

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กใช้น้ำมันพืช

COMBUSTION CHAMBER FOR A SMALL ENGINE USING NEAT VEGETABLE OIL

นายสิทธิชัย วิจิตรเวียงรัตน์

นายศิริวุฒิ ชูบุญ

นายสุเชษฐ ช้างช่วย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**62323**
วัน,เดือน,ปี...1.6. ส.ค. 2549

b.....11621138
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

ห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กใช้น้ำมันพืช

COMBUSTION CHAMBER FOR A SMALL ENGINE USING NEAT VEGETABLE OIL

โดย

นายฉัตรชัย วิจิตรเวียงรัตน์

นายสิริวุฒิ ชูบุญ

นายสุพรรณัฐ ตั้งช่วย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

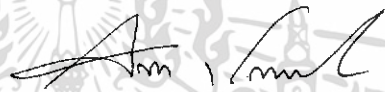
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กใช้น้ำมันพืช

COMBUSTION CHAMBER FOR A SMALL ENGINE USING NEAT VEGETABLE OIL

ผู้จัดทำ

1. นายสิทธิชัย วิจิตรเวียงรัตน์ รหัสประจำตัว 45010827
2. นายสิริวุฒิ ชูบุญ รหัสประจำตัว 45010838
3. นายสุเชษฐ์ สังข์ช่วย รหัสประจำตัว 45010847



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)



ห้องเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์เล็กใช้น้ำมันพืช

นายสิทธิชัย วิจิตรเวียงรัตน์	45010827
นายสิริวุฒิ ชูบุญ	45010838
นายสุเชษฐ์ สังข์ช่วย	45010847
ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548	

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลมีการพัฒนาไปมาก ทั้งในด้านประสิทธิภาพเครื่องยนต์ ทั้งการประหยัดน้ำมัน ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง

อย่างไรก็ตาม จากความต้องการที่มีมากและปริมาณมีจำกัด ทำให้น้ำมันดีเซลมีราคาสูง จึงมีการวิจัยต่างๆเพื่อหาพลังงานทดแทน น้ำมันพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ แต่เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพไม่เหมาะกับการมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยตรงเพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดตะกอนในห้องเผาไหม้และทำให้หัวฉีดอุดตัน น้ำมันพืชจึงยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควร

โครงการนี้เป็นการศึกษาและออกแบบห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ให้ใช้น้ำมันพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดมลพิษจากการเผาไหม้ การออกแบบห้องเผาไหม้นี้จะพิจารณาผลกระทบของหัวลูกสูบและท่อไอเสียลักษณะต่าง ๆ ที่มีผลต่ออากาศที่ไหลภายในห้องเผาไหม้และการกระจายตัวของน้ำมันพืชเมื่อตกกระทบกับหัวลูกสูบ โดยที่การสังเกตการไหลภายในห้องเผาไหม้จะใช้วีซีดี การสังเกตจะมองในระนาบแนวนอนเพื่อสามารถมองเห็นลักษณะการไหลของกระแสน้ำมันได้อย่างชัดเจน แล้วนำเวกเตอร์ความเร็วมาวิเคราะห์หาแบบหัวลูกสูบที่ดีที่สุด ส่วนการกระจายตัวของน้ำมันเมื่อตกกระทบหัวลูกสูบนั่นจะสังเกตจากลักษณะของละอองน้ำมันหลังกระทบหัวลูกสูบแล้ว ผลที่ได้จากการทดลองทั้งสองวิธีนี้พบว่าลักษณะหัวลูกสูบที่เป็นแบบจานโค้งมนและท่อไอเสียแบบขนานทำให้สเปรย์น้ำมันกระจายทั่วห้องเผาไหม้และกระแสน้ำมันของอากาศหมุนวนที่รุนแรงในบริเวณหลุม นำลูกสูบที่ทำการออกแบบมาทดสอบกับเครื่องยนต์จริงเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเครื่องยนต์เดิม อีกทั้งยังรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องยนต์ใช้น้ำมันพืชต่อไป

Combustion Chamber for a Small Engine using Neat Vegetable Oil

Sittichai Wichitwiangrat

Sirivut Chuboon

Suchead Sangchaay

Asst.Prof.Dr.Chinda Charoenphonphanich Advisor

Abstract

Recently, Diesel engine was developed rapidly both performance and economy fuel consumption. Diesel engine is used in many applications widely.

However, high demand and restrict quantity of petrol effect the cost of diesel. There are many researches to find an alternative energy. Vegetable oil is the interesting choice. Unfortunately vegetable oil does not have suitable to run under typical diesel condition because the characteristic of vegetable oil cause heavy deposit in combustion chamber and injector nozzle. This is the main reason why vegetable oil is unpopular use.

The objective of this paper is to study and design combustion chamber for a small diesel engine to use neat vegetable oil efficiently and reduce the emissions. The effect of piston head and intake port on fluid motion and fuel spray pattern in the combustion chamber was examined. The in-cylinder flow was investigated by using Particle Image Velocimetry (PIV). Two-dimensional PIV measurements were made in a horizontal plane. Vectors of velocity are also investigated to find the optimized piston head. The experimental results show that shallow-dish and parallel intake port provides fuel spray distributed throughout combustion chamber and high turbulence flow inside the bowl. The designed piston was tested to compare performance with the base-line. It is included the useful information to develop the engine in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก และขอบคุณพี่อิฐ พี่โอม พี่หนู่ย พี่วิโรจน์ พี่ก้อย และเพื่อน ๆ ทุกท่าน ตลอดจนพี่บุคลากรทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือและคำแนะนำ

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายสิทธิชัย วิจิตรเวียงรัตน์

นายสิริวุฒิ ชูบุญ

นายสุเชษฐ์ สังข์ช่วย



สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	XI
รายการสัญลักษณ์	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
1.6 บทความเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 คำต่าง ๆ ในการทำงานของเครื่องยนต์	7
2.1.1 ตัวแปรของเครื่องยนต์	7
2.1.2 งาน	10
2.1.3 ความดันเฉลี่ย	11
2.1.4 แรงบิดและกำลัง	12
2.1.5 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์	13
2.2 วงจรดีเซล	14
2.3 การเคลื่อนที่ของของไหลภายในห้องเผาไหม้	18
2.3.1 การไหลแบบปั่นป่วน	18
2.3.2 การไหลแบบหมุนควง	19
2.3.3 ก๊าซที่ถูกอัดและก๊าซที่มีวนรอบแกนวงแหวน	21
2.4 คุณสมบัติของน้ำมันพืชเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	22

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
2.5 น้ำมันมะพร้าว	23
2.5.1 กรรมวิธีการผลิต	24
2.5.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันมะพร้าว	25
2.6 หลักการ Particle Image Velocimetry	26
 บทที่ 3 การออกแบบห้องเผาไหม้	 27
3.1 ห้องเผาไหม้แบบเปิดหรือการฉีดแบบตรง	27
3.2 ห้องเผาไหม้แบบทรงกลม	30
3.3 ห้องเผาไหม้ช่วย	31
3.3.1 ห้องเผาไหม้ล่วงหน้า	32
3.3.2 ห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน	33
3.3.3 ห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล	36
3.4 การพัฒนาห้องเผาไหม้	39
 บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	 40
4.1 บทนำ	40
4.2 ไดนาโมมิเตอร์(Dynamometer)	40
4.2.1 เอคต์โรเรนต์ไดนาโมมิเตอร์	41
4.3 เครื่องจำลองกระแสการไหลของอากาศ	42
4.4 อุปกรณ์จับภาพการฉีดสเปรย์	45
4.5 อุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะ	46
4.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	46
4.7 เครื่องวัดความเข้มของควันดำ	48
4.8 ชุดวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	48
4.9 แบบของลูกสูบ	49
4.10 แบบของท่อไอเสีย	49
4.11 วิธีการทดลอง	50
4.11.1 วิธีการทดลองเพื่อสังเกตการไหลภายในห้องเผาไหม้	51
4.11.2 วิธีการฉีดสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบ	51

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
4.11.3 วิธีการทดสอบกับเครื่องยนต์	51
บทที่ 5 ผลการทดลอง	52
5.1 ผลการทดสอบการฉีดสเปรย์กระทบหัวลูกสูบ	52
5.1.1 ภาพจากมูมบน	52
5.1.2 ภาพในแนวระดับ	54
5.2 ผลการทดลองการดูการไหลภายในห้องเผาไหม้	57
5.2.1 รูปเวกเตอร์ความเร็วของเครื่องจำลองการไหลในจังหวะดูด ท่อไอดีแบบ swirl	57
5.2.2 รูปเวกเตอร์ความเร็วของเครื่องจำลองการไหลในจังหวะดูด ท่อไอดีแบบ tumble	63
5.2.3 รูปเวกเตอร์ความเร็วของเครื่องจำลองการไหลในจังหวะอัด ท่อไอดีแบบ swirl	70
5.2.4 รูปเวกเตอร์ความเร็วของเครื่องจำลองการไหลในจังหวะอัด ท่อไอดีแบบ tumble	74
5.3 ผลการทดสอบเครื่องยนต์	79
5.3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์	79
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
6.1 สรุปผลการฉีดสเปรย์	82
6.2 สรุปผลการจำลองการไหลภายในห้องเผาไหม้	82
6.3 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังการปรับปรุงห้องเผาไหม้	82
6.4 ข้อเสนอแนะ	83
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง	84
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก.	87
ภาคผนวก ข.	91
ภาคผนวก ค.	94
ประวัติผู้เขียน	81

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
2-1 แสดงความสัมพันธ์ตัวแปรต่าง ๆ ของลูกสูบและกระบอกสูบ	7
2-2 กราฟความเร็วต่อความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ บนมุมของเพลาค้อเหวี่ยง	9
2-3 กราฟ P-V ของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	10
2-4 กราฟแสดงลักษณะแรงบิดและกำลังบนความเร็วรอบของเครื่องยนต์	12
2-5 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ในแต่ละความเร็วรอบ	13
2-6 วัฏจักรดีเซล	16
2-7 (1) การไหลควของก๊าซภายในกระบอกสูบ	19
(2) การกระตุ้นให้เกิดการไหลคว	19
(3) อาศัยรูปทรงของท่อไอคี่	19
(4) อาศัยรูปทรงของลิ้น	19
2-8 กราฟอัตราการไหลควบนมุมของเพลาค้อเหวี่ยง	20
2-9 ภาพแสดงลักษณะของห้องเผาไหม้(หัวลูกสูบ)ในเครื่องยนต์ปัจจุบัน	21
2-10 ภาพแสดงการถูกรีดให้เข้าสู่ศูนย์กลางของก๊าซ ไกล่ผนังกระบอกสูบ(Squish) และม้วนตัวลงในห้องเผาไหม้เป็นวงแหวน(Tumble)	22
3-1 ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบตรงในเครื่องยนต์ดีเซล	27
3-2 การหมุนวนของอากาศในห้องเผาไหม้แบบเปิด	28
3-3 โคอะแกรมแสดงแรงดันของอากาศในห้องเผาไหม้แบบเปิด	28
3-4 การหมุนวนของอากาศโดยใช้ท่อไอคี่ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบท่อเอียง	29
3-5 การทำให้อากาศหมุนวนโดยลิ้นก้ำบั้งและช่องนำอากาศเข้าเครื่องยนต์	29
3-6 แสดงการทำงานในแต่ละจังหวะของห้องเผาไหม้แบบทรงกลม	31
3-7 ห้องเผาไหม้ลั่วงหน้า	32
3-8 กราฟแสดงแรงดันในห้องเผาไหม้ลั่วงหน้า	33
3-9 ห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน	34
3-10 กราฟแสดงแรงดันในห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน	34
3-11 แสดงความเร็วผ่านคอคอดของห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน	35
3-12 ห้องเผาไหม้แบบฮิสปาโนซูซ่า	35
3-13 ห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล	37
3-14 อินคอคเตอร์โคอะแกรมของห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล	37
3-15 ขั้นตอนการเผาไหม้ของห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล	37
3-16 ห้องเผาไหม้เคลือบเซรามิก	39

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.1 หลักการของไคนาโมมิเตอร์	40
4-2 ไคนาโมมิเตอร์แบบแอคทีเคอร์เรนซ์เบรก	41
4-3 ไคนาโมมิเตอร์แบบแอคทีเคอร์เรนซ์ที่ใช้ในการทดสอบ	41
4-4 กล้อง CCD	42
4-5 ระบายแสง	42
4-6 เครื่องจำลองการไหล PIV	43
4-7 โคอะแกรมเครื่องจำลองการไหล PIV	44
4-8 แสดงชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	45
4-9 แสดงหัวฉีดแบบ Hole type	45
4-10 แผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบเครื่องยนต์	46
4-11 เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ	46
4-12 เครื่องวัดความเข้มของควันท้อง	47
4-13 ชุดวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	48
4-14 แสดงลูกสูบที่ได้ออกแบบ	48
4-15 แสดงการไหลของอากาศของท่อไอเสียแบบ swirl	49
4-16 แสดงท่อไอเสียแบบ swirl ในชุดทดสอบการไหล	49
4-17 แสดงการไหลของท่อไอเสียแบบ Tumble	49
4-18 แสดงท่อไอเสียแบบ Tumble ในชุดการทดลอง	50
5-1 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจาน	52
5-2 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมเฉียงศูนย์	53
5-3 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน	53
5-4 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว	54
5-5 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจาน	54
5-6 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมเฉียงศูนย์	55
5-7 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน	55
5-8 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว	56
5-9 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC	57
5-10 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC	57
5-11 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC	58

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่

หน้าที่

5-12	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงาน ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC ด้วยการ Interpolation	58
5-13	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC	59
5-14	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC	59
5-15	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC	59
5-16	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation	60
5-17	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC	60
5-18	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC	61
5-19	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC	61
5-20	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation	61
5-21	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC	62
5-22	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC	62
5-23	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC	63
5-24	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation	63
5-25	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงาน ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC	64
5-26	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงาน ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC	64
5-27	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงาน ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC	64
5-28	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบงาน ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation	65
5-29	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC	65
5-30	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC	66

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่

หน้าที่

5-31	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC	66
5-32	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation	66
5-33	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC	67
5-34	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC	67
5-35	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC	68
5-36	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation	68
5-37	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์วในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC	69
5-38	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์วในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC	69
5-39	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์วในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC ...	69
5-40	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์วในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation	70
5-41	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน	70
5-42	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานด้วยการ Interpolation	71
5-43	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์	71
5-44	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ด้วยการ Interpolation	72
5-45	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน	72
5-46	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนด้วยการ Interpolation	73
5-47	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว	73
5-48	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์วด้วยการ Interpolation	74
5-49	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน	74
5-50	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานด้วยการ Interpolation	75
5-51	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์	75
5-52	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ด้วยการ Interpolation	76
5-53	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน	76
5-54	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนด้วยการ Interpolation	77
5-55	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว	77

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่

หน้าที่

5-56	वेक्टरความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์วด้วยการ Interpolation	78
5-57	กราฟเปรียบเทียบแรงบิดเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบ แบบมีหลุมเอียงศูนย์และแบบจานนูนโค้ง	79
5-58	กราฟเปรียบเทียบกำลังเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบ แบบมีหลุมเอียงศูนย์และแบบจานนูนโค้ง	79
5-59	กราฟเปรียบเทียบ BSFC เครื่องยนต์ของหัวลูกสูบ แบบมีหลุมเอียงศูนย์และแบบจานนูนโค้ง	80
5-60	กราฟเปรียบเทียบ %smoke เครื่องยนต์ของหัวลูกสูบ แบบมีหลุมเอียงศูนย์และแบบจานนูนโค้ง	80
5-61	กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบ แบบมีหลุมเอียงศูนย์และแบบจานนูนโค้ง	81



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2-1 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันต่าง ๆ	22
2-2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าว	23
4-1 แสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องจำลองการไหล PIV	44
4-2 แสดงข้อมูลของเครื่องยนต์	47



รายการสัญลักษณ์

A_p	พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ
a	ระยะข้อเหวี่ยง
B	เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ
b_{mep}	ความดันเฉลี่ยของเพลาคือเหวี่ยง
c	ระยะห่างระหว่างหัวลูกสูบกับฝาสูบ
c_p	ค่าความจุความร้อนที่ความดันคงที่
c_v	ค่าความจุความร้อนที่ปริมาตรคงที่
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของแฉ่งว่าที่หัวลูกสูบ
F	ค่าของแรงที่อ่านได้จากสเกลขณะทำการทดสอบ
k	c_p / c_v
L	ความยาวของแขนรับแรงบิด
m_{ep}	ความดันเฉลี่ย
m_f	มวลของน้ำมันเชื้อเพลิง
$\dot{m}_f$	อัตราการไหลของมวลน้ำมันเชื้อเพลิง
N	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์
P_0	ความดันบรรยากาศ
P_1	ความดันที่จังหวะดูด
P_2	ความดันที่จังหวะอัด
Q_{2-3}	ค่าความร้อนที่ให้กับระบบ
Q_{4-5}	ค่าความร้อนที่ได้จากระบบ
q_{2-3}	ค่าความร้อนที่ให้ต่อมวล
Q_{LHV}	low heating value of fuel
R	$c_p - c_v$
r	ความยาวของก้านสูบ
r_c	อัตราส่วนการอัด
S	ระยะชัก
SR	swirl ratio
s	ระหว่างแกนเพลาคือเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ
sfc	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์

รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

T_1	อุณหภูมิที่ต้นจังหวะอัด
T_2	อุณหภูมิที่ปลายจังหวะอัด
T_3	อุณหภูมิที่จังหวะระเบิด
T_5	อุณหภูมิต้นจังหวะคาย
U_p	ความเร็วของลูกสูบ
$\overline{U}_p$	ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ
u_t	ความเร็วในแนวเส้นรอบวง
V_c	ปริมาตรของกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน
V_d	ปริมาตรของกระบอกสูบจากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่าง
V_s	ความเร็วของอากาศที่หมุนวนในห้องเผาไหม้
v_1	ปริมาตรของกระบอกสูบที่ศูนย์ตายล่าง
v_2	ปริมาตรกระบอกสูบที่ศูนย์ตายบน
v_3	ปริมาตรที่จังหวะระเบิด
v_5	ปริมาตรของกระบอกสูบที่ศูนย์ตายล่าง
v_6	ปริมาตรของกระบอกสูบที่ศูนย์ตายบน
v_{BDC}	ปริมาตรของกระบอกสูบที่ศูนย์ตายล่าง
v_{TDC}	ปริมาตรของกระบอกสูบที่ศูนย์ตายบน
$\dot{W}$	กำลังงาน
W_C	น้ำหนักที่ใส่เข้าไปเพื่อความสะดวก โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักของแขนรับแรงบิด
w_{1-2}	งานในจังหวะอัด
w_{2-3}	งานในจังหวะระเบิด
w_{5-6}	งานที่ใช้ในจังหวะคาย
w_{6-1}	งานในจังหวะดูด
w_b	งานของเพลาช้อเหวี่ยงใน 1 วัฏจักรดีเซล
w_f	งานที่เกิดจากแรงเสียดทานใน 1 วัฏจักรดีเซล
w_{gross}	งานบ่งชี้รวมขอดีใน 1 วัฏจักรดีเซล
w_i	งานบ่งชี้ใน 1 วัฏจักรดีเซล
w_{net}	$w_{gross} + w_{pump}$
w_{pump}	งานสูบใน 1 วัฏจักรดีเซล

รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

λ	ค่าคงที่
θ	มุมของเพลาค้อเหวี่ยงก่อนลูกสูบจะถึงศูนย์ตายบน
τ	แรงบิดของเครื่องยนต์
ω_s	ความเร็วเชิงมุมของอากาศในแนวระนาบ
η_c	ประสิทธิภาพการเผาไหม้
η_m	ประสิทธิภาพเชิงกล
η_{th}	ประสิทธิภาพทางความร้อน
β	cut-off ratio



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาทางด้านราคาน้ำมัน และต้องนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ จึงทำให้ปัจจัยหลักในการพัฒนาประเทศอาทิเช่น ด้านอุตสาหกรรม ขนส่ง และคมนาคมมีต้นทุนสูงขึ้น ส่งผลให้การขยายตัวทางเศรษฐกิจมีอัตราลดลง สิ่งของ อุปโภค บริโภคได้มีการปรับราคาสินค้าขึ้น แต่รายได้ของประชาชนในประเทศยังเท่าเดิม จึงจำเป็นต้องหาพลังงานชนิดอื่นมาทดแทน ปัจจุบันได้มีมาตรการรณรงค์ประหยัดพลังงานในด้านต่าง ๆ เช่นพลังงานไฟฟ้า และค้นหาพลังงานทดแทน โดยที่พลังงานชนิดนั้นต้องมีราคาต่ำหาได้ง่าย มีประสิทธิภาพและไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ซึ่งประเทศไทยมีความตื่นตัวในเรื่องของพลังงาน และมีการหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันกันอย่างมากมาย อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล (biomass) ไบโอดีเซล (biogas) เป็นต้น

ไบโอดีเซลที่ได้จากพืชเช่น ต้นปาล์ม มะพร้าว และสบู่ดำ เป็นต้น เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจ เนื่องจากประเทศไทยสามารถผลิตได้เอง ทำให้หาง่าย มีราคาต่ำ และสามารถเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมีอื่นใด แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการพัฒนาเครื่องยนต์ที่ใช้กับน้ำมันพืชอย่างจริงจัง อีกทั้งน้ำมันพืชยังมีประสิทธิภาพด้อยกว่าน้ำมันดีเซล จึงทำให้เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้กับน้ำมันพืชมีประสิทธิภาพลดลงจากเดิม จึงไม่เป็นที่แพร่หลายนัก

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวทางในการออกแบบและพัฒนาห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กให้เหมาะสมและสามารถใช้กับน้ำมันพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เพื่อที่สามารถนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม และด้านคมนาคม อีกทั้งยังลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศเป็นการลดต้นทุนการผลิต ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์ได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบในด้านต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเมื่อใช้น้ำมันพืช โดยพิจารณาที่ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหัวลูกสูบ หรือหัวฉีด ภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และนำที่ได้มาวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา

1.2.2 เพื่อออกแบบห้องเผาไหม้ให้สามารถใช้งานได้กับน้ำมันพืชอย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำข้อมูลที่ได้จากข้อที่แล้วมาวิเคราะห์การไหลของอากาศและการกระจายตัวของน้ำมันภายในห้องเผาไหม้ แล้วนำมาพัฒนาและออกแบบห้องเผาไหม้ใหม่

1.2.3 เพื่อหาสมรรถนะในด้านต่างๆของเครื่องยนต์เมื่อผ่านการปรับปรุงแล้ว โดยใช้เครื่องไคนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้าวัดสมรรถนะทั้งหมดของเครื่องยนต์ แล้วนำข้อมูลมาบันทึกผล

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาลักษณะของห้องเผาไหม้ โดยเน้นไปที่ลักษณะของหัวลูกสูบที่มีผลต่อการไหลของอากาศและการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่อง Particle Image Velocimeter (PIV) สังเกตลักษณะการไหลภายในห้องเผาไหม้ และกล้องถ่ายภาพกำลังขยายสูง ที่สามารถถ่ายภาพการกระจายตัวของเชื้อเพลิงเมื่อกระทบกับหัวลูกสูบได้

1.3.2 หาประสิทธิภาพทางความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ โดยทดสอบกับเครื่องไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า (Eddy Current Dynamometer) ซึ่งจะวัดค่าต่าง ๆ แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยเปรียบเทียบกับลักษณะของห้องเผาไหม้แบบเดิมกับแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใหม่

1.3.3 เปรียบเทียบปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ โดยสามารถวัดได้จากเครื่องที่ตรวจสอบปริมาณเขม่าจากการทะลุผ่านของแสง

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลาย ๆ ด้านตั้งแต่ลักษณะหัวลูกสูบที่มีผลต่อการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้และการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ องค์การในการฉีดน้ำมัน

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำได้วางกระบวนการในการดำเนินงานโครงการนี้โดยเริ่มจากการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซล แล้วนำปัญหามาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางแก้ไข จากนั้นสังเกตลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้เมื่อมีการเปลี่ยนหัวลูกสูบในลักษณะต่างๆ และเก็บข้อมูล ทางคณะผู้จัดทำได้ทำเครื่องพีไอวี ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบเฉพาะเพื่อสังเกตการไหลของอากาศได้ทั้งแนวนอน (Swirl) และแนวตั้ง (Tumble) มาใช้ทดสอบในโครงการนี้ด้วย พร้อมกันนั้นทำการสังเกตการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยจะทำการฉีดไปที่หัวลูกสูบเพื่อความสมจริง และนำมาข้อมูลบันทึก จากนั้นนำเครื่องยนต์ดีเซลมาทดสอบด้วยน้ำมันพืช (น้ำมันมะพร้าว) กับเครื่องไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า เพื่อวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ในทางด้าน กำลัง แรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ และอุณหภูมิไอเสีย แล้วนำหัวลูกสูบที่ได้ออกแบบมาประกอบเข้ากับเครื่องยนต์ ทำการทดสอบอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบกับลักษณะหัวลูกสูบแบบเดิม

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

ห้องเผาไหม้ที่ออกแบบใหม่มีประสิทธิภาพดีกว่าห้องเผาไหม้แบบเดิม อีกทั้งยังสามารถช่วยประเทศชาติในเรื่องการประหยัดน้ำมันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้การขยายตัวทางเศรษฐกิจดีขึ้น และไม่ต้องกังวลกับราคาน้ำมันที่กำลังขึ้นลงอยู่ในขณะนี้ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ชนิดนี้

เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถหาพบได้ในประเทศ อีกทั้งเป็นการริเริ่มให้นักวิจัยมาพัฒนาเครื่องยนต์มากขึ้นอีกด้วย

1.6 บทความเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้อง

1. Higelin P., "The use of sunflower oil as Diesel fuel for DI engines", Orleans university, 1992 ศึกษาผลกระทบของการติดฉนวนที่หัวลูกสูบให้อุณหภูมิผนังของห้องเผาไหม้สูงขึ้น เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของน้ำมันพืช และลดเขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากการทดลองในเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบ 4 สูบห้องเผาไหม้ตรง พบว่าเมื่อมีการติดฉนวนที่หัวลูกสูบแล้ว ทำให้ห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิของห้องเผาไหม้เกิน 500°C สำหรับห้องเผาไหม้ตรง จะทำให้ปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ลดลง สำหรับห้องเผาไหม้ช่วยที่มีอุณหภูมิสูงอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องติดฉนวนที่หัวลูกสูบ

2. E.M.Elshenawy, "Insights from Particle Image Velocimetry Measurements", Tanta University. งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับกระแสการไหลภายในห้องเผาไหม้ซึ่งมีผลต่อการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศซึ่งเปลี่ยนแปลงลักษณะหัวลูกสูบโดยใช้ Swirl Ratio และ Tumble Ratio เป็นตัวเปรียบเทียบ ดังนั้นผู้วิจัยได้มีวิธีการสังเกตโดยใช้เครื่องมือจำลองสังเกตกระแสการไหลภายในกระบอกสูบ คือ Particle Image Velocimeter (PIV) โดยวิธี PIV นั้นสามารถตรวจวัดการเคลื่อนที่จากอากาศโดยใช้อนุภาค (Particle) ผสมกับอากาศในท่อร่วมไอดี ไปกระทบกับแผ่นเลเซอร์ (Laser Light Sheet) ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงเลเซอร์จนกลายเป็นจุด ผลที่ได้ คือ Swirl Ratio ลดลงเมื่อ Bowl กว้างขึ้นและตื้นขึ้น แต่ Tumble Ratio เพิ่มขึ้น และ Swirl Ratio เพิ่มขึ้นเมื่อ อัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้น

3. Herchel Thaddeus C. and Yutaka Matsumoto, "The effect of coconut oil and diesel fuel blends on diesel engine performance and exhaust emission", Gunma University, 2001 งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้น้ำมันมะพร้าวที่เป็นน้ำมันทางเลือกและน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับดีเซลถูกทดสอบโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งกระบอกสูบและเป็นแบบการฉีดตรงเข้าห้องเผาไหม้ (Direct-Injection) การสังเกตลักษณะของการกระจายของน้ำมันนั้นผู้วิจัยได้ทำให้อยู่ในรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่เป็นละอองน้ำมัน (Mean Droplet Diameter) โดยใช้เครื่องแอนนาโมมิเตอร์สำหรับวัดละอองน้ำมัน (Doppler Anemometer) การทดสอบเครื่องยนต์กับน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และน้ำมันมะพร้าวผสมกับดีเซลโดยไม่มีการปรับปรุงเครื่องยนต์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า น้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ให้เขม่าและ NO_x ที่น้อยกว่า

4. Yoshihiro H. and Kiyomi N., "Smoke Reduction methods using shallow-dish combustion chamber in an HSDI Common-Rail Diesel Engine", Toyota R&D, Japan, 2002 งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการลดลงของควันเขม่า โดยใช้ห้องเผาไหม้แบบจานตื้น (Shallow-dish) เมื่อ

เปรียบเทียบกับหลุมลึก (Deep-Bowl) โดยใช้การจำลองในเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำหัวลูกสูบทั้งหมดไปทดสอบในเครื่องยนต์จริง ผลที่ได้คือ หัวแบบจานตื้น(Shallow-Dish)มีควันเขม่าและ NO_x น้อยกว่าหัวลูกสูบแบบหลุมลึก(Deep-Bowl)

5. 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 UEDA และคณะ ได้ศึกษาถึงสนามการไหลเฉลี่ย 25 วัฏจักรโดยการถ่ายภาพจากด้านล่างของลูกสูบโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลระบบ DI ที่มีลูกสูบแบบไฮ ถ่ายภาพด้วยวิธี PIV โดยการทดลองมีการเปลี่ยนท่อไอดีเป็นแบบที่ทำให้เกิด การไหลวนแบบ 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 เปรียบเทียบสนามการไหล ผลการวิจัยเปรียบเทียบสนามการไหลในห้องเผาไหม้แบบที่ใช้ท่อไอดีที่ทำให้เกิด Swirl จะให้การไหลในห้องเผาไหม้เร็วกว่าแบบที่ใช้ท่อไอดีที่ไม่เกิด Swirl และลักษณะของสนามการไหลของแบบที่ทำให้เกิด Swirl จะมีสภาวะที่ใกล้เคียงกันทั้ง 25 วัฏจักร ในขณะที่แบบที่ไม่เกิด Swirl สภาวะภายในห้องเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ

6. C.-W. Hong and S.-D. Tarng. 2001. "In-Cylinder Tumble Flow Field Measurements and Predictions." ASME paper Vol. 123, pp139-145 C.-W. Hong และ S.-D. Tang ได้เปรียบเทียบผลของการไหลในกระบอกสูบโดยการไหลผ่านวาล์วไอดี ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจการไหลภายในกระบอกสูบได้ โดยทำนายการไหลภายในกระบอกสูบด้วยโปรแกรม KIVA3V ซึ่งสามารถทำนายการเคลื่อนไหวยของการไหลได้ นำมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ 4 จังหวะโดยนำเอา Acrylic Plastic มาทำเป็นกระบอกสูบ เพื่อจะทำให้มองเห็นการไหล และการเคลื่อนที่ของลูกสูบ การศึกษาการไหลโดยใช้ Laser Doppler Velocimeter (LDV) จับภาพจุดต่อจุด และใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณหาการไหลในกระบอกสูบ การเปรียบเทียบจะทำการเปรียบเทียบ ความเร็ว, ความรุนแรงของการไหลแบบปั่นป่วน, อัตราส่วนการไหลวน, อัตราการหมุนวนและการกระจายของการหมุนวน ผลการวิจัยแสดงการเปรียบเทียบการไหลในรูปแบบเวกเตอร์ที่ระยะบนแนวนอนต่ำกว่า TDC 10 mm, 20 mm, 40 mm. และ 60 mm. จากผลการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลใกล้เคียงกันโดยการทดลองจะมีการไหลได้วาล์วไอดีน้อยกว่าการใช้โปรแกรมเล็กน้อย และมีความคล้ายคลึงกันในการเปรียบเทียบโดยเส้น Streamlines ในแนวตั้งที่กลางกระบอกสูบ ทั้งสองวิธีสามารถวัดสนามการไหลภายในกระบอกสูบได้ทั้งวิธี LDV และ การทำนายการไหลด้วยโปรแกรม จึงสามารถนำไปเป็นเครื่องมือในการออกแบบเครื่องยนต์ในเบื้องต้นได้

7. 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 M Reeves และคณะ ได้นำวิธี PIV มาใช้ในการศึกษาการก่อตัว และการ breakdown ของ barrel swirl ภายในเครื่องยนต์ SI ที่สามารถมองเห็นภายในได้แบบ 4 สูบ 4 วาล์วขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ สามารถแปรผันท่อไอดีให้เกิดการไหลวนแบบ Barrel Swirl Ratio (BSR) ได้โดยใช้ port face inducer gasket ซึ่งในงานวิจัยแสดงภาพทั้งในแนวขนาน และตั้งฉากกับแกนของกระบอกสูบที่ crank angle ที่สนใจในช่วง induction และ compression stroke ที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ 1000 rpm โดยเปิด throttle กว้างสุด ทั้งในกรณีที่ BSR สูงและต่ำ ภาพที่บันทึกได้จะถูกนำมาปรับแก้ ซึ่งจะได้เป็นผังความเร็วในสองมิติ ทั้งในกรณีที่ BSR สูงและต่ำ barrel หรือ tumbling vortex จะเกิดขึ้นในช่วง induction และจะยังคงอยู่ในช่วง compression stroke รายละเอียดของการก่อตัวในช่วง induction และการเปลี่ยนแปลงในช่วง compression จะแตกต่างกันมาก ในทั้งสองกรณี โดยความแตกต่างนี้สามารถอธิบายได้เป็นสองลักษณะ คือในช่วง induction ความแรง vorticity จะไม่เท่ากัน และ large-scale swirl และ local flow field ที่ถูกสร้างขึ้นโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบใน compression stroke ในกรณีที่ BSR ต่ำ การแพร่กระจายของการไหล จะเกิดจาก large-scale motion ซึ่งมี mean velocity ที่ต่ำกว่า ในขณะที่ กรณีของ BSR สูง จะเกิด vertical vortex ที่มีความเร็วสูง ซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้นไปในส่วนบนของห้องเผาไหม้ และจะยังอยู่จนกระทั่งตำแหน่ง 40 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

8. 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 Mario Amelio และคณะ ได้ใช้วิธี LDV ภายในห้องเผาไหม้แบบ Disk ของเครื่องยนต์ Reciprocating แบบ 4 จังหวะ โดยจะทำการบันทึกความเร็วใน 2 แกนอย่างไม่พร้อมกัน ที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน 3 ตำแหน่ง บนระนาบที่อยู่กึ่งกลาง TDC clearance ในช่วง Intake และ Compression stroke ที่ความเร็วต่าง ๆ กัน 3 ค่า (600, 800 และ 1000 rpm) แต่ละตำแหน่งที่วัดจะพิจารณาที่เงื่อนไขการไหลที่แตกต่างกัน (ใกล้กับ intake valve ที่แกนของกระบอกสูบ และใกล้กับ Exhaust valve) จากการพิจารณาที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์หลาย ๆ ค่า และตำแหน่งภายในห้องเผาไหม้หลาย ๆ ตำแหน่ง ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมโดยรวมของการไหล และรายละเอียดของการไหลแบบปั่นป่วนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ การหา frequency ที่จะนำพิจารณาจำแนกการไหลแบบปั่นป่วนที่แท้จริงออกจากการเปลี่ยนแปลงของการไหลเฉลี่ยในแต่ละรอบ และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ frequency ที่ตำแหน่งการวัด และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยการวิเคราะห์จะอาศัยวิธีที่แตกต่างกัน: non-stationary velocity autocorrelation

function, power spectrum และ cycle-resolved analysis based on the frequency filter ซึ่งในแต่ละวิธีให้ผลที่เหมือนกัน จากผลการทดลองพบว่า cut-off frequency จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และเมื่อตำแหน่งที่วัดอยู่ห่างจากลำการไหลที่ออกจาก intake valve



บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่าต่าง ๆ ในการทำงานของเครื่องยนต์

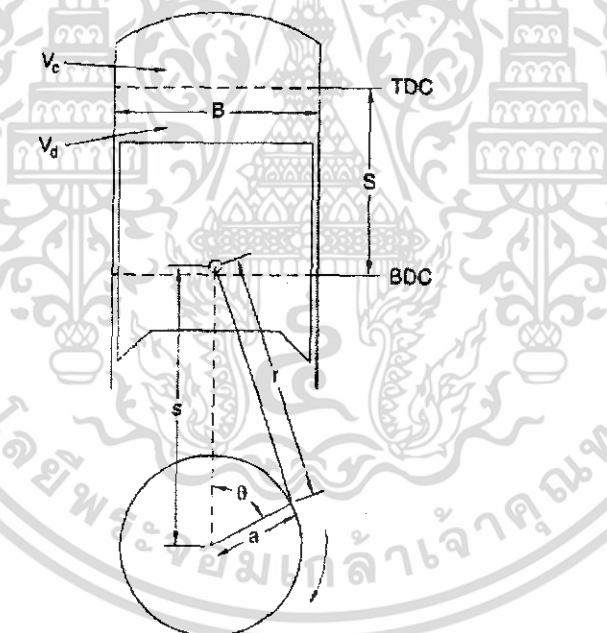
2.1.1 ตัวแปรของเครื่องยนต์

สำหรับเครื่องยนต์เครื่องหนึ่ง ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ B ดังรูปที่ 2.1 ระยะข้อเหวี่ยง a ระยะชัก S และทำงานที่ความเร็วรอบ N

$$S = 2a \quad (2.1)$$

ความเร็วของลูกสูบเฉลี่ย

$$\bar{U}_p = 2SN \quad (2.2)$$



รูปที่ 2-1 แสดงความสัมพันธ์ตัวแปรต่าง ๆ ของลูกสูบและกระบอกสูบ

ความเร็วลูกสูบเฉลี่ยของเครื่องยนต์โดยทั่วไป มีค่าประมาณ 5 ถึง 15 เมตร/วินาที โดยเครื่องยนต์ชนิดดีเซลขนาดใหญ่จะมีค่า $\bar{U}_p$ ต่ำ ส่วนเครื่องยนต์สมรรถนะสูงจะมีค่า $\bar{U}_p$ สูง ซึ่งมีเหตุผล 2 ประการที่ทำให้ค่าของ $\bar{U}_p$ ถูกจำกัดอยู่ในระดับนี้ เนื่องจาก

