

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

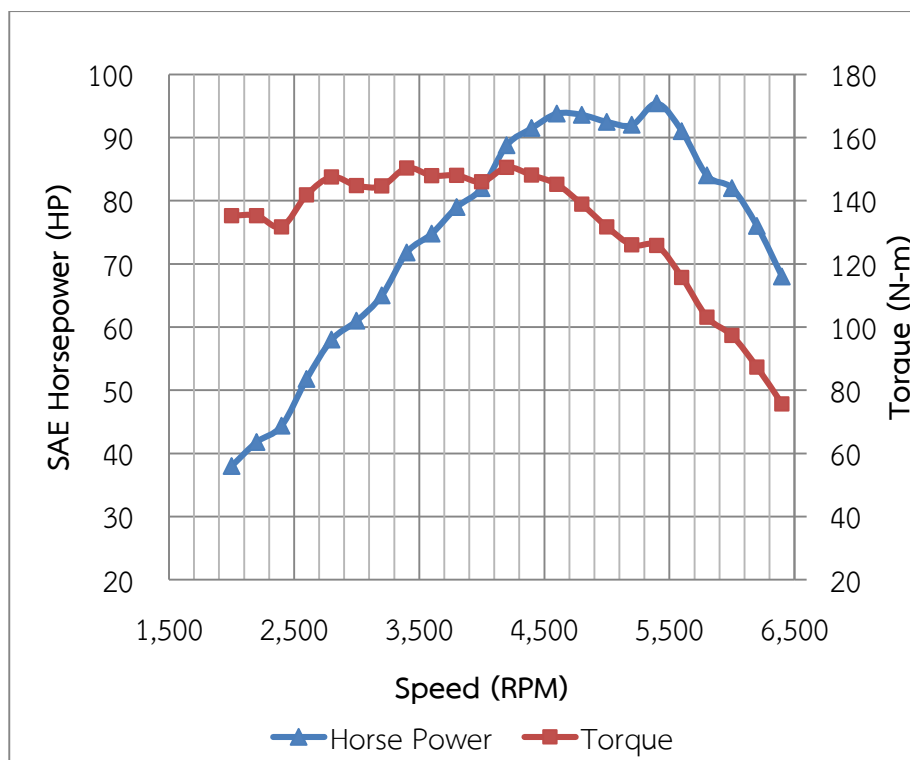
ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกเป็นการศึกษาผลสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยไม่มีการเปลี่ยนกล่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบสมรรถนะสูงสุด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษในไอเสีย ส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่มีการเปลี่ยนกล่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม ด้วยกระบวนการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงและองศาการจุดระเบิด ประกอบไปด้วยการทดสอบการเปลี่ยนองศาจุดระเบิดเพื่อสมรรถนะสูงสุด การปรับเปลี่ยนส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง และการหาองศาจุดระเบิดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเชื้อเพลิง CBG-85 ตามที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 3.4.1 – 3.4.2 มีผลลัพธ์ดังนี้

4.1 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

4.1.1 ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

4.1.1.1 การทดสอบเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10

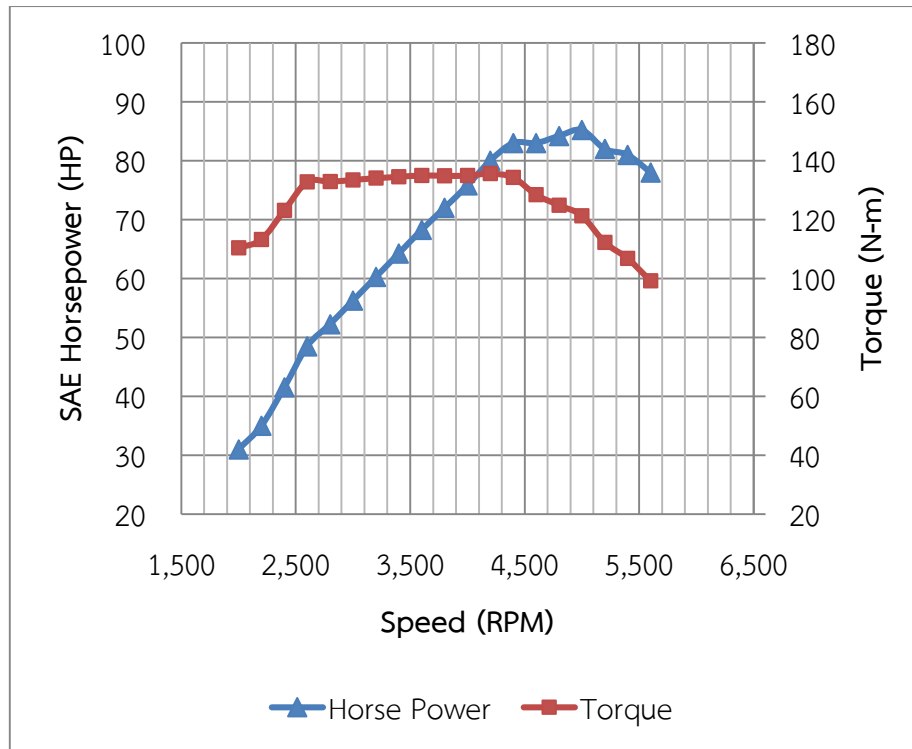
การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะเห็นได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 95.40 HP ที่ 5,400 RPM และแรงบิดสูงสุด 150.60 N-m ที่ 4,200 RPM จากรูปที่ 4.1 จะพบว่ากำลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นจนถึง 4,500 RPM และค่อนข้างคงตัวจนกระทั่ง 5,500 RPM และลดลงจนหมดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ และแนวโน้มแรงบิดที่ได้จะเป็นลักษณะของแรงบิดที่เพิ่มขึ้นและคงตัวจนกระทั่ง 4,500 RPM และมีแนวโน้มลดลงจนหมดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์จะอยู่ระหว่าง 0.88-1.00 ในช่วงการทำงานภาระสูงสุด



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบทดสอบกำลังและแรงบิด แปรผันตามรอบเครื่องยนต์โดยใช้ แก๊สโซฮอล์ 91 E10 เป็นเชื้อเพลิง

4.1.1.2 การทดสอบเชื้อเพลิง NGV

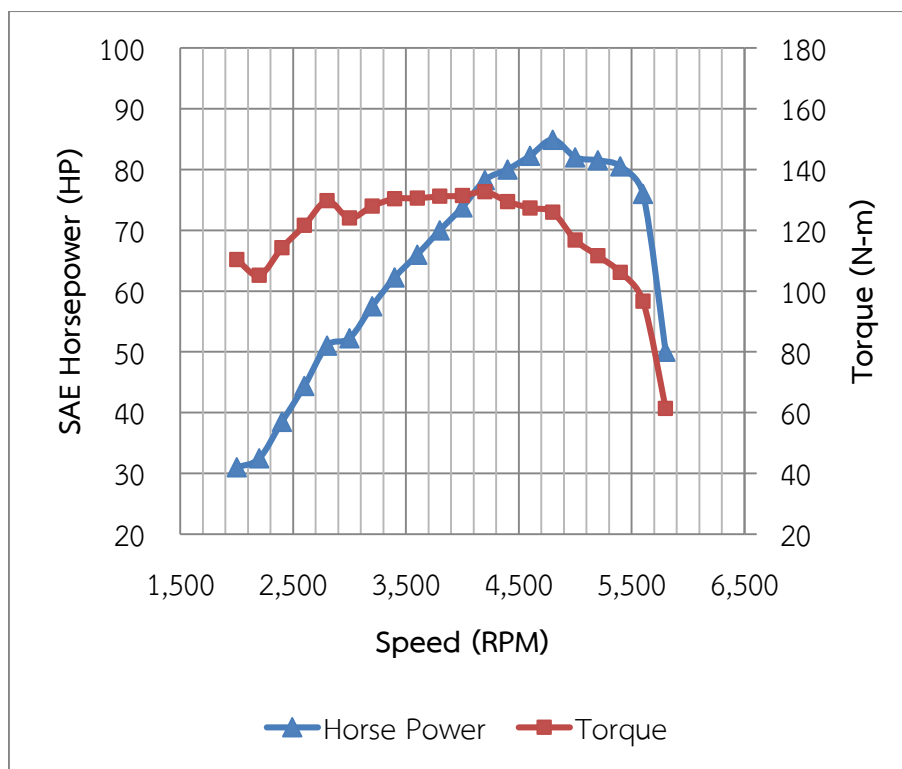
การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยการใช้เชื้อเพลิง NGV โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง กล้องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะเห็นได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 85.20 HP ที่ 5,000 RPM และแรงบิด สูงสุด 135.70 N-m ที่ 4,200 RPM จากรูปที่ 4.2 จะพบว่ากำลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น จนถึง 4,400 RPM หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยลงจนกระทั่ง 4,750 RPM และลดลงจนหมด รอบการทำงานของเครื่องยนต์ แนวโน้มแรงบิดที่ได้จะเป็นลักษณะเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 2,500 RPM หลังจากนั้นค่อนข้างจะคงตัวจนกระทั่ง 4,400 RPM และมีแนวโน้มลดลงจนหมดรอบ การทำงานของเครื่องยนต์ โดยอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์จะอยู่ระหว่าง 1.00-1.05 ในช่วงการทำงานภาระสูงสุด



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบทดสอบกำลังและแรงบิด แปรผันตามรอบเครื่องยนต์ โดยใช้ NGV เป็นเชื้อเพลิง

4.1.1.3 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 90% methane by vol.

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยการใช้เชื้อเพลิง CBG 90% methane by vol. โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะเห็นได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 84.90 HP ที่ 4,800 RPM และแรงบิดสูงสุด 132.70 N-m ที่ 4,200 RPM จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าแนวโน้มกำลังเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นจนถึง 4,600 RPM และลดลงจนหมดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ และแนวโน้มแรงบิดที่ได้จะเป็นลักษณะเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 2,650 RPM หลังจากนั้นค่อนข้างจะคงตัวจนกระทั่ง 4,700 RPM และมีแนวโน้มลดลงจนหมดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์จะอยู่ระหว่าง 1.00-1.05 ในช่วงการทำงานภาระสูงสุด



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบทดสอบกำลังและแรงบิด แปรผันตามรอบเครื่องยนต์ โดยใช้ CBG-90 เป็นเชื้อเพลิง

4.1.1.4 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 85% methane by vol.

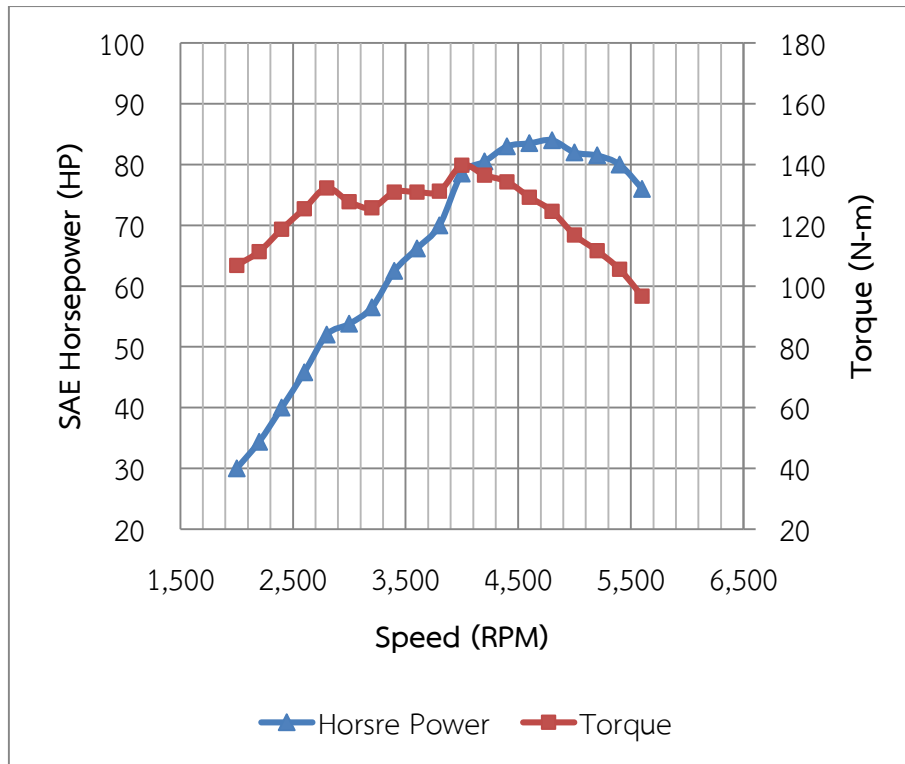
การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยการใช้เชื้อเพลิง CBG 85% methane by vol. โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะเห็นได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 84.40 HP ที่ 4,800 RPM และแรงบิดสูงสุด 132.20 N-m ที่ 4,200 RPM จากรูปที่ 4.4 จะพบว่าแนวโน้มกำลังเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นจนถึง 4,600 RPM และลดลงจนหมดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ และแนวโน้มแรงบิดที่ได้จะเป็นลักษณะเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 4,400 RPM หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงจนหมดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์จะอยู่ระหว่าง 1.00-1.05 ในช่วงการทำงานภาระสูงสุด



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบทดสอบกำลังและแรงบิด แปรผันตามรอบเครื่องยนต์ โดยใช้ CBG-85 เป็นเชื้อเพลิง

4.1.1.5 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 83% methane by vol.

