

## 도시 및 농촌 일부지역의 강하분진과 여과액중의 이온농도

중앙대학교 의과대학 예방의학교실

<지도 정 규 철 교수>

홍 연 표

=Abstract=

### Dustfalls and Various Ion Concentrations in Their Filtrates in an Urban and in a Rural Districts

Yeon-Pyo Hong, M.D.

*Department of Preventive Medicine and Community Health, College of Medicine,  
 Chung-Ang University*

(Director by Professor Kyou-Chull Chung)

During a period from February 1st to November 30th in 1983, measurements were made twice a month on dustfalls and concentrations of various cations and anions in their filtrates in an urban (Heuksuk-dong, Seoul) and in a rural (Ansong) districts.

Standard British Deposit Gauge method was applied for collection of dustfalls and ion chromatographic method using Ion Chromatograph 10 (Dionex, U.S.A.) for determination of cation and anion concentrations.

The results obtained were as follows:

1. Annual mean values of dustfalls were  $8.30 \pm 5.09$  tons/km<sup>2</sup>/month in an urban and  $6.20 \pm 0.82$  tons/km<sup>2</sup>/month in a rural districts. And annual mean values of pH of filtrates of the collected samples were  $5.3 \pm 0.76$  in an urban and  $6.0 \pm 0.82$  in a rural districts.

2. Annual mean concentrations of common cations and anions in their filtrates were as follows:

	urban	rural	(unit: ppm)
Na <sup>+</sup>	$1.7 \pm 1.30$	$1.9 \pm 1.86$	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$2.4 \pm 1.60$	$1.3 \pm 1.59$	
K <sup>+</sup>	$0.7 \pm 0.47$	$1.5 \pm 3.79$	
Ca <sup>++</sup>	$5.3 \pm 0.95$	$3.4 \pm 2.58$	
Mg <sup>++</sup>	$0.7 \pm 0.89$	$0.5 \pm 0.83$	
Cl <sup>-</sup>	$2.0 \pm 1.31$	$4.0 \pm 2.35$	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$4.0 \pm 2.35$	$2.7 \pm 1.31$	
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	$16.9 \pm 17.40$	$6.8 \pm 8.00$	

Some of anions such as Br<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> and NO<sub>2</sub><sup>-</sup> were scarcely detected and F<sup>-</sup> was measured at very low concentrations ranging from 0.1 to 0.5 ppm in Feb., Oct. and Nov. in an urban and in Feb. in a rural districts.

3. By two-way analysis of variance with 4 replications for dustfalls, pH and concentrations of various ion by district and month of a year, statistically significant differences were noted in dustfalls ( $p < 0.01$ ), pH ( $p < 0.01$ ) and concentrations of various ion ( $p < 0.01$ ) by month of a year, and in dustfalls ( $p < 0.05$ ) and concentrations of various ion such as  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{--}$  ( $p < 0.01$ ) by district.

4. There were statistically significant differences pH in Spring (Feb., Mar. and Apr.) ( $p < 0.01$ ) and in  $\text{SO}_4^{--}$  in Autumn (Aug., Sept., Oct. and Nov.) ( $p < 0.05$ ) between the two districts.

## I. 서 론

대기오염 정도를 정성적 또는 정량적으로 가름하는 지표물 얻기 위한 한 방법으로 Standard British Deposit Gauge 법<sup>1)</sup>을 사용하여 그 지역에서의 강하분진량을 측정한다. 이제까지 이 방법에 의해서 시행된 조사는 강하분진 이외의 다른 대기 오염물질 즉,  $\text{SO}_2$ , CO, 부유분진등을 동시에 측정하여 강하분진량과 이들 오염물질과의 관계를 관찰하였다<sup>2~6)</sup>.

지금까지 deposit gauge 법에 의하여 대기 오염물질을 측정할 경우에 강하분진을 포집한 수용액(여과액) 중의 양이온과 음이온 농도를 분석한 결과는 찾아보기 어렵다.

본 연구는 서울의 주택가(혹석동)와 농촌 일부지역(경기도 안성)을 대상으로 deposit gauge 법을 사용하여 강하분진량을 측정하는 동시에 수용액중에 용해된 여러가지 이온(음이온과 양이온)을 분석함으로써 대기 중의 오염물질의 성상을 파악하고 지역간 대기오염의 정도를 비교할 목적으로 시도하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 시료의 채취

1983년 2월부터 같은 해 11월까지 10개월 동안에 걸쳐 서울(동작구 혹석동 중앙대학교 의과대학교 의과대학 옥상)과 경기도 안성(중앙대학교 제 2캠퍼스 기숙상 옥상)에 British Standard Deposit Gauge 를 2개씩 설치하고 매달 15일과 말일에 수거하여 시료로 하였다. 각 포집병에는 2차 증류수 300 ml 씩을 넣었다.

### 2. 강하분진량의 측정

1) 불수용성 분진량 : 포집한 내용물을 전부를, 미리 건조시켜 Sartorius 2474 electrical balance (Federal

Republic of Germany)로 무게를 잴 동양여지(No. 5c)로 여과한 후, 이 여과지를  $105^\circ\text{C}$ 의 건조기에서 약 2시간 건조시키고, desiccator 내에서 방냉하여 다시 여과지의 무게를 (소수점이하 5째 자리까지 측정) 재고, 여과 전의 여과지의 무게를 빼어 불수용성 분진량으로 하였다.

2) 수용성 분진량 : 여과된 수용액의 양을 200 ml 와 500 ml 짜리 메스실린더로 측정하였다. 여과된 수용액 중의 일정량(100 ml)을 이미 평량한 비이커에 취하여 물중탕(water bath) 속에서 증발시킨 후 다시 건조기에서  $100^\circ\text{C}$ 로 2시간 건조시키고 desiccator 속에 방냉하여 무게를 재었다. 이 비이커의 여과액 100 ml 을 증발시키기 전후의 무게의 차이를 구하고, 이를 여과액 양에 의하여 환산하여 수용성 분진의 양으로 하였다.

3) 강하분진량 : 수용성 분진의 양(g)과 불수용성 분진의 양(g)을 합하여 분진 총량(g)을 구하였다. 이 분진 총량으로 다음 식에 의하여 강하분진량( $\text{tons}/\text{km}^2/\text{month}$ )을 산출하였고, 매달 산출한 강하분진량을 평균하여 1개월의 양으로 하였다.

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

단, W: 분진총량(g)

D: 포집병 깔때기의 직경(cm)

n: 포집일 수

### 3. 이온농도

포집된 수용액을 여과하여 얻은 수용액의 pH를 측정하고(model 601/digital ionalyzer, Orion Research, U.S.A.), 그 용액의 일부를 취하여 Ion Chromatograph 10 (DIONEX, Dionex Corp. U.S.A.)을 사용하여 음이온( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{--3}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--2}$ )과 양이온( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ )을 다음과 같은 방법으로 측정하였다<sup>6,7)</sup>.

