韓國大氣保全學會誌 第 8 卷 第 4 號
J. KAPRA Vol. 8, No. 4, (1992) pp. 240-246

서울시 강하분진중 수용성 성분의 강하량

Deposition Amount of Soluble Components of Dustfall in Seoul

강 병 욱 · 강 공 언 · 김 민 영[1]

건국대학교 환경공학과
[1]서울시보건환경연구원

(원고접수 : 1992. 10. 28)

Byung-Wook Kang, Gong-Unn Kang and Min-Young Kim

Dept. of Environmental Eng., Kon-Kuk University
[1]Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment

(Received 28 October 1992)

Abstract

During the period from December, 1990 to November, 1991, dustfall samples were collected by deposit jar at 28 sites in Seoul area and the amount of deposits of seven dissolved components(SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) were measured. The total amount of deposit was in order of Spring>Fall>Winter>Summer, and the amount of soluble components were high in the northeast region(Sanggae and Jangwe) and southwest region(Sangdo, Kuro, Siheung and Oryu). Total amount of major soluble components highly depended on regional air flow rather than emission source characteristic, and showed the regional trend-Residential>Industrial>Commercial>Rural, and the seasonal trend-Winter>Fall>Spring>Summer.

1. 서 론

현재 유럽을 비롯하여, 미국 북동부지역 및 세계 각국의 대도시에서는 산성강하물(acidic precipitation)의 강하로 인하여 호수 및 저수지의 어류, 동식물의 생육, 재산상의 피해, 산림피해 및 인간의 생활환경에 막대한 영향을 받고 있다.

우리나라의 경우도 서울지역에 대한 여러연구에서 산성비 문제가 심각함을 보고하고 있다(Han, 1986; Kang, 1987; Park, 1989). 또한 최근들어 자동차의 급격한 증가와 수도권 영역의 집중화로 인하여 시계악화현상이 자주 발생하고 있으며, 대기중의 입자가 주로 시정감소의 원인이 되고있다. 이와같은 현상들은 모두가 가시적인 요소들로 시민들의 물리적,심리적 피해의식을 증가시키고 있다.

일반적으로 대기중에 배출된 대기오염물질은 대기중에서 확산, 수송, 병합, 이차오염물질로의 전환(conversion)같은 과정을 거치며 대기중에 부유하다가, 체류시간은 다르지만, 결국은 식물, 토양, 지표수등의 지표에 침착하게 된다.

산성강하물에 관한 연구는 크게 건성강하와 습성강하에 대하여 실시하고 있으며 이들의 중요성은 시간과 공간등 기후적 여건에 따라서 커다란 차이를 보인다(Small, 1960; Meszaros, 1984; Erisman, 1989).

특히 우리나라와 같이 계절에 따른 강수량의 변화가 심한 기상여건을 고려할때 산성강하물의 성상을 파악하는데 있어서 단순히 건성 및 습성강하량 어느 하나만으로는 정확한 특성을 파악하기가 어렵다.

서울지역에서의 강하분진에 관한 연구는 거의 없으며(Kim, 1985 and 1987), 또한 강하분진에 기여하는 수용성성분의 기여에 관한 연구도 미흡한 상태이다.

본 연구에서는 서울시에서 강하분진에 기여하고 있는 주요 수용성성분의 강하량,계절별 변동 및 특성을 파악하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2. 1 측정지점 및 기간

서울시 강하분진의 주요성분을 조사하기 위한 시료 채취 지점은 서울전역을 4km mesh로 분할하여 주거지역, 공업지역, 상업지역, 녹지대의 4지역으로 크게 구분하고, 각 지역의 특성을 고려하여 주거지역에 반포동, 삼성동, 거여동등 19개 지점, 공업지역에 구로동, 문래동, 성수동등 3개지점, 녹지대에 서울대학교, 상업지역에 서초1동, 신사동, 종로5.6, 홍은1동, 여의도동등 5개지점을 선정하였으며, 각 측정지점은 그림 1과 같다.

