

## 서울地域의 降雨의 pH에 관한 研究

張 楠 基·申 恩 榮  
(서울大學校 師範大學 生物教育科)

### 緒 論

오염되지 않은 자연 상태의 대기 중에는 이산화탄소가 340ppm정도로 존재하여 대기 중의 수증기와 화학 평형을 이루어, 오염되지 않은 상태로 대기의 질이 유지되는 조건 하에서 내리는 빗물의 평균 pH는 5.6을 나타낸다. 그러나 화산 폭발과 같은 자연 오염원과 인간의 활동에 의한 인공 오염원이 대기 중으로 배출되어 대기 오염도가 높아진 상태에서 비가 내리게 되면 산성 오염물이 빗물에 용해되어 빗물의 pH가 5.6보다 낮아지게 되는데 이러한 비를 산성비(Acid Rain or Acid Precipitation)라고 한다(Nicholas and Boyd, 1981).

산성비의 원인 물질에 대한 연구를 종합해 보면 자연 상태의 대기중에 존재하는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)에 의한 빗물의 pH 저하에 더하여, 화석 연료(석탄, 석유, 천연가스 등) 연소시에 배출되는 황산화물(특히 SO<sub>2</sub>)과 질소산화물(NO<sub>x</sub>)이 대기 중의 수증기와 합쳐져 산성비로 된 부분, 그리고 대기 중 오염 물질이 태양 광선을 받아 오존(O<sub>3</sub>)이 포함되어 눈이나 비 형태로 내리는 산화물질, 산업 공정과 해염 입자에 의해서 대기 중에 배출된 염소산화물이 주원인이라고 할 수 있다. 이들 각 성분이 산성비에 미치는 영향은 SO<sub>2</sub>가 60~70% 정도를 차지하며, 질소산화물에 의한 것이 30~35%이고 나머지는 HCl에 의한 것으로 볼 수 있다(Likens and Cogbill, 1974).

외국에서는 1950년대 초부터 영국, Scandinavia 반도의 학자들에 의해 산성비에 대한 본격적인 연구가 시작되었으며, 현재도 많은 학자들에 의해 산성 강우 현상, 주요 이온들의 농도의 연 변화의 계절적인 변화, 산성비의 발생 과정, 주요 이온들 간의 상관 관계, 산성비의 영향 등이 계속적으로 조사 연구되어지고 있다. 산성비는 그 자체의 낮은 pH 때문에 농작물 등의 식물과 물고기 등의 수중 생물에 독성을 일으킬 뿐만 아니라 지층을 흘러내릴 때 칼슘, 칼륨, 알루미늄 등의 광물질을 용해시킴으로써 식물의 생장을 저해시킨다. 또한, 각종 구조물의 재료를 부식시킴으로써 막대한 피해를 야기시키고 있다(La Bastille, 1981).

대기 오염물로 방출된 수은, 카드뮴 등의 중금속이 산성비에 용해되면 산성비의 독성은 크게 증가된다(TIME, 1982).

서울 지역에서도 1960년대 이후 급격한 경제 개발로 인한 산업 발달과 인구의 도시 집중

화 및 차량의 증가로 대기 오염도가 1970년대는 환경 기준을 이미 초과 하여 심각한 사회 문제로 대두 되었다. 그러나, 우리 나라에서 산성비에 대한 연구는 박 등이 1978년에 보고한 “우리나라 특정 지역의 산성 강우 현상에 관한 조사 연구”가 최초이며, 그 이후로 최(1980), 박(1983), 손(1985), 한(1986), 한국과학기술원(1986) 등이 산성강우에 대하여 조사 보고한 바 있다. 또, 1980년에 환경청이 발족되어 1983년 7월말부터 전국 21개 도시 44개 지점에 산성우 측정망을 설치 운영하고 있다. 하지만, 아직까지 국내에서는 산성비에 관한 연구 실적이 극히 적은 편이고, 장기간에 걸친 지속적인 연구 자료가 없는 점이 깊이 있는 산성비 연구를 어렵게 하는 요인이다. 앞으로는 산성비의 원인, 생성 Mechanism, 생태계에 미치는 영향, 건축물·문화유적 등 구조물에 미치는 피해와 경제적 손실의 추정 등에 관한 정량·정성적 분석이 절실히 요구된다.

따라서 본 연구에서는 서울지역에 내리는 빗물의 pH 분포를 조사함으로써 산성비 현황을 알아보고, 산성비 연구의 기초 자료를 마련하고자 한다.

## 調査 및 方法

### 1. 조사 지점 및 기간

조사를 실시한 시간적 범위는 1987년 9월부터 1988년 8월까지에서 눈이 내린 12월, 1월, 2월을 제외한 9개월의 기간 중에 비가 내린 날로 한정하였다. 따라서, 실제로 조사를 실시

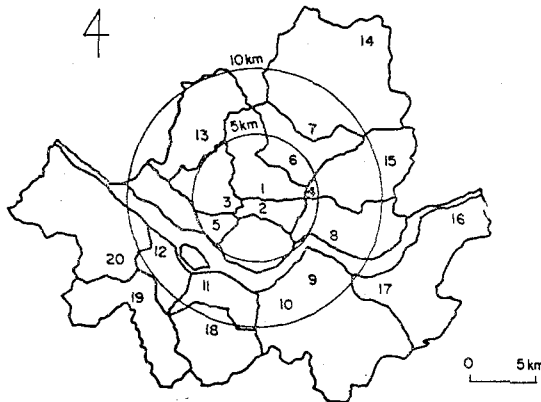


Fig. 1. Sampling sites in Seoul.

- |                    |                     |                     |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1; Nagwon-dong,    | 2; Ŭlchiro,         | 3; Chungjŏngno,     |
| 4; Shinsŏl-dong,   | 5; Ahyŏn-dong,      | 6; Tonam-dong,      |
| 7; Mia-dong,       | 8; Sŏngsu-dong,     | 9; Samsŏng-dong,    |
| 10; Sŏcho-dong,    | 11; Noryangjin-dong | 12; Yangpyŏng-dong, |
| 13; Pulkwang-dong, | 14; Sanggye-dong,   | 15; Mangu-dong,     |
| 16; Kodŏk-dong,    | 17; Chamsil-dong,   | 18; Pongchŏn-dong,  |
| 19; Guro-dong,     | 20; Shinjŏng-dong.  |                     |

한 날은 1987년 9월 5일, 9월 21일, 10월 18일, 11월 9일, 11월 27일과 1988년 3월 11일, 4월 12일, 4월 18일, 5월 7일, 5월 22일, 6월 1일, 6월 16일, 7월 9일, 7월 20일, 8월 17일, 8월 27일로서 총 16회였다.

