

(논문) SAE NO. 96370085

CI機關에서 디젤酸化觸媒裝置에 의한 排出가스 低減에 관한 研究

A Study on Emission Reduction by Diesel Oxidation Catalyst in Diesel Engine

김 경 배,* 한 영 출,** 강 호 인***
K. B. Kim, Y. C. Han, H. I. Kang

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 on factors of oxidation characteristics and conversion efficiency of DOC. We tested to estimate change of engine performance whether a 11,000cc diesel engine equipments with DOC or not. We conducted test to estimate the reduction efficiency of exhaust gas in P-5 mode, in D-13 mode of heavy duty diesel regulation mode and in smoke opacity mode for two samples and also we conducted test to analyze the effects about both exhaust gas velocities of 1,100rpm and 2,200rpm

주요기술용어 : Diesel Oxidation Catalyst(DOC : 디젤산화촉매장치), Ceramic Filter Trap(CFT : 세라믹필터트랩), Soluble Organic Fraction(SOF : 유기성 용해물질), Particulate(입자상물질)

1. 서 론

디젤기관에서 배출되는 배출가스에 대한 규제치가 엄격해지면서 앞으로 기관개량만으로는 규제치를 만족할 수 없기 때문에 이에 대한 대안으로서 후처리장치의 개발이나 대체연료로 전환을

고려해야 한다. 디젤후처리장치는 세라믹필터트랩(CFT)과 디젤산화촉매장치(DOC)로 나누어지며 CFT는 입자상물질(Particulate)을 거의 90% 이상 저감시킬 수 있으나 배압증가에 따른 기관의 출력 및 연비에 악영향을 미치고 입자상물질을 강제로 재생시키는 부가적인 장치가 필요하나 DOC는 배압의 증가 없이 HC, CO 및 입자상물질을 동시에 저감시킬 수 있는 장점이 있으나 입자상물질 저감효율이 낮은 것이 단점이다.

* 정회원, 시립인천전문대 기계공학과

** 정회원, 국민대학교 기계공학과

*** 정회원, 국민대학교 대학원

디젤산화촉매장치는 처음에 1967년 Forklift 나 광산지하에서 운전되고 있던 디젤기관에 장착하여 단지 HC 및 CO를 저감할 목적으로 사용되었다가 1981년 Hunter G¹⁾ 등에 의해 기초 연구가 수행되면서 1987년 G. Andrews²⁾ 등이 SOF저감에 관한 연구를 발표하면서 일본의 도요다등 유명한 자동차회사에서 직접 실험을 하여 실용화 가능성을 검토하였다. 그 후 디젤연료의 향상과 계속적인 연구를 통해 DOC가 1997년 이후에 유럽의 모든 승용디젤차량에 장착예정이며, 미국의 경우 1994년형 대형디젤기관에서 많이 장착되기 시작하고 있다³⁾.

그러나 우리 나라에서는 아직 DOC에 대한 연구가 미흡하여 본 연구를 통해 대형디젤기관에 맞는 두 시제품을 사용하여 DOC의 성능에 미치는 인자의 특성과 배출가스 저감율을 평가하였다. 실험을 통해 먼저 DOC장착에 따른 기관성능을 파악하였고, DOC의 성능에 미치는 인자인 커금속촉매의 양과 촉매재^{4),5)}, 담체의 조성⁶⁾, 배출가스속도⁷⁾, 연료 중의 황성분⁸⁾ 및 배출가스온도⁹⁾ 중 본 논문에서 배출가스온도와 배출가스 유속에 대한 DOC의 성능을 파악하였다. 배출가스 중 매연과 입자상물질 저감효율을 알아 보기 위하여 현행 매연 Opacity모드 및 1996년 이후 규제모드인 D-13모드¹⁰⁾의 시험을 통해 실제규제치와 비교하여 DOC의 실용화 가능성을 파악하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 기관

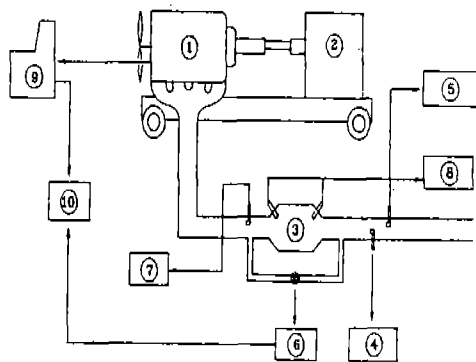
디젤산화촉매장치의 장착에 의한 기관성능과 배출가스 저감효율의 분석 및 파악을 위해 사용한 실험기관은 현재 주로 시내버스용으로 사용되

고 있는 11,000cc급(D6AU) 대형디젤기관을 사용하였고 Table 1에 기관에 대한 제원을 보여주고 있다.

