

기존자동차의 당면과제와 미래자동차의 전망(1)

Present Car's Problems and Future Car's Prospect(1)

류 정 인
J. I. Ryu



류 정 인
· 1945년 3월생
· 자동차용기관의 성능 및 배기가스
· 정회원, 충남대학교기계공학과

1. 서 언

사람은 옛날부터 새와 같이 자연계를 자유로이 훨훨 날아다니고 싶은 꿈이 있었다. 그 희망을 이루기 위하여 마차, 배 등을 고안하는 등 노력한 결과, 19세기 후반에는 증기엔진, 모터, 내연 기관(가솔린 기관, 디젤 기관)등의 신 동력원이 발명되어 마차를 대신해서 증기 자동차, 전기 자동차 및 가솔린 자동차, 증기선, 비행기 등을 출현시켰다. 그 새로운 운반 기구는 사람의 활동 범위를 훨씬 넓히면서 생활의 질적 향상을 한 차원 높였다.

한편, 과학 기술은 석유, 방적, 제철, 석탄, 기계, 전기, 자동차, 배, 비행기, 석유 화학등 각종 산업을 창생시켜 도시로 많은 인구가 이동하면서 20세기 전반부터 현재까지 세계

각국에서 수백만에서 수천만을 넘는 거대 도시가 출현하는 결과를 낳았다. 이 때, 자동차는 항상 상업의 중핵으로, 또 도시 기능(사람·물자 수송)을 공고히 하는 수송 수단으로서 사람의 생활을 윤택하게 하는 생활 수단의 역할을 해 갔다. 이 공업화, motorization의 전진은 현재 서울, Los Angeles, London, Mexico, Tokyo 등에서 도시형 환경 문제(차사회의 부산물로 오존, Nox로 대표되는 공해물)을 유발하는 결과를 낳았다.

1876년 독일인 Nikolas Otto가 4행정 가스 기관을 발명한 이래로 자동차의 발달이 눈부시게 발전 되어 현재 전 지구에서 굴러다니는 자동차 수는 매년 5,000만대정도 생산되어 약 6억대에 이르고 있다.

이런 자동차의 발전 뒤에는 여러 가지 문제가 야기되기 시작하여 급기야는 전 지구 차원에서 환경, 안전, 에너지 문제 등을 서로 통제해야 하는 지경에 이르게 되었다.

1970년대 이후 미국, 일본, EU 등에서 법적인 대응책이 시도되고, 자동차 배출 가스 저감을 위한 대책의 탐색, 대책 기술의 개발이 계속 실시되고 있다. 그러나, 현재까지 지역마다 도시형 환경 문제를 해결하지 못하고

있다.

특히 1973년, 1979년 두 차례에 걸친 oil shock 이후 92년 전세계적인 관심으로 '92 Rio 환경 선언을 발표하기에 이르렀다.

또한 미국의 경우는 '98년부터 수입 자동차의 경우 탈 석유 자동차의 비율을 해마다 2, 3, 5, 10%씩 증가시키는 엄격한 통제가 이루어지는 가하면 해가 거듭될수록 전 세계적으로 더욱 엄한 공해 기준을 적용하려고 한다.

저 공해 차는 1970년대 전반에 일어난 Oil shock가 계기가 되어 석유에 energy를 의존해온데 대한 반성에서 석유 대체 energy 차를 만들어 시험적으로 구미 각국에서 이용한 사례가 있다. 따라서 당연하지만 배기가 청정한 것이 저 공해차의 제1조건이며 에너지 다양화라는 「석유 대체성」도 조건에 가해졌다. 위에서 언급한 미국의 조치만으로도 이와 같은 2가지 조건이 충족되는 것이다.

선진 제국의 공업화 사회에서는 차 사회 에너지원의 대다수는 석유 에너지이다. 1970년대 이후 급격한 석유 에너지 소비량 증가는 1973년, 1979년 과거 2번의 Oil Shock를 유발하는 원인으로 되었다. 그것을 계기로 석유에 대체하는 에너지 즉, methanol, 수소, 전기 에너지 등을 이용한 기술로 methanol 자동차, 수소 자동차, 전기 자동차, 천연 가스 자동차 등의 연구 개발이 각국에서 착수되어 현재에 이르고 있다.

세계 각국의 대도시에서는 여러 가지의 대책에도 불구하고 환경기준을 넘는 NO₂나 부유 입자상 물질 농도가 해가 갈수록 증가된 상태로 관측되고 있다. 경제 활동의 확대로 자동차의 교통량이 증대되면서 NO_x나 미립자를 많이 배출하는 diesel 차의 증가 등도 이 상황을 더욱 부채질하고 있다.

한편 대기 환경이 매우 심각한 미국에서는 1990년, California 주에서 저 공해차(low

emission vehicle, LEV) program이 확정되었다. 이것은 아래와 같이 각 rank로 저 공해차 배출 가스 기준을 설치하고 단계적으로 보다 저 공해화한 차량으로 전환하는 것을 목표로 한 매우 의욕적인 조치였다.

☆ 잠정 저 공해 차(transient low emission vehicle, TLEV)

☆ 저 공해 차(LEV)

☆ 초 저 공해 차(ultra-LEV, ULEV)

☆ 무 공해 차(zero emission vehicle, ZEV)

이 중 ULEV급 저 공해차는 기술적으로 대응 가능한 대책이 나올 것으로 예상되나 ZEV에 대해서는 지금의 전기 자동차가 유일한 후보이므로 그 실현을 비판적으로 보는 시각도 있다. 구체적으로는 1998년까지 일정 규모 이상의 maker에 대해서 총 생산 대수 중 2%에 대해서 ZEV를 제조·판매하는 것을 의무 부가하여 단계적으로 그 비율을 10%까지 인상시키는 것이다.

또 1990년 미국 연방 정부에서는 자동차 배출 가스 규제를 강화할 목적으로 대기 정화법을 개정하는 한편, 1992년에는 energy 정책법을 규정하여 alcohol, 천연가스, LPG, 수소, 전기 등의 대체 에너지를 이용하도록 요구하고 있다.

이와 같이 다른 나라에서 상황에 대처해가는 정책을 참고하여 지혜를 얻기 위하여 본고에서는 가솔린차와 디젤차 등 기존차의 청정화 가능성을 찾음과 더불어 현재와 장래에 대하여 전망하는 것을 목표로 하였다.

본고에서는 이렇게 엄격해지는 배기 배출물 규제 값을 만족시키기 위한 기존 자동차의 high tech와 한계점 등을 검토하고 개선 방향과 새로운 자동차 엔진의 상용화에 이르는 데 봉착하는 당면 과제를 분석함으로써 보다 나은 미래 자동차 엔진을 도출하고자 이 강좌를 개설하여 표 1에 나타낸 자동차를 독자 여러분과 함께 검토해 보고자 한다.

표 1 저공해차의 조건

조 건	배기 청정성	석유 대체성	저 CO ₂ 성	자연비성	저소음성
전기 vehicle	◎	○	◎	◎	◎
hybrid vehicle	○	-	○	○	○
천연가스 vehicle	○	◎	○	□	□
메탄올 vehicle	○	◎	□	□	□
수소 vehicle	◎	△	△	□	□

◎ : 매우 우수 ○ : 우수 □ : 보통 △ : 열악

2. 기존 자동차의 당면 과제와 대책

2.1 기존 가솔린 차

근년 환경에 관심이 높아지면서 그 개선 활동이 전개되고 있다. 환경 문제는 온난화, 오존층 파괴 등 지구 규모의 문제, 산성비 등의 광역 문제, 대기 오염, 소음 등 대도시 환경 문제로 대략 분류된다.

