

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

บทนี้กล่าวถึงผลการทดลองในเครื่องยนต์ CI เมื่อใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วม เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงฉีดล่วงหน้า และปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงฉีดสำหรับการเริ่มจุดระเบิด โดยศึกษาผลกระทบ ต่อค่าสมรรถนะ คุณลักษณะ และมลพิษในการเผาไหม้ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล และปาล์มไบโอดีเซล นำผลมาอภิปรายดังต่อไปนี้

4.1 การใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

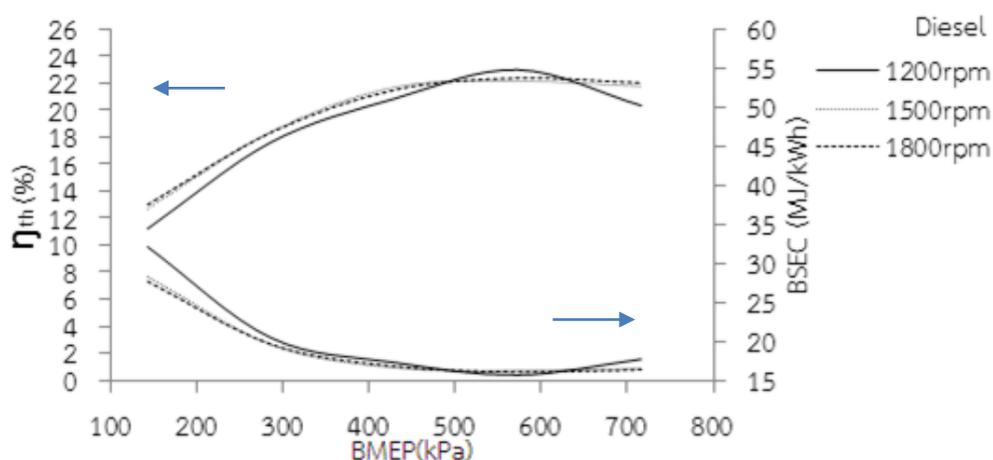
ทดลองเครื่องยนต์ CI ด้วยน้ำมันดีเซลเก็บข้อมูลสมรรถนะ คุณลักษณะ และมลพิษการเผาไหม้ BMEP 0-716.2 kPa ที่ 1200, 1500 และ 1800 rpm นำความเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงที่ได้มาคำนวณค่าความร้อนรวม ที่ BMEP และความเร็รรอบคงที่ เปรียบเทียบผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าความถ่วง จำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ จุดติดไฟ อัตราซีเทน ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง และคำนวณความร้อนรวมต่อวัฏจักร สรุปผลดังต่อไปนี้

4.1.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล

สมรรถนะ คือ อัตราความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (η_{th}) ผลการทดลองสรุปดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเมื่อใช้น้ำมันดีเซล ความเร็รรอบคงที่ แปรผัน BMEP

| BMEP (kPa) | BSEC (MJ/kWh) | | | η_{th} (%) | | |
|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| | 1,200 rpm | 1,500 rpm | 1,800 rpm | 1,200 rpm | 1,500 rpm | 1,800 rpm |
| 143.2 | 32.10 | 28.33 | 27.68 | 11.22 | 12.71 | 13.01 |
| 286.5 | 20.42 | 19.54 | 19.61 | 17.63 | 18.42 | 18.36 |
| 429.7 | 17.26 | 16.57 | 16.78 | 20.86 | 21.73 | 21.51 |
| 572.9 | 15.65 | 16.25 | 16.08 | 23.00 | 22.15 | 22.38 |
| 716.2 | 17.69 | 16.53 | 16.34 | 20.35 | 21.78 | 22.03 |



ภาพที่ 4.1 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
เมื่อน้ำมันดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผันค่า BMEP

4.1.1.1 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 ในทุกความเร็วรอบ BSEC มีค่าสูงสุดที่ BMEP 143.2 kPa อยู่ในช่วง 27.68-32.10 MJ/kWh เมื่อ BMEP คงที่ BSEC มีค่ามาก ที่ความเร็วรอบต่ำ มีค่าลดลง เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น เมื่อความเร็วรอบคงที่ และ BMEP มีค่าสูงขึ้น BSEC มีค่าลดลง ที่ค่า BMEP 572.9 kPa BSEC มีค่าต่ำสุด ที่ 1,200 rpm มีค่า 15.65 MJ/kWh ที่ 1,500 rpm มีค่า 16.25 MJ/kWh และที่ 1,800 rpm มีค่า 16.08 MJ/kWh ในทุกความเร็วรอบ BSEC มีค่าเพิ่มขึ้นที่ BMEP 716.2 kPa

4.1.1.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 ในทุกความเร็วรอบ η_{th} มีค่าต่ำสุดที่ BMEP 143.2 kPa อยู่ในช่วงร้อยละ 11.22-13.01 เมื่อ BMEP คงที่ η_{th} มีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น เมื่อความเร็วรอบคงที่ η_{th} มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ BMEP สูงขึ้น ทุกความเร็วรอบ ที่ BMEP 572.9 kPa η_{th} มีค่าสูงสุด ที่ 1,200 rpm มีค่าร้อยละ 23.00 ที่ 1,500 rpm มีค่าร้อยละ 22.15 และที่ 1,800 rpm มีค่าร้อยละ 22.38 ทุกความเร็วรอบ η_{th} ลดลง ที่ BMEP 716.2 kPa

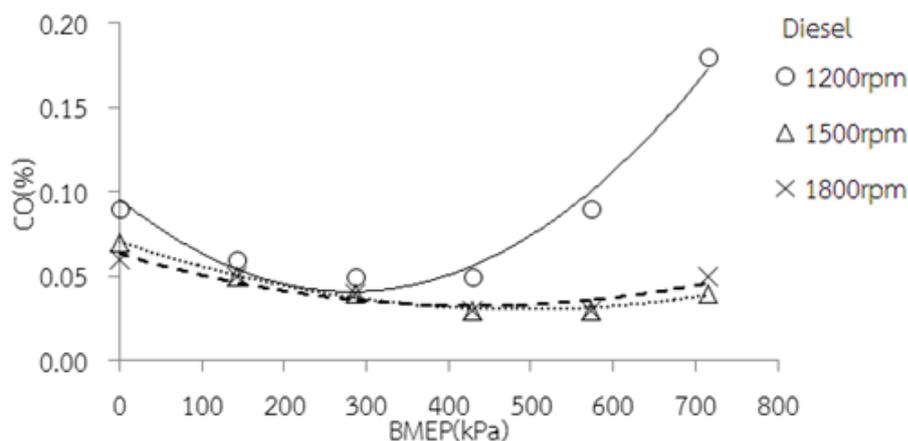
4.1.2 ผลภาวะในการเผาไหม้เมื่อน้ำมันดีเซล

4.1.2.1 ไฮโดรคาร์บอน (HC) HC 0 ppm

4.1.2.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ภาพที่ 4.2 ที่ BMEP 0 kPa เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น CO ลดลงวัดค่าได้ร้อยละ 0.06-0.09 เมื่อ BMEP สูงขึ้นจาก 0-429.7 kPa CO ลดลงในทุกความเร็วรอบ ที่ BMEP 429.7 kPa CO ลดลงต่ำสุด ที่ 1,200 rpm มีค่าร้อยละ 0.05 ที่ 1,500 และ 1,800 rpm มีค่าร้อยละ 0.03 เมื่อ

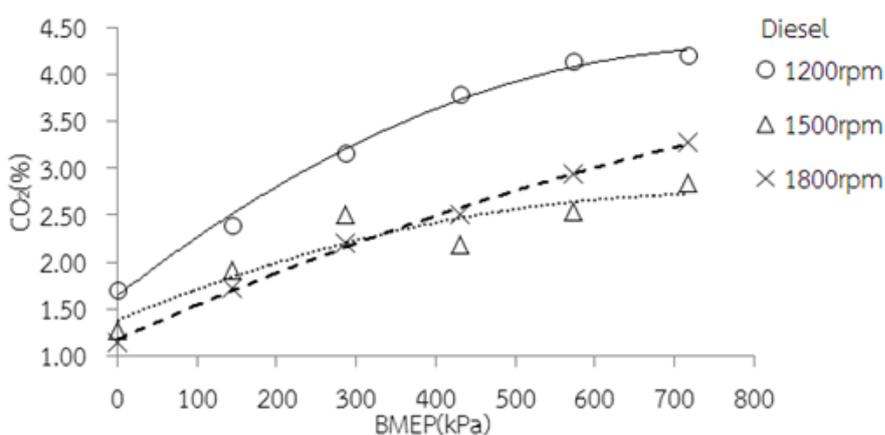
BMEP สูง ขึ้นจาก 429.7-716.2 kPa CO เพิ่มขึ้น ทุกความเร็วรอบ ที่ BMEP 716.2 kPa 1,200 rpm CO สูงสุดร้อยละ 0.18 ที่ 1,500 rpm CO มีค่าร้อยละ 0.04 ที่ 1,800 rpm CO มีค่าร้อยละ 0.05



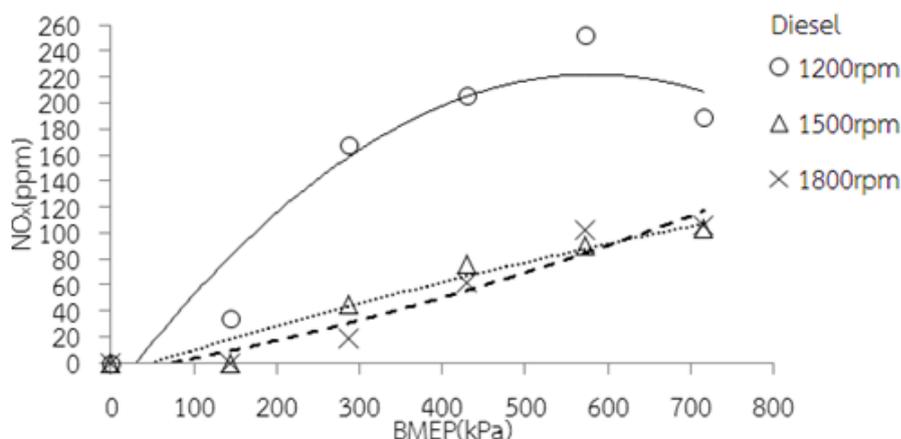
ภาพที่ 4.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน BMEP

