

다공 스토클밸브 장착 가솔린기관의 성능 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Gasoline Engine Performance Equipped with Perforated Throttle Valve

조 병 옥*, 이 창 식**

B. O. Cho, C. S. Lee

ABSTRACT

In an fuel injection type gasoline engine, atomization of fuel droplet and mixture formation process are very important to understand engine combustion efficiency, and also has influence directly on the decision of engine performance and pollutant emission. In this study, perforated throttle valve instead of solid type throttle valve was developed and equipped to an SPI engine to promote secondary atomization and good droplet-air mixture formation.

From the engine performance test, it was verified that the case of perforated valve has more advantages in each experimental parameters such as in cylinder gas pressure, mass burnt ratio, fuel consumption rate, and pollutant emission characteristics than that of solid one equipped. No matter what the same perforated valve, there are some distinct results in engine performance characteristics according to the perforate ratio.

주요기술용어 : Fuel Spray(연료 분무), Secondary Atomization(2차 미립화), Perforated Throttle Valve(다공 스토클밸브), Engine Performance(기관 성능), Mixture Formation(혼합기 형성), Perforate Ratio(구멍비)

1. 서 론

최근 가솔린기관 개발의 연구 동향은 고성능, 고출력화와 함께 저연비 및 공해물질 배출의 저감화에 두고 있으며, 이를 실현하기 위한 연구가 다각적으로 모색되고 있다.^{1,2)} 연료분사식 가솔린기관에서의 연소는 흡기계를 포함하는 기관 구조 및 혼합기 형성시스템에 따라 다소 차이는 있으나, 연료 분무 액적의 입경과 혼합기의 질, 그리고 흡기관이나 밸브에 부착되는 벽류 등에

따라 그 특성을 달리하며, 연소후 배출되는 배기가스의 성분에도 밀접한 영향을 미친다.

전자제어 장치를 이용하는 연료분사식 기관에서는 운전상태와 조건에 따라 이상적인 연료량을 계량, 분사하므로써 종래의 기화기식 기관보다 출력이나 공해물질 배출 등의 면에서 많은 이점이 있으나, 벽면 부착 액막류나 불완전 연소에 기인한 미연 가스 배출 등의 문제가 여전히 남아 있으며³⁾, 특히 혼합기의 도입길이가 긴 일점분사(single point injection)식 기관의 경우는

* 정희원, 한양대학교 대학원

** 정희원, 한양대학교 기계공학과

그 정도가 더 심한 것으로 알려지고 있다.

기관 연소효율을 향상시키기 위해서는 연료중 기로의 증발이 신속히 이루어지도록 액적의 충분한 미립화와 아울러 균질한 분포의 혼합기 조성이 필요하다. 기관에 설치되는 인젝터는 오리피스와 지름과 구조, 핀들의 유무 및 형상, 분사 압력 등에 따라 액적의 고유 평균입경, 이른바 한계입경이 결정된다. 보다 작은 크기의 액적을 얻기 위해서는 2차 미립화 장치나 방법을 이용하며, 공기보조식 분사기⁴⁾, 초음파 무화기^{5,6)} 및 충돌 무화방식⁷⁾ 등을 그 예로 들 수 있다.

본 연구에서는 새로운 2차 무화 및 혼합기 생성장치로서 다공 스톨밸브를 설계, 제작하고 SPI기관을 모델로 실린더 내의 가스 압력, 질량 연소율, 연료 소비율 및 배출가스 등을 측정, 무공 스톨밸브 장착시와 비교하여 실용성이 있는지의 여부를 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 기관

실험에서 사용한 기관은 OHC식 4행정 4실린더로서 배기량은 1498cc 인 SPI식 기관이다. 실험장치는 동력계, 연료 소비량 측정계, 배기가스 분석장치, 고압 압력 변환기, A/D 컨버터, 크랭크각 검출기 및 PC 등을 Fig. 1 과 같이 구성하였다.

