



# 디젤자동차 매연방지 기술개발 현황

## 1. 서 론

최근 자동차의 급격한 증가는 대도시에서의 교통정체와 주차난을 야기시킬 뿐만 아니라 자동차 배출가스에 의한 대기오염도 더욱 가중시켜 엄격한 대기오염 방지대책을 강구하고 있음에도 불구하고 대기의 질은 개선되고 있지 않은 실정이다. 우리나라는 디젤자동차의 보유비율이 45%로서 세계 어느 나라 보다 높을 뿐만 아니라 일일 주행거리가 길고 과속, 과적등 무리한 운전조건 등으로 디젤자동차에서 많은 오염물질이 배출되고 있다. 특히 디젤자동차에서 많이 배출되고 있는 입자상물질(매연을 포함한 고비점 탄화수소등을 총칭함)은 과적, 과속 등 무리한 운전조건과 노후 차량에서 많이 배출되고 있으며 매연은 쉽게 보이기 때문에 시각적으로도 불쾌할뿐만 아니라 입자상물질에는 많은 종류의 독성 화학물질이 포함되어 있으며 입자가 작기 때문에 인간의 건강과 관련하여 많은 관심을 갖게 되었다.

건강관계 전문가들은 매연이 천식, 기관지염 및 폐기종과 같은 만성적인 폐질병에 영향을 미치며 발암을 일으킬 수 있는 가능성이 있다는 점에 많은 관심을 표명하고 있다. 또한 매연은 도시 대기의 시정을 악화시키며 건물이나 재산을 더럽히고 나쁜 냄새를 배출할 뿐만 아니라 버스나 소형트럭은 사람이 모여사는 도심 한 복판을 운행하며 매연을 포



조강래 / 국립환경연구원  
자동차공해  
연구소장

함한 많은 종류의 오염물질을 우리가 숨쉬고 살아가는 코 높이에 직접 배출하기 때문에 더욱 관심의 대상이 되고 있는 것이다. 여기서는 이러한 입자상물질을 방지하기 위한 국내의 기술개발 현황을 살펴보고 앞으로의 대책을 제시해 보고자 한다.

## 2. 디젤 매연방지를 위한 대책

휘발유자동차 배출가스 방지기술 뿐만 아니라 디젤자동차 배출가스 방지기술의 개발은 자동차의 최대 보유국인 미국이 선도적인 역할을 해왔다. 디젤자동차의 계속적인 증가와 디젤 입자상물질의 유해성이 많은 연구결과가 밝혀짐에 따라 디젤자동차의 입자상물질에 대한 국민의 관심이 높아져 미국은 1985년도에 대형 디젤트럭 및 버스에 입자상물질 허용기준을 <표1>과 같이 설정하고 있으며,

이와 같은 입자상물질 허용기준을 만족시키기

〈표 1〉 대형 디젤자동차 입자상물질 허용기준

적 용 년 도	대 형 트럭*	시 내 버 스
1988~1990	0.6 g/BHP-hr	0.6g/BHP-hr
1991~1993	0.25 "	0.1 "
1994년 이후	0.1 "	0.1 "

\* 대형트럭 : 8500lbs GVWR 이상

\*\*1994년 이후부터 적용기로 유예조치

위하여 미국을 비롯한 전세계의 자동차 및 엔진 제조업체, 방지장치 제조업체, 대학 및 연구기관의 많은 연구자들이 디젤 입자상물질의 배출을 저감시키기 위한 많은 노력을 해온 결과 큰 진전을 가져왔다. 엔진제조업체는 디젤 입자상물질을 저감시키기 위하여 일련의 엔진개조 즉, 연료분사, 전자적인 엔진조절, 연소실개조, 흡기공기개선, 오일소비용 감소등에 관한 연구를 해 왔으며 아주 엄격한 입자상물질 허용기준 (0.1g/BHP-hr)을 만족시키기 위하여 배출가스 후처리장치 즉, 입자상물질이 엔진에서 나와 대기중으로 배출되기전에 제거시키는 장치를 개발하게 되었고 오늘날 실용화에 이르게 되었다.

이러한 후처리 장치로는 자동차 배기관에 휘발유자동차에 사용하는 촉매장치와 같은 모양의 촉매장치를 부착하여 황 함유량이 아주 낮은 경유를 사용하면 입자상물질중의 용해성유기물질(SOF : Soluble Organic Fraction)을 90%이상 저감시킬 수 있다. (디젤 입자상물질중에는 SOF가 25%정도 임)

또다른 방법으로는 여과장치를 사용하여 입자상물질을 90%까지 여과 제거시킬수 있게 되었다. 여기서는 입자상물질 여과장치(Particulate Trap Oxidizer)에 대하여 자세히 살펴 보고자 한다.

