

배기 흡입형 매연저감장치에 관한 실험적 연구

기시우[†] · 최상수¹

(원고접수일 : 2010년 8월 10일, 원고수정일 : 2010년 9월 7일, 심사완료일 : 2010년 9월 27일)

An Experimental Study on the Smoke Reduction System of the Exhaust Gas Suction Type

Si-Woo Ki[†] · Sang-Su Choi¹

요 약 : 오랫동안 디젤엔진의 성능에 지배적인 요인에 대하여 많은 연구들이 있었으며 디젤엔진의 오염 문제는 아직도 중요한 환경문제이다. 본 연구에서는 디젤엔진의 매연저감장치에 대한 새로운 제안을 한다. 새로운 제안은 진공압을 이용하여 매연을 포집한다. 새로운 제안을 확인하기 위해 엔진 다이내모시험을 수행하였다. 그 결과 매연을 줄일 수 있었다.

주제어 : 매연저감, 배기 흡입, 부압발생장치.

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 reduction of diesel engine is proposed. This new system is using vacuum equipment for capture smoke. To confirm new system experiments were performed at engine dynamometer. As a result of this experiment, the smoke reduction of this system was identified.

Key words: Smoke, Diesel Engine, Vacuum Generating

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 대안으로 부각되고 있다[1,2]. 그러나 디젤엔진은 과잉공기 조건에서 연소가 진행되기 때문에 배기가스 중에 산소가 다량 존재하여 가솔린 엔진에 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. 그리고 최근 들어 미세입자의 유해성이 대두되면서 입자상물질(대부분 매연입자)에 대한 관심이 늘어나고 있다. 현재 입자상 물질의 저감기술로는 매연여과장치(DPF : Diesel Particulate Filter)가 가장 효과적이며, 정부에서는 일부지역에서의 차량에 장착을 의무화

[†] 교신저자(국민대학교 자동차공학전문대학원, E-mail:siu-ki@hanmail.net, Tel: 02-943-7630)

¹ 국민대학교 자동차공학전문대학원

하도록 하고 있다[5-7].

본 연구에서는 디젤엔진의 배기가스 중 유해요소인 매연을 저감시키기 위한 새로운 형태의 매연저감장치를 제안한다. 제안된 매연저감장치는 부압발생장치를 이용하여 배기가스를 강제로 흡입하여 스테인레스 스틸(STS) 필터가 내장된 여과장치를 통해 매연을 포집하는 원리이며, 제안된 배기 흡입형 매연저감장치를 제작하여 엔진동력계와 매연시험기를 이용하여 매연저감율을 시험한 결과 매연을 줄일 수 있었다.

2. 실험

2.1 배기 흡입형 매연저감장치

현재 시장을 석권하고 있는 매연여과장치인 DPF는 소비자들로부터 많은 클레임이 제기되고 있다. 이들 클레임들의 내용은 출력저하, 연비효율저하, 일정 주행거리이후 탈착 청소 등이다. 이러한 클레임들의 원인은 원활하지 못한 배기가스 흐름에 기인한다[8-10]. 본 연구에서는 기존 매연여과장치의 시장 클레임인 배기가스의 흐름을 원활하기 위하여 부압발생장치를 설치하여 배기가스를 강제 흡입하며 흡입된 배기가스를 1차, 2차 여과장치를 거쳐 매연을 포집한다. 배기 흡입형 매연저감장치의 전체적인 개략도와 제작된 실물은 Figure 1 과 Figure 2와 같다.

본 연구에서 배기 흡입을 위한 부압발생장치로 두 가지를 채택하였다. 첫째는 기존의 터보차저를 이용하여 제작하였으며 이는 실용화를 위한 단계의 기계적인 장치이며, 둘째는 배압이 걸리지 않는 형태의 배기가스의 흡입 및 배출을 위한 3kW의 펌프를 이용하였다.