1) 1가의 양이온( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ): 표준용액의 제

**Table 1.** Monthly changes in dustfalls in an urban (Heuksuk-dong, Seoul) and in a rural (Ansung) districts (1983)  
(Dust: ton/km<sup>2</sup>/month)

Month	Statistics	Filtrate(ml)		pH		Soluble dust		Insoluble dust		Total dust	
		urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural
2	Average	1,753	2,298	4.31	6.41	12.77	8.98	5.41	2.31	18.18	11.29
	S.D.(±)	664	401	0.82	0.56	3.99	4.61	0.36	0.45	4.70	5.03
	Maximum	2,350	2,680	5.53	7.07	17.23	14.00	5.77	2.72	22.89	16.64
	Minimum	1,035	1,915	3.85	5.92	8.31	4.95	5.10	1.78	13.41	6.73
	T-value	-1.4052		-4.2297**		1.2433		10.7586**		2.0015	
3	Average	1,307	1,758	4.65	6.89	4.14	4.81	6.07	5.79	10.21	10.60
	S.D.(±)	216	751	0.69	0.05	4.69	2.25	0.93	1.24	4.51	3.35
	Maximum	1,485	2,461	5.51	6.93	9.80	6.30	6.57	7.28	16.34	13.57
	Minimum	1,040	1,100	4.04	6.82	0.27	2.86	4.67	4.39	6.77	7.31
	T-value	-1.1543		-6.4758**		-0.2576		0.3613		-0.1388	
4	Average	3,653	3,678	5.38	6.62	6.98	6.38	4.42	2.41	11.40	8.79
	S.D.(±)	1,368	1,306	0.89	0.10	1.79	0.43	1.27	1.50	1.98	1.70
	Maximum	4,855	4,895	6.56	6.71	8.61	6.80	5.63	4.14	13.69	10.94
	Minimum	2,442	2,548	4.67	6.48	4.61	5.89	2.72	0.65	8.87	6.79
	T-value	-0.0264		-2.7689*		0.6518		2.0454		1.9988	
5	Average	1,845	2,165	5.73	5.99	2.95	3.22	2.49	1.61	5.45	4.83
	S.D.(±)	928	735	0.67	0.72	1.45	0.91	0.71	0.77	0.98	1.60
	Maximum	2,720	2,815	6.33	6.60	4.14	4.42	3.53	2.69	6.53	7.11
	Minimum	858	1,428	5.02	5.10	1.10	2.25	1.95	0.87	4.61	3.67
	T-value	-0.5406		-0.5287		-0.3154		1.6804		0.6609	
6	Average	1,101	2,790	6.49	6.35	3.64	4.40	2.19	2.92	5.83	7.32
	S.D.(±)	336	1,948	0.39	0.89	2.24	1.03	1.28	1.26	3.04	0.40
	Maximum	1,490	4,500	6.95	7.12	5.86	5.45	4.11	3.79	9.38	7.32
	Minimum	695	900	6.07	5.19	1.61	3.13	1.47	1.78	3.44	6.88
	T-value	-1.7089		0.2882		-0.6165		-0.8129		-0.9720	
7	Average	9,988	4,665	5.34	4.85	7.38	1.76	2.45	1.24	9.83	3.00
	S.D.(±)	2,940	305	0.33	0.60	4.74	1.30	0.96	0.90	5.67	0.62
	Maximum	12,640	5,100	5.53	5.72	11.54	3.43	3.56	2.24	15.11	3.55
	Minimum	7,410	4,430	4.84	4.39	2.51	0.43	1.58	0.07	4.23	2.29
	T-value	3.6018*		1.4312		2.2869		1.8390		2.3976	
8	Average	3,720	5,238	4.98	4.76	1.76	1.56	1.95	0.71	3.96	2.30
	S.D.(±)	329	290	0.44	0.60	2.07	1.62	1.11	0.45	1.30	2.03
	Maximum	3,994	5,065	5.38	5.43	4.84	3.93	3.13	1.13	6.21	5.06
	Minimum	3,250	4,980	4.38	4.18	0.52	0.43	0.71	0.32	1.85	0.50
	T-value	-6.9225**		0.5914		0.1522		2.0706		1.3762	

Month	Statistics	Filtrate(ml)		pH		Soluble dust		Insoluble dust		Total dust	
		urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural
9	Average	6,141	5,036	5.43	5.70	4.02	2.35	1.25	1.79	5.28	4.14
	S.D.(±)	2,010	1,174	0.18	0.35	2.53	0.76	0.87	0.28	3.39	0.81
	Maximum	8,090	6,225	5.60	6.00	7.63	3.25	2.53	2.13	10.16	4.79
	Minimum	4,360	4,020	5.19	5.37	2.10	1.45	0.70	1.54	2.83	3.03
	T-value	0.9494		-1.3720		1.2643		-1.1817		0.6544	
10	Average	1,238	1,170	5.62	6.07	1.45	1.21	4.40	2.76	5.85	3.98
	S.D.(±)	480	291	0.18	0.12	0.24	0.32	0.50	0.69	0.71	0.75
	Maximum	1,780	1,430	5.81	6.18	1.67	1.66	4.96	3.77	6.58	4.95
	Minimum	790	810	5.41	5.91	1.15	0.93	3.75	2.18	4.90	3.25
	T-value	0.2423		-4.1603**		1.2000		3.8492**		3.6326*	
11	Average	990	1,488	5.34	5.89	2.03	2.51	2.52	2.76	4.55	5.26
	S.D.(±)	227	275	0.49	0.55	0.32	0.18	0.96	0.55	0.97	0.30
	Maximum	1,250	1,690	5.66	6.15	2.35	2.63	3.43	3.14	5.54	5.52
	Minimum	790	1,175	4.61	5.25	1.72	2.38	1.38	2.37	3.64	5.00
	T-value	-2.6364*		-1.5108		-1.9022		-0.3165		-1.0894	
Total	Average	3,170	3,068	5.33	5.95	4.71	3.78	3.31	2.41	8.03	6.20
	S.D.(±)	3,008	1,671	0.76	0.82	4.14	2.92	1.77	1.58	5.09	3.69
	Maximum	12,640	6,225	6.95	7.12	17.23	14.00	6.58	7.28	22.89	16.64
	Minimum	695	810	3.85	4.18	0.27	0.43	0.70	0.07	1.85	0.50

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$

조 ; 특급시약 NaCl 2.5420g,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  2.9654g, KCl 1.9067g 을 각각 2차증류수에 녹여 1l 로 하여  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  가 모두 1,000 ppm 되게 만든 후, 각 용액에서 일정량을 취하여 ( $\text{Na}^+$  5ml,  $\text{K}^+$  10ml,  $\text{NH}_4^+$  5 ml) 2차증류수에 녹여 1l 로 하여,  $\text{Na}^+$  5 ppm,  $\text{K}^+$  10ppm,  $\text{NH}_4^+$  5 ppm 되게 표준액을 제조하였다.

측정조건 ; Eluent: 0.005M HCl

Flow rate: 92 ml/hr

Separator column: 6×250 mm Cation Separator

Suppressor column: 9×250 mm Cation Suppressor

Injection volume: 100  $\mu\text{l}$

Meter full scale setting: 10  $\mu\text{MHo/cm}$

Chart speed: 0.5 cm/min

2) 2가의 양이온( $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ): 표준용액의 제조; 특급시약  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  3.6618g,  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  8.3632g 을 2차증류수에 녹여 1l 로 한 다음, 이 용액 5 ml 와 3 ml 씩을 취하여 2차증류수에 녹여 1l 로 하여,  $\text{Ca}^{++}$

5 ppm,  $\text{Mg}^{++}$  3 ppm 되게 표준액을 제조하였다.

측정조건 ; Eluent: 0.0025M P-phenylenediamine-2 HCl/0.0025 M  $\text{HNO}_3$

Flow rate: 184 ml/hr

Separator column: 6×250 mm alkaline earth separator

Suppressor column: 6×250 mm alkaline earth suppressor

Injection volume: 100  $\mu\text{l}$

Meter full scale range: 10  $\mu\text{MHo/cm}$

Chart speed: 0.5 cm/min

3) 음이온( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ): 표준용액의 제조 ; 특급시약 NaF 2.2100 g, NaCl 1.6484g,  $\text{NaNO}_2$  1.4998g,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  3.7710 g, NaBr 1.2877g,  $\text{NaNO}_3$  1.3707g,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  1.8142g 을 2차 증류수에 녹여 1l 로 하여 1,000 ppm 되게 만든 다음, 각 용액의 일정량을 취하여 2차 증류수에 녹여  $\text{F}^-$  3 ppm,  $\text{Cl}^-$  4 ppm,  $\text{NO}_2^-$  10 ppm,  $\text{PO}_4^{3-}$  50 ppm,  $\text{Br}^-$  10 ppm,  $\text{NO}_3^-$  30 ppm,  $\text{SO}_4^{2-}$  50

Table 2. ANOVA table of a two-factor (area and month) with 4 replications for dustfalls and pH

