บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคการจัดเก็บและปล่อยก๊าซไฮโดรเจนจากถังเมทัลไฮไดรด์ สำหรับใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยดำเนินการดัดแปลงติดตั้งระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจนให้สามารถทำงาน กับเครื่องยนต์ทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการปรับปริมาณไฮโดรเจนที่เข้าเครื่องยนต์ขณะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกจากถังเมทัลไฮไดรด์ด้วยอัตราต่างๆ โดยการเปลี่ยนรอบเครื่องยนต์ ขณะเครื่องยนต์เดินเบา ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของถังเก็บเชื้อเพลิงไฮโดรเจนในรูปเมทัลไฮไดรด์ และการเก็บก๊าซไฮโดรเจนเข้าถังเมทัลไฮไดรด์ โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

จากระบบเครื่องยนต์เดิมจากที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนจากถังความดันสูง สามารถทำงานใช้กับก๊าซไฮโดรเจนได้ จึงทำการติดตั้งระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจนแบบเมทัลไฮไดรด์แทนที่ระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจากถังความดันสูง โดยสามารถปฏิบัติการได้ทั้งการเก็บและปล่อยไฮโดรเจนได้ การใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงนั้นต้องมีมาตรการด้านความปลอดภัยที่สูง เพื่อให้ระบบเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นที่ยอมรับของบุคคลทั่วไป ดังนั้นในระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจึงต้องติดอุปกรณ์หลายชิ้นที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย เพื่อให้เกิดความมั่นใจ ดังต่อไปนี้ Pressure Regulator, Ball Valve, Solenoid Valve และมีการตรวจสอบรอยรั่วก่อนการทำงานทุกครั้งที่มีการถอดประกอบอุปกรณ์ และมีการปฏิบัติการที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ซึ่งถ้าเกิดรอยรั่วของก๊าซไฮโดรเจน ก็จะเกิดการกระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนไม่เกิดการสะสมในบริเวณที่ทำการทดสอบ นอกจากนี้ยังต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น

เมื่อทำการดัดแปลงติดตั้งระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจนแบบเมทัลไฮไดรด์ แทนที่ระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจากถังความดันสูงเสร็จสิ้นแล้ว ทำการทดสอบเครื่องยนต์โดยทดสอบหาอัตราการไหลของน้ำในระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ ขณะเครื่องยนต์เดินเบา ที่ความเร็วรอบต่างๆ ด้วยเชื้อเพลิงไฮโดรเจน พบว่า ระบบระบายความร้อนในหม้อน้ำมีอัตราการไหลเท่ากับ 1.40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องยนต์ก่อนเข้าหม้อน้ำเท่ากับ 73 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิออกจากหม้อน้ำท่ากับ 62 องศาเซลเซียส ซึ่งนำมาเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของน้ำใน

ระบบระบายความร้อนเมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนจากถังเมทัลไฮไดรด์ กับเครื่องยนต์สันดาปภายในขณะเครื่องยนต์เดินเบา ทดสอบทั้งการปล่อยและการเก็บก๊าซไฮโดรเจนเข้าถังเก็บเมทัลไฮไดรด์

