

พฤติกรรมการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ส่วนผสมบาง

Flow characteristics in Combustion chamber of lean-burning engine

อิทธิชชุ เตโชพิศาลวงศ์¹ จินดา เจริญพรพาณิชย์² พงษ์ศักดิ์ คำมูล

ภาควิชาวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ๙ 10520

โทร. 02 326-4197 โทรสาร 02 326-4198

E-mail: ittichet@yahoo.com¹ kchchind@kmitl.ac.th²

Ittichet Techopisanwong¹ Chinda Charoenphonphanich² Pongsak Kammool

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Bangkok, Thailand 10520

Tel: 02 326-4197/FAX: 02 326-4198

E-mail: ittichet@yahoo.com¹ kchchind@kmitl.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ส่วนผสมบางเปรียบเทียบกับห้องเผาไหม้แบบทั่วไป ซึ่งใช้วิธี PIV โดยใช้อนุภาคที่สังเกตรวดง่าย แทนการไหลของอากาศที่เกิดขึ้น เครื่องยนต์จำลองที่ใช้มีกระบอกสูบเป็นแบบใส ชุดกำเนิดระนาบแสงใช้หลอด Halogen ขนาด 1500 Watt อนุภาคจะไหลปนมากับอากาศจากนั้นใช้การถ่ายภาพเป็นการบันทึกเส้นการไหลของอนุภาคในกระบอกสูบ โดยจะเปลี่ยนแปลง Speed shutter เพื่อให้ได้ความเร็วการไหลของอนุภาคแต่ละช่วง นำเส้นของการไหลและช่วงเวลาที่หน้ากล้องปิดไปคำนวณหาสนามการไหลที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างลูกสูบที่ใช้กับเครื่องยนต์ส่วนผสมบางกับลูกสูบแบบหลุมเดี่ยว โดยการวิเคราะห์จากเวกเตอร์ความเร็วที่คำนวณได้ ในบทความนี้ได้หาผลกระทบที่เกิดจากลักษณะของหัวลูกสูบและรูปแบบของท่อไอดี เพื่อนำมาพัฒนาห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์ส่วนผสมบางได้ต่อไป

Abstract

This paper deals with the study of flow characteristics in combustion chamber. A PIV method was adopted to measure the in-cylinder flow in an engine. The engine used for this study has a clear cylinder. The continuous wave beam of 1500 W halogen lamp was formed into a thin light sheet. The particles were supplied to the intake air stream. A still camera recorded the particle path lines. The shutter speed was varied to match with the range of flow velocity. The velocity fields inside the

combustion chamber were calculated from the length of path line and the camera exposure time. In this paper, two types of piston crown and two types of intake port were installed in a test engine. Effects of the combustion chamber and intake port configuration on flow characteristics are examined.

1. บทนำ

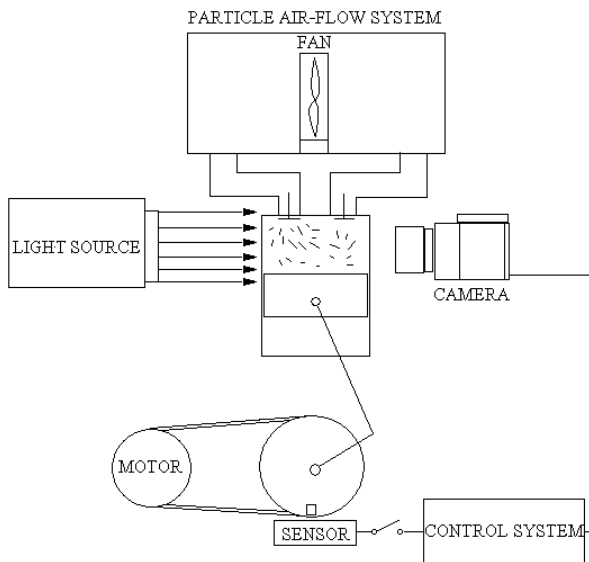
พฤติกรรมการไหลในกระบอกสูบมีความสำคัญต่อการเผาไหม้ เพราะการไหลที่เป็น Turbulent ไม่เพียงจะช่วยให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้ดีเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่รวดเร็วซึ่งจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น โดยส่วนหนึ่งในการพัฒนานี้คือ การทำให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้แบบแบ่งชั้นเพื่อให้เกิดชั้นของส่วนผสมบาง อันจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และประหยัดเชื้อเพลิงได้ดีขึ้น หลักการของการแบ่งชั้นคือบริเวณที่จะทำให้เกิดการจุดติดไฟก็จะมีกลุ่มเชื้อเพลิงที่สามารถจุดติดไฟได้ ส่วนบริเวณอื่นจะมีปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่า ซึ่งเมื่อเปลวไฟลามมาถึงก็สามารถที่จะเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนนั้นได้โดยสมบูรณ์และประหยัดกว่าเครื่องยนต์แบบเก่าที่มีการกระจายเชื้อเพลิงที่เท่ากันภายในกระบอกสูบ ซึ่งอาจเกิดการ Knock ได้ง่ายอีกด้วย

