

## 익산지역 강수성분의 연차 변화와 산성비 원인물질 조사

李康甫 · 姜鍾國, 金鍾九, 李景洙, 蘇在敦

### Yearly Changes in the Precipitation Component and Investigation on the Source Strength to Acid Rain in the Iksan Area

Kyeong-Bo Lee, Jong-Gook Kang, Jong-Gu Kim, Gyeong-Soo Rhee, Jae-Don So

#### Abstract

This study was carried out to investigate yearly changes in the precipitation component and the source strength to acid precipitation in the rural area of Chlnbuk province by analysis of the chemical components in the precipitation at National Honam Agricultural Experiment Station RDA in the suburbs of Iksan from 1991 to 1995.

The average ratio of acid precipitation was 47.9% from 1991 to 1995. pH of the rain water in precipitation below 5mm was higher than that above 5mm and the concentration of the ions in the rain water was the highest in the first fraction(0~5mm) of precipitation.

The amount and ratio of the precipitation below pH 4.0 from 1991 to 1995 were 64mm and 1.4%, respectively.

The order of the major ions concentration in the precipitation was  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ \text{ } \text{Mg}^{2+}$ .

The relative contributions to the acidification of the rain in Iksan were 52% from  $\text{SO}_4^{2-}$ , 25% from  $\text{NO}_3^-$  and 23% from  $\text{Cl}^-$ .

---

\* 호남농업시험장(National Honam Agricultural Experient Station, RDA Iksan, 570-080, Korea)

## 緒 言

최근 산업의 고도성장으로 인한 지구 환경오염의 증가로 인하여 대기권 오염이 심화되고 있다. 이들의 대부분은 각종 공장가동을 비롯한 교통 및 생활문화의 편의시설 등에 필요한 에너지원인 화석연료로 부터 기인된다고 생각되는데 이들은 화석연료의 연소시에는 다량의  $\text{SO}_x$ 와  $\text{NO}_x$ 가 가스 상태로 대기중에 방출되어, 대기중의 수분에 녹고, 분진 기타 물질들과 결합하여 강한 산성을 띤 물질로 되어 강수시 지상으로 내려온다.<sup>1, 2, 3)</sup>

대기중에는 340ppm 정도의  $\text{CO}_2$ 가 존재하며, 대기 중의 물방울과 반응하여 탄산이 되는데 탄산의 수소 이온 농도를 기준으로 순수한 雨水는 pH 5.6를 나타낸다. 그러나 대기오염 물질들이 화학반응에 의해  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  등의 강산으로 변하여 빗물의 pH를 5.6 이하로 떨어뜨림으로써 산성비가 내리게 된다.<sup>2, 3)</sup>

산성비에 대한 연구는 1872년 영국의 화학자 Robert Angus Smith가 Acid Rain이란 용어를 처음으로 사용함으로써 시작된 이래<sup>4)</sup> 미국은 1923년, 일본은 1937년<sup>5)</sup>, 우리나라는 1970년대 산성비의 심각한 악영향이 나타나면서 산성비에 대한 연구가 본격적으로 진행되어왔다<sup>6)</sup>. 산성비는 호수 및 저수지의 어류, 동·식물의 성장등에 악영향을 끼치며, 섬유제품의 퇴색, 금속의 부식, 삼림의 황폐화, 구조물의 훼손<sup>1, 2, 7, 8)</sup>은 물론 농작물에 미치는 영향 또한 큰데 Ashenden<sup>9)</sup> 등은 pH 4.5에서 콩과 식물의 건물 중이 18% 감소되었다고 보고 하였으며 谷山<sup>10)</sup>은 pH 5.0 이하에서 벼와 보리의 수량이 감소되었다고 보고 하였으며 또한 이등<sup>7)</sup>은 pH 2.7의 인공산성비를 처리하였을 때 기공의 피해가 나타났다고 보고한 바 있다. 이처럼 산성비는 자연 및 생활환경을 위협하고 있으며, 산성비의 영향은 지역적인 피해도 예상되지만 넓은 지역에 일시적으로, 동시에 직·간접으로 악영향을 주므로 국가적 차원의 환경오염 문제로 대두되었고 선진국가에서는 산성비 영향을 최소화하기 위한 대책수립에 고심하고 있다. 우리나라는 1970년대 후반부터 강수성분에 대한 조사가

각지에서 실시되었으나 이러한 조사는 단편적이었으며 장기간에 걸쳐 조직적으로 측정이 이루어진 예는 많지 않은 것 같다.

