

디-젤自動車用 排塵捕集裝置의 最近의 研究開發動向(Ⅱ)



文 在 德

〈慶北大 工大 電氣工學科
助教授〉

目 次

- I. 序 言
- II. 디-젤 自動車排塵의 增加趨勢, 物性, 危險性 및 規制動向
 - II-1 디-젤 自動車 및 排塵의 增加趨勢
 - II-2 디-젤 自動車排塵의 基礎物性
 - II-3 디-젤 自動車排塵의 危險性
 - II-4 디-젤 自動車排塵의 規制
- III. 디-젤 自動車排塵用 捕集裝置의 現況과 問題點
 - III-1 필터에 의한 捕集
 - III-2 溫式스크라버에 의한 捕集
 - III-3 電氣集塵裝置에 의한 捕集
- IV. 結 言

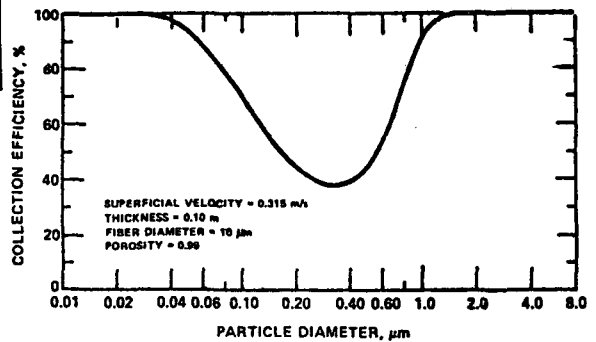
III. 디-젤自動車排塵用 捕集裝置의 現況 및 問題點

디-젤 自動車排塵用 捕集裝置의 必要條件으로 는(a)高捕集率을 長期間 維持可能할 것(捕集率 70%以上) (b) 維持 및 設置費가 저렴할 것(年間 約 4萬원 以下) (c) 小型컴팩트(compact) 할 것(乘用車일 경우 5ℓ 以下의 크기) (d) 엔진에 2次的 影響을 주지 않을 것(逆壓力等이 적을 것) (e) 耐熱性이 높을 것(300℃에 使用可能할 것) (f) 기계적 振動이나 衝擊에 強할 것 등을 들 수 있다. 이와같이 디-젤 自動車排塵은

그 捕集除去에 상당히 어려운 條件을 가지고 있으므로 그 處理方法도 간단하지는 못하다.

III-1 필터(filter)에 의한 捕集(3, 6, 7)

필터裝置는 <그림-3>에서 보는 바와 같이 디-젤排塵의 質量中心徑에서 가장 그 捕集性能이 낮으며, 또 排塵이 필터면에 捕集됨에 따른 壓損(排出通氣抵抗)증대로 말미암아 엔진의 性能을 低下시키는 등의 근본적인 弱點이 있다. 그러나 取扱이 간단하며, 컴팩트性 및 捕集性能이 우수한 점등의 強한 長點이 있어서 現在도 가장 많이 研究되고 있는 裝置의 하나이다.



<그림-3> 粒子徑에 따른 필터의 捕集率

III-1-1 필터의 濾過機構

필터裝置의 濾過機構(mechanism)를 大別하면 下記와 같이 쓸 수 있겠다.

- (1) 擴散捕集(diffusion collection)

擴散력에 의한 粒子의 필터에의 捕集은 Einstein 方程式을 利用하면 式(1)과 같이 쓸 수 있다.

$$D_p = C_c kT / 3\pi\mu d_p \dots\dots\dots (1)$$

여기서 D_p 는 粒子의 擴散力 (particle diffusivity) C_c 는 微細粒子에 대한 沈降補正係數 (cunningham slip correction factor), μ 는 氣體의 粘性力 (viscosity), d_p 는 粒子徑이다. 式(1)에서 擴散력은 絕對溫度에 比例하며 粒子徑과 粘性力에는 反比例함을 보여준다.

(2) 遮斷捕集

粒子의 필터벽에 의한 遮斷捕集은 式(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R = d_p / d_c \dots\dots\dots (2)$$

여기서 R 은 遮斷度 (interception number), d_c 필터의 捕集徑 (collector diameter) 이다. 遮斷에 의한 捕集은 擴散력이나 慣性力 등의 다른 效果가 對象의 으로 작을 때 크게 작용한다.

