

〈논 문〉 SAE NO. 98370009

스파크점화기관에서 고속응답 FID를 이용한 실린더내 잔류가스량 측정에 관한 연구

A Study for Measurements of In-Cylinder Residual Gas Fraction using Fast Response FID in an SI Engine

송 해 박*, 조 한 승**, 이 종 화***, 이 귀 영****
H. B. Song, H. S. Cho, J. H. Lee, K. Y. Lee

ABSTRACT

The residual gas in an spark-ignition engine is one of important factors on emissions and performance such as combustion stability. With high residual gas fractions, flame speed and maximum combustion temperature are decreased and these are deeply related with combustion stability especially at idle and NOx emission at relatively high engine load. Therefore, there is a need to characterize the residual gas fraction as a function of the engine operating parameters.

In the present study, the quantitative measurement technique of residual gas fraction was studied by using Fast Response Flame Ionization Detector(FRFID). The measuring technique and model for estimation of residual gas fraction were reported in this paper. By the assuming that the raw signal from FRFID saturates with the same slope for firing and misfiring cycle, in-cylinder hydrocarbon(HC) concentration can be estimated. Residual gas fraction can be obtained from the in-cylinder HC concentration measured at firing and motoring condition. The developed measurement and calibration procedure were applied to the limited engine operating and design condition such as intake manifold pressure and valve overlap. The results show relevant trends by comparing those from previous studies.

주요기술용어 : Residual Gas Fraction(잔류가스량 분율), Fast Response Flame Ionization Detector
(고속응답 미연탄화수소 측정장치), Cam Phasing(캠이동), Valve Overlap(밸브오버랩)

* 정회원, 아주대학교원 기계공학과
** 정회원, 아주대학교원 시스템공학과
*** 정회원, 아주대 기계공학과
**** 정회원, 고등기술연구원

1. 서 론

자동차 엔진에서 실린더내 잔류가스(Residual Gas)는 일반적으로 연소가스(Burned Gas)로서

연소과정시 주위의 열을 흡수하는 성질이 있어 화염속도, 연소온도 등에 중요한 영향을 미치게 되며 NO_x 등의 배기가스 및 성능에 직접 관련되는 인자이다. 높은 잔류가스의 분율(Residual Gas Fraction)은 화염속도를 낮추고 연소온도를 떨어뜨려 연소시 실린더내 난류 유동장에 영향을 준다. 특히 흡기압이 낮은 저부하나 공회전상태에서는 사이클 변화에 따른 연소안정성 측면에서 밀접한 관계가 있다. 그러므로 자동차 엔진에서 회전속도, 부하, 공연비(Air-Fuel Ratio), 밸브 타이밍 등의 운전조건에 따른 잔류가스량의 변화에 대한 연구는 엔진의 흡·배기계 설계, 성능개발 및 배기가스 저감 측면에서 매우 중요하다.^{11~17)}

일반적으로 밸브이벤트에서는 흡기밸브의 개폐시기가 실린더로 유입되는 공기의 유동특성에 매우 큰 영향을 주게 된다. 흡·배기 밸브가 열리고 닫히는 순간에는 실린더에서 흡기포트측으로 역유동이 발생된다. 즉, 흡기밸브 열림시기의 관점에서 생각해 보면 흡기관내의 압력이 낮은 저부하 영역으로 갈수록 역유동이 증가될 것이며 이는 흡기관내의 연료중발 및 이후의 실린더내로 유입되는 혼합기의 상태에 영향을 주게 된다. 흡기밸브 닫힘시기의 경우 흡기밸브 열림시기의 경우와 반대로 흡기압이 낮아질수록 역유동이 줄어들게 될 것이다. 이러한 현상은 엔진의 회전속도에 따라 달라지겠지만, 실린더내의 국소적 혼합기의 분포 등 연소특성과 관련되는 조건에 영향을 주게 될 것이며 아울러 흡입되는 공기유량과 관련되어 펌핑손실까지 영향을 주게 될 것이다.

흡·배기밸브의 오버랩기간은 공회전에서의 실린더내의 잔류가스량에 밀접하게 관련되어 연소의 안정성에 큰 영향을 주게 된다. 흡기압이 낮은 공회전이나 낮은 부하상태에서 밸브오버랩 기간이 길어지게 되면 상대적으로 압력이 높은 배기포트측에서 실린더내로의 배기가스 역유동이 발생되거나 배기효율의 감소로 실린더에는 많은 양의 잔류가스가 남게된다. 이것은 연소기간의 길어짐 및 연소변동의 증가를 가져오게 될 것으로 판단된다. 배기밸브의 개폐시기도 흡·배기밸브의 오버랩기간과 연관이 있으며 특히, 저속

저부하에서 실린더내의 잔류가스량에 밀접하게 관련되어 연소의 안정성에 큰 영향을 주게된다. 그러므로 공회전 안정성 향상과 부분부하에서 연소의 안정을 위해서는 연소 및 유동의 개선 그리고 혼합기의 개선 등과 같은 연구가 중요하므로 실린더내 잔류가스량 변화에 따른 영향과 밸브이벤트와의 관계에 대한 연구가 필요하다.^{8)~12)}

