

บทที่ 27 รายละเอียดข้อมูลเชื้อเพลิงชีวภาพประเภท ไฮโดรเจน (Hydrogen)

1. ข้อมูลทั่วไป

ไฮโดรเจน (Hydrogen : H) เป็นธาตุแรกในตารางธาตุที่ถูกจัดไว้ในคาบที่ 1 ระหว่างหมู่ IA และหมู่ VIIA เนื่องจากมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 1 ตัว และมีเลขออกซิเดชัน +1 เหมือนธาตุในหมู่ IA แต่ไฮโดรเจนก็มีคุณสมบัติคล้ายธาตุในหมู่ VIIA คือมีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง มีสถานะเป็นก๊าซและไม่นำไฟฟ้า ไฮโดรเจนเป็นธาตุที่มีโครงสร้างแบบง่ายที่สุด มีมวลโมเลกุล 1.00 g/mol จึงจัดว่าเป็นธาตุที่มีน้ำหนักเบาที่สุด มีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศ ทำให้มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิต่ำและสามารถลอยได้ในชั้นบรรยากาศ แต่ไม่สามารถทำให้อยู่ในรูปบริสุทธิ์ได้ โดยก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen : H₂ (g)) มีคุณสมบัติในการติดไฟ ไม่มีกลิ่นและไม่มีสี

โดยปกติแล้ว ก๊าซไฮโดรเจนนิยมผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ทำให้เกิดปัญหาการทำลายสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในปัจจุบันนี้จึงมีการผลิตไฮโดรเจนจากพลังงานหมุนเวียน เช่น สารชีวมวล น้ำ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพ (Bio-hydrogen) ซึ่งเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพ สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม^[1,2] โดยก๊าซไฮโดรเจนมีคุณสมบัติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซไฮโดรเจน^[3]

Property	Value
Atomic weight (on ¹² C scale)	1.0078
Chemical structure	H-H
Density (gas) at 0 °C, 1 atm (g/L)	0.08988
Density (liquid) at -253 °C (g/L)	70.8
Relative vapor density (air = 1)	0.07
Melting point (°C)	-259.35
Boiling point (°C)	-252.88
Solubility in water at 0 °C, 1 atm (cm ³ /g)	0.0214
Auto-ignition temperature (°C)	500 - 571

สำหรับไฮโดรเจนมี 3 ไอโซโทป คือ โปรเทียม (Protium : H¹) เป็นไอโซโทปที่เก่าแก่ที่สุดและมีมากกว่า 99.98% เพราะนิวเคลียสของไอโซโทปชนิดนี้มีเพียงโปรตอนเท่านั้น ส่วนไอโซโทปชนิดที่สองคือ ดิวเทอเรียม (Deuterium : H²) เป็นไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติประมาณ 0.0026 – 0.0184% และภายในนิวเคลียสจะประกอบด้วย 1 โปรตอนและ 1 นิวตรอน สำหรับไอโซโทปสุดท้ายคือ ทริเทียม (Tritium : H³) โดยที่ภายในนิวเคลียสจะประกอบด้วย 1 โปรตอนและ 2 นิวตรอน ซึ่งทริเทียมเป็นไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติน้อยมากสามารถพบได้ในรังสีคอสมิก และนิยมใช้เป็นสารตั้งต้นในการทดลองอาวุธนิวเคลียร์^[4]

2. กระบวนการสังเคราะห์

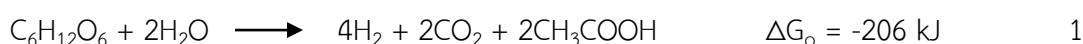
ไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากหลากหลายกระบวนการ เช่น Coal gasification, Water electrolysis, Natural gas reforming, Solar photocatalysis, Hydrogen from biomass เป็นต้น โดยก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพ มีคุณสมบัติและกระบวนการผลิตที่คล้ายคลึงกันมาก แต่อาจแตกต่างกันที่สารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยได้ยกตัวอย่างกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพ เช่น Bio-photosynthesis, Fermentation, Microbial electrolysis เป็นต้น ^[5,6] ซึ่งข้อดีของการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากสารชีวมวลจะช่วยลดการเกิดคาร์บอนและปัญหาภาวะโลกร้อน

2.1 กระบวนการหมัก (Fermentation)

