

공기보조 인젝터의 분무특성 연구

김기성*
(여수대학교)

Spray Characteristics of the Air-Shrouded Injectors

Ki Seong Kim
(Yosu National Univ.)

Abstract: Improving the atomization characteristics by adopting the Air-Shrouded injector has been considered as one of the important methods for decreasing HC emissions in SI engines. Thus, in this study for the purpose of developing Air-Shrouded injector which has a finer spray, atomization characteristics of different types of commercial Air-Shrouded injectors were investigated through the spray imaging and the drop size measurements. As a result, it was found that the internal mixing type of Air-shrouded injector had a good atomization characteristics. But, a number of large droplets were found in the internal mixing type commercial injector, this phenomenon was improved by adopting the thread type nozzle passages.

1. 서 론

최근 자동차용 엔진의 개발 방향은 고출력, 고연비, 경량화를 추구하고 있으며, 이들 개발 목표보다 더 중요한 과제는 환경 오염을 줄이기 위해 엄격해지고 있는 자동차 배기가스 규제치를 만족할 수 있는 환경 친화적인 엔진을 개발하는 것이다. 이러한 필요성으로 인해 규제 대상인 유해 배기가스를 줄이는 문제의 해결책을 찾기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있는데, 그 중에서 냉시동시 미연탄화

수소(HC) 저감 문제는 하나의 핵심 과제로서 연구되고 있다.

냉시동시 HC 저감이 중요한 것은 자동차에서 배출되는 미연탄화수소의 60~70%가 냉시동시 warm-up 되기 전에 발생하기 때문이다. 냉시동시 HC 배출이 많은 것은 흡기 포트 및 밸브, 연소실 벽면 등의 온도가 낮아 연료의 증발이 잘 되지 않는다는 것과 촉매 변환기의 온도가 낮아 촉매의 변환효율이 낮다는 것이 주요 원인이다. 이러한 문제를 해결하는 방안으로 강구되고 있는 것은 연료를 보다 미립화시켜 공급하는 방법, 배기다기관

* 여수대학교 기계공학과

및 CCC(Close Coupled Catalyst)의 열관성(thermal inertia)과 열손실을 줄여서 촉매가 빨리 L.O.T.(Light Off Time)에 도달하게 하는 방법, 엔진 블록 및 헤드에 공급되는 냉각수를 제어하는 방법 등이 대표적인 것들이다.

이들 방법 중에서 연료를 보다 미립화시켜 분사하는 방법으로써 공기 제트의 운동량을 이용해 연료의 미립화를 촉진시키는 방법인 Air-Shrouded 인젝터를 개발하여 일부 이용이 되고 있다. Air-shrouded 인젝터는 기존의 인젝터의 팁 부분에 공기가 흐를 수 있는 노즐을 설치하여 대기와 흡기관의 압력차에 의해 공기를 유도하는 방법으로써 흡기관 압력이 낮은 저부하 조건에서 공기 제트의 유속이 빠르기 때문에 미립화 효과가 크다. 기존의 일반 Dual Stream 인젝터의 SMD(Sauter Mean Diameter)가 150-170 μm 정도인데 반해 Air-Shrouded 인젝터의 SMD는 약 80~100 μm 수준이다. 그러나 엔진 시험 결과에 의하면 100 μm 정도의 SMD를 갖는 인젝터로는 미연탄화수소의 배출이 크게 줄지는 않는데, 미연탄화수소의 배출 저감에 보다 많은 개선이 이루어지기 위해서는 현재의 Air-Shrouded 인젝터 보다 SMD를 크게 줄일 수 있는 방안이 강구되어야 한다.

따라서 본 연구에서의 목표는 현재의 Air-Shrouded 인젝터에 비하여 미립화 특성이 크게 개선된(SMD가 약 20-30 μm) 인젝터를 개발하는 것이며, 이를 통하여 가솔린 엔진의 냉시동시 미연탄화수소 배출량을 크게 줄이는데 기여하고자 한다.