การที่จะทำให้เครื่องยนต์ให้เกิดการเผาไหม้แบบแบ่งชั้นหรือแบบที่เรียกว่าเครื่องยนต์ส่วนผสมบางนั้น จำเป็นที่จะต้องทำให้การไหลของอากาศในห้องเผาไหม้เกิดรูปแบบที่คงตัว และมีการไหลในรอบแนวแกน X หรือที่เรียกว่าการไหลแบบ Tumble ที่ดี ซึ่งในบทความนี้ก็จะเป็นการวิเคราะห์ลักษณะการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ส่วนผสมบางโดยใช้การถ่ายภาพแบบ PIV (Particle Image

Velocimetry) [1] ของการไหลในเครื่องยนต์จำลองเพื่อค้นหาการไหลแบบ Tumble เปรียบเทียบสนามการไหลระหว่างลูกสูบแบบหลุมเดียว กับลูกสูบแบบ GDI (แบบที่ใช้กับเครื่องยนต์ส่วนผสมบางของ Mitsubishi GDI 1800 cc.) และผลกระทบต่อการไหลเมื่อมีการเปลี่ยนลักษณะท่อไอดี[2]

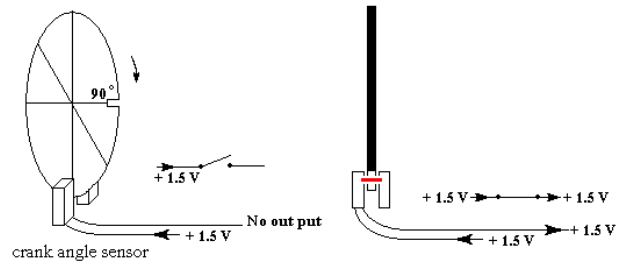
2. การทดลอง

เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์จำลอง โดยกระบอกสูบทำมาจากวัสดุใสเพื่อสามารถมองและบันทึกภาพการไหลของอนุภาคได้ดี โดยอนุภาคจะถูกดูดเข้ามาทางด้านวาล์วไอดี จะสามารถมองการไหลในแนวตั้งหรือแบบ Tumble ได้ เมื่ออนุภาคไหลเข้ามาในกระบอกสูบ โดยจะทำการถ่ายภาพเก็บไว้ โดยการถ่ายแบบนี้จะทำการถ่ายที่ตำแหน่งองศาการหมุนที่ตำแหน่งเดิม ตำแหน่งละ 3 ช่วงความเร็ว Speed Shutter เพื่อนำเส้นของการไหลและช่วงเวลาที่หน้ากล้องปิดไปคำนวณหาสนามการไหลที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ[3]



รูปที่ 1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดลองและระบบการมองภาพ

จากรูปที่ 1 เมื่อเครื่องยนต์จำลองทำงานจะดูดอนุภาคเข้ามาภายในกระบอกสูบ และแสงจาก Light sheet จะทำให้เกิดระนาบของอนุภาคที่ชัดเจน จากนั้นเมื่อเครื่องยนต์หมุนไปถึงตำแหน่งที่ต้องการชุดควบคุมการถ่ายภาพจะได้รับสัญญาณจากตัว Crank angle sensor ดังแสดงในรูปที่ 2 และส่งต่อมาที่สวิทช์ที่สัญญาณส่งต่อไปที่ชุดควบคุมกล้องถ่ายภาพให้ถ่ายภาพใน Speed Shutter ที่ต้องการได้ ส่วนอนุภาคจะถูกคายออกทางด้านวาล์วไอเสียไปเก็บที่กล่องพักอนุภาค ซึ่งจะมีพัดลมคอยพัดให้อนุภาคจะกระจายตัวและพร้อมที่จะถูกดูดเข้าในห้องเผาไหม้ในรอบต่อไป



รูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของ Crank angle sensor

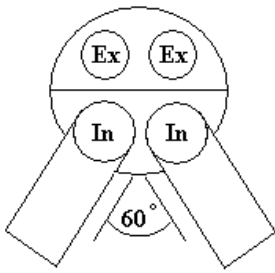


ก.) ลูกสูบแบบหัวเรียบ



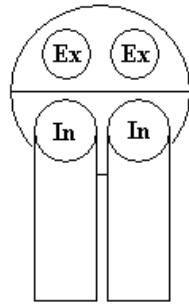
ข.) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม
รูปที่ 3 ลูกสูบที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 3 ก.) เป็นลูกสูบแบบหัวเรียบที่ใช้ในเครื่องยนต์ทั่วไป ข.) เป็นลูกสูบของเครื่องยนต์ส่วนผสมบางที่ใช้ในรถยนต์ Mitsubishi โดยจะสังเกตเห็นว่าลูกสูบมีลักษณะเป็นแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และมีหลุมลึกลงไปภายในเพียงด้านวาล์วไอดีด้านเดียว โดยหลุมนี้จะใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงผ่านหลุมแล้วโค้งกลับขึ้นไปยังหัวเทียน ส่วนลักษณะการนูนแบบนี้จะช่วยให้เกิดการไหลของอากาศในกระบอกสูบให้เป็นแบบ Tumble ซึ่งในบทความนี้จะใช้ลูกสูบนี้มาทำการทดลองเปรียบเทียบกับลูกสูบแบบหลุมที่มีมานานแล้ว



ก.) ท่อไอดีแบบ V

รูปที่ 4 แสดงลักษณะการต่อท่อไอดีที่ใช้ในการทดลอง



ข.) ท่อไอดีแบบขนาน

รูปที่ 4 a) ท่อไอดีเป็นแบบ V-Type ซึ่งในการทดลองนี้จะทำมุมท่อไอดีด้านซ้ายและขวา 60 องศา b) ท่อไอดีเป็นแบบขนานโดยท่อไอดีด้านซ้ายและขวาวางขนานกัน ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดลองโดยเครื่องยนต์จำลองนี้จะมีเพียงกระบอกสูบเดียว และผนังกระบอกสูบทำจากวัสดุโปร่งใสเพื่อจะให้เห็นสนามการไหลที่เกิดขึ้นภายในท่อไอดีที่ใช้สามารถปรับทิศทางการไหลเข้าได้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์

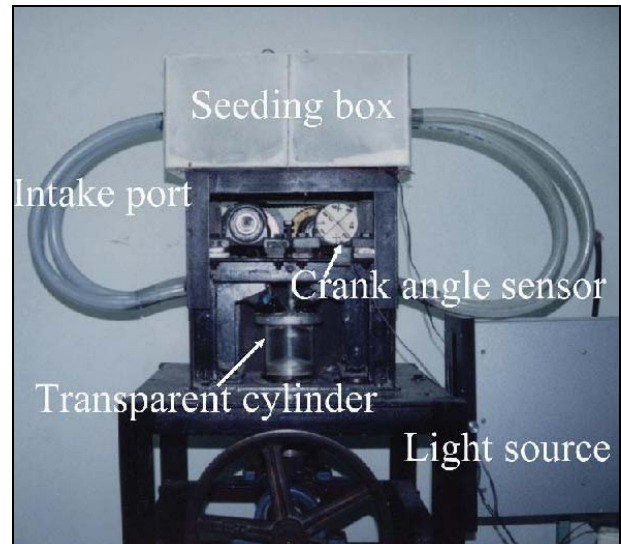
Type of Engine	Single Cylinder 4-Stroke
Valve	Two Inlet / Two Outlet
Bore x Stroke	Ø81 x 81 mm.
Comp. Ratio	9
Side Clearance	1.0 mm.
Port Tumble Ratio	0
Motoring	470 RPM
Piston type 1	One cavity
Piston type 2	Mitsubishi GDI 1800 cc.
Valve inlet Diameter	32 mm.
Valve outlet Diameter	29 mm.

