

### 자동차용 디젤엔진 기술의 현황

## The State of the Art of Automotive Diesel Engine Technologies

최 병 철

B.C.Choi

### 1. 머리말

디젤엔진은 승용자동차로부터 시작하여 대형 상용자동차에 이르기까지 폭 넓게 사용되고 있다. 디젤엔진은 내구성이나 신뢰성이 우수하고, 열효율이 높아 연료소비량과 CO<sub>2</sub> 배출량이 적어, 지구온난화에의 기여도가 낮다. 디젤엔진에 있어서 문제점은 확산연소의 특성인 공기이용율의 저하로 매연의 발생이 많고 국부적인 고온의 발생으로 대도시의 대기오염원인 NOx의 배출이 문제가 되고 있다. 최근에는 이러한 입자상물질(Particulate Matter, PM)과 NOx 배출 문제를 해결하기 위하여 디젤엔진의 연소개선 기술을 개발하고 있다. 그리고 배기 후처리 측면에서는 HC, CO, PM 및 NOx의 저감을 위한 DOC(Diesel Oxidation Catalyst), DPF(Diesel Particulate Matter)기술과 de NOx 촉매에 관한 기술개발이 진행되고 있다. 그러나, 디젤엔진은 희박연소이기 때문에 가솔린자동차와 같이 삼원촉매를 사용할 수 없어 후처리에는 어려움이 있다.

본 고에서는 디젤엔진의 최근 엔진기술과 배기 후처리 기술의 현황과 전망에 대하여 논한다.

### 2. 디젤자동차 배기 규제치

각국의 중량 디젤자동차의 배출가스 규제치를 요약하면 표1과 같다. 디젤자동차도 가솔린자동차와 마찬가지로 규제치가 날이 갈수록 엄격해지고 있다. 따라서 디젤엔진을 연구하는 각 분야에서는 새로운 저공해연소기술과 후처리기술의 개발의 필요성을 절실히 느끼고 있다.

### 3. 디젤엔진의 최근 기술

#### 3.1 커먼레일 고압분사방식 엔진

접수일 : 2002년 1월 7일

최병철 : 전남대학교 자동차연구소/기계시스템공학부

디젤엔진의 배기농도를 저감을 위해서는 NOx와 PM, HC 및 CO의 trade off 관계를 극복하고 CO<sub>2</sub>를 저감하는 새로운 기술이 필요하다. 최근 이를 위하여 엔진의 연료공급계통에서 연료분사압력의 고압화와 분사시기의 전자제어기술에 의해 대응하고 있다. 즉 커먼레일 방식의 엔진이 실용화되고 있다. 한편 흡배기계통에 있어서는 4 벨브화, 과급 인터쿨러 방식을 채택하여 자연급기방식의 2.5배 공기 공급량을 달성하고 있다.

표 1 각국의 중량 디젤자동차 배기규제치  
(unit : g/kWh)

국가	카테고리	NOx	HC	CO	PM
한국	98 02	6.0	1.2 (NMHC)	4.9	0.25
	03	6.0	1.2	4.9	0.15
일본	99	4.50	2.90	7.40	0.25
	03 04	3.38	0.87	2.22	0.18
	05	약1.69	약0.44	약1.11	약0.09
미국	98	5.364	1.743	20.786	0.134
	04	NOx+NMHC 3.218 혹은 3.353 또 NMHC 0.671		20.786	0.134
유럽	EURO 3 (정상)(00)	5.0	0.66	2.1	0.1
	EURO 4 정상(05)	3.5	0.46	1.5	0.02
	EURO 5 (08)	2.0	0.46	1.5	0.02

연료분사압력의 고압화 변화 추이는 그림 1과 같다. 이와 같이 연료분사압력은 in line pump(약 60MPa), common rail(최고 120MPa), unit pump(약 180MPa), unit injector(최고압력 240MPa) 순으로 점차 고압화가 진행되고 있다. 여기서 분사압력을

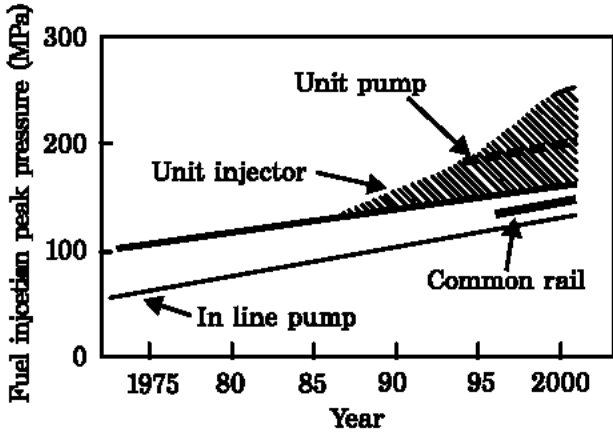


그림 1 최고연료분사압력 변화추이<sup>1)</sup>

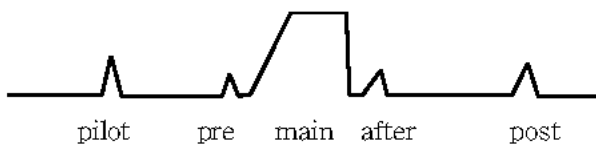


그림 2 커먼레일 방식의 연료 다단분사방식

common rail 방식의 연료공급방식의 특성은, 연료 120~140MPa로 고압화하고 있다. 이는 디젤엔진의 저속, 중속영역에서 분무를 미립화하기 위해 노즐 분공경을 감소시키고 있다. 그 때문에 고출력 영역에서는 분사시기가 길어져 고출력화를 위해서는 높은 분사압력이 필요하게 된 것이다. 그리고, 고압분사를 하게 되면 분무의 극소당량비가 낮아진다. 고압화에 의해 분무의 난류에너지가 높아져서 분위기 중의 공기도입이 활성화되어 과농한 혼합기가 적어져서 매연을 줄일 수 있다<sup>2)</sup>.

