

# 서울시의 산성물질 강하현상에 관한 연구

## Studies on Acid Precipitation in Seoul

孫 東 憲 · 梁 聖 七

中央大學校 藥大

D.H. Son · S.CH. Yang

College of Pharmacy, Chungang University, Seoul, Korea

### ABSTRACT

In order to investigate the Phenomenon of Acid Precipitation, pH value and Anions of Fluoride, chloride, nitrite, phosphate, bromide, nitrate and sulfate were measured from the acid precipitations sampled around 7 districts over Seoul area during period of 9 months from January till September, in 1985.

From the distribution of pH value gathered, acid precipitations were noticed during period from January till April, and from as of April 22nd, situation gradually recovered. The average pH value till April showed comparatively low, ranging 4.0-5.0. The pH value of 4.5-5.6 in average over whole year reaches to similar level of those in Japan.

Anion analysis revealed that the main factor of pH value in Seoul district attribute mainly to the sulfate ion and nitrate ion. Moreover, these Phenomena of acid precipitation in Seoul area appeared to concentrate on certain districts, and they are slowly moving toward other directions due to such factors as wind-velocity and directions.

### 1. 서 론

산성강하물이라 함은 pH 5.6 이하인 경우, 강설 등 대기중 강하물질을 총칭하는 것으로 정상적으로는 이상적인 상태에서 CO<sub>2</sub>를 포화 pH가 5.6 전후의 비가 되어 내리지만 석탄·석유 등의 연료연소시 발생하는 CO<sub>2</sub>, NO 및 토양의 H<sub>2</sub>S, 유기물의 분해로부터 유기산의 방출, 공장 및 자동차 배기가스에서 발생하는 NO<sub>x</sub> 등의 오염물질로 인해 pH 저하를 일으킨다.

이같이 산성비의 주원인은 화석연료의 연소<sup>1)</sup>에 의한 sulfur 및 nitrogen의 방출로 기인하며 더욱 중요한 사실은 이들 성분중 유황의 대기중 평균체류시간은 2~3 일로서 1,000 km 범위의 장거리이동<sup>2)</sup>을 통해 피해지역을 광역화 시킨다는 것이다. 이처럼 피해지역이 오염지역이 아닌 비오염지역에 나타나고 있어 OECD제국 및 미국, 캐나다 등 주변국과의 공동연구<sup>3)</sup>가 활발히 진행되고 있다.

이 산성화 현상에 의한 피해<sup>4-5)</sup>는 주로 호수나 하천을 산성화시켜<sup>6-7)</sup> 수생태계의 사멸<sup>8-10)</sup> 및 토양의

산성화로 농작물 및 삼림의 황폐<sup>11-12)</sup>, 수확량 감소를 일으키고<sup>13)</sup> 식조전축물, 동상 등 문화재파괴는 물론 피부발적 및 눈자극 등 인체에 직접적인 피해<sup>3)</sup>도 보고된 바 있다. 이같이 인간활동에 중요한 영향을 미치고 있는 산성비의 종합적인 성상<sup>14-22)</sup>을 파악코져 서울지역을 대상으로 7개 지점을 선정 85년 1월부터 9월 30일까지 9개월간 시료를 채취 pH 및 전기전도도, 음이온분석을 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료 및 기기

(1) 음이온 분석용 장치<sup>23-28)</sup>

- ① Ion chromatography-Dionex社 Model 2011i
  - ② Anion suppressor column : AFS  
Anion seperator column : HPIC-AS<sub>4</sub>
- (2) pH 및 전기전도도 측정기 -Horiba-U7

