

การไหลและการกระจายของของผสมภายในกระบอกสูบที่ความเร็วรอบต่างๆของเครื่องยนต์วาล์วไอดี2วาล์ว
(In-cylinder Flow and Distribution of Mixture at Various Engine Speed of Dual Intake Valves Engine)

จินดา เจริญพรพาณิชย์*1, ฮิโรชิ นิวะ*1, ทวีชัย นาคพิพัฒน์*2,
โตะกะ มะโคะโตะ*3, ฮิสะยุกิ เอ็นโนจิ*4 และ โทชิโอะ อิจิม่า*5

Chinda CHAROENPHONPHANICH*1, Hiroshi NIWA*1, Tawatchai NAKPIPAT*2,
Makoto OTAKA*2, Hisayuki ENNOJI*3 and Toshio IJIMA*4

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การไหลและลักษณะการผสมกันของของไหลภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์วาล์วไอดี2วาล์วในระหว่างจังหวะดูดและจังหวะอัดที่ความเร็วรอบต่างๆด้วยการคำนวณโดยวิธีไฟไนท์ วอลุ่ม (Finite Volume Method) ความถูกต้องของการคำนวณได้ถูกพิสูจน์โดยทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณของการไหลและการผสมที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาทีกับผลการทดลองซึ่งใช้เครื่องยนต์ที่มีกระบอกสูบและกระบอกสูบใส โดยวัดความเร็วของการไหลด้วยวิธีสกรอชอยอนุภาค ผลการวิเคราะห์การไหลและการผสมของของไหลแสดงที่หน้าตัดต่างๆของกระบอกสูบ อิทธิพลของความเร็วรอบต่อลักษณะการไหลและการผสมกันของของผสมน้ำมันและอากาศได้ถูกศึกษาโดยงานวิจัยนี้

Abstract

A numerical analysis of the flow and mixing process of fluid induced into the cylinder through each of the two intake ports of SI engine during intake and compression strokes have been carried out with finite volume method. A validity of the numerical analysis was verified comparing the numerical results of flow and mixing process at 1000 rpm with experimental ones which were measured by using optical engine and particle tracking velocimetry. Flow characteristics and mixing process on horizontal and vertical sections, at different crank angle of intake and compression strokes were made clear at various engine speeds.

(Keywords: Flow Visualization, In-cylinder Flow, Internal Combustion Engine, Numerical Analysis, Finite Volume Method, Mixing, Particle Tracking Velocimetry)

*1 Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Tokai University.

*2 Lecturer, Department of Mechanical Engineering, KMITL.

*3 Engineer, Shinwa Sangyo Company LTD.,

*4 Associate Professor, Department of Prime Mover Engineering, Tokai University.

*5 Professor, Department of Prime Mover Engineering, Tokai University.

1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญซึ่งเป็นที่สนใจกันในทุกๆฝ่าย เมืองใหญ่ในหลายๆประเทศประสบกับปัญหาอากาศเป็นพิษโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรุงเทพฯ สาเหตุสำคัญของอากาศเป็นพิษก็คือก๊าซเสียที่ออกมาจากรถยนต์ เป็นที่ทราบกันดีมานานกว่า 50 ปีแล้วว่าลักษณะการไหลของของไหลภายในกระบอกสูบมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเผาไหม้[1] และการควบคุมการไหลในจังหวะดูดและอัดนี้สามารถช่วยในการประหยัดน้ำมันและลดไอเสียจากเครื่องยนต์ได้[2],[3] มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาลักษณะการไหลในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ด้วยวิธีต่างๆกัน[4],[5],[6] เนื่องจากการไหลภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์มีความเร็วสูง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบสูงๆจึงเป็นเรื่องยากที่จะวัด

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการไหลและการกระจายของของผสมในกระบอกสูบที่ความเร็วรอบต่างๆด้วยวิธีการคำนวณ ความถูกต้องของการคำนวณถูกพิสูจน์โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลการทดลองซึ่งทำโดยถ่ายภาพของการไหลในกระบอกสูบด้วยกล้องความเร็วสูงโดยใช้เครื่องยนต์ทดลองที่มีกระบอกสูบและลูกสูบใสและนำภาพไปวิเคราะห์ด้วยอินเทนซิฟิเคชันซึ่งได้อธิบายอย่างละเอียดในบทความทางวิชาการ[7]

2. การวิเคราะห์ด้วยวิธีคำนวณ

2.1 ลักษณะของเครื่องยนต์

ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการคำนวณ รูปที่ 2.1 แสดงแบบที่ใช้ในการคำนวณ แบบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการคำนวณนี้เป็นเครื่องยนต์สี่วาล์วมีห้องเผาไหม้เป็นแบบเพนทรัฟ(Pent-roof) มีท่อไอเสีย 2 ท่อและวาล์วไอเสีย 2 วาล์วซึ่งวางในลักษณะเอียง และเนื่องจากในที่มีจะวิเคราะห์การไหลในระหว่างจังหวะดูดถึงจังหวะอัดซึ่งท่อไอเสียและวาล์วไอเสียไม่มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นท่อไอเสียและวาล์วไอเสียจึงถูกตัดออกไปจากแบบที่ใช้คำนวณ

Table 2.1 Engine Specifications

Cylinder Head Unit	SOHC 4 Valves
Cycle	4 Stroke
Combustion Chamber	Pent-roof
Number of Cylinder	1
Bore×Stroke	80mm×59mm

การคำนวณจะเริ่มที่วาล์วไอเสียเริ่มในจังหวะดูดไปจนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนในจังหวะอัด หลังจากที่ว่าวาล์วไอเสียปิดส่วนของท่อและวาล์วไอเสียจะถูกตัดออกไปจากแบบของ

การคำนวณ Time step ซึ่งใช้ในการคำนวณจะมีค่าเท่ากับเวลาซึ่งใช้ในการเคลื่อนที่หมุนไปหนึ่งองศาของเพลาข้อเหวี่ยง

แบบเครื่องชนิดซึ่งใช้ในการคำนวณจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากการเคลื่อนที่ของวาล์วและลูกสูบ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแบบนี้จะทำด้วยวิธีอินเทอร์โพลชันระหว่างแบบที่มีตำแหน่งต่างกัน แบบในการคำนวณจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนของท่อและวาล์วไอเสียกับส่วนของกระบอกสูบเนื่องจากวาล์วไอเสียและลูกสูบมีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่แตกต่างกัน

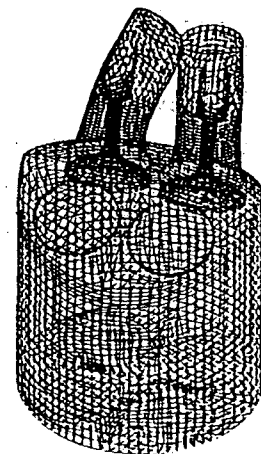


Fig. 2.1 Outline of computational mesh.

