

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24  
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

## อิทธิพลของตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงหลัก

### Effects of Engine's Operating Parameters on a DME Engine

คณิต วัฒนวิเชียร\*, ชลมิตร ทิพย์สิงห์ และ อัครพงษ์ สดาวรินทร์

ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์สันดาปภายใน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

\* ติดต่อ: โทรศัพท์: (662) 2186607 โทรสาร: (662) 2522889

\*E-mail: wkanit@chula.ac.th

#### บทคัดย่อ

เนื่องจากไดเมทิลอีเทอร์ (DI-methyl Ether, DME) นั้นมีคุณสมบัติทางกายภาพและพฤติกรรมการระเหยที่แตกต่างจากเชื้อเพลิงดีเซล ประกอบกับ DME มีคุณสมบัติการอัดตัวได้ที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ดังนั้นการที่จะนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งออกแบบไว้สำหรับเชื้อเพลิงดีเซล จึงจำเป็นต้องพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรการทำงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ องศาการฉีดเชื้อเพลิง, อัตราส่วนกำลังอัด, ภาวะและความเร็วรอบ โดยบทความวิจัยนี้จะกล่าวถึงอิทธิพลของตัวแปรการทำงานดังกล่าวที่มีต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงหลัก

จากผลการวิจัยพบว่าที่สภาวะภาวะสูงสุด การปรับเพิ่มค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าจากค่ามาตรฐานมีผลให้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดเพิ่มขึ้น โดยจะได้ค่าสูงสุดเมื่อปรับเพิ่มไปจนถึงค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสม จากนั้นเมื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้ามากขึ้นไปอีกค่าแรงบิดเบรกสูงสุดจะลดต่ำลง และการลดอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์จากค่ามาตรฐานสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล จะให้ค่าแรงบิดเบรกและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สภาวะภาวะสูงสุด ณ องศาการฉีดเชื้อเพลิงต่างๆเพิ่มสูงขึ้นในทุกความเร็วรอบ จากการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการทำงานต่อสมรรถนะที่สภาวะภาวะบางส่วน พบว่าการปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า 8 องศา จะได้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงสุดในทุกจุดทดสอบ ซึ่งผลของอิทธิพลของตัวแปรการทำงานต่างๆที่ศึกษาในงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญที่จะช่วยให้การประยุกต์ใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเป็นไปได้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

**คำหลัก:** ไดเมทิลอีเทอร์, สมรรถนะ, อิทธิพลของตัวแปรการทำงาน

## 1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้เกิดปัญหาทางด้านมลพิษทางอากาศและภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสาเหตุการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่เพิ่มสูงขึ้น จึงต้องการเชื้อเพลิงทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อบรรเทาปัญหาดังกล่าวข้างต้น

ไดเมทิลอีเทอร์ (DI-methyl Ether, DME) เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สะอาด, มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด โดยมีแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงได้อย่างหลากหลายและสามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงดีเซลได้โดยปราศจากควันทา แต่เนื่องจาก DME นั้นมีคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและพฤติกรรมการณ์ที่แตกต่างจากเชื้อเพลิงดีเซลประกอบด้วย DME มีคุณสมบัติการอัดตัวได้ที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ดังนั้นการที่จะนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งออกแบบไว้สำหรับเชื้อเพลิงดีเซล จึงจำเป็นต้องพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรการทำงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ องศาการฉีดเชื้อเพลิง, อัตราส่วนกำลังอัด, ภาวะและความเร็วรอบ

โดยบทความวิจัยนี้จะกล่าวถึงอิทธิพลของตัวแปรการทำงานดังกล่าวที่มีต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงหลัก

### 2. ไดเมทิลอีเทอร์ (DI-Methyl Ether, DME) [1]

DME เป็นเชื้อเพลิงสะอาดชนิดใหม่ ซึ่งเชื่อว่าสามารถนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ การนำ DME มาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบัน DME สามารถผลิตได้จากการเปลี่ยนรูปเมทานอลเป็น DME โดยกระบวนการ methanol dehydration หรือกระบวนการนำน้ำออกจากเมทานอลนั่นเอง

