

## 산성강하물 조사

- 산성강하물의 화학적 특성 파악 및 장기적·지속적인 모니터링
- 광역오염현상 규명 및 산성비 저감대책 수립을 위한 정책자료 제공

### 1. 조사개요

- 조사기간 : 2012년 1월 ~ 12월
- 조사지점

지 점	용도지역	주 소	위 치
광안동	주 거	수영구 광안동 범바위 6길 53	구,보건환경연구원 옥상
광복동	상 업	중구 광복동 1가 9	광복동사무소 옥상
학장동	공 업	사상구 학장동 대동로 413	학장초등학교 옥상
기장읍	주 거	기장군 기장읍 동부리 320번지	기장초등학교 옥상

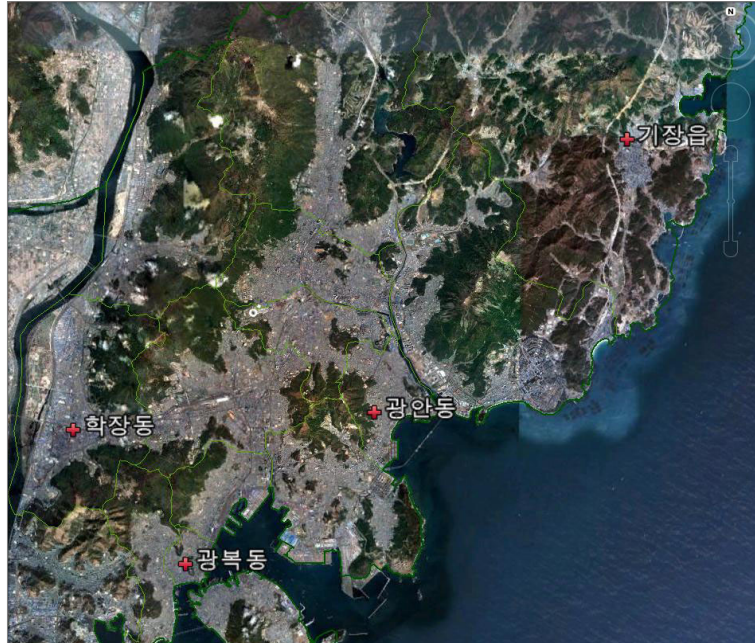


그림 1. 산성강하물 측정망 위치도

- 조사항목 : 강수량, pH, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>

## 2. 조사결과

### ○ 강수량 현황

- ▷ 2012년 부산지역의 누적 강수량은 1,983 mm로 2011년(1,479 mm)대비 504 mm 증가, 평년 강수량(1981~2010년 30년간 평균치)인 1,519 mm 대비 464 mm 증가하였음.
- ▷ 2012년에는 7월에 가장 많은 비가 내렸으며, 평년과 비교하였을 때 7월과 9월에 많은 비가 내렸으며, 5월에는 평년보다 적은 비가 내렸음.
- ▷ 2012년 부산지역 강수량과 관련된 이슈사항으로 5~6월에 특히 강수량이 적어, 5월 1일부터 6월 6일까지 강수량은 1982년 이후 가장 적은 강수량으로 계측됨. 여름철 장마는 평년보다 일찍 시작하고 일찍 종료하였으나, 강수량은 556 mm로 평년(401 mm)보다 많았음.

(출처 : 2012년 부산지방기상청 부산경남 기후정보집)