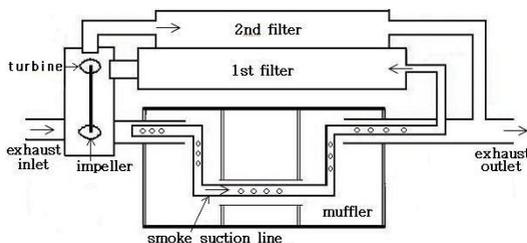


Figure 1: Schematic diagram of smoke reduction system of the exhaust gas suction type



Figure 2: Photograph of smoke reduction system of the exhaust gas suction type

첫 번째 부압발생장치의 경우 기계식으로 외부의 전원이나 동력을 쓰지 않고 엔진에서 배출되는 배기가스의 압력을 이용하여 임펠러를 회전시키고 임펠러와 동축으로 연결되어 있는 터빈 날개를 회전시켜 부압을 발생시키며 상용 디젤엔진에 사용되는

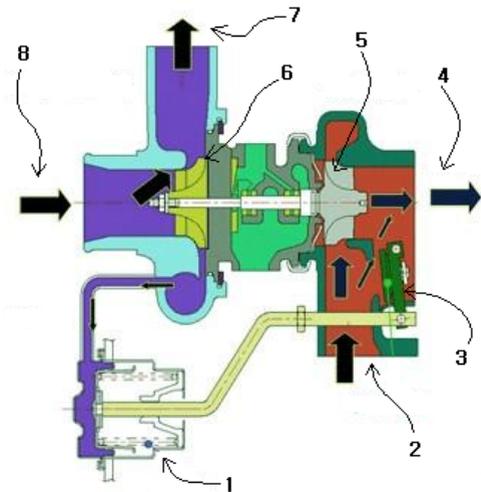


Figure 3: Diagram of vacuum generating part

- 1 : 액츄에이터
- 2 : 배기가스 입구 (엔진으로부터)
- 3 : WGT 밸브(웨이트 게이트 밸브)
- 4 : 배기가스 출구(소음기부로)
- 5 : 터빈 휠
- 6 : 임펠러 휠
- 7 : Compressor 축 (2차필터 부로)
- 8 : 흡입라인 (1차필터를 거친 후)

터보차저를 이용하여 제작하였다. 터보차저의 임펠러부분을 엔진의 배기다기관으로부터 나오는 배기가스부분에 연결시켰고, 동축으로 연결되어 있는 터빈은 흡입부분을 1차 필터 출구에 연결시켰다. 배기가스에 의해 임펠러가 회전하여 동축으로 연결되어 있는 터빈을 회전시켜 배기가스가 1차 필터 안으로 흡입되도록 하였다. **Figure 3**은 부압발생장치로 이용된 터보차저의 도면이고, **Figure 4**는 실제 제작된 사진이다.



Figure 4: Photograph of vacuum generating part

첫 번째 사용된 부압발생장치는 달팽이관 형태를 가지고 있어 배기가스의 흐름에 있어 배압이 발생할 수 있기에, 배압이 걸리지 않는 부압발생장치로 별도의 3kW 펌프를 이용하였다. 이 펌프를 사용할 때에는 기존의 부압발생장치를 탈착하고 이 부분에 펌프라인을 설치하여 배기가스를 흡입, 배출하도록 하였다[11]. 사용된 펌프는 **Figure 5**의 그림과 같다.



Figure 5: Pump with vacuum generating part

매연을 포집하는 필터는 열적 부하에 강한 금속 재질인 스테인레스 스틸을 사용하였으며 필터를 쉽게 교환할 수 있도록 필터케이스를 제작하였다.

