

## 산성강하물 측정망 운영

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

### 1. 조사개요

- 조사기간 : 2011년 1월 ~ 12월
- 조사지점

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

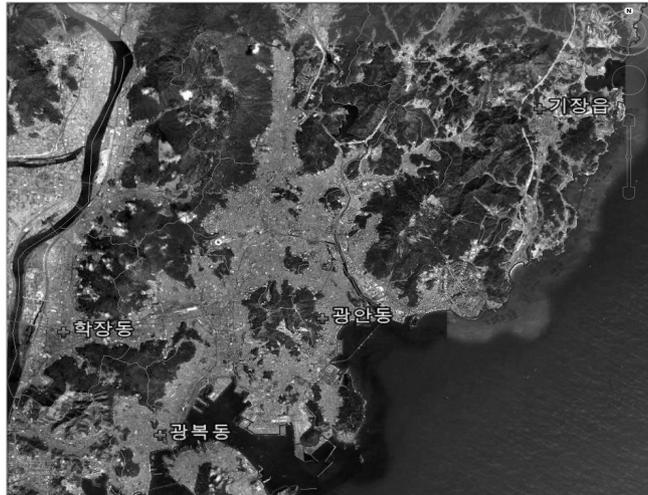


그림 1. 산성강하물 측정망 위치도

- 조사항목 : 강수량, pH,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$

### 2. 조사결과

- 강수량 현황
  - ▷ 2011년 부산지역의 누적 강수량은 1,479 mm로 2010년(1,442 mm)보다 37 mm 감소하였고, 평년 강수량(1981~2010년 30년간 평균치)인 1,519 mm 보다 40 mm 증가하

였음. 이러한 차이는 3 % 이내로 2011년 부산지역 강수량은 평년 및 전년과 비슷한 수준을 나타내었음.

▷ 2011년에는 7월에 평년보다 많은 비가 내렸으며, 8월과 9월에 평년보다 적은 비가 내렸음.

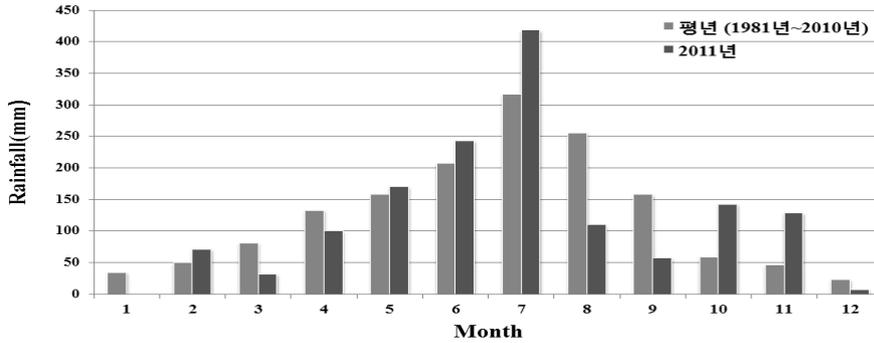


그림 2. 평년 및 2011년 월별 강수량 현황

○ 연도별 pH 추이

▷ 2011년 산성강하물 측정망 pH는 4.9를 나타내었으며, 전년 pH 4.7 대비 강우산도가 다소 감소하였음.

▷ 연평균 pH는 4.6~5.0의 분포도를 나타내고 있으며, 지점별로 다소 차이를 나타내고 있음.

표 1. 조사지점별 연평균 pH 추이

연도	광안동	광복동	학장동	기장읍	연평균
2001	5.0	4.9	5.1	5.0	5.0
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

