

〈논 문〉 SAE NO. 97370057

## 강체선회 유동이 분무 구조에 미치는 영향

### Effect of Solid Body Rotating Swirl on Spray Structure

이 충 훈\*, 최 규 훈\*\*, 노 석 홍\*\*, 정 석 호\*\*\*  
C. H. Lee, K. H. Choi, S. H. Noh, S. H. Chung

#### ABSTRACT

Spray characteristics of high pressure injectors for diesel engines have been experimentally studied with special emphasis on the effect of swirl. A constant volume chamber was rotated in order to generate a continuous swirl having the flow field of a solid body rotation, resulting in the linear dependance of the swirl number on the rotating speed of the chamber. Emulsified fuel is injected into the chamber and the developing process of fuel sprays is visualized. The fuel spray developing process in D. I. diesel engine was investigated by this liquid injection technique. The effect of swirl on the spray tip penetration is quantified through modelling. Results show that the spray tip penetration is qualitatively different for low and high pressure injections. For high pressure injection case, a good agreement is achieved between the experimental results and the modeling accounting the effect of swirl. For low pressure injection, a reasonable agreement is obtained. It is found that excessive swirl may cause adverse effect on spray dispersion during the initial combustion period since the spray can not be impinged on chamber wall.

주요기술용어 : Spray Tip Penetration(분무 선단 거리), Breakup Length(분열 길이), Swirl(선회), Spray Dispersion(분무 분산).

#### 1. 서 론

디젤 엔진은 열기관 중에서 열효율이 높아 연료 경제성이 우수하기 때문에 입자상 물질 및 질

소 산화물의 과다 배출에도 불구하고 주요한 동력원의 하나로 지속적으로 사용될 것이 확실하다. 현재 디젤 엔진의 열효율은 최고 50%까지 이르고 있으며, 성능향상 및 배기개선을 위해서 입자상물질 트랩(particulate trap)등의 후처리 기술 개발, 연료 분사 압력의 고압화 및 연료 분사 제어의 전자화 등의 분사계 개발, 관성과급

\* 서울대학교 대학원

\*\* 정회원, 기아자동차(주)

\*\*\* 정회원, 서울대학교 기계공학과

시스템, 가변 선회 시스템 및 가변 형상 터보 과급기(variable geometry turbocharger : VGT) 등의 흡배기계 개발, 그리고 연소실 형상 개선을 통한 성능 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.<sup>1~7)</sup>

연료와 공기의 혼합 특성은 연료 분사시 연소실 형상과 더불어 공기 유동 특히, 흡기 포트에 의해 생성되는 선회 유동에 크게 영향을 받으며, 분무선단거리, 분무각, 분열 길이, 미립화 등의 분무 특성에도 밀접한 관련이 있다.<sup>8)</sup>

디젤 엔진 연소실에서 분무 선단 거리 특성을 파악함으로써 착화시의 분무와 연소실 벽면의 상대 위치, 공기와의 혼합 상태를 알 수 있다. 특히 착화 후 비정상(unsteady) 상태의 연소가 일어나는 초기 연소에 있어서는 이러한 선회 유동이 연료와 공기의 혼합 속도를 지배한다. Schweitzer<sup>9)</sup>, Wakuri 등<sup>10)</sup>과 Dent<sup>11)</sup> 등은 디젤 엔진에서 분무의 선단 거리는 분무 시작 후 시간의 평방근에 비례함을 보였다. Rife와 Heywood<sup>12)</sup>, Hiroyasu 등<sup>13,14)</sup>은 분무 선단 거리에 관한 폭 넓은 실험적 연구를 수행하였다.

직접 분사식 디젤 엔진의 개발에 있어 분무의 연소실 벽면 충돌 및 선회 유동에 의한 분산(dispersion)특성과 관련하여, 분무의 분열길이와 분무각은 매우 중요한 파라미터로서 이에 대한 연구는 Hiroyasu 등<sup>15,16)</sup>에 의해 수행되었다.

실제 직분식 연소실 내의 속도 분포에 대한 연구는 Monaghan과 Pettifer<sup>17)</sup>, Brandl 등<sup>18)</sup>과 Ikegami<sup>19)</sup>등에 의해 이루어졌는데, 선회 속도의 특성은 연소실 벽면 근처를 제외하고는 대체적으로 연소실 반경에 선형적으로 비례하는 강제 선회 유동(solid body rotation)에 가까운 것으로 알려져 있다.

분무 특성과 선회 유동의 상호 작용에 관한 연구는 Hiroyasu 등<sup>16)</sup>이 고압 정적 연소실 내에 고속으로 회전하는 원판(disk)을 설치하여 선회를 발생시켰는데, 이 실험에서 원판의 회전에 의해 생성되는 유동은 선회수의 정량화가 어려우며, 가시화 결과가 실제의 디젤 엔진에서의 가시화 결과와 상이한 특성을 나타내고 있다. Yoshikawa 등<sup>20)</sup>은 정적 분무실의 외주에서 물을 주입하고 정적 분무실 중심부에서 물을 유출시키면서 선회

유동을 생성하였는데 내부 유동장의 접선 속도 특성이 분무실 반경의 1/2 정도의 위치에서 속도가 최대가 되는 분포를 나타내어 선회수의 정의가 어렵고 실제 연소기에서의 유동 특성과 차이를 보인다.

