

산업용 디젤엔진을 이용한 DOC 및 SCR 촉매의 배출가스 배압에 관한 연구

양병모*, 길기현**

*공주대학교 생산기계공학과

**호서대학교 에너지기후환경융합기술학과

e-mail:ybm9892@naver.com

Effects of DOC and SCR Catalysts on Exhaust Gas Backpressure Using Industrial Diesel Engines

Byung-Mo Yang*, Ki-Hyun Kil**

*Dept. of Production Mechanical Engineering, Kongju National University

**Dept. of Energy & Climate Environment Fusion Technology, Hoseo University

요약

선택적촉매환원법(SCR, Selective Catalytic Reduction)은 대기오염물 질의 하나인 NOx의 제거를 위해 암모니아를 환원제로 이용하여 무해한 N₂ 및 H₂O로 전환하는 기술로서 높은 탈질효율을 나타내고, 운전 및 유지보수 용이 등 여러 장점으로 인해 현재까지 개발된 기술 중 NOx를 저감시키는 가장 대표적인 기술로서 세계적으로 이미 상용화되어 다양한 분야에서 사용 중이다. 전 세계적으로 강화된 NOx 배출규제로 인해 SCR 기술은 주목받고 있다. 본 논문에서는 유동 해석을 통하여 배출가스 후처리장치 SCR의 Mixer와 Mixer 파이프 설계를 최적화하고, 디젤 엔진과 엔진동력계를 이용하여 실험적 연구를 실시하여 배출가스의 유동 및 배압에 대한 영향을 연구하였다. 배기유량이 증가함에 따라서 배압이 급격하게 상승하였는데 이는 SCR과 DOC 2개의 촉매를 연속적으로 연결시키에 따라 배압이 급격하게 상승하였다

1. 서론

친환경 자동차인 전기차 및 수소연료전지차의 전면 대체까지는 많은 시일이 소요되며 대기환경 개선은 한순간에 달성될 수는 없다. 장기적 시각에서 전기차와 수소차에 대한 기술 개발은 매우 중요하다. 하지만, 현재 시점에서 자동차 시장을 주도하고 있는 내연기관 자동차의 환경성을 개선하고 효율을 높이는 노력 또한 대기질 개선과 온실가스 저감에 있어 매우 중요하다⁽¹⁾.

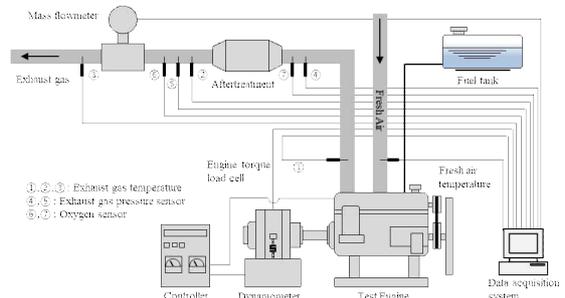
친환경 그린카는 해결되어야 할 문제도 적지 않다. 전기차 동차는 청정하지만, 석탄 화력 등 전기생산 과정에서 발생하는 온실가스 배출감소 노력과 배터리 등에 대한 성능 개선이 필요하며, 수소연료전지차는 경제성이 떨어지고 수소연료 에너지 생산 시 발생하는 탄소배출량 감소 노력이 함께 이뤄져야 한다. 앞으로도 수십 년 이상 현행 또는 개선된 내연기관 자동차가 도로를 점유하게 될 것이며 자동차 산업 측면에서도 내연기관 기반 자동차가 수십 년 이상 캐시카우 역할을 담당할 것이며, 내연기관이 감소한 그 자리는 전기차 등 그린카가 차지할 것으로 전망이다^(2,3).

본 연구에서는 배출가스 후처리장치 DOC와 SCR의 믹서(Mixer)와 믹서 파이프(Mixer Pipe) 설계를 최적화하고, 디젤 엔진과 엔진동력계를 이용하여 실험적 연구를 실시하여 배출가스의 배압에 대한 영향을 파악하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험장치는 실험엔진, 엔진동력계, 배기압력센서, 배기유량계, 온도센서 등으로 이루어져 있으며, 실험장치의 구성도는 하기와 같다. 배기온도는 4곳(배기매니폴드, 후처리장치 전후 및 배기머플러)에서 측정하였다. 실험엔진은 CRDI(Common Rail Direct Injection) 디젤엔진이며, 매연저감과 여과장치가 유로5(Euro5) 배출가스 기준에 적합하게 만든 디젤엔진을 사용하였다. 이 엔진은 연료분사 최고압력은 2,000bar이며, 직렬 4기통 수랭식 엔진이다. 배기량은 2,595cc이고, 실험 엔진의 실린더 헤드는 DOHC (Double Over Head Cam Shaft)구조이다. 전자식 가변형 과급기(E-VGT: Electronic Fixed Geometry Turbocharger)가 장착되어 있으며, 최대 압축비는 16.0:1이다.