2.2 สมการหลักที่ใช้ในการคำนวณ

สมการที่ถูกใช้ในการคำนวณคือสมการการทรงมวล (Mass conservation equation), สมการการทรงโมเมนตัม (Momentum conservation equation), สมการการทรงพลังงาน (Energy conservation equation) และ สมการของการปั่นป่วน k-ε (Turbulence Model) ค่าของตัวแปรต่างๆจะเป็นค่าซึ่งได้จากการเฉลี่ยจากจุดที่มุมข้อเหวี่ยงนั้นๆในหลายจำนวนรอบของเครื่องยนต์ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คือวิธี ไฟไนท์ วอลุ่ม (Finite Volume Method)

2.3 สภาวะที่ขอบและค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณ

ของไหลที่ป้อนเข้าไปยังท่อไอเสียด้านซ้ายคือของผสมของอากาศและก๊าซโซลีนซึ่งมีอัตราส่วนผสมเป็น 10.5:1 ของไหลที่ป้อนเข้าไปในท่อไอเสียด้านขวาเป็นอากาศเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าท่อไอเสียมีค่าเท่ากับ 298 K และ 0.103 MPa ตามลำดับ อุณหภูมิที่ผนังของกระบอกสูบมีค่าเท่ากับ 348 K

ค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณของอุณหภูมิและความดันภายในกระบอกสูบคือ 298 K และ 0.103 MPa. ค่าเริ่มต้นของความเร็วคือ 0 m/s พลังงานของการปั่นป่วน(Turbulence Kinetic Energy) และ เสกสความยาวของการปั่นป่วน(Turbulence Length Scale) คือ $10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ และ 0.002 m ตามลำดับ

3. เครื่องมือทดลองและวิธีการทดลอง

ชุดทดลองแสดงในรูปที่ 3.1 รายละเอียดของเครื่องชนิดทดลองเหมือนกับแบบเครื่องชนิดที่ใช้ในการคำนวณกระบอกสูบและหัวลูกสูบถูกคิดแปลงด้วยวัสดุสโตนเพื่อให้สามารถมองเห็นภายในได้จากทางด้านข้างของกระบอกสูบและด้านล่างของเครื่องชนิด การทดลองทำที่ความเร็วรอบคงที่ 1000 รอบต่อนาที ป้อนอนุภาคเข้าไปในกระบอกสูบผ่านท่อไอศไคแต่ละด้านไม่พร้อมกันเพื่อดูลักษณะการผสมกันของของไหล การบันทึกภาพทำด้วยกล้องวิดีโอความเร็วสูง รูปที่ 3.2 แสดงหน้าตัดที่ทำการสังเกต รูปที่ 3.3 แสดงขบวนการวิเคราะห์ภาพที่ได้ด้วยอิมเมจโปรเซสเซอร์และคอมพิวเตอร์ โดยที่รูป 3.3(a) และ 3.3(c) คือภาพของรอยอนุภาคซึ่งถ่ายด้วยกล้องความเร็วสูงในกรณีที่ป้อนอนุภาคเข้าไปยังท่อไอศไคซ้ายและขวาตามลำดับ รูปที่ 3.3(b) และ 3.3(d) เป็นความเร็วของอนุภาคที่คำนวณได้จากระยะเวลาความยาวของรอยอนุภาคและความเร็วชัดเตอร์ของกล้อง รายละเอียดของการทดลองที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาทีได้ถูกแสดงในบทความ [7]

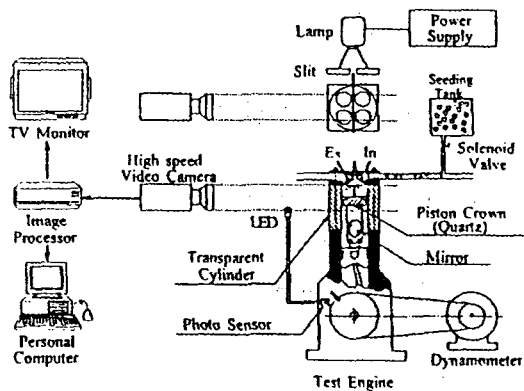


Fig. 3.1 Experimental Apparatus.

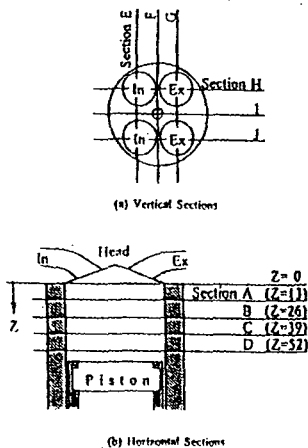


Fig. 3.2 Locations of measuring sections.

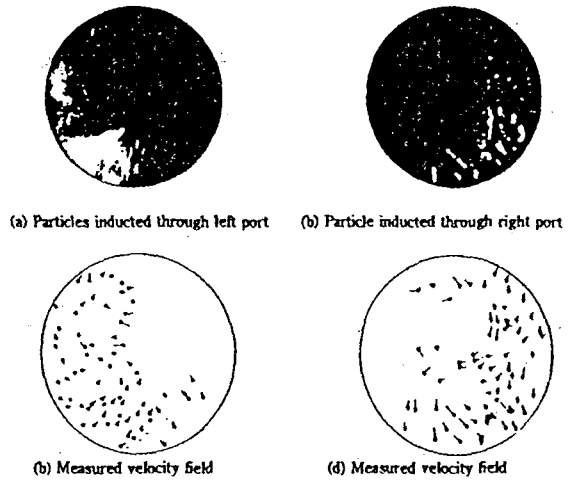


Fig. 3.3 Photographs of particles induced through each port and measured velocity fields.

