



21세기 자동차 연료와 공해

Automobile Fuels and Pollution for the 21 Century

한영출 / 국민대학교 교수
Young-chool Han/Kookmin University.

서론

세계 자동차의 총 생산량은 약 5,700만대로 추정되며, 이중 우리나라는 약 300만대(5.2%)를 생산하여 수출 150만대와 내수 150만대를 판매함에 따라 세계 5대 자동차 생산국이 되었다. 그러나, 자동차와 관련된 지구환경문제는 1980년 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx) 및 입자상물질(PM) 등의 유해 배기가스에 대한 문제의 해결은 이를 단계적으로 저감하는데 중점을 두었다. 그러나 최근에는 자동차의 증가에 따라 기존의 자동차 배출가스 규제강화는 물론 지구온난화와 관련된 이산화탄소(CO₂), CFC 등의 온실가스 발생으로 인한 산성비 및 오존층 파괴 등의 문제로까지 확대되고 있다.

이러한 환경문제의 해결방안으로 세계 각국은 환경규제를 대폭 강화시키고 있기 때문에 이를 만족시키지 못할 경우 자동차시장에서 자연스럽게 퇴출될 수 밖에 없다. 따라서 환경 기준 만족을 위한 기술개발 능력이 자동차메이커의 경쟁력 척도로 나타나고 있어 이에 대한 대응 기술개발에 전력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 21세기의 자동차기술의 발전방향을 제시하며 이와 관련해서 기관개량기술과 후처리기술의 국내의 개발동향과 특히, 저공해자동차연료에 따른 대기오염 및 인체유해성을 검토하였으며 또한 적극적인 저감기술개발을 위해 각국에서 시행하고 있는 저공해연료사용을 유도하기 위한 인센티브제도 등도 고찰하였다.

배기가스 규제와 기술개발

현재 전세계를 통해서 내연기관의 개발은 두 가지 중요한 변수에 영향을 받고 있다. 첫째는 지구 온난화 방지를 위한 CO₂배출가스 감축 노력이며, 둘째는 PM 및 NOx 등의 유해 배기가스 저감 노력이다.

국내 자동차 배출가스 규제는 휘발유, 경유 및 LPG 등 전차종의 기준이 대폭 강화되어 LEV에서 ULEV, SULEV 및 ZEV 등으로 세계적 추세에 맞추어 단계적으로 강화될 전망이다. 또한 승용차의 배출가스 보증기간도 5년/8만km에서 10년/16만km로 확대되는 등 선진 외국과 대등한 수준이다.

지구온난화가스 중 80%이상을 차지하는 CO₂는 수

송부문에서 약 18%가 배출되는 것으로 알려져 있어 1996년 6월 EU환경각료이사회는 UN기후협약에 의거 승용차의 CO₂배출량 감축 요구에 따라 1996년 6월에 2009년까지 유럽의 1995년 수준(186g/km)대비 25%감축한 140g/km으로 하기로 합의한 바 있다.

뿐만 아니라, 자동차는 운행에 따른 환경오염 대책과 아울러 자동차 폐차시 발생하는 폐기물(ASR : Automotive Shredder Residue) 및 유해물질로 인한 환경오염 방지를 위해 유럽을 중심으로 폐차 리사이클 관련 규제도 강화되고 있다.

자동차의 환경개선을 위해서는 차량자체의 성능제고도 필요하지만 이에 못지않게 차량용 연료의 다양화와 기존 연료의 품질개선이 매우 중요한 인자로 작용한다. 이에 따라 미국, 일본 및 EU국가 등은 이미 오래전부터 대체연료개발과 "World Wide Fuel Charter"을 발표하여 각국의 배출가스 규제에 부합하는 연료개발 및 품질 기준 제정을 추진하고 있다.

따라서 최근 자동차산업은 구조조정 등 어려움이 있는데도 불구하고 기술개발과 마케팅 등 다양한 분야에서 자동차메이커는 경쟁력 확보를 위해 치열한 경쟁을 벌이고 있다. 특히 자동차와 환경 부문에서는 신개념의 엔진개발 및 차량의 경량화 등을 통한 성능개선은 물론이고 IT혁명으로 대변되는 21C형 정보화차량(ITS, VICS, ASV, ETC 등)개발, 청정연료사용에 따른 저공해차량 및 연비향상 등의 다양한 소비자의 요구에 부응할 수 있는 보다 앞선 경쟁력 우위를 갖춘 자동차 개발이 절실하게 요구되는 자동차산업의 현실이다.

