

디젤기관의 미세입자물질 및 질소산화물 저감을 위한 기술 개발 동향



최정황

씨엠씨(주) 대표이사
(cmc201@hanmail.net)

1. 서론

디젤기관 배기가스 처리를 위한 세계법적 규제는 해를 거듭할수록 더욱 엄격해지는 반면, 디젤자동차의 수요는 오히려 증가하며, 디젤기관 배기가스 처리기술의 중요성은 점차 커지고 있다. 이에 자동차산업계는 EURO-4규제를 넘어, EURO-5, -6로 이어지는 기술적 문제를 해결해 나아가야 한다.

디젤기관의 연소로 인한 대표적인 오염물질은 일산화탄

소(Carbon Monoxide CO), 탄화수소(Hydrocarbon, HC), 질소산화물(Nitric Oxides, NOx), 입자상물질(Particulate Matter, PM)이며, 이들은 각기 다른 촉매 기술을 이용하여 저감할수 있다.

최근 들어 대기환경의 관심이 급증하고 있는 디젤자동차용 입자상물질 저감(Particulate Matter filter)기술의 개발 현황과 디젤자동차용 질소산화물저감 촉매기술(DeNOx Catalyst)을 소개하고자 한다.

표 1. 디젤기관 오염물질 및 저감 기술

Emission	Catalyst Technology
Carbon Monoxide (CO)	DOC, DPF
Hydrocarbon (HC)	DOC, DPF
Nitric Oxides (NOx)	DeNOx Catalyst
Particulate Matter (PM) SOF, Dry Carbon, Sulfate	DOC, DPF

2. 입자상 물질저감

디젤기관의 PM을 저감하는 기술로는 DOC(Diesel Oxidation Catalyst)산화촉매와 PM을 필터에 포집하고 이것을 태우는(재생) 장치인 매연여과장치(DPF)가 있다. 현재 가장 효과적인 기술로서 적용되는 DPF(Diesel