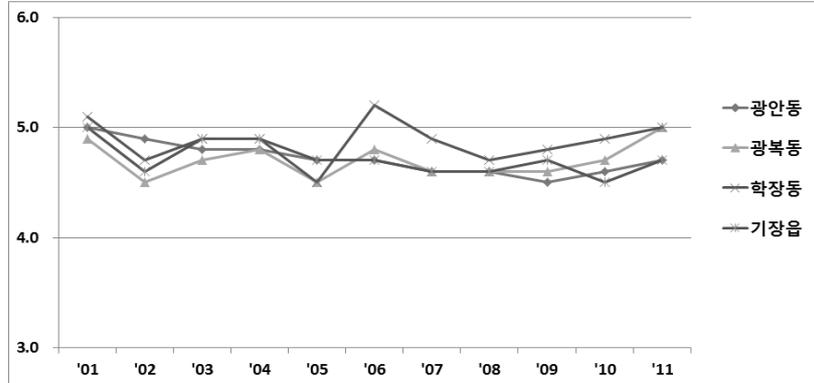


그림 3. 지점별 연평균 pH 추이

○ 월별·지점별 pH 현황

- ▷ 2011년도의 가중평균 pH는 4.9로 전년 대비 0.2 증가하였으며, 월평균 pH는 4.3~5.2의 범위를 나타내었음.
- ▷ 지점별 연평균 pH는 광안 4.7, 광복 5.0, 학장 5.0, 기장 4.7로 나타났으며 월별 pH는 광안 4.3~5.1, 광복 4.5~5.8, 학장 4.3~5.8, 기장 4.0~5.6의 범위를 나타내었음.
- ▷ 2월의 pH가 4.3으로 강우산도가 가장 높았으며, 7월 pH가 5.2로 강우산도가 가장 낮게 나타났음. 1월에 강우가 오지 않아 2월 강우산도가 가장 높게 나타나고, 7월에는 강수량이 가장 높아 강우산도가 가장 낮게 나타난 것으로 판단됨.

표 2. 2011년 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	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0
2월	4.3	61.0	4.5	72.5	4.3	46.5	4.1	65.5	4.3	61.4
3월	4.3	29.0	4.8	31.0	4.9	23.5	4.8	27.5	4.6	27.8
4월	4.6	103.5	5.0	99.0	5.4	121.0	5.0	20.5	4.9	86.0
5월	4.8	177.5	5.8	167.5	5.7	108.5	4.5	146.5	4.9	150.0
6월	4.6	204.5	4.8	202.0	4.7	237.0	5.5	238	4.6	220.6
7월	4.9	400.0	5.4	418.0	5.6	333.0	5.5	229.5	5.2	345.1
8월	4.8	119.0	5.2	117.0	5.0	107.5	4.0	76.5	4.5	105.0
9월	4.6	49.5	4.7	56.5	5.0	63.0	5.0	57.5	4.8	56.6
10월	4.9	131.5	5.1	108.5	5.4	132.5	4.9	102.5	5.1	118.8
11월	4.8	134.0	5.0	128.0	5.2	137.5	-	19.5	4.9	118.8
12월	5.1	7.0	5.7	7.0	5.8	6.5	5.6	14.0	4.9	6.9
평균	4.7	1409.5	5.0	1407	5.0	1316.5	4.7	997.5	4.9	1297.0

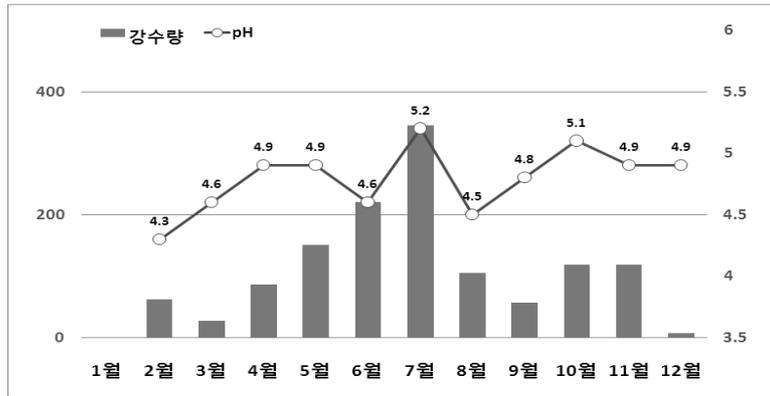


그림 4. 2011년 산성강하물 측정망 월별 pH 및 강수량 현황

○ 주요 대도시의 pH

- ▷ 환경부에서는 산성강하물의 침적량을 파악하기 위해 80~100 km 간격의 격자로 나누어 전국 40개소에 산성강하물 측정망을 운영하고 있음.
- ▷ 표 3에는 주요도시의 2010년 강수량에 따른 pH 가중평균을 나타낸 것으로 한반도 지역의 평균 pH는 4.8로 나타났음.
- ▷ 전지역 pH는 4.4~5.9의 범위로 지역별, 계절별 다소 차이를 나타냄.

