

2중 분류 가솔린 연료분사기들의 분무거동 및 미립화 특성

송 범 근¹⁾ · 김 원 태²⁾ · 강 신 재³⁾

전북대학교 대학원¹⁾ · 전주기계산업리서치센터²⁾ · 전북대학교 기계항공시스템공학부³⁾

Spray Behavior and Atomization Characteristics of Dual Stream Gasoline Injectors

Bhumkeun Song¹⁾ · Wontae Kim²⁾ · Shinjae Kang³⁾

¹⁾Graduate School of Precision Mechanical Engineering, Chonbuk University, Jeonbuk 561-156, Korea

²⁾Jeonju Machinery Research Center, 750-1 Palbok-Dong, Jeonju, Jeonbuk 561-844, Korea

³⁾Division of Mechanical & Aerospace System Engineering, Chonbuk University, Jeonbuk 561-156, Korea

(Received 28 March 2005 / Accepted 4 July 2005)

Abstract : The injector, which is used in a 4-valve gasoline engine, is required to be maintained the dual stream because of the design of dual intake port. In addition, the spray characteristics of fuel injector have strong influence on engine performance, exhaust emission, fuel consumption, and especially the cold start condition for the port injection. So, commercial gasoline injectors of 4 different type were inspected. Those are 2 hole, 4 hole, air shroud 4 hole, and air shroud 4 hole injector with separator. The spray behavior of dual stream was researched by the visualization system and PDPA system was employed to measure the droplet size. Atomization is one of the most important characteristic, so droplet size distributions and SMD are investigated. And the spray characteristics of each injector are also analyzed such as the spray tip penetration, spray angle, and separation angle.

Key words : Dual stream(2중 분류), Air shroud(공기 쉼라우드), Separator(분리봉), PDPA(위상 도플러 입자 분석기), Atomization(미립화)

Nomenclature

A, B, C, D : type of injectors
T : time after injection (ms)
P : pressure of injection (MPa)

Subscripts

I : injection
a : air

1. 서론

국내외적으로 강화되고 있는 자동차 배출가스 규제에 대한 대책으로 배기가스 중에 포함되어 있는 유해물질을 최소화하기 위하여 엔진을 개량하거나, 연료공급방법, 점화장치, 등을 개선하고 배기관을 통하여 방출되는 배기가스를 방출되기 전에 다시 후처리하여 무해한 가스로 변환시키는 방법들을 사용하고 있다. 이들 중 혼합기 형성기구의 개선으로 채택되고 있는 전자제어식 연료분사장치인 포트분사 연료공급방식의 경우, 저온 시동시 흡기포트 내로 분사되는 연료와 공기의 혼합시간이 짧기 때문에 충분히 기화되지 못하고 불균일한 혼합기를 형

*To whom correspondence should be addressed.
kangsj@moak.chonbuk.ac.kr

성하게 된다. 기화하지 못한 연료액적들은 흡기포트 벽 및 밸브에 부착되어 연료 막을 형성하기 때문에 최적의 혼합비를 형성하기 위하여 엔진 작동 초기에 다량의 연료 분사가 이루어진다. 그리고, 벽부착 연료들이 흡입과정 중에 연소실 내로 유입되어 불완전 연소에 의한 미연탄화수소 발생을 증가시키는 원인이 된다.^{1,2)} 이에 따라 전자제어 포트 분사식 기술린 엔진의 저온시동시에 관한 연구가 여러 연구자들³⁻⁵⁾에 의해 수행되었으며, 이들 연구결과 분사된 연료 액적크기를 감소시킴으로써 미연탄화수소 배출 감소에 상당한 효과가 있음을 입증하였다. 그러므로, 연료분사기의 미립화 향상을 위한 연구들이 진행되었다.^{6,7)}

그러나, 흡기 밸브가 2개인 4밸브 엔진의 경우 포트 내에서 단일분무가 형성되면 연료액적들이 아무리 양호하게 미립화 된다고 할지라도 포트 내부에서 2개의 밸브로 갈라지는 포트 분리벽에 부착되는 연료액적들로 인하여 벽류가 형성되어 미연탄화수소 배출량은 도리어 증가한다.⁸⁾ 그러므로, 연료액적들이 포트 분리벽에 부착되어 형성되는 벽류를 방지하기 위하여 연료분사기로부터 분사되는 분무를 2중 분류를 유지하면서 미립화를 촉진하려는 연구들이 시도되었다.^{9,10)} 또한 본 연구에서 사용된 PDPA는 기술린 뿐만 아니라 다양한 분사기의 미립화 성능에 대한 연구가 이루어지고 있어,¹¹⁾ 중요한 실험 방법의 하나로 인식되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 2중 분류가 요구되는 4밸브 기술린 엔진에 사용될 2공 연료분사기, 4공 연료분사기; 흡기관과 대기압의 차압에 의해 미립화되도록 보조공기가 공급되는 4공 공기쉬라우드형 분사기, 2중 분류가 형성 될 수 있도록 분사기 출구에 분리봉이 설치되어 있는 공기쉬라우드형 연료분사기들에서 분사되는 연료의 액적들을 고찰하였다. 이는 분사기 형상에 따른 미립화 특성 및 보조공기량에 따른 미립화 정도를 고찰함으로써 4밸브 엔진에 적용되어질 기술린 분사기들의 설계 기초자료로 활용하고자 함이다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 연료 분사기

