

## 수원지역 강우의 화학적 특성

이종식\* · 김진호 · 정구복<sup>1)</sup> · 김민경 · 윤순강 · 권순익

농촌진흥청 농업과학기술원, <sup>1)</sup>농촌진흥청 연구개발과  
(2008년 9월 10일 접수, 2008년 9월 24일 수리)

### Chemical characteristics of Rainwater in Suwon

Jong-Sik Lee\*, Jin-Ho Kim, Goo-Bok Jung<sup>1)</sup>, Min-Kyeong Kim, Sun-Gang Yun, and Soon-Ik Kwon (National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea, <sup>1)</sup>Research Management Division, RDA, Suwon 441-707, Korea)

**ABSTRACT:** To evaluate the acidity and chemical characteristics of rainwater in Korea, its pH and ion concentrations were investigated in Suwon from April to December, 2006. In addition, to estimate the contribution of ions on its acidity, ion composition and neutralization effect of major cations were investigated. Ion balance and electrical conductivity balance between measured and estimated values showed a high correlation. The mean pH and EC in rainwater collected during the investigation periods were 4.7 and 17.6  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , respectively. The monthly variation in EC showed a clear seasonal pattern, which had the lowest value of 9.1  $\mu\text{S cm}^{-1}$  in July and increased remarkably in November.  $\text{Na}^+$  was the most abundant cation and followed by  $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ . Among them,  $\text{Na}^+$  and  $\text{NH}_4^+$  accounted for more than 65% of the total cations. In case of anions, the relative abundance was  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ . About 67% of the total anions in rainwater was  $\text{SO}_4^{2-}$ , which showed 119.0  $\mu\text{eq L}^{-1}$  as mean value during the monitoring periods. Furthermore, 94% of the soluble sulfate in rainwater was identified as nss- $\text{SO}_4^{2-}$  (non-sea salt sulfate). We also found that  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  contributed greatly in neutralizing the rain acidity, especially in dry season.

**Key Words:** Acidity, Ion, Chemical composition, Neutralization, Non-sea salt sulfate

### 서 론

강우는 대기로부터 오염물질들을 정화하는 중요한 기작이다<sup>1)</sup>. 산성비(acid rain)는 생활과 산업활동에서 발생되어 대기 중으로 배출되는 여러 물질들이 구름 내에서의 세정작용(rainout)과 강우시 흡수와 흡착작용(washout) 등으로 제거되는 과정에서 생성된다<sup>2)</sup>. 환경에 대한 대중의 인식이 높아짐에 따라 이러한 산성비의 영향과 그 대책 수립에 많은 관심을 모으고 있다. 산성비의 영향은 풍향과 풍속에 따라 차이는 있으나 장거리 이동으로 오염원으로부터 떨어져 있는 주변국가에도 직접 또는 간접으로 영향을 주는 등 그 피해가 광범위하며<sup>3)</sup>, 발생원이 제거된 뒤에도 그 영향이 오래 지속되기 때문에 국제적인 환경문제로 대두되었고, 현재 세계 각

국은 산성비 피해에 대하여 공동으로 대처하고 있다. 산성비의 영향으로는 산림이나 농작물<sup>4)</sup>, 토양<sup>5,6)</sup>, 하천 및 호수<sup>7)</sup>, 건축물<sup>8,9)</sup> 그리고 인체에의 피해<sup>10,11)</sup> 등이 알려져 있다.

지리적으로 북반구의 중위도 극동지역에 위치한 우리나라의 경우, 아직은 뚜렷한 대규모 피해지역이 없고, 기존의 보고<sup>12,13)</sup>와 같이 그 현상이 같은 중위도에 있는 서유럽의 국가들과 달리 월별 강우량 변화가 크고 대기 중 알카리 성분들에 의해 빗물의 산성도가 크게 중화되는 특성을 지니고 있다.

한편, 최근 급속한 산업화로 많은 양의 아황산가스를 배출하고 있는 중국의 편서풍 영향 하에 위치한 우리나라의 경우에는 무엇보다도 지속적인 강우의 산성도 모니터링과 예상되는 피해에 대한 대책 마련이 필요하다. 산성비에 대한 대책 수립을 위해서는 빗물의 산성도 뿐만 아니라 화학적 조성을 평가하는 것이 중요하다. 이를 위하여 강우량과 빗물의 산성도 및 주요 화학성분 함량 그리고 빗물 중 주요 이온들에 의한 중화를 고려한 월별 강우의 산성도 변화 구명이 요구된다.

