

부압을 이용한 배기 흡입형 매연여과장치에 대한 실험적 연구 An Experimental Study on the Smoke Filtration System of Suction Type of Exhaustic Gas using Vaccum

이한성 · 기시우 · 고대권
H. S. Lee, S. W. Ki, D. K. Koh

(접수일 : 2011년 05월 04일, 수정일 : 2011년 08월 31일, 채택확정 : 2011년 09월 14일)

Key Words : Smoke(매연), Filtration(여과), DPF(디젤 입자상물질 여과기), Vacuum(부압), Particulate matter(입자상물질)

Abstract : Over the past years, many research works have been carried out to investigate the factors which govern the performance of diesel engine. The air pollutant emission from the diesel engine is still a significant environmental concern in many countries. In the present study, new system of smoke filtration of diesel engine is proposed. This new system is using vacuum equipment and filter for capture smoke. To verification new system experiments are performed at diesel vehicle and engine dynamometer. As a result it is founded that smoke is decreased of 67% at vehicle test and decrease of 45.2% at full load condition of engine dynamometer test.

1. 서 론

전 세계적으로 지구온난화에 따른 환경문제에 대응하기 위해 국제협약을 통한 이산화탄소 규제가 본격화되고 있는 시점에서 동일 배기량 기준 가솔린엔진보다 20~30% 정도 이산화탄소 배출량이 적은 디젤엔진은 차세대 친환경적인 운송역할의 가장 현실적인 대안 중의 하나로 부각되고 있다.^{1),2)} 또한 산업용 엔진이나 대형화물차 또는 건설장비에는 디젤엔진이 주류를 이루고 있는 실정이다. 그러나 디젤엔진은 과잉공기 조건에서 연소가 진행되기 때문에 배기가스 중에 산소가 다량 존재하여 가솔린엔진에 적용되는 3원 촉매를 사용할 수 없다. 또한 확산 연소 형태의 연소특성 때문에 질소산화물(NOx) 생성뿐만 아니라 부분적 과농 지역에서는 매연이 다량 생성되는 문제를 근본적으로 안고 있다.^{3),4)} 이러한 문제를 해결하기 위하여 고압분사 등과 같은 분사 전략의 향상과 유동에 의한 혼합의 조절 등으로 많은 배출가스의 저감이 이루어졌지만 현재

강화되는 배출가스 규제를 만족시키기 위해서는 후처리장치의 개발은 필수적이다.

최근 들어 미세입자의 유해성이 대두되면서 입자상물질(대부분 매연입자)에 대한 관심이 늘어나고 있다. 현재 매연 및 입자상 물질의 저감기술로는 디젤 입자상물질 여과장치(DPF ; Diesel Particulate Filter)가 가장 효과적이며, 정부에서는 일부지역에서의 차량에 장착을 의무화하도록 하고 있다.^{5),6),7)} 하지만 현재 시중에 판매되고 있는 매연여과장치는 장착 후 시간이 지남에 따라 매연입자가 매연여과장치에 쌓이게 되어 배기가스의 흐름을 방해하여 엔진에서 나온 배기가스의 흐름을 방해하여 연비 및 출력효율을 떨어뜨리고 있어 이에 대형화물차인 경우 6개월을 주기로 매연여과장치를 탈착하여 에어룸에서 청소를 하고 있는 실정이다. 또한 시중에 유통되고 있는 매연여과장치의 대부분이 수입제품임을 감안한다면 국산화를 위한 기반기술 개발이 절실한 실정이다.

본 연구에서는 디젤엔진의 배기가스 중 유해요소인 매연을 저감시키기 위한 새로운 형태의 매연여과장치를 제안한다. 제안된 매연여과장치는 엔진에서 발생한 배기가스를 소음기 앞부분에 설치된 부압발생장치를 이용하여 소음기 후부에서 배기가스를 흡입하여 다시 토출시키며, 흡입과 토출라인에

이한성 : 동주대학 자동차튜닝과
E-mail : 2264074@hamail.net, Tel : 051)200-3413
기시우 : 동주대학 자동차튜닝과
고대권 : 부경대학교 제어기계공학부

매연을 포집할 수 있는 필터부를 설치하여 매연을 저감시키는 장치이며, 시제품을 제작하여 실차 및 엔진다이내모미터에 장착하여 실험을 수행하였다. 그 결과 매연을 줄일 수 있음을 확인하였다.