DME มีสูตรทางเคมี (chemical formula) คือ  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  หรือ  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$  ซึ่งมีออกซิเจน (oxygen) เป็นองค์ประกอบ โดย DME เป็นเชื้อเพลิงที่มีจุดเดือดต่ำ จึงอยู่ในสถานะแก๊สที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ในการนำ DME ไปใช้งานสามารถทำให้เป็นของเหลวได้โดยการลดอุณหภูมิลงเหลือ  $-25^\circ\text{C}$  หรืออัดที่ความ

ดันประมาณ 6 บรรยากาศจึงมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas หรือ LPG) ในการเผาไหม้ของ DME จะได้เปลวไฟจากการเผาไหม้เป็นสีฟ้าอย่างเห็นได้ชัด

DME มีข้อดีคือเป็นเชื้อเพลิงสะอาดมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ไม่เกิดเขม่า (soot) แต่มีข้อเสียคือมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นและ energy content ต่ำ โดยคุณสมบัติของเชื้อเพลิง DME ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ

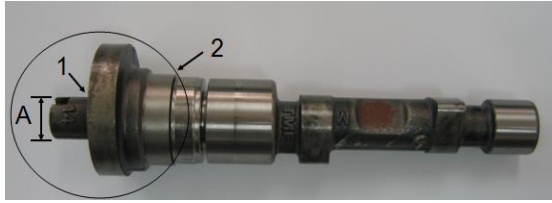
DME [1]

Properties	DME
1. Chemical formula	$\text{CH}_3\text{OCH}_3$
2. Mole weight [g/mol]	46.07
3. C ratio [%Wt]	52.2
4. H ratio [%Wt]	13
5. O ratio [%Wt]	34.8
6. S ratio [%Wt]	0
7. Stoich. A/F ratio	9 : 1
8. Boiling Point [ $^\circ\text{C}$ ]	-24.9
9. Explosion limit in air [vol.%]	3.4~17
10. Auto Ignition temperature [ $^\circ\text{C}$ ]	235
11. Liquid Viscosity [cP]	0.15
12. Liquid density at $20^\circ\text{C}$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	668
13. Lower Heating Value [kJ/kg]	28430
14. Latent heat of evaporation [kJ/kg]	460
15. Vapor pressure @ $20^\circ\text{C}$ [MPa]	0.51
16. Cetane Number	55-60

### 3. ขั้นตอนการปรับปรุงสมรรถนะ [2]

#### 3.1 เทคนิคการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิง

ในงานวิจัยนี้จะทำการเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงโดยการปรับแต่งที่เพลาลูกเบี้ยว ซึ่งกระทำโดยการใช้เพลาลูกเบี้ยวสองตัวมาทำการตัดแต่งแล้วประกอบกลับเป็นเพลาลูกเบี้ยวใหม่ที่ได้องศาการฉีดเชื้อเพลิงตามต้องการ โดยที่สโตรคการปั๊มเชื้อเพลิงยังมีค่าเท่าเดิมดังแสดงในรูปที่ 1 การเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงนั้นจะใช้เพลาลูกเบี้ยวตัดแปลงที่มีค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าเปลี่ยนที่ละ 2 องศาเพลาลูกเบี้ยว ดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 การปรับแต่งเพลาลูกเบี้ยวเพื่อเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2 องศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทดสอบและสัญลักษณ์ที่ใช้ [2]

หมายเลข	องศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้ากว่ามาตรฐาน	สัญลักษณ์ที่ใช้
1	ล่วงหน้า 8 องศาเพลิงข้อเหวี่ยง (28BTDC)	ADV8
2	ล่วงหน้า 6 องศาเพลิงข้อเหวี่ยง (26BTDC)	ADV6
3	ล่วงหน้า 4 องศาเพลิงข้อเหวี่ยง (24BTDC)	ADV4
4	ล่วงหน้า 2 องศาเพลิงข้อเหวี่ยง (22BTDC)	ADV2
5	มาตรฐาน (20BTDC)	STD

