⊙ 速報研究論文

공기쉬라우드형 인젝터의 분무특성 연구

김 기 성* · 박 상 규*

Spray Characteristics of the Air-Shrouded Injectors

K-S Kim · S-K Park

Key words : Air-shrouded injector(공기쉬라우드형 인젝터), Unburned HC(미연탄화수소), Spray characteristics(분무특성), Gasoline engine(가솔린 엔진), Cold starting (냉시동)

Abstract

Improvement of 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 to develop air-shrouded injector with 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 shortcoming was improved by adopting the thread type air passages in the air nozzle.

1. 서 론

최근 자동차용 엔진의 개발 방향은 고출력, 고연비, 경량화를 추구하고 있으며, 이들 개발 목표보다 더 중요한 과제는 환경오염을 줄이기 위해 엄격해지고 있는 자동차 배기가스 규제를 만족할 수 있는 환경친화적인 엔진을 개발하는 것이다. 이러한 필요성으로 인해 규제대상인 유해 배기가스를 줄이기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있는데, 그 중에서 냉시동시 미연탄화수소(HC) 저감에 대한 해결책을 찾는 연구는 핵심과제 중의 하나로서 연구되고 있다.

냉시동시 HC 저감이 중요한 것은 자동차에서 배출되는 미연탄화수소의 60~70%가 냉시동시 웜업(warm-up)되기 전에 발생하기 때문이다[1].

냉시동시 미연탄화수소의 배출이 많은 이유는 흡기포트 및 흡기밸브, 연소실 벽면 등의 온도가 낮아 연료의 증발이 잘 되지 않는다는 것과 촉매

* 여수대학교 기계공학과(원고접수일 : 2001년 4월)

변환기의 온도가 낮아 촉매의 변환효율이 낮은 것 때문이다[2][3]. 이러한 문제를 해결하는 방안으로 강구되고 있는 것은 연료를 보다 미립화시켜 공급하는 방법, 배기다기관 및 CCC(Close Coupled Catalyst)의 열관성과 열손실을 줄여서 촉매의 활성화를 촉진시키는 방법, 엔진 블록 및 헤드에 공급되는 냉각수를 제어하는 방법 등이 대표적인 것들이다.

이들 방법 중에서 연료의 미립화특성을 좋게하는 방법으로써 공기제트의 운동량을 이용해 연료의 미립화를 촉진시키는 방법인 공기쉬라우드형 인젝터가 개발되었으며, 양산되는 자동차 중에는 이러한 종류의 인젝터가 일부 이용되고 있다. 공기쉬라우드형 인젝터는 일반적인 인젝터의 팁 부위에 공기를 분사시킬 수 있는 노즐을 설치한 구조이며, 대기와 흡기관의 압력차에 의해 공기가 노즐로 분사되는 방법이다. 흡기관 압력이 낮은 저부하 조건에서 공기제트의 유속이 빠르기 때문에 미립화 효과가 크다. 기존의 일반 인젝터의 SMD(Sauter Mean Diameter)가 150−200μm 정도인데 비해 공기쉬라우드형 인젝터의 SMD는 약 70~100μm 수준이다[4]~[7]. 그러나 엔진 시험 결과에 의하면 70~100μm 정도의 SMD를 갖는 인젝터로는 미연탄화수소의 배출이 크게 줄지는 않는데, 미연탄화수소의 배출 저감에 보다 많은 개선이 이루어지기 위해서는 현재의 공기쉬라우드형 인젝터 보다 SMD를 크게 줄일 수 있는 방법이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 분무미립화특성이 보다 좋은 공기쉬라우드형 인젝터의 개발을 위해서 먼저, 상용되고 있는 공기쉬라우드형 인젝터의 형태에 따른 분무특성을 측정하여 특성을 파악하였으며, 이 결과를 바탕으로 미립화특성을 개선할 수 있는 방안으로서 나사산형 공기통로를 갖는 공기쉬라우드형 인젝터를 고안하여 분무특성을 파악하였다.

분무형상과 개략적인 미립화특성은 고정도 CCD 카메라를 응용한 화상 시스템을 이용하여 측정하였고, 정량적인 분무입경분포특성 측정은 Fraunhofer 회절원리를 응용한 측정장치를 이용하였다.