2. 실험 및 결과

2.1 부압을 이용한 배기 흡입형 매연여과장치 구성

현재 시중에서 판매되고 있는 매연여과장치에서 대형차량들은 DPF가 주류를 이루고 있으며 배기량 3500cc 이하에서는 DOC(Diesel Oxidation Catalyst) 내지는 pDPF(partial Diesel Particulate Filter)가 대부분이다. 그러나 DOC나 pDPF의 매연포집효율이 미흡하여 효율의 문제점을 가지고 있으며, 장착이후 차량의 출력이나 연비가 낮아져 현장에서 클레임이 가장 빈번하다. 이에 본 연구에서는 배기량 3500cc 이하 차량에 적용 가능한 매연여과장치를 제작하였다. 적용차량은 3000cc급 화물차로 정하였으며 이에 적용하기 위해서 공간의 제한, 배기가스의 온도를 고려하여 소음기 전후에 설치하였다. 제안한 매연여과장치의 전체적인 구조는 Fig. 1과 같다.

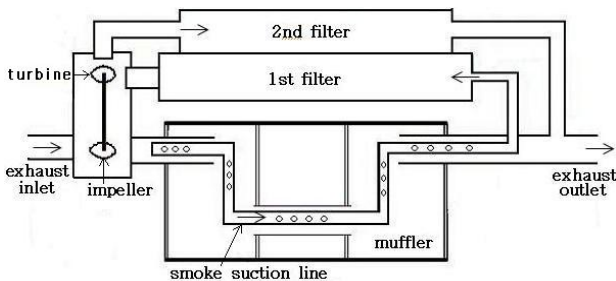


Fig. 1 Schematic diagram of smoke filtration system using vacuum

Fig. 1에서 보는바와 같이 자동차의 배기가스 중 미립자 상태의 매연을 포집하기 위하여 배기가스의 압력으로 임펠러를 회전시키고 동축으로 연결되어 있는 압축터빈을 이용하여 부압을 발생시켜 소음기 후부에 설치된 흡입라인을 통해 배기가스를 흡입한다. 흡입된 배기가스 중 매연성분은 1차 필터, 2차 필터에서 포집한다. 차량이 일정거리 주행 후 필터를 교환하는 교체방식을 채택하여 유지보수를 원활히 할 수 있고, 별도의 흡입라인을 두어 필터가 막힐 경우에도 배압이 걸리지 않는 구조로 엔진의 출력 및 연비측면에 영향을 주지 않고 대기환경을 크게 개선할 수 있다.

2.2 시제품 제작 및 실험

본 연구에서 제안된 부압을 이용한 배기 흡입형 매연여과장치를 실제 디젤 차량 및 엔진에 적용하기 위해 시제품을 제작하였고, 제작된 시제품으로 운행 차량에 장착하여 검사실험을 수행하였으며, 또한 엔진다이내모미터에 연결하여 성능실험을 수행하였다.

제작한 매연여과장치의 시제품은 Fig. 2와 같다. 매연여과장치는 소음기 시작부분 부터 배기가스 흡입라인을 두었고 흡입라인에 적층형식으로 SUS필터가 삽입된 1차필터를 설치하였고 부압발생장치 후부에 2차필터를 설치하여 배기가스를 배출시켜 머플러를 통하여 배출되도록 구성하였다. 부압발생장치는 터보차저의 임펠러와 터빈날개를 개조하여 제작하였다.

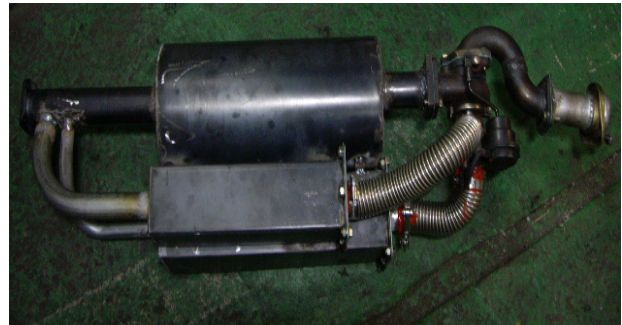


Fig. 2 Photograph of smoke filtration system using vacuum

2.2.1 실차 실험

실차 실험에 사용된 자동차 검사장비는 운행차 배출가스 정밀검사소에서 사용하는 장비로서 제품 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of Inspection Equipment

