

서울 地域의 酸性降雨 現象에 관한 調査

環境調査科

박성배 · 김민영 · 김광진
이승천 · 이상열 · 임채국

Studies on the Present State of Acid Precipitation in Seoul

Division of Environmental Research

Sung-Bae Park, Min-Young Kim, Kwang-Jin Kim,
Sung-Chun Lee, Sang-Yeoul Lee and Chae-Kook Lim

= Abstract =

The precipitation, frequency and values of pH, and average pH values weighed precipitation were investigated at five locations in Seoul area from jan. to dec. in 1993.

The results were as follows.

1. The average values of pH was 5.0, but the precipitation less than 3mm shown 5.9 at Kuro location.
2. Higher pH values than average were shown in apr, jun, aug, oct, and dec, while lower values were shown in feb, mar, july. Seasonal pH values were shown winter > summer > spring > fall. The pattern of pH in 1993 was different from that of last year.
3. The frequency of acid rain being less than pH 5.6 were winter=87.4 > summer=78.5 > fall=75.0 > spring=73.5 and the percentage of total acid rain was 78%.
4. The average pH value weighed precipitation after pH value was converted hydrogen ion concentration was 4.5.

서 론

지구는 태양계에서 강우현상이 있는 유일한 혹성이며, 지구상 물의 99% 이상은 바다와 극지의 얼음이 차지하고 있고 대기중에서 강수로 되는 것은 겨우 0.001% 정도이나 지구환경 가운데에서 강우의 역할은 결코 적지 않다고 판단된다. Crowther²⁾ 등은 산성우가 石炭燃料과 관계가 깊다고 하였고, 또 Gorham은^{3,4)} 10여년에 걸

친 산성우에 대한 수차례 보고 끝에 이의 原因物質과 이들의 생태계에 미치는 영향을 발표하였다.

일본에서는 1981년 전국적 산성우 實態調査를 실시하여 장기적인 생태계의 影響把握에 대한 計劃을 수립하였으며^{6,7)}, 국내에서도 1978년 서울, 울산 지역에 대한 pH 측정을 시작으로 1984년에 國立環境研究所에서 서울시 내 18개 지역을 調査하였으며, 1984년 산성우 측정망 지침이 지시된 바 있다.

본 調査는 1993년 1월부터 12월까지 서울시의 5개 地

點에서 측정된 산성비 汚染 現況을 調査하였기에 報告한다.

調査 方法

1. 조사기간 및 대상

1993년 1월부터 12월까지 한남동, 쌍문동, 방이동, 구로동, 양재동 등 5개 地點에서 채취된 降水를 대상으로 하였고, 측정지점은 Table 1과 같다.

Table 1. Sample site.

Sample site	Area	Distance from The Kwang-whamoon
Hannamdong	Residential	3.9Km
Yangjeadong	Residential	6.5Km
Ssangmundong	Residential	10.5Km
Kurodong	Industrial	12.5Km
Bang-idong	Rural	14.0Km

2. 측정기계 및 측정방법

測定機械는 자동우설 분석기[(주)OGASAWARA 계기계작소 R-1600P형]를 使用하였으며, 측정방법은 5개 地域에서 내리는 降雨를 매 1mm 마다 pH의 평균, 최대, 최소를 自動 測定하고 매시간 정각에 pH의 1시간의 평균, 최대, 최소를 자동계산한다.

결과 및 고찰

1. 강우량과 pH 관계

Table 2는 구로동의 93년 1년 동안 내린 산성비의 pH 평균과 강우량을 나타낸 것이다.

우리나라 pH의 特性을 把握하려면 강우량과 pH 관계, 그리고 강우량이 적을 때의 pH 특성, 降雨量이 20mm 이상일 때의 pH의 1일 변화, 장마철의 pH 변화, 그리고 황사현상 때의 pH 변화를 觀察하였다. 먼저 pH의 월별, 계절별 pH의 特性을 調査한 바 Table 2에서 보는 바와 같이 구로동 1년 pH 평균은 5.0인데 강우량 3mm 이하인(강우일수 36일) pH 평균은 5.9로 높았다. 이러한 경우는 구로동만 예를 든 경우이지만 5개 地點 全域에서 공동으로 일어나는 現狀이고, 아울러 93년 강우일수 중 38.7%가 3mm 이하의 강우량을 보이고 있다.

