

경유자동차 후처리기술



정 용 일
(KIMM 열유체환경연구부)

- '70 - '77 서울공대 공교과 자동차전공(학사)
- '82 - '85 한국과학기술원 기계과(석사)
- '88 - '93 미국 럿거스 뉴저지 주립대 기계과(박사)
- '79 - '81 기아자동차 배출가스 실험실
- '81 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



신 동 길
(KIMM 열유체환경연구부)

- '89 - '93 한국항공대학교 항공기계공학(학사)
- '93 - '96 서울대학교 항공우주공학(석사)
- '96 - 현재 한국기계연구원 연구원

1. 규제동향

EU에서는 2008년부터 자동차의 CO₂ 배출량을 140g/km으로 낮추고 2012년까지 120g/km으로 강화하는 새로운 자동차 이산화탄소 배출기준을 설정하였으며 우리나라도 2009년부터 이 협약 준수에 서명하였다.

현재까지 알려져 있는 CO₂ 대책으로는 연료 사용을 대폭 절감할 수 있는 저연비자동차를 개발하는 것이 가장 현실적인 대안으로 제시되어 있어, 계속 강화되고 있는 배출가스기준을 만족 하면서 동시에 저연비기술을 개발하여야 하는 저공해저연비기술이 향후 자동차 개발의 핵심방향 이 되고 있다.

현재 자동차용 엔진의 주종인 가솔린엔진과 디젤엔진에서 연소효율이 높은 디젤엔진이 가솔린엔진에 비해 연비가 20-30% 유리하며 따라서 CO₂ 배출량도 20%이상 적게 배출된다.

미국과 유럽 등 자동차 선진국에서는 CO₂ 저감을 위한 저연비기술이 자동차 기술경쟁에서 가장 중요한 것으로 분석하고, 현재 연비의 1/3 수준인 3리터당 100km를 주행(3L Car)할 수 있는 초저연비자동차를 2005년 이전에 개발을 목표로 정부 차원의 초저연비자동차기술개발 사업을 진행하고 있다.

미국의 PNGV에서는 4밸브직접분사식 소형고속디젤엔진과 축전지를 사용하는 하이브리드자동차가 가장 유망한 것으로 분석하여 개발하고 있으며, 2000년 초반에 proto 차량의 발표를 계획하고 있다.

유럽에서는 중량 800kg 이하의 소형차량을 대

상으로 차량 경량화, CVT 사용과 함께 직접분사식 고속디젤엔진을 사용하여 초저연비자동차 실현을 계획하고 있으며, VW에서는 이미 3L Car를 개발하여 판매하고 있다.

이와 같이 디젤엔진이 초저연비자동차를 실현할 수 있는 유리한 위치에 있음에도 불구하고, 가솔린엔진에 비해 다량 배출되는 질소산화물(NOx)과 입자상물질(PM : particulate matters) 문제를 해결하지 못하면 이와 같은 유리한 여건을 제대로 살리기가 어렵다. 특히 PM이 기관지 등에 침투하여 장기간 잠재함으로써 폐암의 원인이 된다는 연구결과가 최근에 발표됨으로써 PM의 인체 위해성에 대한 논란이 가중되고 있어 PM의 획기적인 저감방법이 없으면 경유자동차의 사용 자체가 어려울 수도 있는 상황이 예상된다.

특히 최근 EU에서는 2005년의 EURO4 기준에서 대형경유차의 PM 규제를 0.1g/kwh에서 0.02g/kwh으로 대폭 강화하였으며, EURO5(2008년)에서는 NOx를 3.5g/kwh에서 2.0g/kwh로 강화하였다. 또한 미국도 2007년에 PM을 0.1g/bhph에서 0.01g/bhph으로 강화할 계획으로 있어, 매연여과장치나 NOx 촉매와 같은 후처리장치 사용이 불가피하게 되었다.

2. 매연여과장치

입자상물질을 저감하기 위한 방안들이 오랫동안 연구되어 왔으며, 현재 가장 효율적인 기술로는 대규모의 fleet test를 시행하고 있는 매연여과장치(DPF : diesel particulate filter trap)로서 실용화에 거의 도달된 것으로 분석하고 있다. 이 장치는 디젤엔진에서 배출되는 PM을 필터로 포집한 후 태우고(재생) 다시 PM을 포집하여 계속적으로 사용하는 기술이다.