2. 연구방법

2.1 시험 장치

분무특성 측정장치의 구성은 2가지 측정 시스템으로 구성되어 있다. Fig.1은 분무형상과 정성적인 분무미립화특성을 측정하기 위한 분무가시화 시스템이다. 이 가시화 시스템은 12비트, 고해상도(1280×1024)의 디지털 CCD 카메라와 발광기간이 약2μs인 플래시 광원으로 구성되어 있고, PC에 장착된 자체 제작한 컨트롤 보드에 의해 타이밍이 제어되도록 되어 있다. 분무 이미지는 콘트라스트가 좋도록 후광(back-lighting)에 의해서 얻어진다. 인젝터 컨트롤도 PC에 장착되어 있는 컨트롤 보드에 의해서 행해지며 분사기간과 분사주기를 임의로 가변할 수 있도록 되어있다. Fig.2는 분무입자의 크기분포를 측정할 수 있는 분무입경측정장치(Helos-Vario, Sympatec社)이다. 이 장치의 측정 원리는 Fig.3과 같이 Fraunhofer 회절이론을 이용하며, He-Ne 레이저 빔이 분무영역을 지날 때 분

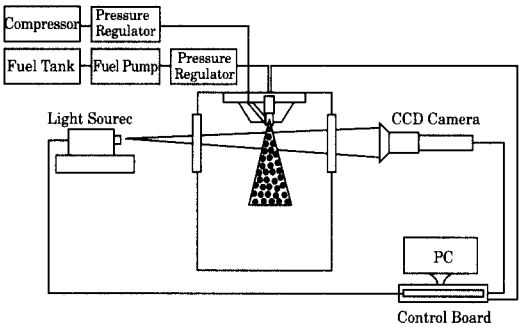


Fig. 1 Layout of the spray visualization system.

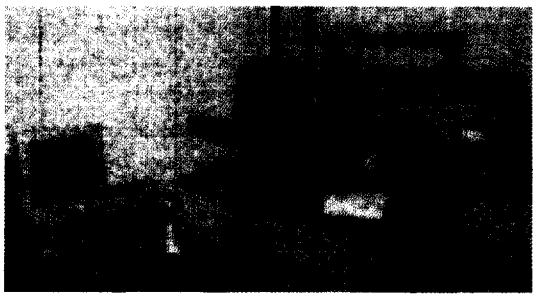


Fig. 2 Drop sizing system

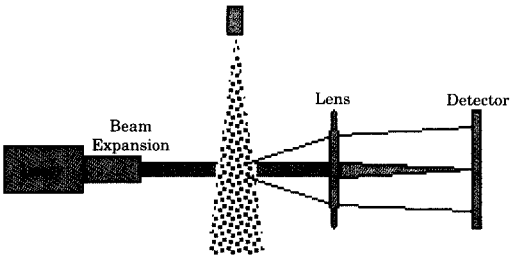
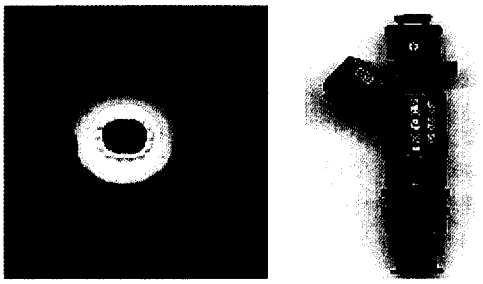
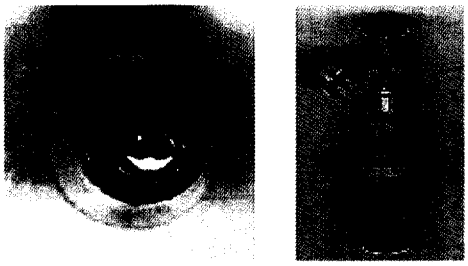


Fig. 3 Schematic diagram of drop sizing principle using Fraunhofer diffraction



(a) Bosch air-shrouded injector



(b) Nippon-Denso air-shrouded Injector

Fig. 4 The shapes of the commercial air-shroudedn injectors. (a) Bosch (b) Nippon-Denso

무에 의해 산란되거나 회절된 빛을 31개의 반원형 디택터 어레이로 측정하여 이 데이터로부터 입경 분포를 계산하도록 되어 있다. 수광 렌즈는 R5를 이용하였는데, R5의 측정영역은 입자직경 4.5~875μm, 작동거리(working distance)는 478mm, 레이저 빔 직경은 13mm이다.