따라서 본 연구는 경기도 수원지역의 강우 특성을 구명하

\*연락처:

Tel: +82-31-290-0219 Fax: +82-31-290-0206  
E-mail: jongslee@rda.go.kr

기 위하여 2006년 4월부터 12월까지의 조사기간 동안 매 강우마다 빗물을 채취하여 pH 및 주요 화학성분들을 분석하였으며, 각 성분에 대한 강우량을 고려한 가중평균치의 월별 변화를 조사하였다. 또한 측정 pH와 기존에 보고<sup>14)</sup>된 바와 같이 대기 중에서 중화과정이 없을 경우의 산성도인 이론적인 pH 값과의 차이를 비교하여 월별 강우 산성도 중화 정도의 변화를 살펴보았다.

## 재료 및 방법

본 조사는 경기도 수원시 농업과학기술원(37° 16' 28.72" N, 126° 59' 10.53" E)에 설치된 강우 자동채취기를 이용하여 2006년 영농기간 중 빗물을 채수하였다. 조사된 시료 수는 4월부터 12월까지 9개월간 42점을 채수하였다. 빗물의 채취는 bulk sampling 방식으로 매 강우마다 채수하였으며, 센서에 강우가 감지되면 자동으로 뚜껑이 열려 빗물을 채수하는 wet sampling 방식의 강우 자동채취기(AQUA Control, Japan)를 사용하였다. 빗물의 화학성분은 수질오염공정시험법과 APHA Standard Method<sup>15)</sup>에 준하여 분석하였다. pH와 EC는 각각 EA 940 ion analyzer(Orion, U.S.A.)와 Model 162 conductivity meter(Orion, U.S.A.)를 사용하여 측정하였다.  $\text{NH}_4^+$ 는 차아염소산 이온의 공존하에서 페놀과 반응하여 생성되는 청색의 Indophenol을 640 nm에서 측정하는 Indophenol법,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $\text{BaCl}_2$ 에 의한 비탁법,  $\text{NO}_3^-$ 는 1N-HCl로 hydroxide와 carbonate에 의한 영향을 제거하고 흡광도를 측정하는 자외선 흡광광도법,  $\text{Cl}^-$ 은 치오시안산 제2수은법을 사용하여 비색 정량하였으며, 기타 양이온들은 ICP(GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 측정하였다.

또한, 빗물의 화학성분 분석결과에 대한 신뢰성 검토를 위하여 각 시료에 대한 이온균형(ion balance)과 전기전도도수지(electric conductivity balance)를 조사하였다. 이온균형은 조사 시료에 대한 양이온 총량과 음이온 총량의 당량농도비 분포를 검토하였으며, 전기전도도수지는 측정된 빗물의 이온농도를 근거로 Kondo<sup>16)</sup>가 사용한 아래의 식에 의해 계산된 이론치( $\text{EC}_{\text{the}}$ )와 직접 EC meter를 이용하여 측정된 실측치( $\text{EC}_{\text{obs}}$ )를 비교하여 빗물에 존재하는 주요 이온들의 분석 여부를 판단하였다.

$$\text{EC}_{\text{the}} = [349.81[\text{H}^+] + 73.55[\text{NH}_4^+] + 59.50[\text{Ca}^{2+}] + 73.50[\text{K}^+] + 53.05[\text{Mg}^{2+}] + 50.10[\text{Na}^+] + 71.46[\text{NO}_3^-] + 80.02[\text{SO}_4^{2-}] + 76.35[\text{Cl}^-]] \times 10^{-3}$$

위 식에서 단위는  $\mu\text{S cm}^{-1}$ 이고 [ ]는 각 이온의 당량농도( $\mu\text{eq L}^{-1}$ )이다. 각 이온의 농도는 강우량을 고려한 가중평균값을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

빗물의 화학성분 분석에는 분석결과에 대한 신뢰성 검토가 이루어져야 한다. Fig. 1은 강우시료에 대한 이온 균형과 전기전도도수지를 조사한 결과이다. 이온 균형은 각 빗물 중에 함유되어 있는 수용성 이온성분들의 당량농도를 양이온들의 합과 음이온들의 합에 대한 비로 나타내는 것으로 조사기간 중 수원지역 강우의 전체적인 이온 균형의 비는 1에 가까운 0.97로 나타났으며 일부 시료를 제외하고는 높은 상관을 보였다. 이러한 결과는 양이온 합과 음이온 합의 비가 1.12로 양이온이 음이온에 비해 상대적으로 높은 함량을 보인 2005

