

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24  
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

**การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสมกับสารช่วยจุดระเบิดสำหรับ  
เครื่องยนต์การเกษตรแบบฉีดเชื้อเพลิงตรง**  
**Possibility Study of Using Ethanol Blended with Ignition Improver (ED95) as a Fuel  
for Agricultural DI Engines**

กิตติ เอี่ยมเปรมจิต, ธนภูมิ ดวงนิล, ศุภสิทธิ์ เบญจเดชาชัย, นพรัตน์ ชัยนุสนธิ, สมชาย จันทร์ชานา,  
สำเร็จ จักรใจ และ ยศพงษ์ ลออ่อนวล\*

ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนพระยาสุทธี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140  
\*ผู้ติดต่อ: E-mail: yossapong.lao@kmutt.ac.th, โทรศัพท์ 0-2427-9273, โทรสาร 0-2427-9273

**บทคัดย่อ**

ปัจจุบันประเทศไทยได้นำเอทานอลมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่การนำมาใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดแบบอัดยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากปัญหาของเอทานอลคือการจุดติดไฟยากเมื่อไม่มีระบบช่วยจุดระเบิดจากภายนอก หนึ่งในกลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ชนิดนี้ คือ การเพิ่มอัตราส่วนการอัด และการใช้สารปรุงแต่งเพื่อช่วยจุดระเบิดผสมกับเอทานอล งานวิจัยนี้ได้ทำการดัดแปลงเครื่องยนต์การเกษตรที่มีระบบจุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดตรงเข้าห้องเผาไหม้ โดยการเพิ่มอัตราส่วนการอัดเป็น 28 และใช้เอทานอลผสมกับสารช่วยจุดระเบิดเป็นเชื้อเพลิง เรียกว่า ED95 ผลการทดลองพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงสามารถสตาร์ทติดเครื่องยนต์ได้ง่าย อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพเชิงความร้อนยังต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซลแบบเดิมที่มีอัตราส่วนการอัด 18 ประมาณ 3.6 – 4.5 % ที่ทุกภาระของเครื่องยนต์ ในกรณีของประเทศไทย ราคาเชื้อเพลิง ED95 ยังไม่สามารถแข่งขันกับดีเซลได้ ดังนั้นการศึกษาสารช่วยจุดระเบิดที่มีราคาถูก และสามารถผลิตขึ้นในประเทศได้จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

**คำหลัก:** เชื้อเพลิงเอทานอล, สารช่วยจุดระเบิด, สารปรุงแต่ง, เครื่องยนต์การเกษตรแบบฉีดเชื้อเพลิงตรง

**Abstract**

Currently in Thailand, the ethanol has been used as alternative fuels in gasoline engine. However, the using of ethanol in CI engine is not extensively, because the problem of using ethanol as a fuel in CI engine is the difficulty of ignition. One of proper strategy is to raise the compression ratio and to blend ethanol with an additive for improving ignition. The agricultural direct-injection compression-ignition engine was modified in this study which the compression ratio of engine was modified to 28:1, and investigated with the ethanol blended with the ignition improver called ED95 as fuel. Results show that the modified ethanol CI engine can be started normally. The thermal efficiency of the ethanol CI engine is lower than

the original diesel engine with the compression ratio of 18:1 about 3.6 – 4.5% at all loads. In the case of Thailand, the current cost of ED95 still cannot compete with the cost of diesel. Therefore, the study of low cost ignition improver is an interesting topic in the future.

**Keywords:** Ethanol, Ignition improver, Fuel additive, Agricultural DI Engine.

## 1. บทนำ

### 1.1 การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง

เอทานอลได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเวลานานแล้ว โดยเฉพาะในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ประกอบกับเอทานอลผลิตจากวัตถุดิบที่ถูกจัดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพราะสามารถเพาะปลูกทดแทนได้ เช่น อ้อยและมันสำปะหลัง เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการหมักและกลั่น เชื้อเพลิงชีวมวลมีคุณลักษณะเด่น คือ ให้การเผาไหม้ที่ถือว่าไม่เพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) สะสมในบรรยากาศ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกดูดซับกลับคืนไปสู่พืชหมุนเวียน เป็นเสมือนวัฏจักรหมุนเวียน ดังนั้นจึงทำให้หลายประเทศให้ความสนใจในการนำเอทานอลมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกทางด้านยานยนต์ โดยในงานวิจัยนี้ได้สรุปถึงการใช้อเอทานอลในประเทศบราซิล และสวีเดน ซึ่งประเทศไทยมีความใกล้เคียงกับประเทศบราซิลเนื่องจากสามารถผลิตเอทานอลใช้เองได้ ในขณะที่ประเทศสวีเดนมีเทคโนโลยีการใช้อเอทานอลกับเครื่องยนต์เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลที่น่าสนใจ โดยมีการใช้อเอทานอลในเชิงพาณิชย์ทั้งสองประเทศ

