

중국의 대기환경질과 한반도에의 월경성 오염

동 종 인

서울시립대학교 공과대학 환경공학과

**Ambient Air Quality of China and Transboundary Transport
of Air Pollutants**

Jong-In Dong

*Department of Environmental Engineering**Seoul City University***Abstract**

Rapid economic development and increase of energy consumption in east Asia including China, Korea and Japan has arisen a concern in air pollution problems in local and regional scale. Specially, China is accomplishing a success in continuous economic growth, while increasing energy consumption has caused a load to air quality because major energy source is coal which is relatively unfavorable in terms of air pollution.

In this article, discussions have been given with the purpose of gaining some insight into the situation of air pollutant sources, air quality in China and transboundary transport of air pollutants in this area. Very limited information has caused insufficient survey, however, regional cooperation in environmental conservation may hopefully improve the air quality in this area.

I. 서 론

그간 비교적 외부적으로 잘 알려지지 않았던 중국에서의 환경문제가 경제개발과 사회적 분위기에 편승한 대외개방정책과 더불어 일부 알려지기 시작한 것은 최근의 일이다. 과거 각 국가별 환경문제해결에 고심하던 선진국을 중심으로 한 국가들의 관심이 지구적 차원의 환경문제 및 국가간 월경성 오염물질에 의한 환경문제로 확대되는 추세에 따라 동북아시아에서의 환경문제의 국제적 관심이 자연 이 분야에까지 이르고 있다. 특히 경제규모의 팽창과 이에 따른 에너지 소비량의 증가율이 다른 지역보다 높은 이 지역에서의 대기오염문제 특히 국경을 초월하는 오염물질의 이동현상에 대해 그동안 큰 우려를 보여왔다.

이와 같은 관심의 정도에 비해 여러 가지 여건상 관련국가간 공동연구나 정보교환이 원활치 못하였던 것도 사실이다. 특히 근년에 들어서 경제규모가 급팽창하고 있고 따라서 2000 년대에 가서는 세계 주요 선진국과 맞먹는 규모가 될 중국의 환경문제에 대한 연구는 국내에서는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 중국과 국경을 마주하고 있는 우리나라로서는 국내 대기질개선정책과 아울러 지역국가간의 공동협력에 의한 지역 대기환경질개선부분도 점차 관심을 가져야 할 것이다.

본고에서는 제한된 자료이나마 중국의 대기환경질현황과 우리나라에 미칠 영향에 대해서 알아보기로 한다.

II. 중국의 대기오염 및 에너지 이용 개황

1. 대기오염 개황

중국의 대기오염에 있어서 가장 큰 영향을 주는 인자는 석탄연소에 따른 황산화물과 입자상물질 배출문제라고 할 수 있다. 총 에너지생산량중 74.1% ('89년 기준), 총 에너지소비량중 76.0%를 석탄이 차지하고 있고, 이러한 추세는 당분간 계속되리라 예상된다. 중국의 석탄은 황함유량이 높고 갈탄(lignite)과 토탄(peat)의 사용량도 많아 연소에 의한 아황산가스와 먼지의 배출이 많으므로 이로 인한 대기오염이 나타나고 있다. 도시지역내의 공장, 사업장, 가정에서의 석탄소비량은 총석탄소비량의 40% 이상에 달한다.

이들 석탄은 주로 중소규모의 소각로나 가정용 난로에서 연소되는데 굴뚝높이가 낮고 집진장치나 황산화물 방지시설이 구비되어 있지 않아 대기확산조건이 나쁠 경우 도시지역 및 근교에 심각한 대기오염이 발생하고, 또 완충능력이 작은 도시에서는 산성비현상이 발생하고 있다.

지역적으로는 농촌지역보다는 도시가, 대도시보다는 중소도시가, 남쪽지방보다는 북쪽지방의 오염이 심하다. 그러나 산성비의 경우는 북쪽지방의 토양이 알칼리토양이므로 황산화물의 농도가 높음에도 불구하고 완충작용때문에 산성비가 거의 내리지 않는다. 계절적으로는 난방으로 인해 겨울의 대기오염도가 높다. 현재 중국에서는 총부유입자상물질(TSP) 및 대기입자물질 (<10 μ m), 아황산가스(SO₂), 질소산화물(NO_x), 일산화

탄소(CO), 광화학산화물(O₃) 등에 대하여 환경기준이 설정되어 있다.

2. 에너지 이용현황

대기질에 직접적인 영향을 줄 수 있는 인자로 에너지이용을 들 수 있고 특히 어떠한 연료를 주로 사용하느냐는 매우 중요한 부분이다. 중국은 최근들어 경제개방정책과 더불어 각종 산업시설을 유치하고 있고, 따라서 에너지사용은 증가일로에 있으며 증가량의 많은 부분을 석탄에 의존하고 있다. 1989년에는 석탄환산기준으로 약 9억6,934 만톤을 사용하여 1979년의 5억8,588 만톤보다 약 65%의 증가율을 보이고 있고, 석탄의 사용비율도 71%수준에서 76%수준으로 오히려 증가하고 있는 것을 알 수 있다¹⁾. 따라

서 석탄의 이용처와 이용기술에 관한 사항은 대기오염문제와 관계가 깊음을 알 수 있다. 중국의 각 에너지 종류별 사용추이를 도표로 나타내면 그림 1과 같다.

참고로 중국과 다른 국가간의 주요에너지원을 비교하여 보면 표 1과 같다. 이 표에서 보는 바와 같이 중국의 일차에너지에서 차지하는 석탄비율이 여타 선진국들보다 훨씬 높고 세계평균보다 3.7 배 정도 높다²⁾.

표 2를 보면 대부분의 선진국에서는 석탄을 거의 발전용이나 코우크스용으로 사용하고 있으나 중국은 발전용으로 석탄사용량의 20~25%를 사용하고 민수용으로 많이 사용하고 있다³⁾. 1989년의 부문별 석탄사용률을 보면 발전용 25.6%, 민수용 21.6%, 건재화학(시멘트, 벽돌 등) 21%, 공업용 보일

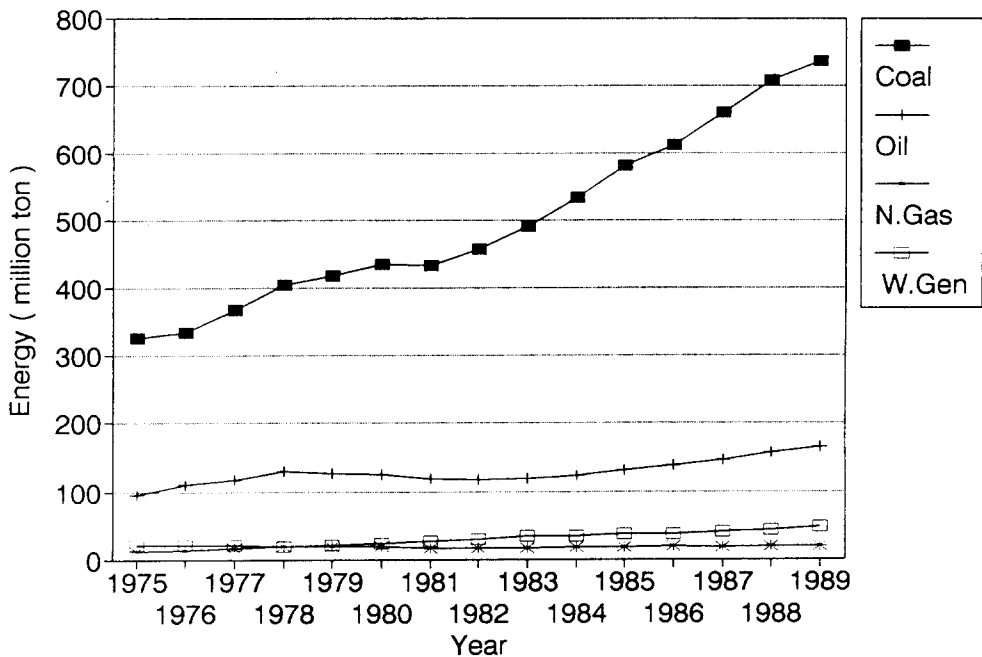


그림 1. Energy Consumption in China

표 1. Comparison of Coal Percentage in Primary Energy Consumption between China and Some Industrialized Countries

	Coal	Oil	Natural Gas	Hydro.	Nuclear Power
World Average	27.8	38.3	21.3	7.0	6.6
China	75.8	17.2	2.1	4.9	-
U.S.A.	23.3	41.9	24.0	3.5	7.0
U.S.S.R.	20.9	31.3	39.6	6.3	6.3
Germany	27.6	40.3	17.0	1.4	12.5
U.K.	31.6	34.9	23.6	2.2	7.7
Japan	17.8	57.8	10.2	4.7	9.5

러 20.7%, 제철소 코우크스용 7.2%, 철도 2.4%, 수출 1.5% 등이다. 중국의 석탄사용형태를 다른 국가들과 비교하여 보면 표 2와 같다³⁾. 이 표에서도 보는 바와 같이 산업용 및 민수용이 매우 많다는 사실을 유의해볼 필요가 있다. 구 소련을 제외한 대부분의 국가들과는 달리 산업시설과 난방·취사 등의 목적에 석탄연료가 사용되고 있는 것이다.

또한 민수용 에너지만 별도로 생각할 때 중국의 경우 난방·취사 등 민수용 에너지의 84.3%를 석탄에 의존하고 있는 반면 미국 및 일본은 각각 82.3% 및 81.4%를 가스 및 전기에 의존하고 있어 도시지역의 대기 오염에 미치는 부담양상이 완전히 다르다는 것을 알 수 있다.

전체 발전량의 80%를 차지하는 화력발전의 연료로서는 석탄, 석유 및 천연가스 등이 사용되고 있으나 최근에는 석탄으로 연료 전환이 많이 이루어지고 있어 석유발전의 비율은 많이 감소하고 있다. 전 화력발전량중 석탄연소에 의한 것은 1986년 85%, 1987년

87%이다. 새로 건설되는 발전소는 소형을 제외하고는 모두 석탄화력이다. 1988년 현재 화력발전설비는 7,270만 kw, 석유화력은 842.5만 kw 이고 앞으로도 석탄연소보일러로 교체하는 노력이 계속될 것이다.

중국은 석탄자원의 혜택을 받고 있으나 석유, 천연가스의 생산량에는 한계가 있으므로 2000년에는 석유화력발전량은 1%정도가 될 전망이다³⁾. 석탄화력발전은 기술수준도 상승하여 현재는 국산으로 30만 kw규모의 시설을 제조하고 있으며 그 사례는 적으나 60만 kw의 국산화도 성공하고 있다. 또한 짠 인건비로 선진국에 비해 약 1/4 비용으로 건설할 수 있다. 중국의 화력발전에서 특징적인 것은 도시와 가까운 경우 열병합발전형태를 택하는 것이다. 오래된 화력발전소가 많으므로 발전열효율은 20%로 낮으나 열공급을 고려하면 화력발전의 열이용효율은 36%로 높다. 이는 화력발전의 4분의 1이 열병합발전을 하기 때문이다. 참고로 중국의 국내 석탄화력발전소의 위치를 살펴보

표 2. Coal Consumption Pattern of China and Some Industrialized Countries in 1989 (Percentage)

	China	U.S.A.	U.S.S.R.	Japan	U.K.	Germany
Power Generation	25.6	81.6	27.8	18.1	75.7	57.5
Coke Making	7.2	4.7	22.8	61.2	10.7	30.6
Industry & Others	43.2	8.5	25.6	-	-	-
Railway	2.4	-	25.6	-	-	-
Civil Use	21.6	0.7	23.8	0.7	6.5	0.9
Total	100.	100.	100.	100.	100.	100.

면 산업시설과 인구가 밀집되어 있는 동쪽 해안지역이나 대도시 근처지역에 밀집되어 있는 것을 알 수 있다.

3. 석탄발전의 대기오염 방지

대규모 석탄화력의 도입에 따라 화력발전소의 대기오염방지가 새로운 석탄화력 발전을 계획하는 경우 중요한 문제가 되어 왔다. 최근 10년간 집진장치에 관한 많은 연구개발에 의해 습식 벤츨리스크러버식 집진장치의 평균효율이 과거의 80%에서 90% 수준으로 향상되었다. 발전소 집진장치가 벤츨리스크러버나 전기집진기로 교환되고 있고 근래 도입된 대부분의 중규모 석탄화력발전소의 효율은 95% 효율의 벤츨리스크러버를 갖추

고 있고 몇 개의 대용량 시설은 효율 98% 이상의 전기집진기를 갖추고 있다. 1986년과 1987년에 운전해 들어간 출력 10만 kw 이상의 모든 시설은 전기집진기를 갖추고 이후 고효율의 전기집진기가 대규모 석탄발전소에 널리 쓰이게 되었다.

화력발전용 석탄의 황함량은 0.2%에서 6% 범위에 있다. 이중 황분이 2% 이상인 석탄은 약 25%이다. 아황산가스에 의한 대기오염은 석탄화력발전소에 있어 매우 중요하다. 따라서 여러 탈황장치가 파일롯트 규모로 시험되고 있으나 아직 상업운전되지 않고 있다. 새로 건설되는 발전소의 대부분은 아황산가스를 확산, 회석시키기 위하여 높은 굴뚝(180~240m)을 설치하고 있다. 신설된

몇 개의 발전소에서는 배연탈황장치를 설치하기 위한 공간을 확보하고 있다.

중국에서는 공해방지를 위해 화력발전소에서 규제치 이상의 배연을 배출하면 벌금을 내게 되어 있고 독립채산제의 입장에서 집진기가 설치되도록 되어 있어 배연 문제는 해결의 실마리를 잡아가고 있다고 볼 수 있다.

III. 대기오염현상과 방지

1. 대기오염방지법 및 대기환경기준

중국의 대기오염방지법은 1987년에 통과되어 1988년 1월 1일부터 시행에 들어갔다. 총 6장 41조로 구성된 이 법은 대기관리를 위한 일반적인 사항과 각 성의 의무사항을 규정하고 있다⁴⁾.

환경보전법의 규정에 기초하여 1982년에 대기환경기준을 제정하여 국무원 환경보호위원회에 의해 비준된 바 있다. 이 환경기준의 제정은 대기오염의 규제와 개선, 쾌적한 환경의 창조, 생태계의 파괴방지, 국민의 건강보호 및 경제발전의 촉진을 목적으로 하고 있다. 이 기준은 전국의 대기환경에 적용되며 다음과 같이 3단계로 구분하고 있는데 이것을 나타내면 표 3과 같다.

- 일급기준 - 장기간의 노출시에도 인간의 건강과 자연생태계에 전혀 피해가 없는 대기환경기준
- 이급기준 - 도시나 농경지에서 장시간 혹은 단시간의 노출에 의해 동식물의 생명과 인간의 건강에 피해를 일으키지 않는 대기환경

기준

- 삼급기준 - 만성 또는 급성으로 인간의 건강에 해를 일으키지 않고, 아주 민감한 동식물을 제외하고는 정상적인 성장을 방해하지 않는 대기환경기준

이들 각 기준의 적용에 있어서는 지리, 기후, 생태계, 정치·경제 및 대기오염의 정도에 따라 다음과 같이 지역구분을 하고, 각각의 구역에 맞는 기준을 적용하게 되어 있다.

- 一類區域 - 국가에서 정한 자연보호구역, 풍치 및 관광지구, 명승고적 및 기타 보호지역
- 二類區域 - 도시계획에 의해 지정된 주택지역, 상업·교통·주택의 혼합지역, 문교지역, 명승고적, 대단위 농촌지역 등
- 三類區域 - 대기오염도가 비교적 높은 지역, 도시의 밀집지 및 중소도시 지역, 공장지역 또는 도시교통의 간선도로에 인접한 지역 등

상기의 지역에 대한 적용기준은 일류구역에 대해서는 원칙적으로 일급기준, 이류구역에 대해서는 원칙적으로 이급기준, 삼류구역에 대해서는 원칙적으로 삼급기준으로 되어 있다. 일류구역은 중앙정부에 의해서 결정되며, 이류구역 및 삼류구역은 지방정부에 의해서 결정되어진다.

이와 같은 대기환경기준항목중 대표적인 아황산가스, 부유먼지, 질소산화물 및 오존에 대하여 같은 지역권인 일본 및 한국과 비교하여 보면 표 4와 같다⁵⁾. 이 표에서는 비교목적에 위하여 단위를 전환하였는데 이

표 3. Ambient Air Quality Standards in China (GB 3095-82)

Pollutant	Limit of Concentration (mg/m ³)			
	Time	Class I	Class II	Class III
Total Suspended Particulate (< 100 μm)	Daily Avg.	0.15	0.30	0.50
	Maximum	0.30	1.00	1.50
Atmospheric Particulate Matter (< 10 μm)	Daily Avg.	0.05	0.15	0.25
	Maximum	0.15	0.50	0.70
Sulfur Dioxide	Yearly Avg.	0.02	0.06	0.10
	Daily Avg.	0.05	0.15	0.25
	Maximum	0.15	0.50	0.70
Nitrogen Oxide	Daily Avg.	0.05	0.10	0.15
	Maximum	0.10	0.15	0.30
Carbon Monoxide	Daily Avg.	4.00	4.00	6.00
	Maximum	10.00	10.00	20.00
Photochemical Oxidant (O ₃)	Hourly Avg.	0.12	0.16	0.20

표에서 보는 바와 같이 아황산가스의 경우 (Class III인 경우), 1년의 장기기준을 보면 한국보다 낮은 0.038 ppm 이고 1시간의 단기기준은 일본과 같다(한국도 장기환경기준을 강화할 계획임). 입자상물질의 경우 총부유분진(TSP)인 경우(Class III, 24시간) 한국

보다 높은 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 PM 10 기준으로 일본기준의 약 2.5 배에 달하고 있음을 알 수 있다. 질소산화물의 경우 일본보다 약간 높은 수치이고 오존의 경우 1시간기준치가 한국과 같으나 1년기준치는 설정하지 않았다. 따라서 환경기준만으로 볼 때 부분적으

로 다르나 전반적으로 한국과 비슷한 수준으로 볼 수 있고 일본보다는 높은 것을 알 수 있다.

2. 오염물질별 현황

중국의 국가환경보호국은 중국환경상황공보에서 1990년에는 대도시뿐만 아니라 소도시 및 농촌지역도 대기오염이 심화되는

추세라고 하고 있으며 전국 배기가스 총배출량은 비도회지, 공업지역을 제외하고도 8.5조 m^3 이고 이것은 전년과 비교하여 2.8% 증가한 것이다⁶⁾. 아황산가스 총배출량은 약 1,495만톤 수준, 매진 총배출량은 약 1,324만톤 수준, 분진총배출량은 781만톤 수준으로 전년보다 감소하고 있다고 밝히고 있다. 1990년의 도시대기중의 총부유입자농도는 일

표 4. Comparison of Air Quality Standards Among Those of China, Japan and Korea

Sulfur Dioxide (ppm, 25°C)

Country	Time			Remark
	1 hr.	24 hr.	1 yr.	
China	0.096	-	0.038	Class III
Japan	0.1	0.04	-	
Korea	-	0.15	0.05	

Suspended Particulate Matters ($\mu g/m^3$)

Country	Time			Remark
	1 hr.	24 hr.	1 yr.	
China	-	500	-	Class III, TSP
	-	250	-	Class III, PM 10
Japan	200	100	-	PM 10
Korea	-	300	150	TSP

표 4. (Continued)

Nitrogen Dioxide (ppm, 25°C)

Country	Time			Remark
	1 hr.	24 hr.	1 yr.	
China	-	0.08	-	Class III
Japan	-	0.04-0.06	-	
Korea	0.15	-	0.05	

Ozone (ppm, 25°C)

Country	Time			Remark
	1 hr.	24 hr.	1 yr.	
China	0.10	-	-	Class III
Japan	0.06	-	-	
Korea	0.10	-	0.02	

평균의 연평균치로 387 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 북부도시는 평균 475 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 남부도시는 평균 268 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다(표 5 참조). 총 부유입자에 의한 대기 오염은 石家壓, 南充, 吉林, 烏魯木齊, 洛陽, 唐山이 심한 편이다.

도시지역의 아황산가스 오염은 북방보다 남방이 현저하고 오염이 심한 곳은 重慶, 貴陽, 宜賓, 南充, 石家壓, 青島 및 烏魯木齊

등이다. 도시대기중의 질소산화물 농도를 일평균의 연평균치로 나타내면 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기록하고 있고, 북부도시는 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 남부도시는 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 되었다. 국내의 산성비는 전과 다름없이 국부적이거나 확대되어가는 추세이고, 西南과 華南지구가 비교적 심한 것으로 알려지고 있다.

알려진대로 중국 대도시의 경우 석탄연소

㉟ 5. Summary of Air Pollutant Concentration Trend In China

Pollutant	Year	Average (total)	South Cities		North Cities	
			Avg.	Range	Avg.	Range
Dust Fall (t/km ² · month)	1983	32.0	16.0	5.1- 29.7	48.0	19.9-113.9
	1984	27.2	16.1	4.5- 43.1	38.0	15.3- 87.6
	1985	27.7	16.5	7.5- 43.7	38.8	16.0- 76.5
	1986	25.0	13.2	6.0- 29.5	32.6	14.8- 68.6
	1987	24.4	14.1	7.5- 26.1	32.8	14.3- 74.0
	1988	25.0	13.5	7.0- 69.0	35.0	9.9-131.3
	1989	-	-	-	3.8- 61.9	-
TSP (mg/m ³)	1983	0.60	0.330	0.164-0.541	0.870	0.427-1.358
	1984	0.66	0.450	0.190-0.030	0.870	0.370-2.158
	1985	0.59	0.444	0.224-0.821	0.740	0.333-1.767
	1986	0.57	0.329	0.219-0.627	0.715	0.196-1.575
	1987	0.59	0.370	0.154-0.573	0.805	0.439-1.357
	1988	0.58	0.440	0.222-0.740	0.674	0.270-1.597
	1989	0.43	0.318	0.141-0.916	0.526	0.117-1.043
Sulfur Dioxide (ppb)	1983	32.9	28.0	9.8-113.4	38.5	8.8- 90.0
	1984	32.2	32.6	4.2-127.1	31.5	2.5- 84.4
	1985	36.8	35.0	2.8-176.5	38.5	4.6- 78.8
	1986	37.1	37.8	8.4-151.9	36.8	5.6-109.6
	1987	41.0	36.4	12.3-151.9	45.5	14.0- 95.9
	1988	32.9	34.7	11.9-152.3	31.1	4.2- 76.7
	1989	-	42.0	0.7-130.2	32.6	2.8-137.9
Nitrogen Oxide (ppb)	1983	22.4	17.5	4.4-38.5	26.8	14.1-45.8
	1984	20.5	18.0	6.3-36.5	22.4	4.8-46.3
	1985	24.4	20.0	6.3-40.9	28.7	10.7-45.7
	1986	23.4	20.0	6.8-47.7	26.8	8.7-52.6
	1987	27.3	20.9	8.3-29.2	33.6	14.6-96.9
	1988	21.9	20.5	4.3-53.5	43.3	3.9-58.4
	1989	-	20.9	4.9-64.8	24.8	5.8-68.2

가 부유입자와 아황산가스에 의한 대기오염을 주도하고, 부유입자농도는 일반적으로 북부가 남부보다 높고 여름보다 겨울이 높다. 아황산가스의 농도는 난방기에 북부도시가 높고, 서남부의 일부도시도 높다고 알려지고 있으나 중국 동북부쪽이 서남부보다 오염물질 희석능력이 크다고 지적되고 있다.

1) 황산화물(SO₂)

중국에서 1년간 배출되는 아황산가스의 배출량은 1989년 기준으로 약 1,565만톤이고 이중 석탄연소에 따른 아황산가스의 배출량이 전체 배출량의 약 90%를 차지하고 있다. 남부의 重慶과 貴陽처럼 황함량이 높은 석탄을 연소하기도 하고, 대기확산조건이 나쁜 도시에서는 아황산가스의 환경대기중의 농도가 높은 편이나 다른 도시에 있어서는 석탄의 황함량이 3~5%나 되지만 대기확산조건이 특별히 나쁘지는 않다⁷⁾. 한편 북부도시들은 하절기에 있어서 아황산가스의 농도가 비교적 낮으나 동절기에 삼급환경기준을 넘는 것은 난방목적으로 보다 많은 석탄을 소비하기 때문이다. 아황산가스가 먼지만큼 심각한 환경문제로 간주되는 것은 이러한 이유 때문이다. 대기확산모델에 기초한 계산에 의하면 아황산가스의 주요 오염원은 중소규모의 석탄연소로 및 석탄난로이다. 북경을 예로 들면 이들 시설에서 나오는 배출량은 전 아황산가스 배출량의 34%밖에 되지 않는데도 불구하고 아황산가스 농도에의 기여율은 72%에 달하고 있다.

지역별로 아황산가스의 연평균을 보면 '89년 기준 북방은 평균 0.093 mg/m³, 남방은 평균 0.120 mg/m³으로 전체평균은 0.107 mg/m³이 되어 이급기준(0.02 mg/m³)보다는 높

고 삼급기준(0.10 mg/m³)에 해당되는 오염도 수준을 나타내고 있다⁸⁾. 北京(Beijing)근처의 세 지점(Dongdan-도시지역, Beixinan-공업지역, Huairou-교외지역)에서 1982.7~1983. 12. 의 약 1년 반동안 일본·중국의 공동연구결과 아황산가스 농도의 계절적인 차이를 살펴보면 세 지역이 모두 유사한 경향을 보이는데, 한국도시의 경향과 유사하게 겨울의 아황산가스 농도가 다른 계절보다 2~10 배정도 더 높은 것으로 나타나고 있다. 도시와 공업지역 모두 비난방기동안 농도변화가 비교적 적고 난방기와 비난방기와 농도차이가 도시지역에서 상당히 크게 나타나는 것으로 미루어 북경지역의 동절기에 아황산가스의 농도가 높은 것은 주로 석탄에 의한 난방에 기인하는 것으로 판단된다. 이 지역은 기온역전의 가능성이 높고 굴뚝이 비교적 낮았기 때문에 오염된 공기가 확산되지 않고 오랜 동안 높은 농도로 축적되고 있는 것으로 보인다.

겨울에도 난방기구를 사용하지 않는 上海(Shanghai)에서 1986~1987년 사이 일본연구팀에 의해 대기오염조사가 수행된 바가 있다⁹⁾. 그 결과를 보면 대체적으로 계절적인 아황산가스의 농도변화폭이 北京에 비하여 작았고 오염도수준도 낮은 수준을 나타내었다. 이 조사결과에서는 하루중 시간별 변화도 나타내고 있는데 아침·저녁시간에 최대치를 보이는 경향은 두 도시가 동일하나 최대값의 크기는 北京이 훨씬 높은 경향을 보이고 있다. 전반적인 대기오염상황은 각 지역별 연료사용상황과 지형, 기온역전 등에 의한 확산조건 등을 감안하여 종합적으로 판단하여야 할 것이다.

2) 먼지

중국에서의 먼지농도는 전국적으로 연중을 통해 높은 값을 나타내고 있다. 북방의 도시에서는 석탄소비량이 많고 토양에 기인하는 먼지의 영향때문에 남방의 도시에 비해 높아지고 있다⁷⁾. 북방에서는 석탄연소에 의한 비산회(fly ash)와 바람에 의한 먼지가 총먼지중 차지하는 비율이 여름에 40%, 겨울에 60%이다. 습한 기후를 나타내는 남방에서는 바람에 의한 먼지가 총부유먼지에서 차지하는 비율은 1/3 이하이다. 한편 북방의 입자상물질은 일반적으로 알카리성으로 나타나고 남방은 산성을 나타내고 있다. 이러한 부유먼지의 성상차이 때문에 북방에서는 산성우가 관측되지 않는다.

수년전에 실시된 北京시, 天津시 등에서의 측정결과에 따르면 벤젠가용성물질은 입자상물질의 약 8%, 벤조피렌농도는 30 ng/m^3 , 납, 카드뮴, 비소의 농도는 각각 $0.27 \mu\text{g/m}^3$, $0.003 \mu\text{g/m}^3$, $0.13 \mu\text{g/m}^3$ 로 나타났다. 이러한 상황은 국내의 다른 도시에서도 정도의 차이는 있어도 비슷한 경향을 나타낸다고 할 수 있다.

현재 중국에서는 이러한 부유먼지가 가장 대표적인 대기오염물질이며, 석탄의 불완전 연소에 기인하는 발암성물질의 발생원으로 간주되고 있다. 중국 전 지역의 총부유입자상물질의 평균치는 0.58 mg/m^3 으로 일급기준(0.15 mg/m^3)보다 높게 나타나고 있다. 강하먼지 및 부유먼지의 농도는 북방, 남방 모두 기준을 초과하고 있다. 북방의 강하먼지의 6년(1983~1988) 평균농도는 38 t/km^2 , 부유먼지의 농도는 0.8 mg/m^3 로 이급기준의 2.7배이며 남방에서는 강하먼지가 13 t/km^2 , 부

유먼지가 0.33 mg/m^3 로 이급기준을 약간 초과하고 있는 것으로 나타나고 있다.

3) 질소산화물(NO_x)

중국에서의 질소산화물농도는 현재 그렇게 높은 수준은 아니나 증가하는 경향을 보이고 있다. 보통 일급환경기준(0.050 mg/m^3)을 초과하는 일은 드물다. 전국 일평균농도는 '88년 기준 0.045 mg/m^3 , 남부지방은 0.042 mg/m^3 , 북부지방은 0.089 mg/m^3 수준이다⁸⁾. 교통이 복잡한 廣州시에서는 0.133 mg/m^3 , 석유화학단지가 있는 蘭州시에서는 0.182 mg/m^3 로 아주 높다. 이렇게 질소산화물의 농도가 높은 도시에서 광화학 스모그현상이 관찰된다. 삼급환경기준을 넘는 상당히 높은 농도가 北京과 같은 대도시의 주요도로변에서 때때로 관찰된다.

질소산화물은 주로 화염중에 발생하기 때문에 석탄환산으로 약 10억 t의 에너지를 주로 석탄에 의존하는 중국에서는 무시할 수 없을 것이다. 표 7에서도 북부지역의 경우 질소산화물농도치가 높음을 알 수 있다⁹⁾.

4) 광화학 스모그

석탄연소가 대기오염의 주원인으로 되는 중국에는 이 현상을 심각하다고 보기 어렵지만 석유화학공업이 입지하는 甘肅省 蘭州에는 1974년이래 눈을 자극하는 호흡곤란을 초래하는 스모그가 발생하여 1978년과 1979년 조사가 행하여졌다. 따라서 대표적 광화학 반응생성물인 오존농도가 하계에 통상 0.10 ppm을 초과하고 PAN 농도도 24 ppb에 달하는 것으로 확인되어 인체영향이 있다는 견해도 나오고 있다⁹⁾.

唐등은 1980년 蘭州, 上海, 北京에서 1981년에는 夏北京, 上海, 瀋陽, 撫順, 青島, 蘭州

등의 도시지역에서 오존농도를 측정 한 바 있다. 이들 측정조사에 있어서 최고 농도는 北京市 内中關村地區의 1 시간 평균치 0.105 ppm이었다⁶⁾. 또 각지의 최고농도는 ppm 단위로 소개하면 上海 0.100, 瀋陽 및 撫順 0.046, 蘭州 0.079, 青島 0.062, 青島海浜地區 0.057, 北京燕山 0.097, 上海金山 0.055 등이었다.

또한 1979년 7월부터 9월까지의 28일간 蘭州의 석유화학공업지대 西固地區에서 알칼리성KI 법에 의한 측정결과는 1 시간 평균치의 일최고치가 0.04 ppm 이하인 날이 10일, 0.04~0.06 ppm인 날이 5일, 0.06~0.08 ppm인 날이 4일, 0.08~0.10 ppm인 날이 4일, 0.10 ppm 이상인 날이 5일이고 최고농도는 0.122ppm 이었다. 1981년 7월 27일부터 8월 4일까지의 西固地區 21개 측정지점의 최고농도가 0.3~0.4 ppm에 이르렀다고 소개하고 있다. 趙등은 蘭州의 광화학스모그가 주로 공장에 원인이 있다고 주장하고, 蘭州 西固地區의 광화학스모그 발생시에 표면적농도가 높은 2차입자가 생성되고 오존과 부유입자농도는 정상관계에 있다고 말하고 있다.

5) 산성비

통상 pH 5.6 이하의 비를 산성비라고 하지만, 중국에는 강우의 pH가 4.5 이하의 지역을 重酸性雨地域이라고 부르고 있다⁶⁾. 일반적으로 산성비지역의 90% 이상이 秦嶺山脈以南에 있고, 중부지역에도 산성비출현율이 60% 이상인 지역은 重慶, 貴陽 등 西南地域과 長沙, 柳州를 중심으로하는 湖南省, 廣西省부근에 산성강우가 자주 나타나고 있다.

또 秦嶺山脈以北의 東北, 西北地域에는 산성비가 출현하지 않고 있고 그 면적은 전국의 2/3에 해당한다. 그림 2에 중국의 산성비 pH 분포와 重酸性雨地域의 강우 pH 분포를 표시하였다⁶⁾. 중국의 산성비전구물질은 아황산가스와 입자물질로, 산성비출현율이 높아 강우산성화가 진행되고 있는 것으로 판단되는 중국 서남부, 특히 重慶, 貴陽에 유황산화물배출량과 대기중 아황산가스농도가 높다. 이들 지역에는 우수중 음이온의 80% 이상은 황산이온이고, SO_4^{2-}/NO_3^- 의 비도 4~15의 범위이고 대개 10을 넘어, 산성비의 원인이 아황산가스에 있는 것을 알 수 있다.

중국의 경우, 일반적으로 강수의 pH가 낮고 산성비빈도가 높은 지역에는 반드시 대기중의 아황산가스농도가 높지만 예를 들면 北京, 天津, 唐山, 本溪, 太原 등에서는 이 아황산가스농도가 높다고 해도 Ca^{+2} 와 NH_4^- 등에 중화되어, 아황산가스농도의 높은 장소에 반드시 산성비가 내린다고 단정할 수 없다. 일반적으로 중국 북부의 분진 pH는 알칼리성 토양 등의 영향으로 7~8을 나타내고 극단적인 경우의 예를 들면 吉林과 唐山에서는 공장에서 배출되는 분진의 영향으로 추정되는 알칼리성 강우도 볼 수 있다.

3. 대기오염 및 산성비의 영향

대기오염과 산성비의 영향은 다방면에 미치는 것으로 보인다. 蘇등은 1983~1985년에 北京·天津地區의 대기중 아황산가스, 질소산화물, 부유입자농도, 시정 등을 동시측정하여, 석탄소비량과 시정은 負相關關係에 있고, 시정이 4km 이하가 되는 빈도와 석탄

소비량과의 상관계수는 0.97 이었다고 말하고, 黃酸鹽과 매연(soot)이 시정에 영향을 주므로 그 방지를 위해 유황산화물과 입자물질 배출방지가 필요하다고 주장한 바 있다⁶⁾.

徐등은 中國諸都市에서의 수십년래의 폐암사망률상승에 착안하여, 1973~1976년에 北京 西郊地區에 환경조사를 실시중, 石景山地區의 1974~1975년의 폐종-암사망률이 1956~1959년에 비해 1.5 배로 증가했다는 사실을 발견하였다⁶⁾. 특히 주변의 코우크스로 노동자의 폐암사망률이 地區住民과 비교하여 높고, 爐頂의 벤조피렌농도가 평균 1.72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다고 보고하였다. 그 지역의 대기오염과 주민의 폐암사망률과 흡연습관을 고려하여 검토한 결과, 흡연자의 폐암사망의 위험성은 비흡연자의 2~3 배 높지만 대기오염의 영향은 현저하다고 밝히고 있다. 이외에도 각종 농작물의 대기오염물질에 대한 민감성과 수확감소, 영양물질 함유량 등에 대한 조사도 수행되고 있다.

중국에는 주로 산성비에 의한다고 생각되는 농작물피해와 구조물부식도 보이고, 陳등은 탄소강의 금속부식을 조사하여, 부식에 산성비가 관여하고 있다고 말하고 있다⁶⁾.

4. 중국의 대기오염 및 산성비에 대한 대책

중국정부는 인간환경선언이래 환경보전노력을 하게 되었고, 1978년, 1982년의 헌법에 환경조항을 넣고 있다. 현재 국무원에 환경보호위원회를 설치하고, 그 직속기관으로 국가환경보호국을 설치 환경행정을 추진하고 있다⁶⁾.

또 대기오염방지법, 대기환경기준 등을 제

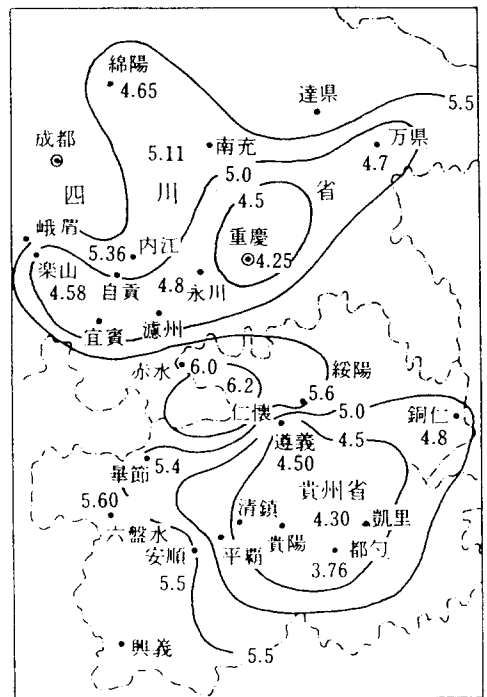


그림 2. pH Distribution of Acid Rain and Heavy Acid Rain in China

정하여 중앙과 지방환경보호행정강화를 도모하고 있고 중국의 대기오염방지는 주로 석탄연소에서 발생하는 분진 및 아황산가스를 대상으로 하고 있다. 도시연료인 석탄에

서 가스연료로의 전환을 중요시하고 있는데, 1989년에는 도시인구 5550.3만인에 가스연료 333억 m³를 공급하였다. 예를 들면 1989년 遼寧省 阜新市에는 일일 22만 m³의 석탄가스를 5.7만호의 주민들에게 공급하였고 長春市東郊 석탄가스화 공장에서는 일일 22만 m³의 가스연료를 15호의 시민과 공장에 공급하고 있다. 중국에는 열병합화력발전소의 건설이 증가하고 있다고 알려지고 있는데 집중열공급이 중시되어 1989년 전국도시에서의 열공급면적은 1억 9385.7만 m²에 도달하고 있다.

발전소열공급 병용화는 그 총열효율향상에 있어서 유용한 수단이지만 중국의 에너지시설의 열효율은 매우 낮다. 黃등은 낮은 석탄연료효율때문에 중국은 상당량의 석탄을 낭비할 뿐만 아니라 연소시 오염물질배출량을 45% 증가시키고 있다고 말하고 있다. 또한 석탄을 600°C전후로 건류시킨 후 석탄등을 첨가하여 성형가공을 하거나 350°C 전후로 가열해서 무연화한 성형탄(型煤)의 사용은 매연발생량 감소와 연료절약이 가능하여 대기오염방지와 경계면에서 유리하다고 하고 있다. 1989년 중국의 민간용 성형탄 생산량은 2,900만톤으로 32개 도시에 대한 보급률은 54.6%에 달하고 있다.

1989년 집진장치에 의해 전국에서 회수된 공업분진은 1,786만톤으로 공업분진 839만톤이 대기중으로 배출되고 있다. 제철업에는 현재 전연결로, 전로 등에 집진장치가 설치되고 있는데 코우크스로, 평로, 전기로의 집진장치설치율은 각각 67%, 90%, 48.4%에 이르고 있다.

이러한 대책으로 중국의 강하먼지와 부유

입자는 개선되고 있고 문제는 아황산가스로 성형탄보급과 석탄처리로 연료의 유황함유율을 30% 저감시키고 있지만 아황산가스 배출량은 여전히 증가하고 있다. 따라서 배기가스 탈황장치설치가 과제로 되고 있다. 중국에서의 기술개발은 1950년대부터 시작되어 기초를 갖추어 왔지만 장치설치면에서의 진전은 완만하다. 또한 이 기술보급에는 장치상의 극복할 문제들이 있지만 회수된 황성분의 환경안전성 확보가 중요시되고 있다. 공정에서 발생하는 막대한 폐기물의 적정처리나 발생석고 재활용 등은 제반상황을 파악한 후 결정되어야 할 것이다. 대기오염대책중에 질소산화물, 광화학스모그, 자동차배출가스 대책 등도 앞으로 중요하게 다루어져야 할 부분이다.

IV. 중국의 대기환경오염 모니터링 시스템

중국의 환경모니터링 시스템은 지방환경보호국에 의한 국가환경모니터링행정조례(National Environmental Monitoring Administration Ordinance)에 기초하여 1983년에 공포되었다. 전국적으로 1,708개의 환경모니터링센터가 설치되었는데 이는 4개 등급으로 분류된다⁹⁾.

이 센터들의 직원수는 1989년 28,101명으로 보고되어 있고, 환경보호국의 관리하에 있다. 중국내에 관측소가 1,444개소, 중앙감시 시스템이 23개 있는 것으로 알려지고 있다⁹⁾. 이 모니터링망은 국가, 성 및 시 수준의 3단계로 나누어진다.

일부 측정소에서는 대기환경오염측정을

위해 SO₂, NO_x, CO, 옥시던트, 비메탄계 탄화수소, 분진, 온도, 습도, 풍속, 풍향 등 10개 항목의 측정을 하고 나머지 일부 측정소에서는 옥시던트와 비메탄계 탄화수소를 제외한 8개 항목의 측정을 한다⁹⁾. 이 외 제철소, 발전소 등에 발생원관측국을 설치하고, 도시내의 높은 탑에서는 SO₂ 등의 입체관측도 시도하고 있다. 이것들을 telemeter 시스템화하고, 조정센터에서는 컴퓨터도입도 시도하고 있고, 모니터링망도 증설되고 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 계측시스템 및 시스템통신방법 등도 관심의 대상이 되고 있다.

V. 중국-한국간 대기오염물질 이동현상

1. 황사현상

대기오염물질의 장거리 이동에 관한 연구를 통해 자연적으로 발생하는 오염물질과 인위적으로 발생하는 오염물질을 추적할 수 있으며, 자연적인 것으로는 황사의 발생, 이동 및 침전이 그 예이다.

황사의 발원지는 중국과 몽골지방의 사막과 황토지대이며 특히 큰 산맥의 건조한 풍하측에서 한랭전선의 후면에 강풍이 일때 발생한다. 황사는 200~300km의 거리를 2~4일에 이동한 후 한국에 상륙한다. 황사먼지의 크기는 대개 0.1~20.0 μ m의 직경을 갖는 것으로서 대체로 조대입자(직경 2.1 μ m 이상)의 구성비가 높다. 황사의 이동은 인위적인 대기오염물질인 입자물질, SO₄²⁻, NO₃⁻ 등을 동반한다. 황사기간중에는 부유분진의 농도를 평균 2배이상 상승시킬 뿐만 아니라 성

분농도에 있어서 Al, Fe 및 Ca의 농도도 상승시킨다¹⁰⁾. 황사를 비롯한 대기분진에 의한 피해는 인간의 건강뿐만 아니고 농업의 생산성을 저하시키고 구조물의 침식, 부식을 일으키고 통신 등 정밀기계의 능력을 감소시키는 것으로 알려지고 있다.

2. 산성비

국내에서 서해안지역의 강수를 채취하여 화학적 분석을 수행한 바가 있는데, 이 결과에 의하면 인위적으로 배출되는 SO₂, NO_x 등의 대기 중 산화작용에 의한 질산, 황산이 포함된 강수는 pH 3.7-5.5의 높은 산도를 여러차례 나타냈다¹⁰⁾. 88년 7월부터 91년 3월 사이 측정된 결과를 강수량을 고려한 pH가 중치로 보면 서울 불광동 4.86, 강화가 5.33, 태안이 5.23으로 나타났으며 동절기에 특히 pH가 낮은 것으로 나타났다. 우수의 산성화는 우수중의 음이온 성분과 깊은 관련이 있고, 우수에 혼입되는 오염물질의 화학적 형태에 따라 pH가 상승 또는 저하된다.

1960년대 이후 산성비문제는 세계의 여러 지역에서 외교문제로 부각되어 있고 광역적이며 장기적인 문제로 취급되고 있다. 1980년 후반부터 일본, 한국, 중국의 관심을 불러모은 대기오염의 장거리 이동에 관한 실증은 산불과 화산에서 나오는 자연적인 분출물과 도시와 공업단지에서 배출된 인위적 오염물질의 이동이 풍하측 수백, 수천 km 추적되는데 사하라 사막의 모래먼지와 아시아지역의 황사가 풍하측으로 기체, 액체 및 고체의 형태로 이동되는 것으로 알려지고 있다. 따라서 아시아대륙에서 배출된 대기오염물질이 편서풍에 의해 국내유입이 예상된

다. 이는 서해안의 간헐적인 우수의 산성분도가 낮고 사례분석 결과, 중국에서 이동해 오는 저기압과 기류에서 발생하는 강우가 산성을 띠는 것이 관찰되고 있는 것과 관련이 있을 것으로 사료된다. 한편 남해안이나 일본의 남서지방의 저기압기류의 강우산성도가 낮은 것은 trajectory계산에 의하여 산성강우와 기류가 오는 지역과 관련성이 있는 것으로 입증되고 있다.

중국은 매년 석탄 약 10억톤('89기준), 원유 약 1억톤 이상 생산하여 연소시키고 이중 70%이상을 직접연소에 의존하고 있으므로 이에 의한 산성비의 영향이 문제점으로 대두되고 있다¹⁴⁾. 한국은 중위도의 편서풍 지대에 위치하며 서풍계열의 기류에 큰 영향을 받고 있다. 이러한 대기의 대순환은 한국의 풍상측에 있는 중국의 대기환경에 밀접한 영향을 받으며, 중국에서 발생하는 자연적, 인위적 대기오염물질의 이동은 한국에 직접적인 영향을 미치어 국내 대기중의 오염농도증가와 강우의 산성화를 촉진하는 것으로 판단된다.

VI. 결 론

우리나라와 지리적으로 인접한 중국에서의 대기오염과 관련된 에너지사용패턴 및 환경대기질의 개황과 우리나라에 미칠 영향 등에 대하여 살펴 보았다. 이상에서 본 바와 같이 중국의 에너지 사용형태는 대기오염측면에서 볼 때 불리한 형태를 취하고 있고 대기오염방지기술 및 장치의 설치면에서는 일차적인 먼지제어대책이 주가 되어 있다. 따라서 산성비형성과 인접국가에의 장거리

이동이 예상된다.

그러나 국내의 연구실적이나 국제적 공동연구노력의 부족으로 이에 대한 축적된 자료는 매우 부실한 형편이다. 따라서 국내 환경대기질 개선을 위하여 방지시설개발, 설치 및 각종 연료대책과 아울러 인접국가간의 국제협력에 의한 공동연구 및 대처노력이 절실히 요구되고 있다.

참고문헌

1. 海外電氣事業統計, 海外電力調査會(日本), 1991
2. Yunzhen Jia, Coal Development, Use Plans and Environmental Issues in China, Coal and Environment: Asia 2010 Conference, Honolulu, Hawaii, US DOE & East-West Center, 7.11-12, 1991
3. 玉貴 滋, 海外電力(日本), 12-22, 1990.10
4. Investigation on the Planning of Assistance for Environmental Protection Scheme in Developing Countries(People's Republic of China), Final Report, Japan Environmental Sanitation Center, 1991.3
5. 윤순창 등, 대기환경기준설정 및 대기환경지표개발에 관한 연구, 한국환경과학연구협의회, 1992.8
6. 地球大氣環境問題とその對策, 大氣環境研究會, オ-ム社, 1993
7. 趙殿五, 公害と對策 (日本), 83-87, 1987
8. Zhao Dianwu, Zhang Xiaoshan, Energy

Related Environmental Issues in
China: Air Pollution and Acid Rain,
207-215

9. 公害と對策, 22, 5, 39-50, 1986
10. 장성기 외, 대기오염물질의 장거리이동
과 산성비강하에 관한 연구, 과학기술
처, 1991
11. Wang Wenxing et. al, Analysis of the
Formation of Air Pollution and Acid
Rain in China, Proceedings of the 2nd
IUAPPA Regional Conference on Air
Pollution, Seoul, Korea, 1991. 9. 4-6