Contents	Source of variation	Sum of squares	d.f.	Mean of squares	F
Dustfalls	Month	660.3827	8	82.5478	6.3245**
	Area	55.5452	1	55.3452	4.2403*
	Interactions	89.0144	8	11.1268	0.8525
	Residuals	704.81539	54	13.0521	—
pH	Month	18.72644	9	2.08072	2.86616**
	Area	4.57446	1	4.57446	3.32087
	Interactions	20.41483	9	2.26831	3.12457
	Residuals	43.55757	60	0.72596	—

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$

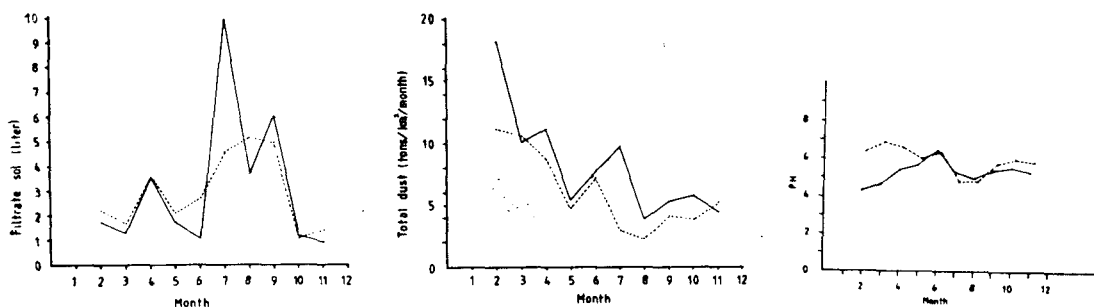


Fig. 1. Monthly changes in filtrates, dustfalls and pH in an urban (Heuksuk-dong, Seoul: solid line) and in a rural (Ansung: dotted line) districts.

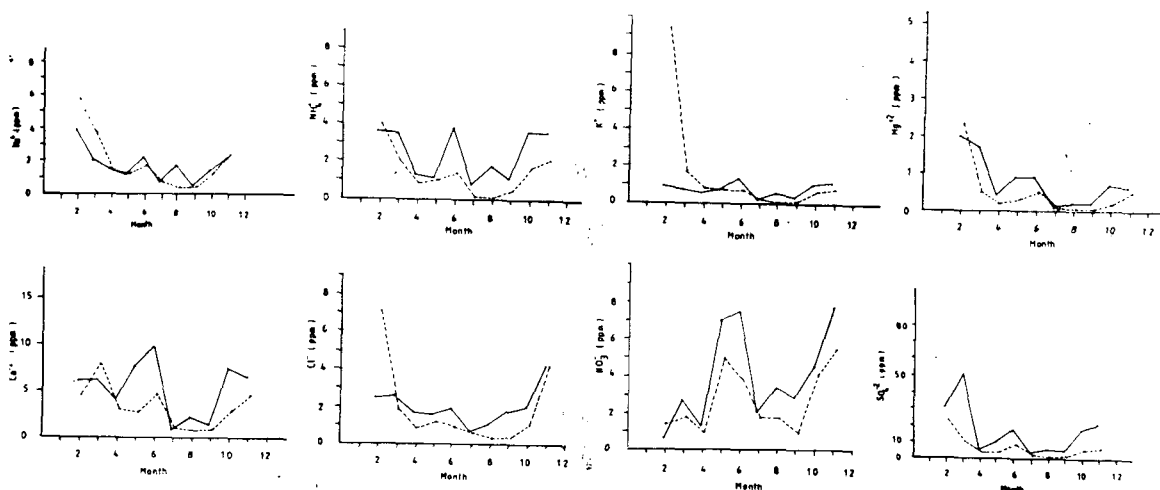


Fig. 2. Monthly changes in common cations and anions in an urban (Heuksuk-dong, Seoul: solid line) and in a rural (Ansung: dotted line) districts.

ppm 되게 표준용액을 만들었다.

측정조건 ; Eluent: 0.003 M  $\text{NaHCO}_3/0.0024 \text{ M}$   
 $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Flow rate: 138 ml/hr

Separator column:  $3 \times 500 \text{ mm}$  anion  
separator

Suppressor Column:  $6 \times 250 \text{ mm}$  anion  
suppressor

Injection volume:  $100 \mu\text{l}$

Meter full scale range:  $10 \mu\text{MHo/cm}$   
Chart speed:  $20 \text{ cm/hr}$

4) 위의 조건으로 각 이온들의 표준용액을 Ion chromatograph 10에 주사하여 standard chromatogram을 얻은 후, 2차 증류수를 주사하여 flat base line이 얻어짐을 확인 후(2차레이상 반복), 여과액을 주사하여 얻은 chromatogram의 peak와 표준액의 chromatogram의 peak의 높이를 비교하여 농도를 ppm 단위로 표시하였다.

#### 4. 자료의 처리

도시지역과 농촌지역에서 1개월에 4개씩 채취한 시료에서 분석한 강하분진량, pH 및 각종 이온 측정치에 대하여 반복측정의 이원배치법에 의한 분산분석<sup>9)</sup>을 시행하여 두 지역간의 차이 및 월별 차이를 관찰하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 강하분진량

강하분진량(tons/km<sup>2</sup>/month)은 수용성 분진과 불수용성 분진의 합으로 Table 1에 표시하였다. 도시지역에서 연평균  $8.03 \pm 5.09 \text{ tons/km}^2/\text{month}$ 였고, 8월에 가장 적어서  $3.96 \pm 1.30 \text{ tons/km}^2/\text{month}$ 였고, 2월에 가장 많아서  $18.18 \pm 4.70 \text{ tons/km}^2/\text{month}$ 였다. 농촌지역에서의 연평균은  $6.20 \pm 3.69 \text{ tons/km}^2/\text{month}$ 로서 도시에 비하여 적은 경향을 보였으며, 8월에  $2.30 \pm 2.03 \text{ tons/km}^2/\text{month}$ 로 가장 적었고, 2월에  $11.29 \pm 5.03 \text{ tons/km}^2/\text{month}$ 로 가장 컸다. 두 지역간에는 도시가 농촌보다 높았으며 ( $F_{1,4}^2 = 4.2403$ ,  $p < 0.05$ ) (Table 2), 특히 10월에 두 지역간에 유의한 차이가 있었다(Table 1). 월별표로는 두 지역에서 모두 매우 유의한 차이를 나타내었다( $F_{1,4}^2 = 6.3245$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 2).

pH는 도시지역에서 평균이  $5.33 \pm 0.76$ 이었고, 2월

이 제일 낮아  $4.31 \pm 0.82$ 였고, 6월에 가장 높아  $6.49 \pm 0.39$ 이었다. 농촌지역에서는 평균이  $5.95 \pm 0.82$ 이었고 8월에  $4.85 \pm 0.60$ 으로 가장 낮았고, 6월에  $6.35 \pm 0.89$ 로 가장 높았다(Table 1).

지역별로 보면 2월과 3월에 도시에서의 pH는 각각  $4.31 \pm 0.82$ 와  $4.65 \pm 0.69$ 로서 농촌의  $6.41 \pm 0.56$ 와  $6.86 \pm 0.05$ 와 매우 유의한 차이를 보였으며 ( $p < 0.01$ ), 4월에 도시에서  $5.38 \pm 0.89$ , 농촌에서  $6.62 \pm 0.10$ 으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ) (Table 1). 5월부터 9월까지는 두 지역간의 pH의 차이를 볼 수 없었으며 10월과 11월에는 도시에서의 pH가  $5.62 \pm 0.18$ ,  $5.34 \pm 0.49$ 로 농촌의  $6.07 \pm 0.12$ ,  $5.89 \pm 0.55$ 보다 약간씩 낮은(산성) 경향을 보였다(Fig. 1). 월별로 보면, 도시지역이 2월과 3월에 pH의 평균이 5.5이하이었으나, 4월 이후에는 점차 증가하여 6월에  $6.45 \pm 0.39$ 까지 이르렀으며, 다시 7월과 8월에 감소하는 경향을 나타내었다. 농촌지역에서는 7월과 8월의 pH가  $4.85 \pm 0.60$ 과  $4.76 \pm 0.60$ 이었고, 그 외의 기간에는 pH가 약 6.0에서 7.0사이로 월별 pH의 변동의 매우 유의한 것으로 나타났다( $F_{1,4}^2 = 2.8662$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 2).

