

익산지역 강수성분의 연차적 변이

이경보* · 이덕배¹⁾ · 이상복 · 김재덕 · 박찬원

작물과학원 호남농업연구소, ¹⁾농업과학기술원
(2005년 10월 21일 접수, 2005년 3월 25일 수리)

Yearly Changes of Precipitation Component in the Iksan Area

Kyeong-Bo Lee*, Deog-Bae Lee¹⁾, Sang-Bok Lee, Jae-Duk Kim, and Chan-Won Park (Honam Agricultural Research Institute, NICS RDA, Iksan 570-080, Korea, ¹⁾National Institute of Agricultural Science Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea)

ABSTRACT: This study was carried out to investigate yearly change in the precipitation component and the source strength to acid precipitation at Iksan area from 1997 to 2003.

The average ratio of acid precipitation was 70.0% in 1997, 56.3% in 1998 and 36.4% in 2003. On the other hand, it ranged from 6.9 to 19.2% when precipitation was less from 1999 to 2002. The average annual wet depositions of major ionic components in precipitation were calculated by multiplying equivalent concentration by precipitation. The order of major anion components in precipitation was $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$. On the other hand, the concentration of cation components were $\text{Ca}_2^+ > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}_2^+ > \text{K}^+$ in order. The negative correlation was shown between pH and ionic components in precipitation except for Ca_2^+ and Na^+ . The correlation coefficient between pH and SO_4^{2-} was highly significant as -0.508, which suggests that SO_4^{2-} played important role in increasing the acidity of precipitation. Also the anions such as SO_4^{2-} and NO_3^- were highly significant with cations such as Ca_2^+ , Mg_2^+ , K^+ , NH_4^+ and Na^+ .

As a result, though pH was enable to use the acidity index of precipitation in somewhere, evaluating only pH in precipitation was insufficient as the index to establish corresponding strategy for acid rain.

Key Words: Acid precipitation, Precipitation characteristics, Iksan area

서 론

최근 전세계는 오존층 파괴, 지구온난화(Global Warming), 산성우 등 범지구적인 환경문제에 직면하고 있다¹⁻³⁾. 산성비 문제는 주로 지구환경 문제로 분류하고 있으나 엄격히 말하자면 지역환경 문제이다. 산성비란 대기의 산성 물질이 생태계에 젖은 상태 혹은 마른 상태로 침착하는 것으로 정의되는데 산성강수는 보통 pH의 값이 5.65 이하일 때를 말한다. 그 이유는 현재의 대기 중에 존재하는 330 ppm의 이산화탄소의 농도가 대기 중의 수증기와 평형을 이룰 때 탄산의 일부가 수증기에 용해되어 들어간다. 용해된 탄산은 수용액 상태에서 HCO_3^- 와 CO_3^{2-} 의 형태를 갖게 된다. 수용액은 전기적으로 중성의 성질을 만족하여야하므로 양이온인 수소이온의 농도와 음이온인 OH^- , HCO_3^- 와 CO_3^{2-} 의 합이 평형을 이루

어야 한다. 이러한 관계식을 만족하게 될 때 수소이온의 농도는 순수한 물에서 수산화이온과 평형을 이룰 때 보다 값이 더 증가하여 pH가 5.65일 때 평형상태를 만족하게 된다^{4,5)}. 산성비의 원인물질로는 이산화황과 질소산화물을 들 수 있는데 이들 물질이 대기 중에서 이동, 확산하면서 화학적 물리적 변환을 일으켜 황산, 질산이 되어 빗물을 산화시킬 수 있는데 이를 산성비 현상이라고 한다. 산성비 현상은 배출원으로부터 수천 km 떨어진 곳까지 미치는 것으로 알려져 있으며 따라서 산성비 문제는 다국간의 대기오염물질 장거리 이동이 문제가 된다. 특정 지역의 빗물의 산성도는 지역오염과 대기오염물질의 장거리 이동이 복합적으로 나타난 결과이다⁶⁾.