대기 오염은 1960년대부터 자동차의 급격한 증가에 기인하는 대도시 자동차 공해 문제가 발생한 이래 미국 등에서는 매우 엄한 배출 가스 규제가 실시되었다. 그러나 미국 California주에서는 오존 오염 문제가 충분히 해결되지 않은 상태에서 자동차 배기 가스 중 HC를 현규제의 약 1/6(규제하지 않을 때의 약 1/150)까지 저감하는 법률이 제정되었다. Tokyo로 대표되는 일본 대도시는 NOx 환경 기준을 초과하였으므로 그 원인 중 하나인 디젤 차의 NOx 규제를 강화하게 되었다. 또 유럽에서도 2000년까지 단계적으로 규제를 강화할 움직임을 보이고 있다. 이와 같이 자동차는 세계적인 규모에서 한층 청정화를 요구하고 있다.

여기에서는 엄한 미국 California 주 배기 규제를 중심으로 규제의 개요와 emission 저감 기술에 대하여 소개하고 또 미래 gasoline 차의 청정 수준의 대책에 대하여 소개한다.

표 2 최근의 규제의 특징

차량 전체의	배기 emission
배출규제	evapor emission 급유 emission(ORVR)
사용상태의 배기제어	배기평가 mode의 개정 냉간시의 CO 제어 차검사제도(IM) 고장진단(OBD) 장기간 보정(10만 mile)
연료성상규제	청정 연료규제

최근 규제의 특징은 표 2에서 보는 바와 같이 종래의 주행 mode별 배기 emission 규제에 (1) 차량 전체에서 배출 규제, (2) 실 사용 상태에서 배출 억제, (3) 연료 성상에서 규제로 대상 범위가 넓어지면서 종합적으로 더욱 강화, 규제된다.

2.1.1 규제 추이

(1) 저공차 차(LEV) 규제

California 주는 O₃에 의한 광화학 smog가 심각하므로 현재에도 세계에서 가장 엄한 배기 가스제어가 실시되고 있으며 더욱이 그림 1과 같이 더욱이 강화되었다. 이 규제는 LEV 규제라 부르며 O₃ 생성 원인인 HC를 단계적으로 저감하면서 NOx, CO도 반감하도록 요구하고 있다. 최종적으로는 전기 자동차(ZEV)의 도입까지 의무화하고 있다.

(2) 증발 연료(Evapor emission) 제어
장기간 주차 중이거나 주행 중에 연료 탱

크 온도가 상승하면서 증발한 연료가 대기 중에 방출되는 것을 방지하는 규제이다.

1978년에 정해진 재래 규제가 1995년형 차부터 크게 강화되었다. 지금까지는 상온에서 하루동안 test하든 조건이 그림 2와 같이 최악 조건(여름의 옅천 하에 3일간 연속 주차)을 모의한 test 방법으로 변경되었다. 이때문에 지금까지 무시되었던 고무 배관이나 수지 tank의 gasoline 투과도 무시할 수 없으므로 시스템의 변경 등 종합적인 대응이 필요하다. 시험은 밀폐된 SHED(sealed housing for evaporative determination)으로 실시된다.

(3) 급유 연료 증기(ORVR) 규제

이 규제는 급유 연료 증기(onboard refueling vapor recovery, ORVR) 규제라고 부르

며, 급유할 때 연료 탱크의 급유구에서 대기 중으로 방출되는 연료 증기량을 규제하는 것이다. California 주를 시작으로 일부 주에서는 gasoline stand 측에 회수 장치를 설치, 의무화하고, 미국 환경 보호기구(environmental protection agency, EPA)는 이것을 전 미국에 확산시키기 위하여 1998년형부터 차량 자체에서 회수, 처리하는 system을 장착하는 것을 의무화하였다. 시험을 그림 3과 같이 evapor계 쪽과 똑같이 밀폐된 SHED에서 급유할 때 급유구에서 방출되는 연료 증기량을 계측하여 급유 1 gallon당 배출되는 양으로 규제한다.

(4) 고장 진단(OBD) 규제

Emission 규제는 100,000mile 사용 동안 보증이 요구된다. 한편, 사용시 고장 등에 의한 emission 악화를 방지하기 위하여 그림 4와 같이 emission에 관한 부품, 촉매, system 등의 열화 등 고장을 조기에 발견하여 사용자에게 수리를 촉구하는 OBD(on-board diagnosis) 규제도 1996년형 차부터 대상 부품 범위가 확대, 강화된다.

(5) 연료 정상 규제

연료 정상은 배기 emission만이 아닌 evapor나 급유 emission에도 큰 영향을 미친다. California주에서는 효과적인 O₃ 저감을 위하여 연료 정상과 emission, 개별 HC 성분과 O₃ 생성 등의 관계에 대하여 연구를 진행하여, 1996년부터 표 3과 같은 청정 연료(phase II 연료)를 도입, 사용하도록 결정하

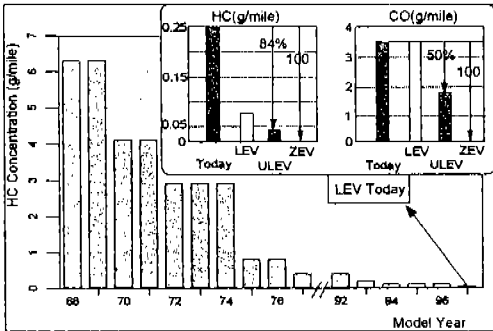


그림 1 California 주 Emission 규제의 추이

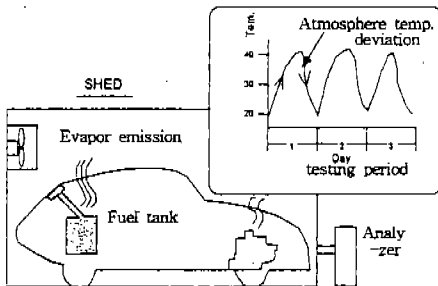


그림 2 Evapor engine 규제

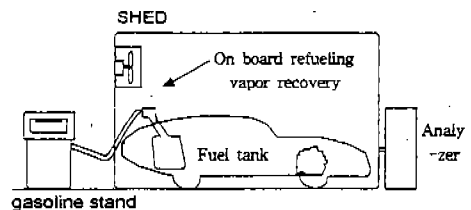


그림 3 ORVR 규제

표 3 California주의 연료 성상 규제

	항 목	규 제 값	California 평균('90)
Phase I 1992/1/1~	증기압 (psi)	max. 7.8 (여름철) 청정제 사용	
	증기압 (psi)	7	8.5
Phase II 1996/4/1~	유황 (Wt%)	0.004	0.015
	aromatic (vol%)	25	32
	benzen (vol%)	1.0	9.9
	olefin (vol%)	6.0	0
	합산소 (Wt%)	1.8~2.2	—
	T50 (°F)	210	220
	T90 (°F)	300	330

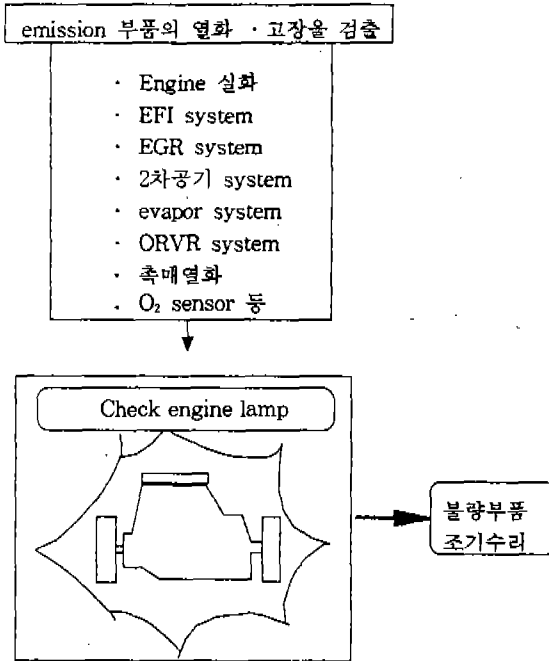


그림 4 OBD 규제

였다.

