

산성강하물 조사

- 부산지역 산성강하물의 지속적인 모니터링을 통하여 대기환경 정책의 기초 자료로 활용하고 대기오염물질의 장거리 이동현상의 객관적 자료 확보

1. 조사개요

- 조사기간 : 2007년 1월~2007년 12월
- 조사목적 : 부산지역 산성강하물의 지속적인 모니터링으로 습성강하물(강우)의 특성을 파악하여 대기환경 개선 정책계획 수립 등의 기초 자료로 활용하고 대기오염물질 장거리 이동 현상의 객관적 자료 확보
- 조사지점 : 4개 지점(광복, 감전, 기장, 광안)

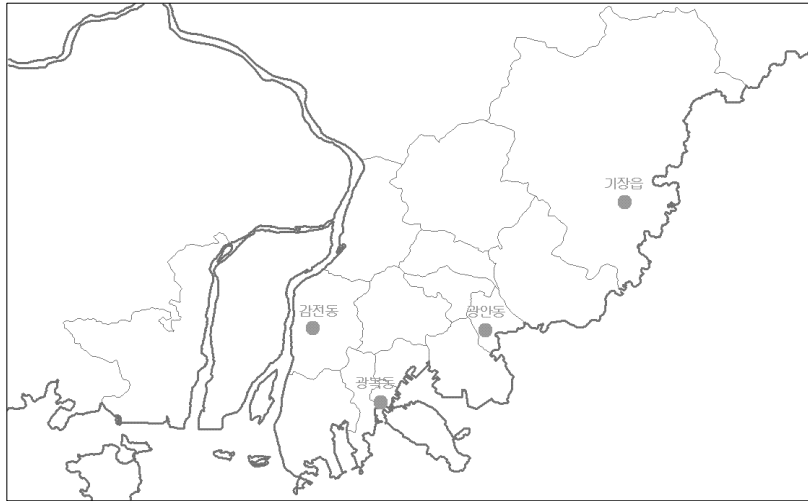


그림 1. 산성강하물 조사지점.

2. 조사방법

- 조사항목 : pH, 강우량, 전기전도도, Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^-
- 시료 채취 주기 : 1주일 간격 강우 자동채취
- 분석방법
 - pH 및 전기전도도
 - ▷ 주간단위로 시료를 채취하여 실험실 장비를 이용하여 측정하였으며 측정된 pH는 강우량을 고려한 가중평균으로 나타내었고 다음 식을 이용하여 산출하였다.

$$pH = -\log_{10} \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot 10^{-pH_i}}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

○ 이온성분 분석

▷ 주간단위로 채취한 시료를 환경부 분석방법을 준용하여 미국 DIONEX社 DX-120 이온크로마토그래피를 이용, 음이온 3개 성분인 SO₄⁻, NO₃⁻, Cl⁻와 양이온 5개 성분인 Na⁺, K⁺, Ca⁺, Mg⁺, NH₄⁺를 분석하였고 이온성분의 농도(C)는 강우량을 고려한 가중평균으로 아래식과 같이 산출하였으며,

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

8개 이온성분의 분석을 위한 이온크로마토그래피 분석조건은 표 1과 같다.

표 1. 분석조건

	Anion	Cation
Column	IonPac AS14	IonPac CS12
Guard Column	IonPac AG14	IonPac CG14
Eluent	3.5mM Sodium carbonate 1mM Sodium bicarbonate	20mM Methane sulfonic Acid
Flow Rate	1.2 mL/min	1.0 mL/min
Detection	Suppressed conductivity(ASRS)	Suppressed conductivity(CSRS)

3. 조사결과

□ pH

○ 강우량별 pH 분포

- ▷ 강수의 화학적 특성에 영향을 미치는 대기 중 오염물질들은 Washout과 Rainout에 의해서 강우에 흡착 또는 용해되어 pH변화를 일으키게 되는데 그 변화 양상은 강우량과 밀접한 관계를 가진다.
- ▷ 그림 2는 강우량의 변화에 따른 pH와의 관계를 나타낸 것으로 그림에 나타난 바와 같이 강우량이 적은 경우 pH값의 변화폭이 큰 반면 강우량이 많아지면서 pH 약 5.0부근으로 수렴하려는 양상을 나타내고 있다.
- ▷ 이러한 특성은 초기강우 시 측정지점의 지역적 또는 계절적 특성에 따라 대기 중에 존재하는 산성 및 알칼리성 오염물질들이 구름 밑에서의 세정작용(Washout mechanism)이 지배적으로 작용하여 다소 큰 폭의 변화를 일으키는 현상으로서 부산지역의 경우 초기강우에는 pH분포가 5.0이상의 분포가 많이 나타나 알칼리성 토양입자나 대기 중에 존재하는 알칼리성 오염물질로 인하여 강우산도가 완화되는 경향이 있음을 알 수 있다.

