

서울·수도권 지역 주요 대기오염물질 배출원 자료 현황 분석

Analysis of the Present State of Air Pollutant Emission Data for the Greater Seoul Area

김진영·김영성·김용표
한국과학기술연구원 지구환경연구센터
(1997년 9월 1일 접수, 1999년 12월 9일 채택)

Jin Young Kim, Young Sung Ghim and Yong Pyo Kim
Global Environmental Research Center, Korea Institute of Science and Technology
(Received 1 September 1997, accepted 9 December 1999)

Abstract

To understand the present status of air pollutant emission data for the greater Seoul area, existing air pollutant emission data were analyzed and compared. For the criteria pollutants, estimation methods of emissions from point, line, and area sources adopted in the previous studies were analyzed and their results were compared. Two sets of VOC emission estimation were also compared and analyzed. There exists a large discrepancy among previous emission data due to the differences in the scope of emission sources and the estimation method including emission factors employed in each estimation. Applications of previous air pollutant emission studies for air quality modeling and related problems were discussed.

Key words : emission estimation, greater Seoul area, air quality modeling

1. 서 론

미국 환경보호청 (US EPA)에서 대기오염물질 배출원에 관한 국가적 배출자료 체계 (NEDS, National Emissions Data System)를 구성한 것은 1971년으로, 처음에는 단순히 배출량의 연간 변화 특성을 조사하기 위한 것이었다. 그러나 대기오염의 관심이 1차 오염에서 오존과 미세먼지 등 2차 오염으로 옮겨가며 점차 정교한 대기오염 모델이 개발됨에 따라 휘발성 유기화합물의 분류, 새로운 물질의 추가, 공간적·시간적으로 보다 자세한 자료 및 배출량 변화

특성의 예측 등으로 연구범위가 확대되어 왔다 (NRC, 1991).

배출자료의 정확성을 시험하기 위해서는 굴뚝에서의 간헐측정 또는 연속측정 등의 실제측정을 수행하는 것이 가장 이상적이나 상당한 비용 부담, 개개 측정결과의 특이성 등의 문제가 있어 실제로는 실측에 의한 현장 검증이나 배출량 산정 방법의 직접적인 비교보다는, 차량 배출의 경우 도로측정, 터널측정, 운행중인 자동차의 원격 측정을 통해 배출계수의 불확실성을 추정하는 등 간접적인 방법을 이용하고 있다 (NRC, 1991). 또한 Harley 등 (1993)은 광화학 모델링을 통하여 미국 정부의 공인 배출량

자료를 사용한 경우보다 배기가스 중 유기화합물 배출량을 34% 증가시킨 경우가 실제 현상을 더 정확하게 예측함을 보임으로써 정부의 배출량 자료가 실제보다 낮게 산출되었을 가능성을 제기하였다.

국내 배출원 조사는 1980년부터 1982년까지 환경청 대기관리과에서 점오염원에 대한 배출원 조사를 실시하였으며 1983년부터 1992년까지는 국립환경연구원(NIER; National Institute of Environmental Research)에서 대기배출시설 1~3종과 4, 5종에 대하여 격년 조사를 실시하였다(김용준, 1994). 1989년부터는 환경부(MOE; Ministry of Environment)에서 매년 연료사용량에 미국 환경보호청의 배출계수와 국내에서 산출한 자동차 배출계수를 곱하여 SO₂, TSP, CO, NO_x, HC의 다섯가지 오염물질에 대해 난방, 산업, 수송, 발전부문별 연간 배출량을 6개 특별시, 직할시와 9개 도단위로 추정, 발표하고 있다. 그러나 1997년 현재까지 환경부에서 발표되고 있는 배출량 자료는 공간적, 시간적 해상도가 너무 낮아서 2차 오염 시대의 모델링은 물론 환경영향평가에의 이용에도 제약이 따르며, 미국 환경보호청 배출자료 체계의 초기단계와 마찬가지로 단지 배출량의 연간 변화 특성을 조사하거나 각 발생부문별 배출량의 구성비를 비교할 수 있는 수준에 그치고 있다.

이에 따라 보다 세밀한 배출량을 산정하려는 시도가 여러 곳에서 이루어지고 있는데, 1990년에 나진균(1990)은 대기확산 모델의 입력자료로 사용하기 위하여 서울지역 점, 면오염원의 SO₂ 배출량을 산정하였고 그후에도 표 1에 나타낸 것과 같이 점, 면, 선오염원의 배출량을 산정하려는 연구가 최근까지 계속되고 있다. 그러나 배출량 산정에 많은 인력과 시간이 소비됨에도 불구하고 배출원 자료 관리 체계가 정립되어 있지 않아 조사자료의 전산화 및 정리, 보관이 미흡하고 자료 신뢰도에 대한 검증이나 수정, 보완 등의 추가 조사가 이루어지지 못하고 있다. 결국 모든 배출량 산정이 한 번의 시도로 끝나게 되고 유사한 수준의 연구가 반복되는 실정이다.

본 연구에서는 정부의 공인 배출량 자료인 환경부 자료의 분석을 통해 배출량의 연간 변화 특성을 살펴보고 지금까지 산발적으로 행해진 배출량 산정 연구 결과들을 상호 비교 분석함으로써 현재 우리

Table 1. Previous studies of air pollutant emission estimation for the greater Seoul area.

Data set	Source	Base year	Domam size	Grid size
Park-91	Park <i>et al.</i> (1993)	1991	37 km × 31 km	1 km × 1 km
Choi-91/94	Choi <i>et al.</i> (1994)	1991/1994 ¹⁾	60 km × 60 km	2 km × 2 km
Hong-95	Hong <i>et al.</i> (1996)	1995	702 km ² ²⁾	1 km × 1 km
Lee-94	Lee <i>et al.</i> (1997)	1994	180 km × 140 km	4 km × 4 km
Chung-94/95	Chung <i>et al.</i> (1997)	1994/1995 ²⁾	4,865 km ² ³⁾	1 km × 1 km

¹⁾ 1991 for stationary source and 1994 for line source

²⁾ 1994 for point source and 1995 for area and line sources

³⁾ The Seoul city.

⁴⁾ The west of Korea from Kyonggi-do to Chollanam-do

나라 배출원 자료의 문제점을 파악하여 향후 배출량 산정 및 수정에 참고가 되도록 하였다. 수도권 지역을 대상으로 기준 오염물질의 점, 면, 선오염원에 대한 배출량 산정연구로는 표 1의 박순웅 등(1993), 최덕일 등(1994), 홍대형 등(1996), 이종범 등(1997), 정일래 등(1997)의 연구결과를 비교하였다. 본 연구에서는 편의상 이들을 산정 기준연도에 따라 각각 Park-91, Choi-91/94, Hong-95, Lee-94, Chung-94/95로 지칭하였으며, 표 1의 각주에 설명된 것과 같이 점, 면오염원과 선오염원, 혹은 점오염원과 면, 선오염원의 구분에 따라 Choi-91, 94와 Chung-94, 95를 구별하여 표기하기도 하였다. 휘발성 유기화합물의 배출량 산정연구는 대상 물질과 배출원이 방대한 반면 기존 연구는 아직 기준 오염물질보다 충분하지 못함을 감안하여 정일래 등(1995, 1996a)과 한화진 등(1996)의 연구결과를 별도로 비교하였다.

2. 배출량의 연간 변화

환경부에서는 매년 대기오염물질 배출량 자료를 난방, 산업, 수송, 발전 분야로 구분하여 발표하고 있다. 고정배출원으로부터의 배출량은 연료별, 지역별, 용도별 연료사용량에 배출계수를 이용하여 SO₂, NO_x, CO, TSP, HC의 배출량을 산정하는데 배출계수로는 국립환경연구원과 미국 환경보호청에서 제시한 것을 이용한다. SO₂를 제외한 이동배출원으로

부터의 오염물질 배출량은 전국 자동차 등록대수 현행상을 차종별로 구분하고 국립환경연구원 자동차 공해연구소에서 예측한 차종별 주행거리와 배출계수 자료를 이용하여 산정하며, 이동배출원으로부터의 SO₂ 배출량은 연료소비량에 연료비중과 연료중 황함량을 고려하여 산정한다(장성기 등, 1996).