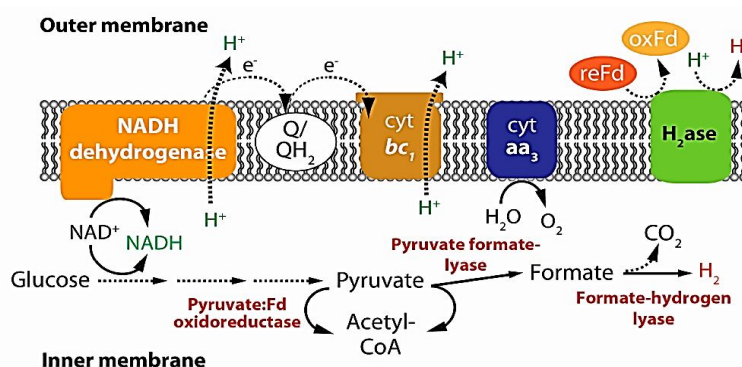
กระบวนการหมักเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถใช้ผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การหมักมืด (Dark-fermentation) และการหมักแสง (Photo-fermentation) ข้อดีของกระบวนการหมักคือเป็นวิธีที่ง่ายและมีอัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสูง ^[7] ซึ่งส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ แต่จะได้ปริมาณของไฮโดรเจนและผลพลอยได้ที่แตกต่างกัน

- กระบวนการหมักมืด (Dark-fermentation)

การหมักมืดเป็นกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากการสลายตัวของชีวภาพของสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนและไม่มีแสง เช่น การผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากคาร์โบไฮเดรต โดยใช้แบคทีเรียที่ใช้คาร์บอนจากอินทรีย์ (Heterotrophic bacteria) หรือแบคทีเรียจำพวก *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter intermedius*, *Escherichia coli*, *Clostridium beijerinckii* เป็นต้น ^[8,9,10,11] โดยปริมาณและประสิทธิภาพของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จากการหมักมืดขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการหมัก ความดันย่อยของก๊าซ เป็นต้น



จากสมการที่ 1 และภาพที่ 4 สังเกตว่าสารตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนคือกลูโคส 1 mol เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำ จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นก๊าซไฮโดรเจน 4 mol กระบวนการหมักมืดมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าการหมักแสง แต่ให้ก๊าซไฮโดรเจนปริมาณน้อยกว่าเนื่องจากการเกิดผลพลอยได้

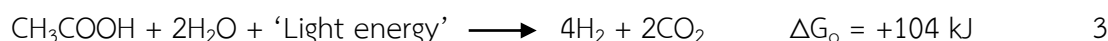
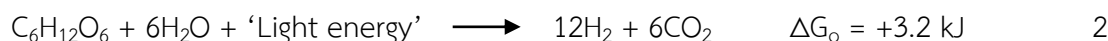


ภาพที่ 1 กระบวนการหมักมืด ^[11]

- การหมักแสง (Photo-fermentation)

การหมักแสงหรือการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalysis) เป็นกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่มีความแตกต่างจากการหมักมืด เนื่องจากการหมักแสงจะใช้แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาควบคู่กับการใช้เอนไซม์ไนโตรจีเนส โดยนิยมใช้กลูโคสและกรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้น แสดงดังสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จากสมการจะสังเกตว่ากลูโคส 1 mol จะให้ก๊าซไฮโดรเจน 12 mol ในขณะที่กรดอะซิติก 1 mol จะให้ก๊าซไฮโดรเจนเพียง 4 mol เท่านั้น ^[10]

จากสมการที่ 1 และ 2 พบว่า การหมักกลูโคสโดยใช้แสงจะให้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนมากกว่าการหมักมืด เนื่องจากการหมักแสงจะมีพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาและสามารถทำเป็นระบบใหญ่ได้ ^[8,12] แต่กระบวนการนี้มีข้อเสียคือ การทำงานของเอนไซม์ไนโตรจีเนสต้องการพลังงานสูงและต้องใช้พื้นที่สำหรับการติดตั้งถึงปฏิกิริยาทำให้ยังไม่มีการแข่งขันทางธุรกิจเท่าที่ควร



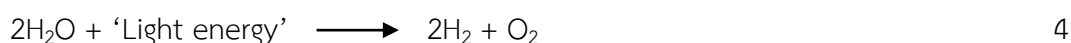
ตารางที่ 2 ปริมาณไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetic bacteria) ^[13]