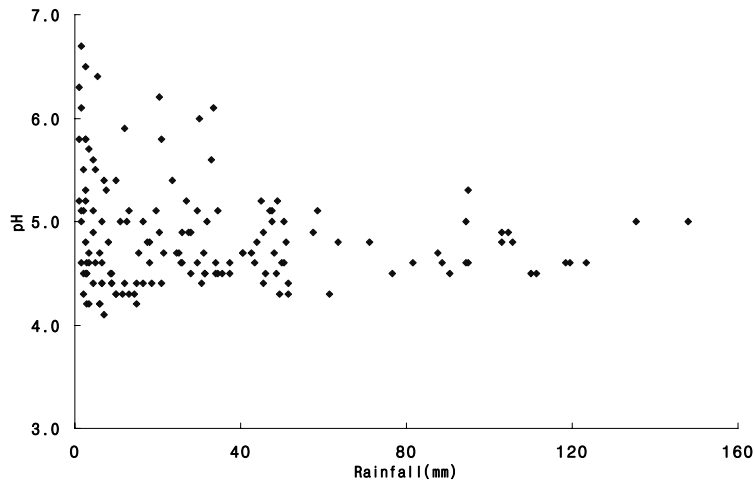


그림 2. pH 강우량 분포.

▷ 후속강우에는 대체적으로 변화폭이 좁아지면서 거의 일정한 값을 나타내고 있는데 후속강우에는 구름 밑의 세정(Washout mechanism)보다는 구름 형성과 이동(Rainout mechanism)과 관련한 광역적 특성이 지배적으로 반영된 결과로서 분포도가 다소 퍼져있는 현상은 일회 강우와 주간강우가 혼재하여 초기강우와 후속강우가 중첩하는 특성이 일부 반영되어 나타난 결과로 판단된다.

○ 연평균 pH

표 2. 조사지점별 연평균 pH 농도 변화

년도별	감전	광복	광안	기장
1994년	4.5	4.5	-	-
1995년	5.0	4.7	-	-
1996년	5.3	4.9	4.9	5.1
1997년	5.0	4.9	3.6	5.1
1998년	6.3	4.9	5.5	5.0
1999년	5.3	4.5	5.1	5.0
2000년	5.1	4.6	5.3	4.8
2001년	5.0	4.9	5.1	5.0
2002년	4.9	4.5	4.7	4.6
2003년	4.8	4.7	4.9	4.9
2004년	4.8	4.8	4.9	4.9
2005년	4.7	4.5	4.5	4.7
2006년	4.7	4.8	5.2	4.7
2007년	4.6	4.6	4.9	4.6

▷ 14개 지점에서 측정된 연평균 강우산도는 pH 4.7로서 전년에 비해 다소 증가하였고 지점별로는 4.6~4.9의 분포를 나타내었으며 전 지점에서 전년에 비해 강우산도가 다소 증가하였다.

○ 주요 도시의 pH(2006년 환경부, 대기환경연보)

▷ 환경부는 산성강하물의 침적량을 파악하기 위해 80~100 Km격자체제를 가상하여 전국적으로 32개소의 산성강하물 측정소를 설치·운영하고 있다. 표 3은 주요도시의 2006년 강우량 가중 연평균 pH를 나타낸 것으로 한반도 지역에 대한 평균은 4.9, 부산 덕천동 지점은 5.7이었으며 우리원에서 조사한 4개 지점 평균은 4.8(4.7~5.2)로 나타나 다소 결과의 차이를 나타내고 있으며 이는 측정지점의 특성, 시료채취 기기의 청소상태, 이물질의 혼입, 사용기기의 오차 등이 반영되어 나타난 결과로 판단되며 각 주요도시의 지역별 pH는 4.4~5.7범위로 지역에 따라 다소 차이를 나타내고 있다.

표 3. 주요도시의 연평균 pH농도

(출처 : NIER)

No.	Site	pH	No.	Site	pH
1	Seoul(Bulkwang)	4.8	5	Busan(Deokcheon)	5.7
2	Incheon(Guwol)	4.8	6	Kwangju(Nongseong)	5.4
3	Daejeon(Guseong)	4.8	7	Ulsan(sungnam)	4.9
4	Daegu(Jisan)	5.6	8	Jeju(Gosan)	4.4

○ 월평균 pH

▷ 2007년도의 측정소별 월 누적강우량과 월평균 강우산도의 변화를 표 4에 나타내었다. 강우의 pH는 누적강우량을 포함한 강우강도 및 Rainout과 Washout의 두 mechanism을 함께 해석하는 것이 필요하다.

