

2.2L 디젤 엔진에서 NO_x 흡장률 기반 LNT 재생 조건 결정

천 봉 수¹⁾ · 이 정 우¹⁾ · 한 만 배^{*2)}

계명대학교 대학원 기계자동차공학과 · 계명대학교 기계자동차공학과

Determination of an LNT Regeneration Condition Based on a NO_x Storage Fraction in a 2.2L Direct Injection Diesel Engine

Bongsu Chun¹⁾ · Jungwoo Lee¹⁾ · Manbae Han^{*2)}

¹⁾Graduate School of Mechanical Engineering, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

²⁾Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

(Received 28 October 2015 / Revised 12 January 2016 / Accepted 13 January 2016)

Abstract : This study was carried out to determine an optimal lean NO_x trap (LNT) regeneration condition based on a NO_x storage fraction. The LNT regeneration was performed by an in-cylinder post fuel injection method. A NO_x storage fraction is defined by the ratio of current cumulated NO_x amount in the LNT to the NO_x storage capacity: 0 means empty and 1 fully loaded. In this study five engine operating conditions were chosen to represent the New European Driving Cycle. With various NO_x storage fractions each engine operating condition, the LNT regeneration was executed and then NO_x conversion efficiency, additional fuel consumption, CO and THC slip, peak catalyst temperature were measured. The results showed that there exist an optimal condition to regenerate the LNT, eg. 1500 rpm 6 bar BMEP with below 0.7 NO_x storage fraction in this experimental constraint.

Key words : Lean NO_x trap(흡장형 NO_x 촉매), In-cylinder post fuel injection(실린더 내 후 분사), NO_x storage fraction(NO_x 흡장률), NO_x conversion efficiency(NO_x 전환 효율)

1. 서론

전 세계적으로 에너지 및 환경에 대한 관심의 증가로 인하여 고효율 및 초 저배기 자동차 개발이 요구되어지고 있다. 디젤엔진은 가솔린엔진보다 높은 압축비로 인한 열효율이 높으며, 연료소비율이 낮다.¹⁾ 그러나 디젤엔진은 확산연소에 따른 PM의 발생이 상대적으로 높고 국부적인 고온 영역으로 인해 NO_x 발생이 높다. 유럽에서는 2014년 9월부터 EURO-6 배기규제를 실시하고 있으며, 승용차의 경우 PM은 EURO-5와 동일한 수준인 0.0045 g/km로 규제되고 있고, NO_x는 EURO-5 배기규제보다 0.18 g/km에서 0.08 g/km로 50 % 이상 강화 되어 규제되

고 있다.²⁾

이러한 강화된 NO_x 규제를 만족시키기 위하여 엔진 전처리 기술뿐만 아닌 후처리 기술 개발이 요구 된다.³⁾ 대표적인 NO_x 후처리 기술로는 유래아 선택적 환원 촉매(Selective Catalytic Reduction, Urea-SCR) 및 흡장형 NO_x 촉매(Lean NO_x Trap, LNT) 등이 있다. Urea-SCR은 요소수(Urea)를 환원제로 사용하여 NO_x를 N₂로 환원시키는 후처리 기술이다.⁴⁾ LNT는 귀금속이 담지 된 촉매에 NO_x를 흡장한 후 환원제를 사용하여 NO_x를 N₂로 환원시키는 기술이다.⁵⁾

이 중에서 특히 LNT는 Urea-SCR 촉매와 비교하여 승용차에 장착하기 쉽다. LNT 촉매의 작동 원리

*Corresponding author, E-mail: mbhan2002@kmu.ac.kr

는 배기가스 중 산소농도가 높은 희박한 조건에서 NO_x를 흡장하고, 환원제를 분사하여 농후한 조건을 조성한 뒤 NO_x를 N₂로 환원시켜 NO_x를 저감한다.⁶⁾ LNT 촉매의 NO_x 저감 성능은 기관 작동조건에 따라 달라지는 배기가스 온도와 배기가스 내 산소농도, 연료 분사량, 촉매 내 공간속도(Space Velocity, SV), 촉매의 조성 성분 등 다양한 엔진 변수에 의해 영향을 받는다.⁷⁾