이를 위하여 먼저 현재 상용화 되고 있는 Air-Shrouded 인젝터의 공기량과 공기 충돌 방식에 따른 미립화 특성을 조사하였고, 이를 바탕으로 어댑타 노즐의 형

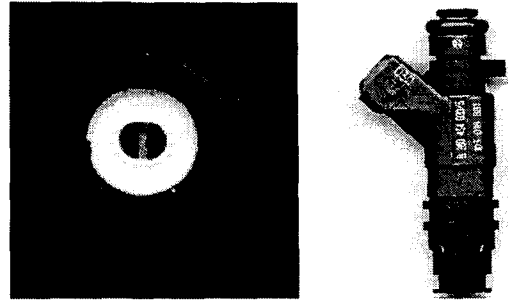
상을 개발하였다. 분무 형상과 개략적인 미립화 특성은 gated CCD 카메라를 응용한 화상 시스템을 이용하여 측정하였고, 정량적인 분무 입경분포 특성은 Fraunhofer 회절원리를 이용한 측정방식인 Helos-Vario(Sympatec사 제품)를 이용하였다.

2. 연구방법

2.1 시험 장치

분무시험장치의 구성은 2가지 측정 시스템으로 구성되어 있다. Fig.1은 분무 형상과 개략적인 미립화 특성을 측정하기 위한 가시화 화상 시스템이다. 이 가시화 시스템은 12bit, 1K×1K의 고해상도의 디지털 CCD 카메라와 발광기간이 약 2 μs 인 플래시 램프로 구성되어 있고, PC에 장착되어 있는 컨트롤 보드에 의해 타이밍이 제어되도록 되어 있다. 분무 이미지는 콘트라스트가 좋도록 back lighting에 의해서 얻어진다. 인젝터 컨트롤은 PC에 장착되어 있는 컨트롤 보드에 의해서 행하며 분사기간과 분사주기를 임의로 가변할 수 있도록 되어 있다. Fig.2는 분무입자의 크기분포를 측정할 수 있는 분무입경측정 장치(Helos-Vario, Sympatec社)이다. 이 장치의 측정 원리는 Fig.3과 같이 Fraunhofer 회절이론을 이용하며, He-Ne 레이저 빔이 분무영역을 지날 때 분무에 의해 산란되거나 회절된 빛을 31개의 반원형 디텍터 어레이로 측정하여 이 데이터로부터 입경분포를 계산하도록 되어 있다. 수광 렌즈는 R5를 이용하였는데, R5의 측정영역은 4.5~875 μm , working distance는 478mm, 레이저 빔 직경은 13mm이다.

Air-Shrouded 인젝터에서 공기 제트를 형성시키는 구동력인 압력차는 실제 엔진의 경우 대기압과 흡기관의 압력차이다. 스로틀이 완전히 열린 고부하 조건에서는 압력차가 0에 가깝고, 저부하로 갈수록 증가하여 공회전 조건에서는 약0.7bar에 이른다.



(a) Bosch Air-Shrouded injector

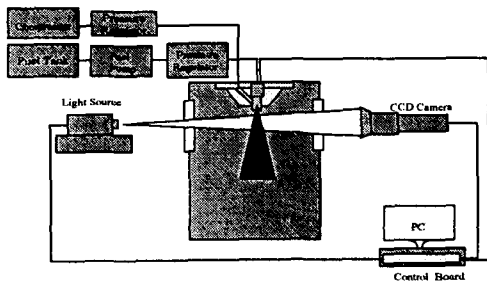
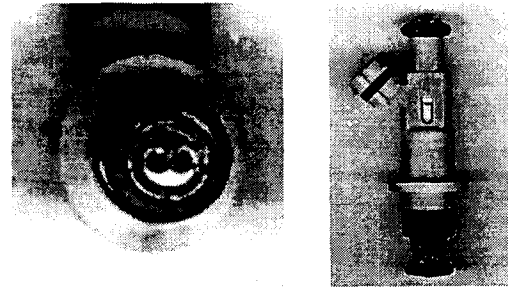


Fig.1 Layout of the spray visualization system



(b) Nippon-Denso Air-Shrouded Injector



Fig.2 Drop sizing system

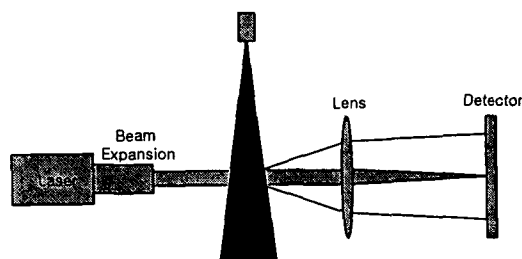


Fig.3 Schematic diagram of drop sizing system using Fraunhofer diffraction.