따라서 본 연구는 대기오염 및 산성비 영향을 최소화하기 위한 종합적이고 장기적인 대책방안을 마련하기 위한 기초자료를 제공코자 전북 익산 지역의 강수성분을 1991년부터 1995년까지 5개년간 산성강우 현상을 중심으로 조사한 자료를 보고하는 바이다.

## 材料 및 方法

### 1. 강수 채취 방법

강수 채취방법은 강수 채취기<sup>8)</sup>를 이용하여 30mm까지는 5mm 단위를 100mℓ씩 분리 채취하였고 그 이상은 전체를 별도로 한용기에 채취하였다.

'91년도의 강우 채취는 4월부터 12월까지, '92년도는 1월부터 12월까지, '93년도는 6월부터 10월까지, '94년도는 5월부터 9월까지, '95년도는 3월부터 10월까지 매 강우시마다 채취하여 분석시료로 하였으며 降雪은 갈매기 내의 눈을 녹여 강수량을 측정후 분석시료로 사용하였다.

### 2. 강수 성분 분석

pH는 Orion EA 940 pH meter, EC는 YSI 132 conductivity meter,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  양이온은 PerkinElmer 2380 원자 흡광 광도계를 사용하여 측정하였으나  $\text{NH}_4^+$ 는 Indolphol<sup>11)</sup>을 이용 분석하였다.

그리고  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $\text{BaCl}_2$ 에 의한 비탁법<sup>12)</sup>,  $\text{NO}_3^-$ 는 혼합 산성 시약법<sup>12)</sup>,  $\text{Cl}^-$ 는 치오시안산 제2수은법<sup>11)</sup>을 이용 Shimadzu UV-2100 UV/VIS spectrophotometer로 측정하였으며, '95년에는  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  등 음이온은 DX-300 Dionex 이온 크로마토그래프로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 월별 pH 변화 및 산성비 강하 분포

호남농업시험장에 설치된 기상종합기록장치(IPC-141A)로 측정된 익산시 총 강수량은 '91년이 1133mm, '92년에는 911mm, '93년은 1100mm, '94년은 500mm, '95년에는 1010mm로 5년 동안 평균강수량은 931mm였으며 '81년부터 '90년까지 10년간 평균강수량(1262mm)의 3/4에 불과하였고 특히 '94년의 총 강수량은 평년 강수량의 절반에도 미치지 못한 수준이었다. 이들 강수의 연차별 산성비 강하비율을 표 1에 나타낸 바와 같이 '91년은 75.4%, '92년은 87.3%, '93년은 9.2%, '94년은 6.6%, '95년은 60.9%로 5년 동안 평균 산성비 강하율은 47.9%로서 서울 83.2%<sup>13)</sup> 일본 97%<sup>14)</sup>에는 훨씬 못미치는 수준이었다. 산성비 기준을 pH5.6미만으로 볼 때 연차별 산성비 빈도는 '94년이 1회로 가장 낮았고 '91과 '92년이 각각 49회, 39회로 높았다.

표 2는 연차간에 따른 월별 pH 범위를 나타낸 표로서 '91년부터 '95년까지 5년동안 3월부터 11월까지 최고 pH 값은 6.98('92.10.23, '94.6.22), 최저 pH 값은

3.90('91.11.17)이었는데 '91년 서울 3.0<sup>15)</sup>, 충북 청원 3.38<sup>16)</sup>, 부산 3.80<sup>15)</sup> 등 국내에서 발표된 최저 pH값 3.30~3.8과 일본 각지의 최저 pH값 2.5~3.3<sup>17)</sup>에 비해서는 높은 편이었다.

pH변화를 보면 '91년은 4월부터 11월까지 내린강수 모두가 pH5.6미만의 산성비였으며, '92년은 3월부터 11월까지 6월을 제외하고는 모두 산성비였다. '93년과 '94년은 5월과 11월 까지 거의 산성비가 내리지 않았으며 '95년은 3월부터 10월까지 5, 6, 8월을 제외하고 산성비였다.

