

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2010.34.7.689

연료 개질장치의 적용에 따른 디젤 LNT 환원성능 개선 특성

박철웅*† · 김창기* · 김관태* · 이대훈* · 송영훈*

* 한국기계연구원

Improvement in Reduction Performance of LNT-Catalyst System with Micro-Reformer in Diesel Engine

Cheol Woong Park*†, Chang Gi Kim*, Kwan Tae Kim*, Dae Hoon Lee* and Young Hoon Song*

* Korea Institute of Machinery and Materials

(Received July 13, 2009 ; Revised June 2, 2010 ; Accepted June 3, 2010)

Key Words: Diesel deNO_x(디젤 질소산화물저감), LNT Catalyst(질소산화물 흡착촉매), Micro-reformer(소형 개질기), Hydrogen-Enriched Gas(수소농후가스)

초록: 디젤엔진은 높은 열효율과 우수한 연비 성능 등의 장점을 가지고 있으나, 기화된 연료와 주변 공기가 혼합된 후 착화되는 과정을 거치기 때문에 이론 공연비 영역에서는 질소산화물(NO_x) 배출이 증가되는 문제점을 가지고 있다. 최근 활발히 연구되고 있는 높은 정화 효율을 가진 LNT 촉매는 희박 분위기 조건에서는 NO_x를 흡착하게 되고 과농한 분위기에서는 환원 분위기 형성을 통하여 NO_x를 저감시키게 된다. 희박 공연비에서 동작하는 디젤 엔진에서는 이러한 환원 과정을 이루기 위해 주기적으로 과농한 분위기를 형성해주어야만 하는데, 이러한 연구는 NO_x 저감을 위해 HC를 포함한 환원제의 농도를 제어하는 기술로서 본 연구에서는 디젤을 연료로 하는 수소농후가스 발생장치를 이용하여 LNT 촉매에 환원제로서 수소농후가스를 직접 공급하는 방식으로 LNT 촉매의 NO_x 저감 특성을 파악하였다.

Abstract: The Because of its high thermal efficiency, the direct injection (DI) diesel engine has emerged as a promising potential candidate in the field of transportation. However, the amount of nitrogen oxides (NO_x) increases in the local high-temperature regions and that of particulate matter (PM) increases in the diffusion flame region during diesel combustion. In the de-NO_x system the Lean NO_x Trap (LNT) catalyst is used, which absorbs NO_x under lean exhaust gas conditions and releases it in rich conditions. This technology can provide a high NO_x-conversion efficiency, but the right amount of reducing agent should be supplied to the catalytic converter at the right time. In this research, the emission characteristics of a diesel engine equipped with a micro-reformer that acts as a reductants-supplying equipment were investigated using an LNT system, and the effects of the exhaust-gas temperature were also studied.

1. 서 론

디젤 엔진은 연료 소비율 면에서 열효율이 높고 CO₂ 배출이 적은 매력을 가지고 있으나 연소 특성상 국부적인 고온 반응 구간인 예혼합 연소 기간에서의 NO_x 생성과 확산 연소 기간에서 입자상 물질(Particulate matter, PM)이 필연적으로 배출되는 문제점을 가지고 있다. 1990년대 이후 디젤엔진에서 배출되는 NO_x와 PM을 저감시키기 위하여 고압 연료 분사 시스템, 신연소 개념 및

EGR 등과 같은 다양한 엔진관련 기술들이 개발되어 적용되어 왔으나, 배기 규제가 강화됨에 따라 이러한 기술만으로 규제를 만족하기에는 한계가 있어 배기 후처리 기술의 적용이 불가피해졌다.^(1,2)

따라서 최근에는 산화촉매나 DPF(Diesel Particulate Filter)의 개발과 각종 NO_x 저감용 촉매 개발이 상당히 진전되어 배기후처리 장치에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 또한, 디젤 엔진의 대표적인 오염 배출 물질인 PM과 NO_x를 동시에 저감시키기 위한 여러 가지 방법의 촉매 기술이 이용되고 있다. 특히, NO_x를 흡착한 후, throttling과