### 1.2 การใช้เอทานอลในประเทศบราซิล

ในปัจจุบันประเทศบราซิลถือว่าเป็นประเทศต้นแบบของการใช้อเอทานอลในยานยนต์ เพราะมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่วิกฤตการณ์น้ำมันในปี พ.ศ. 2516 ประเทศบราซิลซึ่งเป็นผู้ผลิตและส่งออกเอทานอลรายใหญ่ของโลกได้ริเริ่มนำเอทานอลที่ผลิตได้ในภายในประเทศมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ โครงการแรกภายใต้การสนับสนุนเงินทุนจากรัฐบาลบราซิลเริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2518 ด้วยการนำเอทานอลผสมลงในเชื้อเพลิงแกโซลีนประมาณ 10 % โดย

ปริมาณและผสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ [1] ปัจจุบันรัฐบาลบราซิลได้ควบคุมให้เชื้อเพลิงแกโซลีนต้องมีเอทานอลผสมอยู่ระหว่างร้อยละ 20 – 25 โดยเอทานอลที่นำไปผสมในน้ำมันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แกโซลีน เป็นเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 % โดยปริมาตร หรือเรียกว่า Anhydrous Ethanol

สำหรับการใช้รถยนต์เอทานอลล้วน เริ่มต้นเมื่อเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี พ.ศ. 2522 รัฐบาลบราซิลได้ทดสอบรถยนต์ต้นแบบที่ใช้อเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง (E100) ซึ่งเอทานอลจะมีความบริสุทธิ์อยู่ที่ประมาณ 95%โดยปริมาตร หรือเรียกว่า Hydrous Ethanol หลังจากนั้นรถยนต์ที่ใช้อเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียวได้ถูกผลิตออกมาจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในปี พ.ศ. 2523 ปัจจุบันมีการใช้รถยนต์ที่สามารถใช้เชื้อเพลิงแกโซลีนที่มีเอทานอลผสมอยู่ในอัตราส่วนต่างๆ ได้ เรียกว่า Flexible-Fuel Vehicles (FFV)

อีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้บราซิลสามารถนำเอทานอลมาใช้ได้อย่างเป็นรูปธรรม เนื่องจากประเทศบราซิลมีความได้เปรียบด้านราคาวัตถุดิบและความเหมาะสมทางธรรมชาติของดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมต่อการปลูกอ้อยซึ่งเป็นลักษณะที่ใกล้เคียงกับประเทศไทย ทำให้มีต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเอทานอลต่ำ นอกจากนี้รัฐบาลบราซิลยังมีมาตรการหลายด้าน ได้แก่ การประกันราคาของเอทานอล การปรับสัดส่วนการผลิตน้ำตาลและเอทานอลขึ้นอยู่กับผลตอบแทนระหว่างทั้งสองผลิตภัณฑ์ว่าผลิตภัณฑ์ใดให้ผลตอบแทนดีกว่า โดยในส่วนของผู้บริโภคจะเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างราคาเอทานอลกับน้ำมัน หากราคาเอทานอลอยู่ในระดับต่ำกว่า 70% ของราคาน้ำมัน ก็จะหันไปใช้อเอทานอลมากขึ้น

### 1.3 การใช้เอทานอลในประเทศสวีเดน

การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงของประเทศสวีเดนนั้นมีการใช้ E85 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอล 85% และแกโซลีน 15% โดยปริมาตรเพื่อทดแทนแกโซลีน และใช้ ED95 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอล 93-95% และสารช่วยจุดระเบิด 5-7% โดยปริมาตร เพื่อทดแทนดีเซล ซึ่งเป็นประเทศเดียวในโลกที่มีการใช้เชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน โดยกรุงสต็อกโฮล์มร่วมกับบริษัทสแกนเนียและวอลโว่ได้เริ่มโครงการทดสอบรถโดยสารประจำทางต้นแบบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 สำหรับบริษัทสแกนเนียได้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดปริมาตร 11 ลิตร จำนวน 6 สูบ ขนาดกำลัง 191 กิโลวัตต์ที่ 2,000 รอบต่อนาที ซึ่งถูกดัดแปลงให้มีอัตราส่วนการอัดสูงขึ้นเป็น 24:1 ระบบจ่ายเชื้อเพลิงจ่ายเชื้อเพลิงด้วยอัตราที่เพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยค่าความร้อนของเอทานอลที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 1 เพิ่มขนาดรูหัวฉีดเชื้อเพลิงให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ปรับจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง ชิ้นส่วนภายในระบบเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็นวัสดุที่สามารถทนต่อการกัดกร่อนของเอทานอลได้ [2] ปัจจุบันเครื่องยนต์ถูกพัฒนาให้มีอัตราส่วนกำลังอัดสูงถึง 28 และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดประมาณ 43 % ในขณะที่เครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 44 % นอกจากนี้ เครื่องยนต์ต้นแบบยังได้ใช้ระบบ EGR เพื่อลดปริมาณ NO<sub>x</sub> โดยการนำไอเสียบางส่วนผ่านระบบระบายความร้อนไอเสียและนำกลับเข้าไปในท่อร่วมไอดี

ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง ED95 ประกอบด้วย การผสมเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% (Eh95) กับ สารปรุงแต่ง (Additive ED95) ตามสัดส่วนในตารางที่ 2 ซึ่งส่วนประกอบของสารปรุงแต่งแสดงในตารางที่ 3 โดยมีส่วนประกอบของเอทานอลเพื่อสามารถทำให้ สารปรุงแต่งผสมกับเอทานอลหลักได้ง่าย สำหรับสารช่วยจุดระเบิดที่ใช้เติมลงในเอทานอลมีชื่อทางการค้าว่า Beraid (หรือ Glycerol Ethoxylate)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง แกโซลีน เอทานอลและดีเซล [3]

Property	Unit	Gasoline	Ethanol	Diesel
Density, liquid	kg/m <sup>3</sup>	720 - 789	794	800 - 820
Boiling point	°C	27 - 225	78.5	180 - 330
Flash point	°C	- 43	12	56 - 60
Auto ignition temperature	°C	257	363	220 - 320
Stoichiometric air/fuel ratio	kg/kg	14.7	8.9	14.8 - 15.0
Heat of vaporization	kJ/kg	345	910	251
Lower Heating Value	MJ/L	34	21.2	35.3

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง ED95 [4]

ส่วนประกอบ	สัดส่วนโดยปริมาตร
95% Hydrous Ethanol	90 %
Additive ED95	10 %

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของสารปรุงแต่ง (Additive ED95) [5]

ส่วนประกอบ	สัดส่วนโดยมวล
95% Hydrous Ethanol (Eh95)	20-25 %
Beraid (Glycerol Ethoxylate)	40-50 %
MTBE	17-21 %
Isobutanol	3-5 %
Morpholine	< 0.2 %
Lubricant	7-9 %

การเติม MTBE และ Isobutanol เพื่อให้เอทานอลไม่สามารถนำไปบริโภคได้ตามกฎหมายของประเทศสวีเดน Morpholine เป็นสารป้องกันการกัดกร่อนของชิ้นส่วน และสารหล่อลื่น (Lubricant) เพื่อป้องกันการสึกหรอของเครื่องยนต์

ผลการศึกษาที่ผ่านมามีการเปรียบเทียบการใช้เอทานอลกับดีเซล [6] เพื่อวัดมลพิษจากไอเสียด้วยเครื่องยนต์ขนาดกระบอกสูบ 9 ลิตร ด้วยมาตรฐาน European Stationary Cycle (ESC) พบว่า ปริมาณ NO<sub>x</sub> ของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง จะมี

ค่า 3.48 g/kWh ซึ่งต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงประมาณครึ่งหนึ่ง ปริมาณ HC ของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจะมีค่า 0.53 g/kWh ซึ่งต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเล็กน้อย แต่ปริมาณ CO ของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจะมีค่า 2.07 g/kWh ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม รายงานผลการวิจัยของการใช้เอทานอลกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดยังมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากการใช้เครื่องยนต์ ED95 ยังมีจำกัดอยู่แต่ในประเทศไทยสวีเดนเท่านั้น

#### 1.4 การใช้เอทานอลในประเทศไทย

การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเป็นทางการเกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศไทยจากแนวพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเมื่อปี พ.ศ. 2528 ในโครงการส่วนพระองค์ได้ศึกษาการผลิตแก๊สโซฮอล์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยผลิตเอทานอลจากอ้อย แต่ยังไม่เกิดการใช้กันอย่างแพร่หลาย จนกระทั่งราคาน้ำมันโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อปี พ.ศ. 2546 รัฐบาลจึงได้หันมาผลักดันการผลิตและการใช้แก๊สโซฮอล์อย่างจริงจัง โดยได้กำหนดเป้าหมายส่งเสริมเอทานอล 2.4 ล้านลิตร/วัน เพื่อทดแทน MTBE ในน้ำมันแก๊สโซลีน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ภายในปี 2554 เอทานอลที่นำไปผสมในน้ำมันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ นอกจากนี้กระทรวงพลังงานยังได้วางแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551-2565) โดยส่งเสริมให้เกิดการผลิตและการใช้เอทานอลไม่น้อยกว่า 9 ล้านลิตร/วัน ภายในปี 2565 เพื่อลดการพึ่งพาน้ำมัน เพิ่มมูลค่าและสร้างเสถียรภาพให้กับผลผลิตทางการเกษตร โดยการสร้างตลาดเอทานอลอย่างยั่งยืน รมรณรงค์ให้ความรู้และสร้างความเชื่อมั่นให้ผู้บริโภคอย่างจริงจัง ส่งเสริมอุตสาหกรรมเอทานอลแบบครบวงจรและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมไปถึง

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำมันสำเร็จรูป (หน่วย: ล้านลิตรต่อวัน) [7]

ชนิดเชื้อเพลิง	2549	2550	2551	2552
แก๊สโซลีน	19.72	20.03	19.40	20.83
- ธรรมดา 91	12.56	12.88	11.77	14.15
- พิเศษ 95	3.98	3.02	0.95	0.32
- แก๊สโซฮอล์	3.18	4.13	6.68	6.36
ปิโตรเลียมเหลว	13.83	15.90	18.60	19.08
ดีเซล	50.40	51.20	48.18	50.24
เครื่องบิน	12.40	13.52	12.72	12.08
น้ำมันเตา	16.06	11.61	8.90	7.31
ก๊าด	0.05	0.05	0.05	0.03
รวม	112.41	112.41	107.96	109.39

การพัฒนาาระบบโลจิสติกส์เพื่อลดต้นทุน การวิจัยและพัฒนาพืชพลังงานใหม่ๆ [7]

จากปริมาณการใช้น้ำมันสำเร็จรูปในปี 2552 อัตราการใช้น้ำมันดีเซลจะมีปริมาณมากกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน (หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เบนซิน) ประมาณ 2.4 เท่า ดังในตารางที่ 4 แก๊สโซลีนจะมีเชื้อเพลิงทางเลือกคือ แก๊สโซฮอล์ ปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ขณะที่น้ำมันดีเซลก็มีเชื้อเพลิงทางเลือกคือ ไบโอดีเซล และก๊าซธรรมชาติ แต่ไบโอดีเซลยังอยู่ในวงจำกัดเนื่องจากขาดแคลนวัตถุดิบ นอกจากนั้น การใช้ก๊าซธรรมชาติทดแทนแก๊สโซลีนและดีเซลเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ก๊าซธรรมชาติไม่จัดว่าเป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียน ดังนั้นการพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นการเพิ่มเชื้อเพลิงหมุนเวียนและยังช่วยเพิ่มปริมาณการใช้เอทานอลที่ผลิตได้ภายในประเทศอีกด้วย

โดยส่วนใหญ่ เอทานอลที่ใช้ในประเทศไทยผลิตมาจากวัตถุดิบ ได้แก่ กากน้ำตาล โดยนำไปหมักและนำไปผ่านกระบวนการกลั่น ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 95 โดยปริมาตร การกลั่นเอทานอลที่ความดันบรรยากาศจะไม่สามารถผลิตเอทานอลให้มีความเข้มข้นสูงกว่านี้ได้ จึง

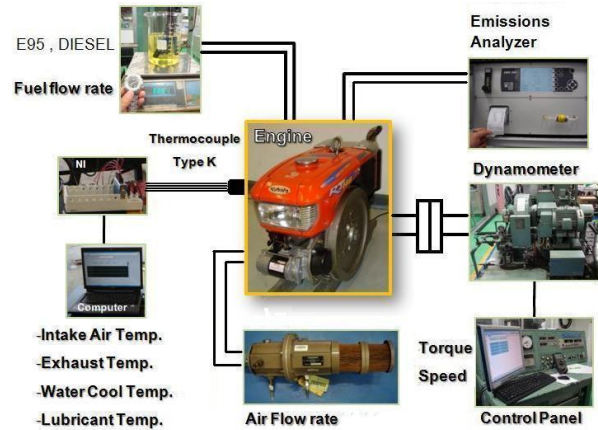
จำเป็นต้องใช้เทคนิคมาช่วยแยกน้ำจากเอทานอล เพื่อให้ได้เอทานอลสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 99.5% จึงทำให้ต้นทุนเอทานอลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในปัจจุบันมีราคาสูง การใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% เป็นการลดต้นทุนของเชื้อเพลิงลงได้ เช่น ตัวอย่างในประเทศบราซิล

จากที่กล่าวข้างต้น ที่คาดว่าจะมีการใช้ดีเซลในปริมาณที่สูงขึ้นรวมทั้งแนวทางการใช้เอทานอลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดทดแทนดีเซลของประเทศสวีเดน ทำให้เกิดแนวคิดของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ในเบื้องต้นได้ให้ความสนใจกับเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้ในงานเกษตรกรรมซึ่งเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย การดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจึงทำได้ง่ายในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเล็กแบบฉีดเชื้อเพลิงตรงที่ใช้กับงานเกษตรกรรม เพื่อใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% เป็นเชื้อเพลิง โดยใช้วิธีการเติมสารช่วยจุดระเบิดลงในเอทานอล ซึ่งสารช่วยจุดระเบิดเป็นชนิดเดียวกับในประเทศสวีเดน โดยจะทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไป การศึกษาครั้งนี้ถือได้ว่าเป็นการใช้เอทานอลผสมสารช่วยจุดระเบิด ED95 เป็นเชื้อเพลิงครั้งแรกในประเทศไทย