표 3. 주요 도시의 연평균 pH (2010년 대기환경연보)

No.	지점	pH	No.	지점	pH
1	서울(불광동)	4.6	5	부산(덕천동)	4.5
2	인천(구월동)	5.0	6	광주(농성동)	5.4
3	대전(구성동)	4.8	7	울산(성남동)	4.6
4	대구(지산동)	4.5	8	제주(고산리)	5.4

○ 연도별 이온성분농도 추이

- ▷ 2011년 강우의 주요 이온성분별 평균농도(표 4)를 살펴보면  $SO_4^{2-}$  1.574 mg/L,  $NO_3^-$  1.008 mg/L,  $Cl^-$  0.993 mg/L,  $Na^+$  0.494 mg/L,  $K^+$  0.069 mg/L,  $Ca^{2+}$  0.331 mg/L,  $Mg^{2+}$  0.096 mg/L,  $NH_4^+$  0.479 mg/L 로 전년 대비  $Na^+$ ,  $K^+$  항목을 제외한 항목 농도가 다소 증가하였음.
- ▷ 음이온은  $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$ 의 순으로, 양이온은  $Na^+ > NH_4^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$ 의 순으로 나타났음.
- ▷ 연도별 평균 이온성분농도(그림 5)를 살펴보면, 2007년 이후로 감소하는 경향을 나타내다가 2011년 다소 상승한 경향을 보임. 또한 강수량이 비교적 적었던 연도에는 이온성분 농도가 다소 높게 나타나고 있는 경향을 나타냄.

표 4. 연도별 평균 이온농도(mg/L)

연도 \ 항목	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	비 고
2001	3.021	1.710	2,320	1,340	0.354	0.745	0.235	0.520	광안동지점
2002	2.092	1.188	1,509	1,059	0.095	0.355	0.168	0.308	"
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	광안동지점
2011	1.574	1.008	0,993	0,494	0.069	0.331	0.096	0.479	4개지점

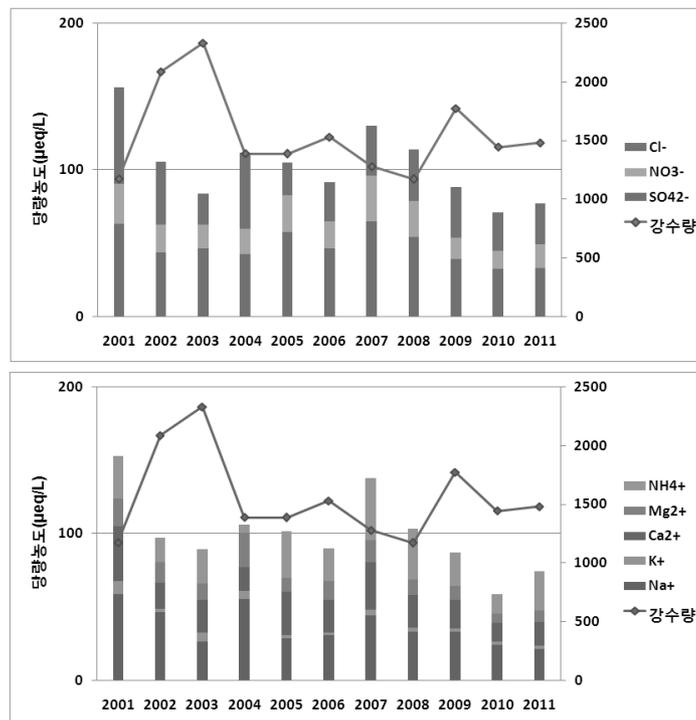


그림 5. 연도별 이온성분농도 추이 (mg/L)

