

가시화 엔진을 이용한 직분식 디젤엔진내의 유동장 측정에 관한 연구

한 용 택¹⁾ · 황 규 민¹⁾ · 이 기 형²⁾

한양대학교 대학원¹⁾ · 한양대학교 기계공학과²⁾

An Experimental Study on the Measurement of Flow Field in a Direct Diesel Engine Using a Single Cylinder Visualization Engine

Yongtaek Han^{*1)} · Kyumin Hwang¹⁾ · Kihyung Lee²⁾

¹⁾Graduate School, Hanyang University, Gyeonggi 425-791, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 425-791, Korea

(Received 21 June 2005 / Accepted 24 September 2005)

Abstract : This paper studies the effects of the swirl for the variation of intake port configuration that is key parameters in the flow field of direct injection diesel engines. In-cylinder flow characteristics is known to have significant effects on air-fuel mixing, combustion, and emissions. To investigate the effects of the swirl flow, various rpm(250, 500, 750) and two different intake port were used. And to evaluate the swirl motion in the flow field visualization engine, steady state flow test was conducted. Helical port intake port and SCV(Swirl Control Valve) were selected as the design parameters to increase the swirl flow and parametric study was performed. In the case of non-SCV, intake flow rate and non-dimensional swirl ratio were higher than those of SCV for the swirl head type. So, we could strengthen the swirl in the flow field with the swirl head type and don't using SCV. From the results of steady state flow test, non-swirl head type has the most good advantage for intake flow rate, and also the flow rate could be increased by using the SCV slightly. The effects of the type of engine head on intake air flow capability are dominant with respect to the existence of the SCV. We could measure the qualitative grade of swirl by capturing the scattering signal of microballoon from ICCD camera in the visualization diesel engine.

Key words : Visualization engine(가시화엔진), Air flow sensor(공기유량센서), SCV(Swirl Control Valve), Swirl head(스월형 헤드), Non-swirl head(직립형 헤드)

Nomenclature

G_a : actual air flow rate

G_{th} : theoretical air flow rate

ϵ : expansion modified coefficient

α : orifice flow coefficient

B : cylinder bore

F_o : valid opening area

ω_c : inspired swirl velocity

m : mass

g : $9.81 m/sec^2$

γ : mass ratio weight

N_R : non-dim swirl ratio

C_f : flow coefficient

a : valve seat diameter

*To whom correspondence should be addressed.
rthan102@hanmail.net

Subscripts

- a* : actual
- th* : theoretical
- o* : opening
- R* : ratio

1. 서론

고속직접분사식 디젤엔진을 승용차에 탑재하고자 했던 시도는 1980년대말 이전에도 있었으나 대부분 성공하지 못하였는데 주요 요인으로는 당시 승용차에 탑재하고자 했던 디젤엔진은 간접분사식으로서 상품성 측정에서 핵심이라 할 수 있는 비출력, 소음, 진동 등이 가솔린엔진에 비해 뒤떨어지고, NO_x 와 PM 등 배출물^{1,2)}의 대응기술이 미흡하여 소비자들로 하여금 디젤엔진은 청정하지 않고 환경적으로 인체에 유해한 엔진이라는 인식을 심어준데 있었다. 그러나 1980년대 후반부터 디젤엔진의 연료분사장치의 터보차저 및 인터쿨러 등 과급장치의 기술발전과 함께 직접분사식 디젤엔진의 개발이 본격화되면서 비출력, 소음, 진동 및 배출물 향상을 기할 수 있는 가장 큰 원동력은 연료분사장치의 발달로 연료분사압력이 높아질수록 출력 및 배출물의 포텐셜은 증가하면서부터, 디젤엔진 개발의 역사는 연료분사압력을 증대시키고자 하는 기술개발의 역사와 발자취를 같이 한다고 할 수 있다. 고속직접분사식 디젤엔진의 양산이 본격화된 1980년대 말을 기준으로 연료분사압력은 약 2배 증가하였으며, 이에 힘입어 비출력은 2배이상, 배출물은 1/10수준으로 저감되었음을 알 수 있다. 여기서 주목할 사실은 전체 디젤엔진에서 직접분사식이 차지하는 비율의 급격한 증가로 현재까지는 간접분사식 디젤엔진이 일부 사용되고 있으나, 늦어도 EURO-IV 배기 규제가 실시되는 2005년까지는 거의 모든 디젤엔진은 직접분사식으로 바뀔것으로 예상된다.³⁾

여기에서, 고속직접분사식 디젤엔진은(HSDI)는 다른 동력원들에 비해 열효율이 높고, 이산화탄소 배출량이 낮은 특성이 있어 국내, 유럽의 승용 및 SUV차량에의 적용이 날로 증대되고 있다. 더욱이 완성차 메이커에서는 2008년까지 판매차량의 평균