### 3. 입자상물질 여과장치의 개요

입자상물질 여과장치는 엔진으로부터 나오는 입자상물질을 여과하는 필터와 여과된 입자상물질을 연소제거하는 재생장치 및 이들 장치를 조절하는 콘트롤장치로 구성되어 있다.

#### 여과재료

지금까지 많은 종류의 재료가 입자상물질 여과재료로 사용되어 실험되었다. 즉, 법집형 세라믹(Ceramic monolithic), 와이어메쉬(wire mesh), 세라

믹 폼(Ceramic foam), 세라믹 섬유매트(mat-like ceramic fiber) 및 시리카 섬유코일직조(woven silica fiber coil) 등이다. 이들 여과 재료를 사용하여 입자상물질을 50%~90%까지 여과시킬 수 있었다. 아무리 좋은 여과효율을 갖는다 하더라도 여과하는 동안 엔진의 배압이 높거나 재생기간중에 균일한 산화(연소)가 일어나지 않고 또한 기계적인 강도가 약하며 실용성이 못되기 때문에 아직도 이러한 분야에 많은 연구가 되고 있다. 휘발유자동차의 촉매장치에 많이 사용하고 있는 법집형 세라믹 소재(monolithic catalyst Substrate)와 유사한 법집형 세라믹 필터가 많이 사용되고 있다.

#### 재 생

디젤자동차의 배출가스 온도는 항상 여과재의 입자상물질을 연소시킬 수 있는 충분한 온도에 도달하지 못한다. 그러므로 여과된 입자상물질을 재생시키기 위한 여러종류의 장치들이 개발되어 실험중에 있다.

○ 실린더의 하나나 그 이상의 흡입공기를 쓰로 트링하여 배기가스중의 온도 뿐만 아니라 CO와 HC 농도를 증가시킨다.

○ 여과재의 표면에 촉매를 처리하여 입자상물질의 열산화에 필요한 점화온도를 감소시킨다.

○ 여과된 입자상물질을 연소시킬 수 있는 충분한 온도로 배기가스 온도를 높이기 위하여 버너나 전기히터를 사용하여 재생시킨다.

### 4. 여과장치의 사용에 따른 엔진 및 자동차 성능에 대한 영향

여과장치를 사용함에 따른 엔진이나 자동차 성능에 미치는 악영향을 제거하거나 최소화하기 위하여 노력하고 있는 사항은 다음과 같다.

#### 규제물질(NOx, HC, CO)의 영향

촉매처리를 하지 않은 세라믹 여과장치는 CO나 NOx에는 영향이 없으나 HC는 30%정도 저감시킬 수 있으며 촉매 처리한 와이어메쉬 여과장치는 NOx에는 영향없이 HC와 CO를 60~90%정도 저감시킬 수 있다.

#### 미규제물질

일반적으로 세라믹 여과장치를 사용하면 방향족 탄화수소를 감소시킬 수 있으며 SO<sub>2</sub>와 소음이 감

소된다. 촉매처리된 와이어메쉬 여과재를 이용하면 악취와 SOF를 거의 완전히 제거할 수 있으나 SO<sub>2</sub>가 증가한다. 미국 환경처에서 1993.10부터 시행하고자 요구하고있는 초저유황경유(S, 0.05%)를 사용하면 SO<sub>2</sub>문제뿐만아니라 엔진의 노화를 줄이는데 큰 도움이 될 것으로 보고 있다.

#### 연 비

여과장치의 배압중에 따른 다소의 연비악화가 예상되며 경유버너를 사용하여 재생시킬 경우 연료의 소비가 추가된다.

### 5. 매연여과장치 개발 현황

엔진제조 회사들은 미국의 1991년 트럭의 입자상물질 허용기준인 0.25g/BHP-hr는 후처리장치 없이도 규제를 만족시킬 수 있지만 1994년도 0.1g/BHP-hr규제치는 후처리 장치를 써야만 한다고 믿고 있어 후처리장치개발에 많은 발전을 가져왔다. 후처리장치는 제작자 뿐만 아니라 운행중인 자동차에도 실험을 해오고 있다. 후처리장치 개발에 참여하고있는 연구소들은 ORTECH Inc, SWRI, Michigan Technological Uni, Ricardo consulting, National Coal Board (England) 및 FEV (Aachen, West Germany) 등이다.