조사 대상 지점은 서울의 광화문을 중심으로 하여 반경 5km 이내의 낙원동, 을지로, 충정로, 신설동, 아현동, 돈암동(6개 지점); 반경 5~10km 이내의 미아동, 성수동, 삼성동, 서초동, 노량진동, 양평동, 불광동(7개 지점); 반경 10km밖의 상계동, 망우동, 고덕동, 잠실동, 봉천동, 구로동, 신정동(7개 지점) 등 총 20개 지점으로 하였다.

Fig. 1은 광화문을 중심으로 서울시 전역을 반경 5km 단위로 구분하여 조사 대상 지점을 표시한 것이다.

## 2. 조사 방법

우수의 채취는 각 지역에 거주하는 학생들의 도움을 받아 실시하였으며, 채수병(Sampling bottle)은 지름 5cm, 높이 8.5cm의 2중 마개 Polyeythlene 제품을 사용하였다. 채수병은 시료와 채수병 벽 사이의 Ion-exchange와 기타 오염 물질들의 유입을 최소한으로 줄이기 위해 시료 채취 전에 증류수로 2~3회 세척한 후 건조시켜 사용하였다(Galloway, 1978).

그리고, 시료를 채취할 때에는 벽이나 굴뚝, 기타 주위 장애물에서 멀리 떨어진 지점을 선택하여 지상 1m 이상의 높이가 되는 곳에 채수병을 설치함으로써 바닥의 물이 튀겨 들어가지 않도록 배려하였다.

채수 후 장시간 지체 시에는 시료의 산성도가 변화될 우려가 크므로 시료는 채수된 후 48시간 이내에 실험실로 운반하여 즉시 pH를 측정하였다. pH meter는 TDA사의 HM-7D Model을 사용하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 전체 강우의 특성

본 연구를 위해 채취된 시료는 총 271개로서, 서울 시내 20개 지점에서 16회에 걸쳐 채취한 것이었다. 채취 기간은 1987년 9월 5일부터 1988년 8월 27일까지로 하였는데, 단, 동계에 내리는 눈은 조사 범위에서 제외하였다. 동계에 내리는 눈의 산성도를 측정하려면 특수 측정기를 사용해야 할 뿐 아니라, 우수와 같은 방법으로 측정하게 되면 상당한 오차가 발생할 우려가 있기 때문이다.

조사 대상일의 총 강우량은 459.7mm이었고, 매회 평균 강우량은 28.7mm이었다. 계절별로는 봄(3~5월 중)에 5회, 여름(6~8월 중)에 6회, 가을(9~11월 중)에 5회 채취 측정하였다.

Table 1. Data from precipitation and network sites showing mean values for pH of precipitations in Seoul area during 1987 to 1988

Sites	Date		pH												Mean		
	'87 9/5	'87 9/21	10/18	11/9	11/27	'88 3/11	4/12	4/18	5/7	5/22	6/1	6/16	7/9	7/20		8/17	8/27
Nagwon-dong	5.2	4.7	4.8	—	3.7**	3.9	4.0	5.5	4.9	5.3	—	4.8	4.9	5.8*	—	—	4.8
Ulchiro	5.2	4.8	4.8	5.1	4.0	3.2**	4.0	5.0	5.2	5.5	5.0	4.8	4.9	—	5.0	6.1*	4.8
Chungjongno	5.0	4.8	5.1	4.3	4.5	3.8	3.6**	4.9	—	4.8	5.5*	5.1	—	—	5.2	5.5*	4.8
Shinsoldong	5.4	5.1	—	—	3.9**	4.0	4.9	5.1	—	5.4	5.3	6.0*	5.3	5.6	5.0	5.8	5.1
Ahyon-dong	4.8	5.2	5.5	4.7**	—	4.9	4.7**	5.8	6.1*	5.1	5.2	—	5.5	5.5	5.1	—	5.2
Tonam-dong	5.3	5.7	4.7	—	3.5**	4.0	5.3	4.6	4.5	5.6	6.5*	—	5.1	5.0	5.7	—	5.0
Mia-dong	5.5	5.1	4.3	4.2**	5.1	4.3	4.9	5.5	6.3	5.8	6.4*	5.3	5.8	6.1	5.3	—	5.3
Songsu-dong	5.0	4.5	—	4.1	3.6	3.4**	3.6	4.7	5.2	4.6	5.4	5.0	5.1	—	5.0	5.8*	4.6
Samsong-dong	—	5.1	4.8	4.9	4.9	5.1	4.5*	5.1	6.0	5.7	6.1	—	6.6*	6.5	—	6.1	5.5
Socho-dong	—	—	5.3	5.4	5.0	5.3	5.2	4.9*	6.2	6.0	6.6*	5.8	6.1	6.3	6.6*	—	5.7
Noryangjin-dong	5.3	4.7	4.5	4.1	4.0	3.0**	3.8	5.8	5.9	6.4*	5.6	—	5.2	5.4	5.3	—	4.9
Yangpyong-dong	4.8	—	4.2	4.2	3.9**	3.9**	4.5	4.7	6.0	6.1*	5.4	5.0	—	5.0	4.9	—	4.8
Pulkwang-dong	5.7	5.5	4.9	4.7	5.0	3.6**	—	5.8	5.7	5.1	5.3	—	5.6	5.6	6.3*	5.6	5.3
Sanggye-dong	5.7	5.3	4.2	4.9	4.3	4.0	3.8**	4.0	4.9	4.9	5.2	5.5	—	6.1	—	6.3*	4.9
Mangu-dong	—	5.7	—	4.2	3.5**	4.3	4.9	—	5.0	5.3	5.9	5.8	6.1	6.2	6.0	6.5*	5.3
Kodok-dong	5.7	6.0	5.2	4.8	4.9	4.6	4.4**	5.1	6.8*	6.7	6.4	—	5.8	6.1	6.3	—	5.6
Chamsil-dong	5.3	—	5.4	4.9	4.5	4.4**	4.7	—	5.3	5.2	5.2	5.0	5.6	5.5	6.1	6.2*	5.2
Pongchon-dong	5.6	4.9	3.9**	4.6	3.9**	4.1	4.3	4.9	5.5	5.0	5.8*	5.6	5.7	—	—	5.7	5.0
Guro-dong	4.7	4.2	4.5	4.5	3.9	3.8**	4.8	4.6	5.2	6.2*	5.5	—	—	4.9	4.9	6.0	4.8
Shinjong-dong	5.5	5.0	5.2	5.2	4.7**	5.2	4.8	—	6.1*	5.7	5.9	6.0	5.5	—	5.6	—	5.4
Mean	5.3	5.1	4.8	4.7	4.3	4.2**	4.5	5.1	5.6	5.5	5.7	5.4	5.6	5.7	5.5	6.0*	5.1
Minimum	4.7	4.2	3.9	4.1	3.5	3.2	3.6	4.0	4.5	4.6	5.0	4.8	4.9	4.9	4.9	5.5	4.6
Maximum	5.7	6.0	5.5	5.4	5.1	5.3	5.3	5.8	6.8	6.7	6.6	6.0	6.6	6.5	6.6	6.5	5.7
Temperature(°C)	18.2	20.7	14.1	9.7	6.9	3.8	11.7	9.0	16.8	12.0	16.0	22.9	22.8	24.0	25.8	20.5	
Precipitation(mm)	45.6	12.4	16.4	10.9	11.4	27.9	23.6	27.0	12.2	21.9	54.2	11.0	101.6	37.5	34.5	11.5	
Wind Direction	NE	SSW	WNW	WNW	ENE	W	W	WNW	W	ENE	ENE	WNW	WNW	W	SW	ENE	
Wind Speed(m/s)	3.6	2.3	3.5	2.0	2.8	2.4	3.9	5.0	2.3	2.0	2.5	2.7	2.2	2.3	2.0	3.2	

