

자동차 배출가스 방지기술 개발 방향

A Prospect of Motor Vehicle Emission Control Technology

조강래

국립환경연구원 자동차공해연구소

1. 서론

그간 정부에서는 고체연료사용 규제, 저황유공급, 천연가스 보급확대, 고체연료사용 제한등 적극적인 아황산가스 저감대책과 여러가지 먼지 방지 대책 및 엄격한 자동차 배출가스 저감대책을 추진하여 왔음에도 불구하고 전체적인 도시 대기오염은 개선될 기미를 보이지 않고 있다.

이와 같은 이유를 정확히 설명하기는 어려우나 '80년대에 들어와 자동차의 급격한 증가와 도시재개발 및 산업활동의 증가로 볼수 있다.

특히 자동차의 증가는 1980년에 53만대가 등록되었으나 1990년에는 6배가 증가한 3백40만대가 등록되었으며 1991년에는 한해동안 약100만대의 자동차가 증가되었다. 이와 같은 추세는 계속될 전망이어서 2000년에는 전국적으로 13,000만대가 등록될 것으로 예측하고 있다.

또한 우리나라는 자동차의 일일 평균주행거리가 약100Km로서 선진국에 비하여 아주 높아 (일본 24Km, 미국45, 독일33) 전체의 교통량으로 볼때 등록대수에 비하여 2배-4배나 많은 효과를 가져오며 특히 경유가격이 휘발유 가격에 비하여 0.38배로서 아주 낮기 때문에 (일본 0.58, 미국 1.08, 독일 0.96) 디젤자동차의 보유비율이 40%나되어 (일본 15%, 미국 약3%, 독일 15%) 디젤자동차 배출가스에 의한 대기오염이 심각한 실정이다.¹⁾

이와 같은 현상은 앞으로 고정 배출원에 대한 아황산가스 대책 및 먼지 저감대책을 강력히 추진한다 하더라도 경유자동차 배출가스에 의한 질소산화물 및 매연의 배출량이 점차 증가하여 광화학스모그 발생등 도시 대기오염은 더욱 악화될 것이 예측되는바 자동차 배출가스 방지기술의 개발에 적극적으로 대처해 나가야 할 것이다.

2. 휘발유 자동차 배출가스 방지기술

현재 우리나라에서 적용되고 있는 휘발유 승용차의 배출가스 허용기준은 일산화탄소(CO) 2.11g/Km, 탄화수소(HC) 0.25g/Km, 질소산화물 0.62g/Km이다. 이는 미국에서 현재 적용하고 있는 규제 수준이며 배출가스 측정방법 및 제작차 배출가스 관리에 있어서도 미국에서 시행하고 있는 제도를 도입하여 실시하고 있다.

배출가스 측정방법은 자동차가 실제도로를 주행하면서 배출되는 오염물질을 평가하는 방법인 CVS-75 시험방법(미국 FTP-75 시험 방법과 동일함)을 채택하고 있으며 제작차 배출가스 관리를 위해서 인증제도, 제작차 배출허용기준검사, 결합시정제도등을 도입적용하고 있다.

인증제이란 자동차를 생산판매하기전 시작차(특별히 인증을 받기 위하여 시료로 만든차)에 대하여 배출가스 및 내구성을 평가하여 제작차 배출가스 허용기준에 적합하다고 판단될때 제조를 허가하는 제도이다.

제작차 배출허용기준 검사는 제작 판매하기전에 출고 직전의 자동차를 일정량 채취하여 제작차 배출허용기준 검사를 실시하는 정기검사와 환경처 공무원에 의해 수시로 시험자동차를 채취하여 배출가스를 검사하는 수시검사가 있다.

결합시정 제이란 제작판매되어 운행되고 있는 자동차가 법에서 정한 배출가스 보증기간내(휘발유승용차는 80,000Km 또는 5년)에 제작차 배출가스 허용기준을 만족시키면서 운행되고 있는가를 확인하기 위한 검사로서 운행중인 자동차중에서 자동차 엔진 모델별로 5대씩을 시료로 채취하여 제작차 배출가스 시험방법에 의해 시험하고 그 결과를 오염물질 항목별로 평균하여 평균치가 허용기준치를 초과할시는 결합시정을 명할수 있는 제도이다.²⁾

운행중인 자동차에 대해서는 별도로 운행중인 자동차 배출가스 허용기준을 제정하고 교통부 산하 자동차검사소에서 실시하는 정기검사시 및 지방환경청과 시도에서 시행하는 노상단속시 검사를 실시하고 있다.

이와 같이 자동차 생산전에서 부터 폐차될때까지 배출가스를 관리한다 하더라도 모든 자동차가 제작차 배출가스 허용기준을 만족시키기는 아주 어렵다.

