

## 디젤 단공노즐의 분무특성에 관한 실험적 연구

안병규\* (한국기계연구원), 송규근(전북대학교), 윤소남, 최병오(한국기계연구원)

### Experimental Study on the Spray Characteristics of the Diesel Single Hole Type Nozzle

Byoungkyu Ahn(KIMM), Kyukeun Song(Chonbuk Univ.), Sonam Yun, Byoungoh Choi(KIMM)

#### ABSTRACT

The characteristics of diesel spray have much effect on the engine performances such as power, fuel consumption rate and emissions. Therefore, the measurement of fuel spray characteristics is very important for the improvement of heat engine. The factors which control diesel spray characteristics are injection pressure, ambient temperature and density etc. Spray behaviors are visualized by using the high speed video camera and spray angle, spray penetration are measured. Experimental equations of spray penetration and spray angle were derived by using the experimental results.

- 1) Ambient temperature and density influence on the characteristics of diesel spray.
- 2) Experimental equation of spray penetration is expressed as follows

$$0 < t < t_b; S_1 = 11.628 \Delta P^{0.485} \rho_a^{-0.478} t^{1.337}, \quad t_b < t; S_2 = 7.457 \Delta P^{0.523} \rho_a^{-0.382} t^{0.548}$$

- 3) Experimental equation of spray Angle is expressed as follows

$$T_a = 293K; \tan(\theta/2) = 0.59(\rho_a / \rho_f)^{0.437}, \quad T_a = 473K; \tan(\theta/2) = 0.588(\rho_a / \rho_f)^{0.404}$$

**Key Words :** Spray tip penetration(분무도달거리), Spray angle(분무각), Ambient gas density(분위기밀도), Ambient gas temperature(분위기온도)

#### 1. 서론

디젤엔진은 열기관중에서도 열효율이 높을 뿐 아니라 내구성 및 신뢰성이 우수하여 자동차시장에서도 매우 중요한 위치를 점하고 있다. 디젤기관은 다른 기관과 달리 열효율이 높고 다종의 연료를 사용할 수 있는 장점이 있지만, NOx 와 입자상 물질 등의 배출로 인한 대기오염이 심각한 문제가 발생되는 단점을 가지고 있다.

복잡한 디젤기관의 연소 현상 연구에는 직접기관 내 연소실의 관측이 필요하나 실험상의 어려움으로 정적용기에서의 연구가 많다.<sup>1-8</sup>

Araneo<sup>(1)</sup>는 LDV, LSV, LBE 방법을 사용하여 디젤 분무에 있어서 분위기 밀도변화에 따른 분무 특성을 연구하였다.

Hiroyasu<sup>4, 8</sup>는 노즐 형상변화와 온도변화, 분위기 압력의 변화에 따른 디젤 자유분무의 거동특성을 연구하였다.

Naber<sup>6</sup> 등은 커먼레일을 분사장치로 하여 분사압력, 오리피스 직경의 변화에 대한 분무특성을 가시화하여 분무도달거리와 분무각등을 연구하였다.

국내에서의 디젤분무실험은 주로 상온에서 연구되고 있다.<sup>5</sup>

따라서, 본 연구에서는 실제 기관에서의 현상 규명을 목적으로하기 때문에 가능한 실험조건을 실제 기관조건을 재현하고자 고온·고압용기를 제작하여 실험하였다. 실험에 있어서는 분위기밀도와 분위기온도를 변화시키면서 실험을 수행하였으며, 분무도달거리, 분무각등을 측정하여 디젤분무특성을 파악하였다.

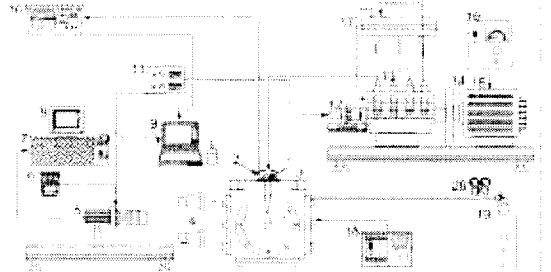
## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치 구성

본 연구에서 사용한 실험장치는 디젤기관의 분무를 관찰, 촬영, 해석할 수 있도록 연료 분사장치, 고온고압용기, 가시화 시스템으로 구성하였다.