또한 매연여과장치 및 관련부품을 개발하기 위하여 많은 회사들이 관여하고 있다. 즉, Donaldson, 3M, Corning Inc, Engelhard, Johnson Matthey, Carborundum, Metex Co., Degussa Co., Panasonic, Garrette Automotive, Arvin, Nelson, Mirus Technologies 등이다. 미국 Donaldson와 Cummins사는 1991년부터 버스에 사용할 수 있는 여과장치를 공급할 수 있다고 발표하고 있으며 유럽에서는 많은 자동차에 여과장치를 부착하여 도로에서 실용화 시험을 하고 있으며 일부 상용화 할 수 있다고 제안하고 있는 실정이다. 각국에서 여과장치의 개발현황을 간단히 기술하고자 한다.

#### 독 일

○ 1989. 9월 프랑크푸르트 자동차 전시회에서 서독의 5개자동차 회사(Mercedes Benz, Volvo, Neoplan M. A. N 및 IVECO)와 6개 여과장치 메이카(Webasto, Eberspacher, KHD

Deutz, Emissionsteknik AB, Voest-Alpine)에서는 현재 유럽에서 사용하고 있거나 시험중인 여과장치를 전시하였다. 현재 유럽에서는 대형자동차에 대한 입자상물질 규제기준은 없지만 일반 대중의 깨끗한 디젤트럭과 버스에 대한 강한 욕구의 결과로 입자상물질 여과장치의 개발에 관심을 갖고 있다.

○ 서독정부는 산업체와 공동으로 1500대의 트럭 및 버스에 여과장치를 장착하여 성능을 평가하기 위한 연구사업으로 2천5백만 독일 마르크의 자금을 확보하고 있다.

○ 독일 엔진 제조회사인 KHD는 KHD Deutz F L8엔진을 장착한 10대의 Neoplan Auwarter 버스에 사용할 수 있는 여과장치를 설계하여 Cologne, Munich, Gutersloh, Ulm 및 Ingolstadt 에서 사용하고 있으며 일부 버스는 260,000km 이상을 주행하고 있다. 이 여과장치는 촉매처리가 되지않은 세라믹 필터로 입자상물질을 여과하고 전자적으로 조절하는 경유 버너를 사용하여 재생시키고 있다.

○ 독일의 버스회사인 M. A. N은 1989년말까지 50대의 버스에 여과장치를 장착하여 전 서독에서 시험하고 있으며 1대에 대해서는 150,000km를 주행하였다. 이 시스템은 세라믹필터와 경유버너를 사용하는 장치이다.

○ Mercedes-Benz는 유럽에서 가장 많이 그리고 가장 오랫동안 여과장치를 개발하였다. 이회사는 여과장치가 장착된 버스와 트럭을 9백만km 이상 주행한 경험을 갖고 있으며 1989년에는 410대의 버스와 60-150대의 트럭(신규제작차 및 운행중인차)에 여과장치를 장착하고 1990년까지는 1800대의 자동차에 장착시험할 계획이다. 1989년 봄까지 이회사는 70대의 버스를 시험하고 있으며 2대의 버스는 아무 문제점 없이 200,000마일을 주행하였다. Mercedes시스템은 구멍뚫린 스텐레스 강관위에 산화구리의 박층을 입히고 그 위에 세라믹 섬유로 짠 메트를 피복한 구조이다. 재생이 필요할때는 자동차를 정지시키고 소량의 아세틸아세톤을 자동적으로 분사한 후 자동차의 시동을 걸면 배기가스에 의하여 필터가 더워지고 재생이 일어난다.

#### 이태리

○ 1988 봄에 10대의 IVECO 버스에 경유버너로

재생시키는 세라믹 필터를 장착하여 이태리의 여러 도시에서 운행하였다. 최근 40대의 버스에 대하여 장착하고 있으며 1989년말까지는 100대의 버스에 적용하고 1990년에서 더 많은 자동차에 적용할 계획을 세우고 있다.

#### 스웨덴

○ Volvo는 1989년말까지 200대의 트럭에 여과장치를 장착하여 운행하고, 2000년까지는 더욱 많은 자동차에 적용할 계획이다. 필터는 촉매처리하고 재생시킬 때는 외부의 전원에 의해 열원을 가열하여 재생시킨다. 이 장치는 입자상물질을 80%저감시키고 HC60%, CO50%를 저감시키도록 설계하였다. 이 장치의 수명은 300,000km이다. 또다른 스위스 버스제조회사인 SAAB/Scania는 1989년말 전에 시작할 시내버스 시험을 계획하고 있다.