#### 2. 이온농도

##### 1) 양이온 농도( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Ca}^{++}$ , $\text{Mg}^{++}$ )

(a)  $\text{Na}^+$ : 도시지역에서  $1.7 \pm 1.30 \text{ ppm}$ , 농촌지역에서  $1.9 \pm 1.86 \text{ ppm}$ 이었다(Table 3). 2월에는 도시에서  $3.8 \pm 1.37 \text{ ppm}$ , 농촌에서  $5.7 \pm 0.34 \text{ ppm}$ , 3월에는 도시에서  $2.0 \pm 0.25 \text{ ppm}$ , 농촌에서  $3.7 \pm 1.10 \text{ ppm}$ 으로 농촌에서 높았으나( $p < 0.05$ ) (Table 3), 4월부터는 두 지역간에 차이를 보이지 않았으며, 오히려 6월과 8월에는 각각 도시에서  $2.2 \pm 0.48 \text{ ppm}$ 과  $1.7 \pm 2.44 \text{ ppm}$ 으로 농촌의  $1.7 \pm 0.67 \text{ ppm}$ ,  $0.4 \pm 0.18 \text{ ppm}$ 보다 약간 증가된 경향을 보였으나(Fig. 2), 지역간의 차이는 인정할 수 없었다( $F_{1,4}^2 = 0.4519$ ) (Table 4).

월별 변화를 보면 2월부터 점차 감소하여 6월과 8월에 약간 증가하였으나, 9월에 도시와 농촌에서 각각  $0.5 \pm 0.29$ ,  $0.4 \pm 0.13 \text{ ppm}$ 으로 감소하였다가 10월부터 다시 증가하여 11월에는 도시와 농촌에서 각각  $2.1 \pm 0.76$ ,  $2.4 \pm 0.12 \text{ ppm}$ 으로 증가하였으며(Fig. 2), 월별로는 상당히 큰 차이를 보였다( $F_{1,4}^2 = 9.5694$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 4).

(b)  $\text{NH}_4^+$ :  $\text{NH}_4^+$ 의 연평균 농도는 도시지역에서  $2.4 \pm 1.60 \text{ ppm}$ , 농촌지역에서  $1.3 \pm 1.59 \text{ ppm}$ 이었다(Table 3).

Table 3. Monthly changes in common cations and anions in an urban (Heuksuk-dong, Seoul) and in a rural (Ansung) districts (1983)  
(unit: ppm)

Month	Na <sup>+</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Ca <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>		Cl <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	
	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural	urban	rural
Average	3.8	5.7	3.6	4.0	0.9	9.4	6.2	4.7	2.0	2.3	2.5	7.1	0.6	1.4	31.0	23.0
S.D.(±)	1.37	3.04	1.18	3.47	0.25	9.46	2.61	2.39	1.60	1.85	1.86	3.85	0.56	0.85	10.73	12.1
Maximum	5.2	9.1	5.0	8.3	1.2	21.0	8.5	7.1	3.8	4.0	4.1	10.8	1.1	2.6	46.3	39.6
Minimum	2.3	2.8	2.1	1.0	0.6	1.5	3.6	2.2	0.6	0.6	0.6	3.3	0.0	0.8	21.8	9.8
T-value	-1.1396		-0.2183		0.1057		0.8477		-0.2453		-3.7268**		-1.5718		0.9893	
Average	2.0	3.7	3.5	2.0	0.8	1.7	6.3	8.0	1.7	0.5	2.6	1.9	2.8	1.8	50.6	10.0
S.D.(±)	0.25	1.10	0.84	0.40	0.10	0.23	0.76	0.73	1.42	0.10	0.54	1.20	0.79	1.27	32.03	6.40
Maximum	2.3	4.6	4.6	2.3	0.9	1.9	7.0	9.0	3.1	0.6	3.2	3.0	3.8	2.7	97.0	16.2
Minimum	1.7	2.7	2.7	1.6	0.7	1.5	5.3	7.3	0.5	0.4	2.1	0.4	2.0	0.0	28.6	2.2
T-value	-3.0139*		3.2245*		-7.1714**		-3.2263*		1.6860		1.0639		1.3372		2.4860*	
Average	1.5	1.4	1.3	0.7	0.5	0.8	4.3	3.2	0.4	0.2	1.7	0.9	1.3	0.9	6.0	4.0
S.D.(±)	0.10	0.49	0.28	0.75	0.19	0.30	1.65	0.43	0.12	0.0	0.35	0.41	0.85	0.70	4.03	2.32
Maximum	1.5	1.8	1.5	1.3	0.8	1.0	6.0	3.5	0.5	0.2	2.0	1.4	1.7	1.7	8.8	7.4
Minimum	1.3	0.9	0.9	0	0.4	0.4	2.6	2.6	0.3	0.2	1.3	0.4	0.0	0.0	0.0	2.2
T-value	0.3998		1.4988		-1.6890		1.2902		3.3333*		2.9681*		0.7265		0.8602	
Average	1.2	1.2	1.1	1.0	0.7	0.7	7.8	2.8	0.8	0.3	1.6	1.2	7.0	5.0	10.1	4.1
S.D.(±)	0.43	0.43	0.92	0.67	0.38	0.17	7.10	1.52	0.72	0.21	1.01	0.54	3.53	4.85	6.29	2.11
Maximum	1.8	1.8	2.5	1.3	1.2	0.9	16.8	4.6	1.7	0.5	2.9	1.6	10.8	9.2	18.3	5.9
Minimum	0.9	0.9	0.6	0.7	0.4	0.5	2.0	1.5	0.2	0.1	0.8	0.4	4.0	0.8	5.1	2.2
T-value	0.0		0.1757		0.0		1.3772		1.3332		0.6985		0.6668		1.8087	
Average	2.2	1.7	3.8	1.4	1.3	0.7	9.8	4.8	0.8	0.5	1.9	0.9	7.5	3.9	17.6	9.0
S.D.(±)	0.48	0.67	1.30	1.22	0.15	0.44	2.81	3.91	0.24	0.45	0.41	0.64	3.89	2.32	5.48	7.71
Maximum	3.6	2.3	5.0	3.0	1.4	1.2	12.0	10.4	1.0	1.1	2.4	1.4	12.1	6.9	23.4	18.2
Minimum	0.9	1.0	2.6	0.3	1.1	0.3	5.8	2.1	0.5	0.1	1.4	0.3	3.9	1.5	10.2	2.6
T-value	1.2132		2.6924*		2.5803*		2.0768		1.1762		2.6311*		1.5896		1.8184	