실험에서는 노즐 직경이 1.02mm, 리프트가 0.45mm, 핀의 선각도가 10° 인 단공 핀틀형 노즐을 사용하였다. 노즐의 분사압력은 14MPa 로 고정시켜 실험을 수행하였다. 연료 분사펌프는 회전수 조절 컨트롤러가 부착된 직류전동기를 사용하여 구동, 분사펌프의 회전수를 조절하였다. 또한, 1 회 분사장치는 분사펌프와 D.C 모터 사이에 장착한 포토센서에 의해 상사점을 검출, 단발분사 신호를 획득하여 1 회 분사만을 시키면서 해석하였다. 고온고압용기는 최고온도 673K, 최고압력 15MPa 까지 조절할 수 있도록 설계하였으며, 3 면에 직경 160mm 의 석영창을 설치하여 관찰 및 사진촬영을 할 수 있도록 제작하였다.

분무 특성을 밝히기 위한 가시화 장치는 고속비디오 카메라(FASTCAM ultima40K)를 사용하여 디젤 분무의 영상을 9000fps 로 획득하였다. 얻어진 영상은 컴퓨터로 전송하여 이미지 데이터를 처리 해석하였다. 가시화 촬영을 위한 광원은 연속광인 할로겐 1KW 2 개를 사용하였다.



- |                                 |                              |
|---------------------------------|------------------------------|
| 11. Injection Nozzle            | 1. One Shot Injection System |
| 12. Needle Lift Sensor          | 2. Solenoid Valve            |
| 13. High Temp. Pressure Chamber | 3. Injection Pump            |
| 14. Light Source                | 4. Photo Sensor              |
| 15. High Speed Video Camera     | 5. DC Motor                  |
| 16. Video Camera Controller     | 6. RPM Controller            |
| 17. Video Camera Main Body      | 7. Fuel Tank                 |
| 18. Monitor                     | 8. Temp. Controller          |
| 19. Note Book                   | 9. N <sub>2</sub> Gas        |
| 20. Oscilloscope                | 10. Gas Regulator            |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental system.

### 3. 실험결과 및 고찰

본 실험은 고속비디오 카메라를 사용하여, 고온·고압분위기에서 자유분무시 분무의 형상을 촬영하여 분무도달거리, 분무각등을 측정하여 분무 특성을 고찰하였으며, 이를 바탕으로 실험 인자들간의 실험관계식을 도출하는데 주안점을 두었다.

### 3.1 분무의 구조

본 실험에서 정의한 분무의 구조를 Fig. 2 에 보인다. 분무도달거리(S)는 노즐팁으로부터 분사 후 진행한 분무선단까지의 거리로 정의하였고, 분무각( $\theta$ )는 최대반경을 갖는 위치에서 분무의 최외곽점과 노즐팁이 이루는 각으로 정의하였다.

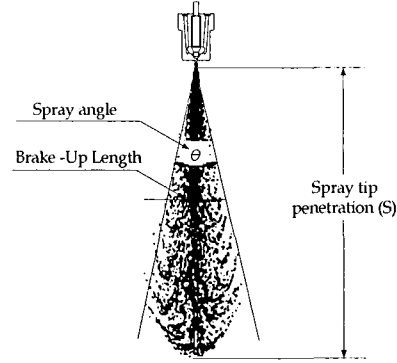


Fig. 2 Schematic of the impinging spray

Fig. 3, Fig. 4 는 분위기 밀도  $\rho_a=30\text{kg/m}^3$  에서 분위기 온도  $T_a=293\text{K}$ ,  $T_a=473\text{K}$  일때의 분무사진이다. 각 분무사이의 시간간격은 0.22ms 이며, 총 2.22ms 동안의 연속 분무 사진이다. 시간이 증가함에 따라 분무는 축방향 및 반경방향으로 발달하고 있음을 알 수 있으며, 축방향으로의 증가는 분무 초기에는 크고, 후반에는 완만한 증가를 보이고 있다.

