

<論 文>

# 디젤噴霧 周圍氣體의 엔트레인먼트에 관한 實驗的 研究

河 鍾 律\* · 金 奉 坤\*\*

(1988年 2月 19日 接受)

## Experimental Investigation of Entrainment of Ambient Gases into Diesel Spray

Jong-Yul Ha and Bong-Gon Kim

**Key Words :** Diesel Spray(디젤噴霧), Entrainment(엔트레인먼트), Ambient Gas(周圍氣體), Ignition Delay(着火遲延), Fuel Injection System(燃料噴射裝置), Flow Characteristic(流動特性)

### Abstract

A study on the mixing process of fuel with ambient gas is necessary to verify combustion process of a diesel engine, especially the mechanism of its ignition delay. In this study, a single shot of diesel spray was injected through either a constant pressure injection system and bypass type injection system. Measurements were made on the flow characteristics of ambient gas and its time history using a hot wire anemometer and a high speed camera. The gas flow direction was determined by a smoke tracer method.

(1) The ambient gas of spray flows away at the stagnation part where static pressure value is positive and flows in at the penetration part of a negative value with the steady entrainment length of 0.7.

(2) The steady entrainment velocity around the spray increases from the nozzle tip to the downstream, has the maximum value at the mixing boundary part, and represents zero at the stagnation boundary part after which the stream flows reversely at the stagnation part.

### 기 호 설 명

$d_{FV}$  : 噴射노즐의 內徑(mm)  
 $dl/dt$  : 噴霧의 先端速度  
 $l$  : 噴霧先端到達距離(mm)  
 $l_e$  : 周圍氣體가 流入되는 噴霧部의 길이(mm)  
 $P_a$  : 噴射室 內의 가스壓力(MPa)  
 $P_{FVO}$  : 噴射開始壓力(MPa)  
 $r$  : 噴霧中心軸에서 半徑方向으로의 거리(mm)  
 $r_{ob}$  : 충분히 발달한 噴霧의 中心軸에서 噴霧面까지의 거리(mm)

$t$  : 噴射開始로부터의 경과시간  
 $\bar{u}(t)$  : Ensemble averaging techniques로 구한  $t$ 에서의 周圍氣體 流速(m/s)  
 $U_{st}$  : 周圍氣體의 定常流速(m/s)  
 $Z$  : 噴霧의 軸方向 거리(mm)

### 그리스 文字

$\Omega$  : 相當噴霧角  
 $\Omega_s$  : 噴霧円錐角  
 $\tau_e$  : 周圍氣體가 噴霧 쪽으로 流入을 시작하는 시간(ms)  
 $\tau_m$  : 周圍氣體가 流動을 시작하는 시간(ms)

\*正會員, 東亞大學校 工科大學 機械工學科

\*\*正會員, 東義工業專門大學 機械科

$\tau_{st}$  : 周圍氣體의 正常流入速度 到達時間(ms)

1. 序 論

디젤機關에 있어서 噴射노즐로부터 燃燒室 內로 噴射된 燃料은, 時間의 經過와 함께 “충분히 발달한 噴霧”<sup>(1)</sup>로 成長되는 과정에서 周圍氣體와 混合, 微粒化, 蒸發이 이루어지고, 着火 가능한 분위기가 生成되어 着火가 일어난다. 따라서, 燃燒過程의 解明, 또는 燃燒모델의 確立·改善을 꾀하기 위하여서는 노즐로부터 噴射된 燃料과 周圍空氣와의 混合過程을 밝히는 것이 重要하다.

噴霧와 그 周圍氣體의 流動에 관한 基礎的인 研究로서는 Ricou<sup>(2)</sup>, Hill<sup>(3)</sup> 등의 氣體噴流와 多孔壁(porous wall)에 의한 報告, J. Mcquaid 등의 管속에서 噴射한 噴霧의 경우에 관한 報告<sup>(4)</sup>, 스톱크·와이어(smoke wire)法을 이용하여 非定常 디젤 噴霧에서 周圍氣體의 流動을 測定한 kuniyoshi 등의 報告<sup>(5)</sup>가 있다. 그러나, 周圍氣體의 流動方向 및 速度의 時間的, 空間的 變化를 상세히 解명한 報告는 아직 발표되지 않고 있다.