Fig.4 The shapes of the commercial Air-Shrouded Injectors. (a) Bosch (b) Nippon-Denso

실제 엔진의 경우 공기 노즐의 상단 압력이 대기압이고, 노즐 하단 압력이 대기압 보다 낮은 조건에서 운전이 되지만 본 분무시험에서는 시험 편의상 노즐 하단 압력을 대기압으로 하고 노즐 상단 압력을 대기압 보다 높게 하여 시험을 행했다.

본 분무시험에서 시험 대상으로 한 인젝터는 Air-Shrouded 인젝터로서 Bosch社와 Nippon Denso社의 상용 인젝터와 자체 제작한 여러 사양의 노즐을 장착한 인젝터에 대해 실험하였다. Bosch사 Air-Shrouded 인젝터의 기하학적인 특징은 Fig.4(a)에서 볼 수 있는 바와 같이 인

젝터의 분사공에 바로 인접해서 공기 제트가 연료 줄기에 직각으로 충돌하도록 되어 있고, 분사공으로부터 약3mm 하단에 지름 1mm의 붕이 장착되어 있다는 것이다. 이 붕은 일종의 bluff body로서의 역할을 하는데, 이 붕이 없을 경우 노즐 양단의 압력차가 크게 되면 공기의 충돌 운동량이 커지게 되고 두 줄기 분무가 좁혀져서 한 줄기 분무로 변하는 문제점이 있다. 그러나, 이 붕이 있음으로 해서 이 붕에 충돌한 분무가 두 줄기로 나뉘어서 나가기 때문에 이러한 문제점은 해소되지만 붕에 충돌한 분무가 입자간의 결합을 통해서 미립화특성에 나쁜 영향을 줄 수 있다. Nippon Denso社의 Air-Shrouded 인젝터의 기하학적 형상은 Fig.4(b)와 같으며 분무공을 통해 분사된 두 줄기 분무가 각각의 통로를 통과하게 되고 통로 측면의 공기통로를 통해서 공기가 유입되어 분무와 충돌하면서 미립화를 증대시키는 형태이다. 이러한 형태를 내부혼합방식(internal mixing type)이라고 한다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 상용 Air-Shrouded 인젝터 시험 결과

현재 양산되고 있는 Bosch社와 Nippon Denso社의 Air-Shrouded 인젝터에 대해 공기 노즐 양단의 압력차 ΔP 를 0, 0.2, 0.4, 0.6bar로 변화시키면서 Bosch社와 Nippon Denso社의 분무형상을 측정하였다. Fig.5는 Bosch Air-Shrouded 인젝터의 압력차에 따른 분무형태의 변화를 나타낸 것이다. 압력차에 따라 분무의 cone angle과 stream angle에 큰 변화는

없으나 압력차가 클수록 분무축 중심에 작은 크기의 연료입자들이 많이 분포하는 것을 볼 수 있다. 이는 팁 하단에 설치된 붕에 의해 두 줄기로 나뉘어 지기 때문에 비교적 넓은 범위에 입자가 비산되기 때문이다. 엔진에 적용할 경우 흡기포트의 격벽이나 흡기포트 벽면에 wetting되는 연료입자가 많을 것으로 사료된다. 이 분무 형상 이미지를 보면 연료입자의 대략적인 크기를 알 수 있는데, 압력차에 따라 분무입경이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 연료에 충돌하는 공기의 운동량이 크기 때문으로 일반적인 현상이다.