2.2 실험장치 및 방법

배기 흡입형 매연저감장치의 성능실험에 사용된 엔진은 H사 제품으로 소형화물차와 승합차에 적용된 비과급방식의 2,500cc급 엔진을 사용하였다. 그 제원을 **Table 1**에 나타내었다. 엔진 출력 및 매연저감율을 확인하기 위하여 엔진동력계와 매연테스터기를 사용하였다. 매연측정방식은 여지투과방식의 매연측정 기기를 사용하였으며[12,13], 엔진 동력계와 제어장치는 수냉 와전류 제동형으로 최대흡수마력이 180PS, 최대흡수 회전속도 9,000rpm, 흡수 토크가 35kgf-m이며, 그 제원들을 **Table 2**에 나타내었다. 전체적인 실험장치의 개략도를 **Figure 6**에 나타내었다.

Table 1: 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	IVO	20deg BTDC
	IVC	35deg ATDC
	EVO	54deg BBDC
	EVC	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 매연저감장치의 성능을 분석하기 위하여 매연저감장치가 장착되어 있지 않은 상

태의 엔진과 제안된 매연저감장치가 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 전부하조건으로 설정하였다. 엔진 운전조건은 디젤 차량의 가장 빈번한 운전영역인 엔진회전수 1,000rpm, 1,500rpm과 2,000rpm의 회전수에서 1/4, 2/4, 3/4, 전부하 실험을 실시하였다. 또한 STS 재질의 필터를 적용하여 제작한 매연저감장치를 장착하여 기본 엔진상태에서 얻은 각각의 운전속도 부하조건에 맞는 연료 개도량을 적용하여 실험을 하였으며, 부압발생장치인 터보차저를 제거하고 펌프를 연결하였을 경우에 대하여 같은 조건에서 실험을 진행하여 그 결과 값을 비교 분석하였다.

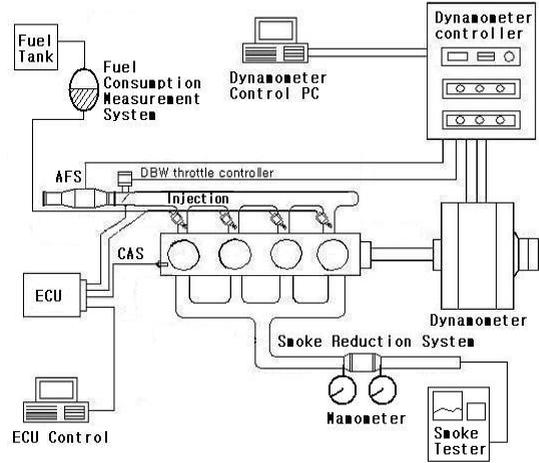


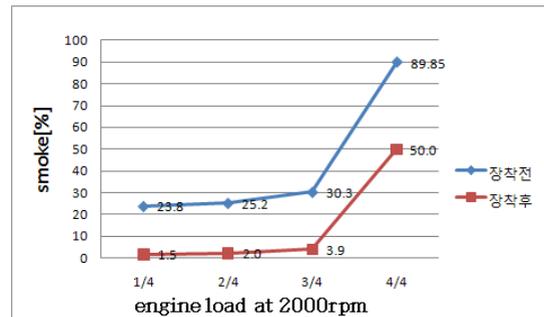
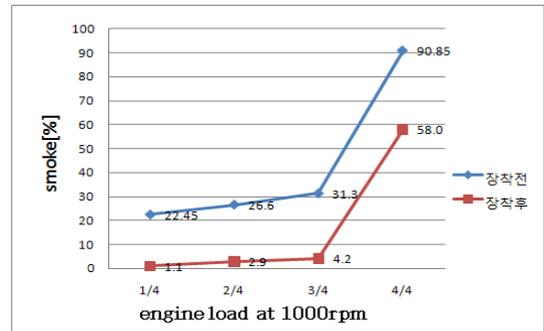
Figure 6: Schematic diagram of an experimented setup

3. 실험 결과

본 연구에서 제안된 배기 흡입형 매연저감장치를 디젤엔진에 연결하여 매연 시험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