† Corresponding Author, cwpark@kimm.re.kr

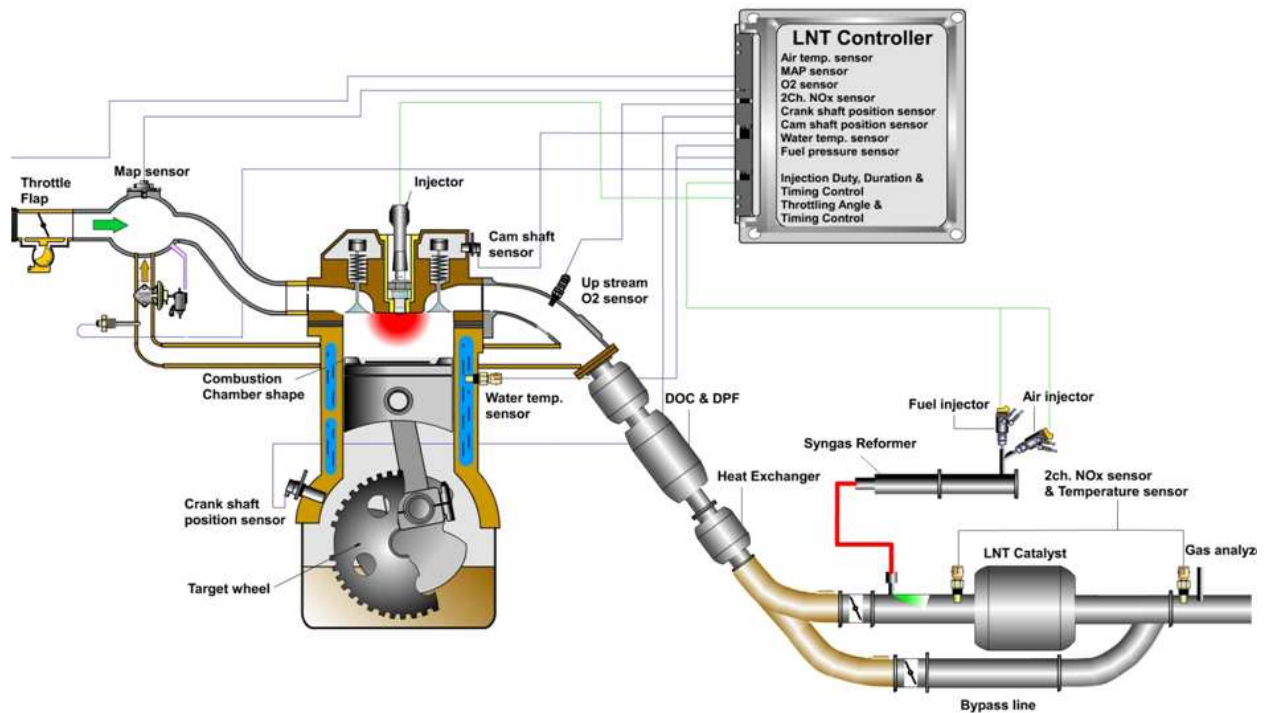


Fig. 1 Experiment schematic for LNT performance test

엔진 내 후분사 및 환원제 추가분사 등으로 환원 분위기를 만들어 NO_x 를 환원시키는 LNT(Lean NO_x Trap) 기술이 유망한 NO_x 저감 후처리 기술의 하나로 알려져 있다.^(3,4)

LNT 기술은 Urea-SCR(Selective Catalytic Reduction)이나 LNC(Lean NO_x Catalyst)와 같은 다른 후처리 촉매기술과 비교할 때 이론적으로 가장 안정적이나, NO_x 를 흡착시키는 Ba의 황에 의한 NO_x 흡착 능력 저하와 같은 촉매의 피독이 큰 단점이다. 그리고 인위적인 환원분위기를 만들기 위한 HC 분사와 엔진 내 후분사(Post-injection) 및 throttling 등은 장치를 복잡하게 하고 연료소모율을 증가시키는 원인으로 작용한다. 또한, 환원 반응을 위해 약 300°C 의 배출가스 온도가 요구되고 주기적인 탈황을 위해 $500\sim 600^\circ\text{C}$ 의 고온을 필요로 하며, 이러한 온도의 상승은 LNT의 부분적인 온도상승을 일으켜 촉매의 열화를 일으키기도 한다.⁽⁵⁾

이와 같은 LNT는 흡착제와 산화촉매 및 환원촉매로 구성되어 있으며, 촉매의 크기는 엔진배기량의 2~5배 가량이 사용된다.^(6,7) NO_x 의 정화 효율을 향상시키기 위해서는 온도 범위와 산소농도의 제어 및 환원제의 최적화가 가장 중요하다. 환원제의 성분 따라 정화 효율의 차이가 나며, NO_x 의 환원과 탈황을 위한 산소의 농도와 환원가스의 농도가 제어되어

야 한다. 일반적으로 환원제로서 H_2 가 CO와 HC보다 재생에 효과적이기 때문에 근래에는 이러한 환원가스의 농도를 높이기 위해 저온 플라즈마를 이용하여 연료를 개질하여 LNT에 공급하거나, DFC(Diesel Fuel Cracking)라는 개질 촉매를 LNT 전단에 붙이고 연료를 분사하여 H_2 와 CO의 농도를 높이기도 한다.⁽⁸⁾

LNT 촉매는 희박 분위기 조건에서는 NO_x 를 흡장하게 되고 과농한 분위기에서는 환원 분위기 형성을 통하여 NO_x 를 저감시키게 된다. 희박 공연비에서 동작하는 디젤 엔진에서는 이러한 환원 과정을 이루기 위해 주기적으로 과농한 분위기를 형성해주어야만 하는데, 이러한 연구는 NO_x 저감을 위해 HC를 포함한 환원제의 농도를 제어하는 기술로서 실제 배기관내에 LNT 촉매의 흡장 및 배출특성과 같은 환원 응답특성을 고려하여야 하므로 환원제를 공급하는 방법이 중요하다.

