

〈技術資料〉

# 輕디젤엔진의 粒子狀物質對策 技術에 관한 檢討

(A Review of Existing Particulate Control Technology  
for Light-Duty Diesel Engines)

環境廳 交通公害課 金 基 俊\*

## 1. 序 言

1982년 6월 20일부터 6일간 美國 Louisiana州 New Orleans에서 開催된 第75次 APCA (Air Pollution Control Association) 定期總會에 參席하였는데 이 會議에는 世界各國에서 關係공무원 교수, 연구원 및 關係전문가들이 참석하여 各分野別로 712名이 大氣汚染에 관한 研究結果를 發表한 內容中 美國 미조리주 켄사스시의 中西部研究所 John Scott Kinsey 氏가 發表한 內容을 紹介하는 바이다.

1980년 3월 5일 美國 環境보호청 (EPA)은 輕디젤車輛에서 排出되는 粒子物質 (Particulate Matter)의 濃도에 의한 規制基準을 발표했다.

이 基準에서는 1985년도 모델부터 적용되는 輕디젤 車輛에서는 0.2g/mil 以內, 輕디젤트럭에서는 0.26g/mile 以內의 規制値를 要求하고 있다. 調查結果에 의하면 이 規制値를 만족시키기 위해서는 例外的으로 아주 輕量인 車輛을 除外하고는 어떤 형태 이던 排氣가스 處理器具가 必要할 것으로 보인다.

最近에 美國의 行政府는 輕車輛과 輕트럭에 적용된 이 規制基準의 施行時期를 연장시킬 의

사를 발표하였다. 이와같은 조치는 產業界에 대한 경제적인장려로서 自動車메이커에 대한 規制를 완화하려는 現 미국의 政策과도 一致되는 것이다. 그러나, 디젤粒子에 관련된 잠재적인 健康위험은 10년이 지나기 前에 全部는 아니더라도 대부분의 輕디젤차량에 대한 粒子物質 調節裝置의 사용을 필요로 하고 있다. 이 開發은 장래에 디젤엔진사용의 증가에 의한 企業平均 燃比率(CAFE)의 이행에 의해서 자극을 받게 될 것이다.

大氣汚染의 다른 源因(source)들과 마찬가지로 排氣가스를 조절하는데는 基本的으로 두가지 方法이 있으며 이것은 오염물질을 發生하는 장치들을 변경시켜 오염물질의 형성을 억제하거나 줄이는 프로세스의변경과 다른 하나는 排氣가스가 大氣로 放出되기 전에 여과(濾過)하여 汚染質物을 除去하거나 파괴(破壞)하는 裝置이다.

디젤燃焼에서 生成되는 粒子物質을 줄이기 위하여 사용되는 여러가지 프로세스변경에 관한 중요한 情報가 문헌상에 많이 있으며 이러한 기술에는 燃焼室形狀의 변경, 새로운 연료噴射裝置, 燃料添加劑 등이 있다. 이 論文에서는 엔진이나 燃焼特性에 대한 변경에 관하여 언급하는 대신에 디젤의 粒子物質排出低減에 이용되는 排

\* 國土開發技術士(大氣管理)

氣가스 淨化技術(아직 대부분은 개발단계에 있다)에 관하여 설명한다. 여기에 포함된 것은 디젤엔진에서 排出되는 粒子 그 自體의 特質과 輕車輛(Light-Duty vehichas)의 排氣가스 排出率(Emission Rate) 및 여러 著者들로부터 수집된 淨化裝置의 性能 데이터이다

## 2. 디젤排出粒子的 特質

壓縮點火엔진(디젤 엔진)에서의 粒子物質은 실린더내에서의 燃燒과정중에 연료의 일부가 熱分解 또는 部分的인 酸化에 의하여 발생되며 이렇게 생성된 汚染물질은 일반적으로 끄으름과 여러 종류의 未燃燒炭化水素의 複합물로 구성되어 있다. 어떤 특정한 차량에서 생성되는 입자물질의 양은 엔진의 종류, 車輛重量, 走行사이클, 엔진의 負荷 및 速度, 사용연료 및 기타 요소를 포함하는 많은 요인에 따라 다르다. 無鉛가솔린을 사용하는 엔진에 비하여 디젤엔진은 보통 50~100배나 많은 粒子物質을 生成한다.

