

# 디젤 자동차 입자상물질 저감기술의 현황과 전망

## Status and Trends of Diesel Particulate Matters Reduction Technology

이 춘 범 / 자동차부품연구원 선임연구원  
Chun Beom Lee / Korea Automotive Technology Institute

유 영 환 / 현대모비스 수석연구원  
Young Hwan Yoo / Hyundai MOBIS

김 용 우 / SK 수석연구원  
Yong Woo Kim / SK

### 1. 머리말

우리나라는 2001년말 기준 1,300여만대의 자동차를 보유하고 있고, 2001년 한해에만도 75만여대의 다목적차량을 포함하여 총 120여만대의 디젤자동차를 생산하고 있으며 2001년 현재 350여만대의 디젤자동차를 보유하고 있으며 작년 한해만도 79만대가 국내에 판매되고 있어 디젤자동차의 비율이 급격히 증가하고 있는 우리나라는 세계 어떤 나라보다도 디젤매연 및 오존으로 인한 대기공해가 심각한 수준이다.

그러나 에너지 경제성 및 지구온난화가스 배출억제 정책에 따른 EU의 자동차 연비규제(우리나라의 경우 2009년 $\leq$ 140g/km)등에 따라 디젤차량의 수요가 급격히 증가하고 있으며 지구환경보호를 위한 EU의 공동전략에 따르면 승용차용 HSDI(High Speed Direct Injection) 디젤엔진의 시장점유율이 2~3년내 25%에서 30%이상으로 급증할 것으로 예상하고 있다.

한편 기술린 자동차로 인한 유해가스의 획기적인 저감은 26여년전 휘발유자동차에 3원 촉매장치를 부착하면서 부터인 것을 감안하며, 갈수록 국민들의 환경의식이 높아지고 있는 요즘의 상황에서 대도시 주요 오염원인 디젤자동차에는 디젤 입자상 물질 및 질소산

화물 저감장치의 장착이 의무화 될 것으로 예측된다.

그러나, 근년에 디젤시장을 주도하고 있는 A사의 디젤차량의 배출가스 수준을 보면 2005년 EURO-IV 기준의 200~300%를 초과하고 있어 많은 기술개발을 요구하고 있는 상황이고, 환경친화적인 디젤차 시장의 확대를 위해서는 EURO-IV 등 선진국의 규제에 대응할 수 있는 엔진설계기술, 촉매기술, 연료분사장치, 연료개선 등이 복합적으로 적용되어야하며, 많은 기술개발과 투자가 요구된다고 할 수 있다.

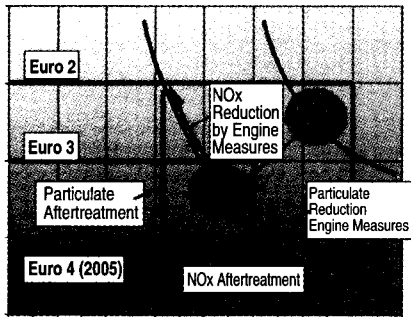
### 2. DPF 필요성

〈표 1〉에서 보듯이 유럽에서는 2005년 EURO-IV 기준으로 디젤승용차의 PM 배출한도는 0.025g/km로 휘발유 및 CNG 자동차와 유사한 수준을 요구하고 있어 EURO-IV기준을 충족시키기 위해서는 매연저

〈표 1〉 유럽의 디젤 승용차 규제수준과 국내 MPV 배기수준

모델명	CO(g/km)	THC(g/km)	NOx(g/km)	PM(g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)
Euro-Ⅱ	0.5	0.05	0.25	0.025	-
국산 7인승 MPV	0.597	0.063	0.711	0.054	276.2

감장치의 부착이 필수적일 것으로 예측되며, 이러한 배기 후처리기술이 적용될 수 있는 환경을 만들어 주기위하여 미국의 환경청(EPA)에서는 2006년까지 ULSD 공급을 의무화 하였고, 2007년부터는 첨단 후처리기술을 적용하지 않고서는 PM 및 NOx 규제를 만족시킬 수 없도록 규제를 강화하고 있다.



