

## SCV를 장착한 가솔린 가시화엔진에서의 연소특성

정구섭\* · 김형준\* · 전충환\*\* · 장영준\*\*

### Combustion Characteristics Using a S.I. Optically Accessible Engine with SCV

K-S Chung\* · H-J Kim\* · C-H Jeon\*\* · Y-J Chang\*\*

**Key words** : 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 gasoline 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, inspected the flame propagation direction, flame area, and flame centroid. Flame propagation direction was shown 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

자동차 엔진 내부에서 형성되는 유동장 해석은 연료의 분무특성과 더불어 기관의 흡기포트 및 연소실 형상 설계에서 가장 중요하게 취급되는 설계인자중의 하나이다. 최근 들어 자동차의 연비절감과 유해배기가스에 의한 환경문제가 심각하게 대

두됨에 따라 저공해기관 또는 초저 연비 기관의 관점에서 초회박 기관이나 직분식 가솔린기관에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이 경우 주로 연소실 내의 혼합기 형성을 촉진시킴과 동시에 압축말기에 난류 강도를 증대시키는 수단으로 텀블(tumble) 및 스윙(swirl) 유동 효과를 적절히 이용하고 있다.<sup>1~2)</sup> 엔진 실린더내의 유동은 유속의 변

\* 부산대학교 대학원 기계공학과(원고접수일 : 2000년 10월)  
\*\* 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

화가 급격한 과도현상이며 비정상유동이기 때문에 실린더내의 스윙 및 텀블 현상이 명확하게 해명되어 있지 않으며, 어느 것이 연소에 유리한지에 대해서도 이론적으로 정립되어 있지 않다. 압축행정말기에 난류강도를 크게 하기 위해서는 스윙보다 텀블이 유동특성상 유리하다는 결과가 발표되고 있는 반면에, 텀블에 의해 생성된 난류는 압축과정을 거치는 동안 거의 소멸되지만 스윙은 압축과정시 계속 난류를 생성시켜 연소 개시점까지 난류강도를 높게 유지시켜준다는 결과도 많이 있으므로 아직 이론적인 통일이 이루어지지 않은 실정이다.<sup>3-5)</sup>

따라서, 본 연구에서는 공기 과잉률과 점화시기에 따른 연소현상을 규명하고 연소실내의 공기유동 중 기존에 존재하고 있던 텀블에 스윙을 강화시켰을 때의 연소압력을 측정하여 스윙유동이 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 본 실험을 수행하기 위한 전체적인 실험장치를 나타내었다. 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 가시화엔진의 주요 제원은 Table 1에 나타낸다.

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.

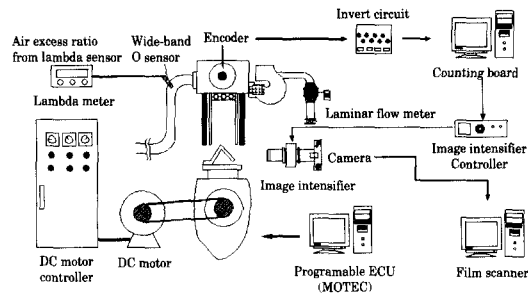


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1. Base engine specification

Specifications		Resources	
General specification	cylinder	4	
	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°
		closed	aBDC 57°
	exhaust	open	bBDC 57°
		closed	aTDC 19°

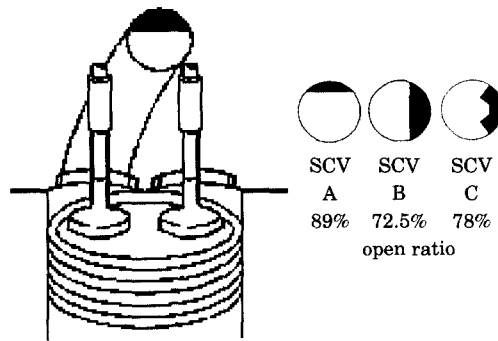


Fig. 2 Locations and configurations of SCV

흡입유동을 변화시키기 위해 사용된 SCV (swirl control valve)는 정상유동실험을 통하여 유량계수의 손실을 최소화하고 스윙 강도를 최대로 강화시키려는데 초점을 맞춘 3가지 형상을 선정하여 사용하였다.<sup>6)</sup> Fig. 2는 본 실험에 사용된 개구율(open ratio)이 서로 다른 3가지의 SCV형상을 보여주고

Table 2 Experimental condition

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

있다. SCV A는 개구율이 89%이고, SCV B는 72.5%, SCV C는 78%이다.

