

การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

HYDROGEN GAS PRODUCTION ENERGIZED BY SOLAR ENERGY



อศกฤตา โลหพรหม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

อศกฤตา โลหพรหม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอศกฤตา โลหพรหม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.
ปีการศึกษา	2557

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรัช ไรยนรินทร์, Ph.D.)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กนกกาญจน์ จิรกุลสมโชค, D.Eng.)

.....กรรมการ

(อาจารย์มนุศักดิ์ जानทอง, Dr.-Ing.)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอศกฤตา โลหพรหม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน โลกของเรากำลังเผชิญกับปัญหา ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่เพียงแต่ส่งผลให้ราคาพลังงาน มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ยังทำให้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งมีอยู่จำกัดกำลังจะหมดจากโลกไฮโดรเจนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีที่สุดในขณะนี้เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนที่เป็นองค์ประกอบของน้ำซึ่งมีอยู่มากมายบนโลกใบนี้ ไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาดที่มีค่าความร้อนสูงใช้ได้ทั้งในระบบการเผาไหม้และเซลล์เชื้อเพลิงโดยไม่ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับ ระบบผลิตไฮโดรเจนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างระบบแยกก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลิตไฟฟ้าและ น้ำร้อนร่วม (PV/T) เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งระบบ PV/T มีขนาดพื้นที่รับแสง 100 ตารางเมตร ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 300 โวลต์ มีการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ น้ำร้อนที่ได้จากระบบ PV/T เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารละลายอีกด้วย ทำการทดสอบหา ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และอุณหภูมิที่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ดีที่สุด

ผลการศึกษาพบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์ ที่ดีกว่า สารละลายอื่นที่ใช้ในการศึกษานี้ อีกทั้งยังหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดและราคาถูก โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรผลิตก๊าซได้ดีที่สุดจากการที่ทดสอบร่วมกับน้ำร้อน พบว่าอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและประสิทธิภาพในการผลิตสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดสอบ จึงสรุปได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ระบบ PV/T เป็นแหล่งจ่ายพลังงานขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญคือ กำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิของสารละลาย

คำสำคัญ: การผลิตก๊าซไฮโดรเจนเซลล์แสงอาทิตย์การแยกน้ำด้วยไฟฟ้า

Thesis Title	Hydrogen Gas Production Energized by Solar Energy
Name-Surname	Miss Itsagritta Lohaphrom
Program	Mechanical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Boonrit Prasartkaew, D.Eng.
Academic Year	2014

ABSTRACT

Energy crisis and environmental problems have become the serious issues facing the world today, attributed to more need and use of energy. It not only results in increasing the energy price, but also depleting the limited fossil fuel in the near future. Hydrogen is one of the best alternative energy, because it is the renewable energy which is the compound of water and there is a huge amount of water on our planet. It is a clean energy with high heating value and can be used without releasing any pollution to the environment. This research presents an experimental study on the performance of a hydrogen production system by mean of electrolysis energized by solar energy.

The study investigated and fabricated the proposed system for equipping with the existing solar photovoltaic/thermal collector (PV/T). This collector field has effective area about 100 m² and generates electricity about 300 VDC. A heat exchanger is installed inside the electrolysis reactor, to control the electrolyte solution temperature at the set point temperature using the hot water from PV/T system. The tests were conducted to determine the best solution condition and temperature of electrolyte for the proposed hydrogen production system.

The study results show that among the available solution used in this study, sodium hydroxide (NaOH) is the best electrolyte compared to the others. Moreover, it is fruitfully available in the market and cheap. The electrolyte concentration of 0.1 moles per liter outperforms with the highest hydrogen production rate. Regarding the electrolyte temperature, the study results show that hydrogen production rate is directly proportion to the electrolyte temperature. It can be concluded that the important parameters for the proposed system are electric power derived from solar PV/T, solution substance and temperature of electrolyte.

Keywords: hydrogen production, solar cells, electrolytic

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ นี้สำเร็จ สมบูรณ์ ลุล่วง ได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว ที่ได้กรุณาสละเวลาในการแนะนำและให้ข้อคิดเห็น ตลอดจนแก้ไข ปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาที่อาจารย์มอบให้ตลอดมา จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบ พระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิรัชย์ โยชนินทร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ กรรมการในการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กนกกาญจน์ จิรกุลสมโชค และ อาจารย์มณฑุศักดิ์ งานทอง ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ รวมทั้งคณะอาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ และประสบการณ์ที่มีค่าแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและปรึกษา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบให้ผู้สนใจศึกษาต่อไป

อิสกฤตา โลหพรหม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	13
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	14
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.2 ไฮโดรเจน (Hydrogen).....	20
2.3 กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน.....	23
2.4 การจัดเก็บก๊าซไฮโดรเจน.....	28
2.5 ข้อดีของก๊าซไฮโดรเจน.....	29
2.6 ปัญหาของการใช้ก๊าซไฮโดรเจน.....	30
2.7 อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis).....	32
2.8 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte).....	34
2.9 ความเป็นกรดและด่าง (pH-value).....	36
2.10 สารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ผสมในน้ำในกระบวนการแยกก๊าซไฮโดรเจน.....	38
2.11 หลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes principle).....	40
2.12 กฎทรงมวลของสสาร (Law of Conservation of Mass).....	41
2.13 กฎของฟาราเดย์.....	42
2.14 กฎของอาโวกาโดร.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.15 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	48
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	49
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	49
3.2 การแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วยไฟฟ้า (Electrolysis Process).....	50
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	51
3.4 การออกแบบและเครื่องมือ.....	51
3.5 การออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน.....	53
3.6 การออกแบบขั้วอิเล็กโทรด.....	55
3.7 การออกแบบชุดท่อน้ำร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	58
3.8 การกักเก็บและการหาปริมาณก๊าซไฮโดรเจน.....	62
3.9 สรุปผลการออกแบบ.....	63
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	64
4.1 ผลการทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์และระยะห่างขั้วอิเล็กโทรด.....	64
4.2 ผลการทดสอบความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	70
4.3 ผลการทดสอบความเป็นกรดและด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (pH value).....	75
4.4 ผลการทดสอบ ค่าการนำไฟฟ้าตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป.....	83
4.5 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์.....	89
4.6 สรุปผลการทดลอง.....	93
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1 สรุป.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
เอกสารอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก การออกแบบอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน ด้วยโปรแกรม SolidWorks.....	99
ภาคผนวก ข สูตรเคมีและตารางธาตุ.....	104

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค Properties Polypropylene (PP).....	111
ภาคผนวก ง Properties Material.....	113
ภาคผนวก จ Properties Copper Tube.....	116
ภาคผนวก ฉ ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อัตราการไหล 850 l/hr.....	119
ภาคผนวก ช ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	129
ประวัติผู้เขียน.....	147



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไฮโดรเจน.....	23
ตารางที่ 2.2 ค่าความเป็นกรดและด่าง (พีเอช) ของสารละลายกรดและเบส.....	36
ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาทำขั้วอิเล็กโทรด.....	55
ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาทำขุคน้ำร้อน.....	59
ตารางที่ 4.1 การหาค่าความแตกต่างระหว่างน้ำประปาและสารละลายแต่ละชนิด.....	66
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	71
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความเป็นกรดและด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	77
ตารางที่ 4.4 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้าของน้ำประปา.....	79
โดยทำการทดลองที่ 3 คู่เซลล์ไฟฟ้า ที่ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm	
อุณหภูมิของน้ำตอนเริ่มต้นเท่ากับ 33.4 °C จับเวลาและบันทึกผลการทดลอง	
ตารางที่ 4.5 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ปริมาณตัวทำละลาย.....	80
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 80 g ต่อ น้ำ 74.8 L ทำการทดลอง 3 คู่เซลล์ไฟฟ้า	
ที่ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm	
ตารางที่ 4.6 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ปริมาณตัวทำละลาย.....	81
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 90 g ต่อ น้ำ 74.8 L ทำการทดลอง 3 คู่เซลล์ไฟฟ้า	
ที่ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm	
ตารางที่ 4.7 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ใช้ปริมาณตัวทำละลาย.....	82
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 g ต่อ น้ำ 74.8 L ทำการทดลอง 3 คู่เซลล์ไฟฟ้า	
ที่ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm	
ตารางที่ 4.8 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ใช้ปริมาณตัวทำละลาย.....	84
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 80 g ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm	
โดยควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น	
ตารางที่ 4.9 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ใช้ปริมาณตัวทำละลาย.....	85
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 90 g ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm	
โดยควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น	

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.10 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ใช้ปริมาณตัวทำละลาย.....	86
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 g ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm	
โดยควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น	
ตารางที่ 4.11 ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ที่ค่ากระแสต่างกันจากการทดสอบของ.....	89
สารโซเดียมไฮดรอกไซด์	



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า.....	24
รูปที่ 2.2 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส.....	32
รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ของสาร.....	34
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	49
รูปที่ 3.2 กระบวนการ Electrolysis Process การแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วยไฟฟ้า.....	50
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ทำการออกแบบ.....	51
รูปที่ 3.4 ระยะห่างระหว่างแผ่น.....	52
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน.....	53
รูปที่ 3.6 โครงสร้างภายในอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน.....	54
รูปที่ 3.7 แผ่น Stainless 304 ที่นำมาเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	57
รูปที่ 3.8 ใส่แผ่นเพลตเข้ากับชุดอุปกรณ์ผลิตก๊าซไฮโดรเจน.....	58
รูปที่ 3.9 ท่อทองแดงที่ได้ทำการออกแบบ.....	61
รูปที่ 3.10 ท่อทองแดงที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน.....	61
รูปที่ 3.11 การกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการผลิตโดยใช้ถุงร้อนใส.....	62
รูปที่ 4.1 ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต.....	64
รูปที่ 4.2 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนออกน้ำ ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตมีค่าเท่ากับ 3 cm.....	65
รูปที่ 4.3 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนออกน้ำ ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตมีค่าเท่ากับ 5 cm.....	65
รูปที่ 4.4 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนออกน้ำ ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตมีค่าเท่ากับ 7 cm.....	65
รูปที่ 4.5 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนออกน้ำ ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตมีค่าเท่ากับ 10 cm.....	65
รูปที่ 4.6 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสโดยใช้น้ำประปาผสมเกลือ.....	67
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด.....	67
กับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต	
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ (V) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด.....	68
กับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต	
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน (Ohm) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	68
แต่ละชนิดกับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต	

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้า (Watt) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	69
แต่ละชนิดกับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต	
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้เต็มถุงของสารละลาย.....	69
อิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด กับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต	
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย.....	72
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย (mole /ลิตร)	
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย.....	73
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (v)	
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย.....	73
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับกระแสไฟฟ้า (A)	
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย.....	74
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับค่าความต้านทาน (Ω)	
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย.....	74
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับระยะเวลา (min)	
รูปที่ 4.17 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	75
รูปที่ 4.18 สเกล pH ของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน.....	76
รูปที่ 4.19 ไดอะแกรมการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำในระบบการทดลอง.....	83
รูปที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยของโวลต์ (V) กับอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองของสารละลาย.....	87
ที่มีความเข้มข้นต่างกัน	
รูปที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยของกระแส (A) กับอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองของสารละลาย.....	87
ที่มีความเข้มข้นต่างกัน	
รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า (Watt) กับอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองของสารละลาย.....	88
ที่มีความเข้มข้นต่างกัน	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะการณ์ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของ จำนวนประชากรโลก การขยายตัวทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรม ส่งผลให้เกือบทุกประเทศ ทั่วโลกประสบกับวิกฤตการณ์ทางด้านเชื้อเพลิงขั้นรุนแรง เนื่องจากการต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นแหล่งพลังงานหลักได้แก่ปิโตรเลียมถ่านหินซึ่งนับวันราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นและกำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ ดังนั้น การประหยัดพลังงานควบคู่กับการหาแหล่งพลังงาน ใหม่กลายเป็นนโยบายเร่งด่วนของหลายประเทศเช่นเดียวกัน การคิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเปลี่ยนพลังงานหมุนเวียนตามธรรมชาติได้แก่พลังงานน้ำ พลังงานลมพลังงานใต้พิภพและพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานในรูปแบบที่สามารถใช้งานได้ให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้ในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้น

ปัจจุบันปัญหาหลักที่สำคัญของประเทศไทยคือการขาด แคลนพลังงานโดยเฉพาะ อย่างยิ่ง พลังงานฟอสซิล อีกทั้งพลังงานมีราคาแพงจึงต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศในแต่ละปี ซึ่งทำให้เสียงบประมาณไปเป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ พลังงานนำเข้าที่สำคัญคือพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ อย่างยิ่งน้ำมันดีเซลที่มีอัตราการ ความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเมื่อสถานการณ์น้ำมันในตลาดโลกปรับตัวสูงขึ้นก็จะทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันในราคาที่แพงส่งผลให้ ราคาน้ำมันที่จำหน่ายในประเทศ สูงขึ้นและทำให้ต้นทุนการผลิตทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรมสูงตามไปด้วยรัฐบาลจึงหาวิธีการแก้ไข ปัญหานี้เพื่อลดการนำเข้าพลังงานการลดการใช้พลังงานก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ตรงค้ำให้คนไทยทั้งประเทศประหยัดพลังงานซึ่งจะต้องทำอย่างต่อเนื่อง และอีกวิธีการหนึ่งคือการหาพลังงานทดแทนภายในประเทศมาใช้ ซึ่งจะมี ความยั่งยืนกว่าและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมพลังงานทดแทนที่สำคัญคือพลังงานจากพืชที่เรียกว่า เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) โดยเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากสิ่งมีชีวิตหรือผลผลิตจากการสร้างและสลายของ สิ่งมีชีวิตเช่นมูลสัตว์ เป็นต้น นอกจากนี้ยัง มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้มากมายในการใช้เชื้อเพลิง อื่นๆแทนการใช้้ำมันเช่นก๊าซธรรมชาติมีเทนหรือแอลกอฮอล์ในรูปแบบต่างๆแต่อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงเหล่านี้ยังคงไม่ใช่ตัวเลือกที่ดีที่สุดในการผลิตพลังงานทดแทนเพราะปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดคือด้านต้นทุน ในการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพลังงานไฮโดรเจนนับเป็นพลังงาน ทดแทนรูปแบบหนึ่งที่หลายคนอาจจะมองข้ามไปโดยไฮโดรเจน เป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูงสามารถ

ปลดปล่อยพลังงานได้ปริมาณมากผลิตได้จากหลายแหล่งและเป็นพลังงานที่สามารถแปลงเป็นพลังงานอื่นได้ง่าย

พลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือก เนื่องจากเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่ให้การเผาไหม้ที่สะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมีประสิทธิภาพสูงซึ่งคาดว่าจะใช้เป็นแหล่งของพลังงานเชื้อเพลิงที่สำคัญมากในอนาคต ด้วยพลังงานไฮโดรเจนมีข้อดีหลายข้อได้แก่ให้ค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่สูงกว่าค่าพลังงานเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนถึง 2.5 เท่าเป็นพลังงานที่เผาไหม้สะอาดที่สุด และให้ความร้อนได้ดี ทำให้ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกไม่ก่อให้เกิดกลุ่มควันฝุ่นละออง เนื่องจากเมื่อเผาไหม้แล้วได้เป็นหยดน้ำกลักลับมา และไฮโดรเจนมีมากอยู่รูปสารประกอบของน้ำ ซึ่งน้ำถือว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ไม่มีวันหมด มีมากเป็น 3 ใน 4 ส่วนของโลก ด้วยเหตุผลทั้งหมดนี้พลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นพลังงานที่ยั่งยืน เหมาะสม และสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมันในอนาคตได้เป็นอย่างดี ก๊าซไฮโดรเจนจึงนับเป็นพลังงานทางเลือกที่คุ้มค่าและปลอดภัยใน การใช้งานเป็นเชื้อเพลิง และพลังงานทดแทนในอนาคตเป็นอย่างมาก สามารถประยุกต์ใช้กับงานที่ใช้พลังงานดั้งเดิมได้ อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การแยกไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ โดย ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการผลิต ก๊าซไฮโดรเจน ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยก เซลล์ โดย ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสที่มีแหล่งจ่ายกระแสไฟ จากแผงโซลาร์เซลล์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 300 โวลท์

1.3.2 ออกแบบและสร้างระบบผลิต ก๊าซไฮโดรเจนที่มีแผงโซลาร์เซลล์แบบ PV/T เป็น แหล่งจ่ายไฟฟ้า

1.3.3 ทำการ ประสิทธิภาพการแยกก๊าซไฮโดรเจน ด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ โดย ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รู้ถึงกระบวนการแยกก๊าซไฮโดรเจนโดยวิธีอิเล็กโทรไลซิส

1.4.2 ได้ระบบ การผลิตก๊าซไฮโดรเจนต้นแบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนเพียงอย่างเดียว

1.4.3 ได้ก๊าซไฮโดรเจนที่เป็นพลังงานสะอาดสามารถนำไปใช้ได้หลายรูปแบบจึงเป็นระบบที่สามารถนำไปพัฒนาต่อได้อย่างหลากหลาย ซึ่งจะเป็นการแก้ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมไปพร้อมๆกันได้เป็นอย่างดี



บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Johnston และคณะ [1] ได้กล่าวว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซหลักที่เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบนั้น จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นด้วยเสมอเช่นการเผาไหม้น้ำมันเบนซินดีเซลถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ เป็นต้นถ้ามีการนำก๊าซไฮโดรเจน (H_2) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนจะสามารถ ลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้ข้อดีที่หลากหลายของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานทดแทน

Energy Plus [2] ได้กล่าวว่าไฮโดรเจนเป็นพลังงานที่สามารถผลิตได้จากสิ่งที่อยู่รอบตัว ปัจจุบันจึงได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในจรวดขับเคลื่อนสำหรับส่งยานอวกาศและเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ที่เรียกว่าเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งในอนาคตเซลล์เชื้อเพลิงจะเข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนวิถีการดำรงชีวิตของมนุษย์เนื่องจากไม่มีกลุ่มประเทศใดมีอิทธิพลเป็นพิเศษอีกทั้งยังเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดปราศจากมลพิษระบบการผลิตสามารถสร้างในรูปแบบครัวเรือนและชุมชนได้ซึ่งจะทำให้เวทีการค้าด้านพลังงานของโลกเปลี่ยนไปอย่างสิ้นเชิงกลุ่มประเทศผู้ผลิตน้ำมันและกลุ่มบริษัทน้ำมันยักษ์ใหญ่ที่เคยผูกขาดตลาดโลกและมีอิทธิพลเรื่องพลังงานมาเป็นเวลาหลายศตวรรษอาจสูญเสียอำนาจอิทธิพลไปจะเป็นการบริหารจัดการด้านพลังงานที่ก ลัปปินมาสู่ภาคประชาชนและก่อให้เกิดความยั่งยืนอย่างแท้จริงซึ่งหากยุคเศรษฐกิจไฮโดรเจนเกิดขึ้นและสามารถทดแทนพลังงานจากฟอสซิลได้สำเร็จศูนย์กลางของระบบเศรษฐกิจไฮโดรเจนจะกลายเป็นประเทศใดก็ได้เพราะเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาถูกลงดังนั้นการค้นหาเทคโนโลยีการผลิตที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำมากที่สุดในขณะนี้จึงเป็นสิ่งที่หลายประเทศต้องการปัจจุบันจึงเกิดการพัฒนาเทคโนโลยีชนิดนี้อย่างไม่หยุดยั้ง

มณีวรรณสุวรรณสะอาดและพูนสุขประเสริฐสรรพ [3] ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตไฮโดรเจนและกรด 5-อะมิโนลิซีนโดยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เริ่มจากการแยกเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากตัวอย่างน้ำในทะเลสาบสงขลาในภาคใต้ของประเทศไทย จำนวน 34 ตัวอย่างโดยเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ Modified GA ที่มีปริมาณกรดอะซิติก 20 มิลลิโมลาร์เป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้สภาวะไร้อากาศ -มีแสงโดยให้แสงที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสสามารถคัดแยกเชื้อได้ 19 สายพันธุ์ที่มีความสามารถในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ 4-326

มิลลิลิตรต่อลิตรต่อวัน โดยสายพันธุ์ TN1 เป็นสายพันธุ์ที่ให้อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้สูงสุด (43 มิลลิลิตรต่อลิตรต่อชั่วโมง) โดยให้ผลผลิต 1.85 โมลไฮโดรเจนต่อโมลอะซิเตทและมีประสิทธิภาพการใช้แสงที่ร้อยละ 1.07 นอกจากนี้สายพันธุ์ TN1 ยังมีคุณสมบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมคือค่าพีเอชไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าพีเอชเป็นกลางตลอดช่วงเวลาการเลี้ยงเชื้อและก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์สูงโดยที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 0.1

วิเชียรแสงอรุณ (Wichien Sang-Aroon) สาขาวิชาเคมีคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแยกไฮโดรเจนจากโมเลกุลน้ำด้วยปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง (Hydrogen Separation From Water Molecules By Photocatalytic Process) การเพิ่มประสิทธิภาพการแยกไฮโดรเจนและออกซิเจนจากโมเลกุลน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่การโคปโอบอโนโลหะทรานซิชันบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา การเติมสารเอื้อให้เกิดปฏิกิริยาการออกแบบตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีช่วงการดูดกลืนแสงในช่วงวิสิเบิล (พลังงานแถบประมาณ 2 eV) รวมถึงการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมแบบ (Z-Scheme) เป็นต้นการพัฒนากระบวนการแยกไฮโดรเจนจากโมเลกุลน้ำด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจศึกษาเป็นอย่างยิ่งเนื่องด้วยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการสะอาดกล่าวคือใช้น้ำและแสงอาทิตย์เป็นแหล่งตั้งต้นไม่มีสารมลพิษอันก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เป็นต้นอย่างไรก็ตามการออกแบบระบบหรือกระบวนการให้มีความสอดคล้องและเหมาะสม

ไกรฤทธิ์นิลอุทาและคณะ [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบผลิตพลังงานไฮโดรเจนจากแหล่งพลังงานทดแทนโดยกระบวนการปฏิรูปด้วยไอน้ำ (Steam Reformation) เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งพลังงาน ก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรเป็นจำนวนมากซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานไฮโดรเจนแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Hydrogen Production) กระบวนการผลิตไฮโดรเจนประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือการแยกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และระบบผลิตไฮโดรเจนโดย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกดูดซับด้วยสารละลายเหล็กคีเลต ส่วน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดูดซับด้วยโมเลกุลาร์ซีฟแบบความดันสลับ พบว่าเครื่องแยก ก๊าซมีประสิทธิภาพในการแยก ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์แต่ในส่วนของ การแยก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการแยกเท่ากับ 14.3% ซึ่งต้องศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการต่อไปสำหรับการทดสอบระบบผลิต ก๊าซไฮโดรเจนพบว่าระบบสามารถในการผลิตไฮโดรเจนอยู่ที่ 54 ลิตรต่อวัน

นภดล คุ้มรักษา และ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์ การออกแบบ

จะเน้นถึงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้า และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมีคือค่า pH ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่พื้นผิวของ ขั้วไฟฟ้า โดยนำความรู้ทางด้านเคมีมาศึกษาร่วมกับทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าเพื่อควบคุมแรงดัน กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิของสารละลาย เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับแยก ก๊าซไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์

มยุราศรีกัลป์ยานุกุลและรุ่งทิพย์กาวารี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากมูลสุกรโดยใช้กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Bio-Hydrogen Production From Swine Manure Using Anaerobic Fermentation) โดยใช้กระบวนการหมักแบบ 2 ขั้นตอนทำการปรับสภาพตะกอนหัวเชื้อโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 C เป็นเวลา 30 นาที และทำการออกแบบถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยกระบวนการหมักแบบ 2 ขั้นตอนประกอบด้วยถังผลิตกรดและถังผลิตก๊าซไฮโดรเจนขนาด 60 ลิตรทำการศึกษาระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) ที่ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมงต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนทำการหมักที่มีการควบคุม pH ที่ 9.5.0 พบว่าระยะเวลาการกักเก็บที่ 24 ชั่วโมงสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้สูงสุดคือ 540 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Mohana และคณะ [8] สาระตั้งต้นที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในกระบวนการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้กระบวนการหมักทางชีวภาพมีหลายประเภทงานวิจัยนี้เลือกใช้ น้ำกากส่าซึ่งเป็นของเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลประกอบไปด้วยแร่ธาตุและสารอาหารชนิดต่างๆเช่นไนโตรเจนฟอสฟอรัสและมีค่าซีโอดีสูงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมักได้ทั้งนี้ผลผลิตเอทานอล 1 ลิตรจะก่อให้เกิดน้ำกากส่าเฉลี่ย 8-15 ลิตรและ 61 เปอร์เซ็นต์ของแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ของโลกมาจากอ้อยโดยเกือบทั้งหมดของวัตถุดิบที่มาจากอ้อยอยู่ในรูปของกากน้ำตาล

Minnan และคณะ [9] พบว่าระดับพีเอช 4-6 คือช่วงที่สามารถผลิตไฮโดรเจนได้แต่กิจกรรมของจุลินทรีย์ในน้ำจะถูกยับยั้งที่ระดับพีเอชต่ำกว่า 4 จากการทดลองหาระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจน การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับพีเอชเป็น 5 6 7 และ 8 พบว่าที่ระดับพีเอช 7 ให้ผลผลิตไฮโดรเจนสูงที่สุดในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนควรปรับระดับพีเอชให้มีความเหมาะสมเพื่อทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

Heguang และ Michel[10] ศึกษาผลผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นพบว่าระยะเวลาเก็บก๊าซไฮโดรเจนที่ต่างกันคือ 24 และ 48 ชั่วโมงที่ระดับพีเอชและอัตราการเจือจางเดียวกันให้ก๊าซไฮโดรเจนแตกต่างกันโดยระยะเวลาเก็บ 24 ชั่วโมงให้ผลผลิตก๊าซไฮโดรเจนสูงกว่าที่ 48 ชั่วโมงโดยที่ระยะเวลาเก็บกัก 24 ชั่วโมงระดับพีเอช 7 การเจือจาง 2.5 เท่าให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 88.94 มิลลิลิตร

ต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวันและที่ระยะเวลาเก็บกัก 48 ชั่วโมงให้ผลผลิต 46.52 มิลลิลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัดต่อวัน แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาเก็บกัก เป็นปัจจัยที่ควบคุมประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบไร้อากาศโดยอัตรการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักส่งผลให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นแต่เมื่อระยะเวลาเก็บกักมากเกินไปส่งผลให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนลดลงเนื่องจากเกิดจุลินทรีย์กลุ่มใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานในการสร้างก๊าซมีเทน (Hydrogen consuming bacteria) ทำให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนในระบบลดลง

สุชาติสุขใจและคณะ [11] ได้ทำการศึกษาการผลิตไฮโดรเจนด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แบบคือแบบต่อตรง (Direct Hydrogen Production by using PV, DHPPV) และแบบต่อผ่านเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Hydrogen Production by connected with DC/DC Converter Connection, HPDC) จากการศึกษาสมรรถนะทางด้านเทคนิคของผลิตไฮโดรเจนด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรง (Direct Hydrogen Production by using PV, DHPPV) และแบบต่อผ่านเครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Hydrogen Production by connected with DC/DC Converter Connection, HPDC)

Bell and Gupta [12] ศึกษาอิทธิพลของการใช้ ก๊าซไฮโดรเจนต่อประสิทธิภาพและปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์และปริมาณสารมลพิษโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศเจือจางซึ่งให้ประสิทธิภาพดีที่สุดและมีปริมาณสารมลพิษต่ำที่สุดโดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 2.5 ลิตร 4 สูบที่ความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาทีตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิด 50% ของลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสูงสุดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ 5, 10 และ 15% โดยปริมาตร ผลการทดสอบพบว่าการใช้ ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยขยายตัวของขอบเขตการเผาไหม้ส่วนผสมบางในเครื่องยนต์ โดยมีค่าต่ำที่สุดที่ (Equivalence Ratio) เท่ากับ 0.42 และยังช่วยให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนและไฮโดรคาร์บอนลดลงโดยปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าต่ำที่สุด 0.15 g/kW-hr ซึ่งปริมาณคาร์บอนที่ลดลงมีสาเหตุมาจากการแพร่กระจายของเปลวไฟเข้าใกล้ผนังได้มากขึ้นจึงช่วยเผาไหม้ ไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ใน (Crevice Volume) และใกล้กับผนังห้องเผาไหม้ได้มากขึ้นนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ (Equivalence Ratio 0.75 – 0.90) การผสมก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซธรรมชาติไม่ส่งผลใดๆต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์แต่ที่ Equivalence Ratio เท่ากับ 0.64 การเติมก๊าซไฮโดรเจนกลับส่งผลช่วยให้กำลังของเครื่องยนต์สูงขึ้นประมาณ 47% ที่ปริมาณไฮโดรเจน 15%

Anand S. Joshi, Ibrahim Dincer, Bale V. Reddy [13] ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ยั่งยืน และมีศักยภาพ สิ่งสำคัญคือการผลิตก๊าซไฮโดรเจนนั้นเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในบทความนี้ได้กล่าวถึงวิธีการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากพลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษา การประเมิน ผลการดำเนินงาน

ของ solar thermal และ photovoltaicเปรียบเทียบกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตก๊าซ ไฮโดรเจน ด้วย solar thermal มีประสิทธิภาพของ exergy สูงกว่า photovoltaic แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตก๊าซ ไฮโดรเจนด้วย photovoltaic ก็เป็นกระบวนการที่ดีกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพของ photovoltaic ต่ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพของ exergy ต่ำลงด้วย ผ่าน การผลิตไฟฟ้า เป็นวิธีการที่เป็นพิษเป็นภัย ต่อ สิ่งแวดล้อม และมี ประสิทธิภาพ สูงกว่า Exergy PV ผลิตก๊าซไฮโดรเจน

Dober และคณะ [14] ได้ทำการพัฒนาระบบจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ใช้ก๊าซไฮโดรเจน 1% ของเชื้อเพลิงทั้งหมด ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อช่วย ในการจุดระเบิด เรียกว่า Hydrogen Jet Ignition หรือ HAJI ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์หนึ่งสูบที่ ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ตำแหน่งของลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสูงสุด ผลจากการทดสอบพบว่า การใช้ ก๊าซไฮโดรเจนช่วยในการจุดระเบิดส่งผลให้ปริมาณสารพิษ ออกไซด์ของไนโตรเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง ในขณะที่ไฮโดรคาร์บอนมีค่าสูงขึ้น และยังช่วยลดเวลา ในช่วงการเผา ไหม้ลงอีกด้วย

2.2 ไฮโดรเจน(Hydrogen)

ไฮโดรเจน (ภาษาอังกฤษ: Hydrogen ; ภาษาละติน: hydrogenium: ไฮโดรเจเนียม) เป็นธาตุ เคมีในตารางธาตุมีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ H และมีเลขอะตอมเท่ากับ 1 ที่อุณหภูมิห้องและความดัน บรรยากาศมาตรฐาน ไฮโดรเจนเป็น ก๊าซที่ไม่มีโมเลกุลที่ 2 อะตอม ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ติดไฟง่าย เป็น อโลหะ และมีอิเล็กตรอนตัวนอกสุดเป็น(วาเลนซ์อิเล็กตรอน) ตัวเดียว ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีน้ำหนัก เบาที่สุดและพบได้มากที่สุดในโลก มีอยู่ในโมเลกุลของน้ำและสารประกอบอินทรีย์ทุกตัว และ สิ่งมีชีวิตทุกชนิด ไฮโดรเจนสามารถมีปฏิกิริยาได้กับธาตุอื่นๆเป็นส่วนใหญ่ ดาวฤกษ์ในช่วงหลัก ประกอบด้วยไฮโดรเจนในสถานะพลาสมา ธาตุไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหาได้ค่อนข้าง ยากบนโลก ส่วนใหญ่จะมีอยู่ในรูปสารประกอบ นอกจากนี้ธาตุไฮโดรเจนนี้ยังถูกใช้ในการผลิต แอมโมเนีย ใช้เป็นก๊าซสำหรับการยกของ ใช้เป็นเชื้อเพลิงของจรวดสำรวจอวกาศ ใช้เป็นพลังงาน ทดแทน และเป็นพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง

2.2.1 ไฮโดรเจนเป็นพลังงานเชื้อเพลิง

ก๊าซ ไฮโดรเจนถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงอนาคตทั้งนี้เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการเผาไหม้กับ ก๊าซออกซิเจนโดยจะมีเพียงไอน้ำเป็นผลพลอยได้ซึ่งแตกต่าง จาก เชื้อเพลิงอื่นๆที่ให้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลพลอยได้ ซึ่งเป็น ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการทำให้โลกร้อนขึ้น (Global Warming) นอกจากนี้ยังสามารถนำ ก๊าซ

ไฮโดรเจนไปผลิตกระแสไฟฟ้าโดยป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ซึ่งขณะนี้นักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมากในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆเนื่องจากประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆมากดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานดั้งเดิมได้เนื่องจากคุณสมบัติในด้านต่างๆโดยสรุปดังนี้

1) แหล่งพลังงานดั้งเดิมก่อให้เกิด ก๊าซเรือนกระจกซึ่งก๊าซชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกโดยเฉพาะ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งเกิดจากการสันดาป (Combustion) ของสารประกอบอินทรีย์เช่นน้ำมันแต่พลังงานไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกดังนั้นจึงไม่ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก

2) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดั้งเดิมไม่ว่าจะมาจากยานพาหนะหรือแหล่งอุตสาหกรรมต่างๆก่อให้เกิดกลุ่มควันและฝุ่นละอองแต่พลังงานไฮโดรเจนไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเหล่านี้

3) พลังงานไฮโดรเจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องใช้พลังงานดั้งเดิมได้ เช่นใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องกังหันและเครื่องไอพ่น

4) ค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้จากไฮโดรเจนจะมากกว่าค่าพลังงานเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนและเชื้อเพลิงจากแอลกอฮอล์เช่นเมทานอลและเอทานอลถึง 2.5 และ 5 เท่าตามลำดับ

5) ก๊าซไฮโดรเจนสามารถนำไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ในการผลิตไฟฟ้าซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนาและคาดว่าจะนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอนาคต

ก๊าซไฮโดรเจนสามารถนำมาใช้ใน (Fuel Cell) ซึ่งไฮโดรเจนและ ออกซิเจนจะรวมตัวกัน ก่อให้เกิด พลังงานไฟฟ้า ความร้อนและน้ำ จริงๆแล้วการเผาผลาญ ก๊าซไฮโดรเจนนั้นได้มีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมานานแล้ว ในการส่งจรวดขึ้นไปในอวกาศ ควันขาวๆ ที่พุ่งออกมา ก็คือน้ำนั่นเอง ในปัจจุบัน ก๊าซไฮโดรเจนส่วนมากนั้นผลิตจาก (Fossil Fuels) เช่นในกระบวนการกลั่นน้ำมัน เป็นต้น แต่ในอนาคตข้างหน้า คาดว่าเราจะสามารถ ผลิต ได้โดยตรงจากน้ำ ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันสูญไปจากโลก เราสามารถแยกก๊าซไฮโดรเจนออกจากน้ำเพื่อนำมาใช้ เมื่อเผาผลาญ ก็จะได้น้ำมาเป็นผลผลิตอีก เป็นวัฏจักรเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ในขณะนี้ทาง (Department of Energy .DOE) ของสหรัฐอเมริกาได้มีการกำหนดนโยบาย ให้มีการเปลี่ยนมาใช้ไฮโดรเจนอย่างช้าๆ โดยในระยะสั้น อาจจะมีการผสมก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซธรรมชาติเพื่อใช้ใน (Combustion Engines) ซึ่งการทำเช่นนี้ จะทำให้เครื่องยนต์ มีประสิทธิภาพมากขึ้นแต่ ในขณะเดียวกันก็เป็นการลดมลพิษลง อาจจะมีการตั้งโรงผลิตก๊าซไฮโดรเจนส่วนกลางขึ้น จากนั้นอาจจะมีการกระจาย ไปตามจุดแจกจ่ายต่างๆ เพื่อให้รถยนต์

ที่ใช้ (Fuel Cell)สามารถที่จะเติมได้ ในระยะสั้นนี้ ก๊าซไฮโดรเจน จะผลิตจาก ก๊าซธรรมชาติโดยกระบวนการ (Advance Steam Reforming) ในระยะกลาง จะมีการเปลี่ยนแปลง ทางโครงสร้างการใช้ไฟฟ้า ของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ โดยที่ไฮโดรเจน (Fuel Cell)สามารถที่จะสร้างไฟฟ้า เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมนั้นๆ นอกจากนั้น บางโรงงาน อาจจะยังสามารถ ใช้ประโยชน์จากความร้อน และน้ำร้อนที่ได้จาก (Fuel Cell)อีกด้วย ในระยะกลางนี้ ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกผลิต จากถ่านหินและกระบวนการ (Pyrolysis)หรือ (Gasification of Biomass)มีพืชบางชนิด สามารถที่จะนำมา สกัดเอาก๊าซไฮโดรเจนได้

2.2.2 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

1) ลักษณะทั่วไปของก๊าซไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนเป็นโมเลกุลที่พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ โดยบรรยากาศในโลกมี ก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 0.1 ppm มีความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลเท่ากับ 104 kcal/mol ดังนั้นเมื่อต้องการให้ไฮโดรเจนโมเลกุลทำปฏิกิริยาจึงต้องใช้พลังงานเพื่อทำลายความแข็งแรงในการยึดโมเลกุลดังกล่าวเช่นเพิ่มอุณหภูมิหรือใช้สารเร่งปฏิกิริยาเป็นต้น ไฮโดรเจนอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียสอยู่กลางภายในนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอนและนิวตรอนและมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบ บนอกเหมือนธาตุอื่นๆไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทปขึ้นกับจำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนที่ต่างกันดังนี้

-โปรเทียม (Protium)มีจำนวนโปรตอน 1 โปรตอนมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 1.0078

-ดิวเทอเรียม (Deuterium)มีจำนวนโปรตอน 1 โปรตอน จำนวนนิวตรอน 1 นิวตรอน มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 2.0141

-ทริเทียม (Tritium)มีจำนวนโปรตอน 1 โปรตอนจำนวนนิวตรอน 2 นิวตรอนมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 3.0161

ไฮโดรเจนเป็น ก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส แต่มีความไวต่อไฟสูง และมีน้ำหนักเบาที่สุด เนื่องจากไฮโดรเจนไม่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน แต่ไฮโดรเจนอาจจะทำให้โลหะบางชนิดเปราะได้เมื่ออุณหภูมิและความดันสูงๆ การออกแบบถังและท่อต้องเป็นไปตามมาตรฐาน

American Society of Mechanical Engineering (ASME) และตามข้อกำหนดว่าด้วยเรื่องของอุณหภูมิและความดันของ American National Standards Institute (ANSI) ถึงที่ใช้เพื่อการขนส่งต้องออกแบบตาม Department of Transportation (DOT)

2.2.3 ความสามารถในการติดไฟของก๊าซไฮโดรเจน

ปริมาณไฮโดรเจน 4% - 74% ในอากาศและพลังงานในการจุดเพียงแค่อ่อนก็ สามารถทำให้การลุกไหม้เป็นไปอย่างรวดเร็ว เพราะฉะนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการระเบิดที่อาจจะ

เกิดขึ้น ควรจะต้องกำจัดแหล่งที่อาจจะก่อให้เกิดประกายไฟขึ้น เช่น ประกายไฟจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประจุไฟฟ้า เปลวไฟ หรือสิ่งที่มีความร้อนจัด ไฮโดรเจนที่ปนอยู่ในอากาศในระดับคิดไฟได้สามารถระเบิดและลุกไหม้เป็นเปลวไฟสีน้ำเงินจางๆ หรือแทบจะมองไม่เห็น

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไฮโดรเจน

Physical and chemical properties of hydrogen.	
Molecular Weight	2.016
Boiling point @ 1 atm	-423.0 °F (-252.8°C)
Freezing point @ 1 atm	-434.5 °F (-259.2°C)
Critical Temperature	-399.8 °F (-239.9°C)
Critical Pressure	188 psia (12.8 atm)
Density Liquid @ B.P.,1 atm	4.23 lb./cu.ft.
Density Gas @ 68 °F (20°C)	0.005229 lb./cu.ft.
Specific Gravity, Gas (Air = 1) @ 68 °F (20°C)	0.0696
Specific Gravity, Liquid @ B.P.,1 atm	0.0710
Specific Volume, @ 68 °F (20°C)	192 cu.ft./lb.
Latent Heat of Vaporization	389 Btu/lb.mole
Flammable Limits @ 1 atm in air	4.00% - 74.2% (by volume)
Flammable Limits @ 1 atm in Oxygen	4.65% - 93.9% (by volume)
Detonable Limits @ 1 atm in air	18.2% - 58.9% (by volume)
Detonable Limits @ 1 atm in Oxygen	15% - 90% (by volume)
Autoignition Temperature @ 1 atm	1060 °F (571°C)
Expansion Ratio, Liquid to Gas, B.P. to 68 °F (20°C)	1 to 848

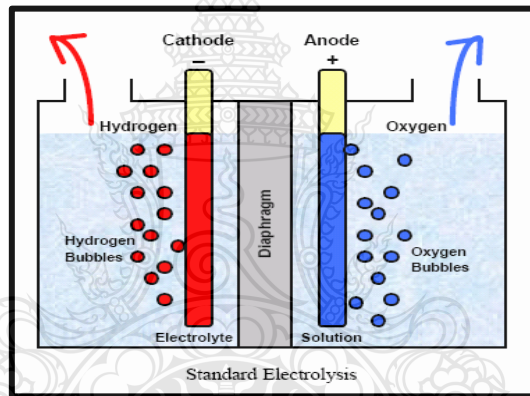
2.3 กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน

กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน มีทั้ง 3 วิธี ได้แก่ Thermal Process, Electrolytic Process และ Photolytic Process

2.3.1 กระบวนการความร้อนเคมี (Thermo-chemical Process) ไฮโดรเจนสามารถผลิตได้โดยวิธีทางเคมีโดยใช้ความร้อนมีวัตถุดิบหลักที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นก๊าซธรรมชาติ

ถ่านหินชีวมวลเป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้คือก๊าซสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจน (H_2), คาร์บอนมอนนอกไซด์(CO), คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO_2), น้ำ(H_2O) และมีเทน(CH_4) จากนั้นจะผ่านกระบวนการเพิ่มเติมเพื่อทำให้ได้ไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ขึ้นซึ่งการผลิตไฮโดรเจนโดยกระบวนการความร้อนเคมี ได้แก่กระบวนการรีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำ (Steam Reforming) กระบวนการก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) ปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการรีฟอร์มมิ่งด้วยไอน้ำจากก๊าซธรรมชาติเป็นกระบวนการที่ใช้กันแพร่หลายในเชิงพาณิชย์

2.3.2 กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrolytic Process) เป็นการใช้ไฟฟ้าแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศแต่ขึ้นกับแหล่งในการผลิตกระแสไฟฟ้าทุกชนิด ตัวอย่างของแหล่งในการผลิตไฟฟ้าได้แก่ พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable Sources) รวมทั้งพลังงานนิวเคลียร์



รูปที่ 2.1 กระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า

2.3.3 กระบวนการชีวเคมี (Biophotolysis or Photolytic Process) เป็นการใช้พลังงานแสงเพื่อแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน มีการใช้แสงแดดและกระบวนการทางชีวภาพของสาหร่ายเซลล์เดียวและแบคทีเรียในการแยกน้ำให้ เป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน เช่น(Photobiological Water Splitting), (Photoelectrochemical Water Splitting)

กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่มีใช้แล้วในเชิงพาณิชย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) Steam Reforming คือ กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในเชิงพาณิชย์ที่นิยมโดยมีสารตั้งต้นเป็นก๊าซธรรมชาติเอทานอลหมักจากวัสดุธรรมชาติเป็นต้นปัจจุบัน 95% ของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตหรือ 9,000,000 ตันผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกาและใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นวัตถุดิบ

หรือเรียกกระบวนการนี้เรียกว่า Steam Methane Reformation (SMR) เนื่องจากมีเทนเป็นส่วนประกอบหลักของก๊าซธรรมชาติประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่สำคัญคือ

ขั้นที่ 1 นำก๊าซธรรมชาติทำปฏิกิริยา reforming กับไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงๆ (อาจจะมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งร่วมด้วย) เพื่อให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) และก๊าซไฮโดรเจน (ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 ในขั้นที่ 1) จากขั้นตอนที่ 1 จะเห็นว่ามี CO เกิดขึ้นร่วมด้วยดังนั้นจะมีการนำไอน้ำเข้ามาทำปฏิกิริยากับ CO อีกครั้งเพื่อให้ได้ก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นดังแสดงในขั้นที่ 2 ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water-Gas Shift reaction (WGS) ดังสมการ 2.3