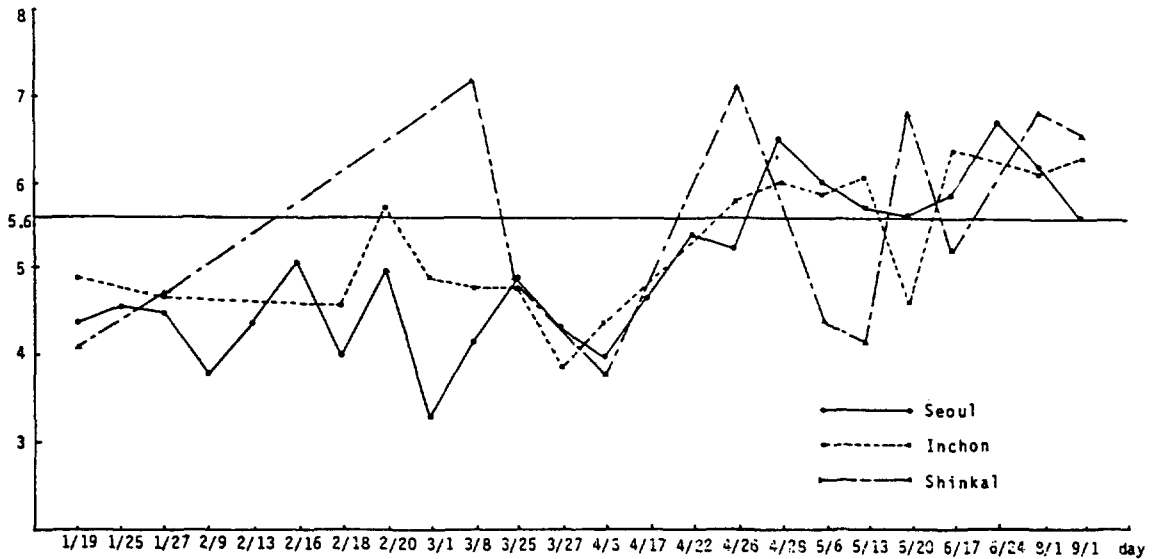
### 2.2 조사방법

#### 2.2.1 실험 I

조사기간은 1985년 1월부터 9월까지, 1월부터 6월말까지 6개월은 매강우시마다 7월~9월까지 3개월은 1개월간 전강우를 채취하였고 이중 1월부터 3월 8일까지는 눈(雪)을 그 이후는 비(雨)인 상태로 채취하였다.

〈표 1〉 pH distribution in each sampling site

	(Jan. 19-Oct. 1. 1985)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I (pH)
85. 1 / 19				4.3		4.5		4.1	4.9
1 / 25		4.5	4.7						
1 / 27	4.0	4.4	4.7	3.9		5.4	4.4	4.8	4.7
2 / 9		3.4	4.3		3.6				
2 / 13			4.4		4.4				
2 / 16			6.0		4.3				
2 / 18	3.4	3.6		3.4	5.3	4.0	4.5		4.6
2 / 20	5.3	4.0			5.4	5.4			5.7
3 / 1					3.9		3.7		4.9
3 / 8	4.3	3.7	5.8	3.9	3.9		3.5	7.2	4.8
3 / 25	4.1	4.1	5.6	3.9	5.7 / 4.7	5.6	5.3	4.9	4.8
3 / 27	4.2	3.8				4.9	4.1		3.9
4 / 3	3.6	3.5	4.7	3.5	4.2	4.1	4.5	3.8	4.4
4 / 17	4.8	5.1	4.3	4.8	4.6				
4 / 22	5.8		6.7	4.9	4.2				
4 / 26	4.4	5.8	6.4	5.8	4.8		4.3	7.2	5.8
4 / 28			4.9				6.5		6.0
5 / 6	5.1	5.1	4.9	5.6	5.8	9.4	6.2	3.9	5.9
5 / 13	5.7	5.6	5.3	5.5	5.6	6.6	5.7	4.2	6.1
5 / 20	4.5	4.2	6.0	6.0	6.6	6.9	5.1	6.8	4.6
6 / 17		5.3		6.4				5.2	6.4
6 / 24	6.6	6.4	6.1	7.2	6.9	6.9	7.0		
8 / 1	6.1	6.2	6.3	6.4	6.3	6.2	6.0	6.8	6.1
9 / 1	5.3	4.2	5.6	5.8	5.8	6.8		6.6	5.8
10 / 1	6.5			6.5	6.6	7.0	6.3		7.2



〈그림 1〉 Comparison of average pH in Seoul, Incheon, Shinkal

조사지점의 선택은 서울시청을 중심으로 5 km 반경내에서 관훈동(A), 신촌(D) 2개 지점을 5 ~ 10 km 반경내 안암동(B), 녹번동(C), 영동(F), 흑석동(G), 10 ~ 15 km 반경내 신림동(E), 이상 7개 지점과 대조군으로 인천과 신갈 2개 지점을 선택하였다.

### 2.2.2 실험 II

조사기간은 3월 25일부터 5월 13일까지 약 3개월간 서울의 중 56개 지점과 경기·인천 10개 지점 등 총 66개 지점에 대해 pH와 전기전도도를 측정 분석하였다.