2.2 실험 장치

디젤기관에서 디젤산화촉매장치를 장착하여 기관성능 및 배출가스를 측정하기 위한 전체적인 실험장치의 개략도는 Fig.1과 같다. 기관성능과 배출가스 저감효율을 파악하기 위한 대형디젤기관용 디제산화촉매장치는 Engelhard의 A제품과 Degussa의 B제품 2대를 선정하여 실험을 하였고 디젤산화촉매장치의 구조는 크게 촉매, 담체, 지지체 및 이를 둘러싸고 있는 캐니스터(Canister) 등으로 구성되어 있으며 A제품의 제원은 Table 2와 같다.

한편 기관동력계는 전기식 동력계(NEDD-



- ① Engine
- ② Dynamometer
- ③ Diesel Oxidation Catalyst
- ④ Smoke tester
- ⑤ Gaseous emission analyzer
- ⑥ SO₂ analyzer
- ⑦ Tachometer
- ⑧ Thermocouple
- ⑨ Dynamometer control desk
- ⑩ Printer

Fig.1 Schematic block diagram of emission measuring apparatus

Table 1 Specifications of engine

Items	Specifications
Model	D6AU
Displacement(cc)	11,149
Max. power(PS/rpm)	225PS/2200rpm
Max. torque(kgf·m/rpm)	78kgf·m/1400rpm

Table 2 Specifications of DOC

Items	Specifications
Maker	Engelhard Co.
Model	Hex-1217D
Loading(g/ft ³)	10g/ft ³ pt
Dia.×length(inch)	9.5×6(2 piece)

14H Type, NISHIA-SHIBA Co.)를 사용하였고 매연측정은 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

기관성능 실험은 먼저 디젤 산화촉매장치를 장착하기 전 베이스상태에서 기관사양 조건에 맞추어 1,000rpm에서부터 2,200rpm까지 400rpm씩 증가시켜 기관의 출력, 토크 및 연비를 3분 동안 30초마다 Data aquisition을 하여 평균을 내어 계산하였고, 그리고 디젤산화촉매장치를 장착한 후에도 동일한 방법으로 측정하여 장착 전·후의 결과를 비교하여 디젤산화촉매장치의 장착에 따른 기관성능의 변화를 파악하였다.

2.3.2 배출가스 실험

2.3.2.1 P-5모드 실험

디젤산화촉매장치의 성능에 미치는 인자 중 가장 중요한 인자는 배출가스 온도에 따른 DOC의 성능을 파악하기 위하여 먼저 예비실험을 통해 배출가스 온도를 적절히 선정하여 온도변화에 따른 P-5모드를 설정하였다. 실험방법은 디젤산화촉매장치를 장착하기전 베이스상태에서 선정된 P-5모드로 CO, HC 및 NO_x를 5분 동안 20초마다 Data aquisition을 하여 평균하고, 디젤산화촉매장치를 장착한 후에도 동일한 방법으로 실험을 하였으며 디젤산화촉매장치 전·후의 배기 온도는 초당으로 계속 기관동력계에서 읽어 컴퓨터에 입력하여 산화에 의한 온도변화도 측정하였다. P-5모드의 운전조건은 Table 3에 나타내었다.

2.3.2.2 D-13모드 실험

D-13모드실험은 1996년 이후 대형디젤용 배기규제모드로서 디젤산화촉매장치가 실용적으로 사용할 수 있는지를 평가하기 위하여 디젤산화촉매장치의 장착 전·후 CO, HC, NO_x 및 입자상물질을 5분 동안 20초마다 Data aquisition을 하여 평균하여 측정하였다.

