한국환경과학회지 제10권(제6호), 407~415, 2001
*J. of the Korean Environmental Sciences Society*

# 부산광역시에서 철도차량 배출원에 의한 오염물질 배출량 산정

이 화 운 · 김 유 근 · 김 희 만* · 박 종 길** · 장 난 심 · 이 희 령*
부산대학교 대기과학과, *부산대학교 환경시스템학과, **인제대학교 환경시스템학부
(*2001*년 *5*월 *30*일 접수; *2001*년 *11*월 *23*일 채택)

# Estimation of emission rate for railroad rolling stock sources in Busan Metropolitan City

**Hwa-Woon Lee, Yoo-Keun Kim, Hee-Man Kim*, Jong-Kil Park**, Nan-Sim Jang and Hee-Reong Lee***

*Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*
**Dept. of Environmental System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*
***School of Environmental Science Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea*
*(Manuscript received 30 May, 2001; accepted 23 November, 2001)*

A case of air pollution study of estimation of emission rate for source to railroad rolling stock and emissive character about is unusual. Recent emission rate of railroad rolling stock was estimated with emission factor of EPA in three region(Seoul, Incheon, and Gyeonggido). But this EPA factor could be incorrect because Korea and America have a different railroad environment in the variety of fuel and character of railroad rolling stock. In this study, emission rate of each line, car and region(district) with emission factor of Korean case(National Railroad Administration, 1997) was estimated. In Busan Metropolitan City, railroad rolling stocks were divided accoding to, each line, car and service. Particularly, the idle fuel rate omitted in the preceding study was included in calculation fuel rate. Total emission rate of Busan Metropolitan City was 887.41t/year. Each emission rates of Kyeongbu line, Donghaenambu line, Gaya line, Uam line, Bujeon line, and idle was 489.15t, 196.46t, 33.94t, 12.66t, 6.47t, and 148.72t, respectively.

Key words : rolling stock, emission rate, railroad line, service cars, emission factor, idle, National Railroad Administration

## 1. 서 론

디젤기관은 열효율이 높기 때문에 차량용, 선박용, 발전용 및 산업용 등의 원동기로서 폭넓게 이용되고 있다. 또한 1973년 에너지 파동 이후로 에너지 절약이 심각한 사회문제로 대두되자, 각 국에서는 고출력 · 고효율의 디젤기관에 대한 연구가 활발히 진행되어 연료 분사계의 고속화와 연료실의 개선으로 버스, 트럭과 같은 대형차량 뿐만 아니라 중 · 소형차량 및 소형 승용차에까지 디젤기관이 이용되고 있다. 그러나 최근에 도로 교통에 의한 교통량의 증가로 인해 배기가스의 배출량이 급격히 증가함에 따라 대기오염이 심각한 사회문제로 대두되자, 각 국에서는 대기오염 규제법을 강화하고 있으며, 특히 대기오염의 주 요인으로 디젤기관의 매연 배출물이 주목받고 있다[1].

디젤기관에서 배출되는 화학물질은 1,000여종이 넘는 것으로 추정되며 확인된 물질만도 100여종이 넘으나 대기환경보전법으로 규제되고 있는 물질은 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소, 입자상물질 및 매연 등이 있다.

배출가스에 포함되는 질소산화물은 광화학스모그와 산성비를 내리게 하는 주요 요인이며, 매연 등의 입자상물질은 그 입자가 미세하고 많은 화학 물질을 함유하고 있기 때문에 시정 악화에 따른 대기질

Corresponding Author; Hwa-Woon Lee, Dept. of Atmospheric Sciences., Pusan Nat'l Univ., Busan 609-735, Korea
Phone : +82-51-510-2292
E-mail : hwlee@pusan.ac.kr

저하, 호흡기 질환이나 폐암 발생 등과 같은 건강상의 피해 그리고 재산상의 피해 등을 유발하여 건강과 환경의 주요 관심 사항으로 부각되고 있는 실정이다. 이러한 우려에도 불구하고 디젤차량의 사용이 계속 증가하면서 많은 선진국에서는 디젤차량의 배출허용기준을 강화하고 있다[2].

특히, 우리나라는 디젤차량의 보유 비율이 높고 일일 주행거리가 길어 디젤차량에서 배출되는 오염물질 중 입자상물질과 질소산화물 등에 의한 대도시 대기오염 피해가 급증하고 있다. 현재 철도청에서 운행되고 있는 철도 동력차의 50% 가량이 경유를 연료로 사용하고 있으며, 연간 경유 사용량이 350,000kℓ로서 여기서 배출되는 질소산화물, 입자상물질 및 기타 CO, HC 등의 양은 적지 않은 편이다. 특히, 매연은 디젤차량이 가솔린 차량보다 훨씬 많다는 것이 여러 연구결과에서 밝혀진 바 있다[3].

가솔린이나 LPG를 연료로 사용하는 자동차나 버스 등 다른 운송기관은 삼원촉매장치와 같은 효율적인 저감장치가 개발되어 유해배출가스를 90% 이상 제거할 수 있지만 디젤차량 특히 철도 디젤차량은 아직까지 배출가스 저감장치를 개발하지 못한 상태이다[4].

