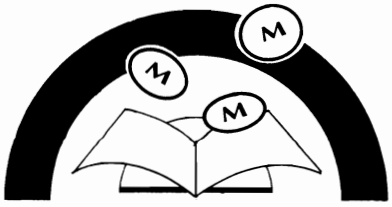


บ ท ค ว า ม วิ ช า ก า ร

# วัสดุโลหะสำหรับเก็บกักไฮโดรเจนเพื่อระบบพลังงานในอนาคต

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริทรรศน์ พันธุบรรยงก์*

*หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์โลหการ*
*คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

## มรรคาสู่การใช้พลังงานไฮโดรเจน

พลังงานคือฐานรากก้อนสำคัญของกิจกรรมทั้งปวงในสังคมมนุษย์ ยิ่งสังคมวัฒนธรรมและความเป็นอยู่ของมนุษย์พัฒนาขึ้นเท่าใด ความต้องการใช้พลังงานก็จะยิ่งทวีมากขึ้นเป็นเงาตามตัว สำหรับความต้องการใช้พลังงานในประเทศไทยเราเองนั้นในอนาคตช่วง 10 ปีถึง 30 ปีข้างหน้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างอุตสาหกรรมการผลิต การพัฒนาและการประยุกต์ใช้พลังงานธรรมชาติในรูปต่าง ๆ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงในระดับราคาของพลังงานทั้งปวงที่ใช้กันอยู่ อย่างไรก็ตามเราจำเป็นที่จะต้องหาทางสะสมพลังงานเอาไว้ใช้ในยามจำเป็นให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในประเทศที่พัฒนาแล้วเช่น ประเทศญี่ปุ่น นั้น ในปี ค.ศ. 1960 ใช้พลังงานเทียบเท่ากับน้ำมัน 100 ล้านกิโลลิตร พอถึงปี ค.ศ. 1971 ความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่ากว่าเป็นประมาณ 340 ล้านกิโลลิตร ซึ่งเท่ากับเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของอัตราเพิ่มเฉลี่ยในการใช้พลังงานทั่วโลก (ซึ่งประมาณเท่ากับ 5% โดยเฉลี่ย) ดังนั้นในปี ค.ศ. 1970

นั้นเอง ญี่ปุ่นนั้นเป็นประเทศที่ใช้พลังงานมากเป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากสหรัฐอเมริกา

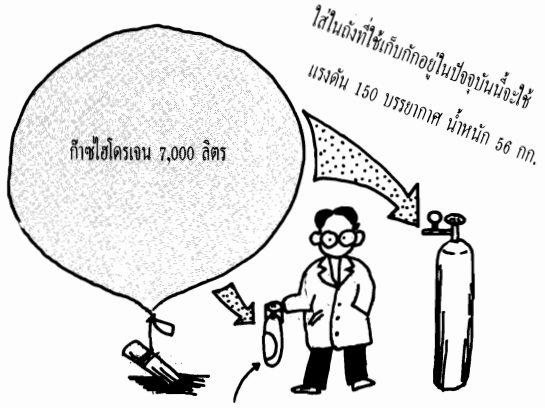
มาตรการในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานในประเทศพัฒนาได้มีการดำเนินการกันอย่างจริงจังนับตั้งแต่การวิจัยและพัฒนาการขุดเจาะและสกัดน้ำมันจากหินน้ำมัน การพัฒนาเทคโนโลยี่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากใต้พิภพ การใช้พลังงานนิวเคลียร์อย่างปลอดภัย การแปรสภาพถ่านหินให้เป็นของเหลวหรือก๊าซ การใช้พลังงานจากก๊าซไฮโดรเจนผสมผสานกับการพัฒนาใช้พลังงานจากแหล่งปฐมภูมิอย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาถึงปัญหาพลังงานนั้นจะต้องคำนึงถึงระบบพลังงานปฐมภูมิ (พลังงานพื้นฐาน เช่น น้ำมันดิบ ถ่านหิน) และพลังงานทุติยภูมิ (พลังงานสังเคราะห์ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน) และการประยุกต์ใช้พลังงานจากทั้งสองระบบในเวลาเดียวกัน แล้วประสมประสานการใช้พลังงานต่าง ๆ ดังกล่าวอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การใช้พลังงานจากก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นหนึ่งในระบบพลังงานปฐมภูมินั้น เรียกกันว่าระบบพลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen Energy System-HES) ซึ่งเป็นความหวังใหม่ในการพัฒนาพลังงานให้สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างจริงจังในอนาคตอันใกล้นี้