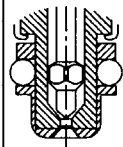
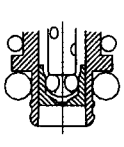
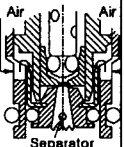
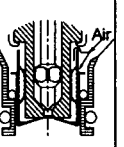
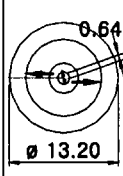
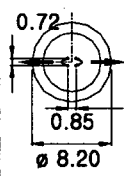
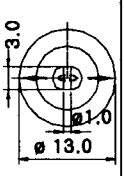

A type	B type	C type	D type
			
			
orifice ϕ 0.35mm \times 2	orifice ϕ 0.24mm \times 4	orifice ϕ 0.24mm \times 4	orifice ϕ 0.24mm \times 4

Fig. 1 Configuration of injectors

Fig. 1의 A형 분사기는 2공 분사기로 일반적으로 4밸브 기술린 엔진의 연료분사기로 주로 사용되고 있으며, 니들형태의 밸브가 오리피스 주위의 섹츨버면과 스프링력에 의해 밀착되어 연료 유량을 단속한다. 오리피스의 직경은 0.35mm이다. B형은 4공 분사기로 2중 분류 분무를 형성하기 위하여 4개의 오리피스를 가지고 있으며 이들 오리피스는 각각 직경 0.24mm인 두 개의 오리피스에서 분출되는 분류가 충돌하여 2중 분류를 형성하게 된다. 오리피스로부터 분출되는 연료를 단속하기 위하여 볼밸브를 사용하고 있으며, 볼 밸브의 스템(stem)은 천공된 판을 말아 밸브 전체의 무게를 경량화 하였다. 그러므로, 적은 슬레노이드 코일로도 쉽게 스프링력을 이길 수 있는 자성을 만들어 분사기의 응답성이 빠르다. C형은 공기 쉬라우드 4공 분사기로 각각 두 개의 오리피스로부터 분출되는 분류가 충돌하여 2중 분류를 형성하고 여기에 공기가 보조될 수 있도록 되어 있다. 오리피스로부터 분출되는 연료에 미립화를 촉진하기 위한 쉬라우드 공기는 하나의 공기 유입구로부터 유입되어 복잡한 공기 유입 통로를 통과하고, 오리피스에서 분출되는 연료에 공급되는 통로가 매우 좁아 상당한 압력손실이 발생한다. 공기 쉬라우드 4공 분사기는 2공 분사기와 내부 구조가 유사한 니들밸브를 사용하고 있으며 오리피스의 직경은 0.24mm이다. D형 분사기는 출구부에 직경 1mm의 원통형 분리봉이 설치되어 있어 높은 공기

압력에서도 2중 분류가 유지될 수 있도록 설계되어 있다. 또한, 4개의 오리피스로 분출되는 연료 분류에 미립화를 촉진하기 위한 보조 공기가 4개의 공기 유입구를 통하여 공급되어진다.

2.2 실험 장치

Fig. 2는 실험 장치의 전반적인 개략도를 보여주고 있으며, 연료 분사기에 연료 공급과 보조 공기를 공급하기 위해 연료 및 공기 공급 장치를 구성하였다. 분사장치는 연료 공급부, 보조 공기 공급부, 연료 분사 제어부로 구성하였다.

연료 공급부는 연료 탱크 내에 설치되어 있는 연료 공급 펌프에 의해 연료 분사기의 분사압력 보다 높은 압력으로 연료를 공급한다. 필터를 거친 연료는 딜리버리 파이프(delivery pipe)의 연료 챔퍼에 공급되고 설정 분사 압력을 유지하기 위하여 압력 조절기에 의해 설정 압력을 초과시 연료는 다시 연료 탱크로 되돌아가도록 하였다.

보조 공기 공급부는 공기 압축기로 가압된 공기를 충전용기(surge tank)에서 압력 맥동을 소거하였고, 층류형 공기 유량계(laminar air flowmeter, FC096G-200L)에 의하여 연료 분사기에 공급되고 있는 공기량을 디지털 마노미터(FC012)로 측정하였다.

연료분사 제어부는 분사기의 솔레노이드 밸브를 개폐하여 간헐적인 분무를 생성하기 위하여, 연료 분사 조절장치를 A/D변환기를 통하여 PC와 인터페이스하여 컴퓨터에 의해 연료 분사시기와 기간을 조절할 수 있도록 하였다.