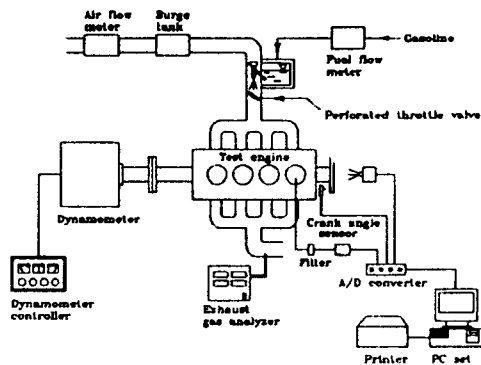


Fig. 1 Schematic diagram of engine test apparatus

2.2 다공 스톨밸브

SPI기관에서 인젝터 바로 아래쪽에 설치되는 기존의 스톨밸브는 무공으로서 단순히 공기의 양이나 혼합기 조절 기능만을 가지는 반면에 본 연구에서 선택한 다공 스톨밸브는 구멍비와 스톨 개도에 따라 다소 차이는 있으나 밸브 주위의 유속과 밸브에 가공된 구멍을 통과하는 유속차에 기인한 전단의 작용으로 전단 분열이 발생하여 Sauter 평균 입경이 무공 스톨밸브를 장착한 경우보다 10 ~ 20 μ m(10 ~ 25%) 가량 더 작은 크기로 분열되었고, 단위 공간에서의 총 생성 입자수도 액적 재분열의 결과로 약 2배 정도 더 많게 나타났다.⁸⁾ 또한, 다공 스톨밸브는 밸브 후류에서 형성되는 재순환 영역의 크기를 줄이고 액적과 공기와의 혼합 구역을 확대하며 벽면 부착유량을 감소시키는 효과도 있는 것으로 나타났다.⁹⁾

본 연구에서는 무공 스톨밸브와 구멍비가 각각 다른 3개의 다공 스톨밸브를 선택하여 무공 밸브와 다공 밸브의 비교는 물론, 다공 밸브 중에서도 구멍수에 따른 구멍비가 기관 성능에 미치는 영향도 함께 관찰하고자 하였다. 각 밸브에 가공된 구멍의 지름은 공히 1mm 이고, 여기서 정의한 구멍비(PR)는 밸브 면적에 대한 구멍의 면적비로서 밸브 면적과 구멍 면적을 각각 A_v 와 A_h 라고 할 때, $PR = A_h / A_v$ 이며, 특히 본 연구에서와 같이 원형 단면의 밸브인 경우에는 밸브의 지름과 구멍의 지름을 각각 D 와 d 라 하고, 구멍수를 n 이라 할 때, $PR = n(d / D)^2$ 와 같다. Fig. 2는 다공 스톨밸브의 형상을 나타내며, 스톨밸브의 구멍수와 구멍비를 Table 1에 나타내었다.

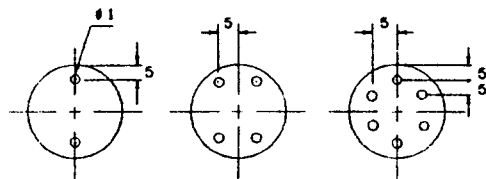


Fig. 2 Geometry and dimension of perforated throttle valve

Table 1 Perforate ratio of test valves

Valve type	No. of holes	PR(%)
Solid valve	0	0
2 hole valve	2	0.1385
4 hole valve	4	0.2770
6 hole valve	6	0.4155

2.3 실험 방법

실험 기관의 운전조건은 냉각수 유량계를 조절하여 출구의 온도가 75 ± 1 °C로 일정하게 유지하고, 기관 회전 속도는 1200rpm, 2000rpm 및 3000rpm으로 변화하였다. 스톱밸브의 개도는 각각의 기관 회전 속도에 대하여 실제 작동시 자주 사용되는 범위로써 0° 부터 30° 까지를 주 관찰 개도도로 하였다.