Table 2: 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 : $\pm 0.2\%$
Speed Detector	1. Contactless magnetic RPM pick up 2. Toothed disc with 60 teeth 3. Digital display
Control Mode	1. Constant speed control 2. Constant torque control 3. Constant current control 4. Speed boost control
Safety Devices	1. Over speed 2. High temperature cooling water and oil 3. Flow check of cooling water 4. Low oil pressure etc.
Cooling Type	Water cooling system (Closed Circulation)
Weight	300kgf



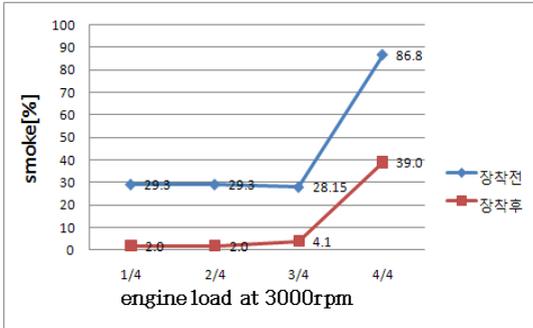


Figure 7: Smoke data with the load variation

위의 실험결과들은 일정한 회전수에서 각각의 부하조건에 따라 측정된 매연농도를 나타내고 있다. 실험결과를 나타내는 매연의 농도는 일반적인 “%”로 표기하는 방식을 도입하였다. 배기 흡입형 매연저감장치를 장착한 경우와 장착하지 않은 결과 매연 농도가 큰 차이를 나타내며 저감 효과를 확인할 수 있었다. 위의 결과를 정리하여 표로 정리하면 다음과 같다.

Table 3: Reduction ratio of smoke

rpm \ 부하	1000	2000	3000	평균
1/4	95.1%	93.7%	93.2%	94%
2/4	89.1%	92.1%	93.2%	91.5%
3/4	86.6%	87.1%	85.4%	86.4%
4/4	36.2%	44.4%	55.1%	45.2%

위의 표에서 보듯이 1/4에서 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 과열로 인하여 배기가스를 1차 필터로 흡입하기 위한 필요 회전력을 발생시키지 못하고 많은 부분의 배기가스가 정화과정 없이 외부로 배출되는 것으로 분석된다.

기존의 매연저감장치인 DPF를 장착한 후 엔진 출력이 떨어져 연비효율이 저하되는 현상이 있어 시장클레임의 일환으로 소비자들의 불만을 초래하고 있다. 이에 본 연구에서는 배기 흡입형 매연저

감장치를 장착한 후 엔진의 출력을 검토하였다.

Figure 8은 배기 흡입형 매연저감장치를 장착하기 전과 후의 엔진 출력을 나타낸다. 그림에서 엔진회전수 1,500rpm, 2,000rpm에서의 출력성능을 나타낸다. 전체적으로 배기 흡입형 매연저감장치를 장착한 경우가 기본시스템보다 5%정도 출력저하를 보였다. 이는 배기 흡입장치로 사용된 부압발생장치의 형상에 기인한 것으로 판단된다. 배기 다기관으로부터 유입되는 배기가스는 달팽이관의 형상을 갖는 부압발생장치의 유입관을 거쳐 임펠러를 구동시키도록 설계되어 있다. 따라서 관의 형상에 의한 배기가스의 배압발생으로 인한 출력의 감소로 이어지는 것으로 판단된다.

