

측정방법에 따른 흡기포트 분사식 다공 가솔린인젝터의 분무각 비교 Comparison of Spray Angles of Multihole Port Fuel Gasoline Injector with Different Measuring Methods

김재호*, 임정현*, 노수영**, 문병수***
J.H.Kim, J.H.Rhim, S.Y.No, B.S.Moon

Abstract

The main parameter commonly used to evaluate spray distribution is spray angle. Spray angle is important because it influences the axial and radial distribution of the fuel. Spray angles were measured and compared for the two non-air assisted injectors such as 2hole-2stream, 4hole-1stream injectors used for port fuel injection gasoline engines with n-heptane as a fuel by three different measuring techniques, i.e. digital image processing, shadowgraphy, and spray patternator, respectively. Fuel was injected with the injection pressures of 0.2-0.35 MPa into the room temperature and atmospheric pressure environment.

In digital image processing approach, the selection of the transmittance level is critical to obtain the edge of spray and hence to measure the spray angle. From the measurement results by the shadowgraphy technique, it is clear that the spray angle is varied during the spray injection period. The measurement results from spray patternator show that the different spray angles exist in different region. Spray angle increases with the increase in the injection pressure. It is suggested that the spray angle and stream separated angle should be specified when spray is characterized for 2hole-2stream injector, because spray angle is much different though stream separated angle is same. It was also considerably affected by the measurement techniques introduced in this experimental work. However, the optimal axial distance for measuring the spray angle seems to be at least 60-80 mm from the injector tip for two non-air assisted injectors.

주요기술용어 : spray angle(분무각), 2hole-2stream injector(2공-2분류 인젝터), 4hole-1stream injector(4공-1분류 인젝터) digital image processing(디지털 영상처리), shadowgraphy(섀도우그래피), spray patternator(분무 패턴네이터)

1. 서론

흡기포트 연료분사 가솔린엔진에서 흡기포트 연료 인젝터의 분무구조는 작동조건의 넓은 범위에서 걸쳐 혼합기 준비과정 제어에 중요한 역할을 한다. 자동차에 사용되는 흡기포트 연

료 인젝터의 분무특성에 대한 일반적인 연구는 Lai 등에 의해서 연구되었다.^(1,2,3) 4밸브 엔진에서 흡기포트의 벽이 젖는 효과를 감소시키기 위하여, 두 개의 분류를 갖는 분무를 생성하는 2공 2분류(2hole-2stream or dual stream)인젝터가 4밸브 가솔린 엔진에 적용된다. 두 개의 분류를 갖는 같은 2공-2분류 인젝터일지라도 두 개의 분류를 분리하는 분류분리각(stream separation angle)과 흡기 밸브에 대한 각각 분류의 분무각은 대단히 중요하다. 특히 각 분류

* 정회원, 충북대학교 대학원
** 정회원, 충북대학교 농업기계공학과
*** 정회원, 충북대학교 기계공학과

의 분무각은 각각의 흡기포트의 형상에 잘 조화되도록 최적화 되어야 한다. Zhao⁽²⁾ 등이 지적했듯이 분무각의 정확한 결정은 어렵다. 분무사진으로부터 2공-2분류의 분류분리각의 결정은 특히 어렵다. 흡기포트 인젝터 분무의 분무각 측정에 대한 몇몇의 연구가 있었지만, 그들의 대부분은 미립화 기술의 발달에 초점을 맞추었다.

분무특성 중의 하나로서 분무각은 연료의 축방향과 반경방향 분포, 기관의 효율, 배기가스 방출에 영향을 주기 때문에 중요하다. 분무각은 노즐의 형상, 연료와 주위 가스의 물리적 특성, 연료의 분사 순간에서 두 상간의 유동특성에 좌우된다.⁽⁴⁾

분무의 외부형태는 분무시 분무액체와 주위 기체와의 상호 작용과 주위기체의 분무내 유입에 의하여 곡선형태의 경계를 이루며, 이는 분무각 측정을 어렵게 하는 주요 원인이 된다. 어떤 분무들에 있어서 분무각이 같을 지라도 분무내부의 입자분포는 크게 차이가 있을 수 있다. 예를 들면, 같은 분무각이라도 어떤 분무는 외부의 입자분포가 조밀하고 내부의 입자분포는 희박한 반면, 다른 분무각은 내·외부의 입자분포가 그와 반대일 수도 있다.