특히 삼원촉매장치가 부착된 자동차에 있어서는 삼원촉매장치를 비롯하여 산소검지기, 배출가스 재순환 장치(EGR), 전자조절장치(ECU)등 각종 배출가스 방지장치의 성능이 제대로 발휘할때 오염물질의 정화가 제대로 이루어진다.

이러한 배출가스 방지장치의 수명은 80,000Km로 정하고 있기 때문에 이 기간이 지나면 삼원촉매장치등 부품의 성능이 저하되므로 교환이 이루어져야 한다.

그러나 이러한 작업은 실제 많은 어려움이 뒤따른다.

그러므로 미국에서는 90년에 개정된 대기정화법 (Clean Air Act)에 승용차 배출가스 성능 보증기간 (Useful life)을 80,000Km에서 160,000Km로 늘리므로써 운행중인 자동차의 배출가스 방지장치의 수명을 늘리고 있다.

우리나라에 있어서는 1987년 7월부터 삼원촉매장치를 부착한 휘발유 승용차를 생산판매하고 있으나 배출가스 관련 부품의 내구성을 제대로 파악한 바가 없을 뿐만아니라 배출가스 관련 부품의 교환체계도 아직 제대로 확립되어 있지 않다.

다만 금년부터 실시하는 결합확인검사와 작년부터 실시하고 있는 촉매 부착자동차 성능평가 연구는 우리나라 휘발유 자동차의 배출가스 정화효율과 내구도를 평가 하는데 좋은 자료가 될 것이다.³⁾

삼원촉매장치가 부착된 승용차의 배출가스 정화효율과 내구도는 사용기간 뿐만 아니라. 연료나 윤활유의 품질, 운전상태등에 따라 상이하므로 우리나라의 실정에 맞는 배출가스 방지장치의 개발과 평가가 이루어져야 할 것이다.

특히 자동차의 일일주행거리가 높은 우리나라에 있어서는 촉매의 장기사용에 따른 정화효율을 높이기 위한 기술개발이 이루어져야 할 것이다.

3. 대형 디젤자동차 배출가스 방지기술

3-1. 현황

우리나라에서 현재 적용되고 있는 대형 디젤자동차 배출가스 허용기준(표1)은 일본에서 1977-1979에 적용되었던 규제수준(NOx 850ppm, 매연 50%)이며 1993년부터 강화될 기준은 일본의 1979-1983에 적용되었던 규제치(NOx 700ppm, 매연 50%)와 비교해 볼때 NOx는 7%가 완화되었고 매연은 20%가 강화된 수준으로서 선진국에 비하여 많이 완화되고 있다.

표1. 한국의 대형 디젤자동차 배출가스 허용기준

적용년도	시험방법	CO	HC	NOx	매연	입자상물질	비 고
1984.7-1987	6모드	980ppm	670ppm	1000ppm	50%	-	
1988-1992	6모드	↑	↑	850ppm	↑	-	일본 77.8-79.3기준
1993-1995	6모드	↑	↑	750ppm	40%	-	일본 79.4-83.7, NOx 700ppm, 매연 50%
1996-1999	D-13모드	4.9g/KWH	1.2g/KWH	11.0g/KWH	↑	0.9g/KWH	미국 88-89 수준
2000 이후	D-13모드	↑	↑	6 g/KWH	25%	0.25g/KWH (0.10g/KWH)	미국 91-93수준 () 시내버스

* KWH : Kilowatt Hour

물론 표1에서 볼수 있는 바와 같이 1996년에는 농도규제에서 중량규제로 시험방법과 더불어 규제치가 강화되며 2000년에는 현재 미국의 수준으로 규제가 강화될 것이다. 디젤자동차의 보유비율이 세계어느나라보다 높고 일일 주행거리가 길며 과속, 과적 및 과승이 심한 우리나라에서는 디젤자동차의 매연이 특히 문제가 되고 있으므로 디젤매연 방지기술의 개발이 절실히 요망되고 있다.

