

가솔린엔진용 포트분사식 인젝터의 분무특성에 관한 연구

이상인* · 이성원* · 박성영†

Study on the Spray Characteristics of a Port Fuel Injector for a Gasoline Engine

Sang-In Lee, Sung-Won Lee and Sung-Young Park

Key Words: Gasoline injection(가솔린 분사), Spray angle(분무각), Spray characteristics(분무특성), Wall wetting(벽류)

Abstract

Fuel spray characteristics of the gasoline engine injector has been studied experimentally. To provide fundamental performance data of 4-hole and 12-hole injectors, spray fuel-mass distribution, wall wetting fuel amount and visualization of injectors have been tested and measured with various fuel supply pressure conditions. Spray visualization has been performed to analyze spray formation, spray angle, stream width and penetration length. Test result shows that wall wetting is greatly influenced by the induction air amount and spray atomization. Spray visualization shows that the 12-hole injector has robust performance characteristics with various fuel supply pressure conditions compared with the 4-hole injector. 4-hole injector generates relatively less wall-wetting fuel amount than 12-hole injector does.

1. 서 론

최근 들어 지구 온난화에 대응하기 위하여 각종 배기 가스 및 연비 규제가 강화되고 있는 실정이다. 이러한 추세에 발맞추어 자동차 엔진에 대한 친환경, 저연비 기술 요구가 급격히 증가하고 있다. 특히 연소 성능에 큰 영향을 미치는 연료의 공급특성은 승용차용 엔진의 대부분을 이루고 있는 가솔린 엔진에 있어 매우 중요한 성능인자 중의 하나이다. 현재 대부분의 자동차용 가솔린 엔진은 전자제어식 포트 연료 분사 기구를 사용하고 있는데, 이는 분무 신뢰성 및 경제성 측면에서 여러 장점을 가지고 있기 때문이다⁽¹⁾.

가솔린 엔진의 연소는 연료의 미립화 특성 및 포트 벽면에 부착되는 연료의 벽류 특성에 큰 영향을 받는다⁽²⁻³⁾. 엔진 회전수의 변동과 같은 흡기포트 내 비정상 유동이 벽류량을 변화시킬 가능성을 배제할 수 없다. 이는 다량의 벽류 생성에 의하여 실린더내의 불완전 연소를 초래할 수 있으므로, 분무장치와 흡기포트의 최적화가 이루어져야 분사시스템이 최적의 성능을 발휘할 수 있다⁽⁴⁻⁵⁾. 따라서 흡입되는 공기의 비정상 유동에 대한 강건한 설계가 이루어져야하며, 분무의 거동특성이 우수해야 엔진의 성능 향상 및 배기가스 저감의 목적을 이룰 수 있다.

본 연구의 목적은 승용 가솔린 엔진에 적용되는 4홀 인젝터와 12홀 인젝터의 분무특성을 비교, 분석하여 인젝터 선정에 위한 기초 데이터를 제공하는데 있다. 분무특성을 비교하기 위하여 분무질량 분포를 측정하고, 분무발달과정, 분사각, 분무도달거리를 가시화하고 분석하였다. 또한 흡입공기량 변화에 따른 벽류량을 측정하고 분석하였다.

(2010년 1월 20일 접수~2010년 5월 25일 심사완료, 2010년 6월 29일 게재확정)