산성우에 대한 피해는 산림, 호소, 농작물 등의 자연생태계와 인체 및 재산 등의 생활환경에 악영향을 주고 있을 뿐만 아니라 산성비 원인물질의 장거리 이동에 의해 배출원 지역과 영향을 받는 지역이 서로 달라 인접국가에도 피해를 야기하기 때문에 국가간 외교분쟁의 소지가 되고 있어 그 중요성이 크다고 하겠다⁶⁻⁸⁾.

*연락처:

Tel: +82-63-840-2262 Fax: +82-63-840-2118

E-mail: lee1214@rda.go.kr

최근 우리나라, 중국, 일본을 포함한 동북아시아 지역은 경제성장에 따른 연료 소비량의 증가로 대기오염에 의한 피해가 심화되고 있으며, 타 지역의 오염발생원에서 배출된 다량의 대기오염물질이 유입될 가능성이 예측되고 있다^{9,10}.

지금까지의 국내 산성우 연구는 대도시를 중심으로 산성도 및 주요 이온성분의 측정, 산성도 원인 물질의 구명, 각 성분간의 통계적 해석, 행사 현상시 강수의 화학적 성분, 농촌 및 해안지역 강수의 화학적 특성, 대기오염물질의 장거리 이동, 산성우가 식생에 미치는 영향 등을 연구하였다^{10,12}. 그러나 지금까지 수행된 연구의 대부분이 단기간 동안 강수를 측정하여 농도 중심의 화학적 특성위주로 해석하여 왔다. 따라서 본 연구는 산성비의 대한 장기적이고 종합적인 대책방안을 마련하기 위한 기초 자료를 제공코자 1997년부터 2003년까지 7년 동안 산성우 현상을 중심으로 조사하였다.

재료 및 방법

강수 채취방법은 비와 눈을 나누어서 채취하였는데, 비는 강우자동채취기를 이용하여 매회 초기 5 mm의 강우를 강수량 1 mm 단위로 분리 채수하였다. 강우자동채취기의 원리는 강우가 시작되면 Rain sensor가 감지하여 강우채취기 뚜껑이 자동으로 열려서 빗물을 받게 되는 wet sampling 방식을 사용하였다. 눈의 채취는 깨끗한 용기에 눈을 채취하여 눈을 녹인 후 분석시료로 사용하였다. 기상자료는 호남농업연구소에 설치된 기상종합기록장치(IPC-141A)로 측정된 자료를 참고하였다.

빗물분석 방법은 환경부 수질오염공정 시험법에 의하여 실시하였으며, pH는 초자전극법(Orion EA940), EC는 Conductivity meter, NH₄⁺은 Indophenol, NO₃⁻은 혼합산성시약법, SO₄²⁻는 BaCl₂ 비탁법, Cl⁻은 치오시안산 제2수은법, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ 등 양이온은 ICP(Varian Livity 110)를 이용하여 분석하였다^{13,14}.

결과 및 고찰

Table 1은 강수량 및 산성비 강하비율을 나타낸 표로 조사

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

Years	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03
Precipitation amount (mm)	1,204	1,642	1,071	929	1,182	1,058	1,541
Event of precipitation	92 (40) [▷]	100 (32)	85 (17)	76 (19)	170 (29)	108 (26)	118 (33)
Event of acid precipitation	28 (Mar. ~ Dec.) ^{▷▷}	18 (Jan. ~ Jul.)	3 (Feb. ~ Oct.)	2 (Jun. ~ Nov.)	2 (Jan. ~ Dec.)	5 (Apr. ~ Dec.)	12 (Jan. ~ Nov.)
Ratio of acid precipitation	70.0	56.3	17.6	10.5	6.9	19.2	36.4