1990년부터 1995년까지 환경부에서 발표한 서울 지역의 대기오염물질 배출량을 그림 1에 나타내었다(환경처, 1991, 1992, 1993; 환경부, 1994, 1995, 1996). SO₂, TSP, CO의 총배출량은 1990년 이래 큰 폭으로 감소하고 있다. 특히 난방 분야의 배출량 감

소가 두드러지는데 이는 주 난방연료가 연탄에서 등유 또는 LNG로 전환된 결과이다. TSP와 CO의 경우 난방분야에서는 배출량 감소가 두드러진 반면 수송 부분의 배출량 감소는 적어서 1990년에는 전체 발생량중 수송이 차지하는 비중이 각각 30%, 56%이었으나 1995년에는 각각 84%, 88%로 수송분야가 주배출원으로 바뀌었다. 특히 1993년에는 모든 분야의 SO₂ 배출량 감소가 뚜렷하여 총배출량이 전년도의 60%인데, 이는 1993년 7월부터 서울전지역에서 사용하는 경유중 황함량이 0.2% 이하, 중유중 황함량이 1.0% 이하로 강화된 때문이다(환경부.

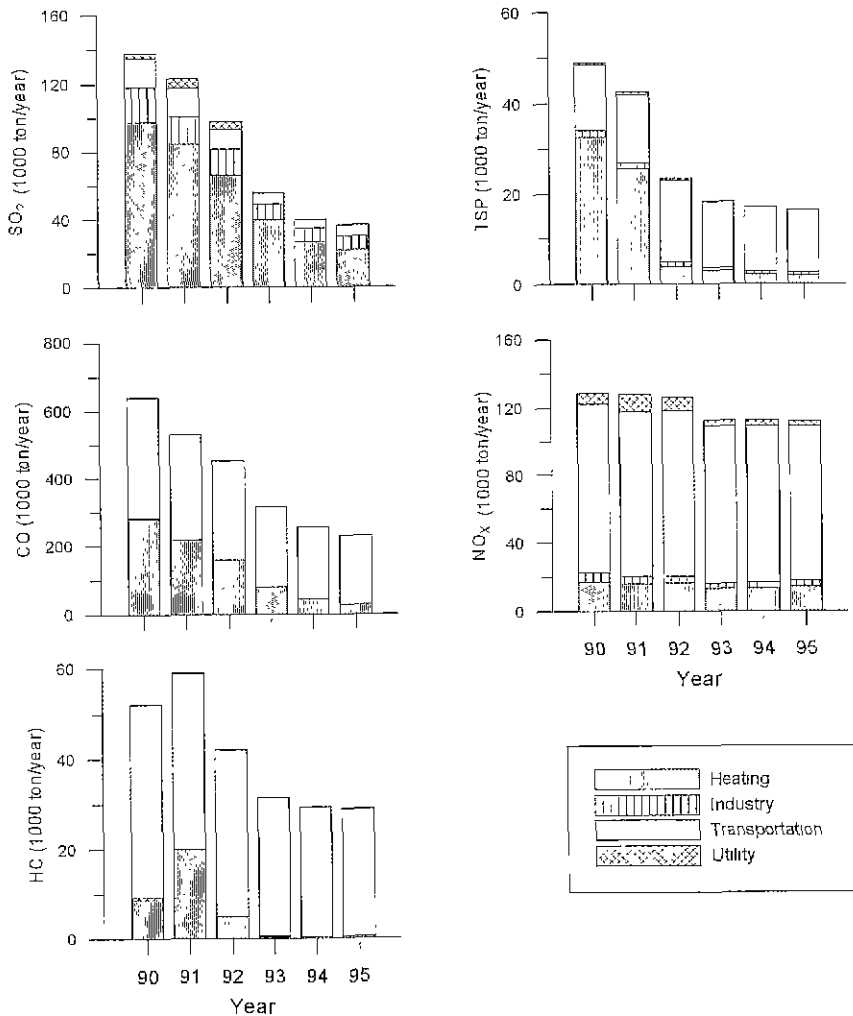


Fig. 1. Trends of air pollutant emissions estimated by the Ministry of Environment.

1996).

NOx는 다른 오염물질과 달리 1992년에서 1993년 사이에 배출량이 약간 감소한 것 외에는 특별한 감소경향을 찾아보기 힘들며 오히려 난방부분은 1993년 이래 1995년까지 약간씩 증가하고 있다. 1993년 이후 난방 부분의 배출량이 증가하는 것은 LNG 사용 증가 때문으로 추측된다. 1990년에 120만대이던 서울시의 차량대수가 1995년에는 200만대를 초과하여 거의 2배로 증가하였음에도 불구하고 수송부분의 배출량 증가는 미미하며 해에 따라서는 약간씩 감소하기도 하는데, 정일록 등(1996b)은 삼원촉매장치 부착차량이 증가한 결과로 해석하고 있다. 그러나 이들 자료들이 조강래 등(1991)이 가정한 촉매장치 부착 차량 구성비율 증가를 그대로 이용하고 있어 만일 이때의 예측이 현실과 다를 경우 그림 1의 NOx 배출 변화는 현실에 비하여 과다 혹은 과소 계산되었을 가능성이 있다.

HC는 수송부분의 배출량이 약간씩 감소하였으며 난방 부분의 배출량은 1991년에 일시적으로 증가하였다가 다시 감소하여 1993년부터는 수송부분이 HC 배출의 대부분을 차지한다. 그러나 광화학 오염이나 위해성 관점에서 중요한 것은 연료사용량에 근거한 총탄화수소 배출량이 아닌 휘발성 유기화합물(VOC)의 배출량이다. VOC의 배출원은 매우 다양하여 인위적인 배출원만 하여도 자동차, 정유사 및 저유소, 석유정제시설, 유기화학공업, 주유소, 도장시설, 인쇄시설, 세탁시설, 아스팔트 도로포장, 소각, 고정 오염원 연소 등이 있다. 이외에도 아직 우리나라에서 언급하기에는 이른 감이 있으나 자연배출의 비중도 상당한 것으로 알려져 있다. 결국 현재와 같이 연료사용량만으로 탄화수소의 배출량을 산정하는 것은 경년변화나 지역간 상대적 비교에는 어느 정도 의미가 있을 수 있으나 절대량 자체의 의미는 찾기 힘들다.

각 오염물질 배출량의 연간 변화 특성을 종합해 볼 때, 1993년 이전에는 배출량의 경년변화가 크지만 1993년부터 1995년 사이에는 그리 크지 않다. 따라서 이 기간 중 특정 년도를 대상으로 산정된 배출량 자료는 1993년부터 1995년까지 3개 년도를 대표할 수 있을 것으로 판단된다. 1995년을 기준으로 할 때 SO₂의 주배출원은 난방분야로 전체 배출량의 60%를 차지하며, TSP, CO, NOx, HC의 주배출

원은 수송분야로서 각각 84%, 88%, 81%, 98%를 차지한다

3. 배출량 산정방법

3.1 점오염원

환경부에서는 연간 고체환산연료사용량 기준 10,000톤, 2,000톤, 1,000톤, 200톤 이상과 200톤 미만 대기관련 사업장을 각각 1~5종으로 구분하고 연료사용현황, 굴뚝자료, 방지시설 등의 세부사항에 대해서는 배출업소 실태조사를 실시하여 대기오염물질 배출사업장 목록을 작성하여 관리하고 있다. 점오염원 배출량 산정은 이와같은 환경부의 '대기오염물질 배출시설 조사표'를 이용하는데 수도권 지역에서 수행된 주요 연구를 대상으로 각 산정방법을 표 2에 정리하였다. Lee-94는 각각의 점오염원을 독립적으로 취급하지 않고 산업부문별 연료사용량을 이용하여 먼오염원과 함께 계산하였으므로 뒤에 먼오염원 배출량에서 다루기로 한다.