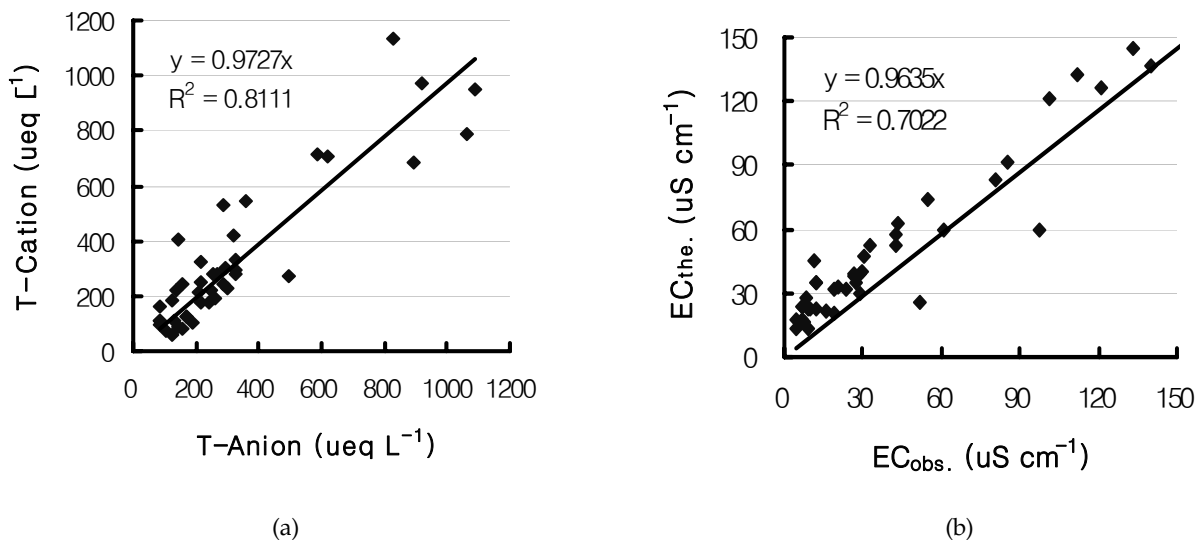


Fig. 1. Comparison between total anion and total cation (a) and measured electrical conductivity and calculated conductivity (b).

년도 강우성분<sup>17)</sup>과 차이를 나타낸 것이다. 전기전도도는 용액 중에 함유된 이온의 총량을 표시하는 것으로 측정된 EC<sub>obs</sub>와 이를 근거로 계산된 EC<sub>the</sub>가 같다면 빗물 중에 존재하는 주요 이온들이 모두 검출되었다고 볼 수 있으므로 전기전도도 수치가 이온 균형과 함께 분석의 신뢰성 검토에 사용된다. 조사 결과, 비율이 0.96으로 높은 균형비를 보였다. 결과적으로 본 연구에서 분석된 수용성 이온들이 조사기간 중 수원지역에 내린 빗물에 존재하는 주요 이온들임을 확인하였다.

조사 기간중 수원 지역에 내린 매회 강우의 강우량 가중 pH 분포는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 pH 4.0~4.5 및 5.6 이상의 강우는 각각 전체 조사강우의 24%를 차지하였으며, pH 4.5~5.0 및 5.0~5.6의 범위가 각각 26%를 차지하여 전반적으로 균형 있게 분포 하였다. 이러한 결과는 pH 5.6 이상의 강우가 전체 조사강우의 45.1%로 가장 많은 분포를 보였던 1999~2000년<sup>18)</sup> 및 37.9%를 보인 1998년도 결과<sup>12)</sup>와 비교할 때 그 분포 비율이 크게 낮은 비율이며, 20.3%의 2002~2003년 결과<sup>13)</sup>와 pH 5.6 이상의 강우 분포 비율이 유사하게 나타났다. pH 4.0~5.0 범위의 강우가 농업생태계에 미치는 영향으로는 토양중 Al의 가용량 증가<sup>19)</sup>, 작물의 광합성 저해<sup>20)</sup> 및 작물 잎 표면의 모용(毛茸, trichome)의 피해<sup>21)</sup> 등이 알려져 있다. 또한, 작물의 생육저해 및 가시적 피해한계는 pH 3.2~4.0 범위<sup>22)</sup>로 보고되어 있으나 본 조사

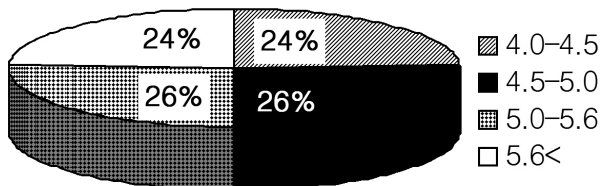


Fig. 2. Ratio of pH distribution of rainwater in Suwon area.