커먼레일의 특징 중 또 하나는 전자제어에 의해 연료의 다단분사가 가능한 것이다. 연료의 다단분사 방식의 개념도는 그림 2와 같이 다섯 단계로 구분하여 연료를 분사할 수 있다.

표 2 커먼레일 방식의 연료 다단분사의 효과<sup>2)</sup>

분사단계	효과
pilot	예혼합연소에 의한 PM의 저감
pre-	주분사의 착화 지연 단축에 의한 NOx와 연소소음 저감
after	확산연소의 활발화로 PM의 저감
post	배출가스 온도 상승효과, 촉매에 의한 후처리의 활성화

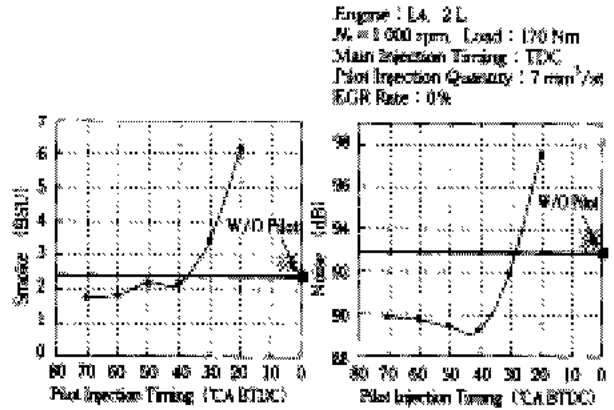


그림 3 pilot 분사의 효과<sup>2)</sup>

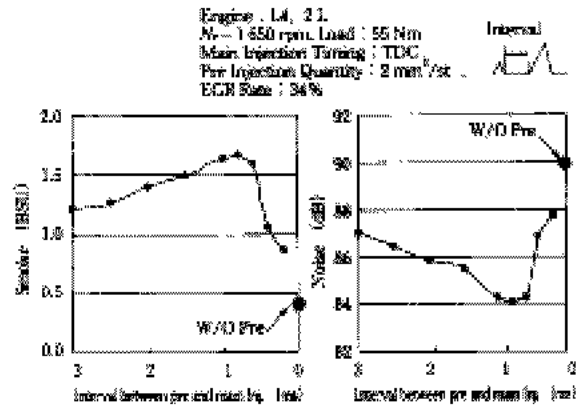


그림 4 pre 분사의 효과<sup>2)</sup>

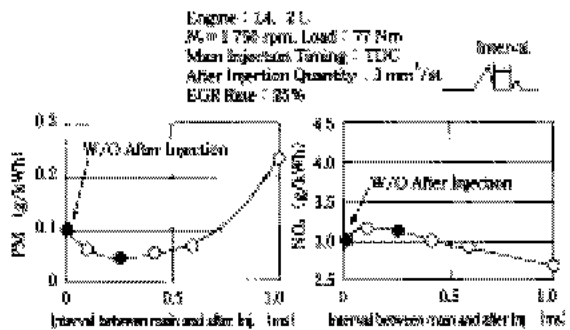


그림 5 after 분사의 효과<sup>2)</sup>

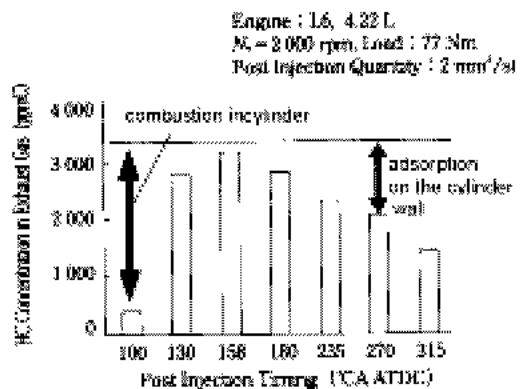


그림 6 post 분사의 효과<sup>2)</sup>

이들 연료의 다단분사의 각 단계에서의 효과를 요약하면 표 2와 같다<sup>2)</sup>. 그리고 실제 커먼레일 방식의 엔진에서 이 다단계연료분사가 배출가스 배출이나 연소소음에 미치는 결과를, 그림3(pilot 분사의 효과), 그림 4(pre 분사의 효과), 그림 5(after 분사의 효과), 그림 6(post 분사의 효과)에 각각 나타내고 있다.

이러한 커먼레일 방식에도 문제점은 있다. 분무가 미세하게 되기 때문에 연소 시 발생하는 PM의 입자도 나노 사이즈(50 nm 이하)로 작게되어 배출되는 경향이 있다. 최근까지 나노 사이즈 입자의 실태를 모르고 있었으나, 검출기술의 향상으로 디젤엔진 배기 중에 다량 포함되어 있다는 사실을 알게 되었다. 그림 7에 디젤엔진에 의해 배출되는 PM의 입자입경분포도를 나타내고 있다<sup>3)</sup>. 50nm를 핵모드(nuclear mode), 300~500nm를 누적모드(accumulation mode)라 부른다<sup>4)</sup>. 이들 계측에 사용되는 장치는 SMPS(scanning mobility particle size, TSI)법과 ELPI(electrical low pressure impactor, DEKATI)가 있고 이들 측정장치의 주요 특성을 표 3에 나타낸다<sup>4)</sup>.