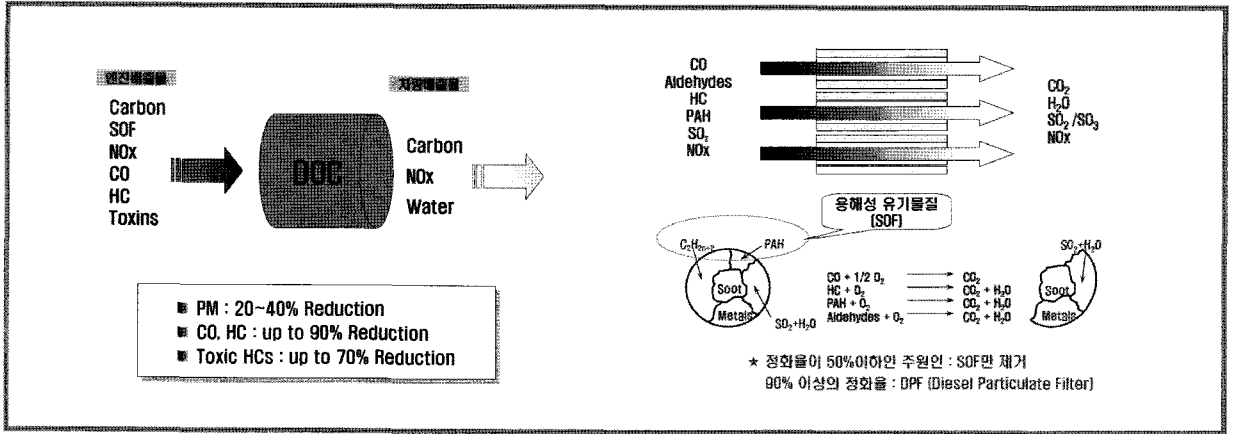


그림 1. DOC 배출가스 저감특성

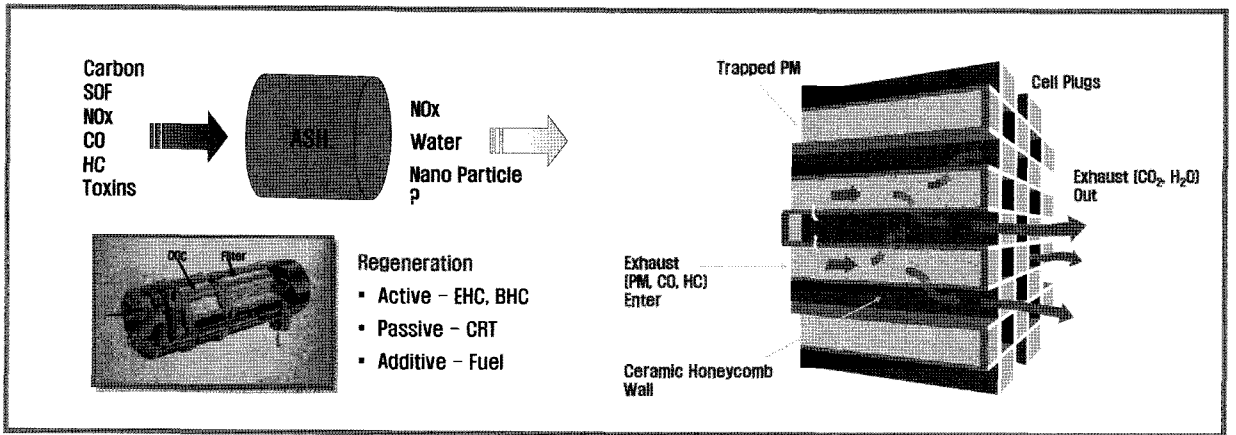


그림 2. DPF 배출가스 저감특성

Particulate Filter)는 PM을 80% 이상 저감할 수 있어 매연저감 성능 면에서는 아주 우수하나 가격기 높고 내구성이 부족한 단점을 가지고 있다. 또한 필터에 PM이 포집됨에 따라 엔진에 배압이 걸리며 이것에 의하여 출력과 연료 소비율이 다소 떨어진다.

필터에 포집된 PM은 가능하면 빠른 시간 내에 태워서 필터가 다시 PM을 포집할 수 있도록 하는 과정을 재생(regeneration)이라고 하며, 재생시 필터가 과열되어 파손되지 않도록 하는 제어기술이 중요하다.

초기 1세대 DPF 기술에서는 포집된 PM을 soot 점화온도인 550-600도 까지 외부에서강제적으로 열을 공급(Active Type:강제재생방식) 하였으며, 열원으로는 전기

히터, 버너, 트로틀링등이 사용되었다.

강제재생방식은 작동 원리상으로는 차량의 다양한 운전 조건과 대부분의 차종에 적용할수 있는 기술이지만 실용상으로는 제한된 에너지 공급방법과 복잡한 구조, 빈번한 고장 등으로 실용화에 어려움이 있다.

최근 들어 촉매나 첨가제를 이용하여 soot 점화온도를 300도 정도로 낮추고 엔진배출가스온도로 재생(Passive Type:자연재생방식) 시키는 2세대 DPF 기술이 개발되어 대형차량의 retrofit에 적용되고 있다. 필터트랩의 촉매코팅, 연료에 첨가제공급, 트랩전방에서 분사시키는 방법 등이 사용된다.