DPF는 매연을 80% 이상 저감할 수 있어 성능 면에서는 아주 우수하나 내구성과 경제성이 실용화의 장애요인으로 남아 있다. 또한 필터에

PM이 포집됨에 따라 엔진에 배압이 걸리며 이것에 의하여 출력과 연료소비율이 다소 희생되며 이를 최소화하는 기술의 보완도 필요하다.

2.1 CRT 방식

유럽에서는 Johnson Matthey에서 개발한 CRT(continuous regeneration trap) 매연여과장치가 가장 유력한 기술로 평가되고 있으며, 현재 스웨덴에서 1800대가 시험 운행되는 등 유럽 전역에서 5000대 이상이 운행되고 있다. 최근에 독일도 1000대의 버스에 시험운행을 시작했으며, 미국에도 도입을 준비하고 있다.

CRT의 캐니스터 내부에는 필터가 2개 설치되어 있으며, 전단의 백금산화촉매(platinum-based oxidation catalyst)에서는 산화반응으로 NO를 NO₂로 변환시키며, CO와 HC도 저감시킨다. NO₂는 탄소입자가 250℃에서 산화할 수 있도록 작용하며 따라서 후단에 설치된 필터(cordierite wall flow particulate filter)에 포집된 PM은 배기가스 온도가 250℃ 이상이면 연속 재생된다.^[1]

성능은 PM과 CO, HC를 90%수준으로 저감시키며, NOx는 3-8%정도 감소한다. 특히 PM중 10nm-250nm 크기의 nanoparticle 수량도 현저하게 감소하는 것으로 발표되고 있다.^[2] 그러나 촉매의 성능유지를 위해서 경유의 황(sulphur)성분을 10ppm이하로 요구하기 때문에 상용화에 가장 큰 장애가 되며, 전세계적으로 보급되기에는 상

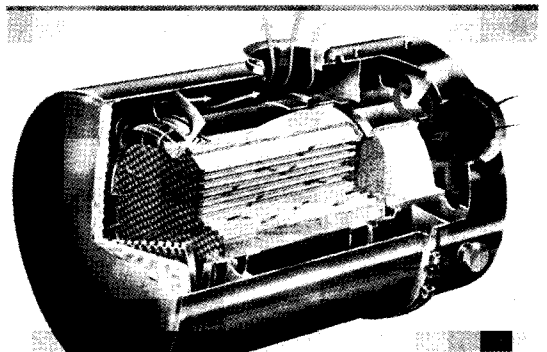


그림 1. Johnson Matthey의 CRT 장치

당한 시일이 소요될 것으로 예상된다. 참고로 현재 국내 경유의 유황 규제는 500ppm이며 2005년에 유럽에서 50ppm으로 강화할 계획으로 있다.

2.2 PSA 첨가제 방식

또한 프랑스의 Peugeot사에서는 2.2리터 고급 경유승용차인 Model 607에 2000년부터 첨가제방식 매연여과장치를 장착하여 판매할 계획으로 있다.

장치의 특징으로는 porous silicon carbide substrate 필터를 사용하여 가격을 저감시켰고, Rhodia에서 생산한 cerium-based Eolys 첨가제를 사용하며 450℃ 이하에서 재생이 가능하다.

또한 첨가제만으로는 다양한 운전여건에 만족하기가 곤란할 것으로 판단하여 보조 재생 방식을 추가적으로 사용하여 400-500km 주기마다 강제로 재생시킨다. 강제재생을 위해서는 산화촉매를 전방에 부착하여 미연탄화수소 연소로 100℃의 발열을 시키며, commonrail 연료장치에서 multiple post-injection으로 배출가스 온도를 200-250℃ 상승시킨다. 필터내에 쌓인 재(ash)는 80,000km마다 물로서 세척한다.