본 연구에서는 디젤을 연료로 하는 수소농후가스 발생장치를 이용하여 LNT 촉매에 환원제로서 수소농후가스를 직접 공급하는 방식으로 LNT 촉매의 NO_x 저감 특성을 파악하였다. 실험에 사용한 엔진은 2,000cc급 디젤엔진이며, 일정한 엔진 속도 및 부하조건에서 환원제 공급량 및 촉매 온도의 변경에 따른 LNT 촉매의 성능을 파악하였다.

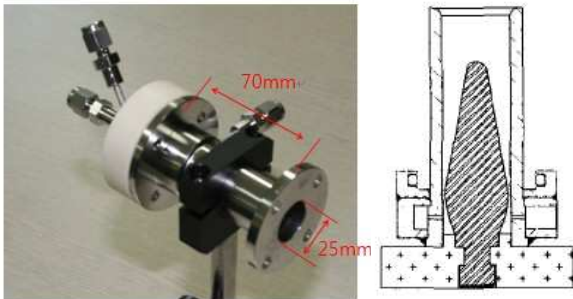


Fig. 2 Photograph of reactor for hydrogen-enriched gas production

2. 실험장치 및 방법

흡장된 NO_x를 제거하기 위해 촉매에 환원분위기를 조성하는 방법으로 앞서 언급한 바와 같이 흡기 스토틀링을 사용하여 과농한 분위기를 형성하는 방법이 있으나, 본 연구에서는 배기관을 두 개로 분기하고 그 사이에 배기 밸브를 두어 제어함으로써 한쪽 배기관으로는 배기가스가 흐르고 다른 배기관으로는 배기 흐름이 막힌 대신 수소농후가스가 흐르게 하여 촉매를 환원분위기로 조성하는 방법을 사용하였다.

이와 같은 과정을 두개의 배기관에 교대로 적용하게 되면 NO_x 제거가 연속적으로 이루어질수 있지만 본 연구에서는 실험의 편의상, 두개의 배기관에 촉매를 모두 장착하지 않고 한쪽에만 설치하여 LNT 촉매와 수소농후가스의 NO_x 저감 특성을 파악하였다. 이 때 촉매를 설치하지 않은 배기관은 바이패스 라인으로 사용하였다.

2.1 실험장치

Fig. 1에 본 연구에 사용된 시험장치의 전체적인 구성을 나타내었다. 기존 2000cc 엔진을 기초로 하여 효율적인 환원제용 수소농후가스 공급 및 제어를 위한 여러 시스템을 추가하였으며, 엔진의 제원을 Table 1에 나타내었다. 배출가스의 과농한 분위기 조성을 위해 Fig. 2와 같이 기존 배출가스 라인의 중간에 분기라인을 설치하였고, 전자제어식 배기밸브를 장착하여 환원 분위기의 기간 및 시기를 제어하였다. 실험용 LNT 촉매의 용량은 3L로서 대상엔진에 일반적으로 사용될 수 있는 용량이며, 환원 분위기 제어 시에는 촉매가 장착되지 않은 바이패스라인으로 배기가스가 흐르도록 하였다.

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specifications
Bore	83 mm
Stroke	92 mm
Displacement volume	1,996 cc
Compression ratio	17.7
Idle speed	750 ± 20 rpm
Valve system	SOHC 4 valves
Fuel supply system	Common rail direct injection

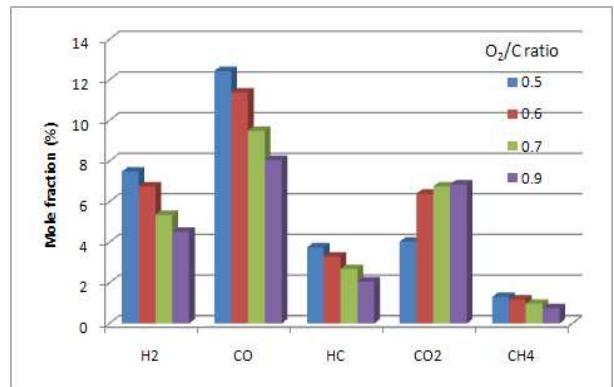


Fig. 3 Ratio of each component by varying O₂/C ratio in the hydrogen-enriched gas

실험에 사용된 수소농후가스 발생장치는 플라즈마를 이용한 개질반응으로부터 H₂, CO 등의 합성가스를 얻는 장치로서, 플라즈마 방전을 위한 고전압 전원 및 전극을 포함한 반응기의 독립적인 운전이 가능하다. 수소농후가스 발생장치로 공급되는 연료 및 공기의 양을 제어하기 위해 각각 분사기와 분사제어장치를 사용하였으며, 반응기의 후단에 전자제어식 밸브가 장착된 분기라인을 설치하여 수소농후가스 공급시기를 제어하였다.