강하분진 시료 채취 기간은 1990년 12월부터 1991년 11월까지 1년간으로 하여 시료를 포집하였다(2월, 7월, 8월은 제외).

2. 2 측정 및 분석방법

강하분진농도

강하분진시료는 내경 14.8cm, 높이 25.5cm의 데포집 자(deposit jar)를 시료 채취 장소에 설치하여 강하분진과 우수를 함께 포집하였으며, 1회의 포집기간은 평균 30±2일로 하여 측정치를 30일로 환산하였다.

$$\text{강하분진량}(t/km^2/month) = 1.273 \times \frac{w}{D^2} \times \frac{30}{n} \times 10^4$$

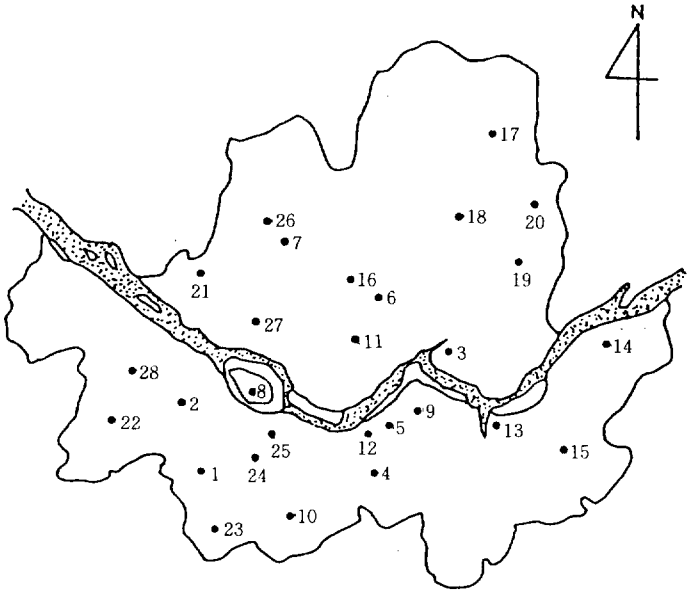
여기서 w : 포집분진량의 평량치(g)
D : Deposit jar의 직경(14.8cm)
n : 포집일수

강하분진중의 수용성 성분

강하분진중의 수용성 성분(SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^+)분석을 위하여 강하분진을 적당량 분취하여 여과지(Whatman No.42)로 여과하고 아래 방법에 따라 분석하였으며, 각각의 분석방법은 표 1에 나타난 방법에 의하여 각 성분을 분석하였다.

Table 1. Analytical components and methods.

Components	Analytical method	Instrument
SO_4^{2-}	Glycerol-Alcohol-Acid method	UV-240, Shimadzu사제
NO_3^-	Salicylic Acid Method	〃
NH_4^+	Indophenol Blue Method	〃
Na^+,K^+, Ca^{2+},Mg^{2+}	A. A. S	GBC 901, GBC사제



Industrial	1. Kuro-dong	15. Kyuyo
	2. Mullae	16. Samchung
	3. Songsu	17. Sanggae
Commercial	4. Seacho	18. Jangwe
	5. Shinsa	19. Myunmok
	6. Chongno 5, 6	20. Shinnae
	7. Hongeun	21. Namgajwn
	8. Yoldo	22. Oryu
	9. Samsong	23. Sihcung
Rural	10. Seoul univ.	24. Sangdo
Residential	11. Namsan	25. Hcugseg
	12. Banpo	26. Bulkwang
	13. Chamsil	27. Baeshin
	14. Keduk	28. Hwagok

Fig. 1. Sampling sites in seoul area.

주성분 분석법

강하분진중 수용성성분의 특성과 발생원 추정을 위하여 다변량분석법(multivariate analysis)중 주성분분석법(principal component analysis)을 실시하였다. 초기요인법(initial factor method)에 의하여 주성분을 추론한 후 직각회전방법중 가장 많이 사용되는 varimax rotation을 실시하여 주성분에 대한 해석을 시도하였다. 통계처리는 IBM-pc용 SPSS/PC+ version 2.0을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 수용성성분의 강하량

서울시내 각 측정점에서의 강하분진량은 표 2와 같다.