4. ผลและการวิเคราะห์

4.1 เวกเตอร์ความเร็วและรูปแบบของการไหล

รูปที่ 4.1(a) และ 4.1(b) แสดงเวกเตอร์ความเร็วที่ได้จากการคำนวณและจากการทดลองบนหน้าตัด A ที่ความเร็วเครื่องยนต์ ถูกอินเล็กแสดงถึง เวกเตอร์ความเร็วและลูกศรอันใหญ่แสดงถึงทิศทางการไหลโดยรวม ในผลการทดลองความเร็วที่แต่ละจุดบนหน้าตัดคำนวณจากเวกเตอร์ความเร็วที่วัดได้รอบๆจุดนั้นๆด้วยวิธีอินเตอร์โพลชัน (Interpolation) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ยจาก 3 รอบของเครื่องยนต์ จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าทิศทางการไหลโดยรวมระหว่างการคำนวณและการทดลองสอดคล้องกันเป็นอย่างมาก การเปรียบเทียบโดยละเอียดบนหลายๆหน้าตัดที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาทีแสดงในบทความทางวิชาการ

[7]

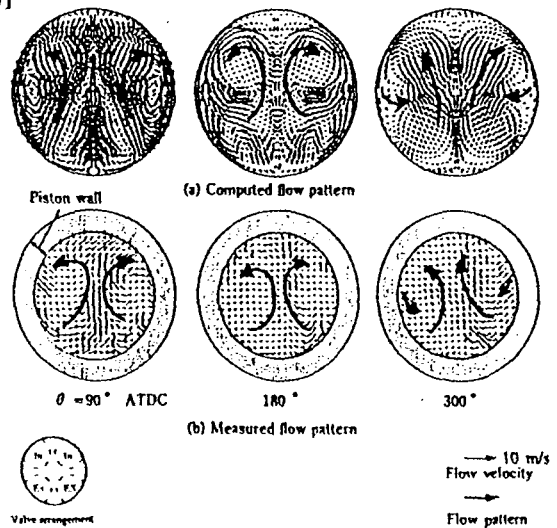


Fig. 4.1 Velocity field on horizontal section A at engine speed 1000 rpm.

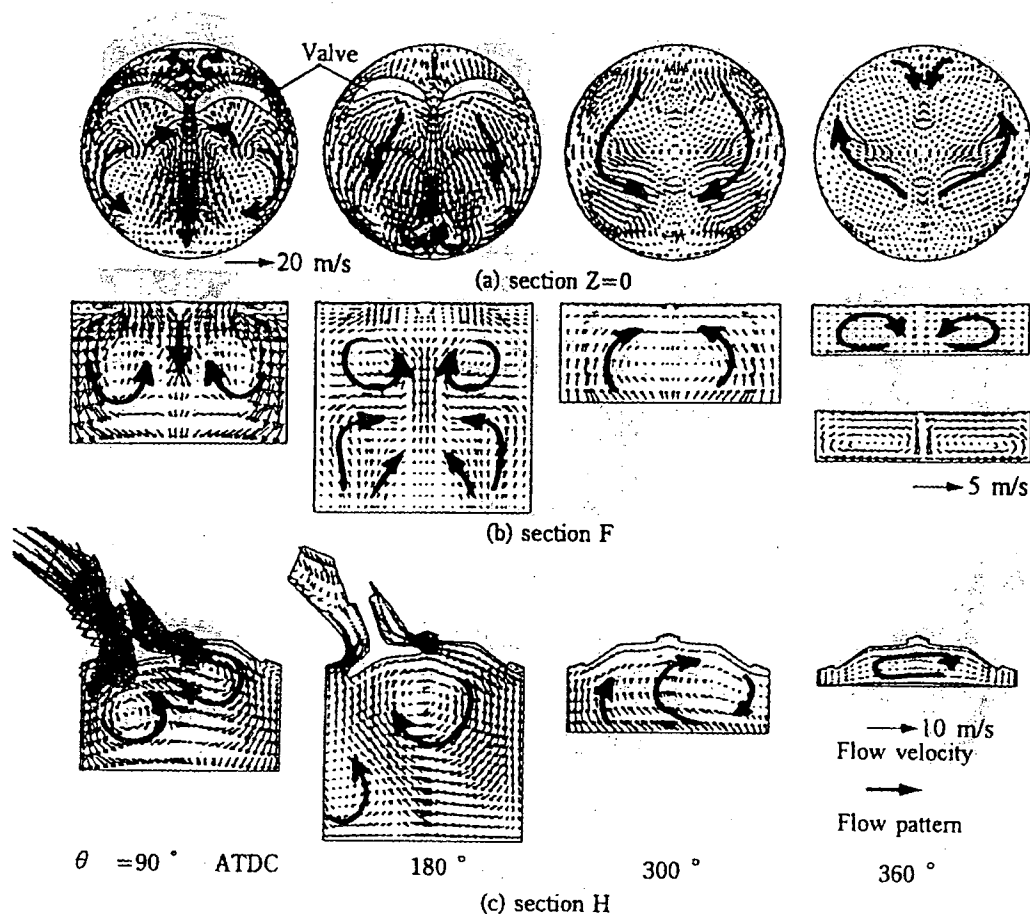


Fig. 4.2 Velocity field on each section at engine speed 1000 rpm.

