

<論 文>

# 燃料噴霧特性에 관한 研究

陳 浩 根\* · 李 昌 植\*\* · 徐 廷 一\*\*

(1982年 5月 31日 接受)

## A Study on the Characteristics of Fuel Spray

Ho Kuen Chin, Chang Sik Lee and Jeong Il Seoh

### Abstract

This paper presents the characteristics of fuel spray in a diesel engine. In this paper, in order to obtain spray droplet size in a diesel engine, water was injected into the cylinder at room temperature and pressure by injection system.

Spray droplet size was measured by liquid immersion technique with a lubricant used as an immersion liquid for spray water from injection nozzle. In this experiment, single hole type throttle nozzle are used at same operating conditions, which included opening pressure of nozzle, fuel delivery, and injection speed.

Sauter mean diameter decrease with the increase of in jection pressure and decrease in injection nozzle diameter. The rate of spray penetration increased with increasing injection pressure and diameter of injection nozzle at the constant spray conditions.

### 記 號 說 明

$c$  : 收縮係數  
 $d$  : 噴射노즐의 지름  
 $f$  : 노즐出口의 斷面積  
 $F$  : 噴射管의 斷面積  
 $L$  : 到達距離  
 $n$  : 液滴數  
 $p_c$  : 燃燒室內의 壓力  
 $p_i$  : 噴射壓力  
 $t$  : 時間  
 $u_o$  : 노즐出口에서 噴出速度  
 $w$  : 到達距離  $L$ 에서 速度  
 $\bar{x}_{32}$  : Sauter 平均粒徑  
 $x$  : 噴霧液滴의 지름  
 $\alpha$  : 噴霧角  
 $\gamma_f$  : 燃料의 比重

$\zeta$  : 燃料과 空氣의 密度比  
 $\xi$  : 貫通度  
 $\rho_a$  : 空氣의 密度  
 $\rho_f$  : 噴射燃料의 密度

### 1. 序 論

디젤機關의 燃燒特性은 燃燒室內로 噴射되는 燃料噴霧의 霧化, 貫通力 및 空間의 分布에 크게 影響을 받는 것으로 알려져 있으며 특히 燃料의 微粒化特性은 燃燒室內에서 燃料의 燃燒特性에 가장 주된 影響을 미치는 要因이 되고 있다. 따라서 燃燒室 내에서 燃料微粒의 時間的 및 空間的 特性을 규명하기 위하여 燃料液滴 分布, 噴霧의 到達距離 등의 微粒化에 관한 研究가 이루어져 왔다<sup>(1), (2), (3)</sup>.

液體燃料의 微粒化에 관한 研究는 空氣流에 의한 液體의 微粒化에 관한 研究<sup>(4)</sup>를 비롯하여 主로 連續噴射式에 屬하는 것과 噴射가 간헐적으로 이루어지는 디젤機關 등의 噴霧流에 관한 研究로 大別된다.

\* 正會員, 漢陽大學校 大學院  
\*\* 正會員, 漢陽大學校 工科學

디젤機關의 燃料微粒化에 關한 研究로는 燃料噴霧의 到達距離에 關한 研究<sup>(5), (6)</sup>와 噴霧의 液粒分布와 液滴學動에 關한 研究<sup>(7), (8)</sup> 등이 있다. Hiroyasu와 Kadota<sup>(9)</sup>는 디젤機關의 噴霧微粒의 體積分布와 表面積—體積粒徑의 變化를 噴射壓力이 一定한 경우에 대하여 서로 다른 여러 가지 噴射條件에 대하여 比較檢討하였다.

그러나 燃料霧化에 關한 것은 주로 旋回霧化器, 回轉霧化器 등의 連續霧化器에 關한 것이 많고, 디젤機關의 噴霧에 關한 것은 비교적 적다.

本 論文은 디젤機關의 燃燒室 內로 噴射되는 燃料의 蒸發과 燃燒에 關한 研究의 일환으로 噴射壓力을 變換시켰을 경우 噴射되는 燃料微粒의 分布와 燃料噴霧에 對한 貫通度의 變化를 구하고, 燃料噴霧特性에 미치는 噴射壓力 및 노즐 치수의 影響을 實驗的으로 구하여 이를 比較 檢討한 것이다.