공기쉬라우드형 인젝터에서 공기제트를 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.

실제엔진의 경우 공기노즐 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 상용 공기쉬라우드 인젝터의 분무특성을 파악하기 위하여 보쉬(Bosch)사와 니폰댄소(Nippon-Denso)사의 상용 인젝터에 대해 시험하였으며, 상용 제품보다 미립화특성이 우수한 공기쉬라우드 인젝터의 개발을 위해서 자체 제작한 공기노즐을 일반 인젝터(보쉬사 제품)에 장착해서 공기쉬라우드 인젝터를 만들어 이에 대해 시험하였다. 이들 인젝터의 정적유량(static mass flow rate)은 보쉬 인젝터가 187g/min, 니폰댄소 인젝터가 180g/min로서 비슷하기 때문에 연료유량차이에 의한 미립화 특성에 대한 영향은 미미하다고 볼 수 있다. 보쉬사의 공기쉬라우드인젝터의 기하학적인 특징은 Fig.4(a)에서 볼 수 있는 바와 같이 인젝터의 분사공에 바로 인접해서 공기제트가 연료줄기에 직각으로 충돌하도록 되어 있고, 분사공으로부터 약 3mm 하단에 지름 1mm의 봉이 장착되어 있다는 것이다. 이 봉은 일종의 충돌체로서의 역할을 하는데, 이 봉이 없을 경우 노즐 양단의 압력차가 크게 되면 공기의 충돌운동량이 커지게 되고 두 줄기 분무가 좁혀져서 한 줄기 분무로 변하는 문제점이 있다. 그러나, 이 봉이 있음으로 해서 이 봉에 충돌한 분무가 두 줄기로 나뉘어서 나가기 때문에 이러한 문제점은 해소된다. 니폰댄소사 공기보조인젝터의 기하학적 형상은 Fig.4(b)와 같으며 분무공을 통해 분사된 두 줄기 분무가 역Y자형의 통로를 통과하게 되고 통로 측면의 공기통로를 통해서 공기가 유입되어 분무와 충돌하면서 미립화를 증대시키는 형태인데, 내부혼합방식(internal mixing type)의 일종이다. 분무특성 측정시 분사기간은 20ms로 하였으며, 분무입경 측정지점은 인젝터 팁에서 10cm 하단이며 입자가 가장 많이 지나가는 분무줄기의 중심축선상 한 지점에서 측정하였다. 정확한 측정을 위해서는 간헐분사이기 때문에 분사초기부터

말기까지 시간대에 따라 측정하고 여러 지점에서 측정해서 평균분무입경을 계산해야 하지만 본 시험에서는 분무가 완전히 발달한 분무중기에 분무입자가 가장 많이 지나가는 대표적인 한 지점에서의 값을 측정해서 비교했는데, 상대적인 비교를 위한 대표값으로는 문제가 없을 것으로 생각된다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 상용 공기쉬라우드 인젝터 시험 결과

현재 양산되고 있는 보쉬사와 니폰댄소사의 공기쉬라우드형 인젝터에 대해 공기노즐 양단의 압력차 △P를 0, 0.2, 0.4, 0.6bar로 변화시키면서 분무형상을 측정하였다. Fig.5는 보쉬사 공기쉬라우드형 인젝터의 압력차에 따른 분무형태의 변화를 나타낸 것이다. 압력차에 따라 분무각(cone angle)과 분무줄기각(stream angle)에 큰 변화는 없으나 압력차가 클수록 분무축 중심에 작은 크기의 연료입자들이 많이 분포하는 것을 볼 수 있다. 이 인젝터를 엔진에 적용할 경우 흡기포트의 격벽이나 흡기포트 벽면에 묻는 연료입자가 많을 것으로 사료된다. 이 분무형상 이미지를 보면 연료입자의 대략적인 크기를 알 수 있는데, 압력차에 따라 분무입경이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 연료에 충돌하는 공기의 운동량이 클수록 미립화가 촉진되는 것으로 일반적인 현상이다.

