〈논 문〉 SAE NO. 98370067

공기보조형 가솔린 연료 분사기의 분무거동 및 미립화 특성

Spray Behavior and Atomization Characteristics of Air-Assist Type Gasoline Fuel Injector

노 병 준*, 강 신 재*, 김 원 태**
B. J. Rho, S. J. Kang, W. T. Kim

ABSTRACT

To investigate the spray behavior and atomization characteristics using an air-assist injector, spray visualization and PDPA measurements were carried out under the various assisted air pressures and the fixed fuel pressure. The air assist pintle type injector employed in this study is consisted of the air assist adaptor and an injector housing using the gasoline fuel and air as the working fluids. As results, increasing pressure of assisted air, the growth of spray tip penetration is gradually reduced at the end of spray and spray angle is steadily increased at the main spray region except from the early spray. For the air assist pressure of 25kPa in a spray downstream, it is concluded that droplet size distribution shows the peak of 10㎛ and most of the droplet sizes are less than 50㎛. Also, the air-assist injector extremely improves fuel atomization in order to produce much finer droplets, it shows that approximately, in this case, 50% decrease of SMD than without air assist.

주요기술용어 : Air-Assist Injector(공기보조 분사기), Atomization(미립화), PDPA(Phase Doppler Particle Analyzer), Spray Tip Penetration(분무선단 도달거리), Spray Angle(분무각), SMD(Sauter Mean Diameter)

* 정회원, 전북대학교 기계공학부
** 전북대학교 정밀기계공학과 대학원

1. 서 론

최적의 연소효율을 얻기 위하여 연료 분사기의 분무특성은 중요한 역할을 한다. 연료가 미세한 액적들을 형성함으로서 공기와의 접촉면적을 증대시키고, 쉽게 기화할 수 있게 하여 양호한 혼합기를 형성하게 한다. 이런 연료의 미립화 향상은 저온 시동되는 가솔린 엔진의 경우, 흡기포트 및 밸브 면에 부착되는 연료량을 감소함으로서 연소 후 생성되는 배기가스의 오염물질 감소에 영향을 준다. 따라서, 연료분사기의 미립화 향상에 대한 연구가 많은 연구자에 의하여 진행되어져 왔다.[1~9] 이들 연구 중에서 공기를 분사되는 연료에 부가하여 연료와 공기의 충돌 및 전단작용에 의해 미세한 액적들을 생성하게 하는 공기보조 방식의 미립화 연구가 활발히 이루어지고 있다. Saito 등[5]은 전자제어식 연료분사(EFI) 시스템의 연료분사기에 다른 형태로 공급되는 보조 공기에 의한 분무특성을 고속 사진과 레이저 회절기법을 이용하여 고찰하였다. 그 결과로, 보조 공기를 공급함에 따라, SMD가 50㎛ 이하인 미세한 액적들을 생성함으로서 연료 미립화를 매우 향상시켰다. 공기 보조에 의해 미립화가 향상된 연료분사기를 사용하여 Saikalis 등[6]은 저온 시동 조건에서 미연 탄화수소 배기가스를 27% 감소시켰으며, Harada 등[7]과 Sugimoto 등[8]은 보조 공기의 충돌에 의해 연료를 미립화하고, 분무방향이 개선된 공기보조형 2공 분사기를 개발하여 HC 배출량을 감소시키고 엔진에 탑재하여 상용화하였다. 또한, 김 등[9]은 가솔린 기관의 희박 연소 성능을 개선하기 위하여 압축공기를 이용한 공기 보조 연료 분사장치를 개발하여 분사된 연료의 미립화와 혼합기의 유동을 촉진함으로서 기관의 성능을 개선하였다.

따라서, 본 연구에서는 전자적으로 제어되는 핀틀형 가솔린 연료분사기에 외형의 변화 없이 보조 공기가 공급되어질 수 있도록 어뎁터와 하우징을 설계 제작하여 설치하고, 보조공기의 공급량에 의해 나타나는 분무 거동 및 미립화 특성을 고찰하여 미립화 향상 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 측정방법

2.1 공기보조형 연료분사기

본 연구에 사용된 공기 보조 연료분사기는 포트 분사식에 사용되고 있는 핀틀형 연료 분사기에 보조 공기를 공급할수 있도록 Fig.1에 보이는 것과 같이 제작하였다. 공기보조 연료분사기는 핀틀형 연료분사기, 분사기 하우징(housing), 공기 보조 어뎁터(adaptor)로 구성되어 있다. 핀틀형 연료분사기의 노즐부를 보호하고 있는 캡