Table 2. Amount of deposits of dustfall.

Season	Total dustfall (t/㎢/month)	Soluble components (t/㎢/month)	S.C./T.D.* (%)
Winter	9.14	4.381	47.9
Spring	12.67	2.051	16.2
Summer	7.45	1.168	15.7
Fall	10.43	2.207	21.5
Mean	9.92	2.452	25.3

*S.C./T.D. : Soluble Component/Total Dustfall.

서울지역에서의 연평균 총강하분진량은 9.92t/㎢/month로 추산되었으며, 계절적으로는 봄(3,4,5월)에 12.67t/㎢/month로 가장 많은 강하량을 보였고 가을(9,10,11월)에 10.43t/㎢/month, 겨울(12,1월)에 9.14t/㎢/month 그리고 여름(6월)에 가장 적은 7.45t/㎢/month의 강하량을 보여 봄철에는 황사의 영향을 받고 있는 것으로 추정된다. 이중 수용성 성분의 강하량은 평균 2.452t/㎢/month로 총강하분진중 25.3%의 점유율을 나타내었다. 계절에 따른 수용성성분의 강하량은 겨울>가을>봄>여름의 순으로 각각의 강하량은 4.381, 2.207, 2.051 그리고 1.168t/㎢/month이었다. 총강하분진중 수용성성분의 비율은 겨울에 47.9%로 높았으며,봄철에서 가을철까지는 15.7-21.5%의 범위이었다.

이는 겨울철에 난방용연료의 연소에 의한 인위적인 대기오염물질의 증가로 수용성성분 비율이 높게 나타난것으로 판단된다.

수용성 성분중 각 성분의 강하량은 표 3과 같다.

수용성 성분중 SO_4^{2-} 이온의 강하량은 년평균 1.567t/㎢/month로 주요 수용성 성분 총강하량인 2.452t/㎢/month의 64%정도를 차지하는 주요 성분이었다. NH_4^+이온과 NO_3^- 이온의 강하량은 각각 0.251t/㎢/month과 0.170t/㎢/month로 각각 10%와 7%, 알칼리금속 성분인 Ca는 0.265t/㎢/month로 10%정도를 차지하였고, 나머지 Na, K 및 Mg 등은 각각 4%, 2% 및 3%의 기여를 나타내었다.

Table 3. Yearly average amount of deposit of each soluble component.

SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
(t/㎢/month)						
1.567	0.170	0.251	0.075	0.055	0.265	0.069

주요지점에서 SO_4^{2-}이온의 강하량은 상도동에서 가장 높은 2.341t/㎢/month를 보였으며, 이밖에 상계동, 장위동, 면목동, 오류동, 대신동등 주거지역에서 각각 2.196, 2.049, 2.080, 2.276, 2.045t/㎢/month로 높았고, 구로동, 문래동, 성수동등 공업지역에서는 각각 1.946, 1.522, 1.627t/㎢/month로 이보다 적은 양의 강하량을 나타내었다.

NO_3^-이온의 경우에는 성수동에서 0.238t/㎢/month으로 최고의 강하량을 나타내었으며, 이밖에 신사동, 잠실, 상계동, 신내동등에서 높은 농도를 나타내었다.

강하분진중 SO_4^{2-}이온과 NO_3^-이온의 당량비는 표 4와 같다.

Table 4. Seasonal variations of $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-]$ ratio.

