

디젤기관차의 출력과 배기가스 배출특성의 상관관계 연구

Relationships between Characteristics of Emission Gases and Engine Load Condition of Diesel Locomotive Engine

조영민* 권순박* 박덕신* 박은영* 임인권**
Cho, Youngmin Kwon, Soon-Bak Park, Duck-Shin Park, Eun-Young Lim, In-Gwon

ABSTRACT

The air pollution by the diesel locomotives has become serious environmental concern because the emission gases are exhausted without any further treatment. Recently, the public interest on the air pollutants emission reduction technology is increasing due to the establishment of 'Metropolitan Air Quality Preservative Law' and the regulation of local governments on the urban air quality. In this study, we measured the concentration of particulate matters and gaseous pollutants by using a scanning mobility particle sizer, a dust spectrometer, and a stack sampler upon various engine load condition. The results show that the amount of emitted air pollutants increased upon the increase of engine power. The development of new technology to reduce the air pollutants emission is urgently required.

1. 서 론

철도는 도로교통수단에 비하여 에너지 효율성이 높고, 오염물질 배출량이 적은 친환경 교통수단으로 알려져 있다. 특히, 최근에는 2004년 KTX의 개통과 철도의 전철화 사업 등에 의하여 전철화율이 크게 증가하면서 대기오염물질 배출량은 현저히 감소하고 있다. 그림 1과 같이 전체 철도연장은 2004년 KTX의 개통 이전까지 큰 변화가 없었으나, 전철 철도연장은 2004년 이후 급격히 증가하였으며 이에 따라 2003년까지 21.7%에 불과하던 전철화율이 2005년에는 무려 49.2%까지 증가하였다. 이에 따라 그림 2와 같이 전기기관차와 전기동차, 고속철도 등의 전기차량의 수가 크게 증가하였다. 반면에 디젤기관차와 디젤동차의 수는 2002년에는 총 1,092대에 이르던 것이 2005년에는 1,047대로 약 4% 감소하였으며, 앞으로도 디젤차량의 수는 지속적으로 감소할 것으로 예상된다.

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 등에서는 입환용 디젤기관차가 필요하고, 특히 화물의 경우에는 전기기관차보다는 디젤기관차가 견인력 등에 있어서 더 유리한 조건을 갖기 때문이다. 현재 도로용 차량의 경우에는 배출되는 대기오염물질에 대해 규제

* 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정희원

E-mail : ymcho@krri.re.kr

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

** (주)씨에이테크

가 이루어지고 있는 것에 비해 철도에는 아무런 규제가 없기 때문에 철도용 디젤기관차 또는 디젤동차 등에서 배출되는 오염물질은 전혀 정화되지 않은 채 대기 중으로 배출되고 있으며, 이에 따른 대기오염도 당분간 계속될 것으로 보인다. 그러나, 최근 디젤기관차 매연에 의한 비닐하우스 피해에 대한 배상결정과 2005년 수도권대기질보전특별법의 발효, 서울시의 대기질 개선에 대한 강력한 의지 등으로 철도용 디젤기관에서 배출되는 매연 저감에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 또한, 외국의 경우에도 미국 20,878량, 중국 10,752량, 독일 5,338량, 인도 4,837량, 프랑스 3,881량 등 전세계적으로 6만량 이상의 디젤 철도차량이 있기 때문에 매연 저감기술의 해외 수출시장도 매우 크다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 디젤기관차에 대하여 출력변화에 따른 배출가스 중의 미세먼지, 가스상 오염물질 등의 배출량 변화 등을 측정하여 매연저감 기술개발을 위한 기초자료로 사용하고자 하였다.