ก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ในปัจจุบันนี้ทั่วโลกได้มาจากการผลิตโดยวิธีดังกล่าวเป็นหลัก ปฏิกิริยาทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้และจำเป็นอย่างยี่งที่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วยจากสมการเคมีแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 เป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน (endothermic) และความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาถูกควบคุมด้วยอิทธิพลทางเทอร์โมไดนามิกส์ เพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนสูงๆซึ่งจำเป็นต้องทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงจากเหตุผลข้อนี้ทำให้ต้นทุนในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสูงตามไปด้วยและเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่สังเคราะห์ได้สามารถทำได้โดยการคัดแยกก๊าซไฮโดรเจนหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกกระหว่างปฏิกิริยาดำเนินไปเพื่อเป็นการรบกวนสมดุลของปฏิกิริยา และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมอิทธิพลของชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาก็เป็นอีกตัวแปรที่สามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ดังนั้นงานวิจัยด้านการศึกษาและพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนแบบ Steam reforming reaction จึงกำลังได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในปัจจุบันกรณีใช้สารตั้งต้นเป็นแอลกอฮอล์ชนิดอื่นเช่นเอทานอล เมทานอลเป็นต้นก็ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเนื่องจาก ได้จากการหมักวัสดุจากธรรมชาติหรือวัสดุเหลือใช้จากเกษตรกรรมอย่างไรก็ดีแอลกอฮอล์มีข้อดีขยกว่าก๊าซมีเทนคือเกิดสารผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นปะปนออกมากับก๊าซไฮโดรเจนที่สังเคราะห์ได้ทำให้ต้องเพิ่มขั้นตอนการทำให้ก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์ค่าใช้จ่ายก็สูงตามมาด้วยและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มักเกิดการเสื่อมสภาพ (deactivation) ในระหว่างปฏิกิริยาได้ง่ายดังนั้นการใช้สารตั้งต้นเป็นเอทานอลหรือแอลกอฮอล์ให้ก๊าซไฮโดรเจนที่เป็นแอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆจึงอยู่ในขั้นตอนการวิจัย

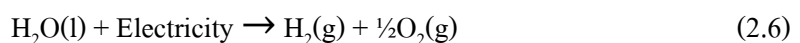
2) Partial Oxidation ปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบบางส่วนหรือ Partial Oxidation เป็นเทคนิคที่เกิดขึ้นโดยจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา บางครั้งเรียกว่า gasification ซึ่งกล่าวง่ายก็คือเป็น

ปฏิกิริยาที่ใช้ความร้อนในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยทั่วไปแล้วสารตั้งต้นที่นิยมใช้มักเป็นสารประกอบทางอินทรีย์เช่นก๊าซมีเทนหรือ เอทานอลเป็นต้น โดยทั่วไปปฏิกิริยานี้มักทำที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 °C ปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วนของก๊าซมีเทนทำให้ได้ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อนปานกลางและให้ $H_2/CO \approx 2$ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยา Fischer-Tropsch synthesis หรือกระบวนการ Syn gas แต่เมื่อพิจารณาในกรณีการให้ก๊าซไฮโดรเจนนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพเท่ากับปฏิกิริยา Steam Reforming reaction สมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบบางส่วนทำให้ได้ CO และ H_2 ดังสมการที่ (2.4) และสมการแสดงปฏิกิริยาออกซิเดชันสมบูรณ์หรือ full combustion ทำให้ได้ CO_2 และ H_2O ดังสมการที่ (2.5) ตัวแปรที่ควบคุมว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นแบบออกซิเดชันบางส่วนหรือออกซิเดชันสมบูรณ์คือปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยานั่นเอง



ชีวมวล (Biomass) เป็นวัตถุดิบที่กำลังนิยมนำมาใช้ในการผลิตพลังงาน ในสหรัฐอเมริกามีการนำชีวมวลเช่น วัสดุเหลือใช้จากเกษตรกรรมมูลสัตว์ที่เหลือจากการเผาไหม้กระด้างที่ใช้แล้วเป็นต้นมาใช้ในการผลิตเป็นพลังงานมากขึ้นเป็นอันดับสองรองจากพลังงานน้ำในกรณีใช้ชีวมวลเหล่านี้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ Gasification, Pyrolysis, Hydrolysis เป็นต้นในบางกรณีอาจจะทำปฏิกิริยาต่อกับ Steam reforming และ WGS เพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซไฮโดรเจนเทคโนโลยีของปฏิกิริยา Gasification ที่มีสารตั้งต้นเป็นชีวมวลได้รับการพัฒนาจนขณะนี้สามารถนำไปใช้ได้แล้วในเชิงพาณิชย์โดยมีหลักการเหมือนดังปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคือก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (NO_x) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้ยังให้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันดินหรือ Tar และเขม่าเกิดขึ้นในปริมาณที่มากกว่าปฏิกิริยา Steam reforming ส่วนปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่สังเคราะห์ได้ก็ยังไม่ดีกว่าด้วยดังนั้นจึงมีการประยุกต์ปฏิกิริยานี้โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมมาใช้ร่วมด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้

3) Electrolysis of water เป็นกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีโดยผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในน้ำซึ่งรู้จักกันในชื่อปฏิกิริยาการแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrolysis reaction) กระแสไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนอะตอมและออกซิเจนอะตอมออกจากกันแล้วอะตอมชนิดที่เหมือนกันจะเกิดการรวมตัวกันให้ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนดังแสดงในสมการที่ (2.6)



เมื่อพิจารณาการได้มาซึ่งก๊าซไฮโดรเจนโดยวิธีนี้กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในปฏิกิริยาได้มาจากแหล่งพลังงานตั้งต้นอื่นถ้าจะนำก๊าซไฮโดรเจนนี้มาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้นั้นยังไม่คุ้มเท่ากับต้นทุนในการแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้าดังกล่าวเพราะราคาต้นทุนเกือบทั้งหมดของกระบวนการนี้ขึ้นกับมูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายน้ำถึงแม้ว่าแหล่งให้ก๊าซไฮโดรเจนนี้จะใช้เพียงน้ำซึ่งมีมากในโลกก็ตามกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำนี้จึงจำเป็นต้องได้รับการวิจัยและพัฒนาต่อไปเพื่อลดมูลค่าและต้นทุนในระหว่างการผลิตนอกจากนั้นต้องพิจารณาถึงแหล่งให้พลังงานไฟฟ้าเบื้องต้นด้วยถ้ามาจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไปเช่นก๊าซธรรมชาติถ่านหินหรือน้ำมันปิโตรเลียมย่อมไม่เหมาะสมควรจะเป็นแหล่งที่สามารถเกิดมาทดแทนใหม่ได้เร็ว เช่นพลังงานไฟฟ้าจากลมแสงอาทิตย์หรือพลังน้ำเป็นต้นจึงจะทำให้กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

4) Photoprocess คือ กระบวนการแยกสลายน้ำโดยใช้แสงเป็นกระบวนการที่มีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจโดยผู้เริ่มดำเนินงานวิจัยด้านนี้คือ อ. Fujishima และ Honda ในปีค.ศ. 1972 เทคโนโลยีของกระบวนการทางแสงที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสามารถแยกออกเป็น 4 ชนิดตามวัตถุประสงค์การใช้ประสิทธิภาพการพัฒนาต่อยอดและการใช้ประโยชน์ในระยะยาวซึ่งระบบการผลิตทั้ง 4 ชนิดคือ

- (1) เซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Photovoltaic cells) ที่ต่อกับเครื่องแยกน้ำด้วยไฟฟ้า (electrolyzer)
- (2) เซลล์ไฟฟ้าเคมีแสงอาทิตย์ (Photoelectrochemical cells) พร้อมอิเล็กโทรดกึ่งตัวนำ 1-2 ขั้ว
- (3) กระบวนการเชิงชีวภาพของจุลินทรีย์โดยใช้แสง (Photobiological systems)
- (4) ระบบการย่อยสลายโดยใช้แสง (Photodegradation systems)

กระบวนการที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงมาอยู่ในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ง่ายแยกออกเป็น 2 กระบวนการหลักคือกระบวนการทางความร้อนของแสง (solar thermal process) และกระบวนการทางโฟตอนของแสง (solar photonic process) ในกระบวนการแรกนั้นพลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนซึ่งอาจจะนำไปใช้ประโยชน์โดยตรงโดยการสะสมพลังงานความร้อนในตัวกลางต่างๆ เช่น น้ำที่ปราศจากน้ำเป็นต้นหรือพลังงานความร้อนนี้อาจจะเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพลังงานกลหรือพลังงานไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ที่จำเพาะเช่น หม้อต้มน้ำ (steam turbine) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนกระบวนการทางโฟตอนของแสงคือการใช้วัสดุที่จำเพาะในการดูดซับแสงโฟตอนและวัสดุนี้จะไม่เปลี่ยนพลังงานของโฟตอนเป็นพลังงานความร้อนทั้งหมดแล้ววัสดุนี้จะ

เปลี่ยนพลังงานของโฟตอนเป็นพลังงานไฟฟ้า (เช่นเซลล์โฟโตวอลตาอิก :photovoltaic cell) หรืออาจจะสะสมพลังงานของโฟตอนไว้ในรูปพลังงานเคมีเช่นในปฏิกิริยา Endergonic reaction ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแสงเข้าไป (พลังงานจะสะสมไว้ในพันธะเคมีของสารที่เกิดขึ้น) ตัวอย่างที่ชัดเจนคือการสังเคราะห์แสงของพืชที่เปลี่ยนพลังงานแสงมาอยู่ในรูปพลังงานเคมีหรือพลังงานพันธะในน้ำตาลหรือแป้งที่พืชสังเคราะห์ได้เช่นเดียวกันกับการเปลี่ยนน้ำไปเป็นก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้แสงเป็นต้นอย่างไรก็ดีกระบวนการนี้ยังเป็นกระบวนการที่มีราคาสูงซึ่งปัจจุบันนิยมนำพลังงานที่ได้ จากกระบวนการทางแสงมาใช้ เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงมากกว่า

2.4 การจัดเก็บก๊าซไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนจะถูกกักเก็บได้ในลักษณะของของเหลว ก๊าซ หรือของแข็ง ในรูปสารประกอบเคมีการเก็บในรูปแบบก๊าซถึงเก็บจะมีปริมาตรขนาดใหญ่ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนจะเบาและมีความหนาแน่นน้อยที่ความดันบรรยากาศเพื่อให้สามารถเก็บมวลไฮโดรเจนได้มากจึงต้องอัดไปที่ความดันสูงเพื่อลดปริมาตรของถังเก็บจึงยังไม่เหมาะสมในการนำมาใช้กับรถยนต์แต่ถ้าพัฒนาถังให้เก็บที่ความดัน 700 บาร์จะเก็บพลังงานได้ 350 เมกกะจูลซึ่งสามารถใช้กับรถยนต์ได้

2.4.1 การเก็บในรูปของเหลวจะต้องเก็บในถังความดันที่มีอุณหภูมิต่ำมากถึง -273 องศาเซลเซียสและมีปัญหาในการปล่อยก๊าซทิ้งเพื่อควบคุมความดันในถังเก็บอีกทั้งต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้ามากในการทำให้อุณหภูมิต่ำซึ่งสูงถึงหนึ่งในสามของพลังงานไฮโดรเจน

2.4.2 การเก็บไว้ในท่อถ่านนาโน (Carbon nanotube) โดยใช้คุณสมบัติการดูดซับทางกายภาพของถ่านซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันที่อุณหภูมิต่ำ 70 เคลวิน ความดัน 40 บาร์จะเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งอยู่ระหว่างการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้เก็บไฮโดรเจนได้มากขึ้นและนำมาใช้งานต่อไป

2.4.3 การเก็บในรูปสารประกอบเคมีโดยใช้ โลหะไฮไดรไรด์ ต้องคำนึงถึงน้ำหนักถังและอุณหภูมิที่เหมาะสมโลหะไฮไดรไรด์สามารถเก็บไฮโดรเจน ประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักถังจึงเป็นปัญหาในเรื่องน้ำหนักถังเก็บการบรรจุไฮโดรเจนเข้าถังเก็บต้องมีการระบายความร้อนออกจากถังเก็บและในการจ่ายไฮโดรเจนออกจากถังเก็บก็ต้องให้ความร้อนกับโลหะไฮไดรไรด์ ถึงจะได้ ก๊าซไฮโดรเจนออกมาที่แต่ละสถานะของอุณหภูมิและความดันการเก็บในรูป สารประกอบไฮไดรไรด์ จำพวกโซเดียมโพแทสเซียมหรือ ลิเทียมโซเดียมไฮไดรไรด์ (NaH) สามารถคายก๊าซไฮโดรเจนด้วยการทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารประกอบโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ ก๊าซไฮโดรเจนและในทาง

กลับกันเมื่อนำโซเดียมไฮดรอกไซด์มาให้ความร้อนก็จะได้โซเดียมไฮดรอกไซด์กับก๊าซออกซิเจนกลับมาใหม่ดังนั้นโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงเป็นพาหะพลังงานซึ่งสามารถอัดเม็ดและเคลื่อนพิกันน้ำเพื่อสะดวกในการขนส่งโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณ 4 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

เซลล์เชื้อเพลิงจะประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดที่มีความพรุน 2 ขั้ว (แอโนดและแคโทด) จุ่มหรือสัมผัสกับสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็งเชื้อเพลิงอันได้แก่ก๊าซธรรมชาติหรือไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าไปยังขั้วแอโนด (Anode) ในขณะที่ออกซิแดนซ์ (Oxidant) ถูกป้อนเข้าขั้วแคโทด (Cathode) ก๊าซไฮโดรเจนก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยจะมีการให้หรือปล่อยอิเล็กตรอน (Electron) ที่ขั้วแอโนดในขณะที่ปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซออกซิแดนซ์ซึ่งเกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรง (Direct-Current หรือ DC) โดยที่ขั้วอิเล็กโทรดทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งปฏิกิริยา (Reaction Sites) เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้าของเชื้อเพลิงและตัวออกซิแดนซ์ขึ้น

2.5 ข้อดีของก๊าซไฮโดรเจน

2.5.1 ด้านสิ่งแวดล้อม

ข้อดีของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงานในด้านสิ่งแวดล้อมแยกออกเป็นข้อดีในระยะสั้นและข้อดีในระยะยาวในระยะสั้นนั้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อมีการเปลี่ยนเครื่องยนต์ของยานพาหนะจากระบบการเผาไหม้น้ำมันธรรมดาเป็นการเผาไหม้ก๊าซไฮโดรเจนนั้นจะสามารถลดการสร้างก๊าซพิษเช่น CO, CO₂, NO_x, VOCs, SO_x, ก๊าซไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น ๆ และเขม่าควันเข้าสู่แหล่งชุมชนได้สำหรับผลในระยะยาวนั้นจะกล่าวถึงการลดสถานะเรือนกระจกของโลกและลดการบางลงของชั้นโอโซนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้จัดว่าเป็นก๊าซสำคัญที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวถึง 50% (และอีก 50% คือก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) และเขม่าควันที่เหลือจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง) ทำให้การใช้และผลิตก๊าซไฮโดรเจนนี้ไม่เพิ่มสถานะ การเกิดก๊าซเรือนกระจก (เมื่อมีการเลือกแหล่งให้ก๊าซไฮโดรเจนที่เหมาะสมเช่นน้ำเป็นต้น)

2.5.2 ด้านสุขภาพ

มลภาวะทางอากาศที่เราเผชิญหน้าอยู่ในปัจจุบันนี้เกิดจากการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆอย่างรวดเร็วโดยไม่ได้คำนึงถึงของเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมเช่นก๊าซพิษต่างๆล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพหรือเป็นสาเหตุของมะเร็งได้หน่วยงานของประเทศสหรัฐอเมริกา The American Environmental Protection Agency (EPA) กล่าวว่าแหล่งที่สร้างสารพิษหลักออกมาคือการเผาไหม้

ของเครื่องยนต์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ของปิโตรเลียมเป็นเชื้อเพลิงทำให้เกิดก๊าซที่ก่อมลภาวะเช่น benzene, formaldehyde, acetaldehyde, 1.3-butadiene และอนุภาคเขม่าอื่นๆขณะที่ เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงแล้วจะไม่มีก๊าซพิษและไม่มีสารก่อมะเร็งที่กล่าวมาข้างต้น

2.5.3 ด้านความแข็งแกร่งทางเศรษฐกิจ

หลังจากมีการรวมกลุ่มกันของประเทศผู้ผลิตน้ำมันเพื่อการส่งออกหรือกลุ่ม OPEC ในปีค.ศ. 1973 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงอำนาจการต่อรองขององค์กรนี้ต่อสาธารณะประเทศ หลังจากเกิดวิกฤติน้ำมันขึ้นประเทศผู้นำด้านอุตสาหกรรมได้เริ่มหาทางออกโดยการใช้แหล่งพลังงานอื่นเพื่อไม่ให้เศรษฐกิจของประเทศต้องขึ้นกับราคาน้ำมันเพียงอย่างเดียวแต่ก็ยังไม่สัมฤทธิ์ผลเช่น ประเทศในกลุ่ม EU ได้นำเข้าน้ำมันดิบสูงถึง 50% ของความต้องการพลังงานทั้งหมดดังนั้นจึงทำให้เศรษฐกิจของประเทศต้องขึ้นกับประเทศผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นพลังงานจึงเป็นหนึ่งทางออกเพื่อลดการขึ้นตรงของเศรษฐกิจกับราคาน้ำมันเพราะในทุกประเทศจะมีแหล่งพลังงานเบื้องต้นเพื่อใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนอยู่แล้ว

2.6 ปัญหาของการใช้ก๊าซไฮโดรเจน

สาเหตุที่การบรรจุไฮโดรเจนเพื่อใช้งานนั้นเป็นเรื่องยากก็เนื่องจาก ที่อุณหภูมิ และความดันปกติ ไฮโดรเจนจะอยู่ในสถานะเป็น ก๊าซ โดยมีระดับค่าพลังงานอยู่ที่ 1/3000 เท่าของน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นหากบรรจุไฮโดรเจนไว้ในถังน้ำมันขนาด 20 ลิตรแบบปกติจะให้พลังงานเพื่อขับเคลื่อนรถยนต์ได้เพียง 500 ฟุตเท่านั้น นักวิจัยพยายามหาหนทางเพื่อให้สามารถบรรจุไฮโดรเจนให้ได้มากขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในระยะทาง 300 ไมล์เช่นเดียวกับรถยนต์ปกติที่จะต้องเติมน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 20 ลิตร ในขณะที่หากใช้เซลล์พลังงานจะต้องใช้ไฮโดรเจนเพียงประมาณ 8 กิโลกรัมเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ไฮโดรเจนจะให้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ซึ่งจากการทดสอบรถต้นแบบของค่ายต่างๆพบว่าระยะทางจะอยู่ที่ประมาณ 100-190 ไมล์โดยเฉลี่ย

ปัจจุบันรถต้นแบบของค่ายต่างๆ ส่วนมากจะใช้ถังบรรจุที่มีลักษณะคล้ายกับถังออกซิเจนของนักประดาน้ำ ที่ทำจาก สารประกอบประเภท คาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon-Fiber Composite) ที่มีน้ำหนักเบา และบรรจุไฮโดรเจนที่ระดับความดัน 5,000 – 10,000 psi (350-700 เท่าของความดันปกติ) แต่การเพิ่มความดันขึ้นก็ไม่ได้หมายความว่า จะได้รับความหนาแน่นของไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพราะแม้ที่ระดับความดันที่ 10,000 psi ก็จะสามารถบรรจุไฮโดรเจนปริมาณที่สามารถให้พลังงานได้เพียง 15 % ของที่ได้จากเชื้อเพลิงปกติที่ปริมาตรเท่ากันเท่านั้นถึงบรรจุความดันสูงนั้นเหมาะสำหรับการใช้งานกับรถยนต์บางประเภทเท่านั้นเช่น ในรถโดยสารขนาดใหญ่ เนื่องจากตัวรถมีขนาดใหญ่ทำให้สามารถ

ติดตั้งถึงบรรจุนาขนาดใหญ่เพื่อให้เคมีไฮโดรเจนเพียงพอต่อการใช้งานได้ แต่การนำมาใช้กับรถยนต์นั่งธรรมดาไม่สามารถทำได้เนื่องจากมีพื้นที่ไม่เพียงพอ นอกจากนี้ราคาของถังดังกล่าวยังสูงกว่าถังเชื้อเพลิงปกติถึง 10 เท่า

2.6.1 ข้อจำกัดในการนำมาใช้ของก๊าซไฮโดรเจน

การนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงยังมีข้อจำกัด หรือข้อเสียเช่นกันคือ

1) ก๊าซไฮโดรเจนที่สังเคราะห์ได้มีราคาสูง เนื่องมาจากขั้นตอนที่ใช้ในการผลิตและการทำให้ก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์ยังมีขั้นตอนที่ซับซ้อนทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงจึงจำเป็นต้องมีระบบหล่อเย็นซึ่งการเพิ่มระบบนี้เมื่อนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์จะเป็นขั้นตอนที่เสียค่าใช้จ่ายมากและสิ่งเจือปนในก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ยังมีมากทำให้ต้องเพิ่มปฏิกิริยาที่ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย

2) การกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนและบรรจุภัณฑ์มีต้นทุนสูง ก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำมากเมื่อต้องการกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนลักษณะเช่นเดียวกับกับก๊าซหุงต้มและก๊าซธรรมชาติที่อยู่ในสถานะของเหลวในบรรจุภัณฑ์ภาชนะนั้นต้องมีความแข็งแรงทนต่อแรงดันสูงเพื่อให้บรรจุภัณฑ์สามารถบรรจุก๊าซได้ที่ความดันสูงๆทำให้ก๊าซไฮโดรเจนอยู่ในสถานะของเหลว และสามารถบรรจุก๊าซได้ปริมาณมากขึ้นแต่ผลข้างเคียงของการบรรจุก๊าซไฮโดรเจนลักษณะนี้คือเสี่ยงต่อการระเบิดและเกิดการลุกไหม้ได้ง่ายการแก้ไขปัญหาเรื่องบรรจุภัณฑ์สามารถทำได้โดยการบรรจุก๊าซไฮโดรเจนในบรรจุภัณฑ์ที่เป็นวัสดุชนิดโลหะไฮโดรด์ที่สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนได้ดีที่อุณหภูมิและความดันปกติแต่อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายก็เพิ่มสูงตามไปด้วยจากข้อจำกัดข้างต้น ทำให้มีนักวิจัยพยายามค้นคิดการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากสารตั้งต้นแล้วไปใช้ทันทีโดยไม่ต้องมีระบบกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเรียกว่า Hydrogen on-board production ตัวอย่างเช่นการใช้ระบบนี้ในรถยนต์และวัตถุดิบในการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนอาจจะเป็นน้ำหรือเอทานอลในรถยนต์จะมี ถังกักเก็บน้ำหรือเอทานอลเท่านั้นแล้วสารตั้งต้นนี้จะเข้าสู่ขั้นตอนการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จะนำไปใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าทันทีซึ่งวิธีการนี้ จะไม่มีการเก็บก๊าซไฮโดรเจนแต่กระบวนการดังกล่าวยังอยู่ในขั้นการทดลองและวิจัยเพื่อพัฒนาก่อนนำไปใช้จริง

3) การใช้แหล่งวัตถุดิบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน การเลือกแหล่งให้ก๊าซไฮโดรเจนเบื้องต้นเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนนี้จะไม่สามารถลดการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้เพราะสารตั้งต้นดังกล่าวจะให้สารผลิตภัณฑ์หลักสุดท้ายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้แม้มีการนำก๊าซไฮโดรเจนที่ได้มาเป็นแหล่งให้พลังงาน ภาวะโลกร้อนก็ยังไม่สามารถแก้ไขได้และการลดก๊าซนี้สามารถทำได้เพียงอาศัยการสังเคราะห์แสงของพืชเป็น

หลักซึ่งพืชและต้นไม้ก็มีปริมาณจำกัดยังต้องอาศัยเวลาการปลูกและการดูแลเพิ่มอย่างจริงจังแต่การใช้แหล่งตั้งต้นนี้สามารถลดปัญหาการขาดแคลนปิโตรเลียมและน้ำมันได้

2.6.2 ข้อควรระวังและอันตรายเกี่ยวกับก๊าซไฮโดรเจน

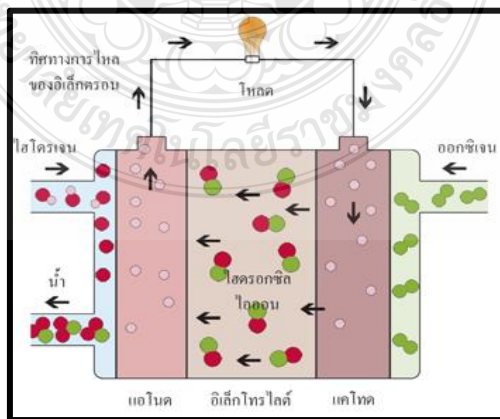
อันตรายที่ได้รับจาก ก๊าซ ไฮโดรเจนคือการเกิดไฟระเบิดและการหมดสติขีดความสามารถในการจุดติดไฟสำหรับสิ่งใดๆที่มีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบจะรุนแรงมากกว่า ก๊าซไวไฟชนิดอื่นๆเพราะเนื่องจาก

- 1) ไฮโดรเจนสามารถเคลื่อนตัวได้เร็วผ่านการเปิดเพียงเล็กน้อย
- 2) พลังงานขั้นต่ำที่ทำให้ไฮโดรเจนติดไฟอยู่ในขั้นน้อยมาก

การเผาไหม้สามารถเกิดขึ้นโดยไม่รู้ตัวจากการเดินเข้าไปบริเวณที่มีเปลวไฟไฮโดรเจนอันตรายจากไฟและระเบิดสามารถควบคุมได้ด้วยป้ายเตือนและวิธีการปฏิบัติ ที่เหมาะสมป้องกันมิให้เกิดการรวมตัวของเชื้อเพลิงที่ก่อให้เกิดการลุกไหม้ และกำจัดสิ่งใดๆที่เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการจุดติดในบริเวณที่มีไฮโดรเจนจำเป็นจะต้องใช้งาน

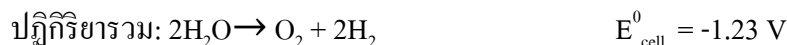
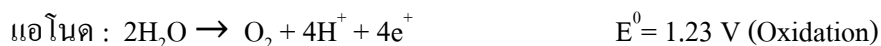
2.7 อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)

อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) เป็นกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยผ่านทางแผ่นโลหะต่างๆ เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าผ่านไปยังสารละลายแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างเช่น อิเล็กโทรลิซิม และการชุบ (ขบวนการที่ผ่านไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี) เครื่องมือที่ใช้แยกสารละลายด้วยไฟฟ้าเรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลต์ หรืออิเล็กโทรลิติกเซลล์ ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เช่น แบตเตอรี่ หรือ เซลล์ไฟฟ้า (โซลาร์เซลล์)



รูปที่ 2.2 กระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

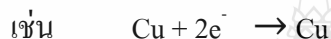
ตัวอย่างของการทำปฏิกิริยาเคมีของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 1.0 mol/L ของ (H₂SO₄)



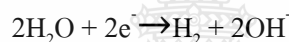
2.7.1 ปฏิกิริยาที่แคโทด(รีดักชัน)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่แคโทดหลังจากผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปอาจเกิดรีดักชันเนื่องจากโมเลกุลของน้ำหรือจากไอออนที่เป็นโลหะอย่างใดอย่างหนึ่งคือ

ไอออนบวกอาจถูกรีดิวซ์ให้เป็นโลหะ



โมเลกุลของน้ำอาจถูกรีดิวซ์กลายเป็นโมเลกุลของไฮโดรเจน

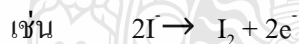


คู่ปฏิกิริยาที่เกิดก่อนได้แก่คู่ปฏิกิริยาที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าน้อยที่สุด

2.7.2 ปฏิกิริยาที่แอโนด (ออกซิเดชัน)

ในการทำงานเดียวกันกับปฏิกิริยาที่แคโทดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นในสารละลายอาจเกิดจากไอออนลบหรือโมเลกุลของน้ำหรือขั้วโลหะอย่างใดอย่างหนึ่งก็ได้ดังต่อไปนี้

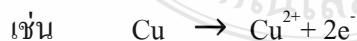
ไอออนลบอาจถูกรีดิวซ์ให้เป็นอะโลหะ



โมเลกุลของน้ำอาจถูกออกซิไดซ์กลายเป็นโมเลกุลของออกซิเจน



ขั้วไฟฟ้าอาจถูกออกซิไดซ์กลายเป็นโลหะไอออน



คู่ปฏิกิริยาที่เกิดก่อนได้แก่คู่ปฏิกิริยาที่ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าน้อยที่สุด

2.7.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอิเล็กโทรไลต์

จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการเกิดอิเล็กโทรไลต์ของสารซึ่งปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

- 1) ศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับเซลล์
- 2) ความเข้มข้นของสารละลาย
- 3) ขั้วไฟฟ้าที่ใช้
- 4) การแข่งขันของปฏิกิริยาอื่น
- 5) อื่นๆเช่นอุณหภูมิ

2.7.4 ขั้วไฟฟ้า (Electrode)

คือแผ่นตัวนำไฟฟ้า ที่จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อกับเซลล์ ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ แบ่งได้เป็น 2 ขั้ว คือ ขั้วแอโนด และขั้วแคโทด

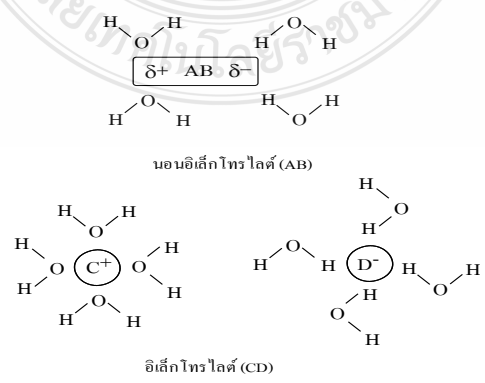
2.8 สารละลายอิเล็กโทรไลต์(Electrolyte)

คือสารละลายในตัวทำละลายแล้วแตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบ ทำให้มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ แบ่งได้ดังนี้

2.8.1 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) หมายถึงสารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวกหรือไอออนลบเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็นสารละลายกรดเบสหรือเกลือก็ได้ตัวอย่างเช่นสารละลายกรดเกลือ (HCl) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายของเกลือ KNO_3 เป็นต้น

2.8.2 นอนอิเล็กโทรไลต์ (Non-electrolyte) หมายถึงสารที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อละลายน้ำทั้งนี้เนื่องจากสารพวกนอนอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้เช่นน้ำบริสุทธิ์ น้ำตาลแอลกอฮอล์ เป็นต้น

จากรูป AB เป็นสารนอนอิเล็กโทรไลต์เพราะ AB ไม่ละลายน้ำและไม่แตกตัวเป็นไอออน CD เป็นสารอิเล็กโทรไลต์เพราะ CD จะแตกตัวได้ C^+ และ D^- ไอออนซึ่งถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ

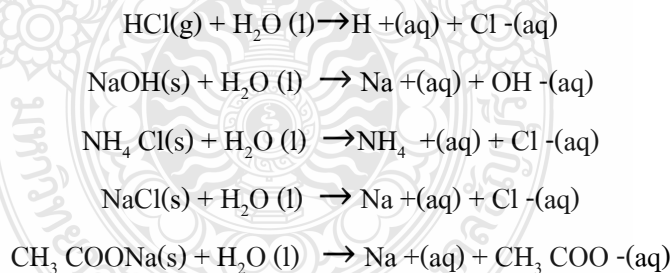


รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ของสาร

2.8.3 อิเล็กโทรไลต์แก่และอิเล็กโทรไลต์อ่อนหมายถึงสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ไม่เท่ากันเนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของอิเล็กโทรไลต์ไม่เท่ากันอิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่าก็จะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าอิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวเป็นไอออนได้น้อยกว่าอิเล็กโทรไลต์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) อิเล็กโทรไลต์แก่ (Strong Electrolyte) หมายถึงสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้มากอาจจะแตกตัวได้ 100% และนำไฟฟ้าได้ดีมากเช่นกรดแก่และเบสแก่และเกลือส่วนใหญ่จะแตกตัวได้ 100% เป็นต้น

2) อิเล็กโทรไลต์อ่อน (Weak Electrolyte) หมายถึงสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวได้บางส่วนนำไฟฟ้าได้น้อย สารอิเล็กโทรไลต์ละลายน้ำเป็นสารละลาย เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถนำไฟฟ้าได้ ทดสอบโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดการนำไฟฟ้า สังเกตความสว่างของหลอดไฟ สารละลายแต่ละชนิดมีสมบัติในการนำไฟฟ้าต่างกัน การนำไฟฟ้าของสารละลายมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไอออนของตัวถูกละลายที่มีในสารละลาย สารละลายนำไฟฟ้าได้ดี จะทำให้หลอดไฟสว่างมาก แสดงว่าตัวถูกละลายแตกตัวเป็นไอออนอิสระได้มาก การแตกตัวถือว่าการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าอย่างเดียวไม่มีภาวะสมดุล จัดเป็น อิเล็กโทรไลต์แก่ เช่น สารละลายไฮโดรคลอริก, โซเดียมไฮดรอกไซด์, แอมโมเนียมคลอไรด์, โซเดียมคลอไรด์, โซเดียมแอซิเตท สารเหล่านี้เมื่อละลายน้ำแตกตัวดังนี้



2.8.1 ความแรงของกรด – เบส

กรดที่มีการแตกตัวมาก มีความเป็นกรดมาก กรดและเบสที่แตกตัวได้ 100% จะเรียกว่ากรดแก่ และเบสแก่ ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ดี แต่ถ้ากรดและเบสนั้นแตกตัวได้เพียงบางส่วนเรียกว่ากรดอ่อน หรือเบสอ่อน ตามลำดับ ซึ่งการนำไฟฟ้าจะไม่ดีสำหรับการพิจารณาค่าการแตกตัวของกรดและเบสนั้น นอกจากจะคิดจากเปอร์เซ็นต์การแตกตัว หรืออาจจะดูได้จากค่าคงที่สมดุลของการแตกตัวของกรดหรือเบส

2.8.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกต่างของกรด – เบส

- 1) ชนิดของกรดและเบส กรดแก่ – เบสแก่ ไอออนแตกได้ 100 % ส่วนกรดอ่อน เบสอ่อนแตกตัวได้น้อย
- 2) อุณหภูมิ อุณหภูมิยิ่งสูง จะทำลายน้ำได้ดีขึ้น การแตกตัวของไอออนมากขึ้น
- 3) ความเข้มข้น กรดเบสเจือจางแตก กตัวได้ดีกว่า กรด – เบสเข้มข้น เช่นการเติมน้ำกลั่นลงไป ในเบตเตอรีรถเพื่อทำให้สารละลายเจือจางลง ซึ่งทำให้ไอออนแตกตัวได้ดีขึ้นและนำไฟฟ้าดีขึ้น

2.9 ความเป็นกรดและด่าง(pH-value)

ความเป็นกรดและด่าง เป็นค่าที่แสดงปริมาณหรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ (Hydrogen or hydronium ion: H^+ หรือ H_3O^+) ซึ่งเกิดจากสารที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลกรด (H^+) หรือด่าง (OH^-) ได้ ความเป็นกรด -ด่างมีค่าตั้งแต่ 0-14 ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด -ด่างต่ำกว่า 7 หมายถึงน้ำมีสภาพเป็นกรด ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 หมายถึงน้ำมีสภาพเป็นด่าง และถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 หมายถึงน้ำมีสภาพเป็นกลาง ค่าความเป็นกรด -ด่างของน้ำไม่ได้บอกความเป็นพิษต่อร่างกาย แต่บอกให้ทราบถึงประเภทของของสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำในรูปของสารที่ให้อนุมูลกรดหรือด่างได้

ตารางที่ 2.2 ค่าความเป็นกรดและด่าง (พีเอช) ของสารละลายกรดและเบส

ความเข้มข้นของกรด (โมล/ลิตร)	ค่าความเป็น กรดและด่าง	ความเข้มข้นของเบส (โมล/ลิตร)	ค่าความเป็น กรดและด่าง
1.0	0	1.0	14
0.1	1	0.1	13
0.01	2	0.01	12
0.001	3	0.001	11
0.0001	4	0.0001	10
0.00001	5	0.00001	9
0.000001	6	0.000001	8
0.0000001	7	0.0000001	7

วิธีการวัดความเป็นกรด -ด่าง สามารถกระทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความละเอียดและความถูกต้องในการใช้งาน มี 3 วิธี ดังนี้

1) กระดาษลิตมัสเป็นวิธีที่สามารถบอกได้เพียงว่าตัวอย่างที่เรานำมาทดสอบเป็น กรดหรือเป็นเบสเท่านั้น โดยกระดาษลิตมัสมีอยู่ 2 ชนิดคือสีแดงและสีน้ำเงินวิธีการทดสอบก็นำเอากระดาษลิตมัสไปจุ่มตัวอย่างที่ต้องการทดสอบโดยที่ถ้าตัวอย่างเป็นกรดกระดาษลิตมัสจะเปลี่ยนสี จากน้ำเงินเป็นสีแดงในขณะที่ถ้าตัวอย่างเป็นเบสกระดาษลิตมัสจะเปลี่ยนสีจากแดงเป็นน้ำเงิน

2) กระดาษ pH เป็นวิธีที่สามารถบอกค่าความเป็นกรด - เบสได้ละเอียดมากกว่ากระดาษลิตมัสเนื่องจากจะมีแถบสีให้เทียบว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีค่าความเป็นกรด - เบสเท่ากับเท่าไร นอกจากกระดาษ pH ยังมีอีกวิธีหนึ่งที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกันคือการใช้สารละลายที่เรียกว่า universal indicator ซึ่งเป็นสารละลายที่จะเปลี่ยนสีเมื่อค่า pH เปลี่ยนไปเราสามารถเตรียมสารละลาย indicator อย่างง่ายได้จากกะหล่ำม่วงหรือดอกอัญชันได้ โดยการนำกะหล่ำม่วงหรือดอกอัญชันมาคั้นน้ำแล้วใช้น้ำที่คั้นเป็น indicator

3) pH meter เป็นเครื่องมือที่มีความถูกต้องมากกว่า 2 ข้อที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วเครื่อง pHmeter มีหลายแบบเช่นแบบปากกาหรือแบบมือถือ (hand held pH meter) pH meter แบบนี้ยังคงมีความถูกต้องมากกว่ากระดาษแต่ยังน้อยกว่าเครื่อง pH meter ซึ่งจะเหมาะกับงานในภาคสนามที่ไม่ต้องการความถูกต้องมากนักแบบตั้งโต๊ะซึ่งแบบนี้จะมีความถูกต้องมากกว่าแบบ ปากกาหรือแบบมือถือสามารถวัดค่าได้ถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 เพื่อให้การวัดค่า pH มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นจึงจำเป็นที่จะต้องนำเอาระบบมาตรวิทยาเข้ามาเกี่ยวข้องกับระบบมาตรวิทยาของการวัดค่า pH นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับเช่นเดียวกับระบบการวัดอื่นๆคือเริ่มต้นด้วยระดับปฐมภูมิ (Primary method), ระดับทุติยภูมิ (Secondary method) และระดับตติยภูมิหรือระดับทำงาน (Tertiary or working method) โดยทั้ง 3 ระดับจะต้องสามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สากลยอมรับซึ่งได้แก่มาตรฐานของชาติ SIunits หรือในกรณีของ pH measurement จะสอบกลับไปวิธีของการวัด (definitive method)จากนิยามของการวัดค่า pH ($pH = -\lg a_{H^+}$) นั้นระบบที่ใช้ในการวัดค่า pH ในระดับปฐมภูมิคือ Harned cell measurement system โดยที่ primarymethod of measurement คือวิธีมาตรฐานที่มีคุณภาพสูงสุดทางมาตรวิทยาโดยที่วิธีการนั้น มีรายละเอียดและการอธิบายอย่างสมบูรณ์ พร้อมทั้งมีการระบุค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดและสามารถเชื่อมโยงสู่หน่วยวัดมาตรฐาน SI unit

2.10 สารอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ผสมในน้ำในกระบวนการแยกก๊าซไฮโดรเจน

2.10.1 อะซิโตน (Acetone)

สารอะซิโตน (Acetone, C_3H_6O) เป็นสารเคมีที่ใช้มากในห้องปฏิบัติการ ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 กำหนดให้อะซิโตนเป็นสารเคมีอันตรายชนิดที่ 3 มีคุณสมบัติเป็นของเหลวไวไฟติดไฟได้ง่าย ไม่มีสี สามารถระเหยได้ในบรรยากาศ มีกลิ่น จุดวาบไฟอยู่ที่ $-20^{\circ}C$ จึงควรจัดเก็บสารให้ห่างจากความร้อน เปลวไฟ แหล่งที่จุดติดไฟทั้งหลาย รวมถึงส่วนผสมระหว่างกรดไนตริกเข้มข้นและกรดซัลฟูริก, สารออกซิไดซ์, คลอโรฟอร์ม, แอลคาไลด์, สารประกอบคลอรีน และกรดโพแทสเซียมที่บิวทอกไซด์

ข้อควรระวังอะซิโตนเป็นสารเคมีที่มีความไวไฟสูง มีกลิ่นและระเหยได้ง่าย จึงเป็นอันตรายมากหากสูดดมเป็นเวลานาน ไอระเหยของสารจะมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ อาจทำให้เกิดการไอหรือเวียนศีรษะ หากสัมผัสถูกผิวหนังจะทำให้เกิดผื่นแดงและปวดแสบปวดร้อน หากไอระเหยสัมผัสถูกดวงตา จะมีผลทำให้ระคายเคือง แสบตา หรือ อาจทำให้ตาแดงได้ สุดท้ายหากกลืนหรือกินเป็นปริมาณมาก จะมีอาการอาเจียน ปวดท้อง และคลื่นไส้ ดังนั้น ในการใช้สารเคมีอันตราย ควรใช้อุปกรณ์ในการป้องกันเช่นถุงมือ , แวนตา และชุด ป้องกันสารเคมี เพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสสารหรือไม่ให้ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสัมผัสกับสาร

2.10.2 โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide)

โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) ใช้ในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ เป็นอัลคาไลน์เซลล์ สารนี้ละลายน้ำได้และทำสบู่เหลวและสารนี้สามารถละลายได้ในแอลกอฮอล์มีลักษณะเป็นผงสีขาวไม่มีกลิ่นจุดเดือดที่ $1324^{\circ}C$ และ จุดหลอมเหลวอยู่ที่ $361^{\circ}C$

ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยาเคมี :

- 1) สารที่เข้ากันไม่ได้ คือ ความร้อนเหนือจุดหลอมเหลว , ดินบุก, สารประกอบไนไตร, สังกะสี, สารอินทรีย์, แมกนีเซียมและทองแดง
- 2) สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง คือ ดูดซึม CO_2 จากอากาศ, ความร้อนจากการเดือดของสารจะสูงมาก
- 3) สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว คือ คาร์บอนมอนอกไซด์

2.10.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) หรือโซดาไฟ เป็นของแข็งลักษณะผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ระเหย ไม่ติดไฟ น้ำหนักโมเลกุล 40.01 เป็นด่างแก่ จุดหลอมเหลว $318^{\circ}C$ องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 2.13 ละลายน้ำได้ดีและเกิดความร้อนสูง และมีควันหรือละออง

สาร เมื่อถูกความชื้นจะเปียกได้ง่าย สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักอยู่ในรูปของแข็งเป็นเม็ด (pellets) ทางอุตสาหกรรมอาจอยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำชนิดเข้มข้น เป็นแผ่นหรือเป็นแท่ง ทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือของสาร และทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้สบู่ นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ง่ายเกิดโซเดียมคาร์บอเนต

สารนี้ได้จากการผ่านกระแสไฟฟ้าในน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งโซเดียมไอออนจะไปที่ขั้วบวก (Cathode) ซึ่งมีแผ่นแอสเบสตอสป้อนกันคลอรีน แล้วทำปฏิกิริยากับ น้ำปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนได้โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ในอุตสาหกรรมผ้า พลาสติก สี ย้อม ฟอกย้อม แร่ โลหะ ทำแม่พิมพ์ เป็นสารเคมีสำคัญ สำหรับผลิตสบู่ กระจก ยาสีฟัน และใช้ในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนให้บำบัดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรดเพื่อให้เป็นกลาง และการล้างพื้นผิวต่างๆ ให้สะอาดโดยเฉพาะการล้างไขมันออก

2.10.4 เกลือ (เคมี)

ในทางเคมี เกลือ เป็นสารประกอบไอออนิก (Ionic Compound) ประกอบด้วยแคตไอออน (Cation : ไอออนที่มีประจุบวก) และแอนไอออน (Anion : ไอออนที่มีประจุลบ) ทำให้ผลผลิตที่ได้เป็นกลาง (ประจุสุทธิเป็นศูนย์) ไอออนเหล่านี้อาจเป็น อนินทรีย์ (Cl^-) กับอินทรีย์ (CH_3COO^-) และไอออนอะตอมเดี่ยว (F^-) กับไอออนหลายอะตอม (SO_4^{2-}) เกลือจะเกิดขึ้นได้เมื่อ กรดและเบสทำปฏิกิริยากัน โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) เกลือ เป็นสารประกอบ สถานะปกติเป็นของแข็ง ไม่นำไฟฟ้า
- 2) เกลืออาจจะละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำก็ได้ หากละลายน้ำจะทำให้เป็นสารละลาย(อิเล็กโทรไลต์) เพราะเกลือแตกตัวเป็นไอออนทำให้น้ำนั้นนำไฟฟ้าได้

- 3) สารละลายเกลืออาจเป็นกรด กลาง หรือเบสก็ได้
- 4) เกลือที่มีคุณสมบัติเป็นกรด เกิดจาก กรดแก่ + เบสอ่อน
- 5) เกลือที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง เกิดจาก กรดแก่ + เบสแก่
- 6) เกลือที่มีคุณสมบัติเป็นเบส เกิดจาก กรดอ่อน + เบสแก่

ชื่อของเกลือเริ่มด้วยการเรียกชื่อของแคตไอออน (เช่น โซเดียม หรือ แอมโมเนียม) ตามด้วยชื่อของแอนไอออน (เช่นคลอไรด์ หรือ อะซิเตต) เกลือมักถูกกล่าวถึงโดยชื่อของแคตไอออนเพียงอย่างเดียว (เช่น เกลือโซเดียม หรือ เกลือแอมโมเนียม) หรือเรียกโดยชื่อของแอนไอออน

2.10.5 น้ำประปา (Tap Water)

