

พลวัตกรรมการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

FLOW CHARACTERISTICS IN A SMALL ENGINE COMBUSTION
CHAMBER

อิทธิเชษฐ เตโชพิศาลวงศ์
ITTICHET TECHOPISANWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-3912-9

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

พฤติกรรมการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

FLOW CHARACTERISTICS IN A SMALL ENGINE COMBUSTION
CHAMBER



อิทธิเชฐ เตโชพิศาลวงศ์

ITTICHET TECHOPISANWONG

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 61649

วัน,เดือน,ปี 19 ก.ค. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2619-9

**FLOW CHARACTERISTICS IN A SMALL ENGINE COMBUSTION
CHAMBER**

ITTICHET TECHOPISANWONG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2619-9

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก
นักศึกษา	นายอิทธิเชฐ เตโชพิศาลวงศ์
รหัสประจำตัว	44062029
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ส่วนผสมบางเปรียบเทียบกับห้องเผาไหม้แบบทั่วไป ซึ่งใช้วิธี PIV โดยใช้อนุภาคที่สังเกตุได้ง่าย แทนการไหลของอากาศที่เกิดขึ้น เครื่องยนต์จำลองที่ใช้มีกระบอกสูบเป็นแบบสี่ จุดกำเนิดกระบอกสูบแสงใช้หลอด Halogen ขนาด 1500 Watt อนุภาคจะไหลปนมากับอากาศจากนั้นใช้การถ่ายภาพเป็นการบันทึกเส้นการไหลของอนุภาคในกระบอกสูบ โดยจะเปลี่ยนแปลง ความเร็วการเปิดหน้ากล้องเพื่อให้ได้ความเร็วการไหลของอนุภาคแต่ละช่วง นำเส้นของการไหลและช่วงเวลาที่หน้ากล้องปิดไปคำนวณหาสนามการไหลที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ เพื่อค้นหาพฤติกรรมการไหลที่ทำให้เกิดการไหลวนแบบ Tumble มากที่สุด เปรียบเทียบระหว่างลูกสูบ 6 แบบ และทำการเปลี่ยนลักษณะท่อไอดี 3 แบบ โดยการวิเคราะห์จากเวกเตอร์ความเร็ว และเส้นการไหล Streamline ที่คำนวณได้ในบทความนี้จะหาผลกระทบที่เกิดจากลักษณะของหัวลูกสูบและรูปแบบของท่อไอดี หลังจากนั้นนำมาพัฒนาห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์จริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับของเดิมจากโรงงานผู้ผลิต โดยเปลี่ยนลูกสูบ แบบหลุมโค้ง แบบหลุมเรียบ และแบบหลุมโค้งใหญ่ การเปลี่ยนลักษณะการไหลนั้นสามารถทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยในลูกสูบแบบหลุมเรียบ และท่อไอดีแบบตรงทำให้ได้กำลังจากเดิม 8.06 KW เป็น 8.7 KW

Thesis	Flow characteristics in a small engine combustion chamber
Student	Mr.Ittichet Techopisanwong
Student ID	44062029
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assit.Prof. Chinda Charoenphonphanich

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, six types of piston crown and tree types of intake port were installed in a test engine. Effects of the combustion chamber and intake port configuration on flow characteristics are examined. In this paper, three types of piston crow with stright port were installed in a test engine. The power in case of the flat bowl piston increases upto 8.7 KW compared with 8.06 KW incase of the conventional engine.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำสั่งสอน, คำแนะนำ, การเอาใจใส่ และให้คำปรึกษาของ ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ลูกศิษย์คนนี้ ขอขอบคุณนาย กิตติ เข็มเปรมจิต, นาย ชโลธร ธรรมแท้ และเพื่อน ๆ ที่ช่วยเหลือขอบพระคุณอย่างสูง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยเป็นอย่างสูงที่เฝ้าเลี้ยงดู, อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมความตั้งใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้แล้ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเช่นนี้ ซึ่งคุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขออำนาจของพระคุณศรีรัตนตรัยอวยพรความสุขสวัสดิ์แก่ทุกท่าน

อิทธิเชษฐ เตโชพิศาลวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการถ่ายภาพภายในเครื่องยนต์จำลอง.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการการไหลภายในกระบอกสูบจากการทดสอบเครื่องยนต์.....	8
บทที่ 3 เนื้อหาที่เกี่ยวข้อง.....	10
3.1 เส้นพาทไลน์ (Path lines).....	10
3.2 เส้นสตรีมไลน์ (Streamlines).....	10
3.3 สมการการไหลต่อเนื่อง (Equation of continuity).....	11
3.4 การไหลของอากาศในห้องเผาไหม้.....	13
3.4.1 ลักษณะการ Swirl	14
3.4.2 ลักษณะการเกิด Tumble	16
3.5 การศึกษาการไหลภายในกระบอกสูบ.....	16
3.5.1 การศึกษาโดยพิจารณาจากผลการทดลอง.....	17
3.5.2 การศึกษาโดยใช้ Math Model.....	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.6 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด [11].....	17
3.6.1 รูปทรงของหัวลูกสูบ.....	18
บทที่ 4 อุปกรณ์การทดลองและผลการทดลอง.....	19
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและขั้นตอนการทดลองการศึกษาพฤติกรรมการไหลใน ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ด้วยเครื่องยนต์จำลอง.. ..	19
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
4.1.2 วิธีการทดลองด้วยเครื่องยนต์จำลองและแสดงผล.....	24
4.2 อุปกรณ์และวิธีการทดสอบโดยนำลักษณะของการไหลที่ดีที่สุดมาทดสอบกับเครื่อง ยนต์จริง.....	30
4.2.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง.....	30
4.2.2 ลักษณะของลูกสูบที่นำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ Mitsubishi DI1200.....	31
4.2.3 ท่อไอเสียที่ใช้ในการทดสอบ.....	33
4.2.4 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์.....	34
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	36
5.1 บทนำ.....	36
5.2 ผลการทดลองลักษณะการไหลด้วยเครื่องยนต์จำลอง.....	36
5.3 การวิเคราะห์ผลจากลูกสูบแบบทั่วไปที่นำมาทำการทดลอง.....	50
5.4 ผลการทดลองสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก.....	54
5.4.1 กำลังและแรงบิดเครื่องยนต์.....	54
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	58
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	59

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก ก.....	62
ภาคผนวก ข.....	66
บทความ พฤติกรรมการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ส่วนผสมบาง.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องชนิดจำลองการไหล.....	21
4.2 เงื่อนไขในการทดลอง.....	22
4.3 รายละเอียดทั่วไปของเครื่องชนิด.....	31
ก 1 ค่าจากการลงจุดในการพล็อตเวกเตอร์เพื่อทดสอบความแม่นยำ.....	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดง Stream line ในกระบอกสูบ เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท่อไอดี 5 แบบ	6
2.2 แสดงการไหลแบบ Tumble ภายในกระบอกสูบ.....	7
2.3 แสดงการไหลแบบ Swirl ภายในกระบอกสูบ.....	8
2.4 ประสิทธิภาพจากการทดลองเปลี่ยน ลูกสูบแบบสควิช เทียบกับลูกสูบแบบหัวเรียบ.....	9
3.1 เส้นสตรีมไลน์ของกลุ่มอนุภาค.....	10
3.2 เส้นแสดงความเร็วที่ใช้ในการคำนวณเส้นสตรีมไลน์.....	11
3.3 การไหลภายใน stream tube.....	12
3.4 ระดับการไหลปั่นป่วนของอากาศในเครื่องยนต์กับความเร็วยรอบ.....	14
3.5 a) การไหลวนแบบ Swirl กับกระบอกสูบ b) อากาศไหลเข้าในกระบอกสูบจากมุมตั้งฉากกับ เส้นรอบวง c) การไหลเข้าในช่องไอดี d) การไหลเข้าผ่านวาล์ว.....	15
3.6 การไหลแบบ Tumble เกิดขึ้นในลูกสูบแบบสควิชจังหวะใกล้จุดศูนย์ตายบน.....	16
3.7 ทรงต่าง ๆ ของลูกสูบสำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน.....	18
4.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดลองและระบบการมองเห็น.....	19
4.2 ภาพถ่ายเครื่องยนต์จำลองและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	20
4.3 กล้องดิจิทัลที่ใช้ในการถ่ายภาพ.....	21
4.4 ลักษณะการทำงานของ Crank angle sensor.....	22
4.5 ลูกสูบที่นำมาทำการศึกษาพฤติกรรมของการไหล.....	23
4.6 แสดงลักษณะการต่อท่อไอดีที่ใช้ในการทดลอง.....	23
4.7 ขั้นตอนการนำภาพถ่ายมาเป็นข้อมูลในการหาทิศทางการไหล.....	25
4.8 การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลายด้วยโปรแกรมที่ 1.....	26
4.9 แสดงค่า U และ V ที่ได้จากโปรแกรมที่ 2.....	26
4.10 การคำนวณหาเวกเตอร์ความเร็ว.....	27
4.11 โปรแกรมที่ 3 แสดงการแบ่งกริด.....	27
4.12 การ Plot velocity fields ของการไหล.....	28
4.13 การ Plot interpolated velocity fields ของการไหล.....	28
4.14 interpolated velocity fields ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม Matlab.....	29
4.15 เส้น Streamline ของการไหลที่ได้จากโปรแกรม Matlab.....	29
4.16 เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ.....	30
4.17 ลูกสูบเดิมของเครื่องยนต์.....	32

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 ลูกสูบหลุมโค้ง.....	32
4.19 ลูกสูบหลุมเรียบ.....	32
4.20 ลูกสูบหลุมโค้งใหญ่.....	33
4.21 ด้านซ้ายเป็นท่อไอดีของเดิม ด้านขวาเป็นท่อไอดีแบบท่อตรงที่ทำขึ้นมาใหม่.....	33
4.22 ท่อไอดีแบบโค้งที่ติดมากับเครื่องยนต์.....	34
4.23 ท่อไอดีแบบตรงที่ใช้กับเครื่องยนต์ทดสอบ.....	34
5.1 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอดีแบบขนาน.....	37
5.2 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบหัวเรียบ และท่อไอดีแบบขนาน.....	37
5.3 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอดีแบบวี.....	38
5.4 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอดีแบบวี.....	38
5.5 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง.....	39
5.6 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง	39
5.7 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบขนาน.....	41
5.8 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบขนาน.....	41
5.9 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และท่อไอดีแบบV..	42
5.10 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบ V.....	42
5.11 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง.....	43
5.12 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและ ท่อไอดีแบบตั้งตรง.....	43
5.13 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอดีแบบขนาน.....	45

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบ สควิช และ ท่อไอดีแบบขนาน.....	45
5.15 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอดีแบบวี.....	46
5.16 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อ ไอดีแบบวี.....	46
5.17 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอดีตั้งตรง.....	47
5.18 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบ สควิช และ ท่อไอดีตั้งตรง.....	47
5.19 เปรียบเทียบ velocity fields ของลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัว เรียบและท่อไอดีแบบวี, ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัว นูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบ V, ลูกสูบแบบสควิชและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบ สควิชและท่อไอดีแบบ V	48
5.20 เปรียบเทียบ Streamline ของลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวเรียบ และท่อไอดีแบบวี, ลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบตั้งตรง, ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบ V, ลูกสูบแบบหัวนูน สามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบตั้งตรง, ลูกสูบแบบสควิชและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบ สควิชและท่อไอดีแบบ V , ลูกสูบแบบสควิชและท่อไอดีแบบตั้งตรง.....	49
5.21 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหลุมกรวย และ ท่อไอดีตั้งตรง.....	51
5.22 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบ หลุมกรวย และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง	51
5.23 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหลุมเรียบ และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง.....	52
5.24 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบ หลุมเรียบ และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง	52
5.25 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหลุมโค้ง และท่อไอดีแบบตั้งตรง.....	53
5.26 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบ หลุมโค้ง และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง	53
5.27 เปรียบเทียบ velocity fields ของลูกสูบแบบหลุมกรวยและท่อไอดีแบบตั้งตรง , ลูกสูบแบบ หลุมเรียบและท่อไอดีแบบตั้งตรง และลูกสูบแบบหัวหลุมโค้งและท่อไอดีแบบตั้งตรง	54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 เปรียบเทียบ Streamline ของลูกสูบแบบหลุมกรวยและท่อไอดีแบบตั้งตรง , ลูกสูบแบบหลุมเรียบและท่อไอดีแบบตั้งตรง และลูกสูบแบบหัวหลุมโค้งและท่อไอดีแบบตั้งตรง	54
5.24 กำลังกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์.....	55
5.25 แรงบิดกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์.....	55
5.26 อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์.....	56
5.27 อุณหภูมิไอเสียกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์.....	56
5.28 เปอร์เซนต์คว้นด้ากับความเร็วยรอบเครื่องยนต์.....	57
ก 1 ภาพถ่ายที่ศูนย์ตายบนเพื่อเปรียบเทียบค่าปรับแก้ไฟโด้เซนเซอร์.....	62
ก 2 ภาพถ่ายที่การตั้งไฟโด้เซนเซอร์ที่ 0 องศาหลังศูนย์ตายบน.....	62
ก 3 ภาพถ่ายที่การตั้งไฟโด้เซนเซอร์ที่ 90 องศาหลังศูนย์ตายบน.....	63
ก 4 ภาพถ่ายสเกลวัดค่า การหักเหของแสงที่เกิดกับกระบอกสูบใส.....	63
ข 1 การใช้โปรแกรมและข้อมูลการเขียน Matlab.....	66
ข 2 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมโค้ง และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง การถ่ายครั้งที่ 1.....	67
ข 3 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมโค้ง และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง การถ่ายครั้งที่ 2.....	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การไหลของอากาศในห้องเผาไหม้มีความสำคัญมากต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เนื่อง จากลักษณะการไหลในห้องเผาไหม้มีส่วนช่วยให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้ดีและยังมีส่วนในการ กำหนดลักษณะการเผาไหม้ให้มีรูปแบบที่แน่นอนในทุก ๆ วัฏจักร โดยเฉพาะเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ดังนั้นเพื่อศึกษาถึงลักษณะการไหลของเครื่องยนต์เผาไหม้ขนาดเล็ก จึงจำเป็นต้องค้นหาคุณ ลักษณะของลูกสูบที่จะทำให้เกิดการไหลของอากาศที่เหมาะสมแก่การเผาไหม้ ในปัจจุบันเครื่องยนต์ มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งหนึ่งในปัจจัยหลักที่ทำให้ เครื่องยนต์เผาไหม้สมบูรณ์ก็คือการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบ เพราะอากาศที่เข้าไป ในกระบอกสูบสามารถที่จะเป็นตัวกำหนดลักษณะการเผาไหม้ได้ ฉะนั้นการศึกษาถึงลักษณะการ ไหลของอากาศภายในกระบอกสูบก็จะทำให้เราทราบถึงแนวทางในการพัฒนาห้องเผาไหม้ภายใน กระบอกสูบ ซึ่งก็จะทำให้สามารถพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้มากขึ้น อีก ทั้งยังสามารถที่จะสามารถลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้อีกด้วย

การพัฒนาการไหลของเครื่องยนต์มีความจำเป็นต่อวัฏจักรทั้ง 4 ของเครื่องยนต์เพราะการ ควบคุมการไหลในจังหวะดูดก็จะทำให้จังหวะอื่น ๆ เปลี่ยนไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องค้นหาคุณลักษณะ การไหลที่มีผลมาจากลูกสูบ และลักษณะท่อทางเดินไอดี เพื่อค้นหาพฤติกรรมการไหลที่จะทำให้ เกิดการไหลของอากาศที่เหมาะสมแก่การเผาไหม้ แต่เนื่องจากเครื่องยนต์ซึ่งมีห้องเผาไหม้เป็นระบบ ปิดจึงยากต่อการสังเกต ฉะนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกต จึงต้องสร้างชุดกระบอกสูบแบบจำลองขึ้น โดยจะสร้างกระบอกสูบเป็นแบบใส และใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยวิธี PIV (Particle Image Velocity) ในการสังเกตการไหลของอากาศแล้วนำไปวิเคราะห์ เพื่อพัฒนาห้องเผาไหม้และ ลักษณะการไหลได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาถึงลักษณะการไหลของเครื่องยนต์เผาไหม้ขนาดเล็ก เพื่อช่วยในการพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยใช้การถ่ายภาพการไหล ในห้องเผา ไหม้แบบต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาห้องเผา ไหม้ และลักษณะการไหลที่ได้นี้สามารถนำข้อมูลที่ได้ศึกษานี้มาใช้ในการออกแบบ และพัฒนาห้อง เผาไหม้กับเครื่องยนต์จริง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

พฤติกรรมการไหลในกระบอกสูบมีความสำคัญต่อการเผาไหม้ เพราะการไหลที่เป็น Turbulent ไม่เพียงจะช่วยให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้ดีเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่รวดเร็วซึ่งจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น โดยส่วนหนึ่งในการพัฒนานี้คือ การทำให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้แบบแบ่งชั้น อันจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และประหยัดเชื้อเพลิงได้ดีขึ้น หลักการของการแบ่งชั้นคือบริเวณที่จะทำให้เกิดการจุดติดไฟก็จะมีกลุ่มเชื้อเพลิงที่สามารถจุดติดไฟได้ ส่วนบริเวณอื่นที่มีปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่าจะถูกอากาศที่ไหลเข้าห้องเผาไหม้พัดไปผสมกับเชื้อเพลิงที่ติดไฟแล้ว เพื่อผสมกับเชื้อเพลิงที่เกาะกลุ่มกันอยู่ ซึ่งเมื่อเปลวไฟลามมาถึงก็สามารถที่จะเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนนั้นได้โดยสมบูรณ์และประหยัดกว่าเครื่องยนต์แบบเก่าที่มีการกระจายเชื้อเพลิงที่เท่ากันภายในกระบอกสูบ ซึ่งอาจเกิดการ Knock ได้ง่ายอีกด้วย

การที่จะทำให้เครื่องยนต์ให้เกิดการเผาไหม้แบบแบ่งชั้น จำเป็นที่จะต้องทำให้การไหลของอากาศในห้องเผาไหม้เกิดรูปแบบที่คงตัว และมีการไหลในรอบแนวแกน X หรือที่เรียกว่าการไหลแบบ Tumble ที่ดี ซึ่งในบทความนี้ก็จะเป็นการวิเคราะห์ลักษณะการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยการใช้การถ่ายภาพแบบ PIV (Particle Image Velocimetry) ของการไหลในเครื่องยนต์จำลองเพื่อค้นหาการไหลแบบ Tumble เปรียบเทียบสนามการไหลระหว่างลูกสูบแต่ละแบบ และผลกระทบต่อการไหลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะท่อไอดี

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ปัจจัยในการพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นคือ ลักษณะการไหลภายในกระบอกสูบ รูปแบบของห้องเผาไหม้ ลักษณะของท่อไอดี รูปแบบการไหลที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบมีความสำคัญโดยตรงต่อการเผาไหม้เนื่องจากถ้าเครื่องยนต์ทำงานในทุก ๆ วัฏจักรที่ต่างกันผลที่เกิดขึ้นคือเครื่องยนต์จะสิ้นเช่น บางวัฏจักรมีการไหลของอากาศที่รุนแรง บางวัฏจักรมีการไหลที่ช้าก็จะเกิดความไม่เสถียรในการเผาไหม้และยากที่จะควบคุมการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ได้ ลดมลพิษ และประหยัดเชื้อเพลิง หลักการคือเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เข้าไปรวมตัวอยู่ที่บริเวณติดไฟ และหลังจากจังหวะจุดระเบิดแล้วอากาศต้องเข้าไปกระจายเชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ มีความจำเป็นอย่างมากในการเผาไหม้ รูปแบบการไหลแบบ Tumble จึงมีความสำคัญในการควบคุมการไหลเพราะในจังหวะดูดปริมาตรภายในกระบอกสูบจะเพิ่มขึ้นซึ่งการไหลโดยปกติจังหวะนี้จะเกิด Tumble ขึ้นเล็กน้อยถ้าเราสามารถบังคับให้ทิศทางการไหลไปในทางเดียวกันและสามารถเพิ่มความเร็วของการไหลนี้ได้มากขึ้นก็จะทำให้การบังคับรูปแบบการไหลเป็นไปตามที่ต้องการได้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการศึกษาการไหลในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จำลอง ด้วยวิธี PIV เปรียบเทียบสนามการไหลของลูกสูบ 6 แบบที่มีลักษณะห้องเผาไหม้แบบต่าง ๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการไหลที่ท่อไอดี 3 แบบ โดยวิธีนี้จะสามารถหาคุณลักษณะการไหลแบบ Tumble ที่ดีที่สุดในการพัฒนาเครื่องยนต์ขนาดเล็กได้ เพื่อสามารถออกแบบห้องเผาไหม้ที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ขนาดเล็กได้ งานวิจัยนี้ยังครอบคลุมไปถึงการนำเอาลูกสูบและท่อไอดีที่ให้รูปแบบการไหลที่ดีที่สุดไปออกแบบใส่ในเครื่องยนต์จริงเพื่อทดสอบหาความเปลี่ยนแปลงในด้านประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ถ่ายภาพการไหลของลูกสูบชนิดต่าง ๆ โดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของท่อไอดี
2. วิเคราะห์ลักษณะการไหล
3. นำเอาลักษณะที่ดีของการไหลแบบต่าง ๆ มาออกแบบห้องเผาไหม้
4. ทดลองถ่ายภาพการไหลของ ห้องเผาไหม้ที่ออกแบบมา
5. วิเคราะห์การไหลของห้องเผาไหม้ที่ออกแบบมา
6. นำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ด้วยลูกสูบและท่อไอดีที่ออกแบบมา

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

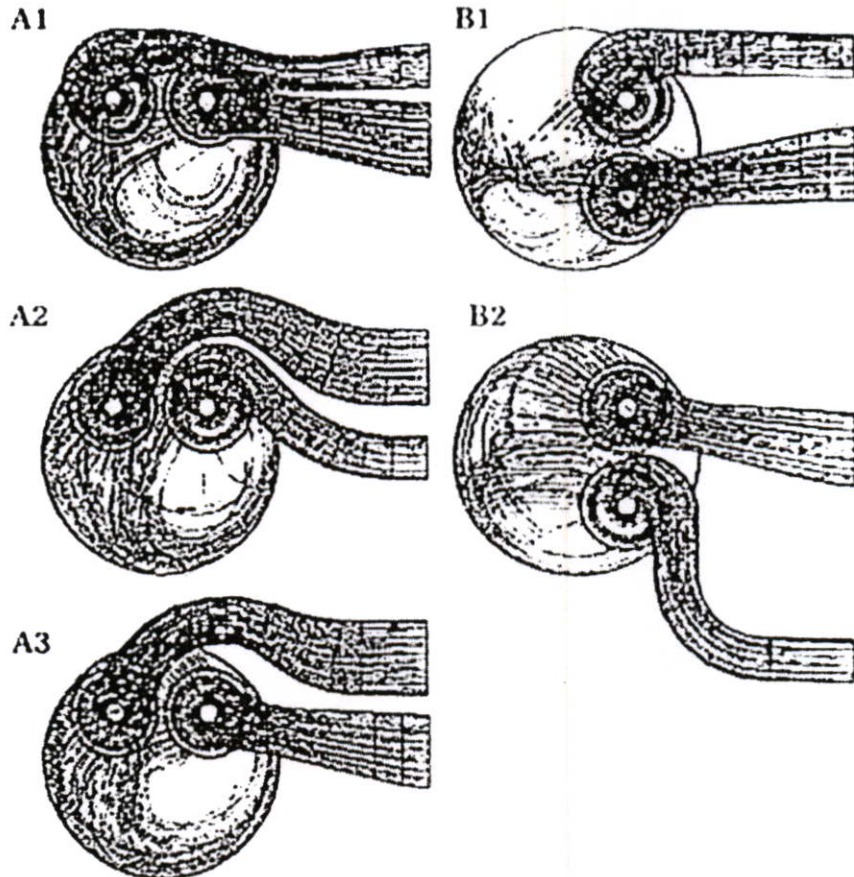
การเคลื่อนที่ของของไหลภายในเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น มีผลต่อประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจัยที่มีผลอย่างมาก คือการเกิดการไหลแบบปั่นป่วน โดยการศึกษาพฤติกรรมของการไหลของอากาศในกระบอกสูบนี้ เป็นการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และลดมลพิษ ซึ่งได้มีการศึกษาโดยวิธีทดลองและการจำลองการไหล เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้น ซึ่งจากการค้นคว้า ได้รวบรวมผลงานวิจัยจากนักวิจัยหลาย ๆ ท่านที่ศึกษาการไหลในหลาย ๆ ประเทศทั่วโลก สามารถแบ่งได้ดังนี้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบการถ่ายภาพด้วย PIV ส่วนที่สองเป็นการทดสอบ

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพภายในเครื่องยนต์จำลอง

มีการทดลองถ่ายภาพการไหลที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้เพื่อศึกษาถึงรูปแบบการไหลที่จะทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพมากขึ้น Takahiro UEDA และคณะ [1] ได้ศึกษาถึงสนามการไหลเฉลี่ย 25 วัฏจักรโดยการถ่ายภาพจากด้านล่างของลูกสูบโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดตรงที่มีลูกสูบแบบใส ถ่ายภาพด้วยวิธี PIV โดยการทดลองมีการเปลี่ยนท่อไอดีเป็นแบบที่ทำให้เกิดการไหลวนแบบ Swirl และแบบไม่เกิด Swirl เปรียบเทียบสนามการไหลในกระบอกสูบแบบที่ใช้ท่อไอดีที่ทำให้เกิด Swirl กับแบบ ท่อไอดีที่ไม่เกิด Swirl ถ่ายภาพการไหลที่ 4.5 3.0 1.5 และ 0 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ในท่อไอดีที่ไม่เกิด Swirl เปรียบเทียบกับภาพการไหลที่ 3.0 2.0 1.0 และ 0 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ในท่อไอดีที่ทำให้เกิด Swirl จำนวนแบบละ 25 วัฏจักร แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบสนามการไหลผลการวิจัยเปรียบเทียบสนามการไหลในห้องเผาไหม้แบบที่ใช้ท่อไอดีที่ทำให้เกิด Swirl จะให้การไหลในห้องเผาไหม้เร็วกว่าแบบที่ใช้ท่อไอดีที่ไม่เกิด Swirl และลักษณะของสนามการไหลของแบบที่ทำให้เกิด Swirl จะมีสถานะที่ใกล้เคียงกันทั้ง 25 วัฏจักร ในขณะที่แบบที่ไม่เกิด Swirl สถานะภายในห้องเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ และผลงานวิจัยของ C.-W. Hong และ S.-D. Tang [2] ได้เปรียบเทียบผลของการไหลในกระบอกสูบโดยการไหลผ่านวาล์วไอดี ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจการไหลภายในกระบอกสูบได้ โดยทำนายการไหลภายในกระบอกสูบด้วยโปรแกรม KIVA3V ซึ่งสามารถทำนายการเคลื่อนไหวของการไหลได้ นำมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ 4 จังหวะ โดยนำเอาพลาสติกใสทรงกระบอกมาทำเป็นกระบอกสูบ เพื่อจะให้เห็นองเห็นการไหล และการเคลื่อนที่ของลูกสูบ การศึกษาการไหลโดยใช้ LDV (Laser Doppler Velocimeter) จับภาพจุดต่อจุด และใช้

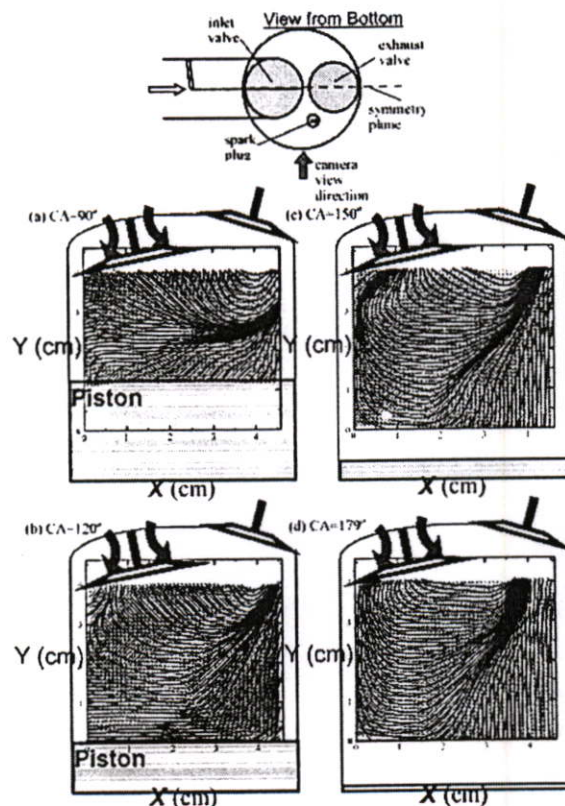
คอมพิวเตอร์ในการคำนวณหาการไหลในกระบอกสูบ การเปรียบเทียบจะทำการเปรียบเทียบความเร็ว, ความรุนแรงของการไหลแบบปั่นป่วน, อัตราส่วนการไหลวน, อัตราการหมุนวนและการกระจายของการหมุนวน ผลการวิจัยแสดงการเปรียบเทียบการไหลในรูปแบบเวกเตอร์ที่ระนาบแนวนอนต่ำกว่า ศูนย์ตายบน 10 mm, 20 mm, 40 mm, และ 60 mm. จากผลการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลใกล้เคียงกันโดยการทดลองจะมีการไหลได้วาล์วไอดีน้อยกว่าการใช้โปรแกรมเล็กน้อย และมีความคล้ายคลึงกันในการเปรียบเทียบโดยเส้น สตรีมไลน์ ในแนวตั้งที่กลางกระบอกสูบ ทั้งสองวิธีสามารถวัดสนามการไหลภายในกระบอกสูบได้ทั้งวิธี LDV และการทำนaylor การไหลด้วยโปรแกรม จึงสามารถนำไปเป็นเครื่องมือในการออกแบบเครื่องยนต์ในเบื้องต้นได้ M Reeves และคณะ[3] ได้นำวิธี PIV มาใช้ในการศึกษาการก่อตัว และการลดต่ำลง ของ swirl ภายในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ที่สามารถมองเห็นภายในได้แบบ 4 สูบ 4 วาล์วขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ สามารถแปรผันท่อไอดีให้เกิดการไหลวนแบบ Barrel Swirl Ratio (BSR) ได้โดยใช้ port face inducer gasket ที่ทำให้เกิด Swirl ซึ่งในงานวิจัยแสดงภาพทั้งในแนวนอน และตั้งฉากกับแกนของกระบอกสูบที่ มุมเพลลาข้อเหวี่ยง ที่สนใจในช่วง คูค และ จังหวะอัด ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 1000 รอบ โดยเปิด throttle กว้างสุด ทั้งในกรณี BSR สูงและต่ำ ภาพที่บันทึกได้จะถูกนำมาปรับแก้ ซึ่งจะได้เป็นผังความเร็วในสองมิติ ทั้งในกรณี BSR สูงและต่ำ barrel หรือ tumbling vortex จะเกิดขึ้นในช่วง จังหวะคูคและจะยังคงอยู่ถึงช่วงจังหวะอัด รายละเอียดของการก่อตัวในช่วงจังหวะคูค และการเปลี่ยนแปลงในช่วงจังหวะอัด จะแตกต่างกันมาก ในทั้งสองกรณี โดยความแตกต่างนี้สามารถอธิบายได้เป็นสองลักษณะ คือในช่วง จังหวะคูคความแรง vortex จะไม่เท่ากัน และ large-scale swirl และ local flow field ที่ถูกสร้างขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะอัดในกรณีที่ BSR ต่ำ การแพร่กระจายของการไหล จะเกิดจาก large-scale motion ซึ่งมีความเร็วเฉลี่ยที่ต่ำกว่า ในขณะที่ กรณีของ BSR สูง จะเกิด vertical vortex ที่มีความเร็วสูง ซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้นไปในส่วนบนของห้องเผาไหม้ และจะยังอยู่จนกระทั่งตำแหน่ง 40 องศา ก่อนศูนย์ตายบน Mario Amelio และคณะ [4] ได้ใช้วิธี LDV ภายในห้องเผาไหม้แบบ Disk ของเครื่องยนต์ Reciprocating แบบ 4 จังหวะ โดยจะทำการบันทึกความเร็วใน 2 แกนอย่างไม่พร้อมกัน ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน 3 ตำแหน่ง บนระนาบที่อยู่กึ่งกลาง TDC clearance ในช่วง จังหวะคูคและจังหวะอัด ที่ความเร็วต่าง ๆ กัน 3 ค่า (600, 800 และ 1000 รอบ) แต่ละตำแหน่งที่วัดจะพิจารณาที่เงื่อนไขการไหลที่แตกต่างกัน (ใกล้กับวาล์วไอดีที่แกนของกระบอกสูบ และใกล้กับวาล์วไอดี) จากการพิจารณาที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์หลาย ๆ ค่า และตำแหน่งภายในห้องเผาไหม้หลาย ๆ ตำแหน่ง ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมโดยรวมของการไหล และรายละเอียดของการไหลแบบปั่นป่วนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ การหาค่าความถี่ที่จะนำพิจารณาจำแนกการไหลแบบปั่นป่วนที่แท้จริงออกจาก