기간동안에는 나타나지 않았다. 2002~2003년 기간에는 pH 4.0 미만의 산성비가 4.3% 차지하는 결과<sup>13)</sup>를 보였다.

이와 같이 강우의 pH 분포는 조사기간의 강우량 등 여러 요인들에 의해 변이가 크게 나타나기 때문에 강우의 산성도 평가를 위해서는 동일지역에 대한 지속적인 평가가 필요하다.

Table 1은 2006년 수원지역 강우의 주요 이온들의 함량을 월별로 표시한 것으로 빗물 중 주요 양이온 및 음이온의 농도는 강우량이 많았던 7월에 낮은 수치를 보였다. 특히, 강우 산성도의 증화에 큰 영향을 주는 것으로 알려진 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 및 Ca<sup>2+</sup>의 함량이 집중강우로 인한 대기중 세정으로 7~9월에 낮게 나타났다. 따라서 이 시기에 측정 pH값과 산성중화물질의 함량에 의하여 구해지는 강우의 이론적 pH값(pH<sub>the</sub>)의 차이로 나타나는 산성도 중화정도가 적게 나타나게 된다.

조사 기간 중 월별 강우량 및 EC 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 조사기간중 강우량은 빗물시료가 채취된 경우에 해당하는 강우량만을 계산하였다. 월별로는 7월이 747 mm로 가장 많았으며, 10월이 18 mm로 가장 적게 조사되었다. 빗물 중에 함유된 이온의 총량을 표시하는 EC는 강우량이 가장 많았던 7월에 9.1 μS cm<sup>-1</sup>의 가장 낮은 수치를 보이다가 11월 이후 53.6 μS cm<sup>-1</sup>으로 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 집중강우에 의한 세정작용을 나타내는 것

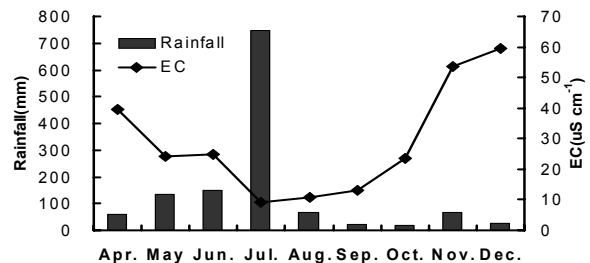


Fig. 3. Monthly variation in precipitation and volume-weighted mean EC of rainwater in Suwon in 2006.

Table 1. Monthly variation in chemical composition of rainwater collected in Suwon area in 2006

Month	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	μeq L <sup>-1</sup>							
Apr.	59.5	124.0	20.1	7.7	110.8	179.2	142.2	40.2
May	24.0	32.4	4.6	1.4	70.7	148.5	45.4	31.5
Jun.	83.4	40.6	5.6	7.7	56.1	145.2	56.3	34.6
Jul.	44.0	17.2	0.5	2.0	41.9	95.5	15.2	13.1
Aug.	36.2	13.8	1.6	1.8	132.6	81.8	34.7	26.5
Sep.	33.4	15.5	3.2	0.3	69.3	104.3	38.8	17.0
Oct.	64.3	15.7	4.8	2.4	71.7	137.2	46.6	31.0
Nov.	72.3	66.5	23.8	14.9	142.2	206.0	81.8	72.2
Dec.	86.9	55.4	24.6	14.9	169.4	222.4	109.7	- <sup>†</sup>

<sup>†</sup>missing data

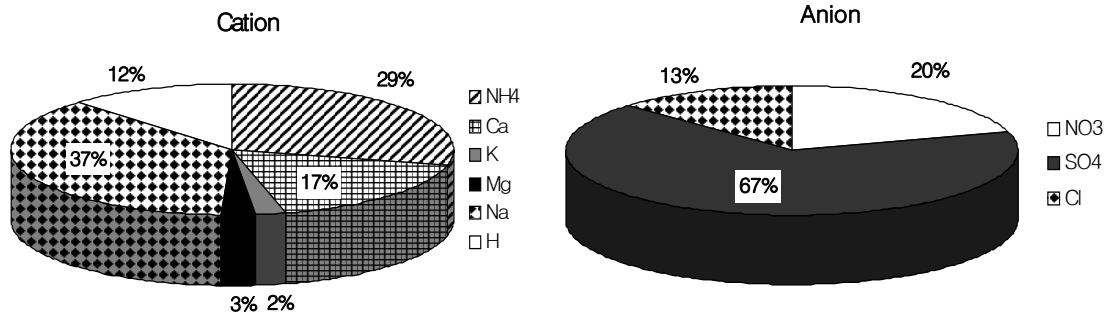


Fig. 4. Ionic compositions of cation and anion in rainwater collected in Suwon in 2006.

