

## 부산시 일부지역에 대한 초기 및 후속강우의 이온성분 특성

### Ionic Composition of Early and Succeeding Rainwater in Pusan Area

최금찬 · 김창환 · 조정구<sup>1)</sup> · 박정호<sup>2)</sup>

동아대학교 환경공학과

<sup>1)</sup>부산시 보건환경연구원

<sup>2)</sup>진주산업대학교 환경공학과

(1998년 5월 15일 접수, 1998년 10월 12일 채택)

Kum-Chan Choi, Chang-Hwan Kim, Jung-Gu Cho<sup>1)</sup> and Jeong-Ho Park<sup>2)</sup>

*Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University*

<sup>1)</sup>*Public Health Environmental Institute of Pusan*

<sup>2)</sup>*Dept. of Environmental Engineering, Chinju National University*

(Received 15 May 1998; accepted 12 October 1998)

#### Abstract

Acid rainwater samples were collected during 4 years from 1992 in Pusan area nearby seaside. Ionic composition of early and succeeding rainwater were investigated to identify emission sources. pH and Electronic Conductivity of samples were measured immediately after sampling. Major ion concentrations of rain samples were Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> which were analyzed by Ion Chromatography. 55% of early rainwater and 90% of succeeding rainwater were identified below pH 5.6. Because, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> were washed mostly in early rainwater, as a result, pH values were increased by increasing rainfall amounts.

It was studied that pH value was varied from ambient ion component, rainfall, and rain intensity. From the principal component analysis result, the dominant components of acid rainwater were Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, the elements were contributed soil and marine source, the second components nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, nss-Ca<sup>2+</sup> originated from man-made source.

**Key words :** Ion Composition, Rainwater, pH

#### 1. 서 론

산성비는 광역적인 오염현상으로 넓은 지역의 생태계 파괴를 가져온다는 점에서 주목되고 있다. 우리나라는 중국에 인접하여 황산화물의 배출량이 큰

중국의 영향을 받기 쉬우며, 또한, 해당지역의 대기 질이나 강수량 등 기상조건에 의해 영향을 받는 지역이 다르므로 산성비 조성의 해석이 쉽지 않다. 산성비에 대한 초기의 연구는 pH를 중심으로 측정을 실시하여 왔으며, 최근의 연구들은 화학적 조성(강공연, 1995; 송기형, 1992) 및 통계해석(구자공, 1993;

강공언, 1992) 등으로 확대되고 있다. 산성비는 대상 지역의 대기질의 상태에 따라 크게 좌우되며, 대기 중에 존재하는 가스 및 에어로졸 입자의 세정효과에 따라 변화된다고 할 수 있다. 우수에서 검출되는 각종 이온성분들은 강우 세정현상에 의해 우수중으로 녹아 들어가게되고, 이들 미량의 이온성분들이 강우의 산성도를 결정하게 된다. 우수의 산성도와 연관된 많은 연구들이 보고되고 있으며, Harrison (1983)은 우수와 대기 에어로졸과 연관시켜 우수 중 이온성분의 변화에 대하여 보고하였다. Pruppacher (1980)와 笠原 (1983) 등은 가스상물질이 구름입자나 우수에 충돌하여 흡수되는 흡수현상과 액적내부로 용해되어 반응되는 과정을 보고하였다. Kirk (1992) 등은 air-water interface를 통한 가스의 이동현상을 설명하였으며, Baechmann (1996) 등은 강우에 의한 세정효과가 세정 물방울의 크기와 화학조성에 상관성이 있음을 밝히고 있다. 광노혁 (1991), 박정호 (1996) 등은 강우량에 따른 우수중 이온성분의 농도변화와 입자크기별 세정특성을 보고하였다.

