

SCV를 장착한 2밸브 SI 가시화기관의 연소특성에 관한 연구

정구섭[†] · 진충환* · 장영준*

(2000년 11월 24일 접수, 2001년 10월 18일 심사완료)

A Study of the Combustion Characteristics Using a 2-valve SI Optically Accessible Engine with SCV

Ku-Seob Chung, Chung-hwan Jeon and Young-June Chang

Key Words: Combustion(연소), Swirl Control Valve(스윙 제어밸브), Optically Accessible Engine
(가시화엔진), Air Excess Ratio(공기과잉률), Flame Propagation(화염전파)

Abstract

This study describes the combustion characteristics under various condition of air excess ratio and ignition timing in a 2-valve SI optically accessible engine with swirl control valve(SCV). It adapted three different types of SCV(open ratio 72.5%, 78%, 89%) to strengthen a swirl flow. Pressure data were acquired using pressure sensor to investigate the effect of swirl flow on combustion, and from these pressure data, IMEP(indicated mean effective pressure) and MFB(mass fraction burnt) were calculated to explain burn rate and flame speed. From acquired flame images, we inspected the flame propagation direction, flame area, and flame centroid. Flame propagation direction showed different tendency between with/without SCV, and flame area with SCV was faster and larger than that of conventional engine. Finally, the representative flame images at each crank angle were acquired by PDF method to verify flame growth process. It is found that strengthened swirl flow is more beneficial for faster and stable combustion.

1. 서 론

기관 연소실 내의 연소특성의 향상과 배출물 중의 유해가스 저감에 관한 연구는 기관의 성능 개선 및 환경 오염 물질의 배출 저감에 매우 중요한 연구 과제가 되고 있다. 특히 기관 연소실 내의 연소현상은 연소실내의 연소특성인자, 연소실 구조나 점화시기, 연료분사시기, 공기과잉률 등에 따른 기관의 운전조건 변화 등 여러 인자의

영향을 받게 된다. 그러므로 기관의 연소특성을 규명하고 연소성능 개선 인자를 밝히는 것은 시급히 해결해야 할 과제이다.

최근의 가솔린엔진의 개발에 있어서 저공해기관 또는 초저연비 기관의 관점에서 초회박 기관이나 직분식 가솔린기관에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이 경우 주로 연소실 내의 혼합기 형성을 촉진시킴과 동시에 압축말기에 난류강도를 증대시키는 수단으로 텀블(tumble) 및 스윙(swirl) 유동 효과를 적절히 이용하고 있다.^(1~2)

엔진 실린더내의 유동은 유속의 변화가 급격한 과도현상이며 비정상유동이기 때문에 실린더내의 스윙 및 텀블 현상이 명확하게 해명되어 있지 않으며, 어느 것이 연소에 유리한지에 대해서도 이론적으로 정립되어 있지 않다. 압축행정말기에

[†] 책임저자, 회원, 부산대학교 대학원 기계공학과

E-mail : kuseob@hanmail.net

TEL: (055) 751-8186 FAX: (055) 751-8188

* 회원, 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

난류강도를 크게 하기 위해서는 스웰보다 텀블이 유동특성상 유리하다는 결과가 발표되고 있는 반면에, 텀블에 의해 생성된 난류는 압축과정을 거치는 동안 거의 소멸되지만 스웰은 압축과정시 계속 난류를 생성시켜 연소 개시점까지 난류강도를 높게 유지시켜준다는 결과도 많이 있으므로 아직 이론적인 통일이 이루어지지 않은 실정이다.⁽³⁻⁵⁾

따라서, 본 연구에서는 공기과잉률과 점화시기에 따른 연소현상을 규명하고 연소실내의 공기유동 중 기존에 존재하고 있던 텀블에 스웰을 강화시켰을 때의 연소압력을 측정하여 스웰유동이 연소에 미치는 영향과 연소안정성에 대해서 살펴보고, 가시화 창을 통해 화염전파 과정을 직접 촬영하여 화염 성장과정을 비교 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 유량 및 스웰, 텀블강도를 측정하기 위한 정상유동 실험장치로서 공기유입구로부터 VS모터, 루츠블로워, 소음기 및 서저탱크, 충류유량계, 실린더헤드, 마이크로 마노메타, 스트로보스코프 등으로 구성되어 있다. 흡입공기량을 측정하기 위하여 충류유량계를 설치하여 전후차압을 1~1000 mmH₂O범위의 마이크로 마노메타로 계측하였고, 텀블 및 스웰강도 측정을 위하여 아크릴로 제작한 텀블 어댑터를 부착하여 실험하였다.

Fig. 2은 가시화엔진을 이용하여 연소압력과 연소화상을 취득하기 위한 실험장치를 나타내고 있다. 흡입공기량을 측정하기 위하여 흡기 매니폴드 입구에 유량측정기(laminar flow meter)를 장착하였고, 연소실의 공기과잉률을 제어하기 위하여 광역 공기과잉률 센서(Bosch type)를 배기다기관에 삽입하였다. 점화시기 조절을 위하여 Programmable ECU로 제어가 가능하게 하였다. 연소실 내부의 가시화가 가능하도록 피스톤과 실린더를 연장하였고, 연장 피스톤의 크라운 부분에 가시화 창을 삽입하여 하단부에서 연소현상을 관측할 수 있게 하였다. 본 실험에 사용된 가시화엔진은 1800cc급 펜트루프형 2밸브 SOHC 실린더헤드를 사용하였고, 엔진의 주요 제원은 Table 1에 나타낸다. 제작된 가시화엔진은 1번

실린더 하나만 가시화하여 단기통으로 개조하였으며, 제작된 가시화엔진시스템을 이용하여 연소특성 실험을 행하였다.