으로 강우량 분포에 따른 EC의 계절적 특성을 보였다. 전 조사 기간 중 평균 EC는  $17.6 \mu\text{s cm}^{-1}$ 로 2002~2003년 4~10월의 수원지역 강우<sup>13)</sup>의 EC  $17.7 \mu\text{s cm}^{-1}$ 와 유사한 값을 보였으나 2005년도<sup>17)</sup>의  $26.8 \mu\text{s cm}^{-1}$  보다는 낮았다.

빗물의 화학적 조성은 산성도 원인물질 및 중화에 미치는 요인 구명에 중요하다. Fig. 4는 이러한 화학적 특성을 알아보기 위하여 전체 이온함량에 대한 각 이온의 구성비를 구하여 나타내었다. 양이온 구성은  $\text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{H}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 의 순이었으며, 음이온은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$  순이었다. 양이온 중  $\text{Na}^+$ 와  $\text{NH}_4^+$ 이 전체 양이온의 65% 이상을 차지하였으며, 음이온의 경우에는  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 비율이 약 67%에 해당하였다. 이러한 결과는 2005년의 결과<sup>17)</sup>와는 이온의 구성 차이가 없었으나  $\text{NH}_4^+ > \text{H}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 의 순으로 나타났던 2002~2003년 수원지역 빗물의 양이온 구성<sup>13)</sup>과 비교할 때,  $\text{H}^+$ 의 구성 비율이  $\text{Ca}^{2+}$  보다 상대적으로 낮아졌음을 보였다.

측정된 강우의 pH는 대기 중에 존재하는 알칼리성 물질들에 의해 중화된 후의 수소이온 농도이므로 측정된  $\text{H}^+$ 에  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{Ca}^{2+}$ 농도를 합한 것이 실제산성도에 가깝다고 보고<sup>14)</sup>된 바 있다. 우리나라 빗물의 특성 중 하나는 높은  $\text{SO}_4^{2-}$  함량에 비해 산성도가 낮게 나타나는 것으로 이는 강우의 산성도를 중화 시킬 수 있는 물질들이 대기 중에 다량 함유되어 있기 때문으로 생각되며, 이러한 것은 중국 북부의 빗물 특성<sup>14)</sup>과 유사한 것이다. 월별 측정 pH 값과 이온 분석으로 얻어진  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  및 측정 pH 값으로부터 환산한  $\text{H}^+$  당량 농도를 더해 이의 역수를 대수값으로 구해진 이론 pH값의 변화를 Table 2에 나타내었다. 조사기간 평균 pH는 4.7을 나타내어 작물의 직접적인 피해는 우려되지 않았다. 이는 2005년<sup>17)</sup>, 2002~2003년<sup>13)</sup> 및 1998년도 영농기의 태안지역

평균 강우 pH 4.6과 유사한 결과<sup>23)</sup>이며, 우리나라 지역적 강우 pH 분포 4.6~4.8 범위<sup>24)</sup> 내에 존재하였다. 월별 변화는 4월에 pH 5.6을 나타내 다른 조사기간에 비해 pH가 높았으며, 이후 4.5~4.9의 범위를 보였다. 이론치( $\text{pH}_{\text{the.}}$ )와 비교한 결과, 조사기간 중 강우 산성도 중화는 7~9월이 다른 기간에 비해 적었음을 보였다. 이는 Table 1에서 설명하였듯이 강우 산성도의 중화에 큰 영향을 주는 것으로 알려진  $\text{NH}_4^+$  및  $\text{Ca}^{2+}$ 의 함량이 집중강우로 인한 대기중 세정으로 이 기간 동안에 낮았기 때문으로 판단된다.

