

< 논 문 >

간헐적인 연료분무의 유동특성에 관한 연구

김원태* · 강신재** · 노병준**

(1997년 1월 24일 접수)

A Study on the Flow Characteristics of an Intermittent Fuel Spray

W. T. Kim, S. J. Kang and B. J. Rho

Key Words : Intermittent Spray(간헐분무), MPI(Multi-point Port Injection), PDA(Phase Doppler Anemometer), Temporal Distribution(시간적인 분포), Spatial Distribution(공간적인 분포), Pintle Type Nozzle(핀틀형 노즐)

Abstract

The flow characteristics of an intermittent fuel injection into a stationary ambient air were investigated using gasoline. The measurements were made by two-channel, air cooling type Phase Doppler Anemometer(PDA) system (DANTEC, 750mW). And a pintle type injector of MPI (Multi-point Port Injection) system was utilized as a fuel injector. The PDA receiver optic was set up in a 60° forward scatter arrangement to obtain the optimum scattering signal of fuel droplets. The data were obtained by synchronizing PDA system with the fuel injection period, and the axial and radial velocity and turbulent components of fuel droplets were mainly measured for the analysis of temporal and spatial distribution depending upon the fuel injection pressures.

1. 서 론

액체연료를 사용하는 대부분의 연소기는 연료분사기를 이용하여 연료를 미립화함으로써 공기 또는 산소와의 접촉면적을 크게 하여 연소효율을 향상시키고 있다. 미립화된 연료 액적들은 매우 복잡하고 무질서한 운동을 하게 되며, 시간과 공간에 따라 분무특성이 변화한다. 특히, 연료가 간헐적으로 분사되는 왕복동 엔진인 디젤기관과 가솔린기관의 경우, 연료의 분무특성은 연료액적의 유동특성에 의해서 지배되며, 공기와 연료의 혼합기 형성에 영향을 준다. 이와 관련된 이전의 분무유동에 관한 연구들^(1~3)은 정상유동에 관한 것들이었고, 간헐 분무유동은 분무거동의 사진분석에 국한되었다. 그러

나, 최근에는 계측장치의 급격한 발달로 인하여 정량적인 특성까지 고려한 연구^(4~11)가 활발히 수행되고 있다. 그들 중에 Koo J. Y. 와 Martin J. K.⁽⁴⁾은 대기 온도 압력 하에서 챔버(chamber) 내에 디젤 연료 분무를 간헐적으로 분사시켜 분무 중심영역에서 크랭크 각에 따른 액적의 크기와 속도분포에 영향을 끼치는 인자들을 관찰하였다. Evers L. W.⁽⁵⁾는 고압 선회분사기로부터 분사되는 간헐적인 분무 영역을 4개의 영역으로 구분하여 실험조건에 따른 각 영역의 특성을 고찰하였다. Kobashi K. 등⁽⁶⁾은 PDA에 메모리가 큰 신호처리기를 이용하여 간헐적인 분무의 유동 예로 도조연료(dummy fuel)를 사용한 가솔린 엔진 연료분사기의 분무특성을 계측하였다.

본 연구는 가솔린 연료분사기의 솔레노이드 밸브에 주어지는 분사 펄스신호에 따라 간헐적으로 분사되는 가솔린 연료 분무 액적들의 시간과 공간적

*회원, 전북대학교 대학원

**회원, 전북대학교 기계공학부

인 유동분포를 고찰하므로써 간헐적인 분무 유동장의 특성을 파악하고자 한다. 그러므로써 간헐적 분무를 해석적으로 연구하는 데 필요한 실험적으로 검증된 기초자료와 엔진설계시 연료분사기의 분무 유동특성을 파악하는 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 측정방법

2.1 실험장치

간헐적인 연료분무를 생성하기 위하여 입력 분사 펄스에 따라 솔레노이드 밸브를 작동시켜 연료분사를 전자적으로 제어할 수 있는 MPI(Multi-point Port Injection) 시스템을 갖는 가솔린 엔진의 핀틀형 연료분사기를 본 실험에 사용하였다.

Fig. 1은 핀틀형 연료분사기의 간헐적인 분무 유동특성을 고찰하기 위한 실험장치의 구성도이다. 실험장치는 크게 연료분사기에 가솔린 연료를 공급하는 연료공급부, 연료분사기로부터 분사되는 연료의 분무 액적크기 및 유동을 측정하기 위한 분무 측정부, 측정된 데이터를 처리하고 분석하기 위한 데이터 처리부로 구성하였다. 연료공급부는 연료공급압력을 일정하게 유지하고 연료분사압력을 변화시키기 위하여 왕복형 공기압축기로 가압된 공기를 이용하였다. 가압된 공기는 충전용기(surge tank)에 모아 압축기에 의한 맥동을 감소시킨 후 압력조절기를 거쳐 연료탱크의 가솔린 연료를 일정한 압력으로 가압하였다. 가압된 일정 압력의 연료는 연료속에 남아있는 불순물로 인한 연료분사기의 손상을 제거하기 위해 약 10 μm 정도의 오염물질을 여과할 수 있는 연료필터를 통과하여 연료분사기에 공급되게 하였다. 연료분사기에 공급되는 연료 분사압은 노즐 선단부로부터 10 cm 상류에서 정압관