표 4. 월평균 pH와 누적 강우량

월별	광안동		광복동		감전동		기장읍	
	pH	강우량(mm)	pH	강우량(mm)	pH	강우량(mm)	pH	강우량(mm)
1월	5.8	2.5	5.2	3.5	6.6	4.0	5.6	4.5
2월	4.5	114.5	4.5	114.5	4.7	90.0	4.6	86.5
3월	4.6	82.0	4.7	75.5	5.0	109.0	4.6	103.5
4월			4.6	52.5	5.2	46.0	4.9	31.0
5월	4.7	106.0	5.0	129.0	5.6	90.0	4.7	118.5
6월	4.5	186.0	4.4	183.0	4.8	139.5	4.5	179.5
7월	4.5	207.0	4.5	213.0	4.7	183.0	4.5	188.5
8월	4.8	99.0	4.9	127.0	5.2	101.5	4.7	83.5
9월	4.8	260.5	4.8	210.0	5.0	210.5	4.8	278.0
10월	4.7	131.5	4.7	119.0	4.9	111.0	4.6	108.0
11월								
12월	4.5	46.0	4.5	46.0	5.4	42.5	4.6	45.5
평균	4.6	1235.0	4.6	1273.0	4.9	1127.0	4.6	1227.0

- ▷ 특히 대기오염물질의 세정작용(Washout mechanism)은 초기강우 1 mm이내에서 크게 감소되며 강우강도나 우수 물방울의 크기, 화학조성, 입자의 크기 등에 따라 현저한 차이를 나타내는 것으로 보고되고 있다.
- ▷ 1월의 경우 강우량이 수 mm에 그쳐 초기강우 때 지배적으로 작용하는 Washout mechanism에 의해 강우산도는 상대적으로 낮게 나타났으며, 2월부터는 예년과는 달리 강우가 고르게 분포되어 지역 특성을 반영하기 보다는 광역 특성을 반영하는 Rainout mechanism이 많이 작용되어 강우산도는 상대적으로 높게 나타났다.
- ▷ 각 측정소별 월평균 pH는 광안동이 4.5~5.8, 광복동 4.4~5.2, 감전동 4.7~6.6, 기장읍 4.5~5.6의 분포를 나타내고 있으며 6월 광복동지점에서 4.4로 최저를 기록하였고 1월 감전동에서 6.6으로 최고를 나타냈다.
- ▷ 11월은 4개 전 지점에서 유효 강우량(1 mm이상)이상의 강우일수가 없었으며 4월 광안동 지점은 옥상 방수공사로 인하여 시료채취를 중단하였다.

□ 이온성분

○ 연 평균 이온성분(μeq/L)

- ▷ 2007년도 부산지역 평균 이온성분은 음이온은 $SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ 순으로 나타났고 양이온은 $Na^+ > NH_4^+ > Ca^{2+} > H^+ > Mg^{2+} > K^+$ 순으로 전년과 동일한 결과를 나타내었으며 지점별로는 감전지점의 총 이온농도가 가장 높게 나타났으며 기장, 광복, 광안의 순으로 나타나 주변 개발지와 공업지역이 인접한 지점에서의 이온 농도가 비교적 높게 나타났다.

표 5. 연평균 지점별 이온농도

(단위 : μeq/L)

지점별	음이온			양이온					
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	H^+
광안	58.4	29.4	25.6	36.0	3.1	21.5	12.1	30.4	24.8
광복	62.1	25.3	39.5	46.5	3.8	16.5	14.0	37.8	23.7
감전	72.6	35.3	32.2	39.8	5.7	62.6	16.4	61.8	12.0
기장	62.9	34.2	30.8	46.5	3.8	30.9	16.9	37.2	23.9
평균	63.8	30.9	32.1	42.3	4.1	32.1	14.8	41.3	21.3

- ▷ 대기 중 황산화물로부터 유래하는 음이온의 SO_4^{2-} 이온 농도는 감전>기장>광복>광안의 순, NO_3^- 는 감전>기장>광안>광복의 순으로 나타나 공업지역인 감전지점이 특성이 잘 반영되고 있으며 Cl^- 이온농도는 광복>감전>기장>광안의 순으로 나타나 해안가와 인접한 광복지점의 지점특성을 반영하고 있다.
- ▷ 양이온의 경우 Na^+ 이온농도는 광복>기장>감전>광안의 순으로 나타나 음이온 Cl^- 와 유사한 경향을 나타내고 있으며, 알칼리성 토양입자의 영향으로 파악되는 Ca^{2+} 이온은 감전지점의 농도가 다른 지점에 비해 2배 이상 높은 농도를 나타내 주변 개발지의 영향을 반영하는 것으로 판단되며 NH_4^+ 농도도 감전지점이 높게 나타나 인접한 공업지역에서 발생하는 대기오염물질이 일부 반영되어 나타난 결과로 사료된다.