ถ้าเราสามารถใช้ไฮโดรเจนจากน้ำทะเลมาเป็นเชื้อเพลิงได้แล้ว พลังจากการเผาไหม้หมดสิ้น สิ่งที่จะเกิดขึ้นก็คือน้ำเท่านั้น ทำให้สามารถอนุรักษ์สภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ถ้าเราสามารถใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตไฮโดรเจนได้แล้ว ก็จะทำให้เกิดระบบพลังงานที่ปราศจากมลภาวะได้อย่างสมบูรณ์ พลังจากไฮโดรเจนนี้ถ้าเปรียบเทียบกับพลังงานชนิดอื่น ๆ แล้ว จะสามารถจัดเก็บและนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสม กล่าวคือกำลังไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลีย พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังลม พลังจากคลื่นในทะเลสาบ พลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ หรือพลังไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงนี้ การปรับกำลังออก (Out put) ตามการเปลี่ยนแปลงของภาวะงาน (Load) ทำได้ลำบาก จำเป็นจะต้องคำนึงถึงการใช้และการจัดเก็บในช่วงที่ความต้องการต่ำ (Out-peak period)

พลังจากไฟฟ้าจากน้ำตก หรือจากเขื่อนกั้นน้ำ ถึงแม้จะปรับกำลังออกได้สะดวก แต่เนื่องจากข้อจำกัดเชิงภูมิศาสตร์ของประเทศเราทำให้การสร้างเขื่อนเริ่มทำได้ยากขึ้นตามลำดับ ดังนั้น ถ้าเราสามารถแยกน้ำด้วยไฟฟ้า ทำให้เกิดไฮโดรเจน แล้วหาวิธีจัดเก็บให้ดีแล้วจะทำให้สามารถเก็บรักษาหรือสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในยามจำเป็นได้ นอกจากนี้การส่งไฮโดรเจนไปตามท่อไปยังจุดที่ใช้งานนั้น เปรียบเทียบกับการส่งกระแสไฟฟ้าแล้วนับว่าประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายและการใช้ที่ดินมากกว่า (1)

พิจารณาจากเหตุผลดังกล่าว ไฮโดรเจนจึงเป็นแหล่งพลังงานทุติยภูมิที่มีลักษณะพิเศษซึ่งคาดหวังได้ว่าน่าจะสามารถนำมาใช้งานได้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม การนำพลังงานไฮโดรเจนไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมนั้นยังมีปัญหาต่าง ๆ ที่ต้องแก้ไขอยู่ กล่าวคือจะพัฒนากระบวนการผลิต การทำให้บริสุทธิ์ การเก็บรักษา และการขนส่งอย่างไรจึงจะมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยมากที่สุด



โลหะผสมใช้เก็บก๊าซไฮโดรเจน

## อัดไฮโดรเจนใส่กระป๋อง

วิธีการจัดเก็บและขนส่งไฮโดรเจนที่มีลักษณะพิเศษและได้รับความสนใจอย่างมากในหมู่บ้านนักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี่นั้นคือการเก็บไว้ในเนื้อโลหะหรือทำให้เกิดโลหะไฮโดรด์ขึ้น วิธีนี้จะมีข้อดีแตกต่างจากการทำให้ไฮโดรเจนเป็นก๊าซหรือของเหลวและขนส่งไปมากมายหลายประการ และกำลังมีการวิจัยพฒนากันอย่างเร่งรีบ

ถ้าสามารถเก็บไฮโดรเจนเป็นจำนวนมากโดยให้โลหะดูดเข้าไปแล้วเอาไฮโดรเจนดังกล่าวออกมาใช้ได้ง่าย ๆ แล้วจะทำให้เราได้ภาชนะเก็บไฮโดรเจนที่เป็นโลหะ หรือเรียกว่าเก็บไฮโดรเจนอัดใส่กระป๋องไว้นั่นเอง

ตารางที่ 1. แสดงความหนาแน่นของไฮโดรเจนที่เก็บไว้ในโลหะต่าง ๆ ซึ่งเทียบกับกรณีที่เป็นก๊าซแล้วจะเห็นได้ว่าสูงกว่าก๊าซถึง 1,000 เท่า แต่กว่าแรงดันแยกส่วนของก๊าซไฮโดรเจนในโลหะนั้นมีค่าต่ำ ดังนั้นการใช้โลหะไฮโดรด์จัดเก็บไฮโดรเจนจึงไม่จำเป็นต้องใช้ถังเก็บที่ทนแรงดันถึง 1,000 บรรยากาศแบบการเก็บไฮโดรเจนใส่ถังที่เก็บกันทั่ว ๆ ไป