เปลี่ยนแปลงของการไหลเฉลี่ยในแต่ละรอบ และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่ตำแหน่งการวัด และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยการวิเคราะห์จะอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน: non-stationery velocity autocorrelation function, power spectrum และ cycle-resolved analysis based on the frequency filter ซึ่งในแต่ละวิธีให้ผลที่เหมือนกัน จากผลการทดลองพบว่าจุดตัดความถี่ จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และเมื่อตำแหน่งที่วัดอยู่ห่างจากลำการไหลที่ออกจาก intake valve ผลงานของ Jun-ichi Kawashima [12] ได้ศึกษาลักษณะต่าง ๆ ของช่องทางเข้าไอดีที่ทำให้เกิดการ Swirl ในเครื่องยนต์ดีเซล ที่มี 4 วาล์วต่อสูบ ทำให้เราทราบว่าผลกระทบของการเปลี่ยนลักษณะท่อไอดีมีผลต่อการไหลและมีความสำคัญมากในการทำให้เกิดคาทวนวน และลักษณะช่องทางเข้าไอดีแบบ A1 ถูกสร้างขึ้นมาโดยการรวมเอาแบบ helical port และ tangential port เข้าด้วยกันซึ่งให้การไหลแบบ Swirl สูงที่สุด

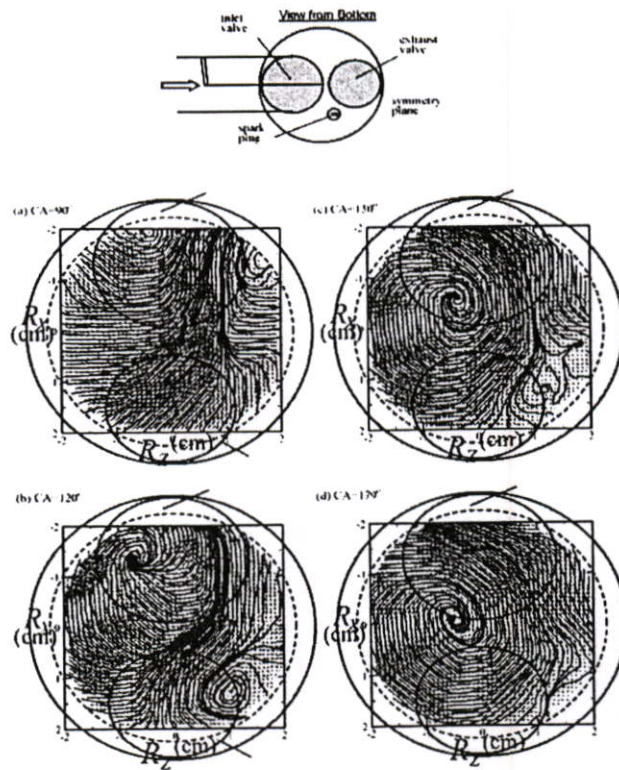


รูปที่ 2.1 แสดง Stream line ในกระบอกสูบ เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท่อไอดี 5 แบบ
(Calculated)

ผลงานวิจัยของ Huang, R. F., Huang, C. W., Chang, S. B.[13] ได้พัฒนาการไหลของ เครื่องยนต์สองวาล์ว ลูกสูบเดี่ยว สี่จังหวะ ในช่วงจังหวะดูดและจังหวะอัด โดยวิเคราะห์จาก PIV กระจกบอบลูกสูบและส่วนประกอบอื่นถูกทำให้สามารถมองเห็นภายในได้ เพื่อใช้กับ laser light sheet และกล้องถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูง เงื่อนไขของเทคนิคนี้คือการสุ่มตัวอย่าง โดยจะใช้ Crank angle เป็นตัวกำหนดจังหวะการจับภาพ ผลที่ได้อยู่ในรูป Streamline และ Velocity Vector สามารถ แสดงโครงสร้างการไหลได้ดี ทำให้ทราบการไหล Swirl และ Tumble ตลอดจนการเคลื่อนที่ตาม แนวแกนและแนวเส้นรอบวง จากผลการทดลอง เมื่อมีการไหลเข้าในจังหวะดูด การไหลที่เกิดขึ้น จะเกิด Tumble flow ขณะที่ลูกสูบเลื่อนลงมา ครึ่งจังหวะดูด ความแรงของการไหลแบบ Tumble อยู่ ที่ช่วง 120 องศา-180 องศา และจะไม่สามารถสังเกตได้เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นไปได้ครึ่งทาง ดังรูปที่ 2.2 ในช่วงการไหลในจังหวะดูด มองเห็นการไหลแบบ Swirl ในแนวแกน โครงสร้างการไหลแบบ Swirl มีขอบเขตถึงขอบกระจกบอบลูกสูบ ความแรงของการเคลื่อนที่แบบ Swirl เพิ่มขึ้นเมื่อลูกสูบเลื่อน ผ่านจังหวะดูดมาครึ่งทาง และเพิ่มมากที่สุดเมื่อลูกสูบเลื่อนลงสุด และความแรงยังคงอยู่จนถึงครึ่งทาง ของจังหวะอัดดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงการไหลแบบ Tumble ภายในกระจกบอบลูกสูบ

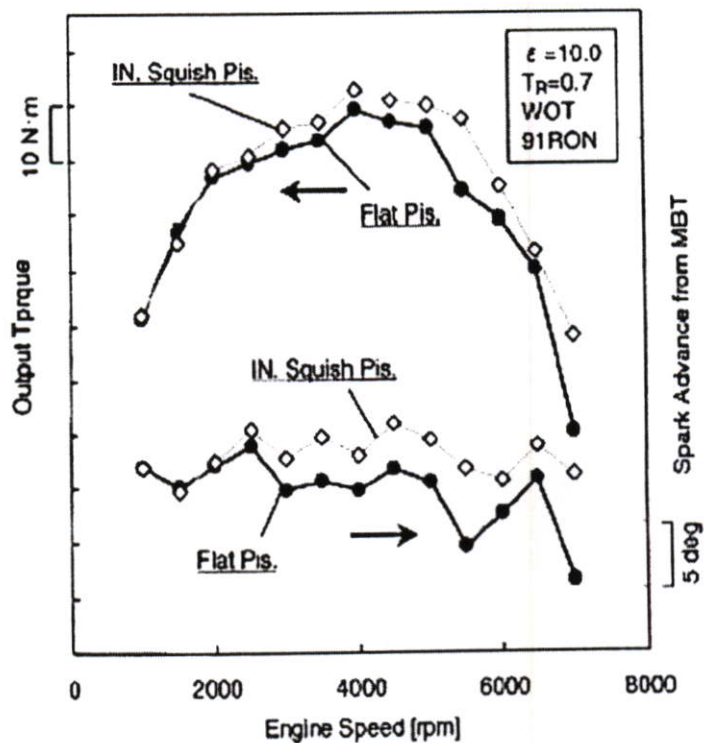


รูปที่ 2.3 แสดงการไหลแบบ Swirl ภายในกระบอกสูบ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการการไหลภายในกระบอกสูบจากการทดสอบเครื่องยนต์

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบด้วยเครื่องยนต์จำลองทำให้ทราบว่า ผลของการไหลที่เกิดในกระบอกสูบทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เปลี่ยนไปดังนั้นจึงมีการนำผลเหล่านั้นมาทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อค้นหาการเปลี่ยนแปลงนั้น Jin-soo Kim, Jun-hyun Park และคณะ [5] ได้วิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์เบนซิน ที่ถูกออกแบบให้มีการฉีดตรงในกระบอกสูบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดน้ำมันในขณะที่ประสิทธิภาพเท่าเดิม ทั้งยังช่วยลดมลพิษอีกด้วย ดังนั้น ลักษณะการเคลื่อนที่ของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงในกระบอกสูบถือว่ามีความสำคัญ การศึกษาการไหลที่มีผลต่อการผสมกันของอากาศกับเชื้อเพลิงในกระบอกสูบโดยการถ่ายภาพด้วยกล้อง ICCD ผ่านเครื่องยนต์โปร่งใส โดยมีการปรับเปลี่ยนท่อไอศ ให้เกิด Swirl และเกิด Tumble จากผลการทดลองภาพที่ถ่ายได้เปรียบเทียบกันระหว่างการฉีดเชื้อเพลิงในภาวะที่การไหลในกระบอกสูบมีการไหลวนแบบ Swirl และการไหลวนแบบ Tumble การไหลวนแบบ Tumble จะให้การผสมรวมกันของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดีกว่าการไหลแบบ Swirl จากนั้น K. Iwai, M. Kataoka, and M. Tabata [16] ได้ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงลักษณะลูกสูบที่ก่อให้เกิด Tumble เพิ่มขึ้นเพื่อทดสอบกับเครื่องยนต์แล้ววัดค่าประสิทธิภาพที่ได้รับจากรูปที่ 2.4 เห็นได้ชัดเจนว่าลูกสูบแบบ squish ก่อให้เกิด Tumble มาก

ขึ้นและให้แรงบิดเพิ่มมากขึ้นกว่าลูกสูบแบบหัวเรียบ เมื่อ squish area ติดตั้งเข้าไปทางด้านวาล์วไอดี การไหลหลักของไอดีจะกระทบกับส่วนขอบของ squish area ซึ่งจะถูกรวมให้เข้าไปสู่ด้านบนของ squish area ทำให้เกิดการหมุนวนตามเข็มนาฬิกา (Tumble)



รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพจากการทดลองเปลี่ยน ลูกสูบแบบ squish เทียบกับลูกสูบแบบหัวเรียบ

บทที่ 3

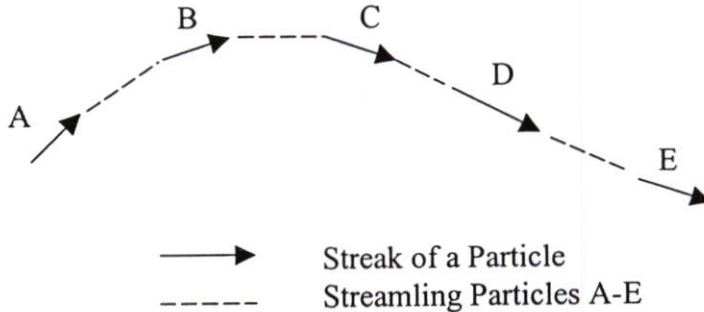
เนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

3.1 เส้นพาสไลน์ (Path lines)

เส้นพาสไลน์เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของของไหลเพียงอนุภาคเดียวในหนึ่งช่วงเวลา ถ้าหากนำกล้องถ่ายภาพมาเปิดหน้ากล้องทิ้งไว้เพื่อถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคของของไหลแล้วเส้นทางการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคที่ปรากฏขึ้นในฟิล์มก็คือพาสไลน์นั่นเอง ดังนั้นพาสไลน์จึงเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของของไหลเพียงอนุภาคเดียวที่เวลาต่าง ๆ กัน

3.2 เส้นสตรีมไลน์ (Streamlines)

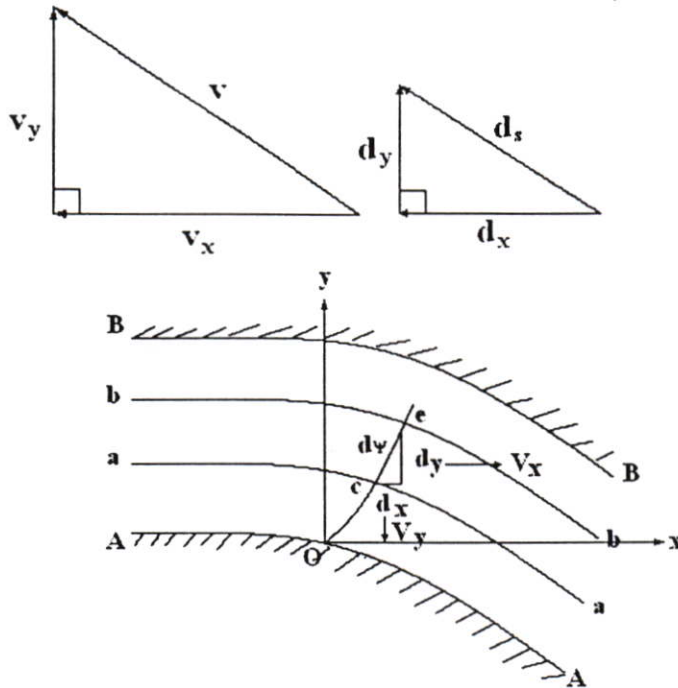
เส้นสตรีมไลน์เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่เฉลี่ยที่ขณะใดขณะหนึ่งของกลุ่มอนุภาคของของไหลที่เคลื่อนที่เรียงกันไปเป็นแถว ถ้าใช้กล้องถ่ายภาพที่มีความไวสูงในการเปิดปิดหน้ากล้องมาถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคของของไหลกลุ่มหนึ่งแล้ว ก็จะเห็นเส้นทางสั้น ๆ ของแต่ละอนุภาค เส้นทางสั้น ๆ เหล่านี้เป็นตัวบอกทิศทางการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคในขณะนั้น เส้นโค้งเฉลี่ยที่ลากสัมผัสกับเส้นทางเฉลี่ยของอนุภาคนั้นเรียกว่า เส้นสตรีมไลน์



รูปที่ 3.1 เส้นสตรีมไลน์ของกลุ่มอนุภาค

ในกรณีที่เป็นการไหลแบบ Steady flow นั้นเส้น path lines และเส้น streamlines จะมีลักษณะเหมือนกันเพราะไม่มีความเร็วย่อยตามแนวขวางที่เกิดขึ้น เนื่องจากอนุภาคต่าง ๆ จะเคลื่อนที่ไปตามเส้น streamline เสมอ ทั้งนี้เพราะเส้น streamline เป็นเส้นทางที่บอกทิศทางการเคลื่อนที่ของทุก ๆ อนุภาค การไหลแบบ steady flow จริง ๆ นั้นเป็นไปได้ทั้งของไหลในจินตนาการที่ไม่มีมีความหนืดกับของไหลที่มีความหนืดมากจนกระทั่งเคลื่อนที่ช้า ๆ โดยไม่มีการไหลวน (eddy) ดังที่เรียกว่าการไหลแบบลามินาร์ที่ชั้นของของไหลเลื่อนตัวไปบนชั้นที่อยู่ถัดไป อย่างไรก็ตามในกรณีของการไหลแบบ Turbulence นั้นเส้น path lines และเส้น streamlines จะไม่เหมือนกัน เพราะ

เส้น path lines จะเปลี่ยนแปลงอย่างผิดปกติ ส่วนเส้น streamlines นั้นทุก ๆ ส่วนของมันจะสัมผัสกับความเร็วเฉลี่ยที่ขณะใดขณะหนึ่งของทุก ๆ อนุภาค



รูปที่ 3.2 เส้นแสดงความเร็วที่ใช้ในการคำนวณเส้นสตรีมไลน์

เมื่อ $\frac{dx}{v_x} = \frac{dy}{v_y}$

$$\frac{d_x}{v_x} = \frac{d_y}{v_y}$$

ฉะนั้นสมการสตรีมไลน์จะได้

$$d\psi = v_x d_y - v_y d_x$$

จะได้

$$\psi = \int v_x d_y - \int v_y d_x$$

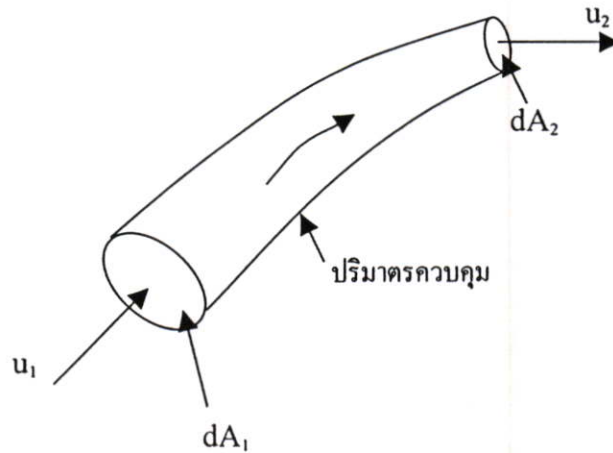
ดังนั้น

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad \text{and} \quad v_y = \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

3.3 สมการการไหลต่อเนื่อง (Equation of continuity)

จากรูปที่ 3.2 เป็นท่อที่เกิดจากการล้อมรอบของเส้นสตรีมไลน์กลุ่มหนึ่ง เราเรียกท่อดังกล่าวนี้ว่า stream tube เนื่องจากทุก ๆ ด้านของ stream tube นี้ถูกล้อมรอบด้วยเส้นสตรีมไลน์ และด้วยเหตุที่ไม่มีความเร็วสุทธิอยู่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับเส้นสตรีมไลน์ ดังนั้นจึงไม่มีของไหลไหลเข้าออกจากผิวของ stream tube นี้อยกเว้นเฉพาะที่ปลายทั้งสองของ stream tube นี้เท่านั้น ปริมาตร

ภายใน stream tube ที่มีขนาดคงที่ซึ่งอยู่ในระหว่างหน้าตัดสองหน้าตัดนี้เรียกว่า ปริมาตรควบคุม และจะใช้ \forall เป็นตัวแสดงถึงขนาดของปริมาตรควบคุมนี้ ตามหลักของ Newtonian physics นั้น (นั่นคือ ไม่คำนึงถึงความสามารถที่จะเปลี่ยนมวลเป็นพลังงาน) มวลภายในปริมาตรควบคุมก็จะต้องมีจำนวนเท่าเดิม ถ้าหากมวลของไหลที่อยู่ในปริมาตรควบคุมซึ่งมีขนาดเท่ากับ \forall เมื่อเวลา t มีค่าเท่ากับ (mass), แล้วมวลของของไหลที่อยู่ในปริมาตรควบคุม \forall เมื่อเวลา $(t + dt)$ ก็จะต้องมีค่าเป็น:



รูปที่ 3.3 การไหลภายใน stream tube

$$(mass)_{t+dt} = (mass)_t + (\rho_1 u_1 dA_1)dt - (\rho_2 u_2 dA_2)dt$$

แต่มวลที่อยู่ในปริมาตรควบคุม \forall เมื่อเวลา $(t+dt)$ นี้สามารถเขียนอีกลักษณะหนึ่งได้ว่า

$$(mass)_{t+dt} = (mass)_t + \frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot dt \cdot \forall$$

เมื่อ $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหล ฉะนั้นเมื่อนำเอาค่า

$(mass)_{t+dt}$ ของสมการของสองสมการข้างต้นมาเท่ากันแล้วก็จะได้

$$(\rho_1 u_1 dA_1)dt - (\rho_2 u_2 dA_2)dt = \frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot dt \cdot \forall$$

$$\text{และ } \rho_1 \int_{A_1} u_1 dA - \rho_2 \int_{A_2} u_2 dA = \int_{\forall} \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

สมการดังกล่าวนี้เป็นสมการการไหลต่อเนื่องสำหรับการไหลในขอบเขตที่มีขนาดตายตัว ซึ่งมีใจความว่าอัตราสุทธิของมวลที่ไหลเข้าไปในปริมาตรควบคุม จะเท่ากับอัตราของมวลที่เพิ่มขึ้นในปริมาตรควบคุมนั้นสมการข้างต้นสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับการใช้งานของแต่ละกรณีเช่น

ในกรณีที่เป็น Steady flow ซึ่งมีค่า $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ นั้นจะลดรูปเป็น

$$\rho_1 \int_{A_1} u_1 dA = \rho_2 \int_{A_2} u_2 dA$$

$$\text{หรือ } \rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \dot{m}$$

$$\text{หรือ } \gamma_1 A_1 V_1 = \gamma_2 A_2 V_2 = G$$

ถ้าเป็น steady flow และของไหลนั้นอัดตัวไม่ได้ (incompressible) ซึ่งจะมีค่า ρ คงที่นั้นจะลดรูปเป็น

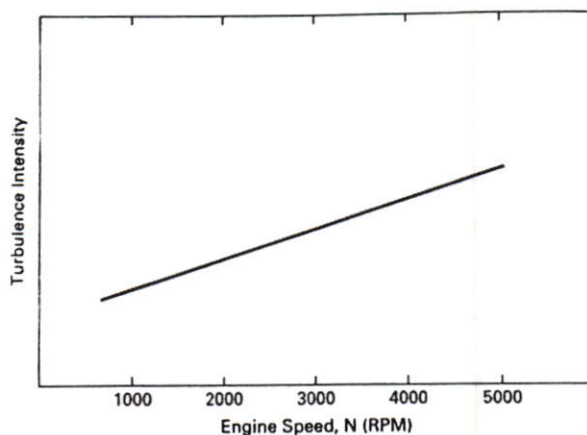
$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q$$

สมการเหล่านี้เป็นสมการการไหลต่อเนื่องสำหรับใช้กับของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ทั้งการไหลแบบ steady flow และ unsteady flow ภายในขอบเขตที่ตายตัว

3.4 การไหลของอากาศในห้องเผาไหม้

การไหลของอากาศในห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งต่อกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และได้ประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับการไหลของเชื้อเพลิงด้วย ในการศึกษาลักษณะที่สำคัญของการไหลของอากาศในกระบอกสูบ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อกระบวนการเผาไหม้ การไหลแบบหมุนวนและการไหลแบบ Turbulence มีความสำคัญมากต่อการผสมกันของอากาศกับเชื้อเพลิงและจะมีผลต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ การวิเคราะห์การไหลในกระบอกสูบจะพิจารณาตั้งแต่การไหลจากท่อไอดีผ่านลิ้นไอดีเข้ามาในกระบอกสูบ จนกระทั่งสิ้นสุดจังหวะการอัด กระบวนการดูดในจังหวะดูดของเครื่องยนต์จะมีผลต่อการไหลในกระบอกสูบ ในช่วงจังหวะดูดเริ่มตั้งแต่การไหลของไอดีช่วงที่ผ่านลิ้นไอดี พื้นที่หน้าตัดจะมีขนาดเล็กที่สุด ทำให้ความเร็วของอากาศที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดนี้มีค่าสูงสุด อากาศที่ไหลผ่านลิ้นเข้ามาในห้องเผาไหม้จึงมีลักษณะพุ่งเป็นกรวยและความเร็วของอากาศมีค่าเป็น 10 เท่าของความเร็วลูกสูบในขณะนั้น ซึ่งค่านี้ได้มาจากการวัดในจังหวะดูดของเครื่องยนต์

จำลองที่มีกระบอกสูบใส ลักษณะของอากาศที่พุ่งเข้ามาในกระบอกสูบนั้นจะเป็นรูปกรวย และจะไหลเข้ามาระทบกับผนังของห้องเผาไหม้ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนเป็นวงขนาดใหญ่ ซึ่งจุดศูนย์กลางจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามการเคลื่อนที่ของลูกสูบและจะอยู่กึ่งกลางระหว่างลูกสูบกับ Cylinder Head ตลอด ส่วนบริเวณที่อยู่ตรงมุมของห้องเผาไหม้ จะเกิดการไหลแบบหมุนวนเช่นกันแต่มีขนาดเล็กกว่าและหมุนในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งการไหลหมุนวนนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิด Shear Layer ในขณะที่ของไหลพุ่งเข้ามาในห้องเผาไหม้ด้วยความเร็วที่สูงมาก เครื่องยนต์โดยทั่วไปตำแหน่งของลิ้นไอดี จะไม่อยู่แกนกลางของกระบอกสูบ แต่จะอยู่ชิดกับผนังห้องเผาไหม้ด้านใดด้านหนึ่ง การไหลจึงมีความซับซ้อนขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการไหลหมุนวนเป็นวงขนาดใหญ่ก็ยังคงเกิดขึ้นอยู่ ลักษณะของ Turbulence ในกระบอกสูบเป็นผลมาจาก Fluctuation ในการไหล (การสั่นของโมเลกุลในการไหลทำให้ความเร็วมีลักษณะสูง ๆ ต่ำ ๆ และมีลักษณะการไหลแปรปรวน) ซึ่ง Fluctuation นี้จะทำให้การถ่ายเมโมเมนต์ การถ่ายเทความร้อน และการแพร่กระจายของโมเลกุลเชื้อเพลิงมีอัตราสูงขึ้น การไหลแบบ Turbulence จึงทำให้อัตราผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงดีขึ้นเป็นผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้นด้วยจากรูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงการไหลแบบ Turbulence จะแปรผันกับรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 3.4 ระดับการไหลปั่นป่วนของอากาศในเครื่องยนต์กับความเร็วยรอบ

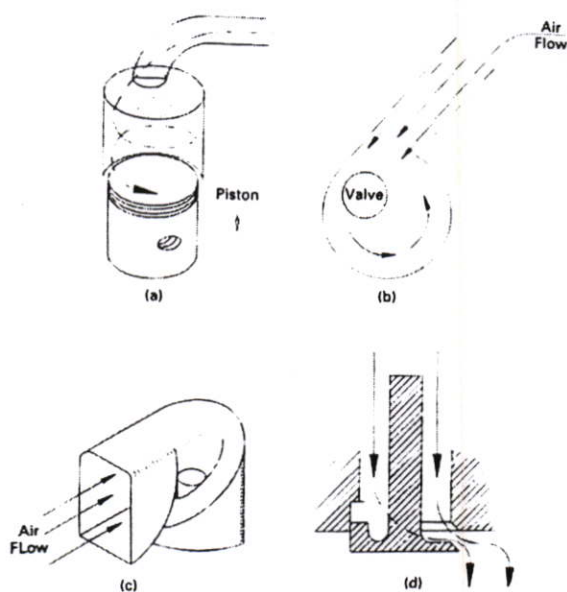
3.4.1 ลักษณะการ Swirl

Swirl เป็นการหมุนของอากาศในกระบอกสูบ ซึ่งเกิดขึ้นโดยการไหลเข้าไปในกระบอกสูบด้วยโมเมนต์เชิงมุมค่าหนึ่ง แต่การดูดอากาศเข้ามาในจังหวะดูดสามารถทำให้เกิด Swirl ที่คงอยู่ได้ตลอดช่วงกระบวนการอัด การเผาไหม้ และการขยายภายในเครื่องยนต์ที่มีการออกแบบห้องเผาไหม้เพื่อการไหลที่เหมาะสม การไหลแบบหมุนวนที่เกิดขึ้นภายในจังหวะดูดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากในช่วงการอัด Swirl จะถูกใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล และในเครื่องยนต์หัวฉีดบางประเภท เพื่อการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงได้ดีขึ้น ทำให้ A/F มากขึ้น นอกจากนี้ Swirl ยังมีส่วนช่วยในการไล่ไอเสียออกจากตัวเครื่องยนต์ได้อีกด้วย ในการออกแบบเครื่องยนต์บางประเภท มีการ

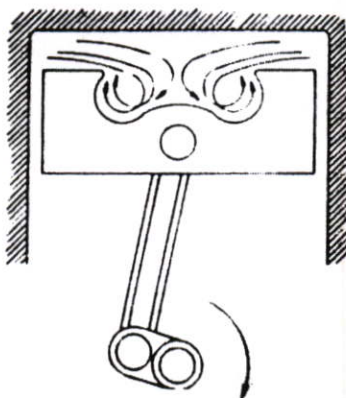
ออกแบบห้องเผาไหม้แบบ Prechamber ทั้งนี้เพื่อให้เกิด Swirl ซึ่งในเครื่องยนต์แบบนี้ Swirl มีความสำคัญอย่างมากที่จะช่วยในการทำงานในจังหวะอัด ท่อทางเข้าแบบตรง และท่อทางเข้าแบบเบี่ยงเบน แบบที่ใช้แสดงผลต่าง ๆ โดยที่ท่อทางเข้าแบบตรงจะนำของไหลไหลผ่านวาล์วไอดีที่กำลังเปิด โดยไหลในทิศทางเดียวกับเส้นรอบวง ส่วนท่อทางเข้าแบบเบี่ยงเบนจะนำของไหลผ่านเข้าไปในขณะที่วาล์วเปิดในทิศทางสัมผัสกับเส้นรอบวง ซึ่งจะทำให้เกิดการ Swirl ดีกว่า อัตราส่วนการไหลวนแบบ Swirl เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยเทียบการไหลวนภายในกระบอกสูบอาศัยความแตกต่างของรอบเครื่องยนต์กับรอบการหมุนวน

$$(SR)_1 = (\text{angular speed}) / (\text{engine speed}) = \omega / N$$

$$(SR)_2 = (\text{swirl tan gential speed}) / (\text{average piston speed}) = U_t / \bar{U}_p$$



รูปที่ 3.5 a) การไหลวนแบบ Swirl กับกระบอกสูบ b) อากาศไหลเข้าในกระบอกสูบจากมุมตั้งฉากกับเส้นรอบวง c) การไหลเข้าในช่องไอดี d) การไหลเข้าผ่านวาล์ว



รูปที่ 3.6 การไหลแบบ Tumble เกิดขึ้นในลูกสูบแบบ squish จังหวะใกล้จุดศูนย์ตายบน

3.4.2 ลักษณะการเกิด Tumble

เมื่อลูกสูบเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนในปลายจังหวะอัด ปริมาตรภายในห้องเผาไหม้มีค่าน้อยลงมาก เครื่องยนต์สมัยใหม่ออกแบบให้มีช่องว่างอยู่ที่กลางกระบอกสูบดังรูปที่ 3.6 ลักษณะการไหลแบบ Tumble เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศในกระบอกสูบที่มีทิศทางการหมุนรอบแนวรัศมีของกระบอกสูบ Tumble ที่เกิดขึ้นจะมีผลมาจากรูปร่างของห้องเผาไหม้ความเร็วของ Tumble ในทางทฤษฎีคำนวณได้จากระยะของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านขอบเขตของ Tumble และจากการใช้การอนุรักษ์เชิงมวลโดยตัดผลกระทบของ ความดัน แรงเสียดทาน การสูญเสียที่แหวนของลูกสูบ และการถ่ายเทความร้อน จะสามารถหาความเร็วของ Tumble ได้ ปัจจัยสองประการที่ทำให้เกิดการ Tumble ในจังหวะดูดคือ ของไหลที่ไหลเข้าสู่กระบอกสูบจะชนกับห้องเผาไหม้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด และทิศทางของการเคลื่อนที่ที่เป็นผลทำให้เกิดการไหลวนแบบ Tumble ขึ้น อีกประการหนึ่งคือ การไหลวนที่มีขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับการกระจายของของไหลภายในเส้นรอบวงของวาล์วไอดี ดังนั้น การไหลของของไหลในท่อไอดี จึงเป็นปัจจัยหลักการคิดโมเมนตัมเชิงมุมภายในแกนของกระบอกสูบ

3.5 การศึกษาการไหลภายในกระบอกสูบ

การไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในนับว่าเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญที่สุดของการควบคุมกระบวนการเผาไหม้ และยังเป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศ การเคลื่อนที่ของเปลวไฟ และประสิทธิภาพที่จะได้รับ นอกจากนี้ยังครอบคลุมถึงการถ่ายเทความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ ในการศึกษาารูปแบบการไหลของอากาศในกระบอกสูบจะเห็นได้ว่าลักษณะการไหลจะมีลักษณะ Turbulence, Swirl, Tumble, และ Compressible โดยปัจจุบันการศึกษารูปแบบการไหลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

3.5.1 การศึกษาโดยพิจารณาจากผลการทดลอง

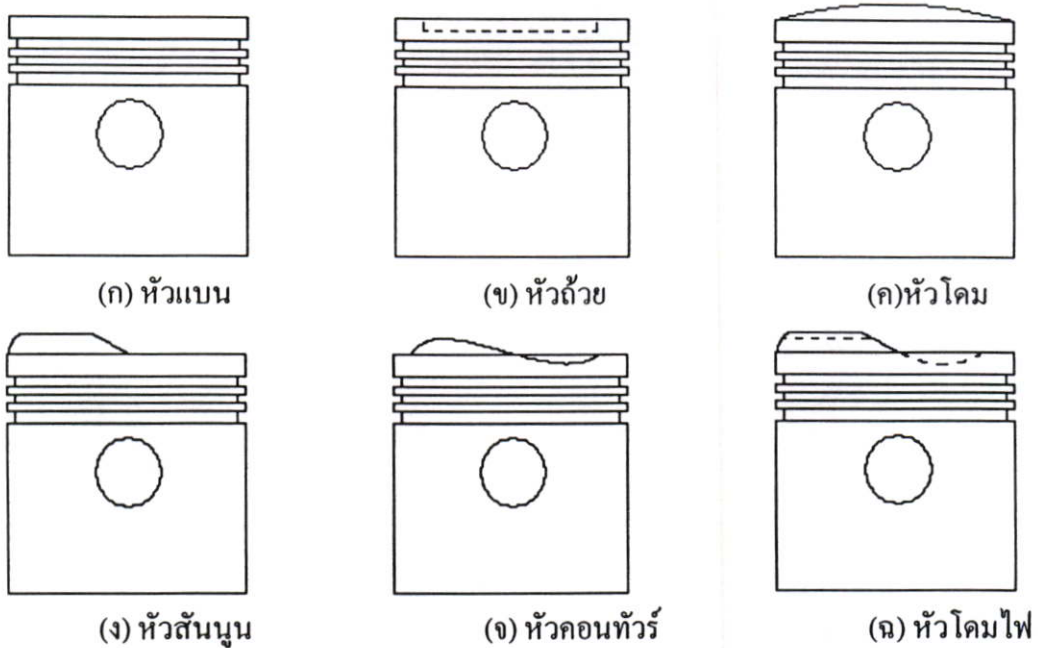
การทดลองลักษณะนี้ วิธีที่นิยมทำกันโดยทั่วไปคือ วิธี Hotwire หรือขดลวดความร้อนวิธีนี้จะใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของขดลวดเป็นตัวกำหนดความเร็วของของไหลแต่วิธีนี้ต้องนำขดลวดไปขวางทางเดินของไหลจึงไม่แม่นยำ อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือวิธี LDV (Laser Droper Velocimetry) เป็นวิธีที่ใช้การถ่ายภาพการสะท้อนกลับของแสงสีเขียวและสีน้ำเงินวิธีนี้มีความแม่นยำสูงแต่ราคาแพงมาก ส่วนวิธีที่เลือกใช้คือวิธี Particle Image Velocimetry ซึ่งเป็นวิธีการวัด เวกเตอร์ความเร็วการไหลจากภาพถ่ายโดยใช้เทคนิคการปิดหน้ากล้องให้ช้าลง เป็นวิธีที่ใช้เครื่องมือราคาไม่แพงมากนักและให้ผลที่ถูกต้องมีประสิทธิภาพมาก