Fig.6은 Nippon-Denso社의 분무형태를 나타낸 것이다. 분무 형상을 보면 cone angle이 Bosch 인젝터에 비해 작으며, 압력차가 커져도 일정한 cone angle을 유지하기 때문에 엔진에 적용시 흡기포트 벽면에 wetting되는 연료의 양은 적을 것으로 사료된다. 압력차가 증가할수록 입경은 급격히 줄어든다. Bosch 인젝터에 비해 좋은 미립화특성을 나타내는 것을 볼 수 있다. 그러나, 압력차가 0.4, 0.6bar로서 큰 조건임에도 불구하고 입경이 큰 연료들이 많이 분포한다. 이는 통로의 벽면에 묻은 연료들이 필름 형태로 벽면을 타고 내려와 통로 끝 부분에서 미립화 되기 때문에 상대적으로 큰 연료입자들이 많이 발생하는 것으로 볼 수 위의 결과로부터 Bosch社의 공기노즐 형태에 비해 Nippon Denso社의 내부혼합방식이 보다 좋은 미립화특성을 나타냄을 알 수 있다. 그리고, 분무의 cone angle을 작게 유지할 수 있기 때문에 포트벽면 wall wetting 측면에서도 보다 좋은 특성을 나타낼 것으로 보여진다.

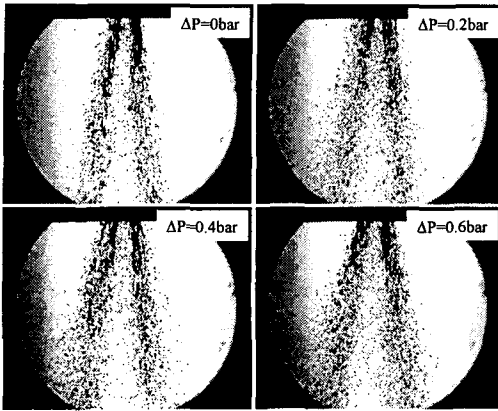


Fig.5 Spray images of Bosch Air-Shrouded injector at the different differential pressure conditions

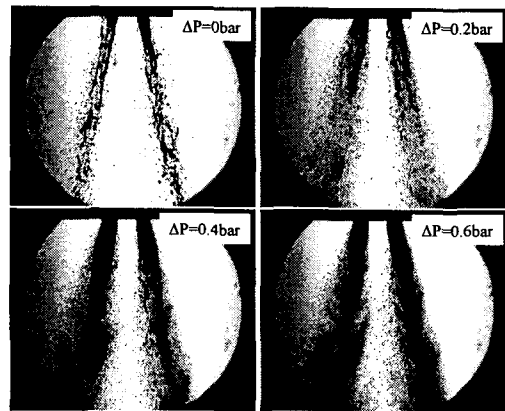


Fig.8 Spray images of D1NT Air-Shrouded injector at the different differential pressure conditions

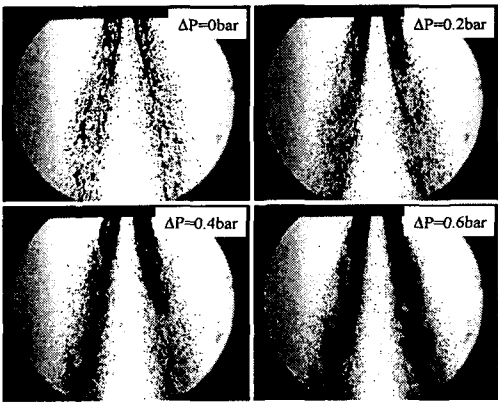


Fig.6 Spray images of Nippon-Denso Air-Shrouded injector at the different differential pressure conditions.

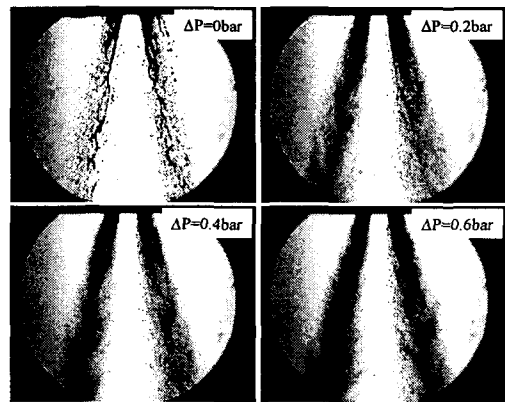


Fig.9 Spray images of D1T Air-Shrouded injector at the different differential pressure conditions

