

소형 고속 SI 엔진에서 SCV의 연비저감 효과에 관한 연구

이승진*[†] · 류정인** · 정동수***

*충남대학교대학원, **충남대학교, ***한국기계연구원

(2005년 3월 4일 접수, 2005년 9월 5일 채택)

A Study on the Decrease Fuel Consumption of SCV in a High Speed Small SI Engine

Seungjin Lee*[†], Jeongin Ryu** and Dongsoo Jeong***

*Graduate School, Chungnam University, 220, Goong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Chungnam University, 220, Goong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

***Korea Institute of Machinery & Materials, 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-660, Korea

(Received 4 March 2005, Accepted 5 September 2005)

요 약

실험에 사용된 엔진은 3000~12000 RPM의 광범위한 회전수범위를 가지고 있어 엔진성능을 향상시키기 위해서는 다양한 제어장치가 필요하다. SCV는 저회전수에서 엔진의 성능을 개선시키기 위한 방법 중의 하나로 자주 언급되어지고 있다. 본 연구에서는 소형고속엔진에 SCV를 장착하여 저회전수 범위에서 SCV가 엔진에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 실험에서는 4valve SOHC 공랭식 단기통 엔진에 SCV의 형상에 따른 스윙 강도, 출력, 연료소비율, 배기가스를 조사하였다. 그 결과 SCV의 사용 가능 범위 5000 RPM에서 연료소비율 9%의 저감효과를 보였다.

주요어 : 분당 회전수(RPM), 스윙 제어밸브, 스윙 강도

Abstract — As an engine has a wide range of RPM (3000~12000 RPM), variable control system is necessary in order to increase engine performance. SCV has been frequently referred to as a possible way to increase engine performance at low RPM. The purpose of this study is to investigate on the influence of SCV, specially at the range of lower revolution, in a high-speed small engine. Experiments were conducted on 4 Valves SOHC/air-cooling single cylinder engine and SCV shapes have been tested for swirl intensity, the performance of power, fuel consumption and emission. As a result, we find to use SCV range be below 5000 RPM which fuel consumption decreased 9%.

Key words : RPM (Revolutions Per Minute), SCV (Swirl control Valve), Swirl Intensity, SOHC (Single Over Head Cam-shaft)

1. 서 론

이륜차의 경우 유럽에서는 EURO III를 2006년부터 실시하여 승용차처럼 단계적으로 배출허용기준을 강화

하고 있고, 국내에서도 2000년부터 배기가스 기준을 강화하기 시작하여 유럽과 같은 규제치로 접근하고 있다.

현재 전체적인 엔진 개발의 방향은 연료절감과 대기 오염저감 등에 초점을 맞추어 진행되고 있지만 일반 자동차와는 달리 이륜차에 사용되는 소형엔진의 경우 높은 출력을 얻기 위해 공연비가 농후한 부분에서 연소될 수 있도록 설계되어져 있다. 이러한 특징을 가진 이륜차엔진은 성능개선이 필요하다. 본 실험에서는 엔진 성능 개선의 일부로서 흡기유동을 변화시키는 방법을 이

[†]To whom correspondence should be addressed.

Graduate School, Chungnam University, 220, Goong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

Tel: 042-868-7310

E-mail: l8253223@empal.com

용하였다.

엔진 실린더 내부로 공기와 연료가 흡입되면 복잡한 유체유동이 유발된다. 이때 발생한 유동 중 실린더 축을 중심으로 하는 와류모양의 유동을 스윌이라 하고 실린더축에 대하여 회전할 때 이 유동을 텀블이라고 한다.

스윌유동과 텀블유동은 회전방향이 일정하게 유지되어 압축과정 중 서서히 난류성분으로 변하기 때문에 이들은 압축, 폭발과정에서 지속적인 난류 생성원이 된다.

흡기관의 유동 변화를 통하여 연소효율을 높이는 방법의 하나인 SCV는 가솔린^{[11]6)}, 디젤기관⁷⁾에서 전반적으로 연구 및 사용되어지고 있다. 특히 SCV는 연비절감과 저배기 규제를 동시에 만족시키는 방법으로도 활용되고 있다⁸⁾¹⁰⁾.