[그림 1] 엔진동력계 실험장치 구성

2.2 실험조건

엔진동력계 실험은 DOC, SCR, DOC/SCR을 대상으로 실험을 실시하였으며, 후처리장치가 들어갈 부분에 직관파이프를 설치하여 직관파이프 전후의 배압차를 확인하였다. 우선, 후처리장치의 각각의 단품을 먼저 실시하였으며 마지막으로 DOC/SCR 어셈블리 실험을 실시하였다.

[표 1] 실험조건

No.	Acc. Pedal (%)	Load (Nm)	Engine speed (rpm)
1	8	10	1200
2	12	15	1600
3	16	20	2000
4	20	25	2400
5	24	30	2800
6	28	35	3200
7	32	40	3400



[그림 3] 실험용 후처리장치 DOC와 SCR

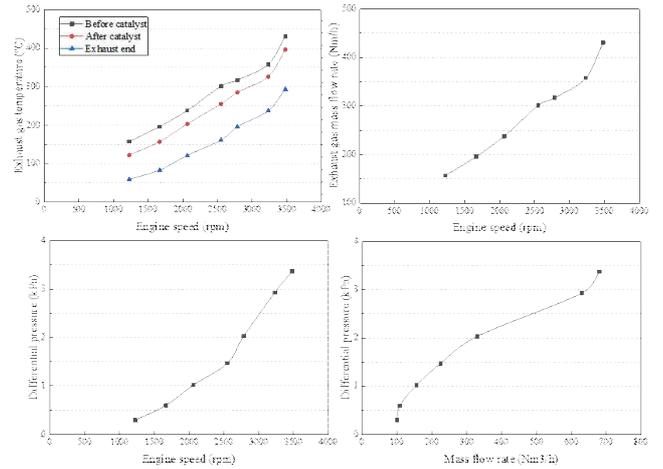
3. 실험결과

후처리장치의 전후의 배기온도 및 배압을 측정하였으며, 배기유량은 배기파이프 1m 전에서 측정하였다. 결과 그래프와 같이 엔진회전수에 따라 배기온도, 배기유량, 배압 모두 상승하는 경향으로 나타났음. 엔진회전수 3450rpm 부근에서 배출가스 온도는 420°C로 나타났으며, 이때 배기 유량은 535Nm³/h로 나타남. 배기유량이 상승함에 따라 배압도 상승하는 것을 확인하였다.

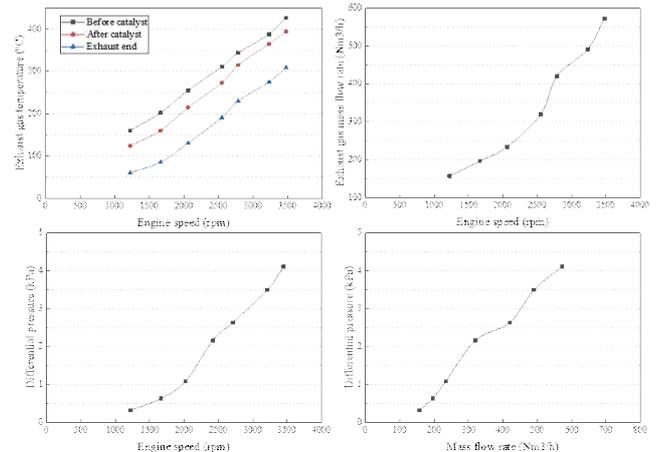
실험용 디젤엔진에 D24 DOC를 설치하여 상기와 같은 조건으로 실험을 실시하였으며, 실험결과와 그림3에 나타냈다. DOC 전단부에서의 배출가스 온도는엔진회전수 3450rpm 부근에서 약 440°C였으며, 이때 배기유량과 배기차압은 각각 445Nm³/h, 3.4kPa로 나타났다. 배기유량이 상승함에 따라서 배압도 상승하는 것을 확인하였으며, 이는 D34용 DOC의 경우 D24용 DOC 보다 직경은 크고, 길이는 짧아서 직경파이프와 유사한 경향으로 나타났다.

