디－젤自動車用 排塵捕集裝置의 最近의 研究開発動向(Ⅰ)

文 在 德
〈慶北大 工大 電気工學科 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

Ⅰ. 序 言

石油危機以來 가솔린自動車에 비해 연료가 底廉하고 效率이 높은 디－젤自動車의 數가 많이 增加됨에 따라 이들 디－젤自動車로 부터의 排塵(主로 未燃煙燒素粒子)은 大氣汚染上 큰 問題로 擡頭되고 있으나, 이에따른 適切한 解決方法이 아직 實現되어 있지 않은 實定이다.

특히 디－젤自動車로 부터의 排塵排出量은 平均70mg/m^3으로서 같은 規模의 가솔린自動車에 비해 30～100培나 되며, 더우기 排塵用量의 70%가 1μm以下의 微細粒子로 構成되어 있음으로 말미암아 大氣中에 오래 浮存하며, 呼吸에 의해 人體内에 깊숙히 吸引되므로 肺나 氣管支에 附着될 포텐샬(potential)도 커진다고 할 수 있다.[1-3] 또 이 디－젤自動車排塵의 主體인 炭素粒子의 表面에는 强力한 發癌性을 나타내는 10여종의 하이드로炭素(hydrocarbon)가 液狀 또는 固體狀으로 附着되어 있기 때문에 이로부터의 人體에 미칠 수 있는 影響은 매우 크다고 볼 수 있다.[1-4]

本 解說에서는 美國에 있어서의 近間 및 將來의 디－젤自動車增加 趨勢와 그들로부터 排出되는 排塵量 및 推定排出量, 排塵의 基礎的인 物性, 危險性, 排塵의 規制에 對해 現在 世界的으로 研究發表되고 있는 濾過裝置(filter), 스크라버(scrubber) 및 電氣集塵裝置(electrostatic precipitator)에 관하여 簡略히 紹介하고자 한다.

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[5]

〈표－1〉은 美國에서의 小型 디－젤自動車의 販賣趨勢를 나타낸 것으로 (a)는 近年까지의 販賣實積 (b)는 將來의 推定增加率로 (a), (b)모두 急激한 增加趨勢를 보여주고 있다. 〈표－2〉는 1990年의 디－젤自動車排塵의 推定年間排出量으로 全排出量의 約半程度가 人口가 密集해 있어서 危險度가 큰 大都市에 集中排出됨을 보여준다. 〈표－3〉은 美國의 人口가 50萬 以上의 大都市에서의 大氣中 디－젤自動車排塵의 空氣中

〈표－1〉小型디－젤 自動車의 판매추세

Model	1976	1977	1978	1979
Merceds-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

(a) 近年의 판매실적

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 %

(b) 장래의 추정 증가율

〈표－2〉 1990년도의 디－젤 自動車배진의 추정량(美國) (톤 / 1년)

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

含有量을 規制前後로 比較한 것이다. 規制後의 重量은 規制前의 1/4로 매우 적어짐을 보여주나, 몇개의 都市(Los Angeles, Chicago, Houston, Dallas 및 phoenix等)에서는 規制에도 불구하고 空氣中의 排塵含有量이 매우 많음을 보여준다.

〈표－3〉 規制전후의 대도시의 공기중 디－젤自動車 분진량

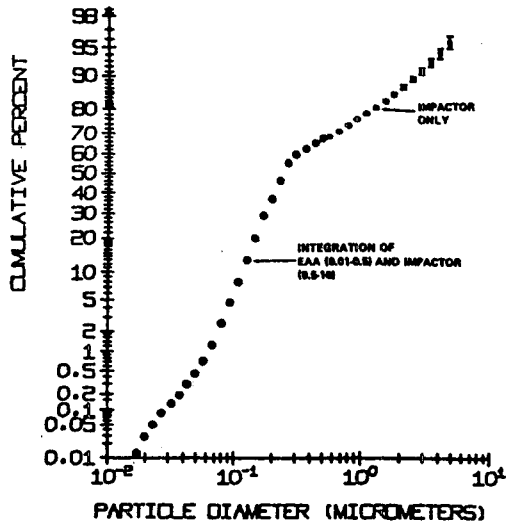
Population Category	City	Light-Duty Diesel Ambient Particulate Level ($\mu g/m^3$) Uncontrolled	Regulated
Over 1 Million	New York	2.0－4.8	0.5－1.2
	Los Angeles	5.4－11.3	1.4－2.9
	Chicago	3.0－10.7	0.8－2.8
	Philadelphia	2.6－4.4	0.7－1.1
	Houston	4.4－7.5	1.1－1.9
	Detroit	2.1－3.5	0.5－0.9
500,000 to 1,000,000	Dallas	6.4－10.8	1.7－2.8
	NewOrleans	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

Ⅱ-2 디－젤自動車排塵의 基礎物性 (1-4)

〈표－4〉는 디－젤自動車排塵의 基礎的인 物性이며, 〈그림－1〉은 디－젤自動車排塵의 粒子徑에 따른 重量累積比이다. 엔진으로 부터의 排出된 排塵의 粒徑은 原子수십개의 크기인 約100 Å의 대단히 微細한 粒子이나, 煙筒에서 大氣中

〈표－4〉 디－젤自動車 배진의 基礎物性

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 °C
Muffler	164－210 °C
Bulk density	120 kg/m^3
Gas flow rate (estimated for 200 °C)	0.14 m^3/s
Mass loading	7×10^{-5} kg/m^3



〈그림－1〉 디－젤自動車 배진의 直徑분포

으로 排出될 때에는 粒子들이 凝集粗大되어 個數中心徑이 0.01 μm, 重量中心徑(mass median diameter)이 0.3 μm(光의 노란색파장程度)의 많이 커진 凝集粒子로서 排出된다. 또 排氣中의 塵濃度는 平均70 mg/m^3로서 가솔린엔진의 30～100 培이며, 排塵比重은 0.12 g / cc (水의 比重의 約 1/9)로 매우 작으며, 〈그림－1〉에서 보는 바와 같이 排塵全重量의 70 %가 1 μm 보다 작은 微粒子(submicron 粒子)로 構成되어 있음을 보여준다.