3.5.2 การศึกษาโดยใช้ Math Model

เป็นการศึกษาการไหลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของ Fluid Dynamic ประกอบด้วย Thermodynamic ส่วนวิธีการวิเคราะห์จะต้องมากเพียงใดขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและขอบเขตที่วิเคราะห์ ที่นิยมและสามารถควบคุม Boundary condition ได้ดีที่สุดคือ Finite Volume Method

3.6 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด [11]

ลักษณะที่สำคัญของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล คือ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบโดยระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ปลายของจังหวะอัดก่อนการเริ่มต้นการเผาไหม้ที่ต้องการเล็กน้อย ตามปกติแล้วเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปด้วยความเร็วสูงโดยผ่านรูหัวฉีดรูปเคียวหรือหลายรู เมื่อเชื้อเพลิงผ่านพื้นปลายของหัวฉีดก็จะแตกเป็นฝอยละอองและพุ่งไปในห้องเผาไหม้และจะระเหยผสมกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันสูงที่อยู่ในกระบอกสูบ เนื่องจากอุณหภูมิและความดันของอากาศสูงกว่าจุดการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง ทำให้การจุดระเบิดเองของส่วนที่เป็นสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก็จะเกิดขึ้นหลังช่วงล่าช้าไม่กี่องศาของมุมเพลาคือเหวี่ยง เมื่อการเผาไหม้ของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศเกิดขึ้น ความดันในกระบอกสูบก็จะเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เกิดการอัดส่วนที่ยังไม่เผาไหม้ ซึ่งทำให้ช่วงล่าช้าก่อนการจุดระเบิดของสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ได้ผสมกันโดยมีสัดส่วนอยู่ในขีดจำกัดที่สามารถเผาไหม้ได้นั้นสั้นลง การเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วเวลาในการระเหยของเชื้อเพลิงที่เหลือก็จะลดลงด้วย สำหรับการฉีดเชื้อเพลิงก็จะมีต่อเนื่องไปจนกระทั่งปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการได้เข้าไปในกระบอกสูบแล้ว ส่วนกระบวนการแตกเป็นฝอยละออง การระเหย การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศและการเผาไหม้ก็จะมีต่อเนื่องไปจนกระทั่งเชื้อเพลิงทั้งหมดได้ผ่านแต่ละกระบวนการดังกล่าว นอกจากนี้ การผสมของอากาศที่เหลือในกระบอกสูบกับแก๊สที่กำลังเผาไหม้แล้วก็จะเกิดขึ้นต่อไปตลอดกระบวนการเผาไหม้และกระบวนการขยายตัว



รูปที่ 3.7 ทรงต่าง ๆ ของลูกสูบสำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน

3.6.1 รูปทรงของหัวลูกสูบ

ทั้งเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซลคุณสมบัติของอากาศและน้ำมันมีส่วนสำคัญมากแก่ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ในเครื่องยนต์เบนซินนั้นส่วนผสมจะเกิดขึ้นนอกระบบลูกสูบ ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลนั้นน้ำมันจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบในรูปของสเปรย์เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ น้ำมันจะต้องถูกอากาศล้อมไว้ด้วยอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม เงื่อนไขที่จะช่วยให้อากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีคือการไหลแบบ Turbulence ในห้องเผาไหม้ เราสามารถทำให้เกิดการผสมกันแบบ Turbulence ได้โดยการออกแบบลักษณะของช่องว่างในห้องเผาไหม้ที่ทำให้เกิด Turbulence มากขึ้นรูปทรงของหัวลูกสูบอย่างง่ายที่สุดคือ หัวแบน ในอดีตเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดมักใช้ลูกสูบหัวโดมรูปต่าง ๆ เพื่อลดปริมาตรห้องเผาไหม้และเพิ่มอัตราส่วนการอัด ข้อจำกัดของลูกสูบหัวโดมคือ ในขณะที่เปิดวาล์วต้องมีเนื้อที่ว่างเพียงพอ เพื่อไม่ให้ชนกับหัวลูกสูบ ดังนั้นหัวลูกสูบจึงต้องทำร่องบากเพื่อเป็นช่องว่างสำหรับวาล์ว

บทที่ 4

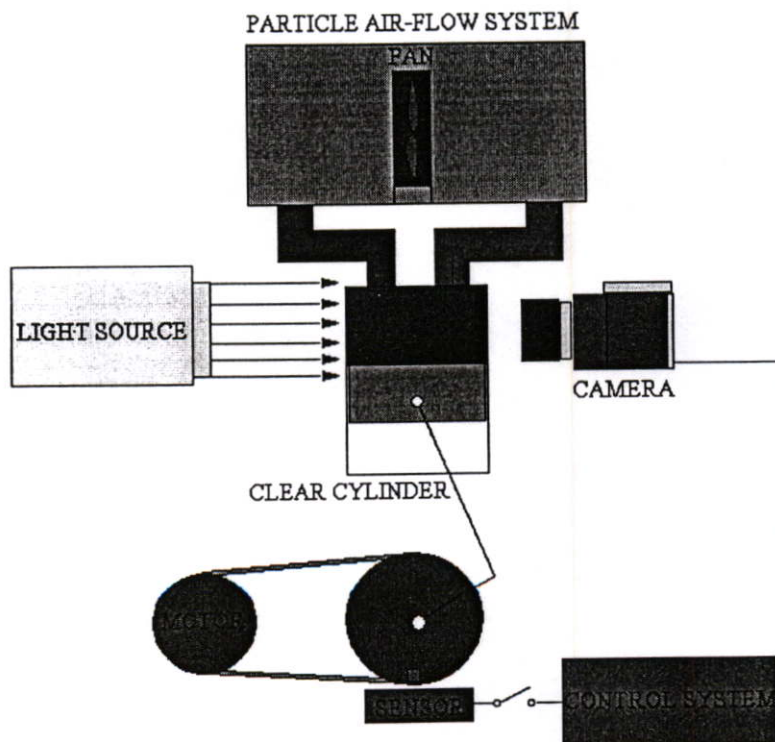
อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

ในบทนี้อธิบายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและขั้นตอนการทดลองโดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของการศึกษาพฤติกรรมการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ส่วนผสมบาง สำหรับการทดลองจะทำการทดลองด้วยเครื่องยนต์จำลองการไหล เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ในลูกสูบแต่ละแบบ และท่อไอเสียแบบต่าง ๆ และนำมาวิเคราะห์การไหลที่ดีที่สุด ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของการพัฒนาห้องเผาไหม้เพื่อทดสอบกับเครื่องยนต์จริง การทดสอบโดยนำลักษณะของการไหลที่ดีที่สุดมาพัฒนาทดสอบกับเครื่องยนต์จริง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและขั้นตอนการทดลองการศึกษาพฤติกรรมการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ด้วยเครื่องยนต์จำลอง

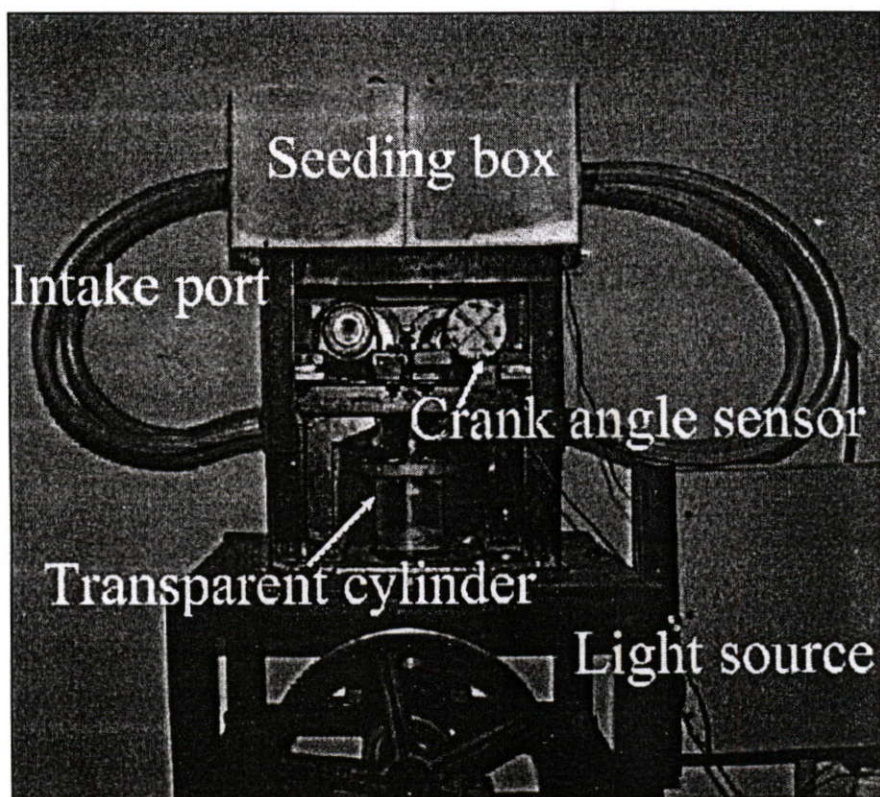
ลักษณะของเครื่องยนต์จำลองนั้นจะทำให้สามารถเห็นการไหลภายในได้โดยการใช้กระบอกสูบใสที่ทำจาก พลาสติกใสทรงกระบอกขนาดเท่ากระบอกสูบจริงและใช้ผงอนุภาคที่มีน้ำหนักเบาปะปนมากับอากาศเพื่อสามารถเห็นการเคลื่อนที่ของอากาศได้ ผงอนุภาคหายากโดยส่วนใหญ่ผงอนุภาคนี้อาจนำไปเก็บไว้ในกล่องเก็บอนุภาคและถูกนำกลับมาใช้ใหม่

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดลองและระบบการถ่ายภาพ

จากรูปที่ 4.1 เมื่อเครื่องยนต์จำลองทำงานจะดูดอนุภาคเข้ามาภายในกระบอกสูบ และแสงจาก Light sheet จะทำให้เกิดระนาบของอนุภาคที่ชัดเจน จากนั้นเมื่อเครื่องยนต์หมุนไปถึงตำแหน่งที่ต้องการชดควบคุมการถ่ายภาพจะได้รับสัญญาณจากตัว Sensor และส่งต่อมาที่สวิทช์ซึ่งเราก็จะกดสวิทช์ค้างไว้ให้สัญญาณส่งต่อไปที่ชดควบคุมกล้องถ่ายภาพให้ถ่ายภาพใน Speed Shutter ที่ต้องการได้ ส่วนอนุภาคจะถูก คายออกจากด้านวาล์วไอเสียไปเก็บที่กล่องพักอนุภาค ซึ่งจะมีพัดลมคอยพัดให้อนุภาคจะกระจายตัวและพร้อมที่จะถูกดูดเข้าในห้องเผาไหม้ในรอบต่อไป



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายเครื่องยนต์จำลองและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพการไหลในห้องเผาไหม้แสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 ชุดเครื่องมือการถ่ายภาพแบบ PIV นี้ จะใช้การจับเส้น particle partline เพื่อนำไปคำนวณหาเวกเตอร์ความเร็ว โดยมีหลักการคร่าวๆดังนี้

1. มอเตอร์ขับเครื่องยนต์จำลองการไหลเคลื่อนที่ ลูกสูบที่อยู่ภายในกระบอกสูบไหลเคลื่อนที่ขึ้นลง
2. เครื่องกำเนิดแสงที่สามารถปรับตั้งระนาบการฉายแสงได้จัดให้ระนาบแสงส่องไปที่บริเวณกระบอกสูบ โดยระนาบของแสงที่กระทบกับกระบอกสูบจะทำการวางตั้งดังในรูปที่ 4.2
3. ผงอนุภาคที่สามารถถ่ายภาพได้ มีขนาดเล็กและเบา ถูกดูดมาจากกล่องเก็บอนุภาคไหลเข้าไปในห้องเผาไหม้ 4. ชุดเซนเซอร์มุมเพลลาข้อเหวี่ยงหมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการถ่ายภาพและส่งสัญญาณไปยังชดควบคุมการถ่ายภาพ

5. กล้องถ่ายภาพดังรูปที่ 4.3 โฟกัสภาพที่ระนาบแสงและกล้องนี้จะต้องสามารถตั้งความเร็วในการปิดหน้ากล้องได้ ทำการบันทึกภาพที่ speed shutter 1/60, 1/90 และ 1/125
6. ผงอนุภาคถูกอัดและคายออกไปเก็บยังกล่องเก็บอนุภาค
7. เปลี่ยนลูกสูบและท่อไอดีเป็นแบบที่ต้องการทดลองแล้วทำตามขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง



รูปที่ 4.3 กล้องดิจิทัลที่ใช้ในการถ่ายภาพ

ในการถ่ายภาพด้วยวิธี PIV จำเป็นที่จะต้องใช้กล้องที่สามารถปรับความเร็วในการปิดหน้ากล้องได้จึงใช้กล้องถ่ายภาพของ Canon รุ่น EOS 300 D ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นกล้องถ่ายภาพชนิดดิจิทัลปรับความไวแสงได้ 1600

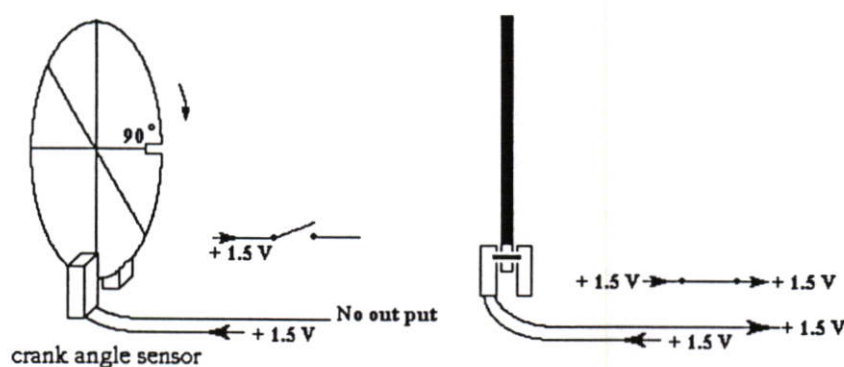
จากตารางที่ 4.1 จะใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนที่ความเร็ว 470 rpm คงที่ โดยลักษณะของลูกสูบจะใช้ลูกสูบแบบต่าง ๆ และท่อไอดีแบบขนาน แบบวี และแบบตั้งตรง จากตารางที่ 4.2 แสงที่ใช้ส่องเป็นระนาบตั้งมีขนาด 1500 Watt กว้าง 10 mm. ส่องไปที่กลางกระบอกสูบ อนุภาคมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 70 μm . และความหนาแน่นที่ 0.025 โดยใช้กล้อง Canon รุ่น EOS 300D ความเร็วสูงบันทึกภาพที่ Speed Shutter 1/60 , 1/90 และ 1/125 Sec โดยใช้ปรับให้มีความไวแสง 1600 เปิดรูรับแสงที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์จำลองการไหล

Type of Engine	Single Cylinder 4-Stroke
Valve	Two Inlet / Two Outlet
Bore x Stroke	$\varnothing 81 \times 81$ mm.
Comp. Ratio	9
Side Clearance	1.0 mm.
Motoring	470 RPM
Valve inlet Diameter	32 mm.
Valve outlet Diameter	29 mm.

ตารางที่ 4.2 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)



รูปที่ 4.4 ลักษณะการทำงานของ Crank angle sensor

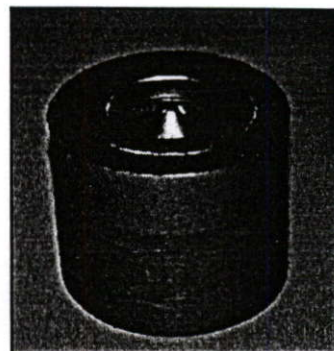
การทำงานของ Crank angle sensor นี้จะแสดงในรูปที่ 4.4 โดยใช้หลักการของโฟโต้สวิตช์คือเมื่อแผ่นจานองศาที่ถูกทำให้เกิดร่องในตำแหน่งที่ต้องการจับภาพหมุนผ่าน sensor จะทำให้การต่อติดของวงจรครบสมบูรณ์และมีสัญญาณไฟส่งต่อออกไปยังชุดควบคุมการถ่ายภาพ จากรูปที่ 4.5 ลูกสูบชนิดต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบ ก.) เป็นลูกสูบแบบหัวเรียบที่ใช้ในเครื่องยนต์เบนซินทั่วไป ข.) เป็นลูกสูบของเครื่องยนต์เบนซินส่วนผสมบางที่ใช้ในรถยนต์ Mitsubishi โดยจะสังเกตเห็นว่าลูกสูบมีลักษณะเป็นแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และมีหลุมลึกลงไปภายในด้านวาล์วไอดีเพียงด้านเดียว โดยหลุมนี้จะใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงผ่านหลุมแล้วโค้งกลับขึ้นไปยังหัวเทียน ค) ลูกสูบแบบหลุมสควิช มักพบมากในเครื่องยนต์ดีเซล ลักษณะของหลุมลึกภายในหลุมจะนูนขึ้นมา มีลักษณะเป็นรูปทรงกรวย ง) ลูกสูบแบบหลุมกรวย เป็นลูกสูบที่ทำขึ้นมาเพื่อทดสอบหาพฤติกรรมกรรมการไหล โดยจะมีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไปเป็นทรงกรวย จ) ลูกสูบหลุมแบบตัด เป็นลูกสูบที่ทำขึ้นมาเพื่อทดสอบหาพฤติกรรมกรรมการไหล โดยจะมีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไปตรง ๆ ฉ) ลูกสูบหลุมโค้งเป็นลูกสูบที่ทำขึ้นมาเพื่อทดสอบหาพฤติกรรมกรรมการไหล โดยจะมีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไปโดยส่วนล่างสุดจะโค้งเว้าลงไป



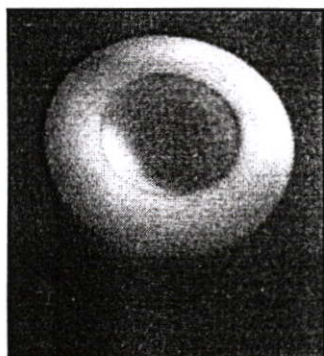
ก) ลูกสูบแบบหัวเรียบ



ข) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม



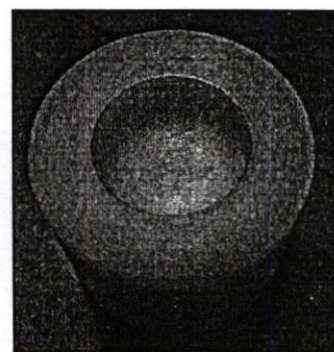
ค) ลูกสูบแบบหลุมสควิช



ง) ลูกสูบแบบหลุมกรวย

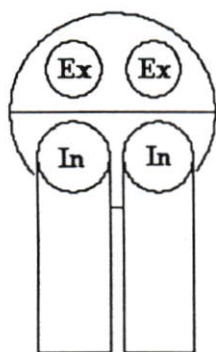


จ) ลูกสูบหลุมแบบหลุมตัด

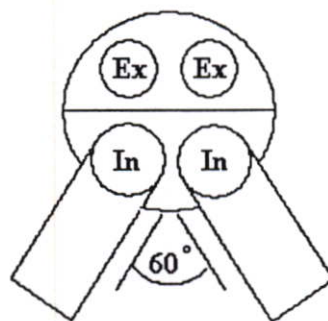


ฉ) ลูกสูบแบบหลุมโค้ง

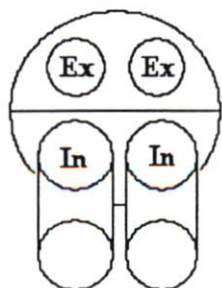
รูปที่ 4.5 ลูกสูบที่นำมาทำการศึกษาพฤติกรรมการไหล



ก) ท่อไอดีแบบขนาน



ข) ท่อไอดีแบบ V



ค) ท่อไอดีแบบตั้งตรง

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการต่อท่อไอดีที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4.6 ท่อไอดีแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ก) ท่อไอดีเป็นแบบขนาน โดยท่อไอดีด้านซ้ายและขวาจะขนานกัน ข) ท่อไอดีเป็นแบบ V-Type ซึ่งในการทดลองนี้จะทำมุมท่อไอดีด้านซ้ายและขวา 60 องศา ค) ท่อไอดีแบบตั้งตรง ท่อไอดีแบบนี้จะถูกต่อตรงจากด้านบนลงไปยังห้องเผาไหม้โดยมีลักษณะเกือบจะตั้งฉากกับห้องเผาไหม้

4.1.2 วิธีการทดลองด้วยเครื่องยนต์จำลองและแสดงผล

ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 470 rpm คงที่ โดยลักษณะของลูกสูบจะใช้ลูกสูบแบบต่าง ๆ ที่เตรียมมาทดสอบ แสงที่ใช้ส่อง (Light source) เป็นระนาบตั้งมีขนาด 1500 Watt กว้าง 10 mm. ส่องไปที่กลางกระบอกสูบ อนุภาคมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 70 μm . และความหนาแน่นที่ 0.025 โดยใช้กล้อง Cannon รุ่น EOS 300D ความเร็วสูงบันทึกภาพที่ Speed Shutter 1/60 , 1/90 และ 1/125 Sec โดยตั้งความไวแสง 1600 เปิดรับแสง 4.6f

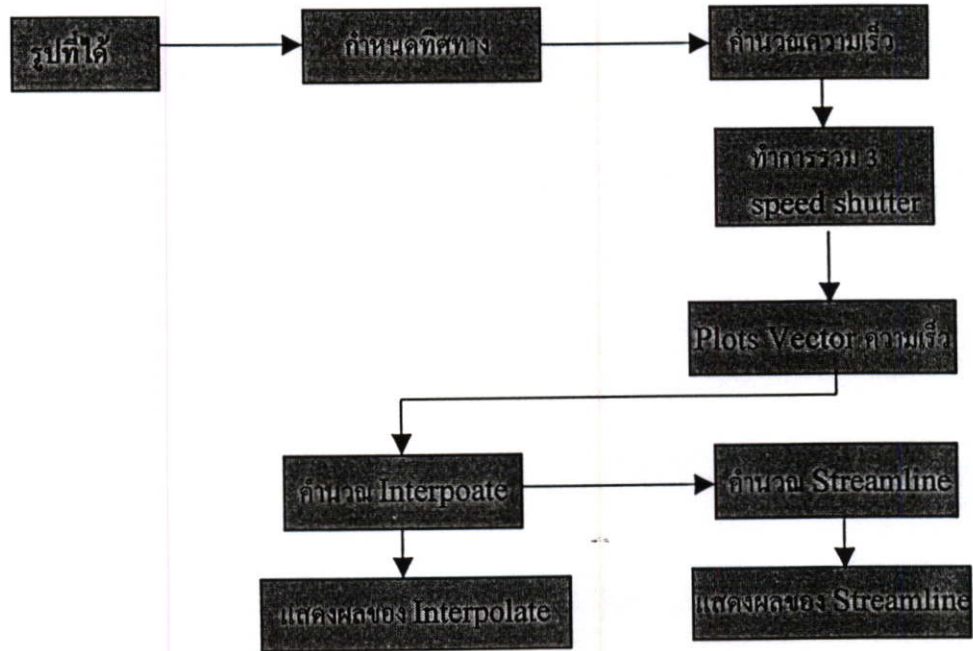
เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์จำลอง โดยกระบอกสูบทำมาจากวัสดุโลหะเพื่อสามารถมองและบันทึกภาพการไหลของอนุภาคได้ดี โดยอนุภาคจะถูกดูดเข้ามาทางด้านวาล์วไอดี จะสามารถมองการไหลในแนวตั้งหรือแบบ Tumble ได้ เมื่ออนุภาคไหลเข้ามาในกระบอกสูบ โดยชุด Crank angle sensor จะสั่งให้กล้องทำการถ่ายภาพเก็บไว้ โดยการถ่ายภาพนี้จะทำการถ่ายที่ตำแหน่งองศาการหมุนที่ตำแหน่งเดิม ตำแหน่งละ 3 ช่วงความเร็ว Speed Shutter เพื่อนำเส้นของการไหลและช่วงเวลาที่น่ากล้องปิดไปคำนวณหาสนามการไหลที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ

เมื่อเครื่องยนต์จำลองทำงานจะดูดอนุภาคเข้ามาภายในกระบอกสูบ และแสงจาก Light sheet จะทำให้เกิดระนาบของอนุภาคที่ชัดเจน จากนั้นเมื่อเครื่องยนต์หมุนไปถึงตำแหน่งที่ต้องการ ชุดควบคุมการถ่ายภาพจะได้รับสัญญาณจากตัว Crank angle sensor ดังแสดงในรูปที่ 2 และส่งต่อมาที่สวิชท์ให้สัญญาณส่งต่อไปที่ชุดควบคุมกล้องถ่ายภาพให้ถ่ายภาพใน Speed Shutter ที่ต้องการได้ ส่วนอนุภาคจะถูกคายออกทางด้านวาล์วไอเสียไปที่เก็บที่กล่องพักอนุภาค ซึ่งจะมีพัดลมคอยพัดให้อนุภาคกระจายตัวและพร้อมที่จะถูกดูดเข้าในห้องเผาไหม้ในรอบต่อไป

จากรูปที่ 4.7 แสดง Flow chart การแสดงผลด้วย Vector plot และ Streamline plot โดยเริ่มจากนำรูปที่ถ่ายได้มากำหนดทิศทางจุดเริ่มต้นและจุดปลายแล้วนำไปคำนวณความเร็วโดยหาจากระยะเวลาการปิดหน้ากล้องทั้ง 3 ความเร็วในการปิดหน้ากล้อง จากนั้นนำไป plot vector ความเร็ว ก็จะได้ velocity vector รวม แล้วก็ทำการ interpolate สนามการไหลผลที่ได้จากการ interpolate จะนำไปเขียนในโปรแกรม Matlab ก็จะได้ Vector Plot และ Streamline plot เพื่อนำไปเปรียบเทียบลักษณะการไหล

นำภาพที่ได้นำมาเปิดในโปรแกรมที่ 1 ทำการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลาย โดยสังเกตจากเส้น Particle part line ที่ได้มาส่วนที่เป็นจุดเริ่มต้นจะมีลักษณะแหลม ส่วนที่เป็นจุดปลายจะมีลักษณะกลมใหญ่กว่าจุดเริ่มต้น ทำการกำหนดจุดเพื่อหาเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค ดังในรูปที่

4.8 แสดงการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลาย โดยค่าต่าง ๆ ที่ได้ จะถูกบันทึกไว้เป็นค่า X,Y จากนั้นนำค่า X,Y ที่ได้ไปทำการ คำนวณ หาความเร็วที่แท้จริงของการเคลื่อนที่ โดยการนำไปคูณกับ เวลาที่ใช้ในการเปิดหน้ากล้อง speed shutter ของรูปนั้น ๆ

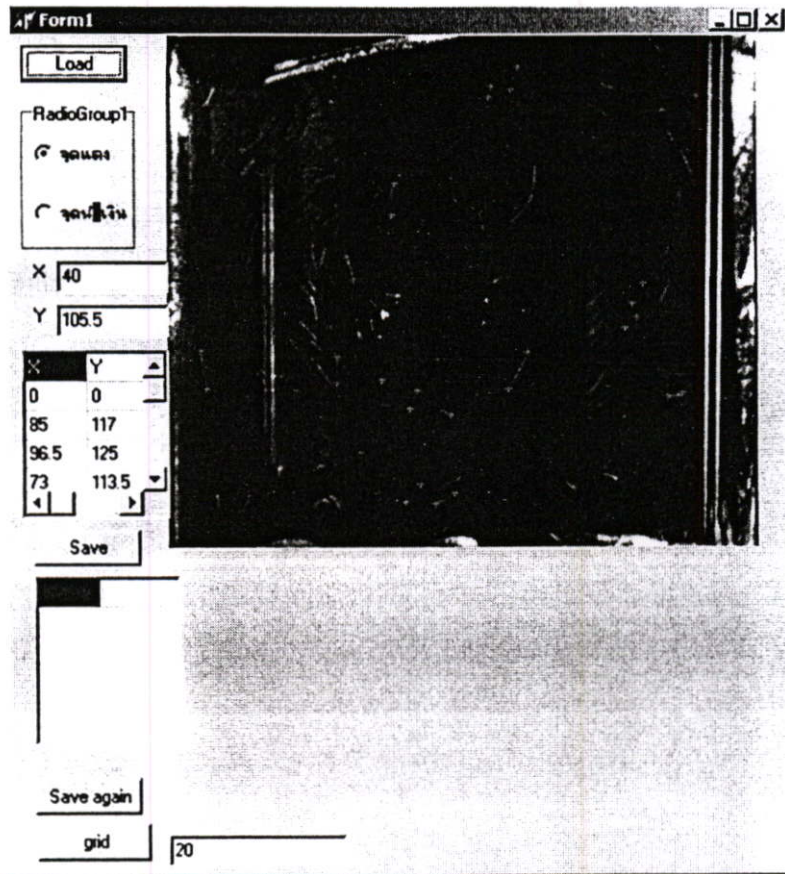


รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการนำภาพถ่ายมาเป็นข้อมูลในการหาทิศทางการไหล

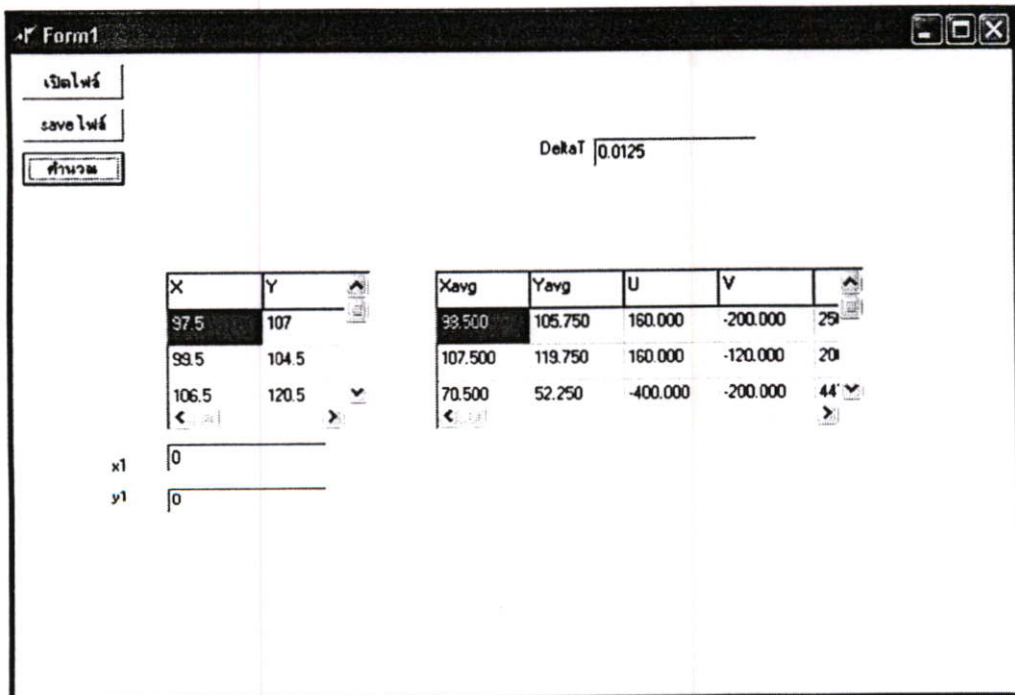
จากรูปที่ 4.8 นำค่า X และ Y ที่ได้จากการกำหนดจุดเริ่มและจุดสุดท้ายของแต่ละ Particle path line มาคำนวณรวมกับความเร็วของ speed shutter ก็จะได้ค่าความเร็วของอนุภาคที่แท้จริง โดยจะแสดงออกมาในรูป 4.9 ความเร็วในแกน X จะได้ค่าความเร็ว U และในแกน Y จะได้ค่าความเร็ว V กล่าวคือการนำเวลาในการเปิดหน้ากล้องมาเพิ่มระยะทางของ Particle path line ดังรูปที่ 4.10 จะสามารถหาค่าความเร็วที่เพิ่มเวลาในการเปิดหน้ากล้องจากสมการในรูปที่ 4.10

การนำค่าความเร็ว U และ V ไปคำนวณหาสนามการไหลโดยการ interpolate จำเป็นต้องมีการแบ่ง grid เพื่อใช้ในการคำนวณดังนั้นในรูปที่ 4.11 เป็นการแบ่ง grid ของรูปแต่จะใช้งานเฉพาะบริเวณที่เป็นจุดสีน้ำเงินซึ่งเป็นขอบเขตของกระบอกสูบที่เราสนใจในการทดลองนี้ เมื่อได้ค่าความเร็ว U และ V ของ speed shutter ทั้ง 3 แล้วนำค่า U, V มารวมกันเป็น vector ความเร็วรวมก็จะสามารถนำมา plot ลงไปในโปรแกรมตามรูปที่ 4.12 ได้จากนั้นก็ใส่ grid เพื่อคำนวณ interpolate สนามการไหลของรูปที่ถ่ายมาได้ตามรูปที่ 4.13 เป็น interpolated velocity fields เมื่อได้ interpolated velocity fields ก็จะได้ ค่าความเร็ว U, V ที่จุดต่าง ๆ บน grid ก็จะสามารถนำไปหา interpolate vector velocity fields และ Streamline ผ่านโปรแกรม Matlab ก็จะสามารถพล็อตเวกเตอร์สนามการไหลได้ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งจะสามารถได้สนามการไหลในรูปแบบเวกเตอร์

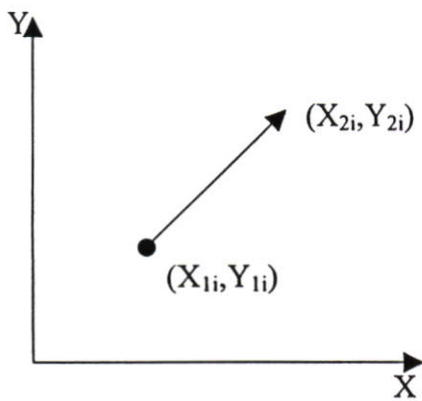
ของลูกสูบแบบต่าง ๆ ได้โดยแกน x จะเป็นระยะเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบ ส่วนแกน y จะเป็นระยะจากฝาสูบจนถึงตำแหน่งศูนย์กลาง