**ตารางที่ 1 ความหนาแน่นเปรียบเทียบของไฮโดรเจนในลักษณะต่าง ๆ**

| | ความหนาแน่น (อะตอม/ซม)$^3$ |
|---|---|
| ก๊าซไฮโดรเจน (NTP) | $5.4 \times 10^{19}$ |
| ไฮโดรเจนเหลวที่ -253° ซ | $4.2 \times 10^{22}$ |
| ไฮโดรเจนแข็งที่ -269° ซ | $5.3 \times 10^{22}$ |
| Ti H | $9.1 \times 10^{22}$ |
| La Ni H | $7.6 \times 10^{22}$ |
| Zr H | $7.3 \times 10^{22}$ |

**ตารางที่ 2 น้ำหนักและปริมาณที่จำเป็นในการเก็บไฮโดรเจนปริมาณ 7 ม$^3$**

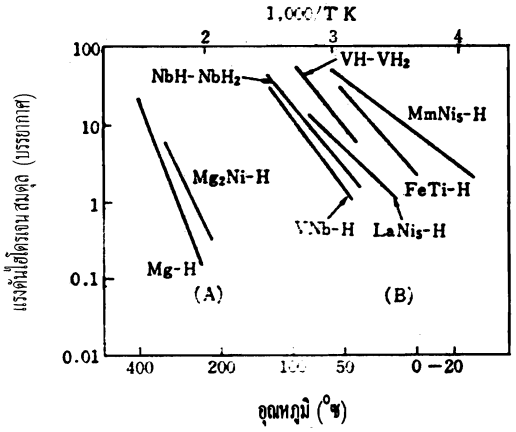
| ก๊าซไฮโดรเจน | ถัง 55 กก. | 9 ลิตร |
|---|---|---|
| ไฮโดรเจนเหลว 0.6 กก. | ก๊าซไฮโดรเจน 0.6 กก. | |
| LaNi5H | 46 กก. | 4.8 ลิตร |
| LaH | 30 กก. | 4.5 ลิตร |
| TiH | 16 กก. | 4.2 ลิตร |
| VH | 17 กก. | 7.8 ลิตร |
| MgH | 8 กก. | 5.5 ลิตร |

นอกจากนี้ ในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า weight density ของโลหะไฮโดรด์ต่ำมากเมื่อเทียบกับการเก็บไฮโดรเจนใส่ถัง การเก็บก๊าซไฮโดรเจนเข้าไปในเนื้อโลหะแล้วใช้ความร้อนทำให้ก๊าซไฮโดรเจนแยกตัวออกมานั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้จะเป็นก๊าซที่มีความบริสุทธิ์สูง

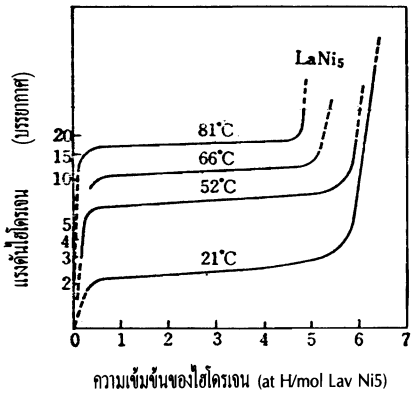
## การเก็บไฮโดรเจนไว้ในเนื้อโลหะ

ก๊าซไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับธาตุประเภทโลหะหมู่หนึ่งเกิดเป็นสารประกอบโลหะไฮโดรด์ กล่าวคือจะมีไฮโดรเจนเก็บอยู่ในโลหะนี้เป็นจำนวนมาก ไฮโดรเจนที่จับอยู่กับโลหะนี้มีแรงดึงดูด (bonding strength) ต่ำ ดังนั้นจึงสามารถใช้ความร้อนทำให้ไฮโดรเจนแยกออกจากโลหะได้โดยง่าย Transition Metal ในหมู่ที่ 4 ถึงหมู่ที่ 7 (ยกเว้น Palladium) จะรวมตัวเฉพาะกับ $H^+$ อิออน เท่านั้น จึงไม่เกิดเป็นโลหะไฮโดรเจนขึ้นทำให้มีความสามารถในการเก็บไฮโดรเจนได้น้อย