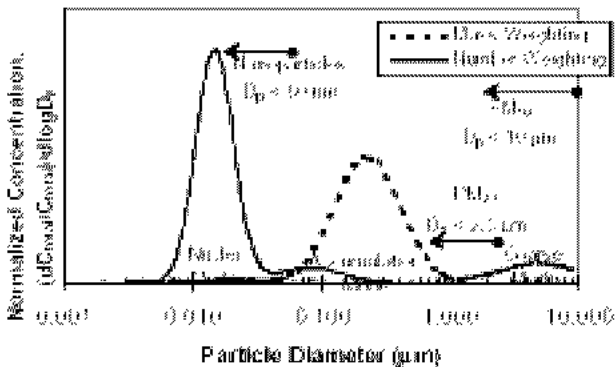


그림 7 PM의 입자입경 분포도<sup>3)</sup>

표 3 SMPS와 ELPI 계측기의 특성<sup>4)</sup>

사양	SMPS	ELPI
측정범위	20-800nm	0.034-9.97µm
측정원리	정전식분포+응축입자 카운트	임팩터분급전하량 계측법
계수율	20-10E+07 개/cm <sup>3</sup>	최대 9E+06 개/cm <sup>3</sup>
계측시간	60-300ch 초 설정	5초 이하
샘플유량	0.2-2L/min. 설정	10L/min.
분포의 종류	개수, 표면적, 체적	개수, 표면적, 체적

현행 규제에서는 나노 사이즈의 PM을 규제할 법이 없다. 현규제에서는 배출가스 성분을 총중량으로 규제하고 있어 나노 사이즈 입자의 경우 중량이 극히 적기 때문에 다량 포함되어 있어도 기준치를 만족할 수 있다. 따라서 향후 나노 사이즈 PM의 직경분포와 개수분포를 정확하게 계측할 수 있는 기술 개발이 필요하며 이들의 규제가 필요하다.

3.2 신개념의 연소방식

디젤엔진에 새로운 방식의 연소기술에 대한 연구로는 예혼합압축자착화(Homogeneous Charge Compression Ignition, HCCI) 엔진과 MK(Modulated Kinetics)연소, 즉 저온 예혼합연소 방식이 대표적이다. 이는 연구 단계이지만 이러한 새로운 개념의 연소방식은 디젤엔진의 성능이나 배출가스 저감에 효과가 있을 것으로 기대된다.

HCCI 엔진 연소는 초기에 연료를 분사하고 압축행정 중 혼합기를 형성하여 압축자착화시키는 방식이다<sup>5)</sup>. 최근에 이 HCCI 연소방식은 커먼레일 연료분사 방식에 의해 분사시기의 대폭변경과 다단분사로 분사시기의 제어가 쉬워져서 연구에 가속도를 붙이고 있다. 특히 실린더 내 직접분사방식의 예혼합압축자착화 연소는 과급의 경우에 연료 분사의 실린더 내 압력이 대기압에서 10MPa 정도까지 큰 폭으로 변화하기 때문에 이에 대응할 수 있는 분사계가 필요하다. 그리고 연소측면에서

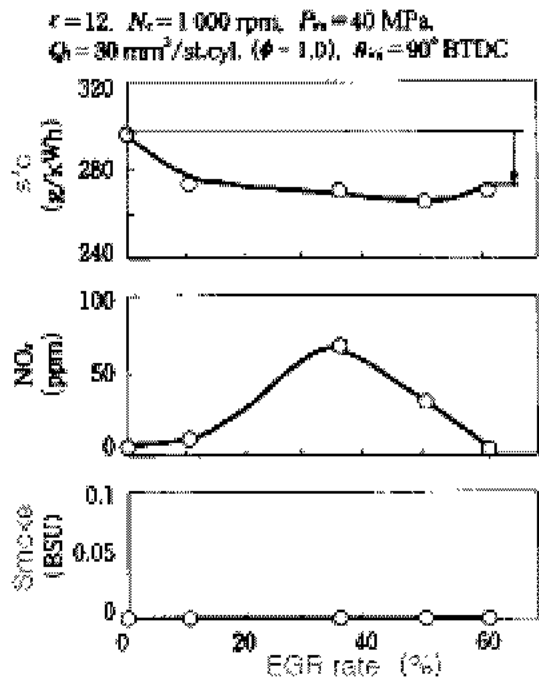


그림 8 HCCI 엔진의 EGR율과 배기 및 연비의 관계<sup>5)</sup>

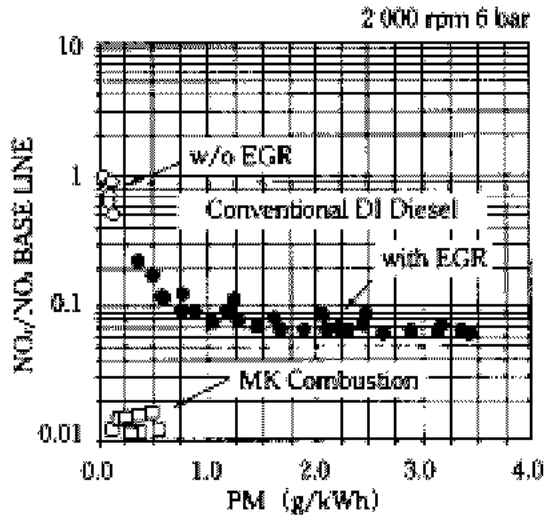


그림 9 MK 엔진의 NOx 저감 특성<sup>6)</sup>

는 과급의 경우 연소개시시기가 TDC보다 빠르고, 연소속도가 빠른 급격한 연소를 하기 때문에 열효율이 나빠진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 EGR을 이용하여 연소 개시시기를 늦추고 연소속도를 늦추는 연소제어가 필요하다<sup>5)</sup>.