이 연료의 특징은 촉매 피독 방지를 위한 유황 함유량의 저감, 고옥탄 생성 HC 성분의 저감, evapor emission 저감을 위한 증기압(reid vapor pressure, RVP)의 저감, en-

gine 운전성 향상을 위한 증류 성상을 개선하는 것이다. 청정 연료는 사용 과정차의 emission 저감에도 유효하여 도입, 사용이 기대된다.

2.1.2 기존 가솔린차의 대책

(1) 청정화 기술

자동차는 청정화시키는 것이 출력, driverability, 안전성, 신뢰성, 연비, 가격 등과 어울려야 하므로 효과/cost가 높은 기술이 개발되어야 한다.

현재 engine 본체나 연료 분사 장치의 개량, EGR, 배기 가스 sensor에 의한 정밀 공연비 제어, 3원 촉매 등이 개발되어 배기 처리 기술로서 널리 보급되고 있다. 그러나 이 기술도 앞에서 언급한 새로운 규제에 충분하게 대처하지 못하므로 그림 5와 같은 청정화 기술 항목에 대해서 각각의 부품을 개량에서 신 배기 system에까지 폭넓은 기술 개발이 자동차 maker, 부품 maker 등에서 연구되어야 한다.

(2) 배기 처리 기술

그림 6에 LA #4 mode(미국 배기 test 주행 mode) 주행 중 촉매후 HC 배출 비율을 나타낸다. 여기서 나타난 것과 같이 엔진

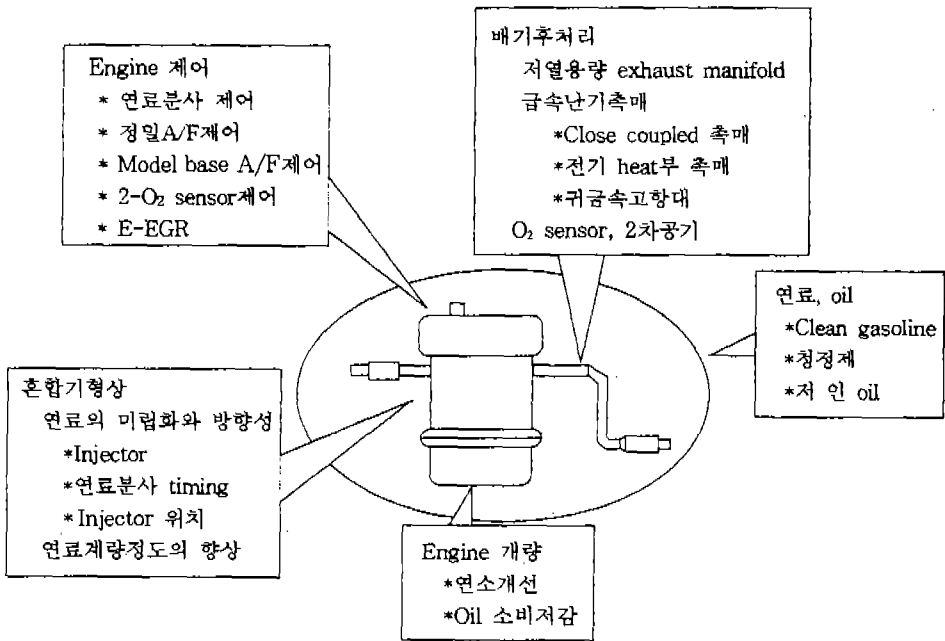


그림 5 Clean emission 기술 item

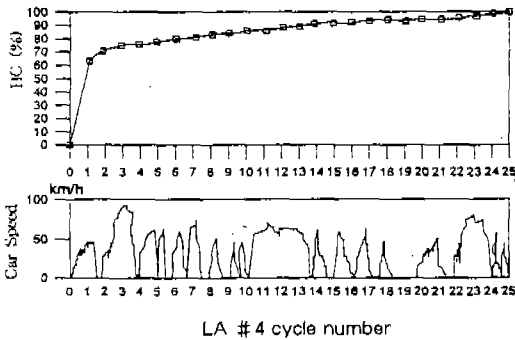


그림 6 LA # 4 Mode 주행중의 Emission 배출비율

냉각 시동 직후(난기 과정)의 배출이 매우 큰 비율을 차지한다.

시동 직후는 촉매가 활성 온도에 도달하지 않았기 때문에 미정화된대로 배출되므로 과도 상태에서 연료 공급 지연을 막기 위해 약간 과잉 연료를 공급해야 한다. 엔진이 난기 되어 촉매가 활성화된 후에는 배출은 줄어든

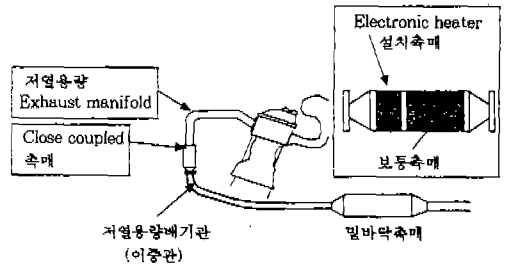


그림 7 촉매의 조기난기 system

다. 따라서 난기 과정 중 배기 emission 저감을 위하여 촉매의 조기 난기와 연료 분사 장치의 개량이 매우 중요하다.

또 난기후 emission을 더욱 저감시키려면은 3원 촉매를 보다 효과적으로 적용할 필요가 있고 운전 상태에 관계없이 공연비를 이룬 혼합비로 유지시키는 정확한 제어가 필요하다.

난기과정 중 emission 저감을 위해서는 촉매 converter가 활성화될 때까지의 시간이

매우 짧아야 하므로 California 주 LEV 규제와 같이 엄한 규제에 대응하기 위해서는 초기에 촉매 난기를 시키는 기술이 필요하다. 그러기 위해서 그림 7과 같이 촉매를 engine에 가깝게 한 close coupled type의 촉매 converter, exhaust manifold나 배기관의 저열용량화, 외부 energy에 의한 촉매 난기 기술이 개발되어야 한다.

전기 heater 부착 촉매(electric heater converter, EHC)는 전기 energy에 의해 촉매가 가열되는 방식이므로 급속하게 난기되기에 확실하고 효과적인 방법이다. 그러나 소비 전력이 커서 차량 전원계를 대폭 변경하거나 내구성을 고려하여야 하므로 실용화되기까지는 개발 기간이 오래 요구된다. 그

림 8에 engine 시동과 동시에 EHC를 통전한 점화 모양을 나타낸다. 이미 사용되고 있는 다른 system에 비해 EHC system은 시동 직후부터 HC가 크게 저감된다.

(3) 연료 분사 장치(injector)의 개량
현재의 gasoline engine 차는 흡기 port에 연료를 분사하는 연료 분사 system이 널리 채용되고 있다. 그림 9는 연료 미립화를 이루도록 이미 일부 Toyoda 차에 채용되고 있는 air assist injector를 나타낸다. 계량구에서 분사된 연료는 바로 공기와 mixing되므로 미립화가 매우 우수한 분무로 된다. 이 분무는 engine 흡입 공기와 혼합되기 쉽고 과도 응답성이 개선되며 emission도 재래형 injector에 비해 크게 감소되고 있다.