Table 3 Driving condition of P-5 mode for HDD

Mode NO	Constant Speed (rpm)	Catalyst inlet temp (°C)	Time (min)	Load (%)
1	1500	100	5	6
2	1500	200	5	19
3	1500	300	5	46
4	1500	400	5	65
5	1500	500	5	83

2.3.2.3 매연 Opacity모드 실험

디젤산화촉매장치는 입자상물질 중 SOF를 주로 산화시키지만 기관에 장착한 후의 매연 opacity도 알아 볼 필요가 있어 현행 매연 opacity 규제모드를 사용하였다. 매연 Opacity 실험은 매연 opacity 실험조건하에서 디젤산화촉매장치의 장착 전·후 각 rpm영역에서 어느 정도 정상상태가 되었을 때 매연측정기로 3번을 측정하여 평균하여 계산하였다.

2.3.2.4 배출가스 유속 실험

배출가스 유속변화에 따른 디젤산화촉매장치의 변환효율을 파악하기 위한 것으로 대형디젤기관의 최고 회전속도가 2,200rpm이기 때문에 기관회전속도를 각각 1,100rpm과 2,200rpm로 두어 디젤산화촉매장치의 장착 전·후의 가스상물질의 변환효율을 측정하였고 3번의 실험결과를 평균하여 계산하였다. 물론 이 때 기관회전속도가 외의 실험조건은 P-5모드의 배출가스온도 조건과 동일하다.

한편 디젤산화촉매장치 및 기타 장치 측정조건으로서 디젤산화촉매장치는 배기매니폴드 위치에서 1m 떨어진 부근에 설치하였고 또한 배압측정장치를 설치하여 10초마다 Data aquisition을 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 기관성능 실험결과

11,000cc급의 대형디젤기관에서 A제품과 B

제품의 디젤산화촉매장치의 장착에 따른 기관의 토크, 출력 및 연비에 대한 결과를 각각 Fig.2 및 Fig.3에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 디젤산화촉매장치의 장착에 따른 기관의 출력 변화는 이 두 시제품 모두 전영역에서 거의 없는 것으로 나타났고 기관의 토크변화는 A제품에서 약 3%의 토크저하가 나타났으나 B제품의 경우는 토크변화는 거의 일어나지 않았다. 약 3% 정도의 변화는 운전상태에 따라 변화할 수 있기 때문에 별 문제는 되지 않은 것으로 간주하여도 좋다. 그리고 연비도 또한 두 시제품 모두 비슷한 결과와 연비 악화는 초래하지 않았다. 이는 관류 유동식(Through flow type)으로 인해 배출가스의 흐름을 방해하지 않고 촉매내를 통과하여 배압의 증가에 별 영향을 주지 않아 기관의 성능에는 거의 영향을 미치지 않은 것으로 생각한다. 따라서 두 시제품을 기관에 장착해도 기관의 출력이나 연비에는 거의 영향을 주지 않아 향후 후 처리장치로서의 사용에는 별 문제가 없는 것으로 사료된다.

3.2 배출가스 실험결과

3.2.1 P-5모드 실험결과
디젤산화촉매장치의 입구부 온도를 기준으로

하여 개발한 P-5모드에서 A제품의 디젤산화촉매장치에서 배출가스온도에 따른 CO, HC 및 NO_x의 농도변화를 Fig.4에 나타내었고 B제품의 디젤산화촉매장치에서 배출가스온도에 따른 CO, HC 및 NO_x의 농도변화를 Fig.5에 나타내었다. 먼저 가스상물질인 CO 및 HC의 농도변화를 살펴보면 A와 B제품 모두 고온에서 디젤산화촉매장치의 장착 전에 비해 장착 후가 매우 높은 저감효율 현상을 보였는데 그 중 CO는 온도가 증가할 수록 저감효율이 증가하다가 약 300℃부터는 거의 완전 산화에 가까워 0으로 나타났고, 특히 장착 전 500℃ 부근에서 CO가 급격히 증가하였는데 이는 고온의 배출가스를 만들기 위하여 부하가 약 83%로 되어 CO가 증가하였으나 장착 후에는 이와 상관없이 완전 산화하였다. 그리고 HC의 경우, CO의 저감현상과 비슷한 경향이 나타났고 역시 온도가 증가할 수록 저감효율이 증가하다가 약 300℃부터 약 90%이상 저감하는 것으로 나타났다. 이는 가스상물질이 촉매내의 유로를 통하여 이동할 때 촉매에 의해 이 온도대에서 활발한 산화를 하였다는 것을 보여 주었다.