Items	Dynamo Specifications
PAU Type	Eddy Current, 공랭식, 16coils
Axle Capacity(kg)	5443
기본관성중량(kg)	907
전기적 관성(kg)	907~5443 (0.45kg 증가)
부하측정	온도보상 스트레인게이지형식 로드셀
동력흡수 측정오차(%)	±0.25
차량속도 측정오차(%)	±0.001
최대허용속도(km/h)	160
최대 Road Load Power	400HP/160km/h
Lift Road(kg)	5443

본 연구의 실차 테스트 방법은 현재 시행되고 있는 운행차 배출가스 정밀 검사시스템으로 실험하였으며 차량 총중량 5.5ton 미만인 소형 경유차량의 경우에는 Lug-Down 3모드를 적용하여 검사하며 차대동력계상에서 자동차의 가속페달을 최대로 밟은 상태에서 측정한다. (A/T 2단, M/T 3-4단) 위와 같은 측정조건에서 엔진정격출력의 정격회전수 100%에서 1모드, 기관 정격 회전수의 90%에서 2모드, 기관 정격 회전수의 80%에서 3모드로 주행하면서 각 모드별 매연농도, 매연온도, 엔진토크, 엔진회전수, 엔진최대출력 등을 측정한다. 본 연구에 사용된 실차의 제원은 Table 2와 같다.

Table 2 Specification of Test Vehicle

Items	Engine Specifications
Displacement (cc)	2607
Bore (mm)	91.1
Stroke (mm)	100
Engine type	4cyl, 8 valve OHC, D4BB
Compression ratio	22
Valve timing	Intake (BTDC 20°/ABDC 48°) Exhaust (BBDC 55°/ATDC 22°)
Power	80ps/4000rpm
Injection type	Rotary Injection Pump

실차 검사실험을 수행하여 다음과 같은 결과들을 얻었다.

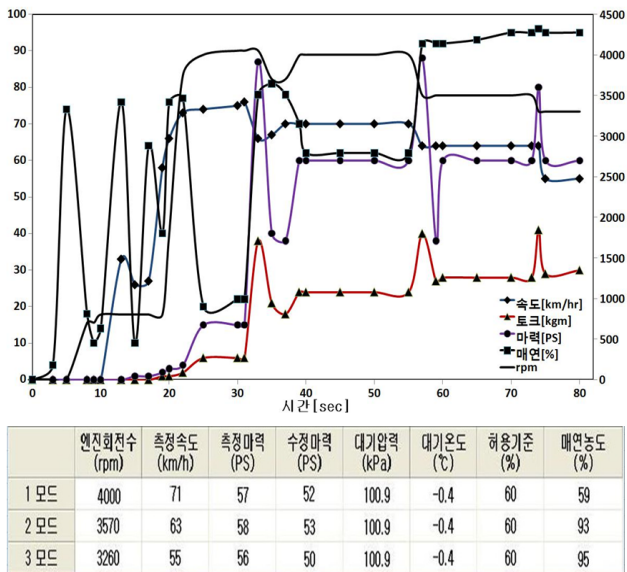


Fig. 3 Data of test vehicle without smoke filtration system

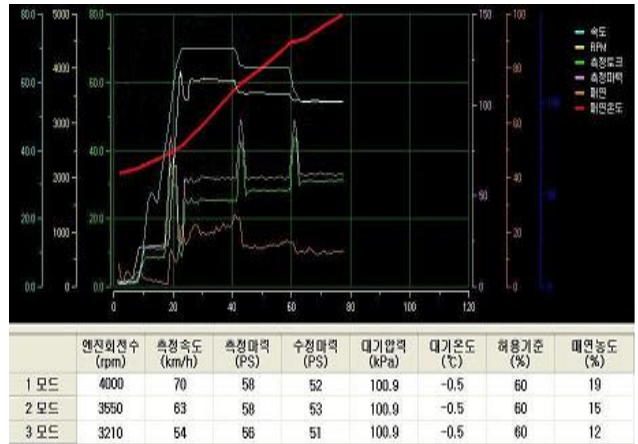


Fig. 4 Data of test vehicle with smoke filtration system

위의 그림은 자동차 검사소 장비에서 출력된 것이다. 이를 정리하면 다음 표와 같다.

Table 3 Smoke variation of test vehicle

	장착전(%)	장착후(%)	개선변화(%)
1모드	59	19	-40
2모드	93	15	-78
3모드	95	12	-83

Table 4 Power variation of test vehicle

	장착전 (PS)	장착후 (PS)	개선변화 (PS)
1모드	52	52	0
2모드	53	53	0
3모드	50	51	+1

위의 실험결과들에서 보는바와 같이 1모드, 2모드, 3모드에서 모두 매연을 줄일 수 있었고, 또한 매연여과장치 장착으로 인한 동력변화가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 이는 매연여과장치의 가동에 부압 발생장치를 이용하여 배기가스의 흐름을 원활히 하여 기존의 매연여과장치에서 볼 수 있었던 배압발생으로 인한 출력손실이 없음을 확인할 수 있었다.

