

PbO₂ Candle method 및 Deposit Jar에 의한 서울시의 대기오염도 조사에 관한 고찰(第31報)

환경조사과

박 찬 구 · 여 인 학 · 임 귀 철 · 신 미 영

김 홍 기 · 정 호 진 · 김 광 진

The Consideration on Sulfation Rate by PbO₂ Candle Method and Dustfall by Deposit Jar in Seoul Area

Division of Environment Research

**Chan-ko Park, In-hak Yeo, Gui-cheol Lim, Mi-young Shin,
Hong-gi Kim, Ho-jin Jeong and Kwang-jin Kim**

= Abstrac =

The PbO₂ candle method and the Deposit Jar method being adopted to measure sulfur oxides and dust fall in Seoul since late 1960.

These methods are mainly used to measure sulfur oxides and dust fall before air quality monitoring stations was established, but now they became a supplementary methods for monitoring ambient air quality.

This study was focused on inducing measuring problems and the result is as follows:

1. The average concentration of sulfur oxides and dust fall were 0.056 mg/100cm² · day, and 7.834 ton/km²/month at 55 sampling point in Seoul in 1998, respectively.
2. PbO₂ candle method was considered as an effective method until early 1990, because the concentration of sulfur oxides was enough content to detect in Seoul. The concentration of sulfur oxides showed currently 7.1 ppb being below 10~20 ppb of effective detection limits, therefore this method hardly continue to use for measuring sulfur oxides at current ambient air quality condition in Seoul .
3. The average concentration of dust in 1998 was 55.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ being the 32 % portion of 170.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in 1990.

The correlation between dust concentration by measurement of air quality monitoring stations and by Deposit Jar method was absently significant. ($r=0.58$, $p>0.05$).

All condition including sampling procedure should be considered in order to use this method conditionally.

서 론

도시는 인구가 집중되어 있으며 난방, 교통기관, 산업시설등에서 대기오염 물질과 다량의 열을 방출하여 교외지역에 비해 고온의 공기층이 형성되어 도심부의 온도가 주변보다 높아지는 도시 열섬 현상이 일어난다. 도심의 온도가 상승되면 상승기류가 발생되어 주변지역에서 바람이 불어 들어와 먼지등을 형성시키게 된다.¹⁾ 뉴욕등과 같이 광활한 개활지에 위치하고 도시 개발이 완료된 도시와 달리 서울시는 이러한 대도시의 일반적인 기상특성과 지형학적으로 주변에 북한산, 도봉산, 인왕산, 관악산등 500m 내외의 산과 구릉이 자

연성벽과 같이 둘러싼 분지 내에 위치하고있으며, 또한 도시개발이 진행 중에 있어 지속적인 관리와 대책을 강구하지 않으면 대기오염에 기인되어 서울시민의 건강이 위험을 받을 수 있는 지역이다.

이러한 배경하에서 1973년 서울시에서는 광화문에 대기오염 자동 측정소 설치를 필두로 '78년 한남동과 길음동에 측정소를 설치하였으며, 현재 서울시에는 '99년 2월부터 가동되는 남산타워 고공측정소와 북한산 청정 측정소를 포함해 20개소의 대기오염 자동 측정소, 5개소의 자동차 배출가스 측정소, 차량을 이용한 이동측정소1대 등이 운영되고 있으며, 또한 환경부에서 관리하는 10개소의 대기오염측정소등 서울시내에 총 36개소의 대기오염 측정소가 대기오염 상황을 시간