SCV 형상 및 운전조건에 따른 연소특성의 변화를 규명하기 위해 사용된 실험조건을 Table 2에 나타내었다.

## 2.2 연소해석

연소해석을 위하여 기본적인 연소압력은 엔진의 공기 과잉률과 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.<sup>7)</sup>

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_v \quad (1)$$

$$\Delta p_v = p_j - p_i = p_i \left[ \left( \frac{V_i}{V_j} \right)^n - 1 \right] \quad (2)$$

$$\frac{m_{b(i)}}{m_{b(total)}} = \frac{\sum_0^i \Delta p_c}{\sum_0^N \Delta p_c} \quad (3)$$

여기에서 연소실내의 전체압력상승분은 연소에 의한 압력상승분과 피스톤운동에 의한 체적변화에 따른 압력변화량의 합으로 나타낸다. 체적변화에 의한 압력변화는 폴리트로픽 과정으로 가정한다면 식(1)에서 연소에 의한 압력상승분을 구할 수 있다. 또한 연소상승분이 발생할 때를 연소의 시작으로 간주하고 연소압력상승분이 0이 될 때를 연소의 종료시점으로 가정하여 식(3)에 의해 연소질량분율을 계산하였다. 또한, 각 조건에 따른 연소안정성을 규명하기 위하여 각 사이클의 도시평균 유효압력(IMEP) 변동값을 계산하였다.

연소화상은 엔진이 운전되는 동안 엔코더에서 발생하는 펄스신호와 카운터 회로에서 정확한 시

기를 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.

$$X_c = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^N X_i$$

$$Y_c = \frac{1}{N_t} \sum_{j=1}^N Y_j \quad (5)$$

여기서,  $X_c$ ,  $Y_c$ 는 면적의 도심을 나타내며  $N_t$ 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 공기과잉률에 따른 연소압력 및 연소속도 해석

연소실내의 연소는 점화시기, 분사시기 그리고 연료와 공기 혼합기의 공기과잉률에 따라 그 특성이 달라진다. 이에 엔진의 연소특성을 파악하기 위

하여 공기과잉률을 0.9에서부터 1.2까지 변화시켜 각 조건에 대한 압력을 취득하였다.

Fig. 3은 Conv.엔진에서 점화시기가 15° bTDC, 엔진 회전수 900rpm인 경우 공기과잉률에 따른 압력선도를 나타낸다. 공기과잉률 0.9에서 가장 높은 압력값을 보이고 희박한 조건인 공기과잉률이 높아질수록 압력값은 낮아지고 있으며 최고압력이 나타나는 시기가 조금씩 느려짐을 볼 수 있다.

Fig. 4은 Fig. 3에서 취득한 압력선도를 이용하여 공기과잉률에 따른 질량연소분율을 나타낸 것이다. 그림에서 혼합기가 희박해질수록 동일한 CA에서 질량연소분율이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 공기과잉률이 커질수록 연소가 지연된다는 것을 의미하고 있는데, 혼합기가 희박해질수록 초기압력이 증가되고 이는 화염전파에 압력저항으로 작용하여 화염핵의 성장을 억제하기 때문에 이러한 현상이 나타난다고 사료된다.

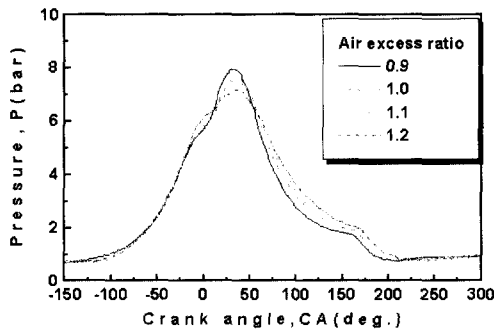


Fig. 3 Cylinder pressure by air excess ratio at 900rpm, 15° bTDC spark timing (Conv.)

