

## 충북 청원군 강수의 산성도 연구

정용승 · 김태군

한국교원대학교 환경과학연구소  
(1992년 6월 12일 접수)

### An Acidity Study of Precipitation Observed in Chongwon, Choongbook

Yong-Seung Chung and Tae-Koon Kim

*Environmental Science Institute, Korea National University of Education  
Khangnae, Chongwon, Choongbook, Korea  
(Manuscript received 12 June 1992)*

#### Abstract

A study on acidity in precipitation was carried out during May 1990 - April 1991 at two sites in Chongwon, Choongbook. We observed variations of pH from 4.0 to 7.0. Annual mean value of pH was 5.21 in the area. In particular, strong acidity of rain fall, pH 4.0 were observed during winter to early spring. Neutral values were observed during June to July and were due to wet deposition of atmospheric pollutants by stationary fronts in the rainy season. Interestingly, acidity of snow observed in winter was neutral and it was weaker than the acidity of rain in winter by a value of 2.0. Discussion is made on meteorological and chemical analyses and seasonal variations of acidity of precipitation.

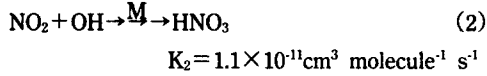
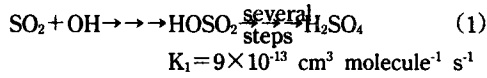
KEY WORDS : acid rain, acid precipitation at rural stations, background monitoring of pH in rain

#### 1. 서론

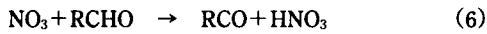
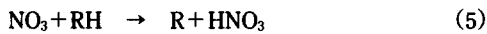
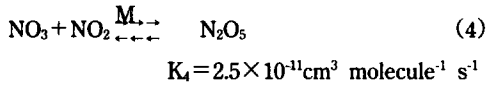
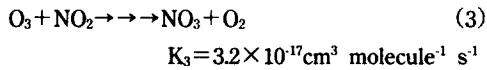
산성강수는 과거 20년동안 서유럽과 미국 북동부의 주요 환경오염으로 대두되어 왔고 (Environ. Res., 1983; EEC, 1985; Pierson and Chang, 1986), 산림피해는 물론 토양의 산성화 그리고 대리석 구조물 부식의 원인이 됨이 보고되었다 (Hutchinson and Havas, 1980; Schutt and Cowling, 1985; Cheng et al., 1987).

산성강수는 화석연료의 연소와 함께 배출된 SO<sub>2</sub> 와 NO<sub>x</sub> 의 구름내부와 대기중에서의 산화작용에 의한 매우 다양한 반응에 의해 생성될 수 있으며 가장 중요한 반응경로는 다음과 같다 (Seinfeld, 1986; Finlayson-Pitts and Pitts, 1986).

1. OH radical 과의 광화학 반응에 의한 가스상태의 생성

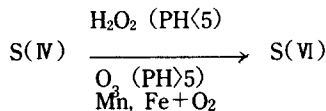
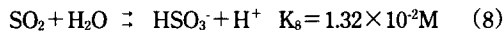


## 2. NO<sub>3</sub> radical에 의한 가스상태의 생성



## 3. 구름 및 안개와 같은 수적환경에서의 산화작용에 의한 생성

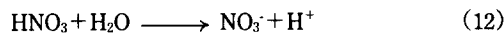
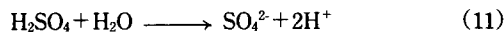
### 1) SO<sub>2</sub>의 산화



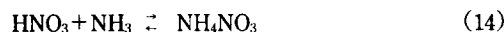
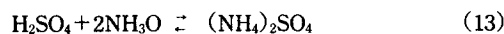
### 2) N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 가수분해



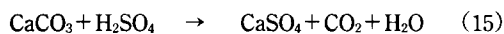
### 3) (1)-(6) 과정에 의해 대기중에 생성된 산성물질의 용해



### 4) NH<sub>3</sub>와의 반응에 의한 황산염과 질산염 생성(산성물질의 중성화)



### 5) CaCO<sub>3</sub>와의 반응에 의한 CaSO<sub>4</sub>생성(산성물질의 중성화)



산성강수의 주요 이온성분들 (H<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

은 구름내부와 대기중에서 위의 반응식 (1)-(15)의 복합적인 반응에 의해 생성되지만, 대기중에서 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>의 광화학반응 (식 1-2)과 구름내부에서의 SO<sub>2</sub>의 산화 (식 7-9) 및 NH<sub>3</sub>와의 중성화반응 (식 13-14)이 특히 중요하다.

1960년대 이후 한국은 공업국으로 전환함에 따라 화석연료의 사용증가로 많은 양의 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>를 배출하고 있다. 한국에서도 도시와 공업지대에서 산성비 연구가 수행되어 pH 5.6 이하인 산성강수가 많이 보고되었다 (예, 김양균 등, 1989; 1990). 그러나 충북 청원군과 같은 농촌지역에서의 전년을 통한 강수의 산성도 변동 및 그 특징은 보고되지 않았다.

산성강수는 화학적 발생원인에 따르면 주로 광역적으로 발생한다. 그러므로 도시와 도시 외각지역에서 동시에 채집된 강수는 SO<sub>2</sub> → SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등의 시간적 변화에 따른 대기 화학적 요인과 저기압 등 대규모적인 규모에 따라 산도의 차이는 작을 수도 있다. 따라서 한국의 중부지역에 위치한 농촌지역인 청원지역에서의 산도의 장기적인 관측과 연변화 경향은 북동 아시아 지역의 대기오염과 산성비의 배경적 (background) 조사와 비교연구에 기여될 수 있다. 본 연구는 이러한 산성비의 배경적 조사의 일환으로 이 지역에서의 강수의 연간 산도변동을 조사·분석하였다. 이러한 배경적 관측소의 자료는 중국과 일본 등 북동아시아 지역에서 관측된 배경산성도의 연구와 비교될 수 있다.