각 조건에서의 데이터 취득은 샘플링 사이클 수를 100개로 하고, 여러 차례 반복 실험을 하

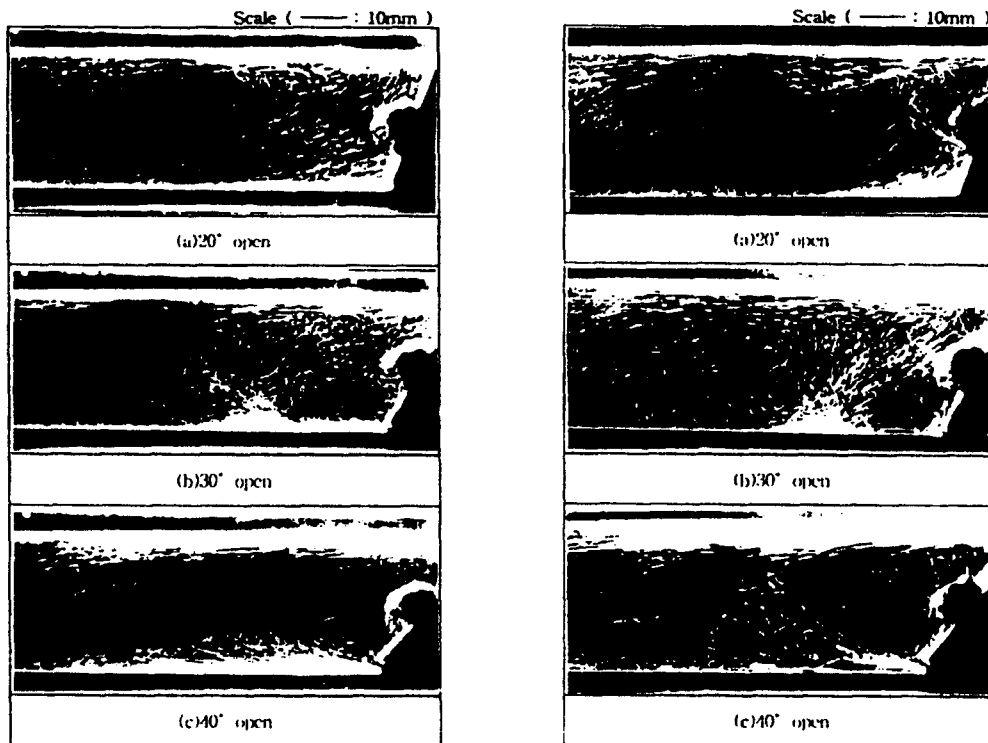
여 오차가 최소화 되도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실린더 내의 가스 압력

Fig. 3은 무공, 6공 스톱밸브의 밸브 후류의 유동 형상을 PTV 시스템을 이용하여 직접 촬영한 것이다.

이 밸브의 후류의 유동에서 보는 바와 같이 혼합 효과가 다공 스톱밸브의 경우보다 증가하며 벽면 부착 유량도 감소함을 알 수 있다. 이러한 경향은 액적들이 다공 스톱밸브를 통과하면서 액적의 미립화가 촉진되는데 그 원인이 있는 것으로 볼 수 있다. 이 두 밸브의 개도를 20°, 30° 및 40°로 변화시킨 결과에 의하면 스톱밸브 개도가 작을수록, 그리고 구멍비가 큰 밸브일수록 입자의 운동속도가 활발해지는 것으로 관측되었다.⁹⁾



(a) Solid valve (b) 6 hole valve
Fig. 3 Behaviors of particle flow at downstream of throttle valve

Fig. 4는 기관의 회전 속도가 3000rpm 일 때의 연소실내 가스 압력을 여러 가지 스톱밸브에 대하여 비교한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 실린더 내 연소 압력은 4 hole 스톱밸브를 사용한 경우가 가장 높게 나타났다. 특히, 6 hole 밸브는 무공 스톱밸브에 비하여 큰 차이는 없었으나 2 hole, 4 hole의 다공 스톱밸브를 장착했을 경우에는 압력이 무공 스톱밸브를 장착한 경우보다 10% 이상의 폭으로 상승되었다. 6 hole 밸브의 경우, 압력 상승이 크게 나타나지 않는 이유는 공기가 과잉으로 유입되어 혼합기가 희박해지기 때문인 것으로 보이며, 이와 같이 구멍비가 어느 한도 이상으로 큰 다공 스톱밸브는 기관 성능의 측면에서 오히려 미립화 효과를 둔화시키는 것으로 판단되었다.