연료 분사기로부터 분사되는 분무 거동을 가시화하기 위한 분무 가시화 장치는 스트로보스코프(stroboscope : DX-525A)의 발광 주기를 연료분사기의 분사주기와 함께 컴퓨터로 동시에 조절할 수 있게 하여 스트로보스코프의 발광시기를 지연시킴으로서 분사 개시 이후 임의의 시간의 정지 분무 영상을 얻어 CCD 카메라(Toshiba, IK-536)를 이용하여 컴퓨터(Power Macintosh, 7500/100)로 받아 동시에 VCR에 기록하고 영상처리 소프트웨어를 사용하여 분무거동을 분석하였다.

가솔린 연료 분무의 액적 크기와 속도를 동시에 측정하기 위해 3차원 PDPA 시스템을 이용하였다. 3차원 PDPA 시스템은 레이저 발진부, 광학계, 신호처리기, 3차원 이송장치로 구성되어 있으며, 광원으로 사용되는 레이저는 공냉식 Ar-ion 레이저(Ion Laser Technology, Max. power : 750mW)를 사용하였다. 본 실험에서는 파워 커트roller(power controller)를 사용하여 200mW로 출력을 고정하였고, 신호처리기는 DANTEC 58N50을 사용하였다.

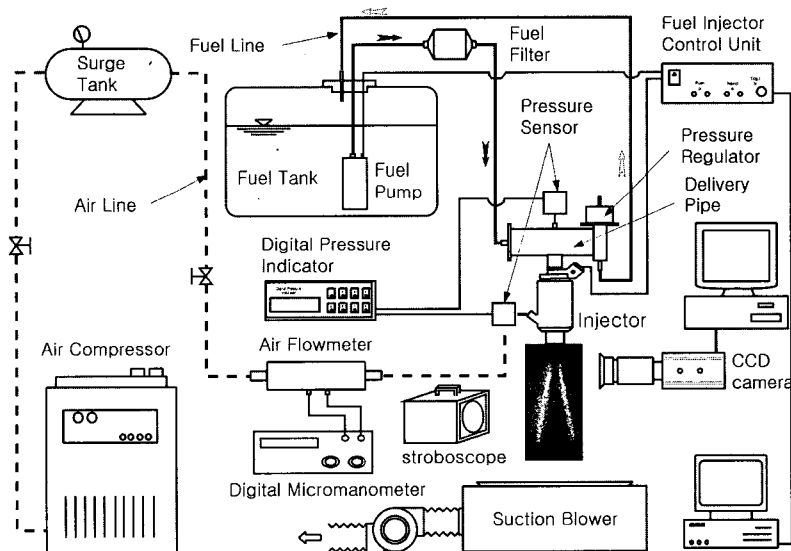


Fig. 2 Schematic diagram of the visualization system

본 연구에서 사용한 연료 분사기의 분사기간에 따른 분사량을 측정하기 위하여 분사기간 2ms ~ 10ms까지 1ms 간격으로 동일한 분사압력(300 kPa)에서 4종류의 분사기에 대하여 0.001g의 오차를 갖는 전자저울(electronic balance FA-200)을 사용하여 각 분사기간 당 3000회를 3회 반복하여 평균하였다.

또한, 두 종류의 공기 쉬라우드형 분사기의 공기 공급 압력에 따른 공기량을 분사압력 5 kPa ~ 80 kPa 까지 5 kPa 간격으로 측정하였다. 분무 거동의 거시적인 관측을 위하여 본 실험실에서 구성한 가시화 장치를 이용하여 4 종류의 연료 분사기 중 4공분사기에 대하여 보조 공기의 압력을 10 kPa ~ 70 kPa 까지 10 kPa 간격으로 분무 거동을 측정하였다. 분사기의 연료 분사기간은 5ms로 고정하고, 분사주기는 100ms로 하였으며, 분사주기와 동기시킨 스트로보스코프의 발광 시점을 지연시켜 가며 얻은 정지 영상은 분사 개시 이후 1.75ms ~ 7.5ms 까지 0.25ms 간격으로 변화시켰다. 분무액적의 크기를 측정하기 위하여 분무가시화의 결과를 토대로 분무 선단에서 10, 40, 70 그리고 100 mm 단면에 대하여 분무액적이 밀집되고 유속이 빠른 영역은 조밀하게 측정영역을 설정하고 분무액적이 드문 분무 외곽과 같은 영역은 측정영역을 넓게 설정하였다. Fig. 3은 각각의 분무 축하방향의 측정단면에서의 PDPA 측정 위치를 나타내는 그리드이다.