강우에 의한 에어로졸입자의 세정현상은 입자의 크기가 클수록 초기 세정효과는 큰 것으로 알려져 있으며, 강우의 강도나 우수의 물방울 크기, 화학 조성, 입자의 크기 등에 따라 현저하게 차이를 나타낸다 (박정호, 1996). 따라서, 초기강우에 대한 세정효과와 우수의 조성을 파악하는 것은 산성강우의 전체적인 특성을 이해하는데 기초적인 자료로 제공될

수 있다. 일반적으로 산성강우에 대한 연구논문들이 국내에 다수 보고되고 있으나, 초기강우의 특성에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 초기강우는 강우초기의 산성 및 알칼리성 물질의 제거에 중요한 역할을 하는데 특히 대기오염물질의 세정효과는 초기강우 1mm 이내에서 크게 감소되는 것으로 보고되고 있으며 (笠原, 1983), 강우량과 각이온성분과의 농도변화를 추정한 관계식도 보고되어지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 초기강우(1mm의 강우량)와 후속강우(1mm 이후의 전강우량)의 이온성분특성을 조사할 목적으로 우수채취장치를 직접 제작하고 매 강우시마다 초기강우와 후속강우로 분별채취하여 각각의 산성도와 이온성분의 화학적 특성을 검토하였다.

## 2. 시료채취 및 분석

우수의 초기강우 및 후속강우 특성을 구분하기 위하여 용량별 강우채취가 가능한 우수채취장치를 직접 제작하였다. 이 장치를 이용하여 매 강우시마다 1mm를 기준으로 볼 때 분석가능한 최소의 양인 90ml를 초기강우와 후속강우로 나누어 채취하였다.

그림 1은 초기강우와 후속강우를 단계적으로 채취할 수 있는 우수샘플러를 나타낸 것이며, 강우시에는 강우감지센서에 의해 뚜껑이 자동으로 열리도록

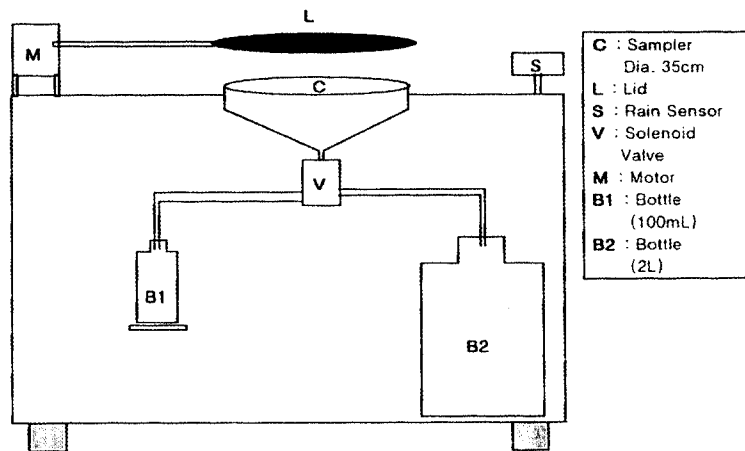


Fig. 1. Apparatus for sampling of 1st and 2nd fraction in the rainfall.

록 설계하였으며, 1 mm 강우(90 ml)를 채취한후 마그네틱 밸브에 의해 자동으로 후속강우가 채취되도록 제작하였다. 그리고 시료채취장치의 개구부(직경 35.7 cm)는 강우 전후마다 초순수로서 전성침착물(dry deposition)의 영향을 받지 않도록 깨끗히 세척하였다. 시료 채취기간은 1992년 1월부터 1998년 4월 현재까지 계속되고 있으며, 본 연구에서는 1993년 9월부터 1996년 12월까지의 자료만을 이용하였다. 우수의 채취는 부산시 하단동 소재 동아대학교 공과대학 5층 건물 옥상에서 실시하였다.

채취된 강우시료는 pH와 전기전도도를 pH전극(DMS사제, DP-880M)과 전기전도도계(Cole Parmer 사제, 1500-20)를 사용하여 시료채취 후에 바로 측정하였으며, 양이온 및 음이온의 각 성분농도는 이온크로마토그래피(DX-100i)로 분석하였다.  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  등의 음이온은 음이온 컬럼(AG4A-SC)을 사용하여 분석하였으며,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NH_4^+$  등의 양이온은 양이온 컬럼(CG12)을 사용하여 분석하였다. 본 연구에서는 1993년 가을에서 1996년 겨울자료까지의 초기강우 60개 시료, 후속강우 46개 총 106개 시료에 대한 분석결과를 토대로 자료의 해석을 실시하였다. 초기강우와 후속강우의 pH, 이온농도, 전기전도도는 가중평균으로 계산하였다. 그리고 계절별로 봄철(3월~5월), 여름철(6월~8월), 가을(9월~11월), 겨울(12월~2월)로 구분하였으나 1월과 2월에는 1 mm 미만의 강우량을 보여 계산과정에서는 제외하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 초기 및 후속강우의 pH와 전기전도도 변화

본 실험에서는 pH의 평균은 다음식에서 의해 가중평균으로 계산하였다.

$$pH = -\log \frac{\sum(10^{-pH} \times Q_i)}{\sum Q_i}$$

(여기서,  $Q_i$ 는 강우량)

그리고, 이온성분의 경우에도 마찬가지로 강우량을 고려한 가중평균을 사용하여 대표값을 산출하였다.

