

## 대기오염 총침착물의 채취방법 표준화 개발에 관한 연구 - 여과식 채취방법을 통한 총침착물의 공간분포 특성 -

박 정 호 · 조 인 철<sup>\*</sup> · 김 찬 훈<sup>\*\*</sup> · 서 정 민<sup>\*\*\*</sup>  
진주산업대학교 환경공학과, <sup>\*</sup>경상남도 보건환경연구원, <sup>\*\*</sup>동아대학교 환경공학과  
<sup>\*\*\*</sup>밀양대학교 환경공학과  
(2002년 2월 18일 접수; 2002년 5월 16일 채택)

## A Study on the Development of Standard Method of Total Deposition Sampling in Air Pollutants - Spatial Distribution of Total Deposition by the Filtration-Sampling Method -

Jeong-Ho Park, In-Cheol Cho<sup>\*</sup>, Chan-Hun Kim<sup>\*\*</sup> and Jeong-Min Suh<sup>\*\*\*</sup>

Dept. of Environmental Engineering, Chinju National University, Chinju 660-758, Korea  
<sup>\*</sup>Kyongsang Nam-do Provincial Government Institute of Health and Environment, Changwon 641-825, Korea  
<sup>\*\*</sup>Dept. of Environmental Engineering, Dong-a University, Busan 602-714, Korea  
<sup>\*\*\*</sup>Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea  
(Manuscript received 18 February, 2002; accepted 16 May, 2002)

The purpose of this study was to investigate spatial distributions of total deposition. A total number 79 samples were collected at 17 sampling sites from September 1999 to January 2000. Total (=wet+dry) atmospheric depositions were collected by filtered deposition sampler at sampling site (the Western Part of Kyongsangnam Province). In addition, the deposition of soluble and insoluble fraction was also investigated to find a suitable simplified collection method for a long-term monitoring of total deposition.

The total depositions were measured soluble amount(mm/month), insoluble amount(kg/km<sup>2</sup>/month), pH, conductivity(E.C.) and eight ionic components. The spatial distribution of deposition flux was to estimated by using a kriging analysis. The 17 sites mean fluxes of water soluble ionic components; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> were 100.7~315.6kg/km<sup>2</sup>/month, 30.1~234.3kg/km<sup>2</sup>/month, 64.4~139.4kg/km<sup>2</sup>/month, 7.5~68.3kg/km<sup>2</sup>/month, 10.7~48.7kg/km<sup>2</sup>/month, 5.6~27.9kg/km<sup>2</sup>/month, 4.5~17.5kg/km<sup>2</sup>/month, 27.6~81.7kg/km<sup>2</sup>/month, respectively.

Key words : total deposition, ionic components, spatial distribution,

### 1. 서 론

대기 중으로 방출된 대기오염물질의 제거과정에는 주로 강수 등에 의해 제거되어지는 습성침착(wet deposition) 과정과 직접 지표면부근으로 침착하는 건성침착(dry deposition) 과정으로 크게 구분

할 수 있다. 습성침착의 경우 지구 환경문제의 하나로서 주목되고 있는 산성비 문제로 종래의 연구에는 크게 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 등의 산성원인물질의 기상 및 액상중에서 산화과정을 통해 산성비 생성 메커니즘을 규명한 연구와<sup>1-3)</sup> 습성침착 속도 및 산화반응과정을 모델화한 보고가 있으며<sup>4-6)</sup>, 요즘에도 습성침착에 관한 연구가 지속적이고 다양하게 진행되고 있는 것을 볼 수 있다. 주로 중력침강에 의해 제거되는 건성침착(dry deposition)의 경우 대기중의 오염물질이 어느 정도 지표면 부근으로 침착하는가를

Corresponding Author : Jeong-Ho Park, Dept. of Environmental Engineering, Chinju National University, Chinju 660-758, Korea  
Phone : +82-55-751-3345  
E-mail : jhpark@jinju.ac.kr

추정하는 것은 오염물질의 대기 중 농도를 예측하거나 또는 침착물의 지표면, 수면 등의 이동량이나 생활환경, 생태계에 주는 부하량을 간접적으로 예측하는 면에서도 매우 중요하며, 반대로 대기 중 오염물질의 농도로부터 침착량을 예측하는 방법 또한 중요한 연구대상이다. 그리고 건성침착에서는 침착량 및 침착속도가 가장 중요한 인자이며, 특히 대기 에어로졸입자의 경우 침착속도는 입경에 크게 의존한다<sup>7,8)</sup>.