Stains	Carbon source	Yield (mol H ₂ /mol substrate)	Reference
Photo-fermentation			
Rhodopseudomonaspalustris	Rice straw	328 ml H ₂ /TVS	Cheng et al., 2010
RhodobactercapsulatusJP91	Beet molasses	10.05 mol H ₂ /mol sucrose	Keskin and Hallenbeck, 2012
RohobatersphaetoideRV	Ground wheat	1.23 mol H ₂ /mol glucose	Kapdan et al., 2009
Rohobatersphaetoide (NRLL B-1727)	Ground wheat	0.81 mol H ₂ /mol glucose	
Rohobatersphaetoide (DSZM-158)	Ground wheat	0.97 mol H ₂ /mol glucose	
Dark-photo fermentation			
Clostridium butyricum- Rhodopseudomonaspalustris	Rice straw	328 ml H ₂ /TVS	Cheng et al., 2010

Stains	Carbon source	Yield (mol H ₂ /mol substrate)	Reference
Enterobacteriaerogenes (MTCC2822) and Rhodopseudomonas (BHU 01)	Sugarcane bagasse	1755 ml H ₂ /l culture	Rai et al., 2014
Caldicellulosiruptorsaccharo-lyticus and hup-mutant of Rhodobactercapsulatus (YO3)	Sugar beet molasses	6.85 mol H ₂ /mol glucose	Ozgun et al., 2010
Rhodobactersphaeroides	Starch	4.9mol H ₂ /mol hexose	Laurinavichene and Tsygankov, 2015

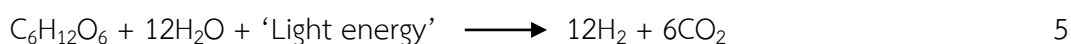
2.2 ไบโอฟโตไลซิสโดยตรง (Direct biophotolysis)

ไบโอฟโตไลซิสโดยตรง เป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ใช้แสงในการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนของน้ำ เพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของก๊าซไฮโดรเจน แสดงดังสมการที่ 4 ^[10,14] หรือการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากเชื้อราหรือสาหร่ายเขียว (Green algae) เช่น ไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) ราเขียว เป็นต้น ซึ่งกระบวนการนี้จะมีอิเล็กตรอนเกิดขึ้นเมื่อมีการดูดซับแสง เพื่อส่งต่ออิเล็กตรอนไปยังเฟอร์เรดอกซิน (Ferredoxin) โดยมีเอนไซม์ไฮโดรจีเนสทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนจากเฟอร์เรดอกซิน เพื่อผลิตเป็นก๊าซไฮโดรเจน แต่เนื่องจากเอนไซม์ไฮโดรจีเนสมีความไวต่อออกซิเจนมาก จึงนิยมใช้สาหร่ายสีเขียวชนิด Chlamydomonas reinhardtii (C. reinhardtii) เป็นสารตั้งต้น เนื่องจากมีความสามารถในการกำจัดออกซิเจนได้ระหว่างการหายใจ ^[15]



2.3 ไบโอฟโตไลซิสโดยอ้อม (Indirect biophotolysis)

ไบโอฟโตไลซิสโดยอ้อม เป็นกระบวนการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนด้วยแสงของ Cyanobacteria หรือจากสารชีวมวล เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน กระบวนการนี้นิยมใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้น โดยกลูโคส 1 mol สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ถึง 12 mol และได้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลพลอยได้ในปริมาณน้อย แสดงดังสมการที่ 5 และ 6 ^[10,14]



3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

3.1 บริษัทผู้ผลิต Hydrogen

3.1.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Hydrogen ภายในประเทศ ^[17]

บริษัทผู้ผลิต	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	Website
บริษัท ลินด์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	ชั้น 15 อาคารบางนา ทาวเวอร์ 2/3 หมู่ 14 ถนนบางนา-ตราด กม. 6.5 ตำบล บางแก้ว อำเภอ บางพลี สมุทรปราการ 10540	(+66)2338- 6100	ไทย	http://www.linde.co.th /th/index.html
บริษัท แอร์โปรดักส์ อินดัสตรี จำกัด	343 หมู่ 2 นิคม อุตสาหกรรมบางปะอิน ถนนอุดมสรยุทธ ต.คลองจิก อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา 13160	035- 258353-9	ไทย	http://www.apithailan d.com/
บริษัท แอร์ ลิกวิด (ประเทศไทย) จำกัด	4 นิคมอุตสาหกรรมมาบ ตาพุด ซอยไธ 8 ต.มาบ ตาพุด อ.เมืองระยอง จ.ระยอง 21150	038- 687364	ไทย	http://www.th.airliquide.com/
บริษัท บางกอก อินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด	14 นิคมอุตสาหกรรม มาบตาพุด ต.มาบตาพุด อ.เมืองระยอง จ. ระยอง 21150	038- 683921-3	ไทย	http://www.bigth.com /
บริษัท แพรกซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	156 หมู่ 16 นิคม อุตสาหกรรมบางพลี ถนนเทพารักษ์ ต.บาง เสาธง อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10540	02- 7151700	ไทย	http://www.praxair.co. th/