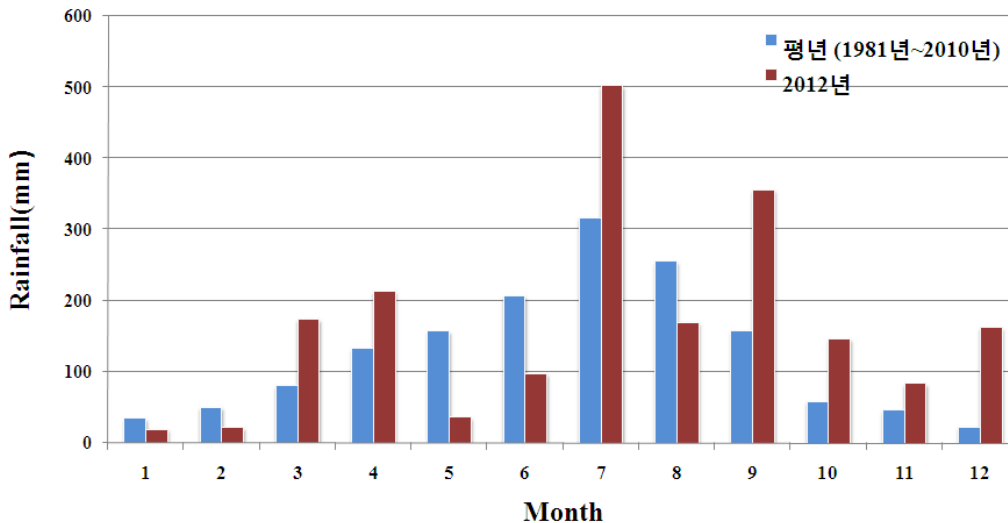


그림 2. 2012년 및 평년 월별 강수량 현황

### ○ 연도별 pH 추이

- ▷ 2012년 산성강하물 측정망 pH는 4.6을 나타내었으며, 전년 pH 4.9 대비 강우산도 다소 증가하였음.
- ▷ 2002년부터 2012년까지 연평균 산성강하물 pH는 4.6~4.9의 분포를 나타내고 있으며, 지점별로 약간의 차이는 나타내고 있음.
- ▷ 산성강하물의 강우산도는 음이온과 양이온의 밸런스로 나타나게 되며, 양이온 대비 음이온 농도가 높을수록 강우산도가 높아짐.
- ▷ 2012년 음이온 농도는 127.4  $\mu\text{eq/L}$  ( $\text{H}^+$  제외 양이온 농도 113.8  $\mu\text{eq/L}$ )로 전년도 음이온 농도 77.0  $\mu\text{eq/L}$  ( $\text{H}^+$  제외 양이온 농도 74.2  $\mu\text{eq/L}$ ) 보다 다소 높게 나타나 강우산도가 전년 대비 다소 증가한 것으로 판단됨.

표 1. 조사지점별 연평균 pH 추이

연도	광안동	광복동	학장동	기장읍	연평균
2002	4.9	4.5	4.7	4.6	4.6
2003	4.8	4.7	4.9	4.9	4.8
2004	4.8	4.8	4.9	4.9	4.8
2005	4.7	4.5	4.5	4.7	4.6
2006	4.7	4.8	5.2	4.7	4.8
2007	4.6	4.6	4.9	4.6	4.7
2008	4.6	4.6	4.7	4.6	4.6
2009	4.5	4.6	4.8	4.7	4.6
2010	4.6	4.7	4.9	4.5	4.7
2011	4.7	5.0	5.0	4.7	4.9
2012	4.5	4.7	4.8	4.5	4.6

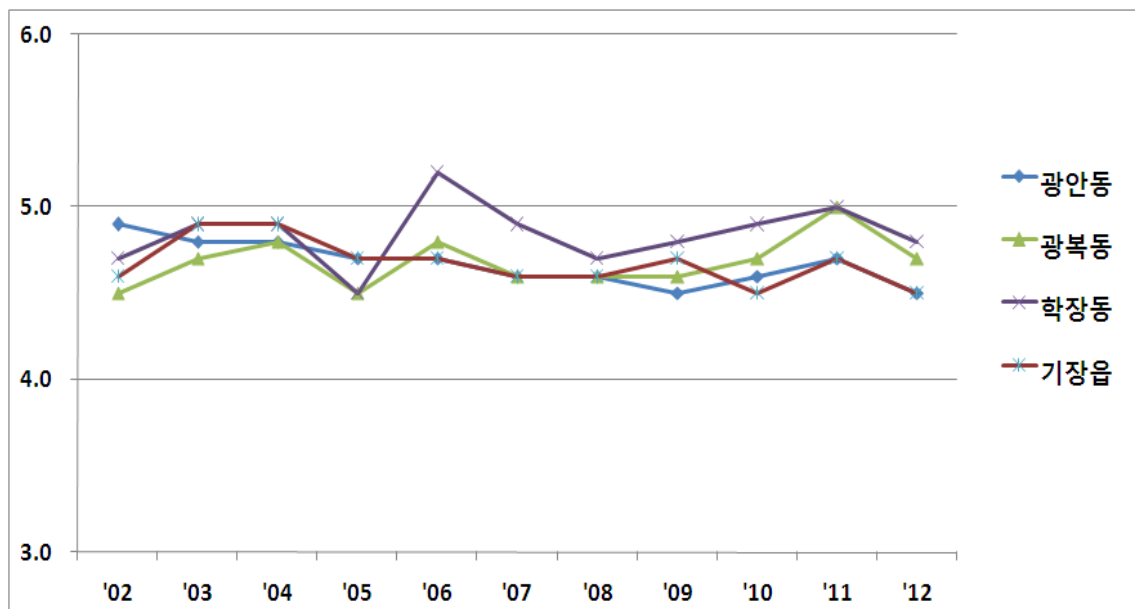


그림 3. 지점별 연평균 pH 추이.

## ○ pH 월별·지점별 현황

- ▷ 2012년도의 산성강하물의 가중평균 pH는 4.6으로, 월평균 pH는 4.2~4.9의 범위를 나타내었음.
- ▷ 지점별 연평균 pH는 광안 4.5, 광복 4.7, 학장 4.8, 기장 4.5로 나타났으며 월별 pH는 광안 4.0~4.7, 광복 4.2~5.3, 학장 4.4~5.6, 기장 4.1~4.8의 범위를 나타내었음.
- ▷ 3, 5월 pH 4.2로 강우산도가 가장 높았으며, 6, 8월 pH 4.9로 강우산도가 가장 낮게 나타났음.