SCV는 강화하려는 유동의 종류에 따라 크게 3가지 형태로 나눌 수 있다. 포트의 좌우 일부를 막는 스윌강화형 SCV, 포트의 상하 일부를 막는 텀블 강화형 SCV, 그리고 두 가지를 조합한 경사텀블형 SCV로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 스윌이 상대적으로 적은 엔진에 SCV를 장착하여 스윌과 텀블이 공존할 수 있고 엔진의 성능을 향상시키는 최적화된 SCV의 형태를 찾으려 하였다.

이론치에 사용되는 소형고속엔진은 광역회전수범위 3000~12000 RPM에서 운전되기 때문에 고속 회전수 사용에 유리하게 되어 있어 중·저속 회전수에서는 최적화가 되어 있지 않고 있다. 따라서 본 실험에서는 자동차에서 고속회전에서는 효과가 없고 오히려 흡기부하를 증가시켜 엔진 성능에 악영향을 주는 SCV를 소형 고속 엔진에 적용하여 SCV의 적용 가능한 범위를 찾고, 저속 회전수 범위 내에서 에너지를 절약할 수 있는 소형 엔진의 성능 최적화 방안을 모색하고자 하였다.

실험에서는 기화기 type SOHC 4밸브 단기통엔진을 사용하여 SCV 형상별 유동 실험, 엔진성능과 연료소비율, 배기가스를 측정하였다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 엔진 사양 및 SCV 형상

2-1-1. 엔진 사양

본 실험에 사용된 엔진은 현재 상용되는 4 Valve SOHC 기화기방식의 소형 가솔린 엔진으로 주요 제원은 Table 1과 같다. 점화방식은 CDI(Capacitor Discharge Ignition) Type을 사용하였다. 실험에 사용된 기화기는 흡입공기량에 의해서 연료가 기화될 수 있도록 되어 있으며, 슬라이드 형태의 스톱틀로 구성되어 있다. 또한, 노즐은 흡입되는 공기가 많으면 연료가 많이 기화되고 흡입 공기량이 적으면 적게 연료가 공급될 수 있도록 설계되어졌다.

Table 1. Engine specifications.

Type	4 cycle SOHC
Number of cylinder	1
Bore×Stroke	56.5×49.5 mm
Displacement volume	124.1 cm ³
Compression ratio	9.7
Cooling system	Air cooling
Ignition timing	15°~28° BTDC
Intake valve open	7° BTDC
close	19° ABDC
Exhaust valve open	33° BBDC
close1	3° ATDC
Valve clearance Intake	0.12 mm
Valve clearance Intake	0.12 mm
Ignition type	CDI
Fuel supply system	Carburettor

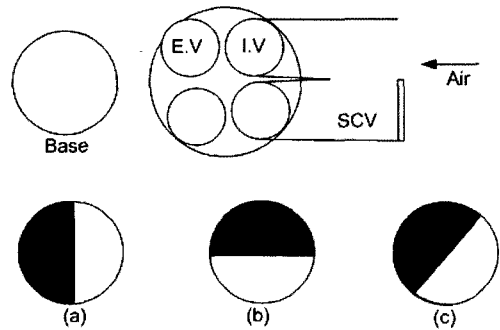


Fig. 1. Schematic diagram of SCV.

2-1-2. SCV 형상

본 실험에서는 SCV가 소형엔진 기관에 미치는 영향을 관찰하기 위해 흡기포트의 일부를 막아 포트내 유동을 변화시켰다. 제작된 SCV는 실제 엔진에서의 유입되는 공기의 유동변화에 미치는 영향을 예측하기 위해서 실험을 수행하였다.

실험에서는 SCV가 있는 경우와 없는 경우를 비교하기 위해 SCV가 없는 상용엔진 상태를 base로 정의하였고, 이 조건을 포함하여 총 4개의 조건에 대해 실험하였다.