연소자발광은 고속화상증폭장치 (Hamamatsu, high-speed gated image intensifier)가 부착된 카메라에 의해 화상을 취득하였고, 이와 동시에 연소실의 압력을 측정하기 위해 스파크 플러그형 압력 센서(Oprand사, model C21265)를 사용하였다.

본 실험에서 흡입유동을 변화시키기 위해 사용된 SCV(swirl control valve)는 정상유동실험을 통하여 형상과 개구율의 변화로 80가지의 형상 가운데 시행착오적인 방법으로 유량계수의 손실을 최소화하면서 스웰강도를 최대로 강화시키려는데 초점을 맞춘 형상가운데 3가지 형상을 선정하여 사용하였다.⁽⁶⁻⁷⁾ Fig. 3는 본 실험에 사용된 개구율(open ratio)이 서로 다른 3가지의 SCV형상을 보여주고 있다. SCV A는 개구율이 89%이고, SCV B는 72.5%, SCV C는 78% 이다.

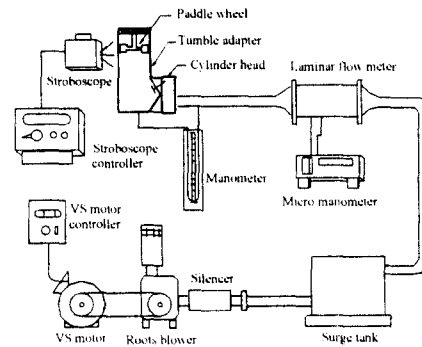


Fig. 1 Schematic diagram of steady flow apparatus

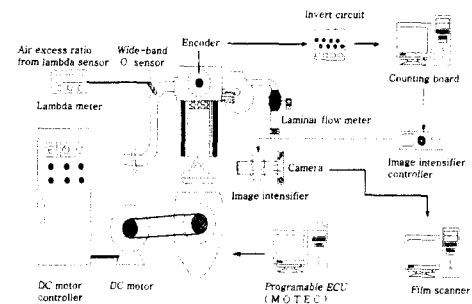


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Base engine specification

Specifications		Resources	
General specification	cylinder	1	
	bore (mm)	80.60~80.63	
	stroke (mm)	88	
	displacement (cc)	1796	
	compression ratio	8.9	
	idle engine speed (rpm)	750 ± 100	
	idle spark timing (deg.)	bTDC 5° ± 1°	
Valve open-closed timing	intake	open	bTDC 19°
		close	aBDC 57°
	exhaust	open	bBDC 57°
		close	aTDC 19°

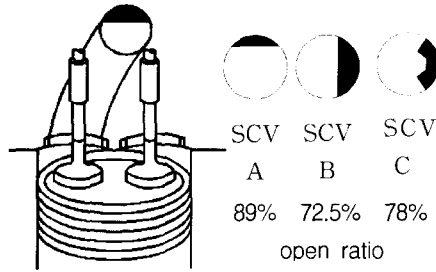


Fig. 3 Locations and configurations of SCV

2.2 실험방법 및 조건

정상류 실험에서는 정상유동 실험장치를 이용하여 각각의 스윙조절밸브에 대한 흡입유량과 스윙 및 텀블강도를 측정하였다. 실험시 밸브양정은 0~8mm까지 1mm단위로 변화시켜 가며 조절하였으며, 흡입유량을 알아보기 위하여 총류유량계에서 나온 압력값으로 유량계수(C_v)를 산출하였다. 실린더내의 스윙강도와 텀블강도는 텀블어댑터를 이용하여 무차원 와류값(NRS, NRT ; Non-dimensional rig swirl or tumble)으로 나타내었다. 무차원 와류값을 정의하는 것은 논문에 따라 다를 수 있지만, 본 연구에서는 폐들휠의 각속도에 의하여 다음과 같이 NRS와 NRT를 정의하였다.⁽⁸⁾

$$NRS \text{ or } NRT = \frac{w_p B}{v_0}$$

여기서, $v_0 = \left[\frac{2(p_0 - p_c)}{\rho} \right]^{1/2}$

Table 2 Experimental condition

Experiment item	Type	Fuel control	Engine speed	Air excess ratio	Ignition timing
Pressure measurement	Conventional	Program_mable ECU (MOTEC)	900 rpm	0.9 ~ 1.2	bTDC 15°
	SCV A				bTDC 25°
	SCV B				
Image acquisition	SCV C			1.0	bTDC 25°

B는 실린더보어를, ω_p 는 폐들휠 각속도($2\pi N_p$), 그리고 v_0 는 특성속도(Characteristic velocity)나 타낸다. 또한, p_0 는 흡기측압력, p_c 는 실린더내 압력을 나타낸다.

Table 2는 SCV 형상 및 운전조건에 따른 연소특성의 변화를 규명하기 위해 사용된 실험조건을 나타낸다.

2.3 연소해석

연소해석을 위하여 기본적인 연소압력은 엔진의 공기과잉률과 점화시기 변화에 대해 기존상태(Conventional, 이하 Conv.로 줄임) 및 3가지 형상의 SCV를 장착하여 측정하였다.