이산화탄소 배출량을 140g/km까지 자율적으로 줄이기 위한 교토의 정서 협약 준수를 위하여 HSDI 디젤엔진에 대한 연구를 집중하고 있다. 최근에 개발되고 있는 HSDI디젤엔진에는 분사압력, 파일럿 분사량 및 분사시기의 가변제어가 가능한 커먼레일 시스템이⁴⁾ 적용되어 환경 규제 대응 및 연비향상에 많은 도움을 주고 있다. 특히 직접분사식 디젤엔진은 커먼레일식 고압 연료 분사시스템이 도입되면서 유럽 및 미국을 중심으로 개발이 계속적으로 진행되고 있는 실정이다. 즉, 기존의 기계식 직접 분사에 비해서 소음 및 매연 저감에 효율적인 커먼레일식은 최근 고속화 및 배기성능의 개선이란 인식하에 개발이 진행되고 있다. 이러한 계속되는 연구를 통하여 경량화, 신소재 도입 및 전자제어 기술적용과 함께 연소시스템, 후처리 기술 및 황성분 및 CO_2 를 줄이기 위한 탄소 성분의 최소화된 연료의 사용으로 종합적으로 개선된 엔진의 개발을 통해서 고효율 저배기의 실현을 달성해야 한다.⁵⁾ 따라서 혼합기의 형성, 연소 및 배기에 영향을 미치는 직접 분사식 디젤엔진의 실린더내 유동을 제어하여 분사 조건에 가능한 흡기포트 형상의 설계 인자에 대한 연구가 요구된다. 흡기포트의 형상은 실린더내 유동을 제어하여 혼합기의 형성뿐만 아니라 연소 배기 성능을 좌우하는 설계인자로서 실린더내 스웰유동에 직접적인 영향을 주는 주된 요인으로 알려져 있다. 디젤엔진에서 스웰유동은 안정되고 신속한 연소 및 저배기를 실현하는데 필요한 요소이다.^{6,7)} 또한 디젤엔진의 고속화를 위한 소형화와 그에 따른 경량화가 추진될수록 디젤엔진의 연소에 중요한 스웰유동장의 강화가 요구되어지며 이것은 또한 CO_2 의 배출 저감이라는 목표의 달성으로 이어질 수 있다.⁶⁾ 즉, 고속 운행시의 소형 디젤엔진에서 요구되어지는 연소시간은 매우 짧고 직분식이므로 분사된 연료가 벽에 충돌하는 시간이 그만큼 단축되기 때문에 안정되고 신속한 연소를 위해서는 스웰 유동장의 강화가 요구되며 최대 분사가 이루어지는 고부하 영역에서 출력을 높이기 위해서는 흡입유량을 증가시키도록 개발되어야 한다. 특히 흡기포트의 형상은 실린더내 유동을 제어하여 혼합기의 형성뿐만 아니라 연소와 배기 성능을 좌우하는 매우 중요한

설계인자로서 디젤엔진에서 압축행정 말기까지 존재하는 스웰 유동은 안정된 연소를 얻고 저배기를 실현하는데 필요한 요소로서 흡기포트 형상은 스웰 유동에 직접적인 영향을 주는 주된 요인으로 알려져 있다.⁸⁾ 따라서 흡기 포트의 설계변수에 따른 정상유동실험, 가시화실험 및 흡기포트 형상의 영향 분석 등을 수행하여 흡입유동과 스웰비에 적합한 설계 인자를 확립하는 것이 흡기포트 형상 설계 인자의 제공을 위하여 반드시 필요하다.⁹⁾ 따라서 본 연구에서는 하단 관측 방식의 직분식 디젤엔진을 설계하여 rpm, SCV삽입한 상태와 삽입하지 않았을 경우, 또한 직립형 헤드와 헬리컬 형태의 헤드의 변수를 가지고 정상유동 실험, 공기흡입능력 측정, 또한 산란입자의 산란을 통한 유동장 가시화를 통하여 얻은 영상과 스웰의 정도를 비교함으로써 각각의 유동특성을 분석함으로써 설계인자에 대하여 구분하는 방법으로 스웰 유동에 미치는 흡기포트형상에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 가시화 엔진 실험

본 실험에서는 실린더헤드형상에 따른 유동장, SCV 유무에 따른 유동장, rpm 변화에 따른 유동장 상태를 직접 관찰하기 위하여 광학적 접근이 가능한 단기통 가시화엔진을 사용하였다. Fig. 1에 시스템의 개략도를 나타내었으며, Table 1에는 엔진의

Table 1 Specification of the visualization engine

Bore stroke	95×95
Compression ratio	19
Displacement volume	675cc
Operation speed	250,500,750 rpm

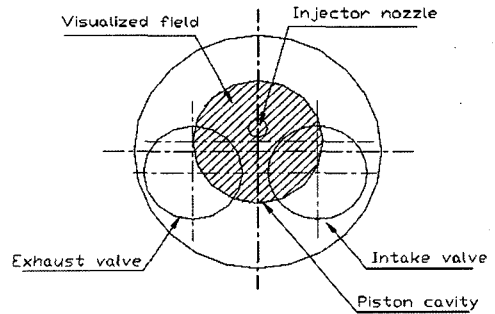


Fig. 2 Visualization region in combustion chamber

주요사항을 정리하였다.