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยการใช้เชื้อเพลิง CBG 83% methane by vol. โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะเห็นได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 84.00 HP ที่ 4,700 RPM และแรงบิดสูงสุด 139.80 N-m ที่ 4,000 RPM จากรูปที่ 4.5 จะพบว่าแนวโน้มกำลังเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นจนถึง 3,800 RPM หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงจนกระทั่ง 4,800 RPM และลดลงจนหมดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ และแนวโน้มแรงบิดที่ได้จะเป็นลักษณะเชิงเส้นที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 2,800 RPM หลังจากนั้นมีการแกว่งของข้อมูลขึ้น-ลงจนกระทั่ง 4,000 RPM และมีแนวโน้มลดลงจนหมดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง สัมพัทธ์จะอยู่ระหว่าง 1.00-1.05 ในช่วงการทำงานภาระสูงสุด



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบทดสอบกำลังและแรงบิด แปรผันตามรอบเครื่องยนต์ โดยใช้ CBG-83 เป็นเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์

แรงบิด

ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด เทียบกับรอบการทำงานต่างๆ ที่ระยะเวลาต่างๆ จากการทดสอบพบว่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด ด้วยกล่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมที่ติดตั้งมาจากโรงงาน มีค่าลดลงแปรผกผันกับรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ ในช่วง 2,600-4,400 RPM จะให้แรงบิดสูงสุดในลักษณะที่เกือบจะคงที่ซึ่งเป็นผลดีต่อการใช้งานทั่วไป แต่ลักษณะของแรงบิดจากเชื้อเพลิง NGV และ CBG เมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 แล้วจะมีความแตกต่างไปโดยมีการลดลงของแรงบิดในช่วง 2,000-2,600 RPM โดยแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์แสดงได้ดังตาราง 4.1

กำลัง

ค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิดด้วยกล่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมจากโรงงานเทียบกับรอบการทำงานที่ระยะเวลาต่างๆ จากการทดสอบพบว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด มีลักษณะเหมือนกันกับแรงบิดของเครื่องยนต์ เนื่องจากที่รอบการทำงานของ

เครื่องยนต์เดียวกัน กำลังของเครื่องยนต์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับแรงบิดของเครื่องยนต์ โดยกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์แสดงได้ดังตาราง 4.1

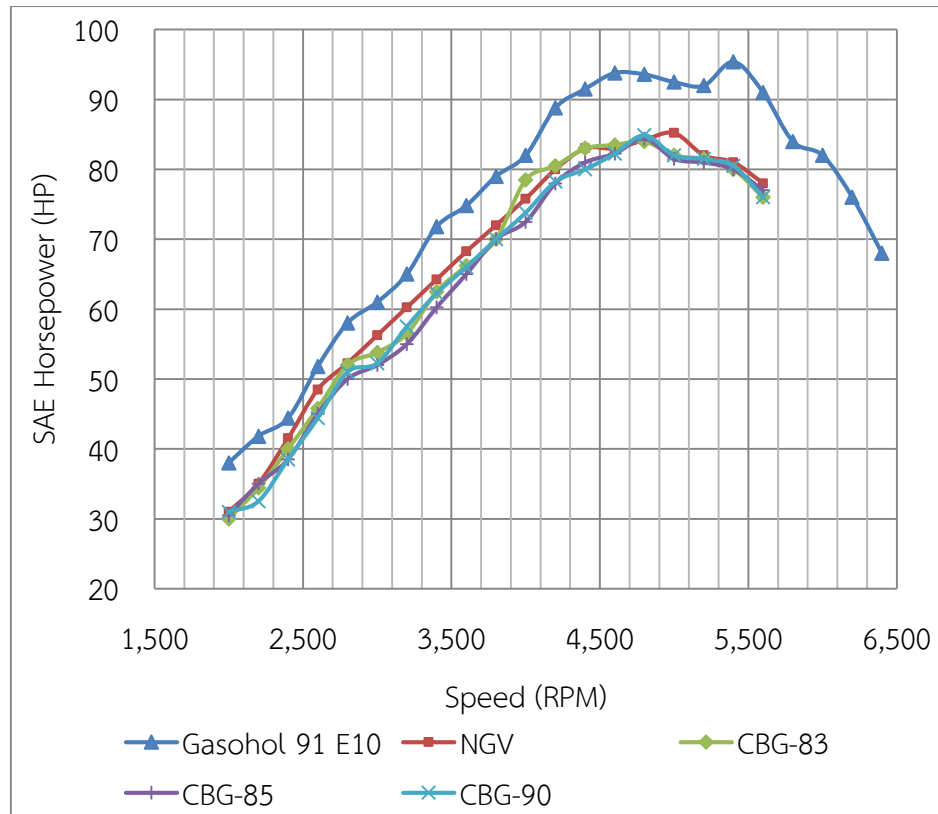
ตารางที่ 4.1 สรุปกำลังและแรงบิดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบรถยนต์ด้วยกล่อง ECU เดิมที่คิดมาพร้อมกับรถยนต์

เชื้อเพลิง	กำลังสูงสุด (SAE HP)	แรงบิดสูงสุด (N-m)
Gasohol 91E10	95.40	150.60
NGV	85.20	135.70
CBG-90	84.90	132.70
CBG-85	84.40	132.30
CBG-83	84.00	139.80

4.1.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

4.1.2.1 การเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์

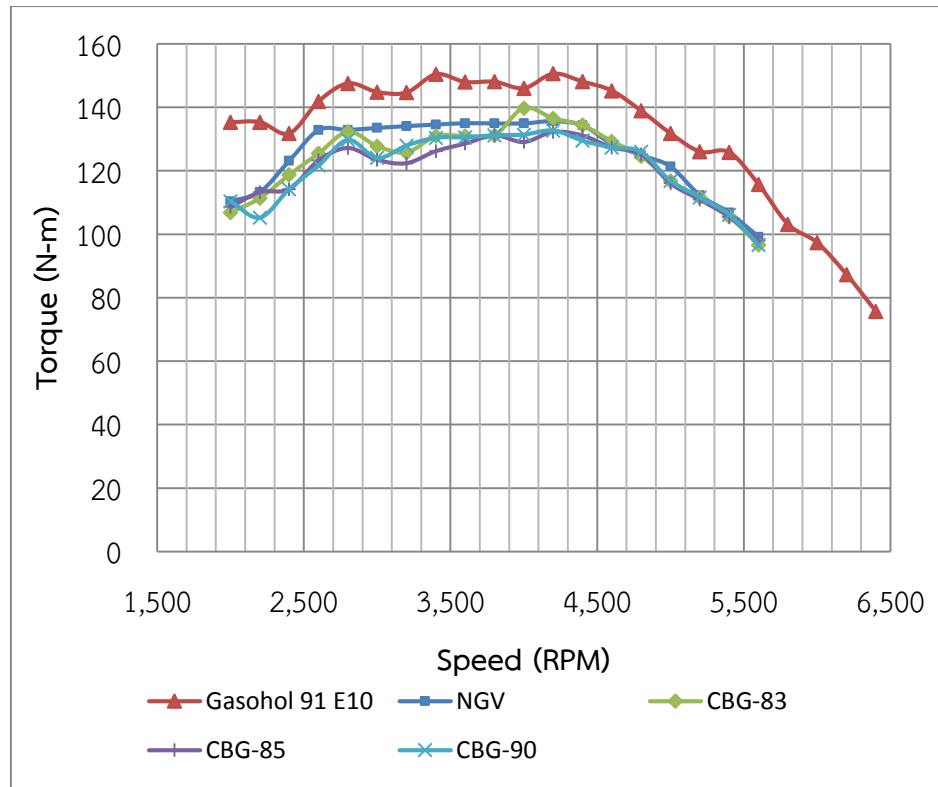
จากการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ แก๊สโซฮอล์ 91 E10, NGV, CBG-83, CBG-85 และ CBG-90 พบว่าการให้กำลังของแต่ละเชื้อเพลิงมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่รอบการทำงานเครื่องยนต์ที่ 2,000 RPM จนกระทั่งรอบเครื่องยนต์ที่ 4,700 RPM หลังจากนั้นจึงเริ่มลดลงจนกระทั่งรอบการทำงานสูงสุดของเครื่องยนต์ โดยกำลังที่ได้จากเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 จะมีค่าที่สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงประเภทแก๊สทั้งหมดในทุกย่านการทำงานเครื่องยนต์ประมาณร้อยละ 11 ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบกำลัง แปรผันตามรอบเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด

4.1.2.2 การเปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์

จากการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ แก๊สโซฮอล์ 91 E10, NGV, CBG-83, CBG-85 และ CBG-90 พบว่าการให้แรงบิดของแต่ละเชื้อเพลิงมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือมีค่าคงที่ตั้งแต่รอบการทำงานเครื่องยนต์ที่ 2,700 RPM จนกระทั่งรอบเครื่องยนต์ที่ 4,400 RPM หลังจากนั้นจึงเริ่มลดลงจนกระทั่งรอบการทำงานเครื่องยนต์สูงสุด โดยแรงบิดที่ได้จากเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 จะมีค่าที่สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงประเภทแก๊สทั้งหมดในทุกย่านการทำงานเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบแรงบิด แปรผันตามรอบเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด

การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์

กำลัง

ค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด เทียบกับรอบการทำงานต่างๆ ที่ระยะเวลาต่างๆ จากการทดสอบพบว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 จะให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์สูงกว่าในทุกๆ รอบเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง NGV และ CBG ทั้ง 3 คุณภาพ โดยพบว่าการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 จะให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่มีค่ามากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง NGV ที่ร้อยละ 10.69 และการใช้เชื้อเพลิงก๊าซไบโอมีเทนอัดทั้ง 3 คุณลักษณะ กล่าวได้ว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้โดยไม่มีการสูญเสียสมรรถนะอย่างชัดเจน โดยมีการสูญเสียกำลังสูงสุดลดลงจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 ที่ร้อยละ 11.95, 11.53 และ 11.01 จากการใช้เชื้อเพลิง CBG-83, CBG-85 และ CBG-90 ตามลำดับ

แรงบิด

ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด เทียบกับรอบการทำงานต่างๆ ที่ระยะเวลาต่างๆ จากการทดสอบพบว่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 มีค่าแรงบิดที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทแก๊สทั้งหมด โดยเชื้อเพลิง NGV เป็นเชื้อเพลิงประเภทแก๊สที่ให้แรงบิดได้อย่างต่อเนื่องและดีที่สุดจากการเปรียบเทียบเชื้อเพลิงประเภทแก๊สด้วยกัน โดยมีการสูญเสียสมรรถนะสูงสุดลดลงจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 ที่ร้อยละ 9.89 และการใช้เชื้อเพลิงก๊าซไบโอมิเทนอัดทั้ง 3 คุณลักษณะ กล่าวได้ว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้โดยไม่มีการสูญเสียสมรรถนะอย่างชัดเจน โดยมีการสูญเสียแรงบิดสูงสุดลดลงจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 ที่ร้อยละ 7.17, 12.15 และ 11.89 จากการใช้เชื้อเพลิง CBG-83, CBG-85 และ CBG-90 ตามลำดับ

การสูญเสียสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงประเภทแก๊สเป็นการสูญเสียที่เกิดจากการลดลงของประสิทธิภาพเชิงปริมาตร โดยสาเหตุหลักคือการใช้เชื้อเพลิงลักษณะแก๊สได้ทำการชิงพื้นที่สำหรับการประจุอากาศภายในกระบอกสูบ อีกทั้งยังถูกเพิ่มอุณหภูมิผ่านอุปกรณ์หม้อต้มแก๊ส จึงทำให้ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรลดลง ต้องใช้ปริมาณแก๊สมากขึ้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมแก่การทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นลักษณะตรงกันข้ามกับการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 ที่เป็นเชื้อเพลิงในลักษณะของเหลว กล่าวคือปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในกระบอกสูบชิงพื้นที่อากาศที่น้อยกว่าและไม่มีความจำเป็นต้องทำการเพิ่มอุณหภูมิก่อนการใช้งาน ผลจากการทดสอบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิงต่างๆ และการเปรียบเทียบผลต่างสมรรถนะจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปกำลังและแรงบิดที่ได้จากการทดสอบรถยนต์ด้วยกล่อง ECU เดิมที่ติดมาพร้อมกับรถยนต์และเปรียบเทียบผลต่างสมรรถนะจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10

เชื้อเพลิง	กำลังสูงสุด (SAE HP)	แรงบิดสูงสุด (N-m)	ผลต่างกำลัง (%)	ผลต่างแรงบิด (%)
Gasohol 91 E10	95.40	150.60	0.00	0.00
NGV	85.20	135.70	-10.69	-9.89
CBG-90	84.90	132.70	-11.01	-11.89
CBG-85	84.40	132.30	-11.53	-12.15
CBG-83	84.00	139.80	-11.95	-7.17

4.1.3 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงโดยใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 NGV และเชื้อเพลิง CBG-85 ด้วยกล่อง ECU ที่ถูกติดตั้งมาจากโรงงาน โดยทำการทดสอบบนไดนาโมมิเตอร์แบบตัวถ่วงด้วยวิธีการอ้างอิงการทดสอบจาก EPA testing procedure 2007 จากผลการทดสอบพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 ในสภาวะนอกเมือง อยู่ที่ 11.33 กม./ลิตร หรือ 2.85 บาท/กม. และในสภาวะในเมือง อยู่ที่ 10.48 กม./ลิตร หรือ 3.62 บาท/กม. ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง NGV ในสภาวะนอกเมือง อยู่ที่ 21.73 กม./กก. หรือ 0.48 บาท/กม. และในสภาวะในเมือง อยู่ที่ 15.71 กม./กก. หรือ 0.67 บาท/กม. และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง CBG-85 ในสภาวะนอกเมือง อยู่ที่ 20.62 กม./กก. หรือ 0.51 บาท/กม. และในสภาวะในเมืองอยู่ที่ 14.67 กม./กก. หรือ 0.72 บาท/กม. โดยราคาทั้งหมดอ้างอิงประกาศราคาน้ำมันของกระทรวงพลังงานวันที่ 26 กรกฎาคม 2556 และราคาเชื้อเพลิง CBG-85 คิดเทียบเท่าราคา NGV แสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3 และตาราง 4.4

ตารางที่ 4.31 แสดงผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์

เชื้อเพลิงทดสอบ	เวลา (นาท.)	ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ระยะทาง (กม.)	เชื้อเพลิงที่ใช้	อัตราการสิ้นเปลือง เฉลี่ย
นอกเมือง					
E10	13	77	16	1.20 ลิตร	13.33 กม./ลิตร
NGV	13	77	16.3	0.75 กก.	21.73 กม./กก.
CBG-85	13	77	16.5	0.80 กก.	20.62 กม./กก.
ในเมือง					
E10	22	32	11	1.05 ลิตร	10.48 กม./ลิตร
NGV	22	32	11	0.70 กก.	15.71 กม./กก.
CBG-85	22	32	11	0.75 กก.	14.67 กม./กก.

ตารางที่ 4.4 แสดงราคาเชื้อเพลิงต่อระยะทางหนึ่งหน่วยกิโลเมตร

นอกเมือง			
เชื้อเพลิง	ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วย	อัตราสิ้นเปลือง	ราคาเชื้อเพลิง (บาท/กม.)
แก๊สโซฮอล์ 91 E10	37.98 (บาท/ลิตร)	13.33 (กม./ลิตร)	2.85
NGV	10.5 (บาท/กก.)	21.73 (กม./กก.)	0.48
CBG-85	10.5 (บาท/กก.)	20.62 (กม./กก.)	0.51
ในเมือง			
เชื้อเพลิง	ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วย	อัตราสิ้นเปลือง	ราคาเชื้อเพลิง (บาท/กม.)
แก๊สโซฮอล์ 91 E10	37.98 (บาท/ลิตร)	10.48 (กม./ลิตร)	3.62
NGV	10.5 (บาท/กก.)	15.71 (กม./กก.)	0.67
CBG-85	10.5 (บาท/กก.)	14.76 (กม./กก.)	0.72

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ระยะทางเท่ากันของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 NGV และ CBG-85 พบว่าเชื้อเพลิง CBG-85 มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิง NGV ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงในครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบบนแท่นไดนาโมมิเตอร์แบบตัวถ่วง จึงมีคลาดเคลื่อนกับการใช้งานจริงเรื่องการสูญเสียทางพลศาสตร์และผลของน้ำหนักรถ

4.1.4 ผลการทดสอบมลพิษในไอเสียรถยนต์

การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่ามลพิษในไอเสียรถยนต์

การทดสอบหาค่ามลพิษในไอเสียจากการใช้กล่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมที่มาจากโรงงานด้วยเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10, NGV, CBG-83, CBG-85 และ CBG-90 โดยทดสอบด้วยลักษณะจำลองการขับที่ใกล้เคียงกับสภาวะจริง พบว่าการใช้เชื้อเพลิง CBG-83 CBG-85 CBG-90 และ NGV มีค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสียที่ไม่แตกต่างกันมากนักคือ 0.151, 0.127, 0.143 และ 0.135 กรัมต่อกิโลเมตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ในไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง CBG-83, CBG-85, CBG-90 และ NGV ที่มีค่าไม่แตกต่างกันคือ 0.134, 0.117, 0.121 และ 0.111 กรัมต่อกิโลเมตร ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองชนิดมลพิษมีความแตกต่างอย่างมากจากการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 กับการใช้เชื้อเพลิงประเภทก๊าซทั้งหมด กล่าวคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 จะมีปริมาณสูงกว่า

เชื้อเพลิงประเภทก๊าซประมาณ 2 เท่า ซึ่งก๊าซไฮโดรคาร์บอนกลับมีน้อยกว่าเชื้อเพลิงประเภทก๊าซ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 อย่างไรก็ตามค่ามลพิษในไอเสียรถยนต์ทั้งหมดยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน Euro 3 ยกเว้น ออกไซด์ของไนโตรเจน ที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานในทุกเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงมลพิษในไอเสียที่วัดได้จากกล่อง ECU จากโรงงานที่ติดมาพร้อมกับรถยนต์

สารมลพิษ/ชนิดเชื้อเพลิง	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
Gasohol 91 E10	0.327	0.013	0.532
NGV	0.135	0.111	0.889
CBG-83	0.151	0.134	0.861
CBG-85	0.127	0.117	0.706
CBG-90	0.143	0.121	0.717

ตารางที่ 4.6 แสดงมาตรฐานมลพิษในไอเสีย (EURO 3)

ชนิดของรถ	สารมลพิษ	ค่ามาตรฐาน
Gasoline Vehicle	CO (g/km)	ไม่เกิน 2.30
	HC (g/km)	ไม่เกิน 0.20
	NO _x (g/km)	ไม่เกิน 0.15

ที่มา : สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

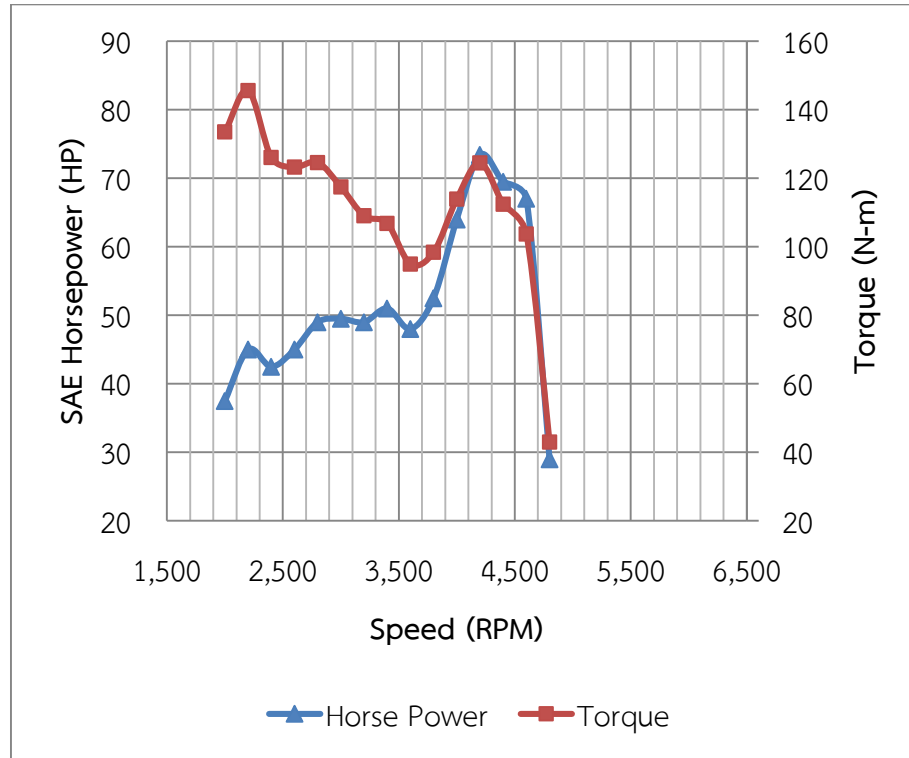
4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยมีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

4.2.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยการปรับเปลี่ยนส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง

4.2.1.1 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.80

การทดสอบพบว่า การปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 0.80 จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดคือ 73.43 HP ที่ 4,200 RPM และแรงบิดสูงสุด 145.67 N-m ที่ 2,200 RPM โดยลักษณะของเส้นกราฟกำลังมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่น้อยในระหว่างรอบเครื่องยนต์ 2,000 – 3,700 RPM จนกระทั่งรอบเครื่องยนต์อยู่ระหว่าง 3,700 – 4,200 RPM จึงจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และจากรูปแสดงให้เห็นถึงความสามารถทำงานของเครื่องยนต์ได้ถึงเพียงรอบ 4,800 RPM ซึ่งอาจเป็นเพราะเชื้อเพลิงในลักษณะแก๊สที่จ่ายในปริมาณที่มากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดทอนลง จึงทำให้ความสามารถ

ทำงานของเครื่องยนต์ต่ำลงไปด้วย โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดที่ใช้ แสดงดังในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.80

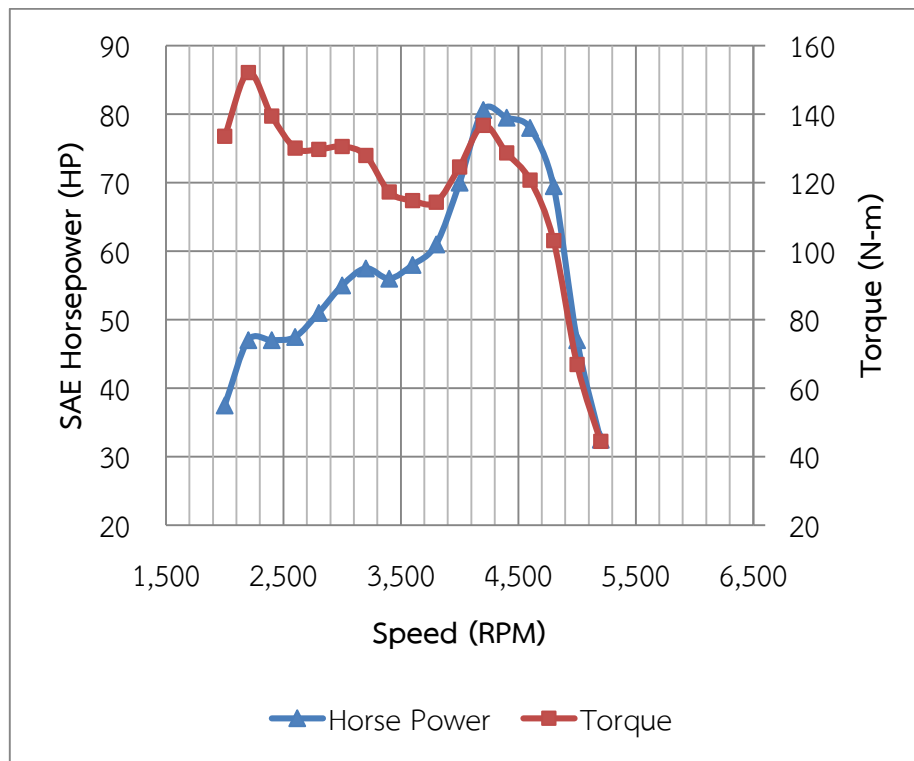
ตารางที่ 4.7 แสดงมุมมององศาจุดระเบิดที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆด้วยเชื้อเพลิง CBG-85

