

철도차량에 의한 배기가스 배출량 예측에 관한 기초연구

A Basic Study on the Estimation of Exhaust Emission Rates by Railroad Vehicles

박덕신¹⁾, 정우성²⁾, 정병철³⁾, 김태오⁴⁾

Duck-Shin Park, Woo-Sung Jung, Byung-Chul Jung, Tae-Oh Kim

ABSTRACT

As the air pollution caused by diesel vehicles goes worse, so non-road vehicles exhaust gas standard is strict in an foreign countries. In this paper, we calculate the amount of emission rates from Korean railroad lines and train kinds. Air pollutants emissions are calculated using by US EPA baseline in-use emission rates which is divided line-haul and switch mode. The calculated HC emissions on the railroad diesel vehicles are 1,209.1 t from Korean railroad lines.

1. 서론

전 세계적으로 철도차량에 의한 총 대기오염물질에의 기여는 도로 차량과 기타 산업부문과 비교할 때 적은 비율을 차지한다. 현재 우리나라에서 경유를 연료로 사용하는 철도차량은 디젤기관차(diesel locomotive), 디젤동차(diesel rail car), 증기기관차(steam locomotive) 등이며 1999년 말 기준으로 연간 약 3억 2천만 리터의 연료를 소모한다. 등록된 차량의 대수는 디젤기관차가 491량, 디젤동차가 603량, 증기기관차가 1량 등이며, 수송수단 중 철도의 여객수송 분담율은 연간 약 824백만 명으로 전체 여객 수송량의 약 6.2% 가량을 차지한다.

최근 미국 등 선진국을 중심으로 배출가스 규제대상을 기존의 도로용 차량에서 비도로용 차량까지 확대적용하고 있으며, 향후 비도로용 차량에 의한 오염물질 기여는 더욱 높아질 것으로 추측되고 있다. 최근 환경부에서도 비도로용 차량에 대한 규제를 검토하고 있으며, 비도로용 차량중 건설기계, 농기계, 선박, 항공기, 철도 등에 대한 자료를 조사하고 있으나 국내 실정에 맞는 기초자료가 부족한 실정이다.

본 논문에서는 비도로용 차량 중 철도 차량에서 배출되는 배기가스(HC, CO, NOx, PM)의 량을 미국 EPA의 배출율 자료와 국내에서 운행중인 철도차량에서 소비한 디젤유의 연료사용량을 근거로 계산하여 철도차량의 종류별, 노선별로 예측한 결과를 언급하였다.

1) 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정회원
2) 한국철도기술연구원, 책임연구원
3) 한국철도기술연구원, 연구원
4) 금오공과대학교 교수

2. 디젤기관차

2.1 배출율

배출계수(emission factor)란 대기 중으로 배출된 오염물질의 양과 연관된 평균값을 말하며, 단위 생산량(kg of particulate/kg of coal combusted), 또는 단위 소비량에 대하여 배출되는 대기오염물질의 평균 농도를 말한다. 총 배출은 배출계수(g/l)와 연료 사용량(kl/year)을 곱해서 식 (1)과 같이 연간 배출율(emission rates, metric-ton/year)로 나타낼 수 있으며, 식에서 1.1은 metric-ton을 short-ton으로 변환하기 위해서 사용하는 변환계수이다.

Emission Rates =

$$Fuel\ Consumption\ Rates(kl) \times Emission\ Factor(kg/kl) / 10^6 \times 1.1$$

.....(식 1)

미국 EPA에서는 현재 제어되지 않고 있는 기관차에 대해 g/bhp-hr로 나타내는 평균 배출율을 산정했다. 배출율은 표 1에서와 같이 Line-Haul과 Switch로 구분하여 적용하고 있다. Line-Haul은 고속, 화물 및 수송용으로 사용되는 2000마력 이상의 기관차 엔진을 포함하며, Switch는 2000마력 미만으로 저속, 단거리 이동용 화물수송용에 사용되는 기관차 엔진을 포함한다.