Season	Sulfate (t/㎢/month)	Nitrate (t/㎢/month)	$[SO_4^{2-}]/[NO_3^-]$ ratio
Winter	2.852	0.282	13.05
Spring	1.433	0.125	14.78
Summer	0.672	0.193	4.48
Fall	1.311	0.080	21.15
Mean	1.567	0.170	12.97

평균 $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-]$비는 12.97로, 비슷한 측정기간중에 서울지역에서 산정한 3.72(Kang, 1991)보다 약 3.5배나 높은 비를 나타내었고, 이를 계절별로 살펴보면 가을철에 가장 높은 21.15였으며, 여름철에 가장 낮은 4.48로서 우수에서의 당량비와 가장 비슷한 비율을 나타내었다. 이러한 결과는 SO_4^{2-} 이온은 습성강하물보다는 건성강하물에 의한 강하량이 1.86배 크며 상대적으로 NO_3^- 이온은 대기중에서 SO_4^{2-} 이온보다 휘발성이 더 크고 가스상으로 존재하기 쉽기 때문에 건성강하물이 우세한 가을에 가장 높은 비를 나타내고 습성강하량이 우세한 여름철에 $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-]$당량비가 가장 낮아져서 우수와 비슷한 당량비를 가지는 것으로 판단된다(A.

H.Legge, 1990).

NH_4^+이온은 거여동에서 0.362t/㎢/month로 최고의 강하량을 보였고, 구로동, 면목동, 신내동, 시흥동등에서 높은 농도를 보였다.

알칼리 금속류중 Na^+는 대신동에서 최고 높았고, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}는 각각 신사동, 장위동, 상계동에서 최고의 강하량을 보였다.

각 성분의 강하량은 전반적으로 서울 북동부지역의 상계동, 장위동, 면목동등의 지점과 구로동, 시흥동, 오류동, 상도동등의 공단이 밀집한 서울 남서부지역에서 전반적으로 높은 강하량을 보였다.

이는 남서부지역에서는 공단에서 배출되는 대기오염물질에 의한 기여가 큰 것으로 판단된다. 서울 북동부지역의 경우에는 주거지역과 준공업지역이 위치한 지역이나, 장위동과 면목동등은 가정 난방연료사용 이외에는 특별한 배출원이 없음에도 불구하고 매우 높은 강하량을 보이고 있는데 이는 서울지역의 기류에 따른 대기오염물질의 이동에 의하여 나타난 결과로 판단된다.

또한 신내동은 주변에 특별한 배출원이 없음에도 불구하고 각성분의 강하량이 전반적으로 매우 높은 농도를 나타내었다.

3.2 지역에 따른 주요 성분 강하량

각 지점 특성을 고려하여 공업지역, 상업지역, 녹지지역, 주거지역으로 분류하여 각 성분의 강하량을 나타내면 표 5와 같다.

주요 지역별 년평균 강하량을 보면 주거지역이 2.640t/㎢/month로 가장 높았으며, 공업지역(2.570t/㎢/month), 상업지역(2.330t/㎢/month), 녹지지역(2.194t/㎢/month)의 순이었다.

각성분의 강하량을 지역별로 보면, SO_4^{2-}이온은 주거지역에서 1.723t/㎢/month 로 가장 높은 강하량을 나타내었으며, 공업지역이 1.698t/㎢/month, 상업지역이 1.487t/㎢/month, 녹지지역이 1.361t/㎢/month로 지역에 따라서 차이를 보였으나, 그밖의 성분의 지역에 따른 강하량 변화는 거의 나타나지 않았다. 지역에 따른 성분의 기여도를 보면, SO_4^{2-} 이온이 62.03-66.07%로 수용성 성분중 가장 큰 기여를 나타내었으며, 지역간에 소폭의 변화를 나타내었다.

각 성분의 수용성 성분에의 기여는 SO_4^{2-} >NH_4^+ >Ca^{2+} >NO_3^- >Na^+등의 순으로 나타났으며, 지역특성에 따라서 각성분의 기여는 특징적인 변동을 나타내지는 않았고, 지역별로 각성분은 비슷한 구성비를 보였다.

이와같은 사실은 지역에 따른 배출원 특성에 의해서 그 지역의 강하분진중의 수용성성분에 곧바로 영향을 준다기 보다는 배출된 대기오염물질이 대기중에서 확산, 혼합되어 어느 시간동안 체류하다가 지역적인 기류에 의하여 오염물질이 이동하여 영향을 끼치고 있음을 나타내는 것으로 생각된다.

3.3 계절별 수용성 성분 강하량

계절에 따른 주요 수용성 성분의 강하량은 표 6과 같다.

