บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การทดลองนำแกสไฮโดรเจนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเชื้อเพลิงไฮโดรเจนมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะประกอบด้วยศึกษาดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงได้ ศึกษาสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ วัดและวิเคราะห์แกสไอเสีย เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่นำมา ทดลองดัดแปลง ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้ สรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวสามารถนำมาทดลองใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยจะต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ดังต่อไปนี้

1.1 ระบบเชื้อเพลิง การดัดแปลงประกอบด้วย การออกแบบหัวฉีดแกสไฮโดรเจนซึ่งจะใช้ทดแทนหัวฉีดดีเซล และทำการติดตั้งระบบเชื้อเพลิงไฮโดรเจน ซึ่งได้แก่ ถังบรรจุแกสไฮโดรเจน วาล์วควบคุมแรงดันของแกส วาล์วป้องกันแรงดันย้อนกลับ (check valve) อุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับสู่ถัง (flash back arestor) ท่อแกสไฮโดรเจนและข้อต่อ

1.2 ระบบจุดระเบิด ดัดแปลงระบบจุดระเบิดจากการจุดระเบิดด้วยกำลังอัด โดยจะใช้ระบบจุดระเบิดของเครื่องยนต์แกสไซลีน คือ ระบบคอล์ย จานจ่ายแบตเตอรี่ ซึ่งจะมีหัวเทียนเป็นอุปกรณ์ช่วยจุดระเบิด

1.3 กำลังอัดของเครื่องยนต์ ดัดแปลงกำลังอัดของเครื่องยนต์ให้ลดลงจาก 22 : 1 หรือ 11 : 1 โดยประมาณ

1.4 จังหวะฉีดเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ดีเซลเดิมจะฉีดน้ำมันที่ 20° ก่อนศูนย์ตายบน ส่วนเครื่องยนต์ไฮโดรเจนในการทดลองครั้งนี้จะดัดแปลงให้ฉีดแกสไฮโดรเจนที่ 50° ก่อนศูนย์ตายบน

1.5 จังหวะจุดระเบิด ในการทดลองครั้งนี้จังหวะจุดระเบิดของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนคือ จุดระเบิดที่ศูนย์ตายบน

1.6 ระบบ START เครื่องยนต์ดีเซลที่นำมาดัดแปลงใช้แกสไฮโดรเจน จะ START เครื่องด้วยมือหมุน ในการทดลองครั้งนี้จะใช้มอเตอร์ช่วย START เครื่องยนต์

ตารางที่ 3 สรุปข้อแตกต่างระหว่างเครื่อยนต์ดีเซลก่อนการดัดแปลงกับเครื่องยนต์ไฮโดรเจน

ข้อแตกต่าง	เครื่องยนต์ดีเซล	เครื่องยนต์ไฮโดรเจน
เชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	แกสไฮโดรเจน
ถังบรรจุเชื้อเพลิง	อยู่กับเครื่องยนต์	อยู่นอกเครื่องยนต์
ฝาสูบ	แบบ Direct injection	แบบ indirect injection (Swirl chamber)
อัตราส่วนกำลังอัด	21 : 1	11 : 1
หัวฉีด	หัวฉีดดีเซล	หัวฉีดแกสไฮโดรเจน
จังหวะฉีดเชื้อเพลิง	20° BTDC	50° BTDC
ระบบจุดระเบิด	อัดจุดระเบิด	หัวเทียนจุดระเบิด
จังหวะจุดระเบิด	-	ศูนย์ตายบน
ระบบสตาทย์	มือหมุนสตาทย์	มอเตอร์สตาทย์

2. เมื่อทำการดัดแปลงเครื่องยนต์เรียบร้อยแล้ว จึงทำการทดลองเดินเครื่องยนต์เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงาน โดยทดลองฉีดแกสไฮโดรเจนด้วยแรงดันเริ่มต้น 10 บาร์ จังหวะฉีด คือ ตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง 50 องศาก่อนศูนย์ตายบน จุดระเบิดที่ศูนย์ตายบน ซึ่งได้ผลคือ เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ แต่เมื่อให้เครื่องยนต์รับภาระเครื่องยนต์จะดับ และเมื่อเพิ่มแรงดันในการฉีดเป็น 15 บาร์ เครื่องยนต์สามารถรับภาระเพิ่มขึ้น แต่ไม่มากพอที่จะทำการทดสอบได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ที่แรงดันต่ำเครื่องยนต์ไฮโดรเจนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ไม่มีกำลังพอที่จะรับภาระได้ เนื่องจากความหนาแน่นของแกสไม่เพียงพอ และเมื่อเพิ่มแรงดันในการฉีดเป็น 20 บาร์ เครื่องยนต์สามารถรับภาระได้สูงเพิ่มขึ้น จนสามารถทำการทดสอบเครื่องยนต์ได้ จึงเริ่มการทดสอบเครื่องยนต์ไฮโดรเจนที่ 20 บาร์ และเพิ่มครั้งละ 5 บาร์ ซึ่งจากผลการทดสอบเครื่องยนต์สรุปได้ว่า ความเร็วรอบ, กำลังภาระที่เครื่องยนต์รับได้, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ, อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง, อุณหภูมิแกสไอเสีย อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ใช้ในการฉีดแกสไฮโดรเจนลงในกระบอกสูบ