### 2.2.3 실험 III

3월 29일부터 7월 29일까지 매월 5회에 걸쳐 11개 지점의 시료에 대해 7개 시료는 밀폐된 상태에서, 4개 시료는 개봉된 상태에서 pH와 전기전도도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 매강우별 pH분석

조사기간중 채취한 강하물의 pH 측정결과는 〈표 1〉에 표시하였고 이들을 실험군인 서울지역과 대조군인 인천, 신갈지역의 pH 변화곡선을 〈그림 1〉에 표시하였다. 〈그림 1〉에서 관찰할 수 있듯이 서울지역의 pH

는 1월 19일부터 4월 17일까지는 상당히 낮은 pH를 유지하다가 4월 22일 이후 점차 증가하는 현상을 보였으며 이때 4월 19일까지 평균 pH는 4.4로서 비교적 강한 산성물질 강하현상이 나타났으며 특히 2월 9일과 3월 1일은 pH 3.8로서 가장 pH가 낮은 기록을 보였다. 이를 지역별로 pH분포를 분석해 보면 〈표 2〉에서와 같이 4월까지 평균 pH 4.0에서 5.0으로서 상당히 낮은 pH를 나타냈고 이같은 결과를 일본의 경우 1982년 가을 5개시에서 조사<sup>29)</sup>한 결과 八戶市가 pH 5.4이고 기타 지역으로 横浜, 奈良, 神戸,

〈표 2〉 pH data in each sampling site

	(Jan. 19 - Oct. 1, 1985)		(pH)
	Jan. 19 - Apr. 17	Apr. 22 - Sep. 1	Average pH
Kwanhoon-dong	4.2	5.4	4.8
Anam-dong	4.0	5.4	4.6
Nokbeon-dong	5.0	5.7	5.3
Shinchon	4.0	6.0	4.8
Sillim-dong	4.5	5.8	5.1
Yeongdong	4.8	6.9	5.6
Heuksok-dong	4.3	5.8	5.1
Shinkal	5.0	5.8	5.5
Inchon	4.7	5.8	5.3

〈표 3〉 Average pH during 10 month and each Anion concentration

	pH	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Kwanhoon dong	4.8	0.43	1.71	0.008	2.96	56.54
Anamdong	4.6	0.44	2.12	0.112	4.17	44.19
Nokbeon dong	5.3	0.49	1.26	-	3.91	31.73
Shinchon	4.8	0.59	1.30	0.06	2.77	52.7
Sillim dong	5.1	0.26	1.54	0.13	2.80	23.27
Yeongdong	5.6	0.23	1.53	0.01	1.69	47.66
Heuksok dong	5.1	0.57	1.73	0.009	4.41	54.61
TOTAL (mean)	5.04	0.43	1.599	0.055	3.24	44.39
Shinkal	5.5	0.04	2.98	-	2.99	44.80
Inchon	5.3	1.13	4.03	0.014	3.52	74.45

廣島市가 pH 4.6~4.8로서 서울지역이 좀 낮은 pH로 나타났다.

이상에서 서울지역의 강하현상이 겨울에서 봄사이 특히 눈이 내릴 때 집중적으로 산성물질이 강하하고 있으며 4월 후반기 이후 점차 회복되고 있다. 또한 서울지역의 pH분포도를 대조군인 인천지역과 비교해 본 결과 〈그림 1〉에서 알 수 있듯이 거의 비슷한 ( $r = 0.7812$ ) pH분포가 형성된 것으로 보아 인천도 서울지역과 거의 같은 현상을 나타내고 있는 것으로 보인다. 한편 경인지역이 1월부터 4월 사이에 산성강하물이 내리는 현상은 이 지역에 공장이 많이 위치하여 이곳에서의 SO<sub>2</sub> 방출량에도 기인하지만 그보다는 주거지역이 밀집되어 있어 동절기에 난방시설의 집중가동과 연탄 등의 사용으로 pH 저하를 나타낸다고 생각되어진다.