*공주대학교 일반대학원 기계공학과

†책임저자, 회원, 공주대학교 생산기술연구소

E-mail : sungyoung@kongju.ac.kr

TEL : (041) 521-9275

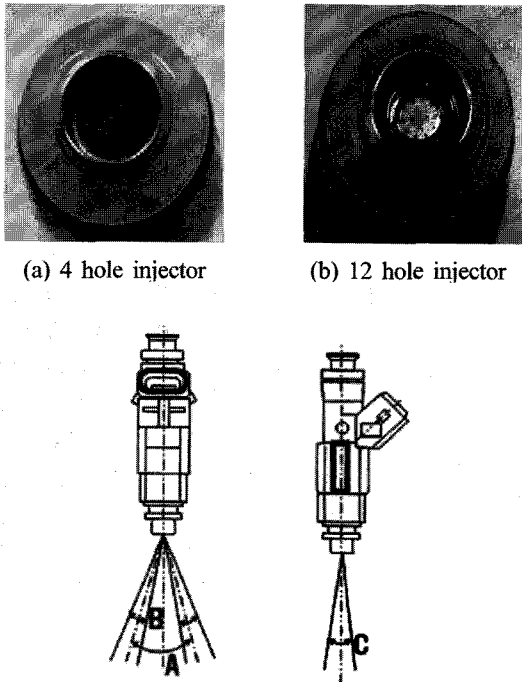
2. 실험 방법 및 장치

2.1 인젝터

본 연구에 사용된 인젝터는 2000 cc급 가솔린 엔진용으로 4홀 및 12홀의 분무홀을 가지고 있으며 Fig. 1과 같이 4홀 인젝터는 분무홀이 인젝터 중앙에 2×2형태로 위치하여 있고 12홀 인젝터는 10개의 분무홀이 원형으로 그리고 2개의 분무홀이 중앙에 배치되어 있다. 인젝터는 연료 분사시 분류 분리각 A, 정면 분무각 B 그리고 측면 분무각 C로 설계되었다. 설계기준에 의하면 4홀 인젝터 대비 12홀 인젝터의 정면 분무각 B와 측면 분무각 C가 2° 더 크다. 두 인젝터 모두 분당 최대 가솔린 연료 분무유량은 210 g 이다.

2.2 분무 질량 분포 실험장치

거시적 관점에서 분무특성을 파악하기 위하여 Fig. 2



	4 hole inj.	12 hole inj.
Angle A	15±4°	15±4°
Angle B	10°	12°
Angle C	10°	12°

(c) Designed spray angle specification

Fig. 1 Tested Injectors

와 같이 분무질량분포 측정장치(Patternator)를 구성하였다. 분무질량분포 측정장치는 직경이 4 mm인 원형 셀을 400(20×20)개 가공한 측정판에 분무된 연료가 포집되도록 제작하였고, 포집판과 포집시험관 사이는 내경 3 mm인 무색 플라스틱 튜브를 이용하여 연결하였다. 연료의 분사압은 별도의 전원공급장치를 통하여 제어하였다.

2.3 가시화 실험장치

각 인젝터의 분무압력에 따른 분무발달과정, 분사각 및 분무도달거리의 변화량을 측정하기 위해서 Fig. 3과 같은 가시화 실험장치를 구성하였다. 촬영은 암실에서 분무영상을 취득하였으며 각 인젝터의 분무발달과정을 확인하기 위하여 분무 개시후 0.5 ms 간격으로 촬영하였다.

