

대형디젤기관의 디젤산화촉매장치에서 저유황 경유에 의한 배출가스 저감에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Emission Reduction by Low Sulfur Diesel Fuel in Diesel Oxidation Catalyst of Heavy Duty Diesel Engine

오 용 석*, 강 호 인**, 한 영 출***
Y. S. Oh, H. I. Kang, Y. C. Han

ABSTRACT

Among aftertreatment devices which reduce exhaust gas of diesel engine, diesel oxidation catalyst(DOC) with high reduction efficiency for gaseous matter and particulate matter is now being studied actively. In this study, an experiment was conducted to analyze the effects of low sulfur diesel fuel in heavy duty diesel engine equipped with DOC. We tested to estimate change of engine performance for the low and high sulfur diesel fuels in a 11,000cc diesel engine equipped with DOC. We conducted test to estimate the reduction efficiency of exhaust gas in D-13 mode of heavy duty diesel regulation mode and in smoke opacity mode for two samples of high sulfur content(0.2%) and low sulfur content(0.05%).

주요기술용어 : Diesel Oxidation Catalyst(DOC : 디젤산화촉매장치), Soluble Organic Fraction(SOF : 유기성 용해물질), Particulate matter(입자상물질), Heavy duty diesel(대형디젤자동차)

1. 서 론

디젤기관에서 배출되는 배출가스에 대한 규제치가 엄격해지면서 기관개량만으로는 규제치를 만족하기 어려워 이에 대한 대안으로서 향후 후처

리장치의 개발이나 대체연료로 전환을 고려해야 한다. 디젤후처리장치 중 디젤산화촉매장치(DOC)는 배압의 증가 없이 HC, CO 및 입자상물질을 동시에 저감시킬 수 있는 장점이 있으나 DOC가 그동안 사용할 수 없었던 가장 큰 이유중의 하나가 연료중에 황함유량을 많이 포함하고 있어 DOC의 기능을 발휘할 수 없었기 때문이었다. 따라서 초기에는 광산지하에서 사용되는 디젤

* 국민대학교 기계·자동차공학부 대학원
** 동해전문대학 자동차 서비스과
*** 정회원, 국민대학교 기계·자동차공학부

차량에 장착하여 단지 CO, 미연HC 및 악취 제거용으로만 사용하였다. 디젤산화촉매장치에 대한 본격적인 연구는 1981년 Hunter G¹⁾ 등에 의해 산화촉매의 효과에 관한 연구를 시작으로 1987년 G. Andrews²⁾ 등이 SOF저감에 관한 연구를 통해 디젤연료의 황성분이 DOC의 성능에 미치는 매우 중요한 인자임을 보고하였다. 이 보고서에 의하면 연료중의 황성분은 DOC의 촉매표면을 피독시켜 촉매기능을 떨어뜨리고 결국 CO나 HC에도 악영향을 미칠 뿐만아니라 촉매표면에 축적된 황산염(H₂SO₄)이 배출되면서 입자상물질(Particulate)의 양까지 증가시킨다.³⁻⁵⁾ 따라서 디젤기관의 배출가스저감을 위해서는 디젤연료의 질적향상이 필요함에 따라 선진국에서는 이미 경유중의 황함유율을 0.05%로 이미 법규화하였으며 우리나라에서도 1998년부터 0.05%이하로 법규화할 예정으로 있어 배출가스 저감 뿐만아니라 DOC의 장착까지도 가능하게 할 것으로 보인다.

그러나 현재 우리나라에서는 아직 DOC에 대한 기초연구나 황성분에 의한 DOC의 성능평가 등이 미흡하여 본 연구를 통해 대형디젤기관에 맞는 DOC를 사용하여 연료중의 황성분에 따른 기관의 성능과 배출가스 상태를 분석하였다. 연료는 0.2%의 황이 함유된 고유황 디젤연료와 0.05%의 황이 함유된 저유황 디젤연료를 사용하여 현행 D-13모드⁶⁾ 및 매연 Opacity모드 시험을 통해 저유황에 따른 DOC의 배출가스 저감효과를 알아보고 또한 실제규제치와 비교하여 저유황 경유의 사용에 따른 DOC의 실용화 가능성을 파악하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 기관

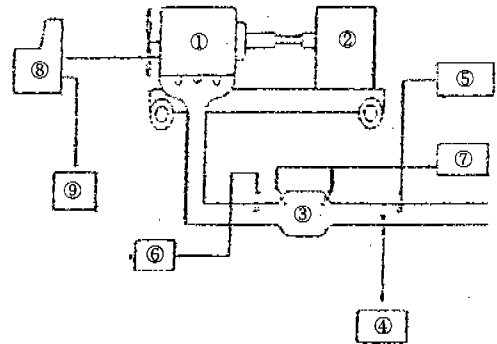
DOC의 장착시 연료성분에 따른 기관성능과 배출가스의 분석 및 파악을 위해 사용한 실험기관은 현재 주로 시내버스용으로 사용되고 있는 11,000cc급(D6AU) 대형디젤기관을 사용하였고 Table 1에 기관에 대한 제원을 보여주고 있다.