การเก็บและปล่อยไฮโดรเจนโดยโลหะนั้นเกิดจากปฏิกิริยาสมดุลร่วมระหว่างโลหะกับก๊าซไฮโดรเจน ปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยานี้เปลี่ยนแปลงไปคือ อุณหภูมิ แรงดัน และส่วนผสมของโลหะนั้น ๆ ดังนั้นเราจึงสามารถใช้อุณหภูมิ แรงดัน หรือส่วนผสมของโลหะฆ่าเชื้อเป็นตัวควบคุมการดูดและปล่อยไฮโดรเจนได้ กล่าวคือถ้าได้มีการเตรียมให้โลหะดูดซึมไฮโดรเจนไว้ก่อนแล้ว เมื่อถึงเวลาที่ต้องการใช้ก็ทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัยควบคุมต่าง ๆ จะทำให้สามารถปล่อยไฮโดรเจนออกมา




รูปที่ 1. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อแรงดันไฮโดรเจนสมดุล ในโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เก็บไฮโดรเจน (2)




รูปที่ 2 แสดงกลุ่มเส้นโค้งอุณหภูมิคงที่สมดุลของกลุ่ม $LaNi_5-H$ (3) จากรูปจะเห็นได้ว่า $LaNi_5H_6$ ที่ 21° ซ ซึ่งดึงดูดไฮโดรเจนเข้าไป 50 at % นั้น เมื่อกลายเป็น $LaNi_5H_{0.5}$ ตามเส้นแนวราบกึ่งกลางรูป จะใช้แรงดันเพียง 2-3 บรรยากาศเท่านั้น ที่จะทำให้ได้ก๊าซไฮโดรเจนออกมา นับเป็นแหล่งของไฮโดรเจนที่ใช้ได้อย่างมีเสถียรภาพ

## ไฮโดรเจนเมื่อขับเคลื่อนเครื่องยนต์ของรถยนต์

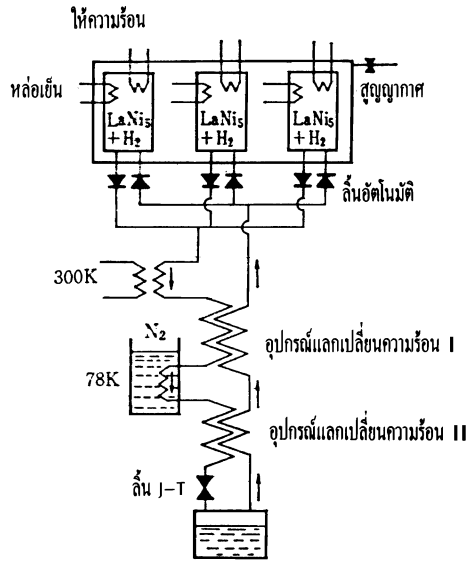
โลหะหรือโลหะผสมที่กำลังมีการวิจัยและพัฒนาในปัจจุบันเพื่อให้สามารถเก็บกักไฮโดรเจนได้ และมีคุณสมบัติดีเด่นหลายประมาณนั้นได้แก่ $Lani_5$ และ Fe Ti เป็นต้น

จากรูปที่ 4 กลุ่ม A นั้น Mg หรือ Mg Ni เป็นโลหะหรือโลหะผสมที่มีน้ำหนักเบา สามารถประยุกต์ใช้เป็นภาชนะในการเก็บไฮโดรเจนเพื่อการขับเคลื่อนยานพาหนะได้ ที่อุณหภูมิห้องนั้นแรงดันไฮโดรเจนสมดุลมีค่าค่อนข้างต่ำ ที่อุณหภูมิประมาณ 30° ซ นั้น แรงดันของไฮโดรเจนจึงจะถึง 1 บรรยากาศ ซึ่งสามารถใช้งานได้ ดังนั้นจึงมีการใช้โลหะหรือโลหะผสมอื่น ๆ ที่สามารถปล่อยไฮโดรเจนออกมาได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง เช่น FeTi หรือ LaNi (กลุ่ม B ในรูปที่ 1) เป็นแหล่งไฮโดรเจนเสริม ไฮโดรเจนจากแหล่งเสริมนี้จะใช้เริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ เมื่อเดินเครื่องไปได้ระยะหนึ่งจึงใช้ก๊าซร้อนที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์มาให้ความร้อนแก่โลหะกลุ่มแมกนีเซียม และใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่ได้มาขับเคลื่อนเครื่องยนต์ต่อไป เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนขับเคลื่อนนี้จะมีก๊าซ NO ขับออกมามีความเข้มข้นเพียง 1 ใน 4 ของ NO ที่ขับออกจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนขับเคลื่อน (4) ที่ประเทศเยอรมันตะวันตกนั้น บริษัทเบนซ์ ได้ใช้ FeTi ในการเก็บก๊าซไฮโดรเจนปริมาณ 2.5 ลบ.ม. เก็บไว้ในถังอลูมีเนียมจำหน่ายในราคา 1,350 มาร์ค