철도청에서는 1999년 말 현재 전국적으로 1,328대의 디젤차량을 운행하고 있으며, 이중 디젤기관차가 491대, 새마을호형 디젤동차(push-pull rail car; PP) 436대, 무궁화호형 디젤동차(new diesel car; NDC) 43대, 통일호형 디젤동차(city diesel car; CDC) 131대, 일반형 1대, 발전차 221대, 기타 5대의 디젤차량을 운행하고 있다. 철도청 부산지역사무소에서는 146대의 배속 디젤차량을 관리하고 있는데, 디젤기관차 85대, PP 26대, NDC 9대 그리고 CDC 26대를 관리하고 있다[5]. 그러므로 철도 디젤차량에 대한 유해대기오염물질 배출량을 정확히 파악하고 이를 저감시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 시급한 실정이다.

최근 들어 대기보전에 관한 연구와 관심의 증가로 인하여 점, 선, 면 오염원에 대한 많은 연구 결과들이 발표되어 지고 있다. 특히 지역별로 자동차, 항공기, 선박 등의 특정적인 교통수단에 따른 대기오염 배출량과 배출 특성도 많이 연구되고 있다. 그러나 아직까지 철도차량 배출원에 의한 배출량의 산정과 배출 특성에 따른 대기오염 영향에 대한 연구사례는 매우 드물다. 게다가 최근 들어 서울특별시[6], 인천광역시[7], 경기도[8] 등에서 대기질 개선 5개년 계획의 일환으로 발표한 철도차량의 배출원에 따른 배출량 산정은 미국의 EPA에서 제시한 배출계수(1985)를 검토 없이 이용하였다. 이것은 우리나라와 미국과의 철도 환경의 상이함, 즉 연료의 다양성과 철도차량의 특성 등에 비춰볼 때 합리적이지 못하다고 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 부산광역시에서 운행하는 철도 차량을 철도 노선별, 운행 차종별, 운행 방법 등에 따라 상세하게 나누어 우리 실정에 맞는 배출계수를 활용하여 부산광역시의 철도 차량에 의한 배출량을 산정 하고자 한다. 그리고 구별로 배출량을 산정 하여 철도차량으로 인한 각 구별 오염도를 파악하고자 한다.

또한 전체 배출량에 대한 철도 배출원에 의한 기여도와 특성을 파악한 뒤 부산광역시 대기오염 저감방안의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 배출량 산정방법

### 2.1 철도차량 배출계수

우리나라 철도차량에 대한 실측 배출계수를 Table 1에 나타내었다. Table 1과 같이 미국의 철도차량 배출계수와 우리나라 철도청 실측 배출계수가 상이하게 나타난 이유로는 연료의 이질성 때문이다. 환경청은 미국의 전미기관차 평균배출계수[9, 19]를 여과 없이 인용하여 우리나라 철도차량 배출계수[10]로 제시한바 있다. 철도청의 $SO_2$ 배출계수가 미국철도의 배출계수보다 낮은 것은 철도청의 저유황경유(1995년 이후 유황함량 0.1%이하 경유사용) 사용 정책의 결과인 것으로 판단된다. 그리고 디젤기관차의 배출계수가 높게 나타난 것은 디젤기관차의 주 수입지가 미국이긴 하지만 디젤기관차 평균차령이 18.9년으로 총 디젤기관차 보유 487대 중 내구연한 25년을 넘긴 기관차가 178대로 전체 대비 36.55%에 기인한 것으로 본다.

또한, PP동차, NDC 그리고 CDC동차의 배출계수가 디젤기관차의 배출계수에 비하여 낮게 실측된 것은 평균차령이 6.9년으로 디젤기관차에 비하여 비교적 신차이며, 내구연한 20년으로 짧은데 기인한 것으로 생각된다.

Table 1. Comparison with emission factors of each locomotive.

[Unit : kg/$10^3$ ℓ]

| Classification \ Pollutant | NOx | CO | HC | $SO_2$ | PM |
|---|---|---|---|---|---|
| EPA, U.S.A, 1985 | 44.00 | 16.00 | 11.00 | 6.80 | 3.00 |
| Diesel locomotives | 64.36 | 26.36 | 10.66 | 1.64 | 4.16 |
| PP car(Seamaul) | 37.75 | 15.07 | 6.20 | 1.08 | 2.68 |
| NDC & CDC car (Mugunghwa, Tongil) | 15.69 | 5.87 | 1.22 | 0.43 | 1.14 |
| Generation car | 28.39 | 8.74 | 2.02 | 0.39 | 1.89 |

2.2 산정범위

부산광역시의 철도차량에 의한 배출량을 보다 정확히 산정하기 위하여 철도청 CTC사령실(Centralized Traffic Control)에서 사용중인 철도열차운행시각표[11]를 이용하여 Fig. 1과 같이 부산시내의 노선별 통과 및 시·발착 열차 전량에 관하여 노선별, 구별로 data화하여 산정 하였으며, 보선업무자료[12]중의 선별 행정구역표와 열차운전시행절차[13]중의 선 구간 거리표, 한국철도영업거리(표)[14]를 사용하여 각 열차들의 운행거리를 정확하게 산정 하였다.

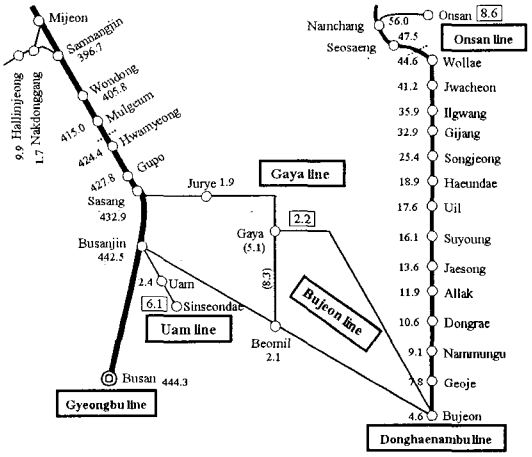


Fig. 1. Line map of railroad in Busan metropolitan city.

