

## 디젤 기관의 연료의 미립화 (2)

### Atomization of Fuel in Diesel Engines (2)

이 창 식\*

Chang Sik Lee

#### 3] 입도 분포(drop size distribution)

분무 중에 입자 지름이  $x_i$ 와  $x_i + \Delta x$  사이에 있는 입자가  $\Delta n_i$ 개 있을 경우 가로축에 입자 지름  $x$ 를 세로축에 입수빈도(粒數頻度)  $\Delta n_i / \Delta x_i$ 를 위하여 도시하면 그림 5와 같다. 이 선도에서  $\Delta x$ 를 작게

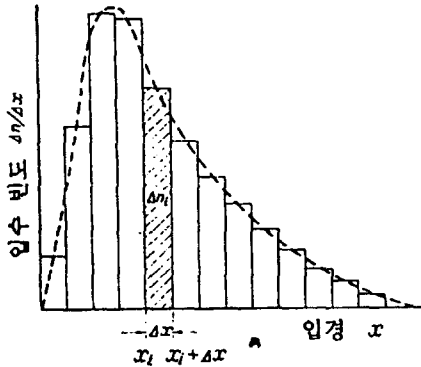


그림 5 입수 분포 곡선

하여  $dx$ 로 하면 점선과 같은 분포 곡선이 얻어지고, 이 때의  $f(x) = dn/dx$ 를 분포함수(distribution function)라고 한다.

이와 같이 분포 곡선의 피크, 즉 입수가 가장 많아지는 지름(최빈치)을 모드 직경(mode diameter)라고 하고  $x_{mod}$ 로 표시한다.

$f(x)$ 의 형태에 대해서는 여러가지 식이 제안되어 있으나 Nukiyama<sup>(6)</sup>는 적용성이 매우 넓은 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$f(x) = nAx^\alpha \exp(-Bx^\beta) \quad (9)$$

여기서  $n$ 은 총입수,  $A, B, \alpha, \beta$ 정수,  $A, B$ 는  $\alpha, \beta$  및  $x_\infty$ 에 의하여 결정된다.

#### 4] 분산도

분무중의 입자가 공간에 얼마나 넓게 분포하고 있는가는 디젤기관 연소실이나 혼합기를 공급하는 가솔린기관에서도 매우 중요한 인자가 된다.

분류에 대하여 직각인 단면 요소물  $\Delta A$ , 그곳을 통과하는 입자의 크기를  $x_i$ , 개수를  $\Delta n_i$ , 속도를  $u_i$ 라 하면 분산도  $D$ 는 다음 식으로 표시된다.

$$D = \sum \frac{\pi}{6} x_i^3 \Delta n_i u_i / \Delta A \quad (10)$$

이 식에 의하면 이상적인 분산도를 구하려면 분무 각각의 면적 요소를 통과하는 입자의 크기와 속도를 측정하여야 한다. 그러나 입자의 크기와 속도를 모두 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러므로 분산도를 나타내는 데는 다음과 같은 몇 가지 방법으로 표시한다.

분산의 범위를 나타내는 데는 분무의 퍼짐을 사진 촬영하고 이것을 양적으로 나타내는 분무 원추각(噴霧圓錐角, spray cone angle)이 사용된다.

\* 정희원, 한양대학교 기계공학과

이 작은 노즐로부터 분무 직후에 형성되는 확대 분류의 바깥 둘레의 접선 사이의 각도로 표시되므로 노즐의 형식에 따라 분무의 형태가 상이하므로 단순히 비교할 수 없다.

또한 분무량을 나타내는 방법으로 단위 시간 당의 분무량(m<sup>3</sup>/s)으로 분사 정도를 표시하거나, 전분사량의 80%를 포함하는 분무각( $\phi_{80}$ )으로 분사량의 범위를 표시하기도 한다.

분무각(spray angle)은 여러 연구자의 제안이 있으나 여기서는 다음과 같은 몇 가지 식<sup>(7)</sup>을 소개하기로 한다.