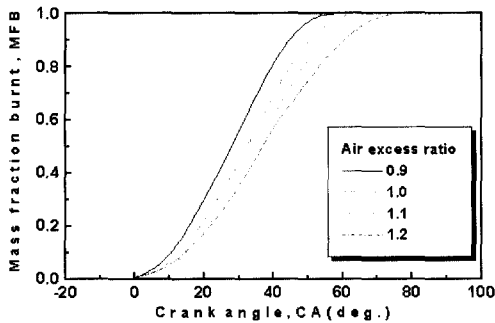
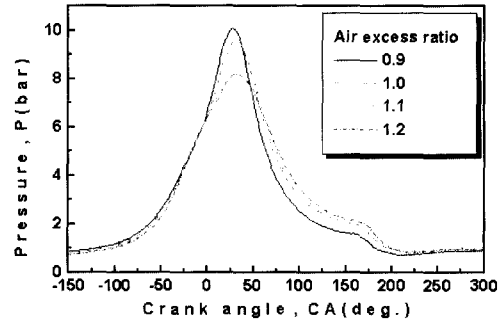
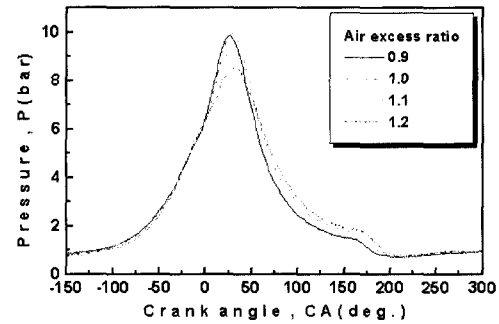


Fig. 4 Mass fraction burnt by air excess ratio at 900rpm, 15° bTDC spark timing (Conv.)

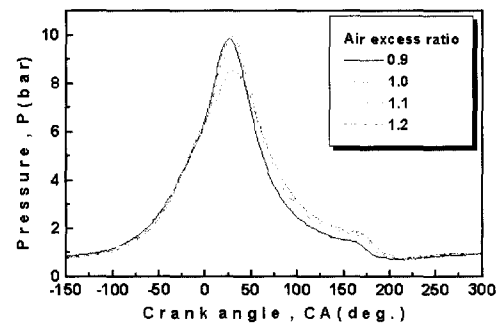
Fig. 5는 각 type의 SCV를 장착하였을 때 점화시기가 25° bTDC, 엔진회전수 900rpm에서의 공기과잉률에 따른 압력선도를 나타내고 있다. 압력은 희박해질수록 낮아지고 있으며 최고압력이 나타나는 시기가 조금씩 느려지는 경향은 Conv.엔진과 동일한 것을 볼 수 있다. 따라서, 이들의 압력차이



(a) SCV A



(b) SCV B



(c) SCV C

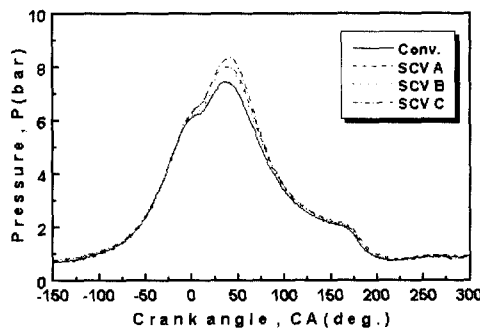
Fig. 5 Cylinder pressure by air excess ratio at 900rpm, 25° bTDC spark timing (SCV A, SCV B, SCV C)