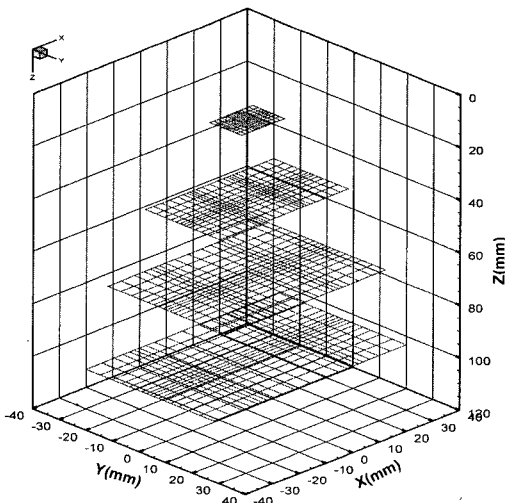


Fig. 3 Measuring positions for PDPA

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 연료 분사량 및 공기량

Fig. 4(a)는 각 분사기간에 대하여 1회 분사시 분사되는 연료량을 비교한 그래프이다. 분사기간이 증가함에 따라서 연료분사량은 선형적인 증가를 보이고 있다. C형과 D형의 분사기들은 거의 유사한 연료량을 보이고 있다. 또한, 공기보조 없이 2중 분무를 형성하는 A형의 2공 분사기가 B형의 4공 분사기와 비교하여 분사기간이 10ms의 경우, 적게는 60%에서 많게는 73%정도 많은 연료량이 분사되어, 다른 분사기들과 상당한 차이를 보이고 있다.

Fig. 4(b)는 각 연료분사기들의 단위시간당 분사되는 연료분사량을 분사기간에 따라 나타내었다. 분사기간이 약 5ms를 넘어서면서 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 특히, B형의 공기 보조가 없는 4공보다 안정된 균일한 연료분사량을 유지함을 볼 수 있다. 이는 각 분사기의 밸브 차이 때문으로 사료되는데, C형 공기 쉬라우드 4공 분사기와 A형 2공 분

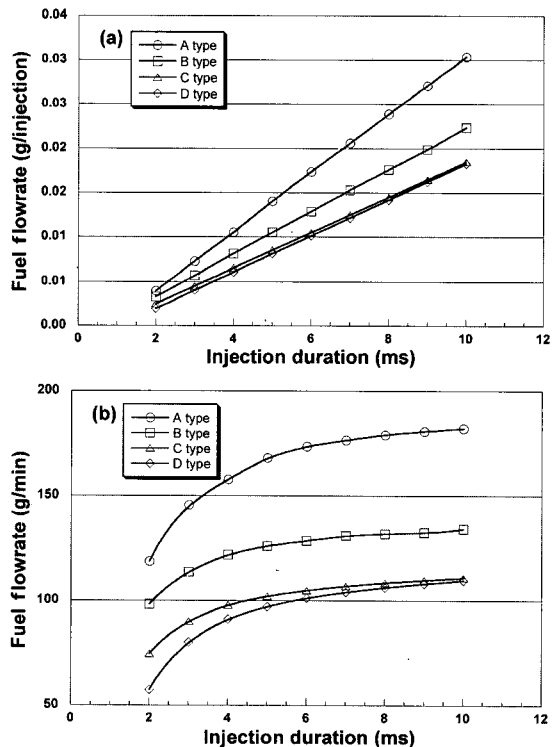


Fig. 4 Fuel flowrate of injectors

사기는 전형적인 니들 밸브이고, D형의 분리봉이 설치되어 있는 공기 쉬라우드 4공 분사기는 볼 밸브로서 니들 밸브 보다 무게가 상대적으로 적기 때문에 분사조절장치로부터 연료분사기로 입력되어지는 분사개시 펄스에 의해 밸브가 최대 양정(lift)에 도달하는 데 소요되는 개변시간이 상대적으로 작기 때문에 판단된다. C형과 D형의 공기 쉬라우드형 분사기들에 대하여 분사기 공기 유입구 측에서 측정된 공기 압력에 따른 공기량을 Fig. 5에 보이고 있다. C형 분사기보다 분리봉이 있는 D형의 공기 쉬라우드형 분사기가 동일한 공기 압력에서 많은 공기량이 유동하는 것을 볼 수 있다.

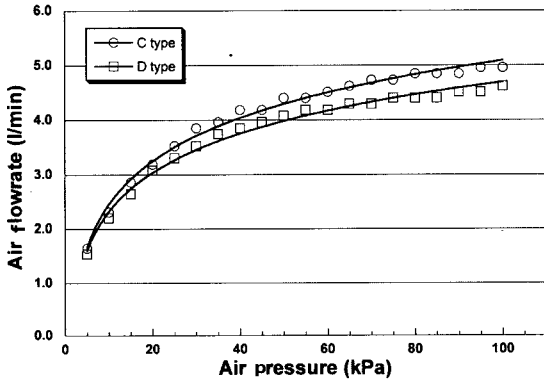


Fig. 5 Air flowrate of C-type and D-type injectors

3.2 분무 거동 가시화

Fig. 6은 스트로보스코프의 발광주기를 연료분사 주기와 동기시키고 발광시기를 지연시킴으로써 얻은 정지분무영상을 각 분사기에 따라 나타낸 가시화 사진들이다.