\*\* : Minimum pH, \* : Maximum pH.

Table 1은 조사 기간 중 채취한 모든 우수의 pH 측정 결과와 측정일의 기상 조건을 나타낸 것이다. Table 1에 의하면 서울 지역에서 1987년 9월부터 1988년 8월(단, 12월·1월·2월은 제외)까지 내린 우수의 전체 평균 pH는 5.1로서 자연수의 pH 5.6보다 낮았으며, pH 5.5 이하의 산성 강우는 전 측정 지점에서 출현하였고, 전체 시료의 72%를 차지하였다.

Table 2는 조사된 전체 강우의 pH별 빈도 분포를 나타낸 것이다. 강우의 pH 계급별 출현율을 보면 pH 4.6~5.0(25.5%), pH 5.1~5.5(26.6%) 범위의 출현율이 매우 높았다.

매 회 나타난 각 지점의 pH분포를 점으로 표시한 결과 및 20개 지점 평균 pH의 변화 곡선은 Fig. 2와 같다. 조사 기간 중 pH는 최저 3.2(을지로, 노량진동~3월 11일)에서 최고 6.8(고덕동~5월 7일)까지 측정되었다.

2. 월별·계절별 특성

Table 1에서 보면 3월 11일에는 20개 조사 지점 중 7개 지점에서 조사 기간 중의 최저

Table 2. The appearance ratio of pH ranges of rain water in Seoul area

Class	Number of samples	Ratio
pH 3.2~3.5	5	1.8%
3.6~4.0	24	8.9%
4.1~4.5	25	9.2%
4.6~5.0	69	25.5%
5.1~5.5	72	26.6%
} 72%		
pH 5.6~6.0	44	16.2%
6.1~6.5	27	10.0%
6.6~6.8	5	1.8%
} 28%		
Total	271	100%

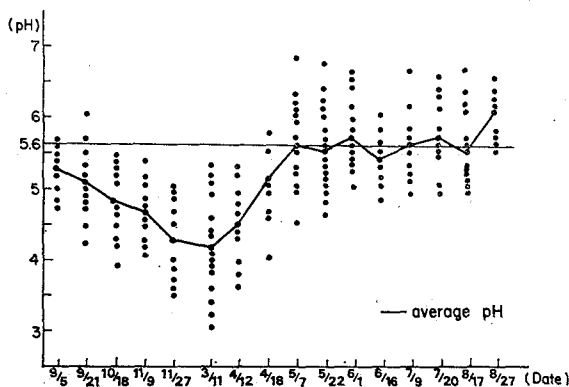


Fig. 2. Seasonal changes of pH values of rainfall in Seoul during 1987 to 1988.

pH를 나타냈으며, 전 지역 평균 pH가 4.2로 역시 조사 기간 중 최저치를 나타내었다. 11월 27일에도 7개 지점이 최저 pH를 나타냈으며 전 지역 평균 pH가 4.3으로 역시 낮았다. 따라서, 서울 지역의 산성비는 3월, 11월에 집중적으로 강하하였으며, 이 시기에는 모든 지점에서 pH 3.2~5.3 범위의 산성비가 출현하였다. 이는 손 등(1985)이 1985년 3월 서울 지역의 산성 강우 pH를 3.9~5.7로 보고한 바와 비교하여 보면 최고·최저치가 모두 더 낮아진 것이다. 특히 을지로(3.2)·노량진동(3.2)·성수동(3.4)에서는 3월 11일에, 돈암동(3.5)·망우동(3.5)에서는 11월 27일에 pH 3.5 이하의 심각한 산성 강우 현상을 나타내었다. 상대적으로 8월 27일에는 6개 지점에서 그 지역의 최고 pH가 나타났으며, 전 지역 평균 pH가 6.0으로 조사 기간 중 최고치를 나타내었다.

각 지점의 pH를 2~3개월씩 묶어 평균치를 구해본 결과 3·4월에는 전체 평균 pH가 4.5로서 비교적 강한 산성비 강하 현상이 나타났으며, 5·6월에는 5.6으로, 7·8월에는 5.7로 평균 pH가 높아지며, 9·10·11월에는 다시 낮아져 평균 pH가 4.8로 변화되고 있다. 즉, 서울 지역 강우의 pH는 4월까지는 상당히 낮은 pH를 유지하다가 5월 이후 점차 높아지고 9월 이후로는 다시 낮아져 계절에 따른 변화의 양상을 나타내는데, 이는 난방 시설이 가동되는 계절에 화석질 연료의 사용이 증가 함으로써 pH저하가 나타난 것으로 판단된다.