그림 10은 injector의 연료 leakage량과

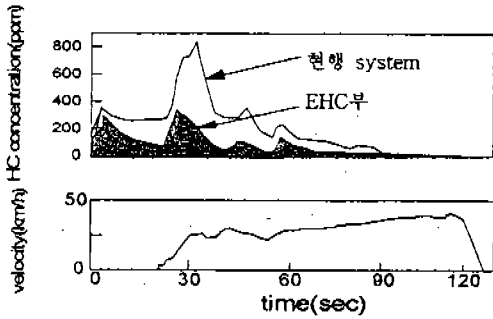


그림 8 시동시의 HC배출

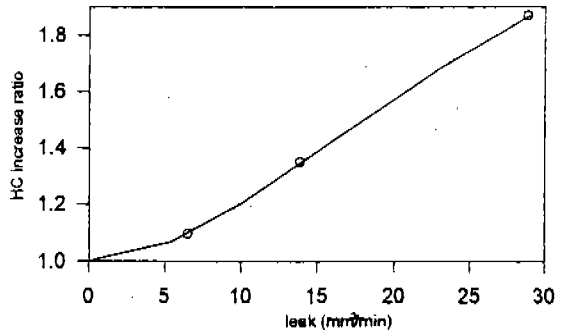


그림 10 Injector leak량의 HC 영향

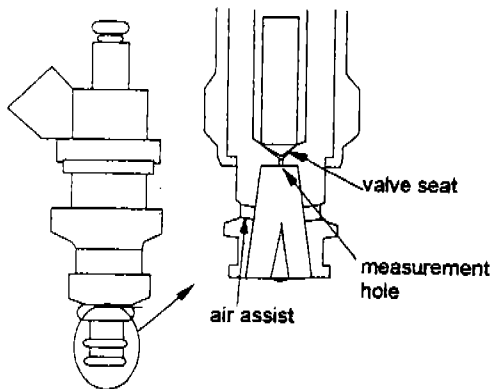


그림 9 Air assist injector

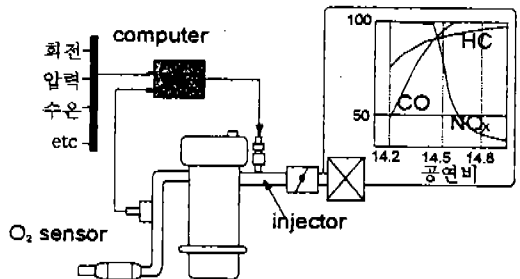


그림 11 3원 촉매 특성과 공연비 제어 시스템

emission 영향을 조사한 결과이다. 엔진 정지 중에 injector valve seat에서 새어나온 약간의 연료가 흡기 port에 모여 시동시 미연 가스로서 배출된다. Emission의 청정화는 이와 같이 작은 부품에서도 미세한 제조 공차를 개선할 필요가 있다.

(4) 공연비 제어성의 개선

3원 촉매는 그림 11과 같이 이론 공연비가 가까이에서 정확률이 높게 나타나므로 매우 좁은 구간에서 공연비가 제어되는 고도 제어 기술이 요구된다.

배기 대책으로는 청정 공연비 제어 기술이 널리 채용되어야 하나 현상태의 제어로는 과

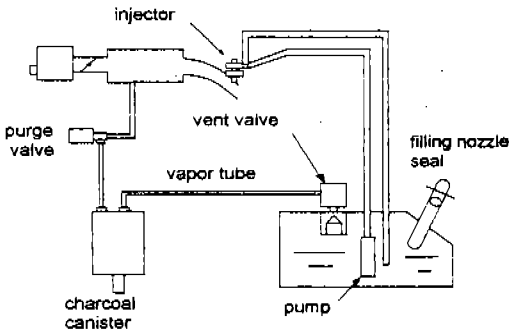


그림 12 Evapor/ORVR system

도 상태에서 이론 공연비 위치로 제어를 하지 못한다. 이 때문에 engine이나 O₂ sensor의 경시 변화도 고려된 공연비 제어 정도를 향상시키는 새로운 제어법이 개발되어야 한다.

(5) 증발 장치/급유 연료 증기 장치 (evapor system/ORVR system)

두 장치는 연료 증기 발생 형태가 다르나 처리 방법은 그림 12와 같이 연료 증기를 일시적으로 활성화한 canister에 일시적으로 흡착시켜 그것을 차량 주행 중에 engine에 흡입시키고 canister가 재생되면서 사용되는 system이다. 그림 12의 system은 연료 증기 발생 형태가 다르지만 양방향 증기를 1개의 canister로 처리하는 방법으로서 이것을 integrated system이라고 부른다. 그림 13과 같이 연료 증기는 evapor emission의 규제 강화와 급유 emission 규제에 크게 이바지할 것으로 기대된다.

(6) 청정 연료의 효과

그림 14는 표 3에 나타난 청정 연료와 일반 연료의 배기 emission을 비교한 것이다. 양 연료에서는 유황 함유량이 크게 다르다.

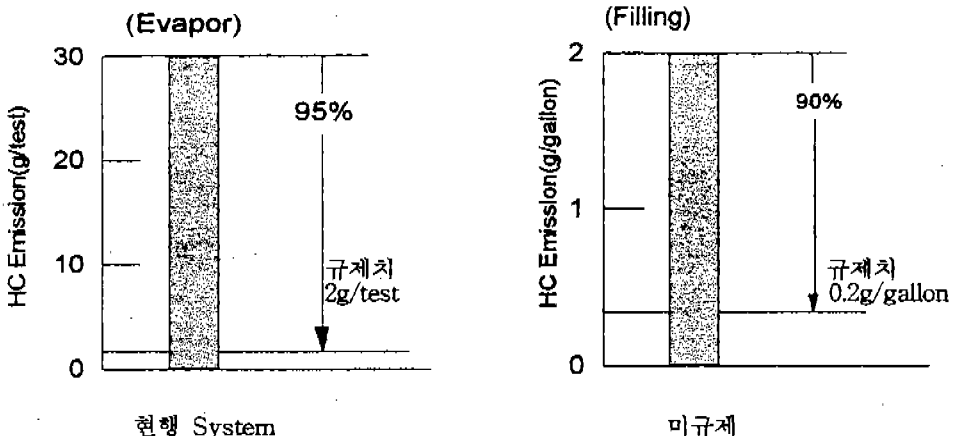


그림 13 Evapor/Filling 급유 emission

유황은 촉매를 일시적으로 피독하여 emission을 악화시킨다. 따라서 emission clean화에는 California 주 Phase II 연료와 같은 청정 연료를 폭넓게 보급하는 것이 필요하다.

2.1.3 Emission Clean화 가능성

전기 자동차는 최상의 저 emission 기술로 기대되며 그 청정도 연구 결과가 CARB나 EPA에서 보고되고 있으나 battery 충전에 필요한 전력을 화력 발전소에서 담당하는 경우 전기 자동차는 표 4와 같이 gasoline 차보다도 많은 emission을 배출된다는 계산도 있다.

그림 15에 최신 기술을 채택한 gasoline

표 4 전기 자동차 emission건적 (CARB, EPA)

	CARB에 의한 계산(A)	EPA에 의한 계산(B)	단위 g/mile (ULEV)
HC	0.001	0.012	0.04
CO	0.01	0.069	1.7
NOx	0.007~0.01	1.49	0.5
CO ₂	-----	393	254

A : SCAB(California주 남부)내의 발전소에서 SCAB내에서 필요한 전력의 1/3을 갖는 경우의 Emission 건적

B : 전광발전소를 Mix한 Emission건적(납Battery 탑재전기 자동차의 경우의 건적)

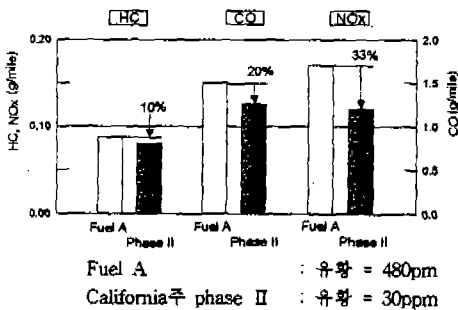


그림 14 청정연료(California II) HC의 효과

proto type 차량의 LA #4 mode test에서 emission 정확율을 나타낸다. 촉매나 engine이 난기된 후에는 정확율은 99% 이상 도달되므로 극소수 emission이 저감 대상이 된다.

