

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0025

가솔린 분무 거동에 미치는 분위기 조건의 영향

Effect of Ambient Conditions on Spray Behavior of Gasoline Injector

이창식*, 이기형*, 최수천**, 권상일***
Chang-sik Lee, Ki-hyung Lee, Soo-chun Choi, Sang-il Kwon

ABSTRACT

The main objective of this work is to investigate the effect of ambient conditions on the spray behavior and spray characteristics of high-pressure fuel injector. For this purpose, the effects of ambient pressure and temperature on the spray characteristics have been studied by applying the analysis of visualization system and phase Doppler particle analyzer. In this experiment, the visualization of spray behavior was performed under various ambient gas conditions and injection parameters such as gas temperature, ambient pressure, injection pressure of injector, and axial distance from the nozzle tip.

Based on the investigation results, the spray tip penetration and spray width decrease with the increase of ambient gas pressure in the spray chamber. The effects of the spray parameters on the microscopic characteristics of gasoline spray were discussed.

주요기술용어 : Spray structure(분무 구조), Droplet mean diameter(액적 평균 입경), Spray mean velocity(분무 평균 속도), Spray visualization(분무 가시화)

1. 서론

직분식 가솔린 기관은 연료를 연소실 내에 직접 분사하므로 정확한 연료의 공급제어가 가능하며, 포트 분사식에 비하여 상당한 연비 개선 효과를 가지고 있다. 그러나 연료-공기의 혼합 시간

이 매우 짧기 때문에 양호한 혼합기를 얻기 위해서는 연료의 미립화 성능을 향상시키고 연소실 내에 알맞은 혼합기 분포가 이루어지도록 하는 분무 제어 기술이 필요하다.

가솔린 인젝터의 분무 거동에 영향을 미치는 인자에는 인젝터의 구조, 연료의 물성, 연소실의 압력 및 온도 조건 등의 여러 가지가 있으나, 가장 지배적인 영향을 미치는 요인의 하나는 연소실 내의 분위기 조건이다. 가솔린 인젝터의 분무 특성 및 분무 거동에 관한 연구로는 Zhao¹⁾ 등의 직분식 및 포트 분사 인젝터의 분무 거동에 관한

* 회원, 한양대학교 기계공학부

** 회원, 동서울대학 기계과

*** 한양대학교 기계공학과 대학원

연구를 비롯하여 Iwamoto²⁾의 직분식 가솔린 기관 인젝터 성능과 엔진 성능 특성에 관한 연구, Lee^{3~5)} 등의 고압 가솔린 인젝터에 관한 연구 등이 여러 연구자들에 의하여 보고되고 있다. 그러나, 직분식 인젝터의 분위기 조건이 분무 거동 및 분무 특성에 미치는 영향에 대하여는 여러 연구 결과가 보고되고 있으나 분무 미립의 증발 및 부유 액적의 영향으로 측정이 어렵고 또한 분무 액적의 속도 분포, 액적의 간섭 등에 대한 더욱 많은 연구가 요망되고 있다.

본 연구에서는 직접 분사식 가솔린 기관 인젝터의 거시적 분무 특성에 영향을 미치는 분무실 내의 압력과 온도를 변화시켰을 경우 분무의 발달 과정 및 분무 선단의 도달 거리, 분무 폭을 가시화하고, 분무의 미시적 특성인 분무 액적의 평균 입경 및 평균 속도를 구하여 분위기 조건 및 분사 조건의 영향을 실험적으로 규명하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

가솔린 인젝터로부터 분사되는 연료 분무의 거시적인 거동을 분석하기 위한 가시화 및 분무 미립화 특성 실험 장치는 가솔린 인젝터의 분무 구조 실험 장치⁶⁾를 사용하였고, 주위 기체의 압력과 온도가 분무에 미치는 영향을 해석하기 위하여 고압 분무실을 이용하였다.