21세기형 자동차 기술

20세기 최대의 공업제품으로 자동차, 컴퓨터 및 텔레비전 등을 열거할 수 있으나 그 중에서 개인의 생활과 산업계를 크게 바꾼 것은 역시 자동차이고 자동차 산업이라고 할 수 있을 것이다. 자동차 산업에 있어서 20세기 후반은 안전, 연비향상 및 환경문제가 중심

이 되어 연구되었다. 그러나 이에 비해 확실하게 완전한 대책이 미흡한 분야가 환경과 관련된 문제이다. 따라서 21C형 자동차에 있어 요구되는 기술동향을 기술하면 다음의 4가지로 분류할 수 있으며 세부사항으로서 디젤과 가솔린자동차로 분류하여 요구되는 기술들을 기술하고자 한다.

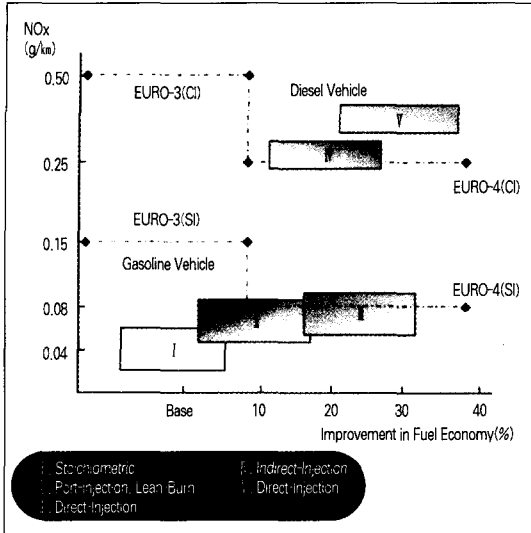
- 환경친화 차량기술 : Virtual Engineering기술을 활용한 엔진배기가스 저감, 구동요소의 효율적 운용 등의 기술개발
- 고안전 차량기술 : 정보화기술을 활용한 고안전 경량화차량의 설계기술 개발
- 지능형 차량기술 : 지능형 차량 관련된 기반기술 연구와 차량 시뮬레이터를 사용한 Virtual Prototyping기술개발
- 정보기술활용 및 차량생산기술 : 자동차의 제품개발에 필요한 정보관리시스템의 구축 및 정보기술을 생산기술에 적용

가솔린자동차 - 현재의 가솔린자동차는 후처리기술에 의해 NO_x가 대폭적으로 감소하는 반면 냉시동시 배기가스의 비율이 상대적으로 높아 지고 있으며 이와 동시에 지구온난화 물질인 CO₂ 문제가 대두되고 있다.

엔진의 연소제어에서 열효율을 향상시키면 NO_x가 증가하며 NO_x정화효율이 우수한 3원촉매는 희박연소조건에서는 성능저하를 초래하기 때문에 연비향상과 NO_x저감은 Trade-off관계에 있다고 할수있다.

따라서 가솔린자동차에 있어 배기가스 저감기술은 연소시 유해물질의 생성억제를 위한 촉매시스템의 조기 활성화 기술과 적용 촉매의 정화성능향상이 중요한 요인이다. 최근에는 ZEV수준의 가솔린차량이 개발되고 있다. <그림 1>은 연비와 NO_x상관성을 나타낸 것이다.

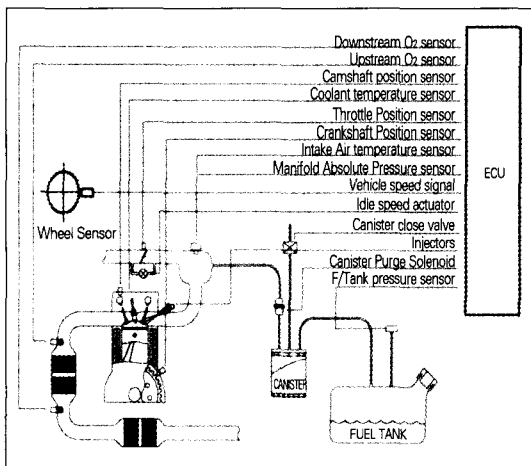
연비개선기술로서는 희박연소엔진, 하이브리드엔진 및 가변벨브제어(CVT) 등이 개발되어 있으며 하이브



〈그림 1〉 연료소비율과 NOx의 상관관계 비교(Passenger Car)

리드 엔진은 연비개선효과가 크지만 비용면에서 차종이 제한되고 있어 현재의 유력한 적용기술은 GDI기술이 유력하다 할 수 있다.

