

# 디젤機關으로부터 排出되는 微粒子狀物質의 特性 (1報 : 生成과 酸化에 關하여)

## Characteristics of Particulate Emitting from a Diesel Engine (1st Report, Particulate Formation and Oxidation)

河 鐘 律\*  
Jong-Yul Ha

### 記 號 說 明

- $d_p$  : 微粒子의 平均直徑 m
- $E$  : 活性化 Energy J/kg
- $k$  : 亂流 Energy  $m^2/s^2$
- $m_p$  : 微粒子의 質量 kg/Part
- $N$  : 微粒子의 粒子數 濃度 Part/ $m^3$
- $n$  : Radical核의 粒子數 濃度 Part/ $m^3$
- $n_0$  : 燃料에서 生成되는 Radical核의 일차생성속도 Part/ $(m^3 \cdot s)$
- $P_{O_2}$  : 酸素分壓 MPa
- $R$  : 一般가스定數 J/(kg·K)
- $R_{n,f}$  : Radical核의 生成속도 Part/ $(m^3 \cdot s)$
- $R_{n,c}$  : Radical核의 消滅속도 Part/ $(m^3 \cdot s)$
- $R_{s,f}$  : 微粒子의 生成속도 kg/ $(m^3 \cdot s)$
- $R_{s,c}$  : 微粒子의 酸化속도 kg/ $(m^3 \cdot s)$
- $r_f$  : 燃料의 單位質量當의 量論酸素質量值
- $r_s$  : 微粒子 單位質量當의 量論酸素質量值
- $T$  : 溫度 K
- $u$  : 氣流速度 m/s
- $W_c$  : 炭素의 原子量
- $\epsilon$  : 亂流 Energy의 散逸속도  $m^2/s^3$
- $\rho_f$  : 燃料濃度 kg/ $m^3$
- $\rho_{O_2}$  : 酸素濃度 kg/ $m^3$
- $\rho_p$  : 微粒子의 密度 kg/ $m^3$
- $\rho_s$  : 微粒子濃度 kg/ $m^3$

- $\omega$  : 微粒子의 表面反應速度 kg/ $(m^2 \cdot s)$
- $\cdot$  : 時間微分

### 1. 序 論

燃料의 經濟性과 높은 信賴性 등으로 디젤機關은 트럭, 버스의 原動機로서 産業發展에 크게 기여하고 있다. 1973年 오일쇼크 이후, 燃費가 좋은 디젤 승용차와 소형트럭의 보급이 현저하게 증가하고 있고, 燃燒方式도 間接噴射式에 비해 燃料消費率이 15~20%나 우수한 直接噴射式이 주류를 이루게 되었다. 그러나, 디젤機關으로부터 배출되는 微粒子狀排出物質(이후 微粒子로 표현)은 浮遊微粒子로서 대기중에 배출되고 있으며, 수년후에는 그 배출량이 연간 20萬ton에 달할 것으로 예측<sup>1)</sup>되는 등, 심각한 환경문제를 불러 일으키고 있다.

微粒子는 炭素微粒子(Dry Soot)와 重質의 炭化水素 化合物로써 형성되고(본 글에서는 微粒子중의 기타物質은 論外로 한다), 後者는 有機溶劑에 용해해서 分離可能하기 때문에 可溶性有機物(SOF: Soluble Organic Fraction)로 불리어지고 있다. 可溶性有機物중에는 Benzo pyrene, 즉 多環芳香族 化合物과 Nitro 化合物 등의 發癌性이 있는 것으로 예상되는 물질

\* 正회원, 동아대학교 공과대학 기계공학과

이 포함<sup>2)</sup>되어 있어서 人體에 미치는 影響도 우려가 된다. 이와 같은 배경 때문에 微粒子의 저감은 커다란 사회적문제에 대두되고 있어서 機關本래의 性能을 저해하지 않고 그 배출량을 저감시킬 필요성이 있다. 또한, 우리나라 자동차의 수출시장인 美國의 環境보호국(EPA)은 微粒子의 mile당 規制値를 더욱 강화할 것으로 발표하고 있다.<sup>3)</sup> 이에 본 글에서는 微粒子의 생성과정과 이미 발표된 생성, 酸化모델의 특성, 機關運轉條件에 따른 生成條件 및 低減技術에 대하여 종합하였다.

## 2. 微粒子의 生成 過程

디젤 機關에서 배출되는 微粒子는 燃料成分의 熱分解反應으로부터 생성되는 것이지만, 생성된 微粒子는 실린더 내의 충분한 산소와 高溫분위기 속에서 酸化함으로써 가스화 한다. 따라서, 機關으로부터 배출되는 微粒子는 실린더 내에서의 생성량과 酸化量の 差, 즉 가스화 되지 않고 그대로 배출되는 양이다.<sup>4)</sup>

微粒子의 생성에는 熱分解, 核生成, 生長, 合體, 凝集 등의 과정이 포함되고, 生長過程에 관해서는 여러가지 說이 제안되어 있다.