Fig.6은 니폰댄소사의 공기쉬라우드형 인젝터의 분무형태를 나타낸 것이다. 분무형상을 보면 분무각이 보쉬사 인젝터에 비해 작으며, 압력차가 커져도 일정한 분무각을 유지하기 때문에 엔진에 적용시 흡기포트 벽면에 묻는 연료의 양은 적을 것으로 사료된다. 압력차가 증가할수록 입경은 급격히 줄어든다. 보쉬사 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 미립화되기 때문인 것으로 생각된다. 위의 결과로부터 보쉬사의 공기노즐 형태에 비해 니폰댄소사의 내부혼합방식이 보다 좋은 미립화특성을 나타냄을 알 수 있다. 그리고, 분무각을 작고 일정하게 유지할 수 있기 때문에 포트벽면에 묻는 연료의 양을 최소화하는 측면에서도 보다 좋은 특성을 나타낼 것으로 보여진다.

3.2 개발 인젝터 시험결과

두 가지 양산 공기쉬라우드 인젝터에 대한 시험결과 내부혼합방식의 니폰댄소 인젝터가 미립화특성과 분무각 일정성 측면에서 좋게 나타났기 때문에 본 연구에서도 개발하고자 하는 공기쉬라우

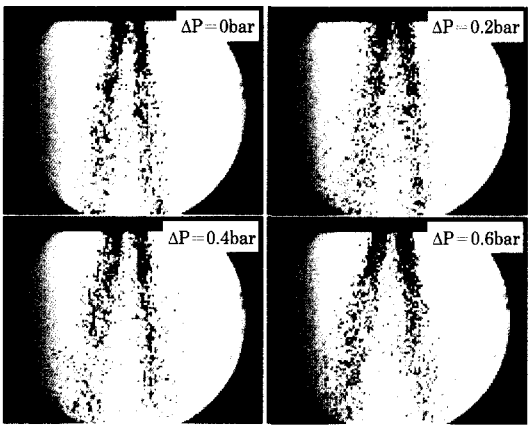


Fig. 5 Spray images of Bosch air-shrouded injector at the different differential pressure conditions

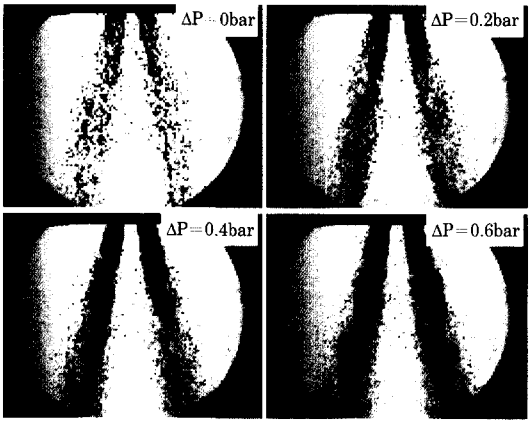


Fig. 6 Spray images of Nippon-Denso air-shrouded injector at the different differential pressure conditions.

드 인젝터의 공기노즐을 내부혼합방식으로 하였다. 그러나, 니폰댄소 인젝터의 경우에도 압력차가 비교적 큰 0.4, 0.6bar 조건에서 큰 입자들이 많이 발생하는 문제점이 있었는데, 이러한 문제점의 해결과 미립화특성을 보다 개선하기 위하여 나사산형 공기통로를 갖는 공기쉬라우드 인젝터를 고안하였다.

이와 같은 형태를 고안하게 된 것은 앞서 언급한 바와 같이 니폰댄소사 인젝터의 경우 통로벽면에 필름 형태로 연료가 밀려 내려와 통로 끝에서 미립화가 일어날 가능성이 많다고 보았기 때문이며 이러한 특성을 줄이기 위한 방안으로서 통로에 나사산을 가공하였다. 직관적으로 벽면에 요철이 있을 경우 연료가 필름 형태로 형성되기 힘들기 때문에 통로의 끝단까지 필름형태로 밀려 내려오는 문제는 크게 줄어들 것으로 생각할 수 있다.