รูปที่ 4.8 การกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลายด้วยโปรแกรมที่ 1



รูปที่ 4.9 แสดงค่า U และ V ที่ได้จากโปรแกรมที่ 2



components:

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

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

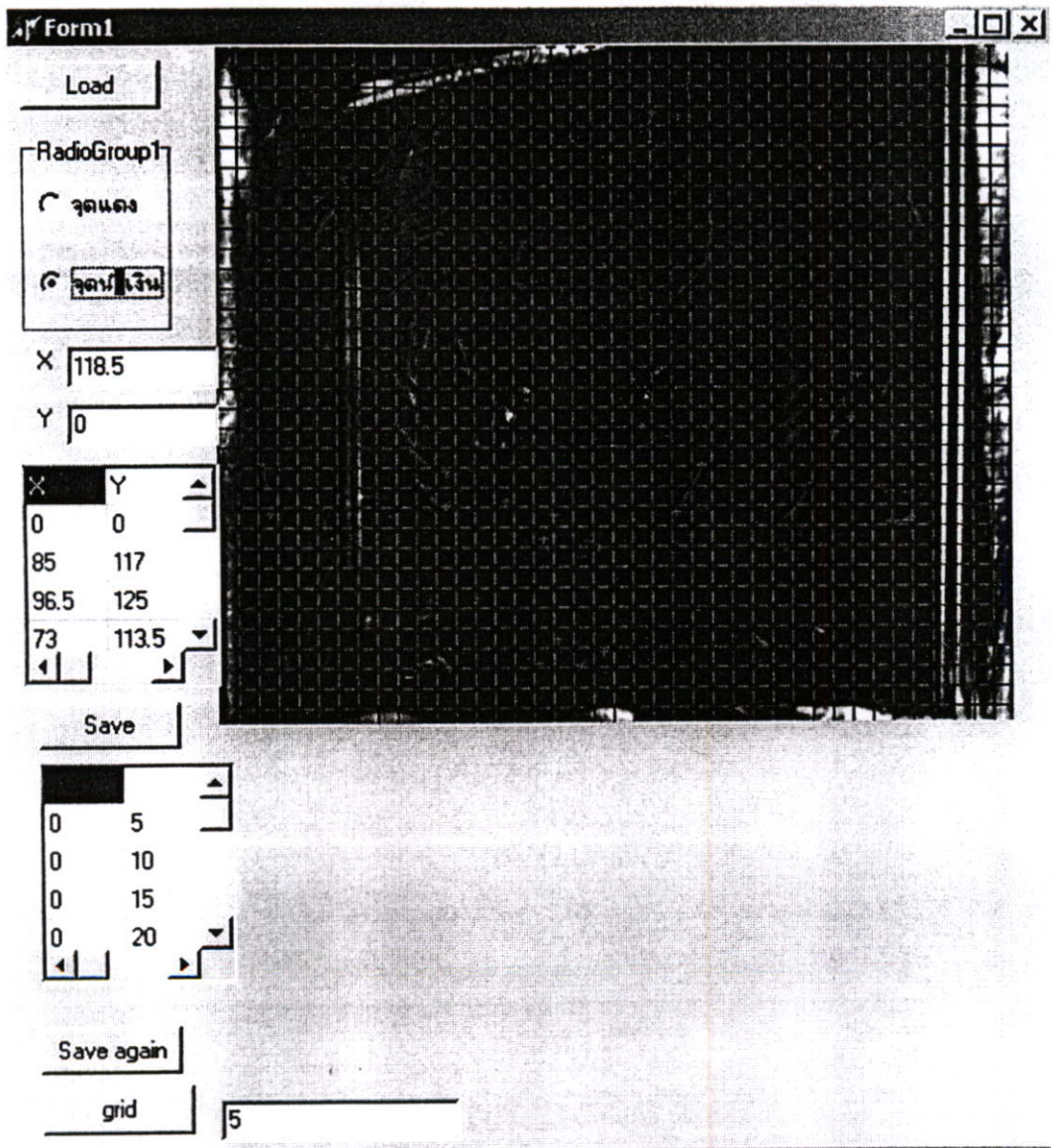
$[\Delta t = \text{exposure time}]$

displacement:

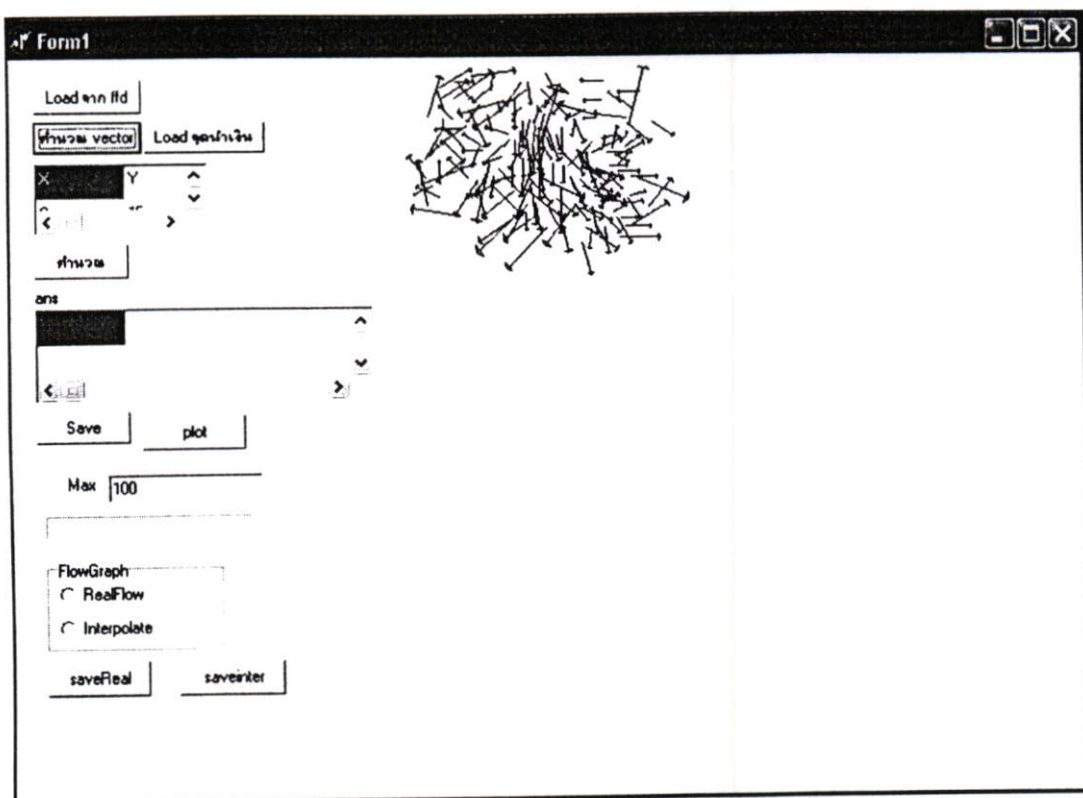
$$x_i = (x_{2i} + x_{1i}) / 2$$

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

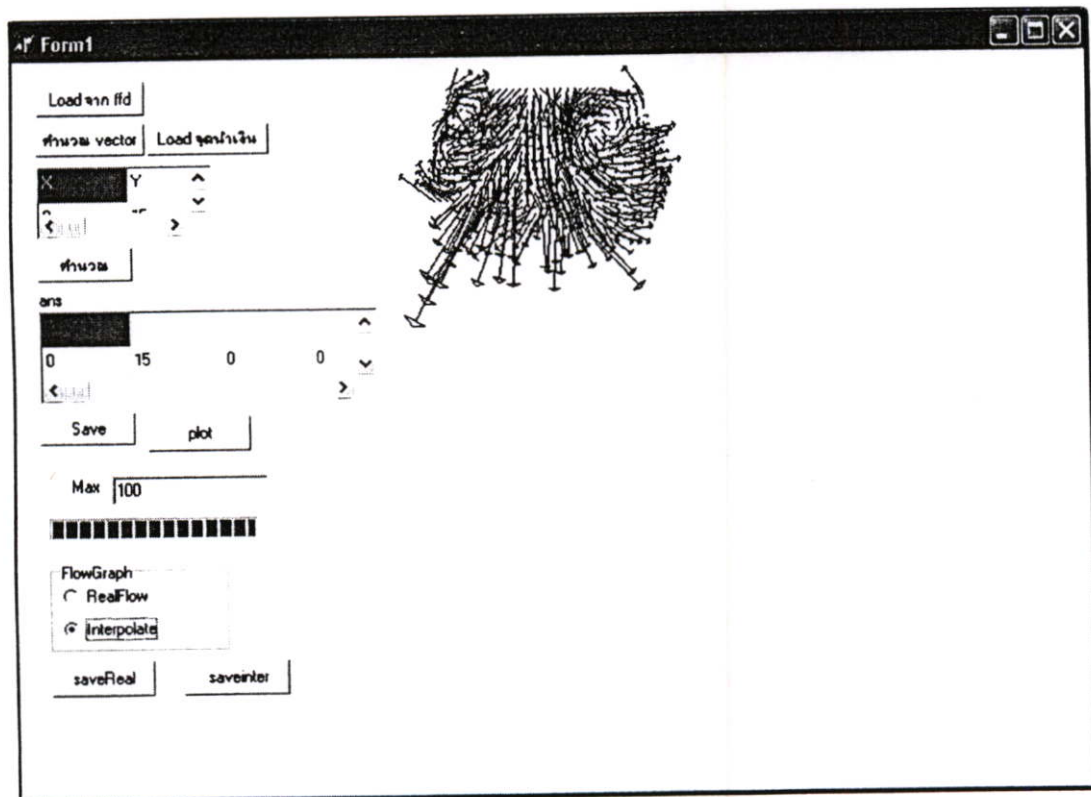
รูปที่ 4.10 การคำนวณหาเวกเตอร์ความเร็ว



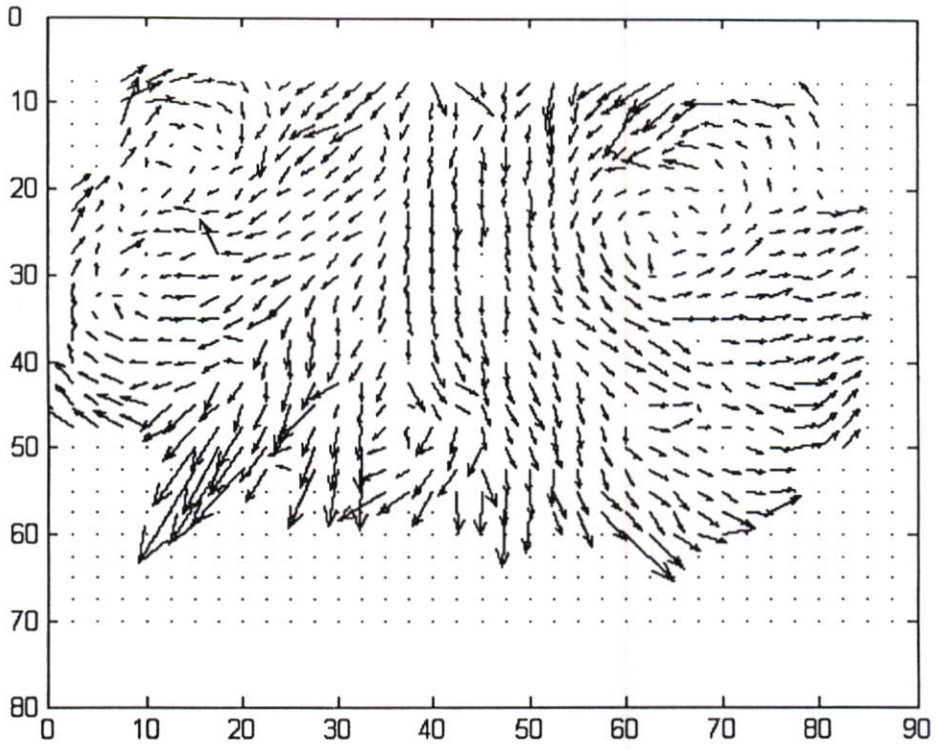
รูปที่ 4.11 โปรแกรมที่ 3 แสดงการแบ่งกริด



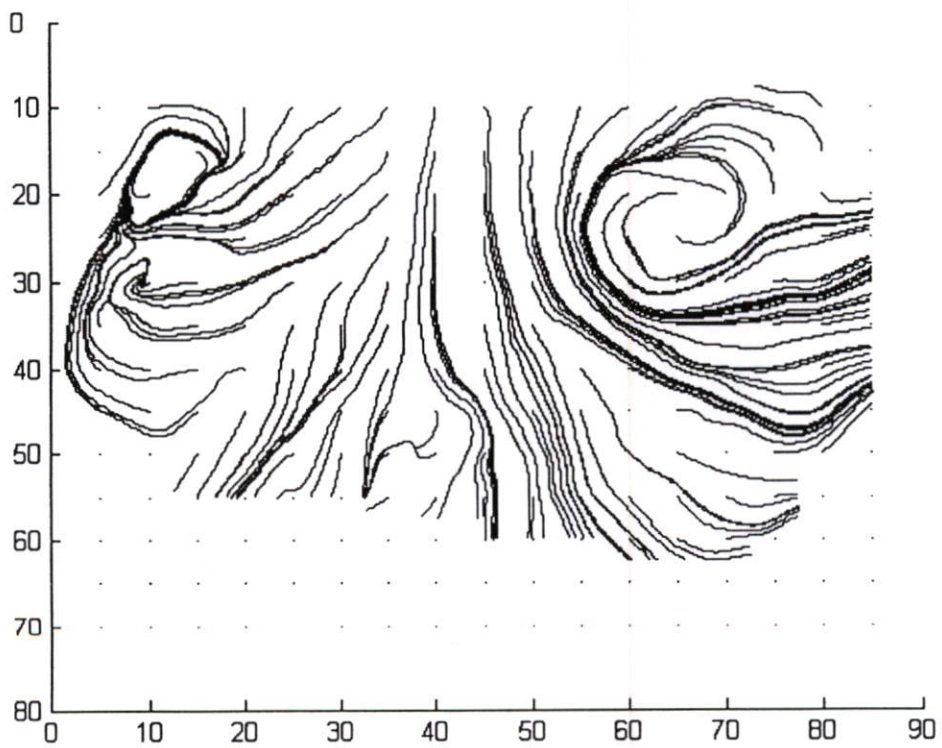
รูปที่ 4.12 การ Plot velocity fields ของการไหล



รูปที่ 4.13 การ Plot interpolated velocity fields ของการไหล



รูปที่ 4.14 รูป interpolated velocity fields ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม Matlab



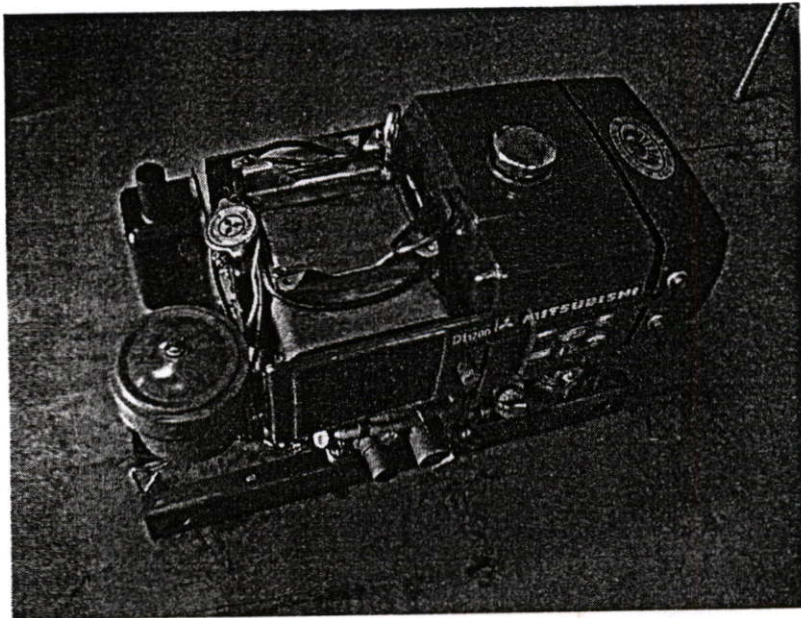
รูปที่ 4.15 เส้น Streamline ของการไหลที่ได้จากโปรแกรม Matlab

4.2 อุปกรณ์และวิธีการทดสอบโดยนำลักษณะของการไหลที่ดีที่สุดมาทดสอบกับเครื่องยนต์จริง ทำการปรับแต่งลูกสูบเพื่อทดลองในเครื่องยนต์จริง

เนื่องจาก ลูกสูบชนิดหลุมโค้งที่ได้รับผลการทดสอบการไหลที่ดีที่สุดได้พัฒนามาจากลูกสูบแบบที่มีห้องเผาไหม้แบบสควิช ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีในเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นลูกสูบที่ออกแบบมาใหม่ นี้จึงนำเครื่องยนต์ดีเซลมาทดสอบ จึงเลือกเครื่องยนต์ดีเซลแบบที่มีการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้บนหัวลูกสูบ (DI engine) ดังนั้นจึงเลือกเครื่องยนต์ของ Mitsubishi DI-1200 มาทำการทดสอบ การทดสอบจะทดสอบด้วยท่อไอดีแบบโค้งและลูกสูบสควิชแบบเดิมที่มีมากับเครื่องยนต์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ การทดสอบท่อไอดีแบบตรงและลูกสูบที่ทำการปรับแต่งให้ใกล้เคียงกับลูกสูบหลุมแบบโค้งที่ทดสอบผ่านเครื่องจำลองการไหล

4.2.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของลูกสูบแบบต่าง ๆ และท่อไอดีแบบต่อตรง เป็นเครื่องยนต์ของ Mitsubishi รุ่น DI-1200 มีแรงม้าสูงสุด 11 แรงม้าที่ 2400 รอบ แรงบิดสูงสุด 3.6 kg.m เป็นเครื่องยนต์ระบบ direct injection แสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ

ลูกสูบเดิมของเครื่องยนต์ Mitsubishi DI-1200 จะมีลักษณะเดียวกับลูกสูบแบบสควิช แสดงในรูปที่ 4.17 ส่วนลูกสูบในรูปที่ 4.18 เป็นลูกสูบแบบหลุมที่พัฒนาโดยคำนึงถึงลักษณะการไหลที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองด้วยการถ่ายภาพโดยไม่คำนึงถึงการสเปรย์ของหัวฉีดในจังหวะฉีด และลูกสูบในรูปที่ 4.19 เป็นลูกสูบที่พัฒนาโดยคำนึงถึงลักษณะการไหลที่ดีที่สุดที่ได้จากการ

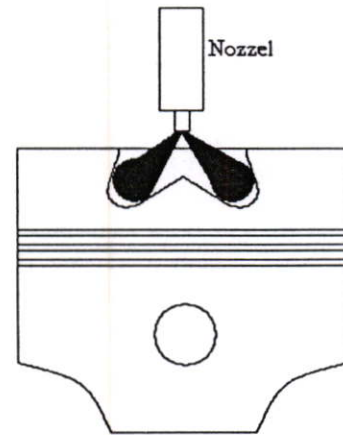
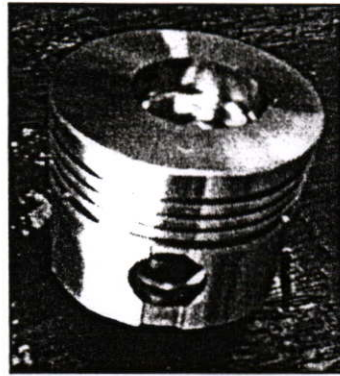
ทดลองด้วยการถ่ายภาพ โดยคำนึงถึงการสเปิร์กของหัวฉีดในจังหวะฉีดจะสังเกตว่าจะมีหลุมลึกลงไปทางด้านข้างของหลุมเพื่อคงแนวการสเปิร์กของหัวฉีดไว้ดังเดิม

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดทั่วไปของเครื่องยนต์

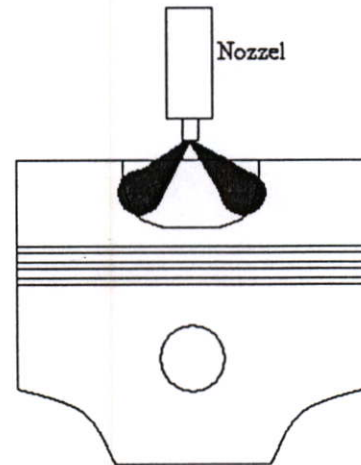
แบบ	เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ
รหัสรุ่น	DI 1200
หมายเลขเครื่องยนต์	105 14140
กำลังที่กำหนดต่อเครื่อง	10Hp @ 2200 rpm
กำลังสูงสุด	11Hp @ 2400 rpm
จำนวนกระบอกสูบ	1
เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ	90 mm.
ช่วงชัก	86 mm.
อัตราส่วนกำลังอัด	18:01
ชนิดห้องเผาไหม้	แบบฉีดตรง
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำหมุนวน
หัวฉีดชนิด	Hole Type
ความดันในการฉีด	225-235 Kg/Cm ²

4.2.2 ลักษณะของลูกสูบที่นำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ Mitsubishi DI1200

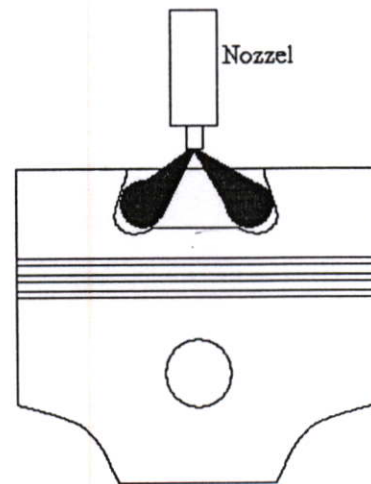
ลูกสูบที่มากับเครื่องยนต์ดังรูปที่ 4.17 จะมีลักษณะเป็นหลุมและโค้งบริเวณกลางหลุมมีลักษณะทรงกรวยยื่นขึ้นมา ซึ่งลูกสูบแบบนี้เป็นลักษณะของลูกสูบแบบสควิช เนื่องจากการศึกษาพฤติกรรมการไหลพบว่า ลูกสูบแบบหลุมโค้งให้การไหลแบบ Tumble ที่ดีที่สุดจึงทำการปรับปรุงลูกสูบที่ติดมากับเครื่องยนต์ให้มีลักษณะเป็นหลุมโค้งดังรูปที่ 4.18 แต่ถ้าจะคำนึงถึงลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงร่วมด้วยก็จำเป็นต้องปรับปรุงลูกสูบเพิ่มร่องข้างที่ขอบด้านล่างของหลุมดังในรูปที่ 4.19 ซึ่งจะทำให้ลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงยังคงรูปแบบได้เหมือนเดิม รูปที่ 4.20 เป็นลูกสูบที่มีหลุมโค้งขนาดใหญ่ซึ่งจะให้การไหลแบบ Tumble ที่ดี และขนาดของหลุมยังไม่ขัดขวางการฉีดเชื้อเพลิง



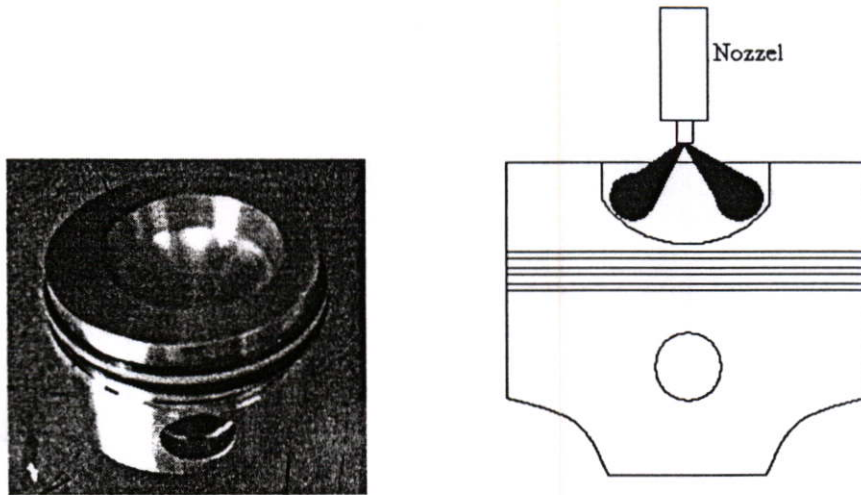
รูปที่ 4.17 ลูกสูบเดิมของเครื่องยนต์



รูปที่ 4.18 ลูกสูบหลุมโค้ง



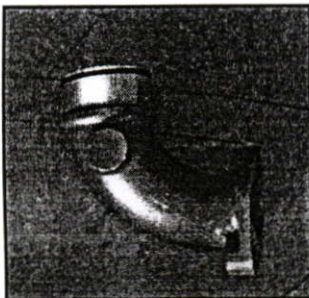
รูปที่ 4.19 ลูกสูบหลุมเรียบ



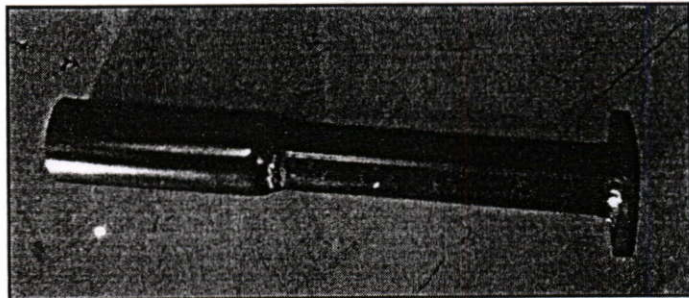
รูปที่ 4.20 ลูกสูบหลุมโค้งใหญ่

4.2.3 ท่อไอดีที่ใช้ในการทดสอบ

ท่อไอดีเดิมที่มากับเครื่องยนต์มีลักษณะโค้งดังรูปที่ 4.21 ก) ท่อไอดีเดิมที่ติดมากับเครื่องยนต์มีลักษณะโค้งและ 4.21 ข) เป็นท่อไอดีทรงตรงซึ่งสร้างขึ้นมาจากผลการทดลองถ่ายภาพให้เห็นลักษณะการไหลแบบ Tumble ดังรูปที่ 4.22 ท่อไอดีแบบโค้งที่ติดมากับเครื่องยนต์จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะโค้งงอซึ่งไม่เป็นผลดีกับการไหลแบบ Tumble ส่วนรูปที่ 4.23 ท่อไอดีแบบตรงที่ใช้กับเครื่องยนต์ทดสอบมีลักษณะเป็นท่อตรงเข้าไปยังห้องเผาไหม้ซึ่งให้เกิด Tumble ที่ดี

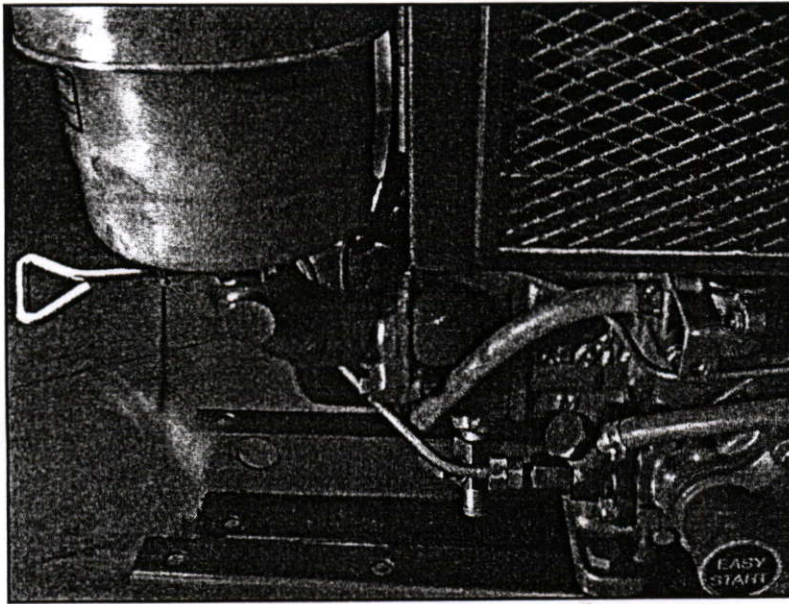


ก) ท่อไอดีที่มากับเครื่อง DI1200

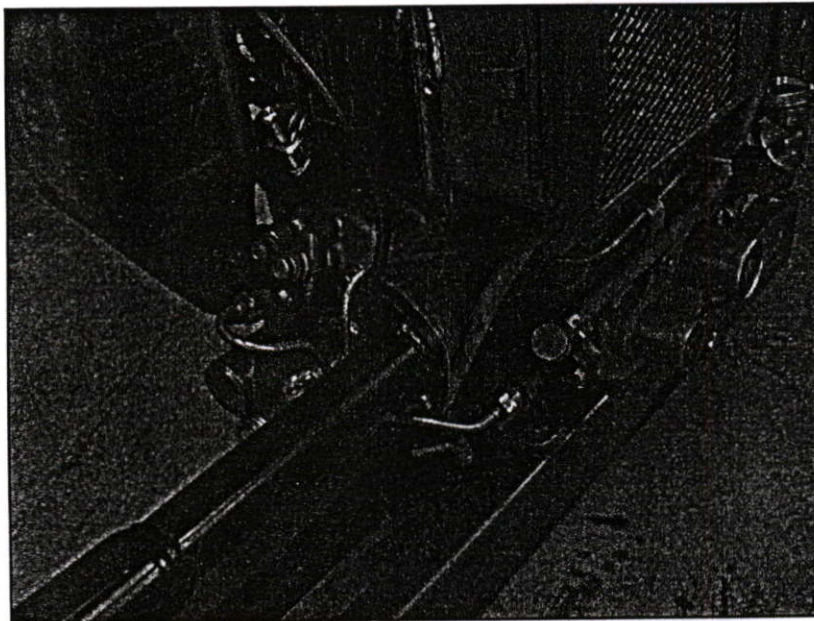


ข) ท่อไอดีทรงตรง

รูปที่ 4.21 ด้านซ้ายเป็นท่อไอดีของเดิม ด้านขวาเป็นท่อไอดีแบบท่อ



รูปที่ 4.22 ท่อไอศแบบโค้งที่ติดมากับเครื่องยนต์



รูปที่ 4.23 ท่อไอศแบบตรงที่ใช้กับเครื่องยนต์ทดสอบ

4.2.4 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องวัดแรงบิดแบบ Eddy current dynamometer ลักษณะการทำงานแบบที่ใช้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้สะดวกและรวดเร็วต่อการใช้งาน เป็นที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรม และงานตรวจสอบคุณภาพที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย โดยจะต่อเพลาลูกมาจากรถช่วยแรงของเครื่องยนต์ที่จะใช้ทำการทดสอบ งานหลุมจะหมุนตัวคานแม่เหล็กซึ่งควบคุมความเข้มโดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวด เมื่อโรเตอร์หมุนตัวคานแม่เหล็กก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่สเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้จะมีอุณหภูมิสูงจึงต้องมีน้ำหล่อเย็น ขณะที่โรเตอร์หมุนไปอ่านจแม่เหล็ก

ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์จะมีผลให้สเตเตอร์พยายามหมุนไปในทางเดียวกับโรเตอร์ ซึ่งเราสามารถวัดแรงบิดเนื่องจากการหมุนนี้ได้ด้วยโพลคเซลที่แสดงผลเป็นตัวเลข แล้วนำมาคำนวณหาแรงม้าของเครื่องยนต์

ขั้นตอนการทดลอง

1. สตาร์ทเครื่องยนต์ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิน้ำมันเครื่องอยู่ที่ 90 องศาเซลเซียส จึงทำการทดลองเก็บผล
2. ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ไปที่ 2550 รอบต่อนาที (ตามที่ทางโรงงานผู้ผลิตทดสอบไว้)
3. ปรับค่าแรงเหนี่ยวนำของไดนาโมมิเตอร์ เพื่อเบรกเครื่องยนต์ให้รอบลดลงจนถึงรอบที่เราต้องการทดสอบเปรียบเทียบ โดยการทดลองนี้จะกำหนดที่ 2400, 2200, 2000, 1800, 1600, 1400 และ 1200 รอบต่อนาที
4. บันทึกค่าแรงบิดที่ใส่เข้าไปเพื่อลครอบเครื่องยนต์
5. บันทึกค่าอุณหภูมิไอเสีย
6. บันทึกค่าการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง
7. วัดค่าวันค่า

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

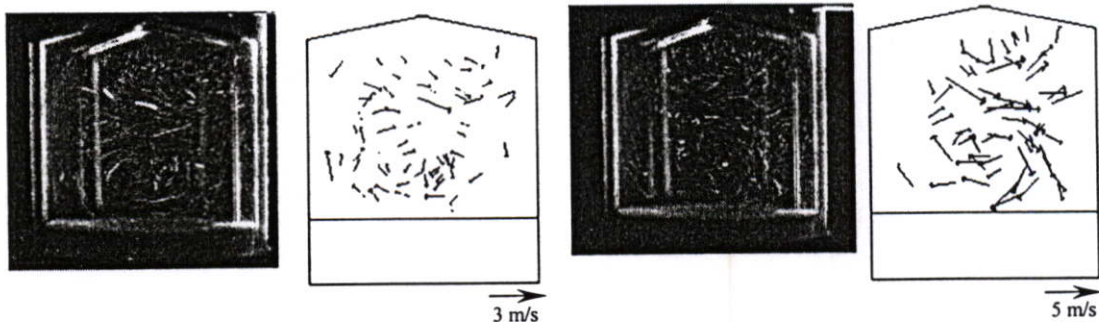
5.1 บทนำ

ผลการทดลองที่ได้นำเสนอในบทนี้ เป็นการนำเสนอรูปภาพที่ถ่ายคู่กับเวคเตอร์สนามการไหลที่ผ่านการคำนวณรวมระยะเวลาการเปิดน้ำกลิ้งแล้ว นำมารวมเพื่อ Interpolate สนามการไหลแล้วนำไป สร้างเส้น Streamline เพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะที่ทำให้การไหลเกิด Tumble เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบห้องเผาไหม้ที่ทำให้เกิดการไหลแบบ Tumble ที่ดีขึ้น หลังจากสามารถออกแบบห้องเผาไหม้ที่ทำให้ Tumble ดีขึ้นแล้ว ก็ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์จริง ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบนี้เป็นเครื่องยนต์ดีเซล สูบเดี่ยวเผาไหม้แบบฉีดตรง โดยเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์ และอัตราสิ้นเปลือง

5.2 ผลการทดลองลักษณะการไหลด้วยเครื่องยนต์จำลอง

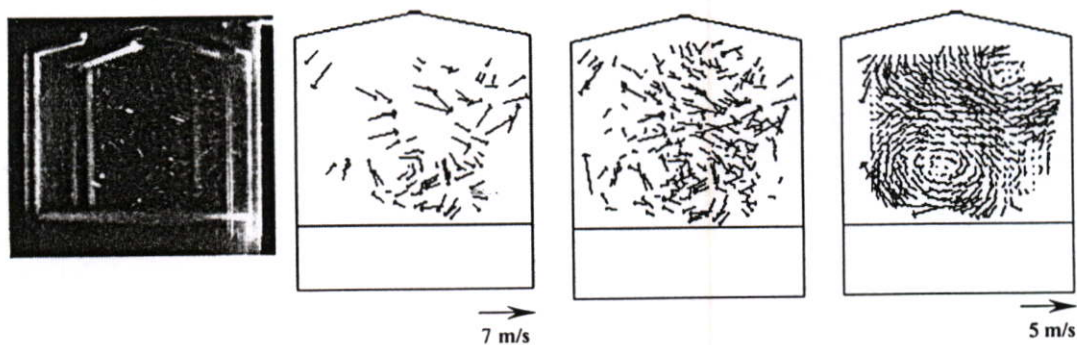
รูปแบบการไหลเป็นหน้าตัดแนวตั้ง รูปที่ 5.1 ก.)-ค.) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบขนาน ที่ 180 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ ความเร็วเปิดน้ำกลิ้ง 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.1 (ง) แสดงภาพของสนามเวคเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบขนาน การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้วาล์วไอดี ความเร็วในการไหลเป็นไปอย่างช้า ๆ ลักษณะการเกิด Tumble เป็นการหมุนที่ช้าและ การหมุนเป็นวงเล็ก รูปที่ 5.2 รูป สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบหัวเรียบและท่อไอดีแบบขนาน จากรูป Streamline จะสังเกตเห็นวงของการไหลบริเวณกลางกระบอกสูบมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 4.05 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 3.4 รูปที่ 5.3 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบวี ที่ 180 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ความเร็วการเปิดน้ำกลิ้ง 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.3 (ง) แสดงภาพของ สนามเวคเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ Interpolate ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบวี การไหลวนเกิดขึ้นไม่เป็นรูปแบบ ไม่เกิด Tumble ที่ชัดเจน ความเร็วการไหลสูงขึ้นเล็กน้อย รูปที่ 5.4 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอดีแบบ วี จาก Streamline จะเห็นว่าไม่เกิดวงของการไหลแบบ Tumble ในท่อไอดีชนิด วี มีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 4.3 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 0 รูปที่ 5.5 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบตั้งตรงที่ 180 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกลิ้ง 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.5 (ง) แสดงภาพของ สนามเวคเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ

interpolate ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอดีเป็นตั้งตรง การไหลวนเกิดขึ้นมีเล็กน้อยที่ได้วาล์วไอดี เกิด Tumble ที่ชัดเจน ความเร็วการไหลสูงขึ้นมาก



(ก) Exposure time 1/60 s.