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 อุปกรณ์ทดลอง

เครื่องยนต์ทดสอบเป็นเครื่องยนต์สำหรับงานเกษตรกรรม คูโบต้า รุ่น RT140DI เครื่องยนต์เป็นแบบฉีดเชื้อเพลิงตรง (Direct Injection) ดังในรูปที่ 1 ข้อมูลทางด้านเทคนิคของเครื่องยนต์ ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยอัตราส่วนการอัดเดิมเท่ากับ 18:1 และถูกดัดแปลงเพิ่มขึ้นเป็น 28:1 เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ในประเทศสวีเดน สำหรับการดัดแปลงเครื่องยนต์ให้มีอัตราส่วนกำลังอัดสูงขึ้นทำได้โดยการลดขนาดของห้องเผาไหม้บนหัวลูกสูบ นอกจากนี้ ยังได้ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิของเครื่องยนต์จำนวน 4 จุด ได้แก่ อุณหภูมิไอดี อุณหภูมิไอเสีย



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

ตารางที่ 5 ข้อมูลทางเทคนิคเครื่องยนต์ทดสอบ [8]

เครื่องยนต์	ดีเซลสูบนอน
กระบอกสูบ x ช่วงชัก (มม.)	97 x 96
ปริมาตรช่วงชัก (ลบ.ซม.)	709
กำลังสูงสุด/ที่ความเร็วรอบ (กิโลวัตต์)	10.3 / 2,400 (ดีเซล)
แรงบิดสูงสุด/ที่ความเร็วรอบ (กก.-ม.)	5.0 / 1,600 (ดีเซล)
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบรังผึ้ง
อัตราส่วนการอัด	18 : 1 (ดีเซล) 28 : 1 (เอทานอล)

อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น อุปกรณ์วัดแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ NSDK Nishishiba รุ่น NEDD-130H ขนาด 37 กิโลวัตต์ เป็นไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสหมุนวน (Eddy current) สามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบ 0 – 6,000 รอบต่อนาที อุปกรณ์วิเคราะห์ไอเสีย MRU รุ่น SWG 200<sup>-1</sup> สามารถวัดอุณหภูมิไอเสีย และวิเคราะห์องค์ประกอบของ HC, CO NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์ สำหรับเชื้อเพลิงทดสอบมี 2 ชนิด ได้แก่ ดีเซล และเอทานอลผสมกับสารช่วยจุดระเบิด (ED95)

### 2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลและ ED95 เป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจะมี

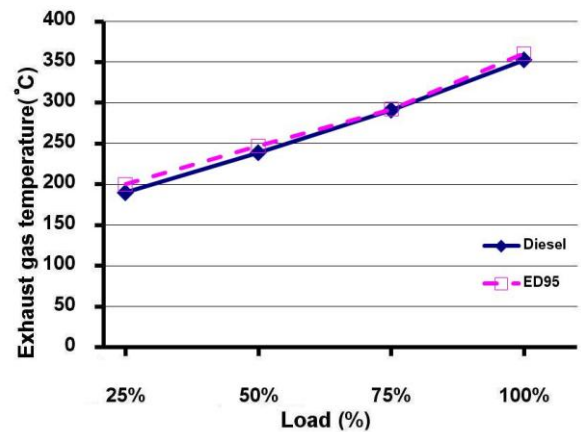
อัตราส่วนการอัด 18:1 ขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงจะถูกเพิ่มอัตราส่วนการอัดเป็น 28:1 เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 1,800 รอบต่อนาที ภาระเครื่องยนต์ ที่ 25 ถึง 100 % โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 25% ของภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ซึ่งอยู่ที่ 20 นิวตัน-เมตร ก่อนทำการบันทึกผลการทดลองจะเดินเครื่องยนต์ที่สภาวะทดสอบจนอุณหภูมิเครื่องยนต์ทั้ง 4 จุด คือ อุณหภูมิไอดี อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่าคงที่ หลังจากนั้นทำการบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ปริมาณมลพิษไอเสีย ได้แก่คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>)

สำหรับผลของอุณหภูมิของเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซล และ ED95 เป็นเชื้อเพลิงในขณะทดสอบมีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อภาระการทำงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

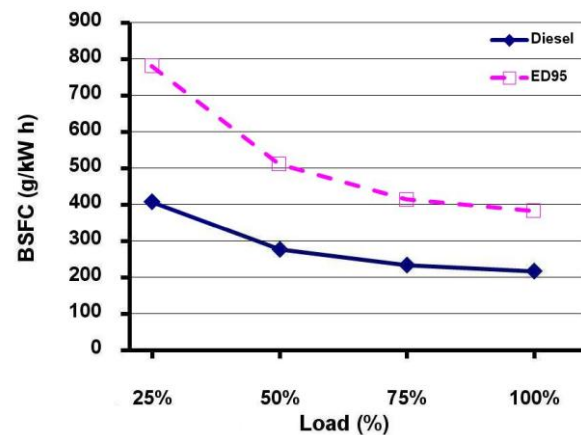
### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์