○ 2011년 이온성분농도 분석

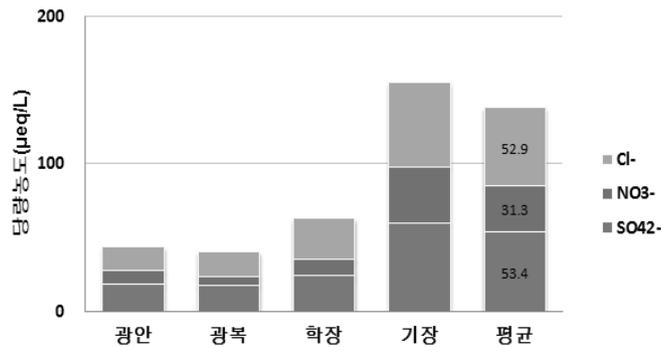
- ▷ 2011년 이온성분농도는 기장>학장>광복>광안의 순으로 나타났음. 그림 6을 살펴보면 특히 8월에 기장을 측정소의 이온성분농도가 높게 나타나고 있는데, 이는 8월 19~21일 기장지역에 이온성분농도가 높은 강우(pH 3.7)에 의한 것으로 판단됨. 이 기간에는 북풍에 의해 울산지역 오염원 영향을 받아 농도가 높게 나타났던 것으로 판단됨.
- ▷ 월별 산성강하물 이온성분농도는 4월에 가장 높은 수준을 6월에 가장 낮은 수준을 나타냄. 강수량이 적은 달은 이온성분농도가 다소 높고, 강수량이 많은 달은 이온성분농도가 다소 낮은 경향을 보임.

표 5. 2011년 지점별 이온성분농도

( $\mu$  eq/L)

지점	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	28.1	13.5	22.1	63.8	19.1	17.2	1.4	12.5	6.0	15.5	71.7
광 복	29.5	12.1	26.9	68.5	9.0	20.1	1.7	16.7	7.2	28.4	83.1
학 장	32.0	16.1	29.6	77.6	9.1	21.0	1.8	18.7	9.0	28.3	87.9
기 장	45.1	26.4	37.1	108.5	20.6	31.5	2.5	18.6	10.0	37.5	120.6