표 2. 2012년 산성강하물 월평균 pH와 누적 강수량

(pH : 가중평균, 강수량 : mm)

월별	광안동		광복동		학장동		기장읍		평균	
	pH	강수량	pH	강수량	pH	강수량	pH	강수량	pH	강수량
1월	4.2	26.0	4.7	19.5	5.4	12.0	4.2	83.0	4.3	35.1
2월	4.4	21.5	5.2	22.1	5.6	18.5	4.4	26.0	4.6	22.0
3월	4.2	159.0	4.2	173.9	4.4	123.5	4.2	126.5	4.2	145.7
4월	4.7	243.5	4.6	213.8	4.8	201.0	4.5	232.5	4.6	222.7
5월	4.0	35.0	4.3	36.1	4.5	32.5	4.1	32.5	4.2	34.5
6월	4.7	105.5	5.2	97.8	5.5	83.0	4.8	84.5	4.9	92.7
7월	4.7	480.0	4.7	502.0	4.7	343.0	4.7	372.0	4.7	424.3
8월	4.5	165.0	5.3	169.4	5.0	205.5	4.6	201.0	4.9	185.2
9월	4.6	303.5	4.8	356.0	4.8	352.0	4.7	301.5	4.7	328.3
10월	4.7	151.0	4.6	146.0	4.8	94.5	4.5	107.0	4.6	124.6
11월	4.5	81.0	5.0	83.5	5.1	77.0	4.8	76.5	4.8	79.5
12월	4.7	145.5	4.8	162.7	4.9	89.5	4.6	94.5	4.7	123.5
평균	4.5	1916.5	4.7	1982.8	4.8	1632	4.5	1737.5	4.6	1817.7

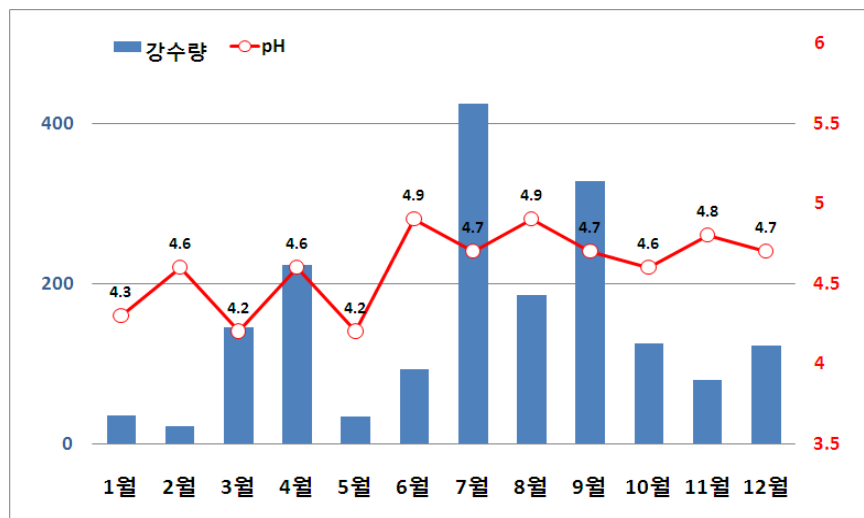


그림 4. 2012년 산성강하물 측정망 월별 pH 및 강수량 현황.

○ 주요 대도시의 pH

- ▷ 환경부에서는 산성강하물의 침착량을 파악하기 위해 80~100 km 간격의 격자로 나누어 전국 40개소에 산성강하물 측정망을 운영하고 있음.
- ▷ 그림 3에는 주요도시의 2011년 강수량에 따른 pH 가중평균을 나타낸 것으로 한반도 지역의 평균 pH는 5.0으로 나타났음.

▷ 전지역 pH는 4.5~5.8의 범위로 지역별, 계절별 다소 차이를 나타냄.

표 3. 주요 도시의 연평균 pH(2011년 대기환경연보)

No.	지점	pH	No.	지점	pH
1	서울(불광동)	4.5	5	부산(덕천동)	5.1
2	인천(구월동)	4.9	6	광주(농성동)	5.3
3	대전(구성동)	4.8	7	울산(성남동)	5.2
4	대구(지산동)	5.2	8	제주(고산리)	5.0