Table 1. Sampling sites in Seoul area

Site	Distance from the Gwanghwamun	Height above the ground	Site	Distance from the Gwanghwamun	Height above the ground
Industrial			28)Sanggye 1-dong	13.5	5.5
1)Kuro-dong	12.0	5.5	29)Changwi 3-dong	7.8	5.5
2)Mullae 2-dong	9.5	5.5	30)Hagye-dong	12.0	5.5
3)Tangsan 1-dong	8.0	5.5	31)Myonmok 4-dong	9.8	5.5
4)Koch'og 1-dong	13.0	5.5	32)Shinnae-dong	12.5	5.5
5)Kayang-dong	12.7	8.0	33)Heugs'ok-dong	7.5	5.5
6)Seongsu-dong	7.3	5.5	34)Namgajwa 1-dong	5.8	5.5
Commercial			35)Chingwanoe-dong	7.5	5.5
7)Soch'o 1-dong	9.5	5.5	36)Palsan-dong	12.0	5.5
8)Shinsa-dong	6.8	5.5	37)Oryu 2-dong	16.3	3.0
9)Chongno 5.6ga-dong	2.3	5.5	38)Shiheung 4-dong	14.5	5.5
10)Yongdu 2-dong	7.0	3.0	39)Shillim 1-dong	12.0	5.5
11)Tapshimni-dong	7.0	5.5	40)Sangdo 4-dong	8.5	5.5
12)Hongun 1-dong	4.5	5.5	41)Pongch'on 6-dong	9.5	5.5
13)Shingil 6-dong	8.8	8.8	42)Mangwon 1-dong	6.8	5.5
14)Hannam-dong	4.7	5.2	43)Bulgwang-dong	6.5	5.5
15)Karak-dong	14.4	8.5	44)Daeshin-dong	4.0	5.5
16)Youido-dong	6.8	5.5	45)Hwagok 4-dong	12.0	8.0
17)Wonhyoro	4.5	2.5	46)Mangwoo 2-dong	11.5	5.5
Residential			47)Shindang 4-dong	4.0	5.5
18)Namhyun-dong	12.0	5.5	48)Yangjae-dong	12.8	7.5
19)Banpo 2-dong	7.3	5.5	49)Yoksam-dong	9.8	5.5
20)Saegok-dong	16.5	5.5	50)Bangi-dong	14.5	5.5
21)Chamsil 4-dong	2.5	2.5	Rural		
22)Kodok-dong	15.5	8.0	51)National Seoul Univ	12.5	5.5
23)Goyo-dong	15.5	5.5	52)Uui-dong	9.0	4.5
24)P'yongchang-dong	4.8	5.5	53)Ilwon-dong	14.2	5.5
25)Samchong-dong	2.5	5.5	54)Namsan-dong	0.8	5.5
26)Ssangmun 3-dong	9.5	5.5	55)Kuui-dong	10.3	5.5
27)Mia 6-dong	6.7	8.0			

단위로 파악하여 서울시민의 건강과 생활환경에 도움을 줄 수 있는 자료를 환경정책 결정권자에게 제공하고 있다.²⁾ 그러나 이러한 측정소가 설립되기 전 '60년대 후반부터 측정소 설치가 본격화된 '80년대 중반까지 에너지원의 주요 공급원은 화석연료 중 석탄 연소에 의존하여 대기 중에는 아황산가스와 분진이 다량 발생되어 이 당시의 가장 주요한 대기오염 물질이었다. 이런 시대적 상황에서 우리 연구원에서는 1960년대 후반부터 현재까지 연속사업으로 1932년 영국에서 개발된 이산화납법에 의한 황산화물측정, Deposit Jar 법에 따른 강하분진에 대한 조사 사업을 진행하여 왔다. 그러나 시대적인 상황이 변함에 따라 현재 대기를 오염시키는 발생원은 크게 달라졌으며, 오염원과 배출된 오염물질에 대한 저감대책도 마련되어 대기중의 오염물질의 종류와 농도는 이 사업이 진행되기 시작한 무렵과는 현격한 차이를 나타내고 있다. 또한 정밀한 측정 기기의 개발과 측정기법이 다양화된 현재에 이르러 이러한 시험법에 대한 효율성, 정확성, 안전성 등에 대한 재고가 이루어져야 될 시점이라 생각되었기에 조사하고자 한다.

조사대상 및 방법

1. 조사대상

조사대상 지역은 98년도에 4개소가 신설되어 서울시내 일원에 총 59개소가 설치되었으나 전년도와 비교하고자 '97년도와 지점이 같은 55개 지점을 선정하였다. 지역별로는 녹지지역 5개소, 주거지역 33개소, 상

Table 2. Exposed time at each site in 1998

Month	Duration	Exposed time(day)
Jan.	1997.Dec22~1998.Jan23	33
Feb.	Jan.23~Feb.24	33
Mar.	Feb.24~Mar.25	30
Apr.	Mar.25~Apr.24	30
May	Apr.24~May27	33
Jun.	May27~Jun.25	29
Jul.	Jun.25~Jul.24	29
Aug	Jul.24~Aug.26	33
Sep.	Aug.26~Sep.24	29
Oct.	Sep.24~Oct.23	29
Nov.	Oct.23~Nov.20	29
Dec.	Nov.20~Dec.22	33

업지역 11개소, 공업지역 6개소이다. 광화문을 기점으로 5km이내 지역 10개소, 10km이내 지역 23개소, 15km이내지역 18개소, 15km이상지역 4개소로서 조사 대상 지점은 Table 1.에 나타내었다.

2. 조사기간

계절구분을 명확히 하기 위하여 1998년 1월, 2월, 12월을 winter로 하고 이후 3개월 단위로 spring, summer 및 fall로 구분하여 1개월을 1개 측정단위로 매월 측정하였으며, 측정단위별 기간은 최소 29일, 최대 33일이며 그 내용은 Table 2.와 같다.