3. จากผลการทดสอบเครื่องยนต์ไฮโดรเจนในครั้งนี้ ซึ่งจะฉีดแกสไฮโดรเจนที่ตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง 50 องศาก่อนศูนย์ตายบน และจุดระเบิดที่ศูนย์ตายบน สามารถสรุปได้ว่า เมื่อแรงดันในการฉีดแกสไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบสูงสุด ภาระที่เครื่องยนต์สามารถรับได้สูงสุด กำลังสูงสุด และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้น ดังกราฟรูปที่ 25 และจากกราฟแสดงให้เห็นว่า ความเร็วสูงสุด ภาระที่เครื่องยนต์รับได้สูงสุด กำลังสูงสุด และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน จะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 35 บาร์

4. สรุปผลการทำงานของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดต่ำและแรงดันในการฉีดสูงได้ดังตารางที่ 9

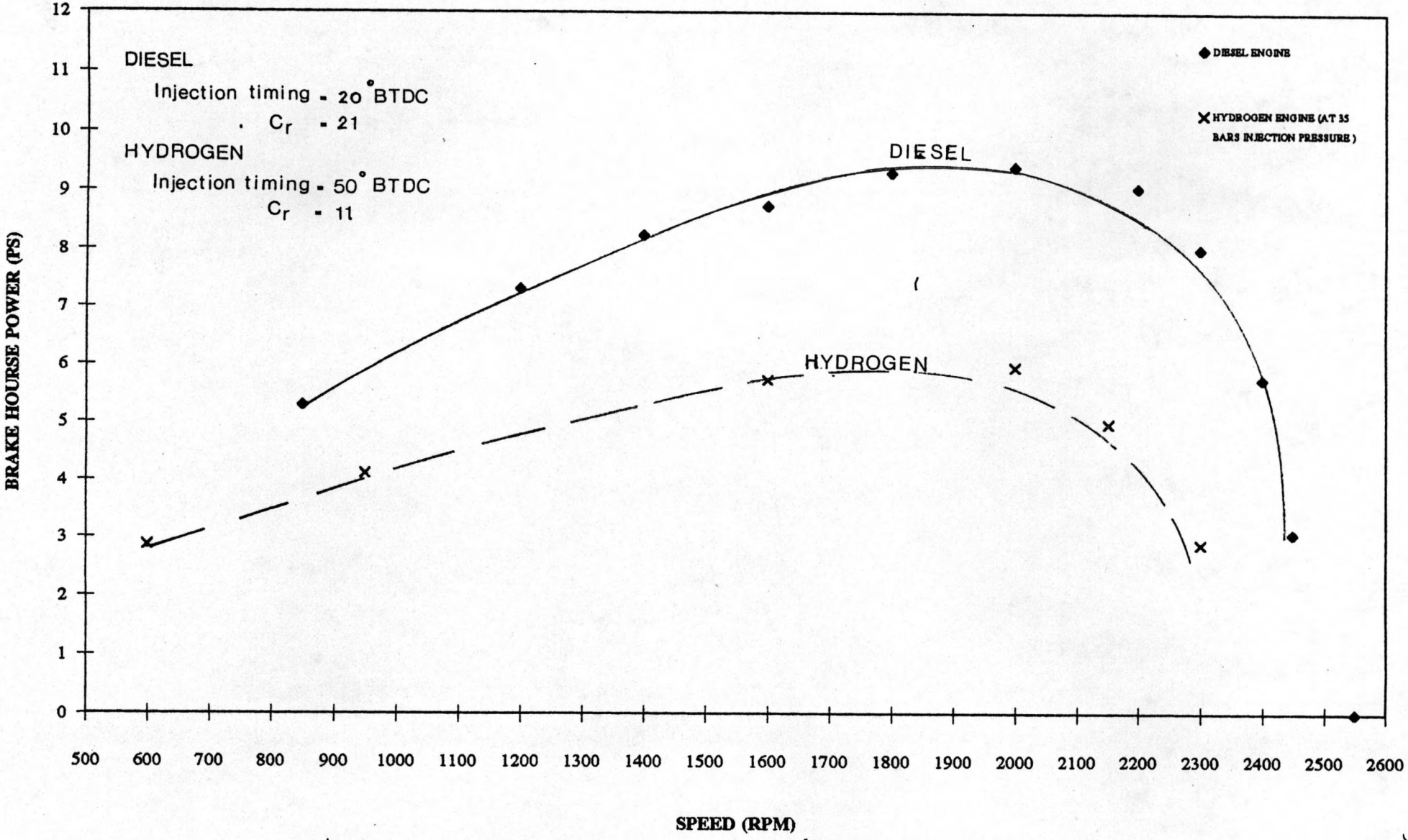
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการทำงานของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนที่แรงดันในการฉีดต่ำ (20 บาร์) และสูง (40 บาร์)

