

스월 및 연소실 형상에 의한 정상유동특성에 관한 연구

김대열*, 한영철⁺, 박봉규⁺⁺

(논문접수일 2006. 4. 4, 심사완료일 2006. 5. 29)

A Study on the Steady Flow Characteristics by PDA and Tumble Control Valve in Combustion Chamber

Dae Yeol Kim*, Young Chool Han⁺, Bong Kyu Park⁺⁺

Abstract

This paper describes the steady flow characteristics due to PDA and tumble control valve in combustion chamber. We also investigated the flow inclination angle defined as the inverse tangent of non-dimensional rig tumble(NRT) divided by non-dimensional rig swirl(NRS) to find dominant flow direction. So we adapted two different types of PDA valve(port deactivation valve) to strengthen a swirl flow. The in-cylinder swirl flow different tendency between with/without PDA valve. It might be thought to be affected by swirl flow. We could find that tumble ratio and swirl ratio is different by PDA valve. The comparison are taken account of the swirl, the tumble ratio comparison in same mass flow rate. As a result, PDA valve is better than tumble control valve both in steady flow condition and swirl, tumble ratio. The data from present study are available for design of engine as the basic data.

Key Words : Mass flow rate(질량유동률), PDA Valve(port deactivation valve, 스월조절밸브), Non-dimensional rig swirl(무차원 스월값), Non-dimensional rig tumble(무차원 텀블값), Steady flow(정상유동)

1. 서론

최근 전 세계적으로 대기오염과 CO₂ 배출가스의 증가로 인해 발생하는 지구환경 오염문제는 화석연료 사용의 증가

에 기인하며 특히 자동차의 수가 급속히 증가하면서 따른 영향이 매우 크다고 하겠다. 이러한 상황을 개선하기 위하여 환경문제의 해결방안으로 각국 정부는 초저배출차량(ULEV)과 CO₂ 배출을 저감하기 위한 기업 연비(CAFE)

* 동양공업전문대학 기계설계과 (you10@hanmail.net)
주소: 152-714 서울시 구로구 고척동 62-160

+ 국민대학교 기계·자동차공학부

++ 한국폴리텍 I 서울정수대학 카일렉트로닉스과

규제 등의 배출가스 규제가 제안되고 있다. 이에 따라 세계 자동차 업계와 학회에서도 이를 만족시키기 위해 연료소비를 감소와 유해 배기가스저감을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 스파크 점화기관에서는 직접분사, 희박연소 및 층상급기, 대체 연료엔진, 배기후처리 기술 등의 기술을 적용하여 자동차 배기가스 저감을 구현하는 연구가 추진되고 있다. 스파크 점화기관에서 유해배기가스 저감 및 연비향상을 만족시키기 위한 방법으로는 사이클 변동에 의존하는 연소의 안정성과 흡기와 압축과정 시에 생성된 유동장과 난류강도 형성을 고려해야 한다. 따라서 스파크 점화기관의 개발에 있어서 실린더 내의 적절한 유동장 제어와 그 평가기술이 매우 중요한 문제로 부각되고 있는 실정이다. 스파크 점화기관에서의 연소유동은 실린더 내로 유입되는 혼합기가 피스톤 헤드면과 수직인 법선속도 성분의 유동(텀블 유동) 또는 피스톤 헤드면과 일치하는 접선속도 성분의 유동(스월 유동)이 생성한다. 스월과 텀블은 초기 각 운동량을 가진 실린더 내의 흡기 유동으로 만들어진다. 기관의 마찰로 인한 스월과 텀블은 다소 감소하지만 스월이 발생된 흡기는 압축, 연소, 팽창과정동안 지속된다. 스월과 텀블은 흡입된 공기와 분사된 연료를 보다 더 빠르게 혼합시키기 위해서 기관에 사용된다. 오늘날 DOHC 기관에서의 특성을 고려하면 종방향의 선회류인 텀블 유동으로 형성된 큰 스케일의 유동은 압축과정과 상사점 부근에서 소멸하여 작은 스케일의 강한 난류를 발생시켜 안정된 연소를 증가시킬 수 있다고 알려져 있다^(1,2). 따라서 혼합기의 난류 강도를 증가시켜 화염전파속도를 증가시키는 방법으로 스월유동을 강화시키기 위하여 흡기포트 앞에 PDA(Port De Activation) 밸브를 장착하여 연료와 공기 혼합물의 안정된 연소를 실현할 수 있다고 알려져 있다⁽³⁾. Matsushita, Inoue⁽⁴⁾ 등은 높은 스월을 얻기 위해 SCV 밸브를 Helical Port에 부착하고 연료분사시기와의 관계에 따른 연료분사의 영향을 연구하였으며 또한 배기배출물의 상관관계도 조사하였다.

Matsushita, Nakanishi⁽⁵⁾ 등은 연소시스템을 위해 SCV 밸브부착과 포트의 종류를 비교 분석하였다. Ricardo⁽⁶⁾ 등은 유동에 의해 연소개선을 도모할 수 있다고 발표한 이후에 유동을 강화시킴으로써 화염 성장이 촉진되고 화염면의 증가에 의해 연소속도가 증가되어 연소가 안정되는 등이 효과가 있음을 확인하였다.