LNT는 주기적으로 환원제를 분사하여 LNT에 흡장된 NO_x를 환원시키는 LNT 재생이 필요하다. LNT 재생 방법은 환원제 분사를 실린더 내부 또는 배기라인과 같이 엔진 외부에서 공급 방식으로 나뉜다. 특히 실린더 내부 분사 방법은 엔진 실린더에 장착된 인젝터를 이용하여 팽창 행정 초기에 실린더 내에 연료를 추가 분사하여 부분 연소에 의한 THC, CO, H₂ 등을 생성시켜 환원제로 사용한다. 환원제 공급을 위한 외부연료분사 방법은 촉매 장착 위치 전단에 연료 인젝터를 장착하여 연료를 분사하고 이를 환원제로 사용한다.⁸⁻¹⁰⁾

LNT 재생을 위하여 재생 시기 판단은 NO_x 전환 효율과 연료소모량 측면에서 중요하다. 왜냐하면 재생 주기와 연료소모량이 밀접한 관련을 갖기 때문이다. 즉, 재생을 필요이상 자주하게 되면 연료소모량이 증가하고 반대의 경우 NO_x 저감 성능이 떨어지게 된다. 따라서 최소한의 연료를 사용하여 높은 NO_x 저감 성능을 얻기 위한 적절한 LNT 재생 시기 결정은 중요하다.

본 논문에서는 2.2 L 커먼레일 디젤엔진을 이용하고, 실린더 내 후 분사 방법(In-cylinder Post Fuel Injection Method)을 사용하여 NEDC(New European Driving Cycle)를 대표하는 5개 엔진 운전 영역에서 LNT 재생 조건 결정 관련 실험을 실시하였다. 각 엔진 운역별로 다양한 NO_x 흡장률에 대하여 재생을 실시하여 NO_x 전환효율, 재생 시 연료 소모량, 촉매 담체 온도 및 대표적인 환원제인 CO 소모율을 비교하여, LNT 재생 조건 결정을 위한 분석을 실시하였다. 이를 통하여 NO_x 흡장률에 근거한 LNT 재생 제어시 고려하여야 할 다양한 변수에 대한 고려점을 제시하고자 한다.

2. 실험 장치 구성 및 방법

2.1 실험 장치 구성

본 연구를 위하여 2.2 L 커먼레일 디젤 엔진을 사용하였으며 엔진의 자세한 제원은 Table 1에 나타내었다.

LNT 촉매는 2.5 L 촉매(E&D)를 장착하여 실험하였고, 사용된 LNT 촉매의 주요 구성 성분은 Pt/Rh/Ce/Ba/Al₂O₃이다. 보다 자세한 제원은 Table 2에 나타내었다.

LNT 촉매 성능 분석을 위하여 엔진 배출가스를 측정하기 위해 배기가스 분석기 MEXA-1600DEGR(Horiba)을 사용하였다. 이를 이용하여 실험엔진에서 배출되어진 CO, THC, NO_x, O₂, CO₂를 측정하였다. 또한 LNT 촉매 전/후단의 실시간 비교를 위하여 상용 NO_x 센서(Continental)를 이용하여 NO_x를 측정하였다. 본 실험을 위한 전체적인 개략도는 Fig. 1과 같다.

LNT 촉매의 환원 환경 조성을 위한 방법으로는 ECU 제어 프로그램인 INCA 소프트웨어를 이용하여 실린더 내 후 분사 방법을 적용하였다. 이를 위하여 엔진의 흡기스스로틀밸브, 배기재순환밸브, 후 분사 시기, 후 분사 연료량 등의 변수를 제어하였다. 각 운전 영역에서 엔진 변수의 제어를 통해 LNT 촉매의 환원 환경을 조성하여 실험을 진행하였다.