조사 기간 중 3·4월의 평균 pH가 가장 낮았던 곳이 14개 지점, 9·10·11월의 평균 pH가 가장 낮았던 곳이 2개 지점, 3·4월의 평균 pH와 9·10·11월 평균 pH가 같으면서 최저였던 곳이 4개 지점이었다. 또, 7·8월의 평균 pH가 가장 높았던 곳이 11개 지점, 5·6월의 평균 pH가 가장 높았던 곳이 9개 지점이었다.

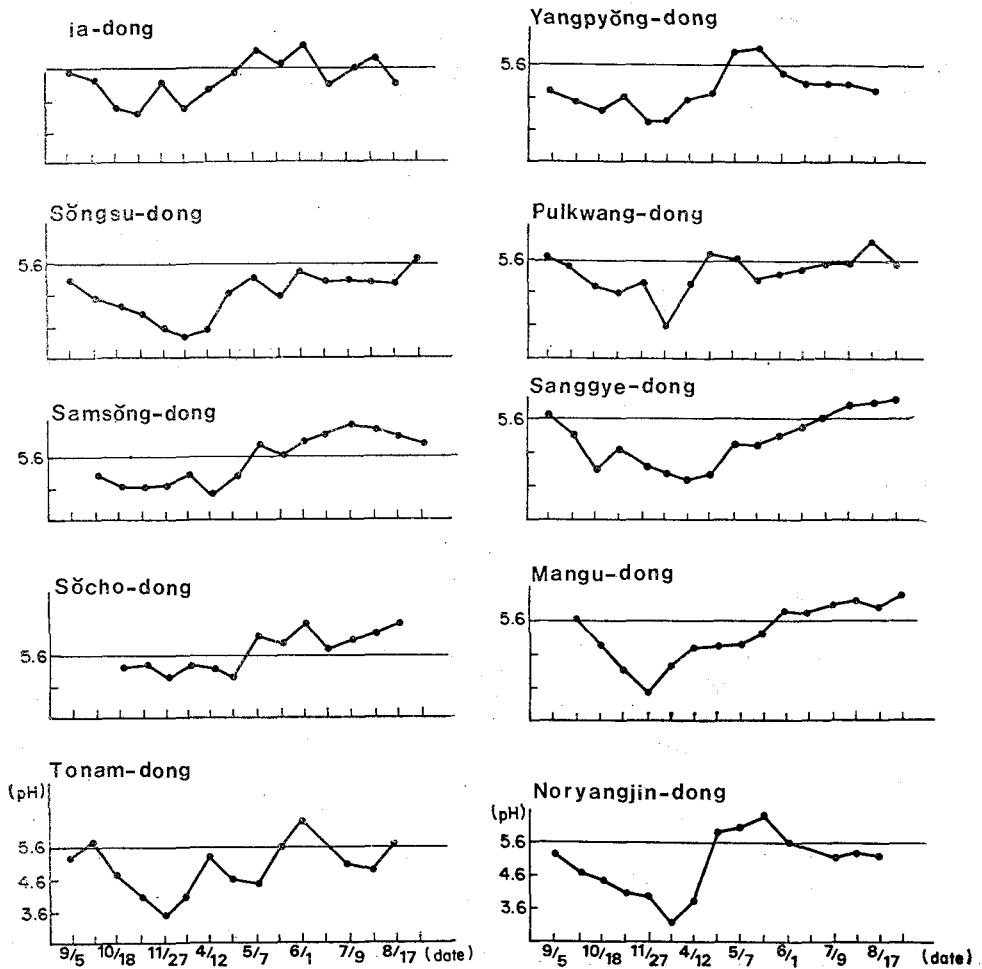
### 3. 지역별 특성

Table 1에 나타나 있는 조사 기간 중의 각 지역별 평균 pH를 비교하여 보면 조사된 지역 중에서는 성수동의 평균 pH가 4.6으로 가장 낮았고, 서초동의 평균 pH가 5.7로 가장 높았다. 성수동·낙원동·을지로·충정로·양평동·구로동 등에서 다른 지점에 비해 특히 pH의 저하가 뚜렷이 나타났는데, 이는 광화문을 중심으로 반경 5km이내의 도심 지역과 공업 지역에서 pH 저하가 두드러짐을 보여주는 것이다. 도심 지역의 pH 저하는 많은 교통량과 밀집된 건물의 난방용 연료 연소의 영향 때문으로 생각되고, 공업 지역의 경우는 주위의 각종 공장에서 배출되는 여러 종류의 오염 물질이 다른 지점에 비하여 다량 발생되고 있음에 기인하고 있는 것으로 판단된다.

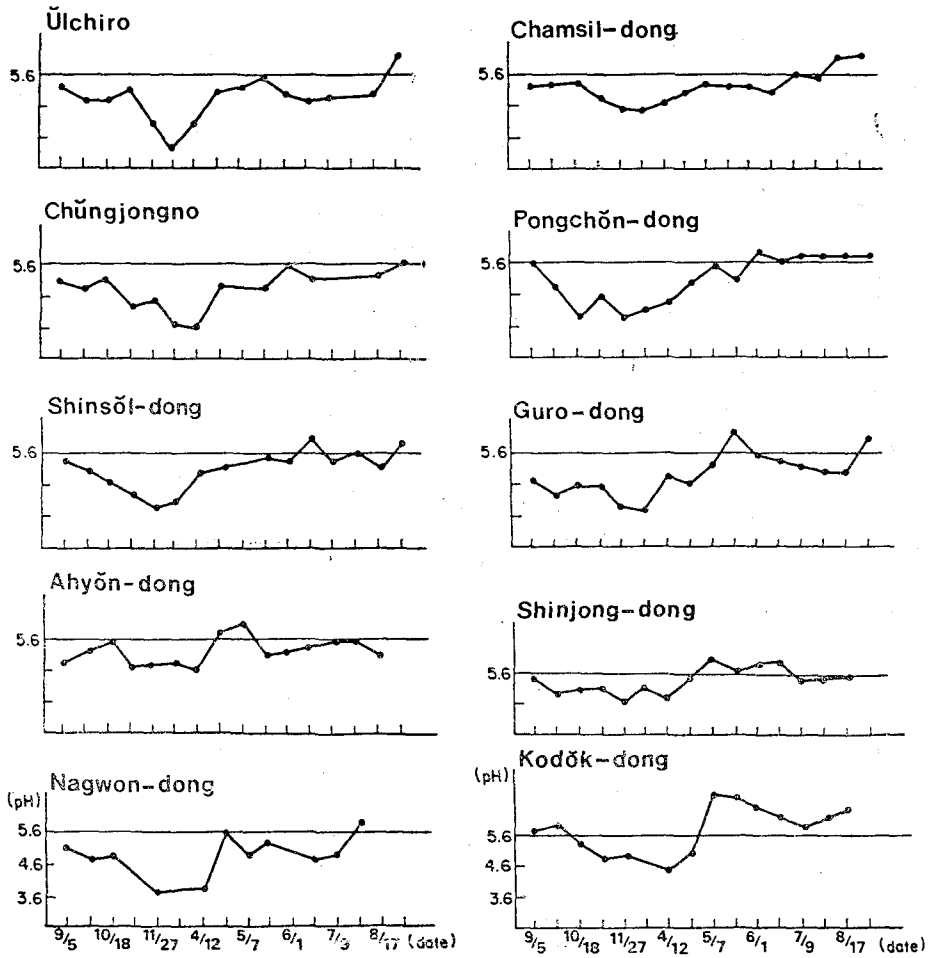
각 지점에서 나타난 pH 5.5 이하의 산성 강우 출현율 및 중심 pH 범위와 각 지점에서 측정된 pH의 최고·최저치 간 변화폭을 고려하면 전 측정 지점에서 pH 5.5 이하의 산성 강우 평균 출현율은 72%였는데, 충정로·을지로·성수동·낙원동에서는 그 출현율이 90% 이상으로 매우 높았고, 서초동·망우동·고덕동에서는 산성 강우 출현율이 50% 미만으로