3. 시료채취 및 분석방법

서울시보건환경연구원보(1993)³⁾ 참조

조사결과 및 고찰

1. 황산화물(SO_x)

대기중 황산화물의 하나인 SO₂는 대기압하에서 환원제나 산화제로 모두 작용하여 인체나 동식물, 건축물에 피해를 줄 수 있으며 또한 광화학적 반응, 촉매 반응으로 SO₃, H₂SO₄등의 2차 오염물질로 전환되어 먼지, 질소산화물 그리고 탄화수소등과 같은 물질과 상호반응을 하여 도시 스모그를 야기 시키는 원인 물질 중 하나로 알려지고 있다.⁴⁾ 이러한 환경에 악영향을 미치는 황산화물의 발생원은 크게 인위적 발생원과 자연적 발생원으로 나눌 수 있는데 인위적 발생원은 황이 함유된 광석이나 화석연료의 연소에 의하여 주로 배출되며, 폐기물 처리 등에서도 일부 배출된다. 자연적 발생원으로는 화산활동에 의한 배출이 가장 많으며 기타 해양에서 해염 입자 중의 SO₄²⁻에 기인되어 발생된다.⁵⁾ Table 3. 은 인위적 발생원에 기인한 지구 규모의 황화합물 배출량 추정치로 다음과 같다.

Table 3. Estimation value of sulfur emission at global level

Source	Emission amount
Coal consumption	102
Petroleum consumption	28(source by Bunker oil : 20)
Industrial Processes	19
Total	149

(unit : 10⁶ ton)

Table 3. 에서 보듯이 대기중의 황산화물의 농도는 인위적 배출원에서는 석탄연소가 가장 큰 원인 물질이라고 볼 수 있다. 즉 인위적 요인에 의한 황산화물 배출량의 70% 정도를 석탄연소가 차지함을 알 수 있었다. 우리 나라 산업화 초기 즉 70년대의 주 에너지원을 석탄연소에 의존 할 수 밖에 없었는데 비용이 저렴하고 우리 나라에서 생산되어 외화를 절약할 수 있는 석탄은 서울시의 고도로 밀집된 인구와 산업시설, 특이한 지형조건과 결합해 대기 중에 아황산 가스와 분진오염을 급격히 증가시키기 시작하였다.

이러한 시점에서 서울시는 대기상태를 개선하기 위하여 80년대부터 주유종탄 정책을 시행하여 석탄소비량을 86년 9,108,000 ton을 정점으로 90년 4,793,000 ton, 98년 255,000 ton으로 감소시켜 90년도에 86년 대비 4.1%, 98년에는 2.8%로 급감시켰다. 그러나 석탄소비의 감소는 유류 사용량의 증가를 필연적으로 수반하게 되었다. 이에 따라 유류 소비에 의한 황산화물의 오염을 방지하고자 원유 도입과정에서 저유황을 함유한 원유 도입을 의무화하였으며, Table 3. 에서 보듯이 유류 연소시 황산화물의 주 발생원인 중유의 황 함유량을 단계적으로 규제하기 시작하여 81년에는 연료용 유류의 황 함유기준을 B-C유: 4.0%→1.6%, 경유: 1.0%→0.4%로 93년에 B-C유: 1.6%→1.0%, 경유: 0.4%→0.2%로 97년B-C유:

1.0%→0.5%로 하였으며 2001년에는 규제를 더욱 강화해 B-C유: 0.5%→0.3%, 경유: 0.2%→0.1%로 시행할 계획에 있다.

이와 병행하여 1988년부터 보일러 사용 용량과 아파트 전용면적에 따라 청정연료인 LNG 사용을 의무화하였으며, 또한 공해업소의 외곽이전과 방지시설확충, 지역난방시스템의 확대등 지속적인 대기오염저감 정책을 시행한 결과로 대기중의 황산화물의 농도는 급격히 감소되기 시작하였다.⁶⁾

다음 Table 4.는 '90년도부터 '98년까지 9개년간 서울시에서 소비된 연료 사용량이며 Table 5.는 같은 기간동안의 서울시 대기오염 현황을 나타낸 것이다. 이중 SO₂, Dust, NO₂는 '90년 이전부터 측정이 이루어진 7개 대기오염 측정소의 년 평균 자료이며 PbO₂는 이산화납법을 이용한 대기중의 황산화물농도이다. 또한 강하분진(Dust Fall)은 Deposit jar 법에 따른 대기중의 강하 분진량을 측정한 자료이다. Fig.1은 연료 사용량 변화에 따른 해당 오염물질의 농도변화를 나타낸 것이다.

서울시 대기중의 황산화물 농도는 Table 5.에서보면 '90년 서울시 평균농도는 47.3ppb 에서 98년 7.1ppb로 감소해 WHO 권고기준인 연간 평균농도 19 ppb(대기온도20℃)의 37% 수준이며 환경부 연평균 기준인 30 ppb 보다는 월등히 낮은 수치를 나타냄

Table 4. The consumption amount of fuel in Seoul⁷⁾⁸⁾

Fuel \ Year	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Coal	6,202	4,793	3,444	2,339	1,332	779	452	291	255
Petroleum	65,851	63,334	71,002	74,561	78,707	84,839	87,711	98,871	79,267

(unit: Coal 1000 ton , Petroleum 1000 bl)

Table 5. Annual concentration of atmospheric pollutants in Seoul during 1990~1998.