[▷] : sampling times, ^{▷▷} : sampling period

기간 중 총강수량은 1998년 1,642 mm, 2003년 1,541 mm로 1994년부터 2003까지 10년간 평균강수량(1,118 mm)보다 많았으며, 2000년 총강수량은 929 mm로 평균강수량보다 적었다. 이들 강수의 연차적 산성비 강하비율은 1997년 70.0%, 1998년 56.3%, 2003년 36.4%를 나타냈으나, 강우량이 적은 1999년부터 2002년의 산성비 강하비율은 6.9~19.2%를 보였다. 이는 건조한 날씨가 계속되면서 대기 중에 부유하고 있는 토양먼지가 강수의 산성도 중화에 영향을 미친 것으로 생각된다. Smith 등¹⁵은 미국의 건조한 중부지방이 다습한 동부지역에 비하여 pH가 높다고 보고하였으며, Allan과 Jonasson¹⁶은 대규모 시멘트 공장지대 주변지역의 강수의 pH는 토양먼지중 특히 Ca-dust의 영향을 받아 비교적 높은 값을 나타낸다고 보고하였다.

산성비 빈도는 2000년과 2001년 2회, 1999년 3회, 2002년 5회, 2003년 12회, 1998년 18회 그리고 1997년 28회로 가장 많았다.

Fig. 1은 연차간 월별 평균 pH변화를 도시한 것으로 '97년부터 '03년까지 7년 동안 최고 pH값은 7.83(2000. 5), 최저 pH값은 3.46(1998. 9)이었다. '97년과 '98년의 pH는 '97년 10월을 제외하고는 산성비 빈도가 높았으며 '99년부터 '02년 까지는 pH가 높았다. '03년의 pH변화는 8월 이후부터 pH가 낮아지는 경향이였다. 연차간 pH변화는 월별 또는 계절별 주기적인 경향을 갖지 않은 것으로 나타났다.

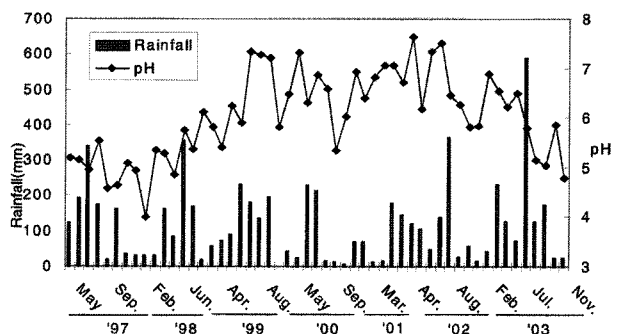


Fig. 1. Monthly pH value of precipitation from 1997 to 2003 in Iksan area

Table 2는 연속 강우시 강우를 5 mm 단위로 채취하여 분획별 강수성분 변화를 나타낸 것이다. 초기강우(10 mm 이하)의 pH는 6.14~6.16을 보였으나, 그 이후의 pH는 낮아졌다. 이와 같은 원인은 알칼리성 물질을 함유하고 있는 대기 중의 부유분진들이 초기강우에 의해 씻겨 내려오기 때문에 초기 강우시 pH가 높았던 것으로 생각된다. 양이온 및 음이온 성분들은 초기강우에 비해 10 mm이상의 분획에서는 그 농도가 급격히 감소되는 것을 알수 있었다.

Table 3은 월별 강수성분의 평균값을 나타낸 것이다. pH 범위는 봄 4.85~7.63, 여름 4.95~7.50, 가을 4.57~7.21,

겨울 3.99~6.92로 겨울에 pH 범위가 다른 계절에 비하여 컸다. 이와 같은 원인은 산성비 원인 물질인 SO_4^{2-} , Cl^- 등이 겨울철에 높았던 것으로 생각된다. Ca^{2+} 와 Mg^{2+} 성분의 경우 봄과 겨울철에 높았는데, 이는 다른 계절에 비해 봄과 겨울철에 비교적 건조한 기후조건을 나타낼 뿐만 아니라 바람의 발생빈도가 커 대기 중에 흩먼지가 많게 되고 상대적으로 강수의 발생빈도가 적어 높은 함량을 나타낸 것으로 판단된다.