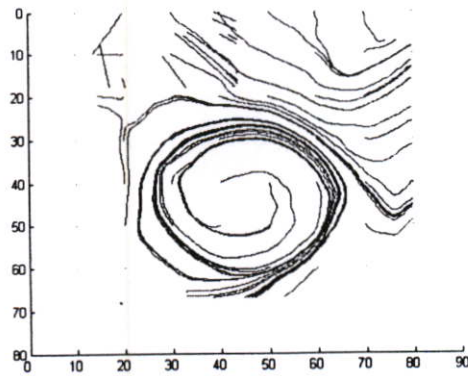
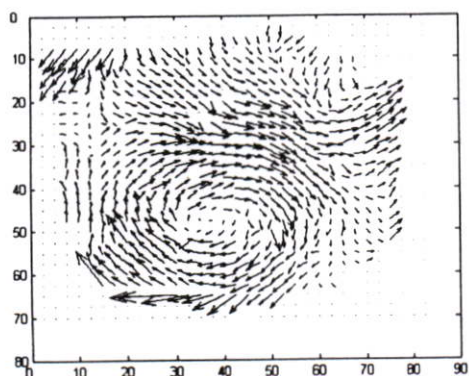
(ข) Exposure time 1/90 s.



(ค) Exposure time 1/125 s.

(ง) Measured and interpolated velocity fields

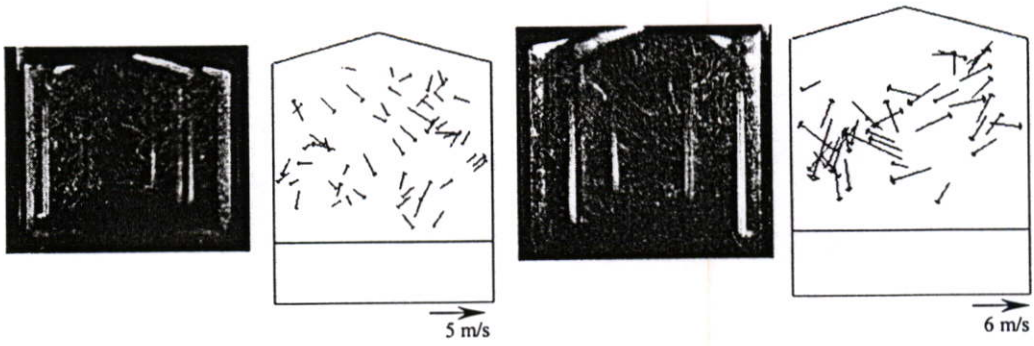
รูปที่ 5.1 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอดีแบบขนาน



ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว

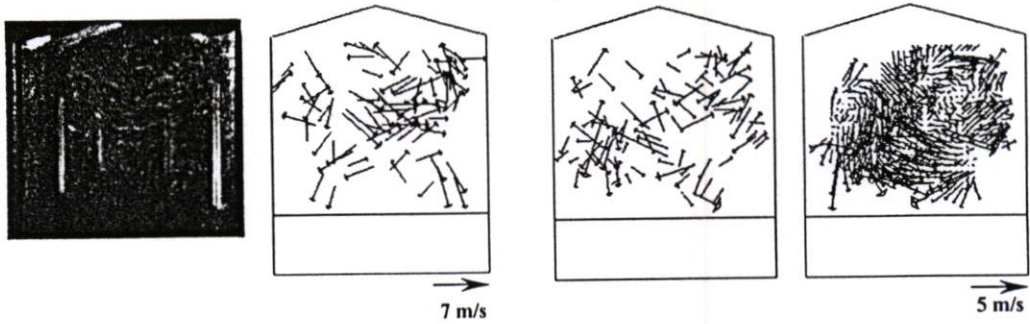
ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.2 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบหัวเรียบและท่อไอดีแบบขนาน



(ก) Exposure time 1/60 s.

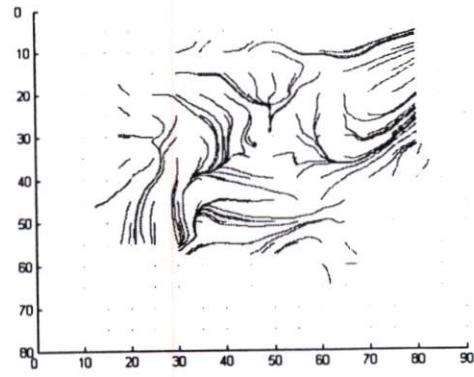
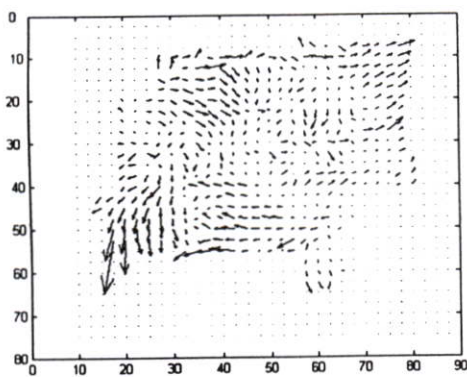
(ข) Exposure time 1/90 s.



(ค) Exposure time 1/125 s.

(ง) Measured and interpolated velocity fields

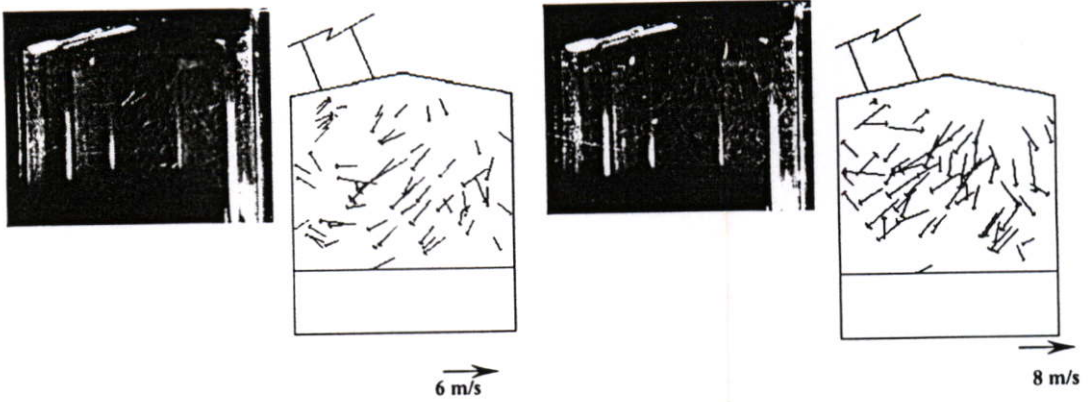
รูปที่ 5.3 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอดีแบบ วี



ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว

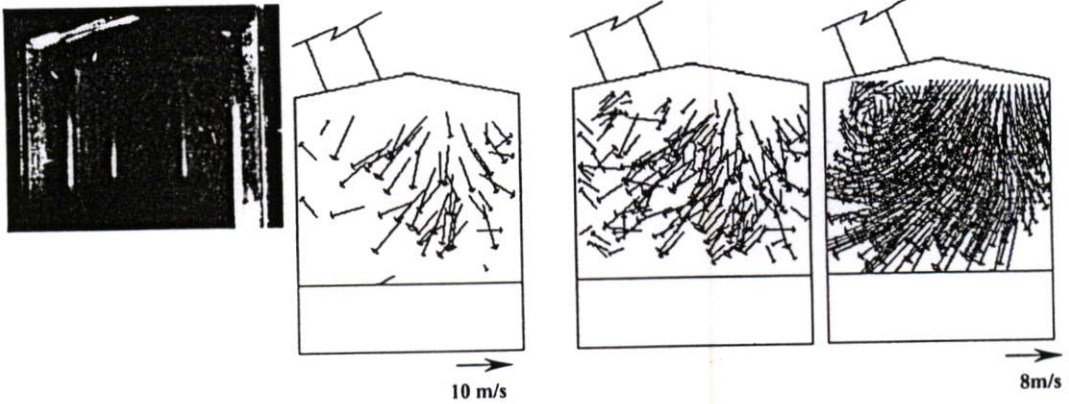
ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.4 สนามการไหลภายในกระบอกลูกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และท่อไอดีแบบ วี



ก) Exposure time 1/60 s.

ข) Exposure time 1/90 s.

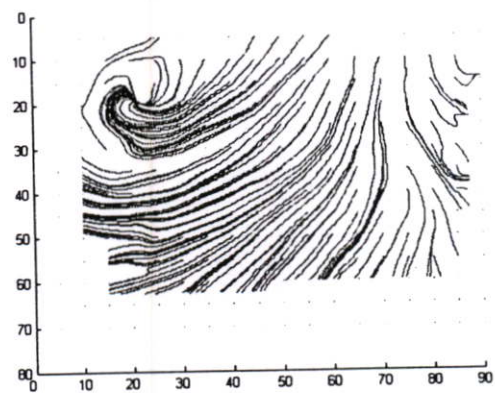
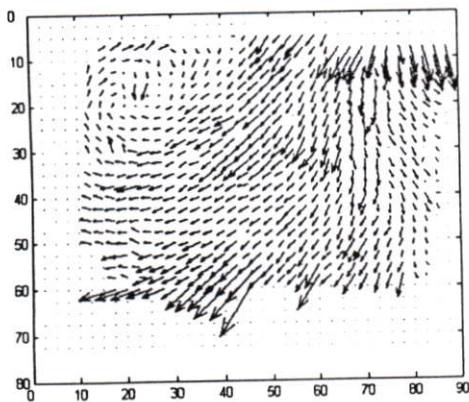


ค) Exposure time 1/125 s.

ง) Measured and interpolated velocity fields

รูปที่ 5.5 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไออดีแบบตั้ง

ตรง

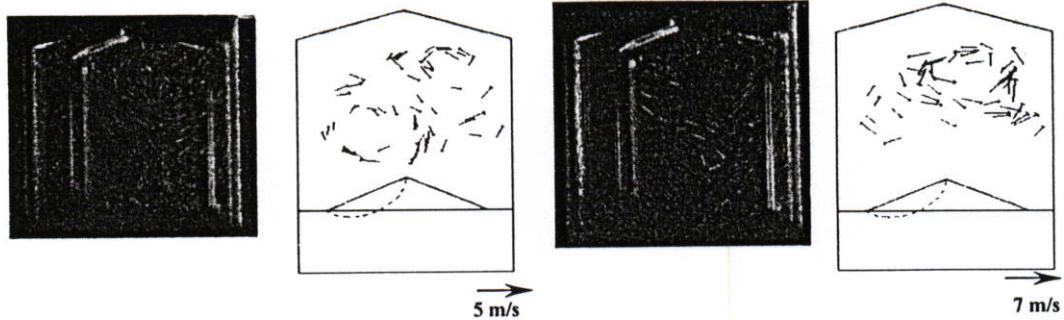


ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.6 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไออดีแบบตั้งตรง

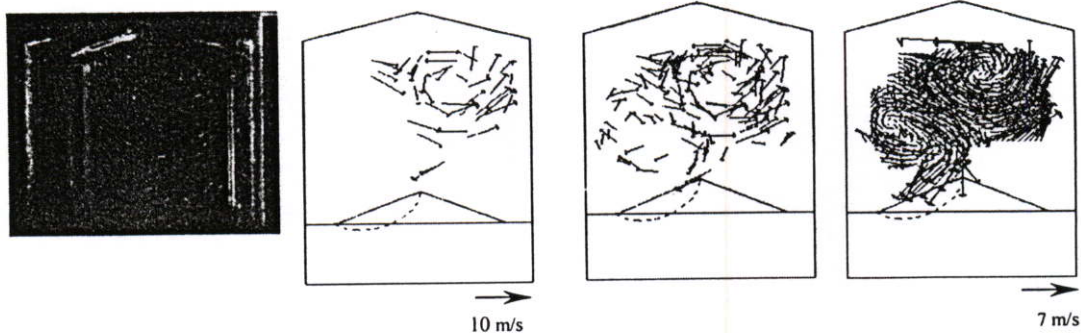
รูปที่ 5.6 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไออดีแบบตั้งตรง จากรูป Streamline จะเห็นว่าการไหลที่เกิด

กลางการไหลที่ได้ว่าลวไอติเป็นการไหลที่เป็นการไหลที่เกิดความเร็วในแนวตรงลงไปยังหัวลูกสูบ อันเกิดจากท่อไอติแบบตั้งตรง รูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าจุดศูนย์กลางการเกิด Tumble อยู่ที่บริเวณใต้ศูนย์กลางตลับ 20 มม. และจากด้านซ้ายออกไป 20 มม. เส้นการไหลเป็นระเบียบมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 8.2 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 5.4 รูปที่ 5.7 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบขนานที่ 180 องศาต่อศูนย์กลางตลับ ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกล้อ 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.7 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบขนาน การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้ว่าลวไอติ และเหนือลูกสูบด้านซ้าย ความเร็วในการไหลเร็วกว่าลูกสูบแบบหัวเรียบ ลักษณะของ Tumble เกิดขึ้น 2 วง เป็นการหมุนที่เร็ว และมีรูปแบบ รูปที่ 5.8 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอติแบบขนาน จากเส้น Streamline วงการไหลเกิดขึ้น 2 วง ที่บริเวณใต้ว่าลวไอติและว่าลวไอติซึ่งมีลักษณะความเร็วไปคนละทางความเข้มจะอยู่ที่ใต้ว่าลวไอติมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 6.6 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 7.1 รูปที่ 5.9 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบวี ที่ 180 องศาต่อศูนย์กลางตลับ ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกล้อ 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.9 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบ V การไหลวนเกิดขึ้น ลักษณะการเกิด Tumble ไม่ค่อยจะมีรูปแบบของ Tumble ที่ชัดเจนนัก รูปที่ 5.10 รูป สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และท่อไอติแบบ V แสดงให้เห็นว่าเส้นการไหลไม่เป็นระเบียบ เส้น Streamline ไม่มีทิศทางที่แน่นอนและไม่เกิดวงการไหลแบบ Tumble มีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 9.4 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 0 รูปที่ 5.11 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบตั้งตรง ที่ 180 องศาต่อศูนย์กลางตลับ ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกล้อ 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.11 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์รวม และสนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบตั้งตรง การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้ว่าลวไอติ และว่าลวไอติ ความเร็วในการไหลเร็วขึ้นมากกว่าแบบท่อไอติขนาน ลักษณะการเกิด Tumble เกิดเป็นวง 2 วง ด้านซ้ายและขวาเป็นการหมุนที่เร็วกว่าแบบท่อไอติขนาน รูปที่ 5.12 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอติแบบตั้งตรง วงการไหลไม่ชัดเจนและมีลักษณะไม่เป็นระเบียบ แต่ยังคงเห็นทิศการไหลแบ่งเป็น 2 วงซ้ายและขวา มีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 14.6 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 9.5



(ก) Exposure time 1/60 s.

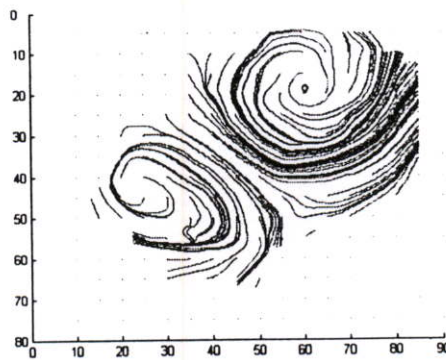
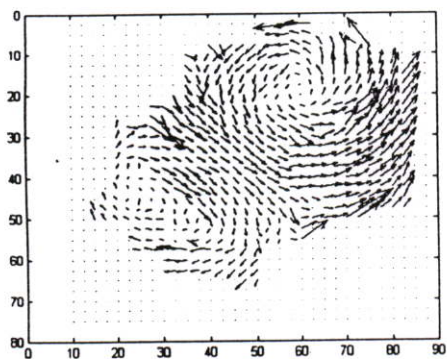
(ข) Exposure time 1/90 s.



(ค) Exposure time 1/125 s.

(ง) Measured and interpolated velocity fields

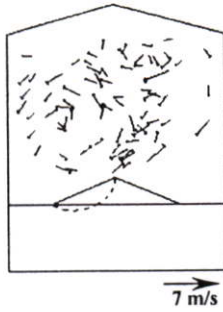
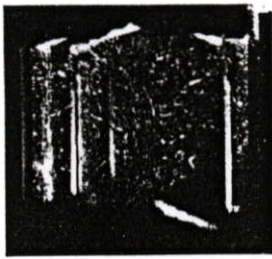
รูปที่ 5.7 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบขนาน



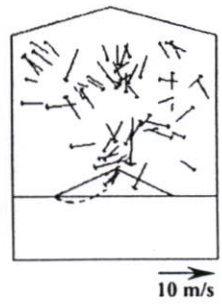
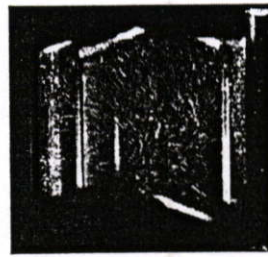
ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว

ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

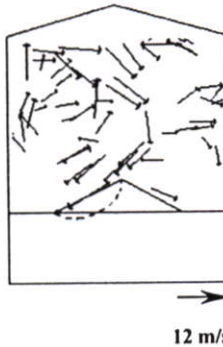
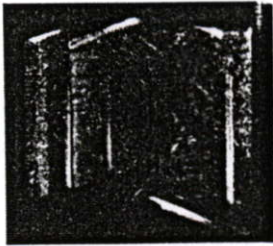
รูปที่ 5.8 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบขนาน



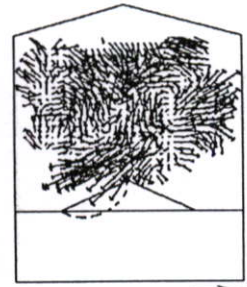
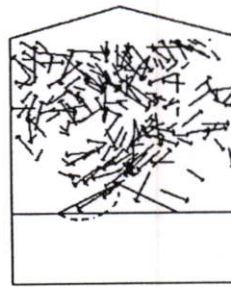
(ก) Exposure time 1/60 s.



(ข) Exposure time 1/90 s.

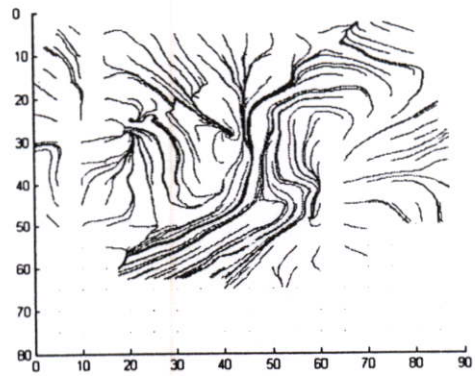
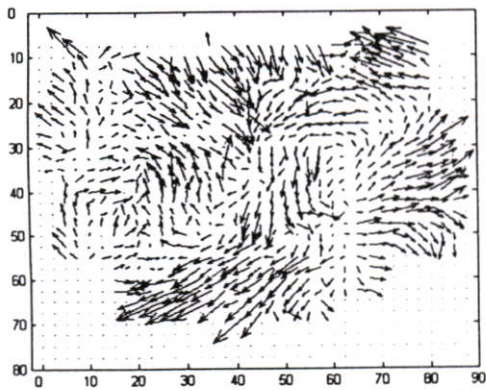


(ค) Exposure time 1/125 s.



(ง) Measured and interpolated velocity fields

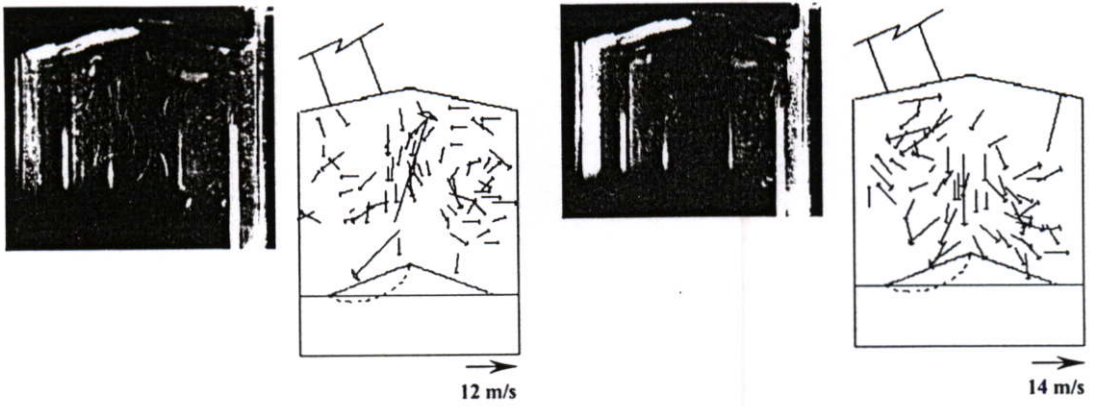
รูปที่ 5.9 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบ V



ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว

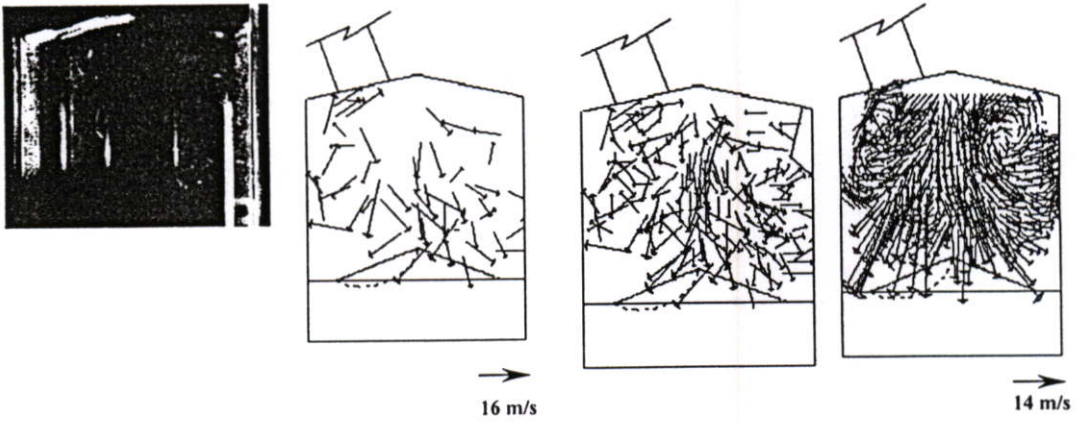
ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.10 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบ V



ก) Exposure time 1/60 s.

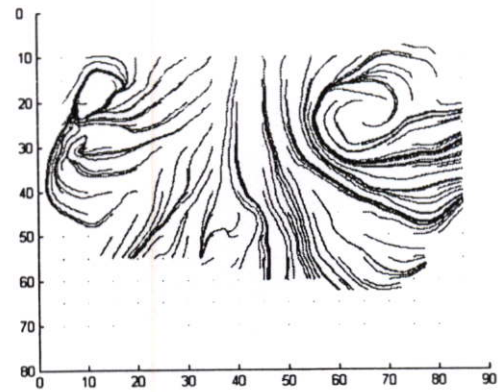
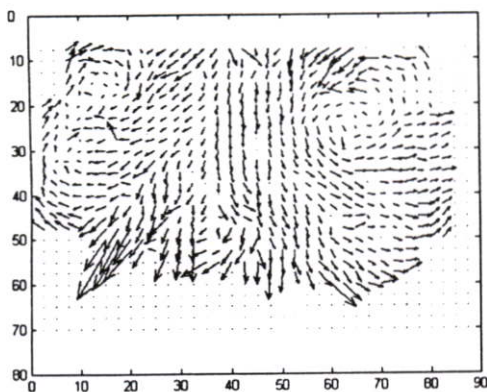
ข) Exposure time 1/90 s.



ค) Exposure time 1/125 s.

ง) Measured and interpolated velocity fields

รูปที่ 5.11 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง

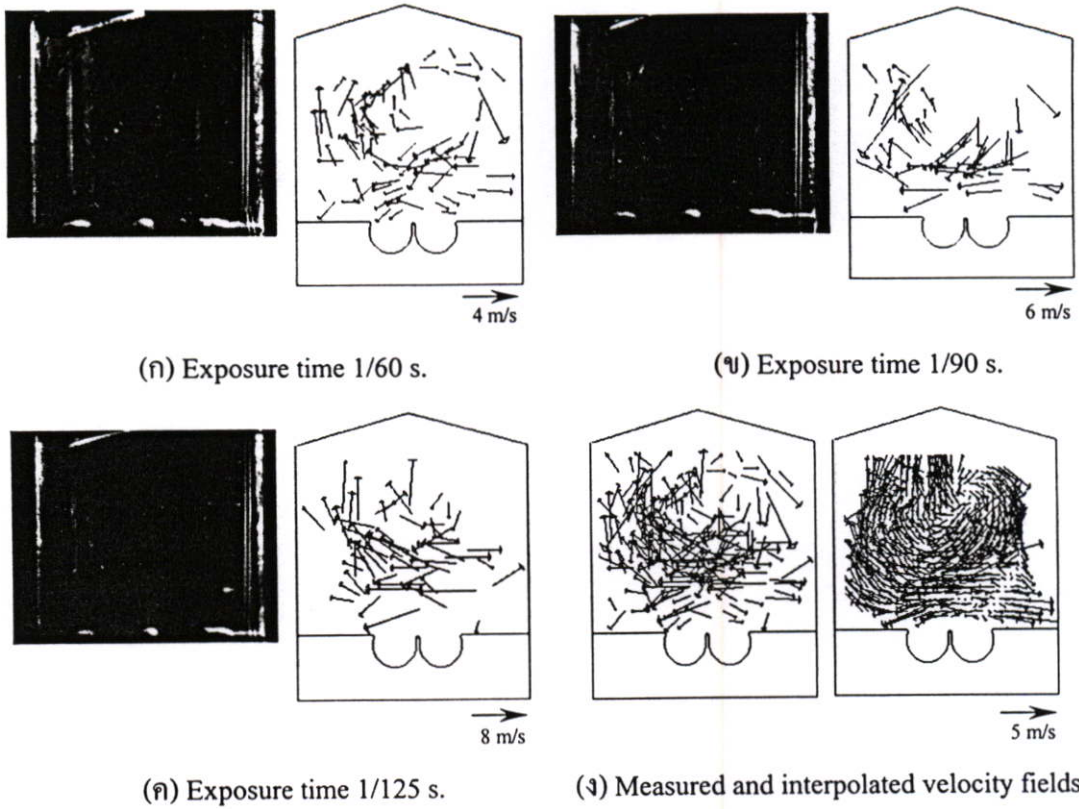


ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว

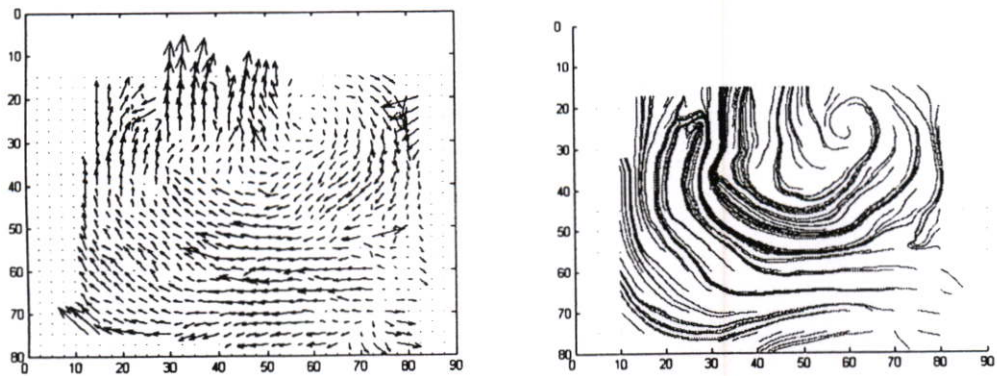
ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.12 สนามการไหลภายในกระบอกลูกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง

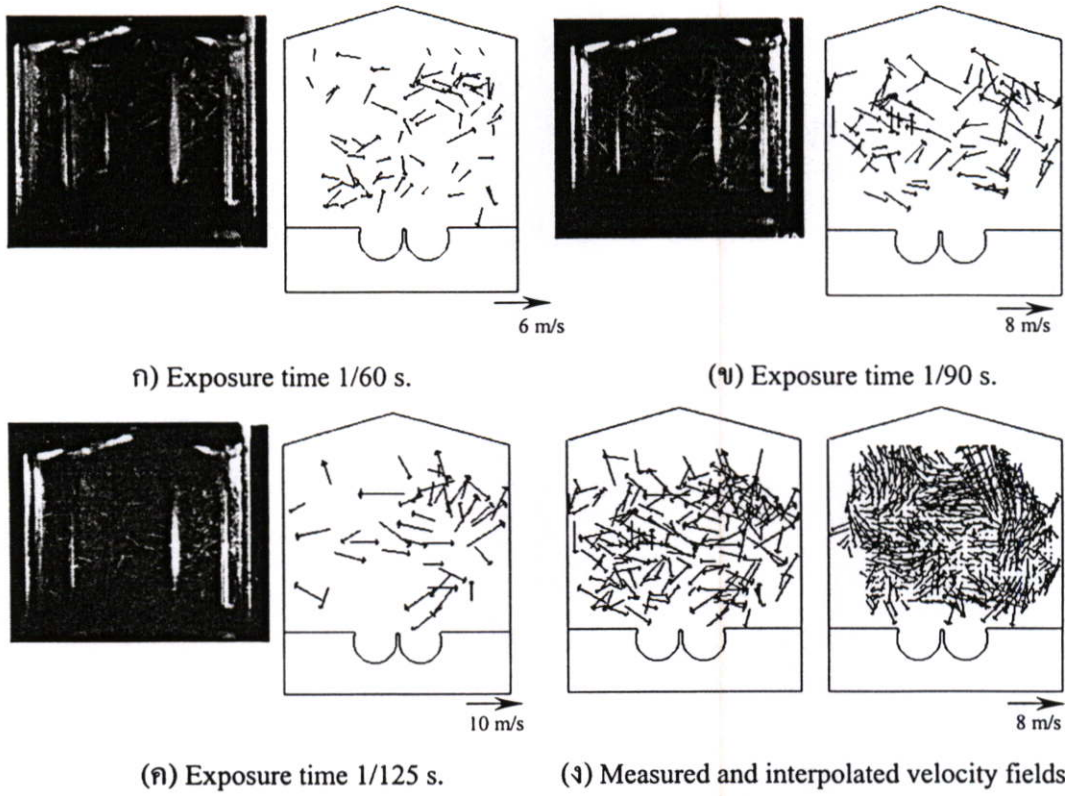
รูปที่ 5.13 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบสควิช โดยท่อไอดีเป็นแบบขนาน ที่ 180 องศาอนุศูนย์กลางบน ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกล้อ 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.13 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบสควิช โดยท่อไอดีเป็นแบบขนาน การไหลวนเกิดขึ้นน้อยที่บริเวณได้วาล์วไอเสีย และเหนือลูกสูบด้านซ้าย ความเร็วในการไหลน้อย ลักษณะการเกิด Tumble เป็นการหมุนที่เร็วและมีรูปแบบ โดยจะเกิดการไหลวนเป็นวงกว้าง รูปที่ 5.14 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอดีแบบขนาน เห็นเส้น การไหลที่ไม่ชัดเจนนัก Tumble ที่เกิดบริเวณได้วาล์วไอเสียด้านบนกระบอกสูบ เส้นโคจรยังไม่เป็นระเบียบมากนักมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 5 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 4 รูปที่ 5.15 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบสควิช โดยท่อไอดีเป็นแบบวี ที่ 180 องศาอนุศูนย์กลางบน ที่ shutter speed 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.15 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์ และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบสควิช โดยท่อไอดีเป็นแบบวี การไหลวนไม่เกิดขึ้น ความเร็วในการไหลเร็วขึ้นน้อยกว่าแบบท่อไอดีขนาน เป็นการหมุนที่เกิดการปะทะของอากาศภายในกระบอกสูบ รูปที่ 5.16 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอดีแบบวี วงการไหลไม่ชัดเจนและมีลักษณะไม่เป็นระเบียบ ทั้งทั้งกระบอกสูบ มีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 8 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 0 รูปที่ 5.17 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็วในลูกสูบ แบบสควิช โดยท่อไอดีเป็นแบบต่อตรงที่ 180 องศาอนุศูนย์กลางบน ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกล้อ 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.17 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบสควิช โดยท่อไอดีเป็นแบบตั้งตรง การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางกระบอกสูบ ความเร็วในการไหลเร็วกว่าลูกสูบแบบหัวเรียบ ลักษณะการเกิด Tumble เป็นการหมุนที่เร็วและมีรูปแบบ โดยจะเกิดการไหลวนเป็นวงกว้างมีจุดศูนย์กลางการไหลอยู่กลางกระบอก รูปที่ 5.18 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง เห็นเส้น การไหลที่ชัดเจน Tumble ที่เกิดบริเวณกึ่งกลางด้านบนกระบอกสูบ เส้นโคจรยังไม่เป็นระเบียบมากนักมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 18 m/s และมีอัตราการไหลวนแบบ Tumble ที่ 13



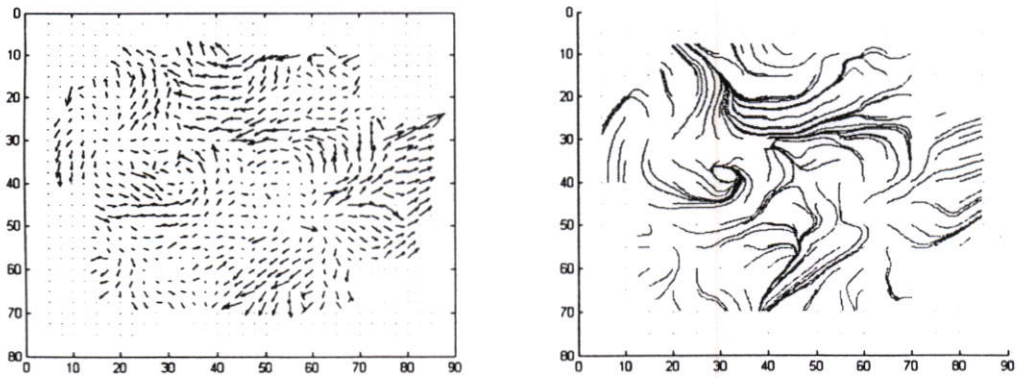
รูปที่ 5.13 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอดีแบบขนาน



รูปที่ 5.14 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของ ลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอดีแบบขนาน

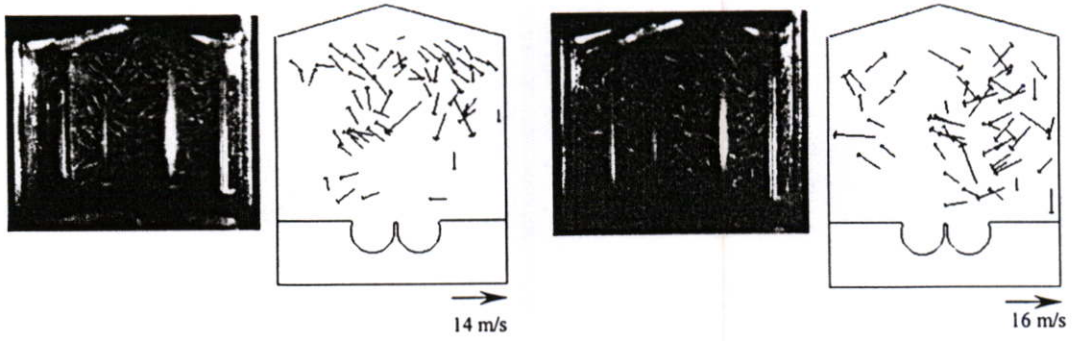


รูปที่ 5.15 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอตีแบบวี



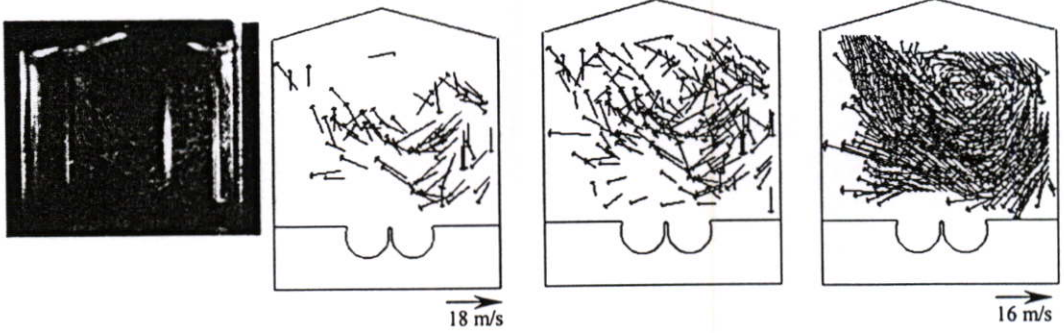
ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.16 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอตีแบบวี



(ก) Exposure time 1/60 s.

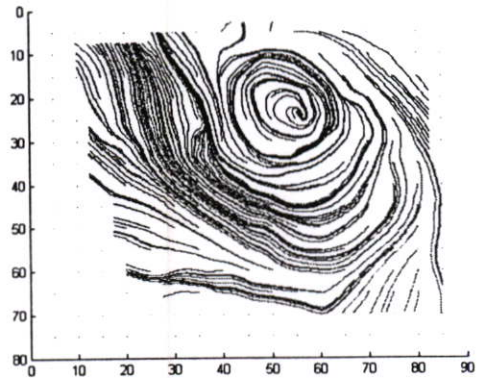
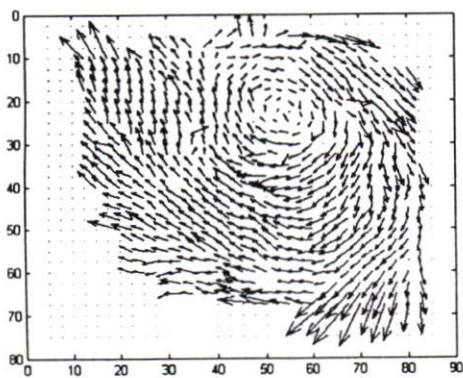
(ข) Exposure time 1/90 s.



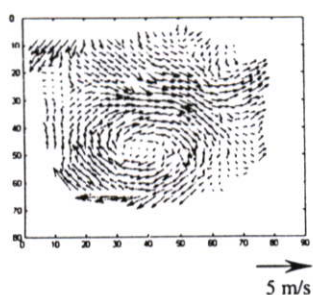
(ค) Exposure time 1/125 s.

(ง) Measured and interpolated velocity fields

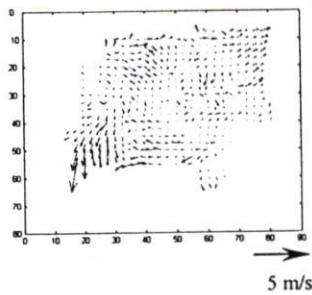
รูปที่ 5.17 รูป particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอคืดังตรง



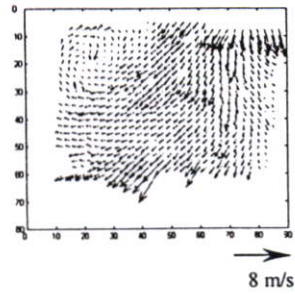
ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline
รูปที่ 5.18 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบสควิช และ ท่อไอคืดังตรง



ท่อไอดีแบบขนาน

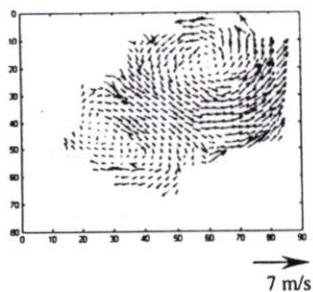


ท่อไอดีแบบวี

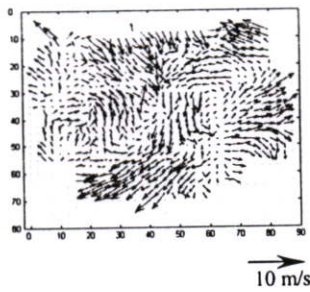


ท่อไอดีแบบตั้งตรง

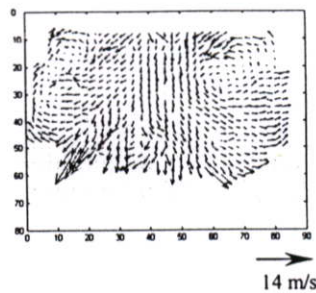
(ก) ลูกสูบแบบหัวเรียบ



ท่อไอดีแบบขนาน

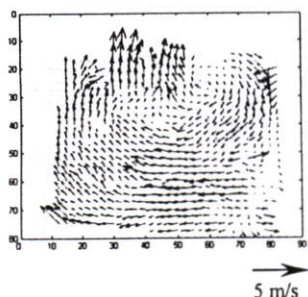


ท่อไอดีแบบวี

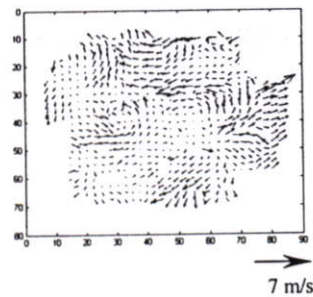


ท่อไอดีแบบตั้งตรง

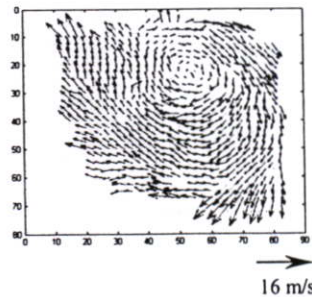
(ข) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม



ท่อไอดีแบบขนาน



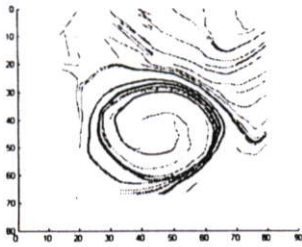
ท่อไอดีแบบวี



ท่อไอดีแบบตั้งตรง

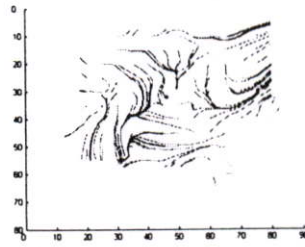
(ค) ลูกสูบแบบสควิช

รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบ velocity fields ของลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบวี, ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบขนาน, ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบ V, ลูกสูบแบบสควิชและท่อไอดีแบบขนาน, ลูกสูบแบบสควิชและท่อไอดีแบบ V



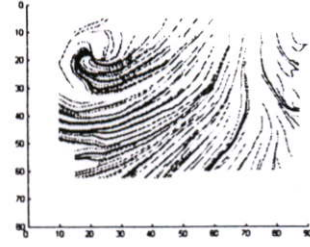
T=3.4

ท่อไอดีแบบขนาน



T=0

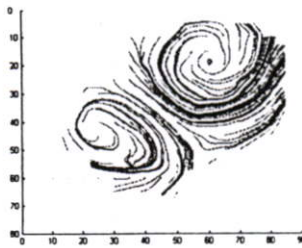
ท่อไอดีแบบวี



T=5.4

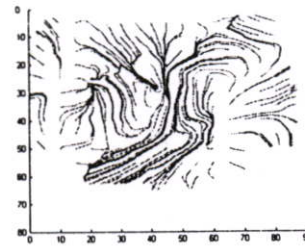
ท่อไอดีแบบตั้งตรง

(ก) ลูกสูบแบบหัวเรียบ



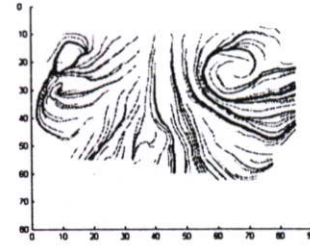
T=7.1

ท่อไอดีแบบขนาน



T=0

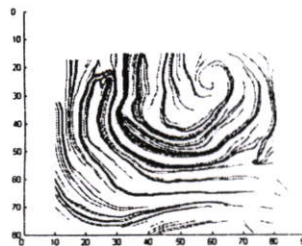
ท่อไอดีแบบวี



T=9.5

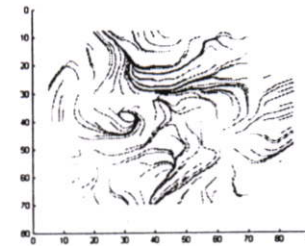
ท่อไอดีแบบตั้งตรง

(ข) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม



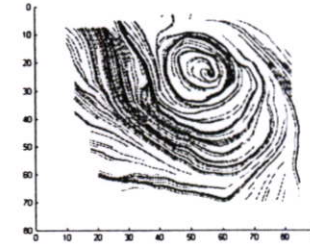
T=4

ท่อไอดีแบบขนาน



T=0

ท่อไอดีแบบวี



T=13

ท่อไอดีแบบตั้งตรง

(ค) ลูกสูบแบบสควิช

รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบ Streamline ของลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อ ไอดีแบบวี, ลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบตั้งตรง, ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบ V, ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบตั้งตรง, ลูกสูบแบบสควิชและท่อ ไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบสควิชและท่อไอดีแบบ V , ลูกสูบแบบสควิชและท่อไอดีแบบตั้งตรง

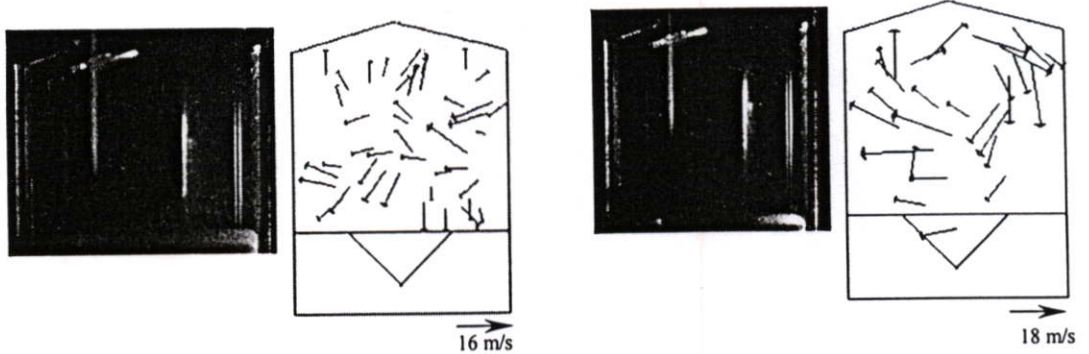
5.3 การวิเคราะห์ผลจากลูกสูบแบบทั่วไปที่นำมาทำการทดลอง

จากรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 ผลของการไหลที่ดีที่สุดเกิดขึ้นกับลูกสูบแบบสควิชที่ใช้ท่อไอดีแบบตั้งตรง ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์จากลูกสูบแบบสควิช ว่ามีลักษณะเป็นหลุม แล้วมีกรวยยื่นออกมาจึงทำการทดสอบในลูกสูบชนิดหลุมอีก 3 แบบ ได้แก่ ลูกสูบหลุมกรวย ลูกสูบหลุมเรียบ และลูกสูบหลุมโค้ง ด้วยท่อไอดีแบบตั้งตรง รูปที่ 5.21 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหลุมกรวย โดยท่อไอดีเป็นแบบตั้งตรง ที่ 180 องศาอ่อนศูนย์ตายบน ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกลิ้ง 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.21 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหลุมกรวย โดยท่อไอดีเป็นแบบตั้งตรง การไหลวนเกิดขึ้นมีรูปแบบรูปแบบ เกิดการไหลแบบ Tumble เป็นการหมุนที่เร็ว รูปที่ 5.22 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมกรวย และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง เห็นเส้น การไหลที่ชัดเจน Tumble ที่เกิดบริเวณกึ่งกลางด้านบนกระบอกสูบ เส้นการไหลโดยรอบยังไม่เป็นระเบียบมากนักมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 20 m/s และมีการไหลวนแบบ Tumble ที่ 16.2

รูปที่ 5.23 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหลุมเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบตั้งตรง ที่ 180 องศาอ่อนศูนย์ตายบน ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกลิ้ง 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.23 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหลุมเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบตั้งตรง การไหลวนเกิดขึ้นมีรูปแบบรูปแบบ เกิดการไหลแบบ Tumble เป็นการหมุนที่เร็ว รูปที่ 5.24 รูป สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมเรียบ และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง เห็นเส้น การไหลที่ชัดเจน Tumble ที่เกิดบริเวณกึ่งกลางด้านล่างกระบอกสูบ เส้นการไหลโดยรอบยังไม่เป็นระเบียบมากนักมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 24 m/s และมีการไหลวนแบบ Tumble ที่ 19.5 รูปที่ 5.25 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหลุมโค้ง โดยท่อไอดีเป็นแบบตั้งตรง ที่ 180 องศาอ่อนศูนย์ตายบน ที่ ความเร็วการเปิดน้ำกลิ้ง 1/60, 1/90 และ 1/125 sec. รูปที่ 5.25 (ง) แสดงภาพของ สนามเวกเตอร์รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหลุมกรวย โดยท่อไอดีเป็นแบบตั้งตรง การไหลวนเกิดขึ้นมีรูปแบบรูปแบบ เกิดการไหลแบบ Tumble เป็นการหมุนที่เร็ว รูปที่ 5.26 รูป สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมโค้ง และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง เห็นเส้น การไหลที่ชัดเจน Tumble ที่เกิดบริเวณกึ่งกลางด้านบนกระบอกสูบ เส้นการไหลโดยรอบเป็นระเบียบมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวม 27.7 m/s และมีการไหลวนแบบ Tumble ที่ 21.9

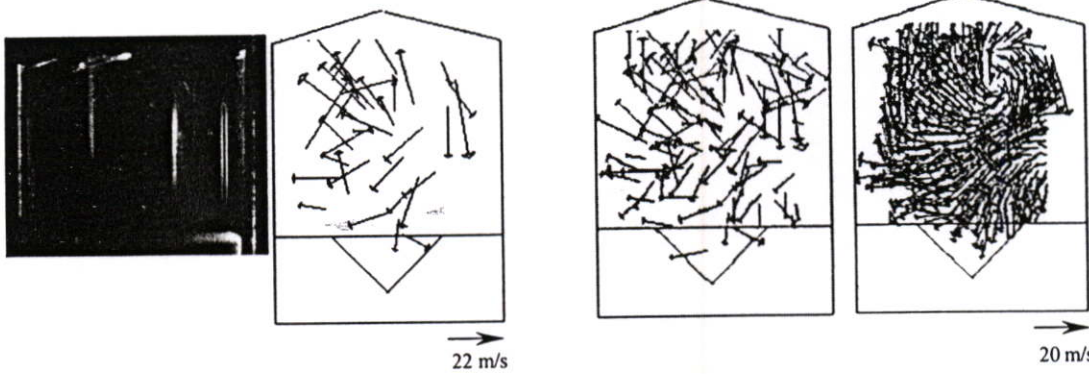
ปรากฏว่าลูกสูบที่นำมาทดลองเพิ่มเติมทั้ง 3 แบบ ดังรูปที่ 5.27 และ 5.28 แบบที่ให้ลักษณะการไหลเร็วและมีการไหลแบบ Tumble ที่ดีได้แก่ ลูกสูบแบบหลุมโค้ง ซึ่งได้เส้น Streamline ที่ต่อเนื่องกันและมีจุดศูนย์กลางของ Tumble อยู่ที่บริเวณด้านบนของกระบอกสูบมี

อัตราการไหลวนแบบ Tumble สูงสุดที่ 21.9 และมีค่าเฉลี่ยความเร็วรวมสูงที่สุด 27.7 m/s นำลูกสูบแบบนี้ไปเป็นต้นแบบในการพัฒนาใส่ในเครื่องยนต์



ก) Exposure time 1/60 s.

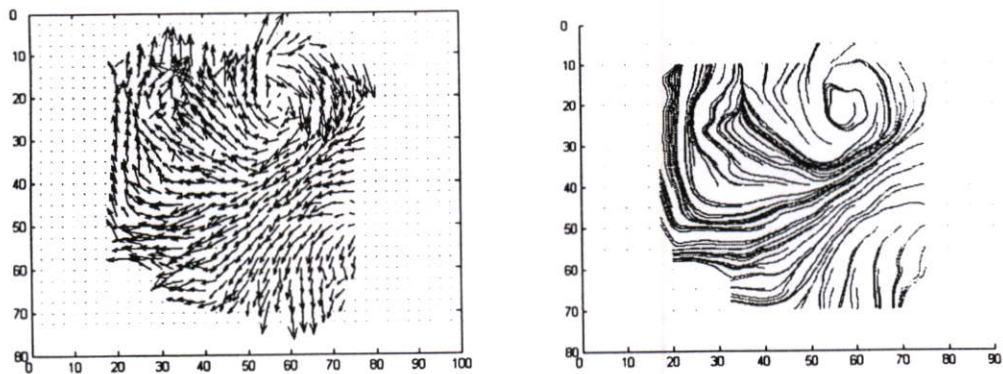
ข) Exposure time 1/90 s.



ค) Exposure time 1/125 s.

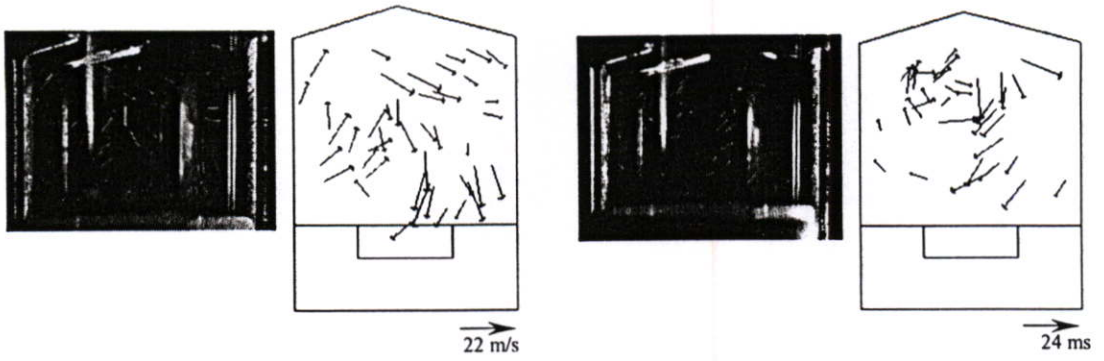
(ง) Measured and interpolated velocity fields

รูปที่ 5.21 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหลุมกรวย และ ท่อไอคี่ตรง



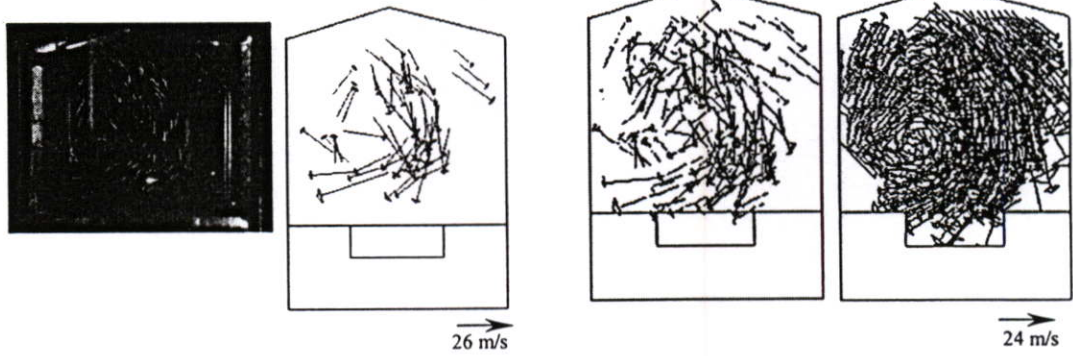
ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.22 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมกรวย และ ท่อไอคี่แบบคี่ตรง



ก) Exposure time 1/60 s.

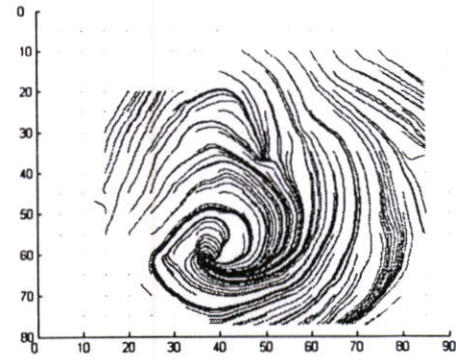
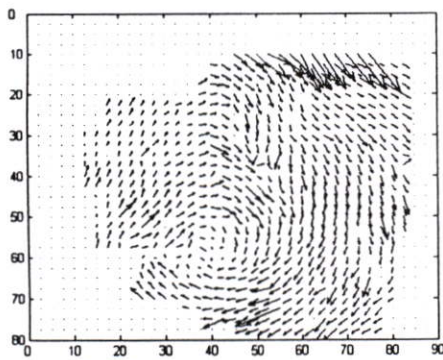
ข) Exposure time 1/90 s.



ค) Exposure time 1/125 s.

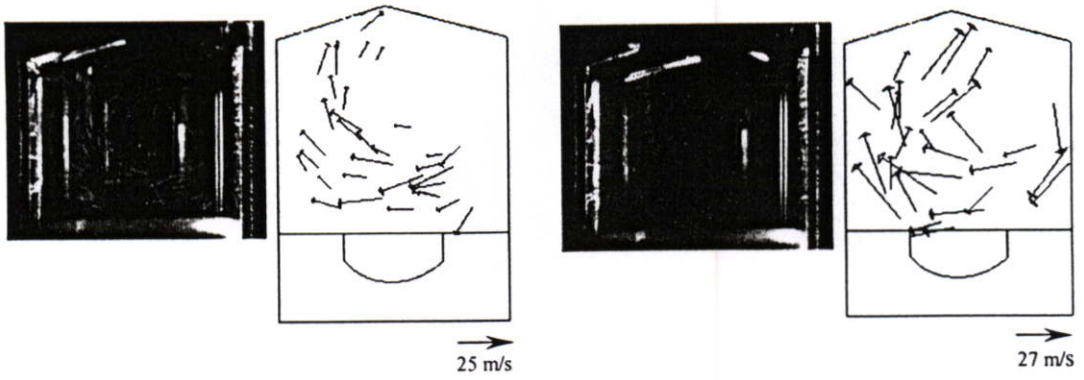
(ง) Measured and interpolated velocity fields

รูปที่ 5.23 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหลุมเรียบ และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง



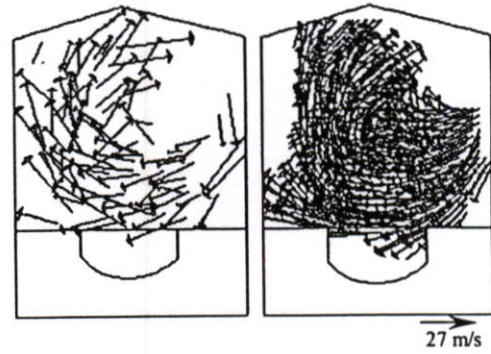
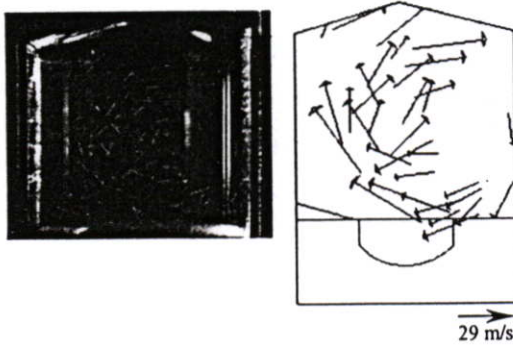
ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.24 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วย โปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมเรียบ และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง



ก) Exposure time 1/60 s.

ข) Exposure time 1/90 s.

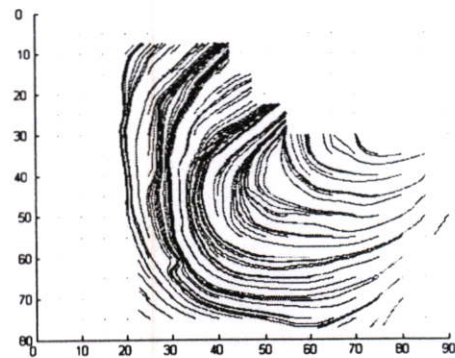
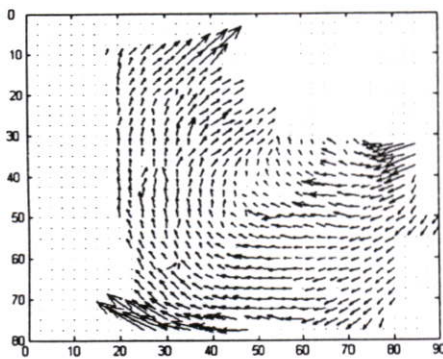


ค) Exposure time 1/125 s.