Table 2. pH values and precipitation of Kuro station in 1993.

Date	pH	preci mm	Date	pH	preci mm
1/6	5.5	0.3	7/28	5.2	1.7
1/17	5.5	0.2	7/29	4.9	73.9
2/11	4.4	1.4	7/30	5.3	1.4
2/16	4.7	30.3	8/2	6.0	14.4
2/20	5.1	6.4	8/3	6.2	2.9
2/21	4.5	12.2	8/8	7.7	0.8
2/27	4.3	1.5	8/9	5.6	21.9
2/28	4.3	0.2	8/12	5.0	25.4
3/6	4.6	3.2	8/13	5.0	26.8
3/24	4.1	13.2	8/15	6.6	2.7
3/31	5.7	15.8	8/16	5.5	1.6
4/10	5.0	4.2	8/17	4.6	9.2
4/11	4.0	1.6	8/19	4.4	6.8
4/27	5.7	17.5	8/20	6.0	8.0
4/28	4.8	13.1	8/21	4.6	47.0
4/29	5.3	1.2	8/24	4.8	3.1
4/30	6.6	1.2	8/25	4.8	4.4
5/2	5.7	4.1	8/26	5.3	1.0
5/11	5.3	0.2	9/2	4.4	8.2
5/12	4.5	3.2	9/12	6.3	2.8
5/13	4.3	56.2	9/13	4.7	3.2
5/17	4.5	28.7	9/16	5.4	10.3
5/21	4.6	10.7	9/17	4.8	25.8
5/22	4.6	3.6	9/22	3.9	9.3
5/25	5.0	13.5	9/17	7.3	0.3
6/1	4.8	1.5	9/28	6.4	1.0
6/2	5.1	75.5	10/18	7.6	0.2
6/3	4.6	0.4	10/20	6.6	0.1
6/12	6.3	13.8	10/21	6.2	1.5
6/13	5.0	59.4	10/22	5.8	13.6
6/17	7.3	0.6	10/29	4.6	7.2
6/18	6.5	13.5	10/30	5.3	2.6
6/23	6.0	1.5	11/6	7.6	0.2
6/28	5.4	1.6	11/7	8.1	0.5
6/29	5.4	10.5	11/10	6.6	0.8
6/30	4.2	8.2	11/12	5.9	4.0
7/1	4.0	25.6	11/13	4.7	41.0
7/11	4.3	6.6	11/20	5.4	13.1
7/12	4.7	5.7	11/21	5.6	0.6
7/13	4.3	12.6	11/22	4.9	0.5
7/16	4.4	30.2	11/23	4.3	3.6
7/17	4.1	74.5	11/26	4.3	3.9
7/23	7.3	1.3	11/27	4.7	0.8
7/24	4.1	35.7	11/30	5.3	14.1
7/25	3.6	22.0	12/10	5.9	3.0
7/26	3.8	16.6	12/16	6.3	2.3
7/27	5.6	2.5			

총 강우일 : 93일

pH 년평균 : 5.0

3mm이하 강우일 : 36일

3mm이하 pH 평균 : 5.9

이러한 現狀은 降雨가 rain out 보다는 칼슘 등 알칼리원소가 많은 토양 유래의 wash out 현상에서 대기중의 Dust를 씻어내면서 강우중에 먼지에 의한 양이온의 增加에 起因하고, 이러한 현상은 4월에 나타나는 황사현상이 높은 pH를 나타내는 것과 관련이 있다고 사료된다.

Fig. 1은 강우량이 20mm 이상일 때의 pH의 시간적 變化를 나타낸 것이고, Fig. 2는 장마철에 나타나는 전형적인 pH시간 變化를 나타낸 것이고, Fig. 3은 황사현상 때의 pH의 時間變化를 나타낸 것이다. Fig. 1, 2에서 보면 초우에는 Wash out 現狀에 의한 높은 pH를 나타내다가 강우량이 많아질수록 낮은 pH를 보이고 있다.

90년 본 연구소보에 이미 報告한 바 있듯이 산성우수는 음이온보다는 양이온과 더 많은 相關關係가 있다¹¹⁾.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 처음에 높다가 다시 낮아진 후 강우량이 더 많아지면 다시 pH가 높아지고 있다.