2.2 배기가스 규제현황

미국 EPA에서는 1997년 12월 17일에 기 제작되거나 앞으로 제작될 기관차 및 그 엔진에서 배출되는 CO, THC, NOx, PM 등에 대한 배출규제를 표 2와 같이 채택하여 실시하고 있다. 표에서 보여주듯이 Tier 0는 1973년에서 1999년까지 제작된 기관차를 대상으로 하며, Tier 1은 2000년에서 2004년까지 제작되었거나 제작될 기관차, Tier 2는 2005년 이후 제작될 디젤기관차를 대상으로 한다. 규제모드 역시 Line-Haul과 Switch 두 가지로 분류하였다.

제작시기에 따라 예측되는 디젤기관차의 예상 배출율(emission rates) 역시 배출규제와 마찬가지로 총 3단계로 나뉘어져있다. Tier 0은 1973년에서 2001년까지 제작된 기관차, Tier 1은 2002년에서 2004년까지 제작될 기관차, Tier 2는 2004년 이후 제작될 기관차를 대상으로 한다. 예상 배출율은 NOx의 경우 Tier 0에서 8.6 g/bhp-hr이 Tier 1에서는 6.7 g/bhp-hr로 Tier 2에서는 5.0 g/bhp-hr로 점차 낮아진다.

표 1. 디젤기관차 배출율

	HC		CO		NOx		PM	
	g/bhp-hr	g/l	g/bhp-hr	g/l	g/bhp-hr	g/l	g/bhp-hr	g/l
Line-Haul*	0.48	2.64	1.28	7.04	13.0	71.5	0.32	1.76
Switch**	1.01	5.56	1.83	10.07	17.4	95.7	0.44	2.42

* Line-Haul locomotives over the line-haul duty-cycle.

** Switch locomotives over the switch duty-cycle

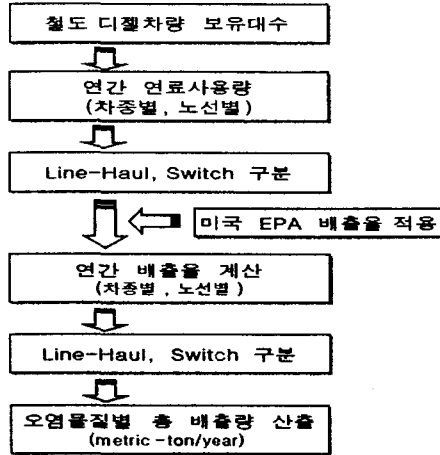


그림 1. 배출량 산출 흐름도

표 2. 디젤기관차 배기가스 배출기준

Tier 0 (1973 ~ 1999)								
Mode	HC		CO		NO _x		PM	
	g/bhp-hr	g/l	g/bhp-hr	g/l	g/bhp-hr	g/l	g/bhp-hr	g/l
Line-Haul	1.00	5.50	5.00	27.50	9.50	52.30	0.60	3.30
Switch	2.10	11.55	8.00	44.00	14.00	77.00	0.72	3.96
Tier 1 (2000 ~ 2004)								
Line-Haul	0.55	3.03	2.20	12.10	7.40	40.70	0.45	2.48
Switch	1.20	6.60	2.50	13.75	11.00	60.50	0.54	2.97
Tier 2 (2005 and later)								
Line-Haul	0.30	1.65	1.50	8.25	13.50	74.25	0.34	1.87
Switch	0.60	3.30	2.40	13.20	19.80	108.90	0.41	2.26

3. 연구내용 및 방법

3.1 배출량 산출

배출량 산출 흐름도를 그림 1에 나타냈다. 오염물질별 연간 총 배출량을 산출하기 위해서는 먼저 철도 차량 중 디젤차량의 보유대수를 파악한다. 그리고, 차종별, 노선별 철도 디젤차량에 의한 연료사용량을 Line-Haul 및 Switch 두 가지 모드로 구분하여 계산한다. 이렇게 계산된 연료사용량 자료에 미국 EPA의 배출율을 곱하여 차종별, 노선별 연간 배출율을 계산한 후 Line-Haul 및 Switch 두 가지 모드에 대해서 오염물질별 연간 총 배출량(metric-ton/year)을 계산한다.