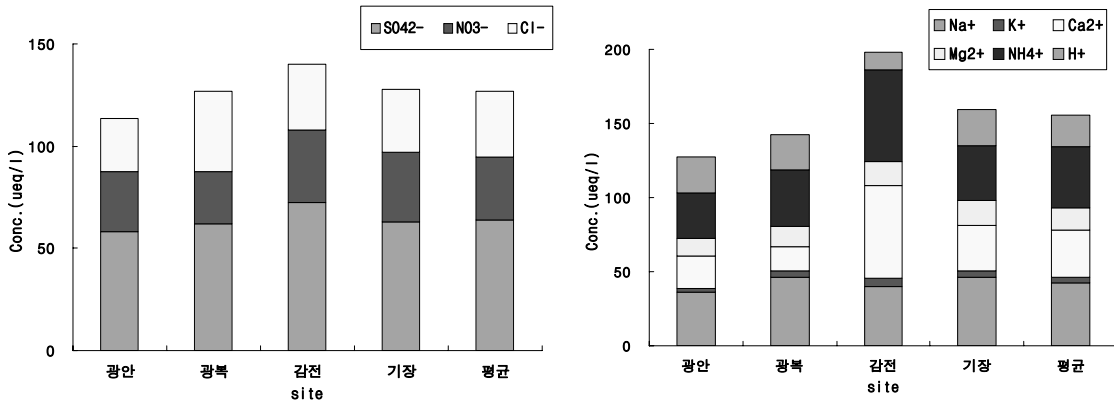


그림 3. 지점별 이온농도.

○ 평균 이온농도 변화추이(mg/L)

▷ 평균 이온농도의 변화를 표 6에 나타내었다. 이온분석은 2001년 하반기부터 2006년 까지 광안동지점에서 실시하였고 2006년 하반기부터 4개 전 지점으로 확대하였으며 표 6의 2007년 결과는 전 지점의 가중평균 농도를 나타내고 있다.

표 6. 연도별 이온농도

연도별	강우량 (mm)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	비 고
2001	470.4	3.021	1.710	2.320	1.340	0.354	0.745	0.235	0.520	광안동 지점
2002	1653.7	2.092	1.188	1.509	1.059	0.095	0.355	0.168	0.308	"
2003	1840.6	2.213	1.018	0.751	0.602	0.233	0.449	0.140	0.416	"
2004	1125.9	2.033	1.092	1.837	1.274	0.207	0.322	0.286	0.101	"
2005	1135.7	2.761	1.561	0.791	0.654	0.087	0.592	0.114	0.576	"
2006	1374.7	2.220	1.136	0.957	0.707	0.060	0.452	0.152	0.409	"
2007	1215.5	3.109	1.944	1.192	1.011	0.157	0.647	0.185	0.757	4개지점

▷ 음이온 성분의 년 가중평균은 SO₄²⁻가 3.109 mg/L, NO₃⁻ 1.944 mg/L 및 Cl⁻ 1.192 mg/L로서 SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻의 순서로 나타났고 산성비의 원인물질로 파악되는 SO₄²⁻/NO₃⁻비율은 1.60으로 나타나 국립환경과학원에서 조사한 전국의 산성강하물 측정망의 비율 1.53과 유사하게 나타났다.

▷ 양이온 성분은 Na⁺이 1.011 mg/L, NH₄⁺ 0.757 mg/L, Ca²⁺ 0.647 mg/L, Mg²⁺ 0.185 mg/L, K⁺ 0.157 mg/L, H⁺ 0.023 mg/L로서 Na⁺ > NH₄⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > H⁺의 순으로 국립환경과학원의 NH₄⁺ > Ca²⁺ > K⁺ > Mg²⁺ > H⁺순과는 다소 다르게 나타났으며 해염의 영향으로 파악되는 Na⁺, Mg²⁺농도비가 높게 나타났다.

▷ 2007년 평균농도는 전반적으로 예년에 비해 높게 나타났는데 2006년까지는 광안동지점으로 국한된 이온농도 조사가 전 지점으로 확대되면서 총 이온농도가 높은 감전동지점 등의 영향이 일부 반영되었고 2007년은 예년에 비해 강우 일수가 증가하여 대기오염물질의 세정작용이 증가한 결과로 사료된다.

○ 연간 습성강하물 침적량($gm^{-2}yr^{-1}$)

▷ 강우에 의한 연간 습성강하물 침적량은 연평균농도(mg/L)에 연간 강우량(mm)을 곱하여 산출하였으며 산정된 부산지역의 평균 침적량은 총 음이온이 $7.591 gm^{-2}yr^{-1}$ 및 총 양이온이 $3.377 gm^{-2}yr^{-1}$ 로 음이온/양이온 비율은 2.25였고 국립환경과학원에서 '06년 조사한 음이온/양이온 비율 2.23과 유사한 결과를 나타내고 있다.