Hiroyasu 와 Arai 의 식

$$2\theta = 0.05 \left( \frac{\rho_a \Delta P d_o^2}{\mu_a^2} \right)^{1/4} \quad (11)$$

Reitz 와 Bracco 의 식

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1}{A} 4\pi \left(\frac{\rho_a}{\rho_l}\right)^{1/2} f\left(\frac{\rho_l Re_l}{\rho_a We_l}\right)^2 \quad (12)$$

여기서

$\rho_a$  : 공기의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)

$\mu_a$  : 공기의 점성계수(Pa s)

$\Delta P$  : 압력차(Pa)

$d_o$  : 노즐 지름(m)

$\theta$  : 분무각의 1/2

A : 실험정수

$\rho_l$  : 연료의 밀도

Re : 레이놀즈 수

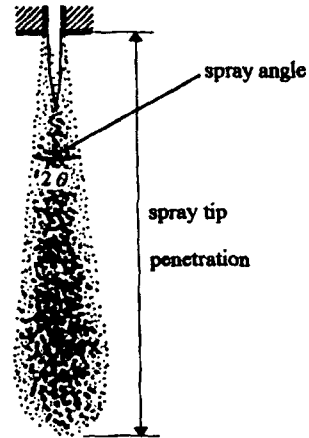


그림 6 분무각과 관통거리

### 5] 관통도

분무 선단의 시간에 따른 도달 거리를 연료와 공기의 혼합과도 밀접한 관계를 가지고 있다.

일반적으로 분무선단의 거리는  $l$ , 시간을  $t$ , 영향 인자를  $k_1, k_2, \dots$ 라 하면 다음 식으로 표시된다.

$$l = f(t, k_1, k_2, \dots) \quad (13)$$

Hiroyasu 와 Arai<sup>(8)</sup>는 그의 실험 결과로부터 분무 선단 관통거리 S를 다음 식으로 표시하였다.

$$0 < t < t_b \\ S = 0.39 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_l}} \cdot t \quad (14)$$

$$t_b \leq t$$

$$S = 2.95 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} \sqrt{d_o t} \quad (15)$$

$$t_b = 28.65 \frac{\rho_l d_o}{\sqrt{\rho_a \Delta P}} \quad (16)$$

$$L_b = 15.8 \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_a} d_o}$$

(17)

여기서  $L_b$ 는 분열길이이다.

### 2.2.2 분무 특성의 영향 인자

지금까지 설명한 무화(평균입경), 분포(분무각), 관통력(도달거리)에 영향을 미치는 인자를 열거하면 다음과 같다.

#### 1] 분사 노즐

분사 노즐의 노즐 지름이 증가하면 분무 입경, 분무각, 분무의 도달 거리는 증가한다.

#### 2] 분사 압력

연료의 분사 압력이 증가하면 분무 입경은 작아지고 분무각과 분무 도달 거리는 증가하게 된다. 이러한 원인은 분사 압력이 증가하면 분사 속도가 빨라지고 유체와 공기 사이의 마찰이 증가하여 입경은 작아지고, 도달 거리와 분무각은 증가한다.

#### 3] 배압

분사실 내의 배압이 증가하면 분무 입경은 작아지고, 분무의 도달 거리는 분사 속도의 제하로 인하여 짧아진다.

### 3. 디젤 기관의 혼합기 생성

혼합기의 생성 과정은 연료의 기화 및 공기

와의 적절한 혼합 과정을 의미한다. 특히 디젤 기관은 고압으로 압축된 공기 중에 연료를 분사하므로 연소실의 형상, 공기 온도, 공기의 혼합 유동, 연료의 미립화 특성 등의 다양한 인자의 영향을 받게된다.

### 3.1 혼합기 생성 과정 인자

#### 3.1.1 기관 연소실 내의 와류

연소실 내의 여러 가지 인자 중에서도 연료의 기화(기화)와 혼합, 연소의 세가지 과정에 가장 중요한 영향을 미치는 것이 가스의 유동이다.

공기 유동은 공기가 유입할 때 생기는 유입 와류 (induction swirl), 압축 행정할 때 생기는 압입 와류 (compression swirl) 및 연소할 때 급격한 팽창에 의한 연소 와류(combustion swirl) 등으로 나누어 생각할 수 있다.

디젤 기관의 연소실의 형식에 따른 와류의 형태를 살펴보면 표 6 과 같다.

표 6. 연소실 형상에 따른 주된 와류

연소실 형식	와류의 형태
직접 분사식	분사, 유입 와류*, 압입 와류*
예연소실식	연소 와류, 압입 와류*
와류실식	압입 와류, 연소 와류*
공기실식	압입 와류, 연소 와류*

표 6에서 \*는 약한 와류임을 표시한 것이다. 이와 같은 와류를 양적으로 표시하는 것은 곤란하나, 와류 속도비(와류의 회전수/ 기관회전수)로 표시하는 경우가 많다.

### 3.1.2 유립의 가열과 기화

단일 유적을 정지하고 있는 고온 공기 중에 넣으면 입경  $x$ 는 시간  $t$ 에 대하여 그림 7<sup>(9)</sup>과 같이 표시된다.

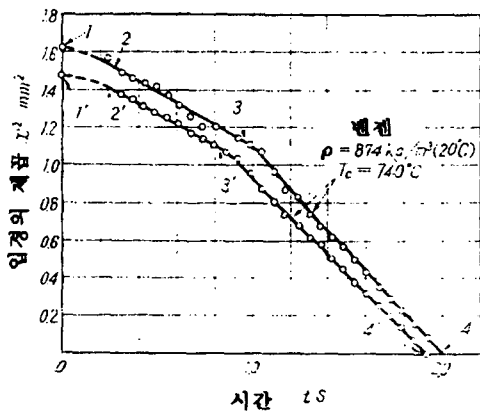


그림 7 연료 액적 지름의 변화

그림에서 유립 지름 변화를 상술하면 다음과 같다.

과정 1→2 : 액적의 예열 기간으로서 연료 액적의 온도만이 상승되는 기간이다.

과정 2→3 : 직선 2→3으로 표시되는 기간으로서 표면 온도가 일정하여 주로 증발만이 이루어지는 점화전 증발기간이다.

점 3 : 연료가 착화가 일어나는 점이다.

과정 3→4 : 유립이 연소하는 기간이다.

여기서 과정 2→3, 3→4의 직선 부분에 대하여 시간  $t$ 에  $D^2$ 의 변화  $dD^2/dt$ 는 액적 연소에 대하여 다음 식으로 표시된다.

$$\text{점화전 증발 기간 : } -\frac{dD^2}{dt} = \text{Const.} = C_e$$

$$\text{연소 기간 : } -\frac{dD^2}{dt} = \text{Const.} = C_b$$

여기서  $C_e$ 를 증발 속도 정수,  $C_b$ 를 연소 속도 정수라 한다.

이 식을 적분하면  $D^2 = D_0^2 - C_e t$ 로 표시된다. 따라서  $D^2 = D_0^2 - C_e t$  (여기서  $D_0$  : 증발 혹은 연소 시작초의 지름)이 되고, 증발 또는 연소에 의하여 유립이 소멸하기까지의 시간은 유립 지름의 2승에 비례하므로 단위 시간당 증발 또는 연소하는 양은

$$\frac{d(\pi D^3)}{dt} = \frac{\pi C_e D}{4} \text{ 또는 } \frac{\pi C_b D}{4}$$

가 되어 유립 지름에 비례하게 된다.

연료인 가솔린, 경유 등은 처음에는 휘발하기 쉬운 것으로부터 증발하여 점차 휘발하기 어려운 것이 남아서  $D^2-t$  선은 직선이 아니고 그림 8<sup>(9)</sup>과 같이 오목부가 생기게 된다.

