

디젤엔진 배기정화 기술의 최신동향 (NOx 흡장형 환원 촉매 기술)

The Latest Emission Control Technology for Diesel Engine
(Application of NOx Storage-Reduction Catalyst)



이 성 옥 / 일본 국토교통성 교통안전환경연구소 연구관
Seang Wook Lee / Japan National Traffic Safety and Environment Lab.

머리말

디젤엔진은 효율이 높고 CO₂의 배출이 적어 지구 온난화방지에 유력한 동력원으로 주목받고 있으나, PM과 NOx 배출로 인한 환경문제를 해결하기 위한 대책이 시급한 상황이다. 현재, 연소실 형상의 최적화, 고압연료분사 및 EGR 등 연소시스템 개선에 의한 배출가스저감과 동시에 경유내 유황성분의 저감 등 연료의 개량도 함께 진행되고 있다. 이러한 연료개량으로 인해 디젤엔진의 배기후처리기술이 개선되고 다양한 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 이에 본고에서는 지금까지 개발되어진 배기후처리기술과 NOx 흡장형 환원촉매를 이용한 PM과 NOx동시 저감촉매 시스템 (Diesel Particulate NOx Reduction System, 이하 DPNR) 및 연료와의 관계에 대해 소개하고자 한다.

1. 종래의 배기가스 후처리기술

<표 1>에 나타낸 바와같이 PM 처리기술은 DPF

(Diesel Particulate Filter)에 포집한 PM의 처리방법에 따라 크게 2가지로 나눌 수 있다. 즉 PM을 포집한 후 연소시키는 방법(간헐 재생방식)과 PM의 포집과 산화를 연속적으로 하는 방식이다. 푸조에 적용된 방식을 살펴보면 연료중에 첨가제를 혼합함으로써 배출되는 PM의 착화온도를 낮추고 팽창행정중 포스트 분사에 의해 산화촉매를 활성화함으로써 포집된 PM을 산화시키는 간헐재생방식을 이용하였다. 또한

<표 1> PM 처리기술

| DPF방식 | 시스템명칭 | 시스템 개요 | 특기사항 |
|---------|----------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 간헐재생 방식 | 도요타 (기존방식) | 배기전환 밸브, 히터, DPF | DPF 전방에 전기히터 |
| 연속재생 방식 | PSA / 푸조 | 연료+첨가제(Ce), 산화촉매, DPF, E/G | 연료첨가제 공급계필요, 온도제어에 의한 재생 |
| | CRT/ Johnson Matthey | 산화촉매 NO→NO ₂ , DPF | NO ₂ 에 의한 PM산화 |

〈표 2〉 NOx 정화기술

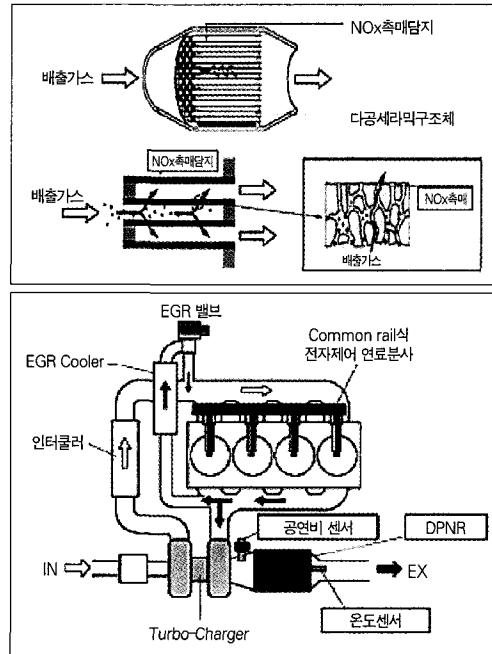
| 구분 | 시스템 구성 | 과제 |
|-------|------------------------------|-----------------------|
| 흡장환원형 | 순간적 Rich상태 환원제 : HC, CO | Smokeless Rich 연소의 실현 |
| 선택환원형 | 요소수 환원제 : NH ₃ | 요소첨가시스템, 인프러 문제 |
| | HC(연료) 환원제 : HC | NOx 정화율의 향상 |

Johnson Matthey사의 CRT는 필터전에 설치한 산화촉매에 의해 배기중의 NO를 NO₂로 산화시키고, 이 NO₂를 이용해 포집된 PM을 저온에서 산화시킴으로서 연속재생을 가능하게 하였다. 이들 PM저감기술은 높은 PM정화성능을 지니고 있으나 NOx정화 기능은 없는 것이 현실이다.