촉매에 의해 저감되는 NO_x 량의 측정을 위해 2채널 NO_x 센서를 LNT 촉매의 전단과 후단에 각각 설치하였다. 운전조건 별로 연료소모율을 측정할 수 있도록 체적식 연료소모율계를 설치하고, 배기 라인에 가스 추출라인(gas sampling line) 설치하여 배출가스 농도를 배기분석기(MEXA-7100D, Horiba)를 통해 독립적으로 측정할 수 있도록 하였다.

2.2 실험방법

전 실험기간에 걸쳐 엔진 운전조건을 1,500 rpm, 10 kgf-m로 일정하게 유지하였으며, 승용 디젤 차량에서 빈번하게 이용되는 운전영역에 해당하여, 엔진 개발 분야에서도 연비 및 배기 성능 확인을 위해 시험하는 운전조건중의 하나이다. 또한, 이때의 촉매 공간속도(SV; Space velocity)는 촉매특성 평가에 가장 보편적으로 사용되는 조건인 30,000 h⁻¹을 나타낸다.

엔진이 충분히 Warm-up 된 상태에서 냉각수 온도가 82.5 ± 2.5°C에서 유지되도록 냉각수 온도 조절 시스템을 설정하고, 공연비는 실험 구간에서 A/F=28.2를 유지하였다. 수소농후가스 발생장치로부터 생성되는 수소농후가스 내의 수소비율이 가장 높은 연료, 공기 공급비율을 최적공급조건으로 보고, 최적공급조건을 유지하는 연료, 공기 공급 비율 조건에서 환원제의 공급량과 촉매 온도를 변경하며 이에 따른 추가연료 공급에 의한 연비의 영향, NO_x 저감속도, 운전안정성 등을 살펴 보았다. 촉매의 온도는 배기라인의 LNT 촉매 전단에 Shell&Tube type의 열교환기를 설치하고 열교환기로 공급되는 냉각수의 유량을 제어하여 LNT 촉매 전단의 배기가스 온도를 조절하였다.

수소농후가스 발생장치는 컴퓨터에 의해 제어되는 연료 및 공기분사 시스템을 이용해 수소농후가스 공급량과 공급시기를 임의로 조절이 가능하도록 하였다. 이때 사용된 수소농후가스는 연료 개질 후에 얻을 수 있는 H₂, CO 등의 해당 성분비를 갖는 합성가스로서 생성된 수소농후가스는 환원분위기에서만 LNT 촉매의 전단에 공급 되도록 제어하였다.

본 연구에서는 디젤의 부분산화 방식에 대해서 플라즈마를 이용한 개질 반응 특성을 이용하였습니다. 플라즈마를 개질 반응에 활용할 경우 작동과 동시에 합성가스가 생성되고 피독과 같은 내구성의 문제가 발생하지 않는 장점이 있다. 본 연구에서 사용된 플라즈마 발생기술은 글라이딩 아아크로 특별히 3차원 형상을 가지는 회전 글라이딩 아아크를 이용하였다. 반응기에서 개질반응에 필요한 반응물들은 반응기로 유입되면서 스월을 가지도록 설계된다. 고전압이 연결되는 봉전극과 원통형 접지 전극사이에 인가된 고전압에 의해 전극 사이에 아아크가 발생하고 반응기 내의 회전 유동에 의해 아아크가 반응기 후단으로

회전하며 진행해 나가게 된다. 수소농후가스 발생장치의 사진과 반응기 단면의 형상은 Fig. 2에 나와 있는 바와 같다. 플라즈마 전원장치는 아아크 형성을 위한 15kHz, 최대전압 8kV의 교류 전원장치를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

수소농후가스 발생장치의 성능을 확인하기 위해 개질반응의 생성물은 GC(Gas Chromatograph)로 성분분석을 수행하였다. Fig. 3은 수소농후가스 발생장치로부터 생성되는 수소와 일산화탄소 등의 조성을 나타내는 그림이다. 개질장치의 크기가 충분히 클 경우 개질장치의 성능은 반응물의 공급유량 보다 공급되는 반응물에서 경유와 공기의 상대적 비인 O₂/C 비가 개질반응의 특성을 평가하는 변수로 고려될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 개질장치로 공급되는 디젤의 유량이 고정된 조건에서 공급공기의 유량을 달리하며 O₂/C 비의 변화에 따른 성능을 확인하였다.