디젤자동차 배출가스 허용기준이 가장 엄격한 미국에 있어서 배출가스 방지기술은 크게 발전하여 질소산화물은 물론 디젤입자상물질이 대폭저감된 자동차가 생산판매되고 있으며 표2에서 볼수 있는 바와 같이 1994년부터는 입자상물질 0.1g/BHP-hr로 강화되어 매연 없는 자동차가 보급될 것이며 이러한 자동차를 위하여 경유의 품질도 대폭개선되어 황함유량이 0.05wt%이하인 경유가 1993.10부터 미국 전역에 공급될 것이다.4)

표2. 미국의 대형 디젤자동차 배출가스 규제기준

적용년도	g/BHP-hr				경유중 황함유량
	CO	HC	NOx	입자상물질	
1988-1989	15.5	1.3	10.7	0.6	약 0.3wt%
1990	↑	↑	6	↑	↑
1991-1993	↑	↑	5	0.25 (0.1)	0.05wt% (1993. 10)
1994-1997	↑	↑	5	0.1 (0.05)	↑
1998이후	↑	↑	4	↑	↑

* BHP-hr : Brake Horsepower-hour
() : City Bus

3-2 대형 디젤자동차 배출가스 방지기술의 최근 동향

대형 디젤자동차 배출가스 방지기술 개발의 최종 목표는 미국의 1994년도 배출가스 허용기준을 만족시키기 위한 기술개발이다.

즉 NO_x 5g/BHP-hr 및 입자상물질 0.1g/BHP-hr(시내버스 0.05g/BHP-hr)을 만족시키기 위한 기술로는 엔진 개량, 저황경유(0.05wt% S)보급, 디젤산화촉매에 의한 후처리를 이용하여 트럭의 배출가스 허용기준을 만족시키고 시내버스의 입자상물질 0.05g/BHP-hr를 만족시키기 위해서는 디젤산화촉매대신 디젤 입자상물질 여과장치를 사용하여 입자상물질을 여과 재생시킴으로서 규제치를 만족시키기 위한 기술을 개발하고 있다.

한편으로는 이러한 기술을 이용하여 1994년도 시내버스 배출가스 허용기준을 만족시킬수 없을 때에는 디젤엔진을 천연가스나 메타놀 연료엔진으로 개조하기 위한 기술개발이 실용화되고 있으며 이미 메타놀 엔진은 미국 환경처의 인증을 얻어 놓고 있는 실정이다.⁵⁾

3-2-1 디젤 엔진 개량 기술

오늘날 디젤엔진의 개량기술은 현재 휘발유 엔진에 적용하고 있는 전자조절 기술이 많이 응용되고 있다. 즉 엔진의 연료분사, 분사시기조절, 밸브타이밍조절등을 컴퓨터(ECU)에 의하여 조절하므로써 연소조건을 최적화하고 연료의 분사에 있어서 초고압분사를 시키므로써 경유입자의 미세화 및 공기와의 혼합을 촉진시켜 매연의 발생을 억제하고 있다.

또한 연소실내에 공기량을 많이 충전시키기 위하여 과급기(Turbocharging)를 이용하고 과급된 공기의 온도를 냉각시키기 위하여 Intercooler를 사용하고 있다.

디젤 입자상물질의 배출량에 윤활유의 연소물질이 크게 영향을 미치므로 윤활유의 소비 감소대책과 윤활유품질 개선이 요구된다.

3-2-2 저황경유

경유중에 함유된 황은 연소시 아황산가스 (SO_2) 형태로 배출되며 일부는 더 산화되어 무수황산(SO_3)으로 배출된다. 무수황산은 수분 및 금속산화물과 결합하며 황산염의 입자로 배출되므로 입자상물질이 증가된다.

일반적으로 황이 0.3Wt% 함유된 경유에서는 0.05g/BHP-hr의 황산염(Sulfate)이 배출되며 0.05Wt% 황을 함유한 경유에서는 0.01g/BHP-hr의 황산염을 배출한다.

이와 같이 황이 많이 함유되어 있으면 입자상물질의 농도를 증가시킬 뿐만 아니라 황산의 부식성에 의하여 엔진이 쉽게 부식되어 엔진이 노화를 촉진시킨다.

3-2-3 디젤 산화 촉매

디젤산화 촉매기술은 오래전부터 포크리프트 트럭이나 광산용 기계에 오랫동안 사용해 오던 이미 그 기술이 입증된 기술이다.

산화촉매는 일반적으로 백금이나 팔라듐을 많이 사용하며 이러한 산화촉매는 HC, CO 및 악취물질을 대폭 저감시킬 뿐만 아니라 입자상물질중 액체탄화수소(SOF : Soluble Organic Fraction)를 50-80%저감시키고 전체 입자상물질 기준으로 계산하면 20-60%를 저감시킨다.

3-2-4 디젤 입자상물질 여과장치

디젤 산화 촉매장치에 의해서는 디젤입자상물질중 탄소성분(매연)은 연소시키지 못하므로 매연이 많이 나오는 디젤엔진이나 0.05g/BHP-hr의 입자상물질 규제치를 만족시키기 위해서는 입자상물질을 80-90%정도 걸러서 제거시키는 여과장치의 사용이 불가피하다.

