฮโดรเจนนั้นจะมีส่วนเกี่ยวข้องของไอน้ำ (Steam Reforming) ออกซิเจน (Partial Oxidation) หรือทั้งสองอย่าง (Autothermal Reforming) **รูปที่** 2.7 **(ก)** แสดงรายละเอียดกระบวนการรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทน ด้วยไอน้ำ ในทางปฏิบัติไฮโดรเจนที่ได้ (ซึ่งจะมีสัดส่วนประมาณ 70 - 80%) จะมีส่วนผสมของ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน ซึ่งจำเป็นต้องผ่านกระบวนการกำจัดสารประกอบเหล่านี้เพื่อให้ได้ไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์พอที่จะนำไปใช้งานได้ด้วยกระบวนการ water-gas shift โดยการทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ทำปฏิกิริยากับไอน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในขั้นตอนนี้จะได้คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มเข้ามาด้วย โดยส่วนใหญ่คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้จะถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ อย่างก็ตามในปัจจุบันได้มีการดำเนินกระบวนการจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เรียกว่า Carbon Sequestration

ยังมีกระบวนการทางเคมีความร้อนอีก 2 วิธีคือกระบวนการเผาไหม้บางส่วน (Partial Oxidation) และกระบวนการออโตเทอร์มัลรีฟอร์มมิ่ง ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ได้มีการใช้เชิงพาณิชย์แล้วด้วย เช่นกัน อย่างไรก็ตามก็ยังมีการวิจัยและปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น กระบวนการเผาไหม้บางส่วนเป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของมีเทนโดยตรง ขณะที่กระบวนกาออโตเทอร์มัลรีฟอร์มมิ่งเป็นการทำงานร่วมกันของกระบวนการรีฟอร์มมิ่งและกระบวนการเผาไหม้บางส่วนโดยมีการทำปฏิกิริยาของมีเทน ออกซิเจนและไอน้ำ

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2. **กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันด้วยชีวมวล ถ่านหิน และสิ่งปฏิกูล** กระบวนเหล่านี้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนรูปของแข็งเช่น ชีวมวล (ของเหลือจากการเกษตรจากกระบวนการแปรรูปไม้ หรือพืชพลังงาน) ถ่านหิน หรือสิ่งปฏิกูล จะถูกทำให้เป็นไอที่อุณหภูมิสูง โดยจะได้ก๊าซสังเคราะห์ (Syngas) ออกมาจากนั้นจะมีขั้นตอนใกล้เคียงกับกระบวนการรีฟอร์มมิ่งที่กล่าวมาข้างต้น นั่นคือการกัดสารเจือปน เพื่อทำให้ได้ไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ขึ้น ก่อนที่ราคาของก๊าซธรรมชาติจะมีราคาถูกลงในประเทศสหรัฐอเมริกานิยมใช้ กระบวนการก๊าซซิฟิเคชันด้วยถ่านหินดังแสดงใน **รูปที่** 2.7 (**ข**) ซึ่งยังเป็นที่นิยมใช้อยู่ในประเทศจีนและประเทศในทวีปยุโรปสำหรับกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันด้วยชีวมวลนั้นจะเหมือนกับของถ่านหิน หากแต่ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและมีกระบวนการกำจัดสารเจือปนที่แตกต่างกันเนื่องจากไฮโดรเจนที่ได้จากกระบวนการนี้จะปนเปื้อนซัลเฟอร์สำหรับกระบวนการก๊าซซิฟิเคชันด้วยสิ่งปฏิกูลของแข็งที่ได้จากชุมชนนั้นได้มีการดำเนินการเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนได้



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 2.7 รายละเอียดกระบวนเคมีความร้อน
(ก) การรีฟอร์มมิ่งก๊าซมีเทนด้วยไอน้ำ
(ข) กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน
ที่มา (กระทรวงพลังงาน, 2553**)**

2.5.2 กระบวนการไฟฟ้าเคมี

กระบวนการไฟฟ้าเคมีเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนโดยการใช้กระแสไฟฟ้าในการแยกพันธะของน้ำออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน ไฟฟ้าที่มาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าทุกชนิดสามารถใช้ได้กับกระบวนการนี้ ยกตัวอย่าง เช่น ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปหรือจากพลังงานทดแทน เช่น ลมหรือแสงอาทิตย์ เป็นต้น อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าเรียกว่า อิเล็กโตรไลเซอร์ (Electrolyzer) สำหรับอิเล็กโตรไลเซอร์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันใช้เทคโนโลยีของอัลคาไลน์ รวมถึงการใช้เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane (PEM)) ซึ่งมีคุณสมบัติในการเริ่มและหยุดการทำงานได้รวดเร็วและสามารถตอบสนองต่ออัตราการผลิตได้ดีนอกจากนั้นยังได้มีการพัฒนาอิเล็กโตรไลเซอร์ที่ใช้อิเล็กโตรไลท์แบบออกไซด์ของแข็งทำงานงานที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียส ทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนสูงขึ้นเนื่องจากการแยกตัวของน้ำ เกิดเนื่องจากความร้อนในระบบ ทำ ให้ประสิทธิภาพโดยประมาณของ อิเล็กโตรไลเซอร์อยู่ที่ 70**%** – 85**%** อย่างไรก็ตามราคาในการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับราคาพลังงานไฟฟ้าเป็นสำคัญ วิธีนี้สามารถแข่งขันได้กับกระบวนการรีฟอร์มมิ่งก๊าซธรรมชาติได้ก็ต่อเมื่อราคาไฟฟ้ามีราคาถูก ในปัจจุบันได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนโดยเฉพาะลมและการใช้พลังงานนิวเคลียร์มาใช้ในกระบวนการแทนพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไป

2.5.3 กระบวนการชีวเคมี

กระบวนการนี้เป็นการผลิตไฮโดรเจนโดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือจุลินทรีย์ และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเหล่านี้จะเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นไฮโดรเจนนอกจากนี้ยังสามารถใช้ชีวมวลซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนในการผลิตไฮโดรเจนได้อีกด้วย เช่น ของเหลือทิ้งจากการเกษตรหรือจากโรงงานอุตสาหกรรม วิธีการนี้ถือได้ว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กล่าวคือใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีการอื่นๆ รวมทั้งยังช่วยลดปริมาณของเสียลงได้ด้วย อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังอยู่ในขั้นตอนวิจัยและพัฒนา ซึ่งยังมีข้อเสียคือ มีประสิทธิภาพต่ำ ความสามารถในการผลิตถูกจำกัดด้วยความเข้มของแสงที่ได้รับ ต้นทุนของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพยังมีราคาสูง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีนี้แบ่งออกได้อีกหลายวิธีเช่น การแตกตัวด้วยแสงโดยตรงและโดยอ้อม การหมักในที่มีแสงและในที่มืด และการหมักในที่มืดต่อด้วยที่มีแสง เป็นต้น

2.5.4 กระบวนการผลิตไฮโดรเจนจากอลูมิเนียม

ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับอลูมิเนียมโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้สมการดังนี้

$$2Al(s) + 6H_2O(l) \longrightarrow 2Al(OH)_3(s) + 3H_2(g) \quad \text{..... (2.1)}$$

$$2Al(s) + 2NaOH(s) + 6H_2O(l) \longrightarrow 2NaAl(OH)_4(aq) + 3H_2(g) \quad \text{..... (2.2)}$$

$$NaAl(OH)_4(aq) \longrightarrow NaOH(s) + Al(OH)_3(s) \quad \text{..... (2.3)}$$

จากสมการ 2.1 จะเห็นว่า จะนำ $2Al(s) + 6H_2O(l)$ ซึ่งจะทำให้ได้ $3H_2(g)$ เช่นกัน ใน **สมการ** 2.2 จะนำ $2Al(s) + 2NaOH(s) + 6H_2O(l)$ ซึ่งจะเห็นว่ามีการนำตัวเร่งมาใส่ด้วยคือ $2NaOH(s)$ ทำให้ได้ $2NaAl(OH)_4(aq) + 3H_2(g)$ แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังเหลือ $NaOH(s)$ เพราะคือตัวเร่ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.6 ความหมายอลูมิเนียม

อลูมิเนียม (ภาษาอังกฤษสะกดได้ว่า aluminium หรือ aluminum ในอเมริกาเหนือ) คือธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย ในธรรมชาติอลูมิเนียมพบในรูปแร่บอกไซต์เป็นหลัก และมีคุณสมบัติเด่น คือ ต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี (เนื่องจากปรากฏการณ์ passivation) แข็งแรง และน้ำหนักเบา มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย และอะลูมิเนียมสำคัญต่อเศรษฐกิจโลกอย่างมาก ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยาน และสำคัญในด้านอื่นๆ ของการขนส่งและการสร้างอาคาร ซึ่งต้องการน้ำหนักเบา ความทนทาน และความแข็งแรง

2.7 กฎของก๊าซ

ก๊าซประกอบด้วยอนุภาคเล็กมากจำนวนมากมาย โดยแต่ละอนุภาคเรียกว่าโมเลกุล โดยโมเลกุลของก๊าซจะอยู่ห่างกันมากกว่าโมเลกุลของของแข็งและของเหลว เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของก๊าซมีค่าน้อยมาก ทำให้โมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่ตลอดเวลา โดยมีทิศทางไม่แน่นอน ก๊าซสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย ความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิมีผลทำให้สมบัติต่างๆของก๊าซเปลี่ยนไป

ในการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของก๊าซ เราสามารถจัดแบ่งก๊าซออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. **ก๊าซอุดมคติ** (Ideal Gas) หมายถึง ก๊าซที่ถูกสมมติขึ้น เพื่อใช้ในการอธิบายคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซโดยไม่ว่าที่สภาวะใดก็ตามก๊าซนี้จะเป็นไปตามกฎต่างๆของก๊าซ ซึ่งก๊าซนี้ไม่มีอยู่จริงในธรรมชาติ

2. **ก๊าซจริง** (Real Gas) หมายถึง ก๊าซที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น O_2, CO_2 เป็นต้น โดยก๊าซนี้ไม่เป็นไปตามกฎของก๊าซ ยกเว้นเมื่ออุณหภูมิสูงและความดันต่ำ ก๊าซจริงจะมีสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซอุดมคติ ซึ่งในการอธิบายกฎต่างๆ ของก๊าซ นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการทดลองและใช้ก๊าซอุดมคติในการอธิบาย ดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.7.1 กฎของบอยล์ (Boyle's Law)

เป็นกฎที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของก๊าซ โดยผู้ที่ค้นพบกฎนี้คือ โรเบิรต์ บอยล์ (Robert Boyle) พบว่า "เมื่ออุณหภูมิและมวลของก๊าซคงที่ ความดันสัมบูรณ์ของก๊าซจะแปรผกผันกับปริมาตรของก๊าซ" หมายความว่า เมื่อความดันสัมบูรณ์มีค่าเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ปริมาตรของก๊าซลดลง **ดังรูปที่** 2.8

รูปที่ 2.8 แสดงการทดลองของบอยล์
ที่มา (ปรียา อนุพงษ์องอาจ, 2553)

ถ้าให้ P แทนความดันสัมบูรณ์ของก๊าซ, V แทนปริมาตรของก๊าซ และ T แทนอุณหภูมิของก๊าซจะได้

ที่ T คงที่ $V\alpha\frac{1}{p}$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หรืออาจเขียนได้ว่า $PV=k$ เมื่อ k แทนค่าคงที่ โดยจะพบว่าที่อุณหภูมิคงที่ ผลคูณระหว่างความดันสัมบูรณ์กับปริมาตรของก๊าซใด ๆ มีค่าคงที่ ซึ่งถ้าความดันของก๊าซเปลี่ยนแปลงจาก P_1 เป็น P_2 ปริมาตรของก๊าซจะเปลี่ยนจาก V_1 เป็น V_2 จะได้

$$P_1V_1=P_2V_2 \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

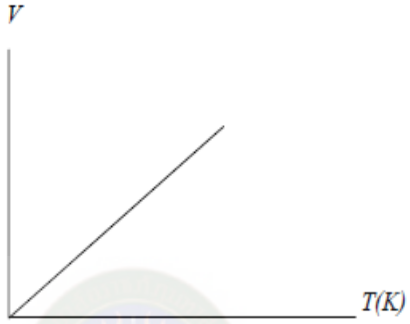
2.7.2 กฎของชาร์ลส์ (Charles's Law)

เป็นกฎที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของก๊าซ โดยผู้ที่ค้นพบกฎนี้คือ Jacques Charles พบว่า "ถ้าให้ความดันและมวลของก๊าซคงที่ ปริมาตรจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ของก๊าซ" สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ที่ P คงที่ $V\alpha\mathrm{T}$

โดยที่ $\frac{V}{\mathrm{T}}=k$ ซึ่ง k เป็นค่าคงที่ เมื่อความดันและมวลของก๊าซคงที่ ถ้าปริมาตรของก๊าซเปลี่ยนจาก V_1 เป็น V_2 และอุณหภูมิของก๊าซเปลี่ยนจาก T_1 เป็น T_2 จะได้

$$\frac{V_1}{\mathrm{T}_1}=\frac{V_2}{\mathrm{T}_2} \quad \text{.....} \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.9 การทดลองของชาร์ลส์
ที่มา (ปรียา อนุพงษ์องอาจ, 2553)

2.7.3 กฎของเกย์ ลุสแซก (Gay Lussac's Law)

เป็นกฎที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของก๊าซ โดยผู้ที่ค้นพบกฎนี้คือ Gay Lussac พบว่า "ถ้าให้ปริมาตรและมวลของก๊าซคงที่ ความดันจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ของก๊าซ" สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

V คงที่ $P\alpha T$

โดยที่ $\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{T}}=k$ ซึ่ง k เป็นค่าคงที่ เมื่อปริมาตรและมวลของก๊าซคงที่ ถ้าความดันของก๊าซเปลี่ยนจาก P_1 เป็น P_2 และอุณหภูมิของก๊าซเปลี่ยนจาก T_1 เป็น T_2 จะได้

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

เมื่อรวมกฎของบอยล์ ชาร์ลส์ และเกย์ ลุสแซก เข้าด้วยกัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตรและอุณหภูมิของก๊าซเมื่อมวลของก๊าซมีค่าคงที่ ดังนี้

$PV\alpha T$

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

โดยที่ k เป็นค่าคงที่ จากการทดลองพบว่า ก๊าซทุกชนิดที่ S.T.P. (T = 273 K , P = 1.013 x 10^5 N/m^2) ก๊าซ 1 โมล จะมีปริมาตร 22.4 x 10^{-3} m^3 ถ้าคิดที่ก๊าซ n โมล จะมีปริมาตร 22.4 x 10^{-3} n m^3 เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.4) จะได้

$$k = \frac{(1.013\times10^5 N/m^2)(22.4\times10^{-3} nm^3)}{(273\text{K})}$$

ดังนั้น $k = 8.314n$ J/mol.K

ถ้าให้ R = 8.314 J/mol.K แทน ค่าคงที่สากลของก๊าซ (Universal gas constant) สมการที่ (2.4) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$PV = nRT \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