또한 배출가스의 산화에 의한 디젤산화촉매장치 전·후의 배출가스 온도차는 거의 30℃로 일

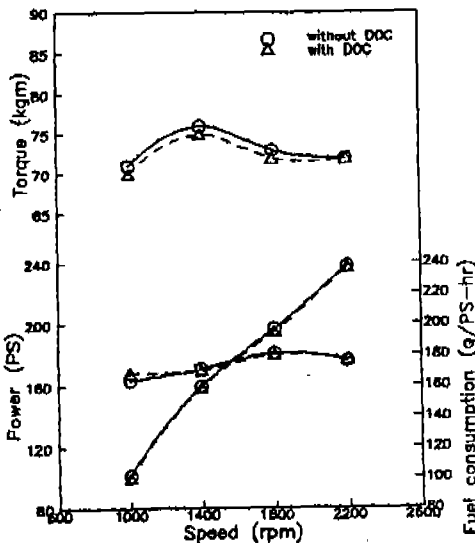


Fig.2 Performance of test engine(Engelhard)

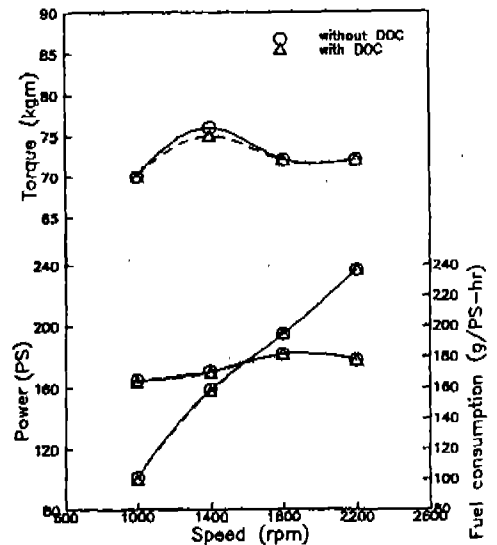


Fig.3 Performance of test engine(Degussa)

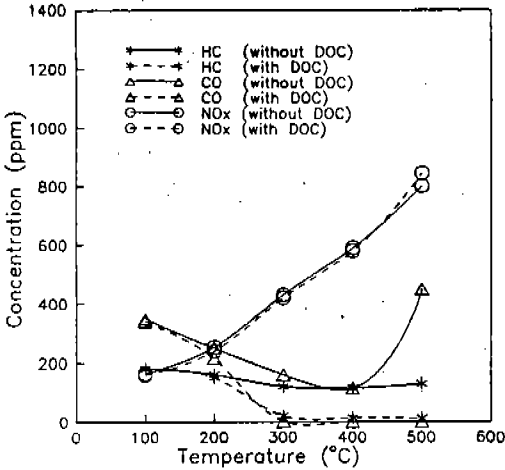


Fig.4 Emission results for P-5 mode (Engelhard)

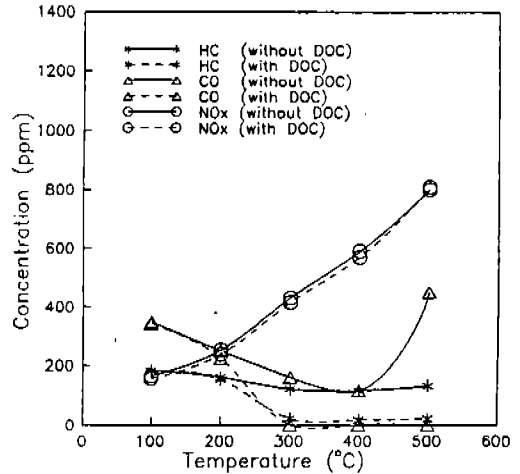


Fig.5 Emission results for P-5 mode (Degussa)