น้ำเป็นของเหลวชนิดหนึ่ง น้ำเป็นของเหลวที่มีอยู่มากที่สุดบนผิวโลก และเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่มนุษย์รู้จัก โดยจะพบน้ำได้ในหลายๆแหล่ง อาทิ เช่น ทะเล, ทะเลสาบ, แม่น้ำ, ลำห้วย, หนอง, คลอง, บึง และในรูปแบบอื่นๆเช่น หิมะ, น้ำแข็ง, ฝน, ลูกเห็บ, เมฆ และ ไอ้ น้ำ เป็นต้น

น้ำมีรูปแบบและสถานะเป็นของเหลว แต่น้ำก็ยังมีสถานะเป็นของแข็งที่เราเรียกว่า น้ำแข็ง และมีสถานะเป็นก๊าซที่เราเรียกว่าไอ้ น้ำ มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีมาก เราจึงไม่ค่อยพบน้ำบริสุทธิ์ตามธรรมชาติ โดยทั่วไปน้ำธรรมชาติจะมีสิ่งเจือปนทั้งทางกายภาพ และทางเคมี แต่อยู่ในระดับน้อย สามารถนำมาใช้ บริโภคและอุปโภคได้เป็นบางส่วน น้ำประปานั้นสามารถหาได้ง่าย โดยทั่วไป มีความสามารถนำไฟฟ้าได้ เพราะมีสิ่งเจือปนอยู่ในน้ำ เมื่อนำน้ำประปามาละลายกับสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นสารไอออนิกก็จะแตกตัวเป็นประจุ และเพิ่มการนำไฟฟ้าให้แก่ น้ำประปา

2.11 หลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes principle)

อาร์คิมิดีส นักปราชญ์ชาวกรีก ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อหย่อนวัตถุลงในน้ำปริมาตรของน้ำส่วนที่ล้นออกมาจะเท่ากับปริมาตรของก้อนวัตถุนั้นที่เข้าไปแทนที่น้ำ

2.11.1 หลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes principle) สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ปริมาตรของเหลวที่ถูกแทนที่จะเท่ากับปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมลงในของเหลว
- 2) น้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในของเหลวจะมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในอากาศ เนื่องจากแรงพยุงของของเหลวมีมากกว่าแรงพยุงของอากาศ
- 3) น้ำหนักของวัตถุที่หายไปของเหลวจะเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุแทนที่ ซึ่งคำนวณได้จากผลต่างของน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในอากาศกับน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในของเหลว
- 4) น้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่จะเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุส่วนที่จม

2.11.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงพยุง

- 1) ชนิดของวัตถุ วัตถุแต่ละชนิดจะมีความหนาแน่นแตกต่างกัน เช่น เหล็ก ไม้ พลาสติก ที่มีมวลเท่ากัน เหล็กจะมีความหนาแน่นมากกว่าไม้และไม้มีความหนาแน่นมากกว่าพลาสติก ซึ่งวัตถุที่มีความหนาแน่นมากจะจมลงไปในของเหลวมาก

2) ชนิดของเหลว ของเหลวแต่ละชนิดมีความหนาแน่นแตกต่างกัน เช่น น้ำบริสุทธิ์ มีความหนาแน่นมากกว่าเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำมันเบนซิน เป็นต้น ซึ่งของเหลวที่มีความหนาแน่นมาก จะมีแรงพยุงมาก

3) ขนาดของวัตถุ จะส่งผลต่อปริมาตรที่จมลงไปของเหลวซึ่งถ้าวัตถุมีขนาดใหญ่ จะมีปริมาตรที่จมลงไปของเหลวมาก ทำให้แรงพยุงมีค่ามาก

ลักษณะของวัตถุเมื่อลอยอยู่ในของเหลว เมื่อวัตถุอยู่ในของเหลวจะมีความสัมพันธ์กับความ หนาแน่นของวัตถุ ซึ่งสามารถพิจารณาลักษณะของวัตถุได้ 3 ลักษณะ ดังต่อไปนี้

(1) วัตถุที่ลอยอยู่ในของเหลว แสดงว่าวัตถุมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลว แสดงว่าปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่เท่ากับปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมในของเหลว และแรงพยุงเท่ากับน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในอากาศและเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่

(2) วัตถุลอยปริ่มผิวของของเหลว แสดงว่าวัตถุมีความหนาแน่นเท่ากับของเหลวแสดงว่าปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่เท่ากับปริมาตรของวัตถุทั้งก้อนในของเหลว และแรงพยุงเท่ากับน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งในอากาศและเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่

(3) วัตถุที่จมอยู่ในของเหลว แสดงว่าวัตถุมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลว แสดงว่าปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่เท่ากับปริมาตรของวัตถุทั้งก้อนที่จมในของเหลว และแรงพยุงเท่ากับน้ำหนักของวัตถุที่จมไปในของเหลวและเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่

จากหลักของอาร์คิมิดีส สามารถพิสูจน์ได้ว่า

$$F_B = \rho V g \quad (2.7)$$

โดย ρ คือความหนาแน่นของของเหลว มีหน่วยเป็น kg/m^3

V คือ ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร m^3

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น m/s^2

F_B คือ ขนาดของแรงพยุง มีหน่วยเป็น N

2.12 กฎทรงมวลของสสาร(Law of Conservation of Mass)

อ็องตวน - โลว์รอง เดอ ลาวัวซีเยร์ (Antoine - Laurent de Lavoisier) เป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1774 ลาวัวซีเยร์ ได้ทำการทดลองเผาเมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ (2HgO) ซึ่งเป็นของแข็งในภาชนะปิดพบว่าได้ปรอทและก๊าซออกซิเจน จากการศึกษา พบว่า มวลของ 2HgO เท่ากับ

ผลบวกของมวลของ Hg กับ O₂ จึงได้สรุปเป็นกฎทรงมวลของสสารว่า “มวลของสารทั้งหมดก่อนการเปลี่ยนแปลงจะเท่ากับมวลของสารทั้งหมดหลังการเปลี่ยนแปลง ” การเผาเมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ จะให้ผลิตภัณฑ์ออกมา 2 ชนิดได้แก่ เมอร์คิวรี (ปรอทเหลว) และก๊าซออกซิเจน ดังสมการ



2.13 กฎของฟาราเดย์

ในปี ค.ศ. 1834 ไมเคิล ฟาราเดย์ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่ใช้กับปริมาณของสารที่เกิดขึ้นในการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ดังนี้

2.13.1 กฎการแยกสลายด้วยไฟฟ้าข้อที่ 1 ของฟาราเดย์

กฎข้อที่ 1 ของฟาราเดย์ กล่าวว่า ปริมาณของสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วไฟฟ้า ระหว่างกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์

$$V \sim Q \quad (2.8)$$

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

ปริมาณไฟฟ้าหาได้จากสมการ

$$Q = I \times t \quad (2.9)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณไฟฟ้าหน่วยคูลอมบ์ (Coulomb, C)

I = กระแสไฟฟ้าหน่วย แอมแปร์ (Ampere, A)

t = เวลา (second, s)

จากสมการที่ (2.2) ดังนั้น

$$V = I \times t \quad (2.10)$$

2.13.2 กฎการแยกสลายด้วยไฟฟ้าข้อที่ 2 ของฟาราเดย์

กฎข้อที่ 2 ของฟาราเดย์กล่าวว่า เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าปริมาณที่เท่ากันลงไป ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ จะพบว่าจำนวนโมลของสารต่างๆ ที่เกิดที่ขั้วแอโนดหรือขั้วแคโทดจะเป็นส่วนกลับของขนาดประจุที่อยู่บนไอออนนั้นๆ

2.13.3 ค่าคงที่ฟาราเดย์

ค่าคงที่ฟาราเดย์เป็นปริมาณค่าไฟฟ้า ต่อหนึ่งโมลของอิเล็กตรอนมีค่าที่ยอมรับในปัจจุบันคือ $96485.3399 \text{ C mol}^{-1}$

$$F = eN_A \quad (2.11)$$

เมื่อ $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

ดังนั้น $F = 1.60210 \times 10^{-19} \text{ C} \times 6.02252 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$$F = 96485.3399 \text{ C mol}^{-1}$$

กฎของฟาราเดย์สามารถสรุปได้ดังนี้

$$m = \left(\frac{Q}{F}\right) \left(\frac{M}{z}\right) \quad (2.12)$$

เมื่อ m คือ มวลของสารที่ถูกปล่อยให้เป็นอิสระที่ขั้วไฟฟ้า

Q คือ ประจุค่าไฟฟารวมที่ผ่านสาร

F คือค่าคงที่ฟาราเดย์เท่ากับ $96485.3399 \text{ C mol}^{-1}$

M คือ มวลโมเลกุลของสาร

Z คือ จำนวนอิเล็กตรอนรอบนอกของสาร

M/z จะเท่ากับน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงสำหรับกฎข้อที่หนึ่งของฟาราเดย์

ค่า F , M และ z เป็นค่าคงที่ เพื่อให้ค่าของ Q เพิ่มขึ้นและค่า m ก็จะเพิ่มตามสำหรับกฎข้อที่สองของฟาราเดย์ค่า F , Q และ z เป็นค่าคงที่ เพื่อที่จะให้ค่าของ $\left(\frac{M}{z}\right)$ เพิ่มขึ้นและค่า m ก็จะเพิ่มตาม

ในกรณีที่ค่ากระแสไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลซิสคงที่จะได้

$$m = \left(\frac{It}{F}\right) \left(\frac{M}{z}\right) \quad (2.13)$$

และ

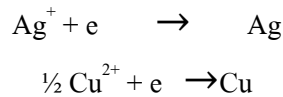
$$n = \left(\frac{It}{F}\right) \left(\frac{1}{z}\right) \quad (2.14)$$

เมื่อ n คือ ปริมาณของสาร (จำนวน โมล) ที่ได้ปลดปล่อย $n = m / M$

t คือ เวลาทั้งหมด

ปริมาณไฟฟ้าที่จะต้องผ่านเข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลต์เพื่อให้อิเล็กตรอน 1 โมลทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันเรียกปริมาณไฟฟ้านั้นว่าเท่ากับ 1 ฟาราเดย์ (Faraday, F) ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์หรือ 96,487 คูลอมป์ทำให้สารเกิดอิเล็กโทรไลซิสได้ 1 กรัมสมมูล

ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ หรือ 96,487 คูลอมบ์ทำให้สารเกิดอิเล็กโทรไลซิสได้ 1 กรัมสมมูล หรือ ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ หรือ 96,487 คูลอมบ์ทำให้สารเกิดอิเล็กโทรไลซิสได้ 1 กรัมสมมูล หรือ



ปริมาณไฟฟ้า, Q หาได้จาก

$$Q = I \times t$$

เมื่อ

Q = ปริมาณไฟฟ้าหน่วยคูลอมบ์ (Coulomb, C)

I = กระแสไฟฟ้าหน่วย แอมแปร์ (Ampere, A)

t = เวลา (second, s)

96,487 คูลอมบ์ (C) มาจากการคำนวณนี้

เนื่องจากประจุของอิเล็กตรอน 1 ตัว (e) = 1.60210×10^{-19} และ 1 โมลอิเล็กตรอนมี อิเล็กตรอนจำนวน (N_A) = 6.02252×10^{23} อิเล็กตรอน

ดังนั้นจำนวนประจุที่ได้จากอิเล็กตรอน 1 โมล

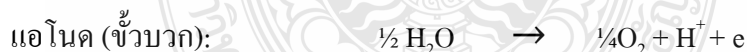
$$F = 1.60210 \times 10^{-19} \text{ C} \times 6.02252 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$F = 96,487 \text{ C mol}^{-1}$$

1F = 96,487 C ดังนั้น ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์เท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ (C) นั่นเอง

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1) ถ้าผ่านกระแสไฟฟ้า 3.0 แอมแปร์เข้าไปในสารละลาย H_2SO_4 (กรดซัลฟิวริก) ในเซลล์อิเล็กโทรไลติกเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจงคำนวณหาน้ำหนักของออกซิเจนที่เกิดขึ้น



ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ $Q = I \times t = 3.0 \times 2 \times 3600$

= 21,600 C

น้ำหนักสมมูล (Equivalent weight) ของสาร = Q/F

= $21,600/96,487$

= 0.224 equivalent

น้ำหนักของออกซิเจน

= $0.224 \times 32/4$

= 1.792 g

กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรลิซิส ดังนี้

1)มวลของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรลิซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์

2)มวลของสารแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นในการอิเล็กโทรลิซิสที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากัน จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้นน้ำหนักสมมูล (Equivalent weight) ของสาร = มวลอะตอมหรือมวลโมเลกุลของสาร / ฟาราเดย์ 1 ฟาราเดย์ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลต์เพื่อให้อิเล็กตรอน 1 โมล เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชัน หรือ 1 ฟาราเดย์ก็คือ 1 โมลอิเล็กตรอนนั่นเอง

2.14 กฎของอาโวกาโดร

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

กฎของอาโวกาโดรกล่าวว่า ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (อุณหภูมิและความดัน) ก๊าซทุกชนิดที่มีปริมาตรเท่ากันจะมีจำนวนโมเลกุลและจำนวนโมลเท่ากัน เช่น ก๊าซออกซิเจน 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร จะมีจำนวนโมลและโมเลกุลเท่ากับ ก๊าซไฮโดรเจน 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันและยัง เท่ากับจำนวนโมลและโมเลกุลของ ก๊าซอื่น ๆ ที่มีปริมาตรเท่ากันภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกัน สรุปคือ “ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ก๊าซทุกชนิดที่มีปริมาตรเท่ากัน จะมีจำนวนอนุภาคเท่า กัน” เนื่องจากจำนวนอนุภาคของ ก๊าซ สัมพันธ์โดยตรง กับจำนวนโมลของก๊าซ กล่าวคือ ก๊าซใดๆ 1 โมล จะมี 6.023×10^{23} อนุภาค และมีปริมาตร 22.4 L (ที่ STP) ดังนั้นกฎของอาโวกาโดรจึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น “เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของ ก๊าซ จะแปรผันโดยตรงกับจำนวนโมลของก๊าซ”

2.14.1 ค่าคงที่อาโวกาโดร

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

ในปีค.ศ. 1811 อามเดโออาโวกาโดร ได้ศึกษาปริมาตรของ ก๊าซมีความสัมพันธ์กับจำนวนอนุภาคของ ก๊าซจึงได้ตั้งสมมติฐานขึ้นดังนี้ “ก๊าซที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน” จำนวนโมเลกุลในหนึ่งโมลเรียกว่าเลขอาโวกาโดร (Avogadro's number) แทนด้วย N_A โดยที่

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ โมเลกุล / โมล}$$

ถ้าให้ N เป็นจำนวนโมเลกุลทั้งหมดของก๊าซในปริมาตรที่พิจารณาจะได้ว่า

$$N = nN_A$$

ดังนั้นจำนวนโมล (n) จะสัมพันธ์กับจำนวนโมเลกุล (N) และเลขอาโวกาโดร (N_A) ดังนี้

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (2.15)$$

จากกฎของก๊าซอุดมคติแทนค่า n ในสมการที่ (2.15) ลงไปเขียนใหม่ได้เป็น

$$PV = \frac{N}{N_A} RT \text{ หรือ } PV = Nk_B T \quad (2.16)$$

โดยที่ N แทนจำนวนโมเลกุลของก๊าซหน่วยเป็น โมเลกุล

k_B แทนค่าคงตัวของโบลต์ซมานน์ (Boltzmann's constant) โดยที่

$$k_B = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}}{6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

ตัวอย่างที่ 1 จงหาจำนวนโมเลกุลและจำนวนโมลของก๊าซที่อยู่ในภาชนะที่มีปริมาตร 1 m^3 ที่ความดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศอุณหภูมิ 0°C

วิธีทำ โจทย์กำหนดให้ $V = 1 \text{ m}^3$, $P = 1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, $T = 273 \text{ K}$

คำนวณหาจำนวนโมเลกุลได้จากสมการที่ (2.16)

$$PV = Nk_B T$$

$$(1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(1 \text{ m}^3) = N(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(273 \text{ K})$$

$$N = 2.69 \times 10^{25} \text{ molecules}$$

$$\text{จำนวนโมล } n = \frac{N}{N_A} = \frac{2.69 \times 10^{25} \text{ molecules}}{6.023 \times 10^{23} \text{ molecules / mol}} = 44.7 \text{ mol}$$

ตัวอย่างที่ 2 ก๊าซไฮโดรเจน 10 กรัม จะมีกี่โมล กี่โมเลกุล และมีปริมาตรที่ STP เป็นเท่าใดวิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์

$$\begin{aligned} \text{ก๊าซไฮโดรเจน 2 กรัม} &= 1 \text{ โมล} \\ \text{ก๊าซไฮโดรเจน 10 กรัม} &= \frac{1 \times 10}{2} = 5 \text{ โมล} \\ \text{ก๊าซไฮโดรเจน 1 โมล มีจำนวนโมเลกุล} &= 6.023 \times 10^{23} \text{ โมเลกุล} \\ \text{ก๊าซไฮโดรเจน 5 โมล มีจำนวนโมเลกุล} &= 5 \times 6.023 \times 10^{23} \text{ โมเลกุล} \\ &= 3.01 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล} \\ \text{ก๊าซไฮโดรเจน 1 โมล มีปริมาตร} &= 22.4 \text{ dm}^3 \text{ ที่ STP} \\ \text{ก๊าซไฮโดรเจน 5 โมล มีปริมาตร} &= 5 \times 22.4 = 112 \text{ dm}^3 \text{ หรือ } 112 \text{ L ที่ STP} \end{aligned}$$

$$\text{สูตรการคำนวณ ไฮโดรเจน} = \frac{10}{2} = 5 \text{ mol}$$

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{N \text{ molecules}}{6.023 \times 10^{23} \text{ molecules/mol}}$$

$$5 = \frac{N \text{ molecules}}{6.023 \times 10^{23} \text{ molecules/mol}}$$

$$N = 5 \times 6.023 \times 10^{23} \text{ molecules} = 3.01 \times 10^{24} \text{ molecules}$$

$$n = \frac{V}{22.4}$$

$$5 = \frac{V}{22.4}$$

$$V = 5 \times 22.4 = 112 \text{ dm}^3 \text{ หรือ } 112 \text{ L ที่ STP}$$

*หมายเหตุ $1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$

**หมายเหตุ (ที่ STP คือสภาวะที่อุณหภูมิเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส)

ที่ STP อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (ประมาณ 273 K) ณ ความดัน 1 บรรยากาศ (1.013 × 10⁵ N/m²) ก๊าซทุกชนิด 1 โมล จะมีปริมาตร 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตร (22.4 × 10⁻³ m³)

$$\text{จะได้ค่า } R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

นั่นคือสมการของก๊าซอุดมคติ

$$PV = nRT$$

R คือค่าคงที่ เรียกว่าค่าคงตัวสากลของก๊าซ

$$R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = 0.08214 \text{ (L} \cdot \text{atm)/mol} \cdot \text{K}$$

จากค่า R สามารถหาได้ว่าก๊าซ 1 mole ที่ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิ 0° C มีปริมาตร

22.4 L

2.15 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสรุปผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ได้ทำการศึกษา ประโยชน์ที่ได้จากการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งการใช้สารอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ และพบว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่าระดับพีเอช 7 จะให้ผลผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่สูงสุดในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนควรรับระดับพีเอช ให้มีความเหมาะสมเพื่อทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น แม้ว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมจะมีประโยชน์มากก็ตามแต่ ก็มีข้อเสียในด้านระยะเวลาในการทำงาน เนื่องจากการกัดกร่อนของขั้วไฟฟ้า (Electrode) และที่สำคัญคือ การกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนและบรรจุภัณฑ์ เพราะก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำมากเมื่อต้องการกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนลักษณะเช่นเดียวกันกับก๊าซหุงต้มและก๊าซธรรมชาติที่อยู่ในสถานะของเหลวในบรรจุภัณฑ์ภาชนะนั้น ต้องมีความแข็งแรงทนต่อแรงดันสูงเพื่อให้บรรจุภัณฑ์สามารถบรรจุก๊าซได้ที่มีความดันสูงๆ ด้วยต้นทุนในการกักเก็บก๊าซไฮโดรเจน ทำให้ไม่สามารถใช้เทคโนโลยีนี้ได้อย่างแพร่หลาย



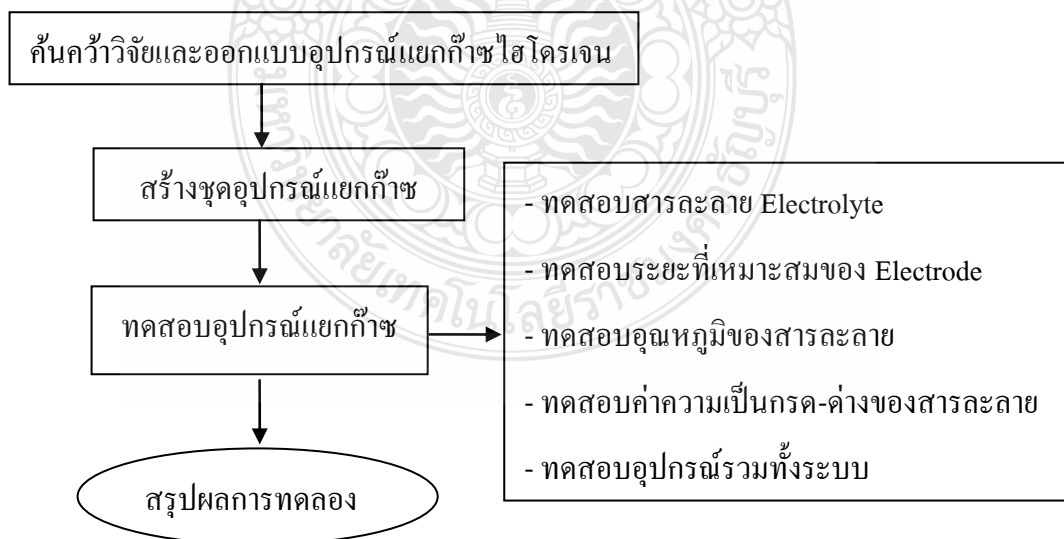
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นมาเพื่อศึกษาระบบผลิตไฮโดรเจนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นระบบที่แยกก๊าซไฮโดรเจนออกจากน้ำโดยวิธีอิเล็กโทรไลซิส โดยอาศัยความรู้ทางด้านเคมีร่วมกับทางไฟฟ้า เพื่อจะทำการทดลอง การหาตัวแปรต่างๆ การออกแบบ และการศึกษาประสิทธิภาพของ ก๊าซไฮโดรเจน เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเผาไหม้ และพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนต่อไป โดยมีการดำเนินการดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

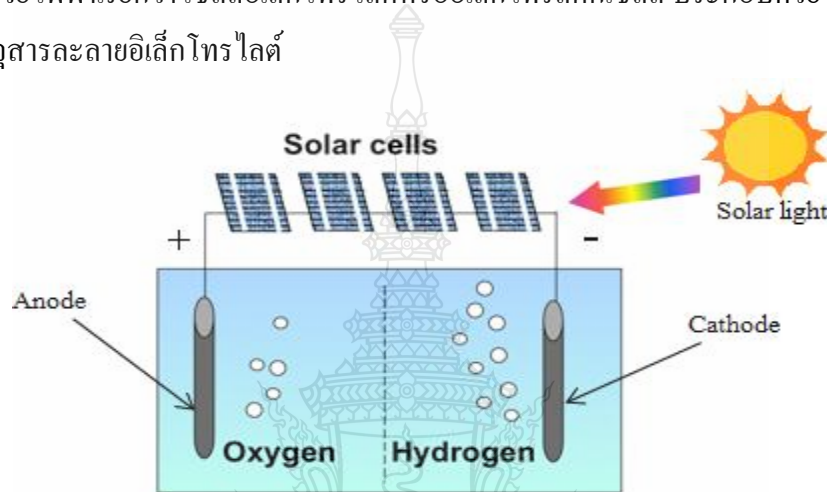
ระบบผลิตไฮโดรเจนพลังงานแสงอาทิตย์นี้ศึกษาเกี่ยวกับการแยก ก๊าซไฮโดรเจนออกจากน้ำด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิส เพื่อให้ได้ก๊าซไฮโดรเจนออกมาและใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานน้ำมันจากฟอสซิล ที่นับวันยังมีราคาแพงขึ้นเรื่อยๆและใกล้หมดไปจากโลกใบนี้ไปทุกที จึงทำให้มีแนวคิดที่จะหาพลังงานในภาพแบบใหม่ๆที่จะนำมาทดแทนพลังงานจากน้ำมัน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบและสร้างระบบผลิตไฮโดรเจนนี้ขึ้นมา โดยได้มีการวางแผนการดำเนินงานและขั้นตอนการทำงานหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วยไฟฟ้า (Electrolysis Process)

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกได้ใช้วิธี Electrolysis Process ซึ่งเป็นปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเพื่อแยก ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน ออกจากน้ำมาทำการทดลอง โดยที่ Electrolysis คือ กระบวนการผ่าน กระแสไฟฟ้า ตรงซึ่งในการวิจัยนี้ใช้โซลาร์เซลล์เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เข้าไปใน สารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และเกิดการแยกตัวของสสาร เครื่องมือที่ใช้แยก สารละลายด้วยไฟฟ้าเรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรไลต์หรืออิเล็กโทรลิติกเซลล์ ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์



Electrolysis Process



รูปที่ 3.2 กระบวนการ Electrolysis Process การแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วยไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือ แผ่นตัวนำที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วต่อกับ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งเป็นแอโนดและแคโทด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้เพราะมีทั้งไอออนบวกและไอออนลบ โดยที่ไอออนบวกรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) จึงเรียกขั้วลบว่า แคโทดและเรียกไอออนบวกว่า แคตไอออน (Cation) ส่วนไอออนลบ รับอิเล็กตรอน ที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เรียกว่า แอโนดและเรียกไอออนลบว่า แอนไอออน (Anion) ป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้ไหลผ่านขั้ว Electrode ทั้งสองขั้ว ทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารละลาย Electrolyte โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำการแยกก๊าซออกจากน้ำ โดยที่ขั้วลบ (Cathode) จะได้ก๊าซไฮโดรเจน และที่ขั้วบวก (Anode) จะได้ก๊าซออกซิเจน จากนั้นก็นำก๊าซที่ได้ไปใช้งานต่อไป

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 แผงโซลาร์เซลล์ ขนาดกำลังไฟฟ้า 1kW สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุดอุปกรณ์ทดสอบ

3.3.2 แอมป์มิเตอร์ (AC Digital Clamp Meter) สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบ และค่าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาที่ทำทดสอบ

3.3.3 Digital Thermometer สำหรับวัดอุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.3.4 Microprocessor digital meter สำหรับวัดความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.3.5 เครื่องชั่งดิจิตอล สำหรับชั่งปริมาณตัวทำละลายของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

3.4 การออกแบบและเครื่องมือ

3.4.1 การออกแบบอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน

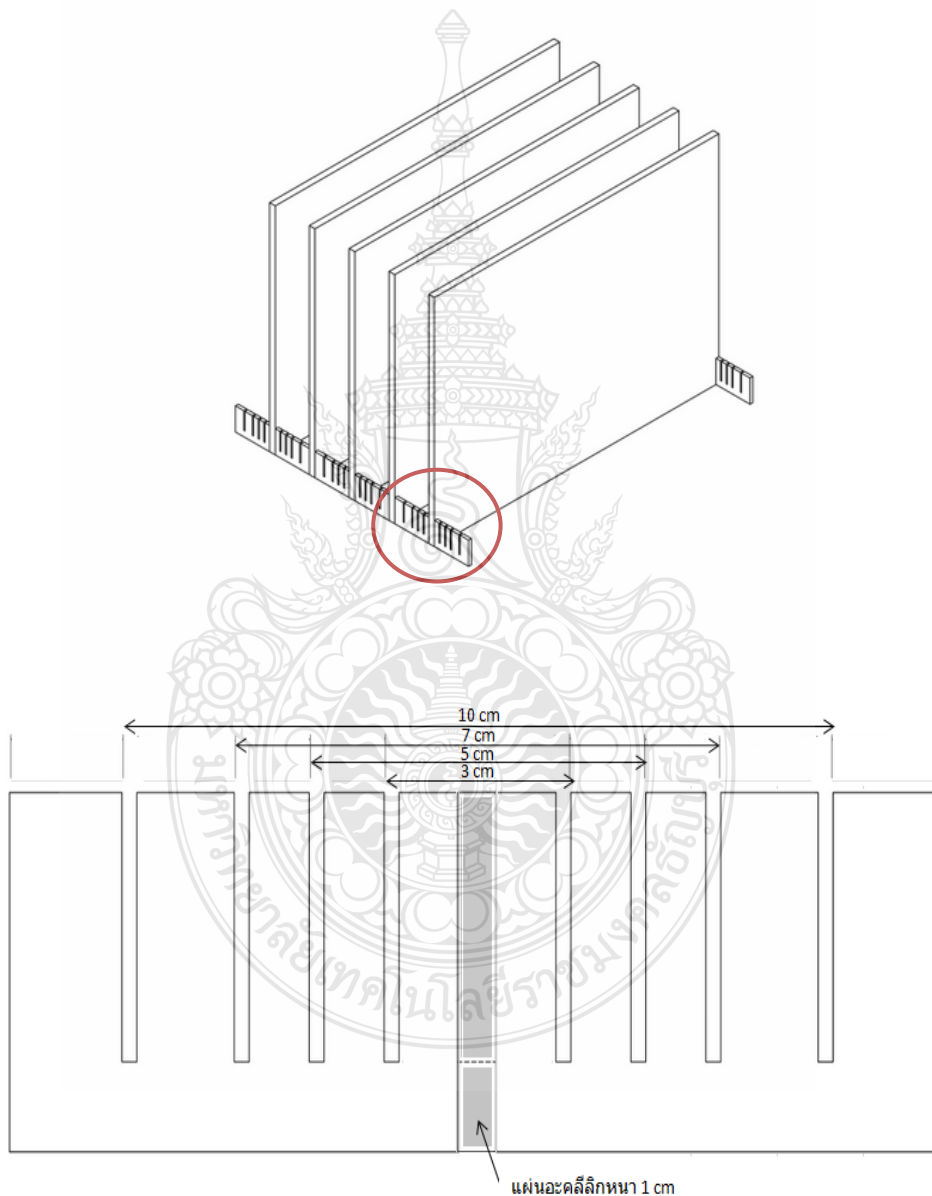
จากการที่ผู้วิจัยศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์แยก ก๊าซไฮโดรเจนนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ในการทำทดลอง ดังนั้นชุดการทดลองนี้จะต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต จึงต้องทำช่องสำหรับเสียบแผ่นเพลตไว้ตามระยะที่ต้องการศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณของกระแสไฟฟ้า มีท่อพลาสติกที่ต่อไว้สำหรับแยก ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน และช่องสำหรับเติม ตัวทำละลายในกรณี que เพิ่มปริมาณของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยได้ออกแบบชุดการทดลองไว้ดังนี้



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ทำการออกแบบ

3.4.2 วัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย

ในการทดลองการนำไฟฟ้าของสารละลายจำนวน 5 ชนิด คือ อะซิโตน (Acetone), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide), เกลือ (Salt) และน้ำประปา (Tap Water) โดยทำการใช้ไฟที่แรงดัน 110 Volt และทำการปรับระยะห่างของเพลตตั้งแต่ 10 cm, 7 cm, 5 cm และ 3 cm และทำการวัดกระแสและความต้านทานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้วทำการจดบันทึกค่าผลการทดลอง



รูปที่ 3.4 ระยะห่างระหว่างเพลต

3.5 การออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน

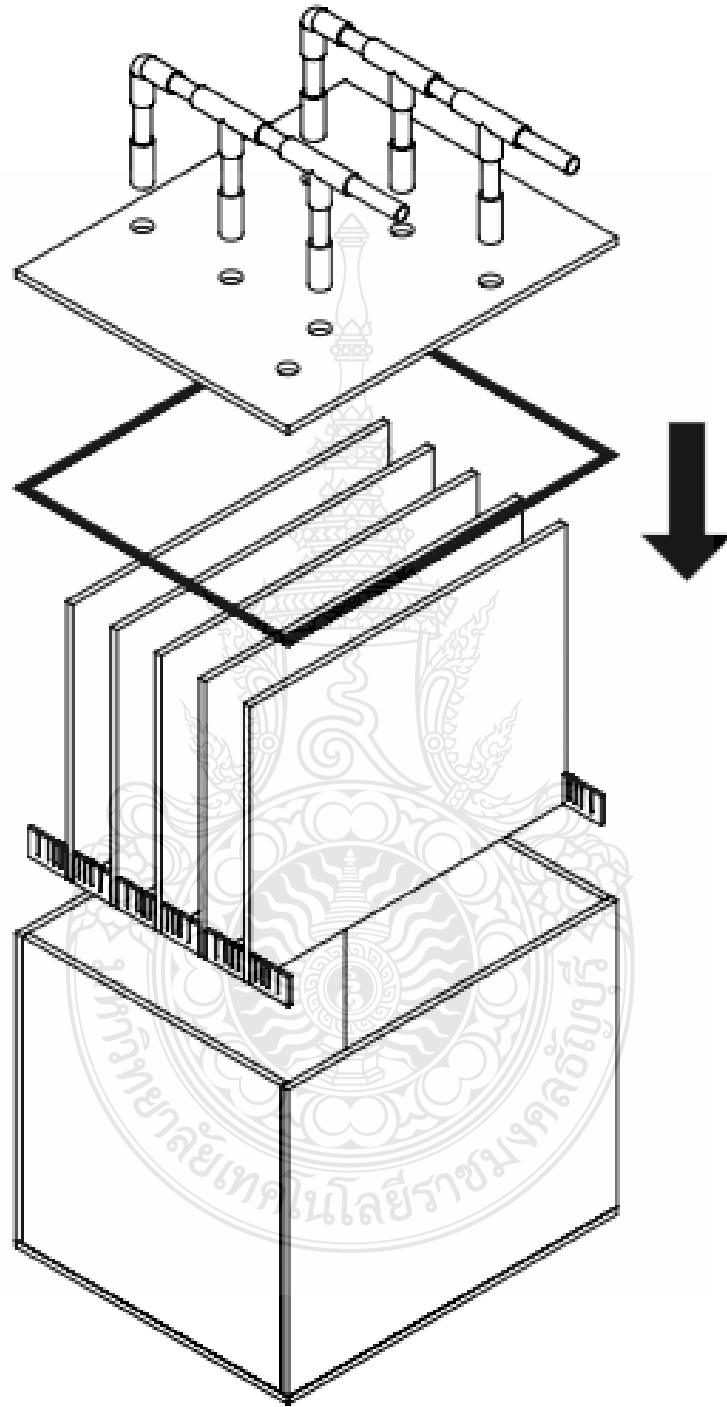
ในการออกแบบโครงสร้าง อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนนั้นจำเป็นต้องทำให้มีความคงทน แข็งแรง และสามารถทนต่อปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในถังได้ ดังนั้น ผู้วิจัย จึงออกแบบโดยใช้แผ่นอะคริลิกที่มีความหนา 10 mm และเป็นชนิดใสเพื่อดูปฏิกิริยาและฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในถัง หนา 10 mm โดยมีขนาด ความกว้าง เท่ากับ 43 cm ความยาว เท่ากับ 52 cm และความสูงเท่ากับ 40 cm โดยที่ระหว่างเซลล์ใช้แผ่นอะคริลิก ที่มีความหนา 10 mm มากั้นไว้ระหว่าง ขั้วบวกและขั้วลบออกจากกัน

ในการออกแบบทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบชุดการทดลองหาประสิทธิภาพการแยกเซลล์ ของชุดการทดลองไว้จำนวน 3 เซลล์เพื่อหาการทำงานของเซลล์ตั้งแต่การทำงานที่ 1 คู่เซลล์ และ 3 คู่เซลล์และทำการจดค่าและบันทึกผลการทดลองในตาราง เพื่อเปรียบเทียบกระแสและปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ได้นำมาวิเคราะห์การทำงาน เพื่อหาประสิทธิภาพของการแยกเซลล์



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน

3.5.1 โครงสร้างของระบบอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 3.6 โครงสร้างภายในอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน

3.6 การออกแบบขั้วอิเล็กทรอนิกส์

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีการนำวัสดุมาทำขั้วอิเล็กทรอนิกส์ อยู่หลายชนิด โดยคำนึงถึงราคา , การนำไฟฟ้า , การทนต่อการกัดกร่อนของสารละลายอิเล็กทรอนิกส์ และความแข็งแรงของวัสดุ

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาทำขั้วอิเล็กทรอนิกส์

รายการวัสดุ	ราคา (Price)			การนำไฟฟ้า (Conductivity)			ทนการกัดกร่อน จากสารเคมี			ความแข็งแรงของ วัสดุ (Strength)		
	แพง	ปานกลาง	ถูก	ดี	พอใช้	ไม่ดี	ดี	พอใช้	ไม่ดี	ดี	พอใช้	ไม่ดี
Aluminum			✓	✓					✓			✓
Stainless		✓			✓			✓			✓	
Copper	✓			✓					✓			✓
Brass	✓			✓				✓			✓	
Zinc		✓			✓				✓		✓	

การออกแบบครั้งนี้ผู้วิจัยได้ เลือก ใช้สแตนเลสทำเป็น ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยที่กล่าวมาข้างต้น แล้ว สแตนเลสยังมีคุณสมบัติอื่นๆ อีก ได้แก่

1) ทนทานต่อการกัดกร่อน

สแตนเลสทุกตระกูลทนทานต่อการกัดกร่อน แต่จะแตกต่างกันไปตามส่วนผสมของ โลหะ เช่น เกรดที่มีโลหะผสม ไม่สูง สามารถต้านทาน การกัดกร่อนในบรรยากาศทั่วไป ในขณะที่ เกรดที่มีโลหะผสมสูงสามารถต้านทาน การกัดกร่อน ในกรด และด่าง สารละลาย บรรยากาศคลอรีน ได้เกือบทั้งหมด

2) ความต้านทานต่ออุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ

สแตนเลสบางเกรดสามารถทนความร้อน และความเย็น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยฉับพลัน ได้ดี และด้วยคุณสมบัติพิเศษในการทนไฟ ทำให้มีการนำสแตนเลสไปใช้ในอุตสาหกรรม ขนส่ง, อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อย่างแพร่หลาย

3) ง่ายต่องานประกอบ หรือแปรรูป

สแตนเลสส่วนใหญ่สามารถ ตัด เชื่อม ขึ้นรูป ตบแต่งทางกล ขึ้น รูปนูนต่ำได้ง่าย ด้วยรูปร่าง สมบัติ และลักษณะต่างๆของสแตนเลสช่วยให้ ผู้ผลิตสามารถนำสแตนเลสไปประกอบกับ วัสดุอื่นๆได้ง่าย

4) ความทนทาน

คุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งของสแตนเลสคือความแข็งแรงทนทาน สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ด้วยการขึ้นรูปเย็น ซึ่งใช้เพื่อออกแบบงาน โดยลดความหนา น้ำหนักและราคา สแตนเลสบางเกรดอาจใช้ในงานที่ทนความร้อนและยังคงความทนทานสูง

5) ความปลอดภัยและถูกสุขลักษณะ

การทำความสะอาด การดูแลรักษาสแตนเลสแล มีความเป็นกลางสูงจึงไม่ดูดซึม สารใดๆ เป็นเหตุผลสำคัญที่สแตนเลสถูกนำมาใช้งานต่างๆ เนื่องจากความทนทาน ต้องการการดูแลรักษา น้อย และค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการใช้งาน

6) ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

สแตนเลสเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ วัสดุ ที่ใช้ในการผลิตมาจากเศษเหล็ก

การทำความสะอาดสแตนเลสอย่างง่าย ๆ ควรคำนึงถึง ปัจจัยต่างๆ เช่น ต้นเหตุของการเกิดคราบหรือรอยสกปรก, อุปกรณ์ที่ใช้ทำความสะอาด, สารที่ใช้ในการทำความสะอาด และสภาพแวดล้อม

(1) รอยเปื้อนที่เกิดจากฝุ่นผง ดิน รอยนิ้วมือ เพียงแค่ใช้ฟองน้ำชุบน้ำอุ่น หรือ ผงซักฟอกหรือสบู่ละลายกับน้ำอุ่น เช็ดบริเวณรอยเปื้อนแล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้าขนหนูหรือผ้าธรรมดา หากคราบสกปรกยังติดอยู่ อาจใช้น้ำอุ่นผสมสารละลาย เช่น แอลกอฮอล์ หรือ อาเซโตน ล้างออกด้วยน้ำเย็น และเช็ดให้แห้ง

(2) คราบน้ำมะนาวหรือน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด จุ่มสแตนเลสลงในน้ำส้มสายชูเจือจาง 25% ล้างให้สะอาด ล้างออกด้วยน้ำสบู่และน้ำ และล้างด้วยน้ำอุ่นอีกครั้ง เช็ดให้แห้ง หากยังไม่สะอาดพอ อาจจะใช้กรดไนตริกผสมกับน้ำในอัตราส่วน 15 ต่อ 85 ราดบนผลิตภัณฑ์หรือบนอุปกรณ์ สแตนเลสที่มีคราบเปื้อน หลังจากนั้นล้างให้ สะอาดด้วยน้ำ ทิ้งไว้สักพักแล้วล้างออกด้วยน้ำสบู่ แล้วจึงล้างด้วยน้ำจนกว่าจะแน่ใจว่าสะอาด แล้วจึงเช็ดให้แห้ง

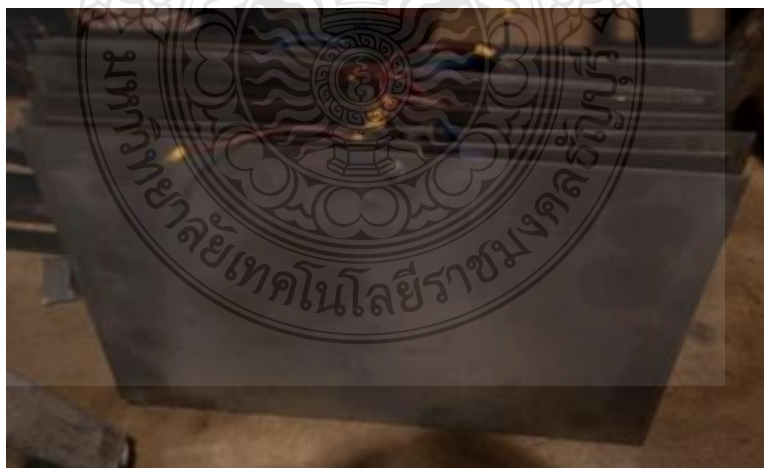
(3) สิ่งสกปรกที่แข็งติด และสีของผิวสแตนเลสเปลี่ยนเนื่องจากความร้อน ทาคริม หรือ ผงขัด (เช่น บรัสโซ) ลงบนชิ้นงานแล้วขัดคราบที่ติดบนชิ้นงาน ไปในทิศทางเดียวกันกับโครงสร้างของผิว ล้างด้วยน้ำเย็นและเช็ดให้แห้ง หรือล้างด้วยสารละลายของกรดฟอสฟอริก และล้างด้วย สารละลายแอมโมเนีย แล้วค่อยล้างออกด้วยน้ำ และเช็ดจนแห้ง

(4) คราบสนิม จุ่มผลิตภัณฑ์สแตนเลสลงในน้ำอุ่นที่มีส่วนผสมสารละลายกรดไนตริก ในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 ประมาณ 30 – 60 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งจนสะอาด จากนั้นต้อง เช็ดให้แห้ง กรณีคราบสนิมติดแน่น จำเป็นจะต้องล้างผิวสแตนเลสด้วยสารละลายกรดออกซาลิก อย่างลึบสวมถุงมือ และทิ้งนั้นไว้ประมาณ 20 นาที จึงล้างออกด้วยน้ำและเช็ดให้แห้ง

(5) สีสันที่กัดดำน้ำ หากกัดดำน้ำที่ใช้ได้ซักระยะหนึ่งเกิดปรากฏลักษณะสีรุ้งที่กัดดำน้ำ สามารถทำความสะอาดได้ ด้วยน้ำยาทำความสะอาดผิวสแตนเลส ลักษณะดังกล่าวนี้เกิดจากการ ให้ความร้อนสูงเกินไปหรือปล่อยให้กระทะเดือดจนแห้ง จะทำให้เกิดลักษณะสีรุ้งบนผิวของ สแตนเลส ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายแต่อย่างใด

(6) เกิดจุดขาว ๆ ภายในกาต้มน้ำ เมื่อใช้กาต้มน้ำไปนาน ๆ จะเกิดจุดขาว ๆ ภายในกา ต้มน้ำซึ่งไม่สามารถขจัดออกได้ด้วยวิธีทำความสะอาดแบบปกติ จุดขาว ๆ นั้นเกิดจากตระกรัน คาร์บอเนตที่เกิดจากการต้มน้ำกระด้างที่ประกอบด้วยเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมซึ่งละลายในน้ำ และวิธีการขจัดตระกรันให้ใช้น้ำส้มสายชู แต่ถ้าคราบติดแน่นมากให้ผสมกับน้ำส้มสายชูแล้วต้มให้ เดือดประมาณ 10 -15 นาทีค่อยเช็ดทำความสะอาดคราบ

การออกแบบครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ Stainless 304 ทำเป็นข้อวิเล็กโทรด เนื่องจากราคา ไม่แพงมากและทนต่อการกัดกร่อน จากสารเคมี ได้ดีกว่าอะลูมิเนียม อีกทั้งยัง หาซื้อได้ง่าย กว่า เพื่อ ทำการศึกษาและวิเคราะห์การผลิตก๊าซไฮโดรเจนแบบแยก เซลล์ โดยจะใช้แผ่นเพลตที่มี ความหนา 2 mm ขนาดความกว้างเท่ากับ 50 cm และความยาวเท่ากับ 35 cm มาทำการทดลอง