그림 8에 HCCI 엔진의 EGR율에 따른 연비와 배출가스 배출 특성을 나타내고 있다<sup>5)</sup>. EGR율이 증가하면 NOx 농도가 증가하다가 EGR율이 40%에서 다시 내려가서 60% 정도에서 10ppm으로 낮

은 배출특성이 있으며, 매연은 전혀 배출되지 않음을 알 수 있다. 통상 디젤엔진은 EGR율이 증가하면 매연배출농도가 증가하지만, HCCI의 경우는 악화하지 않는다. 이 결과의 운전 조건은 거의 이론공연비 부근이다. 따라서 HCCI 연소방식은 디젤엔진에 있어서 매연배출 없이 이론공연비 운전의 가능성을 나타내는 결과이다. 이와 같이 종래의 엔진과 동일한 토크를 내면서 배기의 농도를 낮출 수 있고, 더욱이 연소실 전체에서 연소가 동시에 일어나기 때문에 연소온도도 낮아 열효율이 증가하며, 연소온도가 낮아 NOx 배출량이 적고 냉각손실도 적다.

저온예혼합연소(MK)방식은 저온연소로 NOx 저감을 예혼합연소로 PM저감을 달성하는 디젤엔진의 신연소방식 개념이다. 그림 9에 MK 신연소방식과 종래의 연소방식의 NOx 배출 특성을 나타내고 있다<sup>6)</sup>. 종래의 디젤엔진은 EGR율의 증대와 함께 NOx가 저감하지만, PM의 농도가 증가하는 경향을 나타내어 NOx의 저감은 90%정도가 한계이다. 한편, MK 신연소방식은 PM의 증대 없이 98%의 NOx의 저감율을 달성하고 있다.

그리고 종래의 엔진과 MK 엔진에서 공기과잉율과 EGR율에 따른 NOx와 PM의 배출 특성을 그림 10에서 비교하고 있다. PM의 경우 종래의 디젤엔진은 공기과잉율 1.6에서 급격히 증가하지만 MK엔진에서는 큰 변화가 보이지 않는다. NOx의 농도도 MK 엔진이 종래의 엔진의 절반 이하의 수준이다.

#### 4. 디젤엔진의 배기후처리 기술

실용가능성이 높은 디젤엔진의 배기후처리기술을 요약하면 표4와 같이 4 가지정도의 기술로 요약할 수 있다. 이들 기술 외에 active lean NOx 촉매나 non thermal plasma 기술이 있으나 성능이 낮거나 연구/개발 단계이다.

##### 4.1 DOC(Diesel Oxidation Catalyst)

DOC는 디젤엔진 배기 중 HC, CO를 산화시켜 정화하는 촉매이다. 디젤엔진 배기 중에는 고농도의 산소가 잔존하기 때문에 촉매온도가 일정 수준 이상 유지되면 산화물의 산화는 쉽게 일어날 수 있다. DOC는 오래전부터 실용화되어 오고 있지만, 디젤엔진 배기 중의 유황성분이나 PM 등의 고체탄소에 의한 피독작용으로 인한 성능저하가 문제가 되고 있다. 그리고 DOC는 고온에 장시간 노출

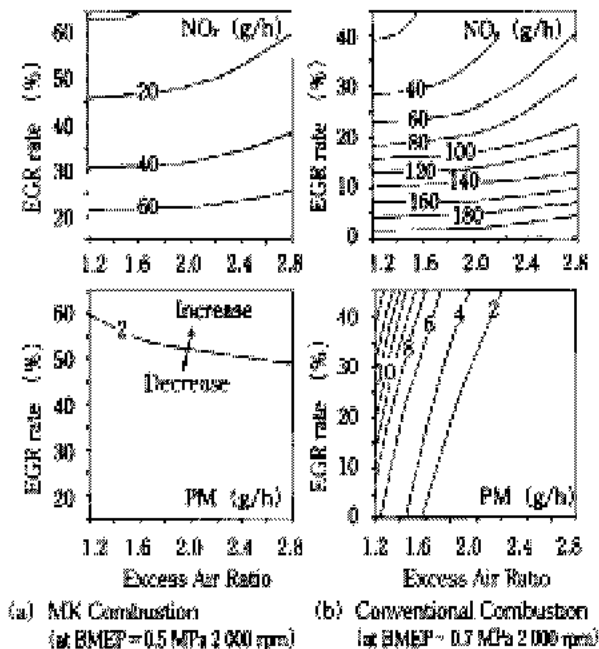


그림 10 MK 엔진의 EGR율과 과잉공기비에 따른 NOx와 PM 배출 특성<sup>6)</sup>

될 경우 귀금속의 신터링현상이나 귀금속이 입자가 성장하는 현상이 발생하여 정화성능을 저하시킨다. 따라서 최근에는 DOC의 내구성을 향상시키기 위하여 귀금속으로는 산화성능이 우수한 Pt를 중심으로 워시코트에 내구성 향상을 위한 다양한

