

ผลกระทบจากจังหวะการเปิดปิดวาล์วไอเสีย และลักษณะท่อไอเสียที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน The Effect of Exhaust Valve Timing and Exhaust pipe to Gasoline Engine Performance

ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ ดำริห์ จันทร์แสงสุข
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร 0-23264197 ต่อ 5037 โทรสาร 0-23264198 E-mail: kntawatc@kmitl.ac.th

Tawatchai Nakpipat , Dumri Chansangsuk
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd, Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand
Tel. 0-23264197 Ext. 5037 Fax 0-23264198 E-mail: kntawatc@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้กันอยู่ มีมุมการเปิดปิดของเพลาลูกเบี้ยวของลิ้นไอเสียคงที่ มีผลทำให้เกิดแรงบิดที่ความเร็วรอบช่วงหนึ่งเท่านั้น ทำให้ที่ความเร็วรอบอื่นๆ เครื่องยนต์ไม่เกิดแรงบิดสูงสุด เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์เกิดแรงบิดมากที่สุดที่ทุกความเร็วรอบ โครงการนี้จึงทำการศึกษารูปทรงของเพลาลูกเบี้ยวของลิ้นไอเสีย ขนาดความโตและความยาวของท่อไอเสีย ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยทำการวิเคราะห์หารูปทรงของเพลาลูกเบี้ยวของลิ้นไอเสีย ความโตและขนาดความยาวของท่อไอเสีย เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์เกิดแรงบิดที่มากที่สุดที่ทุกความเร็วรอบ จากผลการทดลองได้รูปทรงของเพลาลูกเบี้ยวของลิ้นไอเสียที่เหมาะสม ความโตและความยาวท่อไอเสียที่ทำให้เกิดแรงบิดสูงสุดที่แต่ละความเร็วรอบ

Abstract

In present, exhaust valve of internal combustion engines are controlled by a single cam profile camshaft which produce maximum torque at a narrow range of engine speed. This project is to study the effect from exhaust camshaft shape and exhaust pipe size to the gasoline engine performance. The exhaust camshaft shape and pipe sizes were analyzed for the best of engine torque at any engine speed. From an experiment, the optimum exhaust camshaft shape and the optimum exhaust pipe sizes were obtained and produced the best engine torque at any engine speed.

บทนำ

ในทางทฤษฎีทั้งเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซลควรมีสมรรถนะสูงสุดที่ทุกความเร็วรอบจากการเปิดปิดของลิ้นไอดี ลิ้นไอเสียและขนาด

ของท่อไอดี และขนาดของท่อไอเสียที่เหมาะสม ในทางปฏิบัติที่ผ่านมาเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้มีการพัฒนาขึ้นมาทางด้านไอดี โดยที่ทางด้านไอเสียยังมีการศึกษากันน้อยอยู่ เนื่องจากให้ผลตอบแทนที่น้อยกว่าทางด้านไอดี จึงทำให้เครื่องยนต์ยังไม่สามารถมีสมรรถนะสูงสุดได้ที่ทุกความเร็วรอบ ดังนั้นการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีสมรรถนะดีที่สอดคล้องจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

2.วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาจังหวะการเปิดปิดของลิ้นไอเสีย ว่าควรจะมีองศาการเปิดปิดเป็นเท่าใดที่ความเร็วรอบต่างๆ
- 2.2 เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างของ เพลาลูกเบี้ยวลิ้นไอเสีย ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และหารูปทรงที่เหมาะสม
- 2.3 เพื่อศึกษาขนาดความโตและความยาวของท่อไอเสีย ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ในสภาวะความเร็วรอบต่างๆ