เมื่อ P เป็นความดัน มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

V เป็นปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

T เป็นอุณหภูมิ มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

n เป็นจำนวนโมล มีหน่วยเป็นโมล (mol)

R เป็นค่าคงที่สากลของก๊าซ มีค่า 8.314 J/mol.K

จำนวนโมล $(\text{n}) = \frac{m}{M}$ โดยที่ m แทนมวลของก๊าซในหน่วยกรัม และ M แทนมวลโมเลกุลของก๊าซในหน่วยกรัมต่อโมล

เรียกสมการที่ (2.5) ว่า กฎของก๊าซอุดมคติ (Ideal gas law) หรือ สมการสถานะของก๊าซอุดมคติ (Equation of state for an ideal gas) ซึ่งสมการนี้แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสามคือความ ดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ โดยพิจารณาที่จำนวนโมลของก๊าซ

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

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2} \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

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

$$\frac{P_1V_1}{m_1T_1} = \frac{P_2V_2}{m_2T_2} \quad \text{.....} \quad (2.10)$$

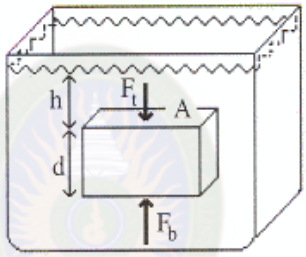
แต่ถ้าก๊าซมีมวลคงที่ ($m_1 = m_2$) จะได้

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad \text{.....} \quad (2.11)$$

สมการข้างต้นจะใช้คำนวณหาค่าความดัน ปริมาตรและอุณหภูมิ เมื่อเปลี่ยนจากสภาวะหนึ่งไปสู่อีกสภาวะหนึ่ง

2.8 กฎของอาร์คีมีดีส (Archimedes' Principle)

ทำไมวัตถุบางชนิดจมบางชนิดลอย เนื่องจากของไหลออกแรงกระทำต่อวัตถุ แรงนี้เรียกว่า แรงพยุง (buoyant force) เมื่อแรงพยุงคือผลต่างของความดันเป็นการเปรียบเทียบความดันระหว่างด้านบนของวัตถุกับความดันด้านล่างของวัตถุ แรงพยุงที่กระทำต่อวัตถุแสดงได้ **ดังรูปที่** 2.10



รูปที่ 2.10 การทดลองของอาร์คีมีดีส
ที่มา (ปรียา อนุพงษ์องอาจ, 2553)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

$$F_B = F_b - F_t \quad \text{.....} \quad (2.12)$$

อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความดัน เมื่อความดันขึ้นอยู่กับความลึกในของเหลว

$$\begin{aligned} F_B &= P_b A - P_t A \\ &= \rho g(h+d)A - \rho ghA \\ &= \rho gdA \\ &= \rho gV \quad \text{.....} \quad (2.13) \end{aligned}$$

นั่นคือแรงพยุงเป็นผลมาจากความหนาแน่นของ **รูปที่** 2.10 ของเหลว และปริมาตรส่วนที่จมของวัตถุ ซึ่งมีค่าเท่ากับมวล ของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ

กฎของอาร์คีมีดีส "แรงพยุงจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ" สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$F_B = m_f g \text{ .....} \quad (2.14)$$

m_f คือ มวลของของเหลว

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/s^2

2.9 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจน

ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนเป็นการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้กับไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎีสมการ ดังนี้

$$\text{ร้อยละผลได้} = \frac{\text{ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้}}{\text{ไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100 \text{ \% .....} \quad (2.15)$$

ไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎีหาได้จาก (a%/27)x1.5x24.45xm) (เดชา ขันธบูรณ์, 2557)

เมื่อ a% คือ เปอร์เซ็นอลูมิเนียม

27 คือ น้ำหนักอะตอมของอลูมิเนียม

1.5 คือ 1 โมลของอลูมิเนียมที่เปลี่ยนเป็นไฮโดรเจน

24.45 คือ ปริมาตรของไฮโดรเจนหนึ่งโมล

m คือ มวลของอลูมิเนียม

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Er-DongWang et al. (2008) ได้สร้างและศึกษาเครื่องสร้างไฮโดรเจนที่ปลอดภัยและง่ายซึ่งผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาทางเคมีของอลูมิเนียมและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ให้เซลล์เชื้อเพลิง ผลของความเข้มข้น อัตราการลดลง และอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราการเกิดไฮโดรเจน ผลการศึกษาพบว่าประมาณ 38 มิลลิลิตรต่อนาที ของอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน ที่ได้รับเท่ากับ 25 wt% และอัตราการลดลงของโซเดียม ไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.01 มิลลิลิตรต่อวินาที เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนจากเครื่องสร้างไฮโดรเจนแสดงการปรับปรุงประสิทธิภาพที่กระแสความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากความต้านทาน protonic ลดความชื้นไฮโดรเจนของเมมเบรน เครื่องสร้างไฮโดรเจนที่เสถียรสามารถทำงานเซลล์เดียวภายใต้กระแสไฟฟ้า 500 mA เกือบ 5 ชั่วโมง ประมาณ 77% ของอัตราการใช้กำลังการผลิตไฮโดรเจน

Jung-Tae Park (2013) การผลิตไฮโดรเจนจากน้ำโดยใช้พลังงานจลน์ มีการศึกษาการใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีลักษณะเครื่องเป็นกระเป๋าถือ ภายในกระเป๋าส่วนมากจะมีถังน้ำซึ่งผสมด้วยอลูมิเนียม แคลเซียมออกไซด์ (CaO) โซเดียมอัลคาไลน์ CMC ที่ละลายน้ำแล้ว และโซเดียม ไฮดรอก

ไซด์ (NaOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สามารถดูดซับความชื้นจากอากาศได้ ดังนั้น แคลเซียมออกไซด์ จะถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันไม่ให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ละลาย ในการควบคุมอัตราการเกิดไฮโดรเจน ผงอลูมิเนียมที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมแข็ง (M1) และเม็ดที่ไม่สม่ำเสมอ (M2) โดยใช้โซเดียมอัลคาไลน์ CMC กระเป๋าผลิตไฮโดรเจนเป็นกระเป๋าที่เตรียมไว้ทดสอบอัตราการเกิดไฮโดรเจน ผลแสดงให้เห็นว่าสูตรที่ดีที่สุดสำหรับการทดสอบช่วงที่ M1 40 wt**%**, M2 48 wt**%** และผสมรวมกันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์, แคลเซียมออกไซด์ และ $NaHCO_3$ เพราะมีความเสถียรและความเข้มข้นของไฮโดรเจนมาก อัตราส่วนที่ดีที่สุดของผงอลูมิเนียม และโซเดียมอัลคาไลน์ CMC ที่ได้ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง คือ 5 wt**%** ถึง 95 wt**%** ปฏิกิริยาที่ทำให้ผลิตไฮโดรเจนในประเป๋าจะจ่ายไปยัง polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC) สามารถทำงานเป็นเวลา 5 ชั่วโมงหรือมากกว่า โดยไม่ต้องใส่พลังงานใดๆเพิ่มขึ้นอีก กระเป๋านี้ได้ถูกใช้ในขนาดเล็กที่มี ความจุไฮโดรเจนขนาดใหญ่สำหรับ PEMFC นอกจากนี้กระเป๋านี้ได้รับการใช้ประสบความสำเร็จในการพัฒนา 50 วัตต์ PEMFC เป็นเครื่องผลิตไฮโดรเจนแบบพกพา

Shani Elitzu (2014) ได้ศึกษาอัตราและผลผลิตของการผลิตไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมและน้ำ ผลของตัวแปรที่แตกต่างกันเช่น อัตราส่วนน้ำ-อลูมิเนียม อุณหภูมิของน้ำ และศึกษาการทดลองรูปร่างและขนาดของอลูมิเนียม การเปลี่ยนวิธีกระตุ้นอลูมิเนียมจะเกี่ยวข้องกับในห้อง 1-2.5 **%** ของสารกระตุ้นลิเทียมซึ่งกระจายเป็นอนุภาคอลูมิเนียมปฏิกิริยา ทำให้คงที่มีน้ำประปาหรือน้ำทะเลที่อุณหภูมิห้อง อัตราการผลิตไฮโดรเจนในอัตราของอลูมิเนียม 200-600 ml/min/g ที่ผลิตได้เท่ากับ 90**%** ขึ้นอยู่กับปัจจัยตัวแปรต่างๆ ได้แสดงให้เห็นถึงงานต่อไปจะศึกษาการประยุกต์ใช้ proton exchange membrane (PEM) fuel cells เพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้าที่

MinKyu Yu (2014) ได้ศึกษาการนำอลูมิเนียมมาผสมกับท่อนาโนคาร์บอนโดยใช้ 0-5 vol. % โดยทำการอัดเม็ดที่เครื่อง สปาร์ค พลาสม่า เซ็นเตอร์ริ่ง (SPS) ตรวจสอบคุณสมบัติไฮโดรเจนใช้น้ำและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 wt% ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าอัตราการเกิดของไฮโดรเจนสูงสุด 120 มล/นาที กรัมจากการผสมท่อนาโนคาร์บอนลงไปจะทำให้เกิดไฮโดรเจนสูงถึง 6 เท่า เนื่องจากการเติมท่อนาโนคาร์บอนลงไปทำให้มีการเกิดรูพรุนมีพื้นที่ขนาดใหญ่จะ ทำปฏิกิริยาได้ดีก๊าซไฮโดนเจนที่ถูกผลิตขึ้นจากท่อนาโนคาร์บอนจากการย่อยสลายของอลูมิเนียมและท่อนาโนคาร์บอน 3.5 g-5 vol.% มีความบริสุทธิ์สูงไม่ทำให้เกิดการเสียหายต่อ PEMFC ผลผลิตไฟฟ้าที่ได้อยู่ที่ 10 A และ0.73 V ต่อ 13 นาที และได้มีการทดสอบใช้กับ PEMFC แล้วว่า มีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

นายเดชา ขันธบูรณ์ (2014) ได้ทำการศึกษาการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียมศึกษาอลูมิเนียม 2 ชนิดคือขยะอลูมิเนียมแผ่นและอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาดผิวสัมผัสของขยะอลูมิเนียม คือ 0.25x0.25, 0.5x0.5, 1x1 และ 2x2 ตารางเซนติเมตร โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นที่ร้อยละ 15, 18, 20 และ 23 โดยมวลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ ค่าอุณหภูมิของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ 60, 65, 70 และ 75 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยพบว่าเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้คือ ถังสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร สูง 12.5 เซนติเมตร ถังทำปฏิกิริยา ถังน้ำกรองก๊าซไฮโดรเจน กระบอกดูดความชื้นภายในตัวดูดความชื้นบรรจุด้วยซิลิก้าเจล และถังน้ำแทนที่ก๊าซ โดยแต่ละส่วนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไฮโดรเจนพบว่า อลูมิเนียมแบบแผ่นทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดปริมาณและร้อยละผลได้ของก๊าซไฮโดรเจนมากที่สุด ขนาดผิวสัมผัสของขยะอลูมิเนียม 0.25 ตารางเซนติเมตรเกิดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนมากที่สุดที่ 148.13 ลูกบาศก์เซนติเมตร ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนอยู่ที่ 27.26 **%** ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 23 โดยน้ำหนักและอุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียสเป็นร้อยละโดยมวลและอุณหภูมิที่เกิดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนมากที่สุดที่ 176.01 ลูกบาศก์เซนติเมตรร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนอยู่ที่ 32.39 **%**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการออกแบบและสร้างเครื่อง สำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน จำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ และวิธีดำเนินการวิจัยรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย สามารถจำแนกออกเป็นส่วนของวัสดุในการสร้างเครื่อง เครื่องมือพื้นฐาน เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ทางด้านเคมี ดังต่อไปนี้

3.1.1 วัสดุในการสร้างเครื่อง

1. แผ่นอะคริลิคพลาสติกใสขนาด 1x1 เมตร 3 แผ่น
2. ท่อก๊าซ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 6 มิลลิเมตร
3. เกลียวเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร 2 เส้น
4. วาล์วเปิด-ปิด ขนาด 3/8 จำนวน 5 ตัว
5. วาล์วเปิด-ปิด ขนาด 3/8 จำนวน 2 ตัว
6. ท่อก๊าซสแตนเลส
7. น๊อตตัวเมีย 8 ตัว
8. เครื่องวัดอุณหภูมิดิจิตอล ยี่ห้อ TOHO รุ่น TTM-004-R-A
9. เครื่องวัดความดัน ยี่ห้อ OKURA รุ่น 4 bar
10. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Sestos
11. ท่อสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.1.2 เครื่องมือพื้นฐาน

1. นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ ALBA Stopwatch (Blue) รุ่น AXA 31 ZX
2. ใบเลื่อย
3. ไม้เมตร
4. กระดาษทราย
5. คัตเตอร์
6. ถุงมือและผ้าปิดจมูก
7. ประแจ
8. สว่านเจาะไฟฟ้า ยี่ห้อ BOSCH รุ่น GBM 1000
9. ผ้าหรือฟองน้ำสำหรับล้างอุปกรณ์
10. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ รุ่น winton ค่าละเอียด 0.03, 1/128”
11. เทปขาวพันเกลียว
12. ปืนยิงกาวร้อน
13. เครื่องอัดเม็ดไฮโดริก

3.1.3 เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์

1. เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ (OHAUS) รุ่น PA4102
2. กล้องดิจิตอล (digital) ยี่ห้อ Samsung รุ่น ES55
3. เครื่องแปลงกระแสจาก DC เป็น AC (Inverter)
4. เครื่องแสดงผล วัตต์ โวลต์ และกระแส (Watt meter)
5. หลอดไฟ led
6. แบตลิเทียม 3.7 V
7. เครื่องเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้า
8. สายไฟ

3.1.4 อุปกรณ์ทางด้านเคมี

1. บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร 2 ใบ
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 10 wt%
4. น้ำกลั่น
5. ผงอลูมิเนียม
6. ท่อนาโนคาร์บอน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะมีขั้นตอนการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน และปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของอลูมิเนียม ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) อุณหภูมิ ปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนที่ใช้เป็นตัวเร่ง และตัวดูดความชื้น ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีวิธีดำเนินการดังนี้

ตอนที่ 1 **ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากขยะอลูมิเนียม** (เดชา ขันธบูรณ์, 2557)