## 2. 관측 및 분석

### 2.1 관측장소의 지역 및 기상학적 특징

한국, 중국, 일본을 포함한 동북아시아 지역은 중위도 편서풍대에 위치하여 서풍계열의 기류에 큰 영향을 받고 있다. 또한 한국을 포함한 동북아시아 지역은 복잡한 지형과 바다를 접하고 있어 (그림 1), 중국에서 발생하는 SO<sub>2</sub>, 부유분진 (TSP) 등 대기오염물질의 일부는 저기압계와 함께 동진하면서 황해에서 수분을 얻어 반응식 (1)과 (7)-(9) 과정에 의해 한국의 광역적인 오염 source와 함께 한국에 내리는 산성비에 기여할 수 있다. 따라서 한국의 중부에 위치한 충북 청원지역에서 관측된 산성비는 한국의 광역적인 오염 source 및 중국에서 발생한 SO<sub>2</sub>, TSP 등의 오염물질의 일부가

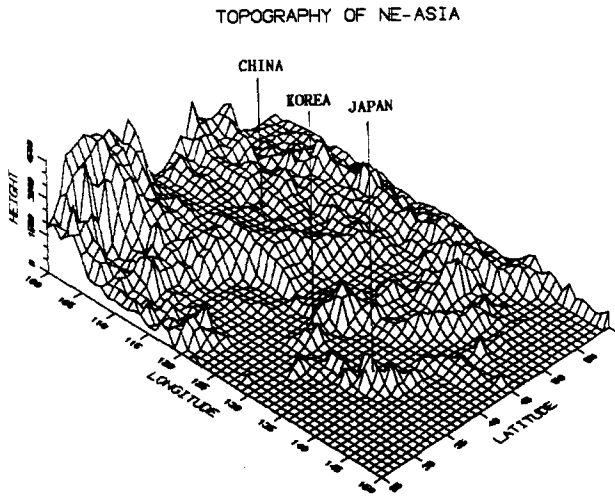
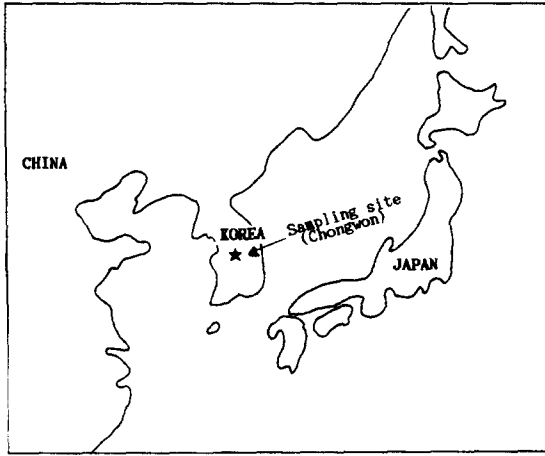


Fig. 1. Map and topography of NE Asia.

수 100 - 수 1,000 km 장거리 이동하여 발생된 것이다 (정용승, 1991; 정용승과 김태균, 1991).

### 2.2 강수의 관측

강수의 수집은 1990년 5월 - 1991년 4월까지 전년을 통하여 계속적으로 수행하였다. 비는 매번 발생시마다 증류수로 세척 건조한 직경 30 cm 의 유리용기를 사용하여 수집하였으며, 무강수시에는 aerosol 의 건조 침전을 막기 위해 덮어 두었다가 비가 내릴 때에 열어서 수집하였다. 유리용기로 받은 빗물은 polyethylene 병에 담아 실험실에서 바로 pH 측정을 하였다. 한편 1일에

종결되는 단속적인 강수는 강수종결시 바로 수집하였으며 2일 이상의 지속적인 비가 내릴 때에는 다음날 아침 8-9시를 기준으로 각각 구분하여 수집하였다. 겨울철 (12-2월)에는 비와 눈을 분리 관측하였고, 특히 수집된 눈은 polyethylene 병에 담아 실온에서 녹인 다음 pH 측정을 하였다. pH 측정은 DMS Model DP-215M, DMS Model DP-880, DMS Model DP-215, ORION Model SA 520 의 digital pH/Ion meter 4대로 동시에 측정하여 큰 오차가 생기는 값을 제외한 각각의 측정값들의 산술평균값을 취하였다. pH meter는 매 측정전에 pH 4.00 과 7.00 의 표준 완충용액을 사용하여 보정한 다음 측정하였다.

### 3. 결 과

강수는 연구기간동안 연속으로 산성도 (pH) 측정을 하였으며, 겨울철에는 비와 눈의 산성도를 비교하기 위하여 각각을 분리하여 분석하였다.

#### 3.1 비의 산성도

그림 2 는 연구기간동안 관측된 강수량과 강수일수를 나타낸 것이다. 여름철 (6-8월) 동안에 월별 250 mm 이상의 많은 강수량이 기록되었고, 특히 8월에는 많은 강수량 (250 mm) 에도 불구하고 6-7월보다 상대적으로 낮은 강수일수 (8일)를 보여주었다. 가을철 (9-11월) 로 접어 들어 10-11월에 적은 강수량과 강수일수를 기록하였다. 겨울철에도 50 mm 이하의 적은 강수량을 보였지만 상대적으로 높은 강수일수 (10일 내외)를 보여주었다.

표 1 과 그림 3 은 관측된 기간동안 비의 월별 산성도를 나타낸 것이다. 연평균 pH 5.21 의 약한 산성비가 관측되었으며 전년을 통하여 pH 4-7 의 큰 변동을 보여 주었다. 특히 5월에 높은 산도변동을 나타내었고 (SD 1이상), 장마철인 6-7월에 각각 pH 6.56, 6.14 의 중성으로 관측되었다. 8월에는 90년 봄-가을을 통해 가장 높은 산도인 pH 5.03 을 기록하였다. 또한 가을철 (9-11월)에서 겨울철 (12-2월) 로 갈수록 산도가 점차 증가되어 지는 경향 (pH 5 이하로) 을 보였다. 특히 2월에는 월평균 pH 4.24 의 전년을 통하여 가장 높은 산성을 나타냈으며, 이른봄 (3-4월)까지 pH 5 이하의