을 인출하여 압력센서(Druck, PDCR 910)에 의해 검출된 압력을 디지털 압력변환기(Druck, DPI 420)로 측정하였다. 간헐적인 분사를 얻기 위하여 연료분사 조절장치와 컴퓨터를 연결하여 컴퓨터에서 분사펄스 길이와 주기를 조절하였다. 간헐적인 분무유동을 측정할 수 있는 PDA 시스템은 레이저 발진부(laser source), 송광부(transmitter optic), 수광부(receiver optic)로 구성되어 있다. 레이저 발진부는 공냉식 Ar-ion 레이저(750 mW, DANTEC)를 사용하였고, 레이저 광은 광섬유(fiber optic)를 통하여 송광부에 전송된다. 전송된 레이저 빔(beam)은 측정체적(probe volume)을 형성하고, 측정체적을 지나는 연료 액적의 산란광을 수광부로 받아들여 광증폭기(photomultiplier)에 의해 전기적인 신호로 변환되어 데이터 처리부에서 신호처리를 하게 된다. 송광부와 수광부는 고정벤치에 견고하게 고정하였고, 수광부는 송광부로부터 나오는 빔의 진행방향에 대하여 60°의 각을 유지하는 전방산란(forward scatter)방식으로 설치하였다. 연료분사기는 컴퓨터에 의해 제어되는 3차원 이송장치를 사용하여 측정위치로 정확하게 이동하였다. 데이터 처리부는 신호처리기(DANTEC, 58 N10)와 PC로 구성되어 있으며, 신호처리기는 산란된 빛의 버스트(burst)를 검출하는 방식으로 연료 액적의 크기와 속도를 각각 도플러 신호의 상대적 위상차와 주파수에 의해 계산하게 된다.

2.2 측정방법

본 연구는 분무축방향을 Z축, 반경방향을 X축으로 하고, 분사기의 분무형상이 축대칭이라 가정하여 2차원 측정을 수행하였다. 분무축 하방향은 10 mm~70 mm까지 10 mm 간격으로, 반경방향은

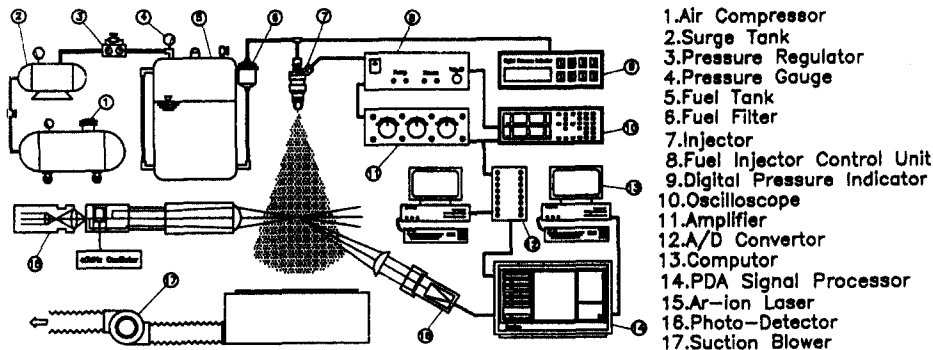


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

각 단면에서 2 mm씩 이동하여 분무외곽까지 측정하였다. 가솔린 연료분사기의 분사기간(T_i)은 3 ms로 고정하였고, 1회 분사되어 다음 분사가 이루어지는 분사 주기는 100 ms로 하였다. 연료분사압력은 250 kPa ~ 350 kPa로 변화를 주었다. 연료분사기에 공급되는 연료는 밀도 $\rho_f = 0.755 \text{ g/cm}^3$ 의 무연가솔린을 사용하였다. 간헐적으로 분사되는 분무입자의 유동특성을 고찰하기 위하여 연료분사기에 공급되는 분사펄스와 동일한 시간에 PDA 시스템의 신호처리기에 리셋(reset) 신호를 분사주기마다 반복하여 주었다. 한 측정점에서 매 분사 사이클을 시간분해(time resolved) 방식으로 처리하고 이를 토대로 시간과 공간적인 분포특성을 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 분무의 속도분포

Fig. 2와 3은 연료분사압력 $P_f = 350 \text{ kPa}$, 분무

축방향 위치 $Z = 70 \text{ mm}$ 에서 분사신호 이후의 시간변화에 따른 액적들의 순간축방향속도(u)와 순간반경방향속도(v)의 변화를 반경 위치에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 작은 점들은 액적들이 측정체를 통과하면서 얻어진 순간속도 값들이다.

순간축방향속도의 시간변화 특성을 보이고 있는 Fig. 2는 액적들의 초기 도달시간 영역에서 액적들이 운동량이 크기 때문에 15~19 m/s의 속도범위를 가지며, 핀틀의 영향으로 분무 유동이 중공(hollow cone) 형상을 생성하므로 분무중심 보다는 반경방향거리 $X = 6 \text{ mm}$ 와 $X = 12 \text{ mm}$ 에서 다소 큰 축방향속도를 보이고 있다. 특히, 그림 (c)의 반경방향거리 $X = 12 \text{ mm}$ 영역에서는 운동량이 큰 액적에 의해 분무선단 도달시간이 짧게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러므로 연료분사기의 노즐부의 핀틀에 의해 형성되는 중공형상의 분무가 분무하류인 $Z = 70 \text{ mm}$ 위치에서도 영향을 끼친다고 판단된다. 분사후 시간이 경과함에 따라 모든 반경방향 위치에서 주분무가 통과한 이후에 분사말기의