본 연구에서는 실린더내 잔류가스량을 측정하는 방법을 제시하고 실험적으로 검토·보완하여 운전조건에 따른 실린더내 특성을 해석하는 연구를 위한 기초자료로서 활용하고자 한다. 아울러 엔진의 밸브타이밍을 캠이동(Cam Phasing)함으로써 잔류가스량 변화에 대한 밸브이벤트의 영향을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용되는 엔진은 현재 양산되고 있는 자동차용 4기통 1.5리터 DOHC 가솔린엔진이고 제원은 Table 1에 나타내었다. 엔진에는 4번 실린더에 압전형 압력센서(Kistler, 6051A)를 설치하여 엔코더 신호에 따라 크랭크 각도별 압력을 측정할 수 있도록 하였다. 또 배기압 및 흡기압을 측정하기 위해서 동 실린더의 배기 매니폴드에 배기압 센서(Kistler, 4075A)를 설치하였고 플레넘 챔버에는 흡기압 센서(Kistler, 4045A)를 설치하였다. Fig.1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로, 엔진에 부착된 동력계는 실험목적상 모터링 운전 및 트로를 급개폐와 같은 과도운전이 가능한 AVL사의 APA-102(AC Type)이다. 그 밖에 부가장치로 Fuel Consump-

Table 1 Engine Specifications

	Specification
Engine type	4 cylinder, DOHC
Bore	76.5mm
Stroke	81.5mm
Displacement volume	1,499cm ³
Compression ratio	9.5

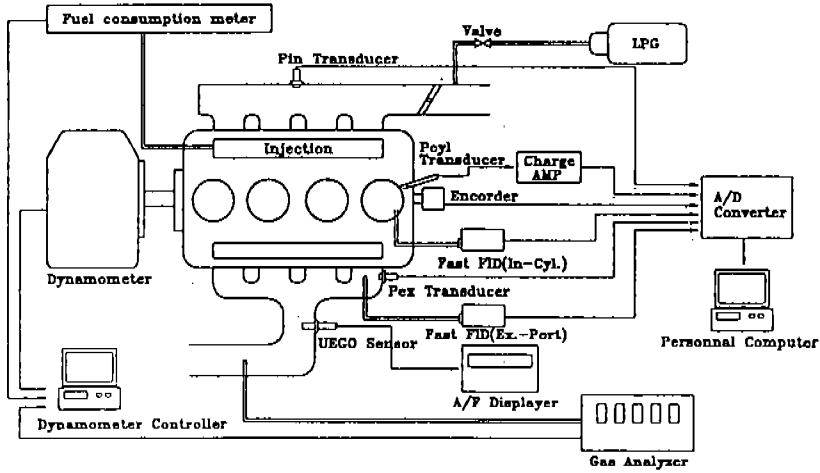


Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Arrangements

Table 2 The Fast Response Flame Ionization Detector

	Specification
Model	HFR400
Sensitivity	10mV/ μm to 20 $\mu\text{V}/\mu\text{m}$ in 9 ranges as C_3H_8 equivalent
Drift	$\pm 2\%$ per hour(45min warm-up)
Response Time	10~90% of full scale in typically 4ms
Output	$\pm 10\text{V}$
Fuel Gas	Pure hydrogen at 4~6bar gauge
Vacuum	<0.3 bar absolute-suitable pump available on request
Ambient Temperature	0~45°C
Power	AC 300W

tion Measuring Device(AVL 730), 배기가스 분석기(Horiba사의 Mexa-8120) 및 UEGO 센서 및 온도센서, 가스연료(프로판) 공급장치 등을 설치하였다.

실린더내의 잔류가스량을 측정하기 위해서는 엔진의 운전조건에 따라 실시간으로 실린더내의 미연탄화수소(Hydrocarbon)의 농도를 측정해야 하며 응답성이 매우 빠른 측정기가 필요하다. 기존의 배기가스 분석기는 샘플링 라인 및 측정 시스템 등에서 상당히 시간지연이 발생하므로 본 연구의 목적에 이용되기 어렵다. 본 연구에서는 사이클마다의 미연탄화수소를 측정하여 이로부터 실린더내 잔류가스량 및 배기가스중 미연탄화수소의 거동을 파악하고자 고속응답 미연탄화수

소 측정장치(Fast Response Flame Ionization Detector, FRFID)를 이용하였다. 본 연구에 사용한 FRFID의 일반적인 제원은 Table 2에 수록하였다. FRFID는 응답성이 매우 빨라(3-4msec) 실시간으로 측정이 가능하며, Sampling Module, Probe Temperature Controller, Calibrator 및 Main Controller 등으로 구성되어 있다. Fig.2는 FRFID의 Hydrocarbon Sampling Module(HSM)를 나타낸 것이며 Fig.3은 실린더내 미연탄화수소를 측정하기 위해 점화플러그 전극중심에서 약 7mm 떨어진 곳에 Sampling Probe를 설치한 것을 나타낸다. Fig.4는 sampling probe를 배기 매니폴드에 정착한 상태를 나타낸 것으로 밸브에서 sampling probe 선단까지의 거리