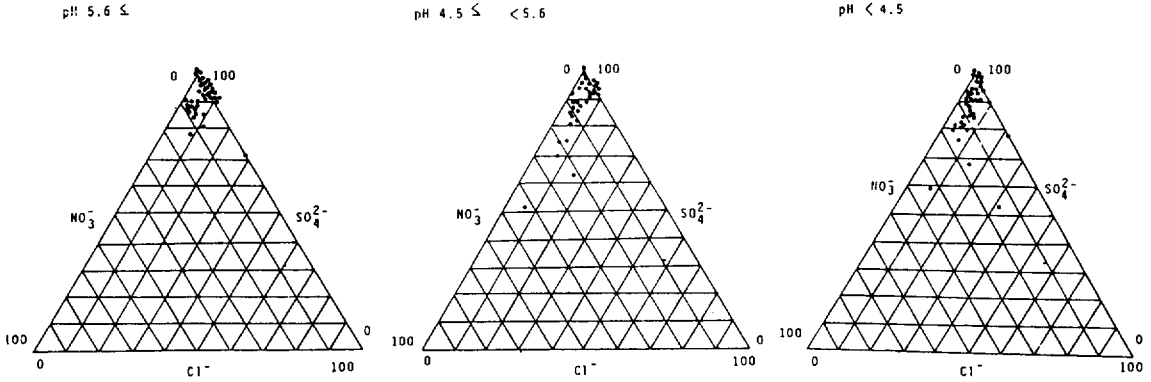
### 3.2 9개월 평균 pH 및 각 이온농도 분석

9개월 평균 pH와 각 이온농도의 평균치는 〈표 3〉에 표시하였다. 이때 관훈동, 안암동, 신촌지역이 전체적으로 낮은 pH를 나타냈으며 서울지역 평균이온농도가 F<sup>-</sup>: 0.43, Cl<sup>-</sup>: 1.599, Br<sup>-</sup>: 0.055, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 3.24, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 44.39 ppm을 기록하였다. 반면 인천의 경우 F<sup>-</sup>: 1.13, Cl<sup>-</sup>: 4.03, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 74.45 ppm으로 다른 지역에 비해 높은 것은 Cl<sup>-</sup>의 경우 해풍의 영향으로 바다염의 chloride가 이 지역에 영향을 미치고 있으며 F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 많은 것은 인천지역에 공장이 밀집되어 있어 이 지역에서 SO<sub>2</sub> 방출량이 많은 관계인 것으로 생각되어진다. 또한 F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온이 타

지역에 비해 높은 수치를 나타냄에도 불구하고 pH가 높은 것을 볼 때 음이온의 양 자체가 pH에 큰 영향을 주지는 않고 양이온인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 이온들과의 평형관계가 pH를 좌우한다고 생각된다.

### 3.3 강우중의 이온분석

강우의 pH분포별 이온분석을 pH 5.6 ≤, pH 4.5 ≤ < 5.6, pH < 4.5인 경우 3가지로 구분 〈그림 2〉에 표시하였다. 이때 pH저하의 주원인인 sulfate, nitrate, chloride 3개 이온의 점유율을 비교코져 각각 이온의 점유백분율로 나타냈다. pH 5.6 ≤인 정상적인 비가 내릴 때는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 이온의 점유율이 90% 이상 차지하고 있으며 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> 이온은 극히 낮은 점유율을 보이고 있다. 또한 pH 4.5 ≤ < 5.6인 약산성비가 내릴 때는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 이온의 점유율이 상당히 많아졌으며 pH 5.6 ≤인 경우에 비해 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 이온분포가 증가한 결과가 나타났다. pH < 4.5인 산성이 강한 비가 내린 경우로서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 Cl<sup>-</sup> 이온이 거의 같은 비율로 분포되어 있고 이상 두 경우에서 보다 상당히 많은 양이 증가했음을 알 수 있다. 이는 서울지역 강하물의 Anion중 sulfate 이온이 대부분을 차지하고 있으나 pH가 낮아질수록 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> 이온 순으로 강우중 이온성분이 점차 증가함을 알 수 있다. 그러나 서울지역 강우의 음이온중 주 구성원이 sulfate 이온인 것으로 보아 pH 저하가 SO<sub>2</sub> 방출과 밀접한 관계가 있는 것으로 보아진다. 이에 대한 각 이온과 pH와의 상관관계를 〈표 4〉에 표시한 결과 pH와 각 이온성분과는 서로 상관관계없이 구성되어 있음을 알 수 있다.



〈그림 2〉 Anions balance (SO, NO, Cl) of precipitation sampled in Seoul (Jan. 19 - May 6, 1985)

〈표 4〉 Correlation between pH & Anions

pH range			correlation
< 4.5	pH	Cl <sup>-</sup>	r = 0.1774
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	r = 0.1161
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	r = 0.3546
		Anion Total	r = 0.5134
4.5 ≤ < 5.6	pH	Cl <sup>-</sup>	r = 0.0197
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	r = 0.1369
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	r = 0.0948
		Anion Total	r = 0.1074
5.6 ≤	pH	Cl <sup>-</sup>	r = 0.0163
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	r = 0.0100
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	r = 0.0357
		Anion Total	r = 0.6121

구로지역에 약산성 비가, 나머지 지역은 정상적인 비가 내렸다. 이때 강우상태의 특징은 특정지역에 집중적으로 산성비가 내리고 있음을 확인할 수 있었다. 다음 〈그림 4〉의 4월 3일 경우에도 도봉, 성북지역에 산성이 강한 비가, 마포, 영등포, 동작, 관악, 강남, 강동, 동대문지역에 약산성 비가 내렸으며 4월 26일에는 영등포, 구로, 관악지역이 산성이 강한 비가 내렸다. 그러나 5월 6일 이후 점차 회복되어 〈그림 7〉에서와 같이 5월 13일의 경우에는 전혀 산성 비가 내리지 않았다.