계절에 따른 주요 수용성성분의 강하량은 겨울철에 4.381t/㎢/month로 가장 높았으며, 가을에 2.207t/㎢/month, 봄에 2.051t/㎢/month로 이었고, 여름에 1.168t/㎢/month로 최소의 강하량을 나타내었다.

최소의 강하량을 보인 여름철에 비하여 겨울철은 3.76배의 강하량을 보였고, 가을과 봄에 각각 1.88및 1.76배로 계절에 따른 강하량의 변동이 매우 크다는 것을 나타내었다.

계절에 따른 각성분의 강하량을 보면, SO_4^{2-}이온의 경우에 겨울철에 2.852t/㎢/month로 가장 많은 강하량을 보였으며, 봄과 가을에 각각 1.433, 1.

Table 5. Regional variations of water soluble components. (단위 : t/㎢/month)

region / component	Industrial	Commercial	Rural	Residential	Average
SO_4^{2-}	1.698(66.07)	1.487(63.82)	1.361(62.03)	1.723(65.29)	1.567(64.37)
NO_3^-	0.153(5.95)	0.153(6.57)	0.165(7.52)	0.154(5.84)	0.156(6.41)
NH_4^+	0.292(11.36)	0.239(10.26)	0.261(11.90)	0.264(10.00)	0.264(10.85)
Na^+	0.075(2.29)	0.076(3.26)	0.074(3.37)	0.078(2.96)	0.076(3.12)
K^+	0.055(2.14)	0.061(2.62)	0.059(2.69)	0.054(2.05)	0.057(2.34)
Ca^{2+}	0.233(9.07)	0.248(10.56)	0.218(9.94)	0.291(11.03)	0.247(10.15)
Mg^{2+}	0.064(2.49)	0.068(2.92)	0.056(2.55)	0.075(2.84)	0.066(2.71)
Total	2.570	2.330	2.194	2.640	2.434

( ) : %

Table 6. Seasonal variations of water soluble components. (단위 : t/㎢/month)

\season component	Winter	Spring	Summer	Fall
SO_4^{2-}	2.852(65.10)	1.433(69.87)	0.672(57.53)	1.311(59.40)
NO_3^-	0.282(6.44)	0.125(6.09)	0.193(16.52)	0.080(3.62)
NH_4^+	0.631(14.40)	0.134(6.53)	0.076(6.51)	0.164(7.43)
Na^+	0.096(2.20)	0.055(2.10)	0.050(4.28)	0.088(3.99)
K^+	0.060(1.37)	0.189(9.21)	0.040(3.42)	0.078(3.53)
Ca^{2+}	0.381(8.70)	0.062(3.02)	0.101(8.65)	0.376(17.04)
Mg^{2+}	0.079(1.80)		0.036(3.08)	0.100(4.53)
Total	4.381	2.051	1.168	2.207

( ) : %

311t/㎢/month, 여름철에 가장 작은 0.672t/㎢/month의 강하량을 나타내었고, 겨울철이 여름에 비하여 4.25배를 봄과 가을에 비하여 각각 2.13 및 1.96배의 강하량으로서 계절에 따라 큰 변화를 보여 난방용 연료의 연소에 의한 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

또한 NH_4^+, NO_3^-이온등도 계절에 따른 변화폭이 매우 컷으며, 이와는 달리 Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}등은 최고와 최소의 변화가 1.7-3.0배로 SO_4^{2-}, NO_3^-, NH_4^+이온에 비하여 비교적 작은 변화를 나타내었다.