○ 연도별 이온성분농도 추이

- ▷ 2012년 강수의 주요 이온성분별 평균농도(Table 4)를 살펴보면  $\text{SO}_4^{2-}$  2.165 mg/L,  $\text{NO}_3^-$  1.066 mg/L,  $\text{Cl}^-$  2.244 mg/L,  $\text{Na}^+$  1.121 mg/L,  $\text{K}^+$  0.116 mg/L,  $\text{Ca}^{2+}$  0.517 mg/L,  $\text{Mg}^{2+}$  0.165 mg/L,  $\text{NH}_4^+$  0.408 mg/L 로 전년 대비  $\text{NH}_4^+$  항목을 제외하고 모두 농도 증가하였음.
- ▷ 2012년에는 특히  $\text{Na}^+$  와  $\text{Cl}^-$  가 높게 나타나 해양의 영향을 다른 연도에 비해 크게 받았던 것으로 판단됨.
- ▷ 음이온은  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$  순으로, 양이온은  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  의 순으로 나타났음.
- ▷ 연도별 이온성분농도(그림 5)를 살펴보면, 2007년 이후로 감소하는 경향을 나타내다가 2011년부터 증가하는 경향을 보임. 또한 강수량이 비교적 적었던 2007년과 2008년도에 이온성분농도가 다소 높게 나타났음.

표 4. 연도별 산성강하물 평균 이온농도

(mg/L)

구분	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{NH}_4^+$	비고
2002	2.092	1.188	1.509	1.059	0.095	0.355	0.168	0.308	광안동
2003	2.213	1.018	0.751	0.602	0.233	0.449	0.140	0.416	"
2004	2.033	1.092	1.837	1.274	0.207	0.322	0.286	0.101	"
2005	2.761	1.561	0.791	0.654	0.087	0.592	0.114	0.576	"
2006	2.220	1.136	0.957	0.707	0.060	0.452	0.152	0.409	"
2007	3.109	1.944	1.192	1.011	0.157	0.647	0.185	0.757	4개지점
2008	2.612	1.506	1.248	0.753	0.108	0.453	0.125	0.624	"
2009	1.866	0.910	1.217	0.755	0.096	0.393	0.112	0.413	"
2010	1.567	0.737	0.925	0.558	0.080	0.253	0.079	0.236	광안동
2011	1.574	1.008	0.993	0.494	0.069	0.331	0.096	0.479	4개지점
2012	2.165	1.066	2.244	1.121	0.116	0.517	0.165	0.408	"

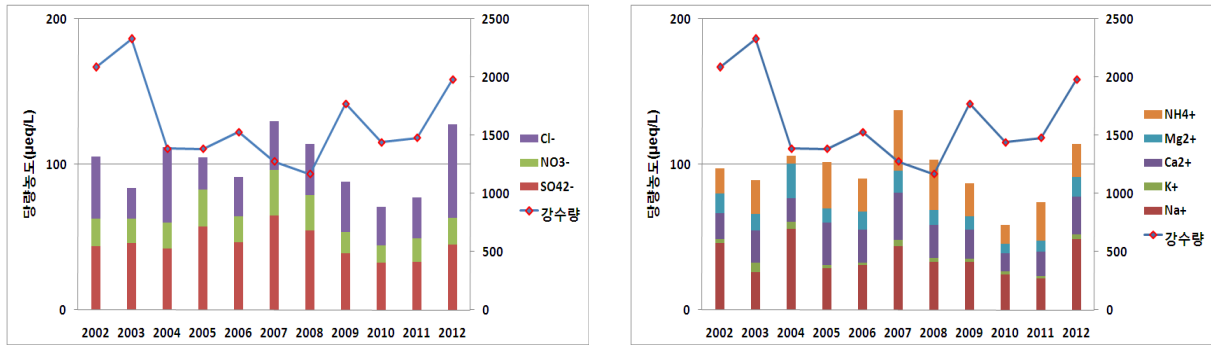


그림 5. 연도별 산성강하물 이온성분농도 추이 (mg/L).

○ 2012년 이온성분농도 분석

- ▷ 2012년 이온성분농도는 기장>광복>학장>광안의 순으로 나타났음. 기장에서는 Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup>의 농도가 높게 나타나면서 이온성분농도가 높아진 것으로 판단됨. 산성강하물의 주요이온성분인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 광복동이 가장 높게 나타났으며, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 학장동이 가장 높게 나타났음.
- ▷ 1월에서 5월까지 산성강하물 이온성분농도가 다소 높게 나타났으며, 이는 봄철 대기 중 부유물질 증가에 의한 것으로 판단됨. 특히 5월의 높은 이온성분 농도 경향은 5월의 적은 강수량과 관련된 것임.

표 5. 2012년 지점별 이온성분농도

( $\mu\text{eq/L}$ )

구분	음 이 온				양 이 온						
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	합계	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	합계
광 안	42.2	16.7	48.4	107.3	37.7	2.6	24.3	11.3	16.2	28.9	121.0
광 복	47.4	19.0	64.4	130.8	46.0	3.2	30.2	12.7	23.7	21.3	137.1
학 장	44.8	19.0	64.2	128.0	48.9	2.9	24.9	13.5	29.6	16.6	136.4
기 장	45.6	17.1	82.3	145.0	64.9	3.2	22.8	17.4	21.2	28.9	158.4