이상에서 알 수 있듯이 산성 비 현상은 특정지역에서 집중적으로 강하하고 있으며 또한 점차 다른 지역으로 이동되고 있는 것으로 보아 대기오염 물질이 대기의 이동 및 풍속, 풍향 등의 영향을 받아 피해지역이 변화되고 있음을 알 수 있다.

### 3.4 서울지역의 산성 강하현상 분석

서울지역의 pH분포를 집중적으로 살펴 보기 위하여 1985년 3월 25일부터 5월 3일까지 약 3개월간 시내 17개구의 총 56개 지점과 인천, 경기지역 10개, 총 66개 지점에 대해 pH와 전기전도도에 대한 측정결과를 〈표 5〉에 나타냈다. 이를 pH 5.6 ≤ 정상우, pH 5.0 ≤ < 5.6 약산성비, pH < 5.0는 산성이 강한 비로 분류 〈그림 3〉에서 〈그림 7〉까지 매 측정시마다 pH분포도를 작성 표시해 본 결과 3월 25일의 경우 영등포구, 서대문구지역에 pH 5.0 이하의 산성이 강한 비가, 도봉, 동대문, 종로, 마포, 용산, 강서,

### 3.5 pH의 경시변화

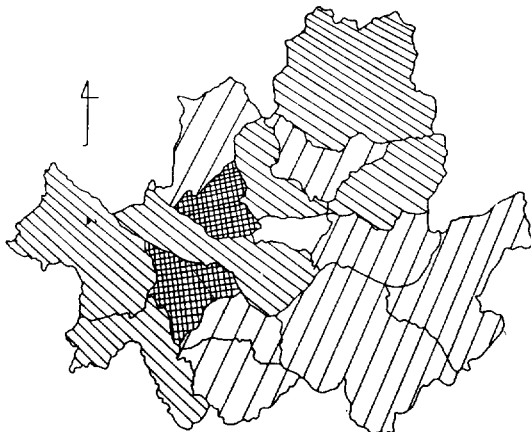
빛이나 온도, 공존염자 등 인자에 의한 우수의 pH 경시 변화를 알아보기 위해 실험실온도 10°~20° C 사이에서 밀폐된 상태하에 7개 시료를 5개월간 매월 pH와 전기전도도를 측정하였고 3개 시료는 개봉상태에서 측정해 본 결과를 〈표 6, 7〉에 나타냈다. 이를 분포도로 작성해 본 결과 〈그림 8〉에서 나타났듯이 밀폐상태에서 pH는 2개월까지는 점차 저하하다가 그 후 상승하였으며 반대로 전기전도도는 〈그림 9〉에서와 같이 2개월까지는 점차 상승하다가 그 후 저하함을 알 수 있었다. 반면 개봉상태에서 측정은 〈그림 10〉과 〈그




<표 5>

Mean pH in accordance the districts in Seoul

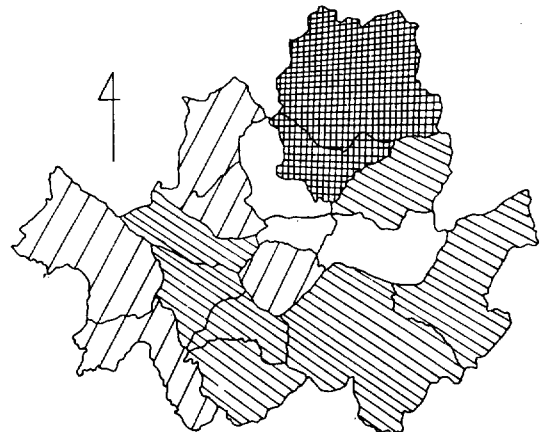
(Mar. 25-May. 13, 1985)




