

## ก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล และก๊าซไอเสียนำกลับมาใช้

### Exhaust Gas Emissions from Hydrogen-Oxygen-Diesel Diesel Engine with Exhaust Gas Recirculation

ประทีป ชัยเสริมเทวัญ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียานยนต์และพลังงานทางเลือก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 199 หมู่ 6 ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 20230  
\* ติดต่อ: sfengptc@src.ku.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 086-1517559, เบอร์โทรสาร 038-354849

#### **บทคัดย่อ**

ปัจจุบันการใช้งานพลังงานเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ของโลกเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้จากฟอสซิลเป็นหลัก ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ โดยมีการนำมาใช้ทั้งในงานอุตสาหกรรม การขนส่ง และระบบขับเคลื่อนยานยนต์ ซึ่งมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้เชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ และไม่เพียงแต่ปัญหาวิกฤตด้านพลังงานที่ขาดแคลนเท่านั้น ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน เครื่องจักรทั้งในงานอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่ง โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซล จะปล่อยก๊าซไอเสียที่เป็นมลพิษซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง การใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะลดปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง มโนทัศน์ของการแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า และนำผลผลิต (ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน) ที่ได้ มาใช้เป็นพลังงานทดแทน จะช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลที่ใช้กับเครื่องยนต์หลักได้ แต่อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงก๊าซไฮโดรเจนอาจทำให้มลพิษบางอย่างในไอเสียมีการเปลี่ยนแปลงได้ เทคนิควิธีการนำไอเสียกลับมาใช้ ซึ่งมีจุดประสงค์หลักในการลดปริมาณก๊าซมลพิษในตริกออกไซด์ในไอเสียจึงถูกนำมาใช้

ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาผลของก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล โดยใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยโมล ซึ่งเป็นการจำลองการใช้พลังงานจากองค์ประกอบของน้ำในการใช้เป็นพลังงานทดแทน ผลที่ได้คือเมื่อใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจนในอัตรา 45 ลิตรต่อนาฬิกาจะทำให้อัตราส่วนสัมพัทธ์อากาศต่อเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 35.04 เปอร์เซ็นต์ ที่ 1600 รอบต่อนาที และภาระ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายถึงมีการประหยัดเชื้อเพลิงมากขึ้น ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้ลดลง แต่ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เมื่อนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ใหม่ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ความเร็วรอบและภาระเครื่องยนต์ในตำแหน่งดังกล่าว การใช้ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่เหมาะสมเท่ากับ 15 ลิตรต่อนาฬิกา ซึ่งจะทำให้ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียลดลงมากที่สุดเท่ากับ 34.07 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว

**คำหลัก:** ก๊าซไอเสีย ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซออกซิเจน การนำการไอเสียกลับมาใช้

#### **Abstract**

Currently, the majority of the world's energy is derived from fossil fuel. It has been used in both industrial and transportation. The usage dramatically increased, making the fuel production insufficient to meet demands. Not only is the energy shortage crisis but also the environmental issues is concerned. The diesel engines which used in both industrial and transportation releasing the exhaust gases are major source of pollutants that directly

## AEC-12

affect the environment. One of the alternative energies such as hydrogen in combination of oxygen from water electrolysis is used to reduce fossil fuel consumption. However, the use of hydrogen fuel may cause some pollutant emission change in composition. Alternatively, an exhaust gas recirculation technique which aims to reduce emissions of nitric oxide in the exhaust gas is used.

In this research, the effects on exhaust gas emissions of a 4-cylinder diesel engine fuelling with hydrogen-oxygen-diesel are studied and discussed. Hydrogen and oxygen in a ratio of 2:1 is applied to diesel engine, which are the element of water to be used as renewable energy. The results are shown that when using hydrogen-oxygen fuel with the rate of 45 lpm increased the relative air-to-fuel ratios of up to 35.04% at 1600 rpm, 25% load. This implies a reduction in fuel consumption. Meanwhile, the combustion gaseous carbon dioxide and carbon monoxide were lower but oxides of nitrogen emissions increased. When using 10% exhaust gas recirculation at the same load and speed, the suitable hydrogen-oxygen mixture flow rate was found to be 15 lpm that resulted in the maximum reduction in oxide of nitrogen by 34.07% compared to those using pure diesel fuel.