4.1.2.3 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ภาพที่ 4.3 BMEP 0 kPa เกิด CO₂ ต่ำสุดร้อยละ 1.15-1.70 ที่ BMEP 0 ถึง 286.5 kPa เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น CO₂ ลดลง เมื่อความเร็วรอบคงที่ และ BMEP สูงขึ้น CO₂ มีค่าเพิ่มขึ้น ทุกความเร็วรอบ ที่ BMEP 716.2 kPa เกิด CO₂ สูงสุดในช่วงร้อยละ 2.80-4.20 ที่ BMEP 429.7-716.2 kPa ที่ 1,200 rpm CO₂ มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ 1,800 rpm CO₂ มีอัตราการเพิ่มขึ้นคงที่ ที่ 1,500 rpm อัตราเพิ่มลดลง ที่ BMEP 716.2 kPa CO₂ มีค่าลดลงตามความเร็วรอบ 1200, 1800 และ 1500 rpm



ภาพที่ 4.3 คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน BMEP



ภาพที่ 4.4 ไนโตรเจนออกไซด์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน BMEP

4.1.2.4 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

ภาพที่ 4.4 เมื่อความเร็วรอบคงที่ และ BMEP สูงขึ้น NO_x เพิ่มขึ้น ที่ BMEP 0 ถึง 572.9 kPa เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น NO_x ลดลง ที่ BMEP 572.9 kPa NO_x เพิ่มขึ้น ที่ 1,200 rpm NO_x สูงสุด 250 ppm ที่ 1,500 rpm NO_x มี 85 ppm และที่ 1,800 rpm NO_x มี 100 ppm ที่ BMEP 716.2 kPa ความเร็วรอบ 1,200 และ 1,800 rpm NO_x ลดลง ที่ 1,200 rpm NO_x มีค่า 190 ppm และที่ 1,800 rpm NO_x คงที่ 100 ppm ที่ BMEP 716.2 kPa 1,200 rpm NO_x มีค่าสูงสุด และลดลงที่ 1,800 และ 1,500 rpm

4.2 การใช้พาล์มไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ทดสอบเครื่องยนต์ CI ด้วยพาล์มไบโอดีเซลบันทึกสมรรถนะ คุณลักษณะ มลภาวะในการเผาไหม้ และความล่าช้าในการจุดระเบิด เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ที่ BMEP 0-716.2 kPa ที่ 1,200-1,800 rpm วัดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ค่าความร้อนรวมของเชื้อเพลิงที่ใช้จริง ตารางที่ 3.4 พาล์มไบโอดีเซล มีค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ จุดติดไฟ และอัตราซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีค่าความร้อนต่ำที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อเปรียบเทียบปริมาณพาล์มไบโอดีเซลที่ใช้จริงที่ BMEP และความเร็วรอบเดียวกัน พาล์มไบโอดีเซลมีอัตราความสิ้นเปลืองสูงกว่าน้ำมันดีเซล และมีค่าการปลดปล่อยความร้อนสะสมที่ใกล้เคียงกัน สรุปผลได้ดังนี้

4.2.1 ผลต่อค่าสมรรถนะเมื่อใช้พาล์มไบโอดีเซล

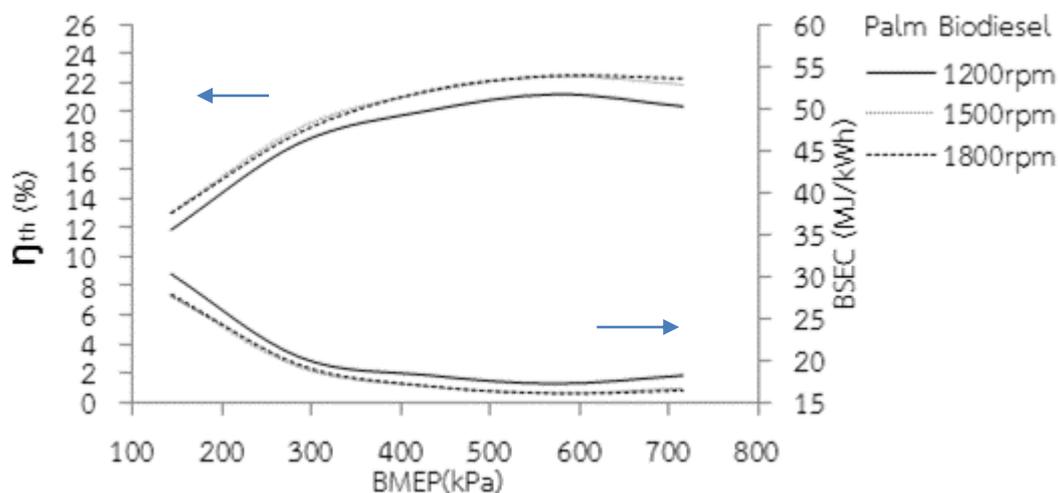
สมรรถนะที่ศึกษา คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (η_b) และค่าอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) สรุปผลที่ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
เมื่อใช้ปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน BMEP

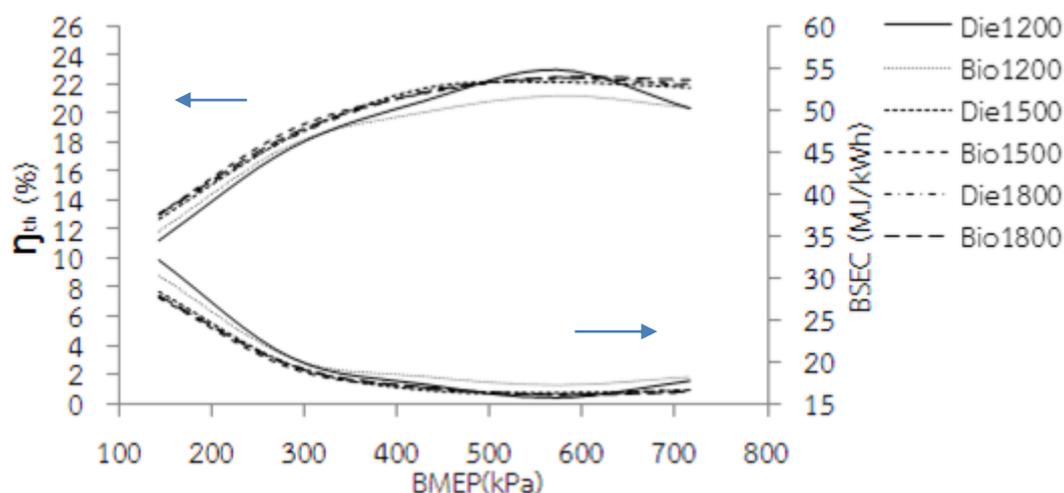
| BMEP (kPa) | BSEC (MJ/kWh) | | | η_{th} (%) | | |
|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| | 1,200 rpm | 1,500 rpm | 1,800 rpm | 1,200 rpm | 1,500 rpm | 1,800 rpm |
| 143.2 | 30.26 | 27.62 | 27.85 | 11.87 | 13.07 | 13.03 |
| 286.5 | 20.36 | 19.16 | 19.45 | 17.85 | 18.89 | 18.58 |
| 429.7 | 18.20 | 16.87 | 16.92 | 20.08 | 21.38 | 21.45 |
| 572.9 | 17.17 | 16.06 | 16.02 | 21.22 | 22.46 | 22.50 |
| 716.2 | 18.16 | 16.63 | 16.38 | 20.38 | 21.90 | 22.30 |

4.2.1.1 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.5 ทุกความเร็วรอบที่ BMEP 143.2 kPa BSEC มีค่าสูงสุด 27.62-30.26 MJ/kWh เมื่อ BMEP คงที่ BSEC มีค่ามาก ที่ความเร็วรอบต่ำ และมีค่าลดลง เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น เมื่อความเร็วรอบคงที่ และ BMEP สูงขึ้น BSEC ลดลง ที่ BMEP 572.9 kPa BSEC มีค่าต่ำสุด ที่ 1,200 rpm 17.17 MJ/kWh ที่ 1,500 rpm 16.06 MJ/kWh และที่ 1,800 rpm 16.02 MJ/kWh ที่ BMEP 716.2 kPa BSEC อยู่ในช่วง 16.38-18.16 MJ/kWh



ภาพที่ 4.5 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
เมื่อใช้ปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน BMEP



ภาพที่ 4.6 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
เปรียบเทียบปาล์มไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน BMEP

จากภาพที่ 4.6 แสดงอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกปาล์มไบโอดีเซล ($BSEC_{Bio}$) เทียบกับอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของน้ำมันดีเซล ($BSEC_{Die}$) แสดงผลเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.3 เมื่อ BMEP และความเร็วรอบคงที่ $BSEC_{Bio}$ และ $BSEC_{Die}$ มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อความเร็วรอบคงที่ ที่ BMEP 572.9 kPa ทั้ง $BSEC_{Bio}$ และ $BSEC_{Die}$ ลดลงต่ำสุด ที่ BMEP 143.2 ถึง 286.5 kPa ที่ความเร็วรอบต่ำ $BSEC_{Bio}$ ต่ำกว่า $BSEC_{Die}$ และมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ที่ BMEP 429.7-716.2 kPa ความเร็วรอบต่ำ $BSEC_{Bio}$ มากกว่า $BSEC_{Die}$ และมีค่าใกล้เคียงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น