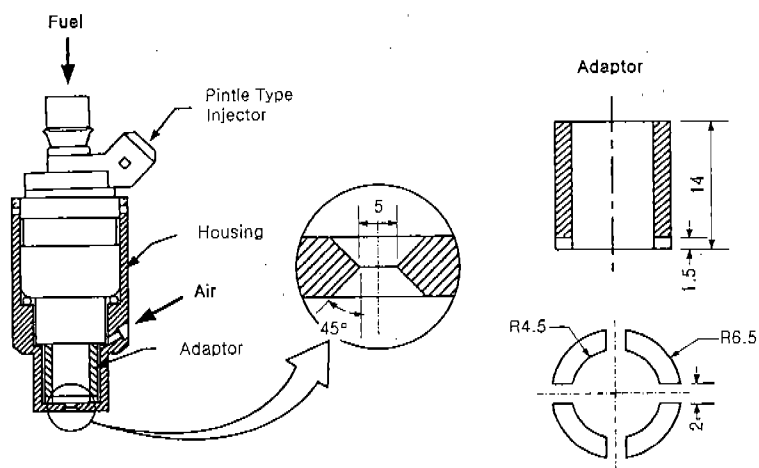


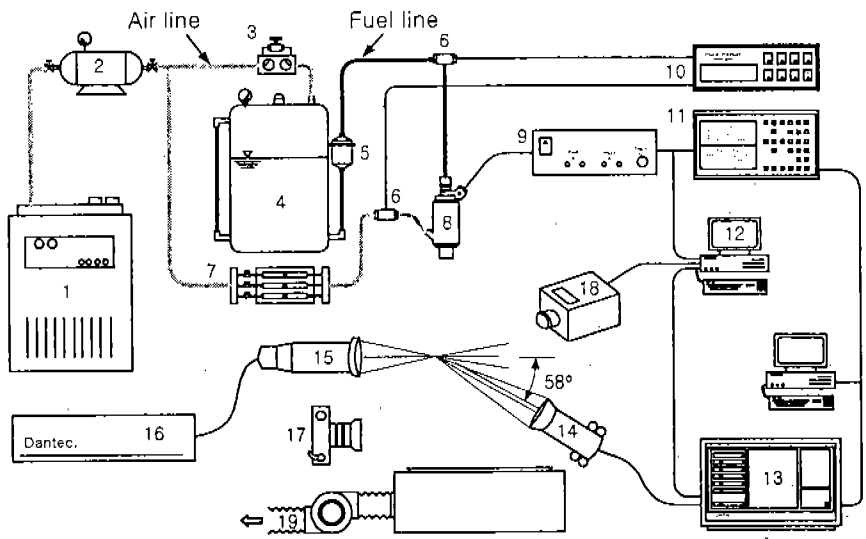
Fig.1 Configuration of air-assist injector

(cap) 부분에 공기 보조 어뎁터를 장착하고, 이를 분사기 하우징으로 결합하였다. 일정한 압력으로 공급되는 연료는 캡으로 둘러싸인 핀틀 분사기의 오리피스 출구로 분출되고, 미립화를 촉진하기 위한 보조 공기는 하우징의 공기 유입구를 통하여 유입되고 어뎁터와 하우징 사이의 통로를 따라 유동하여 하우징과 밀착되어 있는 공기보조 어뎁터의 4개의 홈을 통하여 액막(liquid sheet)으로 분출되는 연료에 충돌하므로서 액막의 분열을 촉진하게 된다. 그러므로서, 미립화가 향상된 분무가 직경이 5mm이고, 확산각이 45° 인 하우징의 오리피스를 통하여 분출된다. 본 실험에 사용한 공기보조 연료분사기는 기존의 연료분사기에 외부적인 가공을 하지 않고 단순히 어뎁터와 하우징으로 결합함으로서 쉽게 제작할 수 있으며, 어뎁터의 형상을 변경하므로서 여러 형태의 분무특성을 얻을 수 있어 그 활용도가 넓다고 할 것이다.

2.2 분무 측정장치

공기보조 연료분사기의 보조 공기량 변화에 따른 분무특성을 고찰하기 위한 실험장치의 개략도가 Fig.2에 보이고 있다.

연료분사기에 일정한 연료를 공급하기 위하여 공기 압축기로 가압된 공기를 충전용기(surge tank)에서 압력맥동을 소거하고 압력조절기를 통과한 일정한 압력의 공기가 연료탱크의 연료를 가압하도록 하였다. 가압된 연료는 연료필터를 통과하여 연료분사기에 공급되어진다. 공급되는 연료 공급압력을 측정하기 위하여 분사기의 노즐 선단부에서부터 10cm 상류에서 압력센서에 의해 압력을 측정하였다. 연료분사기의 솔레노이드 밸브를 개폐하여 간헐적인 분무를 생성하기 위하여 연료분사조절장치를 컴퓨터와 인터페이스 하여 연료 분사시기와 기간을 조절할 수 있도록 하였다. 연료의 미립화를 촉진하기 위하여 공급



1. Air compressor
2. Surge tank
3. Pressure regulator
4. Fuel tank
5. Fuel filter
6. Pressure sensor
7. Air flowmeter
8. Air-assist injector
9. Fuel injecton control unit
10. Digital pressure indicator
11. Digital Oscilloscope
12. IBM computer
13. PDA signal processor
14. Receiving optics
15. Transmitting optics
16. Ar-ion laser
17. Camera
18. Stroboscope
19. Suction blower

Fig.2 Schematic of experimental set-up

되는 보조 공기는 충전용기의 가압 공기의 일부를 공기 유량계에 의하여 일정한 압력으로 조절하여 분사기 하우징의 공기 유입구에서 연료 공급압력 측정과 동일한 방법으로 보조 공기의 공급압력을 측정하였다.

분무 거동을 파악하기 위한 가시화 사진은 스트로보스코프(stroboscope : DX-525A)의 발광시기를 연료분사기의 분사기간과 함께 컴퓨터로 동시에 조절하여 분사 이후의 시간 변화에 따른 정지 영상을 얻고, 이를 55mm 매크로 렌즈(Macro-NIKKOR)가 부착된 카메라(Nikon)를 사용하여 촬영하였다.

분무된 연료 액적들의 크기를 측정하기 위한 PDPA(Phase Doppler Particle Analyzer)시스템은 측정체적을 형성하기 위한 레이저 광원으로 공랭식 Ar-ion 레이저(DANTEC, 750mW)를 이용하였다. 두빔의 교차에 의해 형성되는 측정체적을 통과하는 액적의 굴절 되는 최적의 산란광을 받을 수 있도록 수광부를 빔의 진행방향으로부터 58°가 되게 설치하였다. 연료분사기는 고정하였고, 송광부와 수광부는 컴퓨터에 의해 정확하게 측정위치로 이송이 가능한 3차원 이송장치의 고정 벤치에 설치하였다. 버스트(burst) 검출방식의 신호처리기(DANTEC, 58N10)를 이용하여 입자의 크기를 측정하였으며, 수광센서에 공급되는 고전압은 1,400Volt로 설정하였다.