그림 2는 월별 초기 및 후속강우에 대한 pH 변화

를 나타낸 것이다. 전체적으로 우수의 pH는 후속강우보다 초기 강우가 높은 pH값을 나타내고 있으며, 월별 pH의 범위는 초기강우가 4.38~6.32이었고, 후속강우는 4.09~5.98로 조사되었다. 초기강우가 후속강우에 비해 높은 pH를 나타내는 것은 비가 내리기 시작하는 초기에는 대기 중에 부유하는 각종 입자상 물질들이 존재하여 우수에 의한 세정 효과가 크게 나타나며(박정호, 1997), 입자 중에 포함된  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NH_4^+$  등의 양이온에 의한 중화 작용에 기인한다.

또한, pH의 연도별 변화는 그 차이가 거의 없으나 초기 및 후속강우 모두 약간 저하하는 경향을 보이고 있다. 계절적 특성으로는 일반적으로 겨울이 여름보다 난방이나 연료 사용의 증가로 황산화물 및 질소산화물의 배출이 증가되어 pH 값이 낮을 것으로 추측된다. 그러나, 96년 1월에는 초기강우가 pH 6.32, 후속강우가 pH 5.98로 겨울철이지만 높은 pH를 나타내었다. pH의 계절적 변화에 대해서는 뚜렷한 계절적인 특징을 찾기가 어려우며, 일본의 경우 지역에 따라 차이를 나타내는데 카나가와현 등은 여름철에 낮은 pH를 나타내는 경우를 보고하고 있다(神奈川縣公害센터 보고서, 1976, 1977). 반대로 겨울철에 낮은 pH를 나타내는 경우도 보고되고 있다(愛知縣, 1977). 본 연구조사에서도 다년간의 pH 계절적 변화에 대하여 검토한 결과, pH의 계절적인 변화를 보이지 않는 것은 강우 초기의 대기의 조건, 강우강도, 입자상물질의 농도 등에 영향을 받는 것으로 보이며 향후 더 구체적인 연구가 필요하다고 하겠다. pH 발생빈도는 초기 강우의 경우 pH 6.0 이상에서 높은 분포를 나타내어, 초기 강우의 55%, 후속 강우의 90%가 pH 5.6 이하의 산성비로 조사되었다.

그림 3은 우수의 전기전도도와 pH와의 관계를 나타낸 것으로 일반적으로 오염정도가 높을수록 많은 이온성분들이 용해되어 높은 전기전도도를 나타내는데, 대체로 10~100  $\mu S/cm$ 의 범위의 값을 가진다. 본 연구에서도 초기강우가 28.6~151.6  $\mu S/cm$ 이었고, 후속 강우는 10.9~65.0  $\mu S/cm$ 의 범위로 측정되었다. 초기강우에 전기전도도가 높게 나타나는 것은 강우초기에 용해도가 높은 기체상 물질이나 입자상 물질이 빗방울에 쉽게 washout 되기 때문으로 추측된다. 초기강우시에 전기전도도는 pH와의 명확

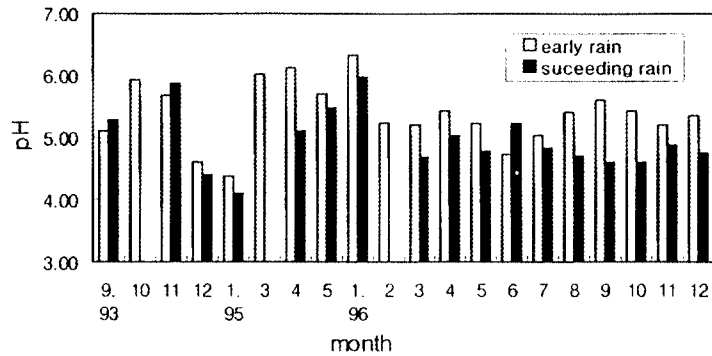


Fig. 2. Monthly pH variation of rainwater.