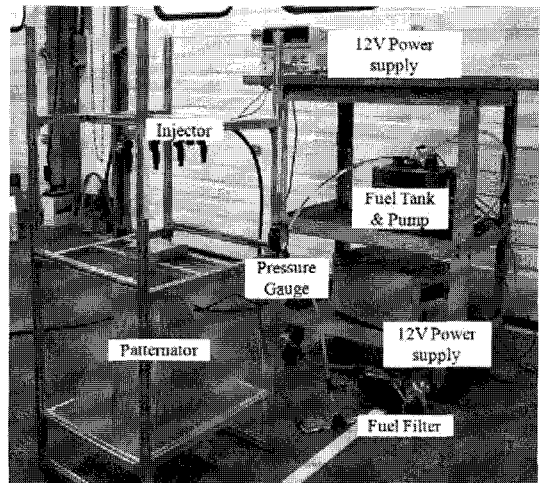


Fig. 2 Spray patternator measuring spray mass distribution

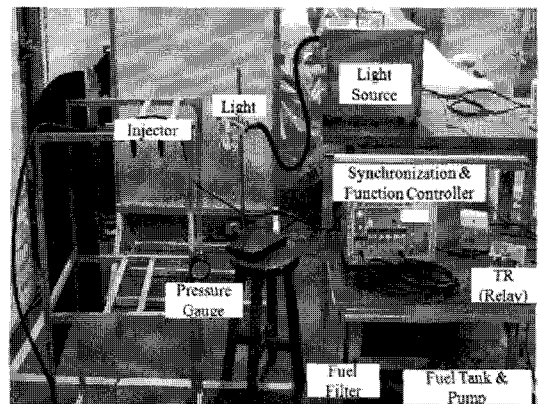
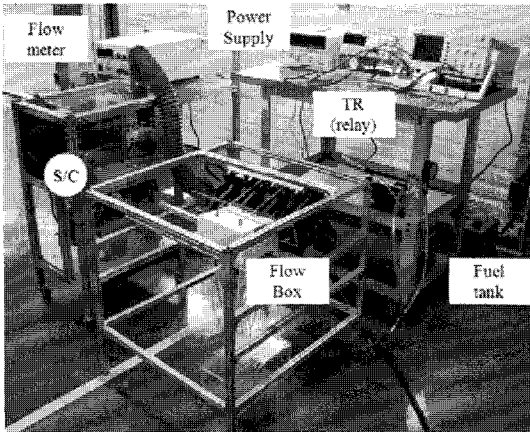
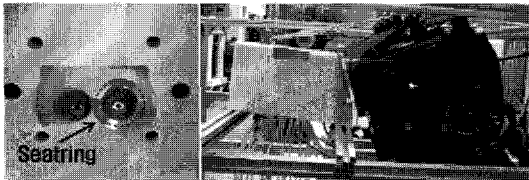


Fig. 3 Equipment spray visualization



(a) Wall wetting measuring equipment



(b) Flow box and intake-manifold

Fig. 4 Experimental equipment for measuring fuel wall wetting

2.4 벽류측정 실험장치

벽류량은 인젝터의 미립화 정도 및 흡기의 속도 등에 많은 영향을 받는다. 각 인젝터의 미립화 및 흡기속도에 따른 벽류를 측정하기 위해서 벽류 실험장치를 Fig. 4(a)와 같이 구성하였다. 벽류측정의 편의를 위하여 실제 차량의 흡기포트와 같은 형상으로 제작된 플로우 박스를 흡기매니폴드에 장착하였으며, 벽류 측정을 위해 제작된 특수한 밸브시트링을 Fig. 4(b)와 같이 장착하였다. 밸브시트링은 24개의 벽류 포집관을 장착될 수 있도록 홀이 가공되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 분무질량분포 측정결과

동일 조건에서 분무질량분포 특성을 분석하기 위하여 인젝터 끝단과 포집관의 거리를 150 mm로 설정하였으며 분무 압력은 3.0 및 3.5 bar로 가압하였다. Fig. 5는 분무질량분포 측정결과를 보여주고 있으며, 4홀 및 12홀 인젝터 모두 압력변화에 대한 분포특성의 차이는 미미한 것으로 판단된다. 12홀 인젝터 대비 4홀 인젝터의