前報<sup>(6)</sup>에서는 디젤 噴霧 周圍氣體의 流動特性 중에서 流動速度에 관하여 報告 하였다. 本報에서는 噴射期間중 噴射壓力의 時間經過特性이 相異한 두 種類의 噴射系를 사용하여 生成된 噴霧와 周圍氣體와의 流動方向의 時間經過 및 流入時期, 正常 流入速度 到達時間등을 噴霧의 軸方向과 半径方向에 대하여 상세한 測定結果를 얻었기에 報告한다.

2. 實驗裝置 및 方法

2.1 噴霧의 生成方法

Fig. 1에 本 研究의 實驗裝置 系統圖를 나타내었다. 噴射壓力의 時間經過特性이 周圍氣體의 流動에 미치는 影響을 조사하기 위하여 噴射壓力의 時間經過가 다른, 두 種類의 噴射系를 사용하였다. 한 種類는, 電磁石으로 니들밸브를 끌어올림으로써 單發 噴射가 행해지도록 實機用을 改造해서 만든 噴射노즐과, 100MPa까지의 內壓에 견딜 수 있는 蓄壓器로써 이루어지는 定壓噴射裝置(이후 蓄壓器式으로 표현)에 의하여 噴射室(內徑200×높이500mm)내의 靜止氣體 속에 燃料이 噴射된다.

다른 한 種類는 實機와 동일한 噴射壓力 經過特

성을 갖는 噴射系[이후 바이패스(bypass)式으로 표현]로써, 바이패스 노즐과 主 노즐을 사용하며, 바이패스 노즐의 噴射開始壓力(2.94MPa)를 낮게 설정하여, 통상은 바이패스 노즐로부터 燃料이 噴射되도록 한다. 周圍氣體의 流動을 測定하는 경우에는, 바이패스 노즐의 솔레노이드(solenoid)에 通電함으로써 바이패스 노즐이 닫히고, 主 노즐로부터 噴射室 內의 靜止氣體 속에 燃料이 噴射된다.

本 研究에서 사용한 燃料은 市販輕油[비중 0.828/15°C, 動黏度  $3.31 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ (20°C)]이며, 噴射室에 充塡한 氣體는 안전을 고려하여 高壓의 CO<sub>2</sub>가스를 사용하였고, 噴射系의 조건에 따라서, 蓄壓式의 경우에는 20回 噴射마다, 바이패스式의 경우에는 30回 噴射마다 가스를 교환하였다.

噴射노즐의 出口(이후 噴口로 표현) 양쪽에서는 發光다이오드와 光 트랜지스터(photo-transistor)를 설치하여 噴射開始時期를 檢出하였으며, 信號遲延裝置를 사용하여 噴射開始로부터 20μs씩 遲延시킨 噴射開始 信號로써 마이크로플래시(micro flash)를 發光 시켰다. 이 光源과 35mm 카메라로

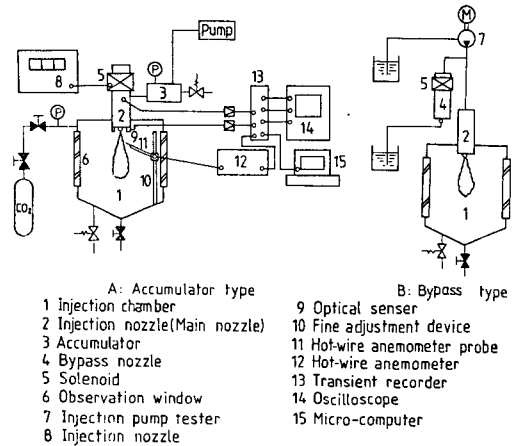


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

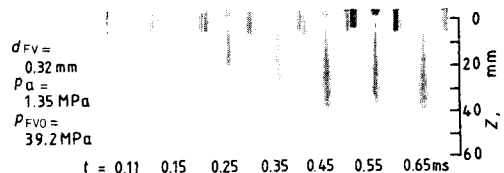


Fig. 2 Typical examples of development of the injected diesel spray

서 噴霧의 瞬間寫眞攝影을 하여 噴霧의 成長을 조사 하였으며, 그 결과<sup>(1)</sup>는 이미 발표한 바 있고, 참고로 蓄壓器式 噴射裝置를 사용하여 얻은 噴霧의 寫眞을 Fig. 2에 보인다. Fig. 2에서는 噴射開始로부터의 時間  $t=0.11\text{ms}$ 로부터  $0.65\text{ms}$ 까지의 噴射初期에 噴霧가 成長하는 과정을 나타내고 있으며, 噴射開始壓力  $P_{FVO}$ 가  $39.2\text{MPa}$ 로서 높기 때문에  $t=0.65\text{ms}$ 에서 이미 충분히 발달한 噴霧의 형태를 나타내고 있다. 이와같은 噴霧의 瞬間寫眞을 이용하여 噴霧円錐角  $\Omega_s$ , 相當噴霧角  $\Omega$ , 噴霧先端到達距離  $l$ 을 측정하였다.