2.3. 산정절차

이 연구에 있어서 철도차량 배출량 산정의 절차는 Fig. 2에서와 같이 노선별 배출량과 구별 배출량으로 각각 구분하였는데, 보다 정확한 산정을 하기 위하여 Fig. 2에 나타내지 않은 열차의 공회전과 발전차의 운행에 따른 배출량도 산정에 포함하였다.

노선별 산정은 먼저 산정대상 노선을 정한 후 운행차량을 조사하고 각 차량의 부산시 구간의 노선별 운전거리를 산정 한 후 주간 및 연간 운전거리를 고려하여, 이를 토대로 연간 연료 사용량을 산정 하였다. 여기에 오염물질계수를 이용하여 오염물질별 배출량, 노선별 배출량 및 부산시 총 배출량을 산정 하였다.

각 구별 산정은 산정대상 구를 선택한 후 운행차량을 조사하고 각 차량의 구별 운전거리를 산정 하여 노선별과 같은 절차를 거쳐 구별 배출량을 산정 하였다.

2.3.1 운행 열차조사

철도청에서 운행 중인 전체 열차 중 부산시 경계를 고려하여 부산시내에서 움직이는 열차를 철도청 발행 열차운행시각표[11]를 사용하여 운행회수 및 시간에 따라 전량을 조사하여 자료화하였다. 부산시내에서 움직이는 열차의 종류는 Table 2와 같이 수송목적에 따라 여객용 및 화물용 열차로 분류하며, 세분하여 여객용은 속도 및 정차회수, 서비스 수준에 따라 새마을, 무궁화, 통일호로 나누고, 화물열차는 화물의 종류에 따라 일반화물, 콘테이너 그리고 소화물의 세 종류로 나누었다.

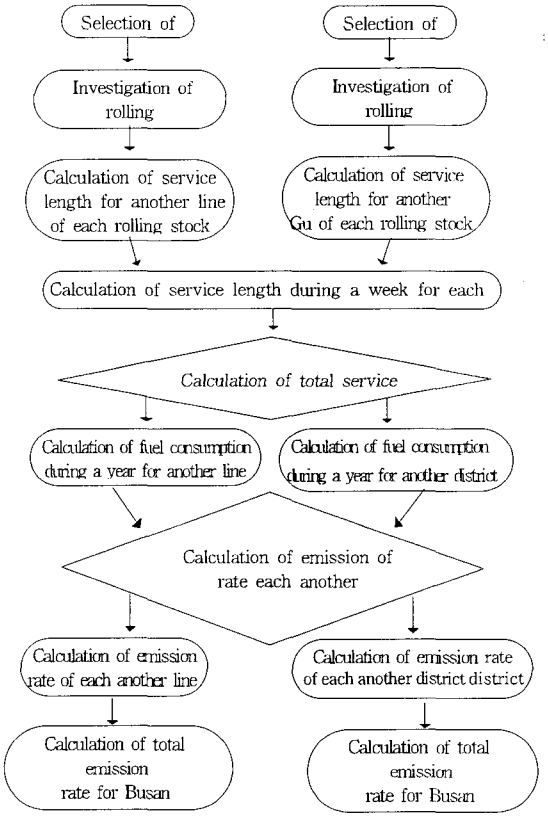


Fig. 2. Flow chart for estimation of emission rate.

Table 2. Train service in Busan metropolitan city.

| Classification | Train name |
|---|---|
| Passenger train | Seamaul, Mugunghwa, Tongil |
| Freight train | Ordinary Freight, Container, Package |

2.3.2 노선별 통행량과 오염물질 발생량 산정방법

부산시내 철도노선을 철도청의 영업거리(표)[13]의 구분에 따라 경부선, 동해남부선, 가야선, 부전선 그리고 우암선으로 나누어 운행열차 및 일 운행회수를 구하고, 주간, 월 그리고 년간운행거리를 파악하

였다. 여기에 '99철도통계연보[5]을 이용하여 구한 각 기관차 종류별 1㎞ 운행 당 연료 사용량(기 1㎞)을 곱한 후 월, 연간 연료 사용량을 산정 하였다.

이때 정확한 산정을 위하여 공회전 시의 연료 사용량도 철도통계연보를 이용하였고, 발전차의 사용에 따른 연료 사용량도 철도청부산차량사무소에 의뢰하여 실 연료 사용량을 산출하였다. 이상에서 산출된 연료 사용량에 철도청에서 제시한 철도차량 배출계수를 사용하여 총 배출량을 산정 하였다.

Table 3은 각 노선별 일일 열차운행 회수를 나타내고 있는데 경부선이 210회로 가장 많았으며, 동해남부선이 68회, 가야선 41회, 부전선 24회 그리고 우암선 14회로 가장 적었다.

Table 4는 부산시 소재의 철도 선로별 길이를 나타내는데, 동해남부선이 46.70㎞로 가장 길었으며, 경부선 24.62㎞, 가야선 8.30㎞, 우암선 6.10㎞ 그리고 부전선 2.20㎞로 조사되었으며, 부산시내의 총 철도선로 길이는 87.92㎞ 이었다. 동해남부선이 경부선보다 약 2배정도 길었다.