한편, 지구환경문제중의 하나로 그 관심이 집중되고 있는 산성비 문제에 대해 주로 대기중 산성물질로 인하여 빗물이 산성화가 되어 가는 습성침착과정으로만 인식되어져 왔다. 그러나 일부 대기오염물질의 건성침착량은 습성침착량과 거의 동등하다고 알려져 있으며,<sup>9,10)</sup> 따라서 침착 대기오염물질로 인한 지표면 부근에 미치는 부하량을 평가하기 위해서는 습성침착 뿐만 아니라 건성침착을 포함한 총침착물 특성으로 평가할 필요가 있다.<sup>11-13)</sup> 그러나 지표면 부근으로 침착되는 오염물질의 거동 특성을 분석하기 위해서는 고가 외국산 침착물 채취장치의 국산화, 침착물 분석방법의 통일화 등 대기오염 침착물의 채취방법을 표준화하기 위한 연구가 시급한 실정이고 자료의 축적도 이루어져야 할 것으로 보인다.<sup>14-16)</sup> 또한, 침착량은 지형적, 기상학적 영향을 크게 받으므로 공간분석법을 통한 침착량의 공간분포 특성을 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 대기오염 총침착물의 침착 특성을 넓은 지역에서 장기간 간편하게 측정하고 채취된 시료의 장기간 보관에 따른 손실의 최소화를 고려한 여과식 대기오염 총침착물 채취방법에 주목하였다.<sup>17)</sup> 총침착물의 시료채취는 시료채취 기간 중 샘플러에 침착되는 건성침착물과 습성침착물을 함께 채취하는 방법(bulk sampling)으로 여과방법에 의해 채취되는 시료는 불용성 성분(Insoluble fraction)과 수용성 성분(Soluble fraction)별로 나누어지게 된다. 이러한 대기오염 총침착물 채취방법을 이용하여 최근 지표면 부근의 산성화 문제가 지역사회 문제로 대두되고 있는 서부경남의 남해안 주변지역 17개 지점을 대상으로 시료를 채취하고 시료채취과정의 표준화 개발을 위해 채취과정에서 나타난 문제점 그리고 채취된 시료중 불용성 성분, 수용성 이온성분 등의 침착 특성 자료를 이용하여 공간분석법을 통한 침착량의 공간분포 특성을 검토하였다.

## 2. 시료채취방법

### 2.1 총침착물 채취장치

본 연구에서는 대기오염 총침착물의 넓은 지역에

서 여러개의 지점별로 침착 특성을 간편하게 평가하고 장기간의 시료 채취기간중 이미 채취된 시료의 안정성을 고려한 채취방법을 위해 여과식 대기오염 침착물 채취장치에 주목하였다. 서부경남 남해안 주변지역의 대기오염 총침착물의 침착 특성을 파악하기 위하여 Fig. 1에 표시한 바와 같이 서부경남 남해안에 위치한 2개 화력발전소 주변 반경 15km 이내의 17개 지점(A~Q지점)을 시료채취지점으로 선정하였으며, 각 지점은 주변의 도로변이나 점오염원 등의 각종 배출원으로부터의 직접적인 영향을 최소화되도록 고려하였다. 또한, 총 침착물의 시료채취장치는 직경 15.5cm 원통형 깔때기(면적 188.7cm<sup>2</sup>)의 시료 채취부, 침착물을 수용성(soluble) 성분과 불용성(Insoluble) 성분별로 구분하기 위한 직경 47mm, 공극 0.8 $\mu$ m의 cellulose 혼합 membrane 필터가 장착된 여과기부, 그리고 채취된 수용성 침착물을 안정하게 보관하기 위해 알루미늄 호일로 둘러싼 폴리에틸렌 재질의 용기부로 구성되었고, 시료채취장치의 총 수직 높이는 약 1.5m이다.

대기오염 총침착물의 시료채취 기간은 Table 1에 표시한 바와 같이 17개 지점별로 1999년 9월부터 2000년 1월까지 월 1회, 1회는 약 1개월 전후를 기준으로 총 5차에 걸쳐 채취장치를 이용하여 시료를 채취하였으며, 조사기간 중 일부 지점에서 채취장치의 파손으로 시료 손실이 있었으나 총 79개의 시료를 채취하였다.

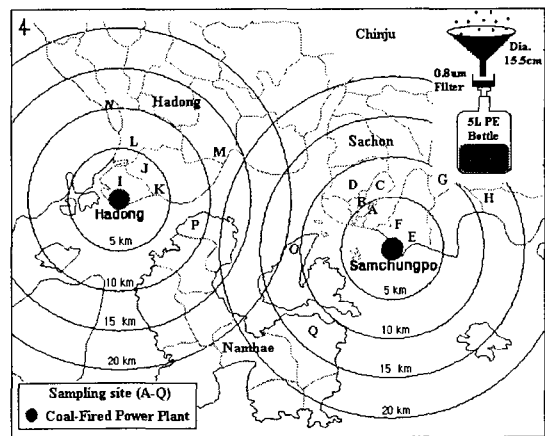


Fig. 1. The location of 17 sampling sites.