3.อุปกรณ์ในการทำการทดลอง

- 3.1 เครื่องยนต์ HONDA ขนาด 72 ซีซี สูบเดี่ยว 4 จังหวะ OHC ระบายความร้อนด้วยอากาศ อัตราส่วนการอัด 8.8 : 1 แรงม้าสูงสุด 5.0 BHP ที่ 7000 rpm แรงบิดสูงสุด 0.56 kg-m ที่ 5500 rpm ลิ้นไอดีเปิดที่ 0 องศา BTDC ปิดที่ 20 องศา ABDC ลิ้นไอเสียเปิดที่ 25 องศา BBDC ปิดที่ 5 องศา ATDC
- 3.2 เครื่องวัดแรงบิด วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์และวัดแก๊สไอเสีย
- 3.3 เพลาลูกเบี้ยวลิ้นไอเสีย
- 3.4 แท่นเจียรนัยและแบบจำลองลูกเบี้ยว
- 3.5 ท่อไอเสียขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 นิ้ว , 1 นิ้ว , 1.25 นิ้ว แต่ละขนาดยาว 10 นิ้ว , 18 นิ้ว , 26 นิ้ว , 34 นิ้ว

4.ขอบเขตการทำงาน

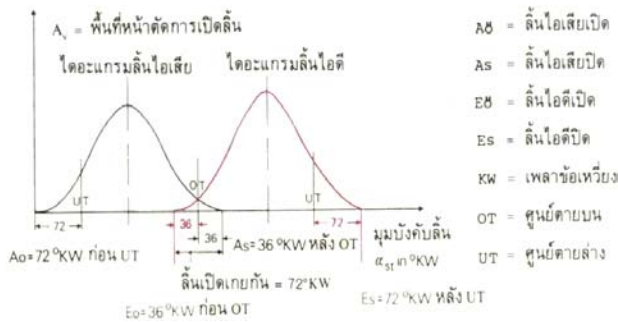
ศึกษาผลกระทบจากรูปร่างของเพลาลูกเบี้ยวลิ้นไอเสีย ขนาดความโตและความยาวของท่อไอเสียที่มีผลต่อเครื่องยนต์แก๊สโซลีน และทำการวิเคราะห์หารูปร่างของเพลาลูกเบี้ยวลิ้นไอเสีย ขนาดความโตและความยาวของท่อไอเสีย ที่ทำให้เครื่องยนต์เกิดแรงบิดสูงสุดในทุกความเร็วรอบของการทำงาน

5.ทฤษฎี

5.1 การสร้างลูกเบี้ยว (Exhaust Cam Construction)

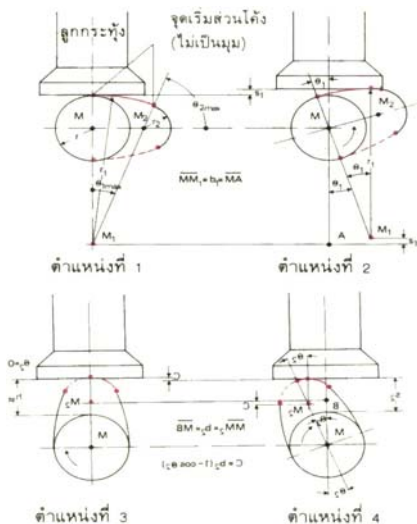
รูปร่างของลูกเบี้ยวจะเป็นตัวกำหนดลักษณะการเคลื่อนไหวของลิ้นไอเสียในรูปของจังหวะและความลึกของการเปิด ลักษณะของลูกเบี้ยวต้องทำงานโดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- ลิ้นต้องเปิดจนกว้างสุดได้อย่างรวดเร็ว และปิดได้อย่างรวดเร็วเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเปิดเพื่อให้ไอเสียผ่านออกได้มากที่สุด โดยพื้นที่หน้าตัดการไหลโตและนานที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้
- การเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว จะต้องพิจารณาถึงการสั่นของสปริงกลลิ้นจะต้องไม่สูงเกินพิกัดที่กำหนด เพราะจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ลิ้นสปริงหักได้
- เวลาและความลึกของการเปิดลิ้นจะต้องสัมพันธ์กับการหมุนของเพลาลูกเบี้ยวอย่างแม่นยำตามความเหมาะสม



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการเปิดและปิดของลิ้น

6.2 ลูกเบี้ยว (CAM)