▷ 각 성분별 연간 침적량을 살펴보면 음이온 성분은 SO_4^{2-} 이 $3.779 gm^{-2}yr^{-1}$, NO_3^- 이 $2.363 gm^{-2}yr^{-1}$ 및 Cl^- 이 $1.449 gm^{-2}yr^{-1}$ 였고, 양이온 성분은 Na^+ 이 $1.228 gm^{-2}yr^{-1}$, K^+ 이 $0.191 gm^{-2}yr^{-1}$, Ca^{2+} 이 $0.786 gm^{-2}yr^{-1}$, Mg^{2+} 이 $0.224 gm^{-2}yr^{-1}$, NH_4^+ 이 $0.920 gm^{-2}yr^{-1}$, H^+ 이 $0.028 gm^{-2}yr^{-1}$ 로 나타났다.

○ 지점별 이온농도($\mu eq/L$)

▷ 광안동 지점

광안동 음이온성분의 년 평균함량은 $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$ 순, 양이온 성분은 $Na^+ > NH_4^+ > H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$ 순으로 나타났으며, 총 이온함량으로는 1분기 > 2분기 > 4분기 > 3분기의 순으로 나타나 강우량과 강우빈도가 적었던 1/4분기의 이온농도가 상대적으로 높게 나타났다.

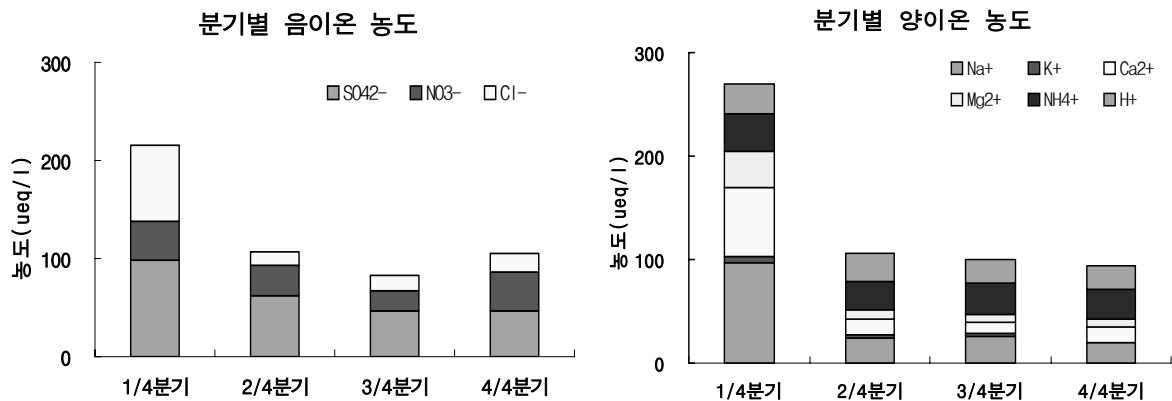


그림 4. 광안지점 분기별 이온농도.

분기별로는 1/4분기에 SO_4^{2-} , Ca^{2+} , NH_4^+ 농도가 높게 나타나 동절기의 강우가 초기 강우로 작용하여 국지적인 세정효과를 많이 반영한 것으로 판단되며, 해염의 주성분으로 파악되는 Na^+ , Cl^- 이온 비율이 높게 나타나 상대적으로 해염의 영향이 많이 작용하여 나타난 결과로 판단된다.

강우산도의 원인물질로 파악되는 SO_4^{2-}/NO_3^- 비는 1.99로 국립환경과학원의 전국 평균 결과(2006년, 1.98)보다 유사하게 나타나 황산화물의 기여도는 유사한 것으로 평가되었다.

표 7. 광안지점 분기별 이온농도

(단위 : $\mu\text{eq/L}$)

분기별	음 이 온			양 이 온					
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	H^+
1/4분기	98.7	39.4	77.0	96.3	7.0	66.4	35.2	36.8	28.3
2/4분기	62.2	31.2	14.1	23.8	3.6	14.5	9.6	26.9	28.4
3/4분기	46.1	21.8	15.5	26.3	1.9	11.7	6.6	30.4	22.4
4/4분기	45.9	39.5	19.1	19.0	1.2	13.9	8.1	29.1	22.6

▷ 광복동 지점

광복동 음이온성분의 년 평균함량은 $SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ 순으로 나타나 광안지점의 결과와는 다소 다른 경향을 나타내고 있는데 이는 해안에 인접된 지점특성을 반영하고 있으며 양이온 성분은 $Na^+ > NH_4^+ > H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$ 순으로 나타났고 Na^+ 농도 비율도 높게 나타나 광복지점이 광안지점에 비해 해염의 영향을 많이 받음을 알 수 있었다.

총 이온농도는 1분기 > 2분기 > 3분기 > 4분기의 순으로 나타났으며 특히 1분기 농도가 다른 분기에 비해 월등히 높게 나타나 Washout mechanism이 상대적으로 많이 작용한 것으로 판단되며, 해염의 주성분으로 파악되는 Na^+ , Cl^- 이온 비율이 높게 나타나 상대적으로 해염의 영향이 많이 작용한 기간으로 판단된다.

