

디젤기관차용 입자상물질 배출 저감필터 연구

Development of diesel particulate filter for diesel locomotives

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

ABSTRACT

The particulate matters emitted by diesel locomotives cause serious air pollution in stations and railroad. There have been various attempt to reduce the air pollution from diesel bus or trucks. However, the air pollution from the diesel locomotives has been out of control because there has not any adaptable technology. In this study, a diesel particulate filter was developed and applied to the diesel locomotives. A 3,000 horsepower large-scale locomotive and a 1,500 horsepower middle-scale locomotive were used for the test of the filter. The particulate matter emissions before and after the treatment was monitored by a scanning mobility particle sizer and a dust monitor. As a result, it was observed that the particulate matters could be successfully removed from the emission gases by using the filter.

1. 서 론

현재 국내에서 운행되고 있는 철도차량은 크게 전기기관차와 전동차 등의 전기차량과 디젤기관차 및 디젤동차 등의 디젤차량으로 나뉠 수 있다. 간선철도의 경우 강원도 일부 화물선을 제외하고는 디젤차량이 주로 사용되어왔으나 선로의 전철화율 증가 및 전기차량인 고속철도의 도입 등으로 점차 전기차량의 비율이 높아지는 추세이다. 이처럼 전기차량의 비율이 증가하는 이유는 전기차량이 디젤차량에 비하여 운영효율성이 높고, 디젤차량과 같은 소음·진동, 그리고 대기오염과 같은 환경문제를 덜 유발하기 때문이다. 특히 철도 디젤차량의 매연문제는 오랫동안 제기되어 온 가장 큰 문제점 중의 하나이다. 디젤차량에서 배출되는 매연에는 미세먼지(PM; particulate matter), 탄화수소(HC; hydrocarbon), 질소산화물(NOx; nitrogen oxide), 일산화탄소(CO; carbon monoxide) 등이 다량으로 포함되어 있으며, 이러한 물질들은 암, 천식, 호흡기질환, 심장질환 등의 원인이 되는 인체에 매우 해로운 대표적인 대기오염물질들이다.

그러나, 당장 철도에서 디젤차량이 사라지기는 어려울 것으로 보인다. 그 이유는 아직 내구연한이 남은 디젤기관차가 많이 있고, 전철화되지 않은 구간이 여전히 50%에 이르며, 차량사무소나 관리단 등에서 입환용 디젤기관차가 필요하고, 특히 화물의 경우에는 전기기관차보다는 디젤기관차가 견인력 등에 있어서 더 유리한 조건을 갖기 때문이다. 현재 도로용 차량의 경우에는 배출되는 대기오염물질에 대해 규제가 이루어지고 있는 것에 비해 철도에는 아무런 규제가 없기 때문에 철도 디젤차량 등에서 배출되는 오염물질은 전혀 정화되지 않은 채 대기 중으로 배출되고 있으며, 이에 따른 대기오염도 당분간 계속될 것으로 보인다. 그러나, 최근 비도로 대기오염원에 대한 환경부의 규제 움직임에 따라 공공부문인 철도용 디젤차량에서 배출되는 매연 저감에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 철도용 디젤기관차용 매연 저감장치를 개발하고, 이를 실제로 디젤기관차에 적용하여 시험함으로써 철도 디젤차량에서 매연을 저감하는 방안을 강구하고자 하였다.

* 한국철도기술연구원 환경화재연구팀, 정회원

E-mail : ymcho@krri.re.kr

TEL : (031)460-5362 FAX : (031)460-5319

** 한국철도기술연구원 환경화재연구팀

*** 명지대학교 기계공학과

2. 실험

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.