Table 5는 각 노선별 연간 연료 사용량을 나타내는데, 경부선 5,425t, 동해남부선 2,047t, 공회전 1,920t, 가야선 319t, 우암선 118t 그리고 부전선 62t 이었으며, 총 연료 사용량은 9,891t이다. 경부선의 철도노선 길이는 동해남부선의 1/2 정도이지만 복선철도로 동해남부선보다 많은 차량이 통행함으로서 연료 사용량은 약 2.7배나 되었고, 공회전 시의 연료 사용량은 가장 적은 연료 사용량인 부전선의 31배나 되므로 공회전 때의 연료 사용량도 배출량 산정에 있어 반드시 포함되도록 하여야 한다.

Table 6은 기관차 종류별 연간 연료 사용량을 나타내는데, 디젤기관차가 6,950t, 새마을형 PP동차 1,350t, 발전차 1,117t 그리고 무궁화 및 통일호형의 NDC, CDC 동차가 474t으로 총 9,891t의 연료를 소비하였다.

Table 7은 기관차 종류별 1㎞ 운행 당 연료 사용량(기 1㎞)을 보여주는데, 일반화물 견인 디젤기관차가 가장 높은 3.79ℓ이며, 무궁화형 동차인 NDC가 0.78ℓ로 가장 낮았다.

Table 3. Daily service number of times of each line.

| Train / Line | Seamaeu | Mugunghwa | Tongil | Freight | Package | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gyeongbu | 42(2) | 96(8) | 16 | 48 | 8 | 210 |
| Donghae -nambu | 2 | 12 | 36 | 16 | 2 | 68 |
| Gaya | 2 | | 8 | 31 | | 41 |
| Bujeon | 2 | | 8 | 14 | | 24 |
| Uam | | | | 14 | | 14 |

※(Number) : A regular of weekend

Table 4. The length of each railroad in Busan metropolitan city.

| Classification | Gyeongbu | Donghae -nambu | Gaya | Bujeon | Uam | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Length(㎞) | 24.62 | 46.70 | 8.30 | 2.20 | 6.10 | 87.92 |

Table 5. The rate fuel consumption of each line.

| Classification | Gyeongbu | Donghae -nambu | Gaya | Bujeon | Uam | Idle | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fuel use (kℓ/year) | 5,424.99 (Gen : 454.06) | 2,046.60 | 319.38 | 61.57 | 118 | 131,919.87 | 9,890.54 |

Table 6. The rate fuel consumption for a classification of locomotive

| Classification | Diesel loco. | PP rail car | NDC, CDC rail car | Genera-tion car | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Fuel use (kℓ/year) | 6,949.59 | 1,350.01 | 473.76 | 1,117.19 | 9,890.55 |

Table 7. The rate fuel consumption of each locomotive 1㎞.

| Class. | Diesel locomotive | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Saemaeul | Mugung hwa | Tong-il | Package | Ordinary Freight |
| Fuel use (ℓ/㎞) | 3.17 | 3.15 | 3.07 | 3.33 | 3.79 |

| Class. | Other rail car | General rail car | |
|---|---|---|---|
| | Saemaeul (P.P) | Mugunghwa (NDC) | Tong-il (CDC) |
| Fuel use (ℓ/㎞) | 1.76 | 0.78 | 0.83 |

2.3.3 각 구별 통행량과 오염물질 발생량 산정방법

부산시내의 철도 노선별 길이를 파악한 후 각 행정구별 철도노선 길이를 철도청 발행 보선업무자료상[11]의 선별행정구역표와 한국철도영업거리(표)[13]를 사용하여 각 구별 운행열차 및 일 운행회수를 구하고, 주간 및 월, 년간운행거리를 파악하였다. 여기에 '99철도통계연보[5]를 이용하여 각 기관차 종류별 1㎞ 운행 당 연료 사용량을 곱한 후 월, 연간 연료 사용량을 구하였다.

공회전 시의 연료 사용량은 철도통계연보를 이용하여 구별로 해당사항에 따라 합산하였고, 발전차의 연료 사용량은 노선별 자료를 이용하여 각 구별로 세분하여 합산하였다. 그리고 공회전에 따른 연료 사용량의 산정은 차량의 검사 · 수리업무(이하, 검수업무)를 하는 장소가 위치한 진구 및 중구의 발생량에 각각 포함하였다. 이에 철도청에서 제시한 철도차량 배출계수[12]를 사용하여 각 구별 총 배출량을 산정 하였다.

Table 8은 부산시의 행정구별 철도선로의 길이를 보여주는데, 기장군이 20.1㎞로 가장 길며, 다음은 부산진구로 14.18㎞, 해운대구 13.85㎞, 사상구 11.15㎞, 북구 9.87㎞, 동구 7.60㎞, 남구 4.80㎞, 연제구 3.52㎞ 그리고 동래구가 2.85㎞로 가장 짧았다. 그러나 경부선구간은 복선구간이므로 부산진구가 가장 긴 선로를 보유하고 있으며, 철도선로가 지나가지 않는 구는 강서구, 금정구, 영도구, 사하구, 서구, 수영구 그리고 중구였다.

Table 9는 각 구별 일일 열차운행 회수를 나타내고 있는데, 4개 선로를 가진 부산진구가 280회로 가장 많으며, 다음이 동구로 246회이고 화물 수송 선로인 우암선 만을 가진 남구가 14회로 가장 적었다.