LNT 촉매 실험에서 LNT 촉매 전·후단의 람다(Lambda, λ)는 λ센서(LSU4.9)를 사용하여 측정하

Table 1 Specifications of experiment engine

Item	Value
Number of cylinder [-]	4
Displace volume [cc]	2,199
Bore [mm]	85.4
Stroke [mm]	96.0
Compression ratio	16.0:1
Injection system	Common rail direct injection
Turbo charger	Variable geometry turbocharger

Table 2 Specifications of LNT catalyst

Item	Value
Diameter/Length [inch]	5.66 / 6.0
Volume [cc]	2,474
Formulation	Pt/Rh/Ce/Ba/Al ₂ O ₃

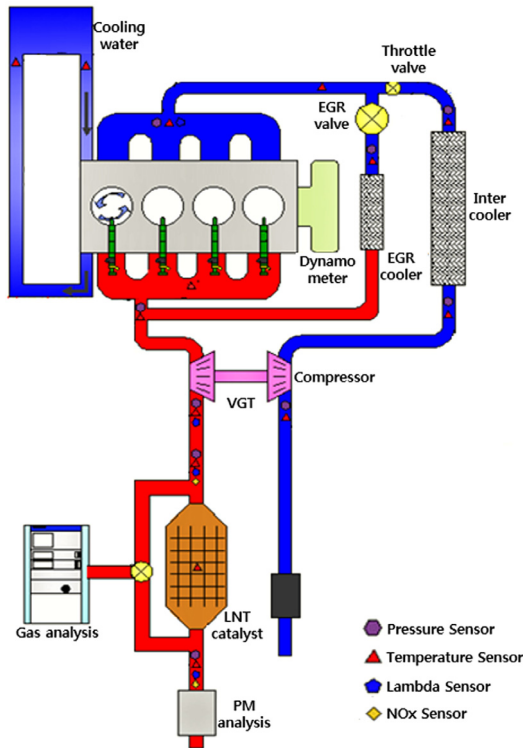


Fig. 1 Experimental schematic diagram

였다. SV는 λ센서와 엔진 흡입공기유량 및 이상기체 상태방정식을 적용하여 구하였다. LNT 촉매의 전·후단과 촉매 내부의 온도는 K-type 온도센서로 측정하였다. 엔진과 LNT 촉매의 데이터 획득에는 CANape(Vector) 소프트웨어를 이용하였다.

2.2 엔진 운전 영역 및 실험 방법

본 실험을 위한 실험영역은 LNT 촉매의 온도와 SV를 고려하여 NEDC 대표하는 5개의 엔진 운전 영역을 선정하였다. 5개 운전 영역은 Table 3, Table 4에서 볼 수 있듯이 1500 rpm 4, 6 bar BMEP, 1750 rpm 6, 8 bar BMEP 및 2000 rpm 6 bar BMEP이다. 해당 엔진 운전영역에서 희박연소 구간에서는 촉매 담체 온도 270 °C ~ 330 °C, SV는 28,000 ~ 51,000의 범위에 해당한다. 농후연소 구간에서는 촉매 담체 온도 460 °C ~ 630 °C, SV는 22,000 ~ 33,000의 범위에 해당한다. 각 운전 영역에서 NO_x 흡장률(storage fraction, x)에 따른 촉매의 NO_x 전환효율과 단위 연료 소모량 당 NO_x 전환효율을 계산하였다. NO_x 흡장률은 해당 운전

조건에서의 NO_x 흡장용량에 대한 현재 LNT 내부에 흡장된 NO_x 누적량의 비로 정의 된다.^{11,12)} NO_x 전환효율은 식 (1)과 같이 흡장 및 환원 구간 동안의 LNT 입구 및 출구에서 측정된 NO_x 농도에 대한 시간 적분을 통하여 계산하였다. 단위 연료 소모량 당 NO_x 전환효율은 재생 시에 요구되는 연료소모량에 대한 식 (1)에서 계산된 NO_x 전환효율의 비이다.

$$NO_x \text{ 전환효율} = \int_0^t \frac{NO_{x,LNT,in} - NO_{x,LNT,out}}{NO_{x,LNT,in}} dt \quad (1)$$

각 실험 영역에서 희박연소 구간에서의 실험 조건들을 Table 3에 나타내었고, 농후연소 구간에서의 SV는 LNT 재생 시 촉매 내 환원 성능을 높여주기 위하여 엔진의 흡기스토틀밸브, 배기재순환밸브를 제어하여 희박연소 구간 보다 약 30 % 이상 감소시켰으며 이에 대한 상세한 정보는 Table 4에 나타내었다. 또한 재생 시 LNT 전단의 λ는 0.87 ~ 0.97의 범위를 갖는다. 실험 조건 중 흡기온의 변화가 실린더에서의 연소에 많은 영향을 끼치므로 실험 중 인터쿨러 후단의 공기 온도를 35 °C 이하로 유지하여 실험을 실시하였다. Table 5는 인터쿨러 후단의 공기 온도 목표치이다. 이에 대한 LNT 촉매 재생 시간은 LNT 촉매의 충분한 환원을 위하여 전 실험영역에서 45 s로 일정하게 진행하였다. 실험에 사용한 촉매가 현재 개발 중인 촉매로 상용촉매와 비교 시 환원