이와같이 가솔린차에서는 전자제어, 센서기술을 응용한 고정밀도 엔진제어와 높은 정화효율을 가진 촉매 개발에 초점이 맞추어져 있다. 〈그림 2〉는 현재 가솔린엔진에 적용되고 있는 일반적인 배기가스 저감방안



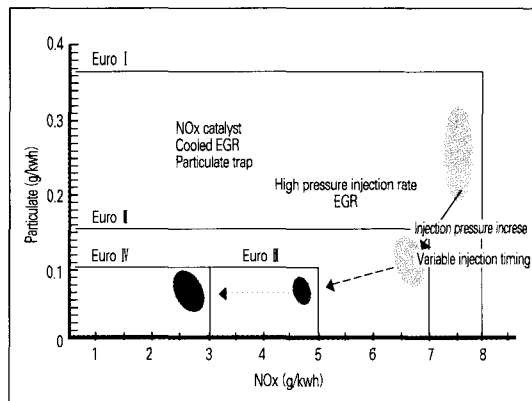
〈그림 2〉 가솔린 엔진에 적용되고 있는 배기가스 제어시스템

을 나타낸 것이다.

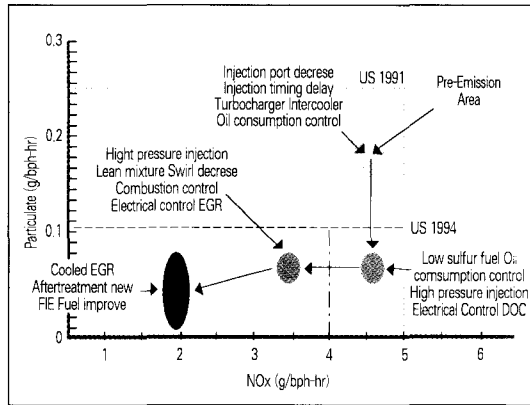
디젤자동차 - 현재 널리 사용되고 있는 디젤엔진은 연료소비율이 낮고, 연료가격면에 있어서 유리할 뿐만 아니라 내구성과 신뢰성이 뛰어나다는 장점을 가지고 있다. 따라서 지구 온난화방지를 위한 CO₂ 발생 억제를 위한 바람직한 엔진이지만 가솔린엔진과는 달리 희박연소를 하기 때문에 원칙적으로 삼원촉매를 사용할 수 없어 지금까지의 배기가스 저감기술은 실린더내의 연소기술에 초점이 맞추어져 왔고, 가솔린엔진의 배기가스 수준에는 이르지 못한 것이 현실이다. 최근 EU에서는 2005년의 EURO4기준에서 대형디젤차량의 PM규제를 0.1k/kwh에서 0.02g/kwh로 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 NOx촉매와 같은 후처리장치 사용이 불가피하게 되었다. 〈그림 3, 4〉는 유럽과 미국에서의 대형디젤차량의 NOx와 PM저감을 위한 기술과 배기가스 규제기준을 나타낸 것이며, 〈그림 5〉는 가스상물질의 배기가스저감 시스템을 기술한 것이다.

디젤자동차에 있어서 배기가스정화는 NOx저감과 입자상물질, 스모크, CO 및 HC 등의 저감과의



〈그림 3〉 유럽에서 적용되는 대형디젤차량의 배기가스 규제와 저감기술

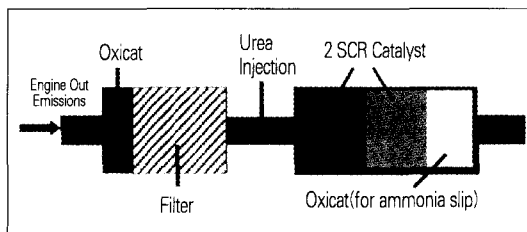


〈그림 4〉 미국에서 적용되는 대형디젤차량의 배기가스 규제와 저감기술

〈표 1〉 디젤차량의 배기가스 저감기술

Emissions	Technologies
Smoke & PM	*High pressure injection *Four valves and center injection *Turbocharging *Modifying intake and combustion systems *Oxidation catalyst *Diesel particulate filter +
NOx	*Injection timing and rate control *Exhaust gas recirculation *Intercooling system *Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Combustion system + *DeNOx catalyst +
Fuel	*Low sulfur (50 ppm to 10 ppm) *High cetane number *Oxygenates (DME, biodiesel) *Low aromatics & low T90

*: under development



〈그림 5〉 HC, CO, PM 및 NOx 저감 시스템

Trade-off관계를 극복하고 CO₂의 저감이라는 과제를 동시에 해결해야한다. 이를 위해서 현재의 기술개발방향은 연료분사, 연소계와 과급기를 포함한 흡배기계 개선을 위한 기술개발에 중점을 두고 있으며 〈표 1〉에 저감기술을 나열하였다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 향후 CO₂규제에 대비하여 디젤자동차의 증가는 확실하나 PM문제의 근본적 해결없이 디젤엔진의 지속적인 발전을 보장하기 어렵다고 판단된다.