구동 장치는 정출력 방식의 DC모터(22KW, 주성 전기)를 사용하였으며 엔진 작동시 축 토크를 억제하여 일정한 회전수를 유지할 수 있도록 4상환(회생 제동)제어방식을 사용하였다.

한편, 관측영역이 되는 연소실은 직경50mm의 Bowl-in-piston 형식으로 피스톤 크라운 부분에 해당하는 관측창을¹⁰⁾ 부착하였으며, Fig. 3에 보인 것과 같이 연장 피스톤의 하부에 장착된 45°각도의 전반사 미러를 사용¹¹⁾하여 화염 및 분무를 고속카메라나 ICCD카메라를 사용하여 직접 관측할 수 있도록 하

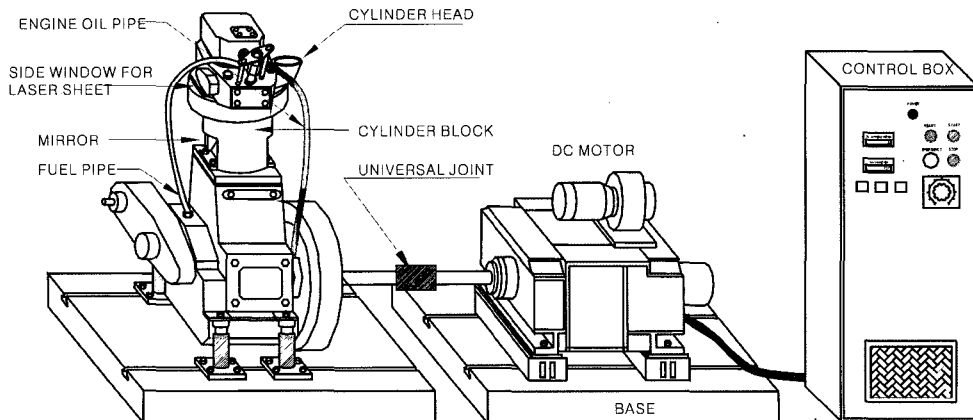


Fig. 1 Schematic diagram of the visualization engine

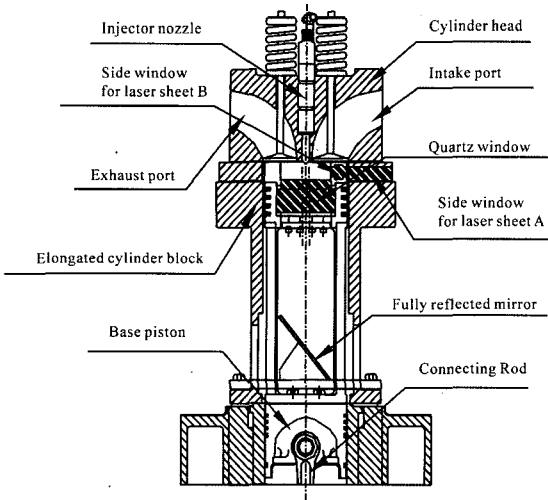


Fig. 3 Cross-section of the visualization engine

였다. 그리고 관측창의 청결도를 유지하기 위하여 무운활 방식을 사용하였고, 그대신 내열성과 내마모성이 우수한 테프론링을 피스톤에 부착하였다. 이 경우 내열고무를 테프론링과 피스톤의 사이에 부착하여 적절한 장력을 제공함으로써 기밀성을 유지하였으며, 실험을 수행하여 마모가 되었다고 판단되면 교체하여 사용하였다. 또한 좌굴 및 진동을 방지하기 위하여 S45C재질의 실린더 라이너가 포함된 일체형 실린더 블록의 상부에는 레이저광선이 입사할 수 있는 윈도우를 장착하여 레이저를 이용한 광계측에 대응할 수 있도록 하였다.

2.2 실린더 헤드 형상 및 스윙비의 측정

본 실험에서는 연소실내의 스윙 유동이 유동장에 미치는 영향을 평가하기 위하여 각각의 스윙비를 달리하는 두 종류의 헤드를 사용하였다. 제작의 기본이 된 헤드는 가시화 엔진과 동일한 보어를 가진 상용의 단기통 직분식 디젤엔진(ND10DE)의 헤드를 사용하였으며, 한편 스윙 유동을 형성시키는 방법에는 SCV를 장착하는 방법과 헬리컬 형상의 흡기포트를 사용하는 방법이 있는데 본 실험에서는 SCV의 유무와 Fig. 4와 같이 직립형 흡기포트형상을 갖추어 실린더 내부로 흡입공기기가 직접 유입하여 유량 확보 면에서는 유리하나 스윙 유동은 발생하지 않을 것이라 예상되는 형식의 헤드와 구부러진 헬리컬 흡기포트를 가지고 있어 흡입 행정시

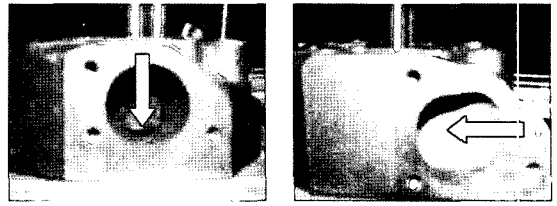


Fig. 4 Two types of cylinder head

유량 확보 면에서는 불리하나 실린더 내에 강력한 스윙 유동을 형성할 수 있을 것이라 기대되는 형식의 헤드 두 가지를 제작하여 사용하였다.