Table 3 Experimental conditions at a lean phase

RPM[rpm]/ BMEP[bar]	LNT_in temp.[°C]	SV [1/hr]	λ[-]	NO _x _IN [ppm]
1500/4	270	28,000	2.16	320
1500/6	320	30,000	1.65	280
1750/6	290	41,000	1.90	360
1750/8	330	46,000	1.80	440
2000/6	280	51,000	2.09	400

Table 4 Experimental conditions at a rich phase

RPM[rpm]/ BMEP[bar]	LNT_in temp.[°C]	SV [1/hr]	λ[-]	NO _x _in [ppm]
1500/4	460	24,000	0.93	102
1500/6	510	22,000	0.94	141
1750/6	540	27,000	0.94	208
1750/8	560	31,000	0.94	337
2000/6	630	33,000	0.97	184

Table 5 Target intercooler out temperature at experimental conditions

RPM[rpm]/ BMEP[bar]	1500/4	1500/6	1750/6	1750/8	2000/6
Intercooler out temp[°C]	35	35	30	30	30

성능이 차이가 있다. 앞으로 환원성능이 더 향상될 경우 재생기간을 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다.

축매 재생 시 LNT 축매 전단에서 CO 농도는 1.6 % ~ 2.6 %, O₂ 농도는 1.1 % ~ 1.4 %, CO₂ 농도는 12.5 % ~ 13.3 %의 범위 내에 들어가도록 구성하였다. THC의 경우 2000 rpm 6 bar BMEP에서 약 2200 ppmC로 나타났고, 이를 제외한 나머지 실험 영역에서는 배기가스 분석기의 THC 측정 최대치인 5000 ppmC를 초과 하여 정확한 THC 농도는 측정할 수 없었다.

3. 실험 결과 및 고찰

LNT 재생 시기 판단을 위하여, 5개의 엔진 운전 영역에서 각각 다양한 흡장률에 따라서 LNT 축매 재생을 실시하여 NO_x 전환효율과 단위 연료 소모량 당 NO_x 전환효율, 축매 담체 온도 등을 비교하였다. Fig. 2는 1500 rpm 6 bar BMEP 조건에서 흡장률 0.5와 0.8 상태에서 재생을 실시한 결과로, 이때의 축매 전·후단 NO_x 및 λ 거동을 나타내었다. 재생기간 동안의 λ는 환원제가 분사되어 기존의 희박연소구간의 λ=1.7에서 50 % 수준인 λ=0.8까지 떨어져 농후연소구간을 형성하였으며 재생기간이 끝난 후 희박연소구간의 λ로 회복한다. 이때의 NO_x는 λ가 떨어지는 것과 동시에 첫 번째 피크가 발생하였으며 이후 배출량이 0에 가깝게 나타났으며 재생이 끝난 후 두 번째 피크가 발생한 후 다시 0에 가깝게 떨어지는 경향을 나타냈다. NO_x 피크의 경우 재생 시 LNT 내부에 흡장되어있던 NO_x가 순간적으로 배출되고, 환원제와 환원반응을 통하여 그 피크의 정도가 결정된다. 모든 실험 조건에서 Fig. 2와 유사한 경향을 나타내었다.

