การใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนในเครื่องยนต์สันดาปภายใน

นายวัชระ ลอยสมุทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงการณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-511-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16794934

USE OF HYDROGEN AS AND ALTERNATIVE FUEL IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Mr. Watchara Loysmut

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Education
Department of Mechanical Engineer
Graduate School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974-633-511-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนในเครื่องยนต์สันดาปภายใน
โดย	นายวัชระ ลอยสมุทร
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์พูลพร แสงบางปลา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.นท.ดร.พิชาญ พิชัยณรงค์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รศ.ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.พูลพร แสงบางปลา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผศ.นท.ดร.พิชาญ พิชัยณรงค์)

..... กรรมการ

(รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

วัชระ ลอยสมุทร : การใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนในเครื่องยนต์สันดาปภายใน (USE OF HYDROGEN AS AND ALTERNATIVE FUEL IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE)
อ.ที่ปรึกษา : รศ. พูลพร แสงบางปลา
อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.นท.ดร. พิชาญ พิชัยฌรงค์, 112 หน้า. ISBN 974-633-511-1

ปัญหาอากาศเป็นพิษกำลังเป็นปัญหาที่สำคัญในเมืองใหญ่ๆ โดยเฉพาะในกรุงเทพฯ สาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาอากาศเป็นพิษคือควันไอเสียจากรถยนต์ซึ่งใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากในควันไอเสียจะประกอบไปด้วยแกส CO, CO_2, HC, เขม่าและควันดำ ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้เกิดอากาศเป็นพิษ ปัญหาอีกประการหนึ่งคือการขาดแคลนเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งมีแนวโน้มจะหมดไปในอนาคต แนวทางแก้ปัญหาทางหนึ่งคือ การเลือกใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจน

ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการทดลองใช้แกสไฮโดรเจนทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวเพื่อเป็นเครื่องยนต์ต้นแบบในการแก้ไขปัญหาอากาศเป็นพิษและปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิง โดยทำการดัดแปลงระบบต่างๆของเครื่องยนต์ได้แก่ ระบบเชื้อเพลิงซึ่งจะใช้ระบบฉีดแกสไฮโดรเจนลงในกระบอกสูบโดยตรงด้วยหัวฉีดแกสไฮโดรเจนที่ได้ออกแบบและจัดสร้างขึ้น ระบบจุดระเบิดจะดัดแปลงจากการจุดระเบิดด้วยกำลังอัดมาใช้หัวเทียนเป็นอุปกรณ์ช่วยจุดระเบิด กำลังอัดของเครื่องยนต์จะดัดแปลงจาก 21:1 เหลือ 11:1 จังหวะฉีดแกสไฮโดรเจนแรงดันสูงฉีดที่ 50° ก่อนศูนย์ตายบนและจุดระเบิดที่ศูนย์ตายบน

ตามเงื่อนไขที่กล่าวมาในเบื้องต้น ผลการวิจัยที่ได้คือเครื่องยนต์ซึ่งใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงสามารถทำงานได้ โดยสภาพการทำงานและสมรรถนะของเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับแรงดันในการฉีดแกสไฮโดรเจนลงในกระบอกสูบ ซึ่งจากการทดลองฉีดแกสไฮโดรเจนด้วยแรงดันในช่วง 20-40 บาร์ ทราบว่าที่แรงดัน 35 บาร์ เครื่องยนต์ไฮโดรเจนจะมีสมรรถนะดีที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลต้นแบบที่นำมาดัดแปลง ผลที่ได้คือ

	เครื่องยนต์ไฮโดรเจน	เครื่องยนต์ดีเซล	
ความเร็วรอบสูงสุด	2400	2550	rpm
กำลังสูงสุด	5.98	9.43	ps
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด	25.17	26.31	%
ภาระสูงสุดที่เครื่องยนต์รับได้	114	148	N
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงสุด	85	68	°c
อุณหภูมิแกสไอเสียสูงสุด	345	290	°c
CO	0	0.10	% โดยปริมาตร
CO_2	0	-	% โดยปริมาตร
BLACK SMOKE	0	570	ppm

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต วัชระ ลอยสมุทร
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผ.ท. พิชาญ พิชัยฌรงค์

C518583 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD:
RECIPROCATING ENGINE / HYDROGEN FUEL / HYDROGEN INJECTOR

WATCHARA LOYSMUT : USE OF HYDROGEN AS ALTERNATIVE FUEL IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. PHULPORN SEANGBANGPLA, THESIS CO-ADVISOR: ASST. PROF. PICHAN PICHANARONG, Ph.D. 112 pp.
ISBN 974-633-511-1

Problems by CO,CO_2, HC and black smoke gas which take out from cars which used hydrocarbon fuel and problems that oil has not enough to use so long time are solved by using hydrogen fuel.