O₂/C 비가 증가하면 전체적인 반응에서 완전산화가 차지하는 비중이 증가하게 된다. 완전산화의 증가는 반응열을 증가시키고 CO₂와 H₂O의 생성을 유발시키게 된다. 이는 O₂/C 비가 증가할수록 수소의 비율이 감소하는 것을 통해 확인할 수 있다. O₂/C 비가 이론당량비에 해당하는 O₂/C = 0.5에서 수소의 비율이 가장 높게 나타났으나, 실제 개질장치 운전중에는 미반응 연료등에 의한 반응기 압력증가와 같은 영향이 성능 저하의 원인으로 작용할 수 있기 때문에 촉매로 수소농후가스로 공급할 때에는 O₂/C = 0.6으로 고정하고 경유와 공기의 공급을 변화시키며 실험을 수행하였다.

디젤 엔진은 과잉 산소 분위기에서 운전되기 때문에 디젤 자동차의 배출가스에는 O₂와 NO_x 등 산화성 물질이 HC나 CO 등 환원성 물질보다 많이 들어 있다. 산화성물질과 환원성 물질 사이에 양적 균형이 이루어지지 않기 때문에 삼원촉매를 사용하여도 배출가스에 들어있는 NO_x를 환원시켜 제거하기 어렵다. 그러나 산소가 많은 산화분위기에서는 NO, N₂O 등을 촉매에 흡착하여 제거하고, 촉매가 NO_x로 포화된 후에는 산소농도를 임의로 낮추고 연료를 분사하여 배출가스를 환원분위기로 전환시켜 NO_x를 탈착시켜 환원제

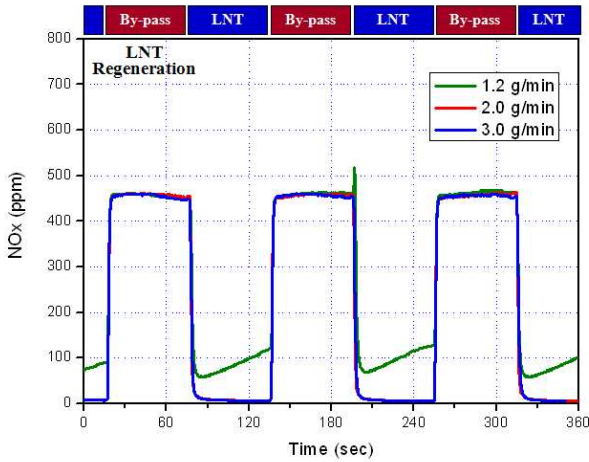


Fig. 4 Trace of NO_x emissions by varying the amount of hydrogen-enriched gas

거하면 연속적으로 NO_x를 제거할 수 있다.

따라서 배출가스의 NO_x를 효과적으로 제거하기 위해서 LNT에서는 산화 분위기와 환원 분위기를 주기적으로 바꾸어가며 조작한다. Fig. 4에 LNT 환원 사이클 중 수소농후가스 공급량에 따른 NO_x 농도의 변화를 나타내었다. 본 연구에서는 환원 사이클의 주기는 60초로 고정하여 실험하였다. 배기가스가 바이패스 라인을 흐르는 동안 촉매 측 라인에서는 수소농후가스 공급에 의한 탈질과정을 거치게 된다. 환원과정이 지나고 바이패스 라인이 닫힘과 동시에 촉매 측 라인으로 배기가스가 흐르게 되면 배기가스 중의 NO_x는 촉매에 흡장되면서 배기관 끝단에서는 NO_x가 저장된 결과가 나타나게 된다.

수소농후가스 발생장치로 공급되는 디젤 연료를 기준으로 하여 1.2 g/min인 경우는 흡장된 NO_x 제거를 위한 환원제의 공급량이 부족하여 촉매의 흡장능력이 감소하였고, 이에 따라 배기가스가 촉매 측 라인을 흐를 때 NO_x 흡장이 제대로 이루어지지 않아 일부분은 그대로 배출되는 결과를 보인다. 2 g/min의 공급조건에서는 환원제의 양이 증가하여, 다음 흡장 사이클에서 배기가스에 포함된 NO_x를 대부분 흡장할 수 있을 만큼 촉매에 흡장된 NO_x가 충분히 제거되었기 때문에 NO_x가 거의 배출되지 않았다. 3 g/min의 공급조건과 같이 촉매에 흡장된 NO_x를 대부분 제거할 수 있는 환원제의 양보다 더 많은 양이 공급되게 되면 이미 촉매에서 충분한 흡장 사이트를 공급하고 있기 때문에, 그 이상의 흡장 사이트가 존