2-2. 흡기유동 실험 장치 및 방법

2-2-1. 흡기유동 실험 장치

연소전 실린더내 유동장은 엔진 성능을 지배하는 중요인자로 화염형성 및 연소시간에 영향을 미친다. 본 실험에서는 소형고속엔진에서의 최적 유동을 찾기 위해 SCV가 유동장에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

정상유동실험은 흡기포트로 들어오는 공기량을 일정하게 하는 일정 유량방식과 차압을 일정하게 하는 일정

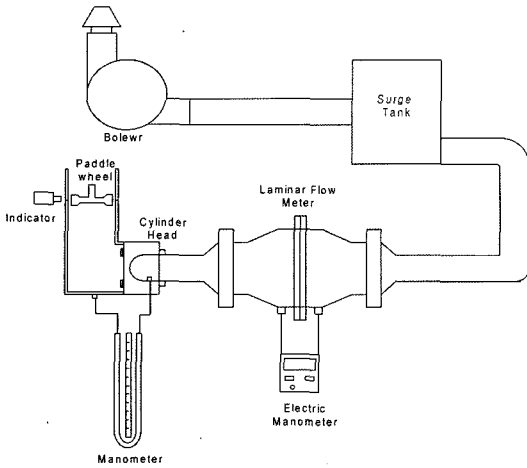


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus for measuring swirl and tumble.

차압방식이 있다. 그리고, 와류강도를 측정하는 방법으로 하니콤파와 로드셀을 이용하여 토크를 구하는 스윙 임펄스식과 패들휠의 각속도를 이용하는 패들휠식이 있다.

본 실험에서는 일정 차압방식과 패들휠식 스윙미터를 사용하여 실린더내의 유동을 해석하였다. Fig. 2는 유량, 스윙강도, 텀블강도 등 정상상태 유동특성을 측정하기 위한 실험장치이다. 흡입공기를 도입하기 위하여 최대정압 1580 mmAq, 11 m³/min의 루츠 블로워(Roots Blower)를 사용하였다.

맥동을 방지하기 위해 서지탱크(Surge Tank)를 사용하였으며 흡기공기량을 측정하기 위하여 층류 유량계(Laminar Flow Meter)를 설치하였고, 압력 값은 Electronic Manometer로 계측하였다.

흡기밸브 전후의 압력차가 일정하게 유지되도록 U자형 마노메타를 설치하여 흡기밸브 전후의 압력차 변동이 없는 조건에서 실험을 수행하였다. 흡기밸브의 길이는 86.3 mm이고, 스텝 직경은 4.9 mm이다.

Fig. 3은 스윙 및 텀블을 측정하기 위해 아크릴 어댑

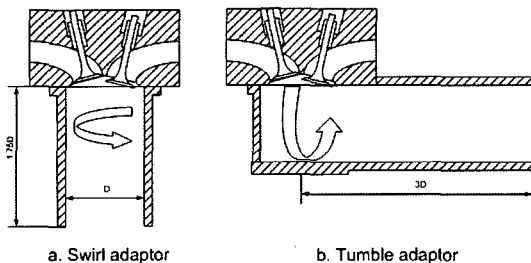


Fig. 3. Schematic diagram of swirl and tumble adaptor.

터이다. 실제엔진의 내경과 같이 지름을 56.5 mm로 하였으며, 유동강도 측정 위치를 스윙인 경우 내경의 1.75배, 텀블의 경우 3배되는 지점에 패들 휠을 설치하였다.

2-2-2. 흡기유동 실험 방법

유량계수, 스윙 및 텀블값은 밸브리프트 1~8 mm까지 1 mm 단위로 실험하였다. 텀블 강도를 정량화하기 위해 텀블 어댑터를 이용하여 텀블 유동을 스윙유동으로 바꾸어 스윙강도 값으로부터 계산하였다. 실험의 각 조건들은 엔진내의 유동이 충분히 난류가 될 수 있게 흡기관과 실린더내 차압이 250 mmH₂O가 항상 유지되는 일정차압 방식을 택하였으며, 이는 통상 정격 회전수의 50%에 해당하는 가솔린 엔진 흡기유량에 해당된다.

