

서울 도심지역과 교외지역에서의 우수 및 에어로졸 성분의 비교

신찬기 · 한의정 · 한진석 · 강인구

국립환경연구원 대기연구부

A Chemical Components of Rain Water and Aerosol in Seoul and Suburban Area

Chan-ki Shin, Ei-jeong Han, Jin-suk Han and In-gu Kang

Air Quality Research Department National Institute of Environmental Research

Abstract

The chemical components of rain water and aerosol in Bulkwang of Seoul and Yangpyung of Kyunggi-do were compared in order to investigate that pollutants at urban area influences rain water and aerosol component. The following is the result of this study.

- 1) The pH of rain water was shown 4.82 at urban area and 5.69 at suburban area.
- 2) The mean concentration of SO_4^{2-} within rain water at suburban was nearly the same at urban area but the mean concentration of Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and NH_4^{2+} at suburban area was higher than the corresponding levels at urban area.
- 3) The ion component of aerosol at suburban was shown 68% of that at urban area.

This study proved that the concentration of rain water and aerosol component was under the influence of movement of air current.

I. 서 언

우리나라의 경우 대기질 모니터링은 주요 도시지역에서만 실시되고 있어 교외지역에서의 우수 또는 에어로졸에 대한 자료는 극히 적은 형편이다.

그러나 외국의 경우는 그렇지 않다. 예를 들면 미국의 NAPAP(National Acid Precipitation Assessment Program)의 종합평가에는 교외지역에서의 자료가 많고 도시지역의 정보가 부족하여 도시지역에 집중되어 있는 건물과 유적들의 영향을 평가할 수 있는 정보가 부족하다고 한다.

교외지역에 관련된 외국의 연구보고는 스웨덴의 Uppsala 지역에서 배출되는 SO_2 의 30%는 강우시 도시지역의 60 km 이내에서 제거된다고 보고하였고(Hogstrom, 1974) 캐나다의 경우 Hull 과 Ottawa 지역에 내린 눈이 중화되는 과정을 한 시멘트공장에서 배출된 오염물질에 영향을 받는다는 증거를 발표했다(Allen and Janasson, 1978).

미국의 경우 뉴욕시내와 교외 8개 지점에서 얻은 자료를 검토한 결과 도시지역의 우수의 이온농도는 Ca^{2+} 180%, SO_4^{2-} 80%, NH_4^+ 50%, NO_3^- 40%, H^+ 30%로 교외지역보다 훨씬 높다고 보고하였다(Dupuis, 1986).

Denver(도시지역)와 Colorado(교외지역)의 우수성분을 Cluster analysis(집단분석)를 한 결과 SO_4^{2-} 과 NO_3^- 은 도시지역 및 교외지역에서 상관성을 나타낸 반면 NH_4^+ 와 Ca^{2+} 은 교외지역에서만 상관관계를 나타냈고 이러한 현상은 농업에서 기인한다고 발표했다(Schroder 등, 1987).

본 연구는 도심지역과 교외지역에서의 우수 및 에어로졸 성분을 비교하고 도시지역에서의 오염물질 배출이 교외지역에 미치는 영향을 조사하기 위한 기초조사로서 서울의 불광동과 경기도 양평군 양수리에서 채취한 우수 및 에어로졸 성분을 비교한 결과를 소개하고자 한다.

II. 시료채취 및 성분 분석방법

1. 우수의 채취

도심으로 서울 불광동지역, 교외지역으로 경기도 양평군 양수리지역에 우수 수동채취기를 설치하여 '92. 1~'92. 12 까지 강우시마다 채취기의 뚜껑을 열어 우수를 채취하였다.

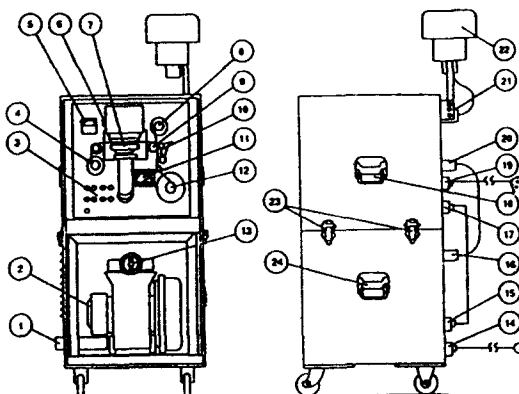
2. 에어로졸의 채취

에어로졸의 채취는 그림 1과 같은 High Volume Tape Sampler(Kimoto model 195 A)를 이용하였다.

이 장치는 대기중 에어로졸을 Roll 형 tape filter 위에 일정시간 간격으로 연속채취하도록 설계 제작된 것으로 filter는 불소수지제를 사용한다.

Roll 형 tape filter의 폭은 100 mm로서 장치내에서 자동적으로 tape를 움직일 수 있는 program controller가 장착되어 있고 고성능 turbine blower가 장착되어 100 L/min 이상의 큰 유량으로 공기를 흡입할 수 있다.

입자상 물질의 채취를 위하여 67.7 L/min 전후의 유량으로, 6시간 간격으로 3일간('92. 6. 15~6. 17) 연속측정을 실시하였다.



No.	Part Name	No.	Part Name
1	VEHT	13	FLOW ADJ VALVE
2	BLOWER PUMP	14	MAIN POWER CONNECTOR
3	CONTROL SWITCHES	15	CONTROL INPUT CONNECTOR
4	SAMPLE FILTER REEL	16	SUCTION INLET
5	TIMER	17	CONTROL PUTPUT CONNECTOR
6	FILTER SENSOR	18	CARRYING HANDLE
7	FILTER HOLDER	19	TELEMETER CONNECTOR
8	COVER FILTER REEL	20	SAMPLER OUTLET
9	CAPSTAN	21	SAMPLER INLET
10	PINCH-ROLLER	22	SAMPLING HEAD
11	FLOW METER	23	FIXING JOINT
12	ROLL-UP REEL	24	CARRYING HANDLE

