

# 서울 地域의 大氣汚染이 降水와 生物에 미치는 영향

## 1. 地域別 降水의 酸性化에 관하여

張楠基 · 李鈞祥 · 申恩榮

서울大學校 師範大學 生物教育科

## Effects of Air Pollution on Precipitation and Living Organisms in Seoul Area

### 1. Acidification of Precipitation

Chang, Nam-Kee, Yun-Sang Lee and Eun-Yong Shin

*Dept. of Biology, College of Education, Seoul National Univ.*

### ABSTRACT

From July 1, 1985 to June 30, 1986, pH values of precipitation in Seoul area were average 5.1 and acid rain which was lower than pH 5.5 showed a frequency of 70.7%. Seasonal changes appeared in pH values of annual precipitation in Seoul. The pH patterns of spring and autumn were generally less acid than that of summer and winter, and snowfall pH was lower than rainfall.

The beginning rainfall in Seoul was neutral because of alkali dust in the atmosphere. As times went on, rainfall pH was gradually low and after 1 to 2 hours, showed a steady state. On the surface soil, precipitation was neutralized by soil buffering capacity.

### 緒 論

자연상태에서 대기 중의 CO<sub>2</sub>가 340 ppm 정도로 존재하여 수증기와 化學平衡을 이루며, 汚染되지 않은 大氣狀態를 유지하는 조건에서 내리는 빗물은 평균 pH가 5.6을 나타낸다. 그러나 火山 폭발과 같은 自然汚染源과 人間의 活動에 의한 人工汚染源이 大氣를 汚染시킨 상태에서 비가 내리게 되면 酸性의 汚染物質이 빗물에 용해되어 빗물의 pH가 5.6보다 낮아지게 되는데 Nicholas and Boyd(1981)는 이러한 비를 산성비(acid rain)라고 하였다.

산성비의 原因物質에 대한 研究를 종합해 보면 자연 상태로 대기중에 존재하는 CO<sub>2</sub>에 의해 빗물의 pH가 저하된 상태에서 석탄, 석유, 천연가스등의 化石燃料의 연소에 따라 배출되는 황산화물(SO<sub>x</sub>)과 질소산화물(NO<sub>x</sub>)이 대기중의 수증기와 결합되어 산성비

로 내리게 된다. 그리고 산화물질 산업폐기물과 해염입자에 의해 대기중으로 배출된 염소산화물이 태양광선을 받아  $O_3$ 를 함유한 채 눈이나 비로 내리게 되는 것도 주요한 원인이라고 할 수 있다. 이들의 각 성분이 비의 酸性化에 미치는 영향은  $SO_2$ 가 60-70% 정도를 차지하며 질소산화물에 의한 것이 30-35%이고 나머지는 HCl에 의한 것이라고 볼 수 있다(Liken and Cogbill, 1974).

외국에서의 산성비에 대한 본격적인 研究는 1950년대 초부터 영국, Scandinavia반도의 학자들에 의해 시작되었는데, 산성비는 그 자체의 낮은 pH 때문에 농작물들, 식물과 물고기들의 水中生活에 독성을 일으킬뿐 아니라 地層을 흘러 내릴때 칼슘, 칼륨, 알루미늄 등의 광물질을 溶解시킴으로써 植物의 성장을 저해시키고, 각종 구조물의 재료를 부식시킴으로써 막대한 피해를 야기시키고 있다(La Bastille, 1981).

大氣汚染物로 방출된 수은, 카드뮴 등의 重金屬이 산성비에 용해되면 산성비의 독성은 크게 증가된다(Time, 1982).

서울 지역에서도 1960년 이후 급격한 경제 발달로 인한 산업발달과 인구의 도시집중화 및 차량의 증가로 대기 오염도가 1970년대에 이미 環境基準을 초과하여 심각한 사회 문제로 대두되었다. 그러나, 우리나라에서 산성비에 대한 연구로는 노(1982), 朴 等(1983), 손과 양(1985), 한국과학기술원(1986) 등에 의하여 조사 보고된 바가 있다. 또, 1980년에 환경청이 발족되어 1983년 7월말부터 전국 21개 도시 44개 지점에 산성비 측정망을 설치 운영하고 있다. 그러나 生物에 미치는 影響에 관한 보고는 없다.

따라서 본 研究에서는 서울지역에 내리는 비와 눈의 pH 분포를 조사함으로써 산성비 현황을 알아보고 산성비가 생물에 미치는 영향을 조사하기 위한 基礎資料를 마련하고자 한다.

## 材料 및 方法

### 調査地所 및 期間

Fig. 1에서 보는 바와 같이 서울시내 56개 지소, 외곽지역 7개지소와 대조지역으로써 전북 김제군 봉남면 평사리 1개지소를 선정하여 총 64개 지소를 조사대상으로 하여 이들 지역 강수의 pH를 1985년 7월 10일부터 1986년 7월 11일까지 만 1년간 13회에 걸쳐 조사하였다.  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  및  $Cl^-$  농도는 서울시내 5개동에서 각 5개 지점의 3월중 降水物에 한하여 分析하였다.

### 調査 및 分析

#### 試料採取

선정된 조사지소에 사는 성일중학교와 풍문여자고등학교 학생들의 협조를 얻어 시료를 채취하였다. 채취용기는 지름 5 cm, 높이 8.5 cm의 2중 마개로 된 polyethylene병을 사용하였다. 채수병은 粉塵이나 試料등에 의한 汚染을 최소화 하기위해 시료 채취 전에 증류수로 2-3회 세척한 후 건조시켜 사용하였다(Galloway, 1978).

#### 試料採取位置

벽이나 굴뚝, 기타 주위 장애물에서 멀리 떨어진 지점을 택하여 지상 1 m 이상의 높이가 되는 곳에 채수병을 놓아둠으로써 바닥의 물이 튀겨들어가지 않도록 하고 시료를 채취하였다.