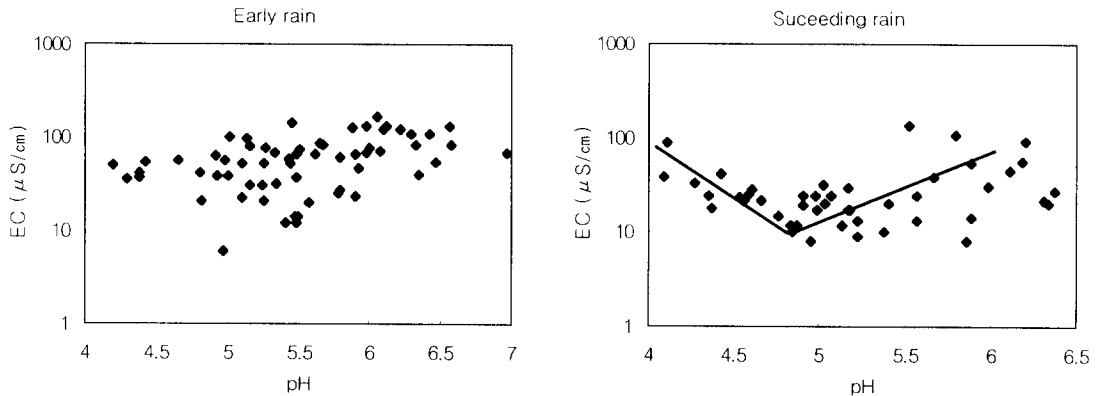


Fig. 3. pH tendency according with conductivity.

한 관계를 나타내지 않았지만 pH가 높을수록 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 후속강우시에는 pH와 전기전도도의 관계는 그림과 같이 V형의 형태를 나타내며 pH 5.0 부근에서 낮은 전기전도도를 나타내고 있다. 후속강우시에는 강우량이 증가할수록 pH는 5.0 부근에 수렴하게 되며, 이 때의 우수는 많은 양의 이온성분들이 제거된 후이므로 전기전도도가 낮아지게 된다. 따라서, pH와 전기전도도 관계에서 그림과 같이 pH 5.0을 기점으로 높은 전기전도도를 나타내었다.

### 3.2 강우량에 의한 pH의 변화

그림 4는 강우량에 따른 pH의 변화를 나타내는 것으로 대체로 강우량이 적은 때에 pH 값은 큰폭을

나타내며 pH 4.0~6.7의 범위를 보인다. 또, 강우량이 많아지면 pH 5.0 정도에서 거의 일정한 값을 나타낸다. 강우량에 따른 pH의 변화 경향은 강우량이 증가할수록 낮아지다가 강우량이 일정량 이상이 되면 거의 변화가 없는 것으로 확인되었다. 이와 같은 현상은 초기강우시에 많은 양의 양이온과 음이온이 함께 세정되어 우수중에 용해되어 pH의 변화를 가져오기 때문이다. 일반적으로 강우량이 증가함에 따라 pH 값은 떨어지다가 일정량 이상이 되면 pH가 4.2~4.7에 수렴하는 경향이 보고되고 있다(玉置, 1985). 한편, 이와같은 현상이 일어나는 것은 강우초기에 대기 중에서 산성물질과 함께 NH<sub>3</sub>와 CaCO<sub>3</sub>와 같은 성분들이 함께 녹아들어 산성물질을 중화시키기 때문으로 추측하고 있으며, 본 연구에서도

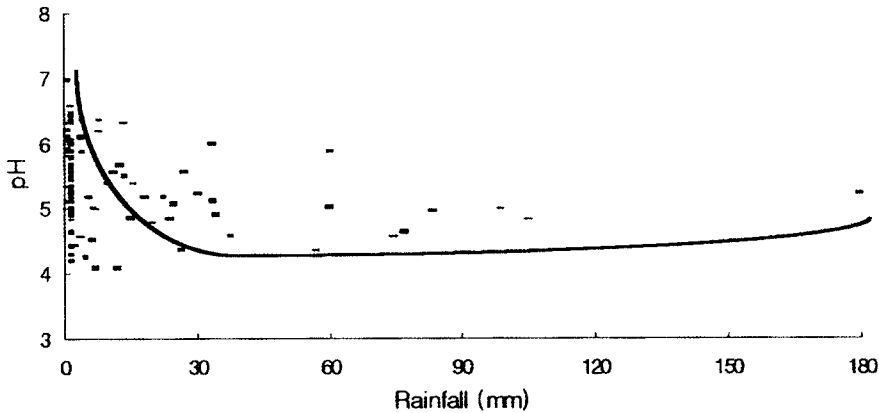


Fig. 4. Relationship between the pH and the rainfall amount.