Fig. 5는 조사 기간 중 월별 강우의 sulfate 함량과 nss- $\text{SO}_4^{2-}$  함량 변화를 나타낸 것으로 인위적인 발생원에서 배출된 nss- $\text{SO}_4^{2-}$  (non-sea salt sulfate)는 sulfate 농도 중 해염에서 기인된 부분을 제외한 농도로  $\text{nss-SO}_4^{2-} = [\text{SO}_4^{2-}] - [\text{Na}^+] \times 0.121$ 로 계산되었다.  $\text{Na}^+$ 는 해염 이외의 인위적인 발생원이 없고 해염입자의 조성이 해수의 조성<sup>25,26)</sup>과 일치한다는 가정 하에 지표 물질로 사용하였다<sup>25,26)</sup>. 계수 0.121은 해수의  $[\text{Na}^+]/[\text{SO}_4^{2-}]$

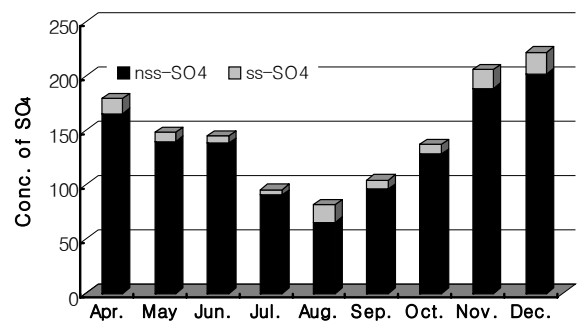


Fig. 5. Monthly variation in sulfate contents of rainwater in Suwon in 2006.

\* non-sea salt  $\text{SO}_4^{2-} = [\text{SO}_4^{2-}] - [\text{Na}^+] \times 0.121$

Table 2. Monthly variation in pH between observed and estimated in rainwater collected in Suwon area

Month	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
pH <sub>obs.</sub>	5.6	4.5	4.8	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9
pH <sub>the.</sub> <sup>†</sup>	3.7	4.0	3.9	4.1	4.2	4.2	4.0	3.8	3.8

<sup>†</sup>pH<sub>the.} = -\log([\text{H}^+] + [\text{NH}\_4^+] + [\text{Ca}^{2+}])</sub>

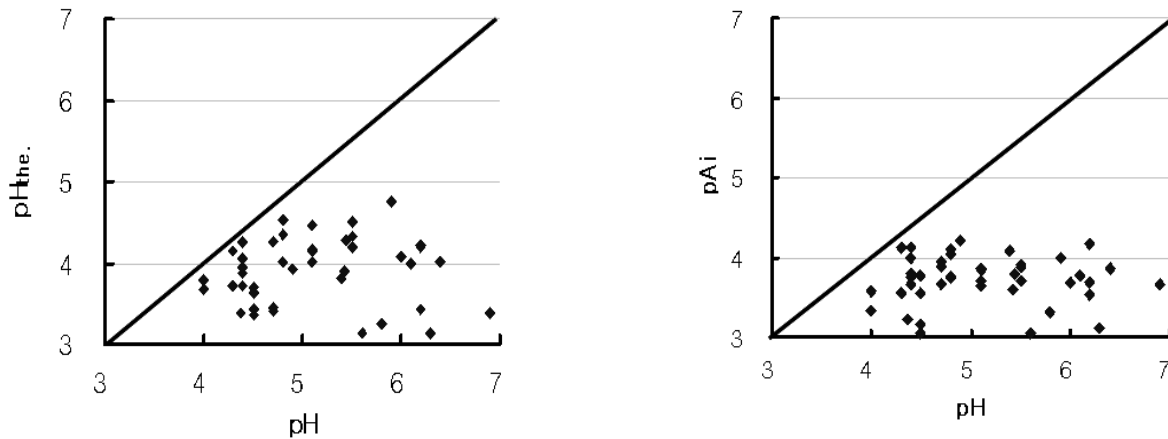


Fig. 6. Correlation between pH observed and estimated one ( $pH_{the}$ . or  $pAi$ ) of rainwater in Suwon in 2006.

의 당량비이다. 조사기간 중 빗물 중에 용존하는 sulfate의 전체 평균 함량은  $119.0 \mu\text{eq L}^{-1}$ 이었으며, 총 sulfate 함량 중  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  함량은 93.6%로 나타났다. 이러한 결과는 빗물 중에 함유된 sulfate의 대부분이 인위적인 발생원에서 기인된 것임을 의미하며, 89%를 차지했던 기존의 결과<sup>13,17)</sup>와 비교할 때 해염의 영향은 감소한 것으로 나타났다.