3.1 NO_x 전환 효율 및 연료 소모량 비교

LNT 축매 실험을 통하여 다양한 흡장률에 따른 NO_x 전환 효율을 비교하였다. Fig. 3에서 보듯이 모

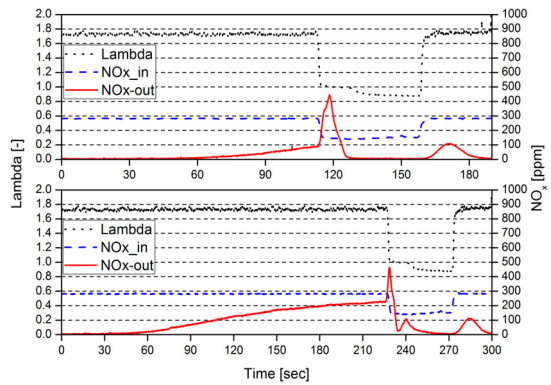


Fig. 2 NO_x_in, NO_x_out and lambda of 1500 rpm 6 bar BMEP with a storage fraction of 0.5 and 0.8

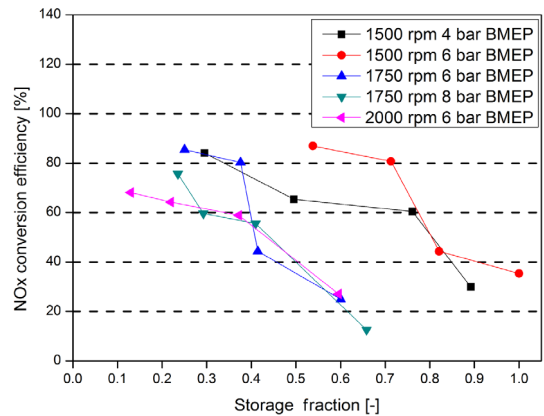


Fig. 3 NO_x conversion efficiency at various storage fractions

든 엔진 운전 영역에서 흡장률이 감소할수록 NO_x 전환 효율이 증가하는 경향을 보였다. 왜냐하면 동일한 운전 영역에서 공급되는 환원제 농도는 실험 오차 범위에서 동일한데, 흡장률의 감소는 LNT 축매 내에서 환원되어져야 할 NO_x 흡장량이 적음을 의미한다. 그러므로 흡장률이 적어질수록 환원 반응에 참여할 환원제의 상대적 비가 증가하고 결과적으로 NO_x 전환 효율이 증가한 것으로 판단된다. 본 실험에서 환원제 조성 조건은 CO의 경우 운전 조건별로 다르지만 1.6 % ~ 2.6 % 범위이다. 상대적으로 긴 재생기간(45 s)에 비하여 NO_x 전환 효율이 낮을 수 있으나, 개발 중인 축매임을 고려하여 향후 축매 성능은 개선될 예정이다.

본 축매의 경우 NO_x 전환 효율은 최고 80 % 수준을 상회하는 것을 알 수 있으며, 해당 운전 조건은

1500 rpm 4 bar의 경우 흡장률 0.3 이하, 1500 rpm 6 bar의 경우 흡장률 0.7이하, 1750 rpm 6 bar의 경우 흡장률 0.4 이하로 관찰되었으며 다른 운전 조건에서는 본 실험 범위 및 한계 내에서는 80 %에 도달하지 못하였다. 흡장률이 낮은 영역은 그만큼 촉매에 흡장된 NO_x 량이 적는데 재생시간은 일정하기 때문에 흡장률이 높은 영역보다 전환효율이 높다. 1500 rpm 6 bar 조건에서 배기가스온도 및 공간속도가 다른 운전 구간과 비교하여 상대적으로 촉매표면반응에 유리하여 80 %를 상회하는 전환효율을 얻은 것으로 판단된다. Fig. 3에서 보듯이 흡장률이 증가에 따른 NO_x 전환효율은 급격히 감소하며, 실차 재생 조건에 해당하는 흡장률 100 %의 경우 40 % 이하의 결과를 보였다. 이러한 결과로부터 LNT 재생 시기 결정을 위하여 엔진 속도 및 부하, 그리고 흡장률을 동시에 고려해야 함을 확인할 수 있었다.