디젤 燃燒에서 生成되는 粒子는 個個의 극히 작은 球形의 粒子로 구성된 鎖狀(chainlike)의 덩어리로 되어 있다. 이들 粒子는 일반적으로 약간의 水素, 窒素 黃 및 여러가지 金屬元素를 포함하는 炭素로 되어 있으며 개개의 粒子는 50~700 Å의 크기이고 덩어리의 평균직경은 0.1~0.3μm이다 粒子의 密度는 炭素元素의 밀도에 비하여 대단히 적으며 0.2~0.075g/cm<sup>3</sup>이다. 대부분의 연구자들의 보고에 의하면 덩어리로 된 粒子는 일반적으로 건조하고 습털이 많은 상태이나 엔진의 상태, 배기가스의 온도 및 다른 요인을 포함한 많은 요인에 따라서는 끈적거리며 油性(oily)을 갖기도 한다. 표 1은 디젤엔진으로부터 배출되는 粒子物質의 物理的인 性質을 나타낸다.

디젤엔진에서 生成되는 입자물질은 대부분의 고운끄으름으로 구성되어 있으므로 粒子는 밀집된 原子核으로서와 不完全 연소의 결과 생성되는 가스 狀態의 炭化水素의 吸着劑로서의 두 가지 상태로 作用한다는 것은 놀라운 일이 아니다.

이 흡착된 炭化水素는 粒子가 油性의 性質을 갖게하며 發癌(발암)物質로서의 性質을 갖게한다. 표 2는 디젤에서 배출되는 입자물질에서 發

見되는 發癌物質과 美國의 國立科學院(National Academy of Science)에서 발간된 등급표에 따른 상대적인 발암성을 나타낸다.

## 3. 排氣가스 排出率(Emission Rate)

輕디젤차량에 대한 대표적인 排氣가스 排出率은 추천되는 배기가스테스트결차를 사용한 여러가지 메이커의 승용차에 대하여 미국 EPA에서 발표하였다. 이 데이터의 요약이 표 3에 나와 있으며 이표에서와 같이 배출되는 입자물질의 양은 차량형식에 따라 크게 다르다. 여러종류의 엔진, 運轉條件 및 사용연료에 대한 배출되는 입자물질의 양과의 관계에 대한 참고 자료는 다른 문헌에서 많이 볼수있으며 이러한 데이터는 대단히 광범위하므로 여기서는 상세하게 언급하지 않는다. 해결하여야 할 배기가스 문제의 크기는 개개의 車輛과 거기에 사용된 엔진에 전적으로 달려있다고 말할수 있다. 어떤 차량은 同一한 배기가스 배출율(g/mile)을 달성하기 위하여는 다른 차량보다 훨씬더 많은 대책을 요구할 것이다.

## 4. 粒子物質低減技術

디젤엔진 排氣가스로부터 입자물질을 제거하려는 최초의 시도는 문헌상에서 1969년의 Gour-dine EGD 디젤 칩전기였으며 이장치는(cummins model NH-220엔진 (4-cycle, 6-cylinder, Naturally Aspirated)에 대하여 테스트를한 원시적인 靜電氣式 칩전기였다. 作動시험에서 이 칩전기는PHS Public Health Service) Smoke Meter에 기록된 바에 의하면 可視的인 排出物을 제거하는데 효과적이 아닌것으로 증명되었으며 대부분의 부품이 오염으로 인하여작동불능이 되어 결국 시험이 계속되지 못하였다.

1969년 이후 미국등 여러나라에서 여러가지 장치들이 개발되고 시험되었으며 이 장치들을 배기가스 흐름으로부터 입자물질을 제거하는 장치등에 따라 분류하면 다음과 같다.

- 필터장치(Filter traps)
- 慣性分離 장치(Cyclones)

○ 靜電氣的인 沈澱장치 (ESPS)

○ 복합장치

위의 범주에 들어가는 현재 사용되고 있는 低減 기술에 대하여 다음에 설명한다.

#### 가. 필터장치 (Filtration devices)

디젤엔진의 排氣가스로 부터 粒子物質을 除去하는데 가장 일반적이고 특징있는 기술은 필터 장치 系統이다. 이러한 장치에서의 여과 매체는 섬유狀베드(예를 들어 Metal Wool), 장애물 媒體(예를 들어 벌집형태의 세라믹) 혹은 粒子狀態의 베드(예를 들어 steel shot)들이며 매개체는 개개의 장치에 따라 촉매가 코팅되기도 한다.