RPM	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
°BTDC	29.0	30.4	35.0	35.0	34.0	38.0	40.0	38.0	34.0

4.2.1.2 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.85

การทดสอบพบว่า การปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 0.80 จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดคือ 80.63 HP ที่ 4,200 RPM และแรงบิดสูงสุด 152.15 N-m ที่ 2,200 RPM โดยลักษณะของเส้นกราฟกำลังมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่น้อยในระหว่างรอบเครื่องยนต์ 2,000 – 3,700 RPM จนกระทั่งรอบเครื่องยนต์อยู่ระหว่าง 3,700 – 4,200 RPM จึงจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สูง และจากรูปแสดงให้เห็นถึงความสามารถการทำงานของเครื่องยนต์ได้ถึงเพียงรอบ 5,300 RPM ซึ่งอาจเป็นเพราะเชื้อเพลิงในลักษณะแก๊สที่จ่ายในปริมาณที่มากเกินไปทำ

ให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดลง จึงทำให้ความสามารถการทำงานของเครื่องยนต์ต่ำลงไปด้วย โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดเช่นเดียวกับการทดสอบที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.80

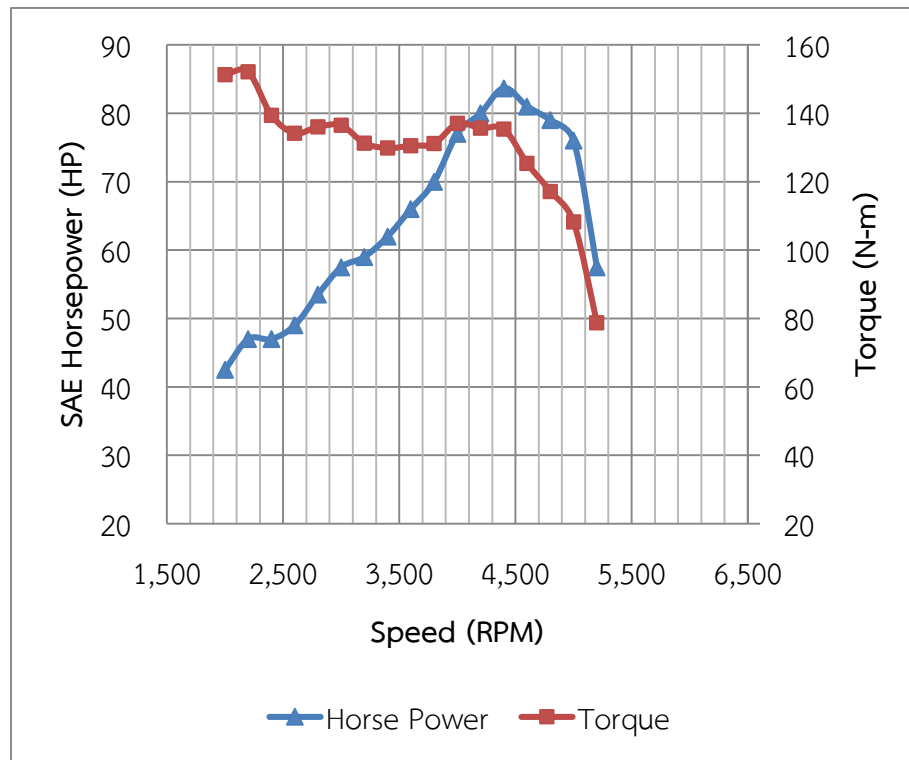


รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.85

4.2.1.3 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.90

การทดสอบพบว่า การปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 0.90 จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดคือ 80.67 HP ที่ 4,400 RPM และแรงบิดสูงสุด 152.15 N-m ที่ 2,200 RPM โดยลักษณะของเส้นกราฟกำลังมีลักษณะชันขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงรอบเครื่องยนต์ที่ 4,400 RPM แต่ความสามารถการทำงานของเครื่องยนต์ทำได้เพียงที่ 5,200 RPM ซึ่งอาจเป็นเพราะเชื้อเพลิงในลักษณะแก๊สที่จ่ายในปริมาณที่มากเกินไปทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดลง จึงทำให้ความสามารถการทำงานของเครื่องยนต์ต่ำลงไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยมี

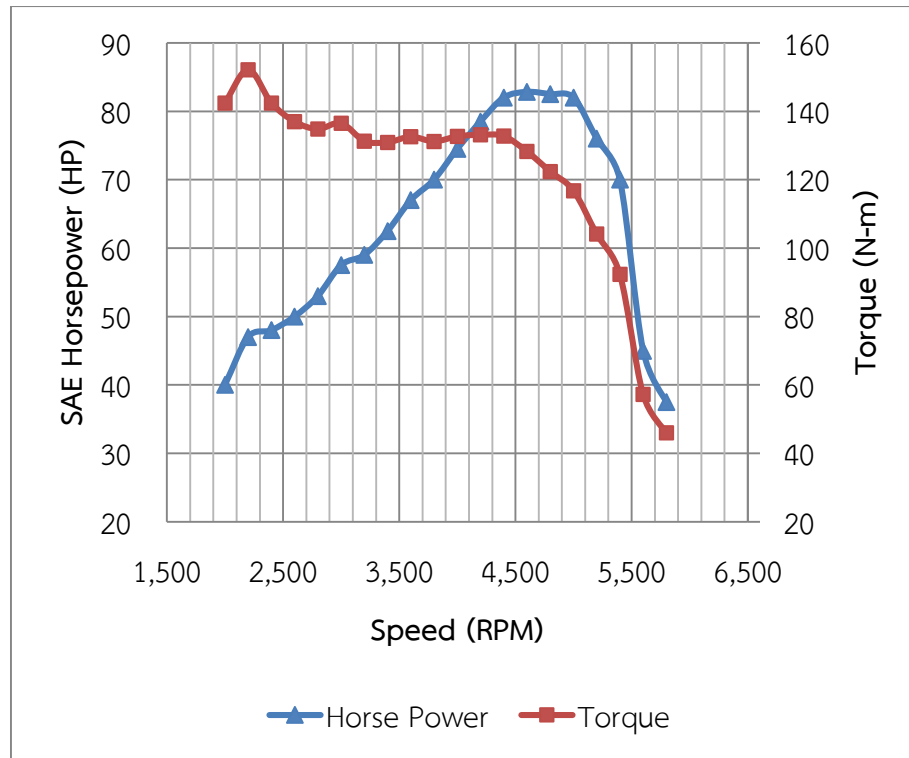
ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดเช่นเดียวกับการทดสอบที่อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.80



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.90

4.2.1.4 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.95

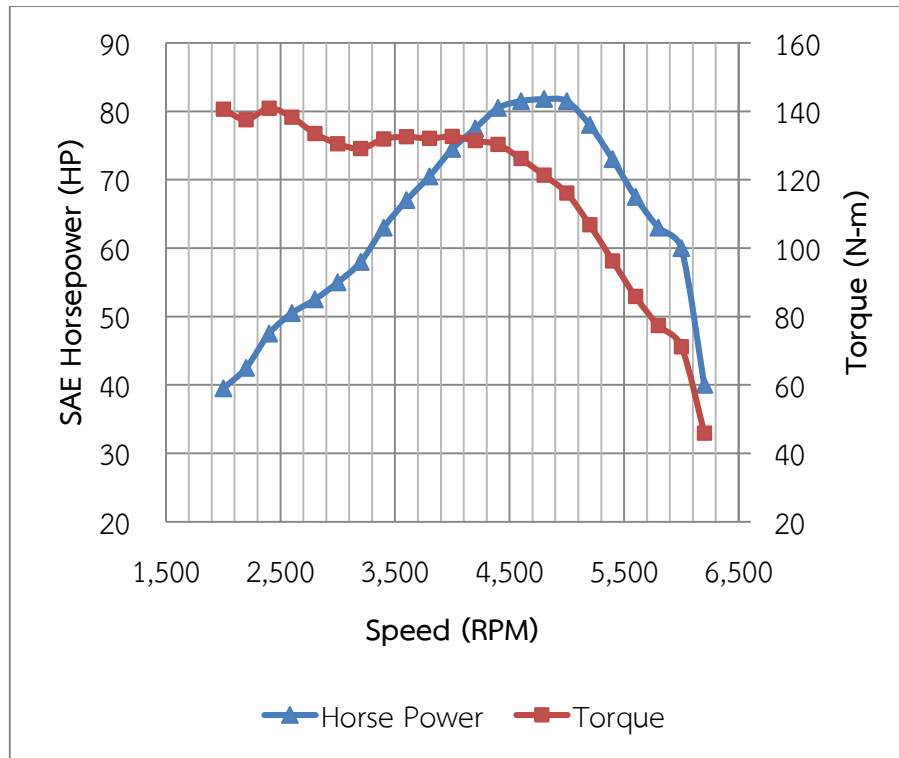
การทดสอบพบว่า การปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 0.95 จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดคือ 82.83 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 152.15 N-m ที่ 2,200 RPM โดยลักษณะของเส้นกราฟกำลังมีความชันที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่องตั้งแต่รอบเครื่องยนต์ 2,000 RPM จนกระทั่ง 4,600 RPM และเส้นกราฟแรงบิดมีลักษณะที่สูงสุดในรอบ 2,200 RPM และลดลงจนกระทั่งรอบ 3,200 RPM หลังจากนั้นมีความใกล้เคียงกันที่จนกระทั่งรอบ 4,500 RPM แล้วจึงตกที่ 5,800 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดเช่นเดียวกับการทดสอบที่อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.80



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.95

4.2.1.5 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 1.00

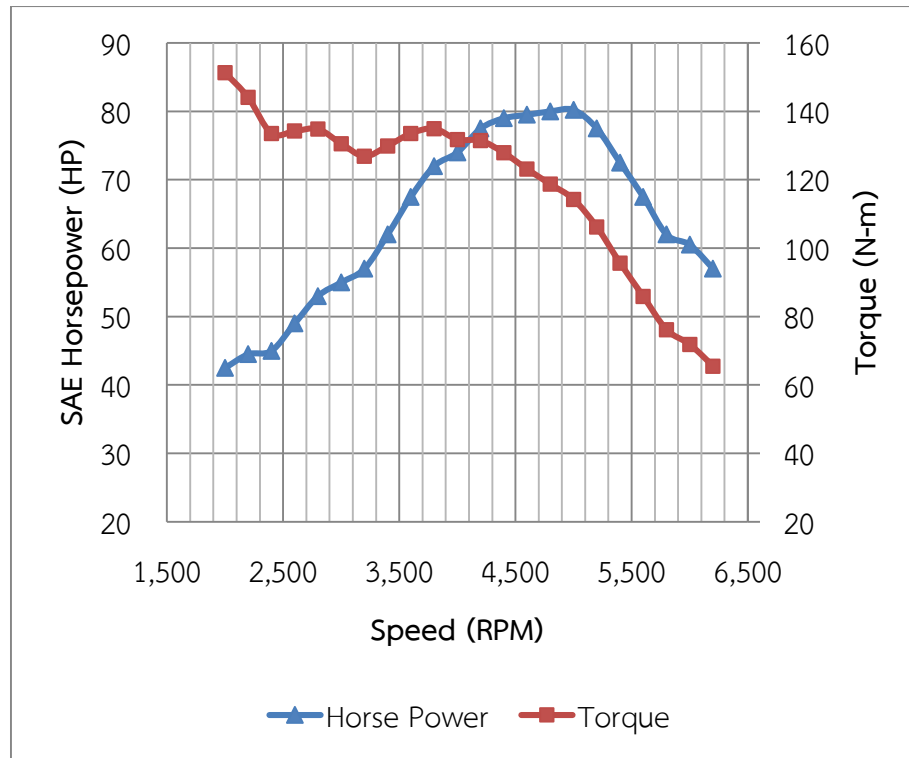
การทดสอบพบว่า การปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดคือ 81.80 HP ที่ 4,800 RPM และแรงบิดสูงสุด 140.95 N-m ที่ 2,400 RPM โดยลักษณะของเส้นกราฟกำลังมีความชันที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่องตั้งแต่รอบเครื่องยนต์ 2,000 RPM จนกระทั่ง 4,600 RPM และเส้นกราฟแรงบิดมีลักษณะที่สูงที่สุดในรอบ 2,200 RPM และลดลงจนกระทั่งรอบ 3,200 RPM หลังจากนั้นมีความใกล้เคียงกันที่จนกระทั่งรอบ 4,500 RPM แล้วจึงตกที่ 5,800 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดเช่นเดียวกับการทดสอบที่อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.80