Ⅱ-3 디－젤自動車排塵의 危險性 (1-4)

〈표－5〉는 球形粒子의 靜止空氣中에서의 自由落下速度를 나타낸 것으로 디－젤自動車排塵의 粒子中心徑인 0.1 μm의 粒子는 0.9 μm / s 約 8 cm/日)의 落下率로서 이는 바람(風)이 있는 自然雰圍氣中에서 半永久的인 浮存粒子로 간주할

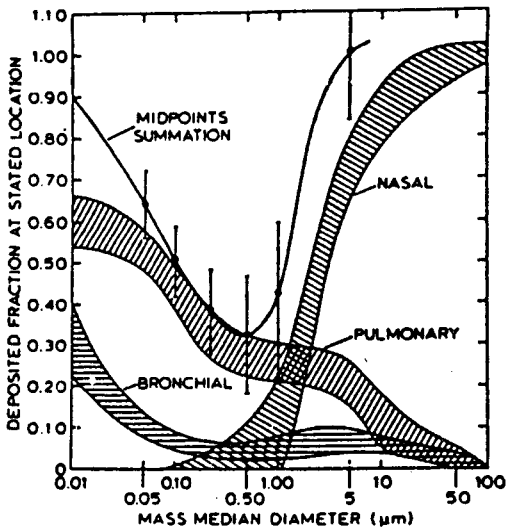
〈표－5〉粒子徑에 따른 정지공기중에서의 自由落下率

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

수 있다. 〈표－6〉은 디－젤自動車排塵 中에서 검출된 發癌性物質들로서 이들중 强力한 發癌性을 나타내는 物質도 상당량 포함되어 있음을 보여준다. 〈그림－2〉는 모의실험에서의 粒子의 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의 큰 粒子들은 대부분 코에서 捕集됨으로 問題되지 않으나, 0.01～0.5 μm의 극히 작은 粒子들(submicron particles)은 상당량(40～80 %)이 모의氣管支나 肺에 附着됨을 보여준다. 따라서 粒子徑이 매우 작아서 大氣中에서는 半永久的으로 浮存可能하며, 또 그 排出量이 매우 많은 디－젤自動車排塵인 炭素粒子가 그 表面에 强力한 發癌性物質을 附着한 채로 人間의 呼吸器管으로 吸入되어 상당량이 氣管支나 肺에 附着될 可能性이 크다면 이는 분명히 매우 심각한 問題의 하나라고 아니할 수 없겠다.

Ⅱ-4 디－젤自動車排塵의 規制 (3,5)

美國의 환경청(EPA)은 디－젤油使用量 增加趨勢로 미루어 추정한 결과 1990年以後는 디－젤排塵에 의한 공해가 확실히 第一空氣公害源이 됨을 推定하였으며, 1980年 3月5日에 디－젤乘用車 및 小型 디－젤트럭에 대한 디－젤排塵



〈그림－2〉 模擬 인체 각 器管의 粒子徑에 따른 부착(集塵)率

〈표－6〉 디－젤自動車 배진에서 發見된 발암성 物質들

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
$C_{22}H_{12}$	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	+	276.0936
$C_{22}H_{14}$	Dibenz(a,h)anthracene	+++	278.1092
	Dibenz)a,j)anthracene	+	
	Dibenz(a,c)anthracene	+	
$C_{21}H_{13}N$	Dibenz(a,h)acridine	++	279.1045
	Dibenz(a,j)acridine	++	
$C_{24}H_{14}$	Dibenzo(a,h)pyrene	+++	302.1092
	Dibenzo(a,i)pyrene	+++	
	Dibenzo(a,l)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.

의 規制法을 〈표－7〉과 같이 制定公表 했다.

〈표－7〉에서 1982年의 規制値인 0.6g/mile에 대해서는 엔진의 改良으로 그 對應이 可能하나, 1985年以後의 規制値에 대해서는 어떠한 捕集裝置를 自動車에 附着시키지 않고는 그 規制値를 達成하기 어려운 狀態로, 現在에도 이에 따른 適切한 解決策은 많이 硏究되고 있으나 未開發 狀態라고 본다.

그리고 日本, 西獨等 先進工業國에서도 가까운 將來에 이에대한 規制方案을 檢討 計劃하고 있는 實情이며, 또 많은 나라들이 이와같은 趨勢에 있다고 思料된다. 筆者는 아직 정확한 자료는 가지고 있지 않으나, 우리나라(특히 大都市)도 이의 가장 심각한 나라중의 하나가 아닌가 하고 思料되며 금명간 이에대한 對策을 講究해야 하지 않을까 하고 생각된다.

〈표－7〉 提案된 디－젤自動車배진의 年度別 規制値

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

〈다음 호에 계속〉