SMPS와 MOUDI를 이용한 DPF가 적용된 디젤기관차의 매연배출 저감효과 분석 연구

Study on the effect of diesel particulate filter on air pollutant emission by using SMPS and MOUDI

조영민* 권순박** 박덕신** 정우성** 박은영*** 정미영** 김세영** 임인권**** Cho, Youngmin Kwon, Soon-Bark Park, Duck-Shin Jung, Woo-Sung, Park, Eun-Young Jung, Mi-Young, In-Gweon Lim

ABSTRACT

Due to the complaints on the emission gases from diesel locomotives, the diesel locomotives are replaced by electric locomotives, resulting in the decrease of diesel locomotives in Korea. However, the emission gases from diesel locomotives have become serious environmental concern at stations and car depots. In this study, a diesel particulate filter (DPF) for diesel locomotive was developed in order to reduce the emission gases. The concentration of nano particulate matters before and after the DPF was analyzed using a SMPS (Scanning mobility particle sizer) and MOUDI (Micro orifice uniform deposited impactor) to evaluate the performance of DPF in particulate matters removal.

1. 서 론

2004년 KTX의 도입을 기점으로 철도운영의 고도화, 선진화가 활발히 진행되고 있으며, 그 일환으로 전철화 사업이 전국에서 진행되고 있다. 특히 최근에는 경부선의 전철화가 완료되어 서울과 부산 구간을 운행하는 무궁화호 기관차의 상당수가 기존의 디젤기관차에서 전기기관차로 대체되어 운행되고 있고, 일부 새마을호도 디젤동차가 아닌 전기기관차로 운행되기도 한다. 이에 따라 디젤기관차는 여객열차보다는 화물열차 운행 비중이 높아지고 있다.

이와 같은 철도의 전철화는 비록 초기에 막대한 전철화 비용이 소요되고, 주기적인 유지보수 비용이 발생하는 단점이 있으나, 반대로 환경적인 이익을 얻을 수 있다. 대표적인 것이 바로 소음의 저감과 대기오염 물질 배출량 감소이다. 특히 디젤기관차의 운행시에 발생하는 소음은 소음 민원의 상당 부분을 차지하고 있었는데, 이를 전기기관차로 대체함에 따라 소음 발생을 현저히 감소시킬 수 있다. 이는 선로 연변의 주민들은 물론 승객에게도 매우 바람직하다고 할 수 있다. 디젤기관차는 또한 상당량의 대기오염물질을 배출하는데, 특히 미세먼지(PM; particulate matter), 탄화수소(HC; hydrocarbon), 질소산화물(NOx; nitrogen oxide), 일산화탄소(CO; carbon monoxide) 등이 가장 큰 문제점으로 부각되고 있다. 이러한 물질들은 암, 천식, 호흡기질병, 심장질환 등의 많은 질병이 원인이 되는 등 인체에는 매우 해로운 것으로 알려져 있다. 이러한 소음과 대기오염 문제를 야기함에도 불구하고, 당장 디젤기관차와 디젤동차가 모두 전기기관차 또는 전기동차로 대체되기는 어렵다. 그 이유는 우선 기존의 디젤차량의 상당수가 내구연한이 남아있어 노후화되어 폐차될 때까지 기다리는 것이 철도운영에서의 비용절감에 효율적이기 때문인데, 전기기관차의 비용은 디젤기관차에 비하여 훨씬 고가이다. 또한, 아직 전철화되지 않은 구간이 상당수 남아있기 때문에 이들 구간에는 여전히 디젤차량이 운행되어야 하고, 차량사

E-mail : ymcho@krri.re.kr

TEL : (031)460-5362 FAX : (031)460-5279 ** 한국철도기술연구원 철도환경연구실

^{*} 한국철도기술연구원 철도환경연구실, 정회원

^{***} 명지대학교 기계공학과

무소 및 차량관리단 등에 아직 입환용 디젤기관차의 수요가 필요하다. 또한, 화물 운반의 경우에도 전기기관차보다는 디젤기관차가 견인력 등에 있어서 더 유리한 조건을 갖고 있기도 하다.