〈그림 1〉 중량 디젤차량의 NOx/PM 규제동향과 대응방안

〈표 2〉 EU 경유 중량자동차 배출규제 동향(g/kWh)

규 제	적용시기 및 범위	NOx	PM
Euro-II	1998. 10	7.0	0.15
Euro-III	2000. 10	5.0	0.10
Euro-IV	2005. 10	3.5	0.02
Euro-V	2008. 10	2.0	0.02

유럽과 미국의 중량(重量)자동차(HDV)의 배기규제(EURO-IV/V 및 US 2007)에 대응할 수 있는 적용가능기술(AVL 예측) 보면, 초저유황(ULSD : Ultra Low Sulfur Diesel) 경유의 적용이 필수적이며 그와 병행하여 EGR, Soot 제거용 DPF(Diesel Particulate Filter) 및 SCR(Selective Catalytic Reduction)기술의 적용이 요구될 것으로 예측하고 있다.

〈표 3〉 디젤배기규제 대응 소요기술 전망

		디젤 배기 내용 및 시행 년도		
		EURO-II (2005)	EURO-III (2008)	US 2007 (2007)
규제 수준	NOx(g/kWh)	3.5	2.0	0.2
	PM(g/bhp-hr)	0.02	0.02	0.01
적용 가능 기술				
HP-EGR+DPF		S(50 ?)		
LP-EGR+DPF		S(50 ?)	S(50 ?)	
SCR+(DOC)		S(50)	S(50)	
EGR+DPF+SCR				S(15)
EGR+DPF+NOx Adsorber				S(15)

### 3. 디젤 PM 저감기술

현재 경유자동차의 PM 등 유해배출가스를 줄이기 위해 신뢰성/내구성 및 가격적인 측면에서 실용가능성이 입증되어 보급 중에 있는 기술로는 크게 네가지로 나눌 수 있는데

- 첫째로 자동차 배출가스 성분 중 입자상 물질(Soot를 포함한 Particulate)을 포집하여 Burner, Heater 등 별도의 방법으로 제거시키는 Trap 기술과
- 필터자체에 촉매를 담지하여 일정온도 이상 조건에서 연속재생이 가능하도록 하는 연속재생식 디젤필터(CRT : Continuously Regeneration Trap, CDPF : Catalyzed Diesel Particulate Filter)
- 가솔린 자동차의 삼원 촉매처럼 배출가스내의 Gas상 물질(Hydrocarbon, CO, NOx)과 입자상 물질내의 SOF 등을 촉매를 이용하여 산화시키는 디젤산화촉매(DOC : Diesel Oxidation Catalyst) 방법이 있고
- 네번째로 엔진제어기술과 촉매 후처리기술 및 첨가제기술 등을 통합적으로 제어하여 PM 및 유해배기가스를 산화시키는 기술을 들 수 있다.

#### 4. 각국의 디젤 PM 저감 정책 및 실용장치

미국은 디젤자동차의 청정화를 위하여 운행 중인 디젤자동차에 디젤입자상 물질 저감장치를 부착하는 수 개의 프로그램을 진행하고 있고 그 대표적인 예로 뉴욕시 학교버스 1,000대에 존슨메티사의 CRT 시스템을 장착하고 있다. 또한 CNG 차량을 보급하고 있으나 유사한 성능을 갖는 DPF대비 차량 한대당 30,000 \$의 비용이 추가로 들어가는 것으로 보여 가격 경쟁력이 약한 것으로 보고되고 있다.

프랑스 푸조사는 2000년부터 경유승용차(Peugeot 607)에 DPF 시스템을 부착하여 양산 중에 있으며 이 자동차는 흡입하는 연소공기 중의 입자상물질보다도 더 적은 입자상물질만을 배출하는 것으로 평가되고 있어 소위 입자상물질 면에서는 공기청정기 역할을 하는 것으로 평가받고 있으며 디젤 승용차의 기술적 지표로 높은 평가를 받고 있다.