를 비교해 보기 위하여 대표적으로 공기과잉률 1.1에서 점화시기 변화에 따라 각 type에 대한 압력선도를 Fig. 6에 나타내었다. SCV를 장착한 경우가 Conv.엔진에서의 압력에 비해 전체적으로 1~1.5 bar정도로 압력이 상승한 것을 볼 수 있다. 이것은 SCV엔진이 기존의 엔진에 비해 실린더내의 스윙 유동의 강화로 압축행정의 말기까지 지속적으로 난류가 생성되어 연소를 촉진시켰다고 보여지고, 점화시기가 bTDC 15일 때는 SCV C가, bTDC 25° 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 스윙 유동을 얻지 못하여서

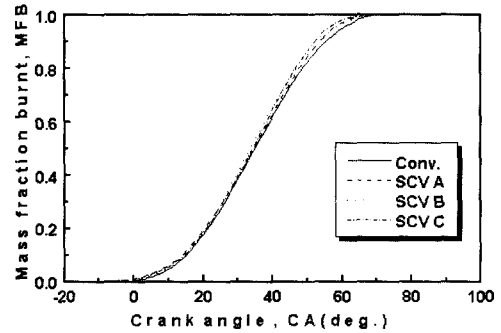
그러한 결과를 얻었다고 사료된다.

이들의 연소속도를 판단하기 위하여 Fig. 7에 각 type 별로 질량연소분율을 나타내었다. 공기과잉률이 이론에서부터 희박해질수록 SCV를 장착한 경우가 Conv.엔진에 비해 연소 종결시기가 빨라짐이 나타났다. 이는 연소기간을 단축하였으므로 비록 미약하지만 급속연소가 실현되었다고 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.

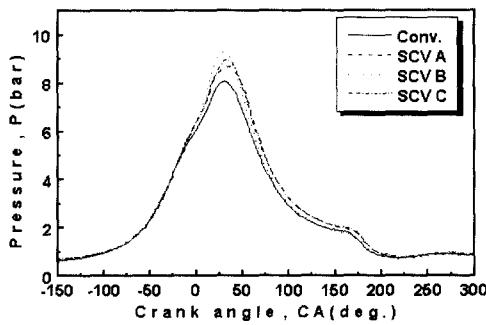
Fig. 8은 기존엔진과 SCV를 장착하였을 경우의 점화시기와 공기과잉률에 대한 도시평균유효압력(IMEP)을 나타내고 있다. 압력 결과와 유사하게 희박해질수록 도시평균유효압력이 감소하는 경향을 나타내었으나, 기존엔진에 비해 SCV를 장착한 경우가 월등히 높게 나타났다. 이는 텀블이 지배적



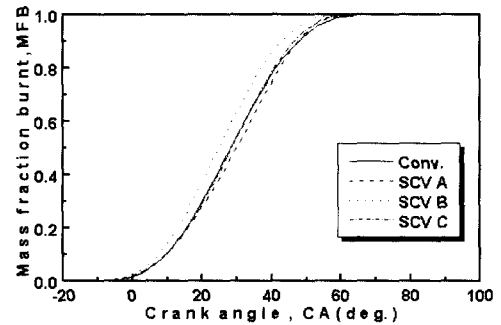
(a) 15° bTDC spark timing



(a) 15° bTDC spark timing



(b) 25° bTDC spark timing



(b) 25° bTDC spark timing

Fig. 6 Comparison of cylinder pressure at 900rpm,  $\lambda=1.1$

Fig. 7 Comparison of mass fraction burnt at 900rpm,  $\lambda=1.1$

인 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

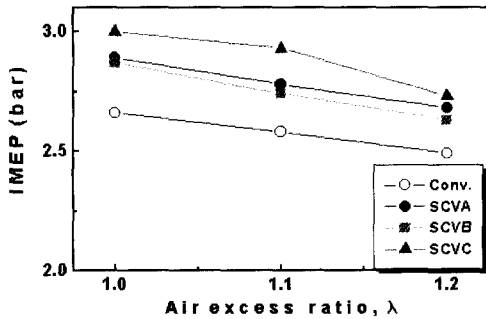
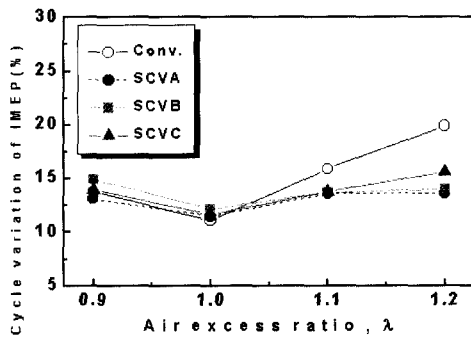
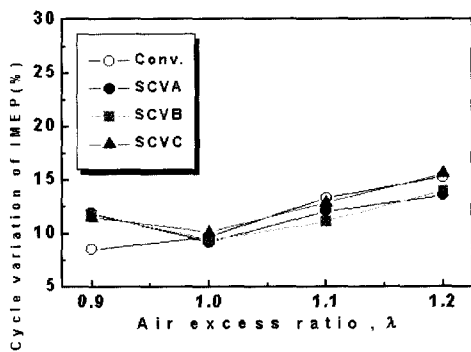


Fig. 8 Comparison of IMEP by each type at 900rpm, 15° bTDC spark timing



(a) 15° bTDC spark timing



(b) 25° bTDC spark timing

Fig. 9 Cycle variation of IMEP at 15° and 25° bTDC spark timing

변동치를 계산하여 Fig. 9에 나타내었다. 공기과잉률에 따라서 연소안정성은 IMEP의 변동치가 가장 적은 이론 공연비에서 가장 우수하고 희박해질수록 다소 변동량이 많아지는 것을 볼 수 있으며 점화시기를 더욱 진각시킨 경우가 더욱더 안정적인 연소를 볼 수 있었다. 또한, 공기과잉률이 1.0이상의 조건에서는 SCV를 장착한 경우 기존엔진에 비하여 훨씬 안정적인 연소를 하였음을 알 수 있다.

### 3. 2 순간화상취득에 의한 연소가시화 및 해석

본 연구의 실험 조건은 이미 취득한 압력 데이터에서 연소 안정성이 가장 우수한 조건인 점화시기가 bTDC 25°, 공기 과잉률이 1.0인 이론공연비에서 실험을 행하였다.

Fig. 10는 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. 11는 점화시기가 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

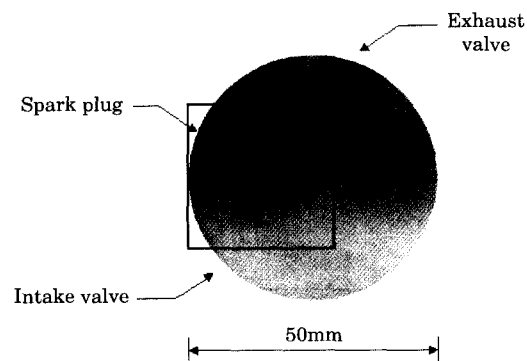


Fig. 10 Position of spark plug, intake and exhaust valve (D = 50mm)

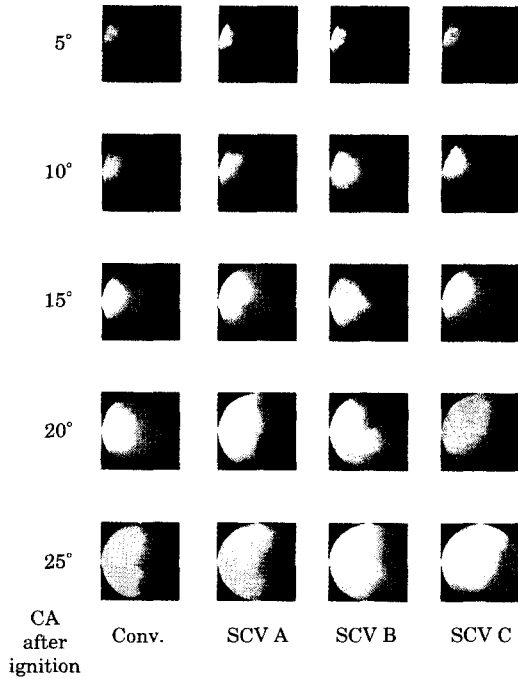


Fig. 11 Flame propagation images by each type at 900rpm,  $\lambda=1.0$

있으며 이는 점화플러그 말단부에 붙어 있는 점지 전극에 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 스윙 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 점화 후 CA 5° 마다의 화상 데이터로부터의 전체 화상 면적에 대한 실제 화염이 차지하는 면적비( $N_f$ ; Normalized-flame area)로써 Fig. 12에 나타내었다. 기존엔진에 비해 SCV를 장착한 경우가 화염이 차지하는 면적이 높게 나타난다는 것을 볼 수 있다.