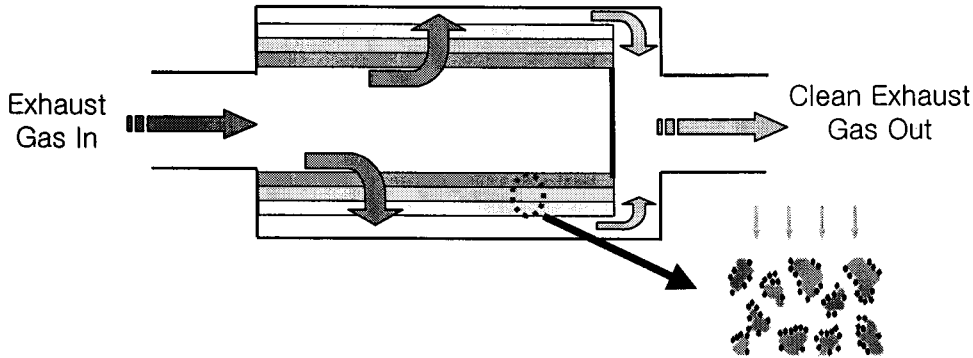


그림 1. 디젤매연제거 필터시스템의 개략도

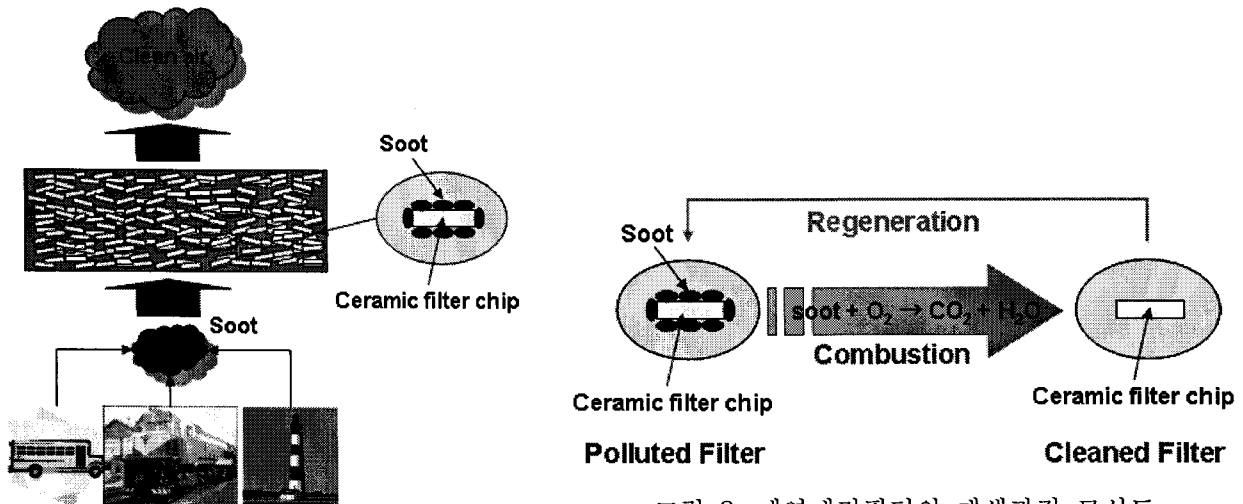


그림 3. 매연제거필터의 재생과정 모식도

그림 2. 필터시스템의 매연제거 모식도

2.2 시제품 설치위치 선정 및 탑재형상 모델링

매연저감장치는 디젤기관차 도면자료와 디젤기관차 상단의 실측자료를 통하여 설치 위치를 선정하였다. 시제품은 디젤기관차 상단의 연돌에 연결하여 상부에 탑재하도록 하였으며, 시제품의 위치와 높이를 고려하여 디젤기관차의 진행방향에 대하여 연돌의 앞 부분을 설치 위치로 선정하였다. 높이는 레일면으로부터 배기연돌까지의 높이 (4.254m)와 전차선까지의 높이 (보통 5.2m 이상이나 일부구간 4.85m) 등을 고려하여 레일면으로부터 높이는 4.7m 이내여야 하며, 이에 연돌 위로 0.3m 이내가 되도록 설계하였고, 이 때 높이나 너비 모두 열차의 차량 한계 안에 충분히 들어오도록 위치와 크기를 결정하였다. 또한, 실제 탑재형상을 모델링하기 위하여 디젤기관차에 대하여 2차원 AutoCAD 도면을 3차원 CATIA 도면으로 작성한 후에 시제품을 탑재했을 때의 모양을 3차원으로 모델링하여 탑재 형상을 완성하였다.