2.2.2 엔진다이노모 실험

실험에 사용된 엔진은 H사 제품으로 소형화물차와 승합차에 적용된 비과급 방식의 2,500cc급 엔진을 사용하였다. 그 제원을 Table 4에 나타내었다. 엔진 출력 및 매연저감율을 확인하기 위하여 엔진 동력계와 매연측정기를 사용하였다. 매연측정방식은

보쉬스모크 방식의 매연측정기를 사용하였으며, 엔진 동력계와 제어장치는 수냉 와전류 제동형으로 최대흡수마력이 180PS, 최대흡수 회전속도 9,000rpm, 흡수 토크가 343N-m이며, 그 제원들을 Table 4에 나타내었다. 전체적인 실험장치의 개략도를 Fig. 6에 나타내었다.

Table 4 Specifications of experimental engine

Item	Specification	
Type	In line 4-cylinder OHC	
Valve overlap	42deg	
Displacement volume(cc)	2,476	
Bore(mm)×Stroke(mm)	91.1×95	
Compression ratio	21	
Injection order	1-3-4-2	
Valve timing	I/O	20deg BTDC
	I/V	35deg ATDC
	E/O	54deg BBDC
	E/V	22deg ATDC
Maximum output(PS/RPM)	73 / 4,200	
Maximum torque(kgf-m)	14.9 / 2,500	
Cooling type	Water-cooling	
Fuel	Diesel	

본 연구에 적용된 매연여과장치의 성능을 분석하기 위하여 매연여과장치가 장착되어 있지 않은 상태의 엔진과 제안된 매연여과장치가 장착된 상태의 엔진에서의 실험을 실시하였다. 엔진부하조절을 가솔린기관의 경우 흡입공기량으로 제어를 하지만 디젤기관은 연료량에 의하여 부하를 조절하게 된다. 일정 엔진 회전수를 고정한 상태에서 연료공급량을 증가시켜 그 회전수에서의 최대 토크점을 찾아 얻어진 토크를 전 부하 조건으로 설정하였다. 엔진 운전조건은 디젤차량의 가장 빈번한 운전영역인 엔진 회전수 1,000rpm, 1,500rpm과 2,000rpm의 회전수에서 1/4, 2/4, 3/4, 전부하 실험을 실시하였다.

Table 5 Specifications of dynamometer

Item	Specification
Model	HE - 130
Max. absorption power(PS)	180
Max. absorption torque(kg.m)	35
Max. absorption rev.(rpm)	9,000
Torque Detector	1. Load cell type 2. Sensitivity : 2mV/V 3. Combined error : $\pm 0.2\%$

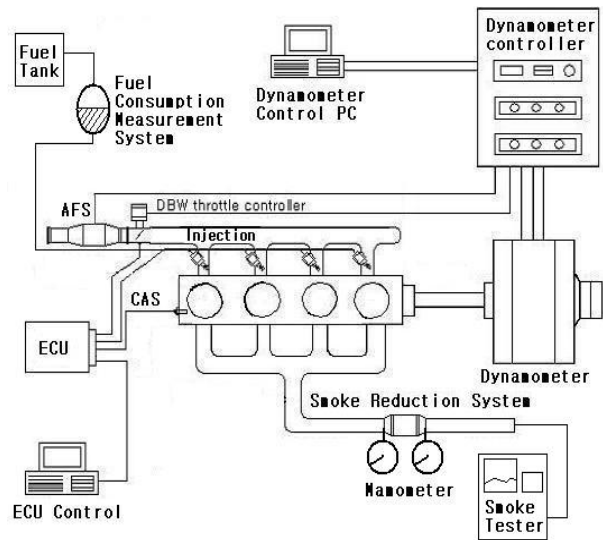


Fig. 5 Schematic diagram of an experimented setup

본 연구에서 제안된 부압을 이용한 배기 흡입형 매연여과장치를 디젤엔진에 연결하여 매연측정 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

Fig. 6은 매연여과장치를 장착하기 전과 후의 엔진 출력을 나타낸다. 그림에서 엔진회전수 1,500rpm, 2,000rpm에서의 출력성능을 나타낸다. 전체적으로 동력변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