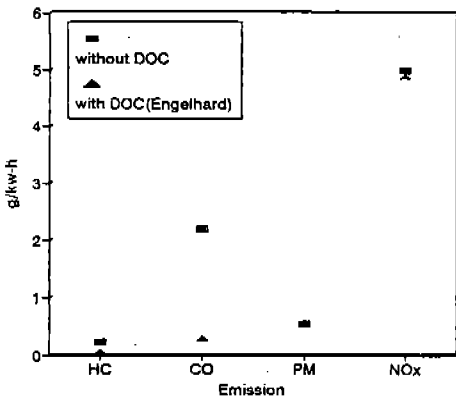


Fig.6 Emission results for D-13 mode (Engelhard)

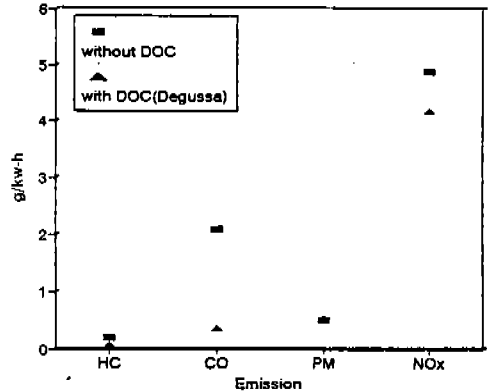


Fig.7 Emission results for D-13 mode (Degussa)

정하게 나타났고 이 온도차는 촉매의 산화에 의한 것으로 판단된다.

3.2.2 D-13모드 실험결과

두 시제품에 대한 D-13모드 결과를 각각 Fig. 6과 Fig.7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 가스상물질은 저감되었으나 NO_x는 별로 저감되지 않은 것을 볼 수 있고 입자상물질은 오히려 약 10% 증가하는 현상을 보여주었다. 이는 연료 중의 황성분이 0.2wt%를 차지하여 이 황성분이 촉매내에서 SO₃로 산화하고 주위의 H₂O

와 결합하여 중량이 매우 높은 H₂SO₄로 변하면서 이 황산이 입자상물질의 양의 무게 증가에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 D-13모드의 본 실험을 통해 향후 디젤산화촉매장치의 사용뿐만 아니라 배출가스를 저감하기 위해서는 반드시 저유황연료의 사용이 필수적이라는 사실을 암시해 준다.

3.2.3 매연 Opacity모드 실험결과

매연 Opacity 모드에서 디젤산화촉매장치의 장착 전·후에 대한 A와 B제품의 Opacity를 측

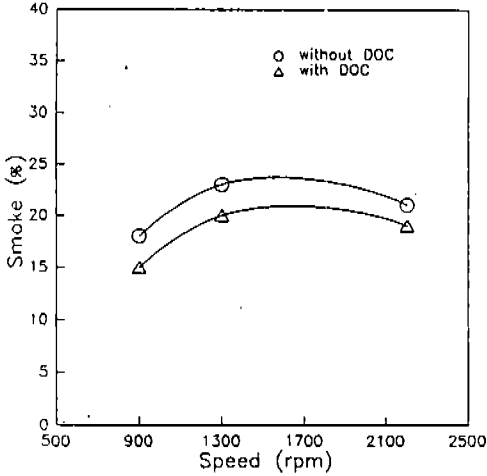


Fig.8 Smoke reduction for smoke 3-mode (Engelhard)

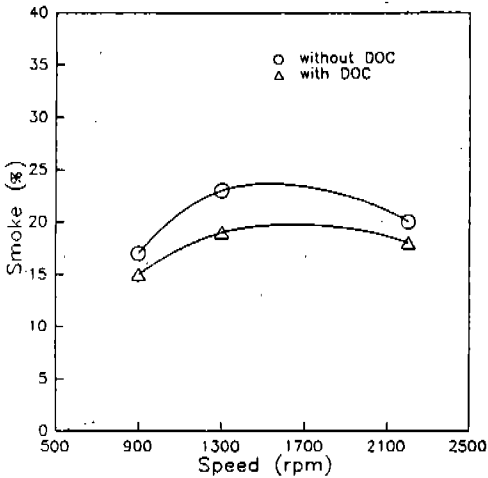


Fig.9 Smoke reduction for smoke 3-mode (Degussa)

정한 결과를 각각 Fig.8과 Fig.9에 보여주고 있다. 먼저 A제품에 대한 결과를 살펴보면 디젤산화촉매장치를 장착하기 전·후를 비교해 보면 약 30%의 매연저감효율을 보여주고 있고 B제품에 대한 결과도 A제품의 결과와 비슷하게 나타나 매연저감에 대한 성능은 두 시제품이 비슷한 것으로 나타났다.