물 속에 연료를 분사하면 고압의 액체 연료가 고압의 공기 중에 분사하는 상태를 모사할 수 있으며, 연료를 공기보다 밀도가 큰 액체 중에 분사함으로써 작은 선회수에서도 충분히 높은 공기의 선회 특성을 모사할 수 있는 장점이 있다. Yoshikawa 등<sup>20)</sup>은 물속에 연료를 분사하는 것이 고압의 공기 중에 분사하는 것과 유사점이 있음을 실험적으로 확인하였으며 Gray 등<sup>21)</sup>과 Way 등<sup>22)</sup>이 물 속에 액체를 분사하는 방법을 사용하여 분무 특성을 연구하였다.

본 연구에서는 디젤 엔진에서 연료와 공기의 혼합 특성에 큰 영향을 미치는 인자인 선회 유동이 분무 특성에 미치는 영향을 주로 살펴보았다. 선회 유동을 정량화하기 위해 물이 채워진 정적 분무실이 강제 선회 유동 조건이 되도록 하기 위해 정적 분무실 자체를 회전시켰는데, 이때의 선회수는 정적 분무실 회전수에 비례한다. 유화 연료(emulsified fuel)를 물이 채워진 정적 분무실에 분사하고 이의 고속도 촬영을 통하여 선회수가 분무에 미치는 영향으로서 분무 선단 거리, 분무 시작 후 시간 경과에 따른 분무 거동, 분무실 벽면 충돌시의 분산 특성 등을 살펴보았다.

## 2. 분무의 상사성

홀 타입(hole type)노즐로부터 분사되는 연료는 분사 후에도 완전히 분열(break-up)되지 못한 부분이 존재한다. 완전히 분열되기 전에는 분무선단 거리가 시간에 선형적으로 비례하며 일정시간이 지난 후에는 시간의 평방근에 비례하는 특성이 알려져 있다. 따라서 분무 선단 거리의 시간에 따른 변화곡선에서 기울기가 변화하는 지점을 실험적으로 구하면 분열길이(breakup length :  $L_b$ )를 알 수 있다. Arai 등<sup>23)</sup>은 실험 결과와 Levich<sup>24)</sup>의 제트이론을 이용해서 제트분열 전의 분무선단거리  $S_0$ 을 다음과 같이 구하였다.

$$S_1 = V_0 t = C \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_l}} t, \quad 0 < t < t_b \quad (1)$$

여기서  $V_0$ 는 제트의 초기 속도,  $\rho_l$ 은 분사 액체의 밀도,  $\Delta P$ 는 분사 액체 압력과 주위 공기압 사이의 차압,  $t$ 는 시간,  $C$ 는 상관 계수이다.

Levich의 제트 이론으로부터 액체 제트의 분열 길이를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L \approx V_0 t_{break} \approx \alpha \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_a}} d \quad (2)$$

여기서  $\alpha$ 는 관계 계수,  $d$ 는 노즐 직경이다.

제트 분열 시간  $t = t_b$ 에서의 제트의 분열 길이는  $S$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S = L_b = \alpha \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho}} d, \quad t = t_b \quad (3)$$

제트 분열후의 분무선단 거리  $S_2$ 는 다음과 같이 유도된다.

$$S_2 = \sqrt{C\alpha} \left( \frac{2\Delta P}{\rho} \right)^{1/2} \sqrt{dt}, \quad t > t_b \quad (4)$$

Yoshikawa 등<sup>20)</sup>은 (1)~(4)의 관계식을 이용하여 고압공기 중에 연료를 분사한 경우와 수증분사 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립함을 보였고, 실험을 통해 검증하였다.

$$\frac{t_w}{t_A} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_A} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$\frac{d_w}{d_A} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_A} \right)^{1/2} \quad (6)$$

$$\frac{\Delta P_w}{\Delta P_A} = \left( \frac{\rho_w}{\rho_A} \right)^{-1} \quad (7)$$

여기서 하첨자  $w, A$ 는 각각, 연료를 물에 분사한 경우와 고압 공기에 분사한 경우를 나타낸

다. Table 1은 연료를 물 및 고압공기 중에 분사하였을 때의 상호 관계를 (5)~(7)의 관계식으로부터 구한 것으로 물에 분사하는 경우가 본 실험조건에 해당한다.

### 3. 실험장치

실험장치는 회전정적 분무실, 회전 구동부, 연료 공급부, 인젝터, 가시화 장치, 전자제어 장치 등으로 구성되어 있는데 Fig.1에 개략도를 나타내었다.