	3 / 25	4 / 3	4 / 19	4 / 26	5 / 6	5 / 13
Kwanak-ku	5.6	5.5		4.9		6.0
Kangnam-ku	6.3	5.1		5.7		6.0
Mapo-ku	5.1	5.3	6.1		5.1	6.7
Yeongdeungpo-ku	4.9	5.4		4.7	6.1	6.3
Kuro-ku	5.5	5.8		4.6	5.2	7.2
Dongjak-ku	5.6	5.5		5.8	5.4	6.6
Jongro-ku	5.4					
Kangdong-ku	5.6	5.4		5.0	5.8	6.7
Yeunpyeng-ku	5.8	5.8	6.5	5.8	5.1	7.4
Dongdaemoon-ku	5.5	5.5		5.4	5.7	5.8
Yongsan-ku	5.4	6.2		6.2	5.6	6.1
Kangseo-ku	5.4	6.2			5.7	6.0
Dobong-ku	5.0	4.2	5.5		6.6	5.8
Seodaemoon-ku	4.9	5.9	4.9	6.5	5.7	6.9
Jong-ku			6.5	5.0		6.3
Seongbook-ku	6.6	4.6			5.6	
Inchon	6.6	4.7				7.5
Kyeongkido	6.1	5.5		5.4	5.5	6.4
pH mean value in Seoul	5.6	5.4	5.9	5.4	5.6	6.5
Total pH mean value	5.6	5.5	5.8	5.3	5.6	6.5



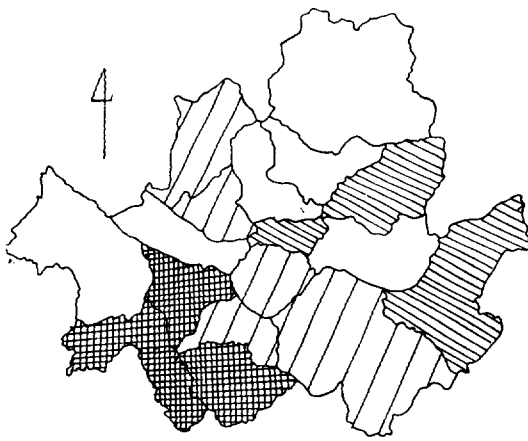
 pH 5.6 ≤    
  pH 5.0 ≤ < 5.6    
  pH > 5.0

<그림 3> pH distribution in Seoul at Mar. 25, 1985

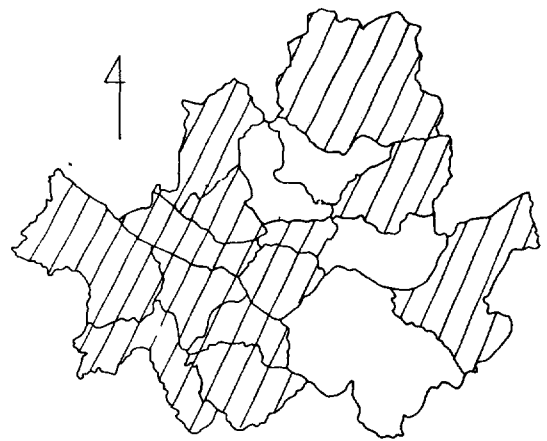


 pH 5.6 ≤    
  pH 5.0 ≤ < 5.6    
  pH > 5.0

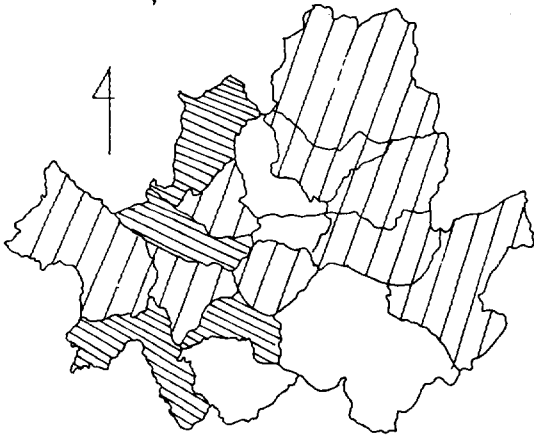
<그림 4> pH distribution in Seoul at Apr. 3, 1985



〈그림 5〉 pH distribution in Seoul at Apr. 26, 1985



〈그림 7〉 pH distribution in Seoul at May. 13, 1985



〈그림 6〉 pH distribution in Seoul at May. 6, 1985

림 11)에서와 같이 pH, 전기전도도가 점차 상승함을 알 수 있다. 이 경우 3개월 이후는 모두 시료가 증발되어 측정할 수 없었다. 이상 두 경우에서 나타났듯이 pH는 시간이 경과함에 따라 변화가 나타나며 점차 상승됨을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

1985년 1월부터 9월 30일까지 9개월간 서울 전 지역에서 산성물질 강하 현상을 파악코져 pH, Anion 등을 분석 조사해 본 결과 다음과 같다.