Species \ Year	90	91	92	93	94	95	96	97	98
SO ₂	47.3	41	31.7	20.6	16.7	14.6	10.6	9.0	7.1
PbO ₂	1.48	1.38	1.16	0.72	0.42	0.45	0.19	0.14	0.06
Dust	170.6	145.9	125.6	103.0	80.0	79.9	77.0	70.1	55.7
Dust Fall	9.10	11.87	10.58	10.47	9.20	7.62	7.23	10.13	7.83
NO ₂	30.8	34.9	31.6	31.4	31.3	32.6	35.0	36.0	34.7

(unit: SO₂, NO₂ ppb , Dust $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PbO₂ mg/100cm² · day , Dust Fall ton/km²month)

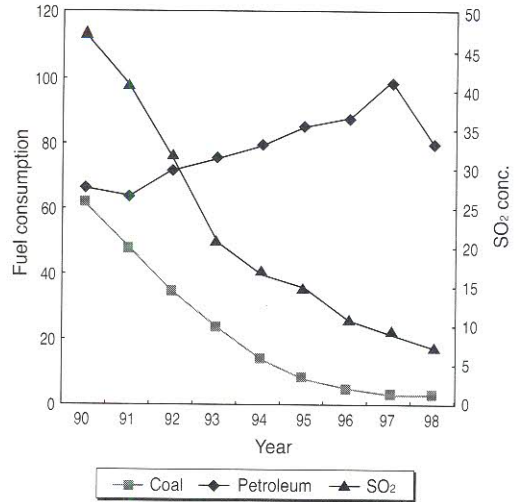
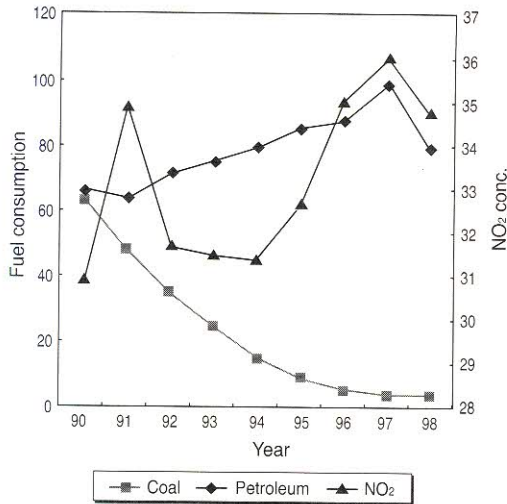


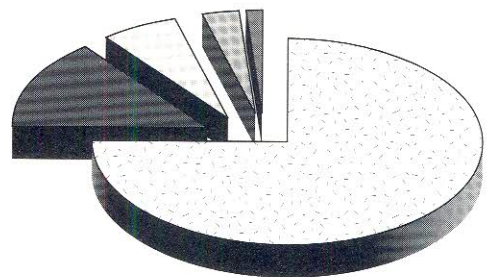
Fig. 1. Annual variations of SO₂, NO₂ concentrations by amount of fuel consumption

을 알 수 있다. 96년 김⁹⁾에 따른 황산화물의 평가 방법에서 서울시는 90년 47.3ppb의 심각한 상태의 오염 상태에서 98년 7.1ppb로 10 ppb 이하의 청정지역의 범위군에 속하는 것으로 나타나고 있다. 이는 서울시 환경 정책이 황산화물에 관한 한 성공을 거둔 것이라 평가할 수 있다. Fig. 1. 에서 황산화물의 농도와 석탄소비량과의 관계는 ($r=0.99$, $P<0.01$) 아주 밀접한 정적 상관관계로 나타났으나, 황산화물의 농도와 유류 사용량과 ($r=-0.85$, $P<0.01$)는 오히려 부의 상관관계로 나타났으나 이는 석탄 사용이 유류 사용에 의한 황산화물 농도에 미치는 영향보다 매우 크기 때문이라 생각되며, 질소산화물(NO₂) 농도와 석탄소비량 ($r=-0.47$, $P>0.05$) 또 석유사용량과 질소산화물과의 관계($r=0.53$, $P>0.05$)는 어떤 의미를 부여하기 어려웠으나 석유사용량과 질소산화물과의 관계에 대하여는 좀 더 연구가 진행되어야 겠다고 생각된다. 이로 미루어 서울시 대기중의 황산화물 농도는 석탄 사용이 주요한 원인 물질이라고 생각되며, 장래에도 계속 석탄 소비량은 감소되리라 예상되며, 또한 위에서 언급한 여러 황산화물 저감대책으로 서울시 대기중의 황산화물 농도는 더욱 떨어지리라 생각된다.