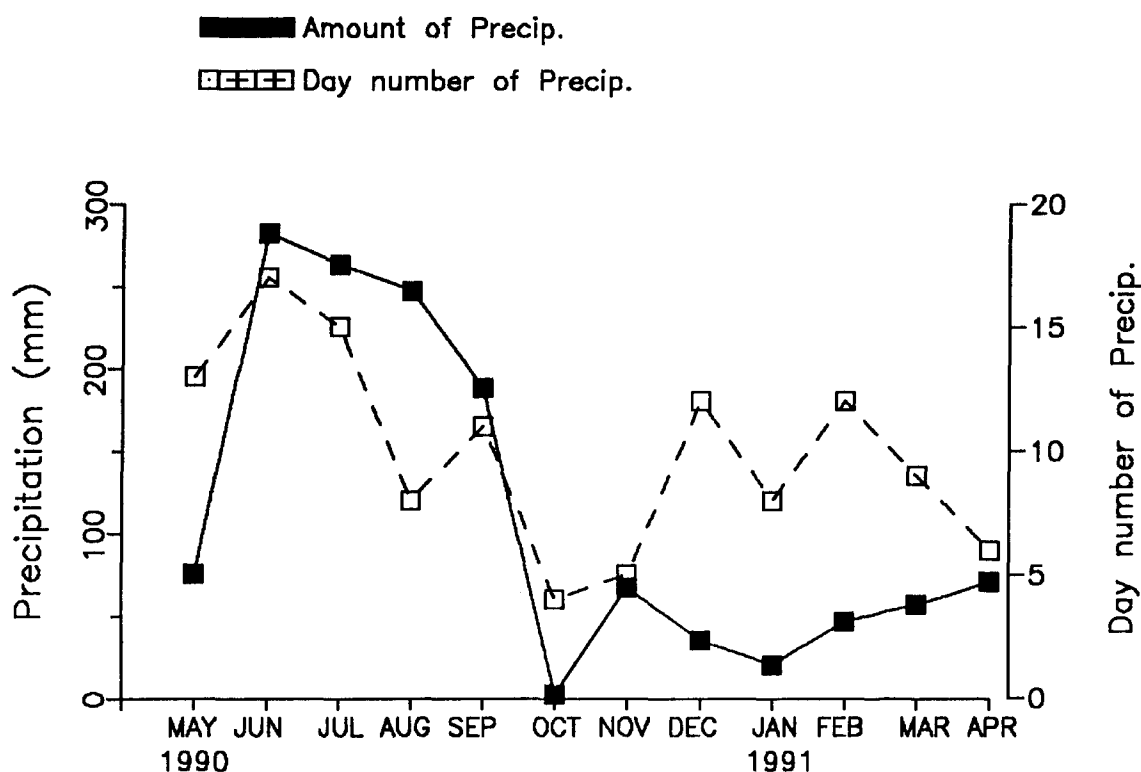


Fig. 2. Monthly amounts and numbers of precipitation days in Chongwon (1990. 5 - 1991. 4).

Table 1. Monthly acidity (pH) of rain in Chongwon, Choongbook (1990. 5-1991. 4). \* represents arithmetic mean of site A and B.

Month	Mean*	Std. dev.	Range	Nr. of cases
Annual-average pH=5.21				
1990				
May	5.54	1.16	4.03-7.32	6
Jun	6.56	0.74	5.13-7.85	10
Jul	6.14	0.55	4.83-6.84	10
Aug	5.03	0.44	4.30-5.64	6
Sep	5.57	0.62	4.49-6.30	10
Oct	5.43	0.88	4.18-6.04	3
Nov	4.99	0.43	4.78-5.12	4
Dec	4.90	-	4.90	1
1991				
Jan	4.67	0.39	4.37-5.22	3
Feb	4.24	0.23	4.05-4.68	5
Mar	4.74	0.19	4.45-5.02	5
Apr	4.73	0.60	4.07-5.51	3

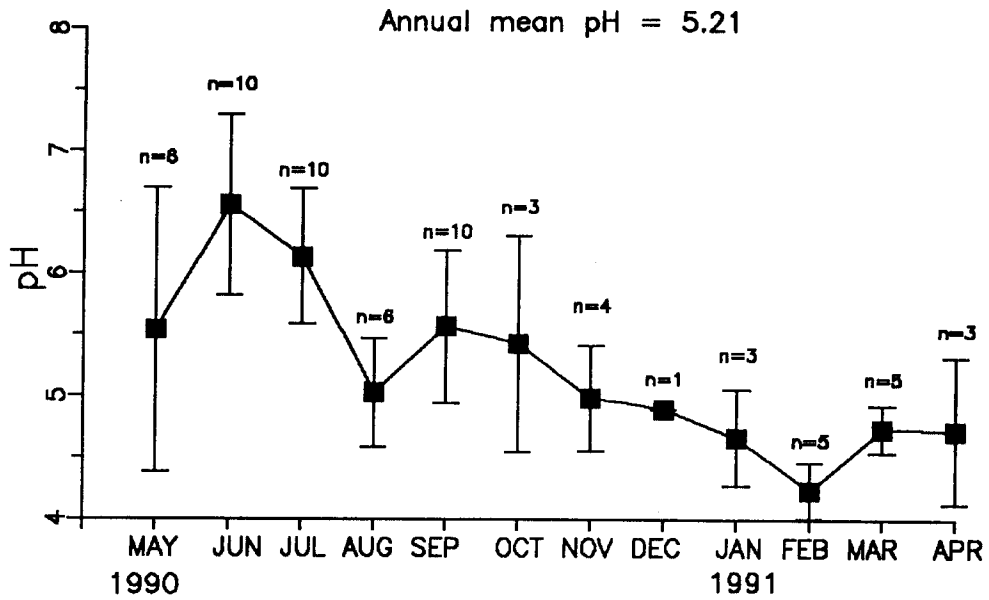


Fig. 3. Monthly average acidity of rain in Chongwon (1990. 5 - 1991. 4).