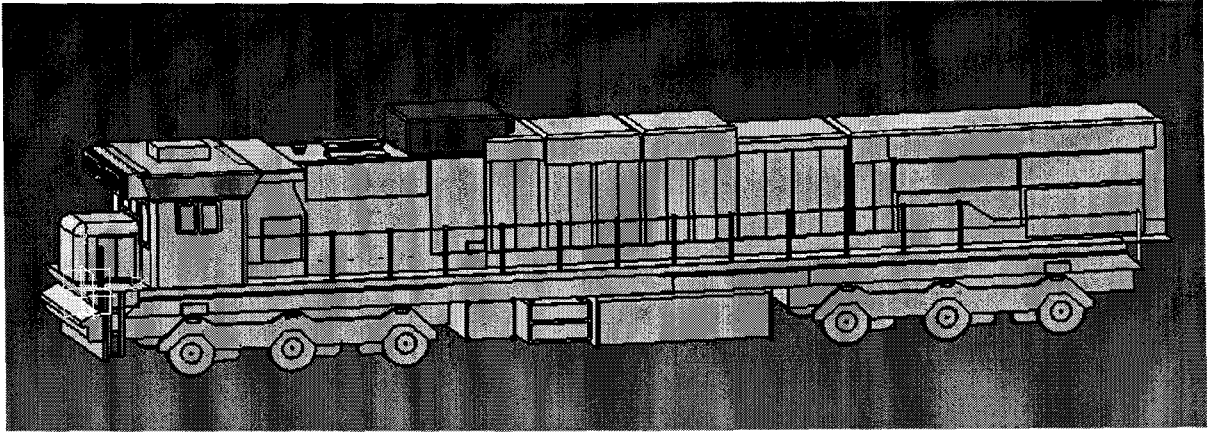


그림 4. 매연저감 시스템 시제품 탑재 형상

2.3 시제품 탑재

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



그림 5. 4400대에 탑재된 매연저감시스템

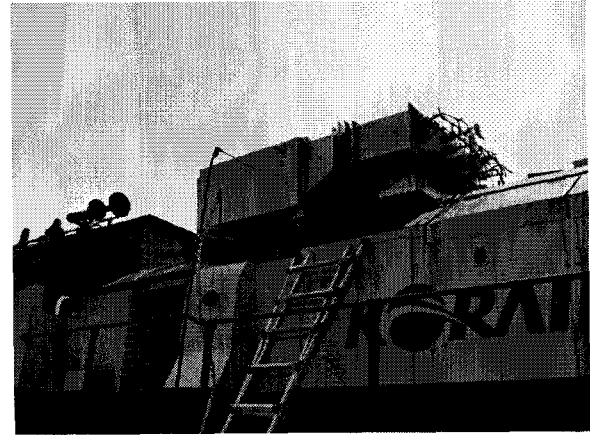


그림 6. 배기가스 시료채취 준비

2.4 매연 저감성능 시험

매연저감시스템 통과 전과 통과 후의 배기가스 중 PM을 분석할 수 있도록 sampling pipe를 설치하고, sampling pipe를 통과하여 나오는 시료는 다음 그림과 같은 dilution tunnel을 통해 희석시킨 후에 분석장비로 유입되도록 하였다. 나노미터 크기의 미세입자는 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer, Grimm)를 이용하여 분석하였고, 마이크로미터 크기의 미세입자는 dust spectrometer (Grimm 1108)를 이용하여 분석하였다.

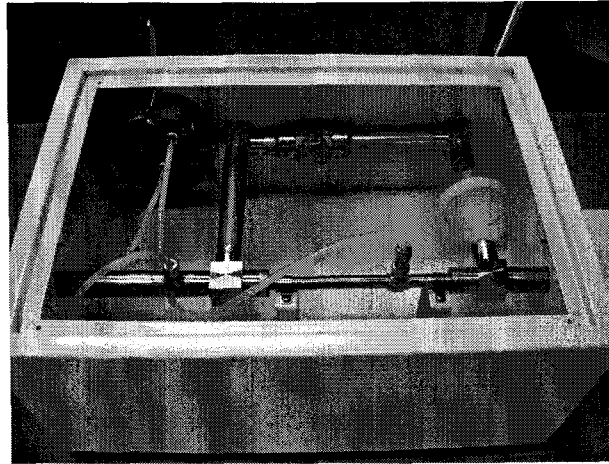


그림 3. 본 실험에 사용된 dilution tunnel

3. 결 과

다음 그림은 0-notch에서 필터 시스템을 통과하기 전과 통과한 후의 입자 크기 분포를 나타낸 것이다. 이 그림에 나타난 바와 같이 배출되는 나노입자의 농도는 다음 그림과 같이 필터를 통과하면서 크게 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 입자의 크기가 50 nm보다 작은 미세 입자에서 효율이 더 컸고, 입자의 크기가 100 nm보다 큰 조대 입자에서는 저감효율이 비교적 낮게 나타났다. 이는 이 매연 저감 필터가 인체에 유해한 미세입자를 더욱 잘 흡착함을 보여주는 것이다.