표 4 디젤엔진의 배기후처리 기술 요약

후처리 기술	특 성	개념의 한계점
디젤산화촉매 (DOC)	-간단 -저가 -신뢰성 확보	-NOx, PM 저감 불가
DPF(coating)	-PM 저감 -환원제 불요	-재의 축적 -온도영역 민감 -내구성 부족
SCR (NH <sub>2</sub> 환원제)	-경치형 엔진에서 입증 기술 -일정 운전조건에서 내구성 확보 -NOx 정화율 확보 -연료 유험성분 무 피독	-시스템의 고가 -NH <sub>2</sub> 공급 -큰 용적 필요
NOx 저장촉매	-높은 정화율 -커먼레일 시스템에 최적	-S 피독 -개발 단계

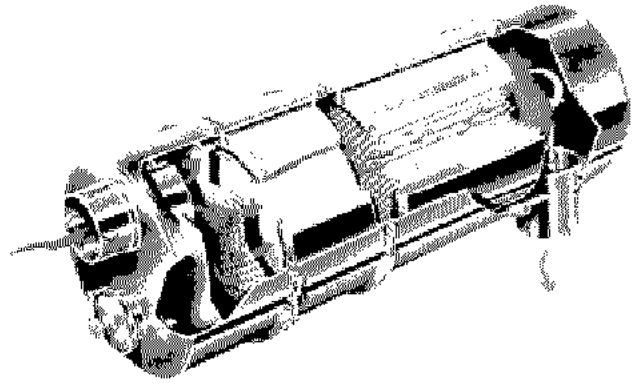


그림 12 Johnson Matthey사의 CRT

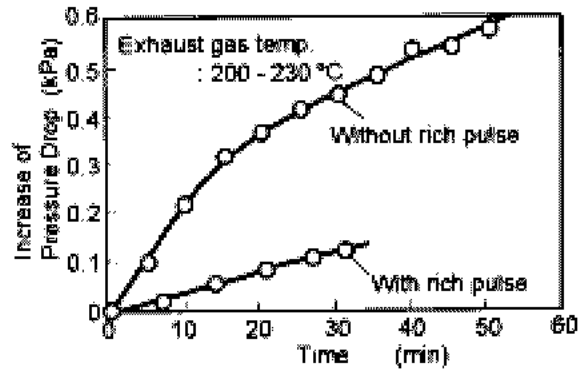


그림 13 환원분위기에서 PM의 산화 효과<sup>13)</sup>

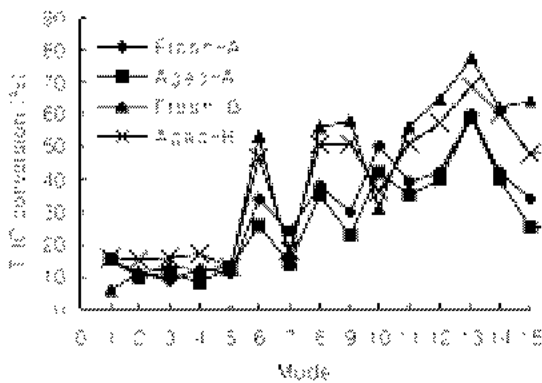


그림 11 새로운 DOC의 THC 정화특성<sup>7)</sup>

조촉매를 첨가한 새로운 DOC가 개발되고 있다. 그림 11은 새로운 DOC의 내구성능평가 결과의 일례를 보이고 있다<sup>7)</sup>.

4.2 DPF(Diesel Particulate Filter)

현재까지 DPF에 관한 기술은 참고문헌<sup>8)</sup>을 참고 바란다. 그 외 최근에 DPF에 관한 기술에 대하여 논한다. 토요타의 DPNR(Diesel Particulate NOx Reduction) 시스템<sup>9,13)</sup>과 Johnson Matthey의 CRT(Continuously Regenerating Trap)는 NOx와

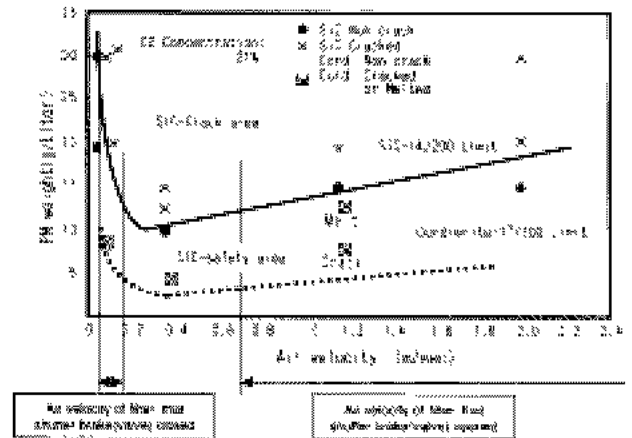


그림 14 Ividen사의 SiC DPF의 재질 성능<sup>10)</sup>

PM을 동시에 정화하는 시스템이다. 그림 12의 Johnson Matthey사의 CRT 시스템이다. 토요타의 DPNR 시스템은 DPF에 NOx 흡장촉매를 응용한 것으로 커먼레일을 이용한 정밀 연소제어와 조합하여 NOx, HC, CO, PM의 동시 저감을 시도하고 있다. 그림 13에 NOx 촉매 상에서 산소과잉분위기와 환원분위기를 반복함으로써 PM의 산화가 촉진되는 것을 알 수 있고, 비교적 간단한 구조로써 PM과 NOx의 동시 정화가 가능하다.