그림 1. Description of High Volume Tape Sampler

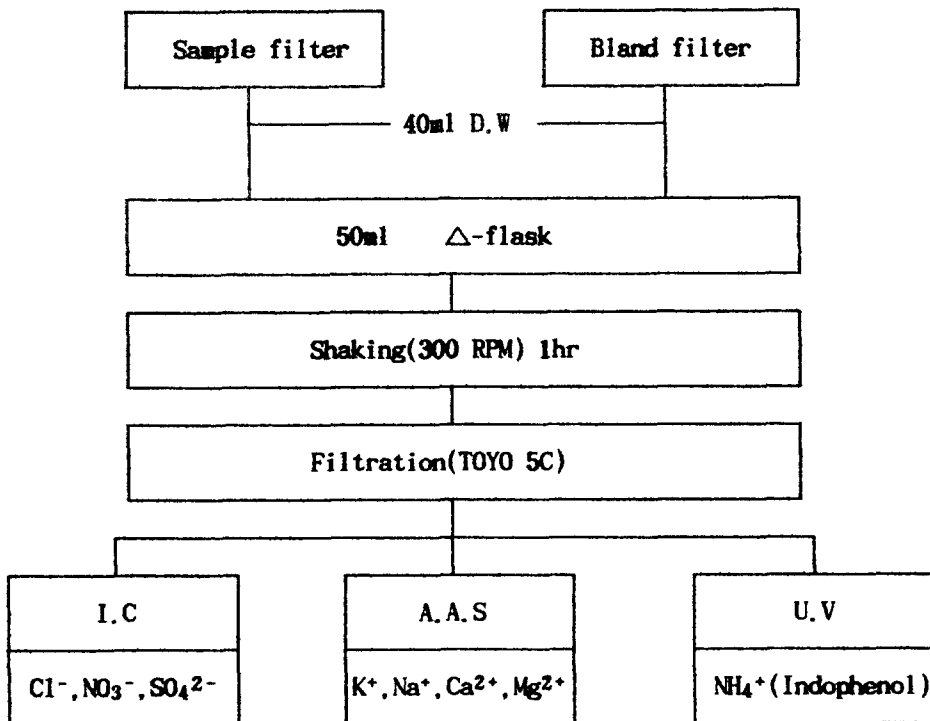


그림 2. Pretreatment procedure of Atmospheric particulates

3. 우수 및 에어로졸의 성분분석

채취된 우수시료는 우선적으로 pH 및 전도도를 먼저 측정하였으며 우수의 이온성분은 직접, 에어로졸의 이온성분은 그림 2와 같은 전처리과정을 거쳐 기기분석을 행하였다.

분석항목으로 수용성이온성분을 대상으로 하였으며 음이온성분(SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻)은 이온 크로마토그래프(IC : Dionex 2010 i)에 의해 분석하였으며, 양이온성분 중 K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺은 원자흡광광도계(AAS : IL-951)에 의해 분석하였고, NH₄⁺는 U/V Spectro-

photometer(U/V.S : Jasco Uvidec-505)를 이용하였으며 분석조건은 표 1과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우량

강우량은 서울 불광동 지역은 기상청 서울측후소의 관측자료, 양평지역은 기상청 양평기상관측소의 관측자료를 이용하였으며, '92년도 월별 강우량은 그림 3에 나타낸 바와 같다.

1992년 1월부터 12월 5일 현재까지의

표 1. Analytical Condition for Aerosol Component

IC	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	Column : HPLX-AS4A, flow rate : 1.5ml/min Eluent : 2mM Na ₂ CO ₃ , Output range : 30μs Regenerate : 0.025N H ₂ SO ₄ .
A.A.S	K ⁺ Na ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	Abs : 766.5nm, HCL : 7ma, B.W : 1.0nm Abs : 589.0nm, HCL : 8ma, B.W : 0.5nm Abs : 422.7nm, HCL : 7ma, B.W : 1.0nm Abs : 285.2nm, HCL : 3ma, B.W : 1.0nm
U/V.S	NH ₄ ⁺	Indo-Phenol method measurement absorption : 640nm

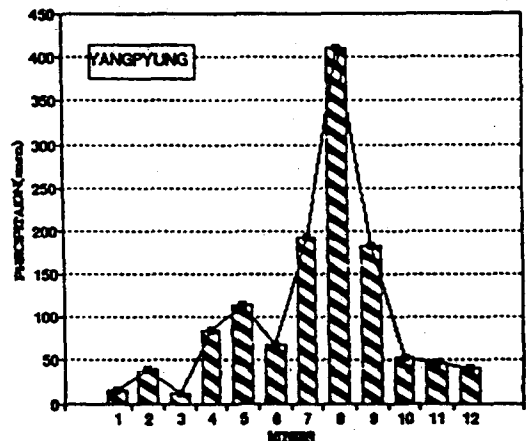
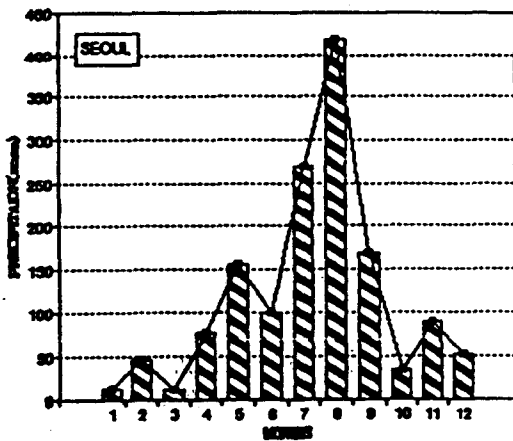


그림 3. Monthly precipitation in Seoul and Yangpyung

총 강우량은 서울 지역 1,436.5 mm, 양평 1,257.1 mm로서 서울지역이 양평보다 높은 강우량을 나타냈으며 7, 8, 9월에 강우가 집중된 것으로 나타났다.

2. 우수의 산도(pH) 및 이온성분

우수의 pH 값은 수소이온농도를 대수 변환한 값으로 그 평균값을 산출하는데 크게 pH 자체를 평균화하는 방법과 수소이온농도로 변환하여 평균한 다음 다시 pH로 변환하는 방법 두 가지로 나누어지며 여기에 강우량을 고려하지 않은 단순평균 방법과 강우량을 고려한 강우량 가중평균방법으로 나누어지는 4가지 방법으로 나눌 수 있다.