### 3.2 การเลือกความดันยกเข็มหัวฉีดที่เหมาะสม

เนื่องจากไจเมทิลอีเทอร์มีคุณสมบัติในการอัดตัวได้ ดังนั้นเมื่อใช้หัวฉีดมาตรฐานที่มาจากบริษัทผู้ผลิตจะทำให้ปั๊มเชื้อเพลิงไม่สามารถสร้างความดันเอาชนะความดันยกเข็มหัวฉีดได้ จึงต้องมีการดัดแปลงเพื่อลดความดันยกเข็มหัวฉีดลง โดยการลดขนาดแหวนรองสปริงภายในหัวฉีดดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดของแหวนรองสปริงภายในหัวฉีดกับค่าความดันยกเข็มหัวฉีด [2]

ความหนาของแหวนรองสปริงภายในหัวฉีด (mm.)	ความดันยกเข็มหัวฉีด (bar)
1.3 (OEM)	140
0.4	70
0.6	90
0.7	100
0.8	110
0.9	120

การพิจารณาเลือกค่าความดันยกเข็มหัวฉีดกระทำโดยการทดสอบเพื่อหาค่าแรงบิดเบรกสูงสุด

และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานด้วยค่าความดันยกเข็มหัวฉีดค่าต่างๆเทียบเคียงกับน้ำมันดีเซลที่สามารถให้การทำงานใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและมีอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงต่ำที่สุด ซึ่งพบว่าค่าความดันยกเข็มหัวฉีด 100 bar มีความเหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นจะทำการหาแรงบิดเบรกสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้เมื่อปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าค่าต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อประกอบการพิจารณาหาจุดที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เหมาะสม

### 4. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ [2]

#### 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

##### 4.1.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ถูกดัดแปลงให้เป็นเครื่องยนต์ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ CI ชนิด IDI ยี่ห้อ Kubota รุ่น RT-120 มีรายละเอียดแสดงไว้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ [3]

เครื่องยนต์/รุ่น	Kubota/RT120
ชนิด	Single cylinder (ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวนอน)
ระบบห้องเผาไหม้	Swirl chamber (IDI)
φกระบอกสูบ x ช่วงชัก	94 mm. x 90 mm.
ปริมาตรกระบอกสูบ	624 cc.
แรงม้าสูงสุด	12 hp / 2400 rpm
แรงบิดสูงสุด	4.0 kg-m / 1600 rpm
อัตราส่วนกำลังอัด	21 : 1
หัวฉีด	ประเภท: เข็มบานปลาย ความดัน: 140 kg/cm <sup>2</sup>
จังหวะการฉีดเชื้อเพลิง	20 °CA BTDC
ระบบหล่อลื่น	ฉีดส่งโดยปั๊มแบบ rotary SAE 40 API CC ความจุ 2.8 ลิตร
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบหม้อน้ำรังผึ้ง ระบายความร้อนแบบ Natural Convection ความจุ 2.2 ลิตร

4.1.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ที่ใช้ในการทดสอบแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Dynamometer) ข้อมูลเกี่ยวกับไดนาโมมิเตอร์แสดงดังตารางที่ 5

4.1.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ ใช้ Air box โดยวัดการไหลของอากาศด้วย Orifice

#### 4.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด

Type K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.65 มม. ซึ่งจะวัดอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น, น้ำหล่อเย็น, ไอดีและไอเสีย

**4.1.5 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ** ในการทดสอบนี้ใช้ proximity ชนิด inductive วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และใช้พัลส์มิเตอร์ (pulse meter) แสดงความเร็วรอบของเครื่องยนต์