**Keywords:** emission, hydrogen, oxygen, exhaust gas recirculation

### 1. บทนำ

จากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน เป็นผลทำให้มีการใช้พลังงานมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ น้ำมันดีเซลทั้งในอุตสาหกรรม และการขนส่ง น้ำมันเชื้อเพลิงที่มาจากฟอสซิลมีแนวโน้มลดลงและคาดว่าจะขาดแคลนในอนาคตอันใกล้ ในทางตรงกันข้ามราคาของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อบรรเทาปัญหาดังกล่าวการนำ พลังทดแทนมาใช้จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อลดปริมาณการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลลงและนอกจากนั้นยังสามารถช่วยลด ปัญหาด้านมลพิษที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล

ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกทางหนึ่ง ที่นักวิจัยนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน [1-3] เนื่องจากเป็นก๊าซที่ให้พลังงานสูงและสามารถผลิตได้จากหลายแหล่งได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำ และชีวมวล [4] และก๊าซไฮโดรเจนสามารถผลิตในอุตสาหกรรมโดยวิธีการที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน [5-8]

พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนเช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนจะถูกนำไปใช้ใน เครื่องยนต์ดีเซล [9-10] ผลการเผาไหม้ของพลังงาน ทดแทนในเครื่องยนต์จะส่งผลโดยตรงต่อก๊าซไอเสีย ก๊าซ ไอเสียที่ปล่อยจากเครื่องยนต์ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม [11]

โมโนทอกซ์ของเครื่องยนต์ยกน้ำด้วยไฟฟ้าซึ่งจะสามารถ ผลิตก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน [12] จะสามารถ

นำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกซึ่งสามารถนำมาใช้กับ เครื่องยนต์ได้

ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาทดลองการใช้พลังงาน ทางเลือกประกอบด้วย พลังงานจากก๊าซไฮโดรเจนและ ก๊าซออกซิเจนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ซึ่งเป็นองค์ประกอบ ของน้ำจากนิยามพื้นฐานที่ว่าน้ำสามารถใช้เป็นพลังงาน ทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ได้ และในงานวิจัยยังนำ หลักการของการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้เพื่อเป็นการลด ปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์ในไอเสียซึ่งเป็นก๊าซที่ส่งผล กระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม

### 2. อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบโดยสังเขปประกอบด้วย ดังนี้

#### 2.1 เครื่องยนต์ทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลมีซูบิชิ 4 จังหวะ 4 สูบ รุ่น 4D56 ระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งมี รายการสมรรถนะดังแสดงในตารางที่ 1

#### 2.2 เครื่องมือวัด

เครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ทำการสร้างแรงบิดโดยใช้แท่น ทดสอบวัดแรงบิดรุ่น 012-200-1K โดยเป็นชนิดเบรกด้วย สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้า ระบายความร้อนด้วย อากาศ แรงบิด 6800 นิวตันเมตร ช่วงความเร็วรอบ 500-3000 รอบต่อนาที กำลังสูงสุด 150 กิโลวัตต์

## AEC-12

อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ ฟรีคอกซิมีตี้ เซนเซอร์ เป็นอุปกรณ์ใช้ตรวจจับวัตถุใกล้เคียงโดยไม่ต้องสัมผัสในการทดลองใช้รุ่น SI18-CE8 แบบ NPN NO ซึ่งสัญญาณจากฟรีคอกซิมีตี้ เซนเซอร์จะถูกส่งเข้าสู่ชุดประมวลผลแบบตัวเลข รุ่น CM-001-L ยี่ห้อไพรมัส รับสัญญาณเข้าแบบโพโทอิเล็กทรอนิกส์ฟรีคอกซิมีตี้ หรือแบบเอ็นโคเดอร์ แสดงผลเป็นตัวเลข 4 หลัก สามารถโปรแกรมได้ใช้ไฟกระแสสลับ 220 โวลต์

เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ถูกใช้วัดปริมาณองค์ประกอบของก๊าซที่ถูกปล่อยมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถวัดปริมาณความเข้มข้นเชิงปริมาตรของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และก๊าซออกซิเจน โดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้ออินฟราลิสต์ รุ่นสมาร์ท ความเข้มข้นเชิงปริมาตรของก๊าซไนตริกออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ สามารถวัดได้โดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้อเทสโต รุ่น 350XL ในการวัดก๊าซไอเสียของเครื่องวิเคราะห์ทั้งสองอยู่บนพื้นฐานการวัดแบบแห้ง

### ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ทดสอบ

รายการสมรรถนะ	ข้อมูลจำเพาะ
แบบเครื่องยนต์	ดีเซล 4 จังหวะ 4 สูบ ระบายความร้อนด้วยน้ำ
ชนิดห้องเผาไหม้	มีห้องเผาไหม้ช่วย แบบไหลวน
ปริมาตรเครื่องยนต์	2,476 ซีซี
ขนาดกระบอกสูบ	91.1 มิลลิเมตร
ความยาวช่วงชัก	95.0 มิลลิเมตร
กำลังสูงสุด	55 กิโลวัตต์ ที่ 4,200 รอบต่อนาที
แรงบิดสูงสุด	142 นิวตันเมตร ที่ 2,500 รอบต่อนาที
อัตราส่วนการอัด	21:1

### 2.3 เชื้อเพลิงทดสอบ

เชื้อเพลิงที่ใช้ประกอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักในการทดสอบ ร่วมกับการใช้พลังทดแทนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 โดยโมล ของมูลของเชื้อเพลิงทั้งสามแสดงดังตารางที่ 2 ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนจากบริษัท Praxair

ถูกจัดเก็บภายในถังความดันพร้อมชุดอุปกรณ์การจ่ายก๊าซได้แก่ หัวจ่ายก๊าซ อุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนเข้าสู่ถัง และอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของก๊าซ

### 2.4 การวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) ในไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) ถูกวัดค่าโดยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซเทสโต รุ่น 350XL ช่วงการวัดของก๊าซไนตริกออกไซด์เท่ากับ 3,000 พีพีเอ็ม และช่วงการวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 500 พีพีเอ็ม ซึ่งทั้งสองก๊าซมีค่าความคลาดเคลื่อน 5 พีพีเอ็ม

### 2.5 ขั้นตอนและสภาวะการทดสอบ

ในการทดสอบใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ศึกษาถึงผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจนดีเซล โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ที่อัตราการป้อนสูงสุด 45 ลิตรต่อนาที ป้อนเข้าสู่ท่อไอดีของเครื่องยนต์ เพื่อเป็นการจำลองการใช้สารประกอบน้ำเป็นเชื้อเพลิง โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ภาระของเครื่องยนต์ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของการเปิดคันเร่ง และความเร็วรอบเครื่องยนต์สองตำแหน่งคือที่ 1600 และ 2000 รอบต่อนาที และนอกจากนั้นจะทำการศึกษาใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจนดีเซล ร่วมกับการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ที่อัตรา 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของไอเสียที่ปล่อยออก

ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนถูกป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ที่ท่อร่วมไอดีที่ระยะประมาณ 10 เซนติเมตร ก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซล อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศถูกติดตั้งเพื่อวัดประมาณการใช้อากาศของเครื่องยนต์ และการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้เป็นการต่อท่อเพื่อนำก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ในห้องเครื่องยนต์ กลับมาเผาไหม้ใหม่อีกครั้ง ซึ่งแผนภาพอย่างง่ายของการทดสอบและอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1