4.2.1.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.5 ทุกความเร็วรอบที่ BMEP 143.2 kPa η_{th} ต่ำสุดร้อยละ 11.87-13.07 เมื่อ BMEP คงที่ และความเร็วรอบต่ำ η_{th} มีค่าต่ำ η_{th} มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น เมื่อความเร็วรอบคงที่ และ BMEP สูงขึ้น η_{th} เพิ่มขึ้นทุกความเร็วรอบ ที่ BMEP 572.9 kPa η_{th} มีค่าสูงสุด ที่ 1200 rpm ร้อยละ 21.22 ที่ 1500 rpm ร้อยละ 22.46 ที่ 1800 rpm ร้อยละ 22.50 η_{th} มีค่าลดลง ที่ BMEP 716.2 kPa ทุกความเร็วรอบ ภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของปาล์มไบโอดีเซล ($\eta_{Bio_{th}}$) และน้ำมันดีเซล ($\eta_{Die_{th}}$) ทุกความเร็วรอบ ที่ BMEP 0-716.2 kPa $\eta_{Bio_{th}}$ สูงกว่า $\eta_{Die_{th}}$ ร้อยละ 0.02-0.65 ยกเว้นที่ BMEP 429.7 kPa ทุกความเร็วรอบ $\eta_{Bio_{th}}$ ต่ำกว่า $\eta_{Die_{th}}$ ร้อยละ 0.06-0.78 และที่ 1,200 rpm BMEP 572.9 kPa $\eta_{Bio_{th}}$ ต่ำกว่า $\eta_{Die_{th}}$ ร้อยละ 1.78

ตารางที่ 4.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
เปรียบเทียบปาล์มไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน BMEP

| BMEP (kPa) | BSEC (MJ/kWh) | | | η_{th} (%) | | |
|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| | Diesel | Palm Bio. | (Bio-Die) | Diesel | Palm Bio. | (Bio-Die) |
| 1200 rpm | | | | | | |
| 143.2 | 32.10 | 30.26 | -1.84 | 11.22 | 11.87 | 0.65 |
| 286.5 | 20.42 | 20.36 | -0.06 | 17.63 | 17.85 | 0.22 |
| 429.7 | 17.26 | 18.20 | 0.94 | 20.86 | 20.08 | -0.78 |
| 572.9 | 15.65 | 17.17 | 1.52 | 23.00 | 21.22 | -1.78 |
| 716.2 | 17.69 | 18.16 | 0.47 | 20.35 | 20.38 | 0.03 |
| 1500 rpm | | | | | | |
| 143.2 | 28.33 | 27.62 | -0.71 | 12.71 | 13.07 | 0.36 |
| 286.5 | 19.54 | 19.16 | -0.38 | 18.42 | 18.89 | 0.47 |
| 429.7 | 16.57 | 16.87 | 0.30 | 21.73 | 21.38 | -0.35 |
| 572.9 | 16.25 | 16.06 | -0.19 | 22.15 | 22.46 | 0.31 |
| 716.2 | 16.53 | 16.63 | 0.10 | 21.78 | 21.90 | 0.12 |
| 1800 rpm | | | | | | |
| 143.2 | 27.68 | 27.85 | 0.17 | 13.01 | 13.03 | 0.02 |
| 286.5 | 19.61 | 19.45 | -0.16 | 18.36 | 18.58 | 0.22 |
| 429.7 | 16.78 | 16.92 | 0.14 | 21.51 | 21.45 | -0.06 |
| 572.9 | 16.08 | 16.02 | -0.06 | 22.38 | 22.50 | 0.12 |
| 716.2 | 16.34 | 16.38 | 0.04 | 22.03 | 22.30 | 0.27 |

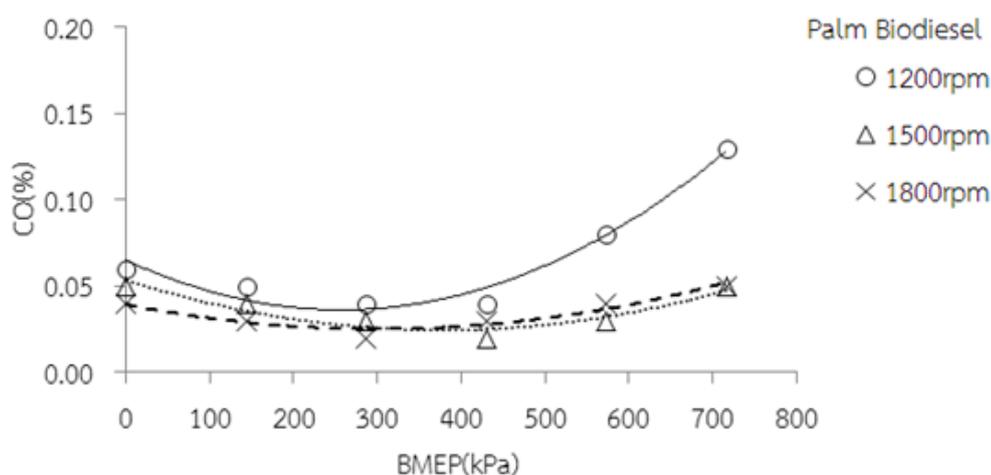
4.2.2 ผลภาวะในการเผาไหม้

4.2.2.1 ไฮโดรคาร์บอน (HC) จากการทดลองไม่พบค่าว่า HC ที่เกิดขึ้น

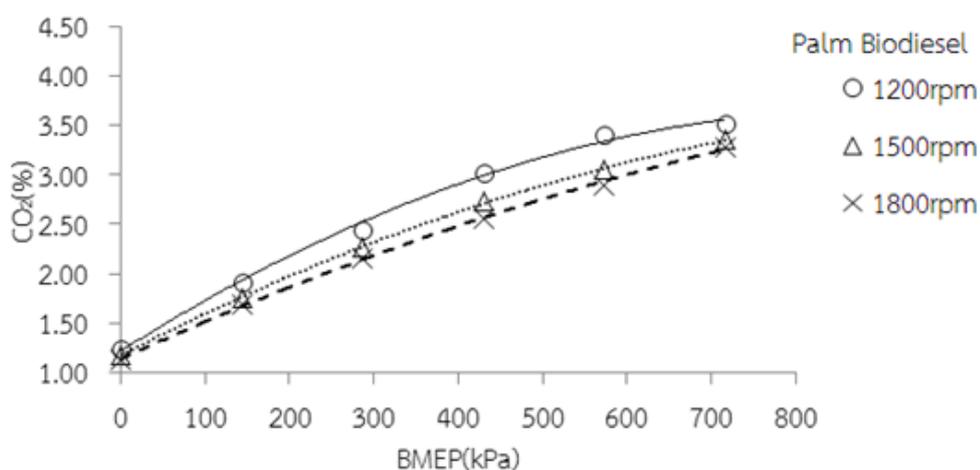
4.2.2.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

จากภาพที่ 4.7 ที่ BMEP 0 kPa เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น CO ลดลง มีค่าร้อยละ 0.03-0.06 เมื่อ BMEP สูงขึ้น 0-429.7 kPa ทุกความเร็วรอบ CO ลดลง ที่ BMEP 429.7 kPa CO ลดลงต่ำสุด ที่ 1,200 rpm ร้อยละ 0.04 ที่ 1,500 rpm ร้อยละ 0.02 และที่ 1,800 rpm ร้อยละ 0.03 เมื่อ BMEP สูงขึ้น 429.7-716.2 kPa CO เพิ่มขึ้นในทุกความเร็วรอบ ที่ BMEP 716.2 kPa ความเร็วรอบ 1,200 rpm CO มีค่าสูงสุดร้อยละ 0.09 ที่ 1,500 rpm และ 1,800 rpm มีค่าสูงสุดร้อยละ 0.05 เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นและ BMEP คงที่ในช่วง 0-429.7 kPa CO ลดลง เมื่อ BMEP คงที่ 429.7-716.2 kPa ทุกความเร็วรอบ CO เพิ่มขึ้น ที่ 1,500 และ 1,800 rpm มีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน และที่ 1,200 rpm มีค่าเพิ่มมากที่สุด เปรียบเทียบภาพที่ 4.7 และ ภาพที่ 4.2 แสดงปริมาณการเกิด CO เมื่อใช้ปาล์มไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล เมื่อความเร็วรอบคงที่ BMEP 0 kPa

ปริมาณ CO เมื่อใช้ปาล์มไบโอดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ในทุกความเร็รรอบ ที่ BMEP 429.7 kPa ที่ 1,200 และ 1,500 rpm CO ต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 0.01 ที่ 1,800 rpm มีค่าเท่ากับน้ำมันดีเซล เมื่อ BMEP คงที่ 716.2 kPa CO ที่ 1,200 rpm ต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 0.04 ที่ 1,500 rpm มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 0.01 และที่ 1,800 rpm มีค่าเท่ากับน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 4.7 คาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้ปาล์มไบโอดีเซล ความเร็รรอบคงที่ แปรผัน BMEP



ภาพที่ 4.8 คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อใช้ปาล์มไบโอดีเซล ความเร็รรอบคงที่ แปรผัน BMEP

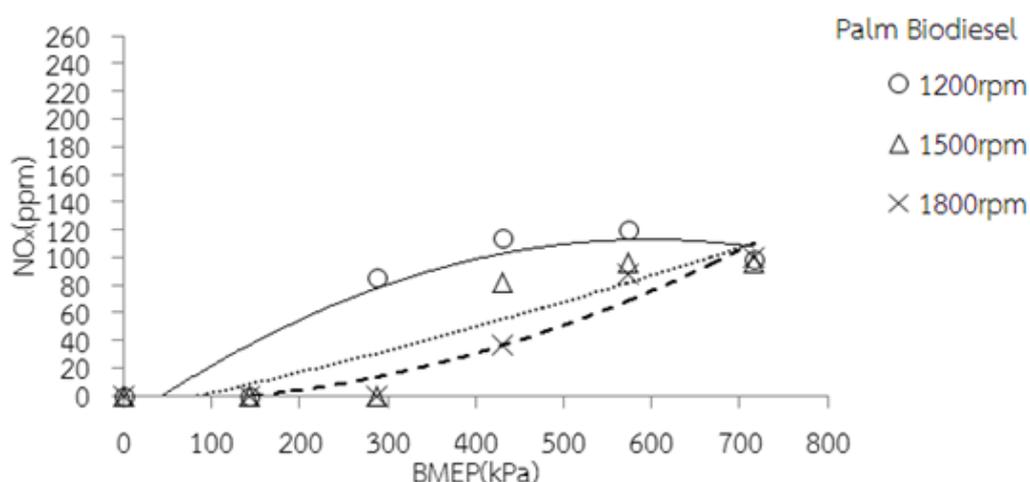
4.2.2.3 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