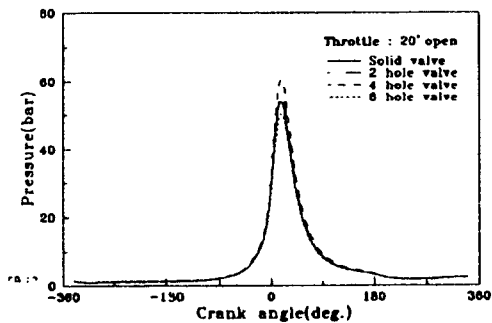


Fig. 4 Comparison of cylinder pressure at engine speed of 3000rpm

3.2 압력 상승율과 열발생율

Fig. 5는 기관 실린더내의 압력 상승율을 앞에서와 같은 조건에서 비교한 것이다. 이 선도에서 보는 바와 같이 실린더 내의 압력 상승율은 4 hole 스톱밸브의 경우가 높게 나타났다.

Fig. 6은 기관 실린더내의 열발생율을 비교한 것이다. 다공 스톱밸브 장착 기관은 무공 스톱밸브 장착 기관보다 압력 상승율 및 열발생율이 높게 나타났다. 이것은 다공 스톱밸브에 의한 무화 촉진과 혼합도 향상으로 인한 연료 중발이 촉진되어 연소 상태가 개선되기 때문인 것

으로 생각된다.

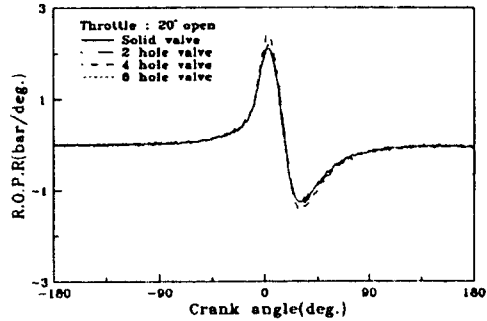


Fig. 5 Effect of perforated valve on the rate of pressure rise at engine speed of 3000rpm

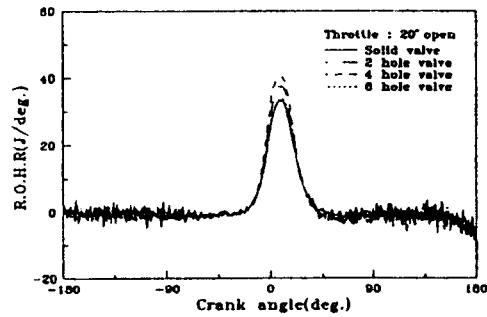


Fig. 6 Effect of perforated valve on the rate of heat release at engine speed of 3000rpm

또한, 다공 스톱밸브의 스톱 개도가 증가하면 구멍의 투영 면적이 상쇄되기 때문에 다공 스톱밸브의 효과도 다소 둔화되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 다공 스톱밸브의 두께를 줄이므로써 어느 정도는 해결이 가능한 것으로 판단된다.¹⁰⁾

3.3 연료 소비율

연료 소비율은 연료 25g을 소비하는 동안 크랭크축 회전수를 검출하여 연료 소비율로 환산하는 방법으로 구하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 각각 기관 회전 속도 2000rpm 및 3000rpm일 때의 연료 소비율을 나타낸 것이다. 무부하 운전 시 각 밸브 별로 연료 소비율을 비교하면, 무공

스스로밸브가 가장 높고, 4 hole, 2 hole 및 6 hole 스스로밸브의 순서로 감소하여 다공 스스로밸브가 전반적으로 연비면에서도 개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 이것은 다공 스스로밸브의 영향으로 인젝터에서 분사된 연료 분무의 무화가 촉진되고 균일한 혼합기가 형성된 결과 완전 연소가 이루어지기 때문인 것으로 생각된다.

