

HC-SCR 촉매에 의한 LPG 엔진의 NO_x 저감 특성

고선환, 김태민*, 이해수, 홍순재, 김문찬¹
 (주)이엔드디, ¹청주대학교
 (ktm@endss.com*)

Charaterization of NO_x reduction from LPG engine by HC-SCR catalyst

Sunhwan Ko, Taemin Kim*, Haesoo Lee, Soonjae Hong, Moonchan Kim¹
 E&D, ¹Cheongju University
 (ktm@endss.com*)

1. 서론

디젤엔진의 보급 및 급속히 증가한 디젤자동차는 연비효율 측면에서 사회 경제적 이득도 있었으나, 특정 오염물질의 과도한 배출에 의해 증가되는 대기오염 점유율은 결국 사회적 기회비용으로 되돌아와 오히려 더 큰 비용 손실을 보고 있다. 전체 등록 자동차중 중대형 디젤차량의 경우 전체 차량의 2.9%에 불과하나 대기오염 점유율은 30%나 차지한다. 특히, 서울 및 주요 도심지역에서는 디젤 차량에서 많이 배출되는 질소산화물(NO_x)과 미세먼지에 의한 피해가 매우 심각한 실정이다. 디젤 및 가솔린 차량에 의한 대기오염을 줄이기 위해 세계 각국은 저공해 자동차 보급 확대를 추진하고 있으며, 이의 대안으로 LPG, CNG, 전기, 하이브리드, 메탄올, 수소 등이 있다.

질소산화물제거를 위한 적용기술 중 검증된 기술로 Urea-SCR 방식이 있으나 Urea 공급에 따른 사회적 인프라가 필요하며, 겨울철 Urea 수용액의 어는 문제와 NH₃ slip 발생에 의한 2차 오염도 아직은 해결해야 할 문제로 남아 있다. 따라서 일정한 정화효율이 확보되며, 시스템이 간단하고 내구성이 우수한 운행차 개조용 DeNO_x 시스템은 반드시 개발되어야 한다.

LPG 자동차는 디젤 및 가솔린 차량에 비하여 인체에 유해한 규제 배기가스(HC, CO, NO_x, PM) 및 비규제 유해가스를 현저히 적게 배출한다. 급가속 및 고부하 운전시 디젤 차량은 미세먼지 배출량이 급격히 증가하고 가솔린 차량은 일산화탄소가 과다하게 배출되는 반면, LPG 자동차는 배출량이 훨씬 적어 실질적인 대기환경 개선효과를 기대할 수 있다. 하지만 세계적으로 강화되고 있는 배기가스 규제를 만족시키기 위해서는 후처리 장치 개발을 통해 배기가스 저감 기술을 확보해야 할 것이다.

본 연구에서는 LPG 엔진에서 배출되는 질소산화물을 Euro-V 기준에 부합시키기 위해 LPG 연료를 환원제로 사용하는 HC-SCR 촉매를 개발하였고, 실차에 장착될 HC-SCR 촉매를 이용한 LPG 엔진에 대한 NO_x 저감특성을 연구하였다.

2. 연구방법

2.1 HC-SCR 촉매 성능평가

원활한 촉매 개발을 위하여 실제 차량에 장착 가능한 크기의 촉매 성능을 측정할 수 있는 장치가 필요하다. 이에 따라, Pilot 형태의 HC-SCR 촉매 성능평가를 위한 Test Rig를 Fig. 1과 같이 제작하여 실험에 활용하였다

Test Rig 장치는 세 부분으로 나누어지는데, 고온의 배기가스를 형성을 위한 버너부분, 유량과 배기가스의 온도 조절을 위한 유량 및 온도조절 부분, 데이터를 얻고 제어하기 위한 부분으로 구성되어 있다.