**4.1.6 ระบบท่อส่งเชื้อเพลิง** ใช้ท่อทนความดันสูงทั้งระบบเนื่องจากต้องอัด DME ในระบบด้วยความดันประมาณ 3 MPa เพื่อป้องกันการเกิด Vapor Lock

#### 4.1.7 อุปกรณ์วัดสภาวะบรรยากาศ

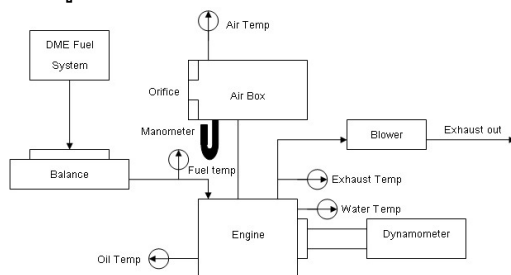
ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิบรรยากาศและใช้บารอมิเตอร์วัดความดันบรรยากาศ

**4.1.8 การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง** การวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ทำโดยใช้ตาชั่งมีความละเอียด 2 กรัมและใช้นาฬิกาจับเวลา เพื่อจับเวลาที่เครื่องยนต์ใช้ในการบริโภคน้ำหนักเชื้อเพลิงปริมาณ 30 กรัม

ตารางที่ 5 รายละเอียดของ Dynamometer [2]

ประเภทของไดนาโมมิเตอร์	Hydraulic Dynamometer
ผู้ผลิต	Redman Heenan International Company, England
รุ่น	Froude Hydraulic Dynamometer (DPX2)
Resolution	0.1 kg
ความยาวแขนสมดุล (L <sub>B</sub> )	0.3525 m
กำลังสูงสุดที่สามารถรับได้	150/7500 CV/rpm, (1 CV $\cong$ 0.986 hp)

การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องทดสอบ แสดงแผนผังดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการจัดวางอุปกรณ์ในห้องทดสอบ

#### 4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

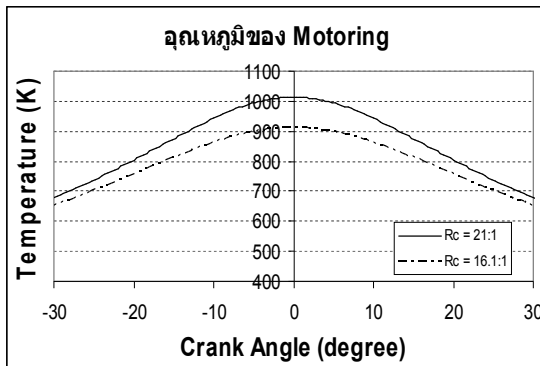
ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรการทำงานที่เกี่ยวข้องคือ องศาการฉีดเชื้อเพลิง, อัตราส่วนกำลังอัดที่มีต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิง DME ซึ่งในการดำเนินการวิจัยได้แบ่งการทำงานออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

##### 4.2.1 การศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด

**4.2.1.1 การศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนกำลังอัดมาตรฐาน** เป็นการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดขององศาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการปรับแต่งเพลาลูกเบี้ยว ของเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนกำลังอัดมาตรฐาน (21:1) เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิง DME ค่าต่างๆ โดยพิจารณาจากค่าแรงบิดเบรกสูงสุดและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง จากการทดสอบที่สภาวะคงตัว ที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) ที่ความเร็วรอบคงที่ค่าต่างๆ คือ 1400, 1200, 1000 rpm โดยแต่ละจุดทำงานจะบันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงานได้แก่ แรงบิดสูงสุด, ความเร็วรอบของเครื่องยนต์, อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น, อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น, อุณหภูมิไอเสีย, อุณหภูมิไอดี, อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ, อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของอากาศ

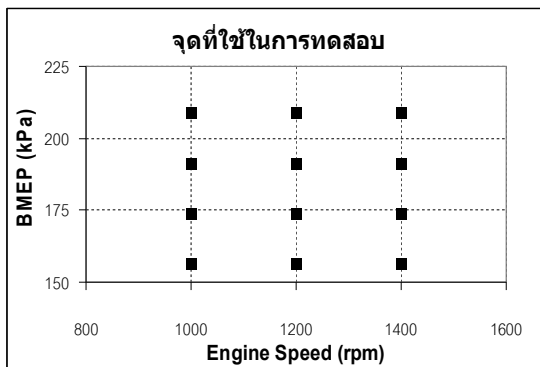
**4.2.1.2 การศึกษาผลการลดอัตราส่วนกำลังอัด** เป็นการศึกษาผลของการลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ จากการลดค่าอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ โดยเริ่มจากการคำนวณหาค่าอุณหภูมิในกระบอกสูบในช่วงจังหวะการอัดเมื่อทำการลดอัตราส่วนกำลังอัดลงจากค่ามาตรฐาน พบว่าเมื่อพิจารณาอัตราส่วนกำลังอัดจาก 21:1 ลงมาเหลือค่า 16.1:1 อุณหภูมิภายในกระบอกสูบในช่วงจังหวะการอัด ณ จุดองศาการเริ่มต้นองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (20 °CA BTDC) ยังสูงกว่า Auto ignition temperature (235 °C) ของเชื้อเพลิง DME ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะ

ภาวะสูงสุดและบันทึกข้อมูลผลการทดสอบ เช่นเดียวกับกับหัวข้อ 4.2.1.1



รูปที่ 3 อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จากการ Motoring ที่อัตราส่วนกำลังอัดต่างๆ [2]

**4.2.2 การศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน** จากความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างภาวะสูงสุดและความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุดจะถูกนำมากำหนดจุดในเมตริกซ์การทดสอบสำหรับการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (BMEP) และที่ความเร็วรอบค่าต่างๆ โดยการเลือกจุดทดสอบนั้นดัดแปลงจากวัฏจักรการทดสอบตามมาตรฐาน ESC Test Cycle แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เมตริกซ์แสดงจุดที่ใช้ในการทดสอบ [2]

การทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนนั้นจะทำการปรับเปลี่ยนค่าขององศาการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ได้ทำการปรับแต่ง เพื่อศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะของเชื้อเพลิง DME โดยทดสอบที่ความเร็วคงที่ เมื่อภาระถูกปรับให้

เป็นไปตามจุดทดสอบบนเมตริกซ์จุดทดสอบที่สภาวะคงตัว พร้อมบันทึกข้อมูลผลการทดสอบเช่นเดียวกับ การทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด

## 5. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล [2]

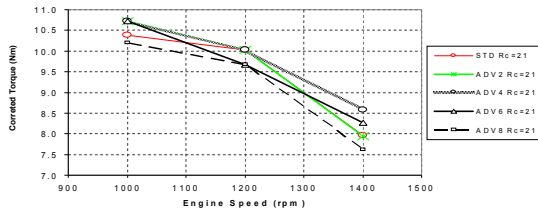
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงต่างๆ เป็นการทดสอบ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการทำงานต่อสมรรถนะที่จุดทดสอบ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกแสดงผลการศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดเมื่อใช้เครื่องยนต์ที่มีค่าอัตราส่วนกำลังอัดมาตรฐานและส่วนที่สองแสดงผลของการลดอัตราส่วนการอัด และส่วนที่สามแสดงผลการศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน

**5.1 ผลการศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดที่อัตราส่วนกำลังอัดมาตรฐาน** ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลของอิทธิพลค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนกำลังอัดมาตรฐาน ( $R_c = 21:1$ ) ที่สภาวะภาระสูงสุดเมื่อใช้ DME เป็นเชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบผลจากการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD ( $20^\circ \text{CA BTDC}$ ) และเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า เพื่อหาองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสม แสดงผลเปรียบเทียบค่าแรงบิดเบรกสูงสุดไว้ในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 ที่สภาวะภาระสูงสุดการทำงานที่ความเร็วรอบ 1000 rpm จะได้แรงบิดเบรกมีค่าสูงที่สุดและจะลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นตามลำดับในทุกค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงต่างๆ โดยเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าให้เป็น ADV4 จะได้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดในทุกความเร็วรอบ