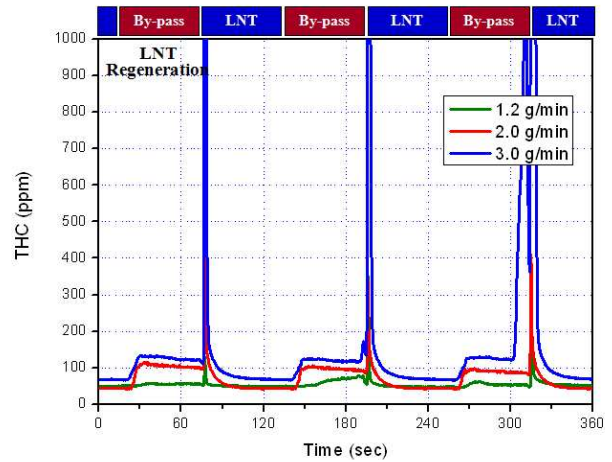


Fig. 5 Trace of THC emissions by varying the amount of hydrogen-enriched gas

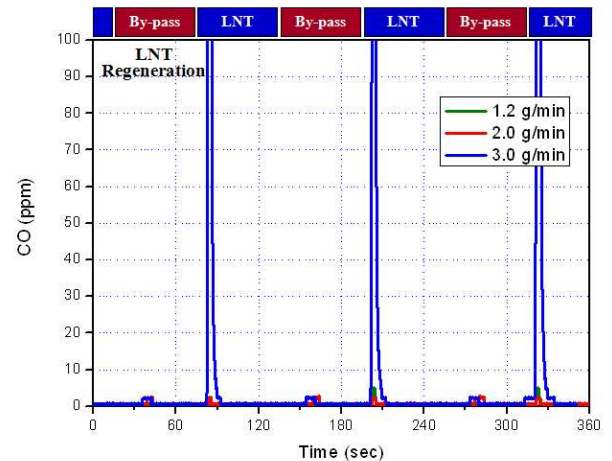


Fig. 6 Trace of CO emissions by varying the amount of hydrogen-enriched gas

재하더라도 NO_x 배출량에는 변화가 없다.

LNT 촉매 후단의 HC 및 CO 배출농도도 최적 환원제 공급량을 결정하는 기준이 될 수 있다. Fig. 5의 사이클 중 수소농후가스 공급량에 따른 THC 농도의 변화를 살펴보면 환원제 공급량이 증가할수록 환원 분위기 시작 직후에 HC의 급격한 상승이 보다 잘 관찰되고 최대값 또한 증가하였다. 최대값이 클수록 급격한 상승이후에 관찰되는 지속적인 HC 배출량도 증가하였음을 알 수 있다. 디젤 연료기준으로 3 g/min의 공급 조건은 환원제의 과도한 공급으로 인해 HC slip 량이 급격하게 증가했음을 알 수 있다. Fig. 6은 사이클 중 CO 농도의 변화를 나타낸 것이다. 수소농후가스 내의 CO는 환원 분위기에서 대부분 반응하여 거의 배출되지 않지만, 환원제 공급양이 과도할