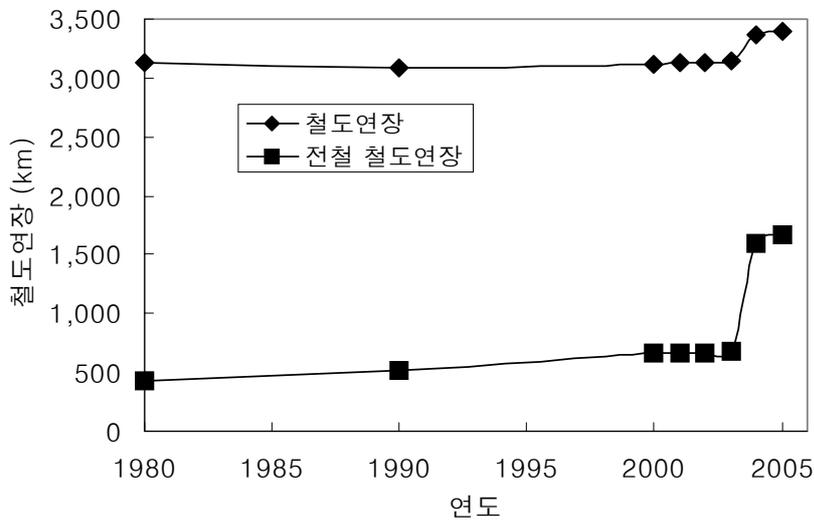


그림 1. 연도별 철도연장 및 전철화 철도연장 비교

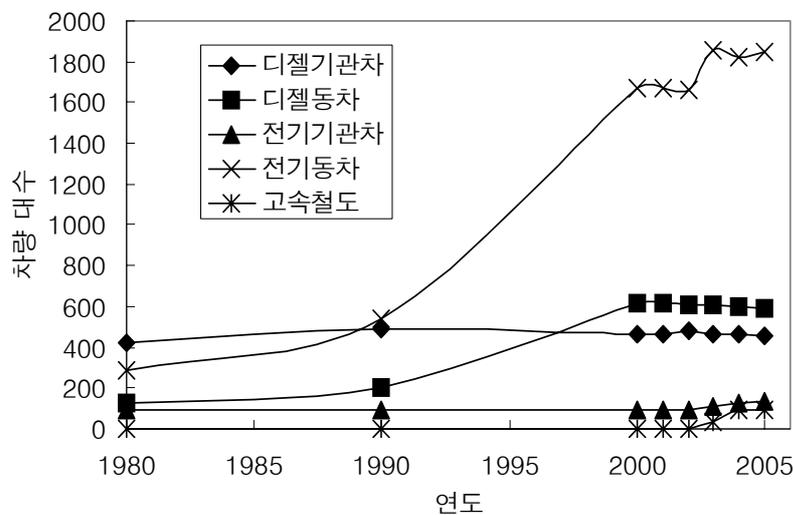


그림 2. 연도별 차종별 철도 차량대수 변화

2. 실험

3000마력의 특대형 디젤기관차를 대상으로 배출가스를 포집하여 그 특성을 분석하였다. 실험에 사용된 기관차의 엔진은 16기통 16-645E3 엔진이었으며, 기관차는 정차된 상태에서 배기 후드가 연결된 차량 동력시험동에서 실험을 수행하였다. 디젤기관차는 디젤엔진으로 발전을 하고, 이 전기로 모터를 구동하여 차량을 움직이도록 되어 있으므로, 발전을 통해 생성된 전기는 다이ना모에 연결하여 엔진의 과열 및 과부하를 방지하도록 하였다. 스틸 재질의 보조연돌을 제작하여 연돌 위에 올려놓고, 보조연돌에 시료 채취를 위한 구멍을 뚫고 시료채집관 및 각종 센서를 연결하였다. 보조연돌에 연결한 시료채취용 관은 히팅 코일을 감아 시료가 분석장비로 이동하는 동안 응축되는 것을 방지하였다.

미세먼지의 경우 그림 3과 같은 dilution tunnel을 제작하여 배기가스를 희석한 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. CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂, O₂와 배기가스의 온도 등은 stack sampler (Sensonic 5100)를 이용하여 측정하였다.



그림 3. 본 실험에 사용된 dilution tunnel

엔진의 출력 변화에 따른 배출가스의 특성 변화를 관찰하기 위하여 엔진의 notch를 0, 2, 4, 6, 8-notch로 바꾸어가면서 실험을 수행하였다. 엔진의 출력은 다이나모에 인가된 전압과 전류의 곱으로 계산하였다. 엔진의 notch를 증가시킬수록 엔진의 rpm이 증가하였으며 이에 따라 엔진의 출력도 그림 4와 같이 증가하였다.