ตารางที่ 2 เงื่อนไขในการทดลอง

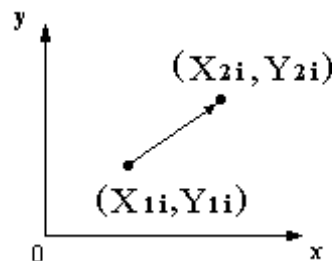
Light Source	HALOGEN LAMP 1500 W.
Light Sheet Thickness	10 mm.
Light Sheet Location	Center of Cylinder
Speed Shutter	1/60 , 1/90 , 1/125 Sec
Tracer Particle	Expancel 091 DE Mean Diameter 70 μm (Mean Density 0.025)

3. วิธีการทดลอง

ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 470 rpm คงที่ โดยลักษณะของลูกสูบจะใช้ลูกสูบแบบหลุม และลูกสูบของเครื่องยนต์ GDI ของ Mitsubishi แสงที่ใช้ส่อง (Light source) เป็นหลอดตั้งมีขนาด 1500 Watt กว้าง 10 mm. ส่องไปที่กลางกระบอกสูบ อนุภาคมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 70 μm.[4] และความหนาแน่นที่ 0.025 โดยใช้กล้อง Cannon รุ่น EOS 88 ความเร็วสูงบันทึกภาพที่ Speed Shutter 1/60 , 1/90 และ 1/125 Sec โดยใช้ฟิล์มที่มีความไวแสง 800 ของ Kodak[5]



รูปที่ 5 ภาพถ่ายเครื่องยนต์จำลองและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง



components:

$$u_i = (x_{2i} - x_{1i}) / \Delta t$$

$$v_i = (y_{2i} - y_{1i}) / \Delta t$$

[Δt= exposure time]

displacement:

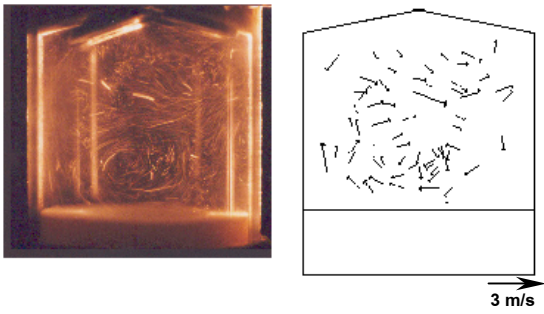
$$x_i = (x_{2i} + x_{1i}) / 2$$

$$y_i = (y_{2i} + y_{1i}) / 2$$

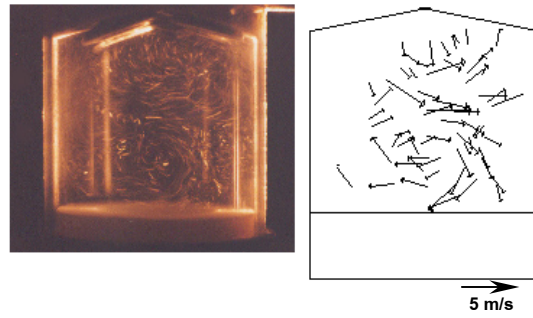
รูปที่ 6 แสดงการคำนวณเวกเตอร์ความเร็วแบบ 2 มิติ