Table 1 Specifications of HDD

Items	Specifications
Maker	Hundai
Model	D6AU
Displacement(cc)	11,149
Max. power(ps/rpm)	225ps/2,200rpm
Max. torque(kgf · m/rpm)	78kgf · m/1,400rpm
Bore stroke	140
Injection time	19°

2.2 실험 장치

디젤기관에서 DOC를 장착하여 고유황 연료와 저유황 연료의 사용에 따른 기관성능 및 배출가스를 측정하기 위한 전체적인 실험장치의 개략도는 Fig.1과 같다. 연료성분에 따른 기관성능과 배출가스를 파악하기 위한 대형디젤기관용 DOC는 Engelhard사의 제품을 사용하였고 배기매니폴더에서 1m 떨어진 곳에 설치하여 실험하였다. DOC의 구조는 크게 촉매, 담체, 지지체 및 이를 둘러싸고 있는 캐니스터(Canister) 등으로 구성되어 있으며 그 제원은 Table 2와 같다.



- ① Engine
- ② Dynamometer
- ③ Diesel oxidation catalyst
- ④ Smoke tester
- ⑤ Gaseous emission analyzer
- ⑥ Tachometer
- ⑦ Thermocouple
- ⑧ Dynamometer control desk
- ⑨ Printer

Fig.1 Schematic block diagram of emission measuring apparatus

Table 2 Specifications of DOC for HDD

Items	Specifications
Maker	Engelhard Co.
Model	Hex-1,217D
Loading(g/ft ³)	10g/ft ³ pt
Dia×length(inch)	9.5×6(2piece)

한편 기관동력계는 전기식 동력계(NEDD-14H Type, NISHI-SHIBA Co.)를 사용하였고 매연 측정은 여지광반사식 필터 타입으로 농도 지시는 디지털로 표시되며, 퍼지(Purge), 입자상물질의 채취, 측정 결과 표시가 완전 자동인 Smoke tester(Electra control Co. : DST 210)를 사용하였으며 그 측정 범위는 0~100% 이다.

2.3 실험 방법

2.3.1 기관성능 실험

DOC 장착시 연료성분에 따른 기관성능을 파악하기 위한 실험으로서 실험은 먼저 DOC를 장착한 후 베이스상태에서 고유황 연료와 저유황 연료를 각각 사용하여 기관사양 조건에 맞추어 전부하 조건에서 1,000rpm에서부터 2,200rpm까지 400rpm씩 증가시켜 기관의 출력, 토크 및 연비를 3분 동안 30초마다 Data acquisition을 하여 평균을 내어 계산하였다.

2.3.2 배출가스 실험

2.3.2.1 D-13모드 실험

현행 대형디젤기관의 배출가스규제모드로서 DOC를 장착하여 D-13모드 실험 조건하에서 고유황 연료와 저유황 연료를 각각 사용하여 CO, HC, NO_x 및 입자상물질을 5분 동안 20초마다 Data acquisition을 하여 평균하여 측정하였고 대형디젤 엔진의 시험모드인 D-13모드에 대한 제원은Table 3과 같다.

2.3.2.2 매연 Opacity모드 실험

D-13모드가 적용되고 있지만 대형디젤엔진에서는 현재 매연 opacity 규제모드로 사용하고 있어 실험하였다. 매연 Opacity 실험은 매연 opacity 실험조건하에서 DOC를 장착하여 고유황 연료와 저유황 연료를 각각 사용하여 각 rpm영

Table 3 Driving condition of D-13 mode

Mode NO	Speed (%)	Load (%)	Time (min)	Weight Factor
1	Idling	0	2	0.2209
2	40	25	2	0.0252
3	40	10	2	0.0410
4	60	100	2	0.0387
5	60	75	2	0.0281
6	Idling	0	2	0.2000
7	80	100	2	0.0465
8	80	75	2	0.0404
9	80	50	2	0.0352
10	80	25	2	0.0272
11	80	10	2	0.0318
12	100	100	2	0.0650
13	Idling	0	2	0.2000

역에서 1~2시간정도 지난후의 상태가 되었을 때 매연측정기로 3번을 측정하여 평균하여 계산하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기관성능 실험결과