210형 자동차 연료

내연기관이 개발된 후 100년간 획기적인 기술변화가 일어났지만 자동차 연료로서의 석유제품의 성질은 본질적으로 변화하지 않았다. 그러나 20세기 후반, 특히 최근 10년간은 연료공급산업이 시련을 겪었으며 특히 가솔린의 무연화, 높은 옥탄가에 대응하기 위한 개질, MTBE의 개발, 벤젠저감, 디젤 경유중의 황농도 저감 및 다환족방향수소의 저감 등이 요구되고 있다.

21세기 자동차연료에 있어서 유의할 것은 20세기와 달라진 대폭적인 질적변화가 일어났다는 것이며 변화의 원인으로는 다음과 같다.

- 자원적 요인 - 현재상태로 연료소비가 이루어진다면 15~20년 이내 석유공급이 수요 불만족
- 환경적 요인 - 지구온난화의 관점에서 보다 연료효율이 높은 엔진 및 그에 대응하는 연료공급이 요구
- 지역적 환경요인 - 배기가스 중 특정 유해물질의 저감

따라서 지구환경문제, 자원고갈문제를 배경으로 대체연료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 대표적인 대체연료기술로서는 CNG, LPG, 알코올(에탄올, 메탄올), Bio-diesel 등이 있다. 특히 CNG는 북미, 유럽, 일본을 중심으로 활발히 보급되고 있으며 미국의 Clean Air Act, 유럽의 Clean Energy 자동차 도입 프



로그랩 및 일본의 Echo-station 2000 Plan 등의 법령을 바탕으로 정부주도로 차량보급에 나서고 있다.

〈표 2〉 세계각국의 CNG차량 보유 및 충전소현황

국가	현황	보유대수(대)	충전소(개소)	보급계획
미국		90,000	1,250	전체 차량의 10%수준까지 보급 (2010년)
러시아		30,000	208	
독일		5,000	110	
일본		5,684	107	
한국		1,084	46	

〈표 2〉는 세계각국의 CNG보유 현황을 나타낸 것이다. LNG의 경우는 연료비절감 잇점이나 Infra구축에 있어서 CNG보다 우수성이 떨어지지만 유럽을 중심으로 인젝션타입의 분사노즐 개발과 승용차용 LPG전환시스템도입 등으로 꾸준히 활성화 되고 있다. 최근에는 디젤차량의 스모크문제를 해결하기 위하여 프랑스를 중심으로 Bio-diesel에 대한 연구가 진행중에 있으며, 미국이나 서부유럽에서는 1990년대부터 일반 주유소에서 Bio-diesel를 공급판매 중이며 대체연료에 관한 장단점을 〈표 3〉에 기술하였다.

〈표 3〉 대체연료의 장단점

대체연료	특징
CNG	- 연료공급의 안정성, 저렴한 연료가격, 정숙운전 - 배출가스(PM, NOx, CO) 저감효과 - 세계매장량 140조 - 연료운반성, 기관출력 저하 및 짧은 주행거리
LPG	- 비독성, 생산 및 취급용이 - 짧은 주행거리, 높은 가연성
Alcohol	- 합산소연료, 자원의 재활용성 - 저온 시동성이 나쁨, 저발열량, 연료계통의 부식 및 평운작용
Bio-diesel	- 연료의 환경친화성, 낮은 매연배출 - 알데히드 다량배출

자동차 연료와 배기가스

현재 한국의 대기오염 피해정도를 정량화시키기 위해 금액으로 환산하면 미세먼지(SOx, NOx, CO,

〈표 4〉 디젤을CNG 대체시 대기오염물질 배출 특성

규제기준	CO	HC	NOx	PM	
미국 (g/bphpr)	LA (Diesel)	15.5	1.3	5.0	0.1
	CNG	6~8	4~6	2.5~3.5	0.03~0.06
	DOC 장착	0.3~0.9	0.6~0.9	2.5~3.5	0.03~0.05
유럽 (g/kwhr)	EURO IV (Diesel)	1.5	0.46	3.5	0.02
	CNG	3.3	5.1	4.7	0.02
	DOC 장착	0.3	0.3	0.1	0.01