Fig. 6은 수원지역 강우의 산성도 중화를 평가하기 위하여 측정 pH와 기존에 보고<sup>14)</sup>에 의해 구한 이론 pH값 ( $pH_{the}$ ) 및 fractional acidity ( $pAi$ )를 비교한 것이다.  $pH_{the}$ 는  $-\log([H^+]+[NH_4^+]+[Ca^{2+}])$ 로 계산되었으며,  $pAi$ 는  $-\log([nss-SO_4^{2-}]+[NO_3^-])$  값으로 구하였다.

Fractional acidity란 개념은 산성비의 주 원인물질인  $SO_4^{2-}$ 와  $NO_3^-$ 의 당량농도를 더한 값을  $H^+$ 와의 비로 표현한 것으로 Hara<sup>27)</sup>는 양이온이 강우의 pH에 미치는 영향을 해석하기 위한 방법으로  $pAi$ 를 도입하였다. 결국  $pAi$ 는 중화가 전혀 일어나지 않았을 경우의 산성도를 의미하므로 pH와의 비교에서 1:1 직선상에 위치하게 된다. 결과적으로 이 직선의 오른쪽으로 치우칠수록 중화가 많이 일어났음을 의미하는 것이다. 그림에서 보듯이 본 조사기간 중 수원지역에 내린 강우는  $pH_{the}$  및  $pAi$ 와의 비교에 있어 모두 오른쪽으로 위치하여 중화가 일어났음을 보여 주었다.

## 요 약

최근 급속한 산업화가 진행되고 있는 중국의 편서풍 영향 하에 위치한 우리나라의 경우에는 장거리 이동에 따른 강우의 산성도 변화 및 예상되는 피해에 대한 대책 마련을 위하여 강우의 화학성에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 본 연구는 경기도 수원지역 강우의 산성도 및 주요 이온조성을 평가하기 위하여 wet sampling 방식의 자동채취기를 사용하여 2006년 4월부터 12월까지의 빗물 42점을 채취하였다. 각 시료의 pH 및 주요 이온 성분에 대한 강우량 가중평균치

의 월별 변화를 조사하였으며, pH 분포와 EC의 계절적 특성을 평가하였다. 빗물 중 양이온과 음이온의 균형비(ion balance)와 전기전도도 균형비(electrical conductivity balance)가 1에 가까운 값을 보여 분석의 높은 신뢰성을 나타내었다. 조사기간 중 평균 pH값은 4.7을 보였다. 빗물의 EC는 조사기간 평균  $17.6 \mu\text{S cm}^{-1}$ 을 나타냈으며, 월별로는 7월에  $9.1 \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 조사기간 중 가장 낮은 값을 보였으며, 11월 이후에 급격히 높아져 EC의 계절적 특성을 보였다. 빗물의 조성에서 양이온 구성은  $Na^+ > NH_4^+ > Ca^{2+} > H^+ > Mg^{2+} > K^+$ 의 순이었으며,  $Na^+$ 와  $NH_4^+$ 가 전체 양이온 함량의 65% 이상을 차지하였다. 음이온은  $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$  순으로  $SO_4^{2-}$ 가 약 67%를 차지하였다. 조사기간 중 평균 sulfate 함량은  $119.0 \mu\text{eq L}^{-1}$ 이었으며, 이중 비해염 sulfate( $\text{nss-SO}_4$ ) 함량은 평균 94%로 빗물 중에 함유된 sulfate의 대부분이 인위적인 발생원에서 기인되었다.

## 참고문헌

1. Scorer R. S. (1994) Long distance transport. Acid rain, Gordon & Breach Science Publishers, Yverdon, Switzerland, p.1-34.
2. Park S. U., Y. H. Lee, and H. J In (2000) Estimation of wet deposition of sulfate using routinely available meteorological data and air-monitored data in Korea, *Atmospheric Environment* 34, 3249-3258.
3. Charron A., H. Plaisance, S. Sauvage, P. Coddeville, J.C. Galloo, and R. Guillermo (2000) A study of the source-receptor relationships influencing the acidity of precipitation collected at a rural site in France, *Atmospheric Environment* 34, 3665-3674.
4. Rinallo C. (1992) Effects of acidity of simulated rain on the fruiting of 'summerred' apple trees, *J.*