Table 1 Geometrical specifications and abbreviation of air-nozzles.

Diameter of Side Holes (mm)	Thread	Abbreviation
1	×	D1NT
1	○	D1T
2	×	D2NT
2	○	D2N

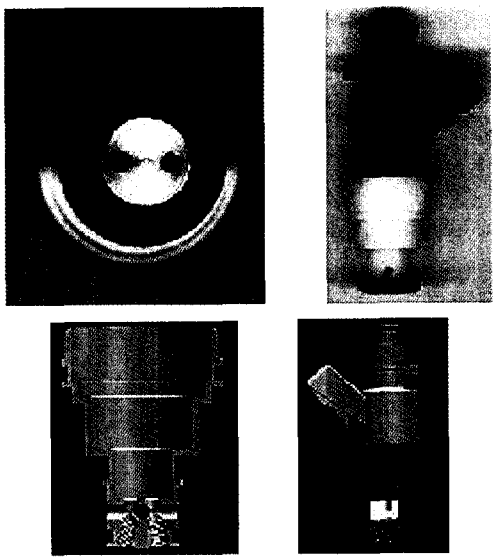


Fig. 7 The shapes and sectional drawings of developed air-shrouded injector.

Fig.7은 개발사양 공기쉬라우드 인젝터의 외관과 공기 노즐의 단면을 나타낸 것이다. 공기는 측면에 뚫린 4개의 구멍을 통하여 내부로 유입되고, 2개의 공기통로에서 연료와 혼합되면서 분사되게 된다. 단면도면은 공기통로에 나사산을 가공한 것을 보여주고 있다. 공기쉬라우드 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, 분사통로에 나사산을 가공한 경우와 니폰댄소 인젝터와 같이 매끈한 통로로 되어 있는 경우에 대해 영향을 조사하였다. Table 1은 본 연구에서 시험한 공기 노즐의 사양과 약칭을 나타낸 것이다.

Fig.8은 시험에 이용한 공기쉬라우드형 인젝터의 압력차에 대한 공기유량 변화를 나타낸 것이다. 보쉬 인젝터의 경우 니폰댄소 인젝터에 비해 공기유량이 약30% 정도밖에 되지 않는다. 개발 인젝터의 경우 공기노즐 옆면 공기구멍이 직경1mm인 경우는 니폰댄소 인젝터보다 약10%정도 공기유량이 많고, 공기구멍이 직경 2mm인 경우는 약2배정도 많다. 공기통로에 나사산이 있는 경우가 없는 경우에 비해 공기유량이 약간 많다.

Fig.9는 D1NT에 대한 결과이고, Fig.10은 D1T

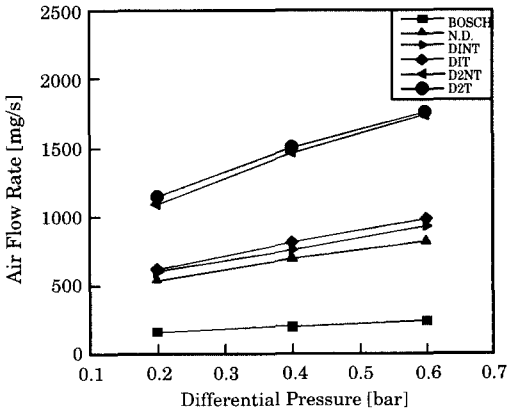


Fig. 8 Air flow rates of the vaious air-shrouded injectors.