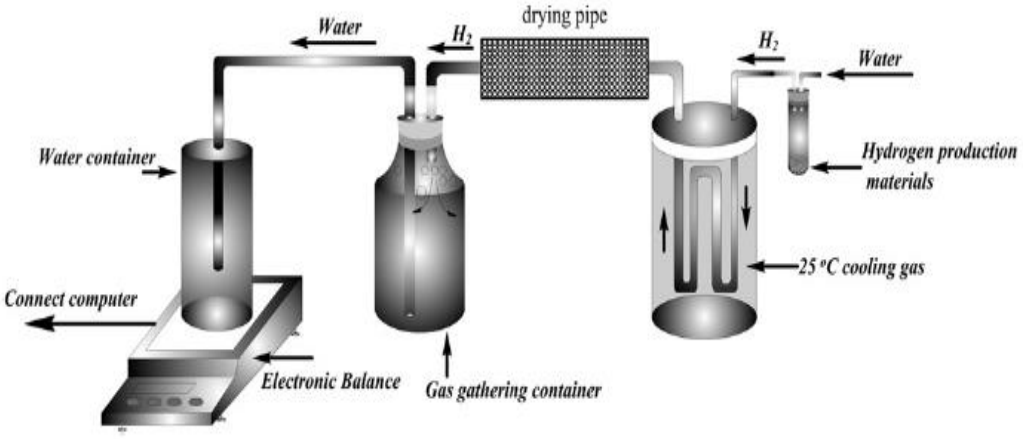
ขั้นที่ 1 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล

1. ศึกษาข้อมูลของวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจน
2. ศึกษาคุณสมบัติของการอัดเม็ดอลูมิเนียม
3. ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมกับน้ำ
4. ศึกษาการเพิ่มดังเร่งกริยาของท่อนาโนคาร์บอน
5. ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเม็ดท่อนาโนคาร์บอนที่ผสมอลูมิเนียมกับน้ำ

ขั้นที่ 2 ออกแบบเครื่องมือ จัดหาอุปกรณ์และทำการสร้างเครื่องมือ

1. ศึกษาการออกแบบเครื่องผลิตไฮโดรเจนวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ
2. ออกแบบเครื่องมือตามแบบของงานวิจัยที่ศึกษามาแล้ว และเปลี่ยนแปลงปรับปรุงเพิ่มเติมดังใน **รูปที่** 3.1

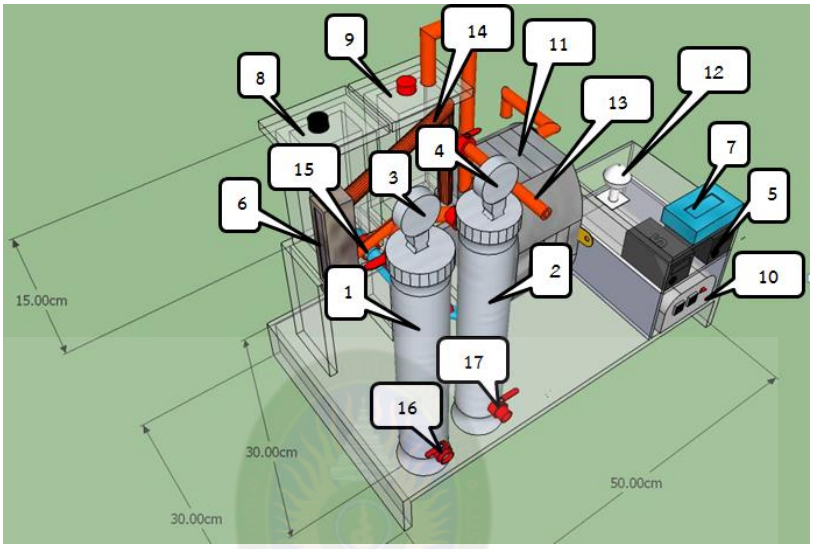
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการสร้างไฮโดรเจน

ที่มา (Xingyu Chen, 2013)

3. ออกแบบด้วยโปรแกรม SketchUp
4. ทำการสร้างและประกอบเครื่องสร้างไฮโดรเจน ตามที่ออกแบบไว้ โดย โปรแกรม SketchUp



รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. หมายถึง ถัง Reactor ใช้แสตนเลส และมีที่ควบคุมอุณหภูมิ

2. หมายถึง ถัง Reactor ใช้แสตนเลส และมีที่ควบคุมอุณหภูมิ

3. หมายถึง เครื่องวัดความดันของก๊าซ

4. หมายถึง เครื่องวัดความดันของก๊าซ

5. หมายถึง เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

6. หมายถึง เครื่องวัดปริมาณแก๊ส

7. หมายถึง เครื่องแสดงผล วัตต์ โวลต์ และกระแส (Watt meter)

8. หมายถึง ถังน้ำ

9. หมายถึง ถังน้ำ

10. หมายถึง เครื่องแปลง กระแส (Inverter) จาก DC เป็น AC

11. หมายถึง เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell)

12. หมายถึง หลอดไฟ

13. หมายถึง ทอแก๊สที่นำไปใช้ได้เลย

14. หมายถึง ตัวแบกสามทาง

15. หมายถึง ท่อน้ำ

16. ก๊อกน้ำ

17. ก๊อกน้ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตอนที่ 2 **ศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลการเกิดของไฮโดรเจน**

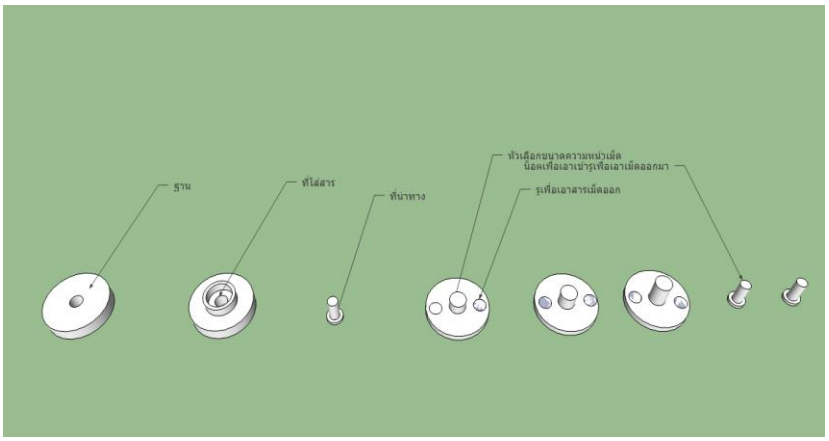
ขั้นที่ 1 **การเตรียม**

1.1 **การเตรียมสารเคมี**

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ 10 wt**%** เงื่อนไขที่เหมาะสม **(**เดชา ขันธบูรณ์, 2557**)**

1.2 **การเตรียมอลูมิเนียมอัดเม็ดผสมท่อนาโนคาร์บอน**

1.2.1. ออกแบบ **(**บล็อคอัดเม็ด**)** ด้วยโปรแกรม SketchUp



รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบบล็อคอัดเม็ด

1.2.2 อัดเม็ดท่อนาโนคาร์บอนผสมกับอลูมิเนียม ด้วยความดัน 2, 4 และ 6 N/m^2 ตามลำดับ และใช้ความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 3.4 นำสาร CNT/Al ใส่บล็อค

รูปที่ 3.5 ประกอบแบบเข้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 3.6 นำบล็อกเข้าเครื่องอัดเม็ด

รูปที่ 3.7 นำเม็ดออกจากบล็อก

รูปที่ 3.8 เม็ด CNT/Al ที่ได้จากการอัดเม็ด

ขั้นที่ 2 **ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาชนิดของอลูมิเนียม**

1. นำอลูมิเนียมที่อัดเม็ดด้วยความดัน ที่เตรียมไว้ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 10 wt% ใส่ลงในถัง Reactor หมายเลข 2 และ 1 ใน **รูปที่** 3.1 แล้วเติมน้ำ จากหมายเลข 8 และ 9 แล้วเปิดวาล์วให้น้ำ ไหลลงไปใน Reactor หมายเลข 2 และ 1 ที่ปริมาณ 320 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง

2. สังเกตปริมานแก๊สที่เกิดขึ้นโดยดูจากเครื่องวัดหมายเลข 6

3. เปรียบเทียบปริมาณอัตราการเกิดไฮโดรเจน จากกราฟระหว่างผงอลูมิเนียมและอลูมิเนียมอัดเม็ดด้วยท่อนาโนคาร์บอน

4. เลือกชนิดของอลูมิเนียมที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนดีที่สุด

ขั้นที่ 3 **รวบรวมข้อมูล**

การศึกษาความเข้มข้นของท่อนาโนคาร์บอนและขนาดความดัน

1. เตรียมอลูมิเนียมที่อัดเม็ดด้วยความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตร ตามลำดับโดยมีความดัน 2, 4 และ 6 N/m^2 ตามลำดับและเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 10 wt% ใส่ลงไปในถัง Reactor หมายเลข 1 และ 2 ใน **รูปที่** 3.1 แล้วเติมน้ำ จากหมายเลข 8 และ 9 แล้วเปิดวาล์วให้น้ำ ไหลลงไปใน Reactor หมายเลข 1 และ 2 ที่ปริมาณ 320 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง .

2. สังเกตปริมานแก๊สที่เกิดขึ้นโดยดูจากเครื่องวัดหมายเลข

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3. เปรียบเทียบปริมาณการเกิดไฮโดรเจนจากกราฟ ที่ความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4, และ 5 โดยปริมาตร และความดัน 2, 4 และ 6 N/m^2

4. เลือกขนาดของปริมาณท่อนาโนคาร์บอนและความดัน ที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนดีที่สุด

ตอนที่ 3 **ออกแบบและสร้างนวัตกรรมเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบใหม่สร้างไฟฟ้าจากน้ำและทดสอบประสิทธิภาพ**

ขั้นที่ 1 **ศึกษาและค้นคว้าข้อมูล**

1. ศึกษาข้อมูลของวัสดุที่ใช้ใน และการนำไปใช้งาน ของเครื่องผลิตไฮโดรเจน

2. ศึกษาการทำวงจรไฟฟ้า

3. ศึกษาการทำงานและหน้าที่ ที่ใช้กับตัวแปลงกระแสไฟ DC อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

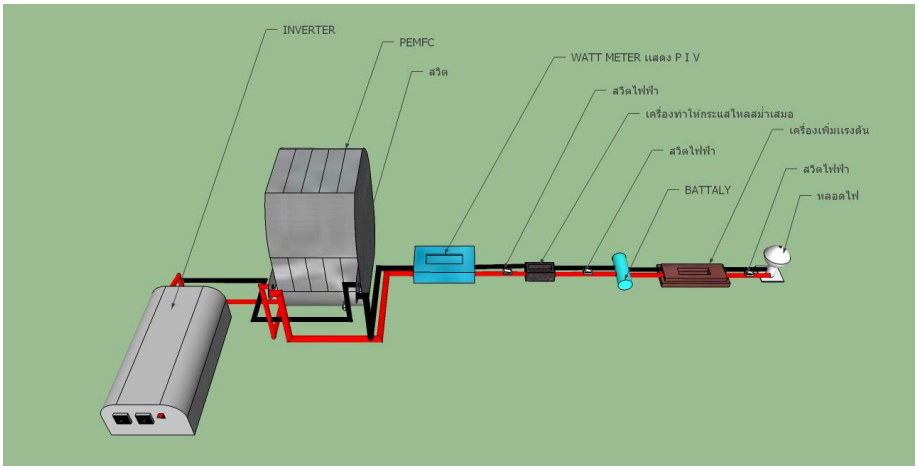
4. ศึกษาการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า

ขั้นที่ 2 **ออกแบบเครื่องมือ จัดหาอุปกรณ์และทำการสร้างเครื่องมือ**

1. ศึกษาการออกแบบ และการนำไปใช้งานของเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ

2. ออกแบบเครื่องมือตามแบบ SketchUp ของงานวิจัยที่ศึกษามาแล้ว และ เปลี่ยนแปลงปรับปรุงเพิ่มเติมดังใน **รูปที่** 3.9

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 3.9 การออกแบบนำไปใช้งานของเครื่องผลิตไฮโดรเจน

1. ไฟฟ้าจะออกจาก PEMFC และจะแบ่งออกเป็น สองทางคือเข้าระบบกับเข้า เครื่องแปลง กระแส (Inverter) จาก DC เป็น AC

2. เมื่อถึงเครื่องแปลงกระแส (Inverter) จาก DC เป็น AC ระบบก็สามารถใช้กับ ไฟ 220 V ได้เลย

3. เมื่อเรียกผ่านระบบไฟฟ้าก็จะเข้าไป ที่เครื่องแสดงผล วัตต์ โวลต์ และกระแส (Watt meter) ก่อนเป็นอันดับแรก

4. หลังจากเครื่องแสดงผล วัตต์ โวลต์ และกระแส (Watt meter) และทำให้กระแสไหลสม่ำเสมอ เพื่อทำการเก็บไฟฟ้าให้กับแบตเตอร์รี่ขนาด 3.7 V

5. เมื่อแบตเตอร์รี่ ที่พร้อมใช้งานก็จะเข้าตัวเพิ่มแรงดัน จาก 3.7 เป็น 12 V เพื่อใช้กับหลอด LED 12 V

ขั้นที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM

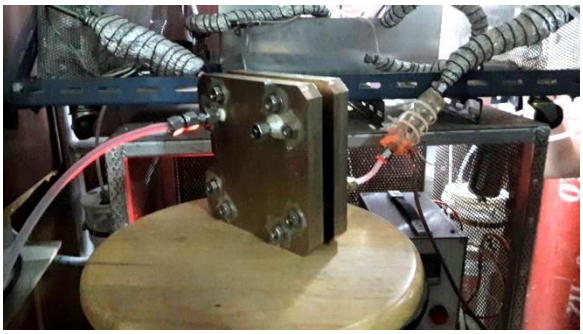
1. นำ MEA ที่เราอัดแล้วจากขั้นที่ 3 มาประกอบเป็นเซลล์เชื้อเพลิงแบบเซลล์เดี่ยว

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
RAJABHAT RAJAPRUK UNIVERSITY

รูปที่ 3.10 MEA มาประกอบเป็นเซลล์เชื้อเพลิงแบบเซลล์เดี่ยว

2. นำเซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบเสร็จจากข้อที่ 1 ไปทดสอบประสิทธิภาพด้วยเครื่อง Fuel cell test station จะได้กราฟ I-V และกราฟ I-V-P

3. เงื่อนไขในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงภายใต้ความดัน 1 atm ความชื้น 100% อุณหภูมิ 50 องศา อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนด 150 sccm และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ขั้วแคโนด 150 sccm (ออกซิเจนจากอากาศ)



รูปที่ 3.11 ทดสอบประสิทธิภาพด้วยเครื่อง Fuel cell test station

4. นำกราฟ I-V จากข้อที่ 3 มาเทียบกับกราฟ I-V ที่ได้จาก Pt/C ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