체임버의 내부 압력은 고압의 질소 가스에 의해 조절이 되었고, 내부 온도 조절에는 500W의 가열장치를 이용하여 실험 온도로 제어하였다.

가솔린 분무의 발달과정은 새도그래프법을 이용하여 분무 형태, 분무 선단의 도달 거리, 분무 폭 등을 가시화하고, 여러가지 분무실의 압력 및 온도 조건에 대하여 비교 검토하였다.

가시화된 가솔린 분무 거동을 분석하기 위한 화상의 취득은 CCD 카메라로부터 얻어진 분무 화상을 이미지 그래버를 통하여 컴퓨터에 저장하고, 이들 이미지 데이터로부터 분무 발달 과정과 분무 도달 거리, 분무 폭 등의 거시적 특성을 분

석하였다.

연료 분무 액적의 입경과 속도의 측정은 PDPA시스템을 사용하였다. 실험에 사용한 인젝터는 노즐 출구 지름 1mm, 스월형 직분식 인젝터이며, 솔레노이드 코일의 인덕턴스는 120Hz에서 2.44mH이다. 실험에 적용한 연료는 밀도 680.3kg/m³이고, 점성 계수는 2.9×10^{-4} Ns/m²이다.

2.2 실험 방법

분무실 내의 압력 및 온도의 변화에 따른 분무 특성 및 미립화 특성을 알아보기 위하여 연료의 분사 기간을 5ms로 하여 분사 압력을 3, 5, 7MPa로 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 분무실 내의 기체의 압력은 0.1, 0.4, 0.8, 1.0 MPa의 4단계로 변화시키면서 실험을 수행하였으며, 주위 기체의 온도가 분무에 미치는 영향을 알아보기 위하여 분사압력 5MPa에서 주위 기체 압력 0.1, 0.6, 1.3 MPa에 대해 각각 50, 60, 70, 80 °C로 변화시키며 실험을 하였다. 또한 분무의 입경 및 속도는 인젝터 노즐 팁 5mm에서 5mm 간격으로 하류 방향 60mm까지, 노즐 팁으로부터 20, 40mm 지점에서 반경 반향으로 2mm간격으로 측정하였다. 실험은 PDPA 실험 장치를 이용하여 20000개의 샘플을 채취하여 평균 입경, 속도 등을 구하여 측정치로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연료 분무의 거시적 특성

연료 인젝터로부터 분사되는 연료의 거시적 거동은 분무 관통도(분무 선단의 도달 거리)와 분무각 및 분무 폭으로 표시된다.

Fig. 1은 분사 압력 5MPa의 경우 분무 선단의 도달 거리를 분사 후의 시간 경과에 대하여 비교한 것이다. 가시화된 분무 발달 과정에서 알 수 있는 바와 같이 분무 선단의 도달 거리는 분사 후 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 분무의 도달 거리는 주위 압력이

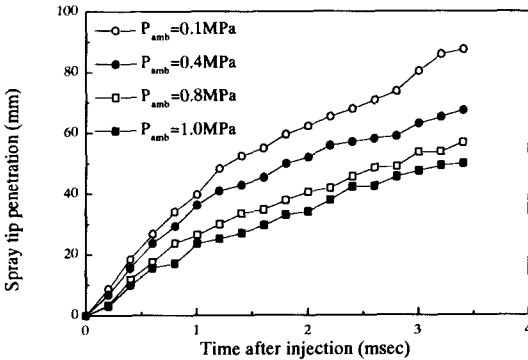


Fig. 1 Effect of ambient pressure on spray tip penetration at 5MPa of injection pressure