รูปที่ 3.7 แผ่น Stainless 304 ที่นำมาเป็นข้อวิเล็กโทรด

การออกแบบตัวนำไฟฟ้านั้น ราคามิถึงพื้นที่หน้าตัดของ แผ่นเพลต เป็นหลัก ซึ่งถ้าพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลตมากจะสามารถนำไฟฟ้าได้ดีมากขึ้น วัสดุที่เลือกใช้เป็นตัวนำคือ แผ่นสแตนเลส ชนิด 304 ซึ่งสามารถทนการกัดกร่อนได้สูง โดยที่แผ่นมีความหนาเท่ากับ 2 mm ความกว้างเท่ากับ 35 cm และความยาวเท่ากับ 50 cm

เมื่อทำแผ่นตัวนำเสร็จแล้วก็ทำการใส่เข้ากับ ถังที่เตรียมไว้ แล้วดังใน รูปที่ 3.8 ซึ่งจะใช้แผ่นตัวนำทั้งหมด 6 แผ่น โดย 1 เซลล์ประกอบด้วยแผ่น อิเล็กโทรดจำนวน 2 แผ่นซึ่งต่อเข้ากับ ขั้วบวกและขั้วลบจากนั้นนำสายไฟมายึดกับแผ่นเพลตให้แน่น



รูปที่ 3.8 ใส่แผ่นเพลตเข้ากับชุดอุปกรณ์ผลิตก๊าซไฮโดรเจน

3.7 การออกแบบชุดท่อน้ำร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

จากการที่ผู้วิจัยศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่าอุณหภูมิมีผลเกี่ยวข้องกับการนำกระแสไฟฟ้า และอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นเชื่อมต่อกับแผงโซลาร์เซลล์แบบ PV/T ซึ่งจะได้ความร้อนจากกระบวนการผลิตด้วย จึงนำเอาน้ำร้อนในระบบมาใช้ประโยชน์ให้สูงสุดโดย การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนในการทดลอง

ในการเลือกท่อที่จะมาทำชุดท่อน้ำร้อน ต้องคำนึงถึง คุณสมบัติในการนำความร้อน (Thermal conductivity) คือ การที่ความร้อนสามารถเคลื่อนที่ผ่านเนื้อวัสดุได้อย่างรวดเร็ว วัสดุที่มี

ระดับในการนำความร้อนที่สูงความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวมันเองอย่างรวดเร็ว และจุดหลอมเหลว (Melting point) ก็เป็นคุณสมบัติทางความร้อนอีกอย่างหนึ่ง โดยอุณหภูมินี้คืออุณหภูมิที่วัสดุจะเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาทำชุดน้ำร้อน

รายการวัสดุ	การนำความร้อน (W/(m.K))	จุดหลอมเหลว (K)
ทองแดง (Copper)	398	1357
อะลูมิเนียม (Aluminum)	237	933
เหล็ก (Iron)	80.3	1809
สังกะสี (Zinc)	121	692.7

จากตารางจะพบว่า ทองแดงมีค่านำความร้อนที่สูง จึงเหมาะที่จะใช้มาทำเป็นท่อน้ำร้อน เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในถังอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ ออกแบบขึ้นมา นอกจากคุณสมบัติการนำความร้อนของทองแดงข้างต้นแล้ว ยังปัจจัยอื่นอีกที่ทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกท่อทองแดง เช่น

1) มีความคงทน ท่อทองแดงมีความแข็งแรงและทนทาน ท่อทองแดงชุบแข็งมีความต้านทานแรงดึงอย่างน้อย 200 N/mm^2 เมื่อเทียบกับท่อพลาสติกซึ่งมีความต้านทานแรงดึง 40 N/mm^2 เท่านั้น ท่อทองแดงแบบบริดจ์มีความแข็งแรงมากกว่า 300 N/mm^2 ท่อทองแดงสามารถทนต่อแรงกระทบที่รุนแรง โดยไม่ขาดหรือแตกหัก มีความอยู่ตัว เนื่องจากท่อทองแดงแทบจะไม่ต้องมีการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนทดแทน ทำให้มีความสามารถใช้งานได้จนตลอดอายุการใช้งาน

2) มีความหลากหลาย การใช้งานที่หลากหลายของท่อทองแดงมีมากที่สุดในโลกและสามารถใช้กับงานได้หลายประเภท ทองแดงเป็นวัสดุที่สมบูรณ์แบบ สำหรับท่อที่ใช้ในทางการแพทย์ และแก๊สสำหรับเครื่องปรับอากาศ ก๊าซเชื้อเพลิงที่มีแรงดันสูงและต่ำ งานบำรุงรักษาเครื่องกลและวิศวกรรม สำหรับงานท่อทั่วไป และการใช้งานในด้านความร้อนและเย็น

3) ทนต่อการผุกร่อน การต่อต้านการผุกร่อนของท่อทองแดงในน้ำนั้นเป็นที่รู้จักกันดี หลังจากการติดตั้งสารแพทรีนาที่มีอยู่ตามธรรมชาติจะสร้างตัวขึ้นภายในส่วนกว้างของท่อ ทำให้น้ำสะอาดไหลได้ดี ส่วนภายในท่อเหล็ก ออกไซด์จะก่อตัวขึ้นภายในท่อ ทำให้ลดการไหลของน้ำ ทำให้น้ำขุ่น และภายในท่อเหล็กจะมีสนิมเกิดขึ้น ทำให้มีเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้นได้ง่าย

4) รับแรงดันได้สูง บ่อยครั้งที่ความแข็งแกร่งของท่อทองแดงถูกมองข้ามไป อย่างไรก็ตามท่อทองแดงที่ได้รับการเจาะจงให้ใช้ กับงานที่ต้องรับแรงดันสูง เช่น ท่อทองแดงขนาด 108 มิลลิเมตร จะสามารถรองรับแรงดันในแนวตั้งได้มากกว่า 200 เมตร และท่อทองแดงขนาด 15 มิลลิเมตร สามารถทนแรงดันได้อย่างน้อย 240 บาร์ ซึ่งเป็น 2 เท่า ของท่อพลาสติกที่มี เส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่เท่ากัน

5) ทนต่ออุณหภูมิ ท่อทองแดงสามารถรับความร้อน และความเย็น รวมทั้งยังสามารถ รับแสงอุลตราไวโอเล็ต โดยไม่มีการอ่อนตัว , เปราะแตก หรือเสื่อมลงในระยะยาว ทองแดงจะคงคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล สามารถใช้งานได้ในระดับอุณหภูมิต่ำถึง -196 องศาเซลเซียส และสูงถึง +205 องศาเซลเซียส

6) อัตราการขยายตัวต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 50 องศาเซลเซียส ท่อทองแดงจะขยายตัวน้อยกว่าพลาสติกถึง 10 เท่า ท่อทองแดงที่ใช้สำหรับงานน้ำร้อน สามารถฝังเข้าในกำแพงโดยไม่ทำให้ปูนที่ฉาบไว้ หรือกระเบื้องเสียหาย

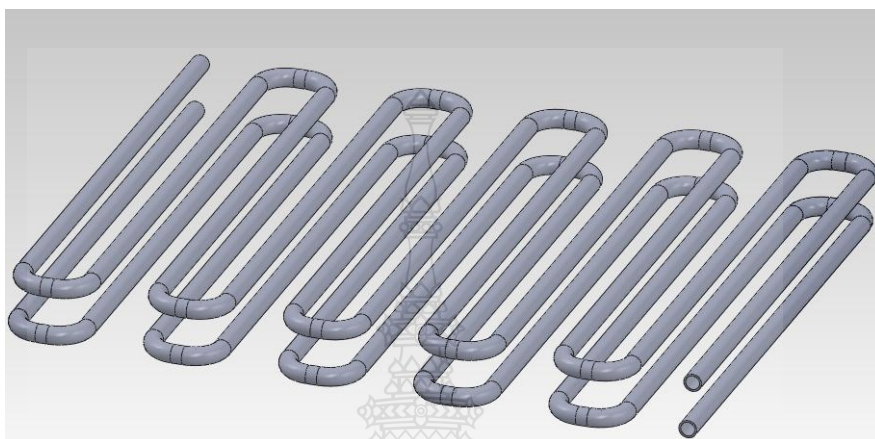
7) ป้องกันการรั่วซึม ทองแดงป้องกันคุณภาพทางเคมีและรสชาติของน้ำ เชื้อโรคจากภายนอก เช่น สารละลายเคมี สารเคมี สารกำจัดวัชพืช และแมลง ไม่สามารถผ่านเข้าไปในท่อทองแดง และอุปกรณ์ข้อต่อต่าง ๆ เนื่องจากโครงสร้างอุปกรณ์ทองแดงไม่มีรูพรุน ด้วยเหตุนี้ ท่อทองแดงจึงฝังดินได้ โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการดูดซึม ในทางตรงกันข้ามกับท่อพลาสติก ซึ่งมีจุดอ่อนที่สารละลายสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ อันเป็นผลให้เชื้อโรคแผ่เข้าไปในน้ำได้

8) คู้มค่าเงิน เมื่อคำนึงถึงประโยชน์ ทางด้าน คุณภาพที่เป็นเลิศและความไว้วางใจได้ ของท่อทองแดงแล้ว ท่านอาจจะคิดว่าท่อทองแดงมีราคาแพงกว่าวัสดุอื่น ๆ แต่เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนโดยรวมของการติดตั้งที่ถูกต้องสมบูรณ์ แบบแล้ว ท่อทองแดงให้ความคุ้มค่าน่ามากกว่าที่ปรากฏอยู่ ท่อทองแดงมีอายุที่ยืนยาวมีอุปกรณ์ประกอบมากมายในราคาถูก มีการประกอบติดตั้งงานในราคาที่เหมาะสม ทำให้ทองแดงมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์

ท่อทองแดงที่ใช้กันทั่วไปนั้น สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ตามความหนาของท่อ ได้แก่

- (1) ท่อทองแดงแบบ K (Type K) มีความหนาในบรรดาท่อทั้งหมด
- (2) ท่อทองแดงแบบ L (Type L) เป็นท่อที่หนาปานกลาง
- (3) ท่อทองแดงแบบ M (Type M) เป็นท่อทองแดงแบบบาง

จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นเหตุผลที่เลือกใช้ท่อทองแดงแบบ K (Type K) มาใช้ในการทดลองเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ สักับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ในอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 3.9 ท่อทองแดงที่ได้ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.10 ท่อทองแดงที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน

3.8 การกักเก็บและการหาปริมาณก๊าซไฮโดรเจน

3.8.1 การกักเก็บก๊าซไฮโดรเจน

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยพบว่า ในการกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนและบรรจุภัณฑ์ ในการกักเก็บ มีต้นทุนสูง เพราะ ก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่มีความหนาแน่นต่ำมาก เมื่อต้องการกักเก็บ ก๊าซไฮโดรเจนลักษณะเช่นเดียวกันกับก๊าซหุงต้มที่อยู่ในสถานะของเหลวในบรรจุภัณฑ์ ภาชนะ ที่ กักเก็บนั้นต้องมีความแข็งแรง ทนต่อแรงดันสูง เพื่อให้บรรจุภัณฑ์ สามารถบรรจุก๊าซได้ที่มีความดัน สูงๆ ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนอยู่ใน สถานะของเหลวและสามารถบรรจุก๊าซได้ปริมาณมากขึ้น แต่ผลข้างเคียงของการบรรจุก๊าซไฮโดรเจนลักษณะนี้คือ เสี่ยงต่อการระเบิดและเกิดการลุกไหม้ได้ง่าย การแก้ไขปัญหาเรื่องบรรจุภัณฑ์ การกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนของงานวิจัยนี้คือ ใช้ถุงร้อนใส P.P. (Polypropylene 100%) ซึ่งมีคุณสมบัติเด่น คือ เหนียว, โปร่งใส สามารถมองเห็นสินค้าที่บรรจุด้านใน ได้อย่างชัดเจน ทนต่อแรงดึง และทรงตัวได้ดี มีความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้คืนรูปกลับสู่สภาพเดิม ได้ง่าย ทนต่อแรงเสียดทานกระแสไฟฟ้า ทนต่ออุณหภูมิสูง จึงนิยมนำมาบรรจุอาหารร้อน มีจุดหลอม อยู่ที่ 65 องศาเซลเซียส ใส่น้ำ และออกซิเจน ซึมผ่าน ได้ต่ำเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก



รูปที่ 3.11 การกักเก็บก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการผลิต โดยใช้ถุงร้อนใส

3.9 สรุปผลการออกแบบ

จากการ ทบทวน วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ ทำการศึกษาและออกแบบ อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนออกจากน้ำ โดยเริ่มจากการ เลือกใช้แผ่นสแตนเลส เป็นตัวนำหรือขั้วไฟฟ้า (Electrode) เป็นแผ่นที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยรับกระแสไฟฟ้า จากแผงโซลาร์เซลล์ แบ่งเป็น ขั้วแอโนดและ ขั้วแคโทด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่ใช้ทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ น้ำประปา, โพลีเอทิลีนไกลคอลไฮดรอกไซด์, อะซิโตน, เกลือ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสารละลายทั้งหมดสามารถ นำไฟฟ้าได้เพราะมี ทั้งไอออนบวกและไอออนลบ โดยที่ไอออนบวก รับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) จึงเรียกขั้วลบว่าแคโทด และ เรียกไอออนบวกว่า แคตไอออน (Cation) ส่วน ไอออนลบ รับอิเล็กตรอนที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน (Oxidation) เรียกว่าแอโนดและเรียก ไอออนลบ ว่าแอนไอออน (Anion) ป้อนไฟฟ้า กระแสตรงให้ไหลผ่านขั้ว Electrode ทั้งสองขั้ว ทำให้เกิดปฏิกิริยากับสารละลาย Electrolyte โดย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำการแยก ก๊าซออกจากน้ำ โดยที่ขั้วลบ (Cathode) จะได้ก๊าซไฮโดรเจน และ ที่ขั้วบวก (Anode) จะได้ก๊าซออกซิเจน จากนั้น แล้วนำ ก๊าซที่ได้ไปใช้งานต่อไป อีกทั้งยังพบว่า อุณหภูมิก็เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน จึงได้ออกแบบชุดท่อทองแดง (Type K) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนจากน้ำที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์กับ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ใน อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

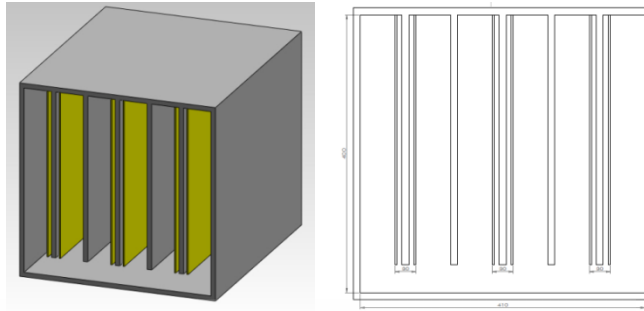
จากที่ได้ทำการ ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลของ กระบวนการ แยกก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนออกจากน้ำด้วยไฟฟ้า หรือที่เรียกว่ากระบวนการ อิเล็กโทรไลซิส นั้น ทำให้ทราบว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่ ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น การปรับระยะห่างของแผ่นเพลต การเพิ่มความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ ค่าความเป็นกรดและด่างของสารละลาย รวมถึงอุณหภูมิ



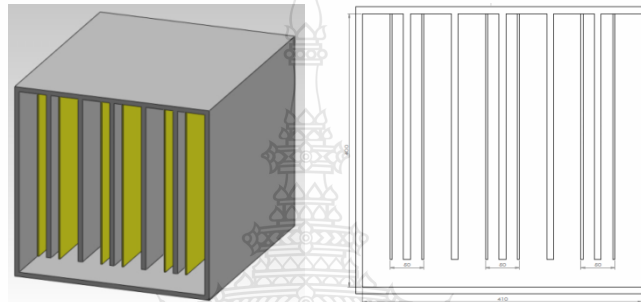
รูปที่ 4.1 ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต

4.1 ผลการทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์และระยะห่างขั้วอิเล็กโทรด

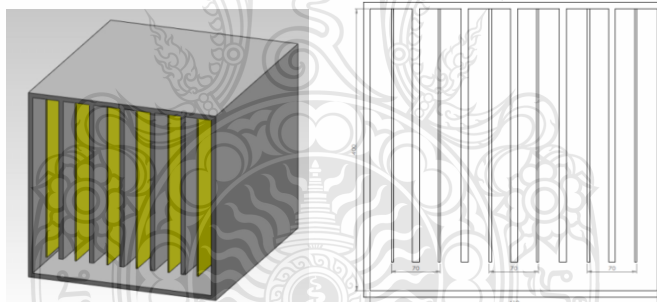
การทดลองสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยทำการเลือกสารละลายที่จะใช้มา 5 ชนิด น้ำประปา, น้ำประปาผสมโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์, น้ำประปาผสมอะซิโตน, น้ำประปาผสมเกลือ และน้ำประปาผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ตัวทำละลายปริมาณ 100 g ทำละลายกับน้ำประปา โดยใช้เซลล์ไฟฟ้า 1 คู่ในการทดสอบ ช่วงเวลา 11:00 – 14:00 น. ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งใส และปรับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตตั้งแต่ 10, 7, 5 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ วัดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้ถุงร้อนใสขนาด 5”x7” จับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาและบันทึกผลลงในตารางที่ 4.1



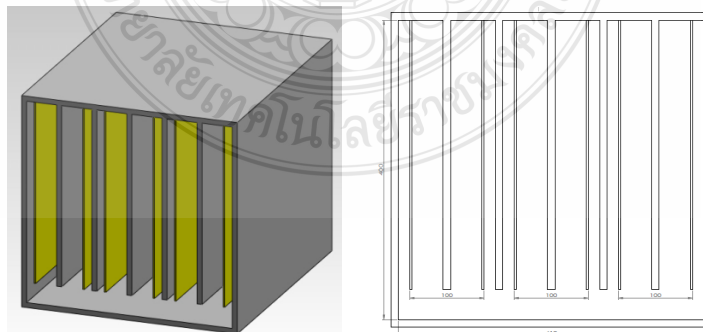
รูปที่ 4.2 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนออกน้ำ ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตมีค่าเท่ากับ 3 cm



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนออกน้ำ ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตมีค่าเท่ากับ 5 cm



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนออกน้ำ ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตมีค่าเท่ากับ 7 cm



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนออกน้ำ ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตมีค่าเท่ากับ 10 cm

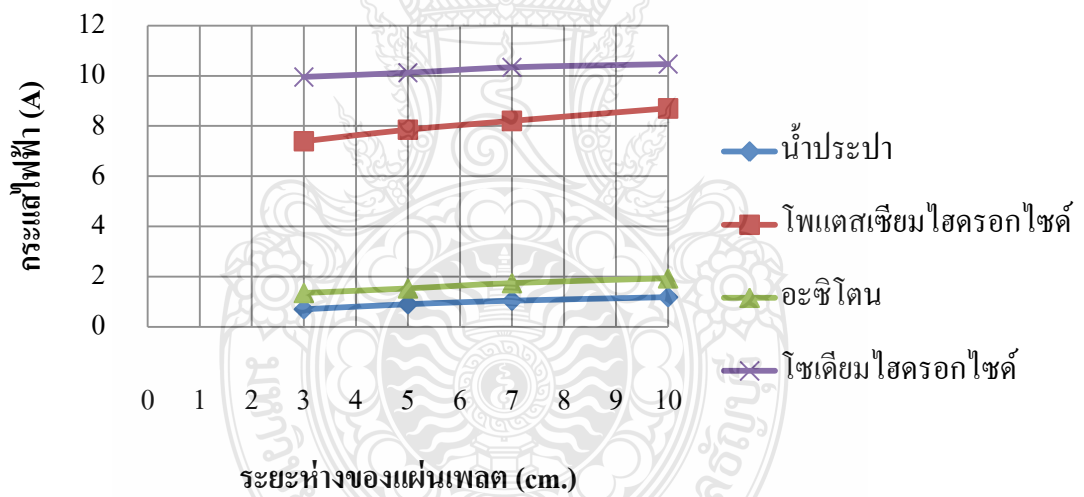
ตารางที่ 4.1 การหาค่าความแตกต่างระหว่างน้ำประปาและสารละลายแต่ละชนิด

ระยะห่าง แผ่นเพลต	สารที่ใช้ หน่วย	น้ำประปา	โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์	อะซิโตน	เกลือ	โซเดียมไฮ ดรอกไซด์
3 cm	A	0.70	7.39	1.35	-	9.95
	V	87.40	13.40	63.80	-	12.08
	W	61.18	99.03	86.13	-	120.20
	Ω	124.86	1.81	47.26	-	1.21
	T (min)	45	6	63	-	2
5 cm	A	0.90	7.85	1.53	-	10.12
	V	86.20	13.05	60.70	-	11.96
	W	77.58	102.44	92.87	-	121.04
	Ω	95.78	1.66	39.67	-	1.18
	T (min)	68	8	72	-	3
7 cm	A	1.04	8.2	1.74	-	10.34
	V	85.8	12.73	57.1	-	11.82
	W	102.96	104.39	103.36	-	122.22
	Ω	71.50	1.55	34.14	-	1.14
	T (min)	84	9	108	-	3
10 cm	A	1.18	8.7	1.93	-	10.47
	V	84.3	12.45	53.2	-	11.76
	W	118.02	108.32	102.68	-	123.13
	Ω	60.21	1.43	27.56	-	1.12
	T (min)	105	12	146	-	4

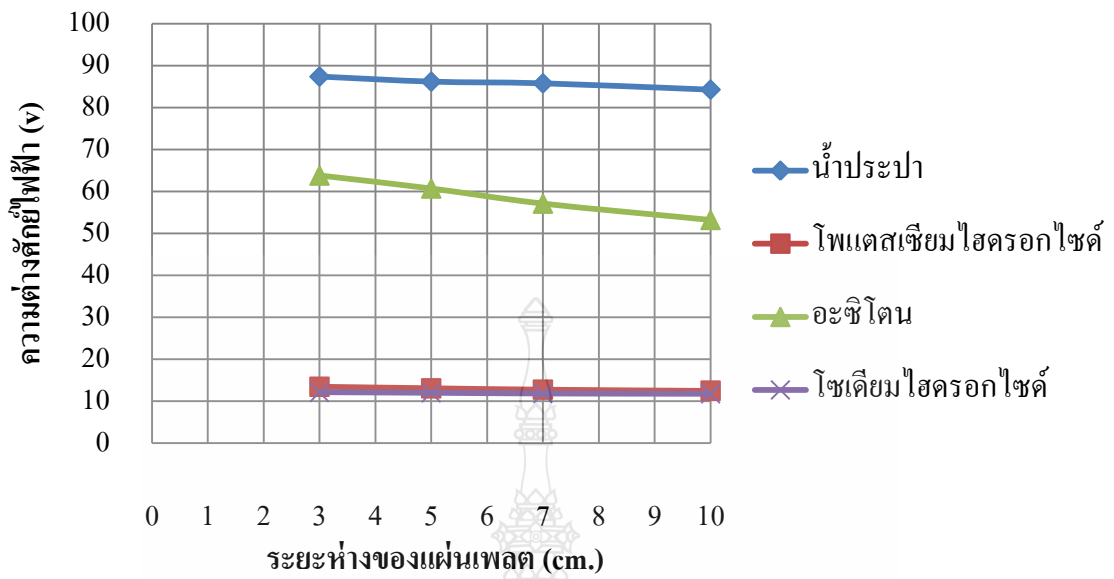
หมายเหตุ : ไม่สามารถวัดค่าที่ได้จากการทดลองของน้ำประปาผสม เกลือได้ เนื่องจากระหว่างทำการทดลองมีการเกิดตะกอนลอยขึ้นมาบนผิวน้ำเป็นจำนวนมาก ทำให้ก๊าซ ไม่สามารถลอยขึ้นมาเหนือผิวน้ำได้



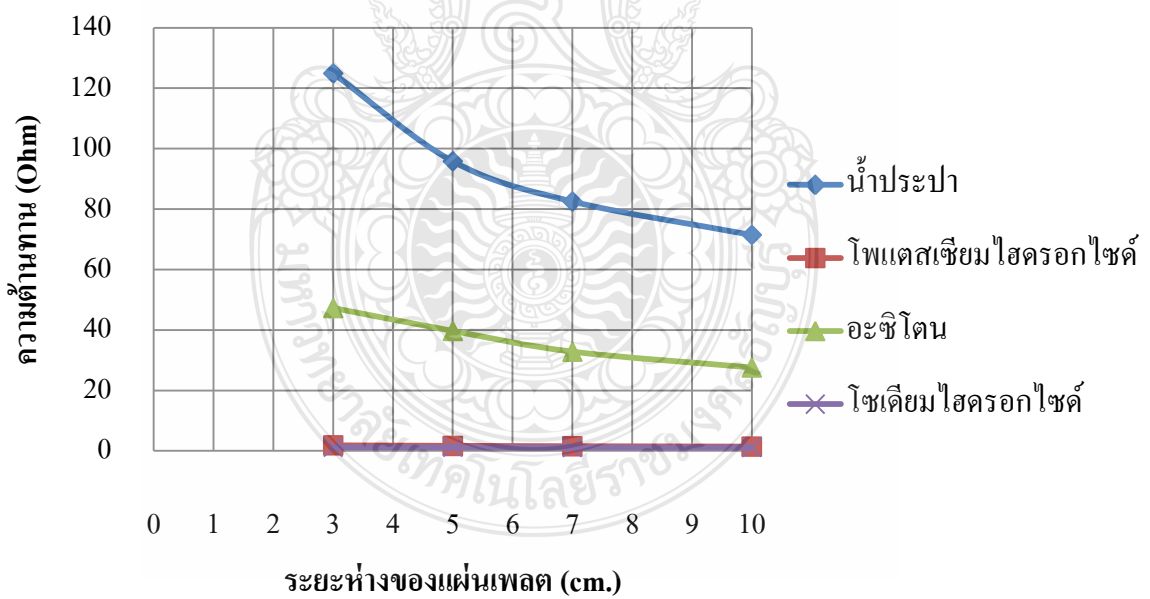
รูปที่ 4.6 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสโดยใช้น้ำประปาผสมเกลือ



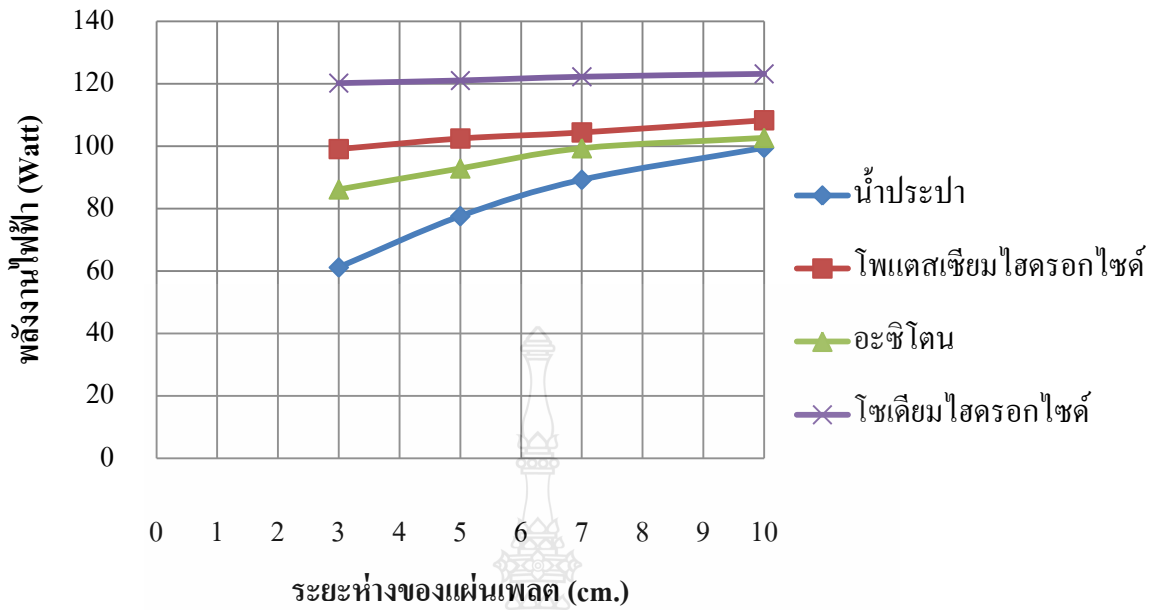
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด กับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต



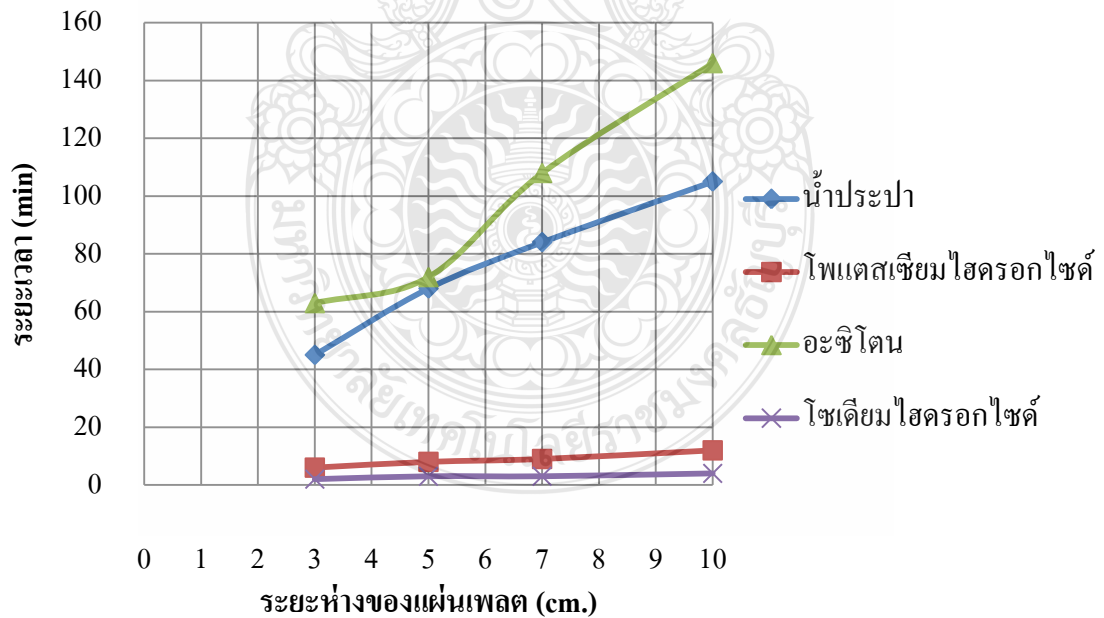
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด กับ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ ระหว่างความต้านทาน (Ohm) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด กับ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้า (Watt) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด กับ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้เต็มถุงของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด กับระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.1 พบว่าน้ำประปามีความบริสุทธิ์มากกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากน้ำประปามีค่าความต้านที่สูงกว่า แสดงว่า การที่ผสมสารอิเล็กโทรไลต์ลงไปนั้นจะทำให้ มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น แต่ที่น้ำประปาสามารถนำไฟฟ้าได้ แต่ไม่ดึ้นก เนื่องจากน้ำประปามีสารอื่นๆ ปะปนอยู่ เช่น คลอรีนหรือสิ่งสกปรก เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต ขึ้นจะเห็นได้ว่า ความต้านทานลดลง ส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า น้ำประปา และสารละลายอะซิโตนมีความต้านทานที่สูงเกิน ทำให้ความต่างศักย์ลดลง จึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเป็นเวลานานกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความต้านทานน้อยอย่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.2 ผลการทดสอบความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

การผลการทดลองที่ 4.1 พบว่า 2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่ทำปฏิกิริยาได้เร็ว และเกิดก๊าซไฮโดรเจนได้รวดเร็วกว่า เมื่อเทียบกับสารละลายชนิดอื่นๆ จึงเป็นเหตุผลที่เลือกสารละลาย 2 ชนิดนี้ คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์มาทดลอง โดยทำการเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 g จนกระทั่งใส่ตัวทำละลายเท่ากับ 100 g จับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาและบันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 4.2

การหาปริมาตรของอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนออกจากน้ำ คิดได้จาก ปริมาตรของตัวอุปกรณ์ทั้งหมด – ปริมาตรแผ่นอะคลีติกที่กั้นอยู่ภายใน = ปริมาตรจริง

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ ปริมาตรของตัวอุปกรณ์ทั้งหมด} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \\ &= 41 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 41 \text{ cm} = 84050 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรแผ่นอะคลีติกที่กั้นอยู่ภายใน} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \\ &= 1 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 37 \text{ cm} = 1850 \text{ cm}^3 / \text{แผ่น} \end{aligned}$$

$$\text{มีแผ่นอะคลีติกกั้นทั้งหมด 5 แผ่น} \therefore 1850 \times 5 = 9250 \text{ cm}^3$$

$$\text{ดังนั้นปริมาตรจริงของอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน} = 84050 - 9250 = 74800 \text{ cm}^3$$

และปริมาตรน้ำที่ใช้ในอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน เท่ากับ 74.8 ลิตร

แต่ในการทดลองนี้ใช้จำนวนเซลล์ 1 คู่ ทำให้มีปริมาตรในการทดลองเท่ากับ 24933 cm³

การหาความเข้มข้นของสารละลายที่ได้ทำการทดลอง ต่อปริมาตรของอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนจำนวน 1 คู่เซลล์

ตัวอย่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) น้หนัก 10 กรัม ทำให้เป็นสารละลาย 74800 cm³

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จะมีความเข้มข้นกี่โมล/ลิตร

วิธีทำ คำนวณ โมลของ NaOH ; (มวลโมเลกุล Na = 23, O = 16, H = 1)

$$n = \frac{W}{M} = \frac{10}{NaOH} = \frac{10}{40} = 0.25 \text{ mol}$$

สารละลาย 24933 cm³ มี NaOH ละลายอยู่ 0.25 mol

สารละลาย 1,000 cm³ มี NaOH ละลายอยู่ 1 × 10⁻² mol

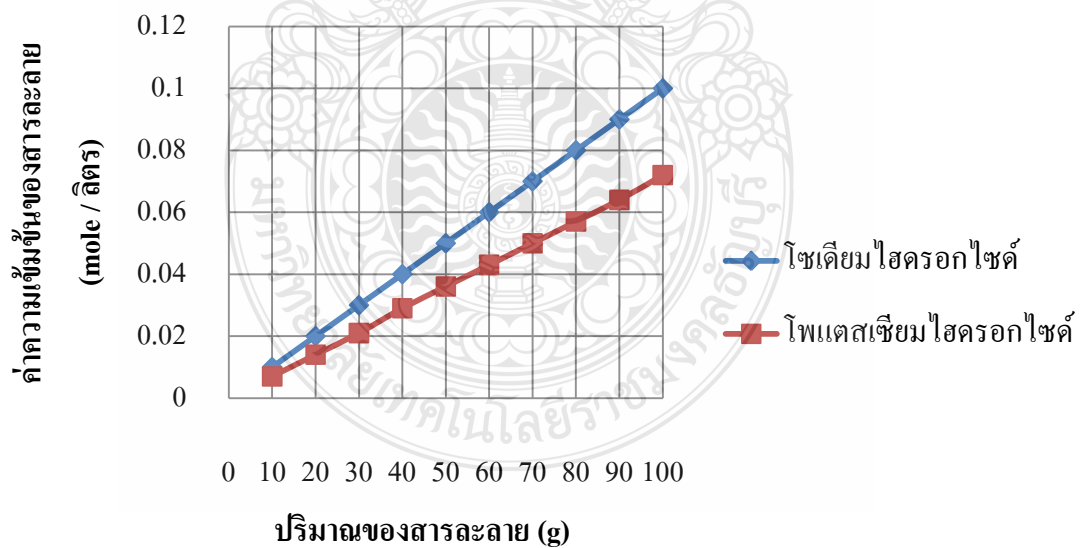
เพราะฉะนั้น ความเข้มข้นของสารละลาย เท่ากับ 1 × 10⁻² โมล/ลิตร

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

ชนิดของสารละลาย	ปริมาณสาร (g)	ค่าความเข้มข้น ของสารละลาย (mol / ลิตร)	โวลต์ (V)	กระแส (A)	เวลา (min)	ความ ต้านทาน (Ω)
โซเดียมไฮดรอกไซด์	10	0.010	95.4	2.4	28	39.75
	20	0.020	94.3	4.8	20	19.65
	30	0.030	92.8	7.6	12	12.21
	40	0.040	91.4	10.9	10	8.39
	50	0.050	90.7	13.4	7	6.77
	60	0.060	89.6	16.3	5	5.5
	70	0.070	89.1	18.6	4	4.79
	80	0.080	88.3	20.7	3	4.27
	90	0.090	87.2	23.6	3	3.69
	100	0.100	86.4	26.7	2	3.24
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	10	0.007	98.4	1.4	49	70.29
	20	0.014	97.1	1.8	42	53.94

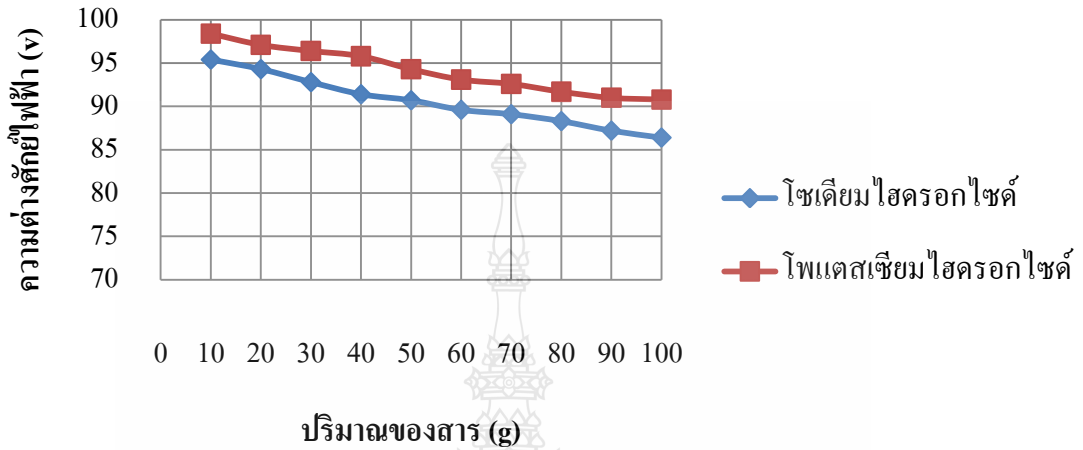
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์(ต่อ)

ชนิดของสารละลาย	ปริมาณสาร (g)	ค่าความเข้มข้น ของสารละลาย (mol / ลิตร)	โวลต์ (V)	กระแส (A)	เวลา (min)	ความ ต้านทาน (Ω)
โพแตสเซียมไฮดรอกไซด์	30	0.021	96.4	2.5	39	38.56
	40	0.029	95.8	3.7	31	25.89
	50	0.036	94.3	4.2	24	22.45
	60	0.043	93.1	5.9	20	15.78
	70	0.050	92.6	6.5	17	14.25
	80	0.057	91.7	7.4	13	12.39
	90	0.064	91	8.1	7	11.23
	100	0.072	90.8	9.6	5	9.46

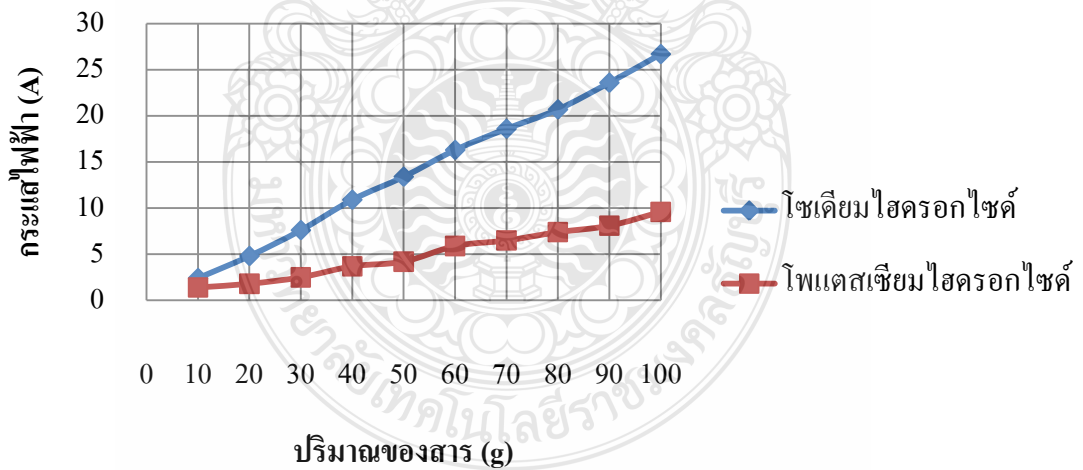


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย (mole / ลิตร)

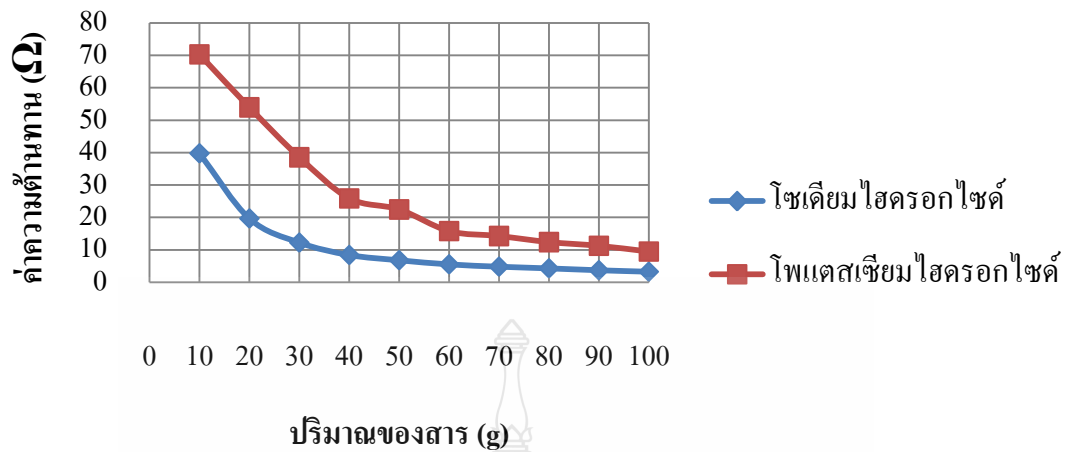
จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า ถ้าใส่ โซเดียมไฮดรอกไซด์และ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ใน ปริมาณที่เท่ากัน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีความเข้มข้นโดยเทียบเป็น mole /ลิตร มากกว่า สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์



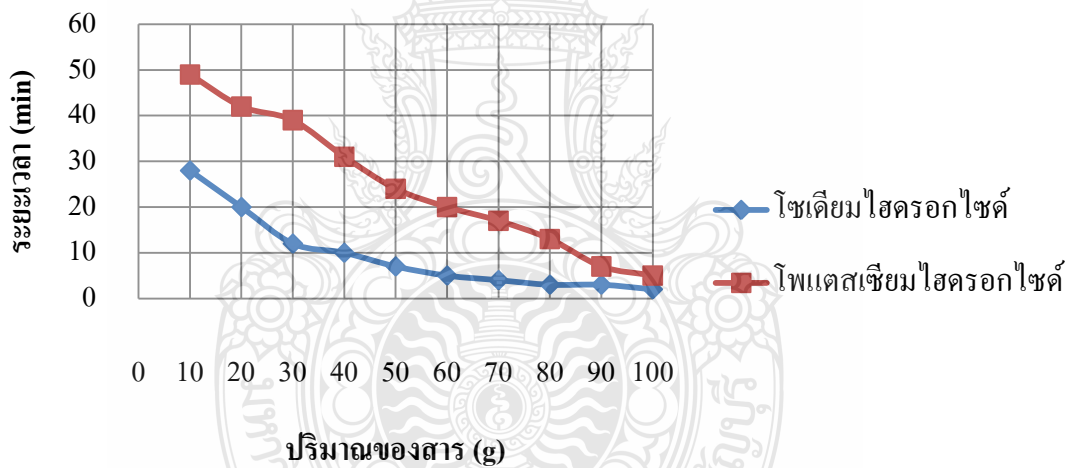
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (v)



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลาย โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับกระแสไฟฟ้า (A)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับค่าความต้านทาน (Ω)



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (g) กับระยะเวลา (min)

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติที่นำไฟฟ้าได้ดีกว่า อัตราการเกิดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนได้รวดเร็วกว่าสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ อีกทั้งโซเดียมไฮดรอกไซด์หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด และราคาถูกกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

4.3 ผลการทดสอบความเป็นกรดและด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (pH value)

จากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 จะเห็นได้ว่า ค่า pH มีความสำคัญในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน จึงทำการทดสอบหาค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter เป็นเครื่องมือวัดทดสอบ โดยทำการวัดค่าความเป็นกรด - ด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่มีปริมาณสารทำละลายเพิ่มขึ้น ครั้งละ 10 g จดบันทึกค่าที่ได้จากการวัด



รูปที่ 4.17 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

เราสามารถบอกความเป็นกรดเป็นเบสของสารละลายโดยค่า pH (positive potential of the hydrogen ions) คือ ค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) หรือไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ใช้บอกความเป็นกรดหรือเบสของสารละลาย โดยค่า pH ของสารละลายเป็นค่าลอการิทึมของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

หรือ $[H_3O^+] = 10^{-pH}$ โดยที่ $[H_3O^+]$ คือ ความเข้มข้นของ H_3O^+ หรือ H^+ เป็น โมล/ลิตร

$$\text{ถ้า } [H_3O^+] = 1 \times 10^{-5}; pH = -\log [H_3O^+] = -\log [1 \times 10^{-5}] = 5 \quad (\text{เป็นกรด})$$

$$\text{ถ้า } [H_3O^+] = 1 \times 10^{-9}; pH = -\log [H_3O^+] = -\log [1 \times 10^{-9}] = 9 \quad (\text{เป็นเบส})$$

นอกจากจะบอกความเป็นกรดเป็นเบสของสารละลายด้วยค่า pH แล้วยังสามารถบอกค่าความเป็นกรด-เบสได้โดยใช้ค่า pOHp ของสารละลาย คือ ค่าที่บอกความเข้มข้นของ OH⁻
 $pOH = -\log[OH^-]$ โดย $pH + pOH = 14$