Average	0.7	0.7	0.8	0.1	0.2	0.2	0.9	1.1	0.1	0.10	0.7	0.6	2.1	1.8	4.0	2.5
S.D.(±)	0.43	0.39	0.16	0.19	0.21	0.17	0.20	0.46	0.03	0.04	0.24	0.24	2.04	0.72	0.78	1.56
Maximum	1.1	1.2	1.0	0.4	0.3	0.3	1.2	1.6	0.15	0.15	1.0	0.8	5.1	2.4	4.9	3.8
Minimum	0.3	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.9	0.6	0.1	0.05	0.5	0.3	0.8	1.1	3.3	1.1
T-value	0.0		5.6316**		0.0		-0.7975		0.0		0.5893		0.2774		1.7201	
Average	1.7	0.4	1.7	0.1	0.5	0.0	2.2	0.9	0.2	0.1	1.1	0.3	3.4	1.8	5.7	1.3
S.D.(±)	2.44	0.18	1.80	0.10	0.76	0.0	1.29	0.30	0.15	0.03	0.69	0.13	1.58	0.57	1.72	0.21
Maximum	5.3	0.6	4.4	0.2	1.6	0.0	4.1	1.3	0.4	0.1	2.1	0.5	4.9	2.4	8.2	1.5
Minimum	0.3	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	1.4	0.6	0.1	0.05	0.6	0.2	1.3	1.2	4.5	1.1
T-value	1.0627		1.7750		1.3158		1.9631		1.3074		2.2787		1.9051		5.0785**	
Average	0.5	0.4	1.1	0.4	0.3	0.1	1.5	0.9	0.2	0.08	1.8	0.4	2.9	1.0	5.1	1.8
S.D.(±)	0.29	0.13	0.52	0.33	0.29	0.12	0.61	0.26	0.06	0.03	1.72	0.15	1.36	0.46	0.64	0.67
Maximum	0.7	0.5	1.5	0.7	0.5	0.2	2.1	1.1	0.2	0.1	4.3	0.5	4.2	1.4	5.6	2.4
Minimum	0.2	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.9	0.6	0.1	0.05	0.5	0.2	0.6	2.4	4.5	1.2
T-value	0.6293		2.2729		1.1172		1.8095		3.5778*		1.6217		2.6468*		7.1228**	
Average	1.4	1.2	3.6	2.1	1.0	0.60	7.7	3.1	0.7	0.2	2.0	1.1	4.6	4.1	17.5	5.6
S.D.(±)	0.71	0.45	1.81	0.38	0.56	0.17	4.83	1.49	0.39	0.05	0.49	0.2	3.26	1.31	8.46	1.86
Maximum	2.2	1.8	5.4	2.5	1.6	0.8	12.8	4.8	1.1	0.3	2.5	1.4	8.0	5.3	26.5	7.8
Minimum	0.8	0.8	2.0	0.8	0.5	0.4	3.6	1.8	0.3	0.2	1.4	1.0	1.4	2.3	9.1	3.9
T-value	0.4759		1.6221		1.3668		1.8201		2.5433		3.4005*		0.2846		3.3651*	
Average	2.1	2.4	3.6	2.1	1.1	0.7	6.7	4.7	0.6	0.5	4.3	4.3	7.8	5.6	21.2	7.1
S.D.(±)	0.76	0.12	1.44	0.38	0.17	0.10	1.36	0.69	0.19	0.12	1.30	0.12	1.01	0.92	4.43	0.12
Maximum	2.8	2.5	4.9	2.3	1.2	0.8	8.0	5.3	0.8	0.6	5.5	4.4	8.8	6.4	26.4	7.2
Minimum	1.3	2.3	2.3	1.5	0.8	0.6	5.4	4.1	0.45	0.4	3.2	4.2	6.4	4.8	17.0	7.0
T-value	-0.7798		2.0144		4.0562**		2.2622		0.8891		0.0		3.2205*		6.3633**	
Average	1.7	1.9	2.4	1.3	0.7	1.5	5.3	3.4	0.7	0.5	2.0	1.9	4.0	2.7	16.9	6.8
S.D.(±)	1.30	1.86	1.60	1.59	0.47	3.79	3.95	2.58	0.89	0.83	1.31	2.39	2.35	1.31	17.4	8.0
Maximum	5.3	9.1	5.4	8.3	1.6	21.0	16.8	10.4	3.8	4.0	3.2	10.8	12.1	9.2	97.0	39.6
Minimum	0.2	0.2	0.0	2.6	0.0	0.0	0.9	0.4	0.1	0.05	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	1.1

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01



Table 4. ANOVA table of a two-factor (area and month) with 4 replications for ions

Contents	Source of variation	Sum of squares	d.f.	Mean of squares	F
Na <sup>+</sup>	Month	113.42263	9	12.60251	9.56939**
	Area	0.59513	1	0.59513	0.45190
	Interactions	16.35862	9	1.81742	1.38001
	Residuals	79.01750	60	1.31696	—
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Month	87.36613	9	9.70735	7.09451**
	Area	18.91513	1	18.91513	13.82392**
	Interactions	24.23112	9	2.69235	1.96767
	Residuals	82.09750	60	1.36829	—
K <sup>+</sup>	Month	157.47613	9	17.49735	3.82780**
	Area	11.78113	1	11.78113	2.57729
	Interactions	136.43512	9	15.15946	3.31635
	Residuals	274.26750	60	4.57113	—
Ca <sup>++</sup>	Month	407.857	9	45.31744	7.37568**
	Area	74.498	1	74.498	12.12499**
	Interactions	94.037	9	10.44856	1.70056
	Residuals	368.65	60	6.14417	—
Mg <sup>++</sup>	Month	27.83253	9	3.09250	6.83561**
	Area	1.58203	1	1.58203	3.47479
	Interactions	3.06578	9	0.34064	0.75295
	Residuals	27.14438	60	0.45241	—
Cl <sup>-</sup>	Month	154.6	9	17.17778	9.6749**
	Area	0.4205	1	0.4205	0.07392
	Interactions	51.1995	9	5.68883	3.20407
	Residuals	106.53	60	1.7755	—
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Month	326.6755	9	36.29728	7.99662**
	Area	32.0045	1	32.0045	7.05088*
	Interactions	27.85050	9	3.0945	0.68175
	Residuals	272.345	60	4.53908	—
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Month	6893.0376	9	765.8931	9.22723**
	Area	2011.0151	1	2011.0151	24.22806**
	Interactions	2391.71862	9	265.7465	3.20163
	Residuals	4980.2125	60	83.00554	—

\* : p<0.05, \*\* : p<0.01

지역별로는 2월에 도시에서 3.6±1.18 ppm, 농촌에서 4.0±3.47 ppm 으로 약간 높았으나 유의한 차이는 없었으며, 3월 부터는 도시에서의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>농도가 농촌

(2.0±0.40 ppm)에 비하여 계속 높은 상태로 지속되고 있었으며 (Fig. 2), 두 지역간에 매우 유의한 차이가 있었으며 (F<sub>10</sub><sup>1</sup>=13.8239, p<0.01) (Table 4), 3월과

6월에 유의한 차이를( $p < 0.05$ ), 7월에는 매우 유의한 차이를( $p < 0.01$ ) 보였다(Table 3). 월별로 보면 도시가 2월과 3월에 거의 비슷한 상태로 있다가 4월에는  $1.3 \pm 0.28$  ppm 으로 감소하였다가 6월에 다시  $3.8 \pm 1.30$  ppm 으로 증가하였으나, 7, 8, 9월에 각각  $0.8 \pm 0.16$ ,  $1.7 \pm 1.80$ ,  $1.1 \pm 0.52$  ppm 으로 감소되고, 10월부터  $3.6 \pm 1.81$  ppm 으로 증가하였다. 한편 농촌은 3월에  $2.0 \pm 0.40$  ppm, 4월에  $0.7 \pm 0.75$  ppm 으로 감소하고, 7월과 8월에는  $0.1 \pm 0.67$  ppm 으로 더욱 감소하였다가 10월과 11월에  $2.1 \pm 0.38$  ppm 으로 증가하여(Fig. 2) 두 지역 모두 월별 차이가 대단히 컸다( $F_{10} = 7.0945$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 4).

(c)  $K^+$ ; 도시지역에서  $0.7 \pm 0.47$  ppm, 농촌지역에서  $1.5 \pm 3.79$  ppm 이었다(Table 3). 도시가 2월에  $0.9 \pm 0.25$  ppm, 농촌이  $9.4 \pm 9.46$  ppm 으로 농촌이 훨씬 높았으나 농촌에서의 범위는  $1.5 \sim 21.0$  ppm 으로 상당히 컸으며, 3월에도 도시지역이  $0.8 \pm 0.10$  ppm, 농촌지역이  $1.7 \pm 0.23$  ppm 으로 차이가 있었으나 ( $p < 0.01$ ) (Table 3), 4월 이후 부터는 오히려 도시지역이 약간 증가된 경향을 보여(Fig. 2) 6월과 11월에는 유의한 차이를 나타내었으나( $p < 0.05$ ), 평균 농도가  $1.5 \pm 0.79$  ppm 정도로 낮아 두 지역간의 전반적인 차이는 인정할 수 없었다( $F_{10} = 2.5773$ ) (Table 4). 월별로는 도시지역이 6월과 10월과 11월에 각각  $1.3 \pm 0.15$ ,  $1.0 \pm 0.56$  ppm 그리고  $1.1 \pm 0.17$  ppm 이었고, 그 외의 기간에는  $1.0$  ppm 이하로 큰 차이를 보이지 않았다. 농촌은 2월과 3월에만  $1.0$  ppm 보다 높게 나타났으나 그 이후에는 월평균이  $1.0$  ppm 이하 이었으며, 특히 7, 8, 9월에는 거의  $0.2$  ppm 이하로(Fig. 2) 월별 차이가 상당히 컸다( $F_{10} = 3.8278$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 4).