3.1.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Hydrogen ในต่างประเทศ

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
The Hydrogen Co.	30 Eastcheap London EC3M 1HD	+44 (0)20 7002 0000	UK	https://www.hydrogen-group.com/
The Linde Group chemical Co., Ltd.	575 Mountain Ave Murray Hill, New Jersey 07974	-	Germany	http://www.the-linde-group.com/en/index.html
ClearEdge Power, Inc.	7175 NW Evergreen ParkwayBuilding 100 Hillsboro, Oregon 97124	-	USA	http://www.clearedge-power.com
Infinity Fuel Cell and Hydrogen Inc.	Infinity Fuel Cell and Hydrogen, Inc. 431A Hayden Station Road, Windsor CT 06095	860-688- 6500	USA	http://infinityfuel.com/
Power Energy Inc.	106 Railroad Drive, Ivyland (Warminster), PA 18974-1449	+1 215- 942-4600	USA	http://www.powerand-energy.com/
Safe Hydrogen LLC.	30 York Street Lexington, MA 02420-2009	781-861- 7016	USA	http://www.safehydrogen.com/
Zebotec GmbH	Max-Stromeyer- Straße 160, 78467 Konstanz	+49 7531 8199860	Germany	http://www.zebotec.de/index.php/en/home/
H2 Energy Solutions Inc.	820 Woodend Road Stratford, CT 06615	-	USA	http://www.h2energy.co/

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Pure Energy Centre Ltd.	3, Hagdale Industrial Estate, Baltasound, Shetland ZE2 9TW	+44 1957 711410	UK	https://pureenergycentre.com/
Hy9 Corporation	106 South Street Hopkinton, MA 01748-2207	508-435-3789	USA	http://www.Hy9.com
GreenGen Co., Ltd.	Neptune court, Whitehills business park, Blackpool FY4 5LZ	01253 830 070	UK	http://greengengroup.co.uk/
Green Hydrogen Co.	GreenHydrogen.dk ApS, Platinvej 29b DK-6000 Kolding	+45 7550 3500	Denmark	http://greenhydrogen.dk/
AMGAS Domestic	261064 Wagon Wheel Cres. Rockyview, AB Canada, T4A 0E2	403-984-9830	Canada	http://www.am-gas.com/
Gaskatel GmbH	Holländische Str. 195, 34127 Kassel	+49 561 59190	Germany	http://www.gaskatel.de/
DynEco Corporation	564 International Pl C Rockledge, Florida 32955-4210	-	USA	http://dynecogroup.com/
Pure Energy Centre	Unit 3 Hagdale Industrial Estate, Baltasound Unst, Shetland ZE2 9TW	+44 (0) 1957 711 410	UK	https://pureenergycentre.com/
CTP Hydrogen Corporation	131 Flanders Road Westborough, Massachusetts 01581	508-898-2223	USA	www.ctphydrogen.com

3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย Hydrogen

3.2.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Hydrogen ภายในประเทศ

บริษัทผู้จำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	เว็บไซต์
บริษัท ลินด์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	ชั้น 15 อาคารบางนา ทาวเวอร์ 2/3 หมู่ 14 ถนนบางนา-ตราด กม. 6.5 ตำบล บางแก้ว อำเภอ บางพลี สมุทรปราการ 10540	(+66)2338- 6100	ไทย	http://www.linde.co.th /th/index.html
บริษัท แอร์ โปรดักส์ อินดัสตรี จำกัด	343 หมู่ 2 นิคม อุตสาหกรรมบางปะอิน ถนนอุดมสรยุทธ ต.คลองจิก อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา 13160	035- 258353-9	ไทย	http://www.apithailand d.com/
บริษัท แอร์ ลิกวิด (ประเทศไทย) จำกัด	4 นิคมอุตสาหกรรมมาบ ตาพุด ซอยไอ 8 ต.มาบ ตาพุด อ.เมืองระยอง จ.ระยอง 21150	038- 687364	ไทย	http://www.th.airliquide e.com/
บริษัท บางกอก อินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด	14 นิคมอุตสาหกรรม มาบตาพุด ต.มาบตาพุด อ.เมืองระยอง จ. ระยอง 21150	038- 683921-3	ไทย	http://www.bigth.com /
บจก. แพรกซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	156 หมู่ 16 นิคม อุตสาหกรรมบางพลี ถนนเทพารักษ์ ต.บาง เสาธง อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10540	02- 7151700	ไทย	http://www.praxair.co. th/
บริษัท อ็อกซิเทค จำกัด	369 หมู่ 3 ต.เขาหิน อ.เขาพนม จ.กระบี่ 81140	081- 9358429	ไทย	www.facebook.com/kr abigasooxygen