[H ₃ O ⁺] โมล/ลิตร	pH	[OH ⁻] โมล/ลิตร	pOH
1 x 10 ⁰	0	1 x 10 ⁻¹⁴	14
1 x 10 ⁻¹	1	1 x 10 ⁻¹³	13
1 x 10 ⁻²	2	1 x 10 ⁻¹²	12
1 x 10 ⁻³	3	1 x 10 ⁻¹¹	11
1 x 10 ⁻⁴	4	1 x 10 ⁻¹⁰	10
1 x 10 ⁻⁵	5	1 x 10 ⁻⁹	9
1 x 10 ⁻⁶	6	1 x 10 ⁻⁸	8
1 x 10 ⁻⁷	7	1 x 10 ⁻⁷	7
1 x 10 ⁻⁸	8	1 x 10 ⁻⁶	6
1 x 10 ⁻⁹	9	1 x 10 ⁻⁵	5
1 x 10 ⁻¹⁰	10	1 x 10 ⁻⁴	4
1 x 10 ⁻¹¹	11	1 x 10 ⁻³	3
1 x 10 ⁻¹²	12	1 x 10 ⁻²	2
1 x 10 ⁻¹³	13	1 x 10 ⁻¹	1
1 x 10 ⁻¹⁴	14	1 x 10 ⁰	0

รูปที่ 4.18 สเกล pH ของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน

เพื่อให้การทดลองแม่นยำมากยิ่งขึ้น จึงได้ทำการหาค่า pH โดยใช้สูตรในการคำนวณ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จาก pH meter หาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดกับการคำนวณ ตัวอย่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)หนัก 10 กรัม ทำให้เป็นสารละลาย 74800 cm³ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จะมีความเข้มข้นกี่โมล/ลิตร

วิธีทำ จำนวน โมลของ NaOH ; (มวลโมเลกุล Na = 23, O = 16, H = 1)

$$n = \frac{W}{M} = \frac{10}{NaOH} = \frac{10}{40} = 0.25 \text{ mol}$$

สารละลาย 74800 cm³ มี NaOH ละลายอยู่ 0.25 mol

สารละลาย 1,000 cm³ มี NaOH ละลายอยู่ 3.34 x 10⁻³ mol

เพราะฉะนั้น ความเข้มข้นของสารละลาย เท่ากับ 3.34×10^{-3} โมล/ลิตร

หา pH ของสารละลายที่มีความเข้มข้นของ $\text{OH}^- = 3.34 \times 10^{-3}$ โมล/ลิตร

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \text{pOH} &= -\log [\text{OH}^-] \\ &= -\log [3.34 \times 10^{-3}] = 2.48 \end{aligned}$$

$$\text{โดยที่ } \text{pH} + \text{pOH} = 14$$

$$\text{pH} = 14 - 2.48 = 11.52$$

เพราะฉะนั้น เมื่อเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 g จะมีค่า pH เท่ากับ 11.52 (เป็นค่า)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความเป็นกรดและด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

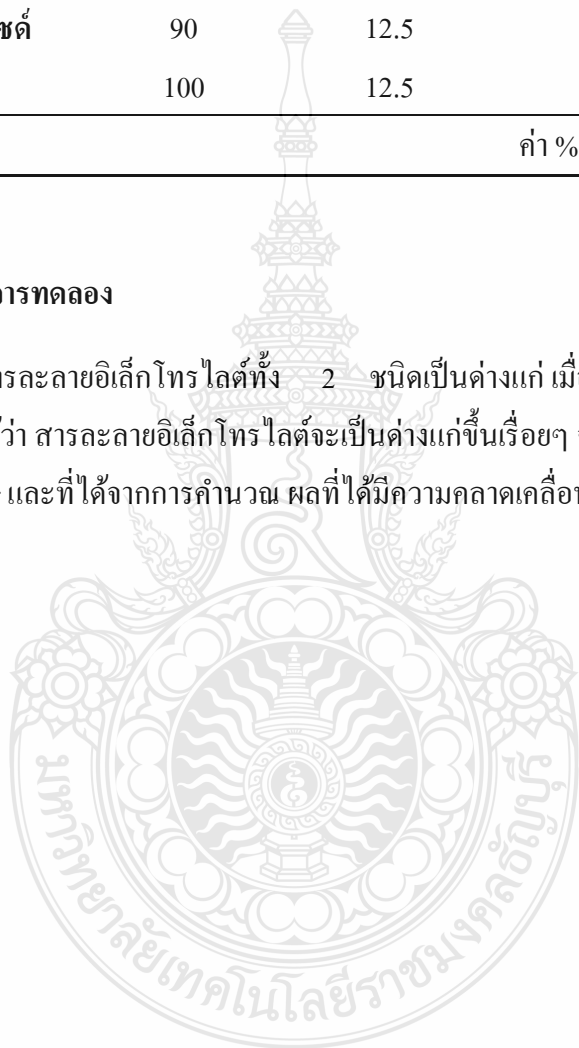
ชนิดของสารละลาย	ปริมาณสาร (g)	ค่า pH ที่วัดจาก pH meter	ค่า pH ที่ได้จาก การคำนวณ	% Error
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	10	11.4	11.38	-0.19
	20	11.6	11.68	0.68
	30	11.9	11.86	-0.38
	40	12.0	11.98	-0.17
	50	12.1	12.08	-0.19
	60	12.2	12.16	-0.36
	70	12.2	12.22	0.19
	80	12.3	12.28	-0.15
	90	12.3	12.33	0.26
	100	12.4	12.38	-0.18
โซเดียมไฮดรอกไซด์	10	11.6	11.52	-0.66
	20	11.8	11.83	0.21
	30	12.0	12.00	0.00
	40	12.1	12.13	0.22
	50	12.2	12.22	0.19
	60	12.3	12.30	0.00
	70	12.4	12.37	-0.25

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความเป็นกรดและด่างของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (ต่อ)

ชนิดของสารละลาย	ปริมาณสาร (g)	ค่า pH ที่วัดจาก pH meter	ค่า pH ที่ได้จาก การคำนวณ	% Error
โซเดียมไฮดรอกไซด์	80	12.4	12.43	0.22
	90	12.5	12.48	-0.17
	100	12.5	12.52	0.19
			ค่า % Error เฉลี่ย	-0.56

วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้ง 2 ชนิดเป็นด่างแก่ เมื่อเพิ่มตัวทำละลายเข้าไป
ครั้งละ 10 g จะเห็นได้ว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเป็นด่างแก่ขึ้นเรื่อยๆ จากการวัดค่าความเป็นกรด
และด่างด้วย pH meter และที่ได้จากการคำนวณ ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนกันเพียง 0.56%



ตารางที่ 4.4 การทดลอง ประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ของน้ำประปา โดย ทำการทดลอง ที่ 3 คู่เซลล์ไฟฟ้า ที่ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm อุณหภูมิของน้ำตอนเริ่มต้น เท่ากับ 33.4 °C จับเวลาและบันทึกผลการทดลอง

เวลาทดลอง	โวลต์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ (°C)
12:15 น.	88.3	1.2	105.96	73.58	33.5
12:20 น.	89.2	1.1	98.12	81.09	34.2
12:25 น.	88.0	0.8	70.40	110.00	34.6
12:30 น.	86.7	0.7	60.69	123.86	35.7
12:35 น.	87.4	0.8	69.92	109.25	36.3
12:40 น.	87.0	0.9	78.30	96.67	36.9
12:45 น.	85.0	1.1	93.50	77.27	37.1
12:55 น.	85.8	1	85.80	85.80	37.6
13:00 น.	84.3	1.2	101.16	70.25	37.8
13:05 น.	85.7	0.7	59.99	122.43	38
13:08 น.	86.8	0.6	52.08	144.67	38.4

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อต่ออุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนออกจากน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ค่าโวลต์ที่วัดได้จะไม่คงที่เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของแสงอาทิตย์มีผลต่อกำลังไฟฟ้า กล่าวคือ กำลังไฟฟ้าจะแปรผันตามแสงแดดของช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 4.5 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ปริมาณตัวทำละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 80 g ต่อน้ำ 74.8 L ทำการทดลอง 3 คู่เซลล์ไฟฟ้า ที่ระยะห่างของ แผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm

การทดลอง ครั้งที่	เวลา ทดลอง	โวลต์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)
1	13:32	10.43	9.03	94.18	1.16	32.1
	13:35	12.50	8.70	108.75	1.44	32.6
	13:38	13.07	8.64	112.92	1.51	33.0
	13:41	13.57	9.03	122.54	1.50	33.1
	13:44	14.94	9.42	140.73	1.59	33.3
2	13:47	13.34	7.30	97.38	1.83	33.5
	13:50	12.86	7.90	101.59	1.63	33.7
	13:53	13.63	7.6	103.59	1.79	33.7
	13:56	14.77	8.94	132.04	1.65	33.9
3	13:59	13.86	8.42	116.70	1.65	33.6
	14:02	14.46	8.66	125.22	1.67	33.3
	14:05	14.29	8.43	120.46	1.70	33.4
	14:08	14.36	8.56	122.92	1.68	33.7
	14:11	14.08	8.48	119.40	1.66	33.4

ตารางที่ 4.6 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า โดยใช้ปริมาณตัวทำละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 90 g ต่อน้ำ 74.8 L ทำการทดลอง 3 คู่เซลล์ไฟฟ้า ที่ระยะห่างของ แผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm

การทดลอง ครั้งที่	เวลา ทดลอง	โวลต์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)
1	12:05	10.08	10.87	109.57	0.93	32.5
	12:06	12.14	9.27	112.54	1.31	32.7
	12:07	13.72	9.32	127.87	1.47	32.9
	12:08	15.53	10.63	165.08	1.46	33.1
2	12:24	15.14	10.16	153.82	1.49	32.0
	12:25	15.09	10.07	151.96	1.50	32.5
	12:26	14.63	9.84	143.96	1.49	32.7
	12:27	14.29	9.41	134.47	1.52	33.2
	12:28	15.02	10.3	154.71	1.46	33.4
	12:29	15.22	10.23	155.70	1.49	33.7
3	12:34	14.82	9.88	146.42	1.50	33.0
	12:35	14.94	9.81	146.56	1.52	33.3
	12:36	15.00	9.8	147.00	1.53	33.6

ตารางที่ 4.7 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ใช้ปริมาณตัวทำละลาย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 g ต่อน้ำ 74.8 L ทำการทดลอง 3 คู่เซลล์ไฟฟ้า ที่ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm

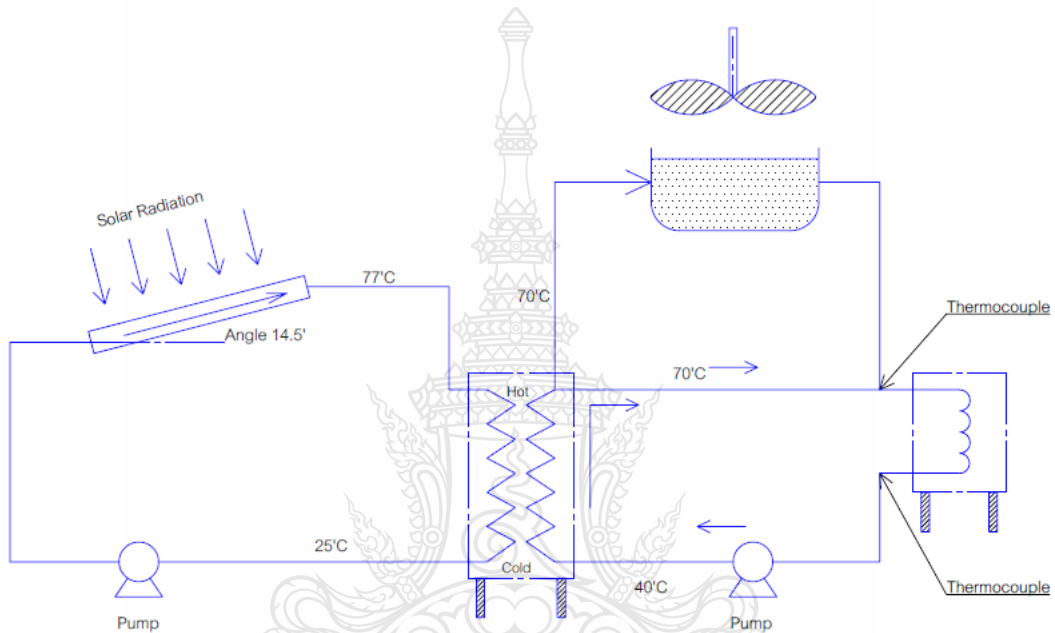
การทดลองครั้งที่	เวลาทดลอง	โวลต์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
1	12:45	12.08	9.95	120.20	1.21	33.9
	12:46	12.56	9.91	124.47	1.27	34.0
	12:47	13.07	9.82	128.35	1.33	34.2
2	12:51	12.60	9.80	123.48	1.29	33.4
	12:52	12.80	9.77	125.06	1.31	33.5
	12:53	12.86	9.74	125.26	1.32	33.7
	12:54	13.00	9.71	126.23	1.34	33.9
3	13:06	11.02	8.75	96.43	1.26	33.2
	13:07	11.56	9.20	106.35	1.26	33.3
	13:08	13.04	9.70	126.49	1.34	33.7

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 เป็นการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจน เมื่อนำมาต่อเข้ากับแผงโซลาร์เซลล์ 105 แผง กำลังไฟฟ้า 1kW โดยใช้ปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่างกัน คือ 80 g, 90 g และ 100 g ต่อน้ำ 74.8 ลิตร พบว่าไม่สามารถควบคุมปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ให้คงที่ได้ เนื่องจากในขณะที่ทำการทดลองกำลังไฟฟ้าจะแปรผันตามแสงแดดของช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งพบว่าแผงโซลาร์เซลล์มีกำลังการผลิตสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 11.00 น. - 14.00 น.เท่านั้น จึงทำการทดลองอยู่ในช่วงเวลานี้เท่านั้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี

4.4 ผลการทดสอบ ค่าการนำไฟฟ้าตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นแผงโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้ทั้งน้ำร้อน และไฟฟ้าด้วยเหตุนี้เองจึงนำเอาน้ำร้อนที่ได้จากระบบมาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ในถังอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจนออกจากน้ำด้วยไฟฟ้า อีกทั้งจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 4.19 ไคอะแกรมการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำในระบบการทดลอง

น้ำร้อนที่แผงโซลาร์ เซลล์ผลิตขึ้น ได้ จะทำการหมุนเวียนในระบบ ซึ่งจะไปทำการถ่ายเทความร้อนให้เย็นลงด้วย Storage tank จากนั้นก็ปั้มน้ำกลับไปใช้ในระบบใหม่อีกครั้ง โดยที่ ใน Storage tank จะมีท่อทองแดงต่ออยู่กับท่อทองแดงที่อยู่ใน ถังอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนออกจากน้ำด้วยไฟฟ้า เพื่อนำน้ำร้อนที่ได้มาแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ใช้ปั้มน้ำต่อเข้ากับท่อทองแดงเพื่อให้ น้ำได้หมุนเวียน ช่วงเวลา 11.00 น. – 14.00 น. เพราะเป็นเวลาที่แผงโซลาร์ เซลล์มีกำลังการผลิตสูงสุด ดังนั้นช่วงเวลาที่ทำการทดลองคือ 10.00 น. – 15.00 น. เพื่อจะได้ข้อมูลในช่วงเวลาปกติมาเปรียบเทียบกัน โดยกำหนดอุณหภูมิของน้ำตอนเริ่มต้นในอุปกรณ์ผลิตก๊าซไฮโดรเจนให้มีค่าเท่ากัน และอ่านค่าจากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา บันทึกผลลงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ใช้ปริมาณตัวทำละลาย

โซเดียมไฮดรอกไซด์ 80 g ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm โดยควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้น

อุณหภูมิ น้ำเริ่มต้น	เวลา ทดลอง	โวลต์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)
45 $^{\circ}$ C	14:19	11.27	8.27	93.20	1.36	45.0
	14:21	11.32	8.34	94.41	1.36	45.2
	14:23	11.39	7.95	90.55	1.43	45.9
	14:25	11.42	7.81	89.19	1.46	46.5
	14:27	11.40	7.85	89.49	1.45	46.7
55 $^{\circ}$ C	14:36	9.45	7.29	68.89	1.30	55.3
	14:39	10.25	7.67	78.62	1.34	55.9
	14:42	9.84	7.32	72.03	1.34	56.5
	14:45	9.70	7.16	69.45	1.35	56.8

จากการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของของน้ำในถังอุปกรณ์ที่ 45 $^{\circ}$ C จะใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 8 นาทีในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนให้ได้ 1 ลูก ใช้กำลังไฟฟ้ารวม 456.84 Watt และถ้าเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 55 $^{\circ}$ C ใช้เวลา 9 นาที ซึ่งมากกว่าแต่ใช้กำลังไฟฟ้ารวม 288.99 Watt จึงเป็นข้อสรุปได้ว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนแล้ว กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะน้อยกว่า ถ้าใช้แหล่งจ่ายไฟที่คงที่การทดลองที่อุณหภูมิที่สูงกว่าจะใช้เวลาในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้น้อยกว่า

ตารางที่ 4.9 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ใช้ ปริมาณตัวทำละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 90 g ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm โดยควบคุมอุณหภูมิ เริ่มต้น

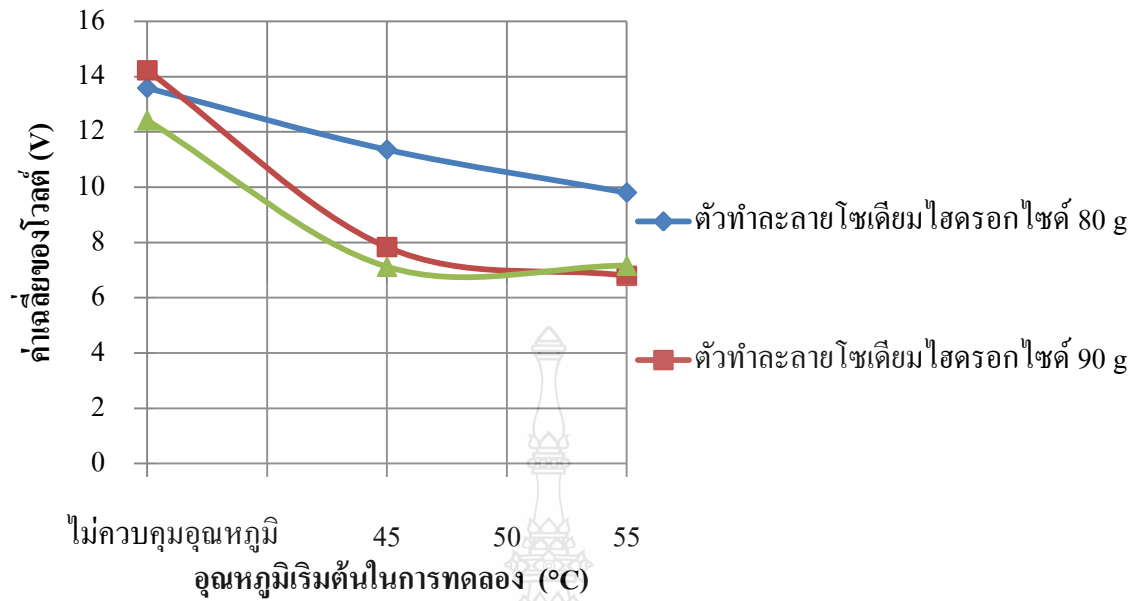
อุณหภูมิ น้ำเริ่มต้น	เวลา ทดลอง	โวลต์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)
45 $^{\circ}$ C	15:20	7.79	5.25	40.90	1.48	45.4
	15:21	7.65	5.27	40.32	1.45	45.6
	15:22	7.69	5.24	40.30	1.47	45.8
	15:23	7.83	5.62	44.00	1.39	46
	15:24	7.94	5.43	43.11	1.46	46.1
	15:25	8.09	5.55	44.90	1.46	46.2
55 $^{\circ}$ C	15:33	6.72	4.95	33.26	1.36	55.0
	15:34	6.8	4.96	33.73	1.37	55.2
	15:35	6.87	4.97	34.14	1.38	55.5

จากการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของของน้ำในถังอุปกรณ์ที่ 45 $^{\circ}$ C จะใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 5 นาทีในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนให้ได้ 1 ลูก ใช้กำลังไฟฟ้ารวม 253.53 Watt และถ้าเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 55 $^{\circ}$ C ใช้เวลา 3 นาที ใช้กำลังไฟฟ้ารวม 101.14 Watt

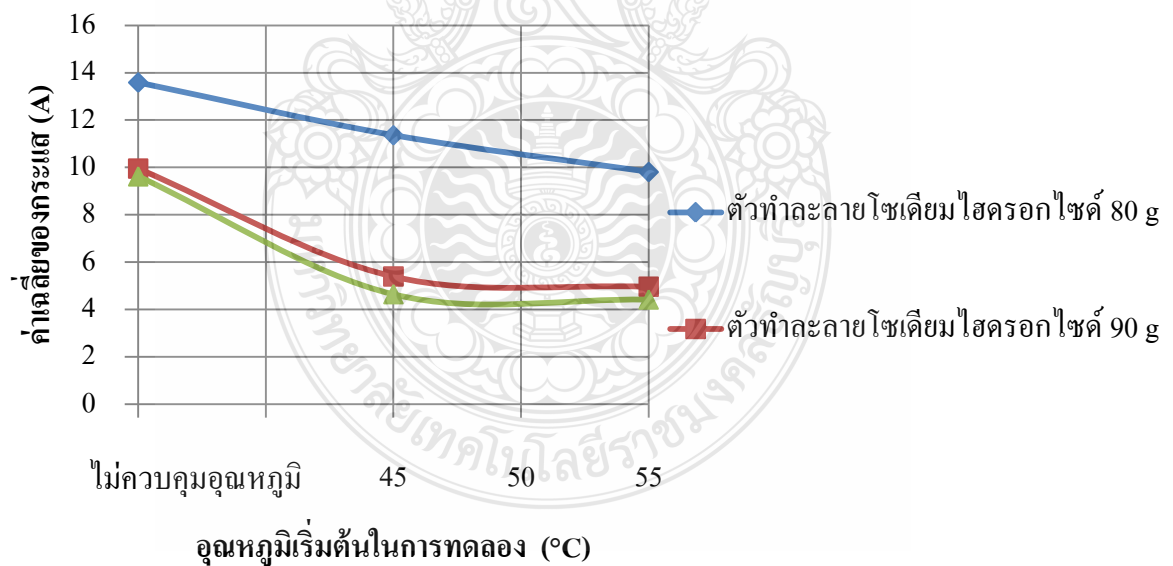
ตารางที่ 4.10 การทดลองประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ใช้ปริมาณตัวทำละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 g ระยะห่างของแผ่นเพลตเท่ากับ 3 cm โดยควบคุม อุณหภูมิเริ่มต้น

อุณหภูมิ น้ำเริ่มต้น	เวลา ทดลอง	โวลต์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	ความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ ($^{\circ}$ C)
45 $^{\circ}$ C	15:44	7.95	4.64	36.89	1.71	45.0
	15:45	7.43	4.68	34.77	1.59	45.2
	15:46	7.65	4.59	35.11	1.67	45.3
	15:47	7.21	4.62	33.31	1.56	45.5
	15:48	7.39	4.97	36.73	1.49	45.6
	15:49	6.72	4.31	28.96	1.56	45.8
	15:50	6.94	4.92	34.14	1.41	45.9
	15:51	6.35	4.61	29.27	1.38	46.1
	15:52	6.48	4.45	28.84	1.46	46.4
55 $^{\circ}$ C	15:38	9.52	4.64	44.17	2.05	55.2
	15:39	8.32	4.41	36.69	1.89	55.4
	15:40	7.56	4.42	33.42	1.71	55.9
	15:41	6.00	4.56	27.36	1.32	56.4
	15:42	5.84	4.32	25.23	1.35	56.7
	15:43	5.75	4.15	23.86	1.39	56.9

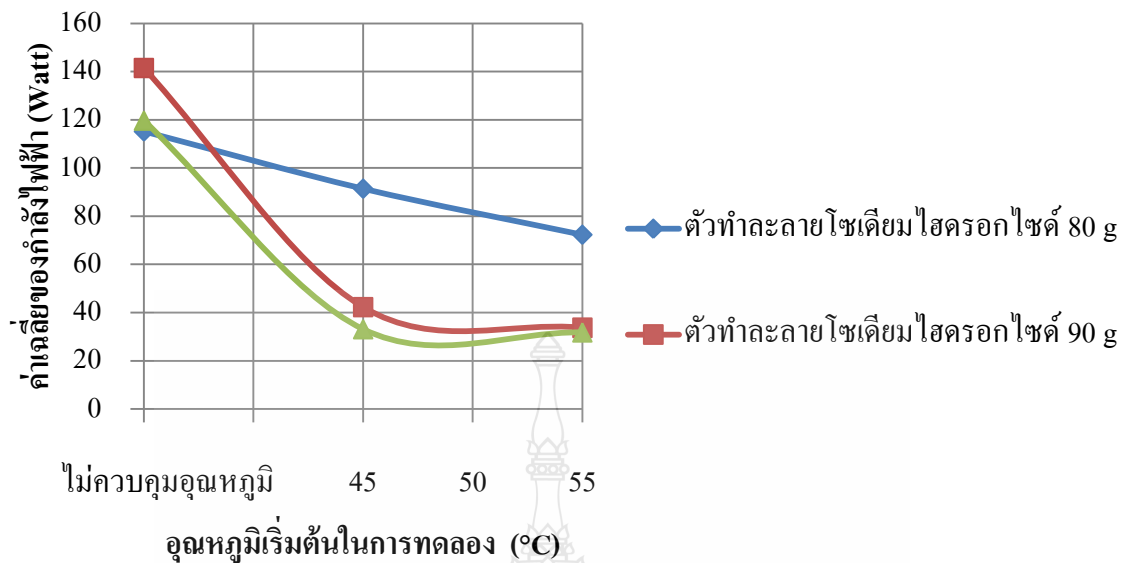
จากการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของของน้ำในถังอุปกรณ์ที่ 45 $^{\circ}$ C จะใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 8 นาทีในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนให้ได้ 1 ลูก ใช้กำลังไฟฟ้ารวม 298.03 Watt และถ้าเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 55 $^{\circ}$ C ใช้เวลา 10 นาที ใช้กำลังไฟฟ้ารวม 190.73 Watt



รูปที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยของโวลต์ (V) กับอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน



รูปที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยของกระแส (A) กับอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน



รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า (Watt) กับอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน

วิจารณ์ผลการทดลอง

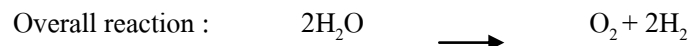
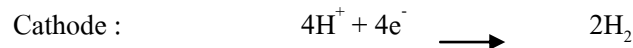
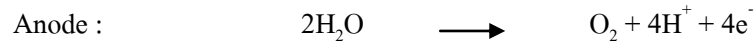
จากการรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยเช่นกัน จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของโวลต์ (V), ค่าเฉลี่ยของกระแส (A) และค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลอง สูงกว่าจะใช้เวลาในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้น้อยกว่า และค่าการใช้กำลังไฟฟ้าจะน้อยลงด้วย

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลเกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วยเช่นกัน เมื่อเทียบจากปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ใน 1 หน่วยเท่าๆ กัน การให้อุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองสูงขึ้น จะใช้กำลังไฟฟ้ารวมในการผลิตน้อยกว่า แต่ระยะเวลาในการทดลองจะนำมาเปรียบเทียบกัน ไม่ได้ เนื่องจาก จะแปรผันตามแสงแดดของ ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ถ้าควบคุมปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ให้คงที่ได้ ก็จะเห็นว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองสูงกว่า จะใช้เวลาในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้น้อยกว่า

4.5 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.5.1 ผลการทดสอบการวัดหาอัตราส่วนปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน



จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 พบว่าอัตราส่วนปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้ ต่อปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ คือ 2 : 1 ซึ่งอัตราส่วนที่ได้ดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงทฤษฎีพื้นฐานและกฎทางเคมี น้ำไม่ใช่ธาตุแต่เกิดจากสาร 2 ชนิด ที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกับน้ำ มีสถานะเป็นก๊าซภายใต้สภาวะปกติ กฎทรงมวลของสสารและกฎของอาโวกาโดรจะช่วยในการอธิบายอัตราส่วนของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม ดังนั้นจึงผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้เป็น 2 เท่าของการผลิตก๊าซออกซิเจน เป็นไปตามกฎทรงมวลของสสาร และด้วยเหตุผลที่ว่าภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เท่ากัน ทำให้ผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้เป็น 2 เท่า เป็นไปตามกฎอาโวกาโดร สามารถเขียนสมการเคมีที่เกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและขั้วแคโทด พร้อมทั้งสมการของปฏิกิริยาโดยรวมดังนี้

ในการทดสอบนี้ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ผลิตได้ กระแสไฟฟ้าที่ใช้และเวลาที่ใช้ ปริมาตรของ ก๊าซที่ผลิตได้จำนวนหนึ่ง จะใช้เวลาค่าๆ หนึ่ง และจะใช้ค่ากระแสที่แตกต่างกัน สำหรับค่ากระแสที่ต่ำ (0.5 A) จะใช้เวลาในการวัดประมาณ 158 นาที สำหรับค่ากระแสสูง (29.1 A) จะใช้เวลาแค่เพียง 4 นาที โดยสามารถสรุปได้ว่า ปริมาตรของ ก๊าซที่ผลิตได้เป็นสัดส่วนกับกระแสและเวลา เป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ คือ $V \sim I \times t$ เมื่อ $I \times t = Q$ ดังนั้น $V \sim Q$ เป็นไปตามสมการที่ (2.8)

4.5.2 ผลการทดสอบการหาค่าประสิทธิภาพพลังงานและค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์

ตารางที่ 4.11 ปริมาตรของ ก๊าซ ไฮโดรเจนที่ผลิตได้ที่ค่ากระแสต่างกันจากการทดสอบของ สารโซเดียมไฮดรอกไซด์

โวลต์(V)	กระแส(A)	ความต้านทาน(Ω)	เวลา(min)	ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้(g)
95.6	18.7	5.11	25	498
39.2	16.4	2.39	30	495

สูตรการคำนวณ

$$\eta_E = \frac{\text{Output}}{\text{input}} = \frac{\text{H}_2\text{Chemical energy (Joules)}}{\text{Electrical energy (Joules)}} \times 100\%$$

เมื่อ η_E คือ ประสิทธิภาพของระบบ

Output คือ ก๊าซไฮโดรเจน (J)

Input คือ ไฟฟ้า (J)

คำนวณหาค่าปริมาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าในระบบ

$$\text{Electrical energy (E}_{el}\text{) (Joules)} = V \times I \times t$$

เมื่อ E_{el} คือ พลังงานไฟฟ้า

V คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

t คือ เวลา (s)

คำนวณหาค่าพลังงานเคมีที่ได้จากระบบ

$$\text{H}_2\text{Chemical energy (E}_{ch}\text{) (Joules)} = v \times H_{0(v)}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากการทดสอบ

$H_{0(v)}$ คือ ค่าพลังงานเชื้อเพลิงของไฮโดรเจนเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรหาได้จาก

$$H_{0(v)} = H_0 \times \frac{1}{V_m}$$

เมื่อ H_0 คือ ค่าเชื้อเพลิงของก๊าซไฮโดรเจนในหนึ่ง โมล เท่ากับ 286 kJ/mol

V_m คือ ปริมาตรของก๊าซในหนึ่งโมลเท่ากับ 24.414ml (1bar, 20 °C)

แทนค่าในสูตร

$$H_{0(v)} = 286 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times \frac{1 \text{ mol}}{24.414 \text{ ml}} = 11.71 \frac{\text{J}}{\text{ml}}$$

ที่กระแส 18.7A

$$\begin{aligned} E_{el} &= 95.6 \text{ V} \times 18.7 \text{ A} \times (25 \times 60) \text{ s} \\ &= 2681580 \text{ J} \end{aligned}$$

$$E_{ch} = 498 \text{ ml} \times 11.71 \frac{\text{J}}{\text{ml}} = 5831.58 \text{ J}$$

$$\eta_E = \frac{5831.58 \text{ J}}{2681580 \text{ J}} \times 100 = 2.174 \%$$

ที่กระแส 16.4 A

$$E_{el} = 39.2 \text{ V} \times 16.4 \text{ A} \times (30 \times 60) \text{ s}$$

$$= 1157184 \text{ J}$$

$$E_{ch} = 495 \text{ ml} \times 11.71 \frac{\text{J}}{\text{ml}} = 5796.45 \text{ J}$$

$$\eta_E = \frac{5796.45 \text{ J}}{1157184 \text{ J}} \times 100 = 5.009 \%$$

จากผลการคำนวณจะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพพลังงานของอิเล็กโทรไลเซอร์จะลดลงเมื่อค่ากระแสเพิ่มขึ้น และแรงดันก็จะสูงขึ้นด้วย เพราะว่าเกิดการสูญเสียเนื่องจากแรงดันเกิน (Excess Voltages) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขั้วไฟฟ้า เช่น ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ความถ่วงในการเกิดปฏิกิริยาเคมีค่าความต้านทานในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และอิเล็กโทรไลเซอร์ก็มีค่าความต้านทานในตัวของมันเองเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากความร้อนสะสม

ค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์เป็นอัตราส่วน ระหว่างปริมาตรของ ก๊าซที่ผลิตได้และปริมาตรของก๊าซที่คำนวณทางทฤษฎีโดยสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ได้จากสมการ

$$\eta_F (\%) = \frac{\text{Volume (H}_2\text{)}_{\text{exp.}}}{\text{Volume (H}_2\text{)}_{\text{theory}}} \quad (4.1)$$

เมื่อ V_{test} คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากการทดสอบ
 V_{theory} คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้กฎฟาราเดย์

$$V_{\text{theory}} = \frac{[\text{Electrical charge in Coulombs}]}{[\text{Electrical charge delivered by one mol H}_2]} \times [\text{Volume (H}_2\text{) per mol}] \quad (4.2)$$

$$V_{\text{theory}} = \frac{I \times t \times V_m}{z \times F} \quad (4.3)$$

เมื่อ	I	คือ กระแสไฟฟ้า (A)
	t	คือ เวลา (s)
	V_m	คือ ปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนในหนึ่งโมลมีค่าเท่ากับ 24,414 ml (1 bar, 20 °C)
	F	คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์เท่ากับ 96,486 C mol ⁻¹
	z	คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่เกินเท่ากับ 2 (สำหรับกรณีของ H ₂)

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1

คำนวณปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่กระแส 0.5A แทนในสมการ 4.3 ได้ผลดังนี้

$$V_{\text{theory}} = \frac{0.5 \text{ A} \times (158 \times 60) \text{ s} \times 24,414 \text{ ml/mole}}{2 \times 96,486 \text{ As/mole}} = 599.684 \text{ ml}$$

คำนวณปริมาตรของก๊าซไฮโดรเจนที่กระแส 29.1A แทนในสมการ 4.3 ได้ผลดังนี้

$$V_{\text{theory}} = \frac{29.1 \text{ A} \times (4 \times 60) \text{ s} \times 24,414 \text{ ml/mole}}{2 \times 96,486 \text{ As/mole}} = 883.586 \text{ ml}$$

จากผลการทดสอบตามตารางที่ 4.1 และค่าคำนวณปริมาตรของ ก๊าซไฮโดรเจนตามกฎของฟาราเดย์ สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพพลังงานของอิเล็กโทรไลเซอร์ ในค่ากระแสที่ต่างกัน ดังนี้

ค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์ที่กระแส 0.5 A

จากสมการที่ (4.1)

$$\eta_F = \frac{500 \text{ ml}}{599.684 \text{ ml}} \times 100 \approx 83.37\%$$

ค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของอิเล็กโทรไลเซอร์ ที่กระแส 29.1A

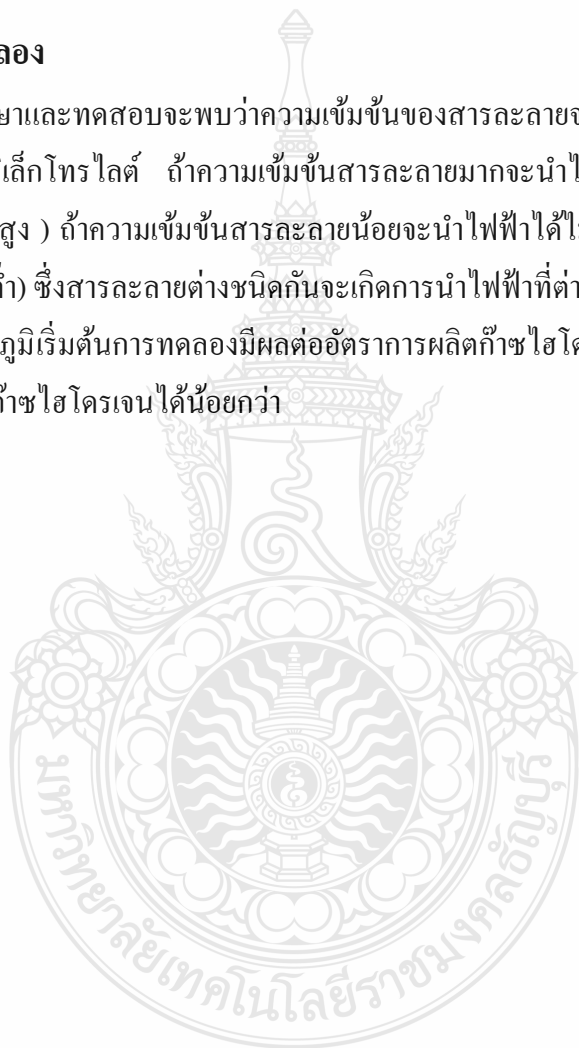
จากสมการที่ (4.1)

$$\eta_F = \frac{500 \text{ ml}}{833.586 \text{ ml}} \times 100 \approx 59.98 \%$$

ค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากการคำนวณคือค่าประสิทธิภาพที่คำนวณในสถานะที่เกิดขึ้นในการทดลองนั้นๆ ซึ่ง ในทางทฤษฎีค่าประสิทธิภาพฟาราเดย์ที่ดีจะต้องเข้าใกล้ 100 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่แปรผันตามแสงแดดของช่วงเวลาที่ทำการทดลอง หรือ เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของระบบ เช่น การเกิดตะกอนกรันบนผิวน้ำทำให้ก๊าซไฮโดรเจน ไม่สามารถแทรกตัวผ่านขึ้นมาได้ หรือ แผ่นสแตนเลสถูกกัดกร่อนลงเมื่อใช้ในระยะเวลาานาน

4.6 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและทดสอบจะพบว่าความเข้มข้นของสารละลายจะมีผลโดยตรงต่อการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ถ้าความเข้มข้นสารละลายมากจะนำไฟฟ้าได้ดี แต่มีข้อเสียที่ใช้พลังงานมาก (กระแสสูง) ถ้าความเข้มข้นสารละลายน้อยจะนำไฟฟ้าได้ไม่ค่อยดี แต่มีข้อดี ที่ใช้พลังงานน้อย(กระแสต่ำ) ซึ่งสารละลายต่างชนิดกันจะเกิดการนำไฟฟ้าที่ต่างกันและทนการกัดกร่อนที่เวลาแตกต่างกัน อุณหภูมิเริ่มต้นการทดลองมีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ถ้าอุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้น้อยกว่า



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษา ค้นคว้าพบว่า การแยก ก๊าซ ออกจากน้ำด้วยปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า (Electrolysis Process) มี 2 ประการหลัก ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบระบบ และอุปกรณ์ คือ วัสดุที่ใช้ทำขั้ว Electrode และวงจรที่ใช้ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ เพื่อนำอุปกรณ์ และเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาใช้งานได้จริง

5.1 สรุป

การศึกษาระบบการแยก ก๊าซด้วยไฟฟ้า (Electrolysis Process) จากการศึกษาค้นคว้า ตลอดจนได้ทำการทดลองพบว่า มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ระบบการแยกก๊าซหรือก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ ไม่ได้เป็นไปอย่างที่คาดหวังไว้ในเบื้องต้น ดังนี้

5.1.1 วัสดุที่นำมาทำขั้ว Electrode เดิมที่การผลิตหรือการแยกก๊าซวัสดุที่นิยมใช้กัน คือ Platinum ซึ่งมีราคาแพงมาก แต่การทดลองในครั้งนี้ได้เปรียบเทียบวัสดุหลายชนิด จนสรุปได้ว่า Stainless steel 304 มีความสามารถในการใช้งานได้จริง ประสิทธิภาพอาจดีไม่เท่า Platinum แต่ก็สามารถใช้งานได้ในระดับที่น่าพอใจ และสามารถหาค่าจุดคุ้มทุนได้

5.1.2 สารอิเล็กโทรไลต์ที่ดีที่สุดในระบบการ การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นี้คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งนำไฟฟ้าได้ดีทำให้อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนได้เร็ว และราคาไม่แพงมาก สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด จึงเลือกมาใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ของระบบการผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้พลังงานไฮโดรเจนพลังงานแสงอาทิตย์นี้

5.1.3 การเพิ่มความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ในระบบการการผลิตก๊าซไฮโดรเจน หรือระดับความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อทำให้น้ำไฟฟ้าได้ดี มีอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนได้เร็ว

5.1.4 กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบอยู่ที่ประมาณ 0.6 – 27.6 แอมแปร์ เป็นระดับกระแสไฟฟ้าที่เพียงพอต่อการแยกก๊าซเพื่อใช้ในระบบผลิตไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

5.1.5 อุณหภูมิมีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ถ้าอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดลองสูง อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจะสูงตาม แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ใน ระบบแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมไม่เกิน 70 °C เนื่องจากอุณหภูมิจะแปรผันตามกระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน ถ้าหากมีอย่างใดอย่างหนึ่งสูงขึ้นส่งผลให้อีกอย่างสูงขึ้นตามกันไป ความร้อนก็มีผลต่ออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้โดย อีกด้วย

5.1.6 เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในมาใช้สร้างและทดลองครั้งนี้ทนต่อการสึกหรอได้ดี ปริมาณสารละลายตัวกระแสไฟฟ้าต่ำ ทำให้การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก

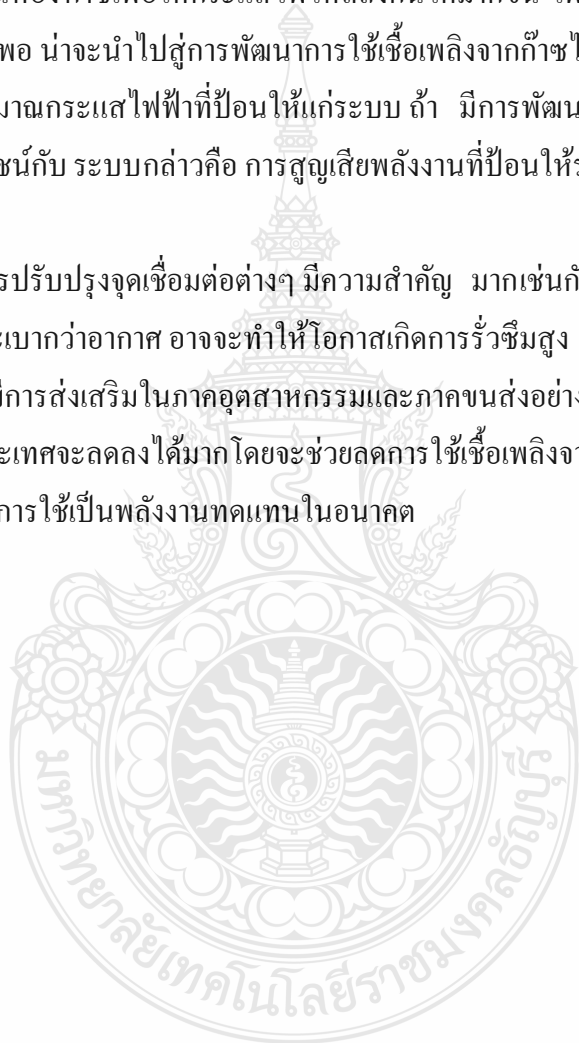
5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปริมาณ ก๊าซ ไฮโดรเจนจะเพิ่มมากขึ้นนี้ ขึ้นอยู่กับการพัฒนารูปแบบของ ขั้ว Electrode และแผ่นกั้นห้อง ก๊าซเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลถึงกันได้มากขึ้น เพราะถ้าสามารถเพิ่มปริมาณ ก๊าซไฮโดรเจนให้มากพอ น่าจะนำไปสู่การพัฒนาการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซไฮโดรเจนโดยตรงได้

5.2.2 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่วัสดุ ถ้า มีการพัฒนาให้มีการใช้กระแสไฟฟ้าน้อยลง จะยังมีประโยชน์กับ ระบบกล่าวคือ การสูญเสียพลังงานที่ป้อนให้ระบบน้อยลงแต่พลังงานที่ได้รับเพิ่มขึ้น

5.2.3 การปรับปรุงจุดเชื่อมต่อต่างๆ มีความสำคัญ มากเช่นกัน เนื่องจาก ไฮโดรเจนเป็น โมเลกุลที่เล็กที่สุดและเบาว่าอากาศ อาจจะทำให้โอกาสเกิดการรั่วซึมสูง

5.2.4 ถ้ามีการส่งเสริมในภาคอุตสาหกรรมและภาคขนส่งอย่างจริงจัง ค่าการใช้พลังงานมวลขนส่งรวมของประเทศจะลดลงได้มากโดยจะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้พอสมควรถือว่าเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้เป็นพลังงานทดแทนในอนาคต

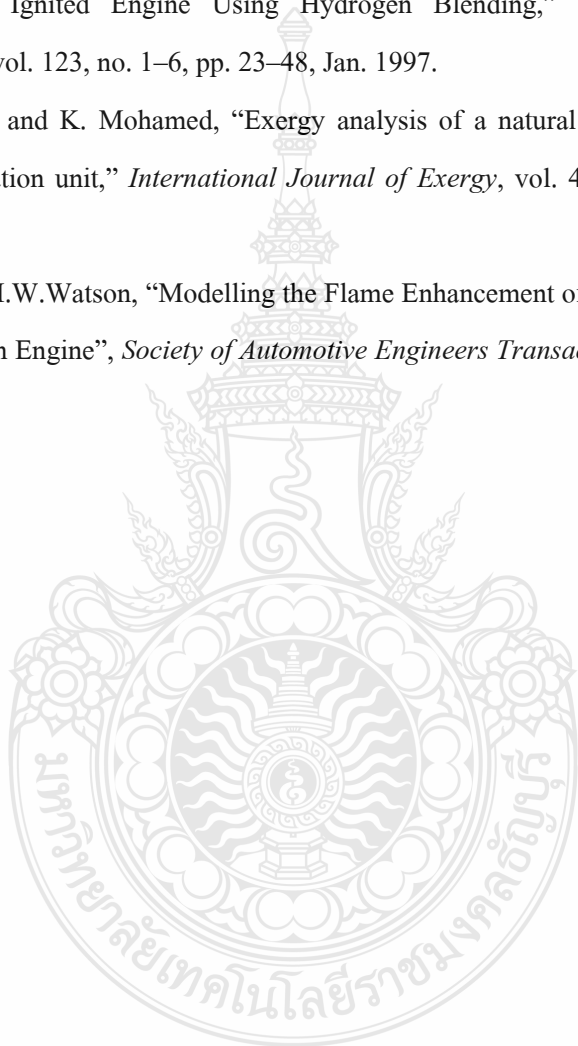


รายการอ้างอิง

- [1] B. Johnston, M. C. Mayo, and A. Khare, "Hydrogen: the energy source for the 21st century," *Technovation*, vol. 25, no. 6, pp. 569–585, Jun. 2005.
- [2] Energy Plus. ไฮโดรเจน เชื้อเพลิงแห่งอนาคต. นวัตกรรมและเทคโนโลยี. 2 (เมษายน – มิถุนายน), นน. 24 – 27, 2547.
- [3] มณีวรรณ สุวรรณสะอาด และ พูนสุข ประเสริฐสรรพ, "การผลิตไฮโดรเจนและกรด5-อะมิโนลิวูลินิก," กรุงเทพฯ, นน. 186-187, 2547.
- [4] วิเชียร แสงอรุณ (Wichien Sang-Aroon) ปี2547. "การแยกไฮโดรเจนจากโมเลกุลน้ำด้วยปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง," *KKU Res. J*, 18(2), 350-360, 2013.
- [5] ไกรฤทธิ์ นิลคูหาและคณะ , "การพัฒนาระบบผลิตพลังงานไฮโดรเจนจากแหล่งพลังงานทดแทนโดยกระบวนการปฏิรูปด้วยไอน้ำ (Steam Reformation)," *Kasetsart Engineering Journal (Thailand)*, ฉบับที่ 23 (72) นน. 30-38, 2550.
- [6] นกคด คุ่มรักษาและบุญยัง ปลั่งกลาง, "การแยกก๊าซไฮโดรเจนด้วยวิธีอิเล็กโทรไลซิสแบบแยกเซลล์," *ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*, 2554.
- [7] มยุรา ศรีกัตยานุกุลและรุ่งทิพย์ กาวารี . การผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากมุลสุกรโดยใช้กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน : รายงานผลการวิจัยมหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2556.
- [8] S. Mohana, B. K. Acharya, and D. Madamwar, "Distillery spent wash: treatment technologies and potential applications," *J. Hazard. Mater.*, vol. 163, no. 1, pp. 12–25, Apr. 2009.
- [9] J. Li, B. Li, G. Zhu, N. Ren, L. Bo, and J. He, "Hydrogen production from diluted molasses by anaerobic hydrogen producing bacteria in an anaerobic baffled reactor (ABR)," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 32, no. 15, pp. 3274–3283, Oct. 2007.
- [10] D. B. Levin, H. Zhu, M. Beland, N. Cicek, and B. E. Holbein, "Potential for hydrogen and methane production from biomass residues in Canada," *Bioresource Technology*, vol. 98, no. 3, pp. 654–660, Feb. 2007.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [11] สุขฤดี สุขใจ, “การผลิตไฮโดรเจนด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์,” วิทยาลัยพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, 2551.
- [12] S. R. Bell and M. Gupta, “Extension of the Lean Operating Limit for Natural Gas Fueling of a Spark Ignited Engine Using Hydrogen Blending,” *Combustion Science and Technology*, vol. 123, no. 1–6, pp. 23–48, Jan. 1997.
- [13] B. V. Reddy and K. Mohamed, “Exergy analysis of a natural gas fired combined cycle power generation unit,” *International Journal of Exergy*, vol. 4, no. 2, pp. 180–196, Jan. 2007.
- [14] G.G.Dober, H.W.Watson, “Modelling the Flame Enhancement of A HAJI Equipped Spark Ignition Engine”, *Society of Automotive Engineers Transactions*, vol.18(1), pp. 98-99, 1999.