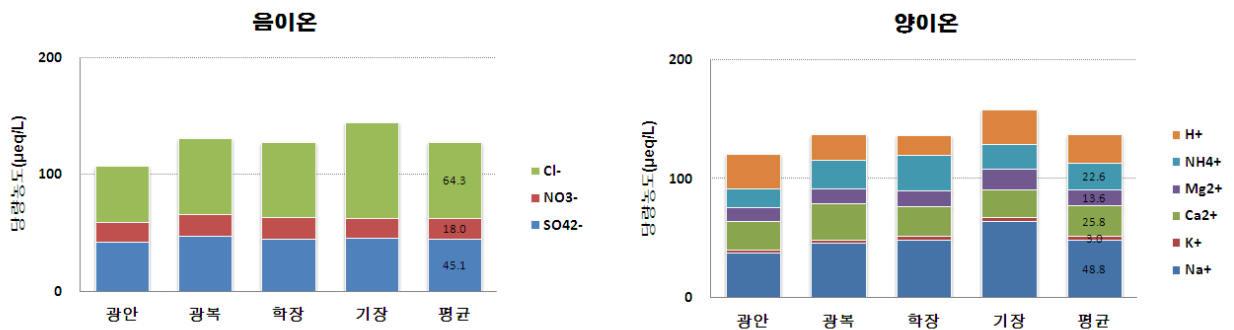


그림 6. 2012년 산성강하물 지점별 이온성분농도.

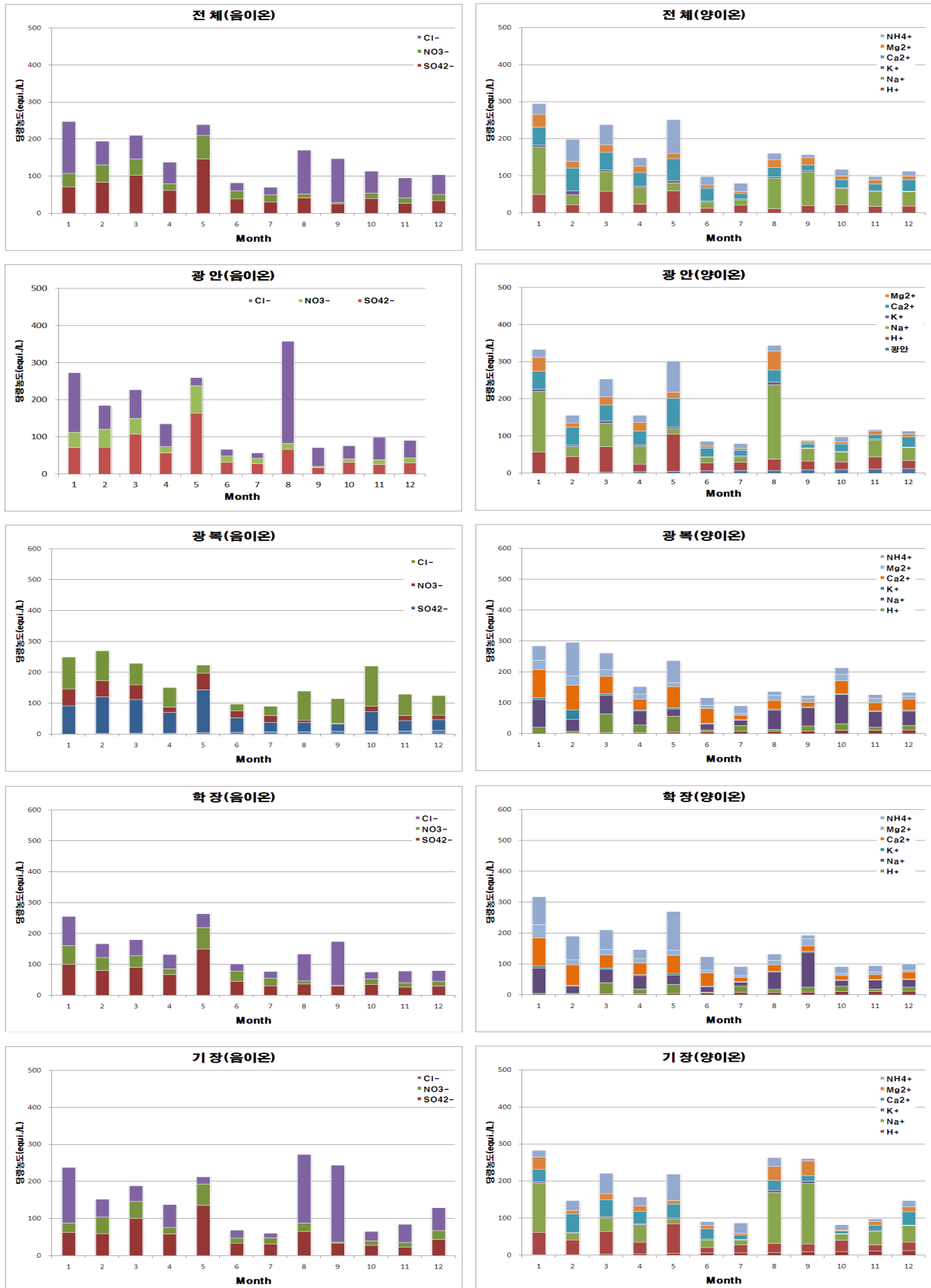


그림 7. 2012년 산성강하물 월별 지점별 이온성분농도.

