

บทที่ 6

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

6.1 ผลการทดสอบสมรรถนะ

ผลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะประกอบด้วย ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ระหว่างค่าแรงบิดเบรกแก้ไข, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล (หลังทำการปรับค่ากำลังที่ได้ตามประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ภาวะต่างๆ และปรับแก้ไขค่าแรงบิดเบรกสำหรับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศมาตรฐาน) รวมไปถึงข้อมูลอุณหภูมิไอเสีย, อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น, อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นและค่าควันดำซึ่งเป็นตัวแปรตามที้นำไปประกอบการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้ น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่ความเร็วรอบคงที่และสภาวะคงตัว ได้แบ่งการนำเสนอออกเป็นผลที่สภาวะภาวะสูงสุด และที่สภาวะภาวะบางส่วนดังนี้

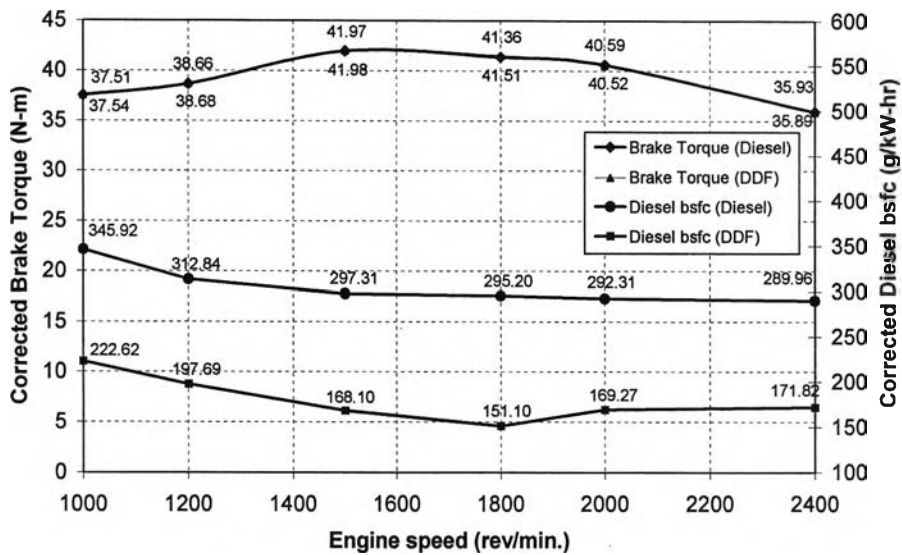
6.1.1 ผลของแรงบิดเบรกแก้ไข (Corrected Brake Torque) สูงสุด กับ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ที่สภาวะภาวะสูงสุด

ผลของแรงบิดเบรกแก้ไข (Corrected Brake Torque) สูงสุดกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) (คำนวณเฉพาะน้ำมันดีเซล) ที่สภาวะภาวะสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล และใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดงในรูปที่ 6-1

จากรูปที่ 6-1 แสดงผลของแรงบิดเบรกแก้ไข (Corrected Brake Torque) สูงสุดของในแต่ละความเร็วรอบกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) (เฉพาะน้ำมันดีเซล) ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ พบว่าค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่ได้ในแต่ละความเร็วรอบนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่ได้จากน้ำมันดีเซลมีค่า 41.97 N-m ส่วนแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่า 41.98 N-m ซึ่งเกิดขึ้นที่ความเร็วรอบเดียวกันคือ 1500 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำกว่าค่าจากการใช้น้ำมันดีเซลเนื่องจากพลังงานจากก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพแทนที่น้ำมันดีเซลบางส่วนซึ่งมีค่าแตกต่างกันในแต่ละความเร็วรอบ โดยเมื่อใช้น้ำมันดีเซลค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจะลดลงตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 345.92 g/kW-hr ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที และต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 345.92 g/kW-hr ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งแนวโน้มแตกต่างจากเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพคือในช่วงแรกค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจะลดลงตามความเร็วรอบที่เพิ่มจากค่าประมาณ 222.62 g/kW-

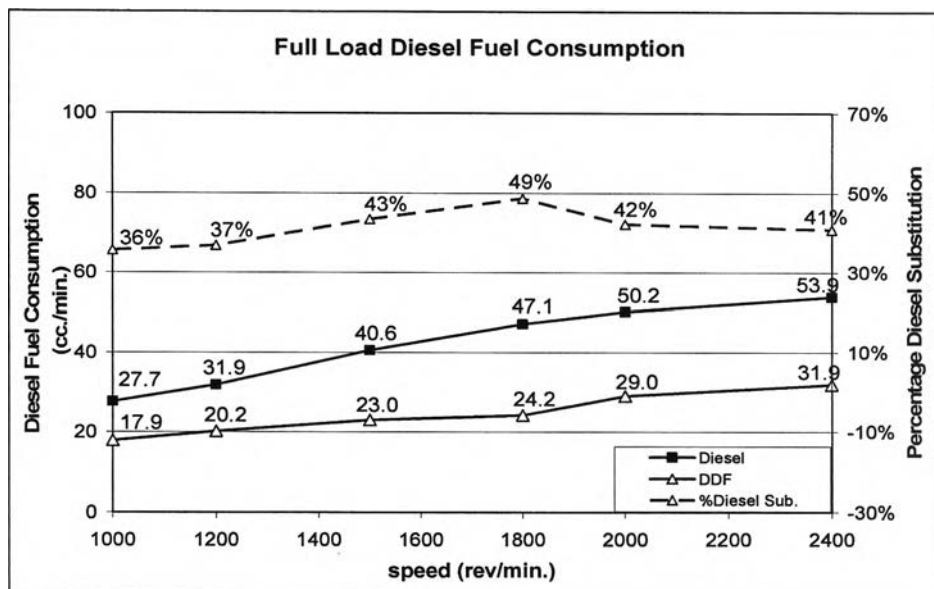
hr ที่ 1000 รอบต่อนาที ลดลงถึงค่าต่ำสุดที่ประมาณ 151.10 g/kW-hr ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที และเพิ่มขึ้นจนมีค่าประมาณ 171.82 g/kW-hr ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

Full Load Corrected Brake Torque & Diesel bsfc



รูปที่ 6-1 เปรียบเทียบผลของแรงบิดเบรกแก้ไข (Corrected Brake Torque) และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (เฉพาะน้ำมันดีเซล bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 6-2 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพในแต่ละความเร็วรอบที่สภาวะภาระสูงสุด โดยค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลมีแนวโน้มที่เหมือนกันคือมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ซึ่งเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 27.7 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที และสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 53.9 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลจะลดลงโดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 17.9 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที และสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 31.9 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที แต่ค่าร้อยละของอัตราการแทนที่เชื้อเพลิงดีเซลระหว่างใช้น้ำมันดีเซลกับที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นจากค่าประมาณร้อยละ 36 ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เพิ่มขึ้นจนสามารถแทนที่น้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 49 ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที จากนั้นค่าร้อยละของอัตราการแทนที่เชื้อเพลิงดีเซลลดลงจนมีค่าประมาณร้อยละ 41 ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที

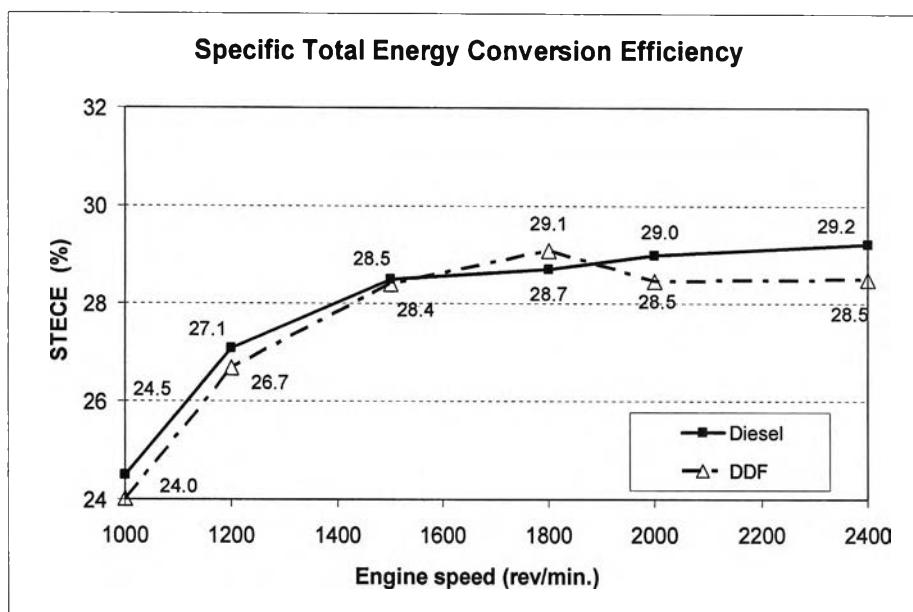


รูปที่ 6-2 เปรียบเทียบผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ และร้อยละของอัตราทดแทนที่เชื้อเพลิงดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์

อาจสรุปได้ว่าไม่เห็นถึงความแตกต่างที่ชัดเจนจากค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลกับใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ จากผลที่ได้พบว่าเมื่อใช้ก๊าซชีวภาพในระบบเชื้อเพลิงคู่สามารถให้แรงบิดสูงสุดได้เทียบเท่ากับเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีเซลปกติและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าลดลงมากอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากพลังงานของน้ำมันดีเซลที่ลดลงไปถูกแทนที่ด้วยพลังงานจากก๊าซมีเทนซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงและจะปล่อยพลังงานจากการเผาไหม้ด้วยการจุดระเบิดนําร่องของน้ำมันดีเซลที่จุดระเบิดด้วยการอัด

6.1.2 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะ (Specific Total Energy Conversion Efficiency, STECE) ที่สภาวะภาระสูงสุด

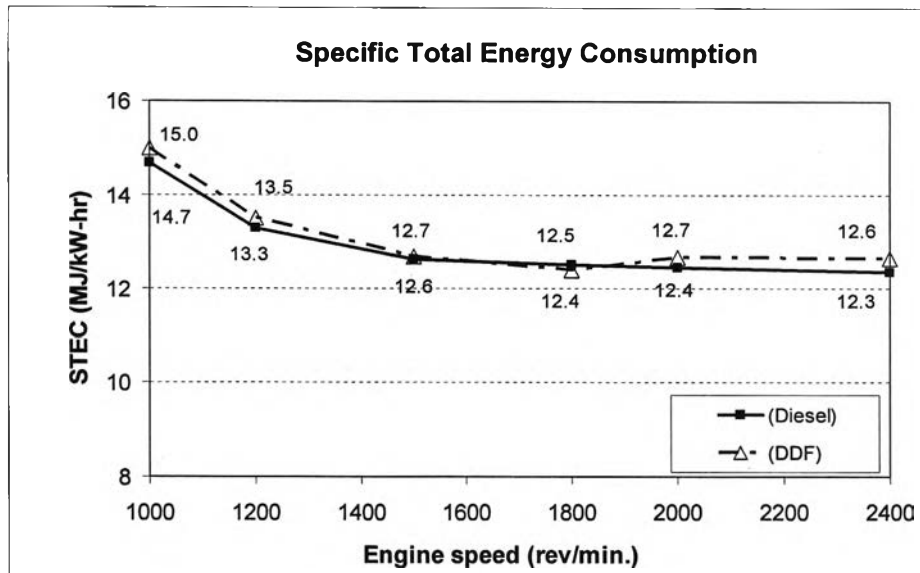
ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงไว้ในรูปที่ 6-3



รูปที่ 6-3 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

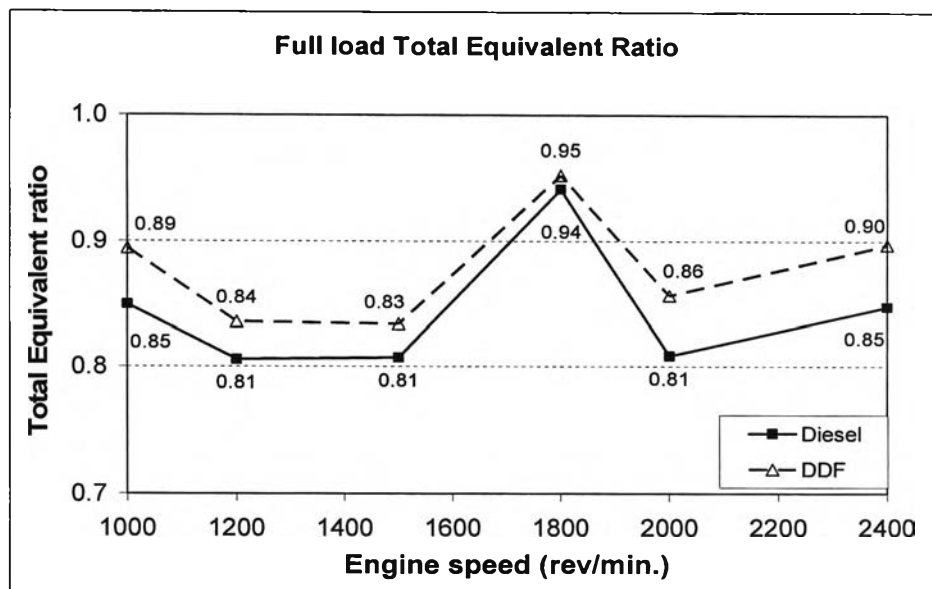
จากรูปที่ 6-3 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ พบว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเล็กน้อยในทุกความเร็วรอบยกเว้นที่ 1800 รอบต่อนาทีคือเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะเท่ากับ 28.7 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้ดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะเท่ากับ 29.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่างกันประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะสูงสุดจากการใช้น้ำมันดีเซล มีค่า 29.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาทีขณะที่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ มีค่า 28.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบเดียวกัน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะสูงสุดจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่า 29.1 เปอร์เซ็นต์ ที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาทีขณะที่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะสูงสุดจากการใช้น้ำมันดีเซลมีค่า 29.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าแตกต่างกันประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ อาจสรุปได้ว่าการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่สภาวะภาระสูงสุดให้ผลด้าน

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 6-4 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่สภาวะภาระสูงสุด

จากรูปที่ 6-4 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่สภาวะภาระสูงสุด พบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะที่ได้การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลในทุกความเร็วรอบยกเว้นที่ 1800 รอบต่อนาที เช่นเดียวกับค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะ ซึ่งค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะแปรผกผันกับค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะ โดยค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะจากการใช้น้ำมันดีเซล มีค่า 14.7 MJ/kW-hr ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาทีขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ มีค่า 15 MJ/kW-hr ซึ่งมากกว่าใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์และที่ 1800 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ มีค่า 12.4 MJ/kW-hr และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีค่า 12.5 MJ/kW-hr ซึ่งมากกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์อย่างไรก็ตาม จากผลด้านอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะที่ได้ อาจสรุปได้ว่าไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 6-5 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราส่วนสมมูลรวมของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่สภาวะภาระสูงสุด

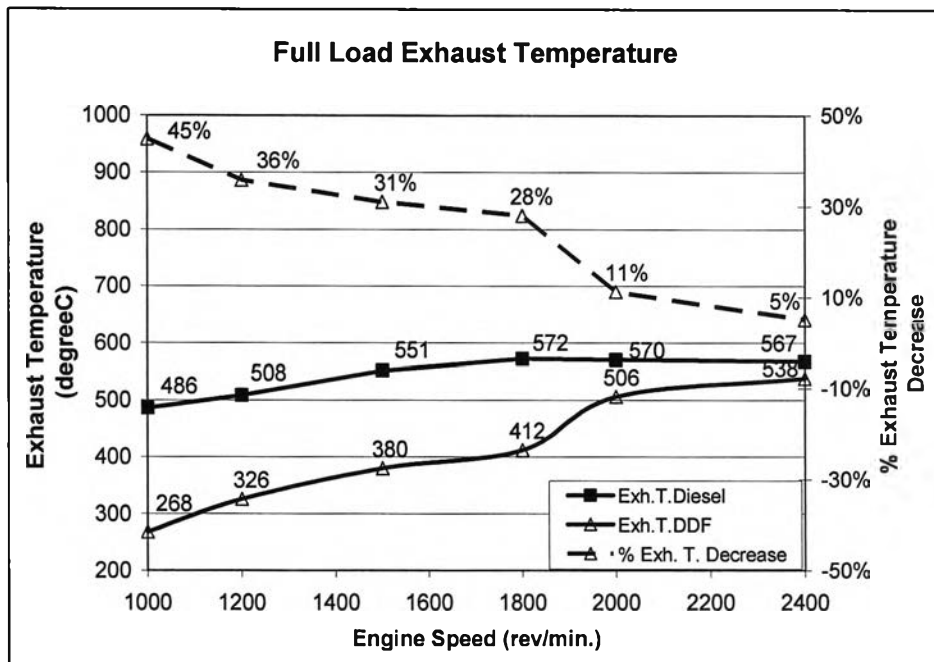
จากรูปที่ 6-5 แสดงค่าอัตราส่วนสมมูลรวมของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่สภาวะภาระสูงสุดพบว่าค่าอัตราส่วนสมมูลรวมของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล ยกเว้นที่ความเร็วรอบที่ 1800 รอบต่อนาทีที่ค่าอัตราส่วนสมมูลรวมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเท่ากับ 0.94 และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.95 และเป็นค่าอัตราส่วนสมมูลรวมที่สูงสุดของทั้งสองเชื้อเพลิง สำหรับความเร็วรอบอื่นๆ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าอยู่ในช่วง 0.2-0.5 หรือประมาณตั้งแต่ร้อยละ 2.5 ถึงร้อยละ 5

จากผลที่ได้พบว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพจะมีผลผสมหนากว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลยกเว้นที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาทีซึ่งมีอัตราส่วนผสมใกล้เคียงกันสอดคล้องกับรูปที่ 6-3 และ 6-4 โดยที่ความเร็วรอบ 1000, 1200, 1500, 2000 และ 2400 รอบต่อนาที เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่าและมีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีสาเหตุมาจากส่วนผสมที่หนากว่าโดยสังเกตได้จากรูปที่ 6-5 แต่สำหรับที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที ทั้งสองเชื้อเพลิงมีส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ใกล้เคียงกันแต่พบว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอาจจะเนื่องมาจากที่ 1800 รอบต่อนาที (จากรูปที่ 6-2) พบว่ามีอัตราการแทนที่น้ำมันดีเซลด้วยก๊าซชีวภาพสูงที่สุดทำให้ส่วนของเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล และเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะ

เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำกว่าใช้น้ำมันดีเซลเนื่องจากไม่สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพ (ขอบเขตการเกิดน็อก)

6.1.3 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด

อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) ที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงในรูปที่ 6-6



รูปที่ 6-6 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 6-6 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ ซึ่งจากผลดังกล่าวพบว่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันดีเซลทุกความเร็วรอบ โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำๆ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไอเสียแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดคือ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอุณหภูมิไอเสียมีค่าต่ำสุดประมาณ 486 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นจนอุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงสุดประมาณ 572 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที หลังจากนั้นอุณหภูมิไอเสียมีแนวโน้มลดลงจนมีค่าประมาณ 567 องศา

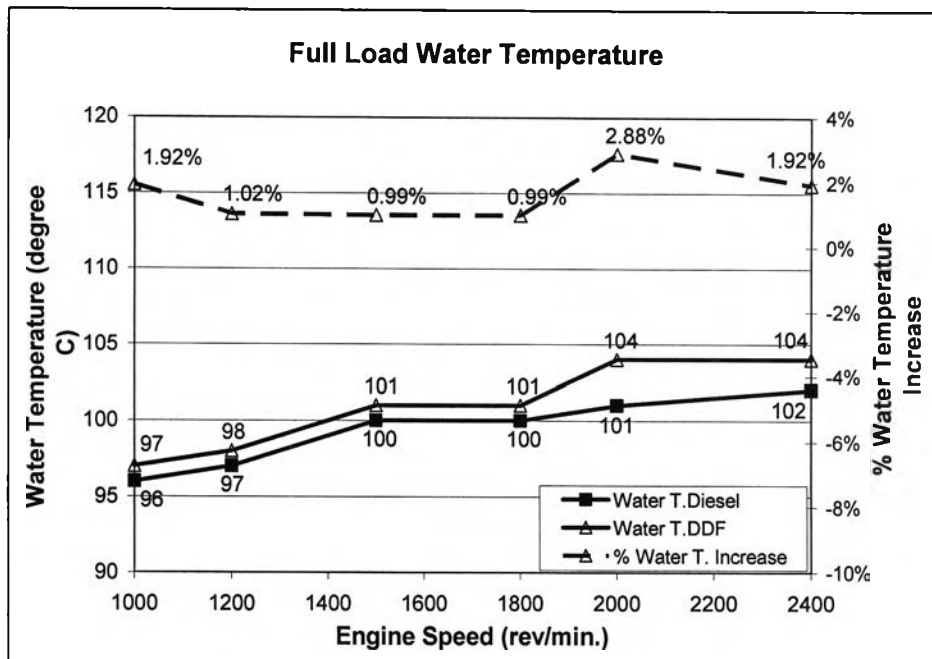
เซลเซียสที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที แต่เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพอุณหภูมิไอเสียมีค่าต่ำสุดประมาณ 268 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที ซึ่งก็คือลดลงประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันดีเซล โดยค่าอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงสุดประมาณ 538 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาทีซึ่งลดลงประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับอุณหภูมิไอเสียเมื่อใช้น้ำมันดีเซล

ผลของอุณหภูมิไอเสียที่มีค่าลดลงเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงให้เห็นว่าที่สภาวะภาระสูงสุด อุณหภูมิหลังการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้มีค่าต่ำกว่า อาจจะมีสาเหตุมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีช่วงระยะเวลาการเผาไหม้ที่สั้นกว่าใช้น้ำมันดีเซล ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ในช่วงปลายของจังหวะระเบิดขณะที่วาล์วไอเสียเริ่มเปิดมีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงตกค้างที่ยังไม่เผาไหม้หลังช่วงจังหวะกำลังมีค่าน้อยลง ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ปลายจังหวะกำลังและจังหวะคายมีค่าน้อยลงทำให้อุณหภูมิของไอเสียมีค่าต่ำลงอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วสูงขึ้นช่วงระยะเวลาของจังหวะกำลังสั้นลงและระยะเวลาการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ก็สั้นลงส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ปลายจังหวะกำลังและจังหวะคายมีค่าสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของไอเสียมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

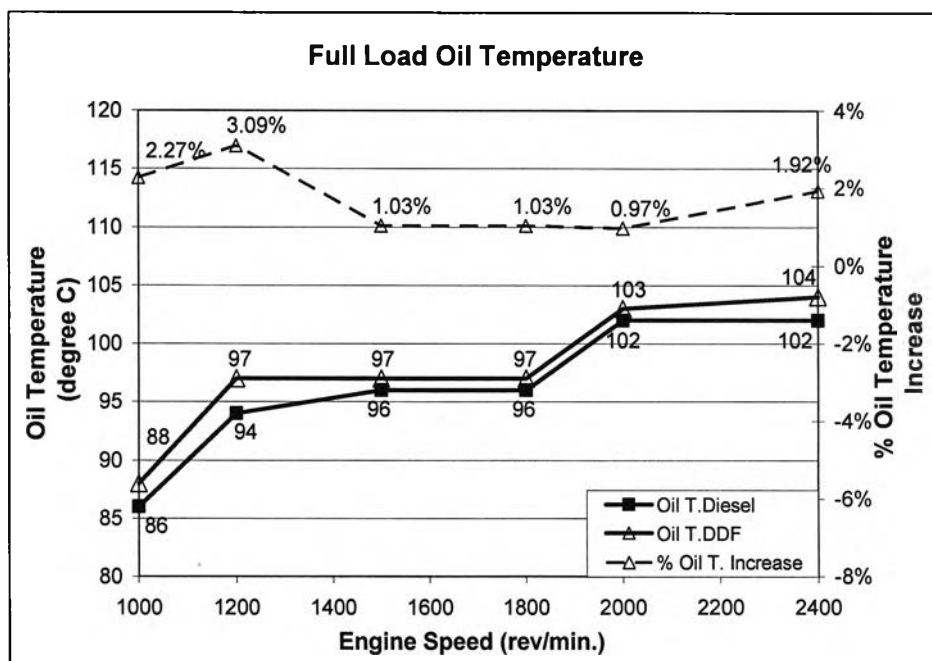
6.1.4 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) ที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงในรูปที่ 6-7 และในรูปที่ 6-8

จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีแนวโน้มเป็นไปในลักษณะเดียวกันคือ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล ประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ในทุกความเร็วรอบ เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพมีระยะเวลาที่สั้นมากทำให้อัตราการคายพลังงานสูง ส่งผลถึงค่าการถ่ายเทความร้อนสู่ผนังห้องเผาไหม้ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับใช้น้ำมันดีเซล และอาจจะมีสาเหตุมาจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีส่วนผสมที่หนักกว่าการใช้น้ำมันดีเซลปกติทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมากขึ้นส่งผลถึงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นและน้ำหล่อเย็นสูงขึ้น

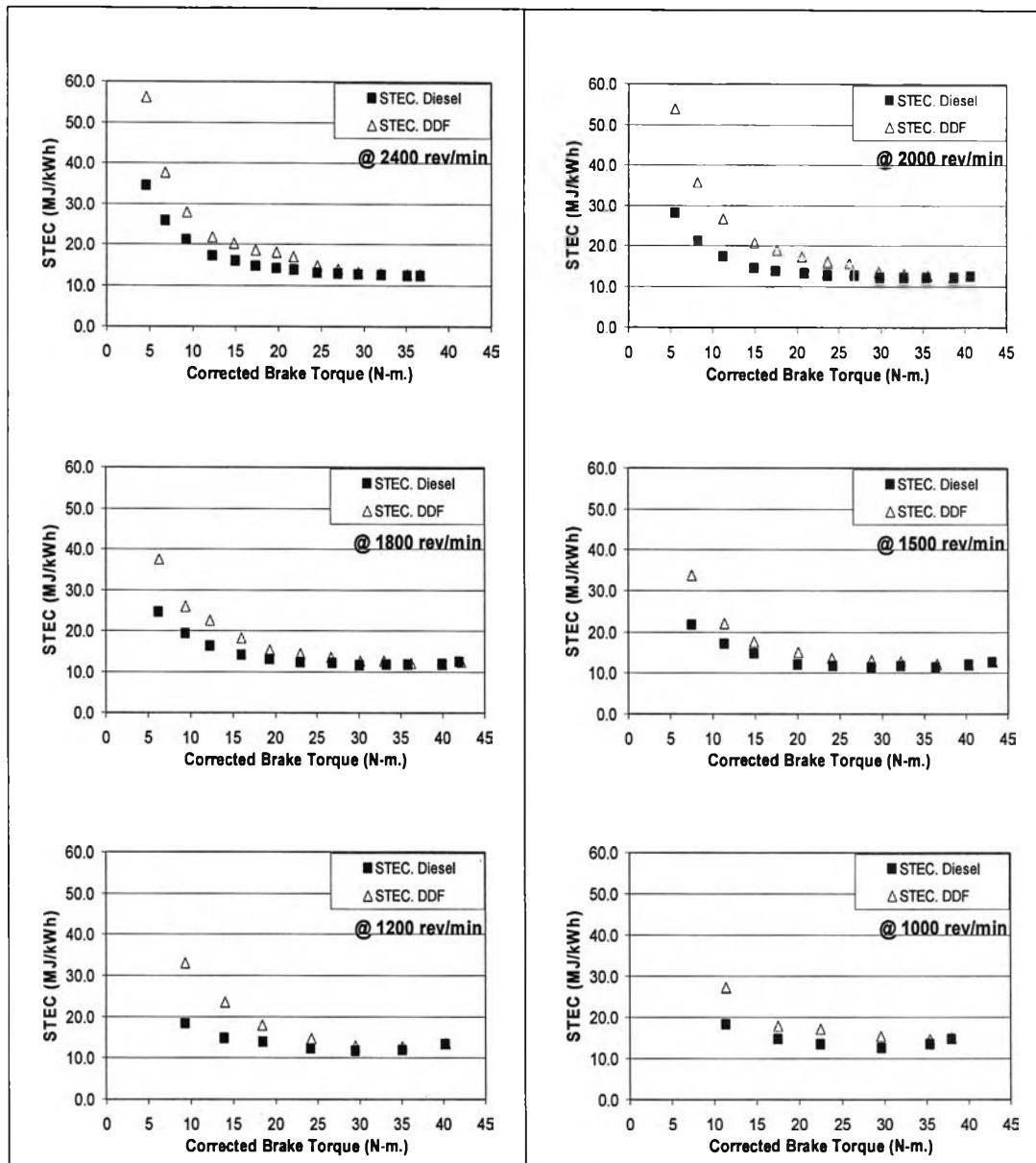


รูปที่ 6-7 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 6-8 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