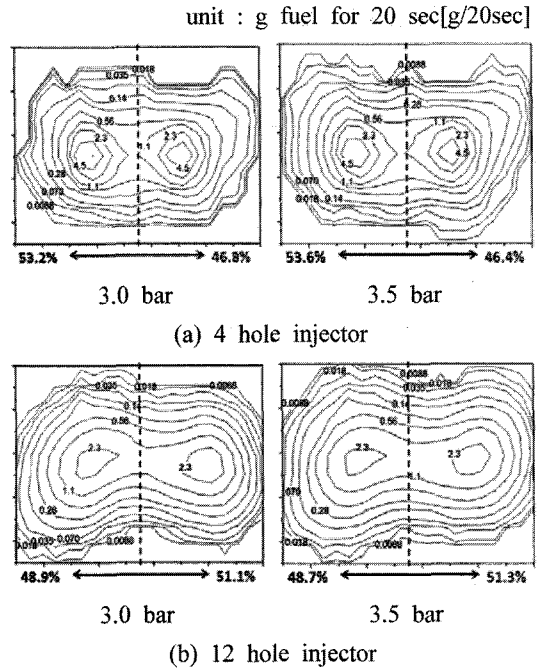


Fig. 5 Spray fuel-mass distribution characteristics

경우 등분포선의 기울기가 급격하게 변화하며, 질량분포가 좌우 두 중심에 집중되고 있다. 또한 4홀 인젝터는 분무 중앙에서 좌우의 질량분포가 3%이상의 차이를 보이나 12홀 인젝터에서는 약 1.3% 차이를 보인다. 따라서 12홀 인젝터가 4홀 인젝터 대비 대칭적 분무특성이 우수하며, 넓고 고른 분무형태를 보여주고 있다.

3.2 인젝터별 분무특성 및 가시화 분석

동일한 연료공급압력에서 시간에 따른 4홀과 12홀 인젝터의 분무 발달과정을 가시화하여 Fig. 6에 보여주고 있다. 실험된 인젝터 모두 분무 분리각이 두 방향으로 분리되면서 분무가 발달되고 있다. 또한 4홀 인젝터의 분무 도달거리는 12홀 인젝터 대비 더 긴 것을 확인하였다.

분무 압력별 인젝터의 분사각을 표 1에 나타내었다. 4홀 인젝터 대비 12홀 인젝터는 정면 분무각(B)와 측면 분무각(C)이 2° 이상 크게 나타났으며, 분류 분리각(A)는 3° 이상 큰 것을 볼 수 있다. 4홀 인젝터는 3 bar 이하에서 정면 분무각이 크게 증가되는 반면 12홀 인젝터는 3 bar 이상의 분무압력에서 정면 분무각의 증가를 보이고 있다. 4홀 인젝터의 측면 분무각은 분무압력 변화에 변동이 없으나, 12홀 인젝터의 측면 분무각은 3 bar 이상