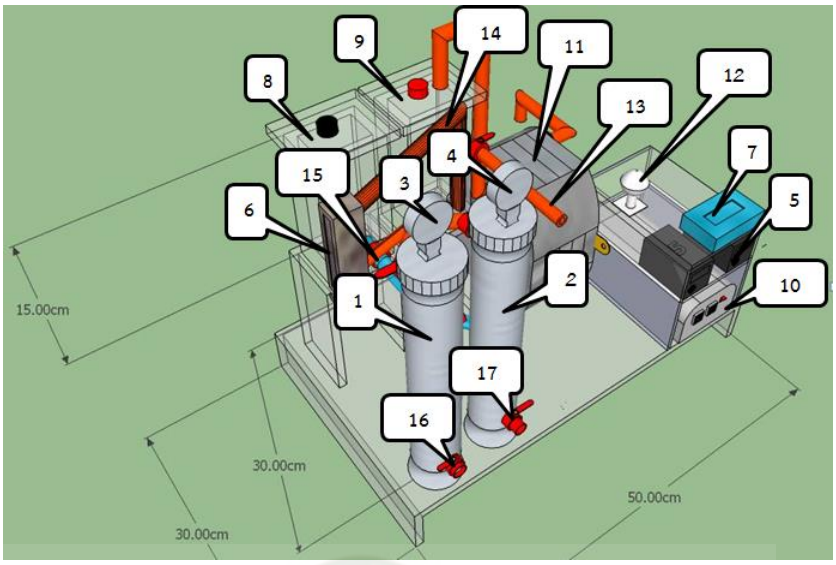
การศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน และปัจจัยในการผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

1. ศึกษาและออกแบบเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากอลูมิเนียม
2. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดของไฮโดรเจน ของอลูมิเนียมและความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน
3. ออกแบบและสร้างนวัตกรรมเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบใหม่สร้างไฟฟ้าจากน้ำ

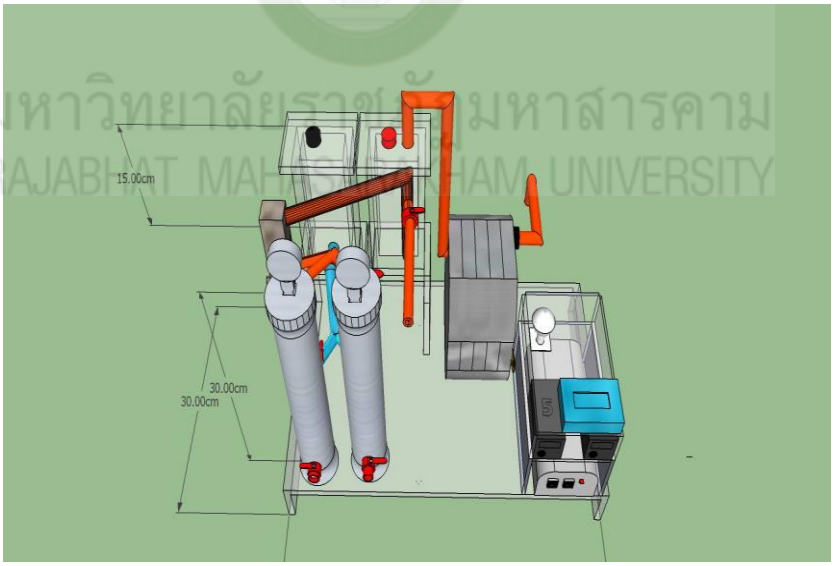
4.1 การออกแบบสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน

ผลจากการออกแบบเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน ได้ออกแบบวิธีการทดลองโดยนำอลูมิเนียมที่ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอนโดยนำไปอัดเม็ดจากนั้นนำเม็ดมาไว้ในถังสแตนเลส แล้วปล่อยน้ำที่ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซต์ลงใน Reactor ทำปฏิกิริยาได้ก๊าซไฮโดรเจนออกมา แล้วจะผ่านมาที่ที่วัดปริมาณก๊าซและเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) ต่อไป **ดังรูปที่** 4.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.1 การออกแบบสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน



รูปที่ 4.2 การออกแบบสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน

รูปที่ 4.3 ภาพการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน

การออกแบบวิธีการผลิตไฮโดรเจน และอุปกรณ์ต่างๆในการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจน จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่ปรากฏขนาดและอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจน ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและสร้างดัง **รูปที่** 4.1 และ **รูปที่** 4.3 ประกอบไปด้วยหมายเลข

1. ถังอะคิลิคพลาสติกใส มีความสูง 15 เซนติเมตร และมีพื้นที่ กว้างxยาว เพื่อรองรับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมกับน้ำที่เตรียมไว้ 320 มิลลิลิตร ฐานรองรับสารละลาย 8 เซนติเมตรเพื่อให้ตัวถังอยู่สูงกว่า Reactor ซึ่งจะทำให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไหลลงในถัง Reactor
2. ถังสแตนเลส มีความสูง 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร จากเงื่อนไขใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 320 ลูกบาศก์เซนติเมตรและขนาดอลูมิเนียมที่แตกต่างกัน เพื่อทนต่อความดันและความร้อนที่เกิดขึ้นของก๊าซไฮโดรเจนในการทำปฏิกิริยา
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ จะวัดอุณหภูมิของก๊าซภายใน Reactor
4. เครื่องวัดความดัน จะวัดความดันภายใน Reactor

5. ถังอะคริลิคพลาสติกใส มีความสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร เป็นถังใส่น้ำเพื่อที่จะให้สิ่งปฏิกูลที่มากับก๊าซตกตะกอนและลดอุณหภูมิลดลง

6. กล่องใส่สารดูดความชื้น ก๊าซที่ไหลผ่านน้ำจะนำความชื้นมาด้วย จึงต้องใส่สารดูดความชื้น

7. ถังอะคริลิค พลาสติกใส จะมีความสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 10 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร ถังนี้จะเติมน้ำเต็มถังเพื่อจะให้ก๊าซที่ไหลผ่าน มาแทนที่น้ำ

8. ท่อส่งน้ำเมื่อมีก๊าซเข้ามายังถังน้ำที่จะแทนที่ด้วยก๊าซแล้ว น้ำจะผ่านท่อส่งน้ำแล้วไหลไปยังภาชนะใส่น้ำเพื่อชั่งปริมาณน้ำที่ออกมา

9. วาล์วทองเหลืองปิด-เปิด

10. ข้อต่อสามทาง

11. เกลียวเส้น จะยึดระหว่างผ้าถังกับฐานวาง

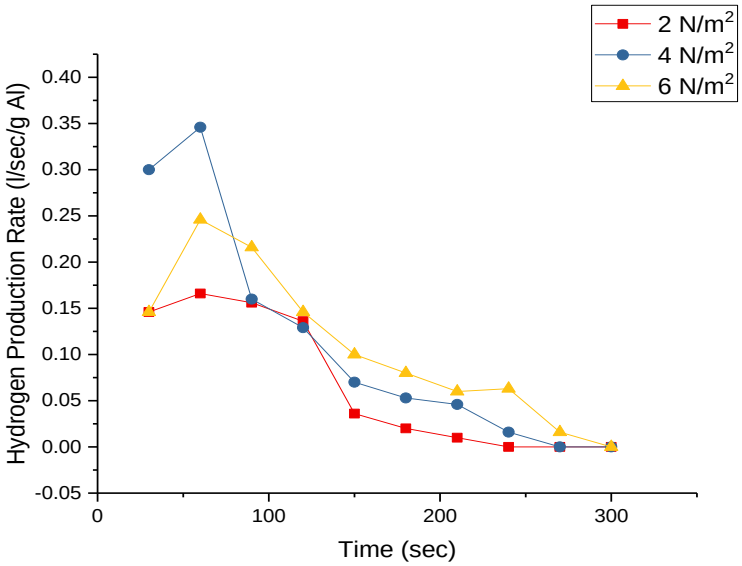
12. ฐานวาง

13. ท่อก๊าซ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 6 มิลลิเมตร

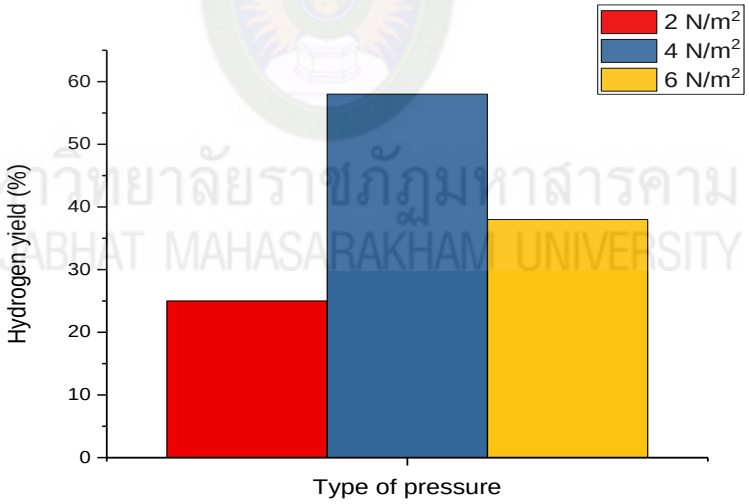
4.2 ผลของความดันอัดเม็ดอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนต่อการเกิดปฏิกิริยา

ผลการเกิดปฏิกิริยาของความดันอัดเม็ดอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนแสดงข้อมูล ในกราฟดังแสดงใน **รูปที่** 4.4 และ **รูปที่** 4.5

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

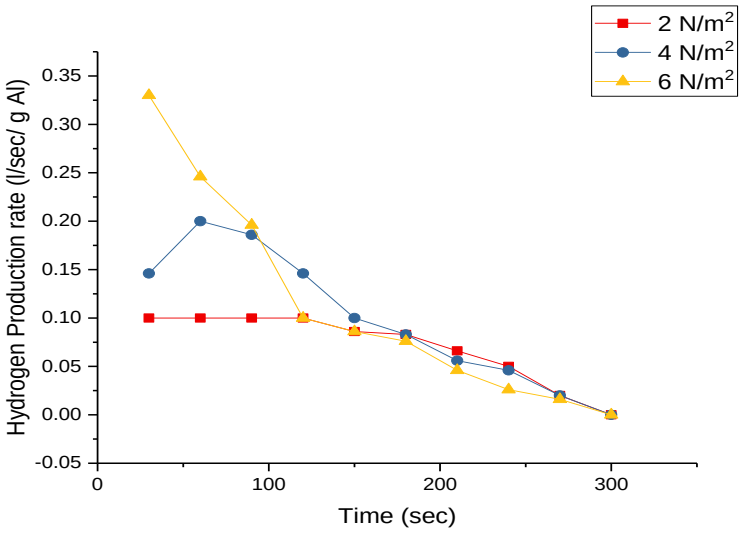


รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 1 โดยปริมาตร

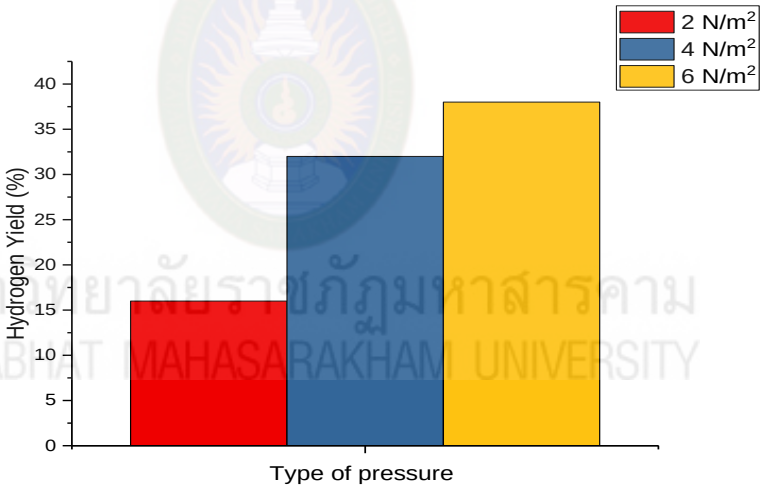


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 4.5 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนที่ ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 1 โดยปริมาตร

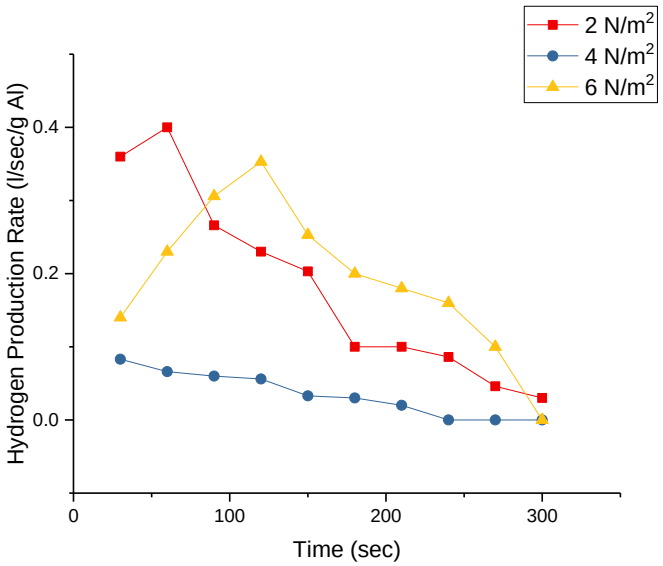


รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 2 โดยปริมาตร

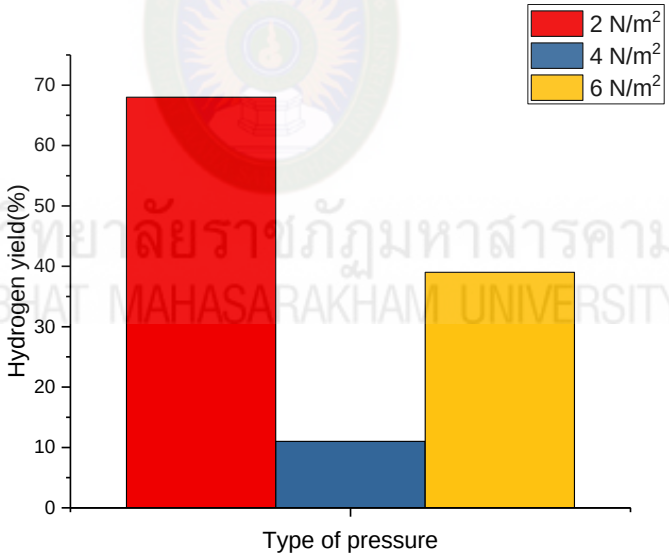


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 4.7 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 2 โดยปริมาตร