6.1.5 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ความเร็วรอบคงที่



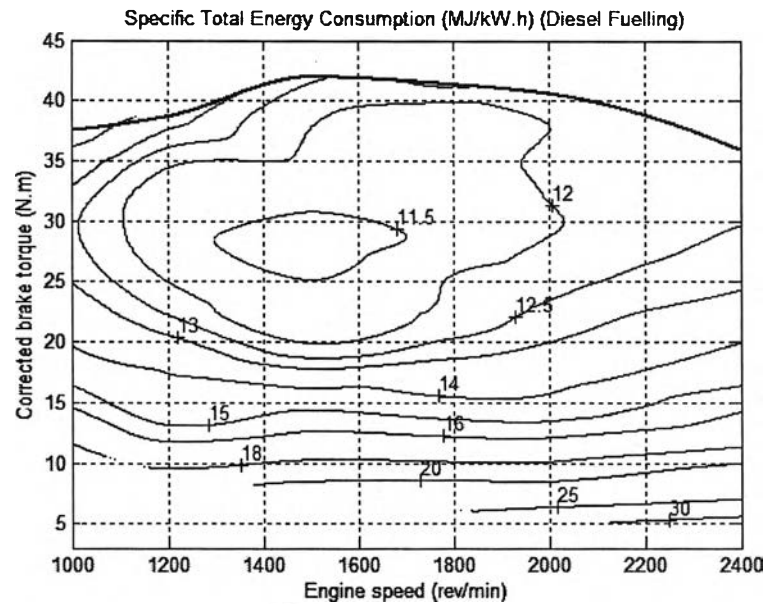
รูปที่ 6-9 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่ความเร็วรอบคงที่

จากรูปที่ 6-9 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่ความเร็วรอบคงที่ ตั้งแต่ 1000, 1200, 1500, 1800, 2000 และ 2400 รอบต่อนาที พบว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลในทุกๆ ความเร็วรอบ โดย

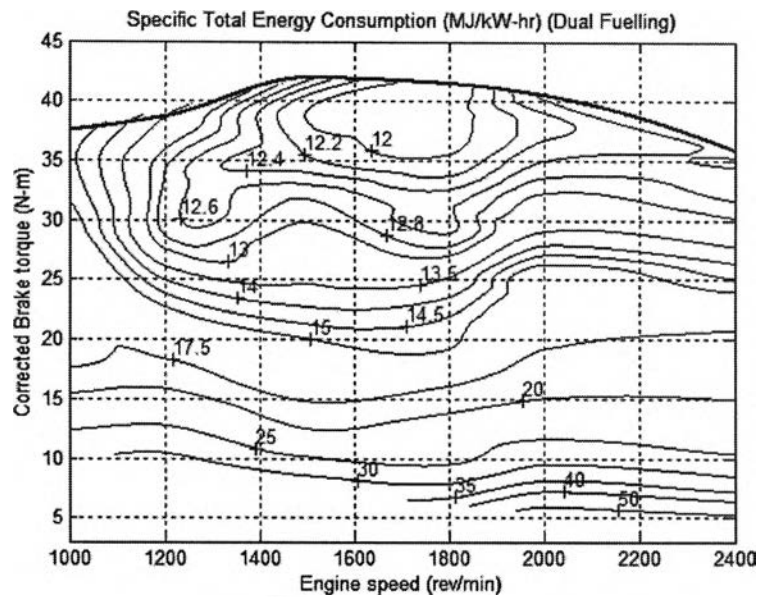
เฉพาะที่แรงบิดต่ำๆ แต่เมื่อแรงบิดเบรกแก้ไขสูงขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะมีค่าต่ำลงจนมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุด

6.1.6 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map)

ผลการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วน (Part-Load) แสดงในรูปของแผนภูมิสมรรถนะโดยแผนภูมิสมรรถนะที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล แสดงดังรูปที่ 6-10 และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 6-11 ตามลำดับ



รูปที่ 6-10 แสดงแผนภูมิอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลแสดงค่า contour ของค่าคงที่ specific total energy consumption (MJ/kW-hr)



รูปที่ 6- 11 แสดงแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงค่า contour ของค่าคงที่ specific total energy consumption (MJ/kW-hr)

จากรูปที่ 6-10 และรูป 6-11 ซึ่งแสดงแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ จากภาพรวมพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล มีค่าต่ำสุดที่ 11.5 MJ/kW-hr ที่ช่วงความเร็วรอบประมาณ 1300-1700 รอบต่อนาที ที่ช่วงแรงบิดเบรกแก๊สประมาณ 25-31 N-m ซึ่งแตกต่างจากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะมีค่าต่ำสุดที่ 12 MJ/kW-hr ที่ช่วงความเร็วรอบประมาณ 1500-1850 รอบต่อนาที ที่ช่วงแรงบิดเบรกแก๊สประมาณ 35-42 N-m

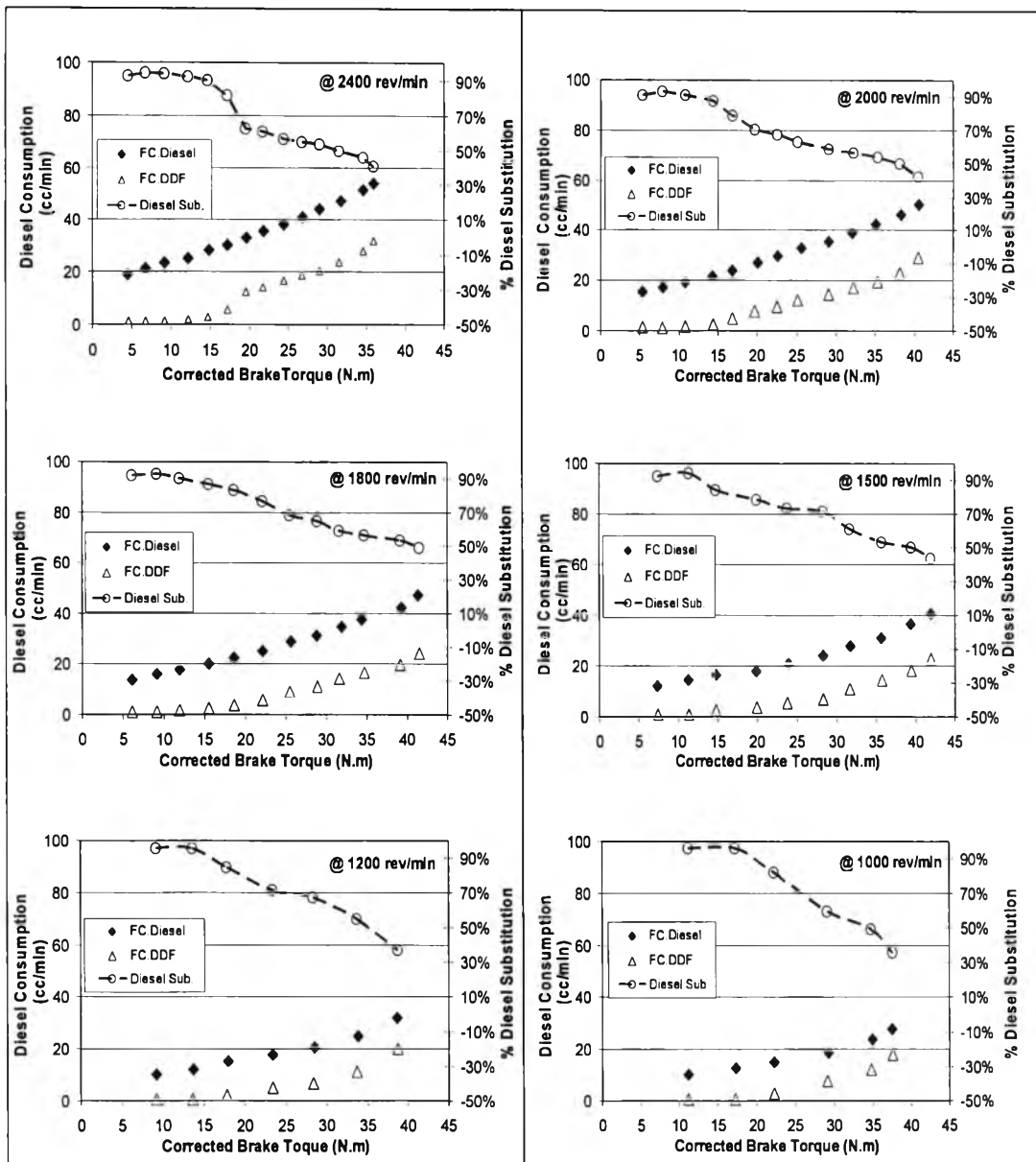
จากผลดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบที่จุดทำงานเดียวกันโดยเฉพาะที่ภาระต่ำเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล อาจมีสาเหตุมาจากขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำและมีภาระของเครื่องยนต์ต่ำ ก๊าซจะถูกจ่ายเข้าสู่เครื่องยนต์น้อย ทำให้มีอากาศส่วนเกินมาก ซึ่งจะทำให้ส่วนผสมระหว่างก๊าซกับอากาศบาง เมื่อเปลวไฟจากน้ำมันดีเซลลามมาถึงส่วนที่เป็นก๊าซผสมกับอากาศที่มีส่วนผสมบาง จะทำให้อุณหภูมิเปลวไฟของก๊าซต่ำ และอาจเกิดการดับของเปลวไฟในบริเวณที่มีส่วนผสมบางมากๆ อีกสาเหตุหนึ่งก็คืออัตราเร็วในการเผาไหม้ต่ำ เนื่องจากก๊าซชีวภาพจะมีความเร็วของเปลวไฟในการเผาไหม้ต่ำ จากสาเหตุเหล่านี้จึงส่งผลให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ของระบบเชื้อเพลิงคู่วาวกว่าดีเซล จึงทำให้ระบบเชื้อเพลิงคู่มักมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เมื่อเทียบกับดีเซลที่ภาระ

เครื่องยนต์ต่ำ เมื่อภาระของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะเมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพใกล้เคียงกับเมื่อน้ำมันดีเซล เนื่องจากเมื่อภาระของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพถูกดูดเข้าไปผสมกับอากาศมากขึ้น ทำให้สัดส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศในห้องเผาไหม้สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอัตราผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศจะทำให้ไม่มีอากาศส่วนเกินที่จะทำให้อุณหภูมิเปลวไฟของก๊าซต่ำ จึงทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ยาวขึ้นทำให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะใกล้เคียงกับเมื่อน้ำมันดีเซล

6.1.7 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลและคาร์บอนอะตาศูนย์การแทนที่น้ำมันดีเซลที่สภาวะความเร็วรอบคงที่

จากรูปที่ 6-12 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลและคาร์บอนอะตาศูนย์การแทนที่การแทนที่น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับเมื่อน้ำมันดีเซลที่แรงบิดเบรกและค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ ตั้งแต่ 1000, 1200, 1500, 1800, 2000, และ 2400 รอบต่อนาที พบว่า เมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบเดียวกัน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลสูงขึ้นตามแรงบิดเบรกแก้ไขที่สูงขึ้น โดยคาร์บอนอะตาศูนย์การแทนที่น้ำมันดีเซลของในแต่ละความเร็วรอบมีแนวโน้มสูงขึ้นในระดับที่ใกล้เคียงกันตามแรงบิดเบรกแก้ไขที่สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 90-40 เปอร์เซนต์

จากผลที่ได้ดังกล่าวอาจจะมีสาเหตุมาจากขอบเขตของการเกิดน็อกของเครื่องยนต์ในระบบเชื้อเพลิงคู่ คือเมื่อแรงบิดเบรกต่ำหรือที่ภาระต่ำอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะต่ำกว่าแรงบิดเบรกสูงหรือที่ภาระสูง จึงส่งผลให้ที่แรงบิดเบรกสูงมีสภาวะที่ง่ายต่อการเกิดน็อกมากกว่าที่แรงบิดเบรกต่ำ จึงทำให้ไม่สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้ ร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลลดลงเมื่อแรงบิดเบรกสูงขึ้น เช่นเดียวกับความเร็วรอบ ร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นเนื่องจากไม่สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพเพราะการเกิดน็อก

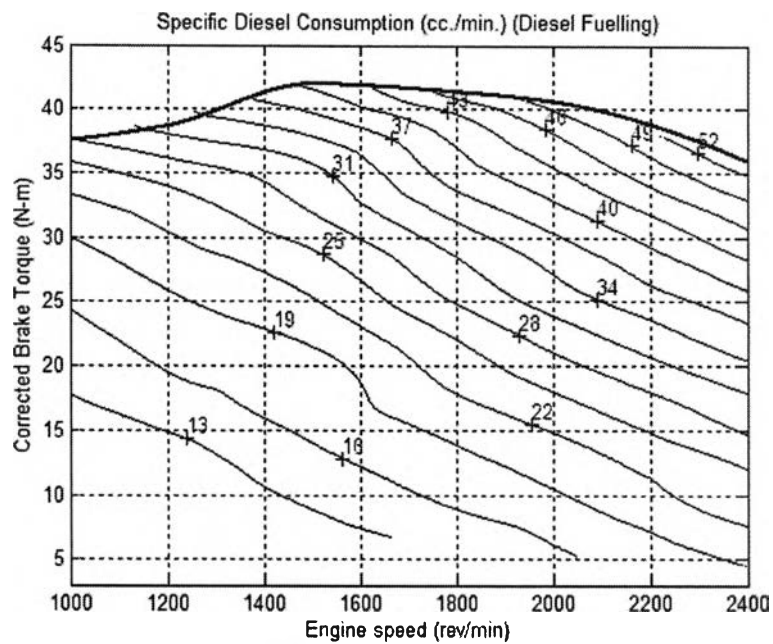


รูปที่ 6- 12 แสดงผลเปรียบเทียบของอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลและค่าร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลเมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับใช้น้ำมันดีเซลที่แรงบิดเบรกความเร็วรอบคงที่ต่างๆ

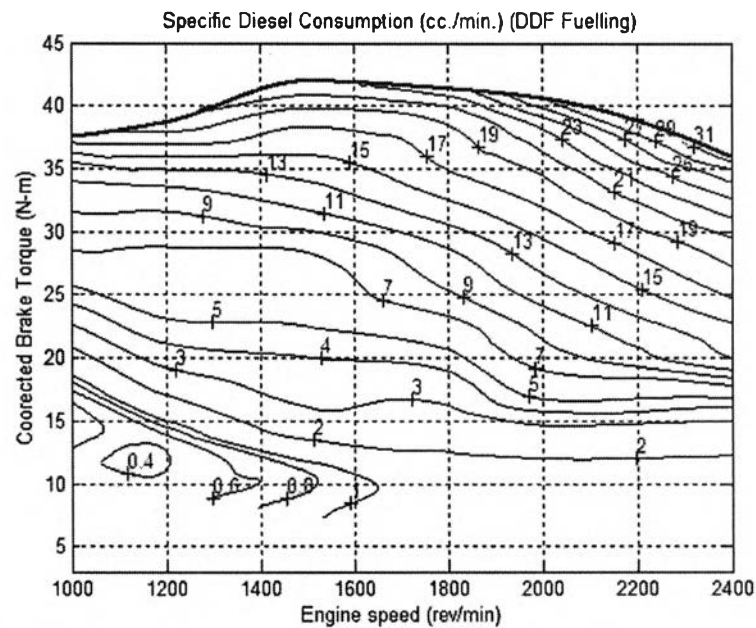
6.1.8 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลที่สภาวะภาระบางส่วน

รูปที่ 6-13 และรูปที่ 6-14 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลเมื่อน้ำมันดีเซลและเมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพพบว่ามิแวนโนมีในลักษณะเดียวกันคืออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นและแรงบิดเบรกแก้ไขสูงขึ้น ยกเว้นเมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่ความเร็วรอบที่ 1650-2400 รอบต่อนาทีในช่วงแรงบิดเบรกแก้ไข

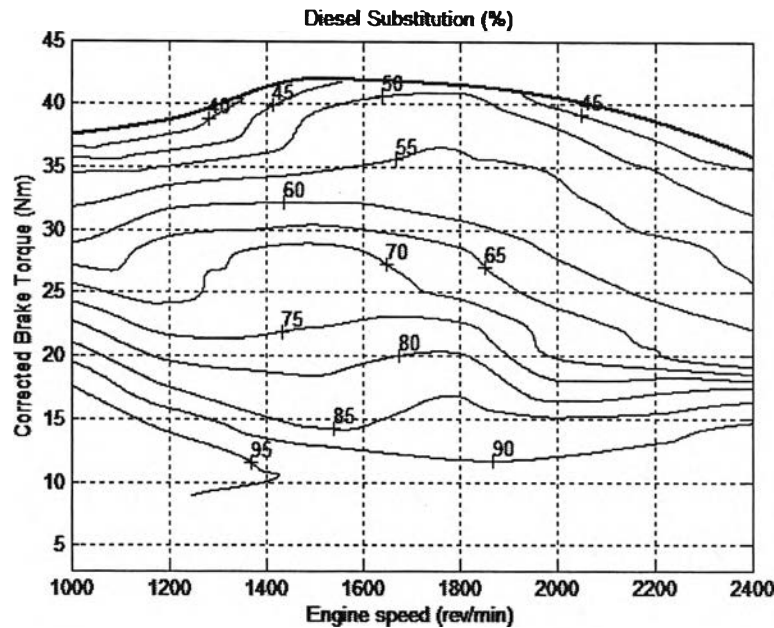
5-12 N-m. พบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อหน้าที่



รูปที่ 6- 13 แสดงแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลแสดงค่า contour ของค่าคงที่ Specific Diesel Consumption (cc./min.)



รูปที่ 6- 14 แสดงแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงค่า contour ของค่าคงที่ Specific Diesel Consumption (cc./min.)



รูปที่ 6-15 แสดงแผนภูมิร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลแสดง contour ของค่าคงที่ของ diesel substitution (เปอร์เซ็นต์)

จากรูปที่ 6-15 แสดงค่าร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่จุดการทำงานต่างๆ พบว่าค่าร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงค่าแรงบิดเบรกแก๊ซต่ำๆ ประมาณ 5-12 N-m คือประมาณร้อยละ 90 แต่เมื่อแรงบิดเบรกเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลลดลง โดยมีค่าต่ำสุดของค่าร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลอยู่ที่ประมาณร้อยละ 40-45 ของสภาวะภาระสูงสุดในทุกความเร็วรอบ โดยค่าร้อยละของอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตแก๊ซ เนื่องจากทดสอบนี้จะใช้จุดการผลิตแก๊ซเป็นจุดอ้างอิง

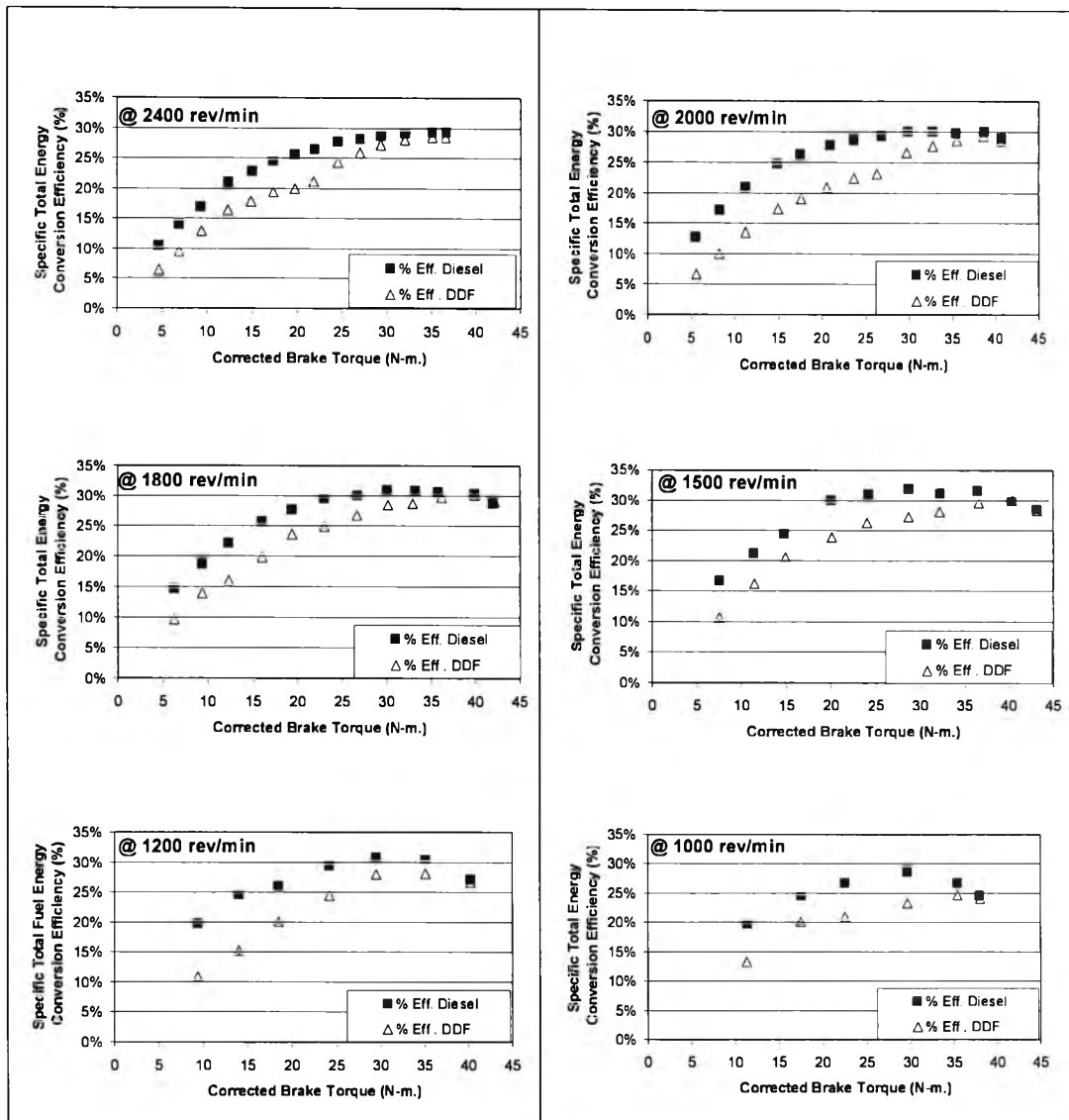
6.1.9 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานรวมจำเพาะที่ความเร็วรอบคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานรวมจำเพาะและค่าแรงบิดเบรกแก๊ซที่ความเร็วรอบคงที่เปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพและใช้น้ำมันดีเซลแสดงดังรูปที่ 6-16

รูปที่ 6-16 แสดงผลการเปรียบเทียบของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานรวมจำเพาะกับแรงบิดเบรก ที่ค่าความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1000, 1200, 1500, 1800, 2000 และ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานรวมจำเพาะจากการใช้น้ำมัน

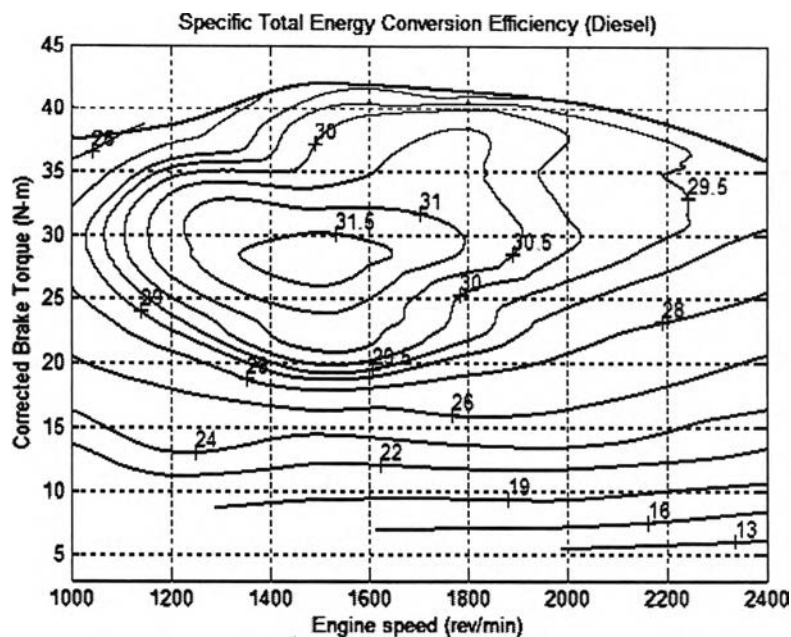
ดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากใช้น้ำมันดีเซลโดยเฉพาะในช่วงแรงบิดเบรกดต่ำและมีแนวโน้มสูงขึ้น จนมีค่าสูงใกล้เคียงกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่แรงบิดสูง และมีแนวโน้มในลักษณะนี้ในทุก ความเร็วรอบ

แนวโน้มของผลที่ได้มีค่าแปรผกผันกับค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 6.1.6



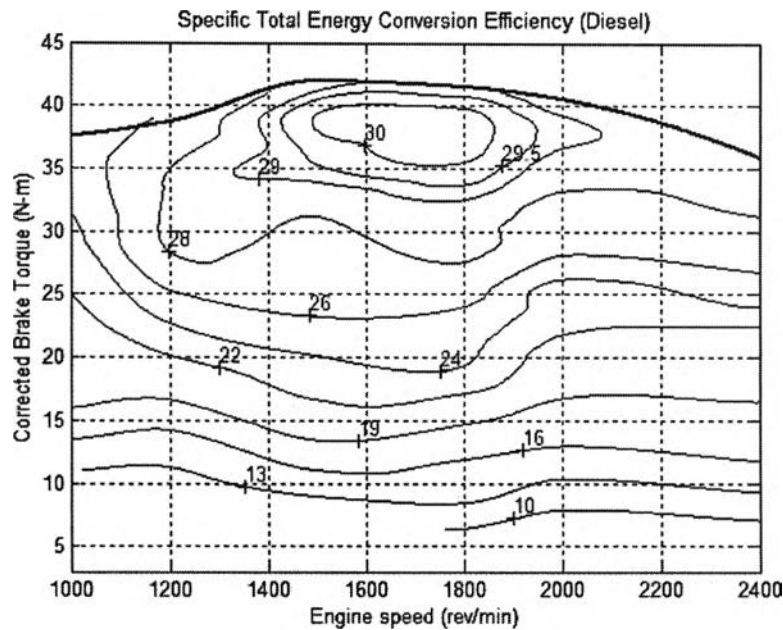
รูปที่ 6-16 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานรวมจำเพาะที่ความเร็วคงที่ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพและน้ำมันดีเซล

6.1.10 แผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะ



รูปที่ 6-17 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลแสดง contour ของค่าคงที่ของ Specific Total Energy Conversion Efficiency (%)

ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดงในรูปของแผนภูมิ ดังรูปที่ 6-17 และรูปที่ 6-18 ตามลำดับ พบว่าเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์มีค่าสูงสุดที่ค่า 31.5 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงแรงบิดเบรกแก๊สประมาณ 26-30 N-m. ที่ช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1350-1650 รอบต่อนาที ซึ่งแตกต่างกับเครื่องยนต์เมื่อใช้ดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ คือ ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานรวมจำเพาะของเครื่องยนต์มีค่าสูงสุดที่ค่า 30 เปอร์เซ็นต์ในช่วงแรงบิดเบรกแก๊สประมาณ 35-40 N-m. ที่ช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1500-1850 รอบต่อนาทีซึ่งต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามพบว่าเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ ค่าประสิทธิภาพสูงสุดจะเลื่อนขึ้นไปปรากฏในช่วงแรงบิดใช้งานและความเร็วรอบสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล

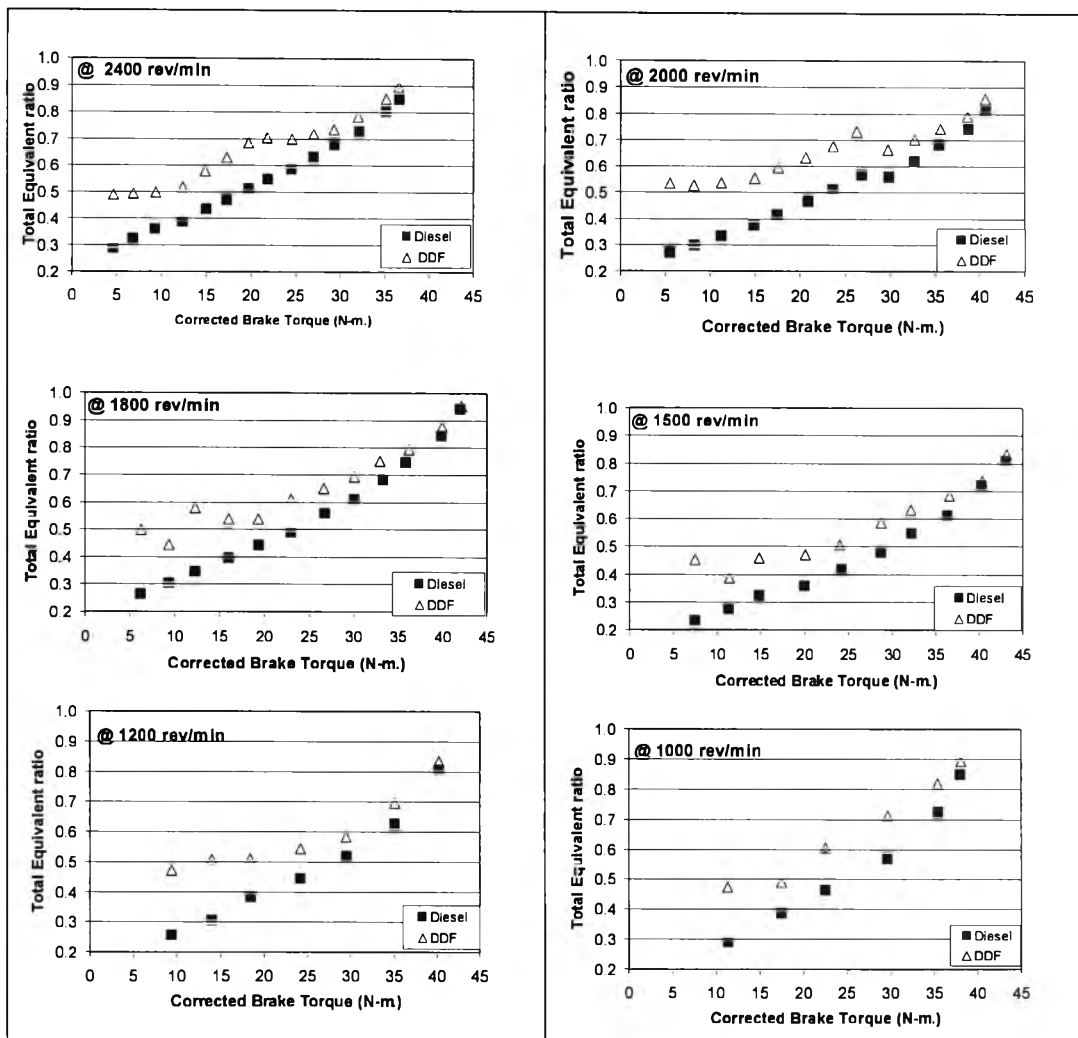


รูปที่ 6-18 แสดงแผนภูมิประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงรวมจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดง contour ของค่าคงที่ของ Specific Total Energy Conversion Efficiency (%)

6.1.11 ค่าอัตราส่วนสมมูลรวมเชื้อเพลิงกับอากาศที่สภาวะความเร็วรอบคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนสมมูลรวมเชื้อเพลิงกับอากาศระหว่างเมื่อน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 6-19

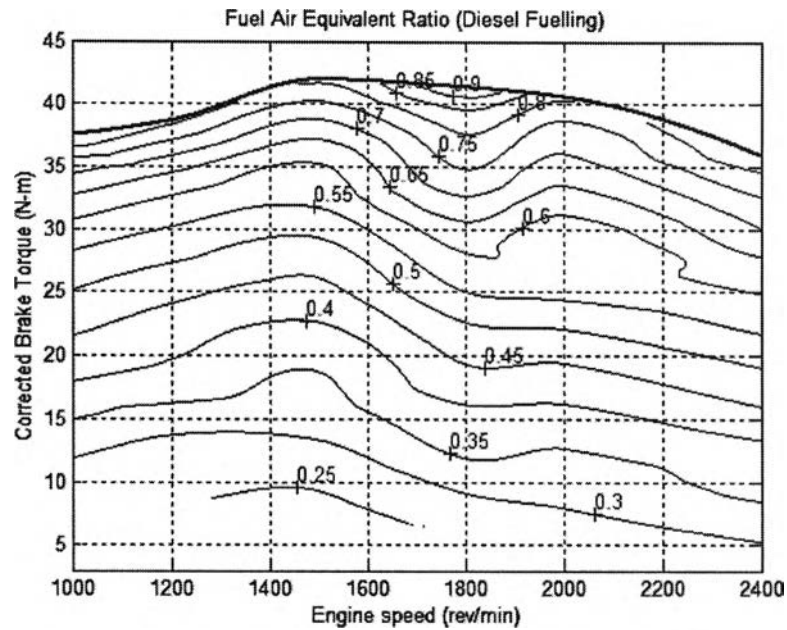
รูปที่ 6-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนสมมูลรวมเชื้อเพลิงกับอากาศกับแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1000, 1200, 1500, 1800, 2000 และ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนสมมูลรวมเชื้อเพลิงกับอากาศเมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากน้ำมันดีเซลโดยเฉพาะในช่วงแรงบิดเบรกแก้ไขต่ำ ค่าอัตราส่วนสมมูลรวมแตกต่างกันอยู่ประมาณ 0.2-0.3 และค่าอัตราส่วนสมมูลมีแนวโน้มแตกต่างกันน้อยลงเมื่อภาระเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับเมื่อน้ำมันดีเซลที่ภาระสูงสุด



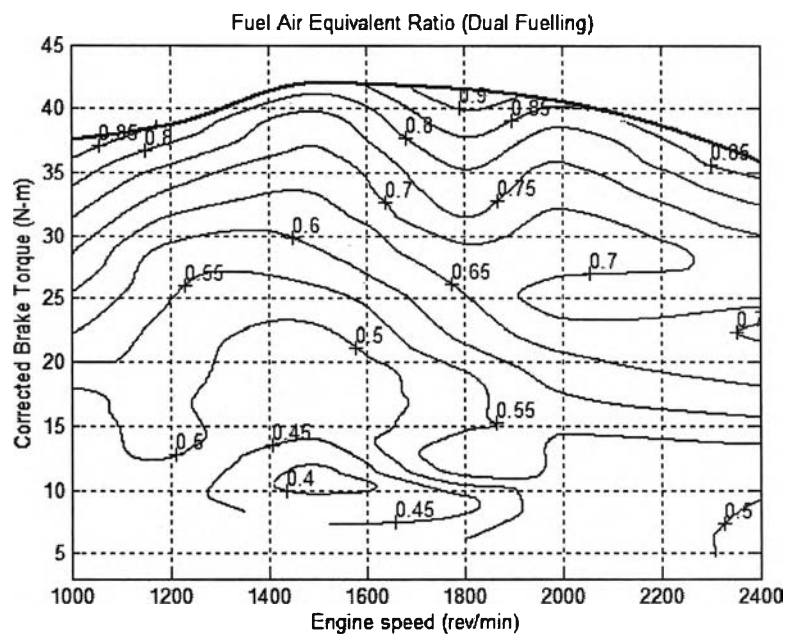
รูปที่ 6-19 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนสมมูลรวมที่ความเร็วคงที่ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

6.1.12 แผนภูมิอัตราส่วนสมมูลรวมเชื้อเพลิงกับอากาศ

จากรูปที่ 6-20 และรูป 6-21 ซึ่งแสดงแผนภูมิอัตราส่วนสมมูลรวมเชื้อเพลิงกับอากาศของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ มองภาพรวมพบว่าอัตราส่วนสมมูลรวมเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากันที่ 0.9 ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรกแก้ไขประมาณ 41 N-m แต่ที่แรงบิดเบรกแก้ไขต่ำ ค่าอัตราส่วนสมมูลรวมเชื้อเพลิงกับอากาศของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล โดยเมื่อแรงบิดเบรกแก้ไขสูงขึ้นอัตราส่วนสมมูลรวมเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ภาวะสูงสุด ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานรวมจำเพาะและค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานรวมจำเพาะ



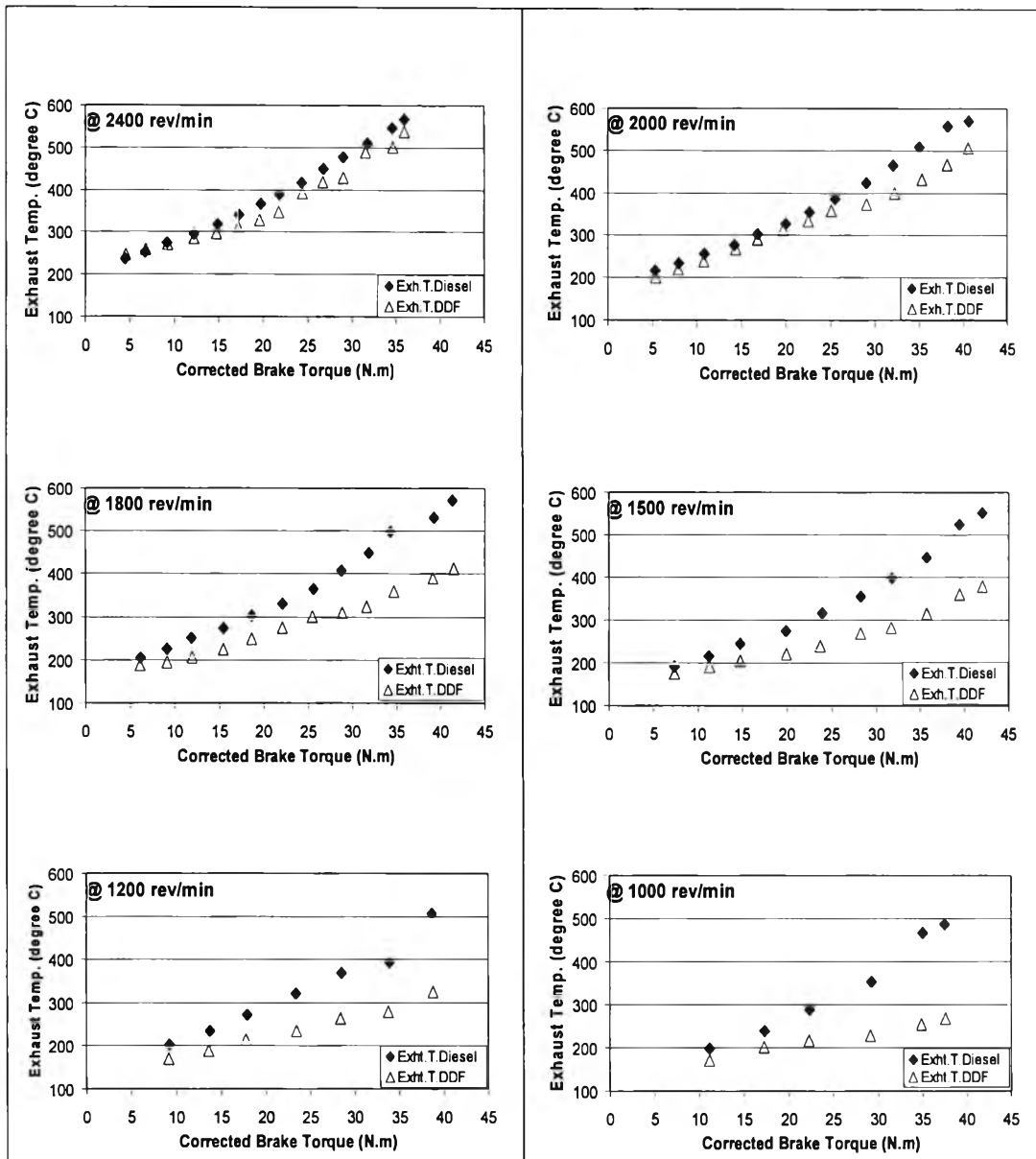
รูปที่ 6-20 แสดงแผนภูมิอัตราส่วนผสมรวมเชื้อเพลิงกับอากาศของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล แสดง contour ของค่าคงที่ของ Fuel Air Equivalent Ratio



รูปที่ 6-21 แสดงแผนภูมิอัตราส่วนผสมรวมเชื้อเพลิงกับอากาศของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดง contour ของค่าคงที่ของ Fuel Air Equivalent Ratio

6.1.13 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะความเร็วรอบคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอเสียระหว่างเมื่อนำน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 6-22



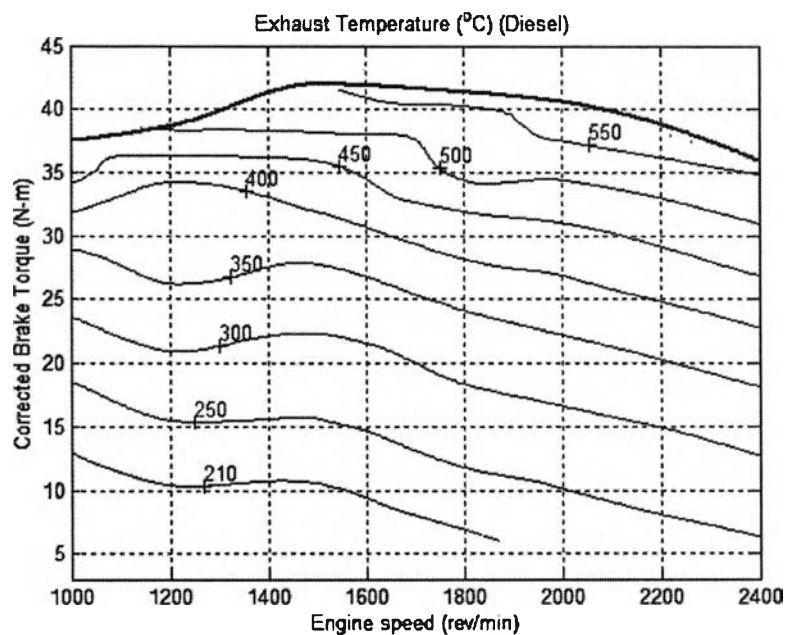
รูปที่ 6-22 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิไอเสียกับแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วคงที่ของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 6-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอเสียกับแรงบิดเบรก ที่ความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1000, 1200, 1500, 1800, 2000 และ 2400 รอบต่อนาที แสดงให้เห็นว่า

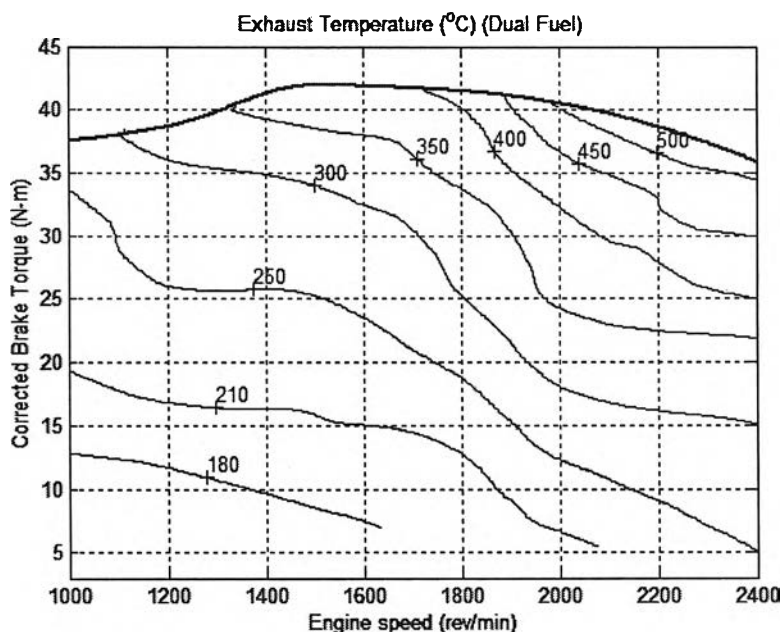
อุณหภูมิไอเสียเมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำกว่าเมื่อน้ำมันดีเซลซึ่งเมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพอุณหภูมิมีค่าสูงสุด 538 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรกแก้ไข 35.89 N-m. และเมื่อน้ำมันดีเซลอุณหภูมิไอเสียสูงสุด 572 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรกแก้ไข 41.36 N-m

6.1.14 แผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย

ผลการวัดค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิไอเสีย โดยอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดงในรูปที่ 6-23 และ 6-24 ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำกว่าเมื่อน้ำมันดีเซลอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าอุณหภูมิไอเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน



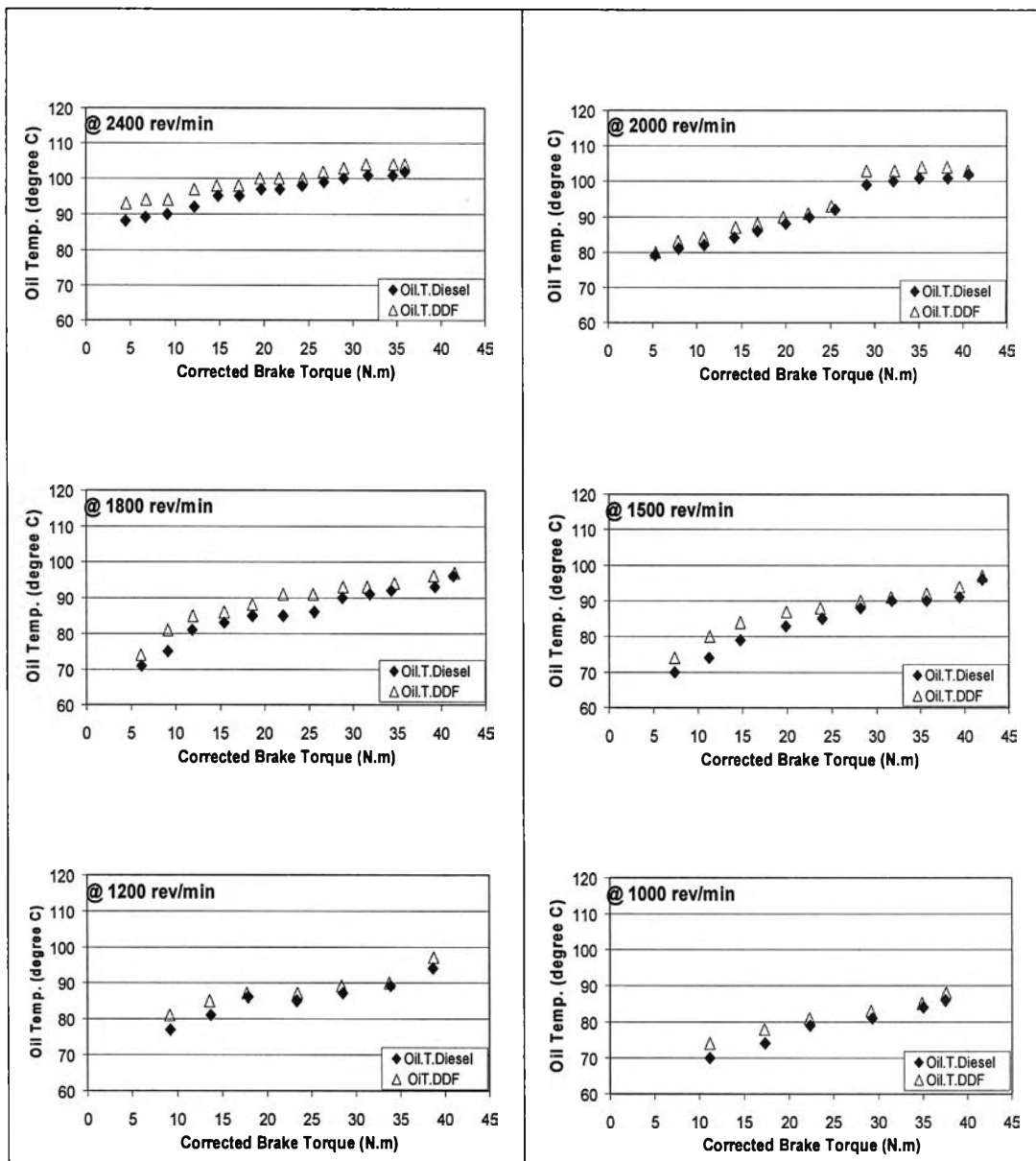
รูปที่ 6-23 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล แสดง contour ของค่าคงที่ของ Exhaust Temperature (°C)



รูปที่ 6-24 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิต่อความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดง contour ของค่าคงที่ของ Exhaust Temperature (°C)

6.1.15 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะความเร็วรอบคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 6-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นกับแรงบิดเบรกแก้ไข ที่ความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 1000, 1200, 1500, 1800, 2000 และ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล โดยเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพอุณหภูมิมีค่าสูงสุด 103 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที แรงบิดเบรกแก้ไขที่ 35.89 N·m. และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นสูงสุด 101 องศาเซลเซียสที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที แรงบิดเบรกที่ 35.93 N·m ผลที่ได้นี้อาจจะมีสาเหตุดังที่ได้อธิบายไว้ในส่วนของการทดสอบที่ภาระสูงสุด

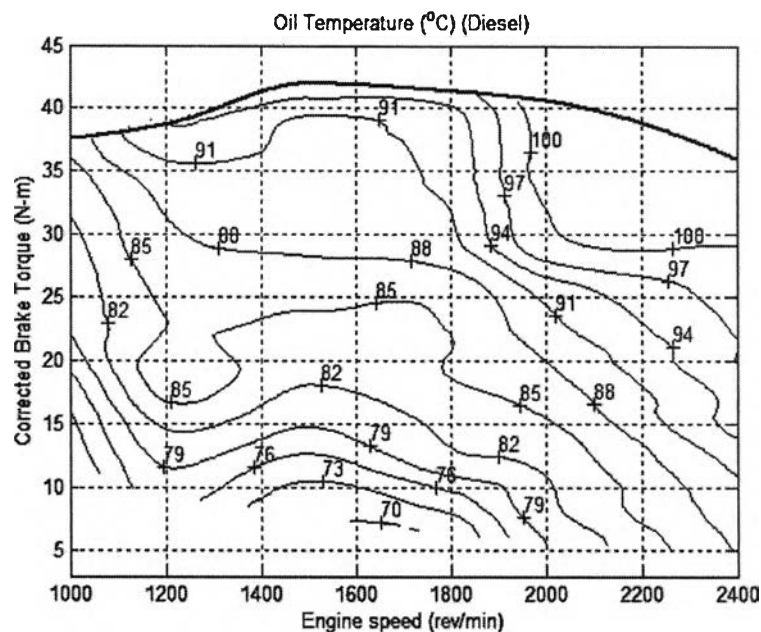


รูปที่ 6-25 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นกับแรงบิดเบรก ที่ความเร็วรอบคงที่ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

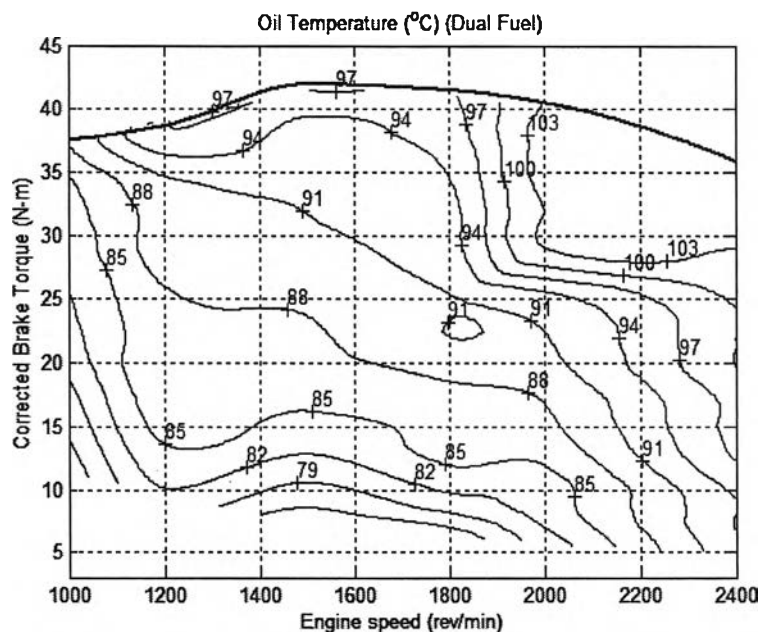
6.1.16 แผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

ผลการวัดค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น โดยอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดงในรูปที่ 6-26 และ 6-27 ตามลำดับ อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอย่างเห็นได้ชัด โดยค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิด

เบรกแก้ไขและความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันสังเกตได้จากลักษณะเส้น contour



รูปที่ 6-26 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล แสดง contour ของค่าคงที่ของ Oil Temperature (°C)



รูปที่ 6-27 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดง contour ของค่าคงที่ของ Oil Temperature (°C)

6.1.17 ต้นทุนเชื้อเพลิงที่ลดลงเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

จากข้อมูลอัตราส่วนการแทนที่น้ำมันดีเซลของก๊าซชีวภาพเพื่อให้เห็นภาพด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ชัดเจนขึ้น จึงคำนวณในรูปของร้อยละของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ (% Baht↓) ดังนี้

$$\%Baht \downarrow = \left(\frac{(Sub_{diesel} \times X_{diesel}) - (V_{DDF,biogas} \times X_{biogas})}{(V_{d,diesel} \times X_{diesel})} \right) \times 100 \quad (6-1)$$

$\%Baht \downarrow$ = ร้อยละของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ (%)

Sub_{diesel} = ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ลดลงเมื่อทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล (L)

$V_{DDF,biogas}$ = ปริมาณก๊าซชีวภาพเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ (L/hr)

$V_{DIESEL,diesel}$ = ปริมาณน้ำมันดีเซล เมื่อทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล (L/hr)

X_{diesel} = ราคาน้ำมันดีเซล (Baht/L) (ข้อมูลจาก บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) เมื่อ วันที่ 31 มี.ค. 2549 น้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 25.57 บาท)

X_{biogas} = ราคาก๊าซชีวภาพ (ต้นทุนการผลิต) (Baht/L) (ข้อมูลจากหน่วยบริการก๊าซชีวภาพสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ราคาก๊าซชีวภาพราคาลูกบาศก์เมตรละ 3.14 บาท)

ตารางที่ 6-1 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล (L/hr.) ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล

		Diesel Consumption (L/hr.) (Diesel)					
Corrected Power (kW.)	9.20						3.23
	8.66					3.01	3.09
	8.02				2.83	2.77	2.83
	7.44				2.54	2.55	2.64
	6.81			2.44	2.26	2.34	2.46
	6.23			2.19	2.08	2.13	2.28
	5.59			1.86	1.87	1.96	2.13
	4.99		1.91	1.67	1.72	1.77	1.99
	4.37	1.66	1.49	1.45	1.50	1.62	1.82
	3.71	1.42	1.23	1.26	1.35	1.43	1.69
	3.10	1.11	1.06	1.07	1.20	1.29	1.51
	2.34	0.91	0.92	0.98	1.07	1.15	1.41
	1.75	0.77	0.73	0.87	0.97	1.03	1.27
	1.17	0.62	0.61	0.72	0.82	0.93	1.14
Speed (rev/min)		1000	1200	1500	1800	2000	2400

จากตารางที่ 6-1 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลพบว่ามีค่าสูงสุด 3.23 ลิตรต่อชั่วโมงที่กำลังแก้ไขของเครื่องยนต์ 9.2 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที และต่ำสุดเท่ากับ 0.61 ลิตรต่อชั่วโมงที่กำลังแก้ไขของเครื่องยนต์ 1.17 กิโลวัตต์ ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที โดยอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นตามกำลังแก้ไขและความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 6-1 แสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 6-28

ตารางที่ 6-2 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล (L/hr.) ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับ
ก๊าซชีวภาพ

		Diesel Consumption (L/hr.) (DDF)					
Corrected Power (kW.)	9.20						1.91
	8.66					1.74	1.68
	8.02				1.45	1.38	1.43
	7.44				1.19	1.17	1.22
	6.81			1.38	0.99	1.02	1.12
	6.23			1.10	0.86	0.88	1.00
	5.59			0.87	0.66	0.73	0.84
	4.99		1.21	0.66	0.55	0.58	0.75
	4.37	1.07	0.68	0.41	0.36	0.48	0.34
	3.71	0.73	0.41	0.34	0.23	0.30	0.17
	3.10	0.45	0.31	0.23	0.16	0.17	0.12
	2.34	0.17	0.14	0.16	0.11	0.10	0.09
	1.75	0.03	0.03	0.05	0.07	0.08	0.08
	1.17	0.03	0.03	0.06	0.07	0.07	0.09
Speed (rev/min)	1000	1200	1500	1800	2000	2400	

จากตารางที่ 6-2 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล (L/hr.) ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ เมื่อพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลพบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลต่ำที่สุดของกำลังเครื่องยนต์เดียวกันจะอยู่ในความเร็วรอบที่ต่างกัน กล่าวคือที่กำลังเครื่องยนต์ 1.17-1.75 กิโลวัตต์ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 1000-1200 รอบต่อนาที, กำลังเครื่องยนต์ 2.34-4.37 และ 8.66-9.20 กิโลวัตต์ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที, กำลังเครื่องยนต์ 4.99-6.81 กิโลวัตต์ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที และกำลังเครื่องยนต์ 7.44-8.02 กิโลวัตต์ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 6-2 แสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 6-29

ตารางที่ 6-3 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพ ($m^3/hr.$) ของเครื่องยนต์เมื่อนำมันดีเซล
ร่วมกับก๊าซชีวภาพ