첨가제방식과 촉매방식은 필터 내에서 연속재생이 일어나므로, 필터에서 엔진의 배압을 낮은 수준으로 유지함으로써 타 장치에 비해 연비악화와 엔진성능의 저하 요인이 적은 장점이 있다.

2.3 플라즈마 방식

고전압의 전기적인 방전(discharge)으로 전자에 에너지를 가하여 활성화시킴으로써 얻게되는 non-thermal plasma(저온플라즈마)를 주로 이용하는 자동차용 후처리장치 개발 연구도 최근들어 활발하다. 플라즈마는 NOx 저감기술로 주로 응용되어 왔지만 자동차에서는 PM 저감을 위한 연구가 더 활발하다.^[3]

플라즈마방식은 필터를 사용하는 기존의 매연

여과장치의 원리와는 상이하기 때문에 필터방식 수준의 PM 저감을 달성은 용이하지 않지만 PM과 함께 NOx를 동시에 저감할 수 있는 기술로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

영국의 AEA, 미국의 SwRI나 Noxtech, 이태리 등지에서 연구가 진행되고 있으며 상당한 수준까지 발전한 것으로 발표되고 있다. 특히 99년 독일 프랑크푸르트 모터쇼에서 미국 굴지의 자동차 부품회사인 델파이에서 non-thermal plasma (NTP) reactor를 발표하여 큰 관심을 끌고 있으며, 영국의 AEA에서는 소형 승용차에 시험운행을 시작하는 등 이 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

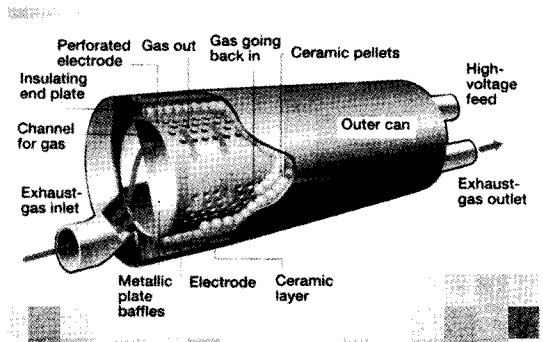


그림 2. 영국 AEA의 플라즈마 후처리장치

3. NOx 저감용 후처리장치

3.1 DeNOx 촉매

현재 가솔린엔진에 사용되고 있는 삼원촉매는 공연비가 농후한 영역에서는 NOx 저감효율이 높지만 희박영역에서 급격하게 떨어지기 때문에 희박한 공연비 영역에서 작동하는 가솔린 lean burn 엔진이나 디젤엔진에서는 사용이 불가능하다.

현재 연구되고 있는 DeNOx 촉매로는 산소가 과다한 영역에서는 엔진에서 배출되는 HC를 사용하여 NOx를 N₂로 변환시키는 Lean NOx Catalyst(LNC) 방식과, 희박영역에서 NOx를 포집하였다가 농후영역에서 배출(release)하고 촉

매에 의해 질소와 이산화탄소로 변환시키는 NOx Trap 방식이 있다.

LNC의 경우 충분한 양의 HC가 요구되기 때문에 가솔린엔진보다는 디젤엔진 사용 쪽에 비중이 두어지고 있으나 이 경우도 효율이 15-40% 수준으로 실용성이 미흡하다.

NOx Trap은 고온내구성이 우수한 장점이 있으나 연료 중의 황성분에 피독되는 문제점을 안고 있다. 따라서 연료중 황화성분을 30ppm 이하로 낮추도록 요구하고 있다. 디젤엔진의 경우 가솔린엔진과 달리 농후 공연비를 위한 rich spike를 일으키기가 곤란하기 때문에 NOx trap을 적용하기가 용이하지 않다.^{[4], [5]}

3.2 SCR 촉매

대형 경유자동차 용으로 DeNOx 촉매와 함께 SCR(Selective Catalytic Reduction) 촉매 적용이 연구되고 있다. SCR(Selective Catalytic Reduction) 촉매는 암모니아나 urea를 사용하여 NOx를 N₂와 H₂O로 환원하는 장치이다. 배출가스 상류에 urea를 분무하여 주면 NOx 성분과 선택적으로 반응하며 배출가스 중의 NOx