- Environ. Qual.* 21, 61~68.
5. Likens G. E., J. N. Galloway, and T. J. Butler (1979) Acid rain, *Scientific American* 241(4), 39-47.
  6. Johnston D. W. and G. E. Taylor (1989) Role of air pollution in forest decline in eastern North America, *Water, Air, and Soil Pollution* 48, 21-43.
  7. Cronan C. S. and C. L. Schofield (1979) Aluminum leaching response to acid precipitation: Effects on high-elevation watersheds in the Northeast, *Science* 204(20), 304-306.
  8. Contardi V., E. Franceschi, S. Bosio, G. Zanichchi, D. Palazzi, L. Cortessogno, and L. Gaggero (2000) On the conservation of architectural artistic handwork of the 'Pietra di Finale', *J. of Cultural Heritage* 2, 83-90.
  9. Okochi H., H. Kameda, S. Hasegawa, N. Saito, K. Kubota, and M. Igawa (2000) Determination of concrete structures by acid deposition-An assessment of the role of rainwater on deterioration by laboratory and field exposure experiments using mortar specimens. *Atmospheric Environment* 34, 2937-2945.
  10. Jakobowicz J. M. (1994) Acid rain-An issue for regional cooperation. Acid rain, Gordon & Breach Science Publishers, Yverdon, Switzerland, p.129-156.
  11. Peart M. R. (2000) Acid rain, storm period chemistry and their potential impact on stream communities in Hong Kong, *Chemosphere* 41, 25-31.
  12. Lee, J. S., B. Y. Kim, J. H. Kim, and S. G. Hong (1999) Chemical composition of rainwater in Suwon and Ansong area, *Korean J. of Environmental Agriculture* 18(2), 169-173. (in Korean with English abstract)
  13. Lee, J. S., G. B. Jung, J. D. Shin, and J. H. Kim (2004) Chemical properties of rainwater in Suwon and Taean area during farming season, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology* 6(4), 250-255. (in Korean with English abstract)
  14. Galloway J. N., D. Zhao, J. Xiong, and G. E. Likens (1987) Acid rain: China, United States, and a remote area, *Science* 236, 1559-1562.
  15. American Public Health Association (1995) *Standard methods for the examination of water and wastewater*, Washington DC, USA, p.4:36-90.
  16. Kondo J. (1991) The ozone hole problems. Proceedings of the 2nd IUAPPA regional conference on air pollution (Vol. 1), p.17-22.
  17. Lee, J. S., G. B. Jung, J. H. Kim, W. I. Kim, and J. T. Lee (2007) Characteristics of ionic composition of rainwater in Suwon, *J. of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 40(2), 151-155. (in Korean with English abstract)
  18. Lee, J. S., J. H. Kim, G. B. Jung, and K. C. Eom (2003) Volume-weighted ion concentration of rainwater in Suwon area during farming season, *Korean J. of Agricultural and Forest Meteorology* 5(1), 1-5. (in Korean with English abstract)
  19. Takuya, K., K. Yoshishisa and N. Keiichi (1992) The effects of simulated acid rain on the uptake of mineral elements in soybean plants, *J. Agr. Met.* 48(1), 11-18.
  20. Taniyama T. and H. Saito (1981) Effects of acid rain on apparent photosynthesis and grain yield of wheat, barley and rice plant, *Rept. Environmental Sci. Mie Univ.* 6, 87-101.
  21. Lee, J. S., B. Y. Kim., K. D. Woo, and G. B. Jung (1993) Study on histological perturbations of leaves of sesame after exposure to simulated acid rain, *J. of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 26(4), 308-313. (in Korean with English abstract)
  22. Johnston J. W., D. S. Jr. Shriner, C. I. Klarer and D. M. Lodge (1982) Effect of rain pH on senescence, growth, and yield of bush bean, *Environmental and Experimental Botany* 22(3), 329-337.
  23. Lee, J. S., K. S. Lee (2000) Neutralization Assessment of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  on Acidity of Rainwater in Korea. *Korean J. of Environmental Agriculture* 19(1), 72-74. (in Korean with English abstract)
  24. Lee, B. K, S. H. Hong, and D. S. Lee (2000) Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on the Korean peninsula, *Atmospheric Environment* 34, 563-575.
  25. Christian E. J. (1963) *Air chemistry and radioactivity*, Academic Press, California, USA, p.327-330.
  26. Fujita S. I., A. Takahashi, J. H. Weng, L. F. Huang, H. K. Kim, C. K. Li, F. T. Huang, and F. T. Jeng (2000) Precipitation chemistry in East Asia, *Atmospheric Environment* 34, 525-537.
  27. Hara, H., (1996) Acid deposition chemistry in Japan. Strategy for air pollution control in east asia, Japan, p. 7-17.