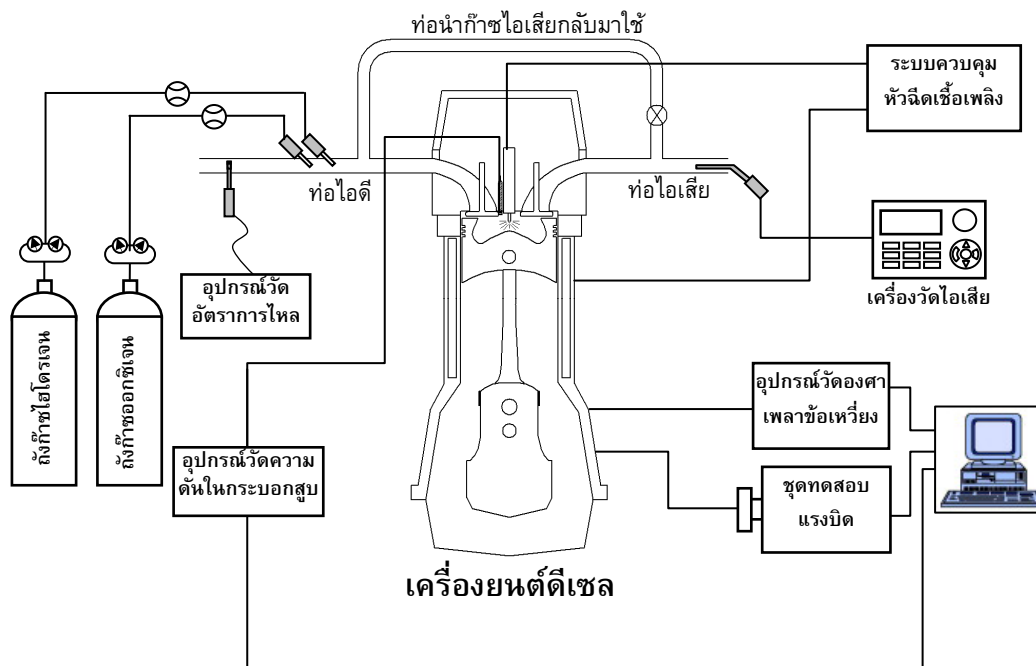
## 3. ผลการทดสอบ

ในการทดสอบทำการศึกษาผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจนดีเซล ซึ่งใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ที่อัตราการป้อนสูงสุด 45 ลิตรต่อนาที ป้อนเข้าสู่ท่อไอดีของเครื่องยนต์ โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ภาระของเครื่องยนต์ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของการเปิดคันเร่ง และความเร็วรอบเครื่องยนต์สองตำแหน่งคือที่ 1600 และ

## AEC-12

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

รายการส่วนประกอบ	มาตรฐาน	น้ำมันดีเซล	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน
Cetane number	ASTM D613	53.9	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
Density@15°C (kg/m <sup>3</sup> )	ASTM D4052	827.1	0.084	1141
Viscosity@40°C (cSt)	ASTM D445	2.467	ไม่ระบุ	0.0213
LHV (MJ/kg)		42.7	120.0	ไม่ระบุ
Sulphur (mg/kg)	ASTM D2622	46.0	0.0	0.0
Total aromatic (wt%)		24.4	0.0	0.0
Molecular weight		209	1	16
C (wt%)		86.5	0.0	0.0
H (wt%)		13.5	100.0	0.0



รูปที่ 1 แผนผังวงจรการติดตั้งอุปกรณ์วัดต่างๆ สำหรับการทดสอบ

2000 รอบต่อนาที และผลจากใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ร่วมกับการนำแก๊สไอเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของแก๊สไอเสีย มีผลการทดสอบดังนี้

### 3.1 แก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล

รูปที่ 2 แสดงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ผลที่ได้คือการเพิ่มปริมาณของแก๊สเชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน จะทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียมีแนวโน้มลดลง ที่ทุกภาระของ