본 연구에서 우수의 pH 산정은 단순평균 방법보다는 양적인 개념을 도입하여 수소이온농도에 강우량을 보정한 후 다시 pH로 변환하는 수소이온가중평균방법을 사용하였으며 각 이온성분농도 또한 강우량을 보정하여 월평균 pH 및 이온농도를 계산하였다.

수소이온 가중평균방법으로 계산한 도심지역(불광동)과 교외지역(양평)의 우수의 pH 및 이온성분 농도는 각각 표 2 및 표 3에 나타낸 바와 같다.

우수의 pH(산도)를 살펴보면 도심지역인 서울 불광동은 평균 4.82, 교외지역인 양평은 5.69로 나타나 도심지역이 교외지역에 비해 산도가 높았다.

그러나 SO_4^{2-} 의 경우 불광동 8.03 μ g/ml, 양평 8.05 μ g/ml로 거의 같은 수준으로 나타났으며, NO_3^- 는 불광동 2.59 μ g/ml, 양평 3.22 μ g/ml로 도심지역보다도 교외지역이 더 높은 것으로 나타났다.

또한 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ 등이 도심지역인 불광동보다도 교외지역인 양평이 더 높은 것으로 나타났다.

그림 4는 불광동 및 양평지역의 우수의 월별 양이온 및 음이온 성분 농도분포도를 나타낸 그림이다.

도심지역인 불광동의 월별 이온성분 농도

표 2. Ion Concentrations of Rain water in Bulgwangdong(μ g/ml)

Month	pH	E.C	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+
1	4.22	118.60	6.21	3.72	16.24	1.09	2.15	16.41	0.78	4.35
2	3.94	109.41	3.41	5.16	22.44	0.77	1.84	5.49	0.50	1.98
3	4.72	110.20	2.55	1.40	15.19	0.57	1.60	11.59	0.43	3.64
4	5.45	57.97	3.81	3.62	16.42	0.39	2.93	7.69	0.33	4.34
5	4.70	28.69	2.12	2.13	8.86	0.14	0.66	2.12	0.13	1.91
6	6.39	24.97	1.20	2.36	12.46	0.16	1.00	1.08	0.24	11.21
7	4.59	43.03	1.74	4.23	11.11	0.14	0.69	1.46	0.20	5.96
8	5.23	9.50	2.37	1.81	2.10	0.04	0.25	0.78	0.04	1.47
9	5.95	22.62	10.59	0.97	3.73	0.23	0.57	0.65	0.04	1.63
10	5.16	53.24	3.82	5.59	23.52	0.25	1.70	6.51	0.31	4.62
11	4.70	46.89	2.96	2.81	9.29	0.69	1.39	1.88	0.13	1.73
12	4.64	63.73	2.39	1.86	4.97	0.52	1.02	3.29	0.42	2.38
AVG.	4.82	32.65	3.17	2.59	8.03	0.21	0.82	2.10	0.16	3.39

표 3. Ion Concentrations of Rain water in Yangpyung($\mu\text{g}/\text{ml}$)

Month	pH	E.C	Cl^-	NO_3^-	SO_4^-	K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+
1	5.90	63.90	5.63	4.62	10.46	3.03	11.59	9.64	0.46	3.46
3	5.91	38.67	5.44	7.88	10.26	2.77	7.77	11.14	0.43	8.03
4	6.64	89.79	3.84	6.17	21.13	0.60	4.02	11.19	0.68	4.69
5	7.30	39.10	3.37	3.29	9.33	0.33	3.65	4.11	0.44	7.46
6	6.84	37.39	3.26	2.40	6.09	0.33	1.81	1.84	0.33	3.90
7	4.89	93.37	8.46	8.98	23.60	0.79	8.63	8.15	0.93	1.12
8	7.17	5.42	0.51	1.18	2.08	0.07	0.66	0.28	0.02	1.94
9	6.86	10.02	1.48	1.26	3.16	0.06	1.50	0.69	0.05	1.12
11	6.00	57.90	7.39	7.96	14.02	0.30	4.07	4.54	0.66	0.26
12	5.07	38.30	1.95	2.88	11.10	0.21	1.41	4.85	0.28	3.34
AVG.	5.69	31.62	2.82	3.22	8.05	0.31	2.73	3.08	0.29	4.95