(ง) Measured and interpolated

velocity fields

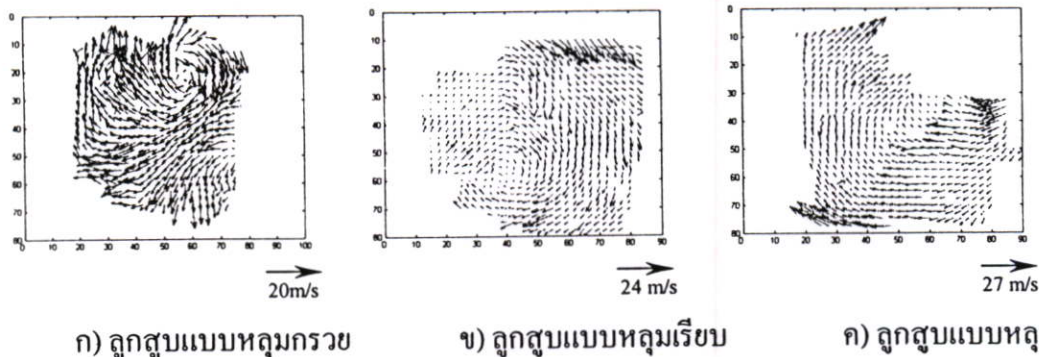
รูปที่ 5.25 particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหลุมโค้ง และท่อ ไอดีแบบตั้งตรง



ก) สนามการไหลแสดงเป็น vector ความเร็ว

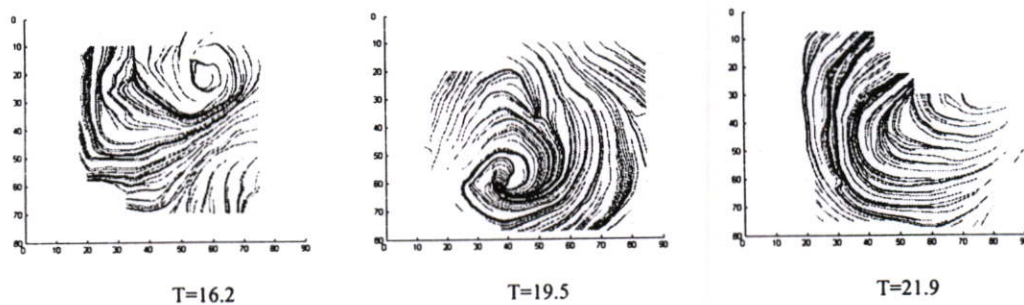
ข) สนามการไหลแสดงเป็นเส้น Streamline

รูปที่ 5.26 สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมโค้ง และ ท่อ ไอดีแบบตั้งตรง



โค้ง

รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบ velocity fields ของลูกสูบแบบหลุมกรวยและท่อไอดีแบบตั้งตรง , ลูกสูบแบบหลุมเรียบและท่อไอดีแบบตั้งตรง และลูกสูบแบบหัวหลุมโค้งและท่อไอดีแบบตั้งตรง



ก) ลุกสูบแบบหลุมกรวย ข) ลุกสูบแบบหลุมเรียบ ค) ลุกสูบแบบหลุมโค้ง

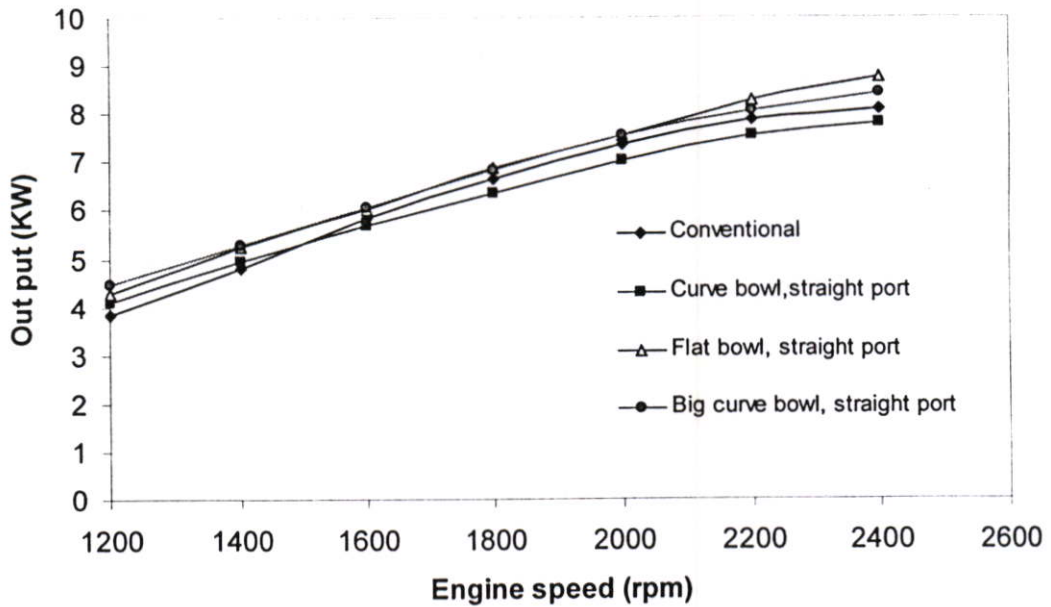
รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบ Streamline ของลูกสูบแบบหลุมกรวยและท่อไอดีแบบตั้งตรง , ลูกสูบแบบหลุมเรียบ และท่อไอดีแบบตั้งตรง และลูกสูบแบบหัวหลุมโค้งและท่อไอดีแบบตั้งตรง

5.4 ผลการทดลองสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

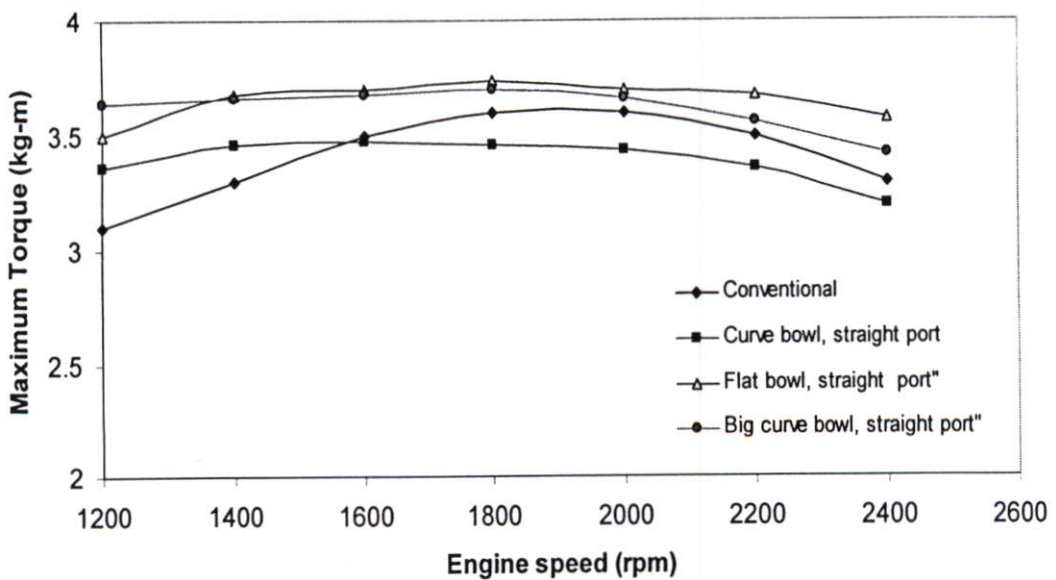
5.4.1 กำลังและแรงบิดเครื่องยนต์

พิจารณาจากรูปที่ 5.24 แสดงค่ากำลัง เปรียบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ระหว่างลูกสูบเดิมกับลูกสูบที่ทำขึ้นมาทดลองใหม่ 2 แบบ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าลูกสูบแบบหลุมโค้งแบบที่ไม่คำนึงถึงมุมสเปรย์จะให้ค่าแรงม้าในช่วงรอบต่ำมากกว่าเครื่องยนต์เดิมเพียงเล็กน้อยแต่ในรอบปานกลางจนถึงรอบสูงแรงม้าที่ได้น้อยกว่าเครื่องยนต์เดิม เนื่องจากว่า ถึงแม้การไหลของอากาศจะดีขึ้นแต่ในจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงมุมของการสเปรย์เปลี่ยนไปทำให้การเผาไหม้แย่งทำให้ได้แรงม้าสูงสุดที่ 7.8 KW ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้ลูกสูบหลุมเรียบที่มีการเว้ามุมของสเปรย์ จะให้แรงม้าสูงสุดที่ 8.7 KW ซึ่งมากกว่าเครื่องยนต์เดิมที่มีแรงม้าที่ 8.06 KW และการทดสอบลูกสูบหลุมโค้งกว้างก็ยังไม่ให้กำลังถึง 8.4 KW เนื่องจากการไหลที่เร็วขึ้นช่วยทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นหลังจากจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง ผลจากการทดสอบแรงบิดลูกสูบแบบหลุมโค้งรูปที่ 5.25 มีแรงบิดสูง

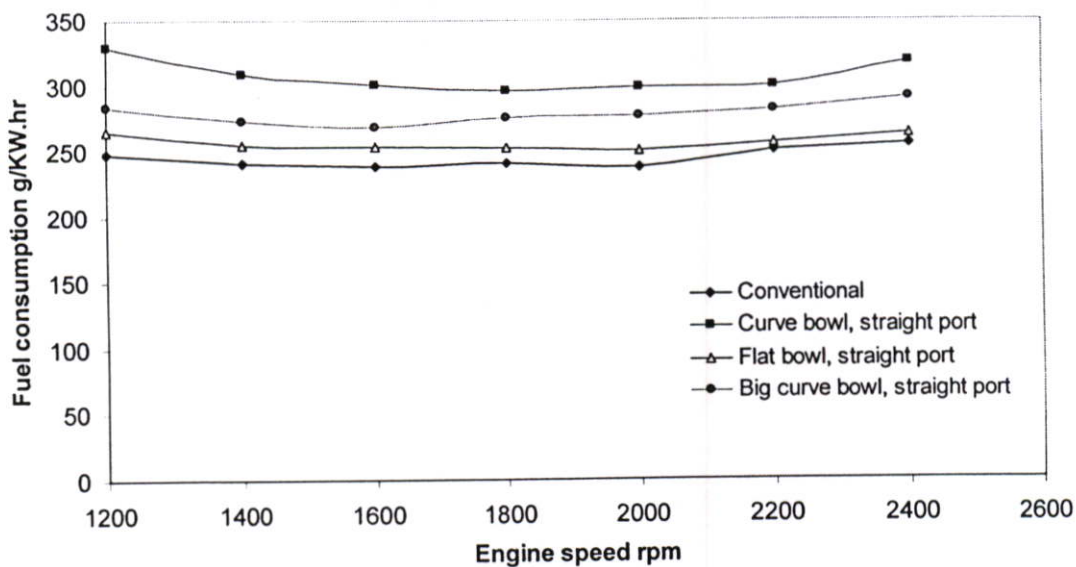
กว่าลูกสูบเดิมในช่วง 1200 รอบ/นาทีจนถึงช่วง 1600 รอบ/นาที หลังจากนั้นแรงบิดที่ได้คงที่จนถึงช่วง 2200 รอบ/นาที และตกลงในช่วง 2400 รอบ/นาที ซึ่งช่วง 1600 รอบ/นาทีขึ้นไปแรงบิดที่ได้ น้อยกว่าของลูกสูบเดิมมาก ส่วนลูกสูบแบบหลุมโค้งที่คำนึงถึงลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงให้แรงบิด ที่ดีกว่าลูกสูบเดิมทุกความเร็วรอบ โดยลูกสูบเดิมมีแรงบิดสูงสุดที่ 3.6 kg.-m. และลูกสูบหลุมโค้ง ที่คำนึงถึงการฉีดมีแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 1800 รอบ/นาทีโดยแรงบิดสูงสุดเท่ากับ 3.8 kg.-m. ส่วนใน ลูกสูบหลุมโค้งกว้างให้แรงบิดสูงสุดที่ 3.7 kg.-m. ที่ 1800 รอบ/นาทีเช่นกัน



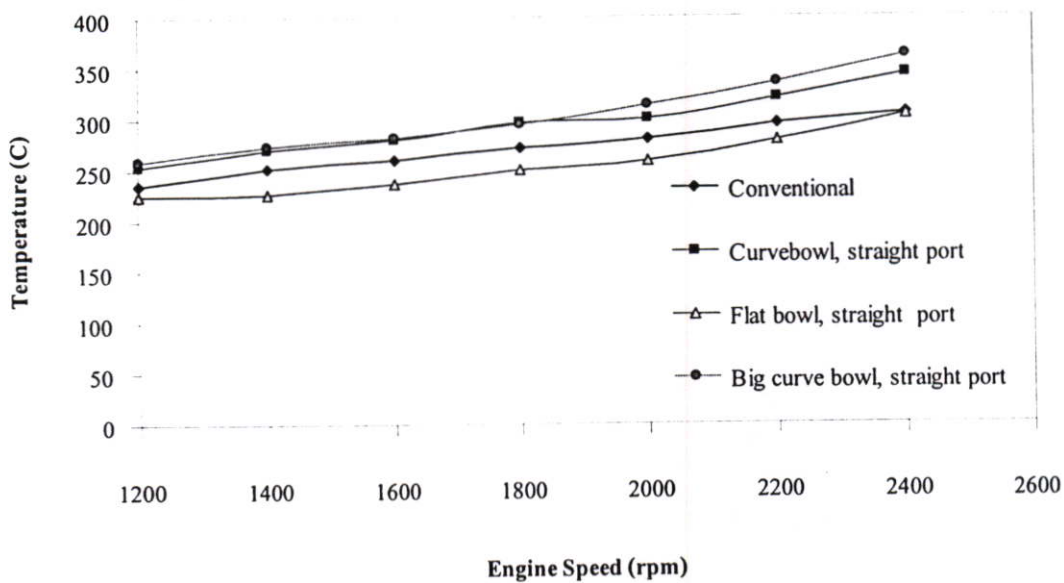
รูปที่ 5.24 กำลังกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์



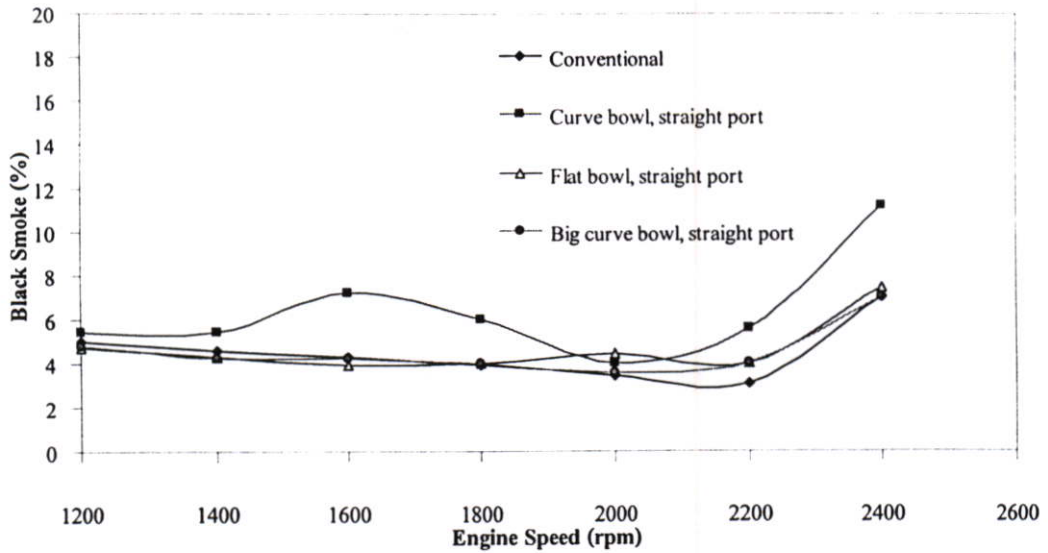
รูปที่ 5.25 แรงบิดกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 5.26 อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 5.27 อุณหภูมิไอเสียกับความเร็วรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 5.28 เปอร์เซนต์ควันดำกับความเร็วยานยนต์

จากรูปที่ 5.26 อัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงของลูกสูบแบบหลุมโค้ง มีอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์เดิมมากเนื่องมาจากจังหวะการฉีดที่ไม่สามารถกระจายตัวได้เต็มที่เนื่องจากชนหลุมบนหัวลูกสูบซึ่งมีหลุมที่แคบลง ส่วนลูกสูบแบบหลุมโค้งที่คำนึงถึงการฉีดเชื้อเพลิงมีอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกัน โดยจะมีอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่าลูกสูบเดิมในช่วงรอบต่ำและมีอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกันในรอบสูงขึ้นและอุณหภูมิของไอเสียที่แสดงในรูปที่ 5.27 ทำให้ทราบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ลูกสูบแบบหลุมโค้ง มากกว่าลูกสูบเดิมเกิน 50 องศาเซลเซียส อันเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาไหม้หลุดออกมาเผาไหม้ภายนอกซึ่งทำให้อุณหภูมิไอเสียมากกว่าเครื่องเดิมมาก ส่วนในลูกสูบหลุมโค้งกว้าง มีอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงสูงมากรองจากลูกสูบหลุมโค้งที่ไม่คำนึงถึงการฉีด และมีอุณหภูมิไอเสียใกล้เคียงกับเครื่องยนต์เดิมจากโรงงาน ส่วนลูกสูบแบบหลุมโค้งที่คำนึงถึงการฉีดมีอุณหภูมิน้อยกว่าเครื่องยนต์เดิมอันเนื่องมาจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ส่วนรูปที่ 5.28 เป็นผลของเปอร์เซนต์ควันดำที่วัดจากท่อไอเสีย เครื่องยนต์ที่ใช้ลูกสูบเดิมและลูกสูบแบบหลุมโค้งที่คำนึงถึงการฉีดมีค่าเปอร์เซนต์ควันดำที่ใกล้เคียงกัน แต่สำหรับลูกสูบแบบหลุมโค้งที่ไม่ได้คำนึงถึงการฉีดเชื้อเพลิงมีเปอร์เซนต์ควันดำมากที่สุด ซึ่งมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เชื้อเพลิงไม่สามารถรวมตัวกับอากาศและเผาไหม้ได้ดังนั้นจึงมีเปอร์เซนต์ควันดำมาก

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการที่ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์จำลองด้วยวิธี PIV โดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของท่อไอดีและลักษณะของหัวลูกสูบเป็นผลทำให้การไหลที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบมีการเปลี่ยนแปลงไป การพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลภายในห้องเผาไหม้สามารถใช้เครื่องยนต์จำลองการไหลในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อการใช้เครื่องใช้ได้ดี หลังจากได้ลักษณะการไหลที่ดีแล้วก็นำมาทดสอบกับเครื่องยนต์จริง โดยลูกสูบที่ออกแบบใหม่มาทดสอบมีค่าอัตราส่วนการอัดที่น้อยลงจากการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้ ซึ่งการลดอัตราส่วนการอัดโดยปกติจะทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง แต่ผลที่ได้จากการทดสอบลูกสูบที่ออกแบบใหม่มีกำลังเพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าลูกสูบที่ออกแบบมาใหม่ให้กำลังเพิ่มมากขึ้นถึงแม้ว่าอัตราส่วนการอัดจะลดลง การศึกษาถึงประสิทธิภาพที่ได้ทำให้ทราบว่า การออกแบบลักษณะการไหลนั้นสามารถทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น จากเดิม 8.06 KW เป็น 8.7 KW และแรงบิดสูงสุดจากเดิม 3.6 kg.m เพิ่มเป็น 3.8 kg.m จากการทดลองที่เสนอไปนั้นทำให้ทราบว่า

1. ผลที่ได้จากวิธี PIV ทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนลักษณะท่อไอดีเป็นแบบวีซึ่งทำมุม 60 องศาเข้าหาฝาสูบ ทำให้ลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นภายในปั่นป่วนไม่เป็นระเบียบ ซึ่งสาเหตุเนื่องมาจากการไหลเข้าไปปะทะกันของอากาศที่มีช่องทางเข้าทำมุมกันอยู่อากาศที่ไหลเข้าไปจึงเกิดการปะทะกันการไหลที่เกิดขึ้นทำให้มีทิศทางที่สวนทางกันไปมา ส่วนท่อไอดีที่เป็นแบบขนานกันให้รูปแบบการไหลที่ราบรื่นกว่าท่อไอดีแบบวีมาก โดยการไหลที่เกิดขึ้นจะเป็นระเบียบและไปในทิศทางเดียวกันทั่วทั้งกระบอกสูบ และในท่อไอดีแบบตั้งตรงลงไปยังฝาสูบจะให้ลักษณะการไหลแบบ Tumble ที่เป็นระเบียบและมีอัตราการเกิด Tumble สูงกว่า อีกทั้งยังมีความเร็วเพิ่มมากขึ้นกว่าแบบท่อไอดีแบบขนาน ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการสร้างการไหลแบบ Tumble

2. ผลที่ได้จากวิธี PIV การทดลองด้วยการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหัวลูกสูบเป็นแบบต่าง ๆ ลักษณะการไหลที่เกิด Tumble ดีที่สุดเกิดขึ้นในหัวลูกสูบแบบหลุมโค้งที่ใช้ท่อไอดีแบบตั้งตรงเมื่อเทียบกับหัวลูกสูบแบบอื่นแล้วสนามการไหลที่เกิดขึ้นมีอัตราการเกิด Tumble มากที่สุดที่ 21.9 และเส้น Streamlines ที่ได้ทำให้ทราบว่า การไหลที่เกิดขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีจุดศูนย์กลางการหมุนอยู่ที่บริเวณด้านบนของกระบอกสูบ อันเนื่องมาจากลูกสูบแบบหลุมโค้งเอื้ออำนวยให้

อากาศที่ไหลเข้ามายังกระบอกสูบ โค้งตามลักษณะของหลุมจึงเป็นการบังคับทิศทางการไหลให้เกิด Tumble

3. ผลที่ได้จากการนำลูกสูบแบบหลุมโค้ง และท่อไอคีดั้งตรงที่ออกแบบตามลักษณะการไหลที่ทำให้เกิดTumble ดีที่สุดไปทดสอบกับเครื่องยนต์ ดีเซลขนาดเล็ก แรงบิดและแรงม้าโดยรวม ลดลงจากเครื่องยนต์ที่ใช้ลูกสูบและท่อไอคีดั้งจากโรงงานผู้ผลิตอันเนื่องมาจากการออกแบบลูกสูบ โดยไม่คำนึงถึงลักษณะการฉีดเชื้อเพลิง เมื่อออกแบบลูกสูบแบบหลุมโค้งโดยคำนึงถึงลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงและท่อไอคีดั้งตรง ที่ให้ลักษณะการไหลที่ทำให้เกิด Tumble ดีที่สุดปรากฏว่าแรงม้าสูงสุดเพิ่มขึ้นจากเดิม 8.06 KW เป็น 8.7 KW และแรงบิดสูงสุดจากเดิม 3.6 kg.m เพิ่มขึ้นเป็น 3.8 kg.m ที่ได้โดยรวมมากขึ้นกว่าเครื่องยนต์ที่มาจากโรงงานผู้ผลิตในทุก ๆ ความเร็วรอบ

4. จากการลดกำลังอัดโดยการออกแบบลูกสูบใหม่ทำให้ปริมาตรห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นเป็นผลให้อัตราส่วนกำลังอัดลดลง แต่กำลังเครื่องยนต์ก็ยังคงเพิ่มขึ้นจากการออกแบบลักษณะการไหลใหม่ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าถึงแม้้อัตราส่วนการอัด จะลดลงแต่การออกแบบการไหลใหม่ก็ยังให้กำลังที่มากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. การถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพที่ใช้เป็นแบบดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง แต่ภาพที่ได้ยังคงมีคอยู่ถึงแม้ว่าจะใช้ ความไวแสงที่ 1600 แล้วก็ตามสาเหตุเนื่องมาจากเลนส์ที่ใช้ไม่สามารถเปิดรับแสงได้มากกว่า 4.6 ถ้ามีการเพิ่มขนาดของเลนส์ให้สามารถเปิดรับแสงได้มากขึ้นจนถึง 2.2 ก็จะทำให้ภาพที่ได้มีความสว่างและชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. สำหรับการศึกษากาโรไหลภายในกระบอกสูบขั้นต่อไปควรมีการทดสอบกับลูกสูบที่มีแหวนลูกสูบ ซึ่งจะได้อัดอัดเหมือนเครื่องยนต์จริงด้วย ความยากในการใช้ลูกสูบแบบมีแหวนคือกระบอกสูบแบบใสที่ใช้ต้องมีความทนทานต่อการเสียดสี แหวนลูกสูบที่นำมาใช้ก็ควรจะต้องทนเพราะในเครื่องยนต์จำลองไม่มีน้ำมันเครื่องไว้หล่อลื่น

3. ในการศึกษาการไหลที่เกิดขึ้นบนหัวลูกสูบแบบต่าง ๆ ต่อไปควรมีการศึกษากาโรฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย เพราะถึงแม้การไหลที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้จะดีเพียงใดแต่คุณลักษณะในการฉีดเชื้อเพลิงก็มีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน

4. การปรับปรุงความเข้มของแสงก็จะสามารถช่วยให้ภาพที่ถ่ายได้มีความชัดเจนของเส้นอนุภาคดีขึ้นเนื่องจากชุดกำเนิดแสงที่ใช้อยู่เป็นแบบ Halogen 1500 W ทำให้ภาพที่ถ่ายได้มานั้นไม่ชัดเจนนัก

เอกสารอ้างอิง

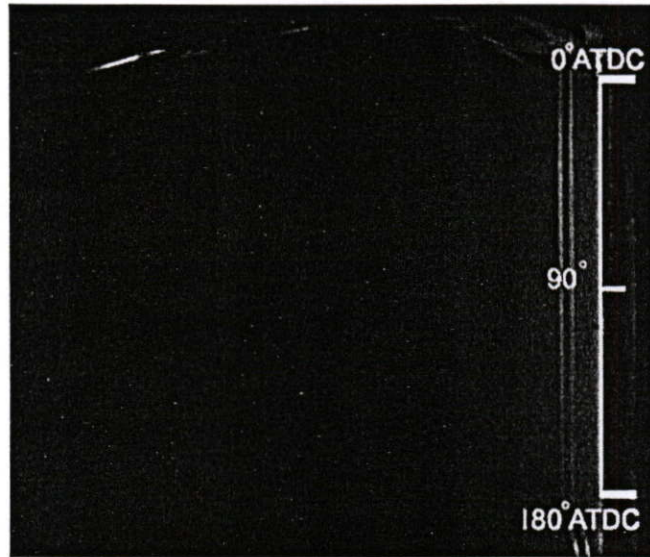
- [1] Takahiro Ueda, Long Zhang, Toshitaka Minami, Kaoru Sato and Katsuhiko Yokota. 1999. **“Application of PIV to The flow fields inside a DI engine chamber.”** SAE paper 1999-07-7-1185, pp287-292
- [2] C.-W. Hong and S.-D. Tarnq. 2001. **“In-Cylinder Tumble Flow Field Measurements and Predictions.”** ASME paper Vol. 123, pp139-145
- [3] M Reeves, M J Haste, C P Garner and N A Halliwell. 1999. **“Barrel swirl breakdown in spark-ignition engines: insights from particle image velocimetry measurements.”** IMechE Vol. 213 part D pp.595-609
- [4] Mario Amelio Sergio Bova and Carmine De Bartolo. 2000. **“The Separation Between Turbulence and Mean Flow in ICE LDV Data: The Complementary Point-of-View of Different Investigation Tools.”** ASME Vol. 122, pp.579-587
- [5] Jin-soo Kim, Jun-hyun Park, Mun-soo Chon and Jeong-eui Yun. 2000. **“A Study on the In-cylinder Flow Characteristics of GDI High-pressure Fuel Injector Using a Transparent Engine System.”** Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress. F2000A051
- [6] Ken Y. Kang, Rolf D. Reitz. 2000. **“Intake Flow Structure and Swirl Generation in a Four-Valve Heavy-Duty Diesel Engine.”** ASME paper Vol.122, pp570-578
- [7] Masao Kano, Kimitaka Saito, Masatoshi Basaki, Souichi Matsushita, Takeshi Gohno. 1999. **“Analysis of mixture formation of direct injection gasoline engine.”** JSAE Vol. 20, pp.31-39
- [8] Koh Ikeda, Koji Okamoto. 2000. **“Measuremaent of Three-Dimensional Density and Velocity Distributions Using HPIV.”** JSAE Vol.43, pp.155-161
- [9] Teruyuki Itoh, Akihiro Iiyama, Shigeo Muranaka, Yasuo Takagi. 1998 **“Combustion Characteristics of a Direct-Injection Stratified Charge S.I. Engine.”** JSAE Vol.19, pp.217-222
- [10] C. Charoenphonpanich. **“Flow and Mixture Formation of Gas in Cylinder of a Stratified Charge Engine with Two Intake Valves.”** Doctor Thesis Mechanical Engineering, Tokai University. 1997.

- [11] John B. Heywood. 1988. **Internal Combustion Engine Fundamentals**. By McGraw-Hill, Inc.
- [12] Jun-ichi Kawashima. "Research on a variable swirl intake port for high-speed 4-valve DI diesel engine." JSAE Vol.20, pp.421-438
- [13] Huang, R. F., Huang, C. W, and Chang, S. B. "**Topological flow evolutions in cylinder of a motored engine during intake and compression strokes.**" Paper presented at the 15th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-15), Bangkok, Thailand, May 9-13, 2004.
- [14] Willard W. Pulkrabek. 1997. **Engineering fundamental of the Internal Combustion Engine**. Prentice hall, Inc.
- [15] John F. Douglas, Janusz M. Gasiorek, John A. Swaffield. Fourth edition 2001. **Fluid Mechanics**. Prentice hall, Inc.
- [16] Fujimoto M., K. Iwai, M. Kataoka, and M. Tabata, Mazda Motor Corporation, **Effect of Combustion Chamber Shape on Tumble Flow, Squish-generated Flow and Burn Rate**, JSAE No. 20015124, May 2001.

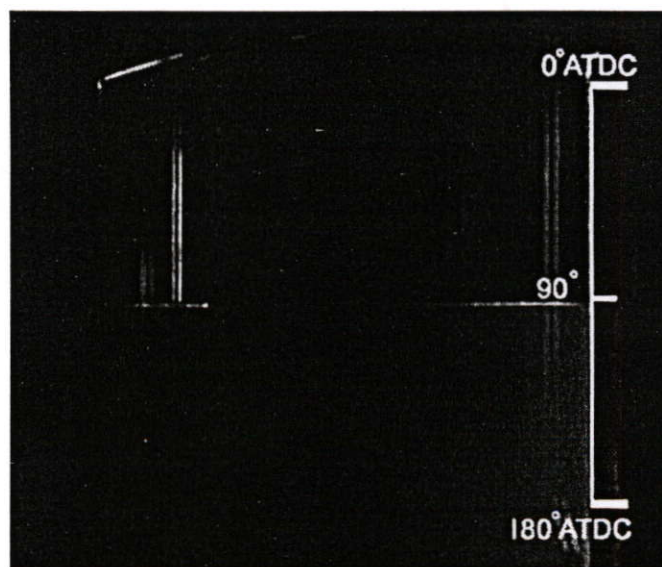
ภาคผนวก ก

ค่าปรับแก้โฟโต้เซนเซอร์

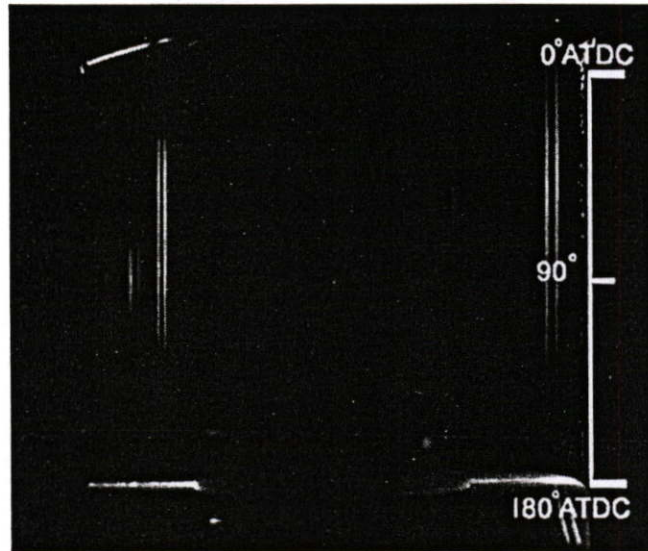
ในการถ่ายภาพด้วยวิธี PIV ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากไม่มีกล้องวิดีโอความเร็วสูงจึงต้องใช้ วงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการเก็บภาพตำแหน่งที่ต้องการซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าขึ้นจึงต้องมี ค่าปรับแก้การถ่ายล่าช้าเนื่องจากกล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัล โดยสามารถปรับแก้ได้ที่โฟโต้ เซ็นเซอร์ให้มีระยะก่อนหน้าการถ่ายที่มุมข้อเหวี่ยงล่วงหน้า 90 องศาหลังศูนย์กลางตายบน



รูปที่ ก 1 ภาพถ่ายที่ศูนย์กลางตายบนเพื่อเปรียบเทียบค่าปรับแก้โฟโต้เซนเซอร์

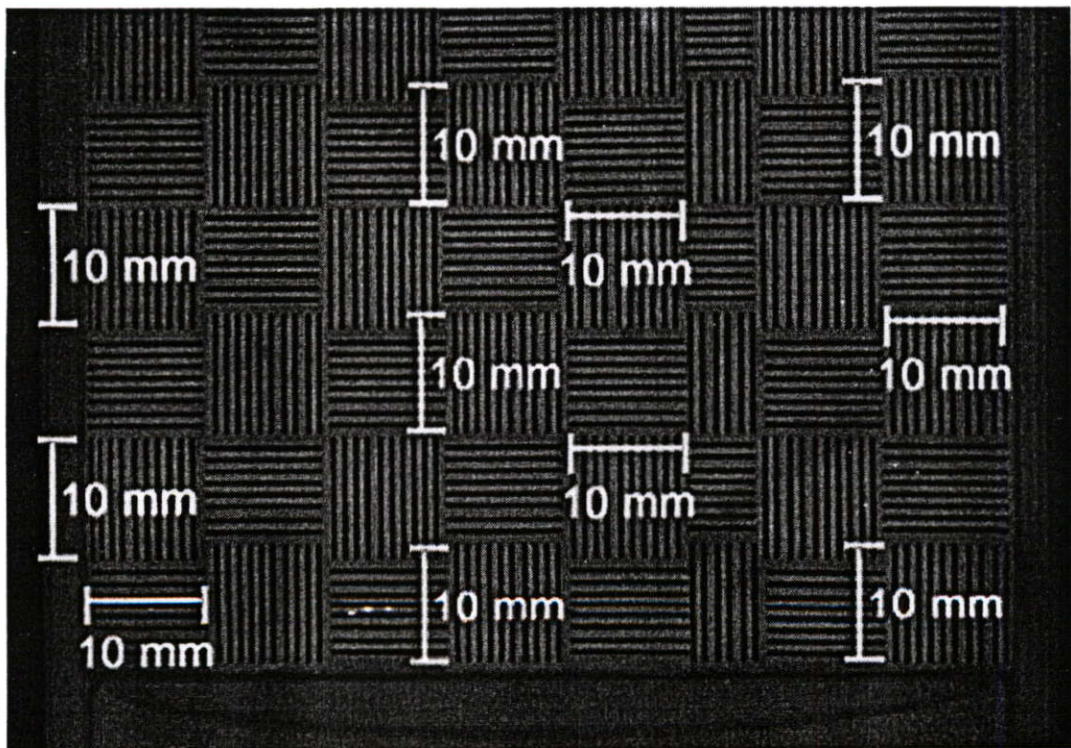


รูปที่ ก 2 ภาพถ่ายที่การตั้งโฟโต้เซนเซอร์ที่ 0 องศาหลังศูนย์กลางตายบน



รูปที่ 3 ภาพถ่ายที่การตั้งไฟได้เซนเซอร์ที่ 90 องศาหลังศูนย์กลางบน

ในการถ่ายภาพผ่านกระบอกสูบไอซึ่งมีความโค้งของพื้นผิวจำเป็นต้องตรวจสอบการหักเหของแสงที่เกิดขึ้นว่ามีผลกระทบต่อความยาวของเส้นทางการไหลเล็กน้อยเพียงใด จากรูปที่ 4 ผลจากการถ่ายภาพปรากฏว่าการถ่ายภาพสเกลขนาด 10 มม. ภายในกระบอกสูบจุดที่โฟกัสเพื่อจับภาพ พบว่าการหักเหของแสงที่จะทำให้ขนาดของเส้นสเกลผิดเพี้ยนไปไม่มากนัก