1) 서울지역의 산성비는 1월부터 4월까지 집중적으로 강하하였으며 이때 서울지역 평균 pH는 4.0 ~ 5.0을 나타냈으며 4월 28일 이후는 점차 회복되어 pH 5.4 ~ 6.9를 나타내어 산성비는 내리지 않

〈표 6〉 Aging test data of pH at tight closing state

	pH / cond				
	3.29	4.29	5.29	6.29	7.29
I850327	3.9	4.0	3.5	4.2	4.9
F850327	4.9	4.6	4.6	4.4	4.7
F850325	5.6	4.9	4.6	5.4	5.8
A850327	4.2	4.3	3.7	4.6	4.9
G850327	4.1	4.4	3.7	4.4	4.7
D850325	3.9	3.7	3.4	3.9	4.1
B850327	3.8	3.7	3.4	4.0	3.9

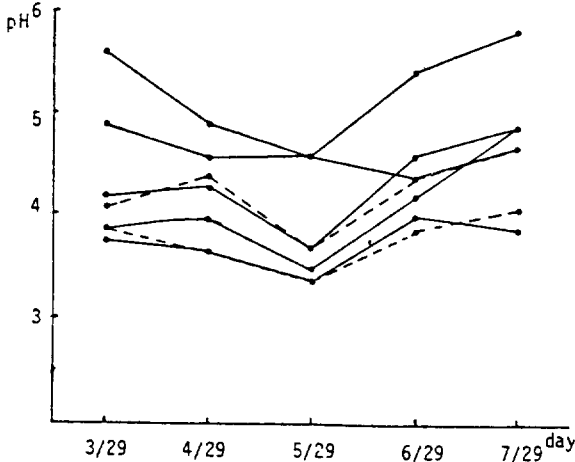
았다.

2) 지역별 pH분석에서 도심 5km 반경내 3개지역 (관훈동, 안암동, 신촌)이 다른 지역에 비해 pH 저하가 두드러졌다. 이때 평균 pH는 관훈동 : 4.8 안암동 : 4.6, 신촌 : 4.8을 기록하였다.

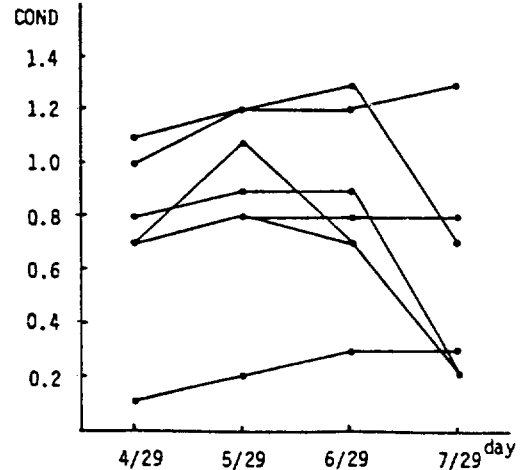
3) 강우의 pH 분포별 3개이온의 바란스를 조사해 본 결과 pH저하의 주원인은 sulfate, nitrate, chloride 이온으로서 특히 서울지역에서는 sulfate 이온의 점유율이 높았으며 pH가 저하될수록 nitrate

〈표 7〉 Aging test data of pH at opened State

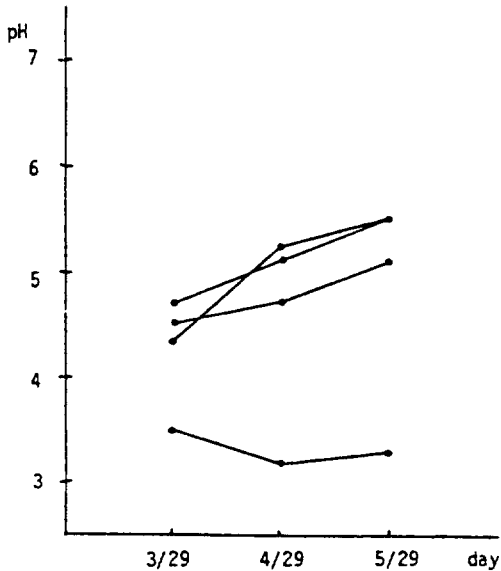
	pH / cond		
	3.29	4.29	4.29
D850403	3.5 / 1.2	3.2 / 1.6	3.3 / 1.9
C850403	4.7 / 0.2	5.1 / 0.2	5.5 / 0.7
G850403	4.5 / 0.1	4.7 / 0.5	5.1 / 1.4
C850418	4.3 / 0.9	5.2 / 0.9	5.5 / 1.8