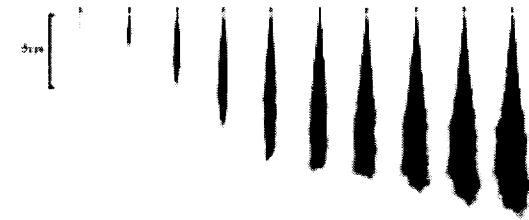


Fig. 3 The effect of the ambient gas temperature on spray behavior ( $\rho_a=30\text{kg/m}^3$ ,  $T_a=293\text{K}$ )

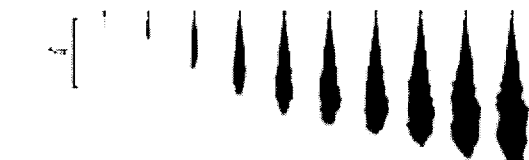


Fig. 4 The effect of the ambient gas temperature on spray behavior ( $\rho_a=30\text{kg/m}^3$ ,  $T_a=473\text{K}$ )

### 3.2 분무도달거리 특성

분위기 온도와 밀도가 분무도달거리에 미치는 실험결과를 실험식의 계산결과(식 1, 2)와 함께 Fig. 5, Fig. 6에 표시하였다. 시간에 따른 분무도달거리는 어느 분위기 온도에서든 증가하고 있으며, 그 기울기는 크게 2 개의 패턴으로 나타나고 있다. 즉, 분무 초기에서는 가파른 기울기( $S_1 \propto t^{1.337}$ )를 가지고 있으며, 분무 후기에는 완만한 기울기( $S_2 \propto t^{0.548}$ )를 지며 증가하고 있다. 이는 분무 초기는 액주형태의 분무이고, 분무후기는 액적분열이 일어나 운동에너지가 감소하기 때문으로 판단된다.

또한, 분무도달거리는 전구간에서 분위기 온도가 나 분위기 밀도가 증가할수록 감소한다.

이는 분위기 온도는 미세액적들의 초기증발 및 미립화를 촉진시키고, 분위기 밀도는 운동에너지의 감소를 유발하기 때문으로 판단된다.

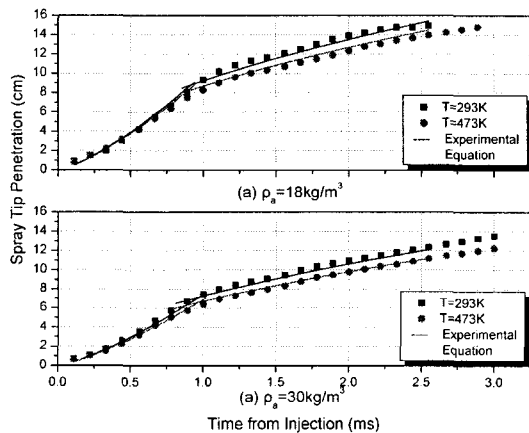


Fig. 5 The effect of the ambient temperature on spray tip penetration

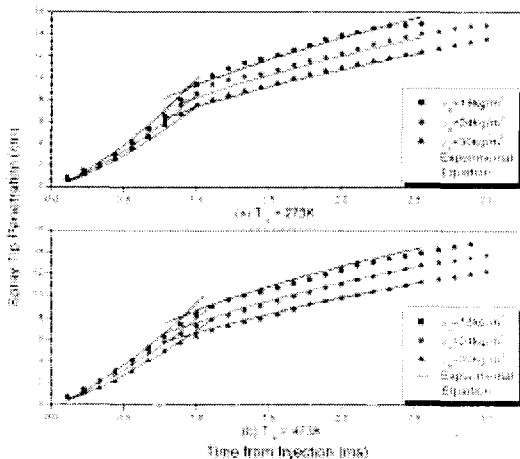


Fig. 6 The effect of the ambient density on spray tip penetration

위와 같은 분무 특성으로부터 분무도달거리는 분열전후에 있어 다음과 같은 상관관계를 가지는 것을 알 수 있었다.