Table 4는 1997년부터 2003년까지 강수성분의 년 평균값을 나타낸 것이다. pH 범위는 1998년 3.99~5.37로 가장 낮았다. 1998년을 제외한 pH 범위는 4.57~7.63를 나타냈

Table 2. Fractional variation of the composition in consecutive precipitation (unit: $\mu\text{eq/l}$)

Fraction (mm)	pH	EC ($\mu\text{s/cm}$)	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	PO_4^{3-}	Na^+
0~5	6.14	49.64	169.9	91.5	35.8	6.1	426.1	42.0	157.9	1.6	29.6
5~10	6.16	21.08	84.4	35.2	30.2	3.1	365.3	29.6	72.7	-	21.8
10~15	5.42	9.94	65.5	22.4	27.4	1.5	27.9	5.3	25.0	-	16.1
15~20	5.63	9.03	38.7	17.3	29.6	1.1	20.0	3.4	27.8	-	17.4
20~25	5.54	8.96	52.2	17.6	26.0	1.2	14.0	3.5	25.5	-	17.4

Table 3. Monthly variation of the composition of precipitation from 1997 to 2003 (unit: $\mu\text{eq/l}$)

Month	pH	EC ($\mu\text{s/cm}$)	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	Na^+
Jan.	4.92~6.92	59.4	51.1	21.5	150.5	19.6	82.9	39.2	60.8	150.6
Feb.	3.99~6.89	101.0	234.8	26.5	180.1	20.1	121.1	48.0	88.7	115.8
Mar.	5.34~6.81	94.5	165.0	18.8	234.5	52.9	155.1	63.2	129.9	178.3
Apr.	5.27~7.63	47.5	65.7	7.5	19.5	6.7	60.2	11.3	39.8	26.1
May	4.85~7.32	32.8	86.7	11.9	43.0	10.71	53.3	10.5	70.6	14.4
Jun.	5.15~7.35	26.7	75.7	15.2	71.9	9.95	61.8	9.6	91.4	35.5
July	4.95~7.50	22.7	86.8	9.5	36.8	11.1	31.8	7.6	51.5	22.2
Aug.	5.14~7.26	14.3	44.3	3.6	52.9	14.6	25.5	12.5	29.2	20.2
Sep.	4.57~7.21	72.8	87.2	8.7	48.6	24.2	80.4	22.8	50.4	75.8
Oct.	5.85~6.02	25.6	71.0	8.3	28.1	10.6	41.3	12.4	38.8	30.7
Nov.	4.64~6.26	58.2	128.3	17.2	179.8	17.6	89.2	42.7	61.8	127.6
Dec.	5.09~5.81	194.2	212.6	26.4	391.3	18.6	198.1	85.4	70.4	248.1

Table 4. Yearly variation of the composition of precipitation from 1997 to 2003 (unit: $\mu\text{eq/l}$)

Year	pH	EC ($\mu\text{s/cm}$)	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	Na^+
1997	4.57~5.53	79.7	132.1	13.5	157.6	12.3	87.0	32.1	67.8	101.2
1998	3.99~5.37	79.3	203.8	23.6	104.8	10.7	125.8	31.4	114.1	48.8
1999	5.41~7.33	66.5	72.1	5.5	50.2	24.8	47.4	21.9	35.4	73.7
2000	5.81~7.31	26.7	26.9	5.0	39.7	10.4	26.8	11.5	38.4	50.2
2001	6.39~7.06	41.8	64.4	15.1	137.4	23.1	73.6	30.0	87.8	93.6
2002	5.81~7.63	35.3	62.7	11.0	108.2	12.7	76.4	23.6	48.9	67.5
2003	4.78~6.89	35.8	104.2	19.7	78.9	12.6	74.6	21.0	70.1	56.6

다. 산성비가 농업생태계에 미치는 영향은 pH 4.0 이하에서 감수성이 큰 작물에서 피해가 나타나기 시작하고, pH 3.0 이하가 되면 토양의 양분용탈 및 Al 용출, 농작물의 생육저해, 수량감소 등 대부분 토양이나 농작물에 심각한 피해가 발생하는 것으로 알려져 있다^{8,11)}. 본 조사지역에서는 pH 3.0 이하의 강수는 내린 적이 없어 산성비에 의한 농작물 피해는 없었을 것으로 추정된다. 강수의 성분중 SO₄²⁻, Cl⁻ 이온은 pH가 낮았던 1997, 1998, 2003년에 높았으나, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, Na⁺ 등 양이온은 pH에 따른 경향을 찾아볼 수 없었다.