현재 cold 부분을 중심으로 저감 기술의 개발이 정책적으로 진행되고 있으므로 장래에는 0에 가까운 수준까지 emission 저감이

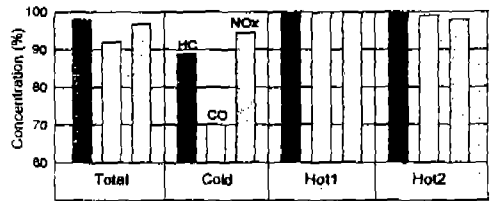


그림 15 LA #4 Mode 중의 emission 정확율

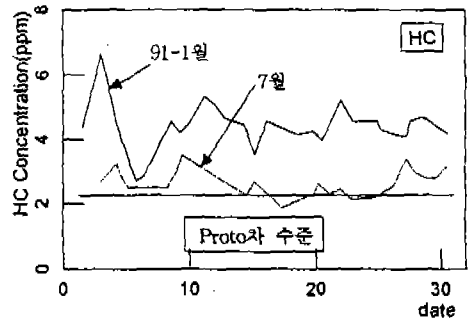


그림 16 Proto차의 배기와 Los Angeles의 대기

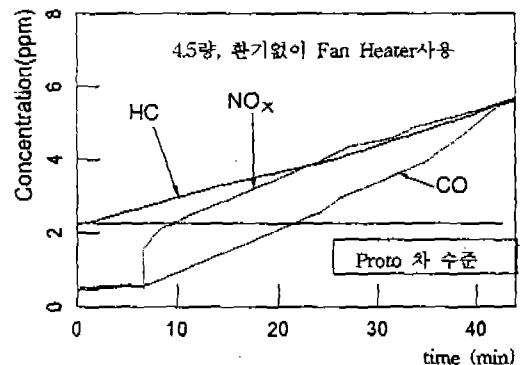


그림 17 Proto차의 배기와 실내 공기

가능하게 될 것이다. 관련해서 그림 16은 비교적 대기오염이 높은 Los Angeles의 대기, 그림 17은 일반 가정 실내에서 fan heater로 연소시키는 경우의 공기와 proto차량 주행 중 배기 수준을 비교한 결과이나 어느 한 정된 조건에서는 배기 emission이 공기보다 청정한 수준까지 도달하고 있다.

2.1.4 결 어

가솔린차는 규제하지 않았을 때에 비해 90% 이상의 NOx 저감을 얻어 1978년 배기 정화 규제를 달성하였다. 이 규제를 충족하는 과정에서 여러 가지 연소 방식이나 후처리 장치가 개발되었으나 현재에는 연료와 공기를 이룬 혼합비에서 연소시켜 NOx, CO, 탄화수소를 동시에 저감하는 3원 촉매 장치와 NOx 저감 효과가 큰 배기 재순환법을 조합시킨 대책법이 가장 일반화되어 있다.

금후는 주행 저항 저감이나 차체 경량화, 동력, 구동계 등을 대상으로 기술 개발이 추진될 것으로 예상된다.

Lean burn 방식은 3원 촉매 대신에 lean NOx 환원 촉매가 필요하여 그 개발을 목표로 각국에서 연구가 활발하다. 이 연소 방식과 NOx 환원 촉매를 조합하여 3원 촉매 시스템과 더불어 NOx 저감을 실현할 것인가가 앞으로 매우 관심 있는 문제이다.

2.2 기존 디젤차

2.2.1 규제 추이

기존 가솔린 차에서 규제 추이를 살펴본 바와 같이 기존 디젤차도 똑같으나 현존하는 엄한 규제는 US·EPA·EIP의 1998년 ULEV 규제 즉, PTM(particulate)=0.05g/bhp-h, NOx=2.5g/bhp-h이다.

2.2.2 엔진에서 대책

(1) 연소실 및 분사 계통

10년 사이에 troidal형 연소실을 re-entrant형으로 대체하고 연소실의 불필요한 용

적을 줄이는 한편, 과급이나 흡·배기계 개량 등의 수단으로 연소실내에서 공기 유동의 최적화를 도모하고, 고압 분사의 실현에 각국에서 노력을 계속하고 있다. 그래서 분사 압력을 150~160Mpa까지 올리는 등 연료의 입경을 미세화시키고 이와 더불어 timing retard를 크게 한 경우에도 연비를 회생하는 것이 없이 $\lambda=1.5$ 부근까지 거의 무매연 연소가 실현되고 있다.

이 경우 소음 및 진동 없이 저연비를 확보하려면은 소 분공 노즐의 채용이 필요하나 이 경우 분사 시간이 길게 됨에도 불구하고 연비가 악화되지 않는 것은 미립화와 난류 강화에 의한 혼합기 형성의 개선과 그것에 따른 연소의 단축화에 의한 것이다. 한편 연료에 초음파 에너지 등을 부가하여 연료를 미립화하는 방법도 고려되어야 한다. 그러나 반면 NOx는 거의 일정하게 유지되거나 또는 반대로 증가한다. 이것은 착화 지연 기간 중에 분사시키는 연료의 양, 또는 착화 이전에 연소실내에 준비된 혼합기의 양이 증가되는 것에 기인한다. 이것에 대처하려면은 초기 분사율을 낮추는 것이 유효하며 pilot 분사와 조합시켜서 똑같은 효과를 얻도록 하는 시도가 되어야 한다. 역시 매연과 동시에 가용성 유기 성분(solution organic family, SOF) 저감을 실현하기 위해서는 분사 종료에 spill을 개선하고 injection valve sack 및 hole의 volume을 작게 하면서 적절한 swirl을 도입하여 분무가 cylinder 벽 냉각부에 충돌, 부착하지 않도록 하여야 한다. 역시 속도, 부하, 또는 외기 조건 등에 따라 HC·NOx·매연·정미 열효율을 개선하기 위해서는 연소 계통의 전자 제어가 필요하며 냉시동, 난기, 과도 운전, 또는 고도 보정 등에 의한 분사량 및 분사 시기를 제어할 수 있어야 한다.

분사율에 관해서는 착화 지연 기간중 될 수 있는 한 조금 분사된 뒤 주분사를 급속히

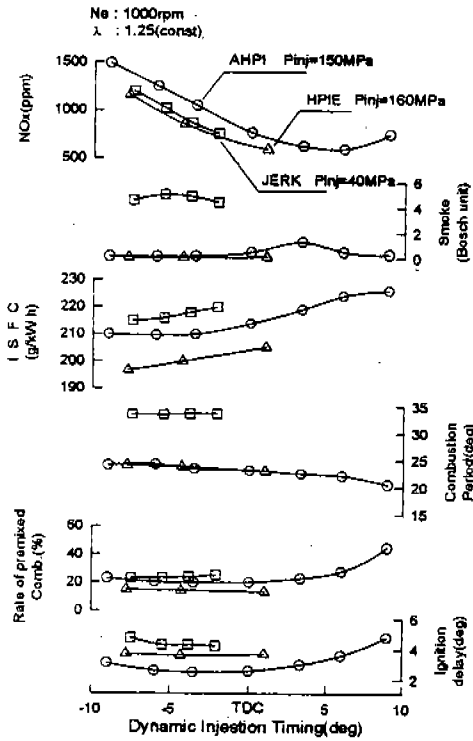


그림 18 고압 분사에 의한 개선

상승시키는 형이 바람직하다.

(2) 규제 강화에 따른 timing retard

역시 현재까지 NOx 대책의 기본은 timing retard이나 DI 엔진에서는 그림 19와 같이 지금까지의 분사계로는 거의 한계에 가깝고 이 이상의 retard를 할려면은 고압 분사 또는 IDI 방식을 채용하여야 한다. 역시 thermal NOx의 저감은 charge cooling 이 효과적이거나 다른 한편으로는 착화 지연의 제어가 고려되어야 한다.