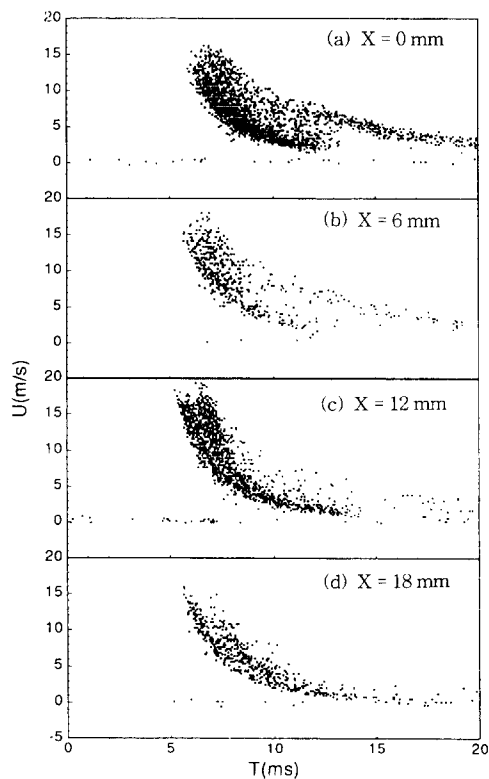


Fig. 2 Instantaneous axial velocity with lapse of time

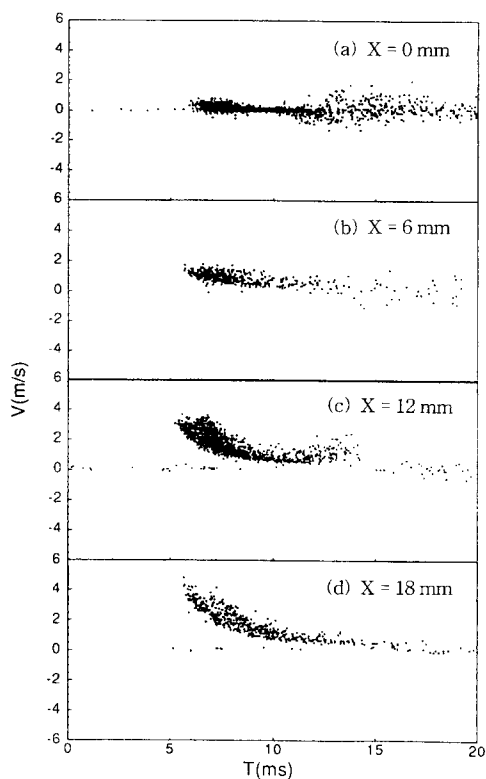


Fig. 3 Instantaneous radial velocity with lapse of time

운동량이 적은 분무 끝부분이 지나감에 따라 속도는 급격히 감소하고 있다. 그림 (d)의 $X=18$ mm의 분무 외곽영역에서는 측정된 데이터수가 적고 또한 12 ms가 경과한 이후 시간에서 약 2.5 m/s의 적은 속도의 액적들이 보이고 있다.

Fig. 3의 분무 중심영역인 (a) $X=0$ mm에서 반경방향속도는 양과 음의 작은 속도가 나타나며, 분사 개시 이후 12 ms에서는 반경방향속도가 다소 크게 변동하여 분무 액적의 순간반경방향속도가 넓게 분포하고 있다. 반경방향거리가 증가함에 따라 중심영역에서 보이는 음의 속도는 나타나지 않고, 분무 외곽영역으로 갈수록 분무 초기 도달시간에 액적들이 갖는 최대반경방향속도는 증가하고 있다. 이로보아 분무 선단이 도달하는 시간영역에서는 분무가 외곽영역으로 확산되어 분무폭은 증가하나 주분무가 통과한 이후에는 반경방향 속도가 거의 영에 가까운 값을 보이기 때문에 반경방향으로의 분무 확산은 이루어지지 않아 분무폭은 증가하지 않음을 알 수 있다. 이와같이 분사 개시 이후의 시간 변화에 따른 연료액적들의 순간축방향속도와 순간반경방향속도 분포를 동시에 고찰함으로써 측정위치를 통과하는 분무의 시간변화에 따른 거동특성을 파악할 수 있을 거라 생각된다.

분사개시 이후의 시간변화에 따른 액적들의 축방향속도 변화를 분사압력에 따라 고찰하기 위하여 분무선단이 도달하는 시간부터 0.5 ms의 시간구간으로 나누어 평균한 축방향속도 ($U_{0.5}$)를 각 분사압력의 측정위치에서 얻어지는 전시간구간의 평균축방향속도 (U_m)로 나누고 분사 이후의 경과시간 (T)을 분사시간 (T_i) 3 ms로 무차원하여 분무 중심 ($X=0$ mm)의 축방향 위치 $Z=10$ mm와 $Z=70$ mm에 대하여 Fig. 4에 도시하였다. 분무상류영역인 그림 (a)의 $Z=10$ mm에서 초기 분무선단은 정지대기의 항력으로 속도가 감소하고 뒤 따르는 분무는 다소 큰 속도분포를 보이며, 주분무가 통과하는 시간구간을 지나면서 속도는 감소하고 있다. 이런 현상은 Kobashi K.의 연구⁽⁶⁾에서와 일치하는 경향을 보이며, 측정위치에 도달하는 연료액적들은 주위공기 저항으로 운동량이 감소하여 뒤 따르는 운동량이 큰 액적들에게 따라 잡히는 현상이 발생한다. $T/T_i=1.5$ 이전 시간 영역에서는 각 분사압력의 평균 축방향속도 보다 높게 나타나고 있으며, 분사압력이 높은 $P_f=350$ kPa 에서는 최대 1.6배의 축방향속도의 값을 보이고 있다. 분사시간의