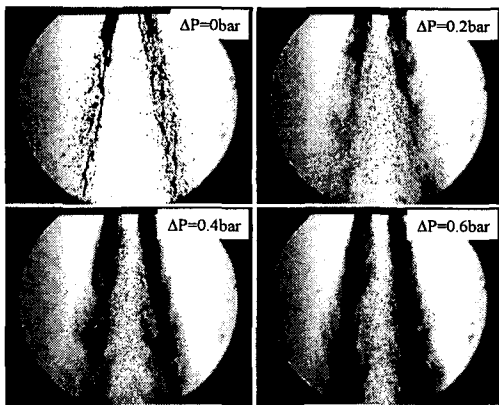


Fig.10 Spray images of D2NT Air-Shrouded injector at the different differential pressure conditions

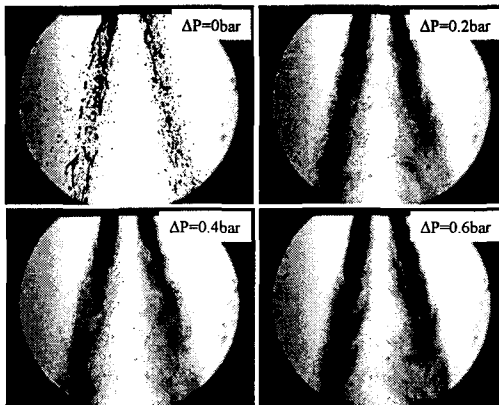


Fig.11 Spray images of D2T Air-Shrouded injector at the different differential pressure conditions.

3.2 개발 인젝터 시험결과

두 가지 양산 Air-Shrouded 인젝터에 대한 시험 결과 내부혼합방식의 Nippon-Denso 인젝터가 미립화 특성과 분무 cone angle 측면에서 좋게 나타났기 때문에 본 연구에서도 개발하고자 하는

Air-Shrouded 인젝터의 공기 노즐을 내부 혼합방식으로 하였다. 그러나, Nippon-Denso 인젝터의 경우에도 압력차가 비교적 큰 0.4, 0.6bar 조건에서 큰 입자들이 많이 발생하는 문제점이 있고, 평균분무입경을 보다 작게 해야만 하기 때문에 이에 대한 해결책이 필요하다.

Table 1 Geometrical specifications and abbreviation of air-nozzles.

Diameter of Side Holes (mm)	Thread	Abbreviation
1	×	DINT
1	○	D1T
2	×	D2NT
2	○	D2N

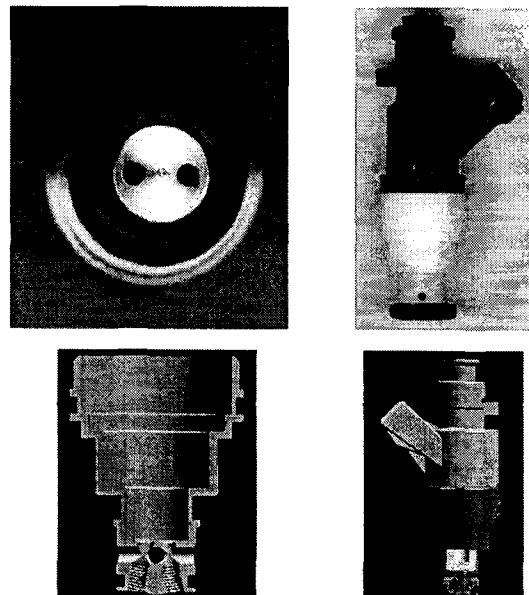


Fig.7 The shapes and sectional drawings of developed Air-Shrouded injector.

앞장에서 언급한 바와 같이 이와 같은 문제점이 발생하는 것은 통로벽면에 필름 형태로 연료가 밀려 내려와 통로 끝에서 미립화가 일어날 가능성이 많기 때문에 이러한 특성을 줄이기 위해 통로에 나사산을 가공하여 그 효과를 측정하였다. 직관적으로 벽면에 요철이 있으면 연료가 필름 형태로 형성되기 힘들기 때문에 통로의 끝단까지 필름형태로 밀려 내려오는 문제는 크게 줄어들 것으로 생각할 수 있다. Fig.7은 개발사양 Air-Shrouded 인젝터의 외관과 공기 노즐의 단면을 나타낸다. 공기는 측면에 뚫린 4개의 구멍을 통하여 내부로 유입되고, 2개의 공기통로에서 연료와 혼합되면서 분사되게 된다. 단면사진은 공기통로에 나사산을 가공한 것을 보여준다. Air-Shrouded 인젝터에서는 공기노즐 양단의 압력차도 큰 영향을 미치지만 공기통로의 크기 즉, 공기 유량도 중요한 변수이다. 따라서, 본 시험에서는 측면 공기구멍의 직경을 1mm와 2mm로 하여 그 영향을 관찰하였고, 나사산을 가공한 경우와 Nippon-Denso 인젝터와 같이 매끈한 통로로 되어 있는 경우에 대해 영향을 조사하였다. Table 1은 본 연구에서 시험한 공기 노즐의 사양과 약칭을 나타낸 것이다.