Fig. 2는 1997년부터 2003년까지 강수성분 중 음이온과 양이온의 비율을 나타낸 것이다. 음이온 평균값의 조성은 Cl⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻의 순으로 높았으며, 양이온 평균값의 조성은 Ca²⁺ > Na⁺ > NH₄⁺ > Mg²⁺ > K⁺ 순으로 높았다. 익산 지역에서 Cl⁻, Ca²⁺ 그리고 Na⁺이 성분이 다른 성분에 비하여 높은 것은 서풍으로 인한 서해 바다물 성분이 직접 또는 분진으로 비산되었기 때문으로 생각 된다.

산성우에 대한 영향 평가시 단기간에 의한 것보다 장기적인 영향으로 발생하기 때문에 산성강하물의 농도뿐만 아니라 침착량의 해석이 필요하게 된다. Table 5는 강수중 주요 이온 성분의 년평균 습성침착량을 나타낸 것으로 습성침착량은 각 이온성분의 당량농도에 강수량을 곱하여 산출하였다. 각 이온 성분의 침착량을 살펴보면 음이온은 SO₄²⁻ > Cl⁻ > NO₃⁻ 순이었으며, 양이온의 경우는 NH₄⁺ > Ca²⁺ > Na⁺ > Mg²⁺ > K⁺

순으로 많았다. 습성침착량은 대기오염물질의 유출입 가능성에 대한 중요한 지표로 해석되는데, CRIEPI¹⁶⁾에 의하면 지역이나 계절에 따라 습성침착량이 달라지며, SO₄²⁻의 습성침착량은 강수량에 비례한다고 보고하였다.

Table 6은 강수중 주요성분에 대한 상관분석 결과를 나타낸 것이다. pH와 강수 이온 성분중 Ca²⁺와 Na⁺ 성분을 제외한 모든 성분에서 부의 상관을 나타냈으며 그 외 각 성분간의 상관은 정의 상관을 나타냈다. pH와 SO₄²⁻간의 상관계수는 -0.508로 고도의 유의성을 나타냈는데 이는 SO₄²⁻성분이 강수중 산성도를 증가시키는 주요원인 물질중 가장 큰 역할을 하고 있음을 추정할 수 있었다. 또한 SO₄²⁻와 NO₃⁻ 이온은 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, NH₄⁺, Na⁺ 등 양이온과 고도의 유의성을 보였다. Granat¹⁷⁾는 강수내 주요성분의 관계에서 강수의 산성도는 H₂SO₄와 HNO₃에 기인한다고 하였으며, 강수내 주요성분은 해수로부터 자연적으로 방출되어 강수속에 존재하는 이온과 인간 활동에 의해 인위적으로 방출되어 강수속에 존재하는 이온으로 구분되는데, 이 때 강수의 산성도를 증가시키는 것은 인위적으로 다량 방출된 이온으로서 일부가 토양 혹은 먼지에서 유래된 알칼리성 물질에 의해 중화되고 남은 음이온이 당량만큼 수소이온과 결합하여 산성을 나타낸다고 보고하였다. 결과적으로 볼때 pH가 그 지역 강수의 산성도에 대한 지표가 될 수 있을지라도 산성우에 대한 대책 수립을 위한 강수의 오염도 평가시 강수중의 pH만을 측정하여 평가한다는 것은 적합하지 않다고 판단된다.