ผลการทำงานของเครื่องยนต์	20 บาร์	40 บาร์
ความเร็วรอบ	ต่ำ	สูง
กำลัง	ต่ำ	สูง
ภาระ (แรงบิด) ที่สามารถรับได้	ต่ำ	สูง
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน	ต่ำ	สูง
ความสิ้นเปลืองจำเพาะ	สูง	ต่ำ
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	ต่ำ	สูง
ปริมาณแกส CO_2, CO, HC, และ Exhaust smoke	0	0
เมื่อแรงดันในถังบรรจุแกสเท่ากัน (130 บาร์)	เวลาเดินเครื่องนานกว่าที่แรงดันในการฉีดสูง (130 บาร์ - 20 บาร์)	เวลาเดินเครื่องจะสั้นกว่าที่แรงดันในการฉีดต่ำ (130 บาร์ - 40 บาร์)
เมื่อเกิดการรั่วซึม	ปริมาณการรั่วซึมต่ำ	ปริมาณการรั่วซึมสูง

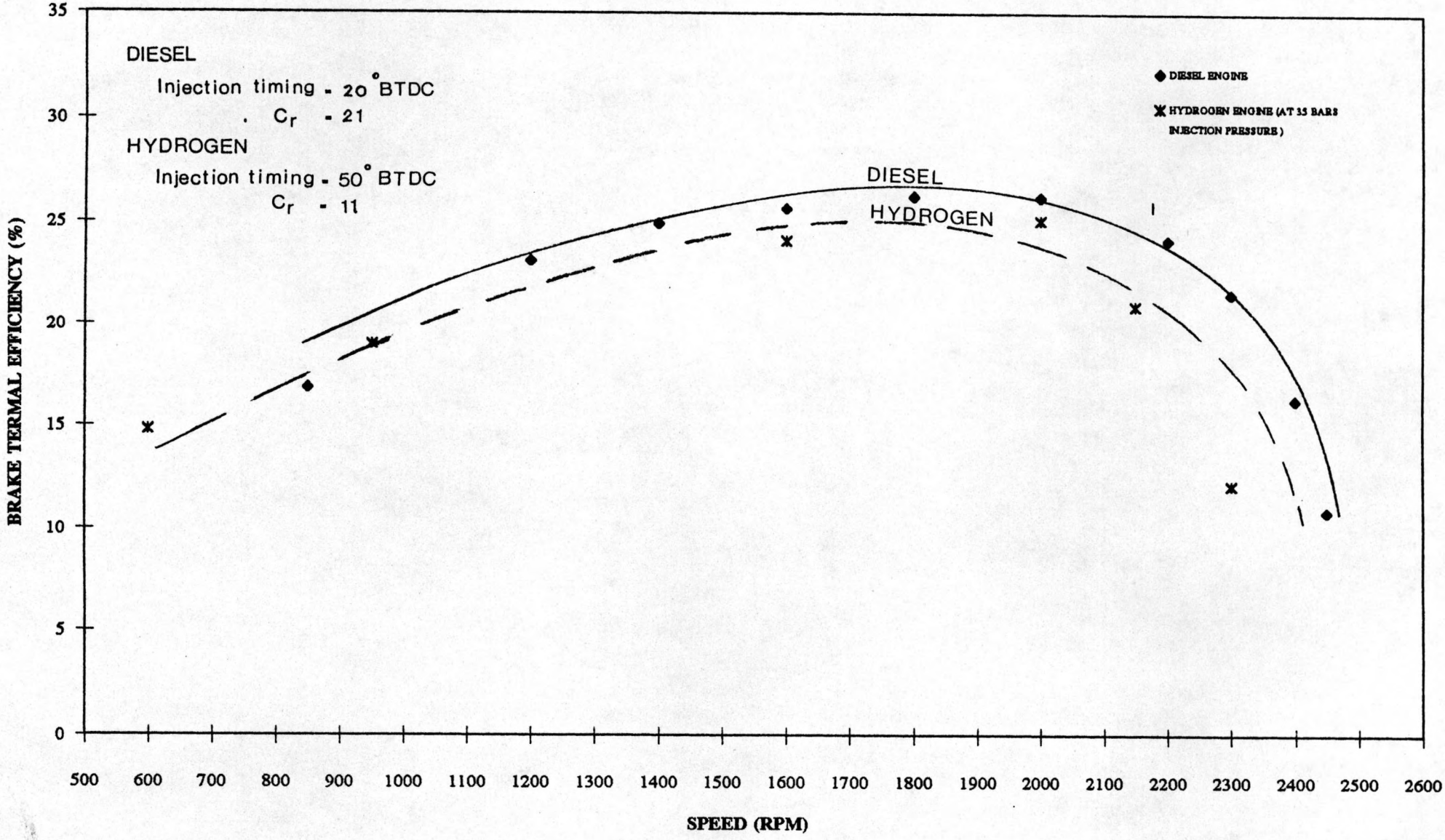
5. จากผลการทดสอบเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 35 บาร์ เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 10 และกราฟที่ รูปที่ 46 และ 47 แสดงการเปรียบเทียบกำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนและเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อภาระของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการทำงานของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนกับเครื่องยนต์ดีเซล