## 2. 噴霧의 微粒化特性

### 2.1. Sauter의 平均粒徑

噴射된 噴霧微粒의 크기는 燃料의 蒸發과 燃燒에 크게 影響을 미치므로 Sauter의 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 지름  $x_i$ 인 微粒이  $n_i$ 個 있을 경우 다음 式으로 표시된다.

$$\bar{x}_{32} = \frac{\sum x_i^3 \Delta n_i}{\sum x_i^2 \Delta n_i} \quad (1)$$

이 때의 平均粒數  $n_{32}$ 는

$$n_{32} = \frac{(\sum x_i^3 \Delta n_i)^3}{(\sum x_i^2 \Delta n_i)^2} \quad (2)$$

로 표시된다.

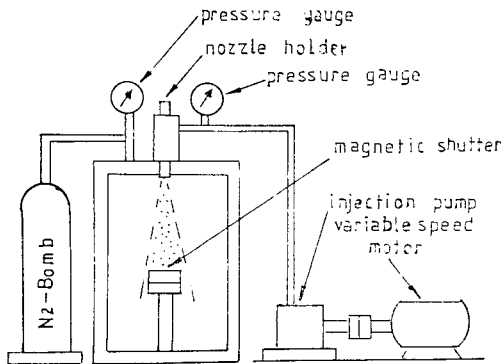


Fig. 2 Experimental apparatus.

### 2.2. 燃料噴霧微粒의 貫通度

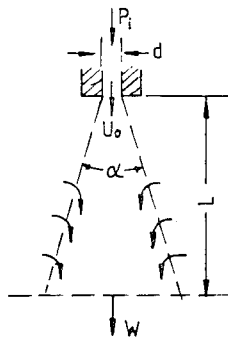


Fig.1 Fuel spray model.

Fig.1과 같은 燃料噴霧의 運動量과 到達距離  $L$ 에서의 混合氣의 運動量을 같다고 생각하여<sup>(5)</sup> 정리하면

$$\left(\xi \tan \alpha + \frac{\sqrt{c}}{2}\right)^2 w^2 + \frac{c}{4} u_0 (\zeta - 1) w = \frac{c}{4} \zeta u_0^2 \quad (3)$$

여기서  $\xi = L/d$ ,  $\zeta = \rho_f / \rho_a$ 이다 식 (3)에서  $w$ 를 구하면

$$w = \frac{c}{8} u_0 \frac{A^{\frac{1}{2}} - (\zeta - 1)}{\left(\xi \tan \alpha - \frac{\sqrt{c}}{2}\right)^2} \quad (4)$$

$$\text{다만, } A = (\zeta - 1)^2 + \frac{16}{c} \zeta \left(\xi \tan \alpha + \frac{\sqrt{c}}{2}\right)^2 \quad (5)$$

또한 貫通距離  $L$ 에서의 貫通度  $\frac{d\xi}{dt}$ 를 구하면

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{A^{\frac{1}{2}} - (\zeta - 1)}{\xi \left(\tan \alpha - \frac{\sqrt{c}}{2}\right)^2} \cdot \frac{c u_0}{8d} \quad (6)$$

노즐에서의 噴出速度  $u_0$ 는

$$u_0 = \frac{c f}{F} \sqrt{\frac{2g(p_i - p_a)}{\gamma_f}} \quad (7)$$

## 3. 實驗裝置 및 實驗方法

### 3.1. 實驗裝置

實驗裝置는 Fig. 2와 같이 燃料噴射裝置와 噴霧微粒의 捕捉을 위한 셔터裝置로 構成된다. 噴射 펌프는 可

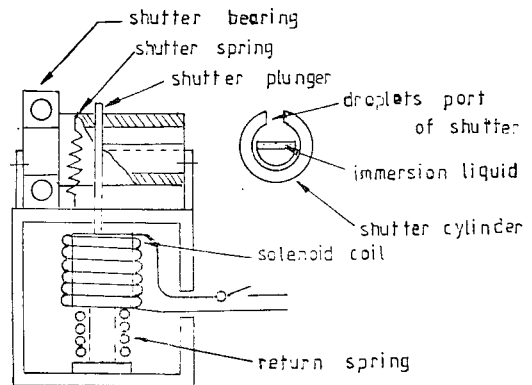


Fig. 3 Electric shutter.