〈표 5〉 World cup대비 보급 CNG차량의 경제적/사회적 예상비용(연간)

비용증가		비용절감		차액
개조비	총진설비	연료비	사회비용	
32억	500억	253억	69억	210억

VOC 등)와 황사에 의한 피해액이 각각 12조와 6조로서 연간 총 18조의 경제적, 사회적손실을 유발하고 있으며, 국민1인당 약 39만원(\$400)을 부담하는 것과 같다. 따라서 기존의 휘발유나 경유를 대신하기 위해 개발된 대체연료를 사용함으로써 나타날 수 있는 환경개선효과를 분석해 본 결과 CNG의 경우 〈표 4〉에 나타난 것처럼 EURO III 기준은 만족하지만 EURO IV 기준을 만족하기 위해서는 DOC장착이 필요하다.

〈표 5〉는 World Cup을 대비해 한국에서 추진한 CNG차량보급과 관련한 경제적/사회적 비용을 나타낸 것으로 World Cup개최도시를 중심으로 대형디젤버스 약2,500대를 CNG로 전환했을 때 개조비와 총진설비비가 각각 32억과 500억으로 비용증가요인으로 작용한 반면, 비용절감요인으로서 연료비와 사회비용이 253억과 69억으로 전체적으로 210억이 증가하였다. 그러나 6개월 이후부터는 기존 투자비의 회수와 동시에 비용절감효과를 예측할 수 있다.

〈표 6〉은 유럽 LPG차량에 사용되고 있는 인젝션타입의 분사노즐 사용시 배기가스 특성을 나타낸 것으로

〈표 6〉 가솔린을 LPG대체시 대기오염물질 배출 특성(유럽)

	CO (g/km)	HC +NOx (g/km)	CO2 (g/km)	Ozone (mg/km)	Benzene (mg/km)
LPG	0.099	0.064	207.1	41.23	0.23
가솔린	0.399	0.183	230.6	318.0	8.84

그 저감효과가 우수함을 알수있다.

따라서 현재 국내 LPG차량에 적용되고 있는 믹서 타입 분사노즐을 인젝션타입으로 전환하기 위한 기술 개발노력이 활발히 추진되고있다.

반면 합산소연료인 알코올연료와 Bio-diesel연료의 경우 메탄올기관(M100)은 디젤기관에 비해 HC 60%, CO 80%, NOx 43%, 입자상물질 19%로 낮게 배출되었으며, Bio-diesel 20~30%을 경유에 혼합시 CO 17%, HC 15%, PM 18%, 매연 14%감소하는 반면 알데히드가 다소 증가하는 특성을 보였다. 이는 유럽 경유차량 배출수준과 비슷한 수준으로서 Bio-diesel의 경유를 혼합시 최적 혼합비율은 20~30%가 적정하다고 판단된다. 〈표 7〉은 디젤엔진을 알코올로 대체시 오염물질 배출특성을 나타낸 것이며 〈표 8〉은 대체연료별 배기가스 배출특성을 나타낸 것이다.

이상의 연구로서 기존 연료를 대체연료로 대체시 환경개선효과가 우수함을 확인할 수 있었으며 현재 선진국을 중심으로 자동차에서 배출되는 미량유해물질 중 미규제물질에 대한 규제 움직임에도 대응할 수 있는 기술이라 판단된다. 〈표 9〉는 대체연료별 미규제유해물질의 배출현황을 나타낸 것이다.

대체연료 기술에 의한 인센티브 제도

현재 전세계적으로 보급되어 있는 저공해연료자동차는 브라질에서 90%이상 사용되고 있는 알코올자동차를 비롯하여 LPG가 약 400만대, 천연가스자동차는 약 100만대 정도이다.