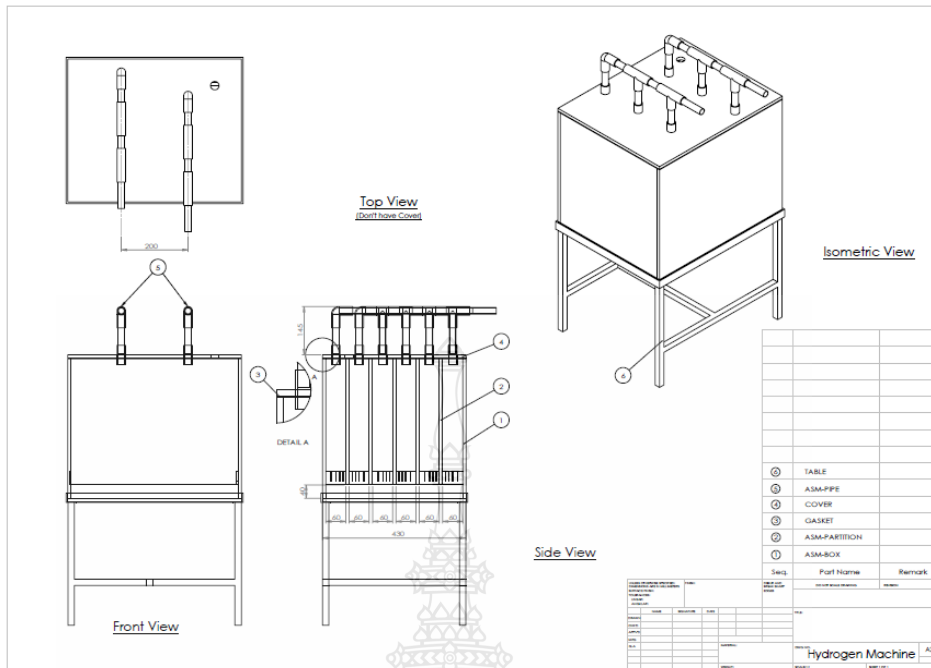
ภาคผนวก



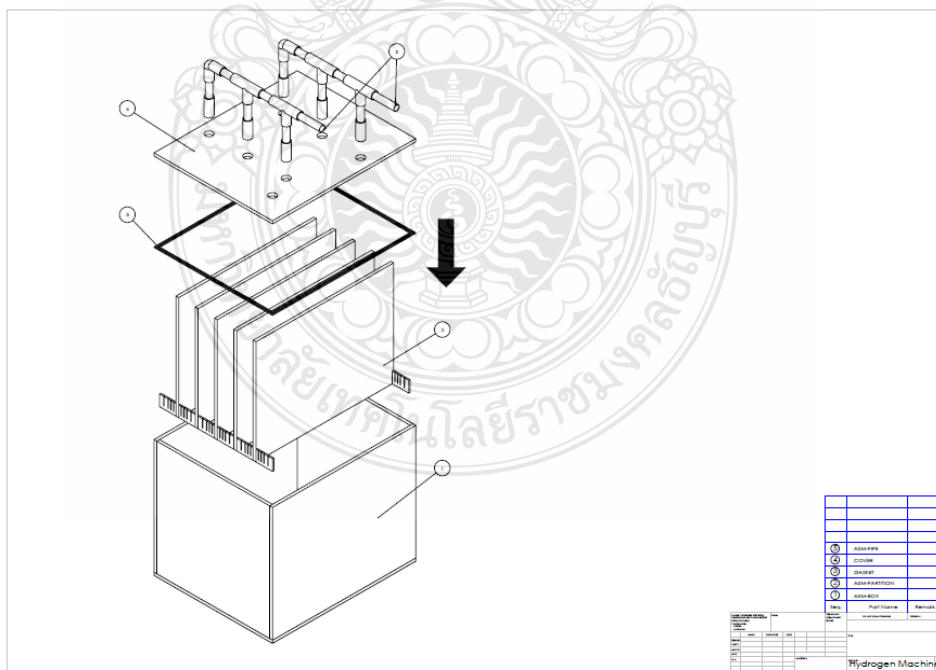
ภาคผนวก ก

การออกแบบอุปกรณ์แยกก๊าซไฮโดรเจน ด้วยโปรแกรม SolidWorks

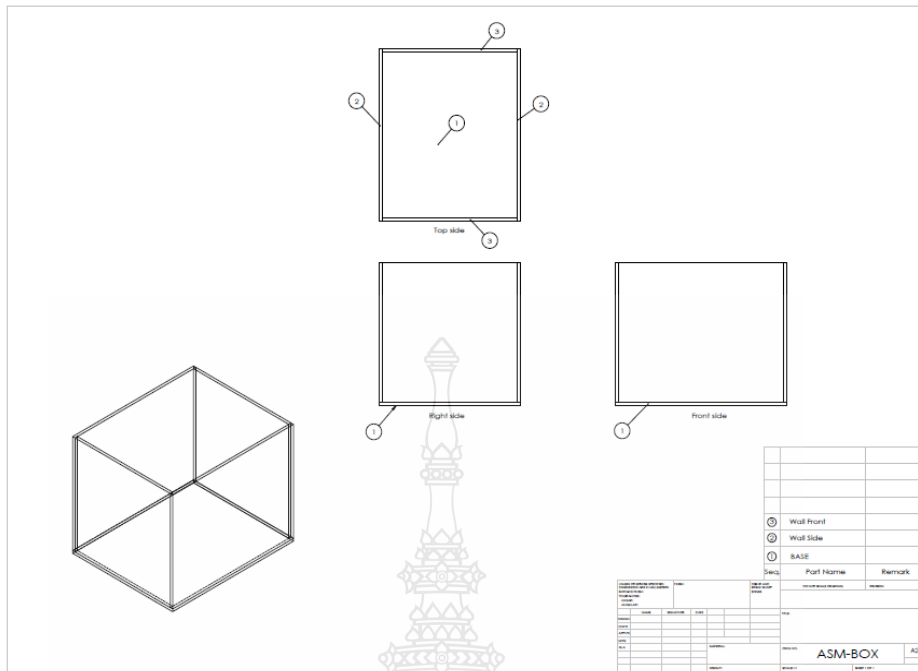




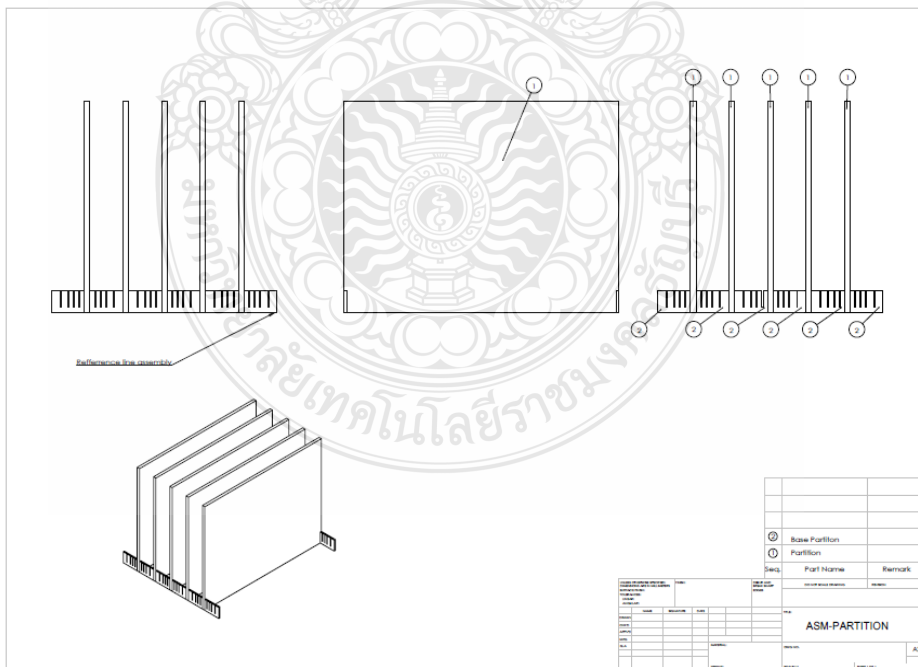
รูปที่ ก.1 เครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจน



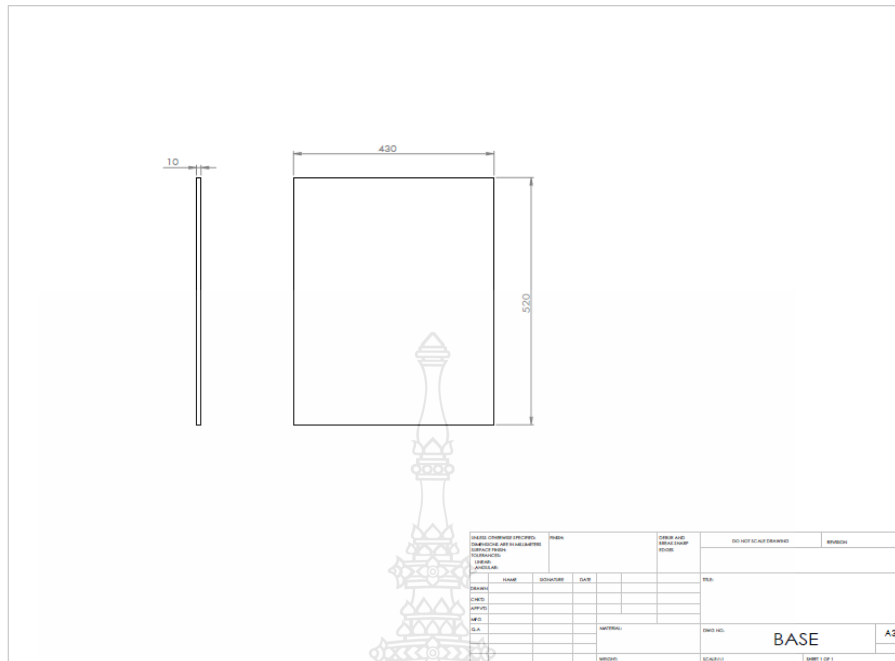
รูปที่ ก.1 เครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจน (ต่อ)



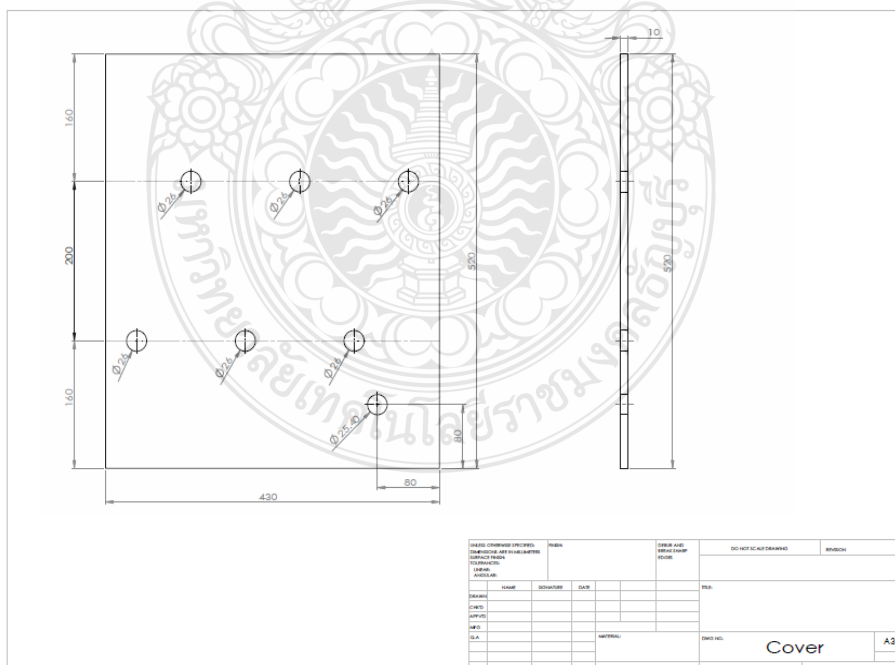
รูปที่ ก.2 ลักษณะกล่องเครื่องแยกก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ ก.3 แผ่นกั้นภายในเครื่องแยกก๊าซ



รูปที่ ก.3 แผ่นกั้นภายในเครื่องแยกก๊าซ (ต่อ)



รูปที่ ก.4 ฝาปิดด้านบนเครื่องแยกก๊าซ

ภาคผนวก ข

สูตรเคมีและตารางธาตุ



รูปที่ ๗.1 ตารางธาตุ

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

<http://www.ktf-split.hr/periodict/ent/>

PERIOD	GROUP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
		IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA	VIIIA
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1		1 1.0079 H HYDROGEN																		2 4.0026 He HELIUM
2		3 6.941 Li LITHIUM	4 9.0122 Be BERYLLIUM																	10 20.180 Ne NEON
3		11 22.990 Na SODIUM	12 24.305 Mg MAGNESIUM																	18 39.948 Ar ARGON
4		19 39.098 K POTASSIUM	20 40.078 Ca CALCIUM	21 44.956 Sc SCANDIUM	22 47.867 Ti TITANIUM	23 50.942 V VANADIUM	24 51.996 Cr CHROMIUM	25 54.938 Mn MANGANESE	26 55.845 Fe IRON	27 58.933 Co COBALT	28 58.933 Ni NICKEL	29 63.546 Cu COPPER	30 65.39 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALLIUM	32 72.64 Ge GERMANIUM	33 74.922 As ARSENIC	34 78.96 Se SELENIUM	35 79.904 Br BROMINE	36 83.80 Kr KRYPTON	
5		37 85.468 Rb RUBIDIUM	38 87.62 Sr STRONTIUM	39 88.906 Y YTRIUM	40 91.224 Zr ZIRCONIUM	41 92.906 Nb NIOBIUM	42 95.94 Mo MOLYBDENUM	43 98 Tc TECHNETIUM	44 101.07 Ru RUTHENIUM	45 106.42 Rh RHODIUM	46 106.42 Pd PALLADIUM	47 107.87 Ag SILVER	48 112.41 Cd CADMIUM	49 114.82 In INDIUM	50 118.71 Sn TIN	51 121.76 Sb ANTIMONY	52 127.60 Te TELLURIUM	53 126.90 I IODINE	54 131.29 Xe XENON	
6		55 132.91 Cs CAESIUM	56 137.33 Ba BARIUM	57-71 La-Lu Lanthanide	72 178.49 Hf HAFNIUM	73 180.95 Ta TANTALUM	74 183.84 W TUNGSTEN	75 186.21 Re RHENIUM	76 190.23 Os OSMIUM	77 192.22 Pt PLATINUM	78 195.08 Au GOLD	79 196.97 Hg MERCURY	80 200.59 Tl THALLIUM	81 204.38 Pb LEAD	82 207.2 Bi BISMUTH	83 208.98 Po POLONIUM	84 (209) At ASTATINE	85 (210) Rn RADON		
7		87 (223) Fr FRANCIUM	88 (226) Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actinide	104 (261) Rf RUTHERFORDIUM	105 (262) Db DUBNIUM	106 (266) Sg SEABORGIUM	107 (264) Bh BOHRVIUM	108 (277) Hs HASSIUM	109 (281) Mt MEITNERIUM	110 (281) Uun UNUNUNIUM	111 (272) Uub UNUBIUM	112 (285) Uuq UNUNQUADIUM	114 (289) Uuq UNUNQUADIUM						

RELATIVE ATOMIC MASS (1)

GROUP IUPAC: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18

GROUP CAS: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII

ATOMIC NUMBER: Z

SYMBOL: Element symbol

ELEMENT NAME: Element name

Legend:
 Metal
 Semimetal
 Nonmetal
 1 Alkali metal
 2 Alkaline earth metal
 Transition metals
 Lanthanide
 Actinide
 16 Chalcogens element
 17 Halogens element
 18 Noble gas
STANDARD STATE (25 °C, 101 kPa)
 Ne - gas
 Ga - liquid
 Fe - solid
 Te - synthetic

LANTHANIDE

57 138.91 La	58 140.12 Ce	59 140.91 Pr	60 144.24 Nd	61 (145) Pm	62 150.36 Sm	63 151.96 Eu	64 157.25 Gd	65 158.93 Tb	66 162.50 Dy	67 164.93 Ho	68 167.26 Er	69 168.93 Tm	70 173.04 Yb	71 174.97 Lu
------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

ACTINIDE

89 (227) Ac	90 232.04 Th	91 231.04 Pa	92 238.03 U	93 (237) Np	94 (241) Pu	95 (243) Am	96 (247) Cm	97 (247) Bk	98 (251) Cf	99 (252) Es	100 (257) Fm	101 258 Md	102 (259) No	103 (262) Lr
-----------------------	------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	----------------------	------------------------	------------------------

Copyright © 1998-2003 ENG eng@kft-split.hr

(1) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-683 (2001)
 Relative atomic mass is shown with five significant figures. For elements having no stable isotopes, the value enclosed in brackets indicates the number of the longest-lived isotope of the element.
 However three such elements (Th, Pa, and U) do have a characteristic terrestrial isotopic composition, and for these an atomic weight is tabulated.
 Editor: Aditya Vasehkar (advase@rediffmail.com)

ตารางที่ ข.2 คุณสมบัติของธาตุ

น้ำหนักอะตอม	เลขอะตอม	ชื่อไทย	ชื่ออังกฤษ หรือละติน	สัญลักษณ์ธาตุ	หมู่	คาบ
1.007947	1	ไฮโดรเจน	Hydrogen	H	1	1
4.0026022	2	ฮีเลียม	Helium	He	18	1
6.9412	3	ลิเทียม	Lithium	Li	1	2
9.0121823	4	เบริลเลียม	Beryllium	Be	2	2
10.8117	5	โบรอน	Boron	B	13	2
12.01078	6	คาร์บอน	Carbon	C	14	2
14.00672	7	ไนโตรเจน	Nitrogen	N	15	2
15.99943	8	ออกซิเจน	Oxygen	O	16	2
18.99840325	9	ฟลูออรีน	Fluorine	F	17	2
20.17976	10	นีออน	Neon	Ne	18	2
22.9897702	11	โซเดียม	Sodium / Natrium	Na	1	3
24.30506	12	แมกนีเซียม	Magnesium	Mg	2	3
26.9815382	13	อะลูมิเนียม	Aluminium	Al	13	3
28.085534	14	ซิลิกอน	Silicon	Si	14	3
30.9737612	15	ฟอสฟอรัส	Phosphorus	P	15	3
32.0655	16	กำมะถัน	Sulfur	S	16	3
35.4532	17	คลอรีน	Chlorine	Cl	17	3
39.9481	18	อาร์กอน	Argon	Ar	18	3
39.09831	19	โพแทสเซียม	Potassium / Kalium	K	1	4
40.07842	20	แคลเซียม	Calcium	Ca	2	4
44.9559108	21	สแกนเดียม	Scandium	Sc	3	4
47.8671	22	ไทเทเนียม	Titanium	Ti	4	4
50.94151	23	วานาเดียม	Vanadium	V	5	4
51.99616	24	โครเมียม	Chromium	Cr	6	4
54.9380499	25	แมงกานีส	Manganese	Mn	7	4

น้ำหนักอะตอม	เลขอะตอม	ชื่อไทย	ชื่ออังกฤษ หรือละติน	สัญลักษณ์ธาตุ	หมู่	คาบ
55.8452	26	เหล็ก	Iron / Ferrum	Fe	8	4
58.933	27	โคบอลต์	Cobalt	Co	9	4
58.69342	28	นิกเกิล	Nickel	Ni	10	4
63.54634	29	ทองแดง	Copper / Cuprum	Cu	11	4
65.4094	30	สังกะสี	Zinc	Zn	12	4
69.7231	31	แกเลียม	Gallium	Ga	13	4
72.641	32	เจอร์เมเนียม	Germanium	Ge	14	4
74.921602	33	อาร์ซีนิก	Arsenic	As	15	4
78.9634	34	ซีลีเนียม	Selenium	Se	16	4
79.9041	35	โบรมีน	Bromine	Br	17	4
83.7982	36	คริปทอน	Krypton	Kr	18	4
85.467832	37	รูบิเดียม	Rubidium	Rb	1	5
87.621	38	สตรอนเชียม	Strontium	Sr	2	5
88.905852	39	อิตเทรียม	Yttrium	Y	3	5
91.22422	40	เซอร์โคเนียม	Zirconium	Zr	4	5
92.906	41	ไนโอเบียม	Niobium	Nb	5	5
95.9422	42	โมลิบดีนัม	Molybdenum	Mo	6	5
[98]	43	เทคนีเทียม	Technetium	Tc	7	5
101.0722	44	รูทีเนียม	Ruthenium	Ru	8	5
102.905	45	โรเดียม	Rhodium	Rh	9	5
106.4212	46	แพลเลเดียม	Palladium	Pd	10	5
28.085532	47	เงิน	Silver / Argentum	Ag	11	5
112.41182	48	แคดเมียม	Cadmium	Cd	12	5
114.8183	49	อินเดียม	Indium	In	13	5
118.71072	50	ดีบุก	Tin / Stannum	Sn	14	5
121.76012	51	พลวง	Stibium	Sb	15	5

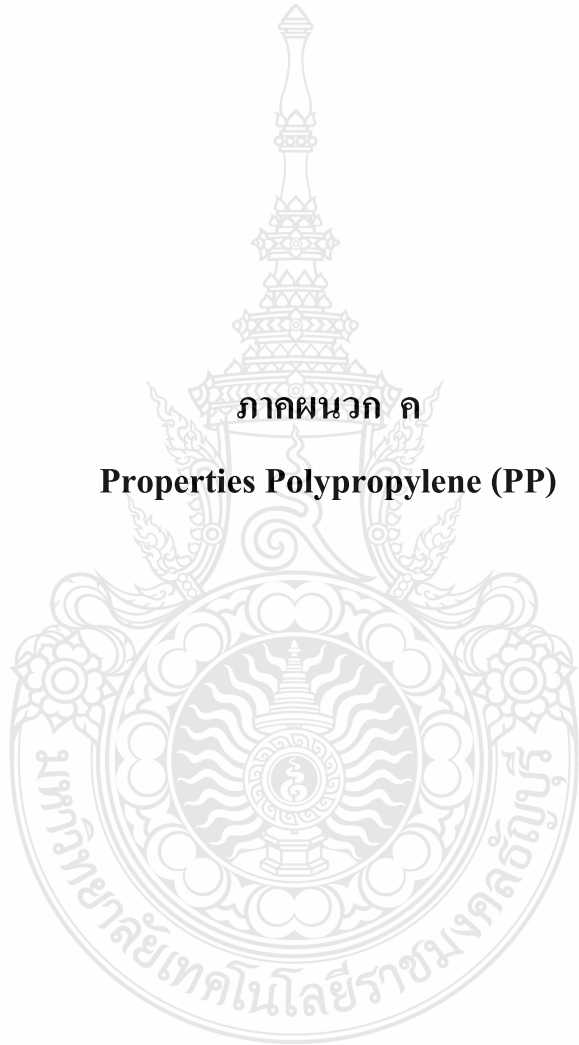
น้ำหนักอะตอม	เลขอะตอม	ชื่อไทย	ชื่ออังกฤษ หรือละติน	สัญลักษณ์ธาตุ	หมู่	คาบ
127.6032	52	เทลลูเรียม	Tellurium	Te	16	5
126.904	53	ไอโอดีน	Iodine	I	17	5
131.2936	54	ซีนอน	Xenon	Xe	18	5
132.905	55	ซีเซียม	Caesium	Cs	1	6
137.3277	56	แบเรียม	Barium	Ba	2	6
138.905522	57	แลนทานัม	Lanthanum	La		6
140.11612	58	ซีเรียม	Cerium	Ce		6
140.907652	59	พรซีโอดีเมียม	Praseodymium	Pr		6
144.2432	60	นีโอดีเมียม	Neodymium	Nd		6
[145]	61	โพรมีเทียม	Promethium	Pm		6
150.3632	62	ซาแมเรียม	Samarium	Sm		6
151.96412	63	ยูโรเพียม	Europium	Eu		6
157.2532	64	แกโดลิเนียม	Gadolinium	Gd		6
158.925342	65	เทอร์เบียม	Terbium	Tb		6
162.50012	66	ดิสโพรเซียม	Dysprosium	Dy		6
164.93	67	โฮลเมียม	Holmium	Ho		6
167.25932	68	โฮลเมียม	Erbium	Er		6
168.934212	69	ทูลีเทียม	Thulium	Tm		6
173.0432	70	อิตเทอร์เบียม	Ytterbium	Yb		6
174.96712	71	ลูทีเทียม	Lutetium	Lu	3	6
178.492	72	แฮฟเนียม	Hafnium	Hf	4	6
180.94791	73	แทนทาลัม	Tantalum	Ta	5	6
183.841	74	ทังสแตน	Tungsten / Wolfram	W	6	6
186.2071	75	รีเนียม	Rhenium	Re	7	6
190.2332	76	ออสเมียม	Osmium	Os	8	6
192.2173	77	อิริเดียม	Iridium	Ir	9	6

น้ำหนักอะตอม	เลขอะตอม	ชื่อไทย	ชื่ออังกฤษ หรือละติน	สัญลักษณ์ธาตุ	หมู่	คาบ
195.0782	78	แพลทินัม	Platinum	Pt	10	6
196.966	79	ทองคำ	Gold / Aurum	Au	11	6
200.592	80	ปรอท	Mercury / Hydrargyrum	Hg	12	6
204.38332	81	เทลลูเรียม	Thallium	Tl	13	6
207.21	82	ตะกั่ว	Plumbum	Pb	14	6
208.98	83	บิสมัท	Bismuth	Bi	15	6
[210]	84	พอลอเนียม	Polonium	Po	16	6
[210]	85	แอสทาทีน	Astatine	At	17	6
[220]	86	เรดอน	Radon	Rn	18	6
[223]	87	แฟรนเซียม	Francium	Fr	1	7
[226]	88	เรเดียม	Radium	Ra	2	7
[227]	89	แอกทิเนียม	Actinium	Ac		7
231.0358821	91	โปรแทกทิเนียม	Protactinium	Pa		7
232.038111	90	ทอเรียม	Thorium	Th		7
[237]	93	เนปทูเนียม	Neptunium	Np		7
238.0289131	92	ยูเรเนียม	Uranium	U		7
[243]	95	อะเมริเซียม	Americium	Am		7
[244]	94	พลูโทเนียม	Plutonium	Pu		7
[247]	96	คูเรียม	Curium	Cm		7
[247]	97	เบอรัลเลียม	Berkelium	Bk		7
[251]	98	แคลิฟอร์เนียม	Californium	Cf		7
[252]	99	ไอน์สไตเนียม	Einsteinium	Es		7
[257]	100	เฟอร์เมียม	Fermium	Fm		7
[258]	101	เมนเดลิเวียม	Mendelevium	Md		7
[259]	102	โนเบลียม	Nobelium	No		7
[262]	103	ลอว์เรนเซียม	Lawrencium	Lr	3	7

นำหน้าอะตอม	เลขอะตอม	ชื่อไทย	ชื่ออังกฤษ หรือละติน	สัญลักษณ์ธาตุ	หมู่	คาบ
[267]	104	รัทเทอร์ฟอร์ดียม	Rutherfordium	Rf	4	7
[262]	105	ดูบเนียม	Dubnium	Db	5	7
[269]	106	ซีบอร์เกียม	Seaborgium	Sg	6	7
[269]	108	ฮัสเซียม	Hassium	Hs	8	7
[270]	107	โบห์เรียม	Bohrium	Bh	7	7
[278]	109	ไมต์เนเรียม	Meitnerium	Mt	9	7
[281]	110	ดาร์มสตัดเทียม	Darmstadtium	Ds	10	7
[281]	111	เรินต์เกเนียม	Roentgenium	Rg	11	7
[285]	112	โคเปอร์นิเซียม	Copernicium	Cn	12	7
[286]	113	อูนูนเทรียม	Ununtrium	Uut	13	7
[288]	115	อูนูนเพนเทียม	Ununpentium	Uup	15	7
[289]	114	ฟลิวโรเวียม	Flerovium	Fl	14	7
[293]	116	ลิเวอร์มอร์เรียม	Livermorium	Lv	16	7
[294]	117	อูนูนเซปเทียม	Ununseptium	Uus	17	7
[294]	118	อูนูนออกเทียม	Ununoctium	Uuo	18	7

ภาคผนวก ก

Properties Polypropylene (PP)

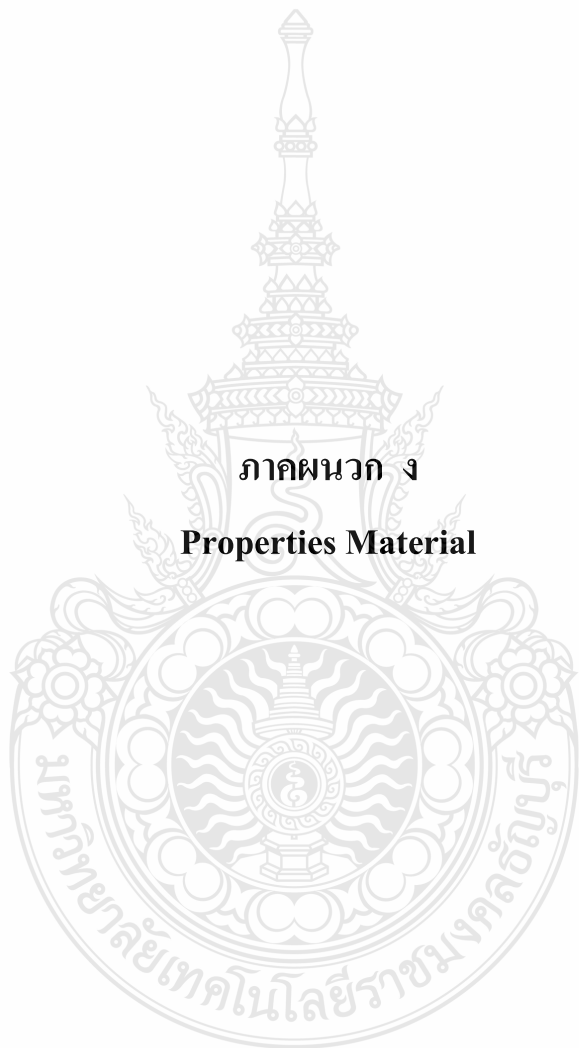


ตารางที่ ค.1 Properties Polypropylene (PP)

PP Properties	ASTM	Unit	PP
Mechanical properties			
Specific Gravity	D792		.905
Elongation	D638	%	10~20
Tensile Strength	D638	psi	4,800
Flexural Strength	D790	psi	5,400
Compressive Strength	D695		6,000
Tensile Elastic Modulus (Young's Modulus)	D638	(10~5)psi	1.6
Flexural Modulus	D790	(10~5)psi	1.7~2.5
Hardness Durometer	D785	Rockwell R	80~110
Impact Strength IZOD 73°F/23°C	D256	notched ft/lbs/in	0.5~2.2
Thermal properties			
Melting Point		°C(°F)	121(250)
Upper Service Temperature(20,000h)		°C(°F)	104(220)
Flame Rating**		UL94	n.r.
Thermal Conductivity	C117	10~4 cal/sec/cm ² ,°C/cm	2.8
Electrical properties			
Dielectric Constant	D150	1kHz	2.2~2.6
Dissipation Factor	D150	1kHz	0.0005~0.0018
Dielectric Strength	D149	125 MILV.	475~660
Volume Resistivity	D257	ohm-cm at 730F,50% RH	10~17
General properties			
Chemical/Solvent Resistance			Excellent
Water Absorption, 24h	D570	%	<0.03
Refractive Index			1.51~1.54
Arc Resistivity	D495	sec	100~160

ภาคผนวก ง

Properties Material



ตารางที่ 3.1 Properties Material

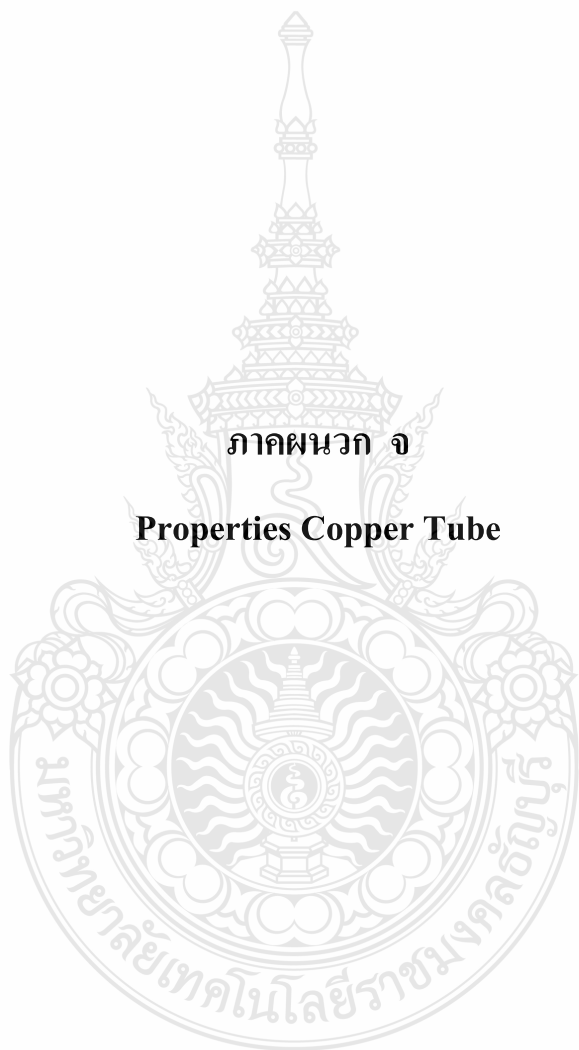
Material	Atomic number	Atomic weight	Density (g/cm ³)	Melting point(°C)	Thermal expansion Coefficient (/°C)	Specific heat (cal/gr/°C)
Titanium	22	47.9	4.51	1 668	8.4x10-6	0.124
Ti-6Al-4V	-	-	4.4	1 650	8.6x10-6	0.138
Iron	26	55.85	7.86	1 530	12x10-6	0.11
Stainless Steel 18-6 (AISI 304)	-	-	7.93	1 400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

ตารางที่ 3.1 Properties Material (ต่อ)

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

ภาคผนวก จ

Properties Copper Tube



ตารางที่ จ.1 Copper Tube: Types, Standards, Applications, Tempers, Lengths

Tube Type	Color Code	Standard	Application ¹	Commercially Available Length ²		
				Nominal Standard Size	or Drawn	Annealed
Type K	Green	ASTM B 88 ³	- Domestic water service and distribution - Fire protection - Solar - Fuel/fuel oil - HVAC - Snow melting	Straight lengths:		
				1/4 inch to 8 inch	20 ft.	20 ft.
				10 inch	18 ft.	18 ft.
				12 inch	12 ft.	12 ft.
				Coils:		
				1/4 inch to 1 inch	–	60 ft.
				1 1/4 inch and 1 1/2 inch	–	100 ft.
				2 inch	–	60 ft.
				–	–	45 ft.
				–	–	45 ft.
Type L	Blue	ASTM B 88	- Domestic water service and distribution - Fire protection - Solar - Fuel/fuel oil - Natural Gas - Liquefied petroleum (LP) gas - HVAC - Snow melting	Straight lengths:		
				1/4 inch to 8 inch	20 ft.	20 ft.
				12 inch	18 ft.	18 ft.
				Coils:		
				1/4 inch to 1 inch	–	60 ft.
				1 inch	–	100 ft.
				1 1/4 inch and 1 1/2 inch	–	60 ft.
				2 inch	–	40 ft.
				–	–	45 ft.
				–	–	45 ft.

Tube Type	Color Code	Standard	Application ¹	Commercially Available Length ²		
				Nominal Standard Size	or Drawn	Annealed
Type M	Red	ASTM B 88	- Domestic water service and distribution - Fire protection - Solar - Fuel/fuel oil - HVAC - Snow melting	Straight lengths: ¼ inch to 12 inch	20 ft.	N/A
DWV	Yellow	ASTM B 306	- Drain, waste, vent - Solar - HVAC	Straight lengths: 1 ¼ inch to 8 inch	20 ft.	N/A
ACR	Blue	ASTM B 280	- Air conditioning - Refrigeration - Natural gas - Liquefied petroleum (LP) gas	Straight lengths: 3/8 inch to 4 inch Coils: 1/8 inch 1 5/8 inch	20 ft.	4 50
OXY,MED,	(K)	ASTM B 819	- Medical gas	Straight lengths: ¼ inch to 8 inch	20 ft.	N/A
OXY/MED	Green					
OXY/ACR,	(L)					
ACR/MED	Blue					

¹ There are many other copper and copper alloy tubes and pipes available for specialized applications.

For information on these products, contact the Copper Development Association Inc.

² Individual manufacturers may have commercially available lengths in addition to those shown in this table.

³ Tube made to other ASTM standards is also intended for plumbing applications, although ASTM B 88 is by far the most widely used. ASTM Standard Classification B 698 lists six plumbing tube standards including B 88.

⁴ Available as special order only.