### 2.2 분석방법 및 침착량 계산

각 지점별 약 1개월의 시료채취가 완료되면, 채취된 수용성 성분으로 채취부의 내부표면에 붙어 있는 침착물까지 떨어낸 후 여과필터 위의 잔존물을 불용성(Insoluble) 성분 그리고 여과액인 수용성

(soluble) 성분별로 각각 구분하였다. 수용성 성분은 우선 1개월 기준으로 채취된 강수 즉, 수용성 성분의 침착량(mm/month)과 pH, 전기전도도(E.C.)를 측정하고 이온성분 분석을 위해서 I.C.(Dionex DX-300)을 이용하여, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 음이온 성분 그리고 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>의 양이온 성분을 각각 분석하였으며, 불용성 성분은 여과 필터를 데시케이터에서 약 2일간 완전 건조시킨 후 무게를 정량하였다.

한편, 수용성 이온성분은 각 이온 농도에 수용성 침착량을 곱하고 여기에 원통형 깔때기의 면적과 시료채취일(1개월 기준)을 나누어 수용성 이온성분의 침착량(kg/km<sup>2</sup>·month)을 계산하였다. 불용성 성분 또한 여과지의 시료채취 전후 무게차를 구하고, 여기에 원통형 깔때기의 면적과 시료채취일로 나누어 불용성 성분의 침착량(kg/km<sup>2</sup>/month)을 계산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 조사기간 및 지점별 각 성분의 침착 특성

본 연구에서는 대기오염 총침착물의 장기간 침착 특성을 간편하게 평가하고 채취된 시료의 안정성을 고려한 여과식 대기오염 침착물 채취방법에 주목하였으며, 실제 침착 특성 자료와 그 적용 가능성을 평가하기 위해 17개 지점을 대상으로 채취된 대기오염 총침착물 중 대부분 빗물로 고려되어지는 수용성 침착물과 여과 필터위의 잔존물인 불용성 침착물을 채취하였다. 그리고 수용성 성분 중 pH, 전

기전도도와 음이온 성분 Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 양이온 성분 Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>을 값을 조사하였다. 여기서, pH, 전기전도도의 평균값은 수용성 침착량을 고려한 가중평균값으로 산정하였다.

Table 1에는 수용성 침착량(soluble, mm/m), pH, 전기전도도(E.C., μS/cm), 8개 이온성분의 농도(ppm) 및 침착량(Insoluble, kg/km<sup>2</sup>/m) 그리고 불용성 침착물(Insoluble, kg/km<sup>2</sup>/m)의 침착량을 1~5차 조사기간별 17개 조사지점의 평균 침착 특성으로 나타냈다. 각 항목의 침착 특성은 조사기간에 따라 큰 차이를 보이고 있었는데, 대부분 빗물로 고려되어지는 평균 수용성 침착량은 강수량이 많았던 1차 조사기간('99. 9/1~10/5)이 324mm/m로 가장 많았고 강수량이 적었던 4차조사기간('99. 11/26~2000. 1/7)이 3mm/m로 가장 적었다. 이러한 수용성 침착량 특성에서 수용성 침착량이 많을수록 pH, 전기전도도의 값이 낮아지는 경향을 나타내고 있었으며, 불용성 성분의 경우도 수용성 침착량이 가장 많았던 1차조사기간이 194.9kg/km<sup>2</sup>/m, 수용성 침착량이 가장 적었던 4차조사기간이 698.4kg/km<sup>2</sup>/m로 나타났다. 이러한 수용성 침착량에 따른 각종 항목의 침착 특성은 초기 강수나 강수량에 따른 대기오염물질의 세정작용과 밀접한 관계가 있는 것으로 고려되어진다.<sup>18)</sup>

또한, 각 이온성분의 침착 특성은 농도(ppm)로 고려할 경우 수용성 침착량이 적을수록 높은 농도로 나타났으나, 이온성분의 농도에 수용성 침착량을 가중한 경우 이온성분의 침착량(kg/km<sup>2</sup>/m)은

Table 1. Fluxes of total deposition from Sept. 1999 to Jan. 2000

Sampling ('99~2000)	Soluble fraction										Insoluble amount (kg/km <sup>2</sup> /m)	
	Soluble amount (mm/m)	pH	E.C. (μS/cm)	Anion, ppm (kg/km <sup>2</sup> /m)			Cation, ppm (kg/km <sup>2</sup> /m)					
				Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		Ca <sup>2+</sup>
1st (9/1~10/5)	324	4.7	12.8	0.728 (235.9)	0.435 (141.0)	0.889 (288.2)	0.262 (84.9)	0.139 (45.1)	0.095 (30.7)	0.053 (17.1)	0.153 (49.6)	194.9
2nd (10/5~10/25)	158	5.0	15.6	0.961 (141.0)	0.846 (109.9)	1.800 (250.2)	0.186 (28.3)	0.269 (36.4)	0.091 (12.5)	0.074 (10.6)	0.331 (47.6)	256.3
3rd (10/25~11/26)	42	5.5	23.9	1.420 (56.3)	2.199 (90.4)	3.436 (137.8)	0.371 (15.4)	0.666 (26.9)	0.323 (12.8)	0.156 (6.3)	1.402 (54.9)	697.4
4th (11/26~1/7)	3	6.3	57.0	2.519 (17.2)	4.556 (31.9)	8.614 (59.4)	0.971 (6.8)	0.716 (4.9)	0.643 (4.4)	0.446 (3.1)	3.899 (27.3)	698.4
5th (1/7~2/1)	23	5.9	35.3	1.293 (26.7)	3.282 (66.0)	4.051 (83.3)	0.718 (15.2)	0.753 (15.8)	0.266 (5.5)	0.250 (5.0)	2.038 (39.9)	155.3