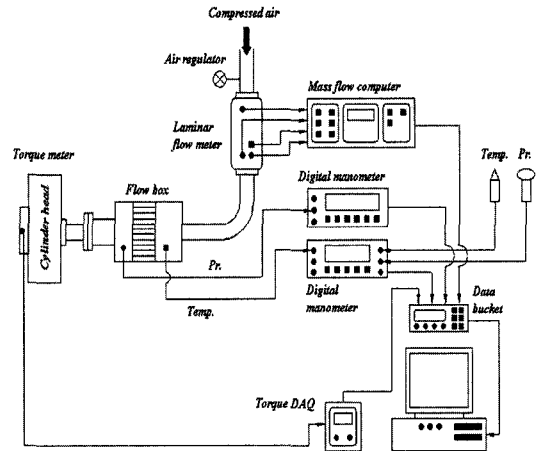
DOHC에서 텀블강도를 크게 희생하지 않는 범위 내에서 스월 강도의 강화를 극대화하며, 실린더 내 유체 유동특성을 조사하여 실린더를 설계함에 있어서 기초 자료를 제공하는 것이 실험의 목적이다.

본 연구에서는 연소실 내의 유동장을 정량적으로 실험하기 위해 정상유동장치를 이용하였으며, 스월강화밸브와 텀블강화밸브로 인한 실린더 내의 유동장의 강화에 주안점을 두었다. 따라서 스월비(swirl ratio)와 텀블비(tumble ratio)의 정량화 기술을 확립하여 유동특성에 대해 알아보았다.

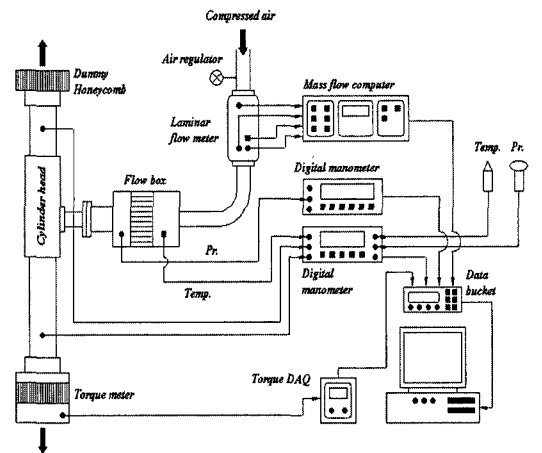
2. 실험

2.1 실험장치

정상유동시험장치는 공기의 유동을 발생시키기 위한 블로워형 공기 압축기(blow type compressor), 공기의 유량을



(a) swirl flow test rig

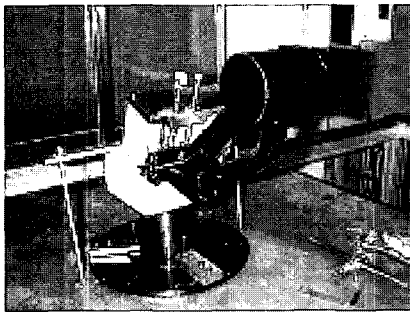


(b) tumble flow test rig

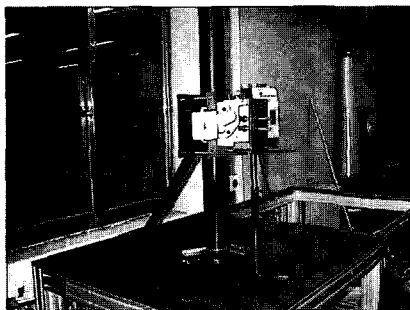
Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

측정하기 위한 층류 유량 측정기(laminar flow meter)와 공기유량 컴퓨터(mass flow computer), A와 B 연소실에 균일한 속도분포를 갖는 공기를 일정한 압력으로 흡입하기 위한 서지탱크(surge tank), 스윙 강도를 측정하기 위한 충격식 토크 측정기(impulse torque meter) 그리고 컴퓨터와 A/D 변환기로 구성된 데이터 처리장치(data acquisition)로 구성되어 있다. 정상유동실험에서 측정할 수 있는 스윙과 텀블은 실린더 내의 거시적인 유동을 종합적으로 합친 값으로 계산되어진다. 따라서 정상유동실험에서 흡기행정 말기의 스윙 및 텀블을 측정하는 방법에는 여러 가지 방식이 사용되고 있으나, 본 연구에서는 허니컴과 로드셀을 이용하여 토크를 구하는 스윙 임펄스식과 일정차압방식을 이용하였다.