또한 일본의 동경도에서는 2003년부터 모든 경유차에 DPF 등 입자상물질 저감장치를 부착하도록 의무화하고 있으며, 카나가와현/사이타마현 등 7개 지자체는 시민들의 소송에 걸려 입자상물질 저감장치 부착 의무화를 추진 중에 있다.

일본 동경도 사례를 좀더 세밀히 정리하면 PM 제거장치를 장착하거나 초도 등록으로부터 7년이 경과하지 않는 차량 또는 도내의 배출기준을 만족하는 차량은 2003년 10월(평성15년 10월) 이후에도 도내운행이 가능하나 그렇지 않을 경우 2003년 10월 이후에 도내 운행이 불가능하며, 차량 카테고리별 사용기한을 한정하여 신차(신단기규제차=0.18g/kWh이하 배출자=차기배출기준만족차=평성15년 10월기준차) 사용을 유도하고 있으며, 평성 17년(2005년) 부터는 차차기 배출기준(신장기규제=0.09g/kWh)에 만족하는 차량만 운행할 수 있도록 되어 있다. 즉 배출기준(0.18g/kWh)에 만족하는 차량은 운행가능하고 현재의 배출기준(0.2518g/kWh)에 해당하는 차량이면서

초도등록일로부터 7년이 경과하지 않는 차량은 평성 17년(2005년)까지는 운행이 가능하도록 되어 있다.

일본의 인증절차를 보면 동경도 시장진입 희망기업은 일본 내 인증기관에서 J-13 모드시험 및 Field Test(10000km 이상, Field에서 2개월 이상) 등을 통해 확보된 데이터로 입자상물질 감소 장치 지정 신청서를 작성하여 동경도 DPF 사업 평가위원회(동경도청)에 제출하면 평가위원회에서는 서류심사 후 보완 여부 등을 결정하여 지정하는 것으로 되어 있다

동경시에서는 내년도에 178,000대의 차량을 Retrofit을 할 예정이며 그 중에서 4만대는 DPF로 나머지는 DOC를 장착할 것으로 예측되고 있으며, 특히 1988-1994년 규제차에 대하여 DPF 장착이 필수적으로 요구되며 그 이후차는 DOC로 가능할 것으로 동경도는 판단하고 있다

보급정책을 보면 제품가격 및 장착비용을 포함한 총장착가의 50%를 지원하는 것으로 되어 있고, 지원가는 3.5~8톤차는 300만원, 8톤 이상은 400만원 정도로 보고 있다.

2005년 HDV 배기규제 수준을 만족시킬려면 입자상물질의 85~87%를 저감하여야 하므로 DPF 장착이 요구되는 상황이나 동경도의 대표적인 모드인 도쿄 2, 5모드에서의 배출가스 온도가 150~250℃ 정도로 낮은 온도특성을 보이고 있고 고속도로에서도 300℃를 넘지 않는다.

따라서 이러한 난관을 극복하기 위하여 전기히터방식과 버너방식 등 강제제생방식도 개발 중에 있으며, 확실한 성능을 얻고 있으나 연비저하 및 제어기술 개발에 어려움이 있다.

스위스 환경청은 스위스, 독일, 오스트리아와 공동으로 VERT 프로젝트를 수행하여 디젤차량 및 매연저감 필터의 평가사업을 통해 필터의 적용가능성을 확인하였고 평가절차를 확정하여 시험평가를 수행 중에 있다.

현재 400여대의 DPF가 장착되어 있으며 2002년 12월말까지 스위스의 모든 시내버스에 DPF를 장착

토록 추진하고 있다. 주로 CRT 방식의 필터를 채택할 예정이며, 버스장착용 Test Sample 10개를 인증기관 (Biel 대학) 자동차학부에서 시험 중이며 가격은 9,000-10,000\$로 산정하고 있으며, 스위스는 지하굴 착사업 등이 많은 관계로 터널공사에 투입되는 건설장비 등에 DPF 장착을 의무화하고 있는 실정이다.