In this research the experimental investigation was carried out using a single cylinder diesel engine modified to run on hydrogen. Fuel system is modified by using hydrogen injector be designed and fabricated. Ignition system is changed from compression ignition to used spark plug. Compression ratio is changed from 21:1 to 11:1. Hydrogen injection timing is used 50° BTDC and ignited at TDC.

The results of this experiment have show that, the hydrogen engine could work with above condition and a performance of the engine depending on the pressure of the hydrogen gas which injected into the cylinder. In this experiment hydrogen gas pressure was injected vary from 20 to 40 bars and best performance of the engine occured at 35 bars. The hydrogen engine which injected pressure 35 bars compared with diesel engine(Base Engine) is shown below,

		HYDROGEN ENGINE	DIESEL ENGINE	
Maximum speed	:	2400	2550	rpm
Maximum power	:	5.98	9.43	ps
Maximum brake thermal efficiency	:	25.17	26.31	%
Maximum load	:	114	148	N
CO	:	0	0.10	% by volume
HC	:	0	570	ppm
CO_2	:	0	-	% by volume
Black smoke	:	0	53	% by volume

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต วัชระ ลอยสมุทร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถทำได้สำเร็จลุล่วง เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์พูลพร แสงบางปลา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ นท.ดร.พิชาญ พิชัยณรงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งอาจารย์ทั้งสองท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย นอกจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสองท่านแล้ว ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยซึ่งประกอบด้วย รท.เอก ศรลัมภ์ นายประหยัด และ นายบูรณะ ทองคำ พออ.เพทาย ไชยนา และเจ้าหน้าที่จากโรงเรียนนายเรืออากาศทุกท่าน

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย และสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งสนับสนุนให้ทุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท คูโบต้า ประเทศไทย ซึ่งสนับสนุนเครื่องยนต์ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท ทีไอจี ซึ่งสนับสนุนแกสไฮโดรเจน ขอบคุณโรงเรียนนายเรืออากาศ ซึ่งสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมารดา และครู-อาจารย์ทุกท่าน ซึ่งได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา ขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต ซึ่งให้โอกาสผู้วิจัยได้ศึกษาเล่าเรียน จนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ซ

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อ ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1
2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเชื้อเพลิงไฮโดรเจน 12
3. วิธีการดัดแปลงเครื่องยนต์ 18
4. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 44
5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ 92

เอกสารอ้างอิง 100

ภาคผนวก 102

ประวัติผู้เขียน 112

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงผลของแกส CO, NO, O_3, SO_2 และผงฝุ่นที่มีต่อมนุษย์ พืช สิ่งก่อสร้าง และบรรยากาศ	2
2	เปรียบเทียบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของแกสไฮโดรเจน น้ำมันแกสโซลีน น้ำมันดีเซล	17
3	สรุปข้อแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลก่อนการดัดแปลงเปรียบเทียบกับครื่องยนต์ไฮโดรเจน	93
4	เปรียบเทียบผลการทำงานของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนที่แรงดันในการฉีดต่ำ (20 บาร์) และแรงดันในการฉีดสูง (40 บาร์).....	95
5	เปรียบเทียบผลการทำงานของเครื่องยนต์ซึ่งใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงและเครื่องยนต์ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	96
ผ-1	แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล.....	103
ผ-2	แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ซึ่งใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 20 บาร์ (2 MPa)	104
ผ-3	แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ซึ่งใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 25 บาร์ (2.5 MPa)	105
ผ-4	แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ซึ่งใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 30 บาร์ (3.0 MPa)	106
ผ-5	แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ซึ่งใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 35 บาร์ (3.5 MPa)	107
ผ-6	แสดงผลการทดสอบเครื่องยนต์ซึ่งใช้แกสไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 40 บาร์ (4.0 MPa)	108