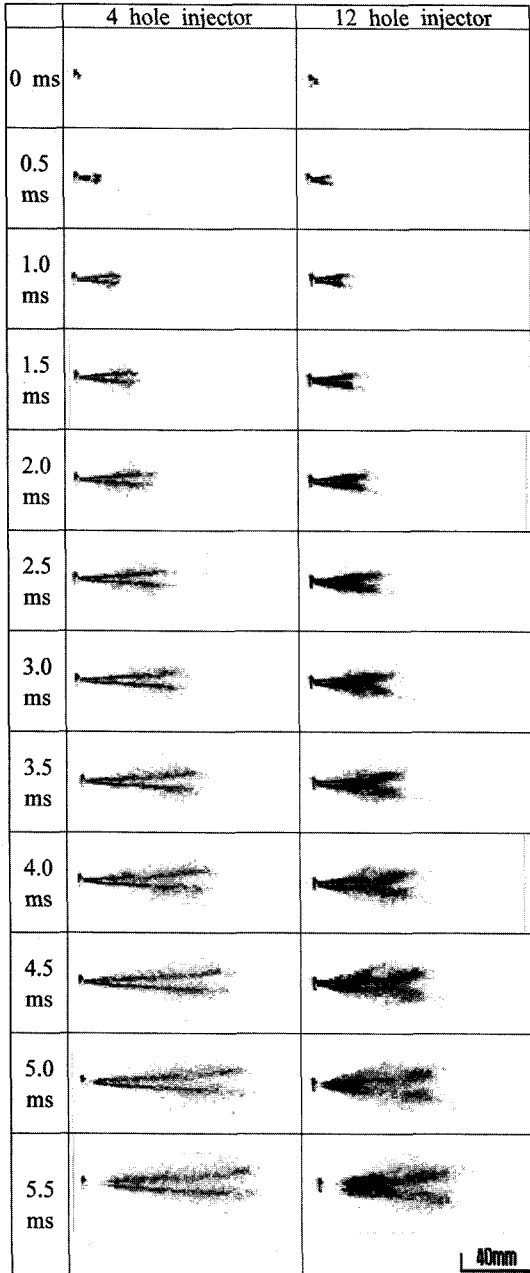


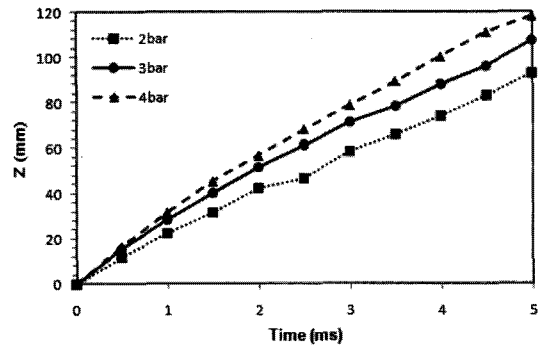
Fig. 6 Spray visualization (Fuel supply pressure : 3.0 bar)

에서 분무각이 증가하고 있다.

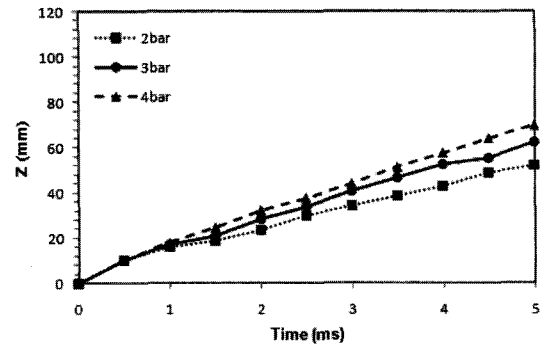
Figure 7은 분무 도달시간과 분무 중심축 방향의 거리를 연료분무 압력별로 분류한 그림이다. 4홀과 12홀 인젝터 모두에서 분무압력이 커짐에 따라 입자 이동 속도가 증가하였으며, 도달거리가 분사시간에 따라 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 분무압 3 bar, 분

Table 1. Measured spray angle

	4 hole injector			12 hole injector		
	A	B	C	A	B	C
2 bar	16°	6°	10°	19°	11°	12°
3 bar	16°	10°	10°	19°	12°	12°
4 bar	16°	11°	10°	20°	15°	14°



(a) 4 hole injector

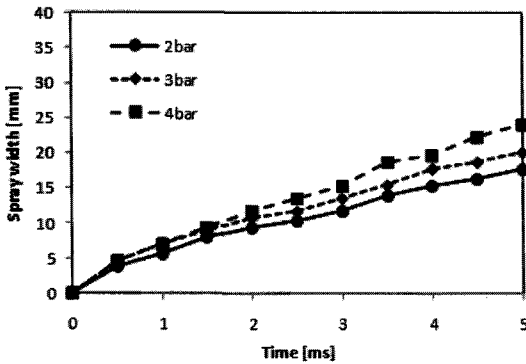


(b) 12 hole injector

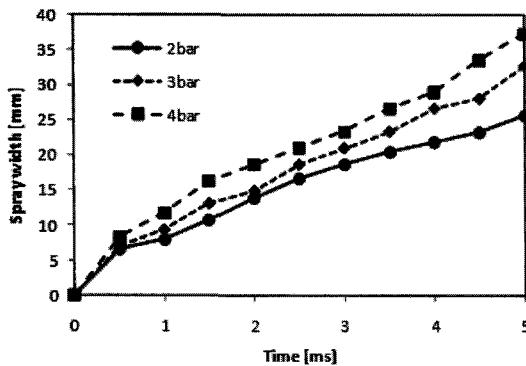
Fig. 7 Spray penetration length

무 시작후 3 ms에서 4홀 인젝터의 분무속도는 23.9 m/s로 12홀 인젝터의 13.5 m/s보다 76% 높은 것으로 나타났다.