ผลการทำงานของเครื่องยนต์	ดีเซล	ไฮโดรเจน
กำลังอัดของเครื่องยนต์	22 : 1	11 : 1
จังหวะฉีดเชื้อเพลิง	20°BTDC	50°BTDC
ความเร็วรอบสูงสุด (รอบ/นาที)	2550	2400
กำลังสูงสุด (แรงม้า)	9.43	5.98
ภาระ (แรงบิด) ที่รับได้สูงสุด (นิวตัน)	148	114
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด (%)	26.31	25.17
ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุด (kg/PS-HR)	0.240	0.089
(MJ/PS-HR)	10.56	10.68
อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงสัมพัทธ์	0.98-1.64	1.62-2.20
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงสุด (°C)	68	85
อุณหภูมิแกสไอเสียสูงสุด (°C)	290	345
ปริมาณ CO ในแกสไอเสียสูงสุด (% โดยปริมาตร)	0.10	0
ปริมาณ HC ในแกสไอเสียสูงสุด (PPM)	570	0
ปริมาณ Exhaust Smoke ในแกสไอเสีย (%)	53	0



รูปที่ 45 เปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 35 บาร์ กับกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



รูปที่ 46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 35 บาร์ กับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ เครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

การศึกษาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ไฮโดรเจนในครั้งนี้ เป็นการเริ่มศึกษาครั้งแรกในประเทศไทย จึงยังเป็นการศึกษาเบื้องต้นหรือขั้นพื้นฐาน และเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาขั้นต่อไป จะขอสรุปข้อเสนอแนะหรือวิธีการศึกษาเพื่อให้เกิดการพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ซึ่งใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงขึ้นในประเทศไทย เนื่องจากปัจจุบันในต่างประเทศการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ไฮโดรเจนมีการพัฒนาก้าวหน้าอย่างมาก ดังนั้นในประเทศไทยก็ควรจะมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น แนวทางสำหรับการศึกษาเครื่องยนต์ไฮโดรเจนในขั้นต่อไป มีดังต่อไปนี้คือ

1. เครื่องยนต์ที่นำมาดัดแปลงใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง จะต้องสามารถฉีดเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งองศาเพลาข้อเหวี่ยงต่าง ๆ และสามารถฉีดเชื้อเพลิงด้วยแรงดันสูง ๆ ได้ เช่น ฉีดที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน ซึ่งจะทำให้สามารถพัฒนาสมรรถนะของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้นได้

2. พัฒนาหัวฉีดแกสไฮโดรเจน เช่น วัสดุที่ใช้ทำตัวหัวฉีดสปริงควบคุมการปิดเปิดลิ้นไฮโดรเจน โอริงกันรั่ว หรือพัฒนากลไกการทำงานของหัวฉีด เช่น สามารถ ควบคุมระยะกดของลิ้นไฮโดรเจน ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมปริมาณแกสไฮโดรเจนได้เพื่อทำให้การทำงานของหัวฉีดสมบูรณ์ขึ้น

3. ทดลองเปลี่ยนจังหวะฉีดเชื้อเพลิง และจังหวะจุดระเบิดที่มุมองศาเพลาข้อเหวี่ยงต่าง ๆ เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูง

4. ทดสอบระบบระบายความร้อน โดยทดลองหาปริมาณน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เพื่อทำให้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ไม่สูงมาก และเมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาพคงตัว อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจะต้องคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก