

디-젤排塵用 捕集裝置의 最近의 研究開發動向

文 在 德*

□ 目 次 □

- 1. 序 言
- 2. 디-젤排塵의 增加趨勢, 物性, 危險性 및 規制動向.
- 3. 디-젤排塵用 捕集裝置의 現況과 問題點
 - 3-1 捕集裝置의 必要條件
 - 3-2 필터(filters)에 의한 捕集
 - 3-3 濕式스크라버(wet scrubbers)에 의한 捕集
 - 3-4 電氣集塵裝置(electrostatic precipitators)에 의한 捕集
- 4. 結 言
- 參 考 文 獻

1 序 言

디-젤油의 使用量이 石油危機以來 계속 增加하는 傾向을 보이고 있음에 따른 디-젤기관으로 부터의 排塵은 大氣汚染上 큰 問題로 대두되고 있으나, 이에 의 좋은 解決方法이 아직 實現되어 있지 않은 實情이다.

특히 디-젤排塵은 그 排出量이 같은 規模의 汽油엔진에 비해 30~100배나 되며, 더우기 排塵重量의 70%가 1 μ m 以下の 微細한 粒徑을 가지므로 말미암아 大氣中에 오래 浮存함으로 呼吸에 의해 人體內에 깊숙히 呼引되며, 따라서 肺나 氣管支에 附着될 可能性도 매우 크다.¹⁾⁻²⁾ 또 이 디-젤排塵의 主体인 未燃燒炭素粒子는 그 自体도 發癌性物質로 알려져 있으며, 또한 이 炭素粒子의 表面에는 強力한 發癌성을 나타내는 數種의 하이드로炭素(hydrocarbon)가 附着되어 있기때문에 健康에 미치는 影響은 매우 問題視되어 있다.¹⁾⁻³⁾

本解說에서는 가까운 將來의 디-젤自動車の 增加趨勢와 그로부터 排出되는 排塵量, 排塵의 物性, 危險性, 排塵의 規制에 對하여 소개하고, 나아가 그除去法에 對해 現在 世界的으로 研究開發되고 있는 濾

過裝置(filters), 스크라버(scrubbers) 및 電氣集塵裝置(electrostatic precipitators)에 관하여 간략히 소개하고자 한다.

2 디-젤排塵의 增加趨勢, 物性, 危險性 및 規制動向

2-1 디-젤自動車 및 排塵의 增加⁴⁾

表 1은 美國에서의 小型디-젤자동차의 販賣趨勢

Table 1. (a) U.S.-Sales of Diesel-Powered Light-Duty Vehicles and Trucks

Model	1976	1977	1978	1979
Mercedes-Benz				
240 D	9,024	9,770	6,600	8,600
300 D	12,521	11,333	16,000	15,300
300 SD	0	0	5,200	9,300
VW Rabbit and Dasher	0	7,500	36,386	110,000
peugeot 504 D	4,549	4,914	5,547	8,100
General Motors				
350 Oldsmobile	0	0	35,180	118,000
350 Pick-up	0	0	16,920	31,000
260 Oldsmobile	0	0	0	50,000
IHC Scout	970	1,237	1,231	1,000
TOTAL	27,064	34,754	123,064	351,300

* 正 會 員 : 慶北大 工大 電氣工學科 助教授

Table 1. (b) Year-by-Year Projections of the Diesel Fraction of Light-Duty Vehicle Sales in U.S.

Model Year	Diesel Fraction (%)
1981	4.7 %
1982	7.5 %
1983	8.9 %
1984	9.5 %
1985	11.4 %
1986	13.8 %
1987	16.5 %
1988	17.6 %
1989	18.7 %
1990	19.7 %

Table 2. Projected Diesel Particulate Emissions in U.S.

(metric tons per year, 1990.)

Model	Nationalwide	Urban
Light-Duty Diesel	152,000 - 235,000	84,000 - 141,000
Heavy-Duty Diesel	171,000 - 241,000	65,000 - 92,000
Total	323,000 - 494,000	149,000 - 233,000

Table 3. Large-Scale Air Quality Impact on Regulation of Light-Duty Diesel Particulate Emissions

Population Category	City	Light-Duty Diesel Ambient Particulate Level ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Uncontrolled	Regulated
Over 1 Million	New York	2.0 - 4.8	0.5 - 1.2
	Los Angeles	5.4 - 11.3	1.4 - 2.9
	Chicago	3.0 - 10.7	0.8 - 2.8
	Philadelphia	2.6 - 4.4	0.7 - 1.1
	Houston	4.4 - 7.5	1.1 - 1.9
	Detroit	2.1 - 3.5	0.5 - 0.9
500,000 to 1,000,000	Dallas	6.4 - 10.8	1.7 - 2.8
	New Orleans	2.2 - 3.8	0.6 - 1.0
	Boston	1.9 - 3.3	0.5 - 0.9
	Denver	2.0 - 3.4	0.5 - 0.9
	Pittsburgh	1.8 - 3.0	0.5 - 0.8
	San Diego	2.4 - 4.0	0.6 - 1.0
	Phoenix	4.4 - 7.5	1.1 - 1.9
	St. Louis	2.5 - 4.2	0.6 - 1.1
Kansas City, MO	1.5 - 2.5	0.4 - 0.6	

를 나타낸 것으로 (a)는 近年까지의 販売實績, (b)는 將來의 推定增加率로 (a), (b) 모두 급격한 增加趨勢를 보여주고 있다. 表 2는 美國의 1990 年の 디-젤 排塵의 推定年間排出量을 나타낸 것으로, 工排出量이 매우 많고 또 排塵全量의 半程度가 人口가 密集해 있는 大都市에 集中排出됨을 보여준다. 表 3은 美國의 人口가 50 萬 以上의 大都市에서의 規制前後의 大氣中디-젤 排塵의 含有重量을 比較한 것이다. 規制前後의 重量比는 約 4 對 1의 큰 差를 보이며, 몇개의 都市(Los Angeles, Chicago, Houston, Dallas 및 Phoenix 等)에서는 規制에도 불구하고 大氣中의 디-젤 排塵 含有量이 매우 많음을 보여준다.

Table 4. Physical Characteristics of Diesel Particulate.

Parameter	Magnitude
Individual particle size	0.01 μm
Agglomerated particle size	
mmd	0.3 μm
% smaller than 1 μm	70
Exhaust temperature	
Manifold	190 - 275 $^{\circ}\text{C}$
Muffler	164 - 210 $^{\circ}\text{C}$
Bulk density	120 kg/m^3
Gas flow rate (estimated for 200 $^{\circ}\text{C}$)	0.14 m^3/s
Mass loading	$7 \times 10^{-5} \text{ kg}/\text{m}^3$

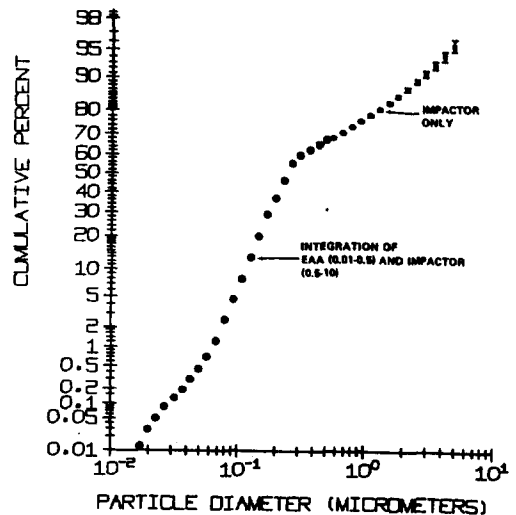


Fig. 1. Size Distribution of Diesel Particulate

2-2 디젤排塵의 物性¹⁾⁻³⁾

表 4 는 디-젤 排塵의 基礎物性表이며, 그림 1은 排塵의 粒子徑에 따른 重量累積比이다. 엔진으로부터의 排出直後의 디-젤 排塵의 粒徑은 約 100 Å의 非常히 微細한 粒子이나, 煙筒에서 大氣中으로 排出될 때에는 粒子들이 凝集되어 個數中心徑이 0.1 μm, 重量中心徑 (mass median diameter)이 0.3 μm의 큰 凝集 粒子로서 排出된다. 또 排氣中の 塵濃度는 加소린엔진의 30 ~ 100 倍이며, 比重은 水의 比重의 約 1/9 인 0.12 g/cc 로 매우 작으며, 그림 1에서 보는 바와 같이 排塵全重量의 70%가 1 μm보다 작은 微粒子로 構成되어 있다.

2-3 디-젤排塵의 危險性¹⁾⁻³⁾

表 5는 球形粒子的 静止空氣中에서의 自由落下速度를 나타낸 것이다. 디-젤엔진의 粒子中心徑인 0.1

Table 5. Rate of Fall of Spherical Particles in Still Air

Particle Diameter (μ)	Rate of Fall (cm/s)
100	30
10	0.3
1	0.003
0.1	0.00009

μm의 경우는 0.9 μm/s (約 40 cm/ 5 日間)으로 이는 自然零團氣中에서 半永久的인 浮遊粒子로 간주할 수 있다. 表 6은 디-젤 排塵中에서 검출된 發癌性物質들로서 이들중 약 반 정도는 強力한 發癌性을 나타낼 을 보여준다. 그림 2는 粒子的 重量中心徑에 따른 人體의 코, 氣管支 및 肺에의 捕集率을 나타낸 것으로, 1 μm 以上の 큰 粒子들은 대부분 코에서 捕集됨으로 문

Table 6. Carcinogenic Compounds Found in Diesel Exhaust Particulate Emissions

Formula	Carcinogenic compound with corresponding formula	Carcinogenicity*	Molecular weight
C ₁₈ H ₁₂	Chrysene	±	228.0936
	Benzo(c)phenanthrene	+++	
	Benz(a)anthracene	+	
C ₂₀ H ₁₂	Benzo(a)pyrene	+++	252.0936
	Benzo(b)fluoranthene	++	
	Benzo(j)fluoranthene	++	
C ₂₀ H ₁₄	Benz(j)aceanthrylene	++	254.1092
C ₂₀ H ₁₆	7,12-Dimethylbenz(a)anthracene	++++	256.1248
C ₂₁ H ₁₄	Dibenzo(a,g)fluorene	+	266.1092
C ₂₀ H ₁₃ N	Dibenzo(c,g)carbazole	+++	267.1045
C ₂₁ H ₁₆	3-Methylcholanthrene	++++	268.1248
C ₂₂ H ₁₆	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	+	276.0936
	Dibenz(a,h)anthracene	+++	
	Dibenz(a,j)anthracene	+	
C ₂₂ H ₁₄	Dibenz(a,c)anthracene	+	278.1092
	Dibenz(a,h)acridine	++	
	Dibenz(a,j)acridine	++	
C ₂₁ H ₁₃ N	Dibenz(a,h)acridine	++	279.1045
	Dibenz(a,j)acridine	++	
	Dibenz(a,h)pyrene	+++	
C ₂₄ H ₁₄	Dibenz(a,i)pyrene	+++	302.1092
	Dibenz(a,l)pyrene	+	
	Dibenz(a,i)pyrene	+	

* The carcinogenicities are given in "Particulate Polycyclic Organic Matter," National Academy of Science, Washington, D.C., 1972, according to the following code:

- ± uncertain or weakly carcinogenic
- + carcinogenic
- ++, +++, +++, strongly carcinogenic.

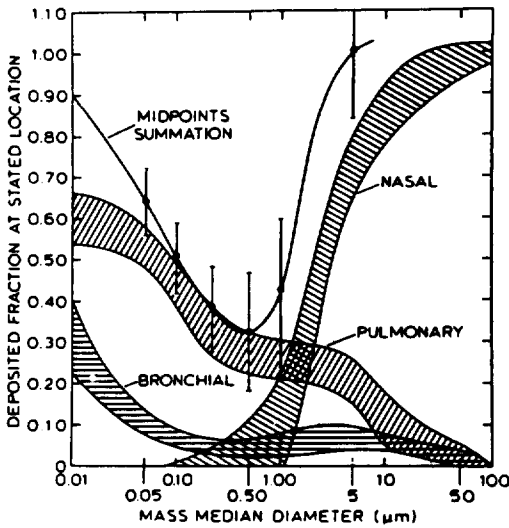


Fig. 2. Respiratory Retention of Inhaled particles.

제되지 않으나, 0.01 ~ 0.5 μm의 극히 작은 粒子들 (submicron particles)은 상당량 (40~80%)이 氣管支나 肺에 附着됨을 보여준다.

따라서 粒子徑上 半永久的으로 浮存可能하며 또 그 排出量이 매우 많은 디-젤 排塵인 炭素粒子가 그 表面에 液狀 및 固體狀의 強力한 發癌性物質을 附着한 程度로 人間의 呼吸器管으로 吸入되어 그 중에서 40~80%가 氣管支나 肺에 附着된다면 이는 분명히 매우 심각한 問題가 아닐 수 없다.

2-4 디-젤 排塵의 規制^{2),4)}

美國의 環境廳은 現在의 디-젤 油의 使用量의 增加 趨勢로 미루어 계산한 결과 1990年以後는 디-젤 排塵에 의한 公害가 確實히 第一空氣公害源이 됨을 推定 發表했으며, 1980年 3月 5日에 디-젤승용차 및 小型 디-젤트럭에 대한 排塵의 規制法을 表 7과 같이 制定 公表했다.

表 7에서 1982年의 規制值인 0.6g/mile에 대해서는 引擎改良으로 그 對應이 可能하나, 1985年以後의 規制值에 대해서는 어떠한 捕集裝置를 附着시키지 않고는 達成하기 어려운 상태로, 現在에도 이에의

適切한 解決策은 未開發狀態이다.

그리고 先進工業國 (특히 日本, 西獨等)도 가까운 將來에 이에의 規制力案을 檢討計劃하고 있는 實情이다. 筆者는 아직 精確한 자료는 가지고 있지 않으나, 우리나라도 이에의 가장 심각한 나라중의 하나가 아닌 가 하고 사료되며 금명간 対策을 講究해야 하지 않을까 고 생각된다.

③ 디-젤 排塵用 捕集裝置의 現況과 問題點

3-1 捕集裝置의 必要條件

디-젤 排塵用 捕集裝置의 必要條件으로는 下記와 같은 것들을 들 수 있다.

- (a) 高捕集率을 長期間 維持可能할것 (捕集率 70%以上)
- (b) 維持 및 設置費가 저렴한 것 (年間約 4만원 以下)
- (c) 小型컴팩트할것 (승용차일 경우 5ℓ 以下의 크기)
- (d) 引擎에 2次的 影響을 주지 않을 것. (逆壓力이 적을 것等)
- (e) 耐熱性이 높을 것 (300℃에 使用可能할 것)
- (f) 振動 및 衝擊에 強할 것 等이다.

3-2 필터(filters)에 의한 捕集^{2),5),6)}

필터裝置는 그림 3에서 보는바와 같이 디-젤 排塵의 質量中心徑에서 捕集性能이 나쁘며, 또 排塵이 필터面에 捕集됨에 따른 壓損(排出通氣抵抗)이 커짐에 따라 引擎의 性能을 低下시키는 等의 弱點이 있다. 그러나 取扱이 간단하며, 컴팩트性 및 捕集性能等의 면에서의 強한 長點이 있어 現在 가장 많이 研究되고 있는 裝置의 하나이다.

(a) 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 拡散捕集 (diffusion collection)

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

Table 7. Proposed Particulate Emission Standards

Year	1982	1985
Light-Duty Vehicle, Diesel-Powered	0.60 g / mile	0.20 g / mile
Light-Duty Truck, Diesel-Powered		0.26 g / mile

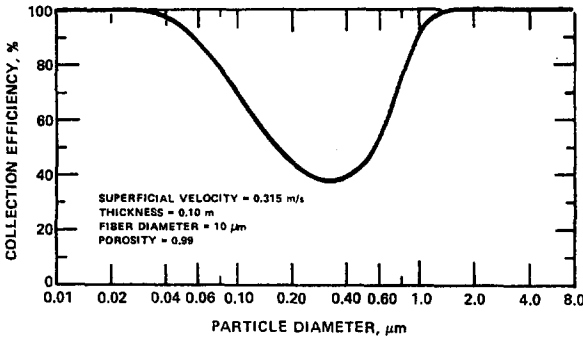


Fig. 3. Fibrous Filter Efficiency Versus Particle Diameter

$$D_p = C_c k T / 3\pi \mu d_p \quad (1)$$

여기서 D_p 는 粒子的 拡散力 (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 拡散力은 絶對溫度(T)에 比例하며 粒子徑과 粘性力에는 反比例함을 보여준다.

② 遮斷捕集 (interception)

粒子的 필터벽에 의한 遮斷捕集은 式(2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 R 은 遮斷度 (interception number), d_c 는 필터의 捕集徑 (collector diameter)이다. 遮斷에 의한 捕集은 拡散力이나 慣性力 등의 다른 效果가 對象의 으로 작을 때 크게 作用한다.

③ 慣性捕集 (inertial impaction)

慣性力에 의한 粒子的 捕集은 式(3)으로 나타낼 수 있다.

$$\psi = \rho_p d_p^2 v_s C_c / 18 \mu d_c \quad (3)$$

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. ρ_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 짙을 수록, 粒子徑 및 粒子的 面積速度가 클 수록, 霧圍氣體의 粘性力과 捕集 필터의 捕集徑이 작을 수록 크짐을 알 수 있다. 특히 直徑이 큰 粒子가 慣性에 의해 쉽게 捕集됨을 알 수 있다.

④ 기 타

上記機構以外的 捕集에의 影響力이 큰 機構들로서는 重力捕集 (gravity settling), 靜電捕集 (electrostatic deposition), 溫度傾斜에 의한 捕集 (therm-

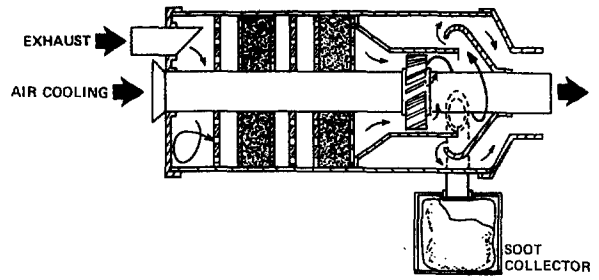


Fig. 4. Aut-Ainer Filter with Cyclone Soot Collector

ophoresis), 液滴表面等에의 捕集 (molecular flux forces) 등이 있다.

(b) 디-젤排塵用으로 개발된 필터裝置와 問題點.

① Aut-Ainer 필터⁷⁾

그림 4의 Aut-Ainer 필터는 日本 東京大와 榮興社에 의해 開發製作된 cyclone 式 필터이다. 이 裝置는 小型에 컴팩트하며 捕集效率도 좋으나, 壓損이 크며 捕集된 排塵의 처리등 아직 實用에는 많은 問題이 있다.

② 섬유상 필터 (fibrous filters)²⁾

美國 環境廳에 의해 研究開發된 그림 5의 섬유상 필터는 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 実績도 얻어져 있다. 그러나 實用할 경우 自動車의 첫 發進時 하이드로카-본과 水蒸氣에 의한 凝集現象, 捕集粒子的 再飛散 (reentrainment and bounce), 車의 負荷變動에 의한 捕集率變動率의 問題點이 남아있다.

③ 磁器 필터 (ceramic filters)⁸⁾⁻¹¹⁾

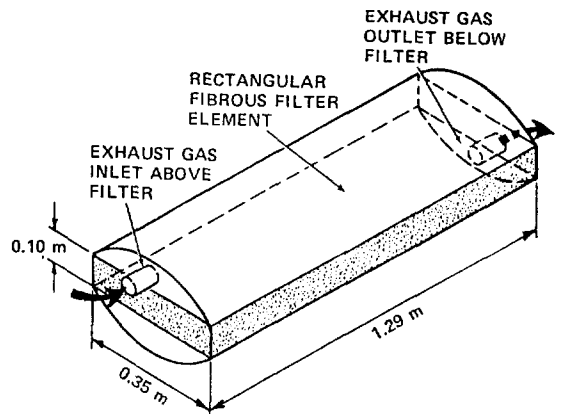
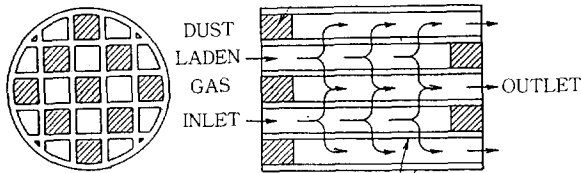
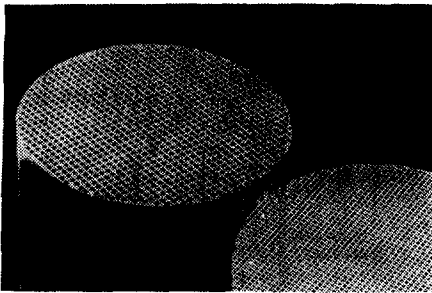


Fig. 5. Prototype Fibrous Filter

磁器필터는 壓損이 적고, 耐熱 및 컴팩트성이 뛰어나며, 특히 再生可能하기 때문에 美国, 日本 및 유럽 등에서 많은 研究가 수행되어 왔으며, 또 現在도 가장 활발히 연구되고 있다. 그림 6은 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 필터面上의 디-젤 排塵을 600°C 前後에서 燃燒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로 말미암아 磁器필터의 一部分이 融容 또는 破壞되는 問題가 發生한다.¹⁰⁾¹¹⁾ 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

Fig. 6. Construction Model and Photograph of Ceramic Filters

數 (collecting body Reynolds number), Re_c 에 의해 特性지워진다.

$$Re_c = U_G \rho_G d_a / \mu_G \quad (4)$$

여기서 U_G 는 水滴에 대한 層流氣體速度 (undisturbed gas stream velocity)이며, ρ_G 는 氣體類의 濃度 (gas stream density), μ_G 는 氣體의 粘性 (gas stream viscosity), d_a 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 큰 水滴이 많이 存在할 때 捕集效率이 크 짐은 알 수 있다.

② 擴散捕集 (diffusion collection)

水滴에의 微細粒子的 擴散捕集은 필터의 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 汚塵粒子的 捕集機構로는 重力捕集, 靜電捕集, 粒子和水滴間의 溫度 및 壓力傾斜 (gradient)에 의한 捕集 (thermophoresis and diffusiophoresis) 등이 있다.

(b) 대표적인 濕式 스크라버와 그 문제점¹²⁾¹³⁾

대표적인 습식 스크라버로는 sieve plate scrubber를 들 수 있겠다. 이 裝置는 그림 7에 나타낸 것 과 같이 排塵을 품은 氣體가 左下로부터 들어가 체판(sieve)과 水滴을 통하여 上昇하는 과정에서 排塵粒자가 水滴에 附着하여 除去되게 만들어 진 것으로, 氣體流速이 체판으로부터 겨우 물이 세지않을 程度로 維持함 (이 때에 排塵의 水滴面에 대한 接觸確率이

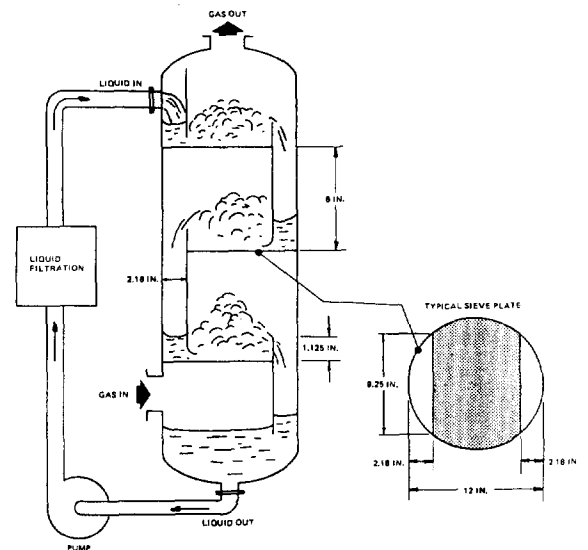


Fig. 7. Diagram of a Sieve Plate Bubble Scrubber

3-3 濕式스크라버(wet scrubber)에 의한 捕集²⁾

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시켜서 除去하는 것으로 spray scrubber, ventri scrubber, impingement plate scrubber, sieve plate scrubber, charged droplet scrubber 및 floating bed scrubber 等 여러종류가 있다.

(a) 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 粒子的 捕集은 捕集粒자의 레이놀드

最大가 됨) 이 중요하다.

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 및 流速 調定上의 문제점 등으로 靜止 디-젤기관에만 使用可能 하다고 사료된다.

3-4 電氣集塵裝置에 의한 捕集

(a) 電氣集塵裝置의 原理¹⁴⁾

電氣集塵裝置 (electrostatic precipitator)는 排塵粒 子를 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 子의 경우 捕集率이 필터에 비 해 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.

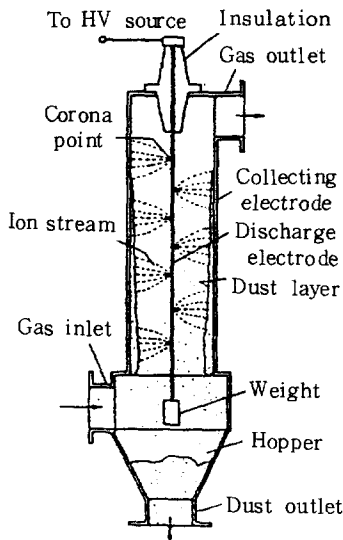


Fig. 8. Principle of Electrostatic Precipitation

電氣集塵裝置의 效率은 Deutsch 式으로부터 式(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = (N_0 - N) / N_0 = 1 - \exp(-A_p w_p / Q) \quad (5)$$

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 area), w_p 는 排塵粒 子의 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

은 集塵面積과 集塵板 方向의 移動速度를 크게 하며, 處理가스量을 적게하여 集塵裝置內의 排가스 殘留時 間을 크게 함으로 높아진다. 그리고 排塵粒 子의 移動 速度는 式(6)과 같이 나타내어진다.

$$W_p = a E_0 E_p E_c / 2\pi\mu \quad (6)$$

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 子의 移動 速度는 粒 子徑이 클 수록, 荷電 및 集塵部의 印加電 壓이 높을 수록 크짐을 알 수 있다.

(b) 디-젤 排塵用 電氣集塵裝置의 問題點

電氣集塵裝置의 디-젤 排塵에의 適用에는 다음과 같은 解決해야 할 難點들이 있다.^{2), 5)}

- ① 排塵의 電氣抵抗이 매우 낮기 때문에 高電壓絕緣部의 絕緣汚損을 쉽게 일으킨다. (漏泄電流의 過多)
- ② 排塵의 粒 子徑이 너무 작기 때문에 荷電시키기 어렵다. (큰 荷電時間 必要)
- ③ 捕集된 排塵의 處理方法이 어렵다. (적당한 rapping 方法이 없음)
- ④ 集塵板上의 捕集된 排塵이 再飛散하기 쉽다. (reentrainment 量이 過多)

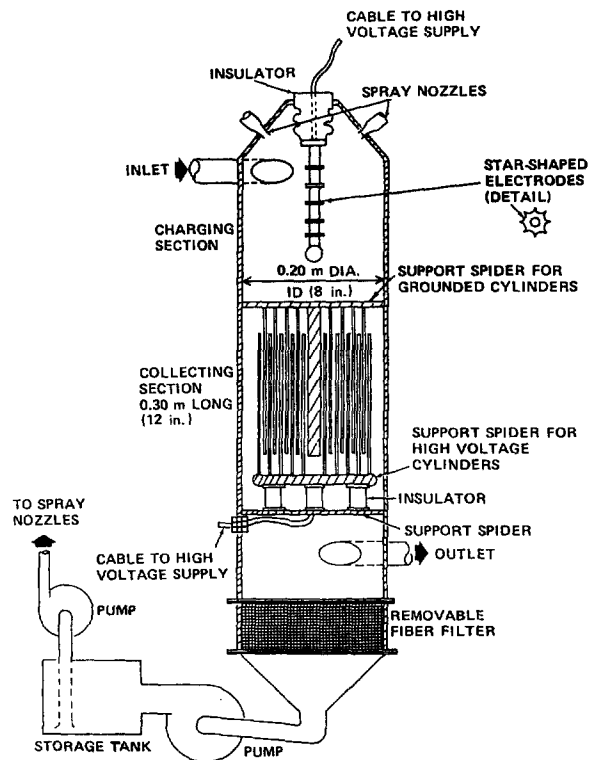


Fig. 9. Drehmel's Electrostatic Precipitator

⑤放電極이 다-꺽排塵의 附着으로 인해 能力이 低下된다. (荷電能力低下)

⑥處理가스量이 많으며, 高温이다.

(c) Drehmel 등의 集塵裝置

美國의 SoRI (Southern Research Institute) 의 Drehmel 등에 의해 研究發表된 그림 9의 裝置는 星型放電極에 의해 排塵粒子를 荷電시켜서 下部의 同心円筒型 集塵極에 集塵되도록 만들어진 것이다. 集塵된 排塵은 上部 노즐 (nozzle) 로부터의 週期的인 注水에 의해 下部로 脫落시켜 필터로 여과도록 된 것으로 이렇게 함으로 排塵의 二次處理, 放電極의 汚損防止 및 再飛散의 低減등이 可能하도록 한 것이다. 이 裝置도 實際適用에 있어서는 濕式 스크라버와 같이 水消費量이 過多하면, 設置 및 維持上的 問題點으로 移動機關에의 適用은 어렵다고 사료된다.

(d) Inculet · Castle 의 電氣集塵裝置¹⁷⁾

캐나다의 오타와대의 Inculet · Castle 에 의해 研究發表된 그림 10의 裝置는 豫備荷電部에서 排塵粒子를 荷電시켜서 金屬網과 필터로 구성된 集塵部에서 集塵되도록 된 것으로 電氣集塵裝置 + 필터의 하이브리드型이다. 本裝置는 集塵率이 높고 컴팩트하나, 絶緣部の 汚損, 集塵率의 多變動, 壓損의 增加, 集塵된 排塵의 二次處理問題 등이 있어서 實際適用에는 많은 問題點을 안고 있다.

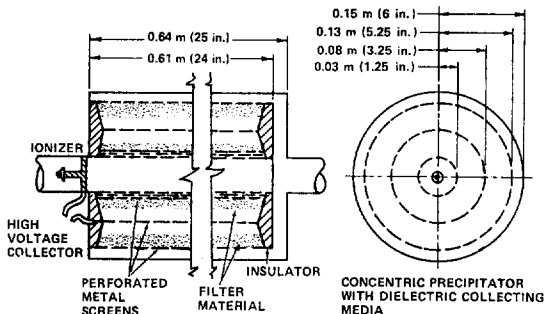


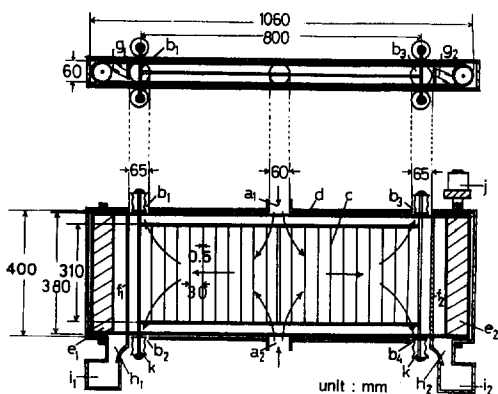
Fig.10. Inculet · Castle's Electrostatic Precipitator

(e) 増田 · 文의 電氣集塵裝置^{7) 15) 118) ~ 22)}

日本 東京大의 増田 · 文에 의해 연구開發된 그림 11의 裝置는 前記의 全問題點을 거의 解決한 것으로 다음과 같은 많은 長點을 가지고 있다.

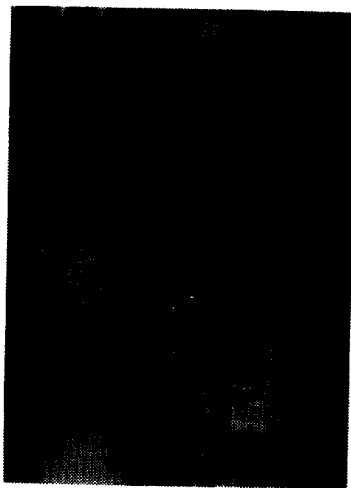
①. 코로나電極이 裝置外部의 清淨空氣中에서 絶緣支持됨으로 絶緣部の 汚損이 거의 없으며,

②. 強力한 豫備荷電裝置 및 靜電粒子凝集裝置와를 하이브리드化함으로 集塵效率이 매우 높으며,



a₁, a₂ : inlet port, c : discharge electrode, b₁-b₄ : outlet port, d : moving belt, e₁, e₂ : roller, f₁, f₂ : partition plate, g₁, g₂ : scraper, h₁, h₂ : hopper, i₁, i₂ : receiver vessel, j : motor, k : insulator.

(a) Schematic



(b) Photograph

Fig.11. Masuda · Moon's Electrostatic Precipitator

③. 放電極의 自己回復現象을 利用한 多針放電極 (fishbone type multineedle discharge electrode) 을 開發使用함으로 放電極의 荷電能力低下가 없으며,

④. 集塵된 排塵은 隔室에서 壓縮 (1/5 ~ 1/20) 하여 스크램핑 (scrapping) 함으로 二次處理가 매우 容易하며,

⑤. 集塵板上의 集塵된 排塵을 隔室內로 移動시켜 處理함으로 再飛散이 크게 低減되며,

⑥. 集塵된 排塵을 二重遮斷된 隔室中에서 스크램핑處理하므로 二次再飛散 (rapping loss) 이 거의 없는 점 등이다.

다만 本裝置는 小型車 (2,000 cc 以下) 에 대해서

는 設置費가 비싸다는 점이 있으나, 이것도 大量生産 時에는 많은 코스트 다운이 예상되기도 한다.

㉔ 結 言

以上 現在까지 發表된 디-젤 排塵用 捕集裝置를 概 述했으나, 필터方式, 스크라버 (scrubber) 方式 및 電氣集塵 (electrostatic precipitation) 方式中 에서 어느것이 가장 適切한 것인지 現在로서는 結論 을 내리기는 어렵다.

그러나 스크라버方式은 捕集率이 높고 壓損이 적은 長點이 있으나, 컴팩트性 및 水消費量의 點에서 移 動디-젤기관에는 適合하지 못하다.

필터 (filter) 方式은 捕集된 排塵의 處理및 壓損 이 큰점등의 문제는 있으나, 裝置가 非常히 간단하며 安價인 強한 長點이 있으므로 現在도 많은 研究가 수행되고 있다. 특히 磁器필터 (ceramic filter) 의 경우 耐熱性이 우수하며 確實한 再生시스템의 確 立이 요망된다.

電氣集塵器는 壓損이 거의 없으며, 集塵效率이 높 고 維持費가 싼점등의 根本的인 長點을 가진 裝置이 나, 實際適用에 있어서는 高電壓絶緣部의 汚損, 再飛 散및捕集된 排塵의 處理等이 問題되어 왔다. 그러나 增 田·文에 의해 開發된 移動벨트型電氣集塵裝置는 이 難點들을 거의 모두 解決되었으며 設置費가 小型車 (2,000 cc 以下)에 대해서는 조금 비싼점이 문제로 남아 있다.

끝으로 가까운 将来에 디-젤排塵으로부터의 公害 가 심해짐에 따라 各國政府의 規制및 基準의 嚴格化 도 必然的이라고 볼때 高捕集率로 取扱이 간단하며 安 價의 捕集裝置가 반드시 必要하다고 思料되며, 따라 서 今後의 이 方面의 많은 研究가 緊急要望된다고 사 료된다.

參 考 文 獻

- 1) J. Santodonato, D. Basu, and P. Howard: E PA - 600/1 - 78 - 063, EPA, USA (Nov. 1978)
- 2) M. G. Faulkner, E. B. Dismukes, J. R. Mc Donald, D. H. Pontius and A. H. Dean, EPA-60 0/7 - 79 - 232a, EPA, USA (Oct. 1979)
- 3) W. H. Lipkea, J. H. Johnson and C. T. Vuk, SAE Paper No. 780108 (Mar. 1978)
- 4) EPA, Regulatory Analysis of the Light-Duty

- Diesel Particulate Regulations for 1982 and Later Model Year Light-Duty Diesel Vehicles, EPA, USA. (Feb. 1980)
- 5) C. N. Davies, Air Filtration, Academic Press (1973)
- 6) F. Loffer, Collection of Particles by Fiber Filters, Wiley-Interscience, New York (1971)
- 7) S. Masuda, J. D. Moon and K. Aoi, International Clean Air Congress, Buenos Aires Argentina (Oct. 1980)
- 8) 日本碍子, 技報 82-SC-086 號 (Jun. 1982)
- 9) J. S. Howitt, SAE Paper No. 800082, (Feb. 1980)
- 10) W. R. Wade, SAE Paper No. 810118, (Feb. 1981)
- 11) Z. N. Mogaka, SAE Paper No. 820272, (Feb. 1982)
- 12) A. Lawson and H. Vergeer, Ontario Research Foundation (1977)
- 13) C. D. Wood and J. W. Colburn, Jr, Final Report Prepared by Southwest Research Institute (Jan. 1979)
- 14) H. J. White, Industrial Electrostatic Precipitation, Addison Wesley (1963)
- 15) 增田閃一, 文在德, 日本静電氣學會誌, 6, 5, 320-326 (1982)
- 16) D. C. Drehmel, J. Du Bard, G. Foulkner and J. Mc Donald, Proc. of the U.S. - Japan Seminar, EPRI, CS - 2145-SR (Dec. 1981) 6.1-6.15 (Nov. 1980)
- 17) I. I. Incullet and G. S. P. Castle, ASHRAE Journal (Mar. 1971)
- 18) S. Masuda and J. D. Moon, Proc. of International Symposium on Powder Technology 81 (Oct. 1981)
- 19) 增田閃一, 文在德, 日本静電氣學會誌, 6, 3, 186-190 (1982)
- 20) 增田閃一, 文在德, ibid, 6, 5, 327-333 (1982)
- 21) S. Masuda and J. D. Moon, Conference Record of IEEE/IAS 1982 Annual Meeting, 1086-1093 (1982)
- 22) S. Masuda and J. D. Moon, IEEE Transaction on Industry Applications. (to be presented