รูปที่ 4 ภาพถ่ายสเกลวัดค่า การหักเหของแสงที่เกิดกับกระบอกสูบไอ

ตารางที่ ก 1 ค่าจากการลงจุดในการพล็อตเวกเตอร์เพื่อทดสอบความแม่นยำ

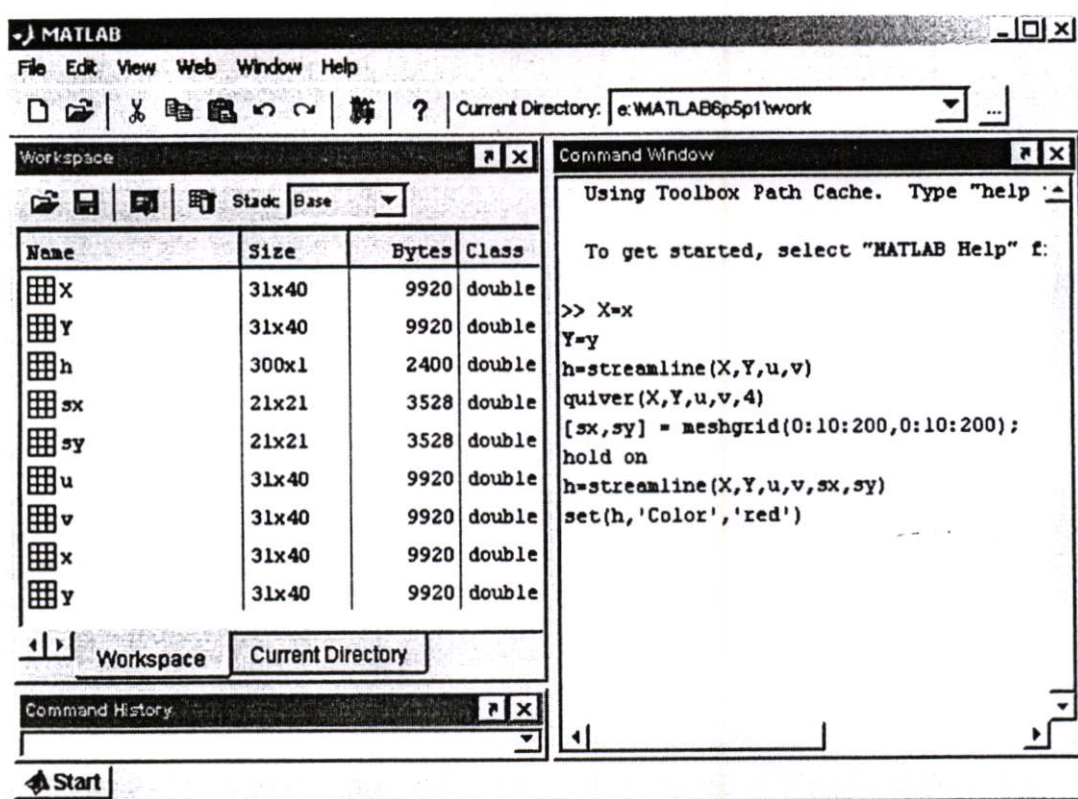
จุดที่	x1	y1	x2	y2	จุดที่	x1	y1	x2	y2
1	61	66	84	49.5	51	61	66	84	49.5
2	61	66	84	49.5	52	61	66	84	49.5
3	61	66	84	49.5	53	61	66	84	49.5
4	61	66	84	49.5	54	61	66	84	49.5
5	61	66	84	49.5	55	61	66	84	49.5
6	61	66	84	49.5	56	61	66	84	49.5
7	61	66	84	49.5	57	61	66	84	49.5
8	61	66	84	49.5	58	61	66	84	49.5
9	61	66	84	49.5	59	61	66	84	49.5
10	61	66	84	49.5	60	61	66	84	49.5
11	61	66	84	49.5	61	61	66	84	49.5
12	61	66	84	49.5	62	61	66	84	49.5
13	61	66	84	49.5	63	61	66	84	49.5
14	61	66	84	49.5	64	61	66	84	49.5
15	61	66	84	49.5	65	61	66	84	49.5
16	61	66	84	49.5	66	61	66	84	49.5
17	61	66	84	49.5	67	61	66	84	49.5
18	61	66	84	49.5	68	61	66	84	49.5
19	61	66	84	49.5	69	61	66	84	49.5
20	61	66	84	49.5	70	61	66	84	49.5
21	61	66	84	49.5	71	61	66	84	49.5
22	61	66	84	49.5	72	61	66	84	49.5
23	61	66	84	49.5	73	61	66	84	49.5
24	61	66	84	49.5	74	61	66	84	49.5
25	61	66	84	49.5	75	61	66	84	49.5
26	61	66	84	49.5	76	61	66	84	49.5
27	61	66	84	49.5	77	61	66	84	49.5
28	61	65.5	84	49.5	78	61	66	84	49.5

จุดที่	x1	y1	x2	y2	จุดที่	x1	y1	x2	y2
29	61	66	84	49.5	79	61	66	84	49.5
30	61	66	84	49.5	80	61	66	84	49.5
31	61	66	84	49.5	81	61	66	84	49.5
32	61	66	84	49.5	82	61	66	84	49.5
33	61	66	84	49.5	83	61	66	84	49.5
34	61	66	84	49.5	84	61	66	84	49.5
35	61	66	84	49.5	85	61	66	84	49.5
36	61	66	84	49.5	86	61	66	84	49.5
37	61	66	84	49.5	87	61	66	84	49.5
38	61	66	84	49.5	88	61	66	84	49.5
39	61	66	84	49.5	89	61	66	84	49.5
40	61	66	84	49.5	90	61	66	84	49.5
41	61	66	84	49.5	91	61	66	84	49.5
42	61	66	84	49.5	92	61	66	84	49.5
43	61	66	84	49.5	93	61	66	84	49.5
44	61	66	84	49.5	94	61	66	84	49.5
45	61	66	84	49.5	95	61	66	84	49.5
46	61	66	84	49.5	96	61	66	84	49.5
47	61	66	84	49.5	97	61	66	84	49.5
48	61	66	84	49.5	98	61	66	84	49.5
49	61	66	84	49.5	99	61	66	84	49.5
50	61	66	84	49.5	100	61	66	84	49.5

จากการทดลองพล็อตจุดเวกเตอร์ 100 จุด มีจุดผิดพลาดจุดที่ 28 เพียง 1 จุดผิดพลาดไป 0.5 pixel ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1 เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดจากการลงจุด และจากค่าความละเอียดของ pixel ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ขนาดที่ขยายภาพมาใช้ในการลงจุด มีขนาด 200 pixel = 90 มม. ฉะนั้น 2.2222222 pixel = 1 มม. เมื่อคิดค่าความผิดพลาดของ 0.5 pixel = 0.252 มม. คิดเป็นค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการลงจุดผิดจากจุดเดิมไป 0.25%

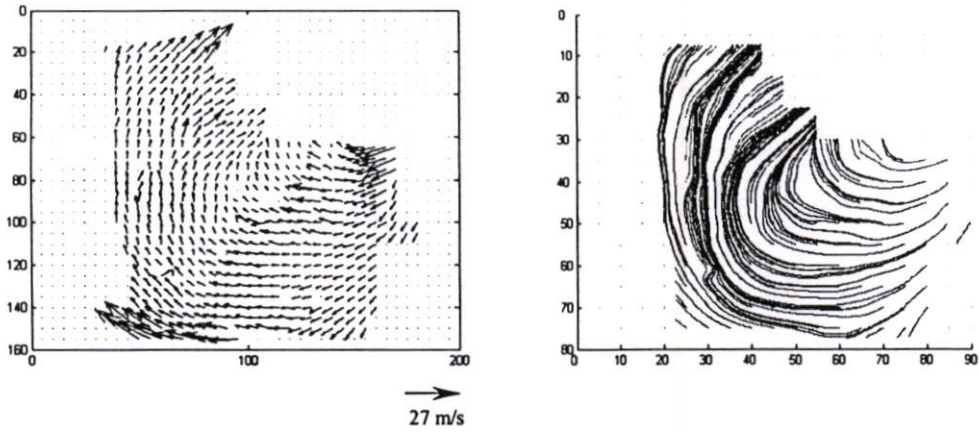
ภาคผนวก ข

การใช้โปรแกรมช่วยในการพล็อตเวกเตอร์ความเร็วและเส้นสตรีมไลน์ จำเป็นต้องจัดรูปแบบค่า x , y , u และค่า v ให้อยู่ในรูปของเมตริก เพื่อใช้ในการคำนวณ จากนั้นก็ใช้คำสั่งในการพล็อตเวกเตอร์ความเร็วและเส้นสตรีมไลน์ ตามกล่องหน้าต่างต่อไปนี้

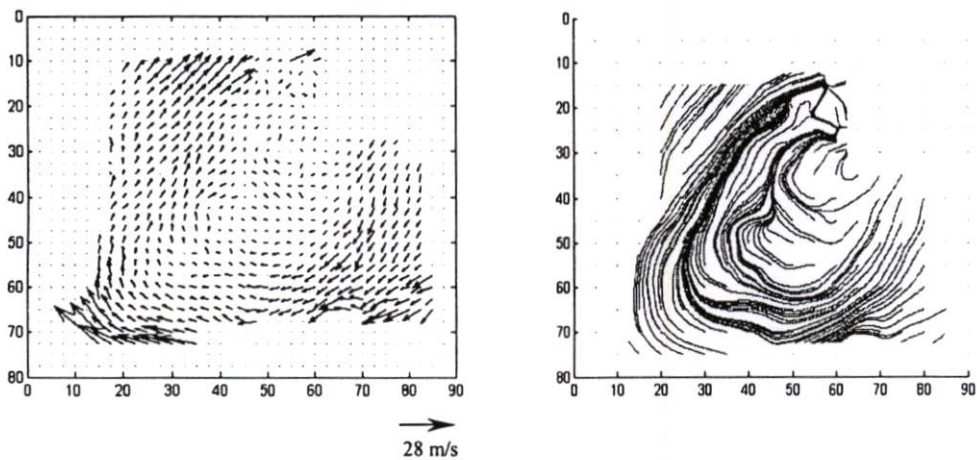


รูปที่ ข 1 การใช้โปรแกรมและข้อมูลการเขียน Matlab

การตรวจสอบความถูกต้องของการถ่ายภาพการไหลในลูกสูบแบบหลุมโค้งและท่อไอดีแบบตั้งตรงโดยการทำการเปรียบเทียบการไหล



รูปที่ ๒ สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมโค้ง และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง การถ่ายครั้งที่ 1



รูปที่ ๓ สนามการไหลภายในกระบอกสูบที่ได้จากการ Plot ด้วยโปรแกรม Matlab ของลูกสูบแบบหลุมโค้ง และ ท่อไอดีแบบตั้งตรง การถ่ายครั้งที่ 2

<http://www.me-nett.com>



**การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ ๑๗**

The 17th Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand

๗ ตุลาคม ๒๕๔๖

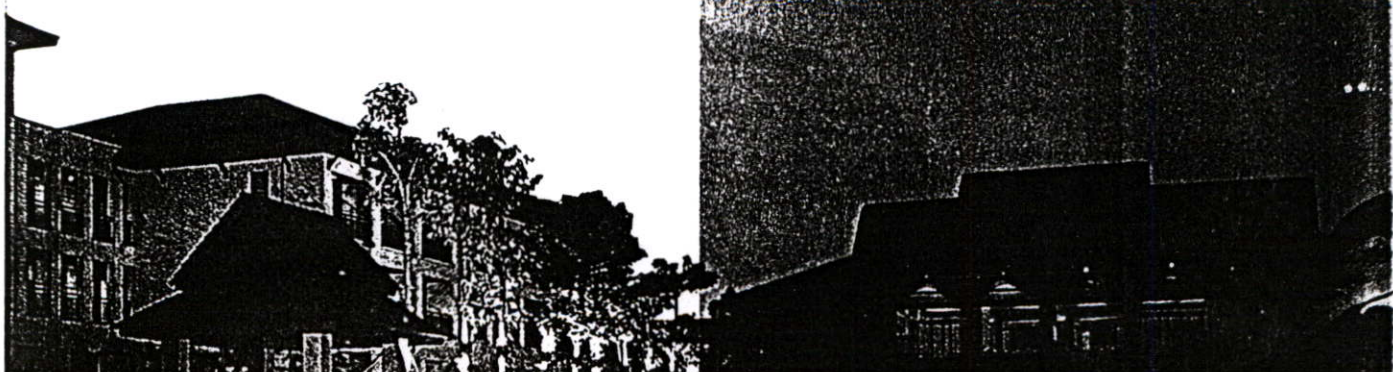
October 15-17, 2003

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

กรุงเทพฯ - ปราจีนบุรี

KMITNB Bangkok - Prachinburi

บทคัดย่อ
Abstract



พฤติกรรมการไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ส่วนผสมบาง

Flow characteristics in Combustion chamber of lean-burning engine

อิทธิเชฐ เตโชพิศาลวงศ์¹ จินดา เจริญพรพาณิชย์²

ภาควิชาวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร. 02 326-4197 โทรสาร 02 326-4198

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

Ittichet Techopisanwong¹ Chinda Charoenphonphanich²

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 โดยใช้อุณหภูมิที่สังเกตได้ง่ายแทนการไหลของอากาศที่เกิดขึ้น เครื่องยนต์จำลองที่ใช้มีกระบอกสูบเป็นแบบสี่ จุดกำเนิดระนาบแสงใช้หลอด Halogen ขนาด 1500 Watt อุณหภูมิจะไหลปนมากับอากาศจากนั้นใช้การถ่ายภาพเป็นการบันทึกเส้นการไหลของอนุภาคในกระบอกสูบ โดยจะเปลี่ยนแปลง Speed shutter เพื่อให้ได้ความเร็วการไหลของอนุภาคแต่ละช่วง นำเส้นของการไหลและช่วงเวลาที่น่ากล้องเปิดไปคำนวณหาสนามการไหลที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ เพื่อเปรียบเทียบระหว่างลูกสูบที่ใช้กับเครื่องยนต์ส่วนผสมบางกับลูกสูบแบบหุ้มเคียว โดยการวิเคราะห์จากเวกเตอร์ความเร็วที่คำนวณได้ ในบทความนี้จะหาผลกระทบที่เกิดจากลักษณะของหัวลูกสูบและรูปแบบของท่อไอดี 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

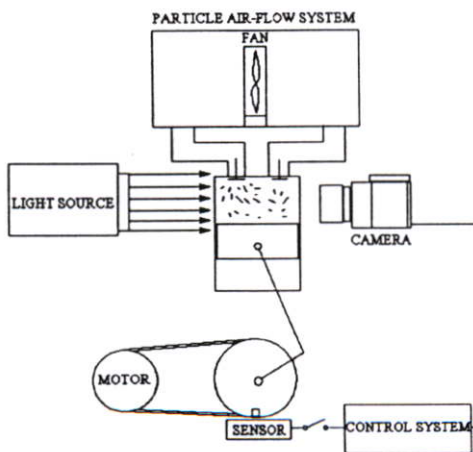
เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น โดยส่วนหนึ่งในการพัฒนานี้คือ การทำให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้แบบแบ่งชั้นเพื่อให้เกิดชั้นของส่วนผสมบาง อันจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และประหยัดเชื้อเพลิงได้ดีขึ้น หลักการของการแบ่งชั้นคือบริเวณที่จะทำให้เกิดการจุดติดไฟก็จะมีกลุ่มเชื้อเพลิงที่สามารถจุดติดไฟได้ ส่วนบริเวณอื่นจะมีปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่า ซึ่งเมื่อเปลวไฟลามมาถึงก็

สามารถที่จะเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนนั้นได้โดยสมบูรณ์และ
ประหัตกว่าเครื่องยนต์แบบเก่าที่มีการกระจายเชื้อเพลิงที่เท่า
กันภายในกระบอกสูบ ซึ่งอาจเกิดการ Knock ได้ง่ายอีกด้วย

การที่จะทำให้เครื่องยนต์ให้เกิดการเผาไหม้แบบแบ่งชั้น
หรือแบบที่เรียกว่าเครื่องยนต์ส่วนผสมบางนั้น จำเป็นที่จะต้อง
ทำให้การไหลของอากาศในห้องเผาไหม้เกิดรูปแบบที่คงตัว
และมีการไหลในรอบแนวแกน X หรือที่เรียกว่าการไหลแบบ
Tumble ที่ดี ซึ่งในบทความนี้ก็จะเป็นการวิเคราะห์ลักษณะการ
ไหลในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ส่วนผสมบางโดยการใช้
การถ่ายภาพแบบ PIV (Particle Image Velocimetry) ของการ
ไหลในเครื่องยนต์จำลองเพื่อค้นหาการไหลแบบ Tumble
เปรียบเทียบสนามการไหลระหว่างถูกสูบแบบหลุมเดียว กับถูก
สูบแบบ GDI (แบบที่ใช้กับเครื่องยนต์ส่วนผสมบางของ
Mitsubishi GDI 1800 cc.) และผลกระทบต่อการไหลเมื่อมี
การเปลี่ยนแปลงลักษณะท่อไอดี

2. การทดลอง

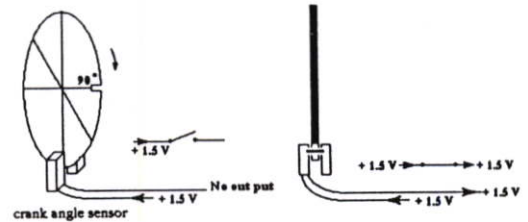
เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์จำลอง โดยกระบอกสูบทำ
มาจากวัสดุใสเพื่อสามารถมองและบันทึกภาพการไหลของ
อนุภาคได้ดี โดยอนุภาคจะถูกดูดเข้ามาทางด้านวาล์วไอดี จะ
สามารถมองการไหลในแนวตั้งหรือแบบ Tumble ได้ เมื่อ
อนุภาคไหลเข้ามาในกระบอกสูบ โดยจะทำการถ่ายภาพเก็บไว้
โดยการถ่ายภาพนี้จะทำการถ่ายที่ตำแหน่งองศาการหมุนที่
ตำแหน่งเดิม ตำแหน่งละ 3 ช่วงความเร็ว Speed Shutter เพื่อนำ
เส้นของการไหลและช่วงเวลาที่หน้ากลองปิดไปคำนวณหาส
สนามการไหลที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ



รูปที่ 1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดลองและระบบการมองภาพ

จากรูปที่ 1 เมื่อเครื่องยนต์จำลองทำงานจะดูดอนุภาคเข้า
มาภายในกระบอกสูบ และแสงจาก Light sheet จะทำให้เกิด
ระนาบของอนุภาคที่ชัดเจน จากนั้นเมื่อเครื่องยนต์หมุนไปถึง

ตำแหน่งที่ต้องการจะควบคุมการถ่ายภาพจะได้รับสัญญาณ
จากตัว Crank angle sensor ดังแสดงในรูปที่ 2 และส่งต่อมาที่ส
วิตซ์ที่ให้สัญญาณส่งต่อไปที่จุดควบคุมกล้องด้วยภาพให้ถ่าย
ภาพใน Speed Shutter ที่ต้องการได้ ส่วนอนุภาคจะถูกคายออก
ทางด้านวาล์วไอเสียไปเก็บที่กล่องพักอนุภาค ซึ่งจะมีพัดลม
คอยพัดให้อนุภาคจะจ่ายตัวและพร้อมที่จะถูกดูดเข้าในห้องเผา
ไหม้ในรอบต่อไป



รูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของ Crank angle sensor



ก.) ลูกสูบแบบหัวเรียบ

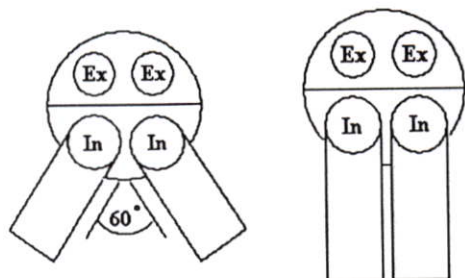


ข.) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม

รูปที่ 3 ลูกสูบที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 3 ก.) เป็นลูกสูบแบบหัวเรียบที่ใช้ในเครื่องยนต์
ทั่วไป ข.) เป็นลูกสูบของเครื่องยนต์ส่วนผสมบางที่ใช้ในรถ
ยนต์ Mitsubishi โดยจะ สังเกตเห็นว่าลูกสูบมีลักษณะเป็นแบบ
หัวนูนสามเหลี่ยม และมีหลุมลึกลงไปภายในเพียงด้านวาล์วไอ
ดีด้านเดียว โดยหลุมนี้จะใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงผ่านหลุมแล้ว
โค้งกลับขึ้นไปยังหัวเทียน ส่วนลักษณะการ นูนแบบนี้จะช่วย
ให้เกิดการไหลของอากาศในกระบอกสูบให้เป็นแบบ Tumble

ซึ่งในบทความนี้จะใช้ลูกสูบนี้มาทำการทดลองเปรียบเทียบกับ ลูกสูบแบบหลุมที่มีมานานแล้ว



ก.) ท่อไอดีแบบ V ข.) ท่อไอดีแบบขนาน
รูปที่ 4 แสดงลักษณะการต่อท่อไอดีที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 4 a) ท่อไอดีเป็นแบบ V-Type ซึ่งในการทดลองนี้จะทำมุมท่อไอดีด้านซ้ายและขวา 60 องศา b) ท่อไอดีเป็นแบบขนาน โดยท่อไอดีด้านซ้ายและขวามีขนาดเท่ากัน ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดลอง โดยเครื่องยนต์จำลองนี้จะมีเพียงกระบอกสูบเดียว 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.

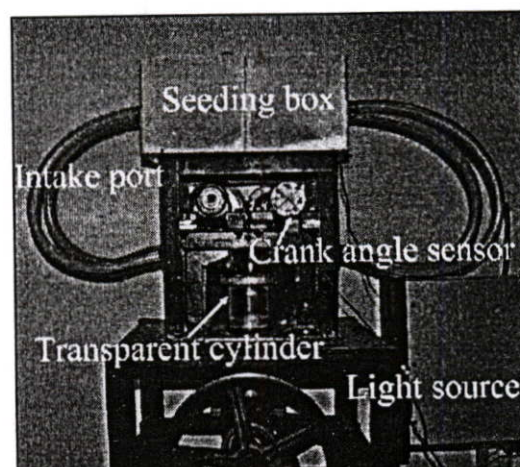
ตารางที่ 2 เงื่อนไขในการทดลอง

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 μ m (Mean Density 0.025)
-----------------	---

3. วิธีการทดลอง

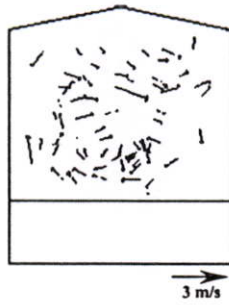
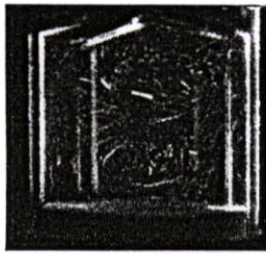
ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องยนต์ด้วยความเร็ว 470 rpm คงที่ โดยลักษณะของลูกสูบจะใช้ลูกสูบแบบหลุม และลูกสูบของเครื่องยนต์ GDI ของ Mitsubishi แสงที่ใช้ส่อง (Light source) เป็นหลอดไฟขนาด 1500 Watt กว้าง 10 mm. ส่องไปที่กลางกระบอกสูบ อนุภาคมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 70 μ m. และความหนาแน่นที่ 0.025 โดยใช้กล้อง Cannon รุ่น EOS 88 ความเร็วสูงบันทึกภาพที่ Speed Shutter 1/60 , 1/90 และ 1/125 Sec โดยใช้ฟิล์มที่มีความไวแสง 800 ของ Kodak



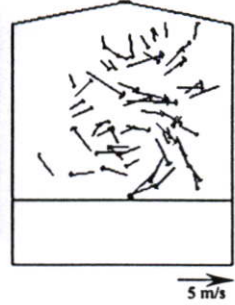
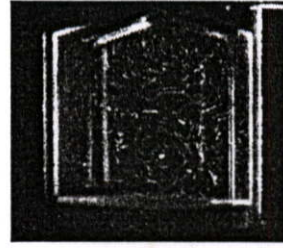
รูปที่ 5 ภาพถ่ายเครื่องยนต์จำลองและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

4. ผลการทดลอง

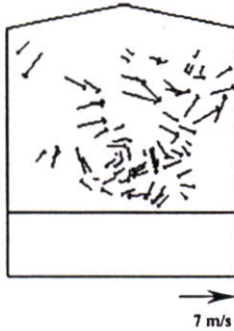
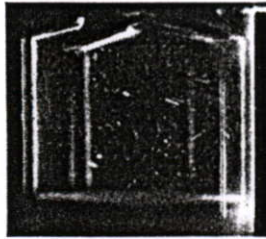
รูปแบบการไหลเป็นหน้าตัดแนวตั้ง รูปที่ 6 ก.)-ค.) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอดีเป็นแบบขนาน ที่ 90 องศา ก่อนศูนย์ดาชบน ที่ shutter speed 1/60, 1/90 และ 1/125 sec.



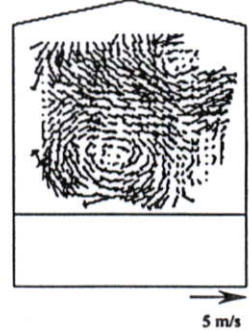
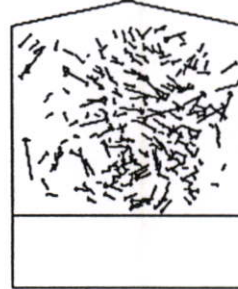
(ก) Exposure time 1/60 s.



(ข) Exposure time 1/90 s.



(ค) Exposure time 1/125 s.

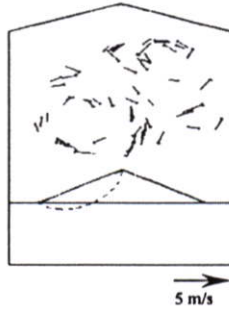
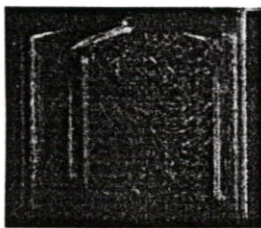


(ง) Particle path lines รวม และ interpolated velocity fields

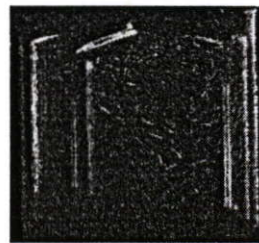
รูปที่ 6 รูป particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวเรียบ และ ท่อไอศีมแบบขนาน

รูปที่ 6 (ง) แสดงภาพของ particle path lines รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวเรียบ โดยท่อไอศีมเป็นแบบขนาน การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้วาล์วไอศีม ความเร็วในการไหลเป็นไปอย่างช้า ๆ ลักษณะการเกิด Tumble เป็นการหมุนที่ช้าและ วงเล็ก รูปที่ 7

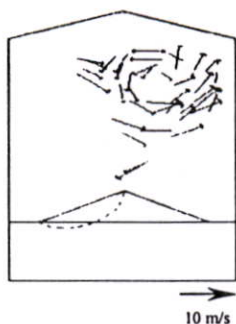
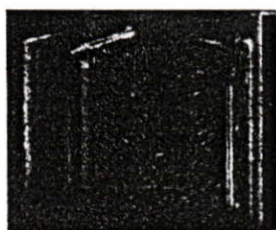
(ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอศีมเป็นแบบขนาน ที่ 90 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ shutter speed 1/60, 1/90 และ 1/125 sec.



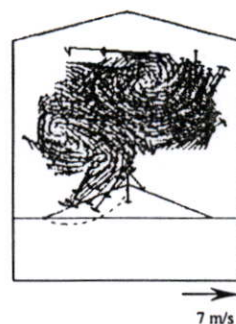
(ก) Exposure time 1/60 s.



(ข) Exposure time 1/90 s.



(ค) Exposure time 1/125 s.

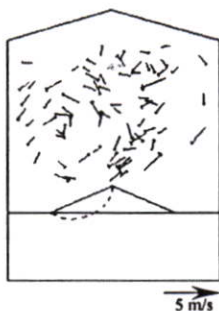
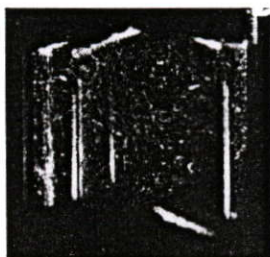


(ง) Particle path lines รวม และ interpolated velocity fields

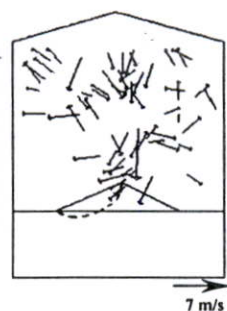
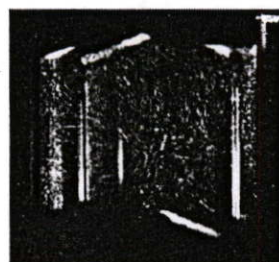
รูปที่ 7 รูป Particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอติแบบขนาน

รูปที่ 7 (ง) แสดงภาพของ particle path lines รวม และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบขนาน การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้วาล์วไอเสีย และเหนือลูกสูบด้านซ้าย ความเร็วในการไหลเร็วกว่าลูกสูบแบบหัวเรียบ ลักษณะการ

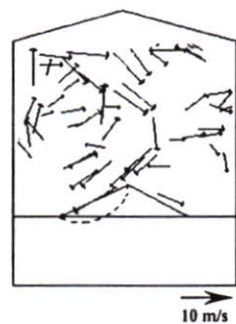
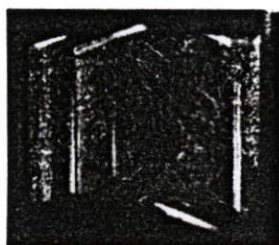
เกิด Tumble เป็นการหมุนที่เร็วและมีรูปแบบ รูปที่ 8 (ก)-(ค) แสดงภาพถ่ายของอนุภาคและการกระจายความเร็ว ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบ V ที่ 90 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ที่ shutter speed 1/60, 1/90 และ 1/125 sec.



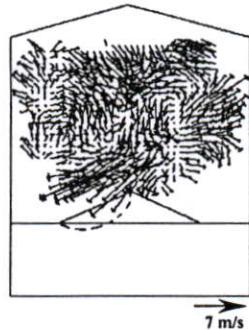
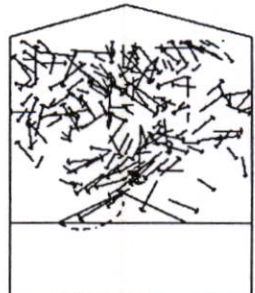
(ก) Exposure time 1/60 s.



(ข) Exposure time 1/90 s.



(ค) Exposure time 1/125 s.

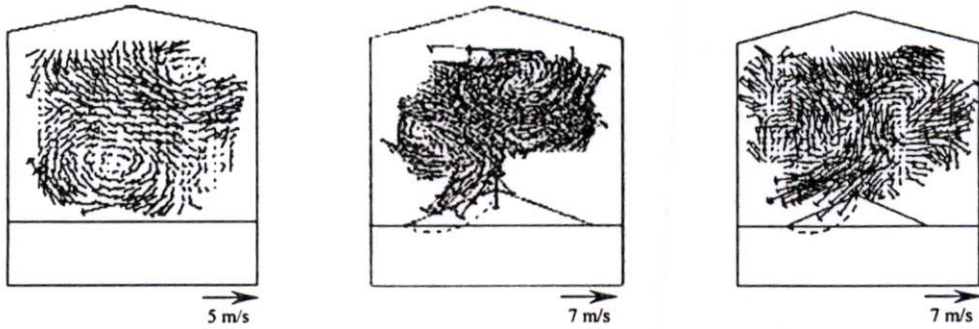


(ง) Particle path lines รวม และ interpolated velocity fields

รูปที่ 8 รูป particle path lines และ velocity field ของลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม และ ท่อไอติแบบ V

รูปที่ 8 (ง) แสดงภาพของ particle path lines และ สนามความเร็วการไหลที่ผ่านการ interpolate ในลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม โดยท่อไอติเป็นแบบ V การไหลวนเกิดขึ้นที่บริเวณใต้วาล์วไอติ และเหนือลูกสูบด้านซ้าย ความเร็วในการไหลเร็วกว่าลูกสูบแบบหัวเรียบ แต่ใกล้เคียงกับในลูกสูบแบบ

หัวนูนสามเหลี่ยม แบบท่อไอติเป็นแบบขนาน ลักษณะการเกิด Tumble เป็นการหมุนที่เร็วแต่ไม่ค่อยจะมีรูปแบบของ Tumble ที่ชัดเจนนัก



(ก) ลูกสูบแบบหัวเรียบ (ข) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยม (ค) ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมกับท่อไอดีแบบ V รูปที่ 9 เปรียบเทียบ velocity fields ของลูกสูบแบบหัวเรียบและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบขนาน , ลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมและท่อไอดีแบบ V

รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบของลูกสูบที่นำมาใช้ในการทดลอง 2 แบบโดยมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบท่อไอดี 2 แบบ จากรูปทั้งสามจะเห็นว่าความเร็วเฉลี่ยรวมของรูป ก) จะไหลช้ากว่าแบบ ข) และ ค) ส่วนการเกิด Tumble ที่ดีจะเป็นลูกสูบแบบหัวนูนสามเหลี่ยมที่ใส่ท่อไอดีแบบขนาน ซึ่งรูปแบบที่เกิดขึ้นทำให้ทราบว่าลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบจะมีการเปลี่ยนแปลงได้จากลักษณะของห้องเผาไหม้ และผลกระทบกับการไหลอันเนื่องมาจากลักษณะของท่อไอดี ทำให้การหมุนวนที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไป

6. สรุป

เทคนิคการถ่ายภาพนี้ทำให้สามารถมองเห็นสนามการไหลที่เกิดขึ้นจริงภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ส่วนผสมบางได้ อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์สนามการไหลได้จากสนามการไหลของ 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.

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

ประวัติผู้เขียน

นายอิทธิเชษฐ เตโชพิศาลวงศ์ เกิดเมื่อ วันที่ 14 พฤศจิกายน 2518 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร ที่อยู่ 254 หมู่บ้านแกรนด์วิลล์เลข ซ.ลาดพร้าว 80/3 แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร 10310 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ในปี 2541 และได้ศึกษาต่อที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี 2544 ปัจจุบันทำงานเกี่ยวกับเครื่องมือแพทย์ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง บริษัท โอลิมปัส จำกัด