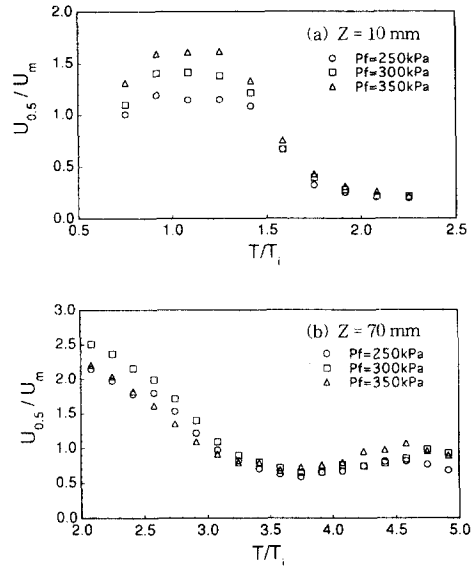


Fig. 4 Distribution of time resolved axial velocity at spray axis

1.5배 이후의 시간영역인 주분무가 통과한 분무 끝부분의 시간영역에서는 연료분사기의 핀들이 닫히면서 연료분사량이 적어져 분사압력에 관계없이 거의 일치하는 분포를 보이며, 급격한 축방향 속도의 감소를 보이고 있다. 분무 하류영역인 그림 (b)의 $Z=70$ mm에서는 분사압력에 관계없이 유사한 분포를 보이며, 분무상류영역과는 달리 분무선단 도달시간 영역에서 최대축방향속도를 보이고 있다. 이는 분무상류영역의 분사압력에 따라 각기 크기가 다르게 나타나는 분무 액적들의 운동량이 축방향 거리에 따라 점진적으로 감소하여 분무하류영역에서는 거의 균일한 운동량을 유지하기 때문이라 판단된다. 이는 이 위치에서의 분무 액적크기를 동시에 고려함으로써 명확한 고찰이 이루어질 수 있을 것이다. $T/T_i=3.7$ 에서 최소 축방향속도를 나타내며 시간이 경과함에 따라 증가하여, $T/T_i=4.6$ 에서 평균 축방향속도에 근접하고 있다. 따라서, 분무상류영역에서는 연료분사기 출구로부터 분출되는 초기 분무선단의 축방향속도가 정지대기의 항력으로 인하여 뒤 따르는 분무의 속도 보다 작게 나타나고, 분무하류에서는 이러한 경향이 소멸되어 초기 분무선단이 가장 큰 축방향속도를 갖는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 분무하류영역 ($Z=70$ mm)에서 전시간구간에 대하여 평균한 축방향속도가 최대인 반경방향

위치 $X=10\text{ mm}$ 에서 축방향속도분포($U_{0.5}/U_m$)와 반경방향속도분포($V_{0.5}/U_m$)를 분사시간(T/T_i) 경과에 따라 각각 도시한 것이다. 축방향속도 분포의 분사시간 경과에 따른 변화를 보이는 그림 (a)는 압력이 적은 $P_f=250\text{ kPa}$ 의 경우가 $T/T_i=3.5$ 까지 평균축방향속도(U_m) 이상의 값을 유지하고 있다. 분사압력이 증가함에 따라 평균축방향속도(U_m) 이상을 유지하는 시간은 분사압력이 350 kPa의 경우, $T/T_i=2.6$ 으로 줄어들고 있다. 이런 현상은 높은 분사압력으로 분사되는 연료 액적들이 주위공기와의 상대속도차가 크기 때문에 크기가 작은 액적들로 재차 분열이 이루어져 상대적으로 분무하류에서 액적의 운동량이 감소하는 결과를 초래하기 때문이라 판단된다. 그러나, Fig. 4(b)의 분무 중심 위치에서 분사압력에 무관하게 거의 일치하는 분포와는 다른 경향을 보이는 데 이는 분무선단의 증공형상으로 인하여 그 영향이 나타나는 분무 중심부와 액적밀도가 높은 반경방향의 차이라고

생각된다. 따라서, 분사압력이 커질수록 액적 밀도가 높은 반경위치의 분무선단이 도달하는 주변무 유동영역에서 큰 축방향속도를 갖는 액적들이 다수 측정되고, 그 이후 시간영역에서는 운동량의 감소로 나타나는 작은 속도의 액적들이 계속됨을 알 수 있다. 그림 (b)의 반경방향속도 또한 축방향속도 분포와 유사한 경향을 보이고 있다.