實驗條件은 Table 1과 같다.

2.2 流動氣體의 測定方法

噴霧의 周圍氣體가 流動하는 方向은 스모크·와이어법에 의한 트레이서의 움직임을 高速度 寫眞攝影(NAC 16HD, 4000FPS)을 하여 확인 하였고, 流動時期 및 速度는 I型熱線프로브를 사용한 熱線流速計로써 측정하였다. 熱線의 方向이 噴霧의 軸線 및 周圍氣體의 流動方向에 直角이 되도록 하여 I型熱線프로브를 微動裝置에 裝着시켰으며, 遠隔操作으로 프로브의 위치 설정이 가능하도록 하였다.

Fig. 3(a)에 충분히 발달한 噴霧의 模式圖에 의한 구조 및 噴霧面에 따른 周圍氣體의 流動을, (b)에 測定位置의 한 예를 黑點으로 표시한다. 噴霧가 충분히 발달한 후에는,  $\Omega_s$ 와  $\Omega$ 는 거의 변하지 않고  $l$ 만이 증가하기 때문에 噴口로부터 下流 쪽에는  $10\text{mm}$ 간격으로, 半徑方向에는 충분히 발달한 때의 噴霧面  $r_{00}$ <sup>(5)</sup>로부터의 거리  $r-r_{00}$ 의 값이 2.5, 5.0, 10.0, 20.0mm가 되도록 標準數를 이용

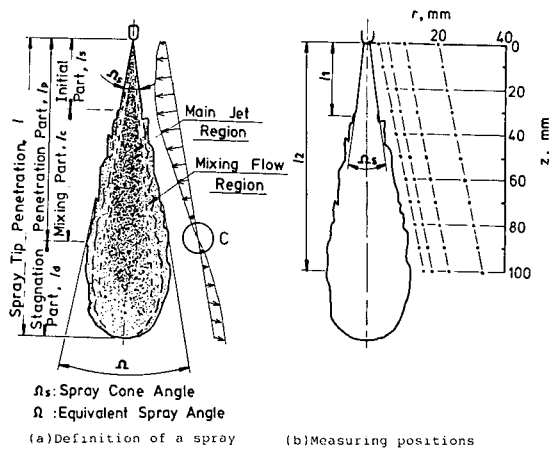


Fig. 3 Definition of a spray and measuring positions

하여 測定點들을 설정하였다. 噴霧角은  $P_{FVO}$ 에 의해 변하므로  $P_{FVO}$ 마다 새로이 측정점을 설정하였다.

熱線流速計로부터의 出力電壓은 트랜지엔트·레코더(transient recorder, 日本 Autonics株, S210/121型)에 일시 記憶시키고 이를 마이크로 컴퓨터(micro computer)로써 速度로 환산하여 통계처리를 행하였다. 트랜지엔트·레코더의 트리거(trigger)로는, 噴射노즐의 니들밸브 揚程으로부터의信號나 噴口에서의 噴霧發生信號를 사용하였다.

임의시간  $t$ 에서의 代表값  $\bar{u}(t)$ 는 式(1)과 같이 Ensemble averaging techniques<sup>(7,8)</sup>를 이용하여 구하였다.

$$\bar{u}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i(t) \tag{1}$$

여기에서

Table 1 Experimental conditions

| Injection systems                                | Accumulator type           | Bypass type |
|--|----------------------------|-------------|
| Injection nozzle                                 | Single hole nozzle         |             |
| Nozzle diameter(mm)                              | $\phi 0.32$                |             |
| Injection nozzle opening pressure(MPa)           | 22.6, 29.4, 39.2, 49.0 ,   | 11.5, 22.6  |
| Ambient pressure (equivalent air pressure) (MPa) | CO <sub>2</sub> 0.89(1.35) |             |
| Hot wire( $\mu\text{m}$ )                        | $\phi 5(\text{tungsten})$  |             |
| Revolution speed of injection pump(Hz)           | —                          | 10          |

$t$ : 噴射開始로부터의 시간

測定回數  $N$ 은  $\bar{u}(t)$  및 그 標準偏差가 거의 일정하게 될 때까지의 回數(本 研究에서는 30회 이상)로 하였다.