11,000cc급의 대형디젤기관에서 DOC의 장착시 연료의 성분에 따른 기관의 토크, 출력 및 연비에 대한 결과를 각각 Fig.2, Fig.3 및 Fig.4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 연료의 성분에 따른 기관의 출력변화는 전영역에서 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 고유황 연료나 저유황 연료를 사용해도 기관출력에는 영향을 미치지않고 단지 배출가스저감에만 영향을 미치는 것을 알 수 있다.(0.2%의 고유황 연료에서 DOC 장착전후 기관의 성능변화와 배출가스 실험결과 는 KSAE96370085⁷⁾에 이미 보고되었음)

3.2 배출가스 실험결과

3.2.1 D-13모드 실험결과

DOC가 장착된 상태에서 고유황 연료와 저유

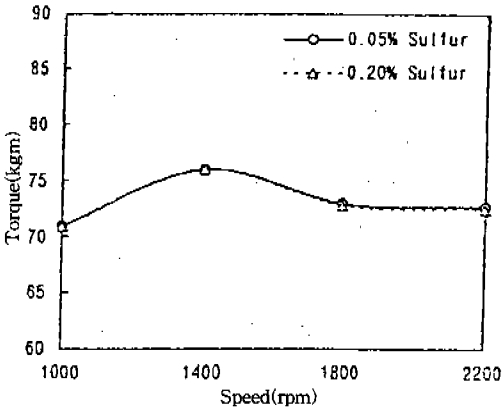


Fig.2 Torque performance of test engine

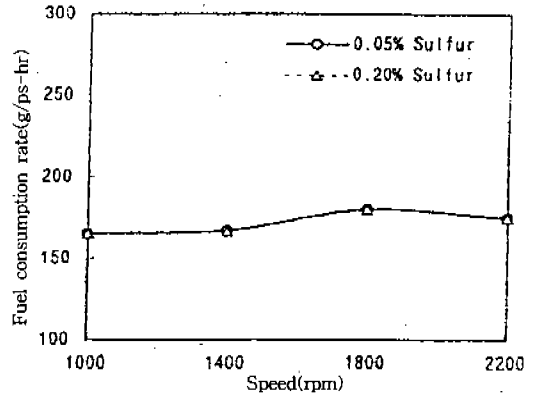


Fig.4 Fuel consumption of test engine

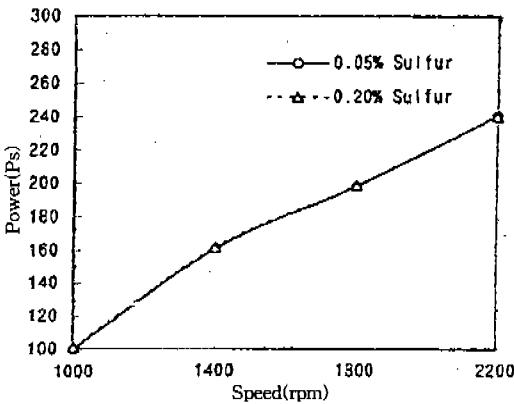


Fig.3 Power performance of test engine

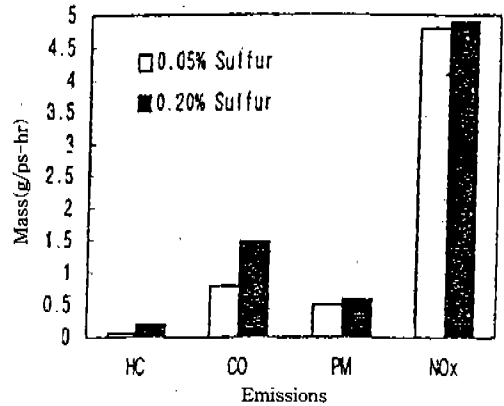


Fig.5 Emission results for D-13 mode

황 연료를 사용하여 D-13모드 실험을 수행한 결과를 Fig.5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 0.05%의 저유황 연료를 사용한 경우가 0.2%의 고유황 연료를 사용한 경우에 비해 모든 배출가스가 저감하는 현상을 보여주었다. 가스상물질 중 CO 및 THC는 약 60%정도 저감되었고 반면에 NOx는 약 2~3% 저감되었다.