본 연구에서는 분무 유동장의 공간적인 분포 특성 고찰은 주변무 유동영역만을 고려하였다. 주변무 유동영역은 분무의 도달시간에 연료분사기의 분사펄스 기간과 축방향 위치에 따른 분무선단의 증분치를 더하여 구하였다. 본 실험에서 구한 분사압력에 따른 축방향 위치별 주변무 유동 시간을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 6은 주변무 시간구간에서 취한 데이터를 평균하여 얻은 축방향속도(U)를 각 단면 분무 중심의 평균 축방향속도(U_{cl})로 나누고 반경방향거리(X)를 최대축방향속도의 1/2인 분무 유동장의 반폭거리(b)로 무차원하여 축방향 위치에 따라 도시한 것이다. 분사압력이 250 kPa인 경우는 $Z=30\text{ mm}$ 인 단면에서 다른 축단면과 비교하여 다소 큰 축방향속도 분포를 보이고 있다. 그러나 분사압력이 높은 350 kPa에서는 보다 분무 하류인 $Z=50\text{ mm}$ 단면에서 높은 축방향속도 분포가 나타나고 있으며 특히, $X/b=0.5$ 인 반경방향 위치에서 분무 중심 보다 1.6배 정도 큰 축방향속도를 보이고 있다. 이로써 핀틀형 연료분사기에 의해 형성되는 일반적인 분무 유동장을 확인 할 수 있다.

Fig. 7은 주변무 시간구간의 평균 반경방향속도(V)를 각 단면의 분무 중심의 축방향속도(U_{cl})로 나누고 반경방향거리(X)를 최대 축방향속도의 1/2인 분무 유동장의 반폭(b)으로 무차원하여 축방향 위치에 따라 도시한 평균 반경방향속도 분포를 보이고 있다. 분사압력이 250 kPa일 경우 분무 상류

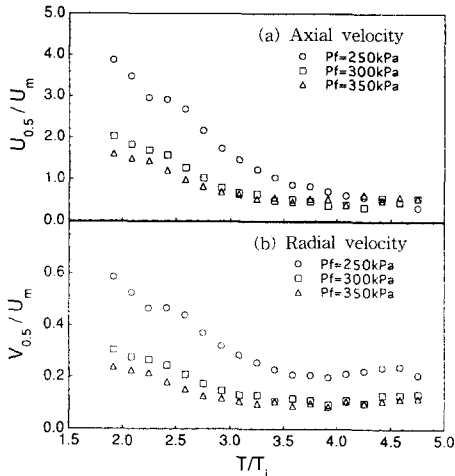


Fig. 5 Distribution of time resolved velocity at $X=10\text{ mm}$

Table 1 Time interval of main spray

Injection pressure Axial distance	$P_f=250\text{ kPa } (T/T_i)$	$P_f=350\text{ kPa } (T/T_i)$
10 mm	0.66~1.55	0.67~1.87
30 mm	1.42~2.41	0.99~2.59
50 mm	1.86~3.29	1.43~3.41
70 mm	2.31~4.18	1.86~4.24

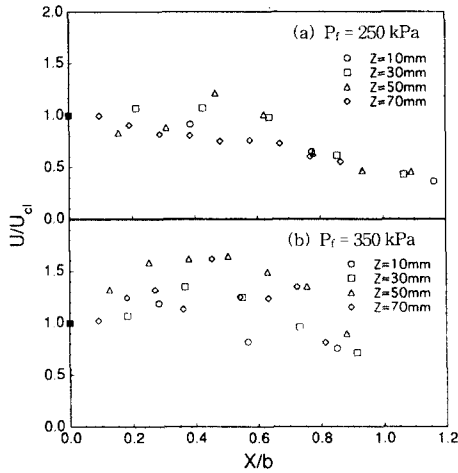


Fig. 6 Spatial distribution of mean axial velocity

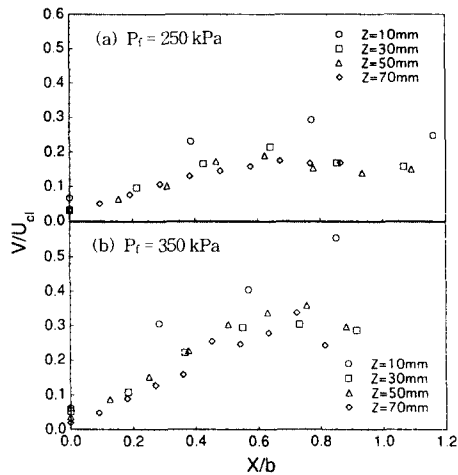


Fig. 7 Spatial distribution of mean radial velocity

영역인 $Z=10$ mm 위치의 단면에서 분무 중심의 축방향속도의 최대 30% 크기의 반경방향속도를 보이며 분무 하방향의 다른 단면들에서는 거의 일치하는 경향을 보이고 있다. 분사압력이 350 kPa로 증가하면서 분무 상류 위치인 $Z=10$ mm에서 분무 외곽으로 갈수록 반경방향 속도는 증가하며 다른 단면에서도 분사압력이 적을 때 보다 반경방향 속도가 커짐을 알 수 있다. 이로서 분사압력이 증가할수록 정지 대기에 작용하는 항력도 커져 분무단면을 넓게 확산시키는 반경방향속도가 증가한다고 생각된다.