Table 10는 각 구별 연간 연료 사용량을 나타내는데, 북구가 11,927t으로 가장 많았으며, 남구가 464t으로 가장 적었다.

Table 8. Length of railroad line in of each District.

| District | Length of line(㎞) | District | Length of line(㎞) |
|---|---|---|---|
| Gangseo | 0.00 | Youngdo | 0.00 |
| Geumjeong | 0.00 | Yeonjae | 3.52 |
| Gijanggun | 20.10 | Sasang | 11.15 |
| Nam | 4.80 | Saha | 0.00 |
| Dong | 7.60 | Seo | 0.00 |
| Dongnae | 2.85 | Suyoung | 0.00 |
| Busanjin | 14.18 | Jung | 0.00 |
| Buk | 9.87 | Haeundae | 13.85 |

Table 9. Daily service number of times of each District.

| Train / District | Saemaeul | Mugunghwa | Tongil | Freight | Package | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gangseo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Geumjeong | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gijanggun | 0 | 12 | 18 | 16 | 2 | 48 |
| Nam | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 14 |
| Dong | 44 | 114 | 34 | 44 | 10 | 246 |
| Dongnae | 2 | 12 | 36 | 16 | 2 | 68 |
| Busanjin | 46 | 116 | 44 | 64 | 10 | 280 |
| Buk | 46 | 104 | 16 | 59 | 8 | 233 |
| Youngdo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Yeonjae | 2 | 12 | 36 | 16 | 2 | 68 |
| Sasang | 46 | 104 | 16 | 64 | 8 | 238 |
| Saha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Seo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Suyoung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Haeundae | 2 | 12 | 36 | 16 | 2 | 68 |

Table 10. The rate fuel consumption of each District.

| District | Fuel use (kℓ/year) | District | Fuel use (kℓ/year) |
|---|---|---|---|
| Gangseo | 0.00 | Youngdo | 0.00 |
| Geumjeong | 0.00 | Yeonjae | 940.50 |
| Gijanggun | 4,100.85 | Sasang | 8,529.26 |
| Nam | 464.78 | Saha | 0.00 |
| Dong | 4,530.43 | Seo | 0.00 |
| Dongnae | 761.48 | Suyoung | 0.00 |
| Busanjin | 8,112.74 | Jung | 6,835.40 |
| Buk | 11,927.26 | Haeundae | 3,273.11 |
| Total | | | 49,475.81 |

## 3. 오염물질 배출량 산정결과 및 분석

### 3.1 노선별 오염물질 배출량 산정

Table 11은 각 노선별 오염물질 총 배출량과 배출비율을 나타낸 것이다. 부산시의 철도차량 운행으로 인한 총 오염물질 배출량은 연간 738.69t(검수업무에 따른 공회전 배출량 제외)이었으며, 경부선이 연간 489.15(66.22%)t으로 가장 많았고, 다음은 동해남부선이 196.46(26.60%)t, 가야선 33.94(4.59%)t, 우암선 12.66(1.71%)t 그리고 부전선 6.47(0.88%)t으로 나타났다. 이것은 차량의 통행량과 선로의 길이에 비례한 결과로 생각되나 우암선의 경우는 선로길이가 부전선 보다 길기도 하지만, 중대 화물을 주로 운반하는 선로로 연료소모량이 여객 및 화물을 주로 운반하는 부전선 보다 많기 때문인 것으로 생각된다.

Table 11. Emission rate of each line.

| Classification | Gaya | Gyeongbu | Donghae-nambu | Bujeon | Uam | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Emission rate (ton/year) | 33.94 | 489.15 | 196.46 | 6.47 | 12.66 | 738.68 |
| Emission ratio (%) | 4.59 | 66.22 | 26.60 | 0.88 | 1.71 | 100.00 |

Table 12는 노선별 각 오염물질별 배출량을 나타내는데, $NO_X$, CO, HC, $SO_2$ 그리고 PM 모두에서 경부선이 타 노선보다 많은 오염물질을 배출하였다. 그 비율을 살펴보면 동해남부선에 비하여 2.5배, 가야선 대비 14.4배, 우암선 대비 38.7배 그리고 부전선 보다 75.8배 많았다. 이것은 통행량과 연료 사용량, 배출계수에 의한 결과이며 특히 $NO_X$가 가장 높은 배출량을 나타낸 것은 $NO_X$ 배출이 엔진의 온도

에 따른 변수가 원인인 것으로 사료된다. 왜냐하면, 경부선은 고속차량으로 분류되는 새마을 및 무궁화 차량을 주축으로 운행되는 노선으로 디젤기관차 및 새마을 PP동차 등의 기관의 배출온도가 타 노선에 비하여 높기 때문이다.

Table 12. Emission rate of each pollutant according to lines.