		Biogas Consumption ($m^3/hr.$) (DDF)					
Corrected Power (kW.)	9.20						1.91
	8.66					1.81	2.04
	8.02				1.83	1.96	2.05
	7.44				1.86	2.03	2.12
	6.81			1.44	1.84	2.05	2.12
	6.23			1.44	1.85	2.04	2.16
	5.59			1.50	1.88	2.28	2.41
	4.99		0.97	1.60	1.89	2.24	2.40
	4.37	0.85	1.23	1.73	1.97	2.19	2.62
	3.71	1.11	1.26	1.54	1.87	2.24	2.64
	3.10	1.24	1.29	1.53	1.92	2.25	2.43
	2.34	1.34	1.38	1.38	1.88	2.29	2.41
	1.75	1.22	1.53	1.47	1.65	2.29	2.41
	1.17	1.21	1.46	1.47	1.59	2.31	2.41
Speed (rev/min)	1000	1200	1500	1800	2000	2400	

จากตารางที่ 6-3 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพ ($m^3/hr.$) ของเครื่องยนต์เมื่อนำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ เมื่อพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพในความเร็วรอบของเครื่องยนต์เดียวกันพบว่าเมื่อกำลังเครื่องยนต์สูงๆ อัตราการสิ้นเปลืองก๊าซชีวภาพจะลดลงต่ำกว่าที่กําลังเครื่องยนต์ต่ำๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากไม่สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้เพราะถูกจำกัดด้วยขอบเขตของการเกิดน็อก ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 6-3 แสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 6-30

ตารางที่ 6-4 แสดงต้นทุนค่าเชื้อเพลิง (Baht/hr.) ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล

		Cost of Fuel Consumption (Baht/hr.) (Diesel)					
		(Diesel;25.57 Baht/L)					
Corrected Power (kW.)	9.20						82.62
	8.66					76.99	79.09
	8.02				72.29	70.80	72.48
	7.44				64.96	65.16	67.40
	6.81			62.27	57.84	59.83	62.90
	6.23			55.89	53.28	54.49	58.31
	5.59			47.48	47.91	50.18	54.42
	4.99		48.94	42.65	44.06	45.35	50.78
	4.37	42.54	38.12	37.07	38.39	41.36	46.42
	3.71	36.42	31.56	32.13	34.57	36.61	43.17
	3.10	28.43	27.16	27.48	30.81	32.97	38.55
	2.34	23.15	23.44	25.15	27.35	29.52	36.12
	1.75	19.56	18.76	22.17	24.82	26.36	32.39
1.17	15.82	15.65	18.53	21.03	23.80	29.20	
Speed (rev/min)		1000	1200	1500	1800	2000	2400

จากตารางที่ 6-4 แสดงต้นทุนค่าเชื้อเพลิง (Baht/hr.) ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าเชื้อเพลิง (โดยน้ำมันดีเซลราคาเฉลี่ย 25.57 บาท) พบว่าราคาค่าเชื้อเพลิงสูงสุดเท่ากับ 82.62 บาทต่อชั่วโมงที่กำลังเครื่องยนต์ 9.2 กิโลวัตต์ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 6-4 แสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 6-31

ตารางที่ 6-5 แสดงต้นทุนค่าเชื้อเพลิง (Baht/hr.) ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

		Cost of Fuel Consumption (Baht/hr.) (DDF)					
Corrected Power (kW.)	9.20						54.90
	8.66					50.19	49.31
	8.02				42.88	41.57	42.89
	7.44				36.19	36.35	37.93
	6.81			39.77	31.19	32.61	35.27
	6.23			32.57	27.81	28.89	32.30
	5.59			27.06	22.85	25.77	29.07
	4.99		34.00	21.85	19.94	21.83	26.67
	4.37	30.07	21.19	16.04	15.28	19.11	16.89
	3.71	22.08	14.35	13.44	11.74	14.84	12.66
	3.10	15.41	11.87	10.79	10.22	11.29	10.68
	2.34	8.47	7.99	8.34	8.70	9.82	9.80
	1.75	4.68	5.67	5.91	6.98	9.00	9.54
	1.17	4.48	5.29	6.10	6.75	9.42	9.74
Speed (rev/min)	1000	1200	1500	1800	2000	2400	

จากตารางที่ 6-5 แสดงต้นทุนค่าเชื้อเพลิง (Baht/hr.) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนค่าเชื้อเพลิงพบว่าต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำที่สุดของกำลังเครื่องยนต์เดียวกันจะอยู่ในความเร็วรอบที่ต่างกัน กล่าวคือที่กำลังเครื่องยนต์ 1.17-1.75 กิโลวัตต์ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที, ที่กำลังเครื่องยนต์ 2.34 กิโลวัตต์ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 1200 รอบต่อนาที, ที่กำลังเครื่องยนต์ 3.10-7.44 กิโลวัตต์ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที, ที่กำลังเครื่องยนต์ 8.02 กิโลวัตต์ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และที่กำลังเครื่องยนต์ 8.66-9.20 กิโลวัตต์ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 6-5 แสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 6-32

จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (ที่ได้กล่าวมาแล้ว) และมีช่วงค่าต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำที่สุดที่กำลังของเครื่องยนต์ในช่วง 3.10-7.44 จึงเป็นช่วงความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดที่ควรเลือกใช้เป็นจุดทำงาน

ตารางที่ 6-6 แสดงต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลง (Baht/hr.) ของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันดีเซลร่วมกับ ก๊าซชีวภาพ

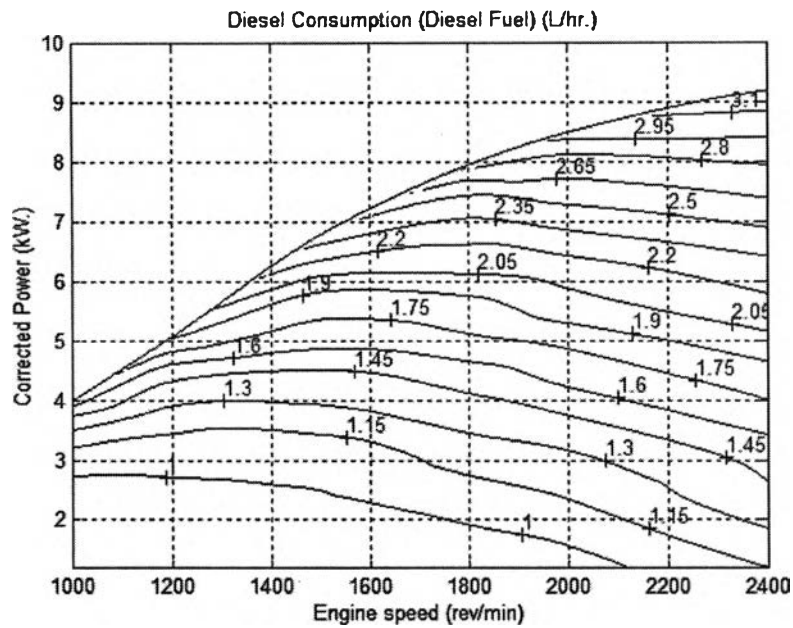
		Saving of DDF Over Diesel (Baht/hr.)					
Corrected Power (kW.)	9.20						27.71
	8.66					26.8	29.78
	8.02				29.41	29.23	29.59
	7.44				28.76	28.81	29.47
	6.81			22.50	26.65	27.22	27.63
	6.23			23.32	25.47	25.60	26.02
	5.59			20.42	25.06	24.41	25.35
	4.99		14.94	20.80	24.12	23.52	24.11
	4.37	12.47	16.93	21.03	23.11	22.26	29.54
	3.71	14.34	17.21	18.69	22.83	21.77	30.51
	3.10	13.02	15.29	16.69	20.59	21.68	27.87
	2.34	14.68	15.45	16.80	18.66	19.70	26.32
	1.75	14.88	13.09	16.25	17.84	17.36	22.85
1.17	11.33	10.36	12.44	14.28	14.38	19.45	
Speed (rev/min)	1000	1200	1500	1800	2000	2400	

จากตารางที่ 6-6 แสดงต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับเมื่อนำน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงพบว่าต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงมากที่สุดของกำลังเครื่องยนต์เดียวกันจะอยู่ในความเร็วรอบที่ 2400 รอบต่อนาที ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 6-6 แสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 6-33

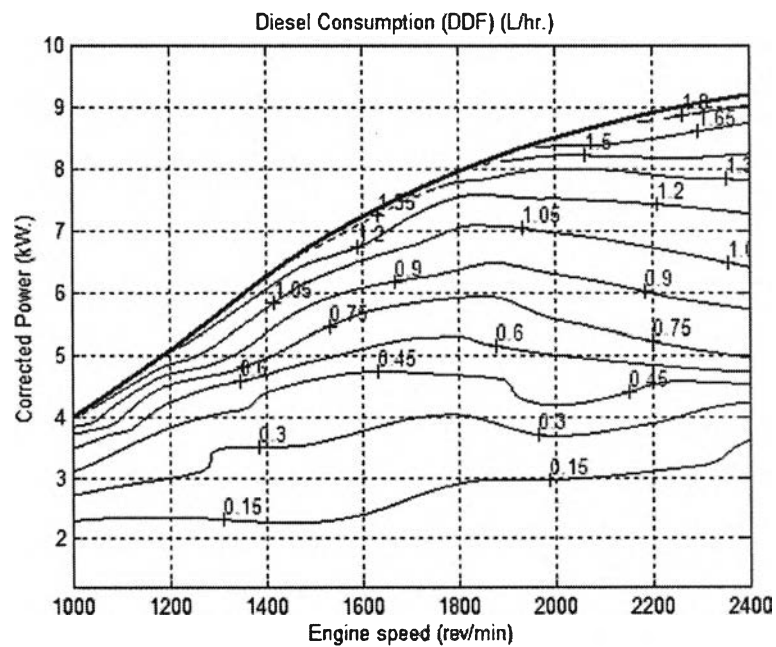
ตารางที่ 6-7 แสดงเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลง (Baht/hr.) ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

		Saving of DDF Over Diesel (%)					
Corrected Power (kW.)	9.20						33.54
	8.66					34.81	37.85
	8.02				40.68	41.29	40.83
	7.44				44.27	44.21	43.72
	6.81			36.13	46.08	45.50	43.93
	6.23			41.72	47.80	46.98	44.62
	5.59			43.01	52.31	48.64	46.58
	4.99		30.53	48.77	54.74	51.86	47.48
	4.37	29.31	44.41	56.73	60.20	53.82	63.64
	3.71	39.37	54.53	58.17	66.04	59.46	70.67
	3.10	45.80	56.30	60.74	66.83	65.76	72.30
	2.34	63.41	65.91	66.80	68.23	66.73	72.87
	1.75	78.07	69.78	73.30	71.88	65.86	70.55
	1.17	71.62	66.20	67.13	67.90	60.42	66.61
Speed (rev/min)	1000	1200	1500	1800	2000	2400	

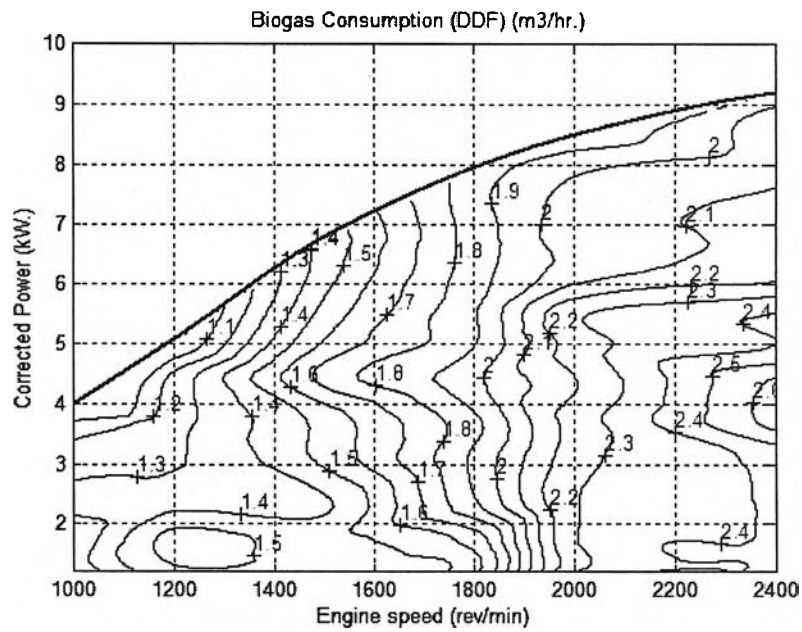
จากตารางที่ 6-7 แสดงเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลง (%) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงมากที่สุดของกำลังเครื่องยนต์เดียวกันจะอยู่ในความเร็วรอบที่ต่างกัน กล่าวคือที่กำลังเครื่องยนต์ 1.17-1.75 กิโลวัตต์เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงมากที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที, ที่กำลังเครื่องยนต์ 2.34-4.37 และ 8.66-9.20 กิโลวัตต์เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงมากที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที, ที่กำลังเครื่องยนต์ 4.99-7.44 กิโลวัตต์เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงมากที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาทีและที่กำลังเครื่องยนต์ 8.02 กิโลวัตต์เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ลดลงมากที่สุดจะอยู่ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ซึ่งข้อมูลจากตารางที่ 6-7 แสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 6-34



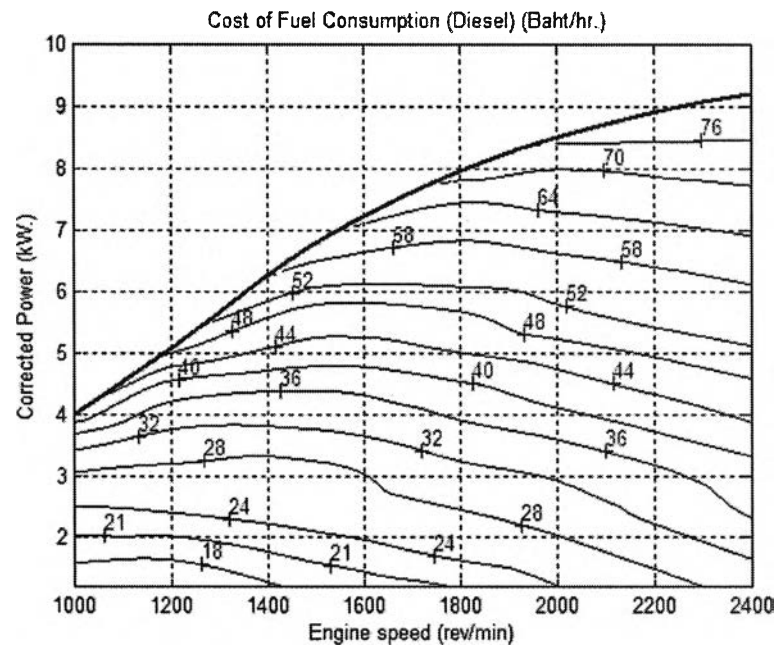
รูปที่ 6-28 แสดงแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล แสดงค่า contour ของค่าคงที่ Specific Diesel Consumption (L/hr.)



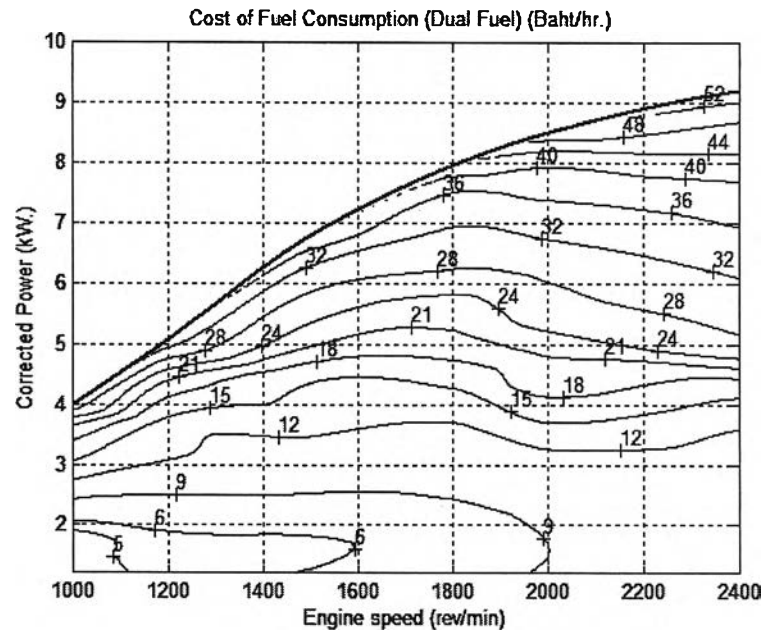
รูปที่ 6-29 แสดงแผนภูมิอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล ร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดงค่า contour ของค่าคงที่ Specific Diesel Consumption (L/hr.)



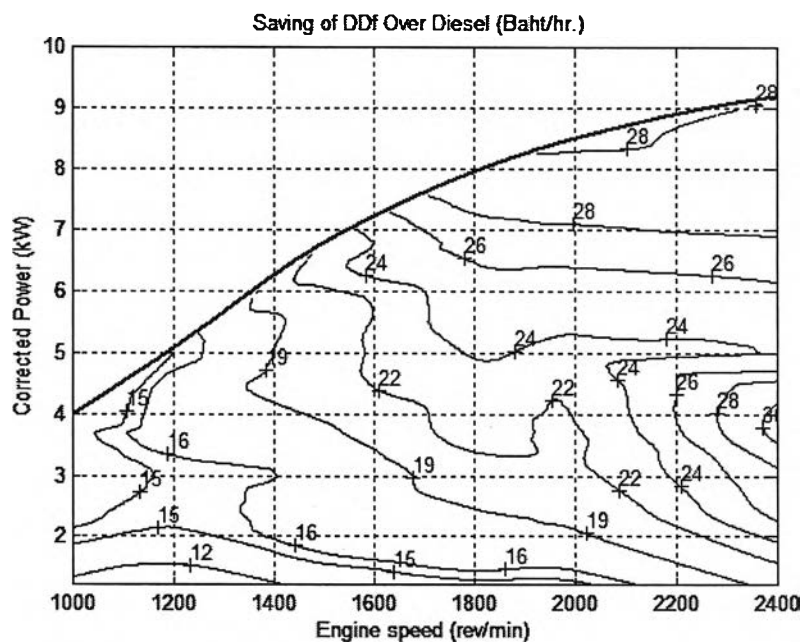
รูปที่ 6-30 แสดงแผนภูมิอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สชีวภาพแสดงค่า contour ของค่าคงที่ Biogas Consumption (m³/hr.)



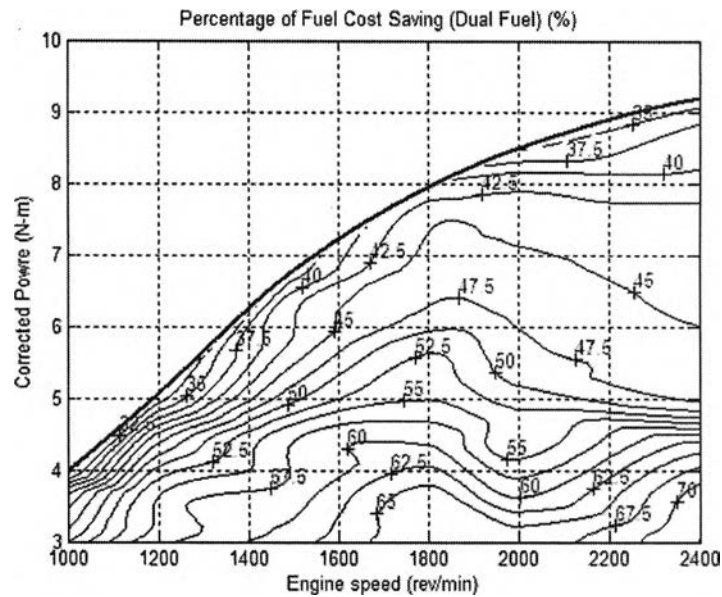
รูปที่ 6-31 แสดงแผนภูมิต้นทุนเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันดีเซล แสดง contour ของค่าคงที่ Cost of Fuel Consumption (Baht/hr.)



รูปที่ 6-32 แสดงแผนภูมิต้นทุนเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ
แสดง contour ของค่าคงที่ Cost of Fuel Consumption (Baht/hr.)



รูปที่ 6-33 แสดงแผนภูมิต้นทุนเชื้อเพลิงที่ลดลงของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซ
ชีวภาพ แสดงค่า contour ของค่าคงที่ Saving of DDF Over Diesel (Baht/hr.)



รูปที่ 6-34 แสดงแผนภูมิเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนเชื้อเพลิงที่ลดลงของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ แสดงค่า contour ของค่าคงที่ Percentage of Fuel Cost Saving (%)

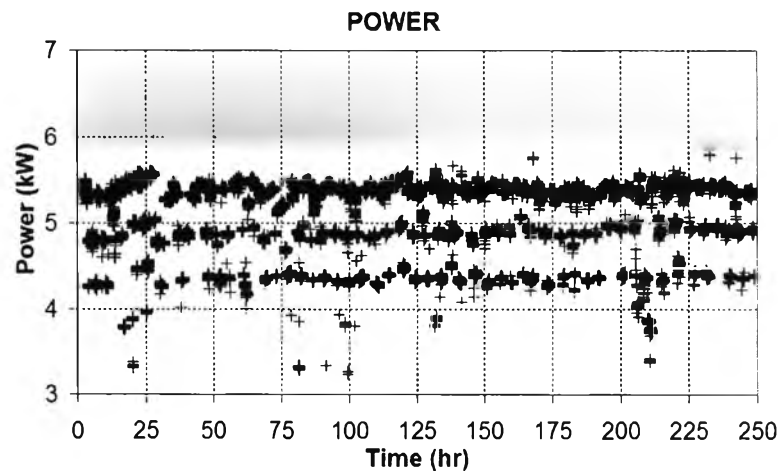
6.2 ผลการทดสอบความทนทาน

ผลจากการทดสอบความทนทานโดยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ด้วยการนำไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและทำการทดสอบตามวัฏจักรภาระจำลอง เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงร่วมเมื่อนำมาใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลารวมกว่า 250 ชั่วโมงทำงานนั้น ในระหว่างการทดสอบดังกล่าวได้ตรวจวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ค่าความตึงเครียดและค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาค่ากำลังทางไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้หลอดไฟฟ้าเป็นตัวสร้างภาระให้กับเครื่องยนต์และใช้เพื่อการอ้างอิงและควบคุมสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ให้เป็นไปตามวัฏจักรภาระจำลองที่กำหนดทุกๆ ช่วงเวลาที่เท่าๆ กันด้วย Data logger ซึ่งผลของค่ากำลังไฟฟ้า อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

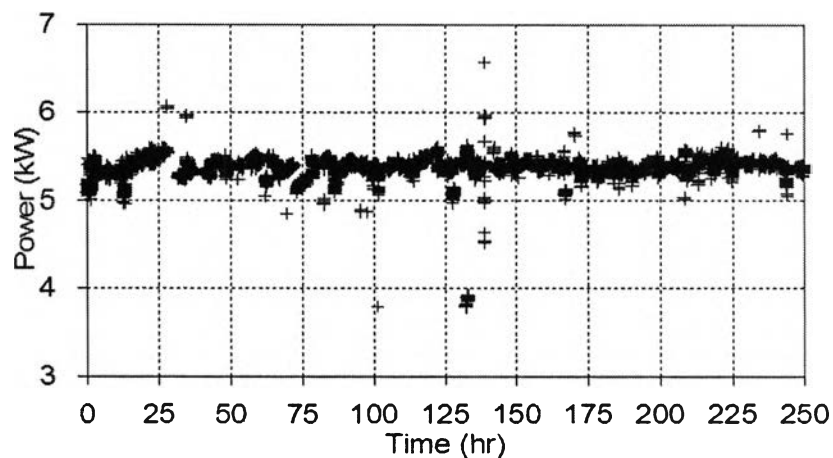
6.2.1 ความมค่ากำลังไฟฟ้า

เพื่อให้แน่ใจว่าการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เป็นไปตามสภาวะการทำงานที่กำหนดไว้จึงได้ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 6-35

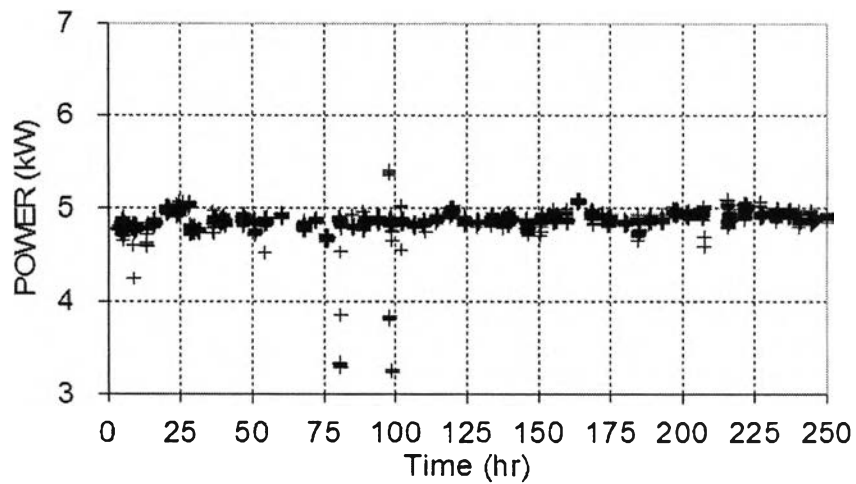
ผลของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระหว่างการทำการทดสอบทั้ง 3 แสดงในรูปที่ 6-36, 6-37 และ 6-38 ตามลำดับ สภาวะการทำงานเพื่อให้แน่ใจได้ว่าภาระของเครื่องยนต์มีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดทำการทดสอบ โดยที่สภาวะการทำงานที่ 1 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ประมาณ 5.4 กิโลวัตต์ สภาวะการทำงานที่ 2 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ประมาณ 4.8 กิโลวัตต์ และสภาวะการทำงานที่ 3 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ประมาณ 4.3 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อปรับแก้ไขตามค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามค่าที่ทดสอบสมรรถนะและค่าความสูญเสียในระบบสายพานจะได้กำลังเครื่องยนต์ที่สภาวะการทำงานที่ 1 จะมีค่ากำลังประมาณ 6.7 กิโลวัตต์ ที่สภาวะการทำงานที่ 2 จะมีค่ากำลังประมาณ 6.1 กิโลวัตต์ ที่สภาวะการทำงานที่ 3 จะมีค่ากำลังที่ประมาณ 5.4 กิโลวัตต์



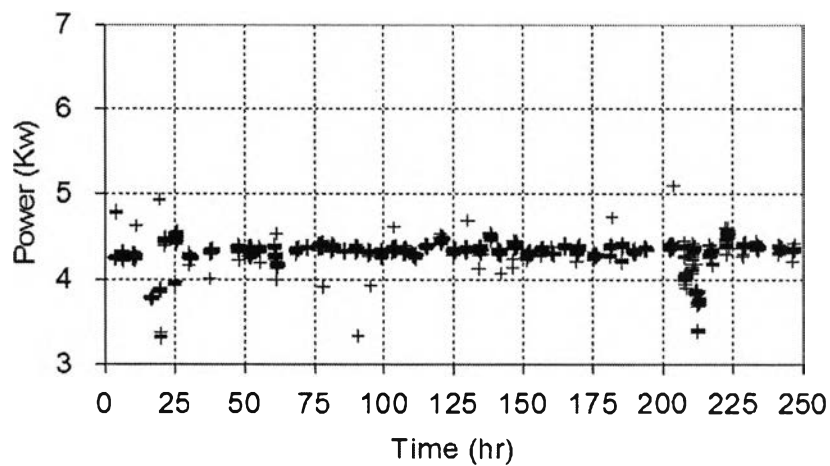
รูปที่ 6-35 แสดงค่ากำลังของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทาน รวมทั้ง 3 สภาวะการทำงาน



รูปที่ 6-36 แสดงค่ากำลังของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1



รูปที่ 6-37 แสดงค่ากำลังของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 2



รูปที่ 6-38 แสดงค่ากำลังของเครื่องยนต์ระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 3

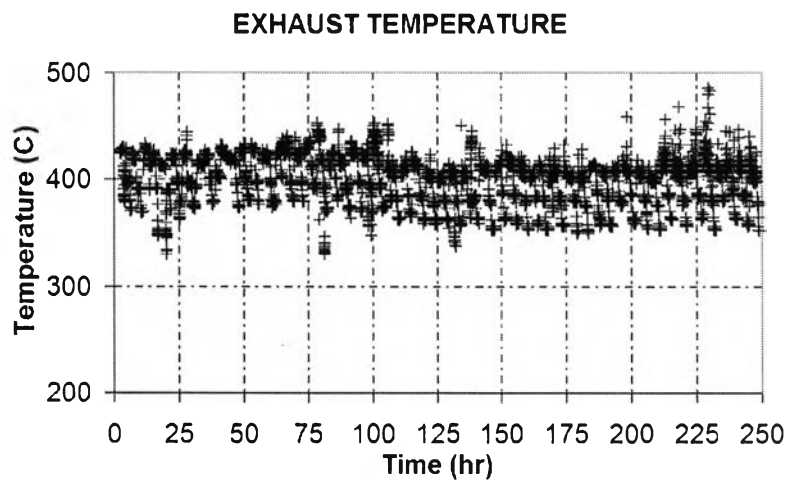
จากรูปที่ 6-35 จากภาพรวมพบว่าในแต่ละสภาวะต่างๆ ค่าภาระทั้ง 3 มีค่าขึ้นลงอยู่ในช่วงๆ หนึ่ง โดยจะพิจารณาแยกแต่ละสภาวะในกราฟต่อไป

