

## CA2) 장거리이동 예측 모델링을 위한 우리나라의 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>x</sub> 배출량 산정

### Estimation of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emissions for the Long-range transport Modeling in Korea

김정수 · 김록호 · 유철  
 국립환경연구원 대기연구부

#### 1. 서 론

최근의 대기확산 모델링은 도시규모 뿐만 아니라 동북아시아의 대기오염물질 장거리이동 현상을 다루는 빈도가 매우 높아졌다. 모델링을 위해서는 기상자료와 배출량자료를 준비하는 것이 매우 중요한 과정이다.

본 연구에서는 우리나라 주도로 수행중인 '동북아 장거리이동 대기오염물질 공동 조사사업(LTP project)'과 관련하여 모델링분야의 공동 수행과제인 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>x</sub> 배출량 산정에 관한 것을 소개하였다. UNDP가 제안한 배출원 목록 수립방법을 이용하여 1998년에 대한 1° × 1° 간격의 격자형 자료가 산정되었으며, 향후 LTP project의 모델링분야에서 활용될 예정이다.

연구 결과 1998년 우리나라의 SO<sub>2</sub> 및 NO<sub>x</sub>의 배출량은 각각 1,146천톤 과 1,084톤 정도로 추정되었으며, 지역별로는 SO<sub>2</sub>의 경우는 부산을 포함한 경남권이 약 211천톤으로 가장 많았고, NO<sub>x</sub>는 인천·부천 지역과 서울을 포함하는 격자에서 각각 약 138천톤 및 164천톤을 배출하여 전체의 약 30%를 차지하였다.

#### 2. 연구 방법

##### 2-1. 산정절차

대기오염물질의 배출량은 사용된 연료량과 연료별 황 함량, 연소시 황 잔류량, 산업공정으로부터의 생성량, 배출방지시설의 효율 등에 의해 결정된다.

이들을 관계식으로 요약하여 표현하면(H. Akimoto et al.,1992) SO<sub>2</sub>의 경우,

총 배출량 = 업종별(a) 배출량의 합.

$$E^S = \sum E_a^S \quad (1)$$

업종별 배출량 = 연료별(f) 연소(F)에 의한 배출량 + 산업공정(p)에 의한 배출량

$$E_a^S = \sum E_{a,f}^F + E^P \quad (2)$$

연료연소에 의한 배출량 = 연료별 배출계수(K) × 연료사용량(Q)

$$E_{a,f}^F = K_{a,f}^S \times Q_{a,f} \quad (3)$$

배출계수 = 2 × 방지효율(P) × 황잔류율(R) × 연료중 황함량(S)

$$K_{a,f}^S = 2 \times (1 - P_{a,f}^S) \times (1 - R_{a,f}^S) \times S_f \quad (4)$$

이며 NO<sub>2</sub>의 경우도 유사하게 다음과 같이 표현된다

$$E^N = \sum E_a^N \quad (5)$$

$$E_a^N = \sum E_{a,f}^N \quad (6)$$

$$E_{a,f}^N = (1 - P_{a,f}^N) \times K_{a,f}^N \times Q_{a,f} \quad (7)$$

##### 2-2. 배출계수

배출계수의 도출방법은 황산화물(SO<sub>x</sub>)의 경우 연료 중 황이 공기 중 산소와 결합하여 생성되며 이때 생성된 황산화물의 95% 이상이 SO<sub>2</sub>로, 나머지 1 - 5%는 SO<sub>3</sub> 나 황산염의 형태로 배출된다. 연료 중 황이 모두 SO<sub>2</sub>로 배출된다고 가정할 경우의 배출계수는 다음과 같다.

$$\text{고체연료} : 2 \times S \times (1-R) \times 10 \quad [ \text{kg/ton} ] \quad (8)$$

$$\text{액체연료} : 2 \times S \times M_s \times 10 \quad [ \text{kg/kl} ] \quad (9)$$

S : 연료중 황함량 ( wt.% )

R : 황 잔류율

M<sub>s</sub>: 연료의 비중

위 식에서 알 수 있는 바와 같이, 고체연료의 경우는 연료 내 회분에 의해 연소시 상당량의 황 성분이 잔류하게 되며 액체나 기체연료는 모든 황 성분이 배출되는 것으로 간주하고 있다. 황 잔류율은 국내자료(나진균 등, 1989~1991)와 미국 EPA자료(1985) 및 일본 자료 (Kato 등, 1992)등을 참조하였다.

또한 액체연료의 비중은 연료별로 다르며 본 연구에서는 미국 EPA자료와 같이 휘발유 0.75, 등경유 0.85, 중유 0.95를 각각 적용하였다.

배출계수는 미국 EPA의 자료를 주로 사용하였으며, 1980년대 말부터 급속히 보급되고 있는 LNG(도시가스)와 주거용으로 주로 사용되는 연탄의 경우는 국내 실정을 고려하여 나진균 등(1989-1991)에 의해 직접 실험을 통해 얻은 결과를 사용하였다. 각 연료에 대한 황 함유량(중량비로서)은 무연탄과 유연탄은 0.7%, Cokes는 유연탄의 60%인 0.42%, 휘발유와 등유는 각각 0.03%와 0.1%를 적용하였으며 경유는 용도별로 0.1%와 0.05%를, 중유는 지역 및 용도별로 4.0%, 3.0%, 2.0%, 1.6%, 1.0%, 0.5%, 0.3%를 적용하였다(에너지통계연보,1998). LPG와 LNG의 경우는 미국 EPA자료와 같이 0.00054%와 0.00064%를 각각 적용하였다.

### 2-3. 배출원별 산정

#### 고정 배출원

환경부에서 매년 조사하고 있는 대기배출시설 실태조사자료를 기초로 대형시설인 1~3종 업소를 업종별로 분류하였다. 여기서 누락된 소형시설과 수송부문 등에 대한 것은, 소형시설은 총 연료사용량에서 대형시설의 연료사용량과 수송용 사용량을 뺀 양을 시도별로 정리한 후 이를 1' × 1' 격자로 분배하였다. 항공 및 해운분야는 고정오염원으로 간주하여 격자화 하였다.

#### 이동 배출원

수송부문 중 자동차에 대한 것만을 대상으로 하였으며, 배출계수는 조강래 등(1990)이 실제 주행 시험과 실험실내 실험을 통해 구한 주행거리당 배출계수(kg/km)를 연료사용량당 배출계수(kg/kl)로 환산하여 사용하였다. 산정방법은 소위 '누적주행거리(VKT; Vehicle-Kilometers-Traveled)'에 의한 것으로 다음과 같이 표현하며, NOx의 배출계수는 차량 규모 및 사용연료에 따라 구분된 자료를 이용하였다.

$$\text{배출량(ton/년)} = \text{차량대수(대/년)} \times \text{일일주행거리(km/대 \cdot \text{일})} \times \text{배출계수(g/km)} \times 365(\text{일/년}) \times 10^{-6}(\text{톤/g})$$

### 3. 결과 및 고찰

Table 1. Sectional SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emissions in Korea, 1998

Sector	Energy (Tcal)	Emissions(1000ton)	
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Industry	625,160	466	352
Transportation	275,795	297	511
Residential/Commercial	241,810	63	53
E. Power Plant	266,978	320	167
Total	1,409,743	1,146	1,084

Table 2. Fuel Consumption by Sector in Korea, 1998

Fuel type	Industry	Transportation	Residen./Com.	Power plant
<b>Coal(1000ton)</b>				
Anthracite	162	-	1,229	2,451
Bituminous	25,580	-	-	25,682
<b>Petroleum(1000kl)</b>	391	9,178	76	-
Gasoline	1,859	56	7,745	7
Kerosene	3,736	11,381	3,124	292
Diesel	204	127	22	-
Bunker-A	129	54	20	-
Bunker-B	8,905	3,699	935	3,162
Bunker-C	0.3	2,287	-	-
Jet oil	34,001	-	-	-
Naphtha	2,969	3,067	4,070	-
LPG				
<b>Gas(1000ton)</b>				
LNG	241.8	-	6,233	4,030

Source : Yearbook of Energy Statistics(1999)

### 참고 문헌

- 나진균, 동종인, 홍지형, 석광설, 이상보 외 다수(1991) 도시지역 대기질 개선에 관한 연구 - 고정배출원의 오염물질 배출부하량 산정을 중심으로 -, 국립환경연구원. pp. 171
- 대기오염물질 배출량(1998) 환경부 국립환경연구원. pp. 116
- 에너지통계연보(1999) 산업자원부 에너지경제연구원. pp 328
- Akimoto, H. and N. Narita(1994) Distribution of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from fuel consumption and industrial activities in Asia with 1°×1° resolution. *Atmos. Environ.*, 28, 213-225.
- EPA(1995) Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Vol. 1 : Stationary Point and Area Sources, AP-42, 5th Edition.
- Kato, N. and H. Akimoto(1992) Anthropogenic emissions of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in Asia : Emission Inventory. *Atmospheric Environ.*, 26A, 2297-3017.
- Pacyna J. M., S. Larssen and A. Semb A.(1989) European Survey for NO<sub>x</sub> Emissions 1985. Norwegian Institute for Air Research, Report 26/89, Lillestroms, Norway.
- Springmann F.(1990) NO<sub>x</sub> Emissions in Europe. International Institute for Applied Systems Analysis IIASA, forthcoming working paper. Laxenburg. Austria.