우리나라의 경우 Green World Cup을 표방하는 서울시에서는 정유업계의 도움으로 월드컵 행사기간 중 서울시 전역에 초저유황 경유(ULSD)를 공급할 예정이고, 이때에 디젤 PM의 저감을 위한 많은 기술들이 선보일 것으로 보인다. 한편 정부의 노력을 보면 환경부는 환경기술개발사업을 통해 초저유황 경유(ULSD) 파이롯 테스트 설비개발을 지원하고 있으며, 금년부터 경유차량의 매연저감기술에 대한 평가사업으로 10억원을 책정하여 국내 여건에 적합한 장치를 선정하여 보급하기 위한 기반을 구축하고자 디젤 PM 평가사업을 추진하고 있으며, 현재 엔겔하드사의 DPX, 존슨메티사의 CRT를 비롯하여 8개 시제품에 대한 평가가 진행되고 있다.

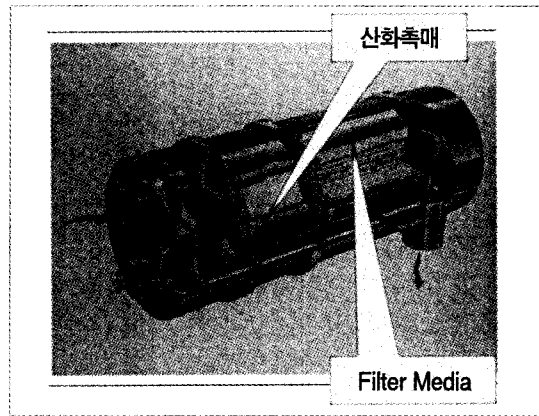
그러나 우리나라는 미국과 같이 선진국의 어떤 기술로도 국내의 디젤승용차 규제를 만족할 수 없는 정도의 배기수준을 요구하고 있어 디젤 승용차의 판매가 원칙적으로 불가능한 실정이나 프랑스의 푸조사와 같은 기술적 향상이 이루어진다면 시장이 열릴 것으로 예측되며, 일본의 동경도와 같이 대도시의 공기질 향상을 위한 서울시 등 지자체를 중심으로 디젤매연 저감장치 장착 의무화, 초저유황연료 보급정책과 인센티브제도가 시행될 것으로 예측된다.

상기에서 언급한 바와 같이 PM(디젤입자상물질)의 저감을 위해 상용화되고 있는 대표적인 DPF 시스템을 소개하면 다음과 같다.

#### ① 존슨메티사의 CRT

연속재생방식(산화촉매 + Filter) 필터로써 초저유

황 연료(ULSD)를 사용하며, 2001.8 : 미국 CARB 입증시험 통과한 제품으로 산화촉매에 의해 NO를 NO<sub>2</sub>로 산화시키고, Filter에서 Active 한 NO<sub>2</sub>에 의해 NO+O 반응을 유도하여 여기서 생성된 산소원자에 의해 Soot를 산화시키는 구조를 이용하는 장치로 정상적인 운전을 위하여 D-13모드에서 NOx/Soot비가 15이상 되어야 한다.

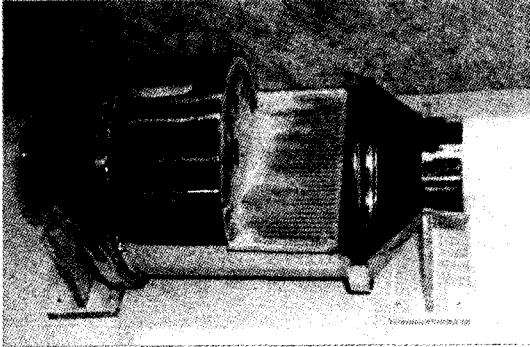


〈그림 2〉 존슨메티사의 CRT

입증시험 통과한 제품으로 산화촉매에 의해 NO를 NO<sub>2</sub>로 산화시키고, Filter에서 Active 한 NO<sub>2</sub>에 의해 NO+O 반응을 유도하여 여기서 생성된 산소원자에 의해 Soot를 산화시키는 구조를 이용하는 장치로 정상적인 운전을 위하여 D-13모드에서 NOx/Soot비가 15이상 되어야 한다.