○ 비해염 농도 특성

- ▷ 산성강하물에는 대기 중 오염물질 뿐 아니라 해양기원물질도 함께 포함되어 있어, 산성강하물 농도를 평가할 때 해양에 의한 영향을 고려하여야 함.
- ▷ 비해양 기원성분을 산출하는 항목으로는  $SO_4^{2-}$ 와  $Ca^{2+}$ 가 있으며,  $Na^+$ 기준에 의한 방법으로 비해양 기원 성분을 산정할 수 있음. 이는 강수 중에 함유된  $Na^+$ 량을 모두 해양기원으로 하고, 해양에서 유래한 성분농도 비율은 해양-대기(구름)-강우중으로 변화하지 않는다는 가정 하에서 산출한 것임.
- ▷ 2012년도 비해양기원  $SO_4^{2-}$ 와  $Ca^{2+}$ 연평균 비율은 각각 87.0 %, 92.1 %로 전년도 92.1 %, 94.3 % 대비 다소 감소하였음. 따라서 2012년에는 전년에 비해 해양의 영향을 더 많이 받았음.
- ▷ 지점별 비해양기원  $SO_4^{2-}$  연평균 비율은 광안동 89.3 %, 광복동 88.3 %, 학장동 86.9 %, 기장읍 82.9 %,  $Ca^{2+}$  연평균 비율은 광안동 96.9 %, 광복동 97.0 %, 학장동 96.0 %, 기장읍 94.4 %로 나타남. 즉, 비해양기원 비율이 기장읍이 가장 낮게, 광안동이 가장 높게 나타나 기장읍이 해양의 영향을 가장 크게 받은 것으로 나타남.
- ▷ 월별 비해양기원  $SO_4^{2-}$ 의 비율은 광안동 63.9~98.9 %, 광복동 69.7~97.9 %, 학장동 53.6~97.5 %, 기장읍 43.0~98.9 %,  $Ca^{2+}$ 의 비율은 광안동 73.3~99.1 %, 광복동 82.7~98.4 %, 학장동 72.5~98.5 %, 기장읍 56.2~98.5 % 범위를 나타냄. 기장읍의 경우 비율 차이가 가장 크게 나타나, 인위적인 오염원 비율 변동 폭이 가장 큰 것으로 나타났음.
- ▷ 월별 비해양기원  $SO_4^{2-}$ 와  $Ca^{2+}$ 는 5월에 가장 높은 비율을, 9월에 낮은 비율을 보임. 따라서 9월에 해양의 영향을 가장 많이 받은 것으로 나타남.

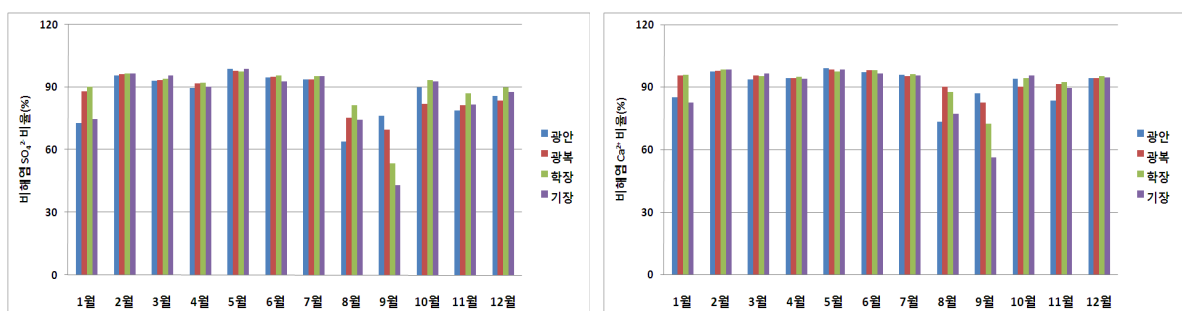


그림 8. 2012년 산성강하물 월별 nss- $SO_4^{2-}$ 와  $Ca^{2+}$ 의 비율(%) 추이 (nss; non sea salt)

○ 습성강하물 침착량

- ▷ 각 측정지점에 대한 주요 이온성분의 연간 습성강하물 침착량은 강수량 가중 연평균 농도에 각 지점별 연간 강수량을 곱하여 산출하였고, 부산지역 연간 습성강하물 침착량은 각 지점의 연간 습성강하물 침착량에 대한 산술평균치로 계산하였음.
- ▷ 부산지역의 2012년 습성강하물 침착량은 총 음이온이  $9.956 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$  및 총 양이온이



4.404 gm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup> 으로 음이온/양이온 비율은 2.26으로 전년도의 2.14보다 높게 나타났음.