熱線프로브의 檢定은 實驗條件과 동일한 條件의 噴射室 안에서 행했다. 즉, 熱線프로브를 週期運動시켜 同一 時間 간격으로 스트로브(Strobe) 寫眞 撮影을 하여 速度  $u$ 를 구하고, 同一 時核에서의 熱線流速計의 出力과 대응시켜 檢定曲線을 구했다.

### 3. 噴霧 周圍氣體의 流動方向

임의의 測定點에서 測定된 周圍氣體의 流動速度變化를 Fig. 4에 나타내었다. 스모크 와이어法에 의해 밝혀진 周圍氣體의 流動方向과 熱線流速計로 測定하여 統計처리한 流速  $\bar{u}(t)$ 와의 時間經過를 비교하여 다음과 같이 판단한다. 즉, 噴霧 先端部가 測定點( $\times$ 表示)에 접근하면 周圍氣體는 噴霧에 의해 밀려나기 시작하고, 같은 時期에 熱線流速計의 出力도 변동하는데, 이 時間을 周圍氣體의 流動開始時間  $\tau_m$ 으로 한다. 또, 時間의 經過와 함께 流動速度가 증가하여 極大값을 취한후 다시 감소하여 極小값을 나타내는 때를 周圍氣體의 流動方向이 바뀌는 時間, 즉 엔트레인먼트(entrainment)가 시작되는 周圍氣體의 流入開始時間  $\tau_e$ 로 정의한다. 그림에서  $\tau_e$  이후, 周圍氣體의 流入速度  $\bar{u}(t)$ 는 時間의 經過와 함께 급증하고 그 후에는 거의 일정값 ( $U_{st}$ )을 보임을 알 수 있다. 流入速度가 급증하는 기울기의 延長線과 다음에 설명하는 正常流速  $U_{st}$ 의 延長線과의 交點까지의 時間을 周圍氣體의 正常流入速度 到達時間  $\tau_{st}$ 로 정의한다. 또, 流入速度가 正常값에 도달했다고 보여지는 時期로부터 4ms 사이의 각  $\bar{u}(t)$ 의 時間平均값을 正常流速  $U_{st}$ [式 (2) 참고]로 하고, 測定點에 있어서의 代表流速으로 한다.

$$U_{st} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \bar{u}_k(t) \quad (2)$$

여기에서

$$t = \tau_i + 5k \times 10^{-6} \quad (\text{sec})$$

$$N = 800$$

$\tau_i$ : 噴射開始로부터 正常流速이 나타날 때까지의 소요시간(sec)

周圍氣體의 流動方向이 바뀔 때의 噴霧와 周圍氣體와의 相對的 움직임, 즉 Fig. 3(a)에서의 C부분

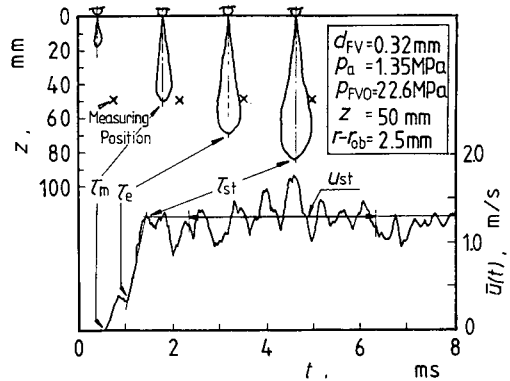


Fig. 4 Flow velocity as the function of time and in relation to the spray penetration

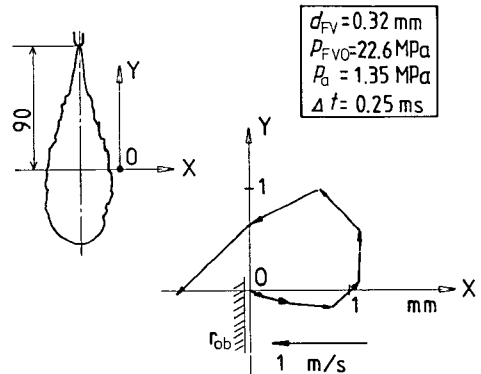


Fig. 5 Flow direction of ambient gas in the spray edge

상세히 조사하기 위하여 스모크·와이어法에 의한 트레이서(smoke)의 움직임을 4000FPS로 高速度寫眞撮影을 하였다.  $Z=90\text{mm}$ 에서 噴霧面 근처에 존재하는 트레이서의 움직임을 촬영한 필름을 필름 분석器로써 分析하여 얻은 트레이서의 速度를 Fig. 5에 나타내었다. 트레이서의 처음 위치를 原點으로 할때, 화살표는 각각 0.25ms동안에 트레이서가 움직인 거리, 즉 速度를 나타내며, 트레이서가 噴霧先端部の 접근에 의해 밀려나기 시작하는 시기로부터 噴霧속에 流入될 때까지의 速度變化를 나타낸다. 이 때의 트레이서가 움직이는 現象을 撮影한 高速寫眞의 일부를 Fig. 6에 보인다. Fig. 5, 6에서, 트레이서는 噴霧先端部가 접근함에 의해 噴射室의 外周方向으로 밀린후(寫眞의  $t=1.65$ ) 噴霧가 成長함에 따라 回轉하면서 그 方向을 바꿔( $t=2.40, 2.90$ ), 드디어는 噴霧에 流入( $t=3.40$ )되는 움직임

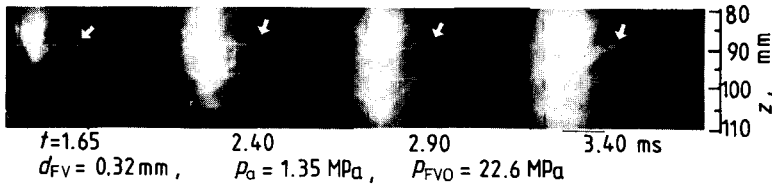


Fig. 6 Flow-visualization of ambient gas in the spray edge(4000FPS)

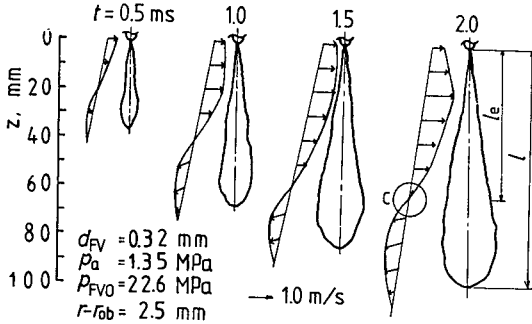


Fig. 7 Axial distribution of a fluid velocity

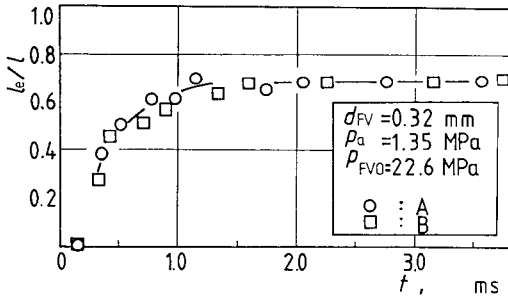


Fig. 8  $l_e/l$  as the function of the time

을 보인다. 이러한 이유 때문에, I型熱線프로우브로써 周圍氣體의 流動을 測定하는 경우에는, 周圍氣體의 流動이 逆轉되는 순간의 熱線流速計 出力은 零의 값을 나타내지 않는다.

噴霧面으로부터의 半径方向거리  $r - r_{ob}$ 를 2.5 mm로 취한 경우, 噴霧軸方向의 각 測定點에 있어서, 周圍氣體의 流動방향과 速度分布를 噴射開始로부터의 時間經過에 따라 Fig. 7에 나타낸다. 周圍氣體는 噴霧의 上流인 貫通部(penetration part)에서는 噴霧 쪽으로 流入되고, 下流 즉, 滯留部(stagnation part)에서는 바깥 쪽으로 밀려난다. 噴霧 쪽으로 流入되는 周圍氣體의 流入速度는 助走部(initial part)와 混合部(mixing part) 境界에서 最高값을 나타낸 후 流動方向이 逆轉되는 滯留部 境界까지 감소한다. 한편, 周圍氣體의 噴霧軸方向

에 따른 流動速度 分布는 噴射初期에는 變動하지만 噴射開始 1ms이후부터는 거의 일정한 상태를 나타낸다.

周圍氣體가 流入되는 噴霧部の 長이를 流入部長이  $l_e$ 로 정의할때,  $l_e$ 와  $l$ 와의 比  $l_e/l$ 의 時間經過를 Fig. 8에 나타내었다. 噴霧軸方向의 각 測定點( $r - r_{ob} = 2.5$ mm)에서 얻어진 周圍氣體의 流入開始時間  $\tau_e$ 로부터 구한  $l_e$ 와 同一 時核에 있어서의  $l$ 값과의 比  $l_e/l$ 는, 噴射開始로부터의 時間經過와 함께 증가하여 충분히 발달한 噴霧가 되면, 그때부터는 噴射開始壓力  $P_{FVO}$ 와 噴射系의 條件 등에 영향을 받지 않고 거의 일정한 값 0.7을 나타낸다. 즉, 충분히 발달한 噴霧의 경우, 噴口로부터 0.7*l*까지의 범위 내에서는 噴霧의 側面으로부터 周圍氣體가 流入됨을 의미한다. 그림 중의 A는 蓄壓式 噴射系, B는 바이패스式 噴射系에 의한 결과를 나타내며, 이후 구분이 없는 경우에는 蓄壓式 噴射系에 의한 결과를 나타낸다.

周圍氣體의 流動特性은 非正常 氣體噴流를 이용하여 噴流特性을 研究한 結果<sup>(9)</sup>와도 일치함을 확인했다. 즉, 噴流軸 上의 靜壓分布는 周圍氣體의 壓力에 비해 噴流의 先端에서는 正의 값을, 上流에서는 負의 값을 나타낸다. 이것은 噴流의 先端에서는 周圍氣體가 噴流의 바깥쪽으로 밀려나고, 그 上流에 형성되는 噴流의 定常部(steady region)<sup>(10)</sup>에서는 周圍氣體가 噴流 속에 流入되는 것을 의미한다.

#### 4. 噴霧 周圍氣體의 流動時期

周圍氣體의 流動開始時間  $\tau_m$ 의 半径方向分布를 噴霧軸方向距離  $Z$ 로 구분하여 Fig. 9에 나타낸다. 同一  $Z$ 상에서  $\tau_m$ 의 半径方向分布는 直線에 표시되고, 각  $Z$ 에서의 기울기 또한 거의 일정한 값을 나타낸다. 周圍氣體의 流動開始時期는  $Z$ 가 증가할수록 늦어지는데, 이는 噴霧가 成長함에 따라 噴霧先端速度  $dl/dt$ 가 감소하기 때문으로 판단된

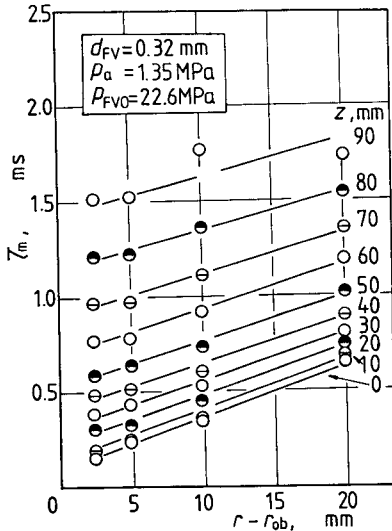


Fig. 9 Radial distribution of the starting time for outward ambient

다. 또, 이와 같은 현상은 주변 기체의流入開始時間  $\tau_e$ 의 경우에도 동일한 경향을 나타냄을 확인하였다.

$Z$ 와 對數 표시한  $\tau_e$ 와의 관계를 噴射系의 條件과 噴射開始壓力  $P_{FV0}$ 의 영향에 대하여 Fig. 10에 나타낸다. 주어진 모든 條件에 있어서  $Z$ 와  $\log \tau_e$ 는 서로 비례하고 同一  $P_{FV0}$ 의 경우에는 噴射系의 영향을 받지 않고 거의 비슷한 경향을 나타낸다. 또,  $dl/dt$ 에 영향을 미치는  $P_{FV0}$ 가 증가하면 同一 時刻에 있어서 周圍氣體의 流入部 길이  $l_e$ 도 길어진다. 이는  $P_{FV0}$ 가 증가하면 燃料의 噴射速度 및  $dl/dt$ 가 증가하고 따라서  $\tau_e$ 의 단축, 즉 周圍氣體가 噴霧 쪽으로 流入되는 時期가 당겨짐을 의미한다. 本研究의 범위에서  $\tau_e$ 는  $P_{FV0}$ 와 噴射室壓力  $P_a$ 와의 차이인 有效壓力  $\Delta P$ 와  $Z$ 로써 式(3)과 같이 표현된다.

$$\tau_e = 0.41185 \exp(0.02844Z - 0.01670\Delta P) \quad (3)$$

(ms)

周圍氣體가 噴霧의 先端部에 의해 噴霧의 바깥 쪽으로 밀리고 있는 時間을  $\tau_e - \tau_m$ 으로 정의할 때, 噴射系의 條件과  $P_{FV0}$ 의 변화에 대하여 각  $Z$ 에서의  $\tau_e - \tau_m$ 을 對數 표시하여 Fig. 11에 나타내었다. 本研究 범위에서는,  $Z$ 와  $\log(\tau_e - \tau_m)$ 은 서로 비례하고 噴射系의 條件 및  $P_{FV0}$ 의 변화에는 거의 영향을 받지 않는다. 式(4)는  $Z$ 와  $\tau_e - \tau_m$ 과의 관계를 實驗式으로 나타낸 것이다.

$$\tau_e - \tau_m = 0.09077 \exp(0.035094Z) \quad (ms) \quad (4)$$

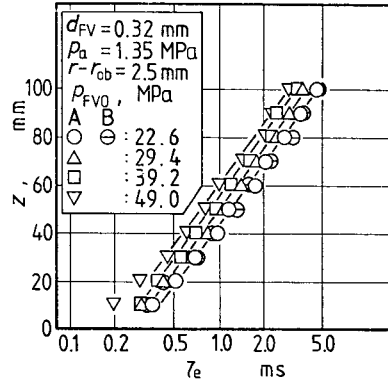


Fig. 10 Axial distribution of entrainment time at the  $r - r_{ob} = 2.5$  mm

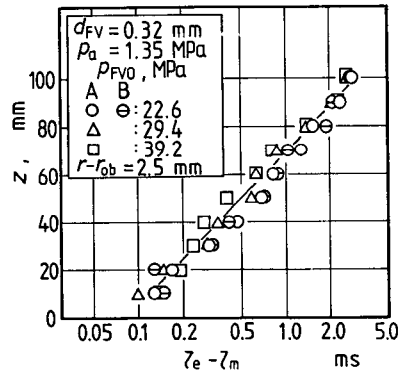


Fig. 11 Axial distribution of  $\tau_e - \tau_m$

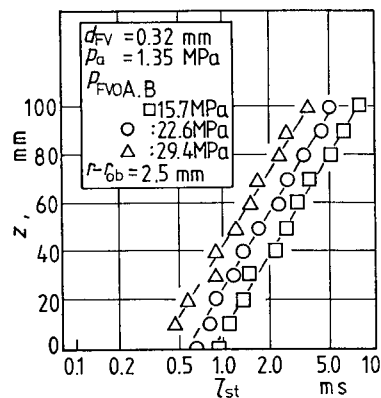


Fig. 12 Distribution of  $\tau_{st}$  at each measuring position on the spray edge

그림 중의 實線은 實驗式에 의한 結果이다.

着火遲延이 그 霧圍氣의 溫度와 壓力에 의존하는 것은 일정값까지로 한도가 있으며, 助走部(10~15

mm) 下流의 混合部에서 着火가 일어나는것<sup>(5)</sup>을 고려하면, 助走部 下流에서의  $\tau_e$ 는 着火遲延을 制御하기 위한 情報로서 중요한 의미를 갖는다.

噴霧面으로부터의 半径方向距離가 2.5mm인 경우에 噴霧軸方向의 각 測定點에서 얻은 周圍氣體의 定常 流入速度의 到達時間  $\tau_{st}$ 를 噴射系의 條件과  $P_{FVO}$ 의 影響에 대하여 Fig. 12에 나타내었다.  $Z$ 와  $\log \tau_{st}$ 는 서로 비례관계를 나타내고, 이는 噴口에서 下流 쪽으로 향할수록 定常流入速度에 도달하는 시간이 길어짐을 의미한다. 周圍氣體가 噴霧 쪽으로 流入을 시작함으로써 噴霧의 混合部 內에서 燃料과 周圍氣體와의 混合이 이루어지고,  $\tau_{st}$ 부터는 混合部 內에서 亂流混合이 활발하게 일어나는 것으로 생각된다.  $\tau_{st}$  出現의 이르고, 늦음은 噴霧 混合流域에서의 局所當量比 또는 豫混合量에 관계하고, 최초의 着火位置와 一次燃燒(豫混合燃燒)의 質量燃燒率에도 影響을 미치는 것으로 판단된다. 本研究범위 내에서  $Z$ 와 有效壓力  $\Delta P$ 로써 표현되는  $\tau_{st}$ 의 實驗式을 式(5)에 나타낸다.

$$\tau_{st} = 2.00924 \exp(0.02162Z - 0.05814\Delta P) \quad (ms) \quad (5)$$

## 5. 結 論

噴射系의 條件과 噴射開始壓力를 變化시켜 定容 噴射室 內에 燃料를 單發噴射하였다.