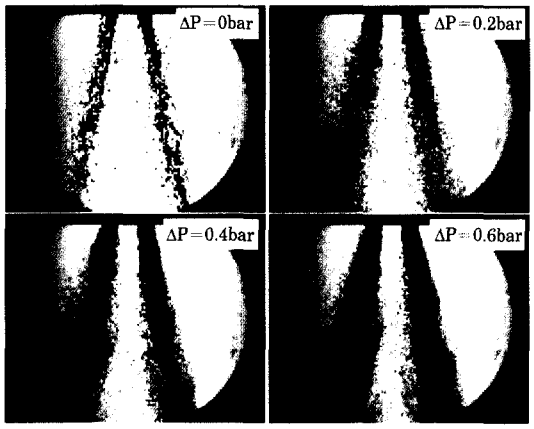


Fig. 9 Spray images of D1NT air-shrouded injector at the different differential pressure conditions

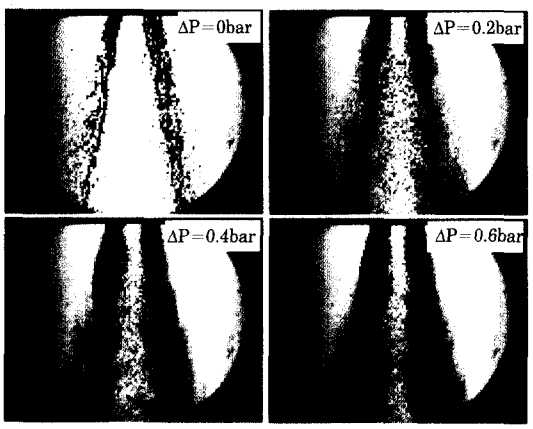


Fig.11 Spray images of D2NT air-shrouded injector at the different differential pressure conditions

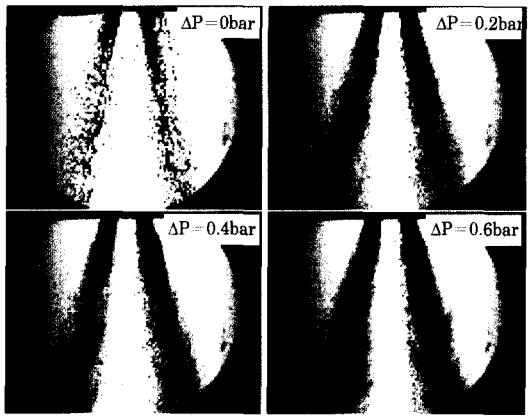


Fig.10 Spray images of D1T air-ahrouded injector at the different differential pressure conditions

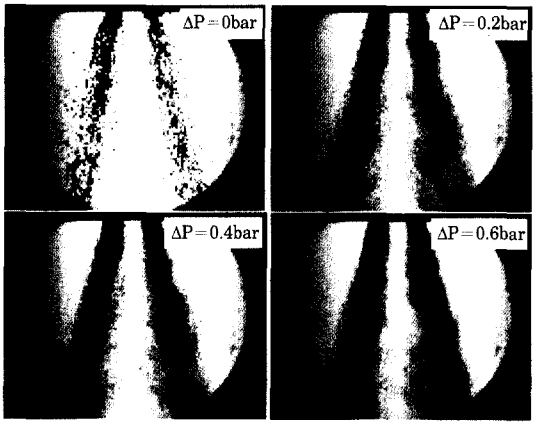


Fig.12 Spray images of D2T air-shrouded injector at the different differential pressure

에 대한 분무형태 측정 결과이다. 압력차가 0인 경우에는 연료입자가 크고, 띠(ligament) 형태도 많이 보인다. 그러나 압력차가 증가함에 따라 분무입경은 크게 줄어든다. 두 줄기 분무 중에서 우측의 분무가 압력차가 적을 때 띠 형태의 연료가 보다 많이 나타나는데 이는 노즐의 분사통로 가공시 각도가 약간 부정확하게 가공되어서 분무축과 분사통로축이 맞지 않기 때문인 것으로 사료되며, 좌측의 분무는 정상적인 것으로 볼 수 있다. D1NT와 D1T 모두 압력차가 0.2bar만 되어도 분무의 미립화특성이 크게 좋아지는 것을 볼 수 있다. 나사산을 가공하지 않은 D1NT의 경우 니폰댄소 인젝터에서와 마찬가지로 큰 입자들이 다수 나타나지만 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.11과 Fig.12는 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 때

문에 D1NT와 D1T에 비하여 미립화 특성이 보다 좋아지는 것을 볼 수 있다. 위의 정성적인 결과만 보아도 분사통로에 나사산을 가공한 경우 분무 미립화특성이 상당히 개선된다는 것을 알 수 있다.