粒子는 일반적으로 直接遮斷, 慣性力에 의한 分離, 擴散등의 복합적인 작용에 의해 배기가스로부터 제거되며 慣性力에 의한 충돌이 작용하게 되는 비교적 높은 表面速度일때를 除外하고는 차단과 확산이 주요한 제거원인이 된다. 이러한 타입의 장치에서 제거효율은 일반적으로 40~60%의 범위가 되지만 90%나 그 이상이 될 수도 있다. 여러가지 형태의 필터장치에 대한 제거효율에 대한 요약내용은 표 4에 나타나 있다.

현재까지 여러가지 형태의 필터장치에서 많은 작동상의 문제점들이 제거되었으며 그 중요한 문제들은 濾過 媒介物에 대한 적당한 再生문제 (Cleaning)와 그에 따른 粒子物質의 除去效率문제이다.

필터장치를 재생하는 가장 일반적인 방법은 매개물질에서 입자물질을 태워버리는 방법이며 이에는 적당한 시간동안 배기가스온도를 1100°F (590°C) 이상 올려서 연소시키는 방법과 정상작동의 배기가스 온도인 700°F (371°C)에서 연소시키기 위하여 촉매물질을 코팅하는 방법이 있다. 여기서 연소를 위하여 필요한 정확한 시간과 온도는 아직 논란의 대상이다.

#### 나. 慣性分離裝置 (Inertial seperators)

이름이 의미하는 바와 같이 관성분리장치는 배기가스 흐름으로부터 粒子 物질을 제거하기 위하여 입자 자신의 관성력을 이용한다. 디젤엔진의 연소로부터 발생되는 입자는 대단히 微細

하므로 이러한 장치에서는 매우 작은 제거효율이 얻어지고 디젤엔진의 非氣淨化에 적용이 제한될것으로 예상된다. 여러가지 형태의 慣性分離장치가 있는데 가장일반적인 것은 Cyclone Collector이며, 이것은 다른 형태의 디젤배기 가스정화 장치와 함께 사용된다.

디젤 粒子를 除去하기 위하여 관성분리기술을 사용한 문헌에 보이는 유일한 장치는 일본의 Eikosha Company가 제작한 Aut-Ainer 이다. 이장치는 輕디젤트럭용으로 특별히 제작되었으며 섬유질의 필터 장치와 함께 싸이크론 콜렉터를 사용하고 있다. 이 장치는 粒子를 제거하기 위하여 응축의 원리를 사용하고 있으며 찬 大氣가 중앙의 램-에어튜브 (Ram-Air Tube)를 통과하고 와이어 메시 (Wire Mesh)로 된 필터 매체를 통과한 배기가스는 이때 다시 덩어리 상태로 되고 싸이크론으로 되어 있는 장치를 통해 제거된다. 이때 捕集된 입자 물질들은 이장치 옆에 있는 주머니 (Catch Bag)로 보내진다. 여러가지 모델의 Aut-Ainer 장치가 시험되었으나 성공한 것은 소수이며 제거효율은 12-36%정도인 것으로 보고되었다.

#### 다. 靜電氣的인 沈澱裝置 (Electrostatic Precipitator)

디젤 粒子를 低減하는 비교적 성공적인 다른 기술은 靜電氣的, 침전장치를 이용한 형태이며 이장치 (ESPs)는 1단계 (one-stage)나 2단계 (Two-Stage)의 장치로 구별될수 있다. 1단계의 장치는 정전기를 주어 粒子를 포집하는 것이 기본적인 하나의 작동으로 되어 있고 2단계의 장치는 ion化 단계와 다음의 수집단계 (Collection Section)로 되어 있다.

문헌상에는 디젤 粒子를 低減하기 쉬운 4가지 형태의 ESP가 보고되고 있다. 첫번째는 앞에서 설명한 Gourdine Device이며 이는 後에 General Motors에서 테스트한 와이어타입의 1단계 ESP가 나왔으며 이 두가지는 주로 부적당한 디자인과 지지분한 인슐레이터 (Dirty Insulator) 때문에 실패했다. 세번째의 ESP도 또한 아리조나 大學에서 개발된 와이어튜브 타입의 1단계 침전장치이며 이장치는 입자물질을 제거하기 위한 스크

레이퍼 메카니즘을 가지고 있다. 현재 이 장치는 대규모 제조 공장의 엔진실험실에서 디젤엔진의 배기가스 저減에 사용되고 있으며 현재의 디자인은 너무 부피가 커서 차량용으로 적용이 되지 않고 있다. 除去效率는 1 $\mu$ m 이 내의 디젤입자에 대해 52-73%정도인 것으로 보고 있다.