저감효율은 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. 엔진 출력이 큰 6-notch와 8-notch에서는 필터를 통과한 후에 오히려 나노입자의 수가 일부 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 조대입자가 필터 표면에서 응축되어 입자의 크기가 급격히 증가하기 때문인 것으로 보인다.

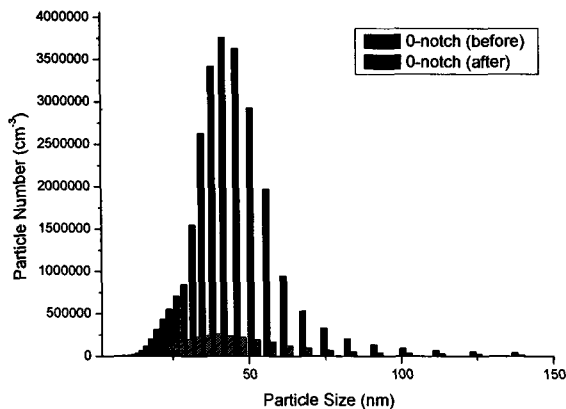


그림 8. 0-notch에서의 필터의 전단과 후단의 나노입자 분포

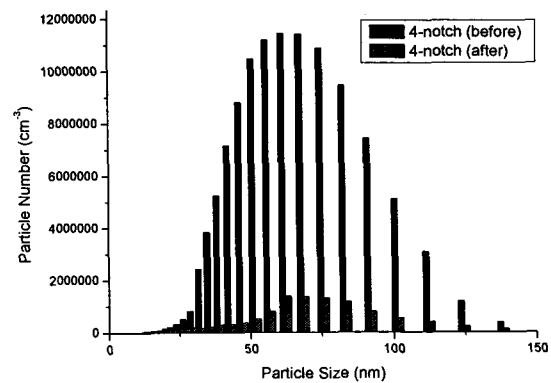


그림 9. 4-notch에서의 필터의 전단과 후단의 나노입자 분포

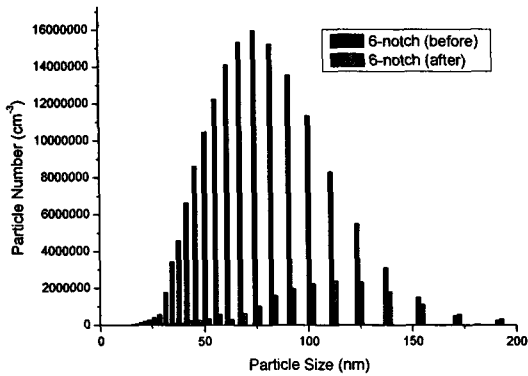


그림 10. 6-notch에서의 필터의 전단과 후단의 나노입자 분포

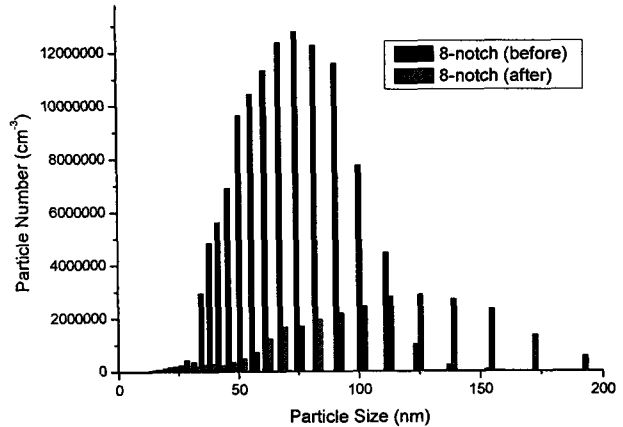


그림 11. 8-notch에서의 필터의 전단과 후단의 나노입자 분포

세라믹 필터의 특성상 필터의 사용 시간이 경과할수록 포집효율이 증가하는데, 이번 실험에서 8-notch에서 2시간 이상 운전해 본 결과 초기에는 포집효율이 매우 낮았으나 2시간 후에는 포집효율이 크게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 일반적인 필터에서도 흔히 나타나는 현상으로 필터 표면에 어느 정도 매연이 흡착하게 되면 흡착한 매연입자들이 다시 필터로 작용하여 매연 저감효율이 증가하게 되는 것이다.