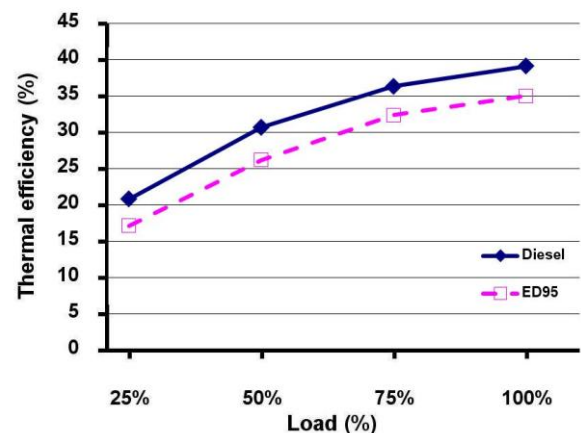
การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงสามารถติดเครื่องยนต์ได้ง่ายเช่นเดียวกับการใช้ดีเซล เป็นเชื้อเพลิงโดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยติดเครื่องและไม่จำเป็นต้องปรับจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบและภาระของเครื่องยนต์ในช่วงกว้างโดยไม่มีอาการเครื่องสั่นผิดปกติ ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบคงที่ 1,800 รอบต่อนาที ที่ภาระเครื่องยนต์ 25 - 100 % อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงประมาณสองเท่า ดังในรูปที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลมีค่าความร้อน (LHV) เพียง 60% ของดีเซล ดังในตารางที่ 1 เมื่อเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดต้องทำงานที่ภาระเดียวกัน การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจึงต้องจ่ายเชื้อเพลิงในปริมาณมากกว่าดีเซลเพื่อให้ได้ปริมาณพลังงานความร้อนที่เท่ากัน



รูปที่ 2 อุณหภูมิไอเสีย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที ภาระเครื่องยนต์ 25 - 100 %



รูปที่ 3 อัตราการใช้เชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,800 รอบต่อนาที ภาระเครื่องยนต์ 25 - 100 %



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,800 รอบต่อนาที ภาระเครื่องยนต์ 25 - 100 %

นอกจากนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดเมื่อทำงานที่ภาระต่ำ จะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่า เช่นที่ภาระ 25% จะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่าที่ภาระ 100% ประมาณสองเท่า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิง จะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 3.6 – 4.5 % ที่ทุกภาระของเครื่องยนต์ ดังในรูปที่ 4 นอกจากนี้ เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดเมื่อทำงานที่ภาระต่ำ จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่า เช่นที่ภาระ 25% เครื่องยนต์จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าที่ภาระ 100% ประมาณสองเท่า

### 3.2 มลพิษ

การวัดมลพิษด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ไอเสีย จะได้ข้อมูลปริมาณมลพิษอยู่ในรูปความเข้มข้นต่อปริมาตรไอเสีย มีหน่วยเป็น (ppm) แต่ปริมาณมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ส่วนมากนิยมระบุให้อยู่ในรูปการปลดปล่อยมลพิษแบบมวลจำเพาะ (Mass Specific Emission, MSE) มีหน่วยวัดเป็นกรัมของมลพิษต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงของเครื่องยนต์ ผลของมลพิษไอเสียที่ได้จากการทดลองจึงถูกแปลงให้อยู่ในรูป MSE [9] ตามสมการ (1)

$$MSE = \frac{\text{อัตราการไหลโดยมวลของ สารมลพิษ}}{\text{กำลังที่ผลิตได้}} \quad (1)$$

เมื่อ MSE มีความสัมพันธ์กับ EI ดังสมการ (2)

$$MSE = \frac{\dot{m}_f \cdot EI}{\dot{W}} \quad (2)$$

จากสมการ (2) ค่า EI คือดัชนีการปลดปล่อย (Emission Index) หมายถึงปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยต่อหนึ่งหน่วยมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ [10] สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนกับอากาศ ดัชนีการปลดปล่อยสามารถคำนวณจากความเข้มข้นของไอเสีย (โดยโมล) ที่วัดได้จากอุปกรณ์วิเคราะห์ไอเสีย เมื่อพิจารณาเฉพาะมลพิษที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ดัชนีการปลดปล่อยคำนวณได้จากสมการ (3)

$$EI = \left( \frac{X_i}{X_{CO} + X_{CO_2} + X_{HC}} \right) \left( \frac{x \cdot MW_i}{MW_f} \right) \quad (3)$$