비교적 낮은 편이었다. 특히 충정로에서는 100%의 출현율을 나타냈으며 고덕동에서는 42.9%로 가장 낮았다. 각 지점에서 측정된 pH값의 최고치 중에서는 고덕동의 6.8(5월 7일)이 가장 높았고, 충정로의 5.5(6월 1일, 8월 27일)가 가장 낮았다. 최저치 중에서는 서초동의 4.9(4월 18일)가 가장 높았고, 을지로와 노량진동의 3.2(3월 11일)가 가장 낮았다. 최고·최저치 간의 차이는 아현동, 신정동에서 1.4로 가장 작았고, 노량진동에서 3.2로 가장 컸다. 각 지점 최저치의 평균은 3.9이고, 각 지점 최고치의 평균은 6.2로서 최고·최저치 간 변화폭은 평균 2.3 정도였다.

Fig. 3은 각 지점의 pH 분포도 및 pH 변화 곡선을 나타낸 것이다. 각 지점은 대체로 전 지역 평균 pH와 거의 동일한 pH 변화 곡선을 나타냈다.



<Fig. 3-1>



<Fig. 3-2>

Fig. 3. pH distribution of the rainfall at each sampling site in Seoul during 1987 to 1988

Fig. 4는 서울 지역의 산성비 강하 분포를 그림으로 나타낸 것인데, 이를 보면 산성비는 특정 지역에서 집중적으로 강하하고 있어 대기 오염물의 배출 지역과 우수의 pH가 비교적 좋은 상관성을 지닌 것으로 판단된다.

4. 강우의 pH와 기상 조건과의 관련성

Fig. 5~Fig. 7은 강우의 pH와 기상 조건의 변화를 함께 나타낸 것이다. Table 1에 기록된 측정일의 기상 조건은 중앙기상대에서 관측한 비가 내린 날의 평균 기온, 강우량, 풍향, 풍속 측정치로서 강우량은 mm단위로 측정된 양이고, 풍향은 24시간 평균 풍향이며, 풍속은 24시간 평균 풍속이다.



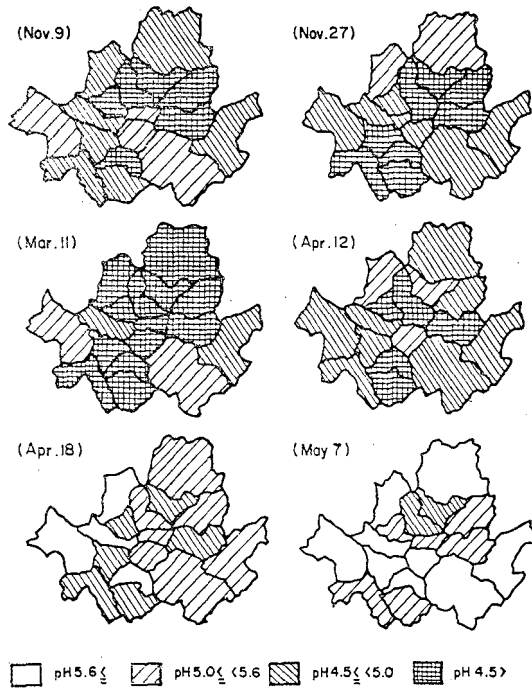


Fig. 4. pH distribution pattern in Seoul from Nov. 9, 1987 to May 7, 1988.

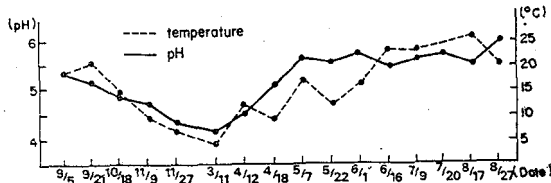


Fig. 5. Correlation between pH and temperature

Fig. 5는 측정일의 평균 기온과 평균 pH의 변화를 나타낸 것이다. 그림을 보면 기온과 pH의 변화와는 밀접한 관련성이 있는 것으로 보이는데, 그 원인은 기온이 낮을 때는 난방 시설의 가동으로 대기 중에 SO<sub>2</sub>를 비롯한 대기 오염 물질이 많이 방출되어 강우의 pH 저하에 크게 기여하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 6은 매 강우시 평균 pH와 각각의 강우량을 표시한 것이다. 그림에 의하면 강우의 pH와 강우량과는 서로 뚜렷한 상관성을 가지지 않는 것으로 보인다. 따라서, 산성비의 증화에는 일시적으로 많은 비가 내리는 것보다 자주 비가 오는 것이 더욱 효과적이라 하겠다.