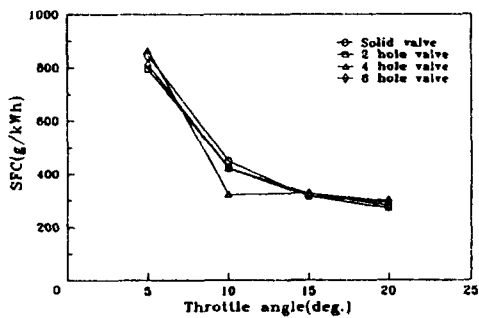


Fig. 7 Fuel consumption rate at engine speed of 2000rpm

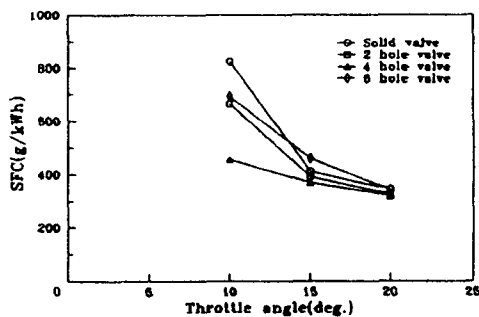


Fig. 8 Fuel consumption rate at engine speed of 3000rpm

또한, 6 hole 스스로밸브의 경우에는 흡입 공기의 과다 유입으로 희박 혼합기가 되기 때문에 연료 소비율이 뚜렷이 감소되는 것으로 보이고, 2 hole 과 4 hole 스스로밸브의 경우에는 앞 절에서 논의한 바와 같이 압력 상승율과 열발생율을 충분히 개선하며 동시에 연료 소비율도 줄이는 효과가 있었다.

기관 회전 속도 2000rpm 및 3000rpm인 경

우에 스스로 개도에 따른 연료 소비율을 살펴보면 스스로 개도가 작을수록 연료 소비율이 더 감소됨을 알 수 있는데 이것은 연소율과 마찬가지로 스스로 개도가 커지면 흡입되는 혼합기가 풍부할 다공 스스로밸브의 구멍 면적이 줄어들어 다공 밸브의 구멍으로 인한 2차 미립화 효과가 둔화되기 때문인 것으로 생각된다.

3.4 배기가스 분석 결과

유해 배출 가스 중에서 주요 물질인 탄화수소(HC)를 살펴보면, Fig. 9, Fig. 10 및 Fig.11에서 보는 바와 같이 다공 스스로밸브의 장착으로 연료의 무화가 촉진되고 밸브 후류에서 형성되는 벽면 부착 유량의 감소로 거의 모든 영역에서 HC의 배출량도 저감한 것으로 나타났다.

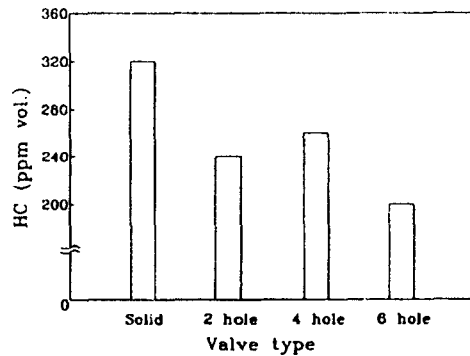


Fig. 9 Comparison of HC concentration on test valves at engine speed of 1200rpm

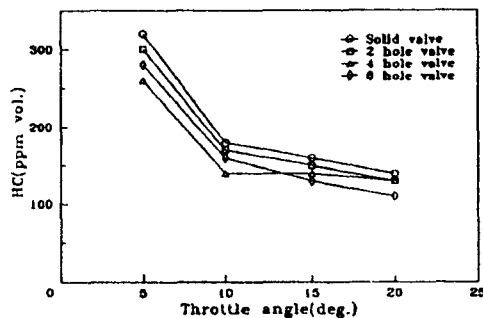


Fig. 10 Effect of perforated valve on HC concentration at engine speed of 2000rpm