Table 1 Similarity Relationship Between Injection Into High Pressure Air and Injection Into Water

	Into Air (Engine)	Into Water (Model)
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	15.6	998
$t$ [ms]	1	8
$d$ [mm]	0.2	1.4
$P$ [MPa]	22.3	0.35
	34.8	0.55

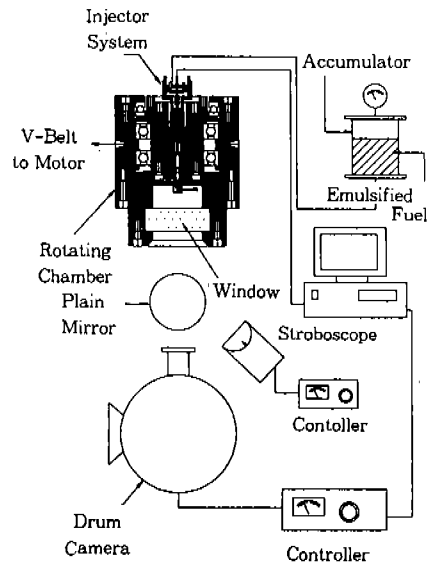


Fig.1 Experimental Setup for Rotating Chamber

선회 유동의 정량화를 위하여 정적 분무실이 회전할 수 있도록 설계 제작하였다. 정적 분무실의 축의 중심부에 인젝터를 고정하였으며, 2개의 레디얼 베어링과 1개의 스러스트 베어링을 사용하여 회전축과 정적분무실이 결합되며 정적 분무실의 외주에 V-벨트 홈을 가공하여 0.1kW 출력의 DC모터로부터 구동력이 전달되도록 하였다.

정적 분무실은  $\phi 66\text{mm}$ , 높이 25mm인 디스크 형으로 하면에는  $\phi 85\text{mm}$ 의 관측창을 두어 가시화가 가능하도록 하였는데 최대 1,150rpm까지 회전이 가능하다.

연료공급은 정적 압력 용기에 압축 공기를 공급하면 용기내에 있는 유화연료가 가압되어 인젝터로 공급된다. 인젝터는 Fig.2에 나타난 바와 같이 기존의 디젤 인젝터를 수정하여 사용하였다. 고속 솔레노이드 밸브와 인젝터의 푸시 로드(push rod)를 직접 연결하여 연료분사를 개폐하였다.

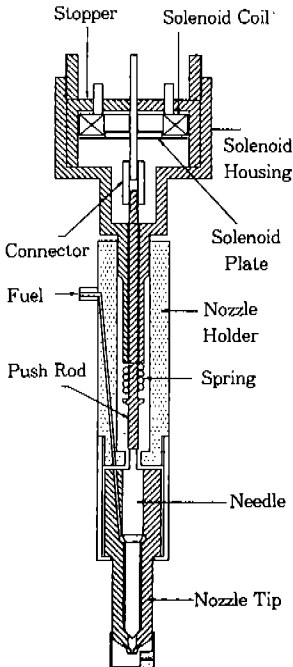


Fig.2 Schematic of Fuel Injector System

수중 분사를 위해 고압 공기중의 분사조건과 상사가 되도록 노즐을 설계하였다. 노즐의 끝단부를 연삭하여 섹(sac)부분에  $\phi 2.5\text{mm}$ 의 구멍을 내었고, 설계한 노즐팁을 섹 수정부에 억지끼워 맞춤하였다. 노즐팁에는  $\phi 1.4\text{mm}$ 의 분사공을 가공하였고, 오리피스 길이/노즐 직경비( $l/d$ )가 2.3 및 3.5의 두 종류를 제작하였다.

사용된 노즐 개폐용 솔레노이드 밸브(Lucas Ledex, 5SF-29)는 약 3ms의 응답시간을 가지며 직류 80V, 3A 용량의 구동원이 필요하다.

가시화를 위해 드럼카메라(suwehara)를 사용하였으며, 가시화 광원은 스트로보스코프(stroboscope)를 사용하였다. 드럼의 최대 회전속도는 5,000rpm으로 셔터가 열린 시간동안 스트로보 광원에 의한 영상이 기록된다. 광원의 지속시간은  $1.5 \sim 3\mu\text{s}$ 로 분무의 정지화상을 얻을 수 있다.

연료분사 타이밍 제어는 PC와 8253 타이머 보드를 사용하였다. 솔레노이드 밸브 전원의 개폐를 위해서 solid state relay(SSR)를 이용하였고 정적 분무실의 회전수 측정은 휴대용 타코미터를 사용하였다.

유화 연료의 제조를 위해 전자저울과 초음파 발생기(20kHz, 350W)를 이용하여 제조하였는데, 물과 연료가 섞이지 않는 특성때문에 계면활성제로서 SPAN 80(Sorbitan Monooleate, HLB = 4.3)과 TWEEN 80(Polyoxyethylene Sorbitan Monooleate, HLB=15)을 사용하였다. 계면활성제의 적정량은 HLB(Hydrophile-Lipophile Balance) 방법을 이용하여 결정하였는데 Water-in-Oil(W/O) 유화 연료의 경우에 HLB가 5.5인 유화 연료를 제조하여 사용하였다.<sup>25)</sup>

실험은 정적연소실을 원하는 회전수까지 증가시켜 일정시간이 지난 후 정적분무실 내의 물이 강제 회전 상태에 도달한 후에 수행하였으며 가시화 결과로부터 분무 선단 거리, 분열길이 등을 구하였으며, 또한 분무 시작 후 시간 경과에 따른 분무거동, 분무실 벽면 충돌시의 분무거동 등을 분석하였다.

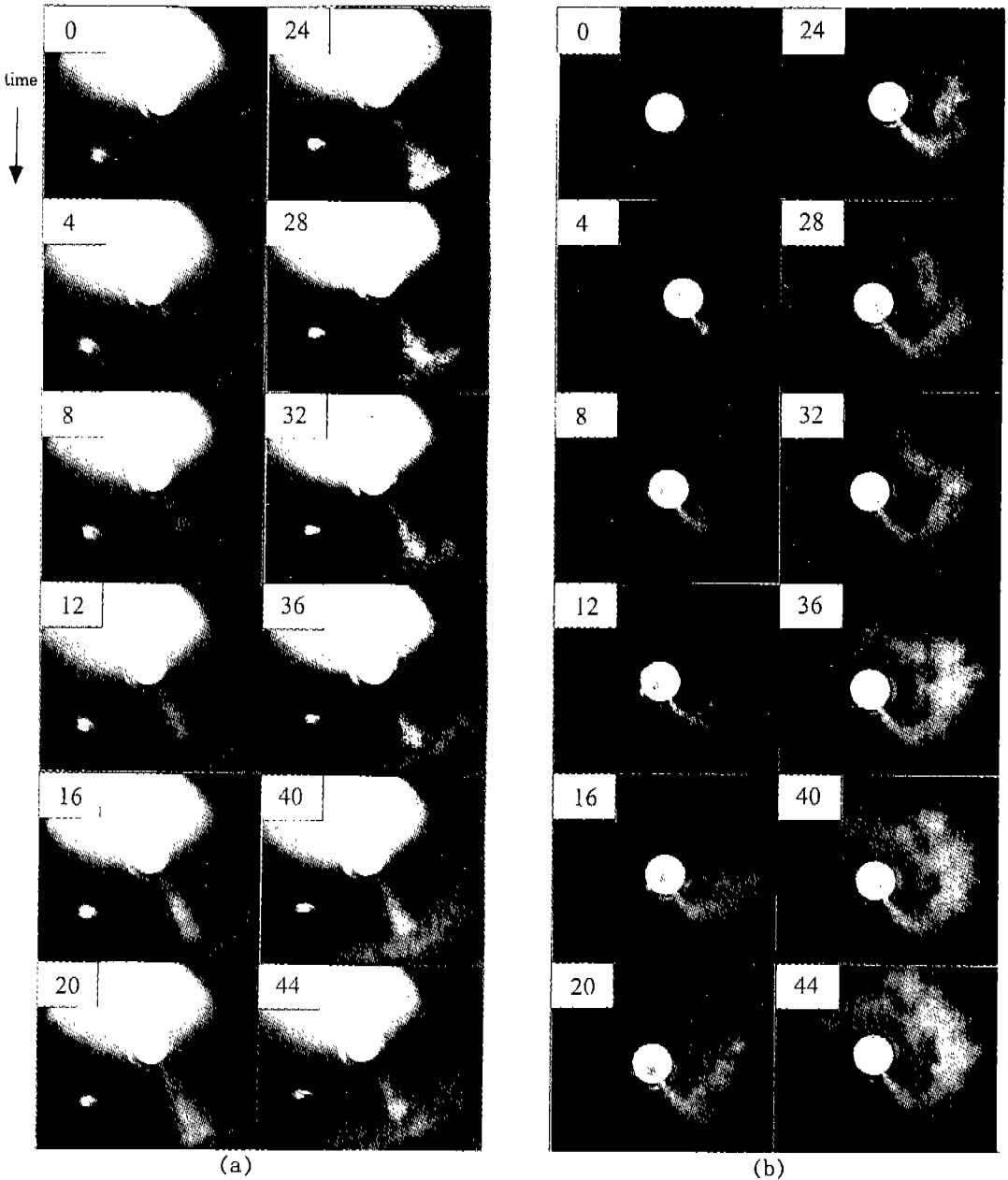


Fig.3 Consecutive Visualization Results of Fuel Injection with  $\Delta t=4\text{ms}$  :  
 (a)  $N=0\text{rpm}$ , (b)  $N=900\text{rpm}$ .

#### 4. 결과 및 검토

##### 4.1 분무가시화 결과

정적 분무실 내의 유체유동의 특성을 살펴보기

위하여 물과 입자를 넣고 회전시킨 후 이중 노출 방법으로 촬영한 결과 유체의 속도가 반경에 비례하여 증가하였으며 강체 선회 유동임을 확인하였다.

정적 분무실이 정지한 경우와 회전수  $N=300$ ,

600, 및 900rpm으로 선회속도가 각각 1.0, 2.0, 3.0m/s인 경우에 분무실험을 수행하였다.

Fig.3a는  $N=0$ ,  $P_i=5.5\text{atm}$ 의 조건에서 4ms 간격으로 가시화한 결과이며 일반 디젤 분무와 유사한 특성을 보이고 있는데 벽면에 충돌한 후 넓게 분산되는 경향을 보였다.

Fig.3b는  $N=900\text{rpm}$ 에 대한 가시화 결과를 나타낸 것으로 회전수를 증가시키면 강제 선회유동에 의해 분무가 휘어지는 현상을 나타내었다. 선회강도를 증가시켜도 노즐 출구에서는 분무가 크게 분산되지 못하였으며, 분무실 벽면 가까이 갈수록 선회에 의해 분산되는 효과가 증대되었

다. 고속 디젤 엔진에서는 연료분사 기간이 2~3ms 정도로서 수중 분무 시간 스케일로 환산하면 16~24ms 정도이다. 유화 연료 분사 후 24~44ms 동안의 가시화 결과로부터 알 수 있듯이 선회 강도가 필요이상으로 클 경우 연료 제트가 벽면에 충돌하지 못하여, 연료 분산이 효율적으로 이루어지지 않고 있음을 보여주고 있으며 제트가 연소실 벽면에 충돌하는 경우에 비해 미립화가 충분히 일어나지 않을 것으로 예상된다. 이로 인해 엔진의 출력 및 배기 성능에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다.

Fig.4는 다양한  $l/d$ 와  $P_i$  및  $N$ 에 대하여 분무의 궤적을 4ms 간격으로 스케치한 것으로 회전수의 증가에 따라 연료 제트에서의 영향이 크게 나타났음을 알 수 있으며 연료의 공간적 분포 특성을 정성적으로 파악할 수 있다.  $N=900\text{rpm}$ 에 이르면 분무가 분무실 벽면까지 도달하지 못하여 연료의 분산이 효율적으로 일어나지 못한다.

### 4.2 분무 선단 거리

직분식 디젤 엔진 연소실에서 분무선단 거리는 착화시의 분무와 연소실 벽면의 상대적 위치 및 혼합기 상태를 파악하는데 있어서 매우 중요한 변수중의 하나다. 특히 착화 및 착화 후의 비정상 상태의 연소가 강하게 일어나는 초기 연소시에는 분무 거동이 분무와 공기의 혼합 속도를 지배한다. 분무 선단 거리를 측정함으로써 분무 속도의 감쇠 정도를 구할 수 있으며, 분무내의 공기 유입 경향을 살펴볼 수 있다. 또한 고속 디젤 엔진에서는 분무의 착화 지연기간이 1ms 전후로 이 기간 동안의 분무 선단 거리가 중요하며 직분식 소형 디젤 기관에서는 연소실 직경이 작아 분무가 벽면에 상대적으로 빨리 충돌하게 되므로 분무 선단 거리가 특히 중요하다.

분무 선단 거리는 노즐 중심축에서 가장 멀리 떨어진 분무 선단까지의 거리로 정의하였다. 일반적으로 선회 유동이 없는 경우, 분무 선단 거리의 시간에 따른 경향은, 분사초기에는 선형적으로 비례하며 일정시간이 흐른 후에는  $t^{1/2}$ 에 따른다. 이와같이 기울기가 변화하는 시점에 분무가 완전히 분열하는(break-up)것으로 볼 수 있다.

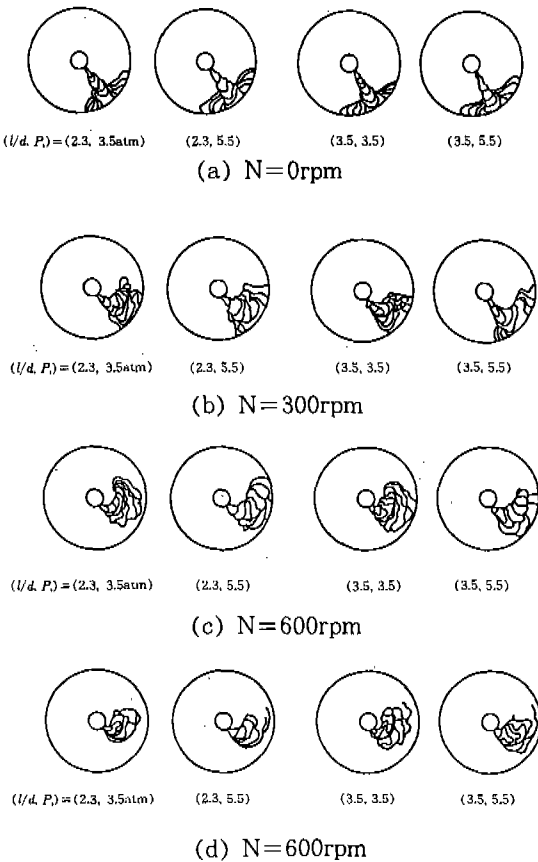


Fig.4 Sketches of Injected Fuel Trajectory with Time Interval of 4ms :

- (a)  $N=0$ , (b)  $N=300\text{rpm}$ ,
- (c)  $N=600\text{rpm}$ , (d)  $N=900\text{rpm}$ .

Hiroyasu 등<sup>16)</sup>은 선회유동이 있는 경우의 분무선단 거리특성을 모델링 하였다. 제트의 초기 속도를  $U_0$ , 선회가 없을 때의 분무 선단 거리를  $S$ , 있을 때는  $S_s$ ,  $C_s$ 를 관계 계수로 나타내면 이들의 관계식을 다음과 같다.

$$S_s = C_s S \quad (8)$$

$$C_s = \left(1 + C_f \frac{U_s}{U_0}\right)^n \quad (9)$$

여기서  $U_s$ 는 분무선단 거리  $r_s$ 에서의 선회 속도,  $C_f$ 는 선회계수이며,  $n$ 은 실험을 통해서 -1로 정하였다.

본 실험에서 사용한 회전 정적 분무실내의 유체는 강제 선회를 하므로  $U_s$  다음과 같다.

$$U_s = \frac{2\pi r_s N}{60} \quad (10)$$

식 (9)와 (10)을 (8)에 대입하면

$$S_s = \left(1 + C_f \frac{\pi r_s n}{30 U_0}\right)^{-1} S \quad (11)$$

이 되며 실험을 통하여  $C_f$ 는 0.3으로 정하였다. 선회가 없는 경우의 분무 선단거리  $S$ 는

$$S = C_1 t, \quad t < t_b \quad (12)$$

$$S = C_2 t^{1/2}, \quad t > t_b \quad (13)$$

이며  $C_1$ 과  $C_2$ 는 비례상수이며 모델링한 곡선이 실험결과와 가장 근접하는 경우를 구한 후(fitting) 이로부터  $C_1$ 과  $C_2$  값을 결정하였다. 식 (12)와 (13)을 식 (11)에 대입하면 선회유동장에서의 분무선단 거리특성을 구할 수 있다.

분사 압력이 3.5atm에서는 노즐 출구에서부터 분열되었는데, 선회가 없는 조건에서의 분무선단 거리 특성이 식 (12), (13)에 따르지 않고 다음과 같은 관계식을 만족하였다.

$$S = C_3 t^{0.65} \quad (14)$$

여기서  $C_3$ 는 비례상수이며 식 (14)를 식 (11)에 대입하면 선회 유동장에서의 분무선단 거리특성을 구할 수 있다.

Fig.5는  $l/d=2.3$ ,  $P_i=5.4\text{atm}$ 의 조건에서 분무시작 후 시간경과에 따른 분무선단 거리특성을 나타낸다. 시간에 따른 분무선단 거리특성을 보면 초기에 선형적으로 비례하다가 분무분열 후에는 시간의 평방근에 비례한다. 선회가 없을 경우의 모델링은 식 (12)와 (13)에 따르며  $C_1$ 은 2.5 [mm/ms],  $C_2$ 는 6.2[mm/ms<sup>1/2</sup>]이다. 선회유동을 고려한 분무선단 거리특성은 식 (11)으로부터 구할 수 있다. 분무가 분열되기 전에는 분무

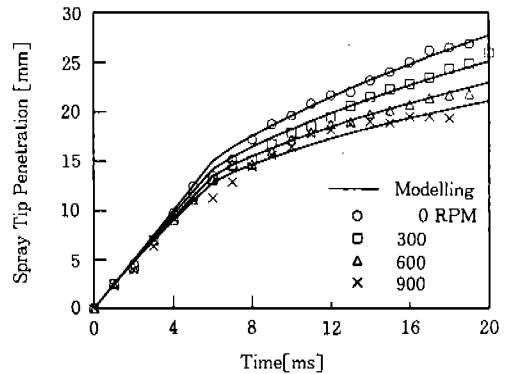


Fig.5 Spray Tip Penetration Versus Time for  $l/d=2.3$  and  $P_i=5.4\text{atm}$

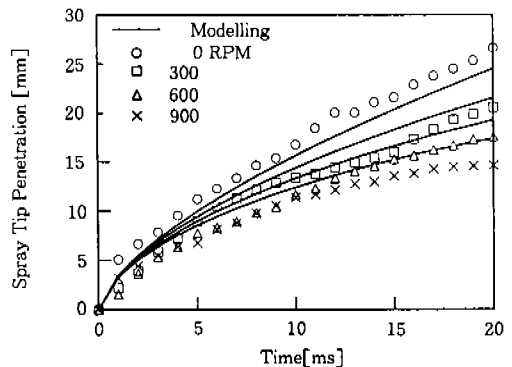


Fig.6 Spray Tip Penetration Versus Time for  $l/d=2.3$  and  $P_i=3.5\text{atm}$

선단 거리에 미치는 선회유동의 영향이 크지않으나 분열된 후에는 선회강도가 증가함에 따라 크게 감소하는 특성을 나타내고 있다.

Fig.6은  $l/d=2.3$ ,  $P_1=3.5\text{atm}$ 의 조건에서 분무시작 후 시간경과에 따른 분무 선단 거리 특성을 나타내는데 실선으로 표시된 것은 모델링 결과로 비례상수  $C_3$ 는  $3.5[\text{mm}/\text{ms}^{0.65}]$ 이며 실험 결과와 가장 잘 맞는 곡선을 정한 후(fitting) 이로부터  $C_3$ 값을 결정하였다. 정적 분무실의 회전수를 0, 300, 600, 900 rpm으로 증가시키면서 실험하였으며 정적 분무실의 회전수가 증가함에 따라 즉, 선회강도가 증가함에 따라 분무선단 거리가 감소됨을 나타내고 있다.

$l/d=3.5$ 로 증가시킨 경우,  $P_1=5.4\text{atm}$ 의 경

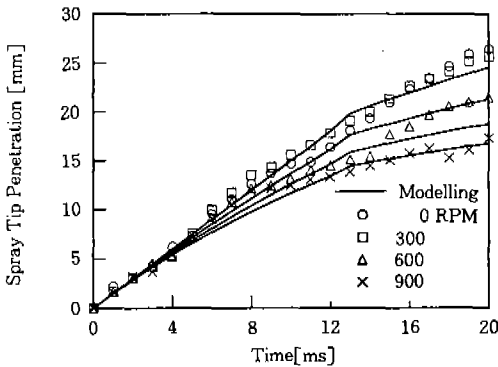


Fig.7 Spray Tip Penetration Versus Time for  $l/d=3.5$  and  $P_1=5.4\text{atm}$

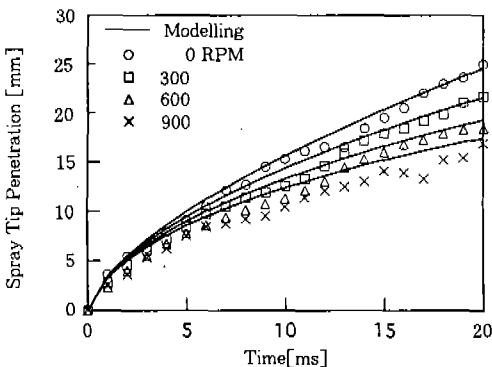


Fig.8 Spray Tip Penetration Versus Time for  $l/d=3.5$  and  $P_1=3.5\text{atm}$

우 시간에 따른 분무선단 거리변화를 Fig.7에 나타내었는데 모델링 계수값은  $C_1=1.75[\text{mm}/\text{ms}]$ ,  $C_2=5.5[\text{mm}/\text{ms}]$ 이다. 분무선단 거리특성은  $l/d=2.3$ 의 경우와 유사한 특성을 나타내었으며 단지 분무선단 거리값이 약간 감소하였다.  $P_1=3.5\text{atm}$ 인 경우의 결과를 Fig.8에 나타내었다. 분무선단 거리의 시간에 따른 변화특성은  $l/d=2.3$ 인 경우와 유사한 특성을 나타내고 있으며 분무선단 거리가 약간 감소하였다. 실험계수  $C_3$ 는  $l/d=2.3$ 의 계수와 동일한 값을 갖는다.

### 4.3 분열 길이

제트의 속도가 작은 경우 유동은 층류 상태로 분열길이는 속도에 비례하는 경향을 나타내고 제트의 속도를 증가시키면 분열 양상이 불안정한 천이영역을 나타낸다. 속도를 더 증가시키면 분열길이가 속도에 비례하여 증가하며 층류영역과는 다른 양상을 나타낸다. 이 영역을 난류영역 또는 파상류영역(wavy jet region)이라고 부른다. 속도를 더욱 증가시키면 분공출구로부터 분열된 제트가 나오게되며 이 영역을 분무영역이라고 하며 분열길이는 속도가 증가함에 따라 감소하며 속도가 어느 이상 증가하면 분열길이는 일정한 값을 유지한다. 이 중 디젤분무에 해당하는 분무영역은 완전 분무 영역에 해당한다.

분무가 연소실 벽면에 충돌할 때 연소실의 어느 위치에서 분열되는가에 따라 분무의 분산 양상이 달라진다. 분무의 분열이 빨리 일어날 경우 선회 유동장의 영향을 받아 연소실 내에서 폭넓게 분산되고 상대적으로 늦게 분열될 경우에는 벽면에 충돌후에 넓게 분산되는 경향을 보였다.

본 실험에서 구한 분열길이 특성은 분무압력이 낮은 경우 노즐출구에 Figs.6과 8에 나타난 바와 같이 이미 분열된 상태로 분사되었고, 분사압력을 높여 분사한 경우에는 Figs.5와 7에 나타내었으며 분사초기에는 분열되지 않았고 일정시간이 지난후에 분열되었다. 또한 Fig.5에서는 분무선단거리에 미치는 선회수의 영향이 뚜렷하게 나타나지 않았으나 Fig.7에서는 선회수가 증가함에 따라 분열 길이가 감소하는 경향을 실험 결과로부터 볼 수 있다.



5. 결 론

물을 채운 정적분무실을 회전시킴으로써 강체선회 유동장을 형성할 수 있었으며 선회수가 정적분무실 회전수에 비례하므로 선회수를 정량화할 수 있었다. 정적 분무실에 고압의 공기 대신에 물을 채운 상태에서 회전시킴으로써 강한 선회강도를 얻었고 주어진 회전수에서 유화연료를 분사함으로써 강체선회 유동장에서의 분무의 거동 및 분무선단 거리, 분열길이 등을 실험을 통해 구하였으며 적절한 모델링을 통해 선회유동이 분무선단 거리에 미치는 영향을 공식화하였다.

선회강도가 증가함에 따라 분무선단거리가 감소하였고, 연료의 분사압력이 높은 경우(5.5atm)에는 모델링 결과와 실험결과가 잘 일치하였으며, 낮은 경우(3.5atm)에는 비교적 일치하는 경향을 보였다.

분무가 분열되기 전에는 분무 선단 거리에 미치는 영향이 거의 없었으며 분열된 이후에는 선회 유동장에 크게 영향을 받아 감소하였다. 분무가 분열되기 전에는 선회유동이 연료 분산에 미치는 영향은 매우 작았으며 분열된 이후에는 선회강도가 증가하면 연료분산이 증대되었다.

후 기

본 연구는 G7-과제(차세대 자동차 기술)와 터보통력기계 연구센터의 지원으로 이루어졌으며 인젝터 제작에 협조하여 주신 두원정공(주) 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. B. Heywood, Internal Combustion engine Fundamentals, McGraw-Hil, 1989.
2. T. Kamimoto, H. Kobayashi, "Combustion process in Diesel Engine", Prog. Energy Combust. Sci., Vol. 17, pp. 163~189, 1991.
3. M. Ikegami, M. Fukuda, Y. Yoshihara and J. Kaneko, "Combustion Chamber Shape

- and Pressurized Injection in High Speed Direct Injection Diesel Engines", SAE Paper 900440, 1990.
4. Ikegami M., "Problems of Diesel Engine Combustion", CST(Japan), Vol. 3, pp. 151~157, 1996.
5. A. J. Schuster, H. Langer and G. Loose, "The Regenerable Trap Oxidizer-An Emission Control Technique for Diesel Engines", SAE Paper 850015, 1985.
6. Guodong Hu, "New Strategy on Diesel Combustion Devolpment", SAE Paper 900442, 1990.
7. P. L. Herzog, L. Burgler, E. Winklhofer, P. Zelenka and W. Carttellieri, "NOx Reduction Startegies for DI Diesel Engines", SAE Paper 920470, 1992.
8. Arthur H. Lefebvre, Atomization and Sprays, Hemisphere Publishing Corporation, 1989.
9. P. H. Schweitzer, "Penetration of Oil Spray", Pennsylvania State College Bulletin 46, 1937.
10. Y. Wakuri, M. Fujii, T. Amitani and R. Tsuneya, "Studies of Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine", Bull. of JSME, Vol. 3, No. 9, pp. 123~130, 1960.
11. J. C. Dent, "A Basis for the Comparison of Various Experimental Methods for Studying Penetration", SAE Paper 710571, 1971.
12. J. Rife and J. B. Heywood, "Photographic and Performance Studies of Diesel Engine Combustion with Rapid Compression Machine", SAE Paper 74098, 1974.
13. H. Hiroyasu and M. Arai, "Fuel Spray Penetration and Spray Angle in Diesel Engines", Trans. of JSME Vol. 44, No. 385, pp. 3208~3220, 1980.
14. H. Hiroyasu, "Diesel Engine combustion and its Modelling", COMODIA85, pp. 53~75, 1985.

15. H. Hiroyasu and M. Arai, SAE Paper 900475.
16. H. Hiroyasu, T. Kadota, M. Arai, "Supplementary Comments: Fuel Spray Characterization in Diesel Engines", in James N. Mattavi and Charles A. Amann(eds.), *Combustion Modelling in Reciprocating Engines*, Plenum Press, pp. 369~408, 1980.
17. M. L. Monaghan and H. F. Pettifer, "Air Motion and its Effect on Diesel Performance and Emissions", SAE Paper 810255, 1981.
18. F. Brandl, I. Reverencic, W. Cartellieri and J. C. Dent, "Turbulent Air Motion in Diesel Engine and Its Effect on Engine Performance", SAE Paper 790040, 1979.
19. M. Ikegami, T. Mitsuda, K. Kawatch and T. Fujikawa, "Air Motion and Combustion in Direct Injection Diesel Engines", JARI Technical Memorandum, No. 2, pp. 231~245, 1971.
20. S. Yoshikawa, K. Nishida, M. Arai and H. Hiroyasu, "Visualization of Fuel-Air Mixing Processes in a Small D. I. Diesel engine Using the Liquid Injection Technique", SAE Paper 880296, 1988.
21. J. T. Gray, N. T. Meckel, "Some Observation on the Liquid Injection Technique as a Research Tool", SAE Paper 660748, 1966.
22. J. B. Way, "Investigation of Interaction Diesel Engines Using Water Model", SAE Papper 770412, 1977.
23. P. Becher, *Emulsions*, 2nd ed., American Chemical Society Monograph Series, 1965.
24. M. Arai, M. Tabata and H. Hiroyasu, "Disintegrating Process and Spray Characteristics of Fuel Jet Injected by a Diesel Nozzle", SAE Paper 840275, 1984.
25. V. G. Levich, "Physicochemical Hydrodynamics", Pentice-Hall Inc., pp. 639~650, 1962.