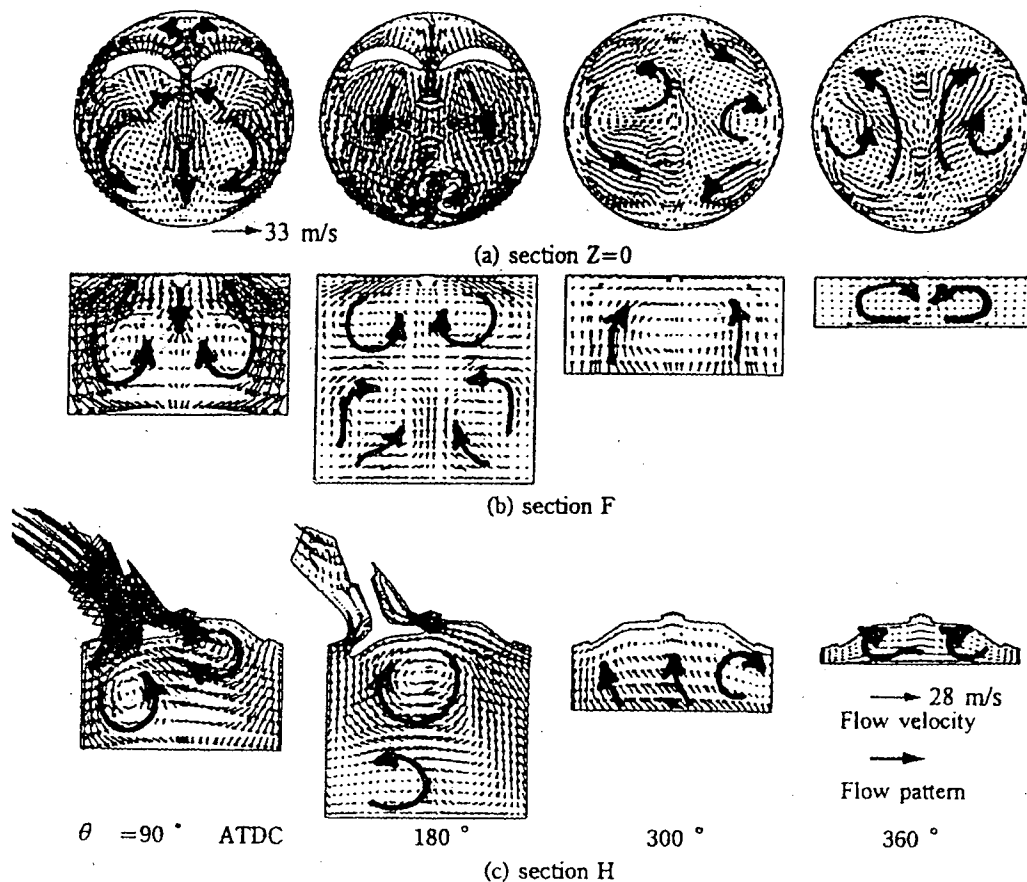


Fig. 4.3 Velocity field on each section at engine speed 2000 rpm.

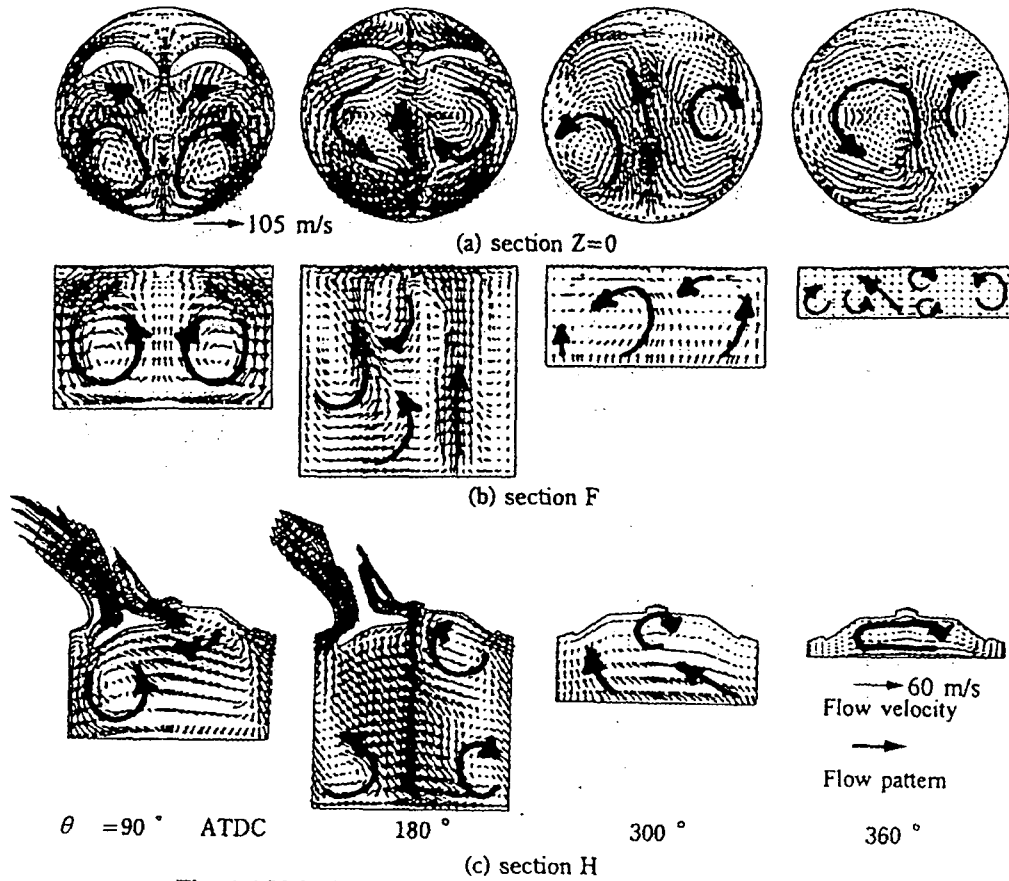


Fig. 4.4 Velocity field on each section at engine speed 4000 rpm.

รูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 แสดงถึงผลการคำนวณของเวกเตอร์ความเร็วบนหน้าตัด Z=0, H และ F ที่ความเร็วเครื่องยนต์ 1000, 2000 และ 3000 รอบต่อนาที ตำแหน่งของแต่ละหน้าตัดได้ถูกแสดงไปแล้วในรูปที่ 3.2 เกล็ดของเวกเตอร์ความเร็วได้แสดงอยู่ทางขวามือด้านล่างของแต่ละรูป เกล็ดของเวกเตอร์ความเร็วบนหน้าตัด Z=0 ที่มุมข้อเหวี่ยง 90 องศาจะไม่เท่ากับเกล็ดในที่อื่นๆ เนื่องจากความเร็วบนหน้าตัดนี้มีค่าสูงกว่าที่อื่นมาก ในรูปที่ 4.2 ภาพขยายของหน้าตัด F ที่มุมข้อเหวี่ยง 360 ATDC หรือจุดศูนย์กลางบนในจังหวะอัด ถูกแสดงอยู่ได้รูปจริง การไหลในกระบอกสูบที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาทีได้ถูกอธิบายดังนี้ ที่หน้าตัด Z=0 มุมข้อเหวี่ยง 90 ATDC ในจังหวะดูด จากรูปที่ 4.2 มีการไหลหมุนวนขนาดเล็กอยู่บริเวณเหนือวาล์วไอดี ที่ผนังกระบอกสูบทั้งสองด้านมีการไหลลงไปด้วยความเร็วสูง ที่มุมข้อเหวี่ยง 180 ATDC หรือศูนย์กลางของจังหวะดูด การไหลส่วนใหญ่เป็นการไหลจากทางฝั่งวาล์วไอดีไปยังด้านวาล์วไอเสีย มีการไหลหมุนวนขนาดเล็กพบที่ด้านล่างของรูป ที่มุมข้อเหวี่ยง 300 ATDC เป็นการไหลจากทั้งฝั่งซ้ายและขวาเข้าสู่ศูนย์กลาง ที่มุมข้อเหวี่ยง 360 ATDC เป็นการไหลจากฝั่งวาล์วไอดีไปยังด้านวาล์วไอเสีย เลียบผนังของกระบอกสูบซ้ายขวาและมาปะทะกันที่บริเวณใต้วาล์วไอเสียแล้วก็มีวนตัวขึ้นในบริเวณพื้นที่ส่วนกลาง สำหรับในหน้าตัด F ที่มุมข้อเหวี่ยง 90 ATDC ของไหลส่วนใหญ่ไหลลงด้านล่างเลียบตามผนังกระบอกสูบ ทำให้เกิดการไหลหมุนวนทาง