ประการที่ 1 คือ การถูกจำกัดโดยความแข็งของวัสดุ ทูกรอบที่เครื่องยนต์มีการทำงานลูกสูบ จะถูกเร่งความเร็วจากสภาพหยุดนิ่ง เป็นจำนวนถึง 2 ครั้ง คือ ศูนย์ตายบน (Top Dead Center) และ ศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center) ถ้าสมมติที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์จะหมุนหนึ่งรอบในเวลาเพียง 0.02 วินาที หากเครื่องยนต์หมุนเร็วเกินไปอาจทำให้เกิดการชำรุดที่ลูกสูบและก้านสูบได้ อันเนื่องมาจากความเร่งหรือความหน่วง จากสมการที่ (2.2) จะเห็นได้ว่าความเร็วของลูกสูบจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และขนาดของเครื่องยนต์อีกด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเครื่องยนต์จะแปรผกผันกับขนาดของเครื่องยนต์ เพราะฉะนั้นเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะทำงานในความเร็วรอบที่ต่ำ ในขณะที่เครื่องยนต์ขนาดเล็กจะทำงานที่ความเร็วรอบสูง

ประการที่ 2 คือ การไหลเข้าและออกของก๊าซจากกระบอกสูบ เนื่องจากความเร็วลูกสูบเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของไอค้ำสู่กระบอกสูบในจังหวะดูด และอัตราการไหลของไอเสียออกจากกระบอกสูบในจังหวะคาย หากความเร็วของลูกสูบเพิ่มขึ้น เราจะต้องขยายขนาดลิ้นตามไปด้วย

เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ มีขนาดอยู่ในช่วง 0.5 เมตร ถึง 0.5 เซนติเมตร อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบต่อระยะชัก (B/S) เครื่องยนต์ขนาดเล็ก มีค่าประมาณ 0.8 ถึง 1.2 เครื่องยนต์ที่มีค่า $B=S$ เราเรียกว่า Square เครื่องยนต์ที่มีระยะชักยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ เราเรียกว่า Under Square ส่วนเครื่องยนต์ที่มีระยะชักสั้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ เราเรียกว่า Over Square เครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่มาก จะเป็นเครื่องยนต์ Under Square เสมอ โดยอาจจะมีระยะชักได้ถึง 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ ระยะ s ระหว่างแกนเพลาคือเหวี่ยงและแกนสลักลูกสูบ มีค่าดังนี้

$$s = a \cos \theta + \sqrt{r^2 - a^2 \sin^2 \theta} \quad (2.3)$$

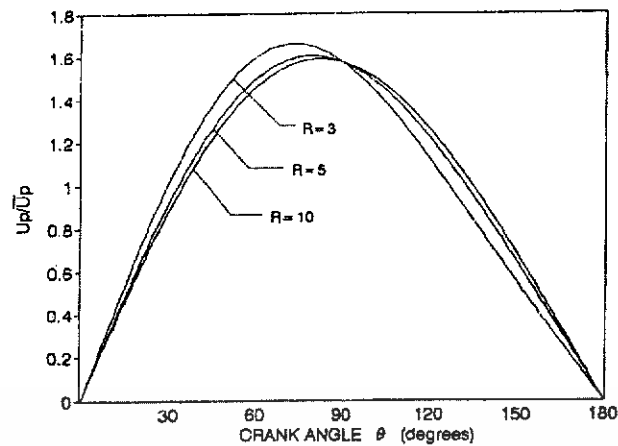
เมื่อสามารถหาค่าอนุพันธ์ของ S อันเนื่องมาจากเวลาจะได้ความเร็วของลูกสูบ $\bar{U}_p$

$$U_p = \frac{ds}{dt} \quad (2.4)$$

และได้อัตราส่วนความเร็วลูกสูบ (U_p) ต่อความเร็วเฉลี่ยลูกสูบ ($\bar{U}_p$)

$$\frac{U_p}{\bar{U}_p} = \left(\frac{\pi}{2} \right) \sin \theta \left[1 + \left(\frac{\cos \theta}{\sqrt{R^2 - \sin^2 \theta}} \right) \right] \quad (2.5)$$

โดยมี $R=r/a$ มีค่าประมาณ 3 ถึง 4 สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก และ 5 ถึง 10 สำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 กราฟความเร็วต่อความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ บนมุมของเพลาค้อเหวี่ยง

ความจุกระบอกสูบ V_d คือ ปริมาตรส่วนที่ถูกลูกสูบแทนที่ขณะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างไปถึงศูนย์ตายบน

$$V_d = V_{BDC} - V_{TDC} \quad (2.6)$$

ปริมาณที่เคลื่อนที่ในกระบอกสูบ (V_d) สำหรับลูกสูบเดี่ยว คือ

$$V_d = \frac{\pi}{4} B^2 S \quad (2.7)$$

หรือสำหรับเครื่องยนต์ที่มี N_c ลูกสูบ

$$V_d = N_c \frac{\pi}{4} B^2 S \quad (2.8)$$

กรณีที่กำหนดปริมาตร (V_d) ของเครื่องยนต์ตายตัว เครื่องยนต์แบบ Undersquare จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กจึงทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนในห้องเผาไหม้สูง อย่างไรก็ตาม ระยะเวลา (Stroke) ยาวจะส่งผลให้ความเร็วและแรงเสียดทานของลูกสูบสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้กำลังที่ถูกนำไปใช้งานโดยเพลาค้อเหวี่ยงลดลง ถ้าเป็นเครื่องยนต์แบบ Oversquare การสูญเสียพลังงานจากแรงเสียดทานก็จะลดลง แต่การสูญเสียพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นในเครื่องยนต์ที่มีสมรรถนะสูงจึงมีการออกแบบเครื่องยนต์เป็นแบบ Square เนื่องจากสัดส่วนที่พอเหมาะคือ กำลังของเครื่องยนต์ไม่ลดลงมากและไม่สูญเสียพลังงานความร้อนมากเกินไป โดยผู้ผลิตอาจจะคำนึงทางด้านเทคนิคในการออกแบบซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้กระบอกสูบไม่เท่ากับระยะชัก ($B \neq S$)

ปริมาตรในห้องเผาไหม้ มีค่าน้อยที่สุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน เราเรียกปริมาตรนี้ว่า ปริมาตรอัด (Clearance Volume, V_c)

$$V_{TDC} = V_c \quad (2.9)$$

$$V_{BDC} = V_d + V_c \quad (2.10)$$

อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ มีค่าดังนี้

$$r_c = \frac{V_{BDC}}{V_{TDC}} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (2.11)$$

สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าอัตราส่วนการอัดอยู่ระหว่าง 12 ถึง 24

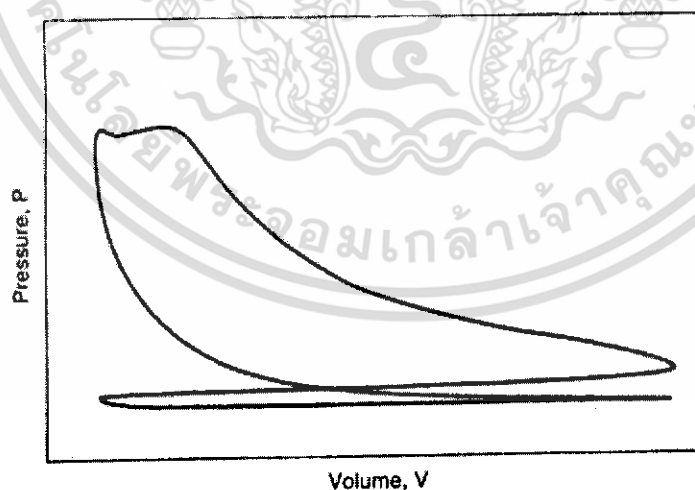
2.1.2 งาน (Work)

งาน คือการให้พลังงานของเครื่องยนต์ความร้อน งานในเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบ ชักหรือลูกสูบที่เคลื่อนที่สลับทิศ ก็คืองานที่เกิดจากการขยายตัวของก๊าซในห้องเผาไหม้ งานคือผลของแรงกระทำผ่านระยะทาง แรงกระทำซึ่งเกิดจากความดันที่กระทำต่อลูกสูบที่กำลังเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดงานสันดาปภายใน

$$W = \int F dx = \int P A_p dx \quad (2.12)$$

โดยที่ $A_p dx = dV$ เพราะฉะนั้นจะได้สมการ

$$W = \int P dV \quad (2.13)$$



รูปที่ 2-3 กราฟ P-V ของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

จากรูปที่ 2-3 แสดงวัฏจักรของเครื่องยนต์ด้วยกราฟ P-V ซึ่งเรียกว่า "Indicator Diagram"

เครื่องยนต์ส่วนใหญ่ มีจำนวนกระบอกสูบมากกว่าหนึ่งสูบ จึงเป็นการง่ายกว่า หากเราวิเคราะห์วัฏจักรของเครื่องยนต์ต่อหน่วยมวลของก๊าซ m ภายในกระบอกสูบ โดยการใช้ปริมาตรสัมผัส v แทนปริมาตร V และงานสัมผัส w แทนงาน W เพราะฉะนั้นจะได้

$$w = \int P dv \quad (2.14)$$

งานสัมผัส w จึงเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟ $P-V$ ของเครื่องยนต์ ถ้า P เป็นค่าความดันในห้องเผาไหม้จากสมการที่ (2.14) และพื้นที่ในกราฟของรูปที่ 2-3 จึงเป็นงานในห้องเผาไหม้ เราเรียกงานนี้ว่า งานบ่งชี้ (Indicated Work) ส่วนงานที่ได้จากเพลาคือจะน้อยกว่างานบ่งชี้เสมอ เนื่องจากถูกหักล้างด้วยแรงเสียดทานของกลไกและโหลดพวงเช่น แหวน-กระบอกสูบ , ลูกสูบ-Pin , Pin-Connecting Rod , ป้อนน้ำมันเครื่อง เป็นต้น เราเรียกงานที่เครื่องยนต์ให้กับเพลาคือเพลาคือ (Brake Work , w_b) เพราะฉะนั้นจะได้สมการดังนี้

$$w_b = w_i - w_f \quad (2.15)$$

พื้นที่ในช่วงบนของกราฟวัฏจักรเครื่องยนต์ดังรูปที่ 2-3 คืองานที่เกิดจากจังหวะอัดและจังหวะให้กำลังโดยประกอบด้วยพื้นที่ A และ C เราเรียกงานนี้ว่า งานบ่งชี้รวมยอด (Gross Indicated Work , w_{gross}) พื้นที่ในช่วงล่าง คืองานที่เกิดจากจังหวะการดูดไอดีและคายไอเสีย เป็นงานที่เครื่องยนต์ใช้ไปโดยประกอบด้วยพื้นที่ B และ D เราเรียกงานนี้ว่า งานสูบ (Pump Work , w_{pump}) เพราะฉะนั้นงานบ่งชี้สุทธิ (Net Indicated Work , w_{net}) คือ

$$w_{net} = w_{gross} - w_{pump} \quad (2.16)$$

ส่วนประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical Efficiency , η_m) คืออัตราส่วนระหว่างงานของเพลาคือเพลาคือต่องานบ่งชี้ในห้องเผาไหม้

$$\eta_m = \frac{w_b}{w_i} = \frac{W_b}{W_i} \quad (2.17)$$

โดยทั่วไปประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องยนต์ในปัจจุบันนี้มีค่าประมาณร้อยละ 75 ถึง 95 เมื่อวัดที่ความเร็วรอบสูงและลิ้นผีเสื้อเปิดกว้างสุด

2.1.3 ความดันเฉลี่ย (Mean Effective Pressure)

ในรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ มีค่าแปรเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องในวัฏจักร เราจึงให้ค่าจำกัดความความดันผลเฉลี่ย (mep) ดังนี้

$$w = (mep)\Delta v \quad (2.18)$$

โดยที่ $\Delta v = V_d = v_{BDC} - v_{TDC}$ จะได้สมการ

$$mep = \frac{w}{\Delta v} = \frac{W}{V_d} \quad (2.19)$$

ความดันผลเฉลี่ย (mep) เป็นตัวแปรที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบเครื่องยนต์โดยพิจารณาแรงบิด(Torque) โดยเราสามารถให้คำจำกัดความของความดันผลเฉลี่ยได้หลายแบบ โดยใช้สมการ เช่น ถ้าใช้งานเพลานในสมการนี้ เราก็จะได้ ความดันผลเฉลี่ยเพลา(Brake mean effective pressure) ดังนี้

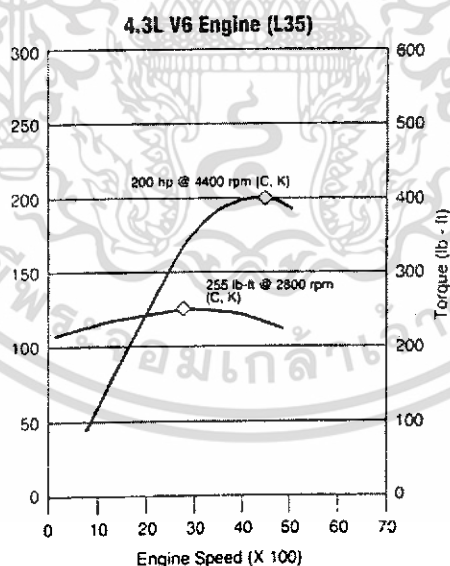
$$bmep = \frac{W_b}{\Delta v} \quad (2.20)$$

2.1.4 แรงบิดและกำลัง(Torque and Power)

แรงบิด (Torque, τ) คือค่าบ่งชี้ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ เป็นผลของแรงที่กระทำกับค่าความยาวแขนหมุน อีกทั้งแรงบิด(Torque, τ)ยังมีความสัมพันธ์กับงานดังนี้

$$2\pi\tau = W_b = (bmep) \times V_d / n \quad (2.21)$$

จากสมการที่ (2.21) เราจะใช้ความดันผลเฉลี่ยของเพลา (bmep) และงานเพลา (W_b) เนื่องจากสามารถวัดแรงบิดที่เพลาช้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ได้



รูปที่ 2-4 กราฟแสดงลักษณะแรงบิดและกำลังบนความเร็วรอบของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ในปัจจุบันมีค่าแรงบิดสูงสุดประมาณ 200 ถึง 300 N-m ที่ความเร็วรอบประมาณ 4,000 ถึง 6,000 รอบต่อนาที เราเรียกตำแหน่งที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดว่า ความเร็วรอบแรงบิดสูงสุด (Maximum Brake Torque Speed, MBT) ส่วนเป้าหมายในการออกแบบเครื่องยนต์ใน

ปัจจุบัน คือการทำให้กราฟแรงบิดเป็นเส้นราบ และมีค่าสูงทั้งช่วงความเร็วรอบสูงและความเร็วรอบต่ำ โดยเครื่องยนต์ดีเซลมักมีแรงบิดสูงกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีนในขนาดเดียวกัน

กำลัง (Power) คือ อัตรางานต่อหน่วยเวลาของเครื่องยนต์ ถ้าให้ n = จำนวนรอบต่อหนึ่งวัฏจักร และ N = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เราจะได้

$$\dot{W} = WN/n \quad (2.22)$$

$$\dot{W} = 2\pi N\tau \quad (2.23)$$

$$\dot{W} = (mep)A_p\bar{U}_p/4 \quad (2.24)$$

แรงบิดและกำลังเป็นฟังก์ชันของความเร็วรอบ ที่รอบต่ำแรงบิดจะเพิ่มเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น จนถึงจุดสูงสุด และหลังจากนั้นแรงบิดก็จะลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2-5 เพราะเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น อดีที่เข้าห้องเผาไหม้จะลดลง เนื่องมาจากช่วงเวลาในการเปิดลิ้นไอดีสั้นลง

กำลังบ่งชี้ (Indicated Power) เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ส่วนกำลังเพลลา (Brake Power) จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบจนถึงค่าสูงสุด แล้วลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากถูกหักล้างด้วยแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ

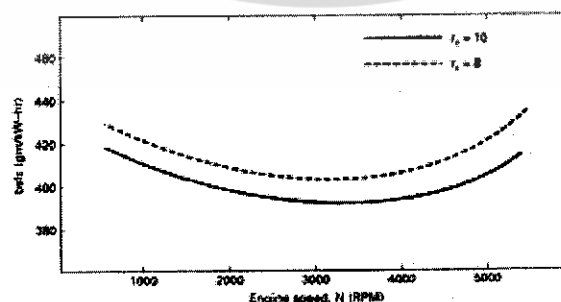
2.1.5 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ (specific fuel consumption)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ ดังนี้

$$sfc = \dot{m}_f / \dot{W} \quad (2.25)$$

หากใช้กำลังเพลลาในการคำนวณ เราจะได้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลลา (brake specific fuel consumption)

$$bsfc = \dot{m}_f / \dot{W}_b \quad (2.26)$$



รูปที่ 2-5 กราฟแสดงลักษณะการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ในแต่ละความเร็วรอบ

ที่ความเร็วรอบต่ำ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เพลาลงเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงค่าต่ำที่สุด แล้วจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงความเร็วรอบสูง เนื่องจากจะต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงไปชดเชยกับแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์ ซึ่งเพิ่มขึ้นตามความเร็ว ส่วนที่ความเร็วต่ำความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะสูงเพราะ

1. การทำงานต่อหนึ่งวัฏจักรใช้เวลานาน ทำให้สูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังกระบอกสูบและผนังห้องเผาไหม้
2. การออกแบบลูกเบี้ยว (camshaft) ซึ่งเน้นแรงบิดที่ความเร็วปานกลาง และกำลังที่ความเร็วสูง ทำให้การประจุไอดีและการคายไอดีที่ความเร็วต่ำ ไม่เหมาะสมเท่าที่ควร
3. หากวัดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วต่ำขณะที่ลิ้นผีเสื้อเปิดเพียงเล็กน้อย จะได้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงมาก เพราะเครื่องยนต์สูญเสียพลังงานไปในรูปของงานสูบ

2.2 วัฏจักรดีเซล

ในสมัยก่อนเครื่องยนต์ดีเซล เชื้อเพลิงจะถูกฉีดล่าช้ามาก คือในช่วงสุดท้ายของจังหวะอัดดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2-3 จากการที่ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการฉีดเชื้อเพลิงและการลุกไหม้ที่เกิดขึ้นค่อนข้างล่าช้า ทำให้การเผาไหม้ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นในจังหวะทำงานและตำแหน่งความดันสูงสุดอยู่เลยศูนย์กลางบน (Top Dead Center) ไปเล็กน้อยจึงเหมาะที่จะอนุโลมให้การสันดาปของเครื่องยนต์แบบนี้ เป็นการรับพลังงานความร้อนแบบความดันคงที่ในวัฏจักรอากาศมาตรฐานตามวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซลในรูปที่ 2-7 ซึ่งมีส่วนอื่นเหมือนกับ วัฏจักรออตโต โดยเราสามารถเรียกวัฏจักรดีเซลได้อีกแบบหนึ่งว่า วัฏจักรความดันคงที่ (Constant-Pressure Cycle)

ในการพิจารณาวัฏจักรการทำงานที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบของเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น มีความสลับซับซ้อนเป็นอย่างมาก เช่นอากาศจะถูกผสมกับไอดีที่ตกค้างจากวัฏจักรก่อนหน้านี้เนื่องจากในจังหวะการเปิดวาล์วไอดี ไอดีพร้อมกัน (Overlap) แล้วจึงถูกอัดเป็นไอดีซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และไนโตรเจน เป็นส่วนใหญ่และก๊าซอื่น ๆ อีกหลายประเภทเป็นส่วนน้อย และเมื่อสิ้นสุดจังหวะระเบิด ลิ้นไอดีก็จะเปิดให้ก๊าซต่าง ๆ เหล่านี้ออกสู่ภายนอก จึงเป็นวัฏจักรเปิดที่มีการเปลี่ยนแปลง ยกเว้นการวิเคราะห์ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายแก่การวิเคราะห์ เราจึงอนุโลมให้ใช้วัฏจักรแบบอุดมคติแทนวัฏจักรจริง ซึ่งมีความแตกต่างดังนี้

1. เราพิจารณาก๊าซต่าง ๆ ในกระบอกสูบเสมือนเป็นอากาศและจากนั้นใช้คุณสมบัติของอากาศเป็นตัววิเคราะห์ ซึ่งใช้งานได้ดีในครั้งแรกของวัฏจักร โดยให้ก๊าซในกระบอกสูบยังเป็นอากาศเกือบทั้งหมดผสมกับไอดีของเชื้อเพลิงไม่เกินร้อยละ 7 เท่านั้น แม้ในครั้งหลังของวัฏจักรซึ่งประกอบไปด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และไนโตรเจน ก็ยังสามารถใช้คุณสมบัติของอากาศในการวิเคราะห์ได้โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่มากนัก อากาศจะถูกใช้ในการคำนวณเสมือนเป็นก๊าซอุดมคติที่มีค่าความร้อนจำเพาะคงที่

2. วัฏจักรเปิดในความจริงจะถูกอนุโลมให้เป็นวัฏจักรปิด โดยป้อนไอเสียกลับสู่ระบบไอดี ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น โดยให้ไอดีและไอเสียเป็นอากาศในวัฏจักรแบบอุดมคติ

3. ขั้นตอนการสันดาป จะถูกทดแทนโดยการป้อนพลังงานความร้อน (Q_{in}) ค่าเท่ากัน เพราะอากาศเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้เกิดการสันดาปได้

4. กระบวนการคายไอเสีย ซึ่งเป็นการพาเอนธาลปีออกจากระบบ จะถูกทดแทนโดยการปล่อยพลังงานความร้อน (Q_{out}) ออกจากระบบปิด

5. กระบวนการจริงของเครื่องยนต์ จะถูกพิจารณาให้เป็นกระบวนการแบบอุดมคติดังนี้

- จังหวะดูดและจังหวะคาย ซึ่งมีความดันค่อนข้างคงที่ อนุโลมให้มีความดันคงที่ ในช่วงที่ลิ้นผีเสื้อเปิดกว้าง สมมติให้ความดันในจังหวะดูดเท่ากับความดันบรรยากาศ ส่วนในช่วงลิ้นปีกผีเสื้อเปิดแคบ หรือใช้อุปกรณ์ช่วยประจุไอดี ความดันจะมีค่าแตกต่างออกไป แต่เป็นค่าคงที่ ส่วนจังหวะคายไอเสีย อนุโลมให้ความดันคงที่และเท่ากับความดันบรรยากาศ

- พิจารณาให้จังหวะอัดและจังหวะระเบิดเป็นกระบวนการแบบไอเซนโทรพิก ซึ่งเป็นการทำงานแบบอะไดแบติกและย้อนกลับได้ ไม่มีการสูญเสียความร้อนออกนอกระบบแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบมีน้อยมากจนมีค่าเท่ากับศูนย์

แรงเสียดทานจากการไหลของก๊าซในกระบอกสูบ ก็มีค่าน้อยมากเช่นเดียวกัน จึงทำให้การถ่ายเทความร้อน ในแต่ละจังหวะก็น้อยมากเนื่องจากเกิดขึ้นในเวลาที่ยาวนาน ดังนั้น กระบวนการอะไดแบติกจึงให้ค่าเท่ากับกระบวนการแบบไอเซนโทรพิก

- ให้กระบวนการสันดาปแบบวัฏจักรดีเซล เป็นกระบวนการความดันคงที่
- อนุโลมให้การระบายไอเสีย เป็นกระบวนการปริมาตรคงที่
- อนุโลมให้ทุกกระบวนการ เป็นแบบย้อนกลับได้ (Reversible)

สำหรับการวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์ ความร้อนจำเพาะของอากาศเป็นค่าคงที่โดยมีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อุณหภูมิที่สูงและแปรเปลี่ยนอย่างมากในหนึ่งวัฏจักร ทำให้ค่าความร้อนจำเพาะและอัตราส่วนความร้อนจำเพาะและอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ k เปลี่ยนแปลงได้พอสมควร ที่อุณหภูมิต่ำในจังหวะดูดและเริ่มจังหวะอัด ค่า $k = 1.4$ เป็นค่าที่ถูกต้อง แต่ที่อุณหภูมิสูง เช่น ในช่วงปลายการสันดาป ค่า $k = 1.3$ จะให้ความแม่นยำมากกว่า การใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างสภาวะทั้งสอง จึงให้ผลดีกว่าค่าสภาวะมาตรฐาน (25 องศาเซลเซียส) ที่นิยมใช้กัน การวิเคราะห์จังหวะการทำงานและจังหวะคายไอเสีย มีค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

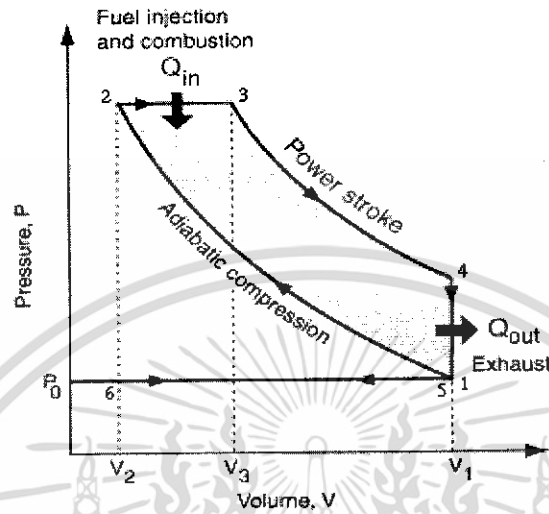
$$c_p = 1.108 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$c_v = 0.821 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$k = c_p / c_v = 1.108 / 0.821 = 1.35$$

$$R = c_p - c_v = 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

การวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์ของวัฏจักรดีเซลอากาศมาตรฐาน (Thermodynamic Analysis of Air-Standard Diesel Cycle)



รูปที่ 2-6 วัฏจักรดีเซล

กระบวนการ 6-1 ดูดอากาศความดันคงที่ ลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียปิด

$$w_{6-1} = P_0(v_1 - v_6) \quad (2.27)$$

กระบวนการ 1-2 จังหวะอัดแบบไอเซนโทรพิก (Isentropic) ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียปิด

$$T_2 = T_1(v_1/v_2)^{k-1} = T_1(V_1/V_2)^k = T_1(r_c)^{k-1} \quad (2.28)$$

$$P_2 = P_1(v_1/v_2)^k = P_1(V_1/V_2)^k = P_1(r_c)^k \quad (2.29)$$

$$V_2 = V_{TDC} \quad (2.30)$$

$$q_{1-2} = 0 \quad (2.31)$$

$$w_{1-2} = (P_2v_2 - P_1v_1)/(1-k) = R(T_2 - T_1)/(1-k) \quad (2.32)$$

$$= (u_1 - u_2) = c_v(T_1 - T_2)$$

กระบวนการ 2-3 รับพลังงานความร้อน(การสันดาป)แบบความดันคงที่ ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียปิด

$$Q_{2-3} = Q_{in} = m_f Q_{LHV} \eta_c = m_m c_p (T_3 - T_2) = (m_a + m_f) c_p (T_3 - T_2) \quad (2.33)$$

$$Q_{LHV} \eta_c = (AF + 1) c_p (T_3 - T_1) \quad (2.34)$$

$$q_{2-3} = q_m = c_p(T_3 - T_2) = h_3 - h_2 \quad (2.35)$$

$$w_{2-3} = q_{2-3} - (u_3 - u_2) = P_2(v_3 - v_2) \quad (2.36)$$

$$T_3 = T_{\max} \quad (2.37)$$

กระบวนการ 3-4 จังหวะทำงานหรือจังหวะให้กำลังแบบไอเซนโทรพิก (Isentropic) ลินไอดีและไอเสียปิด

$$q_{3-4} = 0 \quad (2.38)$$

$$T_4 = T_3(v_3/v_4)^{k-1} = T_3(V_3/V_4)^{k-1} \quad (2.39)$$

$$P_4 = P_3(v_3/v_4)^k = P_3(V_3/V_4)^k \quad (2.40)$$

$$w_{3-4} = (P_4v_4 - P_3v_3)/(1-k) = R(T_4 - T_3)/(1-k) \quad (2.41)$$

$$= (u_3 - u_4) = c_v(T_3 - T_4)$$

กระบวนการ 4-5 การคายพลังงานความร้อนแบบปริมาตรคงที่ (ระบายไอเสีย) ลินไอเสียเปิด ลินไอดีปิด

$$v_5 = v_4 = v_1 = v_{BDC} \quad (2.42)$$

$$w_{4-5} = 0 \quad (2.43)$$

$$Q_{out} = Q_{4-5} = Q_{4-1} = m_m c_v(T_5 - T_4) = (U_5 - U_4) = m_m c_v(T_1 - T_4) \quad (2.44)$$

$$q_{out} = c_v(T_5 - T_1) = u_5 - u_4 = c_v(T_1 - T_4) \quad (2.45)$$

กระบวนการ 5-6 จังหวะคายไอเสียความดันคงที่ ลินไอเสียเปิด ลินไอดีปิด

$$w_{5-6} = P_0(v_6 - v_5) = P_0(v_6 - v_1) \quad (2.46)$$

ประสิทธิภาพความร้อนของวัฏจักรดีเซล

$$(\eta_t)_{diesel} = |w_{net}|/|q_{in}| = 1 - (|q_{out}|/|q_{in}|) \quad (2.47)$$

$$= 1 - [c_v(T_4 - T_5)/c_p(T_3 - T_2)]$$

และสามารถเปลี่ยนรูปได้ดังนี้

$$(\eta_t)_{diesel} = 1 - (1/r_c)^{k-1}[(\beta^k - 1)/\{k(\beta - 1)\}] \quad (2.48)$$

2.3 การเคลื่อนที่ของของไหลภายในห้องเผาไหม้

2.3.1 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence)

เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบความเร็วสูง การไหลเข้ากระบอกสูบจึงเป็นการไหลแบบปั่นป่วนทั้งสิ้น ยกเว้นในมุมอับหรือช่องแคบที่อากาศไม่สามารถไหลเร็วได้เท่านั้น การไหลแบบปั่นป่วนทำให้อัตราการถ่ายเทของปริมาณต่าง ๆ ทางอุณหพลศาสตร์เพิ่มขึ้น ตั้งแต่การถ่ายเทความร้อน การระเหย การผสมคลุกเคล้า และการสันดาปล้วนเพิ่มปริมาณขึ้น เมื่อความเร็วของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราการไหลของไอดีก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกับการไหลแบบปั่นป่วนการรีดและการม้วนไอดีในห้องเผาไหม้ ซึ่งทำให้การระเหยของเชื้อเพลิง การผสมอากาศ และการสันดาปเร็วขึ้น

มวลแต่ละตำแหน่งของก๊าซซึ่งไหลแบบปั่นป่วน จะมีการเคลื่อนที่แบบไม่มีกฎเกณฑ์ทุกทิศทุกทางในระยะสั้น ๆ ผสมปนไปกับการเคลื่อนที่หลักของมวลทั้งสอง เราจึงไม่สามารถคำนวณหรือกำหนดการไหลแบบล่วงหน้าได้ ไม่ว่าตำแหน่งใดและเวลาใด เราจึงต้องเฉลี่ยทางสถิติของหลายวัฏจักรที่เครื่องยนต์ทำงาน และผลที่ได้ก็คือค่าต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่แปรเปลี่ยนไปในแต่ละวัฏจักร (เช่น ความดันกระบอกสูบ, อุณหภูมิ, ช่วงเวลาการสันดาป)

วิธีคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนมีหลายวิธีคือ วิธีที่หนึ่งที่ง่าย คือการใช้ค่าความเร็วที่แปรเปลี่ยน เช่น u' ในแนว X , v' ในแนวแกน Y และ w' ในแนวแกน Z ซึ่งเป็นความเร็วแปรเปลี่ยนนอกเหนือความเร็วหลัก u, v และ w ในแนวแกน X, Y และ Z แล้วคำนวณค่าการไหลปั่นป่วนด้วยค่าเฉลี่ยกำลังสอง (root mean square) เพราะหากใช้ค่าเฉลี่ยแบบเชิงเส้น (Linear) จะได้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

ภายในเครื่องยนต์มีการไหลแบบปั่นป่วนหลายระดับ ขนาดใหญ่ที่สุดคือการไหลวนทั้งช่องทางเดินของอากาศ (เช่น รอบลิ้น ภายในท่อไอดี ห้องเผาไหม้) แม้การแปรเปลี่ยนจะไม่เป็นไปตามกฎเกณฑ์ (random) แต่ก็ยังมีทิศทางหลักไปในทิศที่อากาศไหลและมีขนาดเล็กที่สุด ซึ่งเป็นแบบไร้กฎเกณฑ์เช่นเดียวกัน แต่มีความสม่ำเสมอกระจายไปทั่วถึง (Homogeneous) แบบไม่มีทิศทางที่แน่นอน

ไอดีจะไหลปั่นป่วนมากในจังหวะดูด และลดระดับลงเมื่อใกล้ศูนย์ตายล่าง และจะเพิ่มระดับขึ้นอีกครั้งในจังหวะอัดจากการเพิ่มระดับการไหลแบบหมุนวน แบบรีด และแบบหมุนวนใกล้ศูนย์ตายบน การไหลแบบหมุนวนช่วยให้ไอดีคลุกเคล้ากันได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งกระบอกสูบ

การไหลแบบปั่นป่วนอย่างแรงเมื่อใกล้ศูนย์ตายบนในช่วงปลายของจังหวะอัด จำเป็นอย่างยิ่งต่อการสันดาป เพราะช่วยเพิ่มความเร็วและการแผ่เปลวไฟได้หลายเท่าตัว ไอดีจะถูกเผาไหม้เป็นเวลานานมาก ทำให้ไม่เกิดการชิงจุดระเบิดก่อน (self-ignition) หรือการน็อค (knock) ความเร็วในการลามเปลวไฟในแต่ละจุด ยังขึ้นอยู่กับอัตราการไหลอย่างปั่นป่วนระดับเล็กเฉพาะที่อีกด้วย การขยายตัวของก๊าซที่ถูกไหม้ ก็มีมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการไหลแบบปั่นป่วนได้อีกทางหนึ่งด้วย รูปทรงของห้องเผาไหม้มีผล

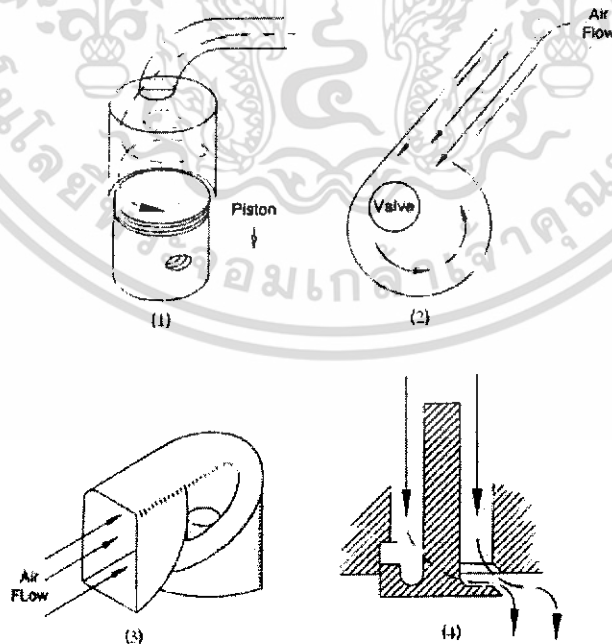
ในการช่วยให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนอย่างมาก ซึ่งช่วยเร่งความเร็วของการสันดาปได้

ระดับการไหลปั่นป่วน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของเครื่องยนต์เป็นอย่างมากคือ เมื่อความเร็วของเครื่องยนต์เพิ่ม ระดับการไหลปั่นป่วนจะเพิ่มขึ้นตาม อัตราการระเหยและคลุกเคล้าของเชื้อเพลิง รวมทั้งความเร็วของการเผาไหม้ก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีผลทำให้มุมเผาไหม้ก่อนข้างคงที่ไม่ว่าเครื่องยนต์จะมีความเร็วสูงหรือต่ำ(เราเรียกมุมที่เปลวเชื้อเพลิงหมุนไปในช่วงเวลาที่เกิดการเผาไหม้หรือการสันดาปว่า มุมเผาไหม้(burn angle)) ยกเว้นขั้นตอนเดียวที่ไม่เพิ่มความเร็วตามระดับการไหลของการปั่นป่วน นั่นก็คือการล่าช้าของการจุดระเบิด (Ignition Delay) เราจึงต้องเพิ่มการจุดระเบิดล่วงหน้า (advance) ตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นของเครื่องยนต์

กรณีที่การไหลแบบปั่นป่วนในขณะเกิดการสันดาป ซึ่งทำให้ก๊าซร้อนเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับผนังกระบอกสูบได้ดีขึ้น แต่เป็นความร้อนที่สูญเสียไป และจะทำให้ประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์ลดลง

2.3.2 การไหลแบบหมุนควง (Swirl)

การไหลของมวลก๊าซในกระบอกสูบ เป็นการไหลแบบหมุนวนรอบแนวแกนของกระบอกสูบ โดยให้อากาศหรือไอดี ไหลเข้าสู่กระบอกสูบในแนวเส้นรอบวง (tangential) ซึ่งทำได้โดยการออกแบบท่อไอดี ช่องลิ้น หรืออาจใช้รูปทรงของหัวลูกสูบช่วยกระตุ้นการไหลแบบนี้ด้วย การไหลแบบหมุนควงของไอดี ช่วยให้ละอองเชื้อเพลิงคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวสม่ำเสมอทั่วห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมาก

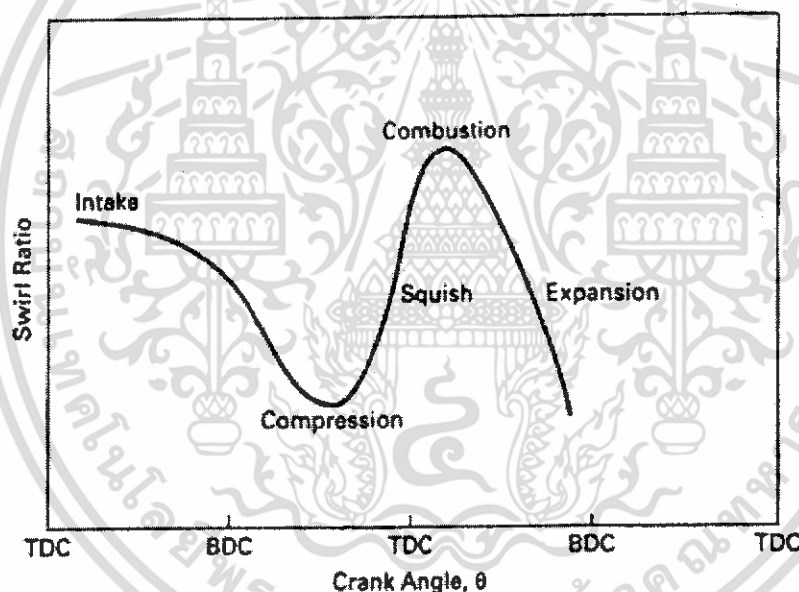


รูปที่ 2-7 (1) การไหลควงของก๊าซภายในกระบอกสูบ (2) การกระตุ้นให้เกิดการไหลควง
(3) อาศัยรูปทรงของท่อไอดี (4) อาศัยรูปทรงของลิ้น

โดยเฉพาะเครื่องยนต์ที่มีความเร็วสูง นอกจากนี้การไหลแบบนี้จะช่วยให้เปลวไฟลามแผ่ไปอย่างรวดเร็วทั่วทั้งห้องเผาไหม้ในช่วงเกิดการสันดาป อัตราส่วนการไหลแบบหมุนวนในแนวนอน (swirl ratio) เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ใช้บอกระดับการไหลแบบหมุนวนภายในกระบอกสูบ โดยมีวิธีคำนวณที่นิยมใช้ในด้านต่าง ๆ คือ

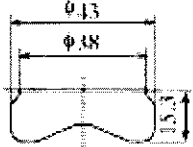
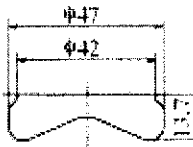
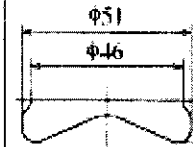
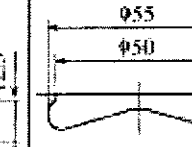
$$SR = \omega / N = u_t / \overline{U_p} \quad (2.49)$$

โดยใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วเชิงมุม และความเร็วในแนวเส้นรอบวงของก๊าซ ความเร็วเชิงมุมของก๊าซตำแหน่งต่าง ๆ ในกระบอกสูบจะไม่เท่ากัน โดยมีค่าสูงสุดที่ระยะห่างจากผนังกระบอกสูบ เนื่องจากแรงเสียดทานของการไหล ความแตกต่างของความเร็วก๊าซในตำแหน่งต่าง ๆ นี้มีทั้งในแนวรัศมี (radial) จากแรงเสียดทานที่ผนังกระบอกสูบ และในแนวตั้ง จากแรงเสียดทานของการไหลที่หัวลูกสูบและฝาสูบ



รูปที่ 2-8 กราฟอัตราการไหลแบบหมุนวนของเพลวข้อเหวี่ยง

รูปที่ 2-9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการไหลแบบหมุนวน ตลอดการทำงานหนึ่งวัฏจักรของเครื่องยนต์ โดยมีค่าสูงในจังหวะดูด และต่ำลงในจังหวะอัดหลังศูนย์ตายล่าง จากแรงเสียดทานการไหลที่ผนังกระบอกสูบ หัวลูกสูบ และฝาสูบ การสันดาปทำให้ก๊าซขยายตัวและเกิดการหมุนวนแรงขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงต้นของจังหวะการทำงาน จากนั้นการขยายตัวของก๊าซและแรงเสียดทานการไหล จะลดค่านี้ลงอย่างรวดเร็วก่อนการระบายไอเสีย ค่าอัตราส่วนการไหลแบบหมุนวน ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.49 จะมีค่าสูงประมาณ 5 ถึง 10 สำหรับเครื่องยนต์สมัยนี้โดยโมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum) ของก๊าซจะลดลง 1 ใน 4 หรือ 1 ใน 3 ระหว่างจังหวะอัด

Chamber Diameter (mm)	φ43	φ47	φ51	φ55
Aspect Ratio	2.8	3.4	4.2	5.2
Schematic Chamber Configuration				

รูปที่ 2-9 ภาพแสดงลักษณะของห้องเผาไหม้(หัวลูกสูบ)ในเครื่องยนต์ปัจจุบัน

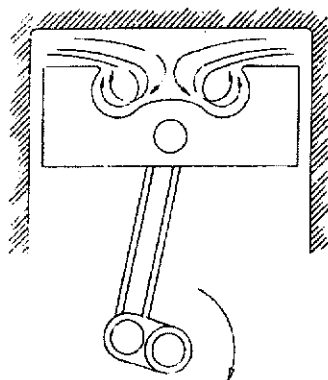
ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ในปัจจุบันจะเป็นลักษณะดังรูปที่ 2-9 โดยมีส่วนที่เป็นปริมาตรอัด (clearance volume) อยู่กึ่งกลางกระบอกสูบ เพื่อลดระยะเปลวไฟที่ต้องลามเผาไหม้ไอดีให้สั้นที่สุด ปริมาตรอัดแสดงดังรูปที่ 2-9 ห้องเผาไหม้ดังกล่าว ช่วยลดรัศมีของก๊าซทรงกระบอกที่กำลังหมุนควงให้สั้นลง เมื่อลูกสูบเกือบถึงศูนย์ตายบน แรงเฉื่อยของก๊าซในรูปโมเมนตัมเชิงมุม (angular velocity) ของก๊าซเพิ่มขึ้นราว 3 ถึง 5 เท่าที่ศูนย์ตายบน แม้จะถูกหน่วงโดยแรงเสียดทานของการไหลที่ผนังห้องเผาไหม้แล้วก็ตาม ความเร็วเชิงมุมที่เพิ่มขึ้นนี้ ช่วยให้การลามของเปลวไฟทั่วห้องเผาไหม้ได้อย่างรวดเร็วที่ศูนย์ตายบน

2.3.3 ก๊าซที่ถูกรีดและก๊าซที่ม้วนรอบแกนวงแหวน (Squish and Tumble)

ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่เข้าใกล้ศูนย์ตายบนในช่วงปลายของการอัดปริมาตรที่ขอบนอกของห้องเผาไหม้จะถูกกดลงอย่างมากในเวลาอันสั้น เครื่องยนต์สมัยใหม่ถูกออกแบบให้มีปริมาตรอัดเกือบทั้งหมดอยู่ตรงกลางกระบอกสูบ ดังรูปที่ 2-9 เมื่อลูกสูบเกือบถึงศูนย์ตายบน ไอดีบริเวณนอกสุดโดยรอบ จะถูกไล่ที่โดยลดปริมาตรลงเกือบเป็นศูนย์ เพราะลูกสูบเกือบสัมผัสกับฝาสูบ อากาศที่ทะลักพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของห้องเผาไหม้ในแนวรัศมี (radial) นี้เรียกว่า Squish เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศที่เสริมการเคลื่อนที่แบบอื่นอยู่ก่อนของไอดี (เช่น Swirl Turbulence) ทำให้ไอดีระเหิดลูกเกล้าได้ดียิ่งขึ้น ช่วยให้เปลวไฟแผ่ลามอย่างรวดเร็ว ความเร็วของก๊าซที่ถูก Squish นี้ มักมีค่าสูงในช่วง 10 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

ขณะเกิดการสันดาป ในช่วงเริ่มต้นจังหวะการทำงานปริมาตรของห้องเผาไหม้ขยายตัวขึ้น ไอดีซึ่งกำลังลุกไหม้จะถูกผลักกลับไปยังกระบอกสูบ เนื่องจากพื้นที่โดยรอบมีการขยายตัวเพิ่มปริมาตร การถูกกระชากกลับของก๊าซ (reverse squish) นี้ ช่วยพาเปลวไฟให้กระจายลามทั่วในช่วงสุดท้ายของการสันดาป

ย้อนกลับมาในช่วงปลายของจังหวะอัด อากาศที่ถูก Squish จากรอบห้องเผาไหม้สู่ศูนย์กลางจะม้วนตลบรอบแกนซึ่งเป็นวงแหวน บริเวณขอบของหลุมที่หัวลูกสูบ (Tumble) ดังรูปที่ 2-10



**รูปที่ 2-10 ภาพแสดงการอุดกริดให้เข้าสู่ศูนย์กลางของก๊าซ ใกล้เคียงกับกระบอกสูบ(Squish)
และมันตัวลงในห้องเผาไหม้เป็นวงแหวน(Tumble)**

2.4 คุณสมบัติของน้ำมันพืชเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

ในมุมมองของการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณ 83-85 %ของน้ำมันดีเซล แต่มีความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลเป็น 10 เท่า ที่อุณหภูมิห้องยิ่งมีความหนืดมากขึ้นเป็นลำดับ จนเป็นไขเช่น น้ำมันปาล์ม ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง คุณสมบัติของน้ำมันชนิดต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 2 -1

ตารางที่ 2 -1 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันต่าง ๆ

น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (กรัม/มิลลิลิตร)	ความหนืด (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
ดีเซล	0.845	3.8	46800
มะพร้าว	0.915	51.9	37540
ปาล์ม	0.898	88.6	39550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39720

ข้อมูลจาก NAS (1980)

การที่น้ำมันพืชมีความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมัน ฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนั้นแล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอช้า และน้อยมาก ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เวลาเครื่องยนต์เย็นสตาร์ทเครื่องยากและหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวแค พ่นังเสื้อสูบ แหวนและวาล์ว ทั้งยังทำให้น้ำมันเครื่องเสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้นเนื่องจากต้องชะล้างปริมาณเขม่าที่มากขึ้น เพราะฉะนั้นการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเครื่องยนต์หรือน้ำมันอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพ

2.5 น้ำมันมะพร้าว

มะพร้าวเป็นพืชที่มีความผูกพันกับวัฒนธรรมความเป็นอยู่ของคนไทยมาช้านาน พบเห็นได้ทั่วไปตามพื้นที่ชายฝั่งทะเลทุกแห่งในประเทศไทย มะพร้าวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *cocosnucifera* Linn เป็นพืชตระกูลปาล์ม เป็นไม้ยืนต้นที่มีลำต้นสูงชะลูดประมาณ 20-30 เมตร ใบออกเป็นใบรวม มีใบย่อยเป็นแผ่นแคบยาว เรียงสลับกันเป็นรูปขนนก ปลายใบแหลม กว้างประมาณ 1.0-2.5 นิ้ว ดอกออกเป็นช่อตามบริเวณกาบที่หุ้ม ดอกย่อยขนาดเล็ก ดอกหนึ่งมีกลีบ ดอกประมาณ 6 กลีบ ผลเป็นรูปกลมหรือรี ยาวประมาณ 8-14 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8.0-9.5 นิ้ว เปลือกนอกเรียบเกลี้ยง ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่มีสีน้ำตาล เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยนุ่ม ๆ ชั้นในจะแข็งเป็นกะลา ชั้นต่อไปเป็นเนื้อผลมีสีขาวนุ่ม ชั้นในจะเป็นกะลา ชั้นต่อไปเป็นเนื้อผลสีขาวนุ่ม และภายในมีน้ำใส ในเนื้อมะพร้าวสดจะมีปริมาณน้ำอยู่ร้อยละ 60-70 ส่วนในเนื้อมะพร้าวแห้งมีปริมาณน้ำมันอยู่ร้อยละ 60-65 ซึ่งมีกรดไขมันหลายชนิด ดังนั้นโรงงานผลิตมะพร้าวส่วนใหญ่จึงใช้เนื้อมะพร้าวแห้งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิต แต่ข้อเสียของน้ำมันมะพร้าวก็จะเกิดการเน่าเสียเนื่องจากแบคทีเรีย คุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าวดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2 -2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันมะพร้าว

Properties	Value
Saponification value	242-254
Iodine value	16-19
Nonsaponifiable matter	0.2-0.8%
Melting point, °C	23-30
Specific gravity at 99/115.5 °C	0.869-0.874
At 25/15.5 °C	0.917-0.919
Smoke point , °C	150-200
Flash point, °C	270-300
Fire point, °C	329
Density, g/cm ³	0.869-0.874
Surface tension, mN/m at 20 °C	33.4
Viscosity ,mPas at 30 °C	39
at 40 °C	26
at 50 °C	19

ข้อมูลจากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.1 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตน้ำมันมะพร้าวสามารถแยกออกได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) การเตรียมวัตถุดิบ เนื้อมะพร้าวแห้งก่อนที่นำเข้าสู่เครื่องสกัดน้ำมันมะพร้าวนั้นจะต้องตรวจสอบความชื้นเสียก่อนว่ามากน้อยเพียงใด ถ้ามีความชื้นเกินกว่าร้อยละ 6 จะต้องนำไปอบแห้งเสียก่อน ความชื้นโดยทั่วไปที่เหมาะสมในการบีบหรืออัดจะต้องไม่เกินร้อยละ 5 เพราะถ้ามากกว่านี้จะทำให้อัตราส่วนของน้ำมันน้อยลง จากนั้นจะนำเข้าสู่เครื่องบด (Hammer Mill) โดยจะบดเนื้อมะพร้าวให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อสกัดน้ำมันง่ายขึ้นต่อไป

2) การสกัดน้ำมันดิบ (Crude Oil) การสกัดน้ำมันมะพร้าวอาจทำได้ 3 วิธี

2.1) การสกัดโดยใช้เครื่องบีบอัด (Expeller)

นำเนื้อมะพร้าวที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบในขั้นแรกเข้าสู่เครื่องบีบแบบสกรู (Screw Press) ซึ่งอย่างน้อย 4 เครื่องติดต่อกันไป เพื่อบีบเอาน้ำมันออกมา ส่วนกากมะพร้าวที่ยังมีมะพร้าวซึ่งยังมีน้ำมันเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 15-20 เข้าสู่เครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Press) ตามลำดับ จะได้กากมะพร้าวออกมาเป็นก้อนกลม ๆ นำไปจำหน่าย

2.2) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

เป็นวิธีที่สกัดน้ำมันได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าขั้นตอนแรก เพราะใช้ Hexane เข้ามาช่วยในการสกัดน้ำมัน จึงทำให้อัตราของการตกค้างของน้ำมันจากมะพร้าวมีน้อยมาก โรงงานสกัดน้ำมันมะพร้าวมักนิยมใช้ เพราะได้ผลผลิตมากกว่าและให้ผลตอบแทนสูง กรรมวิธีการผลิตโดยวิธีนี้อาจทำได้หลายวิธี คือ

- แบบแช่ (Immersion) เป็นการสกัดโดยนำเนื้อมะพร้าวที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบแล้วแช่ในสารตัวทำละลาย Hexane เมื่อน้ำมันถูกสกัดออกมาจะถูกผสมกับตัวทำละลาย เมื่อแช่ได้ตามระยะเวลาจนครบตามเวลาที่กำหนดด้วยความร้อน ก็จะทำให้ตัวทำละลายระเหยจนเหลือแต่น้ำมันดิบไว้
- แบบซึมผ่าน (Percolation) วิธีนี้ใช้พ่นตัวทำละลายจนท่วมเนื้อมะพร้าวแล้วปล่อยให้ตามกำหนดเวลาให้ซึมเข้าไปในเนื้อมะพร้าว เพื่อสกัดน้ำมันดิบออกมา
- แบบผสมระหว่างการซึมแช่และการซึมผ่าน (Percolation Immersion) คือ การพ่นแล้วทิ้งเนื้อมะพร้าวแช่อยู่ในตัวทำละลายตามกำหนดเวลา แล้วแยกน้ำมันดิบออกโดยวิธีระเหยความร้อน

2.3) การสกัดโดยใช้เครื่องบีบและตัวทำละลาย

เป็นการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบ แล้วนำกากที่เหลือมาสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อเก็บน้ำมันส่วนที่เหลืออยู่ในกากอีกครั้งหนึ่ง อย่างไรก็ตามขั้นตอนนี้จะได้น้ำมันดิบออกมา ซึ่งมีกลิ่น สี รส เศษ

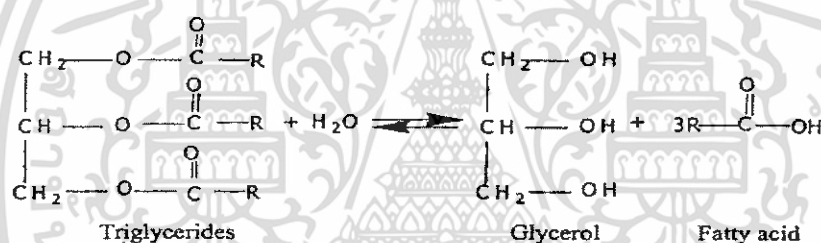
ผง กาก ตลอดจนมีสารบางชนิดเจือปนอยู่ ดังนั้นจึงต้องผ่านขั้นตอนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

3) การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Refining) คือ การกลั่นน้ำมันโดยใช้วิธีทางเคมี เพื่อปรับสภาพของน้ำมันไม่ให้มีสี กลิ่น รส และกำจัดสารเจือปนอยู่ เพื่อให้เหมาะแก่การใช้งานในอุตสาหกรรม โดยการทำจัดกรดไขมันอิสระ (Refining) ด้วยโซดาไฟ (Caustic soda) ซึ่งจะแยกน้ำมันที่ปราศจากกรดไขมันอิสระ ส่วนหนึ่งจะได้เป็นสบู่ซึ่งมีสิ่งสกปรกหรือสารเจือปนออกมาด้วย ฉะนั้นน้ำมันที่ได้จะสะอาดและไม่มีสารเจือปน

2.5.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันมะพร้าว

ปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันมะพร้าวซึ่งมีองค์ประกอบเป็นพวกไขมัน (Fats) ซึ่งเป็นเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติของกรดคาร์บอกซิลิกไขมันและไตรกลีเซอรอล โดยที่โมเลกุลไขมันอาจเรียกว่า “กลีเซอไรด์”

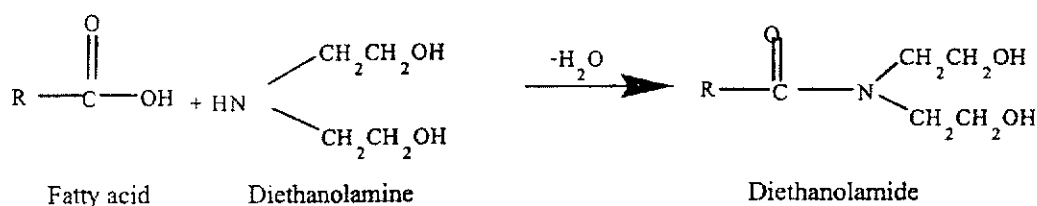
- Hydrolysis



ไฮโดรไลซิสเป็นปฏิกิริยาเฉพาะที่มีความสำคัญที่สุดสำหรับอนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิกคือ อนุพันธ์ของกรดคาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วได้กรดคาร์บอกซิลิก

เมื่อเอสเทอร์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้กรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ โดยที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นช้า ๆ แต่จะเร็วขึ้นเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นปฏิกิริยาผันกลับของปฏิกิริยาการเตรียมเอสเทอร์ ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นกระบวนการที่เข้าสู่สมดุล แต่สามารถทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ได้โดยใช้น้ำมากเกินพอ

- Amidation



เมื่อกรดคาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับเอมีนจะได้เอไมด์

2.6 หลักการ Particle Image Velocimetry

การสังเกตการเคลื่อนที่ของอากาศภายในกระบอกสูบจะสนใจ 2 ระนาบ คือ 1.ระนาบแนวนอน เพื่อดู Swirl และ 2.ระนาบแนวตั้ง เพื่อดู Tumble ซึ่งทั้ง 2 ระนาบที่กล่าวมานั้นมีลักษณะหลักการทำงานของชุดจำลองเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่มุมในการวางกล้อง โดยหลักการทั้ง 2 แบบนี้คือ การฉายระนาบแสงให้ตกกระทบกับอนุภาคที่อยู่ภายในอากาศทำให้เกิดกระเจิงแสงที่อนุภาค จากนั้นลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปรากฏอยู่จะถูกบันทึกโดยกล้องวิดีโอหรือกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูง ภาพหน้าตัดของStreamlineจะแสดงลักษณะ โครงสร้างของการไหล และเวกเตอร์ของความเร็วจะแสดงถึงทิศทางของการไหลและขนาดของความเร็ว ปริมาณความเข้มของกระแสหมุนวนใน 2 ระนาบจะแสดงโดยการใช้ตัวแปรไร้หน่วย Swirl และ Tumble ratios

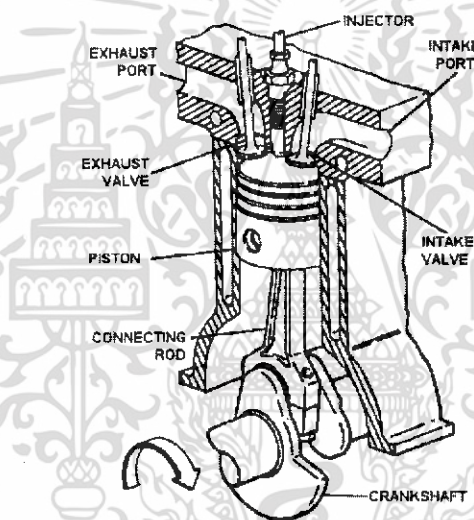


บทที่ 3

การออกแบบห้องเผาไหม้

ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) นับว่ามีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ความต้องการในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นคือ การผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันได้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ เพราะจะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ภายในห้องเผาไหม้ เป็นผลทำให้ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้มีอันตรายน้อยลง และได้กำลังจากเครื่องยนต์ได้อย่างเต็มที่ ในการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศจะดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับ

1. การกระจายตัวของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้
2. การไหลเวียนของอากาศภายในห้องเผาไหม้



รูปที่ 3-1 ลักษณะของห้องเผาไหม้แบบตรงในเครื่องยนต์ดีเซล

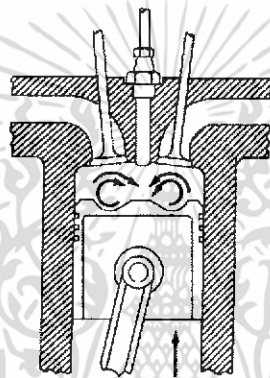
เครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่และมีลักษณะการฉีดแบบตรง (Direct Injection) ถ้าติดตั้งตำแหน่งหัวฉีดได้ถูกต้องแล้ว จะทำให้การกระจายตัวของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ แต่ในทางกลับกัน ในกรณีที่หัวฉีดติดตั้งไม่ถูกต้องตำแหน่งก็จะทำให้การกระจายตัวของเชื้อเพลิงไม่ดีเท่าที่ควร

เพื่อจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดี จึงได้มีการออกแบบห้องเผาไหม้ให้มีลักษณะต่าง ๆ กันออกไป ห้องเผาไหม้ที่มีการสร้างขึ้นและพัฒนาจนถึงปัจจุบัน โดยจะยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

3.1 ห้องเผาไหม้แบบเปิดหรือการฉีดแบบตรง (Open Chamber or Direct Injection)

เครื่องยนต์ดีเซลในสมัยแรก ๆ มักนิยมใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงด้วยแรงดันซึ่งใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีกระบอกสูบใหญ่ ๆ และเป็นห้องเผาไหม้แบบเปิดเท่านั้น ส่วนหัวฉีดจะใช้เป็นแบบหลายรู

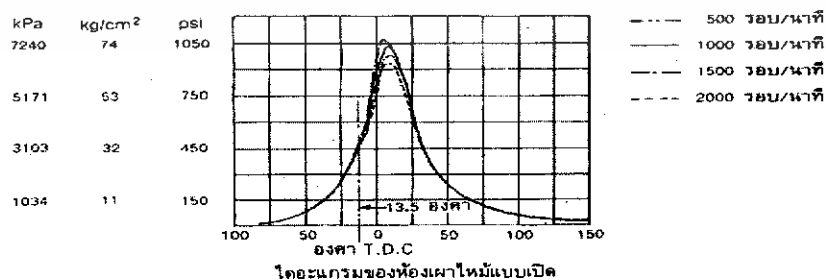
และติดตั้งอยู่ในฝาสูบบริเวณที่ตรงกับหัวลูกสูบ เมื่อหัวฉีดฉีดเชื้อเพลิงเข้ากระบอกสูบ ก็จะกระจายทั่วทั้งห้องเผาไหม้ ห้องเผาไหม้ที่วุ่นจะเป็นแอ่งเว้าลงไปในหัวลูกสูบ ทำให้เชื้อเพลิงที่เป็นฟอยละอองสามารถผสมกับอากาศได้เป็นอย่างดี ในบริเวณแอ่งที่หัวลูกสูบแสดงดังรูปที่ 3-2 การออกแบบสร้างห้องเผาไหม้แบบเปิดในระยะแรกนั้น จะออกแบบเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เท่านั้น เนื่องจากกระบอกสูบที่มีขนาดเล็กกว่านั้นจะมีปัญหาจากเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาจะไปกระทบกับผนังกระบอกสูบหรือหัวลูกสูบ ซึ่งเป็นผลให้การผสมคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงและอากาศไม่ดีเท่าที่ควร การเผาไหม้ก็จะไม่สมบูรณ์ แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาและปรับปรุงลักษณะของห้องเผาไหม้แบบเปิดนี้ให้นำมาใช้กับเครื่องยนต์ที่มีขนาดเล็กลง พร้อมทั้งปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของหัวฉีดให้เหมาะสมกับห้องเผาไหม้แบบเปิดให้ดีขึ้นด้วย



รูปที่ 3-2 การหมุนวนของอากาศในห้องเผาไหม้แบบเปิด

ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบเปิด และใช้หัวฉีดแบบหลายรู เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกไป จะกระจายออกไปรอบแอ่งหัวลูกสูบภายในห้องเผาไหม้เท่านั้น ส่วนบริเวณตรงกลางของแอ่งเว้าหัวลูกสูบจะไม่มีฟอยเชื้อเพลิงเลย จึงทำให้อากาศในบริเวณนั้นไม่ได้คลุกเคล้ากับเชื้อเพลิง จึงไม่มีการเผาไหม้ในบริเวณดังกล่าว ช่วงบริเวณที่เกิดอาการนี้เรียกว่า ห้องอากาศตาย(Dead Air Space)

วิธีการแก้ไขบริเวณห้องอากาศตายจะทำได้โดยการออกแบบหัวลูกสูบให้หัวเว้าลงไปแล้วทำบริเวณศูนย์กลางของลูกสูบที่เว้าอยู่ให้เป็นเนินสูงขึ้นมากคล้ายกับ หมวกเม็กซิกัน(Mexican Hat)

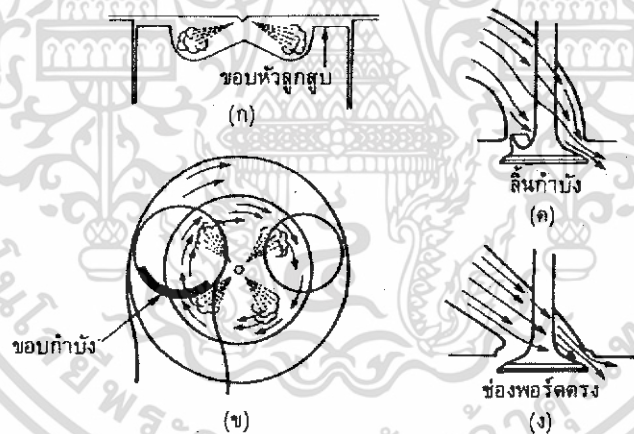


รูปที่ 3-3 ไดอะแกรมแสดงแรงดันของอากาศในห้องเผาไหม้แบบเปิด

การทำให้อากาศที่เข้าห้องเผาไหม้เกิดการหมุนวนเพื่อการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดี สำหรับห้องเผาไหม้แบบเปิด จะสร้างให้ท่อไอเสียมีรูปร่างเป็นลักษณะบิดคล้ายเกลียว ทำให้อากาศที่ไหลเข้าห้องเผาไหม้มีการหมุนวน เมื่อหัวฉีดฉีดเชื้อเพลิงออกมา ก็จะคลุกเคล้าผสมกับอากาศที่กำลังหมุนวนได้เป็นอย่างดี สำหรับท่ออากาศเข้าทำให้อากาศหมุนวนได้นี้จะเรียกว่า ท่ออากาศเอียง เพราะช่องทางที่อากาศไหลเข้าหัวสูบมีลักษณะเป็นแบบท่อเอียง ดังรูปที่ 3-4 และ 3-5



รูปที่ 3-4 การหมุนวนของอากาศโดยใช้ท่อไอเสียซึ่งมีลักษณะเป็นแบบท่อเอียง



รูปที่ 3-5 การทำให้อากาศหมุนวนโดยดัดแปลงและช่องนำอากาศเข้าเครื่องยนต์

จากรูปที่ 3-4 แสดงช่องนำอากาศเข้ากระบอกสูบ(Intake Passage) ส่วนรูปที่ 3-5 มีหลายวิธีที่จะทำให้อากาศในกระบอกสูบเกิดการหมุนวน รูปที่ 3-5 (ก) ใช้หัวลูกสูบทำให้เกิดอากาศหมุนวน รูปที่ 3-5 (ข) และ (ค) เป็นการใช้ลิ้นแบบกำบังทำให้อากาศหมุนวน และรูปที่ 3-5 (ง) ใช้ท่อไอเสียตรงไม่มีขอบลิ้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับทั้ง 2 แบบจะเห็นได้ว่า แบบที่ใช้ท่อเอียงและแบบที่ใช้ลิ้นกำบัง จะช่วยเสริมให้อากาศที่เข้ากระบอกสูบเกิดการหมุนวนได้ดีขึ้น และถ้านำทั้ง 2 แบบมาใช้ร่วมกันก็จะช่วยให้เกิดการหมุนวนได้มากขึ้น แต่ที่นิยมใช้กันมากคือแบบท่อเอียงนำอากาศเข้ามากกว่าการใช้ลิ้นกำบัง เพราะลิ้นกำบังจะไปปิดกั้นทางเดินของอากาศให้เข้ากระบอกสูบไม่สะดวกเท่าที่ควร

ความเร็วของลูกสูบทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ ซึ่งเกิดจากการถูกอัดตัวไล่ที่ขอบหัว ลูกสูบจะแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนของเนื้อที่ที่ถูกอัดต่อเนื้อที่ในห้องเผาไหม้ และจะมีเกณฑ์ ประมาณ 30 – 120 เมตร / วินาที

สมรรถนะของเครื่องยนต์จะดีมากถ้ามีการหมุนวนของอากาศเกิดขึ้นที่ท่อทางอากาศเข้า กับ อากาศที่ถูกอัดตัวไล่ของขอบหัวลูกสูบเป็นอัตราส่วนประมาณ 50 : 50 อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์บาง แบบมีอัตราส่วนการอัดตัวของอากาศบริเวณขอบลูกสูบสูงกว่านี้

การเคลื่อนที่ของอากาศที่หัวลูกสูบ

$$V_s = \frac{(D^2 - d^2)V_p}{(s+c)4d} = \frac{(\pi N(D^2 - d^2) \sin \alpha) + \lambda \sin 2\alpha}{\left[d(1 - \cos \alpha) + \lambda \sin^2 \alpha + \frac{2c}{s} \right] - 1000} \quad (3.1)$$

$$\text{โดยที่ } \lambda = \frac{5}{4L}$$

ข้อดีของห้องเผาไหม้แบบเปิด คือ

1. ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูง ทำให้สตาร์ทเครื่องได้ง่ายโดยไม่ต้องมีหัวเผา(Glow Plug)
2. พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งหมด จะกระทำโดยตรงกับหัวลูกสูบทำให้ไม่สูญเสียพลังงานไปยังส่วนอื่น
3. กระบอกสูบและลูกสูบได้รับผลกระทบน้อย จากการเผาไหม้ถ้าอุณหภูมิการอัดต่ำ
4. ไม่ต้องสร้างอุปกรณ์ช่วยสตาร์ท คือไม่ต้องมีหัวเผาก็ได้

ข้อเสียของห้องเผาไหม้แบบเปิด คือ

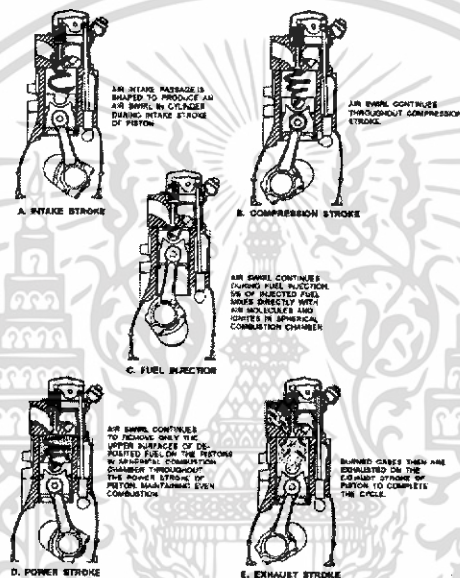
1. ขาดต่อการควบคุมการเผาไหม้
2. เครื่องยนต์เดินไม่เรียบเพราะไม่มีการหน่วงเวลาเป็นผลทำให้เกิดการเผาไหม้เร็วและแรงดันสูง
3. มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงการจุดระเบิด
4. หัวฉีดแบบหลายรูจะมีรูหนึ่งรูใดตัน ทำให้การผสมน้ำมันกับอากาศไม่ดีเท่าที่ควร
5. ต้องใช้หัวฉีดที่มีแรงดันสูง ทำให้ชิ้นส่วนสึกหรอเร็ว

3.2 ห้องเผาไหม้แบบทรงกลม (Spherical Chamber , Hypercycle)

ห้องเผาไหม้แบบทรงกลมดังรูปที่ 3-6 ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลหลายเกรด ห้องเผาไหม้ประกอบไปด้วยห้องเผาไหม้ตรงกับหัวลูกสูบที่มีลักษณะเป็นแบบทรงกลม ห้องเผาไหม้ี้เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างตำแหน่งของหัวฉีดกับท่อไอดีเพื่อให้เกิดอากาศหมุนวนในขณะที่เข้าห้องเผาไหม้

ขั้นตอนการทำงานของห้องเผาไหม้แบบทรงกลม

1. ขณะที่อากาศเข้าห้องเผาไหม้ลักษณะรูปร่างของท่อไอดีจะมีผลทำให้อากาศเกิดการหมุนวน
2. ในช่วงจังหวะอัด อากาศมีการเคลื่อนที่แบบหมุนวนอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น
3. ขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดได้ประมาณร้อยละ 95 ของเชื้อเพลิงที่ตกค้างอยู่บนหัวลูกสูบ เชื้อเพลิงยังคงมีการคลุกเคล้ากับอากาศในห้องเผาไหม้ในบริเวณหัวลูกสูบ
4. ขณะเริ่มการเผาไหม้ เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ถูกกวาดออกจากหัวลูกสูบโดยความของอากาศหมุนวนที่มีความเร็วสูงโดยถูกทำในช่วงจังหวะดูดและจังหวะอัด ขณะที่เชื้อเพลิงถูกกวาดออกจากหัวลูกสูบนั่นมันจะเกิดการเผาไหม้จนได้เป็นจังหวะระเบิดและยังคงเผาไหม้พร้อมทั้งเกิดการระเบิดต่อไป



รูปที่ 3-6 แสดงการทำงานในแต่ละจังหวะของห้องเผาไหม้แบบทรงกลม

3.3 ห้องเผาไหม้ช่วย (Indirect Injection)

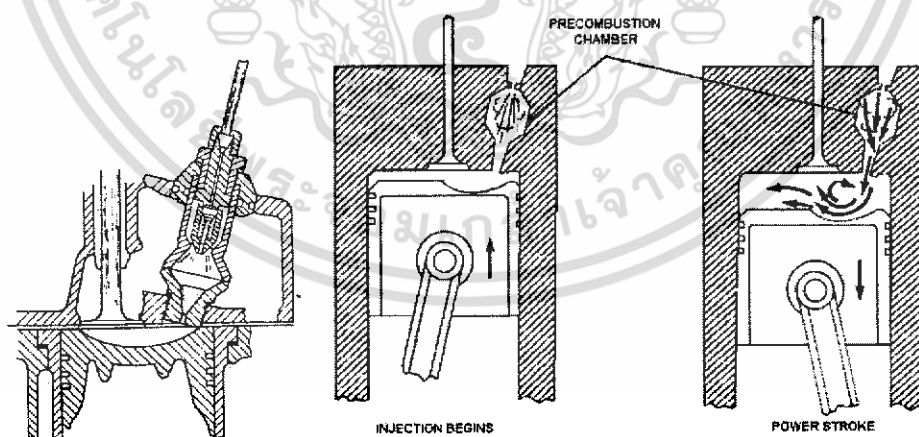
เป็นห้องเผาไหม้ที่มีการออกแบบให้มีห้องเผาไหม้มากกว่าหนึ่งห้อง โดยให้ห้องเผาไหม้ส่วนหนึ่งซึ่งเรียกว่าห้องเผาไหม้ช่วยอยู่บริเวณฝาสูบ แล้วมีช่องทางเล็ก ๆ ต่อมายังห้องเผาไหม้หลักอีกทางหนึ่ง จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อีกทั้งเกิดกระแสนของการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็น 2 กระแส (Stratified charge) คือ กระแสที่มีการผสมหนา (Rich Mixture) ที่ห้องเผาไหม้ช่วย และกระแสที่มีการผสมบาง (Lean Mixture) ที่ห้องเผาไหม้หลัก การฉีดเชื้อเพลิงจะฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้ช่วย ช่องทางที่ต่อระหว่างห้องเผาไหม้ช่วยกับห้องเผาไหม้หลัก จะช่วยทำให้อากาศบริเวณทางออกจะเกิดกระแสหมุนวน (Wake) ได้มาก ในขณะที่อากาศถูกอัดรีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้ช่วย ถ้าอากาศที่ถูกอัดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในห้องเผาไหม้ช่วย จะเรียกว่า ห้องเผาไหม้แบบล่วงหน้า (Precombustion Chamber)

ห้องเผาไหม้ช่วยบางแบบจะออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงกลมอยู่ในฝาสูบและมีช่องทางเฉียงออกมาสู่ห้องเผาไหม้หลัก ซึ่งช่องทางเฉียงนี้จะช่วยให้เกิดกระแสหมุนวนของอากาศด้วยความเร็วสูง ห้องเผาไหม้ช่วยแบบนี้ก็จะเรียกว่า ห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน (Turbulence or Swirl Chamber)