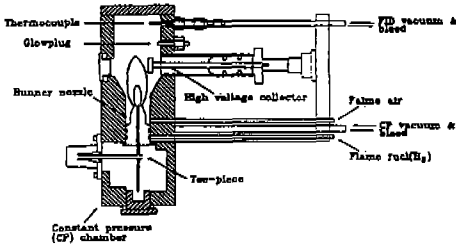


Fig.2 Hydrocarbon Sampling Module(HSM) of FRFID

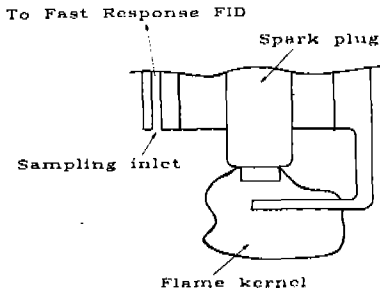


Fig.3 In-Cylinder Sampling Probe Installation

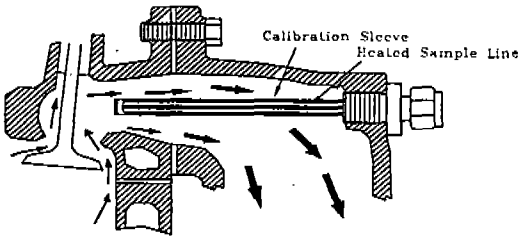


Fig.4 Exhaust Manifold Sampling Probe Installation

는 약 50mm이다. 실험에 사용한 sampling probe의 내경은 0.5mm이고 길이는 330mm이다.

2.2 실험방법

실험에 사용한 연료로는 트로틀 밸브로부터 350mm 앞부분에서 프로판(C_3H_8) 가스를 공기와 혼합하여 사용하였는데 이것은 액체연료에서 발생하는 증발과정 및 액막형태로의 실린더내 유입 등의 복잡한 포트내 연료기동현상을 배제하여 뚜렷한 출력신호(Output Signal) 및 정확한 현상

을 얻기위한 것이다.

미연탄화수소 농도를 측정할 때 중요한 점은 실린더내의 압력변화에 관계없이 항상 일정량의 샘플링가스를 FRFID로 공급하는 것이다. HSM에서는 정압실(Constant Pressure Chamber)를 설치하고 진공펌프에 의해 FRFID와 정압실사이 에 일정한 압력차(ΔP)를 생기게 함으로서 FRFID로 보내는 샘플가스량을 일정하게 하였다.

FRFID내 압력과 ΔP 의 선택은 FRFID 화염의 안정성과 Span Gas의 농도의 변화에 따른 FRFID의 출력신호와의 비례정도(Linearity)에 근거하여 선택하였다. 배기포트에서 측정시 정압실의 압력은 0.7(bar)이며 ΔP 는 0.132(bar)로 하였으며 실린더내의 가스를 샘플링시에는 정압실의 체적이 작으면 실린더내 압력의 상승에 따라 정압실로 들어오는 샘플링 가스량이 과다하게 될 경우 정압실내 압력이 상승하게 되어 FRFID로 보내는 샘플량을 일정하게 유지할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기위해 정압실을 대기상태로 노출시켜 압력을 대기압으로 하였으며 ΔP 는 0.08(bar)로 고정하였다.¹³⁾

FRFID에서 Span Gas는 프로판(C_3H_8)가스, Fuel은 수소(H_2), Zero Gas는 공기 그리고 Purge Gas는 질소(N_2)를 사용하였다. Span Gas의 경우, 배기포트에서 샘플링시에는 프로판 가스의 농도는 $1,035\mu\text{m}C_3/N_2$, 실린더내에서 샘플링시에는 $40,436\mu\text{m}C_3/N_2$ 로 하여 교정(Calibration)하였다. 엔진의 운전조건은 1,500RPM, BMEP 1.5(bar), 당량비 1.0에서 실험을 수행하였으며 FRFID 교정의 검증 및 확인을 위해서 임의로 실화(Misfire)를 일으켜 확인하였다.