분무각은 평면상에서 노즐팁 중심과 노즐팁으로부터 어떤 규정된 거리에서의 수평선과 분무윤곽(경계)이 교차하는 점을 잇는 두 직선이 이루는 각으로 정의된다.⁽⁴⁾ 그러나 대부분의 분무에 있어서 노즐팁으로부터 어떤 규정된 거리는 연구자에 따라 임의적으로 결정하므로 애매하다. 다시 말하면, 분무의 경계가 곡선으로 되어 있는 점과 분무각 측정위치가 연구자마다 다른 점이 정확한 분무각 측정을 어렵게 한다. 분무각을 측정하는 여러 가지 방법들이 수년간 연구되어 왔다.⁽⁴⁾ 분무각 측정에 사진학적 방법들이 널리 사용되어 왔으나, 컴퓨터시스템, 디지털카메라의 급속한 발달로 근래에는 35mm 스틸카메라 시스템 대신에 디지털 영상처리방법이 발달되었다.^(5,6) 최근에는 레이저쉐도우그래피기술(laser shadowgraphy technique) 과 슈리렌영상시스템(schlieren imaging system)⁽⁷⁾같은 광학 진단장치가 분무

각 측정에 소개되었다. 그리고 분무패턴측정에 의해서 분무각을 계산하기도 하였다.⁽⁸⁾ Lai⁽¹⁾등은 Nd:YAG 레이저빔과 35mm 스틸카메라를 사용하여 순간적인 분무이미지를 녹화하여 4공인젝터(baseline compound injector)의 분무각을 측정하였다. 이 실험에서 분사압력이 증가함에 따라 분무각이 단조롭게 증가하였다. Parrish와 Evers⁽⁹⁾는 분무각을 측정하는 대신에 패턴내이터를 사용하여 4공인젝터(compound silicon micro machined port fuel injector)의 분무특성을 규명하였다. Senda⁽⁵⁾등은 핀홀형 인젝터를 통하여 낮은 압력장으로 분사되는 분무의 미립화 메카니즘을 규명하였다. 이 연구에서는 노말헥산(n-hexane)과 노말펜탄(n-pentane)를 사용하였으며, 주변압력(back pressure)의 영향을 규명하였다. 마이크로플래쉬의 전도된(transmitted) 빛을 사용하여 CCD 카메라로 획득한 이미지로 분무각을 측정하였다. 그들은 핀홀의 가장자리에서 역막의 분무각으로 분무각을 정의하였다.

본 연구의 목적은 공기의 보조를 받지 않는 종류의 다공의 흡기포트 분사 인젝터의 분무각을 3 가지 측정방법(디지털 영상처리, 쉐도우그래피, 패턴내이터)으로 측정하고, 이 결과를 비교하여, 가솔린 기관에 적용되는 흡기포트 분사 인젝터의 분무각 측정방법을 제시하는 데 그 목적이 있다.

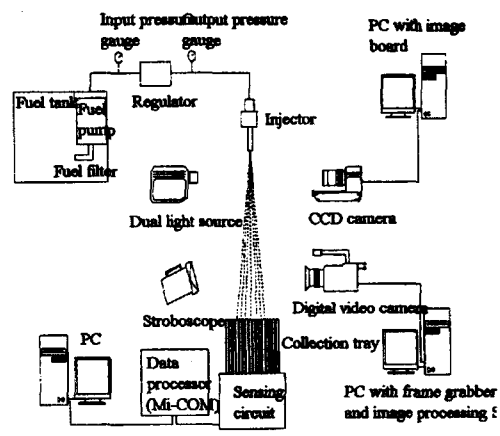


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도이며, 실험장치는 패터나이더, 디지털 영상 시스템, 웨도우그래피 시스템으로 구분된다.

현재 사용되고 있는 다공 흡기포트 분사식 가솔린 인젝터 중에서 2공 2분류(2hole-2stream, dual stream)과 4공 1분류(4hole-1stream)인젝터를 선택하였다. 실험에 사용된 인젝터의 구조는 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 3은 2공 2분류인젝터에서 복합분무각(compound spray angle)과 분류분리각(stream separation angle)의 정의를 나타낸다. 합성분무각은 인젝터팁 중심에서 두 분류의 외부 원주 표면을 잇는 직선으로 두 개의 직선으로 형성된 각을 의미하며, 분류분리각⁽³⁾은 인젝터팁 중심에서 두 분류의 중심선을 잇는 두 개의 직선이 이루는 각을 의미한다.

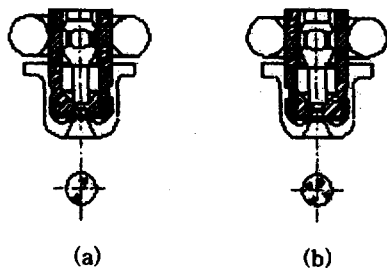


Fig. 2 Schematic of fuel injectors
(a)2-hole 2-stream injector
(b)4-hole 1-stream injector

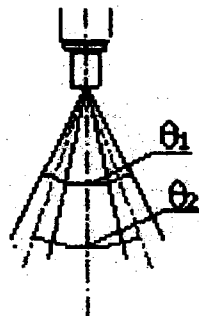


Fig. 3 Definition of compound spray angle (θ_1) and stream separation angle(θ_2)

2.1 디지털 영상 시스템

디지털 영상 시스템은 스트로브 스코프, 디지털 비디오 카메라, 프레임 그래버 보드(frame grabber board), 영상 처리 소프트웨어(image processing software), 컴퓨터 등으로 구성된다. 인젝터에서 연료가 분사되는 동안 분무의 뒷편에 스트로브스코프를 설치하고 720 × 480 픽셀의 3-CCD 비디오 카메라(DCR-VX1000)로 분무를 촬영하고, 프레임 그래버 보드(DVBK-W2000)로 영상을 획득하여 획득된 이미지를 컴퓨터에 저장하였다.