(d)  $Ca^{++}$ ; 도시지역이  $5.3 \pm 3.95$  ppm, 농촌지역이  $3.4 \pm 2.58$  ppm 이었다(Table 3). 지역별로는 3월에 도시지역이  $6.3 \pm 0.76$  ppm, 농촌지역이  $8.0 \pm 0.73$  ppm 으로 유의한 차이를 보였으나( $p < 0.05$ ), 그 이후 7월을 제외하고는 도시지역이 증가된 경향을 보이고 있으며 특히 5, 6, 10, 11월에 도시지역이 월평균  $6.5$  ppm 이상이었고, 농촌지역은 월평균  $5.0$  ppm 이하로(Fig. 2) 두 지역간에 매우 유의한 차이를 보였다( $F_{10} = 12.1250$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 4). 월별로 보면 도시지역이 5, 6, 10, 11월이 7, 8, 9월 보다 월평균이 약  $5$  ppm 이상 높았고, 농촌지역에서는 2월( $4.7 \pm 2.39$  ppm), 3월( $8.0 \pm 0.73$  ppm), 4월( $3.2 \pm 0.43$  ppm), 6월( $4.8 \pm 3.91$  ppm)과 11월( $4.7 \pm 0.69$  ppm)에 모두 평균이  $4.5$  ppm 이상으로 7월( $1.1 \pm 0.46$  ppm), 8월

( $0.9 \pm 0.30$  ppm)과 9월( $0.9 \pm 0.26$  ppm)보다 약  $3.0$  ppm 이상 높아(Fig. 2) 월별로는 매우 유의한 차이를 나타내었다( $F_{10} = 7.3757$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 4).

(e)  $Mg^{++}$ ; 도시지역이  $0.7 \pm 0.89$  ppm, 농촌지역이  $0.5 \pm 0.83$  ppm 이었다(Table 3). 도시지역이 2월에  $2.0 \pm 1.60$  ppm, 농촌지역이  $2.3 \pm 1.85$  ppm 으로 약간 높았으며, 3월(도시가  $1.7 \pm 1.42$  ppm, 농촌이  $0.5 \pm 0.10$  ppm) 이후 부터는 도시지역이 약간 높아 4월과 9월에 유의한 차이가 인정되었으나( $p < 0.05$ ) (Table 3), 두 지역 모두 평균이  $1$  ppm 이하로(Fig. 2) 지역간에 유의한 차이는 없었다( $F_{10} = 3.4748$ ) (Table 4).

월별로 보면 두 지역 모두 2월에  $2.0 \pm 1.60$  ppm,  $2.3 \pm 1.85$  ppm 그리고 3월에는 도시지역만  $1.7 \pm 1.42$  이었으며, 그 이후에는 월평균이  $1.0$  ppm 이하였다. 특히 7, 8, 9월에는 두 지역 모두 최저  $0.1$  ppm 에서 부터 최고  $0.4$  ppm 사이로(Table 3) 월별 차이는 상당히 컸다( $F_{10} = 6.8356$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 4).

## 2) 음이온 농도( $Cl^-$ , $NO_3^-$ , $SO_4^{--}$ , $F^-$ , $NO_3^-$ , $Br^-$ , $PO_4^{--}$ )

(a)  $Cl^-$ ; 도시지역이  $2.0 \pm 1.31$  ppm, 농촌지역이  $1.9 \pm 2.39$  ppm 이었다(Table 3).

지역별로 보면 2월에 도시지역이  $2.5 \pm 1.86$  ppm, 농촌지역이  $7.1 \pm 3.85$  ppm 으로 농촌지역에서 높은 경향을 보여 매우 유의한 차이가 있었다( $p < 0.01$ ) (Table 3). 그리고 4월에 도시가  $1.7 \pm 0.35$  ppm, 농촌이  $0.9 \pm 0.41$  ppm, 6월에 도시가  $1.9 \pm 0.41$  ppm, 농촌이  $0.9 \pm 0.64$  ppm 으로 유의한 차이를( $p < 0.05$ ) 나타내었으나 최고  $2.4$  ppm 으로 낮은 농도였다. 10월(도시지역  $2.0 \pm 0.49$  ppm, 농촌지역  $1.1 \pm 0.2$  ppm) 이후에 다시 증가하여 11월에는 두 지역 모두 월평균이  $4.3$  ppm(Fig. 2)으로 두 지역간의 유의한 차이는 없었다( $F_{10} = 0.0739$ ) (Table 4). 월별로는 두 지역 모두 2월에 증가된 상태에서 점차 감소하였다가 10월 이후에 다시 증가하는 경향을 보였으며 특히 농촌에서는 4월부터 9월까지 월평균  $1.0$  ppm 이하로서(Fig. 2) 2월과 3월, 10월과 11월과는 매우 유의한 차이를 나타내었다( $F_{10} = 9.6749$ ,  $p < 0.01$ ) (Table 4).

(b)  $NO_3^-$ ; 도시지역이  $4.0 \pm 2.35$  ppm, 농촌지역이  $2.7 \pm 1.31$  ppm 이었다(Table 3).

2월에 도시지역의  $0.6 \pm 0.56$  ppm 보다 농촌지역이  $1.4 \pm 0.85$  ppm 으로 약간 증가되었으나 유의한 차이는 없었으며 3월(도시가  $2.8 \pm 0.79$  ppm, 농촌이  $1.8 \pm 1.27$  ppm) 이후 부터는 도시지역이 농촌지역보다 높아

5월과 8월에  $7.0 \pm 3.53$  ppm 과  $7.5 \pm 3.89$  ppm 으로 농촌의  $5.0 \pm 4.85$  ppm 과  $3.9 \pm 2.32$  ppm 보다 약 2.0과 3.5 ppm 증가되었으며, 8월 이후에는 적어도 월평균 1.0 ppm 이상 높아(Fig. 2) 9월과 11월에는 두 지역간에 유의한 차이가 있었고( $p < 0.05$ ), 전체적으로도 유의한 차이가 있었다( $F_{10} = 7.0509$ ,  $p < 0.05$ )(Table 4).

한편 월별로 보면 5, 6, 10, 11월에 두 지역 모두(도시지역이  $7.0 \pm 3.53$  ppm,  $7.5 \pm 3.89$  ppm,  $4.6 \pm 3.26$  ppm 과  $7.8 \pm 1.01$  ppm 이고 농촌지역이 각각  $5.0 \pm 4.85$  ppm,  $3.9 \pm 2.32$  ppm,  $4.1 \pm 3.26$  ppm 과  $5.6 \pm 0.92$  ppm) 다른 달에 비해 약 3.0 ppm 이상 높아(Fig. 2) 월별 간에는 매우 유의한 차이가 있었다( $F_{10} = 7.9966$ ,  $p < 0.01$ )(Table 4).