#### 폴란드

독일 벤츠자동차 회사에서 개발한 시스템을 20대의 새차와 운행중인 시내버스에 장착하여 운행하고 있다.

#### 그리스

아테네의 두개의 시내버스회사는 운행중인 시내버스에 여과장치를 장착하여 4년동안 운행하고 있다. 처음 장착한 시스템은 세라믹 필터로 입자상물질을 여과하고 배기쓰로트링에 의하여 재생시키는 방법이다. 지금은 10대의 시내버스에 시험하고 있으며 1989-1990년에는 250대의 시내버스에 여과장치를 장착하기 위한 지원을 준비하고 있으며 이 실용화 시험이 성공할 경우 1850대의 시내버스에 적용할 계획을 갖고 있다.

#### 미국

○ Mack Truck Inc. 는 300마력의 터보차지와 After-Cooled엔진을 장착한 트럭에 세라믹 여과장치를 실험하였다. 한대의 여과장치를 장착한 트럭은 여과장치를 평가하기 전 150,000마일을 주행하였다.

○ GM은 세라믹 필터와 경유버너를 사용한 시스템을 350마력 DDA 60엔진을 장착하여 엔진동력 계상에서 100,000마일 주행에 해당하는 300번의 매연누적, 재생시험을 하였으나 여과장치의 결함은 없었다. 이 엔진을 자동차에 장착하여 6650마일을 주행하였으나 성능에 이상이 없었으며 표준소음이

보다 소음이 적고 1%이하의 연비 약화가 있었다.

○ 엔진제작자협회(EMA)는 ORTECH 연구소에 용역을 주어 대형트럭에 대한 여과장치를 개발하고 자동차에 부착하여 평가시험을 하고 있다.

○ CARB는 ORTECH 연구소와 계약을 체결하고 Cummins 141엔진을 장착한 트럭에 여과장치를 시험하고 있다. 이여과장치는 Donaldson에 의해서 개발한 장치로서 ORTECH연구소에서 벤치테스트하고 있다.

○ Cummins사와 DDC는 버스의 여과장치를 개발하고 있다. 이들 엔진제작사는 트랩시스템 개발 회사와 공동으로 시내버스에 사용할 시스템을 시험하고 있으며 몇대의 운행중인 자동차에도 시험하고 있다. 최근 Cummins사는 1991년은 시내버스에 여과장치를 사용할 계획이라고 하고 있다.

○ 필라델피아에서는 몇년전

SEPTA(Southeastern Pennsylvania

Transportation Authority)는 DDA6V-71엔진을 장착한 운행중인 GM RTS 1140ft버스에 여과장치를 설치하여 약 42,000마일을 주행하였으나 유지보수와 신뢰성 및 연비에 나쁜 영향이 없었으며, 입자상물질 제거효율은 65%였다고 보고하고 있다. SEPTA사는 UMTA의 정부자금 지원에 의하여 20대의 버스에 1989년 가을부터 실용화시험을 하고 있다. 여과장치는 Engine Control System Ltd. 에서 개발한 것이며 세라믹필터에 재생을 돕기 위한 촉매를 처리하고 재생을 돕기위한 배출가스 온도 증가를 위해 엔진을 조정하였다. SEPTA는 또한 3M사에 의해 개발한 여과장치에 대해서도 시험할 계획을 가지고 있다.

3M장치는 구멍뚫린 금속튜브에 세라믹 파이버로 감고 파이버 내부에 장착한 전기가 열선에 자동적으로 재생이 이루어지게 한 것이다.

○ New York City Transit Authority는 New York City Transit Authority, New York City Controllers Office, New York State Energy Research and Development Authority, Corning Incorporated, Engelhard Corporation Donaldson Company의 자금지원에 의하여 운행중인 자동차실용화 시험계획을 하고 있다. ORTECH에 의하여 설계한 이 시스템은 두개의 세라믹필터와 자동적으

로 조절되는 경유버너에 의해서 교대로 매연여과 및 재생이 이루어지는 장치이다. 이 시스템은 1989. 4. 19에 실제 버스에 장착하여 1989. 10. 1까지 약 65 00마일 주행시험을 하였으며 사시동력계상에서 배출가스 시험결과 86%의 입자상물질 저감효과가 있었다. 뉴욕은 1989년에 4대 이상의 시내버스에 이 장치를 설치할 계획이며 2대는 ORTECH에서 설계한 장치를 부착하고, 2대는 Donaldson에서 설계한 여과장치를 설계할 것이다.