따라서 Fig. 1, 2에서 보는 바와 같이 초우에는 Wash out에 의한 대기중의 먼지에 의해 높은 pH를 보이다가 후속우에서 Rain out에 의해 음이온에 의한 pH 下降을 보이며 더 많은 후속우에 의해 대기가 깨끗해지면 음이온과 양이온이 거의 없는 pH 5.6 範圍의 정상 강우가 내리고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 황사현상에 의한 강우의 時間變化를 나타낸 것인데 여기서 보면 강우량도 25.2mm로 많음에도 불구하고 10시간 계속해서 pH 6.6 이상을 나타내고 있다. 이것은 황사에 의한 고농도의 먼지에 의한 양이온에 起因함을 추정할 수 있다.

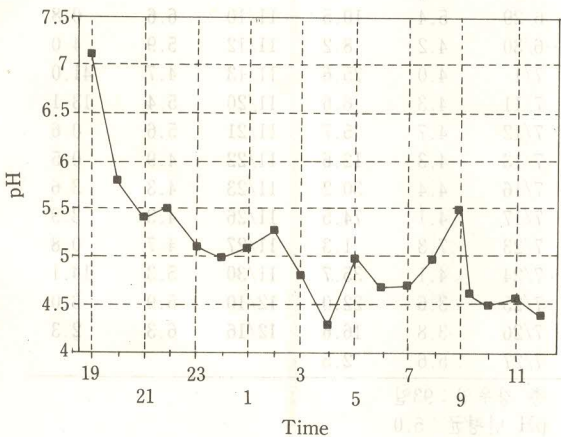


Fig. 1. Variation of pH value per hour using more than 20mm precipitation.

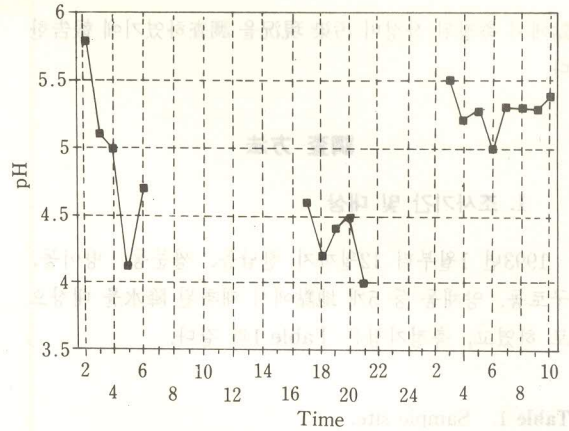


Fig. 2. Variation of pH value during rainy season.

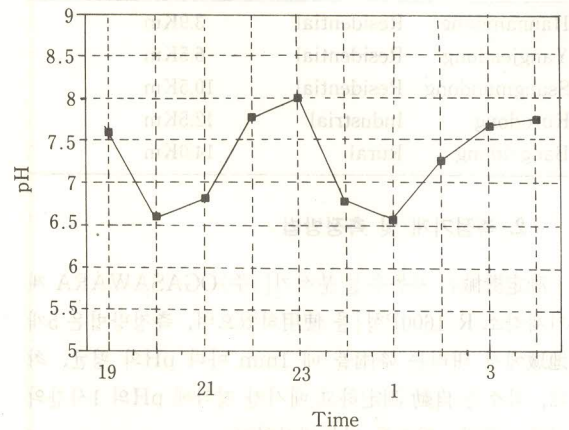


Fig. 3. Variation of pH value during yellow sand phenomenon.

2. 월 계절별 pH

Table 3은 구로동의 월별 pH, 강우일, 강우량, Dust 濃度 등을 나타내었다. 여기서 보면 연간 pH 평균이 5.0이며 5.0 보다 높은 달은 4, 6, 8, 10, 12월이고 5.0 보다 낮은 달은 2, 3, 5, 7월이다.

따라서 예년의 pH 월별 패턴과는 다른 樣相을 띄고 있다. 여기서 이 문제를 설명하려면 강우량과 시간별 降雨強度에서 설명해야 한다. 1, 12월은 강우량, 강우強度가 적어 초우에 의한 降雨밖엔 없어 pH가 높게 나타난 것이고, 4월은 황사현상에 의한 높은 pH를 반영한 것이고, 10월은 pH 5.9로 가장 높게 나타났는데 이것도 역시 낮은 강우량에 起因한다. 또 7월은 장마철로 93년에는 31일 중 17일이 강우일이었음에도 불구하고 pH 4.8로 비교적 낮은 pH값을 나타내고 있는데 이것도 역

시 Fig. 2에서 보는 바와 같이 시간당 강우강도가 높을 때 pH가 낮은 값을 나타내고 있다.