### 2. 강수 분획별 성분 변화

표 3은 '92년도 조사기간 중 강수량이 25mm(8회) 이상인 경우에 5mm 단위의 분획별 강수성분 변화를 나타낸 것으로 초기 강우(5mm 이하)의 평균 pH 값이 4.8로 그 이후 강우의 pH값 4.69에 비해 높았고 그후 점점 증가하는 경향을 나타내었다. 초기 강우의 pH값이 높았던 것은 대기중의 부유분진들이 Ca<sup>2+</sup> 등 알칼리성 물질을 다량 함유하고 있고 초기 강우에 의해 씻겨 내려오기 때문으로 생각된다. 이는 이등<sup>7)</sup>의 결과와 유사한 경향이었다.

Table 1. Yearly deposition aspect of acid precipitation in Iksan area

Year	'91	'92	'93	'94	'95
Precipitation amount(mm)	1133	911	1100	500	1010
Event of precipitation	103 (65)*	116 (45)	97 (33)	61 (15)	81 (23)
Event of acid precipitation	49 (Jan~Dec)**	39 (Apr.~Dec.)	3 (Jun.~Dec.)	1 (MayL Sep.)	14 (Mar.~Oct.)
Ratio of acid precipitation (%)	75.4	87.3	9.2	6.6	60.9

\* times of analysis

\*\* month of investigation

Table 2. Monthly pH value of precipitation and deposition aspect of acid rain for the period of 1991~1995

Month	pH value	'91	'92	'93	'94	'95
Mar.	Max.	—	4.88	—	—	5.72
	Min.	—	4.42	—	—	3.97
	Av.	—	4.64	—	—	4.85
	Ratio*	—	100	—	—	50
Aprr.	Max.	5.68	6.05	—	—	5.27
	Min.	3.86	4.17	—	—	4.76
	Av.	4.88	4.56	—	—	5.02
	Ratio	75	83	—	—	100
May.	Max.	6.20	5.56	—	6.60	6.22
	Min.	4.36	3.89	—	5.26	5.78
	Av.	5.40	4.37	—	6.13	6.00
	Ratio	60	100	—	33	—
Jun.	Max.	6.52	6.75	6.0	6.98	6.45
	Min.	4.41	5.49	6.0	6.26	6.38
	Av.	5.51	6.08	6.0	6.61	6.43
	Ratio	60	17	—	—	—
Jul.	Max.	5.69	5.88	6.5	6.81	5.64
	Min.	3.97	3.98	6.5	6.03	4.35
	Av.	4.59	4.44	6.5	6.37	5.00
	Ratio	100	86	—	—	80
Aug.	Max.	6.93	5.81	6.6	6.14	6.83
	Min.	4.17	4.36	6.6	5.69	4.74
	Av.	4.94	5.11	6.6	5.87	5.75
	Ratio	83	100	—	—	57
Sep.	Max.	6.47	6.58	6.23	5.76	4.30
	Min.	4.05	4.41	6.14	5.76	4.10
	Av.	5.28	4.70	6.19	5.76	4.20
	Ratio	75	50	—	—	100
Oct.	Max.	6.37	6.98	6.71	—	4.59
	Min.	4.13	4.88	5.35	—	4.59
	Av.	4.98	4.44	6.23	—	4.59
	Ratio	50	100	25	—	100
Nov.	Max.	5.09	5.46	6.04	—	—
	Min.	3.90	4.43	5.51	—	—
	Av.	4.67	4.84	5.75	—	—
	Ratio	100	100	30	—	—

\*Ratio : Frequency of acid precipitation /  $\sum$  precipitation

Table 3. Fractional variation of the composition of rain water in consecutive precipitation.

(unit :  $\mu\text{eq}/\ell$ )

Fraction(mm)	pH	EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
0-5	4.80	39	93.7	40.6	62.3	10.7	43.9	9.1	98.7
5-10	4.69	25	43.1	20.2	26.8	7.9	15.5	4.9	43.8
10-15	4.69	22	37.9	15.0	29.6	11.0	13.5	4.1	38.8
15-20	4.74	22	40.6	14.5	34.1	10.2	11.5	4.1	39.9
20-25	4.86	21	37.3	14.2	47.1	11.0	11.5	5.8	37.7

$\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  이온들의 농도는 둘째번 강우 분획에서 초기 강우 분획에 비해 절반 수준으로 감소하는 경향이었으며  $\text{K}^+$  성분을 제외하고는 모든 성분이 초기 강우분획에 비하여 떨어지는 경향으로 각 이온들 변화폭이 초기강우에 비해 작아 대기중의 부유분진들은 10mm 이내의 강우에 의하여 거의 씻겨 내려움을 암시하였다.