본 실험에서 사용된 무차원 와류값(NRS, NRT)은 패들휠의 각속도에 의하여 다음과 같이 정의된다.

$$NRS \text{ or } NRT = \frac{Bw_p}{v_o} \tag{1}$$

여기서, B는 실린더 보어(cylinder bore), w_p는 패들휠 각속도(paddle wheel angular velocity, 2πN_p), 그리고 v_o는 특성속도(characteristic velocity)로 비압축성 조건에서 아래와 같이 정의 하였다.

$$v_o = \left[\frac{2(p_o - p_c)}{\rho} \right]^{1/2} \tag{2}$$

여기서, p_o는 흡기측 압력, 그리고 p_c는 실린더내 압력을 나타낸다.

무차원 와류값을 증가시키기 위해서 항상 제약을 받는 것은 체적효율이다. 통상적으로 와류를 증가시키기 위해서는 유동방향을 변형시킨다. 이때 흡기 면적을 막기 때문에 그 부분을 항상 고려를 하여야 한다. 그래서 이러한 흡기 유량을 표시하기 위해 유량계수를 정의하였다.

$$C_r = \frac{Q}{Av_o} \tag{3}$$

여기서, C_r는 유량계수, Q는 실제공기유량, 그리고 A는 밸브시트 면적을 나타낸다.

앞의 식으로부터 구한 스윙과 텀블의 강도를 유동각도(θ_r)로 아래와 같은 식으로 정의하였다.

$$\theta_r = \tan^{-1} \left(\frac{NRT}{NRS} \right) \tag{4}$$

2-3. 엔진성능실험장치 및 방법

2-3-1. 엔진성능실험장치

Fig. 4는 SCV의 엔진에 미치는 영향을 파악하기 위해 구성된 엔진 성능실험 장치이다. 실험에서는 엔진동

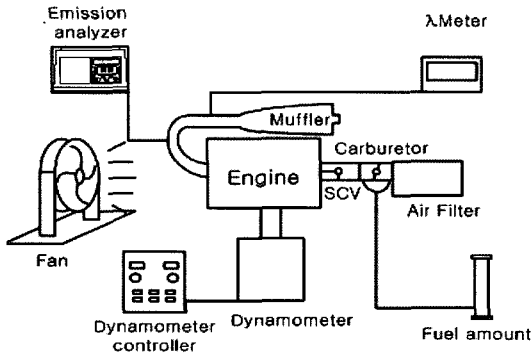


Fig. 4. Schematic diagram of experimental apparatus for measuring engine performance.

력계, 배기가스 분석기, 연료유량계, 열전대, λ 센서 등의 엔진성능 측정장비를 사용하였다. 연료라인을 보면 연료유량계에서 기화기로 보내지며 기화기에서는 분무되어져 연소실로 공급된다.

공기는 Air Filter를 통과하여 기화기로 보내져 연료와 혼합되어 연소실로 공급되어 진다. 동력계는 40 kW 급 Eddy Current Type을 사용하였고, 배기가스 분석기는 Horiba사의 Portable Gas Analyzer를 사용하였으며, λ Meter는 Etas사의 LA4와 광대역 센서를 사용하였다.

2-3-2. 엔진성능 실험 방법

동력계는 속도제어모드로 엔진의 회전수를 조절하였다. 여기서 범위는 3000~10000 RPM까지 1000 RPM의 간격으로 하였다. 엔진 RPM이 높고 Torque가 낮은 관계로 엔진과 동력계사이에 감속비 0.3369의 자체감속기를 이용하여 동력계의 측정 범위에 맞추어 계측하였다. 시동은 엔진의 자체시동기를 사용하였으며 블로어를 이용하여 외부로 배기가스를 배출하였고, 냉각 Fan을 사용하여 엔진을 냉각시켰다. 각각의 SCV의 형상에 따라 WOT(Wide Open Throttle)인 경우의 연료소비량, 배기가스구성, λ 값을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 흡기유동 실험

본 연구에서는 SCV에 대하여 유량계수, 무차원 스월(NRS), 무차원튐블(NRT), 유동 경사각도 등을 측정하였다.

Fig. 5는 무차원 스월(NRS)를 나타내었다. base 엔진은 스월이 전혀 발생되지 않고 있음을 알 수 있고 SCV를 장착한 (a), (b) 경우는 스월 유동이 강화되고 있음을 알 수 있다. SCV(c)인 경우가 가장 강하게 나타나고 있고, (a)인 경우도 비슷한 값을 보이고 있다.