투과율은 영상의 히스토그램(histogram)의 두 점을 선택하여 스트레칭(stretching)한 후 문턱값(threshold value)을 이용하여 얻어진다. 영상처리 소프트웨어(PHOTOSHOP)를 사용하여 투과율기준에 따라서 2진화 처리하였다. 투과율 기준은 75%, 80%, 85%의 3개의 수준으로 2진화 처리하였으며 2진화 처리된 영상에 노즐 팁으로부터 10mm간격으로 직선을 긋고, 직선과 거리별 분무경계가 만나는 점과 노즐팁의 중심과의 각도를 산출하여 분무각을 구하였다.

2.2 웨도우그래피 시스템

웨도우그래피는 PMAS 시스템(Particle Motion Analysis System, V-tek Co., Korea)의 거시적 측정방법을 이용한 것으로 광원, 필드렌즈(field lens), CCD카메라, 프레임 그래버 보드, 시간 제어 보드(time control board), 컴퓨터, PMAS 소프트웨어로 구성되어 있다. 광원은 발광시간(<50 ns)이 짧은 이중광원을 이용하여 순간적인 입자의 이동을 화상으로 저장하며, 저장된 화상은 영상처리 프로그램을 이용하여 입자의 거동을 해석한다.⁽¹⁰⁾ 노즐에서 연료가 분사됨과 동시에 시간제어보드에 의해서 주어진 시간이 경과하면 광원에서 발광하게 되고 이 빛에 의해서 분무의 영상이 렌즈의 다이아프램을 통하여 CCD카메라에 전기신호로 입력되고 입력된 신호는 프레임 그래버 보드에 의해서 획득되고 이 영상이 처리되어 출력된다.

연료의 분사압력을 0.2-0.35MPa로 변화시키고, 압력에 따라 영상 획득시간을 분사후 2-6ms까지 0.5ms간격으로 하였다. 시간에 따라 획득된 영상을 처리하여 시간별, 노즐팁으로부터 거리별로 분사각을 구하였다.

Table 1 Properties of n-heptane at 293K

Density	684 kg/m ³
Kinematic viscosity	0.61×10 ⁻² m ² /s
Surface tension	20.9×10 ⁻³ N/m
Refractive index	1.385

2.3 패터나이더

패터나이더는 연료공급장치, 인젝터, 분무수집장치, 컴퓨터 및 데이터 처리 소프트웨어로 구성된다.

연료공급장치는 연료탱크, 연료펌프, 연료필터, 레귤레이터, 압력계등으로 구성되며 시험연료로 노말헵탄(n-heptane)을 사용하였다. Table 1은 노말헵탄의 성질을 나타낸다. 연료펌프가 작동하면 연료탱크 내의 연료는 연료필터를 통하여 흡입되어 압력조절용 레귤레이터를 통하여 인젝터에 공급된다. 연료는 0.2-0.35MPa의 압력으로 공급되며, 인젝터를 통하여 상온의 대기중에 분사되며 분사주기는 10ms, 분사시간 2.5ms, 분사횟수는 1000회이다. 노즐의 위치는 패터나이더의 중앙에 위치하며 분무수집반으로부터 높이는 조절나사에 의해서 20-170mm까지 조절된다.

분무수집장치 및 감지회로는 256개의 셀로 구성되며, 16×16의 격자형태로 배열되어 있다. 각 구멍의 직경은 5mm, 구멍과 구멍사이는 1mm이며 깊이는 105mm이다. 256개의 구멍은 하나의 몸체로 되어 있으며 각각의 구멍은 중심에 원형단면의 전극봉이 설치되어 있다. 분무수집반 상단에 위치한 노즐에서 연료가 분사되면 각 셀에 연료가 축적되고 축적된 연료의 양은 유전물의 원리에 의해서 측정된다. 각각의 셀에 연결된 감지회로에서 신호가 감지되면 컴퓨터에 입력된다. 컴퓨터 및 데이터 처리소프트웨어는 입력된 데이터를 처리하

여 분석에 필요한 자료로 가공한다. 처리된 자료는 2차원 또는 3차원 형식으로 표현되며, 분무각 및 기타 형식의 자료로 출력된다. 패터나이더의 기초이론, 작동, 특징에 대한 자세한 사항은 참고문헌⁽¹¹⁾에 기록되어 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 투과율의 영향

디지털 영상처리의 분무해석은 획득된 영상에서 배경으로부터 분무영상을 분리하기 위하여 문턱값(threshold level)의 선택으로부터 시작한다. 문턱값은 배경의 투과율과 관계가 있다. 디젤분무의 분무각 측정에 있어서 디젤분무의 가장자리가 보통 80%⁽¹²⁾ 또는 95%⁽¹³⁾의 투과율기준에 의해서 정의된다.