취득한 압력데이터는 사이클 변동을 고려하여 각각의 실험조건에서 50사이클의 평균압력으로 나타내었다. 연소압력을 이용한 연소속도를 해석하기 위해서 질량연소분율(MFB; mass fraction burnt)을 계산하였다.⁽⁹⁾

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_v \tag{1}$$

$$p_i V_i^n = p_j V_j^n \tag{2}$$

$$\Delta p_v = p_j - p_i = p_i \left[\left(\frac{V_i}{V_j} \right)^n - 1 \right] \tag{3}$$

$$\frac{m_{b(i)}}{m_{b(total)}} = \frac{\sum_0^i \Delta p_c}{\sum_0^N \Delta p_c} \tag{4}$$

여기에서 연소실내의 전체압력상승분 Δp 는 연소에 의한 압력상승분 Δp_c 와 피스톤운동에 의한 체적변화에 따른 압력변화량 Δp_v 의 합으로 나타낸다. 체적변화에 의한 압력변화는 폴리트로픽 과정으로 가정한다면 식 (1)에서 연소에 의한 압력상승분을 구할 수 있다. 또한 연소상승분이 발

생활 때를 연소의 시작으로 간주하고 연소압력 상승분이 0이 될 때를 연소의 종료시점으로 가정하여 식 (4)에 의해 연소질량분율을 계산하였다. 또한, 각 조건에 따른 연소 안정성을 규명하기 위하여 각 사이클의 도시평균 유효압력(IMEP) 변동값을 계산하였다.

연소화상은 엔진이 운전되는 동안 엔코더에서 발생하는 펄스신호와 카운터 회로에서 정확한 시기를 계산해내고 크랭크각도에 맞추어 화상을 취득하였다. 디지털 화상처리기법을 이용하여 512×512 픽셀의 데이터파일로 전환하였다. 이상과 같이 픽셀 값의 기준을 정해서 원하는 범위내의 픽셀수를 계산함으로써 전체면적에 대한 화염이 차지하고 있는 면적(normalized frame area)을 구할 수 있다. 화염중심의 이동을 비교하기 위해 화상 영역 안에서 도심을 아래 식을 사용하여 계산하였다.

$$X_c = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^N X_i \tag{5}$$

$$Y_c = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^N Y_j$$

여기서 X_c , Y_c 는 면적의 도심을 나타내며 N_i 는 512×512 개의 전체 픽셀수이고 N 은 화염면으로 인식되는 유효 픽셀수를 말한다. 그리고 X_i , Y_j 는 면적에서 i , j 번째의 픽셀의 좌표를 나타낸다.

연소화상의 사이클변동을 고려하여 각 크랭크 각도 당 30 화상 이상을 취득하였으며, 각 화상의 도심들의 분포를 나타내었다. 또한, 30 사이클에서 화염이 주로 존재하는 위치를 파악하기 위하여 각각의 픽셀당 확률밀도함수(probability density function, 이하 PDF로 줄임)를 계산하였다. 이를 바탕으로 적정한 PDF 값에서 그 이상이 되는 부분을 화염이 존재하는 것으로 간주하고, 이하는 배경값으로 간주한 평균연소화상을 통해 화염이 존재하는 형상을 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 스월조절밸브 형상에 따른 정상유동특성

정상유동실험을 통하여 선정된 3가지 형상의 스월조절밸브를 장착한 경우에 대하여 유량계수,

무차원 스월수 및 텀블수를 측정된 결과를 Fig. 4~Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 4는 밸브양정에 따른 유량계수(C_v)의 변화를 나타내고 있다. 스월조절밸브의 장착이 흡기유동에 대한 장애요소로 작용함으로써 기존엔진에 비하여 유량계수가 감소하고 있고, 개구율이 가장 큰 SCV A가 가장 큰 유량계수를, 개구율이 가장 작은 SCV B가 가장 작은 값을 나타내고 있다.

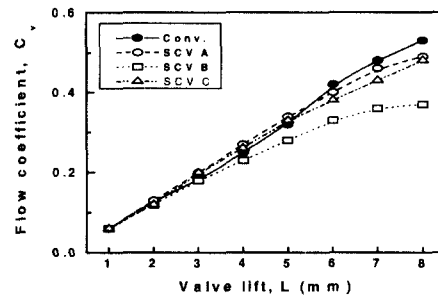


Fig. 4 Effects of SCV configuration on flow coefficient

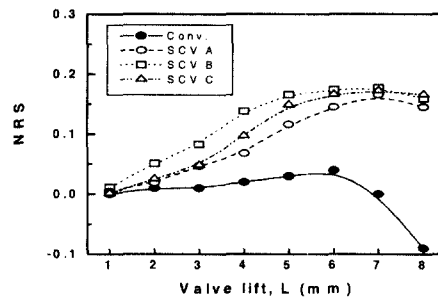


Fig. 5 Effects of SCV configuration on non dimensional rig swirl

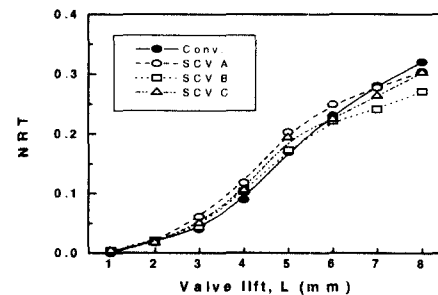


Fig. 6 Effects of SCV configuration on non dimensional rig tumble

Fig. 5와 6은 각각 무차원 스윌(NRS)과 무차원 텀블(NRT)의 강도를 나타내고 있다. 무차원 스윌의 절대값은 스윌조절밸브를 장착함으로써 전체적으로 강하게 나오고 있고, 스윌조절밸브중 B밸브가 가장 강한 스윌을 형성하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 기존엔진에서 발생하는 스윌은 밸브양정이 증가함에 따라 스윌의 방향이 반전하는 점이 생기나 스윌조절밸브를 장착하였을 때는 항상 일정한 방향을 강한 스윌이 발생하는 것을 관찰할 수 있다.