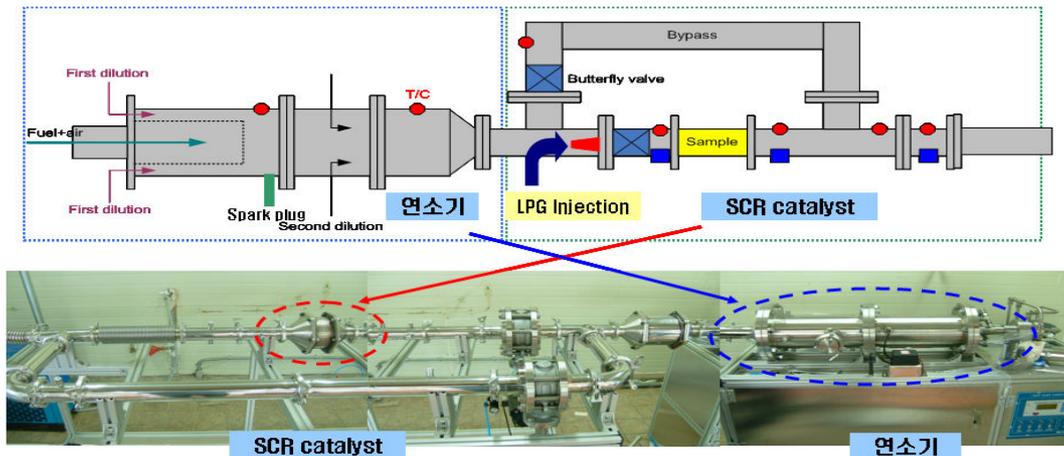


Fig. 1. Test Rig for SCR evaluation.

2.2 실차 적용 test

Fig. 2는 HC-SCR 촉매에 대한 성능시험에 사용된 LPG엔진이다. 개발된 HC-SCR 촉매를 이 시스템을 이용하여 ESC 모드(European Stationary Cycle, 유럽의 steady 배출가스 측정 모드)로 성능시험을 실시하였다. HC-SCR 촉매 장착 전·후의 CO, THC, NOx 등의 배출가스 저감효율을 측정하였다.



Fig. 2. Test Engine for Exhaust gas reduction

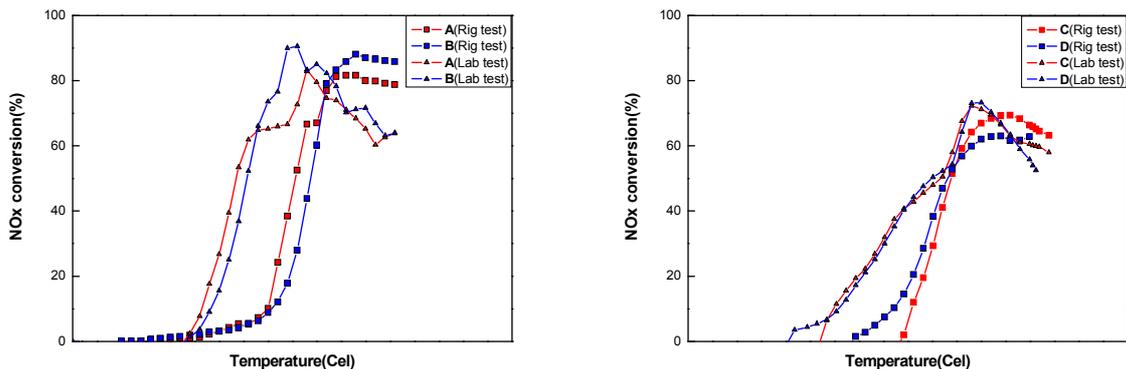
3. 결과 및 토론

3.1 HC-SCR 촉매 성능평가

Fig. 3(a)~(b)는 HC-SCR 촉매 성능평가를 위해 제작한 Test Rig에서의 실험결과를 나타내었다.

Fig. 3(a)의 Lab test 결과는 270°C 부근부터 촉매반응을 시작하여 370~400°C에서 최대의 전환율을 나타내고 있지만, Rig test 결과 280°C에서 NO_x 제거반응을 시작하여 420°C 부근에서 최대의 80%이상의 NO_x 제거효율을 보였다. 이로부터 Lab test 결과와는 달리 Rig test의 결과에서는 NO_x 제거가 일어나는 온도 구간이 약 20°C 정도 높아짐을 알 수 있다.

Fig. 3(b)의 Rig test 결과 320~350°C에서 NO_x 제거반응을 시작하여 450°C와 460°C 부근에서 NO_x 최대 제거효율이 70% 이상을 나타내었다. Fig. 3(b)도 Fig. 3(a)와 같이 Lab test 결과와 달리 Rig test 결과에서 NO_x가 제거되는 온도 구간이 10~20°C 정도 높아졌다. 이는 Lab test와는 달리 실제 LPG를 연소시킨 배기가스를 이용한 결과, 배기 가스 내의 수분 등의 영향으로 NO_x 제거 효율 및 온도 구간이 변화된 것으로 추정된다. 따라서, 개발된 촉매를 실제 차량에 적용하기 위해서는 반드시 Rig test 등과 같이 실제 배기 가스 환경에서 촉매의 성능을 측정하여야 함을 알 수 있다. 또한 이를 촉매 개발시 감안하여야 할 것으로 생각된다.