이는 실린더헤드부분 형상이 대칭으로 이루어져 있기

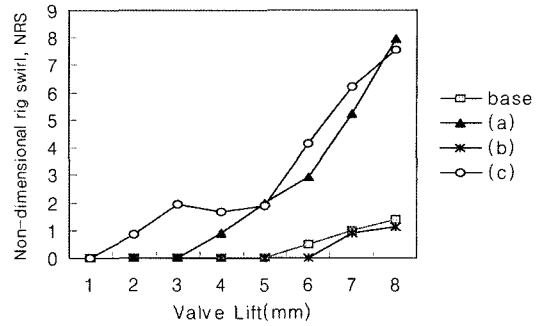


Fig. 5. Effect of SCV on non-dimensional rig swirl.

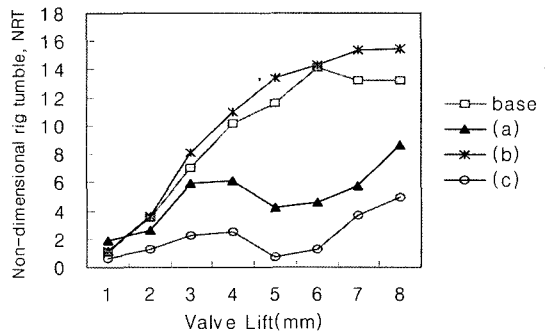


Fig. 6. Effect of SCV on non-dimensional rig tumble.

때문에 base인 경우와 (b)의 경우는 상대적으로 작아짐을 보이고 있다. (c)와 (a) 경우는 비대칭적인 흐름으로 한쪽의 포트에만 유입되어 스월 유동의 회전력이 강화된 것으로 판단된다.

Fig. 6은 튐블을 측정하는 유동 실험장치내에서 발생한 결과이다. 튐블강도를 비교해보면 (b)를 사용하였을 경우가 가장 크게 나타났고, (c)의 경우가 가장 낮게 나타났다. 이유는 (b)의 경우 유동의 흐름을 튐블 강화형, 즉 축을 중심으로 한 상하 회전력을 크게 하는 형태로 바꾸어 강도가 크게 나타났다.

Fig. 7은 유량을 측정된 결과를 나타낸 것이다. a, b.의 경우 모두 최대 밸브리프트에서 유량계수를 base 엔진을 기준으로 비교하면 리프트가 1~2 mm 사이에는 비슷한 유량계수를 보이다가 8m의 경우는 SCV를 사용한 세 경우 모두 50% 이하로 크게 감소하는 현상을 볼 수 있다.

이는 밸브리프트가 1~2 mm일 경우는 SCV의 유동저항의 영향을 받지 않는 것으로 생각되며, 그 이상의 부분에서는 SCV의 유동저항으로 인해 유량이 크게 감소한 것으로 판단된다. 엔진으로 흡입되어 소비되는 공기는 저RPM일 경우 고RPM때 보다 시간당 유입량은 적

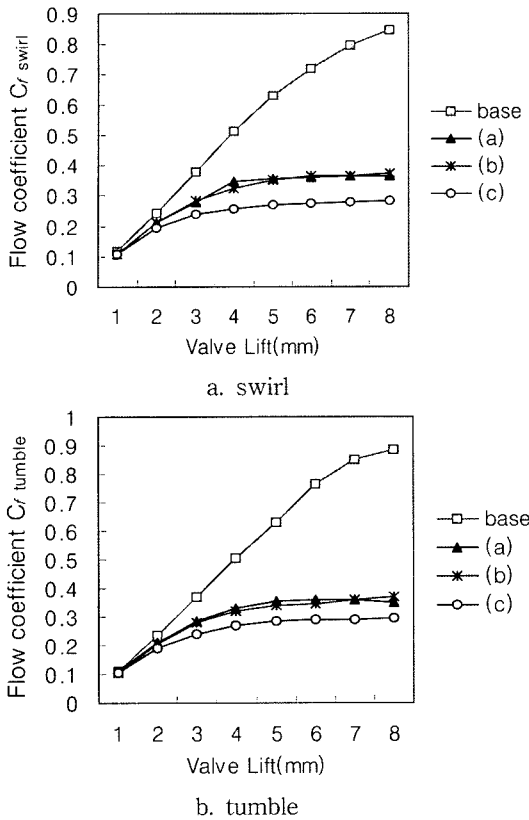


Fig. 7. Flow coefficient of SCV.