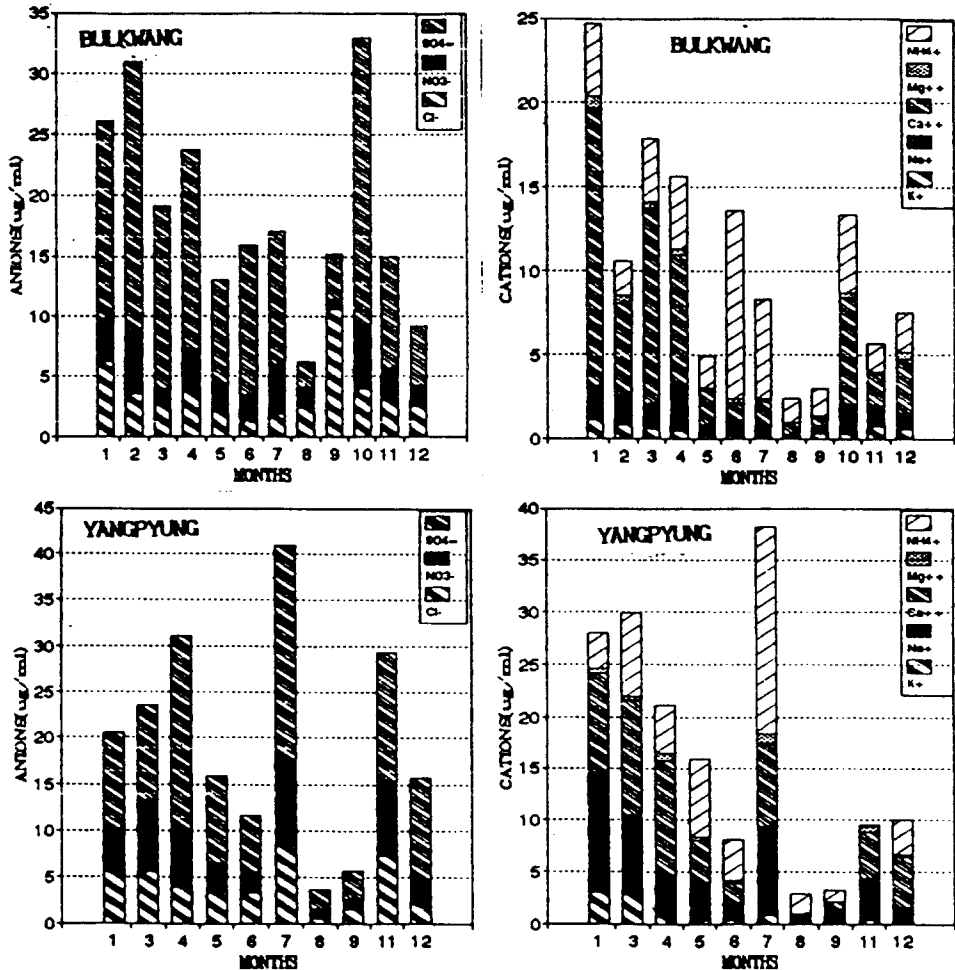


그림 4. Monthly distribution of Anion and Cation Concentration

는 하절기인 6, 7, 8월에 비해 동절기인 11, 12월에 높으며 이는 월별 강수량과 상반되는 양상을 나타냈다.

이는 하절기에 계속되는 강우가 rain wash 및 rain out 현상 등으로 대기중의 오염물질을 낮추는 역할을 하고 동절기에는 오염물질 배출량은 증가하고 강우량이 적은 데서 기인한 것으로 생각할 수 있다.

3. 우수의 pH 범위별 이온당량 농도

표 4 및 표 5는 각각 서울 불광동 및 양평지역 우수의 pH 범위별로 강수량, 이온당량농도 및 이온밸런스를 나타낸 것이다.

위의 표에서 비교적 산도가 높은 pH 4.5 이하일 때의 강수량의 비율은 서울 불광동의 경우 전체 강수량의 12.4%, 양평지역은 전체강수량의 3.3%로 도심지역이 산도가 높은 비가 많이 내린 것으로 나타났다.

반면 pH 6.5 이상일 때의 강수량의 비율

은 양평이 전체 강수량의 80.3%, 서울 불광동이 14.3%로 나타나 양평지역의 경우 알칼리도가 높은 비가 많이 내리는 것으로 나타났다.

두 지점의 이온당량농도를 보면 불광동지역의 경우 pH의 범위가 낮을수록 음이온/양이온의 이온평형비가 낮았으나 SO_4^{2-} 과의 결합률이 높은 것으로 알려져 있는 NH_4^+ 의 당량농도는 감소하여 SO_4^{2-} 는 산도를 높일 수 있는 결합형태가 높을 것으로 판단된다.

양평지역의 경우 pH 6.5 이상의 강수량이 80% 이상을 차지하고 있고 pH가 높을수록 음이온/양이온의 이온평형비가 낮아지며 pH를 좌우할 수 있는 특별한 이온성분을 추출하기 힘들며 전반적으로 양이온 당량농도가 음이온의 당량농도보다 높아짐에 의해 pH가 높아지는 경우라 할 수 있다.

또한 불광동지역의 경우 pH 5.5~6.5 사이의 강수량이 38.8%로 이온당량농도는 음

표 4. Ion Equivalent Concentration for pH Range in Bulgwangdong($\mu eq/l$)

pH-range	Pre. (mm)	Freq. (%)	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	ANI.	CAT.	A/C
~4.5	163.0	12.4	0.15	0.04	0.42	0.03	0.11	0.62	0.05	0.17	0.62	0.98	0.63
4.5~5.5	452.6	34.5	0.10	0.08	0.40	0.02	0.07	0.26	0.03	0.47	0.58	0.85	0.68
5.5~6.5	508.6	38.8	0.09	0.06	0.20	0.01	0.03	0.11	0.01	0.22	0.35	0.37	0.93
6.5~	187.2	14.3	0.14	0.06	0.33	0.01	0.09	0.18	0.03	0.17	0.53	0.49	1.07
TOTAL	1311.4	100.0	0.12	0.06	0.34	0.02	0.08	0.29	0.03	0.26	0.52	0.67	0.83

표 5. Ion Equivalent Concentration for pH Range in Yangpyung($\mu eq/l$)

pH-range	Pre. (mm)	Freq. (%)	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	ANI.	CAT.	A/C
~4.5	14.5	3.31	0.03	0.07	0.10	0.01	0.06	0.08	0.01	0.12	0.20	0.28	0.72
4.5~5.5	23.2	5.30	0.06	0.06	0.22	0.01	0.07	0.21	0.02	0.25	0.33	0.55	0.60
5.5~6.5	48.6	11.10	0.11	0.11	0.21	0.03	0.19	0.26	0.03	0.17	0.40	0.68	0.79
6.5~	351.6	80.39	0.09	0.09	0.23	0.01	0.12	0.19	0.02	0.25	0.38	0.59	1.68
TOTAL	437.9	100.0	0.07	0.07	0.19	0.01	0.11	0.19	0.02	0.20	0.33	0.53	0.70

이온 0.35 $\mu\text{g/l}$, 양이온 0.37 $\mu\text{g/l}$ 로서 이온 평형이 잘 이루어지는 것으로 나타났다.

양평지역의 경우 pH 6.5 이상에서 80%의 강우량이 내려 이때의 이온당량농도는 음이온 0.38 $\mu\text{g/l}$, 양이온 0.59 $\mu\text{g/l}$ 로서 서울의 불광동지역보다 이온평형이 잘 이루어지지 않는 것으로 나타났다.