그리고 화염성장의 방향을 파악하기 위하여 각

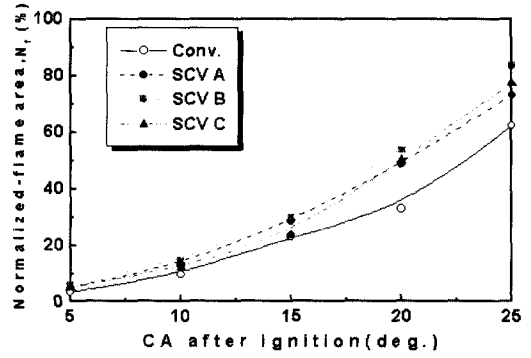


Fig. 12 Comparison of flame areas by each type at 900 rpm, 25° bTDC spark timing

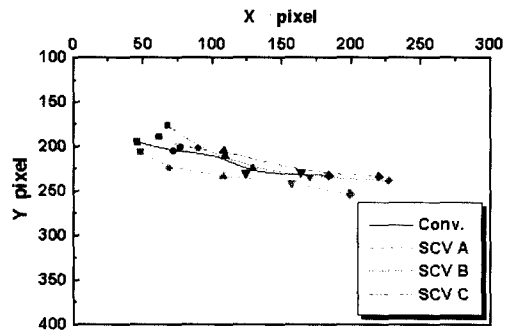


Fig. 13 Center of centroids by each type at 900rpm, 25° bTDC spark timing

CA별로 30회 취득한 화상들의 도심 분포를 계산하여 이 분포들의 중심을 Fig. 13에 나타내었다. 도심의 진행 방향을 비교해보면 Conv.엔진은 진행 방향이 다소 불규칙적이거나 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 가시화창의 중심부로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 기존엔진의 텀블에 SCV를 장착하여 스윙을 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 결과이