그리고 DPF의 담체 재료를 코디에라이트에서 SiC로 변경한 일본 Ividen사의 DPF에 의해 PM의 저감이 실용화되고 있다. 그림 14는 Ividen사의 SiC DPF의 재질특성을 나타내고 있다<sup>10)</sup>.

4.3 SCR(Selective Catalyst Reduction)

배출가스 중 산소가 과잉상태로 존재할 경우에도 NOx의 정화성을 가진 촉매로서는 Pt Ir/ZSM 5, Pt/ZSM 5, Cu/ZSM 5 등이 실용화 단계에 있다. 이들은 산소과잉분위기에서도 HC에 의해 선택적으로 NOx를 환원하는 촉매이며, 선택적 환

원촉매라고 부른다. Cu/ZSM 5의 경우는 배출가스 중의 수증기의 영향으로 정화율이 급격히 떨어지고 온도 윈도우가 좁은 특성이 있다<sup>8)</sup>. 이 중 Pt Ir/ZSM 5는 자동차에도 적용하여 약 40~50%의 정화율을 얻고 있다. 환원제로서는 HC 이외에 암모니아나 요소를 이용한 예는 공장의 연소장치

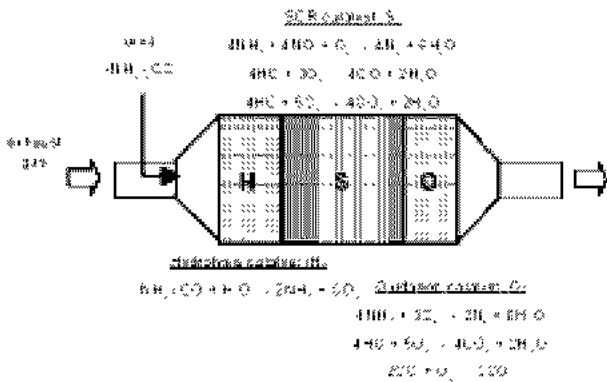


그림 15 새로운 SCR 시스템(HSO)의 개념도<sup>12)</sup>

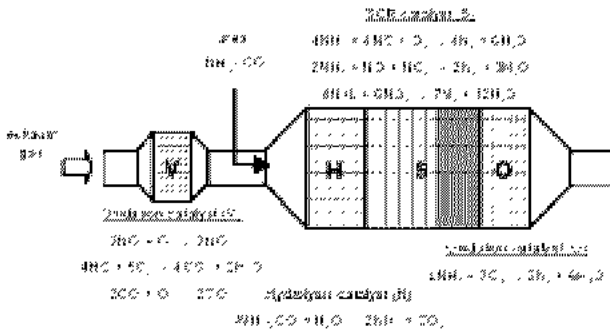


그림 16 새로운 SCR 시스템(VHSO)의 개념도<sup>12)</sup>

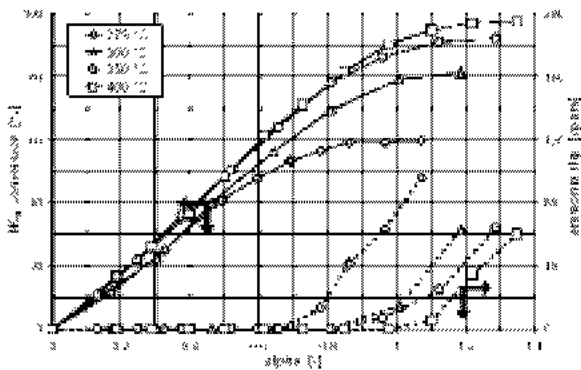


그림 17 HSO 시스템의 NOx 정화율과 암모니아 슬립현상<sup>12)</sup>

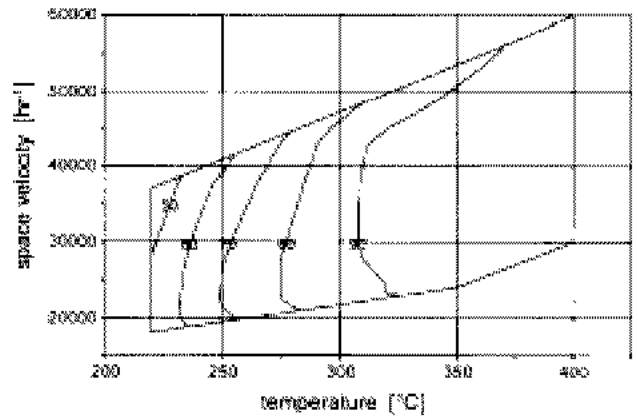


그림 18 VHSO 시스템의 NOx 정화 특성

배출가스 중 NOx 저감을 위해 실용화 되어있다. 자동차의 경우는 요소 등의 환원제 공급방법, 이들 공급 인프라 정비 등의 문제가 있다. 그리고 자동차는 비정상상태운전이기 때문에 요소 환원제의 최적 공급제어가 어렵다. 또한 요소로부터 생성한 암모니아의 배출이 문제가 된다.