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 1.00

4.2.1.6 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG-85 ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 1.05

การทดสอบพบว่า การปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.05 จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดคือ 80.21 HP ที่ 5,000 RPM และแรงบิดสูงสุด 151.34 N-m ที่ 2,000 RPM โดยลักษณะของเส้นกราฟกำลังมีความชันที่เพิ่มขึ้นแบบไม่ต่อเนื่อง โดยมีการเปลี่ยนอัตราความชันหลากหลาย และเส้นกราฟแรงบิดมีลักษณะที่สูงสุดในรอบ 2,200 RPM และลดลงจนกระทั่งรอบ 3,200 RPM หลังจากนั้นก็มีค่าที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งรอบ 3,800 RPM แล้วจึงตกที่ 5,800 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.13 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิด เช่นเดียวกับการทดสอบที่อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 0.80



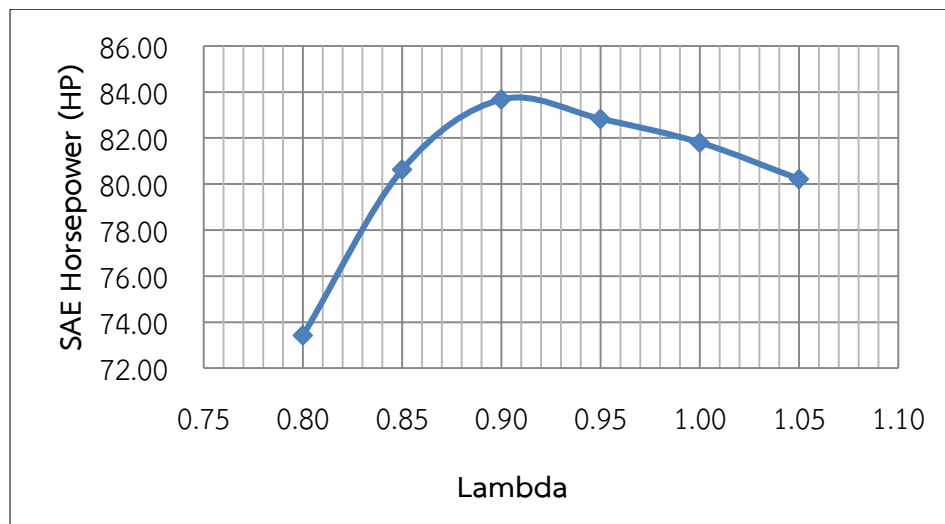
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิง CBG-85 ที่
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 1.05

การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยการปรับเปลี่ยนส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยการปรับเปลี่ยนส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง โดยใช้เชื้อเพลิง CBG-85 พบว่า การใช้อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศสัมพัทธ์ที่ 0.90 เป็นอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ให้กำลังที่สูงที่สุด รองลงมาคืออัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 0.95, 1.00, 0.85, 1.05 และ 0.80 ตามลำดับ โดยที่แรงบิดสูงสุดที่ได้จะอยู่ในย่านอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 0.85-0.95 ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และแสดงได้ดังรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.8 แสดงผลสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

Lambda	กำลังสูงสุด (SAE HP)	แรงบิดสูงสุด (N-m)
0.80	73.43	145.67
0.85	80.63	152.15
0.90	83.67	152.15
0.95	82.83	152.15
1.00	81.80	140.95
1.05	80.21	151.34



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศสัมผัส

4.2.2 การทดสอบหาองศาจุกระเปิดที่ส่งผลดีที่สุดต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.9 แสดงองศาจุกระเปิดล่วงหน้าในรอบเครื่องยนต์ต่างๆ โดยภาระที่ลิ้นเร่ง 25%

2,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)	3,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)	3,500 RPM	SAE HP	Torque (N-m)
22.0 °	29.0	103.3	34.0 °	24.6	58.4	28.0 °	18.0	36.6
24.0 °	29.9	106.5	36.0 °	26.0	61.7	30.0 °	21.2	43.1
26.0 °	30.1	107.2	38.0 °	26.4	62.7	32.0 °	22.2	45.2
28.0 °	30.2	107.5	40.0 °	27.0	64.1	34.0 °	18.3	37.2
30.0 °	29.7	105.8	42.0 °	26.5	62.9	36.0 °	18.1	36.8

ตารางที่ 4.10 แสดงองศาจุกระเปิดล่วงหน้าในรอบเครื่องยนต์ต่างๆ โดยภาระที่ลิ้นเร่ง 50%

3,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)	4,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)	5,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)
34.0 °	49.2	116.8	32.0 °	75.2	133.9	34.0 °	75.2	107.1
36.0 °	51.3	121.8	34.0 °	76.1	135.5	36.0 °	76.4	108.8
38.0 °	52.1	123.7	36.0 °	75.9	135.1	38.0 °	76.2	108.5
40.0 °	51.8	123.0	38.0 °	75.7	134.8	40.0 °	74.6	106.3
42.0 °	51.6	122.5	40.0 °	75.5	134.4	42.0 °	73.5	104.7

ตารางที่ 4.11 แสดงองศาจุกระเปิดล่วงหน้าในรอบเครื่องยนต์ต่างๆ โดยภาระที่ลิ้นเร่ง 75%

3,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)	4,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)	5,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)
30.0 °	62.9	149.3	28.0 °	83.8	149.2	34.0 °	90.9	129.5
32.0 °	64.0	151.9	30.0 °	84.0	149.6	36.0 °	91.2	129.9
34.0 °	63.8	151.5	32.0 °	83.8	149.2	38.0 °	92.2	131.3
36.0 °	63.6	151.0	34.0 °	83.9	149.4	40.0 °	91.2	129.9
38.0 °	63.1	149.8	36.0 °	83.4	148.5	42.0 °	90.7	129.2

ตารางที่ 4.12 แสดงองศาจุดระเบิดล่วงหน้าในรอบเครื่องยนต์ต่างๆ โดยภาระที่สิ้นเร่ง 100%

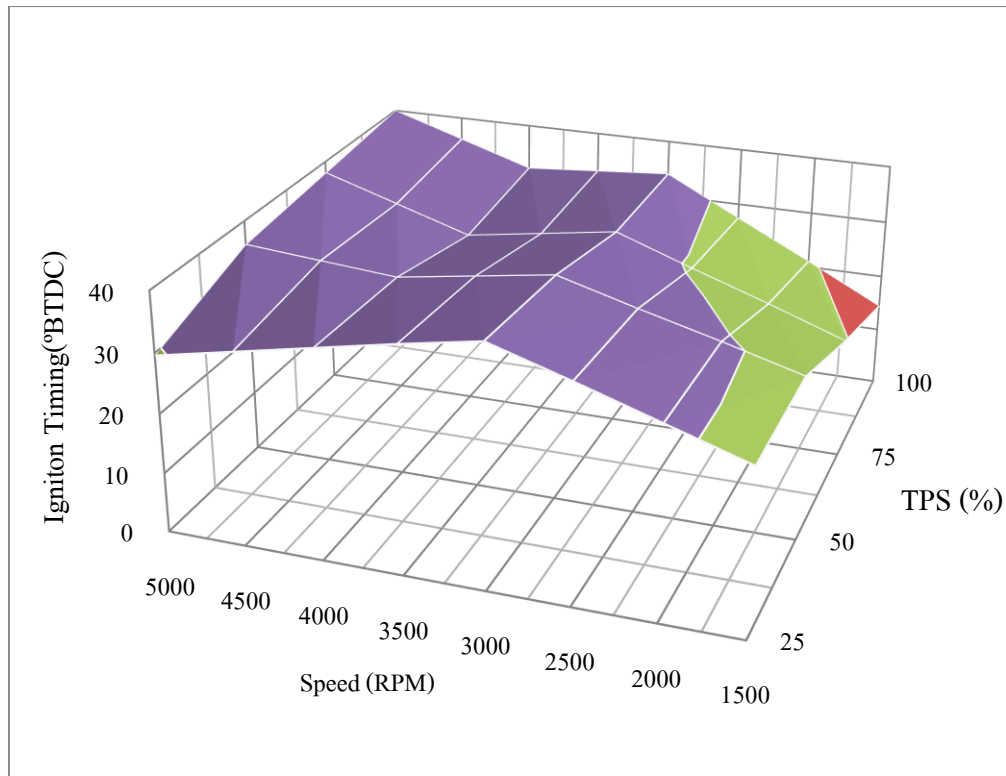
3,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)	4,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)	5,000 RPM	SAE HP	Torque (N-m)
32.0 °	62.9	149.3	28.0 °	82.9	147.6	34.0 °	94.2	134.2
34.0 °	64.0	151.9	30.0 °	83.5	148.7	36.0 °	94.6	134.7
36.0 °	63.8	151.5	32.0 °	84.2	149.9	38.0 °	94.9	135.2
38.0 °	63.6	151.0	34.0 °	83.9	149.4	40.0 °	95.4	135.9
40.0 °	63.1	149.8	36.0 °	83.7	149.0	42.0 °	94.2	134.2

หลังจากข้อมูลที่ได้ทั้งหมด จึงทำการเลือกองศาจุดระเบิดที่ดีที่สุดสำหรับตำแหน่งสิ้นเร่ง และรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ดังแสดงได้ในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงองศาจุดระเบิดที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆ โดยภาระที่สิ้นเร่งต่างๆ

RPM/TPS	25(%)	50(%)	75(%)	100(%)
5,000	29.6 °	36.0 °	38.0 °	40.0 °
4,500	32.2 °	35.0 °	34.0 °	36.0 °
4,000	34.8 °	34.0 °	30.0 °	32.0 °
3,500	37.4 °	36.0 °	32.0 °	33.0 °
3,000	39.8 °	38.0 °	34.0 °	34.0 °
2,500	35.8 °	34.4 °	29.4 °	27.4 °
2,000	31.6 °	31.0 °	25.0 °	21.0 °
1,500	27.4 °	27.4 °	20.4 °	14.4 °

จากข้อมูลในตารางที่ 4.13 สามารถปรับเปลี่ยนให้เป็นกราฟ 3 มิติ จะได้ผลดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงข้อมูลองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่เหมาะสมที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และภาระที่ลิ้นเร่งตำแหน่งต่างๆ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาองศาจุดระเบิดที่ส่งผลดีที่สุดต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