현재 도로용 차량의 경우에는 배출되는 대기오염물질에 대해 규제가 이루어지고 있는 것에 비해 디젤 철도차량의 대기오염물질 배출에 대해서는 아무런 규제가 적용되지 않고 있다. 이에 따라, 디젤차량에서 발생하는 막대한 양의 대기오염물질들이 아무 처리도 되지 않은 채 대기 중으로 그대로 배출되고 있는 상황이다. 이에 따라 환경부에서는 대표적인 공공 수송부문인 철도에 대해서도 오염물질 배출에 대한 규제를 통한 대기환경 개선 방안을 고려하였으나, 철도의 전철화에 따라 디젤기관차의 수가 급감하고 있음을 고려하고, 디젤기관차 보유현황을 예의주시하고 있다. 서울시청의 경우에도 '수도권 대기질 개선에 관한 특별법'에 따라 수도권으로 진입하는 디젤기관차와 디젤동차의 대기오염물질 배출량에 대하여 지속적으로 관심을 갖고 있다. 현재, 서울시청에서는 '맑은 공기 사업반'을 운영하면서 서울의대기 환경 개선사업에 막대한 예산을 투입하고 있으며, 향후 서울에 진입하는 디젤기관차와 디젤동차 등에 대한 매연저감장치 장착 비용 지원을 고려하고 있다.

최근 디젤기관차용 매연저감장치 개발 연구가 정부의 지원을 받아 활발히 진행되고 있는데, 출력 1500마력의 디젤기관차에 매연저감장치 시작품을 장착하고, 이의 입자상물질 저감성능을 시험한 바 있다. 그러나, 이 시작품은 필요한 전기, 압축공기, 연료 등을 외부에서 별도로 공급받아야 하기 때문에 실제 선로를 운행하기에는 무리가 있었다. 이에 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하여 기관차에서 직접 전기, 압축공기, 연료 등을 공급받을 수 있도록 하여 본 기관차가 실제 선로를 주행할 수 있도록 하고, 이 장치의 매연저감성능 및 운전 특성 등을 연구하여, 본 장치를 실용화하는 방안을 강구하고자 하였다.

2. 실 험

2.1 매연 저감 필터

철도차량용 대형 디젤기관차에서 구동시에 배출되는 미세먼지 (Particulate Matters; PM)를 다층구조, 세라믹 재질 (SiC)의 디젤매연제거 필터 (DPF; Diesel Particulate Filter)를 이용하여 배출 가스에서 분리하고, 매연이 흡착한 필터는 완전연소를 통해 재생함으로써 영구적으로 재사용할 수 있도록 하는 시스템을 구성하여 본 연구에 적용하였다.

2.2 시제품 탑재

자료조사, 디젤기관차 실측 등을 통하여 시제품을 실제 디젤기관차에 장착할 수 있도록 하였다. 이때, 시제품의 duct는 연돌의 크기에 맞추어 제작하였고, 배출가스는 duct를 통하여 filter 부분으로 이동되도록 하였다. 시제품을 탑재할 디젤기관차는 1500마력의 4400대 디젤전기기관차를 선정하였다.



그림 1. 기관차 상부에 탑재된 시작품



그림 2. 시작품 탑재 완료된 기관차의 시운전

시작품 제작 차량의 실제 운행을 가능하게 하기 위하여 우선은 과도한 배압 발생시 엔진이 정지하는 것을 방지하기 위한 bypass용 덕트를 버너부에 장착하였다. 이 때 bypass용 덕트 상부에는 추를 설치 하였으며, 추의 무게를 조정함으로써 덕트가 열리는 배압을 제어할 수 있도록 하였다. 매연이 흡착된 필 터의 재생에 필요한 압축공기를 기관차의 압축공기통에서 공급받을 수 있도록 하였다. 이 때 기관차의 압축공기는 기관차의 제동 및 윈도우 와이퍼, 경적 작동 등에 사용되는 것으로 필터의 재생에 충분한 양의 압축공기가 공급되도록 하였다.





그림 3. 시작품의 bypass 및 추

그림 4. 기관차 압축공기의 연결

필터의 재생을 위한 버너 점화 및 배기덕트 내부의 배압 측정 등에 필요한 전기도 기관차의 보조발전 기에서 공급되도록 하였다. 이 때 기관차의 보조발전기에서 공급되는 전압은 직류 72V인데, 버너 점화 및 배압 측정 등에 사용되는 전기의 전압은 24V이므로 이를 변화시킬 수 있는 변압기를 설치하였다. 필터 재생을 위한 연료는 별도의 연료용기를 제작하여 DPF 버너부 상단에 장착함으로써 재생 시에 필 요한 연료를 공급하도록 하였다.