บริษัทผู้จำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	เว็บไซต์
บริษัท บางกอก อินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด	3 อาคารโรงงานการ ชั้น 11 ถนนสาทรใต้ แขวง ยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120	02-685 6789	ไทย	http://www.bigth.com /
บริษัท แสงทรัพย์ ออกซิเจน จำกัด	6/54 หมู่ 2 ถนนเลี้ยว เมืองชลบุรี ต.บ้านสวน อ.เมืองชลบุรี จ.ชลบุรี 20000	038-288660-1	ไทย	http://www.sangsubox ygen.com/

3.2.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 6

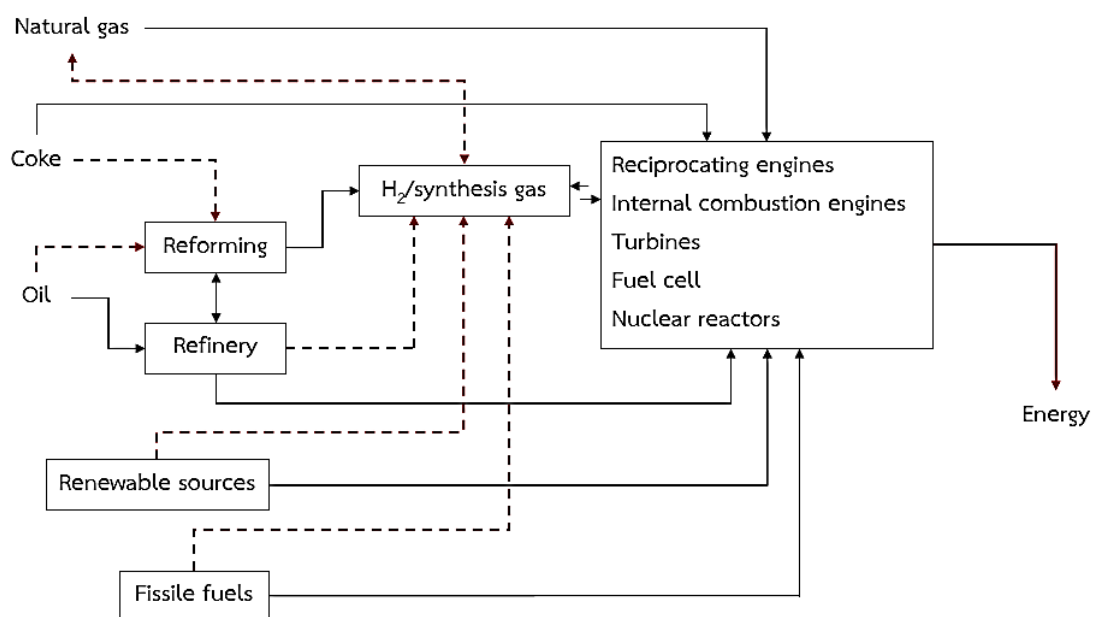
ตารางที่ 6 รายชื่อบริษัทผู้จัดจำหน่าย Hydrogen ในต่างประเทศ

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Plug Power, Inc.	968 Albany Shaker Road, Latham, New York 12110	509-28-6500	USA	http://www.plugpower .com/
Mitsui & Co., Ltd.	1-3, Marunouchi 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8631	+81(3)328 5-1111	Japan	https://www.mitsui.co m/jp/en/
Pure Energy Centre Ltd.	3, Hagdale Industrial Estate, Baltasound, Shetland ZE2 9TW	+44 1957 711410	UK	https://pureenergycen tre.com/
Green Hydrogen Co.	GreenHydrogen.dk ApS, Platinvej 29b DK-6000 Kolding	+45 7550 3500	Denmark	http://greenhydrogen. dk/
New Energy Solutions Inc.	2 Quail Ridge Dr Reading, Pennsylv a nia 19607	-	USA	http://1newenergysol utions.com/
Power Energy Inc.	106 Railroad Drive, Ivyland (Warminster), PA 18974-1449	+1 215-942-4600	USA	http://www.powerand energy.com/