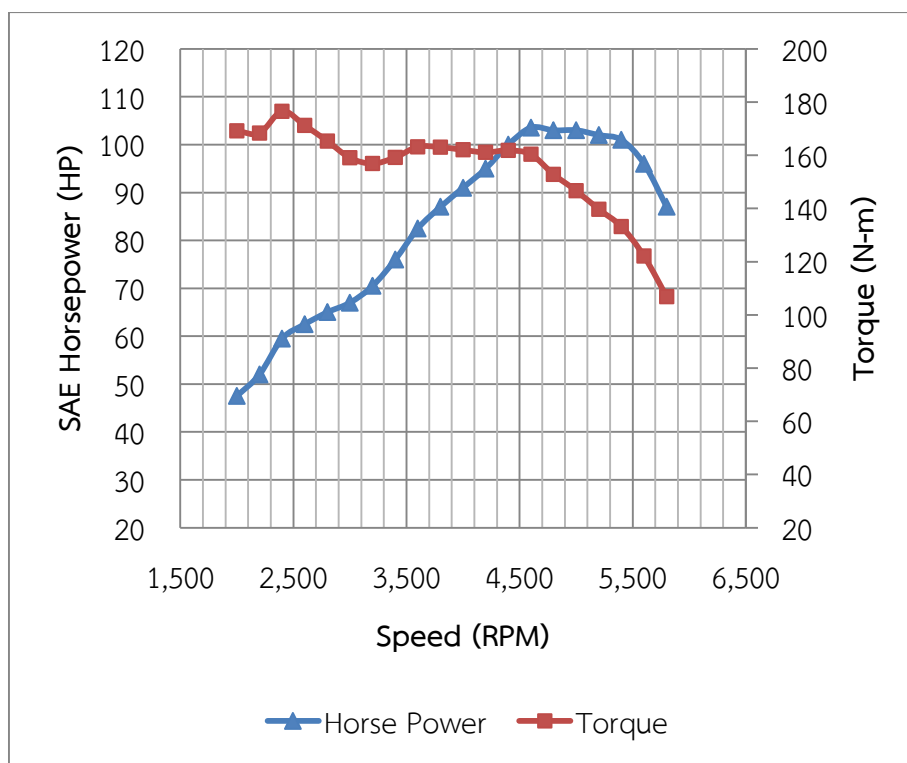
จากการทดสอบหาองศาจุดระเบิดที่ส่งผลดีที่สุดต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นของการจุดระเบิดล่วงหน้าที่สูง ซึ่งจะเห็นได้จากในขณะที่ยกเร่งสูงสุดที่รอบสูง ยังคงต้องมีการจุดระเบิดล่วงหน้าสูงถึง 40 องศา ก่อนศูนย์ตายบนจึงจะส่งผลให้เกิดสมรรถนะสูงสุด ซึ่งเป็นผลมาจากค่าต้านทานการน็อกของเชื้อเพลิงก๊าซไบโอมีเทนอัดที่ร้อยละมีเทน 85 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าของการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 ในการทดสอบหาสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์ในหัวข้อ 4.2.3 จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงก๊าซไบโอมีเทนอัดที่ร้อยละมีเทน 85 ต้องการการจุดระเบิดล่วงหน้ามากกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 โดยเฉลี่ย 13-15 องศา

โดยข้อมูลจากการทดสอบที่ภาระต่างๆสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.9 – 4.12 และแสดงข้อมูลที่ดีที่สุดสำหรับการปรับองศาจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์แสดงได้ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.15

4.2.3 ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์โดยมีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

4.2.3.1 การทดสอบเชื้อเพลิง Gasohol 91 E10

การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 103.56 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 176.56 N-m ที่ 2,400 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงานช่วง 2,000 – 2,500 RPM และมีลักษณะแรงบิดที่คงที่ในช่วง 3,500 – 4,600 RPM โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดดังแสดงใน ตารางที่ 4.14



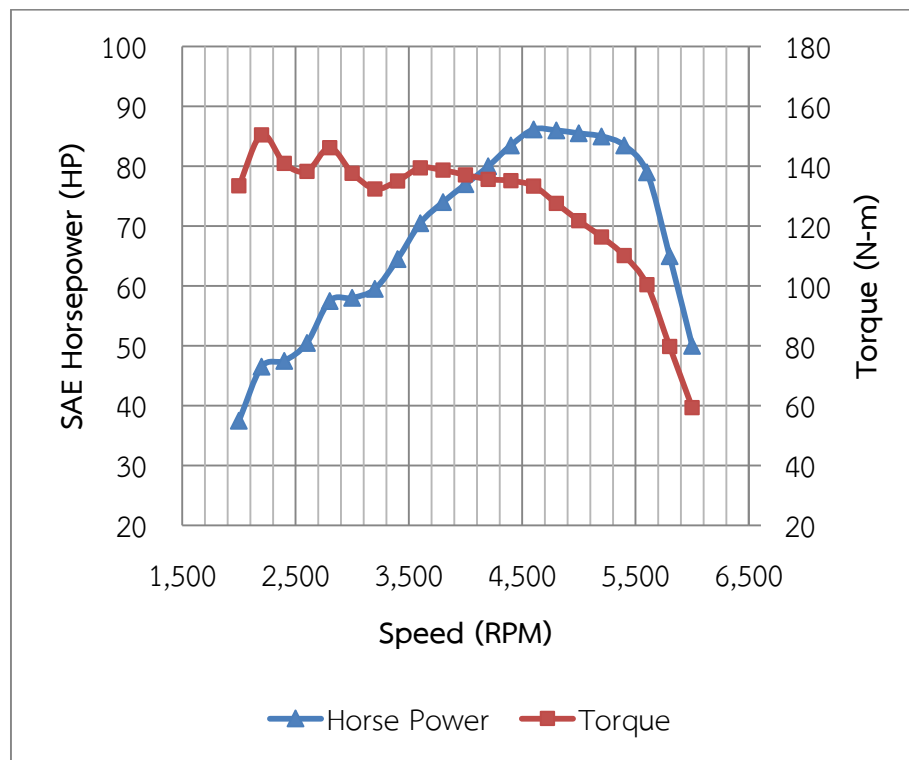
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดโดย Gasohol 91 E10 เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

ตารางที่ 4.14 แสดงมุมมององศาจุดระเบิดที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆด้วยเชื้อเพลิง Gasohol 91 E10

RPM	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
°BTDC	17.0	19.2	20.0	21.2	20.6	18.0	17.8	15.4	13.8

4.2.3.2 การทดสอบเชื้อเพลิง NGV

การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 86.16 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 150.53 N-m ที่ 2,200 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.17 โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงานช่วง 2,000 – 2,900 RPM และมีลักษณะใกล้เคียง Flat Torque ในช่วง 3,500 – 4,500 RPM โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดดังแสดงใน ตารางที่ 4.15



รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดโดย NGV เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

ตารางที่ 4.15 แสดงมุมมององศาจุดระเบิดที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆด้วยเชื้อเพลิง NGV

RPM	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
°BTDC	30.0	34.4	34.0	34.0	35.0	38.0	40.0	38.0	34.0

4.2.3.3 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 90% methane by vol.

การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 86.05 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 148.91 N-m ที่ 2,200 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงาน 2,200 RPM และมีลักษณะ Flat Torque ในช่วง 2,400 – 4,600 RPM โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดดังแสดงใน ตารางที่ 4.16



รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดโดย CBG-90 เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

ตารางที่ 4.16 แสดงมุมมององศาจุดระเบิดที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆด้วยเชื้อเพลิง CBG-90

RPM	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
°BTDC	34.8	34.8	34.0	34.0	32.0	34.0	35.0	33.0	31.0

4.2.3.4 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 85% methane by vol.

การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 84.77 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 155.38 N-m ที่ 2,200 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.19

โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงาน 2,200 RPM และมีลักษณะค่อยๆ ลดลงเป็นเส้นตรงในช่วง 2,500 – 4,600 RPM โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดดังแสดงใน ตารางที่ 4.17



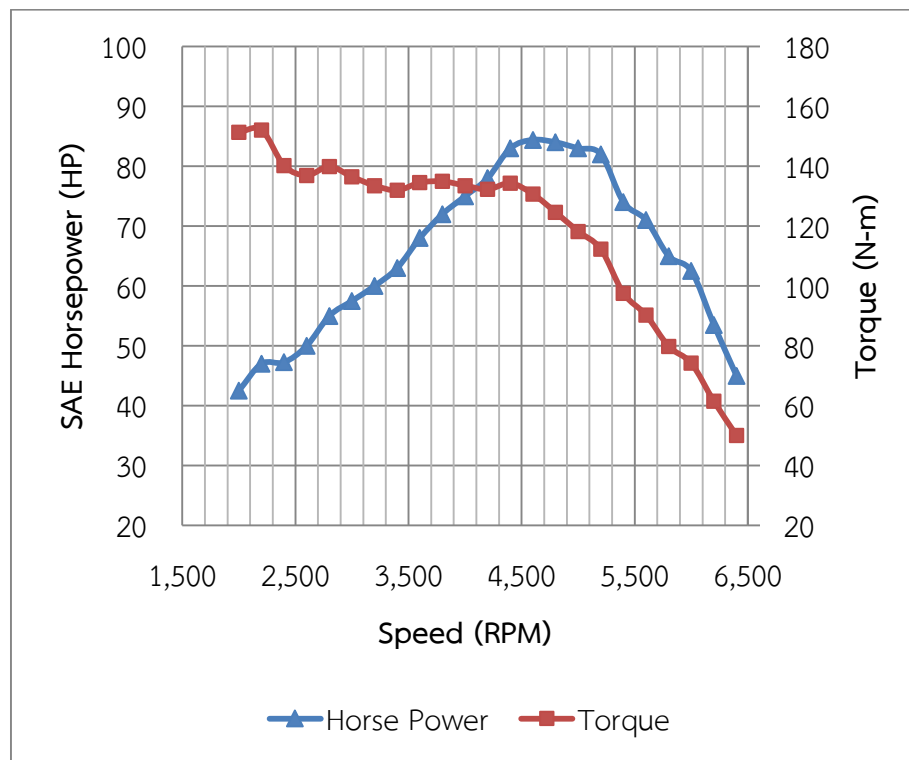
รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดโดย CBG-85 เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

ตารางที่ 4.17 แสดงมุมมององศาจุดระเบิดที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆด้วยเชื้อเพลิง CBG-85

RPM	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
°BTDC	32.8	32.8	32.0	33.0	30.0	32.0	33.0	31.0	29.0

4.2.3.5 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 83% methane by vol.

การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 84.41 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 152.10 N-m ที่ 2,200 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.20 โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงาน 2,200 RPM และมีลักษณะค่อยๆ ลดลงในช่วง 2,500 – 4,500 RPM โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างรอบเครื่องยนต์และองศาจุดระเบิดดังแสดงใน ตารางที่ 4.18



รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดโดย CBG-83 เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

ตารางที่ 4.18 แสดงมุมมององศาจุดระเบิดที่รอบเครื่องยนต์ต่างๆด้วยเชื้อเพลิง CBG-83

RPM	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
°BTDC	31.8	31.8	31.0	32.0	29.0	31.0	32.0	30.0	28.0

การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์ด้วยกล่อง ECU ชุดใหม่

กำลัง

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงใส่กล่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมชุดใหม่ โดยคงค่าอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 ตลอดทุกช่วงการทำงานของเครื่องยนต์และปรับองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม พบว่าการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 ให้กำลังที่สูงที่สุด รองลงมาคือเชื้อเพลิง NGV, CBG-90, CBG-85 และ CBG-83 ตามลำดับ โดยพบว่าเชื้อเพลิง NGV และ CBG-90 มีกำลังที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.19

แรงบิด

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงใส่กล่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมชุดใหม่ โดยคงค่าอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 ตลอดทุกช่วงการทำงานของเครื่องยนต์และปรับองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม พบว่าการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 91 E10 ให้แรงบิดที่สูงที่สุด รองลงมาคือเชื้อเพลิง CBG-85, CBG-83, NGV และ CBG-90 ตามลำดับ แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 สรุปกำลังและแรงบิดที่ได้จากการทดสอบรถยนต์ด้วยไดนาโมมิเตอร์แบบตัวถังด้วยกล่อง ECU ที่ติดตั้งใหม่

เชื้อเพลิง	กล่องควบคุมใหม่	
	กำลังสูงสุด (SAE HP)	แรงบิดสูงสุด (N-m)
E10	103.56	176.60
NGV	86.16	150.50
CBG-90	86.05	148.90
CBG-85	84.77	155.40
CBG-83	84.41	152.10

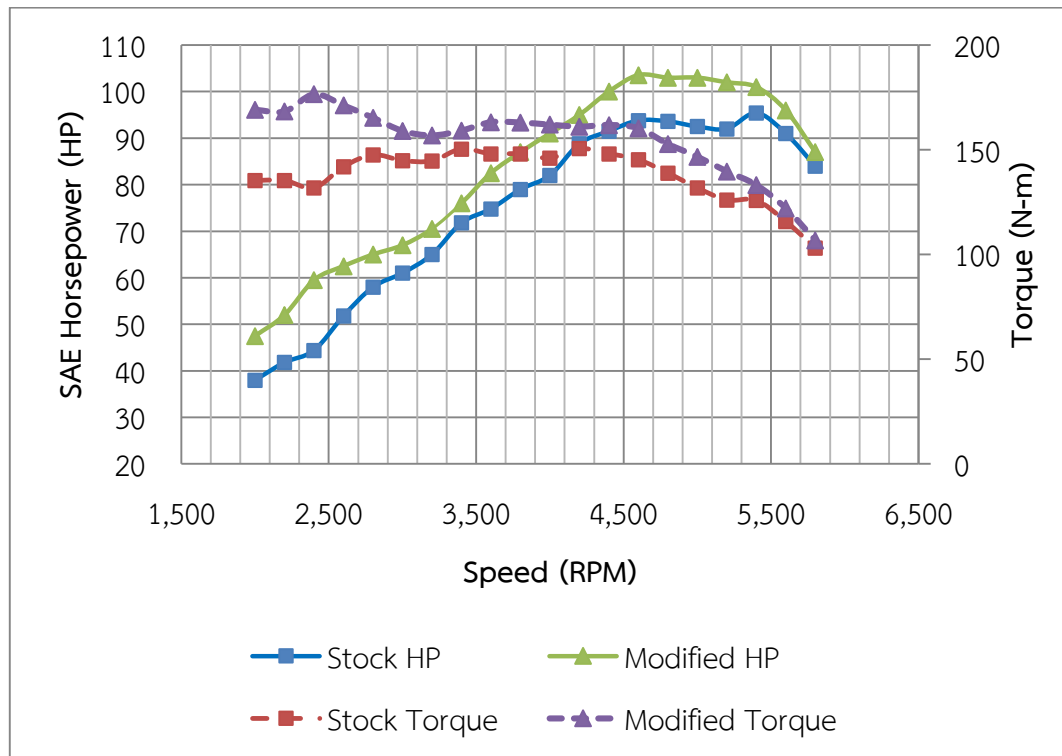
4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์ระหว่างมีการเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุม

อิเล็กทรอนิกส์และไม่มี การเปลี่ยนแปลงกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

4.3.1 การทดสอบเชื้อเพลิง Gasohol 91 E10

การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 103.56 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด

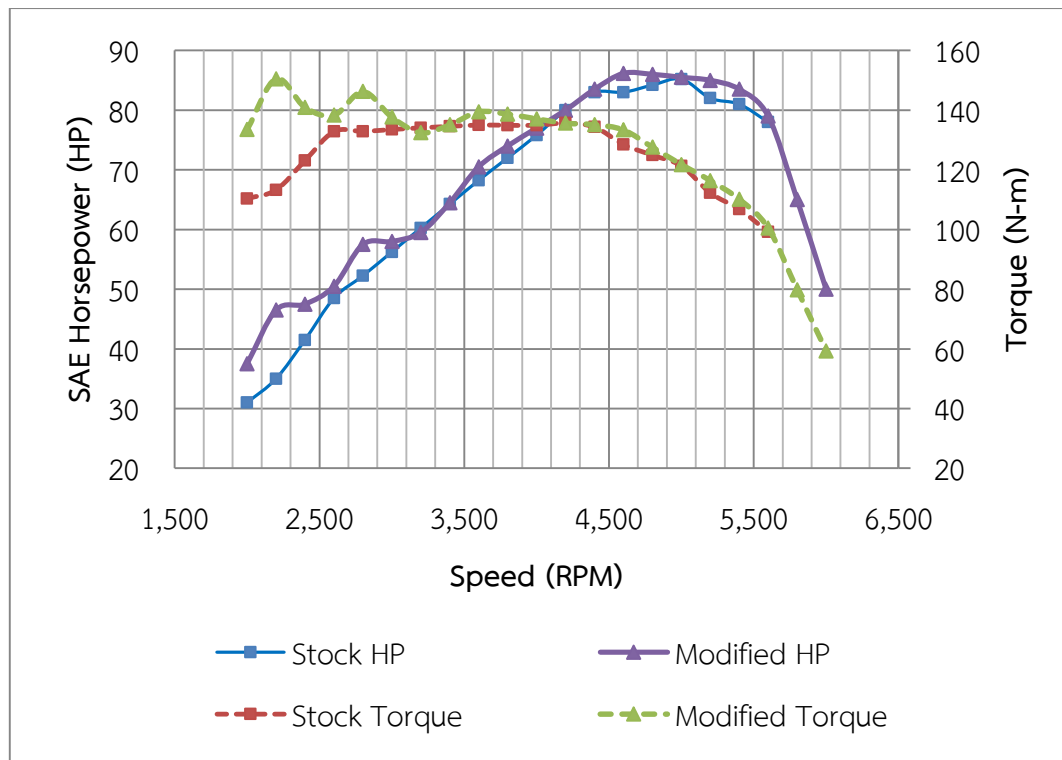
176.56 N-m ที่ 2,400 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้นเฉลี่ย 10.57% เปรียบเทียบจากการไม่มีการปรับเปลี่ยน ECU โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงานช่วง 2,000 – 2,500 RPM และมีลักษณะแรงบิดที่คงที่ในช่วง 3,500 – 4,600 RPM



รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบโดย Gasohol 91 E10 เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

4.3.2 การทดสอบเชื้อเพลิง NGV

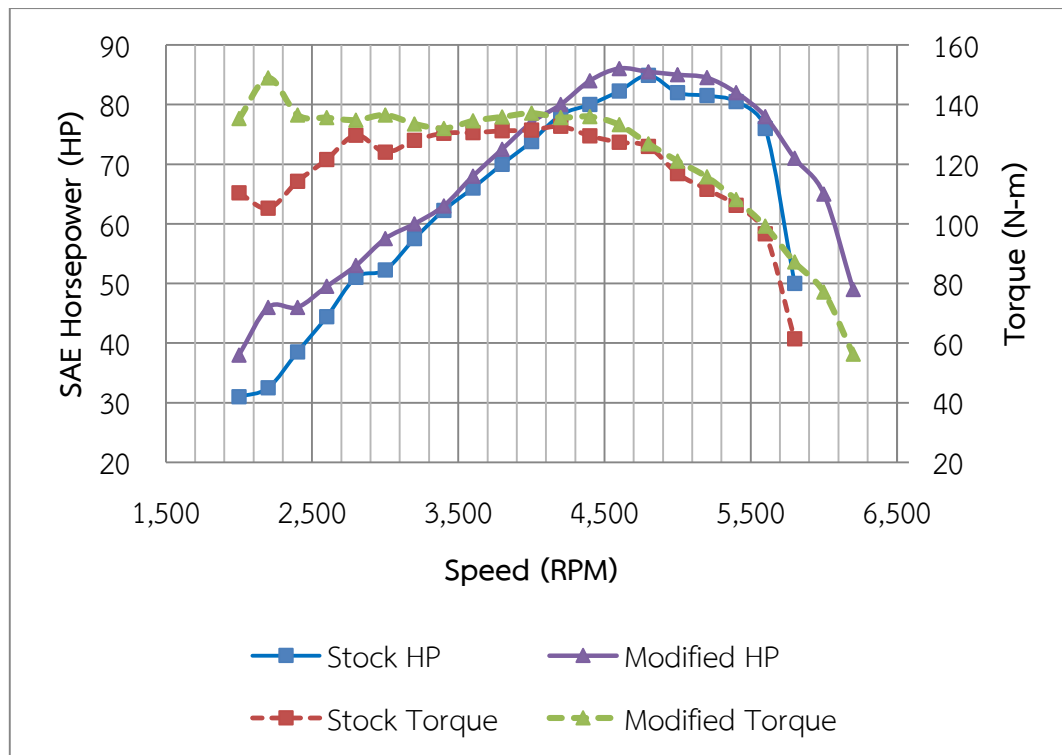
การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 86.16 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 150.53 N-m ที่ 2,200 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ซึ่งทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้นเฉลี่ย 4.84 % เปรียบเทียบจากการไม่มีการปรับเปลี่ยนกล่อง ECU โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงานช่วง 2,000 – 2,900 RPM และมีลักษณะ Flat Torque ในช่วง 3,500 – 4,500 RPM



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบโดย NGV เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

4.3.3 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 90% methane by vol.

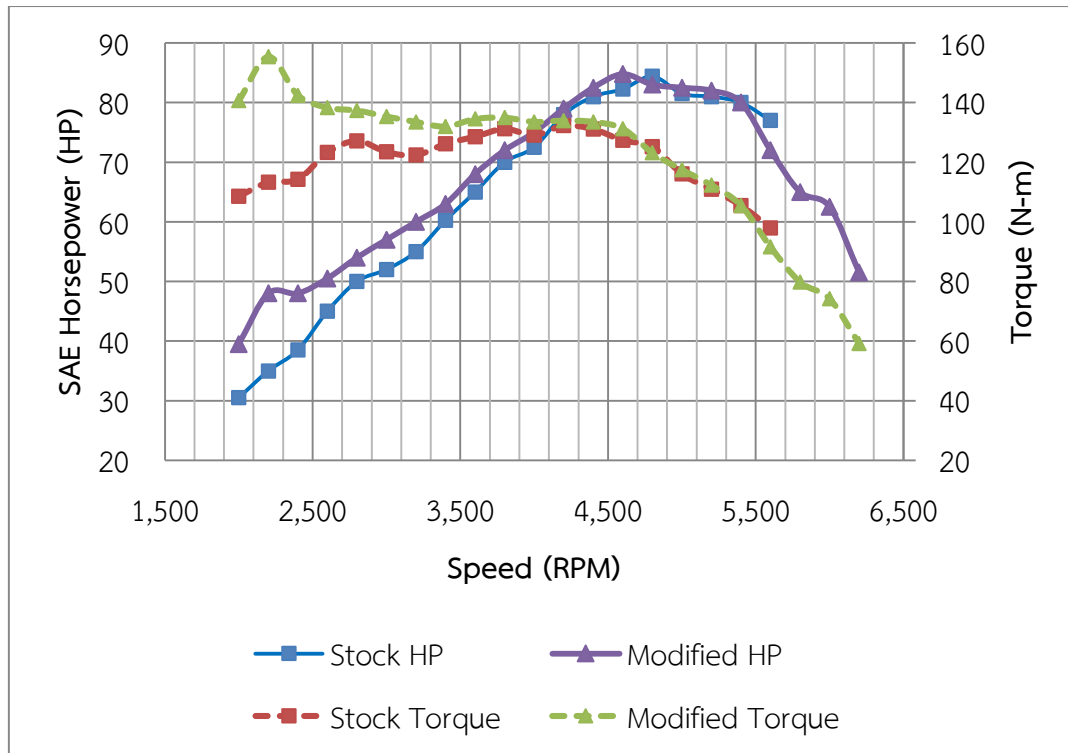
การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 86.05 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 148.91 N-m ที่ 2,200 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ซึ่งทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้นเฉลี่ย 6.67 % เปรียบเทียบจากการไม่มีการปรับเปลี่ยนกล่อง ECU โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงาน 2,200 RPM และมีลักษณะ Flat Torque ในช่วง 2,400 – 4,600 RPM



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบโดย CBG-90 เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

4.3.4 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 85% methane by vol.

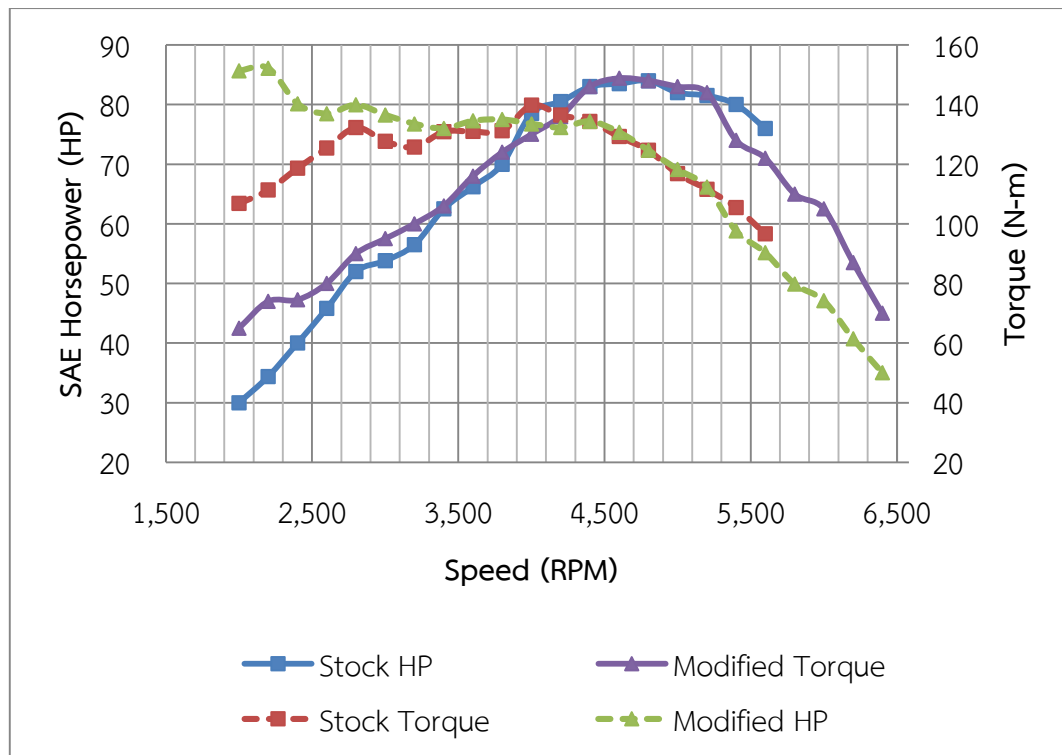
การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 84.77 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 155.38 N-m ที่ 2,200 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้นเฉลี่ย 7.64 % เปรียบเทียบจากการไม่มีการปรับเปลี่ยนกล่อง ECU โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงาน 2,200 RPM และมีลักษณะค่อยๆ ลดลงเป็นเส้นตรงในช่วง 2,500 – 4,600 RPM



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบโดย CBG-85 เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

4.3.5 การทดสอบเชื้อเพลิง CBG 83% methane by vol.