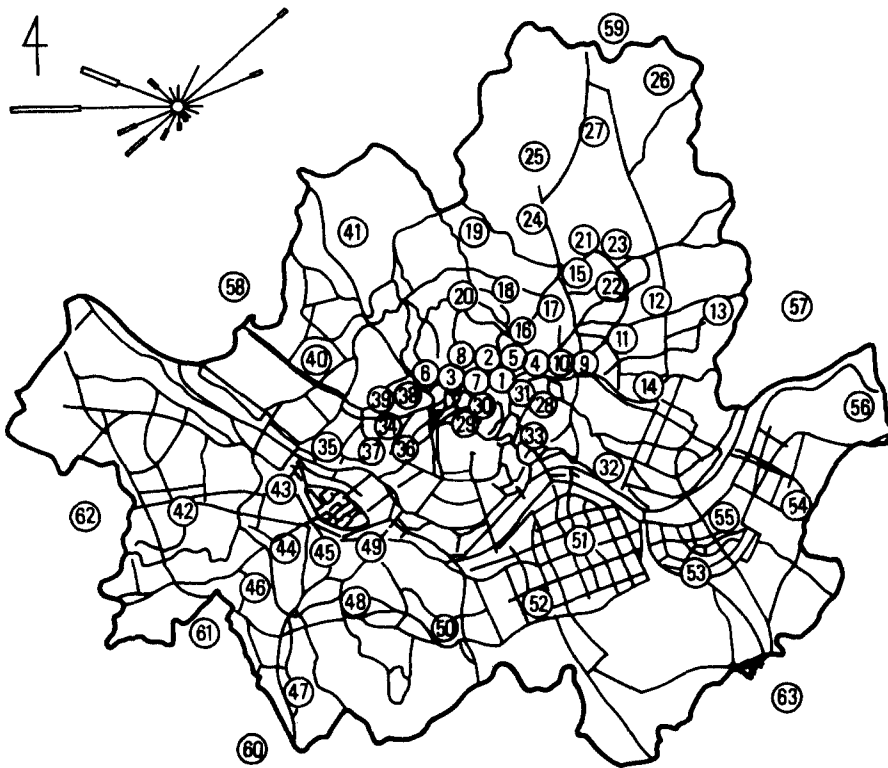


Fig. 1. Location of sampling sites in Seoul area.

Chongno-Gu	1. Hyoje-dong	Tobong-Gu	24. Mia-dong
	2. Kwonnong-dong		25. Suyu-dong
	3. Kyōnji-dong	Nowon-Gu	26. Sanggye-dong
	4. Ch'angshin-dong		27. Ssangmun-dong
	5. Ihwa-dong	Chung-Gu	28. Shindang-dong
	6. Chunghak-dong		29. Pil-dong
	7. Nagwon-dong		30. Ŭlchiro
	8. Anguk-dong		31. Hwanghak-dong
Tongdaemun-Gu	9. Yongdu-dong		32. Sōngsu-dong
	10. Shinsōl-dong		33. Changch'ung-dong
	11. Ch'ōngnyang 1 dong	Mapo-Gu	34. Ahyon-dong
	12. Hwigyōng-dong		35. Sangsu-dong
	13. Mang-u-dong		36. Gongdōk-dong
	14. Changan-dong		37. Yōmri-dong
Sōngbuk-Gu	15. Kirūm-dong	Sōdaemun-Gu	38. Chungjōngno
	16. Samsōn-dong		39. Taehyon-dong
	17. Tonam-dong		40. Namgajwa-dong
	18. Tongsomun-dong	Ŭnpyōng-Gu	41. Chingwanoe-dong
	19. Chōngnūng-dong	Kangso-Gu	42. Shinjōng-dong
	20. Sōngbuk-dong	Yōngdūngpo	43. Yangpyōng-dong
	21. Hawolgok-dong	-Gu	44. Dorim-dong
	22. Anam-dong		45. Shingil-dong
	23. Changwi-dong		

Guro-Gu	46. Guro-dong	Kyongki-Do	57. Kuri-shi
	47. Toksan-dong		58. Koyang-gun,
Kwanak-Gu	48. Pongch'ŏn-dong		Ilsan-ri
Tongjak-Gu	49. Noryangjin-dong		59. Ŭijŏngbu-shi
	50. Sadang-dong		60. Anyang-shi
Kangnam-Gu	51. Samson-dong		61. Kwangmyŏng-shi
Sŏcho-Gu	52. Sŏcho-dong		62. Puch'ŏn-shi
Kangdong-Gu	53. Samjŏn-dong		63. Sŏngnam-shi
	54. Tunch'ŏn-dong		
	55. Chamsil-dong		
	56. Kodŏk-dong		

### pH의 측정

채취된 시료는 바로 실험실에 운반하여 즉시 pH를 측정하였으며 특별한 사정이 있는 경우는 채취 직후 냉동시켰다가 조사직전에 녹여 측정하였다. pH meter는 TDA사의 HM-7D model을 사용하였다. 평균 pH는 H<sup>+</sup>농도로 환산하여 계산하였다.

### SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 및 Cl<sup>-</sup>의 분석

강우의 시료에 포함된 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 barium chloride-gelatin을 사용하여 비색법으로 정량하였으며, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 salicylate로 비색 정량하였고, Cl<sup>-</sup>는 AgNO<sub>3</sub>를 이용하여 적정법으로 정량하였다.