Fig. 4는 분사압력 Pi=0.3MPa에서 4공 1분류 인젝터의 분무에서 투과율이 분무각에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

투과율 기준의 선택에 따라 인젝터로부터 각 거리에서 분무각에 영향을 주는 것이 명백하다. 투과율 기준이 증가함에 따라 분무각이 커지는 경향을 나타낸다. 그리고 선택한 모든 투과율 기준에서 인젝터로부터 측방향거리가 증가함에 따라 분무각이 감소함을 알 수 있다. 투과율 기준이 5%변화함에 따라 분무각이 1-2° 변화한다. 인젝터의 가까운 부분에서 투과

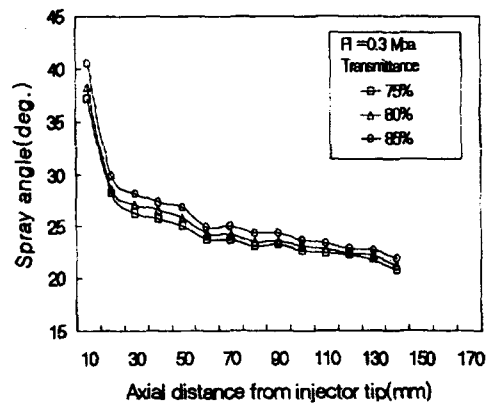


Fig. 4 Effect of transmittance of 4-hole 1-stream injector(Pi=0.3MPa)

올기준이 감소함에 따라 분무각이 크게 감소하다가 그 이후에는 작은 폭으로 단조롭게 감소하였다. 디지털열상처리로 구한 분무각과 다른 방법으로 구한 분무각을 비교하기 위하여 80%의 투과율 기준을 선택하였다.

3.2 웨도우그래피에 의한 분무각

Fig.5는 분사압력 $P_i=0.3MPa$ 에서 2공-2분류 인젝터와 4공-1분류 인젝터의 웨도우그래피에 의한 영상을 나타낸다. 분무시작시각을 기준으로 하여 분사 시작 후 2ms-6.0ms동안,

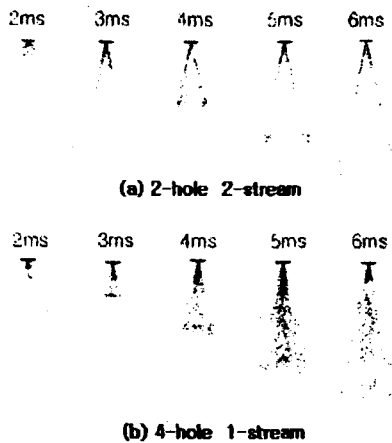


Fig. 5 Spray images by shadowgraphy for two injectors tested($P_i=0.3MPa$)

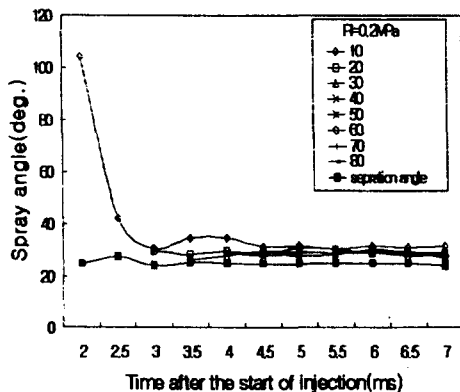


Fig. 6 Spray angle variation of 2-hole 2-stream injector by shadowgraphy

1.0ms간격으로 측정하였다. 이 그림에서 2공-2분류 인젝터의 경우 3ms에서 분류가 분리됨을 알 수 있다. 노즐팁으로부터 10mm 간격으로 각 위치별 분무각을 Fig. 6에 나타냈다. Fig.6은 2공-2분류 인젝터에서 분사시작 후 시간의 경과에 따른 위치별 분사각의 변화를 분사압력 0.2MPa에서 나타낸다. 분무초기에는 분무각이 대단히 크나 시간이 지남에 따라 감소하고 3ms를 지나면서 거의 일정하다. 분사압력 0.3MPa, 0.35MPa의 실험결과에 의하면 0.2MPa의 경우와 마찬가지로 30-60mm지점에서 6.0ms의 분무각은 압력의 변화에도 불구하고 거의 일정하므로 6.0ms의 분무각을 선택하여 다른 측정방법에 의해서 측정한 분무각과 비교하였다. 20mm지점의 분무각은 3ms부터 측정이 가능하다. 그 이유는 3ms이전에는 20mm지점에 분무가 도달하지 못하기 때문이다.

3.3 분무패턴에 의한 분무각

분무각의 측정은 프로브를 이용하거나 사진학적 기술을 이용할 경우 측정이 용이하다. 그러나 이들 분무각 측정 방법은 분무의 특성이 시간 및 위치에 따라서 변화함을 고려할 때 적절치 못한 방법이다. 다시 말하면 분무의 특성을 고려치 않고 분무의 한 순간만을 포착하여 분무각을 나타내므로 많은 오차를 포함한다. 이를 개선하기 위하여 패턴메타에 의한 분무각 측정, 즉 분무패턴에 의한 분무각 측정이 고려되고 있다. 분무패턴에 의한 분무각 측정은 분무횟수를 수백 회 또는 수천 회 반복하여 측정한 연료의 체적에 의해서 분무각을 산출함으로써 엔진내부에서 적용되는 분무각과 근사한 분무각을 얻을 수 있다. Fig.7은 속천노즐의 분무(solid cone spray)의 대표적인 연료분포를 나타내며 SAE⁽¹²⁾가 추천한 분무패턴에 의한 분무각 산출방법이다.