황사전후인 1992년 4월 18일, 21일에 내린 우수의 pH가 각각 6.95, 5.18로써 봄철 평균 pH 4.92 보다 높은 값을 나타내고 있어 초기강우시 산성물질이 중화됨을 뒷받침하고 있다. 도시지역에서는 강우가 지속됨에 따라 이들 성분들이 다 세정되고 우수중 세정효율이 낮은 미량의 산성가스만이 남게되어 pH에 영향을 주는 것으로 판단된다.

pH의 변화폭은 강우의 지속시간에 따라서 초기 강우 4.20~6.97, 후속강우 4.09~6.37의 범위를 나타내며, 총강우량에 따라서는 20mm 이하의 강우량은 4.09~6.97, 40mm 이상에서는 4.35~5.86의 범위를 나타내었다. 초기강우보다는 후속강우의 경우가 pH의 변화폭이 좁고 일정하였으며, 또한 강우량이 많을 때에 pH의 변화가 동일한 경향을 나타내었다.

### 3.3 우수중 이온당량농도의 비교

우수중 이온당량농도는 우수중 포함되어 있는 화학성분의 당량을 의미하며 통상  $\mu\text{eq}/\text{l}$ 의 단위를 사용한다. 그림 5는 강우량에 따른 전체이온의 농도변화를 나타낸 것으로 0~1 mm, 1~5 mm, 5~10 mm, 10~20 mm, 20mm 이상으로 나누어 각 강우량별에 따른 농도변화를 살펴보았다. 5 mm 이하의 강우량에서는 양이온과 음이온 모두 급격한 감소를 보이고 있으며, 이것은 강우초기의 세정작용에 기인한다. 5 mm 이상에서는 농도 변화를 보이지 않으나 음이온 양이 양이온 양보다 훨씬 높음을 알 수 있

다. 이 사실은 강우량이 적은 강우초기에는 많은 양의 양이온이 제거되어 우수중에 포함됨을 의미하며, 강우량이 많은 5 mm 이상에서는 양이온은 거의 제거되어 적게 존재하게 되며, 상대적으로 양이온에 비해 입경이 작은 음이온 성분이 지속적으로 제거되어 우수중으로 세정됨을 의미한다. 강우초기의 0~1 mm의 경우가  $\text{Na}^+$ 가  $247 \mu\text{eq}/\text{l}$ 로 양이온 성분이 많이 포함되어 있어 강우초기에 이들 성분들이 많이 제거됨을 알 수 있으며, pH의 변화에 영향을 주는 요소임을 확인할 수 있다. 동시에  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  등의 음이온도 역시 강우초기에 많이 제거되지만 강우량이 증가함에 따라 양이온의 제거되는 양만큼 급격한 감소는 보이지 않는다. 이 사실은 후속강우가 초기 강우시 양이온의 영향을 많이 받는 것과는 달리  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  등 음이온의 영향을 많이 받으며, 음이온 성분 등은 가스상이나 미세입자로 존재함으로 강우량이 증가함에도 지속적으로 세정되어 후속강우에 영향을 주는 것으로 볼 수 있다.

그림 6과 그림 7은 초기 및 후속강우의 이온당량 농도를 pH 등급별로 비교한 것이다.

초기강우시 pH 6.0 이상에서는  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  등이 높은 농도를 나타내고 있으며 pH가 낮아짐에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  등의 양이온들은 초기강우시 pH 중화에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 상대적으로 그림 6의 (b)와 같이 초기강우시에  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  등도 높은 농도를 보이지만 총양이온량은 훨씬 많으며,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  등에