3. 연차별 강우 성분 변화

표 4는 '91년의 월별 강수 성분변화를 나타낸 것으로 pH 변화는 6월이 5.51로 가장 높고 12월이 3.78로 가장 낮았으며 4월부터 12월 까지의 강수평균 pH 값은 4.89였는데 이는 일본의 년평균값 4.5~4.7<sup>15)</sup>에

비해 높은 수준이었다.

강수성분 중 음이온의 평균값을 보면  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ 의 순으로 높았는데 서울지역<sup>16)</sup>의  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 의 순과 수원 지역<sup>7)</sup>  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 의 순과는 차이가 있었다. 익산지역에서  $\text{Cl}^-$  함량이 다른 음이온에 비해 높은 것은 西風으로 인해 西海의 바닷물 성분이 직접 또는 분진으로 비산되었기 때문으로 생각된다. 양이온은  $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  순으로 높았다.

'92년의 월별 강수 성분변화를 표 5에 나타냈는데 강수의 연평균 pH값은 4.45로 '91년과 비슷한 수준이었으나 음이온 평균값은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 의 순으로 '91년과 다소 차이가 있었다. 이러한 이유는 '91년도에 南風보다 西風の 영향을 많이 받았던 것으로 생각

Table 4. Monthly variation of the composition of precipitation in 1991

(unit :  $\mu\text{eq}/\ell$ )

Month	pH	EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
Apr.	4.88	30	144	39	339	11	57	7	63
May.	5.40	30	300	35	279	21	130	8	83
Jun.	5.51	43	340	19	309	77	107	2	91
Jul.	4.59	17	126	27	226	7	55	7	137
Aug.	4.94	22	169	39	334	12	35	4	131
Sep.	5.28	94	28	61	248	328	113	18	237
Oct.	4.98	39	193	59	326	14	63	8	167
Nov.	4.67	56	304	77	239	21	94	30	294
Dec.	3.78	39	214	41	210	16	25	20	116
Av.	4.89	41	230	44	279	56	75	12	156

Table 5. Monthly variation of the composition of precipitation in 1992

(unit :  $\mu\text{eq}/\ell$ )

Month	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
Jan.	3.93	72	386	128	245	23	66	28	200
Feb.	4.56	41	388	97	61	18	91	21	140
Mar.	4.64	29	181	34	32	4	30	5	75
Apr.	4.56	44	197	87	74	20	146	19	126
May.	4.37	28	145	58	51	10	53	6	108
Jun.	6.08	66	213	79	72	57	99	15	221
Jul.	4.44	44	153	59	108	32	43	8	167
Aug.	5.11	28	44	31	43	9	38	9	48
Sep.	4.70	34	52	20	164	37	30	7	87
Oct.	4.44	38	256	91	350	73	152	45	191
Nov.	4.84	31	139	45	95	23	39	22	118
Dec.	4.29	82	350	148	93	88	100	108	227
Av.	4.45	45	213	75	122	34	77	25	147

Table 6. Monthly variation of the composition of precipitation in 1993

(unit :  $\mu\text{eq}/\ell$ )

Month	pH	EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
Jun.	6.00	78	491	166	54	5	320	83	94
Jul.	6.50	45	167	69	51	8	75	42	83
Aug.	6.60	34	56	65	70	10	35	17	78
Sep.	6.19	83	488	156	267	169	302	46	132
Oct.	6.34	37	722	88	182	48	252	48	194
Nov.	5.75	25	91	19	85	18	46	16	68
Dec.	5.65	19	101	56	136	26	46	12	22
Av.	6.14	46	302	80	121	41	154	38	110

되며 양이온의 성분함량은 '91년과 비슷한 양상이었다.

표 6은 '93년의 월별 강수성분 변화를 나타낸 것으로 pH변화를 보면 여름에 비해 겨울에 pH가 다소 낮았는데 이는 난방연료 연소가스로 인해 음이온 함량이 높아 pH에 영향을 준 것으로 생각된다. 음이온은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$  순으로 '92년과 비슷한 경향이었고 양이온은  $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  순으로 높았다.