(c)  $SO_4^{2-}$ ; 도시지역이  $16.9 \pm 17.4$  ppm, 농촌지역이  $6.8 \pm 8.00$  ppm 이었다(Table 3). 도시지역이 2월과 3월에 각각  $31.0 \pm 10.73$  ppm 과  $50.6 \pm 32.03$  ppm 으로 농촌의  $23.0 \pm 12.1$  ppm,  $10.0 \pm 6.40$  ppm 보다 상당히 높아 3월에는 유의한 차이를 나타냈으며( $p < 0.05$ ), 4월(도시지역이  $6.0 \pm 4.03$  ppm, 농촌지역이  $4.0 \pm 2.32$  ppm)과 7월(도시지역이  $4.0 \pm 0.78$  ppm, 농촌지역이  $2.5 \pm 1.56$  ppm) 이후에 8월부터 11월까지 적어도 약 4~5 ppm 이상의 유의한 차이( $p < 0.05$ )를 보였고(Fig. 2), 전체적으로도 두 지역간에 매우 유의한 차이를 나타내었다( $F_{10} = 24.2281$ ,  $p < 0.01$ )(Table 4). 월별로 보면 도시지역에서는 2월과 3월에 높게 나타났으나 4월에 급격히 감소하였다가 6월( $17.6 \pm 5.48$  ppm), 10월( $17.5 \pm 8.46$  ppm)과 11월( $21.2 \pm 4.43$  ppm)에 증가하는 경향을 보였다. 농촌지역에서도 2월 이후 부터는 감소하여 월평균이 10.0 ppm 이하로 지속되었으나, 도시지역에서와 마찬가지로 6월과 10월 이후에 증가하는 경향을 보였다. 한편 7, 8, 9월에는 도시지역이 약 5.5 ppm 이하, 농촌지역이 2.5 ppm 이하로 일정한 수준을 보였으나(Fig. 2), 월별로 매우 유의한 차이를 나타내었다( $F_{10} = 9.2272$ ,  $p < 0.01$ )(Table 4).

(d)  $F^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $Br^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ;  $F^-$ 는 도시지역에서 2월 말에 0.3 ppm 과 0.5 ppm, 10월 말에 0.1과 0.5 ppm, 그리고 11월에  $0.2 \pm 0.15$  ppm 이 측정되었고 그 외의 기간 동안에는 측정되지 않았다. 농촌에서는 2월 초에 0.1 ppm 과 0.5 ppm 이 측정되었고 그 이후로는 전혀 검출되지 않았다.  $NO_2^-$ 와  $PO_4^{3-}$ 는 두 지역에서 모두 검출되지 않았다. 그리고  $Br^-$ 은 도시지역에서 2월에  $0.9 \pm 0.54$  ppm 검출되고 3월 초에 0.8 ppm 과 1.4 ppm 이 측정되었으나, 그 이후에는 측정되지 않았고 농촌지역에서는 전혀 측정되지 않았다.

## IV. 고 찰

### 1. 강하분진량

도시지역(서울 흑석동)에서의 연평균 강하분진량은  $8.03 \pm 5.09$  tons/km<sup>2</sup>/month 이고, 농촌지역(경기도 안성)이  $6.20 \pm 3.69$  tons/km<sup>2</sup>/month 로서 도시가 농촌보다 다소 높은 경향을 보였으나 유의한 차이는 아니었다. 이 성적을 서울 주택지역을 대상으로 한 이광목·백남원(1969)<sup>5)</sup>의 성적  $8.79 \sim 12.45$  tons/km<sup>2</sup>/month 보다는 약간 낮으며 김효상(1973)<sup>9)</sup>의 성적  $20.1 \pm 9.3$  tons/km<sup>2</sup>/month, 그리고 차철환등(1971)<sup>6)</sup>의 서울 주택지구에서  $15.39$  tons/km<sup>2</sup>/month, 부산 주택지구의  $18.19$  tons/km<sup>2</sup>/month, 대구 주택지구의  $13.55$  tons/km<sup>2</sup>/month 보다는 매우 낮은 성적을 보였다( $p < 0.01$ ).

강하분진량은 측정장소와 측정지점의 기상조건, 교통량 및 도로의 포장도등 여러가지 조건에 따라 좌우될 수 있는 것으로, 본 성적이 위의 성적보다 낮게 나타난 것은 그 당시보다 도로 포장면적이 늘고, 측정지역이 대학교로 차량소통이 다른 곳에 비해 적은 것에 기인하는 것으로 여겨진다. 월별 강하분진량을 보면 두 지역 모두 8월에 도시지역에서  $3.96 \pm 1.30$  tons/km<sup>2</sup>/month, 농촌지역에서  $2.30 \pm 2.03$  tons/km<sup>2</sup>/month 으로 가장 낮은 성적을 보였는데, 이것은 같은 기간의 정요안(1972)<sup>4)</sup>의 성적  $13.67$  tons/km<sup>2</sup>/month, 차철환등(1971)<sup>6)</sup>이 발표한 서울의  $12.45$  tons/km<sup>2</sup>/month, 부산의  $20.40$  tons/km<sup>2</sup>/month 그리고 대구의  $13.82$  tons/km<sup>2</sup>/month 보다 매우 낮았다. 그리고 농촌지역에서 여름철(7, 8월)에 각각  $3.0 \pm 0.62$  tons/km<sup>2</sup>/month,  $2.3 \pm 2.03$  tons/km<sup>2</sup>/month 로서 다른 달에 비해 낮은 성적을 보이는 것은 강우량이 다른 달에 비해 많은 것에 연유하는 것으로 생각된다. 도시지역은 8월에  $3.96 \pm 1.30$  tons/km<sup>2</sup>/month 로 낮은 성적을 보였는데, 이는 농촌지역과는 달리 강우량보다는 주로 교통량의 감소에 기인하는 것으로 여겨진다. 또한 도시지역에서 2월( $18.7$  tons/km<sup>2</sup>/month), 3월( $10.2$  tons/km<sup>2</sup>/month)과 4월( $11.4$  tons/km<sup>2</sup>/month)에 특히 강하분진량이 높은 것은 강우량이 2월과 3월에 다른 달에 비해 적고 또한 이 기간에 난방을 위한 연료증가와도 관계가 있으리라 생각된다. 4월에는 계절적인 영향 즉 풍향과도 관계가 있으리라 여겨지나, 연료소비량과 풍향등에 관한 조사가 추후 이루어져야

할 것으로 사료된다.

도시지역과 농촌지역 간의 강하분진량의 유의한 차이( $F_{1,4}=4.2403$ ,  $p<0.05$ )를 보이는 것은 강우량과 도로포장도에 의한 차이 보다는 교통량의 지역간 차이가 주된 원인이라고 생각된다.

## 2. pH와 이온농도

British Standard Deposit Gauge 법을 이용하여 연은 수용액의 이온 분석에 대한 실험은 거의 찾아보기 어려운 실정이다<sup>13)</sup>.

$\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  이온들은 도시와 농촌 두 지역에서 모두 검출되지 않았으며,  $\text{F}^-$ 는 낮은 농도(ppb 수준)에서도 식물의 성장에 해를 주는 물질로<sup>11)</sup>, 도시지역에서는 2월, 10월과 11월에 농촌지역에서는 2월초에서만 0.1~0.5 ppm이 검출되며, 도시지역에서 3월 부터 9월까지, 농촌지역에서는 3월 이후 전혀 검출되지 않았다. 이것은 이병갑, 김형석<sup>10)</sup>의 1971년도 4월부터 8월사이 에 측정된 불화물의 농도가 주택지역에서 0~25.2 ppb로서 본 실험의 2월과 3월의 측정치의 4배 이상 높은 농도를 나타낸 것은 조사지역이 주택지역임을 감안할 때 연료소비량의 증가와 관계가 있을 것으로 생각된다.

그리고 대부분의 이온들은( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ 와  $\text{F}^-$ 는 제외) 여과액의 양이 많아짐에 따라 감소하는 경향을 보이는 것은(Fig. 2), 강우량이 많아짐에 따라 오염물질이 비에 씻겨 희석되어 짐을 의미하는 것으로 생각된다.