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Safe Hydrogen LLC.	30 York Street Lexington, MA 02420-2009	781-861-7016	USA	http://www.safehydrogen.com/
The Linde Group chemical Co., Ltd.	575 Mountain Ave Murray Hill, New Jersey 07974	-	Germany	http://www.the-linde-group.com/en/index.html
PLANET Gbr	Donnerschweer Str. 89, 26123 Oldenburg	+49 4904 4185051	Germany	http://www.planet-energie.de/de/index-planet.html

4. การประยุกต์ใช้ Hydrogen ในอุตสาหกรรม

ทั้งก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพล้วนเป็นเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพ ที่ได้จากระบวนการต่างๆ ทั้งกระบวนการหมัก กระบวนการไบโอโฟโตไลซิส ดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งไฮโดรเจนที่สังเคราะห์ได้นี้สามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงและแหล่งพลังงานในเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ใช้เป็นสารตั้งต้นในเซลล์เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงสำหรับก๊าซเทอร์ไบน์ เป็นต้น



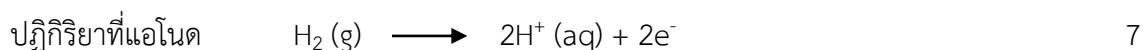
ภาพที่ 2 การผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากสารชีวมวลและการประยุกต์ใช้ [18]

4.1 ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell)

ก๊าซไฮโดรเจนถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารตั้งต้นในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane fuel cell) โดยจะป้อนก๊าซไฮโดรเจนเข้าทางฝั่งแอโนด (Anode) เพื่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทที่ 27 ไฮโดรเจน (Hydrogen)

แตกตัวเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอนบนผิวหน้าของเมมเบรน จากนั้นจะป้อนออกซิเจนเข้าทางฝั่งแคโทด (Cathode) เพื่อรับโปรตอนและอิเล็กตรอนที่ได้จากการแตกตัวของก๊าซไฮโดรเจน^[19] ดังสมการที่ 7 และ 8 ตามลำดับ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำและพลังงาน ดังสมการที่ 9 โดยสามารถนำพลังงานนี้ไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิง ในรถยนต์ไฮโดรเจน (Hydrogen car) ที่มีการผลิตในเชิงการค้าแล้ว เช่น มิราอิ (Mirai) ของบริษัทโตโยต้า หรือรุ่นคลาริตี (Clarity) ของบริษัทฮอนด้า เป็นต้น



หรือการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นเพื่อทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์หรือคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับผลิตเมทานอล ดังสมการที่ 10 และ 11 ตามลำดับ จากนั้นจะนำเมทานอลที่ได้มาใช้เป็นสารตั้งต้นใน เซลล์เชื้อเพลิงชนิดป้อนเมทานอลโดยตรง (Direct methanol fuel cell: DMFC) สำหรับทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจน จะได้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนเพื่อใช้ในอุปกรณ์พกพาแบบต่างๆ โดยได้แสดงรายละเอียดการ เกิดปฏิกิริยาไว้ในเรื่องเมทานอลชีวภาพ (Bio-methanol)



Portable device



Hydrogen car by toyota

ภาพที่ 3 อุปกรณ์และยานยนต์เซลล์เชื้อเพลิงรูปแบบต่างๆ^[20,21]

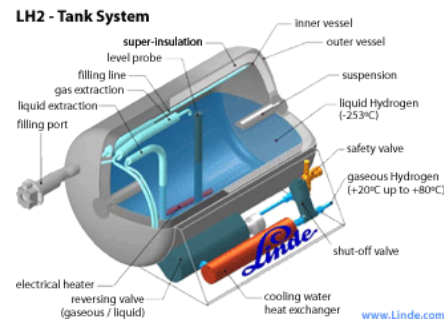
4.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนจรวดและยานอวกาศ

เชื้อเพลิงจรวด (Propellant) เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์จรวด ยานอวกาศ ขีปนาวุธ หรือยานพาหนะรูปแบบต่างๆ โดยเชื้อเพลิงประเภทนี้จะเป็ของเหลวที่อุณหภูมิต่ำมาก และมีความดันสูง มาก เช่น ไฮโดรเจนเหลว น้ำมันก๊าด เป็นต้น และมักจัดเก็บในรูปแบบของถังหรือท่อรูปทรงกระบอก เพื่อนำมาใช้เป็นสารขับเคลื่อนให้เกิดการสันดาป โดยจะมีการเผาผลาญเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ภายในห้องเผาไหม้