SCR과 산화촉매를 조합하여 요소 수용액을 배기 중에 공급하여 효과적으로 NOx 저감을 시도한 예가 있다. 이 시스템의 개략도를 그림 15, 16에 나타낸다<sup>12)</sup>. 그림에서 H는 hydrolysis catalyst로 요소수용액을 암모니아로 전환하는 촉매이며, S는 선택적 환원촉매, O는 산화촉매, 그리고 V는 NO를 NO<sub>2</sub>로 산화시키는 산화촉매를 각각 나타낸다.

그림 17은 그림 15의 HSO SCR 시스템의 NOx 정화율과 환원제로 공급한 요소성분이 암모니아로 배출되는 특성을 나타내고 있다. 그림 중 a는 NH<sub>3</sub>/NOx 비이다. NOx의 농도에 비하여 암모니아의 농도가 증가할수록 NOx의 정화율은 향상하지만, 암모니아의 슬립농도가 증가한다<sup>12)</sup>.

그림 18은 그림 16의 VHSO SCR 시스템의 NOx 정화율을 온도와 공간속도(촉매부하)에 대하여 나타내고 있다. NOx의 정화율이 90% 이상을 나타내기 위해서는 촉매온도가 320°C 이상을 유지하고 공간 속도는 20,000~50,000 1/h 범위를 유지할 필요가 있다.

4.4 NOx 저장촉매(NOx Adsorber Catalyst)

그림 19에 토요타의 DPNR에서 NOx와 PM의 동시 저감에 대한 개념도를 나타내고 있다<sup>13)</sup>. 이

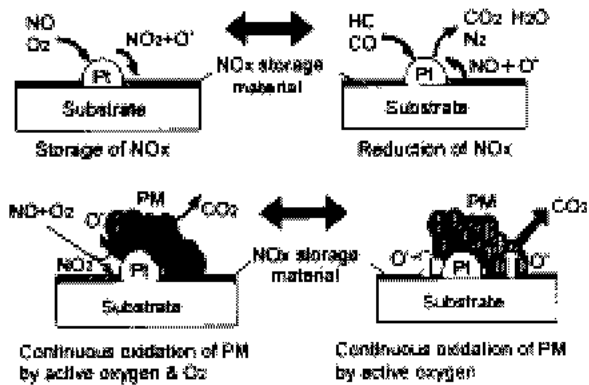


그림 19 DPNR에서 NOx와 PM의 동시저감 개념도<sup>13)</sup>

때 NOx의 저장원리는 가솔린엔진(희박연소)용 NOx 흡장환원촉매의 정화원리와 동일한 것으로, 희박상태에서 NOx가 흡장재에 흡장되고 과농분위기에서 흡장된 NOx를 방출하여 N<sub>2</sub>로 환원시킨다. 산소과잉분위기에서 NO는 커급속상에서 NO<sub>2</sub>로 산화되고 흡장재와 반응하여 황산염으로서 흡장된다. 다음에 환원과정에서는 분위기를 환원제 과잉 혹은 이론공연비로 제어하여 흡장된 황산염을 분해, 탈리하여 커급속상에서 환원성분과 반응하여 정화된다. 이 NOx 흡장환원촉매는 턴번 가솔린엔진에 처음 적용하였다. 따라서 디젤엔진의 배기성분이 가솔린엔진과 다른 점, 배기 중의 유황성분으로 인한 촉매의 피독문제를 해결해야 한다. 그림 20에 유황 피독량과 NOx 정화율의 관계를 나타낸다<sup>9)</sup>. 유황흡착량이 증가함에 따라서 정화율이 저하한다. 이것은 연료 중의 유황성분이 커급속상에서 산화되어 황산염으로서 흡장재와 결합하기 때문이다.

디젤엔진에 있어서 유황이 촉매의 피독에 미치는 환원제의 효과는 그림 21과 같이 H<sub>2</sub>>CO>HC의 순서<sup>14)</sup>이어서, 디젤엔진 배출가스 중 환원성분인 HC로는 유황의 탈리가 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 촉매의 유황 피독성을 개량함과 동시에 연료 중의 유황성분 농도도 동시에 저감시켜야 고정화율의 NOx 흡장환원촉매의 실용화가 가능할 것이다.