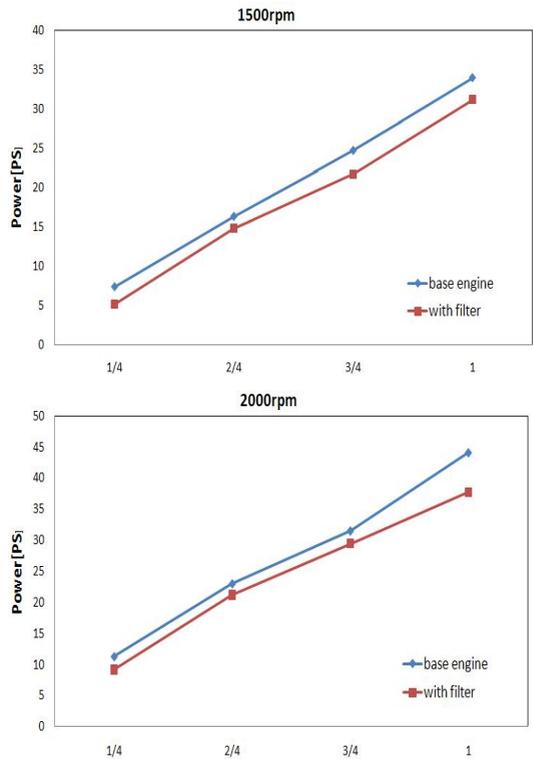


Figure 8: Comparison of power with the variation of the system

이를 확인하기 위해 배기 흡입장치로 기존의 터보차저를 이용한 부압발생장치 대신 배압이 걸리지 않는 3kW의 펌프를 장착하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

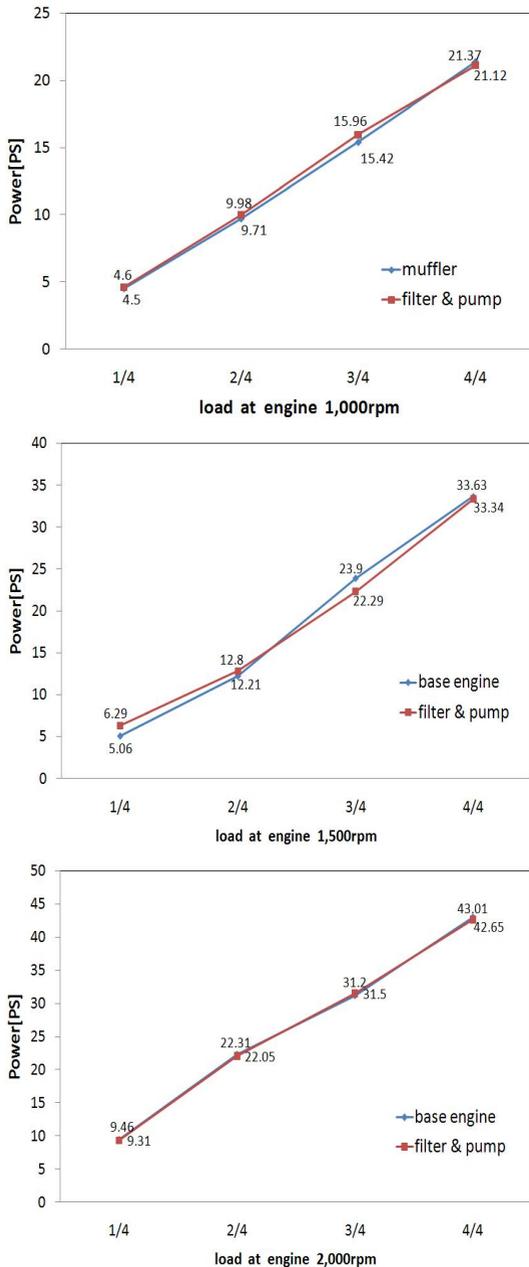


Figure 9: Power with the variation of the system

위의 결과에서 알 수 있듯이 각각의 회전수와 각 부하조건에서 전반적인 출력의 저하가 없음을 확인할 수 있다. 본 연구에서 제안된 배기 흡입형 매연저감장치는 배기 흡입을 위한 장치로 배압이 걸리지 않는 구조를 적용한다면 엔진에 악영향을 미치지

않으면서 매연을 포집할 수 있는 효과적인 장치로 사료된다. 이후 배압이 걸리지 않는 배기 흡입 장치의 개발이 배기 흡입형 매연저감장치의 핵심부분으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 디젤엔진의 배기가스 중 유해요소인 매연을 저감시키기 위한 새로운 형태의 매연저감장치를 제안한다. 제안된 매연저감장치는 부압발생장치를 이용하여 배기가스를 강제 흡입하여 스테인레스 스틸 필터가 내장된 여과장치를 통해 매연을 포집하는 원리이며, 제안된 배기 흡입형 매연저감장치를 제작하여 엔진동력계와 매연시험기를 이용하여 매연저감율을 시험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 엔진회전수 1000rpm, 2000rpm, 3000rpm에서 매연농도 측정된 결과 1/4부하에서는 평균 94%, 2/4부하에서 91.5%, 3/4부하에서 86.4%, 4/4부하에서 45.2%의 매연저감율을 나타내었다.