Fig.8은 D1NT에 대한 결과이고, Fig.9는 D1T에 대한 분무형태 측정 결과이다. 압력차가 0인 경우에는 연료입자가 크고, ligament 형태도 많이 보인다. 그러나 압력차가 증가함에 따라 분무입경은 크게 줄어든다. 두 줄기 분무 중에서 우측의 분무가 압력차가 적을 때 ligament 형태의 연료가 보다 많이 나타나는데 이는 노즐의 공기통로 가공시 각도가 약간 부정확하게 가공되어서 분무축과 공기통로

축이 맞지 않기 때문인 것으로 사료되며, 좌측의 분무는 정상적인 것으로 볼 수 있다. D1NT와 D1T 모두 압력차가 0.2bar만 되어도 분무의 미립화특성이 현저히 좋아지는 것을 볼 수 있는데, 나사산을 가공하지 않은 D1NT의 경우 Nippon-Denso 인젝터에서와 마찬가지로 큰 입자들이 다수 나타난다. 그러나, 나사산이 있는 D1T의 경우 압력차가 0.2bar만 되어도 큰 입자들이 거의 보이지 않을 정도로 미립화 특성이 좋게 나타나며, 압력차가 큰 0.4, 0.6bar 조건에서는 미립화가 아주 잘 되는 것을 볼 수 있다.

Fig.10와 Fig.11은 각각 D2NT와 D2T에 대한 분무형태 측정 결과인데, D1NT와 D1T의 경우에서와 비슷한 경향을 보인다. 여기에서도 나사산이 있는 경우가 보다 좋은 미립화 특성을 나타내며, 측면 공기구멍이 커짐에 따라 공기 유량이 증가하기 때문에 D1NT와 D1T에 비하여 미립화 특성이 보다 좋아지는 것을 볼 수 있다.

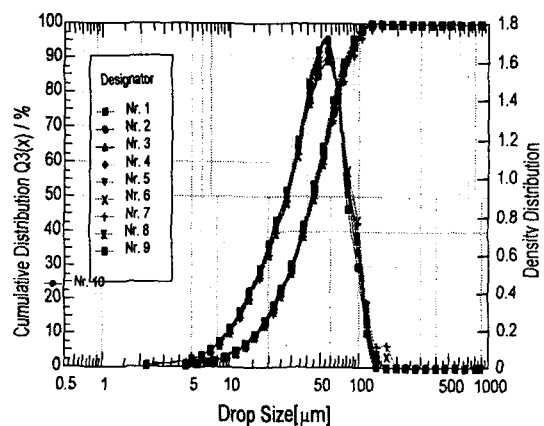


Fig.12 Drop size distribution measuring results of D1T injector at $\Delta P=0.2bar$.

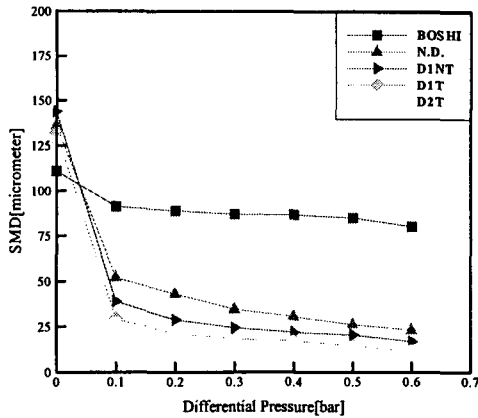


Fig.13 Comparison of SMDs for the various Air-Shrouded injectors

위의 결과를 볼 때 공기 통로에 나사산을 가공한 경우 분무 미립화가 크게 개선되는 것으로 결론지을 수 있다.