4. 우수의 성분간의 단순상관

표 6 및 표 7은 도심지역(불광)과 교외지

역(양평) 우수의 이온성분 및 강우량간의 단순상관관계를 나타낸 것이다.

이 표에서 우수의 산도(pH)를 좌우하는 것으로 알려진 H^+ 과 SO_4^{2-} 과 음이온 성분들과의 상관계수는 불광동 -0.01, 양평 -0.13으로 매우 낮은 상관계수를 취함으로써 우수의 산도를 높일수 있는 SO_4^{2-} 및 음이온 성분들이 H^+ 이 아닌 다른 양이온들과 결합하여 우수중에 유입되는 것으로 생각할 수 있다.

표 6. Correlations Matrix of Ion Component in Bulgwangdong

	H^+	E.C	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+	Pre.
H^+	1.00										
E.C	.32	1.00									
Cl^-	-.01	.51	1.00								
NO_3^-	-.04	.35	.62	1.00							
SO_4^{2-}	-.01	.57	.71	.77	1.00						
K^+	-.01	.56	.74	.66	.78	1.00					
Na^+	-.04	.61	.63	.35	.56	.60	1.00				
Ca^{++}	.18	.69	.56	.37	.61	.68	.64	1.00			
Mg^{++}	.00	.68	.73	.58	.70	.76	.80	.73	1.00		
NH_4^+	-.18	.19	.28	.51	.57	.38	.16	.18	.32	1.00	
Pre.	-.06	-.34	-.10	-.21	-.29	-.21	-.28	-.32	-.31	-.20	1.00

표 7. Correlations Matrix of Ion Component in Yangpyung

	H^+	E.C	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	NH_4^+	Pre.
H^+	1.00										
E.C	.12	1.00									
Cl^-	-.25	.47	1.00								
NO_3^-	-.00	.71	.57	1.00							
SO_4^{2-}	-.13	.91	.39	.75	1.00						
K^+	-.03	.32	.51	.47	.20	1.00					
Na^+	-.19	.42	.64	.54	.31	.90	1.00				
Ca^{++}	.10	.80	.55	.76	.70	.62	.68	1.00			
Mg^{++}	.14	.91	.64	.77	.83	.39	.50	.82	1.00		
NH_4^+	-.13	.43	.15	.40	.51	.31	.26	.35	.35	1.00	
Pre.	-.08	-.24	-.19	-.04	-.21	-.13	-.13	-.18	-.15	-.07	1.00

전기전도도는 우수의 염류의 존재로 인한 전류의 세기를 나타내는 값으로 우수중에 이온성분의 농도가 높을수록 전류의 흐름이 좋은 것을 의미하며, 불광동지역과 양평지역 모두 모든 이온성분에 대하여 비교적 높은 상관성을 나타냈다.

또한 Cl^- 과 양이온성분들과의 상관계수를 보면 불광동, 양평지역 모두 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg 과의 상관계수가 0.5 이상으로 높은 상관성을 보였다.

우수중 SO_4^{2-} 과 양이온 성분간의 관계를 보면 불광동의 경우 K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} 와 0.7 이상의 높은 상관성을 나타냈다.

이와 같이 SO_4^{2-} 과 H^+ 의 상관계수가 0.01 전후의 매우 낮은 수치를 나타내고 SO_4^{2-} 의 유입형태는 금속이온과 공존하는 황산염의 형태로 유입되고 있음을 생각할 수 있다.

우수의 pH를 저하시킬 수 있는 SO_4^{2-} , HNO_3 와 같은 음이온 성분이 H^+ 과 갖는 상관계수는 매우 낮은 값을 나타내므로 H_2SO_4 , HNO_3 와 같은 강산성오염물질의 형태로 우

수에 유입할 수 있는 결과는 매우 적은 것으로 판단되며 SO_4^{2-} 및 NO_3^- 는 H^+ 이 아닌 다른 양이온성분과 결합되어 우수에 유입되고 있음을 알 수 있다.

그림 5, 6, 7은 서울과 양평지역의 SO_4^{2-} 과 Ca^{2+} , SO_4^{2-} 과 Mg^{2+} , Cl^- 과 Na^+ 와의 이온당량농도 대 이온당량농도의 상관분포도를 로그-로그 그래프상에 나타낸 것으로 X축과 Y축에 대한 동일한 Range 사선상에 가장 가깝게 값들이 분포하고 있다는 것은 우수중에 이들 이온성분이 당량농도 1:1로 존재함을 의미하지만 우수중에 반드시 두가지 이온성분이 1:1로 화학결합을 하고 있지는 않을 것이다. 직선으로부터 멀리 떨어져 값들이 분포하는 것은 우수중에 이들 이온성분이 1:1로 존재하기 어렵다는 것을 의미하지만 직선의 아래쪽 또는 위쪽에 값들의 분포가 직선성을 나타내는 것은 상관계수가 매우 높다는 것을 말하며 화학적인 결합 가능성이나 동일한 발생원에서 유입되고 있을 가능성이 매우 높다고 볼 수