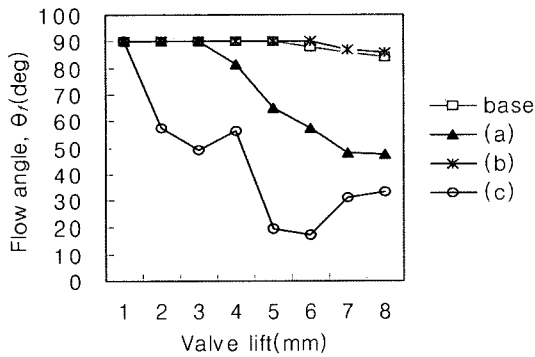


Fig. 8. Non-dimensional rig swirl and tumble.

다. SCV를 사용할 때 일정한 유량이 엔진에 천천히 유입될 경우보다 급속하게 유입되는 경우가 상대적으로 저항을 많이 받는다. 따라서 SCV를 사용할 경우 유량의 감소를 최소화 하면서 스윙, 텀블유동을 최적화가 필요할 것으로 생각된다.

Fig. 8은 유동경사각을 나타낸다. 밸브리프트가 증가

함에 따라 경사각은 점점 작아지는 결과를 보였다. base 엔진의 경우 거의 텀블만 존재하지만 SCV를 장착함으로써 스윙과 텀블이 혼재하는 유동장으로 바뀌어짐을 알 수 있다. base와 (b)의 경우는 텀블이 강한 형태이고 (c)는 텀블에 비해 스윙값이 급격히 증가하는 형태로 나타났다. 이는 텀블에 대한 스윙비가 상대적으로 높게 나타남을 알 수 있다. (a)는 밸브 리프트가 증가함에 따라 텀블 값에 대한 스윙값의 비가 증가함으로써 스윙과 텀블이 혼재하는 유동장이 형성됨을 보인다.

엔진에서의 출력을 증가 시키는 요인들은 유동량과 스윙과 텀블이다. 그 이유는 연소실에 흡입되는 풍부한 연료 및 공기량이 출력을 증가시킬 수 있기 때문이고 연소실에 흡입된 연료와 공기는 빠른 혼합이 이루어져 연소되어야 하기 때문이다. 유동실험 결과 SCV(a) 형태는 유량저항은 있지만 스윙과 텀블이 공존하는 형태로 되어 있어 엔진에서 저속시 흡입될 때에는 효과가 있을 것으로 판단된다.

3-2. 엔진성능 실험

Fig. 9는 WOT인 경우의 PS 값을 나타내고 있다. base 엔진 경우 6000 RPM 이후에서 가장 높은 값을 보이고 있으며 특히, SCV(a)인 경우에는 5000 RPM 이후부터 base 엔진대비 Power 값의 차가 점점 커지는 경향을 나타냈다. 이는 고 RPM으로 갈수록 SCV의 영향으로 흡입되는 연료 공기 혼합기체가 저항을 받아 유량이 적게 유입됨으로 출력이 낮아진 것으로 생각할 수 있다. 하지만 5000 RPM 이하 구간에서는 모든 조건에서 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 유동 실험에서 생각할 수 있듯이 유량이 상대적으로 적을 경우 SCV의 저항은 작은 영향을 준다. 정상유동 실험에서 스윙과 텀블이 혼재하는 부분에서 연료 공기 혼합에 좋은 결과를 준 것으로 생각된다. 5000 RPM 이후에서는 SCV를 열어주기 시작하면 base엔진의 경우와 비슷한 마력을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

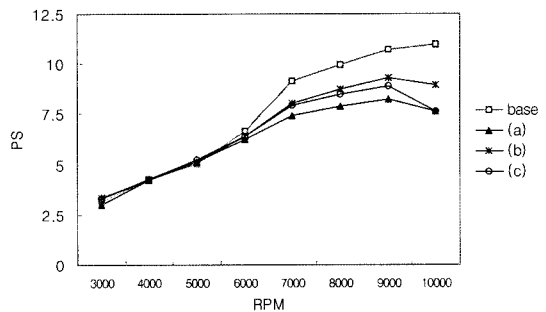


Fig. 9. PS at WOT.