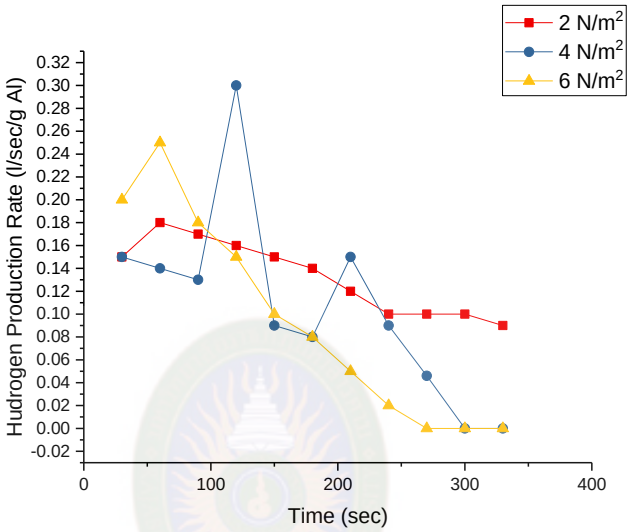


รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 3 โดยปริมาตร



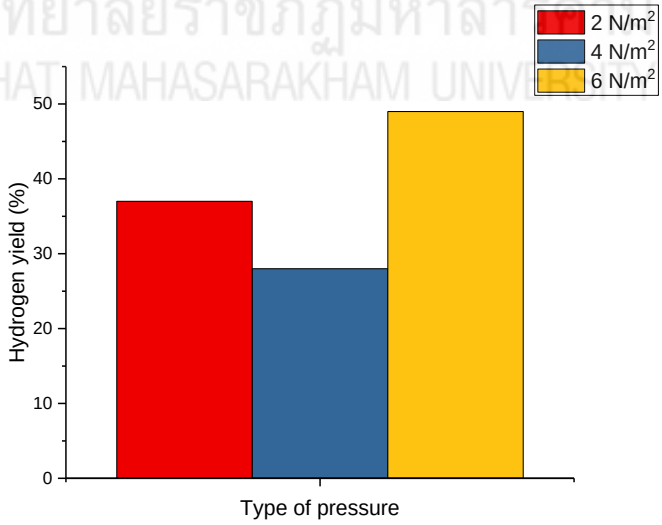
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 4.9 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 3 โดยปริมาตร

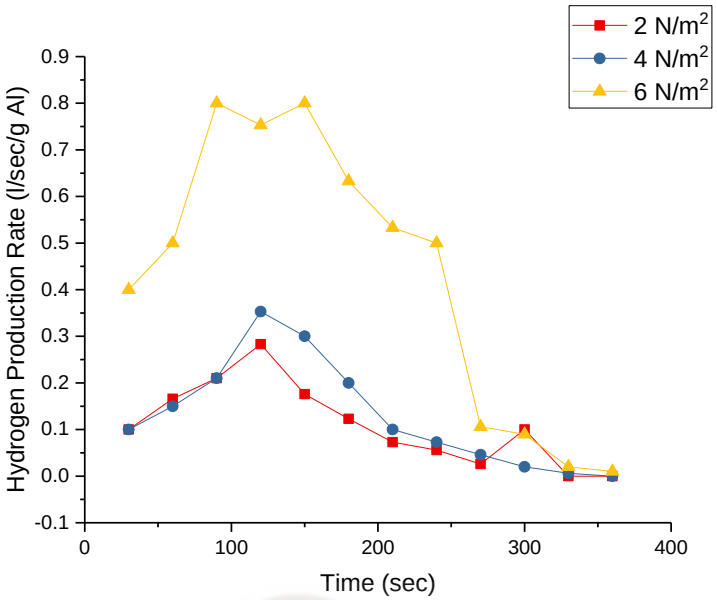


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 4 โดยปริมาตร

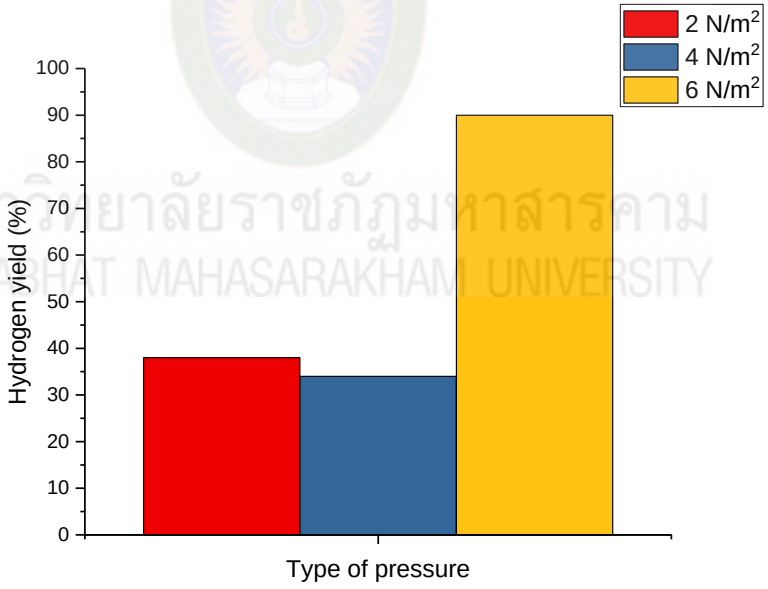
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.11 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 4 โดยปริมาตร

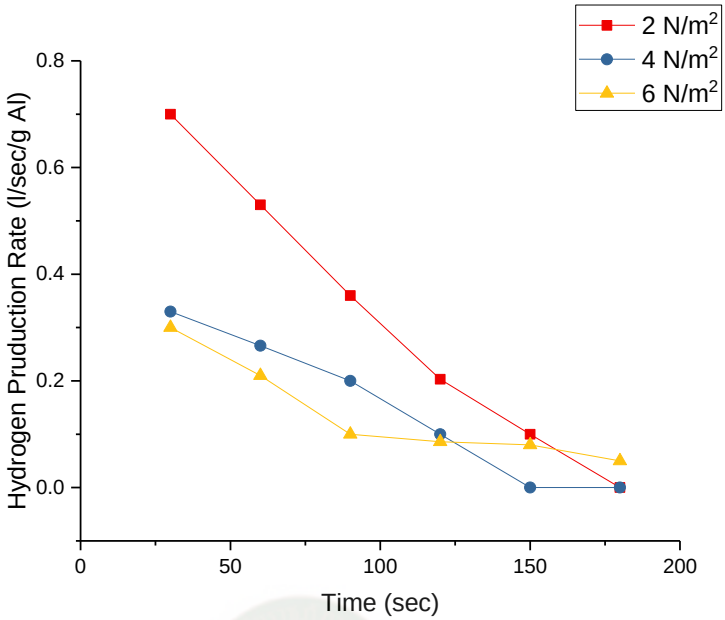


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 5 โดยปริมาตร

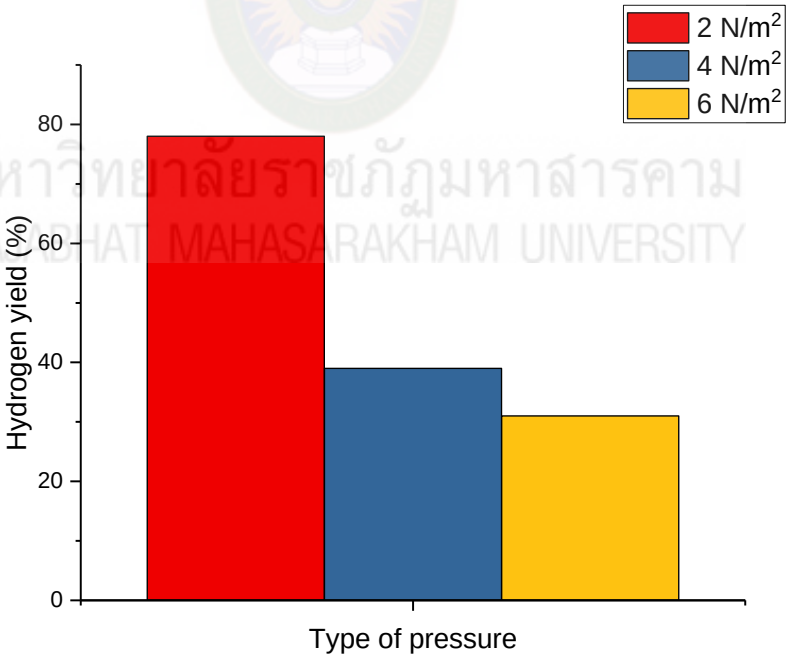


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 4.13 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ความเข้มข้น CNT ร้อยละ 5 โดยปริมาตร



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ได้กับเวลาที่ไม่มีความเข้มข้น CNT



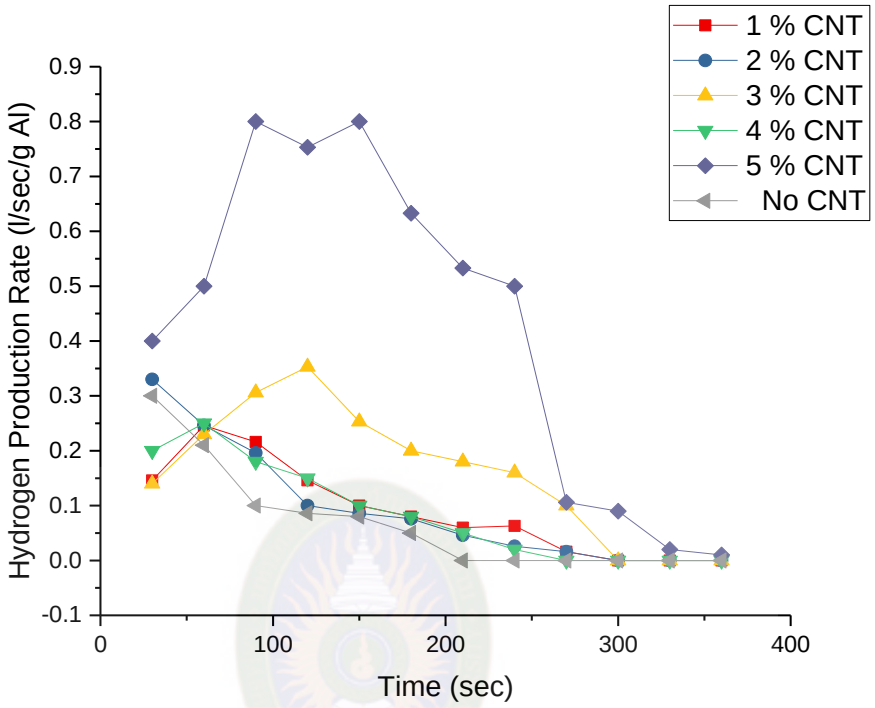
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 4.15 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ไม่มีความเข้มข้น CNT

จากรูปที่ 4.4, 4.6, 4.8 , 4.10, 4.12 และ 4.14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 10 wt**%** แล้วใช้อลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับการอัดเม็ดด้วยความดันต่างๆ ดังนี้ 2, 4 และ 6 N/m^2 มาทำปฏิกิริยาตามลำดับ พบว่า ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา และลดลงในช่วงท้ายของทุกความเข้มเข้นของท่อนาโนคาร์บอน ดังนั้นช่วงแรกเป็นช่วงที่ทำปฏิกิริยาเร็วกว่าช่วงอื่นๆเพราะเกิดจากสารละลายโซเดียมไฮโดรอกไซด์ (NaOH) มีอุณหภูมิที่สูงและการเติมตัวเร่งท่อนาโนคาร์บอนส่งผลทำให้เกิดการทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เมื่อเพิ่มความเข้มเข้นของท่อนาโนคาร์บอนและความดันในการอัดเม็ดผสมท่อนาโนคาร์บอน พบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นทำให้เกิดการผลิตไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนอลูมิเนียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ความดันในการเอ็ดเม็ดผสม 6 N/m^2 ได้ปริมาตรก๊าซไฮโดรเจน 0.753 ลิตรต่อวินานาที ซึ่งมากว่าอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความดัน 2 และ 4 N/m^2 ที่ความเข้มข้นเดียวกันได้ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ 0.36 และ 0.353 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับ สังเกตได้จากปริมาตรของไฮโดรเจนที่ได้โดยการทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ความดัน 6 N/m^2 จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนไปถึงจุดสุดท้าย(หยุดทำปฏิกิริยา) ที่เวลา 350 วินาที ส่วนปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ของการทำปฏิกิริยาอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความเข้นข้นเดียวกัน ความดัน 2 และ 4 N/m^2 ช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนไปถึงจุดสุดท้ายที่เวลา 270 วินาที 330 วินาที ดังนั้นการทำปฏิกิริยาอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ความดัน 6 N/m^2 จะเร็วในช่วงแรก และทำปฏิกิริยานานกว่าทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าการทำปฏิกิริยาอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความดัน 2 และ 4 N/m^2ที่ความเข้มข้นเดียวกัน **ดังรูปที่** 4.12 ส่วน**รูปที่** 4.14 เป็นอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ไม่ผสมท่อนาโนคาร์บอน พบว่าอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนน้อยกว่าอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอน ส่วน**รูปที่** 4.5, 4.7, 4.9, 4.11, 4.13 และ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนของอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับการอัดเม็ดด้วยความดันต่างๆ ดังนี้ 2, 4 และ 6 N/m^2 มาทำปฏิกิริยาตามลำดับ พบว่า อลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความเข้มข้น และความดันมากขึ้น ร้อยละผลได้ของก๊าซไฮโดรเจนมากขึ้น และที่ลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ที่ความดัน 2, 4 และ 6 N/m^2 ตามลำดับได้ร้อยละผลได้ของก๊าซไฮโดรเจนคือ 51.51, 68.31และ 90.01**%** ตามลำดับ

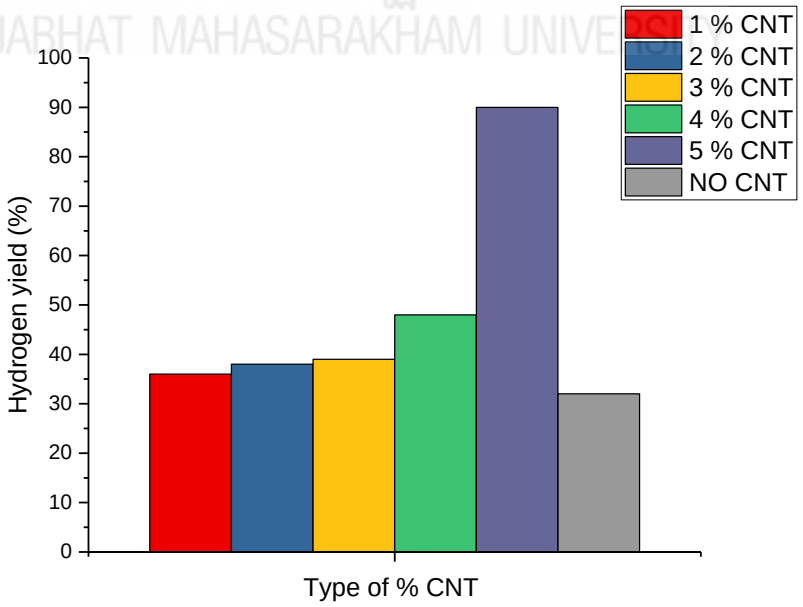
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากผลการเกิดปฏิกิริยาของท่อนาโนคาร์บอนที่ความดัน 6 N/m^2 แสดงข้อมูลกราฟดังแสดงใน **รูปที่** 4.16 และ **รูปที่** 4.17



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ความเข้มข้น CNT ต่างๆ กับความดัน 6 N/m^2