또한 '98년도에 서울시 대기중의 시간당 농도를 알아보면 17개 대기오염 측정소의 황산화물 농도 측정건수는 총 139,008건중 기기 이상 기타 원인에 의한 비가동시간 5475건을 제외한 측정시간은 총 133,533

건으로 이중 10ppb 이하의 농도가 103,687건으로 77.6%를 차지함을 알 수 있었다. 이의 농도분포도는 아래 Fig. 2. 와 같다.

Fig.2. 에서 보듯이 서울시 대기중의 황산화물의 농도는 98년 10ppb 이하의 농도가 77.6%이었으며, 년 평균은 7.1ppb로 서울시 대기중의 황산화물의 농도분포는 저 농도 상태임을 알 수 있었다. 대기중 황산화물이 10ppb 이하의 저 농도 상태일때 이산화납법에 의한 황산화물 측정에 관해 일본 위생시험법의 공기시험법 작성 전문위원장인 小川俊次郎¹⁰⁾은 일본에서 석탄이 주 에너지원으로 이용된 60년대 대기 중 황산화물의 개략적인 추세를 파악하기 위하여 이산화납법을 이용한 방법을 사용하였으나 1990년에 이 시험법



□ <11 : 103687 ■ 11-20 : 24721 □ 21-30 : 4001 □ 31-40 : 1124 ■ 41+

Fig. 2. Concentration frequency of sulfur dioxides in 1998

을 삭제하였다고 알려졌다. 그 이유는 다음과 같다고 하였다.

- 1) 일본 대기중의 황산화물 농도가 여러 저감대책에 기인해 80년대 중반부터 급감하여 이러한 측정방법(유효 측정범위는 개략적으로 대기 중 황산화물 농도가 10~20ppb 이상)으로는 저농도 상태의 측정에 적합하지 않게 되었으며
- 2) 현 10ppb 이하의 저농도 상태의 황산화물 농도를 측정하기 위하여는 정밀한 측정이 필요하다. 그러나 이 방법은 캔들내의 100cm² 면포와 접촉되는 대기중의 공기량 산출을 할 수 없어 정확한 농도산출이 근원적으로 불가능한 점 등.
- 3) 현재 모든 분석실에서 실험을 수행 할 때 세계적인 추세는 WHO등 모든 기구에서 Clean Analysis을 권고하고 있다. 이 방법 사용시는 다량의 납(Pb)사용이 불가피하게된다. 납은 인체에 돌연변이원성, 성장독성, 생식독성, 전신독성을 일으키는 물질로 EPA의 유해등급에 따르면 다이옥신과 같은 등급인 B2 군으로 평가될 정도로 독성이 강한 물질이다.¹¹⁾

또한 MASA등 대기 중 시료채취와 분석방법을 다룬 저서에서도 이 실험방법은 1980년경부터 찾아볼 수 없었다.

이러한 점들과 서울시내 55개소의 측정지점에서 채취한 시료를 분석한 결과 '97년(7개 측정소의 황산화물 년 평균농도 9.0ppb) 25% 정도의 시료에서 Background Level(실험실내 데시케이터에 보관된 시료) 과 유의한 농도 차이를 볼 수 없었으며, '98년도(7개 측정소의 황산화물 년 평균농도 7.1ppb)에는 그 량이 37%이상으로 증가되어 이 실험에 어떤 의미를 부여하기 어려웠다. 향후 지속적인 서울시의 저감

대책으로 대기중의 황산화물 농도가 더욱 낮아지면 그 빈도는 더욱 증가되리라 생각된다. 이 시점에서 이 측정방법의 효율성, 정확성, 안전성 등에 대한 제고가 이루어져야 된다고 생각된다.

이러한 바탕 하에서 98년도 서울시 55개소의 이산화납법에 의한 황산화물의 결과를 전년도와 달리 그 현황만 간략히 파악하기로 한다.

1) 지역별 · 계절별 Sulfation Rate

서울시 대기 중에서 황산화물(SO_x)의 농도를 측정하고자 시내 55개 지점에서 채취된 시료를 각국의 여러 측정법 중 간편하고 비용이 저렴한 영국에서 1932년에 개발된 적산분석법의 하나인 이산화납법을 사용하여 실험하였다.

'98년도 황산화물의 농도를 월별로 나타내기는 많은 자료가 Background Level 과 어떤 유의한 차이를 보이지 않아 Table 6.에서 보듯이 지역별과 계절별로만 알아보았다. 지역별에서는 공업지역과 상업지역이, 주거지역과 녹지지역에 비해 농도가 높음을 알 수 있었으며, 계절별로는 봄과 겨울이, 여름과 가을에 비해 농도가 높게 나타났다. Sulfation Rate에 의한 공해도 분포는 오염도가 극히 낮은 Background 수준(0.5< SO₃ mg/100cm²·day)이 전년도 98.6%에서 100%로 나타나서 서울시 대기중 황산화물 농도는 이 실험방법으로는 모두 Background 수준이하의 농도로 되었음을 알 수 있었다.