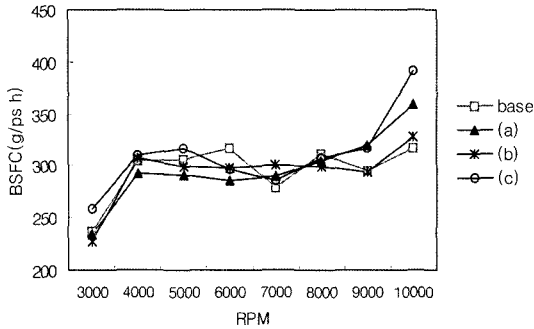


Fig. 10. Specific fuel consumption at WOT.

Fig. 10은 BSFC를 나타내고 있다. base 엔진의 경우가 마력당 연료소비율이 큰 것으로 나타났다. 또한 (c)의 경우는 Fig. 7에서 나타난 것처럼 유량계수가 적어 상대적으로 SCV의 저항이 발생한 것으로 생각된다. (a)인 경우 5000 RPM에서는 base 엔진보다 마력당 연료소비율이 최대 약 9% 정도 낮게 나타났다. 이는 스윙과 텀블의 영향으로 저감된 것으로 생각된다. 아래 그림과 같이 SCV(a)의 경우 연료저감을 통해서 SCV가 실차에 적용될 수 있는 가능성을 나타내고 있다.

Fig. 11은 WOT인 경우 HC 가스의 배출량을 나타내었다. base 엔진의 경우 타조건보다 비교적 HC가 높게 나타났다. SCV(a)인 경우는 적은 HC를 배출하였다. 이는 SCV가 연소환경에 미치는 것으로 판단되며 연소보다 활성화시켜 HC가 상대적으로 적게 발생된 것으로 생각된다. SCV(a)는 5000 RPM에서 base 엔진 대비 6%의 저감효과가 나타났다. 이는 SCV(a)가 공기 연료의 혼합을 촉진 시켜 저감된 것으로 판단된다.

Fig. 12는 WOT인 경우 CO 배출곡선이다. 3000 RPM에서는 모든 조건이 비슷하지만 5000 RPM 이상일 경우에는 배출가스량이 base인 경우가 가장 많이 배출되었다. SCV(a)를 사용한 경우는 6000 RPM일 때 약 30%, 5000 RPM일 때는 20%의 CO 저감 효과를 볼 수 있는

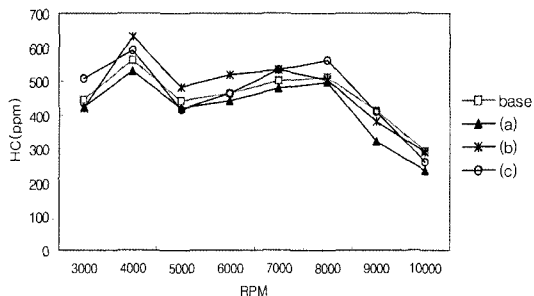


Fig. 11. HC emission at WOT.

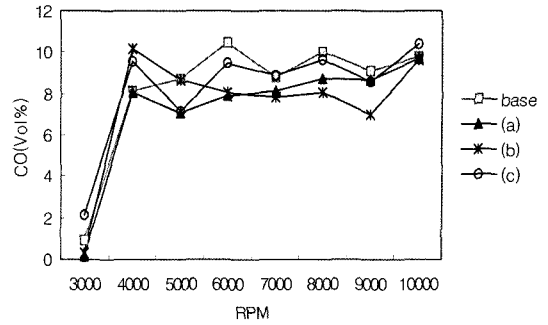


Fig. 12. CO emission at WOT.