Figure 8은 시간에 따라 변하는 분류 분리각 A를 확인하기 위하여 인젝터별 연료분무압력에 따른 분무폭을 시간에 따라 측정하였다. 측정 방법은 각도가 아닌 시간 별 분류 분리각의 거리를 측정하였다. 4홀과 12홀 인젝터 모두에서 연료분무압력이 증가함에 따라 분무폭이 증가하였고, 연료분무압력 2, 3 및 4 bar에서, 12홀 인젝터는 4홀 인젝터 대비 분무폭이 평균 45%, 63% 및 55% 증가하였다.



(a) 4 hole injector



(b) 12 hole injector

Fig. 8 Spray width variation

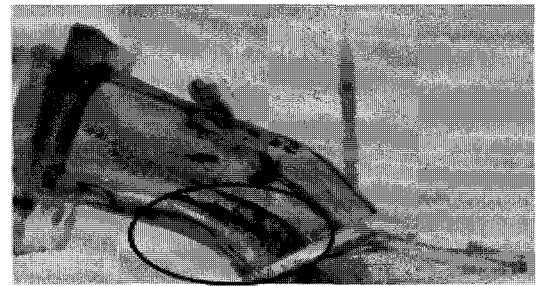
3.3 벽류량 분포 특성

분무된 연료가 흡기포트 내벽에 충돌하여 생성되는 벽류를 정량적, 가시적으로 확인하기 위하여 포트 가시화 실험과 벽류량 측정 실험을 수행하였다. Fig. 9는 흡입공기량이 0 l/min일 때 4홀과 12홀 인젝터의 흡기포트 가시화 실험결과를 보여주고 있다. 4홀 인젝터 및 12홀 인젝터 모두에서 분무된 연료가 포트내벽 하부에 직접 충돌하는 것을 가시적으로 확인하였다. 흡기포트 내벽 하부에 충돌하는 연료에 의하여 벽류가 발생하고 있으며, 4홀 인젝터 대비 분무각이 큰 12홀 인젝터의 벽류량이 많을 것으로 예측된다.

흡기포트 가시화 실험을 통하여 확인된 벽류 발생을 정량적으로 측정하고, 흡입공기량의 변화가 벽류량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 흡기속도 변화에 따른 4홀 및 12홀 인젝터의 벽류를 측정하여 Fig. 10에 나타내었다. 인젝터 구동진동수는 40 Hz이고, 분무시간과 분무정지시간은 5 ms, 20 ms로 설정하였다. 측정



(a) Before the spray



(b) 4 hole injector



(c) 12 hole injector

Fig. 9 Fuel spray visualization of the intake port

시간은 실험오차를 줄이기 위하여 30초로 설정하였으며, 벽류량 측정용 밸브시트링에 포집된 연료의 질량을 측정하였다. 투명 포트 가시화 실험에서 확인한 바와 같이 4홀과 12홀 인젝터 모두 대부분의 벽류가 흡기포트 하부에 생성되었고, 흡기 유동 속도가 증가함에 따라 벽류가 감소하였다. 여기서 주목할 점은 4홀 대비 12홀 인젝터의 벽류량이 더 많다는 점이다. 이러한 현상은 12홀 인젝터의 전면 분무각이 약 4° 정도 크고, 미립화되는 연료입자의 크기가 상대적으로 작기 때문에 벽면에 부착되는 연료량이 증가한 것으로 판단된다.