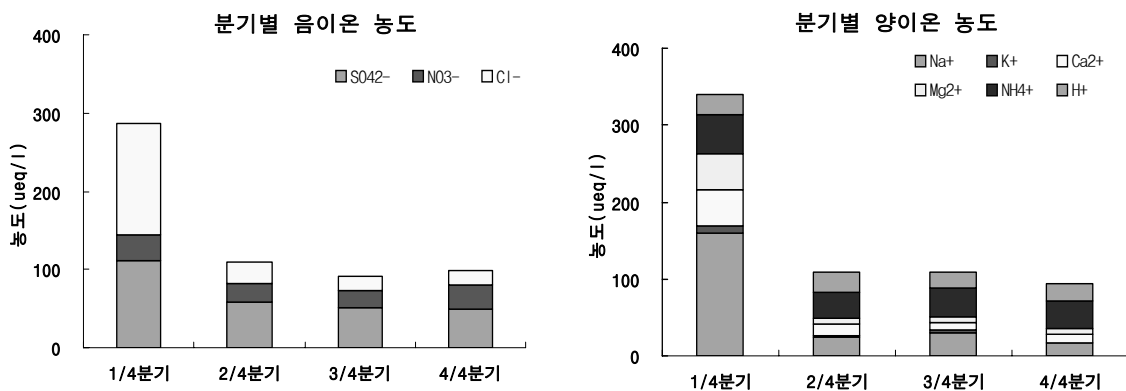


그림 5. 광복지점 분기별 이온농도.

강우산도의 원인물질로 파악되는 SO_4^{2-}/NO_3^- 비는 2.45로 국립환경과학원의 전국 평균 결과(2006년, 1.98) 및 광안지점보다 높게 나타나 황산화물의 기여도가 비교적 높은 지점으로서 인접한 항만에서의 입출항 선박에서 배출되는 황산화물의 영향이 일부 반영된 결과로 사료된다.

표 8. 광복지점 분기별 이온농도

(단위 : $\mu\text{eq/L}$)

분기별	음이온			양이온					
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	H^+
1/4분기	111.2	33.5	142.0	159.8	9.0	46.5	47.7	49.9	27.1
2/3분기	58.0	23.9	27.0	23.6	2.6	14.7	8.3	34.3	26.3
3/4분기	51.4	21.3	18.7	30.9	3.5	9.1	7.8	36.6	21.1
4/4분기	49.1	32.2	16.7	16.4	1.4	9.6	8.0	35.2	23.1

▷ 감전동 지점

감전동 음이온성분의 년 평균함량은 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 순으로 나타났고, 양이온 성분은 $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{H}^+ > \text{K}^+$ 순으로 나타나 전년과 유사한 결과를 나타내고 있으며 총 이온함량으로는 1분기 > 2분기 > 4분기 > 3분기의 순으로 나타났다.

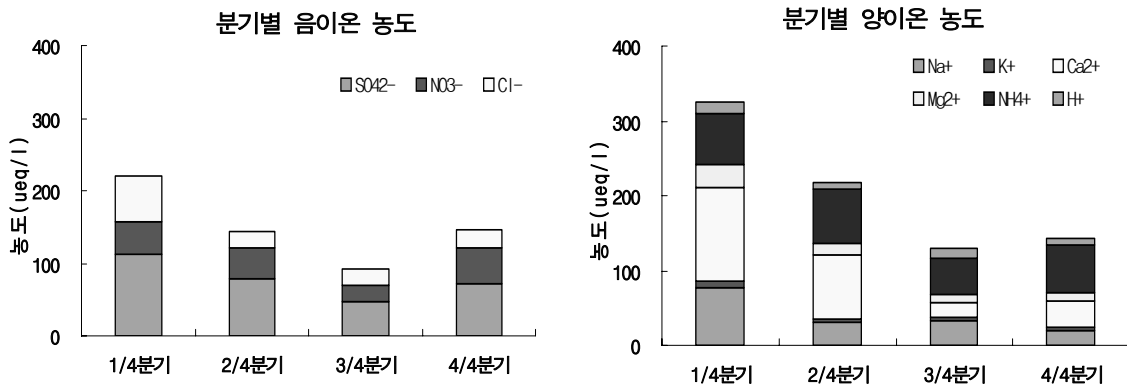


그림 6. 감전지점 분기별 이온농도.

Ca^{2+} , NH_4^+ 이온농도가 높게 나타나 인접한 개활지와 공업지역에서 발생하는 알카리성 토양입자와 대기오염물질의 영향이 반영된 것으로 판단되며 이러한 특성에 의해 산성비의 원인물질로 파악되는 SO_4^{2-} , NO_3^- 농도가 다른 지점에 비해 높음에도 불구하고 강우산도를 상쇄하는 요인으로 파악된다.

$\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ 비는 2.06으로 국립환경과학원의 전국 평균 결과(2006년, 1.98) 및 광안지점과 유사한 경향을 나타내고 있다.