จนเกิดเป็นเปลวไฟร้อนที่มีความดันและอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการขยายตัวออกแล้วส่งผ่านไปยังหัวฉีดด้วยอัตราเร็วเหนือแสง ส่งผลให้เกิดแรงดันมหาศาลต่อจรวดตามกฎข้อสามของนิวตัน เพื่อผลักดันให้เครื่องยนต์จรวดเคลื่อนที่ไปทิศทางตรงกันข้ามได้ [22,23]



Rocket



Liquid hydrogen fuel

ภาพที่ 4 ยานอวกาศและเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่ใช้ในการขับเคลื่อน [24,25]

5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ

ไฮโดรเจนถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลมานานแล้ว เช่น ใช้เป็นสารตั้งต้นในรถยนต์ ซึ่งมีการผลิตและจำหน่ายเชิงการค้าในหลายประเทศ แต่สำหรับประเทศไทย ยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากปัญหาการกักเก็บพลังงานและการติดตั้งสถานีเชื้อเพลิง แต่อย่างไรก็ตามประเทศไทยมีการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าสัญชาติไทยคันแรก ภายใต้ชื่อ 'The Super Jaab' นกจากนี้บริษัท คลีนฟูเอล เอ็นเนอร์ยี เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวหน้าไปอีกขั้นกับ 'ซูเปอร์อีเล็คทริกคาร์' ซึ่งเป็นรถไฮบริดผสมระหว่างแหล่งกำเนิดพลังงานกับชุดอุปกรณ์ทำความเย็น มีหลักการทำงานคล้ายเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งมีทำหน้าที่แปลงพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้า จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยทางบริษัทมีเป้าหมายที่จะพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อขายให้กับบริษัทรถยนต์ที่สนใจในเทคโนโลยีนี้ต่อไป [26]

ปัญหาราคาน้ำมันดิบที่พุ่งสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณการสะสมของน้ำมันดิบทั่วโลกลดลง จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ๆ ขึ้นมา เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดิบ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และเชื้อเพลิงไฮโดรเจน โดยเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจะใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้ในเครื่องยนต์เซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งกระทรวงพลังงานได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของไฮโดรเจนที่จะก่อให้เกิดพลังงานที่ยั่งยืนในอนาคต เนื่องจากไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด สามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษและให้พลังงานต่อหน่วยสูง ดังนั้นประเทศไทยจึงได้จัดทำแผนพัฒนาเพื่อส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานไฮโดรเจนในภาคคมนาคมขนส่ง ในปริมาณกว่า 100,000 กิโลกรัม ในปี พ.ศ. 2560 เป็นต้นไป [27]

ตารางที่ 7 ศักยภาพและเป้าหมายการผลิตพลังงานทดแทนของกระทรวงพลังงาน ^[28]

ประเภทพลังงาน	ศักยภาพ	พ.ศ. 2555-2559		พ.ศ. 2560-2565	
ไฟฟ้า	เมกะวัตต์	เมกะวัตต์	ktoe	เมกะวัตต์	ktoe
แสงอาทิตย์	50,000	95	11	500	56
พลังงานลม	1,600	375	42	800	89
ไฮโดรเจน	-	-	-	3.5	1
เชื้อเพลิงชีวมวล	ล้านลิตร/วัน	ล้านลิตร/วัน	ktoe	ล้านลิตร/วัน	ktoe
เอทานอล	3.00	6.20	1,686	9.00	2,447
ไฮโดรเจน	-	-	2,831	0.1 ล้าน ก.ก.	124

เอกสารอ้างอิง

- [1] Han, W., Hu, Y. Y., Li, S. Y., Li, F. F., & Tang, J. H. (2016). Biohydrogen production from waste bread in a continuous stirred tank reactor: A techno-economic analysis. *Bioresource Technology*, 221, 318-323.
- [2] Nastasi, B. (2015). Renewable hydrogen potential for low-carbon retrofit of the building stocks. *Energy Procedia*, 82, 944-949.
- [3] Abe, I. Physical and chemical properties of hydrogen. *Physical and Chemical Properties of Hydrogen*, 1, 1-3.
- [4] ไอโซโทปของไฮโดรเจน. [Online]. Available from: <http://wikivisually.com/lang-th/wiki/ไอโซโทปของไฮโดรเจน>
- [5] Menia, S., Tebibel, H., Lassouane, F., Khellaf, A., & Nouicer, I. (2017). Hydrogen production by methanol aqueous electrolysis using photovoltaic energy: Algerian potential. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(13), 8661-8669.
- [6] Hallenbeck, P. C., & Benemann, J. R. (2002). Biological hydrogen production; fundamentals and limiting processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(11), 1185-1193.
- [7] Yin, Y., & Wang, J. (2015). Biohydrogen production using waste activated sludge disintegrated by gamma irradiation. *Applied Energy*, 155, 434-439.
- [8] Akbari, L., & Vaziri, B. M. (2017). Comprehensive modeling of photo-fermentation process for prediction of hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(21), 14449-14457.