ด้านซ้ายและขวา ที่ศูนย์กลางล่างของจังหวะดูด การไหลหมุนวนก็ยังคงปรากฏในด้านครึ่งบนของกระบอกสูบในขณะที่ด้านครึ่งล่างมีการไหลย้อนขึ้น ที่มุมข้อเหวี่ยง 300 ATDC ของไหลไหลขึ้นตามผนังกระบอกสูบชนกับเพดานด้านบนแล้วหมุนตัวลงตรงกลางของกระบอกสูบ ซึ่งการไหลนี้ได้เปลี่ยนเป็นการไหลหมุนวนแบบสมมาตรกันเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์กลางบนซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของจังหวะอัด ที่หน้าตัด H มุมข้อเหวี่ยง 90 ATDC ของไหลไหลเข้าสู่กระบอกสูบผ่านรอบวาล์วไอดี ทำให้เกิดการไหลหมุนวนสองที่ทางด้านซ้ายและขวา ซึ่งการไหลหมุนวนทั้งสองนี้ได้เคลื่อนที่ไปเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์กลางล่างโดยการไหลหมุนวนด้านขวาจะเคลื่อนที่ขึ้นในขณะที่ด้านซ้ายเคลื่อนที่ลงใกล้กับผิวหน้าลูกสูบและมีขนาดเล็กลง ที่มุมข้อเหวี่ยง 300 ATDC ปรากฏการไหลหมุนวนเพียงที่เดียวที่บริเวณทางขวาของรูป ซึ่งการไหลหมุนวนนี้จะถูกบีบอัดโดยลูกสูบจนมีลักษณะแบนเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์กลางบน

ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที ที่หน้าตัด Z=0 ลักษณะการไหลในระหว่างจังหวะอัดค่อนข้างเหมือนกับในกรณีความเร็ว 2000 รอบต่อนาที ที่มุมข้อเหวี่ยง 300 ATDC พบการไหลหมุนวนสองที่โดยที่ไม่สมมาตรกันซึ่งคงอยู่แม้เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์กลางบนโดยที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ที่หน้าตัด F ลักษณะการไหลส่วนใหญ่เหมือนกับที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที ที่หน้าตัด H เมื่อเทียบกับที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที ที่มุมข้อเหวี่ยง 90

ATDC มีลักษณะใกล้เคียงกัน ที่ 180 ATDC การไหลหมุนวนทางด้านซ้ายมีขนาดใหญ่กว่า และที่ 300 ATDC การไหลมีลักษณะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาสองที่ และที่มุมข้อเหวี่ยง 360 ATDC เหลือการไหลหมุนวนเพียงที่เดียว

ที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที บนหน้าตัด $Z=0$ มุมข้อเหวี่ยง 90 ATDC ของไหลไหลจากทางวาล์วไอดีไปยังวาล์วไอดีตามผนังกระบอกสูบด้วยความเร็วสูงมากที่ความเร็ว 1000 และ 2000 รอบต่อนาที และทำให้เกิดการไหลหมุนวน ที่บริเวณไอดีวาล์วไอดี ที่มุมข้อเหวี่ยง 180 ATDC การไหลส่วนใหญ่เป็นลักษณะไหลจากฝั่งไอดีตรงไปยังฝั่งไอดีโดยไม่พบการหมุนวนใดใด ที่มุมข้อเหวี่ยง 300 และ 360 ATDC การไหลค่อนข้างซับซ้อนและไม่สมมาตรกัน บนหน้าตัด F ที่ 90 ATDC ของไหลไหลลงชนกับผิวของลูกสูบแล้วหมุนวนขึ้นทำให้เกิดการไหลหมุนวนเหมือนกับที่ความเร็ว 1000 และ 2000 รอบต่อนาที ที่ 180 ATDC พบการไหลหมุนวนขนาดเล็กอยู่กระจัดกระจายหลายแห่ง ที่ 300 และ 360 ATDC ก็พบว่ามีลักษณะการไหลในลักษณะเดียวกัน บนหน้าตัด H ที่ 90 ATDC พบการไหลหมุนวนทางด้านซ้ายเพียงที่เดียว ที่ 180 ATDC พบการไหลหมุนวนสามแห่ง ที่ได้วาล์วไอดี และเหนือลูกสูบทางด้านซ้ายและขวา ที่รอบวาล์วไอดีมีของไหลที่ไหลย้อนกลับเข้าไปในท่อไอดีปริมาณมากกว่าที่ 1000 และ 2000 รอบต่อนาที ที่ 300 ATDC ส่วนใหญ่เป็นการไหลขึ้นด้านบนและพบการไหลหมุนวนขนาดเล็กที่ได้บริเวณใจกลางกระบอกสูบ ที่ 360 ATDC การไหลกลายเป็นการไหลหมุนวนเต็มพื้นที่ของหน้าตัด

4.2 ขบวนการผสมและการกระจายของของผสมน้ำมันและอากาศ

รูปที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณของการกระจายของของผสมซึ่งป้อนเข้าไปในกระบอกสูบผ่านท่อไอดีด้านซ้าย บนหน้าตัด A รูปที่ 4.6 เป็นรูปถ่ายของอนุภาคซึ่งป้อนเข้าไปทางท่อไอดีด้านซ้าย บนหน้าตัด A ทั้งการทดลองและการคำนวณทำที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที สำหรับการเปรียบเทียบที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาทีถูกแสดงในบทความทางวิชาการ[7] จากการเปรียบเทียบผลของการทดลองและการคำนวณค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน

รูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงผลการคำนวณของการกระจายของของผสมน้ำมันกับอากาศเมื่อป้อนของผสมในท่อไอดีทางด้านซ้ายเพียงข้างเดียว ที่ความเร็ว 1000, 2000 และ 4000 รอบต่อนาที ตามลำดับ เสดกค่าอัตราส่วนอากาศและน้ำมันแสดงอยู่ทางด้านขวามือของแต่ละรูป เส้นอัตราส่วนอากาศและน้ำมันในอุดมคติแสดงด้วยเส้นหนาสีดำ ในกรณีความเร็ว 1000 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาหน้าตัด $Z=0$ และ F แล้วจะพบว่า ที่ 90 ATDC เส้นอัตราส่วนอากาศและน้ำมันในอุดมคติอยู่ทางด้านเหนือวาล์วไอดีและเลียบตามผนังกระบอกสูบ ที่ 180 ATDC ความเข้มข้นของ

ของผสมที่บริเวณผนังกระบอกสูรมีค่าสูงและค่อยๆลดลงในส่วนของใจกลางของกระบอกสูบ ทำให้พิจารณาได้ว่า การผสมกันของของผสมจากท่อไอดีด้านซ้ายและอากาศทางท่อไอดีด้านขวาทำการผสมกันในบริเวณใจกลางเป็นส่วนใหญ่จึง

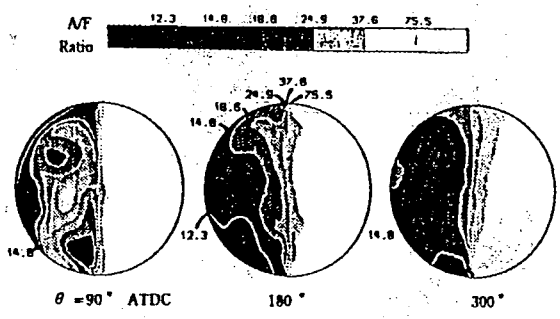


Fig. 4.5 Contour map of mixture induced through left port on horizontal section A at engine speed 1000 rpm.

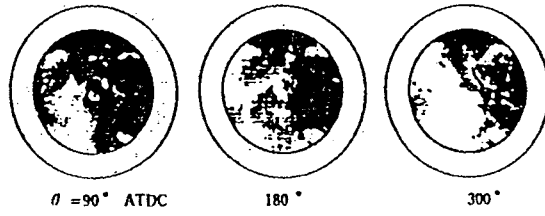


Fig. 4.6 Photographs of particles induced through each port on horizontal section A at engine speed 1000 rpm.

ทำให้ของผสมส่วนใหญ่ไม่ได้แพร่เข้าไปถึงในครึ่งด้านขวาของกระบอกสูบ ในช่วงจังหวะอัดของผสมกระจายเข้าไปยังครึ่งด้านขวาเป็นบางส่วน ส่วนที่หน้าตัด H นั้น ที่ 90 ATDC ความเข้มข้นของของผสมทางด้านซ้ายมากกว่าทางด้านขวามือหมายถึงว่า ปริมาณของของผสมที่เข้ามาทางด้านซ้ายของวาล์วไอดีมีปริมาณมากกว่า ที่ 180 ATDC บริเวณของของผสมทางด้านขวาเพิ่มขึ้น ซึ่งถูกพิจารณาว่าเป็นผลมาจากการไหลหมุนวนซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2 ในจังหวะอัดการผสมเกิดขึ้นที่หน้าตัด และที่ 360 ATDC ของผสมกระจายไปทั่วทุกส่วน

ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที บนหน้าตัด $Z=0$ ที่ 90 และ 180 ATDC มีลักษณะคล้ายกับที่ 1000 รอบต่อนาที แต่ในระหว่างจังหวะอัดมีลักษณะต่างกันคือมีการผสมกับเกิดขึ้นที่ทางด้านบริเวณวาล์วไอดีทำให้ลักษณะการกระจายของของผสมมีลักษณะเปลี่ยนไป บนหน้าตัด F ที่ 90 ATDC คล้ายกับที่ 1000 รอบต่อนาที ที่ 180 ATDC แตกต่างกันเล็กน้อย ที่ 300 และ 360 ATDC พื้นที่ส่วนของผสมหนา มีขนาดใหญ่กว่า การกระจายของของผสมเกิดขึ้นในด้านครึ่งซ้ายมากกว่า บนหน้าตัด H ที่ 90