전원과 버너부분의 연결

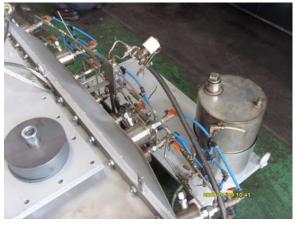


그림 5. 디젤기관차의 보조발전기 직류 72V 그림 6. 필터재생장치에 연결된 연료 공급 장치

2.3 매연 저감성능 시험

매연저감시스템 통과 전과 통과 후의 배기가스 중 PM을 분석할 수 있도록 각각 2개의 sampling pipe를 설치하고, 이 pipe는 heating tape으로 감고 지속적으로 가열하여 sampling pipe 중간에서 배 기가스가 응축되는 것을 억제하였다. Sampling pipe를 통과하여 나오는 시료는 dilution tunnel을 통해 희석시킨 후에 분석장비로 유입되도록 하였다. 나노미터 크기의 미세입자는 미세입자에 전하를 띠게 하 여 입자의 크기별로 분리한 후 butanol로 입자의 크기를 크게 하여 수를 세어 입자의 크기별 수를 측정할 수 있는 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer, Grimm)와 통과시킬 수 있는 입자의 크기가 다른 여러 필터를 다단으로 쌓고, 입자의 크기가 큰 것부터 작은 순서대로 분리하여 미세 입자의 입경분 포별 질량을 측정할 수 있는 MOUDI (Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor)를 이용하여 분석하였고, 마이크로미터 크기의 미세입자는 입자의 광산란도를 측정하여 입자의 입경별 농도를 측정할 수 있는 dust spectrometer (Grimm 1108)를 이용하여 분석하였다.



2008/07/15/0-56

그림 7. 디젤기관차 미세입자 분석장비 구성

그림 8. 미세입자 분석용 MOUDI 분석 장비

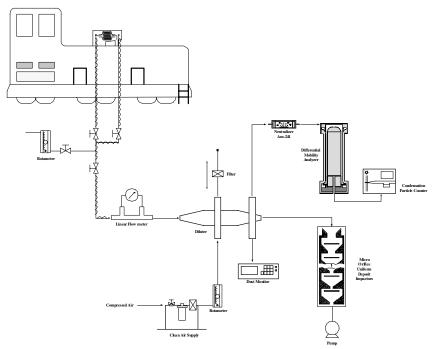


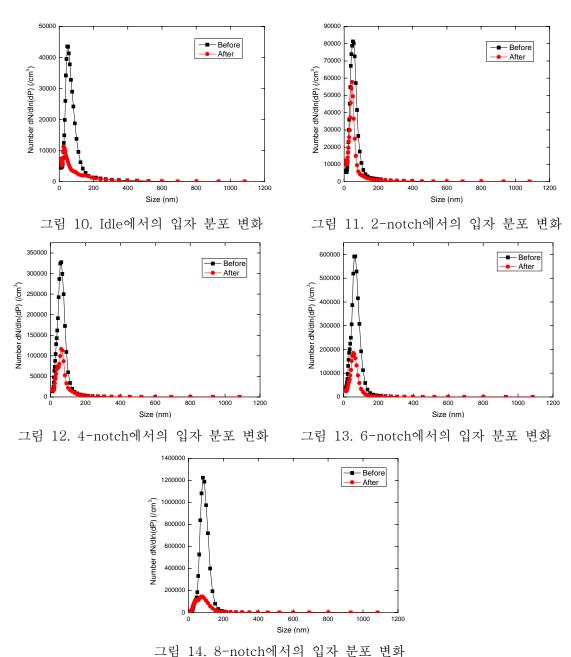
그림 9. 디젤기관차 매연저감장치 통과 전과 후 시료의 채취 및 분석 개념도