變速電動機에 의하여 噴射펌프의 速度를 조절할 수 있도록 하였고, 실린더는 噴霧의 관찰을 위하여 투명 실린더로 만들었다. 서터는 電磁式으로 遠隔操作할 수 있도록 하였다.

噴霧微粒은 서터에 內裝한 샘플링板의 捕捉液에 의하여 포착되도록 하였다.

Fig.3은 噴霧의 粒子크기와 粒度分布를 구하기 위한 서터裝置로서 서터 실린더와 슬레노이드 코일, 서터 스프링으로 구성된다. 서터 실린더는 그 中心部에 위치한 샘플링板 위에 噴霧液粒이 浸漬되도록 하기 위하여 서터 포트가 割제되도록 만들었다.

3.2. 實驗方法

噴霧의 粘度變化에 따른 微粒化特性을 알아보기 위하여 本報에서는 噴射液으로 물을 使用하여 噴霧微粒의 크기와 分布를 液浸法으로 捕捉한 微粒을 顯微鏡으로 관찰하고 粒度分布를 구하였다.

微粒化에 미치는 壓力의 영향을 규명하기 위하여 噴射壓力을 150, 200, 250, 300kg/cm<sup>2</sup> 로 變化시켰으며, 粒度分布도 노즐中心軸으로부터의 距離를 變化시켜가면서 실험하였다. 실험에 사용한 노즐은 單孔드로틀 노즐 2종을 택하여 서로 다른 지름에 대하여 실험하여 지름의 영향을 比較하였다.

捕捉液은 粘度 700c St 인 油를 使用하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4.1. 噴霧微粒의 平均粒徑

Fig.4는 노즐 噴出口의 지름 0.8mm 인 드로를 노즐을 사용하여 물을 噴射하였을 때의 顯微鏡寫眞이다.

噴霧微粒의 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 噴霧의 噴射壓力이 높아질수록 작아지는 傾向을 보였으며, 같은 噴射壓力에 대하여도 노즐의 噴出口의 지름  $d=0.8mm$  인 경우의 平均粒徑이  $d=1.0mm$  인 것보다 더욱 微粒化하는 傾向

을 나타내었다.

噴射室의 壓力이 大氣壓과 같은 경우 Sauter의 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 噴射壓力이 높을수록 작아지고, 微粒의 個數가 많아진다.

Fig.5는 噴射壓力의 變化에 따른 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 의 變化를  $d=1.0mm$ 와  $d=0.8mm$ 인 2종에 대하여 比較한 것이다. 이 線圖에서 알 수 있는 바와 같이 Sauter의 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 노즐 지름  $d=1.0mm$ 인 경우가  $d=0.8mm$ 인 경우보다 큰 것으로 나타나고 있는데 이것은 同一條件에서의 噴出速度가 低下하는데 기인하는 것으로 볼 수 있다.

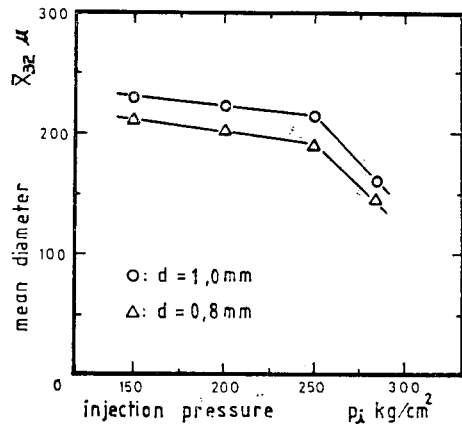


Fig. 5 Relation between sauter mean diameter and injection pressure.

4.2. 샘플링位置에 따른 平均粒徑

Fig. 6은 噴霧의 샘플링位置에 따른 噴霧微粒의 顯微鏡寫眞이다. 噴霧의 微粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 노즐出口로부터의 距離  $L$ 이 約 250mm~300mm의 範圍까지는 大體로 粒徑이 감소하는 傾向을 나타내었다. 이러한 傾向을