것으로 나타났다. 이는 Swirl과 Tumble의 효과가 있다는 것을 추측할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 이론차에 사용되는 124.1 cc 4밸브 단기통 소형 가솔린 엔진의 흡기포트에 SCV를 장착하여 SCV의 형상 변화에 따른 엔진의 성능 실험을 실시하였다. 이 엔진의 성능 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 흡입유동실험을 통해 base 엔진의 경우 스윙강도는 거의 발생하지 않았다. SCV를 사용한 (a)의 경우 스윙은 상대적으로 높은 강도를 나타내고 있으며 텀블은 base 엔진대비 약 50% 수준의 강도를 나타내었다.
- 2) SCV를 장착하여 유동 실험을 한 결과 SCV 부착 시 흡입 저항이 증대되어 흡입 유량이 감소하는 현상을 보였다. 또한, 엔진 성능실험에서 고회전수 영역에서는 SCV의 영향으로 공기의 흡입면적이 감소하여 마력당 연료소비율이 증가하였지만, SCV(a)인 경우 저회전수 영역 5000 RPM에서는 Swirl과 tumble이 공존하는 영향으로 base 엔진보다 좋은 결과를 얻어 최대 연료소비율은 9% 저감되었다.
- 3) 5000 RPM 이하의 경우는 SCV(a)인 경우가 연료소비율이 저감되어 그 이상의 경우는 사용하지 않는 것이 유리하게 나타나 실차에 적용시 저속에서는 SCV(a)를 사용하고 5000 RPM 이상에서 개방하면 연료소비율 절감 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) SCV (a)인 경우 5000 RPM일 때 base 엔진대비 HC는 6%, CO는 약 20% 저감 효과를 보였다.

Notation

- A : Valve seat area
- B : Cylinder bore

C_f : Flow coefficient
 N_p : Number of paddle wheel revolution
 NRS : Non-dimensional rig swirl
 NRT : Non-dimensional rig tumble
 p_c : Cylinder pressure
 p_o : Inlet pressure
 Q : Real air flow rate
 v_o : Characteristic velocity
 w_p : Paddle wheel angular velocity
 θ_f : Flow angle

후 기

본 연구는 2003년 청정생산기술 중대형 과제 지원으로 이루어졌습니다. 이에 관련 기관에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chulho Yu; Taehoon Kim; Juheon Lee; Seokhong Noh; Kyuhoon Choi. "Development of KMC 2.4L Lean Burn Engine", SAE 950685, 1995.
2. Yufeng Li; Shuliang Liu; Shao-Xi Shi; Zhenzhong Xu. "Effect of the Swirl Control Valve on the In-Cylinder Air Motion in a Four-Valve SI Engine", SAE 2000-01-2058, 2001.
3. Jun Harada; Tsutomu Tomita; Hiroyuki Mizuno; Zenichiro Mashiki; Yasushi Ito. "Development of Direct Injection Gasoline Engine", SAE 950685, 1995.
4. Graz, G.T. "Development Work on Value Prots of Four-cylinder Diesel Engines", AVL Roprt No. 128, 1965.
5. 최수진; 전충환; 장영준. "SCV 가솔린 엔진의 운전조건에 따른 희박연소 특성", 대한기계학회논문집(B), 2000, 24(2), 161-168.
6. 정구섭; 전충환; 장영준. "SCV를 장착한 2밸브 SI 가솔린 엔진의 연소특성에 관한연구", 대한기계학회논문집(B), 2001, 25(12), 1692-1701.
7. 이진욱; 강진용; 최승환; 박승철. "SCV형상별 경사턴블유동의 난류증가 특성해석", 한국자동차공학회논문집, 1998, 6(6), 234-242.
8. 최승환; 전충환; 장영준; 이진욱. "4밸브 직분식 대젤 엔진의 SCV 개구율에 따른 흡입유동특성", 한국자동차학회 논문집, 1999, 7(7), 66-75.
9. Kimiyoshi Nishizawa; Sukenori Momoshima; Masaki Koga. "Nissan's Gasoline SULEV Technology", SAE 2000-01-1583, 2000.
10. 한국기계연구원. "환경친화형 이륜차용 4행정 전자제어 연료분사 엔진 개발에 관한 산업분석", 산업자원부, 2003, 34-35.