ทดสอบสมรรถนะของถังเก็บเมทัลไฮไดรด์ สำหรับการปล่อยก๊าซไฮโดรเจน โดยเปรียบเทียบด้วยการเปลี่ยนอัตราการนำก๊าซไฮโดรเจนมาใช้ โดยการเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ขณะเครื่องยนต์เดินเบา พบว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องจะลดต่ำลง เนื่องจากอัตราการจ่ายไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ถังเมทัลไฮไดรด์สามารถระบายความร้อนได้ถึง 1.63-1.91 kJ/s (ความร้อนที่ได้จากการจ่ายไฮโดรเจนประมาณ 20.81-25.51 kJ/mol H_2) เนื่องจากการทำให้ก๊าซไฮโดรเจนออกจากเมทัลไฮไดรด์ต้องดึงพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อม และจากระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ หากสังเกตช่วงที่ความดันลดลงพบว่า จะมีความดันค่าหนึ่งที่ปล่อยก๊าซไฮโดรเจนเป็นเวลานาน ถือว่าเป็นความดันราบของเมทัลไฮไดรด์ที่อุณหภูมินั้น แต่เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของถังเก็บเมทัลไฮไดรด์ สำหรับการปล่อยไฮโดรเจน โดยเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำในระบบระบายความร้อนที่ไหลผ่านถังเมทัลไฮไดรด์ เมื่อควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ พบว่าที่อุณหภูมิน้ำในระบบระบายความร้อนสูง ความดันราบของเมทัลไฮไดรด์สูงด้วย โดยที่น้ำในระบบระบายความร้อน 32 องศาเซลเซียส มีความดันราบที่ช่วง 6 บาร์ ที่อุณหภูมิน้ำในระบบระบายความร้อน 50 องศาเซลเซียส มีความดันราบที่ช่วง 8 บาร์ และที่อุณหภูมิน้ำในระบบระบายความร้อน 70 องศาเซลเซียส มีความดันราบที่ช่วง 12-16 บาร์ นอกจากนี้ที่อุณหภูมิน้ำในระบบระบายความร้อนสูง เมทัลไฮไดรด์ยังสามารถขับก๊าซไฮโดรเจนออกมาได้ปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ แต่ไม่เกินระดับอุณหภูมิที่ถังเก็บเมทัลไฮไดรด์ออกแบบไว้

เมื่อสังเกตความดันภายในถังเมทัลไฮไดรด์ภายหลังหยุดการปล่อยก๊าซไฮโดรเจนทันที ที่อุณหภูมิของน้ำในระบบระบายความร้อนสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส พบว่า ความดันของถังเมทัลไฮไดรด์ลดลง เนื่องจากเมทัลไฮไดรด์ต้องรักษาสภาพสมดุลของความดันที่อุณหภูมิน้ำในระบบระบายความร้อน 32 องศาเซลเซียสเท่ากับ 6 บาร์

ทดสอบบรรจุไฮโดรเจนเข้าถังเก็บเมทัลไฮไดรด์ โดยเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าถังเมทัลไฮไดรด์ พบว่า การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำก่อนเข้าถังเมทัลไฮไดรด์ ทำให้การบรรจุไฮโดรเจนลงถังเมทัลไฮไดรด์ใช้เวลาสั้นลง หากเปลี่ยนอุณหภูมิของถังเมทัลไฮไดรด์ ทดสอบเสมือนกับการบรรจุไฮโดรเจนขณะดับเครื่องยนต์ พบว่า ขณะอุณหภูมิของถังมีอุณหภูมิสูง จะใช้เวลาในการบรรจุมาก เนื่องจากความร้อนของถังเมทัลไฮไดรด์ ไม่สามารถถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมได้ทัน ซึ่งทำให้การเติมเชื้อเพลิงไฮโดรเจนทันทีจะใช้เวลานาน ดังนั้นควรเติมไฮโดรเจนขณะถังเมทัล

ไฮไดรด์ มีอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำ สำหรับการเปลี่ยนอุณหภูมิน้ำก่อนเข้าถังเมทัลไฮไดรด์ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าถังเมทัลไฮไดรด์สูง จะทำให้เวลาที่ใช้ในการบรรจุก๊าซไฮโดรเจนลงในถังเมทัลไฮไดรด์จะสูงตามด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดเมทัลไฮไดรด์เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งหากระบายความร้อนออกจากระบบดี ก็จะสามารถเกิดเป็นเมทัลไฮไดรด์ได้เร็วขึ้น โดยค่าความร้อนที่ได้จากการบรรจุไฮโดรเจนมีค่าประมาณ 25.81 kJ/mol H_2

สมรรถนะของถังเก็บเมทัลไฮไดรด์ ขณะปล่อยก๊าซไฮโดรเจน เมื่อถังได้รับความร้อนจากน้ำร้อนหม้อน้ำในเครื่องยนต์ พบว่า มีอุณหภูมิความร้อนก่อนเข้าถังเมทัลไฮไดรด์เท่ากับ 57-61 องศาเซลเซียส มีความดันราบอยู่ที่ 10 บาร์ และที่ความเร็วรอบสูง จะใช้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนมาก ทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานน้อยลง ความร้อนที่ได้จากการจ่ายไฮโดรเจนประมาณ 24.00-26.72 kJ/mol H_2