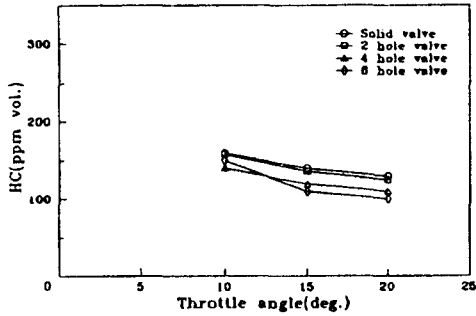


Fig. 11 Effect of perforated valve on HC concentration at engine speed of 3000rpm

기관 회전 속도 1200rpm 일 때 배출된 HC의 체적 분율을 살펴보면, 무공 스톨밸브, 4 hole, 2 hole 및 6 hole의 다공 스톨밸브의 순서로 저감하였으며, 연료 소비율의 결과와 유사한 경향을 보였다. 이것은 같은 운전 조건에서 연료 소비율이 크면, 그 만큼 HC의 배출도 많아짐을 시사하며, 특히 6 hole 밸브의 경우 무공 스톨밸브보다 80% 가량 저감된 것은 희박 연소 기관의 혼합기와 같이 공기의 양이 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 경향은 기관 회전 속도가 변화하여도 비슷하게 나타났다으며, 2000rpm의 경우보다 3000rpm일 때, 흡입 공기량의 증가로 다공 스톨밸브의 효과가 더 현저하게 나타났다.

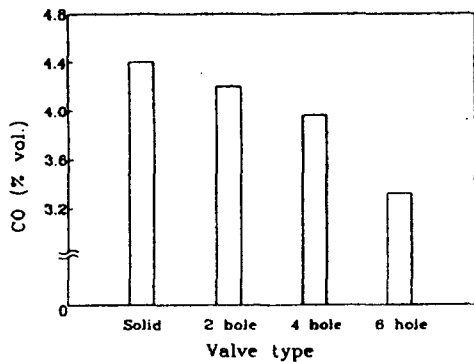


Fig. 12 Comparison of CO concentration on test valves at engine speed of 1200rpm

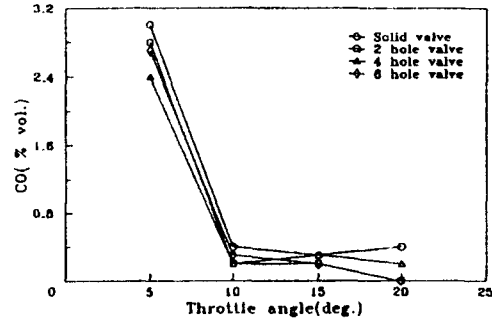


Fig. 13 Effect of perforated valve on CO concentration at engine speed of 2000rpm

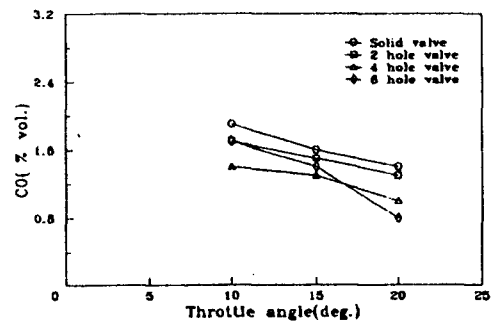


Fig. 14 Effect of perforated valve on CO concentration at engine speed of 3000rpm

한편, 일산화탄소(CO)의 배출농도는 Fig. 12, Fig. 13 및 Fig. 14에서 보는 바와 같이 다공 스톨밸브 장착시의 저감 효과가 현저하고, 다공 스톨밸브의 구멍비가 클수록 그 경향이 뚜렷하게 나타났다. 기관 회전 속도를 증가하여도 이러한 경향은 그대로 나타났으며, 다공 스톨밸브에 의한 무화 촉진과 균질 혼합기 생성 효과가 완전 연소에 크게 기여함을 알 수 있다.