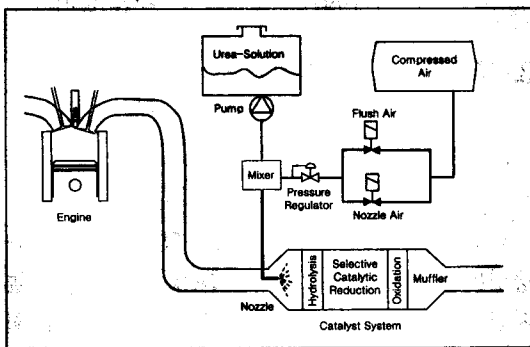


그림 3. Urea 방식 SCR 촉매장치

농도에 적절한 양의 urea를 공급하여야 한다.^[6]

NOx 저감율은 90% 이상으로 아주 우수하나 이 기술은 지금까지 주로 공장에서 사용되어 왔기 때문에 자동차에 실용화하기 위해서는 장치 규모 축소와 별도의 urea 공급장치 등의 기술 개

발이 필요하다.

4. 국내 현황 및 대책

이상에서 알 수 있듯이 향후 CO₂ 규제에 대비하여 디젤자동차 증가는 확실하나 PM 문제의 근본적 해결 없이는 디젤엔진의 지속적 발전을 보장하기 어려우며, DPF 기술은 경유자동차의 장래와 직결되는 매우 중요한 위치에 있어 멀지 않은 장래에 이 기술은 완성될 수 있을 것으로 전문가들은 예상하고 있다.

유럽에서는 2005년 이전에 경유중량자동차 뿐만 아니라 경유 승용차에도 매연여과장치가 실용화 될 것으로 예상되며, 국내에도 2007년경으로 예상되는 장기 배출가스허용기준 설정시에는 매연여과장치 부착이 고려될 것으로 추측된다.

국내에서는 90년대 초기부터 PM 저감을 위한 DPF 기술개발 연구가 진행되어 왔으며, 96년에 서울시 청소차 1400대에 부착하여 운행되고 있고 계속하여 시내버스에 보급을 추진하고 있다. 또한 지금까지 개발하여온 국내 기술은 선진국에 뒤지지 않는 수준이며 기술도 차별화 되고 있음을 알 수 있다.

지금까지 개발되어온 국내 매연여과장치 기술이 국내의 경유자동차에 사용되고 나아가 외국에 수출도 할 수 있도록 국가적인 개발 및 보급 사업을 새롭게 추진하여야 할 시점이다.

참 고 문 헌

- [1] Hawker, P.; Myers, N.; Huthwohl, G.; Vogel, Th.; Bates, B.; Magnusson, L.; Bronneberg, P. "Experience with a New Particulate Trap Technology in Europe", SAE-Paper No. 970182(1997).
- [2] Hawker, P.; Myers, N.; Henn, J., Koch, W., Luders, H., Luers, B., Stommel, P., "Effect of a Continuously Regenerating

- Diesel Particulate Filter on Non-Regulated Emissions and Particle Size Distribution", SAE-Paper No. 980189(1998).
- [3] Chang, J. S., Lawless, P. A., and Yamamoto, T., "Corona Discharge Processes", IEEE Trans. on Plasma Sci., Vol. 19, No. 6, 1991, pp.1152-1165.
- [4] M.S, Brogan, A. D. Clark and R. J. Brisley, "Recent Progress in NOx Trap Technology", SAE-Paper No. 980933(1998).
- [5] Todao Nakatsuji, Ritsu Yasukawa, Keichi Tabata, Toshihiro Sugaya, Kazuyuki Ueda, Miki Niwa, "Highly Durable NOx Reduction System and Catalysts for NOx Storage Reduction System", SAE-Paper No. 980932(1998).
- [6] Pratyush Nag, B.B Ghosh, Randip K.das, Maya Dutta Gupta, "NOx Reduction in SI Engine Exhaust Using Selective Catalytic Reduction Technique", SAE-Paper No. 980935(1998).
- [7] 인터넷, <http://www.dieselnet.com>
- [8] 인터넷, <http://www.autoenv.org>