특히 입자상물질의 양이 고유황연료의 사용에 비해 약 15% 저감하였는데, 이는 저유황연료의 사용에 따라 SO₂의 양이 줄어들어 결국 황산생성을 억제하는 결과를 초래하여 입자상물질의 총량이 감소한 것으로 판단된다. 따라서 D-13모드 실험을 통해 DOC가 장착된 경우에서 저유황연료의 사용은 가스상물질이나 입자상물질저감에 매우 중요한 인자임을 알 수 있었다. 그리고 모드

에 따라 시험조건과 배출가스온도가 다르기 때문에 가스상물질이나 입자상물질의 저감효율 및 총량이 또한 다르게 나타난다는 것을 고려해야 한다. 따라서 D-13모드의 본 실험을 통해 향후 DOC의 사용뿐만 아니라 배출가스를 저감하기 위해서는 반드시 저유황연료의 사용이 필수적이라는 사실을 암시해 준다. 다행히 정부에서는 1998년부터 유황규제치를 0.05%로 설정하고 있어 앞으로 배출가스 저감에 영향을 미칠 것으로 보인다.

3.2.2 매연 Opacity모드 실험결과

매연 Opacity 모드에서 DOC가 장착된 상태에서 두 종류의 연료에 대한 매연 Opacity를 측정된 결과를 Fig.6에 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 0.2%의 고유황 연료와 0.05%의

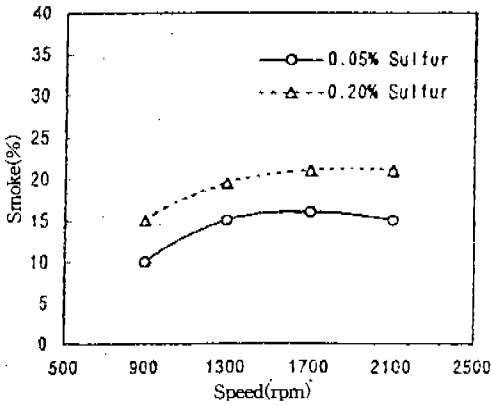


Fig. 6 Smoke reduction for smoke 3-mode in 0.2% & 0.05% sulfur

저유황 연료를 비교하여 보면 고유황에 비해 저유황시 매연은 약 25% 저감되는 현상을 보여주고 있다. 따라서 저유황연료의 사용이 실제적으로 매연저감에 매우 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 즉 디젤기관에서 가장 문제시되는 입자상물질이나 매연은 DOC 장착과 저유황 연료를 사용할 경우 배출가스 저감에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

대형디젤기관에 DOC를 장착하여 고유황 연료와 저유황 연료를 사용하여 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) DOC의 장착시 고유황 연료와 저유황 연료성분에 따른 기관의 성능변화는 거의 없었다.
- 2) D-13모드에서 저유황연료가 고유황연료에 비해 가스상물질 중 CO 및 THC는 약 60% 저감되는 현상을 보여주었고 반면에 NOX는 약간 저감되었고 입자상물질은 약 15% 저감되었다.
- 3) 매연 Opacity모드에서 DOC장착시 저유황 연료가 고유황연료에 비해 약 25% 매연을 저감시켜 저유황연료가 DOC에서 가

스상물질, 입자상물질 및 매연저감에 중요한 인자임을 알 수 있었다.

- 4) 상기 실험결과로 부터 저유황 연료를 사용할 때 DOC의 실용화가 가능하고 동시에 대기오염의 저감에 많은 영향을 미칠 것으로 사료된다.
- 5) 향후 DOC의 aging에 의한 배출가스 저감효율이나 귀금속 종류 및 함량에 따른 연구도 계속 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Hunter G, Scholl J, Hibbler F, Bagley S, Leddy D, Abata D and Johnson J., "The Effect of an Oxidation Catalyst on the Physical, Chemical, and Biological Character of Diesel Particulate Emission", SAE 810263, 1981.
2. G. Andrews, I. Iheozor-Ejirofor and S. Pang, "Diesel Particulate SOF Emissions Reduction Using an Exhaust Catalyst", SAE 870251, 1987.
3. Michael Walsh, "Global Trends in Diesel Particulate Control -A 1995 Update", SAE 950149, 1995.
4. Paul Zelenka, Klaus Ostgathe and Egbert Lox, "Reduction of Diesel Exhaust Emissions by Using Oxidation Catalysts", SAE 902111, pp. 3~4, 1990.
5. Ken Voss, Bulent Yavuz, Carol Hirt, and Robert Farrauto, "Performance Characteristics of a Novel Diesel Oxidation Catalyst", SAE 940239, pp. 90~91, 1994.
6. 조강래 등, "디젤자동차 배출가스 허용기준 강화를 위한 연구", 국립환경 연구원, 1988.
7. 김경배, 한영출, 강호인, "대형디젤기관의 디젤산화촉매장치에서 저유황경유에 의한 배출가스저감에 관한 연구", 한국자동차공학회, 1996.