3. 실험결과 및 해석

3.1 잔류가스의 질량분율(Mass Fraction)과 몰분율(Mole Fraction)

FRFID를 이용하여 실린더내 잔류가스의 질량분율과 몰분율을 구하면 다음과 같다. 우선 연료, 공기와 이전 사이클에 남아있던 잔류가스를 고려한 화학반응식을 식(1)과 같이 표현하였다. 식에서 n_{RG} 는 잔류가스의 몰 수, W_{RG} 는 평균분

자량을 의미한다.

$$C_n H_m + \frac{(n+m/4)}{\phi_{C_n H_m}} (O_2 + 3.772 N_2) + n_{RG} W_{RG} \rightarrow \text{chemical reaction} \quad (1)$$

잔류가스의 평균분자량(W_{RG})은 공연비에 따라 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$W_{RG} = \frac{\sum n_i W_i}{\sum n_i} = \frac{n W_{CO_2} + \frac{m}{2\phi} + 2n\left(\frac{1}{\phi} - 1\right) + \frac{3.773}{\phi}\left(n + \frac{m}{4}\right) W_{N_2}}{\frac{m}{2\phi} + \frac{2n - \phi n}{\phi} + \frac{3.773}{\phi}\left(n + \frac{m}{4}\right)} \quad \text{for } \phi_{C_n H_m} \leq 1.0 \quad (2)$$

$$W_{RG} = \frac{n W_{CO} + \left(\frac{m}{2\phi} + n\left(\frac{2}{\phi} - 1\right)\right) W_{H_2O} + \frac{3.773}{\phi}\left(n + \frac{m}{4}\right) W_{N_2} - \left(n\left(\frac{2}{\phi} - 1\right) + \frac{m}{2}\left(\frac{1}{\phi} - 1\right)\right) W_{H_2}}{n\left(1 + \frac{3.773}{\phi}\right) + m\left(0.5 + \frac{0.9433}{\phi}\right)}$$

for $\phi_{C_n H_m} > 1.0$

이때 질량분율(x_r)과 몰분율(y_r)은 정의에 의해 식(3)과 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x_r = \frac{n_{RG} W_{RG}}{W_{C_n H_m} + \frac{(n+m/4)}{\phi_{C_n H_m}} W_{air} + n_{RG} W_{RG}} \quad (3) \quad y_r = \frac{n_{RG}}{1 + 4.772 \cdot \frac{(n+m/4)}{\phi_{C_n H_m}} + n_{RG}} \quad (4)$$

식(4)는 식(3)과 조합에 의해 식(5)과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$y_r = \frac{x_r \left(\phi_{C_n H_m} W_{C_3 H_8} + \left(n + \frac{m}{4} \right) W_{air} \right)}{(1-x_r) \left(\phi_{C_n H_m} + 4.772 \left(n + \frac{m}{4} \right) \right) W_{RG} + x_r \left(W_{C_n H_m} \phi_{C_n H_m} + \left(n + \frac{m}{4} \right) W_{air} \right)} \quad (5)$$

여기서 모터링과 점화시의 실린더내 혼합기의 농도비를 X 라 하면 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X = \frac{\text{molar concentration of propane}_{\text{firing}}}{\text{molar concentration of propane}_{\text{motoring}}} = \frac{\phi_{C_n H_m} + 4.77 \left(n + \frac{m}{4} \right)}{\phi_{C_n H_m} + 4.77 \left(n + \frac{m}{4} \right) + n_{RG} \phi_{C_n H_m}} \\ = \frac{(1-x_r) \left(\phi_{C_n H_m} + 4.77 \left(n + \frac{m}{4} \right) \right)}{(1-x_r) \left(\phi_{C_n H_m} + 4.77 \left(n + \frac{m}{4} \right) \right) + \phi_{C_n H_m} x_r \left(\frac{W_{C_3 H_8} + \left(n + \frac{m}{4} \right) \phi_{C_n H_m} W_{air}}{W_{RG}} \right)} \quad (6)$$

모터링과 연소시의 프로판 가스 농도의 비인 X 를 실험결과에서 얻을수 있으며 식(6)에서 n_{RC} 를 계산할 수 있다. 이때 n_{RC} 를 식(3)과 식(4)에 대입하면 잔류가스량의 질량분율(x)과 물분율(y)를 구할 수 있다.

3.2 정상상태의 실험결과 및 검토

Fig.5와 Fig.6은 엔진 회전속도 1,500rpm, bmep 1.5(bar), 당량비 1.0에서 운전중 실화(Misfire)시켜 얻은 실린더압력과 실린더내에서 측정된 FRFID의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 A는 점화한 경우, B는 실화한 경우를 나타내는데 A 사이클의 바로 다음 사이클을 표시한 것이며 C는 모터링(Motoring)상태의 경우이다. D는 모터링 상태에서 배기매니폴드내에서 측정된 FRFID 출력신호이다.

모터링의 경우, 혼합기가 실린더에서 배출될 때 동질성(Homogeneous)을 띠기 때문에 배기매니폴드에서 측정된 출력신호(D)가 편평함을 나타낸다. 실린더 내에서의 출력신호(C)는 피스톤의 상하운동에 의해서 혼합기의 압축, 팽창과정이 생기나 정상상태에 이르는 마지막 정점이 배기포트에서 측정된 결과와 동일함을 나타내고 있다. 그러나, 실제 점화한 경우인 (A)에는 화염이 측정위치를 지나가기 때문에 더 이상 샘플링할 수가 없어 출력신호가 뚝 떨어지는 형태를 띠고 있다. 마찬가지로 실화한 경우인 (B)에는 (C)의 경우처럼 포화상태(Saturation State)로

이르는 정점 위치까지 도달하지 못함을 나타내고 있는데 이것은 이전 사이클에서 실린더내에 남아 있던 잔류가스의 영향에 의해 FRFID에서 샘플링한 실린더내 혼합기의 농도에 편차가 생기기 때문이다. Fig.6의 (B)와 (C)에서 나타나듯이 포화될 때까지의 기울기와 위치가 일치함을 볼 수 있다. 이를 근거로 하여 점화시의 잔류가스량은 (A)의 최대값과 이때의 위치에 해당하는 (C)에서의 값과의 차라고 볼 수 있다.