'94년의 월별 강수 성분변화를 표 7에 나타냈는데

5월부터 9월까지 월 평균 pH값이 6.17로 '91~'93년에 비하여 높은 경향이었다. '94년의 총 강수량은 499.6mm로 평년의 절반수준이었는데 표 3에서 지적한 바와 같이 10mm 이내 강수 일수록 알칼리성 이온함량이 높다는 보고와 '94년은 강수량이 월등히 적은 것을 비추어 볼 때 소량의 빗물에 다량의 부유 분진이 혼합되어 pH가 전반적으로 높았던 것으로 생각된다. 또한 이러한 이유로 인하여 '94년의 Ca 월평균 값이

Table 7. Monthly variation of the composition of precipitation in 1994

(unit : $\mu\text{eq}/\ell$ )									
Month	pH	EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
May.	6.13	38	86	40	11	2	305	23	114
Jun.	6.72	29	24	53	45	1	10	2	2
Jul.	6.37	29	64	70	25	2	44	4	157
Aug.	5.87	25	86	68	61	9	51	9	67
Sep.	5.76	21	61	61	45	5	51	8	66
Av.	6.17	28	64	58	37	4	92	9	81

Table 8. Monthly variation of the composition of precipitation in 1995

(unit : $\mu\text{eq}/\ell$ )									
Month	pH	EC( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$
Mar.	4.85	34	506	131	99	21	116	34	361
Apr.	5.02	46	128	47	45	9	67	18	51
May.	6.00	30	44	12	31	3	23	9	17
Jun.	6.43	13	11	247	36	116	170	120	479
Jul.	5.00	35	186	49	63	10	43	7	100
Aug.	5.75	18	29	12	32	9	84	6	2
Sep.	4.20	78	208	41	37	15	55	11	139
Oct.	4.59	73	278	35	108	40	150	35	125
Av.	5.23	41	174	72	56	28	89	30	162

92 $\mu\text{eq}/\ell$ 로 모든 성분중에서 가장 높았던 것 같다.

표 8은 '95년의 월별 강수성분 변화를 나타낸 것으로 6월의 평균 pH가 6.43으로 가장 높았으며 9월이 4.20으로 가장 낮았다. 각 이온의 성분 구성을 보면 음이온의 경우  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 의 순이었으며 양이온의 경우는  $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$  순이었다.

산성비가 농업생태계에 미치는 영향은 pH 4.0 이하에서 감수성이 큰 작물에서 가시적 피해가 나타나기 시작하고, pH 3.0 이하가 되면 토양의 양분용탈 및 Al 용출, 농작물의 생육저해 및 수량 감소등 대부분의 토양이나 농작물에 심각한 피해가 발생하는 것으로 알려져 있는데<sup>7,9,10)</sup> 본 조사에서 5년동안 pH 4.0 이하의 강수는 '91년이 5회, '92년이 4회, '95년이 1회로 총

10회에 걸쳐 64mm로 연 강수량의 1.4%였으며, 일본의 10%<sup>17)</sup>에 비하여 적은 비율이었고 pH 3.0 이하의 강수는 5년동안 내린 적이 없었다. 따라서 본 조사지역에서는 산성비에 의한 농작물 피해가 거의 없었을 것으로 추정된다.

#### 4. 익산지역 산성비의 원인물질 조사

Granat<sup>18)</sup>와 Cogbill<sup>19)</sup>은 빗물내 주요성분과 빗물 산성도의 화학적 관계에서 빗물의 산성도는  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ 에 기인한다고 발표하였으며 빗물내 주요성분은 해수로부터 자연적으로 방출되어 빗물속에 존재하는 이온과 인간활동에 의해 인위적으로 방출되어 빗물속

Table 9. Correlation coefficient for major chemical components in precipitation for the period of 1991~1995.

Ions	pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.447**						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.073	0.396*					
Cl <sup>-</sup>	-0.336*	0.566**	0.047				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0.035	0.457**	0.891**	0.113			
Ca <sup>2+</sup>	0.062	0.623**	0.423*	0.414*	0.474**		
Mg <sup>2+</sup>	-0.015	0.403**	0.844**	0.131	0.700**	0.590**	
K <sup>+</sup>	0.023	0.441**	0.378*	0.416**	0.438**	0.513**	0.477**

\*, \*\* : Significant at 5%, 1% respectively.