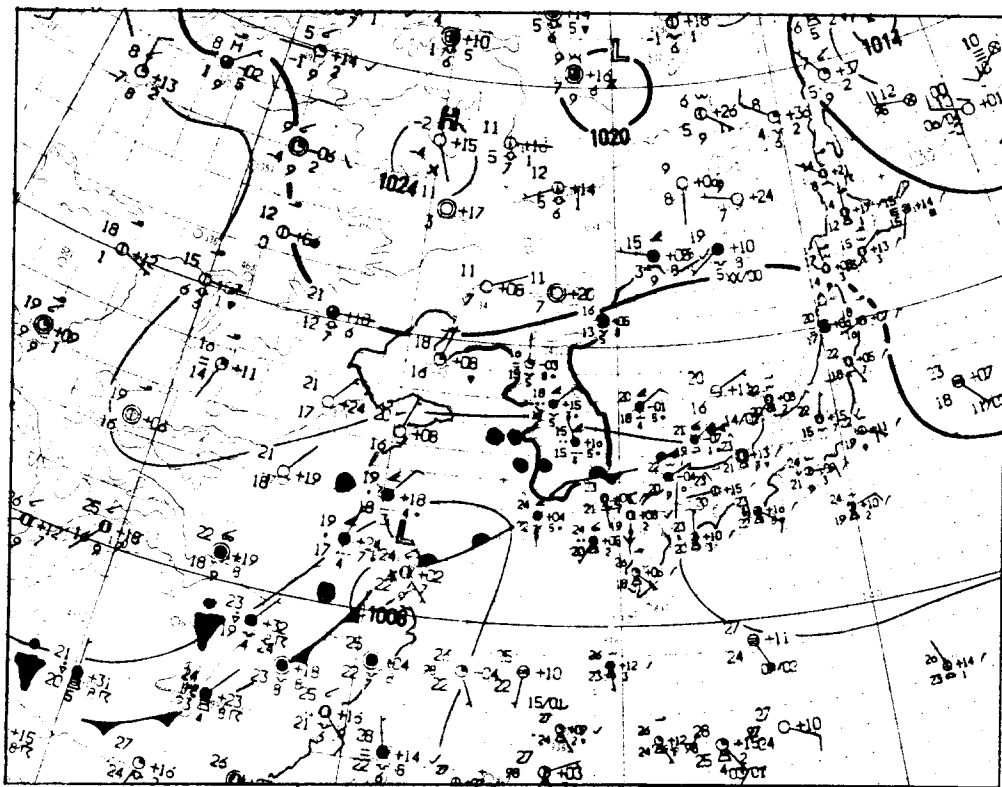


Fig. 4. A surface map showing the movement of a frontal cyclone (12GMT, 23 September 1990).

강한 산성비가 관측되었다.

### 3.2. 사례연구

이 연구는 1년간의 장기적인 산도의 변동을 연구하였지만 산성비 발생에 관한 사례조사를 여기에 포함시켰다.

그림 4는 1990년 9월 23일의 일기도를 보여 주며 양자강 하류에 위치한 1008 mb 저기압이 전선을 동반하고 한반도에 접근함에 따라 강수가 발생하고 있었다. 당일 청원지역에서 기록된 강수량은 12.2 mm이며, 이때 분석된 산도는 4.49를 기록하였다. 저기압에 동반된 구름과 강수는 주로 중국의 남부지방에서 우리나라의 남부지방 및 남해안에 상륙하여 비가오고 있었다. 그림 5는 기류의 자취 (trajectory) 분석으로서 지상 (L), 1500 m (M)와 3000 m (U) 상공에 유입되는 공기의 지나온 자취를 나타낸다. 9월 23일에 청원지역에 도착되는 기류는 한반도와 일본 남부지방은 물론 중국의 북동지역에서 유입되었으며, 이 기류는 저기압에 동반된 전선의 북쪽에서 유입됨을 보여 준다. 이것은 저기압의 지나온 자취와 공기입자의 지나온 자취는 동일할 수 없음과 대기운동의 복잡성을 제시하는 사례이다. 한국에서 관측된 강수의 산성도는 대기오염의 발원지에 크게 좌우되며, 중국에서 유입되는 SO<sub>x</sub> 등에 영향을 받는다 (정용승과 김태군, 1991).

### 3.3. 눈의 산성도

1990년 12월-1991년 2월동안 관측된 눈은 뚜렷한 중성-염기성으로 관측되었다 (표 2). 겨울철 비와 눈의 산성도가 현저한 차 (pH 2 정도) 를 나타냈으며, 특히 2월에 비가 전년을 통하여 가장 높은 산도값 (pH 4.24)

Table 2. Monthly acidity of snow in Chongwon, Chongwonbook (1990.12 - 1991.2).

Month	12	1	2
Three monthly average of pH=6.66			
Mean	6.82	5.76	7.41
Std. dev	0.68	0.93	0.79
Range	5.53-7.71	4.46-6.56	6.32-8.18
Cases	6	3	3

을 보인 반면, 2월에 눈에서 관측된 평균 pH 값은 7.41의 강한 염기성으로 2월에 관측한 비와 pH 3 이상의 현저한 차를 보여 주었다 (그림 6). 이 3개월동안 관측된 비의 평균 산도가 pH 4.60 인 반면, 눈의 산도는 pH 6.66 의 중성을 보여 주었다 (그림 7).

### 3.4 강수의 산성도 빈도

그림 8은 연구기간 동안 관측된 강수의 산도별 빈도수를 보여 준다. pH 5.6 이하인 산성강수는 48 %이며 pH 5.6 이상의 중성 혹은 염기성 강수는 52 %이다. 이러한 중성 혹은 염기성 강수의 빈도수가 높은 것은 6-7월과 겨울철에 주로 관측된 눈의 중성-염기성에 기인한다.