4. ผลการทดลอง

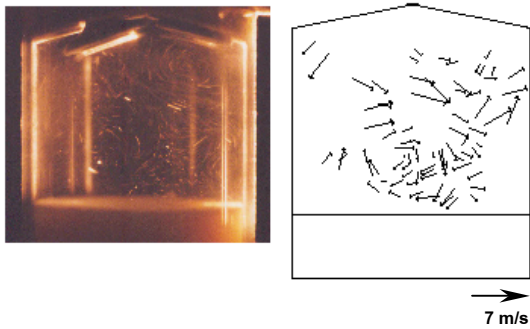
รูปแบบการไหลเป็นหน้าตัดแนวตั้ง รูปที่ 7 ก.)-ค.) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบขนาน ที่ 90 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ shutter speed 1/60, 1/90 และ 1/125 sec.



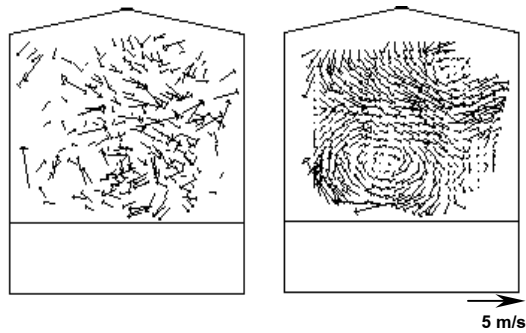
(ก) Exposure time 1/60 s.



(ข) Exposure time 1/90 s.



(ค) Exposure time 1/125 s.

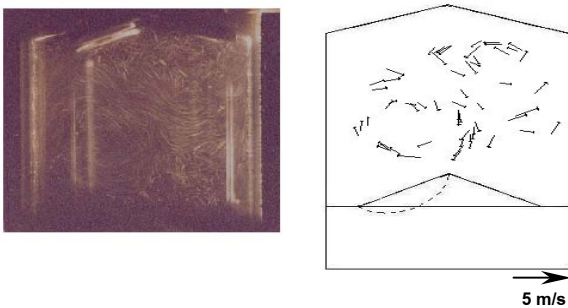


(ง) Particle path lines รวม และ interpolated velocity fields

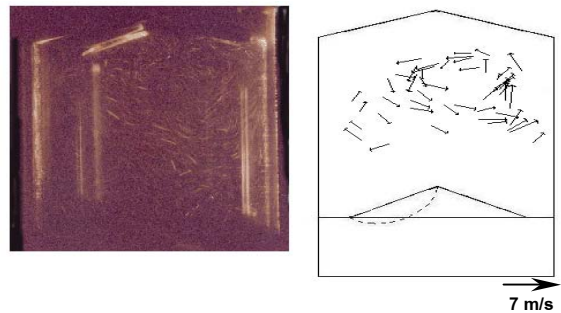
รูปที่ 7 รูป particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอตีแบบขนาน

รูปที่ 7 (ง) แสดงภาพของ particle path lines รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอตีเป็นแบบขนาน การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้วาล์วไอตี ความเร็วในการไหลเป็นไปอย่างช้า ๆ ลักษณะการเกิด Tumble เป็นการหมุนที่

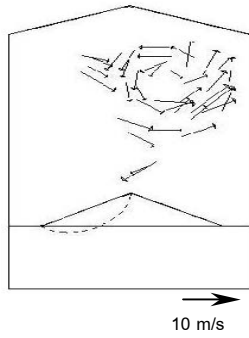
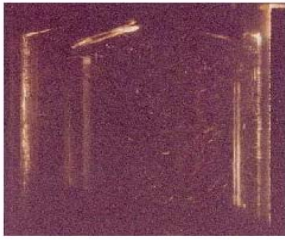
ช้าและ วงเล็ก รูปที่ 8 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอตีเป็นแบบขนาน ที่ 90 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ shutter speed 1/60, 1/90 และ 1/125 sec.



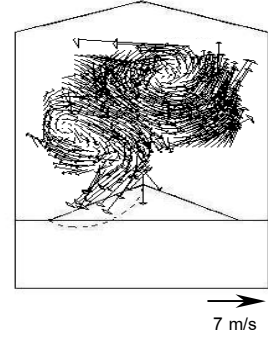
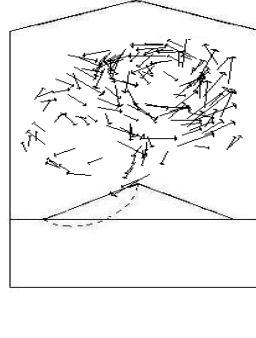
(ก) Exposure time 1/60 s.