2종류의 PDA를 실린더 헤드포트 입구에 장착하여 각각의 조건에서 실린더 내 유동량을 실험하였다. Fig. 1은 포트의 흡기유동에 의한 스윙 및 텀블 강도를 측정하기 위한 구성도로서 (a)는 스윙 측정하는 경우로 먼저 대기압과 와류 측정기 사이의 압력차가 일정하게 유지되도록 하고 흡기 밸브의 양정(valve lift)을 변화시켜 가면서 각각의 유량과 토크 및 온도, 압력 등을 측정하였다. 또한 (b)는 텀블을 측정



(a) swirl flow test rig



(b) tumble flow test rig

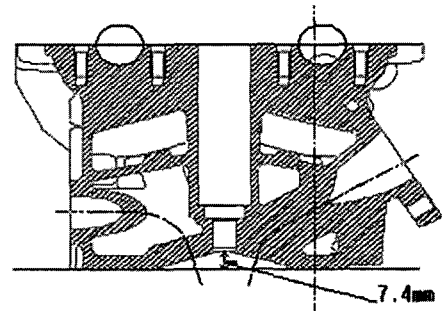
Fig. 2 View of the swirl and tumble flow test apparatus

하는 경우 로서 기관 헤드에 텀블 더미 허니컴을 장착하고 실험방법은 스윙 측정과 같다. Fig. 2는 본 연구에 사용된 실험 장치를 보여주고 있다.

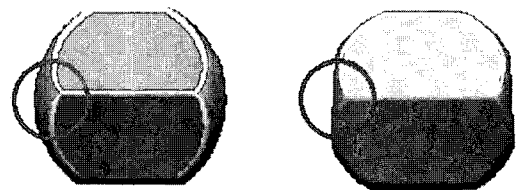
2.2 연소실

본 연구에 사용된 연소실은 모두 2가지이고 Fig. 3은 실험에 사용한 엔진의 연소실 형상⁽⁷⁾의 개략도이다.

연소실은 모두 같은 흡기포트의 형상을 가지고 있으며, 펜트루프형으로서 점화플러그는 중앙에 위치하고 있고 전극으로부터 연소실 밑단까지의 거리는 7.4mm로 설정하였고, 피스톤 크라운까지의 거리는 8.35mm이다. 또한 그림 Side



(a) Side View



Combustion chamber A

Combustion chamber B

(b) Bottom View

Fig. 3 Schematic diagram of combustion chamber

Table 1 Specification of test engine

| Items | Specifications |
|-------------------------|----------------|
| Combustion chambers | A, B |
| Inner seat diameter(mm) | 22.9 |
| valve diameter(mm) | 25.19 |
| Number of cylinder | 1 |
| Seat angle | 45° |
| Maximum valve lift(mm) | 8 |

View에 명시된 바와 같이 연소실은 화염의 전파가 용이한 타입으로 하였고 체적은 압축비 9.30 : 1을 유지하기위해서 설계되었다.

A 연소실은 기본 연소실로서 바깥 라운드 반경을 10mm로 하였고, B연소실은 바깥 라운드 부분을 직각에 가깝게 하였다. 피스톤 헤드형상은 밸브가 닿지 않도록 홈이 파져 있는 평편형이다. 사용된 실린더 헤드의 제원은 Table 1과 같다.

2.3 스월조절밸브(port deactivation valve, PDA)

실린더 내의 유동장을 제어하는 방법으로는 헬리컬 포트(helical port), 슈라우드 밸브(shroud valve), PDA(port deactivation valve), 피스톤 형상의 변화, 위상차 밸브 등 여러 가지 방법이 있다. 본 실험에서는 PDA⁽⁸⁾ 밸브는 두께 0.6mm의 알루미늄 판을 이용하여 제작하였으며, 형상은 Fig. 4와 같다 이는 유량계수의 저하를 최소한으로 하는 기존의 텀블 강도를 최소화 또는 강화하는 조건하에서 스월 강도를 최대로 강화시키려는데 초점을 맞춘 형상으로 PDA는 스월류의 생성이 용이한 스월 강화형(swirl type, PDA)을 선정하여 사용하였다. 개구율은 흡입 공기가 유입되는 부분으로서 전체 포트 면적에 대한 개구부의 면적비를 말한다. 본 실험에 사용된 PDA는 개구율이 50%이다.

2.4 실험방법

실린더 내의 연소유동의 형태는 실린더에 평행하게 운동하는 스월(swirl) 유동과 수직하게 운동하는 텀블(tumble) 유동으로 대표된다. 스월 유동은 회전축이 피스톤 중심축과 일치하므로 폭발과정 후기까지 지속되는 난류생성원이 된다. 그러나 텀블 유동은 피스톤의 움직임에 따라 그 강도와 운동 중심이 변하는 특징이 있어 스월 유동보다 압축말기에 지속되지 않기 때문에 생성된 난류성분은 초기 연소 반응을