촉매방식 DPF 장치의 대표적인 기술로는 Johnson

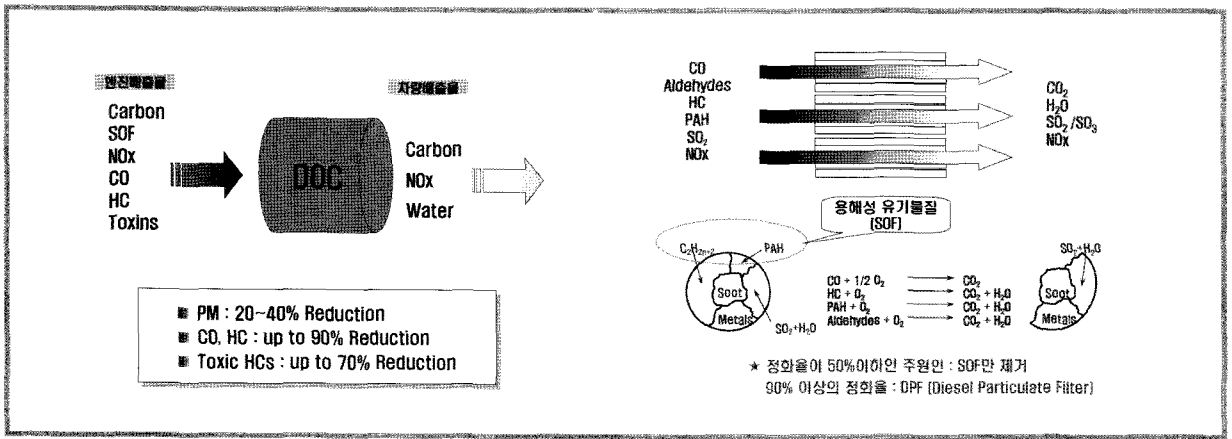


그림 3. Johnson Matthey 사의 CRT Filter 와 재생은도

Matthey 사의 CRT와 Engelhard 사의 DPX 장치가 평가되고 있다.

특히 Johnson Matthey 회사에서 개발한 촉매방식 매연여과장치는 포집된 입자상물질을 연속적으로 산화시켜 CRT(Continuous Regeneration Trap)에 포집된 PM은 배기가스 온도가 250도 이상되면 연속 재생된다.

첨가제 방식과 촉매방식은 필터 내에서 연속재생이 일어나므로, 필터에 포집된 매연의 양이 적어 엔진의 배압을 낮은 수준으로 유지함으로써 타 장치에 비해 연비약화와 엔진성능의 저하요인이 적다. 그러나 촉매의 PM 재생능력에는 한계가 있기 때문에, 엔진에서 배출되는 PM과 NOx의 비율(NOx/PM)이 8이상이고, 배출가스가 275도 이상이어야 작동이 확실하다.

또한 촉매의 정상적인 작동을 위해서는 경유의 황(sulphur)성분이 10ppm이하를 요구하고 있어 CRT의 상용화에 장애가 되며, 전세계적으로 보급되기 위해서는 다소 시일이 소요될 것으로 예상된다.

3. DeNOx 촉매기술(DeNOx Catalyst Technologies)

휘발유 자동차에서 배출되는 탄화수소, 일산화탄소를 산화시키고, 동시에 질소 산화물을 환원시킬수 있는 삼원촉

매(Three-way Catalyst)가 높은 성능을 나타내기 위해서는 공기와 산소의 비율이 이론 공연비에 가깝도록 유지되어야 한다. 산소가 부족한 연료과잉 조건에서는 탄화수소와 일산화탄소의 산화가 어려우며, 산소가 과잉인 연료부족 조건에서는 질소산화물의 환원이 어렵기 때문이다. 하지만 디젤기관의 배기가스는 언제나 산소과잉 상태인 산화분위기이므로, NOx 정화율은 매우 낮은 상태가 된다. 배기가스 내에 존재하는 탄화수소, 일산화탄소와 같은 환원제가 질소산화물 환원에 이용되기 보다는 산소와 반응하여 연소가 우세하게 일어나기 때문이다. 이와같이 산소과잉조건에서 질소산화물을 저감시킬수 있는 촉매 기술을 DeNOx 촉매라고 한다.

배기가스중에 존재하는 환원제(탄화수소, 일산화탄소, 수소)만은 이용하여 질소산화물을 저감시킬수 있는 기술을 Passive Type DeNOx 촉매라 하고, 추가의 환원제(연료 또는 Urea)를 별도의 공급장치를 이용하여 저감하는 방식을 Active Type DeNOx 기술이라고 한다.