그리고 본 실험에서는 흡기포트의 형상별로 스윙 유동 및 공기의 유량특성을 확인하기 위하여 Fig. 5에 나타난 것과 같은 정상유동 실험 장치¹²⁾를 사용하여 그 특성을 평가하였다. 정상유동 실험은 실험대상 엔진 흡기계의 유동발생 및 흡입능력을 실제 운전 상태에서 조사하기는 매우 어렵기 때문에 정상상태에서의 내부유동을 측정하여 실제엔진의 유동을 이해하는데 이용하는 실험방법이다. 본 실험에서는 실린더 내의 압력과 대기압과의 차압 ΔP_1 을 300mmAq로 일정하게 유지하였을 때 오리피스 전후의 압력차 ΔP_2 를 측정하여 흡입공기량을 측정하였으며, 동시에 실린더 직경의 1.75배 떨어진 위치에 벌집모양의 구조를 가진 임펄스 스윙 미터(ISM)를 사용하여 와류에 의해 생성된 운동량을 측정하였다.

그리고, 스윙 유동 특성 및 공기 유입특성을 평가하기 위하여 이론상 유입공기와 실제 유입공기와의 비로 정의되는 유량계수(C_f)를 도입하였으며, 투입된 운동량과 실제 와류 운동량의 비를 무차원 스윙

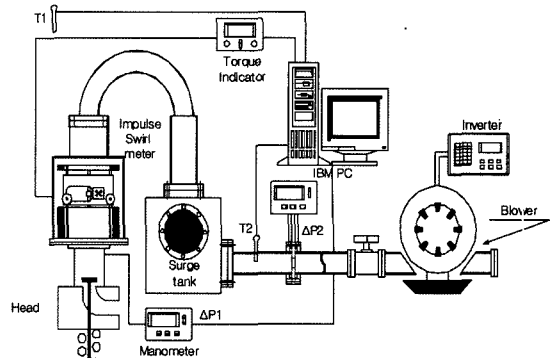


Fig. 5 Experimental rig for steady state flow test

비(N_R)로 정의되었다. 각각 계산에 사용된 공식을 식 (1)에서 (4)까지 나타내었다. 한편 일반적으로 스웰비는 캠 프로파일을 고려한 값을 사용하며, 이때의 공식을 식 (5)에 나타내었다.

$$G_a = \epsilon \alpha F_o \sqrt{2gr_2 \Delta P_2} \quad (1)$$

$$G_{th} = S \left(\frac{\pi}{4} a^2 \right) \sqrt{2gr_1 \Delta P_1} \quad (2)$$

$$C_f = \frac{G_a}{G_{th}} \quad (3)$$

$$N_R = \frac{\omega_c B m}{V_o m} \quad (4)$$

$$R_s = \frac{BS \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} C_f N_R d\alpha}{\left(\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} C_f d\alpha \right)^2} \quad (5)$$

2.3 유동 가시화 실험 장치 및 방법

스웰 및 흡입 유동 측정 장치를 이용하면 각각의 흡기 포트 형상별 흡입 유량 및 스웰의 측정이 가능하게 되어 흡기포트형상 및 조건별로 흡입능력을 파악할 수 있다. 그러나 연소 및 배기에 중요한 영향을 미치는 스웰 유동장의 영향을 분석하기 위하여 흡입 유량 및 각 운동량 뿐만 아니라 그러한 사실을 뒷받침할 수 있는 실린더내 스웰 유동장 가시화도 중요하다. 즉, 측정된 스웰비에 상응하는 실린더내 스웰 유동장의 형태를 관측하는 실험이 수행되어야 한다. 따라서 본 실험에서는 각각의 조건별(250, 500, 750 rpm, SCV 유·무, 흡기포트 형상별)로 실린더내 스웰 측정 영역의 유동장을 레이저 시트에 의한 가시화 방법을 이용하여 관측하였다. 이와 같이 관측된 스웰 측정영역의 가시화 결과는 정상 유동 실험에서 무차원 스웰비와 흡입 유량 및 스웰비를 뒷받침 해줄 수 있는 자료로 활용하여 흡입 행정시 생성되는 실린더내 스웰 유동장의 각각의 조건에 대하여 구분하였다.