จากรูปที่ 6-36 พบว่าสภาวะการทำงานที่ 1 ค่าความแตกต่างของภาระมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ในช่วง 5.3-5.4 kW. คิดเป็น ± 2 เปอร์เซ็นต์ จากรูปที่ 6-37 พบว่าสภาวะการทำงานที่ 2 ค่าความแตกต่างของภาระมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ในช่วง 4.8 – 5.0 kW. คิดเป็น ± 4 เปอร์เซ็นต์ จากรูปที่ 6-38 พบว่าสภาวะการทำงานที่ 3 ค่าความแตกต่างของภาระมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่ในช่วง 4.3 – 4.5 คิดเป็น ± 3.7 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เครื่องยนต์ทำงานตลอดระยะเวลาการทดสอบความทนทานมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดสอบ

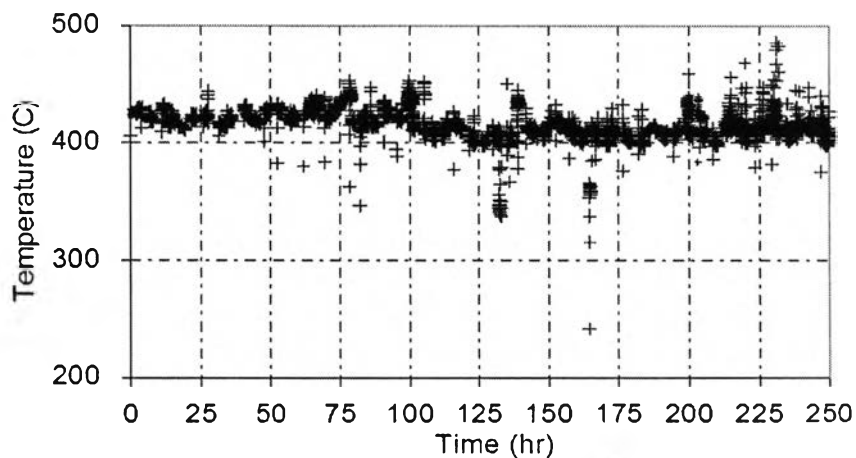
6.2.2 อุณหภูมิไอเสีย

อุณหภูมิไอเสียระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1, 2 และ 3 แสดงในรูปที่ 6-39 เมื่อพิจารณาพบว่าแนวโน้มของทั้ง 3 สภาวะการทำงานมีลักษณะที่คล้ายกัน ซึ่งจะพิจารณาละเอียด โดยแยกเป็นที่สภาวะเดียวกัน

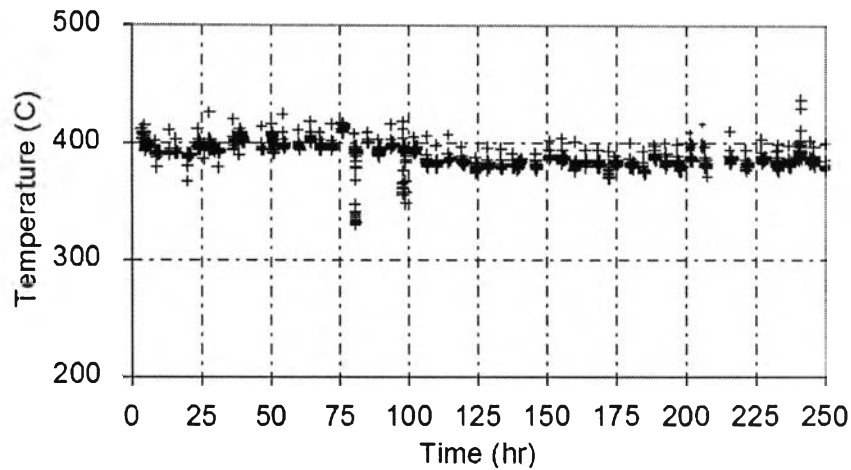
จากรูปที่ 6-40, 6-41 และ 6-42 พบว่าระหว่างทำการทดสอบความทนทานชั่วโมงที่ 0 ถึง 75 อุณหภูมิไอเสียมีการเปลี่ยนแปลงที่สม่ำเสมอ แต่ในชั่วโมงที่ 75 อุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงชันกว่าค่าอุณหภูมิไอเสียของการทดสอบที่ผ่านมาอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นจุดเปลี่ยนของแนวโน้มของอุณหภูมิไอเสีย โดยหลังจากชั่วโมงที่ 75 อุณหภูมิไอเสียมีแนวโน้มต่ำลงตามชั่วโมงการทดสอบที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในสภาวะการทดสอบที่ 2 และ 3 แต่สำหรับที่สภาวะการทำงานที่ 1 อุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงชันอีกในช่วงชั่วโมงที่ 225-230



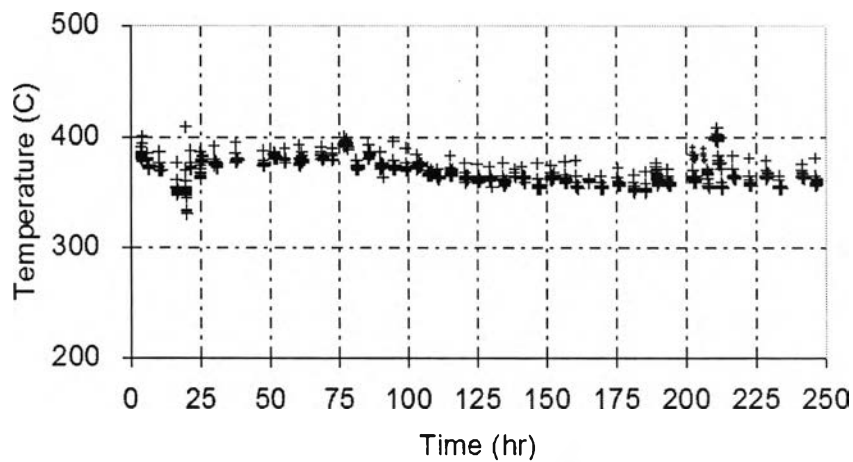
รูปที่ 6-39 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 6-40 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียตลอดช่วงการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ ก๊าซชีวภาพที่สภาวะการทำงานที่ 1



รูปที่ 6-41 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียตลอดช่วงการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ ก๊าซชีวภาพที่สภาวะการทำงานที่ 2



รูปที่ 6-42 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียตลอดช่วงการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ ชีวภาพที่สภาวะการทำงานที่ 3

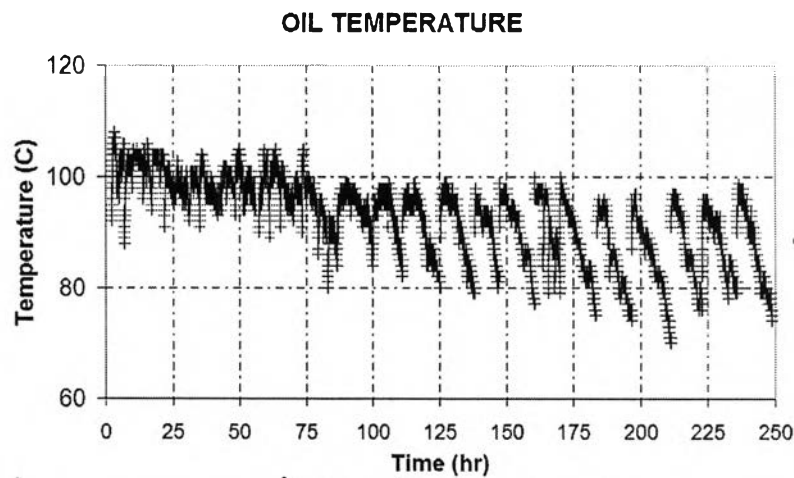
6.2.3 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น

อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทำการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงดังรูปที่ 6-43 ซึ่งจะพิจารณาละเอียด โดยแยกเป็นที่สภาวะเดียวกัน ดังรูปที่ 6-44, 6-45 และ 6-46

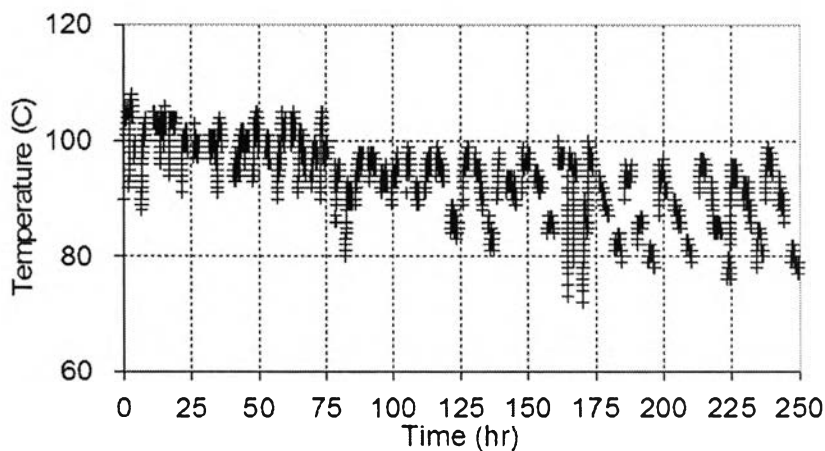
เมื่อพิจารณา 0-75 ชั่วโมงและหลังจาก 75 ชั่วโมง พบว่าที่ 0-75 ชั่วโมงเริ่มต้นการทดสอบความทนทานในช่วงเช้าซึ่งมีระดับน้ำมันหล่อลื่นเต็ม อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นจะใกล้เคียงกันแต่จะลดต่ำลงจนแตกต่างกันมากที่สุดในช่วงสุดท้ายของวันซึ่งห่างกันประมาณ 5 ถึง 10 องศาเซลเซียส และหลังจาก 75 ชั่วโมงเริ่มต้นการทดสอบความทนทานในช่วงเช้าอุณหภูมิ

น้ำมันหล่อลื่นมีแนวโน้มต่ำกว่าวันก่อน และผลต่างของอุณหภูมิของแต่ละวันจะแตกต่างกันมากขึ้นซึ่งห่างกันประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส

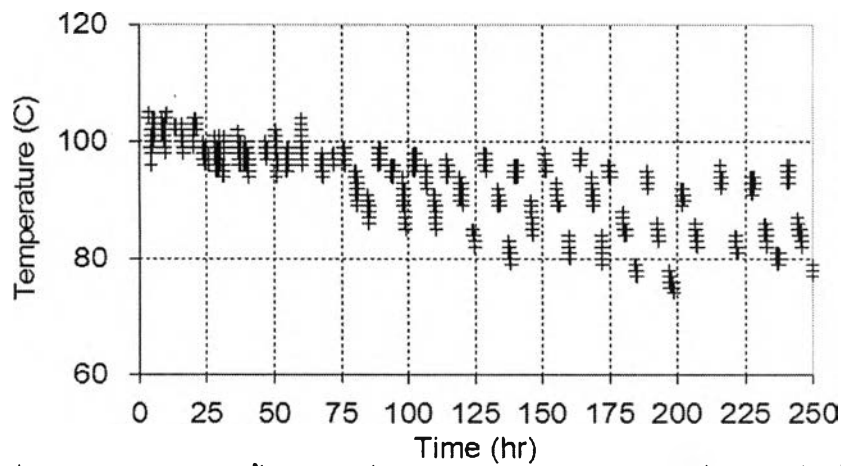
อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นในแต่ละวันทำให้ระดับของน้ำมันหล่อลื่นลดลงจนปริมาณน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอต่อการระบายความร้อน ประสิทธิภาพการระบายความร้อนจึงต่ำลง (เนื่องจากเป็นระบบปิด-สาด ซึ่งข้อเหวี่ยงถูกออกแบบมาให้วิดน้ำมันหล่อลื่นจากอ่างน้ำมันหล่อลื่นแล้วสาดไปหล่อลื่นกระบอกสูบ, ด้านหลังลูกสูบ รวมไปถึงบริเวณหน้าฝาสูบ, วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย) เมื่อปริมาณน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอ การทำงานจึงเกิดได้ไม่เต็มที่ ทำให้อุณหภูมิในอ่างน้ำมันหล่อลื่นลดลงมากกว่าในช่วงวัฏจักรแรกของการทดสอบความทนทาน



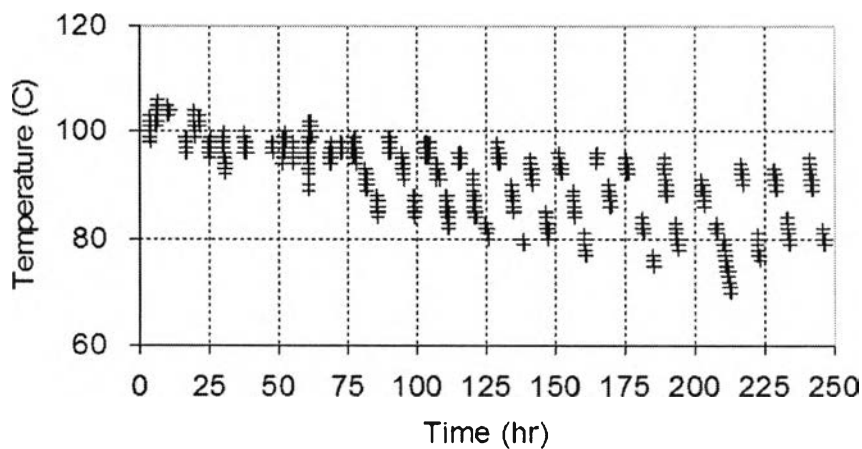
รูปที่ 6-43 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 6-44 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่สภาวะการทำงานที่ 1



รูปที่ 6-45 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่สภาวะการทำงานที่ 2



รูปที่ 6-46 แสดงอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพที่สภาวะการทำงานที่ 3

6.2.4 ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

เมื่อพิจารณาปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นแสดงดังรูปที่ 6-47 พบว่าแนวโน้มแบ่งเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรก 0-46 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงสังเกตได้จากเส้นแนวโน้มซึ่งเป็นเส้นโค้งโดยเพิ่มขึ้นจาก 200 ถึง 800 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน และช่วงที่สองคือหลังจาก 46 ชั่วโมงปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นอัตราที่คงที่สังเกตได้จากเส้นแนวโน้มซึ่งเป็นเส้นตรง โดยเพิ่มขึ้นจาก 800 ถึง 1900 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวัน

โดยสามารถหาความสัมพันธ์ของปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นกับชั่วโมงการทำงานได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ช่วง 0-46 ชั่วโมง} : y = 0.0033X^3 - 0.5099X^2 + 29.247X + 190.24 \quad (6-2)$$

$$R^2 = 0.9089$$

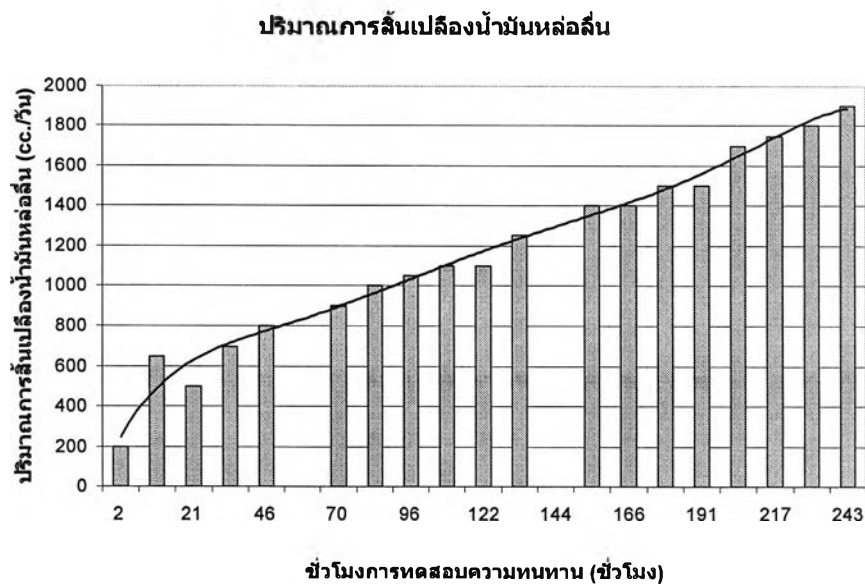
$$\text{ช่วง 46-242 ชั่วโมง} : y = 5.9328X + 441.98 \quad (6-3)$$

$$R^2 = 0.9834$$

โดยค่า y คือ ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น (cc./วัน)

X คือ ชั่วโมงการทดสอบความทนทาน (ชั่วโมง)

R^2 คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 6-47 แสดงปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน

6.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

ผลจากการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกแสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนของสารหล่อลื่น ซึ่งใช้ในการตรวจสภาพและอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่สองเป็นปริมาณการปนเปื้อนของโลหะจากการสึกหรอซึ่งบอกปริมาณของโลหะที่สึกหรอจากเครื่องยนต์และส่วนที่สามแสดงปริมาณของสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งบอกถึงสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

6.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและปริมาณการปนเปื้อน

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งมีผลต่อความสามารถในการหล่อลื่นของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ โดยผลที่สนใจจะติดตามในช่วงการทดสอบความทนทานประกอบด้วย ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 °C, ค่าออกซิเดชัน, ค่าซัลเฟชัน, ค่าไนเตรชัน และค่าความเป็นด่างรวม (TBN) ซึ่งแสดงในรูปที่ 6-48 และค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของเชื้อเพลิง น้ำ และเขม่า แสดงในรูปที่ 6-49 จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ ตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน โดยช่วงเวลาที่พิจารณาสามารถแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ชั่วโมงที่ 0 ถึง 61.5 ชั่วโมงที่ 61.5 ถึง 144 และชั่วโมงที่ 144 ถึง 242 ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาตามจริงที่ทดสอบในแต่ละรอบเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งค่าเริ่มต้นของแต่ละช่วง คือชั่วโมงการทำงานที่ 0 , 61.5 และ 144 แสดงด้วยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใหม่

จากรูปที่ 6-48, 6-49, 6-50 และรูปที่ 6-51 เมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 242 พบว่า

- ค่าความหนืดที่ 100°C มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นและอายุการทำงาน of เครื่องยนต์ โดยในแต่ละวัฏจักรมีปริมาณการเพิ่มขึ้นในอัตราที่แตกต่างกันจะเห็นได้ชัดในวัฏจักรที่สามมีความแตกต่างจากวัฏจักรที่หนึ่งและสอง โดยการเพิ่มขึ้นของความหนืดนี้แสดงให้เห็นว่ามีสิ่งสกปรกปนเปื้อนมากซึ่งอาจจะเป็นโลหะและเขม่า และอาจจะมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้น

- ค่าออกซิเดชัน, ซัลเฟชันและไนเตรชัน มีการแกว่งตัว โดยมีแนวโน้มที่คล้ายกันในทุกสามค่าซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของค่าทั้ง 3 อาจจะมีสาเหตุมาจากความร้อนสูง การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรืออาจจะมีเขม่ามากเกินไป แต่ถึงอย่างไรค่าทั้ง 3 ยังอยู่ในเกณฑ์เดือนกึ่งซึ่งชั่วโมงที่ 121.5-144 ค่าทั้ง 3 มีค่าลดลงอาจมีสาเหตุมาจากน้ำมันหล่อลื่นใหม่ที่เติมเข้าไป

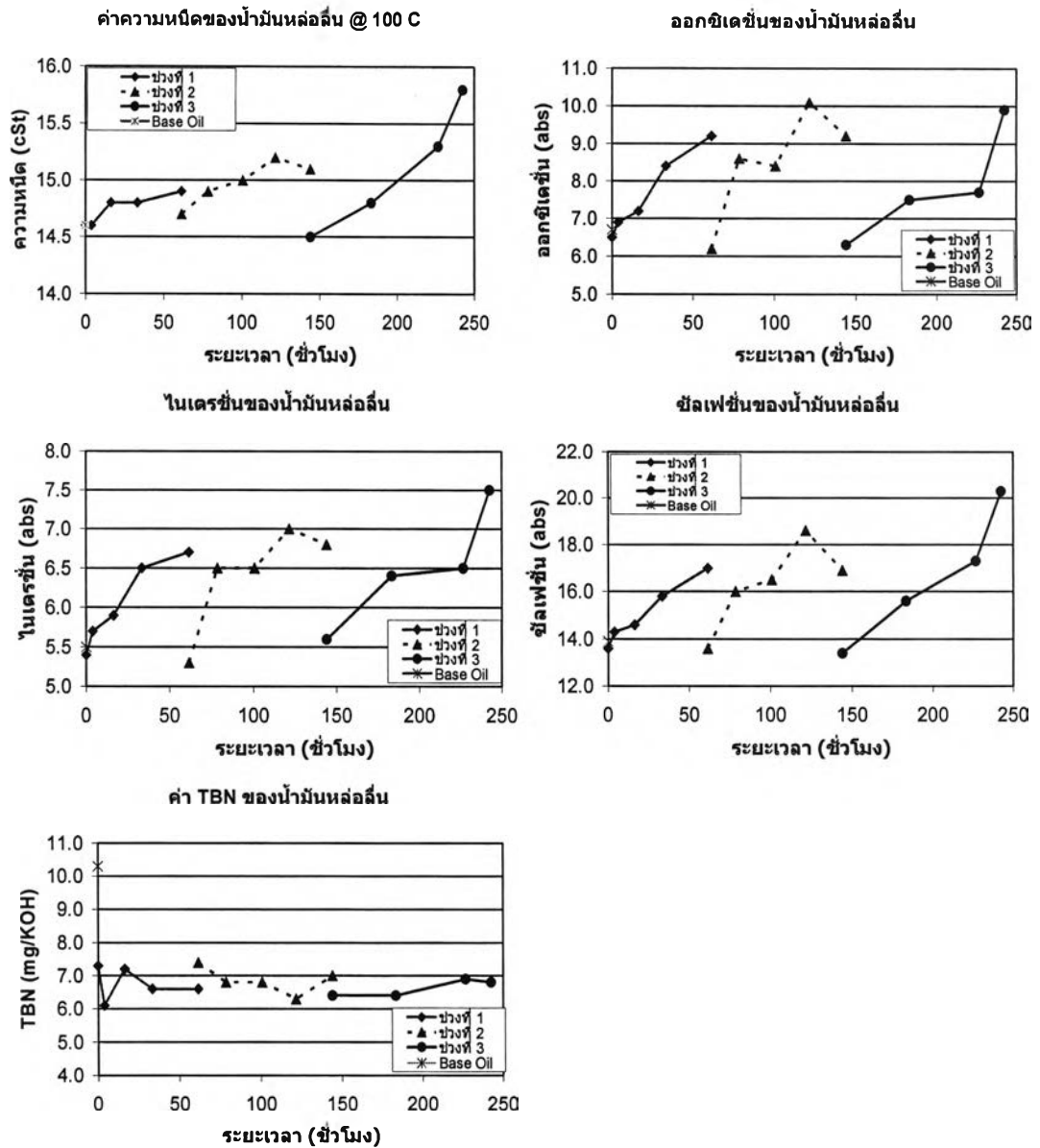
- ค่า TBN มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยแต่มีค่าที่ไม่แน่นอนแกว่งขึ้นลงมีสาเหตุจากการเติมน้ำมันหล่อลื่นเนื่องจากการเครื่องยนต์มีอัตราการบริโภคน้ำมันหล่อลื่นที่สูงจึงไม่สามารถบอกค่าความเป็นกรดต่างได้แน่ชัด เนื่องจากโดยปกติแล้วค่า TBN จะค่อยลดลงตามระยะเวลาการทำงาน

- ค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของน้ำ มีแนวโน้มที่ไม่แน่นอนแต่ในทุกๆ วัฏจักรในช่วงเริ่มต้นการใช้งานมีค่าปนเปื้อนจะลดต่ำลงจากน้ำมันใหม่ จากนั้นมีค่าไม่คงที่ แสดงให้เห็นว่าไม่มีการรั่วซึมของน้ำลงไปสู่น้ำมันหล่อลื่น

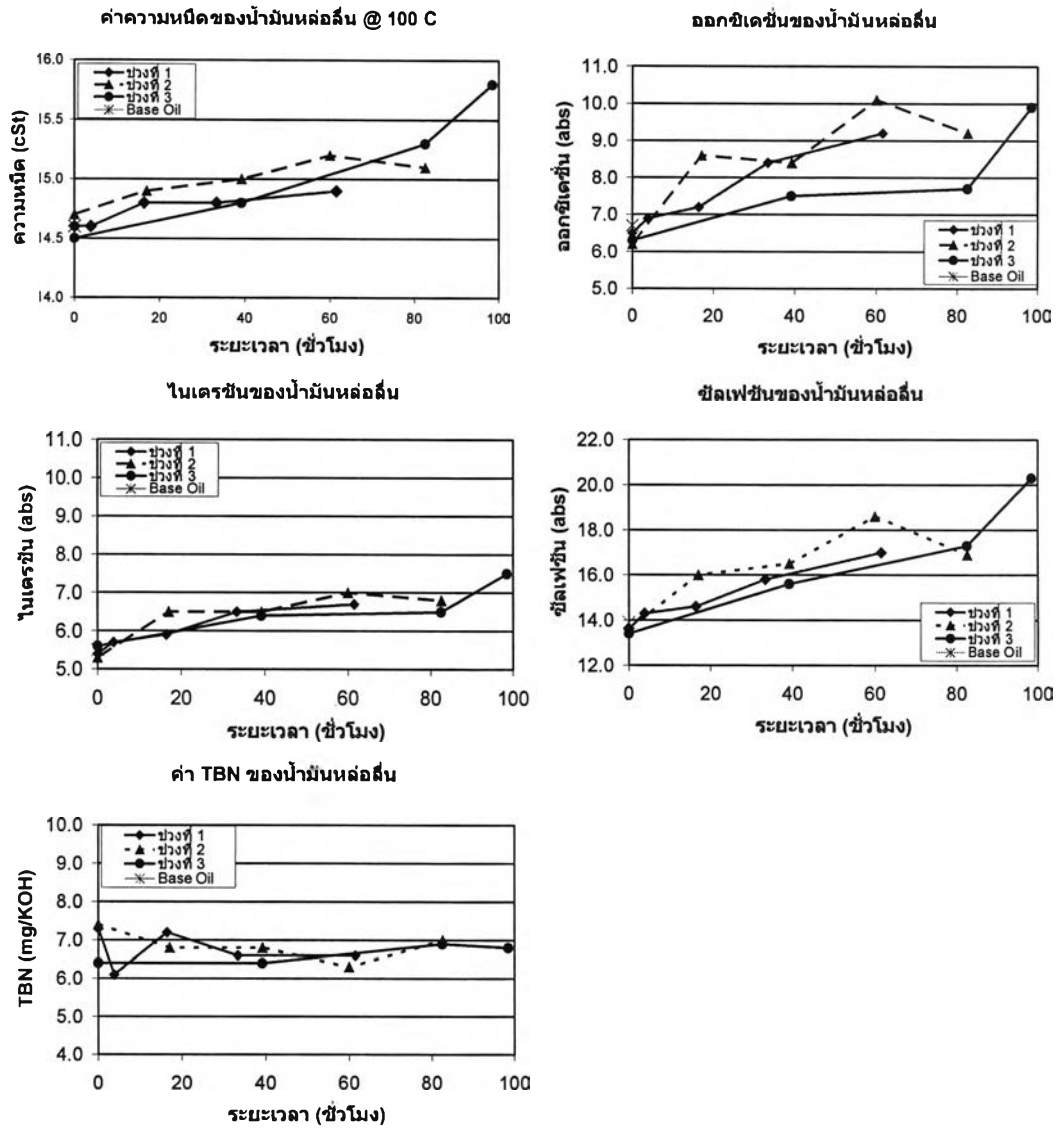
- ค่าเปอร์เซ็นต์ปนเปื้อนของเขม่า พบว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ชั่วโมงที่ 144-242 ปริมาณเขม่าสูงชันมากกว่าช่วงที่ผ่านมาซึ่งปริมาณเขม่านี้นี้เป็นปริมาณของผลิตภัณฑ์การเผาไหม้ ดังนั้นที่เห็นได้ว่าที่ชั่วโมง 144-242

อาจจะมาจากการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่นหรือการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ สำหรับปริมาณของเขม่านี้จะเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นเช่น ความหนืดสูงขึ้น