Fig.7은 Ignition Off를 한 후 모터링 상태로 운전하던 중 실린더내의 미연탄화수소의 최대값을 나타낸 것이며 Fig.8은 식(4)를 이용하여 실린더내 잔류가스량의 물농도(y)를 계산한 결과이다. 모터링 상태에서는 계속 실린더내 잔류가스를 외부로 배출하기 때문에 점차로 감소하는 결과를 보이고 있으며 일반적으로 10사이클이후

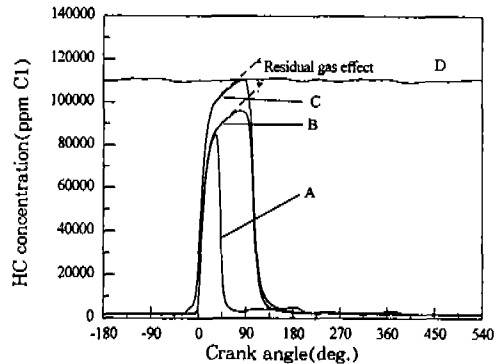


Fig.6 Comparison of In-Cylinder Signals

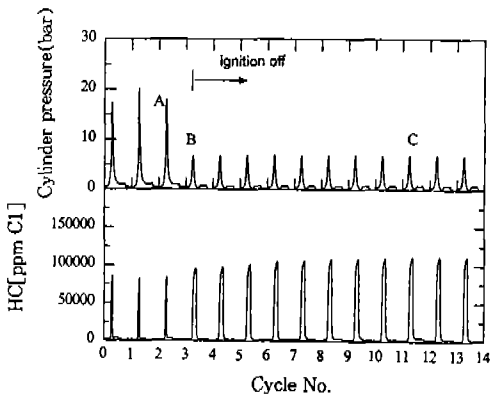


Fig.5 Some Selected Cycles in Cylinder

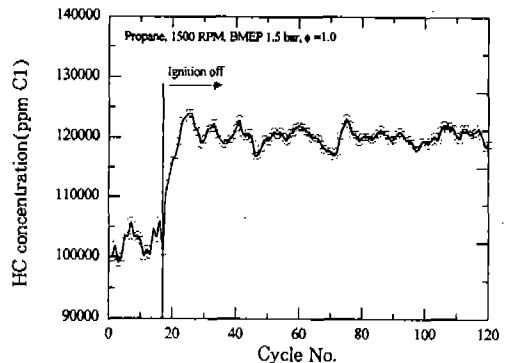


Fig.7 Typical FRFID Signal of In-Cylinder after the Ignition Off

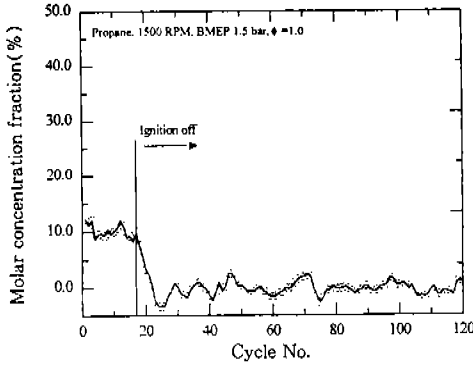


Fig.8 Typical Decay of In-Cylinder Residual Gas Fraction after Ignition Off

부터는 실린더내 잔류가스는 없는 것으로 판단된다. Ignition Off 후에도 잔류가스량의 변화가 있는 것은 연료로 사용한 프로판가스와 공기의 충분한 혼합이 사이클마다 동일하지 않기 때문이다. 그리고 Ignition Off 후의 잔류가스량 결과의 일부가 음수를 보이고있는데 이것은 계산상 기준값을 완전 모터링 상태의 평균치(Ensemble Average)로 삼았기 때문에 평균치보다 낮은 값은 음수로 나타나는 것이다.