○ Boston에서는 Massachusetts Bay Transit Authority, DDC 및 3M 사가 4대의 운행중인 버스에 여과장치를 장착하여 1990년 초부터 시험하기로 계획하고 있다. 이 시험에서 배출가스 측정은 뉴욕시 환경국에서 수행하게 될 것이다.

○ Minneapolis에서는 Metropolitan Transit Commission이 자금을 지원하여 M. A. N 버스에 Donaldson 여과장치를 장착하여 1989. 10월부터 시험하기로 하였다.

○ Toronto에서는 Ontario 운수통신부가 자금을 지원하여 DDA 6V-71엔진을 장착한 GM 5307 버스에 Engine Control System사에서 개발한 여과장치를 부착하여 엔진동력계시험을 완료하고 버스에 장착하였다. 이 장치는 세라믹 필터와 정지가동시에 작동하는 경유버너로 구성되어 있으며 배기압이 일정수준 이상이 되면 자동적으로 경유버너가 작동되도록 되어 있다.

Toronto Transit Company는 ECS컴퓨터 조절 여과장치를 장착한 10대의 버스에 대하여 실용화 시험 계획을 하고있으며 이 장치는 촉매처리된 세라믹 필터와 재생용 경유버너로 되어 있다.

○ Denver에서는 RTD가 UMTA자금지원에 의하여 5대의 운행중인 버스에 Donaldson 여과장치를 장착하여 1989년 말까지 노선시험을 계획하고 있다. 이장치는 세라믹필터에 전기적으로 재생시키는 방법이다.

## 한 국

우리나라는 시내버스 및 트럭에서 배출되는 매연에 의한 공해가 세계 어느 도시보다 심한 실정임에도 매연방지기술의 개발은 거의 이루어지고 있지 않다. 다만 국립환경연구원에서 1895. 6~1988. 6월사이에 디젤입자상물질 저감기술에 대한 실용가

능성을 평가한 바 있다. 본 연구에서는 미국 Johnson Matthey사에서 개발한 CTD (Catalytic Trap Oxidizer)를 우리나라 시내버스 엔진 (DO846 엔진)에 장착하여 실험실적 시험과 시내버스 노선에서의 실험을 실시하여 매연 54%, CO90% 및 HC60%를 저감시킬 수 있었다. 이 장치는 스테인레스 와이어메쉬에 귀금속 촉매를 처리한여과재로 매연을 여과하고 고부하 운전시 배기가스의 온도에의하여 자체 산화 재생되는 구조로서 매연 제거율은 낮으나 CO, HC 및 악취 물질의 제거효율이 크다. 문제점은 경유중 황이 SO<sub>2</sub>로 배출되며 장치가 고가이고 부피가 커서 운행중인 시내버스에 장착하는데 어려움이 있어 실용화가 추진되지 못하였다.

1988년도에는 미국 Corning사와 캐나다 ORTECH 연구소에서 개발한 경유버너로 재생하는 세라믹 필터를 시내버스엔진 (D084 HM 엔진)에 장착하여 실험실적 및 노상시험을 하였으나 여과된 매연의 재생상의 문제점이 있어 보완적인 연구가 요구되어 연구비를 확보하기 위해 노력중이다. 앞에서 이미 살펴본 바와 같이 세계 각국에서 매연여과장치의 개발과 신차 및 운행중인 자동차에 실용화하기 위한 연구가 활발히 추진되고 있음을 알 수 있다. 우리나라에서도 연구소, 엔진메이커, 자동차 메이커 및 관련부품 메이커들이 공동으로 이 연구가 추진되어야 하며 정부의 예산지원이 있어야 할 것이다.

## 6. 결 론

트럭 및 버스에서 많이 배출되는 입자상물질은 건강상위해하고 대기의 질을 크게 악화시키고 있기 때문에 세계 각국에서 디젤 입자상물질 저감기술 개발에 박차를 가하여 좋은 성능을 가진 입자상물질 여과장치가 개발되어 실용화 단계에 있으며 많은 도시에서 운행중인 자동차에 장착하여 운행하고 있다. 우리나라는 세계 어느나라보다 디젤 입자상물질에의한 공해가 심한 실정임에도 이 분야의 연구는 극히 미진한 상태인 바, 정부의 적극적인 예산지원과 연구소, 엔진메이커, 자동차 메이커 및 관련부품 메이커가 공동으로 참여하여 매연 여과장치의 개발 및 실용화를 이룩하여야 할 것이다.\*