본 연구에서는 Fig. 6과 같은 가시화 실험장치를 구성하였다. 스웰 측정 영역의 가시화를 위한 광원

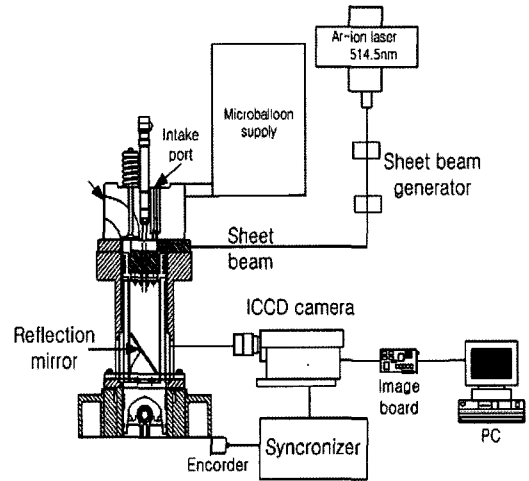


Fig. 6 Schematic diagram of visualization system

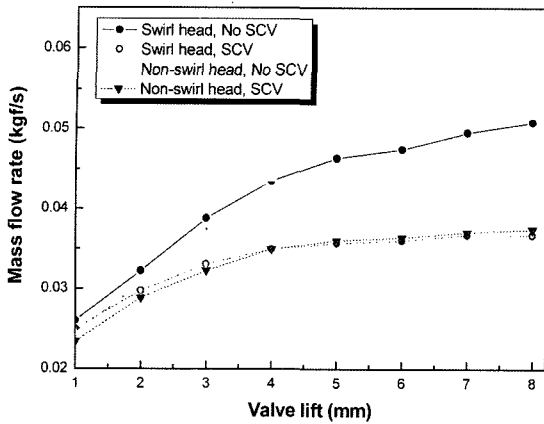
으로는 수냉식 멀티라인 아르곤 이온 레이저(5W, LEXEL社)를 이용하였다. 실린더 렌즈의 조합으로 레이저에서 발진된 빔을 얇은 시트형상으로 만들고 추종성이 좋은 산란 입자인 평균입경이 $80\mu m$ 인 산란입자를 사용하여, 스웰 측정 위치의 스웰 유동장의 형태를 관측하였다. 각각의 조건별로 실린더의 중심축에 수직으로 레이저 시트 빔을 조사시켜 가시화엔진 하단의 반사경을 통하여 ICCD를 이용 250, 500, 750 rpm의 조건에서 13.33, 6.667, 4.444 msec의 노출 시간으로 가시화 영상을 취득하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

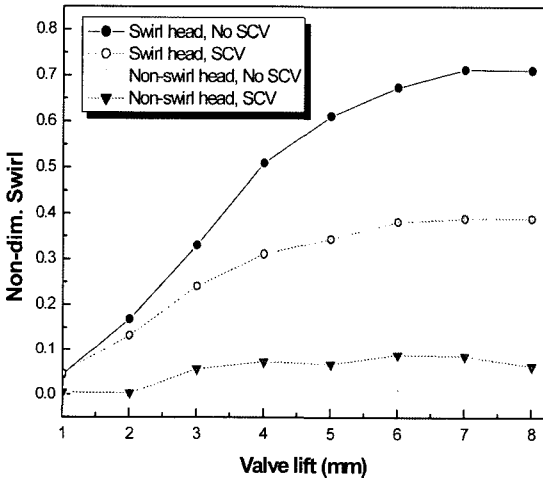
3.1 각 조건별 흡입유량 특성

3.1.1 정상유동 실험결과 특성

Fig. 7에는 흡기포트형상에 따른 정상유동 실험 결과를 나타내었다. 또한 흡기포트와 SCV장착여부에 따른 정상유동 실험결과를 나타내었다. 그래프에서 나타나듯이 스웰형(헬리컬형)흡기포트를 가진 경우 유량계수는 밸브리프트가 늘어날수록 직립형 흡기포트를 장착한 경우보다 조금씩 줄어드는 반면에, 무차원 스웰비는 모든 밸브리프트 영역에서 우수한 특성을 나타내는 것을 Fig. 7에서 확인할 수 있었다. 따라서 스웰형(헬리컬형)흡기포트를 가진 경우는 직립형 흡기포트에 비교하여 유량면에서 약간의 손실을 가져오는 반면 우수한 스웰유동 특



(a) Mass flow rate (kgf/s)



(b) Non-dim swirl ratio

Fig. 7 Experimental results of the steady state flow test

성을 가지고 있음을 확인하였다. 한편 밸브 리프트 당 흡입유동 특성은 캠 프로파일에 따라 다른 특성을 나타나게 되므로 본 엔진의 실제프로파일을 적용하여 계산한 결과를 Table 2에 나타내었다.

Fig. 7의 (a)와 (b)를 서로 관련하여, 스월형 헤드의 흡입유량과 SCV 유·무에 따른 결과를 비교하여 볼때 스월형 헤드를 사용할 경우에는 SCV밸브를 사용하지 않는 유동상태의 스월 및 유동장을 강화시킬 수 있다는 것을 확연히 알 수 있다.

또한 직립형 헤드를 사용하여 정상류 실험의 결과 흡입 유량면에서는 SCV를 사용하지 않을 경우에 흡입 유량면에서 가장 유리한 것을 알 수 있는 반면, 스월의 효과는 거의 전체 밸브리프트 영역에서

Table 2 Swirl ratio considering the cam profile

	Helical intake port	Normal intake port
Intake valve open/close	ATDC10/ABDC28	
Maximum valve lift	8.44mm	
Swirl ratio	0.1	2.1

볼 수 없음을 알 수 있었다.