이들 說을 低分子量 不飽和 炭化水素로부터 微粒子의 核生成에 이르기까지의 주로 化學反應에 의한 高分子化過程에 관한 것과, 생성한 核이 凝集, 合體 등을 거쳐 微粒子에 이르기까지 주로 物理的 生長過程에 관한 것으로 크게 分類할 수 있다.<sup>5)</sup> 前者는 熱分解 직후의 低分子量 不飽和 炭化水素로부터 微粒子 核生成까지의 중간에 생성하고, 微粒子의 生長에 중요한 역할을 하는 중간물질을 어디에서 구하느냐에 따라서 C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> Radical 說<sup>6)</sup>, 一酸化炭素說<sup>7)</sup>, 有機化合物의 重縮合說<sup>8)</sup> 등으로 나눈다. 後者는, 微粒子의 核生成과 生長過程을 물리적으로 考察한 것으로 核의 表面反應說<sup>9)</sup>, 不安定大分子說<sup>10)</sup> 등이 있다.

### 2.1 有機化合物의 重縮合說

炭化水素가 熱分解하고 重合에 의해 芳香族 또는 多環高分子化合物을 생성하여 큰 重合分

자가 縮合黑鉛化해서 微粒子로 된다는 생각이 다. 이 說에는 芳香族을 중간물질로 하는 說<sup>11)</sup>, 아세틸렌을 중간물질로 하는 說<sup>12)</sup>, 젠·폴리벤제노이드 Radical 을 중간물질로 하는 說<sup>13)</sup> 등이 있다. 이중 젠·폴리벤제노이드 Radical 說은 燃料의 분해에 의해서 생긴 에틸렌과 젠그의 不飽和化合物 또는 Radical 이 重合, 縮合을 되풀이 해서 여러가지 不飽和脂肪族化合物, 多環芳香族을 거쳐 微粒子가 된다고 하는 說로 Parker<sup>8)</sup>를 비롯한 많은 연구자들의 지지를 받고 있다.<sup>14)</sup>

### 2.2 C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> Radical 說

C<sub>2</sub> Radical 說은 炭化水素가 아세틸렌까지 분해되어 C<sub>2</sub> Radical 이 되고 그것들이 凝集해서 微粒子가 된다고 하는 說<sup>6)</sup>이다.

C<sub>3</sub> Radical 說은 C<sub>3</sub>가 微粒子 생성의 가장 중요한 중간물질이고, 微粒子는 炭素蒸氣의 凝集으로부터 시작된다고 하는 說<sup>15)</sup>이다. 그러나, 한편으로 微粒子는 炭素蒸氣(C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> Radical)로부터 직접 生成되는 것이 아니라고 하는 見解<sup>16)</sup>도 있다.

### 2.3 一酸化炭素說

不完全燃燒로 생성된 CO가 炭素原子와 酸素原子로 분리하거나 OH와 反應해서 水素原子를 생성하고, 水素原子와 一酸化炭素가 反應해서 炭素分子(微粒子)를 分離한다고 생각하는 說이다.

### 2.4 不安定 大分子說

炭化水素는 熱分解하면 複雜한 化學反應에 의해 거대분자 또는 高分子 液狀 Polymer 로 된다. 高溫劣圍氣중에 오래동안 머물게 되면 이 거대분자의 蒸氣壓이 상승하고 過飽和에 달해서 微小液滴으로 凝縮하기 시작한다. 이것과 동시에 脫水素, 縮合, 分子의 재배열 등이 이루어져 炭化하고 고체가 된다고 생각하는 說로 Parker<sup>8)</sup>, Prado<sup>10)</sup> 등에 의해 주장되고 Milberg 등<sup>17)</sup>의 지지를 받고 있다. 이 외에도 核의 表面反應說 등 여러 種類의 說이 제안되어 있지만, 微粒子 생성경로는 複雜해서 아직

은 어느것도 정설로 내세울 수 있는 뒷받침이 없다. 참고로 그림1에 Smith<sup>18)</sup>가 제안한 微粒子 생성과정을 模式圖로써 나타낸다.