A형 분사기는 분사기의 오리피스 간격이 좁고 오리피스 직경이 크기 때문에 분사기에 분사펄스 입력 이후 2.0ms에서 두 분류의 선단이 부착되어진 것처럼 보이거나 시간이 경과하면서 뚜렷한 2중 분류형상을 보이고 있다. B형은 4개의 오리피스에서 분출되는 연료가 노즐 출구에서 두 개의 각 분류가 충돌하여 분사 개시 이후 2.0ms에서 2중 분류를 형성하고 있다. 노즐 출구에 분리봉이 있는 C형의 공기 쉬라우드 4공 분사기의 분무거동은 분사기 출구부에 설치되어 있는 분리봉 때문에 보조 공기압력이

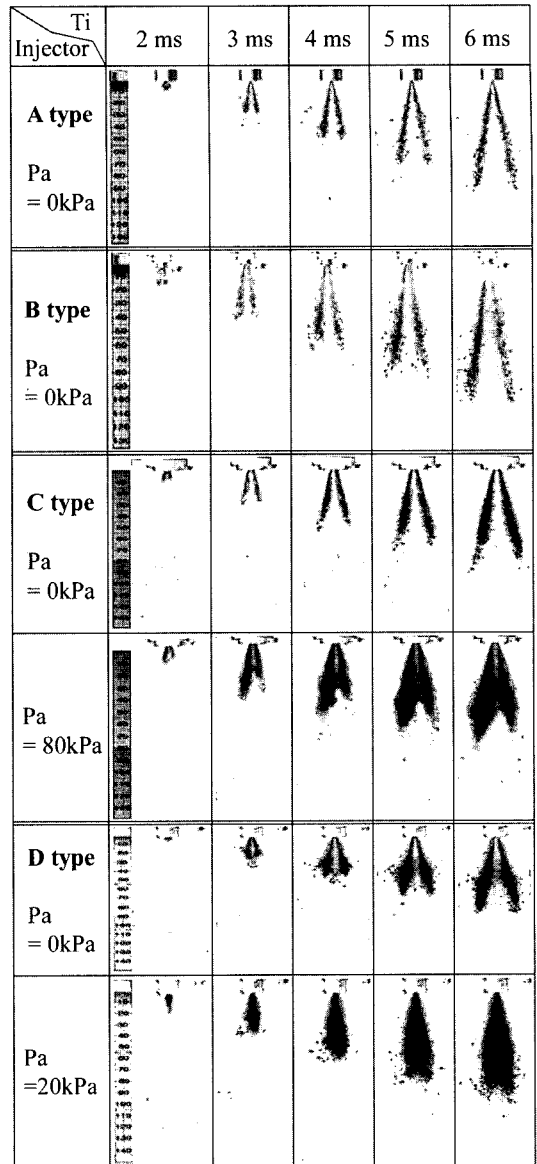


Fig. 6 Spray visualization

80kPa로 증가하여도 여전히 2중 분류를 유지하였다. 보조 공기 압력이 증가하면서 두 분류는 미립화가 뚜렷하게 향상되고 각각의 분류 폭도 증가하였다. 그러나, 빠른 공기 유속에 의해 원통형의 분리봉 후면에 발생하는 후류(wake) 때문에 두 분류 사이의 중심 영역 액적 밀집도가 증가하여 간혹 두 분류가 합착하는 복잡한 유동을 보였다. 보조 공기의 유입이 없을 때는 두 분류가 축대칭 분무 구조를 이루나

보조 공기압이 증가할수록 두 분류의 길이에 차이를 보이는 비대칭적 구조를 나타내고 있다. 이런 원인은 공기 쉬라우드 분사기에 보조 공기를 공급할 수 있는 부속장치(어댑터)의 설계특성상 공기 유입구가 하나이기 때문에 공기 쉬라우드에 설치되어 있는 4개의 공기 유입구에 균일하게 공기가 공급되지 않아서 발생하는 현상이라고 판단된다. 따라서, 분사기를 포트에 설치할 때 반드시 보조 공기의 유입형태를 고려하여야한다. D형 공기 쉬라우드 4공 분사기에 공기 보조가 이루어지면서 분무의 성장속도는 증가하여 동일한 시간대의 분무 길이는 더욱 길어진다. 그러나, 공기 보조압이 20kPa 이상됨에 따라 두 분류사이의 거리는 좁아지고 분류의 중심선에서 액적들의 밀집도가 증가하여 분류의 분리현상이 약화되어 분무 선단부가 합쳐져 단일 분류와 같은 분무 형태를 보이고 있다. 보조 공기 압력 20kPa의 분사말기에는 완전한 단일 분무 형상을 보이고 있으며, 분사압력이 40kPa로 증가함에 따라 분사 초기부터 단일 분무 형상을 이루고 있다. 이중 분류를 유지하지 못할 경우, 밸브벽면에 부착되는 벽면젖음 현상이 발생하게 된다. 따라서 D형의 쉬라우드 4공 분사기는 공기보조가 이뤄질 경우에 본 연구의 목적에 부적당하므로 분사기의 공기보조 분류는 비교에서 제외하였다.