เมื่อ

MSE คือ การปลดปล่อยแบบมวลจำเพาะ (g/kW·h)

$\dot{m}_f$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (g/h)

EI คือ ดัชนีการปลดปล่อยมลพิษ (g/g)

$\dot{W}$  คือ กำลังของเครื่องยนต์ (kW)

$X_i$  คือ เศษส่วนโมลของมลพิษ  $i$

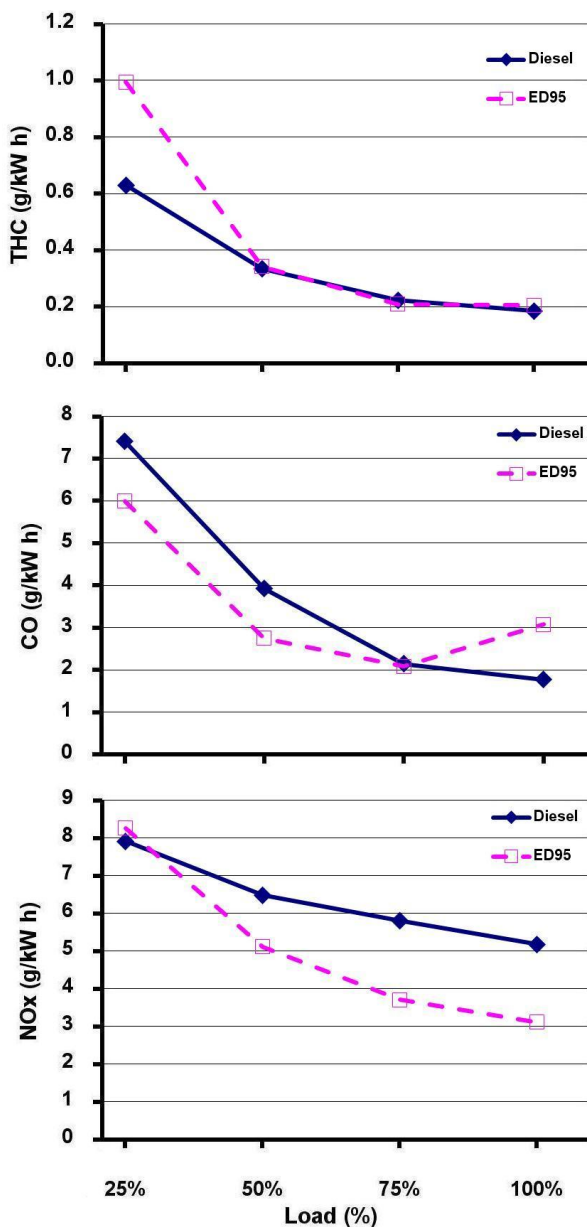
$x$  คือ จำนวนคาร์บอนในหนึ่งโมลเชื้อเพลิง  $C_xH_y$

$MW_i$  คือ น้ำหนักโมเลกุลสารมลพิษ  $i$

$MW_f$  คือ น้ำหนักโมเลกุลเชื้อเพลิง

ผลการวัดปริมาณไฮโดรคาร์บอนรวม (THC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ ( $NO_x$ ) ของเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลและ ED95 เป็นเชื้อเพลิง ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ 1,800 รอบต่อนาที ที่ภาระเครื่องยนต์ 25 – 100 % ดังในรูปที่ 5 พบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงที่ภาระเครื่องยนต์ 25 % มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซล แต่เมื่อภาระเครื่องยนต์สูงขึ้น ปริมาณไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

ที่ภาระต่ำ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของเครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงจะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แต่ที่ภาระ 100% ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงกลับมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่เครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 มีอัตราส่วนการอัดสูงกว่า ทำให้ห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กกว่า ประกอบกับเอทานอลมีค่าความร้อนต่ำ จึงต้องจ่ายเชื้อเพลิงในปริมาณมาก ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนถูกฉีดไปชนกับผนังห้องเผาไหม้ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (Wall-wetting) เชื้อเพลิงบริเวณนี้จึงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ [11] เมื่อถอดลูกสูบออกมาตรวจสอบพบการสะสมของเขม่าบนหัวลูกสูบตามแนวการฉีดเชื้อเพลิงจากหัวฉีด



รูปที่ 5 ปริมาณการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอน (THC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,800 รอบต่อนาที ภาระเครื่องยนต์ 25 – 100 %

ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดจะมีค่าลดลงเมื่อภาระของเครื่องยนต์สูงขึ้น ที่ภาระเครื่องยนต์ 25 % ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อภาระเครื่องยนต์สูงขึ้น เครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงจะให้แนวโน้มปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ที่ต่ำกว่า

เครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 จะมีเชื้อเพลิงบางส่วนถูกฉีดไปชนกับผนังห้องเผาไหม้ ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้ ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์เครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