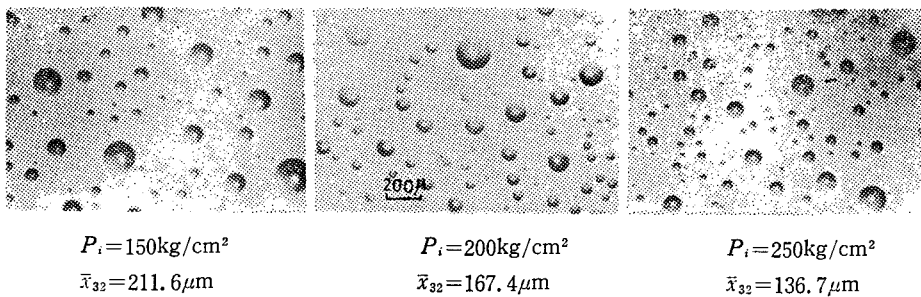
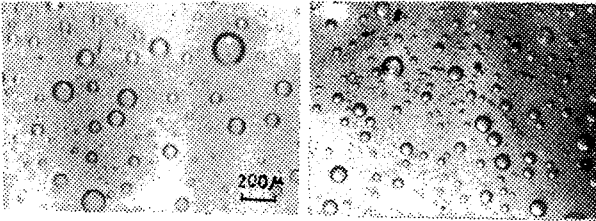


Fig. 4 Sample photographs of spray droplets(L=200mm).



$L=200\text{mm}$   
 $\bar{x}_{32}=125.4\mu\text{m}$   
 $P_i=200\text{kg/cm}^2$

$L=300\text{mm}$   
 $\bar{x}_{32}=87.5\mu\text{m}$   
 $P_i=200\text{kg/cm}^2$

Fig. 6 Sample photographs of spray droplets.

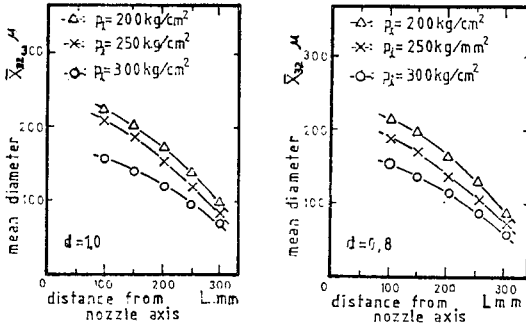


Fig. 7 Sauter mean diameter at various distance from injection nozzle axis.

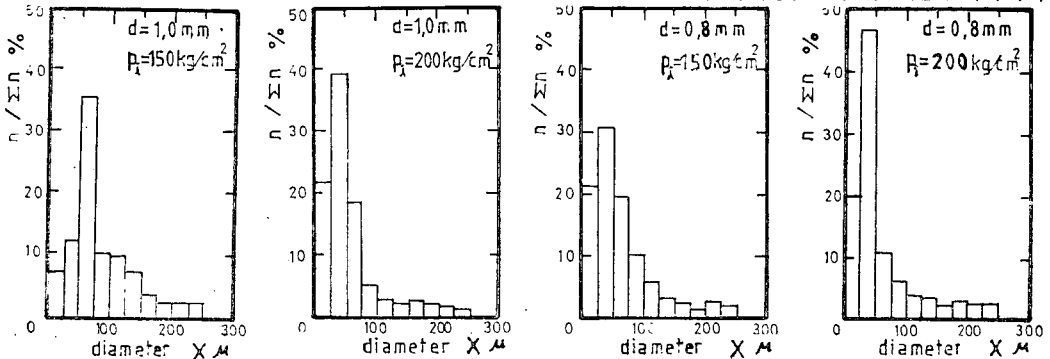


Fig. 8 Droplets distribution of fuel spray.

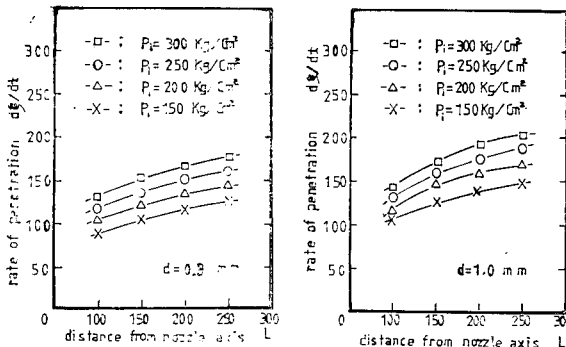


Fig. 9 Relation between rate of penetration and injection pressure.

文獻(7)의 燃料噴霧에 대한 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 의 샘플링位置에 따른 변화와 거의 同一한 傾向을 나타낸 것으로서 샘플링位置가 노즐의 出口側으로 가까워질수록 噴霧粒의 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 커지는 傾向을 보였다.