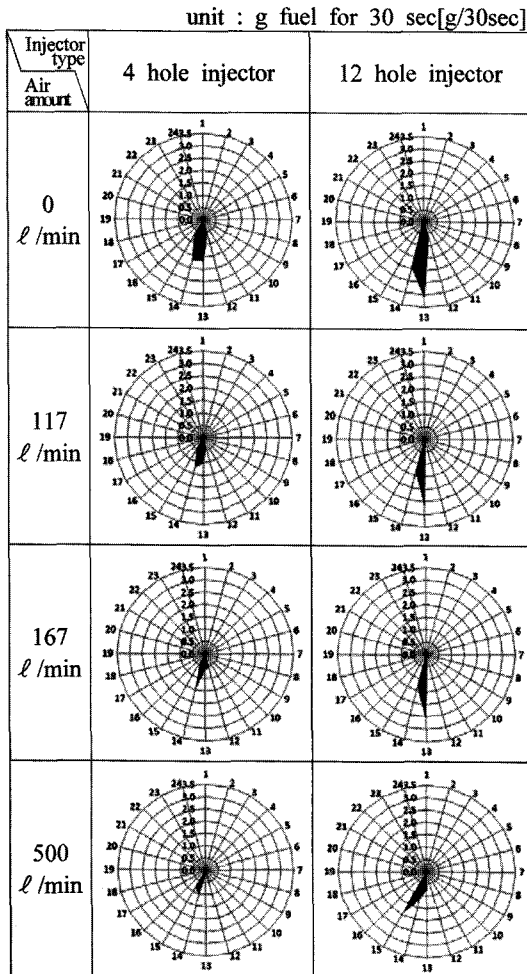


Fig. 10 Wall wetting fuel mass according to intake-air amount variation

4. 결 론

본 연구를 통하여 분무 질량 분포 실험, 분무 가시화 실험 그리고 흡기 유속 변화에 의한 벽류량 측정 실험을 통하여 다음과 같은 결론 및 효과를 얻을 수 있었다.

1) 분무 질량 분포 및 분무 가시화 실험 결과 4홀 인젝터 대비, 12홀 인젝터가 고른 분무 특성을 보였으며, 주어진 분무 압력에서 분무 압력에 의한 분사각과 분무 도달 거리의 변화량은 미소하였다.

2) 벽류량은 연료의 미립화와 흡기 유동에 큰 영향을 받는다. 연료의 미립화가 우수할수록 벽류는 증가하였고, 흡기량이 증가할수록 벽류량은 감소하였다. 벽류량 감소 측면에서는 4홀 인젝터가 12홀 인젝터 대비 우수한 벽류 특성을 보였다.

이러한 분무 가시화 실험과 벽류 측정 실험 결과는 흡기 포트 설계 및 인젝터 장착 위치 선정 시 유용한 기초 데이터로 활용될 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 지식경제부의 성장동력 기술개발사업(10024897-2008-21) 연구비에 의해 수행된 연구 결과의 일부로써, 관계기관에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) K. H. Lee, C. S. Lee, J. W. Chung, "A Study on the Fuel Behavior Characteristics Injected in the Intake Pulsating Air Flow", Transaction of KSAE, Vol.7, No.1, 1998, pp. 50~58.
- (2) M. K. Yoon, J. S. Lee, J. I. Ryu, "A Experimental study on the characteristic of Spray for 6 hole Gasoline Injector", 2001 KSAE Spring Conference Proceedings, 2001, pp.3~9.
- (3) B. G. Kim, K. H. Lee and C. S. Lee, "A Study on the Visualization Technique for Fuel Behavior and Fuel-Film Formation in the Intake Port of a S.I. Engine", 1997 KSAE Spring Conference Proceedings, 1997, pp. 47~52.
- (4) K. H. Lee, "A Study on the Fuel Behavior Characteristics in EGI Gasoline Engine", KOSEF 961-1005-039-2, 1998.
- (5) S. W. Lee, S. I. Lee, and S. Park, "Experimental Study on the Wall-Wetting Formation and Spray Characteristics of Gasoline Engine Injector", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 2009, pp. 539~542.