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



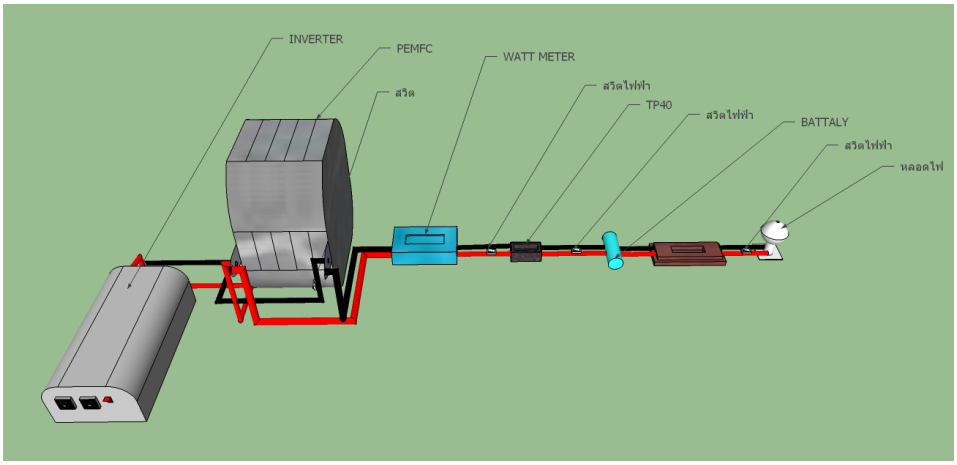
รูปที่ 4.17 ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนที่ได้กับเวลาที่ความเข้มข้น CNT ต่างๆ กับความดัน 6 N/m^2

จากรูปที่ 4.16 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ได้กับเวลา โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 10 wt% แล้วใช้อลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตรที่ความดันในการอัดเม็ดผสม 6 N/m^2 ที่ทำปฏิกิริยาตามลำดับ พบว่า ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จากนั้นค่อยๆเพิ่มขึ้น และช่วงสุดท้ายจะลดลง ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจน ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของอลูมิเนียมอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 5 โดยปริมาตร สูงสุดที่ 0.753 ลิตรต่อวินาที ซึ่งมากว่าอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนขนาดอื่นๆ อลูมิเนียมอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 5 โดยปริมาตร มีปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนมากกว่าในทุกช่วงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้นอื่นๆ โดยพบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมจะอยู่ที่ความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 5 โดยปริมาตร **ดังรูปที่** 4.16 ดังนั้น อลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 5 โดยปริมาตร จึงเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนขนาดอื่นๆ ส่วนใน **รูปที่** 4.17 เป็นการเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนของอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 1, 2, 3, 4, และ 5 โดยปริมาตร พบว่า อลูมิเนียมที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยปริมาตร มีร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนคือ 36.66, 38.41, 39.28,48.68 และ 90.01% ตามลำดับ อลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 5โดยปริมาตร มีร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนมากกว่าอลูมิเนียมแผ่นขนาดอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.3 ออกแบบและสร้างนวัตกรรมเครื่องสำรองไฟฟ้าแบบใหม่สร้างไฟฟ้าจากน้ำ

ผลจากการออกแบบการนำไปใช้เครื่องผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน ได้ออกแบบวิธีการการนำใช้โดยนำที่แสดงผลต่อเข้ากับ PEMFC หลังจากนั้นก็จะเอาไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปเก็บไว้ที่แบตเตอร์รี่ขนาด 3.7 V มาเก็บไฟฟ้าไว้หลังจากนั้นก็มาผ่านตัวเพิ่มแรงดันจนทำให้มีแรงดัน 12 V และนำมาต่อกับหลอดไฟ LED 12 V **ดังรูปที่** 4.18



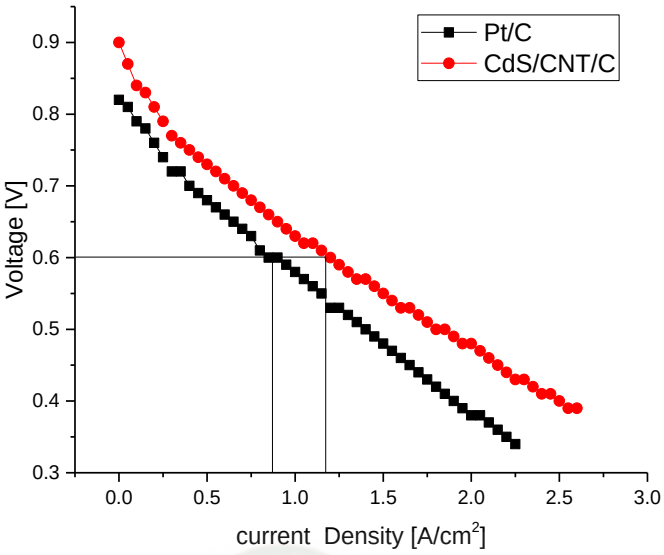
รูปที่ 4.18 การออกแบบการนำไปใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจาก
วัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน

จากรูป 4.18 แสดงการนำไปใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอนระบบจะแบ่งเป็นสองระบบใหญ่ๆคือระบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านเครื่องแปลงกระแส (Inverter) จาก DC เป็น AC แล้วก็สามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า 220 V โดยไฟฟ้าจะเกิดจาก PEMFC และถูกส่งต่อมาที่สวิตซ์เพื่อทำงาน เมื่อกดสวิตซ์ลง **(**แต่ต้องปิดระบบที่สอง**)** หลังจากนั่นเครื่องแปลงกระแส (Inverter) จาก DC เป็น AC สามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 220 V ได้ ระบบที่สองเป็นระบบหลักโดยจะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบไปด้วย 5 ส่วน คือเครื่องแสดงผล วัตต์ โวลต์ และกระแส (Watt meter) โดยไฟฟ้าจะออกจาก PEMFC เหมือนกัน เมื่อกดสวิตซ์ให้ระบบทำงาน (ปิดสวิตซ์ INVERTER) หลังจากนั้นไฟฟ้าจะวิ่งมาเข้าที่เครื่องแสดงผล วัตต์ โวลต์ และกระแส (Watt meter) เพื่อแสดงค่าต่างๆตามรายละเอียด หลังจากนั่นไฟฟ้าถูกส่งไปที่ตัวทำให้กระแสไหลสม่ำเสมอ เมื่อสวิตซ์ทำการกดเพื่อเก็บประจุไฟฟ้า ทำให้กระแสสม่ำเสมอมี LED แสดงสถานะการทำงานแบตเตอร์รี่ โดยไฟสีน้ำเงินแสดงว่าไม่มีการเก็บประจุไฟฟ้าหรือแบตเตอร์รี่เต็ม แต่ถ้ามีการเก็บประจุไฟฟ้าไฟจะแสดงผลสีแดงและน้ำเงินพร้อมกัน หลังจากที่กดสวิตซ์ทำงานไฟฟ้าวิ่งผ่านทำให้กระแสไหลสม่ำเสมอ หลังจากนั้นถ้าต้องการเก็บประจุไฟฟ้า ต้องกดสวิตซ์เพื่อทำการเก็บประจุไฟฟ้าในกรณีที่แบตเตอร์รี่เต็มหรือไม่ ต้องการเก็บประจุไฟฟ้าก็กดปิดสวิตซ์ เมื่อแบตเตอรี่พร้อมใช้งานสามารถใช้งานไฟฟ้าจากแบตเตอร์รี่จะถูกส่งไปที่ตัวเพิ่มแรงดันไฟฟ้า จาก 3.7 V ไปเป็น 12 V เพื่อนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) 12 V ในการทดลองนี้ใช้หลอดไฟ LED 12 V **ดังรูปที่** 4.19

รูปที่ 4.19 แสดงการนำไปใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน สำหรับ PEMFC

4.3.1 ผลของการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบเซลล์เดี่ยว

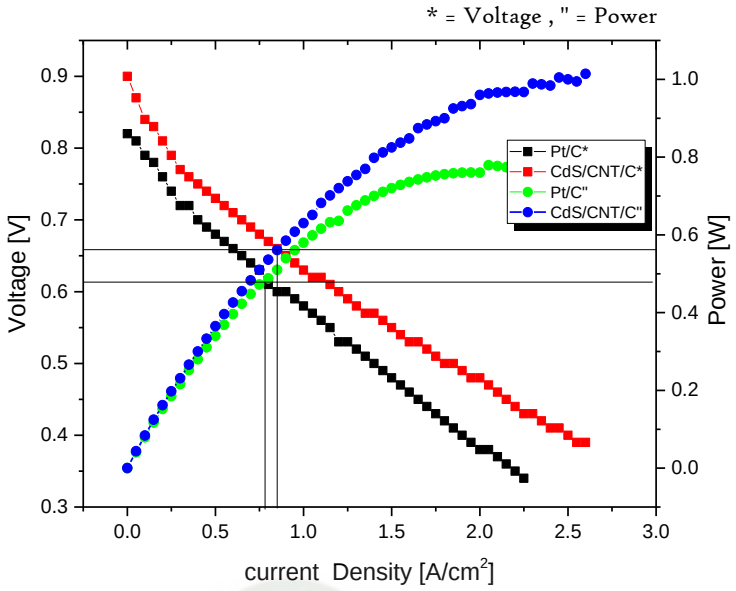
การเตรียมขั้วไฟฟ้าที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C เทียบกับขั้วไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ที่เตรียมจาก Pt/C ในเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ในรูปของกราฟโพลาไรเซชันโดยใช้ แผ่นอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (MEA) ที่เตรียมจากขั้วไฟฟ้าที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C มีตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร เปรียบเทียบกับแผ่นอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (MEA) เชิงพาณิชย์มีตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม 0.5 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่มีขนาดพื้นที่ทำปฏิกิริยา 7x7 ตารางเซนติเมตรเท่ากัน เมมเบรน EC-CCM-50-2 และแผ่นช่องการไหลของแก๊สชนิดแกรไฟต์ชนิดเดียวกัน เงื่อนไขในการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบเซลล์เดี่ยว ที่ความดัน 1 atm ความชื้น 100% อุณหภูมิภายในเซลล์ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจน 150 sccm และอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 150 sccm พบว่า ชุดเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวใช้แผ่นอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (MEA) ที่เตรียมจากขั้วไฟฟ้าที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C ที่ความต่างศักย์ 0.6 โวลต์ (1.2 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร) มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามากกว่าปริมาณแผ่นอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (MEA) เชิงพาณิชย์มีตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม (0.8 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร) ดังแสดงใน **รูปที่ 4.19**



รูปที่ 4.19 โพลาไรเซชันของชุดเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวที่ใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C เทียบกับขั้วไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ที่เตรียมจาก Pt/C

ในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C เทียบกับขั้วไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ที่เตรียมจาก Pt/C ดัง **รูปที่ 4.20** พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมจาก Pt/C ให้ความหนาแน่นกระแสเหมาะสมอยู่ที่ 0.56 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ความต่างศักย์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.62 โวลต์ และกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.44 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C ความหนาแน่นกระแสเหมาะสมอยู่ที่ 0.70 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ความต่างศักย์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.66 โวลต์ และ กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ 0.48 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นการเตรียมขั้วไฟฟ้าที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C ในการประกอบแผ่นอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (MEA) จึงเหมาะสำหรับการนำไปประกอบเป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ที่มีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ การประกอบแผ่นอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (MEA) เชิงพาณิชย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแส ความต่างศักย์และกำลังไฟฟ้าที่เตรียมจากตัวเร่งปฏิกิริยา CdS/CNT/C และ Pt/C

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย วิจารณ์ผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาการออกแบบสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน และปัจจัยในการผลิตไฮโดรเจนจากอลูมิเนียมและท่อนาโนคาร์บอน สรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. เครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอนที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Sket up และเมื่อสร้างเครื่องเสร็จจะประกอบไปด้วยทั้งหมด 6 ส่วนคือ ถังใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ ขนาดปริมาตรกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ถัง Reactor สำหรับทำปฏิกิริยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร 2 ถัง ถังน้ำกรองก๊าซ ขนาดปริมาตรกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ที่วัดปริมาณก๊าซหน่วยเป็นลิตรต่อนาที เครื่องควบคุมอุณหภูมิ PEMFC

2. ความดันและเข้มข้นของท่อนาโนคาร์บอนของอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนเพิ่มขึ้นอัตตราการเกิดก๊าซไฮโดเจนและร้อยละผลได้มากขึ้น เงื่อนไขที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ เป็นอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนที่มีขนาดของความดันที่ 6 N/m^2 ที่ความเข้มข้นของท่อนาโนคาร์บอนที่ร้อยละ 5 โดยปริมาตร พบว่าอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมาก เวลาในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าที่ความดันและความเข้นข้นอื่น ได้อัตราการเกิดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนสูงสุดอยู่ที่ 0.753 ลิตรต่อวินาที และ ร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนสูงสุดอยู่ที่ 90.01 **%**

3. เมื่อทำการต่อระบบเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอนเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตแรงดันได้ที่ 6.1 V หลังจากนั้นไฟฟ้าที่ได้ก็จะนำมาชาร์จแบตเตอร์รี่ขนาด 3.7 V แล้วจะนำมาเข้าที่ที่ตัวเพิ่มแรงดันให้เป็น 12 V และต่อเข้าหลอดไฟ LED 12 V ทำให้ไฟสว่างได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

5.2 วิจารณ์ผล

1. จากผลการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนสังเกตเห็นว่าเครื่องผลิตไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นสามารถผลิตไฮโดรเจนได้จริง วัสดุที่ใช้ในการสร้างสามารถทนต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับอลูมิเนียมผสมท่อนาโนคาร์บอนทนต่อความดัน และอุณหภูมิที่ก๊าซเกิดขึ้นในการทำปฏิกิริยา เนื่องจาก วัสดุที่ใช้ทำมาจากอะคริลิคพลาสติก และสแตนเลสไม่ทำปฏิกิริยากับสาร และทนอุณหภูมิได้ดี แต่ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ได้ปริมาณน้อยซึ่งและไม่คงที่

2. จากการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอน พบว่า อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ในการทดลองการเกิดก๊าซไฮโดรเจนยังไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้

3. จากการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากวัสดุผสมอลูมิเนียมกับตัวเร่งปฏิกิริยาท่อนาโนคาร์บอนต่อเข้ากับระบบเซลล์เชื้อเพลิงเป็นระบบสำรองไฟฟ้ายังทำงานไม่ไม่เสถียร เนื่องจากจากสร้างปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างได้ยังมีน้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนเป็นอะคริลิคพลาสติกใสในงานวิจัยนี้ ควรศึกษาอะลริลิคชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าอะคริลิคพลาสติกใส และอุปกรณ์ที่ใช้ในสร้างเครื่องผลิตไฮโดรเจนควรมีวัสดุที่มาตรฐาน

2. ในงานวิจัยนี้ใช้ความดันเพียง 3 ขนาดเท่านั้น ถ้าให้ผลที่ได้ดีต้องเพิ่มความดันให้หลายค่า เพื่อนำมาเปรียบเทียบให้ได้ค่าที่ชัดเจนมากขึ้น

3. จะเห็นว่าแนวโน้มความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอน เพิ่มขึ้น ปริมาณและร้อยละผลได้ของไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ควรศึกษาความเข้มข้นท่อนาโนคาร์บอน 6% จะได้ค่าที่มีแนวโน้มที่ชัดเจนมากขึ้น

4. การศึกษางานวิจัย ในครั้งนี้ไม่ได้ศึกษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้น จึงควรทำการศึกษาอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถัง Reactor

5. เครื่องที่ใช้วัดความดัน ควรมีความละเอียดสูง เพื่อทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2556). **โครงการศึกษามาตรการส่งเสริมการผลิต ไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน** สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.