2.3 측정방법

공기보조 연료분사기의 분무를 축대칭이라고 가정하고 2차원 측정을 수행하였다. 분사기간에 따라 간헐적으로 분사되는 연료의 분사압력은 300kPa로 일정하게 유지시켰으며, 이때 분사되는 연료량은 60.8g/s(3.04g/1회)이었다. 분사기간은 5ms로 고정하였으며, 분사가 이루어지는 주기는 100ms(10Hz)로 설정하였다. 연속적으로 공급되는 보조공기의 압력(P_{air})은 0kPa~25kPa로 변화시켜가며 실험을 수행하였으며, 이 때 각 보조 공기 압력에 따른 유량은 0g/s~1.217g/s였다. 분무 측정위치는 분무 축방향(Z축)으로 10~70mm 까지 10mm 간격으로 각 분무 축 단면에서 반경방향(R축)으로 2mm씩 PDA 시스템에 의해 형성되는 측정체적을 이송하여 분무 외곽까지 측정하였다. Fig.3에 공기보조 연료분사기의 분무특성을 측정하기 위한 측정점들을 표시하였다. 연료분사기에 공급되는 연료는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 무연 가솔린을 사용하였다. 분무특성을 정량적으로 분석하기 위하여 사용된 PDPA 시스템은 연료분사기에 공급되는 분사펄스와 동일한 시간에 리셀(reset) 신호를 분사주기 마다 반복하여 주고, 한 측정점에서 10,000여개의 데이터를 얻어 분사주기로 시간분해(time resolved)하여 분석하였다. 실험이 이루어지는 동안 주위공기의 온도는 23±0.5℃로 일정하게 유지하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분무유동 가시화

간헐적으로 분사되는 일정한 연료량에 연속적으로 공급되는 보조 공기량을 변화시켜 얻어지는 분무거동이 Fig.4와 5에 보이고 있다. 보조공기의 공급없이 연료만 5ms 동안 주기적으로 분사되는 Fig.4의 경우, 일반적인 핀틀형 분사기의 분무 구조를 보이고 있다. 분사초기에 핀틀의