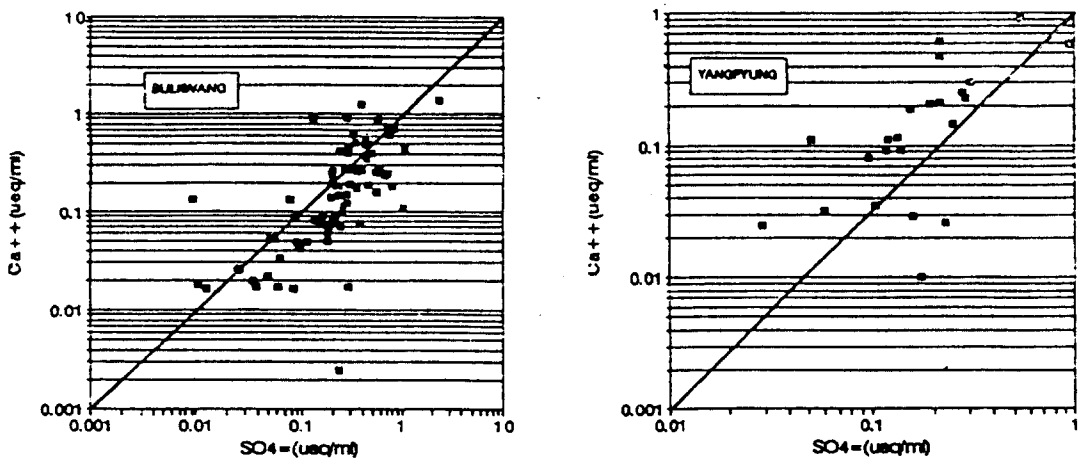


그림 5. Relationship between SO_4^{2-} and Ca^{2+} in Rain Water

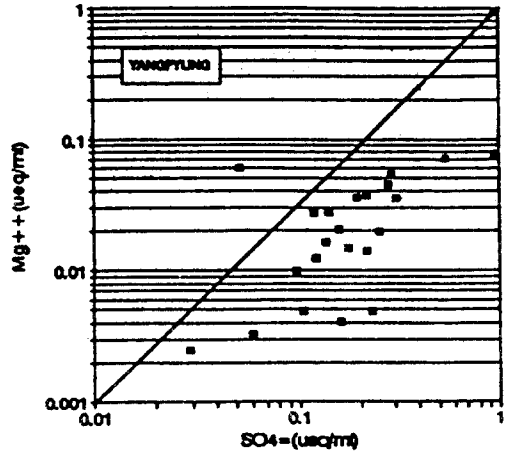
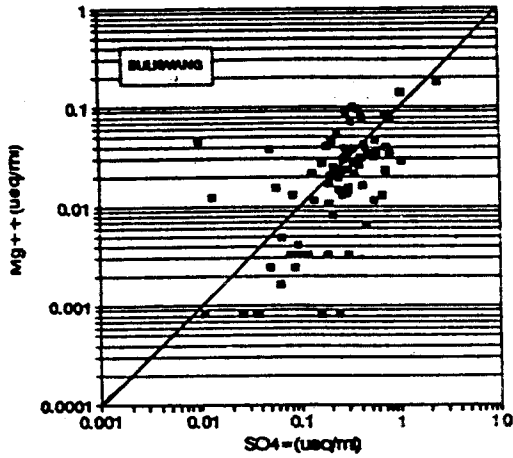


그림 6. Relationship between SO_4^{2-} and Mg^{2+} in Rain Water

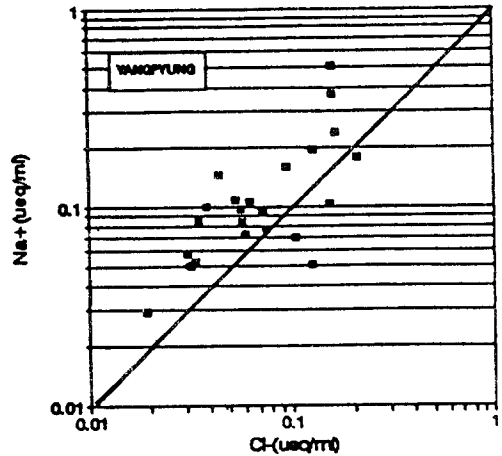
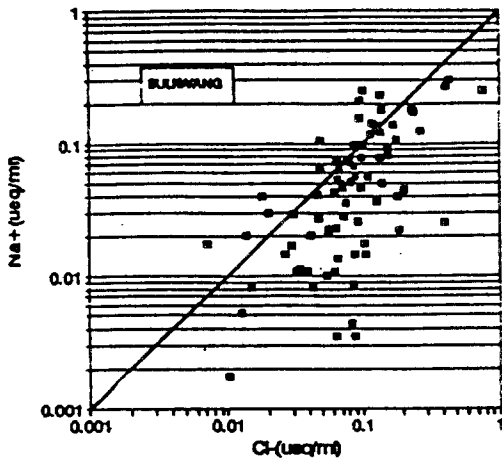


그림 7. Relationship between Cl^- and Na^+ in Rain Water

있다.

SO_4^{2-} , Ca^{2+} 의 당량농도대 당량농도의 산 성분포는 교외지역인 양평보다 도심지역인 서울 불광동이 사선의 집중도가 다소 높게 나타났으며 양평지역은 사선에서 분산된 분포를 나타냈다.

SO_4^{2-} , Mg^{2+} 의 당량농도 대 당량농도의 상관분포 역시 SO_4^{2-} 와 Ca^{2+} 의 분포도와 비슷한 추세로 나타났다.

즉 서울 불광동지역의 경우 SO_4^{2-} 은 $CaSO_4$ 및 $MgSO_4$ 와 같은 염의 형태로써 우수중에 유입되는 양이 많을 것으로 추측되며 양평지역의 경우 SO_4^{2-} 와 Mg^{2+} 의 상관성은 매우 적으며 SO_4^{2-} 와 Ca^{2+} 와는 다소 상관성이 있는 분포도를 나타냈다.

그림 7의 Na^+ , Cl^- 의 상관분포도를 보면 자료수의 차이는 있지만 불광동지역, 양평지역보다 다소 좋은 이온바란스를 이루고 있

다. 이것은 해염의 영향을 덜 받을수 있기 때문이라 생각할 수 있다.

5. 에어로졸 성분의 비교

도심지역(불광동)과 교외지역(양평)의 에어로졸 성분농도를 비교하기 위하여 '92년 6월 15일부터 17일까지 두 지점에서 동시에 하이볼륨 테이프 샘플러를 이용하여 6시간 간격으로 에어로졸을 포집 분석하였다.

표 8, 9는 같은 기간에 측정된 에어로졸의 이온성분을 당량농도로 나타낸 것이다. 에어로졸 중 총음이온, 총양이온 당량농도는 각각 불광동지점이 $0.178\mu\text{eq}/\text{m}^3$, $0.227\mu\text{eq}/\text{m}^3$, 양평지점이 $0.122\mu\text{eq}/\text{m}^3$, $0.151\mu\text{eq}/\text{m}^3$ 로서

두 지점 모두 양이온이 많이 나타났다.