흡장률에 따른 해당 NO_x 전환 효율을 얻기 위하여 소모된 환원제 중에서 대표적으로 CO 감소율을 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 엔진 운전 조건에서 환원제로는 CO, H₂, THC가 있으나 본 실험에서는 측정 한계(5000 ppmC) 초과, H₂는 측정하지 못하였기 때문에 CO 감소율을 나타내었다. Fig. 4에서 보듯이 1750 rpm 6 bar, 8 bar 및 2000 rpm 6 bar BMEP 조건에서는 CO의 감소율이 흡장률에 따라서 변화하는 정도가 Fig. 3의 NO_x 전환 효율 변화 정도를 대표하지 못하고 거의 일정하게 소모되는 것을 볼 수 있다. 그리고 1500 rpm 4 bar 및 6 bar의 경우 흡장률이 증가할수록 CO 감소율이 증가하는 경향을 나타내어 다른 3개의 운전 조건과는 다른 경향을 나타내었다. 이는 Fig. 3의 흡장률에 따른 NO_x 전환 효율의 변화를 설명하지 못한다. 이유는 전술하였듯이 환원제는 CO 뿐만 아니라 H₂ 및 THC를 동시에 고려하여 각각에 대하여 동시에 감소율을 비교하여 설명하였어야하나 단지 CO 만을 비교하였기 때문으로 판단된다. 이러한 관찰로부터 다양한 운전 조건에서 즉, 다양한 SV와 촉매 온도 조건 및 환원제 조성 조건과 같은 복잡 변수에 의하여 LNT 내에서의 NO_x 탈착 및 환원 반응에 영향을 미친 것으로 판단된다.

LNT 재생 시의 연료소모량을 고려하기 위하여,

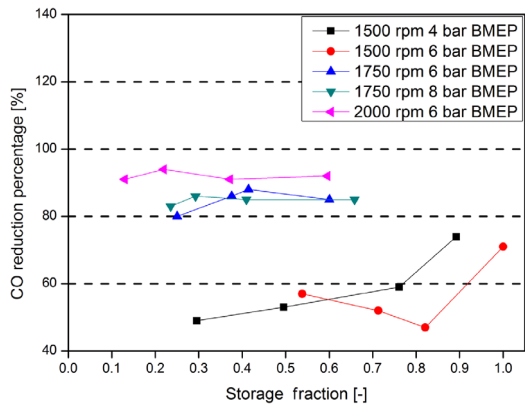


Fig. 4 CO reduction percentage at various storage fractions

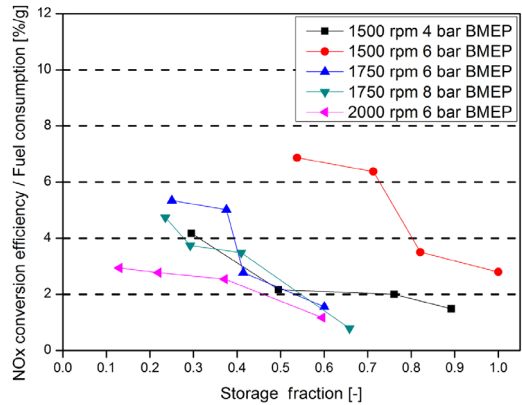


Fig. 5 NO_x conversion efficiency / Fuel consumption at various storage fractions

NO_x 전환 효율을 단위 연료소모량 기준으로 다시 계산하여 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이, 흡장률이 증가함에 따라 단위 연료소모량 당 NO_x 전환 효율은 감소하는 경향을 보였다. 이 값은 클수록 동일한 연료소모량 대비 높은 NO_x 전환 효율을 얻을 수 있음을 의미한다. Fig. 5에서 보듯이 동일한 흡장률 기준으로 단위 연료소모량 당 NO_x 전환 효율은 1500 rpm 6 bar BMEP 조건이 가장 우수하였다. 앞서 전술한 흡장률과 NO_x 전환 효율(Fig. 3)의 관계에서 80 % 이상의 전환 효율 및 연료소모량을 동시에 고려할 경우 1500 rpm 6 bar BMEP 조건이 가장 유리한 것으로 판단된다. 그러나 이러한 결과는 촉매 성능 및 LNT 재생을 위한 엔진제어 변수/제어 조건에 의하여 영향을 받을 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 LNT 후단의 CO 및 THC 슬립