Fig. 7은 측정일의 평균 풍속과 pH의 변화를 나타낸 것이다. 총 16일의 조사 기간 동안 일평균 풍속은 최소 2.0m/s에서 최대 5.0m/s까지로 평균치는 2.8m/s이었으며, 발생 빈도를 퍼센트로 표시하면 평균 풍속 3m/s 이하가 69%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 그림에

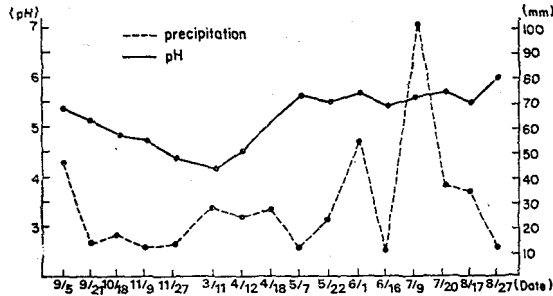


Fig. 6. Correlation between pH and precipitation

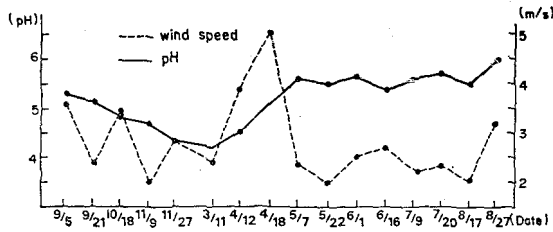


Fig. 7. Correlation between pH and wind speed

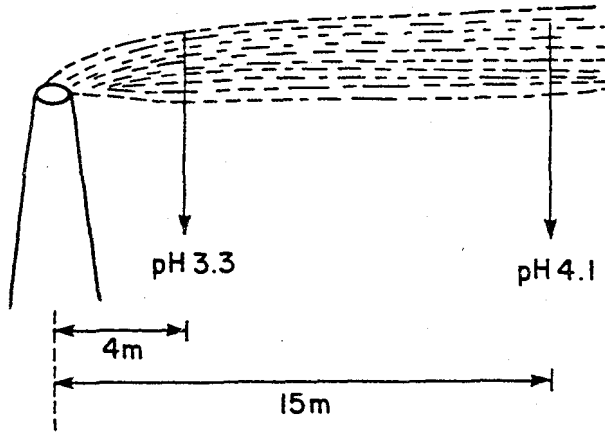
의하면 평균 풍속과 빗물의 pH와는 상관성이 낮은 것으로 보인다.

한편 조사일의 일평균 풍향을 16방위로 구분하여 보면, 서북서(WNW) : 5회, 동북동(ENE) : 4회, 서(W) : 4회, 북동(NE) : 1회, 남남서(SSW) : 1회, 남서(SW) : 1회의 빈도 분포로 조사되었다. 서울은 연중 북동풍과 남서~서풍의 출현 빈도가 60~70%로 우세함을 보여주는데, 비가 내린 날의 풍향은 우리 나라의 계절풍과 비슷한 양상을 나타내어 오염물의 장거리 이동이나 특정 지점의 빗물 산성화에 미치는 기상 조건의 영향은 크지 않은 것으로 보인다.

##### 5. 대기 오염과 강우의 pH와의 관계

강우의 pH 저하와  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  이온과의 관계에 대하여 지금까지 많은 연구가 이루어져 왔으며, 이들 결과로부터 강우의 pH 저하에 크게 기여하는 화학 성분은  $\text{SO}_4^{2-}$ 와  $\text{NO}_3^-$  이온이라는 예가 많이 보고 되었다(Nicholas and Boyd, 1981).

우리 나라의 경우에도 한국과학기술원(1986)의 연구에 따르면, 서울에서는 우수 성분 중  $\text{SO}_4^{2-}$ 가 84%,  $\text{NO}_3^-$ 가 8%,  $\text{Cl}^-$ 가 8% 포함되어 있으며, 양(1986)의 연구에서는  $\text{SO}_4^{2-}$ 가 84%,  $\text{NO}_3^-$ 가 10%,  $\text{Cl}^-$ 가 6% 포함되어 있는 것으로 보고 되었다. 따라서,  $\text{NO}_3^-$ 보다  $\text{SO}_4^{2-}$  이온이 강우의 pH 저하에 영향을 미치는 정도가 더 큰 것으로 나타났고, 대기 중의  $\text{SO}_2$  오염도와  $\text{SO}_4^{2-}$  이온 사이에 상관성이 있음이 확인되었다(한, 1986).



**Fig. 8.** Distance from chimney and rainwater pH  
 Date: May 22, 1988      Temperature: 12°C  
 Wind speed: 2m/s      Wind Direction: ENE.

서울 시내의 대기 중  $SO_2$  농도는 공업 지역, 교통 혼잡 지역, 도로 상가 지역에서는 2시간 환경 기준을 초과하고 있고, 주거 지역과 녹지 지역이 환경 기준을 유지하고 있는 실정이다. 또, 대기중  $SO_2$  농도는 에너지 소모가 많은 동절기에 가장 높고 에너지 소모가 적은 하절기에 가장 낮아, 연료 사용량과  $SO_2$  농도가 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다(김, 1986). 1982년 환경청의 보고에 의하면  $SO_2$ 의 주요 발생원은 가정용 연료 연소가 41.1%를 차지하고, 차량의 배기 가스가 24.2%를 차지하고 있다. 또, 대기 중  $SO_2$  농도는 서울 지역에서 사용되는 각종 연료 중에서도 B-C유의 연소에 의한 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났다(김, 1986).

Fig. 8은 B-C유 연소 가스가 빗물의 pH 변화에 얼마나 영향을 주는가를 알아보기 위해, B-C유를 연료로 사용하는 건물의 굴뚝에서 거리의 차이를 두고 내리는 빗물을 받아 pH를 측정하였다. 측정 결과 굴뚝에서 4m 떨어진 거리에서 내리는 빗물은 동일 지역의 평균 pH 5.2보다 1.9나 낮은 pH 3.3을 나타내었다. 따라서 B-C유 연소 산물은 빗물의 산성도를 변화시키는 주요인이 된다고 할 수 있다.

우리 나라는 현재 부유 분진과 아황산가스( $SO_2$ )가 주요 오염 물질을 이루고 있는데, 서울시가 1988년 1월부터 8월말까지 대기 오염도를 측정한 결과에 따르면 부유 분진이 기준치인 입방 m당  $150\mu g$ 보다 높은  $188\mu g$ ,  $SO_2$ 도 기준치 0.050ppm을 넘어선 0.054ppm으로 나타났다. 이 중 부유 분진의 경우는 동경  $60.2\mu g$ , 뉴욕  $61.8\mu g$ 보다 3배 이상 많은 것이며 런던  $22.0\mu g$ 보다는 8배 이상 높은 것이다.  $SO_2$  오염도도 동경, 뉴욕, 런던, 대북 등의 0.015~0.018ppm보다 3배 이상 높은 것이나,  $SO_2$ 는 1980년의 0.094ppm보다는 많이 완화되어 1982년 부터는 기준치를 약간 웃도는 수준에서 머무르고 있다. 일산화탄소는 기준치 8ppm보다

낮은 2.5ppm이었으나 동경, 대북의 1.3, 1.7ppm보다는 훨씬 높은 것으로 나타났다(중요일보, 1988).

따라서, 대기질의 집중 개선을 위해서는 SO<sub>2</sub> 및 먼지의 감소 대책이 필요한데, 아황산가

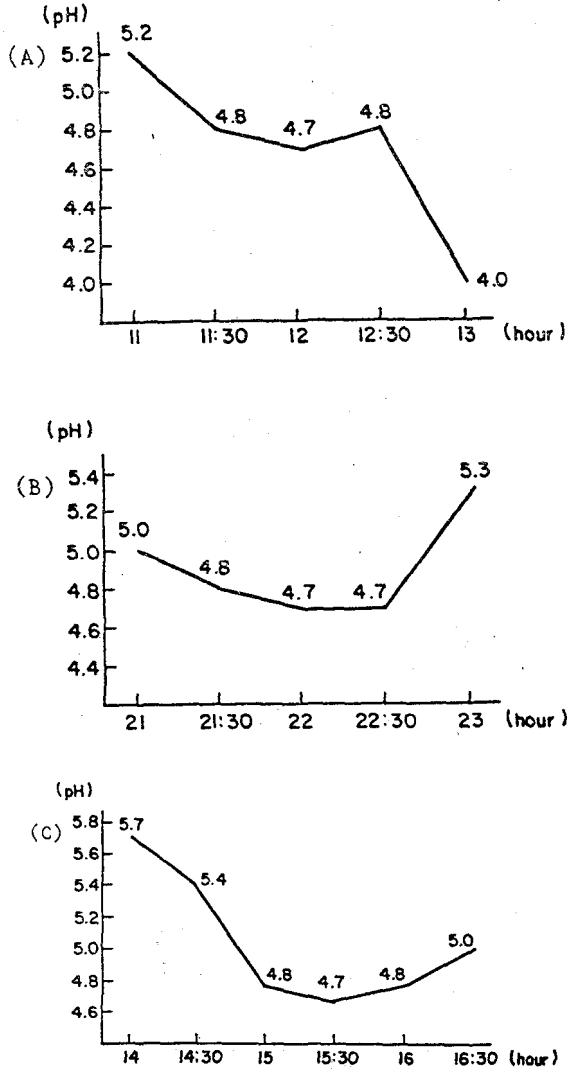


Fig. 9. Daily variation of rainwater pH

(A)  
 Date: Mar. 11, 1988  
 Site: chamsil-dong  
 Temperature: 3.8°C  
 Wind speed: 2.4m/s  
 Wind direction: W  
 Precipitation: 27.9mm  
 Total pH: 4.4

(B)  
 Date: Apr. 12, 1988  
 Site: Chamsil-dong  
 Temperature: 11.7°C  
 Wind speed: 3.9m/s  
 Wind direction: W  
 Precipitation: 23.6mm  
 Total pH: 4.7

(C)  
 Date: May 22, 1988  
 Site: Chamsil-dong  
 Temperature: 12.0°C  
 Wind speed: 2.0m/s  
 Wind direction: ENE  
 Precipitation: 21.9mm  
 Total pH: 5.2

스 감소 대책으로는 첫째로 청정 연료(LNG) 공급을 확대하여야 한다. 일정 규모 이상 건설에 LNG 사용을 의무화하여 수도권에 LNG 공급 확대를 추진하여야 하며, 둘째로 탈황 시설을 설치하여야 한다. 중질유 분해 탈황 시설의 설치를 독려하여 저유황유 생산에 따른 공급 체계 확립 및 공급 지역의 지속적 확대가 필요하다. 셋째로는 SO<sub>2</sub> 오염의 주요인인 연탄의 단계적 대체 추진이 필요하다. 먼지의 감소를 위해서는 공사장 먼지 발생 억제를 위한 방진 시설, 세수 시설 설치 의무화와 공터 식재 등 생활 먼지 감소 대책의 추진이 필요하다(한국 환경 기술 연구소, 1988). 아울러 서울에는 보다 많은 녹지 지역의 확보가 필요한 것으로 판단된다.

#### 6. 강우시 시간 경과에 따른 pH의 변화

Fig. 9는 비가 내리는 시간에 따른 빗물의 pH 변화를 측정된 것이다. 그림에서 보면 실제로 내리는 빗물의 pH는 시간별로 차이가 있음을 알 수 있다. 세 경우 모두 pH가 처음에는 높다가 낮아지는데, 이것은 강우 초기에는 강우를 중성화하는 완충물질(Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 등의 Alkali 염)이 강우 중에 많이 흡수되기 때문인 것으로 생각된다. 부유 분진은 Alkali성 물질이 많고 초기 강우에 의해 제거되며, 다음에 SO<sub>2</sub> 등 기체 상태의 오염 물질이 빗물에 녹아 제거되면서 다시 점차로 pH가 올라가게 되는 것으로 보인다.

이처럼 빗물의 pH가 시간에 따라 변하는 것으로 보아 '오염원이 다른 지역으로부터 유래하기보다는 그 지역에서 배출되어 산성비의 원인이 되는 것으로 판단된다. 다른 지역으로부터 오염원이 유래하였다면 시간에 따른 pH의 변화가 작을 것이기 때문이다. 따라서, 서울 지역에서는 오염물의 장거리 이동은 크지 않고 각 지역의 오염물 배출 특성이 빗물의 pH 분포에 비교적 잘 나타난 것으로 볼 수 있다.