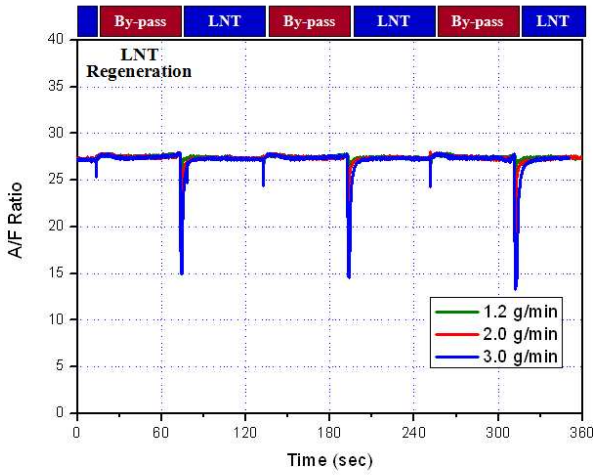


Fig. 7 Trace of air to fuel ratio by varying the amount of hydrogen-enriched gas

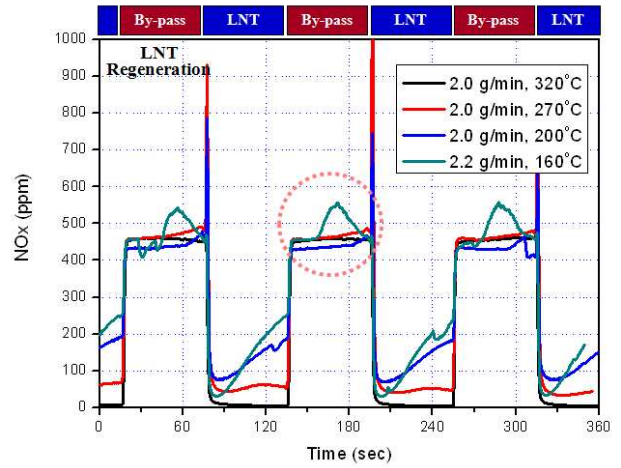


Fig. 9 Trace of NO_x emissions by varying the exhaust gas temperature

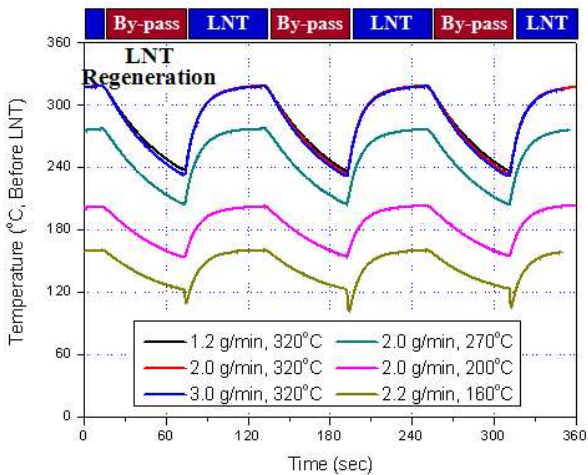


Fig. 8 Temperature change of LNT catalyst by varying the exhaust gas temperature

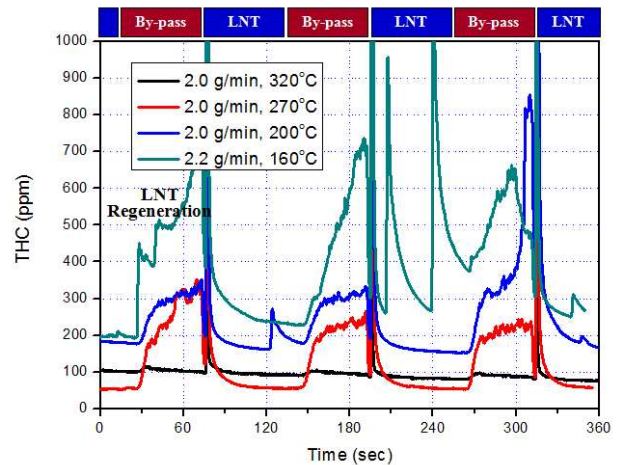


Fig. 10 Trace of THC emissions by varying the exhaust gas temperature

경우에는 THC의 결과와 유사하게 slip이 발생함을 알 수 있다.

Fig. 7의 공연비 변화를 살펴보면, 환원 분위기와 산화 분위기의 전환시점에서 밸브의 작동에 의한 급격한 공연비 감소가 관찰되었다. 이것은 환원 분위기 중에 수소농후가스와 NO_x가 반응하여 생성된 낮은 공연비의 가스가 촉매 라인에 정체되어 있다가 밸브 작동에 의해 순간적으로 배출되기 때문에 발생하는 현상으로, 환원제의 공급량이 많을수록 낮은 공연비 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 적용한 방법과 같이 두개의 배기라인을 교대로 탈질과정을 진행하게 되면 Fig. 8과 같이 탈질과정 중의 촉매 전후의 온도는 감소한다. 촉매 온도가 특정 온도이하로 떨어지게 되면 촉매 효율이 급격히 저하되기 때문에 상기의 방법은 문제점으로

남아 있을 수 있으나, 수소가 낮은 온도에서도 환원제의 역할을 충분히 할 수 있을 만큼 높은 반응성을 갖고 있기 때문에 이러한 문제점이 상쇄될 수 있다.

Fig. 9는 촉매온도 변화에 따른 NO_x 저감 특성을 나타내는 결과로서, 수소농후가스를 환원제로 사용할 때 어떤 온도범위까지 사용 가능한지 알 수 있다. 실험 결과에서 디젤 연료를 기준으로 하여 2 g/min의 수소농후가스 공급조건에서 320°C의 배기가스 온도 조건의 경우 NO_x 슬립도 거의 나타나지 않고 높은 NO_x 저감율을 보인다. 그러나 온도가 낮아질수록 환원분위기 이후 유지되는 최저 NO_x 농도값이 높아지고, 흡장능력이 감소하여 증가되는 기율기도 커진다.

Fig. 10의 사이클 중 수소농후가스 공급량에 따

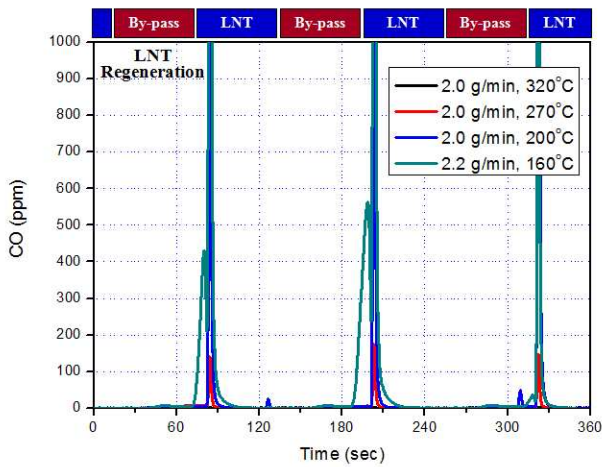


Fig. 11 Trace of CO emissions by varying the exhaust gas temperature

른 THC 농도의 변화를 살펴보면 촉매 전단의 온도가 낮을수록 환원 분위기 시작 직후에 HC의 급격한 상승이 보다 잘 관찰되고 최대값 또한 증가하였다. 환원 분위기에서 배출되는 HC값의 기울기가 크고 배출량이 많을수록 급격하게 상승하는 HC의 최대값이 증가하였음을 알 수 있다. 디젤 연료를 기준으로 2.0 g/min의 공급조건은 온도가 높은 경우에는 환원제의 공급이 과도하지 않은 조건이지만 낮은 촉매 온도로 인해 공급되는 환원제가 NO_x 환원반응에 참가하지 못하고 많은 양이 그대로 배출되어 HC slip량이 급격하게 증가했음을 알 수 있다.

Fig. 11은 사이클 중 CO의 배출농도 변화를 나타낸 그래프이다. 촉매의 온도가 320°C로 높은 경우 수소농후가스 내의 CO는 환원 분위기에서 대부분 반응하여 거의 배출되지 않지만, 촉매 온도가 낮은 경우에는 THC의 결과와 유사하게 급격한 slip이 발생함을 알 수 있다. 그러나 160°C의 낮은 배기가스 온도 조건에도 불구하고 70%의 NO_x 정화효율이 나타나는 것으로 보아, 수소농후가스를 환원제로 사용할 경우 매우 넓은 범위의 배기가스 온도에서 효율적으로 NO_x를 저감시킬 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 승용 디젤엔진을 대상으로 LNT 시스템을 장착하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Dual-pass 방식을 이용할 경우 엔진의 운전

조건에 따른 제약이나 연비의 악화 없이 NO_x의 저감을 구현할 수 있으며, 제어변수를 최적화 할 경우 현재의 수소농후가스 발생장치 용량으로 2% 연비 증가만으로 95% 이상 NO_x의 저감이 가능할 것으로 예상된다.

(2) 과도한 양의 수소농후가스가 환원제로 공급될 경우, 남은 환원제 성분에 의한 급격한 THC 및 CO의 배출이 관찰되었다.

(3) 배기가스의 온도가 낮을수록 THC와 CO slip량이 급격하게 증가하고 NO_x 저감율이 감소되었으나, 160°C 수준의 낮은 배기가스 온도에 대해서도 70%까지 NO_x가 저감되었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 “미래형 자동차 배출가스 제로화 기술개발” 사업의 지원 아래 이루어졌으며, 이에 저자일동은 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Shoji, A., Kamamoshita, S., Watanabe, T. and Tanaka, T., 2004, "Development of a Simultaneous Reduction System of NO_x and Particulate Matter for Light-Duty Truck," SAE 2004-01-0579.
- (2) Eastwood, P., 2000, Critical Topics In Exhaust Gas Aftertreatment, Research studies press Ltd..
- (3) Storey, J. M., "Hydrocarbon Species in the Exhaust of Diesel Engines Equipped with Advanced Emissions Control Devices," Coordinating Research Council, Inc. CRC Project No. AVFL-10b-2.
- (4) Nam, G. W., Park, J. W. and Lee, J. H., 2007, "A Study of NO_x Reduction System with NO_x Storage Catalyst," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.258-263.
- (5) Hachisuka, I., Yoshida, T., Ueno, H., Takahashi, N., Suda, A. and Sugiura, M., 2002, "Improvement of NO_x Storage-Reduction Catalyst," SAE 2002-01-0732.
- (6) Mauss, M. and Wnuck, W., 2003, "Diesel Reformers for Lean NO_x Trap Regeneration and Other On-board Hydrogen Applications," 9th Diesel Engine Emission Reduction (DEER) Conference.
- (7) Parks, J. E., Ferguson, H. D. and Storey, J. M.,

2001, "NO_x Reduction with Natural Gas for Lean Large-Bore Engine Applications Using Lean Nox Trap Aftertreatment," 7th Diesel Engine Emission Reduction (DEER) Conference.

(8) McDonald, J. and Bunker, B., 2002, "Testing of the Toyota Avensis DPNR at U.S. EPA-NVFEL," SAE 2002-01-2877.