분무 유동장의 속도분포를 한눈에 파악하기 위하여 측정 위치에 따라 주분무의 평균축방향속도와

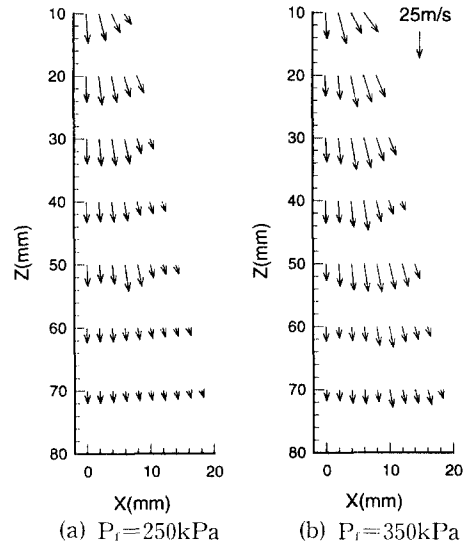


Fig. 8 Resultant velocity distributions of U and V

평균반경방향속도를 합성하여 속도벡터로 Fig. 8에 도시하였다. 분사압력이 증가할수록 분무 유동장의 속도 크기는 증가하고 있으며, 분무 상류영역에서 뚜렷한 차이를 발견할 수 있다. 분사압력이 250 kPa의 경우는 $Z=30$ mm 단면에서 최대속도분포를 보이고, 350 kPa에서는 $Z=50$ mm에서 최대속도분포를 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한, 분사압력이 클수록 분무 상류에서 주분무의 유동방향이 좀더 외곽쪽을 향하고 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 분사압력 350 kPa에서 주분무 동안에 연료액적들의 크기에 따른 축방향속도분포와 반경방향속도분포를 각각 보이고 있다. 액적 크기는 3개의 크기로 나누었다. $D < 10 \mu\text{m}$ 인 액적들은 공기유동을 일반적으로 잘 따르므로 간헐적으로 분사되는 연료분사기의 유동장을 나타낸다고 볼 수 있다. Fig. 9(a)인 $Z=30$ mm 축방향 단면의 분무 축중심에서 액적이 클수록 공기유동장을 잘 따르지 않고 공기속도 보다 작은 속도를 가지나, 대체적으로 반경방향 거리가 증가함에 따라 액적크기에 관계없이 공기유동장을 잘 따르고 있다. 그러나 분무 외곽으로 갈수록 액적이 클수록 큰 축방향속도를 보이고 공기유동을 대표하는 $D < 10 \mu\text{m}$ 인 액적들과 큰 차이를 보이고 있다. 이는 같은 축단면 위치인 Fig. 10(a)의 반경방향속도분포에서도 유사한 경향을 보이고 있다. 그러나, 분무 하류 위치인 Fig. 9(b)와 Fig. 10(b)에서는 전단면에 걸쳐

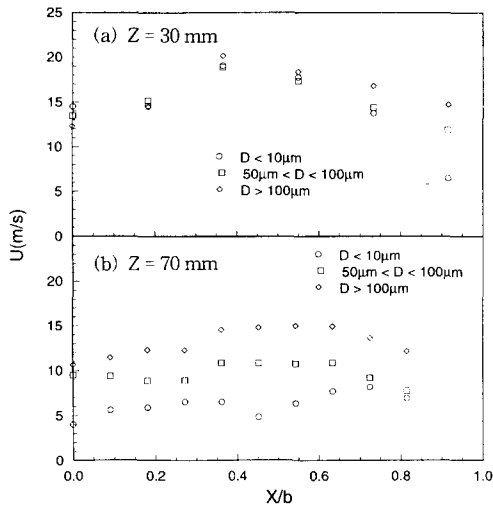


Fig. 9 Distribution of axial velocity with drop sizes

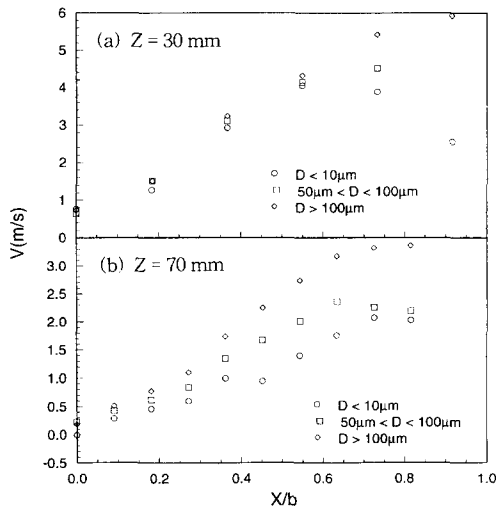


Fig. 10 Distribution of radial velocity with drop sizes

액적의 크기가 클수록 큰 속도를 유지함을 볼 수 있다. 이는 분무상류 영역에서는 분무액적의 관성력의 영향보다는 분사압력의 영향이 더욱 지배적임을 알 수 있고, 분무 하류로 갈수록 관성력이 분무 유동을 지배하기 때문에 큰 액적들이 큰 속도를 나타낸다고 생각된다.