ห้องเผาไหม้บางแบบแบ่งห้องเผาไหม้ช่วยออกเป็น 2 ส่วน ก็จะเรียกว่า ห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล (Air Cell) ซึ่งเชื้อเพลิงจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งจะเผาไหม้ในห้องเผาไหม้หลัก และอีกส่วนจะเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ช่วย หรือห้องแอร์เซล

3.3.1 ห้องเผาไหม้ล่วงหน้า (Precombustion Chamber) มักจะพบมากในเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ห้องเผาไหม้แบบนี้จะมีปริมาตรร้อยละ 25-40 ของปริมาตรรวมของห้องเผาไหม้ทั้งหมด ปกติห้องเผาไหม้ล่วงหน้าจะมีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าห้องเผาไหม้ตรง (Direct Injection) เพราะเนื่องจากมีพื้นที่ของห้องเผาไหม้มากกว่า ทำให้ความร้อนของอากาศที่ถูกอัดตัวต้องสูญเสียไป ส่วนการสตาร์ทของเครื่องยนต์จึงต้องใช้หัวเผา (Glow Plug) ช่วยให้ความร้อนเพิ่มเติมในการจุดระเบิดครั้งแรก

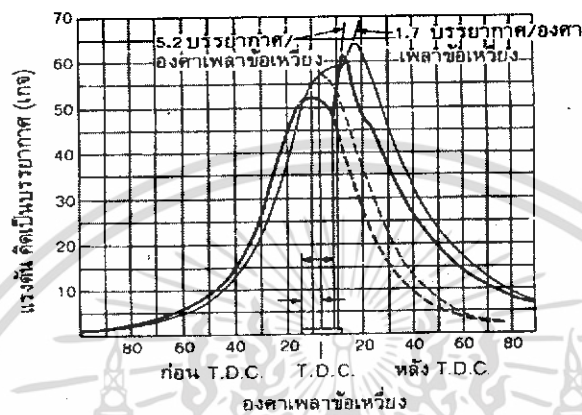
ขณะที่ถูกสูบล้ออากาศในห้องเผาไหม้ ล่วงหน้าและเมื่อถูกสูบเลื่อนขึ้นเกือบถึงศูนย์ตายบน หัวฉีดจะเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปยังห้องเผาไหม้ล่วงหน้า การเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้น แรงดันในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าจะสูงขึ้นทันทีทันใด และพุ่งออกมายังห้องเผาไหม้หลักโดยผ่านช่องทางแคบ ๆ ออกมาพร้อมกับช่วยพาน้ำมันเชื้อเพลิงบางส่วนที่ยังไม่ได้เผาไหม้ มาผสมกับอากาศที่ถูกอัดอยู่ในห้องเผาไหม้หลัก ก็จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในห้องเผาไหม้หลักนี้



รูปที่ 3-7 ห้องเผาไหม้ล่วงหน้า

จากรูปที่ 3-7 เป็นห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเครื่องยนต์แคดเตอร์พิลลาร์ ห้องเผาไหม้ล่วงหน้าจะอยู่ในบริเวณฝาสูบโดยชั้นเกลียวติดไว้กับฝาสูบใกล้กับส่วนกลางของกระบอกสูบ จากรูปจะพบว่า

มาช่องทางแคบ ๆ เชื่อมต่อระหว่างห้องเผาไหม้ล่วงหน้ากับห้องเผาไหม้หลัก ขณะที่มีการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า จะเกิดแรงดันสูงผ่านช่องทางแคบ ๆ นี้ ซึ่งจะทำให้การผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศดีขึ้น บางแบบยังฝังเหล็กไว้สนิมเพื่อป้องกันเปลวไฟไว้ที่ช่องทางแคบ ๆ นี้ด้วย ห้องเผาไหม้แบบนี้ไม่ต้องการการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นฝอยละอองมากนัก และห้องเผาไหม้ล่วงหน้าโดยทั่วไปจะสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าห้องเผาไหม้ตรง แต่เครื่องยนต์จะเดินได้เรียบกว่า



รูปที่ 3-8 กราฟแสดงแรงดันในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า

ข้อดีของห้องเผาไหม้แบบล่วงหน้า ห้องเผาไหม้แบบล่วงหน้ามีข้อดีดังต่อไปนี้คือ

1. กำลังสูงสุดในปริมาตรกระบอกสูบต่ำ เพราะเผาไหม้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน
2. สามารถใช้อัตราส่วนการอัดได้สูงถึง 22 ต่อ 1
3. ใช้เชื้อเพลิงที่มีค่าซีเทนต่ำได้ เพราะการเผาไหม้ส่วนใหญ่เกิดในห้องเผาไหม้ช่วย
4. ใช้ระบบอัดฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดแรงดันต่ำได้ เพราะเชื้อเพลิงไม่จำเป็นต้องเป็นฝอยมากนัก

จึงทำให้การสึกหรอช้าลง

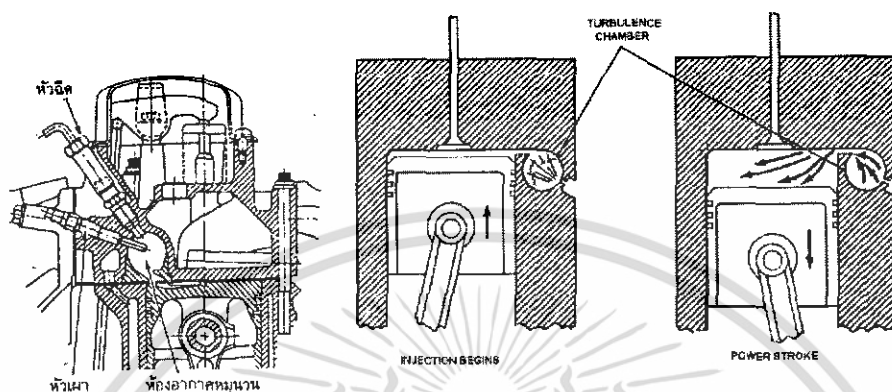
ข้อเสียของห้องเผาไหม้แบบล่วงหน้า ห้องเผาไหม้ล่วงหน้ามีข้อเสียดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำ เพราะเนื้อที่ห้องเผาไหม้มาก
2. ต้องใช้หัวเผาช่วยสตาร์ท
3. ต้องใช้อัตราส่วนการอัดสูงเพื่อชดเชยความร้อนที่สูญเสีย
4. การไล่ไอเสียไม่หมดโดยเฉพาะในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า

3.3.2 ห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน (Turbulence or Swirl Combustion Chamber)

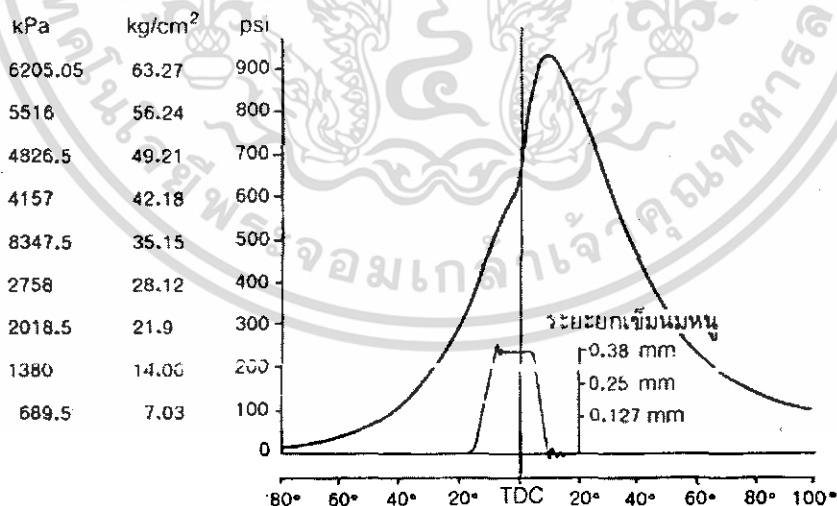
ห้องเผาไหม้แบบนี้จะมีห้องเผาไหม้ช่วยปริมาตรประมาณร้อยละ 50-90 ของปริมาตรห้องเผาไหม้ทั้งหมด ช่องทางระหว่างห้องเผาไหม้ช่วยกับห้องเผาไหม้หลักจะมีขนาดใหญ่ อากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงจะผสมกันโดยการหมุนวนของอากาศด้วยความเร็วสูง ขณะอัดอากาศจะเข้าไปในห้องเผาไหม้หมุนวนโดยผ่านทางช่องทางที่ต่อระหว่างห้องเผาไหม้หมุนวนกับห้องเผาไหม้หลัก แล้วเกิดการหมุนวน

ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยิ่งสูงการหมุนวนของอากาศในห้องเผาไหม้ยิ่งมีมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้อากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงผสมกันได้เร็วยิ่งขึ้น เป็นการช่วยลดการล่าช้าของการเผาไหม้ให้น้อยลง ห้องเผาไหม้แบบนี้มักจะออกแบบให้ทำงานที่ความเร็วรอบประมาณ 1200-3000 รอบ/นาที และต้องมีหัวเผา(Glow Plug)สำหรับอุ่นอากาศให้ร้อนก่อนสตาร์ทเครื่องยนต์

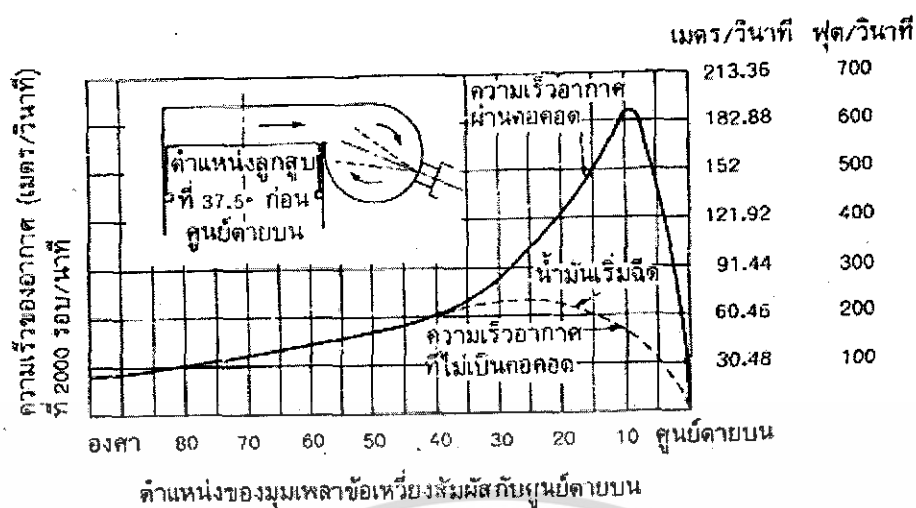


รูปที่ 3-9 ห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน

จากรูปที่ 3-9 เป็นห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวนของเครื่องยนต์อินเตอร์เนชั่นแนล ฮา เว สตอร์ ซึ่งมีช่องทางที่ต่ออยู่ระหว่างห้องเผาไหม้หมุนวนกับห้องเผาไหม้หลัก โดยจะทำมุมให้เอียงไปด้านหนึ่งเพื่อให้อากาศที่ถูกอัดหมุนวนอยู่ในห้องหมุนวน และระหว่างการเผาไหม้จะทำให้เกิดการหมุนวนที่ห้องเผาไหม้หลัก หัวฉีดที่ใช้จะใช้หัวฉีดแบบรูเดียว



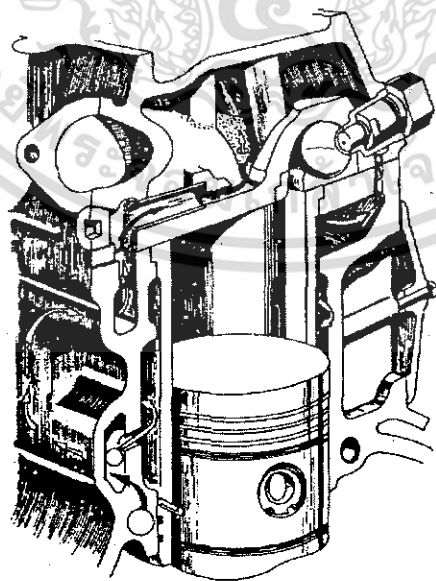
รูปที่ 3-10 กราฟแสดงแรงดันในห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน



รูปที่ 3-11 แสดงความเร็วผ่านท่อยกคอดของห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน

จากรูปที่ 3-11 เส้นโค้งแสดงถึงอัตราเร็วสูงสุดของกระแสอากาศในห้องหมุนวน ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้นอัดอากาศจนเกือบถึงศูนย์ตายบน (อีกประมาณ 10 องศาจนถึงศูนย์ตายบน) ก็จะเริ่มเกิดการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้อากาศหมุนวนเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศดี การเผาไหม้ก็จะดีตามไปด้วย และการเผาไหม้นี้ยังเกิดติดต่อกันจนถึงการขยายตัวเนื่องจากการระเบิด

ห้องเผาไหม้อากาศหมุนวนแบบฮิสปาโนซูซ่า (Hispanosuiza) ประกอบด้วยส่วนบนของห้องเผาไหม้จะหล่อเป็นเนื้อเดียวกับฝาสูบ ส่วนล่างและช่องทางที่ต่อไปยังห้องเผาไหม้เหนือหัวลูกสูบเป็นชิ้นส่วนที่ประกอบเข้าไป ดังรูปที่ 3-12



รูปที่ 3-12 ห้องเผาไหม้แบบฮิสปาโนซูซ่า

น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดให้พุ่งตรงไปยังส่วนกลางของห้องเผาไหม้รูปทรงกลมหรือ 90 องศา กับทิศทางของอากาศที่หมุนวน ในกรณีเช่นนี้ฝอยละอองน้ำมันจากหัวฉีดแบบเคียวจะกระทบกับห้อง และปากช่องทางที่ร้อน จึงเป็นการช่วยในการกลายเป็นไอและจุดระเบิดของน้ำมัน สิ่งสำคัญเกี่ยวกับการสร้างห้องเผาไหม้แบบนี้ได้แก่

1. รูปร่างของชิ้นส่วนของห้องเผาไหม้ที่ใส่เข้าไป(ส่วนล่างและช่องทาง)
2. โลหะผสมที่ใช้ทำชิ้นส่วนห้องเผาไหม้เพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ผิว และช่วยในการจุดระเบิด เครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบนี้จะเดินเรียบแม้จะให้กำลังใช้งานสูง ๆ ก็ตาม

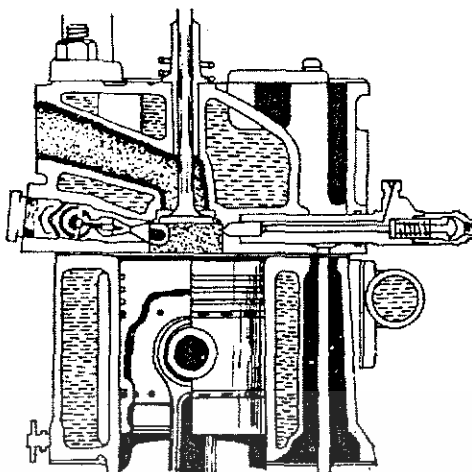
ข้อดีของห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน

1. แรงดันสูงสุดและอัตราการเพิ่มของแรงดันขณะเผาไหม้ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับห้องเผาไหม้แบบลว่งหน้า
2. การใช้ประโยชน์ของอากาศกระทำได้อย่างเต็มที่ ทำให้ไอเสียมีค่าน้อยมากเมื่อสัมประสิทธิ์ของอากาศส่วนเกินมีค่าเท่ากับ 1.15 – 1.25
3. การเผาไหม้เกิดขึ้นเร็วและสมบูรณ์ เนื่องจากการหมุนวนของอากาศมีความเร็วสูงเหมาะกับการทำงานของเครื่องยนต์ที่รอบสูง
4. มีเสียงน้อยของเครื่องยนต์น้อย
5. มีการควบคุมระยะเวลาล่าช้า(Delay Period)ทำให้แรงบิดใช้งานยืดหยุ่นได้ โดยมีควันไอเสียเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

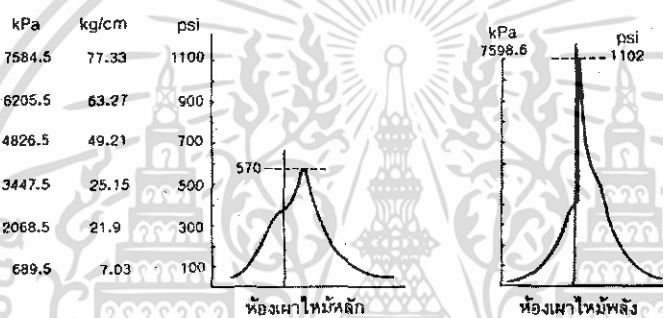
ข้อเสียของห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน

1. ไม่สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายเกรด
2. ความสิ้นเปลือง(sfc)ของเครื่องยนต์สูงกว่า เนื่องจากการสูญเสียความร้อนขณะที่ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้แล้วผ่ายรูท่อต่อไปยังห้องเผาไหม้หลัก
3. ติดเครื่องยนต์ยากขณะเครื่องเย็น เพราะมีการสูญเสียความร้อนไปกับห้องเผาไหม้มาก จึงต้องใช้หัวเผาช่วยในการติดเครื่อง
4. ต้องการน้ำมันที่เป็นตะอองมากกว่า ดังนั้นจึงต้องการกำลังดันของหัวฉีดสูงกว่าแบบห้องเผาไหม้ลว่งหน้า

3.3.3 ห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล (Air Cell Combustion Chamber) ประกอบด้วยห้องเผาไหม้หลักและห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล ทั้งห้องเผาไหม้หลักและห้องเผาไหม้แอร์เซลจะอยู่ในฝาสูบ โดยห้องเผาไหม้แบบแอร์เซลจะอยู่ตรงข้ามกับหัวฉีด ห้องเผาไหม้แบบนี้มักนิยมใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วสูง เส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบอยู่ระหว่าง 120 – 180 มิลลิเมตร

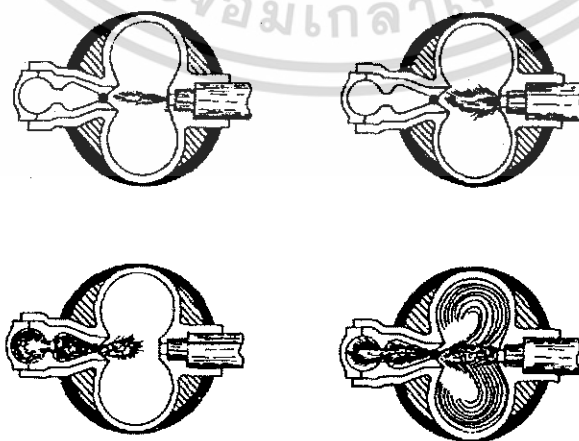


รูปที่ 3-13 ห้องเผาไหม้แบบแอโรเซล



รูปที่ 3-14 อินคอกเตอรืโคะแกรมของห้องเผาไหม้แบบแอโรเซล

ห้องเผาไหม้หลัก มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกคล้ายเลข 8 ซึ่งอยู่ในฝาสูบ จะอยู่ส่วนบนตรงกับห้องเผาไหม้หลัก ลิ้นไอดีจะอยู่ที่ส่วนราบของฝาสูบ ห้องแอโรเซลจะมีปริมาตรร้อยละ 20 ของปริมาตรกระบอกสูบทั้งหมด หัวฉีดจะใช้หัวฉีดแบบเดือย(Pintle) ติดตั้งอยู่คนละด้านกับห้องแอโรเซล และจะทำหน้าที่ฉีดน้ำมันตรงไปยังคอกคอดของห้องแอโรเซล



รูปที่ 3-15 ขั้นตอนการเผาไหม้ของห้องเผาไหม้แบบแอโรเซล

ขั้นตอนการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล คือ

1. เริ่มฉีด เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงฉีดออกจากหัวฉีดด้วยความเร็วสูง จะพุ่งผ่านห้องเผาไหม้หลักไปยังห้องแอร์เซล

2. เริ่มเผาไหม้ ขณะที่ผ่านห้องเผาไหม้หลัก ซึ่งมีความร้อนจากการอัดอากาศสูง ละอองน้ำมันที่อยู่รอบนอกของลำน้ำมันจากหัวฉีดซึ่งเป็นฝอยละอองที่เล็กมาก จึงทำให้จุดขีดความร้อนได้เร็วและเริ่มติดไฟการฉีดน้ำมันของหัวฉีดยังคงฉีดต่อไปและใกล้สิ้นสุดการฉีด

3. เผาไหม้ในห้องเผาไหม้แอร์เซล ระหว่างเผาไหม้ในห้องใหญ่ขณะนี้ จะเผาไหม้เฉพาะรอบนอกของละอองน้ำมัน และเกิดการเผาไหม้เพียงเล็กน้อย เพราะน้ำมันส่วนใหญ่พุ่งแรงเข้าไปในห้องเผาไหม้แอร์เซล ดังนั้นการติดไฟจึงติดตามเข้าไปในห้องแอร์เซลด้วย การเผาไหม้จะเกิดขึ้นในห้องแอร์เซล แต่การเผาไหม้จะยังไม่สมบูรณ์ เพราะมีอากาศในห้องแอร์เซลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะสิ้นสุดการฉีดที่นี่

4. การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้หลัก เมื่อเกิดการเผาไหม้ในห้องแอร์เซลจะเกิดแรงดันพาทั้งน้ำมันเชื้อเพลิงและเปลวไฟพุ่งมาสู่ห้องเผาไหม้หลัก โดยผสมกับอากาศที่ห้องเผาไหม้หลักนี้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ระหว่างที่พุ่งออกมาจากห้องเผาไหม้แอร์เซล การผสมระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหลือกับอากาศในห้องเผาไหม้หลักจะผสมกันได้ดี และเกิดการเผาไหม้ต่อเนื่องเป็นการอุ่นละอองน้ำมันให้ร้อนจนพร้อมที่จะเผาไหม้ จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าห้องเผาไหม้แบบอื่น จนสิ้นสุดการเผาไหม้

ข้อดีของห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล

1. ให้สมรรถนะสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้ตรง หรือแบบอากาศหมุนวน
2. การคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้กับอากาศเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ขาดระยะคล้ายกับห้องเผาไหม้แบบลว่งหน้า

3. สามารถควบคุมการเผาไหม้ได้ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันที่สูงมากเกินไป หรือเกิดอาการเค้นไม่เรียบอย่างเช่นที่เกิดขึ้นในบางครั้งกับห้องเผาไหม้แบบเปิด

4. ติดเครื่องยนต์ได้ง่าย ไม่ต้องใช้หัวเผา

5. ใช้มอเตอร์สตาร์ทได้ดี เพราะมีอัตราส่วนความอัดต่ำ(13 – 15 ต่อ 1)

6. ปริมาณอากาศที่ตกค้างอยู่น้อย

7. ใช้ได้ดีกับงานที่ต้องเปลี่ยนความเร็วบ่อย ๆ และต้องการความเร็วสูง

8. ให้กำลังงานสูง โดยที่ในห้องเผาไหม้หลักมีแรงดันต่ำ

ข้อเสียของห้องเผาไหม้แบบแอร์เซล

1. เป็นระบบที่ยู่ยากซับซ้อนกว่าห้องเผาไหม้แบบอื่น ๆ

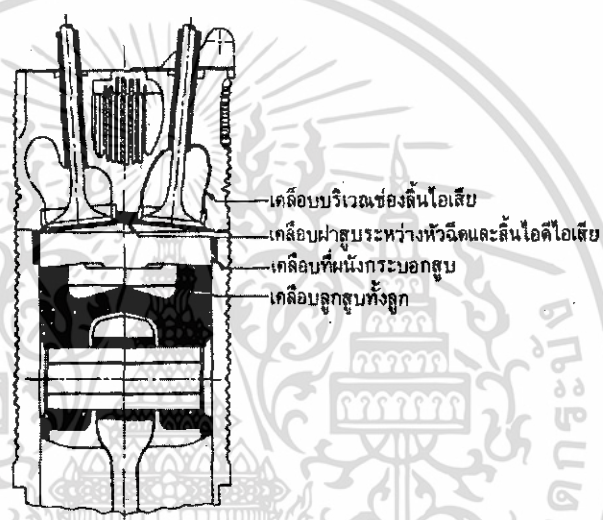
2. ไม่เหมาะที่จะสร้างเป็นเครื่องยนต์ขนาดใหญ่

3. ความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงสูงกว่าแบบที่ใช้ของเผาไหม้ตรง

4. ราคาสร้างตลอดจนค่าบำรุงรักษาซ่อมแซมสูง
5. การระบายความร้อนของห้องแอร์เซลยาก จึงทำให้ชำรุดเสียหายง่าย

3.4 การพัฒนาห้องเผาไหม้

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาห้องเผาไหม้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแก่เครื่องยนต์ ซึ่งกระทำได้โดยการเอาเซรามิก(Ceramic)เข้ามาเสริมสร้างห้องเผาไหม้ เพราะเซรามิกมีคุณสมบัติแข็งแกร่งกว่าเหล็ก เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี และทนต่อความกดดันและความร้อนได้สูง จึงนำเซรามิกมาเคลือบบริเวณห้องเผาไหม้ เนื่องจากเซรามิกเป็นฉนวนความร้อนทำให้การถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนอื่นได้ยาก จึงทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูง



รูปที่ 3-16 ห้องเผาไหม้เคลือบเซรามิก

จากรูปที่ 3-16 แสดงห้องเผาไหม้เคลือบเซรามิก โดยมีการเคลือบเซรามิกในส่วนของห้องเผาไหม้ดังนี้

1. ใช้เซรามิกเคลือบบริเวณช่องลิ้นไอเสียและท่อทางไอเสียที่อยู่ในฝาสูบ ทำให้เพิ่มกำลังของไอเสียไปขับเทอร์โบชาร์จ จึงได้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น
2. ใช้เซรามิกเคลือบฝาสูบระหว่างหัวฉีดและลิ้นไอเสีย เพื่อป้องกันความร้อนขึ้นไปยังฝาสูบ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้จึงสูง ทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงทำได้ง่ายและได้ประสิทธิภาพสูง
3. การเคลือบเซรามิกที่ผนังกระบอกสูบบริเวณห้องเผาไหม้ช่วยป้องกันความร้อนสูญเสีย ทำให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูง
4. การเคลือบเซรามิกแก่ลูกสูบทั้งลูกสามารถเพิ่มพลัง (ประสิทธิภาพทางความร้อนสูง) และความคงทนให้แก่เครื่องยนต์ เมื่อเทียบราคาค่าสร้างที่เพิ่มขึ้นแล้วยังได้เปรียบกว่าลูกสูบแบบเดิม

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

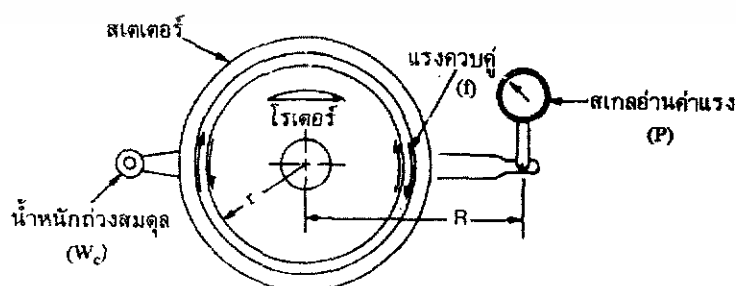
4.1 บทนำ

สมรรถนะของเครื่องยนต์คือ ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ในด้านต่าง ๆ เช่น ประสิทธิภาพ แรงบิด กำลังงาน ความเร็ว ความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง เป็นต้น แต่ในกรณีการศึกษาเพื่อใช้ในการออกแบบจะต้องมีการสังเกตการณ์ไหลวนของอากาศ และการกระจายตัวของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้นั้นด้วย ส่วนการที่จะศึกษาเรื่องต่าง ๆ ดังกล่าวนี้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือทดสอบและวิธีการต่าง ๆ อย่างถูกต้องเหมาะสม เพื่อสามารถคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ คือ อัตราส่วนของพลังงานที่เครื่องยนต์ทำได้ต่อค่าของพลังงานทั้งหมดที่ถูกใช้ไปในเครื่องยนต์นั้น ๆ ขณะที่แรงบิดของเครื่องยนต์แสดงถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ว่าขณะนั้นเครื่องยนต์กำลังทำงานมากหรือน้อย และกำลัง(Power) ของเครื่องยนต์ จะบอกถึงความสามารถของเครื่องยนต์นั้นๆว่าสามารถทำงานดังกล่าวได้เร็วหรือช้าเพียงใด

เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์คือไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เครื่องมือชนิดนี้จะวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ จากนั้นนำค่าแรงบิดนี้ไปคิดคำนวณหาแรงม้าของเครื่องยนต์ได้ และเครื่องจำลองกระแสการไหลของอากาศ(Particle Image Velocimeter) ซึ่งเครื่องนี้จะเป็นเครื่องที่สามารถสังเกตอากาศภายในห้องเผาไหม้ โดยการจำลองห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ออกมาเป็นชุดทดสอบ และสามารถนำภาพที่ได้จากชุดทดสอบไปคำนวณออกมาเป็นอัตราส่วนการไหลวนของอากาศภายในห้องเผาไหม้ (Swirl Ratio) ได้

4.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer)

ไดนาโมมิเตอร์(Dynamometer) มีหลายประเภท โดยแต่ละประเภทมีหลักการทำงานเหมือนกันคือ วัดค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ เพื่อที่จะนำค่าแรงบิด(Torque)นี้ไปคำนวณหาแรงม้า(Horsepower)ของเครื่องยนต์ พิจารณาหลักการทำงานของไดนาโมมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4.1 หลักการของไดนาโมมิเตอร์

เมื่อเครื่องยนต์ขับให้โรเตอร์ (Rotor) หมุนไป แรงคู่ควบ(Couple Force) ระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์(Stator) จะเกิดขึ้นเนื่องจากวิธีการใดวิธีการหนึ่งดังต่อไปนี้คือ วิธีการทางกล ไฮดรอลิกส์ แม่เหล็ก และไฟฟ้า

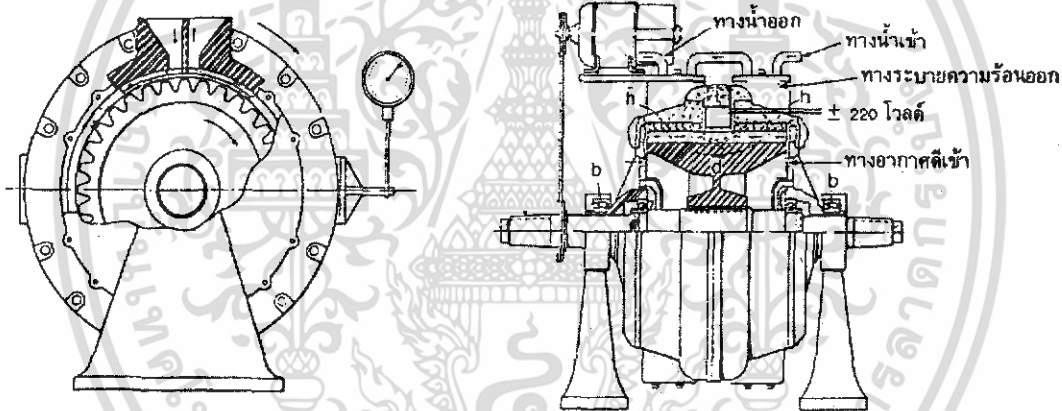
แรงคู่ควบจะทำให้เกิดโมเมนต์การหมุน($M = fr$) แต่โมเมนต์การหมุน = โมเมนต์ที่มากระทำให้หมุน (PR) = แรงบิดของเครื่องยนต์ (T) แรงคู่ควบจะทำให้เราสามารถคำนวณค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$T = (P - W_C)R \quad (4.1)$$

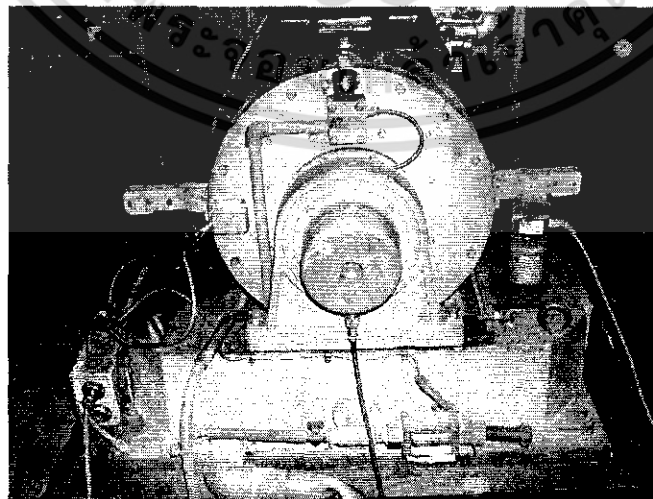
ไดนาโมมิเตอร์แบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

4.2.1 เอดดี้เคอร์เรนต์ไดนาโมมิเตอร์ (Eddy Current Dynamometer)

ประกอบด้วยจานหมุน ซึ่งขับโดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ขณะที่จานหมุนหมุนไปจะไปตัดกับสนามแม่เหล็กซึ่งควบคุมความเข้มโดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ขดลวด



รูปที่ 4-2 ไดนาโมมิเตอร์แบบเอดดี้เคอร์เรนต์เบรก



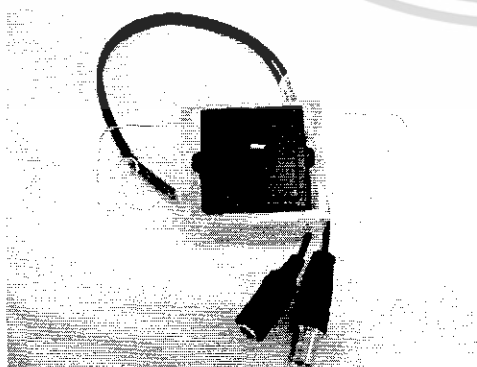
รูปที่ 4-3 ไดนาโมมิเตอร์แบบเอดดี้เคอร์เรนต์ที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อโรเตอร์หมุนติดกับสนามแม่เหล็ก ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่สเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้ทำให้สเตเตอร์มีความร้อนสูงจึงต้องใช้น้ำหล่อเย็น

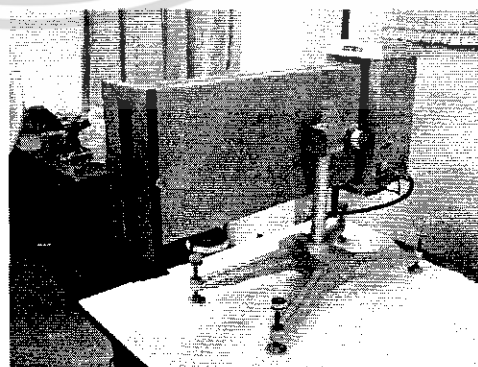
ขณะที่โรเตอร์หมุนไปอำนาจแม่เหล็กระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์จะมีผลทำให้สเตเตอร์พยายามหมุนไปในทางเดียวกับโรเตอร์ ซึ่งเราสามารถวัดแรงบิดเนื่องมาจากการหมุนนี้ได้จากสเกล แล้วนำมาคำนวณหาแรงม้าของเครื่องยนต์ได้

4.3 เครื่องจำลองกระแสการไหลของอากาศ (Particle Image Velocimeter)

ในกระบอกสูบ การเคลื่อนที่ของอากาศมีผลต่อการเผาไหม้ ทำให้เกิดความต้องการที่จะสังเกตการกระจายตัวของอากาศภายในปริมาตรเล็ก ๆ ที่ทำให้เกิดการจุดระเบิดและการถูกลามเปลวไฟที่ได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในทุก ๆ รอบของจังหวะในห้องเผาไหม้จะมีความเปลี่ยนแปลงของการไหลของอากาศอยู่เสมอ โดยจะนำมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละจังหวะในการขบวนการเผาไหม้ ในเครื่องยนต์ Gasoline Direct Injection (GDI), การไหลในกระบอกสูบมีการควบคุมดูแลการเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงจากหัวฉีดถึงหัวเทียนดีเท่ากับการอัตราการเผาไหม้ในกระบอกสูบ นักออกแบบเครื่องยนต์ได้มีการรวมข้อมูลเครื่องยนต์และโปรแกรมทำนายการเคลื่อนที่ของของไหล (CFD) มาปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อการผสมของเชื้อเพลิงในอากาศบริเวณหัวเทียนกับของเหลวเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกันซึ่งจะได้กำลังดีขึ้น อย่างไรก็ตาม , ถ้าการไหลของอากาศในแต่ละรอบมีการเปลี่ยนแปลงมากทำให้การปรับแต่งเครื่องยนต์ก็จะไม่ดีเท่าที่ควร สิ่งที่สำคัญมากกฎหมายที่ควบคุมมลพิษทั้งปัจจุบันและอนาคตต้องการให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ให้มีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกับร้อยละ 90 ให้มากที่สุด ดังนั้นผู้ออกแบบเครื่องยนต์ต้องตระหนักถึงพื้นที่การไหลของอากาศและความเปลี่ยนแปลงในแต่ละรอบการทำงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด การเพิ่มขึ้นของการไหลถูกคาดหวังว่าให้มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพความดัน เครื่องตรวจวัดที่เหมาะสมที่สุดกับการใช้ทดสอบนี้คือ PIV โดย PIV เป็นเครื่องที่ตรวจวัดความเร็วของอากาศการไหลภายในกระบอกสูบต่อการทำงานในแต่ละรอบ โดยอาศัยแผ่นระนาบของแสงเป็นตัวสังเกต ซึ่งค่าที่คำนวณได้นั้นเป็น Swirl Ratio(SR) และ Tumble(TR)