## 結果 및 論議

### 서울地域 降水의 酸性化

Table 1은 앞으로 서울의 산성비가 생물에 미치는 영향을 조사하기 위해 64개 지소에서 전조사기간중 채취된 강우시료의 pH를 측정한 결과와 중앙기상대에서 발표된 시료 채취 당일의 氣象條件을 나타낸 것이다. 전조사지역의 평균 pH는 5.1이었고 조사지소별 연간 평균 pH의 범위는 4.5-5.5였다. 또한 전 강우시료의 pH의 最少値는 3.6이었고 最高値는 7.1이었다. 이 결과는 朴 等(1983)이 조사한 pH 2.9-7.4에 거의 一致하는 경향을 나타낸다. 강우의 pH의 범위별 出現頻度는 pH 3.5-4.9가 4.6%, pH 4.0-4.4가 12.9%, pH 4.5-4.9가 22.6%, pH 5.0-5.4가 30.6%, pH 5.5 이상이 29.3%로, pH 5.5미만의 산성비는 70.7%였다. 그러나 김제군의 경우는 pH 6.1-6.6으로 연중 산성비가 내리지 않는 것으로 나타났다. 이 결과는 朴 等(1983)이 1982년 5월부터 9월까지 97개 지소중 63%에 해당하는 61개 지소가 pH 5.6 이하의 酸性 降雨 현상을 나타내고 있어서 大氣汚染地域으로 볼 수 있다고 보고한 결과와 비교하면 다소 酸性이 增加한 것으로 볼 수 있다. Jeff *et al.*(1980)에 의하면 미국의 강우의 pH는 지방에 따라 큰 차이가 있으나 그 범위는 4.0-6.2였으며 동북부 지방이 pH 4.0-4.4였고 중부가 pH 5.6-6.2로 서부와 동부 전역에 산성비가 내리는 것으로 보고되었다. Norton and Hess(1980)에 의하면 노르웨이의 강우는 pH 4.3-4.7이라고 보고한 바 있다. 그러므로 우리나라에 내리는 비의 산성화는 아직 위험수준은 아니나 미리 대책을 정책적으로 강구해야 된다고 생각된다.

**Table 1.** Data from precipitation and network sites showing mean values for pH of precipitations (rainfalls and snowfalls) in Seoul area during 1985 to 1986.

No. of sites	1985					1986								Range	Annual mean pH
	Jul. 10	Jul. 17	Aug. 31	Sep. 17	Oct. 12	Nov. 22	Dec. 13	Feb. 13	Feb. 18	Mar. 18	Apr. 26	May 13	Jun. 15		
1	5.1	5.7	5.3	4.8	—	3.8	5.4	5.1	4.0	4.3	3.9	4.0	4.5	3.8-5.7	4.7
2	5.3	5.5	5.7	4.6	5.0	4.1	5.7	5.3	—	—	4.2	5.0	5.2	4.1-5.7	5.1
3	—	—	6.1	4.7	4.3	5.2	5.0	5.4	4.9	4.4	4.1	5.4	4.6	4.1-6.1	4.9
4	5.5	—	5.8	5.0	3.9	4.0	—	5.2	4.5	4.3	4.2	5.3	5.1	3.9-5.8	4.8
5	5.3	5.6	6.2	4.9	—	—	5.2	4.6	—	—	4.1	—	—	4.1-6.2	5.1
6	—	5.5	—	—	4.9	3.7	5.0	4.1	4.5	4.1	—	4.6	4.5	3.7-5.5	4.6
7	5.0	5.8	—	4.9	—	3.9	—	—	4.6	4.4	4.2	4.9	4.4	3.9-5.8	4.7
8	5.8	5.5	5.4	5.2	4.8	3.8	5.5	4.7	4.5	4.3	4.7	5.1	4.7	4.3-5.8	4.9
9	5.1	—	5.8	5.0	—	4.2	5.9	5.0	—	4.2	—	5.5	5.1	4.2-5.9	5.1
10	5.9	5.6	—	—	—	3.9	—	7.1	4.7	—	—	—	5.0	3.9-7.1	5.4
11	—	—	—	4.9	4.1	—	5.1	4.6	5.2	4.0	4.6	5.3	5.2	4.0-5.3	4.8
12	—	5.2	5.5	5.5	3.9	3.6	6.0	5.3	4.9	4.7	5.0	—	—	3.6-6.0	5.0
13	5.8	6.2	6.0	5.7	—	4.5	5.8	—	5.8	—	4.9	5.0	5.3	4.5-6.2	5.5
14	5.1	5.4	5.6	5.3	3.8	—	5.0	4.7	—	3.7	4.5	4.4	5.2	3.7-5.6	4.8
15	—	5.8	5.2	5.0	4.0	—	5.2	5.3	4.8	—	—	4.1	4.8	4.0-5.8	4.9
16	5.0	—	6.0	5.5	—	—	5.5	4.7	—	—	4.7	4.9	5.6	4.7-6.0	5.2
17	—	—	5.7	5.0	4.7	4.5	—	5.1	4.5	4.0	4.8	4.5	5.9	4.0-5.9	4.9
18	6.2	6.0	5.9	4.9	—	—	—	—	—	4.6	4.9	—	5.8	4.9-6.2	5.5
19	5.4	5.7	5.8	5.1	—	3.9	5.6	4.5	6.1	—	4.6	5.3	4.4	3.9-6.1	5.1
20	—	5.6	—	5.5	—	4.7	6.1	6.4	6.3	4.5	4.9	4.8	4.7	4.5-6.3	5.3
21	6.1	5.5	6.0	5.3	4.2	—	—	4.6	5.5	3.8	4.2	5.2	—	3.9-6.1	5.0
22	5.4	5.3	5.2	5.1	4.7	4.2	—	5.0	5.6	4.1	—	—	—	4.1-5.6	5.0
23	—	5.6	5.7	—	—	—	5.3	5.2	6.0	4.6	—	4.5	—	4.6-6.0	5.3
24	5.5	6.1	5.3	—	4.3	5.1	5.7	5.2	6.3	4.8	4.9	5.3	5.8	4.3-6.1	5.4
25	6.2	6.0	6.1	5.4	4.9	3.9	6.4	4.4	5.0	4.4	3.7	5.5	—	3.7-6.4	5.2
26	—	5.8	—	5.3	—	4.3	6.5	—	5.6	—	3.8	—	4.6	3.8-6.5	5.1
27	5.6	5.7	5.2	—	4.1	4.0	5.7	5.3	4.5	4.6	5.1	5.4	4.7	4.0-5.7	5.0
28	5.9	5.3	5.5	5.2	—	4.1	5.9	5.6	4.5	—	4.4	5.2	—	4.1-5.9	5.2
29	5.7	5.4	5.8	5.1	—	4.3	5.3	5.4	—	4.9	4.6	—	5.4	4.3-5.8	5.2
30	5.1	—	5.0	5.0	4.8	4.3	5.8	5.0	—	3.7	4.2	5.2	4.6	3.7-5.8	4.8
31	5.4	5.5	—	5.8	5.2	4.2	6.2	5.1	—	4.1	3.9	4.0	6.0	3.9-6.2	5.0
32	5.3	—	5.0	5.5	—	4.1	5.7	5.9	4.8	3.9	4.1	5.2	4.8	3.9-5.9	4.9
33	5.3	5.7	6.0	5.2	4.7	4.0	5.3	5.2	4.8	5.0	4.5	6.0	—	4.0-6.0	5.1
34	—	—	5.1	—	5.5	—	5.3	—	5.7	4.5	4.8	5.8	4.6	4.6-5.7	5.2
35	5.6	6.0	—	—	5.3	4.7	6.2	6.1	6.0	3.9	4.9	5.4	5.8	3.9-6.0	5.4
36	6.2	5.7	5.5	5.2	4.5	—	5.1	5.0	5.4	4.0	4.5	5.2	—	4.0-6.2	5.1
37	5.0	—	5.4	—	—	—	5.3	—	4.6	4.1	4.2	—	5.1	4.2-5.4	4.8
38	—	—	—	5.8	5.1	4.5	5.0	4.9	4.5	4.3	4.1	5.1	—	4.1-5.8	4.8
39	5.1	5.4	—	6.0	—	4.2	5.7	5.2	4.4	—	4.1	5.5	4.5	4.1-6.0	5.0
40	—	—	6.0	5.8	5.0	4.5	—	4.7	4.6	4.0	—	5.4	5.1	4.0-6.0	5.0
41	—	5.6	—	5.5	4.9	4.2	6.3	5.3	5.1	4.1	—	5.7	4.7	4.1-5.7	5.1