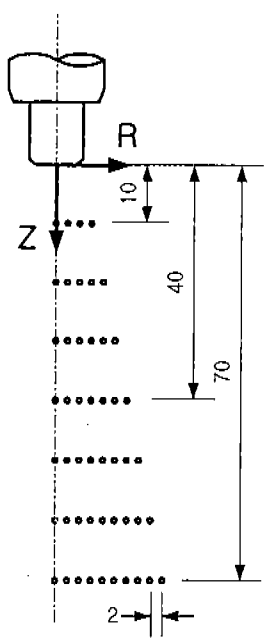


Fig.3 Measuring points

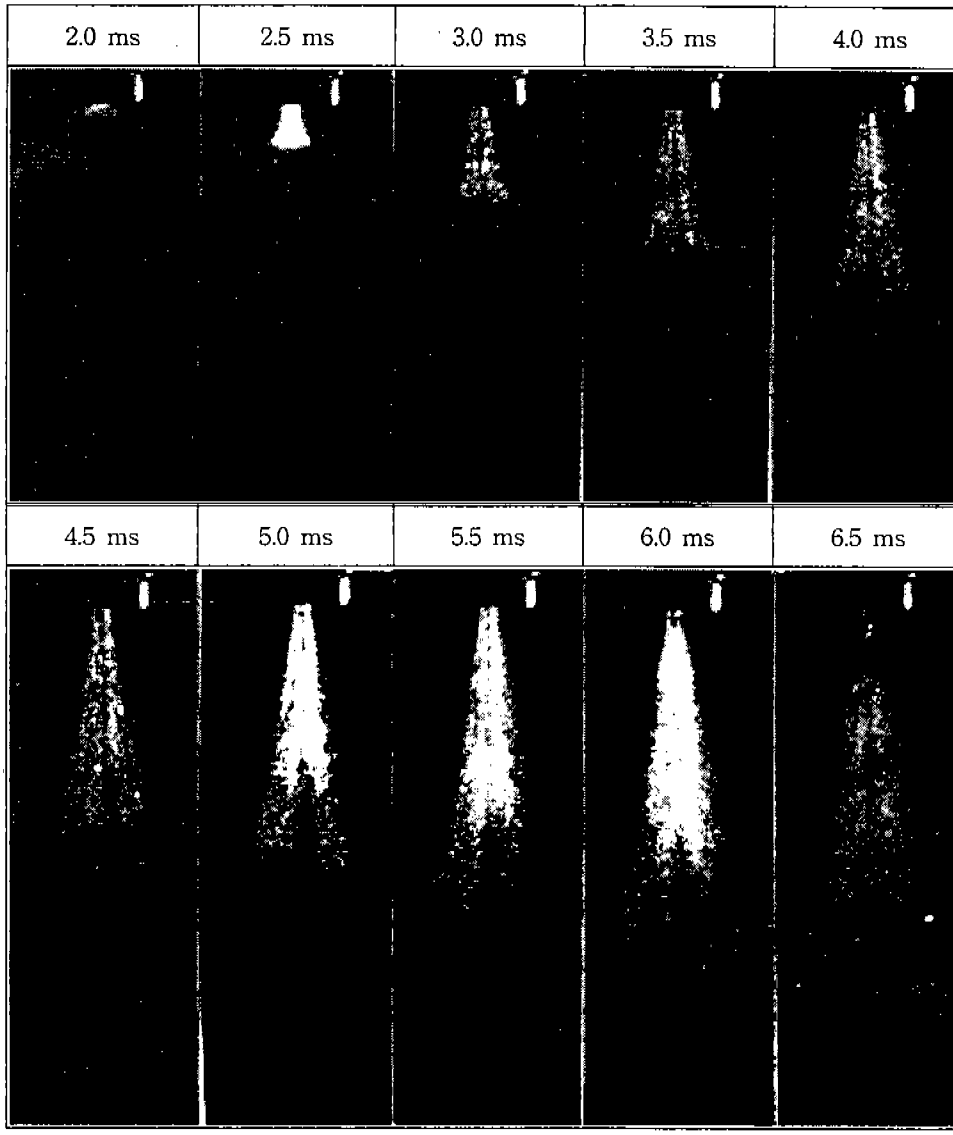


Fig.4 Photographs of spray behavior without air assist

영향으로 형성되는 중공원추(hollow cone)의 분무 구조를 확인할 수 있으며, 연료분사기 핀틀의 관성력과 기하학적인 요인으로 인하여 분사개시 후 약 2.0ms에서 분무선단을 육안으로 확인할 수 있다. 2.5ms에서는 액막(liquid sheet)이 분열되어지는 과정인 물결파(wave)가 관찰되고 있으며, 시간이 경과함에 따라 물결파가 성장하면서 분열이 촉진되어 짐을 볼 수 있다. 실험조건이 다른 조 등[10]과 노 등[11]에 의한 핀틀형 분사기의 분무거동 가시화와 동일한 형상이 관측되고 있다. 분사말기인 6.5ms에서 핀틀이 닫히면서 분출되는 연료량이 감소하여 연료 액막이 형성되어지고 있다. 분사말기에 형성되는 연료 액막들은 운동에너지가 작기 때문에 작은 액적들로 형성되지 못하고 대부분 큰 액적들로 남게 된다. 따라서, 분사말기에 형성되는 운동량이 작

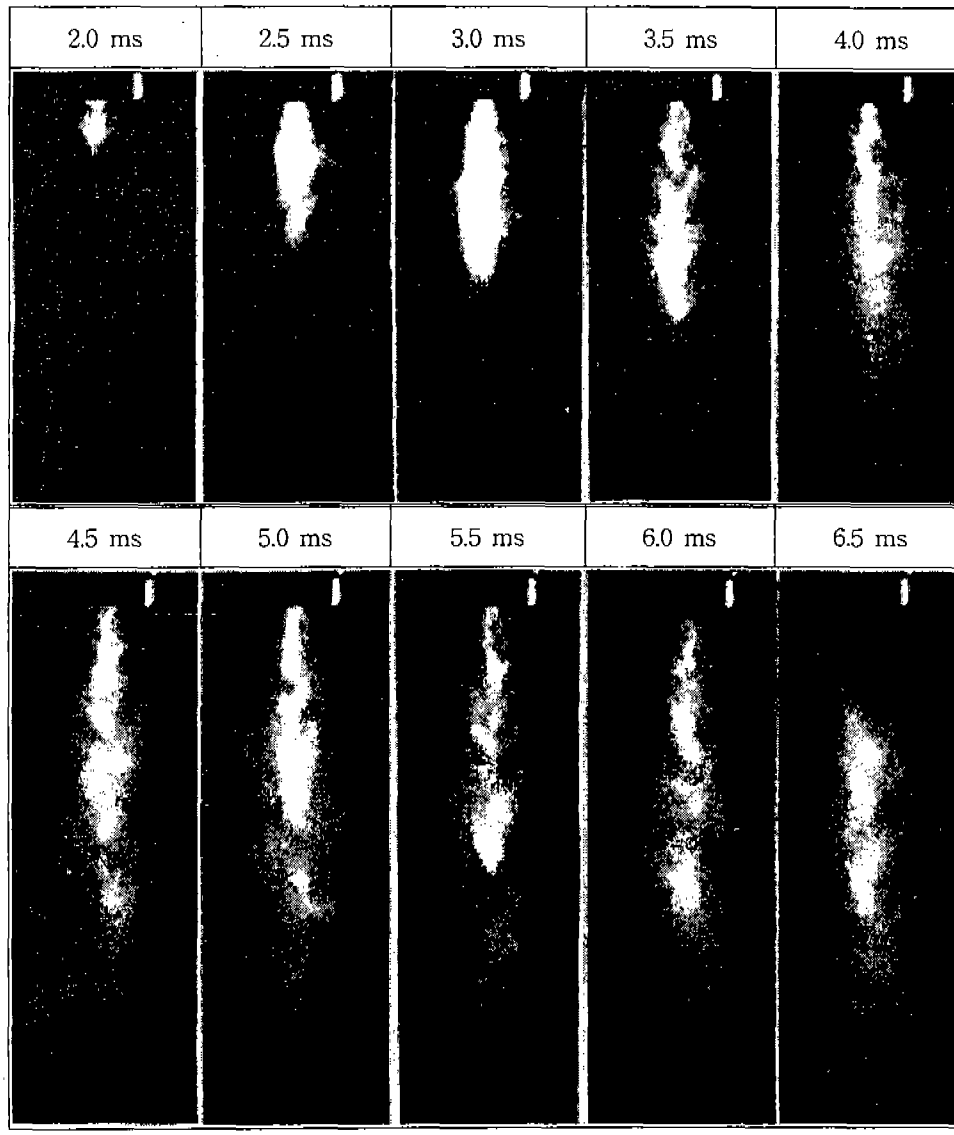


Fig.5 Photographs of spray behavior with air assist(P_{air}=25kPa)