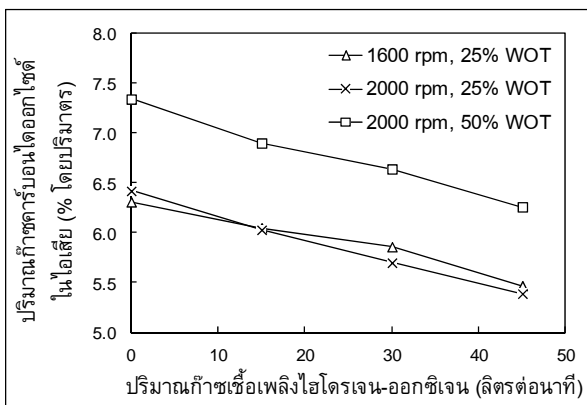
เครื่องยนต์และทุกความเร็วรอบ ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน ที่ไม่มีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอนทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ทำให้ปริมาณของธาตุคาร์บอนในไอเสียลดลง ในการทดลองการป้อนแก๊สเชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน 45 ลิตรต่อนาที ที่ภาระเครื่องยนต์ 25 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง และที่ความเร็วรอบเครื่อง 1600 และ 2000 รอบต่อนาที จะทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียลดลงเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 13.31 และ 16.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ภาระเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ของการเปิดคันเร่ง ที่ความเร็วรอบ

## AEC-12

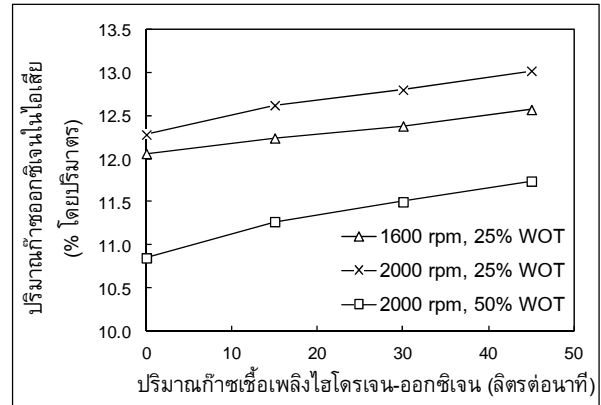
เครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียลดลง 14.71 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 3 แสดงปริมาณก๊าซออกซิเจนในไอเสีย ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ทุกตำแหน่งของภาวะเครื่องยนต์และทุกความเร็วรอบ ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นส่วนประกอบในเชื้อเพลิงมากขึ้น ในการทดลองการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน 45 ลิตรต่อนาที ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 และ 2000 รอบต่อนาที ที่ภาวะเครื่องยนต์ 25 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง จะเกิดก๊าซออกซิเจนในไอเสียเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวกันเท่ากับ 4.23 และ 6.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ภาวะเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที เกิดก๊าซออกซิเจนในไอเสียเพิ่มขึ้น 8.20 เปอร์เซ็นต์

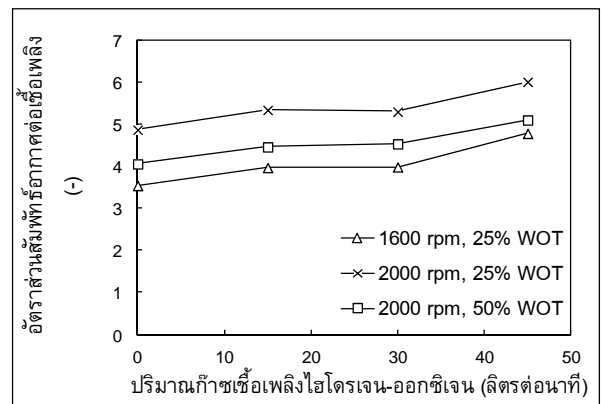
รูปที่ 4 แสดงอัตราส่วนสัมพัทธ์อากาศต่อเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจนเพิ่มขึ้น โดยในการทดลองการใช้ก๊าซเชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน 45 ลิตรต่อนาที ที่ภาวะเครื่องยนต์ 25 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง และความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 และ 2000 รอบต่อนาที ทำให้ อัตราส่วนสัมพัทธ์อากาศต่อเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเท่ากับ 35.04 และ 22.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ภาวะเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที อัตราส่วนสัมพัทธ์อากาศต่อเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเท่ากับ 25.75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซไอเสีย เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล



รูปที่ 3 ปริมาณก๊าซออกซิเจนในก๊าซไอเสีย เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล



รูปที่ 4 อัตราส่วนสัมพัทธ์อากาศต่อเชื้อเพลิง เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล

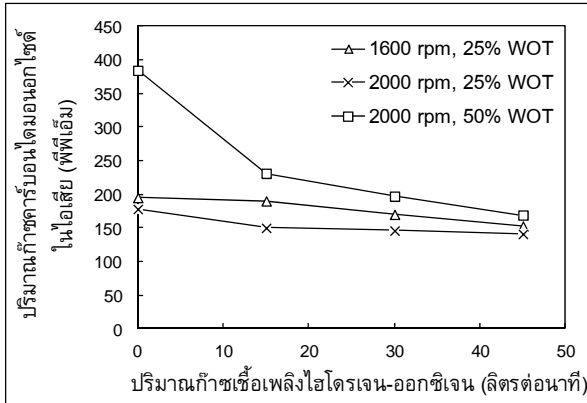
สำหรับก๊าซในไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ถูกนำเสนอผลที่เกิดขึ้นต่างๆ ดังนี้

รูปที่ 5 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ผลที่ได้คือปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจนให้กับเครื่องยนต์ดีเซล ที่ทุกสภาวะการทำงาน โดยเป็นผลมาจากอัตราส่วนสัมพัทธ์ของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ทำให้การเผาไหม้เกิดในส่วนผสมเชื้อเพลิงที่บาง จึงทำให้มีปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียลดลง ในการทดสอบเมื่อป้อนก๊าซเชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน 45 ลิตรต่อนาที ที่ภาวะเครื่องยนต์ 25 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 และ 2000 รอบต่อนาที เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย

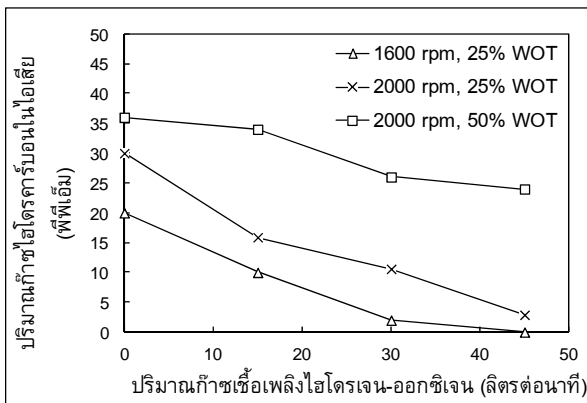


## AEC-12

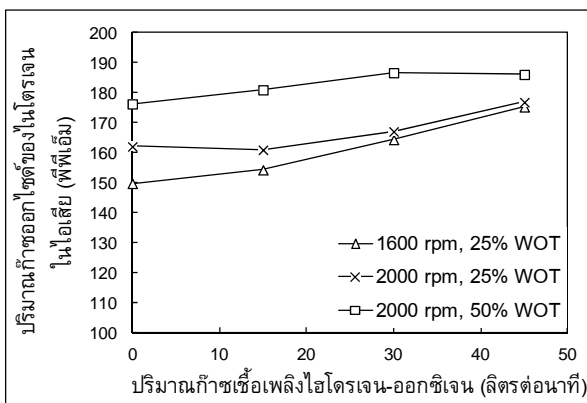
ลดลงเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว 21.70 และ 20.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ภาระเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง และความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียลดลงเท่ากับ 55.99 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล



รูปที่ 6 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล



รูปที่ 7 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล

รูปที่ 6 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ซึ่งมีแนวโน้มลดลง โดยเป็นผลมาจากอัตราส่วนสัมพัทธ์ของอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ในส่วนผสมเชื้อเพลิงที่บางปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจึงน้อยลง ในการทดลองการใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน 45 ลิตรต่อนาที ที่ภาระของเครื่องยนต์ 25 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 และ 2000 รอบต่อนาที จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรคาร์บอนในไอเสียลดลงเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล 100 และ 90.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ภาระเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที จะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรคาร์บอนในไอเสียลดลง 33.33 เปอร์เซ็นต์

ส่วนก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย ที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล แสดงดังรูปที่ 7 จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ซึ่งเป็นผลมาจากเมื่อใช้ก๊าซเชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่สูงขึ้นมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ในการทดลองเมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจนที่อัตรา 45 ลิตรต่อนาที ที่ภาระเครื่องยนต์ 25 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 และ 2000 รอบต่อนาที จะทำให้เกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเท่ากับ 17.03 และ 9.14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และที่ภาระของเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที เกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียเพิ่มขึ้น 5.56 เปอร์เซ็นต์