Table 1. Continued

No. of sites	1985					1986								Annual	
	Jul. 10	Jul. 17	Aug. 31	Sep. 17	Oct. 12	Nov. 22	Dec. 13	Feb. 13	Feb. 18	Mar. 18	Apr. 26	May 13	Jun. 15	Range	mean pH
42	5.2	5.6	—	5.0	5.2	4.7	5.8	6.0	5.1	5.2	4.8	5.1	—	4.7-5.6	5.2
43	—	4.9	4.9	—	4.2	3.9	5.3	5.0	4.4	—	4.5	4.6	5.0	3.9-5.4	4.7
44	5.0	4.7	—	4.8	—	4.1	4.7	5.5	4.3	—	—	4.3	—	4.1-5.4	4.7
44	5.3	—	—	5.2	3.9	—	5.4	—	5.0	4.7	5.2	4.8	—	3.9-5.4	4.9
46	—	5.0	4.9	4.3	4.5	3.9	4.6	5.4	4.7	4.2	4.8	5.2	4.9	3.9-5.4	4.7
47	5.0	4.9	5.7	—	—	3.8	4.9	5.5	5.3	3.8	4.2	4.7	5.0	3.8-5.7	4.8
48	5.4	—	—	5.2	4.4	—	5.1	5.2	4.4	4.1	—	5.5	—	4.1-5.5	4.9
49	—	5.5	5.3	4.7	4.5	4.0	—	—	5.5	3.7	3.8	5.2	5.1	3.8-5.5	4.7
50	5.1	6.1	5.8	5.7	5.3	4.9	—	—	5.7	4.2	5.1	5.0	—	4.9-6.1	5.3
51	—	—	—	5.4	4.8	4.2	5.5	5.1	5.3	—	4.7	5.3	5.3	4.2-6.0	5.1
52	5.8	6.3	6.0	—	5.3	5.0	6.0	4.7	6.1	4.9	5.2	6.2	5.5	4.7-6.1	5.6
53	5.8	6.3	6.0	—	5.3	5.0	6.0	4.7	6.1	4.9	5.2	6.2	5.5	4.7-6.1	5.6
53	5.7	—	6.2	—	4.9	4.5	5.8	6.0	5.0	4.3	5.1	5.9	4.8	4.3-6.2	5.3
54	5.5	5.7	—	5.2	5.0	—	5.5	5.2	5.2	4.2	5.3	6.1	5.5	4.2-6.1	5.3
55	5.3	—	6.1	—	5.8	4.5	—	5.6	5.0	4.9	—	5.3	5.6	4.9-6.1	5.3
56	5.5	6.1	6.3	5.0	5.2	4.9	5.4	4.5	5.2	4.6	4.4	5.3	5.8	4.4-6.3	5.2
57	—	6.3	6.0	—	—	4.8	6.0	—	5.6	—	4.2	5.7	5.9	4.2-6.3	5.6
58	5.8	—	6.4	6.2	5.2	4.9	6.3	5.6	6.3	—	—	—	—	5.2-6.4	5.8
59	5.2	6.1	5.6	—	4.7	4.3	6.1	5.8	6.1	4.5	4.2	—	—	4.2-6.1	5.3
60	—	6.0	5.9	4.7	4.8	—	—	5.8	4.9	—	4.7	4.8	—	4.7-6.0	5.2
61	—	—	—	4.9	—	4.5	5.2	5.5	—	4.5	5.4	6.3	5.7	4.5-6.3	5.3
62	—	5.4	5.5	—	4.8	4.9	5.1	—	5.2	3.7	4.4	—	5.4	3.7-5.4	4.9
63	6.1	6.0	—	5.0	—	—	5.6	5.2	5.3	4.3	—	5.1	5.6	5.0-6.1	5.5
pH	5.0	4.9	4.9	4.6	3.8	3.6	4.6	4.1	4.0	3.7	3.7	4.0	4.4		
range														3.6-7.1	
	6.2	6.3	6.4	6.2	5.8	5.1	7.1	6.4	6.3	5.2	5.1	6.3	6.0		
Area															
mean	5.5	5.6	5.7	5.2	4.7	4.3	5.5	5.2	5.1	4.3	4.5	5.2	5.1	5.1	
pH															
Kimje															
-shi	6.4	6.6	6.3	—	6.5	6.1	6.3	—	6.3	6.1	6.4	6.3	6.1	6.3	
M.T.(°C)	24.6	23.2	21.6	18.2	18.8	9.8	-2.1	0.3	1.8	3.6	13.7	15.4	19.6		
P (mm)	13.4	84.3	64.4	23.8	64.2	12.7	1.2	1.6	1.6	10.8	13.8	19.3	37.3		
W.D.	SW	SW	W	NE	WNW	NE	WNW	W	W	SE	ENE	NE	SSW		