인젝터에 따른 평균분무입경을 정량적으로 정확하게 알기 위해서 Helos-Vario 시스템으로 분무입경측정을 행하였다. Fig.13은 D1T 인젝터에서 압력차가 0.2bar인 경우에 대해 측정한 누적체적분포(cumulative volume distribution)와 밀도분포(density distribution) 데이터이다. 측정시간에 따라 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

Fig.14는 각각의 인젝터에 대해 측정한 시험결과를 종합해서 도시한 것이다. 앞서 분무사진에서 정성적으로 알 수 있었던 바와 같이 보쉬 인젝터의 경우 압력차가 증가했을 때 미립화특성의 개선 효과가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 Fig.8의 공기유량 측정결과에서 볼 수 있듯이 공기유량이 적고, 압력차가 증가해도 유량증가폭이 크지 않기 때문이다. 니폰댄소 인젝터의 경우는 압력차가 증가함에 따라 미립화특성이 급격히 좋아지는 경향을 나타낸다. 보쉬인젝터와 니폰댄소 인젝터의 결과를 비교해 보면 미립화특성의 개선을 위해서는 적정 공기유량이 확보가 절대적임을 알 수 있다.

개발 인젝터의 경우 노즐통로에 나사산이 있는 경우(D1T)와 없는 경우(D1NT)를 비교해 보면 나사산이 있는 경우가 미립화특성이 크게 개선됨을 알 수 있다.

유량에 따른 영향을 보기 위해 측면 공기구멍의 직경이 1mm인 경우(D1T)와 2mm인 경우(D2T)를 비교해 보면 두 경우 모두 압력차가 0인 경우 125μm 부근의 SMD(Sauter Mean Diameter)를 나타내다가 압력차가 증가함에 따라 급격히 줄어든다. 특히 압력차가 0에서 0.1bar로 변할 때 급격한 감소를 나타내는데, D1T의 경우 29.2μm, D2T의 경우 26.8μm로써 아주 좋은 미립화특성을 갖는다. D2T가 D1T에 비해 미립화특성이 약간 좋게 나타나는데, 이와 같이 차이가 적은 것은 일반적으로 공기의 운동량을 이용해 미립화를 행하는 2유체분사장치에서 분사되는 공기/연료비가 적은 영역에서는 공기/연료비가 조금 증가해도 평균분무입경이 크게 감소하지만 공기/연료비가 큰 영역에서는 공기/연료비가 증가해도 평균분무입경의 감소율이 미미하기 때문이다. 이러한 결과를 볼 때 공기쉬라우드 인젝터에서 공기유량을 적절하게 확보하는 것이 가장 중요한 요소가 된다는 것을 알 수 있으며, 공기유량이 너무 적으면 미립화 개선효과가 적고, 많아지면 공기유량이 증가해도 미립화특성 개선 효과는 미미함을 알 수 있다. 공기쉬라우드 인젝터를 통한 공기유량이 많아지면 엔진 제어가 복잡해지기 때문에 인젝터를 통한 공기 유입은 최소화하는 것이 바람직하다. 이러한 관점에서