촉진시켜 초기 연소 속도를 증가시키지만, 후기 연소에는 큰 영향을 미치지 않는 특징을 가진다. 하지만 스월유동과 텀블 유동은 아직도 어느 쪽이 유리한지 이론적 통일이 되어 있지 않는 실정이다. 스월 측정 시 먼저 대기압과 와류 측정기 사이의 압력차가 일정하게 유지하고 흡기 밸브의 양정(valve lift)을 변화시켜 가면서 각각의 경우에 유량과 토크 및 온도, 압력 등을 측정한다. 밸브 간극의 조절은 피치 1mm의 볼트 나사를 이용하며 한바퀴씩 돌려가면서 1mm~8mm(최대 밸브 간극 7.4mm인 경우)까지 측정하였다. 각각의 밸브 간극에서 공기의 공급은 공기압축기의 회전수를 조정하여 대기와 서지탱크(surge tank; 9ℓ) 내부의 ΔP가 8kPa이 되도록 하였다. 실제 엔진에서 발생하는 공기유동이 난류이므로 위와 같이 설정하였다. 즉, 유량특성을 나타내는 무차원수가 공기유동이 난류일 때는 압력변화에 대한 영향이 상대적으로 적어 공기유동이 완전한 난류를 형성할 수 있도록 하기 위함이다. 따라서 여러 가지 엔진의 유동 효과를 비교 판단하기 위해서는 무차원 된 값이 필요하다. 본 실험에서는 흡입 공기 유량의 측정을 위하여 층류유량계를 이용하였으며 기관의 운전조건에 해당하는 차압을 설정하여 공기를 흡입하였을 때 생겨나는 오리피스 전후 차압(ΔP₂)을 측정하여 구한다. 따라서 오리피스를 통과하는 유량은 베르누이 방정식과 연속방정식(continuity equation)에 의해 다음과 같이 유도된다.

$$p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} + Z_1 = p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + Z_2 \quad (1)$$

연속방정식에 의해 Q = V₁A₁ = V₂A₂ 이므로 이를 식 (1)에 대입하면 V₂는 다음과 같다.

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - (A_2/A_1)^2)}} \quad (2)$$

엔진 포트 유동시험에서 측정 부분인 밸브 부분의 오리피스의 경우는 A₁ ≫ A₂이므로 결국 이상속도는 다음과 같은 식 (3)으로 정의된다.

$$V_0 = \sqrt{2(\Delta p)/\rho} \quad (3)$$

따라서 실제 유량의 측정시에는 노즐 흐름에서 유동손실을 고려하기 위해서 유동계수 α를 구하며, 이에 대한 유동량 계산식은 다음과 같다.

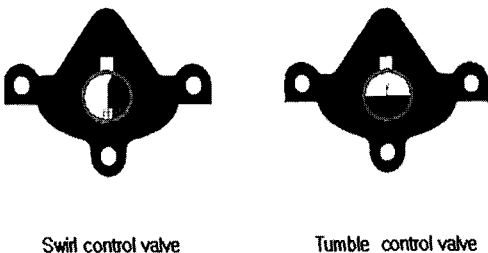


Fig. 4 Schematic diagram of PDA valve(swirl control valve) and tumble control valve

$$Q = \epsilon \cdot \alpha \cdot A_0 \sqrt{2g \cdot \gamma_2 \cdot \Delta P_2} \quad (4)$$

여기서, α : 보정계수

$$\gamma_2 = 1.293 \times \frac{273}{273+t_2} \times \frac{P_2}{760}$$

γ_2 : 실험조건에서의 공기의 비중량(kgf/m³)

$P_2 = P_1 - (\text{mmHg})$

ΔP_2 : 오리피스 전후 차압

$$\epsilon = 1 - 0.54 \times \frac{\Delta P_2}{13.6} \times \frac{1}{P_2}$$

ϵ : 압축성 유체에 대한 비압축성 계수

$$A_0 = \pi \times \frac{d^2}{4}$$

d : 오리피스 직경(m)

$$Q_{th} = S \times \left(\frac{\pi}{4} a^2\right) \sqrt{2g \cdot \gamma_1 \cdot \Delta P_1} \quad (5)$$

여기서, $S = 1 - 0.54 \times \frac{\Delta P_1}{13.6} \times \frac{1}{P_1}$

a : 흡기밸브직경(m)

$$P_2 = P_1 - \frac{\Delta P_1}{13.6} (\text{mmHg})$$

ΔP_1 : 실린더 내의 압력과 대기압의 차압

$$\gamma_1 = 1.293 \times \frac{273}{273+t_2} \times \frac{P_1}{760}$$

γ_1 : 대기의 비중량(kgf/m³)

그래서 이러한 흡입유량을 표시하기 위하여 유량계수는 식 (4)와 식 (5)에 의해 구한다.

$$C_f = \frac{Q}{Q_{th} \times n} \quad (6)$$

여기서, Q : 실제 유입 공기 유량(kg/s)

Q_{th} : 이론 유입 공기 유량(kg/s)

n : 흡기 밸브 개수

또한 각 운동량 산출 방법은 캠 형상을 고려한 흡입 행정에 대한 스웰비 산출 방식을 사용하였으며, 운동량 측정기로부터 비틀림 응력과 흡입공기유량을 이용하여 스웰 및 텀블비를 산출하였다. 와류 외에도 정상유동장치에서 텀블을 측정하는 경우에는 기관 헤드에 텀블 더미 허니컴을 장착하고