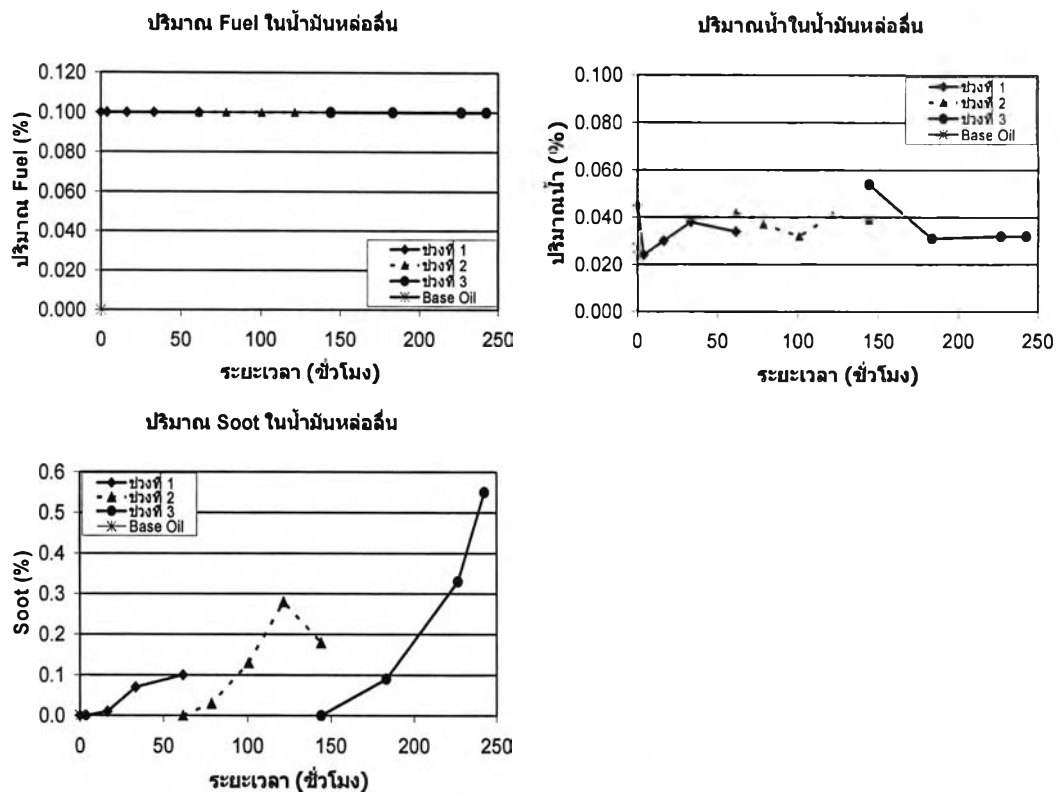
- ค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของเชื้อเพลิง พบว่ามีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากเกือบจะคงที่ตลอดการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าไม่มีการรั่วซึมของน้ำมันเชื้อเพลิงลงไปในน้ำมันหล่อลื่น



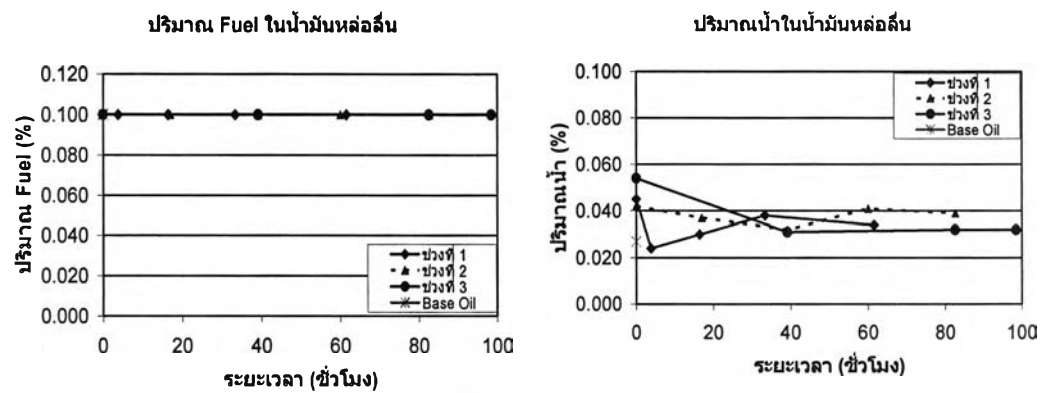
รูปที่ 6-48 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ



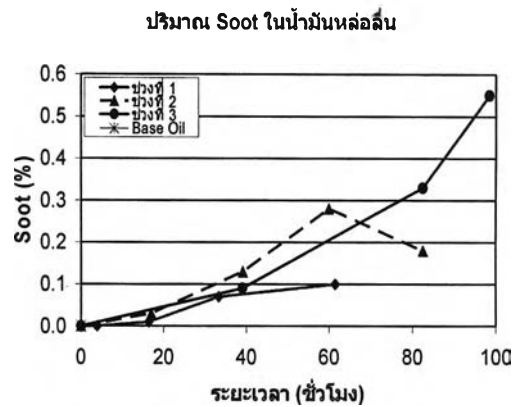
รูปที่ 6-49 แสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 6-50 แสดงปริมาณการปนเปื้อนที่สะสมในน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 6-51 แสดงปริมาณการปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้นในน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ



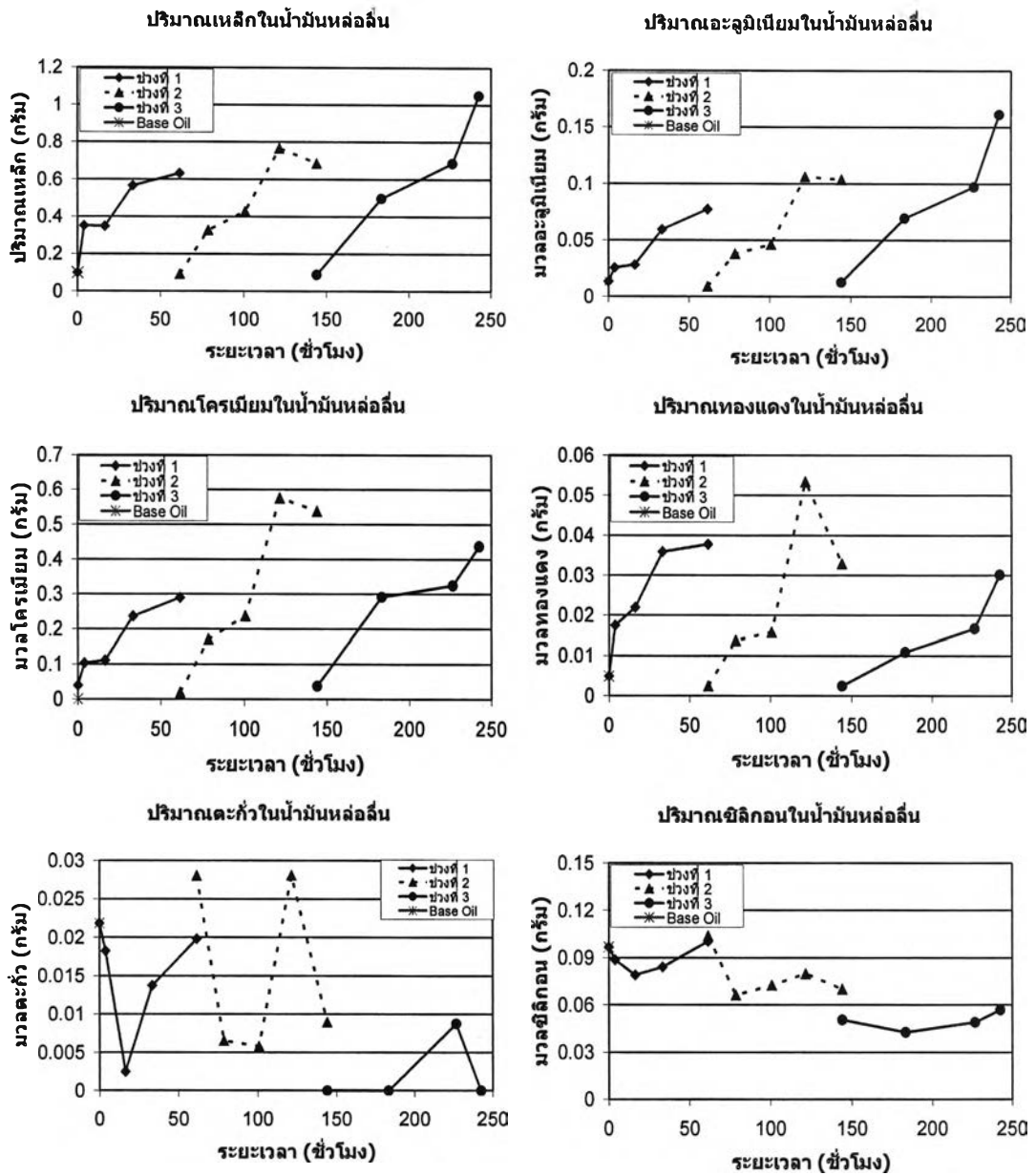
รูปที่ 6-51 แสดงปริมาณการปนเปื้อนที่สะสมในน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

6.3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะจากการสึกหรอ

โลหะที่เกิดจากการสึกหรอในเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มาจากชิ้นส่วนและที่มาจากต่างกัน ดังนี้

เหล็ก	- กระบอกสูบ , แหวนลูกสูบ , ลูกสูบ(เป็นส่วนผสมระหว่างเหล็กกับ อะลูมิเนียม), เพลาข้อเหวี่ยง, ก้านสูบ, เพลาลูกเบี้ยว, วาล์ว
โครเมียม	- เคลือบผิวแหวนอัดตัวที่ 1 และแหวนน้ำมัน
ตะกั่ว	- แบริ่งก้านสูบ , บุชก้านสูบ
ทองแดง	- แบริ่งก้านสูบ , บุชก้านสูบ
อลูมิเนียม	- ลูกสูบ
ซิลิกอน	- ฝุ่นละอองและเศษผงที่หลุดจากกรองอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์

ผลของปริมาณเหล็ก,โครเมียม, ตะกั่ว,ทองแดง,อลูมิเนียมและซิลิกอน สะสมในน้ำมันหล่อลื่นในหน่วยกรัม แสดงในรูปที่ 6-49 ค่าที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพในช่วงทดสอบความทนทาน ค่าตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น 3 ช่วงการใช้งาน (ชั่วโมงการทำงานที่ 0-61.5, 61.5-144 และ 144-242)



รูปที่ 6-52 แสดงปริมาณโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานระหว่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 6-52 เมื่อพิจารณาตลอดชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 242 พบว่า

- ปริมาณเหล็ก ที่พบจากเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ พบว่าปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการทำงานที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณเหล็กในชั่วโมงที่ 61.5 มีค่าเท่ากับ 0.63 กรัม ชั่วโมงที่ 144 มีค่าเท่ากับ 0.68 กรัมและ ปริมาณเหล็กในชั่วโมงที่ 242 มีค่าเท่ากับ 1.05 กรัม

จากรูปที่ 6-8 ซึ่งเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าการเตือนภัยพบว่าในช่วงแรกมีค่าระดับการเตือนซึ่งมีแนวโน้มที่จะผิดปกติและพบว่าในช่วงสุดท้ายปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นจนผิดปกติ

- **ปริมาณโครเมียม** ในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีค่าสูงกว่าค่ากำหนดตลอดช่วงการทดสอบ ซึ่งพบปริมาณโครเมียมเพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการทำงานที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณโครเมียมชั่วโมงที่ 61.5 มีค่าเท่ากับ 0.3 กรัม ชั่วโมงที่ 144 มีค่าเท่ากับ 0.54 กรัม และปริมาณเหล็กในชั่วโมงที่ 242 มีค่าเท่ากับ 0.45 กรัม จากรูปที่ 6-8 พบว่าปริมาณโครเมียมสูงเกินกว่าค่าการเตือนภัยแสดงให้เห็นว่าปริมาณโครเมียมมีค่าสูงมากเกินเกณฑ์ปกติ

- **ปริมาณตะกั่ว** ที่พบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ ไม่คงที่และมีแนวโน้มที่ไม่แน่นอนจึงไม่สามารถสังเกตแนวโน้มได้ และจากรูปที่ 6-8 ไม่พบความผิดปกติตลอดการทดสอบ

- - **ปริมาณทองแดง** มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับเหล็ก พบว่าปริมาณทองแดงเพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการทำงานที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณทองแดงชั่วโมงที่ 61.5 มีค่าเท่ากับ 0.038 กรัม ชั่วโมงที่ 144 มีค่าเท่ากับ 0.033 กรัม และ ปริมาณเหล็กในชั่วโมงที่ 242 มีค่าเท่ากับ 0.30 กรัมและจากรูปที่ 6-8 ไม่พบความผิดปกติตลอดการทดสอบ

- **ปริมาณอะลูมิเนียม** ตลอดช่วงการทดสอบในชั่วโมงการทำงานที่ 0-242 จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ และมีแนวโน้มลักษณะเดียวกับโลหะอื่นๆ คือมีค่าสูงขึ้นตามชั่วโมงการทำงานที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณอะลูมิเนียมชั่วโมงที่ 61.5 มีค่าเท่ากับ 0.08 กรัม ชั่วโมงที่ 144 มีค่าเท่ากับ 0.1 กรัม และ ปริมาณอะลูมิเนียมในชั่วโมงที่ 242 มีค่าเท่ากับ 0.16 กรัม จากรูปที่ 6-8 พบว่าในช่วงการทดสอบในช่วงแรก 0-16.5 ชั่วโมง จากรูปที่ 6-8 ไม่พบความผิดปกติแต่หลังจากชั่วโมงที่ 16.5 นั้นเริ่มมีค่าการเตือนและผิดปกติตลอดการทดสอบสอดคล้องกับข้อมูลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นโดยเฉพาะในช่วงการทดสอบสุดท้าย

- **ปริมาณซิลิกอน** จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณฝุ่นละอองสะสมในน้ำมันหล่อลื่นน้อย แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่าปริมาณ (จากรูปที่ 6-8) ซิลิกอนยังอยู่ในระดับการเกินค่าการเตือน โดยปริมาณซิลิกอนจะส่งผลเสียต่อการหล่อลื่นและชิ้นส่วนต่างๆ

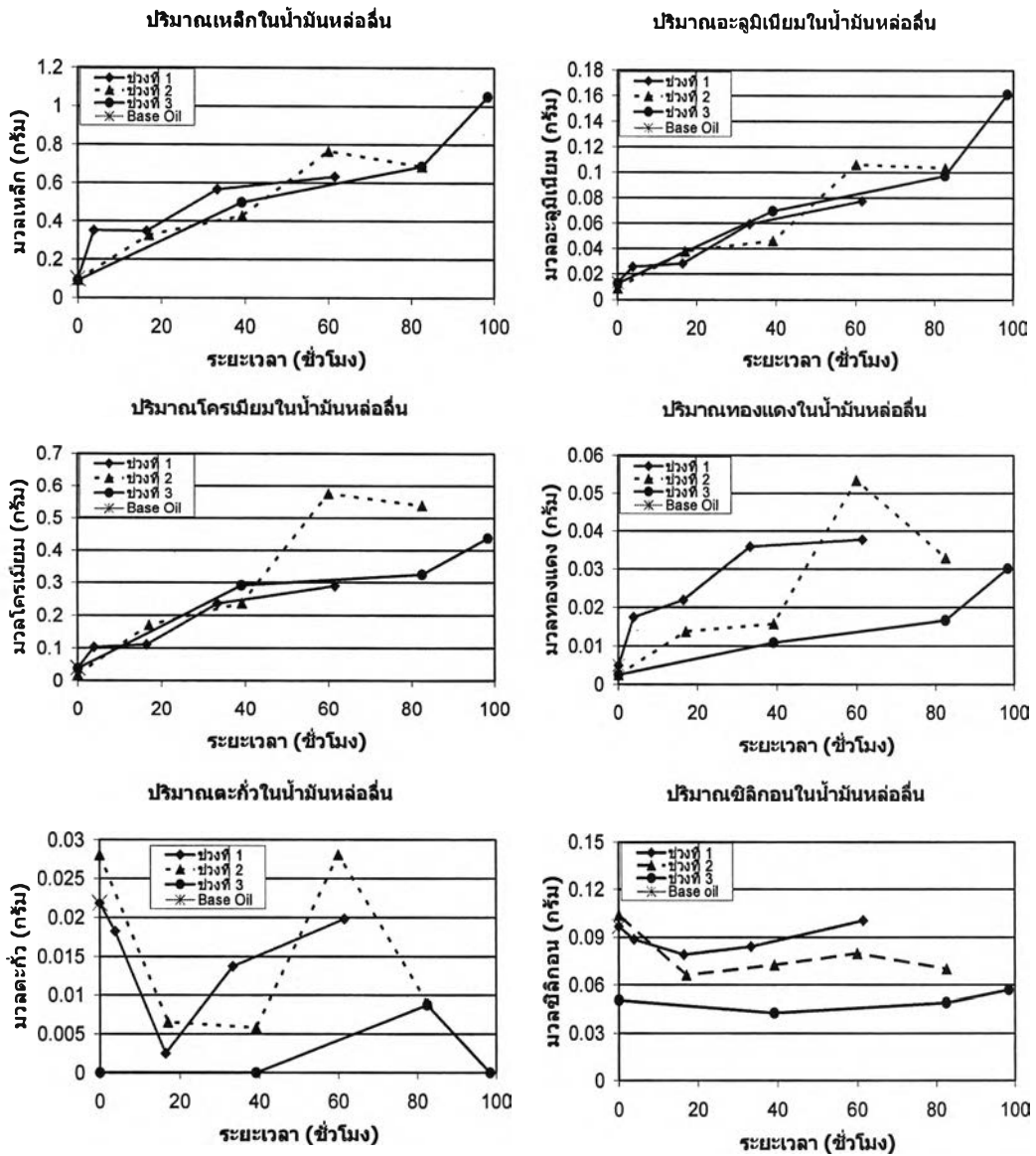
ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่สุ่มได้ในแต่ละครั้งได้มีการเปรียบเทียบกับค่าขอบเขตการเตือนสิ่งผิดปกติซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ (แสดงในใบรายงานผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น ในภาคผนวก จ) คือ ระดับ "C" – Caution ซึ่งเป็นระดับเตือนขั้นเริ่มต้นถึงความผิดปกติต่อน้ำมันหล่อลื่นที่ควรเริ่มติดตามและเอาใจใส่ และระดับ "A" - Abnormal (หรือ Critical) ซึ่งเป็นระดับการเตือนขั้นวิกฤตซึ่งแสดงถึงสภาพน้ำมันหล่อลื่นหรือการสึกหรอของเครื่องยนต์อยู่ในขอบเขตที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้ ขอบเขตการเตือนสิ่งผิดปกติทั้งสอง

ระดับนี้อ้างอิงและกำหนดจากหลักสถิติที่สะสมจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ลักษณะเดียวกันเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 6-8 แสดงค่าระดับการเตือนที่พบระหว่างการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมงแสดงช่วงการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น ค่า C-Caution และค่า A-Abnormal

Engine hr	3.86	16.41	33.33	61.5	78.5	100.7	121.5	144	183	226.6	242	C	A
Oil hr	3.86	16.41	33.33	61.5	17.01	39.2	60	82.58	39.11	82.51	98.46		
Fe	-	-	C	C	C	-	C	A	A	A	A	>25	>40
Cr	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	>1	>2
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>8	>13
Al	-	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	>4	>6
Si	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	>15	>25
CU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>15	>25
Viscos.100°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<12.7	>13.4

ตารางที่ 6-8 แสดงค่าระดับการเตือนที่พบจากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง พบว่าปริมาณโครเมียมมีค่าเกินระดับ A ตลอดการทดสอบความทนทานเมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ ส่วนปริมาณเหล็กและซิลิกอน พบว่าค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีการเตือนระดับ C และระดับ A โดยค่าซิลิกอนอยู่ในระดับ Caution ตลอดการทดสอบความทนทานและค่าอลูมิเนียมอยู่ในระดับ Caution และ Abnormal ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 33.3 ไปจนตลอดการทดสอบความทนทาน ส่วนค่าความหนืดที่ 100 °C จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพไม่พบว่ามีค่าเกินกว่าเกณฑ์ การเตือนตลอดการทดสอบ



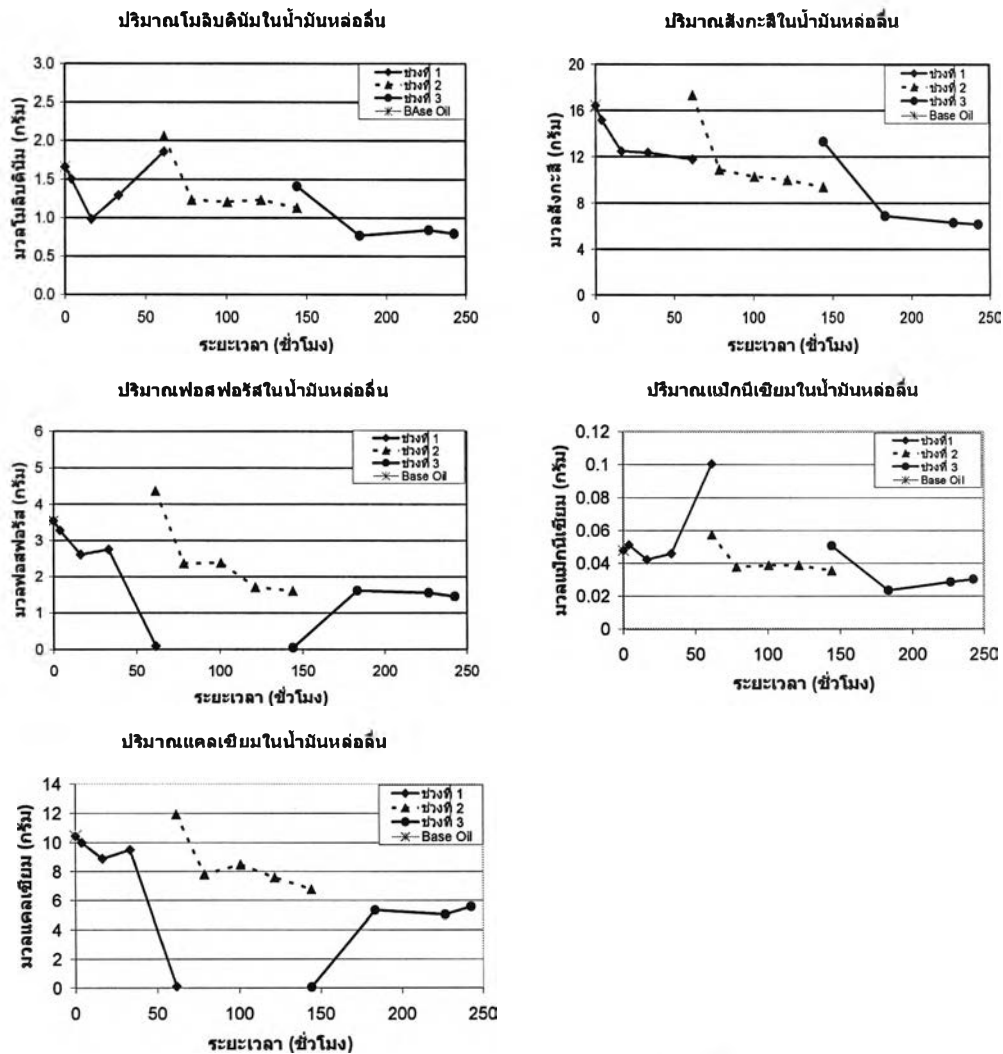
รูปที่ 6-53 แสดงปริมาณเหล็ก โครเมียม ตะกั่ว ทองแดง ซิลิกอน และอะลูมิเนียม เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 6-53 ซึ่งเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณโลหะกับอายุการทำงานแต่ละช่วงของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งพบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของโลหะส่วนใหญ่มีลักษณะที่คล้ายกัน ซึ่งจะสังเกตกราฟในแต่ละช่วง แต่สำหรับปริมาณตะกั่วมีแนวโน้มที่ไม่คงที่ซึ่งไม่สามารถบอกแนวโน้มได้และสำหรับซิลิกอนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้น



6.3.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่ง

สารเติมแต่งที่พบในน้ำมันหล่อลื่นที่สุ่มตัวอย่างประกอบด้วยโมลิบดีนัม, แมกนีเซียม, ฟอสฟอรัส, แคลเซียม และสังกะสี ซึ่งในผลการทดสอบความทนทานสามารถประมาณปริมาณของสารเหล่านี้ได้ดังในรูปที่ 6-54 ซึ่งแสดงในรูปของปริมาณโลหะสะสมในหน่วยกรัมในแต่ละชั่วโมงการทำงาน มองภาพรวมพบว่าแนวโน้มของปริมาณ ฟอสฟอรัส, แคลเซียม, โมลิบดีนัม, แมกนีเซียม และสังกะสีมีแนวโน้มลดลงแต่เนื่องจากบางค่าสูงขึ้นอาจเป็นเพราะการเติมน้ำมันทดแทนปริมาณสูงในแต่ละช่วงการทดสอบจึงไม่อาจสรุปแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นได้ชัดเจน



รูปที่ 6-54 แสดงปริมาณโมลิบดีนัม, สังกะสี, ฟอสฟอรัส, โซเดียม, แมกนีเซียม และ แคลเซียม ที่สะสมในน้ำมันหล่อลื่นน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 6-54 และรูปที่ 6-55 เมื่อพิจารณาตลอดชั่วโมงการทำงานที่ 0 ถึง 242 พบว่า

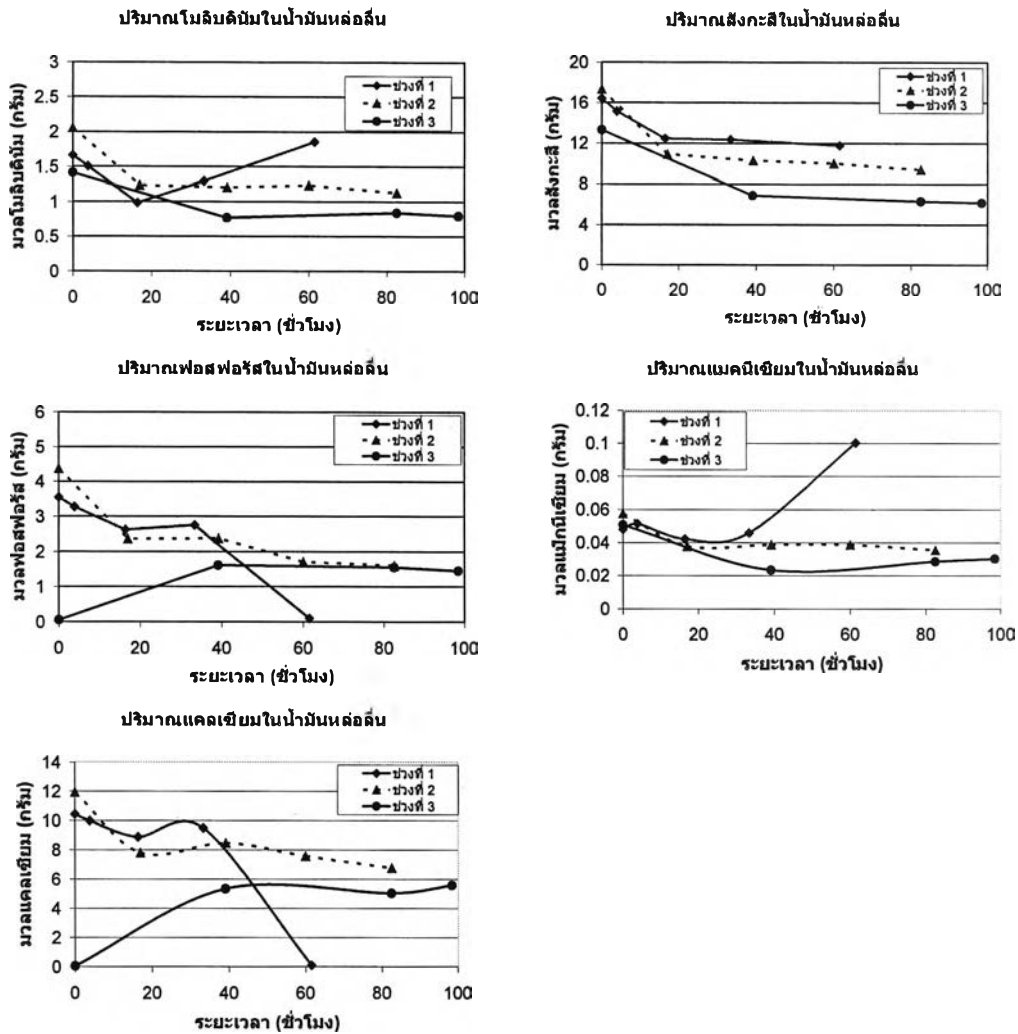
-**ปริมาณโมลิบดีนัม** มองภาพรวมพบว่ามีแนวโน้มลดลงในช่วงการทำงานที่ 2 และ 3 ของการทดสอบแต่สำหรับช่วงการทำงานที่ 1 มีค่าลดลงในช่วงแรกและหลังชั่วโมงที่ 20 ถึงชั่วโมงที่ 60 มีปริมาณเพิ่มขึ้น โมลิบดีนัมเป็นธาตุองค์ประกอบของสารเติมแต่งที่ช่วยการเสียดทานดังนั้นการที่โมลิบดีนัมลดลงอาจจะทำให้เกิดการเสียดสีที่สูง