[2] ชาติชาย ผึ้งทองดี, (2556). **ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง (CO-GENERATION).**

[3] เดชา ขันธบูรณ์, พัธทรกรณ์ จันทร์คลอง. (2557). งานวิจัยเรื่องศึกษาการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจนและ ผลไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียม. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

[4] ปรียา อนุพงษ์องอาจ. (2558) **กฎของก๊าซ**. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2558, จาก https://www.rsu.ac.th/academic/tqf/file_upload/20151228152454.pdf

[5] ประเทือง ฝั้นแก้ว, เดช ดำรงศักดิ์ และ ตะวัน สุจริตกุล. (2557)**. งานวิจัยเรื่องศึกษาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ.** ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] รัชนีกร วันจันทึก. (2554). **งานวิจัยเรื่องก๊าซไฮโดรเจน : ความคาดหวังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานที่ยั่งยืน**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**.**

[7] วชิราภรณ์ หงสวินิตกุล. (2554). **งานวิจัยเรื่องระบบควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยคอมพิวเตอร์ สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] วสันต์ ปินะเต. (2558). **งานวิจัยเรื่องการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

[9] สุวิน สลีสองสม. (2554). **งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์เครื่องยนต์เล็ก โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพที่ได้จากมูลช้างเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า**ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย**.**

[10] Hardware art.net (2556). 3 **เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) รุ่นเครื่องปั่นไฟ 1.0kVA. BERALA GENERATOR TP1200 1000va เบนซิน**.

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

[1] Cheng-Chuan Wang, Ya-Ching Chou, Chia-Ying Yen. (2013). **Hydrogen Generation from Aluminum and Aluminum Powder**. Procedia Engineering. 36, 105-113.

[2] Er-DongWang. (2008). **Enhancement of hydrogen generation using waste aluminum cans hydrolysis in low alkaline de-ionized water**. International Journal of Hydrogen Energy. 3741–3747.

[3] Jung-Tae Park. (2013). A small-scale and portable 50 W PEMFC system that automatically generates hydrogen from a mixture of Al, CaO, NaOH and sodium CMC in water without external power supply. International journal of hydrogen energy. 38, 11-18.

[4] Shani Elitzur, Valery Rosenband, Alon Gany. (2013). **Study of hydrogen production and storage based on aluminum-water reaction**. International journal of hydrogen energy. 1-7.

[5] Wu Jiying, Ma Yimin. (2015). **Experimental study on performance of a biogas engine driven air source heat pump system powered by renewable landfill gas**. Mechanical and Energy Engineering College of Jimei University. 9.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

แสดงตัวอย่างการคำนวณ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. การหาน้ำหนักโดยมวล

จากสูตรการหาเปอร์เซ็นต์ร้อยละโดยมวล

$$\% \text{ ร้อยละโดยมวล (wt\%)} = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารทั้งหมด}}\right) \times 100 \quad \text{.....(ก.1)}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

1.1 การเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล

ในการเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวล และเตรียมน้ำปริมาณ 320 มิลลิลิตร สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ ก.1 ดังนี้

$$5 \text{ wt\%} = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารทั้งหมด}}\right) \times 100$$

$$5 \text{ wt\%} = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{320 + \text{มวลของตัวถูกละลาย}}\right)\text{กรัม} \times 100$$

$$1600 + 5(\text{มวลของตัวถูกละลาย})\text{กรัม} = 100(\text{มวลของตัวถูกละลาย})\text{กรัม}$$

$$\text{มวลของตัวถูกละลาย} = 16 \text{ กรัม}$$

ในมวลของตัวถูกละลาย 16 กรัม จะมีโซเดียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วน 3 : 1 ดังนั้นจึงมีโซเดียมออกไซด์ 12 กรัม และแคลเซียมออกไซด์ 4 กรัม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.2 การเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล

ในการเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยมวล และเตรียมน้ำปริมาณ 320 มิลลิลิตร สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ ก.1 ดังนี้

$$10\ wt\% = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารทั้งหมด}}\right) \times 100$$

$$10\ wt\% = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{320 + \text{มวลของตัวถูกละลาย}}\right)\text{กรัม} \times 100$$

$$3200 + 10(\text{มวลของตัวถูกละลาย})\text{กรัม} = 100(\text{มวลของตัวถูกละลาย})\text{กรัม}$$

$$\text{มวลของตัวถูกละลาย} = 36\ \text{กรัม}$$

ในมวลของตัวถูกละลาย 36 กรัม จะมีโซเดียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วน 3 : 1 ดังนั้นจึงมีโซเดียมออกไซด์ 27 กรัม และแคลเซียมออกไซด์ 9 กรัม

1.3 การเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวล

ในการเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวล และเตรียมน้ำปริมาณ 320 มิลลิลิตร สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ ก.1 ดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

$$15\ wt\% = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารทั้งหมด}}\right) \times 100$$

$$15\ wt\% = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{320 + \text{มวลของตัวถูกละลาย}}\right)\text{กรัม} \times 100$$

$$4800 + 15(\text{มวลของตัวถูกละลาย})\text{กรัม} = 100(\text{มวลของตัวถูกละลาย})\text{กรัม}$$

$$\text{มวลของตัวถูกละลาย} = 56\ \text{กรัม}$$

ในมวลของตัวถูกละลาย 56 กรัม จะมีโซเดียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วน 3 : 1 ดังนั้นจึงมีโซเดียมออกไซด์ 42 กรัม และแคลเซียมออกไซด์ 14 กรัม

1.4 การเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล

ในการเตรียมสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล และเตรียมน้ำปริมาณ 320 มิลลิลิตร สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ ก.1 ดังนี้

$$20\ wt\% = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารทั้งหมด}}\right) \times 100$$

$$20\ wt\% = \left(\frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{320 + \text{มวลของตัวถูกละลาย}}\right)\text{กรัม} \times 100$$

$$6400 + 20(\text{มวลของตัวถูกละลาย})\text{กรัม} = 100(\text{มวลของตัวถูกละลาย})\text{กรัม}$$

$$\text{มวลของตัวถูกละลาย} = 80\ \text{กรัม}$$

ในมวลของตัวถูกละลาย 80 กรัม จะมีโซเดียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์ในอัตราส่วน 3 : 1 ดังนั้นจึงมีโซเดียมออกไซด์ 60 กรัม และแคลเซียมออกไซด์ 20 กรัม

2. หาปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนจากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ (Flow meter)

เนื่องจากเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ (Flow meter) มีหน่วยวัดเป็นลิตรต่อนาที(ลิตรต่อนาที) ดังนั้นในการหาปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนสามารถทำได้ดังนี้

สมมติ ในช่วงเวลา 1 นาที มีอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนอยู่ที่ 2 ลิตรต่อนาที

ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้คือ 1นาที x 2 ลิตรต่อนาที

ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้คือ 2 ลิตร

ตัวอย่างการคำนวณ

จาก**ตารางที่ 4.1** การหาปริมาณก๊าซไฮโดรเจนของความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล ในช่วงเวลา 1-5 นาที มีอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนอยู่ที่ 2.5 ลิตรต่อนาที

ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ คือ 5นาที x 2.5 ลิตรต่อนาที

ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ คือ 12.5 ลิตร

3. หาร้อยละผลได้ของก๊าซไฮโดรเจน

จากสูตรหาร้อยละผลได้ของก๊าซไฮโดรเจน

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

ไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎีหาได้จาก (a%/27) ×1.5×24.45×m

เมื่อ a% คือ เปอร์เซ็นอะลูมิเนียม

27 คือ น้ำหนักอะตอมของอะลูมิเนียม

1.5 คือ 1 โมลของอะลูมิเนียมที่เปลี่ยนเป็นไฮโดรเจน

24.45 คือ ปริมาตรของไฮโดรเจนหนึ่งโมล

m คือ มวลของอะลูมิเนียมที่ใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

จาก**ตารางที่ 4.3** การหาร้อยละผลได้ก๊าซไฮโดรเจนของความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยมวล ในช่วงเวลา 1-5 นาที มีปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนอยู่ที่ 12.5 ลิตร คำนวณได้จากสมการที่ ก.2 ดังนี้

$$\text{ร้อยละผลได้} = \frac{\text{ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้}}{\text{ไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100\%$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

โดยที่ ไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎีหาได้จาก (0.97/27) ×1.5×24.45× 80

ไฮโดรเจนที่ได้จากทฤษฎี คือ 105.40 ลิตร

$$\text{ร้อยละผลได้} = \frac{12.5}{105.40} \times 100\%$$

$$\text{ร้อยละผลได้} = 11.85\%$$

4. หาปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยแก๊สชีวภาพ

ในการหาปริมาณของก๊าซชีวภาพสามารถทำโดยใช้หลักการแทนที่ของน้ำดังสมการที่

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{.....(ก.3)}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

m คือ มวลรวมของวัตถุ (หน่วย กิโลกรัม)

V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (หน่วย ลูกบาศก์เมตร)

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตารางที่ 4.3 การคำนวณเพื่อหาปริมาตรก๊าซชีวภาพจากมวลของน้ำที่ได้จากการวัดโดยหลักการแทนที่น้ำช่วงเวลา 8:00-9:00 น. จากสมการที่ ก.3

$$V = \frac{m}{\rho}$$

มวลของน้ำ 1.81 kg

$$V = \frac{0.45\ kg}{1.15 kg/m^3}$$

$$V = 0.39 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มวลของน้ำ 2.0 kg

$$V = \frac{0.52\ kg}{1.15 kg/m^3}$$

$$V = 0.45 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-1 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน 1 เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน 2 N/m^2, 4 N/m^2, 6 N/m^2

เวลา (วินาที)	**อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน** (l/min)		
	ความดัน 2(N/m^2)	**ความดัน** 4(N/m^2)	**ความดัน** 6(N/m^2)
30	0.146	0.300	0.146
60	0.166	0.346	0.246
90	0.156	0.160	0.216
120	0.136	0.129	0.146
150	0.036	0.070	0.100
180	0.020	0.053	0.080
210	0.01	0.046	0.060
240	0	0.016	0.063
270	0	0	0.016
300	0	0	0
330	0	0	0
360	0	0	0
400	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-2 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน **2** เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน **2 N/m^2, 4 N/m^2, 6 N/m^2**

เวลา (วินาที)	**อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน** (l/min)		
	ความดัน 2(N/m^2)	**ความดัน 4** (N/m^2)	**ความดัน 6**(N/m^2)
30	0.100	0.146	0.33
60	0.100	0.200	0.246
90	0.100	0.186	0.196
120	0.100	0.146	0.100
150	0.086	0.100	0.086
180	0.083	0.083	0.076
210	0.066	0.056	0.046
240	0.050	0.046	0.026
270	0.020	0.020	0.016
300	0.010	0	0
330	0	0	0
360	0	0	0
400	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-3 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน **3** เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน **2 N/m^2, 4 N/m^2, 6 N/m^2**

เวลา (วินาที)	**อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน** (l/min)		
	ความดัน 2(N/m^2)	**ความดัน 4**(N/m^2)	**ความดัน** 6(N/m^2)
30	0.360	0.083	0.140
60	0.400	0.066	0.230
90	0.266	0.060	0.306
120	0.230	0.056	0.353
150	0.203	0.033	0.253
180	0.100	0.030	0.200
210	0.100	0.020	0.180
240	0.086	0	0.160
270	0.046	0	0.100
300	0.030	0	0
330	0	0	0
360	0	0	0
400	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-4 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน **4** เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน **2 N/m^2, 4 N/m^2 , 6 N/m^2**

เวลา (วินาที)	**อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน** (l/min)		
	ความดัน 2(N/m^2)	**ความดัน 4**(N/m^2)	**ความดัน** 6 (N/m^2)
30	0.150	0.150	0.200
60	0.180	0.140	0.250
90	0.170	0.130	0.180
120	0.160	0.30	0.150
150	0.150	0.090	0.100
180	0.140	0.080	0.080
210	0.120	0.150	0.050
240	0.100	0.090	0.020
270	0.100	0.0460	0
300	0.100	0	0
330	0.090	0	0
360	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-5 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของการผสมท่อนาโนคาร์บอน **5** เปอร์เซ็นต์ที่ความดัน **2 N/m^2, 4 N/m^2, 6 N/m^2**

เวลา (**วินาที**)	**อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน** (l/min)		
	ความดัน 2(N/m^2)	**ความดัน** 4(N/m^2)	**ความดัน** 6(N/m^2)
30	0.100	0.100	0.400
60	0.166	0.150	0.500
90	0.210	0.210	0.800
120	0.283	0.353	0.753
150	0.176	0.300	0.800
180	0.123	0.200	0.633
210	0.073	0.100	0.533
240	0.056	0.073	0.500
270	0.026	0.046	0.106
300	0.100	0.020	0.090
330	0	0.006	0.020
360	0	0	0.010
400	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-6 เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของอลูมิเนียมที่ความดัน **2 N/m^2, 4 N/m^2, 6 N/m^2**

เวลา (วินาที)	**อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน** (l/min)		
	ความดัน 2 (N/m^2)	**ความดัน** 4 (N/m^2)	**ความดัน** 6 (N/m^2)
30	0.700	0.330	0.300
60	0.530	0.266	0.210
90	0.360	0.200	0.100
120	0.203	0.100	0.086
150	0.100	0	0.080
180	0	0	0.050
210	0	0	0
240	0	0	0
270	0	0	0
300	0	0	0
330	0	0	0
360	0	0	0
400	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-7 เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาของอลูมิเนียมที่ความดัน 6 N/m^2 ที่ความเข้มข้นต่างๆของท่อนาโนคาร์บอน

เวลา (วินาที)	อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจน (l/min)					
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 2%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 4%	ความเข้มข้น 5%	อลูมิเนียม
30	0.146	0.330	0.140	0.200	0.400	0.300
60	0.246	0.246	0.230	0.250	0.500	0.210
90	0.216	0.196	0.306	0.180	0.800	0.100
120	0.146	0.100	0.353	0.150	0.753	0.086
150	0.100	0.086	0.253	0.100	0.800	0.080
180	0.080	0.076	0.200	0.080	0.633	0.050
210	0.060	0.046	0.180	0.050	0.533	0
240	0.063	0.026	0.160	0.020	0.500	0
270	0.016	0.016	0.100	0	0.106	0
300	0	0	0	0	0.090	0
330	0	0	0	0	0.02	0
360	0	0	0	0	0.01	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-8 การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของตัวเร่งปฏิกริยา Pt