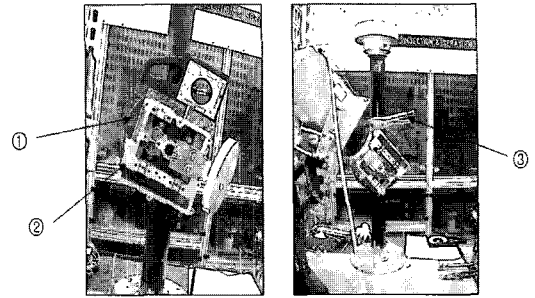


Fig. 5 View of tumble rotation test system

그림 1 (b)처럼 실험을 한다. 이 텀블 튜브는 스웰 측정시의 더미 실린더의 역할을 하며 특히 텀블 운동(motion)이 텀블 튜브의 벽에 부딪혀 상하로 분리되어 스웰 운동으로 바뀌도록 한다. 스웰로 바뀐 유동의 아랫부분은 충격식 토크 상부에 더미 허니컴(Dummy Honeycomb)을 설치하였다. 측정기로 나머지 위쪽 부분은 대기에 노출시키고 상하 압력강하가 똑같이 하기위해 스웰과 동일하며 단지 텀블수 및 텀블비를 구할 때 충격식 토크 측정기에서 측정된 값의 2배를 해주어야 한다.

그리고 PDA의 적용과 같이 좌우 포트가 비대칭인 경우에는 텀블 유동이 각도를 가지게 되므로 Fig. 5에 보여준 것과 같이 회전 평형판을 이용하여 실린더 헤드를 15° 간격으로 회전시키면서 텀블비를 측정하였다. 따라서 측정된 텀블 값 중 가장 큰 값이 나오는 각도가 메인 텀블 유동축이 되며 그 때의 값이 텀블 유동의 최대 텀블 값이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 DOHC 기관의 흡입 유동 특성

설계 과정을 통해서 제작된 Fig. 3과 같은 연소실 형상을 가진 DOHC 기관의 밸브리프트에 따른 흡입 성능을 비교 실험하였다. Fig. 1에 나타난 정상유동실험 장치를 이용하여 측정된 결과를 본 연구에서는 무차원 밸브리프트를 적용 사용하여 Fig. 6~7에 나타낸다. Table 2는 측정된 결과를 정리된 것이다. 각각의 밸브 지름에 대한 밸브리프트의 비(L/D)로서 정의되어지는 무차원 밸브 리프트는 밸브 양정을 무차원하여 밸브의 직경이 서로 다른 기관의 흡기 성능을 밸브의 크기의 영향 없이 정량적으로 비교할 수 있다는 장점을 가지고 있다⁹⁾.

밸브 리프트를 적용하여 평균유량계수, 충전계수 및 텀블비를 비교 실험하였다. 따라서 Fig. 6~7에 나타난 바와 같

Table 2 Results of tumble & swirl ratio on port flow rig test

| Combustion chamber | Tumble Ratio | Swirl Ratio | Cf |
|--------------------|--------------|-------------|-------|
| A | 0.668 | 0.012 | 0.409 |
| B | 0.619 | 0.012 | 0.407 |

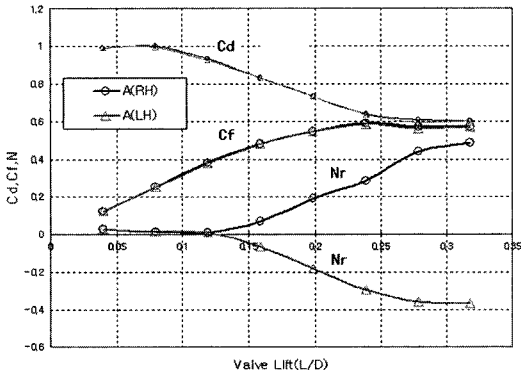


Fig. 6 Cd, Cf and Nr characteristics in A Combustion Port Tumble Test

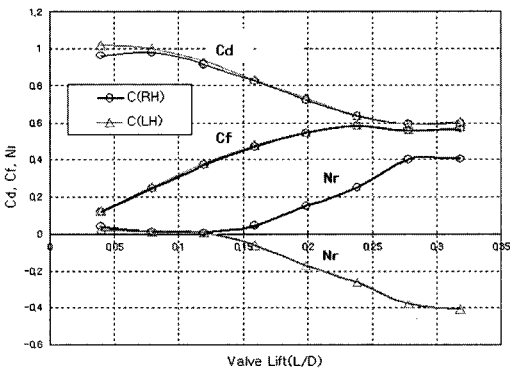


Fig. 7 Cd, Cf and Nr characteristics in B Combustion Port Tumble Test

이 좌우측을 평균한 평균유량계수Cf(mean)는 증가하는 경향을 보이고 있으나, 리프트 6mm(L/D = 0.24) 이상일 때부터는 증가율이 둔화되는 특성을 나타내고 있다. 이는 질식현상(choking)이 발생하고 있는 관계로 더 이상 공기통로 면적이 증가하여도 공기유량의 증가효과를 기대하기 어렵다는 사실을 확인할 수가 있다. 충전계수(Cd)는 밸브의 양정, 밸브 전후의 압력차, 밸브시트각, 밸브의 형태 및 유동 함수이