2) 배기 흡입형 매연저감장치의 부품 중 배기 흡입을 위해 터보차저를 이용한 부압발생장치를 사용한 결과 부압이 걸려 평균 10%의 동력저하를 초래하였다.

3) 배기 흡입형 매연저감장치의 부품 중 배기 흡입을 위해 펌프를 이용한 부압발생장치를 사용한 결과 동력의 변화는 없었다.

참고문헌

- [1] 문길주, "대기오염 제어기술", 대한기계학회지, 제32권 제12호, pp.1031-1037, 1992.
- [2] 한방우, 김학준, 김용진, 한경수, "충진제의 종류에 따른 습식 스크러버의 가스상 물질 제거 특성", 한국대기환경학회지 제23권 제6호, pp.744-751, 2007.
- [3] 정용일, 경유자동차 매연 및 입자상물질 저감 기술, 한국기계연구원, 2004.
- [4] 김홍석외 6인, "Peugeot 607 경유승용차의 매연여과장치 특성 분석", 한국자동차공학회 논문집 Vol.12, No.3, pp.66-74, 2004.
- [5] 강중훈, 김만영, 윤금중, "매연여과장치 재생

을 위한 커먼레일 디젤엔진의 연소 최적화에 관한 연구”, 한국자동차공학회논문집 vol.13, no.4, pp. 167-173, 2005.

- [6] 엄명도, 류정호, 이종태, 임철수, “대형디젤 엔진의 오염물질 배출특성”, 한국자동차공학회논문집 제7권 제9호, SAE NO. 99370277, pp. 20-27, 1993.
- [7] 정용일, 윤면근, 경유자동차 매연여과장치 기술동향, 한국자동차공학회지 vol.24, no.1, pp. 39-43, 2002.
- [8] 황광택, 이대근, “경유자동차용 입자상물질 제거 필터 소재”, 세라미스트, 제10권, 제6호, pp. 50-55, 2007.
- [9] 이춘범, 유영환, 김용우, “디젤 자동차 입자상물질 저감기술의 현황과 전망”, 자동차 공학회지 제24권 제4호 pp. 59-65, 2002.
- [10] 조영민, 박덕신, 권순박, 임인권, “미국 디젤기관차의 매연 배출기준과 비교한 국내 디젤기관차의 매연 배출 저감목표 설정 연구”, 한국철도학회 추계학술대회논문집 pp. 1-6, 2006.
- [11] Masoudi, M., et al., “Validation of a Model and Development of a Simulator for Predicting the Pressure Drop of Diesel Particulate Filters”, SAE 2001-01-0911, 2001.
- [12] 백두성, “대형디젤기관에 있어서 연속재생방식 매연저감장치 성능 테스트”, 한국산학기술학회논문집 vol.7, no.5, pp. 788-792, 2006.
- [13] 박용희, 경유 입자상물질 여과장치의 배기저감 성능에 관한 연구, 조선대학교 박사학위논문, 2007.



최상수(崔相水)

2005년 국민대학교 자동차공학과(공학석사), 2010년 현재 국민대학교 자동차공학과(박사과정)
관심분야: 기계공학, 전기전자제어, 지능형 차량 설계

저 자 소 개



기시우(奇時雨)

2005년 국민대학교 자동차공학과(공학석사), 2010년 현재 국민대학교 자동차공학과(박사과정)
관심분야: 기계공학, 전기전자제어, 매연 후처리장치