Table 10. Percentage of ion concentration in precipitation for the period of 1991~1995 in Iksan area. (unit : %)

Year	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
1991	37.5	9.5	33.6	7.5	5.1	0.5	6.3
1992	43.6	16.4	16.0	6.0	7.5	1.1	9.4
1993	46.3	16.5	13.4	5.8	9.6	1.4	7.0
1994	26.7	31.3	11.3	1.2	15.8	1.0	12.6
1995	40.0	21.2	9.5	5.2	8.4	1.7	14.0
Av.	38.8	19.0	16.8	5.1	9.3	1.1	9.9

에 존재하는 이온으로 구분되는데, 이 때 빗물의 산성도를 증가시키는 것은 인위적으로 다량 방출된 이온으로서 일부가 토양 혹은 먼지속에서 유래된 알칼리성 물질에 의해 중화되고 남은 음이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>)의 당량만큼 수소이온(H<sup>+</sup>)이 존재하여 빗물의 pH가 결정된다고 하였고 빗물의 pH를 5.6 이하로 떨어지게 하는 주요 이온을 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>들로 간주하였다.

표 9는 빗물내 주요 성분간의 상관관계를 나타냈는데 pH와 빗물내 다른 이온간의 상관계수는 낮으나 pH와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>간의 상관계수는 -0.48로 가장 높아 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 빗물의 산성도를 증가시키는 주요원인 물질중 가장 큰 역할을 하고 있음을 추정할 수 있으며, pH와 Cl<sup>-</sup>도 상관계수가 -0.34로 유의성이 인정되어 익산 지역은 해수의 영향을 많이 받은 것으로 생각된다.

가장 높은 상관관계를 보인 것은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 상관계수가 0.89를 나타냈으며 그밖에 Mg<sup>2+</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(r=0.84), Ca<sup>2+</sup>와 Ca<sup>2+</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(r=0.62), Mg<sup>2+</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(r=0.70) 등이 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼때 익산지역 빗물중 pH에 가장 영향을 많이 미친 성분은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>로 생각되고, pH변화를 일으키는 주요 인자를 정량하는 것은 매우 어려운 것으로 판단된다.

표 10은 익산시 빗물중 성분함량 분포를 연차적으로 도시한 것으로서 인간활동에 의해 인위적으로 배출되는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> 등이 70% 이상이였으며, 해수로부터 방출되는 Sea-salt 이온 Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 등이 25~40%를 점유하였다.

이상을 종합하여 볼 때 익산시의 산성비 주요 원인



물질은 대기 오염 물질이 인위적으로 배출되어 생성되는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이었으며, 우수중 pH를 5.6 이하로 떨어지게 하는 주요 성분별로 볼때  $\text{SO}_4^{2-}$ 이 52%,  $\text{NO}_3^-$ 은 25%,  $\text{Cl}^-$ 이 23%를 기여하였다. 미국 북동부<sup>20, 21)</sup>의 경우  $\text{SO}_4^{2-}$ 이 65%,  $\text{NO}_3^-$  30%,  $\text{Cl}^-$  5%였으며, 서울시<sup>16, 22, 23)</sup>는  $\text{SO}_4^{2-}$ 이 84%,  $\text{NO}_3^-$ 은 8%,  $\text{Cl}^-$ 이 8%였는데 익산지역의 경우 이들 지역보다는  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 기여도는 낮았으나  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{Cl}^-$  기여도는 상대적으로 높았다. 따라서 익산시 산성비 대책을 위해서는 인위적으로 다량 방출되는  $\text{SO}_4^{2-}$ 와  $\text{NO}_3^-$  이온의 발생량 저감이 우선적인 과제라고 생각된다.