LNT 재생시 LNT 후단으로 배출되어지는 CO (CO 슬립) 및 THC 배출(THC 슬립)은 배기규제 대응을 위하여 최소화 되어야 한다. 즉, 환원반응에 필요한 적절한 농도의 환원제를 조성하고, 환원반응에 참여하지 못하고 배출되는 환원제량이 최소화 되어야 한다. Fig. 6은 2000 rpm 6 bar BMEP, 흡장률 0.13 일 때 LNT 재생 기간 동안 LNT 전방 및 후방에서 CO 농도 변화와 THC의 농도 변화를 비교한 것이다. LNT 후단에서의 CO 슬립은 0.26 % 수준을 보였고 THC 슬립의 경우 약 800 ppmC 이하의 수준을 보였다. 본 실험 조건에서는 이러한 CO 슬립 및 THC 슬립의 최소화를 위하여 최적의 엔진제어 변수 최적화까지는 진행하지 못하였으나, 향후 배기 규제 대응을 위하여 이러한 최적화는 반드시 필요하며, LNT 재생 시기 판단을 위하여 고려되어야 한다.

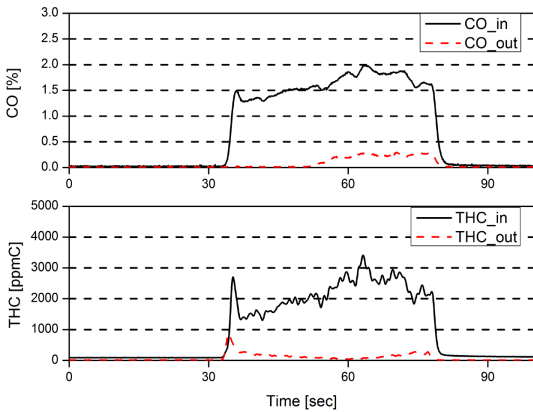


Fig. 6 CO and THC_in/out at 2000 rpm 6 bar BMEP with a storage fraction 0.13

3.3 재생 시 촉매 담체 최고 온도

LNT 재생 시기를 결정하기 위하여 고려되어야 할 또 다른 변수로는 재생 시 촉매 담체 최고 온도이다. Fig. 7은 이러한 결과를 엔진 운전 영역 및 흡장률에 따라 나타낸 그래프이다. 1500 rpm 운전영역에서는 최대 610 °C 이하, 1750 rpm 영역은 700 °C 이하, 2000 rpm의 경우 755 °C 까지 상승하였다. LNT의 경우 700 °C부터 촉매 귀금속인 Pt 소결하는 현상이 발생하여 촉매 흡장 및 환원성능을 급격히 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다.¹³⁾ 그러므로 현재의 실험조

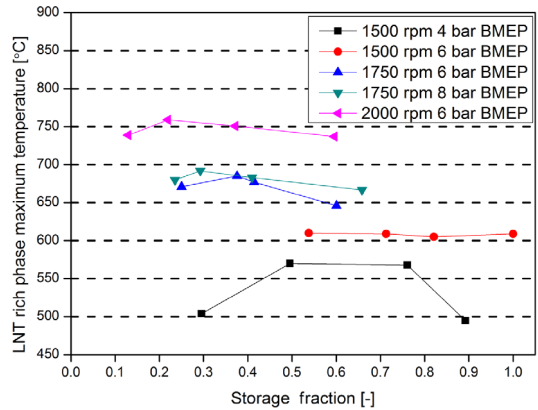


Fig. 7 LNT rich phase maximum temperature at various storage fraction

건에서는 최대 촉매 담체온도 700 °C 이하인 1500 rpm, 1750 rpm 운전 영역이 선정되어야 할 것으로 판단된다. 그러나 최대 담체 온도는 촉매 재생기간에 의하여 영향을 받으므로 본 실험에서 사용한 45 s의 재생 기간을 줄일 경우 보다 넓은 엔진 운역에서 촉매 담체 최대 온도 700 °C 이하에서 LNT 재생이 가능할 것으로 판단된다.

본 실험 조건 및 엔진, 촉매 성능에서 전환효율, 흡장률, 연료소모율, CO 슬립, 재생시 최대 촉매 담체 온도를 고려할 경우, 최적의 LNT 재생 조건은 1500 rpm 6 bar BMEP에서 흡장률 0.7 이하이다. 그러나 이러한 최적 재생 시기는 엔진의 배기 성능, 촉매 특성, 환원제 조성 조건 및 방법 등에 의하여 영향을 받는다. 그러므로 실차 단계에서 최적의 LNT 재생 시기 결정을 위하여 상기 언급한 다양한 인자를 고려한 LNT 재생을 위한 최적의 엔진 제어 및 우수한 제어기 성능이 요구된다.