3.2.1 분무 관통도

공기 쉬라우드 분사기의 경우 보조 공기는 실제 엔진에서 흡기 밸브가 열리면서 실린더의 하강으로 발생하는 흡기포트 내의 음압과 대기압의 차에 의해 발생한다. 따라서, 흡기 밸브가 열린 흡입과정 중에 연료가 분사되어 연료-공기 혼합기가 실린더 내로 유입되어질 때 분무 관통도는 밸브 개폐시기와 중요한 상관관계를 갖는다.

Fig. 7은 공기 보조가 없을 때, 각 연료 분사기의 분무 관통도를 보이고 있다. 일반적으로 분사 개시 이후 분사 중기까지 선형적인 증가를 보이나, 분사 말기에 접어들면서 분무 선단의 성장이 둔화되어 완만한 증가를 보인다. 또한, 다른 연료 분사기에 비해 4공 분사기의 분무 관통도가 다소 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

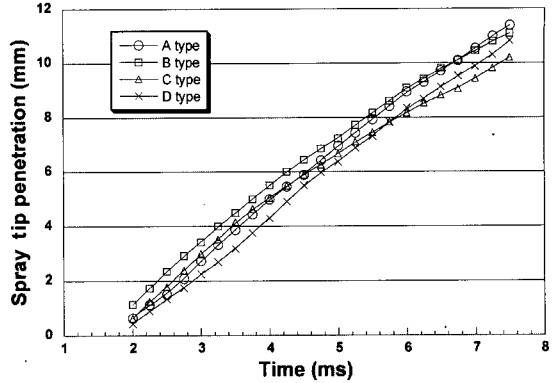


Fig. 7 Spray tip penetration

3.2.2 분무각

Fig. 8은 공기 보조가 없는 경우에 분사 개시 이후 3ms가 지나면서 분무가 안정된 후 각 분사기의 분무각을 도시한 것이다. B형과 D형 분사기는 분사 후기에 약 19° 내외의 분무각을 보이며, 2공인 A형 분사기는 분무각이 4°내외로 가장 작은 분무각을 나타내고 있다. 이는 4공 분사기들은 4개의 오리피스 중에 두 개의 오리피스로부터 분출되는 연료가 서로 충돌하여 2중 분류를 형성하기 때문에 2공 분사기에 비해 분무가 확산되는 것으로 판단된다.

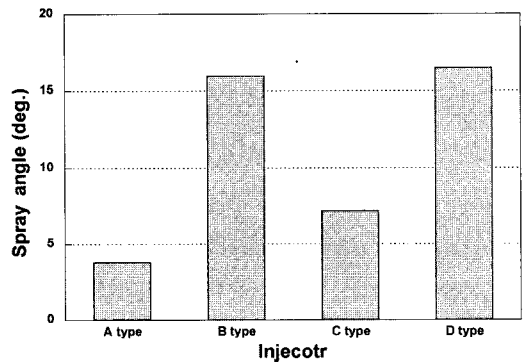


Fig. 8 Spray angle

3.2.3 분리각

2개의 흡기밸브를 갖는 분사기의 경우 연료분사기로부터 분사되는 2중 분류 분무의 분리각(separation angle)은 상대적으로 중요한 의미를 갖는다. 두 분류의 분리각이 작으면 포트의 격벽에 연료의 벽부착이 일어나고, 분리각이 크면 포트의 외곽

에 분무가 충돌하여 역시 포트 벽면에 연료의 벽부착으로 인한 연료막이 형성되기 때문이다. 따라서, 두 분류의 분리각은 포트의 형상과 관련되어 설계시 고려되어야할 중요한 인자 중에 하나이다. 본 연구에서는 연료분사기로부터 분사되는 2중 분류 분류의 분리각을 각각의 분류의 분무 중심선이 이루는 각으로 정의하였다. Fig. 9는 분무각에서와 같이 보조 공기가 없을 때 각각의 연료분사기로부터 분출되는 연료 분무의 분리각을 나타낸 것이다. 분리각 역시 안정화된 분무의 측정값이다. 분무각의 경우 B형 · D형 분사기가 C형 분사기에 비해 2배 이상의 수치를 보였으나, 분리각의 경우 오히려 C형 분사기가 다른 분사기들에 비해 60% 이상 큰 값을 나타냈다. 이는 분사기들의 설계 형상적인 특징으로 B형 · D형 분사기들은 좌측 분류와 우측 분류를 형성하는 오리피스들의 간격이 0.85mm인 반면 C형

분사기는 1mm로 상대적으로 클 뿐만 아니라 분리봉의 영향으로 분리각이 크게 형성되고 있다. 결과적으로 B형 · D형 분사기들은 분류 자체의 폭이 넓지만 C형 분사기는 두 분사기들에 비해 분류 자체의 폭은 작은 반면 두 개의 분류가 더 넓은 각으로 분사되고 있음을 의미한다. Fig. 10은 분사기 출구에 분리봉이 설치되어 있는 공기 샤워드 4공 분사기의 두 개의 분류 분무의 분리각을 공기 보조압력에 따라 도시하였다. 분사초기에 분리각의 급격한 감소를 보인다 분무가 안정화된 이후 완만한 감소를 나타내고 있으며, 일반적으로 보조 공기가 증가함에 따라서 분리각은 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 분사기 출구부에 설치되어 있는 분리봉의 영향이 작용하고 있음을 알 수 있다.