3.3 밸브타이밍 변화시 실험결과 및 검토

본 연구에서는 실험대상으로 사용한 엔진의 밸브타이밍을 연구목적에 맞게끔 캠이동(Cam Phasing)시키기위해서 Fig.9와 같은 별도의 캠기어를 제작하였다. 실험에서는 오버랩기간이 잔류가스량에 미치는 영향을 보기위하여 흡기밸브 타이밍은 고정시키고 배기밸브 타이밍을 Table 3에 표시한 경우와 같이 변화시켰다.(Fig.10 참조)

Fig.11은 밸브오버랩 기간의 변화에 따른 잔류가스량의 질량분율의 편차를 나타낸 것이다. 밸브오버랩 기간이 길수록 잔류가스량의 질량분율의 값이 증가함을 알 수 있으며 또한, 그 편차도 점차로 증가하고 있다. 밸브오버랩 기간이 길어지게 되면 상대적으로 압력이 높은 배기포트측에서 실린더내로의 배기가스 역류 영향이 증가하여 잔류가스량이 증가하게 되며 반면에 밸브오버랩 기간이 10°CA인 경우에는 증가하는 경향을

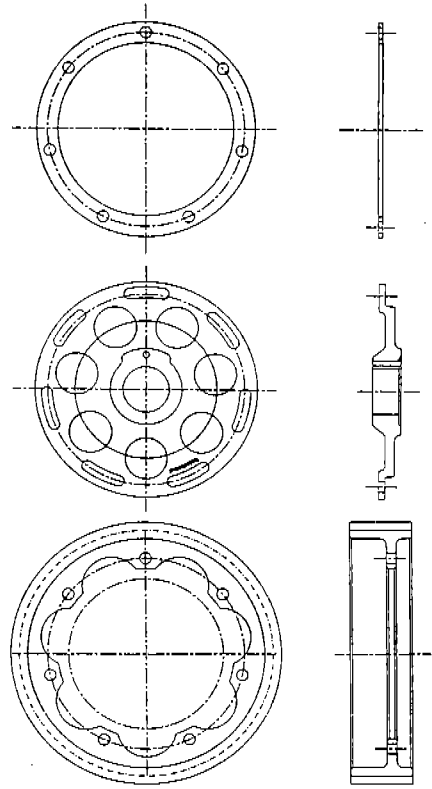


Fig.9 Cam Sprocket for Cam Phasing

Table 3 Exhaust Cam Phasing

	IVO/IVC	EVO/EVC	Valve overlap
A	8/42	30/20	28° CA
B	8/42	36/14	22° CA
base	8/42	42/ 8	16° CA
C	8/42	48/ 2	10° CA

보이는데 이것은 배기밸브를 상대적으로 일찍 닫음으로서 배기효율의 감소로 나타나는 현상으로 판단된다.

Fig.12는 1,500RPM, BMEP 1.5bar에서의 밸브오버랩 기간에 따른 연소기간의 변화를 비교한 것이다. 실린더내 잔류가스는 연소과정시 화염속도, 연소온도 등에 중요한 영향을 미친다. 특히, 높은 잔류가스의 분율은 화염속도를 낮추고 연소온도를 떨어뜨려 연소과정에 영향을 미치기 때문에 오버랩기간이 길수록 상대적으로 연소기간이

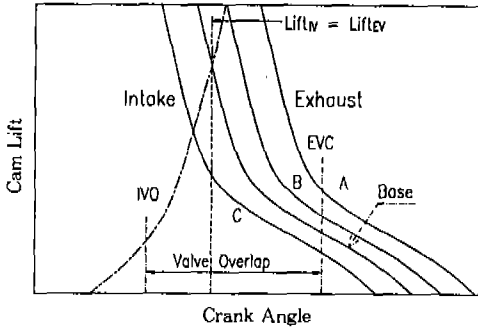


Fig.10 Cam Phasing of Exhaust Valve Timing

길어지는 현상을 나타낸다. 이는 연소변동의 증가를 가져오게 되고 회전속도의 변동을 가져오는 원인이 되며, 연소의 불안정을 발생한다.

Fig.13에서 Fig.16은 흡기압력의 변화에 따른 잔류가스량을 나타낸 것이다. 흡기압력이 상승하면 흡기포트로의 역류현상이 줄어들므로 잔류가스량이 줄어듦을 알 수 있으며 전반적으로 편차도 감소하는 경향을 보인다.

오버랩기간을 고정시키고 밸브타이밍을 Table 4와 같이 변화시키면서 잔류가스량의 변화를 관찰하였다.(Fig.17 참조) Fig.18은 잔류가스량의

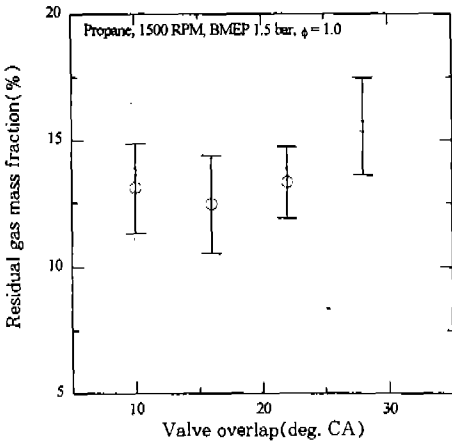


Fig.11 Residual Gas Fraction as a Function of Valve Overlap

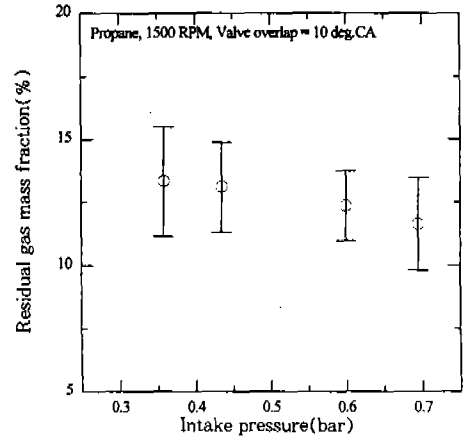


Fig.13 Residual Gas Fraction as a Function of Intake Pressure at Valve Overlap of 10 deg. CA