M.T.; mean temperature (°C), P; precipitation, W.D.; wind direction

### 서울地域 降水의 季節變化

Table 1의 조사결과로 서울지역 63개 지소에서 내리는 눈과 비의 pH에 대한 평균치와 最高最低值의 일별, 월별, 계절별 변화를 비교한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 서

을 전역에서 3, 4, 5월의 봄과 9, 10, 11월의 가을에는 대부분 산성비가 내리며 6, 7, 8월의 여름과 12, 1, 2월의 겨울에는 강수의 pH가 봄과 가을에 비해 높은 뚜렷한 계절변화를 나타내고 있다.

이 결과에 따라 봄, 여름, 가을, 겨울로 나누어 서울지역의 pH를 지소별로 비교한 결과는 Fig. 3-6에서 보는 바와 같다. 가을은 봄과 유사하고 비가 많은 여름과 기온이 낮아서 눈이 내리는 겨울간에는 그 형태가 다르게 나타났다.

여름에는 양평동, 구로공단 지역과 을지로, 아현동 등의 지역에만 산성비가 내리는 것으로 나타났다(Fig. 4). Fig. 6과 같이 겨울철은 손(1985)의 조사결과와는 달리 산성강우의 빈도가 69%로 감소되었다.

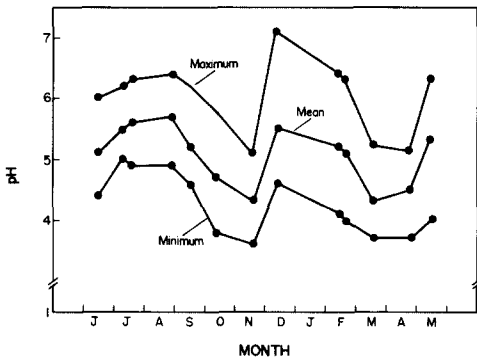


Fig. 2. Seasonal changes of pH values of rainfall and snowfall in Seoul area during 1985 to 1986.

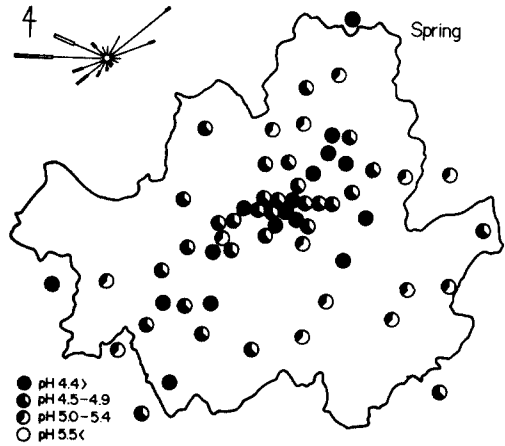


Fig. 3. Acidification network showing mean pH of precipitation in the spring in Seoul (1985-1986).

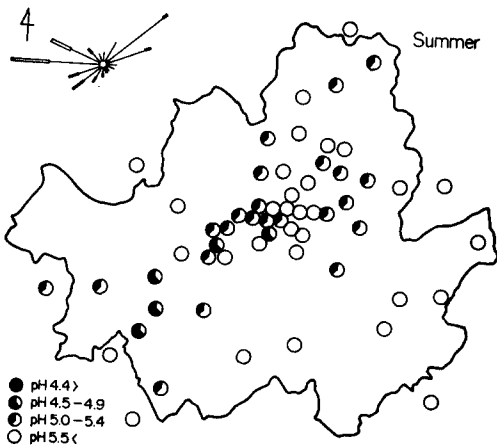


Fig. 4. Acidification network showing mean pH of precipitation in the summer in Seoul (1985-1986).

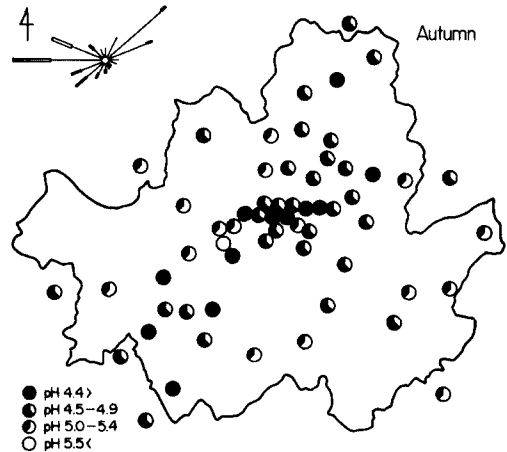


Fig. 5. Acidification network showing mean pH of precipitation in the autumn in Seoul (1985-1986).