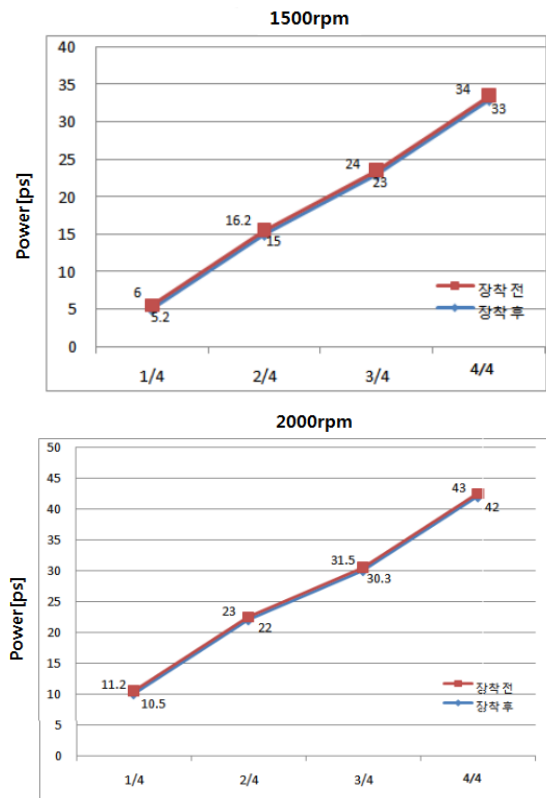


Fig. 6 Comparison of power with the variation of the system

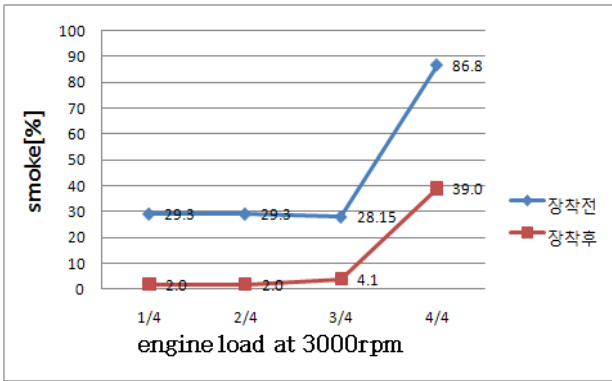
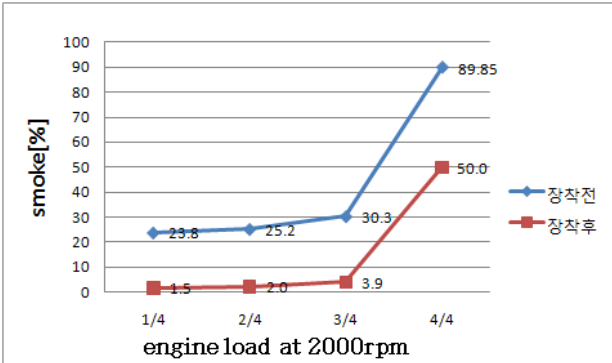
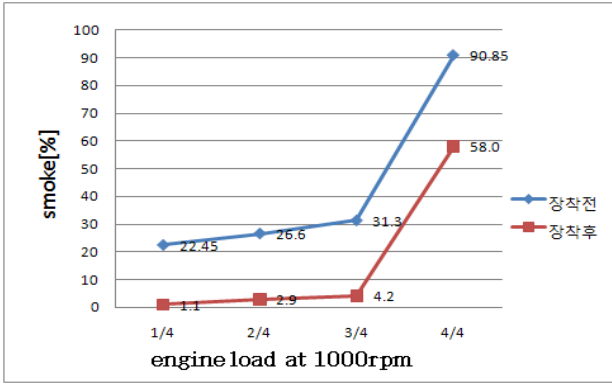


Fig. 7 Smoke data with the load variation

Fig. 7의 실험결과들은 일정한 회전수에서 각각의 부하조건에 따라 측정된 매연농도를 나타내고 있다.

결과를 정량적으로 수치화하기 위해 다음과 같이 표로 구성하였다.