대체적으로 수용성 침착량에 비례하는 것으로 나타났다. 그리고 이온성분의 평균 침착량(kg/km<sup>2</sup>/m)은 음이온의 경우 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 순으로 양이온의 경우 Ca<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup>의 순으로 나타났으며, 특히 주로 해염입자인 Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>의 경우 다른 이온성분보다 조사기간별 침착량 변화가 큰 것으로 나타났는데, 이는 주로 시료채취 지점이 해안에 위치하고 있는 지리적 특성상 풍향에 따른 해염입자의 영향 특성이 큰 것으로 판단된다.

Table 2에는 각 항목의 침착 특성을 17개 조사지점별 총 조사기간중의 평균으로 나타냈다. 특히, pH 값은 수용성 침착량을 고려한 가중평균값으로 모든 지점이 pH 5.6이하로 나타났으며, 특히 실질적으로 산성비라 할 수 있는 pH 5.0 이하가 8개 지점에서 나타났다.

그리고 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 침착량은 각각 100.7~315.6kg/km<sup>2</sup>/m, 64.4~115.9kg/km<sup>2</sup>/m의 범위로 나타났다. 각 화력발전소에서 가까운 E, F, I 지점보다 다소 거리가 떨어져 있는 G, H, O, Q 지점이 오히려 높은 경향을 보이고 있는데, 이는 배출원에서 주로 가스상 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>의 형태로 배출된 뒤 바람확산으로 배출원 인접 지역보다 다소 멀리 떨어진 지점에 더 많이 침착된 결과로 추정된다. 반면, 대기중 침착속도가 클 것으로 판단되는 불용성 성

분(insoluble)이나 Ca<sup>2+</sup>성분의 경우<sup>19)</sup> 배출원에 가까운 E, F, I, J 지점이 비교적 높은 침착량 특성을 나타냈다. 한편, 불용성 성분이나 주로 토양기원인 Ca<sup>2+</sup>의 침착량은 대부분 발전소에서 배출된 것이라 보기에는 어렵지만, 석탄성분이나 연소후 발생하는 비산먼지의 원소성분에는 CaO(SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 등이 높게 함유되어 있으며,<sup>20)</sup> 또한 화력발전소 주변지역의 비산먼지의 침착실험 및 풍동실험에서도 불용성 성분이나 탄진농도가 발전소나 저탄시설에 가까운 곳일수록 그 침착량이 많다고 보고 되고 있다.<sup>21)</sup>

3.2 수용성 침착량에 따른 이온성분의 농도 변화  
총침착물 채취방법은 수용성 이온성분 침착량의 경우 기존의 주로 습성강하물만 채취하는 방법보다 용해성 건성 침착물에 의한 기여가 30~40 % 정도 더 점하고 있다고 보고되고 있다.<sup>17)</sup> 앞서 수용성 침착량에 따른 이온성분의 침착 특성이 크게 다른 것을 알 수 있는데, 여기서는 조사기간 중 채취된 총 79개 시료에 대해 수용성 침착량에 따른 이온성분의 농도변화를 알아보기 위하여, 특히 [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>], [Ca<sup>2+</sup>]의 성분과 음이온 성분의 총량 [Anion](=Cl<sup>-</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>+SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 양이온 성분의 총량 [Cation](=Na<sup>+</sup>+NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+K<sup>+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+Ca<sup>2+</sup>)의 변화 특성을 Fig. 2에 나타냈다.

Table 2. Mean values of soluble, pH, E.C., ionic components and insoluble amount at 17 sites