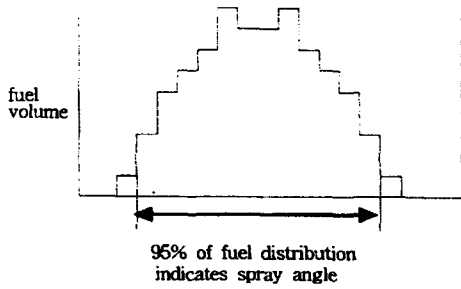
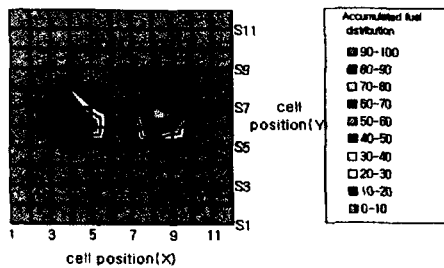
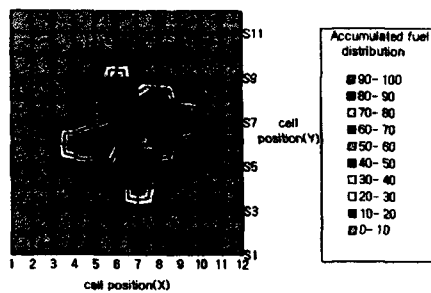


Fig.7 Typical fuel distribution of solid cone spray



(a) 2hole-2stream



(b) 4hole-1stream

Fig.8 Spray volume distribution by patternator for injectors tested (Pi=0.3 MPa)

전체 분무량의 80%, 90%, 95%, 97.5%의 체적분율에 의해서 분무패턴에 의한 분무각을 압력별로 산출하였다. 다른 방법으로 측정된 분무각과 비교하기 위하여 SAE가 추천한 95%의 체적분율을 선택하였다.

Fig.8은 인젝터에서 연료가 분사됨에 따라 분무수집반의 각 셀에서 수집된 연료의 체적이

수치화되어 직교좌표계의 배열로 입력되어 각 분무영역 별 분무강도를 나타낸 도표이다. 상대체적분포(relative volumetric distribution)는 각각의 셀에 수집된 최대 연료의 량과 다른 셀의 연료량의 비율 백분율로 나타낸 것이다. Fig.8은 같은 조건에서 2 개의 인젝터의 분무 분포 및 분무강도를 비교하기 위하여 분사압력 Pi=0.3MPa, 인젝터팁으로부터 60mm아래에서 분무수집반을 위치시켰다. Fig. 8에 의하여 인젝터의 대표적인 성능을 나타내는 분무의 치우침을 한 눈에 알 수 있다. Fig.8(a)는 2공2분류 인젝터에서 2 개의 분류가 완전히 분리되었으며, (b)는 4공1분류 인젝터에서 4개의 분류가 완전히 분리되지 않고 서로 중첩되고 4 개의 봉우리(lobe)가 존재함을 알 수 있다. 이는 2공 2분류 인젝터는 4밸브엔진에, 4공1분류 인젝터는 2밸브엔진용임을 알 수 있다. 분무영역별 분무강도 및 분무의 치우침, 봉우리의 위치는 패턴데이터를 활용한 분무패턴실험으로만 알 수 있다.

Fig.9는 4공-1분류의 패턴데이터에 의한 분무각을 나타내었다. 누적 분무량이 증가할수록 분무각이 증가하며, 인젝터와 분무 수집반의 거리가 증가함에 따라 분무각이 감소한다. 인젝터로부터 분무 수집반의 거리가 20-40mm 일 때 분무각의 감소율이 크게 나타났으나 50mm 이후에는 분무각의 감소율이 둔화되었다. 이는 분무 수집반에 의해서 분무유동장이 왜곡되어 분무각이 크게 나타나나 인젝터와 분무수집반의 거리가 증가함에 따라 분무유동장의 왜곡 현상이 크게 감소하기 때문이다.

3.4 2공-2분류 인젝터

2공-2분류 인젝터의 분류분리각은 Fig.3과 같이 정의되며, Fig.10은 분사압력 0.3MPa에서 2공-2분류 인젝터의 분류분리각의 인젝터팁으로부터 거리에 따른 변화를 측정 방법에 따라 나타내었다. 패턴데이터에 의한 방법에서 인젝터팁으로부터 거리가 증가함에 따라 50mm까지 분무각이 급격히 감소하고, 이 때의 분무각이 다른 방법으로 측정된 분무각 보다 크게 나타났다. 인젝터에 가까운 거리에서 분무각이 크게 나타나는 것은 4공-1분류 인젝터와 같이 분