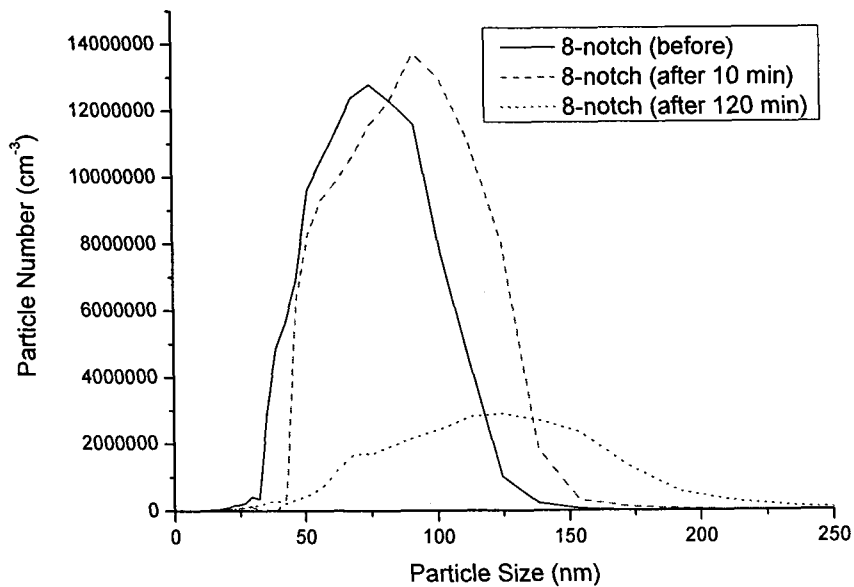


그림 12. 시간에 따른 8-notch에서의 나노입자 저감특성 변화

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 통과한 후의 경우에도 출력이 증가할수록 입자의 크기와 수가 크게 증가하였는데, 이는 필터를 통과하기 전의 입자의 크기와 수에 비례하여 나타났다.

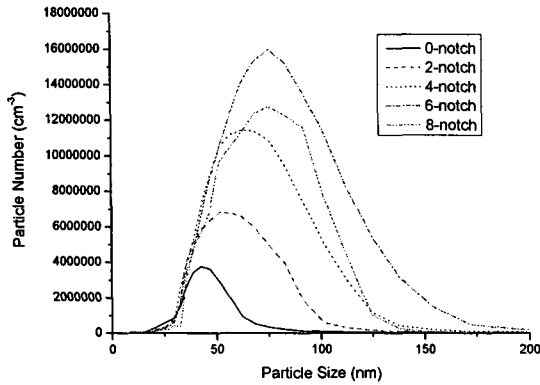


그림 13. 출력의 변화에 따른 배출되는 나노입자의 크기 분포 변화

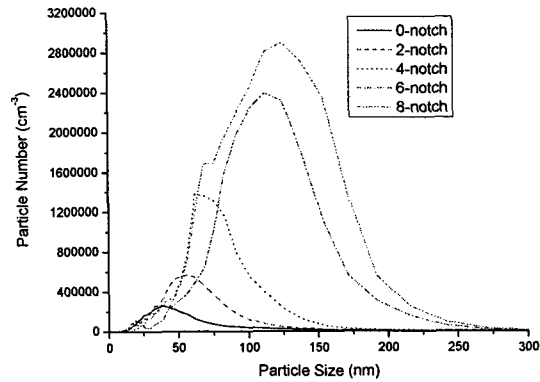


그림 14. 출력의 변화에 따른 필터를 통과한 나노입자의 크기 분포 변화

4. 결 론

본 철도차량 디젤기관차용 매연저감시스템은 디젤기관차 발생 매연을 효율적으로 저감할 수 있었다. 향후 장기 운전 후 버너를 사용하여 필터상의 입자상물질을 연소시킴으로써 필터를 재생하도록 하여 매연저감시스템을 영구적으로 사용할 수 있는 기술을 개발하고자 한다.

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.