- [9] Argun, H., & Kargi, F. (2011). Bio-hydrogen production by different operational modes of dark and photo-fermentation: an overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(13), 7443-7459.
- [10] Manish, S., & Banerjee, R. (2008). Comparison of biohydrogen production processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(1), 279-286.
- [11] Chandrasekhar, K., Lee, Y. J., & Lee, D. W. (2015). Biohydrogen production: strategies to improve process efficiency through microbial routes. *International journal of molecular sciences*, 16(4), 8266-8293.
- [12] Almahdi, M., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2016). Analysis and assessment of methanol production by integration of carbon capture and photocatalytic hydrogen production. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 51, 56-70.
- [13] Zhang, Q., Wang, Y., Zhang, Z., Lee, D. J., Zhou, X., Jing, Y., ... & He, C. (2017). Photo-fermentative Hydrogen Production from Crop Residue: A Mini Review. *Bioresource Technology*.
- [14] Levin, D. B., Pitt, L., & Love, M. (2004). Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. *International journal of hydrogen energy*, 29(2), 173-185.
- [15] Tamburic, B., Zemichael, F. W., Maitland, G. C., & Hellgardt, K. (2012). Effect of the light regime and phototrophic conditions on growth of the H₂-producing green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Energy Procedia*, 29, 710-719.
- [16] Companies in the Hydrogen sector. [Online] 2017. Available from: http://en.openei.org/wiki/List_of_Companies_in_Hydrogen_Sector
- [17] ผู้ผลิตไฮโดรเจน. [Online]. Available from: <http://www2.dede.go.th/hydronet/04PartnerLinks/02HydrogenFac/HydrogenFac.html>
- [18] Basini, L. (2005). Issues in H₂ and synthesis gas technologies for refinery, GTL and small and distributed industrial needs. *Catalysis Today*, 106(1), 34-40.
- [19] ปฏิพัทธ์ ทานทองม (2010). Hydrogen Energy พลังงานสะอาด : พลังงานแห่งอนาคต. December 2009-January 2010, Vol.36 No.208
- [20] Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells – PEMFC. [Online] 2004. Available from: http://www.fuelcell.no/fuel_cell_types_pemfc_eng.htm

- [21] Direct Methanol Fuel Cell Corporation –Alternative Energy. [Online] 2017. Available from: <http://www.motortrend.com/cars/toyota/mirai/2016/2016-toyota-mirai-first-drive/>
- [22] เครื่องยนต์จรวด. [Online] 2016. Available from: <https://th.wikipedia.org/wiki/เครื่องยนต์จรวด>
- [23] จรวด. [Online] 2017. Available from: <https://th.wikipedia.org/wiki/จรวด>
- [24] Hydrogen cars, Vehicles and Infrastructure. [Online] 2017. Available from: <http://www.hydrogencarsnow.com/index.php/liquid-h2-fuel/>
- [25] What you need to know about hydrogen fuel cell vehicles. [Online] 2017. Available from: <https://www.engadget.com/2014/12/23/hydrogen-fuel-cell-explainer/>
- [26] เผยโฉม C-FEE รถพลังไฮโดรเจนฝีมือคนไทย สู่อุตสาหกรรมยานยนต์สีเขียวแห่งอนาคต [Online] 2012. Available from: <http://www.tcdc.or.th/articles/technology-innovation/16398/#เผยโฉม-C-FEE-รถพลังไฮโดรเจนฝีมือคนไทย-สู่อุตสาหกรรมยานยนต์สีเขียวแห่งอนาคต>
- [27] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. [Online]. Available from: <http://www2.dede.go.th/hydronet/>
- [28] ทิศทางของพลังงานไฮโดรเจนในประเทศไทยกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี. [Online]. Available from: <http://www2.dede.go.th/hydronet/02NewsEvents/01Seminar/hydrogen1.pdf>