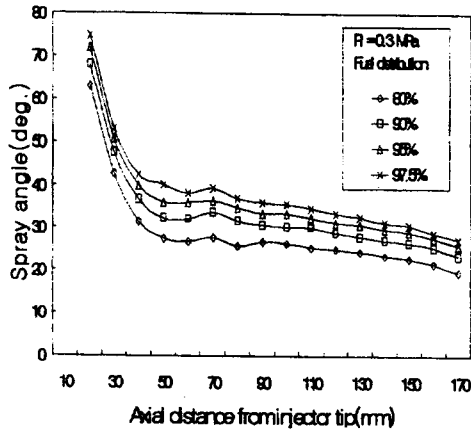


Fig. 9 Spray angle of 4hole-1stream injector by patternator

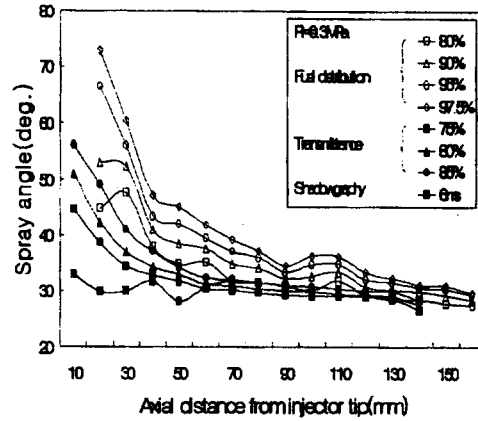


Fig.11 Comparison of compound spray angles by different measuring methods for 2hole-2stream injector

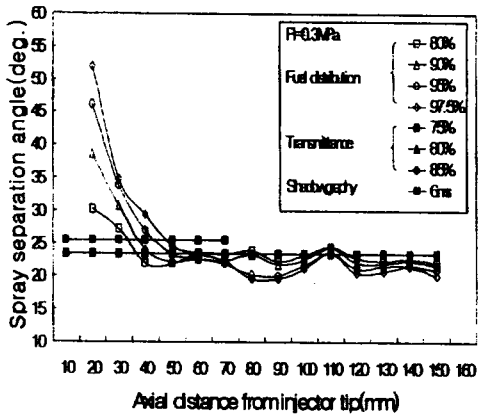


Fig.10 Effect of various measuring method on stream separation angle for 2hole-2stream injector

무수집반에 의해서 분무의 진행에 장애를 받았기 때문이다. 즉, 인젝터와 분무수집반의 거리가 너무 가까워서 주위 공기의 유입현상이 일어나지 못하기 때문으로 생각된다. 체적분율이 커질수록 분무각의 변화율이 크고 체적분율이 작을수록 분무각의 변화율이 감소한다.

디지털영상처리에 의해서 측정된 분류분리각은 투과율에 따라 차이가 거의 없다. 이는 투과율이 변화하여도 분무의 중심이 변하지 않기 때문이다. 또한 인젝터팁으로부터 거리에 따라 분류분리각이 일정한 것은 10개의 분무

영상에 대하여 투과율을 변화시키고, 인젝터팁으로부터 거리에 따라 분류분리각을 측정하여 평균치를 구하였기 때문이다.

쉐도우그래피 영상에 의한 분류분리각은 분사시작 후 6ms에서 획득한 영상에서 분류분리각을 측정하였으며, 인젝터팁으로부터 거리에 따라 분류분리각이 일정한 것은 디지털 영상처리와 같이 분사시작 후 6ms에서 획득한 10개의 분무영상에 대하여 인젝터팁으로부터 거리에 따라 분류분리각을 측정하여 평균치를 구하였기 때문이다. 인젝터팁으로부터 20-40mm 거리에서는 패턴메이터에 의한 분류분리각이 다른 측정방법에 비하여 가장 크게 나타났으며 디지털영상처리에 의한 분류분리각이 가장 작게 나타났다.

Fig.11은 분사압력 0.3MPa에서 2공-2분류인젝트의 분무각의 인젝터팁으로부터 거리에 따른 변화를 측정 방법에 따라 나타내었다. 패턴메이터에 의한 분무각은 분류분리각과 같이 인젝터팁으로부터 거리가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 20-30mm 구간의 누적분무를 80%에서 분무각이 증가하였다. 디지털영상처리에 의한 분무각은 인젝터로부터 가까운 거리에서는 투과율이 분무각에 영향을 크게 미치나 인젝터팁으로부터 60mm 지점부터는 거의 영향을 받지 않았다. 쉐도우그래피에 의한

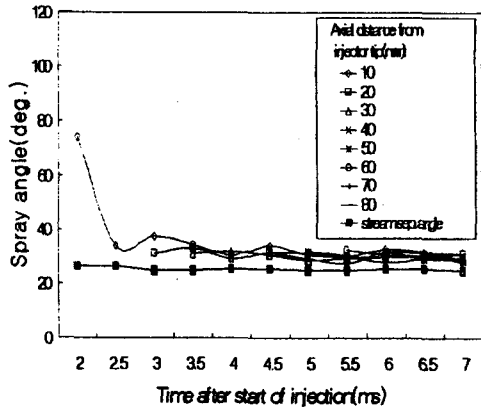


Fig.12 Variation of compound spray angle measured by shadowgraphy with time

분무각은 인젝터팁으로부터 거리가 증가함에 따라 약간의 변화를 나타냈다. 인젝터팁으로부터 전 구간에 걸쳐 2공-2분류 인젝터의 분무각은 페터내이터, 디지털이미지 프로세싱, 쉐도그래피 순으로 크게 나타났다.