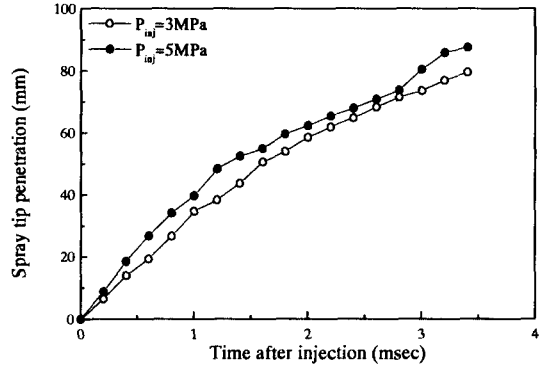


Fig. 3 Effect of injection pressure on spray behavior

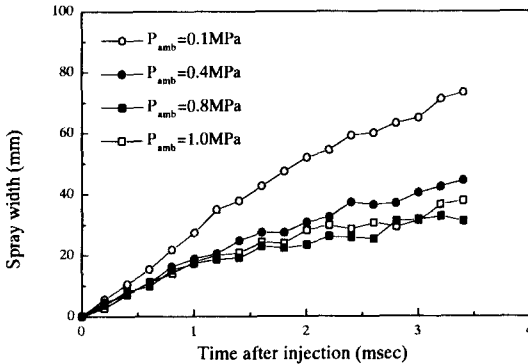


Fig. 2 Effect of ambient pressure on spray width at 5MPa of injection pressure

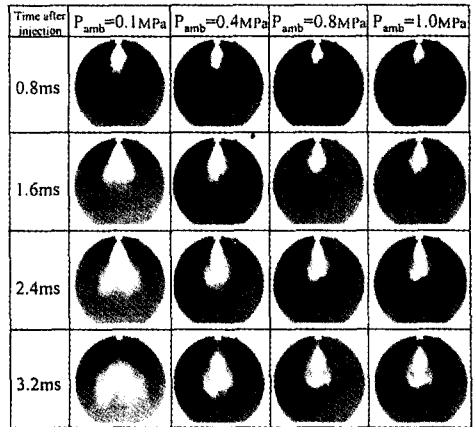


Fig. 4 Effect of ambient pressure on spray behavior ($P_{inj}=5MPa$, $T_{inj}=5ms$)

증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

Fig. 2는 주위 압력 변화에 따른 분무 폭을 가시화 화상으로부터 구하여 비교한 선도이다. 이 선도에서 분무 폭은 분무실 내의 분위기 압력이 높아짐에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 분위기 압력이 높아지면 분무의 발달 과정에서 분무 선단 및 분무 원추의 진행을 방해하는 배압이 증가하여 이것이 저항으로 나타나기 때문이다. 이러한 실험 결과는 고압 인젝터에 대한 분위기 온도 압력에 관한 Choi⁷⁾ 등의 연구 결과의 경향과 유사한 결과로 나타났다.

Fig. 3은 분사 압력을 변화시켰을 경우 분무 도달 거리를 가시화 결과로부터 구하여 비교한 것이다. 이 선도에 표시된 바와 같이 분사 압력이

증가할 경우 분무 도달 거리는 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 분위기 압력을 변화시켰을 경우의 분무 이미지를 가시화한 것이다. 분무의 도달 거리 및 분무 폭은 분위기 압력을 변화시켰을 경우 현저하게 감소하는 경향을 나타내었다.

한편 Fig. 5는 분무실의 공기 온도가 분무 선단 도달 거리에 미치는 영향을 가시화 한 것이다. 이 가시화 결과로부터 보는 바와 같이 분무실 내의 온도 조건의 변화는 분무 거동, 즉 분무 도달 거리 및 분무 형상의 변화에는 그다지 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. Fig. 6은 분무실 주위 온도 변화에 따른 분무의 도달 거리를 도시

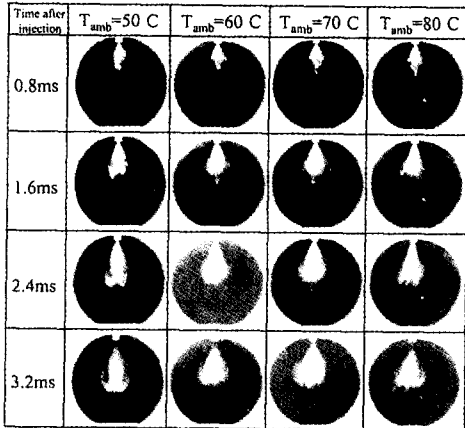


Fig. 5 Effect of ambient temperature on spray behavior ($P_{inj}=5MPa$, $P_{amb}=0.6MPa$, $T_{inj}=5ms$)