직립형 헤드에 SCV를 사용하였을 경우에는 흡입 유량은 흡입유량의 성능이 가장 저하되었을 경우라 예상되는 스월형 헤드에 SCV를 사용한 경우와 거의 유사한 성능을 나타낸다는 것을 알 수 있으며, 반면에 무차원 스월의 경우는 SCV를 사용하지 않는 경우보다는 우수하나, 스월형 헤드의 스월 성능과 비교해서는 유동장에 큰 영향을 미치지 않을 만큼 미소한 스월의 양을 나타내는 것을 실험 결과로 알 수 있다. 이러한 정상류 실험결과 흡입 유량면에서는 직립형 스월형 헤드가 가장 유리하며, 스월의 강도면에서는 스월형헤드에 SCV를 사용하지 않는 경우가 유리하다는 것을 알 수 있었으며, 직립형 헤드에서 유동장의 강화를 위해서는 SCV를 사용하여 유동장을 강화시킬 수 있으나, 그 성능은 미소하다는 결과를 얻을 수 있다.

3.1.2 Air flow sensor를 이용한 흡입유량 특성

위와 같은 정상유동실험의 결과를 토대로 실제 승용차량에서 쓰이고 있는 Air flow sensor (SIEMENS: 28164-37200)를 이용하여 각 조건에서의 가시화엔진에서의 공기의 흡입능력을 알아보았다. Fig. 8은 각 조건에서의 공기흡입능력의 결과 그림으로써 정상유동실험에서 예상한 것과 같이 절대적인 값의 차이는 있으나, 엔진의 head type에 따라서 공기의 실제흡입유량에 많은 차이가 있는 것을 확연히 알 수 있으며, SCV의 유·무에 따라서는 미세하게 SCV를 삽입한 경우에는 삽입하지 않은 경우보다는 공기의 흡입능력은 떨어지는 것을 알 수 있다. 또한 공기의 흡입 능력면에서는 Non-swirl type의 헤드와 SCV를 부착하지 않은 경우가 가장 공기의 흡입능력이 우수한 것을 알 수 있었으며(조건C), 또한 Swirl의 강도를 증가시킬 수 있을 것이라

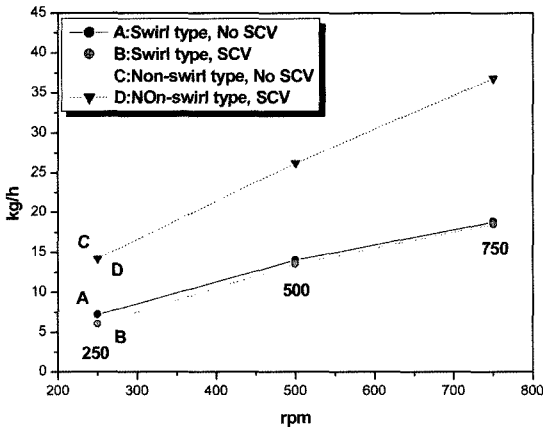


Fig. 8 Experimental results of flow test

예상되는 Swirl type의 헤드와 SCV가 쓰인 조건(조건B)에서는 Swirl의 강도는 증가시키는 반면, 공기의 흡입 능력면에서는 가장 효율이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 토대로 공기의 흡입 능력과 스웰의 강도를 증가시키는 방법에서는 서로 상반되는 결과를 알 수 있다. 따라서 엔진헤드의 최적화를 위해서는 성능시험을 토대로 이와 같은 결과를 참고하여야함을 알 수 있다. 또한 공기의 흡입 능력면에서는 SCV의 유·무 보다는 엔진헤드에 따른 차이가 훨씬 지배적인 것이라는 것을 또한 알 수 있다.

3.2 ICCD를 이용한 유동가시화 실험 결과

3.2.1 engine head별 유동장 가시화 실험결과

Fig. 9와 Fig. 10은 non-swirl head type과 Swirl head type에서 각각 250, 500, 750 rpm과 SCV의 유·무에 따른 ICCD를 이용 가시화엔진의 압축말기(BTDC20°~TDC)에서의 유동장의 상태를 나타낸 결과이다. 이때 각각의 노출시간으로는 13.3, 6.67, 4.44 msec의 시간으로서 ICCD를 이용 영상을 획득하였다.

Fig. 9(a)의 그림은 스웰의 강도가 가장 약할 것이라 판단되는 가시화의 결과로서 산란입자의 산란이 일정한 방향 없이 연소실내에서 일어남을 알 수 있으며, 이러한 경향은 Fig. 10의 (c),(e)에서 보는 것과 같이 rpm이 증가할수록 무질서의 정도가 일정한 방향없이 강해지는 것을 확연히 알 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 9에서와 같이 rpm이 증가 할수록 공기의