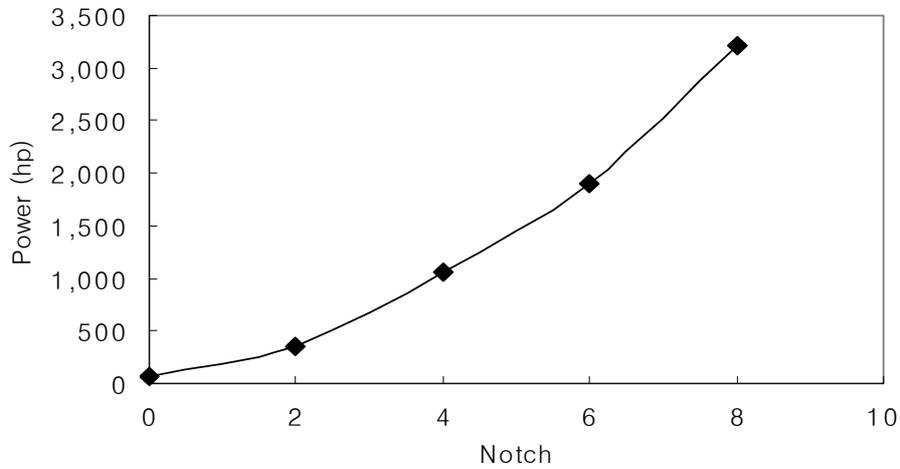


그림 4. 엔진의 notch 변화에 따른 출력 변화

3. 결과 및 고찰

3.1 미세먼지 분석

엔진의 notch의 변화에 따른 배출가스 중의 나노미터 크기 입자의 입경 및 개수 분포를 SMPS로 분석하여 그림 5에 나타내었다. 그림 5를 보면 엔진의 출력이 증가할수록 나노입자의 입경은 대체로 증가하였으며, 입자의 개수도 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. Idle에서는 입경 40 nm 이하의 입자 배출이 가장 많았으나, 출력이 증가할수록 입경이 커져서 6, 8 notch에서는 입경 100 nm 이하의 입자 배출이 가장 큰 것으로 나타났다. 그 이유는 출력이 증가함에 따라 carbonaceous agglomerate가 형성되어 accumulation mode 배출이 증가하기 때문이다. 또한 출력이 적을 때에는 거의 나타나지 않다가 출력이 증가함에 따라 입경 10 nm 이하의 nuclei mode 입자가 배출되는 것을 볼 수 있는데, 이는 배기가스의 희석과 냉각에 의한 휘발성 전구물질에 의하여 형성된 것으로 보인다.

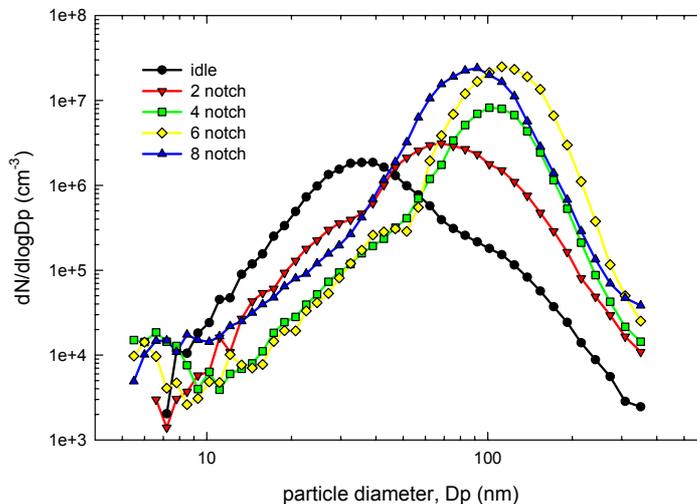


그림 5. 엔진출력에 따른 나노입자의 배출특성

엔진의 notch 변화에 따른 마이크로 입자의 배출특성을 표 1에 나타내었다. 이 표를 보면 idle에서 2 notch로 엔진 출력을 증가시킬 때 마이크로 입자의 배출량이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나, 2 notch 이후에는 그 증가량이 비교적 적었으며, 6 notch 이후에는 오히려 약간 감소하는 것으로 나타났다. Idle에서는 마이크로 입자의 배출이 그리 크지 않았으나, 본격적으로 부하가 걸리는 2 notch 이상에서는 배출량이 크게 증가하는 것으로 보아 디젤기관차의 운전 시에는 정차 시보다 약 10배 많은 미세먼지가 배출되는 것으로 보인다.

표 1. 엔진의 출력 변화에 따른 마이크로 입자의 배출특성 변화

Notch	PM-10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM-1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0	184.0	176.1	149.4
2	1,650.4	1,603.8	1,432.4
4	1,864.4	1,842.0	1,644.2
6	1,901.4	1,903.9	1,801.4
8	1,817.2	1,804.2	1,697.0

3.2 가스상 오염물질 분석

그림 6은 엔진출력의 변화에 따른 배기가스 중의 가스상 오염물질의 농도를 나타낸 것이다. 산소의 농도를 보면 idle에서는 대기 중의 산소농도인 21%보다 약간 적은 19.9%를 나타내는 것을 알 수 있다. 그러나, 엔진의 notch를 올려서 엔진출력을 증가시키면 산소농도가 감소하기 시작하여 8 notch에서는 14%까지 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면에 CO₂는 idle에서는 800 ppm으로 일반 대기 중의 CO₂ 농도인 350 ppm보다 약간 높은 것으로 나타났으나, 엔진의 출력을 증가시키면 급격히 증가하여 8 notch에서는 5.1%에 이르게 된다. 이는 연료의 연소반응이 활발히 일어나 반응물인 산소의 농도가 감소하고 생성물인 이산화탄소의 농도가 증가하기 때문이다.