은 큰 액적들은 자중 때문에 흡입유동을 따르지 못하고 흡기포트 내에 부착되어 벽류를 형성하고, 흡기밸브가 열리면서 실린더 내로 흡입되어 미연소로 인한 배기가스(HC) 배출의 요인이 된다.[12]

보조 공기가 25kPa(1.217g/s)로 공급되는 Fig. 5의 경우, 분무형상은 상이한 차이를 보이고 있다. 보조 공기가 공급되면서 핀틀 분사기의 중공원추형 분무형상은 사라지고 보조되는 공기에 의해 디젤 분사기의 분무형태와 유사한 액주형(liquid column type) 분무형상을 나타내고 있다. 또한, 보조공기가 공급되지 않은 Fig.4에서 나타난 물결파가 더욱 강렬하게 형성되므로서 액막의 분열을 더욱 촉진시켜 미세한 액적들을 생성하여 미립화 향상을 얻을 수 있으리라 기대된다. 분사말기에 핀틀이 닫히면서 형성되는 액막이

보조되는 공기로 분열되어 작은 액적들을 형성함으로서 보조 공기의 공급이 없을 경우 문제시되었던 연소 이후 미연탄화수소 배출을 다소 감소시킬 수 있을 거라 생각된다. 이들 공기보조 연료분사기의 보조 공기량에 따른 분무거동의 가시화 사진을 분석함으로서 정성적인 형태이지만 공기가 보조됨으로서 미립화를 촉진한다는 사실을 확인할 수 있다.

3.2 분무각 및 분무선단 도달거리

보조 공기의 공급압력에 따른 분무선단의 도달거리 변화를 고찰하기 위하여 Fig.6에 분무거동 사진 분석으로부터 얻은 시간 변화에 의해 나타나는 분무선단 길이 변화를 보이고 있다. 보조 공기의 공급이 없는 경우(P_{air} = 0kPa)는 시간변화에 따른 분무선단 길이는 선형적인 증가를 보이고 있으며, 보조 공기의 공급압력이 증가함에 따라 연료 액적들의 운동량을 증가시킴으로서 분무선단 길이는 증가하나, 분사말기인 6ms 이후에는 분무선단 길이의 증가가 다소 둔화되고 있다. 이는 분사말기의 분출되는 연료량이 줄어들고, 보조 공기에 의해 미세하게 미립화된 연료 액적들로 형성된 분무선단이 분무 축방향으로 진행하면서 정지대기의 항력으로 운동량이 감소하기 때문으로 생각된다.

Fig.7은 분무거동 가시화 사진으로부터 얻은 분무각의 시간에 따른 변화를 보이고 있다. 분무초기에는 분사기 선단으로부터 분사되는 분무의 길이가 짧고 확산되어지기 때문에 큰 분무각을 보이고 있다. 그러나, 분무의 길이가 길어지면서 급격하게 분무각은 감소하여 분사 개시 후 3.5ms 이후에는 거의 일정한 형태의 안정된 분무각을 형성하고 있다. 3.5ms시간 이후에 보조 공기의 공급이 없는 경우는 약 20° 범위의 분사각을 갖고, 보조공기의 공급압력이 증가하면서 분사각은 증가하여 보조 공기 공급압력이 25kPa의 경우에는 30° 범위의 안정된 분사각을 유지하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 분무초기 영역을 제외한 분무가 안정적으로 이루어지는 주분무 시간 영역에서는 거의 일정한 분무각을 형성하며, 보조 공기의 공급압력이 증가할수록 증가하고 있다.

3.3 액적크기분포와 액적의 평균직경

시간변화에 따른 액적의 크기를 고찰하기 위하여 각각의 축방향 위치의 분무 중심(R=0mm)에서 0.5ms시간 간격으로 액적직경을 평균하여 Fig.8에 나타내었다. 분무상류인 (a)의 Z=10mm 위치에서는 분무선단이 도달한 이후부터 분무말기인 6ms까지의 시간 영역에서는 보조 공기의 공급이 없을 때 최고 45㎛의 평균직경을 갖는 액적들이 보조공기 공급압력이 25kPa로 증가함에 따라 평균액적이 22㎛의 작은 크기로 감소함을 볼 수 있다. 축방향 거리가 증가함에 따라 0.5ms시간 간격으로 평균한 액적의 최대 직경은 다소 증가하는 경향을 보이고 있으며, (c)의 Z=70mm에서 보조 공기의 공급압력이 25kPa의