(3) 연소 후기의 교란

NOx가 증가되지 않고 미립자를 저감하기 위해서는 초기에 가능한 한 혼합을 억제하여 완만하게 연소를 진행시켜 NOx 생성 요인인 충격적인 연소를 가능한 한 억제시키면서 연소를 곡선의 중심점을 연소 후기로 이동시키면서 연소기간을 짧게 하여야 한다. Murayama 등은 직접 분사식 기관의 연소실에 작은 교란유 생성 연소실(combustion chamber for disturbance, CCD)을 추가하였다.

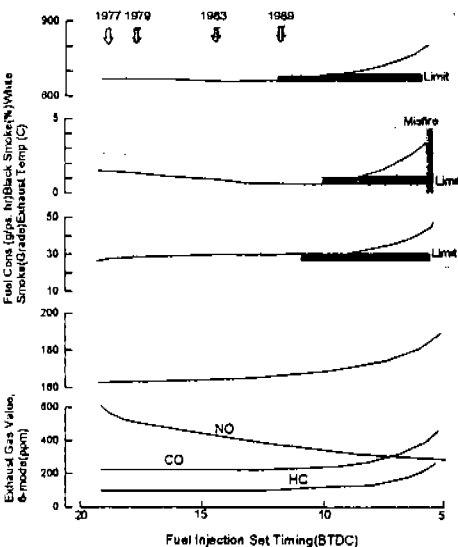


그림 19 규제 강화와 timing retard

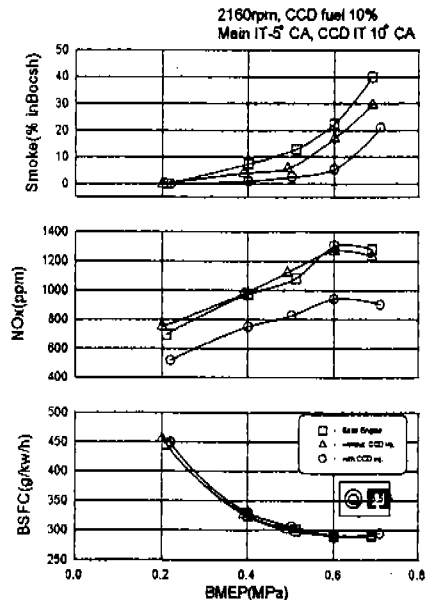


그림 20 CCD 방식에 의한 기관 성능

이 방식은 연소에 의한 강교란을 연소장에 도입하는 것이 가능하고 더욱이 CCD의 연료 분사시기 및 양을 변화시킴에 의해 교란 생성 시기와 강도를 자유로이 조절할 수 있다. 공시 system의 성능을 그림 20에 나타내며 □ 표시는 base engine, △ 표시는 CCD실에서 분사를 하지 않은 경우, ○ 표시는 CCD 분사 경우의 각각 성능을 나타낸다. CCD에 의한 연소 후기의 교란에 의해 동일 연비에서 NOx, 매연이 동시에 크게 저감된다. 역시 연소 후기 교란에서는 Ranober식 공기실, 하나의 부실 설치, 또는 부연소실에 공기 압출 등에 의한 유사한 효과가 얻어지는 것이 확인되고 있다.

(4) OSCA-DH 방식

일반적으로 분무 선단에서는 연료와 공기의 혼합이 불충분하므로 매연이 발생되기 쉽다. OSCA-DH 엔진은 분무 선단을 연소실

내에 설치한 반사판에 충돌시켜 매연 생성과 산화를 control하도록 시도하고 있다. 이것에 의하면 확산 연소를 활성화해서 연소 기간을 단축하므로 그 결과 그림 21과 같이 NOx, 매연, HC 및 연료소비율이 동시에 저감되고 있다.

(5) 배기 가스 재순환(EGR)

EGR은 더욱이 유럽에서 중소형 디젤 일부에서 실용화되고 있다. 단, 저속, 경부하시에는 매연의 증가가 미미하면서 NOx 저감이 가능하나, 전운전 범위에서는 매연 증가를 가져오므로 이것에 대처하기 위해서는 EGR 가스 냉각이 필요하다.

따라서 EGR은 이것을 전자 제어식 분사율과 조합시켜 회전수, 부하 및 온도에 따라 feed back 제어하는 것이 필요하게 된다. 역시 연소 개선에 의해 매연이 저감됨에 따라 particulate 중의 SOF분이 차지하는 비율이 증가한다. 이것에 대처하기 위하여 산화 촉

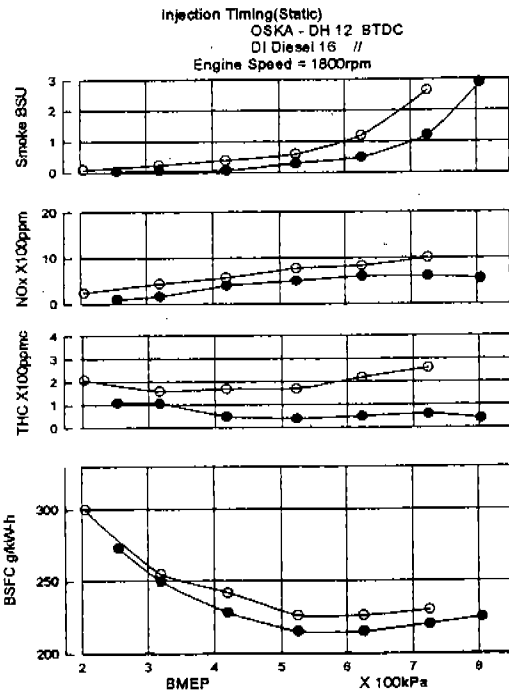


그림 21 OSCA-DH 방식

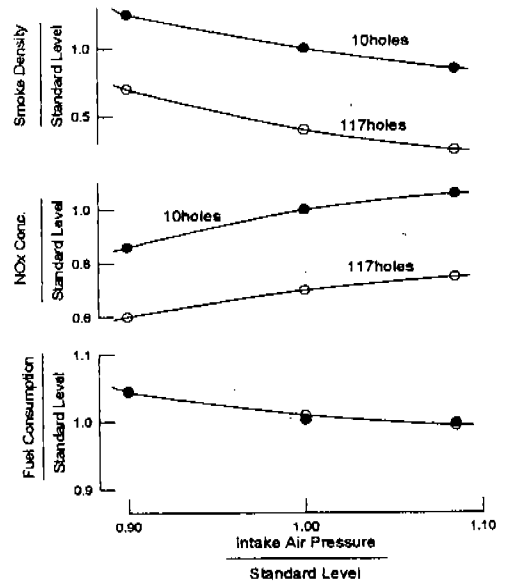


그림 22 다공 연료 분사 의한 NOx, 토연의 저감

매가 채용되거나 이것과 feed back식 EGR을 조합시켜 그림 22에서와 같이 NOx, 매연의 관계를 크게 개선할 수 있다.

단 EGR을 적용하기에 따라서는 윤활유 및 윤활제의 대책이 필요하다. 저온 운전시의 부식 마모를 막고 산화 촉매에 의한 SOx 증가를 억제하기 위해서는 연료 중 S분의 제거가 필요하다.

(6) 다공 연료 분사에 의한 개선

일반적으로 NOx는 연소실 공간에서 국소적인 고온부에 의해 생성되는 것이다. 따라서 연소실내의 온도를 균일하게 유지하면 연비를 회생시키지 않고도 NOx, 매연을 개선하는 것이 가능하다.

그림 23은 일본의 Mitsubishi 중공업에서 시도한 접근으로서 bore 400mm 실린더에 39개의 분사 밸브, 117 분공으로 2 분사 밸브, 10 분공에 비해서 분사 기간은 약간 길게 되나, 연비를 악화시키지 않고 약 30%의 NOx 저감과

60% 가까운 매연 저감이 얻어졌다.

(7) 윤활 계통의 개량

연소 및 분사 계통의 최적화에 의해 SOF와 dry soot가 저감되므로 윤활유의 SOF가 미립자 중에 차지하는 비율이 상대적으로 증가하게 되었다.