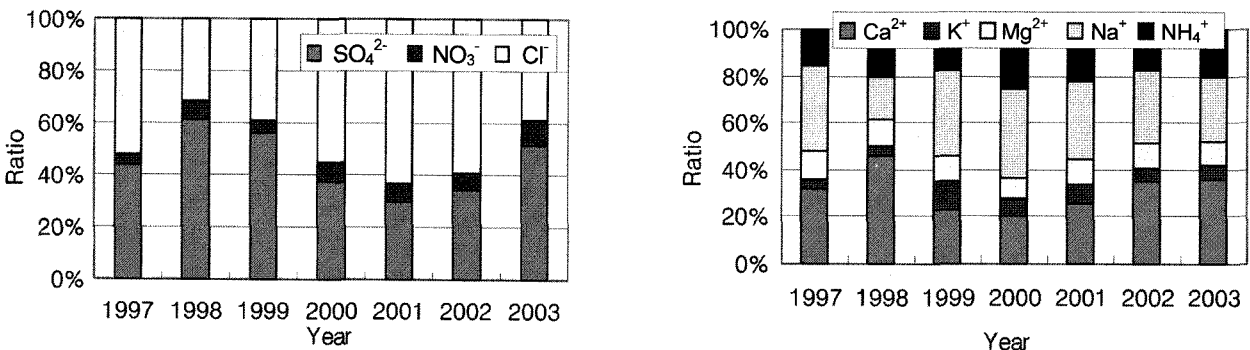


Fig. 2. Ratio of ion concentration in precipitation from 1997 to 2003

Table 5. Yearly wet deposition amounts of major ion components at Iksan (unit: meq/ m²)

Year	pH	EC (us/cm)	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺
1997	5.02	79.71	16.29	1.40	19.38	1.19	6.37	2.94	8.61	7.50
1998	5.07	79.32	16.19	1.71	4.24	8.84	12.13	4.71	15.03	9.85
1999	6.41	66.54	7.78	0.57	2.32	3.94	4.93	2.20	3.78	6.05
2000	6.34	26.70	1.45	0.22	1.31	0.47	1.37	0.38	2.83	3.57
2001	6.82	41.80	4.08	1.03	6.95	1.03	3.91	1.26	7.75	2.92
2002	6.74	35.30	5.50	0.94	8.62	0.91	5.79	1.63	4.28	3.75
2003	5.86	35.84	15.54	3.09	7.36	1.24	7.27	1.64	7.87	3.46

Table 6. Correlation coefficient for major chemical components in precipitation

Ion	pH	EC	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
EC	-0.316*								
SO ₄ ²⁻	-0.508**	0.691**							
NO ₃ ⁻	-0.328*	0.494**	0.730**						
Cl ⁻	-0.275	0.671**	0.547**	0.422**					
K ⁺	-0.305*	0.421**	0.775**	0.581**	0.359**				
Ca ²⁺	0.054	0.039	0.947**	0.241	0.891**	0.220			
Mg ²⁺	-0.029	0.145	0.731**	0.584**	0.666**	0.881**	0.626**		
NH ₄ ⁺	-0.361**	0.458**	0.802**	0.699**	0.353**	0.718**	0.828**	0.740**	
Na ⁺	0.011	0.107	0.906**	0.446**	0.878**	0.613**	0.882**	0.905**	0.459**

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

적 요

본 연구는 산성비의 대한 장기적이고 종합적인 대책방안을 마련하기 위한 기초 자료를 제공코자 1997년부터 2003년까지 7년 동안 산성강우 현상을 중심으로 조사하였다.

강수의 연차적 산성비 강하비율은 1997년 70.0%, 1998년 56.3%, 2003년 36.4%를 나타냈으나, 강우량이 적은 1999년부터 2002년의 산성비 강하비율은 6.9~19.2%를 보였다. 산성우에 대한 영향 평가시 단기간에 의한 것보다 장기적인 영향으로 발생하기 때문에 산성강하물의 농도뿐만 아니라 침착량의 해석이 필요하다. 강수중 주요 이온성분의 연평균 습성침착량은 각 이온성분의 당량농도에 강수량을 곱하여 산출하였다. 각 이온성분의 침착량을 살펴보면 음이온은 SO₄²⁻ > Cl⁻ > NO₃⁻ 순이었으며, 양이온의 경우는 NH₄⁺ > Ca²⁺ > Na⁺ > Mg²⁺ > K⁺ 순으로 많았다.