Table 3 Results of tumble & swirl ratio on port flow rig test

| Rotation Angle | Tumble Ratio | Cf(Mean) |
|----------------|--------------|----------|
| - 45° | 0.634 | 0.225 |
| - 30° | 0.695 | 0.225 |
| - 15° | 0.847 | 0.223 |
| 0° | 0.900 | 0.224 |
| 15° | 0.958 | 0.223 |
| 30° | 0.930 | 0.223 |
| 45° | 0.857 | 0.223 |

다⁹⁾. 실험결과에서 충전계수(Cd)는 유량계수와는 반대로 밸브리프트가 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있고 밸브리프트 무차원 양정비 0.24부터 감소현상이 둔화되어 가는 것이 현저히 나타남을 알 수가 있다. 충전계수 값은 유량에 대한 유효밸브면적을 통과하는 실제 유량값의 비로써 계산한다.

따라서 밸브리프트가 클수록 유효 단면적이 점점 커짐에 따라 충전 계수(Cd)값이 작아지다가 임계 밸브리프트에서부터는 흡입되는 공기의 유량이 거의 변함이 없기 때문에 나타나는 현상이다. 텀블비는 토크와 유량의 함수로써 유량의 영향이 지배적이다. 텀블 유동의 특성은 텀블 튜브를 이용하여 텀블 유동을 측정하기 때문에 정확한 측정을 위해서 헤드의 방향을 좌우로 바꾸어 이를 평균해야한다. 실험결과에서의 텀블비는 낮은 밸브양정에서는 텀블 강도가 적게 발생되고, 밸브리프트가 증가할수록 텀블 강도가 강하게 적용됨을 알 수 있다. 무차원 밸브양정비 L/D=0.290부터는 질식현상(choking)이 발생하여 더 이상 증가현상은 보이지 않는다고 생각된다. 스월값은 A와 B 연소실이 거의 같은 값으로 나와 명시하지 않았다.

3.2 PDA 장착에 따른 흡입유동특성

A 연소실에 PDA를 장착에 따른 유동특성을 파악하기 위해서 평균유량계수 Cf(mean), 충전계수(Cf), 텀블비와 스월비의 변화에 대한 실험을 하였다.

Fig. 6의 실험결과와 대비하여 Fig. 8은 PDA를 적용 시 텀블비는 회전각도에 따라 다르게 나타났으며, Table 3과 같이 15도의 회전각도에서 최대 텀블비를 나타냈다. 또한 평균유량계수는 거의 일정한 값으로 나타냈다. 여기서 결과값은 한쪽 포트를 막고 실험한 값이므로 실험 결과값에 곱하

기 2를 하면 실제 평균유량계수의 값으로 볼 수 있다. 한 쪽 포트를 막고 실험한 것은 포트의 스윙비를 더 크게 하기 위하여 PDA가 달려 있는 포트를 완전히 막고 반대편 포트의 입구부를 일부 막는 방법을 선택하여 시험을 수행하였다.

Fig. 9는 PDA 장착 시 스윙 강도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 따라서 Tumble 유동과 Swirl 유동을 조합해 볼 때 Fig. 10에 보여준 것과 같이 텀블(Tumble) 유동 축에서 스윙(Swirl) 유동 축으로 경사각도(Inclination angle) 60.4° 만큼 기울어진 방향으로 경사 텀블비(Inclined Tumble Ratio) 값이 1.941의 유동이 연소실내에서 형성되는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 12는 Table 3의 데이터를 바탕으로 텀블 회전 각도에 따른 텀블비를 표시한다.

Fig. 12는 흡기 포트의 차단을 약 1/2 정도 가진 PDA 2 밸브(tumble control valve)를 적용을 한 실험한 결과로서,

PDA 2 밸브를 장착하지 않는 경우와 비교분석하면 평균유량계수 $C_f(\text{mean})$ 는 48.6% 감소하고 텀블은 약 10.12% 정도 감소하여 Tumble Flap의 적용에 따른 유동 강화 효과는