รูปที่ 2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกกระทู้กับลูกเบี้ยว

ลูกเบี้ยวของเพลาลูกเบี้ยวมีลักษณะผิวมนโค้ง(Harmonic) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเบี้ยว ประกอบด้วยพื้นผิวซึ่งเป็นส่วนโค้ง 2 โค้ง มีขนาดต่างกันคือ ส่วนฐานใหญ่ส่วนยอดเล็ก ทำงานโดยการเคลื่อนที่สัมผัสกับหน้าเรียบของกระตือรือร้น การเคลื่อนที่ของหน้ากระตือรือร้นเป็นสมการ Harmonic อย่างง่ายได้ตามความสัมพันธ์ทั้งคู่ ทำให้เกิดส่วนโค้งลูกเบี้ยว สมการการเคลื่อนที่ได้มาจากส่วนโค้งของลูกเบี้ยวมิตร์วงกลม 2 รัศมีที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2 แสดงการทำงานของลูกเบี้ยวในตำแหน่งต่างๆ 4 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่ 1 ฐานลูกเบี้ยวสัมผัสกับหน้ากระตือรือร้น ระยะยกเท่ากับศูนย์ ตำแหน่งที่ 2 ลูกเบี้ยวหมุนไปด้วยมุมลูกเบี้ยว θ_1 ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา สัมผัสกับหน้ากระตือรือร้นและยกขึ้นด้วยระยะยก s_1 ตำแหน่งที่ 3 ลูกเบี้ยวยกสูงสุดด้วยส่วนโค้งสูงสุด ตำแหน่งที่ 4 เป็นช่วงที่ลูกเบี้ยวยกขึ้นสูงสุด

จากที่กล่าวมาแล้วเขียนสมการของระยะยกได้ดังนี้

- ลูกกระทู้สัมผัสกับส่วนโค้งที่ 1 มุมลูกเบี้ยว θ_1 หมุนจาก 0 ถึง θ_{1max} จะได้ระยะยกลูกกระทู้ S_1

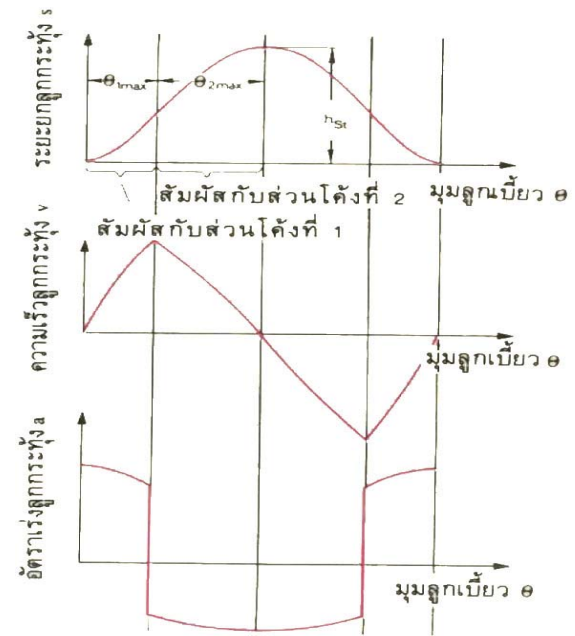
$$S_1 = b_1 (1 - \cos \theta_1) \quad (1)$$

- ลูกกระทู้สัมผัสกับส่วนโค้งที่ 2 มุมลูกเบี้ยว θ_2 หมุนจาก θ_{2max} ถึง 0 จะได้ระยะยกลูกกระทู้ S_2

$$S_2 = h_{st} - d_2 (1 - \cos \theta_2) \quad (2)$$

จากทั้งสองสมการหาระยะยกลูกกระทู้ได้เป็นลักษณะสมมาตร(Symmetry) ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 ไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของลูกกระทู้กับลูกเบี้ยว



ความเร็วลูกกระทู้ใช้การ Differentiation ของสมการระยะทางต่อเวลาโดย

$$V_1 = \omega_N b_1 \sin \theta_1 \quad (3)$$

$$V_2 = - \omega_N b_2 \sin \theta_2 \quad (4)$$

เมื่อ ω_N = ความเร็วเชิงมุมของเพลาลูกเบี้ยว

มุมลูกเบี้ยว θ_2 ที่แทนในสมการทุกสมการมีค่าเป็นลบ เพราะในการอ่านค่ามุมจะอ่านจากทิศทางตรงกันข้ามการหมุนของเพลลา เครื่องหมายลบมีผลเฉพาะในสมการหา V_2