대기오염물질 배출시설 조사표를 이용하여 대기오염물질 배출량을 산정하는 방법은 다음과 같다. 배출시설 조사표에 수록된 각 사업장의 위치를 지도상에서 TM 좌표로 확인하고, (1)의 식과 같이 오염물질별 배출계수, 각 사업장별 연료사용량 및 방지시설 효율 등을 고려하여 각 사업장별 오염물질 배출량을 산출한다.

$$PE = F \times EF \times (1 - C) \quad (1)$$

여기서 PE는 점오염원 배출량, F는 연료사용량, EF는 오염물질 배출계수, C는 방지시설의 효율이다. Park-91과 Chung-94는 대기오염물질 배출시설 조사표를 이용하기 전에 확인작업을 수행하였는데, 특히 Chung-94에 의하면 전화조사, 방문조사, 지형도상의 확인, 설문조사 등을 통하여 서해안 권역에 위치한 대기오염물질 배출시설 조사자료의 오류를 점검한 결과 오염원 위치, 굴뚝제원, 연료사용량 관련 수정비율이 각각 38%, 29%, 12%에 달하였다.

Hong-95는 신뢰도를 높이기 위하여 배출계수법과 실측농도법을 병행하여 사용하였는데, 실측농도법은 각 사업장의 연료사용량을 이용하여 배출가스를 추정하고 오염물질 배출관련 사항에 표기되어 있는 실측농도와 배출가스를 곱하여 배출량을 산

Table 2. Comparison of point-source emission estimation methods.

Data set	Methods	Data	Target sources	Data format
Park-91	1977 US EPA emission factors	MOE emission facility survey data (confirmed by phone calls)	Facilities with emission greater than or equal to 100 ton/year (apartment building is included in the area source).	Gridded/ partially pointed
Choi-91	1993 NIER emission factors	MOE emission facility survey data	Class I to III air pollutant emission facilities	Gridded
Hong-95	1988 US EPA emission factors /reported measurements ¹⁾	MOE emission facility survey data	Class I to III air pollutant emission facilities	Gridded
Chung-94	1995 NIER and 1985 US EPA emission factors	MOE emission facility survey data (confirmed by phone calls, visiting, questionnaire, etc.)	All classes of air pollutant emission facilities	Pointed

¹⁾ Measured concentrations reported in the emission facility survey data by MOE were also used for the estimation of CO, NOx, TSP emission for Class I facilities

정하는 것이다. 배출계수법과 실측농도법을 이용하여 산정한 결과를 비교한 후, 1종 업소의 CO, NOx, TSP 배출량에 대해서는 실측농도법을 적용하고 그 외는 배출계수법을 이용하였다

Park-91은 연간 오염물질 배출량이 100톤 이상인 사업장을 대상으로 하고 그보다 배출량이 적은 사업장은 면오염원으로 취급하였다 또한 대기배출 시설 2종 규모에 해당하는 아파트는 난방부문으로 간주하여 면오염원으로 분류하였다. 반면 Choi-91과 Hong-95는 연간 고체환산연료사용량이 1000톤 이상인 1~3종 배출시설을, Chung-94는 1~5종 배출시설을 점오염원으로 가정하였다.

그러나 배출량 산정결과의 자료형태를 살펴보면, Choi-91과 Hong-95는 개개 점오염원이 아닌 격자단위 배출량으로 정리하였으며 Park-91은 격자단위 뿐만 아니라 각 점오염원 형식으로도 정리하였으나, 배출원의 위치, 굴뚝높이, 배출량만을 대상으로 하였다. Chung-94는 비교적 자세하게 배출원 자료를 정리하여 1~5종까지 각각의 오염원별로 배출원의 위치, 굴뚝제원, 연료사용량, 방지시설 전후의 배출량을 전산화하였다.

3. 2 면오염원

면오염원은 난방 부문과 산업/발전 부문으로 구분되는데, 난방 부문의 배출량은 가정, 상가, 빌딩 등의 난방 과정에서 발생하는 배출량이고 산업/발전 부문의 배출량은 환경부에서 관리하는 1~5종 사업장 중 점오염원으로 취급한 사업장을 제외한 나머

지 소규모 사업장에서 발생하는 배출량이다. 면오염원 배출량은 연료사용량과 배출계수만을 곱하여 계산되기 때문에 다른 오염원에 비해 계산식은 간단하나, 대상 오염원 뿐만 아니라 연료사용량 계산이나 배출량의 격자단위 할당 과정 등 그 산정과정에서 주관적 요소가 포함될 가능성이 많기 때문에 개개 연구마다 차이가 존재할 소지가 많다. 주요 연구 결과의 산정방법을 표 3에 나타내었다.

모든 연구자가 국립환경연구원이나 미국 환경보호청의 배출계수를 이용하였으나 각각의 참고자료에 따라 사용된 배출계수에는 다소 차이가 있다. 면오염원에 의한 연료사용량을 구하는 방법에는 1) 전체 연료사용량에서 점오염원과 이동오염원에 의한 연료사용량을 빼는 방법과 2) 부문별 연료사용량에서 난방 및 산업/발전 분야의 자료를 이용하는 방법이 있다. Choi-91, Hong-95는 전자의 방법을 이용하였고 Park-91, Lee-94, Chung-95는 후자의 방법을 이용하였다. 그러나 부문별 연료사용량을 구한 방법은 각 연구자마다 다르다. 즉, Park-91은 주택유형을 아파트, 일반주택, 기타로 구분하고 주택유형별 연료사용량을 이용하여 난방용 연료사용량을 구했으며, Lee-94는 석유류 수급통계를 참고하고 Chung-95는 환경부의 연료사용량, 에너지 총조사 보고서, 점오염원 배출량 등을 종합적으로 참고하여 각 부문별 연료사용량을 계산하였다.

행정구역 단위별 연료사용량 또는 오염물질 배출량을 격자단위로 배분하기 위해서는 일종의 격자할당지수가 필요한데 통일된 형태의 격자할당지수가

Table 3. Comparison of area-source emission estimation methods.

Data set	Methods	Target sources		Fuel consumption estimation	Key parameters in grid allocation index
		Heating	Industrial/utility		
Park-91	1977 US EPA emission factors	Apartment, general housing, and others	Facilities with emission less than 100 ton/year	Fuel consumption by heating and industrial/utility sectors covered by area sources	Household types for Seoul; population estimated by administrative districts for other areas
Choi-91	1993 NIER emission factors	Residential and commercial usage	Class IV to V air pollutant emission facilities	Subtract the consumption by point and line sources from the total consumption	Number of houses estimated by administrative districts
Hong-95	1993 NIER and 1988 US EPA emission factors	Residential and commercial usage	Class IV to V air pollutant emission facilities	Subtract the consumption by point and line sources from the total consumption	Landuse categories
Lee-94	1995 NIER emission factors	Residential and commercial usage	All classes of air pollutant emission	Fuel consumption by heating and industrial/utility sectors	Administrative districts
Chung-95	1995 NIER and 1985 US EPA emission factors	Residential and commercial usage	Facilities not handled as point sources	Fuel consumption by heating and industrial/utility sectors covered by area sources	House density for heating; landuse categories for industrial/utility sectors

없기 때문에 면오염원을 산출한 개개 연구마다 서로 다른 형태의 격자할당지수를 이용하고 있다. Park-91은 서울지역에서는 각 주택유형의 면적비를, 서울외곽 지역에서는 행정구역이나 마을이 차지하는 면적에 따른 격자내 인구수 비율을 격자할당 지수로 이용하였다. Choi-91은 격자내의 각 동이 차지하는 면적에 따른 격자내 가구수 비율을 이용하였고 Hong-95는 난방부문에서는 지형도상의 주거지역과 상업지역의 면적비를, 산업/발전부문에서는 지형도상의 공업지역 면적비를 이용하였다. Lee-94는 각 격자내에서 행정구역이 차지하는 점유율을 이용하였고 Chung-95는 주거상업부문의 경우는 격자내 가구의 밀도를, 산업/발전부문은 토지 이용 형태에 따른 면적분율을 격자할당지수로 이용하였다.

3.3 선오염원

선오염원은 자동차, 철도, 선박, 비행기 등 움직이는 오염원에 의한 것으로서 통상 이동 오염원이라고 일컫는다. 선오염원 배출물질의 90% 이상은 차량에 의한 것으로서(홍대형 등, 1996), 운행되는 자동차의 종류, 주행거리, 주행 조건, 사용 연료의 종류 등의 영향을 받는다. 기본적으로 선오염원 배출량은 식(2)와 같이 교통량과 도로 길이를 이용하여 산출하는 것이 원칙이나, 우리나라의 경우 상세한 교통

량 자료의 확보가 용이하지 않으므로 차량 총 주행거리와 차량 등록대수 자료를 이용하여 식(3)과 같은 방법으로 선오염원 배출량을 산출하는 것이 보통이다.

$$LE1 = D \times T \times EF \quad (2)$$

$$LE2 = VKT \times VN \times EF \quad (3)$$

LE1, LE2는 선오염원 배출량, D는 도로 길이, T는 교통량, VKT는 차종별 총 주행거리, VN은 차량 등록대수, EF는 선오염원 배출계수를 각각 일컫는다. 표 4에 제시한 기존 선오염원 배출량 산정연구 중 Hong-95는 식(2)와 같은 방법을 사용하였고, 다른 연구자들은 식(3)과 같이 차종별 주행거리와 차량 등록대수를 이용하였다. 그러나 실제로는 차종의 구분 뿐만 아니라 차종별 주행거리를 얻는 과정에서도 각 연구자마다 차이가 존재하였다. Park-91은 차량의 종류를 택시, 자가용, 버스, 트럭으로 나누고 서울시 교통관리사업소의 차종별 주행속도와 주행시간을 곱하여 주행거리를 구했으며, Choi-94는 자가용, 택시, 소형·중형·대형버스, 소형·중형·대형트럭으로 차종을 분류하고 조강래 등(1991)의 일일 평균 주행거리 예측자료를 이용하였다. 또한 Lee-94는 자가용, 오토바이, 택시, 소형·대형버스, 소형·대형트럭으로 차종을 구분하고 차종별 연료 사용량에 차종별 연비를 곱하여 차량주행거리를 구

Table 4. Comparison of line-source emission estimation methods.

Data set	Methods	Basic data	Target sources	Parameters in grid allocation index
Park-91	1990 NIER emission factors ¹⁾	Traveling distance and number of vehicles	Vehicles	Road ratio
Choi-94	1991 NIER emission factors ²⁾ considering vehicle velocity	Traveling distance and number of vehicles	Vehicles	Not commented
Hong-95	1995 NIER emission factors considering vehicle velocity	Traffic volume and vehicle velocity predicted by EMME/2 ³⁾ and link length	Vehicles, trains and aircrafts ⁴⁾	Not commented
Lee-94	1995 NIER emission factors considering vehicle velocity	Traveling distance and number of vehicles	Vehicles	Road ratio
Chung-95	1995 NIER emission factors	Traveling distance and number of vehicles	Vehicles, trains aircrafts and ships ⁵⁾	Road ratio

¹⁾ From Cho *et al.* (1990)

²⁾ From Cho *et al.* (1991)

³⁾ Prediction by EMME/2 is corrected by statistical data.

⁴⁾ US emission factors with no reference for aircrafts.

⁵⁾ 1985 US EPA emission factors for trains and ships and 1997 emission factors of US Federal Aviation Administration for aircrafts.

했으며, Chung-95는 승용차, 택시, 소형·중형·대형 버스, 소형·중형·대형 트럭, 이륜자동차로 나누고 광역단체 단위로 수집되는 차종별 주행거리 자료를 이용하였다. Hong-95는 교통량을 산출하기 위하여 교통량 예측 프로그램인 EMME/2를 이용하였는데, 차속 및 교통량의 지역별 분포를 구한 후 통계자료를 토대로 하여 현실에 근접하도록 함수식을 보정하여 사용하였다.

대상으로 하는 배출원은 모든 연구가 차량을 중심으로 하되 Hong-95는 기차, 비행기의 배출량을, Chung-95는 기차, 비행기, 선박의 배출량을 함께 산정하였다. 격자할당지수로는 각 격자내의 도로율을 이용하는 것이 가장 흔한 방법이지만, Choi-94와 Hong-95에서는 격자할당지수에 대한 언급이 없다.

4. 배출량 산정결과 비교

서울시 지역을 대상으로 고정오염원, 이동오염원 배출량, 총배출량을 각각 비교하였다. Lee-94의 배출량은 발표자료의 특성상 고정오염원과 이동오염원의 구분뿐 아니라 서울지역의 배출량만을 산출하기가 곤란하여 총배출량만을 다루었다. Hong-95와 Chung-94/95는 보고서에 명시된 서울시의 배출량 자료를 이용하였으며, Park-91, Choi-91/94는 서울

시에 위치한 격자에서 발생하는 오염물질의 배출량을 합산하였다. 각 연구의 격자크기가 표 1과 같이 Park-91은 1 km × 1km, Choi-91/94는 2 km × 2km로 서로 달라 대상으로 하는 서울시의 영역도 약간씩 달라질 수 있었으나, 대상영역의 면적이 각각 Park-91은 599 km², Choi-91/94는 596 km²로 큰 차이가 없었다. 그러나 Hong-95가 배출량을 산정한 서울시의 면적은 총 702 km²로 서울시의 실제면적보다 100 km² 정도 넓었다(서울특별시, 1996).

각 연구마다 대상으로 하는 점오염원과 면오염원이 일치하지 않으므로 두 오염원을 합한 고정오염원으로 하여 산정 기준년도의 환경부 자료에 대한 상대적인 배출량으로 나타내었다(그림 2). Park-91과 Choi-91은 고정오염원 배출량 산정 기준년도가 1991년으로 서로 같음에도 불구하고 NOx를 제외한 다른 오염물질의 배출량에서는 차이가 크게 나타났다. Park-91은 SOx 124%, TSP 122%로 환경부 자료보다 높게 산정되었으며 Choi-91의 경우 SOx는 환경부 자료와 거의 비슷하지만 TSP는 환경부 자료의 23%에 불과하였다. CO의 경우 Park-91은 환경부 자료와 비슷하지만 Choi-91은 환경부 자료의 59%로 낮았고 NOx는 두 연구 모두 환경부 자료보다 약간 낮았다. Choi-91은 HC 배출량을 산정하지 않았고 Park-91의 HC 배출량은 환경부 자료의 31%였다.

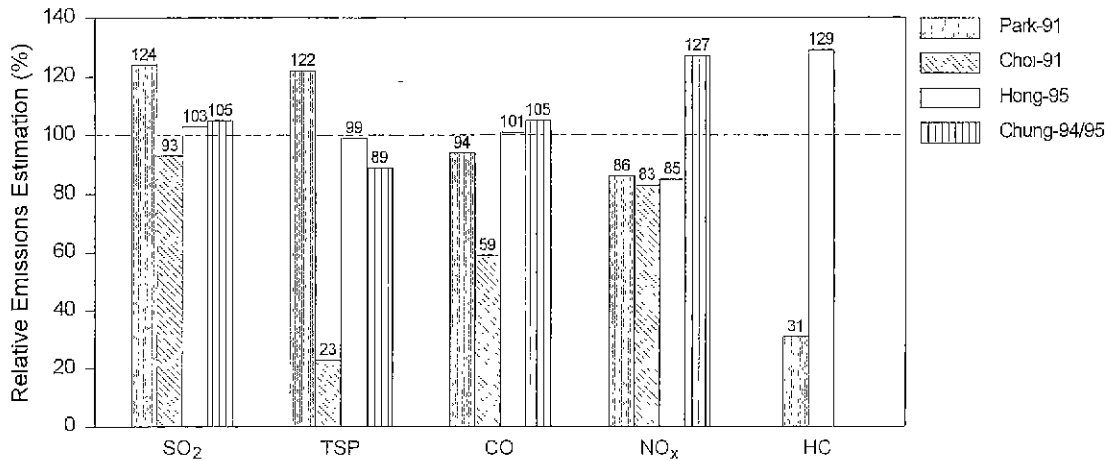


Fig. 2. Comparison of emissions from stationary sources. Dotted line represents the MOE estimation for the year corresponding to the base year of the data set, and the number on the bar is percentage relative to the MOE estimation. For Chung-94/95, the point-source emission estimation of Chung-94 is compared with emissions from the industrial/utility sectors estimated by MOE for the year of 1994, and the area-source emission estimation of Chung-95 is compared with emission from the heating sector estimated by MOE for the year of 1995.

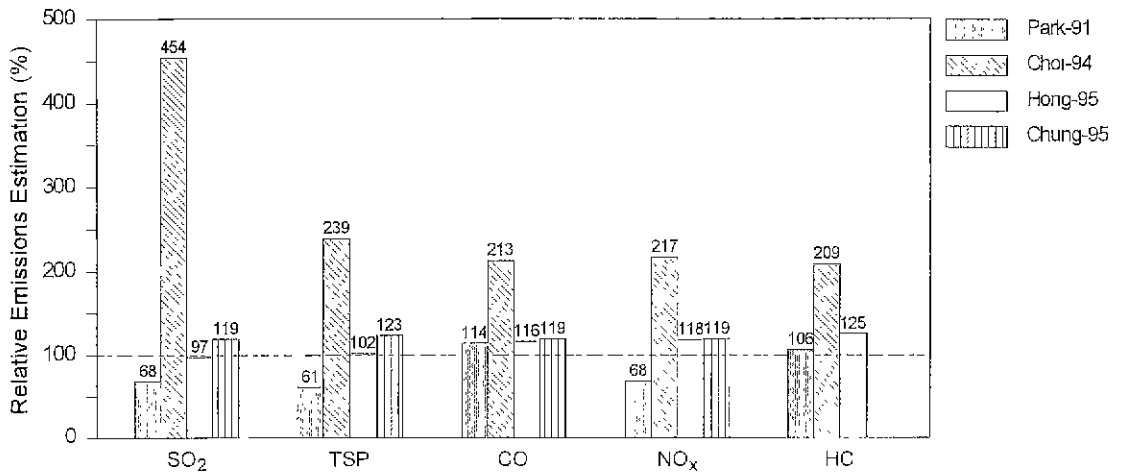


Fig. 3. Comparison of emissions from line sources. Line and numbers have the same interpretation as Fig. 2.

Park-91과 Choi-91의 고정오염원 배출량이 차이가 나는 이유로 우선 배출계수의 차이를 생각할 수 있다. 그러나 점오염원의 경우 Park-91이 비교적 오래된 1977년 미국 환경보호청 배출계수를 사용하였음에도 불구하고 국립환경연구원 배출계수가 미국 환경보호청의 배출계수를 기초로 만든 것이기

때문에 국립환경연구원의 먼지 배출계수가 약간 낮은 것을 제외하고는 그리 큰 차이는 없었다. 면오염원 배출계수는 두 연구간에 다소 차이가 있었으며, 그 외 면오염원 연료사용량을 구하는 과정. Park-91은 아파트를 면오염원으로, Choi-91은 점오염원으로 취급하는 것과 같은 대상 배출원의 차이를 비

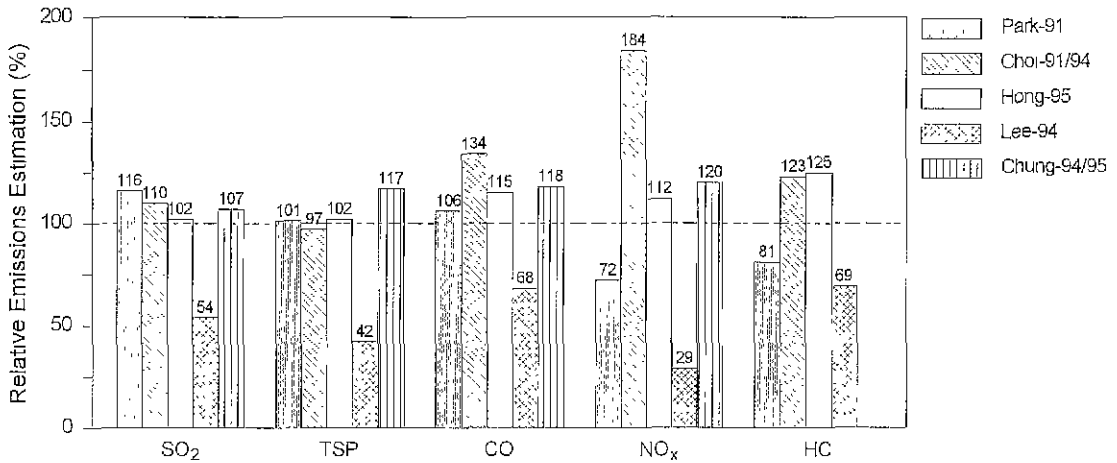


Fig. 4. Comparison of total estimated emissions. Line and numbers have the same interpretation as Fig. 2.

못하여 주관적 요소가 포함될 가능성이 많은 면오염원 산정방법의 차이로 인해 배출량 산정 결과가 다른 것으로 해석된다. 또한 Park-91이 환경부의 '대기오염물질 배출시설 조사표'의 오류확인 작업을 거치는 과정에서도 차이가 발생했을 수 있다.

Hong-95의 고정오염원 배출량 산정 결과는 SO₂, TSP, CO의 배출량이 산정방법의 분명한 차이에도 불구하고 환경부 자료와 ±3% 내로 일치한다. 한편 NO_x는 환경부 자료의 85%로 다소 낮고 HC는 127%로 다소 높다. Chung-94/95는 HC는 산정하지 않았으며, NO_x 배출량은 환경부의 127%로 높지만 다른 오염물질의 배출량은 유사하다.

선오염원 배출량 산정결과를 그림 3에 나타내었다. Park-91은 환경부 자료에 비해 SO₂, TSP, NO_x 배출량이 적으며 Hong-95, Chung-95는 환경부 자료와 대체로 일치한다. 그러나 Choi-94의 선오염원 배출량 산정결과는 환경부 자료와 비교할 때 최소 2배 이상, SO₂의 경우는 최대 4.5배 정도까지 차이가 존재하는데 원인은 명확하지 않다.

점, 면, 선오염원의 전체 배출량을 합하여 그림 4에 제시하였다. Park-91, Choi-91/94, Hong-95, Chung-94/95는 각각 서울지역을 대상영역으로 하였다. Lee-94의 대상 영역은 강원도와 충청도 일부 지역까지 포함하나 설정한 영역이 행정 구역과 일치하지 않아 편의상 환경부 자료 중에서 서울, 인천, 경기도의 배출량 합과 비교하여 제시하였다.

Park-91의 경우, SO₂의 주배출원인 고정오염원의 배출량이 높게 산정되어 SO₂ 전체 배출량이 환경부 자료보다 약간 많으며 NO_x와 HC의 배출량은 적다. CO와 TSP의 배출량은 환경부 자료와 큰 차이가 없는데, CO는 고정오염원에서 낮게 산출된 만큼 이동오염원에서 높게 산출되고 TSP는 고정오염원에서 높게 산출된 만큼 이동오염원에서 낮게 산출되었기 때문이다. Choi-91/94는 TSP를 제외한 모든 오염물질의 배출량이 환경부 자료보다 높는데, 전체적으로 고정오염원의 배출량이 환경부 자료보다 낮게 산출되었음에도 불구하고 이동오염원의 배출량이 훨씬 더 높게 산출되었기 때문이다 TSP는 이동오염원의 배출량이 환경부 자료보다 많지만 고정오염원 배출량이 환경부 자료의 23%로 매우 낮아 전체 배출량은 환경부 자료보다 약간 적다. Hong-95는 CO, NO_x, HC의 배출량이 환경부 자료보다 약간 높으나 전체적으로 환경부 자료와 매우 유사하다.

Lee-94의 배출량은 환경부에 비해 전체적으로 낮게 산출되었는데 NO_x의 경우는 환경부 자료의 29%로 차이가 가장 컸으며 가장 차이가 적은 CO의 경우도 환경부 자료의 69%에 불과하였다. 그러나 환경부 자료의 대상지역이 Lee-94의 경우보다 더 좁은 것을 고려하면 실제 차이는 더 크다고 말할 수 있다. Chung-94/95는 환경부 자료보다 약간 높으나 전체적으로 유사하다.

5. VOC 배출량

국내에서 휘발성 유기화합물의 배출량을 산정하기 시작한 것은 최근의 일로서, 국립환경연구원에서 1995년에는 정유사 및 저유소, 주유소, 자동차, 세탁소의 4가지 오염원을 대상으로 하고 1996년에는 도료제조시설, 인쇄용 잉크제조시설, 소규모 유기용제 사용시설, 도로포장시설, 인쇄·출판시설 및 각종 도장시설을 대상으로 배출량을 산정하였다(정일록 등, 1995, 1996a). 한화진 등(1996)은 자동차, 도장산업, 인쇄시설, 세탁시설, 아스팔트 도로포장, 유류 저장시설, 유류 수송과 판매시설의 7가지 오염원을 대상으로 하였다. 배출량 산정년도는 두 연구 모두 1994년이고 산정방법은 배출계수법에 기초하였다. 배출계수로는 미국 환경보호청의 자료를 주로 이용하였으나, 한화진 등(1996)은 미국 환경보호청 배출계수 외에 자동차 배기관 배출에는 조강래 등(1991)의 배출계수를, 자동차의 증발배출에는 OECD 배출계수를 이용하고 주유소 배출량 산정에는 미국 환경보호청과 OECD의 배출계수를 함께 사용하였다.