3.2.4 유속의 변화에 대한 실험결과

대형디젤기관에서 저속과 고속의 두 영역에 대

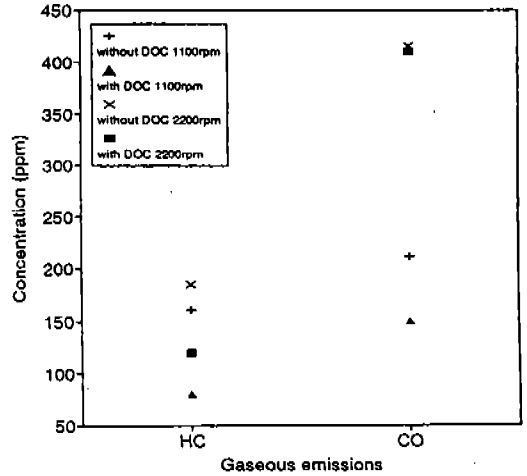


Fig.10 Influence of CO and HC according to rpm (Engelhard)

한 A제품의 장착 전·후 CO와 HC의 변환결과를 Fig.10에 보여 주고 있는데 그림에서 보는 바와 같이 HC의 경우 약 8%, CO의 경우 약 22% 정도 저감효율이 떨어지는데 이는 유속이 증가할 수록 촉매와 반응할 수 있는 시간이 줄어들어 배출가스의 산화율이 떨어진 것으로 생각한다.

4. 결 론

디젤기관의 배출가스 저감을 위해 사용한 대형 디젤기관용 디젤산화촉매장치를 실험을 통하여 기관성능 및 배출가스 결과를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 디젤산화촉매장치의 장착에 따른 두 시제품에 대한 기관의 성능변화는 거의 없었으며 따라서 후처리장치로서의 적용이 가능하다.
- 2) P-5모드에서 디젤산화촉매장치 입구온도가 약 200°C 이상에서 CO와 HC가 급격히 산화되는 현상을 보여주었고 이는 가스상 물질의 산화가 주로 배출가스 온도에 지배적인 것임을 알 수 있었다.
- 3) D-13모드에서 두 시제품 모두 가스상물질은 저감되었으나 입자상물질이 약 10% 증

가되었다. 이는 촉매내에서 황성분이 H_2SO_4 로 변하면서 무게가 증가한 것이며 따라서 저유황연료의 사용이 요구된다.

- 4) 매연 Opacity모드에서 두 시제품 모두 매연이 약 30% 저감되어 매연저감에도 어느 정도 영향을 나타내었다.
- 5) 본 배기유속 실험에서 기관의 회전속도가 증가할 경우 CO 및 HC는 저감효율이 떨어짐을 발견하였다. 이는 촉매와 반응할 수 있는 시간이 줄어들어 산화조건이 악화되었기 때문인 것으로 생각된다.

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-Ejiofor 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. R. Beckmann, W. Engeler, and E. Mueller, "A New Generation Diesel Oxidation Catalysts", SAE 922330, pp. 109~110, 1992.
7. D. Kattge, "Advanced Canning Systems for Ceramic Monoliths in Catalytic Converters", SAE 900500, pp. 670, 1990.
8. P. Zelenka, W. Kriegler, P. L. Herzog, W. Cartellieri, "Ways Towards the Clean Heavy Duty Diesel", SAE 900602, pp. 1286, 1990.
9. M. Horiuchi, K. Saito and S. Ichihara, "The Effects of Flow-Through Type Oxidation Catalysts on the Particulate Reduction of 1990's Diesel Engines", SAE 900600, pp. 1269~1272, 1990.
10. 조강래 등, "디젤자동차 배출가스 허용기준 강화를 위한 연구", 국립환경 연구원, 1988.