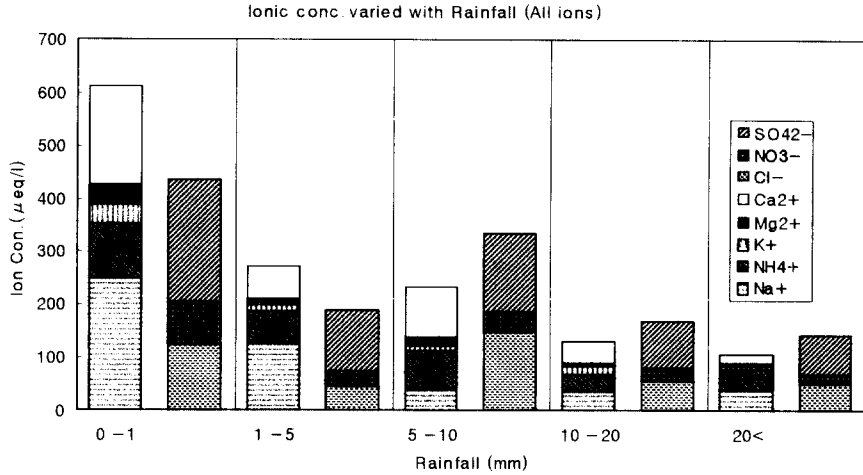


Fig. 5. Relationship between ion concentration and rainfall.

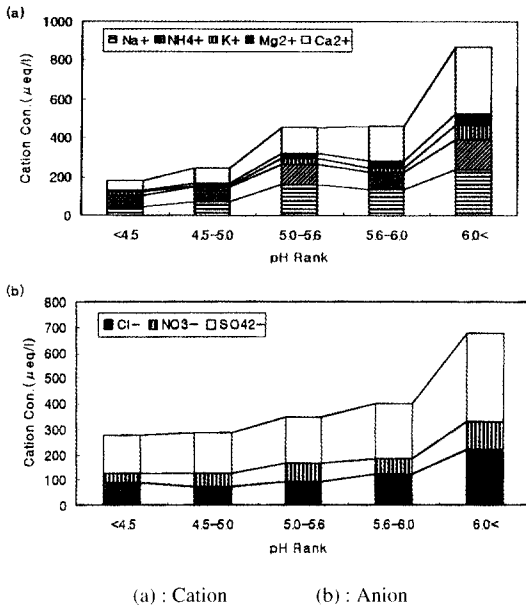


Fig. 6. Every ionic concentration in early rain with pH.

중화되어 pH 값은 높아지게 된다. pH가 5.0 이하에서는 총양이온양에 비해 총음이온양이 더 많아  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  등이 pH를 낮게하는 원인이 됨을 확인할 수 있다. 그림 7의 후속강우의 경우 pH 5.6~6.0 사이에서는 강우량이 많아 이온농도가 낮은 경향을

보였다. 후속강우에서는 초기강우와는 달리 양이온 중  $Na^+$ 가 주성분을 이루고, 해염의 영향으로 생각된다. 또한 음이온중  $SO_4^{2-}$ 가 후속강우의 주성분을 나타내어 후속강우의 pH 저하의 직접적인 원인이 황산염임을 알 수 있었다.

### 3. 4 주성분분석에 의한 강우자료의 해석

강우의 오염도를 강우중에 존재하는 이온성분을 토대로 오염기원을 해석하고자 주성분분석을 적용하였다. 우수의 각 이온성분의 농도에서  $nss-SO_4^{2-}$ ,  $nss-Ca^{2+}$ ,  $nss-Cl^-$ ,  $nss-Mg^{2+}$ 를 계산하였으며 수소이온농도를 포함하여 총 13개 변수에 대하여 SAS-Program에 의한 주성분분석을 실시하였다. 그림 8은 이들 변수에 대하여 초기 60개 및 후속 46개의 분석자료로 주성분분석을 실시한 후 제 1인자 부하량과 제 2인자 부하량과의 상관성을 나타낸 것이다. 초기강우에 대해서는 2개의 그룹으로 나눌 수 있었는데,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  등이 중심이 된 해양 및 토양기원 그룹과  $nss-SO_4^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$  등의 인위적인 기원그룹으로 구별할 수 있었다. 초기강우 시에는 제 1인자인 토양 기원의 이온성분과 제 2인자인 인위적인 기원의 이온성분이 혼합되어 세정되며 이들이 상호연관성을 가지는 것으로 해석할 수 있다. 후속강우시에는 그림 8의 (b)와 같이 제 1성분으로  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NH_4^+$  등이 인자부하량이 높았으며