2. 강하분진

서울시 대기 중에서 일정 면적과 일정시간 내에 중력침강에 의해 단독 또는 빗물과 함께 강하하는 비교적 큰 고체상과 액체상의 물질(일반적으로 10μm이

Table 6. Seasonal variation of sulfation rate according to regional group (1998)

Region \ Season	Spring	Summer	Fall	Winter	Average
Industrial	0.181	0.040	0.025	0.044	0.071
Commercial	0.116	0.026	0.015	0.081	0.059
Rural	0.093	0.024	0.027	0.037	0.046
Residential	0.109	0.024	0.014	0.064	0.049
Average	0.125	0.028	0.020	0.056	0.056

(Unit : SO₃ mg/100cm²·day)

상)을 측정하고자 시내 55개 지점에서의 시료를 분석을 하였다. 우리 연구원에서는 각국의 여러 측정법중 미국의 Deposit Jar 법에 따라 시험을 행하고있다. 그러나 이 실험방법은 위에서 언급한 황산화물과 같은 원인으로 대기중에 다량의 분진 존재시에는 투자 비용에 비해 서울시 대기질 현상을 파악하는데 충분한 효과를 거두었으리라 생각된다. 즉 90년대 초기까지 서울시 대기중의 분진농도는 고농도를 유지하였으나 서울시의 분진 발생 억제 대책(비산면지 발생억제등)과 연료전환 등 황산화물 저감대책과 같은 대책으로 농도는 지속적으로 감소되어 90년 이전부터 측정이 이루어진 7개 대기오염 측정소의 자료에 따르면 서울시 대기중 분진의 농도는 90년 7개 측정소 평균농도 $170.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 98년 $55.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 90년 대비 32%정도로 감소하였다. 대기중의 급속한 분진농도의 감소와는 달리 강하분진 측정결과는 90년 $9.10 \text{ ton}/\text{km}^2\text{month}$ 에서 98년 $7.83 \text{ ton}/\text{km}^2\text{month}$ 로 86%수준으로 감소하였으나 97년에는 $10.13 \text{ ton}/\text{km}^2\text{month}$ 으로 나타나 90년 대비 오히려 111%수준으로 증가됨을 보여주고 있다. 두 가지의 자료를 동일선상에서 비교함은 무리가 따르나 대기중의 분진량이 큰 폭으로 감소하는 추세에서 강하분진량이 이러한 추세를 따르지 않는 것은 고려해볼 문제라 생각된다. 또한 환경부에서 $10 \mu\text{m}$ 이상 크기의 입자(TSP)측정을 2000년부터 삭제하고 $10 \mu\text{m}$

이하의 PM-10측정으로 일원화 하려는 시점에서 일반적으로 $10 \mu\text{m}$ 이상의 대기중 분진을 측정하는 이 측정 방법은 그 중요성을 많이 상실했다 생각된다. 다음 Fig. 2.는 '90년 이전 부터 측정이 이루어진 7개 대기오염 측정소의 90년부터 98년까지의 분진측정 자료와 연료사용량과의 관계를 나타낸 것이며, Fig. 3.은 Deposit Jar 법에따른 강하분진(Dust Fall)량과의 관계를 나타낸 것이다.

Fig. 3. 에서 알 수 있듯이 대기중의 분진농도는 석탄소비량($r=0.99$, $P<0.01$)과는 정의 매우 큰 상관관계를 보인 반면 석유소비량($r=-0.80$, $P<0.01$)과는 부의 매우 큰 상관관계를 보이고 있다. 이로 미루어 서울시 대기중의 분진농도는 화석 연료중 석탄 소비의 감소와 비례하여 감소함을 알수 있었다. 그러나 강하분진은 석탄소비량($r=0.61$, $P>0.05$), 석유소비량($r=-0.90$, $P<0.01$), 분진과($r=0.58$, $P>0.05$)의 관계에서 어떤 특성이나 상태를 파악할 수 없었다. 이러한 점은 강하분진 실험시 실험실에서 많은 주의를 기울여 거대입자나 끈충등 이물질질을 제거한다 해도 현재 상태의 시료채취 방법으로는 정확한 시료를 채취하기 어려워서 생긴 오차가 원인이라 생각된다. 즉 실험을 할 수 없을 정도로 오염이 심한 경우도 다량 발생되었으며 여름철에 집중되는 경우 특성으로 강하 분진 통이 넘치는 경우와 포집된 강하분진의 재 비산등의