Pt/C		
ค่าความต่างศักย์ (โวล์ต)	ความหนาแน่นกระแส (mA/cm^2)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
0.82	0	0
0.81	0.05	0.04
0.79	0.10	0.07
0.78	0.15	0.11
0.76	0.20	0.15
0.74	0.25	0.18
0.72	0.30	0.21
0.72	0.35	0.25
0.70	0.40	0.28
0.69	0.45	0.31
0.68	0.50	0.34
0.67	0.55	0.36
0.66	0.60	0.39
0.65	0.65	0.42
0.64	0.70	0.44
0.63	0.75	0.47
0.61	0.80	0.48
0.60	0.85	0.51
0.60	0.90	0.54
0.59	0.95	0.56

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-9 การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของตัวเร่งปฏิกริยา Pt (ต่อ)

Pt/C		
ค่าความต่างศักย์ (โวล์ต)	ความหนาแน่นกระแส (mA/cm^2)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
0.58	1.00	0.58
0.57	1.05	0.59
0.56	1.10	0.61
0.55	1.15	0.63
0.53	1.20	0.63
0.53	1.25	0.66
0.52	1.30	0.67
0.51	1.35	0.68
0.5	1.40	0.70
0.49	1.45	0.71
0.48	1.50	0.72
0.47	1.55	0.72
0.46	1.60	0.73
0.45	1.65	0.74
0.44	1.70	0.74
0.43	1.75	0.75
0.42	1.80	0.75
0.41	1.85	0.75
0.40	1.90	0.76
0.39	1.95	0.76
0.38	2.00	0.76
0.38	2.05	0.77

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-10 การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของตัวเร่งปฏิกริยา CdS/CNT/C

CdS/CNT/C		
ค่าความต่างศักย์ (โวล์ต)	ความหนาแน่นกระแส (mA/cm^2)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
0.90	0	0
0.87	0.05	0.04
0.84	0.10	0.08
0.83	0.15	0.12
0.81	0.20	0.16
0.79	0.25	0.19
0.77	0.30	0.23
0.76	0.35	0.26
0.75	0.40	0.30
0.74	0.45	0.33
0.73	0.50	0.36
0.72	0.55	0.39
0.71	0.60	0.42
0.70	0.65	0.45
0.69	0.70	0.48
0.68	0.75	0.51
0.67	0.80	0.53
0.66	0.85	0.56
0.65	0.90	0.58
0.64	0.95	0.60
0.63	1.00	0.63
0.62	1.05	0.65
0.62	1.10	0.68
0.61	1.15	0.70

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-11 การทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนของตัวเร่งปฏิกริยา CdS/CNT/C (ต่อ)

CdS/CNT/C		
ค่าความต่างศักย์ (โวล์ต)	ความหนาแน่นกระแส (mA/cm^2)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
0.60	1.20	0.72
0.59	1.25	0.73
0.58	1.30	0.75
0.57	1.35	0.76
0.57	1.40	0.79
0.56	1.45	0.81
0.55	1.50	0.82
0.54	1.55	0.83
0.53	1.60	0.84
0.53	1.65	0.87
0.52	1.70	0.88
0.51	1.75	0.89
0.50	1.80	0.90
0.50	1.85	0.92
0.49	1.90	0.93
0.48	2.00	0.96
0.47	2.05	0.96
0.46	2.10	0.96
0.45	2.15	0.96
0.44	2.20	0.96
0.43	2.25	0.96
0.43	2.30	0.98
0.42	2.35	0.98
0.41	2.40	0.98
0.41	2.45	1.00
0.40	2.50	1.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

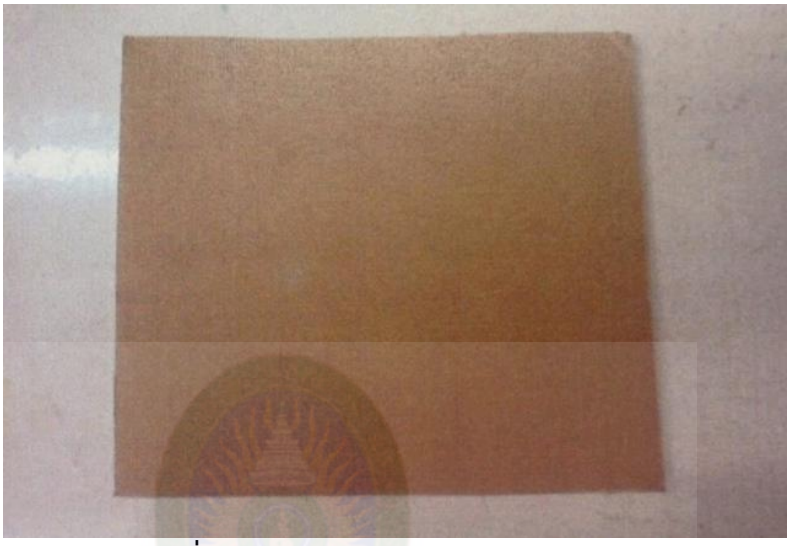
ภาคผนวก ค

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

อุปกรณ์ที่ใช้ในสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจน

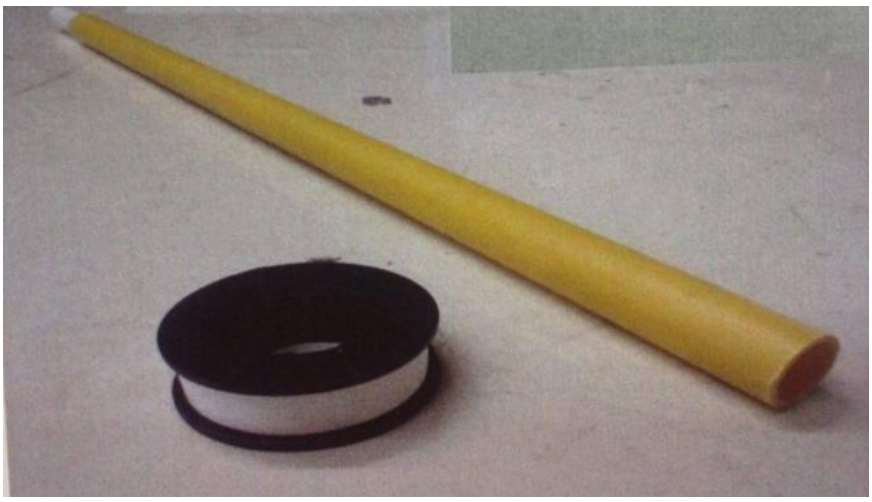
ในการสร้างเครื่องผลิตก๊าซไฮโดรเจน จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ ค-1 อะคลิคพลาสติกแบบแผ่น

รูปที่ ค-2 ท่อนำก๊าซ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 6 มิลลิเมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



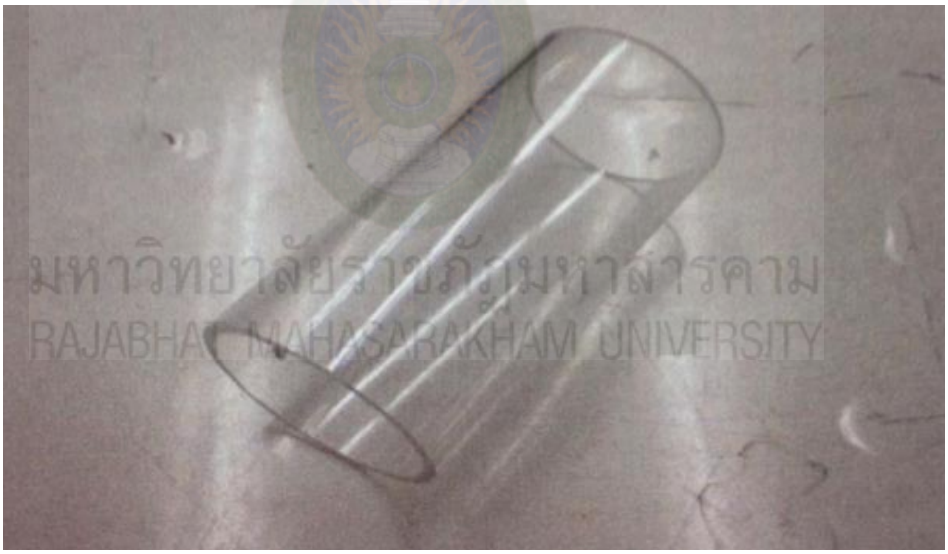
รูปที่ ค-3 เทปขาวพันเกลียวและท่อพลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 25 มิลลิเมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ค-4 อุปกรณ์ข้อต่อก๊าซ

1. วาล์วเปิด – ปิด ขนาด 1/8
2. เกลียวหางปลา 1/8
3. หางปลาสามทาง
4. เกลียวข้องอ

รูปที่ ค-5 เกลียวเส้น เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร และน็อต



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ค-6 ท่ออะคิลิคพลาสติกใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 10 เซนติเมตร หน้า 0.5 เซนติเมตร

รูปที่ ค-7 โอริง (ยางพารา)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ง

สารเคมี อุปกรณ์และภาพประกอบการทำวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ในการทำวิจัยนี้ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ ดังรูปต่อไปนี้

รูปที่ ง-1 ประแจ ขนาดเบอร์ 10

รูปที่ ง-2 เทอร์โมมิเตอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ง-3 ถุงมือและผ้าปิดจมูก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ง-4 ชุดโอริงจากยางพารา

1. ยางพารา
2. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.5 ซม.
3. แผ่นไม้อัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม.
4. ดินน้ำมัน
5. เจลปิโตรเลียม

รูปที่ ง-5 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

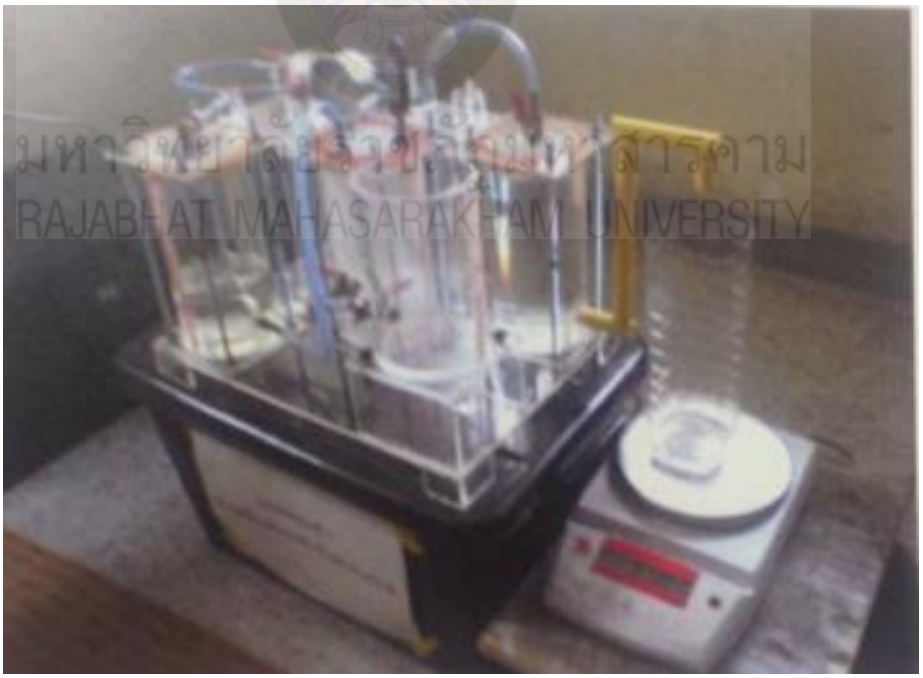
รูปที่ ง-6 น้ำกลั่นบริสุทธิ์

รูปที่ ง-7 เครื่องชั่งดิจิตอล

รูปที่ ง-8 หมุนน็อตด้วยประแจเพื่อปิดฝายึดระว่างฝาปิดกับฐานรอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ง-9 การทำปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมกับแผ่นโซเดียมไฮดรอกไซด์



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ง-10 ชุดการทดลองการผลิตไฮโดรเจนจากขยะอะลูมิเนียม

ประวัติผู้วิจัย

ผู้วิจัย

1.1 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายพรชัย ชิณสา

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Pornchai Chinnasa

1.2 เลขหมายประจำตัวประชาชน 334160112984 1

1.3 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

1.4 หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้สะดวก

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เลขที่ 80 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000

โทรศัพท์ 087-0659622

E-mail : chinnasa@hotmail.com

1.5 ประวัติการศึกษา

- ปริญญาโท วท.ม. เคมีเทคนิค (เทคโนโลยีเชื้อเพลิง) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปริญญาตรี วท.บ. ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

1.6 สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- พลังงานทดแทนและไฮโดรเจน

1.7 งานวิจัย

- Nano porous silicon ที่ใช้สำหรับ solar cell
- Preparation of metal coated carbon composite bipolar plate ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง

1. บทความวิจัย/บทความทางวิชาการ

[1] 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)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2 บทความวิจัย/บทความทางวิชาการ ที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ (ที่มี proceeding)

[1] Chinnasa, P.and, Ponken, T. (2015). Fabrication bipolar plate metal aluminum coated carbon for PEMFC. **The International Conference on Sciences and Technology November 4-6 2015**: at Rajamangala University of Technology Thanyaburi

[2] Chinnasa, P.and, Ponhan, W. (2015). Preparation of reactor generation clean energy from waste aluminum. **The 5th International Conference on Sciences and Social Sciences 2015**: September 18-19, 2015 at Rajabhat Maha Sarakham University

3 บทความวิจัย/บทความทางวิชาการ ที่ตีพิมพ์ในวารสารฐาน TCI หรือ ฐานข้อมูลอื่น

[1] Fabrication, Characterization and Magnetic Properties of Fe- doped SrTiO3 Nanofibers *W. Ponhan*, N. Noona,Y. Khanma, P. Chinnasa and S. Maensiri*. (2016) **Journal of Science & Technology**, Ubon Ratchathani University, Special Issue, December, 2016

[2] Development and Simulation Performance Analysis of PEMFC based on Bipolar Plates Fabricated Employiom Designs *P. Chinnasa*,P. Khamsuk, S. Seechalee and E. Swatsitang* (2016) **Journal of Science & Technology**, Ubon Ratchathani University, Special Issue, December, 2016

[3] Electrospun of Epoxidized Natural Rubber with Polyvinylpyrrolidone (PVP) Composites Membrane for PEMFC Application *P. Chinnasa*, W. Ponhan, P. Sarasee, Y. Phoemphun and E. Swatsitang* (2016) **Journal of Science & Technology**, Ubon Ratchathani University, Special Issue, October, 2016

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY