# การสร้างเพลาลูกเบี้ยวแบบต่อเนื่อง

## Continuous Cam Profile making

ธวัชชัย นาคพิพัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนน ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทร 0-23264197 โทรสาร 0-23264198 E-mail: kntawatc@kmitl.ac.th

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

**1. บทคัดย่อ**

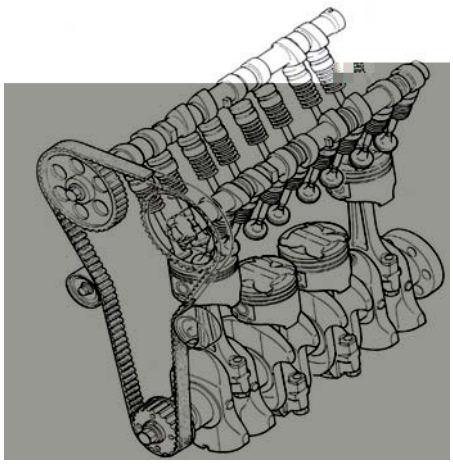
เพลาลูกเบี้ยวเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในเครื่องยนต์อย่างหนึ่ง ใช้ทำการยกและเปิดปิดวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย ในจังหวะที่เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องยนต์ การออกแบบรูปแบบของเพลาลูกเบี้ยวมีการทำเป็นหลายรูปแบบแต่ทุกรูปแบบที่ผ่านมามีความซับซ้อน และยุ่งยากในการควบคุม การทำในครั้งนี้เป็นการสร้างเพลาลูกเบี้ยวเพียงตัวเดียว แต่สามารถใช้งานได้เหมือนกับการใช้เพลาลูกเบี้ยวหลายตัว ที่ทำงานอย่างต่อเนื่องกัน ทำให้ได้รูปแบบการเปิดปิดวาล์วไอดีและมีระยะยกที่เหมาะสมทุกความเร็วรอบ จากผลของการทดลองกับเครื่องยนต์สูบเดียวขนาดเล็ก ปรากฏผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถทำให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ดีกว่าเครื่องยนต์เดิมอย่างเห็นได้ชัดที่ทุกความเร็วรอบ

Abstract

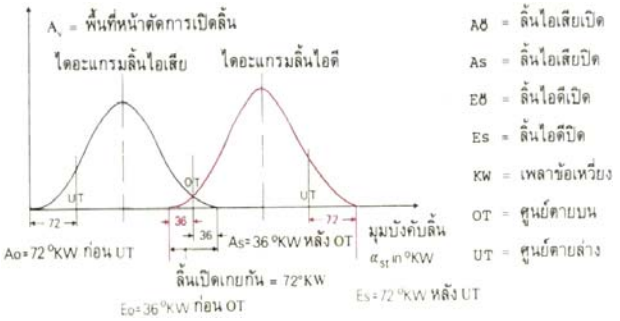
Camshaft is one of an important part in internal combustion engine, it's used to operate valve movement both intake and exhaust valves for optimum timing and valve lift. A lot of cam profile which has been actuated by valve system was designed for use in many type of engines, most of them is very complicated and difficult to control. From an experiment, Intake camshaft which is included continuously cam profile and valve lift is designed for used in any speed of small engine. The optimum valve movement can be obtained at any engine speed. From the result data, better engine performance is clearly appeared at any engine speed.

**2. บทนำ**

การเปิด-ปิดวาล์วไอดีและไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นปัจจัยอันหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ในการที่จะพัฒนาเครื่องยนต์นั้น การบรรจุไอดีให้มากที่สุด และการคายไอเสียให้หมดจดมากที่สุดเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นมาก การควบคุมจังหวะการเปิดปิดวาล์ว และการยกวาล์วให้มีความเหมาะสมตามสภาวะของรอบและภาระงานนั้นกระทำได้ยาก ปัจจุบันมีทั้งแบบที่ใช้เพลาลูกเบี้ยวหลายตัวเปลี่ยนจังหวะการกดวาล์ว หรือใช้เป็นกลไกเสริมกับเพลาลูกเบี้ยวเพื่อให้จังหวะการเปิดปิดวาล์วเปลี่ยนแปลงไปตามที่ต้องการ ได้มีการพัฒนาระบบการขับวาล์วกันมาอย่างต่อเนื่องโดยตลอด แต่การตอบสนองของระบบไม่สามารถทำได้ดีในทุกช่วงความเร็วรอบ โดยเฉพาะช่วงความเร็วรอบสูงประสิทธิภาพการดูดจะต่ำลงมาก การตอบสนองที่ดีจะเกิดขึ้นได้เมื่อวาล์วไอดีสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทั้งจังหวะ และระยะยกตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์[2] มีการนำเอาระบบกลไกที่มีลูกเบี้ยวผสมกับระบบใช้ตัวกระตุ้นไฮโดรลิค[1] หรือระบบตัวกระตุ้นแม่เหล็กไฟฟ้ามาทำการทดลองวิจัย[3,4]โดยควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ รูปแบบของการยกวาล์วทำได้ดีขึ้นแต่ก็ยังมีขีดจำกัด หรือไม่สามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบสูง เพราะไม่สามารถตอบสนองได้อย่างต่อเนื่องตลอดในทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ยังคงต้องการระบบการขับวาล์วแบบใหม่ที่มีความยุ่งยากน้อยลง สามารถควบคุมการทำงานของวาล์วได้ดี และมีการตอบสนองที่ดีในทุกความเร็วรอบ



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการส่งกำลังเพื่อขับเคลื่อนวาล์ว




รูปที่ 3 รูปแบบการเปิดปิดวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย

**3. วัตถุประสงค์**

1.เพื่อการพัฒนาเพลาลูกเบี้ยวแบบใหม่

2.เพื่อศึกษากำลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์เนื่องจากการใช้เพลาลูกเบี้ยวแบบใหม่

3.เพื่อศึกษาความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้เพลาลูกเบี้ยวแบบใหม่

4.เพื่อศึกษามลภาวะของเครื่องยนต์จากการใช้เพลาลูกเบี้ยวแบบใหม่

**4. การทดลอง**

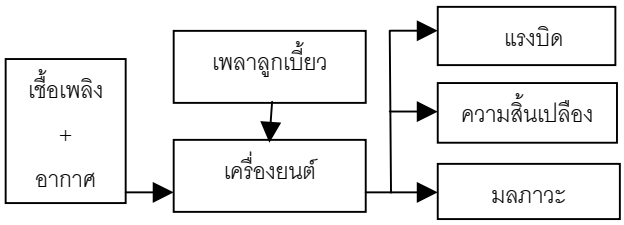
รูปแบบของการควบคุมวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียด้วยลูกเบี้ยวมีค่าผันแปรแสดงไว้ในภาพที่ 1 และ 2 เครื่องยนต์ที่ทำการทดลองเป็นเครื่องยนต์สูบเดียวสี่จังหวะ เมื่อเครื่องยนต์หมุน เพลาข้อเหวี่ยงส่งกำลังไปขับเพลาลูกเบี้ยวที่หมุนอยู่บนแกนเพลาอันเดียวกัน มีวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียอย่างละ 1 ตัวบนฝาสูบของแต่ละสูบของเครื่องยนต์ ลูกเบี้ยวกดบนก้านวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียโดยตรง ขณะที่เครื่องยนต์ถูกขับให้หมุน ความดันภายในกระบอกสูบ และองศาการกดของเพลาลูกเบี้ยวจะต้องมีความสัมพันธ์กัน เพื่อเปิด-ปิดวาล์วทั้งสองในจังหวะและระยะยกที่เหมาะสม

การทดลองในครั้งนี้เป็นการทำกับวาล์วไอดีเท่านั้น ก่อนที่จะทำการพัฒนาเพลาลูกเบี้ยว ทำการทดลองเครื่องยนต์หาสมรรถนะและมลภาวะจากเครื่องยนต์ในสภาพเดิม ตรวจสอบระยะยกและจังหวะการเปิดปิดของวาล์วไอดีในขณะที่ยังไม่ทำการดัดแปลงใดๆ เพื่อใช้เป็นข้อ มูลอ้างอิง ทำการทดลองเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ และหาขนาดของลูกเบี้ยวกดวาล์วไอดีที่ทำให้ได้สมรรถนะที่ดีที่สุด ในแต่ละความเร็วรอบสร้างลูกเบี้ยวขึ้นมาใหม่โดยทำการออกแบบมุมกดให้เกิดจังหวะและระยะยกของวาล์ว ที่เหมาะสมกับแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตามผลการทดลอง โดยทำให้ค่าผันแปรอยู่บนลูกเบี้ยวตัวเดียวกัน ทดสอบการทำงานของเพลาลูกเบี้ยวที่ได้ออกแบบไว้โดยวัดจังหวะและระยะยกที่ตำแหน่งต่างๆอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นทำการสตาร์ทเครื่อง ยนต์ โดยเลื่อนให้เพลาลูกเบี้ยวอยู่ในตำแหน่งความเร็วรอบเดินเบา เมื่อทำการเร่งรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ทำการเลื่อนเพลาลูกเบี้ยวไปในตำแหน่งที่เหมาะสม ทดสอบผลที่ได้จากข้อมูลเดิมที่ใช้เพลาลูกเบี้ยวเดิม ที่เก็บเป็นข้อมูลมาตรฐานไว้ ความถูกต้องในการเคลื่อนที่ของวาล์วไอดีถูกตรวจสอบทั้งที่ความเร็วต่ำและที่ความเร็วสูง

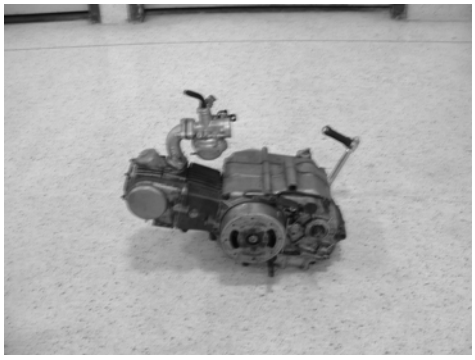
อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องยนต์ Honda C 70
2. มิเตอร์วัดแรงบิด
3. เครื่องวัดรอบ
4. เครื่องวัดไอเสีย
5. หลอดวัดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง
6. เพลาลูกเบี้ยวที่ออกแบบไว้

**5. รูปแบบการทดลอง**




รูปที่ 4 แบบการทดลอง



รูปที่ 5 เครื่องยนต์ที่ใช้ทำการทดลอง

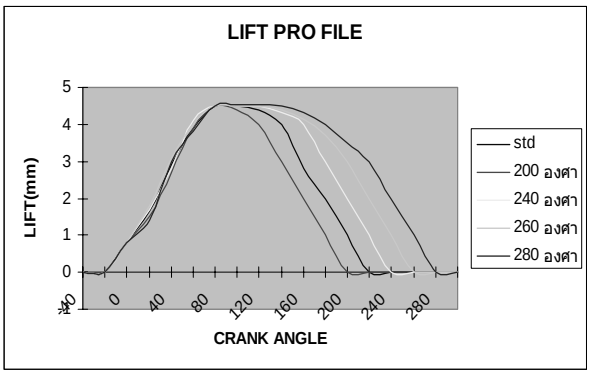
**6. ขอบเขตการทำงาน**

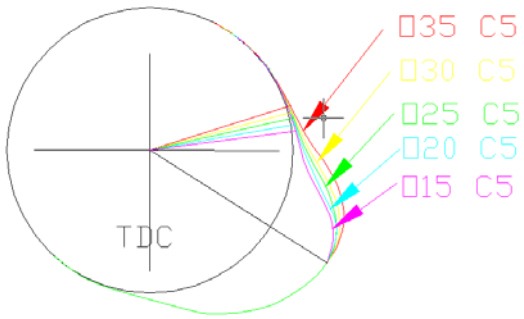
ศึกษาวิเคราะห์รูปร่างของเพลาลูกเบี้ยว กำลังงาน ความสิ้นเปลือง มลภาวะ ที่องศาเพลาลูกเบี้ยวต่าง ๆ ที่ทำให้เครื่องยนต์ได้งานมากขึ้น

ทำการสร้างเพลาลูกเบี้ยวที่สามารถทำการเปิด ปิดวาล์วให้เหมาะสมกับรอบของเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่องและมีความง่าย ไม่ซับซ้อน

ทดสอบการทำงานและประมวลผล โดยทำการเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิมที่ยังไม่ได้ทำการแก้ไข

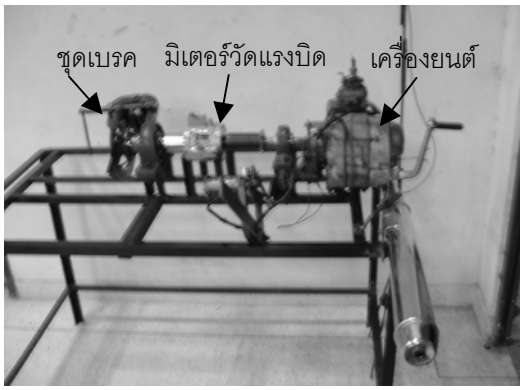
รูปที่ 6 เพลาลูกเบี้ยวที่ออกแบบและทำ




รูปที่ 7 Lift Profile และเพลาลูกเบี้ยวที่ได้จากการทดลอง

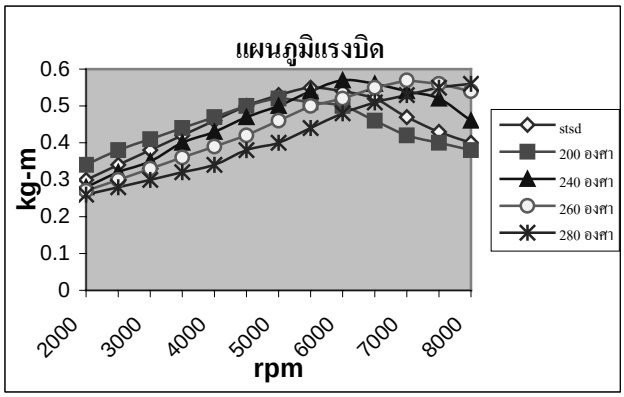
จากการทดลองเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยทำการเปลี่ยนแปลงจังหวะการเปิดปิดและระยะยกของวาล์วที่ค่าต่างๆ ทำให้สามารถทราบได้ว่าที่ความเร็วรอบใดเครื่องยนต์จะต้องใช้เพลาลูกเบี้ยวแบบใดจึงจะสามารถให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีที่สุด เป็นผลทำให้จังหวะการเปิดปิดของวาล์วไอดีที่ดีที่สุดถูกออกแบบไว้ รูปที่ 7 แสดงองศาของการเปลี่ยนจังหวะการปิดของวาล์วไอดี เมื่อเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูงขึ้น ซึ่งการปิดของวาล์วไอดีให้ช้าลงจะมีผลทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดสูงขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น รูปที่ 8 เป็นเครื่องยนต์และชุดทดสอบเครื่องยนต์ที่ทำการวัดแรงบิดด้วยมิเตอร์วัดแรงบิด และแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย เพื่อการเปรียบเทียบหาสภาวะที่ดีที่สุด



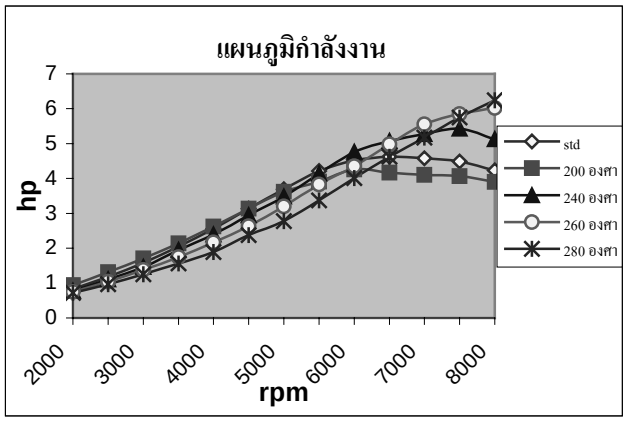

รูปที่ 8 ชุดทดสอบ

**7. ผลการทดลอง**

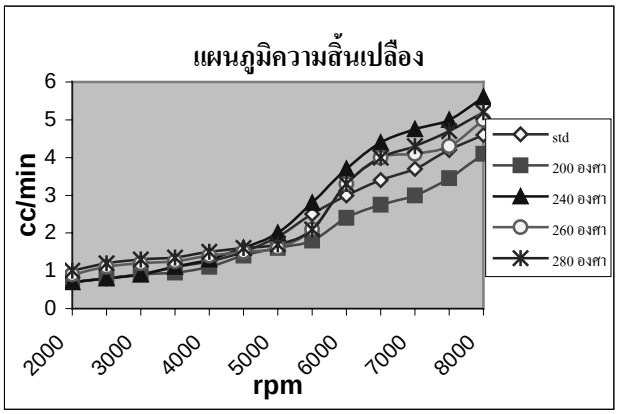
จากรูปที่ 9 และ 10 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อเพิ่มองศาการปิดของวาล์วไอดีให้มากขึ้น แรงบิดสูงสุดและกำลังของเครื่องยนต์จะเกิดที่ความเร็วรอบสูงเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสภาวะมาตรฐาน ทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะดีขึ้นมากกว่าเดิม




รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงแรงบิดที่ความเร็วรอบต่างๆ

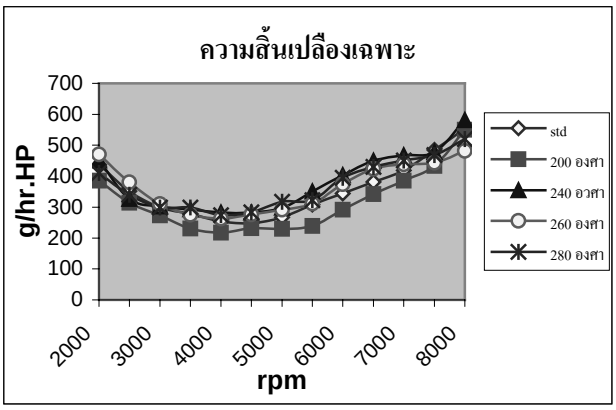



รูปที่ 10 แผนภูมิแสดงกำลังงานที่ความเร็วรอบต่างๆ



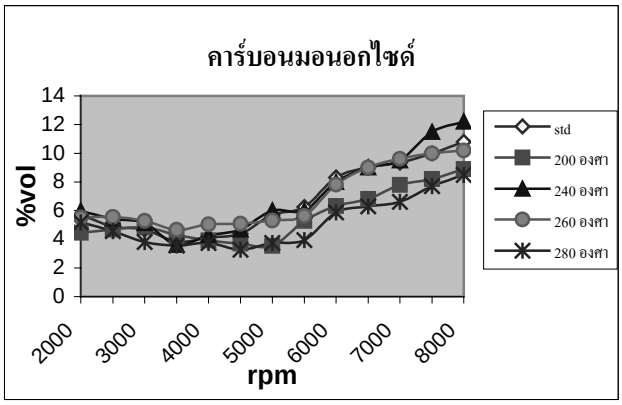

รูปที่ 11 แผนภูมิแสดงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

พิจารณาตลอดทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ การทำให้มุมปิดของวาล์วไอดีลดลงมากกว่ามาตรฐาน นอกจากจะได้แรงบิดเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบต่ำแล้วยังทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงต่ำกว่ามาตรฐานด้วย แต่ เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นถึงแม้ว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะต่ำกว่า แต่กำลังและแรงบิดที่ได้ก็ต่ำกว่ามาตรฐานเป็นสิ่งที่ต้องแก้ไข การเพิ่มแรงบิดที่ความเร็วรอบสูงมีผลทำให้ทั้งความสิ้นเปลืองและความสิ้นเปลืองจำเพาะมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าสภาวะมาตรฐาน ซึ่งทำได้จากการเพิ่มองศาการปิดของวาล์วไอดี

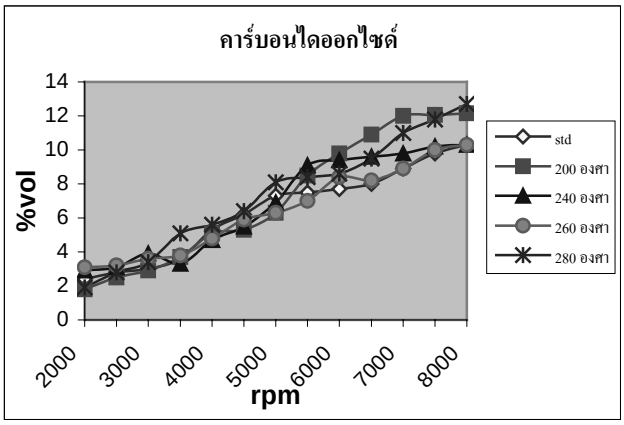



รูปที่ 12 แผนภูมิแสดงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉพาะ

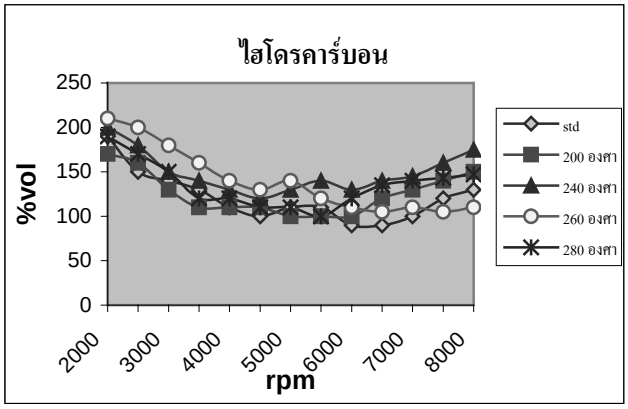
แก๊สมลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยหัวเทียนประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถพิจารณาวัดได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส การเพิ่มองศาการปิดให้กับวาล์วไอดี เมื่อพิจารณาจากปริมาณแก๊สไอเสีย มีแนวโน้มว่าเครื่องยนต์มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้นกว่าสภาวะมาตรฐานในทุกความเร็วรอบ โดยพิจารณาจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งหมายถึงปริมาณของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ในกระบอกสูบไม่หมดตามรูปที่ 13 ส่วนในรูปที่ 14 นั้นเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นส่วนของคาร์บอนที่เผาไหม้ได้หมดจด การเปิดวาล์วไอดีนานทำให้ได้กำลังที่ความเร็วรอบสูงมากขึ้นแต่ก็ทำให้แก๊สมลพิษจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เพิ่มตามไปด้วย




รูปที่ 13 แผนภูมิแสดงแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์




รูปที่ 14 แผนภูมิแสดงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์




รูปที่ 15 แผนภูมิแสดงแก๊สไฮโดรคาร์บอน

สำหรับแก๊สไฮโดรคาร์บอน ก็เป็นแก๊สที่เกิดเนื่องจากเชื้อเพลิงมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่นเดียวกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แต่มีปริมาณโดยปริมาตรมากกว่าหลายเท่า จากรูปที่ 15 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำให้การเปิดวาล์วไอดีนานขึ้นหรือมีการปิดช้าลง แก๊สไฮโดรคาร์บอนมีปริมาณเพิ่มขึ้นตลอดทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ทำให้โดยภาพรวมเห็นได้ว่า เครื่องยนต์มีอัตราการใช้น้ำมันมากขึ้น แต่ที่ความเร็วรอบสูงนั้นส่วนที่เป็นความต้องการหลักคือ กำลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์ซึ่งจะได้มากกว่าที่สภาวะมาตรฐานมาก

## 8. สรุป

1. ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ เพลาลูกเบี้ยวที่ปิดวาล์วไอดีช้าจะให้แรงบิดและแรงม้าที่ต่ำกว่าการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน แต่ในทางกลับกันที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น เพลาลูกเบี้ยวที่ปิดช้า ให้แรงบิดและแรงม้า มากกว่าอย่างชัดเจน เนื่องจากความสามารถประจุไอดีได้มากขึ้น
2. เพลาลูกเบี้ยวปิดช้าทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น เป็นผลให้ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ มีแนวโน้มสูงกว่าการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐานเกือบทุกช่วงความเร็วรอบ แต่เมื่อวาล์วปิดเร็วขึ้น เป็นการปิดที่ 200 องศาซึ่งเป็นการปิดที่เร็วกว่ามาตรฐาน จะให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำกว่าขณะที่ใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐานเกือบทุกช่วงความเร็วรอบ
3. ที่ความเร็วรอบสูงขึ้น เมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ปิดช้าค่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้ส่วนมาก มีแนวโน้มต่ำกว่าเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐานและมีค่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นโดยตลอด แสดง ว่าเครื่องยนต์มีการเผาไหม้ดีขึ้นกว่าการใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐาน
4. ค่าแก๊สไฮโดรคาร์บอนเนื่องจากการใช้เพลาลูกเบี้ยวที่ออกแบบใหม่ มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้เพลาลูกเบี้ยวมาตรฐานที่ทุกความเร็วรอบเนื่องมา จากการใช้เชื้อเพลิงที่มากขึ้น จึงมีส่วนของแก๊สที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์การมากขึ้น

## 9. ข้อเสนอแนะ

โครงการต่อไปจะเป็นการทำส่วนของวาล์วไอเสียเพิ่มขึ้นและทำชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของเพลาด้วยกัฟเวอร์เนอร์ที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์หรืออาจควบคุมการเคลื่อนที่ของเพลาลูกเบี้ยวด้วยมอเตอร์ที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กโทรนิค

## 10. เอกสารอ้างอิง


[1] Tawatchai Nakpipat, Masatoshi Sato, Akihiko Kusaka, Jiro Nakagawa, Hisayuki Ennoji and Toshio Iijima "Control of Engine Intake Valve with Cam and Electro-Hydraulic Servo System" The Fifth Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization" (FLU COME'97) Sep 1-4, 1997, Shonan Village Center, Japan.

[2] Peter Kreuter, et al, "Strategies to Improve SI-Engine Performance by means of Variable Intake Lift, Timing and Duration", SAE Paper No. 920449.

[3] Y. Moriya, et, al.: "A Newly Developed Intelligent Variable Valve Timing System–Continuously Controlled Cam Phasing as Applied to a New 3 Litter Inline 6 Engine", SAE No. 960579.

[4] Mark A. Theobald, el, al, "Control of Engine Load via Electromagnetic Valve Actuator", SAE Paper No. 940816.