4. 결 론

연료분무역적의 2차 미립화 및 혼합기 생성 장치로서 개발한 다공 스톨밸브를 실제 기관에 적용하여 기관 성능을 실험한 결과 다음과

같은 결론을 얻었다.

- 1) 다공 스토폴밸브의 2차 미립화 기능과 균질 혼합기 형성 기능이 기관 연소효율의 향상을 도모함으로써 실린더내의 가스압력이 다공 스토폴밸브의 구멍비에 따라 다소 차이는 있으나, 무공 스토폴밸브의 경우보다 10 ~ 20%의 향상을 보이고, 압력상승을 및 열발생율도 현저하게 향상되었다.
- 2) 배기 가스 성분 분석 결과, 다공 스토폴밸브를 장착한 경우 거의 완전연소가 이루어져 CO 및 HC의 배출량이 현저하게 저감되었다. 특히, 흡기관 내의 벽류에 기인한 미연 배출물로서 HC의 양이 20 ~ 60% 가량 낮아져서, 다공 스토폴밸브가 벽면 부착 연료량의 2차 미립화 및 벽류를 줄여주는 효과가 있음을 확인할 수 있었다.
- 3) 시험용 스토폴밸브 중 다공 스토폴밸브는 전반적으로 기관 성능이 우수하고 연료소비율의 면에서도 실용성이 충분히 있는 것으로 나타났다. 또한, 같은 다공 밸브라 하더라도 구멍비에 따라 성능의 차이를 보였으며, 본 연구에서는 구멍비가 0.277%인 4-hole 스토폴밸브가 시험 조건 전 영역에서 가장 좋은 것으로 나타났다. 구멍의 크기와 수, 위치 및 배열 등에 따른 최적 구멍비에 관한 후속적 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. J. S. Chin, D. Nickolaus, and A. H. Lefebvre, "Influence of Downstream Distance on the Spray Characteristics of Pressure-Swirl Atomizers", Trans. of the SAME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 108, pp. 219-224, January 1986.
2. M. J. Sampson and J. B. Heywood, "Analysis of Fuel Behavior in the Spark-Ignition Engine Start-Up Process", SAE Paper 950678.
3. H. Monden and R. Kataoka, "Practical Measuring Method of Deposited Fuel and Evaporated Fuel in the Induction System", Proceedings of the 23rd FISITA Congress, Torino, Italy, Vol. 1, pp. 299-300, 1990.
4. K. Harada, R. Shimizu, K. Kurita, M. Muramatsu, T. Makimura, and M. Ohashi, "Development of Air-Assisted Injector System", SAE Paper 920294.
5. K. Namiyama, H. Nakamura, K. Kokubo, and D. Hosokai, "Development of Ultrasonic Atomizer and its Applications to S.I. Engines", SAE Paper 890430.
6. 류정인, "액체연료의 미립화 기술", 자동차 공학회지, Vol. 16, No. 1, pp.55-69, 1994.
7. T. Noki, Y. Ohyama, and M. Fujieda, "Study on the Intermittent Impinging Atomization of Fuel Injector for Gasoline Engine", Trans. of the JSME, Vol. 58, No. 552, pp. 2607-2611, 1992.
8. 이창식, 이기형, 조병옥, 서영호, "연료분사 장치의 혼합기 형성에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 제 19 권 제 11 호, pp. 2690-2698, 1995.
9. 이창식, 조병옥, "흡기관 내의 혼합기 유동에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집, 제 4 권 제 1 호, pp.218-228, 1996.
10. 門 久義, 藤原良樹, 細川結延, 瀧本雅博, 谷口 透, "多孔板を用いた整流装置の研究", 日本機械學會論文集, 51 卷, 461 號, pp. 106-114, 1985.