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อัตราการไหล 850 l/hr



ตารางที่ ๓.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน	อุณหภูมิ ท่อน้ำร้อน เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
9:30	2.643	31.90	45.20	31.80	45.40	45.20	31.80	42.70	44.30	30.00
9:31	2.834	32.70	45.20	32.80	45.30	45.20	32.80	42.80	44.80	30.00
9:32	2.701	33.20	45.40	32.80	45.40	45.20	32.80	42.90	43.80	29.80
9:33	2.725	33.00	45.40	33.90	45.30	45.20	33.90	42.80	44.10	30.20
9:34	2.768	33.00	45.30	33.00	45.30	45.20	33.00	43.10	43.60	30.10
9:35	2.742	33.80	45.40	34.30	45.40	45.40	34.30	43.10	43.30	30.20
9:36	2.894	34.30	46.00	34.40	45.60	45.40	34.40	43.20	43.10	29.80
9:37	2.853	35.50	46.00	35.60	45.70	45.70	35.60	43.40	43.40	30.00
9:38	2.902	34.80	46.20	34.80	45.70	45.80	34.80	43.50	45.20	30.40
9:39	2.869	35.10	46.40	35.00	46.00	45.90	35.00	43.60	45.70	30.20
9:40	2.850	35.20	46.40	35.10	46.10	46.00	35.10	43.70	44.40	29.80
9:41	2.897	35.40	46.50	35.30	46.10	46.00	35.30	43.90	45.10	30.40
9:42	2.848	36.50	46.50	36.50	46.20	46.00	36.50	44.00	46.10	30.70
9:43	2.971	36.60	46.50	36.60	46.30	46.10	36.60	44.10	46.60	31.00
9:44	2.980	36.80	46.70	36.70	46.40	46.20	36.70	44.30	46.50	31.00
9:45	3.050	37.90	46.80	37.90	46.50	46.30	37.90	44.30	47.80	31.00
9:46	3.001	37.10	46.90	37.10	46.60	46.50	37.10	44.50	48.80	30.80
9:47	3.152	37.40	47.00	37.30	46.60	46.50	37.30	44.60	48.00	30.70
9:48	3.094	38.50	47.10	38.40	46.90	46.60	38.40	44.50	47.90	30.40
9:49	3.113	38.70	47.40	38.70	47.10	46.80	38.70	44.70	48.10	30.20
9:50	3.082	39.70	47.70	39.70	47.20	47.00	39.70	44.90	48.40	30.20
9:51	3.146	39.80	47.90	39.80	47.40	47.20	39.80	45.10	47.60	30.20
9:52	3.025	39.80	48.10	39.90	47.50	47.40	39.90	45.20	47.90	30.30
9:53	3.159	40.20	48.40	40.10	47.80	47.70	40.10	45.50	47.70	30.30
9:54	3.121	40.50	48.60	40.60	48.10	47.80	40.60	46.30	46.50	30.50
9:55	3.145	40.50	48.80	40.50	48.30	48.20	40.50	46.40	46.50	30.50
9:56	3.385	40.70	49.10	40.70	48.80	48.40	40.70	46.10	48.30	30.50
9:57	3.240	41.50	49.20	41.50	48.90	48.50	41.50	45.50	48.80	30.70
9:58	3.304	41.50	49.50	41.60	49.20	48.70	41.60	45.60	48.90	30.50
9:59	3.431	40.40	49.70	40.60	49.20	48.90	40.60	45.60	49.40	30.90
10:00	3.425	41.00	49.90	41.00	49.50	49.20	41.00	45.80	50.10	30.80
10:01	3.513	41.20	50.10	41.20	49.70	49.50	41.20	46.10	49.80	30.80
10:02	3.523	42.40	50.40	42.30	50.00	49.70	42.30	46.40	50.40	30.70
10:03	3.561	41.50	50.70	41.50	50.30	49.90	41.50	46.60	50.20	30.80
10:04	3.533	41.50	50.80	41.40	50.40	50.10	41.40	46.80	50.30	30.80
10:05	3.590	41.50	51.10	41.50	50.70	50.30	41.50	47.10	49.80	30.60
10:06	3.559	41.70	51.40	41.70	50.90	50.60	41.70	47.40	49.20	30.40
10:07	3.555	41.90	51.40	41.90	50.90	50.80	41.90	47.40	50.40	31.00
10:08	3.633	42.10	51.70	42.10	51.40	51.10	42.10	48.10	51.10	31.10
10:09	3.719	43.20	52.00	43.20	51.60	51.40	43.20	48.00	51.90	31.30
10:10	3.426	43.30	52.30	43.30	52.00	51.60	43.30	48.20	52.00	31.60
10:11	3.668	42.40	52.60	42.40	52.20	51.80	42.40	48.50	51.80	31.60
10:12	3.663	42.50	52.80	42.50	52.50	52.00	42.50	48.60	53.00	32.10
10:13	3.715	42.70	52.80	42.70	52.70	52.20	42.70	48.70	53.30	32.20
10:14	3.763	42.80	53.10	42.80	52.80	52.40	42.80	49.10	52.80	32.10
10:15	3.643	42.10	53.20	42.10	52.90	52.60	42.10	49.20	49.70	31.40

ตารางที่ ๑.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อน้ำ ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ โดยรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
10:16	3.775	43.40	53.60	43.20	53.20	53.00	43.20	49.70	49.10	31.10
10:17	3.871	43.40	53.80	43.50	53.50	53.20	43.50	53.40	51.70	31.90
10:18	3.949	44.40	54.00	43.50	53.80	53.40	49.30	53.50	51.70	31.50
10:19	3.963	43.50	54.10	45.80	54.00	53.50	47.50	53.70	50.60	31.60
10:20	3.608	45.80	54.30	46.90	54.10	53.70	49.60	53.80	52.50	31.80
10:21	3.912	46.90	54.50	47.10	54.30	53.80	49.80	54.00	52.10	32.10
10:22	3.950	47.10	54.60	49.30	54.50	54.00	48.80	54.10	52.50	32.20
10:23	3.503	49.30	54.80	47.50	54.60	54.10	47.50	54.40	49.80	31.50
10:24	3.517	47.50	54.90	49.60	54.60	54.40	49.60	54.60	49.50	31.40
10:25	3.676	49.60	55.20	49.80	54.80	54.60	49.80	54.70	51.50	31.90
10:26	3.624	49.80	55.30	48.80	55.00	54.70	48.80	54.80	52.10	32.10
10:27	4.023	48.80	55.50	48.20	55.20	54.80	48.20	55.20	53.50	32.30
10:28	4.146	48.20	55.60	49.30	55.50	54.90	49.30	55.50	53.50	31.90
10:29	4.234	49.30	55.80	49.30	55.70	55.10	49.30	55.70	50.30	31.30
10:30	4.515	49.30	56.00	49.50	56.00	55.50	49.50	56.00	50.90	31.60
10:31	4.499	49.50	56.20	46.50	56.10	55.50	49.70	56.10	50.50	31.60
10:32	4.638	49.90	56.30	45.90	56.10	55.70	48.00	56.10	51.60	31.70
10:33	4.486	49.80	56.40	49.80	56.30	55.80	49.10	56.30	52.80	32.10
10:34	4.490	49.00	56.60	49.00	56.40	55.90	49.10	55.70	53.00	32.00
10:35	4.485	49.30	56.70	49.30	56.60	56.10	47.30	55.80	53.00	32.20
10:36	4.503	49.40	57.00	49.40	56.90	56.30	49.40	55.90	51.10	31.50
10:37	4.402	49.70	57.20	49.70	57.00	56.40	48.50	56.10	52.70	31.60
10:38	4.551	49.80	57.20	49.80	57.00	56.60	49.70	56.30	51.70	31.30
10:39	4.718	49.90	57.40	49.90	57.10	56.60	48.00	56.40	53.50	31.90
10:40	4.738	49.10	57.40	49.10	57.20	56.90	49.10	56.60	56.30	32.40
10:41	4.649	47.30	57.40	47.30	56.80	56.80	47.30	56.60	54.30	32.40
10:42	4.646	49.40	57.70	49.40	57.00	56.90	49.40	57.00	53.90	31.90
10:43	4.822	48.50	58.00	48.50	57.40	57.10	48.50	57.40	55.10	31.90
10:44	4.843	49.70	58.20	49.70	57.50	57.20	49.70	57.50	55.70	32.00
10:45	4.748	48.00	58.50	48.00	57.70	57.20	48.00	57.70	55.10	32.00
10:46	4.782	49.10	58.80	49.10	58.00	57.70	49.10	58.00	52.60	31.40
10:47	4.854	48.30	59.20	48.30	58.40	58.00	48.30	58.40	55.50	31.70
10:48	4.979	49.30	59.40	48.30	58.40	58.30	48.30	58.40	52.50	31.90
10:49	4.788	47.60	59.50	47.60	58.50	58.40	47.60	58.50	52.10	31.90
10:50	4.917	48.80	59.60	48.80	58.60	58.70	48.80	57.00	54.30	31.80
10:51	4.943	50.50	59.60	49.00	58.80	58.80	49.00	57.40	55.90	31.90
10:52	4.745	50.30	59.70	49.10	58.90	58.80	49.10	57.50	56.00	31.80
10:53	5.002	49.10	59.80	48.30	59.00	58.90	48.30	57.70	56.30	32.10
10:54	5.029	50.20	59.80	49.50	59.20	58.90	49.50	58.00	57.20	32.20
10:55	5.001	50.30	60.00	49.80	59.50	59.10	49.80	58.40	57.00	32.10
10:56	5.086	50.20	60.10	49.80	59.50	59.30	49.80	58.40	54.90	32.00
10:57	5.040	50.00	60.20	50.00	59.70	59.40	50.00	58.50	57.10	32.10
10:58	5.100	50.10	60.30	50.10	59.90	59.50	50.10	56.60	58.00	31.90
10:59	5.117	50.40	60.40	50.40	59.90	59.60	50.40	56.70	57.30	32.10
11:00	5.138	50.60	60.40	50.60	59.80	59.70	50.60	57.20	57.90	32.40
11:01	5.129	50.80	60.80	50.80	60.00	59.80	50.80	57.40	58.00	32.10
11:02	4.916	50.10	60.90	50.10	60.00	60.00	50.10	57.40	58.00	32.30

ตารางที่ ๓.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อรวมหน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อรวมหน้า เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
11:03	5.026	50.50	61.10	50.20	60.20	60.20	50.20	58.10	57.50	32.00
11:04	5.260	50.50	61.40	50.50	60.30	60.30	50.50	57.50	57.70	31.90
11:05	5.277	49.40	61.40	49.50	60.30	60.20	49.50	57.50	57.00	31.90
11:06	5.261	50.40	61.40	50.40	60.20	60.20	50.40	57.80	57.20	32.30
11:07	5.231	50.20	61.70	50.20	60.30	60.20	50.20	57.90	58.40	32.10
11:08	5.288	50.20	61.80	50.10	60.50	60.80	50.10	61.80	57.90	32.40
11:09	5.241	50.50	62.10	51.00	60.50	60.80	51.00	62.10	59.00	32.40
11:10	5.248	50.30	62.30	50.90	60.60	60.50	50.90	62.30	58.60	32.40
11:11	5.296	49.10	62.50	50.90	60.80	61.10	50.90	62.60	58.90	32.40
11:12	5.257	50.20	62.80	50.60	60.90	61.30	50.60	62.80	58.80	31.80
11:13	5.091	50.30	62.90	50.40	61.00	61.20	50.40	62.90	59.20	32.50
11:14	5.253	50.20	63.40	50.40	61.00	61.20	50.40	63.40	59.70	31.90
11:15	5.422	50.60	63.60	50.40	61.40	61.50	50.40	63.70	60.50	32.30
11:16	5.465	50.40	63.80	50.40	61.70	61.90	50.40	63.80	60.10	32.20
11:17	5.461	50.50	64.10	50.50	61.70	61.80	50.50	64.10	59.20	32.30
11:18	5.387	50.60	64.30	50.60	62.00	62.00	50.60	64.30	59.50	32.10
11:19	5.463	50.80	64.30	50.80	62.20	62.20	50.80	64.30	58.80	32.10
11:20	5.416	51.10	64.60	51.10	62.40	62.50	51.10	64.60	59.30	32.30
11:21	5.520	51.20	64.70	51.20	62.50	62.80	51.20	64.70	59.30	32.30
11:22	5.519	50.40	64.90	50.40	62.70	63.00	50.40	64.90	59.40	32.40
11:23	5.459	50.60	65.10	50.60	62.80	63.20	50.60	65.10	60.60	32.60
11:24	5.529	50.70	65.10	50.60	62.90	63.40	50.60	65.10	60.80	32.70
11:25	5.521	50.80	65.30	50.70	63.20	63.40	50.70	65.30	61.70	32.60
11:26	5.290	51.90	65.40	51.90	63.30	64.20	51.90	65.40	60.80	32.40
11:27	5.609	49.90	65.60	49.90	63.50	64.20	49.90	65.60	61.10	32.00
11:28	5.157	50.00	65.70	50.00	63.00	63.80	50.00	65.80	60.30	32.40
11:29	5.067	50.50	65.70	50.10	62.80	63.80	50.10	65.70	59.90	32.10
11:30	5.315	50.30	65.80	50.30	62.70	64.00	50.30	65.80	59.80	31.90
11:31	5.647	49.10	65.80	50.20	62.80	63.80	50.20	65.80	60.60	32.30
11:32	5.685	50.20	65.90	50.30	62.50	63.70	50.30	65.90	60.30	32.30
11:33	5.594	50.30	66.00	50.20	62.30	63.60	50.20	66.00	61.20	32.40
11:34	5.639	50.20	66.00	49.00	62.40	63.50	49.00	66.00	62.00	32.80
11:35	5.758	50.60	66.10	50.60	62.60	63.60	50.60	65.90	62.00	32.90
11:36	5.617	50.50	66.10	50.50	62.50	63.60	50.50	66.00	61.50	32.90
11:37	5.732	50.30	66.30	50.20	62.50	63.70	50.20	66.00	61.10	32.90
11:38	5.664	50.90	66.40	50.90	62.40	64.00	50.90	66.20	60.60	32.50
11:39	5.667	50.90	66.60	50.80	62.40	63.90	50.80	66.10	60.80	32.80
11:40	5.645	50.50	66.70	50.50	62.60	63.50	50.50	65.10	61.90	32.80
11:41	5.790	50.30	66.80	50.30	62.70	64.20	50.30	66.80	60.70	32.80
11:42	5.794	50.20	66.90	50.10	62.90	64.50	50.10	66.90	60.40	32.80
11:43	5.767	49.80	67.00	49.80	62.90	64.50	49.80	67.00	60.30	32.60
11:44	5.747	49.80	66.90	49.80	63.00	64.70	49.80	66.90	62.10	32.90
11:45	5.702	49.70	66.80	49.70	62.90	64.60	49.70	64.70	63.40	33.10
11:46	5.621	49.80	66.90	49.80	63.00	64.90	49.80	64.90	64.10	33.00
11:47	5.773	49.70	66.70	49.70	62.90	64.30	49.70	64.50	62.10	33.00
11:48	5.726	49.80	66.80	49.90	63.10	63.90	49.90	63.90	62.50	33.20
11:49	5.788	50.00	67.00	50.10	63.00	64.30	50.10	64.60	62.80	33.10

ตารางที่ ๑.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อรวมหน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อรวมหน้า เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
11:50	5.999	50.20	67.10	50.20	63.20	64.40	50.20	67.10	64.00	33.20
11:51	6.030	50.50	67.20	50.50	63.50	64.70	50.50	67.30	59.80	32.80
11:52	6.042	50.80	67.20	50.80	63.60	64.80	50.80	67.20	57.20	32.90
11:53	6.008	51.20	67.30	51.10	64.00	65.00	51.10	67.30	59.20	32.60
11:54	5.993	51.40	67.10	51.40	63.80	64.90	51.40	67.10	60.10	32.40
11:55	6.088	51.40	66.90	51.40	63.70	64.90	51.40	66.90	59.10	32.40
11:56	6.058	51.70	66.90	51.70	63.80	64.80	51.70	61.80	60.10	32.90
11:57	6.097	50.20	66.70	50.20	63.80	64.80	50.20	62.30	60.90	32.90
11:58	6.190	50.50	66.60	50.50	64.00	64.70	50.50	62.40	60.30	32.90
11:59	6.262	50.80	66.70	50.80	64.00	64.70	50.80	62.60	60.60	32.40
12:00	6.164	51.10	66.70	51.10	64.10	64.70	51.10	62.60	61.20	32.90
12:01	6.187	49.70	66.70	49.70	64.30	64.90	49.70	62.70	61.50	32.80
12:02	6.093	49.90	66.80	49.80	64.50	64.90	49.80	62.90	62.10	32.70
12:03	6.117	49.70	66.70	49.70	64.50	64.90	49.70	62.80	61.20	33.10
12:04	6.159	49.90	67.50	49.90	64.40	65.20	49.90	63.10	61.20	32.90
12:05	6.188	50.20	66.90	50.10	64.70	65.10	50.10	63.20	62.40	32.90
12:06	6.137	50.20	67.10	50.20	64.90	65.20	50.20	63.30	62.90	32.60
12:07	6.169	49.90	67.10	49.90	65.30	65.40	49.90	63.40	62.30	33.10
12:08	6.226	50.10	67.00	50.10	65.00	65.50	50.10	64.30	62.60	33.50
12:09	6.145	50.20	66.90	50.20	64.70	65.50	50.20	64.10	58.80	33.20
12:10	6.141	49.90	66.90	49.90	64.80	65.60	49.90	64.00	55.20	33.10
12:11	6.158	50.00	66.70	50.00	64.50	65.30	50.00	63.90	54.00	33.10
12:12	6.176	50.10	66.60	50.10	64.30	65.80	50.10	64.50	56.60	32.80
12:13	6.260	50.30	66.30	50.30	63.40	65.50	50.30	65.50	56.20	32.50
12:14	6.293	50.20	66.20	50.20	63.80	65.00	50.20	63.60	58.10	32.40
12:15	6.235	50.50	65.70	50.30	62.90	64.40	50.30	63.50	59.40	33.20
12:16	6.259	50.30	65.80	50.20	63.40	64.00	50.20	62.60	59.70	32.70
12:17	6.206	49.10	65.90	49.00	63.30	63.80	49.00	62.20	60.00	32.60
12:18	6.221	50.20	66.10	50.20	64.00	63.80	50.20	61.70	62.10	33.10
12:19	6.189	50.30	66.40	50.30	64.60	64.20	50.30	61.50	62.80	33.30
12:20	6.094	50.20	66.70	50.20	65.40	64.60	50.20	61.80	63.70	33.40
12:21	6.193	49.10	66.70	49.00	65.70	65.10	49.00	62.10	62.90	33.60
12:22	6.232	49.90	67.10	49.90	66.20	65.60	49.90	62.60	61.80	33.50
12:23	6.271	49.90	67.10	50.00	66.40	65.90	50.00	63.10	59.80	33.40
12:24	6.311	49.90	67.50	50.10	66.70	66.30	50.10	63.40	62.20	33.40
12:25	6.258	49.80	67.60	50.30	66.70	66.50	50.30	63.70	62.60	33.60
12:26	6.301	49.70	67.80	50.20	67.00	66.70	50.20	64.00	58.30	33.70
12:27	6.298	49.40	68.30	50.30	67.30	67.00	50.30	64.10	55.50	32.90
12:28	6.285	49.50	68.30	50.50	67.40	67.20	50.50	64.30	53.80	32.90
12:29	6.274	49.80	68.30	50.00	67.40	67.20	50.00	64.50	54.40	33.30
12:30	6.261	49.70	68.10	49.70	67.30	67.30	49.70	64.40	58.30	33.30
12:31	6.266	49.50	68.10	49.50	67.40	67.20	49.50	65.00	59.60	33.40
12:32	6.206	49.40	68.00	49.40	67.20	67.10	49.40	64.90	60.30	33.00
12:33	6.200	49.30	67.80	49.20	67.40	67.10	49.20	65.10	62.30	33.70
12:34	6.279	49.10	67.80	49.10	67.20	67.00	49.10	65.20	62.30	33.50
12:35	6.428	49.20	68.00	49.10	67.20	67.00	49.10	65.50	61.50	33.10
12:36	6.413	49.40	68.00	49.40	67.00	66.90	49.40	65.40	60.80	33.20

ตารางที่ ๑.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อรวมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อรวมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
12:37	6.354	49.60	68.10	49.60	67.00	66.90	49.60	68.10	61.50	33.50
12:38	6.486	50.10	68.00	50.10	66.90	66.90	50.10	68.20	63.00	33.90
12:39	6.311	50.80	68.10	50.90	67.10	67.00	50.90	68.30	62.50	34.00
12:40	6.222	51.70	68.20	51.70	67.20	67.10	51.70	68.30	63.40	33.90
12:41	6.353	49.90	68.30	49.90	67.40	67.20	49.90	68.40	60.00	33.20
12:42	6.463	50.10	68.30	50.00	67.30	67.20	50.00	68.70	57.80	33.40
12:43	6.501	50.10	68.40	50.10	67.30	67.20	50.10	68.30	55.80	33.40
12:44	6.410	50.40	68.70	50.30	67.20	67.50	50.30	68.50	57.40	33.00
12:45	6.321	49.10	68.30	49.10	67.20	67.40	49.10	68.60	59.10	33.20
12:46	6.344	49.10	68.50	49.10	67.20	67.20	49.10	68.70	60.30	33.10
12:47	6.367	49.40	68.60	49.40	67.10	67.20	49.40	68.90	61.20	33.40
12:48	6.299	49.60	68.70	49.60	67.30	67.50	49.60	69.10	62.20	33.20
12:49	6.249	50.20	68.90	50.10	67.30	67.40	50.10	69.10	61.80	33.20
12:50	6.457	50.00	69.10	50.00	67.40	67.10	50.00	69.30	62.60	33.60
12:51	6.538	50.20	69.30	50.10	67.50	67.40	50.10	69.70	62.10	33.20
12:52	6.458	50.30	69.70	50.30	68.00	67.50	50.30	70.00	63.10	33.00
12:53	6.410	49.10	70.00	49.10	68.20	67.90	49.10	70.10	64.40	33.40
12:54	6.478	49.10	70.10	49.10	68.40	68.20	49.10	70.40	65.10	33.60
12:55	6.541	49.60	70.40	49.60	68.90	68.70	49.60	70.40	64.90	33.60
12:56	6.548	50.10	70.40	50.10	69.40	68.90	50.10	70.60	65.20	34.00
12:57	6.533	50.40	70.60	50.30	69.80	69.20	50.30	70.80	65.10	33.80
12:58	6.518	49.90	70.80	50.10	70.20	69.50	50.10	71.10	65.10	33.90
12:59	6.439	49.90	71.10	50.30	70.30	69.80	50.30	71.10	63.80	33.70
13:00	6.431	49.80	71.10	49.60	70.40	70.00	49.60	71.90	64.00	33.40
13:01	6.194	49.70	71.30	50.10	70.50	70.00	50.10	71.70	64.40	33.30
13:02	6.345	49.40	71.50	50.00	70.50	70.20	50.00	71.80	65.40	33.20
13:03	6.381	49.50	71.60	50.10	70.40	70.30	50.10	71.90	64.00	33.10
13:04	6.352	49.80	71.70	50.30	70.60	70.30	50.30	71.80	63.60	33.40
13:05	6.401	49.70	71.60	49.60	70.70	70.30	49.60	71.70	63.10	34.10
13:06	6.507	50.10	71.80	50.10	70.90	70.50	50.10	71.40	60.30	33.60
13:07	6.521	50.00	71.90	50.00	70.80	70.70	50.00	71.30	64.00	33.40
13:08	6.598	50.10	71.70	50.10	70.70	70.50	50.10	71.20	63.10	33.60
13:09	6.598	50.30	71.80	50.30	70.70	70.70	50.30	71.10	64.10	33.50
13:10	6.593	49.60	71.90	49.60	70.80	70.60	49.60	71.10	62.50	33.90
13:11	6.594	50.10	71.80	50.10	70.30	70.80	50.10	71.90	61.60	33.30
13:12	6.608	51.20	71.70	51.20	70.00	66.00	51.20	71.70	61.70	33.20
13:13	6.598	50.90	71.40	50.90	69.20	70.40	50.90	71.80	61.30	33.20
13:14	6.843	50.50	71.30	50.50	69.10	70.10	50.50	71.90	62.10	33.20
13:15	6.782	50.20	71.20	50.20	68.70	69.80	50.20	71.80	62.40	33.20
13:16	6.649	49.90	71.20	49.90	68.60	69.70	49.90	71.20	60.10	33.60
13:17	6.668	49.70	71.20	49.70	68.60	69.50	49.70	71.20	57.00	33.40
13:18	6.811	49.60	71.20	49.60	68.70	69.20	49.60	71.20	55.70	33.60
13:19	6.643	49.40	71.30	49.40	68.70	69.10	49.40	71.30	54.20	33.10
13:20	6.139	49.20	71.20	49.20	68.40	69.00	49.20	71.20	52.70	32.60
13:21	6.262	49.20	71.00	49.20	68.50	68.90	49.20	71.00	52.60	32.80
13:22	6.627	49.90	70.90	49.40	68.50	69.00	49.40	71.20	57.10	33.10
13:23	6.843	49.90	70.60	49.80	68.50	68.90	49.80	71.00	60.10	33.50

ตารางที่ ๑.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร่วมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร่วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
13:24	6.590	49.80	70.40	50.50	68.60	68.80	50.50	70.00	62.00	33.60
13:25	6.598	49.70	70.30	50.90	68.60	68.70	50.90	69.80	61.80	33.60
13:26	6.603	49.40	70.00	49.60	68.60	68.80	49.60	69.80	63.00	33.70
13:27	6.323	49.50	70.00	50.10	68.50	68.70	50.10	69.90	63.50	33.70
13:28	6.370	49.80	69.80	50.00	68.50	68.60	50.00	69.90	62.80	33.30
13:29	6.551	49.70	69.80	50.10	68.40	68.50	50.10	68.80	62.80	33.70
13:30	6.492	50.30	69.90	50.30	68.60	68.60	50.30	68.70	63.80	33.80
13:31	6.525	49.60	69.90	49.60	68.60	68.50	49.60	68.60	65.10	33.70
13:32	6.475	50.10	70.10	50.10	68.60	68.60	50.10	68.50	64.80	33.60
13:33	6.484	49.60	70.10	49.60	68.60	68.60	49.60	68.60	63.50	33.70
13:34	6.456	50.10	70.20	50.10	68.30	68.70	50.10	68.50	58.30	33.40
13:35	6.339	50.00	70.20	50.00	68.20	68.70	50.00	67.90	56.60	33.40
13:36	6.462	50.10	70.00	50.10	68.20	68.60	50.10	67.80	58.00	33.70
13:37	6.356	50.30	69.80	50.30	68.10	68.60	50.30	68.00	57.40	33.40
13:38	6.366	49.60	69.60	49.60	68.00	68.40	49.60	67.90	56.00	33.20
13:39	6.557	50.10	69.50	50.10	67.80	68.30	50.10	68.00	57.00	32.80
13:40	6.449	49.60	69.40	49.60	67.60	68.10	49.60	67.90	59.20	33.00
13:41	6.513	50.10	69.00	50.10	67.20	67.80	50.10	68.60	59.50	33.50
13:42	6.554	50.00	68.60	50.00	66.90	65.20	50.00	69.70	61.10	33.20
13:43	6.470	50.10	68.00	50.10	66.30	67.40	50.10	69.10	62.30	33.60
13:44	6.570	50.30	68.00	50.30	65.80	66.80	50.30	68.40	61.90	33.30
13:45	6.565	49.60	67.80	49.60	65.50	66.40	49.60	67.90	61.60	33.30
13:46	6.536	50.10	67.80	50.10	65.20	66.10	50.10	67.90	60.90	33.20
13:47	6.559	50.00	67.90	50.00	65.10	66.00	50.00	67.20	60.80	33.20
13:48	6.515	50.10	68.10	50.10	65.40	65.70	50.10	67.40	61.90	33.60
13:49	6.341	50.30	68.10	50.30	65.50	65.70	50.30	66.90	60.90	34.00
13:50	6.331	50.10	68.40	50.10	65.70	65.60	50.10	64.80	62.40	33.90
13:51	6.373	50.00	68.70	50.00	66.10	66.00	50.00	64.50	62.80	33.90
13:52	6.416	49.90	69.00	50.10	66.50	66.60	50.10	64.30	61.00	33.30
13:53	6.290	49.90	69.20	50.30	66.90	66.90	50.30	64.10	60.10	33.90
13:54	6.371	49.80	69.10	51.90	66.90	67.10	51.90	64.30	56.50	33.90
13:55	6.286	49.70	69.10	51.60	66.90	67.40	51.60	64.90	55.00	33.80
13:56	6.370	49.40	69.20	51.20	67.50	67.60	51.20	65.30	57.30	33.70
13:57	6.253	49.50	69.20	50.80	67.70	67.70	50.80	65.30	59.20	33.20
13:58	6.291	49.80	69.10	50.30	67.60	67.80	50.30	65.60	61.40	33.40
13:59	6.231	49.70	68.90	50.00	67.60	67.80	50.00	66.00	60.40	33.60
14:00	6.115	49.60	68.90	49.60	67.50	67.80	49.60	66.10	60.90	33.70
14:01	6.207	49.40	68.90	49.40	67.40	67.90	49.40	66.40	60.80	33.90
14:02	6.203	49.00	69.00	49.00	67.00	64.60	49.00	64.60	61.90	33.90
14:03	6.198	50.30	69.00	50.30	67.50	68.10	50.30	68.10	62.80	33.80
14:04	6.379	50.10	69.10	50.10	67.20	67.50	50.10	67.50	63.10	33.80
14:05	6.434	50.00	69.10	50.00	67.10	67.70	50.00	67.70	63.80	34.20
14:06	6.156	50.10	69.00	50.10	66.60	67.50	50.10	67.50	62.90	34.50
14:07	6.223	49.90	69.10	50.30	66.40	67.50	50.30	64.60	62.80	34.50
14:08	6.177	49.90	69.20	50.10	66.40	67.00	50.10	63.70	62.00	34.30
14:09	6.227	49.80	69.40	50.30	66.60	66.90	50.30	63.40	62.00	34.40
14:10	6.365	49.70	69.40	50.10	66.80	67.00	50.10	63.20	61.80	34.30

ตารางที่ ๑.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร่วมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร่วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:11	6.336	49.40	69.50	50.00	66.90	67.20	50.00	68.10	62.80	34.10
14:12	6.410	49.50	69.70	50.10	67.20	67.40	50.10	68.10	62.40	33.70
14:13	6.460	49.80	69.60	50.30	67.10	67.40	50.30	68.10	62.40	33.80
14:14	6.097	49.70	69.60	50.10	67.40	67.50	50.10	68.00	62.30	33.90
14:15	6.246	50.30	69.70	50.30	67.60	67.70	50.30	68.00	61.70	33.70
14:16	6.210	50.00	69.70	50.00	67.60	67.90	50.00	67.90	60.00	33.60
14:17	5.983	49.60	69.80	49.60	67.80	68.00	49.60	67.80	60.90	33.60
14:18	6.020	49.40	69.80	49.40	67.70	68.10	49.40	65.30	61.40	33.60
14:19	5.898	49.00	69.70	49.00	67.80	68.10	49.00	65.40	61.10	34.10
14:20	5.865	50.30	69.70	50.30	67.80	68.10	50.30	66.70	62.60	33.70
14:21	5.898	50.10	69.70	50.10	67.70	68.10	50.10	66.60	63.20	33.90
14:22	6.017	49.90	69.50	50.00	67.70	68.00	50.00	66.60	62.40	34.40
14:23	6.087	49.90	69.50	50.10	67.60	68.00	50.10	66.30	60.30	33.80
14:24	6.163	49.80	69.50	50.30	67.60	67.90	50.30	65.90	58.90	33.70
14:25	6.141	49.70	69.40	50.10	67.60	67.80	50.10	65.80	60.60	33.70
14:26	6.067	49.40	69.20	50.00	67.40	67.70	50.00	66.10	60.10	33.60
14:27	5.745	49.50	69.20	50.10	67.40	67.70	50.10	66.40	61.00	33.40
14:28	5.725	49.80	69.20	50.30	67.10	67.70	50.30	66.60	60.20	33.90
14:29	5.838	49.70	69.10	50.30	67.10	67.60	50.30	67.10	60.10	33.70
14:30	5.816	50.00	69.10	50.00	67.00	66.70	50.00	67.50	60.40	33.80
14:31	5.871	49.60	68.90	49.60	66.40	67.80	49.60	67.40	60.80	33.70
14:32	5.749	49.40	68.70	49.40	66.20	67.80	49.40	67.70	60.90	33.60
14:33	5.600	49.00	68.60	49.00	66.00	67.10	49.00	67.40	60.50	33.70
14:34	5.827	50.30	68.50	50.30	65.90	66.70	50.30	66.90	60.00	33.60
14:35	5.827	50.10	68.40	50.10	65.50	66.60	50.10	66.60	56.40	33.60
14:36	5.789	50.30	68.40	50.30	65.30	66.60	50.30	66.40	58.10	33.70
14:37	5.757	49.90	68.40	50.00	65.40	66.30	50.00	65.90	59.10	33.70
14:38	5.809	49.90	68.30	49.60	65.60	65.90	49.60	65.00	59.50	33.80
14:39	5.652	49.80	68.40	49.40	65.80	65.80	49.40	64.40	59.60	34.20
14:40	5.777	49.70	68.40	49.00	66.00	66.00	49.00	68.30	59.50	33.80
14:41	5.726	49.40	68.30	50.30	66.10	66.30	50.30	68.30	59.10	33.40
14:42	5.672	49.50	68.30	50.50	66.40	66.30	50.50	68.30	58.80	33.60
14:43	5.624	49.80	68.30	50.00	66.60	66.50	50.00	68.30	58.80	33.70
14:44	5.603	49.70	68.30	49.50	66.70	66.70	49.50	68.20	59.70	33.40
14:45	5.541	49.20	68.30	49.20	66.90	66.70	49.20	68.00	60.90	33.70
14:46	5.510	49.00	68.20	49.00	66.90	66.70	49.00	68.10	60.90	33.90
14:47	5.557	49.00	68.00	49.00	66.80	66.90	49.00	68.00	60.00	33.70
14:48	5.492	50.30	68.10	50.30	66.90	66.80	50.30	68.00	60.10	33.60
14:49	5.476	50.50	68.00	50.50	66.90	66.80	50.50	68.10	60.10	33.90
14:50	5.409	50.00	68.00	50.00	66.90	66.90	50.00	68.00	61.20	33.70
14:51	5.455	49.50	68.10	49.50	66.80	66.80	49.50	67.80	60.30	33.50
14:52	5.480	49.20	68.00	49.20	66.70	66.70	49.20	67.80	59.50	33.40
14:53	5.414	49.00	67.80	49.00	66.40	66.70	49.00	67.80	59.20	33.40
14:54	5.430	50.90	67.80	50.90	66.40	66.60	50.90	68.00	59.60	33.80
14:55	5.419	49.90	67.80	49.00	66.40	66.60	49.00	68.00	58.20	33.60
14:56	5.339	49.90	67.60	50.30	66.10	66.40	50.30	68.10	58.80	33.40
14:57	5.392	49.80	67.50	50.50	66.00	66.30	50.50	68.00	59.30	33.70

ตารางที่ ๑.1 การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr (ต่อ)

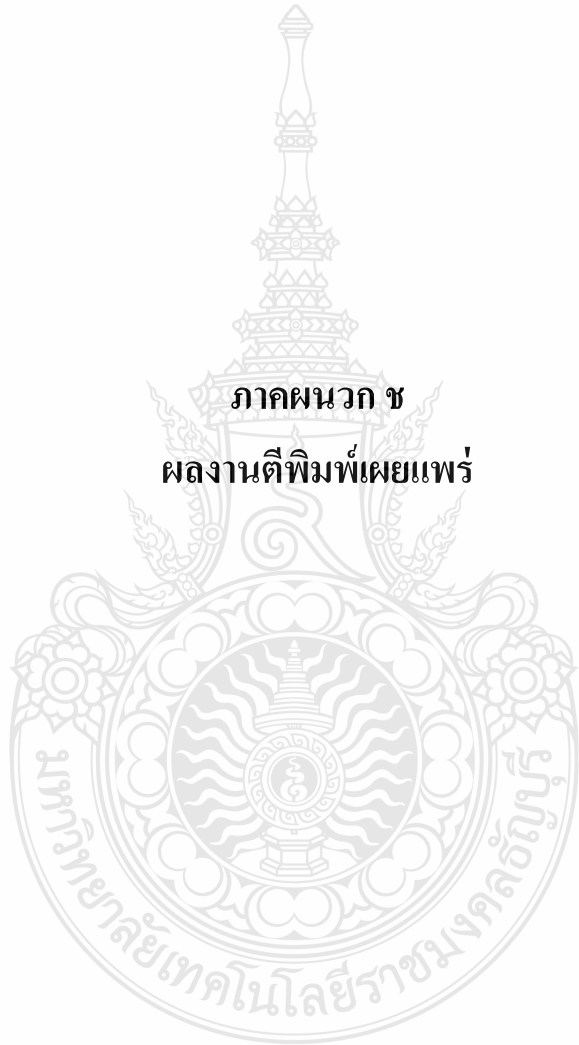
เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อรวมหน้าร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อรวมหน้า เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
14:58	5.334	49.70	67.50	50.00	66.00	66.30	50.00	65.50	59.90	34.20
14:59	5.360	49.40	67.50	49.50	66.10	66.30	49.50	66.00	58.20	34.00
15:00	5.253	49.50	67.50	49.20	66.10	66.30	49.20	66.00	59.10	33.90
15:01	5.256	49.80	67.40	49.00	65.90	66.20	49.00	66.60	57.70	33.90
15:02	5.300	49.70	67.30	50.30	65.90	66.40	50.30	66.70	57.20	33.70
15:03	5.260	50.10	67.20	50.10	65.70	66.20	50.10	66.70	57.70	33.90
15:04	5.206	50.00	67.20	50.00	65.40	66.20	50.00	67.20	57.50	33.70
15:05	5.258	50.10	67.00	50.10	65.20	65.70	50.10	67.00	58.20	33.70
15:06	5.220	50.30	66.90	50.30	65.10	65.60	50.30	66.60	58.80	33.70
15:07	5.136	50.30	67.00	50.30	65.10	65.50	50.30	66.20	58.90	33.70
15:08	5.138	50.00	67.10	50.00	64.90	65.40	50.00	66.00	58.20	33.50
15:09	5.144	49.60	67.10	49.60	64.90	65.30	49.60	66.00	57.90	33.60
15:10	5.127	49.90	67.20	50.10	64.90	65.20	50.10	65.90	58.30	33.70
15:11	5.193	49.90	67.10	49.50	64.70	65.50	49.50	65.10	58.40	33.70
15:12	5.191	49.80	67.20	49.20	65.20	65.10	49.20	64.60	58.40	34.10
15:13	5.134	49.70	67.40	50.30	65.30	65.20	50.30	64.00	58.40	33.70
15:14	5.162	49.40	67.40	50.10	65.50	65.30	50.10	63.80	58.80	34.10
15:15	5.088	49.50	67.40	50.00	65.40	65.50	50.00	63.50	57.40	33.40
15:16	5.032	49.80	67.40	50.10	65.50	65.50	50.10	63.50	57.90	33.60
15:17	5.106	49.70	67.40	50.30	65.70	65.60	50.30	63.50	57.50	33.40
15:18	5.093	50.30	67.30	50.30	65.60	65.70	50.30	63.50	57.80	33.60
15:19	5.062	50.00	67.10	50.00	65.50	65.70	50.00	64.00	57.40	33.70
15:20	4.951	49.60	67.10	49.60	65.60	65.70	49.60	64.30	57.10	33.40
15:21	5.029	50.30	66.90	50.30	65.50	65.60	50.30	64.20	57.00	33.40
15:22	4.891	50.30	66.70	50.30	65.40	65.60	50.30	64.30	56.60	33.70
15:23	4.742	50.10	66.70	50.10	65.40	65.60	50.10	64.30	57.00	33.80
15:24	4.842	50.00	66.40	50.00	65.30	65.40	50.00	64.40	55.10	33.60
15:25	4.800	50.10	66.40	50.10	65.20	65.40	50.10	64.40	55.20	33.60
15:26	4.778	50.30	66.30	50.30	65.10	65.20	50.30	64.40	55.00	33.40
15:27	4.856	50.30	66.10	50.30	64.90	65.10	50.30	64.40	54.80	33.70
15:28	4.895	49.90	65.90	50.00	64.70	64.90	50.00	64.40	54.50	33.50
15:29	4.879	49.90	65.80	49.60	64.60	64.80	49.60	64.60	55.40	33.70
15:30	4.924	49.80	65.60	50.50	64.50	64.60	50.50	64.50	55.80	33.90
15:31	4.064	49.70	65.50	50.30	64.20	64.40	50.30	64.40	56.00	33.70
15:32	4.064	49.40	65.30	50.00	64.00	64.30	50.00	64.50	55.50	33.70
15:33	4.017	49.50	65.10	50.10	63.80	64.10	50.10	64.40	55.60	33.50
15:34	3.942	49.80	64.80	50.30	63.70	63.90	50.30	64.50	55.70	33.40
15:35	3.879	49.70	64.60	50.30	63.40	63.70	50.30	64.40	55.90	33.70
15:36	3.761	50.00	64.20	50.10	63.20	63.40	50.10	64.30	54.70	33.60
15:37	3.767	50.30	64.10	50.60	63.10	63.20	50.60	64.70	55.20	33.20
15:38	3.822	50.30	63.80	50.40	62.80	63.00	50.40	66.40	55.10	33.60
15:39	3.855	50.00	63.50	51.20	62.50	62.90	51.20	67.50	54.90	33.20
15:40	3.879	50.10	63.40	50.90	62.30	62.70	50.90	65.40	54.30	33.20
15:41	3.790	50.30	63.30	50.30	62.00	62.40	50.30	64.90	54.40	33.40
15:42	3.575	50.30	63.40	50.10	61.90	62.30	50.10	64.70	54.80	33.60
15:43	3.588	50.00	63.50	50.80	62.00	62.20	50.80	63.50	54.10	33.40
15:44	3.599	50.10	63.50	50.20	62.00	62.10	50.20	63.40	54.20	33.20

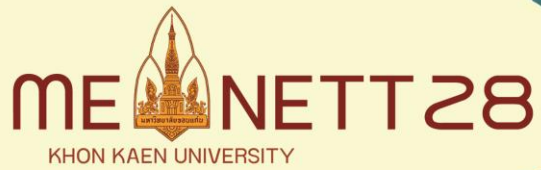
ตารางที่ ๓.๑ การบันทึกผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราการไหล 850 l/hr (ต่อ)

เวลา	ความเข้ม แสงอาทิตย์ (mV)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.1 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า เย็น Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อหน้า ร้อน Sec.2 (°C)	อุณหภูมิ ท่อร่วมน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ ท่อร่วมน้ำ เย็น (°C)	อุณหภูมิ ถังน้ำร้อน (°C)	อุณหภูมิ พื้นผิว กระจก (°C)	อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อม (°C)
15:45	3.620	48.50	63.70	50.90	62.30	62.00	50.90	63.70	54.40	33.50
15:46	3.587	49.90	63.70	50.60	62.30	62.40	50.60	63.40	54.60	33.30
15:47	3.644	49.90	63.70	49.10	62.60	62.10	49.10	62.40	53.70	33.40
15:48	3.637	49.80	63.70	50.60	62.60	62.30	50.60	62.10	54.30	33.60
15:49	3.520	49.70	63.70	50.00	62.60	62.40	50.00	61.80	53.80	33.20
15:50	3.461	49.40	63.50	50.40	62.80	62.40	50.40	61.70	53.30	33.40
15:51	3.506	49.50	63.40	52.70	62.90	62.40	52.70	61.70	52.90	33.40
15:52	3.432	49.80	63.30	51.00	62.80	62.40	51.00	61.50	51.80	33.20
15:53	3.496	49.70	63.20	52.50	62.70	62.40	52.50	61.80	52.50	33.20
15:54	3.537	50.30	63.10	52.00	62.70	62.40	52.00	62.00	53.20	33.10
15:55	3.498	50.00	62.90	51.50	62.60	62.30	51.50	61.90	53.90	33.10
15:56	3.467	49.60	62.80	51.10	62.50	62.20	51.10	61.80	53.80	33.50
15:57	3.375	50.50	62.60	50.90	62.40	62.10	50.90	61.80	53.80	33.70
15:58	3.303	50.30	62.40	50.50	62.30	62.10	50.50	61.80	53.90	33.50
15:59	3.243	50.10	62.40	50.20	62.10	61.90	50.20	61.80	53.80	33.60
16:00	3.243	50.30	62.10	49.90	61.90	61.80	49.90	61.80	53.20	33.60
ค่าเฉลี่ย	5.275	49.589	64.046	49.689	62.532	62.681	49.723	62.469	57.513	32.838

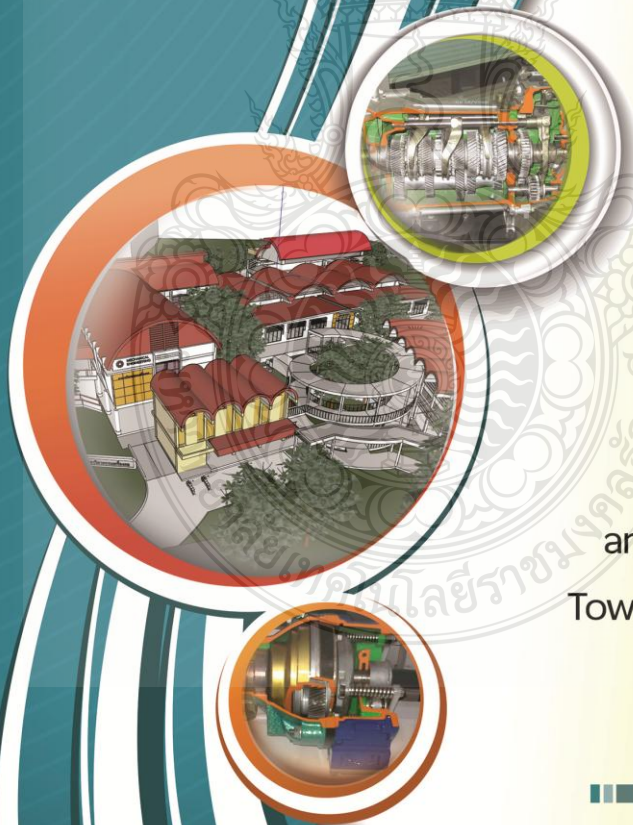


ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





The 28th Conference of
Mechanical Engineering Network of Thailand
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28
วันที่ 15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น



"Driving ME
Research
Education
and Innovation
Towards Creative
Economy"





ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า

อศกฤตา โลหพรหม, ณิชฐพงษ์ มณีทิพย์ และ บุณย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว

ได้เข้าร่วมการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28

เรื่อง การผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ระหว่างวันที่ 15-17 ตุลาคม 2557

(รองศาสตราจารย์ชพด สันติวารากร)
ประธานจัดงานประชุมฯ

(รองศาสตราจารย์กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28

ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28 นี้ ได้เปิดรับบทความวิจัยในสาขาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาอื่นที่เกี่ยวข้องจำนวนรวมทั้งสิ้น 8 สาขา ซึ่งมีรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความในแต่ละสาขาดังต่อไปนี้

บทความสาขา Alternative Energy and Combustion (AEC)

ประธานสาขา: รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผศ.ดร.ชเนศ อรุณศรีโสภณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ผศ.ดร.สถาพร เชื้อเพ็ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. ดร.ชรินทร์ ตรงจิตภักดี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4. รศ.ดร.อนุสรณ์ ชินสุวรรณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. ผศ.ดร.ชนกันันท์ สุขกำเนิด มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. อ.ดร.อักรพล จันทร์อ่อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
7. ศ.ดร.ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
8. รศ.ดร.เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
9. ศ.ดร.สำเร็จ จักรใจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
10. รศ.ดร. สมชาย จันทร์ชานา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
11. ผศ.ดร.พิสิฐ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
12. รศ.ดร.ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
13. ผศ.ดร.ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
14. ผศ.ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
15. ผศ.การุญ พังสุวรรณรักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
16. ดร.ชโลธร ธรรมแท้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
17. ผศ.ดร.วาทิต ภักดี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
18. รศ.ดร.ปฐมศก วิไลพร มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
19. ผศ.ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
20. อ.ดร.รุ่ง กิตติพิชัย มหาวิทยาลัยมหิดล
21. ผศ.ดร.ธิบดินทร์ แสงสว่าง มหาวิทยาลัยศิลปากร
22. ผศ.ดร.นิติพงษ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

23. รศ.กำพล ประทีปชัยบุรี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 24. รศ.ดร.อนิรุจน์ มัทธจักร มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 25. ผศ.ดร.ประชาสันติ ไตรยศุทธิ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 26. รศ.ดร.กุลเชษฐ์ เทียรทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ใทยบุรี
 27. ดร.ณัฐพล ลิม้ระจรัส สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครบมิ่ง
 28. รศ.ดร.จรวุฒิร เลฎิยสุข สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครบมิ่ง
 29. รศ.ดร.สุภชชาติ จงใหญ่ย์พัฒนะ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครบมิ่ง
- บทความสาขา Aerospace and Marine Engineering (AME)**
- ประธานสาขา: นอ.รศ.ดร.สมชาย หาญกล้า โรงเรียนนายเรืออากาศ**
1. ผศ.ดร.สภาพร เวื้อเพ็ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 2. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 3. อ.ดร.กิตติ วิษณุพงษ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 4. ผศ.ดร.เบญจมาศ พนมรัตน์ภักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 5. ดร.กิตติขันธ์ เรืองจิรกิติ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 6. ดร.อรรณพ เรืองวิเศษ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 7. ดร.บุญชัย วิจจะตรากุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครบมิ่ง
 8. ผศ.ดร.วาโย ช้างเจริญ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร
 9. ดร.กัณฑ์ จันทเปรมจิตต์ มหาวิทยาลัยบูรพา
 10. ผศ.ดร.ชยุต นันทอุสิติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 11. ศ. นอ.ดร.สมชาย หาญกล้า โรงเรียนนายเรืออากาศ
 12. ผศ.นอ.ดร.พาทร์ณ สงวนไภย์ โรงเรียนนายเรืออากาศ
 13. น.ท.ดร.ณัฐพล นิยมไทย โรงเรียนนายเรืออากาศ