무차원 텀블의 경우 스윌조절밸브 장착에 여부가 기존엔진과 비교해볼 때 큰 차이를 보이지는 않지만, 스윌조절밸브의 경우 형상에 따라 SCV A, C, B의 순서로 무차원 텀블값이 감소하고 있음을 알 수 있다

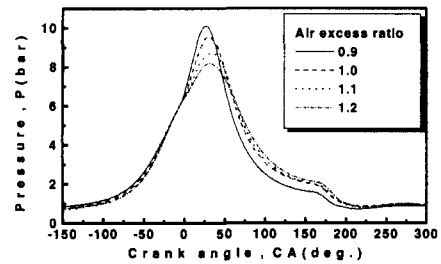
3.2 공기과잉률에 따른 연소압력 및 연소속도 해석

연소실내의 연소는 점화시기, 분사시기 그리고 연료와 공기 혼합기의 공기과잉률에 따라 그 특성이 달라진다. 이에 엔진의 연소특성을 파악하기 위하여 공기과잉률을 0.9에서부터 1.2까지 변화시켜 각 조건에 대한 압력을 취득하였다.

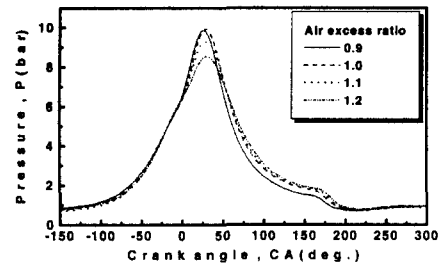
Fig. 7는 각 type의 SCV를 장착하였을 때 점화시기가 25° bTDC, 엔진회전수 900rpm에서의 공기과잉률에 따른 압력선도를 나타내고 있다. 압력은 희박해질수록 낮아지고 있으며 최고압력이 나타나는 시기가 조금씩 느려지는 경향은 Conv. 엔진과 동일한 것을 볼 수 있다. 따라서, 이들의 압력차이를 비교해 보기 위하여 대표적으로 공기과잉률 1.1에서 점화시기 변화에 따라 각 type에 대한 압력선도를 Fig. 8에 나타내었다. SCV를 장착한 경우가 Conv.엔진에서의 압력에 비해 전체적으로 1~1.5 bar 정도로 압력이 상승한 것을 볼 수 있다. 이것은 SCV를 장착한 경우는 기존의 엔진에 비해 실린더내의 유동, 특히 스윌유동의 강화로 압축행정의 말기까지 지속적으로 스윌에 의한 난류유동의 효과로 연소를 촉진시켰다고 사료되고, 점화시기가 bTDC 15° 일 때는 SCV C가, bTDC 25° 일 때는 SCV B를 장착하였을 때에 가장 높은 압력값을 보이고 있다. 이것은 SCV의 형상별로 다른 난류유동이 존재하기 때문에 최적의 점화시기는 난류 강도에 따라서 적절한 시기가 선정되어야 한다고 생각된다. 또한

SCV A는 다른 SCV보다 다소 압력증가폭이 크지 않은 것을 볼 수 있다. 이는 SCV A가 SCV B, C에 비해 개구율이 훨씬 크기 때문에 강한 스윌 유동을 얻지 못하여서 그러한 결과를 얻었다고 사료된다.

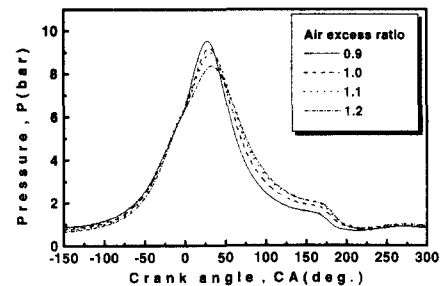
이들의 연소속도를 판단하기 위하여 Fig. 9~10에 각 type 별로 질량연소분율을 나타내었다. 공기과잉률이 이론에서부터 희박해질수록 SCV를 장착한 경우가 Conv.엔진에 비해 연소 종결시기가 빨라짐이 나타났다. 이는 연소기간을 단축하였으므로 비록 미약하지만 급속연소가 실현되었



(a) SCV A



(b) SCV B



(c) SCV C

Fig. 7 Cylinder pressure by air excess ratio at 900rpm, 25° bTDC spark timing (SCV A, SCV B, SCV C)

다고 사료된다, 특히, 압력선도와 마찬가지로 희박한 혼합기인 공기과잉률이 1.1 이상에서는 점화시기가 15° bTDC인 경우는 SCV C, 점화시기가 25° bTDC인 경우는 SCV B이 연소속도가 가장 우수하였다.