Site	Soluble fraction										Insoluble amount (kg/km <sup>2</sup> /m)	
	Soluble amount (mm/m)	pH	E.C. (μS/cm)	Anion (kg/km <sup>2</sup> /m)			Cation (kg/km <sup>2</sup> /m)					
				Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		Ca <sup>2+</sup>
A	151	5.3	15.2	123.6	86.5	182.1	45.2	22.8	18.2	11.2	81.7	383.3
B	114	5.3	17.8	100.7	95.2	174.4	49.3	45.4	13.9	10.9	62.7	960.9
C	113	4.9	13.8	90.5	70.8	119.1	29.7	10.7	15.3	6.6	27.6	147.1
D	103	5.1	17.3	72.6	82.6	150.9	23.0	37.0	7.6	6.7	38.6	412.6
E	119	4.7	18.4	131.8	85.6	141.3	39.1	11.4	8.6	10.1	30.5	201.5
F	137	4.7	20.2	119.6	87.2	190.4	33.1	23.8	6.5	9.2	34.2	344.9
G	211	4.9	12.7	128.0	104.9	226.2	37.8	27.6	11.4	10.0	39.9	145.9
H	230	4.7	17.4	234.3	99.3	315.6	68.3	18.4	27.9	17.5	37.0	227.9
I	62	5.4	21.9	60.0	64.4	137.8	19.6	16.4	7.3	6.5	59.4	554.6
J	63	5.1	20.0	66.3	72.9	123.6	19.1	20.7	22.9	6.7	39.6	672.0
K	78	5.1	24.2	111.1	69.7	161.4	23.1	14.2	10.8	7.8	49.8	418.9
L	95	4.8	16.7	56.1	82.3	128.8	19.0	21.6	10.4	5.4	29.7	416.7
M	86	5.3	20.1	64.8	94.7	139.5	16.5	48.7	13.2	5.8	43.4	523.3
N	104	5.0	16.3	69.6	88.2	152.6	22.8	18.5	17.9	7.7	48.7	513.8
O	133	4.8	19.8	128.5	139.4	176.3	37.7	33.3	13.9	10.6	41.8	83.6
P	40	5.5	23.1	30.1	67.0	100.7	7.5	27.2	5.6	4.5	36.4	288.4
Q	112	4.8	20.5	147.6	115.9	288.3	41.3	37.8	14.6	10.9	31.9	158.3

각 이온 성분의 농도변화 특성은 전반적으로 수용성 침착량 약 50mm/m까지는 각 항목의 농도가 크게 감소하다가 그 이후 점차 농도 감소 변화 폭이 줄어드는 경향을 보여, 초기 수용성 침착량(초기 강수)에 의한 대기오염물질의 세정작용이 크게 일어남을 알 수 있다.<sup>18, 22)</sup> 그리고  $[SO_4^{2-}]$ 의 기울기가  $-0.035$ ,  $[Ca^{2+}]$ 의 기울기가  $-0.043$ 으로 특히,  $[Ca^{2+}]$ 이  $[SO_4^{2-}]$ 보다 초기 수용성 침착량에 따른 침착속도가 더 빠른 것으로 나타났으며, 또한 양이온 성분의 총량 [Cation]도 음이온 성분의 총량 [Anion]보다 조금 더 침착 속도가 빠른 것으로 나타났다. 한편, 여과식 시료채취방법에 있어 여과식 채취방법으로 장기간에 걸쳐 보다 안정적으로 시료를 채취하기 위해서는 향후 해결하여야 할 문제점이 몇 가지 나타났다. 그 중 채취지점 주변의 비산먼지의 발생여부 등 주변 환경을 고려한 지점 선정이 중요할 것으로 판단되며, 장기간 대기중에 노출시 장치 재질의 부식과 강한 바람에도 견딜 수 있도록 하는 등 장치의 구조적인 문제 그리고 각종 벌레들의 유

입으로 인한 불용성 침착물의 정량 문제점등이 나타났다. 또한, 여과지위에 이끼가 발생하거나 필터 재질의 분해가 되는 문제점은 확인되지 않았다.

### 3.3 성분별 침착량 등고선 분포 특성

대기오염물질의 침착량은 지형적, 기상학적 특성에 따라 지역별로 차이가 있으며, 오염원의 지리적 위치에 따라 커다란 영향을 받을 수 있다. 따라서, 넓은 지역에서 다 지점에서 측정된 침착량의 특성을 공간적 분포로 파악하기 위해서는 공간분석법에 의한 해석이 필요하다. 여기서 공간분석법이란 동일시간에 지역적으로 상이한 수용체 위치에서 측정된 자료를 평면상에서 시각적으로 평가하는 방법으로 공간분석법에서 가장 선호하는 있는 내삽방법으로는 거리반비례 평균법과 kiring기법 등이 널리 쓰여지고 있다. 특히, kringing 기법은 환경분야에서 산성비 및 SOx와 NOx 등 가스상 물질의 공간적 분포 등에 적용된바 있으며, 강하분진의 침착량 추정 에 우수한 기법으로 알려져 있다.<sup>15,23,24)</sup>