#### ② 엔겔하드사의 DPX Soot Filter

2종류의 금속촉매 코팅 필터로서 350 ~ 500ppm 유황연료 사용가능하며 CRT와 같이 2001.8월 CARB 인증시험을 통과한 장치로 필터 내에 유해가스와 Soot을 동시에 저감시키는 장치로 저감성능 및 엔진에서의 BPT(Balance Point Temperature)가 CRT와 유사한 특성을 보이고 있는 DPF 필터이다.

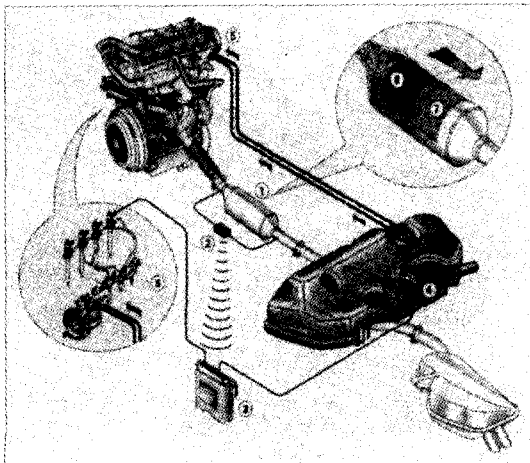


〈그림 3〉 엠겔하르사의 DPX Soot Filter

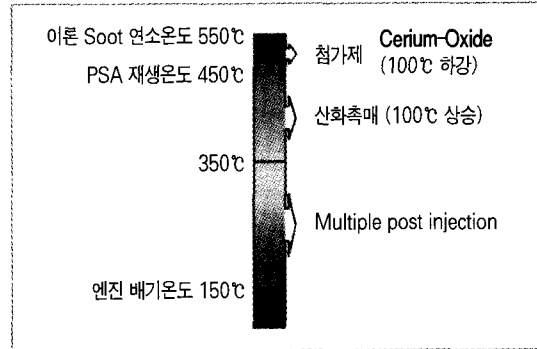
③ 프조사의 PSA-SiC filter System

2000년부터 Peugeot 607 디젤승용차에 적용하여 양산 중에 있으며, Ividen사(일)의 SiC filter 사용하며 CRT 방식과 같이 산화촉매를 전치하나 Soot의 산화온도를 낮추기 위하여 Cerium을 첨가제로 사용하고, Common Rail 고압 연료분사장치에 의한 후연소 방법을 적용하여 배출가스의 온도를 강제로 상승시키는 방법을 적용하고 있다.

일반적으로 Soot는 산소분위기에서 550℃에서 산화되나 디젤차량은 낮은 배출가스 온도로 인해 Soot의 산화가 어려운 조건으로 이를 위하여 산화촉매,



〈그림 4〉 PSA-SiC filter System 체계도림

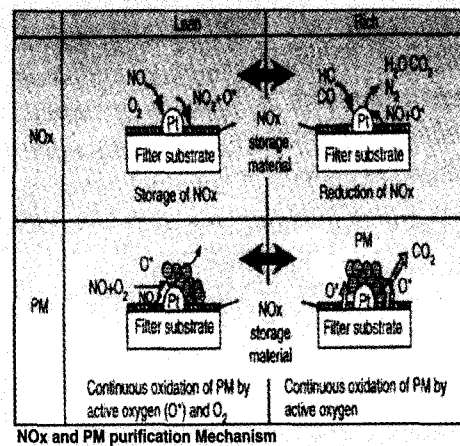


〈그림 5〉 PSA System 온도제어 개념

Post-injection의 방법으로 배출가스의 온도를 상승시키고, 첨가제를 사용하여 Soot의 산화온도를 낮추기 위해 〈그림 5〉와 같은 제어기법을 사용하고 있다.