나사산이 있는 D1T와 D2T에 대한 분무입경을 Helos-Vario 시스템으로 측정을 행한 결과를 Fig.12과 Fig.13에 나타냈다. Fig.12는 D1T 인젝터에서 압력차가 0.2bar인 경우에 대해 측정한 cumulative volume distribution, density distribution 데이터이다. Fig.13은 각 시험 조건에서의 시험 결과를 종합해서 도시한 것이다. 나사산이 있는 경우(D1T)와 없는 경우(D1NT)의 SMD 측정 결과도 앞서 분무 사진에서 관찰했던 바와 같이 나사산이 있는 경우가 미립화특성이 크게 개선됨을 알 수 있다. 공기구멍의 크기 즉, 유량에 따른 영향을 보기 위해 측면 공기구멍의 직경이 1mm인 경우(D1T)와 2mm인 경우(D2T)를 비교해 보면 두 경우 모두 압력차가 0인 경우 125 μ m 부근의 SMD(Sauter Mean Diameter)를 나타내다가 압력차가 증가함에 따라 급격히 줄어든다. 특히 압력차가 0에서 0.1bar로 변할 때 급격한 감소를 나타내는데, D1T의 경

우 29.2 μ m, D2T의 경우 26.8 μ m로써 아주 좋은 미립화특성을 갖는다. D2T가 D1T에 비해 미립화특성이 약간 좋게 나타나는데, 이는 공기유량이 크기 때문이다.

4. 결론

본 과제에서는 가솔린 엔진의 냉시동시 미연탄화수소 배출을 저감하기 위한 방법으로써 분무 미립화특성을 개선한 Air-Shrouded 인젝터의 개발에 대한 연구를 행하였으며, 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

(1) 현재 상용되고 있는 Bosch社 및 Nippon-Denso社의 Air-Shrouded 인젝터에 대한 분무시험결과 내부혼합방식인 Nippon-Denso社의 경우가 분무 미립화특성이 우수하고, 분무의 cone angle을 작게 유지할 수 있어서 분무의 targeting 측면에서 우수한 특성을 나타냈다. 그러나, 압력차가 큰 경우에도 큰 연료입자들이 다수 나타나는데, 이는 공기통로 벽면에 묻은 필름 형태의 연료가 통로 벽을 따라 내려와 통로 끝단에서 미립화되기 때문으로 고찰되었다.

(2) 내부혼합방식의 공기노즐을 개발하였으며, 공기통로의 벽면에 나사산을 가공한 사양이 가장 좋은 미립화특성을 보였는데, 압력차가 0.1bar만 되도 SMD가 30 μ m이하로써 아주 좋은 미립화 특성을 나타냈다. 공기통로 벽면에 가공된 나사산에 의해 벽면에 필름 형태로 묻은 연료가 통로 하단까지 내려오지 못하고 중간에서 미립화되기 때문에 이와 같은 좋은 결과가 나타나는 것으로 사료된다. 이 개발된 인젝터를 엔진에 적용할 경우 미립화특성이

개선된 정도로 봐서 미연탄화수소 저감에 상당한 효과가 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- (1) K.Harada, R.Shimizu, K.Kurita, and M.Muramatsu, "Development of Air-Assisted Injector System", SAE Paper 920294
- (2) T.Sugimoto, K.Takeda, and H. Yoshizaki, "Toyota Air-mix Type Two-Hole Injector for 4-Valve Engines", SAE Paper 912351
- (3) G. Saikalis, R. Byers, and T. Nogi, "Study on Air-Assisted Fuel Injector Atomization and Effects on Exhaust Emission Reduction", SAE 930323
- (4) F.Q.Zao. M.C.Lai, and D.L. Harrington, "The Spray Characteristics of Automotive Port Fuel Injection- A critical Review", SAE Paper 950506
- (5) C.H. Daniels and L.W. Evers, "The Influence of Mixture Preparation on a Warm 1.9L Ford Engine", SAE Paper 940444
- (6) A.A.Amer and M.C.Lai, "Time-Resolved Measurements in Transient Port Injector Sprays", SAE Paper 950509