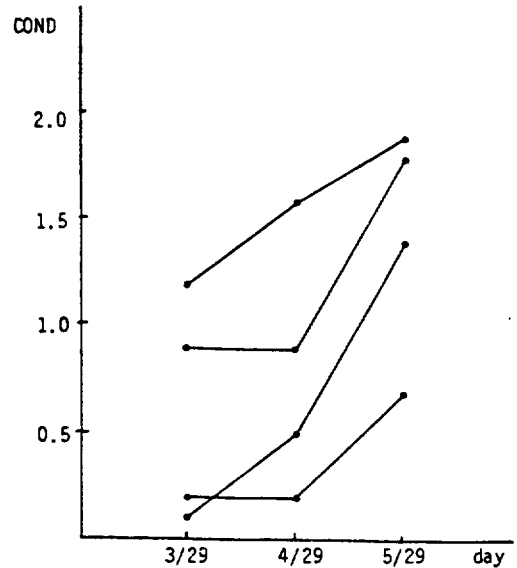
〈그림 8〉 Aging test of pH at tight closing state



〈그림 9〉 Aging test of Conductivity at tight closing state



〈그림 10〉 Aging test of pH at opened state



〈그림 11〉 Aging test of conductivity at opened state



ate, chloride이온의 점유율이 점차 증가했다.

4) 서울지역에서의 음이온 분포를 조사해 본 결과 Fluoride, chloride, bromide, nitrate, sulfate이온은 각각 0.43, 1.599, 0.55, 3.24, 44.39 ppm를 나타냈고 특히 sulfate이온의 경우 일본의 평균농도(2.2~4.3 ppm)에 비해 높은 수치를 나타냈다.

5) pH와 음이온 각 성분과 총이온 농도와의 상관관계를 조사해 본 결과 pH와 음이온과는 서로 상관관계가 없었다.

6) 서울지역의 산성물질 강하현상은 특정지역에 집중적으로 강하하고 있었으며 또한 점차 다른 지역으로 서서히 이동하며 강하하였다.

7) 산성비의 pH 경시변화를 조사해 본 결과 시간이 경과함에 따라 점차 증가하는 현상을 보였다.

#### 참 고 문 헌

1. Gene E. Likens, Richard F. Wright. et al :Scientific American, 241(4), 39-47 (1979)
2. 古明地 哲人 : 現代化學, 62-65 (Jul. 1980)
3. 平石尹彦 : 公害と對策, 20(1), 47-51 (1984)
4. Hans C. Martin : Materials Performance, 21(1), 36-39 (1982)
5. Norman R. Glass. et al : Environmental Science & Technology, 13(11) 1350-1355 (1979)
6. M.J. Mitchell. et al : Water, Air and Soil Pollut., 16(3), 351-359 (1981)
7. Edward Kaplan. et al : Environmental Science & Technology. 15(5) 539-544 (1981)
8. 小倉紀雄 :昭和 58年度 環境廳委託業務結果 報告書 陸水の 酸性化よにる 影響及び 機構解明 調査,
9. Robert L. Leonard & Charles R. Goldman & Gene E. Likens : Water, Air and Soil Pollut., 15(2), 152-167 (1981)
10. M. Heitis, et al : ibid., 15(4), 441-464 (1981)
11. Noye M. Johnson : Science, 204(4) 497-499 (1979)
12. D.W. Einsphar and M.L. Harder : Tappi, 64(4), 61-64 (1981)
13. Jefferrey, J. Lee. et al : Envirn. & Experimental Botany, 21(2), 171-185 (1981)
14. 田中茂 et al : J. Japan. Soc. Air. Pollut., 19(2), 104-113 (1984)
15. Steven E. Lindberg : Atmospheric Environment, 16(7), 1701-1709 (1982)
16. Shigeru Tanaka. et al : J. of Geophysical Research, 85 (C8), 4519-4526 (1980)
17. B.G. Heikes : ibid. 87 (C4), 3045-3051 (1982)
18. 公害と對策 : 20(3), 279-287 (1984)
19. 大喜多敏一 20(3), 279-287 (1984)
20. 大喜多敏一 ibid., 20(6), 611-619 (1984)
21. 大喜多敏一 : ibid., 20(7), 711-715 (1984)
22. 大喜多敏一 : ibid., 20(9), 887-891 (1984)
23. 松本光弘 : J. Japan. Soc. Air. Pollut., 19(3), 247-254 (1984)
24. Hamish Small. et al : Analytical Chemistry, 47(11), 1801-1809 (1975)
25. 及川紀久雄 : P P M., 52-61, (Jul. 1978)
26. William F. Koch : Analytical Chemistry, 51(9), 1571-1573 (1979)
27. J. Mulic. et al : Analytical Letters, 9(7), 653-663 (1976)
28. L. W. Green. & J. Wood : Analytical Chemistry, 53(14), 2187-2189 (1981)
29. J. Japan. Soc. Air. Pollut., 20(2), 71-80 (1985)