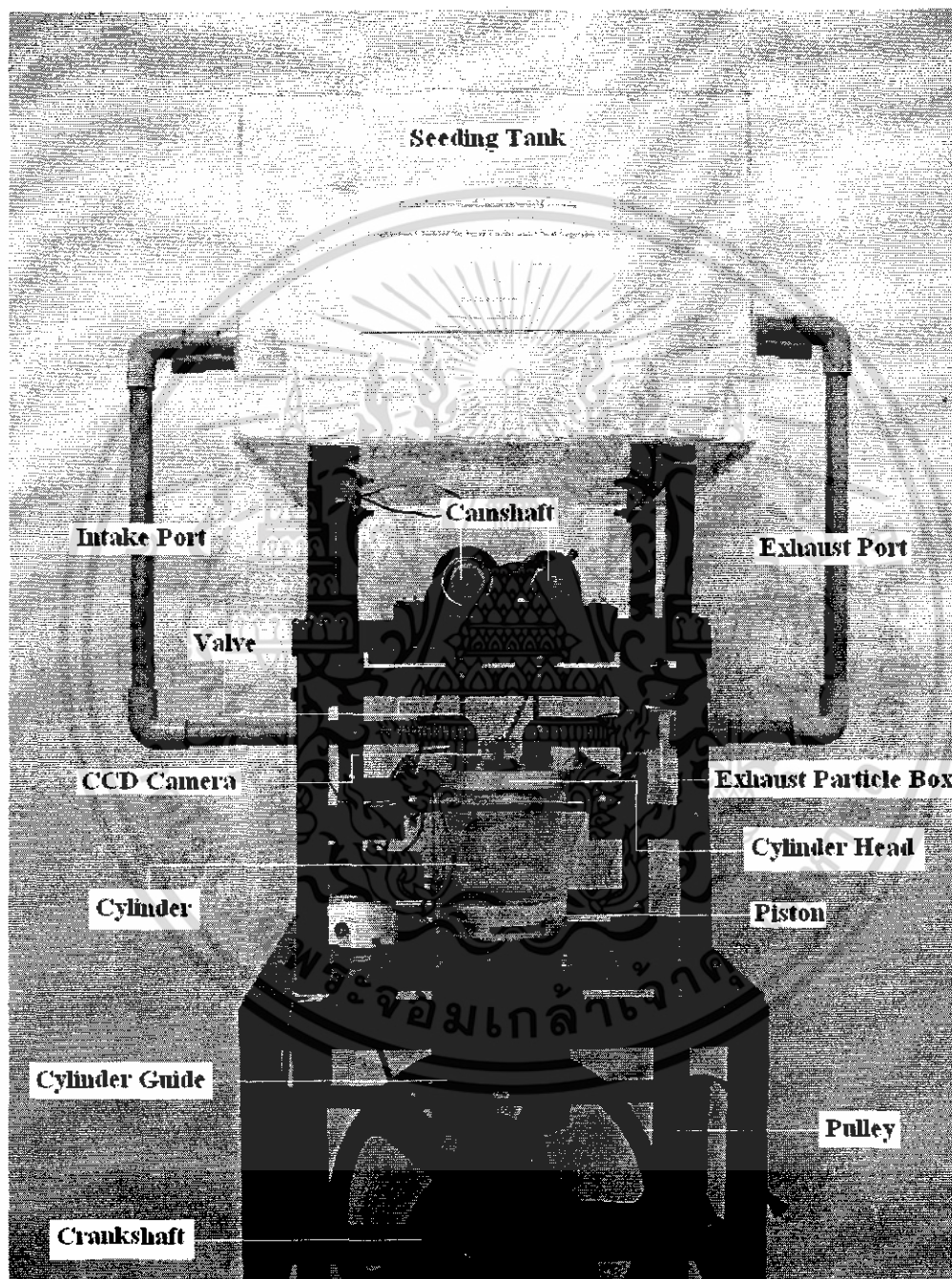


รูปที่ 4-4 กล้อง CCD



รูปที่ 4-5 ระนาบแสง

เครื่องนี้เป็นเครื่องที่สังเกตการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้ โดยอาศัยการกระเจิงของแสงเมื่อระนาบแสงกระทบกับอนุภาคที่ไต่เข้าไปในกระบอกสูบ (Particle) สิ่ง que แสดงออกมาจะบันทึกลงในกล้อง ส่วนการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเล็กน้อย โดยจะแบ่งระนาบแสงตามเวกเตอร์ความเร็วของการไหลของอนุภาค โดยรูปภาพจะถูกส่งไปยังกล้องตามกระบวนการทางเทคนิค

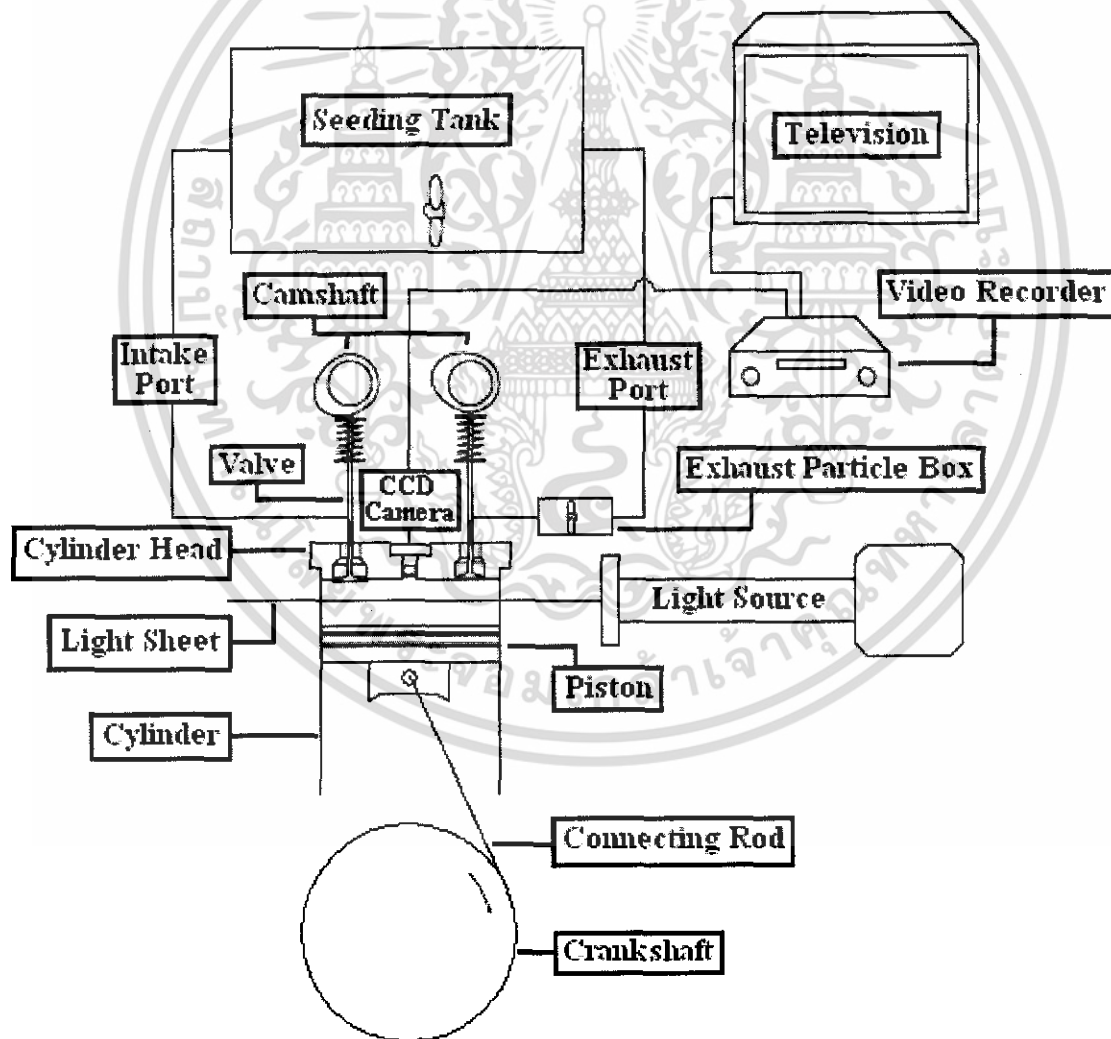


รูปที่ 4-6 เครื่องจำลองการไหล PIV

การวัดจะทำบนเครื่องชนิดที่ต้องการสังเกต ซึ่งเป็นแบบกระบอกสูบเดียว ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะของเครื่อง ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องจำลองการไหล PIV

Cylinder Bore	144 mm
Stroke	150 mm
Connecting Rod Length	365 mm
Inlet Valve Diameter	50 mm
Exhaust Valve Diameter	45 mm
Maximum Valve Lift	8 mm
Degree of Valve	0°
Compression Ratio	18
Numbers of Valve	2



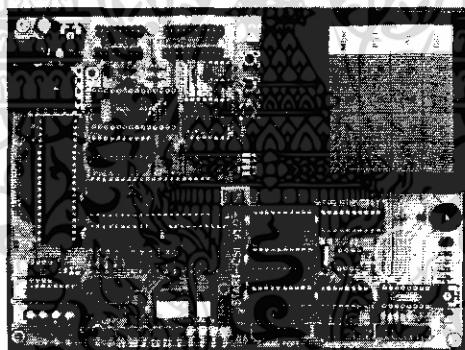
รูปที่ 4-7 แสดงไดอะแกรมเครื่องจำลองการไหล PIV

ชุดอุปกรณ์ของเครื่องจำลองการไหล(Particle Image Velocimeter) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| 1. Piston | 9. Light Source |
| 2. Cylinder Head | 10. Video Recorder |
| 3. Crankshaft | 11. Television |
| 4. Camshaft | 12. Seeding Tank |
| 5. Pulley | 13. Exhaust Particle Box |
| 6. Motor 3 Phases | 14. Inlet / Exhaust Valve |
| 7. Investor | 15. CCD Camera |
| 8. Connecting Rod | 16. Lock Spring |

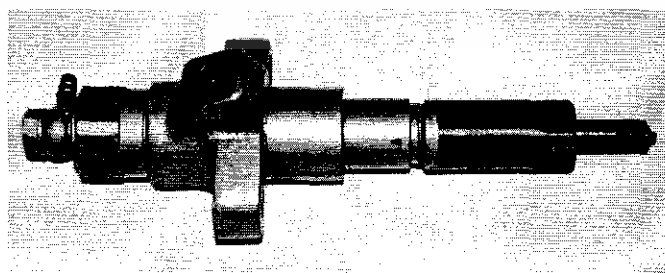
4.4 อุปกรณ์จับภาพการฉีดสเปรย์

การจับภาพการกระจายตัวของละอองน้ำมันเมื่อกระทบหัวลูกสูบ ในจังหวะเดิมซ้ำๆ จำเป็นต้องอาศัยความแม่นยำในการจับภาพ จึงเป็นเรื่องยากในการใช้มนุษย์ ดังนั้นจึงได้มีการนำชุดควบคุมระบบไมโครคอน-โทรลเลอร์ มาช่วยในการจับภาพดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-8 แสดงชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ซึ่งหัวฉีดที่ใช้จะเป็นแบบ Hole type ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบห้องเผาไหม้ตรง Mitsubishi DI 1200 ที่มีแรงดันในการฉีด 225-235 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังรูป

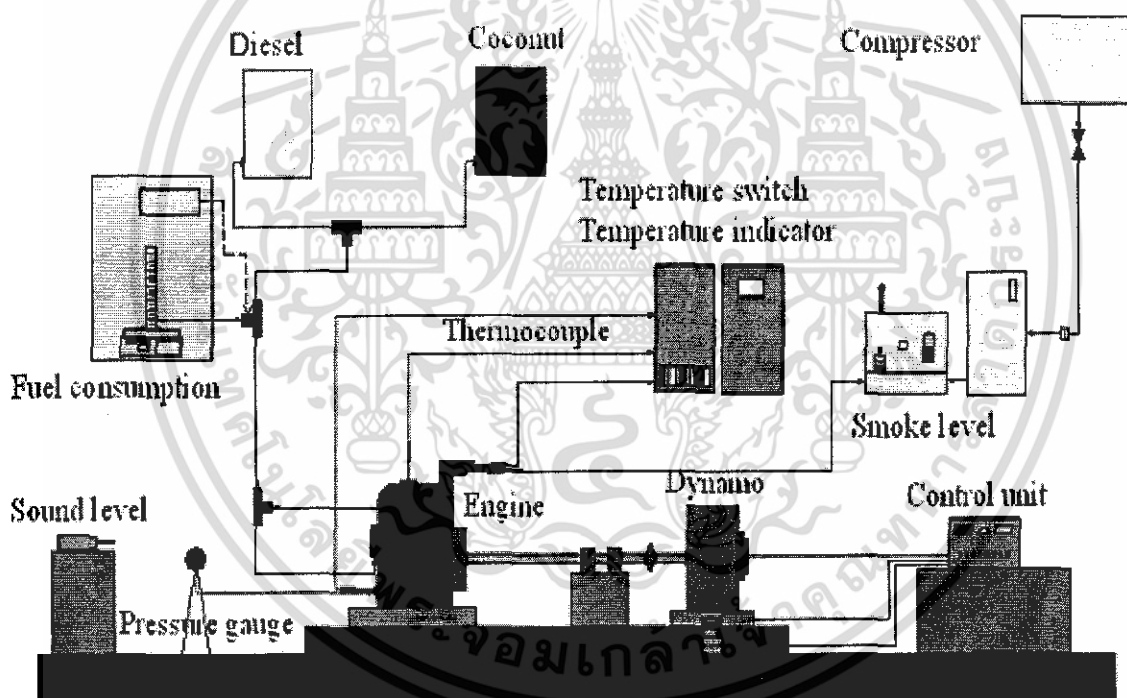


รูปที่ 4-9 แสดงหัวฉีดแบบ Hole type

4.5 อุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะ

ชุดอุปกรณ์ในการติดตั้งการทดสอบเครื่องยนต์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

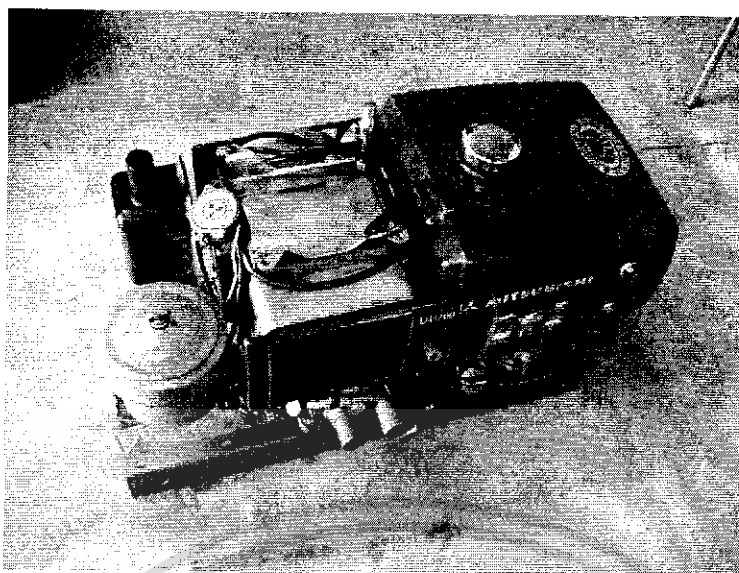
- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Diesel engine | 9. Temperature switch |
| 2. Dynamometer (Eddy current) | 10. Temperature indicator |
| 3. Control unit | 11. Compressor |
| 4. Smoke level | 12. Sound level |
| 5. Pressure gauge | 13. Fuel tank (Diesel, Palm, Coconut) |
| 6. Fuel consumption | 14. Gasket plate |
| 7. Timing light | 15. Zimp plate |
| 8. Thermocouple | 16. Injection pressure gauge |



รูปที่ 4-10 แผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบเครื่องยนต์

4.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์ของ Mitshubishi รุ่น DI-1200 มีกำลังสูงสุด 7.72 kw แรงบิดสูงสุด 3.6 kg.m เป็นเครื่องยนต์ระบบ direct injection แสดงในรูปที่ 4-8



รูปที่ 4-11 เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ

และมีรายละเอียดของข้อมูลทางเทคนิคแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 แสดงข้อมูลของเครื่องยนต์

แบบ	เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ
รหัสรุ่น	DI 1200
หมายเลขเครื่องยนต์	105 14140
กำลังที่กำหนดต่อเครื่อง	6.99 KW @ 2200 rpm
กำลังสูงสุด	7.72 KW @ 2400 rpm
จำนวนกระบอกสูบ	1
เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ	90 mm.
ช่วงชัก	86 mm.
อัตราส่วนกำลังอัด	18 : 1
ชนิดห้องเผาไหม้	Direct Injection
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำหมุนวน
หัวฉีดชนิด	Hole Type
ความดันในการฉีด	225-235 Kg/Cm ²

4.7 เครื่องวัดความเข้มข้นของควันดำ

เครื่องมือวัดความเข้มข้นของควันดำที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบเครื่องวัดความเข้มข้นควันดำของเครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อ QKUDA รุ่น DSM-240 มีหน่วยวัดความเข้มข้นของควันดำเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) จากการทะลุผ่านของแสงจากเครื่องผ่านกระดาษที่ติดเขม่าที่ผ่านการดูดไอเสียมาแล้ว โดยที่ค่ากระดาษมาตรฐานของเครื่องวัดจะมีค่าความเข้มอยู่ที่ 48.3 % ซึ่งใช้สอบเทียบค่ามาตรฐานกับตัวเครื่อง และตัวกระดาษวัดความเข้มควันดำ ยี่ห้อ KITCHA



รูปที่ 4-12 เครื่องวัดความเข้มข้นของควันดำ

4.8 ชุดวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

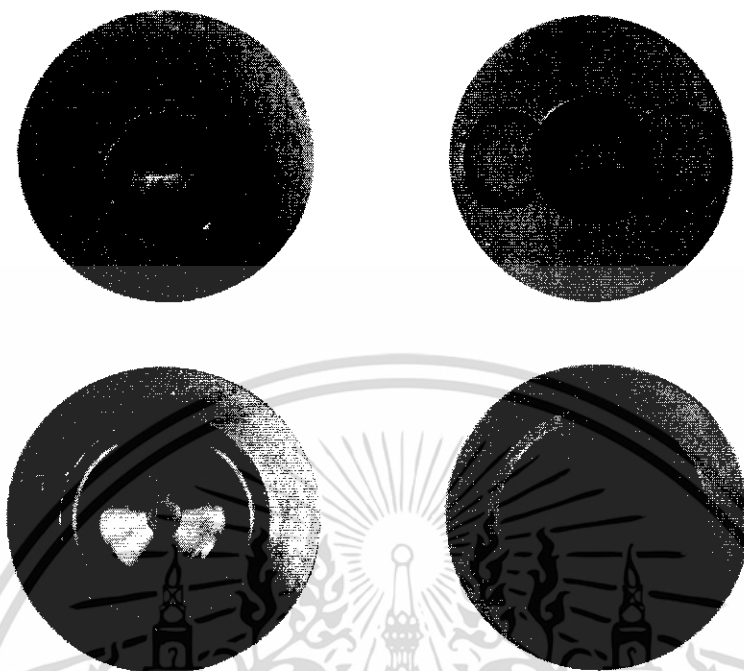
อุปกรณ์การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงนั้นประกอบด้วย ตราซังแบบดิจิตอล ความละเอียด 0.1g สามารถวัดมวลได้มากที่สุด 3 kg ใช้ชั่งมวลน้ำมันในบีกเกอร์, บีกเกอร์ขนาด 500 ml, Timer แบบดิจิตอลซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมการปิดเปิดวาล์วและกำหนดเวลาในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในแต่ละครั้ง(70 วินาที), solenoid valve ชนิด 2 ทางแบบปกติปิด จำนวน 2 ตัว ใช้ควบคุมการวัดปริมาณน้ำมันในบีกเกอร์, สายน้ำมัน, ถังน้ำมันจำนวน 2 ถังประกอบด้วย ถังน้ำมันดีเซล และถังน้ำมันมะพร้าว 100%, ball valve 4 ทางใช้สำหรับสลับเปลี่ยนชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง ball valve 3 ทางใช้ควบคุมเส้นทางน้ำมันไหลเข้าและไหลกลับจากตัวเครื่องยนต์



รูปที่ 4-13 ชุดวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.9 แบบของลูกสูบ

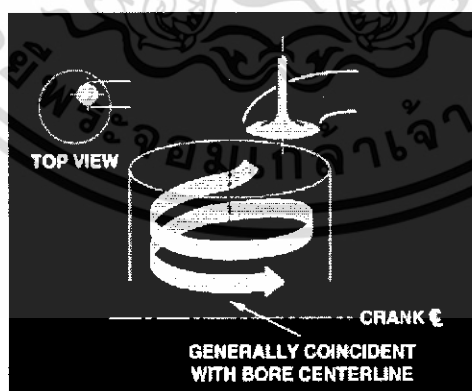
หัวลูกสูบที่ออกแบบมี 4 แบบดังนี้



รูปที่ 4-14 แสดงลูกสูบที่ได้ออกแบบ

4.10 แบบของท่อไอดี

แบบของท่อไอดีที่ใช้ในการทดสอบการไหลจะมีลักษณะ 2 แบบคือแบบ swirl และแบบ tumble ซึ่งมีข้อดีแตกต่างกันออกไปคือ แบบ swirl จะทำให้อากาศที่เข้ามาในห้องเผาไหม้มีการหมุนวนสูงเหมาะกับเครื่องยนต์รอกต่างๆ ดังแสดงในรูป

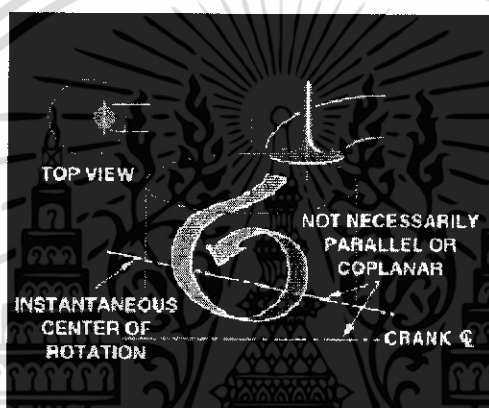


รูปที่ 4-15 แสดงการไหลของอากาศของท่อไอดีแบบ swirl



รูปที่ 4-16 แสดงท่อไอดีแบบ *swirl* ในชุดทดลองการไหม

ส่วนแบบ tumble อากาศที่เข้ามาในห้องเผาไหม้จะมีปริมาณมากแต่ไม่เหมาะสมกับเครื่องที่ต้องการรอบสูงๆ



รูปที่ 4-17 แสดงการไหมของท่อไอดีแบบ *Tumble*



รูปที่ 4-18 แสดงท่อไอดีแบบ *Tumble* ในชุดการทดลอง

4.11 วิธีการทดลอง

การทดลองได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ในส่วนแรกเป็นการทดลองเพื่อดูการไหมภายในห้องเผาไหม้ ส่วนที่สองเป็นการฉีดสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบ ส่วนที่สามคือการนำลูกสูบที่ออกแบบมาทดสอบกับเครื่องยนต์

4.11.1 วิธีการทดลองเพื่อสังเกตการไหลภายในห้องเผาไหม้

- นำหัวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบที่มีลักษณะต่างกัน 4 แบบ มาติดตั้งเข้ากับเครื่องจำลองกระแสนการไหล
- เดินเครื่องและบันทึกภาพ
- ทำการการเปลี่ยนลักษณะของท่อไอดี
- เดินเครื่องและบันทึกภาพอีกครั้ง
- ทำการวิเคราะห์ลักษณะการไหลโดยการวาดรูปเวกเตอร์ความเร็ว

4.11.2 วิธีการฉีดสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบ

- จัดวางตำแหน่งหัวฉีดและลูกสูบให้มีลักษณะเหมือนกับห้องเผาไหม้จริง
- ทดลองฉีดสเปรย์กระทบผิวลูกสูบห้าแบบ
- บันทึกภาพสเปรย์สองมุม
- นำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาหัวลูกสูบที่เหมาะสม

4.11.3 วิธีการทดสอบกับเครื่องยนต์

- ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เดิม
- นำหัวลูกสูบที่ได้รับการออกแบบมาติดตั้ง
- ทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่ได้รับการติดตั้งหัวลูกสูบใหม่
- เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องยนต์ที่มีหัวลูกสูบแบบเดิมกับหัวเครื่องยนต์ที่มีลูกสูบใหม่

บทที่ 5

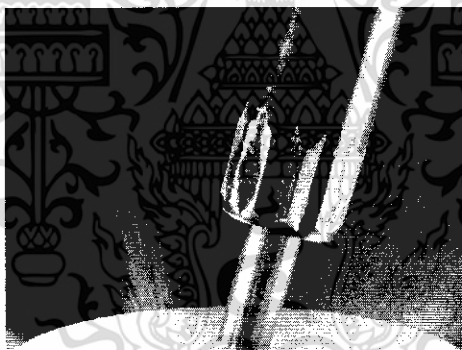
ผลการทดลอง

การทดลองจะแบ่งออกเป็นสามช่วง ช่วงแรกคือการถ่ายภาพการฉีดสเปรย์กระทบหัวลูกสูบ ที่ที่ความดันบรรยากาศ ช่วงที่สองคือการทดลองถ่ายภาพการไหลภาพในห้องเผาไหม้ของหัวลูกสูบทั้งสี่แบบโดยทำการเปลี่ยนแบบท่อไอเสียสองแบบ และนำผลมาวิเคราะห์หาลูกสูบที่เหมาะสม เพื่อนำมาติดตั้งในเครื่องยนต์ ช่วงที่สามคือทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ได้รับการติดตั้งหัวลูกสูบที่ออกแบบแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหัวลูกสูบแบบเดิม

5.1 ผลการทดสอบการฉีดสเปรย์กระทบหัวลูกสูบ

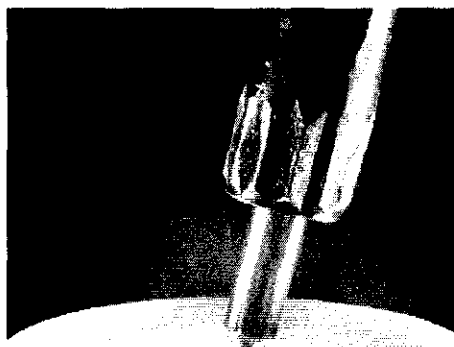
การทดลองถ่ายภาพจะทำการทดลองในสองลักษณะคือภาพถ่ายจากมุมบนและภาพถ่ายในแนวระดับ เพื่อสามารถสังเกตและทำการวิเคราะห์ผลได้ชัดเจน โดยข้อดีของการถ่ายจากมุมบนคือสามารถมองเห็นการกระจายตัวบนหัวลูกสูบได้ ข้อดีของการถ่ายในแนวระดับคือสามารถมองเห็นความสูงของการกระจายตัว

5.1.1 ภาพจากมุมบน



รูปที่ 5-1 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจาน

จากรูป 5-1 พบว่าการสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจานที่ความดันบรรยากาศ จะทำให้น้ำมันจากหัวฉีดพุ่งไปได้ไกลในด้านข้าง และลักษณะการสเปรย์จะเป็นเส้นพุ่งขึ้นสู่ฝาสูบ และจะมีปริมาณมากที่ทางด้านขวาของหัวลูกสูบ อันเนื่องมาจากสเปรย์น้ำมันกระทบกับหัวลูกสูบในมุมที่เกือบจะตั้งฉากทำให้เกิดการกระทบอย่างรุนแรงแล้วสะท้อนกลับขึ้นข้างบน



รูปที่ 5-2 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์

จากรูปที่ 5-2 พบว่าการสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ จะให้การกระจายตัวของละอองน้ำมันน้อยและน้ำมันจะค้างอยู่ในหลุมมาก แต่น้ำมันจะเป็นฝอยละเอียดกระจายอยู่บริเวณเหนือหลุม ไม่กระจายทั่วห้องเผาไหม้ เนื่องจากระยะการสเปรย์น้อย เกิดการกระแทกกันภายในหลุมอย่างรุนแรงทำให้น้ำมันพุ่งกระจายบริเวณเหนือหลุม



รูปที่ 5-3 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

จากรูปที่ 5-3 พบว่าการสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน การกระจายตัวของน้ำมันก็จะกระจายตัวเป็นวงกว้าง ทำให้ละอองน้ำมันจะเป็นฝอยละเอียดพุ่งสูงขึ้นสู่ฝาสูบ เนื่องจากหัวลูกสูบที่เป็นหลุมกว้างจะทำให้ระยะการสเปรย์น้ำมันมากขึ้น จานที่โค้งนูนจะรับกับองศาการสเปรย์ของน้ำมันและขอบข้างที่โค้งนูนทำให้น้ำมันพุ่งขึ้นข้างบน



รูปที่ 5-4 การสเปรย์น้ำมันกระทบทหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว

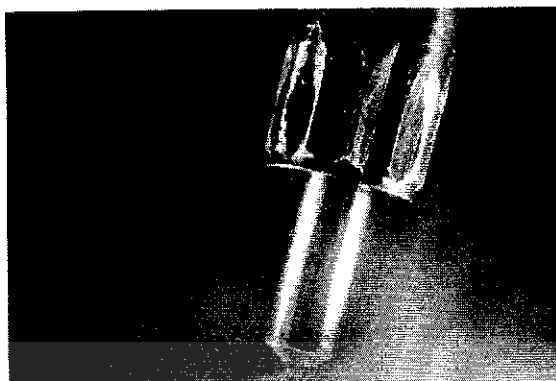
จากรูปที่ 5-4 พบว่าการสเปรย์น้ำมันกระทบทหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว การสเปรย์น้ำมันจะเป็นเส้นกระจายตัวรอบ ๆ หลุม รวมไปถึงบริเวณที่เป็นหลุมหลบวาล์วด้วย โดยการกระจายจะหมุนวนตามลักษณะของหลุมและจะกระจายตัวเฉพาะบริเวณเหนือหลุมไม่กระจายไปทั่ว

5.1.2 ภาพในแนวระดับ



รูปที่ 5-5 การสเปรย์น้ำมันกระทบทหัวลูกสูบแบบจาน

จากรูปที่ 5-5 พบว่าการสเปรย์น้ำมันกระทบทหัวลูกสูบแบบจานเมื่อมองในแนวระดับ การสเปรย์จะพุ่งขึ้นสูง และจะมีปริมาณน้ำมันมากที่บริเวณด้านขวาของรูป



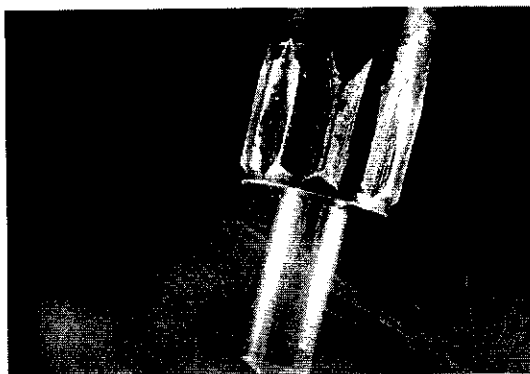
รูปที่ 5-6 การสเปรย์กระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์

จากรูปที่ 5-6 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ การกระจายตัวของน้ำมันจะเป็นฝอยละเอียดอยู่บริเวณหัวฉีด



รูปที่ 5-7 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

จากรูปที่ 5-7 พบว่าการสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบจานนูนโค้ง การกระจายของน้ำมันจะเป็นวงกว้าง ละอองของน้ำมันมีลักษณะเป็นฝอย



รูปที่ 5-8 การสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว

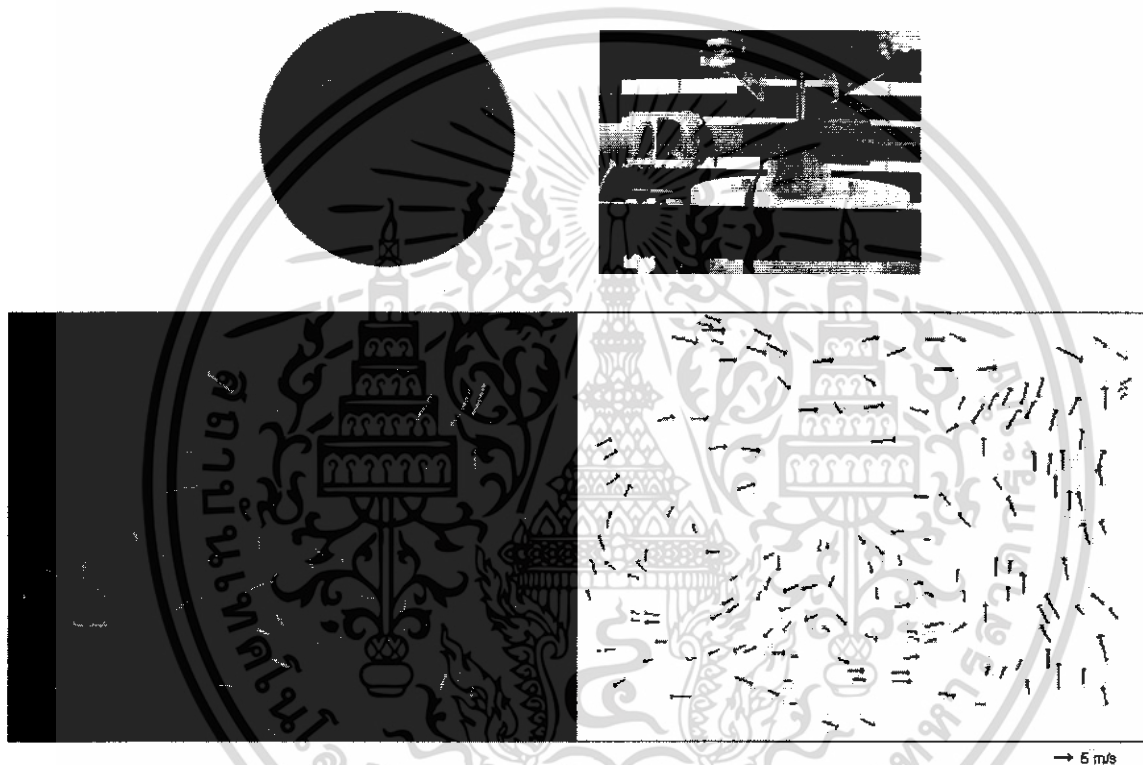
จากรูปที่ 5-8 พบว่าการสเปรย์น้ำมันกระทบหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์ว การสเปรย์น้ำมันจะเป็นเส้นกระจายตัวรอบ ๆ หลุม รวมไปถึงบริเวณที่เป็นหลุมหลบวาล์ว



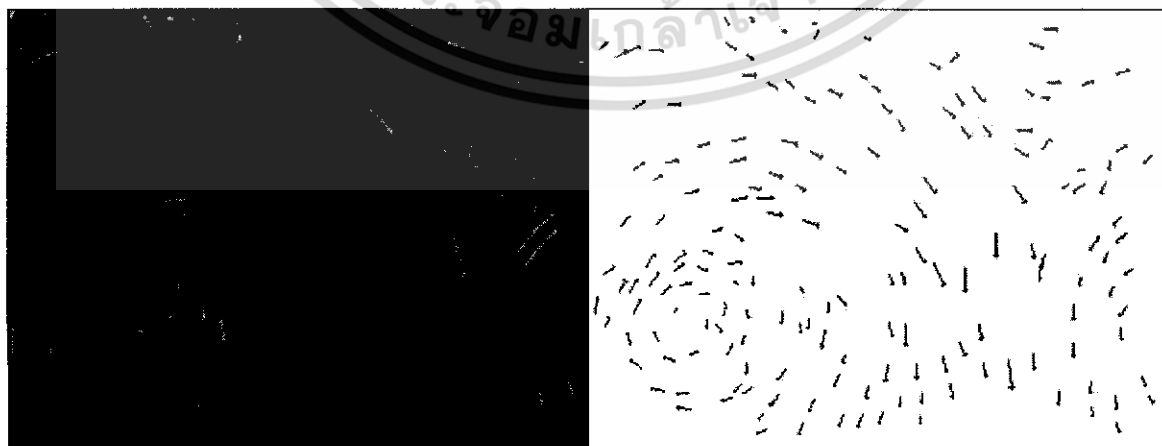
5.2 ผลการทดลองการสังเกตการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้

การทดลองการสังเกตการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้จะทำการทดลองกับหัวลูกสูบสี่แบบ คือแบบจาน แบบมีหลุมเยื้องศูนย์ แบบจานโค้งงู และแบบมีหลุมหลบวาล์ว โดยเปลี่ยนท่อไอเสียสองแบบคือแบบขนาบ(Swirl)และแบบตั้งฉาก(Tumble) ซึ่งการทดลองจะพิจารณาที่จังหวะดูดและอัดของ หัวลูกสูบแต่ละแบบและท่อไอเสียแต่ละอัน แล้วนำภาพที่ได้จากการถ่ายภาพมาวาดเวกเตอร์ความเร็วเพื่อหาทิศทางการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้

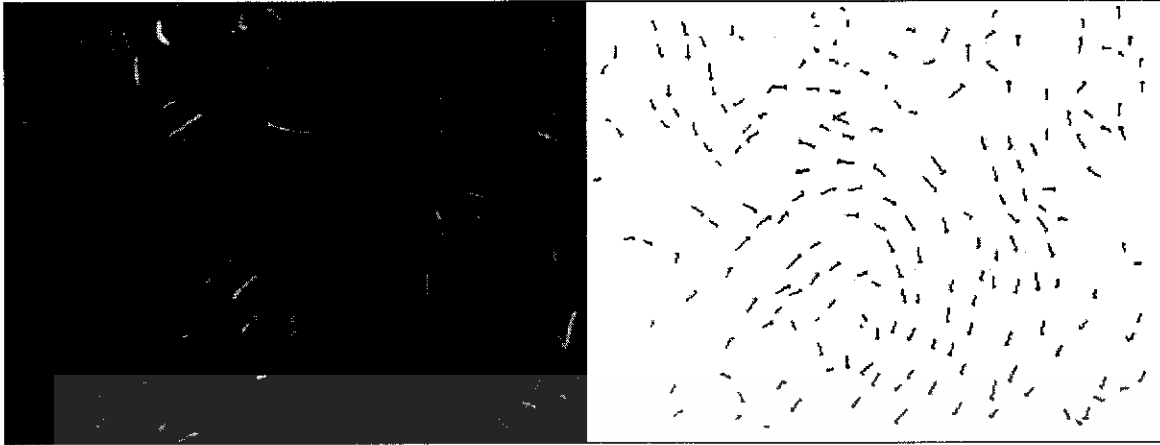
5.2.1 รูปเวกเตอร์ความเร็วของเครื่องจำลองการไหลในจังหวะดูด ท่อไอเสียแบบ swirl