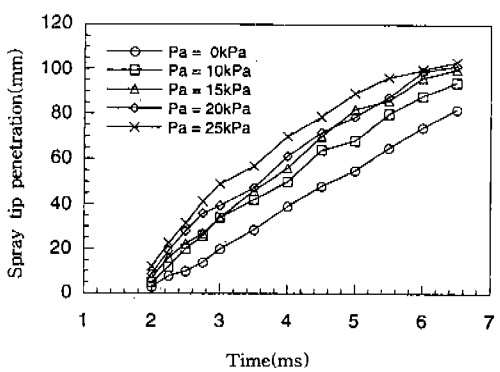


Fig.6 Variation of spray tip penetration with assisted air pressure

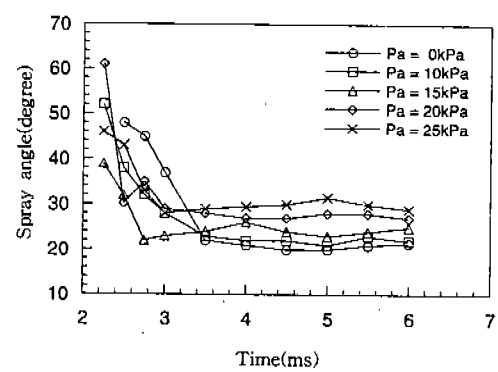


Fig.7 Variation of spray angle with time

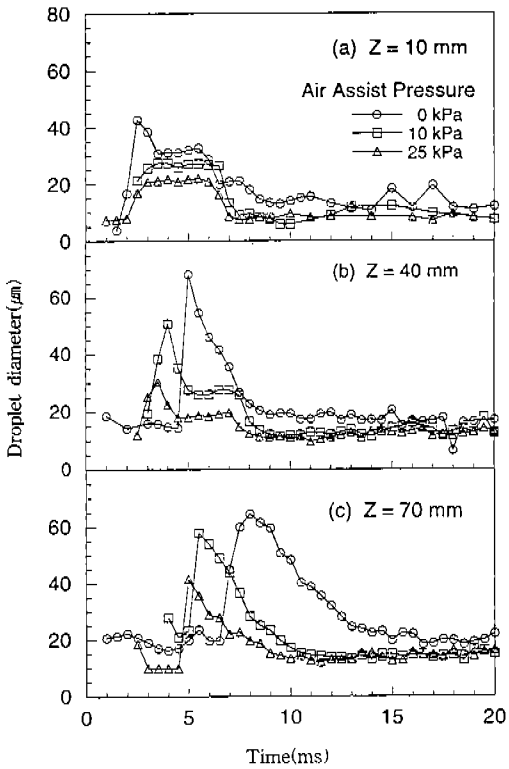


Fig.8 Distribution of mean droplet diameter on the spray centerline(for 0.5ms time resolved)

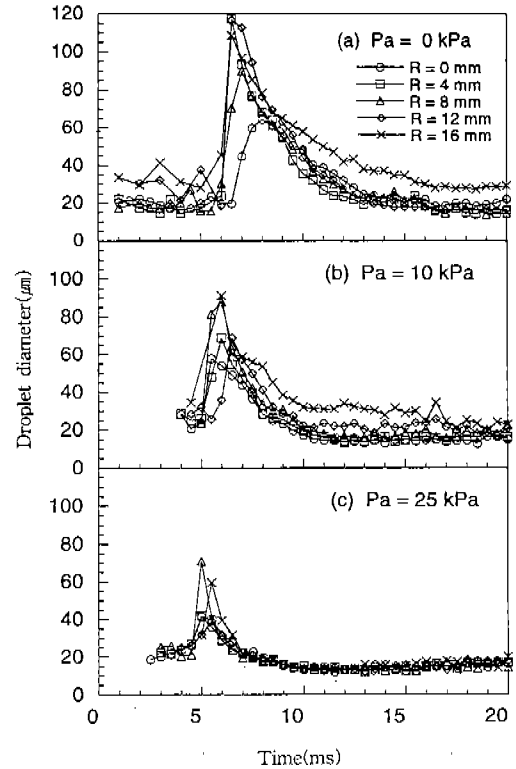


Fig.9 Distribution of mean droplet diameter at Z=70mm(for 0.5ms time resolved)

경우 약 40㎛를 나타내고 있다. 분무선단에서 형성되는 최대 크기의 액적들이 분무상류에서는 거의 일정한 시간에 나타나지만 분무하류로 갈수록, 보조 공기의 공급압력이 증가할수록 보다 일찍 나타나고 있다. 이는 Fig.6에서 고려한 것과 같이 분무선단 길이가 보조 공기의 공급압력이 증가할수록 증가함으로서 큰 액적들을 포함하고 있는 분무선단이 측정영역에 빠르게 도달하기 때문이다.

Fig.9는 분무하류인 Z=70mm 위치 단면에서 반경방향 거리에 따라 보조 공기의 공급압력 별로 측정된 액적크기를 Fig.8과 같이 0.5ms시간 간격으로 평균한 액적직경을 보이고 있다. 반경방향 거리의 변화에 있어서도 보조 공기의 공급압력이 증가할수록 평균액적직경의 감소가 뚜렷하게 보이고 있다. 따라서, 보조 공기의 공급으로 인하여 반경방향 거리 변화에 있어서도 미립화 향상을 확인할 수 있다.

분무 중심에서 보조 공기의 공급압력에 따라서 형성되는 액적들의 크기분포를 파악하기 위하여 주분무 영역(main spray region)을 고려한 수확률밀도분포를 대수정규분포(log-normal distribution)[13]와 함께 Fig.10에 도시하였다. 본 연구에서 고려한 주분무 유동영역은 간헐적으로 연료가 분사되어 연속적인 보조 공기에 의해 유동이 이루어지므로 노 등[11]과 같은 형태의 유동영역과는 다소 다른 형태로 PDPA 측정 데이터로부터 얻어진 분무선단 도달시간에 분사기간(5ms)을 더하였으며, 이후의 측정 데이터 분석에 활용하였다. 수확률밀도분포는 측정된 액적의 전체수에 대한 특정 액적 크기구간에서의 측정빈도수의 비율로 다시 그 액적 구간을 나누어 나타낸 것이며, PDPA에 의해 측정된 액적 직경으로부터 계산된 대수정규분포는 각각의 보조 공기의