- ▷ 표 6에 항목별 연간 침착량을 나타내었으며, 2012년 산성강하물 항목별 침착량 (gm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>)은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 3.930, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 1.937, Cl<sup>-</sup> 4.089, Na<sup>+</sup> 2.045, K<sup>+</sup> 0.211, Ca<sup>2+</sup> 0.935, Mg<sup>2+</sup> 0.301, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.736, H<sup>+</sup> 0.176 으로 나타남. 음이온 중에는 Cl<sup>-</sup>의 침착량이 가장 많았으며, 양이온 중에는 Na<sup>+</sup>의 침착량이 가장 많은 것으로 분석됨.
- ▷ 2012년 습성강하물 침착량은 전년 대비 다소 증가하였으며, 지점별로는 광복<기장>광안<학장>순으로 나타났음.
- ▷ 환경부 산성강하물측정망 2011년 전국 습성강하물 침착량을 비교한 결과, 2012년 부산 지역 습성강하물 침착량은 다소 높은 수준을 보여주었음.

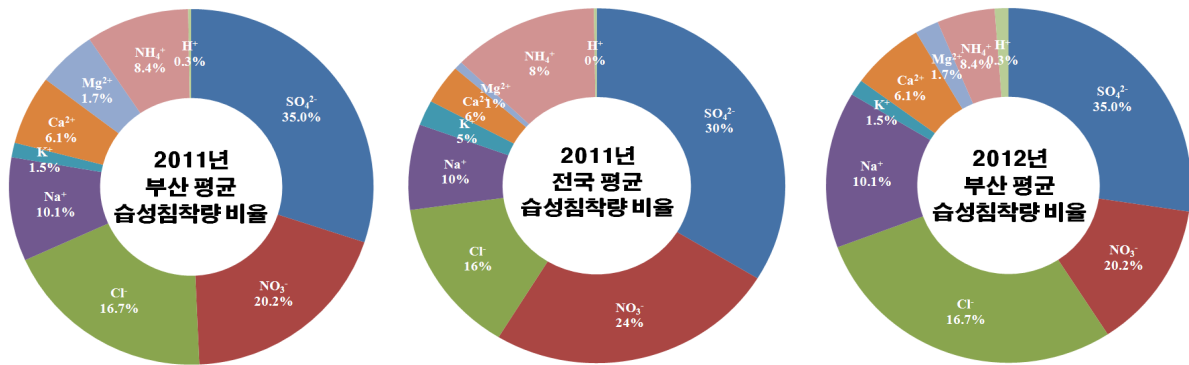


그림 9. 습성강하물 침착량 항목별 비율

표 6. 연간 습성강하물 침착량

(gm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>)

구 분	음이온				양이온						
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	합계	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	합계
광 안	3.887	1.984	3.286	9.156	1.657	0.196	0.932	0.263	0.559	0.201	3.808
광 복	4.516	2.129	4.362	11.007	2.097	0.248	1.201	0.307	0.846	0.205	4.904
학 장	3.508	1.789	3.632	8.928	1.833	0.183	0.815	0.268	0.872	0.167	4.139
기 장	3.808	1.846	5.077	10.731	2.592	0.217	0.794	0.367	0.666	0.130	4.766
<b>2012년</b>	<b>3.930</b>	<b>1.937</b>	<b>4.089</b>	<b>9.956</b>	<b>2.045</b>	<b>0.211</b>	<b>0.935</b>	<b>0.301</b>	<b>0.736</b>	<b>0.176</b>	<b>4.404</b>
2011년	2.356	1.509	1.487	5.351	0.739	0.104	0.495	0.143	0.718	0.021	2.219
'11년(전국)	4.12	3.05	1.72	8.89	0.95	0.28	0.44	0.09	1.53	0.03	3.32

\* 침착량 산정방법 : 강수 중 성분별 농도(mg/L) × 강우량 (mm) / year = gm<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>, 강우량은 AWS 기준으로 산출

▷ 2006년부터 습성강하물 침착량은 비교한 결과, 증감을 반복하여 나타났으며, 2008년부터 2010년까지 침착량이 증가하는 경향을 보이다가 2011년 감소, 2012년 다시 증가하였음.