[Unit : ton/year]

| Class. | $NO_X$ | CO | HC | $SO_2$ | PM | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gaya | 20.38 | 8.35 | 3.38 | 0.52 | 1.32 | 33.95 |
| Gyeongbu | 293.97 | 120.05 | 48.39 | 7.57 | 19.17 | 489.15 |
| Donghae -nambu | 118.26 | 48.28 | 19.22 | 3.02 | 7.68 | 196.46 |
| Bujeon | 3.89 | 1.59 | 0.64 | 0.10 | 0.25 | 6.47 |
| Uam | 7.60 | 3.11 | 1.26 | 0.19 | 0.49 | 12.65 |
| Total | 432.61 | 176.68 | 70.99 | 13.110 | 28.17 | 719.56 |

3.2 기관차 종류별 오염물질 배출량 산정결과

기관차 종류별 오염물질 총 배출량 산정은 각 노선별 오염물질 총 배출량 산정 시 제외된 차량 검수작업에 따른 공회전 때의 배출량을 고려하여 오염물질 총 배출량을 산정 하였다. 그 결과 Table 13과 같이 부산시내의 철도차량 운행에 의한 총 오염물질 배출량은 연간 887.43t 이었으며, 디젤기관차에 의한 것이 연간 744.86t으로 가장 많았고, 다음은 새마을호 기관차인 PP동차가 84.756t, 발전차가 46.29t 그리고 무궁화 및 통일호 동차인 NDC, CDC가 11.54t으로 나타났다.

디젤기관차에 의한 배출량이 많은 이유는 철도청 보유 디젤차량 중 디젤기관차가 가장 많은 것에 기인하며, 더구나 철도의 가장 높은 교통 분담율을 가지는 무궁화호 여객열차 및 화물열차의 기관차가 모두 디젤기관차이기 때문이다. 또한, 발전차의 배출량보다 NDC, CDC 동차의 배출량이 적은 이유는 이들 동차의 배출계수가 발전차의 배출계수에 비하여 비교적 적은 계수를 가지기 때문이며, 또 차종별 평균 차령이 디젤기관차 18.9년, 동차 6.9년 그리고 발전차 10.9년의 차령으로 차령이 적은 것에도 기인한 것으로 생각된다.

Table 14는 기관차 종류별 각 오염물질 배출량을 보여주는데, 특히 디젤차량의 $NO_X$ 가 447.28t, CO 가 183.19t으로 최고를 나타내는 이유는 디젤기관차가 동차에 비하여 장거리 수송에 이용되어 디젤기관의 온도에 영향을 받을 뿐만 아니라, 차량의 엔진 성능이 떨어짐에 기인한 것이라고 생각된다. 반면, 많은 보유 대수에도 불구하고 새마을형 PP동차의 오염물질별 배출량이 상대적으로 적게 나타난 것은 수입에 의존하던 디젤기관차를 국산화하면서 오랫동안 엔진 성능 향상을 위해 연구한 바람직한 결과라고 사료된다.

Table 13. Emission rate of each locomotive.

| Classification | Diesel loco. | PP rail car | NDC, CDC rail car | Generation car | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| Emission rate (ton/year) | 744.86 | 84.75 | 11.54 | 46.26 | 887.41 |
| Emission ratio (%) | 83.94 | 9.55 | 1.30 | 5.21 | 100.00 |

Table 14. Emission rate of each pollutant according to locomotives.

[Unit : ton/year]

| Class. | $NO_X$ | CO | HC | $SO_2$ | PM | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Diesel loco | 447.28 | 183.19 | 74.08 | 11.40 | 28.91 | 744.86 |
| PP rail car | 50.96 | 20.34 | 8.37 | 1.46 | 3.62 | 84.75 |
| NDC, CDC rail car | 7.43 | 2.78 | 0.58 | 0.20 | 0.54 | 11.53 |
| Generation car | 31.72 | 9.76 | 2.26 | 0.44 | 2.11 | 46.29 |
| Total | 498.24 | 203.53 | 82.45 | 14.86 | 32.53 | 829.61 |

3.3 구별 오염물질 배출량 산정결과 및 분석

각 구별 오염물질 총 배출량 산정은 기관차 종별 오염물질 배출량 산정에서와 같이 검사 · 수리작업의 공회전 때의 배출량을 고려하여 실제 오염물질 총 배출량을 산정 하였다.

부산시의 각 구별 철도차량의 오염물질 배출량 산정결과는 Table 15와 같이 연간 887.92t이었는데, 기관차 종별 오염물질 배출량 산정결과와 소수점 이하 단위에서 미소한 차이를 보인 이유는 철도청에서 사용하는 한국철도영업거리(표)[13]와 보선업무자료[11] 중의 선별 행정구역표상의 약간의 차이점 및 소수점 이하의 반올림 문제로 판단된다.

구별 각 오염물질 배출량(비율)은 Table 15와 같이 북구가 연간 226.39t(25.50%)으로 가장 많았고, 다음은 사상구 163.03t(18.36%), 부산진구 158.95t (17.90%)으로 두 구는 비슷한 배출량을 나타냈으며, 동구가 82.30t(9.27%), 기장군 80.33t(9.05%), 중구 71.67t(8.07%), 해운대구 63.03t(7.10%), 연제구 17.83t (2.00%), 동래구 14.44t(1.63%), 남구 9.96t(1.12%)으

로 나타났다. 북구와 사상구 그리고 부산진구의 비율 합계가 61.76%나 되었다.

이상의 배출량 순위는 노선 길이와 통행량의 차이보다는 차종에 따라 결정되는 것으로 고속용 여객차량이 많이 통행하는 경부선 구간의 북구, 사상구, 부산진구 그리고 동구 순으로 많은 오염물질 배출량을 나타내었다.

동해남부선상의 구간에서는 선로 길이가 가장 긴 기장군이 가장 많았고, 선로가 가장 짧은 동래구가 가장 적은 것으로 나타났다.

전체적으로 볼 때 통행량과 선로길이, 고속용 차량운행 여부 등에 의해 구별 배출량이 결정되는 것으로 나타났다.

Table 15. Emission rate each of pollutant according to District.

| District | Emission rate (ton/year) | Emission ratio (%) | District | Emission rate (ton/year) | Emission ratio (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Gangseo | 0.00 | 0.00 | Youngdo | 0.00 | 0.00 |
| Geumjeong | 0.00 | 0.00 | Yeonjae | 17.83 | 2.00 |
| Gijanggun | 80.33 | 9.05 | Sasang | 163.03 | 18.36 |
| Nam | 9.96 | 1.12 | Saha | 0.00 | 0.00 |
| Dong | 82.30 | 9.27 | Seo | 0.00 | 0.00 |
| Dongnae | 14.44 | 1.63 | Suyoung | 0.00 | 0.00 |
| Busanjin | 158.95 | 17.90 | Jung | 71.67 | 8.07 |
| Buk | 226.39 | 25.50 | Haeundae | 63.02 | 7.10 |
| Total | | | | 887.92 | 100.00 |

Table 16은 구별 각 오염물질별 배출량을 나타내고 있는데, 경부선 구간의 북구에서 고속차량에 의해 배출된 $NO_X$가 136.67t으로 매우 많은 배출량을 나타내었으며, 사상구와 부산진구는 비슷하였고, 동구, 중구, 기장군, 해운대구, 연제구, 동래구 그리고 남구 순으로 나타났다. 중구의 경우는 운행 노선이 없는데도 불구하고 비교적 높은 배출량을 보인 것은 검사 및 수리업무 때의 공회전에 의한 배출량이 적지 않음을 보여준다.

CO, HC, $SO_2$ 및 PM도 북구가 가장 많았고, 사상구, 부산진구, 동구, 기장군, 해운대구, 연제구, 동래구 그리고 남구 순으로 적었는데, $NO_X$에 비하여 각 오염물질의 구별 발생 량의 차이가 적게 나타났다. 특히, $SO_2$의 차이가 가장 적게 나타난 이유는 1995년 이후 유황함량 0.1% 이하의 경유 사용에 따른 결과이다.

Table 16. Emission rate each of pollutant according to District.

[Unit : ton/year]

| Pollutant / District | $NO_X$ | CO | HC | $SO_2$ | PM | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gangseo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Geumjeong | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gijanggun | 48.34 | 19.75 | 7.88 | 1.23 | 3.14 | 80.34 |
| Nam | 5.98 | 2.45 | 0.99 | 0.15 | 0.39 | 9.96 |
| Dong | 49.77 | 20.08 | 7.94 | 1.26 | 3.25 | 82.30 |
| Dongnae | 8.69 | 3.55 | 1.41 | 0.22 | 0.57 | 14.44 |
| Busanjin | 95.78 | 38.95 | 15.57 | 2.43 | 6.23 | 158.96 |
| Buk | 136.67 | 55.31 | 22.04 | 3.46 | 8.91 | 226.39 |
| Youngdo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Yeonjae | 10.74 | 4.38 | 1.74 | 0.27 | 0.70 | 17.83 |
| Sasang | 98.39 | 39.85 | 15.89 | 2.49 | 6.41 | 163.03 |
| Saha | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Seo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Suyoung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jung | 45.40 | 16.40 | 5.70 | 1.02 | 3.14 | 71.66 |
| Haeundae | 37.93 | 15.49 | 6.17 | 0.97 | 2.46 | 63.02 |
| Total | 454.36 | 184.32 | 73.46 | 13.51 | 29.6 | 753.25 |

### 3.4 부산광역시의 선 오염원 배출량 비교

부산광역시 전체의 선 오염원에 의한 $NO_X$와 $SO_2$의 배출량[15~17]과 철도차량에 의한 배출량을 Table 17과 Fig. 3에서 보여주고 있는데, $NO_X$는 0.81%, $SO_2$는 0.11%를 기여하므로 수송분담율에 비하여 철도는 대기환경적으로 양호한 교통수단임을 알 수 있었고, $NO_X$ 및 $SO_2$의 두 오염물질을 합산하여 비교한 결과는 수송배출량 대비 0.71%의 적은 대기오염 기여율을 나타내었다. 따라서, 철도의 전철화는 반드시 이루어져야 되며, 아울러 정부의 관심과 투자도 증대시켜야 하며 세계적으로 제2의 부흥기[18]를 맞는 철도산업에 보다 과학적이고, 지속적인 연구가 필요하다고 할 수 있다.

Table 17. Emission rate of each pollutant($NO_X$, $SO_2$) in Busan metropolitan city.

| Pollutant | | Line sources | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Traffic | Shipping | Railroad | |
| $NO_X$ | Emission rate (ton/year) | 56,935.09 | 8,677.45 | 537.39 | 66,149.93 |
| $SO_2$ | Emission rate (ton/year) | 6,151.41 | 5,470.55 | 13.50 | 11,635.46 |
| Total | Emission ratio (ton/year) | 63,086.50 | 14,148.00 | 550.89 | 77,785.39 |

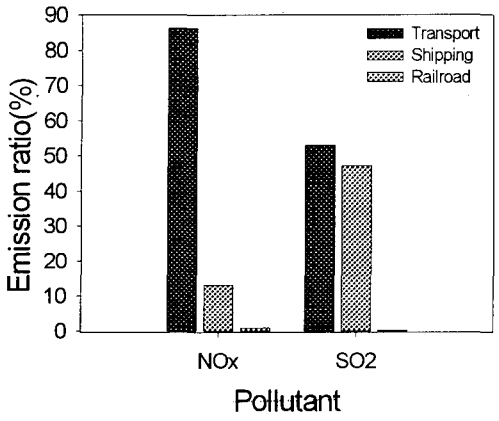


Fig. 3. Emission ratio each of pollutant($NO_X$, $SO_2$) with Busan metropolitan city.