음이온



양이온

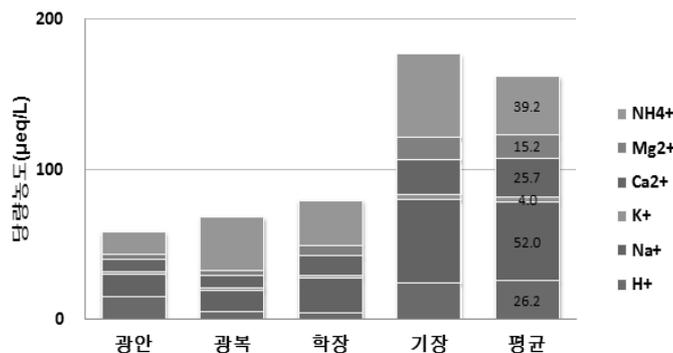


그림 6. 2011년 지점별 이온성분농도

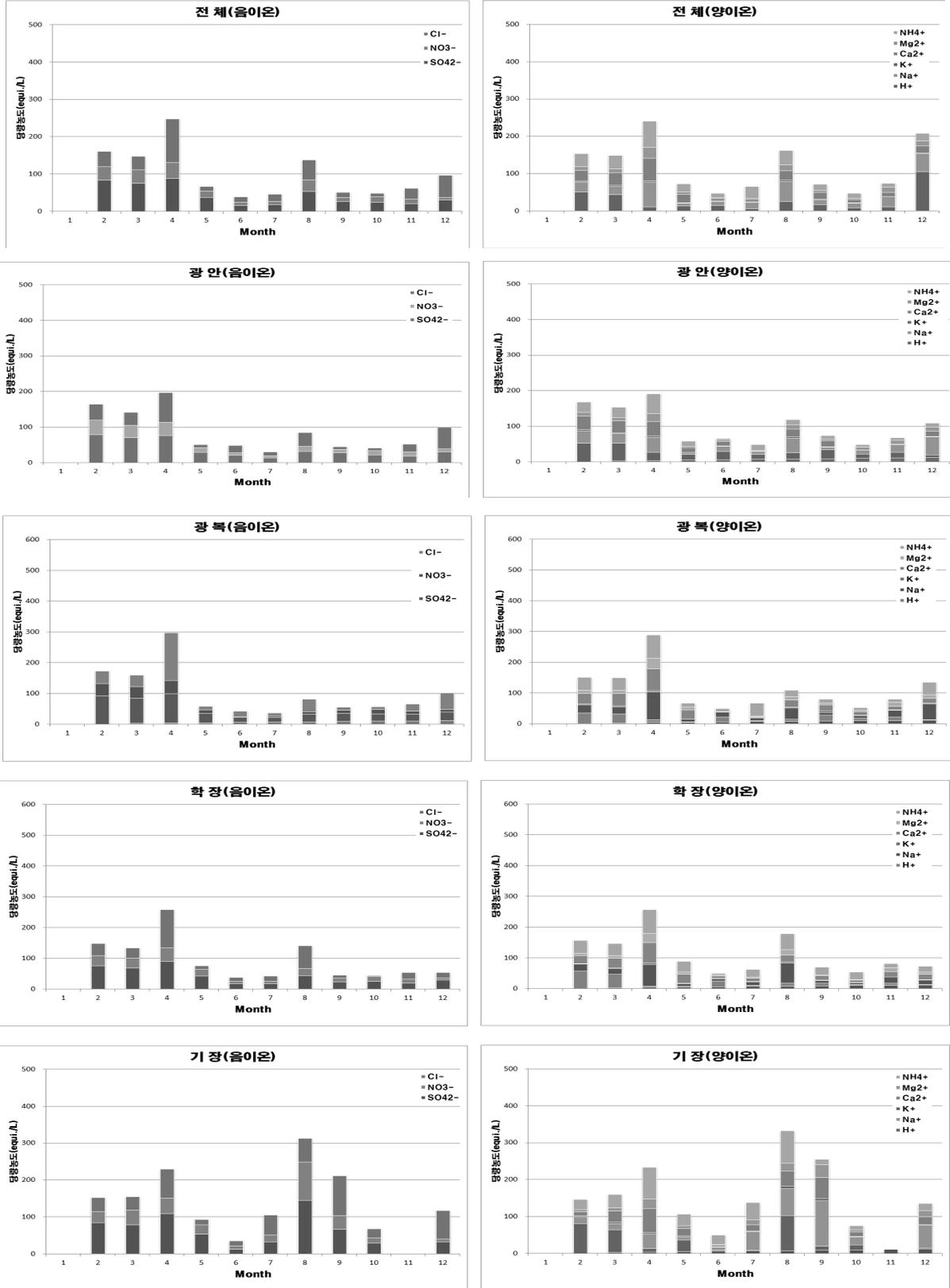


그림 7. 2011년 월별 지점별 이온성분농도.

○ 비해염 농도 특성

- ▷ 강우의 pH를 낮게 하는  $\text{SO}_4^{2-}$  는 해양과 비해양 기원으로 나눌 수 있음.
- ▷  $\text{Na}^+$  기준에 의한 방법으로 비해양 유래 성분을 산정하였음. 이는 강우중에 함유된  $\text{Na}^+$  량을 모두 해양기원으로 하고, 해양에서 유래한 성분농도 비율은 해양-대기(구름)-강우중으로 변화하지 않는다는 가정하에서 산출한 것임.
- ▷ 지점별 비해양기원  $\text{SO}_4^{2-}$  연평균 비율은 광안동 92.7 %, 광복동 92.5 %, 학장동 91.9 %, 기장읍 91.9 %로 나타나 기장읍과 학장동 가장 낮게, 광안동이 가장 높게 나타났음. 그러나 연평균 비율 차이는 크게 나타나지 않았음.
- ▷ 월별 비해양기원  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 비율은 광안동 80.2~97.8 %, 광복동 77.6~96.9 %, 학장동 82.0~97.5 %, 기장읍 60.8~98.0 %의 범위를 나타냄. 기장읍의 경우 비율 차이가 가장 크게 나타나, 인위적인 오염원 비율 변동 폭이 가장 큰 것으로 나타났음.
- ▷ 월별 비해양기원  $\text{SO}_4^{2-}$  는 5월에 가장 높은 비율을, 11, 12월에 낮은 비율을 보임. 따라서 5월에  $\text{SO}_4^{2-}$  의 인위적인 오염원 비율이 가장 높게 나타났음.