자국내 연료 매장량과 생산이 풍부한 에너지자원을

〈표 7〉 디젤을 알코올로 대체시 대기오염물질 배출 특성

	NOx (g/bhphr)	PM (g/bhphr)	HC (g/bhphr)	CO (g/bhphr)
LA	4.0	0.05	1.3	15.5
EUROⅣ	2.6	0.07	0.5	1.8
Diesel	4.6	0.21	0.5	1.6
Methanol	2.0	0.04	0.3	1.3

〈표 8〉 대체연료별 배기가스 배출특성

대체연료	배기가스		용도	비용
	NOx	Smoke/PM		
가솔린	△	◎	Passenger C, Commercial V	1.0
디젤	△	×	Truck, Bus, Commercial V	1.0
LPG(SI)	○	◎	Taxi	1.1
LPG(CI)	○	◎	LD Truck, Garbage V	1.2
CNG	○	◎	Van, Truck, Bus	1.5~2
메탄올(SI)	○	◎	Passenger C, Commercial V	1.5~2
메탄올(CI)	○	◎	Truck, Bus	1.5~2
Bio-diesel	○	◎	Truck, Bus, Commercial V	1.0

◎ : Excellent, ○ : Good, △ : Normal, × : Worse

〈표 9〉 대체연료별 미규제 대기오염물질 배출현황

오염물질	가솔린	메탄올	CNG	LPG
Benzene	7.95	0.32	0.242	0.242
Toluene	33.66	2.11	0.695	0.695
m-, p-Xylenes	4.57	0.3	0.399	0.101
o-Xylenes	1.95	0.16	0.399	0.101
1,3-Butadiene	0.19~0.5	2.05	0.093~0.404	-
Formaldehyde	4.78	21.76	2.712	4.87
Acetaldehyde	0.94	0.27	0.529	0.118



기존의 연료와 대체하려는 노력하에 캐나다, 뉴질랜드, 호주, 러시아에서는 주로 천연가스를 네덜란드의 경우에는 LPG를, 브라질에서는 에탄올을 이용한 저공해연료자동차의 보급을 확대하고 있으며 이에 대한 주요정책 및 지원제도를 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 북미
 - 저공해차 구입 및 전환시 보조금지원 및 할인, 환불
 - 주 판매세금면제 및 주 소득세 감면
- (2) 일본
 - 세금감면보다 자치단체와 협회 등의 보조금형태로 혜택부여
- (3) 유럽
 - 차량전환 및 충전소 등 기반시설확충에 대한 보조금 제도
 - 저공해연료에 대한 저가정책 및 세금감면제도
- (4) 한국
 - 저공해연료자동차의 전환 및 구입시 비용 환불, 취득세, 자동차세, 면허세 및 환경개선부담금 감면
 - 저공해연료 공급시설의 법인세, 토지세 감면
 - 저공해연료자동차 제작사의 기술개발과 연구활동을 지원하여 OEM생산 유도

결 론

1. 21C는 석유자원의 고갈과 환경적측면에서 대체 에너지로서 CNG, LPG, 알코올 및 Bio-diesel 연료가 바람직하며, 특히 ZEV에 가까운 Fuel-cell, EV, 하이브리드 등의 적용기술이 필요하다.
2. 기존 연료를 청정연료로 대체시 가스상물질인 HC, CO, NOx 등은 30~70%까지 저감되며, 입자상물질은 20~60%까지 감소하였다. 특히 미규제물질에 대해서도 우수한 저감특성을 나타냈다.
3. 한국에서는 대도시 대기오염을 해결하기 위해서 다음과 같이 저공해자동차로 전환이 필요하다.
 - 소형경유차 → CNG, LPG전환
 - 대형경유차 → CNG, Bio-diesel로 전환
4. 세계 각국에서 청정연료사용과 개발을 유도하기 위해서 보다 획기적인 정부지원 및 인센티브 제도의 도입이 필요하다.

(한영출 교수 : hanyc@kmu.kookmin.ac.kr)

참고문헌

- 1) California LEV II program <http://www.arb.ca.gov/msprog/levprog/levii/>
- 2) "Diesel Exhaust Aftertreatment 2000", SAE SP-1497
- 3) Theo Fleisch, et al., "A New Clean Diesel Technology, Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether", SAE 950061, 1995.
- 4) J. Leyrer et al. "Advanced Studies on Diesel Aftertreatment Catalysts For Passenger Cars", SAE 960133, 1996.
- 5) AVL list, "Regulation & Stands Current and Future Exhaust Emission Legislation", 2000
- 6) 환경부, "21세기 환경비전", 1995
- 7) 국립환경연구원 자동차공해연구소 조사연구사업 보고서 "휘발유자동차의 배출가스 방지장치 내구성평가에 관한 연구"
- 8) 국립환경연구원, "국내의 자동차 배기가스 규제동향" <http://nier.go.kr/>
- 9) 한화진, "저공해연료자동차 보급 활성화 방안 연구", KETRI, 2001.