그 대책은 우선 cylinder 벽을 통과하는 oil 소비를 저감함이 필요하고 두께는 valve stem, turbo charger shaft, blower return 등을 통해서 흡·배기 시스템에 침입하는 oil 량을 가능한 한 차단하게 하는 것이다. 그래서 최종적으로는 산화 촉매 등 후처리의 내구성에 악영향을 미치지 않은 oil을 개발하여야 한다. 그림 24는 oil 소비에 대한 영향 인자를 총괄해서 나타낸 것이다.

2.2.3 후처리 Device

(1) Particulate trap

배기 중 particulate를 획기적으로 저감하는 수단으로서 particulate trap이 고려되고

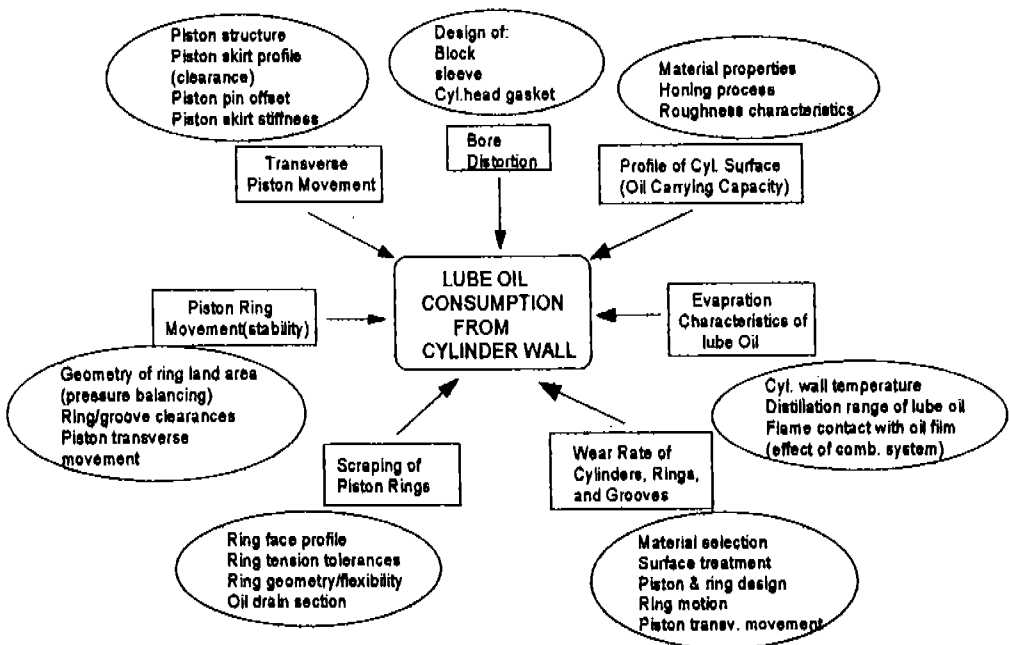


그림 23 실린더 벽을 통해서 Oil 소비에 대한 영향 인자

있다. 이 경우 filter 재료는 metal·wire mesh(Johnson Matthey), ceramic form (Cercona Aousuisse), muriate·fiber·ceramic·colligate honeycomb, cross flow type ceramic·filter 또는 honeycomb type ceramic·monoless·filter(Nihon gaishi, Corning) 등 여러 가지가 개발·시험되고 있다.

Trap에서 가장 어려운 것은 filter의 재생이다. 이것에는 광산용, tunnel 공사용 wheel loader 등에서 시도되고 있는 연소에 의한 자연 재생, Volvo, Donaldson, Huss 등에서 개발이 진행된 전기 heater 가열, Neco/Dereco, MAN, KHD, Zenna Starker, Webasto 등에서 시험하고 있는 burner 재생 또는 배기 throttling과 Mn, Cu, Fe, Ce 화합물 등 연료 첨가 조연제에 의해 재생 온도를 낮추는 Thessaloniki/Elbo의 방법, Mann L Hummel/M. Benz에 의한 촉매 coating 법 등 여러가지 방식이 시도되고 있다.

이 경우, 촉매없이 500~600°C이나 촉매 coating으로 촉매 작용 온도가 400°C까지 낮아지고 Cu 또는 Mn 첨가제를 사용하면 220°C까지 재생 온도를 저하시킬 수 있

다. 그 중 어떤 것은 시판되어 독일에서는 1500대 버스 실차 운전, 미국에서는 각 도시에서 fleet test 등이 활발하게 진행되고 있으나 신뢰성 및 내구성을 앞으로 더욱 향상시켜야 된다. 그림 25은 trap에 의한 particulate 저감을 나타내는 한 예이다.

(2) 산화 촉매 (oxygen catalytic converter, OCC)

산화 촉매가 매연 및 NOx에 어떤 영향을 미치는가에 의해 SOF 및 가스상 HC를 저감할 수 있다. 단, SO₄의 증가를 막기 위해서는 S=0.01w%이하의 저유황 경유를 사용하는 것이 필요하다.

(3) 환원 촉매 (selective catalytic reduction, SCR)

최근 배기계에 NOx 환원 촉매를 장착하는 연구가 성행하고 있다. 이것에는 암모니아 또는 요소를 환원제로 사용하는 방식과 동ion 교환 zeolite, 수소화 zeorite 또는 동 알루미나 촉매 등을 사용하는 방식이 있다. 전자는 고정 발생원에서 더욱이 실용화시키기 위하여 ACE에서도 차재형에 관한 실험이 이루어지고 있으나 높은 전환율이 필요한 것, cost가 높은 것, 잉여 암모니아 또는 요

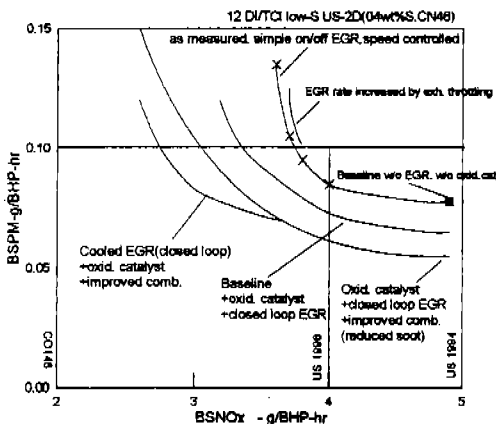


그림 24 EGR에 의한 개선

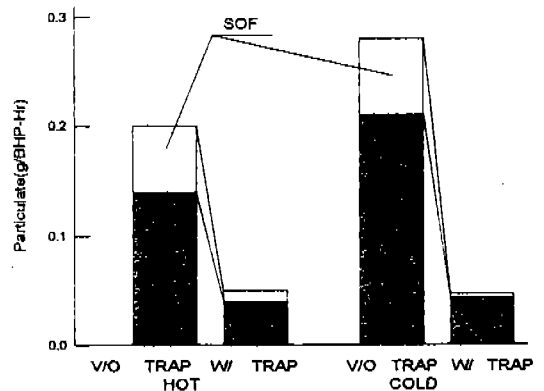


그림 25 EPA transient test에서 particulate trap의 효과

소 처리가 필요되는 등 몇가지의 어려움이 있다.

한편 후자는 cost적으로는 문제가 없고 SOF, HC 또는 CO 등도 환원제로서 소비되므로 좋다. 단, 전자에 비해 전환율이 낮고 다량의 HC, CO가 필요하다. 또 배기중 수증기, 연료 중 S분이 어떻게 영향하는가 등이 불분명하고, 활성 온도 범위가 좁으므로 앞으로 해결하여야 할 문제로 남아 있다.

그러나 최근 일본에서는 백금 ion 교환 ZSM-5 촉매(PE Z)를 개발해서 실제 engine 배기 가스에 적용하여 활성 온도 및 수분의 영향을 평가한 결과, 그림 26과 같이 Cu-Z에 비해 최대 활성 온도가 낮고 NOx 정화율도 높으나 수분의 영향이 약간 나타나는 것을 확인하였다.