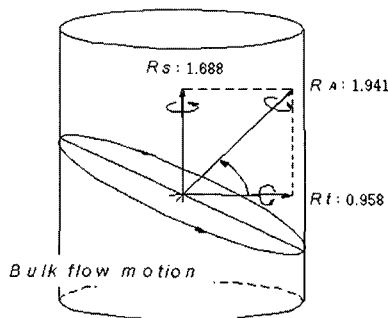


Fig. 10 Schematic diagram of Bulk flow motion

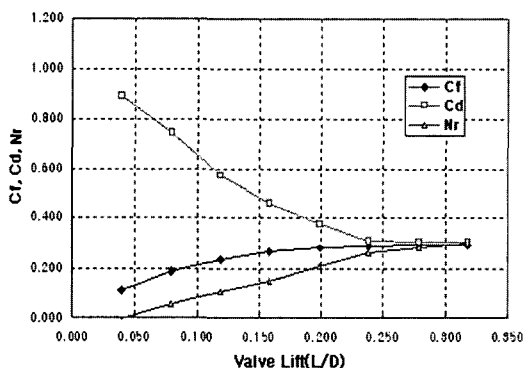


Fig. 8 Cd, Cf and Nr characteristics in A Combustion Tumble test with PDA

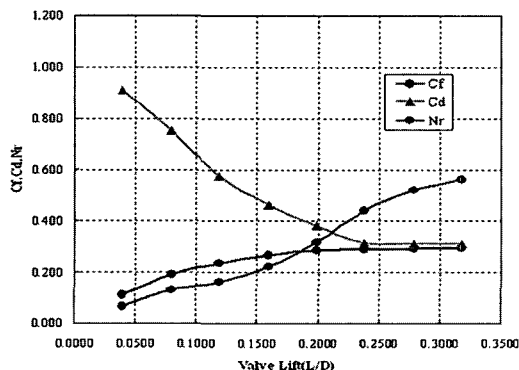


Fig. 9 Cd, Cf and Nr characteristics in A Combustion Swirl test with PDA

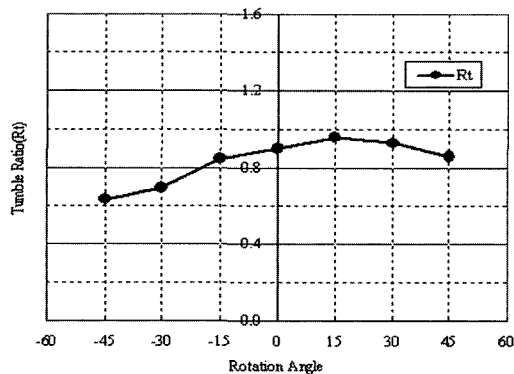


Fig. 11 Comparison of Tumble ratio with Tumble Rotation angle

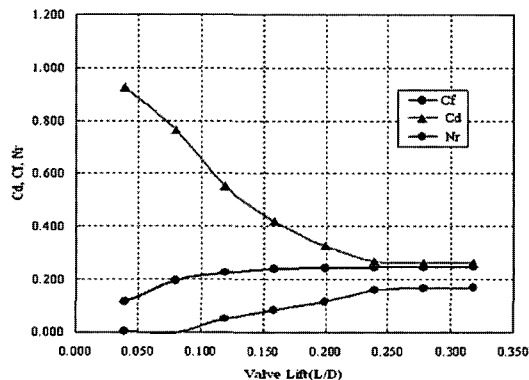


Fig. 12 Cd, Cf and Nr characteristics in Combustion Tumble test with Tumble Flap

없는 것으로 생각한다.

Table 4에 따라 정량적으로 분석하면 PDA를 장착하지 않은 것에 비해 평균유량계수 Cf(mean)값은 54.5% 감소하나, 텀블은 43.4% 증가하였다. 또한 스월비는 개방된 1개의 흡기 포트(Intake port)가 스월 포트로 작용하여 1.688의 스월 유동이 생성 되었다. 평균유량계수 Cf(mean)값이 줄어든 것은 PDA 적용 시 양쪽포트를 모두 열고 실험한 결과가 한 쪽 포트만 열고 실험한 경우의 약 2배가 됨을 알 수 있으며 그 차이는 나머지 한 쪽 포트의 Cf(mean) 값을 의미함을 알

Table 4 Results of port deactivation test

| Test Sample | Tumble Ratio | Swirl Ratio | Cf |
|-----------------------------------|--------------|-------------|-------|
| PDA (non-application) | 0.668 | 0.012 | 0.409 |
| PDA (application) | 0.958 | 1.688 | 0.224 |
| Tumble Control Valve(application) | 0.600 | 0.012 | 0.082 |

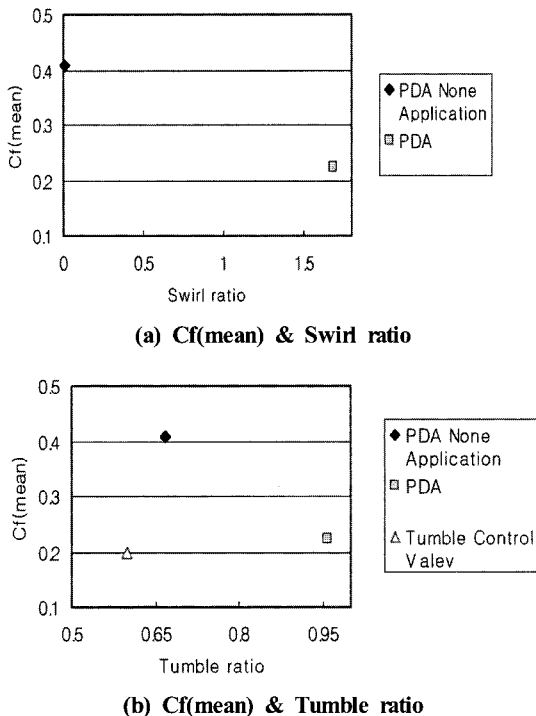


Fig. 13 Comparison of Cf(mean) & Tumble ratio Swirl ratio in variable combustion chamber

수 있다. 따라서 텀블비와 스월비가 증가한 것은 PDA 적용으로 스월유동 및 텀블 강화로 인한 현상으로 생각된다.