## อุปกรณ์ทำความเย็นและตู้เย็นก็สามารถใช้ไฮโดรเจนได้

โดยปกติเมื่อโลหะดูดซึมไฮโดรเจนเข้าไปนั้นจะคายความร้อนออกมาขณะที่ปล่อยไฮโดรเจนออกมาจะดูดความร้อนเข้าไป จากวัฏจักรการดูดและคายความร้อนนี้ ถ้าใช้ให้เหมาะสมจะสามารถทำให้ระบบของอุปกรณ์ทำความเย็นหรือตู้เย็นได้ นอกจากนี้ความร้อนที่ปล่อยออกมายังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทุติยภูมิได้อีก จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าเรายังสามารถใช้การเปลี่ยนแปลงแรงดันสมดุลของไฮโดรเจนเพื่อวัตถุประสงค์นี้ซึ่งเราเรียกว่า Static Compressor ของก๊าซไฮโดรเจน รูปที่ 3 แสดงวงจรเครื่องทำก๊าซเหลวซึ่งใช้ประสิทธิผล Joule-Thompson หรือ Static Compressor

ยิ่งไปกว่านั้นจากการคายและดูดไฮโดรเจนกลับไปกลับมา โลหะจะกลายเป็นผงไปทีละเล็กทีละน้อย ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้วิธีการผลิตโลหะหรือโลหะผสมให้เป็นผงได้ด้วย




รูปที่ 3. วงจรเครื่องทำก๊าซเหลวโดยใช้ $LaNi_5$ และก๊าซ $H_2$

## การพัฒนาโลหะแมกนีเซียม

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นได้อธิบายถึงหลักการในการใช้และตัวอย่างการใช้วัสดุโลหะเป็นภาชนะเก็บกักไฮโดรเจนไปแล้ว ต่อไปจะได้กล่าวถึงเงื่อนไขภาวะที่เหมาะสมสำหรับโลหะหรือโลหะผสมเพื่อเก็บกักก๊าซไฮโดรเจนซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. สามารถเก็บกักไฮโดรเจนได้ในปริมาณสูง
2. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเป็นไฮโดรเจนต่ำและมีแรงดันสมดุล ไฮโดรเจน ณ อุณหภูมิห้องมีค่าเหมาะสม
3. แม้จะกลายเป็นผงหลังจากผ่านวัฏจักรการดูดและคายไฮโดรเจนแล้ว แต่ประสิทธิภาพไม่เสื่อมลง
4. แม้จะมีสารมลทินเข้าไปเจือปนแต่ประสิทธิภาพไม่เสื่อมลง
5. ราคาถูก

จากสภาพการณ์พัฒนาพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงในโลกยุคปัจจุบันนี้ ไฮโดรเจนจะเป็นแหล่งพลังงานทุติยภูมิที่เป็นความหวังของมนุษย์ชาติมากที่สุดในอนาคตอันใกล้นี้

ในส่วนของการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุโลหะนั้น ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้แมกนีเซียมและแคลเซียมเป็นวัสดุหลักในการเก็บกักไฮโดรเจน โดยพยายามวิจัยและพัฒนาโลหะแมกนีเซียมผสมเพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับโลหะ หรือโละผสมในกลุ่ม B ให้ได้ เนื่องจากแมกนีเซียมและแคลเซียมนั้นมีปริมาณค่อนข้างมากและราคาถูกกว่าพวกกลุ่ม B นั่นเอง ■

## เอกสารอ้างอิง

7000, ANION, CHRISTIAN :
ลิขสิทธิ์ประเทศญี่ปุ่น, ปี ค.ศ. 1974
หมายเลข 34315