〈표 2〉에는 흡장환원식, 선택환원식 NOx 정화기술에 대해 정리하였다. 흡장환원식 NOx촉매는 공연비 Lean상태에서 NOx를 흡장하고 순간적 Rich공연비를 형성함으로써 흡장된 NOx를 환원·정화하는 기술이며, 주로 린번가솔린엔진에 적용되었다. 한편, 요소 화합물을 배기계에 첨가하여 요소에 의해 생성된 암모니아를 이용해 산소과잉 조건하에서 NOx를 선택적으로 환원하는 선택환원형은 요소의 인프라정비 및 암모니아 배출억제가 과제로 남아 있다. 또한 이들 시스템은 PM처리가 불가능하다는 문제도 개발에 걸림돌이 되고 있다.

2. DPNR 시스템

전술한 바와같이 PM과 NOx를 개별적으로 정화하는 후처리 기술은 이미 개발되어 있으나 두성분을 동시에 연속적으로 정화가능한 새로운 DPNR 시스템이

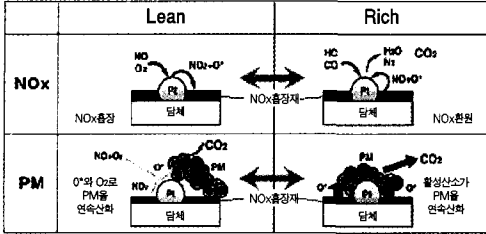


〈그림 1〉 DPNR 시스템

도요타 연구진에 의해 개발되었다.

〈그림 1〉의 DPNR시스템은 커먼레일식 전자제어 연료분사 시스템, EGR쿨러를 장착한 디젤엔진의 배기계에 DPNR촉매 및 연료첨가 노즐을 추가했다. 이 시스템에서는 NOx환원을 위해 정기적으로 연료분사에 의한 공연비 Rich운전과 대량 EGR 및 분사제어를 조합한 저온연소에 의해 공연비 Rich를 제어한다.

DPNR에 의한 NOx정화 메카니즘은 〈그림 2〉에 나타난 바와 같이 흡장환원형 NOx촉매와 원리가 같다. 즉, 공연비 Lean의 경우 NOx가촉매에 흡장되고, 공연비 Rich의 경우 흡장된 NOx가 방출되어, 3원활성에 의해 N₂로 환원된다. PM은 구조체의 벽을 통과할때 관성충돌, 흡착 등에 의해 포집되어 〈그림 2〉하단에 나타난 바와 같이 공연비 Lean과 Rich의 반복에 의해 NOx를 흡수 및 방출할 때 촉매상에서 생

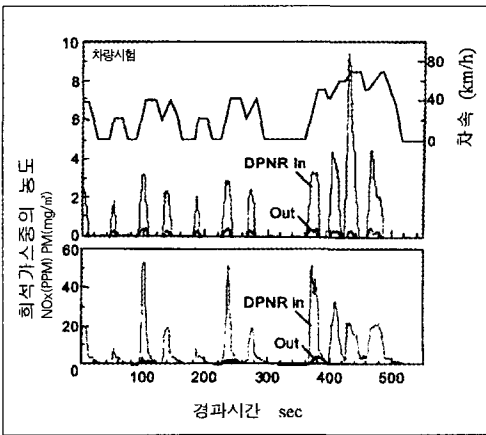


〈그림 2〉 NOx 정화기술

성된 활성산소와 배기중의 산소에 의해 산화된다. 이와 같이 본 시스템은 PM을 연속적으로 산화시키며 종래의 방식, 즉, PM을 축적한 후 연소시키는 간헐재생방식과 비교해서 보다 낮은 온도영역에서 PM의 산화가 가능하게 되었다.

3. PM · NOx저감 효과

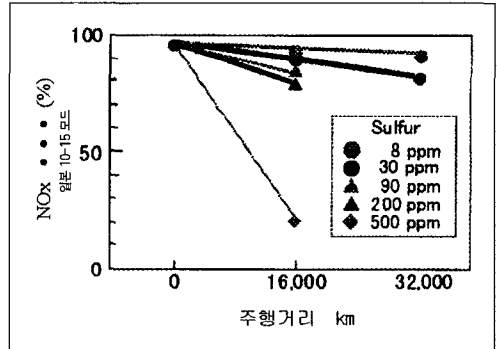
실차에 있어서 DPNR의 PM, NOx 동시저감 효과를 〈그림 3〉에 나타내었다. 여기서는 2TDI엔진탑재 차량을 이용해 10-15모드에서 주행한 결과, PM과 NOx가 동시에 80%이상의 저감효과가 얻어졌다.