현재 우리나라의 자동차와 같이 새까만 디젤매연이 많이 배출되는 디젤자동차에 대해서는 디젤산화촉매를 사용하여 액체 탄화수소를 산화제거 시킨다 하더라도 검은 매연의 배출은 불가피하므로 디젤입자상물질 여과장치의 사용하여 제거하여야 한다.

디젤 입자상물질의 여과재료로는 세라믹여과재(Ceramic Monolithic Filter), 세라믹 섬유제 캐트리지(Ceramic Fiber Filter Cartridge) 및 세라믹 폼 (Ceramic Form) 등이 있으나, 오늘날 실용화가 가장 유망한 여과제는 Ceramic Monolithic Filter 및 Ceramic Fiber Filter Cartridge 라고 본다.

이러한 여과재에 걸러진 입자상물질을 무해한 물질로 만들기 위해서는 태워서 없애야 한다. 이러한 과정을 재생(Regeneration)이라 하는데 재생 방법은 경유버너나 전기히터를 사용하여 강제적으로 연소시키는 방법과 촉매 처리된 여과재를 사용하거나 연료첨가제를 사용하여 입자상물질의 연소온도를 촉매에 의해 150 - 200°C 정도 저감시키고 배출가스 온도에 의하여 연소시키는 방법을 사용하고 있다.

촉매와 배기가스 온도에 의해서 재생시키는데는 배기가스 온도가 낮아 완전연소가 일어나지 않을 때가 있으므로 배기가스 쓰로트링에 의하여 엔진의 배기가스온도를 상승시키거나 보조 히터등의 방법에 의하여 재생시키는 방법도 있다.

현재 실용화가 되고 있는 기술로는 세라믹 필터와 전기히터에 의한 여과장치인 뉴욕시의 400대 시내버스에 장착하여 운행되고 있으며 세라믹필터 - 연료첨가제(세륨) - 쓰로트링에 의한 여과장치가 그리스 아테네에서 110대의 시내버스에 장착되어 운행되고 있고 기타 다양한 종류의 여과장치가 미국, 유럽, 일본등 여러나라의 많은 도시에서 수천대가 실용화 시험중에 있다.

3-2-5 대체 연료 전환

디젤자동차의 매연 및 질소산화물을 저감시키기 위한 기술로서 대체연료인 천연가스, 액화석유가스 및 메타놀을 경유 대신 사용하는 엔진으로 개조하는 기술이 있다.

미국에서 1994년에 적용될 엄격한 배출가스 규제기준을 만족시키기 위해서 메타놀 전환 시내버스가 미국 환경처의 인증을 받아 놓은 상태이며 천연가스나 액화석유가스를 전환하기 위한 기술개발이 실용화 상태에 와있다.

특히 천연가스나 액화석유가스를 사용하면 매연이 거의 배출되지 않으므로 매연이 많이 배출되는 기존 디젤 엔진을 천연가스나 액화석유가스 엔진으로 개조하는 기술의 개발은 우리나라와 같이 디젤엔진 개발기술이 뒤떨어진 나라에서는 유용한 기술로 생각된다.

4. 결론

자동차 배출가스는 도시 대기오염에 크게 기여하고 있다. 자동차 배출가스중 휘발유 자동차의 배출가스 방지기술은 1987.7부터 적용된 엄격한 배출가스 허용기준을 만족시키기 위하여 삼원촉매장치를 장착하고 컴퓨터에 의해 조절되는 엔진을 개발하여 오염물질을 대폭저감시키므로써 대기오염의 악화를 방지할수 있었다. 그러나 급격히 증가하는 자동차와 디젤자동차 보유비율의 과다 및 디젤자동차에서 많이 배출되는 입자상물질과 질소산화물은 전체 자동차 배출가스중 많은 비중을 차지하여 도시 대기오염 저감에 큰 방해요인으로 대두되고 있다.

그러므로 디젤자동차의 배출가스 방지기술의 개발을 적극적으로 추진하여 국내 디젤자동차 배출가스에 의한 대기오염을 해결하지 않으면 안될 것이며 나아가 디젤자동차의 선진국 수출을 유도해 나가야 할 것이다.

- 참고문헌 -

1. Sungwon Lee, Reducing Energy Consumption and Air Pollution in the Transportation Sector, Feb. 1992.
2. 환경처, 대기환경보전법
3. 조강래외, 촉매부착자동차의 배출가스 방지장치 성능평가 연구(I)
자동차공해연구소, 1991.
4. Michael P.Walsh, Diesel Particulate : International Development of standards, 1991.
5. Bruce I.Bertelsen, Emission Control of Diesel Fueled Trucks and Buses, 1990.