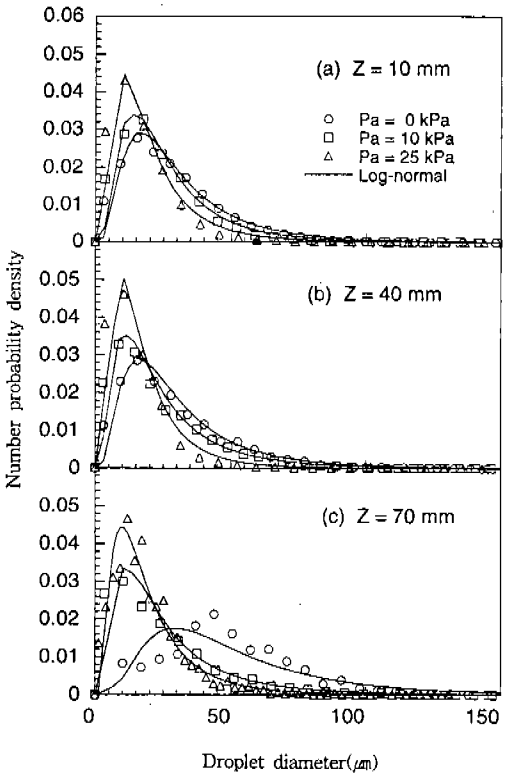


Fig.10 Distributions of number probability density on the spray centerline

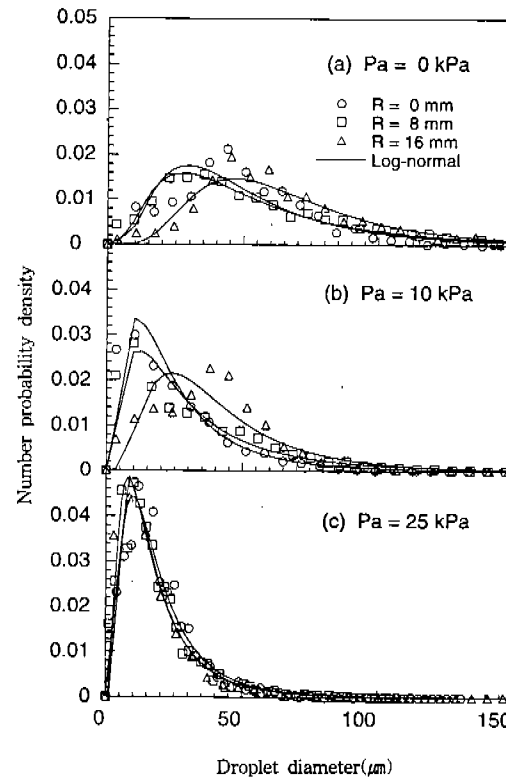


Fig.11 Distributions of number probability density at Z=70mm

공급압력에 따라 실선으로 도시하였다. 보조 공기의 공급압력이 증가할수록 전 축방향 거리에 걸쳐 10~20㎛의 작은 액적의 빈도수가 크게 나타나고 있다. 분무상류 영역에서는 보조 공기의 공급량에 관계없이 대수정규분포에 거의 일치하는 경향을 보이나, 분무하류에서는 보조 공기의 공급량이 없는 경우에 대수정규분포와 상당한 차이를 보이고 있다. 따라서, 수학적 분포함수인 대수정규분포함수는 보조 공기가 공급되지 않는 경우, 분무하류의 중심영역에서는 적용하기 어려울 것이라 판단된다. 축방향 위치 Z=70mm인 (c)의 경우, 보조 공기를 공급하지 않을 때는 100㎛ 이상의 큰 액적들이 다수 나타나고 있으나, 보조 공기를 공급할 경우는 50㎛ 이하의 작은 액적들의 빈도수가 대부분을 차지하고 있다. 따라서, 보조 공기의 공급량이 클 경우 미립화 향상은 분무 중심에서는 분무 하류로 갈수록 뚜렷하게 나타나고 있다.

Fig.11은 축방향 위치 Z=70mm에서 반경방향 위치 R=0, 8, 16mm에서의 수확률밀도분포를 보조 공기압력에 따라 도시하였다. 보조 공기의 공급이 없는 경우는 분무외곽 영역인 R=16mm에서 큰 액적들의 빈도수가 높게 나타나고 있다. 그러나, 보조공기의 공급 압력이 10kPa로 증가함에 따라, 100㎛ 이상의 큰 액적들의 빈도수는 급격하게 감소하고 있다. 또한, 분무외곽 영역 보다는 분무중심으로 갈수록 작은 크기의 액적들이 증가하고 있다. 보조공기의 공급압력이 가장 큰 (c)의 경우, 반경방향 거리에 관계없이 10㎛의 액적들이 최대 빈도수를 이루고 있으며, 대수정규분포는 반경방향 거리에 관계없이 하나의 곡선으로 일치하는 경향을 보이고 있다. 또한, 전체 액적의 대부분이 50㎛ 이하의 작은 액적들로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이로서 분무하류에

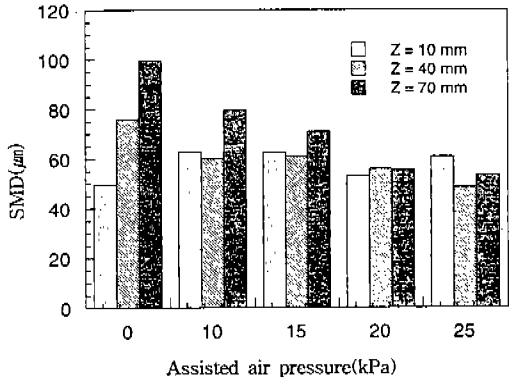


Fig.12 Distribution of SMD along axial distance

서는 보조 공기의 공급량이 증가할수록 미립화가 촉진되어 다수의 작은 크기의 액적들이 생성됨을 확인할 수 있으며, 보조 공기의 공급량이 적은 경우, 분무 외곽 보다는 분무 중심으로 갈수록 작은 크기 액적들의 빈도수가 증가함을 알 수 있다.