2.2.4 연료 측에서의 대책

(1) 개질 경유

유황 함유량을 0.01w%까지 낮추고 aromatic 함유량을 감하며 C/H비를 작게 하면서 증류 성상을 좁게 한정하는 한편, cetane value를 55 정도까지 올려 함산소 기재를 혼합하는 소위 개질 경유의 연구가 진행되고 있다. Cetane value는 cetane가를 1 향상시키는 경우 NOx가 0.0417 g/bhp-h저감할 수 있다고 보고되고 있으나 cetane value가 높게 되는 경우에는 연소가 길어져 매연이 발생하며 연비도 악화되는 결과를 갖는다.

역시 함산소 기재를 연료에 첨가하면 확산 연소 초기에 급속한 열분해 과정에서 산소가 유효하게 공급된다.

연구의 대상인 함산소 기재는 aromatic alcohol, aliphatic alcohol, polyether polyoil, glycol ether, methyl·soyart, degraim 등이 있다.

유럽 특히, France는 유체 오일의 methyl ester를 5% 혼합한 경유가 판매되고 있다. 식물유는 10% 정도의 산소가 함유되어 저

매연 운전 실현이 가능하다.

(2) 함수 연료

연소실 내에 물을 도입하는 방법에 의해 연비를 희생하지 않고 NOx, 매연이 동시에 크게 저감될 수 있다. 그래서 물 emulsion은 co-generation 또는 박용 기관 등에서 일부 이긴 하지만 장시간 feasibility test가 되고 있다.

그림 27은 고압 분사매 생기는 부압을 이용해 연료 분사계에 물을 분사시키는 Mit-

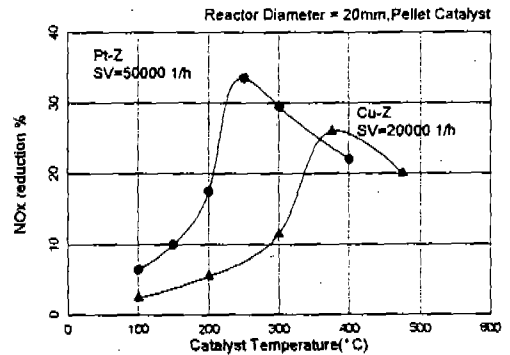


그림 26 Pt-Z 촉매의 성능

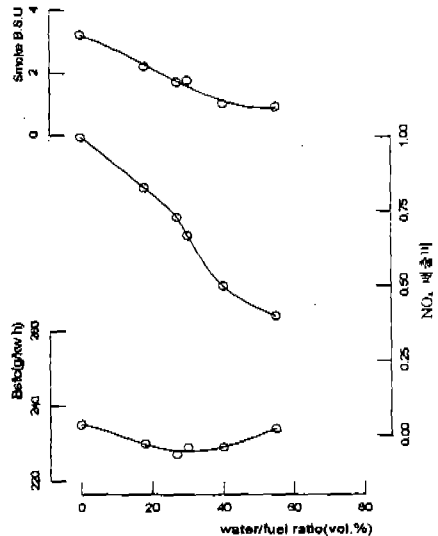


그림 27 연료·수 총상 분사 system에 의한 효과

subishi 증공업의 방식이며, 이것으로 70% 수첨가에 의해 40% 정도의 NOx 저감과 연비를 향상시키는 것을 실현하였다. 또 오일 중 물방울형 emulsion으로 물의 기화, 수증

가에 의한 희석, micro 폭발 효과, 분무 관통력의 증가, 분무 속의 공기 유입 강화, 국소적인 고온 부분에 연료의 열분해 경향 억제 등 여러 가지 효과에 의해 그림 28과 같이 저 NOx, 저 매연, 고효율적 운전이 가능하다. 단, C중유같은 고 점도유에서는 micro 폭발 효과는 기대되지 않고 수 첨가량과 더불어 연소 기간이 길게 되고 연비가 악화되게 된다.

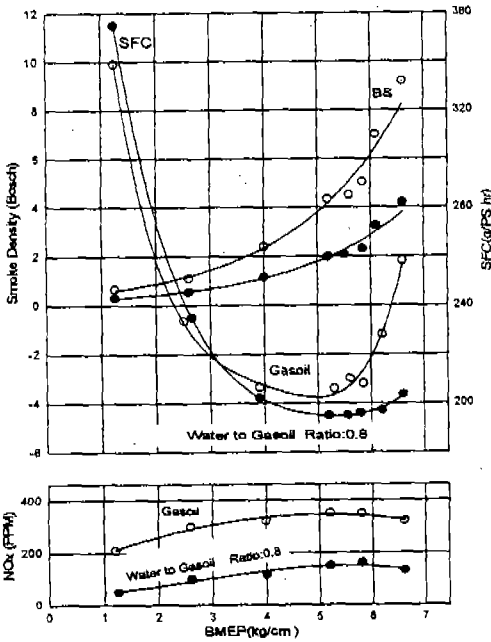


그림 28 수·emulsion에 의한 trade off의 개선

(3) 금속염 수용액의 분사에 의한 개선
그림 29는 각종 금속염 및 물, 초산 나트륨 수용액을 분사시켜 NOx 및 매연 저감 효과를 나타내는 것이다.

어느 것이나 NOx 저감에 큰 효과를 나타내나 나트륨염, 칼슘염의 수용액은 배기 매연의 저감도 동시에 얻게 된다. 단, SOF는 약간 증가하나 나트륨에 기인하는 수용성 입자의 증가로 PTM은 증가한다.

연소 후기의 팽창 행정에서 요소 수용액을 연소실내에 직접 분사시켜 NOx가 급속 환원되도록 하면 매연 및 연비를 악화시키지 않고 최대 60% NOx 저감이 가능하다. 한편 Texaco 사는 iso-cyanic-acid를 포함한 첨가제를 5% 첨가하여 NOx를 40~45% 저감시켰다.

2.2.4 결 어

디젤 차는 연비가 좋고 CO₂ 배출이 적은 장점이 있으므로 truck, bus를 선두로 상용차나 승용차에도 널리 이용되고 있다. 앞으로 과제는 금후의 규제 강화에 대응한 NOx와 미립자의 저감 대책으로서 각종 연소 기술과 후처리 기술을 활용하여 system으로서 내구, 신뢰성을 배려한 것이 필요하다. 구체적으로는 ① 연료 분사의 고압화나 전자 제어화, ② 배기 재순환 system의 채용, ③ 흡기계나 연소실 형상의 개선, ④ 미립자 저감을 위한 산화 촉매나 particulate filter의 실용화 등 해결해야 할 과제가 많다. Diesel 차

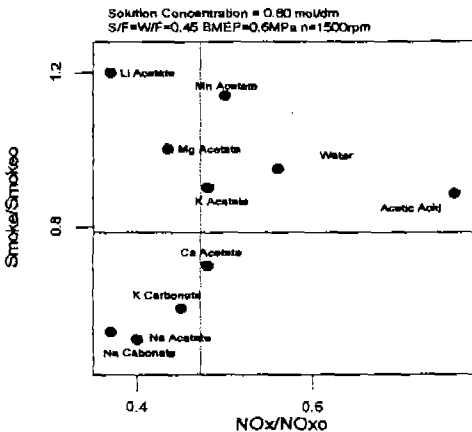


그림 29 금속염 수용액 분사에 의한 NOx와 매연의 동시 저감

의 NOx는 장기 규제에 의해 규제되지 않는 수준에서 7~8할의 저감이 요구되고 있으나 gasoline engine과 달리 배기 정화는 diesel engine 고유 연소 특성에 기인하므로 매우 어렵다. 미래, 한층 NOx 정화가 요구되면

NOx 환원 촉매 등의 후처리 시스템이 필요되나 그 실용화에는 상당한 연구 기간을 필요하다. 따라서 디젤차는 저공해화 대체가 크게 요망된다.