실험용 디젤엔진에 SCR 단품을 설치하여 상기 실험조건과 동일한 방법으로 실험을 실시하였다. SCR 전단부에서의 배

출가스 온도는엔진회전수 3450rpm 부근에서 약 425°C였으며, 이때 배기유량과 배기차압은 각각 590Nm³/h, 4100Pa로 나타났다. DOC와 동일한 엔진회전수에서 배기유량이 비슷한 경향이 나타났지만 배압은 D24 DOC 보다 D34 SCR가 더 낮은 경향을 보이고 있으며, 이는 촉매의 길이는 유사하지만 직경의 차이로 인하여 배압이 낮아진 것으로 판단된다.

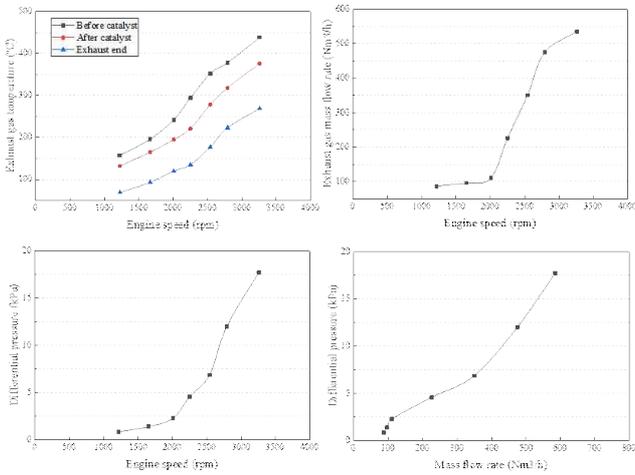


[그림 3] 엔진동력계를 이용한 DOC 후처리의 질량유량 및 차압



[그림4] SCR 후처리를 위한 배기 가스의 질량 유량 및 차압

최적화 설계한 디젤엔진 DOC/SCR 어셈블리를 설치하여 상기와 동일한 조건으로 실험을 실시하였으며, 실험결과와 그림5와 같이 나타낸다. 엔진회전수 3450rpm 부근에서 시제품 전단의 배출가스 온도는 약 435°C였으며, 이때 배기유량과 배기차압은 각각 530Nm³/h, 18000Pa로 나타났다. 그 결과를 그림5에 나타낸다. 또한, 단품과는 달리 배기유량이 증가함에 따라서 배압이 급격하게 상승하였는데 이는 SCR과 DOC 촉매를 연속적으로 연결시킴에 따라 배압이 급격하게 상승한 것으로 판단된다.



[그림5] 엔진동력계를 이용한 배기가스 질량유량 및 DOC/SCR의 차압

4. 고찰

본 연구에서는 배출가스 후처리장치 DOC와 SCR의 Mixer와 Mixer 파이프 설계를 최적화하고, 디젤 엔진과 엔진동력계를 이용하여 실험적 연구를 실시하여 배출가스의 배압에 대한 영향을 파악하였다.

- (1) 단품과는 달리 배기유량이 증가함에 따라서 배압이 급격하게 상승하였는데 이는 SCR과 DOC 촉매를 연속적으로 연결시킴에 따라 배압이 급격하게 상승한 것으로 판단된다.
- (2) DOC와 동일한 엔진회전수에서 배기유량이 비슷한 경향이 나타났지만 배압은 DOC 보다 SCR가 더 낮은 경향을 보이고 있으며, 이는 촉매의 길이는 유사하지만 직경의 차이로 인하여 배압이 낮아진 것으로 판단된다

참고문헌

[1] I. Lopez, E. Ibarra, A. Matallana, J. Andreu and I. Kortabarria, "Next generation electric drives for HEV/EV propulsion systems: Technology, trends and challenges", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 제 114권, 2019.

[2] 구영모, "[특집 4 - 수소 경제 기술 동향] 수소전기차 기술 개발 동향", 오토저널, 제 41권 2호, pp. 33-36, 2019년.

[3] 김성진, 홍승민, 남광희, "하이브리드 자동차용 모터 및 인버터 최신 동향 분석", 전력전자학회, 제 21권 5호, pp.381-387, 2016년