จะเห็นได้ว่า ความดันราบของก๊าซไฮโดรเจนใช้อุณหภูมิน้ำที่จ่ายเข้าไปไม่ได้ ต้องใช้อุณหภูมิภายในของเมทัลไฮไดรด์ โดยข้อมูลของถังเก็บเมทัลไฮไดรด์สามารถปล่อยก๊าซไฮโดรเจนความดัน 10 บาร์ ที่ 30 องศาเซลเซียส ขณะที่ทดลองอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าถังเมทัลไฮไดรด์ 60 องศาเซลเซียส ได้ก๊าซไฮโดรเจนความดัน 10 บาร์ แสดงว่า อุณหภูมิของเมทัลไฮไดรด์เป็น 30 องศาเซลเซียสเท่านั้น

เมื่อพิจารณาจากสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 4,000 รอบต่อนาที มีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเท่ากับ 0.12 kg/kWh คิดค่าอัตราการจ่ายก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 3.47 ลิตรมาตรฐานต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับข้อมูลของถังเก็บเมทัลไฮไดรด์สามารถปล่อยก๊าซไฮโดรเจนอัตราสูงสุดเท่ากับ 4.00 ลิตรมาตรฐานต่อวินาที ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การทดสอบสมรรถนะของถังเก็บเมทัลไฮไดรด์ ทั้งการเก็บและปล่อยก๊าซไฮโดรเจน สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในข้างต้น สามารถใช้กับรถยนต์ไฮโดรเจนกับสภาพการทำงานจริงบนท้องถนนได้จริง

ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ก๊าซไฮโดรเจนในเครื่องยนต์สันดาปภายใน มีข้อดีที่ไม่ทำให้เกิดมลภาวะ เพราะจากการสันดาปภายในจะได้น้ำออกมา ไอน้ำอาจทำให้เครื่องยนต์สึกหรอได้ จึงควรมีการออกแบบเครื่องยนต์ที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนอันเกิดจากไอน้ำ

2. ควรทดสอบกับก๊าซไฮโดรเจนในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก ซึ่งถ้าเกิดรอยรั่วของก๊าซไฮโดรเจน ก็จะเกิดการกระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนไม่เกิดการสะสมในบริเวณนั้นได้ และไม่ใกล้แหล่งที่มีประกายไฟ ถือว่าเป็นป้องกันไฟลุกไหม้ได้อีกวิธีหนึ่ง

3. การบรรจุเข้าถังเมทัลไฮไดรด์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนสูง ดังนั้นก๊าซไฮโดรเจนที่นำมาใช้บรรจุจะต้องมีความบริสุทธิ์สูง (99.999%) แก๊สอื่นที่นอกเหนือจากไฮโดรเจน หรือ อาร์กอน จะต้องได้รับการป้องกันไม่ให้เข้าสู่ถัง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไฮโดรเจนของไฮไดรด์ลดลง

4. ก่อนการต่อท่อ หรือ ข้อต่อใดๆ เข้ากับถังเมทัลไฮไดรด์ จะต้องไล่อากาศที่ค้างอยู่ในท่อออกให้หมดโดยการเปิดให้แก๊สไฮโดรเจนไหลออกเบาๆ เป็นการดันเอาอากาศส่วนนั้นออกไปก่อน เพื่อป้องกันอากาศเข้าสู่ถัง

5. ห้ามให้ความร้อนแก่ถังเมทัลไฮไดรด์ที่บรรจุไฮโดรเจนอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่วาล์วจ่ายไฮโดรเจนยังไม่ได้เปิด เนื่องจากจะทำให้ความดันภายในถังเพิ่มสูงขึ้นจนอาจเกิดอันตรายได้

6. หลังจากก๊าซไฮโดรเจนจากเมทัลไฮไดรด์ หากไม่เติมให้ปิดวาล์วจ่ายไฮโดรเจนทันที

7. ในทางปฏิบัติสำหรับการนำรถไฮโดรเจนไปใช้จริงจะมีข้อแนะนำคือ ก่อนขับรถไปถึงปั๊มเชื้อเพลิงไฮโดรเจนควรปิดระบบถ่ายเทความร้อนที่ให้กับถังเมทัลไฮไดรด์ เพื่อให้อุณหภูมิของถังลดลงก่อนการเติม โดยการเติมเราจะใช้ความจุความร้อนของถังช่วยรับความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดขณะทำการบรรจุไฮโดรเจนด้วย