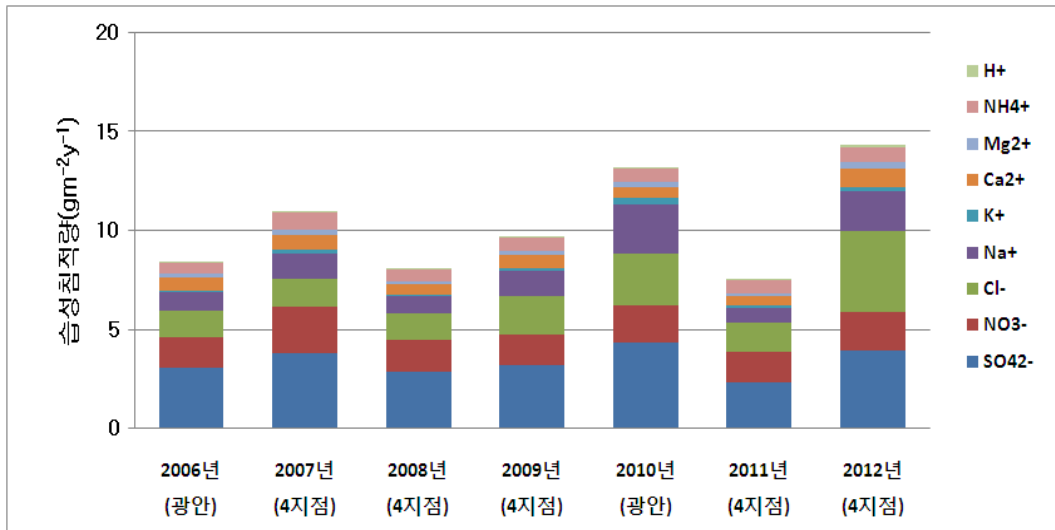


그림 10. 습성강하물 침착량 연도별 비교.

▷ 주요이온성분의 월별 습성강하물 침착량은 그림 11과 같으며 3, 4, 7, 9월에 다소 높은 수준을 1, 2, 5, 6월에 낮은 수준을 나타내었음. 7월은 이온성분농도가 낮으나, 강수량이 높아 침착량이 높게 나타난 것으로 판단됨.

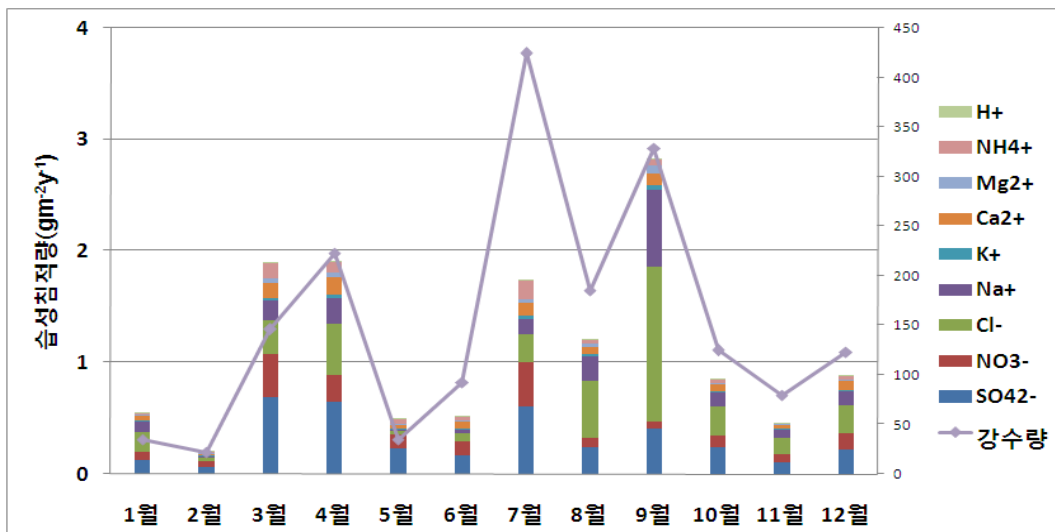


그림 11. 2012년 월별 습성강하물 침착량 추이.

### 3. 결 론

- 2012년도 부산지역 누적강수량 1,983 mm로 평년(1,519) 및 전년(1,479)대비 증가함.
- 2012년 산성강하물 측정망 pH는 4.6을 나타내어, 전년 pH 4.9 대비 강우산도 다소 증가하였음. 지점별 연평균 pH는 광안 4.5, 광복 4.7, 학장 4.8, 기장 4.5로 나타났음.
- 전년대비 이온성분농도, 습성강하물 침착량이 대부분 증가하였으며, 특히  $\text{Na}^+$  와  $\text{Cl}^-$  가 해양의 영향으로 높게 나타났음.
- 지점별 이온성분농도는 기장>광복>학장>광안의 순으로 나타났으며, 기장에서  $\text{Na}^+$  와  $\text{Cl}^-$  가 높게 나타나면서 이온성분농도가 증가하였음. 또한 1월에서 5월까지 이온성분농도가 다소 높게 나타났으며, 이는 봄철 대기 중 부유물질 증가에 의한 것으로 판단됨.
- 습성강하물 침착량은 광복>기장>광안>학장 순으로 나타났으며, 월별 습성강하물 침착량은 3, 4, 7, 9월에 다소 높은 수준을 1, 2, 5, 6월에 낮은 수준을 나타내었음. 7월은 이온성분농도가 낮으나, 강수량이 높아 침착량이 증가하였음.