จากรูปที่ 6 พบว่าการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า 4 องศาส่งผลให้สมรรถนะและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงาน

เชื้อเพลิงที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์มีค่าสูงสุดในทุกความเร็วรอบ

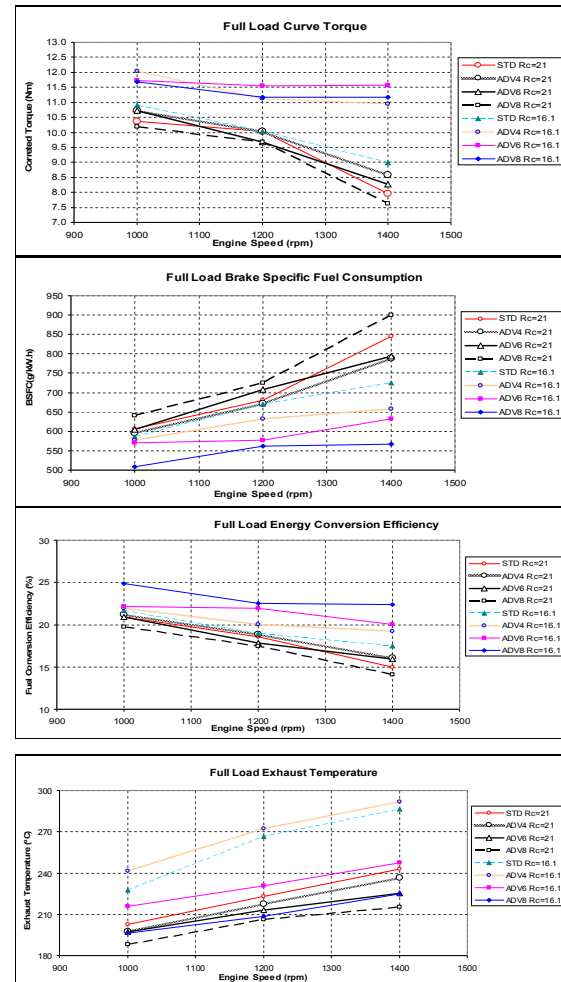


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเบรกสูงสุดกับความเร็วนที่สภาวะภาระสูงสุด ( $Rc = 21:1$ ) เปรียบเทียบระหว่างการใช่เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน STD ( $20^\circ CA BTDC$ ) และเมื่อใช่เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าค่าต่างๆ

**5.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของการลดอัตราส่วนกำลังอัด** เมื่อทำการลดอัตราส่วนกำลังอัดจากมาตรฐาน ( $21:1$ ) ลงเหลือ  $16.1:1$  โดยทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุดจากการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่มืองศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน ( $20^\circ CA BTDC$ ) เปรียบเทียบกับผลการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV4, ADV6 และ ADV8 โดยผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนกำลังอัดมาตรฐาน ( $21:1$ ) และ  $16.1:1$  ของแรงบิดเบรกสูงสุด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงและอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ระหว่างการทำงานแสดงผลเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าโดยภาพรวมแล้วค่าแรงบิดเบรกสูงสุดและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงของการลดอัตราส่วนกำลังอัดลงเหลือ ( $Rc = 16.1:1$ ) มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนกำลังอัดมาตรฐาน ( $Rc = 21:1$ ) และที่อัตราส่วนกำลังอัด ( $Rc = 16.1:1$ ) ดังกล่าว การปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงมีค่าล่วงหน้าเพิ่มขึ้นจากค่ามาตรฐานจะได้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นโดยพบว่าเมื่อปรับเพิ่มไปจนถึงค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า