가장 최근의 ESP 디자인은 미국 EPA 와의 계약으로 개발된 것이며 이장치의 概要가 그림 1에 나타나 있다. 이 장치는 2단계의 디자인으로 되어 있으며 이온화부분과 捕集部分으로 되어 있고 샤시디어나모베타 위에서 General Motors의 5.7l 디젤 엔진이 탑재된 픽업트럭에 대하여 실험을 했다. 이 裝置의 除去效率는 26%였으며 테스트 途中에 이 장치는 다음 단계의 粒子物質捕集을 위한 粒子의 덩어리화가 극히 인상적이었다. Cyclone 과 입자상태 베드의 필터가 이러한 방법으로 시험되었으며 제거효율은 56-86%였다. 이 장치에서의 가장 큰 문제점은 큰 부피와 솔벤트를 사용하는 混式크리닝 장치와 沈澱장치를 수직위치로 裝着해야하는 문제이다. 현재 계속적인 시험이전에 부피를 줄이기 위하여 장치 밑부분에 입자상 베드로된 필터를 장치하려는 계획으로 있다.

### 5. 檢 討

위에서 說明한 장치중에서 필터장치가 문헌상에서 가장 집중적으로 研究되고 있다. 그러나 필터를 再生하는데 해결되어야 할 많은 중요한 문제점들이 있다. 만일 필터가 주기적으로 청소되지 않는다면 필터를 통한 점차적인 壓力降下가 發生되어 결과적으로 배기계통의 Back-Pressure가 발생되어 燃料경제(Fuel Economy)를 떨어뜨리게 된다.

觸媒劑를 코팅하지 않은 필터장치(TRAP)의 경우는 연소에 의한 再生을 위하여 충분한온도로 排氣가스의 온도를 높이기 위한 두가지방법으로서 (a) 엔진으로 들어가는 空氣의 量을 조정(Throttle)한다. (b) 디젤엔진을 일정기간 동안 최고출력이나 최고출력근처에서 作動시킨다.

그러나 위의 두가지 방법은 車輛에서는 사용

할수가 없다. 다른방법으로서는 촉매가 코팅되어 있는 매개물을 사용하는 것이나 이방법에서도 촉매 酸化에서는 SO<sub>2</sub>가 SO<sub>4</sub>로 변함으로서 黃化合物이 增加한다는 어려움이 있다. 또한 디젤粒子的 촉매산화는 이들 입자가 돌연변이(Mutagenic)를 일으키는 性質을 증가시키는 능력이 있으며 결국 大氣中에 이룬다는 것을 나타내는 증거가 있다. 최근에 Ford Motor Company에서 行한 실험의 경우에는 이러한 것이 발견되지 않았다. 明白한 理由로는 黃化合物의 增加나 입자의 돌연변이를 일으키는 성질을 높이는 것이나 環境的인 測面에서는 바람직하지 않다. 要略을 하면 現在 利用可能한 필터 장치에는 다음과 같은 문제점들이 있다.

- 排氣가스의 Back-Pressure 增加 문제.
- 觸媒를 코팅하지 않은 매개물에 있어서의 잦은 再生을 해야하는 문제.
- 觸媒코팅을 한 필터類에서의 높은 黃化合物형성 문제.
- 觸媒코팅을 한 필터 類에서의 排氣가스의

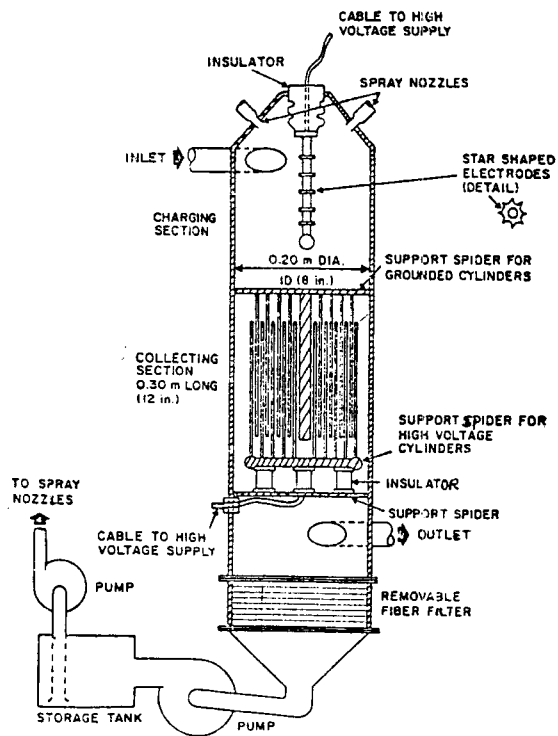


그림 1. EPA prototype electrostatic precipitator for collecting diesel particulate.