จากภาพที่ 4.8 ทุกความเร็รรอบ ที่ BMEP 0 kPa CO₂ เกิดต่ำสุดร้อยละ 1.00 ถึง 1.30 เมื่อความเร็รรอบคงที่ และ BMEP สูงขึ้น 0-716.2 kPa CO₂ เพิ่มขึ้นในทุกความเร็รรอบ เมื่อ BMEP คงที่ และความเร็รรอบสูงขึ้น CO₂ ลดลงตามความเร็รรอบจาก 1200, 1800 และ 1500

rpm ที่ BMEP 716.2 kPa เกิด CO₂ สูงสุดร้อยละ 2.50-3.50 พบว่าการเผาไหม้โดยใช้ปาล์มไบโอดีเซล เกิด CO₂ ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

4.2.2.4 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

จากภาพที่ 4.9 เมื่อ BMEP สูงขึ้น 0-572.9 kPa ในทุกความเร็วรอบ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ BMEP คงที่ 0-429 kPa และความเร็วรอบสูงขึ้น NO_x ลดลง ที่ BMEP 572.9 kPa พบเกิด NO_x สูงสุด ที่ 1,200 rpm 160 ppm ที่ 1,500 rpm 70 ppm ที่ BMEP 716.2 kPa ที่ 1,800 rpm 100 ppm ที่ BMEP 716.2 kPa 1,200 rpm และ 1,500 rpm NO_x ลดลง ที่ 1,200 rpm เหลือ 100 ppm ที่ 1,500 rpm เหลือ 60 ppm และ ที่ 1,800 rpm มีค่าสูงสุด 100 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ที่ BMEP 572.9 kPa 1,200 rpm NO_x มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 10-90 ppm และมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ที่ BMEP 716.2 kPa มีค่าต่ำกว่า 0-90 ppm ที่ 1,200 rpm NO_x ลดลง 90 ppm ที่ 1,500 rpm มีค่าลดลง 40 ppm และที่ 1,800 rpm มีค่าเท่ากับน้ำมันดีเซลที่ 100 ppm



ภาพที่ 4.9 ไนโตรเจนออกไซด์ เมื่อใช้ปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน BMEP

4.3 การใช้เอทานอลและปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

เนื่องจากปาล์มไบโอดีเซลมีค่าซีเทนต่ำกว่าดีเซลทำให้การเผาไหม้ของปาล์มไบโอดีเซลเกิดเร็วกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 1.6-2.4 °CA และนอกจากนั้นเมื่อฉีดเอทานอลผสมกับอากาศเป็นไอเข้าไปในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด เอทานอลจะดูดความร้อนจากอากาศและจากผนังในกระบอกสูบ เพื่อระเหยกลายเป็นไอทำให้อุณหภูมิและความดันสารผสมในกระบอกสูบลดต่ำลง ต้องใช้เวลาในการอัดที่ยาวนานขึ้นเพื่อให้ไอที่ถูกอัดมีอุณหภูมิสูงและความดันสูงพอจะจุดระเบิดเมื่อฉีดปาล์มไบโอดีเซลเข้าไปในช่วงปลายสุดของจังหวะอัด เพื่อให้เกิดการจุดระเบิดและปลดปล่อยความร้อนสูงสุดใกล้ 5 °CA และความดันสูงสุดใกล้ 10 °CA และเนื่องจากใช้ค่าความร้อนสะสมคงที่ทุกวัฏจักร ที่ BMEP และความเร็วรอบเดียวกัน ซึ่งเมื่อ rp สูงขึ้น ปริมาณเอทานอลที่ฉีดก็จะเพิ่มมากขึ้น แปรผกผันกับปริมาณปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้ ดังนั้นอัตราส่วน rp ที่เหมาะสมในขอบเขตของการทดลองพบว่าค่า rp มีผลกระทบต่อค่าตัวแปรที่ศึกษาดังต่อไปนี้

4.3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วม

เครื่องยนต์ CI ระบบเชื้อเพลิงร่วมเอทานอลและปาล์มไบโอดีเซล rp 0-0.85 ที่ 1,200 ถึง 1,800 rpm ที่ BMEP 0-716.2 kPa สมรรถนะที่ศึกษา คือ อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ผลการทดลองที่ได้สรุป ดังตารางที่ 4.4

4.3.1.1 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก

ข้อมูลจากตารางที่ 4.4 แสดงดังภาพที่ 4.10 ผลกระทบของ BMEP ต่อ BSEC เมื่อความเร็วรอบคงที่ rp มีค่าคงที่ไม่เกิน 0.75 เมื่อ BMEP สูงขึ้น BSEC มีค่าลดลงต่ำสุด

จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.11 ผลกระทบของค่า rp ต่อค่า BSEC เมื่อความเร็วรอบคงที่ และ BMEP 572.9-716.2 kPa เมื่อ rp มีค่าสูงขึ้นในช่วง 0.491-0.717 BSEC มีค่าต่ำสุด 8.37-8.89 MJ/kWh ผลกระทบของความเร็วยรอบต่อค่า BSEC เมื่อ BMEP และ rp คงที่ และความเร็วยรอบสูงขึ้น BSEC ต่ำลง เมื่อ rp มีค่าสูงขึ้น และความเร็วยรอบคงที่ BSEC มีค่าต่ำลง เมื่อ BMEP มีค่าสูงขึ้น จากตารางที่ 4.2 ที่ BMEP 572.9-716.2 kPa ทุกความเร็วยรอบ เทียบกับน้ำมันดีเซล ที่ความเร็วยรอบเดียวกัน BSEC น้ำมันดีเซลมีค่าเป็น 2 เท่าของเชื้อเพลิงร่วมเอทานอลและปาล์มไบโอดีเซล BSEC น้ำมันดีเซล ที่ BMEP 572.9 kPa มีค่า 15.65-16.25 MJ/kWh ที่ BMEP 716.2 kPa มีค่า 16.34-17.69 MJ/kWh

4.3.1.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

ข้อมูลจากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.12 ผลกระทบของ BMEP ต่อค่า η_{th} เมื่อความเร็วรอบคงที่ rp มีค่าคงที่ไม่เกิน 0.75 เมื่อ BMEP สูงขึ้น η_{th} มีค่าสูงสุด

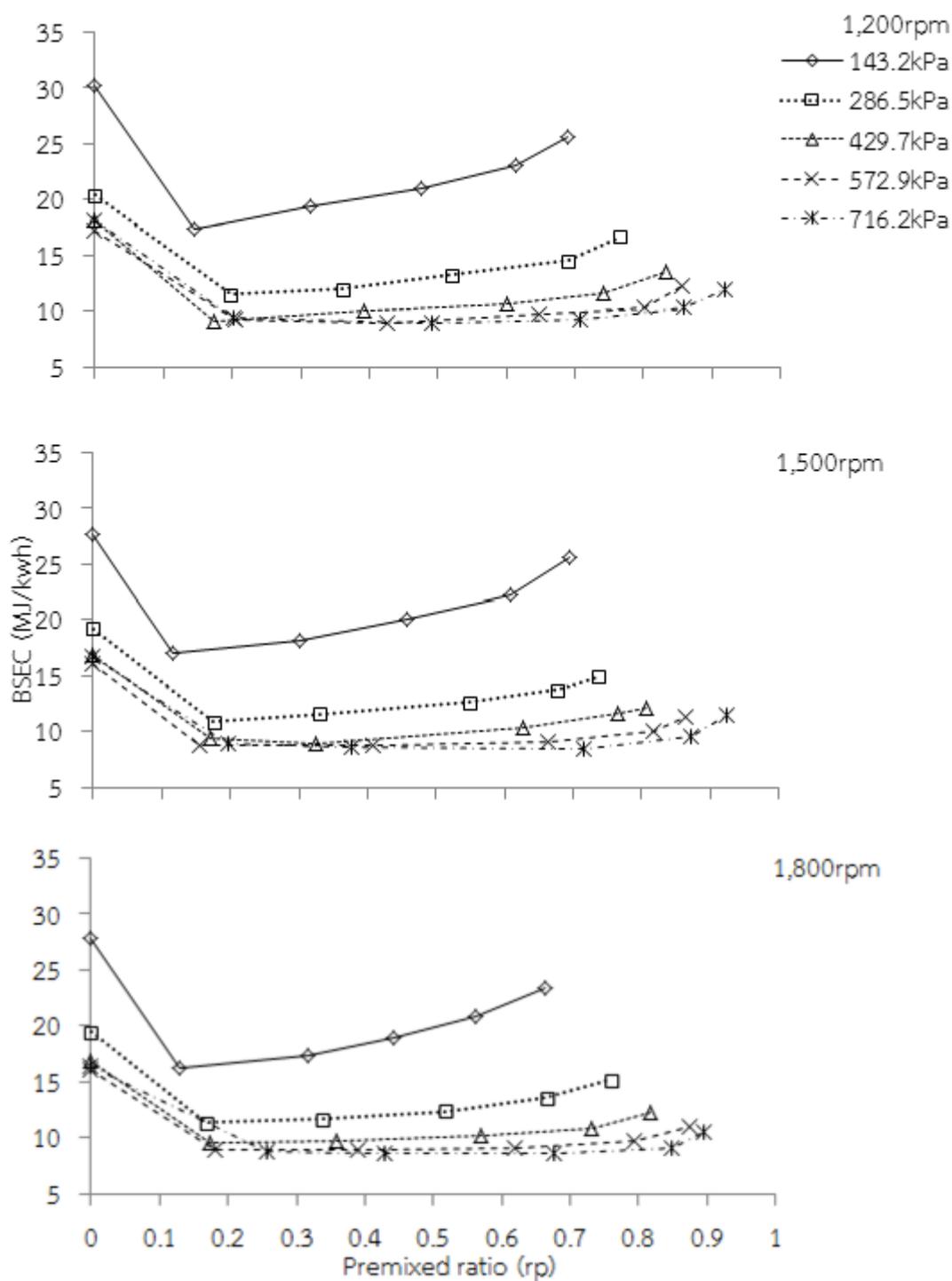
จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.13 ผลกระทบของค่า rp ต่อ η_{th} เมื่อความเร็วรอบคงที่ และ BMEP 572.9-716.2 kPa เมื่อ rp สูงขึ้นในช่วง 0.491-0.717 η_{th} มีค่าสูงสุดร้อยละ 40.94-42.75 ผลกระทบของความเร็วยรอบต่อค่า η_{th} เมื่อ BMEP คงที่ rp คงที่ และความเร็วยรอบสูงขึ้น η_{th} มีค่าสูงขึ้น เมื่อ rp มีค่าสูงขึ้น ผลกระทบของความเร็วยรอบต่อ η_{th} เมื่อ BMEP และ rp มีค่าคงที่ และความเร็วยรอบสูงขึ้น η_{th} มีค่าสูงขึ้น จากตารางที่ 4.6 ที่ BMEP 572.9-716.2 kPa ทุกความเร็วยรอบ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ความเร็วยรอบเดียวกัน η_{th} ของน้ำมันดีเซลมีค่าเป็นร้อยละ 50 ของเชื้อเพลิงร่วมเอทานอลและปาล์มไบโอดีเซล η_{th} น้ำมันดีเซล ที่ BMEP 572.9 kPa มีค่าร้อยละ 22.15-23.00 ที่ BMEP 716.2 kPa มีค่าร้อยละ 20.35-22.03