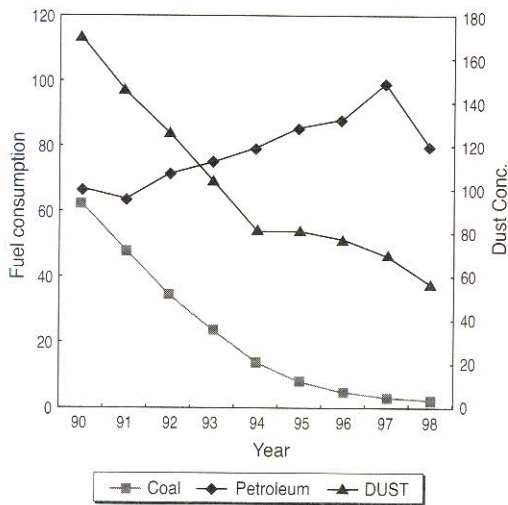


Fig. 2. Annual variation of dust concentration by amount of fuel consumption

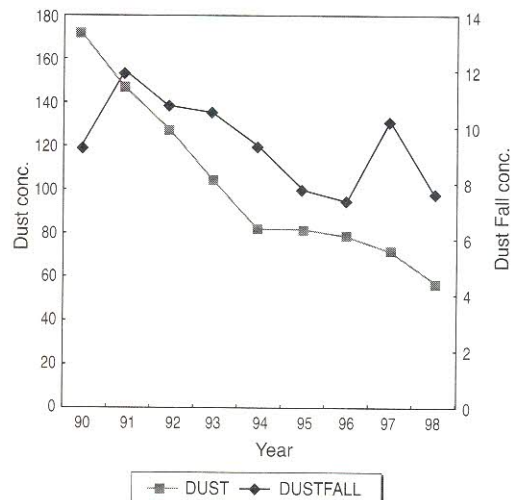


Fig. 3. Comparison of dust concentration and dust fall concentration in year

원인에 기인된다고 생각된다. 이런 실험오차를 줄이기 위하여는 강하분진 측정시 많은 사전조치와 설치 후에도 계속적인 관리가 필요하다. MASA(Methods of Air Sampling and Analysis)에서는 강하분진 측정이 필요한 경우 다음과 같은 조치를 취하도록 권고하고 있다.¹²⁾

- 설치장소, 설치지역을 신중히 고려 해야하며 관리가 가능한 범위의 수량만 설치
- 포집된 강하분진이 재 비산 되는 것을 막기 위해 포집병에 증류수를 일정량 채워 놓아 일단 떨어진 강하분진의 재 비산을 막아야 하며 장시간의 시료 채취로 채워 놓은 물이 증발되고, 강수량이 많은 계절에는 포집병이 넘치는 경우가 자주 발생되는데에 따른 조치를 강구하여야만 한다.
- 거대입자 제거: 스테인레스 스틸 재질인 NO.18(1mm mesh)체를사용 곤충, Algae, fungi, 새똥, 나뭇잎, 거대입자 기타 유리조각, 담배꽂초 등을 제거
- Algae, fungi 제거: Algae만 제거하기 위하여는 0.02N CuSO₄ 용액을 가하거나, 이 모두를 제거하기 위하여는 Mercuric Chloride를 15 ppm 정도의 농도로 첨가하여 제거한다. 그러나 Mercuric Chloride는 강한 독성이 있어 사용시 주의를 요한다.
- 동결방지: 물의 동결점을 감소시키는 Isopropyl alcohol을 온도에 따라 첨가하여 동결을 방지한다.
- 새들에 의한 이물질 제거: 새들이 앉을 수 있도록 채집병 둘레에 둥근 링을 설치하여 채집구 안으로 이물질이 들어가는 것을 방지한다.

강하분진 측정을 위하여 MASA 등에서 요구하는 수준을 맞추기 위하여는 현재의 방법을 보완하여야 한

다. 즉 MASA에서 요구하는 조치를 취한 후 현재 동사무소 옥상에 주로 설치 되어있는 강하분진통을 관리가 가능한 대기오염 측정소에 2~3개 설치한 후 심하게 오염(거대입자 등)이 된 것을 제외한 것의 평균을 구하는 방법을 사용하면 되리라 생각된다.

98년도 서울시의 강하분진량의 결과를 전년도와 달리 그 현황만 간략히 파악하기로 한다.

2) 강하분진의 월간·지역별 현황

'98년도 강하분진 농도는 월별로 나타내기는 많은 시료가 오염되어 지역별, 계절별로 그 농도를 나타내었다. Table 7.에서 보면 지역별에서는 상업지역이 다른 지역에 비해 농도가 약간 높음을 알 수 있었으며 계절별로는 봄이 다른 계절에 비해 농도가 높게 나타났다. 가을이 농도가 가장 낮게 나타났다.

결 론

서울 시내의 황산화물과 강하분진을 측정하고자 PbO₂ candle과 Deposit Jar를 이용한 측정방법은 1960대 말부터 대기오염 자동 측정소가 설치되기 전까지는 중요한 측정수단이었으나, 현재에는 측정소 자료의 보완적인 자료로 이용되고 있는 이 실험방법들에 대한 조사 결과는 다음과 같다.