Fig.10의 분류 분리각의 결과와 다르게 나타났다. 이는 페터내이터에 의한 분무각 측정 시 분무의 중심을 정확하게 측정하기 어렵기 때문으로 판단된다.

Fig.12는 분사압력 0.3MPa에서 분사시작 후 경과 시간에 따른 2공-2분류 인젝터의 복합분무각과 분류분리각을 나타냈다. 분무각과 분류분리각은 분사시작 후 2ms 이후부터 측정이 가능했으며, 분사시작 후 4-7ms 사이에서, 인젝터 팁으로부터 10-80mm 구간에서 분무각이 크게 변화하지 않았다.

2공-2분류 인젝터의 분무특성 규명 시 분무분류각만을 제시하였으나 Fig.10, 11, 12와 같이 복합분무각과 분류 분리각이 상당한 차이를 보임에 따라 분류분리각도 제시되어야 한다.

3.5 4공-1분류 인젝터

Fig.13은 분사압력 0.3MPa에서 4공-1분류 인젝터 분무각으로 인젝터팁으로부터 거리에 따른 변화를 측정 방법에 따라 나타내었다. 페터내이터에 의한 분무각은 2공-2분류 분무각과

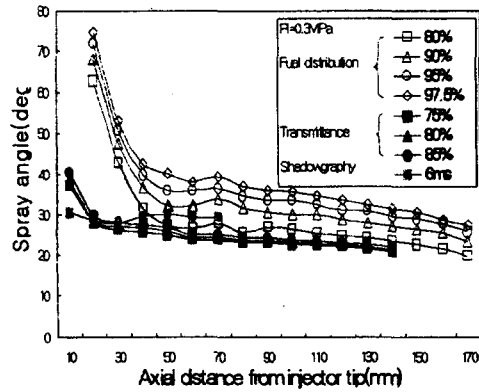


Fig. 13 Influence of different measuring methods on spray angle for 4hole-1stream

같이 인젝터팁으로부터 거리가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

페터내이터에 의한 방법에서 인젝터팁으로부터 거리가 증가함에 따라 40mm까지 분무각이 급격히 감소하고, 이 때의 분무각이 다른 방법으로 측정한 분무각 보다 크게 나타났다. 인젝터에 가까운 거리에서 분무각이 크게 나타나는 것은 2공-2분류 인젝터와 같이 분무수집반에 의해서 분무의 진행에 장애를 받았기 때문이다. 즉, 인젝터와 분무수집반의 거리가 너무 가까워서 주위 공기의 유입현상이 일어나지 못하기 때문으로 생각된다. 체적분율이 커질수록 분무각의 변화율이 크고 체적분율이 작을수록 분무각의 변화율이 감소한다.

디지털영상처리와 쉐도우그래피에 의해서 측정된 분무각은 2공-2분류 인젝터와 동일한 경향을 보인다.

분무각은 동일분무에 대하여 같은 실험조건 일지라도, 사용된 측정방법에 따라 크게 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 쉐도우그래피에 의한 분무각과 디지털영상처리에 의한 분무각이 차이가 나는 이유는 PMAS의 순간이미지와 디지털영상처리에 의한 긴 시간동안의 많은 수의 영상이 큰 차이를 보이기 때문으로 판단된다. 이것은 Fig.12에서 나타나듯이 분무각이 분사가 진행되는 동안 변하기 때문이다. Dan⁽¹³⁾ 등과 Chang and Farrell⁽¹⁴⁾이 디젤분무

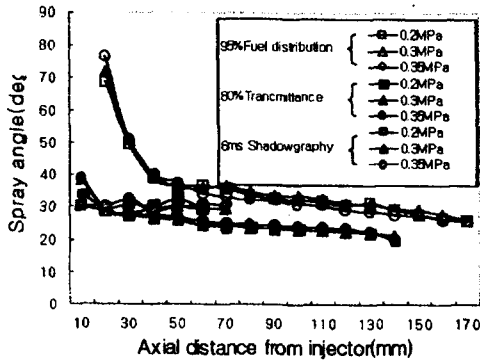


Fig.14 Effect of injection pressure on spray angle for 4hole-1stream

에서 지적했듯이 근점 분무각(near spray angle)과 먼 분무각(far spray angle) 처럼 영역이 달라지면 분무각이 변하는 사실과 일치한다.