### 要 約

서울시에서의 산성비 현황을 파악하기 위하여 1987년 9월부터 1988년 8월까지(단, 12월, 1월, 2월은 제외) 서울 지역에 내린 우수의 pH를 조사 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 조사 기간 중 서울 지역에서 내린 비의 평균 pH는 5.1로서 자연수의 pH 5.6보다 낮았으며, pH 5.5 이하의 산성비가 전 조사 지점에서 출현하였다.
2. 조사 기간 중 pH는 최저 3.2에서 최고 6.8까지 측정되었는데, pH 4.6~5.5 범위의 출현율(52.1%)이 가장 높았다.
3. 서울 지역 강우의 pH는 4월까지의 상당히 낮은 pH를 유지하다가 5월 이후 점차 높아지는 현상을 보였으며, 9월 이후로는 다시 낮아져 계절에 따른 변화의 양상을 나타낸다.
4. 전 조사 지점에서 pH 5.5 이하의 산성비 평균 출현율은 72%였는데, 충청로·을지

로·성수동·낙원동에서는 그 출현율이 90% 이상으로 매우 높았고, 서초동·망우동·고덕동에서는 그 출현율이 50% 미만으로 비교적 낮은 편이었다.

5. 서울 지역에서 산성비는 특정 지역에서 집중적으로 강하하고 있어, 오염물의 장거리 이동은 크지 않고 각 지역의 오염물 배출 특성이 빗물의 pH 분포에 비교적 잘 나타나는 것으로 판단된다.

6. 기상 조건 중 평균 기온은 우수의 pH 변화와 밀접한 관련성이 있는 것으로 보이며, 강우량·풍속·풍향 등은 빗물의 산성화에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

7. 서울 지역에서 사용되는 각종 연료 중 B-C유 연소 산물이 빗물의 산성도를 변화시키는 주요인이다.

8. 빗물의 pH가 시간에 따라 변하는 것으로 보아 오염원이 다른 지역으로부터 유래하기 보다는 그 지역에서 배출되어 산성비의 원인이 되는 것으로 판단된다.

### 參 考 文 獻

- 김기준(1986). 서울시내 이산화황(SO<sub>2</sub>) 오염도 조사 분석에 관한 연구. 건국대학교 산업대학원 환경공학과 석사학위 청구 논문.
- 김준호(1985). 산성비의 실태. 자연보존, 49:22.
- 박봉규(1983). 서울시에서의 산성 강우에 관한 연구. 이화여대 생활과학 연구원 논총, 137-142.
- 박종희 외 3명(1978). 우리나라 특성 지역의 산성 강우 현상에 관한 조사 연구. 문교부 정책과제 연구보고, 1-10.
- 변우혁(1985). 독일의 삼림 위기와 산성비. 자연보존, 49:3-7.
- 손동현, 양성칠(1985). 서울시의 산성 물질 강하 현상에 관한 연구. 한국 대기보전학회지, 1(1):33-41.
- 양성칠(1986). 서울시의 산성 물질 강하 현상에 관한 연구. 중앙대학교 대학원 약학과 석사학위 청구 논문.
- 중앙기상대. 기상월보, 1987년 9월~1988년 8월.
- 중앙일보. 1988년 11월 7일자 13면.
- 최덕일 외 3명(1980). 강수물 성분 변화에 의한 대기 오염도의 간접 측정 및 평가에 관한 연구. 국립환경연구소보, 2:59-61.
- 한국과학기술원(1986). 산성비 연구: 서울시를 중심으로. 한국 대기보전학회지, 2(2):66-74.
- 한국환경기술연구소(1988). 환경과 공해, 11(2).

- 한상운 외 3명(1986). 서울 지역에 있어서의 산성 강우 현상에 관한 연구. 서울특별시 보건환경연구소보, 22:261-292.
- 환경청(1982). 환경보전.
- Galloway, J.N. (1978). The Collection of Precipitation for Chemical Analysis. *Tellus*, 30.
- Heit, M., Tan, Y., Klusek, C. and Burke, J.C. (1981). Anthropogenic Trace Elements and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Levels in Sediment Cores From Two Lakes in the Adirondack Acid Lake Region. *Water, Air and Soil Pollution*, 15(4):441-464.
- Johnson, N.M. (1979). *Science*, 204(4):497-499.
- Kaplan, E., Thode, H.C. and Protas, A. (1981). Rocks, Soils, and Water Quality. Relationships and Implications for Effects of Acid Precipitation on Surface Water in the Northeastern United States. *Environmental Science & Technology*, 15(5):539-544.
- La Bastille, A. (1981). Acid Rain-How Great a Menace? *National Geographic*, 160(5):652.
- Lefohn, A.S. and Brocksen, R.W. (1984). Acid Rain Effects research. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 34(10):1008-1009.
- Leonard, R.L. and Goldman, C.R. (1981). Some Measurements of the pH and Chemistry of Precipitation at Davis and Lake Tahoe, California. *Water, Air and Soil Pollution*, 15(2):153-167.
- Likens, G.E., Bormann, F.H. and Johnson, N.M. (1972). Acid Rain. *Environment*, 14:33.
- Likens, G.E. and Cogbill, C.V. (1974). Acid Precipitation in the Northeastern United States. *Water Resource Research*, 10(6):1133-1137.
- Likens, G.E., Wright, R.F., Galloway, J.N. and Butler, T.J. (1979). Acid Rain. *Scientific American*, 241(4):39-47.
- Mitchell, M.J., Landers, D.H. and Brodowski, D.F. (1981). Sulfur Constituents of Sediments and Their Relationship to Lake Acidification. *Water, Air and Soil Pollution*, 16(3):351-359.
- Nicholas, G. and Boyd, R.R. (1981). Acid Rain. *Engineering Bulletin*, 58:5-11.
- TIME (1982). Acid Rain-The Silent Plague. Nov. 8(45):48-58.

## A Study on the Precipitation pH in Seoul Area

### Abstract

In order to investigate the phenomenon of acid precipitation, pH value was measured from rainwater sampled around 20 sites in Seoul area during the period of 9 months from September 1987 to August 1988(excluded December, January and February).

The results are summerized as follows;

1. The mean pH at 20 sites in Seoul area during the period was 5.1 and acid rain was found in all sites.
2. During the period pH values of 3.2~6.8 were measured and pH ranging from 4.6 to 5.5 was shown to be the highest ratio of appearance (52.1%).
3. The rainwater pH was high in summer and low in other seasons.
4. The appearance ratio of pH value below 5.5 was 72% of total samples.
5. The acid precipitation in Seoul area appeared to be concentrated on certain districts such as industrial areas and traffic zones.