반경방향의 측정 위치에서 얻어진 SMD 값을 평균하여 보조 공기의 공급압력 별로 축방향 거리에 따라 Fig.12에 도시하였다. 보조 공기가 공급되지 않은 경우, Z=10mm인 분무상류 단면과 비교하여 분무하류인 Z=70mm 단면에서 50% 정도 SMD의 크기가 증가함을 볼 수 있다. 그러나, 보조공기의 공급이 증가하면서 분무하류인 Z=70mm 위치의 단면에서는 SMD가 감소함을 알 수 있다. 특히, 보조 공기의 압력이 25kPa의 경우, 보조 공기가 공급되지 않은 경우와 비교하여 약 50% 정도의 SMD 감소를 보이고 있다. 따라서, 보조 공기의 공급량 증가에 따른 미립화 효과가 분무하류 영역에서 확연하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

상용되고 있는 핀틀형 가솔린 연료분사기에 외부적인 가공을 하지 않고, 단순히 어댑터와 하우징을 결합하여 제작이 용이한 공기보조 연료분사기에 보조 공기의 공급압에 따라 나타나는 분무 거동 및 미립화 향상을 고찰한 결과 다음과 같이 요약되었다

1) 보조 공기의 공급으로 인해 분사말기에 연료량의 감소로 형성되는 액막이 나타나지 않고 작은 액적들을 생성하는 것을 가시화 사진으로부터 확인하였다.
2) 분무선단의 도달거리는 보조 공기가 공급되지 않은 경우 선형적인 증가를 보였으나, 보조 공기의 공급압이 증가할수록 분사말기 영역에서 미세한 액적으로 미립화된 분무선단 액적들의 운동량 감소 때문에 증가가 다소 둔화되었다.
3) 시간 변화에 따른 분무각은 분사개시 후 3.5ms 이후 시간 영역에서 안정된 분무각을 유지하였으며, 보조 공기의 공급이 증가할수록 증가하였다.
4) 보조 공기가 25kPa로 공급될 경우 분무하류에서 대수정규분포는 전 축방향 거리에서 거의 일치하는 균일한 분포를 보였으며, 10㎛의 액적들이 최대 빈도수를 갖는 50㎛ 이하의 작은 액적들로 미세하게 미립화됨을 알 수 있었다.
5) 보조 공기의 공급이 증가함에 따라 분무하류(Z=70mm)에서 미립화 향상이 뚜렷하게 나타났으며, 보조 공기의 공급압력이 25kPa의 경우, 보조 공기가 공급되지 않은 경우 보다 50%의 SMD 감소를 얻었다.

후 기

본 연구는 96년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 ME96-B-09)에 의하여 수행된 1차년도 연구 결과이며, 이에 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. M. Kashiwaya, T. Kosuge, K. Nakagawa and Y. Okamoto, "The Effect of Atomization of Fuel Injectors on Engine Performance", SAE 900261, pp. 699~705, 1990.

2. T. Nogi, Y. Ohyama, T. Yamauchi and H. Kuroiwa, "Mixture Formation of Fuel Injection Systems in Gasoline Engines", SAE 880558, pp. 97~104, 1988.
3. M. C. Lai, F. Q. Zhao, A. A. Amer and T. H. Chue, "An Experimental and Analytical Investigation of the Spray Structure from Automotive Port Injectors", SAE 941873, pp. 833~852, 1994.
4. T. Nogi, Y. Ohyama and T. Yamauchi, "Effects of Mixture Formation of Fuel Injection Systems in Gasoline Engine", SAE 891961, pp. 1932~1939, 1989.
5. A. Saito, K. Kawamura and Y. Tanasawa, "Improvement of Fuel Atomization in Electronic Fuel Injector by Air Flow", ICLASS-'88, pp. 263~270, 1988.
6. G. Saikalis, R. Byers and T. Nogi, "Study on Air Assist Fuel Injector Atomization and Effects on Exhaust Emission Reduction", SAE 930323 pp. 440~447, 1993.
7. K. Harada, R. Shimizu, K. Kurita, M. Muramatsu, T. Makimura and M. Ohashi, "Development of Air-Assisted Injector System", SAE 920294, pp. 400~407, 1992.
8. T. Sugimoto, K. Takeda and H. Yoshizaki, "Toyota Air-Mix Type Two-Hole Injector for 4-Valve Engines", SAE 912351, pp. 1787~1793, 1991.
9. 김세웅, 김응서, "공기 보조 연료 분사 장치가 있는 가솔린 기관의 희박 연소에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집 제2권 제2호, pp. 117~123, 1994.
10. 조병욱, 이창식, 임경수, "가솔린 기관용 인젝터의 분무 구조에 관한 실험적 연구", 한국자동차공학회논문집 제3권 제1호 pp. 118~128, 1995.
11. 노병준, 강신재, 김원태, 오제하, "가솔린 엔진용 분사노즐의 간헐적인 분무특성", 한국자동차공학회논문집 제5권 제3호, pp. 128~136, 1997.
12. H. Iwano, M. Jaitoh, K. Sawamoto and H. Nagaishi, "An Analysis of Induction Port Fuel Behavior", SAE 912348, pp. 1777~1786, 1991.
13. A. H. Lefebvre, Atomization and Sprays, Hemisphere Publishing co., pp. 79~86, 1989.