การเปลี่ยนกล่อง ECU ชุดใหม่ พบว่าการปรับปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่ 1.00 และทำการปรับตำแหน่งองศาจุดระเบิดให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด จะพบได้ว่ากำลังสูงสุดที่ได้คือ 84.41 HP ที่ 4,600 RPM และแรงบิดสูงสุด 152.10 N-m ที่ 2,200 RPM ดังแสดงในรูปที่ 4.25 ซึ่งทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้นเฉลี่ย 5.82 % เปรียบเทียบจากการไม่มีการปรับเปลี่ยนกล่อง ECU โดยแรงบิดที่เกิดขึ้นจะเกิดสูงที่สุดในรอบการทำงาน 2,200 RPM และมีลักษณะค่อยๆ ลดลงในช่วง 2,500 – 4,500 RPM



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบโดย CBG-83 เป็นเชื้อเพลิงด้วยกล่อง ECU ใหม่

การวิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ด้วยกล่อง ECU ชุดใหม่

แรงบิด

จากตาราง 4.20 แสดงให้เห็นว่าแรงบิดจากการติดตั้ง ECU ชุดใหม่ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนของแรงบิดในช่วงต้นรอบการทำงานของเครื่องยนต์ เมื่อเทียบกับการใช้ ECU ชุดเดิม สาเหตุเนื่องมาจากการหองสาจุระเบิดที่ทำให้เกิดแรงบิดสูงสุด โดยคงการใช้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ทั้งนี้จะสามารถส่งผลต่อการลดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี โดยการใช้ก๊าซ CBG-85 จะให้แรงบิดที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงก๊าซทั้งหมด อีกทั้งเชื้อชนิดก๊าซทั้งหมดยังมีแรงบิดที่เทียบเท่ากับเชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 ที่ใช้ ECU ชุดเดิมที่มากับโรงงาน จึงเป็นแนวทางการเพิ่มสมรรถนะแก่เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ NGV และ CBG ให้มีสมรรถนะเทียบกับการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10

กำลัง

จากตารางที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่ากำลังของเครื่องยนต์จากการติดตั้ง ECU ชุดใหม่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงรอบต้นการทำงานของเครื่องยนต์ เนื่องจากกำลังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับแรงบิด โดยกำลังสูงสุดที่ทำได้ของเชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 มีความแตกต่างกับ ECU ชุดเดิมจาก

โรงงานที่ร้อยละ 7.88 และกล่าวได้ว่ากรณีของการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ ผู้ผลิตได้มีการปรับแต่งองศาจุดระเบิดได้ดีที่สุดเช่นกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังถือว่าน้อยมาก

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงที่ให้สมรรถนะที่สูงที่สุดคือ Gasohol 91 E10

รองลงมาคือ NGV, CBG 90% ,85% และ 83% methane by vol. ตามลำดับ การปรับแต่งปริมาณเชื้อเพลิงได้ทำการปรับให้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์อยู่ที่ 1.00 ตลอดทุกช่วงการทำงานของทุกเชื้อเพลิง และได้ทำการปรับหาตำแหน่งองศาจุดระเบิดที่ส่งผลให้เกิดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สูงที่สุด แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.21 – 4.25

ตารางที่ 4.20 สรุปกำลังและแรงบิดที่ได้จากการทดสอบรถยนต์ด้วยวิธี Chassis Dynamometer Test ด้วยกล่อง ECU ที่ติดตั้งใหม่

เชื้อเพลิง	กล่องควบคุมใหม่		กล่องควบคุมเดิม		ผลต่างสมรรถนะ	
	กำลัง สูงสุด (SAE HP)	แรงบิด สูงสุด (N-m)	กำลัง สูงสุด (SAE HP)	แรงบิด สูงสุด (N-m)	ผลต่าง กำลัง (%)	ผลต่าง แรงบิด (%)
E10	103.56	176.60	95.40	150.60	7.88	14.72
NGV	86.16	150.50	85.20	135.70	1.11	9.83
CBG-90	86.05	148.90	84.90	132.70	1.34	10.88
CBG-85	84.77	155.40	84.40	132.30	0.43	14.86
CBG-83	84.41	152.10	84.00	139.80	0.48	8.09

4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะสูงสุดของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้กล่องควบคุมเดิมกับเชื้อเพลิง

Gasohol 91 E10 และการใช้กล่องควบคุมใหม่กับเชื้อเพลิงชนิดแก๊ส

การวิเคราะห์ผลการทดสอบกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์จากการเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้กล่องควบคุมเดิมกับเชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 และการใช้กล่องควบคุมใหม่กับเชื้อเพลิงชนิดแก๊ส

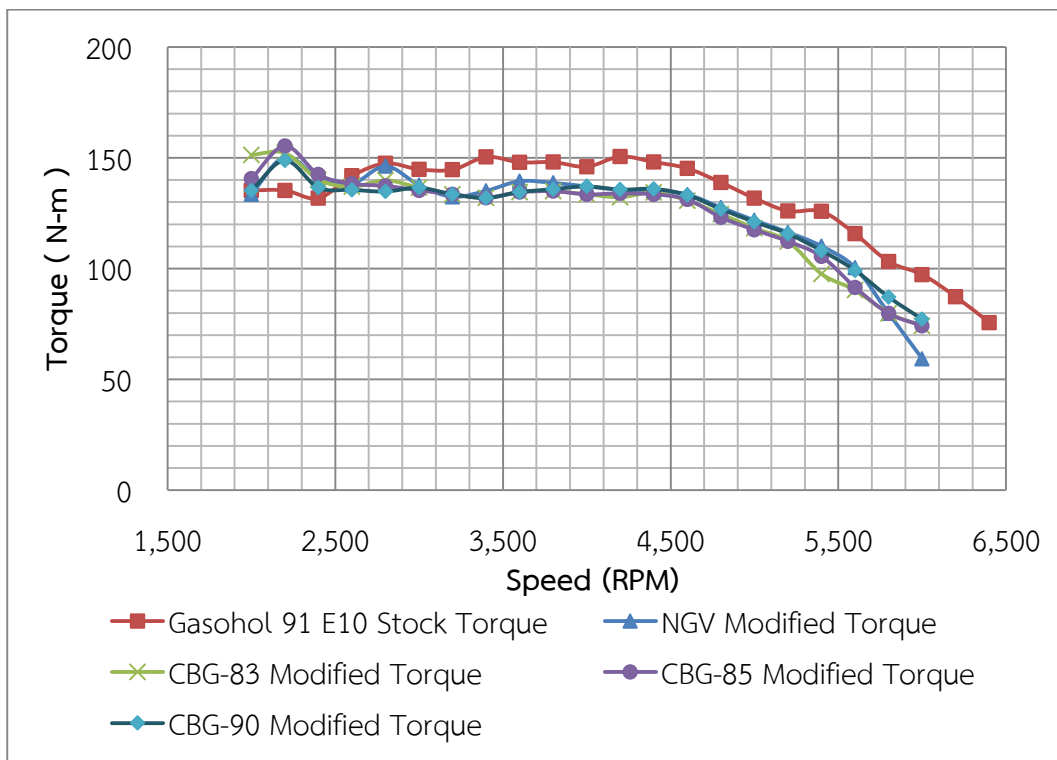
แรงบิด

การทดสอบการเปลี่ยนกล่อง ECU เพื่อปรับแต่งสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิงแก๊ส แสดงให้เห็นว่า การใช้เชื้อเพลิงประเภทแก๊สมีความสามารถเพิ่มแรงบิดให้ได้ใกล้เคียงกับการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 ที่ใช้กล่อง ECU จากโรงงาน โดยจะสังเกตได้จากในช่วงรอบเครื่องยนต์ 2,000-2,500 RPM เชื้อเพลิงประเภทแก๊สให้แรงบิดที่สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91

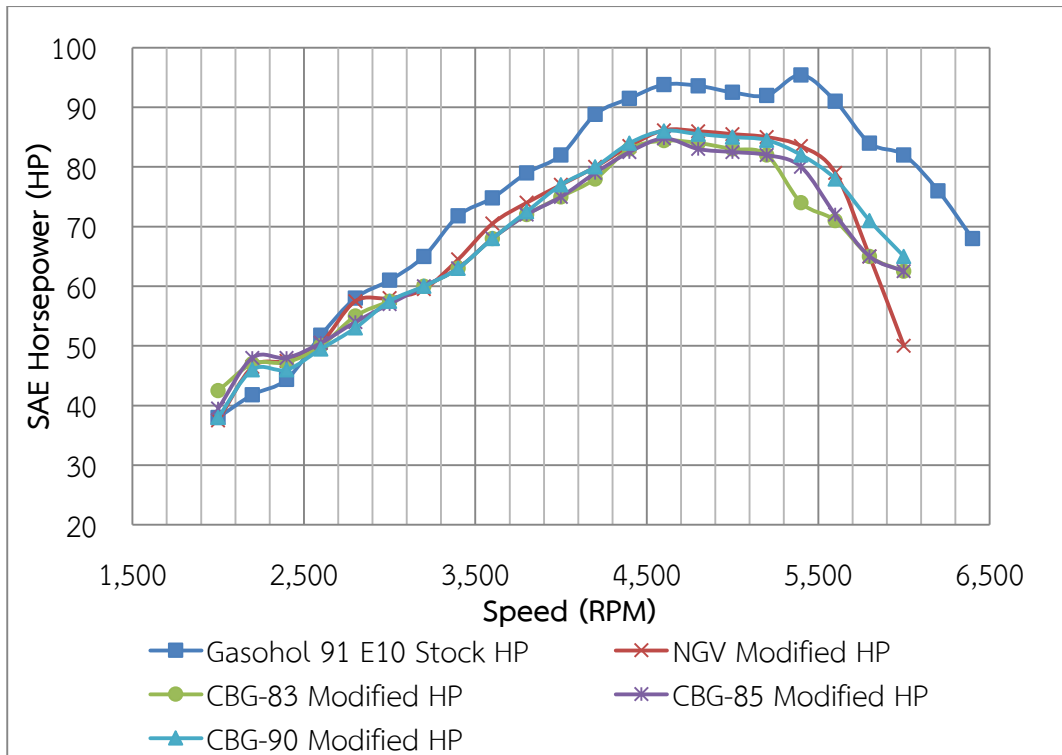
E10 ด้วยกล่อง ECU เดิม โดยหลังจากรอบการทำงานที่ 2,500 RPM เชื้อเพลิงประเภทแก๊สยังให้แรงบิดที่ต่อเนื่องคล้ายคลึงกับการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 ด้วยกล่องเดิม ผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูปที่ 4.26

กำลัง

การทดสอบการเปลี่ยนกล่อง ECU เพื่อปรับแต่งสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยเชื้อเพลิงแก๊ส แสดงให้เห็นว่า การใช้เชื้อเพลิงประเภทแก๊สมีความสามารถเพิ่มกำลังให้ได้ใกล้เคียงกับการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 ที่ใช้กล่อง ECU จากโรงงาน โดยจะสังเกตได้จากในช่วงรอบเครื่องยนต์ 2,000-2,500 RPM เชื้อเพลิงประเภทแก๊สให้กำลังที่สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 ด้วยกล่อง ECU เดิม โดยหลังจากรอบการทำงานที่ 2,500 RPM เชื้อเพลิงประเภทแก๊สยังให้กำลังที่ต่อเนื่องคล้ายคลึงกับการใช้เชื้อเพลิง Gasohol 91 E10 ด้วยกล่องเดิม ผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.26 ผลการเปรียบเทียบแรงบิด



รูปที่ 4.27 ผลการเปรียบเทียบกำลัง