รูปที่ 5-9 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC



รูปที่ 5-10 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC

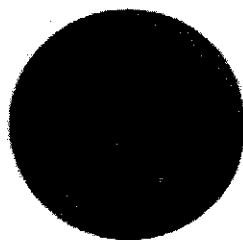


รูปที่ 5-11 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC



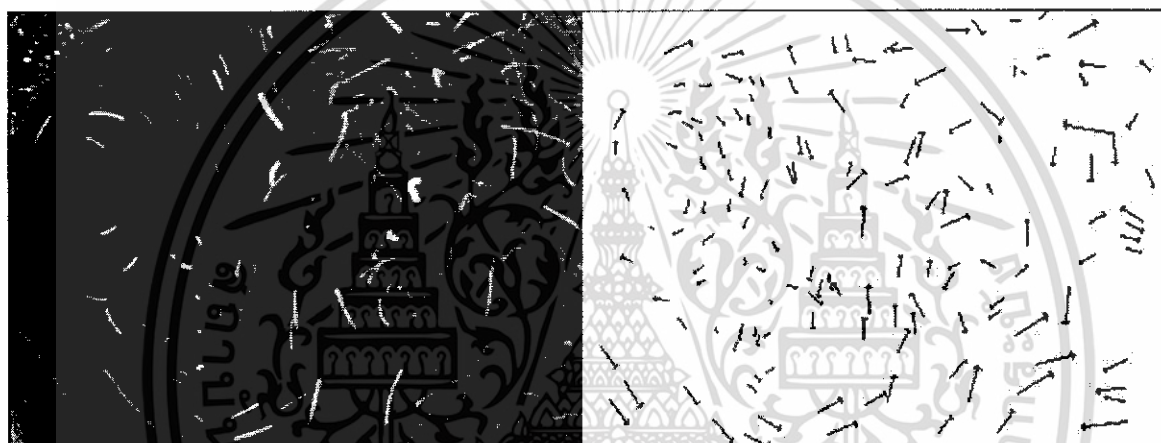
รูปที่ 5-12 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-9 ถึง 5-12 แสดงให้เห็นว่ากระแสหมุนวนในทิศตามเข็มนาฬิกาจะไหลจากทางวาล์วไอดีไปสู่เป็นจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ เนื่องจากท่อไอดีที่เป็นแบบ Swirl ดังนั้นอากาศที่ไหลเข้ามาในกระบอกสูบจะมีทิศทางในแนวเส้นสัมผัสกับกระบอกสูบมากกว่าในแนวอื่นและมีความเร็วค่อนข้างต่ำ จึงทำให้กระแสอากาศที่ไหลเข้ามาไหลวนอยู่บริเวณวาล์วไอดีก่อนจากนั้นจะเคลื่อนตัวไปบริเวณจุดกึ่งกลางกระบอกสูบ เนื่องจากความดันในบริเวณวาล์วไอดีสูงกว่ากึ่งกลางกระบอกสูบ

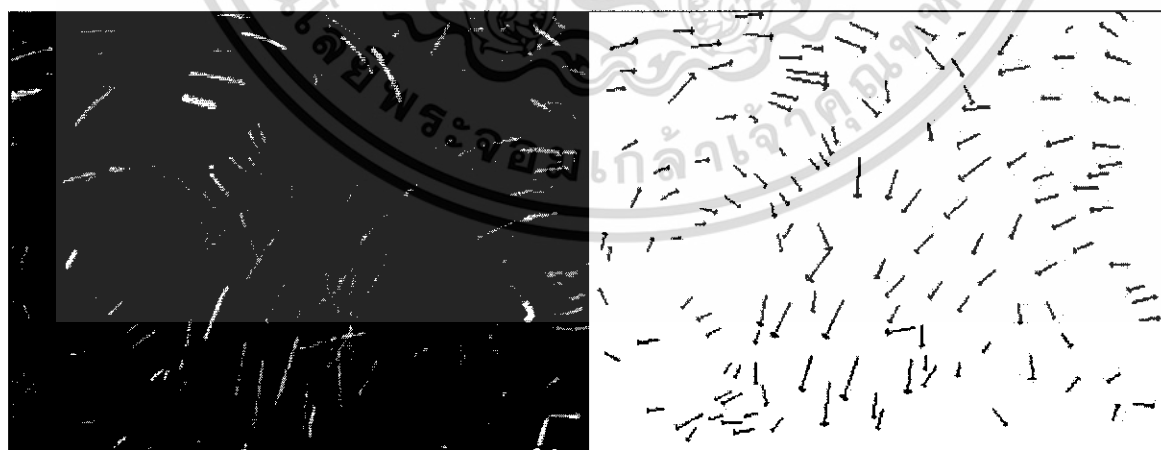




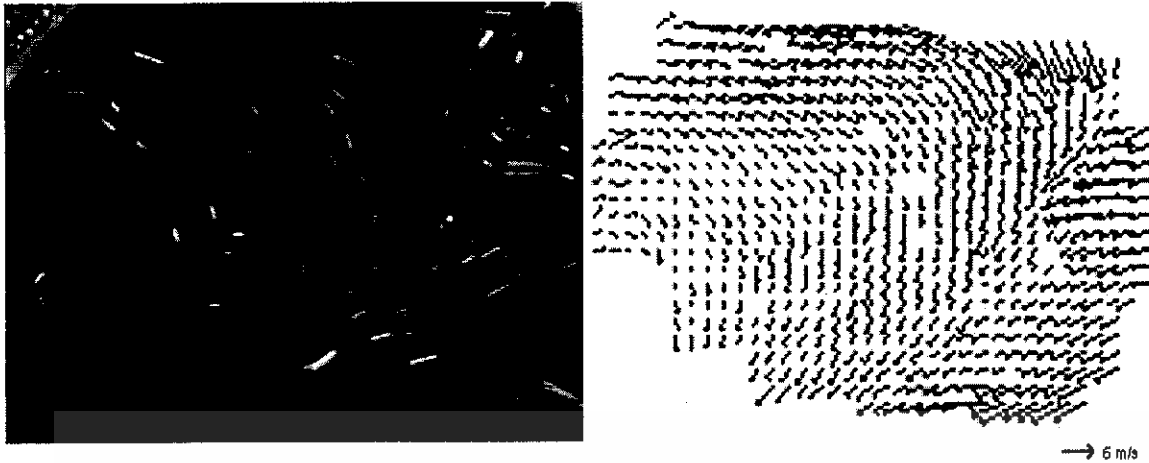
รูปที่ 5-13 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีทอมเยื้องศูนย์ ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC



รูปที่ 5-14 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีทอมเยื้องศูนย์ ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC

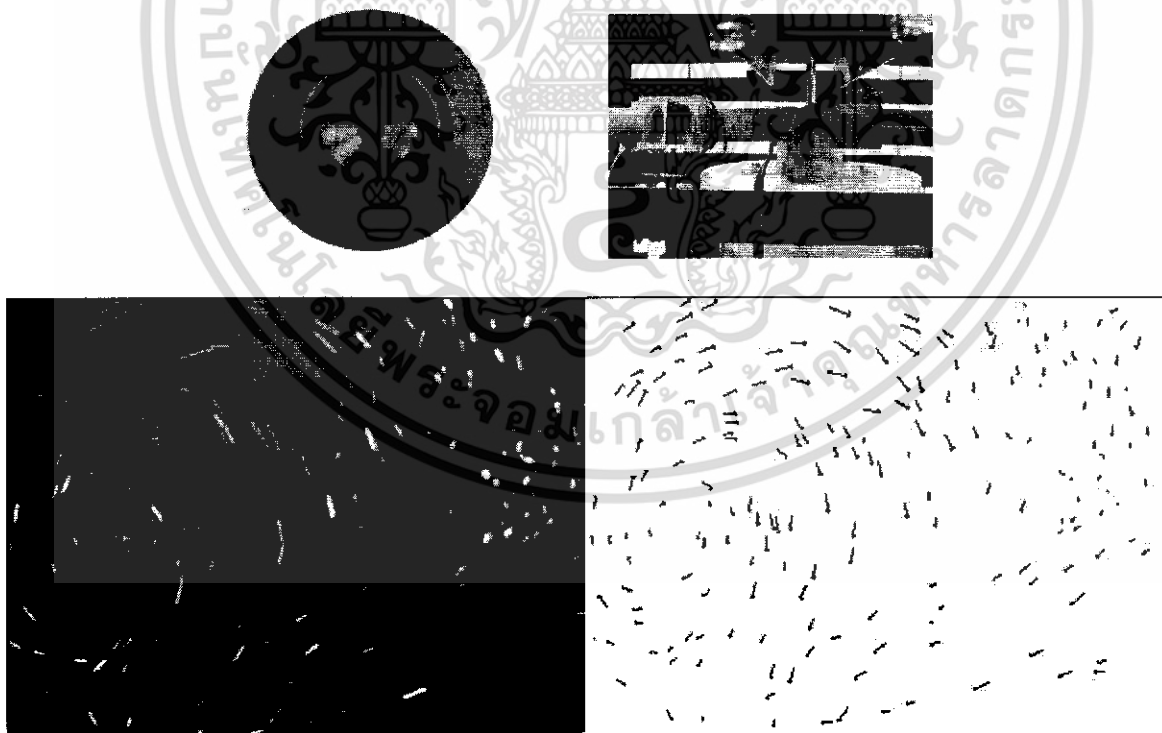


รูปที่ 5-15 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีทอมเยื้องศูนย์ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC

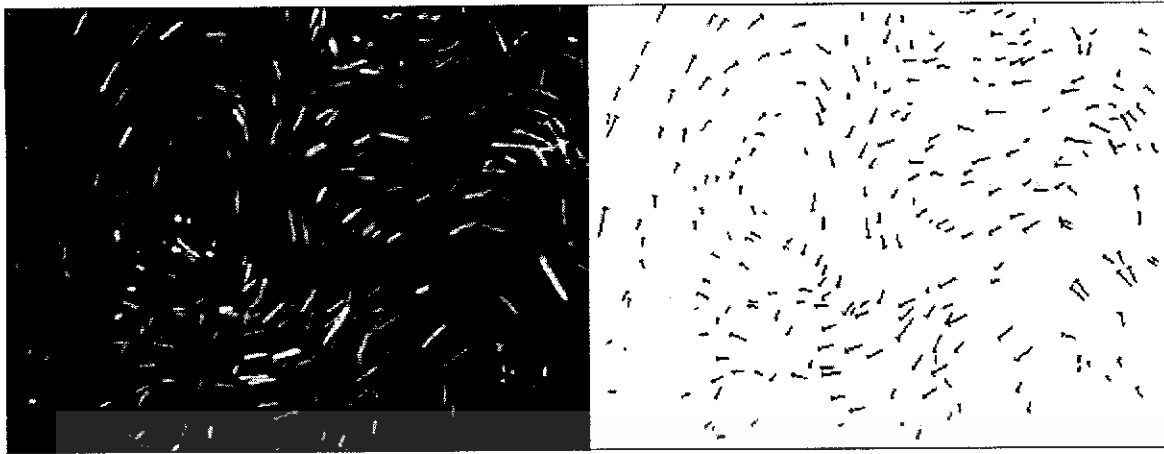


รูปที่ 5-16 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-13 ถึง 5-16 แสดงให้เห็นว่า อากาศที่ไหลเข้ากระบอกสูบเกิดการหมุนวนในทิศตามเข็มนาฬิกาและจะเคลื่อนตัวจากวาล์วไอดีไปยังจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ ซึ่งส่งผลมาจากลักษณะของท่อไอดีที่เป็นแบบ Swirl เพราะอากาศที่เข้ากระบอกสูบนั้นจะไหลในแนวเส้นสัมผัสมากกว่าในแนวอื่น และมีความเร็วค่อนข้างต่ำ ดังนั้นอากาศจะเคลื่อนตัวจากความดันสูงไปสู่ความดันต่ำ ณ บริเวณจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ เป็นผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสหมุนวนภายในกระบอกสูบ



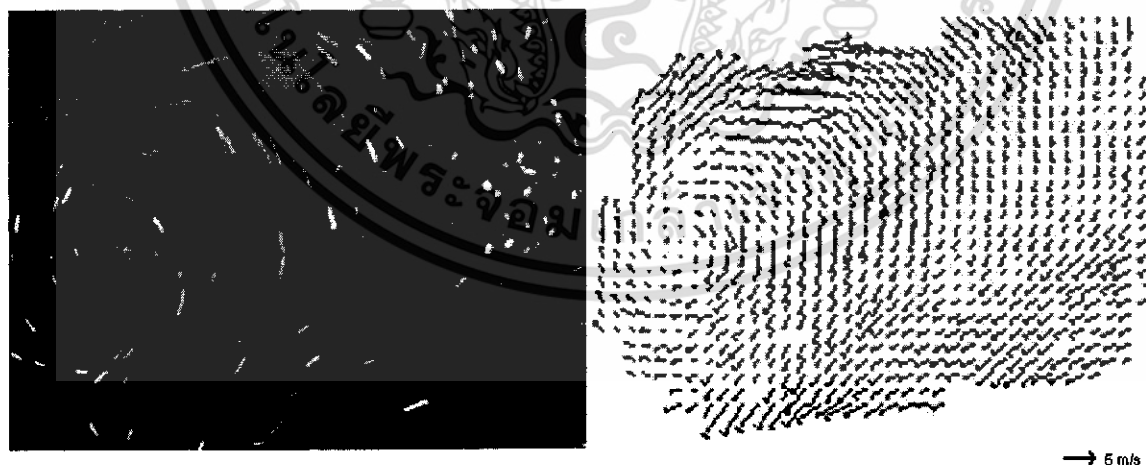
รูปที่ 5-17 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งงอ ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC



รูปที่ 5-18 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC



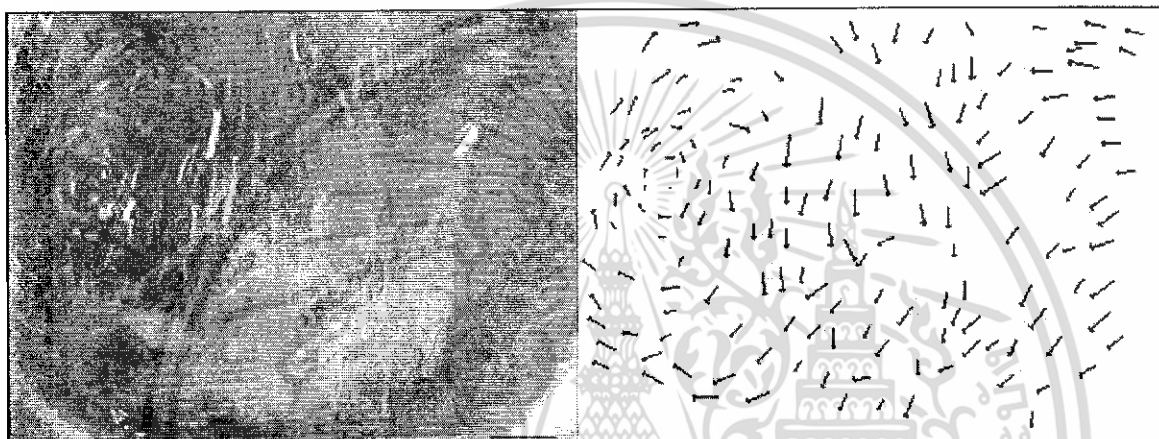
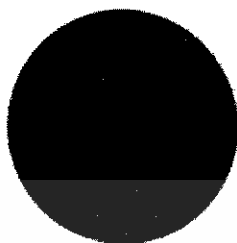
รูปที่ 5-19 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC



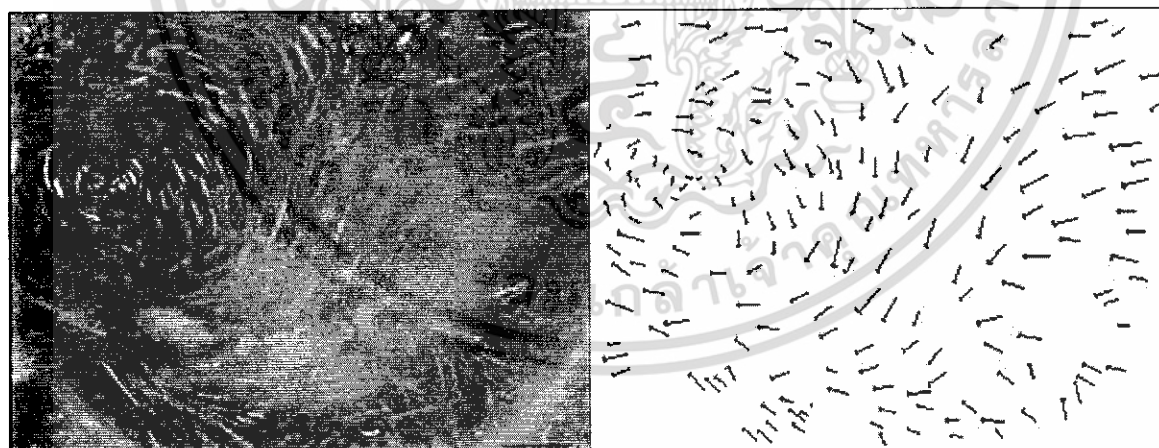
รูปที่ 5-20 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-17 ถึง 5-20 แสดงให้เห็นว่ากระแสหมุนวนในทิศตามเข็มนาฬิกาจะไหลจากทางวาล์วไอดีไปสู่เป็นจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ เนื่องจากท่อไอดีที่เป็นแบบ Swirl ดังนั้นอากาศที่ไหล

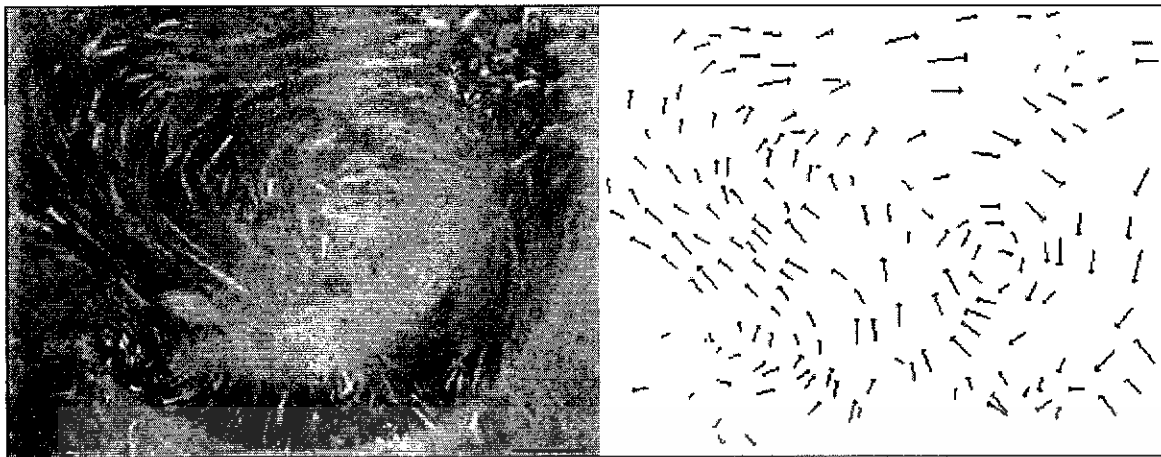
เข้ามาในกระบอกสูบจะมีทิศทางในแนวเส้นสัมผัสกับกระบอกสูบมากกว่าในแนวอื่นและมีความเร็วค่อนข้างต่ำ จึงทำให้กระแสอากาศที่ไหลเข้ามาไหลวนอยู่บริเวณวาล์วไอดีก่อนจากนั้นจะเคลื่อนตัวไปบริเวณจุดกึ่งกลางกระบอกสูบ เนื่องจากความดัน ณ บริเวณวาล์วไอดีสูงกว่ากึ่งกลางกระบอกสูบ



รูปที่ 5-21 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลอดและหลอดวาล์ว ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC



รูปที่ 5-22 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลอดและหลอดวาล์ว ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC



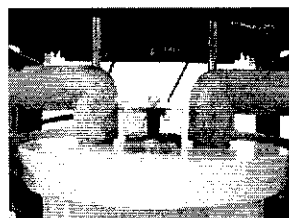
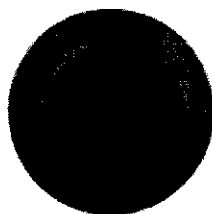
รูปที่ 5-23 เวกเตอร์ความเร็วของหัวถูกสูบแบบมีหมุนและหลบวาล์ว ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC

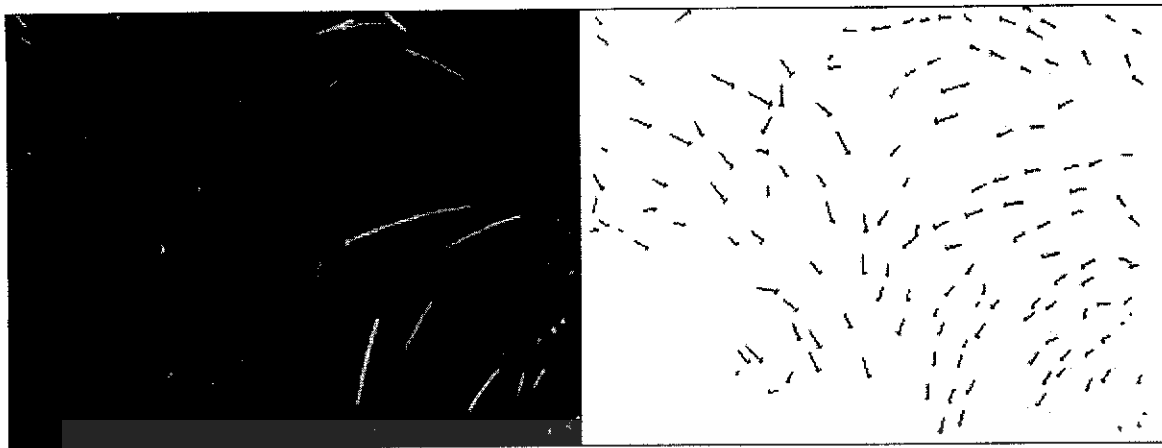


รูปที่ 5-24 เวกเตอร์ความเร็วของหัวถูกสูบแบบมีหมุนและหลบวาล์วในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-21 ถึง 5-24 แสดงให้เห็นว่า อากาศที่ไหลเข้ากระบอกสูบเกิดการหมุนวนในทิศตามเข็มนาฬิกาและจะเคลื่อนตัวจากวาล์วไอดีไปยังจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ ซึ่งส่งผลมาจากลักษณะของท่อไอดีที่เป็นแบบ Swirl เพราะอากาศที่เข้ากระบอกสูบนั่นจะไหลในแนวเส้นสัมผัสมากกว่าในแนวอื่น และมีความเร็วค่อนข้างต่ำ ดังนั้นอากาศจะเคลื่อนตัวจากความดันสูงไปสู่ความดันต่ำ ณ บริเวณจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ เป็นผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสหมุนวนภายในกระบอกสูบ

5.2.2 รูปเวกเตอร์ความเร็วของเครื่องจำลองการไหลในจังหวะดูด ท่อไอดีแบบ tumble





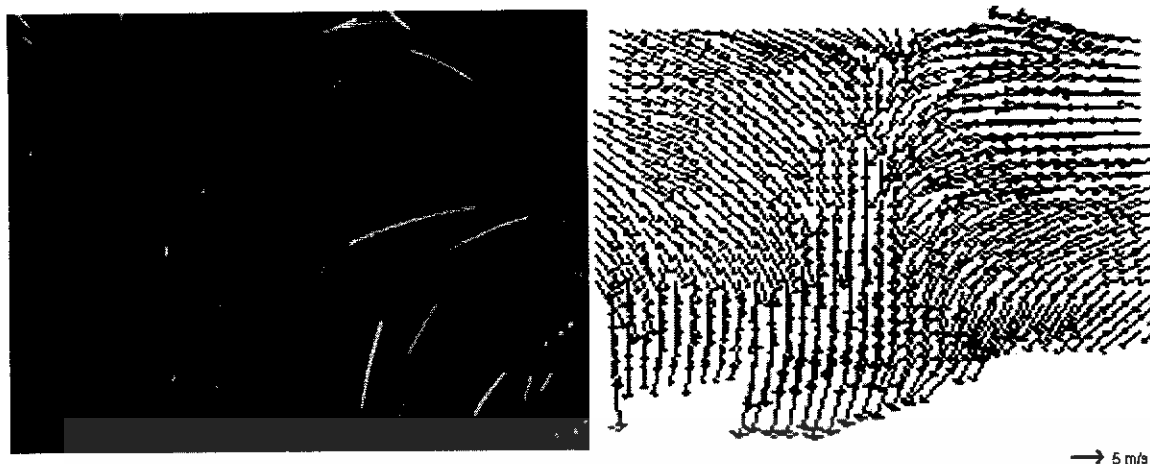
รูปที่ 5-25 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC



รูปที่ 5-26 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC



รูปที่ 5-27 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC

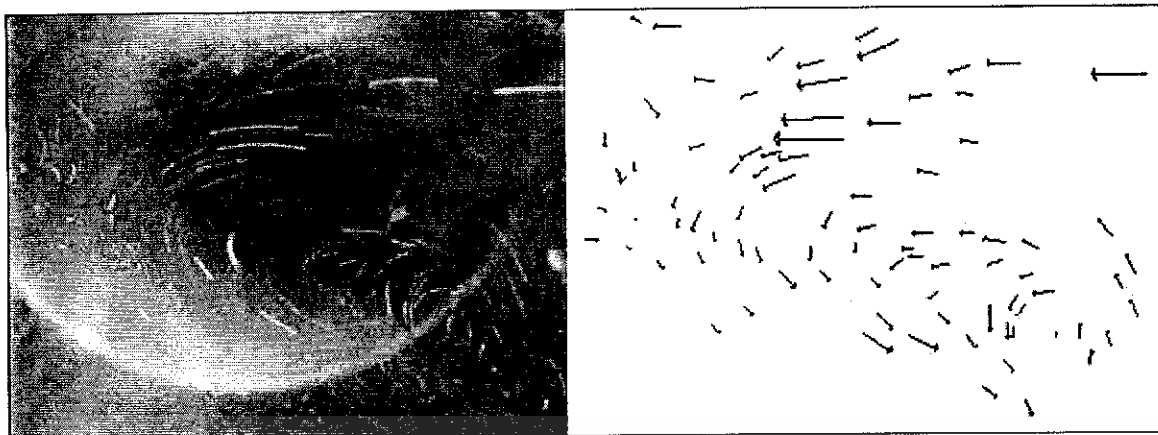


รูปที่ 5-28 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-25 ถึง 5-28 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศหมุนวนจะไหลวนในทิศตามทวนเข็มนาฬิกา อากาศเคลื่อนที่ไปตามผนังกระบอกสูบจนถึงผนังด้านตรงข้าม จากนั้นกระแสอากาศจะกระทบกับกระแสนี้ด้านหนึ่งทีไหลในลักษณะเดียวกัน จึงทำให้กระแสอากาศทั้งสองเกิดความดันขึ้นและจะทำให้เกิดกระแสหมุนวน ณ บริเวณนั้น ต่อมาความดันบริเวณผนังจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ ทำให้เกิดกระแสหมุนวนทั้งสองข้าง จากนั้นกระแสหมุนวนจะรวมตัวเข้าหากันที่จุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ



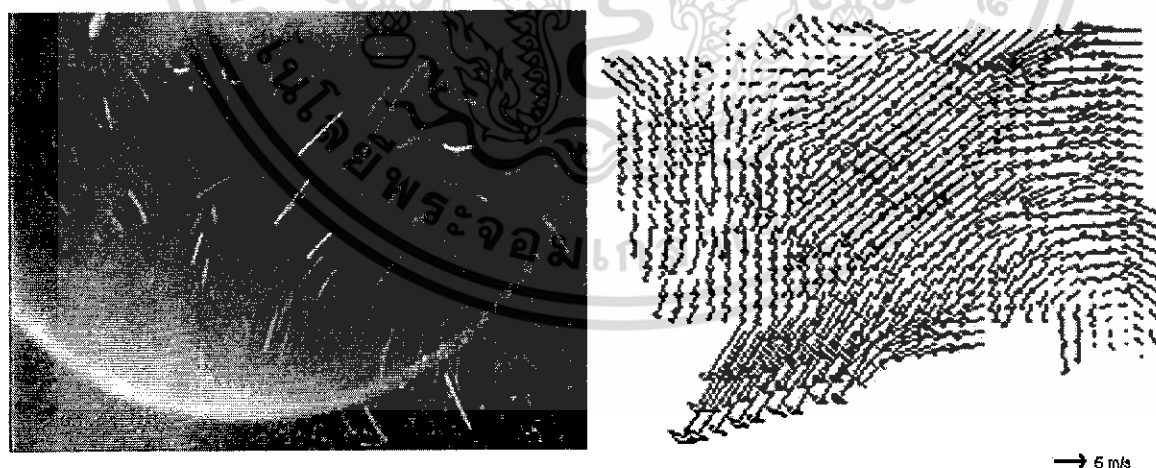
รูปที่ 5-29 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC



รูปที่ 5-30 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลาง ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC



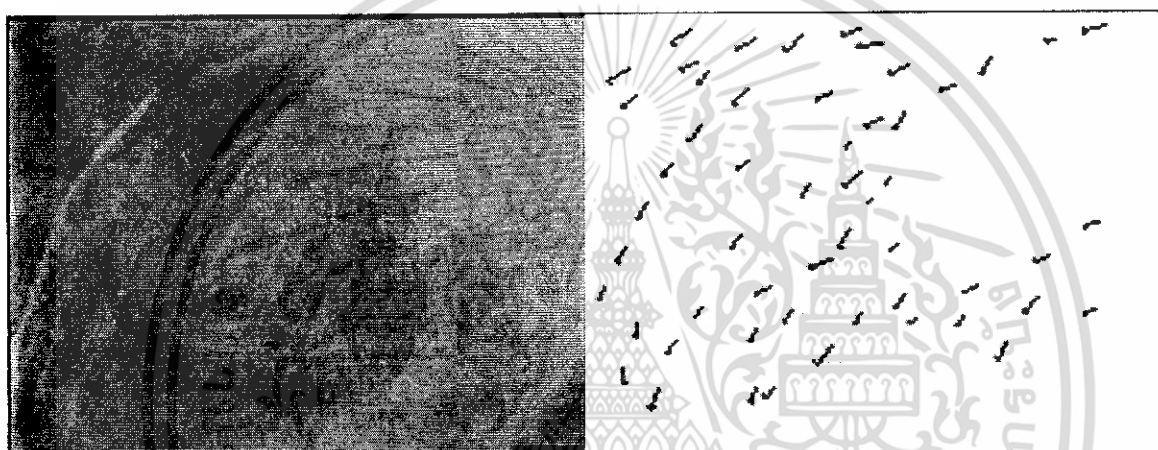
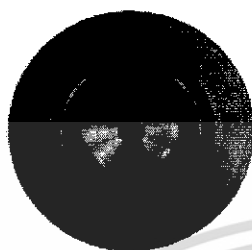
รูปที่ 5-31 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลาง ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC



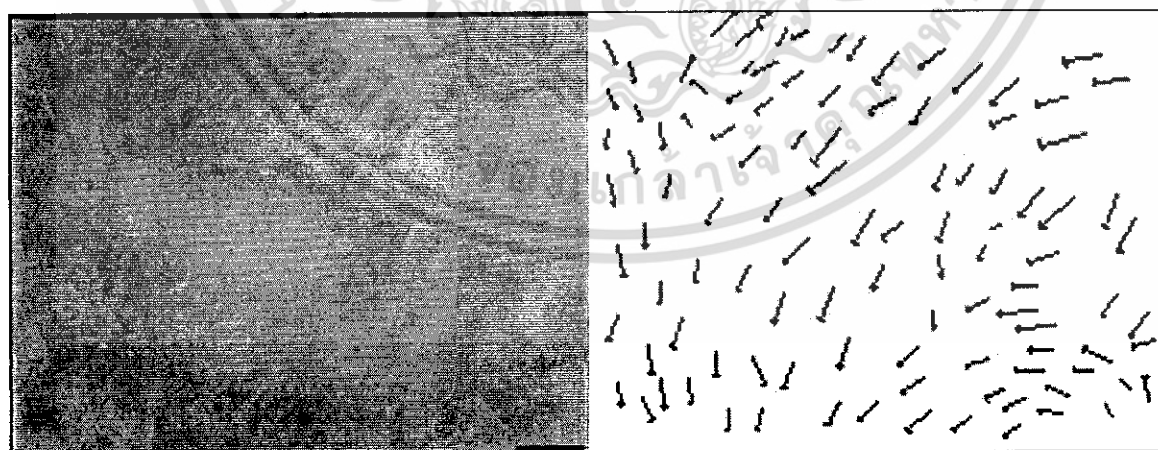
รูปที่ 5-32 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-29 ถึง 5-32 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศหมุนวนจะไหลวนในทิศตามทวนเข็มนาฬิกา อากาศเคลื่อนที่ไปตามผนังกระบอกสูบจนถึงผนังด้านตรงข้าม จากนั้นกระแสอากาศจะกระทบ

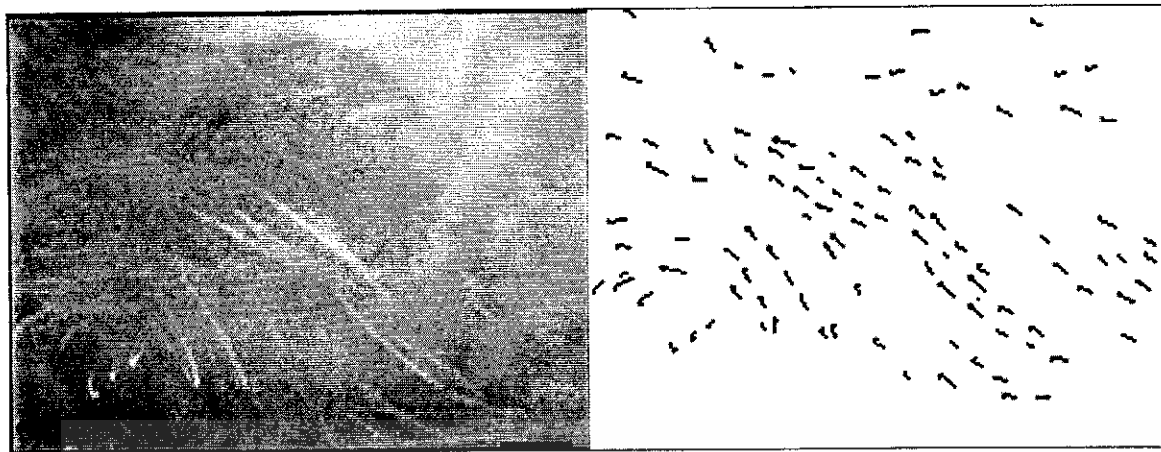
กับกระแสอีกด้านหนึ่งที่ไหลในลักษณะเดียวกัน จึงทำให้กระแสอากาศทั้งสองเกิดความดันขึ้นและจะทำให้เกิดกระแสหมุนวน ณ บริเวณนั้น ต่อมาความดันบริเวณนี้ก็จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ ทำให้เกิดกระแสหมุนวนที่มุมขวาล่าง จากนั้นกระแสหมุนวนจะเคลื่อนที่ขึ้นมาทางซ้ายเข้าหาจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ



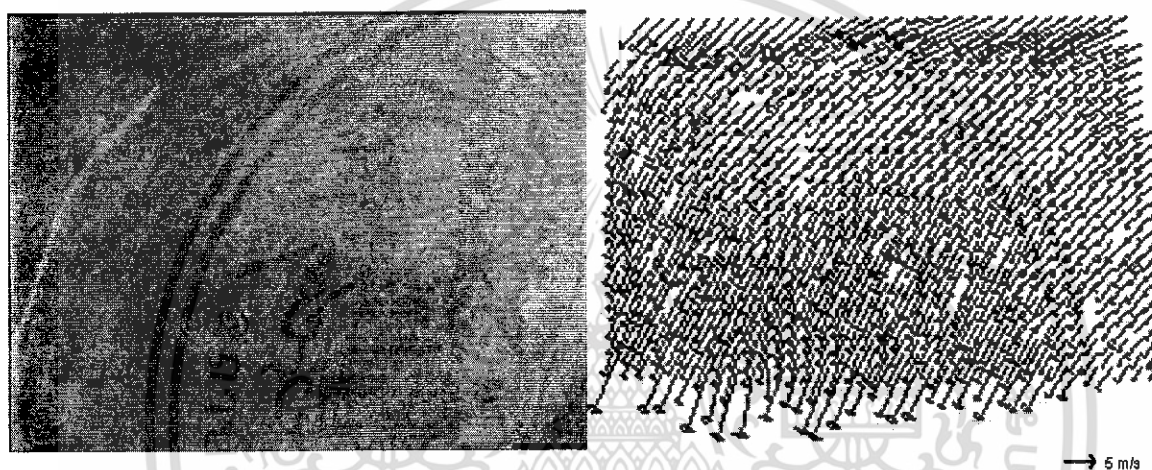
รูปที่ 5-33 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC



รูปที่ 5-34 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC

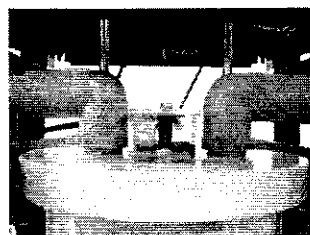
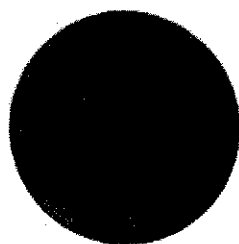


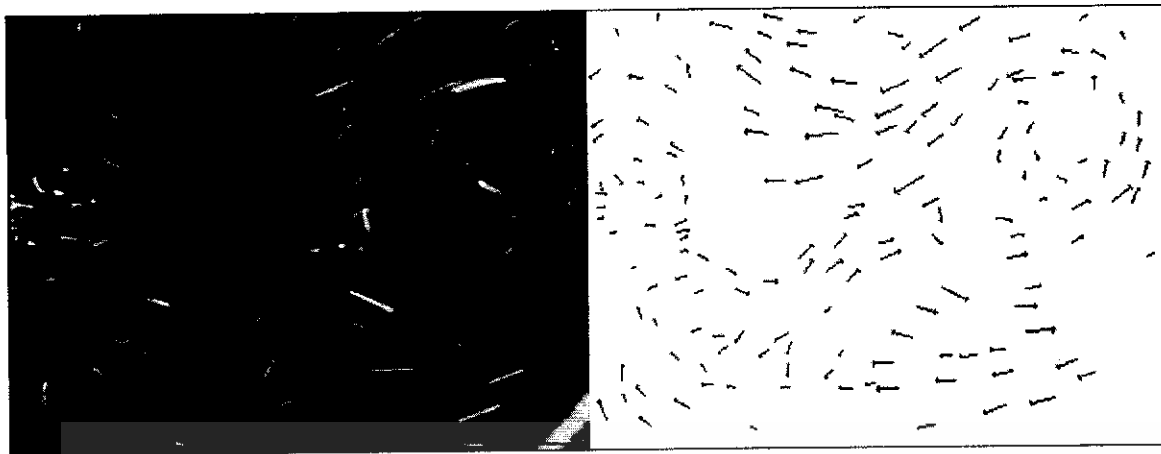
รูปที่ 5-35 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งรูปในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC



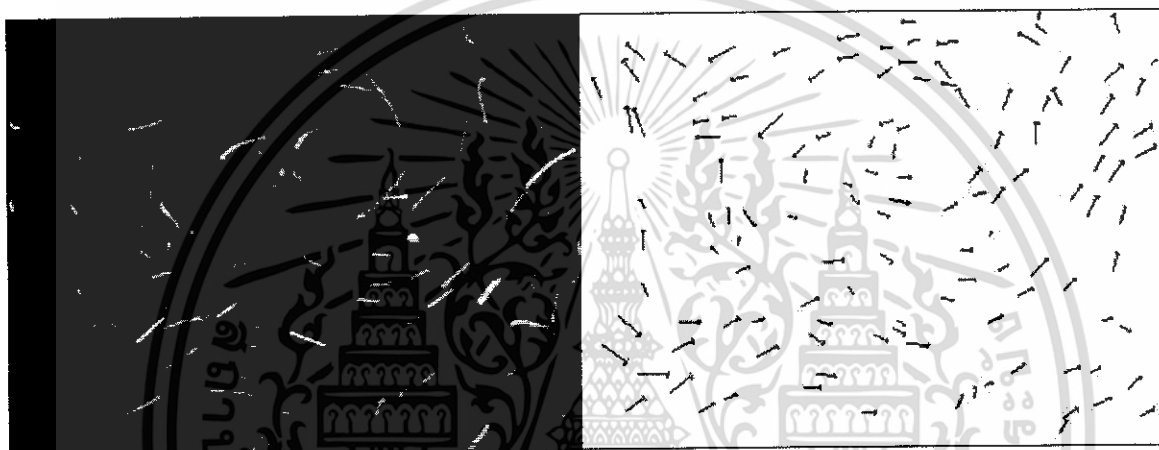
รูปที่ 5-36 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งรูปในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-33 ถึง 5-36 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศหมุนวนจะไหลในทิศตามทวนเข็มนาฬิกา โดยจะไหลจากขวาก่อนจากนั้นกระแสหมุนวนจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ เคลื่อนที่ไปตามผนังกระบอกสูบจนถึงผนังด้านตรงข้าม จากนั้นกระแสอากาศจะกระทบกับกระแสน้ำด้านหนึ่งทีไหลในลักษณะเดียวกัน จึงทำให้กระแสอากาศทั้งสองเกิดความดันขึ้นและจะทำให้เกิดกระแสหมุนวน ณ บริเวณนั้น ต่อมาความดันบริเวณผนังจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเทียบกับจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบจึงทำให้กระแสหมุนวนเคลื่อนตัวเข้าหาจุดกึ่งกลางกระบอกสูบ

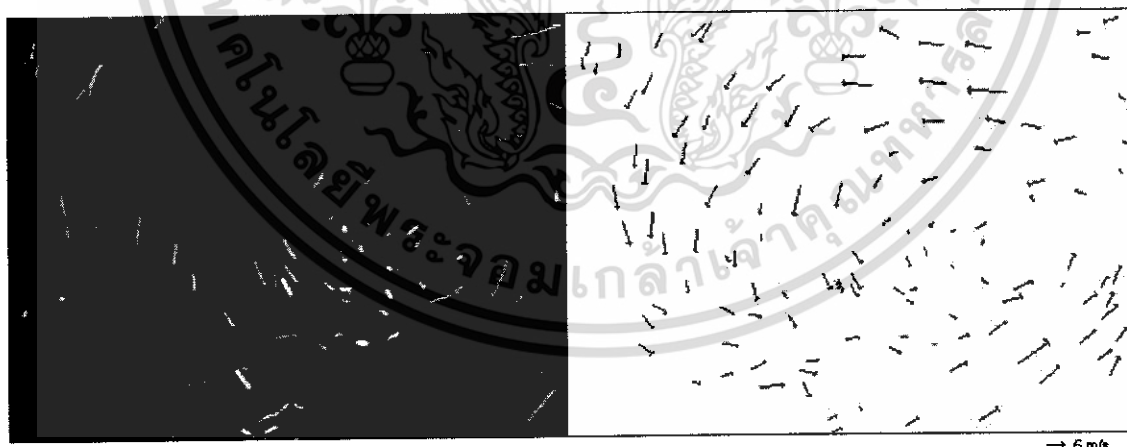




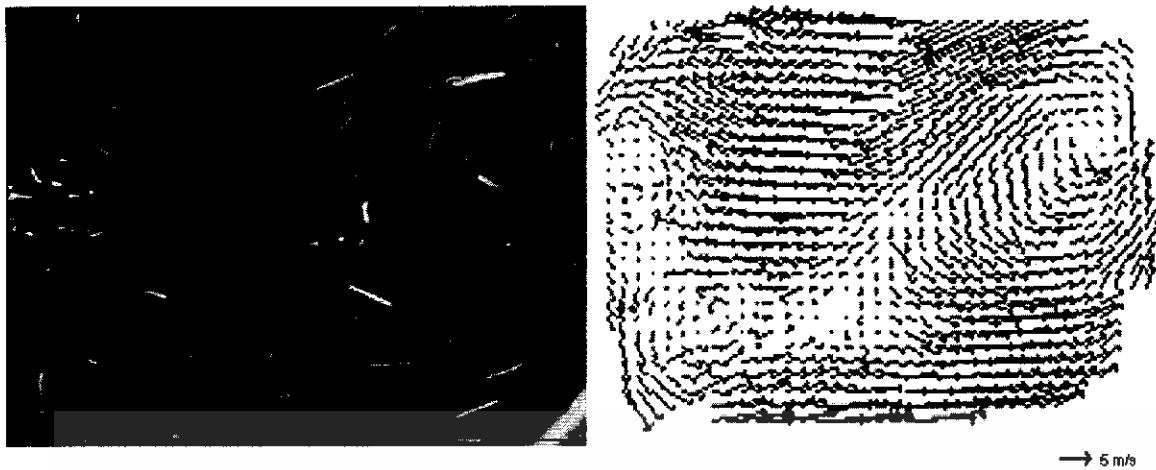
รูปที่ 5-37 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหุ้มและหลบวาล์ว ในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC



รูปที่ 5-38 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหุ้มและหลบวาล์ว ในวินาทีที่ 0.14 จาก TDC



รูปที่ 5-39 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหุ้มและหลบวาล์ว ในวินาทีที่ 0.21 จาก TDC



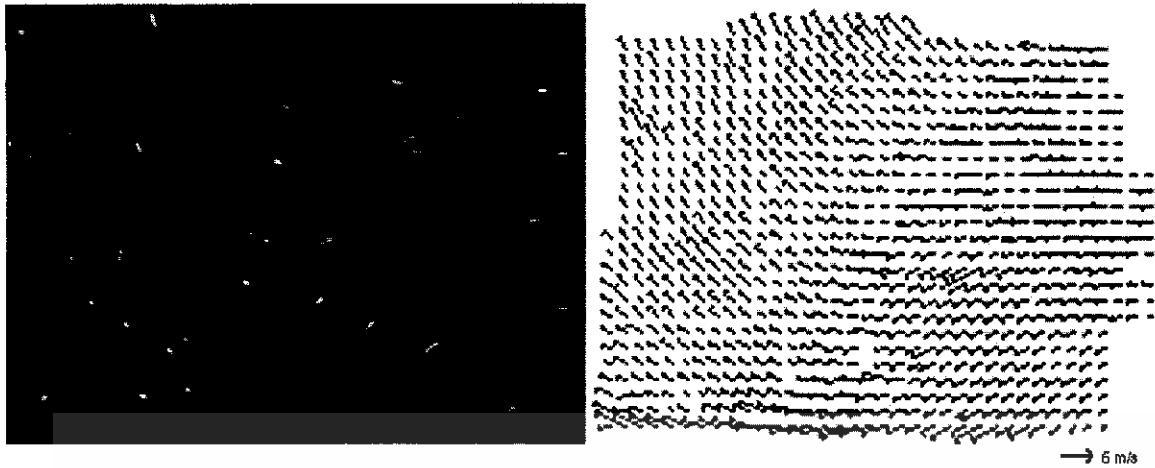
รูปที่ 5-40 เวกเตอร์ความเร็วของหัวถูกสูบแบบมีหลุมและขอบวาล์วในวินาทีที่ 0.07 จาก TDC ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-37 ถึง 5-40 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศหมุนวนจะไหลวนในทิศตามทวนเข็มนาฬิกา โดยจะไหลจากขวาก่อนจากนั้นกระแสหมุนวนจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณจุดกึ่งกลางของกระบอกสูบ อากาศเคลื่อนที่ไปตามผนังกระบอกสูบจนถึงผนังด้านตรงข้าม จากนั้นกระแสอากาศจะกระทบกับกระแสนี้ด้านหนึ่งทีไหลในลักษณะเดียวกัน จึงทำให้กระแสอากาศทั้งสองเกิดความดันขึ้น และจะทำให้เกิดกระแสหมุนวนบริเวณมุมขวาบนแล้วเคลื่อนลงมาทางซ้ายล่างมาอยู่ที่กึ่งกลางกระบอก

5.2.3 รูปเวกเตอร์ความเร็วของเครื่องจำลองการไหลในจังหวะอัด ท่อไอเสียแบบ swirl



รูปที่ 5-41 เวกเตอร์ความเร็วของหัวถูกสูบแบบจาน

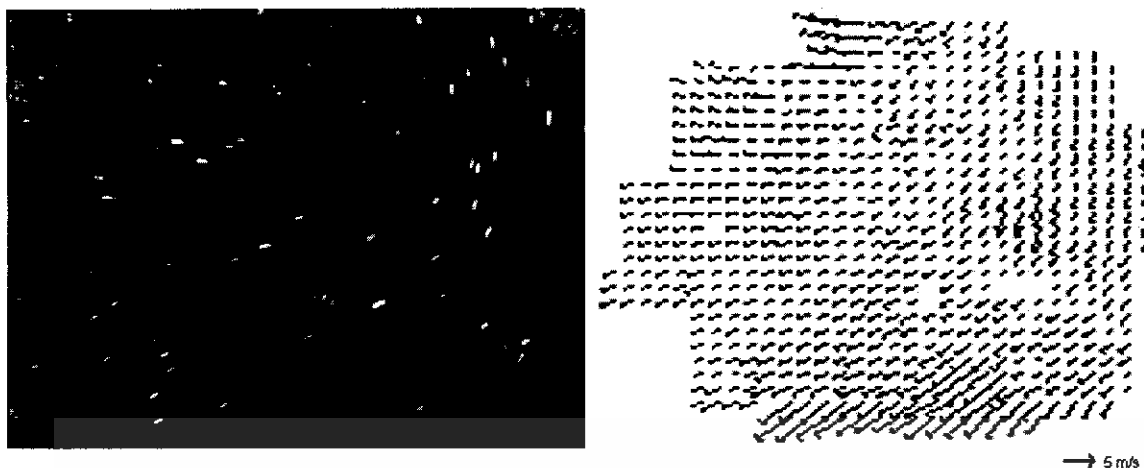


รูปที่ 5-42 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานด้วยการ *Interpolation*

จากรูปที่ 5-41 ถึง 5-42 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศมีการเคลื่อนที่น้อย เนื่องจากระดับความลึกของพื้นที่ที่อากาศถูกรีดกับส่วนที่เป็นหลุมนั้น มีความแตกต่างกันน้อยมากเกินไป จึงทำให้ความดันที่เกิดในช่วงจังหวะอัดนั้นมีความแตกต่างกันน้อยมาก ด้วยเหตุนี้เมื่อวิเคราะห์กับเชื้อเพลิงก็จะพบว่า หัวลูกสูบแบบจานจะมีการผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศน้อยกว่าหัวลูกสูบแบบอื่น



รูปที่ 5-43 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์

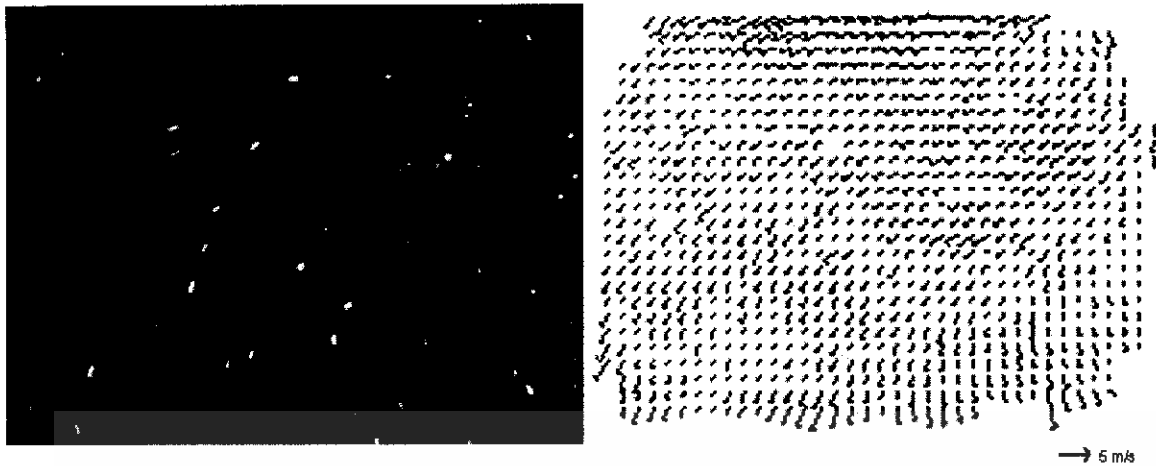


รูปที่ 5-44 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์ด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-43 ถึง 5-44 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงจังหวะอัดนั้นกระแสน้ำจะเคลื่อนที่อยู่ที่บริเวณพื้นที่ที่ถูกขีดมากเกินไป เพราะฉะนั้นเมื่อน้ำมันไปวิเคราะห์พบว่า เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าใกล้ศูนย์ตายบนพร้อมทั้งฉีดน้ำมัน น้ำมันบางส่วนที่เป็นละอองก็จะผสมกับอากาศและเคลื่อนที่เข้าสู่หลุมเยื้องศูนย์ แต่ก็จะมีมวลน้ำมันอีกส่วนที่ไม่ได้ผสมก็จะเกาะอยู่บนพื้นที่ที่ถูกขีด ซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นได้ ณ บริเวณนั้น

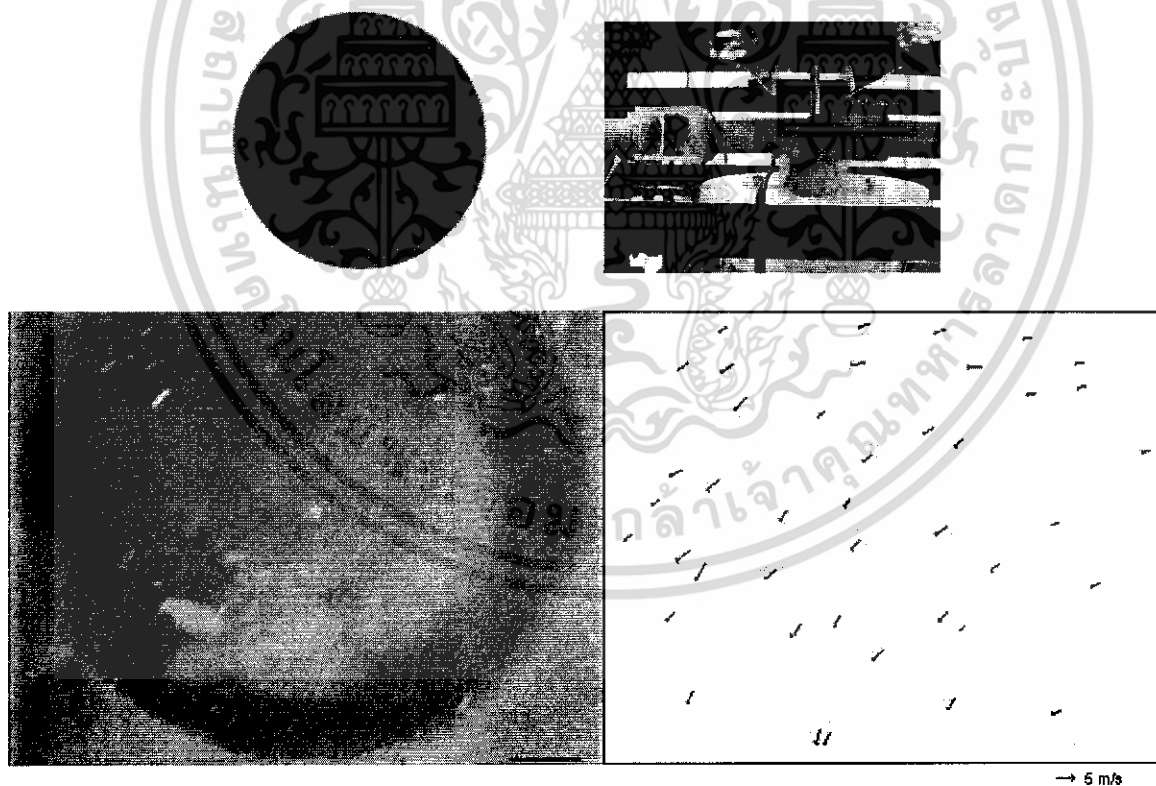


รูปที่ 5-45 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

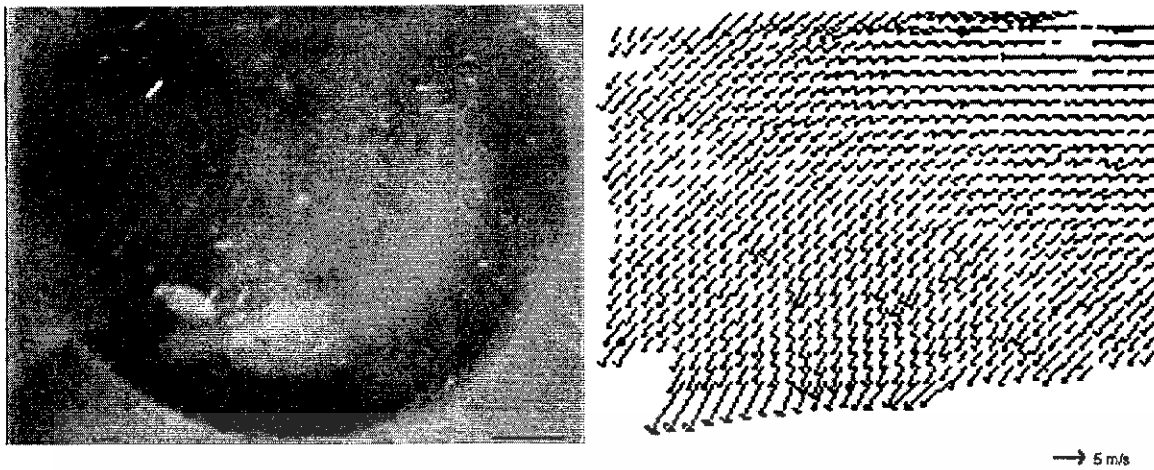


รูปที่ 5-46 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-45 ถึง 5-46 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศจะเคลื่อนที่อยูบริเวณหลุมเป็นส่วนใหญ่ ในช่วงจังหวะอัด ดังนั้นเมื่อน้ำมันมาวิเคราะห์พบว่า เมื่อลูกสูบเข้าใกล้ศูนย์ตายบนพร้อมทั้งฉีดน้ำมัน อากาศกับเชื้อเพลิงจะผสมกันที่บริเวณหลุม อีกทั้งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ก็อยู่ตามผิวของหลุม จึงทำให้เมื่อเกิดการระเบิด กำลังที่ได้จากการระเบิดของน้ำมันก็จะส่งผลไปที่ลูกสูบเท่านั้น



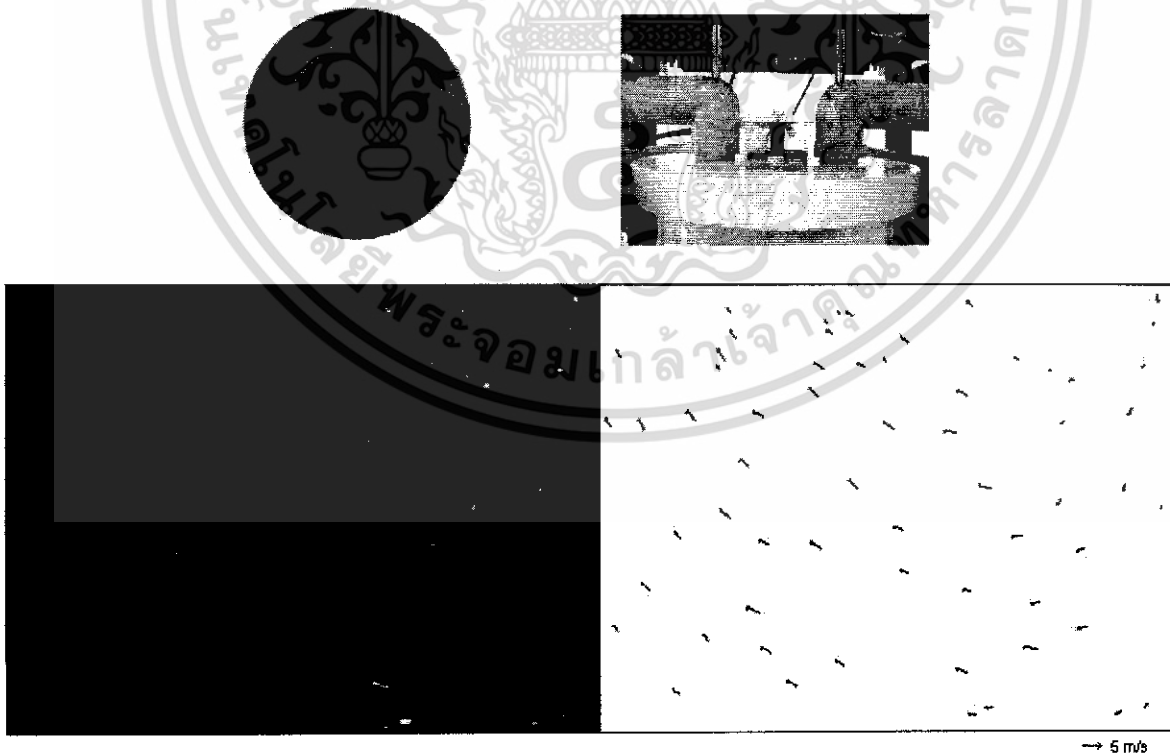
รูปที่ 5-47 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลอดวาล์ว



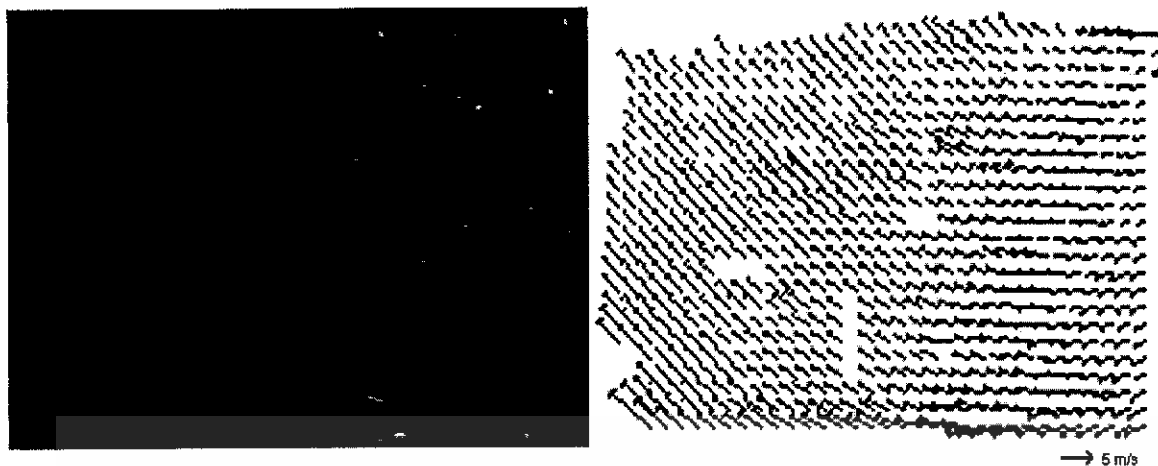
รูปที่ 5-48 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์วด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-47 ถึง 5-48 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศจะไหลอยู่บริเวณพื้นที่ที่ถูกกริดมากเกินไประดับนั้นเมื่อน้ำมันมาวิเคราะห์พบว่า เมื่อลูกสูบเข้าใกล้ศูนย์ตายบนพร้อมทั้งฉีดน้ำมัน น้ำมันบางส่วนที่เป็นละอองก็จะผสมกับอากาศและเคลื่อนที่เข้าสู่หลุม แต่ก็จะมีมวลน้ำมันอีกส่วนที่ไม่ได้ผสมก็จะเกาะอยู่บนพื้นที่ที่ถูกกริด ซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นได้ ณ บริเวณนั้น ส่วนบริเวณหลบวาล์วจะมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับหลุม เพราะระดับความลึกของบริเวณหลบวาล์วกับพื้นที่ที่ถูกกริดแตกต่างกันอย่างมาก ดังนั้นผลกระทบของความลึก ณ บริเวณหลบวาล์วจึงไม่น่ามาคิด

5.2.4 รูปเวกเตอร์ความเร็วของเครื่องจำลองการไหลในจังหวะอัด ท่อไอเสียแบบ tumble



รูปที่ 5-49 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจาน

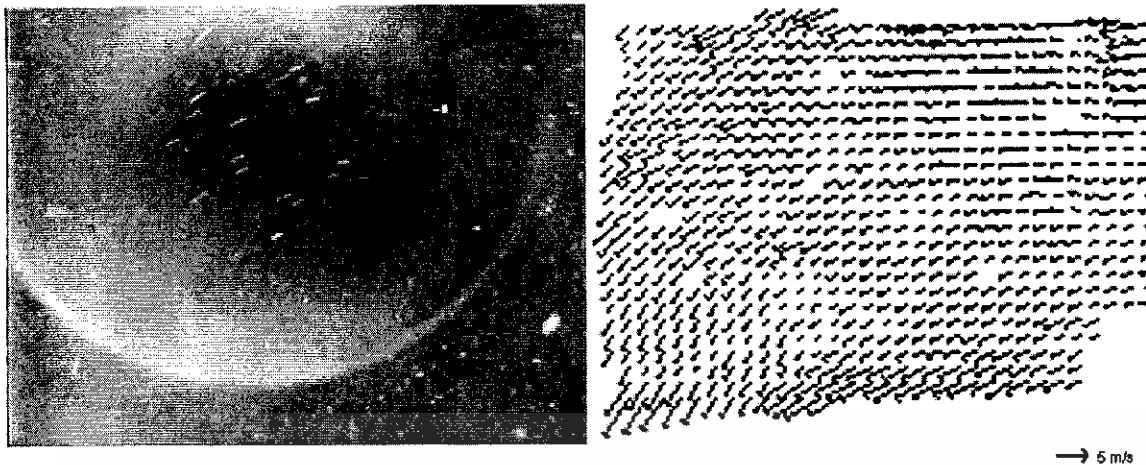


รูปที่ 5-50 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานด้วยการ *Interpolation*

จากรูปที่ 5-49 ถึง 5-50 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศมีการเคลื่อนที่น้อย เนื่องจากระดับความลึกของพื้นที่ที่อากาศถูกรีดกับส่วนที่เป็นหลุมนั้น มีความแตกต่างกันน้อยมากเกินไป จึงทำให้ความดันที่เกิดในช่วงจังหวะอัดนั้นมีความแตกต่างกันน้อยมาก ด้วยเหตุนี้เมื่อวิเคราะห์กับเชื้อเพลิงก็จะพบว่า หัวลูกสูบแบบจานจะมีการผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศน้อยกว่าหัวลูกสูบแบบอื่น

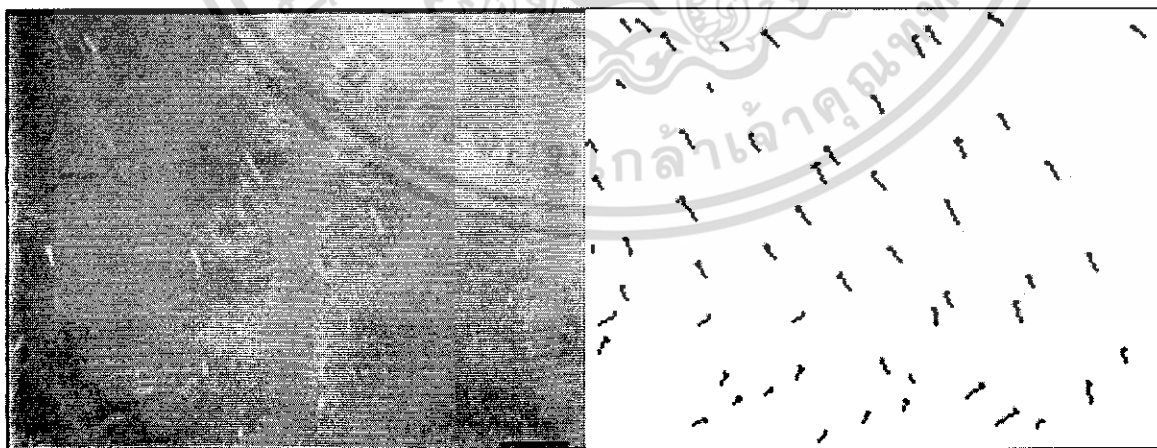


รูปที่ 5-51 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลาง

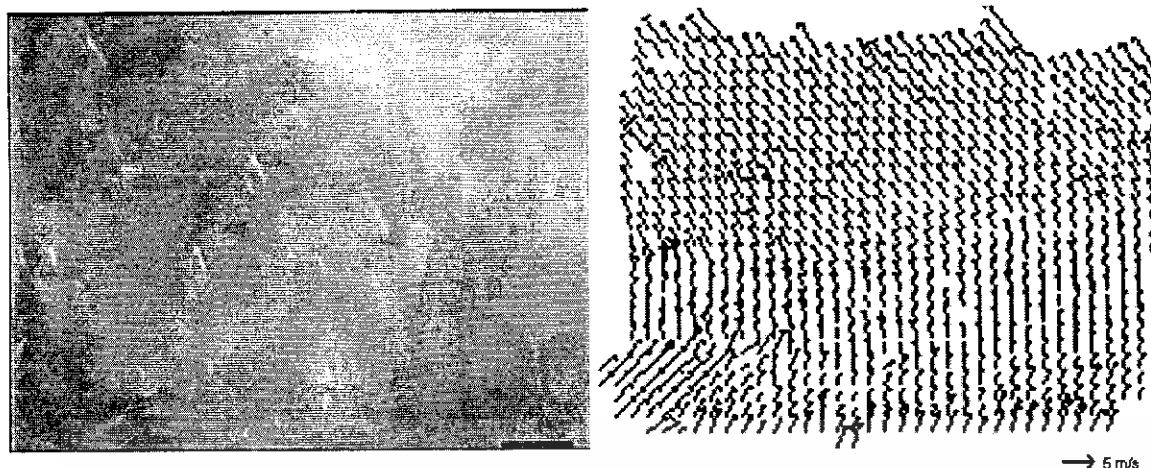


รูปที่ 5-52 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-51 ถึง 5-52 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงจังหวะอัดนั้นกระแสน้ำมันจะมีการเคลื่อนที่อยู่ที่บริเวณพื้นที่ที่ถูกรีดมากเกินไป เพราะฉะนั้นเมื่อน้ำมันไปวิเคราะห์พบว่า เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าใกล้ศูนย์กลางบนพร้อมทั้งฉีดน้ำมัน น้ำมันบางส่วนที่เป็นละอองก็จะผสมกับอากาศและเคลื่อนที่เข้าสู่หลุมเยื้องศูนย์กลาง แต่ก็จะมีมวลน้ำมันอีกส่วนที่ไม่ได้ผสมก็จะเกาะอยู่บนพื้นที่ที่ถูกรีด ซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นได้ ณ บริเวณนั้น



รูปที่ 5-53 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

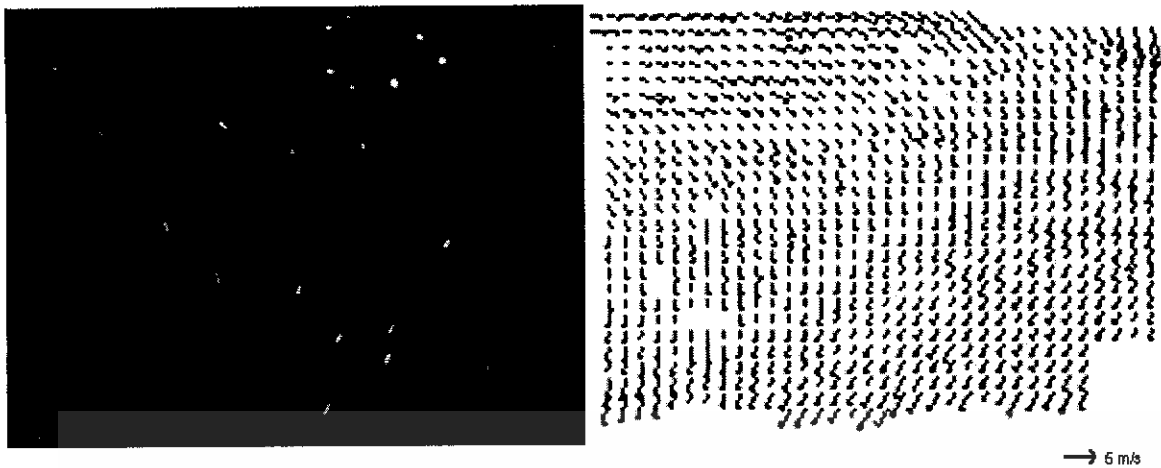


รูปที่ 5-54 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบงานโค้งนูนด้วยการ Interpolation

จากรูปที่ 5-53 ถึง 5-54 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศจะเคลื่อนที่อยู่ที่บริเวณหลุมเป็นส่วนใหญ่ ในช่วงจังหวะอัด ดังนั้นเมื่อน้ำมันมาวิเคราะห์พบว่า เมื่อลูกสูบเข้าใกล้ศูนย์กลางบนพร้อมทั้งฉีดน้ำมัน อากาศกับเชื้อเพลิงจะผสมกันที่บริเวณหลุม อีกทั้งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ก็อยู่ตามผิวของหลุม จึงทำให้เมื่อเกิดการระเบิด กำลังที่ได้จากการระเบิดของน้ำมันก็จะส่งผลไปที่ลูกสูบเท่านั้น



รูปที่ 5-55 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและขอบวาล์ว



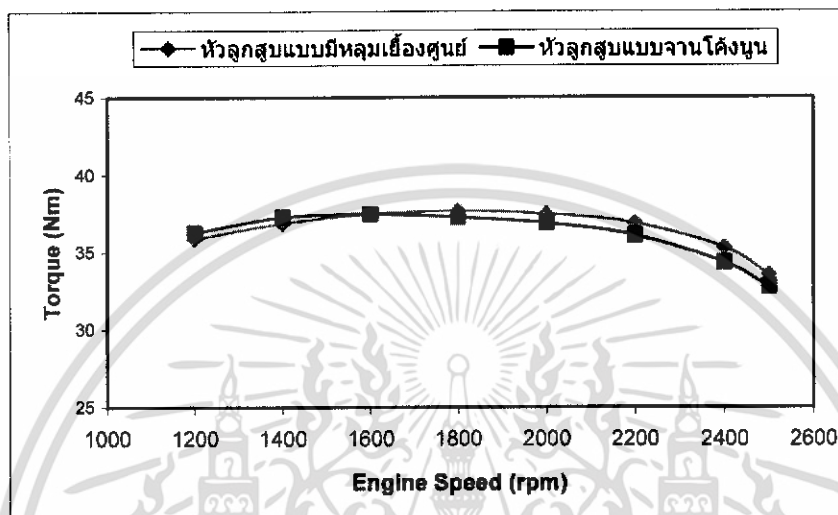
รูปที่ 5-56 เวกเตอร์ความเร็วของหัวลูกสูบแบบมีหลุมและหลบวาล์วด้วยการ *Interpolation*

จากรูปที่ 5-55 ถึง 5-56 แสดงให้เห็นว่า กระแสอากาศจะไหลอยู่บริเวณพื้นที่ที่ถูกขีดมากเกินไป ดังนั้นเมื่อน้ำมันมาวิเคราะห์พบว่า เมื่อลูกสูบเข้าใกล้ศูนย์ตายบนพร้อมทั้งฉีดน้ำมัน น้ำมันบางส่วนที่เป็นละอองก็จะผสมกับอากาศและเคลื่อนที่เข้าสู่หลุม แต่ก็จะมีวาล์วน้ำมันอีกส่วนที่ไม่ได้ผสมก็จะเกาะอยู่บนพื้นที่ที่ถูกขีด ซึ่งจะให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ขึ้นได้ ณ บริเวณนั้น ส่วนบริเวณหลบวาล์วจะมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับหลุม เพราะระดับความลึกของบริเวณหลบวาล์วกับพื้นที่ที่ถูกขีดแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นผลกระทบของความลึก ณ บริเวณหลบวาล์วจึงไม่น่ามาคิด