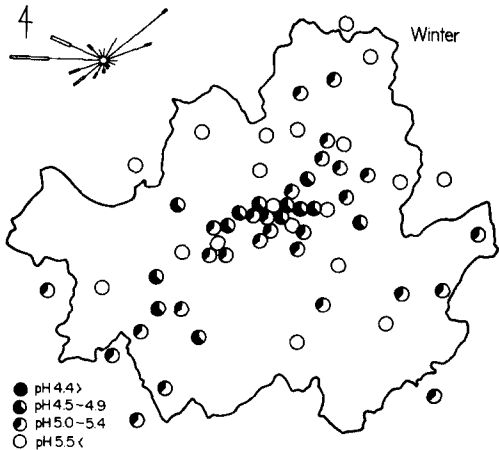


Fig. 6. Acidification network showing mean pH of precipitation in the winter in Seoul (1985-1986).

서울地域에 내리는 降雨의 酸性化는 차량의 연료와 난방을 위한 유류와 연탄의 연소로 생성되는 황산화물, 질소산화물, 분진 등의 汚染物에 의한 大氣汚染에 직접적인 원인이 있으며 大氣汚染의 확산은 風向과 風速에 의존된다. 강우의 산성화는 오염물질이 직접적으로 또는 煙霧質(aerosol)에 녹아 구름입자나 빗방울에 응축되거나 확산되어 이루어진다(Fowler, 1980; Nicholson *et al.*, 1980). 그러므로 이 현상은 기온에 영향을 받을 뿐만 아니라 0°C 이하인 경우에는 비가 눈으로 변함으로 汚染物質에 의한 酸性化는 더욱 지연될 것으로 추정된다. 권 등(1980)의 보고에 의하면 서울의 大氣汚染은 주택난방 및 공공 건물에서 배출되는 汚染物의 24-75%를 차지하는 분진과 황산화물, 공장배출물의 80%인

황산화물, 교통기관에서 배출되는 10%의 분진에 의해 이루어 지는데 1978년의 조사결과에 따르면 서울에서 봄에는 하루 109.6톤, 여름에는 87.0톤, 가을에는 131.1톤, 겨울에는 145.1톤의 분진이 배출되고 황산화물은 각각 486.4, 393.9, 576.7, 699.2톤이 배출된다고 추정하였다. 이 결과와 Fig. 2-6의 결과와 비교하면 반드시 일치되는 것으로 생각할 수 없다. 金(1985)은 서울지역의 산성비에 대한 방향성을 風向과 관계있는 것으로 해석하고 있으나, 대기의 오염원, 오염의 발원지, 기온 등에 의해 대기의 오염이 이루어져 강수의 산성화가 일어나는 과정에서 風速과 風向의 영향을 받아 이동 확산되는 것으로 생각된다. 이상의 결과로 볼 때 현재 서울지역에 내리는 降雨의 酸性化는 大氣汚染源의 규명으로 방지할 수 있으나 황사현상과 같이 강수의 산성화가 중국대륙과 관계가 있다면 국제적인 문제로 대두하게 됨으로 각별한 조사가 요구된다.

#### 降雨의 時間經過에 따른 pH 變化

Fig. 7은 시간 경과에 따른 강우의 pH변화를 서울시내 63지역중 4개 지점에서 조사한 결과이다. 전 조사지점에서 降雨의 초기에는 pH가 높은 치를 나타내었다. 이는 空中에 비산하는 분진중에는  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ 와 같은 알칼리성 물질이 많이 포함되어 있음을 암시하며 강우의 시간이 경과함에 따라 대기중의 알칼리성 분진이 강우와 함께 제거됨으로 강우의 pH는 점차 하강하게 된다. 그러나, Fig. 7의 B-D에서 볼 수 있는 바와 같이 오염물질이 정제되어 있을 때 강우량의 감소에 따라 강우에 의한 제거량이 방출 확산량보다 적게될 것이므로 다소 강우의 pH가 상승하는 경향을 보이게 된다. 본 조사결과에 의하면 적어도 1-2시간이 경과한 후에야 비로서 그 지역에 평형된 안정한 강우의 pH를 나타내는 것으로 생각된다.