1. 서울시내 55개 지점의 '98년 평균 황산화물 농도는 0.056mg/100cm²·day이었으며, 강하분진의 연 평균치는 7.834ton/km²/month이었다
2. 1960년대 후반부터 현재까지 지속해온 이산화납법에 의한 황산화물의 분석은 초기에는 서울시 대기중의 고농도 상태의 황산화물 농도를 파악하여 서울시민의 건강에 이바지할 수 있는 환경

Table 7. Seasonal variation of dust fall according to regional group (1998)

Region \ Season	Spring	Summer	Fall	Winter	Average
Industrial	11.568	5.182	2.620	7.850	7.552
Commercial	10.729	9.962	2.433	8.936	8.958
Rural	10.730	8.904	3.428	6.867	7.481
Residential	11.137	5.138	2.733	7.347	7.345
Average	11.041	7.297	2.803	7.752	7.834

(Unit : ton/km²/month)

정책 자료를 제공하는데 크게 기여하였으나, 이후 서울시의 연료전환 등 지속적인 황산화물 저감대책의 성공으로 '90년 47.3 ppb 의 고농도 상태에서 '98년 7.1 ppb로 급감되었다. 또한 황산화물의 '98년 시간당 10 ppb 이하 농도가 77.6%로 나타나 황산화물에 관련한 서울시 대기는 청정지역이라 할 수 있는 상태가 되었다. 현재 이러한 저농도 상태의 대기 중에서 이산화납법에 의한 황산화물의 분석은 그 측정유효범위 (10~20 ppb)를 벗어나 많은 수의 시료에서 Background Level 과 유사한 농도 차이를 볼 수 없었다. 또한 분석시 인체에 유해한 납을 다량 사용하여 WHO 등에서 권고하고 있으며, 세계적인 추세인 Clean Analysis 과 위배된다 할 수 있다. 이러한 점들을 고려하면 이 측정방법의 지속여부에 대한 재고가 이루어져야 될 시점이라 생각된다.

3. 이산화납법에 의한 황산화물 분석과 같은 시기에 시작된 서울시 대기중의 강하분진 측정은 초기에는 황산화물과 마찬가지로 분진 저감을 위한 환경정책 수립에 많은 자료를 제공하였다. 그러나 비산 먼지억제, 청정연료로의 연료전환 정책(석탄 → 유류 → LNG)등의 원인들에 의해 서울시 대기중 분진의 농도는 '90년 평균농도 $170.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 '98년 $55.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 '90년 대비 32%정도로 감소함을 볼 수 있었다. 대기중의 오염물의 농도가 감소하게 되면 그에 따라 좀더 정확한 측정방법이 요구되는데 현행의 측정방법으로 나타난 결과를 강하분진은 분진과 $r=0.58(P)0.05$ 로 나타나 그 연관성을 찾아볼 수 없었으며 또한 대기중 분진농도와 가장 밀접한 관계에 있는 석탄소비량 $r=0.61(P)0.05$ 과의 관계에서도 어떤 특성이나 상태를 파악할 수 없었다. 이러한 점들은 현재의 강하분진 측정시 시료채취 과정에서 이

물질(거대입자)등에 의한 오염에 기인되었다고 생각되며, 장래 이 사업을 지속하기 위하여는 현행 시료채취 방법과 그에 따른 제반사항들에 대한 개선이 이루어진 후 시행되어야 한다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Wark, K and Warner, C.F., Air Pollution: It's Origin and Control. 2nd Ed., Harper & Row, New York (1981)
2. 서울시정개발연구원 : 대기질 측정방법의 효율화 방안에 관한 연구(1994)
3. 길혜경, 유승성, 여인학, 이종현, 고한성, 김학수, 이봉용, 김민영 : PbO_2 Candle method 및 Deposit Jar에 의한 서울시의 대기오염도 조사, 서울특별시 보건환경연구원보, 29:230(1993)
4. APHA Intersociety Committee: Method of Air sampling and analysis .American Public Health Association Washington DC .pp 680 ~686 (1977)
5. Miller, D., Atmos. Environ ., 18(1) : 1725 (1984)
6. 김유근 등 대기환경의 탐색, 형설출판사, (1997)
7. 석유개발공사 : 석유류수급통계(1998)
8. 서울특별시 : 서울통계연보(1998)
9. 김용준 시군별 이산화황 오염도의 현황진단과 장기에측에 관한연구, 한국 대기보전학회, 13(1) (1997)
10. 日本 衛生試験法・注解 空氣試験法 作成 専門委員長 小川俊次郎, 質意에 대한 答辯書
11. US EPA. Air quality criteria for lead, Vol.3~4, EPA-600/8-83/028 CF (1986)
12. James P. Lodge, JR., Methods of Air Sampling and Analysis pp 440~445 (1994)