(ข) Exposure time 1/90 s.



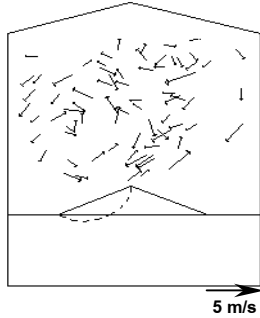
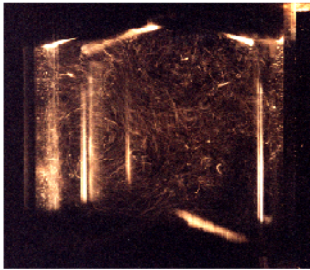
(ค) Exposure time 1/125 s.
รูปที่ 8 รูป Particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบขนาน



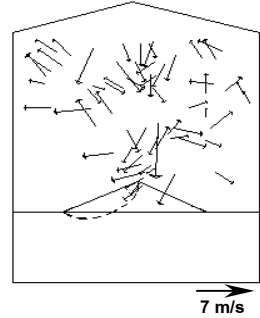
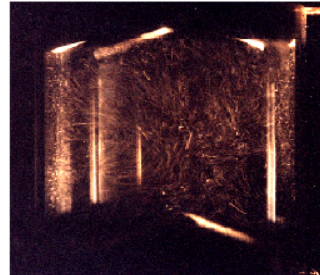
(ง) Particle path lines รวม และ interpolated velocity fields

รูปที่ 8 (ง) แสดงภาพของ particle path lines รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอดีเป็นแบบขนาน การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้วาล์วไอเสีย และเหนือลูกสูบด้านซ้าย ความเร็วในการไหลเร็วกว่าลูก

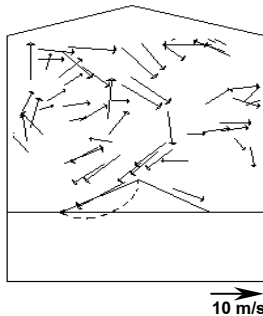
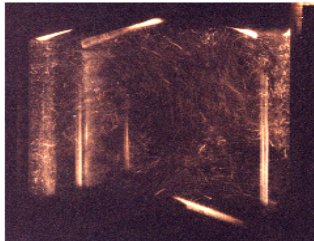
สูบแบบหัวเรียบ ลักษณะการเกิด Tumble เป็นการหมุนที่เร็วและมีรูปแบบ รูปที่ 9 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอดีเป็นแบบ V ที่ 90 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ shutter speed 1/60, 1/90 และ 1/125 sec.



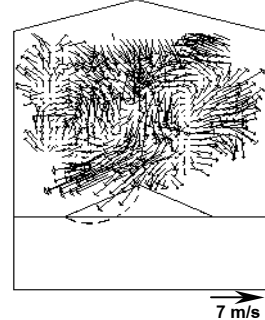
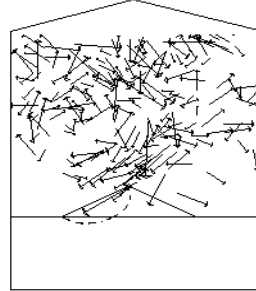
(ก) Exposure time 1/60 s.



(ข) Exposure time 1/90 s.



(ค) Exposure time 1/125 s.