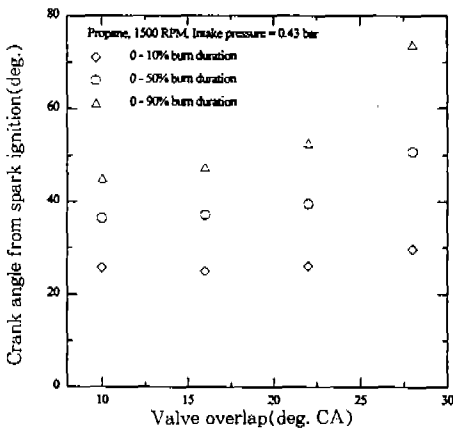


Fig.12 Burn Duration as a Function of Valve Overlap

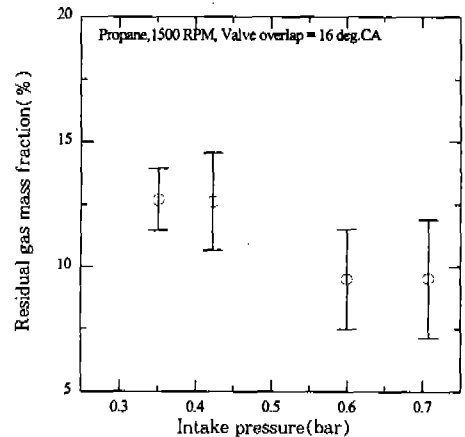


Fig.14 Residual Gas Fraction as a Function of Intake Pressure at Valve Overlap of 16 deg. CA

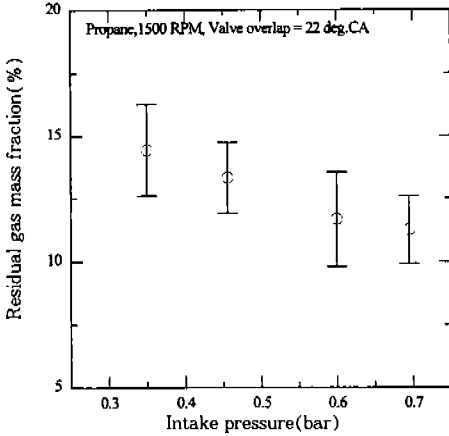


Fig. 15 Residual Gas Fraction as a Function of Intake Pressure at Valve Overlap of 22 deg. CA

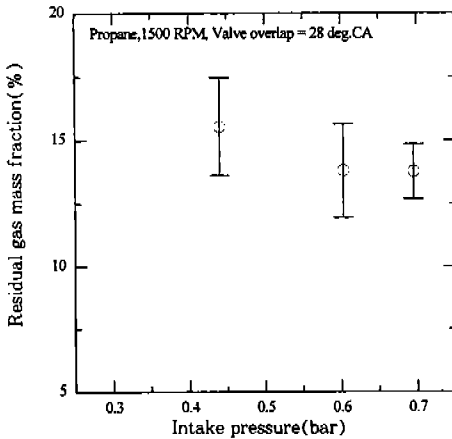


Fig. 16 Residual Gas Fraction as a Function of Intake Pressure at Valve Overlap of 28 deg. CA

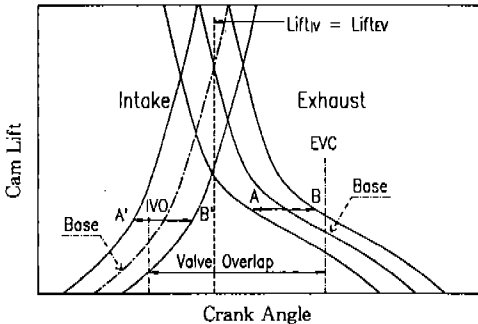


Fig. 17 Cam Phasing at Constant Valve Overlap

변화를 나타낸 것으로 오버랩 기간이 일정해도 밸브타이밍의 영향에 의해 절대치의 변화가 있음을 알 수 있다. 앞에서 언급한 실험결과와 마찬가지로 밸브타이밍을 기존의 것보다 진각시켰을 경우(Fig.17에서 A→A'의 경우) 약 3.0% 증가하였으며 지각시켰을 경우도(Fig.17에서 B→B'의 경우)에도 약 1.5% 잔류가스량이 증가하는 경향을 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 FRFID를 이용하여 실시간으로 미연탄화수소를 측정하여 각각의 사이클에 대한 실린더내의 잔류가스량 측정방법에 대하여 연구하고 이러한 방법을 이용하여 크게 영향을 미치는 엔진부하와 밸브타이밍의 변화에 따른 잔류가스량 변화를 측정하였다. 본 연구의 결과는 엔진의 성능 및 배기가스 저감에 관한 연구를 위한