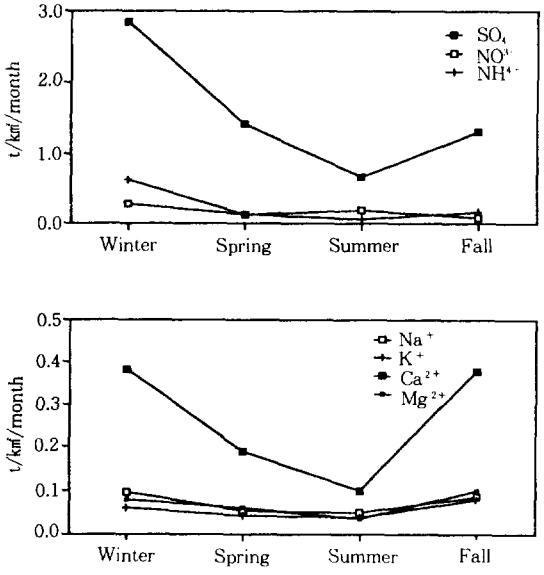


Fig. 2. Seasonal variations of soluble component.

SO_4^{2-}, NO_3^-,NH_4^+의 성분과 Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} 성분의 계절에 따른 변화는 그림 2와 같다.

그림 2에서 SO_4^{2-}와 NH_4^+은 겨울철에 가장 높은 2.852와 0.631t/㎢/month를, 봄철에는 각각 1.433과 0.140t/㎢/month를 여름철에는 가장 낮아져서 0.672, 0.076t/㎢/month의 강하량을 보이며 다시 가을철에 증가하는 경향을 보였다. 이는 이들 성분의 변화가 계절에 따른 연료의 사용량 증감과 일치되는 것으로서 화석연료 연소과정에서 발생된 대기오염물질의 기여가 크다는 것을 나타내었다.

또한 Na^+, K^+, Mg^{2+}등의 알칼리금속류는 SO_4^{2-}, NH_4^+와 다른 경향을 나타내었는데, 즉 계절에 따른 강하량이 거의 일정한 형태를 나타내었고, 이는 SO_4^{2} , NH_4^+와는 다른 경향으로 두 그룹간에 배출원 기여가 다르다는 것을 보여주는 것으로 사료된다.

3. 4 주성분 분석

서울시내 주요지역의 강하분진중 수용성성분의 전체적 특성과 발생원기여를 알아보기위하여 주성분분석법(principal component analysis)을 행하였다.

분석결과 얻은 고유치, 인자부하량, 누적기여율은 표 7과 같다.

평균 수용성 각 성분의 고유치는 제1주성분 Z_1이 3.762, 제2주성분 Z_2가 1.194이며 Z_1이 전체분산에 53.7%, Z_2가 17.6%의 기여율을 가지며 전체 Z_2까지 70.8%의 누적기여율이 얻어지므로 수용성성분은 거의 두개의 주성분으로 지표화 된다고 생각된다.

서울시 강하분진중 수용성성분을 Z_1과 Z_2에 대하여 나타내면 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는 바와 같이 서울지역에서 수용성성분은 크게 NO_3^-, K^+의 첫번째군, NH_4^+의 두번째군과 Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, SO_4^{2-}의 세번째군으로 나뉘어지는데 일본 Matsumoto(1985)등의 연구에서 소규모 도시의 강하분진중 수용성성분은 전체적 오염물질 강하량을 나타내는 인자 Z_1과 발생원기여를 나타내는 Z_2로 나타났으나, 서울지역의 배출원특성이 매우 복잡하여 배출원기여 특성을 인자화시키기가 매우 어려운것으로 판단되었다.

Table 7. Principal component analysis relating to soluble component in dustfall.

	Eigen Vector		Factor Loading	
	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
SO_4^{2-}	0.452	0.077	0.149	0.084
NO_3^-	0.240	-0.604	0.466	-0.660
NH_4^+	0.311	0.416	0.603	0.455
Na^+	0.437	0.200	0.848	0.219
K^+	0.243	-0.638	0.471	-0.697
Ca^{2+}	0.437	0.088	0.848	0.095
Mg^{2+}	0.447	0.023	0.867	0.025
Eigen Value	3.762	1.194		
C.C.R.(%)*	53.7	70.8		