④ TOYOTA DPNR

최근 토요타 자동차에서는 NOx와 PM의 동시 제거할 수 있는 DPNR(Diesel Particulate NOx Reduction) 시스템을 세계 최초로 상용화하여 실차에 장착하였는데 이 시스템은 Lean(희박연소) 상태에서는 PM 포집과 NOx를 흡장시키고 Rich상태에서는 흡장된 NOx를 환원시킴으로써 필터 내에서 PM과 NOx를 동시에 저감시킬 수 있는 일종의 4-way 촉매이다.

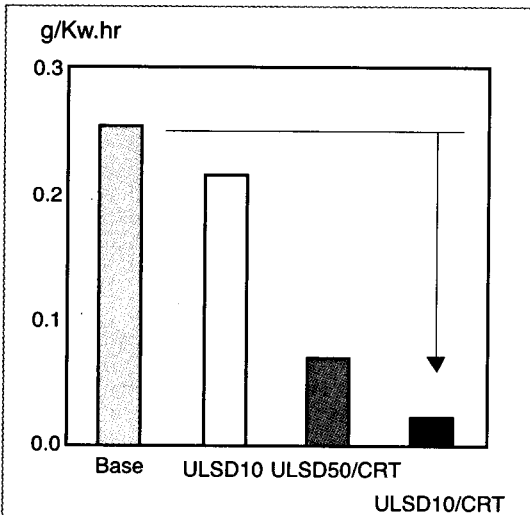


〈그림 6〉 Toyota사 DPNR 시스템의 촉매 반응원리도

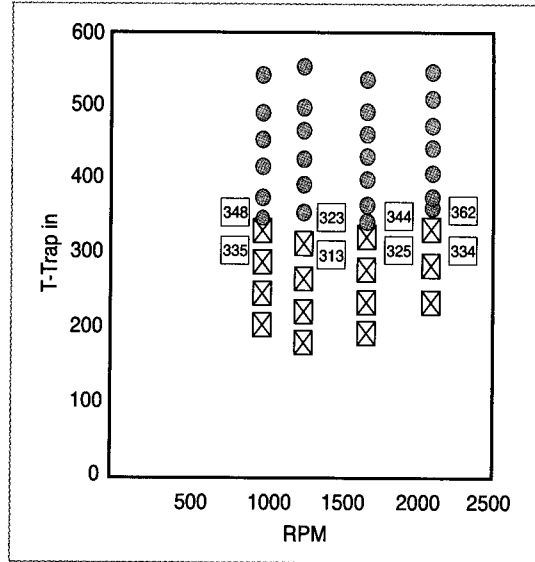
⑤ MOBIS-SK-KATECH의 CPF(Catalyzed Particulate Filter)

ULSD (Sulfur 10ppm wt.)를 사용하는 촉매방식의 디젤 버스용 Soot 필터로서 우리나라의 대표적인 촉매기술업체인 SK와 부품업체인 현대 MOBIS와 자동차부품연구원이 공동으로 개발한 DPF 시스템으로서, 서울시 혼잡지역 실차시험결과 재생성능 및 신뢰성이 우수한 결과를 얻고 있으며, 엔진동력계 시험결과 특별한 연비 및 출력저하 없이 우수한 PM제거성능(D-13모드에서 PM 88% 이상, J-13모드에서 96% 이상 제거)과 THC 및 CO의 산화성능을 갖고 있으며, 질소산화물(NOx)도 15% 이상 저감시키는 결과를 얻고 있다.

12리터 대형 직분식엔진에서의 BPT 시험결과 310~350℃로 고르게 분포하고 있어 엔진과의 Matching이 잘 이루어지는 것으로 판단하고 있으며, 특히 서울시 도심지역에서의 낮은 온도특성(150~250℃)에서도 연료의 손실은 증가하나 쓰로틀링 및 배압에 의한 효과로 인해 재생이 잘 이루어지는 것으로 판단되고 있다.