높은 遷元性質.

○ 觸媒를 사용하지 않는 필터類에서 再生을 위하여 吸入空氣量을 調節할때 (부하가 변함에 따라)의 심한 煤煙.

○ 내구성의 문제.

現在의 技術에서 위의 問題를 제거하기 위하여 저자는 輕디젤 車輛에서의 디젤 粒子의 控制을 위하여 전혀 새로운 개념을 확립했다. 이 개념은 현재의 장치에서 전부는 아니더라도 거의 대부분의 문제점을 해결하는 것으로서 특창적인 靜電氣的 沈澱器와 粒子物質을 수집하여 再燃燒를 위하여 엔진으로 보내는 再生 Cycle 기술을 포함하고 있다. 이것은 높은 정도의 控制과 엔진에서 粒子를 再燃燒시킴으로서 有效한 에너지를 사용하게 되는 追加의 利點이 있다. 捕集된 粒子物質을 再燃燒시킴으로서 얻어지는 車輛의 전체 燃料 경제에서의 약간에 증가를 보게 된다.

## 6. 結 論

現在까지의 정보를 검토함으로써 輕디젤 車輛의 排氣가스 粒子控制에 의한 排氣가스 淨化 技術에 관하여 다음의 結論에 도달하였다.

가. 현재의 排氣가스 規制基準에 適合하기 위하여는 어떤 형태이던 排氣가스 處理技術이 必要할 것이다.

나. 아직 大部分의 디젤 粒子 處理技術은 각각 고유한 문제점을 가진채 개발단계에 있다.

다. 酸化觸媒가 코팅 되어 있는 필터장치는 가장 중점적으로 연구되고 있는 장치이며 현재 대부분의 自動車 製作會社에서 채택하고 있는

장치이다.

라. 필터장치 (TRAP)에는 아직 제작차량에 적용하기 전에 해결하여야 할 많은 문제점이 있다.

마. 디젤 粒子物質 控制 방법에 대하여는 효과적이고 신뢰성 있는 방법을 개발하기 위하여 참신한 시도가 필요할 것이다.

표 1. Physical and chemical characteristics of diesel particulate matter.

Parameter	Magnitude
Individual particle size	50—700Å
Agglomerated particle size:	
mass mean diameter	0.1—0.3um
% smaller than 1 um	90%
Exhaust temperature at manifold	100—475°C
Surface area	80—100m <sup>2</sup> /g
Resistivity	—10 <sup>7</sup> ohm-cm
Bulk density	0.02—0.075g/cm <sup>3</sup>
Heating value	8160.1kcal/kg
Mass loading	20—130mg/m <sup>3</sup>
Chemical composition:	
Carbon	80—90%
Hydrogen	2—5%
Nitrogen	0.3—1.0%
Sulfur	2.2—5.1%
Iron	0.08—0.7%
Calcium	0.08—0.13%
Zinc	0.08—0.12%

표 2. Carcinogenic compounds found in diesel exhaust particulate emission.

Formula	Carcinogenic compound with corresponding formula	Carcinogenicity <sup>a</sup>	Molecular weight
C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	Chrysene	±	228.0936
	Benzo (c) phenanthrene	+++	
	Benz (a) anthracene	+	
C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	Benzo (a) pyrene	+++	252.0936
	Benzo (b) fluoranthene	++	
	Benzo (j) fluoranthene	++	
C <sub>20</sub> H <sub>14</sub>	Benz (j) acanthrylene	++	254.1092

C <sub>20</sub> H <sub>16</sub>	7, 12-Dimethylbenz (a) anthracene	++++	256. 1248
C <sub>21</sub> H <sub>14</sub>	Dibenzo (a,g) fluorene	+	266. 1092
C <sub>20</sub> H <sub>13</sub> N	Dibenzo (c,g) carbazole	+++	267. 1045
C <sub>21</sub> H <sub>16</sub>	3-Methylcholanthrene	++++	268. 1248
C <sub>22</sub> H <sub>16</sub>	Indeno (1,2,3-ed) pyrene	+	276. 0936
C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	Dibenz (a,h) anthracene	+++	278. 1092
	Dibenz (a,j) anthracene	+	
	Dibenz (a,c) anthracene	+	
C <sub>21</sub> H <sub>13</sub> N	Dibenz (a,h) acridine	++	279. 1045
	Dibenz (a,j)	++	
C <sub>24</sub> H <sub>14</sub>	Dibenzo (a,h) pyrene	+++	302. 1092
	Dibenzo (a,i) purene	+++	
	Dibenzo (a,l) pyrene	+	

a. From "Particulate Polycyclic Organic Matter," National Academy of Science, Washington, D.C. (1972), according to the following code:

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

### II 3. Emission Data From light-duty diesels tested using EPA Recommended Test Procedures.

Manufacturer and model	Vehicle weight (lb)	Particulate (g/mile)	NOx (g/mile)
Daimler-Benz:			
240D	3,500	0.40	1.47
300D	3,875	0.30	1.31
3005D	4,000	0.47	1.21
Peugeot: 504D	3,500	0.29	1.16
Volkswagen:			
Rabbit	2,250	0.23	0.87
Dasher	2,500	0.32	0.98
Dasher Wagon	3,125	0.32	1.03
Audi 5000D	3,000	0.46	1.68
Fiat	3,000	0.53	1.19
General Motors:			
4.3 litre	4,000	0.41	1.06
5.7 litre	4,500	0.36	1.15

Source: *Federal Register*, Vol. 45, No. 45, March 5, 1980.

### II 4. Summary of Control Efficiency Data for Diesel Particulate Traps.

Manufacturer	Type of trap	Control efficiency	Source of data
Texaco A-IR trap	Fibrous bed	40~60%	EPA-MVEL
Texaco A-IR w/Engelhard CST-1 coating	Fibrous bed (catalyst coated)	~49%	EPA-MVEL
ICI-Saffil w/AgNo4 coating	Fibrous bed (catalyst coated)	32-42%	EPA-MVEL

Corning EX-40 trap	Barrier filter (ceramic honeycomb)	79-92%	EPA-MVEL
Balston disposable filter trap	Fibrous bed	4-90%	EPA-MVEL
Johnson-Matthey JM-4	Fibrous bed (catalyst coated)	6-61%	EPA-MVEL
Corning EX-47 (6 in.)	Barrier filter	64-73%	EPA-MVEL
Corning EX-47 (6 in.) w/Englehard CST-1 coating	Barrier filter (catalyst coated)	73-74%	EPA-MVEL
Corning EX-47 (12 in.)	Barrier filter	65%	EPA-MVEL
Fiberglass deep bed filter (prototype)	Fibrous filter	6-89%	SoRI
Gravel bed filter (prototype)	Granular bed	5-22% <sup>b</sup> 72% <sup>c</sup> 46% <sup>d</sup>	SORI
Corning ceramic honeycomb	Barrier filter	92-97%	SoRI
Tube-type trap coated w/ceramic fiberse	Fibrous bed	81-94%	GM
Texaco D.E.F. trap (alumina-coated metal wool)	Fibrous bed	58-76%	Tex
Texaco D.E.F. trap (w/catalyst)	Fibrous bed	60-82%	Tex
Johnson Matthey: JM-4	Fibrousbed (catalyst coated)	51% <sup>f</sup>	JM
JM-13 (manifold mounted)	Fibrous bed (catalyst coated)	55% <sup>g</sup>	JM
JM-13 (underfloor)	Fibrous bed (catalyst coated)	61% <sup>h</sup>	JM
JM-13/I	Fibrous bed (catalyst coated)	44-75%	SoWRI
JM-13/II	Fibrous bed (catalyst coated)	45-63% <sup>i</sup>	SoWRI
JM-13/II (under-floor)	Fibrous bed (catalyst coated)	39-90% <sup>k</sup>	SoWRI

a. EPA-MVEL=U.S. Environmental Protection Agency, Motor Vehicle Emission Laboratory, per Reference 27.

SORI=Southern Research Institute per Reference 19.

GM=General Motors Research Laboratory per Reference 28.

Tex=Texaco Beacon Research Laboratories per Reference 29.

JM=Johnson Matthey, Inc., per Reference 30.

SoWRI=Southwest Research Institute, per Reference 30.

b. Updraft-no stir.

c. Downdraft-no stir.

d. Downdraft-wih stir.

e. Copper added to fuel dring testig.

f. Average removal efficiency as measured using Federal Test Procedure.

g. Average reduction afiter 100 miles.

h. Average reduction after 3,000 miles.

i. Results from naturally-aspirated 2.4l engine using currently available fuel.

j. Results from a turbocharged 2.4l engine using currently available fuel.

k. Results from a 50,000 mile durability test on a vw Rabbit.