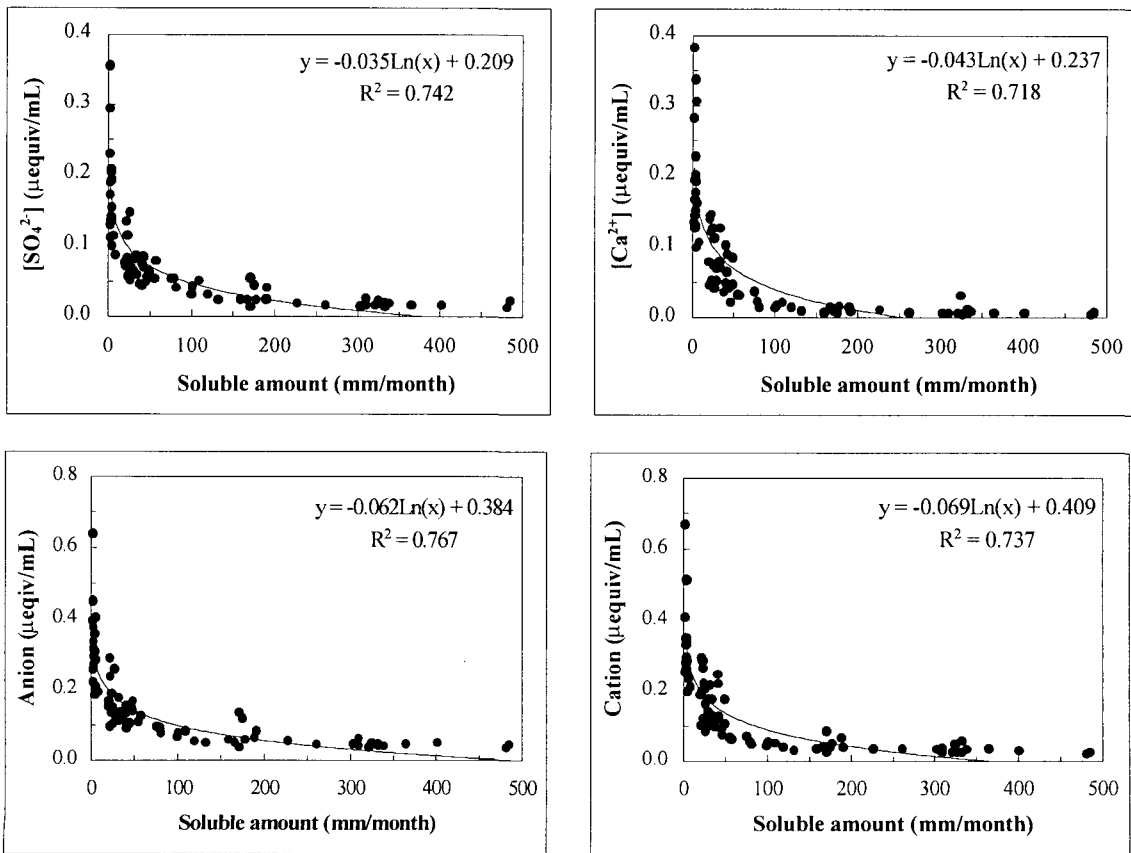


Fig. 2. Variations of  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$ , anion, and cation for soluble amount.

17개 지점에서 채취된 각 성분의 침착량 특성을 등고선 분포로 분석하기 위하여 지리정보 시스템의 공간분석법 중 하나인 kriging 기법을 이용하였다. 특히 침착량의 주요 성분 평가에서 중요한 인자라 판단되는 pH,  $\text{SO}_4^{2-}$ , 불용성 침착량,  $\text{Ca}^{2+}$ 의 총 5차 조사기간의 평균 침착량 자료를 입력치로 하여 침착량 특성을 등고선 분포도로 Fig. 3에 표시하였다.

pH 및 수용성 성분의 pH 저하에 큰 기여를 하고 있는  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 침착량 등고선 분포 특성은 특히, 삼천포 지역의 경우 발전소로부터 멀어질수록  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 침착량은 높아지는 경향을 나타내었고 pH 값은 낮아지고 있었다. 이것은 pH를 저하시키는  $\text{SO}_4^{2-}$ 는 주로 대기중의 가스상  $\text{SO}_2$ 에서 전환된 것으로 특히, 발전소 인접지역은 물론 가스상 물질의 대기확

산에 의해 다른 주변지역까지도 영향을 주는 것으로 고려되어진다. 반면, 불용성 성분 및  $\text{Ca}^{2+}$ 의 침착량 등고선 분포 특성은 특히, 삼천포 주변지역의 경우 발전소에 인접한 지역일수록 침착량이 많아지고 멀어질수록 낮아지는 경향을 나타내고 있었다. 이것은 불용성 성분(Insoluble)이나  $\text{Ca}^{2+}$  성분의 경우  $\text{SO}_4^{2-}$ 와는 달리 일반적으로 대기중에서 침착속도가 빠르게 일어나기 때문에 발생원 인접지역일수록 침착량이 많아지는 것으로 판단된다.