〈그림 7〉 CPF의 PM 저감특성



〈그림 8〉 CPF의 BPT 특성

현재 본 촉매장치는 서울/인천/수원 시내버스에 20여대에 Fleet Test 중이며, 디젤트럭, 건설용 차량 등 여타 장비에 사용가능할 것으로 보인다.

5. 결론

디젤 후처리기술은 21세기의 자동차산업분야에서 부가가치 창출규모가 무엇보다 큰 차세대 전략상품으로서 적용가능한 제품기술을 보유하고 있는 기업만도 3M, HJS 등을 포함하여 현재 50여개 이상의 기업이 난립하고 있는 상황이고 선진업체에서는 각종 DPF, CRT, NOx Trap, SCR 촉매, Plasma 장치 등 핵심 기술 및 다양한 복합시스템을 개발 중에 있으며 존슨 메티(영국), 앵겔하드(미국), 푸조 자동차(프랑스) 등에서는 가격 및 내구성 측면에서 실용성이 우수한 디젤매연저감장치를 양산 중에 있다.

이미 스위스 등 선진국에서는 자동차뿐만 아니라 호수를 운행하는 선박, 터널 등 지하 굴착장비 및 건설용 장비 등에서 매연저감필터를 적용하고 있는 실정으로

가솔린엔진의 3원 촉매장치와 같이 인체유해성으로 인한 사회적 요구에 의해 시장이 형성될 것으로 예측되는 디젤엔진을 동력원으로 사용하는 장비의 마지막 남은 고부가가치 부품이라고 할 수 있다.

디젤 유해배기 물질 중 1차적으로 2005년까지 입자상 물질에 대한 규제에 초점이 맞추어져 규제 및 기술 개발이 추진되고 있으며, 그 이후에는 대도시 주요 유해물질인 오존발생의 전구물질로 평가되고 있는 질소산화물 저감에 초점이 주어질 것으로 예측된다.

즉 1차적으로 DPF/CDPF 등을 적용하여 입자상

물질을 저감시키고 그 후에는 엔진의 작동조건을 저 PM·고 NO<sub>x</sub>로 운전하고 SCR을 사용하여 질소산화물을 저감시키는 방향으로 기술이 적용될 것으로 예측된다.

우리나라의 디젤기술 및 후처리기술은 선진국에 비해 많이 뒤진 상태이고, 핵심부품 및 소요기술을 전량 수입하고 있는 상황이나 향후 5~6년 후에는 가솔린 후처리 시장 규모와 대등한 시장으로 발전할 것으로 예측되어 산업정책적인 육성이 필요한 분야이다.

(조용석 편집위원 : yscho@kmu.kookmin.ac.kr)

## 참고문헌

- 1) www.dieselnet.com
- 2) A.Mayer. Particulate traps for heavy duty vehicles, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape(SAEFL), 2001
- 3) Diesel Emission Control-Sulfur Effects(DECSE) Program, Jan. 2000
- 4) www.dieselforum.org
- 5) Emission Control of Diesel-Fueled Vehicles, MECA, 1977
- 6) 조광래, 엄명도, 류정호, 임철수, Performance Evaluation of the Diesel Particulate Trap System and Development of Regeneration Technologies, 1995
- 7) Peter O. Witze, Combustion Research Facility, Sandia National Laboratories Livermore, California, Diagnostics for the Measurement of Particulate Matter Emissions from Reciprocating Engines, July, 2001
- 8) Matsuo Odaka, Recent Trend of Automotive Emission Control Technologies, NTSEL, 2001
- 9) Robert O. McLean, Corning Incorporated Diesel Emission Control Systems Technology Trends, 2001
- 10) SAE SP-1698, In-Cylinder Diesel Particulates and NO<sub>x</sub> Control, 2002