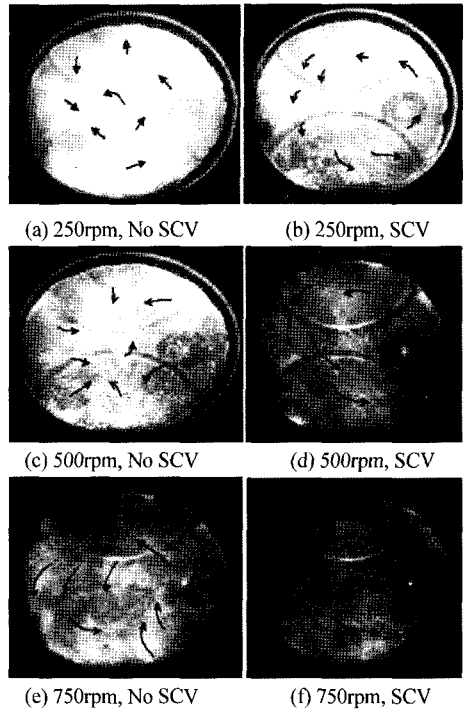


Fig. 9 Results of flow visualization non-swirl head type

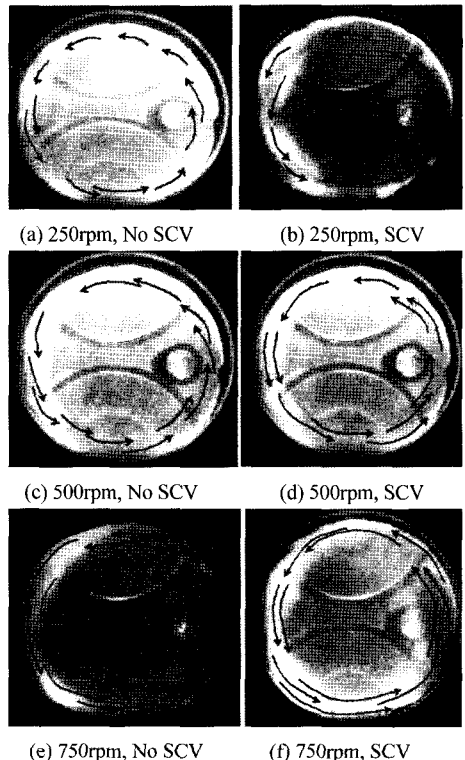


Fig. 10 Results of flow visualization swirl head type

흡입유량이 증가하게 되므로 흡입유량의 증가에 따른 결과임을 알 수 있다.

반면에, Fig. 9의 (b),(d),(f)의 결과에서는 SCV를 장착한 결과이며, 스월의 정도를 나타내는 산란입자의 산란이 연소실의 중앙 부위에서 약하게 일어남을 관찰할 수 있다. 이러한 결과는 정지된 영상의 결과로서는 확인하기 곤란한 점이 있으나, 동일한 실험 과정 중 동영상상을 통해서 차이가 나타남을 확실히 파악할 수 있었다.

한편, Fig. 10은 swirl head type에서의 rpm의 증가와 SCV 유·무에 따른 연소실의 스월정도를 나타내는 가시화 결과로서, swirl type의 가시화 결과에서는 non-swirl type의 연소실상태보다 스월이 바깥쪽으로 더 크게 활발히 일어남을 알 수 있다. 또한 스월 정도의 차이 또한 정지된 가시화상태의 결과로서는 파악하기 어려우나, 같은 실험조건에서 확보한 동영상상을 통해 차이가 나타남을 알 수 있었다.

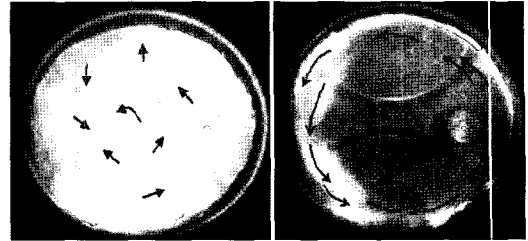
또한 Fig. 8에서의 결과와 비교해본 결과 흡입유량 면에서는 swirl type의 흡기포트는 공기의 흡입능력 면에서는 불리하나 스월의 강도를 증가시키는 측면에서는 유리함을 알 수 있다.

또한, SCV의 유·무에 따른 결과를 비교해보면, Fig. 8에서의 결과에서 SCV유·무에 따라서는 공기 흡입유량의 차이가 크지 않지만, Fig. 9에서의 유동장의 결과에서는 SCV의 유·무에 따라서 스월의 정도가 차이가 나타나는 것을 알 수 있으므로, 유동장의 스월 강화 면에서 SCV를 흡기포트에 장착함으로써 스월 강화 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 10에서도 같은 결과임을 알 수 있다.

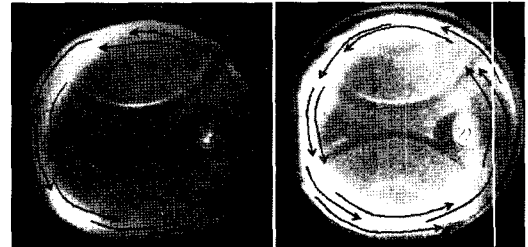
3.2.2 정상유동 실험결과 특성

Fig. 11의 가시화 결과는 스월이 가장 약할 것이라 판단되는 non-swirl type에 SCV를 부착하지 않은 상태의 연소실가시화 결과와 같은 rpm에서 swirl이 강할 것이라 판단되는 swirl type에 SCV를 장착한 상태의 비교결과 그림으로서 rpm에 따라 스월의 정도를 정성적으로 비교 판단하기 위한 그림이다.