5.3 ผลการทดสอบเครื่องยนต์

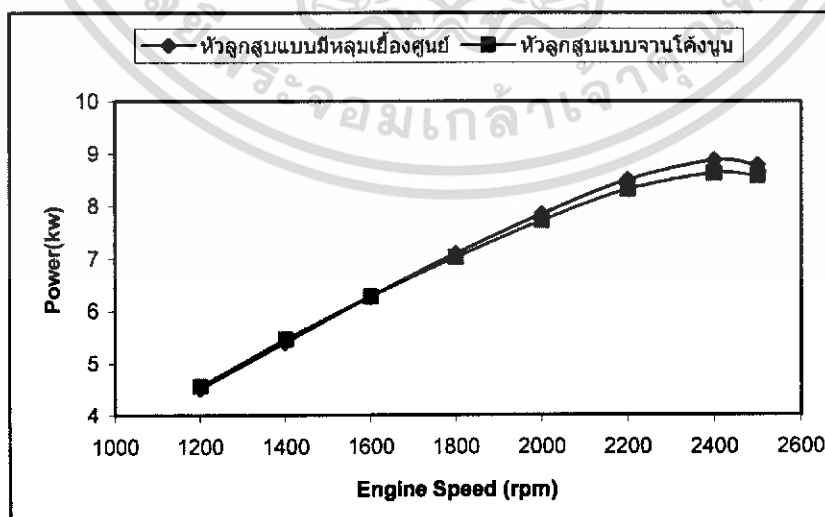
การทดสอบเครื่องยนต์จะทำการทดสอบสมรรถนะต่าง ๆ ของเครื่องยนต์คือ แรงบิด กำลัง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เหม้าจากการเผาไหม้ และอุณหภูมิไอเสีย ของหัวลูกสูบแบบเดิม(แบบมีหลุมเยื้องศูนย์)และหัวลูกสูบที่ออกแบบ(แบบจานโค้งนูน) แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน

5.3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์



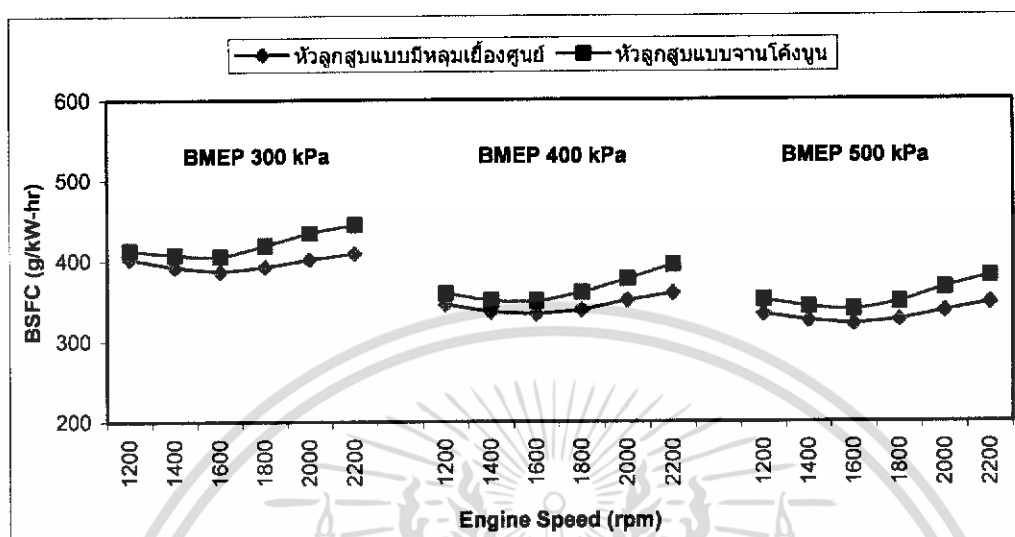
รูปที่ 5-57 กราฟเปรียบเทียบแรงบิดเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์และแบบจานนูนโค้ง

จากรูป 5-57 พบว่าหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนมีแรงบิดในช่วงแรกมากกว่าหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์แต่จะน้อยกว่าเมื่อรอบของเครื่องยนต์มากกว่า 1600 รอบต่อนาที อันเนื่องมาจากหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนมีระยะการสเปรย์ที่มากกว่าหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์ทำให้ช่วง Ignition Delay มากกว่าทำให้จุดระเบิดเลเยื้องศูนย์ตายบนไปไกลสูญเสียพลังงานที่ได้จากเผาไหม้ไปส่วนหนึ่ง



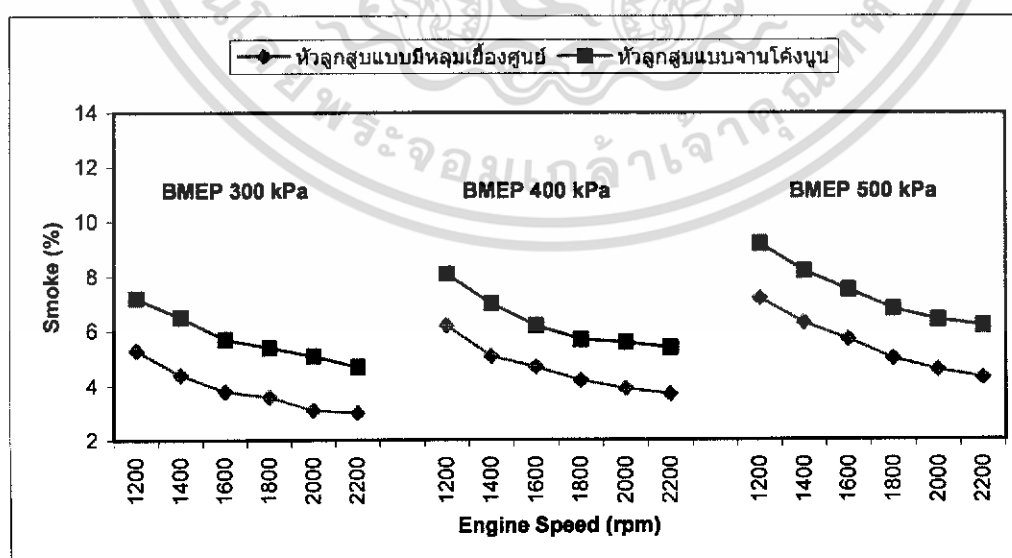
รูปที่ 5-58 กราฟเปรียบเทียบกำลังเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์และแบบจานนูนโค้ง

จากรูปที่ 5-58 กำลังของเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีจานนูนโค้งมากกว่าหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางในช่วงรอบต่ำ ๆ คือ 1200-1600 รอบต่อนาที แต่จะน้อยกว่าเมื่อรอบเกิน 1600 รอบต่อนาทีขึ้นไป เป็นผลมาจากกราฟของแรงบิด



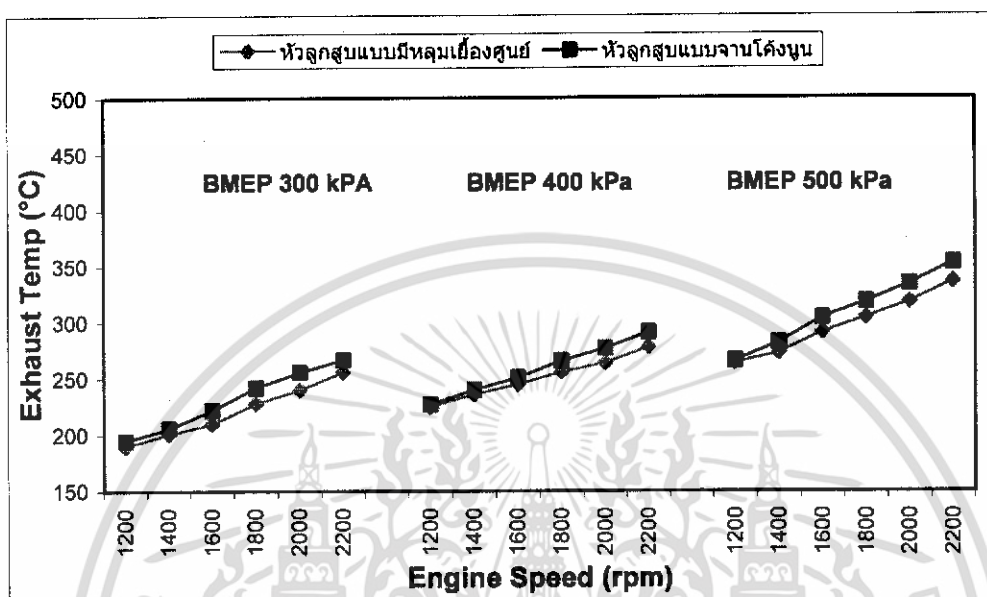
รูปที่ 5-59 กราฟเปรียบเทียบ BSFC เครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางและแบบจานนูนโค้ง

จากรูปที่ 5-59 กราฟ BSFC เปรียบเทียบกับ BMEP พบว่าเมื่อ BMEP เพิ่มขึ้น BSFC จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งถึงแม้ BMEP จะเพิ่มขึ้นแต่ BSFC ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบ BSFC กับ รอบของเครื่องยนต์พบว่าจะเป็นรูประฆังหงาย และเมื่อเปรียบเทียบ BSFC ของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนจะมากกว่าแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลาง และจะมากกว่าอย่างชัดเจนเมื่อรอบของเครื่องยนต์มากกว่า 1800 รอบต่อนาที



รูปที่ 5-60 กราฟเปรียบเทียบ %smoke เครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางและแบบจานนูนโค้ง

จากรูป 5-60 %smoke จะลดลงเรื่อยตามความเร็วรอบที่สูงขึ้น แต่จะมากขึ้นเมื่อ BMEP เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนกับแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางพบว่าแบบจานโค้งนูนจะมี %smoke มากกว่าอันเนื่องมาจาก การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ มีน้ำมันตกค้างอยู่ในรอยต่อของลูกที่ได้ทำขึ้นมาใหม่ ทำให้มีปริมาณเขม่ามากขึ้นเมื่อรอบสูง ๆ



รูปที่ 5-61 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางและแบบจานนูนโค้ง

จากรูปที่ 5-61 อุณหภูมิไอเสียจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์และ BMEP ที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนและแบบมีหลุมเยื้องศูนย์กลางแล้วพบว่า แบบจานโค้งนูนมีอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าเนื่องจากอัตราการใช้น้ำมันสูงขึ้นที่รอบเท่ากัน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการฉีดสเปรย์

จากการทดลองการฉีดสเปรย์น้ำมันบนหัวลูกสูบที่ความดันบรรยากาศพบว่า หัวลูกสูบที่มีลักษณะเป็นหลุมลึกตรงกลางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก จะให้การกระจายตัวของละอองน้ำมันน้อยและน้ำมันจะค้างอยู่ในหลุมมาก จะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มาก เนื่องจากการเผาไหม้ส่วนผสมหนา แต่น้ำมันจะเป็นฝอยละเอียดกระจายอยู่บริเวณเหนือหลุม หัวลูกสูบที่มีลักษณะแบนจะทำให้ น้ำมันจากหัวฉีดพุ่งไปได้ไกลในด้านข้างและลักษณะการสเปรย์จะเป็นเส้นซึ่งจะทำให้เกิดเขม่ามากที่กระบอกสูบและอาจทำให้แหวนติดได้ และลูกสูบหลุมกว้างที่มีบ่าหรือขอบด้านข้างจะทำให้ระยะการสเปรย์มากขึ้นละอองน้ำมันเป็นฝอยละเอียดพุ่งสูงขึ้นสู่ฝาสูบซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

6.2 สรุปผลการจำลองการไหลภายในห้องเผาไหม้

จากการทดลองการจำลองการไหลของอากาศด้วยวิธี PIV พบว่า หัวลูกสูบแบบที่มีหลุม การไหลจะหมุนวนข้างในหลุมก่อนแล้วค่อยขยายออกมาภายนอก กระแสหมุนจะทวีความรุนแรงมากขึ้นตามองศาเพลาคือเอียงที่มากขึ้น และจะลดลงเมื่อลูกสูบถึงศูนย์ตายล่างหรือศูนย์ตายบนในจังหวะดูดและอัดตามลำดับ เนื่องจากเกิดความดันเพิ่มขึ้นในช่วงจังหวะนั้น ส่วนหลุมต้องลึกมากกว่า 1 ซม. ถึงจะมีผลต่อกระแสไหล อีกทั้งขนาดของพื้นที่ที่ถูกรีด (Squish Area) นั้นก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ น้ำมันภายในห้องเผาไหม้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากลูกสูบถึงที่ศูนย์ตายบนแล้วอากาศที่บริเวณพื้นที่ที่ถูกรีด (Squish Area) จะเคลื่อนที่เข้าสู่ความดันที่ต่ำกว่าคือหลุมอย่างรวดเร็ว แต่ทว่ามวลของอากาศจะเบากว่ามวลของน้ำมัน ดังนั้นจะเหลือเชื้อเพลิงบางส่วนติดอยู่ที่บริเวณพื้นที่ที่ถูกรีด (Squish Area) จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้ ส่วนท่อไอดีแบบขนานจะเป็นตัวทำให้เกิดกระแสหมุนวนที่รุนแรง ท่อไอดีแบบตั้งฉากจะทำให้อากาศเข้าห้องเผาไหม้มากและเร็ว

6.3 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังการปรับปรุงห้องเผาไหม้

จากการทดลองสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยไดนาโมมิเตอร์แบบเอดดีเคอร์เรนต์พบว่าลักษณะของห้องเผาไหม้ที่ออกแบบมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยตรง ทั้งกำลัง แรงบิด หรือแม้แต่อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ห้องเผาไหม้ที่ออกแบบทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง โดยแรงบิดสูงสุดลดลง 0.53% กำลังสูงสุดลดลง 2.78% อันเนื่องมาจากการล่าช้าในการจุดระเบิด ซึ่งเป็นผลมาจากระยะทางในการฉีดสเปรย์และเวลาในการกระจายตัวเป็นฝอยมากขึ้น ทำให้จังหวะระเบิดลูกสูบเลยศูนย์ตายบนไปไกล ทำให้สูญเสียแรงระเบิดไปมาก อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจึงมากขึ้น กำลังและ

แรงบิดลดลง การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดเขม่า ซึ่งอาจรวมไปถึงน้ำมันตกค้างที่รอยต่อของหัวลูกสูบและน้ำมันเชื้อเพลิงเสื่อมสภาพทำให้ความหนืดของน้ำมันมากขึ้น หัวฉีดจ่ายน้ำมันมากกว่าเดิมแต่พลังงานความร้อนน้อยลง

6.4 ข้อเสนอแนะ

- ควรติดฉนวนที่หัวลูกสูบเพื่อเพิ่มการกระจายตัวของน้ำมันพีช ประสิทธิภาพทางความร้อนและลดขนาดระบบหล่อเย็น
- หากการติดฉนวนทำให้ไอความร้อนทำให้กำลังลดลง อันเนื่องมาจากประสิทธิภาพทางปริมาตรลดลงจากความร้อนที่เพิ่มขึ้น สามารถแก้ไขโดยการติดเทอร์โบชาร์คอินเตอร์คูลเลอร์



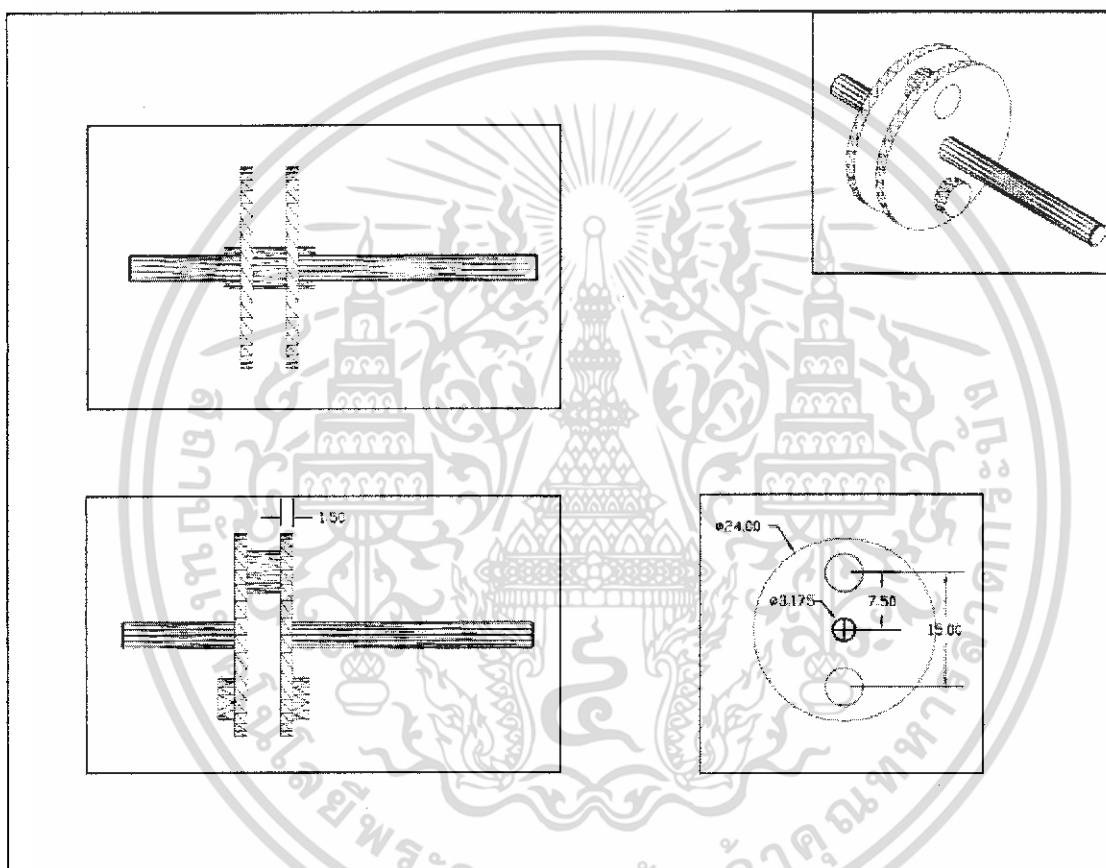
บรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิง

- [1] Charoenphonphanich Chinda, "Flow and Mixture Formation of Gas in Cylinder of a Stratified Charge Engine with Two Intake Valves" Tokai University ,Japan 2001
- [2] Herchel Thaddeus C. and Yutaka Matsumoto , "The effect of coconut oil and diesel fuel blends on diesel engine performance and exhaust emission", Gunma University, 2001
- [3] Pulkrabek W.W., "Engineer Fundamentals of the Internal Combustion Engine" , Prentice Hall
- [4] Higelin P., "The use of sunflower oil as Diesel fuel for DI engines", Orleans university, 1992
- [5] E.M.Elshenawy , "Insights from Particle Image Velocimetry Measurements" , Tanta University
- [6] Heywood, J.B., "Internal Combustion Engine Fundamentals" ,McGraw-Hill Book Co.,New York, 1988
- [7] Techopisanwong I., Charoenphonphanich C. and Iijima T., "Visualization of In-cylinder Flow of an Engine by PIV Technique (Effects of Combustion Chamber and Intake Port Configuration)", 7th Asian Symposium on Visualization, November 2003, Singapore
- [8] Kanok-on Rodjanakid and Chinda Charoenphonphanich, "Performance of an Engine Using Biodiesel from Refined Palm Oil Stearin and Biodiesel from Crude Coconut Oil", The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE), December 2004, Hua Hin, Thailand
- [9] กิตติ เข็มเปรมจิต และ จินดา เจริญพรพาณิชย์, "การศึกษาลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนชนิดต่างๆ สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี
- [10] อธิเชษฐ เตโชพิศาลวงศ์, จินดา เจริญพรพาณิชย์, พงษ์ศักดิ์ คำมูล, "พฤติกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ส่วนผสมบาง", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี
- [11] อภิชาติ เสมศรี และ จินดา เจริญพรพาณิชย์, "การปรับแต่งเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเพื่อใช้น้ำมันพืช", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 18-20 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

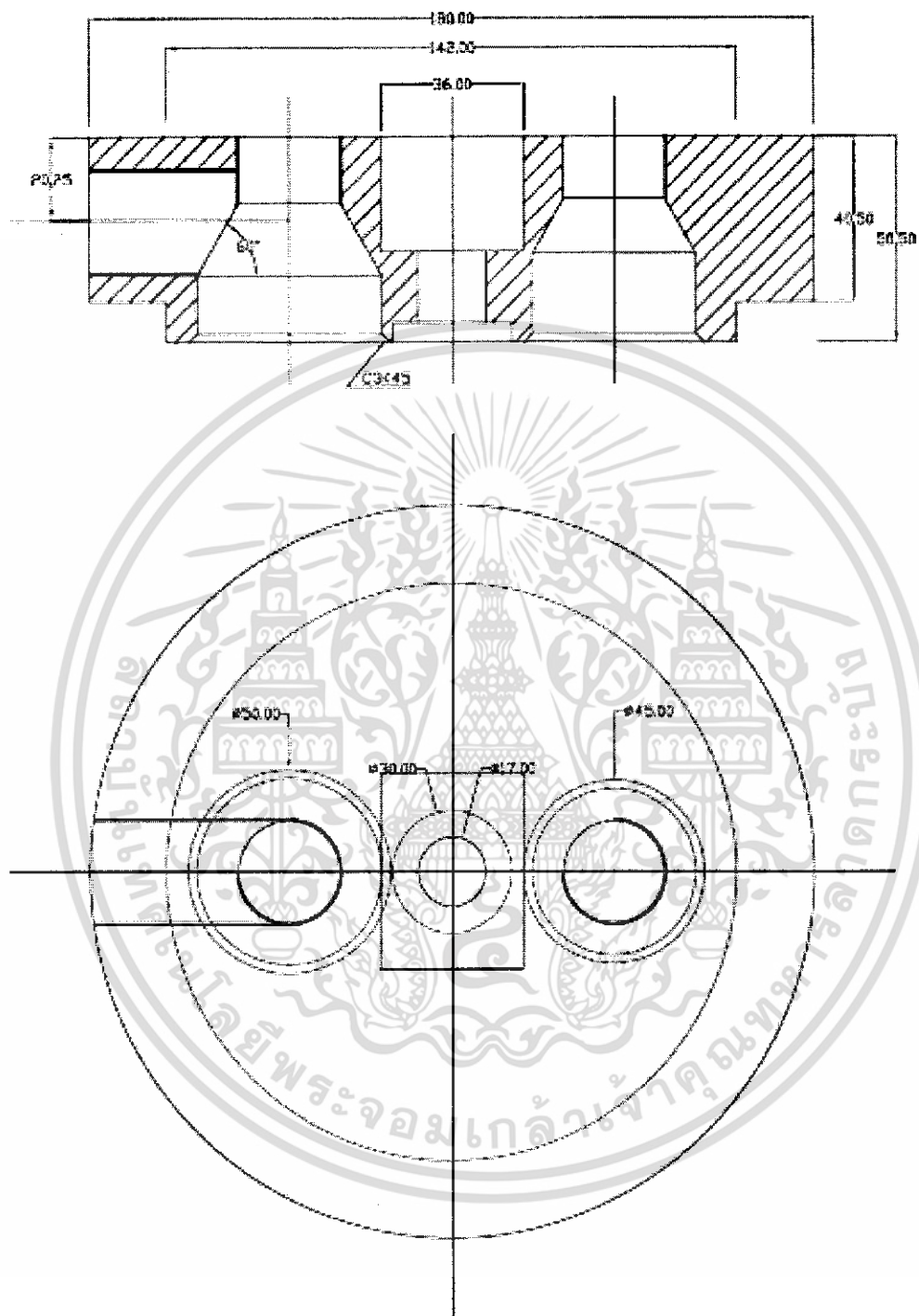
- [12] กนกอร รจนากิจ และ จินดา เจริญพรพาณิชย์, “ผลกระทบจากการใช้น้ำมันพืชดิบต่อสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์การเกษตร”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต
- [13] กิตติ เอี่ยมเปรมจิต, คำรห์ จันทร์แสงสุข และ จินดา เจริญพรพาณิชย์, “สเปรย์เชื้อเพลิงของน้ำมันพืชสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต
- [14] Yoshihiro H. and Kiyomi N. , "Smoke Reduction methods using shallow-dish combustion chamber in an HSDI Common-Rail Diesel Engine" , Toyota R&D , Japan , 2002
- [15] 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
- [16] C.-W. Hong and S.-D. Tarng. 2001. "In-Cylinder Tumble Flow Field Measurements and Predictions." ASME paper Vol. 123, pp139-145
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 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
- [20] 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
- [21] อีรเดช ช่างทองและคณะ, “การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศในระบบอกสูบของเครื่องยนต์สี่จังหวะ” 2000
- [22] วรณี ลีลาวงศาโรจน์, “การสังเคราะห์สารปรับสภาพเส้นผมจากน้ำมันมะพร้าว” คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2002
- [23] ทิตยา นาเจริญ และคณะ, “การสังเคราะห์สารบำรุงเส้นผมจากน้ำมันมะพร้าว” คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2003



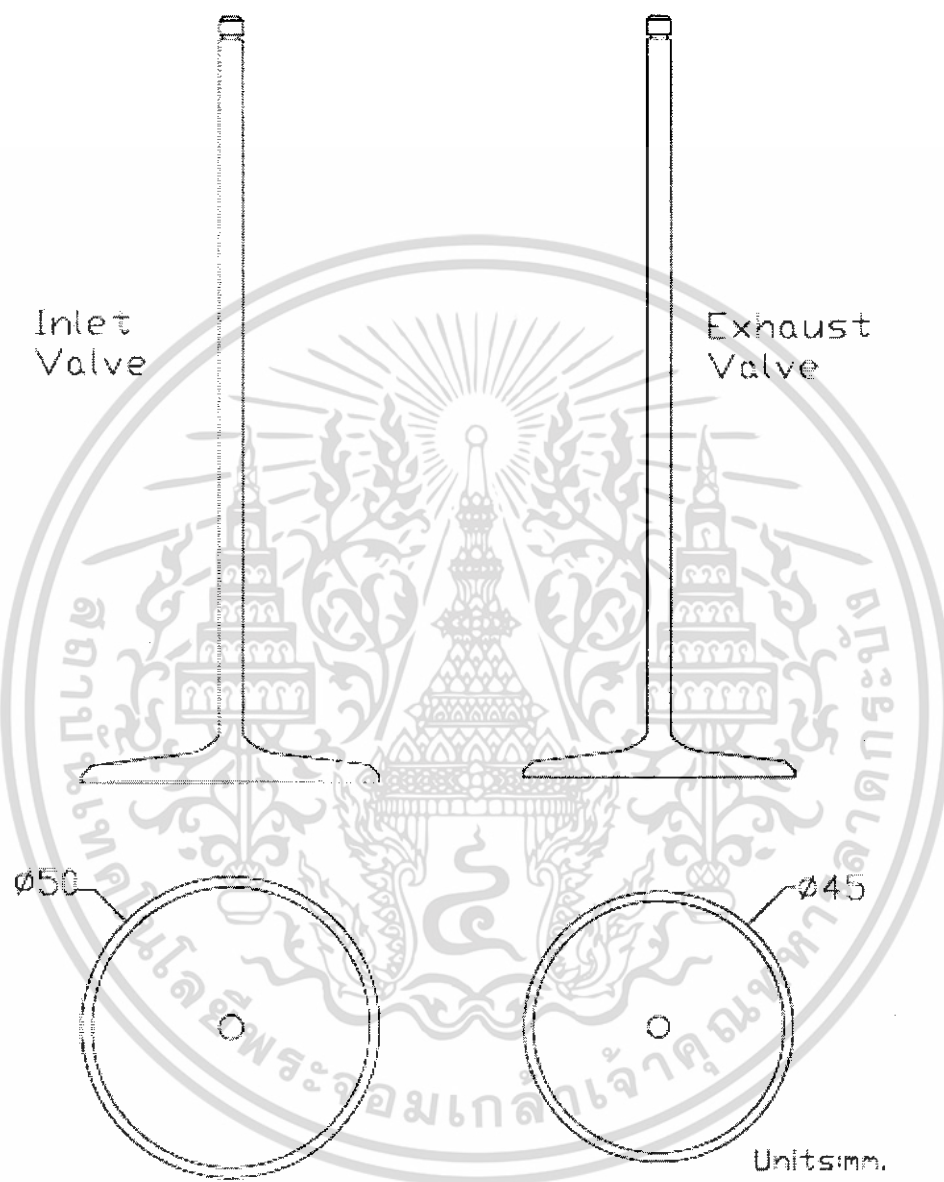
ภาคผนวก ก.
ภาพอุปกรณ์ส่วนประกอบภายในเครื่องจำลองการไหลภายใน
กระบอกสูบ



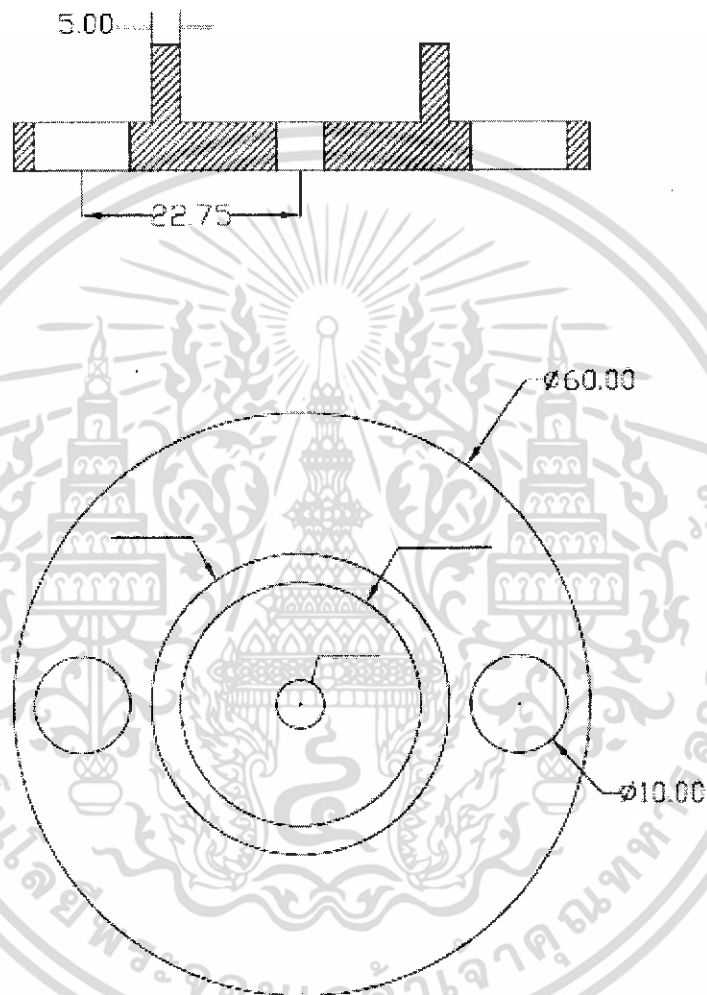
รูปที่ 1 แบบเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่ 2 แบบผ่าดู



รูปที่ 3 แบบวาล์ว



Lockspring&Guide valve

Units: mm.

รูปที่ 4 แบบฐานสปริงวาล์ว

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

ตารางที่ 1 แสดงสมรรถนะเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์

หัวลูกสูบแบบมีหลุมเยื้องศูนย์

rpm	Load Cell (kg.m*5)	Torque (Nm)	Power (kw)	Power (hp)
1200	18.3	35.9	4.512	5.906
1400	18.8	36.9	5.408	7.078
1600	19.1	37.5	6.279	8.218
1800	19.2	37.7	7.101	9.294
2000	19.1	37.5	7.849	10.273
2200	18.8	36.9	8.498	11.123
2400	18	35.3	8.876	11.618
2500	17.1	33.6	8.783	11.497

ตารางที่ 2 แสดงสมรรถนะเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

หัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

rpm	Load Cell (kg.m*5)	Torque (Nm)	Power (kw)	Power (hp)
1200	18.5	36.3	4.561	5.970
1400	19	37.3	5.465	7.153
1600	19.1	37.5	6.279	8.218
1800	19	37.3	7.027	9.197
2000	18.8	36.9	7.725	10.112
2200	18.4	36.1	8.317	10.886
2400	17.5	34.3	8.629	11.295
2500	16.7	32.8	8.578	11.228

ตารางที่ 3 การทดสอบเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ที่ BMEP 300 kPa

หัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์

BMEP 300 kPa

rpm	Fuel Consumption in 60 s	%smoke	Exhaust Temp	Power	BSFC
1200	11	5.3	190	1.64	402.15
1400	12.5	4.4	201	1.91	391.71
1600	14.1	3.8	210	2.19	386.61
1800	16.1	3.6	228	2.46	392.40
2000	18.3	3.1	240	2.74	401.42
2200	20.5	3	256	3.01	408.80

ตารางที่ 4 การทดสอบเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ที่ BMEP 400 kPa

หัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์

BMEP 400 kPa

rpm	Fuel Consumption in 60 s	%smoke	Exhaust Temp	Power	BSFC
1200	12.6	6.2	225	2.19	345.55
1400	14.3	5.1	236	2.55	336.15
1600	16.2	4.7	245	2.92	333.21
1800	18.5	4.2	256	3.28	338.24
2000	21.3	3.9	264	3.65	350.49
2200	24	3.7	278	4.01	359.01

ตารางที่ 5 การทดสอบเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์ที่ BMEP 500 kPa

หัวลูกสูบแบบมีหลุมเอียงศูนย์

BMEP 500 kPa

rpm	Fuel Consumption in 60 s	%smoke	Exhaust Temp	Power	BSFC
1200	15.2	7.2	264	2.73	333.52
1400	17.3	6.3	273	3.19	325.37
1600	19.5	5.7	291	3.65	320.91
1800	22.3	5	304	4.10	326.21
2000	25.6	4.6	318	4.56	337.03
2200	29	4.3	336	5.01	347.09

ตารางที่ 6 การทดสอบเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนที่ BMEP 300 kPa

หัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

BMEP 300 kPa

rpm	Fuel Consumption in 60 s	%smoke	Exhaust Temp	Power	BSFC
1200	11.3	7.2	195	1.64	413.12
1400	13	6.5	206	1.91	407.37
1600	14.8	5.7	222	2.19	405.81
1800	17.2	5.4	242	2.46	419.21
2000	19.8	5.1	256	2.74	434.32
2200	22.3	4.7	267	3.01	444.69

ตารางที่ 7 การทดสอบเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนที่ BMEP 400 kPa

หัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

BMEP 400 kPa

rpm	Fuel Consumption in 60 s	%smoke	Exhaust Temp	Power	BSFC
1200	13.1	8.1	227	2.19	359.26
1400	14.9	7	240	2.55	350.25
1600	17	6.2	251	2.92	349.66
1800	19.7	5.7	266	3.28	360.18
2000	22.9	5.6	277	3.65	376.82
2200	26.4	5.4	291	4.01	394.92

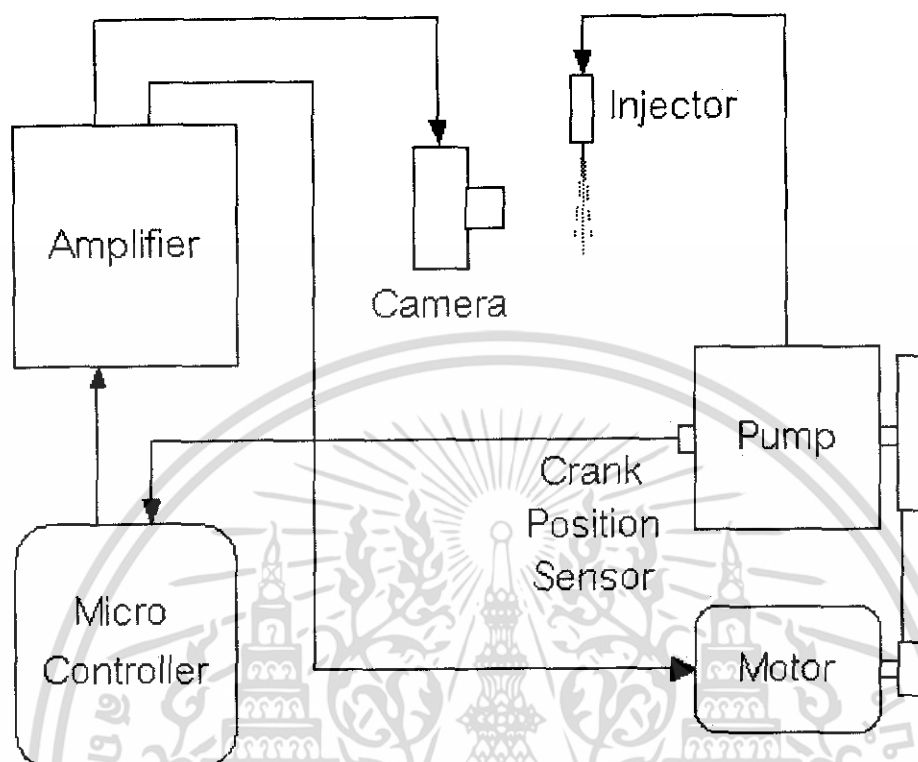
ตารางที่ 8 การทดสอบเครื่องยนต์ของหัวลูกสูบแบบจานโค้งนูนที่ BMEP 500 kPa

หัวลูกสูบแบบจานโค้งนูน

BMEP 500 kPa

rpm	Fuel Consumption in 60 s	%smoke	Exhaust Temp	Power	BSFC
1200	16	9.2	266	2.73	351.08
1400	18.2	8.2	282	3.19	342.30
1600	20.6	7.5	304	3.65	339.01
1800	23.8	6.8	318	4.10	348.15
2000	27.8	6.4	334	4.56	366.00
2200	31.8	6.2	353	5.01	380.60

ภาคผนวก ค.



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์การฉีดสเปรย์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสิทธิชัย วิจิตรเวียงรัตน์
วัน เดือน ปีเกิด	24 ธันวาคม 2526
ที่อยู่	1581 ถนนริมทางรถไฟเก่า แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110 โทร.0-6786-2180
ประวัติการศึกษา	2539 ปฐมศึกษา โรงเรียนวิริยาลัย 2545 มัธยมศึกษา โรงเรียนเทพศิรินทร์ และเข้าศึกษาต่อ ในระดับอุดมศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีเดียวกัน
ชื่อ-นามสกุล	นายสิริวุฒิ หนูญ
วัน เดือน ปีเกิด	23 สิงหาคม 2527
ที่อยู่	51/8 หมู่ 1 ซอยอยู่เย็น ถนน รามอินทรา แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร.0-9207-7826
ประวัติการศึกษา	2539 ปฐมศึกษา โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2545 มัธยมศึกษา โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในระดับอุดมศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีเดียวกัน
ชื่อ-นามสกุล	นายสุเชษฐ์ ตั้งชัย
วัน เดือน ปีเกิด	13 กรกฎาคม 2527
ที่อยู่	61/4 หมู่ 15 ถนนไมตรีจิต แขวงสามวาตะวันออก เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 10510 โทร.0-9789-3516
ประวัติการศึกษา	2539 ปฐมศึกษา โรงเรียนพรสุดา 2545 มัธยมศึกษา โรงเรียนมินทราชนูทิศ ศรีวิทยา๒ และเข้าศึกษาต่อ ในระดับอุดมศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีเดียวกัน