

한 도시 분진의 유해성 입도 분포에 대한 조사 연구

국립환경연구소

한 의 정

연세대학교 보건대학원

정 용 · 권 숙 표

=Abstract=

Particle Size Distribution of Suspended Particulates in the Atmosphere of a Seoul Residential Area

Eui Jung Han*, M.P.H., Yong Chung**, M.P.H. Ph. D. and Sook Pyo Kwon**, Ph.D.

* National Environmental Protection Institute

** Yonsei University The Graduate School of Health Science & Management

The particle size of suspended particulates was measured by a Andersen air sampler from Mar. 1982 to Feb. 1984 in a part of Seoul.

It was concluded as follows:

- 1) The arithmetic concentration of suspended particulates was $147.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Spring, 136.9 in Summer, 131.9 in Autumn and 158.1 in Winter respectively.
- 2) The cumulative distribution of suspended particulates size in logarithmic diagram showed similar to normal log distribution.
- 3) The atmospheric particulate matters showed a bimodal size distribution on the base of unit particle concentrations, which divided at approximately $2 \mu\text{m}$ in the diameter.
- 4) While the fine particulates less than $2.1 \mu\text{m}$ was 35.4~45.0%, the coarse particulates was 55.0~64.5%.
- 5) The higher the concentration of suspended particulates, the more increased the ratio of fine particulates. The higher the concentration of suspended particulates, the lower median size of suspended particulate as well.
- 6) The respirable dust particulates less than $4.7 \mu\text{m}$ was 52.2~62.9% in seasonal average through the 2 year samples.

With the above result, air pollution concerned with public health could be evaluated and the control measures also are suggested.

I. 서 론

분진은 연료의 연소, 생산과정, 각종 공사, 자동차 배출가스, 폐기물 처리, 물질의 파쇄 등에 의한 인위

적 발생과 지각운동이나 비, 바람 등에 의한 흙 모래 바람, 해염입자, 꽃가루의 비산 등 자연발생적 요인에 의하여 발생되며 그 입경은 약 $0.002 \mu\text{m}$ 에서 큰 것은 $500 \mu\text{m}$ 까지를 포함하는 고체 또는 액체상태의 물질을 말한다(1960).¹⁾

부유분진은 입자상물질중에서 비교적 입자가 적어 대기중에 장기간 체류하는 것으로 불쾌감이나 시정장애의 원인과 재산상의 손실 및 호흡기질환 등의 건강장해를 야기하는 요인으로 주목의 대상이 되고 있다 (Kenneth 등, 1976)²⁾.

특히 황산화물과 같은 가스상 오염물질과 공존할 때 그 피해와 영향은 강하게 나타나므로 일반적으로 대기오염의 지표로 이용되고 있으며, 우리나라에서도 환경기준 설정항목에 포함시켜 기준을 정하여 규제하고 있다.

부유분진에 의한 피해정도는 오염농도, 입경의 크기 및 성분조성에 따라 그 양상이 다르게 나타난다.

특히 입경 10 μm 이하의 분진(Respirable dust)은 호흡기 장애나 진폐증 등의 피해를 주는 것으로 알려져 있으며 호흡과정을 통하여 흡입된 분진은 입경에 따라 침착되는 부위가 다르고 또한 침착 부위에 따라 건강장해도 다르게 나타난다.

이미 서울을 비롯한 대도시는 부유분진의 심각한 오염현상을 나타내고 있다는 옥등(1981)³⁾, 이등(1982)⁴⁾의 보고가 있으나 부유분진의 입도분포에 대한 조사연구는 미약한 실정이다.

이에 본 연구는 서울 일부지역에 대한 부유분진의 입도분포를 측정하여 오염실태를 파악하고 입도에 따른 분포특성과 호흡기관에의 침착정도 등을 추정하며 쾌적한 생활환경의 보전을 위한 기초자료를 얻고자 수행되었다.

II. 연구 방법

1. 조사지점 및 기간

주거지역인 서울특별시 은평구 불광동에 위치한 한

3층 건물의 옥상에서 1982년 3월부터 1984년 2월까지 24개월동안 매 측정시마다 1주일 간격으로 총 32회(약 220일, 강우시 제외)의 측정을 행하였다. 측정기간은 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월) 및 겨울(12~2월)로 나누어 각 계절별로 4회씩 측정하였다.

2. 측정방법

1) 측정기기 : 일본 Nihon Kagaku Co. 제의 Kanomax Model-3351 앤더슨 에어샘플러(Andersen Air Sampler)를 사용하였다.

앤더슨 에어샘플러는 다공 다단식 샘플러로서 공기동력학적(空氣動力學的) 원리를 이용하여 입경 10 μm 이하의 입자를 8단계로 0.4 μm 에서 9 μm 이상의 것을 분급 포집하고 0.4 μm 이하의 입자는 Back up 여지에 완전 포집된다.

2) 시료의 포집 : 측정기를 조사지점에 설치하여 1회 측정시 1주일을 가동하여 측정을 행하였다.

이때 흡인펌프를 이용하여 분당 28.3 l의 일정한 흡입속도로 대기를 흡입하여 여지(Glass fiber filter, $\phi 80$ mm, Toyo Co.)상에 시료를 포집하였다.

3) 농도의 계산 : 제습제를 넣은 데시케이터에서 함량이 될때까지 여지를 보관한 다음 0.01 mg의 감도를 갖는 분석용 저울로서 0.1 mg까지 무게를 정확히 측정하였고 분진농도의 계산은 시료 포집 전후의 여지 무게 차이(mg)를 총흡입공기량(m^3)으로 나누어 구하였다.

III. 조사 결과

1. 부유분진 농도

앤더슨 에어 샘플러를 이용하여 측정된 부유분진의 농도는 Table 1과 같다.

Table 1. Seasonal concentration of suspended particulates in a residential area of Seoul (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Season	Item	year		
		1982	1983	Total
Spring	Mean \pm S.D	154.1 \pm 44.78	141.4 \pm 9.09	147.8 \pm 32.87
	Range	96.6-221.7	131.5-156.0	96.6-221.7
Summer	Mean \pm S.D	131.1 \pm 38.22	142.7 \pm 8.95	136.9 \pm 28.36
	Range	70.9-166.5	130.0-155.3	70.9-166.5
Autumn	Mean \pm S.D	130.1 \pm 37.04	133.6 \pm 47.04	131.9 \pm 42.37
	Range	81.3-183.5	77.9-200.6	81.3-200.6
Winter	Mean \pm S.D	146.3 \pm 5.14	169.9 \pm 33.22	158.1 \pm 26.56
	Range	138.3-151.9	141.1-224.6	138.3-224.6
Total	Mean \pm S.D	140.4 \pm 36.31	146.9 \pm 32.54	143.7 \pm 34.63
	Range	70.9-221.7	77.9-224.6	70.9-224.6

Mean; Arithmetic mean S.D; Standard deviation

Table 2. Seasonal comparison of size distribution of suspended particulates

Stage	Particle Size (μm)	E.C.D ³⁾ Year	Season				Total $\mu\text{g}/\text{m}^3$ %)						
			Spring $\mu\text{g}/\text{m}^3$ %)	Summer $\mu\text{g}/\text{m}^3$ %)	Autumn $\mu\text{g}/\text{m}^3$ %)	Winter $\mu\text{g}/\text{m}^3$ %)							
0	9.0~10.0	9.0	82	27.5	17.8	33.1	25.2	29.0	22.3	32.0	21.9	30.4	21.8
			83	28.7	20.3	23.3	16.4	34.1	25.5	30.8	17.9	29.2	20.0
1	5.8~9.0	5.8	82	20.0	13.1	18.6	14.2	20.6	15.8	19.5	13.3	19.7	14.1
			83	19.6	13.9	18.2	12.8	20.8	15.6	17.7	10.5	19.1	13.2
2	4.7~5.8	4.7	82	11.0	7.1	8.9	6.8	9.5	7.3	10.1	6.9	9.9	7.0
			83	14.1	10.0	11.2	7.9	9.0	6.7	16.4	10.1	12.7	8.7
3	3.3~4.7	3.3	82	15.9	10.3	12.6	9.6	12.6	9.7	16.5	11.3	14.4	10.2
			83	14.0	9.9	15.2	10.7	10.5	7.9	15.0	8.8	13.7	9.3
4	2.1~3.3	2.1	82	10.9	7.1	11.6	8.8	10.1	7.8	13.5	9.2	11.5	8.2
			83	11.2	7.9	16.7	11.7	8.9	6.7	12.9	7.7	12.4	8.5
5	1.1~2.1	1.1	82	15.8	10.3	11.5	8.8	12.3	9.5	14.6	10.0	13.6	9.7
			83	14.3	10.1	13.1	9.1	13.4	10.0	19.1	11.8	15.0	10.1
6	0.7~1.1	0.7	82	16.0	10.4	12.4	9.5	12.8	9.8	14.6	10.0	13.9	9.9
			83	13.8	9.8	11.9	8.3	14.7	11.0	17.8	10.4	14.5	9.9
7	0.4~0.7	0.4	82	19.6	12.7	11.9	9.1	12.2	9.4	12.3	8.4	14.0	9.9
			83	13.2	9.3	17.3	12.0	11.7	8.7	15.9	9.1	14.5	9.8
Back up filter	<0.4	0	82	17.4	11.3	10.6	8.1	10.9	8.4	13.2	9.0	13.0	9.2
			83	12.5	8.8	15.8	11.1	10.5	7.9	24.3	13.7	15.8	10.4
Sub Total			82	154.1		131.1		130.1		146.3		140.4	
			83	141.4		142.7		133.6		169.9		146.9	
Total Mean				147.8		136.9		131.9		158.1		143.7	

1): Concentration 2): % in Size Range 3): E.C.D.; Effective Cut Diameter(μm)

Table 3. Median Mean of particle diameter .

(Unit: μm)

Year	Season Samp-ling No.	Spring					Summer					Autumn					Winter					Total Median Mean
		1	2	3	4	\bar{M}	1	2	3	4	\bar{M}	1	2	3	4	\bar{M}	1	2	3	4	\bar{M}	
1982		2.4	2.2	3.9	3.9	3.1	3.5	4.0	2.9	4.1	3.6	5.5	3.9	3.8	2.4	3.9	3.1	3.2	3.7	3.2	3.3	3.5
1983		3.3	2.3	4.4	4.0	3.5	3.2	2.4	2.4	2.6	2.7	4.9	4.0	3.5	2.7	3.8	2.7	3.4	2.3	2.5	2.7	3.2

Median mean(\bar{M}) = $\sum_{i=1}^{n=4} Mi/n$ M: Median

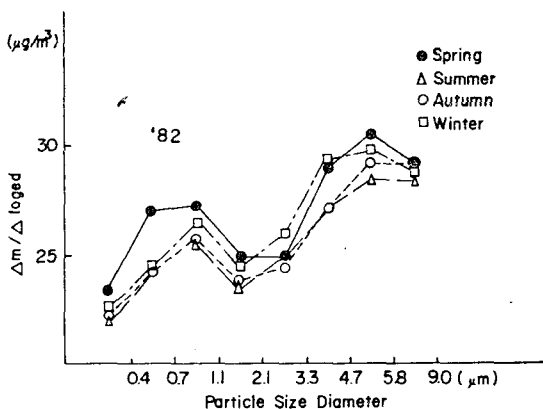


Fig. 1. Particle size distribution of suspended particulates in 1982.

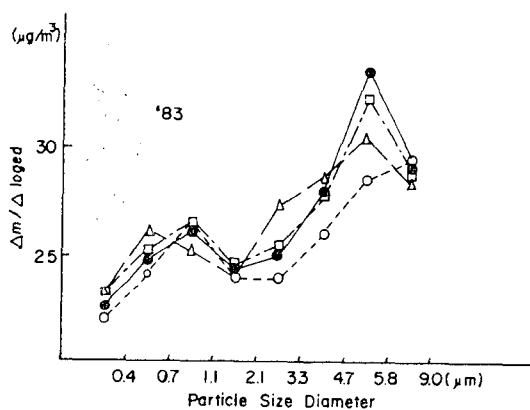


Fig. 2. Particle size distribution of suspended particulates in 1983.

즉 연간 부유분진의 최고농도 출현은 82년에는 봄철에 $221.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 83년에는 겨울철에 $224.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

또한 2년간의 평균농도는 $143.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며 계절별로는 겨울>봄>여름>가을 순의 농도를 보였다.

2. 입도분포

1) 입도분포별 농도 : 계절별 부유분진의 입도분포에 따른 농도는 Table 2와 같으며 대수정규확률의 누적 50%인 입자의 입경중앙치는 Table 3과 같다.

입경 $4.7 \mu\text{m}$ 이하의 호기흡입성분진의 비율은 82년에 57.1%, 83년에 58.1%로 비슷한 분포였으며 계절별로는 겨울이 59.9%로 높게 나타났고 가을이 53.4%로 낮은 비율을 보였다.

또한 폐 및 폐포에 까지 침착되는 입경 $1.1 \mu\text{m}$ 이하의 분진도 82년에 29.0%, 83년에 30.1%로 비슷하였고 계절별로는 겨울이 10.9%로 역시 높았고 여름이 8.9%로 낮은 비율이었다.

Table 3에 나타낸 바와 같이 계절별로 나타난 입자

의 입경중앙치는 가을에 모두 큰 수치로 나타났다.

계절별 부유분진의 전체적인 입도분포의 유의한 차이는 없었다.

2) 단위입경당 입도분포농도 : 단위입경당 농도로서 입도분포곡선을 나타내기 위하여 각 Stage별 입자분급폭(Δ)을 자연대수로 변환시킨 다음($\Delta \loged$) 각 Stage의 중량농도(Δm)를 분급폭으로 나누어($\Delta m/\Delta \loged$) 입도분포농도의 히스토그램을 작성하여 보았다(Fig. 1, 2).

즉 대부분 입경 $1.1 \sim 2.1 \mu\text{m}$ 에서 곡(谷)을 보이며 $0.7 \mu\text{m}$ 부근과 $4.7 \sim 5.8 \mu\text{m}$ 에서 이산형(二山型)의 분포를 나타냈다.

Fig. 3은 이산형으로 나타난 분진을 입경 $2.1 \mu\text{m}$ 이상의 조대입자(Coarse Particle)와 그 이하의 미소입자(Fine Particle)로 구분하여 나타낸 그림이다.

Table 4와 같이 계절별로 부유분진총량에 대한 미소입자와 조대입자의 비율은 특징있는 분포는 아니었고 미소입자가 35.4~45.0%를, 조대입자가 55.0~64.6%로 전 계절에서 모두 미소입자보다 높은 비율을 보

Table 4. Bimodal ratio of unit particles

Year	Season	Particle Diameter (μm)	
		<2.1	>2.1
'82	Spring	44.7	55.3
	Summer	35.4	64.6
	Autumn	37.1	62.9
	Winter	39.4	60.6
	Sub Total	38.7	61.3
'83	Spring	38.0	62.0
	Summer	40.5	59.5
	Autumn	37.6	62.4
	Winter	45.0	55.0
	Sub Total	40.3	59.7
Total		39.7	60.3

였다.

3) 부유분진에 따른 입도분포 비율 : 부유분진의 고농도 출현시와 저농도 출현시의 입도분포농도 비율을 비교하기 위하여 측정된 자료중에서 최고농도 측정치와 최저농도 측정치를 각각 3개씩 선정하여 Table 5에 나타내었다.

즉 부유분진의 고농도 출현시 입자의 입경중앙치 ($2.2\sim 2.7\mu\text{m}$)는 저농도시 ($3.5\sim 5.5\mu\text{m}$)보다 현저하게 적어지는 경향을 보였다.

또한 입경 $2.1\mu\text{m}$ 이하의 미소입자의 비율은 부유분진이 고농도($44.0\sim 52.6\%$)일때에 저농도시($32.0\sim 36.3\%$)보다 증가하는 현상을 보였고 반대로 조대입자의 비율은 고농도시($47.4\sim 56.0\%$)보다 저농도시($63.7\sim 68.0\%$)에 증가현상을 보였다(Table 6 참조).

IV. 고 찰

부유분진은 측정장소, 기상조건 및 발생원의 상황과

Table 5. Particle size distributions in high and low particulates concentrations (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Conc' / Stage / State	0	1	2	3	4	5	6	Backup Filter	Conc'	Mg(μm)	
	High	44.0	21.0	16.4	19.6	16.4	16.4				23.4
Conc'	29.5	22.7	14.7	20.6	17.5	26.6	30.0	36.6	23.5	221.7	2.2
	42.4	26.3	14.1	15.0	14.7	23.2	25.1	21.2	18.6	200.6	2.7
Low	16.1	10.8	5.4	7.5	5.4	7.5	6.6	7.5	4.1	70.9	3.5
Conc'	26.8	13.7	2.6	5.3	3.2	7.9	8.4	4.7	5.3	77.9	4.9
	25.3	15.5	4.9	5.6	3.9	5.3	6.7	8.8	5.3	81.3	5.5

Table 6. Ratio of coarse and fine particulate concentrations high and low particulate concentrations (Unit: %)

Particle Size	High Conc'				Low Conc'			
	(Ave)	(Ave)	(Ave)	(Ave)	(Ave)	(Ave)	(Ave)	(Ave)
>2.1 μm	52.3	47.4	56.0	(51.9)	63.7	66.2	68.0	(66.0)
<2.1 μm	47.7	52.6	44.0	(48.1)	36.3	33.8	32.0	(34.0)

측정지점과의 위치에 따라 화학적 조성과 물리적 성질이 다르게 나타나며 또한 여러가지 요인에 따라 영향을 받을 뿐만 아니라 대단히 복잡한 변동을 한다.

본 조사결과 서울의 일부 주택지역에서의 봄철에 높은 농도출현은 해빙기를 지난 전초기에 강한 봄바람과 중국대륙에서 발생하는 황사현상(黃砂現象)에 기인한

것으로 믿어지며 또 겨울철에는 연료소비의 증가와 강한 계절풍에 의한 것으로 사료된다.

그리고 이들을 환경기준치와 비교하여 보면 우리나라의 단기 기준치인 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 평균치)에는 모두 미달하였으나 장기 기준치인 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ (년간 평균치)를 초과한 회수는 총 32회중 13회로 40.6%를 차지

하였다.

단위입경당 농도로서 나타낸 입도분포는 이산형(二山型)을 보였는데 이것은 石田哲夫(1978)⁶⁾의 일본에서의 연구결과와 비슷하게 나타났으며 이는 측정지점의 환경여건이나 기상조건에 의한 것인지 더 검토해야 할 것이다.

호흡기관에 퇴적 또는 침착되는 부위는 첫째로 코(鼻) 및 인두부(咽頭部) 둘째, 기관(氣管) 및 기관지(氣管支) 셋째, 폐(肺) 및 폐포(肺胞)로 나누어지는데 입경 4.7 μm 이하의 호기흡입성분진은 기관지로 부터 폐실부까지 침착될 수 있다고 본다.

본 조사결과 부유분진총량에 대한 호기흡입성분진의 비율은 연평균 57.1%(82년)와 58.1%(83년)로서 그중 기관지 및 기관에 침착되는 입경 1.1~4.7 μm 의 분진은 약 28%를, 폐 및 폐포에 까지 침착되는 1.1 μm 이하의 분진은 약 30%의 비율로서 인체에 영향이 있을 것으로 사료된다.

비강에서의 점막 및 점액에 의한 분진의 제거율을 고려하지 않은 성인 1인당 1일 흡입되는 공기(경노동시 1인당 1일 요구되는 공기량, 약 40 m^3)중에는 입경 10 μm 이하의 분진을 약 5.6 mg 정도 흡입한다고 계산된다.

미국 후생교육성의 대기오염판정조건에 보면 부유분진농도가 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때 만성기관지염환자에 급성악화증상이 나타나며 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때 사망률의 증가현상과 질병이환율이 현저하게 증가함을 나타내고 있다고 한다.

입자상물질은 빗을 흡수 또는 분산하므로 가시도를 감소시키며 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때 시정거리는 2 km 이하, 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때는 8 km 이하이다. 입자상물질은 생성기구에 따라 Dust, Fume, Fog, Mist, Smoke, Ash 등 여러가지로 분류되는데 특히 대기중에 부유하는 분진은 Benzo(a)pyrene 과 같은 발암성물질도 다량 함유되어 있으며(권숙표, 1978)⁶⁾ 또한 황산 Mist와 같은 강한 부식성물질도 포함하고 있어 인체는 물론 동·식물 및 재산에도 막대한 피해를 준다(Bracewell, 1967)⁷⁾.

부유분진이 인체에 미치는 영향과 피해정도를 파악하는때는 오염 농도, 성분, 입경의 세가지 요인이 연구의 대상이 되며 일반적으로 농도와 성분에 관하여는 가스상 오염물질과 마찬가지로 취급되나 입경에 관한 것은 부유분진 특유의 것으로 취급된다.

분진의 화학적 조성과 농도도 피해정도에 중대한 영향을 미치는 요소로서 육 등 (1981)⁸⁾의 보고에는 불광동에 있어서 월별 최고농도는 5월에 341 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (12회

측정의 평균치)를, 최저는 10월이 108 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10회 측정의 평균치)이었고 이 등 (1982)⁹⁾의 보고에는 불광동에서 측정된 부유분진중 Cu 함유량이 0.557 ppm, Cd 0.017 ppm, Mn 0.266 ppm, Pb 0.955 ppm, Ni 0.098 ppm, Fe 3.258 ppm 이었다.

이와같이 각종 유해중금속이 다량 함유된 분진을 흡입하므로 인체에 미치는 영향이 있을 것으로 사료되며 앞으로는 분진의 기준에는 입도분포와 성분도 고려하여야 할 것이며 이에 대한 조사연구가 보다 활발히 수행되어야 할 것이다.

V. 결 론

1982년 3월부터 1984년 2월까지 2년간에 걸쳐 서울의 일부지역에서 행한 부유분진의 입도분포를 앤더슨 에어 샘플러로 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 부유분진의 측정결과는 봄 147.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 여름 136.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가을 131.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 겨울 158.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

2) 부유분진의 입도농도에 따른 대수정규확률지에서의 누적분포는 거의 대수정규분포에 근사하였다.

3) 입도분포에 따른 단위입경당농도는 이산형(二山型)으로 나타났으며 또한 입경 2.1 μm 를 경계로 한 미소입자의 비율은 35.4~45.0%를, 조대입자는 55.0~64.6%를 차지하였다.

4) 부유분진은 고농도 출현시에는 입경 2.1 μm 이하의 미소입자의 비율이 증가하였고 반면 저농도시에는 감소하는 현상을 보였다.

5) 호흡기관에 침착되는 입경 4.7 μm 이하의 호기흡입성분진은 52.2~62.9%의 비율을 차지하였다.

이상의 결과를 종합하여 보면 조사대상지역에서는 부유분진의 장기 환경기준을 약 40% 초과하고 있었으며 호기흡입성분진이 약 60%정도로 지역주민의 건강유지가 우려된다고 보겠다.

본 연구에서는 일부지역만을 대상으로 하였으나 지역용도에 따른 측정지점을 확대하여 지역별 오염상태와 입도별 성분을 분석하여 부유분진에 의한 인체의 피해 및 분진발생의 기여인자 등 계속적인 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

- 1) National Air Pollution Control Administrat-

- ion. "Air quality criteria for particulate matter". Jan 1969
- 2) Kenneth Wark, Cecil F. Warner. "Air pollution", 153-163, Harper & Row Publish, 1976
 - 3) 옥치완, 최덕일. 대기중 부유분진의 확산모델과 환경기준에 관한 연구. 국립환경연구소보 1981; 3:63-64
 - 4) 이민희, 한의정. 대기중 부유분진의 성분에 관한 조사연구. 국립환경연구소보 1982; 4:27-47
 - 5) 石田哲夫, 林久緒. 川崎市における大気浮遊粉じんの粒度分布に関する調査研究. 全國公害研究誌 1978; 3(2):37-30
 - 6) 권숙표, 정 용. 서울시 대기중 부유분진의 성분에 관한 조사연구. 예방의학회지 1978; 11(1): 65-75
 - 7) Bracewell, O. Gall. Symposium on the physico-chemical transformation of sulphur compounds in the atmosphere and formation of acid smogs. Mainz Germany 1967
-