Table 6 Comparison of smoke data with the variation of the system at 1000rpm

조건\부하	1/4	2/4	3/4	4/4	평균
장착전	22.45	26.6	31.3	90.85	42.8
장착후	1.1	2.9	4.2	58	16.6
매연저감율 (%)	95.1	89.1	86.6	36.2	76.75

Table 7 Comparison of smoke data with the variation of the system at 2000rpm

조건\부하	1/4	2/4	3/4	4/4	평균
장착전	23.8	25.2	30.3	89.85	42.3
장착후	1.5	2	3.9	50	14.4
저감율(%)	93.7	92.1	87.1	44.4	79.3

Table 8 Comparison of smoke data with the variation of the system at 3000rpm

조건\부하	1/4	2/4	3/4	4/4	평균
장착전	29.3	29.3	28.15	86.8	43.4
장착후	2	2	4.1	39	11.8
저감율(%)	93.2	93.2	85.4	55.1	81.7

매연여과장치를 장착한 경우와 장착하지 않은 경우에 매연 농도가 큰 차이를 나타냈다. 1/4, 2/4 및 3/4 부하조건에서는 85%이상의 매연을 저감시켰으나 전부하 조건에서는 평균 45.2%에 지나지 않는다. 이와 같이 전부하 영역에서 매연저감 효율이 떨어지는 이유는 배기가스 흡입 장치로 사용된 부압발생장치가 고부하에 따른 시스템 과열 및 배기가스의 증가로 인하여 배기가스를 1차 필터로 흡입하기 위한 필요 회전을 발생시키지 못하고 많은 부분의 배기가스가 정화과정 없이 외부로 배출되는 것으로 분석된다. 또한 엔진회전수 1000rpm에서 평균 매연저감율은 76.75%, 2000rpm에서는 79.3%의 평균 매연저감율 그리고 3000rpm에서는 81.7%의 평균 매연저감율을 나타냈다.

3. 결 론

본 연구에서는 디젤엔진의 배기가스 중 유해요소인 매연을 저감시키기 위한 새로운 형태의 부압을 이용한 배기 흡입형 매연여과장치를 제안하였다. 시작품을 제작하여 실차 검사 및 엔진다이아모를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결과들을 얻었다.

1) 실차의 검사실험에서 모드별 측정결과 동력변화 없이 매연감소율이 평균 67% 정도로 감소하였다.

2) 엔진다이아모 실험 결과 출력변화 없이 1/4, 2/4 및 3/4 부하조건에서는 85%이상 매연을 저감시켰으나 전부하 조건에서는 평균 45.2%의 저감효과를 나타내었다.

3) 제안된 부압을 이용한 매연여과장치에서 전부 하 영역에서 매연저감 효율이 떨어지지 않도록 엔진의 배기량을 고려한 부압발생장치가 요구된다.

참고 문헌

1. 이진욱, 조규백, 김홍석, 정용일, “자연재생방식 DPF시스템 부착 경우 승용차량의 PM재생 특성 연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제31권 제2호, pp. 188-194, 2007.
2. 엄명도, 류정호, 이종태, 임철수, “대형디젤엔진의 오염물질 배출특성”, 한국자동차공학회논문집 제 7권 제9호, SAE NO. 99370277, pp. 20-27, 1993.
3. GRPE-PMP report, “Health effects, measurement and filtration of solid particle emitted from diesel engine,” April, 2001.
4. Vincent, M. W., Richards, P. J. and Rogers, T. J., “Effective particulates reduction in diesel engines through the use of fuel catalyzed particulate filter,” International J. of Automotive Technology, vol. 3, no. 1, 1-8, 2002.
5. 박형근, 하지수, 갈상학, 박종일, 안광현, “흡기가 습 시스템을 이용한 중형엔진의 NOx 저감기술 연구”, 2006년도 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp. 21-22, 2006.
6. 김철순, 김기형, 박태인, 류정인, “흡기포트내 물 분사에 의한 디젤 기관의 배기 유해물 배출 및 기관 성능 변화 관한 실험적 연구” 한국박용기관학회지, 제23권 제1호, pp. 25-32, 1999.
7. 박태인, 박권하, 하정호, 배명환, “EGR과 수분효과에 의한 디젤엔진의 NOx, Soot동시저감기술”, 한국자동차공학회 1996년도 춘계학술대회. pp. 239-245, 1996.
8. 최연하, 김홍석, 안석중, 조규백, 이진욱, 정용일, “SiC 필터를 사용하는 3L급 승용 디젤엔진용 DPF에서 배압을 이용한 매연포집량 예측에 대한 연구”, 한국자동차공학회 2006년도 추계학술대회 논문집, pp. 371-375, 2006.
9. 박정규, 박태인, 최준섭, “디젤엔진의 초저 NOx 화 기술”, 자동차공학회지. Vol. 14, No. 3, pp.1-11, 1992.