가장 이상적인 DeNOx 기술은 질소산화물을 직접 분해시키거나, 배기가스내의 환원제만을 이용하여 질소산화물을 환원시킬 수 있는 Lean NOx Catalyst (LNC)라고 할 수 있다.

하지만, 배기가스 내에 존재하는 환원제의 농도와 촉매의 성능이 낮기 때문에 규제 대응을 위한 현실적인 적용 방안으로 어려운 실정이다. 따라서 추가적인 환원제 공급을

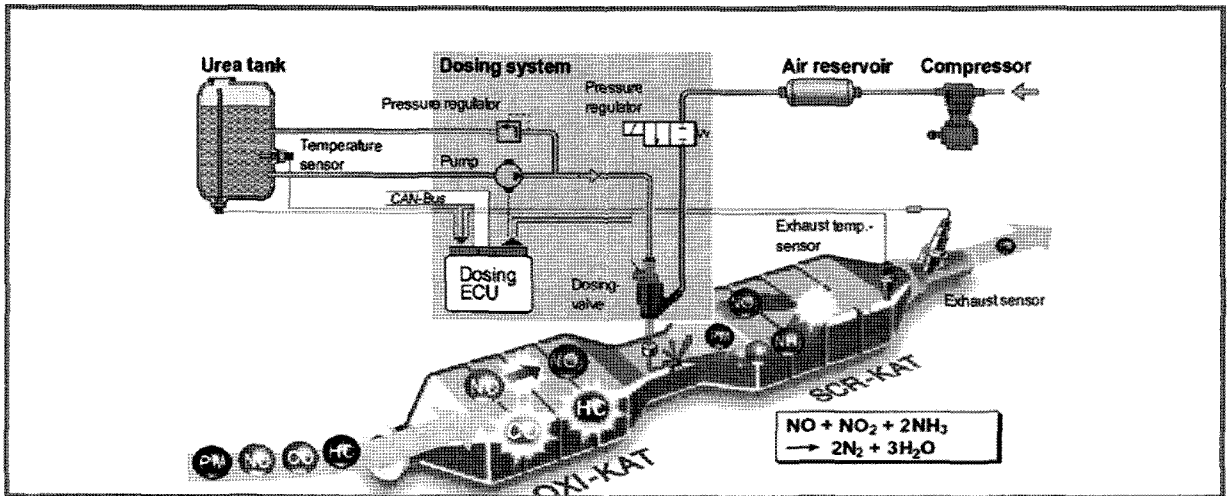


그림 4. SCR System Configuration

필요로 하는 SCR(Selective Catalytic Reduction) 방식이 검토되고 있다. 환원제의 종류에 따라 Urea-SCR, HC-SCR(Lean NOx Catalyst, Active)로 분류하고 있다.

Urea는 가수분해과정을 거쳐 암모니아 (NH3)로 변환된 후 질소산화물 환원과정에 참여하게 된다. 현재 시점에서 Urea-SCR 이 실용성을 갖춘 유일한 SCR 기술이라 할 수 있다.

따라서 Urea-SCR 장치를 장착할 경우 EURO-4, -5규제를 충분히 달성할수 있으나, Urea 연료분사의 최적화와 연료분사시점과 연료 분무 패턴등의 극대화 기술을 적용하여 NOx 정화율을 달성하고 있다. 또한 암모니아 센서 및 핵심부품의 지속적인 모니터링을 위하여 신뢰성 있는 OBD 기술이 필요하다

3. 입자상 물질-질소산화물 동시 저감

향후 디젤기관으로부터 배출되는 질소산화물은 입자상 물질과 동시에 저감되어야 한다. 입자상 물질 제거에는 디젤산화촉매(DOC)와 함께 DPF가 사용되고 때문에 다양한 기술 조합이 가능하게 된다.