표 9. 감전지점 분기별 이온농도

(단위 : $\mu\text{eq/L}$)

분기별	음이온			양이온					
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	H^+
1/4분기	112.8	44.4	63.1	76.9	8.6	125.8	29.4	69.3	15.7
2/4분기	79.5	41.4	23.0	29.8	5.8	84.5	16.7	71.6	10.0
3/4분기	47.2	22.2	22.2	31.9	4.6	20.6	10.0	50.0	12.9
4/4분기	71.2	49.3	24.6	20.8	3.8	34.9	11.5	62.2	9.3

▷ 기장읍 지점

기장읍 음이온성분의 년 평균합량은 $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$ 순으로 나타났고, 양이온 성분은 $Na^+ > NH_4^+ > Ca^{2+} > H^+ > Mg^{2+} > K^+$ 순으로 나타났고 총 이온농도는 1분기 > 2분기 > 4분기 > 3분기의 순으로 나타났다.

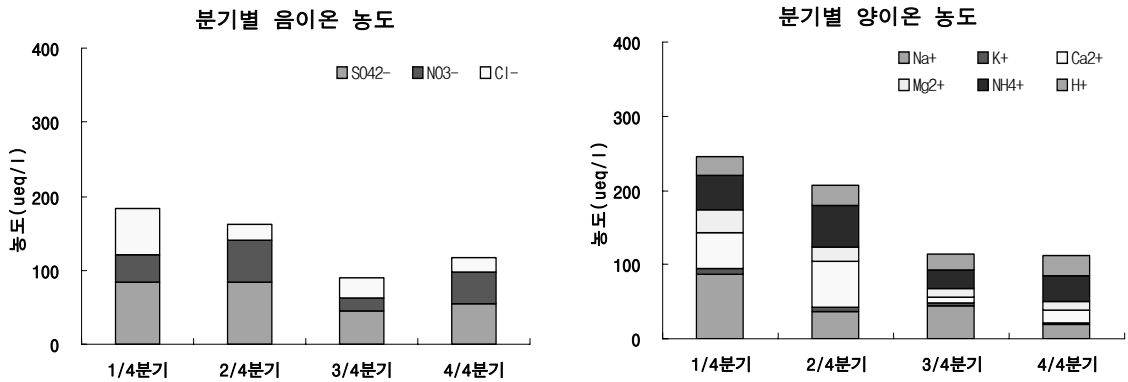


그림 7. 기장지점 분기별 이온농도.

표 10. 기장지점 분기별 이온농도

(단위 : $\mu eq/L$)

분기별	음이온			양이온					
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	H^+
1/4분기	84.8	35.5	63.8	87.9	6.9	48.4	31.5	46.0	24.3
2/4분기	83.8	57.3	21.0	36.8	5.9	62.4	19.4	56.1	25.5
3/4분기	44.9	17.8	27.7	45.4	2.0	9.2	12.0	23.5	21.6
4/4분기	54.7	42.0	21.3	19.0	1.8	18.7	10.5	34.5	27.7

전반적으로 Na^+ , Cl^- 이온농도 비율이 상대적으로 높게 나타나 해염의 영향이 다소 작용하는 지점으로 사료되며 강우산도의 원인물질로 파악되는 SO_4^{2-}/NO_3^- 비는 1.84로 국립환경과학원의 전국 평균 결과(2006년, 1.98) 및 타 지역보다 낮게 나타나 황산화물에 의한 산성비의 기여도가 다소 낮은 지점으로 판단된다.

○ 이온성분의 상관도 분석

▷ 강우 중에 함유된 주요 이온성분 간의 상호관계 파악은 산성강우 형성의 인과관계를 추정하는데 필요한 과정으로써 일반적으로 상관 분석을 통하여 행해진다. 상관분석은 개개의 강수 시료에 대하여 행하였으며 그 결과는 표 11과 같다.

표 11. 각 이온성분의 상관표

	pH	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	강우량
pH	1.000									
SO ₄ ²⁻	0.167	1.000								
NO ₃ ⁻	0.297	0.809	1.000							
Cl ⁻	0.265	0.492	0.538	1.000						
Na ⁺	0.251	0.501	0.472	0.956	1.000					
K ⁺	0.547	0.734	0.685	0.620	0.632	1.000				
Ca ²⁺	0.514	0.804	0.688	0.469	0.522	0.736	1.000			
Mg ²⁺	0.408	0.703	0.618	0.824	0.883	0.820	0.762	1.000		
NH ₄ ⁺	0.259	0.860	0.858	0.404	0.343	0.693	0.636	0.529	1.000	
강우량	-0.156	-0.433	-0.446	-0.298	-0.297	-0.443	-0.284	-0.404	-0.469	1.000