불광동지점의 음이온성분중 SO_4^{2-} 는 78%, 양이온성분 중 NH_4^+ 71.5%, Ca^{2+} 24.5%이었으며 Cl^- 과 NO_3^- 는 10% 수준으로 나타났다.

양평지역에서의 이온성분농도는 불광동의 약 68% 전후 수준이었으나 NH_4^+ 의 경우는 87.8%, Ca^{2+} 의 경우는 44.6%로 나타났다. 관측기간 중 두 지점에서의 SO_4^{2-} 와 NH_4^+ 의 농도 변화는 그림 8과 같다. 그림 8에서 양평지점의 SO_4^{2-} 와 NH_4^+ 농도변화는 전기간동안 일치하고 있는 것으로 나타났으며 불광동의 경우는 6월 15일 12시부터 16일 12시까지는 두 성분간의 농도가 높은 수준

표 8. Ion Concentration of Aerosol in Bulgwangdong

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

DATE	TIME	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
'92	12 : 00	0.641	0.924	4.468	0.148	0.158	1.726	0.068	1.720
6.15	18 : 00	0.815	0.765	5.761	0.280	0.290	1.168	0.081	2.364
'92	24 : 00	0.382	0.394	3.486	0.078	0.087	0.537	0.018	1.385
6.16	06 : 00	0.845	1.533	5.120	0.156	0.166	1.826	0.071	1.774
	12 : 00	0.808	1.511	9.820	0.174	0.184	2.353	0.110	2.836
	18 : 00	0.982	2.061	8.092	0.331	0.340	2.604	0.160	2.170
'92	24 : 00	0.571	1.199	8.394	0.228	0.238	1.131	0.091	2.906
6.17	06 : 00	0.732	1.065	7.491	0.230	0.240	1.573	0.097	2.547
AVG.		0.722	1.182	6.680	0.203	0.213	1.671	0.087	2.213

표 9. Ion Concentration of Aerosol in Yangpyung

(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

DATE	TIME	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+
'92	12 : 00	0.477	0.347	1.579	0.000	0.010	0.334	0.000	1.941
6.15	18 : 00	0.419	0.371	2.000	0.018	0.028	0.328	0.006	1.349
'92	24 : 00	0.415	0.681	4.186	0.019	0.028	0.037	0.037	1.802
6.16	06 : 00	0.394	1.079	7.741	0.055	0.065	1.978	0.123	2.755
	12 : 00	0.403	1.934	6.730	0.018	0.028	0.959	0.073	2.369
	18 : 00	0.287	0.598	6.675	0.085	0.095	0.580	0.031	2.675
'92.6.17	24 : 00	0.287	0.824	4.678	0.037	0.046	0.330	0.018	1.771
AVG.		0.722	0.691	4.798	0.033	0.043	0.747	0.041	1.952

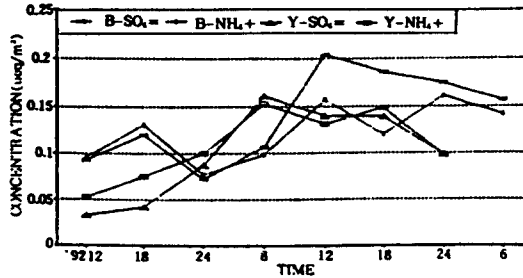


그림 8. Ion equivalent concentration of aerosol in Bulgwangdong(B) and Yangpyung(Y)

을 나타냈다. 이 기간에 불광동지점의 Ca^{2+} 가 표 8에서 보는 바와 같이 상승하였으며 이는 CaSO_4 입자가 증가되었음을 보여주는 것으로 생각된다. 또한 동 관측기간 중 불광동과 양평지점의 에어로졸 중 이온성분에 있어서 구성특성이 매우 유사하고 농도 변화에 있어서도 시간차이를 두고 유사하게 나타나고 있는 것은 유의할 만한 에어로졸 특히 황산염입자의 배출원을 갖고 있지 않은 양평지역이 오염물질이동 현상에 의한 서울의 영향권안에 있기 때문이라 추정된다.

또한 서울지역과 양평지역의 SO_4^{2-} 와 NH_4^+ 농도수준이 일치하고 있는 것은 양평지역으로의 이동과정에서 서울교외 지역의 풍부한 NH_3 가스에 의해 황산암모늄 생성이 계속 진행되는 현상에 기인하거나 대륙지역으로부터 이동과정에서 생성 변화되는 입자로 생각되는 CaSO_4 입자의 영향이 서울에 비하여 상대적으로 적은데 기인하는 것으로 추정된다.

6. 총 강하분진량의 비교

대기중 부유하는 입자들은 자연적인 중력 침강이나 브라운 운동 등에 의하여 지표면과 수계에 대한 침강 침착현상은 입자상물

질 뿐만 아니라 가스상물질에 의해서도 일어나지만 상대적으로 그 양은 적은 것으로 보고되고 있다. 대기중 부유하는 입자상물질 중에서 지표면에 강하하는 입자는 조대입자가 주류를 이루고 있으며 강우현상에 의한 세정작용으로도 지표면이나 수계에 대기오염물질이 추가된다. 강하분진은 측정방법에 의해서 dry deposition과 wet deposition으로 구별되며 본조사에서는 dust jar를 이용하여 dry deposition과 wet deposition의 총량을 측정하였다.

대기오염물질의 강하 침착현상에 의하여 수계에 추가되는 양을 추정하기 위하여 '92년 5월부터 12월까지 불광동과 양평에서 측정 분석된 총강하물질량은 표 10, 11과 같다. 총강하물질 중 불용성성분량의 평균은 불광동 $3.63 \text{ ton/km}^2/30 \text{ 일}$, 양평 $2.59 \text{ ton/km}^2/30 \text{ 일}$ 이었으며 강수량이 많았던 6월, 7월과 황사현상기간이 포함된 5월의 농도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 강하물질의 수용성 음이온성분 중 SO_4^{2-} 의 강하량이 가장 많고 NO_3^- , Cl^- 순으로 양이온성분은 NH_4^+ 가 가장 많고 다음은 Ca^{2+} 로 나타났다.

