

동북아시아지역 대기오염 현황 : 중국을 중심으로 Air Quality in Northeast Asia with Emphasis on China

김 용 표

한국과학기술연구원 지구환경연구센터
(1999년 1월 11일 접수, 1999년 3월 30일 채택)

Yong-Pyo KIM

Global Environmental Research Center, Korea Institute of Science and Technology

(Received 11 January 1999; accepted 30 March 1999)

Abstract

Data on ambient levels of SO_2 , NO_x , and TSP and their emissions in Northeast Asia with special emphasis on China are collected and discussed. Also, study results on long-range transport of air pollutants in the region were briefly discussed. It was found that emissions of air pollutants in China are dominant over the region.

1. 서 론

동북 아시아지역은 전세계 인구의 1/3 이상이 살고 있으며, 급속한 경제성장을 보이고 있다. 이에 따른 주민의 생활수준 향상과 생산활동의 증가에 따라 오염물질의 배출량도 급격한 증가추세를 보이고 있어, 이 지역 환경에 큰 영향을 미치고 있다. 특히 대기오염물질의 배출과 이동, 그리고 이에 따른 환경 악화는 환경적인 측면에서 뿐만 아니라, 정치, 경제, 외교적인 면에서도 큰 문제를 야기하고 있다. 우리나라는 이 지역에서도 대기오염물질의 배출이 많은 중국의 풍하지역에 있기 때문에, 중국에서의 대기오염물질 배출에 따른 대기질의 악화가 우려되고 있다. 최근의 한 모사연구결과에 의하면(이상인 등, 1995) 우리나라에서의 아황산가스의 물질수지에서 중국에서 이동한 양이 우리나라에서 배출한 양에 비해 절대적으로 많은 것으로 나타났다.

그러나, 이 지역의 대기오염도, 대기오염물질의

배출량, 이동, 침적량에 대한 자료는 산발적으로 발표. 검토되어, 종합적인 이해에 어려움이 있다. 이 자료에서는 이 지역의 산성물질 이동, 침적에 중요한 아황산가스(SO_2)와 질소산화물(NO_2 기준), 그리고 총부유분진(TSP)에 대해 (1) 대기질과 (2) 배출, (3) 이동, 침적에 대한 최근 자료를 정리하여, 이 문제에 대한 이해를 돕고자 하였다.

2. 동북아시아 대기질 현황

2.1 중국의 대기오염도

중국의 대기오염도는 중국 북부와 남부가 큰 차이를 보이고 있어서, 중국의 공시통계에서도 두 지역으로 구분하고 있다(중국환경연감, 1995). 이런 차이는 지역에 따른 대기오염물질의 배출특성의 차이 뿐만 아니라 지역별 토양성분의 차이 등의 지형적 영향도 큰 것으로 알려져 있다. 표 1에서 보듯이 중국 도심지역에서의 아황산가스의 농도는 1990년대 들어서 감소하고 있는 것으로 나타났다. 1980년대

의 중국 남부와 북부에서의 아황산가스의 농도는 대체로 40 ppb와 45 ppb 전후였으나, 1995년에는 두 지역 모두 31 ppb를 보이고 있다. 그러나 이 농도는 뒤에 나오겠지만, 우리나라와 일본의 대도시의 평균 농도에 비하면 매우 높은 값이다. 표 2에 나오는 1996년도에 중국에서 아황산가스 농도가 높은 도시와 그 농도를 보면 이는 더욱 확연하게 나타난다. 북부지방에서 고농도 도시들인 태원(太原), 치박(淄博), 대동(大同)은 1995년에도 3위 안에 들은 도시로, 농도도 1995년과 비슷하게 80 ppb 전후를 보이고 있다. 남부지방에서는 귀양(貴陽)과 중경(重慶)이 1995년과 같이 북부지역의 최고농도의 2배 정도의 농도를 나타내며, 최고농도를 보이고 있다. 귀양은 1995년의 162 ppb와 거의 비슷하게 1996년도에도 160 ppb로 최고농도를 나타냈다. 귀양과 중경은 지형적 요인과 함께, 그 지역에서 사용하는 석탄의 황함량에 따른 국지적인 고농도로 알려져 있다. 이 농도를 우리나라 서울의 1997년의 아황산가스 연평균값인 11 ppb와 일본 일반지역의 연평균 농도인 8 ppb와 비교하면, 중국 도심지역의 아황산가스의 오염도가 얼마나 심한지 알 수 있다.