1994년 VOC 전체 배출량은 정일록 등(1995, 1996a)이 505천톤, 한화진 등(1996)이 446천톤이지만 한화진 등의 연구에서는 철도, 선박, 연료연소시설 및 소규모 유기용제사용시설이 제외되었으므로 정일록 등의 배출량에서 이 분야를 제한 후 총량을 472천톤으로 하여 표 5에 비교하였다.

전체 총량의 차이는 약 26천톤으로 이는 정일록 등의 배출량을 기준으로 하였을 때 전체 배출량의 약 6%에 불과하다. 주유소 및 세탁시설, 도로포장에서의 VOC 배출량은 두 연구결과가 매우 유사하지만, 자동차, 도장시설, 유류 저장시설 및 출판시설의 배출량은 연구방법이 같은 경우에도 어느 정도 차이가 있었다. 가장 차이가 큰 분야는 도장시설과 자동차 배출량으로서, 도장시설은 정일록 등이 60천톤 많으며 자동차 배출량은 한화진 등이 47천톤 많다. 자동차 배출은 주로 배기관 배출에 의한 것이지만, 자동차 배출량 중 증발배출에 의한 발생량이 정일록 등은 2,861톤, 한화진 등은 26,500톤으로 한화진 등의 추정치 9배 이상 커 자동차 배출량 차이의 상당부분이 이에서 비롯되었음을 알 수 있다. 자동차 증발배출량의 차이는 정일록 등의 연구가 자동차

Table 5. VOC emission amount and percentage by source category in Korea, 1994. (unit : ton/year)

Source	Chung <i>et al</i> (1995, 1996a)	Han <i>et al.</i> (1996)
Oil storage	19,737 (4.2%)	4,174 (0.9%)
Oil slugging facility	9,839 (2.1%)	16,212 (3.6%)
Gas station	23,366 (4.9%)	23,630 (5.3%)
Vehicle	129,926 (27.5%) ¹⁾	176,900 (40.0%) ²⁾
Laundry	11,445 (2.4%)	12,097 (2.7%)
Painting facility	240,276 (50.9%)	179,985 (40.4%)
Printing facility	22,280 (4.7%)	17,781 (4.0%)
Pavement of asphalt road	15,200 (3.2%)	15,200 (3.4%)
Total	472,069 (100%) ³⁾	445,979 (100%)

¹⁾ Emissions from vehicle exhaust are 127,065 ton/year and vaporization from vehicles are 2,861 ton/year

²⁾ Not VOC but HC total emission is considered for vehicle exhaust. Emissions from vehicle exhaust are 150,400 ton/year and vaporization from vehicles are 26,500 ton/year

³⁾ Emissions from train, ship, combustion facility and small-size organic solvent use, 33,246 ton/year are excluded for comparison

운행에 따른 여러 모드 중에서 주차시의 VOC 배출량만을 산출하였기 때문에 해석된다. 각 오염분야별 배출비율을 비교하면 특히 자동차에서 차이가 큰데, 정일록 등에서는 전체의 28%, 한화진 등에서는 전체의 40%를 차지하여 무려 12%의 차이가 존재한다. 도장시설도 정일록 등이 51%, 한화진 등이 40%로서 11%의 차이가 존재한다.

8개의 배출분야 중 한화진 등에서 가장 비중이 큰 것은 도장시설에서의 용매휘발에 의한 배출분야로 약 40%를 차지한다. 또한 주유소, 자동차 배출을 합하여 수송분야로, 세탁시설, 도장시설, 인쇄시설을 합하여 용매휘발 분야로 하여 미국의 1985년 자료(NRC, 1991)와 비교하면 한화진 등은 수송, 용매휘발 분야가 각각 45%, 47%, 미국의 경우는 40%, 32%로 우리나라의 배출비율이 조금씩 높는데, 이는 한화진 등의 배출량 산정에서 연소, 유기용제 휘발, 석유정제 및 석유화학 등의 산업분야가 제외되었기 때문이다. 미국의 VOC 배출량에서는 수송 부분이 용매휘발보다 많은데 비하여 우리나라에서는 한화진 등과 정일록 등 어느 경우를 보나 용매휘발의 비중이 크다.

환경부(1995)의 1994년 수송부분 탄화수소 배출량은 141,353톤으로 한화진 등의 자동차 배기관 배출 150,400톤과 크게 차이가 없다. 그러나 이는 한화진 등의 전체 VOC 배출량 445,979톤의 32%에

불과하여 현재 환경부의 탄화수소 배출량 산정방법으로는 VOC 배출량의 상당부분이 누락되고 있음을 보여주고 있다.

6. 결 토

6.1 모델링 입력자료로서의 적합성

지금까지 진행된 대부분의 대기오염물질 배출량 산정 연구가 대기오염 모델링의 입력자료로 이용하기 위한 것이거나 또는 향후 대기오염 모델링을 위한 기초자료인 점을 고려할 때, 배출량 자료의 대기오염 모델링 입력자료로서의 적합성 여부는 상당히 중요한 의의를 가질 수 있다. 따라서 배출량 산정 영역, 정확성, 산정 기준 시기, 정밀성의 네가지를 기준으로 기존 연구결과에 대해 모델링 입력자료로서의 적합성을 분석하였다.

(1) 산정 영역 : 일반적으로 모델링 영역은 경계 조건의 불확실성을 배제할 수 있고 여러 가지 기상 조건에 대해 영역 내에서 배출된 오염물질의 영향이 바람에 의해 영역 밖으로 이동해 가지 않을 정도로 커야 한다(US EPA, 1991). 이런 관점에서 볼 때, Hong-95의 자료는 서울시만을 대상으로 하였고 Park-91은 서울 외곽 경계를 기준으로 한 37 km×31 km의 좁은 영역에서 배출량을 산정하였으므로 오염물질의 이동을 보기에는 대상 영역이 너무 좁다. 예를 들어 풍속 2m/s의 바람이 5시간동안 한 방향으로 지속되는 경우의 총이동거리는 36 km로서 두 연구 모두 모델링 영역을 벗어나게 된다. 대상 영역을 기준으로 볼 때 가장 적합한 것은 Lee-94와 Chung-94/95의 연구이다.

(2) 정확성 : 현시점에서 배출량 자료의 정확성을 논하는 것 자체가 무리일 수 있으나 정부의 공인 배출량 자료인 환경부 자료를 기준으로 한다면 Lee-94의 자료는 환경부 자료의 29~69%로 전체적으로 너무 낮으며 Choi-91/94의 자료는 선오염원 배출량이 많고, 특히 NOx 총배출량이 환경부 자료의 1.8배로 높게 산정되었다. 환경부 자료와 차이가 가장 적은 것은 Hong-95와 Chung-94/95의 배출량 자료이다. 그러나 환경부 자료 자체가 총량 추산을 통한 상대 비교의 의미가 강한 현 시점에서 대부분의 배출량 추산이 환경부 자료와 큰 차이를 보이지 않는다는 사실은 오히려 그와 같은 배출량

자료들의 절대 수준의 신뢰도에 의문을 제기하기 위한 시발점이 될 수도 있다는 점을 유의할 필요가 있다.

(3) 산정 기준 시기 : 기본적으로 배출량의 산정 기준 시기는 모사하고자 하는 대상일과 일치하는 것이 가장 유리하지만, 배출량 산정 작업이 어떤 특정 년도만을 대상으로 이루어지기 때문에 연료 변화, 산업 활동의 변화, 방지 시설의 가동 등 배출량에 영향을 줄 수 있는 요소들을 고려하여 보정해야 하는 경우가 대부분이다. 그러나 실제로는 배출량 자료 보정에 참고할 수 있는 기초자료의 활용이 용이하지 않은 것이 현실이다 수도권 지역의 2차 대기오염이 심각해지기 시작한 것이 1990년대 중반이고, 1993년 이후 환경부 발표 배출량이 비교적 큰 변화를 보이지 않음을 고려할 때, 1990년대 전반기 대상으로 한 Park-91이나 Choi-91/94보다는 이후를 대상으로 한 Hong-95, Lee-94, Chung-94/95의 자료가 활용성 면에서 상대적으로 유리할 것으로 판단된다.

(4) 정밀성 : Park-91과 Chung-94/95를 제외한 모든 연구에서 점오염원 배출량을 격자 단위로 산정하였으나, 실제로 모델의 입력자료로 이용하기 위해서는 TMX, TMY 등으로 표시되는 오염원의 위치, 굴뚝 제원, 방지 시설의 현황을 포함한 보다 구체적인 자료가 요구된다. 또한 Park-91의 점오염원 배출량 자료는 굴뚝 제원 중 굴뚝 높이만을 정리하였기 때문에 모델 입력자료로서 부적합하기는 마찬가지이다. 정밀성의 또다른 문제로 격자 크기를 고려하면, 대기오염 모델링에서는 격자 크기가 커질수록 오염농도의 공간변화를 상세하게 묘사하지 못하게 되는 반면 격자 크기가 너무 작아지면 컴퓨터 자원과 시간 문제 뿐만 아니라 모델의 가정을 그대로 사용할 수 없기 때문에 격자 크기를 줄이는 데도 한계가 있다. 미국 환경보호청(US EPA, 1991)에서는 광화학 모델에서의 적정 격자 크기로 2~5 km를 추천하고 있다. 배출량 산정 연구가 모두 미국 환경보호청의 추천 격자 범위내에 포함되지만 정제 조건이 많은 수도권 지역의 특수한 상황을 고려할 때(김영성과 오현선, 1998), 보다 정밀하게 배출량을 산정한 Park-91, Choi-91/94, Hong-95, Chung-94/95의 자료가 상대적으로 적합할 수 있다.

6.2 문제점 분석과 제안

(1) 배출량 산정 관리기관의 필요성 : 본 연구에서 언급하였듯이 각각의 필요에 의해 여러 기관에서 배출량 산정연구가 이루어지고 있지만 산정방법과 산정결과가 다른 것은 물론이고 배출량 산정후의 검증작업이 전혀 이루어지지 않고 있다. 배출량 자료의 중요성을 감안할 때 향후 배출량 산정작업의 체계를 갖추기 위해서는 무엇보다도 배출량 산정에 관련된 모든 작업을 관리할 수 있는 주관기관이 있어야 한다. 이 기관에서 실제로 배출량 산정작업을 행할 필요는 없지만 연료사용량, 배출계수, 대기오염 배출시설 조사표와 같은 기초자료를 관리해야 하며, 배출량 산정작업 감독 및 기존 배출량의 검증작업을 수행할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 실제로 이와 같은 능력을 갖추기 위해서는 배출량 산정체계에 관한 구체적인 지침을 마련하는 것이 필요하며, 이 지침에 따라 배출량 산정과정을 점검할 뿐 아니라 기초자료 및 배출량 자료의 수정, 경신이 가능하도록 해야 한다. 또한 배출량 주관기관에서는 현재 대기오염 측정자료와 마찬가지로 필요로 하는 사람에게 배출량 자료를 제공할 수 있어야 한다.

(2) 자료의 전산화 : 배출량 산정연구에 막대한 시간과 인력이 요구되는 이유는 방대한 자료를 필요로 할 뿐 아니라 기초자료가 전산화되어 있지 않기 때문이다. 기존의 배출량 산정연구를 비교분석한 본 연구에서도 산정과정에 관련된 기초자료를 점검할 수 없기 때문에 대부분의 경우 배출량 산정결과의 차이만 확인할 수 있었을 뿐 차이가 발생한 구체적인 원인은 밝히기 어려운 경우가 많았다. 향후 배출량 산정결과의 검증 및 경신의 필요성을 고려할 때, 배출량 산정결과와 함께 산정과정의 기초자료들이 반드시 전산화되어야 한다. 점오염원은 사업장 위치, 사업형태, 사업규모 등의 사업장 관련사항, 용도별 연료사용량, 굴뚝 제원, 방지시설 현황, 배출계수, 배출량이 함께 전산화되어야 하며, 면오염원은 격자의 위치, 격자가 속한 행정구역명, 행정구역의 연료사용량과 배출량, 격자할당지수 관련사항, 배출계수, 격자내 배출량이 전산화되어야 한다. 또한 선오염원은 격자의 위치, 격자가 속한 행정구역명, 행정구역의 평균 차속, 차량주행거리, 차량등록대수, 격자할당지수 관련사항, 배출계수, 격자내 배출량이 전산화되어

야 한다.

(3) 기초연구의 활성화 : 현재 배출계수법이 배출량 산정의 주요 연구방법임에도 불구하고 선오염원을 제외한 대부분의 배출량 산정연구에서는 미국 환경보호청의 배출계수가 그대로 사용되고 있다. 이에 따라 우리나라 현실에 맞는 배출계수를 개발해야 하는데, 점오염원 배출계수 부분에서는 현재 각 사업장별로 행해지고 있는 굴뚝에서의 측정을 보다 정확하게 수행하여 Hong-95와 같이 실측능도법과 배출계수법을 상호 비교하는 것이 필요하다. 또한 선오염원 배출량의 산정을 위해서는 보다 밀도있는 교통량 측정망을 구축하여 현실성있는 교통량 예측 프로그램을 개발해야 한다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 실제 배출량과 추정된 배출량간에는 차이가 있게 되는데, 배출량의 과다·과소 추정을 점검하기 위해서는 Harley 등(1993)의 경우와 같이 대기오염 모델링을 이용할 수 있다.

(4) 비산배출 및 자연배출 : 마지막으로 현재 배출량 산정에서 간과되고 있는 비산배출(fugitive emission)과 자연배출의 문제가 있다. 사실 연료사용량에 의한 배출량의 불확실성이 점점되지 못하고 있는 현시점에서 비산배출과 자연배출을 언급하는 자체가 시기상조이지만 배출량 산정체계의 확립 이후 지속적인 관심이 필요한 분야라는 점에서 언급하기로 한다.

비산배출이란 규정된 배출구를 통하여 대기로 배출되는 것이 아니라 개방형 배출원으로부터의 배출을 일컫는 것으로서 배출량 산정이 상당히 복잡하고 까다롭다. 박원훈 등(1996)은 여천공단에서 비산배출되는 VOC 배출량이 연평균 1,851톤임을 보고하였으며, 나진균 등(1992)은 대도시 지역을 대상으로 배출량 추정이 불가능한 오염원으로부터의 기여율이 56.7%로 전체 먼지 배출량의 반 이상을 차지하고 있음을 주장하였다. 홍대형 등(1996)은 1995년 서울지역의 비산먼지 배출량이 연간 11만톤으로서, 연료사용에 의해 산정한 먼지배출 총량의 약 6.8배이며 전체 먼지 배출량의 87%이라고 추산하기도 하였다. VOC의 자연배출량 산정연구로는 이종범 등(1997)이 있는데, ISOP는 대부분이 자연배출이며 PAR은 자연배출이 인위적인 배출의 약 3배, OLE는 약 8배, ALD2는 약 12배 정도로 자연배출량의 비율이 미국의 PAR 0.87배, OLE 2.1배,

ALD2 1.3배보다 훨씬 높은 것으로 분석하였다. 그러나 1993년 현재 우리나라의 입목축적도가 미국의 56.4%에 불과하다는 사실로 미루어 볼 때 과다하게 추정되었을 가능성이 있다. NO의 자연 배출로는 산불 등 생물자원의 자연 연소와 미생물에 의한 토양으로부터의 배출들이 거론되고 있으나 외국에서조차도 인위적 배출의 수 %부터 수십 %까지 편차가 크다(NRC, 1991; Allemand *et al.*, 1990).

7. 결 론

현재까지 국내에서 산출된 주요 배출량 산정연구들을 비교 분석하여 배출원 자료의 문제점을 파악하고 향후 수도권 지역의 광화학 모델링, 기존 배출량 자료의 수정 및 보완, 배출원 자료 산출 등에 있어 기초자료가 될 수 있도록 하였다. 다음은 본 논문의 결과를 요약한 것이다.

(1) 환경부의 배출량 자료를 분석한 결과, 연료중화합량의 감소뿐만 아니라 연탄 사용량의 감소 및 LNG로의 연료전환 등에 힘입어 난방분야를 중심으로 하여 1990년 이후의 대기오염물질 배출량은 크게 감소하였으며 1993년부터는 배출량의 경년 변화가 적다. 1995년 현재 SO₂를 제외한 나머지 오염물질들의 주배출원은 수송과정으로 각 오염물질 전체 배출량의 80% 이상을 차지하는 것으로 발표되고 있으나, 일부자료의 신뢰성에 의문이 제기될 수 있으므로 산정방법 개선을 검토할 필요가 있다.

(2) 박순웅 등과 최덕일 등의 고정오염원 배출량 산정연구에서 그 대상년도가 서로 같고 점오염원 이용자료가 같음에도 불구하고 서로간에 차이가 발생한 것은 대상으로 한 점오염원 배출원 종류와 면오염원 배출량 산정방법 및 면오염원 배출계수가 달랐기 때문이다. 선오염원의 경우는 최덕일 등의 연구가 환경부 자료와 비교할 때 오염물질에 따라 2배에서 4.5배 정도 높게 산출되었으며 이종범 등이 수도권 지역을 대상으로 산정한 점, 선, 면오염원 전체배출량은 다른 연구 및 환경부 자료에 비해 낮게 산출되었다. VOC 배출량 산정연구로는 정일록 등과 한화진 등이 있었는데 1994년 배출한 전체 총량은 450~500천톤으로 두 연구간에 큰 차이는 없었으나 각 VOC 세부오염분야별 배출량에는 다소 차이가 존재하였다. 한화진 등을 기준으로 할 때 용

매 휘발 및 수송 분야가 각각 전체의 47%, 45%로 전체 VOC 배출량의 90% 이상을 차지하였다.

(3) 배출량 산정 영역, 정확성, 산정 기준 시기, 정밀성의 관점에서 대기오염 모델링 입력자료로서의 적합성을 분석한 결과, 박순웅 등과 홍대형 등의 자료는 정상적인 모델링을 수행하기에 배출량 산정영역이 너무 좁았으며, 최덕일 등, 이종범 등, 정일록 등의 자료는 정확성에 대한 검증 및 보정 과정 후에 모델 입력자료로 이용하는 것이 가능한 것으로 판단되었다.

(4) 기존 배출량 산정 결과를 비교해 볼 때, 대기오염 문제를 연구하는데 있어 가장 중요한 자료인 배출원 자료의 정리를 위해서는 향후 다음과 같은 문제점들이 해결되어야 한다. ① 배출량 산정체계의 확립과 자료의 수정, 경신이 가능하기 위해서는 배출량을 주관하는 기관이 필수적이다 ② 배출량 자료의 수정 및 보완이 지속적으로 이루어지기 위해서는 산정과정에서 요구되는 기초자료와 배출량 자료의 전산화가 이루어져야 한다. ③ 우리나라 현실에 맞는 배출계수 및 교통량 등에 관한 기초연구를 수행해야 한다. ④ 비산배출 및 자연배출량에 대해서도 꾸준한 관심이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 한국과학기술연구원의 자체 지원으로 수행되었습니다. 연구비를 지원하여 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

김영성, 오현선(1999) 1990~1997 기간 중 서울·수도권 지역의 고농도 오존 사태 연구, 한국대기환경학회지, 15(3), 267-280.
 김용준(1994) 국가 대기오염물질 배출원자료체계 구축에 관한 연구 I, 한국환경기술개발원, 130pp.
 나진균(1990) 복잡한 지형에서의 대기오염 확산 모델에 관한 연구, 인하대학교 박사학위 논문
 나진균, 농종인, 장남익, 홍지형, 석광설, 이상브, 강인구, 이정권, 장영혜 박정흠(1992) 도시별 먼지 총발생량 및 오염원별 기여도 조사연구, 국립환경연구원보, 14, 71-81
 박순웅, 진종감, 윤순창(1993) 장기 대기오염 농도예측을 위한 오염 배출량 산정에 관한 연구, 한국환경

과학연구협의회, 103pp.

박원훈, 문길주, 심상규, 김영성, 김용표, 정관영, 송철환, 김진영, 오현선, 박세욱, 김성주, 최대기 (1996) 여천-동광양 지역 광화학 오존상승 원인 조사 연구, 한국과학기술연구원, 205pp.

서울특별시 (1996) 서울통계연보.

이종범, 김용국, 김태우, 방소영, 정유정 (1997) 광화학 확산 모델 적용을 위한 수도권지역의 대기오염물질 배출량 산출. 한국대기보전학회지, 13(2), 123-135

장성기, 석광설, 김영각, 정일록, 최덕일, 조강래 (1996) 95년도 대기오염물질 배출량 산정 및 분석, 1996년도 한국대기보전학회 추계학술대회 요지집, 한국대기보전학회, 99.

정일록, 최덕일, 조강래, 장성기, 홍지형, 한진석, 김종춘, 김대곤, 김무영, 김병곤, 김수연, 박정신, 정인영 (1995) 유해가스 배출량 산정에 관한 조사연구 - 대기 중 휘발성유기화합물 배출량 산정에 관한 조사연구-, 국립환경연구원보, 17 83-94.

정일록, 최덕일, 장성기, 홍지형, 김대곤, 석광설, 홍사원, 김영각 (1996a) 유해가스 배출량 산정에 관한 조사연구 (II) - 대기 중 휘발성유기화합물 배출량 산정에 관한 조사연구 (II)-, 국립환경연구원보, 18, 93-102.

정일록, 김대곤, 홍지형, 장성기, 김무영 (1996b) 연도별 주요 대기오염물질 배출 동향, 1996년도 한국대기보전학회 춘계학술대회 요지집, 한국대기보전학회, 102-103

정일래 등 (1997) 서해안권역내 발전소 입지예정지역 주변의 대기오염원조사. 한국전력공사

조강래, 엄명도, 김종춘, 홍유덕, 박용희, 김종규, 김연호, 유정호, 김용중, 김선문 (1990) 도시지역대기질 개선에 관한 연구 (II) - 이등배출원의 오염물질 배출부하량 산정을 중심으로-, 국립환경연구원보 12, 55-69.

조강래, 엄명도, 김종춘, 홍유덕, 박용희, 김종규, 유정호, 김연호, 한중수 (1991) 도시지역대기질 개선에 관한 연구 (III) - 이등배출원의 오염물질 배출부하량 산정을 중심으로-, 국립환경연구원보 13, 129-139.

최덕일 등 (1994) 수도권지역의 시정장애현상 규명을 위한 조사 연구 (I). 시정감소 원인물질 및 메커니즘 규명, 국립환경연구원.

한화진, 최성기, 김승우, J. Southerland, 조익수, 임보은 (1996) VOC 배출원별 배출량 산정 및 저감기술 연구, 대한석유협회, 177pp.

홍대형, 동종인, 윤명조, 최제성, 이종범, 조석연, 윤근덕, 공부우, 박정익, 유지열, 조한재, 임성진, 윤연승, 김현석, 채정순, 김용국, 백기태, 김정렬, 박미경 (1996) 2000년대 서울시의 대기오염물질 배출량 예측 및 관리방안 연구. 서울특별시, 749pp.

환경부 (1994) 한국환경연감

환경부 (1995) 환경통계연감.

환경부 (1996) 환경통계연감

환경처 (1991) 한국환경연감

환경처 (1992) 한국환경연감.

환경처 (1993) 한국환경연감

Allemand, N., R. Bouscaren, D.M. Heslinga, I. Marlowe, C.J. Potter, M. Woodfield, and K -H Zierock (1990) *Environment and Quality of Life. A Costed Evaluation of Options for the Reducton of Photochemical Oxidant Precursors: Volume 1 - Results of Three Possible Scenarios for the Abatement Technology and Associated Costs*, Commission of the European communities Brussels, Luxemburg.

Harley, R.A., A.G. Russell, G.J. McRae, G.R. Cass, and J.H. Seinfeld (1993) *Photochemical modeling of the southern California air quality study*, Environ. Sci Technol., 27, 378-388

NRC (National Research Council) (1991) *Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution*, National Academy Press, Washington, D.C.

US EPA (1991) *Guidelne for Regulatory Application of the Urban Airshed Model*, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.