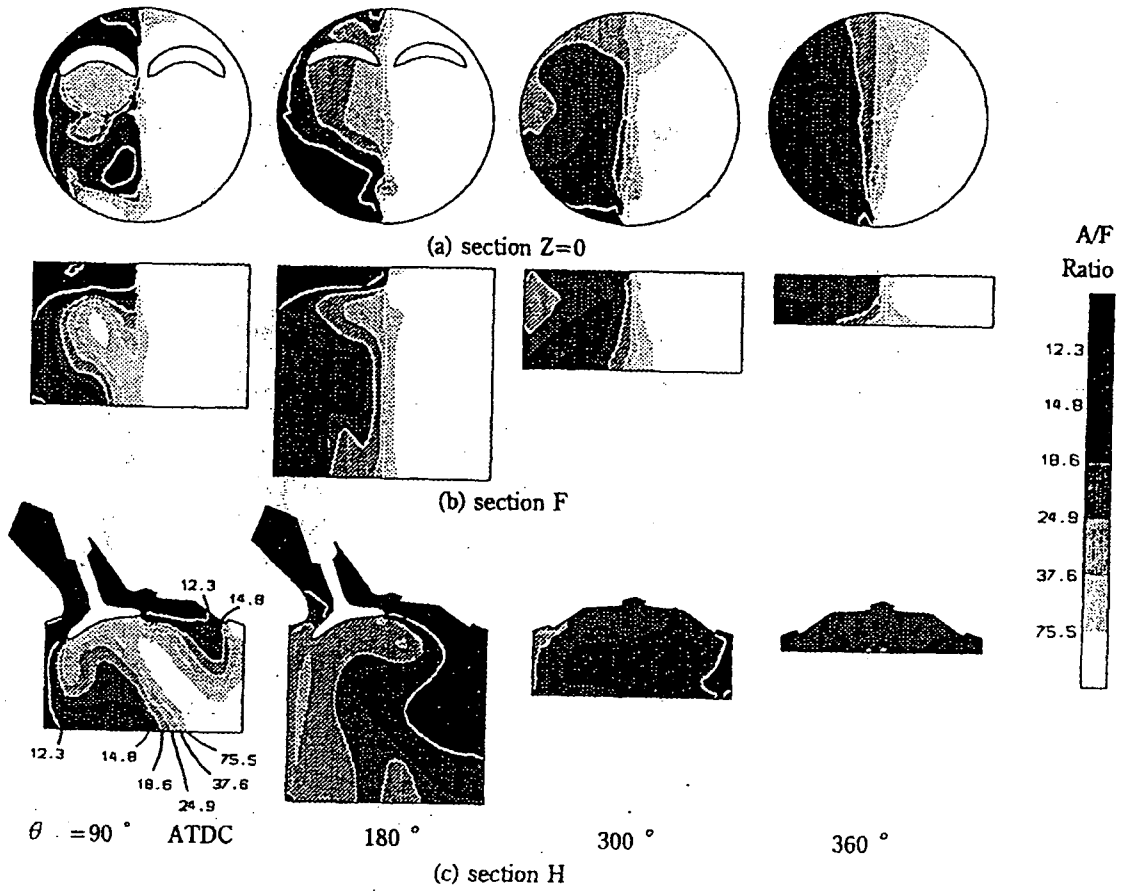


Fig. 4.7 Contour map of air fuel ratio of mixture on each section at engine speed 1000 rpm.

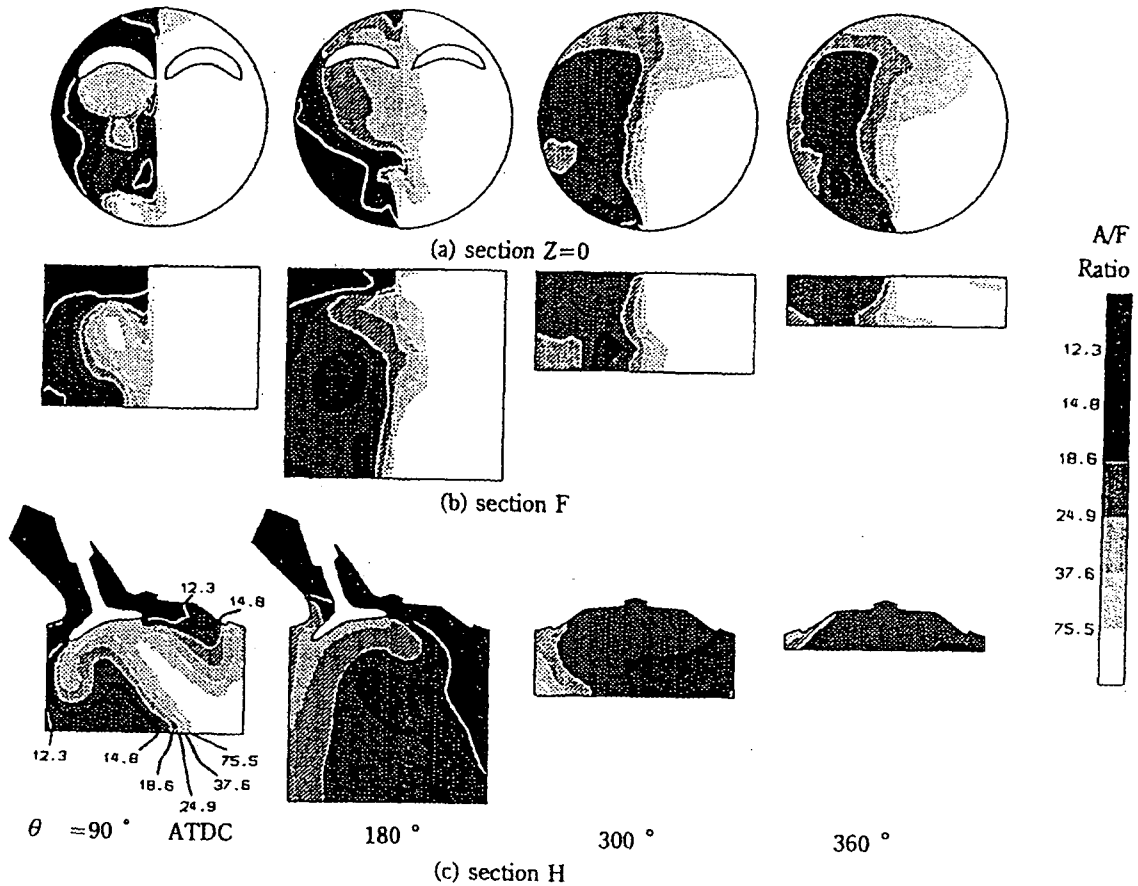


Fig. 4.8 Contour map of air fuel ratio of mixture on each section at engine speed 2000 rpm.