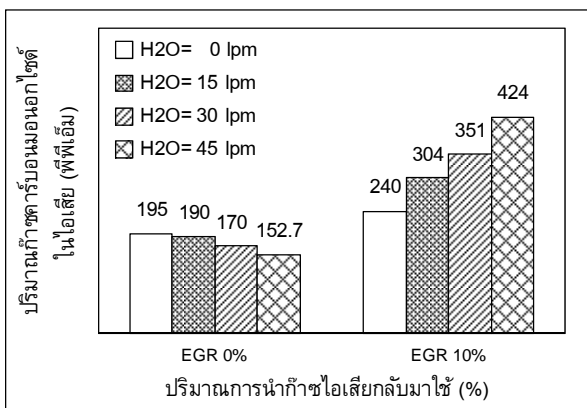
### 3.2 ผลกระทบจากการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ดีเซล

ผลกระทบด้านมลพิษที่เกิดขึ้นจากไอเสียของเครื่องยนต์ 4 สูบ เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ร่วมกับการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ถูกนำเสนอ โดยในการทดลองทำการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน ในอัตราสูงสุด 45 ลิตรต่อนาที ที่

## AEC-12

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 รอบต่อนาที ภาระของเครื่องยนต์ 25 เปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งคันเร่ง และใช้การนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ที่ 0 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้มีดังนี้

รูปที่ 8 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ร่วมกับการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ ผลที่ได้คือปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ โดยในการทดลองที่การนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียเพิ่มขึ้นเป็น 424 พีพีเอ็ม เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวจะเกิด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียเท่ากับ 195 พีพีเอ็ม หรือคิดเป็นการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียเท่ากับ 117.44 เปอร์เซ็นต์

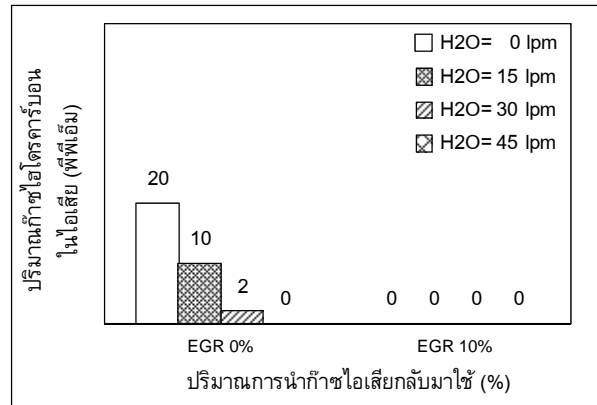


รูปที่ 8 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ร่วมกับการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้

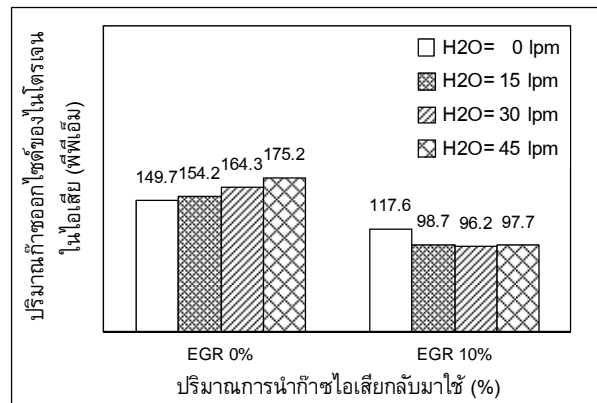
รูปที่ 9 แสดงปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ก๊าซไฮโดรคาร์บอนในไอเสียมีเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นข้อดีของการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้

รูปที่ 10 แสดงปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย ผลที่ได้คือปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ โดยเป็นผลมาจากการเพิ่มการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง ในการทดลองที่การนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ 10 เปอร์เซ็นต์ จะได้

ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียลดลงเป็น 97.7 พีพีเอ็ม เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวจะเกิดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียเท่ากับ 149.7 พีพีเอ็ม หรือคิดเป็นลดลง 34.74 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 9 ปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนในไอเสียในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ร่วมกับการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้



รูปที่ 10 ปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน-ดีเซล ร่วมกับการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้

#### 4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจนและออกซิเจนในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ร่วมกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียมีแนวโน้มลดลง ก๊าซออกซิเจนในไอเสียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อัตราส่วนสัมพัทธ์อากาศต่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มสูงขึ้น ก๊าซมลพิษได้แก่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนมีแนวโน้มลดลง ส่วนก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อประยุกต์การนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ร่วมด้วยจะ

## AEC-12

ทำให้ก๊าซมลพิษเปลี่ยนแปลงคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ก๊าซไฮโดรคาร์บอนลดลงเป็นศูนย์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง นั่นคือการใช้เชื้อเพลิงร่วมไฮโดรเจน-ออกซิเจน ในการทดลองจึงเป็นแนวทางสำหรับในอนาคตที่ใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากการแยกสารประกอบของน้ำได้

ส่วนการใช้พลังงานทดแทนจากก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ร่วมกับการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้ เมื่อพิจารณาจากความสามารถในการลดปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียพบว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 รอบต่อนาที และภาระเครื่องยนต์ที่ตำแหน่งคันเร่ง 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่เหมาะสมเท่ากับ 15 ลิตรต่อนาที และการนำก๊าซไอเสียกลับมาใช้เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียลดลงมากที่สุดเท่ากับ 34.07 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ ด้วยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2553-54 รหัสโครงการ ว-ท (ด) 173.53 และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชาที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทดสอบ

### 7. เอกสารอ้างอิง

[1] Saravanan N., Nagarajan G., Dhanasekaran C. and Kalaiselvan K.M. (2007). Experimental Investigation of Hydrogen Port Fuel Injection in DI Diesel Engine, *International Journal of Hydrogen Energy* 32, pp. 4071-7080.

[2] Saravanan N. and Nagarajan G. (2008). An experimental investigation of hydrogen-enriched air induction in a diesel engine system, *International Journal Hydrogen Energy* 33, pp. 1769-1775.

[3] Naber J.D. and Siebers D.L. (1998). Hydrogen Combustion under Diesel Engine Conditions,

*International Journal of Hydrogen Energy* 23, pp. 363-371.

[4] Williams L.O. (1980). *Hydrogen Power An Introduction to Hydrogen Energy and Its Application*, Pergamon Press.

[5] Buchner H. (1995). *Technology for Gaseous Hydrogen Production*, In: H.W. Pohl (Ed.) "Hydrogen and Other Alternative Fuels for Air and Ground Transportation", John Wiley, West Sussex.

[6] Cox K.E. Williamson and K.D. (1977). *Hydrogen: Its Technology and Implications Volume I: Hydrogen Production Technology*, CRC Press.

[7] Cortright R.D., Davda R.R. and Dumesic J.A. (2002). Hydrogen from Catalytic Reforming of Biomass-derived Hydrocarbons in Liquid Water, *Nature* 418, pp. 964-967.

[8] Khaselev A.C. and Turner J.A. (1998). A Monolithic Photovoltaic-photoelectrochemical Device for Hydrogen Production via Water Splitting, *Science* 280, pp. 425-427.

[9] Badr O., Karim G.A. and Liu B. (1999). An examination of the flame spread limits in a dual fuel engine, *Applied Thermal Engineering* 19, pp.1071-1080.

[10] Carlucci A.P., De Risi A., Laforgia D. and Naccarato F. (2008). Experimental investigation and combustion analysis of a direct injection dual-fuel diesel-natural gas engine, *Energy* 33, pp. 256-263.

[11] Saravana N., Nagarajan G. and Narayanasamy S. (2008). An experimental investigation on DI diesel engine with hydrogen fuel, *Renewable Energy* 33, pp. 415-421.

[12] Freedom, O. (2008). Water4Gas. URL: <http://peswiki.com/index.php/Directory, Water4Gas# Data>, access on May 31, 2010.