ADV4 จะได้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดคือ  $12.04 Nm$  ที่ความเร็วรอบ  $1000 rpm$  แต่เมื่อปรับเพิ่มค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้ามากขึ้นค่าแรงบิดเบรกสูงสุดจะมีค่าลดลงและพบว่าที่ความเร็วรอบ  $1200$  และ  $1400 rpm$  ผลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้ามากขึ้นจนถึง ADV6 จะได้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดคือ  $11.56 Nm$  และเมื่อปรับเพิ่มค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าเพิ่มมากขึ้นค่าแรงบิดเบรกสูงสุดก็จะลดลงเช่นเดียวกัน โดยที่ประสิทธิภาพเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปรับองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่อปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงไปจนถึง ADV8 จะได้ค่าสูงสุดในทุกความเร็วรอบ



รูปที่ 6 แสดงผลทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนกำลังอัดต่างๆ

### 5.3 ผลการศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน

การทดสอบสมรรถนะบนจุดทำงานตามเมตริกซ์การทดสอบดังรูปที่ 4 เพื่อศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ที่ทำการลดอัตราส่วนกำลังอัดลงเหลือ 16.1:1 เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าค่าต่าง ๆ ได้ผลลัพธ์ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะสรุปไว้ในตารางที่ 8

การพิจารณาผลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วนในตารางที่ 8 พบว่าการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV8 จะได้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่สูงที่สุด และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคและค่าอุณหภูมิไอเสียต่ำที่สุดโดยมีแนวโน้มอย่างชัดเจนตลอดทุกค่า ภาระ BMEP และในทุกความเร็วรอบที่ทำการทดสอบ

### 6. สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการทำงานต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระต่าง ๆ [2]

#### 6.1 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด

การพิจารณาผลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดพบว่าการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าจากค่ามาตรฐานจะทำให้ค่าแรงบิดเบรคสูงสุดและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าผลการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าจากค่ามาตรฐานจนถึง ADV4 จะมีค่าแรงบิดเบรคสูงสุดและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงมีค่าสูงที่สุดในทุกความเร็วรอบ แต่เมื่อปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้ามากขึ้นไปอีกจะทำให้ค่าแรงบิดเบรคสูงสุดและประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าลดลงในทุกความเร็วรอบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV4 มีความ

เหมาะสมที่สุดจากผลค่าสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดดังกล่าว

#### 6.2 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลของการลดอัตราส่วนกำลังอัด

การพิจารณาผลของการปรับลดค่าอัตราส่วนกำลังอัดจากค่ามาตรฐานลงเหลือ 16.1:1 ที่องศาการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานและที่ค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าค่าต่าง ๆ ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์พบว่าค่าแรงบิดเบรคสูงสุด, ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจากการทดสอบจะได้ค่าเพิ่มสูงขึ้นและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจะมีค่าต่ำลงในทุกความเร็วรอบ เมื่อเปรียบเทียบกับสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ก่อนทำการลดอัตราส่วนกำลังอัด โดยผลการทดสอบค่าแรงบิดเบรคสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ลดอัตราส่วนกำลังอัดเหลือ 16.1:1 พบว่าเมื่อปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าเพิ่มไปจนถึงค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV4 จะได้ค่าแรงบิดเบรคสูงสุดคือ 12.04 Nm ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm แต่เมื่อปรับเพิ่มค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้ามากขึ้นค่าแรงบิดเบรคสูงสุดจะมีค่าลดลงและพบว่าที่ความเร็วรอบ 1200 และ 1400 rpm ผลของการปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้ามากขึ้นจนถึง ADV6 จะได้ค่าแรงบิดเบรคสูงสุดคือ 11.56 Nm และเมื่อปรับเพิ่มค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าเพิ่มมากขึ้นค่าแรงบิดเบรคสูงสุดก็จะลดลงเช่นเดียวกัน

ขณะที่การปรับค่าองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าไปจนถึง ADV8 จะได้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงที่สุดและอุณหภูมิไอเสียมีค่าต่ำที่สุดในทุกความเร็วรอบ