Fig. 13은 스월과 텀블 유동의 유량 및 유동특성 실험 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 유량 특성인 Cf(mean)은 오히려 PDA 미적용 일 때가 스월강화밸브(PDA) 및 텀블강화밸브(Tumble control valve) 적용할 때보다 좋게 나타났다. 이는 PDA 및 Tumble control valve로 인해 공기유량이 상대적으로 적기 때문이다. 텀블 유동은 PDA 적용시 가장 많이 나타나 텀블 유동이 커짐을 알 수가 있다.

Tumble control valve 적용 시는 오히려 텀블값이 적어 텀블 유동이 적다는 것을 보여준다. 스월 유동의 경우도 PDA 적용 시가 많이 나타나 스월 강화 유동이 크게 작용하는 것으로 판단된다. 따라서 PDA 밸브를 적용 시, 스월 및 텀블 유동 강화로 인하여 연소의 안정성 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 정상유동장치를 이용하여 스월강화밸브(PDA)와 텀블강화밸브(Tumble Flap)로 인한 실린더 내의 유동장의 강화에 대해 실험하였다. 따라서 스월비(swirl ratio)와 텀블비(tumble ratio)를 측정하여 유동특성에 대한 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

- (1) 유량 및 유동특성 실험 결과를 분석하면, 연소실 내의 바깥라운드 반경을 10mm로 한 연소실이 바깥 라운드 부분을 직각으로 한 연소실보다 텀블비가 커서 텀블 강도가 강하게 적용되고 있음을 나타내고 있다. 평균유량계수는 거의 유사한 값을 보이고 있다. 이는 포트들의 유동저항이 작게 설계되었음을 알 수 있다.
- (2) 회전각도에 따라 텀블비를 실험한 결과, 텀블 유동 회전축이 흡기와 배기 포트 중심선에서 흡기포트 방향으로 15° 일 때가 가장 큰 것으로 나타났고, 텀블 유동과 스월 유동을 조합해 볼 때 경사각도 60.4° 만큼 기울어진 방향으로 텀블비가 더 향상된 것으로 보아 연소실 내의 유동이 회전유동이라는 것으로 판단된다.
- (3) PDA를 장착하지 않은 것에 비해 PDA를 장착한 것이 텀블값 43.3%, 스월값 99.3% 향상됨을 알 수 있다.
- (4) PDA가 Tumble control valve보다 텀블값은 51.3%, 스월값은 상당히 큰 차이로 향상된 것으로 나타나 PDA가 스월 및 텀블 유동 강화로 인하여 유량 및 유동특성에서 성능이 좋은 것으로 나타났다.

참고 문헌

- (1) Endres, H., Neuber, H. H. and Wurms, R., 1992, "Influence of Swirl and Tumble on Economy and Emissions of Multi-Valve SI Engine," *SAE Paper*, No. 920516.
- (2) Kudou, H., Yamamoto, H. and Lida, Y., 1992, "A Study about In Cylinder Flow and Combustion in a Four Valve SI Engine," *SAE Paper*, No. 920574.
- (3) Lee, K. H., 1999, "Development of Impulse swirl/Tumble Meter for Analyzing Swirl and Tumble Flow," *Transaction of Hanyang University*, Vol. 4, No. 1, pp. 241~251.
- (4) Matsushita, S., Inoue, T., Nakanishi, K., Kato, K. and Kobayashi, N., 1985, "Development of the Toyota Lean Combustion System," *SAE paper*, No. 850044.
- (5) Matsushita, S., Inue, T., Nakanishi, K., Okumura, T. and Isogai, K., 1985, "Effects of Helical Port with Swirl Control Valve on the Combustion and Performance of Spark Ignition Engine," *SAE Paper*, No. 850046, pp. 856~868.
- (6) Ricardo, H. H., 1992, "Recent Research Work on the Internal Combustion Engine," *Transaction of Ricardo. Co.*
- (7) Kim, D. Y., Han, Y. C., Jook, S. Y. and Park, P. W., 2004, "A Study on Combustion and Characteristics of Exhaust Gas Properties for Combustion Chamber," *Transactions of KSAE*, Vol. 12, No. 1, pp. 66~73.
- (8) Kim, D. Y. and Han, Y. C., 2004, "An Experimental Study of the Effect of PDA Valve on the Combustion Characteristics of the Spark Ignition Engine," *Transaction of KSMTE*, Vol. 13, No. 3, pp. 104~112.
- (9) Sung, B. G., 2001, "A Study on the optimal combustion chamber configuration and the performance characteristics of 5 valve gasoline engine," An Academic degree thesis of Hanyang University, pp. 67~123.