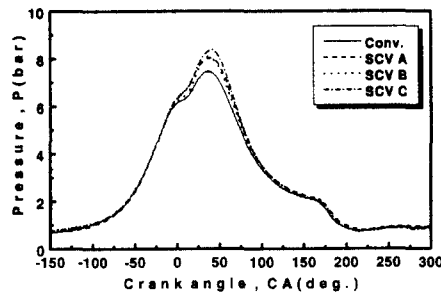
Fig. 11은 기존엔진과 SCV를 장착하였을 경우의 공기과잉률에 대한 도시평균유효압력(IMEP)을 나타내고 있다. 압력 결과와 유사하게 희박해질수록 도시평균유효압력이 감소하는 경향을 나타내었으나, 기존엔진에 비해 SCV를 장착한 경우가 월등히 높게 나타났다. 이는 텀블이 지배적인 기존엔진은 압축행정시 텀블이 깨어져 소산되지만 스웰을 강화시킨 경우는 압축행정 말기까지 지속적으로 난류가 생성되어 연소에 도움을 주었기 때문이라고 생각된다.

연소 안정성을 평가하기 위하여 각 사이클당 도시평균유효압력(IMEP)의 변동치를 계산하여 Fig. 12에 나타내었다. 공기과잉률에 따라서 연소안정성은 IMEP의 변동치가 가장 적은 이론 공연비에서 가장 우수하고 희박해질수록 다소 변동

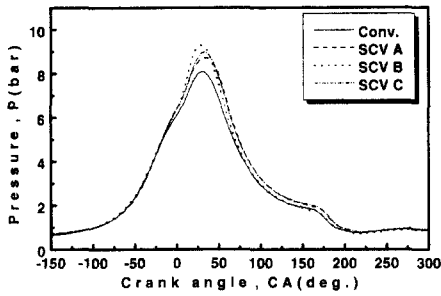
량이 많아지는 것을 볼 수 있으며 점화시기를 더욱 진각시킨 경우가 더욱 더 안정적임을 볼 수 있다. 또한, 공기과잉률이 1.0이상의 조건에서는 SCV를 장착한 경우 기존엔진에 비하여 훨씬 안정적인 연소를 하였음을 알 수 있다.

3.3 순간화상취득에 의한 연소가시화 및 해석

본 연구의 실험 조건은 이미 취득한 압력 데이터에서 연소 안정성이 가장 우수한 조건인 점화

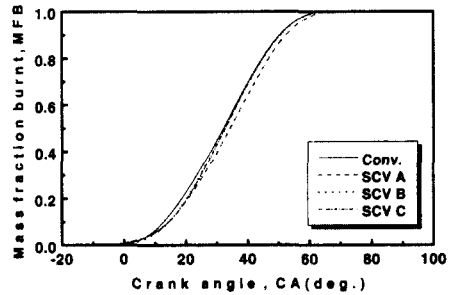


(a) 15° bTDC spark timing

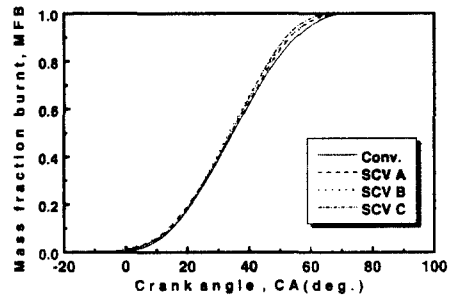


(b) 25° bTDC spark timing

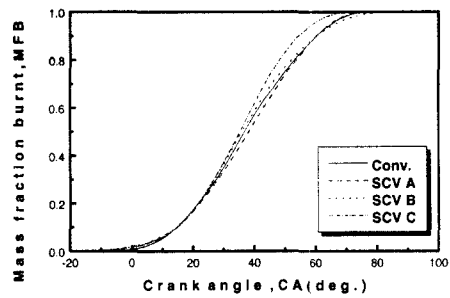
Fig. 8 Comparison of cylinder pressure at 900rpm, $\lambda = 1.1$



(a) $\lambda = 1.0$

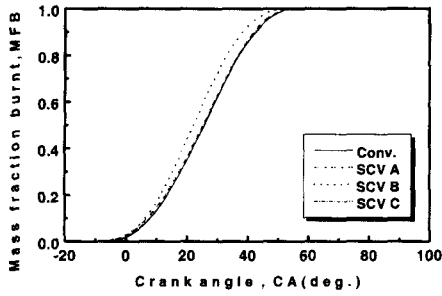


(b) $\lambda = 1.1$

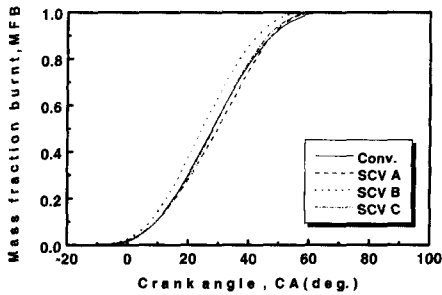


(c) $\lambda = 1.2$

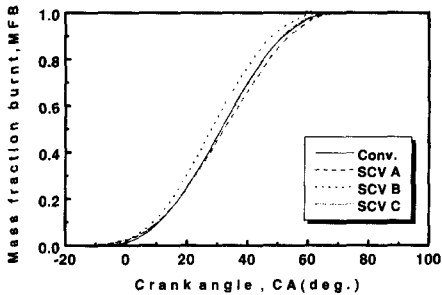
Fig. 9 Comparison of mass fraction burnt at 900 rpm, 15° bTDC spark timing