## 4. 논 의

표 3과 그림 9는 1991년 2-6월까지 동일 관측지점에서 수집한 강수의 이온성분 (박용남, 1991) 중 H<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 농도를 인용하여 강수량과 강수내의 이온성분 의 습윤침전 (wet deposition) 관계를 나타낸 것이다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 는 강수의 산도를 감소시키고 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 는 강수의 산도를 증가시키기 때문에 강수의 산도는 이들의 농도의 상호복합에 의해 좌우된다 (표 3). 그림 9는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 의 농도가 강수량이 감소함에 따라 전반적으로 증가함을 보여 준다. 이것은 강수량이 증가할수록 강수내 이온성분 들은 지수적으로 감소하는 경향을 보인다는 결과 (Gatz and Dingle, 1971; Hicks and Shannon, 1979; Lindberg, 1982; Fiedler, 1990) 와 부합한다. 강수의 산도는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 의 상호복합작용에 의해 변동하지만 작은 양의 강수는 산성 precursor 를 효과적으로 습윤침전시켜 강수의 산도를 증가시킬 수 있다. next paragraph 여름철 다우기간 (6-8월) 중 6-7월은 월평균 pH 6.0 이상의 중성비가 관측되었다. 이 기간중에는 장마전선이 우리나라에 정체하면서 250 mm 이상의 많은 강수량과 15일 이상의 높은 강수일수 (그림 2) 로 구름내부와 대기중에서의 효과적인 rain out 과 wash out 때문으로 사료된다. 한편 8월은 많은 강수량 (250 mm) 에도 불구하고 월평균 pH 5.03 의 다소 높은 산도가 관측되었다. 이것은 6-7월이 장마전선에 의한

## TRAJECTORIES TO KUE ( 36.60N,127.37E)

90266 - 9/23/90 AT 12Z

L: 1000 MB M: 850 MB U: 700 MB

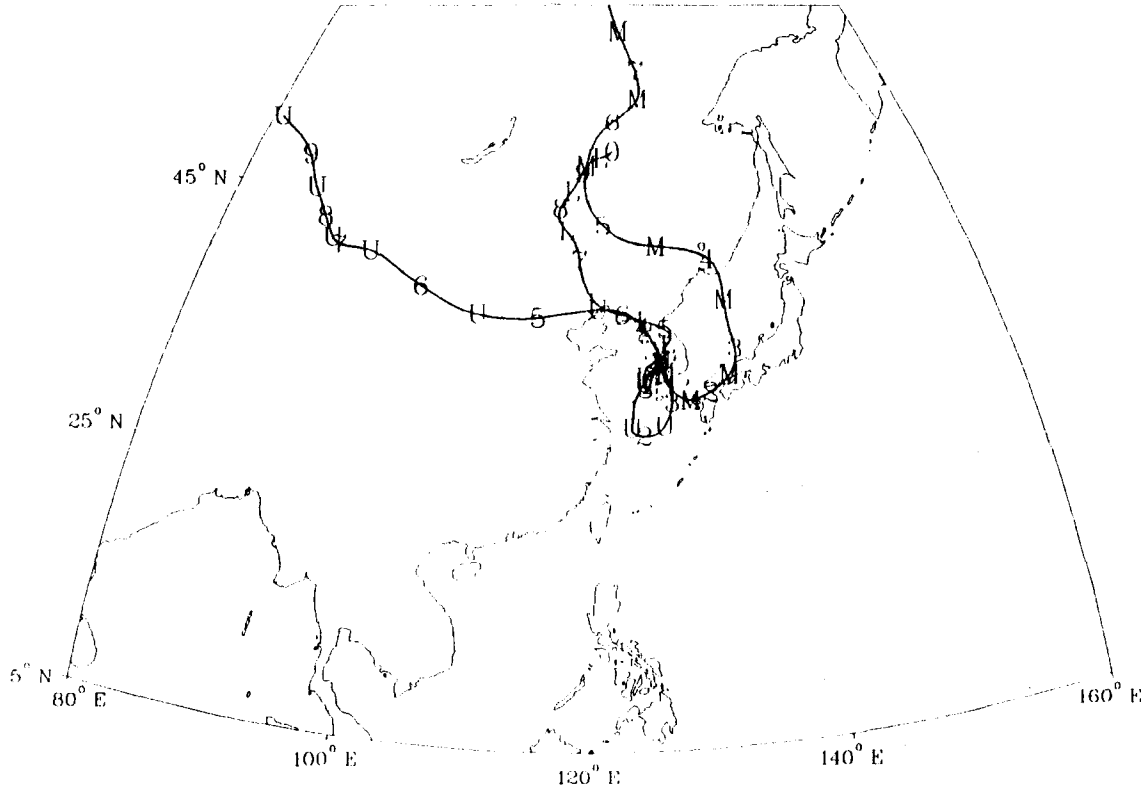


Fig. 5. Backward trajectories arriving in central Korea (12GMT, 23 September, 1991).

2-9일의 연속적인 강수가 내린 반면, 8월은 지역적인 뇌우에 의한 집중호우로 강수일수 (8회)가 상대적으로 적어서 (그림 2, 그림 3), 대기중의 산성물질을 효과적으로 습윤침전 시키지 못한 것에 기인한다. 또한 우리나라는 8월에 북태평양 고기압의 영향으로  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_x$ 의 주요 산화제인  $\text{H}_2\text{O}_2$ , OH의 농도가 높은 적도 (Yoshizumi et al., 1984; Heikes et al., 1987; Jacob et al., 1990)의 고온다습한 남동기류의 유입을 받으며, 8월의 강한 태양복사는 대기중에서  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ 의 산화반응 (식 1-2, 식 7-9)을 촉진시킬 수 있다. 따라서 증대된 산화제 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ , OH)에 의한 대기중에서의  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ 의 산화증대는 8월에 다소 강한 산성비를 발생시킬 수 있다. 여름철 대기중  $\text{SO}_2$  농도는 다른 계절에 비해 전반적으로 낮지만 주로 자동차 기원의 대기중

$\text{NO}_x$  농도는 계절을 통해 다소 일정하기 때문에, 여름철 산성비는  $\text{NO}_x$ 에 의한 광화학적 반응 (식 2)이 상대적으로 더 중요할 수 있다.

겨울철-이른봄에 pH 5 이하의 강한 산성비가 관측되었고, 특히 2월달 비는 월평균 pH 4.24의 강한 산성을 나타내었다 (표 1, 그림 3). 이것은 겨울철 화석연료의 사용증가로 대기중  $\text{SO}_2$  및  $\text{NO}_x$  농도증대에 그 원인이 있으며, 또한 겨울철의 적은 강수량 (그림 2)에 의한 대기중  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_x$ 의 효과적인 wet deposition 때문이다 (그림 9).

겨울철 관측된 비가 강한 산성을 나타낸 반면, 눈은 중성-염기성으로 관측되었다 (그림 4, 그림 5). 이것은 Ecker 등 (1990)이 일본 서해안에서 관측한 눈의 산도 (평균 pH 4.6)와 현저한 차이를 보여 준다. Mitra 등

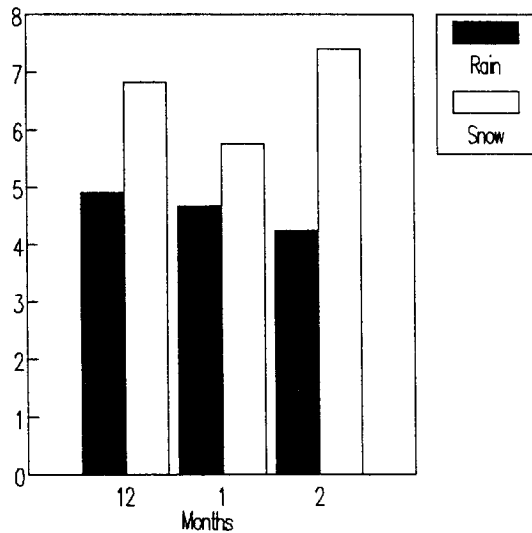


Fig. 6. Monthly averaged acidity of rain and snow in Chongwon, Choongbook (1990. 12-1991. 2)

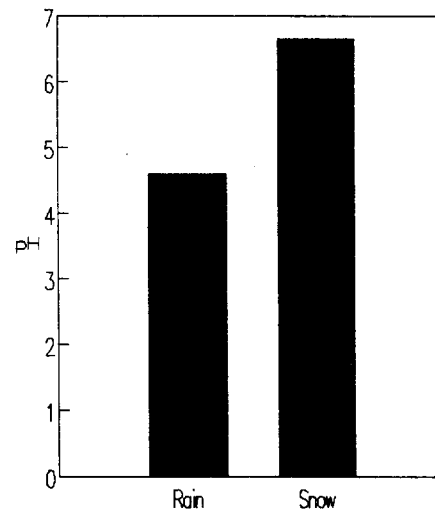


Fig. 7. Three Monthly averaged acidity of rain and snow in Chongwon, Choongbook (1990. 12-1991. 2).

Table 3. Chemical compositions of rain observed in Chongwon A (1991.2-1991.6).

Unit :  $\mu\text{M}$

Date	pH	* $\text{H}^+$	* $\text{SO}_4^{2-}$	* $\text{NO}_3^+$	* $\text{NH}_4^+$	Rain(mm)
91/2/08	4.07	85.11	274.83	229.00	1042.13	4.20
91/2/10	4.20	63.10	163.44	112.89	709.53	8.20
91/2/11	4.06	87.10	174.89	82.25	411.31	1.70
91/2/14	4.85	14.13	20.82	9.68	25.50	16.00
91/2/27	4.31	48.98	44.76	20.96	36.59	6.10
91/3/16	4.82	15.14	543.41	298.34	1729.49	15.14
91/3/20	4.19	64.57	277.38	322.72	1446.79	0.70
91/3/27	4.75	17.78	26.03	12.90	18.29	17.78
91/4/29	4.42	38.02	8.33	43.54	276.61	7.50
91/5/06	3.38	416.87	41.64	16.13	14.41	5.70
91/5/07	4.20	63.10	38.52	27.42	72.06	5.60
91/5/25	4.73	18.62	24.98	24.19	615.30	21.70
91/6/03	6.41	0.39	48.93	35.48	495.01	5.50

(1990) 은 눈결정은 빙정핵 표면에서 수증기의 승화(sublimation)에 의한 riming으로 성장하는 동안과 눈결정의 성장이 완료된 후에도 흡착(adsorption)에 의해  $\text{SO}_2$ 를 효과적으로 scavenging한다고 보고하였다. Iribarne와 Pyshnov (1990)는  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ 와  $\text{H}_2\text{O}_2$ 는 결빙(freezing)된 후에 얼음내에 보존된다고 보고하였다. 이것은 결빙이 강수발달의 주요 mecha-

nism이기 때문에 비와 눈이 구름내부에서의 결빙과정 중에 산성물질의 scavenging에 뚜렷한 차이가 없음을 시사한다.

한편 눈결정은 빗방울보다 구름 아래의 sulphate의 흡착에 2배 정도 더 기여함을 보고하였고(Murakami et al., 1983), aerosol 형태의 물질들이 눈결정에 의해 효율적으로 흡착되는 mechanism에 관한 많은 연구가



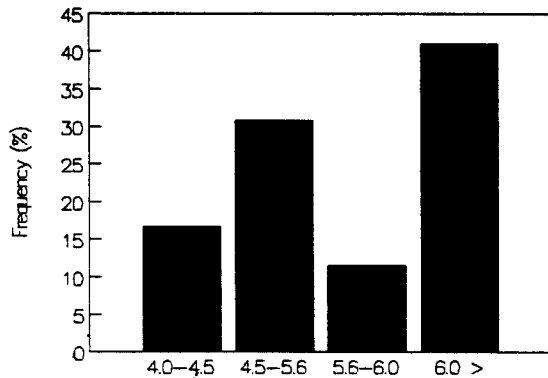


Fig. 8. Frequency of precipitation in Chongwon, Choongbook (1990. 5 - 1991. 4). Number of observed cases are 78.

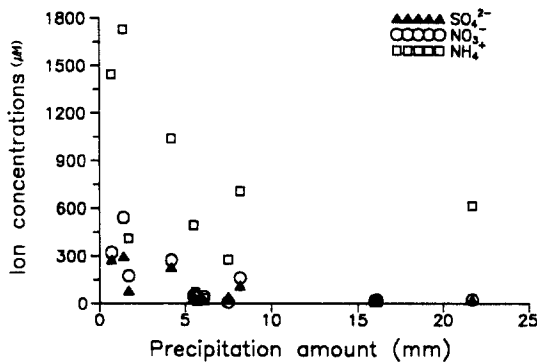


Fig. 9. Relationship of wet deposition between ionic concentrations ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) and precipitation amount of samples collected in Chongwon (1991. 2 - 1991. 6).

있었다 (예, Sauter and Wang, 1989). 이것은 눈결정인 수지상 (dendrite) 형태이고 또한 눈표면은 "sticky" 하여 구름 아래에서 비보다 더 많은 aerosol을 흡착할 수 있기 때문이다.