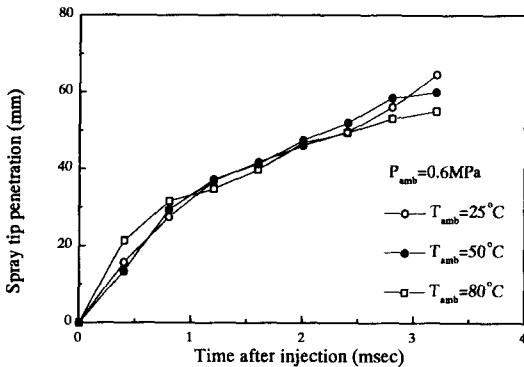


Fig. 6 Effect of ambient temperature on spray penetration ($P_{inj}=5MPa$, $T_{inj}=5ms$)

한 선도이다. 이 선도에 표시된 바와 같이 분무실 내의 가스 온도 조건의 경우에는 분무 도달 거리에 그다지 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.2 연료 분무의 미립화 특성

Fig. 7은 분사 압력이 3, 5, 7MPa 일 때의 분무 액적의 평균 입경(SMD)을 축방향 거리에 대하여 나타낸 선도이다. 축방향에서의 분무 액적의 SMD는 $25\mu m$ 이하로 나타났으며, 분사 압력 5, 7MPa의 경우 하류로 내려가면서 SMD가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 높은 분사 압력으로 인하여 노즐팁으로부터 분출되어 분

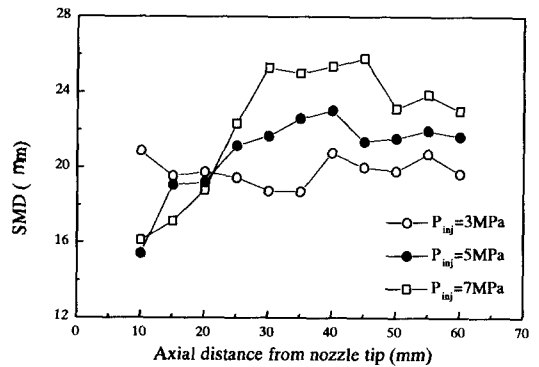


Fig. 7 Effect of injection pressure on axial distribution of mean droplet size

열된 연료 분무가 하류 방향으로 진행할수록 액적과 주위 기체의 흡인 효과에 의한 상호 작용에 의하여 분무 중심축으로 유입하는 분무 입자들 사이의 충돌 및 합착이 일어나 분무 입경이 증가하는 것으로 나타난다. 그러나 3MPa의 경우에는 30mm 지점까지 분사 압력의 영향을 받아 SMD가 감소하다가 그 이후의 지점에서 증가하는 경향을 보이고 있다.

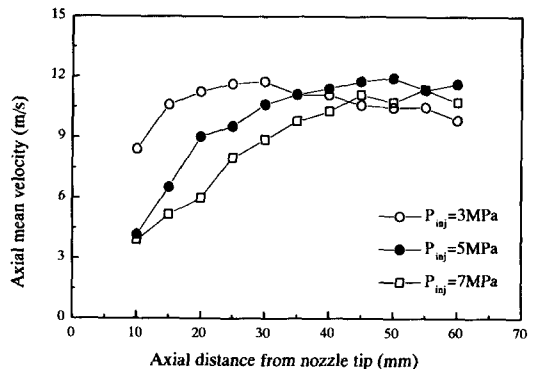


Fig. 8 Effect of injection pressure on axial distribution of axial mean velocity

Fig. 8은 분사 압력이 3, 5, 7MPa일 때의 축방향 속도 분포를 축방향 거리에 대하여 나타낸 선도이다. 이 선도에서 분사 압력이 3MPa일 때는 중심축에서 30mm 지점까지 액적의 평균 속