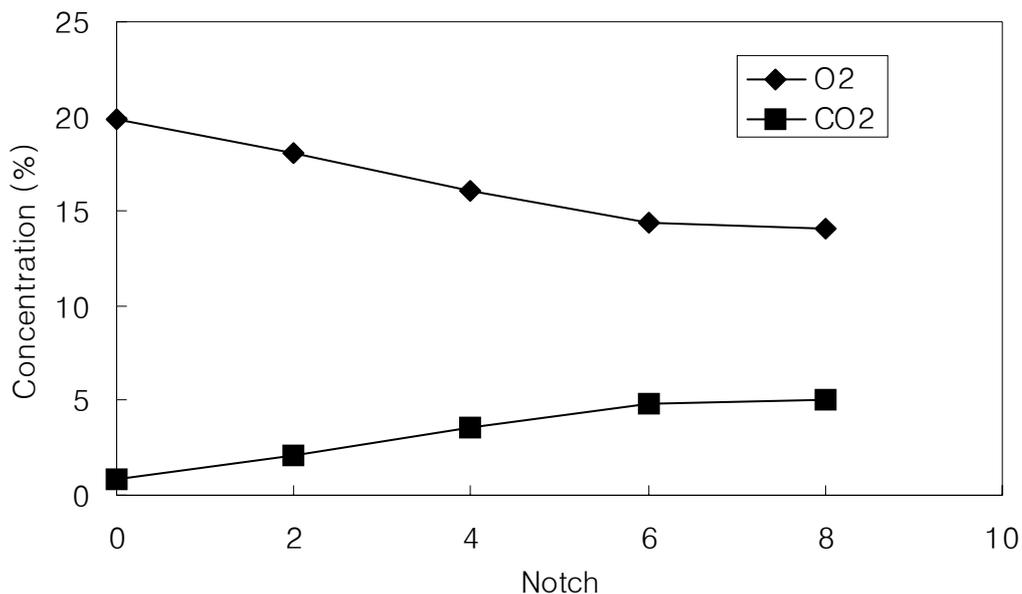


그림 6. 엔진출력 변화에 따른 산소와 이산화탄소의 농도 변화

그림 7은 엔진출력 변화에 따른 CO, NO, NO₂, NO_x의 농도 변화를 나타낸 것이다. CO의 농도는 0 notch에서 불완전연소에 의하여 그 배출량이 많으나 엔진 출력을 증가시키면 불완전연소가 감소하여 2, 4 notch까지는 다소 감소하였다. 그러나, 그 이상으로 엔진 출력을 증가시키면 다시 불완전연소가 증가하여 그 농도가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. NO, NO₂, NO_x의 농도는 엔진출력의 증가에 따라 지속적으로 증가하였는데, 이는 엔진출력이 증가할수록 엔진 내부의 온도가 높아져서 공기 중 질소의 산화반응이 잘 일어나기 때문이다. 그림 6과 7을 보면 엔진출력이 오염물질 배출량이 크게 증가하는 것을 알 수 있었다.

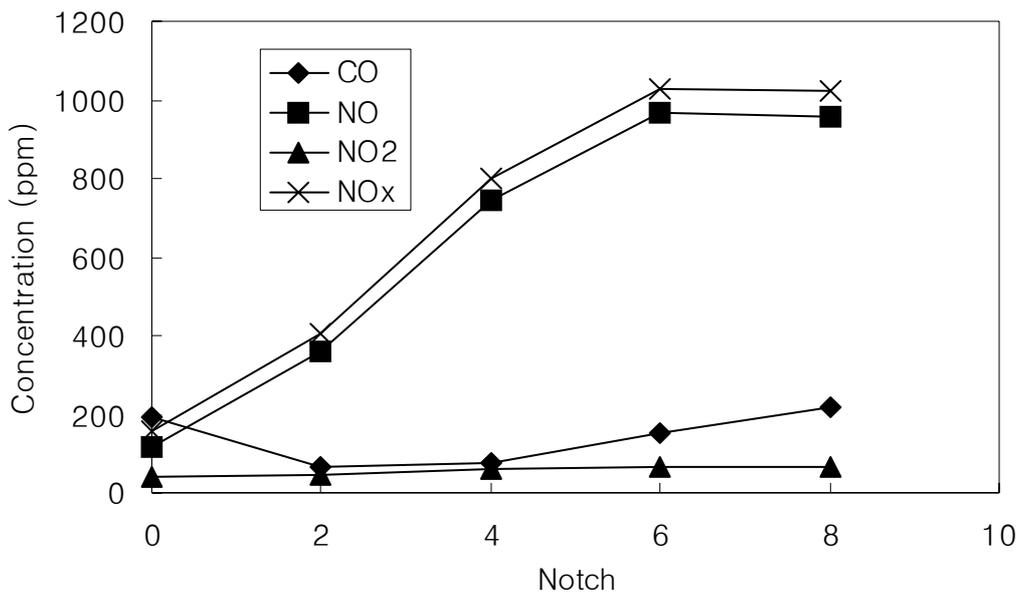


그림 7. 엔진출력 변화에 따른 가스상 오염물질의 배출특성 변화

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.