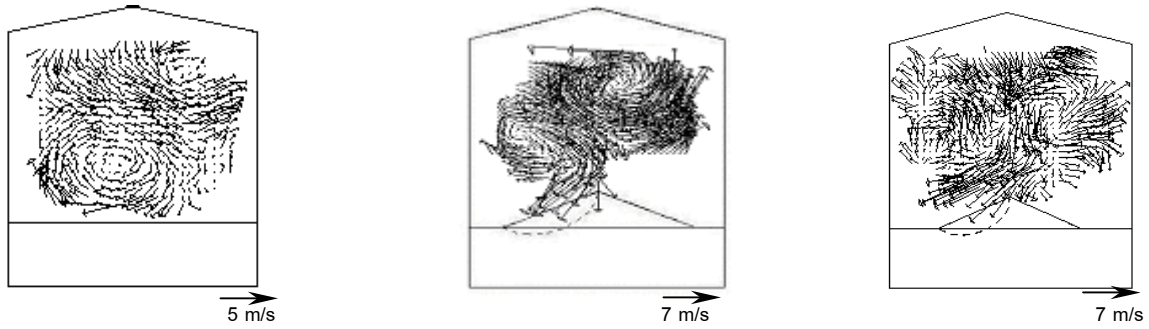


(ง) Particle path lines รวม และ interpolated velocity fields

รูปที่ 9 รูป particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบ V

รูปที่ 9 (ง) แสดงภาพของ particle path lines และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอดีเป็นแบบ V การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้วาล์วไอดี และเหนือลูกสูบด้านซ้าย ความเร็วในการไหลเร็วกว่าลูกสูบแบบ

หัวเรียบ แต่ใกล้เคียงกับในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม แบบท่อไอดีเป็นแบบขนาน ลักษณะการเกิด Tumble เป็นการหมุนที่เร็วแต่ไม่ค่อยจะมีรูปแบบของ Tumble ที่ชัดเจนนัก



(ก) ลูกสูบแบบหัวเรียบ

(ข) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม

(ค) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมกับท่อไอดีแบบ V

รูปที่ 10 เปรียบเทียบ velocity fields ของลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบ V

รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบของลูกสูบที่นำมาใช้ในการทดลอง 2 แบบ โดยมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบท่อไอดี 2 แบบ จากรูปทั้งสามจะเห็นว่าความเร็วเฉลี่ยรวมของรูป (ก) จะไหลช้ากว่า แบบ (ข) และ (ค) ส่วนการเกิด Tumble ที่ดีจะเป็นลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมที่ใช้ท่อไอดีแบบขนาน ซึ่งรูปแบบที่เกิดขึ้นทำให้ทราบว่ ลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบจะมีการเปลี่ยนแปลงได้จากลักษณะของห้องเผาไหม้ และ ผลกระทบกับการไหลอื่นเนื่องมาจากลักษณะของท่อไอดี ทำให้การหมุนวนที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไป

[4] Imaichi K., Ohmi K., "Numerical processing of flow-visualization", Journal of Fluid Mech, (1983), Vol.129, pp 283.

6. สรุป

เทคนิคการถ่ายภาพนี้ทำให้สามารถมองเห็นสนามการไหลที่เกิดขึ้นจริงภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ส่วนผสมบางได้ อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์สนามการไหลได้จาก สนามการไหลของ Vector ความเร็วที่คำนวณได้ โดยในการทำให้เกิด Tumble จะประกอบไปด้วยปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. สนามการไหลแบบ Tumble นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของหัวลูกสูบ การเกิด Tumble ที่เร็วขึ้นและเป็นรูปแบบที่คงตัวมากขึ้น โดยจะสังเกตเห็นจากความเข้มของสนามการไหลที่เกิดกับลูกสูบแบบ GDI
2. สนามการไหลแบบ Tumble นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะท่อทางเข้าของอากาศ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Khalighi B., "Intake-generated swirl and tumble motions in a 4-valve engine with various intake configurations-flow visualization and particle tracking velocimetry", SAE paper, (1990), No.900059.
- [2] Charoenphonphanich C., Otaka M., Ennoji H. and Hukumoto M., "Numerical study on visualization of in-cylinder fluid motion and mixing process of dual intake valve si engine", Proceeding of Fourth Asian Symposium on Visualization, (2001), pp 551.
- [3] Charoenphonphanich C., Ennoji H., Iijima T. , 1994, "Intake and Compression Generated Tumble Motions and Swirl in a 4-Valve SI engine", Proceeding of Third Asian Symposium on Visualization, (1994), pp 600.