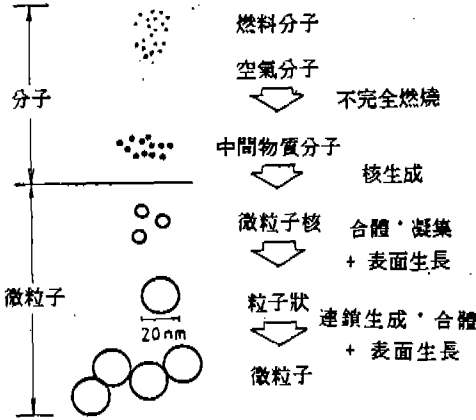


그림1 微粒子 生成過程

### 3. 微粒子的 生成과 酸化의 모델

지금까지 제안된 微粒子的 生成, 酸化를 기술하는 모델로서는 現象論的 모델, 平衡論的 모델<sup>19)</sup>, 反應動力學的 모델<sup>20)</sup>의 3種類로 대별된다. 그 중 現象論的 모델은 버너 등을 사용한 基礎的인 實驗結果를 根據로 해서 關聯하는 인자를 包含하는 수식으로서 微粒子生成, 酸化를 표현하는 내용이다. 특히 實驗에서 確認할 수 있는 事實과 모델과의 밸런스가 좋고 연구자간에 비교적 양호하게 상호 검증되어 있다. 또, 多次元 계산을 행하는데 요하는 시간이 實用範圍 안에 있어서 여기에서는 現象論的 모델에 대하여 論한다.

#### 3.1 微粒子 生成 모델

微粒子的 生成은 炭化水素 燃料로부터 微粒子的 前驅物質 生成과 그 뒤에 微粒子的 粒子生成過程을 거쳐 進行한다고 생각한다.

##### 3.1.1 Tesner 모델<sup>21)</sup>

炭化水素 生成과정을 下記의 2단계의 反應으로 모델化한 것으로서 Magnussen 에 의해 일반화 되었다.<sup>22)</sup> Radical核을 微粒子的 前驅物質로 생각해서 그 生成을 다음 식으로 표현한다.

$$R_{n,f} = \dot{n} = n_o + (f-g)n - g_o \cdot n \cdot N \quad (1)$$

우변 제1항은 燃料로부터의 一次生成을, 제2항은 連鎖分岐에 의한 증가를, 제3항은 微粒子上에서의 Radical核의 破壞를 나타내며, 제1항은 다음 식에 의한다.

$$n_o = a_o \cdot \rho_f \cdot \exp(-E_T/R \cdot T) \quad (2)$$

微粒子 生成 速度는

$$R_{s,f} = m_p \cdot \dot{N} = m_p(a - b \cdot N)n \quad (3)$$

$$m_p = \pi \cdot d_p^3 \cdot \rho_p / 6 \quad (4)$$

(1)~(3)식에서  $f, g, g_o, a_o, a$  및  $b$ 는 계수이고,  $E_T$ 는 活性化 Energy이며 大氣壓狀態에서 버너擴散火焰을 사용한 實驗으로 결정된 것이다. 따라서, 본 모델을 溫度, 壓力의 變化가 큰 디젤機關에 적용할 때에는 체적에 의존하는 係數  $g_o$  및  $b$ 를 체적변화에 따라서 시시각각 수정할 필요가 있다.

##### 3.1.2 Farmer 모델<sup>23)</sup>

溫度 의존성을 잘 표현한 實驗式으로 다음과 같다.

$$R_{s,f} = C \cdot T^\alpha \cdot \rho_f^\beta \cdot \rho_{o_2}^\gamma \cdot \exp(-E_F/R \cdot T) \quad (5)$$

Farmer 등은 微粒子 酸化速度式에 Nagle 등의 表面反應速度式을 사용해서 實測의 微粒子量에 계산으로 구한 微粒子 산화량을 가산하는 방법으로 微粒子 生成量을 산출했다.

### 3.2 微粒子 酸化 모델

微粒子的 酸化速度는 溫度와 酸素濃도에 주로 의존하는 것으로 알려져 있다.

##### 3.2.1 Nagle 모델<sup>24)</sup>

空氣噴流를 충돌시킨 高溫 炭素棒의 酸化에 의한 소모량을 測定해서 유도했으며 微粒子 표면에서의 酸化反應速度를 다음 식으로 나타내고 있다.

$$\omega = W_c \cdot \{K_1 \cdot P_{o_2} \cdot X / (1 + K_4 \cdot P_{o_2}) + K_2 \cdot P_{o_2} (1 - X)\} \quad (6)$$

여기에서,

$$X = (1 + K_3 / K_2 \cdot P_{o_2})^{-1} \quad (7)$$

$$K_i = C_i \cdot \exp(-E_i/R \cdot T) \quad (8)$$

$i = 1, 2, 3, 4$

따라서 微粒子의 酸化速度는,

$$R_{s,c} = \pi \cdot d_p^2 \cdot N \cdot w \quad (9)$$

본 모델은 모든 계수가 溫度 의존성을 나타내며 化學反應에 의한 律速을 잘 표현하고 있다.