Table 3. Monthly pH value of Kuro station.

Month	pH	Dust	SO ₂	NO ₂	preci	preci-time	preci-day	Total pH
1	5.5	127	0.069	0.036	0.5	2	2	5.0
2	4.6	105	0.056	0.033	52.0	34	7	4.4
3	4.8	100	0.045	0.036	32.2	22	3	4.9
4	5.1	106	0.022	0.029	38.8	36	9	5.5
5	4.8	79	0.020	0.034	120.2	60	8	4.7
6	5.3	82	0.014	0.029	186.5	65	11	5.2
7	4.8	57	0.008	0.026	365.3	118	16	4.8
8	5.4	79	0.011	0.026	176.0	80	16	5.2
9	5.1	81	0.013	0.031	60.9	27	8	5.0
10	5.4	75	0.029	0.030	25.2	19	6	5.9
11	5.2	92	0.029	0.032	83.1	57	12	5.0
12	5.9	104	0.037	0.036	5.6	11	2	5.3

또 계절별 pH 변화는 Table 4에서 表示하였는데 겨울 4.8 > 여름 5.0 > 봄 5.1 > 가을 5.2로 비슷한 數値를 보이고 있다. 월별 pH 변화에서 설명한 것과 같이 강우량, 강우강도에 의한 pH의 變化로 보이며 過去처럼 겨울이 낮고 여름이 높은 경향은 보이지 않고 있다. 이는 겨울철에 난방용 화석연료 사용증가에 배출되는 오염물질들이 과거에 비해 요즘은 차량 등에 의한 1,2차 오염물 증가와 깊은 관계가 있다고 사료된다.

보충하면 Table 3에서 NO₂값은 월별로 큰 변동이 없고, SO₂와 Dust는 겨울에 汚染도가 높게 나타나 pH에 미치는 음이온, 양이온의 特性을 알 수 있다.

3. 계급별 pH 출현율

Fig. 4는 5개 측정소 전체의 계급별 pH 출현율을 나타낸 것이고 Table 5는 계절별로 pH 출현율을 나타낸 것이다. 우선 全地域에서 보면 93년도 pH 5.6 이하의 산성우가 내린 비율은 전체 降雨時間 2189시간 중 1705

Table 4. Seasonal pH values of five locations.

Season	Hannam			Yangjae			Bang-i			Kuro			Ssangmun			Total		
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
Spring	5.0	8.3	3.9	5.0	7.9	3.3	5.2	8.0	3.3	4.9	7.1	3.8	5.7	8.4	4.0	5.1	8.4	3.3
Summer	5.2	6.8	3.8	4.9	6.4	4.9	5.1	7.7	3.8	4.9	7.7	3.1	4.9	7.5	3.5	5.0	7.7	3.1
Fall	4.6	5.3	3.9	5.9	7.9	4.5	4.9	7.0	4.1	5.2	8.1	3.6	5.2	8.1	4.0	5.2	8.1	3.6
Winter	4.8	7.1	3.9	4.4	6.8	3.1	4.4	6.8	3.1	5.0	7.6	4.2	4.6	6.1	3.5	4.8	7.6	3.1
Total	5.1	8.3	3.8	5.1	7.9	3.3	5.0	8.0	3.1	5.0	8.1	3.1	5.0	8.4	3.5	5.0	8.4	3.1

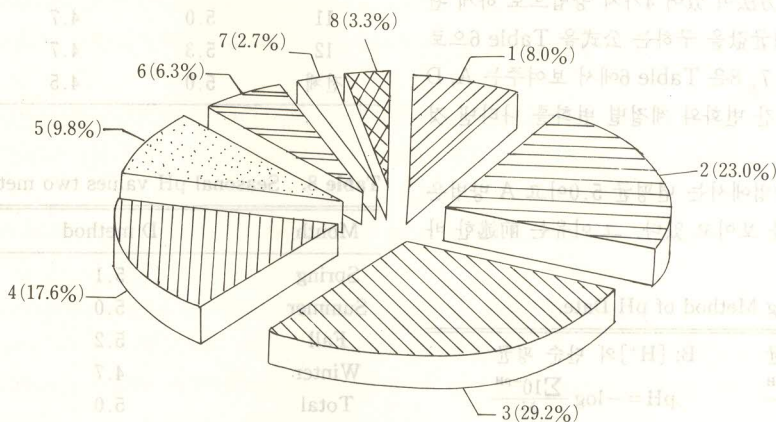


Fig. 4. Frequency ratio of pH value in rain water.