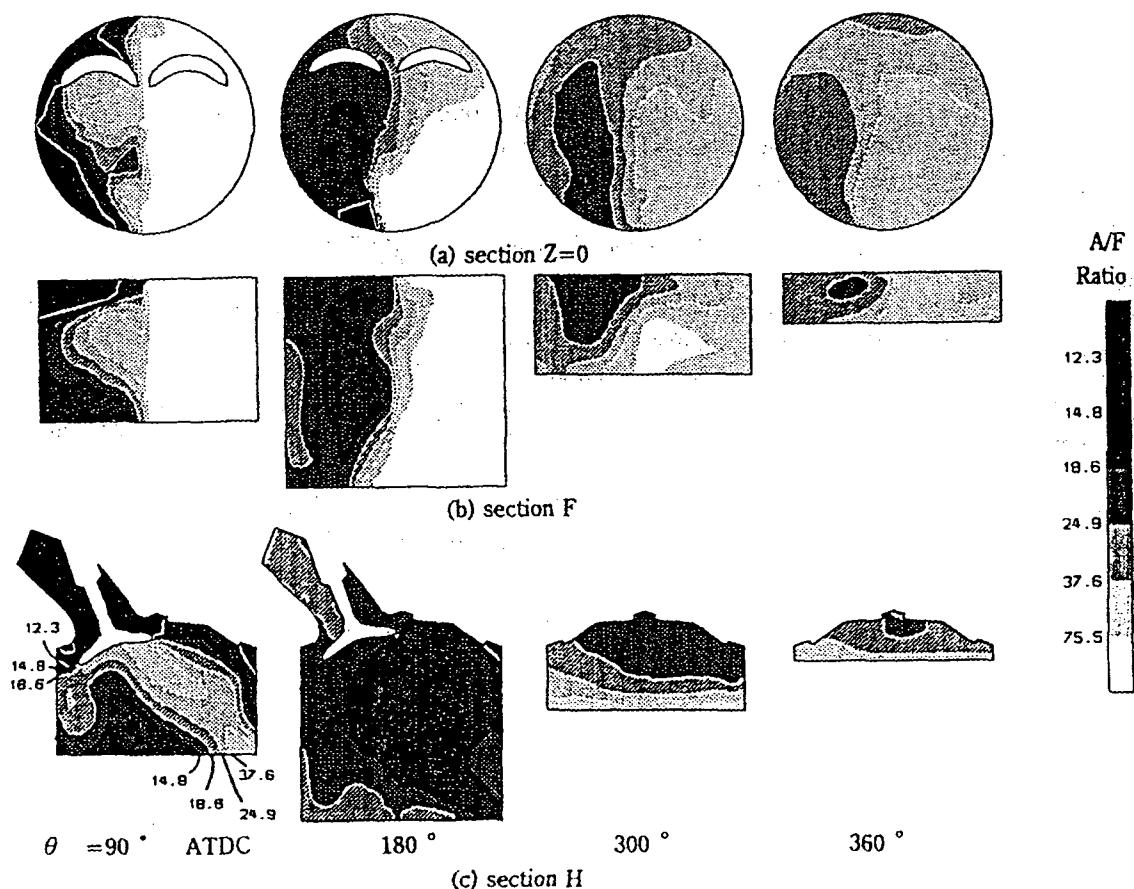


Fig. 4.9 Contour map of air fuel ratio of mixture on each section at engine speed 4000 rpm.

ATDC เหมือนกับในกรณี 1000 รอบต่อนาที ที่ 180 ATDC ทางด้านล่างของหน้าตัดมีความเข้มข้นต่ำกว่าเนื่องจากอิทธิพลของการไหลหมุนวนในบริเวณนั้น ที่มุมข้อเหวี่ยง 300 และ 360 ATDC ส่วนผสมที่หนาจะอยู่ในบริเวณขาข้อเหวี่ยง และความเข้มข้นของผสมจะมากขึ้นจากซ้ายไปขวา

ที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที ลักษณะการกระจายของผสมในระหว่างจังหวะดูดไม่แตกต่างจาก 1000 และ 2000 รอบมากนัก แต่มีการผสมกันเกิดขึ้นมากกว่าดังจะเห็นได้จากว่ามีพื้นที่ส่วนที่เข้มข้นเป็นบริเวณน้อยแต่มีพื้นที่โดยรวมของผสมเป็นบริเวณกว้าง ที่ 180 ATDC ส่วนผสมหนาเป็นบริเวณน้อยมาก อันเนื่องมาจากของผสมจำนวนมากไหลย้อนกลับเข้าไปยังท่อไอดี ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ในจังหวะอัดของผสมกระจายไปทั่วทั้งกระบอกสูบโดยเฉพาะเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบน

5. สรุป

จากผลการคำนวณความเร็วของการไหลและการกระจายของผสมซึ่งแสดงบนหน้าตัดต่างๆสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ความถูกต้องของการคำนวณได้ถูกพิสูจน์โดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที

2) ลักษณะการไหลในระหว่างจังหวะดูดมีลักษณะก่อนข้างคล้ายกันที่ความเร็ว 1000, 2000 และ 4000 รอบต่อนาที ก็เกิดการไหลหมุนวนซึ่งสมมาตรกันทางซ้ายและขวา และพบการไหลหมุนวนแนวตั้งสองแห่งในบริเวณใกล้เคียงกันที่ ความเร็ว 1000 และ 2000 รอบต่อนาที

3) ในระหว่างจังหวะอัด เกิดการไหลหมุนวนที่สมมาตรซ้ายขวาที่ความเร็ว 1000 และ 2000 รอบต่อนาที แต่ที่ 4000 รอบต่อนาที เป็นการไหลที่ซับซ้อนประกอบไปด้วยการไหลหมุนวนขนาดเล็กจำนวนมาก ทั้งนี้ การไหลหมุนวนแนวตั้งเกิดขึ้นที่ทุกๆความเร็วรอบ

4) การกระจายของผสมที่ความเร็ว 1000 และ 2000 รอบต่อนาที เกิดขึ้นในอัตราค่าทำให้ของผสมส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในบริเวณครึ่งซ้าย แต่ที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที ของผสมกระจายไปทั่วบริเวณของกระบอกสูบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณ Isuzu Motors Company Ltd, Tri Petch Isuzu Sales Co., Ltd และ Isuzu Engine Manufacturing Co., Ltd ที่ช่วยสนับสนุนการวิจัยนี้

บรรณานุกรม

- [1] J. B. Heywood, "Fluid Motion with in the Cylinder of Internal Combustion Engines - The 1986 Freeman Scholar Lecture", *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 109/3, 1987.
- [2] Iwamoto, Y. Danno, O. Hirako, T. Fukui and N. Murakami, "The 1.5-Liter Vertical Vortex Engine", SAE paper 920670, 1992.
- [3] Kiyota, K. Akishino and H. Ando, "Concept of Lean Combustion by Barrel-Stratification", SAE paper 920678, 1992.
- [4] Khalighi and M. S. Huebler, "A Transient Water Analog of a Dual-Intake-Valve Engine for Intake Flow Visualization and Full-Field Velocity Measurements", SAE paper 880519, 1988.
- [5] Khalighi, "Intake-Generated Swirl and Tumble Motions in a 4-Valve Engine with Various Intake Configurations-Flow Visualization and Particle Tracking Velocimetry", SAE Paper 900059, 1990.
- [6] H. Kudou et. al., "A Study About In-Cylinder Flow and Combustion in a 4-Valve S. I. Engine", SAE Paper 920574, 1992.
- [7] C. Charoenphonphanich, M. Otaka, H. Ennoji, T. Iijima and M. Hukumoto, "In-Cylinder Fluid Motion and Mixing of a Dual Intake Valve Spark Ignition Engine", SAE paper 960266, 1996.