DPF와 동시에 적용할 경우의 대표적인 구성은 다음과 같다.

4. 맺음말

PM-NOx 동시 저감 시스템은 엔진으로 배출되는 PM

표 2. LNT와 Urea-SCR의 특성 비교

	LNT	Urea SCR
장점	<ul style="list-style-type: none"> 별도의 환원제 주입 장치가 필요하지 않음 현재의 차량에 장착 가능 추가적 인프라 구축이 필요하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 전환율 높음 연비 우수(연소효율 향상) 내활성 우수 촉매 가격저렴
단점	<ul style="list-style-type: none"> NOx 및 SOx 재생에 기인한 연비 손실 취약한 내활성 고가의 귀금속 포함 	<ul style="list-style-type: none"> Urea 인프라 필요 환원제 주입 관련 부대장치필요(비용 및 공간) 내열성

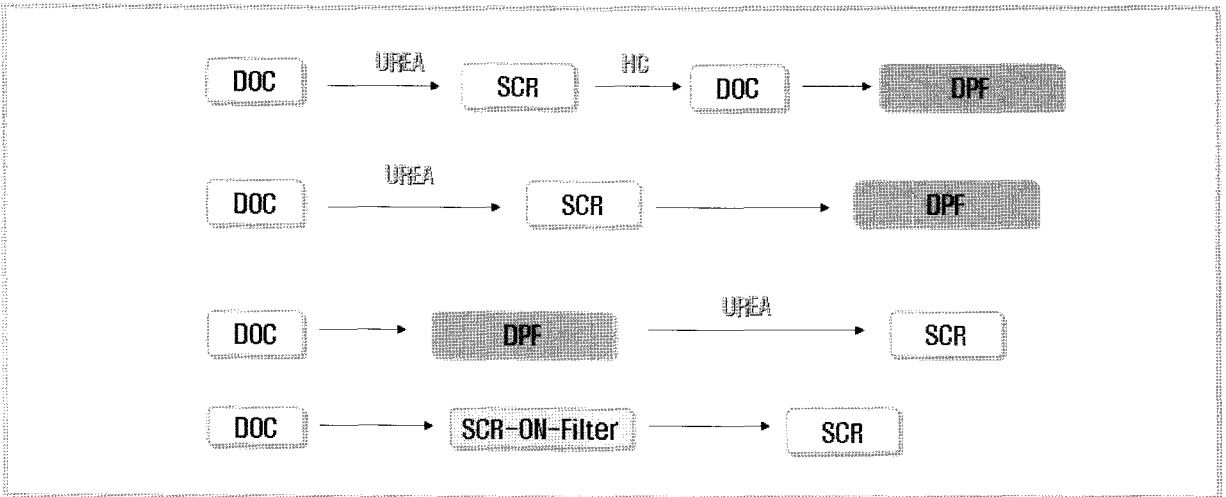


그림 5. PM-NOx 동시 저감 시스템: DOC/SCR/DPF

과 NOx량, NOx 정화율과 연비 사이에 나타나는 두 개의 Trade-off 관계를 기초로 한, PM/NOx 규제대응 전략, 경제성 그리고 사회적 수용성에 따라 결정될 것이다.

긍정적인 동시저감 기술의 발전은 촉매 기술의 획기적인 진전을 필요로 할 것이며, 연료중의 황 함량이 낮아지고 있으며, 배기가스 중의 NOx 대비 환원제 농도비가 증가되는 최근의 경향은 Lean NOx촉매와 같은 Passive Type 기술

개발측면에서 긍정적인 변화이다.

Urea와 같은 암모니아를 환원제로 이용하는 SCR 기술에서도, Urea 용액을 대체 함으로써 인프라 구축에 대한 부담을 해소하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 이와 같은 노력들이 결실을 맺어 획기적인 PM-NOx 동시 저감 기술의 발전이 멀지 않은 날에 이루어지기를 기대해 본다.