3.3 SMD 분포

Fig. 11은 공기보조가 없는 경우 축방향 거리에 따른 전체 액적들의 평균 SMD를 보여주고 있다. 2공 A형 분사기의 SMD가 4공의 B형, C형 분사기에 비해 17~28% 이상 크게 나타나고 있는데, 이는 직경 0.35mm의 단공에서 분사되는 A형 분사기에 비해 충돌각을 갖는 직경 0.24mm인 두 개의 오리피스로부터 분출되는 액적들 간의 상대속도에 의해 미세 분열이 증가한 것으로 사료된다.

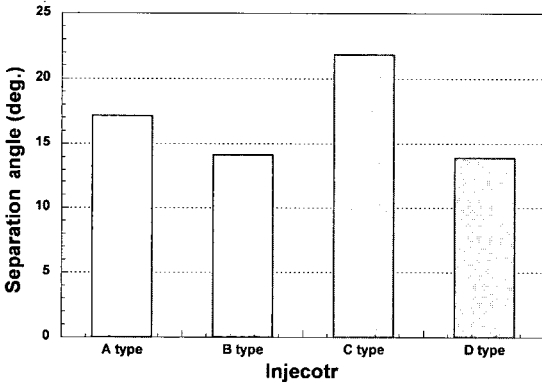


Fig. 9 Spray separation angle

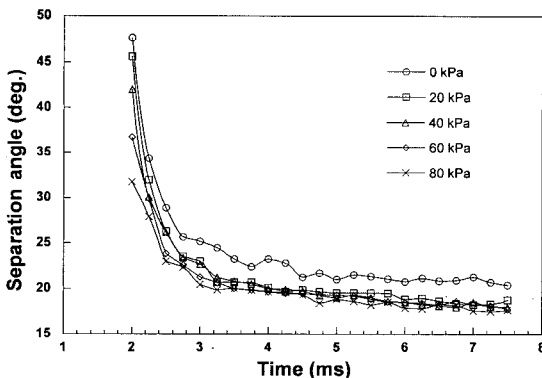


Fig. 10 Spray separation angle of C-type injector

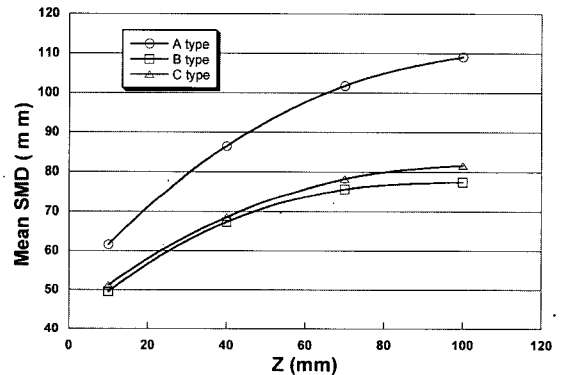


Fig. 11 Axial overall mean SMD distribution

3.4 수확률 밀도 분포

Fig. 12는 공기보조가 없는 경우 축방향 거리 z=100mm 측정단면에서 액적크기의 수확률밀도분

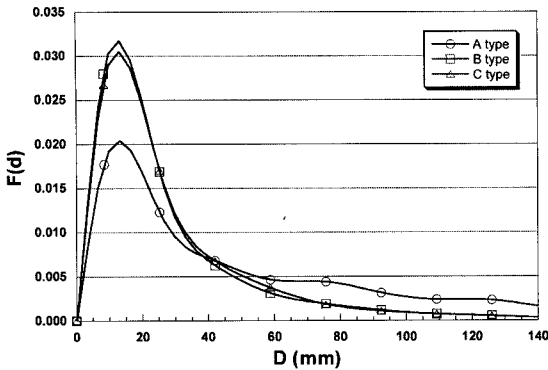


Fig. 12 Number probability density distribution

포를 나타낸 그래프이다. 15 μ m 내외의 액적들이 최대 빈도수를 유지하고 있으나, 2공의 A형 분사기는 100 μ m 이상의 큰 액적들을 4공의 B형, C형 분사기들에 비해 상대적으로 많이 포함하고 있는 것을 알 수 있다. B형, C형 분사기들의 경우 평균 SMD에서 살펴봤던 것과 동일한 이유로 미립화 효율이 우수한 것을 알 수 있다. B형 분사기와 분리봉이 있는 C형 분사기는 액적의 미립화 성능 부분에 있어서는 비슷한 경향을 보이고 있어 분리봉의 영향은 액적의 미립화보다 분무형상 자체에 더 큰 영향을 주고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 13은 분리봉이 설치되어 있는 C형 분사기의 액적크기분포를 공기보조압력에 따라 나타내었다. 보조공기압이 공급되면서 액체와 기체가 충돌하여 2상류를 형성하고 이 2상 상태 유체가 분출되면서 미립화되기 때문에 미립화 효율이 우수하게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 공기보조압력을 증가시킬