두 지역간의 차이를 보기 위하여 반복측정에 의한 분산분석법을 시행하였던 결과, 차이를 보이는 이온들은  $\text{NH}_4^+$ ( $p<0.01$ ),  $\text{Ca}^{++}$ ( $p<0.01$ ),  $\text{NO}_3^-$ ( $p<0.05$ )와  $\text{SO}_4^{--}$ ( $p<0.01$ )인데, 이들 중  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ 는 대기오염(자동차 배기가스등)과 밀접한 관계가 있는 음이온들로서<sup>8,13)</sup>, 두지역간의 오염정도의 차이를 대변해 주는 것으로 사료된다. 즉  $\text{SO}_2$ 는 대기중에서 수분과 산소와 반응하여 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )를 형성하며, 이것은 암모니아 또는  $\text{NaCl}$ 과 반응하여 황산염( $\text{XSO}_4$ )를 형성한다. 그리고  $\text{NaCl}$ 과 황산이 반응할 때 염산( $\text{HCl}$ )이 생긴다. 생성된 황산암모니아( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ )가 가수분해되면서  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{SO}_4^{--}$ 가 생성되고, 다시  $\text{NH}_4^+$ 는  $\text{NH}_3$ 와  $\text{H}^+$ 로 분해된다(이 반응은 가역적이다)<sup>12)</sup>. 그리고  $\text{NO}_2$ 는 오존과 결합하여  $\text{NO}_3$ 가 되며,  $\text{NO}_3$ 가  $\text{NO}_2$ 와 반응하여  $2\text{NO}_2$ 를 형성하고, 여기에 수분과 산소가 반응하여  $\text{HNO}_3$ 가 생성된다. 생성된 황산, 염산, 수소는 온과 질산등이 비를 산성화시키는 원인이 된다는 것이

알려져 있다<sup>12,13)</sup>. 이러한 관점에서 볼 때 도시지역에서 2월과 3월에 pH가 5.0이하일 때  $\text{SO}_4^{--}$ 와  $\text{NH}_4^+$ 가 다른 기간보다 월등히 많이 검출되는 것으로 보아 이러한 사실과 잘 부합되는 것으로 사료된다.

그리고 두 지역간에 차이가 있는 이온들을 월별로 비교하였을 때  $\text{SO}_4^{--}$ 가 도시지역에서 전반적으로 높았지만, 8월, 9월, 10월 및 11월에 통계적으로 유의한 차이를 보여 가을철에 차이가 났다. 이러한 사실은 강우량과 관계가 있을 것으로 생각되는데, 즉 8월에는 도시지역이 농촌지역보다 강우량이 매우 적은( $p<0.01$ ) 것에 기인하며, 가을에(9월, 10월 및 11월)에는 두 지역간에 강우량의 차이가 거의 없지만, 가을이 여름보다 강우량이 적어 도시에서  $\text{SO}_4^{--}$ 가 비에 씻겨 내려가는 양이 상대적으로 적어지기 때문이라고 생각된다.

또한 pH에 있어서도 도시지역과 농촌지역간에 2월과 3월에 도시지역에서 pH가 5.0이하로 낮아 매우 유의한 차이가 있었으며( $p<0.01$ ), 4월에는 유의한 차이가 있어( $p<0.05$ ) (Table 1), 봄철에 두 지역간에 차이가 있었다. 이러한 원인은 산성비와 관련이 있는  $\text{SO}_4^{--}$ 가 도시지역에서 전반적으로 높은 것에 기인한다고 여겨진다. 즉 연료소비량이 도시지역이 더 많을 것이며, 반면에 강우량은 여름보다 적어  $\text{SO}_4^{--}$ 가 비에 씻겨 내려가는 양이 적은 것으로 생각된다.

## V. 결 론

1983년 2월 1일부터 1983년 11월 30일까지 10개월 동안 도시지역(서울 동작구 흑석동 중앙대학교 의과대학)과 농촌지역(경기도 안성 중앙대학교 제2캠퍼스)에서 강하분진량의 측정과 수용액중의 이온 분석을 매달 15일과 말일에 시행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 강하분진량은 도시지역에서 조사 기간동안 평균  $8.03 \pm 5.09$  tons/km<sup>2</sup>/month,이며 농촌지역에서는  $6.20 \pm 3.69$  tons/km<sup>2</sup>/month이었다. 수용액의 pH는 도시지역에서 평균  $5.33 \pm 0.76$ 이었으며, 농촌지역에서는 평균  $5.99 \pm 0.82$ 이었다.

2) 여과액의 1가 양이온 중  $\text{Na}^+$ 은 도시에서  $1.7 \pm 1.30$  ppm, 농촌에서  $1.9 \pm 1.86$  ppm이었으며,  $\text{K}^+$ 은 도시에서  $0.7 \pm 0.47$  ppm, 농촌에서  $1.5 \pm 3.79$  ppm으로 변이가 컸으며, 그리고  $\text{NH}_4^+$ 는 도시에서  $2.4 \pm 1.60$  ppm, 농촌에서  $1.3 \pm 1.59$  ppm이었다. 2가 양이온( $\text{Ca}^{++}$ 과  $\text{Mg}^{++}$ )중  $\text{Ca}^{++}$ 이 도시에서  $5.3 \pm 3.95$  ppm, 농촌에서  $3.4 \pm 2.58$  ppm이었으며,  $\text{Mg}^{++}$ 은 도시가

0.7±0.89 ppm, 농촌이 0.5±0.83 ppm 이었다. 음이온 중 PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 두 지역에서 모두 검출되지 않았으며, F<sup>-</sup>는 2월, 10월과 11월에 도시지역에서 0.1~0.5 ppm 검출되었다. Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>는 도시에서 각각 2.0±1.31 ppm, 4.0±2.35 ppm 과 16.7±17.4 ppm 이었으며, 농촌에서는 각각 1.9±2.39 ppm, 2.7±1.31 ppm 그리고 6.8±8.0 ppm 이었다.

3) 강하분진량과 여과액의 pH 및 이온들의 두 지역간의 차이와 월별간의 차이를 보기 위해 이월배치법에 의한 분산분석하였던 바, F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>와 PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>를 제외한 모든 양이온과 음이온, 강하분진량과 수용액의 pH는 월별간에 매우 유의한 차이를 나타내었다(p<0.01).

두 지역간에는 강하분진량에서 유의한 차이를(p<0.05), 그리고 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>만이 매우 유의한 차이를 나타내었다(p<0.01).

4) SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>는 가을에(8월, 9월, 10월, 11월) 두 지역간에 유의한 차이를 보였으며(p<0.05), pH는 봄(2월, 3월과 4월)에 매우 유의한 차이를 보였다(p<0.01).

### 참 고 문 헌

- 1) 日本藥學會編：衛生試驗法・注解. 金原出版株式會社, 東京, 1004-1006, 1980.
- 2) 정보영 : 서울시 대기오염에 관한 조사 연구. 공중보건잡지, 7(1):378-384, 1970.
- 3) 김효상 : 서울시 대기오염에 대한 기후요소별 조사

- 연구. 공중보건잡지, 10(1):39-48, 1973.
- 4) 정요한, 김길웅, 문제균, 주홍규 : 공해에 관한 조사연구(광주시의 대기오염 및 소음에 관한 조사연구). 예방의학회지, 5(1):1-7, 1972.
- 5) 이광목, 백남원 : 서울시의 대기오염에 관한 조사연구. 예방의학회지, 2(1):93, 1969.
- 6) 차철환, 신영수, 이영일, 조광수, 주종유, 김교성, 최덕일 : 공해에 관한 조사연구(제일편 : 서울, 부산, 대구 지역의 대기오염 및 소음에 관한 비교 조사 연구). 예방의학회지, 4(1):41-64, 1971.
- 7) Dionex: *Ion chromatography systems (Application note 11: Analysis of Industrial Wastestreams)*, Dionex Corp., Sunnyvale, 1981.
- 8) Dionex: *Ion chromatography systems (Application note 31: Determination of Anions in Acid Rain)*, Dionex Corp., Sunnyvale, 1981.
- 9) 정영진 : 근대통계학의 이론과 실제. 보신자, 서울 5판, 1983.
- 10) 이병갑, 김형석 : 대기오염물 중 불화물에 관한 연구. 예방의학회지, 4(1):31-34, 1971.
- 11) K. Barker et al.: *Air Pollution*. WHO, Geneva, 141, 1961.
- 12) J.W. Moore and E.A. Moore: *Environmental Chemistry*. Academic Press, New York, 206, 230, 1976.
- 13) G.E. Likens and F.H. Bormann: *Acid Rain: A serious regional environmental problem*. Science 184, 1176-1179, 1974.