## 4. 결론 및 제언

한국 철도 환경에 맞는 배출 계수를 사용하여 철도 배출량을 산정한 결과 공회전을 제외한 노선별 총 배출량은 738.69ton/year 이고, 경부선이 489.15t으로 가장 높았으며, 동해남부선, 가야선 , 우암선 그리고 부전선 순으로 높게 나타났다. 이것은 차량의 통행량과 선로의 길이에 비례한 결과로 생각되나 우암선의 경우는 중대 화물을 주로 운반하는 선로로 연료소모량이 여객 및 화물을 주로 운반하는 부전선 보다 많기 때문인 것으로 생각된다.

차량 검사 · 수리작업시의 공회전을 고려하여 산정 한 기관차 총 배출량은 887.41ton/year으로, 공회전 제외시 보다 148.72t이 많았으며, 기관차 종류별에 따른 배출량은 디젤기관차에 의한 것이 연간 744.86t으로 가장 많았고, 다음은 새마을호 기관차인 PP동차, 발전차 그리고 무궁화 및 통일호 동차인 NDC, CDC 순으로 나타났다.

디젤기관차에 의한 배출량이 많은 이유는 철도청 보유 디젤차량 중 디젤기관차가 가장 많은 것에 기인하며, 발전차의 배출량보다 NDC, CDC 동차의 배출량이 적은 이유는 차종별 평균차령이 발전차의 10.9년에 비하여 6.9년으로 짧기 때문인 것으로 사료된다.

각 구별로 배출량을 산정 한 결과는 북구가 연간 226.39t으로 가장 많았고, 다음은 사상구, 부산진구로 두 구는 비슷한 배출량을 나타냈으며, 동구, 기장군, 중구, 해운대구, 연제구, 동래구 그리고 남구 순으로 나타났다

이상에서 살펴 본 바와 같이 앞으로 철도차량에 의한 오염물질 배출량을 산정 할 경우에는 미국의 EPA(AP-42, 1985)에서 제시한 배출계수를 사용하기보다는 우리나라 실정에 부합하는 철도청의 차종별 배출계수를 이용하여 오염물질 배출량을 산정하여야하며, 각 시 · 도의 선행연구와 같이 노선별 거리와 배출계수를 곱하여 산정하는 방법은 철도청의 실제자료를 이용하여 산정한 본 연구 결과와는 큰 차이를 보일 것으로 판단된다. 따라서 연료 사용량 및 운행거리, 기관차통행량 등을 산정 함에 있어 반드시 철도청의 열차운행과 관련된 실제자료의 사용이 요구된다.

본 연구에서 사용한 철도차량 배출량 산정방법과 철도차량에 의한 오염물질 배출량이 부산광역시의 대기오염 제어정책 수립에 기여함은 물론 부산광역시의 총 배출량 산정과 선오염 및 이동오염원의 연구자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1) 이춘우, 1992, 디젤기관의 LPG 첨가에 따른 오염배출물 저감특성에 관한 연구, 부산대학교 석사학위 논문.
2) 철도청, 1997, 디젤기관의 배출가스 대기오염 현황 및 저감방안에 관한 연구.
3) 남평우, 1994, 내연기관, 동명사.
4) 엄명도, 1997, 매연저감을 위한 천연가스 Dual-Fuel 엔진의 시내버스 적용평가, 한국대기보전학회지, 13(3), 215~220.
5) 철도청 기획본부, 2000, '99철도통계연보.
6) 서울시, 2000, 서울시 대기환경개선 실천계획.
7) 인천광역시, 2000, 대기질 개선 실천계획보고서.
8) 경기도, 2000, 21C 경기 대기보전실천 계획.
9) U.S. EPA, 1985, Compliation of Air Pollutant Emission Factors Vol II: Mobile Sources. 4th ed.. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Air and Radiation. Office of Mobile Source. Test and Evaluation Branch. Ann Arbor. MI..
10) 환경부, 1996, 대기오염물질 배출부과금 부과방안에 관한 연구.
11) 철도청 영업국, 1999, 철도열차운행시각표.
12) 철도청 시설본부, 2000, 보선업무자료, 813~840.
13) 철도청, 1997, 열차운전시행절차, 철도청 훈령 제7304호, 238~302.
14) 철도청, 2000, 한국철도영업거리(표), 철도청고시 제17호('1981.5.21.최초발행).
15) 이화운, 김유근, 원경미, 1992, 선박배출 오염물질의 영향을 고려한 부산지역 대기질 모델의 개발, 한국환경과학회지, 8(1), 135~144.
16) 원경미, 1998, 연안도시 지역에서 선박배출원을 고려한 대기질 수치 모델링, 부산대학교 박사학위 논문.
17) 장난심, 2000, 연안도시 지역의 이산화질소 농도

예측에 관한 연구, 부산대학교 박사학위 논문.
18) 월드워치연구소, 1993, 지구환경보고서.
19) Peter C. L. Conlon, 1988, Exhaust Emission Testing of In-Service Diesel-Electric Locomotives(1981 to 1983), Association of American Railroads.