Fig.14는 3가지 측정방법에 대하여 인젝터팁부터 노즐 축방향 거리에 따라 분무각에 대한 분사압력의 영향을 나타낸다. 측정방법에 따라 분무각의 증가율이 차이가 있을지라도, 본 연구에서 고려된 측정방법과 실험조건하에서 연료의 분사압력이 증가하면 분무각이 증가함을 알 수 있다. 이는 넓은 범위의 분사압력에 대한 Lai 등⁽¹⁾의 연구와도 일치한다. 이상의 검토 결과에서 알 수 있듯이 패터내이터에 의한 분무각 측정에서 분무각측정의 최적의 위치는 인젝터팁으로부터 분무진행방향으로 60-80mm임을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 동일한 분무에 대하여 측정위치 및 방법에 따라 연구자마다 분무각이 상이하므로 가솔린엔진에 적용되는 다공인젝터의 분무각 측정방법을 정립하기 위하여 시험연료로 노랄헨탄, 분사압력이 0.2-0.35MPa, 주변압력이 대기압, 시험온도가 상온에서 2공-2분류, 4공-1분류 인젝터의 분무각을 패터내이터, 디지털 이미지 처리, 쉐도우그래피 방법으로 측정·비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 쉐도우그래피에 의한 2공-2분류 인젝터의 분무각 측정에서 분사시작 후 경과 시간에 따라서 분사각은 큰 변화를 보였으나 분류분리각은 아주 작은 변화를 보였다. 따라서 2공-2분류 인젝터의 분무규명 시 분류분리각과 복합분무각이 동시에 제시되어야 한다.

2) 디지털 이미지처리로 분무각을 측정할 경우, 투과율 기준의 선정이 대단히 중요하다.

3) 패터내이터로 분무각을 측정한 결과, 인젝터팁으로부터 거리가 증가함에 따라 분무각이 감소하는 경향을 보이며 인젝터팁근처에는 감소비율이 크고 거리가 증가함에 따라 감소비율이 작아진다.

4) 본 연구에서 고려한 3가지 분무각 측정방법으로 분무각을 측정한 결과, 분사가 계속되는 동안 분무각이 변한다. 분사초기에는 분무각이 크나 시간이 경과함에 따라 분무각이 감소하는 경향을 보였으며 변화율은 패터내이터가 가장 크게 나타났다.

5) 디지털 영상 처리에 의한 분무각과 패터내이터에 의한 분무각을 비교한 결과, 이 연구의 실험조건 내에서는 인젝터팁으로부터 60-80mm가 분무각 측정에 최적위치임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. M.C., Lai, F.Q., Zhao, A.A., Amer, and T.S., Chue, "The Structure of Port Injector Spray in Gasoline Engines" Int'l Symp. in Advanced Spray Combustion, Hiroshima, Japan, pp.79-89, July 6-8, 1994.
2. F.Q., Zhao, M.C., Lai, and D.L., Harrington, "The Spray Characteristics of Automotive Port Fuel Injection-A Critical Review", SAE paper 950506, 1995.
3. F.Q., Zhao, J.H., Yoo, and M.C., Lai, "The Spray Characteristics of Dual-Stream Port Fuel Injectors for Applications to 4-Valve Gasoline

- Engines" SAE paper 952487, 1995.
4. A.H. Lefebvre, *Atomization and Sprays*, Hemisphere Pub. Co., New York, 1989, p.275
 5. J., Senda, M., Yamaguchi, T., Tsukamoto, and H., Fujimoto, "Spray Characteristics of a Pintle-type Injector in a Low-pressure Gas Environment", *Atomization and Sprays*, pp.237-251, 1994
 6. G., Renner and R.R., Maly, "Spray Structures of Automotive Injectors", Int'l Symp. in Advanced Spray Combustion, Hiroshima, Japan, pp.45-53, July 6-8, 1994
 7. J.D.Naber and D.L.Siebers, "Effects of Gas Density and Vaporizing on Penetration and Dispersion of Diesel Sprays", SAE Paper 960034, 1996.
 8. M. Xu and L.E. Markle, "CFD-Aided Development of Spray for an Outwardly Opening Direct Injection Gasoline Injector", SAE Paper 980493, 1998.
 9. S.Parrish and L.Evers, "Spray Characteristics of Compound Silicon Micro Machined Port Fuel Injector Orifices", SAE Paper 950510, 1995.
 10. V-tek, PMAS(MX-II, ver 3.0) user's reference manual, 1994, p.3
 11. J.Y.Kim, S.K.Baik, S.Y.Choi, D.R.Lee, S.H.Yoon and K.K.Kang, "Development of Spray Patternator for Gasoline Fuel Injector", ILASS-Asia '99, 4th Conference of Liquid Atomization and Spray Systems, 1-2 Oct., 1999, Kyunghee Univ., Yongin, Korea, pp.93-98.
 12. SAE Highway Vehicle Recommended Practice, Gasoline Fuel Injector, SAE J1832, Nov., 1989
 13. T.Dan, T.Yamamoto, J.Senda and H. Fujimoto, "Effect of Nozzle Configurations for Characteristics of Non-Reacting Diesel Fuel Spray", SAE paper 970355, 1997.
 14. C.T.Chang and P.V.Farrell, "A Study on the Effects of Viscosity and Nozzle Geometry on High Injection Pressure Diesel Spray Characteristics", SAE 970353, 1997.