- ▷ pH는 강우산도를 완화하는 물질로 알려진 Ca²⁺이온 및 K⁺이온과의 상관계수가 가장 높게 나타나 이들 이온이 강우의 pH 결정에 상대적으로 많은 영향이 작용함을 시사하고 있다.
- ▷ 또한 강우량과 측정 이온성분과의 상관관계는 전 이온성분과 음의 상관관계를 가졌으며 음이온 중에서는 NO₃⁻, 양이온 성분에서는 NH₄⁺ 이온과의 상관계수가 높아 강우량이 많을수록 이들 이온농도의 감소는 다른 이온성분보다 상대적으로 높게 나타났다.
- ▷ 강우 중 화합물의 존재 형태를 추정하고자 각각의 양이온 성분과 상대적으로 상관계수가 높은 음이온의 상관계수를 비교해 보면 Na⁺는 Cl⁻이온과 상관성이 두드러지고 있어 해염에 의한 존재가능성을 시사하고 있으며 K⁺, Ca²⁺는 SO₄²⁻이온과 유사한 상관관계를 나타내고 있다.
- ▷ 이상의 결과를 토대로 해염의 주요성분으로 파악되는 양이온인 Na⁺, Mg²⁺는 Cl⁻화합물의 형태로 존재가능성이 높은 것으로 나타나 예상되는 결과를 보여주고 있으며, 토양성분에서 유래하는 것으로 알려진 Ca²⁺, K⁺이온과 NH₄⁺는 SO₄²⁻와 상관도가 높게 나타나 황산염 형태로 대기 중에 존재 가능성이 높은 것으로 추정할 수 있다.

4. 결론

- 2007년도 부산시의 강우산도는 평균 pH 4.7이었으며 전년에 비해 다소 상승하였다. 월평균 pH 분포는 4.4~6.6로서 특히 감전동의 1월 강우 pH가 가장 높게 나타나 동 기간에 강우량과 강우빈도가 적어 Washout mechanism이 주로 작용한 결과로 판단되며, 부산지역의 경우 초기강우에는 알카리성 토양입자나 대기 중에 존재하는 알카리성 오염물질로 인하여 강우산도가 약화되는 경향이 많은 것으로 파악되었다.
- 연 평균 이온성분(μeq/L)은 음이온은 SO₄²⁻ > Cl⁻ > NO₃⁻ 순으로 나타났고 양이온은 Na⁺ > NH₄⁺ > Ca²⁺ > H⁺ > Mg²⁺ > K⁺ 순으로 전년과 동일한 결과를 나타내었으며, 총 이온

농도는 감전 > 기장 > 광복 > 광안의 순으로 나타나 주변 개발지와 공업지역이 인접한 지점에서 이온 농도가 비교적 높게 나타났다.

- 연간 평균 이온농도는 음이온 성분이 SO_4^{2-} 가 3.109 mg/L, NO_3^- 1.944mg/L 및 Cl^- 1.192 mg/L, 양이온 성분은 Na^+ 이 1.010 mg/L, K^+ 0.157 mg/L, Ca^{2+} 0.647 mg/L, Mg^{2+} 0.185 mg/L, NH_4^+ 0.757 mg/L로 나타나 2006년 결과와 비교하여 전반적으로 증가한 것으로 조사되어 2007년의 경우 강우량은 적었으나 강우빈도가 잦아 대기세정 효과가 증가한 것으로 사료된다.
- 각 성분별 연간 침적량을 살펴보면 음이온 성분은 SO_4^{2-} 이 $3.779 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$, NO_3^- 이 $2.363\text{gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ 및 Cl^- 이 $1.449 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ 였고, 양이온 성분은 Na^+ 이 $1.228 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$, K^+ 이 $0.191 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$, Ca^{2+} 이 $0.786 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$, Mg^{2+} 이 $0.244 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$, NH_4^+ $0.920 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$, H^+ 이 $0.028 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ 로 나타났다.
- 각 지점별 이온농도는 감전동 지점은 Ca^{2+} , NH_4^+ 이온농도가 높게 나타나 알카리성 토양 입자 및 인접 산업장에서 발생하는 알카리성 오염물질의 영향이 반영된 것으로 판단되며, 광복동 지점은 Na^+ , Cl^- 이온농도가 높게 나타나 해염의 영향이 많은 지역으로 판단된다.
- 분석 항목별 상관도 분석 결과 pH는 강우산도를 완화하는 물질로 알려진 Ca^{2+} , K^+ 이온과의 상관관계수가 가장 높게 나타나 이들 이온이 강우의 pH 결정에 많은 영향을 끼친 것으로 판단되며, Na^+ , Mg^{2+} 는 Cl^- 이온, K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ 는 SO_4^{2-} 이온과 상관도가 높게 나타나 나트륨 및 마그네슘이온은 염화물 형태로, 칼슘, 칼륨 및 암모늄이온은 황산염 형태로 대기 중에 존재 가능성이 높은 것으로 판단된다.