(a) $\lambda = 1.0$



(b) $\lambda = 1.1$



(c) $\lambda = 1.2$

Fig. 10 Comparison of mass fraction burnt at 900 rpm, 25° bTDC spark timing

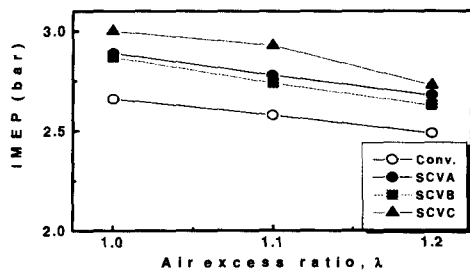
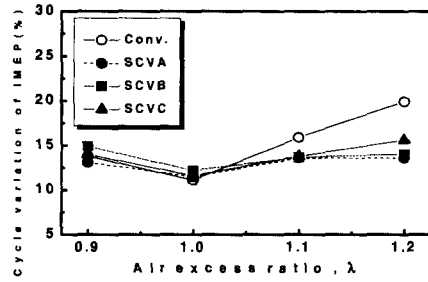
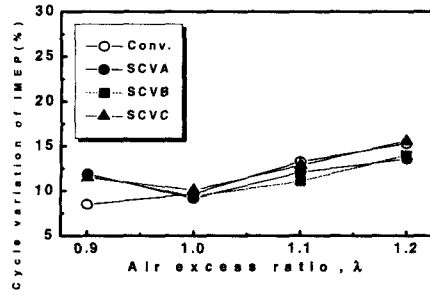


Fig. 11 Comparison of IMEP by each type at 900 rpm, 15° bTDC spark timing



(a) 15° bTDC spark timing



(b) 25° bTDC spark timing

Fig. 12 Cycle variation of IMEP at 15° and 25° bTDC spark timing

시기가 bTDC 25°, 공기 과잉률이 1.0인 이론공 연비에서 실험을 행하였다.

Fig. 13은 본 연구에 사용된 전형적인 2밸브엔진 연소실 내부를 나타내고 있다. 내부구조는 스파크 플러그가 좌측 중단부에 위치하고 흡기밸브는 아래쪽에 배기밸브는 위쪽에 위치하고 있다. 그림에서의 사각형 테두리는 앞으로 언급하게 될 결과의 X-pixel, Y-pixel의 영역을 나타낸다.

Fig. 14는 점화시기 bTDC 25°, 900rpm에서 Conv.엔진과 3가지 형상의 SCV를 장착했을 때의 점화 후 CA 5° 부터 CA 25° 까지 5° 단위로 촬영한 화염 전파 사진이다. 점화 초기에 화염핵이 생성되며 급속하게 전파되는 화염면을 관찰할 수 있었다. 점화 후 CA 5° 에서는 화염전파 형태는 중간부분에서 갈라져 두 부분으로 나뉘어지는 것을 볼 수 있으며 이는 점화플러그 말단부에 붙어 있는 접지전극에 의해 화염 전파가 방해받았기 때문이라고 사료된다. 또한 화염이 성장해 갈수록 화염 전면은 계속 불규칙적인 형태를 가지고 있으며 SCV를 장착한 경우가 기존 엔진에

비해 찌그러진 형태가 더욱 복잡해지는 것을 볼 수가 있다. 이는 흡입 유동시 형성된 강한 스월 유동장이 압축 과정말기까지 지속적으로 난류를 생성시켰기 때문에 화염 성장에 영향을 미친 것으로 생각된다. 그리고 SCV를 장착한 경우가 화염 성장이 더욱 활발한 것을 볼 수가 있으며 특히 SCV B의 경우 난류 유동의 영향이 뚜렷하게 나타나 있다.

이 화염 성장 정도를 명확하게 하기 위하여 점화후 CA 5° 마다의 화상 데이터로부터의 전체 화상면적에 대한 실제 화염이 차지하는 면적비 (N_f ; normalized flame area)로써 Fig. 15에 나타

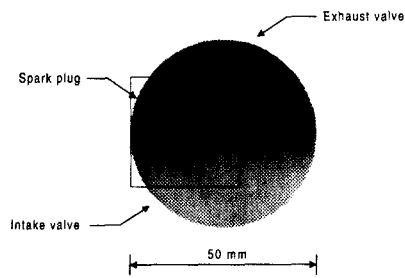


Fig. 13 Position of spark plug, intake and exhaust valve (D = 50mm)

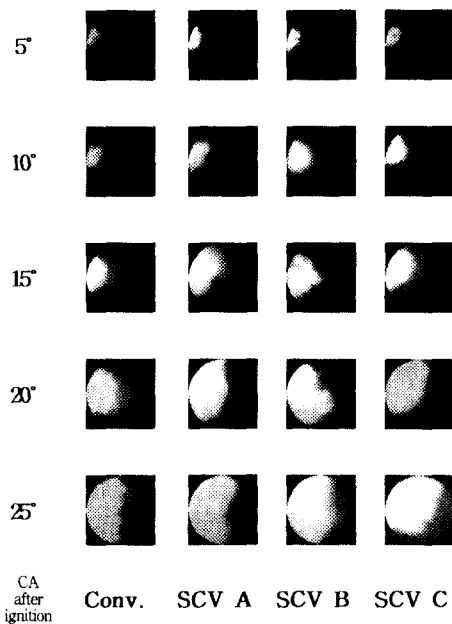


Fig. 14 Flame propagation images by each type at 900rpm, $\lambda = 1.0$

내었다. 기존엔진에 비해 SCV를 장착한 경우가 화염이 차지하는 면적이 높게 나타난다는 것을 볼 수 있다.