3.2 분무의 난류강도분포

Fig. 11은 분무중심의 분무하류 위치($X=0$ mm, $Z=70$ mm)에서 분사압력에 따른 축방향의 파동속

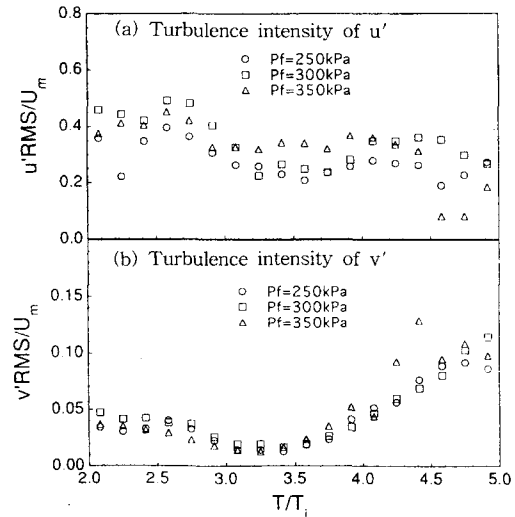


Fig. 11 Temporal distribution of turbulence intensity

도(u')와 반경방향 파동속도(v')의 RMS값을 분무 유동 전시간구간에 걸쳐 평균한 축방향속도(U_m)로 무차원하여 얻은 난류강도를 무차원된 분사시간(T/T_i) 변화에 따라 도시한 것이다. 그림 (a)의 축방향속도의 난류강도는 분사압력에 따라 불규칙한 난류강도분포를 보이고 있으나, 분무선단의 초기 도달시간에서 높은 난류강도를 가지며, 시간이 경과함에 따라 점진적인 난류강도의 감소를 보이고 있다. 그림 (b)의 반경방향속도의 난류강도는 축방향속도의 난류강도 분포와는 달리 분무 선단이 도달한 시간 영역에서는 3~5%의 낮은 난류강도를 보이며 감소하다가, $T/T_i=3.4$ 시간영역에서 대략 2% 정도의 가장 낮은 난류강도를 나타내고 있다. 이 시간 영역에서는 분사압력에 무관하게 거의 일치하는 경향을 보이고 있다. 그러나, $T/T_i=3.4$ 이후에는 다시 난류강도가 증가하고 불균일한 분포를 나타내고 있다. 이런 경향으로 보아 분무하류의 분무 축중심 영역에서는 주분무가 통과함에 따라 축방향속도의 난류강도는 점진적으로 감소하는 반면에 반경방향은 낮은 난류강도를 보이며 감소하고 있으며, 분무의 끝부분이 통과하는 시간 영역에서는 증가함을 알 수 있다. 이는 작은 운동량을 갖는 분무 후단부에서는 축방향속도 보다는 반경방향속도의 영향이 상대적으로 증가하여 반경방향의 난류강도를 증가시킨다고 생각된다.

Fig. 12는 연료분사압력 변화에 따른 분무 유동

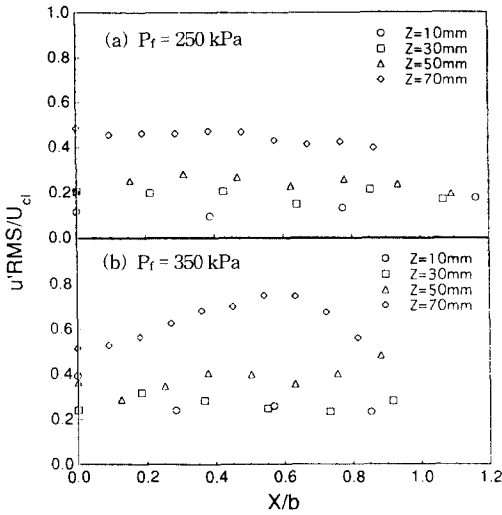


Fig. 12 Spatial distribution of turbulence intensity of u'

의 난류속도 성분을 각 축방향 단면의 중심축방향 평균속도로 무차원한 난류강도를 반경방향 거리의 반폭비로 도시하였다. 분무 하류 단면으로 갈수록 분사압력에 무관하게 축방향 파동속도의 난류강도는 점차적으로 증가하는 양상을 보이고 있다. 분사압력이 작은 250 kPa의 경우는 분무 하류인 $Z=70$ mm 축방향 위치에서 반경방향에 걸쳐 40~50%의 균일한 난류강도를 보이며 분무단면에 따라 균일한 난류강도를 나타내고 있다. 분사압력이 350 kPa로 증가하는 경우 분무 하류인 $Z=70$ mm 축방향 위치의 반경방향거리 $X/b=0.6$ 근처에서 75% 정도의 최대난류강도분포를 보이고 있다. 분사압력이 증가할수록 액적들의 축방향 변동이 크기 때문에 전 분무단면에 걸쳐 높은 난류강도를 보임을 알 수 있다.

Fig. 13은 반경방향 파동속도에 대한 난류강도 분포를 반폭비로 무차원하여 연료분사압력에 따라 도시한 것이다. 축방향파동속도의 난류 강도에 비하여 전체적으로 낮은 분포를 보이고 있다. 분무상류의 분무 중심축에서 보다 높은 반경방향속도의 난류강도를 보이고 있으며, 분무 중심 영역 근처에서는 작고 분무외곽으로 갈수록 난류 강도는 증가하고 있다. 이는 분무 외곽영역에서 주위 공기의 유입현상이 발생하여 연료 액적과 주위공기와의 혼합이 활발히 이루어지므로 반경방향 난류강도를 증가시키는 원인으로 작용되었다고 판단된다.

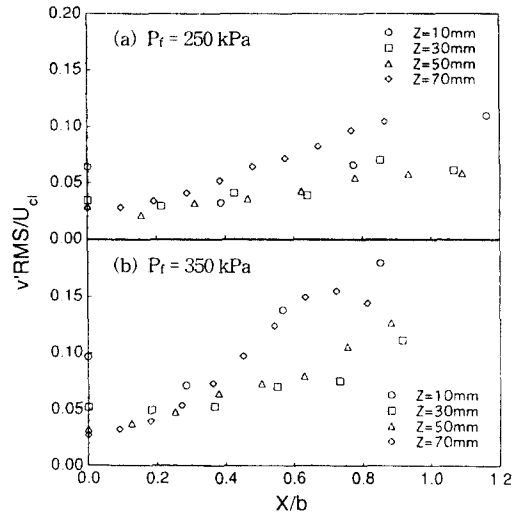


Fig. 13 Spatial distribution of turbulence intensity of v'

4. 결 론

간헐적으로 분사되는 핀틀형 가솔린 연료분사기의 시간과 공간적인 분무 유동분포 특성을 고찰한 결과 다음과 같이 요약할 수 있다

(1) 정지 대기에 초기 분무선단에 작용하는 항력이 크기 때문에 분무 축중심의 분무상류위치에서 초기 분무선단 보다 뒤 따르는 분무선단에서 축방향속도가 크게 나타났으나, 분무하류에서는 초기 분무선단이 가장 큰 축방향속도를 보였다.

(2) 분무하류의 최대축방향속도를 갖는 반경방향 위치에서 분사압력이 작을수록 긴 시간구간에 걸쳐 높은 축방향과 반경방향속도를 유지하였다. 이로보아 분사압력이 작을 수록 분무하류에 까지 액적의 운동량이 유지된다고 생각되나, 이 위치에서 액적 크기분포도 반드시 고려되어야 할 것으로 판단된다.

(3) 분무 외곽을 제외한 분무상류에서는 연료액적의 크기에 관계없이 공기유동장을 잘 따르나 분무하류에서는 보다 큰 액적들이 높은 속도를 보이므로서 관성력의 영향이 지배적으로 나타남을 알 수 있다.

(4) 분무중심의 하류영역에서 주분무가 통과한 이후에 축방향 파동속도의 난류강도는 감소하였으나, 반경방향 파동속도는 분사압력과 무관하게 증

가하는 경향을 보였으며, 분무하류인 $Z=70$ mm 축방향 단면에서 높은 축방향 파동속도의 난류강도를 보였다.

참고문헌

- (1) Reitz, R. D. and Bracco, F. B., 1979, "On the Dependence of Spray Angle and Other Spray Parameters on Nozzle Design and Operating Conditions," *SAE* 790494, pp. 1~19.
- (2) Iwata, M. Furuhashi, M. and Ujihashi, M., 1987, "Two-hole Injector Improves Transient Performance and Exhaust Emission of 4-valve Engines," *SAE* 870125.
- (3) Saito, A., Kawamura, K. and Tanasawa, Y., 1988, "Improvement of Fuel Atomization in Electronic Fuel Injector by Air Flow," *The 4th ICLASS, sendai, Japan*, pp. 263~270.
- (4) Koo, J. Y. and Martin, J. K., 1990, "Droplet Sizes and Velocities in a Transient Diesel Fuel Spray," *SAE* 900397, pp. 929~947.
- (5) Evers, L. W., 1994, "Characterization of the Transient Spray from a High Pressure Swirl Injector," *SAE* 940188, pp. 1~10.
- (6) Kobashi, K., Hishida, K. and M. Maeda, 1990, "Measurement of Fuel Injector Spray Flow of I. C. Engine by FFT Based Phase Doppler Anemometer-An Approach to the Time Series Measurement of Size and Velocity," *The 5th International Symposium on Application of Laser Techniques to Fluid Mechanics*, pp. 268~287, Lisbon.
- (7) Jawad, B., Gulari, E. and N. A. Henein, 1992, "Characteristics of Intermittent Fuel Sprays," *Combustion and Flame*, pp. 384~396.
- (8) Nogi, T., Ohyama, Y., Yamauchi, T., and H. Kuroiwa, 1988, "Mixture Formation of Fuel Injection Systems in Gasoline Engines," *SAE* 880558.
- (9) Senda, J., Yamaguchi, M., Tsukamoto, T., and H. Fujimoto, 1994, "Characteristics of Spray Injected from Gasoline Injector", *JSME International Journal Series B*, Vol. 37, No. 4, pp. 931~936.
- (10) Sugimoto, T., Takeda, K., Tsukamoto, H., Hojyo, K., and H. Fujimoto, 1991, "Spray Characteristics of Pintle Type Injector under Low-Pressure Field," *ICLASS-91*, Paper 96, pp. 857~864, Gaithersburg, MD, USA, July.
- (11) Nemecek, L. M., Wagner, R. M. and Drallmeier, J. A., 1995, "Fuel Droplet Entrainment Studies for Minimization of Cold-Start Wall-Wetting," *SAE* 950508, pp. 1~11.
- (12) Rho, B. J. and Oh, J. H., 1995, "LDV Measurement Turbulence Flow Behavior of Droplets in a Two-Phase Co-axial Jet," *Journal of KSME*, Vol. 9, No. 3, pp. 360~368.