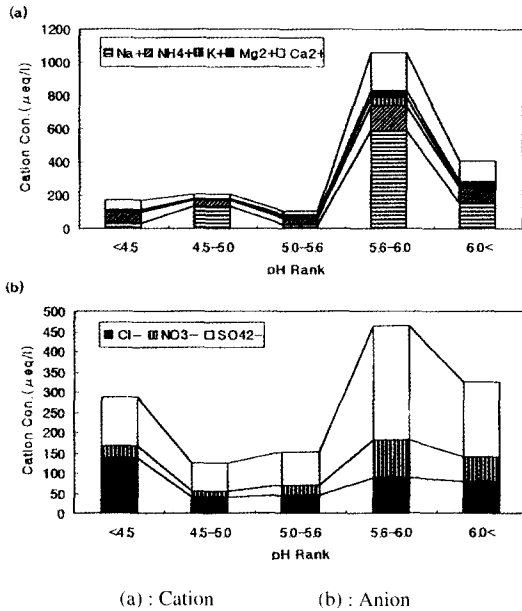


Fig. 7. Every ionic concentration in succeeding rain with pH.

하나의 그룹을 형성하였다. 제 2 성분에서는 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, nss-Ca<sup>2+</sup> 등이 인위적인 오염그룹으로 나타났다.

초기 및 후속강우를 종합하여 비교하면 첫째로, 본 연구에서 조사된 지점의 강우는 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 등의 해양 및 토양기원의 자연발생원 영향을 강하게 받는 것으로 추정되며, 인위적인 오염원 성분으로 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등이 지역강우에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 또 동일지점에서 채취된 입자상물질의 자료도 이들성분이 많이 포함되어 있어 이들 결과를 뒷받침해 주고 있다. 또한, 강우의 이온성분 중 nss-Ca<sup>2+</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 초기 및 후속강우에서 다른 이온성분과는 달리 그 인자부하량이 변화가 심하며, 후속강우시에는 nss-Ca<sup>2+</sup>가 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>과 함께 존재하여 이들 성분과의 관계가 밀접함을 알 수 있다.

이것은 (nss-Ca<sup>2+</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)/nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/nss-Ca<sup>2+</sup> 비율 지역강우의 특성을 살펴보기 위한 값으로 사용하고 있으며 인위적인 오염원의 영향을 알아보기 위한 지표로 사용된다. 이 비는 본 연구에서 현재 계속 검토 중이며, 주성분분

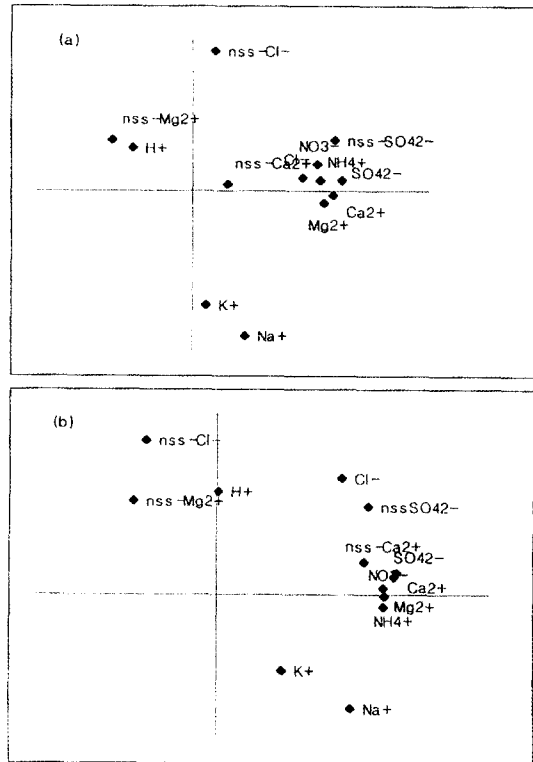


Fig. 8. Principle component analysis result of rain data

(a) : early rain factor pattern  
(b) : succeeding rain factor pattern

석에서 나타난 결과와 일치됨을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

1993년부터 1996년까지의 부산시 일부지역에 대하여 초기 및 후속강우에 대한 이온성분의 분석결과를 토대로 자료의 초기강우 및 후속강우의 특성을 검토하였다. 초기강우는 강우초기시 많은 이온성분들이 우수에 의해 세정되며, 특히 토양입자 등은 강우초기에 세정효과가 큰 것으로 나타났다.