양평의 불용성성분 강하량은 불광동의 71.3%로 에어로졸의 경우와 비슷한 수준이나

표 10. Wet and Dry Deposition Amount in Bulgwangdong 1992 (unit : ton/km²/30days)

Date	Dry Deposition	Wet Deposition							
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁻	NH ₄ ⁺
5.2~6.2	5.123	0.02	0.17	1.347	0.02	0.02	0.162	0.014	0.328
6.2~7.9	5.514	0.04	0.25	0.943	0.02	0.04	0.286	0.013	0.073
7.9~8.3	4.620	0.28	1.26	1.804	0.01	0.23	0.473	0.044	1.476
8.3~9.2	2.895	0.31	0.47	2.393	0.04	0.08	0.323	0.016	0.393
9.2~10.7	2.266	0.04	0.16	1.281	0.01	0.07	0.294	0.030	0.123
10.7~11.9	2.609	0.11	0.28	1.535	0.01	0.07	0.294	0.030	0.156
11.9~12.9	2.400	0.13	0.48	3.128	0.01	0.08	0.306	0.027	0.148
AVG.	3.632	0.13	0.43	1.828	0.02	0.08	0.257	0.023	0.404

표 11. Wet and Dry Deposition Amount in Yangpyung 1992 (unit : ton/km²/30days)

Date	Dry Deposition	Wet Deposition							
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁻	NH ₄ ⁺
5.2~6.2	4.200	0.04	0.26	0.926	0.02	0.02	0.164	0.013	0.328
6.2~7.9	3.985	0.04	0.25	0.943	0.04	0.04	0.286	0.013	0.073
7.9~8.3	3.071	0.09	0.34	0.770	0.08	0.08	0.196	0.017	1.694
8.3~9.2	1.535	0.51	0.08	1.450	0.16	0.16	0.258	0.014	0.089
9.2~10.7	1.234	0.07	0.02	0.688	0.03	0.03	0.138	0.001	0.120
10.7~11.9	1.918	0.08	0.14	0.505	0.04	0.04	0.111	0.014	0.096
11.9~12.9	2.188	0.22	0.31	0.763	0.04	0.12	0.216	0.031	0.240
AVG.	2.590	0.15	0.20	0.864	0.14	0.07	0.196	0.010	0.235

강수의 비중이 크게 차지하는 수용성이온성분은 약 50% 수준으로 나타났다. 따라서 양평지역에서의 dry deposition의 경우도 에어로졸의 경우와 같이 서울지역의 에어로졸 이동현상에 의하여 영향을 받고 있는 것으로 생각할 수 있다.

서울시의 주요 상수원이며 한강유역 수질 관리 측면에서 매우 중요한 의미를 갖고 있는 팔당호에 대하여 입자상물질 등의 강하 침착하는 양을 팔당호 저수면적(37.5 km²)에 표 11의 강하물질량을 곱하여 산출·추정할 수 있다. 팔당호에 부가되는 불용성성분량은 97.1 ton/30 일이며 호소내 생물계 및

수질관리상 중요인자 중의 하나인 NH₄⁺ 강하량은 8.8 ton/30 일, NO₃⁻는 7.5 ton/30 일이며 이온성분 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 SO₄²⁻ 강하량은 32.4 ton/km²/30 일이다.

IV. 결 론

본 연구는 도심지역내에서의 오염물질배출이 교외지역의 우수성분 또는 에어로졸 성분부에 미치는 영향을 알기 위해 서울의 불광동과 인근 교외지역의 양평군 양수리에서 우수 및 에어로졸 성분을 채취 분석, 비교

하였으며 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

1) 수소이온 가중평균방법으로 계산한 도심지역(불광동)과 교외지역(양평)의 우수의 pH는 도심지역이 평균 4.82, 교외지역이 5.69로 도심지역이 교외지역에 비해 산도(pH)가 높았다.

2) 우수의 SO_4^{2-} 는 도심지역과 교외지역이 비슷한 수준을 나타냈으나 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^{+} 등 양이온성분은 도심지역보다도 교외지역이 더 높은 것으로 나타났다.

3) 교외지역의 에어로졸 이온성분농도는 도심지역의 약 68% 수준으로 에어로졸의 구성특성이 도심지역의 경우와 유사한 것으로 나타났으며 도심지역에서 에어로졸 이동현상이 교외지역의 에어로졸 농도변화에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

4) 교외지역의 불용성성분의 강하량은 도심지역의 71% 수준이었다.

본 연구에서는 일부 도심지역과 그 주변 지역에 국한하여 조사되었으나 보다 많은 교외지역의 자료를 얻기 위해 지속적인 연구와 대처 노력이 요구되고 있다.

참고문헌

1. NAPAP(1989). Plan and Schedule for NAPAP Assessment Reports, National Acid Precipitation Assessment Program, Washington, D.C.
2. Hogstrom U.(1974). Wet fallout sulphurous pollutants emitted from a city during rain or snow, Atmospheric Environment 8, 1291~1303.
3. Allan R. J. and Jonasson I. R.(1978). Alkaline snowfalls in Ottawa and Winnipeg. Canada, Atmospheric Environment 12, 1169~1173.
4. Dupuis L. R.(1986). Analysis of precipitation chemistry data in the New York City and surrounding region, Bookhaven National Laboratory Report BNL-38705, Bookhaven National Laboratory, Upton, NY.
5. Schroder L. J., Books M. H., Garbarino J. R. and Willough by T. C.(1987). The influence of an urban environment in the chemical composition of precipitation, In Chemical Quality of Water and the Hydrologic Cycle(edited by Averett r.c. and McKnight D.M.), pp. 39~53. Lewios Publication, Chels ea, MI.
6. 강인구 등(1992). 대기오염과 산성비에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구(II)-대기오염과 산성비에 의한 물질손상을 중심으로-, 국립환경연구원보, 제 14 권, pp. 107~125.