그리고 화염성장의 방향을 파악하기 위하여 각 CA별로 30회 취득한 화상들의 도심 분포를 계산하여 이 분포들의 중심을 Fig. 16에 나타내었다. 도심의 진행 방향을 비교해보면 Conv.엔진은 진행방향이 다소 불규칙적이나 SCV를 장착했을 경우는 약간 한쪽 방향으로 회전하는 양상이 나타난다. 또한 도심의 이동거리를 보게 되면 SCV를 장착한 경우가 훨씬 긴 이동거리를 가졌고(SCV B가 가장 큰 이동 거리를 나타냄) 특히, 이동방향이 가시화 창 중심부로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 기존엔진의 텀블에 SCV를 장착하여 스월을 강화시켰기 때문에 경사형 텀블이 생성되어 X축 방향으로 긴 이동거리를 가진다고 생각되어지며, 25° bTDC의 점화시기, 900rpm에서의 압력 취득결과에서 본 것과 마찬가지로 SCV B가 가장 우수한 연소를 하였다고 보여진다.

이상은 화염의 크기와 진행 방향에 대한 결과이고 Fig. 17은 앞서 취득한 화상을 이용하여 각

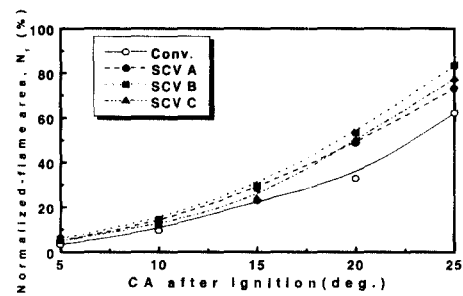


Fig. 15 Comparison of flame areas by each type at 900 rpm, 25° bTDC spark timing

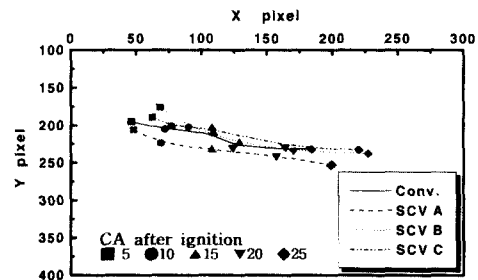


Fig. 16 Center of centroids by each type at 900rpm, 25° bTDC spark timing

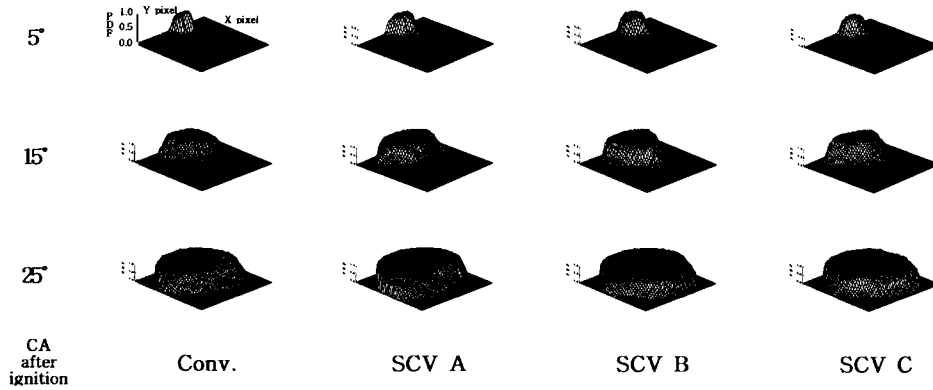


Fig. 17 PDF of flame images by each pixel

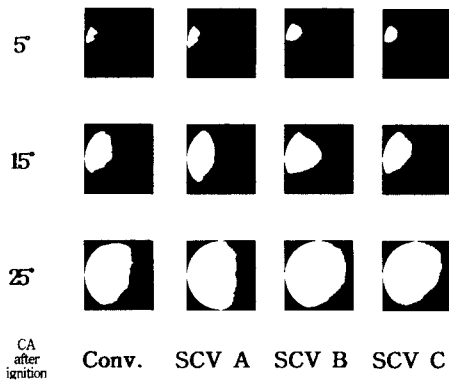


Fig. 18 Estimated flame images by each type at 900rpm, $\lambda = 1.0$

pixel 당의 확률밀도함수(PDF)를 CA 5° 에서부터 10° 단위로 구하여 나타내었다. 이는 사이클 변동에 의해 화염이 매 사이클마다 성장 정도가 틀리므로 화염의 성장과정을 더욱 명확하게 판단하기 위함이다. 기존엔진의 경우 각 pixel 당 화염의 PDF가 주로 나타나는 부분은 화염핵 성장 후부터 약간의 배기 밸브가 위치하고 있는 방향으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이에 비해 SCV 를 장착한 경우는 각 CA 당 화염의 PDF 분포가 훨씬 넓게 나타나고 있으며 성장방향이 흡기 및 배기 밸브가 위치하는 양방향으로 동시에 성장함을 볼 수가 있다. 특히 SCV B의 경우는 화염진행이 가시화 창 중심부를 향하여 급격히 진행된 후 양방향으로 성장하는 것을 볼 수 있다.