(a) A, B catalyst

(b) C, D catalyst

Fig. 3. NO_x conversion on Rig test.

3.2 실차 적용 평가

Fig. 4는 실차 적용평가 1차 실험으로 SCR만 사용시 후단에서의 배출가스를 나타낸 것으로, NO_x 및 THC의 배출량은 Euro-V 기준인 1.81g/kWh와 0.45g/kWh보다 낮은 0.73g/kWh, 0.11g/kWh를 나타내어 기준을 만족하고 있다. 그러나, CO는 기준인 3.33g/kWh보다 많은 배출가스를 발생시키고 있다.

Fig. 5는 실차 적용평가 2차 실험으로 환원제인 HC을 주입/미주입시 촉매 후단에서의 배출가스를 나타내었다. 환원제인 HC을 주입시 THC와 NO_x는 목표치인 만족하는 수준이지만 CO는 Fig. 4와 마찬가지로 기준보다 많은 배출가스를 발생시키고 있다.

이는 SCR로 인하여 투입한 환원제의 산화로 CO 배출량이 증가한 것으로 추정된다. 따라서, 산화촉매를 사용하여 CO를 더욱 저감시킬 필요가 있다고 생각된다.

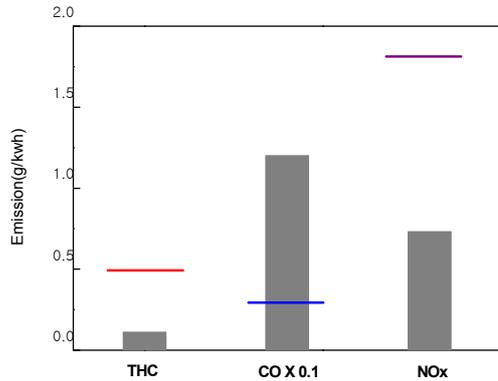


Fig. 4. Exhaust gases reduction (First test)

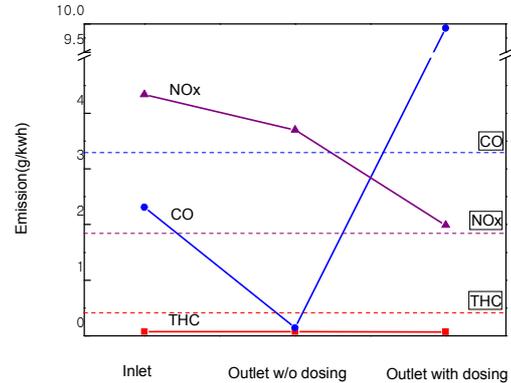


Fig. 5. Exhaust gases reduction (Second test)

4. 결론

본 연구에서는 HC-SCR 촉매를 이용하여 LPG 엔진에서 발생되는 배출가스를 저감시키기 위한 연구를 수행하였다. Lab test 결과 80% 이상의 NOx 제거효율을 보였다. 그러나, 촉매의 작동온도구간이 370~450℃ 정도로 실차 조건에서 저온 구간의 활성을 보완하기 위한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Pilot 형태의 실험장치인 test Rig를 이용한 결과와 Lab test 장치를 이용한 결과의 제거효율 차이는 반응가스를 모사하여 실험하는 lab test와 달리, 실제 연료를 연소시켜서 발생하는 배기가스로 실험하는 Rig test의 경우 배기가스 내에 다량의 수분이 함유되어 있기 때문에, 이 수분의 영향으로 인하여 저온에서의 활성이 저하되었기 때문인 것으로 생각된다.

실차 적용 test에서는 THC와 NOx는 목표치인 Euro-V 기준에 만족하는 수준으로 확인이 되었지만, CO의 경우는 기준치 보다 많이 발생하였는데 이는 SCR로 인하여 증가한 것으로 추정된다. 따라서, SCR외에 산화촉매를 추가로 장착하면 CO를 목표치까지 충분히 낮출 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 “에너지·자원 기술개발사업”에 의한 지원으로 진행된 연구 중 일부이며, 이에 관계기관에 감사드립니다.

참고문헌

1. P. Forzatti, L. Castoldi, I. Nova, L. Lietti. and E. Tronconi., *Catal. Today*, **117**, 316-320(2006).
2. Manfred. K., Giuseppe. M. and Martin. E., *Catal. Today*, **73**, 239-247(2002).
3. P. Sazama, B. Wichterlova, *Chem. Communications* (2005) 4810.