ถ้าตีฟเฟอร์เรนเชียลสมการความเร็วต่อเวลา จะได้สมการสำหรับอัตราเร่งดังนี้

$$a_1 = \psi_N^2 b_1 \cos \theta_1 \quad (5)$$

$$a_2 = -\psi_N^2 b_2 \cos \theta_2 \quad (6)$$

รูปที่ 3 เป็นกราฟแสดงระยะยก ความเร็วและอัตราเร่งลูกกระทู้ง ลื่น ขึ้นอยู่กับมุมลูกเบี้ยว θ

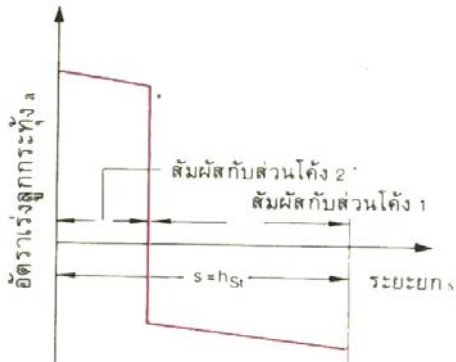
นอกจากสมการอัตราเร่งลูกกระทู้ง ลื่นในรูปฟังก์ชันของระยะยกลูกกระทู้ง ลื่นโดยการรวมสมการอัตราเร่งลูกกระทู้ง ลื่นเข้าด้วยกันจะได้

$$a_1 = \omega_N^2 b_1 - \omega_N^2 S_1 \quad (7)$$

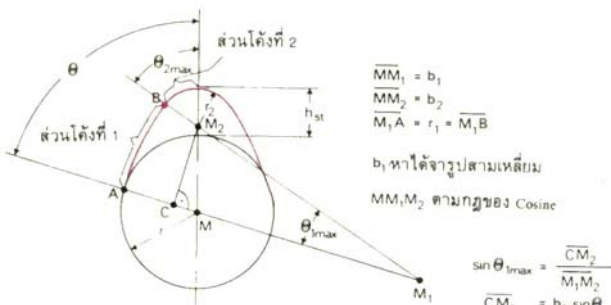
$$a_2 = -\omega_N^2 S_1 + \omega_N^2 (h_{st} - b_2) \quad (8)$$

เมื่อ S_1 และ S_2 เป็นตัวแปรคงที่

จากสมการเส้นตรงทั้งสองเขียนกราฟอัตราเร่งในรูปฟังก์ชันระยะยก ลื่นได้ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อัตราเร่งลูกกระทู้ง ลื่นที่ขับเคลื่อนด้วยลูกเบี้ยว



รูปที่ 5 แสดงการกำหนดส่วนโค้งลูกเบี้ยว

รูปที่ 5 เป็นภาพแสดงส่วนต่าง ๆ ทางเรขาคณิตอย่างง่าย เพื่อนำไปใช้หาสมการมาคำนวณหาส่วนที่สำคัญของลูกเบี้ยวต่อไปนี้

หารัศมีลูกเบี้ยว r_2

$$r_2 = r + h_{st} - b_2 \quad (9)$$

ระยะห่างจุดศูนย์กลางสัมผัส b_1

$$b_1 = \frac{b_2^2 - (r - r_2)^2}{2(r - r_2 - b_2 \sin \theta)} \quad (10)$$

b_1 ต้องมีค่าไม่เป็น Infinity เพราะจะทำให้ลูกเบี้ยวและหน้ากระเดื่องไม่สามารถที่จะทำงานร่วมกันได้

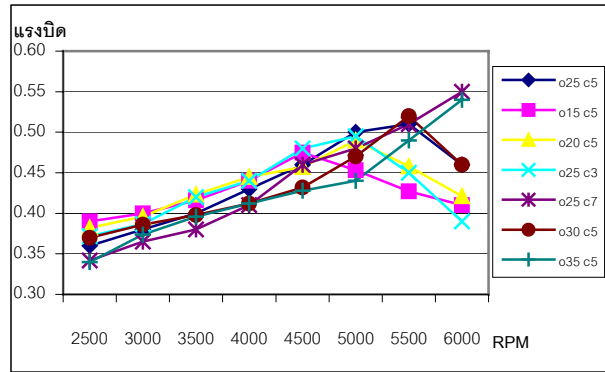
มุมลูกเบี้ยว θ_{1max} และ θ_{2max} หมุนไปได้จากสมการต่อไปนี้

$$\sin \theta_{1max} = \frac{b_2 \sin \theta}{b_2 + r - r_2} \quad (11)$$

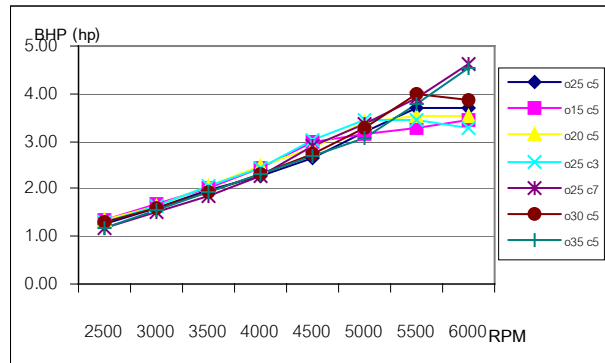
$$\theta_{2max} = \theta - \theta_{1max} \quad (12)$$

8. ผลการทดลอง

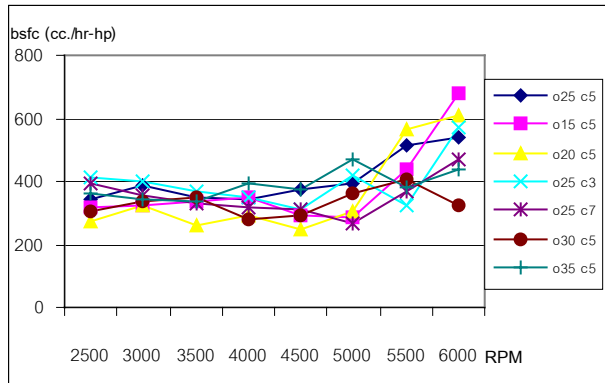
ผลการทดลองของเพลลาवलื่นไอเสีย



รูปที่ 6 กราฟแสดงแรงบิดของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียที่องศาต่างๆ



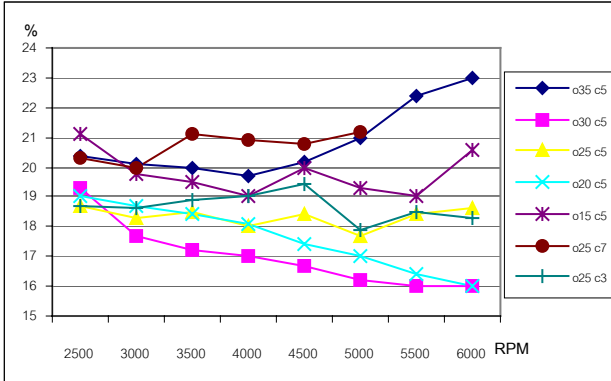
รูปที่ 7 กราฟแสดงแรงม้าของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียที่องศาต่างๆ



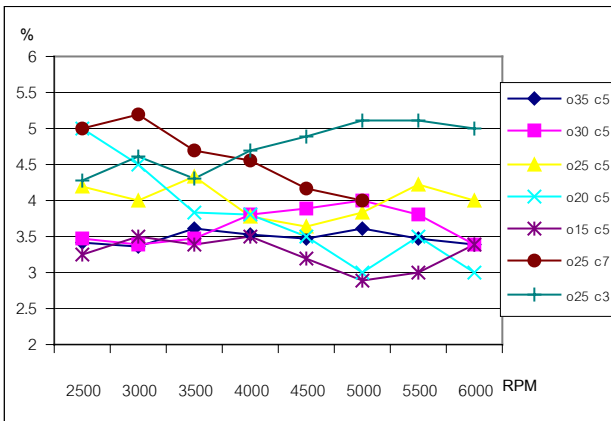
รูปที่ 8 กราฟแสดง bsfc ของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียที่องศาต่างๆ

จากรูปที่ 6 และ 7 สังเกตเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูง การเปิดวาล์วไอเสียก่อนกำหนดมาตรฐานเดิม จะทำให้แรงบิดและแรงม้าสูงขึ้น