한편, 등고선 분포 특성으로는 하동 주변지역이 삼천포 주변지역과 비교해서 뚜렷한 특성을 나타내고 있지 않은데, 이것은 2개 발전소의 석탄 사용량, 대기오염물질 배출량의 정도 그리고 탈황시설의 가동 여부 등 2개 발전소의 배출 특성에는 큰 차이를

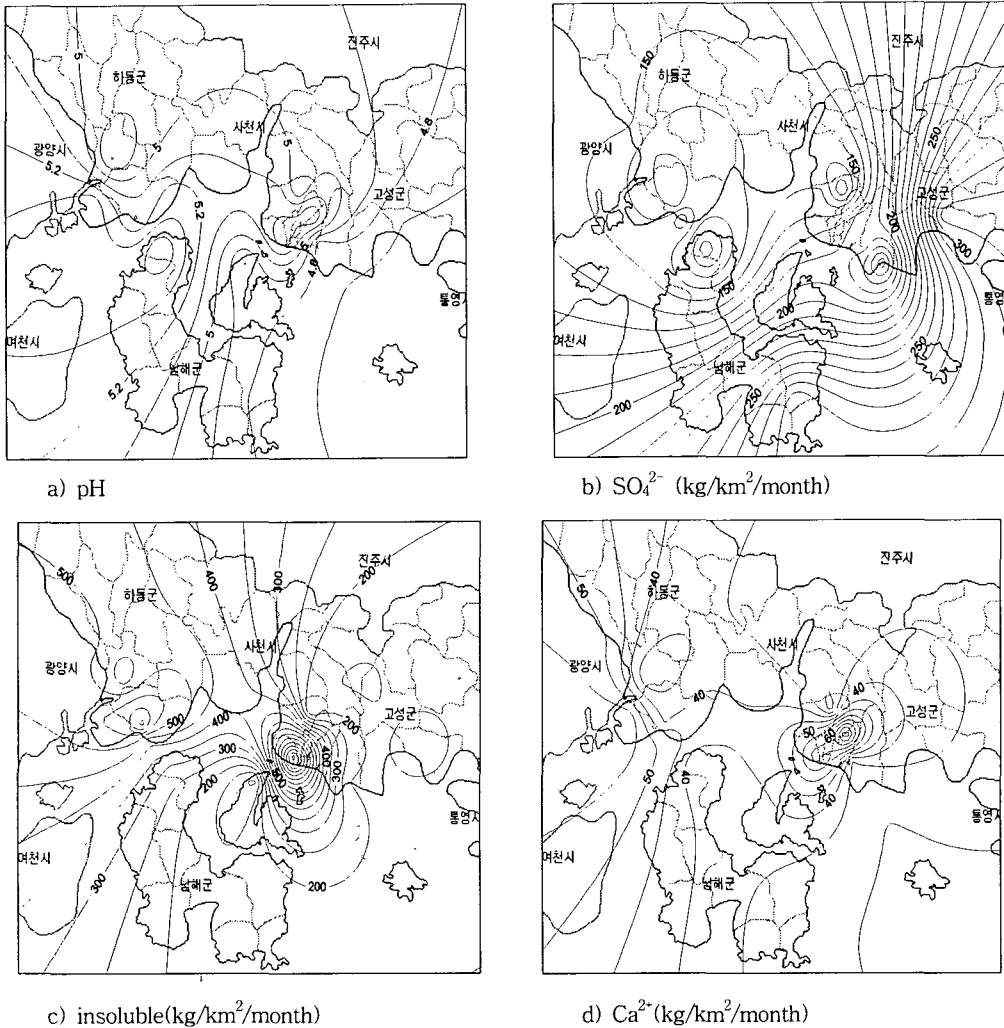


Fig. 3. Spatial distribution of pH,  $\text{SO}_4^{2-}$ , insoluble, and  $\text{Ca}^{2+}$ .

보이고 있기 때문에 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 대기오염 총침착물 채취방법을 이용하여 서부경남 남해안 주변지역 17개 지점을 대상으로 시료를 채취하고 채취된 시료중 불용성 성분, 수용성 이온성분 등의 침착물 특성을 파악하였다. 또한, 침착량은 지형적, 기상학적 영향을 크게 받으므로 공간분석법을 통한 공간분포 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 각 조사 항목의 침착량은 조사기간, 조사지점에 따라 차이를 보이고 있었는데, 특히 조사지점별 평균  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ 의 침착량은 각각 100.7~315.6kg/km<sup>2</sup>/m, 30.1~234.3kg/km<sup>2</sup>/m, 64.4~139.4kg/km<sup>2</sup>/m, 7.5~68.3kg/km<sup>2</sup>/m, 10.7~48.7kg/km<sup>2</sup>/m, 5.6~27.9kg/km<sup>2</sup>/m, 4.5~17.5kg/km<sup>2</sup>/m, 27.6~81.7kg/km<sup>2</sup>/m의 범위를 나타내고 있었다.
- 2) 수용성 침착량에 따른 각 이온 성분의 농도변화 특성은 전반적으로 수용성 침착량 약 50mm/m까지는 각 항목의 농도가 크게 감소하다가 그 이후 점차 농도 감소 변화 폭이 줄어드는 경향을 보여, 특히 초기 강수에 의한 대기오염물질의 침착 작용이 크게 일어남을 알 수 있다.
- 3) 침착량의 등고선 분포 특성에서 삼천포 지역의 경우 pH,  $SO_4^{2-}$ 의 경우 발전소로부터 멀어질수록 pH는 낮아지고  $SO_4^{2-}$ 의 침착량은 높아지는 경향을 나타내고 있는 반면, 불용성 성분 및  $Ca^{2+}$ 의 경우 발전소에 인접한 지역일수록 침착량이 많아지는 경향을 나타내고 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며(KRF-2000-003-E00414), 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- 1) Saltzman, E.S., G.W. Brass, and D.A. Price, 1983, The mechanism of sulfate aerosol formation; Chemical and sulfur isotopic evidence, *Geophys. Res. Lett.*, 10, 513-516.
- 2) McMurtry, P.H. and J.C. Wilson, 1983, Droplet phase (heterogeneous) and gas phase (homogeneous) contributions to secondary ambient formation as functions of relative humidity, *J.*