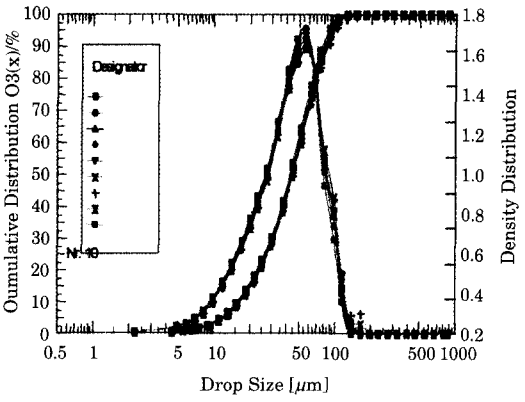


Fig.13 Drop size distribution measuring results of D1T injector at △P=0.2bar

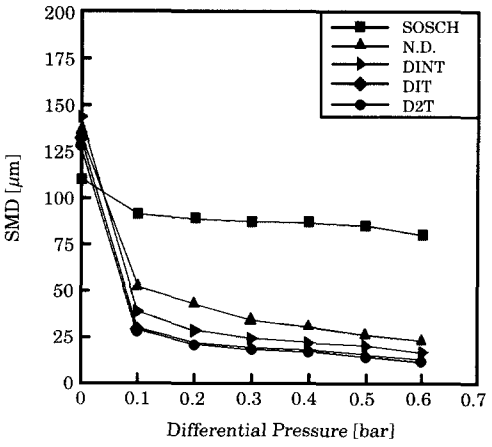


Fig.14 Comparison of SMDs for the various air-shrouded injectors

볼 때 본 연구를 통해 개발된 나사산형 통로를 갖는 공기쉬라우드 인젝터의 경우 공기유량을 보다 줄여도 미립화특성은 기존의 인젝터들에 비해서 좋을 것으로 생각되기 때문에 엔진 적용에 보다 적합할 것으로 사료된다.

이상의 결과를 종합해 보면 보쉬사의 공기쉬라우드 인젝터는 공기량이 적어 일반 인젝터에 비해 분무미립화특성이 크게 개선되지 않으며, 분무의 타겟팅(targeting) 측면에서도 좋지 않다. 니폰댄소 인젝터는 분무미립화특성이 크게 개선되었으나 큰 입자들이 다수 발생하는 문제점이 있었다. 당 연구에서 개발한 나사산형 공기통로를 갖는 내부혼합형 공기쉬라우드 인젝터는 압력차가 적은 조건에서도 미립화특성이 좋으며, 니폰댄소 인젝터에 비해 미립화특성이 크게 개선되는 효과가 있었다. 따라서, 실 엔진에 적용했을 때 냉시동시 미연탄화수소 배출 저감에 상당한 효과가 있을 것으로 기대할 수 있다.

4. 결 론

본 과제에서는 가솔린 엔진의 냉시동시 미연탄화수소 배출을 저감하기 위한 방법으로써 분무미립화특성을 개선한 공기쉬라우드형 인젝터의 개발에 대한 연구를 행하였으며, 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

(1) 현재 상용되고 있는 보쉬사 및 니폰댄소사의 공기쉬라우드 인젝터에 대한 분무시험결과 내부혼합방식인 니폰댄소사의 경우가 분무미립화특성이 우수하고, 분무각을 작게 유지할 수 있어서 분무의 타겟팅 측면에서 우수한 특성을 나타냈다. 그러나, 압력차가 큰 경우에도 큰 연료입자들이 다수 존재하였다.

(2) 나사산형 공기통로를 갖는 내부혼합방식 공기쉬라우드 인젝터를 개발하였으며, 분무시험결과 압력차가 0.1bar만 되어도 SMD가 30μm이하로써 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] G. Saikalis, R. Byers, and T. Nogi, "Study on Air-Assisted Fuel Injector Atomization and Effects on Exhaust Emission Reduction", SAE 930323

[2] F.Q. Zao. M. C.Lai, and D. L. Harrington, "The Spray Characteristics of Automotive Port Fuel Injection-A critical Review", SAE Paper 950506

[3] C. H. Daniels and L. W. Evers, "The Influence of Mixture Preparation on a Warm 1.9L Ford Engine", SAE Paper 940444

[4] K. Harada, R. Shimizu, K. Kurita, and M. Muramatsu, "Development of Air-Assisted Injector System", SAE Paper 920294

[5] T. Sugimoto, K. Takeda, and H. Yoshizaki, "Toyota Air-mix Type Two-Hole Injector for 4-Valve Engines", SAE Paper 912351

[6] A. A. Amer and M. C. Lai, "Time-Resolved Measurements in Transient Port Injector Sprays", SAE Paper 950509

저 자 소 개

김기성(金基成)
1960년 6월생, 1987년 부산대학교 기계설계학과 졸업, 1994년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(박사), 1994~1998 현대자동차 중앙연구소, 1998~ 여수대학교 기계공학과 조교수

박상규(朴相圭)
1960년 5월생, 1981년 조선대학교 금속대학 정밀기계공학과 졸업, 1983년 인하대학교 기계공학과 졸업(석사), 1989년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1991년~여수대학교 기계공학과 부교수