เมื่อวาล์วไอเสียเปิดเร็วกว่ากำหนด ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉพาะมีค่าต่ำลง และจะเห็นได้ชัดมากยิ่งขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น ตามรูปที่ 8

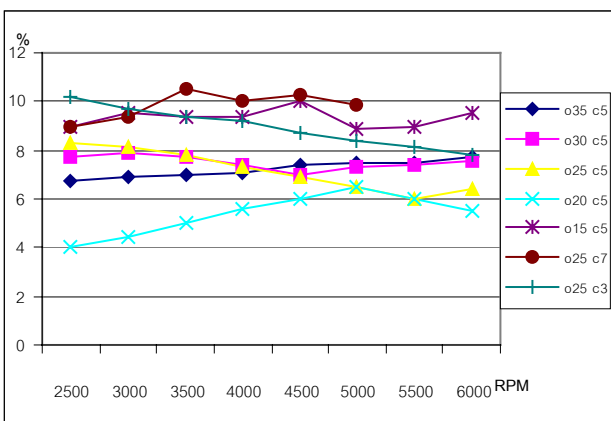


รูปที่ 9 กราฟแสดงแก๊ส O₂ ของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียที่องศาต่างๆ



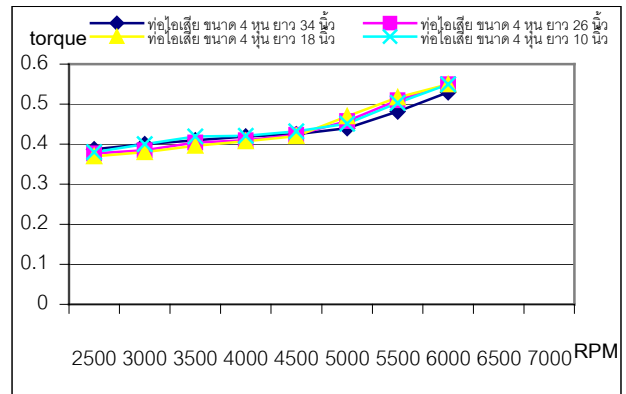
รูปที่ 10 กราฟแสดงแก๊ส CO ของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียที่องศาต่างๆ

มีแนวโน้มว่าแก๊ส CO มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อเปิดวาล์วไอเสียก่อนกำหนด แต่เมื่อเปิดช้ากว่ามาตรฐานเดิม มีแนวโน้มว่าแก๊ส CO มีลักษณะที่ลดลง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงแก๊ส CO₂ มีค่ามากกว่าปกติ

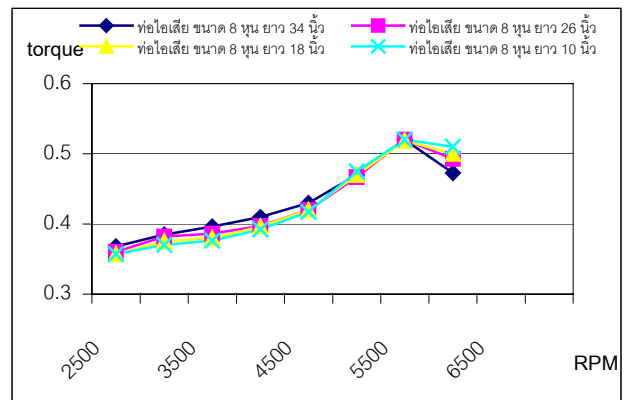


รูปที่ 11 กราฟแสดงแก๊ส CO₂ เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวไอเสียที่องศาต่างๆ

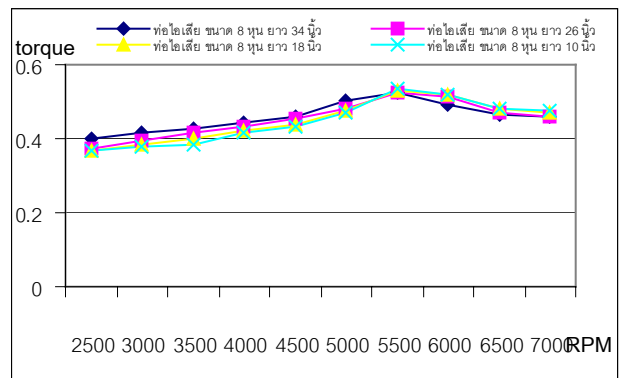
เมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากความยาวของท่อไอเสีย สามารถสรุปได้เป็นทิศทางเดียวว่า เมื่อท่อไอเสียมีความยาวมากขึ้นทำให้แรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงกว่า 5000 รอบต่อนาทีขึ้นไป แรงบิดกลับมีค่าน้อยกว่าท่อไอเสียที่มีความยาวน้อย สาเหตุน่าจะมาจากแรงเฉื่อยของมวลแก๊สไอเสียที่มีความเร็วสูง แต่เมื่อมวลของแก๊สมากเกินไปจนท่อรับไม่ได้ จึงทำให้เปลี่ยนเป็นความต้านทาน แก๊สไอเสียไหลไม่ทันเกิดการปะทะย้อนกลับ ทำให้แรงบิดลดลง



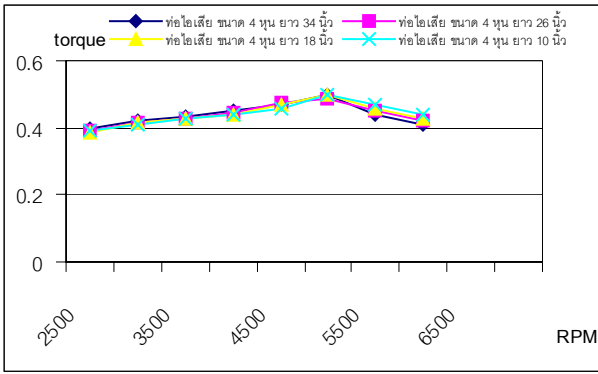
รูปที่ 12 กราฟแสดงแรงบิดของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียเปิดที่ 35 BBDC ปิดที่ 5 ATDC ของท่อไอเสียขนาด 4 หุน



รูปที่ 13 กราฟแสดงแรงบิดของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียเปิดที่ 30 BBDC ปิดที่ 5 ATDC ของท่อไอเสียขนาด 8 หุน

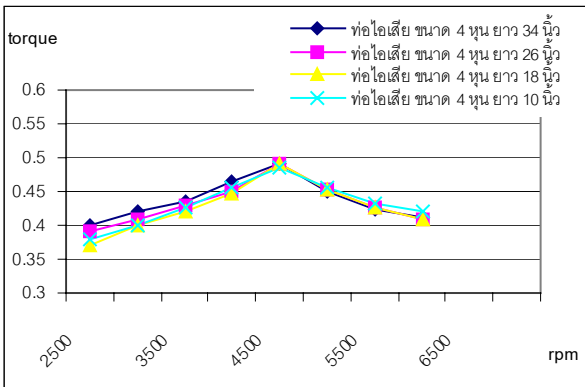


รูปที่ 14 กราฟแสดงแรงบิดของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียเปิดที่ 25 BBDC ปิดที่ 5 ATDC ของท่อไอเสียขนาด 8 หุน

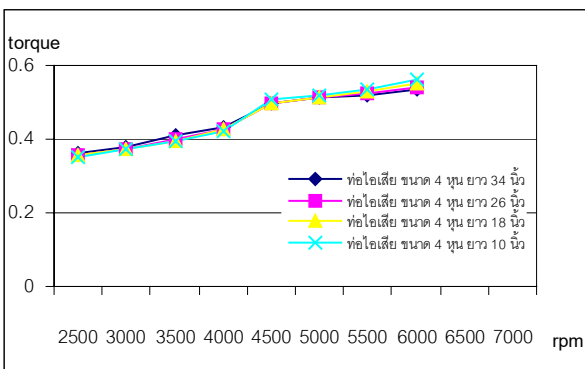


รูปที่ 14 กราฟแสดงแรงบิดของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียเปิดที่ 20 BBDC ปิดที่ 5 ATDC ของท่อไอเสียขนาด 4 हुน

เมื่อใช้ท่อไอเสียที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้นมากกว่าขนาดมาตรฐาน สามารถเพิ่มแรงบิดของเครื่องยนต์ได้ที่มีความเร็วรอบเครื่องยนต์สูง โดยที่เมื่อความเร็วรอบต่ำสังเกตไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อใช้ท่อไอเสียที่มีขนาดเล็กลง จะได้แรงบิดสูงที่ความเร็วรอบต่ำ ดังนั้นในการออกแบบท่อไอเสียที่ดี จึงต้องทำให้ท่อมีขนาดที่เหมาะสม จะเป็นขนาดที่สามารถให้แรงบิดที่ดีที่สุดในช่วงที่ต้องการกำลังมาก แต่ถ้าต้องการให้เครื่องยนต์มีแรงบิดดีในทุกความเร็วรอบ จะต้องทำให้ท่อไอเสียมีขนาดที่เปลี่ยนแปลงได้ ทั้งความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ขณะเดียวกัน

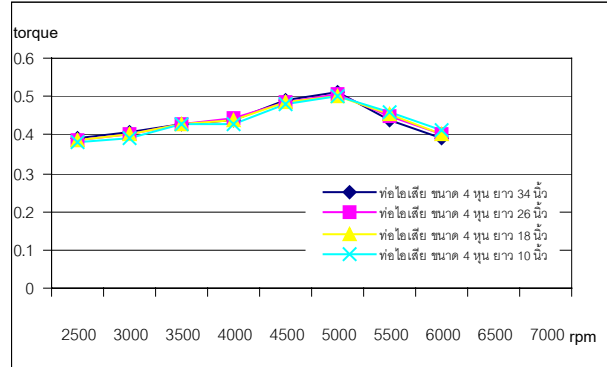


รูปที่ 15 กราฟแสดงแรงบิดของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียเปิดที่ 15 BBDC ปิดที่ 5 ATDC ของท่อไอเสียขนาด 4 हुน



รูปที่ 16 กราฟแสดงแรงบิดของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียเปิดที่ 25 BBDC ปิดที่ 7 ATDC ของท่อไอเสียขนาด 4 हुน

เมื่อพิจารณาจากองศาการเปิดวาล์วไอเสีย จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูงมากๆ จำเป็นจะต้องทำการเปิดลิ้นไอเสียให้ล่วงหน้ามากขึ้น จึงจะทำให้ได้แรงบิดที่ดีขึ้น เป็นการทำให้ช่วงการระบายไอเสียมีเวลานานขึ้น ขณะที่ช่วงการไล่ไอเสียมีความสามารถใกล้เคียงกันในทุกความเร็วรอบ



รูปที่ 17 กราฟแสดงแรงบิดของเพลาลูกเบี้ยวไอเสียเปิดที่ 25 BBDC ปิดที่ 3 ATDC ของท่อไอเสียขนาด 4 हुน

8. สรุป

8.1 เมื่อเพลาราวลิ้นไอเสียมีองศาการเปิดวาล์วไอเสียก่อน BDC มาก จะทำให้เกิดแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบสูง เมื่อเทียบกับ cam shaft มาตรฐาน แต่ถ้าเพลาราวลิ้นไอเสียมีองศาการเปิดลิ้นไอเสียก่อน BDC น้อยจะทำให้เกิดแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบต่ำ เมื่อเทียบกับ cam shaft มาตรฐาน

8.2 เมื่อท่อไอเสียมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมาก จะทำให้เกิดแรงบิดเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบสูง แต่ถ้าท่อไอเสียมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยจะทำให้เกิดแรงบิดเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบต่ำ

8.3 เมื่อท่อไอเสียมีความยาวมากจะทำให้เกิดแรงบิดเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบต่ำ แต่ถ้าท่อไอเสียมีความยาวน้อยจะทำให้เกิดแรงบิดเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบสูง

เอกสารอ้างอิง

- (1) รศ. อำพล ชื่อดตรง ค.อ.ม. และ อนันต์ชัย เทียงดาห์ ; เครื่องยนต์สันดาปภายใน (INTERNAL COMBUSTION ENGINE)
- (2) Willard W. Pulkrabek ; Internal Combustion Engine.
- (3) John B. Heywood ; Internal Combustion Engine Fundamentals.