#### 4. สรุป

การใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95 % (เอทานอล 95 % และน้ำ 5 %) ผสมกับสารช่วยจุดระเบิดเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับการเกษตรแบบฉีดเชื้อเพลิงตรง โดยทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ด้วยการเพิ่มอัตราส่วนการอัดจาก 18 เป็น 28 ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าสามารถติดเครื่องยนต์ได้ตามปกติ เช่นเดียวกับการใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงโดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยติดเครื่องและไม่จำเป็นต้องปรับจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบและภาระของเครื่องยนต์ในช่วงกว้างโดยไม่มีอาการเครื่องสั่นผิดปกติ แต่เครื่องยนต์จะมีกำลังน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากค่าความร้อนของเอทานอลมีค่าต่ำกว่าดีเซล ส่วนประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้ ED95 เป็นเชื้อเพลิงมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ถึงแม้จะได้ทำการเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์เป็น 28 ก็ตาม นอกจากนี้ การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง ส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ต่ำลง จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ที่มีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ปัญหาสำคัญของการใช้สารช่วยจุดระเบิดผสมในเอทานอลทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศคือ สารช่วยจุดระเบิดมีราคาสูงมาก ส่งผลให้ราคา ED95 ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงมีราคาสูงตามไปด้วย ดังนั้นเชื้อเพลิงชนิดนี้จึงยังไม่สามารถแข่งขันกับดีเซลได้ [12] การใช้สารช่วยจุดระเบิดผสมในเอทานอลจึงควรมีการวิจัยสารช่วยจุดระเบิดอื่นๆ ที่มีราคาต่ำกว่า เพื่อให้สามารถแข่งขันกับดีเซลได้ในอนาคต



## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ในโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก รุ่นที่ 11 ของผู้แต่งที่ 1 คือ นายกิตติ เอี่ยมเปรมจิต และโครงการสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี IRPUS ของผู้แต่ง ได้แก่ นายธนภูมิ ดวงนิล นายศุภสิทธิ์ เบญจเดชาชัย และนาย นพรัตน์ ชวัญสุนธิ์

ขอขอบคุณ บริษัทที่ให้การสนับสนุน ได้แก่ บริษัท SEKAB ประเทศสวีเดน ที่บริจาคสารปรุงแต่งในการศึกษานี้ บริษัทสแกนเนียสยาม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการประสานงานกับบริษัท SEKAB รวมทั้งช่วยนำเข้าสารปรุงแต่ง ED95 จากประเทศสวีเดน และขอขอบคุณบริษัท สยามคูโบต้า อุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องยนต์ดีเซลเล็กรวมทั้งคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์สำหรับการทดลองครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Claude, M. (2004). *Biofuels for Transport*, International Energy Agency, Paris.
- [2] Karl, E.E. and Esbjorn, P. (2008). *Research and Development of a Compression Ignition Engine Fuelled with Ethanol*, Luleå University of Technology Technical Report.
- [3] Björn, R., Karl, E.E., Charlie, R. and Peter, A. (2007). *Heavy-duty ethanol engines*, Final report for Lot 2 of the Bioscopes project, pp. 219.
- [4] SEKAB BioFuels & Chemicals AB (2009). *ED95 ethanol fuel for heavy vehicles*, URL: <http://www.sekab.com/default.asp?id=1900&refid=1980&l3=1974>, access on 23/12/2009.
- [5] SEKAB BioFuels & Chemicals AB (2009). *Safety Data Sheet – Additive ED95*.
- [6] Dan, H., Kent, N. and Bror, T. (2004). *Investigating the Potential to Obtain Low Emissions from a Diesel Engine Running on*

Ethanol and Equipped With EGR : Catalyst and DPF, *SAE paper*, 2004-01-1884.

[7] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2553). *สถานการณ์พลังงานไทยปี 2552 และแนวโน้มปี 2553*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [http://www.eppo.go.th/info/2010/energyforecast2009\\_12.html](http://www.eppo.go.th/info/2010/energyforecast2009_12.html), เข้าดูเมื่อวันที่ 02/02/2553.

[8] บริษัท สยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด (2553). *เครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า RT-Di*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา

[http://www.siamkubota.co.th/nimbus/uploads/products/RT\\_DI\\_BC.pdf](http://www.siamkubota.co.th/nimbus/uploads/products/RT_DI_BC.pdf), เข้าดูเมื่อวันที่ 02/02/2553.

[9] Stephen R. T (2000). *An Introduction to Combustion*, McGraw-Hill, USA, pp. 554.

[10] สำเร็จ จักรใจ (2547). *การเผาไหม้*, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 594.

[11] Egeback. K.E. and Pettersson, E. (1996). *Research on a Scania 11 liter Ethanol Fueled Bus Engine*, Luleå University of Technology.

[12] Bio Ethanol for Sustainable Transport (BEST) (2007). *A shot report on 20 years of experience from ethanol buses in the biofuel region*, Bio Ethanol for Sustainable Transport.