4. 결론

본 실험에서는 2.2 L 직분사 커먼레일 디젤 엔진에서 LNT 재생 조건 결정을 위한 다양한 인자 영향을 분석하였다. 본 논문에서 고려한 인자들은 NO_x 흡장률에 따른 NO_x 전환 효율, 재생기간 동안의 연료소모량, CO 슬립, 재생 시의 촉매 담체 최고 온도이다. 본 실험의 제한 조건에서는 상기 인자를 모두 고려할 경우 1500 rpm 6 bar BMEP에서 NO_x 흡장률 0.7 이하에서 재생할 경우가 최적의 LNT 재생시기

로 판단된다. 실차단계에서 LNT 재생 시기 결정을 위하여 상기 인자들을 고려하여 재생 시기가 결정되어야 할 것으로 판단된다. 그러므로 배기 규제 대응을 위하여 최적의 재생 시기 뿐만 아니라 이를 구현하기 위한 엔진 제어기의 성능 및 정밀도, 제어 방법에 대한 연구도 함께 필요할 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 지식경제부 산업원천기술개발 사업의 일환으로 수행된 연구결과(No. 10039673)로 이에 감사드립니다.

References

- 1) J. H. Mo, Y. J. Park, C. S. Song, Y. B. Yoon, S. W. Lee and Y. S. Cho, "An Experimental Study for Characterization of De-NO_x Under the Injection Condition of Reductant on LNT Catalyst," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.695-700, 2009.
- 2) C. W. Nam and M. B. Han, "Comparison of the LNT Regeneration Methods in 2.2L Common Rail Direct Injection Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.23, No.2, pp.169-177, 2015.
- 3) J. McCarthy Jr, Y. Yue, B. Mahakul, X. Gui, H. Yang, E. Ngan and K. Price, "Meeting Nonroad Final Tier 4 Emissions on a 4045 John Deere Engine Using a Fuel Reformer and LNT System with an Optional SCR Showing Transparent Vehicle Operation, Vehicle Packaging and Compliance to End-of-Life Emissions," SAE 2011-01-2206, 2011.
- 4) S. S. Lim, E. S. Kim, T. W. Lee and H. S. Han, "A Study on LNT Optimization for DeNO_x Efficiency," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.457-460, 2011.
- 5) K. S. Lee, W. S. Kang, H. N. Kim and B. C. Choi, "Characteristics of Simultaneous Removal of NO_x and PM over a Combined System of DPF/LNT+DPF/SCR," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.350-354, 2012.
- 6) M. Swartz, S. Huff, J. Parks and B. West, "Intra-Catalyst Reductant Chemistry and NO_x Conversion of Diesel Lean NO_x Traps at Various Stages of Sulfur Loading," SAE 2006-01-3423, 2006.
- 7) D. A. Han, K. M. Chun and S. H. Song, "A Study of NO_x Reduction for Diesel Vehicle with LNT," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.495-497, 2011.
- 8) H. J. Kim and M. B. Han, "Space Velocity Effect on a NO_x Storage Efficiencies in an Lean NO_x Trap," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.314-317, 2012.
- 9) C. K. Seo, H. N. Kim and B. C. Choi, "De-NO_x Characteristics of a Combined System of LNT and SCR According to Space Velocity," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.816-823, 2010.
- 10) J. Parks, B. West, M. Swartz and S. Huff, "Characterization of Lean NO_x Trap Catalysts with In-Cylinder Regeneration Strategies," SAE 2008-01-0448, 2008.
- 11) B. S. Lee and M. B. Han, "Control Oriented Storage and Reduction Modeling of the Lean NO_x Trap Catalyst," Transactions of KSAE, Vol.22, No.2, pp.60-66, 2014.
- 12) Y. Kim, J. Sun, I. Kolmanovsky and J. Koncsol, "A Phenomenological Control Oriented Lean NO_x Trap Model," SAE 2003-01-1164, 2003.
- 13) J. H. Lee, "After-treatment System Technologies for Light-Duty Vehicles," Auto Journal, KSAE, Vol.35, No.9, pp.22-26, 2013.