범례 1: pH 3.6-4.0 2: pH 4.1-4.5 3: pH 4.6-5.0
 4: pH 5.1-5.5 5: pH 5.6-6.0 6: pH 6.1-6.5
 7: pH 6.6-7.0 8: pH 7.1-7.5

Table 5. Frequency ratio of seasonal pH values of five locations.

pH range	Spring		Summer		Fall		Winter	
	number	rate	number	rate	number	rate	number	rate
3.1-3.5	4	0.86%	24	2.1%			8	3.4%
3.6-4.0	33	7.1 %	67	5.7%	11	3.4%	29	12.2%
4.1-4.5	142	30.6 %	221	18.9%	61	19.0%	84	35.3%
4.6-5.0	116	25.0 %	330	28.3%	122	38.1%	68	28.6%
5.0-5.5	46	9.9 %	274	23.5%	16	14.4%	19	8.0%
5.6-6.0	35	7.5 %	139	11.9%	21	6.6%	19	8.0%
6.1-6.5	32	6.9 %	78	6.7%	21	6.6%	6	2.5%
6.6-7.0	19	4.1 %	24	2.1%	14	4.4%	4	1.7%
7.1-7.5	11	2.4 %	8	0.7%	13	4.1%		
7.6-8.0	26	5.6 %	2	0.2%	11	3.4%	1	0.4%

시간인 78%로 산성우가 내렸다고 할 수 있다. 특히 pH 4.1-5.0 사이가 52.1%를 차지하고 있어 절반 이상이 산성우가 내렸음을 알 수 있다.

Table 5에서 보면 pH 5.6 이하는 겨울 87.4% > 여름 78.5% > 가을 75% > 봄 73%로 나타나 겨울이 가장 낮은 산성우를 보였으며, 여름도 역시 2번째로 높게 나타내고 있다.

4. 강우량을 加重한 pH 평균값

pH의 평균치를 구하는 방법에는 수소이온농도로 變化시킨 후 평균하고 pH를 재변환하는 방법(A)와 pH 자체를 평균하는 방법(B)의 두가지가 있고 또, 각각에 강우량을 加重하는 방법이 있어 4가지 방법으로 하게 된다. 이 4가지 pH 평균값을 구하는 公式을 Table 6으로 나타내었다. Table 7, 8은 Table 6에서 보여주는 A, D 방법에 의한 pH 월간 변화와 계절별 변화를 나타낸 것이다.

여기서 보면 D 방법에서는 년평균 5.0이고 A 방법은 4.5로 상당한 차이를 보이고 있다. 그 이유는 前述한 바

Table 6. Averaging Method of pH Date.

A: [H ⁺]의 가중 평균 $pH = -\log \frac{\sum 10^{-pH}}{\sum W}$	B: [H ⁺]의 단순 평균 $pH = -\log \frac{\sum 10^{-pH}}{N}$
C: [pH]의 가중 평균 $pH = -\log \frac{\sum pH \cdot W}{\sum W}$	D: [pH]의 단순 평균 $pH = -\log \frac{\sum pH}{N}$

* W: 강우량 N: 갯수

와 같이 구로동의 경우 강우량 3mm 이하가 38.8%가 내렸고 3mm 이하의 경우는 pH 평균이 5.9라는 높은 數値를 보이고 있어 D의 方法에는 강우량을 무시하기 때문에 높은 數値를 보이고 있으나 강우량을 감안한 A 방법에서는 강우량 3mm 이하인 38.7%가 계산에서 큰 影響을 못미치고 있기 때문에 pH가 낮은 수치를 보이는 것은 당연한 것으로 보인다.