1991년 2-6월동안 청원지역 빗물의 성분분석 결과 (박용남, 1991) 에 의하면, 이 기간동안 분석된  $\text{NH}_4^+$ 의 평균농도 (438 $\mu\text{M}$ ) 가  $\text{SO}_4^{2-}$  (119 $\mu\text{M}$ ) 와  $\text{NO}_3^-$  농도 (79 $\mu\text{M}$ ) 보다 매우 높게 관측되었다. 이는 청원지역이 농촌지역이기 때문에 다른 지역보다  $\text{NH}_3$ 의 기원이 많은 것에 기인한 것으로 사료된다.

따라서 청원지역에서 겨울철에 관측된 비와 눈의

현저한 산도차 (>pH 2) 는 청원지역은 농촌지역으로 대기중  $\text{SO}_2$  농도가 낮고  $\text{NH}_3$  농도가 높아 구름 아래에서 비와 눈의  $\text{SO}_2$ 의 흡착은 미약한 반면, 상대적으로 눈이 비보다  $\text{NH}_3$ 를 더 잘 흡착하는 것에 기인할 수 있다 (그림 10). 그러나 눈의 수지상 (dendrite) 형태와 sticky한 표면은 산성 precursor 및 산성물질의 흡착에 효과적이어서, 오염이 심한 도시 및 공업단지 주변에서 눈은 비보다 더 강한 산성을 떨 수 있다.

## 5. 결론

충북 청원군에서 관측한 강수, 이슬, 안개, 서리의 산성도 조사 및 그 변동을 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 연구기간동안 비는 연평균 pH 5.21의 약한 산성으로 관측되었으며, 계절별로 뚜렷한 산도변동을 보였다.

2) 6-7월의 산도가 낮은 것은 (>pH 6)는 장마전선에 의한 구름내부와 대기중에서 산성 precursor와 산성물질의 효과적인 습윤침전에 기인한다.

3) 8월의 산성비 (pH 5.03)는 강한 태양복사와 적도의 고온다습한 기류의 유입으로 산화제의 증가에 의한 대기중에서의 광화학반응 증대와 단속적인 강수로 산성 precursor와 산성물질을 효과적으로 scavenging 시키지 못한 것에 기인한다. 또한 여름철 산성 강수는  $\text{SO}_2$ 보다 상대적으로  $\text{NO}_x$ 의 광화학반응이 중요할 수 있다.

4) 겨울철-이른 봄철의 강한 산성비 (<pH 5)는 겨울철 화석연료의 사용증가로 인한  $\text{SO}_2$ 와  $\text{NO}_x$ 의 대기중 배출증대와 겨울철 적은 강수량에서의 효과적인 wet deposition에 기인한다.

5) 겨울철 청원지역에 내린 비와 눈은 현저한 차이를 나타 내었다. 본 관측지점에서 눈은 중성-염기성으로 관측되었지만 눈의 수지상 (dendrite) 형태와 sticky한 표면은 산성 precursor 및 산성물질의 흡착에 더 효과적일 수 있다.