(3) 慣性捕集 (inertial impaction)

慣性력에 의한 粒子의 捕集은 式(3)으로 나타낼 수 있다.

$$\Psi = e_p d_p^2 v_s c_c / 18 \mu d_c \dots\dots\dots (3)$$

여기서 Ψ 는 慣性影響度 (impaction parameter) 즉 필터物質의 捕集徑에 대한 停止距離 (stopping distance)이다. e_p 는 粒子濃度 (particle density), v_s 는 面積速度 (superficial velocity)이다. 따라서 慣性捕集能力은 粒子濃도가 짙을수록, 粒子徑 및 粒子面積速度가 클수록 霧團氣體의 粘性력과 捕集필터의 捕集徑이 작을수록 커짐을 알 수 있다. 특히 直徑이 큰 粒子가 慣性에 의해 쉽게 捕集됨을 알 수 있다.

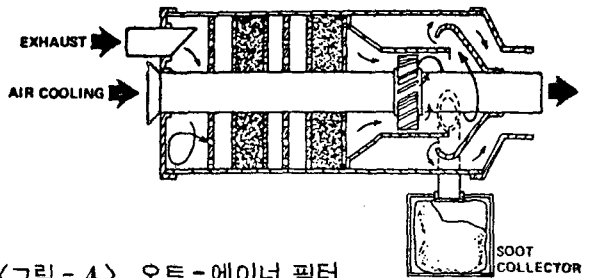
(4) 기타

上記機構以外的 捕集에의 影響력이 큰 機構들로서는 重力捕集 (gravity settling), 靜電捕集 (electrostatic deposition), 溫度傾斜에 의한 捕集 (thermo phoresis), 液滴表面等에의 捕集 (molecular flux forces) 등이 있다.

III-1-2 디-젤 自動車 排塵用으로 開發된 필터裝置와 그 問題點

(1) Aut-Ainer 필터 (8)

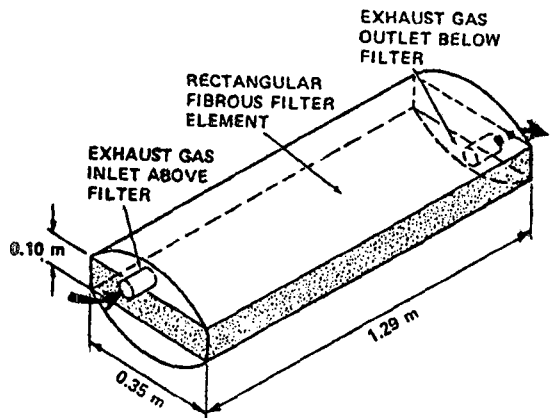
<그림-4>의 Aut-Ainer 필터는 日本 東京大와 榮興社에 의해 開發製作된 사이클론(cyclone) 式 필터이다. 이 裝置는 小型에 緊湊하며 捕集率도 좋으나, 壓損이 크며 捕集된 排塵의 處理 등의 問題點이 있어 아직 實用에는 이르지 못하고 있다.



<그림-4> 오토-에이너 필터 (Aut-Ainer filter, 日本)

(2) 섬유상필터 (fibrous filter) (3)

美國 환경청에 의해 研究開發된 <그림-5>의 섬유상필터는 金屬 (stainless steel) 系를 利用하여 99%의 氣孔度 (porosity), 壓損 2.9 in-Ag, 捕集率 82%라는 좋은 性能을 가지며, 最大實際走行距離實驗에서 20,900 km의 實積도 얻어져 있다. 그러나 實用할 경우 自動車의 切發進時 하이드로炭素와 水蒸氣 등에 의한 凝集現象, 捕集粒子의 再飛散 (reentrainment and bo-

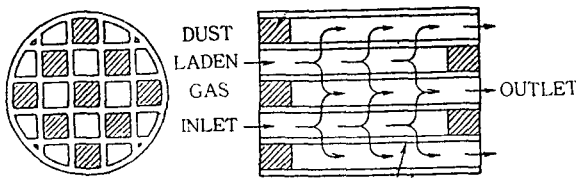


<그림-5> 纖維狀 필터 (美國)

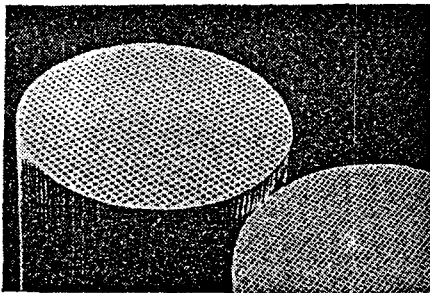
unce), 車의 負荷變動에 의한 捕集率變動率의 問題點等이 남아 있다.