### 3.2.2 Magnussen 모델<sup>22)</sup>

Laser 散亂法을 사용한 微粒子 濃度の 測定 結果 등에 의해, 亂流 擴散火焰에서 微粒子의 酸化는 亂流 渦의 Energy 消散 時定數에 지배된다고 가정하여 다음 식으로 표현했다.

$$R_{s,c} = A \cdot \rho_s (\epsilon/k) \cdot \min[1, \rho_{o_2}/(\rho_s \cdot \gamma_s + \rho_f \cdot \gamma_f)] \quad (10)$$

### 3.3 前述의 모델들을 사용한 研究 例

既存 모델의 장단점을 補完 또는 조합하여 微粒子의 生成·酸化過程을 Simulation 한 大 泥 등<sup>25)</sup>은 下記 내용 및 그림 2와 같은 결과를 발표하고 있다.

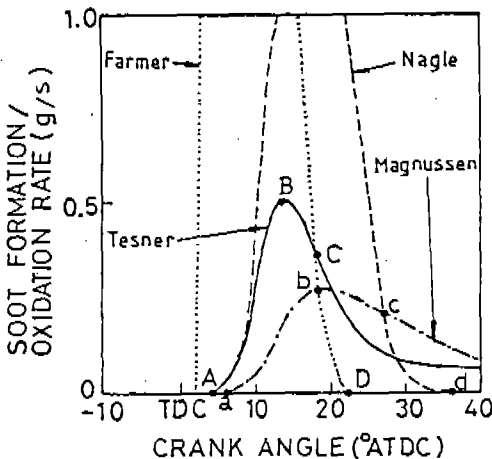


그림 2 각 모델에 의한 微粒子生成, 酸化速度

1. 微粒子의 生成에는 Tesner 모델과 Farmer 모델을, 酸化에 대해서는 Nagle 모델과 Magnussen 모델을 조합해서 사용한다.

2. 微粒子의 生成은 주로 Tesner 모델로 계산하였으나, 이 모델은 燃燒終了 후에 溫度가

저하해도 微粒子 生成을 계속하는 문제점이 있기 때문에, 이 결점을 Farmer 모델로써 보충한다.

3. 微粒子 酸化에 대해서 Nagle 모델은 反應律速을, Magnussen 모델은 混合律速을 각각 잘 표현하고 있지만, 筒內에서는 兩支配因子가 시간적, 공간적으로 변화하기 때문에 양 모델을 相互補完한다. 또한, Tesner 모델의 문제점을 개선하기 위해, Radical 核의 連鎖分岐와 破壞에 관한 항의 계수  $f, g, g_0$ 에 적어도 溫度 의존성을 줄 필요가 있다.

### 4. 微粒子 發生의 時間 經過

燃燒室 內에서 微粒子 濃度の 生成 및 酸化過程의 시간경과를 測定하기 위해서는 특수 제작한 샘플링 플로우브를 사용하거나 可視化를 통한 微粒子 濃度 測定法인 2色法으로 測定하고 있다. 그러나 디젤機關의 燃燒에 대해서는 測定例가 많지 않고 그것 또한 기초적연구로서, 아직은 정성적인 濃度測定の 단계이다. 샘플링 플로우브를 사용한 微粒子 濃度 測定에는

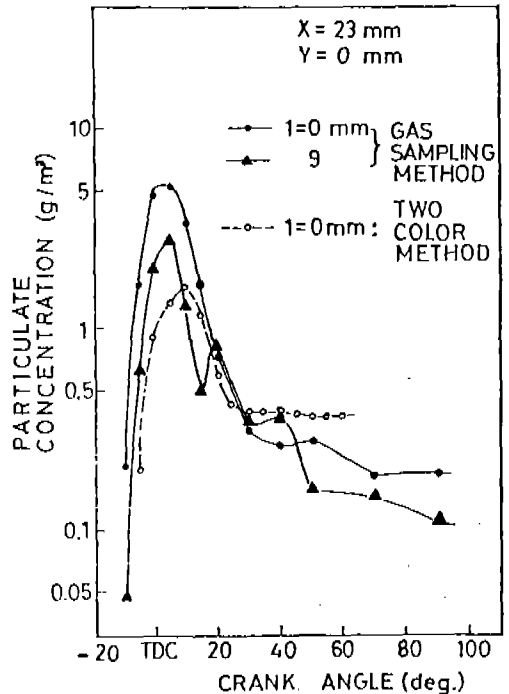


그림 3. 微粒子 濃度の 時間變化

Aoyagi 등<sup>26)</sup>과 Whitehouse 등<sup>27)</sup> 다수가 있고, 2色法으로 測定한 예는 竹内 등<sup>28)</sup>, 松岡 등<sup>29)</sup> 이 있다. Uyehara 등<sup>30)</sup>은 直接 가스採取法과 Laser 산란법을 조합한 방법으로 測定하고 있다. 이들 연구에 따르면 燃焼期間의 초기에 대부분의 微粒子가 생성되고, 微粒子의 酸化는 燃焼期間의 중기 및 후기에 걸쳐서 이루어지는 것으로 確認되었다.

微粒子 生成과 酸化過程에 대한 松岡 등<sup>29)</sup>의 實驗結果를 그림 3에 보인다. 이것은, 샘플링에 의한 直接採取法과 2色法에 의한 結果로서, TDC 近處의 豫混合燃焼時에 微粒子 生成이 증가하고, 擴散燃焼時에는 감소함을 나타내고 있다(그림중의 X, Y는 각각 실린더 헤드면을 基準으로 한 중심에서의 半徑方向, 1는 BDC 方向距離를 표시). 이러한 현상은 대부분의 연구보고에서 正성적으로 동일한 경향을 나타내고 있다.

### 5. 燃焼方式과 微粒子의 生成

黑鉛은 燃料가 국부적으로 공기부족의 상태에서 高溫에 노출되어 熱分解하고, 生成된 炭素物質이 실린더 내에서 完全 燃焼되지 못하고 남아 微粒子로서 배출되는 것으로, 그 저감을 위해서는 燃焼중에 燃料과 공기의 接觸表面積을 증대시켜 不完全燃焼物의 燃焼를 促進시키는 것이 중요하다. 이를 위해 燃料의 微粒化와 分布를 促進시키고, 同時에 가스유동을 이용해서 공기와의 混合을 양호하게 해야 한다. 또, 燃焼중의 溫度도 微粒子 生成에 複雜하게 作用해서 溫度가 낮으면 熱分解가 저지되는 반면, 燃焼의 도중에 火焰이 冷却되면 炭素석출이 進行되고, 生成된 微粒子의 再燃焼도 방해된다.

#### 5.1 間接噴射式

일반적으로 실린더 내경 100mm 이하의 機關에서 상용되는 間接噴射式은 直接噴射式에 비하여 NOx 및 排氣煙濃度(Smoke meter 로써 排氣煙濃度を 測定한 경우)는 낮으나 流動損失과 熱損失이 많기 때문에 燃料消費率이 상대적으로 15~20% 높은 結점이 있다.

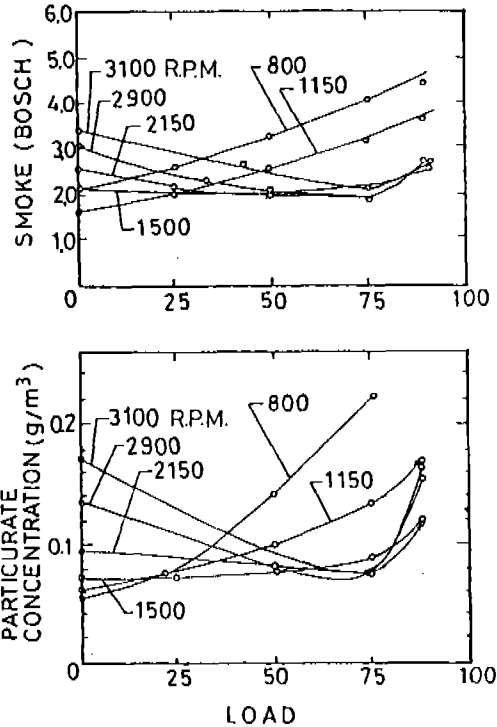


그림 4 微粒子濃도에 미치는 負荷와 機關速度의 影響

그림 4에는 다실린더 豫燃焼室式 디젤機關에서 부하 및 機關速度를 변경시킨 경우의 排氣煙濃도와 微粒子重量濃도를 나타낸다.<sup>31, 32)</sup> 고속시와 저속시에는 부하에 대한 排氣煙濃도의 傾向이 변하는데, 고속운전에서 부하를 증가시키면 排氣煙은 감소하지만, 75% 부하를 넘으면 부하와 함께 증가한다. 微粒子重量濃도는 고부하시에 다량의 微粒子가 배출되고, 저부하시에는 機關速度의 영향이 크게 나타난다. 이것은, 高負荷側에서는 燃料과도의 상태에서 高溫에 노출되어서 不完全 燃焼하기 때문이고, 저부하에서는 機關速度가 증가하면 燃焼에 주어지는 時間이 短縮되기 때문이다. 한편, Plee 등<sup>33)</sup>의 연구결과에 의하면 微粒子의 排出率은 酸素分率보다 火焰溫度에 의존하는 것으로 발표되고 있고, 또 대부분의 열발생이 擴散燃焼期에 생성되는 間接噴射式에서는 火焰溫度의 효과가 微粒子排出量을 결정하는 것으로 생각할 수 있다.

그림 5<sup>34)</sup>에는 小型渦流室式機關을 정상운전

시키고 微粒子를 稀釋턴넬(EPA 방식)로써 測定한 결과를 보인다. 微粒子를 炭素微粒子와 SOF로 분리해서 測定하면 저부하에서는 SOF가, 고부하에서는 炭素微粒子가 증가하는 것을 알 수 있으며, 이와 같은 현상은 筆者의 研究結果<sup>35)</sup>에서도 동일한 傾向을 얻고 있다. 또한, 前述의 報告<sup>34)</sup>에서는 壓縮比를 증가시키면 NO<sub>x</sub>의 증가없이 微粒子濃度가 저하하는데, 이는 SOF가 감소함에 의한 것으로 판단하고 있다.

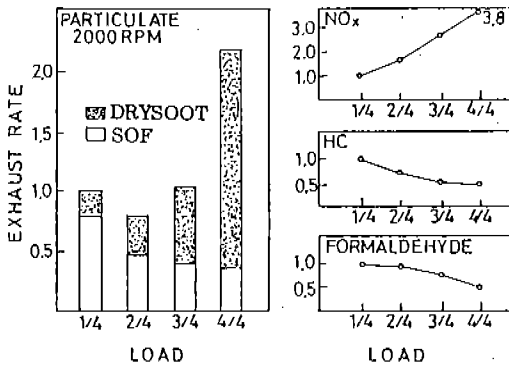


그림 5 負荷의 影響

5.2 直接噴射式

直接噴射式 燃燒室에서는 燃料噴射, 空氣流動, 燃燒室 形狀의 3가지가 중요한 요소이고 이들을 적절히 조절하여 燃燒의 改善을 꾀하고 있다. 그러나, 공기 유동을 이용하여 燃料의 噴霧와 分布 및 초기의 混合氣 형성을 촉진시켜서 性能向上을 꾀하려고 하면 豫混合燃燒率의 증가에 의해서 燃燒溫度가 상승하고 NO<sub>x</sub>가 증가한다. 이 때문에, 噴射時期의 지연과 排氣再循環을 시켜 燃燒溫度를 저하시키면 排氣煙의 증가를 꾀할 수 없다. 특히, 直接噴射式에서는 噴射時期를 늦추면 排氣煙은 급격히 악화하기 때문에, 排氣煙과 NO<sub>x</sub>를 동시에 저감시키기는 어렵다.

그림 6에 直接噴射式 機關의 분사량을 일정하게 하고 噴射時期를 변화시켰을 때의 影響을 나타낸다.<sup>36)</sup> 着火遲延이 최소치를 나타내는 TDC 후 8도 부근에서 排氣煙濃度는 극대치가 된다. 이것은, 着火遲延이 짧아지면 着

火前에 분사된 燃料가 감소하고, 그 대부분이 擴散燃燒期間에 분사되어 공기와의 混合이 不完全하게 되기 때문이다. 噴射時期를 앞당긴 경우에는 燃燒初期의 可燃混合氣가 많아져, 초기의 높은 열발생에 의해 燃燒溫度의 상승과 팽창행정에서 微粒子의 再燃燒하는 시간이 길어짐에 따라 燃燒初期에 생성된 微粒子를 再燃燒시킬 수 있다.

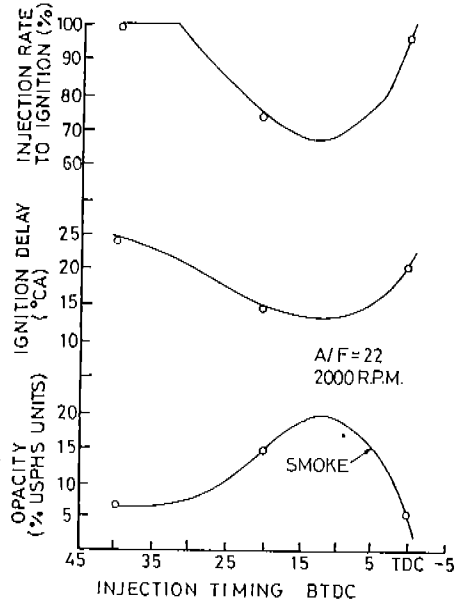


그림 6 噴射時期의 影響

燃燒場의 샘플링 分析에 의하면<sup>26)</sup> 噴霧 영역의 濃混合氣 부분에서 상당히 빠른 시기에 다량의 微粒子가 생성되고 있고, 그후 주위공기와의 混合에 따라서 局所空燃比가 저하해서 再燃燒하지만, 火焰濃度가 하강하면 그후에는 일정한 微粒子濃度가 된다. 따라서, 微粒子의 저감을 위해서는 擴散燃燒期에 공기와 燃料와의 混合速度를 促進시키는 방법이 중요한 과제이다.

6. 燃燒室內 가스流動

적당한 高壓噴射(1,000 氣壓 정도)는 排氣煙을 현저히 저감시킬 수 있고<sup>37)</sup>, 노즐 Sack Volume의 크기도 排氣煙의 증가에 影響을 주는 것으로 보고<sup>38)</sup>되고 있지만, 燃燒室內의 가

스流動 또한 큰 影響을 주는 것으로 알려져 있다.

적절한 Swirl은 혼합기 형성을 促進시키고 전체燃焼期間을 短縮하지만, 吸入時에 발생한 Swirl의 운동량이 燃料噴射時 및 燃焼時에 어느정도 보존되고 있는지는 아직 충분히 說明되지 않고 있다. 또, Over Swirl이 되어도 排氣煙과 熱損失이 증가하기 때문에, Swirl 強度와 노즐 噴口數와의 사이에는 일정한 관계가 존재하며, 적절한 Swirl 強度는 분무가 重複하는 일 없이 분산되는 최대의 각도로 회전하는 정도로 되어 있다.<sup>39)</sup> 또, 口徑比가 작은 deep dish type 燃焼室에서는 피스톤이 상사적에 접근하면 空氣가 Piston Cavity내에 壓入되어 선회반경이 적어져 Swirl이 증속되는 현상이나, 壓縮끝의 피스톤 간극부에서 발생하는 Squish 流의 效果도 무시할 수 없다.

Greevs 등<sup>40)</sup>의 연구결과에 의하면, 吸氣管에서 Swirl을 발생시켜 실린더안으로 供給하는 형식이 일반형에 비해 강한 Swirl이 발생하고, 이로 인해 噴霧의 壁面 충돌을 피할 수 있으며, 상대적으로 큰 구경의 노즐로써 噴射期間도 短縮시킬 수 있기 때문에 微粒子發生의 抑制 및 燃料消費率 저감을 피할 수 있다고 보고하고 있다. 그림 7은 Dent의 연구결

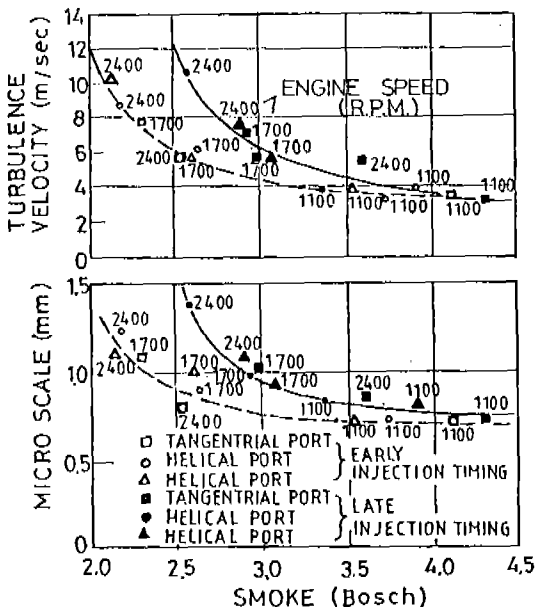


그림 7 가스流動과 排氣煙과의 關係

과<sup>41)</sup>로서 吸氣管형상 및 機關速度의 차이는 모두 하나의 曲線에 정리되고 排氣煙濃度는 機關의 諸因子로부터 발생하는 유동에 의해서 크게 影響을 받음을 보이고 있다. 또, 混合速度가 느리면 유동이 조속히 消散해서 微粒子의 再燃焼가 방해되어 排氣煙이 증대되게 된다고 보고하고 있다.