บทความสาขา Applied Mechanics, Material and Manufacturing (AMM)

ประธานสาขา: รศ.ดร.วรวุฒิ วิสุทม์เมธากุล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1. คุณฉิมา มกรัส NECTEC
2. ดร.องกรณ์ พิมพ์พิณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.จิรพงษ์ กสิวิทย์อำนวย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ผศ.ดร.วิระยุทธ ศรีระวานิช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. รศ.ดร.ประทีป อุษามบุรีสุภักษ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
6. ผศ.ดร.ศิริรัตน์ ทับสูงเนิน รัตนรินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
7. นายชัชพล ชังชู มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. อ.ดร.อรรถพร วิเศษสินธุ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
9. ผศ.ดร.อัญชลา ประมวลเจริญกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ
10. อ.ดร.ขวัญดี แสงประชาชนาวักษ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11. อ.ดร.ณัฐวิวัฒน์ พลดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12. อ.ดร.นำพล มหายุคพันธ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
13. นายสุจินต์ วันชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14. ผศ.ดร.เกียรติฟ้า จังใจจิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15. ผศ.ดร.จุฑาภรณ์ เบญจปิยะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
16. ผศ.ดร.วนภานันท์ สุก้าเห็ด มหาวิทยาลัยขอนแก่น
17. ผศ.ดร.วนา รามบุญรักิติ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
18. ผศ.ดร.ปิยะสกล ธีระวัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
19. ผศ.ดร.ปรีมพจน์ สุทัศน์โตกุล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
20. รศ.ดร.จำลอง ลิม้ตระกูล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครบมิ่ง
21. รศ.ดร.สุจิตต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
22. รศ.ดร.สุสิทธิ์ นิยะติลย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
23. ผศ.ดร.สมชาย ชวานฤตุม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
24. อ.ดร.เขมจิตร เสนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
25. อ.ดร.จรรุพล สุริยวานกุล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
26. อ.ดร.อัญชติ แสงชัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
27. รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
28. อ.ดร.เวชญนันท์ รางศรี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
29. ดร.วิฑูรย์ อภัยแสงสุข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
30. ผศ.ดร.สนธิพัทธ์ เอมมณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
31. รศ.ดร.พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
32. รศ.ดร.ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
33. รศ.ดร.ภูริติธ ธาระกิตเกษม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
34. รศ.ดร.วราวุฒิ เปรมภานันท์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

35. รศ.ดร. วีระศักดิ์ สุระเจียงชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
36. ดร.กนิษฐา ทวีรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
37. ดร.พรพร เจริญดีสว่างค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
38. ศศ.ดร.มานิช สรรพกิจทิพากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
39. ศศ.ดร.วิฑูรดา ขุนะนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนคร
40. ศศ.ดร.ณัฐวิภา วิวัฒน์สกุลพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
41. ศศ.ดร.รัชชช iewinghong	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
42. ศศ.ดร.พงษ์ นีเวศน์รังสรรค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
43. ศศ.พิชัย จันทน์มี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
44. ดร.เทอดเกียรติ ลิ้มมีปี่ปากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
45. ดร.สโรชา เจริญชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
46. ศศ.ดร.วิรัชย์ ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
47. ดร.ประกอบ ขาคึกกัก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
48. ศศ.ดร.ประเสริฐ ใจรุ่งสว่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
49. ศศ.ดร.ประเสริฐ ใจรุ่งสว่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
50. ดร.สุภกัญ ฐุพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
51. ศศ.ดร.อุทัย มีคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
52. อ.ดร.วิฑูรดา ดลวิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
53. ศศ.ดร.วีระ เขียวศิริพงษ์กุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
54. ศศ.ดร.สัมพันธ์ นานา เอกอำพัน	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
55. รศ.ดร.อุบลโชติ ธงศ์เกษ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
56. ดร.สุเมธ หนะวัฒนะชัย	มหาวิทยาลัยวงแหวน
57. ดร.พุทธา ชินแก้ว	มหาวิทยาลัยบูรพา
58. ดร.จิตติ พัทธมณีษ	มหาวิทยาลัยบูรพา
59. ศศ.ดร.กิตติพงษ์ บุญไฉ่	มหาวิทยาลัยบูรพา
60. ศศ.ดร.วิฑูรดา วัฒนแก้ว	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
61. ศศ.ดร.วราดา ทออินมย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
62. ศศ.น.ดร.ทพทล บุญเกิน	โรงเรียนนายเรืออากาศ
63. รศ. น.อ.ศยาม คุ้มเหลือง	โรงเรียนนายเรืออากาศ
64. ศศ.ดร.เสกสรร ไชยจิตต์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	10
บทความสาขา Biomechanics (BME)	
ประธานสาขา: ศศ.ดร.จักรกฤษณ์ สุทธาภรณ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
1. ดร.ปรภาน วงศ์ศรีเวช	NANOTEC
2. ดร.ณอม โสมาศ	NECTEC
3. ศศ.ดร.ปริมพันธ์ สุจันทร์เกิดกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. ศศ.ดร.สิริวิชัย เศรษฐกิจราษฎร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. รศ.ดร.จำลอง สัมตระกูล	มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
6. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
7. รศ.ดร.สุสิทธิ์ ปิยะศิลป์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
8. อ.ดร.เชมจิตร เสนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. ดร.สมชาย พิเศษ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
10. อ.ดร.วชิรณันต์ ราชศรี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11. ดร.ธีรเดช จันทน์โสภิตพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
12. รศ.ดร.สุชาติ เขียวเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
13. ดร.พิชิตดา เอื้อใจใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
14. อ.ดร.กริช เขียวจิโรจน์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
15. ดร.ณัฐวัฒน์ ลำพาทพงศ์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
16. ดร.วิฑูรดา ใจพิสุทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนครเหนือ
17. ดร.สุวิมล สลิสงสม	วิทยาลัยเชียงราย
บทความสาขา Computation and Simulation Technique (CST)	
ประธานสาขา: ศ.ดร.ผ่องศักดิ์ รัตนเคโต	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
1. ดร.ศุภกิจ วรติสมัชชัย	MTEC
2. ศ.ดร.สมศักดิ์ ไชยภักดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ศศ.ดร.วีระ เจริญดีสว่างค์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4. ศศ.ดร.สังคม ศรีสมพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5. ดร.วราภรณ์ จันทน์โสภิต	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. ดร.สมเจตน์ พัทธมณีษ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. อ.ดร.ณัฐวิภา วิวัฒน์สกุลพงษ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
8. อ.ดร.นำพล มายศนันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
	11

9. อ.ดร.วีรวัฒน์ เหล่ามากุล
10. ผศ.ดร.เกียรติทิพย์ ตั้งใจจิต
11. ผศ.ดร.อุทราภรณ์ เบญจปิยะพร
12. ผศ.ดร.ชนกนันท์ สุภกานันต์
13. ผศ.ดร.สิริวิบูลย์ เตชะเจษฎารังษี
14. ผศ.ดร.สุภัทรา ปลื้มภมม
15. รศ.ดร.จำลอง ลิ่มตระกูล
16. รศ.ดร.दनยงศ์ เขมสุโขดัดักดิ์
17. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์
18. รศ.ดร.สุรสิทธิ์ ปิยะศิลป์
19. รศ.ดร.อนุสรณ์ สินสุวรรณ
20. อ.ดร.จารุพล สุรวานกุล
21. ผศ.ดร.ขวัญ จันทะเสนาหงษ์
22. รศ.ดร.สุรเชษฐ ขู่อธิมา
23. รศ.ดร.สุรศักดิ์ สุวานิชชัย
24. รศ.ดร.สายประสิทธิ์ เกิดนิยม
25. ผศ.ดร.ประจักษ์ สัตย์เรืองศักดิ์
26. ผศ.ดร.สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์
27. รศ.ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด
28. อ.ดร.พลเทพ เวงสูงเนิน
29. ผศ.ดร.บัณฑิต กฤตาคม
30. ดร.ชโลธร ธรรมแท้
31. ดร.เอกภรณ์ สุขจิต
32. รศ.ดร.ภักดี สุลักษณ์
33. อ.ดร.วิวัฒน์ ดลวิชัย
34. ศ.ดร.สมชาติ จันทร์ศิริวรรณ
35. ดร.วัชรินทร์ คงปั้ง
36. อ.ดร.สุชัย พาณิช
37. รศ.ดร.อนันต์สุด มัทจักรักษ์
38. พ.ต.หญิง.ดร.สุวิมล ศรีบังวงษ์ ณ อุทยาน

12

39. น.ดร.ชำนาญ เพชรโตดี
40. ผศ. น.ท.ดร.สุธรรม พันธ์คุณ
41. ศ. น.อ.ดร.สมชาย พายุกล้า
42. รศ.ดร.จารุวัชร เจริญสุข
43. ผศ.ดร.เอกสาร โชติจิตต์
44. ผศ.ดร.มนตรีศักดิ์ พิมพ์สาร

- โรงเรียนนายเรืออากาศ
โรงเรียนนายเรืออากาศ
โรงเรียนนายเรืออากาศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความสาขา Dynamic system, Robotic and Control (DRC)

ประธานสาขา: ศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผศ.ดร.นงนิตย์ อชาวาคม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.พงศ์แสน พิทักษ์วัชร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ.ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. รศ.ดร.รัชทิน จันทน์เจริญ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ดร.กรรณเมธี รูปะเสรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. ดร.นันทพล มหามงคลนันท์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
7. น.บ.สุจิตต์ วิรัชชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
8. ผศ.ดร.เกียรติทิพย์ ตั้งใจจิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. ผศ.ดร.อุทราภรณ์ เบญจปิยะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
10. ผศ.ดร.ธนา ราชภูริภักดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11. ผศ.ดร.ปิยะรส จิระวัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12. ผศ.ดร.สิริวิบูลย์ เตชะเจษฎารังษี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
13. ผศ.ดร.สุภัทรา ปลื้มภมม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
15. อ.ดร.ภักดี วิเศษสุขพงษ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
16. ดร.ภิญโญ พวงมะลิ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
17. ผศ.ดร.มานะ แต่ดำน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
18. รศ.ดร.ระดม พงษ์วิจิตรวม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
19. อ.ขจรเดช พิมพ์พิโล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
20. ผศ.ดร.เบญจมาศ พนมรัตน์รักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
21. รศ.ดร.สุจิตชัย อิศริชัยโชติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

13

22. รศ.ดร.สุวัฒน์ กุลอมริสา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 23. ดร.ปรัญญา เปรมปราณีวัชรดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 24. ดร.มนต์ศักดิ์ จานทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 25. ดร.ธนาภัฏ บรมจินดา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 26. ผศ.ดร.ธีระ เขียวศิริพงษ์กุล มหาวิทยาลัยแม่โจ้
 27. ดร.ปริญญ์วัน ส่านพวงศักดิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 28. ผศ.ดร.อนันต์ชัย อุ่นทวิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 29. ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ ผกามาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 30. อ.ศิริลักษณ์ วงษ์เกษม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 31. ผศ.ดร.อิทธิโชค จักรโพธิ์วงศ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 32. รศ.ดร.พีรญา งามสม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 33. อ.เทพพงศ์ ศรีตระกูล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 34. รศ.ดร.พศกฤษดิ์ สวัสดิ์ไฉ่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 35. น.ท.ดร.รวุฒิ ประทุมชาติ โรงเรียนนายเรืออากาศ
 36. ผศ. น.อ.ดร.ประสพพร วงษ์คำข้าง โรงเรียนนายเรืออากาศ
 37. ศ. น.อ.ดร.สมฤกษ์ ศรีเกษม โรงเรียนนายเรืออากาศ
 38. ศ.ดร.ธนชัยย์ สัมภักดิ์ปรีชา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 39. ผศ.ดร.ณัฐวิไล ไคโป้ว สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 40. ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมพ์ดาว สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- บทความสาขา Energy Technology and Management (ETM)**
ประธานสาขา: ศ.ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
1. นายพงศธร พรหมบุตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 2. ประกอบ สุรวัดนาจวรรณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 3. ดร.ณัฐวิวัฒน์ พลดี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 4. ดร.อัครพล จันทร์อ่อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 5. ผศ.ดร.จุฬารัตน์ บุญจปียะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 6. ผศ.ดร.จตุรชัย บุญจปียะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 7. ผศ.ดร.ชนาภรณ์ สุภักดิ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 8. รศ.ดร.สมนึก ธีระกุลพิฑูทธิ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

9. รศ.ดร.สุวิทย์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
10. อ.อัครชัย บุญอุปปะพวง มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11. ดร.สมชาย พัฒนา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
12. ผศ.ดร.ภอศชญัญ นามสงวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
13. ผศ.วงศก วงศ์อภัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
14. ดร.กนกนันทา สุนทรประเสริฐ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
15. ดร.จันทนา กุญชรรัตน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
16. ผศ.ดร.บุศยามา กุบษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
17. รศ.ดร.สุวิทย์ เขียว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
18. รศ.วราวุฒิ เขียว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
19. ศ.ดร.สำเริง อักโข มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
20. อ.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
21. นายพนมคม สุนทรวิชิตเนจแสง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
22. ผศ.ดร.นภาพ คุ้มไทรพันธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
23. ผศ.ดร.เบญจมาภรณ์ ประสาทแก้ว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
24. ผศ.ดร.วิรัช ไรย์จันทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
25. ผศ.วิโรจน์ ฤทธิกิจอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
26. ดร.ไศกิตา ลังสุหนาท มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
27. ผศ.ดร.อัครเดช ชูภักติยา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
28. รศ.ดร.ไชยณรงค์ จักรรานนท์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
29. อ.ดร.จิระประภา กิมสุนทร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
30. ดร.นันทา ราชประเสริฐ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
31. ผศ.ดร.สมชาย เข็มจิตต์สวัสดิ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
32. ผศ.ดร.สมชาย มณีวรรณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
33. รศ.सान เสงงาม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
34. ผศ.ดร.พิชัย อัญจนกุล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
35. อ.ดร.สมมาส แก้วสวน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
36. อ.ดร.จาริณี งามเสถียร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
37. ผศ.ดร.สนธม เขตเจนการ มหาวิทยาลัยศิลปากร
38. อ.วิชาติ ชุมตตานนท์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

39. ดร.วีระนุช อินทะกันท์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
40. ผศ.ดร.จันทกานต์ ทวีกุล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
41. ศ.น.อ.ดร.พิชายุ พิชัยมงคล โรงเรียนนายเรืออากาศ
42. ทศ.น.อ.ดร.ตระการ กำภักสิกรรม โรงเรียนนายเรืออากาศ
43. ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความสาขา Thermal System and Fluid Mechanics (TSF)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- ประธานสาขา: ผ.ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ**
1. รศ.ดร.ประกอบ สุวัฒน์เจริญณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 2. ผศ.ดร.ดลจิต ใจสุทธี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 3. ผศ.ดร.สังคม ศิวสมพร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 4. ดร.อัครพล จันทร์อ่อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 5. ผศ.ดร.จตุภรณ์ เมญือมียะพร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 6. ผศ.ดร.ชนกันต์ สุทธิกำเนิด มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 7. ผศ.ดร.ปิยะสิทธิ์ จิระวัฒนา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 8. ผศ.ดร.ปริญพันธ์ สุจันต์ดีกุล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 9. ผศ.ดร.สิริวิทย์ เตชะเดชะภูวรังษี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 10. ผศ.ดร.สุภัทรา บัณฑิตมงคล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 11. รศ.ดร.วัชรพล สันติวงกร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 12. รศ.ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 13. รศ.ดร.อนุสรณ์ ชินสุวรรณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 14. อ.ดร.กิตติ วิเศษฐพงษ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 15. อ.ดร.จารุพล สุริยวนกุล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 16. ศ.ดร.ทรงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 17. ผศ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 18. ดร.เพ็ญยุภารัตน์ จินดา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
 19. ผศ.ดร.สมศักดิ์ เพ็ชรกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหาสารคาม
 20. รศ.ดร.สมบัติชัยสมสะอาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
 21. รศ.ดร.วสันต์ เขียวสุวรรณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 22. ผศ.ดร.วิรัชย์ โยธินรินทร์

23. ผศ.ดร.วาทิต ภัคดี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
24. รศ.ดร.ไชยณรงค์ จักรวราพันธ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
25. รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี มหาวิทยาลัยบูรพา
26. ผศ.อุทัย ประสพพิชชะเน มหาวิทยาลัยบูรพา
27. ดร.วราชนันท์ ภิรมย์ภักดี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
28. ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ มหาวิทยาลัยรังสิต
29. ดร.อาภากร วัชณะ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
30. นายภาคภูมิ ศรีมีมาน มหาวิทยาลัยศิลปากร
31. ดร.กษมา ศิริสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
32. ผศ.ดร.นิเวศน์ โสภณพงศ์พิพัฒน์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
33. ผศ.ดร.ชยุต นันทกุลสิทธิ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
34. รศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพ็ชรทอง มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
35. พ.ต.หญิง.ดร.สุวิมล เต็มวงค์ ณ อุบลราชธานี โรงเรียนนายพระจุลจอมเกล้าวิทยาลัยเชียงราย
36. ดร.สุวิมล ติลลียงสม
37. รศ.ดร.พงษ์เชิด พรหมวงค์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ETM-135.....	265
การติดตั้งความถี่ของระบบรับอากาศแบบแยกส่วนด้วยท่อรีโมทไฟฟ้ของเครื่องปรับอากาศ รณพช สุทธนะ	
ETM-137.....	266
การออกแบบสร้างระบบลิฟท์บ้านจากไอเสียเครื่องจักรและไฟฟ้าเพื่อใช้ในการกักตุน ฉัตรชัย ศักดิ์วิภากร, วิศพร ศักดิ์วิภากร และ วรกร ศรีสุข	
ETM-140.....	267
การศึกษาตัวประกอบการประเมินสำหรับอาคารประเภทสถานศึกษา อรุณรัตน์ แก้วประจักษ์, กฤษณ์ สันทรชุก และ นันทนา รัชสีโยภาส	
ETM-146.....	269
การจำลองแบบรวมศูนย์ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้สารกึ่งนำไอโซโทปแทน ภุชกรวิทย์ พรหมภราณี, ธนภรณ์ สุทธวีระภักดิ์ และ ภานุวัชร์ รังโสภาพงษ์	
ETM-286.....	271
การศึกษาและทำการสำรวจเครื่องมือเครื่องใช้ของเครื่องกลั่นน้ำพลังทดแทนใช้ระบบนำพจนมนต์แผ่นใส มรรษาศา ธิษัทยา และ ธิษฏ์ ธิษฏ์บุญรัตน์	
ETM-267.....	272
การเปรียบเทียบผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานราชการ ด้วยวิธี Energy Rating Factor (ERF) และ วิธี Energy Utilization Index (EUI) กรณีศึกษาจังหวัดร้อยเอ็ด นัฐร์ สีเมธธา และ ศศ. ดร. อภิชัย นนังสีทองสงฆ์	
ETM-268.....	273
การศึกษาสมรรถนะของเครื่องดูดความชื้นที่ใช้สารดูดความชื้นชนิดของเหลวแบบเดิมที่ได้ พัฒนา สีเมธธา, รณ สุวรรณจันทร์, ภุชกราศ ธิษฏ์บุญรัตน์, วันเฉลิม สภาโกโปลา และ ทพนธ ติตจนนภา	
ETM-284.....	275
Eco Car Challenge using Small Electric Car (1st, Characteristics of Handmade Motor for adapting to Car) Shipong Sangsripan, Phaisam Sudwila, Naren Chaihanee, Phaisakon Phai-phong and Yusaku Yoshiida	

ETM-100.....	252
การเพิ่มสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์โดยการสะท้อนแสง วรัญญู บุญและโลกา, อภิรักษ์ ศักดิ์สิทธิ์ และ วัชรกร บุญพรทวีรักษ์	
ETM-105.....	254
การใช้คลื่นไมโครเวฟอบแห้งในภาวะสุญญากาศ กมลวี ศรีจันทร์, ธิษฏ์บุญรัตน์, อังทอง, ธิษฏ์บุญรัตน์, นิตยพงษ์ และ ทวีรัตน์ ศรีรัตนวาท	
ETM-107.....	256
การออกแบบถังเก็บน้ำฝนด้วยไมโครพิวกับสวิตช์ มงคลชัย คำปากดี, ธิษฏ์บุญ ภูมิจิตต์ และ ธิษฏ์บุญ วิเศษ	
ETM-110.....	257
การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยการเพิ่มและออกแบบท่อร้อย สายลึศ ธิษฏ์ และ ธิษฏ์พงษ์ ธีรศักดิ์	
ETM-115.....	258
การออกแบบและทดสอบเครื่องทำความเย็นประสิทธิภาพสูงที่ใช้ท่อท่อแลกเปลี่ยนเป็นความร้อนแบบตรง กมลนั สำนักรับระบบอบ-แห้งธรรมชาติทางภาคใต้ของ รัฐอินดี เอ็มมาเนชี่, นิตยภรณ์ สีเมธธา, ศักดิ์วิจิตรศักดิ์, วราวุฒิ สีเมธธา, ธิษฏ์บุญและศักดิ์	
ETM-123.....	269
การติดตั้งโซลาร์เซลล์ในโรงเรือนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ธิษฏ์บุญ วิเศษ, ธิษฏ์บุญ, ธิษฏ์บุญ และ ธิษฏ์บุญ ภูมิจิตต์	
ETM-125.....	261
การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ พชรศักดิ์ ขุฑดี, อากาศ เมธีมงคล, จักรวาล บุญจวน และ บุญกฤษ ภิระสากแก้ว	
ETM-130.....	263
พฤติกรรมเชิงความร้อนภายในของยานอู่รถโดยสารด้วยแผ่นกันเย็น 45° วางใจไว้กัน จิตรกร กนกนักร, เมฆา สุตจนนภา และ พชรพงษ์ พรหมภราณี	
ETM-134.....	264
การทดสอบสมรรถนะเตาเผาขยะแบบไอเสียกลับ รณพช สุทธนะ	

ETM-123

การผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ Hydrogen Gas Production Energized by Solar Energy

อศกฤตา โลหพรหม, ณัฐพงษ์ มณีทิพย์ และ บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว

ห้องปฏิบัติการการเผาไหม้และพลังงานแสงอาทิตย์ (CASE Lab.)
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
ติดต่อ: boonrit.p@en.mutt.ac.th โทรศัพท์: 02-5493547, โทรสาร: 02-5493432

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมกำลังทวีความรุนแรงอย่างต่อเนื่อง ทำให้หลายประเทศทั่วโลกต้องมีการกระตุ้นหรือส่งเสริมให้มีการวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานทดแทนมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการที่กำลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกี่ยวข้องกับความไม่สมดุลระหว่างการผลิตและความต้องการพลังงาน ซึ่งการเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของราคาพลังงานจึงกลายเป็นปัญหาที่ยากจะแก้ไข แนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้มากที่สุดก็คือการค้นคว้าหาแหล่งพลังงานที่จะมาทดแทนพลังงานจากการปิโตรเลียม และเพื่อเป็นการแก้ปัญหาหรือการพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน แหล่งพลังงานนั้นต้องเป็นพลังงานหมุนเวียนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเนื่องจากความจริงที่ว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลมีปริมาณที่จำกัดจึงสามารถทำนายได้ว่าพลังงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับการปิโตรเลียมจะเป็นพลังงานทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับอนาคต แก๊สไฮโดรเจนเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ดีที่สุดชนิดหนึ่ง ไฮโดรเจนบริสุทธิ์เป็นพลังงานสะอาดที่มีค่าความร้อนสูง ใช้งานได้ทั้งในระบบการเผาไหม้และเซลล์เชื้อเพลิงโดยไม่ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลายเซลล์ จากผลการศึกษาโดยใช้สแตนเลสเป็นขั้วอิเล็กโทรดพบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์ดีกว่าสารละลายอื่นที่ใช้ในการศึกษา อีกทั้งยังหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดและราคาถูก โดยสารละลายความเข้มข้น 17% (โดยมวล) เป็นความเข้มข้นที่ผลิตแก๊สได้ดีที่สุด ระยะห่างทำให้อัตราการเกิดปริมาณที่เหมาะสมที่สุดคือ 10 cm และจากการทดลองโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์กระแสตรงขนาดพื้นที่รับแสง 100 m² พบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับระบบได้มีค่าเท่ากับ 1.7 kW

คำหลัก: การผลิตแก๊สไฮโดรเจน, เซลล์แสงอาทิตย์, การแยกน้ำด้วยไฟฟ้า.

Abstract

Presently, increasingly tough pollutions coupled with fast-depleting natural resources have caused a stimulation of interest in finding alternative energy for serving the rapidly increasing demand. Mismatch between demand and supply of energy, fluctuating fuel prices and associated pollution problems become more difficult for resolving. For sustainable research and development, these reasons have pushed the

ETM-123

countries towards searching for the alternative energy sources with particular emphasis on those renewable in nature equipped with environmental friendly systems. Future projections indicate that the only feasible option is the production of alternative fuels derived from non-petroleum sources. Hydrogen is one of the best renewable energy. Pure hydrogen is clean energy and has high heating value. It can be utilized via combustion process or fuel cell. This paper presents an experimental investigation on the influences of operating parameters on the performance of an electrolysis hydrogen production system energized by solar energy. The study is conducted on a 100-m² PV-cell field for a 5-cell electrolysis reactor. The stainless steel was used as the electrodes of this prototype reactor. The experimental results show that using Sodium Hydroxide (NaOH) solution as electrolyte outperforms the others used in this study and it is available in the market with low cost. The results also demonstrate that the solution concentration of 17% is the best for this reactor. The optimum gap between the electrodes of each cell is 10 cm. The maximum electrical power of 1.7 kW was obtained for this proposed system.

Keywords: Hydrogen production, Solar energy, Electrolysis.

1. บทนำ

ในสภาวะการณ์ของโลกยุคปัจจุบันจะเห็นได้ว่าเกือบทุกประเทศกำลังประสบกับวิกฤตการณ์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างรุนแรง อันเนื่องมาจากความต้องการในการใช้พลังงานมากขึ้น ในขณะที่แหล่งพลังงานธรรมชาติมีอยู่อย่างจำกัดและแหล่งพลังงานบางอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) กำลังจะหมดไปจากโลกในอีกไม่กี่สิบปีข้างหน้า อีกทั้งอัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้นส่งผลทำให้เกิดมลพิษสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อความต้องการพลังงานสูงขึ้นทำให้ราคาของพลังงานสูงขึ้นด้วย จึงส่งผลกระทบต่อการเพิ่มราคาของสินค้าสิ่งของอุปโภคบริโภค การขนส่งต่างๆ หรือที่เกี่ยวข้องซึ่งทั้งหมดนี้ล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหาข้างต้นจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานทดแทน และเพื่อเป็นการแก้ปัญหาหรือการพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน แหล่งพลังงานนั้นต้องเป็นพลังงานหมุนเวียนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมทั้งควรกำหนดนโยบายการประหยัดพลังงาน การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการลดมลพิษจากการใช้พลังงานควบคู่กันไปด้วย

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าและวิจัย เพื่อหาเชื้อเพลิงที่จะมาทดแทนเชื้อเพลิงจากการปิโตรเลียม แก๊สไฮโดรเจนเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ดีที่สุดชนิดหนึ่ง ซึ่งกระบวนการผลิตที่ดีที่สุดที่ใช้อย่างกว้างขวางคือการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrolysis) ซึ่งนำไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบและน้ำที่มีอยู่มากมายบนโลกใบนี้ แก๊สไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาดที่มีค่าความร้อนสูง [1-5] สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในด้านต่างๆ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง และเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) เป็นต้น ดังนั้นพลังงานไฮโดรเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการผลิตแก๊สไฮโดรเจน [6-15] จะเห็นได้ว่าเกือบทั้งหมดเป็นการศึกษาด้วยระบบขนาดเล็กในห้องทดลองและใช้ไฟฟ้าจากปลั๊กไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าส่งมาจากโรงไฟฟ้า จึงกล่าวได้ว่าแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตได้ไม่ใช้พลังงานสะอาดเนื่องจากยังคงมีการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมที่โรงไฟฟ้า อีกทั้งกระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้ระบบที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องมีชุดเรียงกระแส

ETM-123

(Rectifier) ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและต้นทุนของระบบโดยรวม

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบผลิตแก๊สไฮโดรเจนด้วยวิธีแยกน้ำด้วยไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยไฟฟ้าที่ใช้ป้อนให้กับระบบเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ จึงกล่าวได้ว่าไฮโดรเจนที่ผลิตได้นี้เป็นพลังงานสะอาด โดยศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีต่ออัตราการผลิตแก๊สไฮโดรเจน เช่น ชนิดของสารละลายที่ใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด ความเข้มข้น และอุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น

2. ไฮโดรเจนและการผลิตไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีน้ำหนักเบาที่สุดและพบได้มากที่สุดในจักรวาล มีอยู่ในโมเลกุลของน้ำและสารประกอบอินทรีย์ทุกตัว และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ธาตุไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหาได้ค่อนข้างยากบนโลก ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบ [2] ธาตุไฮโดรเจนถูกใช้ในการผลิตแอมโมเนีย ใช้บรรจุในบอลลูนหรือเรือเหาะ ใช้เป็นเชื้อเพลิงของจรวดสำรวจอวกาศ ใช้เป็นพลังงานทดแทน และเป็นพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง แก๊สไฮโดรเจนถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงอนาคต เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการเผาไหม้กับแก๊สออกซิเจนโดยจะมีเพียงไอน้ำเป็นผลผลิตจากการเผาไหม้ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) นอกจากนี้ยังสามารถนำแก๊สไฮโดรเจนไปผลิตกระแสไฟฟ้าโดยป้อนเข้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ซึ่งขณะนี้นักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมากในการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้ในต้นต่างๆ เนื่องจากประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบอื่นๆ มาก [6]

ปัจจุบันการผลิตไฮโดรเจนมีกระบวนการผลิตที่สำคัญๆ ดังนี้ [17]

1. กระบวนการความร้อนเคมี (Thermo-chemical Process) โดยใช้วัตถุดิบที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) เช่น แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน และชีวมวล เป็นต้น โดยผลผลิตที่ได้เรียกว่าแก๊สสังเคราะห์ (Synthesis Gas) ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจน (H_2), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และมีเทน (CH_4) จากนั้นจะผ่านกระบวนการเพิ่มเติมเพื่อทำให้ได้ไฮโดรเจนที่บริสุทธิ์ขึ้น

อิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักและมีไอออนบวก (Iron +) และไอออนลบ (Iron -) เมื่อป้อนไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้าจะเกิดการถ่ายโอนประจุที่ขั้วระหว่างอะตอมโมเลกุลของน้ำด้วยการรับอิเล็กตรอน (ที่ขั้วลบ) และให้อิเล็กตรอน (ที่ขั้วบวก) ได้แก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจน ตามลำดับ อิเล็กโทรไลต์ที่ต้องนำไฟฟ้าได้ดี ใช้ปริมาณน้อย ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ หาได้ง่าย และราคาแพง อิเล็กโทรไลต์เป็นได้ทั้งสารละลายกรด เบส และเกลือ เช่น สารละลายกรดเกลือ (HCl ประกอบด้วยไอออน H^+ และ Cl^-) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH ประกอบด้วยไอออน OH^-) และสารละลายของเกลือ (KNO_3 ประกอบด้วยไอออน K^+ และ NO_3^-) เป็นต้น

2. กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrolytic Process) เป็นการใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แยกน้ำให้เป็นไฮโดรเจนที่ขั้วลบ (Cathode) ด้วยปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) และออกซิเจนที่ขั้วบวก (Anode) ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยเกิดแก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจนในอัตราส่วน 2:1 ซึ่งจะได้ว่าไฮโดรเจนที่ผลิตด้วยกระบวนการนี้จะเป็นพลังงานสะอาดหรือไม่นั้น จะขึ้นกับแหล่งไฟฟ้าที่นำมาใช้

3. กระบวนการแยกน้ำด้วยแสง (Photolytic Process) เป็นการใช้พลังงานแสงเพื่อแยกน้ำเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน ซึ่งกระบวนการนี้ยังอยู่ในระดับงานวิจัย อย่างไรก็ตามเป็นกระบวนการที่มีศักยภาพในระยะยาวสำหรับการผลิตไฮโดรเจนอย่างยั่งยืนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

ETM-123

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ระบบผลิตไฮโดรเจนต้นแบบที่ใช้ในการศึกษาใช้กระบวนการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลายเซลล์แสดงดังรูปที่ 1 การออกแบบถังปฏิกรณ์สำหรับระบบผลิตไฮโดรเจนต้นแบบนั้นจำเป็นต้องสร้างให้มีความทน แข็งแรง สามารถทนต่อปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดภายในถังนั้นได้ โดยผนังของถังปฏิกรณ์ทำจากแผ่นอะคริลิกหนา 10 mm ปริมาตร 100X52X40 cm³ และเนื่องจากชุดทดลองนี้จะต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองแผ่น ดังนั้นจึงมีการติดตั้งร่องยึดแผ่นอิเล็กโทรดหลายตำแหน่ง (แสดงดังรูปที่ 2) เพื่อให้สามารถเลื่อนแผ่นอิเล็กโทรดให้มีระยะห่างต่างๆ ได้ การเลือกใช้วัสดุที่นำมาทำขั้วอิเล็กโทรดจะมีอยู่หลายชนิดโดยจะคำนึงถึงราคา การนำไฟฟ้า การทนต่อการกัดกร่อนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นหลัก ในการออกแบบนี้ได้ออกแบบใช้แผ่นสแตนเลส 304 หนา 2 mm ในการทำขั้วอิเล็กโทรด เพราะราคาไม่แพงมาก ทนการกัดกร่อนได้ดี และหาซื้อได้ง่าย

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอนเป็นระบบที่ทำงานร่วมกับแผงน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรียบที่ถูกประกอบเป็นชุดเดียวกัน พื้นที่รับแสงรวม 100 ตารางเมตรแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 โครงสร้างของถังปฏิกรณ์ต้นแบบ



รูปที่ 2 โครงสร้างของถังปฏิกรณ์ต้นแบบ

การทดลองที่นำเสนอในบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน โดยที่สองขั้นตอนแรกจะทำการศึกษาเชิงตัวแปรเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ เช่น ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ ระยะห่างของแผ่นอิเล็กโทรด และความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น โดยการทดลองสองขั้นตอนแรกนี้จะใช้ไฟฟ้าจากปลั๊กไฟฟ้าในห้องทดลองเพื่อให้สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าในแต่ละการทดลองได้ และเพื่อความประหยัดในการเปลี่ยนสารละลายอิเล็กโทรไลต์การทดลองสองขั้นตอนแรก จึงทำการทดลอง



ETM-123

รูปที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา

โดยใช้ขั้วอิเล็กทรอนิกส์เพียงหนึ่งคู่เท่านั้น ดังการต่อวงจรแสดงในรูปที่ 4 ส่วนการทดลองในขั้นตอนที่สามเป็นการนำระบบที่มีสภาวะการทำงานที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองสองขั้น ตอนแรกไปใช้กับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบที่สมบูรณ์ต่อไป



รูปที่ 4 การต่อวงจรเพื่อการทดลองขั้นตอนที่ 1 และ 2

4. ผลการศึกษา

4.1 การทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์

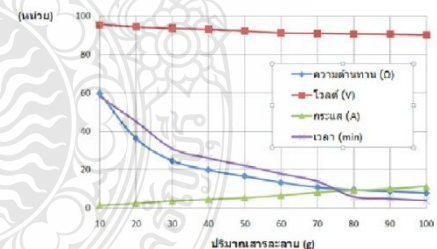
การทดลองสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ได้เลือกน้ำประปามาเป็นตัวทำละลาย และเลือกสารอิเล็กโทรไลต์ที่จะใช้มา 4 ชนิด ได้แก่ โพลีเอทิลีนไกลคอล, อะซิโตน และโซเดียมไฮดรอกไซด์ มาละลายกับน้ำประปาในปริมาณเท่ากันคือ 100 กรัม โดยทำการวัดที่แรงดัน 100 Volt และปรับความระหังของเพลตตั้งแต่ 10, 7, และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการทดลอง วัดโดยการจับเวลาให้ก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่รูร้อนสำหรับบรรจุอาหารขนาด 2x4 นิ้ว (500 มิลลิลิตร)

จากตารางที่ 1 พบว่าน้ำประปามีความบริสุทธิ์มากกว่าน้ำที่มีการผสมสารอิเล็กโทรไลต์ เพราะค่ามีความต้านที่สูงมากแต่เมื่อมีการผสมสารอิเล็กโทรไลต์ลงไปนั้นสามารถนำไฟฟ้าได้ ส่วนที่น้ำประปานั้นสามารถนำไฟฟ้าได้แต่ไม่ค่อยดีนัก เป็นเพราะว่าใน

น้ำประปามีสารอื่นๆ ปะปนอยู่ เช่น คลอรีนหรือสิ่งสกปรก จึงนำไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่งและเห็นได้ว่าเมื่อปรับระหังของแผ่นอิเล็กโทรด น้ำประปายังคงสถานะเดิมอยู่คือความต้านทานยังสูงมากและน้ำประปาก็ยังคงนำไฟฟ้าได้ไม่ดีเช่นเดิม แต่น้ำประปาที่ผสมสารอิเล็กโทรไลต์มีความต้านทานลดลงเมื่อระหังของแผ่นอิเล็กโทรดลดลง ยิ่งระหังของแผ่นอิเล็กโทรดเลื่อนเข้ามาวางอยู่ใกล้กันมากเท่าใดค่าความต้านทานก็จะยิ่งลดลงมาต่ำมาก ซึ่งถือได้ว่าระหังของแผ่นอิเล็กโทรดมีผลต่อการเดินทางของกระแสไฟฟ้า และระหังที่เหมาะสมที่สุด คือ 10 cm

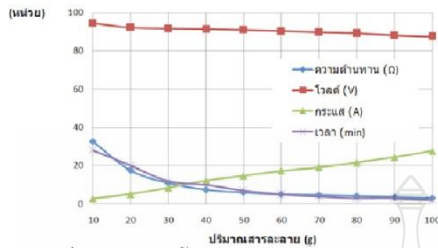
4.2 การทดลองความเข้มข้นของสารระหว่างโพลีเอทิลีนไกลคอลกับโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากการทดลองที่ 2 จะเห็นได้ว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตั้งรูปที่ 6) นำไฟฟ้าได้ดีกว่าทำให้อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเร็วกว่าสารละลายโพลีเอทิลีนไกลคอล (ตั้งรูปที่ 5) ที่นำไฟฟ้าได้น้อยกว่า จากผลที่ได้นี้ จึงเป็นข้อสรุปในเลือกนำมาใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในระบบผลิตไฮโดรเจนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ อีกทั้งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดและราคาถูกกว่าสารโพลีเอทิลีนไกลคอลมาก



รูปที่ 5 การนำไฟฟ้าของโพลีเอทิลีนไกลคอล

ETM-123



รูปที่ 6 การนำไฟฟ้าของโซเดียมไฮดรอกไซด์

พบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับระบบได้มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.7 kW

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาและทดสอบพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายจะมีผลโดยตรงต่อการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์ที่ดีกว่าสารละลายอื่นที่ใช้ในการศึกษานี้ซึ่งทั้งนี้ทั้งนั้นหาข้อได้งายตามหลังตลาด

ตารางที่ 1 ผลการทดลองเมื่อปรับแรงดันแหล่งจ่ายไว้ที่ 100 โวลต์ โดยทดลองเซลล์ไฟฟ้า 1 คู่ โดยใช้ถุงพลาสติกที่มีปริมาตร 500ml ในการวัดอัตราการผลิตแก๊สไฮโดรเจน โดยทำการทดลองใช้สารต่างๆ ในปริมาณ 100g ที่เท่ากันทุกการทดลอง

สารละลายที่ใช้	10 cm				7 cm				3 cm			
	A	V	T (min)	Ω	A	V	T (min)	Ω	A	V	T (min)	Ω
น้ำประปา	0.7	95.1	186	135	0.8	94.2	174	117	0.9	93.7	159	104
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	12.6	89.9	7	7.1	11.3	90.3	4	7.9	9.8	91.1	2	9.29
อะซิโตน	0.6	101.0	158	168	0.7	101.2	136	144	0.8	101.4	123	127
โซเดียมไฮดรอกไซด์	29.1	88.8	3	2.95	27.6	87.5	2	3.17	25.5	88.7	1	3.47

ตารางที่ 2 ผลการทดลองความเข้มข้นของสารระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารละลาย	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์				โซเดียมไฮดรอกไซด์			
	ปริมาณสาร (g)	โวลต์ (V)	กระแส (A)	เวลา (min)	ความต้านทาน (Ω)	โวลต์ (V)	กระแส (A)	เวลา (min)
10	95.6	1.6	58	59.7	94.5	2.9	28	32.5
20	94.5	2.6	45	36.3	92.3	5.2	20	17.7
30	93.7	3.8	31	24.6	91.6	8.4	12	10.9
40	93.2	4.7	26	19.8	91.4	12.2	10	7.4
50	92.3	5.5	22	16.7	91.0	14.8	7	6.1
60	91.3	6.8	18	13.4	90.4	17.4	5	5.1
70	91.0	8.3	14	10.9	89.7	19.2	4	4.6
80	90.7	9.4	6	9.6	89.2	21.5	3	4.1
90	90.5	10.2	5	8.8	88.1	24.3	3	3.6
100	90.1	11.3	4	7.9	87.5	27.6	2	3.1

4.3 การทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตแก๊สไฮโดรเจนพลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดลองผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กระแสตรงขนาดพื้นที่รับแสง 100 m²

มวล) เป็นความเข้มข้นที่ผลิตแก๊สได้ดีที่สุด ระยะห่างทำให้อัตราการเกิดปริมาณที่เหมาะสมที่สุดคือ 10 cm

และจากการทดลองโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์กระแสตรง

ETM-123

ขนาดพื้นที่รับแสง 100 m² พบว่าการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความเป็นไปได้ โดยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายให้กับระบบได้มีค่าเท่ากับ 1.7 kW

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนอุปกรณ์เกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] B.H. Liu, Z.P. Li, (2009). A review: Hydrogen generation from borohydride hydrolysis reaction, *Journal of Power Sources*, 187, pp. 527–534.
- [2] H.Z. Wang, D.Y.C. Leung, M.K.H. Leung, M. Ni, (2009). A review on hydrogen production using aluminum and aluminum alloys, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, pp. 845–853.
- [3] G.F. Naterer, et.al, (2010). Canada's program on nuclear hydrogen production and the thermochemical Cu-Cl cycle, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, pp. 10905 – 10926.
- [4] Chiu-Yue Lin, et.al, (2012). Fermentative hydrogen production from wastewaters: A review and prognosis, *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, pp. 15632 – 15642.
- [5] G. De Gioannis, A. Muntoni, A. Poletini, R. Pomi, (2013). A review of dark fermentative hydrogen production from biodegradable municipal waste fractions, *Waste Management*, 33, pp. 1345–1361.
- [6] Rashmi Chaubey, et.al, (2013). A review on development of industrial processes and emerging techniques for production of hydrogen from renewable and sustainable sources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, pp. 443–462.
- [7] A. Steinfeld, (2002). Solar hydrogen production via a two-step water-splitting thermochemical cycle based on Zn=ZnO redox reactions, *International Journal of Hydrogen Energy*, 27, pp. 611 – 619.
- [8] Sakchai Pattra, Suksaman Sangyoka, Mallika Boonmee, Alissara Reungsang, (2008). Bio-hydrogen production from the fermentation of sugarcane bagasse hydrolysate by *Clostridium butyricum*, *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, pp. 5256 – 5265.
- [9] Arunabha Kundu, et.al, (2010). Room temperature hydrogen production from water in auto-electrolytic process, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, pp. 10827 – 10832.
- [10] G.F. Naterer, et.al, (2011). Clean hydrogen production with the Cu-Cl cycle-Progress of international consortium, I: Experimental unit operations, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, pp. 15472 – 15485.
- [11] Irina Vishnevetsky, Alexander Berman, Michael Epstein, (2011). Features of solar thermochemical redox cycles for hydrogen production from water as a function of reactants' main characteristics, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, pp. 2817 – 2830.

ETM-123

- [12]W.L. Guo, et.al, (2011). Hydrogen production via electrolysis of aqueous formic acid solutions, International Journal of Hydrogen Energy, 36, pp. 9415 – 9419.
- [13]Fikret Kargi, Sinan Uzuncar, (2012). Electro-hydrolysis of cheese whey solution for hydrogen gas production and chemical oxygen demand (COD) removal using photo-voltaic cells (PVC), International Journal of Hydrogen Energy, 37, pp. 15841 – 15849.
- [14]Antonella Marone, et.al, (2012). Hydrogen production from vegetable waste by bioaugmentation of indigenous fermentative communities, International Journal of Hydrogen Energy, 37, pp. 1612 – 5622.
- [15]Qiming Li, (2012). Preparation of Y-zeolite/CoCl₂ doped PVDF composite nanofiber and its application in hydrogen production, Energy, 38, pp. 144-150.
- [16]Fikret Kargi, Sedef Arıkan, (2013). Hydrogen gas production from vinegar fermentation wastewater by electro-hydrolysis: Effects of initial COD content, International Journal of Hydrogen Energy, 38, pp. 2701 – 2708.
- [17]Freedom Car and Fuel Partnership, (2009). Hydrogen Production Overview of Technology Options: Report, USA.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวอศกฤตา โลหพรหม
วัน เดือน ปีเกิด	20 กุมภาพันธ์ 2531
ที่อยู่	33/3 ซอยสกุลพานิช ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับ วิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิต (วศ.บ.) สาขา วิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี พ.ศ.2553
ประวัติการทำงาน (ถ้ามี)	
พ.ศ. 2557 – พ.ศ.2558	วิศวกรออกแบบ บริษัท โตชิบา แคลเรียร์ (ประเทศไทย) จำกัด