(3) 磁器필터(ceramic filter) (9-12)

磁器필터는 壓損이 적고, 耐熱 및 컴팩트성이 뛰어나며, 특히 再生可能하기 때문에 美國, 日本 및 유럽등에서 많은 研究가 수행되어 왔으며, 또 現在도 활발히 研究되고 있다. <그림-6>은 日本 碍子에서 研究開發中인 것(DHC-141, honey comb式 微粒子필터)이다. 磁器필터의 가장 큰 長點은 捕集된 濾面의 디-젤排塵을 600℃ 前後에서 燃燒除去시킴으로 再生可能한 點이다. 그러나 再生時 디-젤排塵인 未燃燒炭素의 燃燒에 의해 發生하는 高熱(約 1600℃)로 말미암아 磁器필터의 一部가 融熔 또는 破壞되는 問題가 發生한다. 따라서 磁器필터는 耐熱성이 우수한 材料가 開發되고, 또 信賴성이 높은 再生시스템의 研究開發없이는 實用不可能하다고 보겠다.



(a) Construction Model



(b) Photograph

<그림-6> 세라믹 필터(日本)

Ⅲ-2 濕式스크라버(wet scrubbers)에 의한 捕集 (3)

스크라버는 더러워진 空氣를 많은 水滴中으로 通過시킴으로 氣中の 汚塵을 水滴面에 附着시켜

서 除去하는 것으로 분무형(spray scrubber), 벤추리형(ventri scrubber), 침해판형(impingement plate scrubber), 체판형(sieve plate scrubber) 荷電수적형(charged droplet scrubber) 및 거품형(floating bed scrubber) 등 여러 종류가 있다.

Ⅲ-2-1 스크라버 捕集의 機構

스크라버 捕集의 機構를 概括하면 다음과 같다.

(1) 慣性捕集(inertial impaction)

水滴에 의한 粒子의 捕集은 捕集粒子의 레이놀드數(collecting body Reynolds number), Re_c 에 의해 特性지워진다.

$$Re_c = U_G e_G d_d / \mu_G \dots\dots\dots (4)$$

여기서 U_G 는 水滴에 대한 層流氣體速度(undisturbed gas stream velocity)이며, e_G 는 氣體類의 濃度(gas stream density) μ_G 는 氣體의 粘性(gas stream viscosity), d_d 는 水滴의 直徑이다. 式(4)에서 排出方向의 氣體速度가 빨라서 亂氣流이며, 또 捕集表面積이 크도록 小直徑水滴이 많이 存在할 때 捕集效率이 커짐을 알 수 있다.

(2) 擴散捕集(diffusion collection)

水滴에의 微細粒子의 擴散捕集은 濾터의 경우와 同一하므로 式(1)을 그대로 適用할 수 있겠다.

(3) 기 타

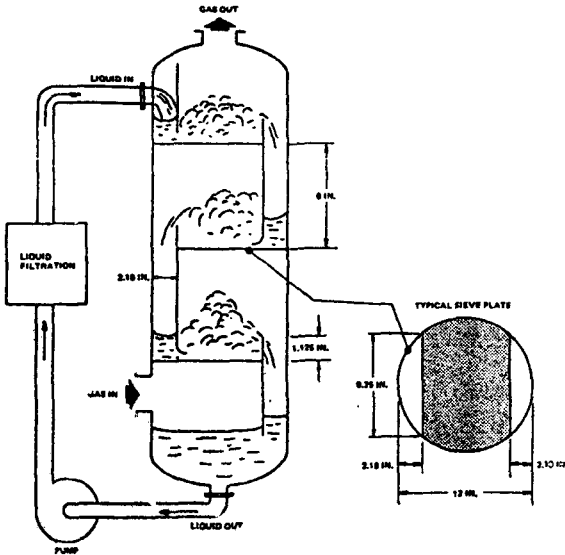
上記機構以外的 水滴에의 汚塵粒子의 捕集機構로는 重力捕集, 靜電捕集, 粒子와 水滴間의 溫度 및 壓力傾斜(gradient)에 의한 捕集(thermophoresis and diffusiphoresis) 등이 있다.

Ⅲ-2-2 代表的인 濕式스크라버와 그 問題點 (13-14)

代表的 濕式스크라버로는 체판형(sieve plate scrubber)을 들 수 있겠다. 이 裝置는 <그림-7>에 나타난 것과 같이 排塵을 많이 품은 매연이 左下로 부터 들어가 체판(sieve)과 水滴을 통과함에 따라 水滴表面에 附着除去되게 만들어진 것으로, 氣體流速이 체판으로 부터 물이 새지 않을 程度로 維持함(이 때에 排塵의 水滴面에 대한 接觸確率이 最大가 됨)이 重要하다.

이 裝置의 디-젤排塵에의 適用은 排가스溫度

가 높음으로 말미암아 水消費量이 過多하며, 設置費 및 流速調定上의 問題點등으로 靜止디-젤 기관에만 使用可能하다고 思料된다.



〈그림 - 7〉 체판형 스크라버(美國)

III-3 電氣集塵裝置에 의한 捕集

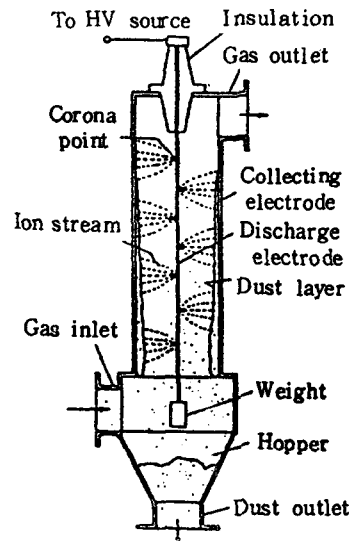
III-3-1 電氣集塵裝置의 原理 (15)

電氣集塵裝置(electrostatic precipitator)는 排塵粒자를 코로나방전(corona discharge)에 의해 荷電(charging) 시켜서 靜電力(coulomb force)에 의해 集塵板(collection plate)에 附着凝集 시킴으로서 排塵가스를 깨끗이 하는 裝置로서, 壓損이 거의 없으며, 0.1~1 μm의 微細粒자의 경우 捕集率이 필터에 비해 우수하며, 消費電力도 작은 등 디-젤 排塵用 捕集裝置로서는 根本的인 長點을 가지고 있다. 〈그림 - 8〉참조

電氣集塵裝置의 效率는 Deutsch 式으로 부터 式(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = (N_0 - N) / N_0 = 1 - \exp(-A_p W_p / Q) \dots (5)$$

여기서 η 는 集塵率(collection efficiency), N_0 는 入口排塵濃度(input particle concentration), N 는 出口排塵濃度(output particle concentration), A_p 는 集塵面積(collection



〈그림 - 8〉 電氣集塵裝置의 基本圖

area), W_p 는 排塵粒자의 集塵板方向의 移動速度(migration velocity), Q 는 排가스流量率(gas flow rate)이다. 式(5)로부터 集塵效率는 集塵面積과 集塵板方向의 移動速度를 크게하며, 處理가스량을 적게하여 集塵裝置內의 排가스 殘留時間(residence time)을 크게함으로 높아진다. 그리고 排塵粒자의 移動速度는 式(6)과 같이 나타내어진다.

$$W_p = aE_0 E_p E_c / 2 \pi \mu \dots (6)$$

여기서 a 는 排塵粒子半徑, E_0 는 荷電電界強度(charging field intensity), E_p 는 集塵電界強度(collection field intensity)이다. 따라서 排塵粒자의 移動速度는 粒子徑이 클수록, 荷電 및 集塵部의 印加電壓이 높을수록 커짐을 알 수 있다.

〈다음호에 계속〉

* 거리, 교통질서 지키기 운동 *

- 바로 운전하기
- 휴지, 껌초 안버리기
- 바로 걷기
- (육교, 횡단보도 이용)