ตารางที่ 4.4 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
เชื้อเพลิงร่วมเอทานอลปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน rp

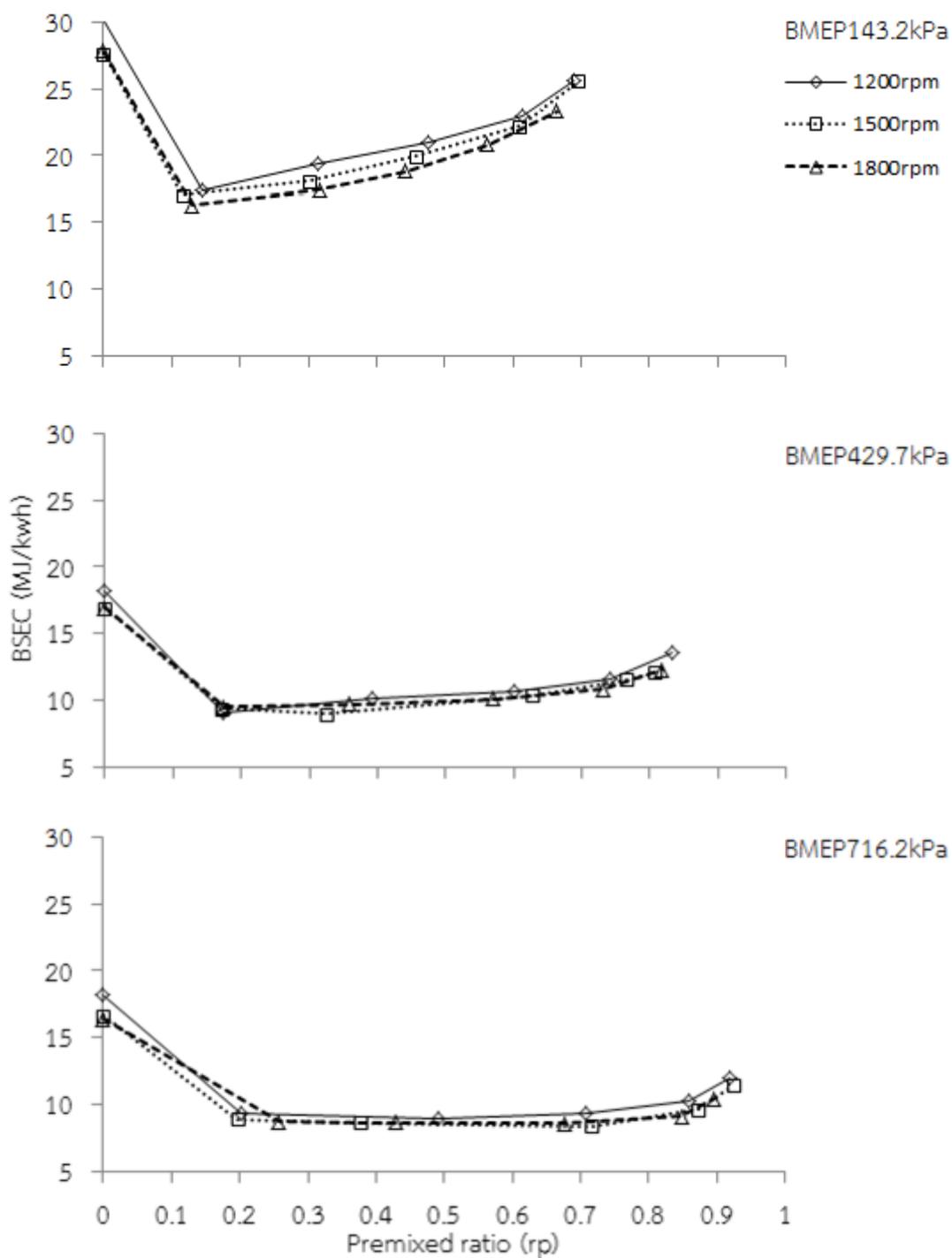
| 1200 rpm | | | 1500 rpm | | | 1800 rpm | | |
|----------------|------------------|--------------------|----------|------------------|--------------------|----------|------------------|--------------------|
| rp | BSEC (MJ/kWh) | η_{th} (%) | rp | BSEC (MJ/kWh) | η_{th} (%) | rp | BSEC (MJ/kWh) | η_{th} (%) |
| BMEP 143.2 kPa | | | | | | | | |
| 0 | 30.26 | 11.87 | 0 | 27.62 | 13.07 | 0 | 27.85 | 13.03 |
| 0.144 | 17.34 | 20.69 | 0.115 | 17.01 | 21.03 | 0.130 | 16.26 | 22.21 |
| 0.315 | 19.34 | 18.83 | 0.302 | 18.11 | 19.98 | 0.316 | 17.40 | 20.75 |
| 0.476 | 20.96 | 17.40 | 0.458 | 19.96 | 17.94 | 0.443 | 18.85 | 19.08 |
| 0.614 | 22.98 | 15.86 | 0.610 | 22.21 | 16.19 | 0.562 | 20.80 | 17.41 |
| 0.690 | 25.63 | 14.18 | 0.696 | 25.56 | 14.10 | 0.664 | 23.30 | 15.34 |
| BMEP 286.5 kPa | | | | | | | | |
| 0 | 20.36 | 17.85 | 0 | 19.16 | 18.89 | 0 | 19.45 | 18.58 |
| 0.198 | 11.50 | 31.62 | 0.175 | 10.85 | 33.21 | 0.168 | 11.32 | 31.92 |
| 0.360 | 12.00 | 30.30 | 0.331 | 11.56 | 30.85 | 0.339 | 11.65 | 30.91 |
| 0.521 | 13.20 | 27.46 | 0.549 | 12.58 | 28.77 | 0.518 | 12.38 | 29.14 |
| 0.690 | 14.53 | 25.14 | 0.678 | 13.70 | 26.04 | 0.666 | 13.52 | 26.80 |
| 0.766 | 16.68 | 21.86 | 0.736 | 14.91 | 24.05 | 0.759 | 15.14 | 23.73 |
| BMEP 429.7 kPa | | | | | | | | |
| 0 | 18.20 | 20.08 | 0 | 16.87 | 21.38 | 0 | 16.92 | 21.45 |
| 0.173 | 8.99 | 40.53 | 0.171 | 9.37 | 38.59 | 0.174 | 9.47 | 38.18 |
| 0.393 | 10.07 | 36.29 | 0.325 | 8.96 | 40.25 | 0.359 | 9.69 | 37.21 |
| 0.600 | 10.60 | 34.43 | 0.626 | 10.36 | 35.17 | 0.571 | 10.10 | 35.87 |
| 0.743 | 11.62 | 31.33 | 0.766 | 11.55 | 31.54 | 0.732 | 10.77 | 33.55 |
| 0.833 | 13.57 | 26.39 | 0.808 | 12.04 | 29.92 | 0.818 | 12.23 | 29.42 |
| BMEP 572.9 kPa | | | | | | | | |
| 0 | 17.17 | 21.22 | 0 | 16.06 | 22.47 | 0 | 16.02 | 22.50 |
| 0.205 | 9.19 | 39.48 | 0.154 | 8.76 | 40.87 | 0.181 | 8.90 | 40.51 |
| 0.426 | 8.85 | 40.26 | 0.408 | 8.69 | 41.82 | 0.389 | 8.98 | 40.18 |
| 0.649 | 9.75 | 37.47 | 0.663 | 9.02 | 39.69 | 0.620 | 9.01 | 40.16 |
| 0.801 | 10.30 | 35.76 | 0.818 | 10.01 | 35.82 | 0.793 | 9.75 | 37.14 |
| 0.856 | 12.28 | 29.74 | 0.864 | 11.33 | 32.16 | 0.875 | 10.94 | 32.89 |

ตารางที่ 4.4 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
เชื้อเพลิงร่วมเอทานอลปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน
rp (ต่อ)