3.2 철도 디젤차량 보유대수

현재 우리나라에서 운용되고 있는 디젤기관차는 견인마력에 따라 소형, 중형, 대형, 특대형으로 나눌 수 있다. 이 중 소형은 2000~3000대로 주로 입환(switching)용에 사용되고 중형과 대형은 각각 4000대와 5000~6000대로 화물용에 특대형은 7000대로 여객용으로 주로 사용된다. 디젤기관차 보유대수는 '99년말 기준으로 총 491대로 이중 2000대는 38대, 3000대는 75대, 4000대는 42대, 7000대는 336대로 7000대가 전체 디젤기관차의 대부분을 차지하고 있다.

3.3 연간 연료사용량

표 3은 경부선(서울-부산), 중앙선(청량리-경주) 등 전국 39개 철도노선 2977.1 km에서 철도 디젤차량 중 디젤기관차, 일반동차, 특수동차 등을 일년동안 운행하여 누적된 열차키로 및 연료사용량 등을 나타낸 것이다. 표에서 연간 총 연료사용량은 31,881 kl이며, 디젤기관차가 전체의 약 78%로서 전체 연료사용량의 대부분을 차지하는 것으로 조사되었다.

표 4는 차종별로 누적한 일년 동안의 값이며, 구분에서 여객은 새마을, 무궁화, 통일, 비둘기, 건설객, 혼합, 소화물, 회송(객) 등이 포함된다. 화물에는 일반화물, 건설화물, 공사가 해당되며, 기타에는 단행, 입환, 시운전, 보기, 피제어, 기관차감시 등에 의한 운행실적과 연료사용량이 포함되어 누적된 값이다. 구분에서 각 항목별 연료사용량의 분담율은 여객이 전체의 48%, 기타가 27.7%, 그리고 화물이 24.3%를 차지하여 여객의 비중이 가장 높았다. 표 3과 4의 전체 합계에서의 차이는 증기기관차 등이 노선별 자료에는 포함되지만 차종별 자료에서는 누락이 되기 때문이다.

노선별 및 차종별 연료사용량을 Line-Haul과 Switch로 구분하여 연료사용량에 미국 EPA의 배출율을 적용했다. 차종별 연료사용량은 여객, 화물 및 기타로 명확하게 구분이 되어 여객과 화물은 Line-Haul에 해당되므로 Line-Haul의 배출율 값을 적용하고, 기타는 Switch의 배출율을 적용했다. 그러나 노선별 연료사용량은 Line-Haul과 Switch의 구분이 모호하여 차종별 연료사용량에서 Line-Haul 및 Switch의 비율을 파악한 후 그 값을 노선별 연료사용량 비율로 대체하여 사용했다.

4. 배출량 산정

4.1 노선별 배출량

국내 39개 노선에 대한 대기 오염물질 배출량 계산 결과를 표 5에 나타냈다. 표에서와 같이 Line-Haul 및 Switch로 구분하여 배출량을 산정하고, 39개 노선별 배출량을 계산했다. 경부선에서의 연간 탄화수소 배출량은 Line-Haul 모드에 의해서는 332.9 short-ton, Switch 모드에 의해서는 319.0 short-ton으로 연간 총 탄화수소 배출량은 651.9 short-ton으로 나타났다.

표 3. 노선별 철도 디젤차량 운행실적 (1999년말 기준)

구 분	열차키로 (TRN-km)	기관차키로 (ENG-km)	연료사용량 (l)	운전시간
합 계	76,823,406.6	212,142,279.8	318,811,445	4,728,804
디젤기관차	61,684,709.0	77,956,063.6	250,299,191	2,897,413
일반동차	4,901,933.8	19,115,775.4	16,259,127	478,226
특수동차	10,236,763.8	115,070,440.8	52,253,127	1,353,165

표 4. 차종별 철도 디젤차량 운행실적 (1999년말 기준)

구 분	열차키로 (TRN-km)	기관차키로 (ENG-km)	연료사용량 (l)	운전시간
합 계	76,870,477.0	212,228,017.3	318,728,405	4,729,466
여 객	56,351,933.7	56,351,933.7	153,106,451	858,602
화 물	20,498,051.3	20,498,051.3	77,585,433	655,002
기 타	20,492.0	135,378,032.3	88,036,521	3,215,862

표 5. 차종별 철도 디젤차량 배출량

구 분	연료사용량	배출율(short-ton/year)			
		HC	CO	NOx	PM
합 계	318728405	1208.3	2761.7	27411.5	681.0
여 객	153106451	444.6	1185.7	12041.8	296.4
화 물	77585433	225.3	600.8	6102.1	150.2
기 타	88036521	538.4	975.2	9267.6	234.4