도가 증가하다가 그 이후에서 감소하고, 5, 7MPa의 경우 50mm 지점까지 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 50mm 부근까지 분사 압력의 영향을 받아 속도가 증가하다가 주위 기체의 마찰력에 의해 분무 선단부의 운동량이 감소하여 진행 속도가 저하하기 때문인 것으로 판단된다. 3MPa의 경우에는 액적 평균 입경 분포와 같이 분사 속도의 증가 폭이 둔화됨을 보이는데 이는 5, 7MPa의 경우에 비해 분사 압력에 의한 효과가적음을 의미한다.

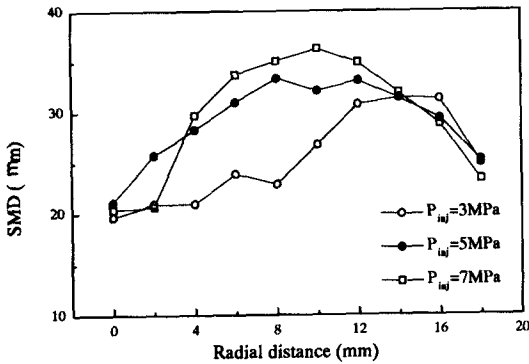


Fig. 9 Effect of injection pressure on radial distribution of SMD (axial distance L=20mm)

Fig. 9는 축방향 거리 L=20mm 에서 분사 압력에 따른 SMD분포를 반경 방향에 대하여 나타낸 선도이다. 이 선도에서 분사 압력 3MPa의 경우 반경 방향 거리 14mm 지점까지는 5, 7MPa의 경우보다 SMD의 증가율이 작고 일정하다가 그 이후의 지점에서 증가하여 16mm지점에서 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 3MPa의 경우 명백한 중공 원추형 분무가 지배적이며 주 유동 중심을 벗어난 분무 내부는 액적의 입자군이 적고 합착 효과가 적기 때문으로 판단된다.

Fig. 10은 축방향 거리 L=20mm 에서 분사 압력에 따른 축방향 속도를 반경 방향에 대하여 나타낸 선도이다. 액적의 속도 분포는 액적이 밀집한 분무 가장 자리에서 최대 속도를 가지며

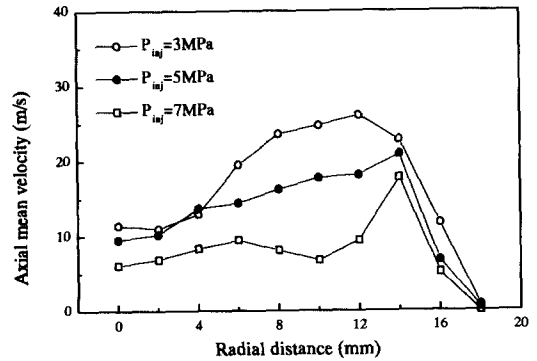


Fig. 10 Effect of injection pressure on radial distribution of axial mean velocity (axial distance L=20mm)

이것은 SMD분포와 거의 유사한 경향이다. 또한 분사 압력 7MPa의 경우 3, 5MPa의 경우보다 낮은 속도 분포를 갖는 것으로 나타났다.