- Geophys. Res.*, 88, 5101-5108.
- 3) Hegg, D.A., 1985, The importance of liquid-phase oxidation of  $SO_2$  in the troposphere, *J. Geophys. Res.*, 90, 3773-3779.
- 4) Berkowitz, C.M., R.C. Easter, and B.C. Scott, 1989, Theory and results from a quasi-steady-state precipitation-scavenging model, *Atmos. Environ.*, 23, 1555-1571.
- 5) Carmichel, G.R., L.K. Peters, and T. Kitada, 1986, A second generation model for regional-scale transport/chemical/deposition, *Atmos. Environ.*, 20, 173-188.
- 6) Chang, J.S., R.A. Brost, I.S.A. Isaksen, S. Madronich, P. Middleton, W.R. Stockwell, and C.J. Walcek, 1987, A three dimensional Eulerian acid deposition model; physical concepts and formulations, *J. Geophys. Res.*, 92, 14682-14700.
- 7) Sehmel, G.A., 1980, Particle and gas dry deposition, *Atmos. Environ.*, 14, 983-1011.
- 8) Milford, J.B. and C.I. Davidson, 1985, The size of particulate trace elements in the atmosphere-A review, *J. of the Air Pollution Control Association*, 35(12), 1249-1260.
- 9) 藤田愼一, 高橋章, 村治能孝, 1990, わが國における硫黄化合物の乾性沈着量に関する検討, *大氣汚染學會誌*, 25(5), 343-353.
- 10) NAPAP Office of the Director, 1991, NAPAP 1990 Integrated Assessment Report.
- 11) Hidy, G.M. and R. Countess, 1984, Deposition Both Wet and Dry-Combined Analysis of Air Quality and Precipitation Chemistry Data, *An Ann Arbor Science Book*, 37-62.
- 12) 大喜多敏一, 北田敏廣, 1987, 酸性雨-乾性沈着, *氣象研究ノート*, 158pp, 119pp.
- 13) Johnson, D.W. and S.E. Lindberg, 1990, Acidic Precipitation Volume 3-Acidic Deposition on Walker Branch Watershed, Springer-Verlag New York, 1-38.
- 14) 이기호, 허철구, 송문호, 박용이, 1999, 제주지역 강하먼지의 조성에 대하여, *한국대기환경학회지*, 15(1), 13-22.
- 15) 김현섭, 이태정, 김동술, 1999, 수원지역 강하분진의 화학조성 및 공간분포 분석, *한국대기환경학회지*, 15(1), 23-32.
- 16) 이병규, 이채복, 2000, 새로운 건성 및 습성 침착 채취기의 개발, *한국대기환경학회지*, 16(6),

- 675-684.
- 17) 玉置元則, 平木 降年, 烏橋 義和, 1988, 濾過式大氣降下物採取裝置の捕集效率低下をもたらす因子, 兵庫縣公害研究所報告20號, 1-12.
  - 18) 박정호, 최금찬, 1999, 대기 에어로졸 입자의 이론적 강수세정에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 15(1), 1-11.
  - 19) 박정호, 최금찬, 2000, 저압입팩터를 이용한 대기 에어로졸 중 원소성분의 건성침착속도 추정 에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 16(5), 445-451.
  - 20) 안양규, 1998, 비산회에 함유된 미연탄소분의 특성, 건국대학교 건양농촌, 6, 25-36
  - 21) 김신도, 도연지, 1991, 화력발전소 주변지역의 비산탄진 농도분포에 관한 연구, 서울시립대학교 논문집, 25(1), 313-328.
  - 22) 김만구, 강미희, 임양석, 박기준, 황훈, 1999, 산성강하물의 침착량과 동태 해명에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 15(2), 89-100.
  - 23) 윤훈주, 김동술, 1997, GIS를 이용한 강하분진 중 금속원소의 공간분포분석, 한국대기환경학회지, 13(6), 63-474.
  - 24) Akula, V., 1988, On the use of kriging in the spatial analysis of acid precipitation data, Atmospheric Environment, 22, 1963-1975.