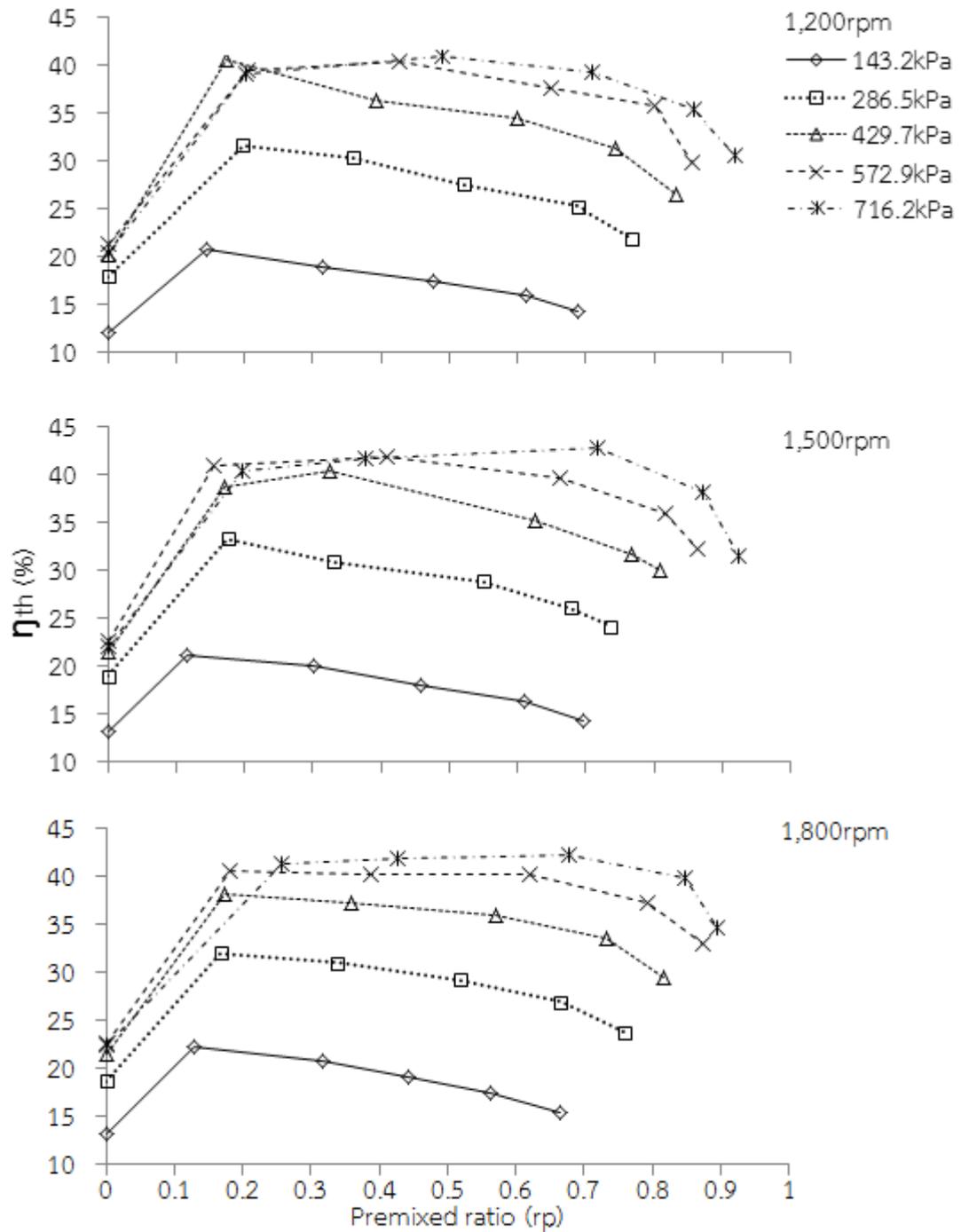
| 1200 rpm | | | 1500 rpm | | | 1800 rpm | | |
|----------------|------------------|--------------------|----------|------------------|--------------------|----------|------------------|--------------------|
| rp | BSEC (MJ/kWh) | η_{th} (%) | rp | BSEC (MJ/kWh) | η_{th} (%) | rp | BSEC (MJ/kWh) | η_{th} (%) |
| BMEP 716.2 kPa | | | | | | | | |
| 0 | 18.16 | 20.38 | 0 | 16.63 | 21.92 | 0 | 16.38 | 22.30 |
| 0.203 | 9.33 | 38.98 | 0.196 | 8.85 | 40.40 | 0.257 | 8.69 | 41.35 |
| 0.491 | 8.89 | 40.94 | 0.377 | 8.59 | 41.65 | 0.428 | 8.64 | 41.88 |
| 0.709 | 9.28 | 39.30 | 0.717 | 8.37 | 42.75 | 0.677 | 8.52 | 42.15 |
| 0.859 | 10.30 | 35.27 | 0.873 | 9.58 | 38.17 | 0.848 | 9.05 | 39.78 |
| 0.919 | 11.95 | 30.47 | 0.924 | 11.37 | 31.44 | 0.896 | 10.43 | 34.56 |



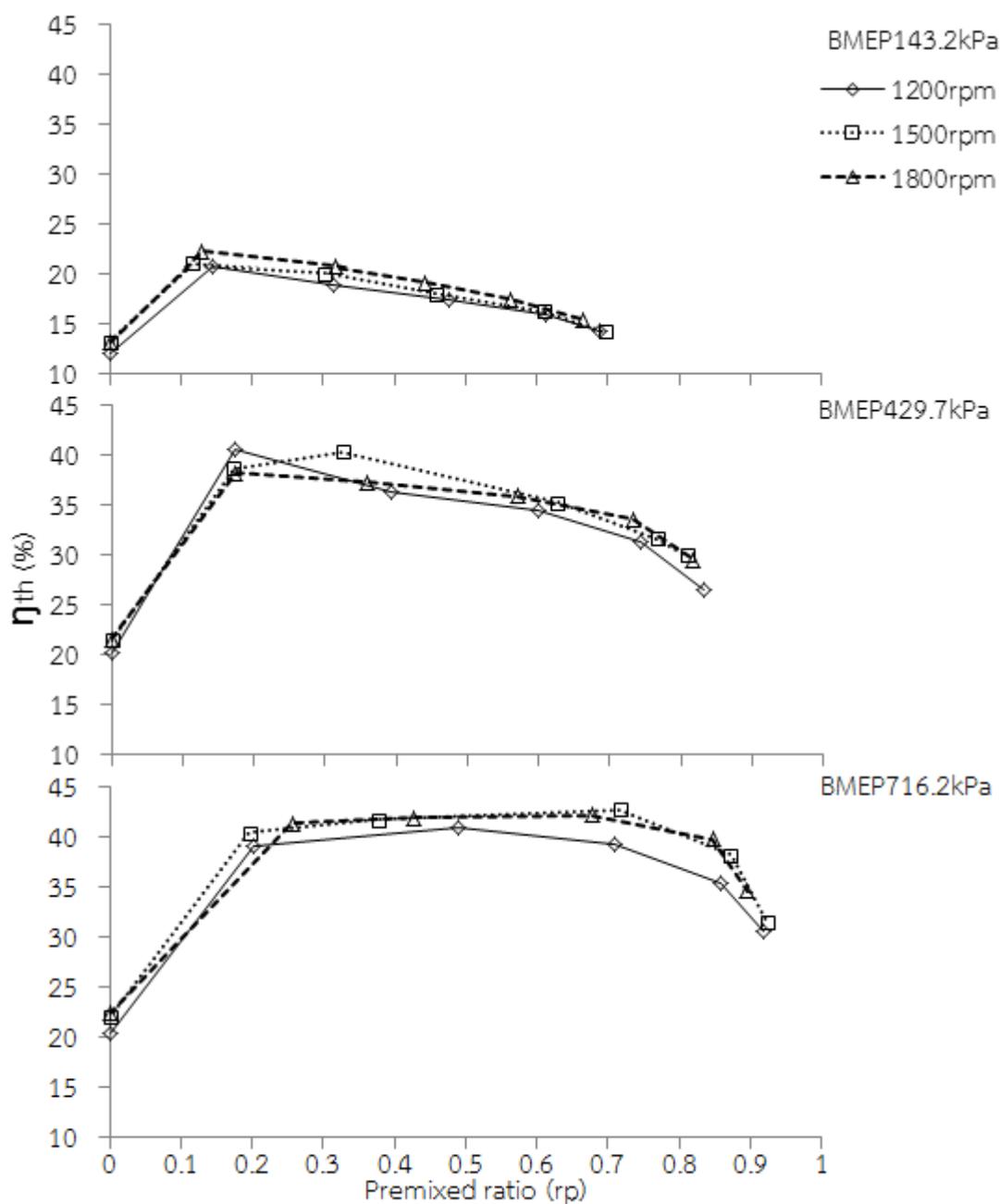
ภาพที่ 4.10 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก เชื้อเพลิงร่วมเอทานอลปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน rp



ภาพที่ 4.11 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก เชื้อเพลิงร่วมเอทานอลปาล์มไบโอดีเซล BMEP คงที่ ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน rp



ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนแปรกับเชื้อเพลิงร่วมเอทานอลปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน rp



ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก เชื้อเพลิงร่วมเอทานอลปาล์มไบโอดีเซล BMEP คงที่ ความเร็วรอบคงที่ แปรผัน rp