-**ปริมาณสังกะสี** มีแนวโน้มลดลงและลดลงในอัตราที่ต่ำลงในทุกๆ ช่วงการทดสอบ โดยสังกะสีนี้เป็นธาตุส่วนประกอบของสารเติมแต่งที่ช่วยชะลอการสึกหรอ ซึ่งเมื่อปริมาณสังกะสีลดลงแสดงว่ามีการสึกหรอมากขึ้น

-**ปริมาณแมกนีเซียม** มีค่าลดลงในช่วงการทำงานที่ 2 และ 3 ของการทดสอบแต่สำหรับช่วงการทำงานที่ 1 มีค่าลดลงในช่วงแรกและหลังชั่วโมงที่ 20 ถึงชั่วโมงที่ 60 ปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็นธาตุส่วนประกอบของสารเติมแต่งที่ช่วยกระจายเขม่าและเป็นสารชะล้างเช่นเดียวกับแคลเซียม

-**ปริมาณฟอสฟอรัส** ช่วงการทำงานที่ 1 และที่ 2 มีแนวโน้มลดลงและมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันแตกต่างจากช่วงการทำงานที่ 3 ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและคงที่หลังชั่วโมงที่ 183 เป็นธาตุส่วนประกอบของสารเติมแต่งที่ช่วยชะลอการสึกหรอเช่นเดียวกับสังกะสี ซึ่งเมื่อปริมาณฟอสฟอรัสลดลงแสดงว่ามีการสึกหรอมากขึ้น และยังเป็นธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารเติมแต่งที่ช่วยลดการเกิดสนิมและการกัดกร่อน โดยปริมาณของฟอสฟอรัสลดลงเห็นได้ชัดในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2

-**ปริมาณแคลเซียม** มีปริมาณที่ลดลงตามระยะเวลาในช่วงการทำงานที่ 1 และ 2 แต่ในช่วงการทำงานที่ 3 ปริมาณแคลเซียมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นธาตุส่วนประกอบของสารเติมแต่งที่ช่วยกระจายเขม่าและชะลอการคราบยางเหนียว โดยปริมาณของฟอสฟอรัสลดลงเห็นได้ชัดในช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 ซึ่งอาจจะมีผลมาจากปริมาณเขม่าที่สูงขึ้น



รูปที่ 6-55 แสดงปริมาณโมลิบดีนัม, สังกะสี, ฟอสฟอรัส, โซเดียม, แมกนีเซียมและแคลเซียมที่เพิ่มในแต่ละช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

6.4 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน

หลังการทดสอบความทนทาน ได้ทำการถอดชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์เพื่อทำการตรวจสอบสภาพเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนจากเครื่องยนต์(คูโบต้า ET 115) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่ผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงตามวิธีการทดสอบความทนทานแสดงดังตารางที่ 6-9

ตารางที่ 6-9 แสดงวัฏจักรการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์คูโบต้า ET 115 โดยใช้
น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

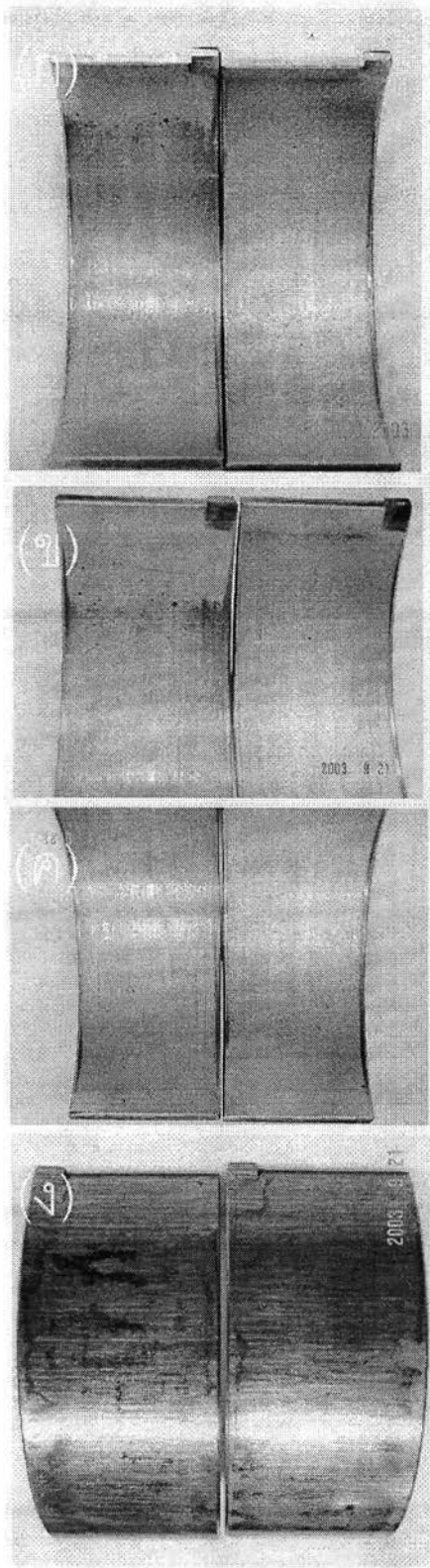
สภาวะการ ทำงาน	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ภาระ (% of rated power/kW.)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)
1	3	100/8.29	2,400
2	1	90/7.46	2,400
3	1	80/6.63	2,400

หลังการถอดชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ได้ทำการถ่ายภาพประกอบเพื่อใช้ในการตรวจ
พินิจชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ ซึ่งชิ้นส่วนที่ทำการตรวจพินิจประกอบไปด้วย แบริ่งก้านสูบ
ลูกสูบ ผนังกระบอกสูบ ฝาสูบ วาล์วไอดีและไอเสียที่ฝาสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย และหัวฉีด
ดังรายละเอียดต่อไปนี้

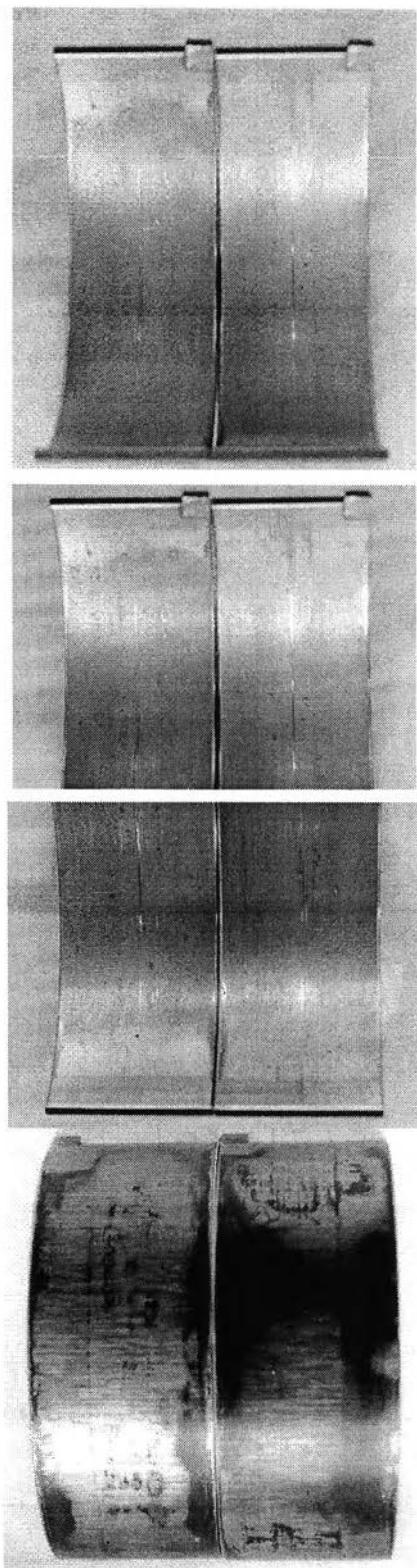
6.4.1 แบริ่งก้านสูบ

จากรูปที่ 6-56 แสดงภาพถ่ายของแบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลัง
ผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง และรูปที่ 6-57 แสดงภาพถ่ายของแบริ่งก้านสูบจาก
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง โดย
รูป (ก) ภาพด้านหน้า ขนาดเต็มรูป ชิ้นส่วนทางด้านซ้ายเป็นแบริ่งขึ้นบนติดกับก้านสูบ ชิ้นส่วน
ทางขวาเป็นชิ้นส่วนที่ติดกับประกับก้านสูบ (ข) แสดงภาพขยายครึ่งส่วนด้านบนของรูป (ค) แสดง
ภาพขยายครึ่งส่วนด้านล่างและรูป (ง) แสดงภาพด้านหลัง ขนาดเต็มรูป

จากรูปที่ 6-56 ซึ่งแสดงแบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งไม่พบสิ่ง
ผิดปกติเกิดขึ้นกับผิวแบริ่งด้านหน้า มีรอยขีดข่วนในขนาดเล็กๆ อยู่ในแนวการเคลื่อนที่ของเพลลา
ทั่วไป ส่วนด้านหลังพบรอยสีน้ำตาลเล็กน้อย



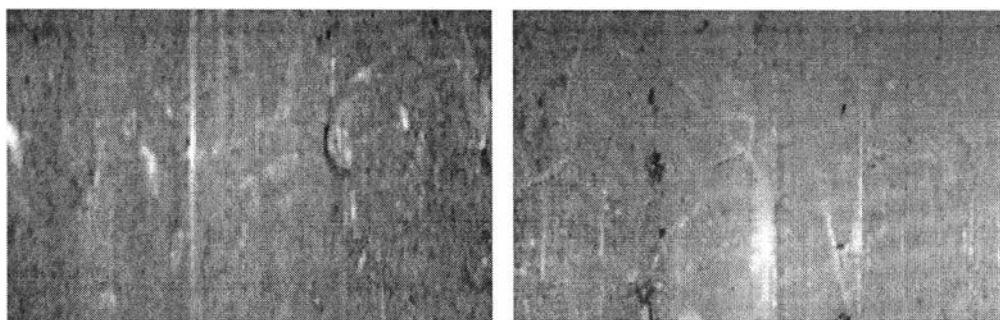
รูปที่ 6-56 แสดงภาพถ่ายแบร็งก์้านสูบจาก เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังจาก การทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง



รูปที่ 6-57 แสดงภาพถ่ายแบร็งก์้านสูบจาก การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพหลัง ผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง

จากรูปที่ 6-57 ซึ่งแสดงแบร็งก์้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ ซึ่งพบว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับผิวแบร็งก์้านหน้าคือมีเส้นเป็นลักษณะโดนอนุภาคที่แข็งแกร่งกว่า (อาจจะมาจาสวนที่สึกหรอปนเปื้อนมากับน้ำมันหล่อลื่นหรือเศษฝุ่นละออง) ขูดเป็นร่องลึกลงไปบริเวณด้านหน้าของแบร็งก์สองชิ้น และมีร่องหลุมเล็กๆ ซึ่งมาจากเศษอนุภาคที่แข็งแกร่งกว่าขูดเช่นกัน ส่วนด้านหลังพบรอยสีดำที่ขอบของแบร็งก์

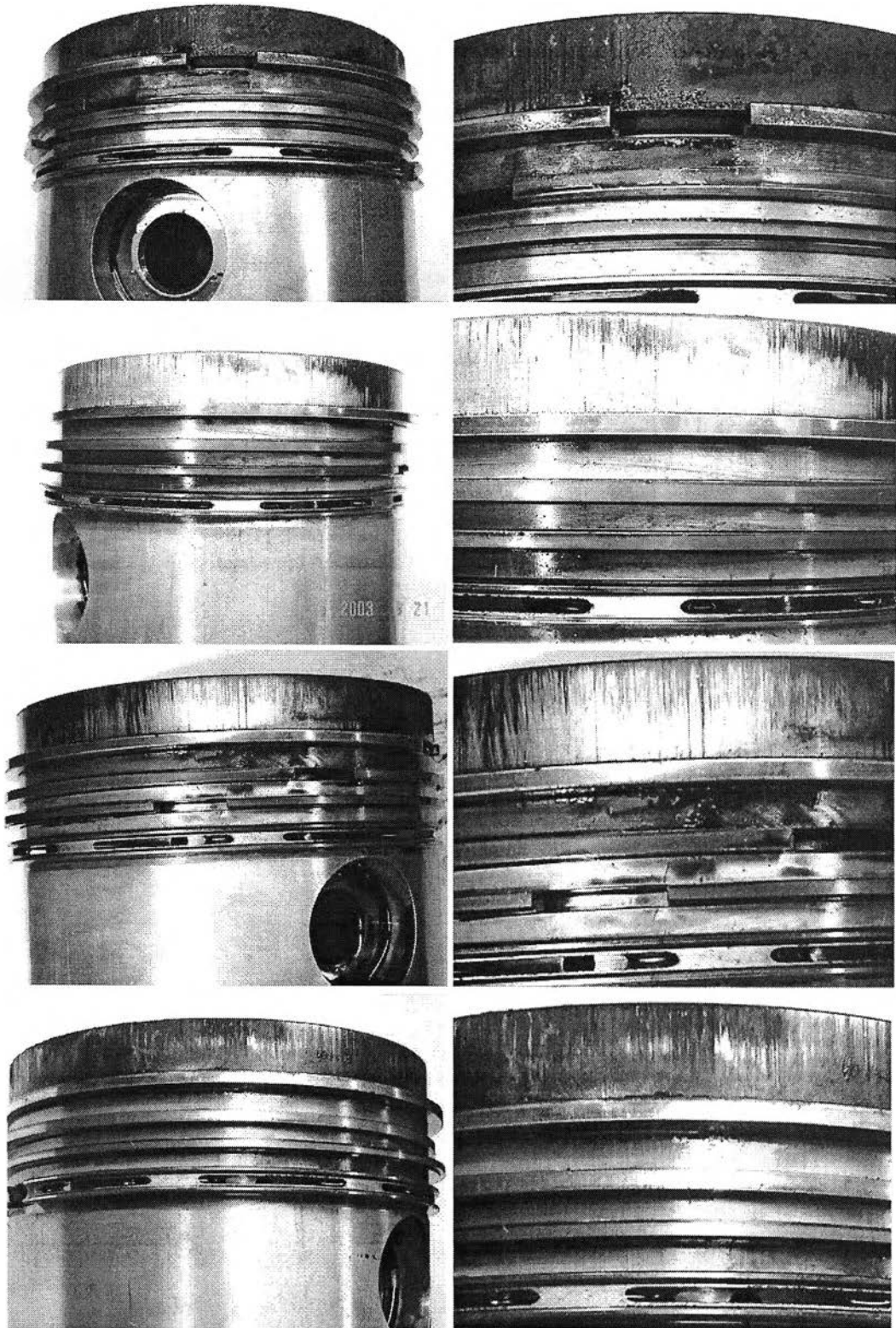
รูปที่ 6-58 ซึ่งแสดงภาพถ่ายละเอียดแบร็งก์้านสูบจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง ไม่พบหลุมขนาดเล็กๆที่เป็นลักษณะตามดซึ่งมีสาเหตุมาจากการกัดกร่อนของ H_2S ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น



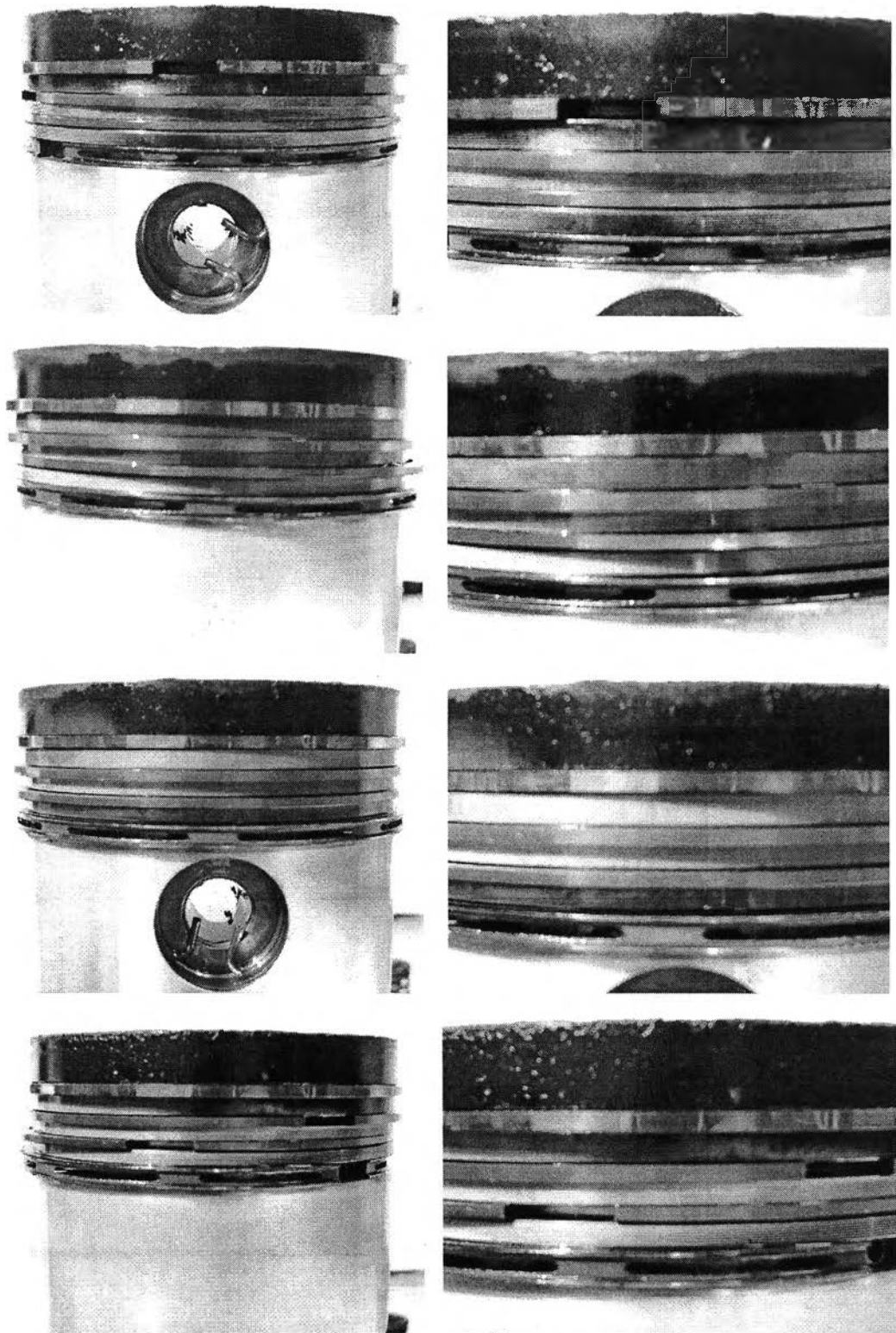
รูปที่ 6-58 แสดงภาพถ่ายละเอียดแบร็งก์้านสูบจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ
หลังผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง

6.4.2 ลูกสูบ

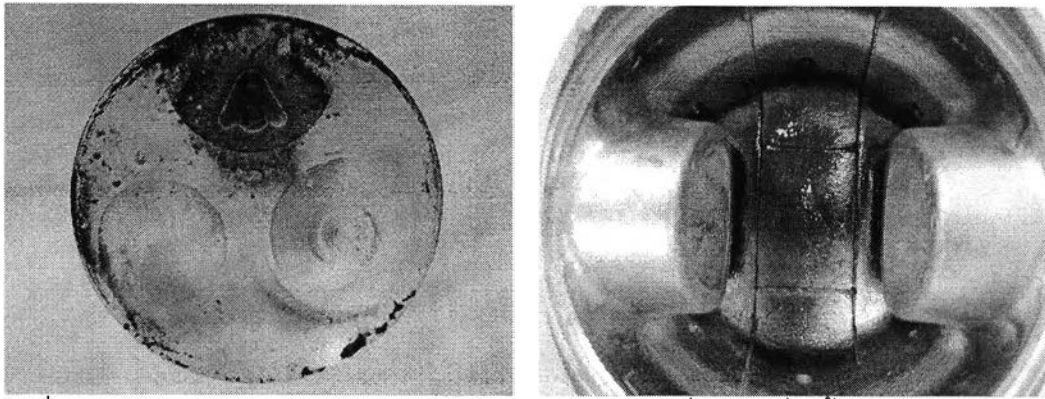
รูปที่ 6-59 และ 6-60 ซึ่งแสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพตามลำดับ โดยภาพในฝั่งซ้ายแสดงภาพลูกสูบในแต่ละด้านของลูกสูบ ส่วนภาพในฝั่งขวา แสดงภาพขยายบริเวณขอบด้านบนของลูกสูบและร่องแหวน ซึ่งจากผลการตรวจพินิจพบว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีเขม่าบริเวณขอบบนของลูกสูบ และพบรอยขูดขีดทั้งขนาดใหญ่และเล็กโดยรอบขอบบนของลูกสูบ บริเวณร่องแหวนพบคราบเขม่าเกาะตัวสะสมในร่องแหวน และมีปริมาณที่มาก บริเวณปากแหวน และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพพบคราบสีดำบริเวณขอบบนของลูกสูบเช่นเดียวกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลแต่มีลักษณะที่บางกว่าและพบคราบสีน้ำตาลระหว่างร่องแหวน



รูปที่ 5-59 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในแต่ละด้านและภาพขยายในภาพฝั่งขวา หลังผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง



รูปที่ 6-60 แสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพในแต่ละด้าน และภาพขยายในภาพฝั่งขวา หลังผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง



รูปที่ 6-61 แสดงภาพถ่ายด้านหน้าและด้านหลังหัวลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง

รูปที่ 6-61 ซึ่งแสดงภาพถ่ายลูกสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพพบว่าบริเวณด้านหน้าหัวลูกสูบมีหลุมลึกลงไปในรูปแบบเดียวกับห้องเผาไหม้ช่วยและด้านหลังของลูกสูบมีสีดำซึ่งเป็นรอยจากความร้อน แสดงให้เห็นว่ามีการขาดน้ำมันหล่อลื่นอย่างเห็นได้ชัด ลูกสูบจึงมีอุณหภูมิสูง

จากปัญหาที่พบนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแล้วอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น และเนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมซึ่งมีห้องเผาไหม้ล่วงหน้า เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพจะมีเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพบางส่วนที่อยู่ห้องเผาไหม้หลักแตกต่างจากเมื่อใช้น้ำมันดีเซลซึ่งจะมีเฉพาะอากาศทำให้เมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้หลักมีอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลประกอบกับอัตราส่วนผสมที่สูงกว่า (ส่วนผสมหนา) ของเชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพทำให้ปริมาณความร้อนที่ลูกสูบได้รับมีปริมาณมากกว่า โดยเฉพาะในช่วงวัฏจักรสุดท้ายของการทดสอบความทนทานระดับน้ำมันหล่อลื่นที่ต่ำทำให้การหล่อเย็นระบายความร้อนลดลง จึงเกิดภาวะทางความร้อนสะสมสูง โดยเฉพาะตำแหน่งบนลูกสูบที่ตรงกับห้องเผาไหม้ล่วงหน้าซึ่งเป็นส่วนที่มีเปลวไฟลามออกมาแล้วมันจะกระจายตามลักษณะของรู จึงทำให้ลักษณะความเสียหายด้านหน้าลูกสูบ เกิดในบริเวณที่ตรงกับห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ดังนั้นถึงแม้ว่าอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพจะสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อยแต่ความจริงแล้วในห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาได้ซึ่งจะสรุปในบทที่ 7

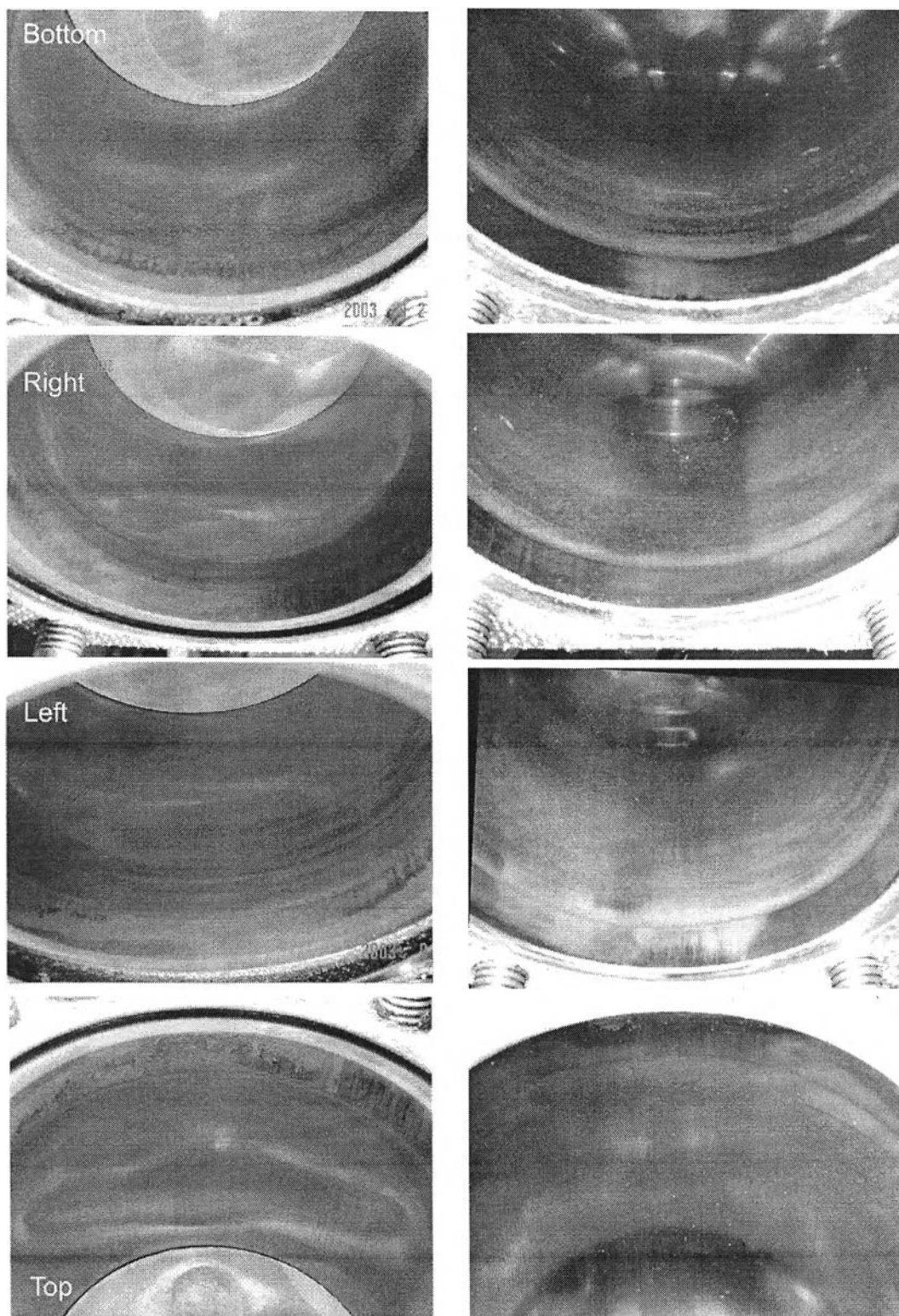
6.4.3 ผนังกระบอบอกสูบ

รูปที่ 6-62 และรูปที่ 6-63 แสดงภาพถ่ายสภาพภายในผนังกระบอบอกสูบของเครื่องยนต์หลังผ่านการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพตามลำดับโดยเป็นภาพถ่ายผนังกระบอบอกสูบในแต่ละด้าน 4 ด้าน ประกอบด้วย Bottom คือผนังกระบอบอกสูบด้านที่ติดกับส่วนล่างของเครื่องยนต์ ด้าน Top คือผนังกระบอบอกสูบในด้านบนติดกับหม้อน้ำ และในด้าน Left และ Right คือฝั่งซ้ายและฝั่งขวาเมื่อหันหน้าเข้าเครื่องยนต์ตามลำดับ

จากรูปที่ 6-62 ที่ผนังกระบอบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลไม่พบลักษณะที่ผิดปกติในทุกด้านและในช่วงปลายของห้องเผาไหม้ส่วนที่ติดกับฝาสูบ พบคราบเขม่าในทุกด้าน โดยเฉพาะในด้าน Top ซึ่งตรงข้ามกับทิศทางการพุ่งของเปลวไฟออกจากห้องเผาไหม้ล่วงหน้าจะมีคราบเขม่าที่หนา กว่าในทุกๆ ด้าน

จากรูปที่ 6-63 ที่ผนังกระบอบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ พบคราบน้ำตาลเข้มไปจนถึงดำในทุกด้านโดยเฉพาะในด้าน Top ซึ่งเป็นแถบสีดำอย่างเห็นได้ชัด

สรุปได้ว่าความแตกต่างที่พบคือ ลักษณะของคราบสีดำบนผนังกระบอบอกสูบในช่วงปลายของห้องเผาไหม้ส่วนที่ติดกับฝาสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะด้านล่างและด้านบนพบคราบสีน้ำตาลเข้มจนดำเป็นพิเศษ แต่ไม่สามารถสรุปผลความแตกต่างได้ชัดเจนนัก