Table 4 Intake and Exhaust Cam Phasing

Cam phasing	IVO/IVC	EVO/EVC	Valve overlap
Advance	14/36	48/ 2	16° CA
Base	8/42	42/ 8	16° CA
Retard	2/48	36/14	16° CA

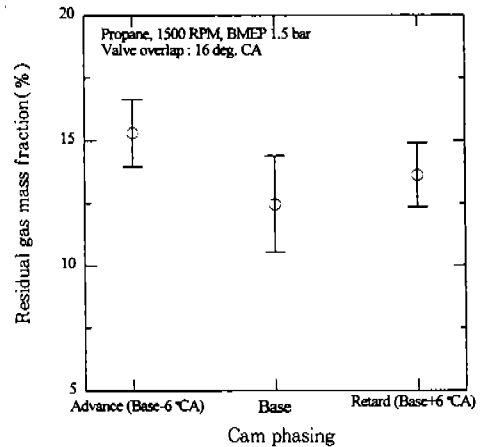


Fig. 18 Residual Gas Fraction as a Function of Cam Phasing on the Constant Valve Overlap

기초자료로서 활용할 수 있으며 계속 진행될 엔진의 운전조건 변화 및 밸브이벤트 영향 해석을 위한 중요한 경험으로 볼 수 있다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 점화시 FRFID의 신호는 화염의 도달에 의하여 충분히 포화되지 못하고 기연가스의 낮은 농도를 나타낸다. 그러나 비록 화염도달에 의하여 낮은 농도를 나타내지만 그 이후의 출력신호의 기울기는 실화시 FRFID 출력신호의 포화되는 기울기와 같다는 가정하에서 점화시의 화염도달시기에서 그때의 실화시 해당하는 농도의 차를 잔류가스의 영향으로 처리하였다. 이러한 가정은 실화시 첫 번째 사이클의 FRFID 출력신호와와의 비교를 통하여 타당하다고 판단된다.
- 2) 실린더내 잔류가스량 측정을 위한 관계식을 유도하였으며, 이로부터 FRFID의 실린더내 출력신호를 이용하여 잔류가스량을 정량적으로 구하는 방법을 제시할 수 있었다.
- 3) 1,500RPM, BMEP 1.5bar, 당량비 1.0 조건에서 밸브오버랩 기간이 증가함에 따라 흡·배기압의 압력차에 의해 잔류가스량은 기존 밸브오버랩 기간인 경우와 비교하여 증가되는 경향을 나타냈으며 이는 기존의 연구결과와 일치하였다.
- 4) 실린더내의 잔류가스량은 서로 다른 밸브오버랩 기간 뿐만 아니라 동일한 밸브오버랩 기간의 경우에도 밸브개폐시기에 따른 영향을 받는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Heywood, J. B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, 1987.
2. T. W. Asmus, "Valve Events and Engine Operation", SAE Paper 820749, 1982.
3. R. M. Siewert, "How Individual Valve Timing Events Affect Exhaust Emissions", SAE Paper 710609.
4. J. D. Benson and R. F. Stebar, "Effects of Charge Dilution on Nitric Oxide Emission from a Single-Cylinder Engine", SAE Paper 710008.
5. W. R. Aiman, "Engine Speed and Load Effects on Charge Dilution and Nitric Oxide Emission", SAE Paper 720256.
6. T. Tode, H. Nohira, and K. Kobashi, "Evaluation of Burned Gas Ratio as a Predominant Factor to NO_x ", SAE Paper 760765.
7. F. Galliot, et al, "In-Cylinder Measurements of Residual Gas Concentration in a Spark Ignition Engine", SAE Paper 900485.
8. J. D. Benson and R. F. Stebar, "Effects of Charge Dilution on Nitric Oxide Emission from a Single-Cylinder Engine", SAE Paper 710008.
9. W. R. Aiman, "Engine Speed and Load Effects on Charge Dilution and Nitric Oxide Emission", SAE Paper 720256.
10. T. Toda, H. Nohira, and K. Kobashi, "Evaluation of Burned Gas Ratio as a Predominant Factor to NO_x ", SAE Paper 760765.
11. Bengt Johansson and Fredrik Soderberg, "The Effect of Valve Strategy In-Cylinder Flow and Combustion", SAE 960582.
12. Jonathan W. Fox., Wai K. Cheng and John B. Heywood, "A Model for Predicting Gas Fraction in Spark-Ignition Engines", SAE 931025.
13. Cambustion Ltd., *HFR400 Fast FID User Manual*.