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1	ปริมาณแกส CO2 ที่เพิ่มขึ้นในระยะ 200 ปี วัดที่ขั้วโลกใต้ โดยนักวิชาการของมหาวิทยาลัยเบลุน	3
2	เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ระหว่าง เครื่องยนต์แกสโซลีน เครื่องยนต์ไฮโดรเจนระบบผสม และเครื่องยนต์ ไฮโดรเจนระบบฉีด เมื่อปริมาตรของกระบอกสูบเท่ากัน	8
3	แสดงการผลิตแกสไฮโดรเจนด้วยกระบวนการแยกน้ำโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์	13
4	แสดงภาพหน้าตัดฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ได้รับการดัดแปลง	21
5	แสดงแผนผังการติดตั้งระบบเชื้อเพลิงแกสไฮโดรเจน	23
6	แสดงจังหวะการเปิด-ปิดวาล์วไอดี-ไอเสียของเครื่องยนต์	26
7	แสดงฝาสูบของเครื่องยนต์ที่ได้รับการดัดแปลงให้ใช้แกสไฮโดรเจน เป็นเชื้อเพลิง	27
8	แสดงถังบรรจุแกสไฮโดรเจน, วาล์วควบคุมแรงดัน และท่อทางเดิน แกสไฮโดรเจน	28
9	แสดงอุปกรณ์ป้องกันไฟย้อนกลับและข้อต่อที่ใช้	28
10	แสดงการติดตั้งระบบจุดระเบิดแบบ CDI เข้ากับเครื่องยนต์	29
11	แสดงการติดตั้งระบบจุดระเบิดแบบจานจ่ายเข้ากับเครื่องยนต์	30
12	แสดงขนาดของหัวฉีดแกสไฮโดรเจน	36
13	แสดงขนาดของสปริงที่ใช้ในหัวฉีดแกสไฮโดรเจน	39
14	แสดงภาพหน้าตัดของหัวฉีดแกสไฮโดรเจน	40
15	แสดงหัวฉีดแกสไฮโดรเจน	41
16	แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล	51
17	แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดสอบเครื่องยนต์ไฮโดรเจน	52

รูปที่ หน้า

18 แสดงไดนาโมมิเตอร์และแผงควบคุม 53

19 แสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ 53

20 แสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหลของแกสไฮโดรเจน 54

21 แสดงภาพการทดสอบเครื่องยนต์ 54

22 แสดงเครื่องมือวัดและวิเคราะห์แกสไอเสีย 55

23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาเพลาข้อเหวี่ยวกับแรงดันใน กระบอกสูบที่ได้จากการคำนวณ 60

24 กราฟแสดงความเร็วรอบ, ภาระ และกำลังของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 71

25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกำลังของเครื่องยนต์ ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับ เครื่องยนต์ดีเซล 72

26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบ กับเครื่องยนต์ดีเซล..... 73

27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ เครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับ เครื่องยนต์ดีเซล 74

28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ เครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับ เครื่องยนต์ดีเซล 75

29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะ (kg/Ps-hr) ของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีด เปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 76

รูปที่ หน้า

30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/Ps-hr) ของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 77

31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/Ps-hr) ของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 78

32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/Ps-hr) ของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 79

33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (MJ/Ps-hr) ของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 80

34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (MJ/Ps-hr) ของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 81

35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับปริมาณ CO, HC, และ Smoke ในแกสไอเสียของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนและเครื่องยนต์ดีเซล 82

36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับปริมาณ CO, HC, และ Smoke ในแกสไอเสียของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนและเครื่องยนต์ดีเซล 83

37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับปริมาณ CO, HC, และ Smoke ในแกสไอเสียของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนและเครื่องยนต์ดีเซล 84

38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 85

รูปที่ หน้า

39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 86

40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 87

41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอุณหภูมิแกสไอเสียของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 88

42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับอุณหภูมิแกสไอเสียของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 89

43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิแกสไอเสียของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน เมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 90

44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Relative air fuel ratio (λ) ของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล 91

45 เปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 35 บาร์ กับกำลังของเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 97

46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนเมื่อแรงดันในการฉีดเท่ากับ 35 บาร์ กับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ 98

คำอธิบายสัญญลักษณ์

V_d (Displacement volume)	=	ปริมาตรแทนที่ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์
r_c (Compression ratio)	=	อัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์
V_c (Clearance volume)	=	ปริมาตรของห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์
TDC (Top dead Center)	=	ตำแหน่งของลูกสูบขณะอยู่ที่ศูนย์ตายบน
BDC (Bottom dead center)	=	ตำแหน่งของลูกสูบขณะอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง
20° BTDC	=	ตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงหมุน 20° ก่อนลูกสูบถึง
(20° Before Top dead center)		ศูนย์ตายบน
$\dot{m}_a$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ
$\dot{m}_f$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง
[A/F] (Air-Fuel ratio)	=	อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง
$[A/F]_{stoichiometric}$	=	อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงทาง
		ทฤษฎี
$[A/F]_{actual}$	=	อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในการ
		เผาไหม้จริง
λ (Relative Air-Fuel ratio)	=	$\dfrac{[A/F]_{actual}}{[A/F]_{stoichiometric}}$