pH의 출현율은 초기강우가 pH 6.0 이상의 비율이 높은 분포를 나타내었으며, 후속강우는 pH 4.5~4.9 범위의 비율이 높은 단일형의 분포를 나타내어, 초기강우의 55%, 후속강우의 90%가 pH 5.6 이하의 산성비로 조사되었다. 이와 같은 현상은 강우초기에는

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 등을 중심으로 한 토양성분입자들이 세정되어 강수의 pH 값을 높이기 때문으로 판단되며, 후속강우에는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> 등의 음이온 성분들이 양이온 만큼 제거되지 못하여 pH가 낮게 되는 것으로 나타났다.

강우량에 따른 pH는 강우량이 적은 경우 그 변화폭이 크게 나타났으며, 강우량이 커져 일정량 이상이 되면 pH는 5.0에 수렴하여 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

pH 등급별 이온성분은 초기강우시 pH 6.0 이상에서 Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> 등이 높은 농도를 나타내었으며 pH가 낮아짐에 따라 감소되는 경향을 나타내었다. 또, 후속강우시 pH 5.0 이하에서는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 pH를 낮게 하는 것으로 나타났다.

주성분분석에 의한 강우자료의 해석시 2개의 그룹 즉, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 등이 중심이 된 해양 및 토양배출원 기원의 그룹과 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등의 인위적인 배출원 기원의 그룹으로 나타났다.

초기강우시에는 많은 이온성분들이 세정되며, 대기중 이온성분, 강우량, 강우강도 등에 따라 pH의 값은 변화되는 것으로 조사되었다. 여름철 장마철과 같이 강우량이 클때에 세정효과가 큼에도 불구하고 낮은 pH값을 나타내는 경우가 많았다.

### 감사의 글

이 논문은 1997년도 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었습니다. 연구비 지원에 감사를 표합니다.

### 참 고 문 헌

강공언, 강병욱, 김희강 (1992) 해안지역과 도시지역 강수의 화학적 성상에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(3), 191-197.  
 강공언, 강병욱, 김희강 (1995) 강화지역 강수의 오염도 평

가에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 11(1), 57-68.  
 구자공, 박경렬 (1993) 대전지역 산성강우의 화학적 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 9(2), 147-153.  
 광노혁, 안상욱, 홍민선 (1991) 일차원 적운모델을 이용한 산성강우 형성에 관한 수치적 연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 145-149.  
 박정호, 최금찬, M. Kasahara (1996) 강수에 의한 대기 에어로졸 입자의 세정특성, 한국대기보전학회지, 12(2), 159-165.  
 박정호, 최금찬 (1997) 저압입펄터를 이용한 대기 에어로졸 입자의 입경분포측정 및 화학조성자료의 해석, 한국대기보전학회지, 13(6), 475-486.  
 심상규, 강창희, 김용표 (1994) 제주도에서의 빗물 이온농도 분석, 한국대기보전학회지, 10(2), 98-104.  
 이승일, 김승호, 조기철, 김희강 (1996) 삼척지역 우수의 이온성분에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 12(1), 23-28.  
 神奈川県 環境部 (1976) 濕性大氣汚染測定結果, 神奈川県公害センター報告.  
 愛知縣環境部 (1978) 昭和52年度濕性大氣汚染調査報告書.  
 玉置元則 (1985) 我が國の雨水の化學的性狀, 環境技術, 14, 132-146.  
 笠原三紀夫 (1983) 環境技術, 12, 35.  
 Baechmann, K., Ebert, P., Haag, I. and Prokop, T. (1996) The chemical content raindrops as a function of drop radius-, Atmospheric Environment, 30, 7, 1019-1025.  
 Harrison, R.M., Casimiro, A. Pio (1983) A Comparative study of the ionic composition of rainwater and atmospheric aerosols; Implications for the mechanism of acidification of rainwater, Atmospheric Environment, 22, 2, 349-358.  
 Kirk, G.J.D. and Rachhapl-Sin (1992) Simultaneous transfer across an air-water interface of gases that interact through acid-base reactions, Atmospheric Environment, 26A, 9, 1651-1660  
 Pruppacher, H.D., Klett, J.D. (1980) Microphysics of Clouds and Precipitation, Elsevier, Boston, MA.