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกและการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก เชื้อเพลิงร่วมเอทานอลปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน rpm

| 1200 rpm | | | 1500 rpm | | | 1800 rpm | | |
|----------------|-------------------------|---------------------------|----------|-------------------------|--------------------|----------|-------------------------|---------------------------|
| rpm | $\Delta BSEC$ MJ/kWh | $\Delta \eta_{th}$ (%) | rpm | $\Delta BSEC$ MJ/kWh | η_{th} (%) | rpm | $\Delta BSEC$ MJ/kWh | $\Delta \eta_{th}$ (%) |
| BMEP 143.2 kPa | | | | | | | | |
| 0 | -1.84 | 0.65 | 0 | -0.71 | 0.36 | 0 | 0.17 | 0.02 |
| 0.144 | -14.76 | 9.47 | 0.115 | -11.32 | 8.32 | 0.130 | -11.42 | 9.20 |
| 0.315 | -12.76 | 7.61 | 0.302 | -10.22 | 7.27 | 0.316 | -10.28 | 7.74 |
| 0.476 | -11.14 | 6.18 | 0.458 | -8.37 | 5.23 | 0.443 | -8.83 | 6.07 |
| 0.614 | -9.12 | 4.64 | 0.610 | -6.12 | 3.48 | 0.562 | -6.88 | 4.40 |
| 0.690 | -6.47 | 2.96 | 0.696 | -2.77 | 1.39 | 0.664 | -4.38 | 2.33 |
| BMEP 286.5 kPa | | | | | | | | |
| 0 | -0.06 | 0.22 | 0 | -0.38 | 0.47 | 0 | -0.16 | 0.22 |
| 0.198 | -8.92 | 13.99 | 0.175 | -8.69 | 14.79 | 0.168 | -8.29 | 13.56 |
| 0.360 | -8.42 | 12.67 | 0.331 | -7.98 | 12.43 | 0.339 | -7.96 | 12.55 |
| 0.521 | -7.22 | 9.83 | 0.549 | -6.96 | 10.35 | 0.518 | -7.23 | 10.78 |
| 0.690 | -5.89 | 7.51 | 0.678 | -5.84 | 7.62 | 0.666 | -6.09 | 8.44 |
| 0.766 | -3.74 | 4.23 | 0.736 | -4.63 | 5.63 | 0.759 | -4.47 | 5.37 |
| BMEP 429.7 kPa | | | | | | | | |
| 0 | 0.94 | -0.78 | 0 | 0.3 | -0.35 | 0 | 0.14 | -0.06 |
| 0.173 | -8.27 | 19.67 | 0.171 | -7.2 | 16.86 | 0.174 | -7.31 | 16.67 |
| 0.393 | -7.19 | 15.43 | 0.325 | -7.61 | 18.52 | 0.359 | -7.09 | 15.70 |
| 0.600 | -6.66 | 13.57 | 0.626 | -6.21 | 13.44 | 0.571 | -6.68 | 14.36 |
| 0.743 | -5.64 | 10.47 | 0.766 | -5.02 | 9.81 | 0.732 | -6.01 | 12.04 |
| 0.833 | -3.69 | 5.53 | 0.808 | -4.53 | 8.19 | 0.818 | -4.55 | 7.91 |
| BMEP 572.9 kPa | | | | | | | | |
| 0 | 1.52 | -1.78 | 0 | -0.19 | 0.32 | 0 | -0.06 | 0.12 |
| 0.205 | -6.46 | 16.48 | 0.154 | -7.49 | 18.72 | 0.181 | -7.18 | 18.13 |
| 0.426 | -6.80 | 17.26 | 0.408 | -7.56 | 19.67 | 0.389 | -7.10 | 17.80 |
| 0.649 | -5.90 | 14.47 | 0.663 | -7.23 | 17.54 | 0.620 | -7.07 | 17.78 |
| 0.801 | -5.35 | 12.76 | 0.818 | -6.24 | 13.67 | 0.793 | -6.33 | 14.76 |
| 0.856 | -3.37 | 6.74 | 0.864 | -4.92 | 10.01 | 0.875 | -5.14 | 10.51 |

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกและการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก เชื้อเพลิงร่วมเอทานอลปาล์มไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน rpm (ต่อ)

| 1200 rpm | | | 1500 rpm | | | 1800 rpm | | |
|----------------|-------------------------|---------------------------|----------|-------------------------|--------------------|----------|-------------------------|---------------------------|
| rpm | $\Delta BSEC$ MJ/kWh | $\Delta \eta_{th}$ (%) | rpm | $\Delta BSEC$ MJ/kWh | η_{th} (%) | rpm | $\Delta BSEC$ MJ/kWh | $\Delta \eta_{th}$ (%) |
| BMEP 716.2 kPa | | | | | | | | |
| 0 | 0.47 | 0.03 | 0 | 0.10 | 0.14 | 0 | 0.04 | 0.27 |
| 0.203 | -8.36 | 18.63 | 0.196 | -7.68 | 18.62 | 0.257 | -7.65 | 19.32 |
| 0.491 | -8.80 | 20.59 | 0.377 | -7.94 | 19.87 | 0.428 | -7.70 | 19.85 |
| 0.709 | -8.41 | 18.95 | 0.717 | -8.16 | 20.97 | 0.677 | -7.82 | 20.12 |
| 0.859 | -7.39 | 14.92 | 0.873 | -6.95 | 16.39 | 0.848 | -7.29 | 17.75 |
| 0.919 | -5.74 | 10.12 | 0.924 | -5.16 | 9.66 | 0.896 | -5.91 | 12.53 |

4.3.2 ผลต่อค่ามลภาวะในการเผาไหม้เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วม

4.3.2.1 ไฮโดรคาร์บอน (HC)

ภาพที่ 4.14 เมื่อความเร็วรอบคงที่และ BMEP อยู่ในช่วง 143.2-716.2 kPa ที่ rpm ต่ำกว่า 0.2 HC สูงขึ้น เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ที่ rpm 0.20-0.75 ความเร็วรอบ 1,200 rpm เมื่อ BMEP สูงขึ้น HC สูงขึ้น ที่ 1500, 1800 rpm HC ลดลง เมื่อ BMEP สูงขึ้น ที่ rpm สูงกว่า 0.75 HC สูงขึ้นทุกความเร็วรอบ

4.3.2.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

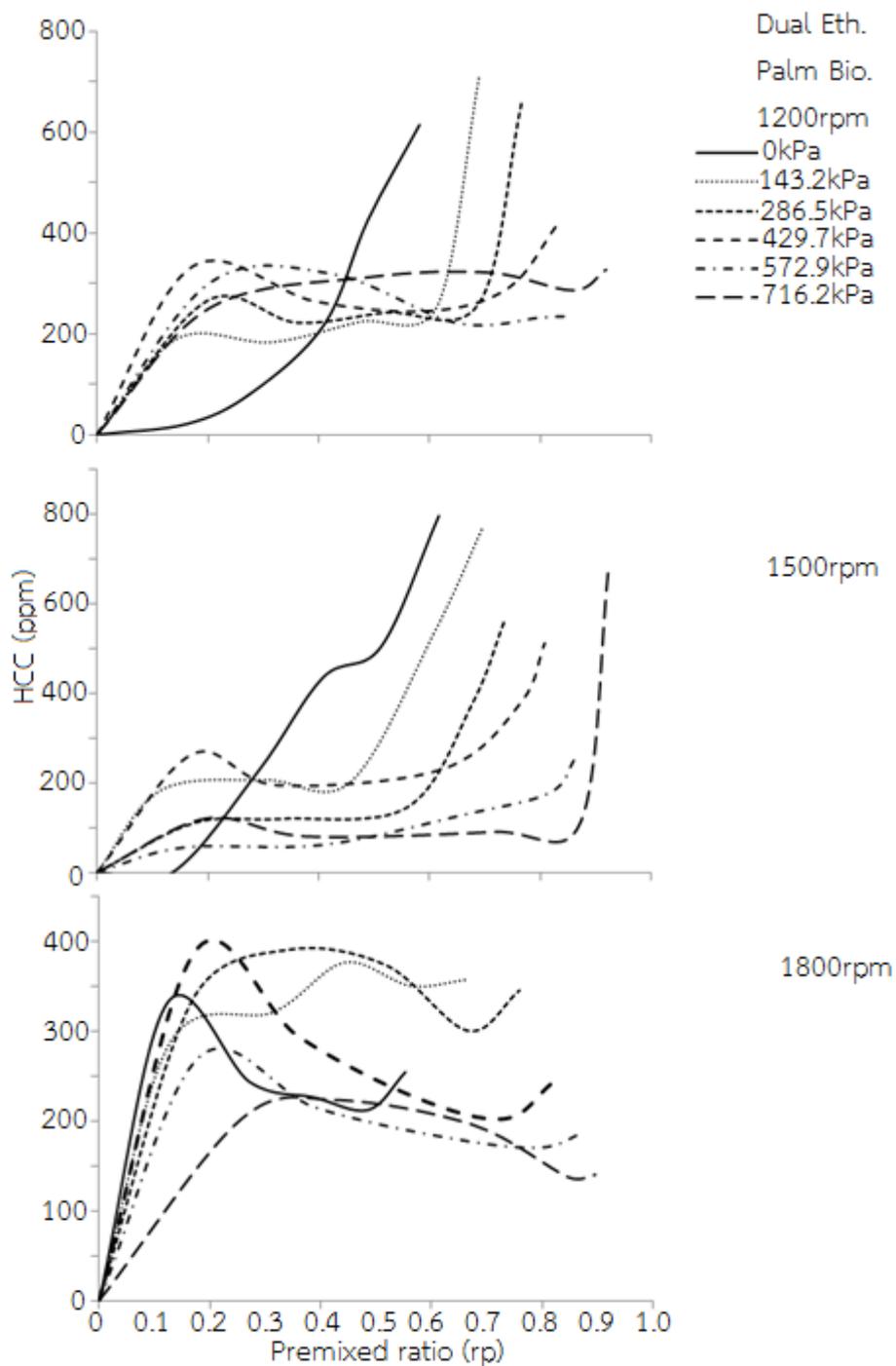
ภาพที่ 4.15 ที่ค่า rpm สูง ในทุกความเร็วรอบ CO มีปริมาณสูงขึ้น เมื่อ rpm คงที่ CO มีปริมาณลดลง เมื่อ BMEP สูงขึ้น เมื่อ BMEP คงที่ ทุกความเร็วรอบ ที่ BMEP ต่ำ ที่ rpm สูง เกิด CO สูงกว่าที่ rpm ต่ำ