Fig. 11(a)의 그림에서는 스월의 형태가 거의 나타나지 않는 반면, swirl head type과 SCV를 장착한 경우(b)에는 전체적으로 강하지는 않지만 유동자의



(a) Non-swirl head, No SCV, 250 (b) Swirl head, SCV, 250rpm



(c) Non-swirl head, No SCV, 750 (d) Swirl head, SCV, 750rpm

Fig. 11 Results of flow visualization

외곽으로 스월의 형태를 관찰할 수 있으며, rpm이 비교적 높은 750에서도 non-swirl type과 SCV를 장착하지 않은 경우(c)에도 유동의 흐름은 강하지만, 스월의 상태를 발견할 수 없는 반면, swirl type과 SCV를 장착한 경우(d)에는 유동의 형태와 스월의 강도 모두 강한 가시화상태를 관찰할 수 있다. 이와 같은 가시화의 결과로서 정성적인 연소실내의 조건에 따른 스월의 정도를 파악할 수 있었다.

4. 결론

HSDI 디젤엔진 내부의 유동특성을 파악하기 위하여 rpm, SCV 유·무, 엔진헤드 타입별로 정상유동 실험, 흡입공기 유량 특성 및 가시화 실험결과 다음과 같은 실험결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 정상류 실험결과에서 스월형 헤드에서 SCV를 사용하지 않았을 때 흡입유량과 무차원 스월비에서 모두 SCV를 사용하였을 때 보다 우수한 것을 알 수 있으며, 이러한 결과를 볼 때 스월형 헤드를 사용할 경우 SCV밸브를 사용하지 않을 때 유동상태의 스월 및 유동장을 강화시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다.
- 2) 정상류 실험결과 흡입 유량면에서는 직립형 스월형 헤드가 가장 유리하며, 스월의 강도면에서

는 스윙형 헤드에 SCV를 사용하지 않는 경우가 유리하다는 것을 알 수 있으며, 직립형 헤드에서 유동장의 강화를 위해서는 SCV를 사용하여 유동장을 강화시킬 수 있으나, 그 성능은 미소하다는 결과를 얻을 수 있었다.

- 3) 공기의 흡입능력 면에서는 SCV의 유·무보다는 엔진헤드에 따른 차이가 훨씬 지배적인 것이라는 것을 또한 알 수 있었다.
- 4) 직분식 가시화 디젤엔진에서 산란입자의 산란을 ICCD카메라를 이용 연소실내의 조건에 따른 정성적인 스윙의 정도를 파악할 수 있었다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단에서 시행한 에너지 기술 학술 진흥 사업[2003-E-TR03-P-01-0-000-2003]의 지원에 의하여 수행된 연구 결과의 일부로서, 관계 기관에 감사의 뜻을 표합니다.

References

- 1) R. Barale, M. Bulleri, G. Cornetti and W. F. Wachter, "Preliminary Investigation on Genotoxic Potential of Diesel Exhaust," SAE 920397, 1992.
- 2) R. H. Hammerle, D. A. Ketcher and R. W. Horrocks, "Emission from Current Diesel Vehicle," SAE 942043, 1994.
- 3) T. W. Choi, "The Present Position of HSDI Diesel Engine," KSME, Vol.43, No.1, pp.51-57, 2003.
- 4) K. H. Nam, S. B. Park and M. H. Sunoo, "Dynamic Model of an HSDI Common-rail Injector and Injection Rate Estimation," Transactions of KSAE, Vol.11, No.5, pp.43-49, 2003.
- 5) C. J. Morey and J. Mark, "Can They Meet Air Quality Needs and Climate Change Goals?," SAE 2000-01-1599, 2000.
- 6) R. R. Maly and W. Degen, "Trends in Future Fuels for Mobile Applications," The Fifth International Symposium COMMODIA, 2001.
- 7) J. Schommers, F. Duvinage, M. Stotz, A. Peters, S. Ellwanger, K. Koyanagi and H. Gildein, "Potential of Common Rail Injection System for Passenger Car DI Diesel Engines," SAE 2000-01-0944, 2000.
- 8) K. Y. Kang and R. D. Reitz, "The Effect of Intake Valve Alignment on Swirl Generation in a DI Diesel Engine," Experimental Thermal and Fluid Science 20, pp.94-103, 1999.
- 9) K. H. Lee, "Development of Evaluation Method for Intake Flow Characteristics in a Gasoline Engine," Journal of the Research Institute of Industrial Sciences, Han-yang Univ, Vol.40, pp.241-251, 1995.
- 10) J. F. Alcock and W. M. Scott, "Some More Light on Diesel Combustion," Proc. Instn. Mech. Engrs., 1962.
- 11) T. Suzuki and T. Shiozaki, "A New Combustion System for the Diesel Engine and Its Analysis via High Speed Photography," SAE 770674, 1977.
- 12) I. Fukutani and E. Watnabe, "Air Flow Through Poppet Inlet Valves-Analysis of Static and Dynamic Flow Coefficients," SAE 820154, 1982.