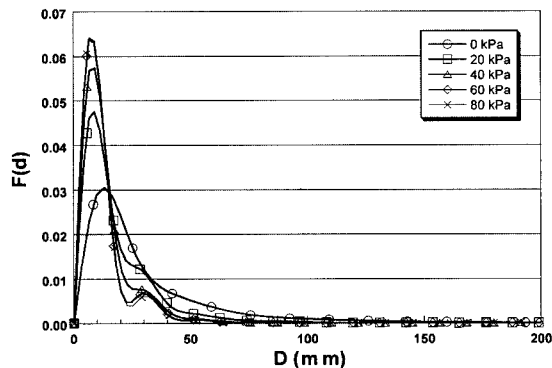


Fig. 13 Number probability density distribution

수록 유체역학적인 에너지가 증가하기 때문에 액적들의 미립화가 촉진되어 100 μ m 이상의 액적들이 현저하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 특히 보조공기압력이 80kPa의 경우 60 μ m 이상의 액적크기는 거의 나타나지 않고 있다.

4. 결론

2중 분류 분무를 형성하는 2공 분사기, 4공 분사기, 공기 쉬라우드 4공 분사기, 분리봉이 분사기 출구에 설치되어 있는 공기 쉬라우드 4공 분사기의 분무 형태 및 미립화 특성을 분무 유동 가시화와 PDPA 측정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 가시화 실험으로부터 획득한 분무각의 경우 B형·D형 분사기가 C형 분사기에 비해 2배 이상의 수치를 보였으나, 분리각의 경우 오히려 C형 분사기가 다른 분사기들에 비해 60% 이상 큰 값을 나타냈다. 이는 B형·D형 분사기들은 분류 자체의 폭이 넓지만 C형 분사기는 B형·D형 분사기들에 비해 분류 자체의 폭은 작은 반면 두 개의 분류가 더 넓은 각으로 분사된다는 것을 의미한다.
- 2) 공기 보조가 없는 경우, 2공 분사기보다는 4개의 오리피스에 의해 분출되는 연료가 서로 충돌하여 2중 분류 분무를 형성하는 4공 분사기들의 미립화 성능이 우수하였다.
- 3) C형 분사기에 장착된 분리봉의 영향은 액적의 미립화보다 분무형상 자체에 더 큰 영향을 주고 있다. 또한 D형의 공기 쉬라우드 4공 분사기의 경우 이중 분류를 유지하기 위해서는 공기 공급압력의 세심한 조절이 요구된다.

References

- 1) H. Iwano, M. Jaitoh, K. Sawamoto and H. Nagaishi, "An Analysis of Induction Port Fuel Behavior," SAE 912348, 1991.
- 2) A. Elsaber, W. Samenfink, M. Hallmann and S. Wittig, "Mixing Phenomena of Fuel Sprays in Intake Manifolds," Proceeding of ICLASS-94, pp.758-765, 1994.
- 3) J. W. Fox, K. D. Min, W. K. Cheng and J. B.

- Heywood, "Mixture Preparation in a SI Engine with Port Fuel Injection During Starting and Warm-up," SAE 922170, 1992.
- 4) J. Yang, E. W. Kaiser, W. O. Siegl and B. W. Anderson, "Effect of Port Injection Timing and Fuel Drop Size on Total and Speciated Exhaust Hydrocarbon Emissions," SAE 930711, 1993.
 - 5) R. J. Boyce, D. J. Boam and I. C. Finlay, "Cold Start Performance of an Automotive Engine Using Prevaporized Gasoline," SAE 930710, 1993.
 - 6) A. Saito, K. Kawamura and Y. Tanasawa, "Improvement of Fuel Atomization in Electronic Fuel Injector by Air Flow," ICLASS-'88 Sendai, Japan, pp.263-270 1988.
 - 7) M. Kashwaya, T. Kosuge, K. Nakagawa and Y. Okamoto, "The Effect of Atomization of Fuel Injectors on Engine Performance," SAE 900261, 1990.
 - 8) M. Iwata, M. Furuhashi and M. Ujihashi, "Two-hole Injector Improves Transient Performance and Exhaust Emission of 4-valve Engines," SAE 870125, 1987.
 - 9) T. Sugimoto, K. Takeda and H. Yoshizaki, "Toyota Air-Mix Type Two-Hole Injector for 4-valve Engines," SAE 912351, 1991.
 - 10) B. J. Rho, S. J. Kang and W. T. Kim, "Spray Behavior and Atomization Characteristics of Air-Assist Type Gasoline Fuel Injector," Transactions of KSAE, Vol.6, No.3, pp.187-197, 1998.
 - 11) S. G. Lee, B. C. Joo, K. C. Kim and B. J. Rho, "Influence of ALR on Disinteration Characteristics in Pnuematic Spray," Int. J. Automotive Technology, Vol.1, No.2, pp.95-100, 2000.