강수 중 주요성분에 대한 상관분석 결과 pH와 강수 이온 성분중 Ca²⁺와 Na⁺ 성분을 제외한 모든 성분에서 부의 상관을 나타냈으며 그 외 각 성분간의 상관은 정의 상관을 나타냈다. pH와 SO₄²⁻간의 상관계수는 -0.508로 고도의 유의성을 나타냈는데 이는 SO₄²⁻성분이 강수중 산성도를 증가시키는 주요원인 물질중 가장 큰 역할을 하고 있음을 추정할 수 있었다. 또한 SO₄²⁻와 NO₃⁻ 이온은 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, NH₄⁺, Na⁺등 양이온과 고도의 유의성을 보였다.

참고문헌

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (1995) Draft Summary for Policymakers of The Contribution of Working Group I to The IPCC Second Assessment Report.
2. Lidens, G.E., Wright, R. E., Galloway, J.N. and Butler, T.J. (1979) Acid rain, *Scientific American* 241(4), 39-47.
3. Hatakeyama, S. (1993) Effects of stratospheric ozone depletion and/or global warming on acid rain, countermeasure of environment resource, *Atmos. Environ.* 29(3) 827.
4. Seinfeld J.H. (1986) Atmospheric chemistry and physics of air pollution, *John Wiley and Sons*, 699.
5. Sequeira R.A. (1982) Acid rain: An assessment based on acid-base considerations, *JAPCA* 32, 241-245.
6. American Chemical Society, (1982) Acid deposition: Many new findings on this field were reported at the recent meeting of the American Chemical Society, *Environ. Sci. Technol.* 323A-327A.
7. Guidobaldi, F.G. and Mecchi, A.M. (1993) Corrosion of ancient marble monuments by rain: Evaluation of pre-industrial recession rates by laboratory simulations, *Atmos. Environ.* 27B(3), 339-351.
8. Westenbarger, D.A. and Frisvold, G.B. (1994) Agricultural exposure to ozone and acid precipitation, *Atmos. Environ.* 27(10), 2231-2239.
9. Fujita, S., Ichikawa, Y., Kawaratani, R.K., and Tonooka, Y. (1991) *Atmosphere Environment* 25, 1409-1411.
10. Lee K.B., Kang J.G., Kim J.G., Rhee G.S., and So J.D. (1996) Yearly changes in the precipitation component and investigation on the source strength to acid rain in the Iksan area. *J. Korean Environ. Agri.* 15(2), 188-197.
11. Lee J.S. and Kim B.Y. (1994) Effect of acid rain on vegetation. *J. Korean Environ. Agri.* 13(3), 346-358.
12. Lee J.S., Jung Y.K., and Lee K.S. (1999) Chemical Composition of rainwater in Taean area. *J. Korean Environ. Agri.* 18(3), 204-208.
13. Ministry of Environ. (2000) The standard method of water analysis.

14. William Horwitz. (1980) Methods of analysis of the association of official analytical chemists. *A.O.A.C.*, p.550-552.
 15. Smith, R.M., Twiss, P.C., Krauss, P.K., and Brown, M.J. (1970) Effect of dry deposition in rain water. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 34, 112.
 16. Allan R.J. and Jonasson I.R. (1978) Alkaline snowfalls in Ottawa and Winnipeg Canada, *Atmos. Environ.* 12, 1169-1173.
 17. Grant, L. (1972). On the relation between pH and the chemical composition in atmospheric precipitation, *Tellus*, 24, 550-560.
 18. CRIEPI (1992) Acidic deposition in Japan, *CRIEPI report*, 5-36.
-