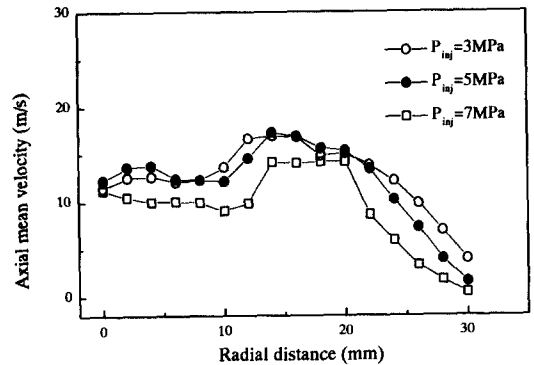


Fig. 11 Effect of injection pressure on radial distribution of axial mean velocity (axial distance L=40mm)

Fig. 11은 분무의 축방향 거리 L=40mm 에서 분사 압력에 따른 축방향 속도 분포를 반경 방향에 대하여 나타낸 선도이다. 축방향 거리 20mm인 경우(Fig. 10)와 비교했을 때 반경 방향을 따라 균일한 속도 분포를 가지며 20mm 지점을 지나면 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 분무 외각에서 주위 기체와의 활발한 운동량 교환과 역방향 와류로 인하여 축방향 속

도가 감소하여 나타나는 것으로 볼 수 있다.

4. 결 론

직접 분사식 가솔린 기관에 적용되는 고압 연료 인젝터로부터 분사되는 분무 거동 및 분무 미립화 특성에 미치는 분무실의 압력 및 온도 조건의 영향과 분사 조건의 영향을 분무 가시화와 PDPA 시스템을 이용하여 실험적으로 구한 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

고압 가솔린 인젝터의 분무 가시화를 통하여 분무의 발달 과정 및 분무 도달 거리, 분무 폭을 정량적으로 분석하여 분무 거동에 미치는 압력 및 온도 변화의 영향이 규명되었다.

분무의 도달 거리 및 분무의 폭은 주위 가스 압력 조건의 영향을 크게 받으며, 주위 압력의 증가는 분무 선단의 도달 거리와 분무 폭을 저하시키는 주된 요인으로 작용함이 확인되었다. 본 실험의 범위 내에서 주위 가스의 온도 변화는 분무의 도달 거리 및 분무 폭의 변화에 그다지 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

또한 연료 분사 압력의 증가는 액적의 평균 입경을 저하시키는 요인으로 작용하고 있으나 입경의 크기는 축 방향의 거리에 따라서 입경이 변화하는 복잡성을 나타내었다.

후 기

이 논문은 청정생산기술사업 균일 예혼합 압축착화 디젤 엔진의 최적 연소 기술 개발의 예혼합기 형성 연구의 일환으로 연구되었으며 연구를 지원해주신 관계 제위께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) F. Q. Zhao, M. C. Lai and D. L. Harrington, "A Review of Mixture Preparation and Combustion Control Strategies for Spark-Ignited Direct- Injection Gasoline Engine", SAE Paper 970627, 1997.
- 2) Y. Iwamoto, K. Noma, O. Nakayama, T. Yamauchi and H. Ando, "Development of Gasoline Direct Injection Engine", SAE Paper 970541, 1997.
- 3) C. S. Lee, K. H. Lee, M. S. Chon, Y. H. Kim, J. S. Park and N. H. Cho, "A Study on the Spray Structure of High Pressure Gasoline Injection", The 3th Conference of ILASS-Asia, pp. 37~42, 1998.
- 4) C. S. Lee, K. H. Lee, M.S. Chon and Y. H. Kim, "A Study on the Spray Structure of Gasoline Fuel Injector", IPC-10, Melbourne, Australia, 1999.
- 5) C. S. Lee, M. S. Chon, M. K. Kim, S. C. Choi, "Effect of Injection Pressure on Spray Characteristics of High-Pressure Gasoline Injector", ILASS-Asia 99 4th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, 1999.
- 6) 이창식, 최수천, 김민규, "직분식 가솔린 기관 고압 인젝터의 연료 무화 특성", 한국 자동차 공학회 논문집 제7권 제8호, pp.1~6, 1999.
- 7) Choi Dong-seok et al, "Effects of Ambient Temperature and Pressure on Vaporizing Spray", ILASS-Asia 99 4th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, pp. 131~136, 1999.