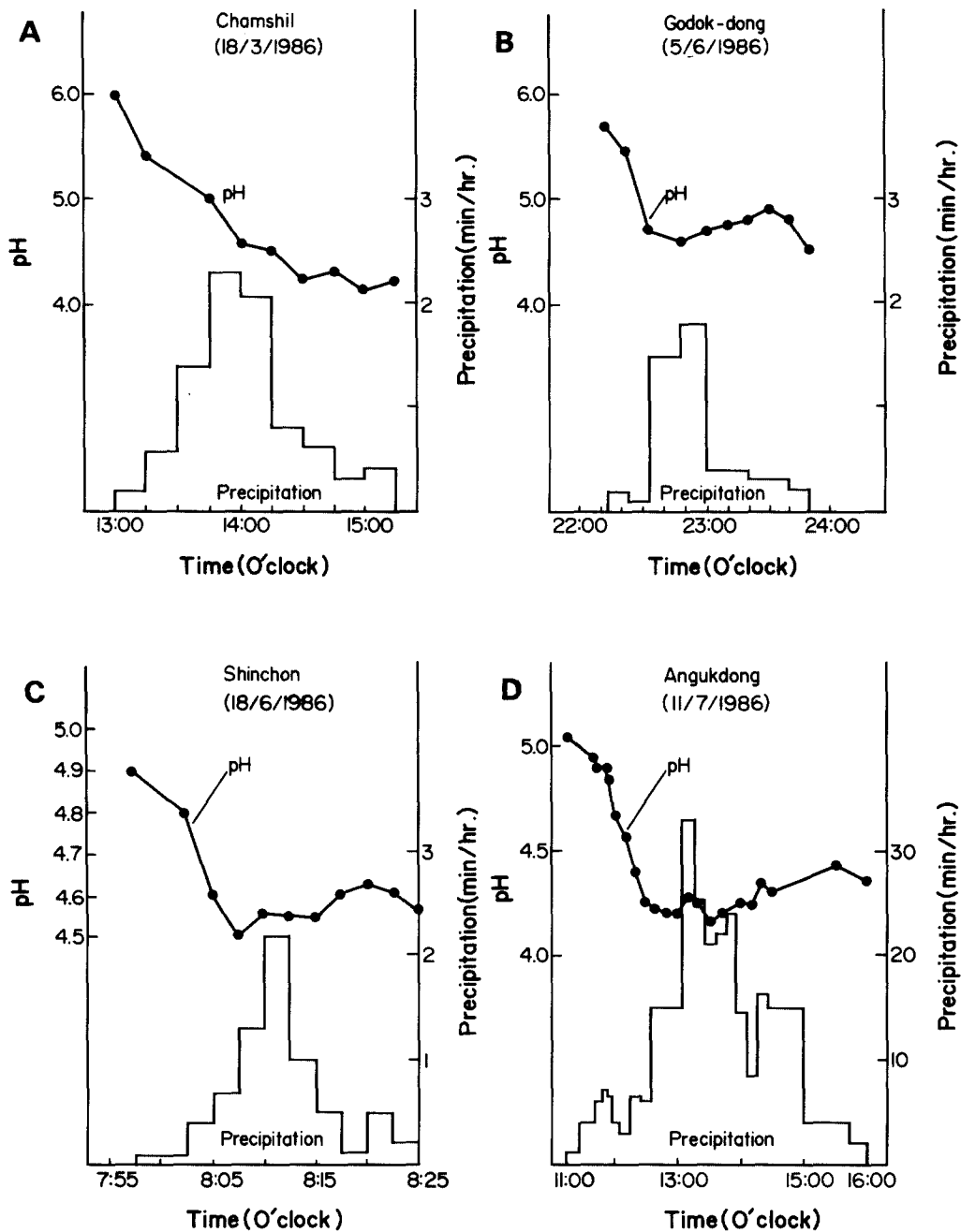


Fig. 7. Changes of pH values of precipitation depended upon time course.

降雨의 主要 汚染成分과 汚染源

서울지역에서 3월 중에 내리는 산성비의 汚染源을 규명하기 위해 5개 지점을 선택하여

1개월에 걸쳐 Table 2에서 보는 바와 같이 降雨 試料를 채취하여 pH,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ 의 농도를 측정하였다.  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 농도는 최소 15.1 mg/l에서 최고 69.5 mg/l까지 나타났고  $\text{NO}_3^-$ 농도는 1.5-19.4 mg/l였고,  $\text{Cl}^-$ 는 3.8-37.4 mg/l이었다. 손(1985)의 조사 결과와 비교하면  $\text{SO}_4^{2-}$ 는 다소 낮아졌고,  $\text{NO}_3^-$ 는 다소 높아졌으나,  $\text{Cl}^-$ 은 유사한 수준이었다.

강우의 pH와  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  및  $\text{Cl}^-$ 과의 상관계수를 계산하여 有意性 檢定을 한 결과 강우의 pH는  $\text{SO}_4^{2-}$ 와  $\text{NO}_3^-$ 간에 상관계수가 각각 -0.94, -0.80으로 대단히 유의한 부상관이 존재하나,  $\text{Cl}^-$ 과는 상관이 없는 것으로 나타났다. 특히  $\text{SO}_4^{2-}$ 는 손(1985)의 결과와 마찬가지로 가장 有意性이 높은 부상관으로 檢定되었다. 그러므로 서울지역에 내리는 강우의 산성화를 유발하는 주 汚染源은  $\text{SO}_4^{2-}$ 로 추정된다. 황산화물을 방출하는 연료중  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 생성량은 연탄이 51.2%로 가장 많고 다음이 벅커시유로 38.0%이다. 따라서 이 2종의 연료가 서울지역에 내리는 강수의 酸度 增加에 큰 原因이 되고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 여름에 내리는 비의 산성화는 주로 자동차의 매연이 원인이 된다는 것과는, 여름, 가을 및 겨울에도 감소하지 않는 汚染源임을 주목해야 한다.

**Table 2.** Mean pH and mean concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{Cl}^-$  in rainwater collected in Seoul areas

Sampled date	Sampled area	Rainfall (mm)	pH	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{Cl}^-$ (mg/l)
Mar. 9, 1986	Anguk-dong	4	4.9	25.2	4.1	22.1
		8	4.2	50.0	11.9	13.1
		12	4.2	45.8	15.0	8.2
		16	4.3	45.3	8.8	8.6
		20	4.3	44.1	7.3	7.6
	Ssangmun-dong	6	4.3	39.5	6.4	36.0
		12	3.9	69.5	19.4	21.1
		23	3.8	63.1	17.3	10.5
		30	4.1	50.2	12.5	6.2
		35	4.0	56.1	13.3	5.8
Mar. 18	Anguk-dong	1	5.3	15.1	3.2	15.2
		2	4.8	27.2	5.4	7.5
		4	4.8	26.4	3.5	5.5
		5	4.9	33.1	3.2	13.2
		6	4.5	36.1	6.5	9.3
		6	4.5	36.1	6.5	9.3
	Guro-dong	1	4.5	41.0	4.3	8.1
		2	4.2	61.5	6.2	7.5
		4	4.2	67.1	6.5	14.5
		6	4.2	64.0	6.1	15.1
		7	4.1	69.1	7.3	7.5
	Ahyŏn-dong	1	5.0	20.3	2.7	7.1
		2	4.5	26.7	3.3	6.2
		3	4.3	44.7	4.8	3.9
5		4.3	56.9	8.7	4.9	
7		4.6	38.2	7.4	3.9	