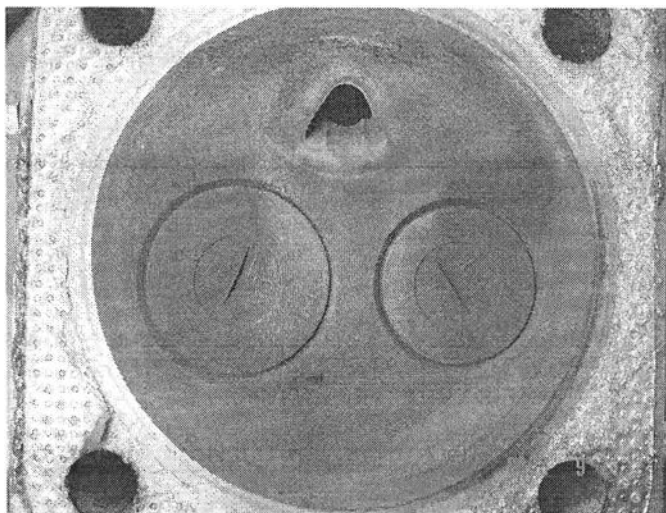


รูปที่ 6-62 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกลูกจาก
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังจาก
การทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

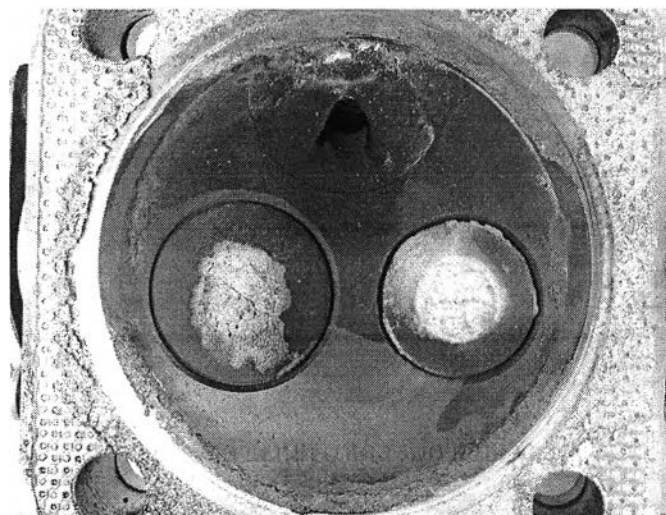
รูปที่ 6-63 แสดงภาพถ่ายผนังกระบอกลูกจาก
การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพหลัง
ผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง

6.4.4 ฝาสูบ

รูปที่ 5-64 และ รูปที่ 5-65 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล 320 ชั่วโมง และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 6-64 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมงของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล



รูปที่ 6-65 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมงของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

จากรูปที่ 5-64 แสดงภาพถ่ายฝาสือบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล พบปริมาณเขม่า ตกค้างติดอยู่เต็มพื้นที่ฝาสือบและหน้าวาล์วและพบคราบสีน้ำตาลอ่อนตามทิศทางพุ่งของสเปรย์ที่ ออกจากห้องเผาไหม้ล่วงหน้า และพบปริมาณเขม่าหนาอยู่ในแนวขอบของกระบอกสูบ

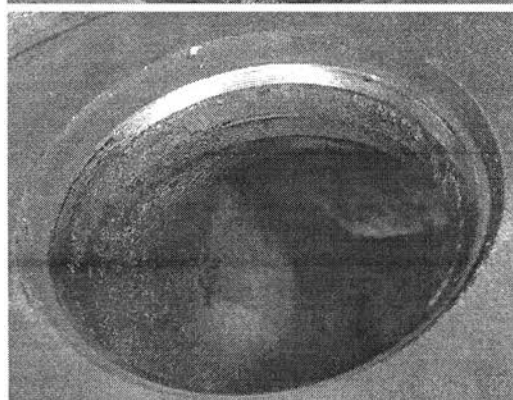
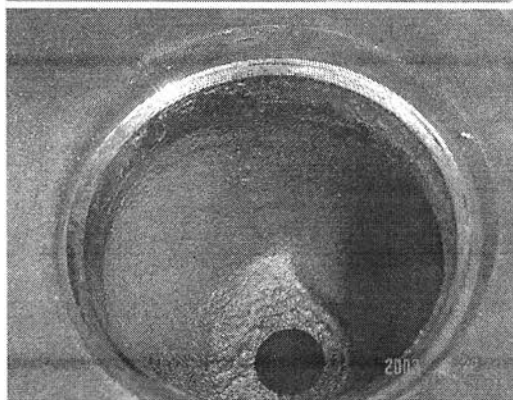
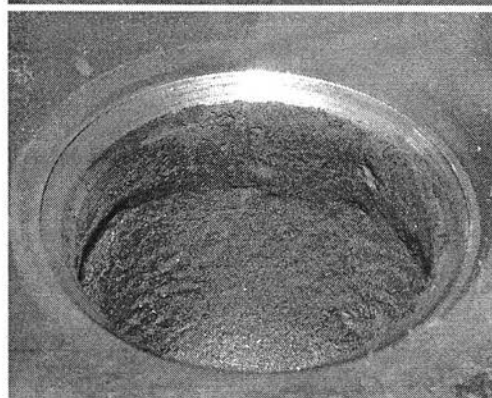
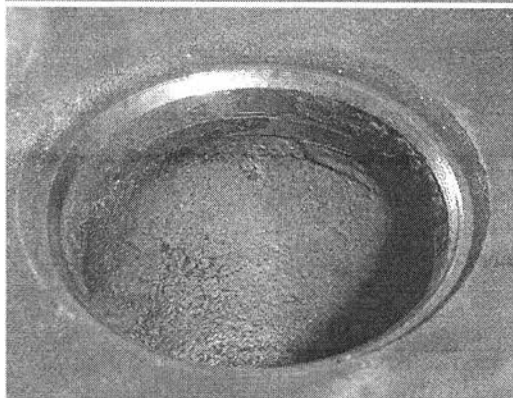
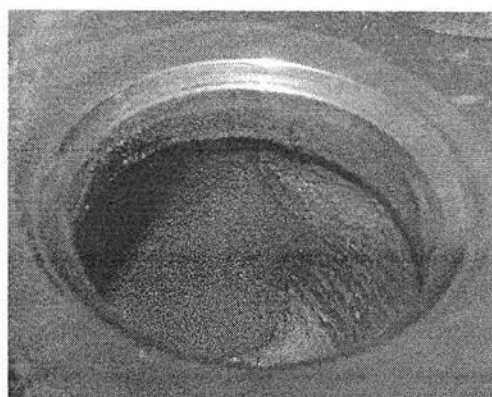
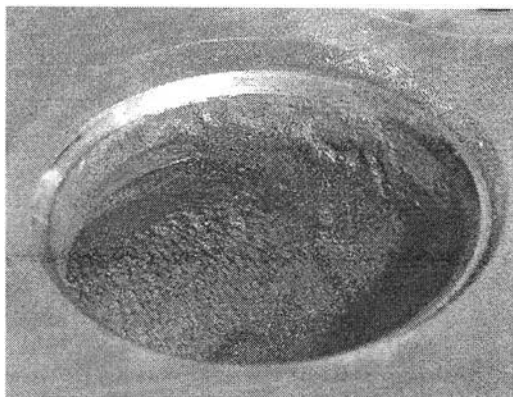
จากรูปที่ 5-65 แสดงภาพถ่ายฝาสือบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ พบปริมาณเขม่ามีลักษณะเป็นอนุภาคสีดำเกาะแข็งโดยเฉพาะบริเวณขอบของฝาสือบ และตกค้าง ติดอยู่บนพื้นที่ฝาสือบบางส่วน สำหรับหน้าวาล์วและห้องเผาไหม้ล่วงหน้าพบอนุภาคสีขาวหนา เกาะติดแข็ง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากอะลูมิเนียมที่หลอมละลายและหลุดออกมาจากลูกสูบ

สรุปได้ว่าพบความแตกต่างที่ชัดเจนจากการใช้น้ำมันร่วมกับก๊าซชีวภาพมีผลต่อฝาสือบ ซึ่ง พบอนุภาคสีขาวติดอยู่บริเวณฝาสือบในปริมาณที่มากและเป็นบริเวณกว้าง และพบปริมาณเขม่า ตามขอบกระบอกสูบและหลังห้องเผาไหม้บริเวณที่หมุนวนมีปริมาณมากกว่าฝาสือบจากเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน

6.4.5 บำวาล์วไอดีและบ่าวาล์วไอเสียที่ฝาสือบ

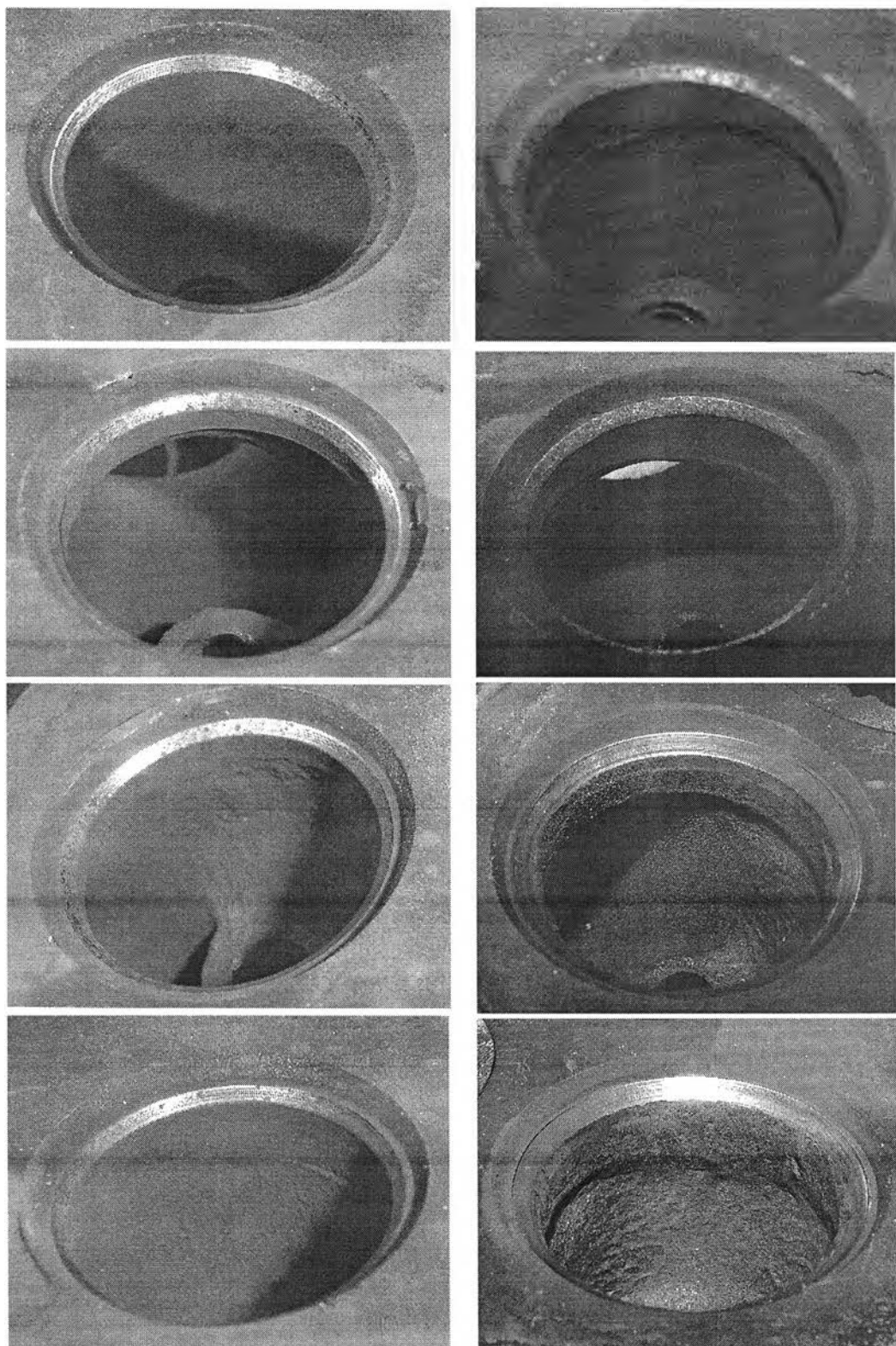
รูปที่ 6-66 และ รูปที่ 6-67 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีบนฝาสือบทั้ง 4 มุมจากเครื่องยนต์ หลังทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพตามลำดับ จาก การตรวจพินิจและเปรียบเทียบรูปทั้งสอง ไม่พบความแตกต่างที่บ่าวาล์ว โดยบ่าวาล์วของ เครื่องยนต์มีสภาพที่ใกล้เคียงกัน คือมีหน้าสัมผัสที่เรียบมีร่องรอยของการสึกหรอเป็นจุดเล็กๆ อยู่ใน ปริมาณที่น้อยทั้งสองเครื่องยนต์

รูปที่ 6-68 และรูปที่ 6-69 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียบนฝาสือบทั้ง 4 มุมจากเครื่องยนต์ หลังทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพตามลำดับ จาก การเปรียบเทียบรูปทั้งสอง ไม่พบความแตกต่างของสภาพบ่าวาล์ว พบร่องรอยของการสึกหรอเป็น จุดเล็กๆ ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันทั้งสอง



รูปที่ 6-66 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีบนฝาสูบ
จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

รูปที่ 6-67 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอดีบนฝาสูบ
จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
ร่วมกับก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 6-68 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียบนฝา
สูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

รูปที่ 6-69 แสดงภาพถ่ายบ่าวาล์วไอเสียบนฝา
สูบ จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
ร่วมกับก๊าซชีวภาพ

6.4.6 วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย

รูปที่ 6-70 และรูปที่ 6-71 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไอดีจากเครื่องยนต์หลังทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพตามลำดับ พบว่าบริเวณหลังวาล์วไอดีของเครื่องยนต์ทั้งสองมีปริมาณคราบเขม่าสะสมอยู่แตกต่างกันคือเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลมีคราบเขม่าเกาะกระจายหนาเป็นกลุ่มๆ ส่วนหลังวาล์วไอดีเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแทบจะไม่มีคราบเขม่าแต่จะมีลักษณะอนุภาคสีดำพอกอยู่ที่ก้านวาล์วและมีอนุภาคสีขาวเกาะที่ขอบวาล์วด้านข้างเล็กน้อย

รูปที่ 6-72 และรูปที่ 6-73 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไอเสียจากเครื่องยนต์หลังทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพตามลำดับ พบว่ามีความแตกต่างเกิดขึ้นระหว่างวาล์วทั้งสอง เมื่อใช้ดีเซลหลังวาล์วมีเขม่าปกคลุมเต็มพื้นที่ บ่าวาล์วมีสภาพสมบูรณ์ แต่สำหรับวาล์วของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพร่องรอยการสึกหรอเกิดขึ้นเมื่อพิจารณาด้านหน้าและด้านข้างของวาล์วพบว่าจะมีอนุภาคสีดำพอกอยู่ที่ก้านวาล์วในปริมาณที่สูงมากและมีคราบอนุภาคสีขาวที่ขอบวาล์วด้านข้างจนเห็นได้ชัด



รูปที่ 6-70 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีจาก
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล



รูปที่ 6-71 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดีบนฝาสูบ
จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
ร่วมกับก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 6-72 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจาก
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

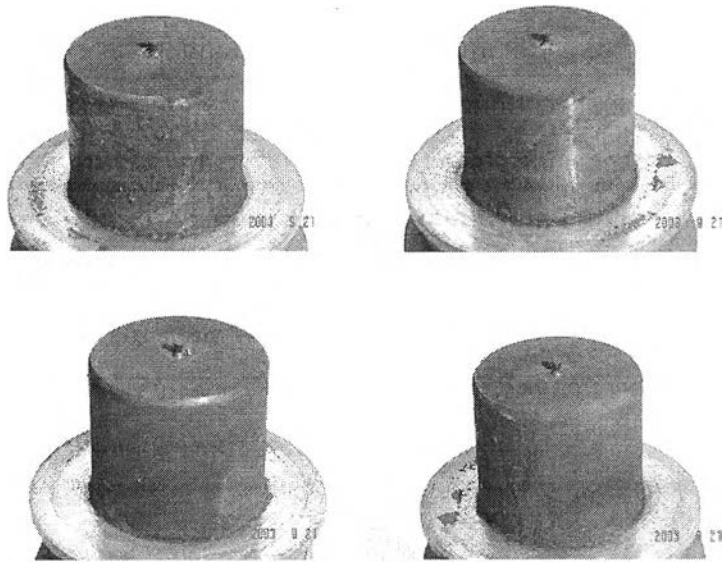


รูปที่ 6-73 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสียจาก
เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ
ก๊าซชีวภาพ

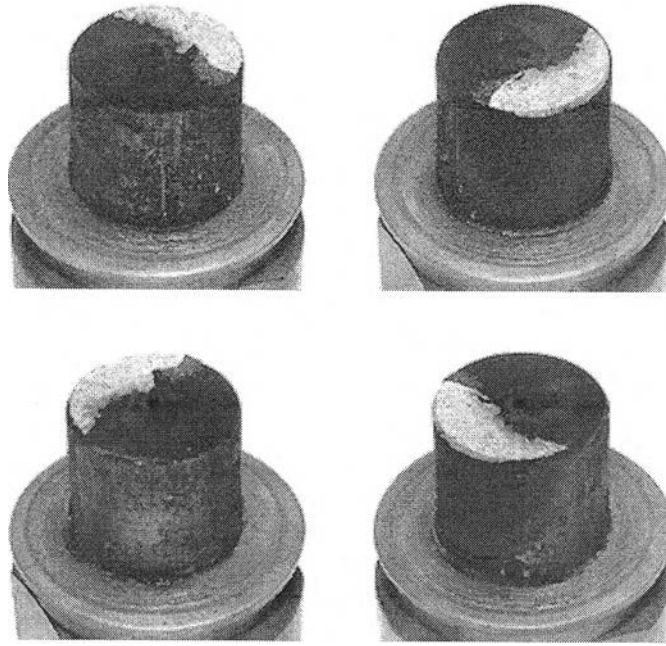
6.4.7 หัวฉีด

รูปที่ 6-74 และรูปที่ 6-75 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์หลังทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่ปลายของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ เนื่องจากมีอนุภาคสีขาวสะสมอยู่ที่ปลายของหัวฉีดซึ่งพบว่าติดอยู่ในห้องเผาไหม้ลวงหน้าบางส่วน และสภาพโดยรวมของหัวฉีดมีคราบเขม่าหนาเกาะตัวในปริมาณที่มาก ซึ่งเห็นความแตกต่างจากหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน



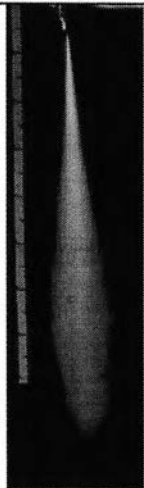
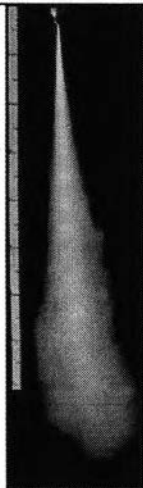

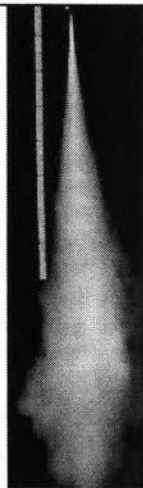
รูปที่ 6-73 แสดงภาพ spray ของหัวฉีดใหม่กับหัวฉีดที่ผ่านการทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง และพิจารณาเปรียบเทียบ spray ทั้งสองหัวฉีดพบว่าหัวฉีดที่ผ่านการทดสอบความทนทานมีลักษณะของ spray ที่ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 6-74 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดที่ผ่านการทดสอบความทนทานโดยใช้น้ำมันดีเซล 320 ชั่วโมง



รูปที่ 6-75 แสดงภาพถ่ายหัวฉัดที่ผ่านการทดสอบความทนทานโดยใช้น้ำมันดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซล
ร่วมกับก๊าซชีวภาพ 242 ชั่วโมง

หัวฉัดใหม่ ระยะ spray 60 cm.	หัวฉัดผ่านการ ทดสอบ 242 ชม. ระยะ spray 60 cm.	หัวฉัดใหม่ ระยะ spray 80 cm.	หัวฉัดผ่านการ ทดสอบ 242 ชม. ระยะ spray 80 cm.	หัวฉัดใหม่ ระยะ spray 140 cm.	หัวฉัดผ่านการ ทดสอบ 242 ชม. ระยะ spray 140 cm.
					

รูปที่ 6-76 แสดงภาพถ่าย spray ของหัวฉัดหัวฉัดใหม่และหัวฉัดที่ผ่านการทดสอบความทนทาน
โดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ 242 ชั่วโมง

ตารางที่ 6-10 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิง

ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง (kg/cm ³)	
หัวฉีดใหม่	หลังทดสอบความทนทาน 242 ชั่วโมง
140-150	140-150

จากตารางที่ 6-10 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงเปรียบเทียบระหว่างหัวฉีดใหม่ และหัวฉีดหลังทดสอบความทนทาน พบว่าหลังจากทดสอบความทนทานโดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ 242 ชั่วโมง ไม่เห็นความแตกต่างของความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งมีค่าอยู่ที่ประมาณ 140 - 150 kg/cm² แสดงว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพไม่มีผลต่อการทำงานของหัวฉีด

6.5 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

หลังจากทำการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในและทำความสะอาดเข้ามาและสิ่งสกปรกต่างๆ ออก เพื่อทำการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักของชิ้นส่วนก่อนการทดสอบที่ได้ทำการชั่งไว้ก่อนแล้ว โดยการเปรียบเทียบมุ่งเน้นตรวจ 3 กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเชื้อเพลิง คือ กลุ่มชิ้นส่วนต่างๆทั่วไป กลุ่มชิ้นส่วนหัวฉีด และกลุ่มชิ้นส่วนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ ทั่วไปแสดงดังตารางที่ 6-11, 6-12 และ 6-13 ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีดแสดงดังตารางที่ 6-14 และผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงแสดงดังตารางที่ 6-15

ตารางที่ 6-11 แสดงผลการชั่งน้ำหนักเบริงก้านสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)		% ความแตกต่าง
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 242 ชม	
ด้านนอก	17.467	17.313	-0.882
ด้านใน	17.459	17.416	-0.249

ตารางที่ 6.12 แสดงผลการชั่งน้ำหนักของวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้
น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)		% ความแตกต่าง
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 242 ชม	
วาล์วไอดี	72.202	72.672	0.65
วาล์วไอเสีย	56.892	57.343	0.79

ตาราง 6-13 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 320 ชั่วโมง			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ ก๊าซชีวภาพ 242 ชั่วโมง		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% ความแตกต่าง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 242 ชม.	% ความแตกต่าง
แหวนอัด 1	17.743	17.682	-0.344	17.809	17.143	-3.7
แหวนอัด 2	15.916	15.852	-0.402	15.741	15.515	-1.4
แหวนอัด 3	14.780	14.723	-0.386	14.717	14.596	-0.8
แหวนน้ำมัน	24.477	24.446	-0.127	24.500	24.247	-1.0
บุช ก้านสูบ	32.774	32.773	-0.030	32.411	31.606	-2.4
ลูกสูบ	636.730	636.430	-0.047	655.88	645.543	-1.5
สลักลูกสูบ	236.140	236.040	-0.042	236.620	236.597	-0.01

ตารางที่ 6-14 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีด

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 320 ชั่วโมง			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ ก๊าซชีวภาพ 242 ชั่วโมง		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% ความแตกต่าง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 242 ชม.	% ความแตกต่าง
เข็มหัวฉีด	5.164	5.163	-0.020	5.165	5.165	-0.003
ชิ้นส่วนต่อเข็มหัวฉีด	14.129	14.128	-0.007	14.361	14.360	-0.001

ตารางที่ 6-15 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 320 ชั่วโมง			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ ก๊าซชีวภาพ 242 ชั่วโมง		
	ก่อนการ ทดสอบ	หลัง 320 ชม.	% ความ แตกต่าง	ก่อนการ ทดสอบ	หลัง 242 ชม.	% ความ แตกต่าง
วาล์วกันย้อนกลับ	2.074	2.074	0.000	2.063	2.062	-0.019
เรือนวาล์วกันย้อนกลับ	7.816	7.816	0.000	7.775	7.774	-0.012
ลูกสูบ	10.713	10.713	0.000	10.783	10.782	-0.007
กระบอกลูกสูบ	24.173	24.173	0.000	24.235	24.233	-0.005

จากตารางที่ 6-11 พบว่าเบริงก้านสูบมีการสึกหรอและมีน้ำหนักลดลง โดยเบริงด้านนอกลดลงประมาณ 0.88 เปอร์เซ็นต์ และเบริงด้านในลดลงประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 6-12 พบว่าน้ำหนักวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น โดยวาล์วไอดีมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 0.65 เปอร์เซ็นต์ และวาล์วไอเสียมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 0.8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากอนุภาคของสารสีเทาที่พอกอยู่บริเวณหน้าวาล์วทั้งสอง

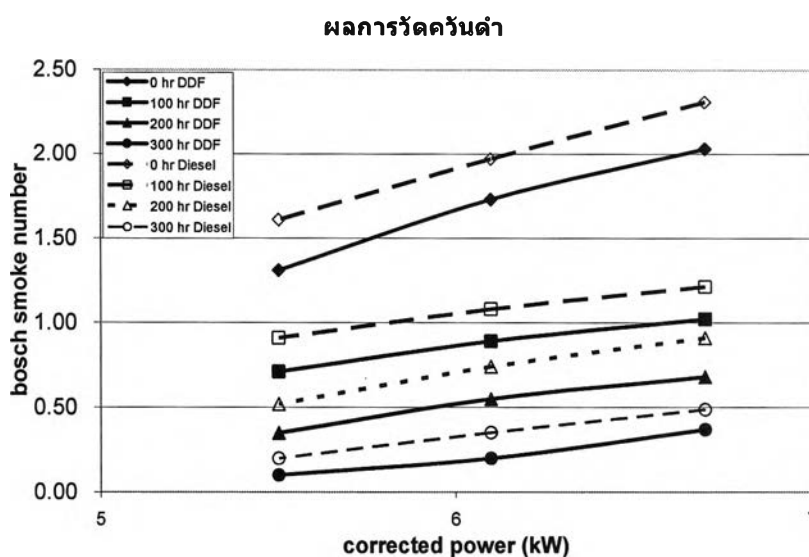
จากตารางที่ 6-13 พบว่าผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีน้ำหนักลดลงในปริมาณสูงกว่าชิ้นส่วนจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยเฉพาะเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพแวนอดตัวที่ 1 ซึ่งลดลงถึง 3.738 เปอร์เซ็นต์มากกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลซึ่งลดลง 0.344 เปอร์เซ็นต์ บุชก้านสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีน้ำหนักลดลงประมาณ 2.485 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลซึ่งลดลง 0.03 เปอร์เซ็นต์ และลูกสูบพบว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพมีน้ำหนักลดลงประมาณ 1.576 เปอร์เซ็นต์เนื่องมาจากส่วนที่หายไปจากรอยความเสียหายที่เกิดบนหัวลูกสูบดังที่ได้กล่าวข้างต้น

จากตารางที่ 6-14 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีด พบว่าไม่เห็นถึงความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด

จากตารางที่ 6-15 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิงหัวฉีด พบว่าไม่เห็นถึงความแตกต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด

6.6 การทดสอบหาค่าควันดำ

จากการวัดค่าควันดำที่สภาวะภาระต่างๆ ตามจุดทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพ ซึ่งแบ่งกันเป็น 3 สภาวะภาระคือ 1.ภาระ 6.7 กิโลวัตต์ 2. ภาระ 6.1 กิโลวัตต์ และ 3. ภาระ 5.4 กิโลวัตต์ สามารถนำมาเปรียบเทียบและแสดงไว้ในรูปที่ 6-73



รูปที่ 6-77 แสดงค่าควันดำจากการวัดที่สภาวะภาระต่างๆ ระหว่างการทดสอบความทนทาน ทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับใช้น้ำมันดีเซล

ค่าควันดำจากการวัดด้วยเครื่องวัดควันดำแบบกระดาษกรองมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ดังนั้นในการทดสอบจึงทำการวัดค่าควันดำถึง 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ยต่อหนึ่งจุดทดสอบ ซึ่งผลจากการวัดจากทั้งสองเชื้อเพลิงในรูปที่ 6-73 พบว่า ที่ภาระสูงค่าควันดำจะมีค่าสูงกว่าค่าควันดำที่ภาระต่ำของทั้งสองเชื้อเพลิง และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวภาพค่าควันดำต่ำกว่าจากการใช้น้ำมันดีเซลในทุกภาระของการทดสอบความทนทาน ซึ่งแต่ละจุดมีความแตกต่างของค่าควันดำประมาณ 0.1-0.3 และสังเกตพบว่าหลังจากผ่านการทดสอบความทนทานในแต่ละช่วงค่าควันดำมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่ทดสอบ