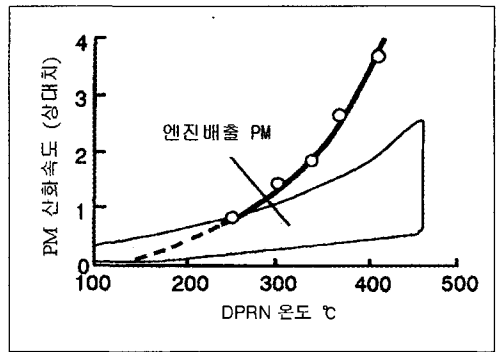
〈그림 3〉 DPNR의 PM, NOx 저감효과

4. 과제

DPNR촉매는 흡장환원형 NOx촉매와 마찬가지로 유향에 의한 피독의 영향을 받는다. 그러므로 정기적으로 유향의 피독회복을 실시하여야 하지만 황에 의한 피독은 회복후에도 〈그림 4〉에 나타난 바와 같이 주행거리가 증가하면 NOx정화율은 유향농도의 증가와 함께 저하한다. 이는 유향분이 증가할수록 촉매상의 유산염의 입경이 크게 성장하여, 보다 견고한 결정을 형성해 분해가 어렵게 되기 때문이다. 이와같이 흡장환원형 NOx촉매는 유향의 피독영향을 받기때문에 연료중의 유향분을 저감할 필요가 있다.



〈그림 4〉 연료내 유향농도가 NOx정화율에 미치는 영향



〈그림 5〉 PM산화속도와 DPNR촉매온도의 관계

〈그림 5〉에 DPNR축매 온도와 산화속도의 관계 및 승용차에 있어서의 배기온도와 단위시간당의 PM배출량의 관계를 나타내었다. 대부분의 운전영역에서 PM산화량이 배출량보다 많으며, DPNR에 의한 압력손실이 큰 변화없이 연속운전이 가능하다는 것이 판명되었다.

그러나 시동 및 저부하 운전영역에서는 PM배출량이 산화량보다 많으며 PM의 연속산화를 지속시키기 위해서는 온도를 높이기 위한 제어가 필요하다. 또한 기존차량은 PM의 배출량이 비교적 많고 활성화를 위한 온도제어가 어려우므로 DPNR의 적용에 있어서는 어렵다고 할 수 있다.

맺음말

디젤엔진의 배기특성 및 지금까지 검토되어 온 배기정화기술에 대해 소개하였으며 다음과 같은 방향성을 제시하였다.

- 1) 지금까지는 고압연료분사 및 EGR 등 주로 엔진 연소의 개량에 의해 PM 및 NOx의 저감에 주력해 왔으나 한층 더 높은 정화를 위해서는 우수한

성능의 후처리기술이 필요하다.

- 2) PM의 저감을 위해서는 저유황, 낮은 비등점 및 저방향족화 등의 연료개량이 효과적이다.
- 3) 디젤용 축매장치 DPNR은 흡장환원형 NOx축매를 기반으로 하는 축매기술과 공연비 Rich연소기술을 조합함으로써 PM 과 NOx를 큰폭으로 저감하는 것이 가능하게 되었다.
- 4) DPNR시스템은 유황에 의한 피독영향을 받기 쉬우므로 충분한 성능발휘를 위해서는 연료내 유황성분의 저감이 필수적이라 할 수 있다.

관련 홈페이지

- (1) http://www.toyota.co.jp/thd2000/env/env_1.html
- (2) <http://www.hino.co.jp/j/world/ivent/Clean%20Diesel2.pdf>
- (3) <http://www.ntscl.go.jp/ronbun/happyoukai/ronbun/14files/DPNR.pdf>
- (4) http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/jidousya/press/toyota_DPNR.PDF

(이성욱 연구관 : leesw@ntscl.go.jp)

학회지 정정 보도

자동차공학회지 제 25권 제 3호 특집호에 게재된 “한국타이어 차량동역학 연구”의 저자중 김광현 선임 연구원이 아닌 상무이사임을 정정합니다.