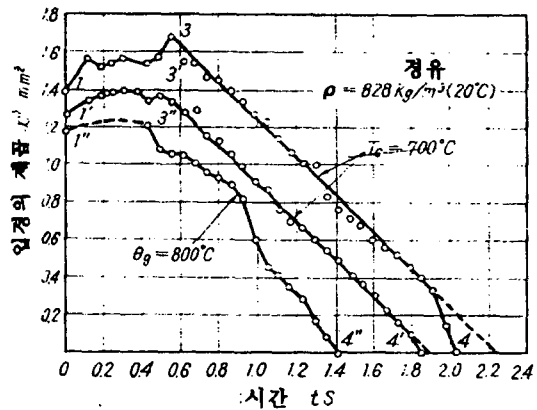


그림 8 디젤 경유 유립의 연소 과정

그림 8에서 과정 1→3에서  $D^2$ 이 커지게 되고 있는 것은 열에 의하여 연료가 팽창을 시작하기 때문이며, 이 때 경유중에 탄화수소의 일부가 비등하기 시작하는 것으로 생각할 수 있다.

이 선도에서 공기 온도가 800°C 일 때에는 유

립 지름의 변화가 불규칙하게 일어나고 있는데 이것은 공기의 온도가 높아져서 유립 내의 열분해가 급격하게 일어나는 것으로 볼 수 있다.

이와 같이 고온 공기 중에 존재하는 유립은 열전달에 의하여 가열되나 최초 유립 온도가 낮을 때에는 증발이 거의 이루어지지 않고 열의 대부분은 유립의 온도 상승에 사용된다.

유립의 표면 온도가 일정해지는 정상 증발 상태로 되며, 이 때까지 가열하는 (정상 증발 상태에 들어가기까지)기간을 유립가열기간(油粒加熱期間)이라 한다.

그 후 정상적인 증발이 이루어지는 기간을 착화전 증발 기간이라고 한다.

그러나 이들 기간은 거의 연속적이어서 명확한 구분은 곤란하다.

존재하고 있으며 그 비율도 1 : 100에 달하는 것도 있다.

- (3) 분무의 유동이 매우 고속이며, 또한 시간에 따라서 속도가 변화한다.
- (4) 분사는 비정상상을 포함하며, 분무는 공간적으로 넓게 분포한다.
- (5) 분무 입자는 디젤 기관이나 가스 터빈과 같이 고압 분위기 내에 존재하는 경우가 많다.
- (6) 분무는 자유 분무가 아닌 경우 기관의 연소실이나 분위기를 구성하는 피스톤 헤드 등의 모양에 따라 분무 형상, 도달 거리, 증발 효과 등이 다양하게 변화한다.

(다음호에 계속)

### 3.1.3 유립의 운동

분사된 유립은 변형, 기화, 연소 등을 수반하면서도 끊임없이 운동하면서 실린더 내에서 유동하게 된다. 지름 20 $\mu$  이하의 유립은 0.001 초 후에는 거의 속도를 잃어서 기류에 편승하여 이동하게 된다.

이와 같이 유립의 운동은 유립의 증발 및 연소과정에 영향을 미치는 주된 인자 중의 하나가 된다.

### 3.2 분무 입자의 특징

일반적으로 미립화되는 분무 입자의 특징을 열거하면 다음과 같다.

- (1) 발생하는 분무 입자가 매우 많은 입자로 구성되어 있다.
- (2) 분무는 입자 크기가 크고 작은 것이

### 참고 문헌

6. 倉林俊雄 : "內燃機關技術のための液體の微粒化(3)", 內燃機關 Vol. 15, No.183, PP. 60~61, 1976.
7. Hiroyuki Hiroyasu : " Diesel Engine Combustion and Its Modelling", Proceedings of International Symposium on Diagnostics and Modelling of Combustion in Reciprocating Engines, P. 61, 1985
8. H. Hiroyasu, T. Kadota, and M. Arai : "Fuel Spray Characterization in Diesel Engines", Combustion Modelling in Reciprocating Engines, P. 377, 1980
9. 倉林俊雄 : "壓縮着火機關における混合氣生成と燃焼概説(下)" 內燃機關 第 9 卷 6 號, P. 91, 1970.