4.3.2.3 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

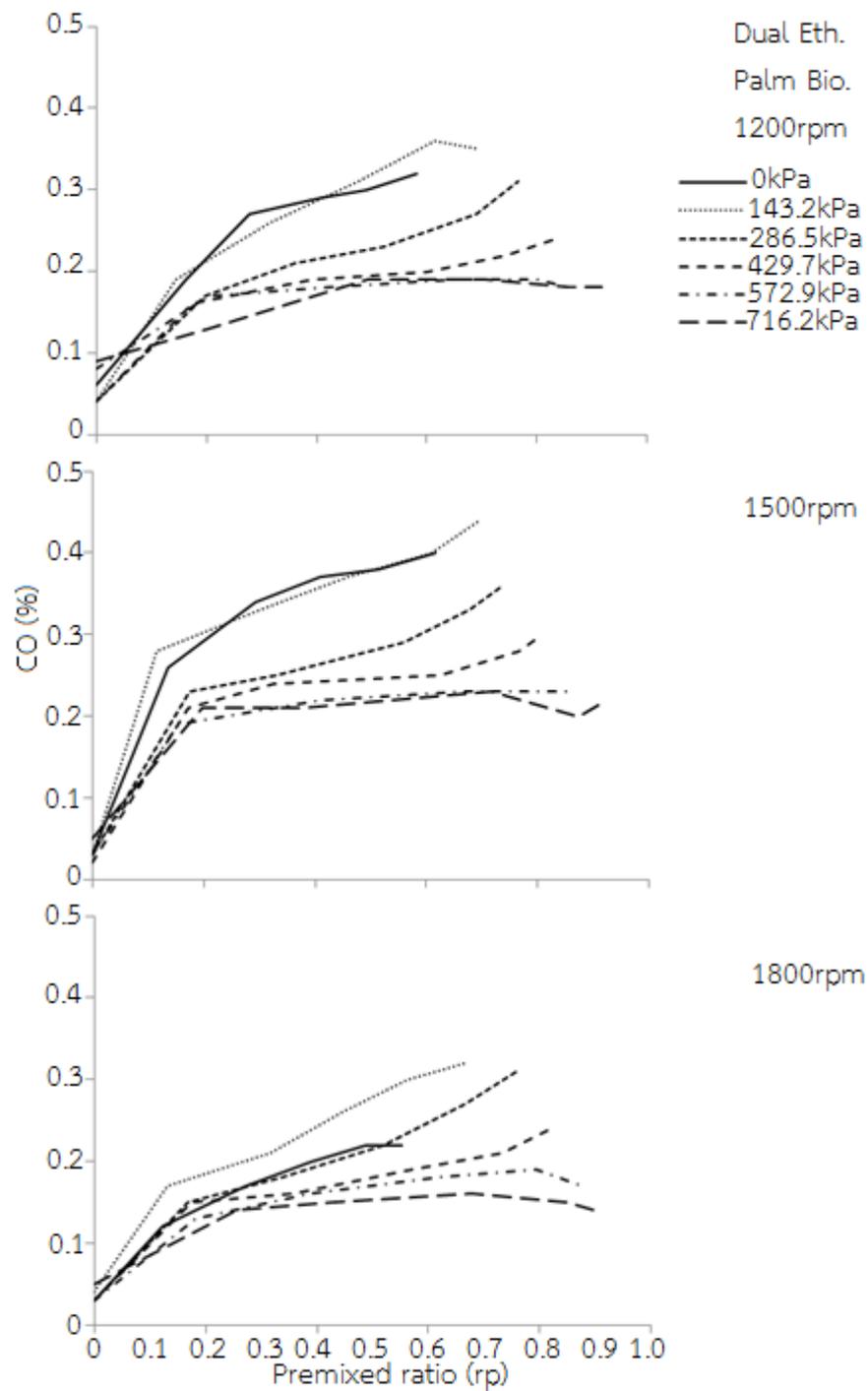
ภาพที่ 4.16 เมื่อค่า BMEP คงที่ และความเร็วรอบสูงขึ้น เมื่อ rpm สูงขึ้น CO₂ มีปริมาณลดลง เมื่อความเร็วรอบและ rpm คงที่ และ BMEP มีค่าสูงขึ้น CO₂ มีค่าสูงขึ้น เมื่อ BMEP มีค่าคงที่ และความเร็วรอบสูงขึ้น CO₂ มีปริมาณลดลง

4.3.2.4 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

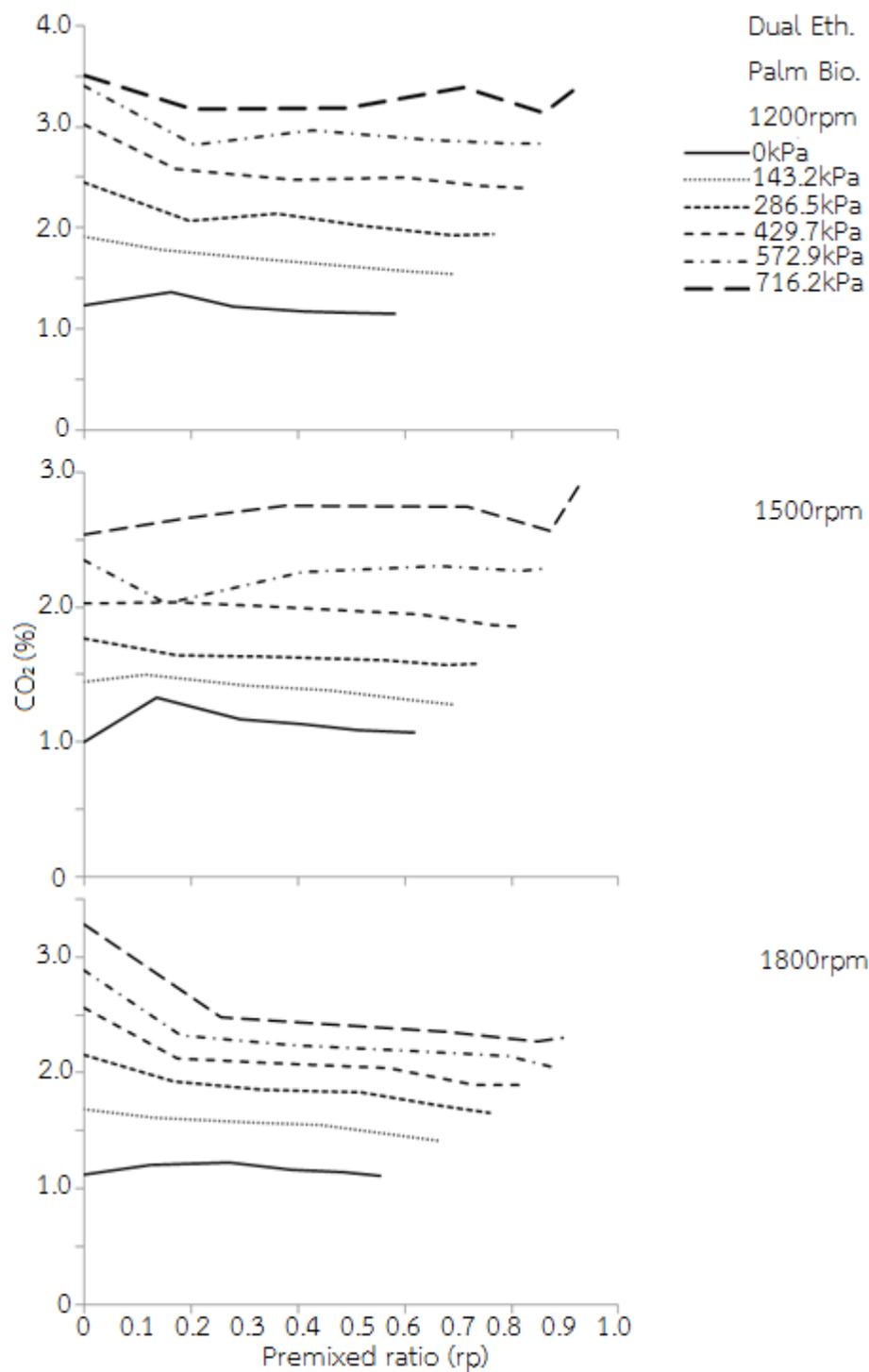
ตรวจไม่พบไนโตรเจนออกไซด์



ภาพที่ 4.14 ปริมาณไฮโดรคาร์บอน เชื้อเพลิงร่วมเอทานอล ปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน rp



ภาพที่ 4.15 คาร์บอนมอนอกไซด์ เชื้อเพลิงร่วมเอทานอล ปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน rp



ภาพที่ 4.16 คาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อเพลิงร่วมเอทานอล ปาล์มไบโอดีเซล ความเร็วรอบคงที่ BMEP คงที่ แปรผัน rp

4.3.2.5 ผลต่อค่ามลภาวะเมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล

ค่ามลภาวะในระบบเชื้อเพลิงร่วม ที่ BMEP 716.2 kPa พิจารณาในจุดที่มี ค่า BSEC ต่ำสุดและมีค่า η_{th} สูงสุด ที่ rp 0.491-0.717 ปริมาณเอทานอลที่มากขึ้นมีผลต่อความดันในห้องเผาไหม้ พบว่าที่ 1,200 rpm rp 0.491 ที่ 1,500 rpm rp 0.717 และที่ 1,800 rpm rp 0.677 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ BMEP 716.2 kPa ผลต่อค่ามลพิษในการเผาไหม้ ทุกความเร็วรอบ ตรวจไม่พบ NO_x พบ ว่าปริมาณ CO_2 ลดลงวัดค่าได้ร้อยละ 1.8-3.19 CO มีค่าเพิ่มขึ้นวัดค่าได้ร้อยละ 0.19-0.23 และ HC มีค่าเพิ่มขึ้นวัดได้ 90-373 ppm ค่ามลพิษเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเผาไหม้ที่ BMEP 716.2 kPa ที่ความเร็วรอบ 1,200, 1,500 และ 1,800 rpm NO_x 100-190 ppm CO_2 ร้อยละ 2.80 ถึง 4.20 CO ร้อยละ 0.04-0.13 และ HC 0 ppm และที่ BMEP 716.2 kPa และ rp สูงกว่า 0.75 จะเกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด ทุกความเร็วรอบ ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดต่ำลงจึงไม่พบ NO_x ที่ 1,200 rpm