이러한 PDF를 이용하여 적정 PDF 값 이상은

화염이 존재하는 것으로 간주하고 그 이하는 화염 출현 정도가 적기 때문에 화염이 존재하지 않는 것, 즉 배경값으로 간주하여 화염들의 대표적인 화상을 구한 그림을 Fig. 18에 나타내었다. 이 적정 PDF 값의 선정 방법은 앞서 구한 면적비를 이용하였고 가장 근사한 면적비가 산출될 때의 PDF 값을 선정하였다. 본 연구에서는 적정 PDF 값은 대부분 0.5 부근이었고 이때 구해진 화상의 면적비와 실제 화상의 면적비와의 오차율은 1% 이내였다.

4. 결 론

가시화된 SOHC 가솔린 엔진을 이용하여 점화시기 및 공기과잉률의 실험조건에서 SCV를 장착하여 스웰 유동을 강화시켰을 때의 압력과 연소순간화상을 비교 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) SCV를 장착했을 경우가 기존엔진에 비해 공기과잉률에 따른 연소최고압력과 도시평균유효압력, 연소안정성이 우수하였다. 특히 점화시기가 15° bTDC인 경우는 SCV C, 25° bTDC인 경우는 SCV B가 가장 높은 연소 최고 압력값을 가진다.

(2) 연소실내 화염전파를 가시화 할 수 있었으며, 기존엔진의 경우 화염은 배기밸브 쪽으로 밀려서 성장하였으나 SCV를 장착한 경우 강화된 스웰유동의 영향에 의하여 화염이 흡기·배기밸브 양방향으로 훨씬 빠르게 성장하였다.

(3) 사이클변동에 의해 달라지는 화염형태를

나타낼 수 있는 유용한 방법으로, 화상데이터의 PDF를 구하여 화염의 성장을 기술적으로 분석할 수 있었으며 대표적인 화상을 구할 수 있었다.

참고문헌

- (1) Tabata, M., Katako, M., Fujimoto, M., and Noh, Y., 1995, "In-Cylinder Fuel Distribution Flow field and Combustion Characteristics of a Mixture Injected SI Engine," *SAE SP-1090, Engine Combustion & Flow Diagnostic, SAE Paper No.950104*, pp. 33~49.
- (2) Lee, J. H., and Farrell, P. V., 1993, "Intake Valve Measurement of an IN Engine Using Particle Image Velocimetry," *SAE paper Series No. 930480*, pp. 629~645.
- (3) Endres, H., Neuber, H. J., and Wurms, R., 1992, "Influence of Swirl and Tumble on Economy and Emissions of Multi-Valve SI Engine," *SAE paper 920516*.
- (4) Kudou, H., Yamamoto, H., and Lida, Y., 1992, "A Study about In-Cylinder Flow and Combustion in a Four-Valve SI Engine," *SAE Paper, 920574*.
- (5) Matsushita, S., Inoue, T., Nakanishi, K., Okumura T., and Isogai, K., 1985, "Effect of Helical Port with Swirl Control Valve on the Combustion and Performance of SI Engine," *SAE Paper 850046*.
- (6) 최수진, 1999, "전기점화기관에서의 유동과 연소조건이 희박연소에 미치는 영향에 관한 연구," 부산대학교 공학박사 학위논문.
- (7) 최수진, 전충환, 장영준, 2000, "SCV 가솔린엔진의 운전조건에 따른 희박연소특성," 대한기계학회논문집(B), 24권 2호, pp. 161~168.
- (8) Arcoumanis, C., Hu, Z., and Whitelaw, J. H., 1993, "Steady Flow Characterization of Tumble Generation Four-Valve Cylinder Heads" *IMechE Processing Instn Mech Eng.*, Vol.207, pp 1~9.
- (9) Heywood, J. B., 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals," *MacGraw Hill*.
- (10) Furuno, S., Iguchi, S., Oishi, K., and Inoue, T., 1990, "The Effect of Inclination Angle of Swirl Axis on Turbulence Characteristics in a 4-Valve Lean Burn Engine with SCV," *COMMEDIA 90*, pp. 437~442.
- (11) Hadded, O., and Denbratt, I., 1991, "Turbulence Characteristics of Tumbling Air Motion in Four-Valve SI Engines and Their Correlation with Combustion Parameters," *SAE Paper 910478*.
- (12) Omori, S., et al., 1991, "Effect of Intake Port Flow Pattern on the In-Cylinder Tumbling Air Flow in Multi-Valve SI Engines," *SAE Paper 910477*.
- (13) Overington, M. T., and Thring, R. H., 1981, "Gasoline Engine Combustion Turbulence and the Combustion Chamber," *SAE Paper 810017*.
- (14) Mattavi, J. N., 1982, "Effects of Combustion Chamber Design on Combustion in Spark Ignition Engines," *SAE Paper 821578*.
- (15) Witze, P. O., 1982, "The Effect of Spark Location on Combustion in a Variable Swirl Engine," *SAE Paper 820044*.
- (16) Zhang, L., Ueda, T., Takatsuki T., and Yokota, K., 1994, "A Study of the Cycle-to-Cycle Variation of In-Cylinder Flow on a Motored Engine," *COMODIA '94 Proceeding*, pp. 541~546.
- (17) Lee, N. H., Park, J. H., and Choi, K. H., 1999, "A Study on Fuel Spray of Spark-Ignited Direct Injection Engine Using Laser Image Technology," *KSME International journal*, Vol. 13, No. 3, pp. 286~293.