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนกำลังอัด ( $R_c = 16.1:1$ ) ที่สภาวะภาระบางส่วนที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าค่าต่างๆ

ความเร็วรอบ (rpm)	องศาการฉีดเชื้อเพลิง ( $^{\circ}$ CA)	BMEP (N.m)	ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงงานเชื้อเพลิง (%)	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (g/kW.hr)	อุณหภูมิไอเสีย ( $^{\circ}$ C)
1000	ADV 4	156.5	18.07	700.82	162.4
		174	19.59	646.23	177.8
		191	19.93	635.24	194.1
		209	20.97	603.81	209.5
	ADV 6	156.5	19.15	661.10	159.9
		174	20.52	617.24	164.8
		191	21.18	597.73	175.4
		209	21.22	596.77	184.9
	ADV 8	156.5	19.21	659.09	150.8
		174	20.72	611.17	158.1
		191	21.90	578.13	172.6
		209	22.93	552.16	182.7
1200	ADV 4	156.5	17.16	737.93	179.2
		174	18.51	683.92	197.4
		191	19.43	651.73	227.3
		209	19.83	638.54	239.2
	ADV 6	156.5	18.26	693.44	176.2
		174	18.89	670.16	178.8
		191	20.08	630.56	191.9
		209	20.32	623.29	200.8
	ADV 8	156.5	18.56	682.14	163.5
		174	19.03	665.37	173.2
		191	20.27	624.65	181.5
		209	20.59	615.05	192.2
1400	ADV 4	156.5	16.10	786.64	192.4
		174	17.40	727.68	237.8
		191	18.72	676.37	250.8
		209	18.85	671.83	261.6
	ADV 6	156.5	17.56	721.05	188.5
		174	18.42	687.44	201.3
		191	18.96	667.72	213.2
		209	19.46	650.83	221.3
	ADV 8	156.5	18.21	695.24	184.9
		174	19.03	665.45	195.6
		191	19.84	638.16	202.8
		209	20.57	615.60	213.6



### 6.3 สรุปผลการศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน

ก. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV8 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดทุกภาระ BMEP บนจุดทดสอบในทุกความเร็วรอบ

ข. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV8 มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงสุดทุกภาระ BMEP บนจุดทดสอบในทุกความเร็วรอบ

ค. อุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า ADV8 มีอุณหภูมิไอเสียต่ำสุดในทุกภาระ BMEP บนจุดทดสอบในทุกความเร็วรอบ

ข้อสรุปจากงานวิจัยสำหรับการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อประยุกต์ใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์รุ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งพบว่า การนำเครื่องยนต์รุ่นดังกล่าวไปใช้งานจริง โดยภาพรวมเมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรการทำงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนั้นพบว่าควรทำการปรับลดค่าอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ลงมาที่ 16:1 และทำการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปรับแต่งเพื่อเพิ่มองศาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าไว้ที่ ADV8 เพื่อให้การประยุกต์ใช้ DME เป็นเชื้อเพลิงหลักเป็นไปได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดช่วงภาระและความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์

### 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท สยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ขอขอบคุณนิสิตห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์ สันดาปภายในทุกคนที่ช่วยติดตั้งเครื่องยนต์และทำการทดสอบและตลอดจนให้ความช่วยเหลืออื่นๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้

### 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Longbao, Z., Hewu, W., Deming J. and Zhouhua, H. "Study of Performance and Combustion Characteristics of a DME-Fueled Light-Duty Direct-injection Diesel Engine". SAE Paper 1999-01-366, 1999.
- [2] อัครพงษ์ สดาวรินทร์ "การวิเคราะห์การเผาไหม้และภาพปรากฏการณ์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง DME ในเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า". วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [3] สยามคูโบต้า บจก. "คู่มือช่างเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า รุ่น RT 120". หน่วยงานอบรมเทคนิค, ส่วนบริการเทคนิค, 2546