39개 전 노선에서 Line-Haul 모드에 의해 배출되는 연간 탄화수소 배출량은 669.7 short-ton, Switch 모드에 의한 배출량은 539.3 short-ton으로 전체 총 탄화수소 배출량은 1,209.1 short-ton 이 배출되는 것으로 나타났다. 전체 배출량 중 경부선의 비중이 높은 것으로 조사되었다. 탄화수소의 경우 전체 669.7 short-ton 중 332.9 short-ton을 배출하여 50% 가량을 차지하며, 경부선 다음으로 호남선, 중앙선에서의 배출이 많은 것으로 나타났다.

4.2 차종별 배출량

여객, 화물 및 기타에 대한 연료사용량을 근거로 대기오염물질 배출량을 산출했다. Line-Haul에 해당되는 여객 및 화물의 연료사용량에 Line-Haul의 배출계수를 적용하여 배출율을 계산했다. 전체 배출량은 탄화수소가 1208.3 short-ton, 일산화탄소가 2761.7 short-ton, 질소산화물이 27411.5 short-ton, 입자상물질이 681 short-ton로 나타났다. 각 물질별 Line-Haul 모드 및 Switch 모드의 배출비율은 탄화수소의 경우 Line-Haul에 의한 연간 총 배출량은 669.9 short-ton, Switch에 의한 연간 총 배출량은 538.4 short-ton로 철도 디젤차량에 의해서 연간 총 1208.3 short-ton의 탄화수소를 배출하는 것으로 나타났다. 표에서 여객에 의한 배출량이 화물에 의한 것보다 약 2배 가량 높다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

최근 디젤기관에 의한 대기오염이 심각해지면서 선진국을 중심으로 비도로용 차량에 대한 배출가스 규제기준이 강화되고 있다. 본 논문에서는 철도 차량에 대한 배출량을 각 오염물질별로 계산한 결과를 요약하였다. 배출량은 Line-Haul 및 Switch로 구분되어 있는 미국 EPA의 배출율 자료와 철도 디젤차량의 연료사용량을 근거로 산출하였으며, 노선별 및 철도 디젤차량 차량종류별로 분류하여 산정하였다.

연구결과 전체 배출량 중 경부선의 비중이 높았으며, 탄화수소의 경우 전체 669.7 short-ton 중 332.9 short-ton을 배출하여 50% 가량을 차지하는 것으로 나타났다. 경부선 다음으로 호남선, 중앙선에서의 배출이 많은 것으로 나타났다. 차량종류별로 배출량을 계산할 결과 여객에 의한 배출량이 화물에 의한 것보다 약 2배 가량 높다는 것을 알 수 있다.

본 논문은 철도차량에 의해 연간 배출되는 대기오염물질의 배출량을 새로운 방법으로 산출한 것으로서 향후 지속적인 연구로 배출계수 및 배출율을 실제 국내에서 측정한 자료를 활용하여 배출량 예측의 정확도를 높여나가고자 한다.

참고문헌

- [1] 철도청(1995), 디젤기관차 검수지침서.
- [2] 환경부(2000), 환경통계연감.
- [3] 정일록, 엄명도, 류정호, 임철수(1999), "비도로용 건설기계의 오염물질 배출량 산정에 관한 연구," 한국대기환경학회지 제 15권 제3호, pp. 317~325.
- [4] 한국철도기술연구원(1997), "디젤기관의 배출가스 대기오염 현황 및 저감방안에 관한 연구".
- [5] Ugur Kesgin and Nurten Vardar(2001), "A Study on Exhaust Gas Emissions from Ships in Turkish Straits," Atmospheric Environment Vol. 35 pp 1863-1870.
- [6] US. EPA(1997), "Technical Highlights-Emission Factors for Locomotives," EPA420-F-97-051.
- [7] David, B. Kittleson(1998), "Engines and nanoparticles," J. Aerosol Sci. Review Vol. 29, pp. 575~585.
- [8] US. EPA(1988), "Compilation of Air Pollutant Emission Factors(Revised)," US. EPA. Research Triangle Park, NC.