熱線流速計, 高速카메라, 스톱크·와이어法 등을 이용하여 噴霧 周圍氣體의 流動方向, 流動時期, 流動速度 등의 流動特性을 밝혔다.

(1) 周圍氣體의 流動方向: 噴霧의 滯流部에 의해 噴霧의 바깥 쪽으로 밀려난 周圍氣體는 時間經過와 함께 잠시 噴霧의 上流로 향하게 되고, 그 후 점차 噴霧의 軸方向으로 方向이 바뀌어져서 결국은 噴霧 속에 流入된다. 이러한 周圍氣體의 움직임은  $Z$ 에 관계없이 동일한 경향을 보인다.

(2) 周圍氣體의 엔트레인먼트: 噴霧가 통과하는 周圍에 위치하고 있던 周圍氣體는, 靜壓이 正의 값을 갖는 噴霧의 滯流部(stagnation part)가 통과함에 의해 일정시간 噴霧의 바깥 쪽으로 밀려난 후, 靜壓이 負의 값을 갖는 流入部(貫通部)가 접근함에 의해 그 진행방향이 바뀌어져서 噴霧 속에 流入되기 시작한다. 周圍氣體의 流入速度는 일정시간( $\tau_{st} - \tau_e$ ) 증가한 후 定常流速  $U_{st}$ 를 나타내고, 그 후에는 噴射壓力의 時間經過特性에 지배된다.

(3) 噴霧의 流入部길이: 噴霧軸方向의 각 測定點에서 測定된 周圍氣體의  $\tau_e$ 로부터  $l_e$ 를 구했다.  $l_e/l$ 는 噴射初期에 증가하기 시작하여 충분히 발달한 噴霧로 成長하면 거의 일정한 값 0.7을 나타낸다.

(4) 周圍氣體의 流入速度分布: 噴霧面에 따른 定常流速  $U_{st}$ 의 分布는 噴口部에서는 낮고, 助走部(initial part) 內에서는 下流 쪽으로 갈수록 점차 증가하여, 混合部와의 境界에서 極大값을 나타낸다. 混合部(mixing part) 內에서는, 下流 쪽으로 갈수록 점차 감소하여 滯留部에서 흐름의 方向이 逆으로 된다.

## 참 고 문 헌

- (1) J.Y. Ha, G.T. Sato, et al., 1983, "Investigation on the Initial Part and the Spray Formation Delay of Diesel Sprays", SAE Paper 830451.
- (2) F.P. Ricou, D.B. Spalding, 1962, "Measurements of Entrainment by Axisymmetrical Turbulent Air Jets", J. Fluid Mech., Vol. 11, pp.21~32.
- (3) B.J. Hill, 1972, "Measurement of Local Entrainment Rate in the Initial Region of Axisymmetrical Turbulent Air Jets", J. Fluid Mech., Vol. 51, No. 4, pp.773~779.
- (4) J. McQuaid, 1969, "Air Entrainment into Bounded Axisymmetric Sprays", J. Inst. Fuel, Vol. 42, No. 343, pp.309~315.
- (5) H. Kuniyoshi, G.T. Sato, et al., 1980, "Investigation on the Characteristics of Diesel Fuel Sprays", SAE Trans., 800968.
- (6) 河鍾律, 佐藤豪의 3명, 1985, "디젤噴霧 周圍氣體의 流動特性에 관한 實驗的 研究", 日本自動車技術會 論文集, 第30號, pp.10~15.
- (7) P.O. Witze, 1976, "Hot Wire Measurements of the Turbulent Structure in a Motored Spark Ignition Engine", 14th AIAA, Aerospace sciences Conference.
- (8) R.J. Tabaczynski, 1976, "Turbulence and Turbulent Combustion in Spark Ignition Engines", Prog. Energy Combust. Sci., Vol. 2, pp.143~165.
- (9) 田辺秀明, 河鍾律의 4명, 1985, "非定常噴流에 관한 實驗的 研究", 日本機械學會論文集, 第51卷, 第467號, pp.2235~2242.
- (10) 田辺秀明, 佐藤豪의 3명, 1982, "非定常噴流에 관한 實驗的 研究", 日本機械學會論文集, 第48卷, 第434號, pp.2088~2095.