3. 결 과

3.1 SMPS를 이용한 분석 결과

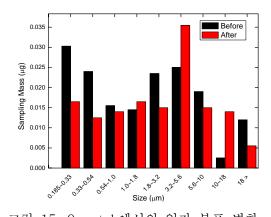
SMPS를 이용하여 출력에 따른 필터 통과 전과 후의 입자상 물질 농도를 비교하였다. 분석 결과 배출되는 나노입자의 농도는 필터를 통과하면서 감소하는 것으로 나타났고, 감소하는 정도는 특히 출력이 낮을 경우에 컸으며, 출력이 증가할수록 저감 효율이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 대량으로 배출되는 나노입자들이 필터에 흡착되기도 전에 압력에 의하여 밖으로 그대로 배출되기 때문인 것으로

보인다. 필터를 통과하기 전과 후에 대하여 각각 출력의 변화에 따른 입자수를 비교해 본 결과, 필터 통과 전의 경우에는 출력이 증가할수록 입자의 크기와 수가 크게 증가하는 것을 볼 수 있었는데, 이는 출력이 증가할수록 연료가 대량으로 분사되면서 완전연소되지 않으면서 크기가 큰 soot가 다량 발생하기 때문이다. 필터를 통과 후의 경우에도 출력이 증가할수록 입자의 크기와 수가 크게 증가하였는데, 이는 필터를 통과하기 전의 입자의 크기와 수에 비례하여 나타났다.



3.2 MOUDI를 이용한 분석 결과

MOUDI를 이용한 필터 통과 전과 후의 입자 분포를 분석한 결과, idle과 4-notch에서는 필터 통과 후에 미세입자가 일부 감소하는 것으로 나타났고, 8-notch에서는 그 감소량이 매우 크게 나타났다. Idle과 4-notch에서는 미세먼지 포집량이 너무 적어 실질적인 저감효과를 보기에는 무리가 있었으나, 8-notch에서는 포집량이 많아 필터 통과 전과 후의 차이를 확연히 구별할 수 있었다. 입경이 작은 입자들의 저감효율이 대체로 높게 나타났는데, 이는 미세입자일수록 필터의 pore 안에 잘 흡착하기 때문인 것으로 보인다.



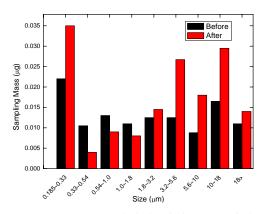


그림 15. 0-notch에서의 입자 분포 변화

그림 16. 4-notch에서의 입자 분포 변화

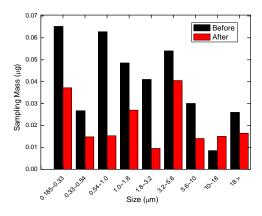


그림 17. 8-notch에서의 입자 분포 변화

4. 결 론

본 연구에서는 실제 적용이 가능한 디젤기관차용 매연저감장치를 개발하여 기관차에 장착 및 실험을 통하여 디젤기관차 발생 매연을 저감할 수 있었다. 본 연구성과를 바탕으로 미국과 중국 등 해외의 기관차 매연 저감 장치에 적용이 가능한 시스템을 개발할 예정이다.

5. 감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 에너지자원저감기술개발의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1. Y. Janet, L. M. Robert, and S. G. Michael (2000), "In-use emissions from heavy-duty diesel vehicles", Environmental Science and Technology, Vol 34, pp. 729-740.
- 2. M. Lidia, D. B. Neville, K. Ladislav, and N. Altwell (1998) "Submicrometer and supermicrometer particles from diesel vehicle emissions", Environmental Science and Technology, Vol 32, pp. 2033–2042.
- 3. J. S. Kinsey, W. A. Mitchell, W. C. Squier, K. Linna, F. G. King, R. Logan, Y. Dong, G. J. Thompson, and N. N. Clark (2006) "Evaluation of methods for the determination of diesel-generated fine particulate matter: Physical characterization results". Journal of Aerosol Science, Vol 37, pp. 63-87.
- 4. M. Sharma, A. K. Agarwal, K. V. L. Bharathi (2005) "Characterization of exhaust particulates from diesel engine", Atmospheric Environment, Vol 39, pp. 3023-3028.
- 5. Burtscher, H. (2005), "Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review", Journal of Aerosol Science, Vol 36, pp. 896-932.