**Table 2.** Continued

Sampled date	Sampled area	Rainfall (mm)	pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
Mar. 18, 1986	Chamsil-dong	1	5.1	23.2	2.1	8.7
		2	4.8	33.2	2.1	15.3
		3	4.7	37.6	3.2	6.9
		4	4.7	34.5	2.6	11.5
		5	5.3	17.1	2.1	11.4
	Ssangmun-dong	1	4.6	23.1	2.8	29.1
		2	4.8	23.1	3.2	8.1
		3	4.7	24.3	2.3	8.5
		5	4.6	25.3	3.6	3.8
		8	4.5	29.8	5.3	8.2
Mar. 19	Ssangmun-dong	1	4.7	22.7	1.8	4.4
		2	4.7	32.6	3.5	8.2
		3	4.0	65.4	9.0	8.3
	Anguk-dong	1	4.3	46.8	12.1	16.0
		2	4.4	37.1	10.7	11.0
	Ahyŏn-dong	1	4.1	55.6	8.4	21.2
Chamsil-dong		1	5.1	32.6	3.8	9.5
Mar. 22	Chamsil-dong	1	5.2	17.6	1.6	37.4
		2	4.8	23.1	3.0	22.1
		3	4.7	29.7	4.1	15.6
		4	4.8	26.0	3.2	10.4
	Anguk-dong	0.7	4.1	27.8	12.6	6.1
Mar. 23	Anguk-dong	1.3	4.0	42.0	13.7	9.5
Mean			4.5	38.7	6.5	11.7

**酸性비에 대한 土壤의 완충작용**

서울지역에 내리는 산성비가 호소나 강, 하천의 물의 pH에 얼마나 많은 영향을 미치는지 조사하기 위해 Table 3에서 보는 바와 같이 서울의 5개 지소에서 지면에 떨어진 빗물과 하수구로 流入되는 빗물의 pH를 4월 1일부터 7월 11일까지 측정하였다.

지면에 떨어진 빗물의 pH는 6.6-7.5로 中化되며, 하수구에 流入되는 流水는 pH 6.9-8.5의 약 알칼리성 中성이었다. 이 결과에 의하면 서울지역에 내리는 산성비는 지면에 떨어져 땅위로 흐르는 동안에 충분히 中성으로 中화되고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 서울의 산성비는 현재 상태로서는 生物에 가시적인 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다.

**Table 3.** pH of surface and flowing rainwater into the street drain

Sampling sites	Rainwater on soils	Rainwater into the street drain (Rainfall pH)				
		3.8	4.3	5.1	6.2	7.1
Anguk-dong	7.3	7.4	7.9	8.5	7.5	7.8
Yondu-dong	6.9	7.1	7.3	6.9	7.2	7.3
Suyu-dong	7.1	7.5	7.1	7.5	6.9	7.5
Guro-dong	6.6	6.8	7.2	7.2	7.3	7.1
Koduk-dong	7.5	7.2	7.5	7.1	7.4	7.4

## 要 約

1985년 7월부터 1986년 6월 사이 서울지역에 내린 降水의 pH를 조사한 결과 평균 pH는 5.1이었고 pH 5.5 미만의 산성비의 出現頻度는 70.7%였다. 서울지역 강수의 pH는 계절에 따라 변화하며 봄과 가을에는 여름과 겨울보다 강한 산성비가 내리고 여름보다는 겨울에 높은 산성의 눈이 내린다. 서울지역에 내리는 비는 초기에는 공기중에 부유하는 알칼리성 분진으로 중성에 가까운 pH를 나타내나 시간이 경과함에 따라 점차로 낮아져 1-2시간 후에는 일정한 pH에 이른다. 서울의 산성비의 주 오염원은  $\text{SO}_4^{2-}$ 로 연탄, 병커시유, 자동차의 매연으로 추정되며, 지면에 내린 후에는 지표면의 토양에 의한 완충작용으로 중화되어 중성으로 된다.

## 引 用 文 獻

- 孫東憲. 1985. 서울시의 酸性物質 降下現象에 관한 研究. 大氣污染學會誌 1 : 33-41.  
 손동헌 · 양성철. 1985. 서울시의 산성물질 강하현상에 관한 연구. 한국대기보전학회지 1 : 33-41.  
 Fowler, D. 1980. Removal of sulfur and nitrogen compounds from the atmosphere in rain and dry deposition. Proceedings of an international conference. Sandefjord, Norway. March 11-14. 1980. pp. 22-32.  
 Galloway, J.N. 1978. The collection of precipitation for chemical analysis. Tellus. 30 pp.  
 한국과학기술원. 1986. 산성비연구 : 서울시를 중심으로. 한국대기보전학회지 2 : 66-74.  
 Jeff, R., J. McColl and B. Niemann. 1980. Map of areas potentially sensitive to wet and dry acid deposition in the United States. Proceedings of an international conference. Sandefjord, Norway. March 11-14. 1980. pp. 128-129.  
 權肅杓 · 鄭勇 · 林東九. 1980. Hanna-Gifford모델에 의한 서울시 大氣污染推定. 環境保全協會誌 1 : 25-28.  
 金俊鎬. 1985. 酸性비의 實態와 人間生活에 미치는 영향. 자연보존 49 : 19-23.  
 La Bastille, A. 1981. Acid rain-How great a menace? National Geographic 160 : 652.  
 Liken, G.E. and C. V. Cogbill. 1974. Acid precipitation in the Northeastern United States. Water Resources Research 10 : 1133-1137.  
 Nicholson, I.A., N. Cape, D. Fowler, N.W. Kinnaird and I.S. Paterson. 1980. pH and sulphate content of precipitation over Northern Britain. Proceedings of an international conference. Sandefjord, Norway. March 11-14. 1980. pp. 142-143.  
 Nicholas, G. and R.R. Boyd. 1981. Acid rain. Engineering Bulletin 58 : 5-11.  
 Norton, S.A. and C.T. Hess. 1980. Atmospheric deposition in Norway during the last 300 years as recorded in SNSF lake sediment dating and chemical stratigraphy. Proceeding of an International Conference. Norway. March 11-14. 1980. pp. 268-269.  
 노재식. 1982. 서울동부지역에 내린 降水物의 酸도에 관하여. 環境保存 13 : 12.  
 朴奉奎 · 李仁淑 · 崔炯善. 1983. 서울시에서의 酸性 降雨에 관한 研究. 이화여대생활과학 연구원논총 32 : 137-142.  
 Time. 1982. Acid rain-The silent plaque. Nov. 8 : 48-58.