### 요 약

전북 평야지역의 강수성분 변화 및 산성비 원인물질을 파악하기 위해 호남 농업 시험장내에서 1991년부터 1995년까지 강수의 화학적 조성을 분석 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. '91년부터 '95년까지 5년동안 익산지역 평균산성비 강하율은 47.9%였다.
2. 강수 분획별 pH변화는 초기 강우(5mm이하)때 높고, 두번째 분획(10mm)에서 낮았으나 그 이후에는 증가하는 경향이었고 모든 성분은 첫번째 분획(5mm이하)에서 가장 높았다.
3. 5년 동안 pH 4.0 이하의 강수는 '91년이 5회, '92년이 4회, '95년이 1회 총 10회에 걸쳐 64mm로 년 강수량의 1.4% 수준이었다.
4. 5년 동안 평균 강수성분조성 분포비율은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  순이었다.
5. 익산지역에서 산성비 강하에 기여한 물질의 비율은  $\text{SO}_4^{2-}$ 이 52%,  $\text{NO}_3^-$ 이 25%,  $\text{Cl}^-$ 이 23%로 나타났다.

### 참고문헌

1. U.S. EPA(1980). EPA-600/9-79036, Acid Rain.

2. WMO, EPA and NOAA(1982). US GPO 1982-0-377-082/1-146, National Acid Precipitation Assessment Plan.

3. Lidens, G.E., Wright, R.E., Galloway, J.N and Butler, T. J.(1979). Acid Rain, Scientific American, **241**(4) : 39-47.

4. Cowling, E.B.(1982). Acid Precipitation in Historical Perspective, Environ. Sci. Technol., **16**(2).

5. (社)コルファーの緑化促進協力會(1990). 酸性雨-生態系に與之る影響, p.342.

6. 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석(1987). 우수채취기가 우수성분에 미치는 영향, 한국대기보전학회지, **3**(2) : 53-61.

7. 이종식, 김복영, 우기대(1994). 수원지역 강우의 성분조성과 작물에 미치는 영향, 한국환경농학회지, **13**(1) : 31-38.

8. 강종국, 심형권, 이종식, 김종구, 이재길, 소재돈(1995). 전북 이리지역의 강수성분 조사, 한국환경농학회지, **14**(1) : 15-22.

9. Ashenden, T.W. and Bell, S.A.(1989). Growth Response of Three Segume Species Exposed to Simulated Acid Rain, Environ, Pollution. **62** : 21-29.

10. 谷山鐵郎(1990). わか國にわけろ酸性雨の かいと作物への影響(2). 農業および園藝, **65**(9) : 38-46.

11. 公害研究 對策 センター-(1990). 酸性雨(土壤, 植生への影響), p.198.

12. 이종식, 강종국, 김종구(1993). 섬진강수계 농업용수의 수질조사 연구, 한국 환경농학회지, **12**(1) : 19-25

13. 박성배, 박상현, 김민영, 강희곤, 김영광, 이상열(1989). 서울지역의 산성 강우현상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, **5**(2) : 42-54.

14. 松本光弘, 板野龍光(1985). 雨水成分の統計的解析 大氣汚染學會誌, **20**(1) : 12-22.

15. 강인구, 한의정, 장성기(1991). 대기오염과 산성비에 의해 피해 조사 및 평가에 관한 연구, 국립환경연구원보, **13** : 167-191.

16. 송기형, 박용남, 정용승, 박국태(1992). 충청북도 농촌지역의 강수의 상성도에 관한 기초 연구, 한국대기보전학회지, **8**(1) : 38-44.
17. 玉置元則, 小山功(1991). 地上から見た日本の酸性雨-酸性雨調査, 研究で得られた成果と今後の課題, 大気汚染學會誌, **26**(1) : 1-22.
18. Granat, L.(1972). On the Relation between pH and the Chemical Composition in Atmospheric Precipitation, *Tellus*, **24** : 550-560.
19. Cogbill, C.V. and Likens, G.E.C(1974), Acid Precipitation in the Northeastern United States, *Water Resources Research*, **10**(6)
20. Gallowasy, J.N., Dianwu, Z., Jiling, X. and Likens, G.E(1987). Acid Rain. Chinn, United States, and a Remote Area, *Science*, **236** : 1559-1562.
21. Lefohn, A.S. and Brocksen, R.W.(1984). Acid Rain Effects Research a Status Report, *JAPCA*, **34**(10).
22. 이민희, 한진석, 한의정, 신한기(1989). 황사현상시 강수의 화학적 성분에 관한 연구, 한국대기보전학회지, **5**(2) : 1-11
23. 신용배, 이상권, 안규홍(1986). 서울시 산성비의 원인물질에 관한 연구, 한국대기보전학회지, **2**(2) : 66-74.