## 6. 제 언

산성비는 수 100 - 수 1,000 km의 광역적인 오염

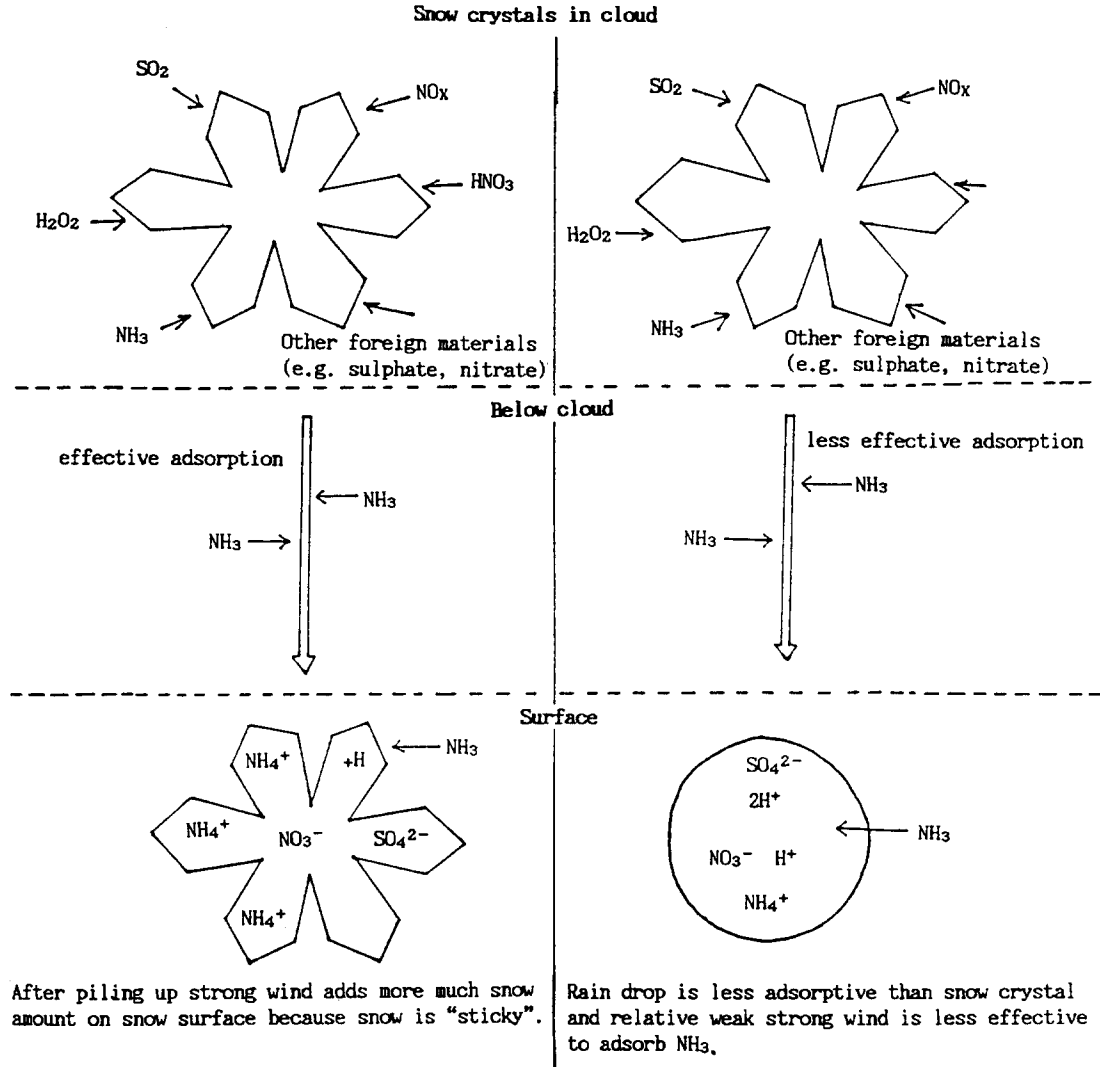


Fig. 10. Idealized vertical cross section showing snow and rain that scavenge  $\text{NH}_3$  in atmosphere.

source 에 의해 발생하기 때문에 오염 source 에서 멀리 떨어진 농촌지역에도 전년을 통해 산성비가 내리고 있음을 제시하며 이에 대한 장기적인 연구가 요구된다. 본 연구소는 태안, 제주도, 청원지역의 강수의 배경적 산도와 화학적 성분을 계속적으로 조사하고 있으며, 1992년도에 조사된 강수의 pH는 낮아지는 경향을 보이고 있다. 구름내부와 대기중에서의 눈과 비의 산성 precursor 및 산성물질의 효과적인 제거 mechanism 에 대한 비교연구가 요구된다. 특히 눈의 수지상 (dendrite) 형태와 sticky 한 표면은 대기중에서 비보다 산성 precursor 및 산성물질의 흡착에 더 효과적일 수 있기

때문에 높은 비보다 더 강한 산성을 떨 수 있으며 이에 대한 정량적인 연구가 요구된다.

### 참고 문헌

- 김양균 등, 1989, 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구 (I), 국립환경연구원보, 168.
- 김양균 등, 1990, 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구 (II), 국립환경연구원보, 253.
- 박용남, 1991, 대기 및 강우의 유기물 분석, "대기질

- 종합관리 기술 - 1차 중간보고서 중에서”, 한국과학재단.
- 정용승·김태군, 1991, 한국 서해안에서 관측된 산성비의 발원지 추적연구, 대기보전학회지, 7, 203-207.
- 정용승, 1991, 대기오염과 산성비의 발원지 추적연구 (II), 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구 (III) 중에서 - 최종보고서.
- Cheng R. J., Hwu J. R., Kim J. T. and Leu S. M., 1987, Deterioration of marble structures, The role of acid rain, *Anal. Chem.* 59, 104A-106A.
- Ecker F. J., Hirai E. and Chohji T., 1990, Airborne trace metals in snow on the Japan Sea side of Japan, *Atmos. Environ.*, 24A, 2593-2600.
- EEC, 1985, Report on the actions of the Commission of the EEC on acid deposition, EUR 9985EN, 1-57.
- Environmental Resources, 1983, Acid Rain, A review of the phenomenon in the EEC and Europe. Graham and Trotman, London.
- Fiedler R. P., 1990, On the relationship between precipitation amount and wet deposition of nitrate and ammonium, *Atmos. Environ.* 24A, 3061-3065.
- Finlayson-Pitts B. J. and Pitts J. N., 1986, *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and experimental techniques*, John Wiley, New York, 1098pp.
- Gatz D. F. and Dingle A. N., 1971 Trace substances in rain water: concentration variations during convective rains and their interpretation, *Tellus*, 23, 14-27.
- Heikes B. G., Kok G. L., Walega J. G. and Lazrus A. L., 1987, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub> measurements in the lower troposphere over the eastern U.S.A. during fall, *J. Geophys. Res.* 92, 915-931.
- Hicks B. B. and Shanon J. D., 1979, A method for modeling the deposition of sulfur by precipitation over regional scales, *J. appl. Met.* 18, 1415-1420.
- Hutchinson T. C. and Havas M., 1980, Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems, in proceedings of the NATO Conference on effects of acid precipitation on vegetation and soils, Toronto, Ontario, Canada, May 21-27 1978, Plenum Press, New York.
- Iribarne J. V. and Pyshtov T., 1990, The effect of freezing on the composition of supercooled droplets - I. Retention of HCl, HNO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, *Atmos. Environ.*, 24A, 383-387.
- Jacob P., Tavares T. M., Rocha V. C. and Klockow, 1990, Atmospheric H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> field measurements in a tropical environment: Bahia, Brazil, *Atmos. Environ.*, 24A, 377-382.
- Lindberg S. E., 1982, Factors influencing trace metal, sulfate and hydrogen ion concentrations in rain, *Atmos. Environ.*, 16, 1701-1709.
- Mitra S. k., Barth S. and Pruppacher, 1990, A laboratory study on the scavenging of SO<sub>2</sub> by snow crystals, *Atmos. Environ.*, 24A, 2307-2312.
- Murakami M., Kimura T., Magono C. and Kikuchi K., 1983, Observations of precipitation scavenging for water soluble particles, *J. Met. Soc., Japan*, 61, 346-358.
- Pierson W. R. and Chang T. Y., 1986, Acid rain in western Europe and northeastern United States - a technical appraisal, *CRC Crit. Rev. Envir. Control*, 16, 167-192.
- Sauter D. P. and Wang P. K., 1989, An experimental study of the scavenging of aerosol particles by natural snow crystals, *J. Atmos. Sci.*, 46, 1650-1655.
- Schutt P. and Cowling E. B., 1985, Waldsterben, A general decline of forests in central Europe: symptoms, development and possible cause, *Atmos. Environ.*, 19, 637.
- Seinfeld J. H., 1986, *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley, New York, 738pp.
- Yoshizumi K., Aoki K., Nouchi I., Okita T., Kobayashi T., Kamakura S. and Tajima M., 1984, Measurements of the concentration in rainwater and of the Henry's law constant of hydrogen peroxide, *Atmos. Environ.*, 18, 395-401.