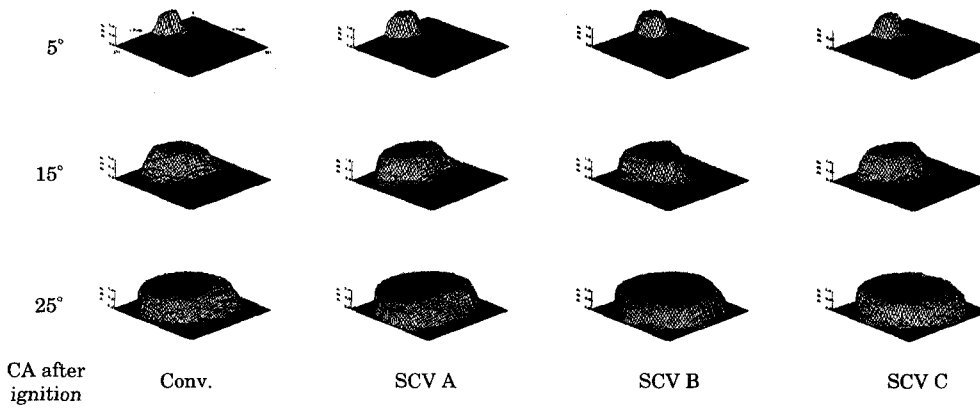


Fig. 14 PDF of flame images by each pixel

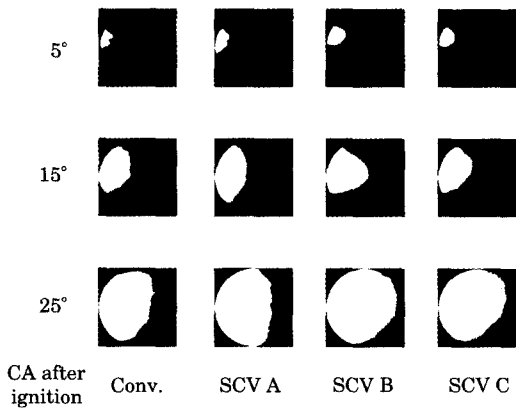


Fig. 15 Estimated flame images by each type at 900rpm,  $\lambda=1.0$

고 Fig. 14은 앞서 취득한 화상을 이용하여 각 pixel당의 확률밀도함수(PDF)를 CA 5°에서 부터 10° 단위로 구하여 나타내었다. 이는 사이클 변동에 의해 화염이 매 사이클마다 성장 정도가 틀리므로 화염의 성장과정을 더욱 더 명확하게 판단하기 위함이다. 기존엔진의 경우 각 pixel당 화염의 PDF가 주로 나타나는 부분은 화염핵 성장 후부터 약간은 배기 밸브가 위치하고 있는 방향으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이에 비해 SCV를 장착한 경우는 각 CA당 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 창의 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.15에 나타내었다. 이 적정 PDF 값의 선정 방법은 앞서 구한 면적비를 이용하였고 가장 근사한 면적비가 산출될때의 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 점화 시기 및 공기과잉률의 실험조건에서 SCV를 장착하여 스윙 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 최



고 압력값을 가진다.

- 2) 연소실내 화염전파를 가시화 할 수 있었으며, 기존엔진의 경우 화염은 배기밸브 쪽으로 밀려서 성장하였으나 SCV를 장착한 경우 강화된 스윙유동의 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., Katoko, M., Fujimoto, M. and Noh, Y., "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, 1995
2. Lee, J. H. and Farrell, P. V., "Intake Valve Measurement of an IN Engine Using Particle Image Velocimetry," SAE Paper Series No. 930480, pp. 629~645, 1993
3. Endres, H., Neuber, H.J., and Wurms, R., "Influence of Swirl and Tumble on Economy and Emissions of Multi-Valve SI Engine", SAE Paper 920516, 1992
4. Kudou, H., Yamamoto, H., and Lida, Y., "A Study about In-Cylinder Flow and Combustion in a Four-Valve SI Engine", SAE Paper, 920574, 1992
5. Matsushita, S., Inoue, T., Nakanishi, K., Okumura T. and Isogai, K., "Effect of Helical Port with Swirl Control Valve on the Combustion and Performance of SI Engine", SAE Paper 850046, 1985

6. 최수진, "전기점화기관에서의 유동과 연소조건이 희박연소에 미치는 영향에 관한 연구", 부산대학교 공학박사학위논문, 1999
7. Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", MacGRAW Hill, 1973

**저 자 소 개**



**정구섭 (鄭 鉉 燮)**  
 1968년 3월생. 1992년 부산대학교 생산기계공학과 졸업. 1995년 동대학원 생산기계공학과 졸업(석사). 1999년 동대학원 기계공학과 박사수료. 1995~1996 LG전자 기술개발연구소 연구원. 1996~현재 진주전문대학 자동차계열 조교수, 당학회 정회원



**김형준 (金 亨 俊)**  
 1973년 12월생. 1996년 동아대학교 기계공학과 졸업. 2000년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 2000~현재 현대중공업 중장비 설계부 연구원, 당학회 정회원



**전충환 (全 忠 煥)**  
 1962년 10월생. 1985년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1988년 동대학원 기계공학과 졸업(석사). 1994년 동대학원 기계공학과 졸업(박사). 1995~1996 펜실베이니아 주립대 추진공학연구소 Post/Doc. 현재 부산대학교 기계공학부 조교수, 당학회 정회원



**장영준 (張 英 俊)**  
 1947년 5월생. 1975년 부산대학교 기계공학과 졸업. 1977년 동대학원 졸업(석사). 1986년 일본 동경공업대학 대학원 기계공학과 졸업(박사). 현재 부산대학교 기계공학부 교수, 당학회 정회원