5. 맺음말

향후 연료전지가 자동차 동력원으로서 실용화될 때까지 디젤엔진은 우리 자동차산업에 있어서 없

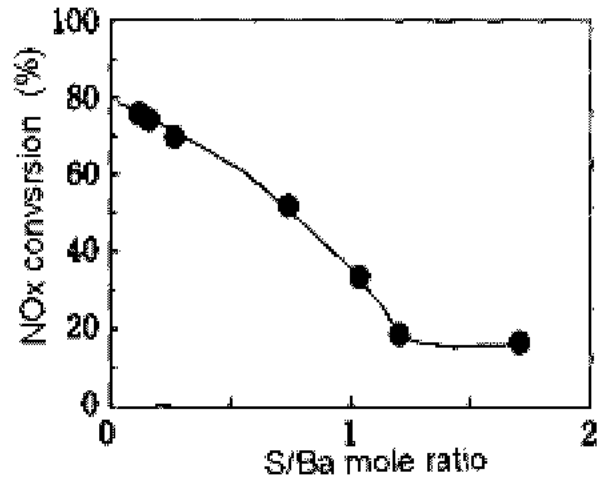


그림 20 유황 피독량과 NOx 정화율<sup>9)</sup>

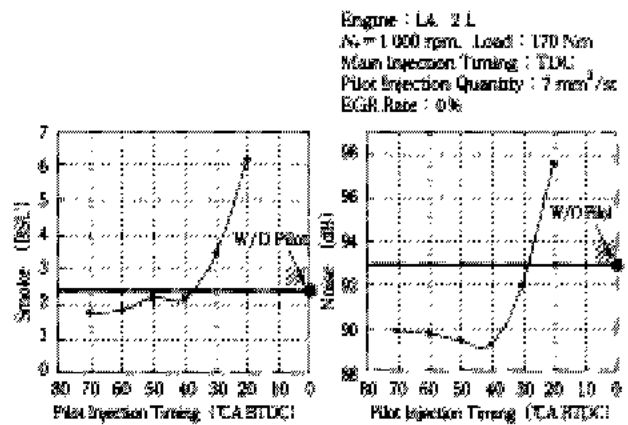


그림 21 유황 탈리성에 대한 환원제의 영향<sup>9)</sup>

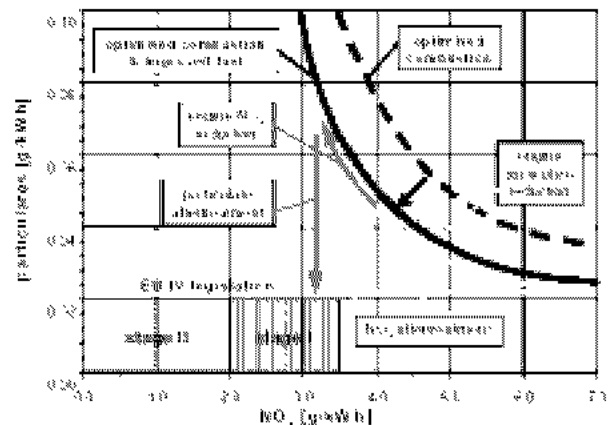


그림 22 디젤엔진의 PM과 NOx의 trade off의 극복 전략<sup>12)</sup>

어서는 안될 중요한 동력원이다. 따라서 현재 문제가 되는 배기문제를 극복하기 위해서는 엔진의 연소개선과 배기후처리기술의 개발로 그 문제점을 해결해 나가야 한다. 그림 22에 디젤엔진이 앞으로 점점 낮아지는 자동차 배기규제를 달성하기 위해

서 필요한 기술적인 전략을 나타내고 있다<sup>12)</sup>. 이와 같이 디젤엔진에 있어서 문제가 되는 NOx와 PM의 배출문제는 새로운 개념의 연소기법의 도입으로 1차 배출원을 최소화하고, 그 후에 배출되는 분은 다양한 후처리기술로 극복하여 배출가스 측면에서 가장 저공해형 자동차엔진으로서 그 자리를 매길 날이 가까운 시기에 올 것을 기대한다.

### 참고문헌

1. Y.Aoyagi, "Present and Future Technologies for Reducing Exhaust Emission in Diesel Engines", J. JSAE, Vol.55, No.9, pp.10 16, 2001.
2. S. Itoh and K.Nakamura, "Reduction of Diesel Exhaust Gas Emission with Common Rail System", J. JSAE, Vol.55, No.9, pp.46 52, 2001.
3. B.R. Graskow, D.B.Kittelton, M.R.Ahmadi and J.E.Morris, " Exhaust Particulate Emissions from 2 Port Fuel Injected Spark Ignition Engines", SAE paper No. 1999 01 1144.
4. T.Nakajima, 최신의 자동차 배출가스 중의 입자상물질 입경 계측기술의 진전, PETROTECH (日本), Vol.24, No.9, pp.710 714, 2001.
5. H.Yanagihara, Combustion in HCCI DI Diesel Engine, J. JSAE, Vol.55, No.9, pp.35 40, 2001.
6. S.Kimura and T.Shirakawa, "Challenge to Ultra Clean Diesel Engines", J.JSAE, Vol.55, No.9, pp.41 45, 2001.
7. 최병철, 이춘희, 박희주, 정명근, 원정민, 신병선, 김상수, "상용 디젤엔진용 DOC의 배출가스 저감 특성", 한국동력기계공학회 2001년 추계 학술대회 논문집, pp.126 131, 2001.
8. 최병철, "배기후처리공학", 도서출판바로, pp.399 434, 2001.
9. N.Takagi, Tanaka and Y.Ogura, "Application of NOx Stroage Reduction Catalyst to Diesel Engines", J.JSAE, Vol.55, No.9, pp.59 62, 2001.
10. K.Ohno, N.Taoka, T.Ninomoya, Shong, M.Kojima and T.Komori, "SiC Diesel Particulate Filter Application to Electric Heater System", SAE paper No. 1999 01 0464.
11. W.Kencht, European Emission Legislation of Heavy Duty Diesel Engines and Strategies for Compliance, Thermofluidynamic Processes in Diesel Engines(THIESEL 2000), pp.289 302, 2000.
12. J.Gieshoff, A. Schafer Sindlinger, P.C.Spurk and A.A.Tillaart, "Improved SCR System for Heavy Duty Applications", SAE paper No. 2000 01 0189.
13. H.Hirota, T.Tanaka, S.Takeshima, K.Itoh, K.Nakatani and K.Domae, "Reduction System in Diesel Exhaust Gas", JSAE paper No. 2001586, 2001.
14. Y.Ikeda, "NOx 흡장환원촉매에 있어서 유허피독현상의 해석", 觸媒(日本), Vol.41, No.2, p.105, 1999.

<e mail : bcchoi@chonnam.ac.kr>