$$0 < t < t_b; S_1 = 11.628 \Delta P^{0.485} \rho_a^{-0.478} t^{1.337} \dots\dots\dots (1)$$

$$t_b < t; S_2 = 7.457 \Delta P^{0.523} \rho_a^{-0.382} t^{0.548} \dots\dots\dots (2)$$

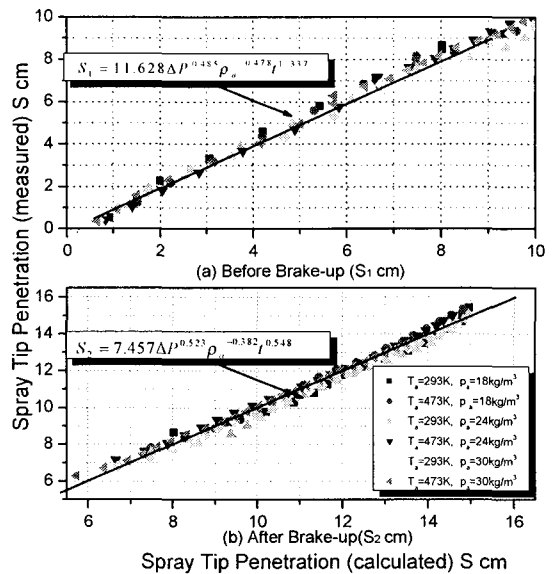


Fig. 7 Comparison of the measured spray tip penetration with the calculated spray tip penetration

### 3.3 분무각 특성

자유분무시 분무각에 영향을 Fig. 8, 9에 보인다. 어느 조건에서도 분무각은 분사초기에는 크게 나타나며, 일정시간 경과후 거의 일정하게 나타났다. 핀틀노즐은 노즐 특성상 분사초기 분사유체들의 충돌에 의한 영향으로 높은 분무각을 가지다가, 분열후 분무가 완전히 지면서 일정한 분무각을 가지게 된다.

Fig. 8로부터 분무각은 분위기 온도가 상승할수록 커지게 된다. 분위기온도의 증가에 의해 분무각이 상승하는 것은 온도상승으로 인한 팽창 효과, 액적 증발, 분열 및 정지된 분위기 가스사이의 저항력 때문으로 판단된다.

Fig. 9에 분위기 밀도에 대한 영향을 보인다. 동일 분위기온도에서 분위기 밀도가 증가할수록 분무각 또한 증가하는 것을 보이는데, 이는 분위기밀도가 증가할수록 분위기 가스에 의한 저항력이 커져 분무 반경방향으로의 퍼짐이 증가하기 때문으로 판단된다.

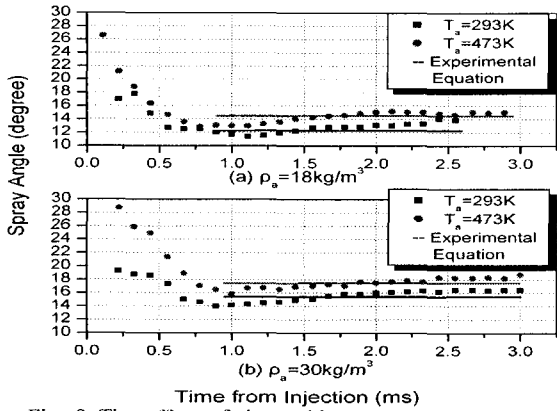


Fig. 8 The effect of the ambient temperature on spray angle

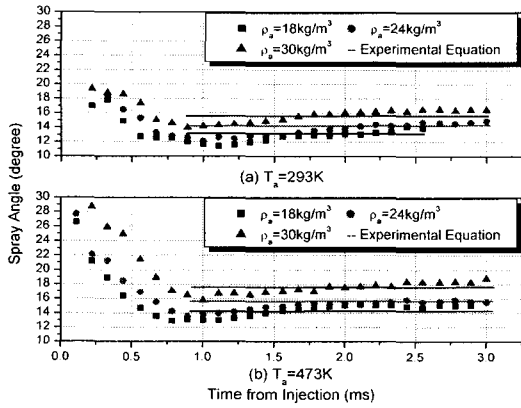


Fig. 9 The effect of the ambient density on spray angle

위와 같은 분무각 특성으로부터 분열후 일정한 분무각을 대표 분무각으로 하여, 상온과 고온의 경우 다음과 같은 상관관계를 얻을 수 있었다.

$$T_a = 293K ; \tan(\theta/2) = 0.59(\rho_a / \rho_f)^{0.437} \dots\dots\dots(3)$$

$$T_a = 473K ; \tan(\theta/2) = 0.588(\rho_a / \rho_f)^{0.404} \dots\dots\dots(4)$$

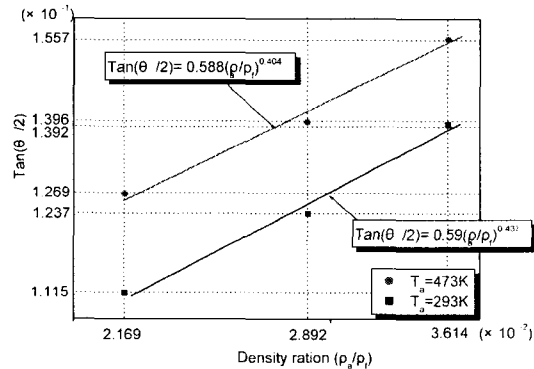


Fig. 10 The effect of the ambient density on spray angle (after brake-up)

#### 4. 결론

본 연구에서는 분위기 온도와 분위기 밀도를 변수로하여 핀틀노즐의 자유분무특성을 규명하기 위해 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 전체적인 분무도달거리는 액적 분열을 기준으로 해서 크게 2 형태의 기울기를 갖으며, 분열 전후에 있어서 다음과 같은 상관관계를 얻을 수 있었다.

$$0 < t < t_b ; S_1 = 11.628\Delta P^{0.485} \rho_a^{-0.478} t^{1.337}$$

$$t_b < t ; S_2 = 7.457\Delta P^{0.523} \rho_a^{-0.382} t^{0.548}$$

- 2) 분무각은 분위기 온도, 밀도에 따라 증가를 하고, 분위기 온도보다 분위기 밀도가 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 다음과 같은 상관관계를 얻을 수 있었다.

$$T_a = 293K ; \tan(\theta/2) = 0.59(\rho_a / \rho_f)^{0.437}$$

$$T_a = 473K ; \tan(\theta/2) = 0.588(\rho_a / \rho_f)^{0.404}$$

#### 참고문헌

1. Araneo, L., Coghe, A., Brunello, G. and Cossali, G.E., "Experimental Investigation of Gas Density Effects on Diesel Spray Penetration and Entrainment," SAE 1999-01-0525.
2. Dennis, L., "Liquid-Phase Fuel Penetration in Diesel Sprays", SAE 980809.
3. Christoph, E., and John, E., "The Effect of TDC Temperature and Density on the Liquid-Phase Fuel Penetration in a D.I. Diesel Engine," SAE 952456.
4. Hiroyasu, H., Kadota, T., and Tasaka, S., "Study of the Penetration of Diesel Spray," Trans. JSME, vol. 34, no. 385, 1978.
5. 박호준, 장영준, "화상처리장치를 이용한 디젤분무의 분무특성에 관한 연구," 대한 기계학회논문집, 제 17권, 제 4호, pp. 959~970, 1993.
6. Naber, D., and Siebers, L., "Effects of Gas Density and Vaporization on Penetration and Dispersion of Diesel Sprays," SAE 960034.
7. Takeuchi, K., Senda, J., and Shikuya, M., "Transient Characteristics of Fuel Atomization and Droplet Size Distribution in Diesel Fuel Spray," SEA830449.
8. Hiroyasu, H., and Arai, M., "Structures of Fuel Sprays in Diesel Engines," SAE paper 900475.