또 A의 평균방법에서 구한 계절별 pH 경향을 보면 2, 3, 7월이 pH 4.1, 4.3, 4.3으로 낮게 나타나고 있다. 특히 7월은 많은 강우량과 높은 강우 強度를 보이는데 강우 강도가 높을 때 pH가 적은 값을 보였음을 잘 나타내주고 있다.

A 방법에 의한 평균치 값이 낮은 것은 강우 강도가 높고 강우량이 많을 때 pH가 낮다는 것을 반증하는 것으로도 볼 수 있다.

Table 7. Monthly pH values two method.

Month	D method	A method	preci-time
1	5.0	4.6	27
2	4.4	4.1	152
3	4.9	4.3	82
4	5.5	4.6	217
5	4.7	4.4	165
6	5.2	4.7	296
7	4.8	4.3	497
8	5.2	4.7	374
9	5.0	4.5	88
10	5.9	4.9	66
11	5.0	4.7	166
12	5.3	4.7	59
전체	5.0	4.5	

Table 8. Seasonal pH values two method.

Month	D method	A method
Spring	5.1	4.5
Summer	5.0	4.5
Fall	5.2	4.7
Winter	4.7	4.3
Total	5.0	4.5

결 론

서울지역 구로, 방이, 쌍문, 한남, 양재 5개 지역에서 1993년 1년동안 調査한 강우량과 pH, 월, 계절별, 계급별 pH 출현율, 강우량을 加重한 pH 평균값의 계산 등을 分析한 결과는 다음과 같다.

1. 강우량과 pH의 關係는 구로동을 예로 보면 연간 pH 평균은 pH 5.0인데 강우량 3mm 이하에서는 pH 5.9로 높게 나타났고, 강우량이 20mm 이상인 경우와 장마철에는 초우의 pH가 높게 나타났다가 강우량이 많아질수록 pH가 낮아지고 마지막 후속우에서 다시 높게 나타나는 傾向을 보이고 있다.

2. 월, 계절별 pH는 연간 pH 평균이 5.0이고 5.0 보다 높은 달은 4, 6, 8, 10, 12월이고 5.0 보다 낮은 달은 2, 3, 5, 7월로 나타나 과거의 pH 월별 傾向을 달리 하고 있다. 또 계절별 pH는 겨울 4.8 > 여름 5.0 > 봄 5.1 > 가을 5.2로 비슷한 경향을 보이고 있다.

3. 계급별 pH 출현율을 보면 pH 5.6 이하인 산성강우 출현율은 겨울 87.4 > 여름 78.5 > 가을 75.0 > 봄 73.5%로 전체 78%가 산성우로 내렸다.

4. 單純算術 pH 년평균은 5.0, 수소이온 濃度 변환 후 강우량을 가중한 pH 년평균값과 4.5로 많은 차이를 보이고 있다.

참 고 문 헌

1. Ross Howard, Michael Perley : Acid Rain The North American Forecast, Toronto, Canada. (1980).
2. Crowther, C.S., Ruston, H.G. : Jour. Agric. Sci., 4 : 25-55 (1991).
3. E. Gorham, Geochim. Cosmochim. Acta, 7 : 231 (1955).
4. E. Gorham, Phil. Trans. Roy. Soc., B., 147 : 247 (1958).
5. Ross Howard, Michael Perley. Acid Rain The North American Forecast, Toronto, Canada (1980).
6. 原子昭, 坂本正昭, 早狩敏男 : 青森縣における調査環境廳委託業務結果報告書, p. 10(1982).
7. 牧野宏, 金子幹宏, 水見廉二 : 神奈川縣における調査, 年度環境廳委託業務結果報告書, p. 14(1983).
8. 坂野龍光, 松本光弘 : 奈良縣における調査, 環境廳委託業務結果報告書, p. 44(1982).
9. 李敏熙, 韓義正 : 測定地點間 雨水成分의 類似性에 관한 研究, 國立環境研究院報, 9 : 287(1987).
10. 崔德一 외 3名 : 降水物 成分變化에 의한 大氣汚染度の 間接測定 및 評價에 관한 研究, 國立環境研究所報.
11. 박성배 · 김민영 · 김광진 · 이승천 등 : 서울 地域에 있어서의 酸性降雨 現狀에 관한 연구. 서울특별시보전 환경연구원소보, 26 : (1990).