Fig.7은 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 와 노즐軸中心線상의 샘플링위치  $L$ 과의 관계를 나타낸 것이다. 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 壓力이 높을수록 작아지며 또  $L=300\text{mm}$  부근에서 가장 작은 것으로 나타났다.

### 4.3. 噴霧의 粒度分布와 貫通度

Fig.8은 噴霧의 粒度分布와 粒徑  $x$ 와의 관계를 圖示한 것이다.

噴射壓力  $p_i=200\text{kg/cm}^2$ 의 경우 粒度分布는 粒徑  $x=100\mu\text{m}$ 까지는 頻度가 매우 높은 것으로 나타났으며 특히  $x=25\sim 50\mu\text{m}$ 의 範圍의 頻度가 가장 높았다.  $x=100\mu\text{m}$ 이내의 粒數는 全粒數의 약 80% 이상을 차지하였으며,  $x$ 의 모우드 지름은  $25\sim 50\mu\text{m}$ 의 범위 내에 存在하였다.

Fig.9는 샘플링位置까지 噴霧微粒이 到達할 때까지의

貫通度  $\frac{d\xi}{dt}$ 를 식 (6)으로부터 구하여 比較한 것이다.

噴霧의 貫通度는 噴霧微粒의 샘플링位置  $L$ 이 一定하고, 실린더 내의 분위기 壓力과 噴射條件이 동일한 경우 噴射壓力  $p_i$ 가 높아짐에 따라 增加하는 傾向을 나타내었다.

이와 같은 傾向은 노즐의 지름  $d=0.8\text{mm}$ 인 경우에도 거의 같은 性質을 가졌으나 노즐 지름이 작은 경우가 燃料의 霧化는 좋으나 噴霧의 貫通性은 低下하는 것으로 나타났다. 이것은 노즐을 噴出하는 연료의 貫通도가 노즐出口에서의 噴出速度와 噴射壓力과 零空氣 壓力의 差( $p_i-p_e$ )의 값에 따라 크게 影響을 받기 때문인 것으로 지적할 수 있다. 따라서 噴射壓力이 높을

수속 ( $p_i - p_e$ )의 값이 커지므로 噴霧의 貫通度는 증가하는 것으로 볼 수 있다.

### 5. 結 論

本 實驗의 結果로부터 얻은 結論은 다음과 같다.

(1) 노즐로부터 噴射되는 噴霧液滴微粒의 Sauter 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 噴射壓力이 높을수록 작았으며, 노즐지름이 작은 경우가 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 작았다.

(2) 噴霧의 平均粒徑  $\bar{x}_{32}$ 는 노즐中心軸으로부터의 거리  $L=250\sim 300\text{mm}$  程度의 부근에서 가장 작은 것으로 나타났다.

(3) 噴射條件이 同一할 때 噴霧의 貫通度는 噴射壓力이 높을수록 또 噴射노즐의 지름이 클수록 增加하는 傾向을 나타내었다.

### 參 考 文 獻

1. I. Hakki Oz: "Calculation of Spray Penetration in Diesel Engines" SAE Trans., 690254.
2. N. Hay and P.L. Johnes: "Comparision of the

Various of Correlations for Spray Penetration" SAE Trans., 720776.

3. 神本, 松岡, 志賀: "ディーゼル機關の燃料噴霧の噴射初期における到達距離" 日本機械學會論文集 第41卷 342號. pp. 672~683.
4. 拔山: "空氣流による液體の微粒化に關する研究" 拔山四郎論文集 p. 14, 1973.
5. Y. Wakuri, M. Fujii, T. Amitani and R. Tsuneya: "Study on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine" Bulletin of JSME, Vol. 3, No. 9, pp. 123~130, 1960.
6. 廣安, 角田, 田坂: "ディーゼル噴霧の到達距離に關する研究" 日本機械學會論文集 第44卷 385號. pp. 3208~3219.
7. H. Hiroyasu and T. Kadota: "Fuel Droplet Size Distribution in Diesel Engine" SAE Trans., 74715 pp. 2615~2634.
8. M. Ogasawara and H. Sami: "A Study on the Behavior of a Fuel Droplet Injected into the Combustion Chamber of a Diesel Engine" SAE Trans., 670468.