Table 1. Trend of SO₂ concentrations in China. (unit : ppb)

Year	Southern China		Northern China	
	Range	Mean	Range	Mean
1981	8~172	42	8~145	46
1985	3~193	38	5~86	42
1990	1~161	44	5~94	31
1991	2~134	34	5~106	35
1992	1~177	34	4~116	39
1993	3~172	37	3~83	39
1994	-	32	-	34
1995	1~162	31	2~81	31

중국환경연감 (1995, 1996), Estimation based on 1 atm, 25°C

Table 2. Chinese cities with high SO₂ concentrations in 1996. (unit : ppb)

	Southern China	Yearly mean	Northern China	Yearly mean
1	귀양(貴陽)	160	치박(淄博)	81
2	중경(重慶)	123	태원(太原)	78
3	선빈(宜賓)	84	대동(大同)	77

중국환경연감 (1997), Estimation based on 1 atm, 25°C

질소산화물의 농도는 표 3에서 보듯이 1980년대 초부터 지금까지 큰 변화 없이 중국남부에서는 22 ppb 전후를 유지하고 있으며, 중국 북부에서는 30 ppb전후를 유지하고 있다. 이는 우리나라 대도시의 연평균 농도인 20~30 ppb와 비슷하고, 일본의 평균 농도인 16~18 ppb보다는 약간 높은 값이다. 그러나 표 4에서 보인 1996년에 질소산화물 연평균 농도가 높은 도시들의 경우에는 매우 높은 값을 보이고 있어, 중국에도 광화학반응에 의한 대기오염이 큰 문제가 될 수 있음을 보이고 있다. 한 예로 중국 남부의 광주(廣州)의 1996년도의 연평균농도는 80 ppb로 1995년의 69 ppb에 의해 증가한 값이다. 이는 자동차 등의 질소산화물 배출원의 급격한 증가 때문으로 보인다.

중국의 총부유분진의 오염도는 표 5에서 보듯이 매우 심각하다. 중국 남부에서는 1980년대 초 400 µg/m³을 넘는 농도가 1990년대 중반에는 250 µg/m³으로 낮아지고, 중국 북부에서도 1980년대 초에 900 µg/m³이 넘는 값이 1990년 중반에는 400 µg/m³대로 낮아졌으나, 아직도 우리나라나 일본에 비해서는 매우 높은 값이다 중국 북부가 남부에 비해 총

Table 3. Trend of NO₂ concentrations in China. (unit : ppb)

Year	Southern China		Northern China	
	Range	Mean	Range	Mean
1981	5~43	21	11~48	32
1985	7~45	22	12~50	31
1990	6~38	20	4~69	25
1991	6~55	20	8~340	29
1992	6~57	21	10~81	31
1993	5~58	21	12~78	31
1994	-	21	-	29
1995	-	22	-	28

중국환경연감 (1995, 1996), Estimation based on 1 atm, 25°C

Table 4. Chinese cities with high NO₂ concentrations in 1996. (unit : ppb)

	Southern China	Yearly mean	Northern China	Yearly mean
1	광주(廣州)	80	북경(北京)	62
2	상해(上海)	46	안산(鞍山)	45
3	만현(萬縣)	41	안양(安陽)	41

중국환경연감 (1997), Estimation based on 1 atm, 25°C

부유분진의 농도가 높은 것은 토양성분의 차이 뿐만 아니라, 황사 등의 토양입자의 이동이 더 빈번한 것에도 원인이 있다. 한편 표 6에 1996년의 중국에서 총부유분진농도가 높은 도시들을 보였다. 길림(吉林), 난주(蘭州), 만현(萬縣) 등의 지역은 1995년도 높은 농도를 보였던 도시들로, 1996년에도 높은 농도를 보이고 있다.

그러나 북부지역의 연평균 농도는 1995년에 비해 상당히 낮아진 것으로 나타났다. 길림의 경우 1995년에는 732 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나 1996년에는 618 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 낮아졌으며, 다른 도시도 마찬가지로 경향을 보이고 있다. 남부지역에서는 만현과 회화(懷化)는 1995년에 비해 매우 높은 농도를 보였으나, 다른 도시는 낮은 농도를 보였다. 그러나 이런 변화가 실제인지, 또는 통계상의 문제인지에 대해서는 확인하기 힘들다.

2.2 다른 나라의 대기오염도

우리나라는 청정연료의 사용 확대, 저공해자동차의 보급 등의 각종 대기오염 저감대책으로 아황산가스나 TSP 같은 오염물질의 농도는 비약적으로 줄

어들었다. 한 예로 서울의 연평균 아황산가스 농도는 1980년의 94 ppb에서 1994년부터는 20 ppb 이하로 줄어들어, 1997년에는 11 ppb를 보이고 있다(환경부, 1998). 총부유분진의 경우에도 1989년의 149 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 1997년에는 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 반 이상으로 줄었다. 이 외에도 무연휘발유의 도입으로 대기 중에서의 납(Pb)의 농도도 줄은 것으로 나타났다(환경부, 1998). 그러나 자동차 대수의 비약적인 증가로 인한 질소산화물과 그에 따른 오존의 농도는 전국적으로 각각 21~32 ppb와 15~21 ppb로 감소하고 있지 않다.

북한의 대기질에 대해서는 정량적인 자료가 거의 없다. 정희성 등(1996)은 북한의 대기질에 대해 정성적인 묘사를 하고 있으나, 신뢰성 있는 자료가 아니기 때문에 정량화하기 힘들다. 다만 동유럽의 예를 보아, 석탄을 주로 사용하고, 대기오염방지시설이 미비한 경우 대기오염도가 심각할 것으로 예상된다.

일본의 대기오염도는 안정된 경향을 보이고 있다(일본 환경청, 1998). 일반 측정망의 연평균 농도의 평균값이 1987년부터 1996년까지 이산화질소의 경우 16~18 ppb를, 부유입자상물질(우리나라의 PM10에 해당)의 농도는 35~38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내고 있다. 한편 아황산가스와 일산화탄소의 경우에는 1987년~1991년에는 각각 11~12 ppb와 1.5~1.6 ppm으로 일정하다가 1992년부터 감소하여 1996년에는 안정화되어 각각 8 ppb와 1.1 ppm으로 나타내고 있다. 뒤의 아황산가스의 배출량 자료에서도 나타나지만, 일반적인 기준이 되는 대기오염물질에 관한 한 일본의 대기질은 안정적이라고 생각할 수 있다.

3. 동북 아시아 대기오염물질 배출 현황

3.1 중국의 배출량

중국의 공식자료인 중국환경연감에서 보고한 아황산가스 배출량 자료를 표 7에 실었다. 단 1997년의 환경연감에서는 기존의 환경연감과는 달리 아황산가스 배출량을 수록하지 않았다. 다만, 공업생산에 의한 아황산가스 배출량만을 수록하였기 때문에 이를 표 7에 같이 나타내었다. 1996년도에는 공업생산에서의 아황산가스 배출량이 약간 감소하였음을 알 수 있다. 이로 미루어, 1996년의 총배출량은 약

TTable 5. Trend of TSP concentrations in China. (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Year	Southern China		Northern China	
	Range	Mean	Range	Mean
1981	160~850	410	370~2770	930
1985	224~821	444	333~1767	740
1990	64~800	268	138~844	475
1991	80~376	225	709~1433	429
1992	90~474	250	134~663	400
1993	108~721	252	142~815	406
1994	-	250	-	407
1995	-	242	-	392

중국환경연감 (1995 1996)

Table 6. Chinese cities with high TSP concentrations 1996. (unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	Southern China	Yearly mean	Northern China	Yearly mean
1	만현 (萬縣)	618	길림 (吉林)	618
2	회화 (懷化)	586	난주 (蘭州)	595
3	포향 (萍鄉)	372	안양 (安陽)	571

중국환경연감 (1997)

Table 7. SO₂ emissions in China between 1993 and 1996. (unit : 10,000 ton)

Year	Total emission	Emissions from industrial activities
1993	1,795	1,292
1994	1,825	1,341
1995	1,891	1,405
1996	-	1,364

문길주 등 (1998): 중국환경연감 (1997)

Table 8. Provinces and Cities of China in 1995 with high emission of SO₂. (unit : 10,000 ton)

Order	Province	Emissions
1	산둥 (山東)	232
2	사천 (四川)	223
3	하북 (河北)	116
4	요녕 (遼寧)	109
5	산서 (山西)	101
Total for 5 provinces		781 (41.3%)
Order	City	Emissions
1	상해 (上海)	49
2	북경 (北京)	38
3	청도 (靑島)	35
4	천진 (天津)	33
5	제남 (濟南)	25
Total for 5 cities		180 (9.4%)

중국환경연감 (1996)

1,850만톤 정도로 추측할 수 있다. 한편 표 8에 1995년도에 중국에서 아황산가스를 많이 배출한 지역과 도시를 순위별로 5개씩 나타내었다. 표 8을 보면, 상위 5개성이 중국 전체의 아황산가스 배출량의 41.3%를, 또 상위 5개 도시가 9.4%를 배출하여 그 비중이 매우 큰 것을 알 수 있다. 또, 아황산가스 배출을 많이 하는 성의 대부분과 도시 모두가 우리나라와 인접한 중국 동부지역에 있음을 알 수 있다.

중국에서 발표한 대기오염배출량 자료의 신뢰성에 대해서는 많은 논란이 있다. 아황산가스의 예를 들면, 표 7의 1995년 아황산가스 배출량은 중국환경연감에서 인용한 자료는 중국의 공식자료이다. 한편 박순웅 등(1997b)은 1995년 중국에서의 아황산가스 배출량을 31,220,000톤으로 산출하였다. 이 자료는 연료사용량은 중국의 연감자료에서 구하고, 연료 황함량 자료는 중국의 연구자로부터 얻고, 배출

계수는 일본과 미국의 배출계수를 참고로 하여 계산하여, 각종 질 등의 생물체 소각에서 배출되는 아황산가스도 포함한 것이다. 또한 Akimoto and Narita (1994)는 연료사용량으로부터 1987년 중국에서의 아황산가스 배출량을 19,990,000톤으로 산출하였다. 따라서, 중국의 배출량 자료를 사용할 때에는 그 산출방법, 시기 등에 따른 차이를 감안하여야 할 것이다.

3.2 다른 나라의 배출량

우리나라는 아황산가스의 배출량이 1994년의 1,602,764톤을 최대치로 하여 1995, 1996년에는 각각 1,532,320톤과 1,500,260톤으로 조금씩 감소하는 경향이다. 질소산화물의 경우에는 1990년대 들어 조금씩 증가하는 추세로 1995, 1996년에는 각각 1,152,765톤과 1,257,993톤이었다. 총부유분진은 1990년대 들어 거의 변화하지 않았으며, 1995, 1996년에는 각각 405,526톤과 423,694톤이었다(환경부, 1998).

북한지역의 대기오염물질 배출 정도와 대기오염 현황에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 정희성 등(1996)이 연료사용량과 미국 환경보호청 배출계수 자료를 이용하여 1994년도의 북한에서의 연료별 대기오염물질 배출량을 추정하였다. 그 결과 아황산가스와 질소산화물의 배출량을 각각 406,600톤과 429,200톤으로 추산하였다(단 정희성 등의 추정은 실제 계산 결과보다 10배를 과대 평가하였기 때문에, 여기에서는 그 오차를 정정하였다). 또, Akimoto and Narita (1994)는 아시아에서의 연료사용과 산업 활동에 의한 황과 질소의 1987년 기준 배출량을 추산하였는데, 이 결과에 의하면 북한에서 아황산가스는 332,000톤, 질소산화물(NO₂로 환산)은 470,000톤이 배출되었다. 비록 산출 년도가 7년 차이가 나지만, 두 결과가 비슷한 것을 알 수 있다.

일본의 대기오염물질 배출량에 대한 정부 공식자료는 공개되지 않는 것으로 나타났다(Hayami, 개인 교신). 이에 따라 Akimoto and Narita (1994)가 일본 정부의 지원으로 작성한 아시아 지역 배출량 논문에 수록된 1987년 기준 아황산가스 배출량인 986,000톤이 가장 신빙성이 있는 것으로 보인다. 한편 OECD 자료를 인용한 1989년 기준 아황산가스 배출량은 876,000톤으로 나타나(통계청, 1998), 앞의

자료와 약 10%의 작은 차이를 보여 두 자료의 신뢰성이 높음을 알 수 있다.

러시아 동북아시아지역에서의 대기오염배출량에 대한 자료는 많지 않다. Ryaboshapko *et al.* (1996)이 구소련 (former Soviet Union)의 연료사용과 각종 산업활동에 의한 황과 질소산화물의 1°×1° 간격의 배출량을 1985년과 1990년도 기준으로 구하였다. 이중, 동북아시아지역에 해당하는 103°E~139.5°E, 30°N~62°N의 1990년을 기준으로 아황산가스와 질소산화물의 배출량은 각각 399,840톤, 질소산화물(NO₂로)이 420,144톤으로, 구소련 전체 배출량인 22,660,000톤과 13,461,000톤의 각각 1.8%와 3.1%이다.

몽골리아의 배출량 자료는 Akimoto and Narita (1994) 자료를 이용하였으며, 그다지 많지 않다.

위의 결과를 종합하여, 동북아시아지역 여러 나라의 대기오염물질 배출량을 표 9에 실었다. 여기서 주의할 것은 산출자에 따라, 또 산출방법에 따라 배출량 추산결과가 상당히 달라진다는 점이다. 따라서 여러 곳에서 발표된 대기오염물질의 배출량자료를 사용할 때에는 주의를 기울여야 할 것이다.

표 9에서 주목할 것은 중국의 배출량이 이 지역 배출량의 대부분을 차지한다는 점이다. 산출 자료에 따라 다르기는 하지만, 아황산가스는 80% 이상을

중국이 배출하고 있다. 한편, 몽골리아는 다른 나라에 비해 배출량이 매우 낮고, 러시아의 동북아시아 지역의 배출량도 많지 않다 이는 이 지역에서의 대기오염물질의 장거리이동을 저감하기 위해서는 중국에서의 배출을 저감하는 것이 가장 중요할 수 있다는 것을 의미한다.

4. 동북 아시아 지역 대기오염물질 이동, 침적량 산출 결과

최근 동북아시아지역에서의 대기오염물질, 특히 산성물질의 이동, 침적에 의한 국가별 기여율에 대한 언론 보도가 있으면서, 이에 대한 관심이 커지고 있다. 대기오염물질의 이동, 침적 연구는 주로 모델을 이용하여 이루어지고 있다. 우리나라에서는 선도 기술개발사업의 일부로서 RADM과 STEM-II를 이용하여 대기오염물질의 이동, 침적량을 추산하고 있다 (박순용 등, 1997a, b)

이 외에 RAINS-Asia과제는 유럽 IASA에서 미국과 아시아 여러 나라의 공동연구로 진행하고 있는 연구로, 아시아지역에서의 산성 대기오염물질의 배출, 이동, 침적, 그리고 그에 따른 영향을 파악하는 연구이다 (Arndt and Carmichael, 1995). RAINS-Asia에서 황화합물의 계절별 이동, 침적량을 산출한 모델은 ATMOS라는 장거리 이동 모델로, 이 모델은 Puff-Lagrangian 모델로 자세한 설명은 Arndt *et al.* (1997)에 실려있다. 이 모델 결과에서 산출한 황화합물의 이동, 침적량은 오차가 상당히 클 것으로 예상되므로, 상대적인 분율만을 여기에서는 검토하였다. Arndt and Carmichael (1995)에 의하면, 우리나라에 침적되는 황화합물은 대부분 우리나라에서 배출된 것이며, 중국에서 이동하는 양이 13%정도인 것으로 나타났다. 또한 Arndt *et al.* (1997)에 의하면 일본에 침적되는 황화합물은 반 이상이 일본에서 배출된 것이며, 특히 주풍이 서풍이 아닌 여름과 가을철에는 일본 자체의 영향이 압도적인 것으로 나타났다. 그러나, 주풍이 서풍인 겨울과 봄에는 중국과 한국의 영향이 상당히 나타나는 것으로 보고하였다. 특히 일본 서부에서는 그 영향이 큰 것으로 나타났다.

일본 전력중앙연구소에서도 Arndt *et al.* (1997)과 유사한 Lagrangian 모델을 이용하여 일본에 침적되

Table 9. Emissions of SO₂ and NO₂ in Northeastern countries. (unit : ton/year)

Country	Emissions	
	SO ₂	NO ₂
China (1995)	18,908,273 ¹⁾ 31,220,000 ²⁾	9,700,000 ²⁾
Korea (1996) ³⁾	1,500,260	1,257,993
North Korea	406,600 ⁵⁾ 332,000 ⁶⁾	429,200 ⁵⁾ 470,000 ⁶⁾
Japan (1987) ⁵⁾	986,000	1,935,000
Russia (1990) ⁷⁾	399,840	420,144
Mongolia (1987) ⁶⁾	100,600	72,000

¹⁾ 중국환경연감 (1996),
²⁾ 1994년 자료임, 박순용 등 (1997a),
³⁾ 박순용 등 (1997b),
⁴⁾ 환경부 (1998),
⁵⁾ 1994년 자료임, 정희성 등 (1996)의 자료를 수정한 값임.
⁶⁾ 1987년 자료임 (Akimoto and Narita, 1994),
⁷⁾ Ryaboshapko *et al.* (1996), Russia의 동북 아시아지역만 고려한 값임

는 황화합물의 국가별 기여도를 산출하였으며, 이들의 결과도 Arndt *et al.* (1997)의 결과와 비슷하다 (Ichikawa *et al.*, 1998).

그러나, 이런 결과들은 배출량 산정과 이동, 변환, 침적 모델의 신뢰도면에서 아직 문제가 있기 때문에, 결과 사용에 신중을 기해야 하며, 보다 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해 앞으로도 보다 많은 연구가 필요하다.

또 하나 고려하여야 할 것은 동북아시아 이외의 지역에서 이 지역으로 이동, 침적하는 대기오염물질의 양에 대한 문제이다. 한 예로, Tarrasón and Iversen (1998)은 북반구에서의 황화합물의 배출, 반응, 이동, 침적을 조사하여 1988년을 기준으로 할 때, 유럽에서 배출되는 황화합물의 20%가 유럽 외부에서 침적되고, 이 중의 상당부분이 북아시아지역에서 침적되는 것으로 밝혔다. 이들에 의하면 북위 35° 북쪽의 아시아 지역에서는 전체 황화합물 침적량의 10%가 유럽에서 발생한 것이었다. 침적량은 4월에 가장 높으며, 주로 시베리아 지역에 침적하지만 한반도와 일본사이의 동해상의 침적속이 가장 큰 것으로 나타났다. 동해에서 최대침적량을 보인 1998년 겨울의 경우, 유럽에서 배출한 황화합물의 침적속은 25~30 mg(S)/m²/season이었다. 따라서, 우리나라로 이동, 침적하는 황화합물에는 유럽에서 배출된 물질도 일부 포함되어 있는 것으로 보이며, 이에 대한 고려가 있어야 할 것이다.

5. 요약

대기오염물질의 장거리이동에 의한 영향이 클 것으로 예상되는 동북아시아지역에서의 대기오염물질, 특히 아황산가스와 질소산화물 같은 산성물질의 배출, 이동, 침적에 의한 최신 자료를 정리하였다. 중국의 대기질은 우리나라나 일본에 비해 매우 심각한 것으로 나타났다. 아황산가스의 배출량은, 산출방법에 따라 다르기는 하지만, 중국에서의 배출량이 이 지역 전체 배출량의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 이 지역에서의 대기오염물질의 국가별 침적 기여도에 대한 논의가 많지만, 신뢰성 있고, 객관적인 결과를 얻기에는 보다 많은 연구가 필요하다.

사 사

이 연구는 한국과학기술연구원의 기관고유사업으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

문길주 등(1998) 동북아 대기오염 장거리 이동과 환경보전협력방안에 관한 조사(III), 한국과학기술연구원, 서울.

박순용 등(1997a) 산성비 감시 및 예측기술 개발, 제 2단계 1차년도 보고서, 서울대학교, 서울.

박순용 등(1997b) 산성비 감시 및 예측기술 개발, 제 2단계 2차년도 보고서, 서울대학교, 서울.

이상인, 조석연, 심상규(1995) STEM-II를 이용한 한국과 중국동부지역의 대기오염물질 이동/화학/침적 모사에 관한 연구 II 한·중간 SO₂와 sulfate의 이동에 관하여. 한국대기보전학회지 11, 163-170

정희성 등(1996) 북한의 환경문제와 통일한국의 환경정책 방향, 환경기술개발원, 서울.

통계청(1998) 국제통계연감. 서울

환경부(1998) 환경백서, 서울.

일본 환경청(1998), 일본환경백서, 동경, 일본

중국 환경 연감(1995), 중국환경연감사, 북경, 중국.

중국 환경 연감(1996), 중국환경연감사, 북경, 중국.

중국 환경 연감(1997), 중국환경연감사, 북경, 중국.

Akimoto, H. and H. Narita (1994) Distribution of SO₂, NO_x and CO₂ emissions from fuel combustion and industrial activities in Asia with 1° × 1° resolution, Atmos. Environ., 28, 213-254.

Arndt, R.L. and G.R. Carmichael (1995) Long-range transport and deposition of sulfur in Asia, Water, Air, and Soil Poll., 85, 2283-2288.

Arndt, R.L., G.R. Carmichael, D.G. Streets, and N. Bhatti (1997) Sulfur dioxide emissions and sectorial contributions to sulfur deposition in Asia, Atmos. Environ., 31, 1553-1572.

Ichikawa, Y., H. Hayami, and S.-I. Fujita (1998) A long-range transport model for East Asia to estimate sulfur deposition in Japan, J. Appl. Meteor., 37(10), 1364-1374.

Ryaboshapko, A.G., P.A. Brukhanov, S.A. Gromov, Y.V. Proshuna, and O.G. Afinogenova (1996) Anthropogenic emissions of oxidized sulfur and nitrogen

into the atmosphere of the former Soviet Union in 1985 and 1990. International Meteorological Institute in Stockholm, Sweden.

Tarrasón, L. and T. Iverson (1998) Modeling intercontinental transport of atmospheric sulfur in the northern hemisphere, *Tellus*, 50B, 331-352.