表 1 機關速度, 負荷 및 各種 排出物 (↑; 증가, ↓; 감소)

기관속도 ↑	炭化 水素와 SOF	(固相) 生 酸 成 化	窒素酸 化 物 生 成	
混合速度 ↑	↑	↓	↑	↓
Cycle 溫度 ↑	↓	↑	↑	↑
着火遲延 ↓	↓	↑	○	○
反應時間 ↓	↑	○	↓	○
綜合效果 (負荷 ↑)	↑	↑	↑	↓
Cycle 溫度 ↑	↓	↑	↑	↑
當 量 比 ↑	↑	↑	↓	↓
綜合效果	↓	↑	↓	↑

表 1에는 直接噴射式機關의 부하와 速度變化가 微粒子 및 가스狀排出物에 미치는 效果에 대해서 정리한 것이다.<sup>42)</sup> 이와 같이, 微粒子의 排出에 미치는 機關 諸因子의 影響에 대해서는 상당히 說明되고 있지만, 微粒子生成의 기구에 대해서는 아직 미지의 부분이 많다. 이 해결을 위해서는 디젤 機關 燃焼의 기초적인 說明과 지금까지 蓄積된 데이터를 活用한 적극적인 방지 기술의 開發이 必要할 것이다.

參 考 文 獻

1. Howitt J.S. and Montierth M.R., SAE paper No.810114.
2. Howard A.G. and Mills G.A., (1983), Int. J. Environ. Anal. Chem., 14-1 p.43.
3. 정인석(1989), 자동차공학회지, Vol. 11, No.5, pp.1~12.
4. Hiroyasu H. and Arai M. et al., SAE paper No.800252.

5. 廣安, 中西(1980), 기계의 연구, 33-2, p.29.
6. Smith E.C.W. (1940), Proc. Roy. Soc., A174 p.122.
7. Behrens H., (1953), 4th Symp. Combust., p.538.
8. Parker W.G. and Wolfard H.G. (1950), J. Chem. Soc., p.2038.
9. Tesner P.A. (1959), 7th Symp. Combust., p.546.
10. Lahye J. and Prado G. (1973), Proc. 11th Conf. Carbon p.41.
11. Anison yan A.A. (1970), Akad. Nauk. Arm. USSR, 51 p.101.
12. Porter G. (1953), 4th Symp. Combust., p.248.
13. Smith S.R. and Gordon A.S. (1956), J. Phys. chem., Vol.60 p.759.
14. Haynes B.S. and Wagner H.G.G. (1981) Prog. Energy Combust. Sci., Vol.7 p.229.
15. Cabannes F. (1956), J. phys. Radium Vol.17 p.492.
16. Jessen P.F. and Gaydon A.G. (1970), 12th Symp. Combust. p.481.
17. Milberg E.M. (1959), J. phys. Chem. Vol.63 p.578.
18. Smith G.W., SAE paper No.820466.
19. 池上 外 2명(1986), 일본기계 학회논문집 (B) Vol.52. No.476. p.1885.
20. Frenklach M. et al., (1984) Proc. 29th Symp. Combust., p.887.
21. Tesner P.A. et al., (1971), Combust. Flame Vol.17 p.253.
22. Magnussen B.F. et al., (1977), Proc. 16th Symp. Combust. p.719.
23. Farmer R. et al., (1981), particulate Carbon, Plenum Press p.299.
24. Nagle J. et al., (1962), Proc. 5th Carbon conf., Vol.1 p.154.
25. 大泥 外 2명(1990), 일본기계 학회논문집 (B) Vol.56. No.521. pp.221~226.
26. Aoyagi Y. et al. (1980), SAE paper 800254.
27. Whitehouse N.D. et al., (1980), SAE paper No.800028.
28. 竹內 外 3명(1981), 제2회 내연기관 합동 Symposium, p.127.
29. Matsuoka S. et al., (1980), VDI-Ber., Vol.370 p.67.
30. Uyehara O.A. et al., (1980), SAE paper No.820462.
31. Laresgoiti A et al., (1977) Environ. Sci. Technol., Vol.11-10, p.973.
32. Ullman T.L. et al., (1980), ASME paper Vol.80, DGP-42.
33. Plee S.L. et al., (1981), SAE paper No. 811195.
34. 陰山 外 3명(1982), 燃焼研究, No.59. p.68.
35. 하종률外 3명(1989), 자동차공학회 추계 학술대회초록집, p.14.
36. Brizik W. and Smith C.O. (1977), SAE Trans., Vol.86-3, p.2589.
37. Eblen E. and Stump G. (1978), Bosch Techn. Ber., Vol.6-2, p.22.
38. Welger K. et al., Sweewirtschaft Vol.7-3 p.157.
39. 和栗 外 3명(1980), 일본기계 학회논문집 (B), Vol.46. No.411, p.2224.
40. Greeves G. et al., (1980), VDI-Ber., Vol. 370, p.25.
41. Dent J.C., SAE Paper No.800092.
42. Campbell J. et al., SAE Paper No.810996.