*C. C. R. (%) : Cumulative contribution rate

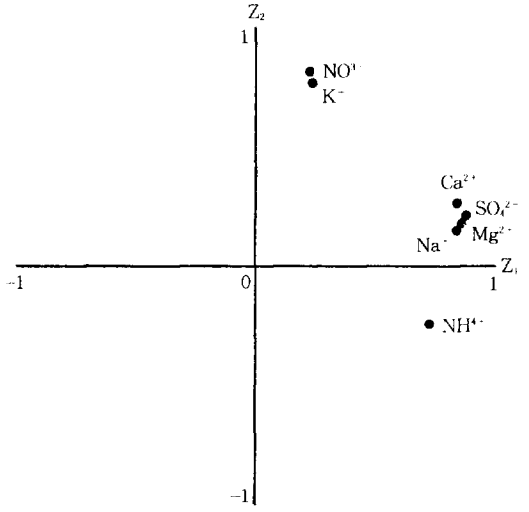


Fig. 3. Factor loading of each component for the first principal component (z_1) and the second principal component (z_2).

4. 결 론

서울시 강하분진중 주요 수용성성분의 강하량을 알아보기 위하여 1990년 12월부터 1991년 11월까지 서울지역 28개지점에서 측정한 결과는 다음과 같다.

1) 총 강하분진은 봄 > 가을 > 겨울 > 여름의 순으로 나타났으며, 수용성 성분의 강하량은 겨울철에 4.381t/㎢/month로 가장 많았으며, 상계동, 장위동 등 서울 북동부지역과 구로동, 시흥동, 오류동, 상도동등 서울 남부지역에서 매우 높았다.

2) 지역 특성에 따른 주요 수용성성분의 총강하량은 주거지역 > 공업지역 > 상업지역 > 녹지지역의 순으로 2.640-2.194t/㎢/month이었으며, 지역별 배출특성보다는 도시내 기류에 의하여 영향을 받는다.

3) 계절별 수용성성분의 총강하량은 겨울에 4.381t/㎢/month로 여름의 1.168 t/㎢/month에 비하여 최고 3.76배로 변화량이 매우 컸으며, 겨울 > 가을 > 봄 > 여름의 순으로 강하량이 크게 나타났다.

4) 주성분분석 결과 수용성성분의 배출원 기여특성을 인자화하기가 어려웠다.

참 고 문 헌

강공언 (1991) 우수의 화학적 성상에 관한 연구, 건국대학교 대학원 석사학위논문, 46.

강희곤외 4인 (1987) 서울지역의 산성강우현상에 관한 연구, 서울특별시 보건환경연구원보, 제23권, 283-313.

김민영외 5인 (1985) PbO_2 Candle method 및 Deposit jar에 의한 서울시의 대기오염도 조사(제18보), 서울특별시 보건환경연구소보, 제21권, 195-213.

김민영외 5인 (1987) PbO_2 Candle Method 및 Deposit jar에 의한 서울시의 대기오염도 조사(제20보), 서울특별시 보건환경연구소보, 제23권, 262-282.

박성배외 5인 (1989) 서울지역의 산성강우현상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 제5권,제 2호, 42-54.

이민희외 5인 (1989) 도시지역 대기질 개선에 관한 연구(Ⅰ)－대기중 미량오염물질 및 시정악화현상을 중심으로－, 국립환경연구원보, 제11권, 65-79.

한상련외 3인 (1986) 서울지역에 있어서의 산성강우현상에 관한 연구, 서울보건환경연구소보, 제 22권, 261-292.

松本光弘外 2人 (1985) 降下ばいじんの水溶性成分の降下量－主成分分析法による評價－,大氣汚染學會誌, 第20券, 第3號, 218-227.

A. H. LEGGE (1990) Acidic Precipitation : Sulphur and Nitrogen Oxides, LEWIS Publishers.

E. Meszaros and L. Horbath (1984) Concentration and dry deposition of atmospheric sulfur and nitrogen compounds in Hungary, Atmos. Environ., 1725-1730.

J.W.Erisman et al. (1989) Deposition of the most

acidfying components in the Netherlands during the period,1980-1986,Atmos.Environ., 1051-1062.

S.H.Small (1960) Wet and dry deposition of fallout materials at Kjeller, Tellus, 308-314, 12.