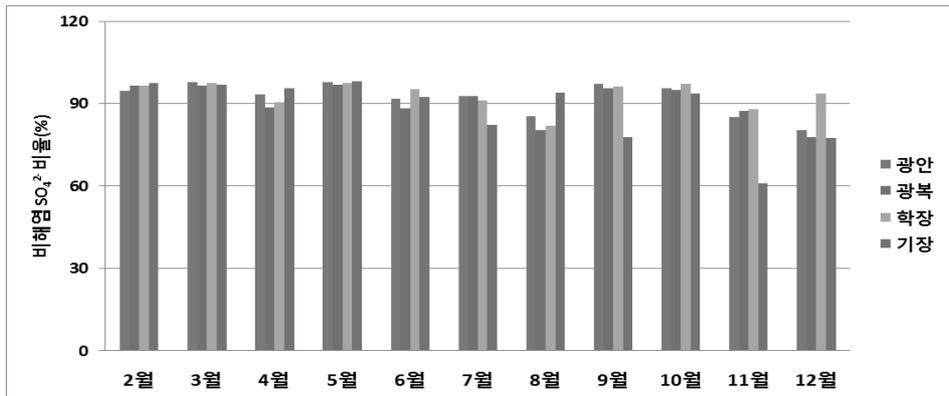


그림 8. 월별 nss- $\text{SO}_4^{2-}$ 의 비율(%) 추이

○ 연간 습성강하물 침적량

- ▷ 부산지역의 연간 습성강하물 침적량은 총 음이온이  $5.351 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$  및 총 양이온이  $2.219 \text{ gm}^{-2}\text{yr}^{-1}$  으로 음이온/양이온 비율은 2.41로 전년도의 2.03보다 높게 나타났음.

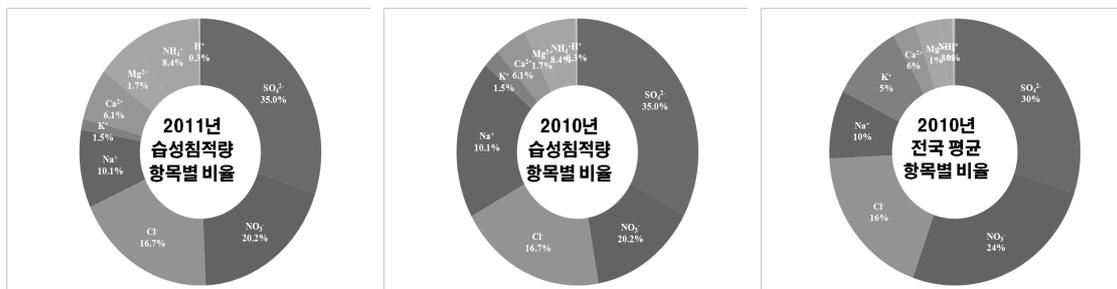


그림 9. 습성강하물 항목별 비율

- ▷ 표 6에 항목별 연간 침적량을 나타내었으며, 항목별 침적량( $gm^{-2}yr^{-1}$ )은  $SO_4^{2-}$  2,356,  $NO_3^-$  1,509  $Cl^-$  1,487,  $Na^+$  0.739,  $K^+$  0.104,  $Ca^{2+}$  0.495,  $Mg^{2+}$  0.143,  $NH_4^+$  0.718,  $H^+$  0.021 으로 나타남. 음이온 중에는  $SO_4^{2-}$ 의 침적량이 가장 많았으며, 양이온 중에는  $Na^+$ 의 침적량이 가장 많은 것으로 분석됨.
- ▷ 2011년 습성강하물 침적량은 전년 대비 다소 감소하였음. 지점별로 살펴보면 기장읍이 가장 높은 수준을 광안동이 가장 낮은 수준을 나타내었으며, 이는 이온성분농도 패턴과 동일한 것으로 나타났음.
- ▷ 환경부 산성강하물측정망의 2010년 전국 습성강하물 침적량을 비교한 결과, 2011년 부산지역 습성강하물 침적량은 다소 낮은 수준을 보였음.

표 6. 연간 습성강하물 침적량 ( $gm^{-2}yr^{-1}$ )

구 분	음이온				양이온						
	$SO_4^{2-}$	$NO_3^-$	$Cl^-$	합계	$Na^+$	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$NH_4^+$	$H^+$	합계
광 안	1,674	1,045	0,961	3,680	0,481	0,066	0,310	0,090	0,346	0,024	1,317
광 북	2,083	1,102	1,399	4,584	0,679	0,095	0,493	0,129	0,752	0,013	2,161
학 장	2,271	1,474	1,551	5,296	0,713	0,105	0,553	0,163	0,755	0,013	2,302
기 장	2,950	2,233	1,746	6,929	0,960	0,132	0,510	0,163	0,917	0,028	2,710
<b>2011년</b>	<b>2,356</b>	<b>1,509</b>	<b>1,487</b>	<b>5,351</b>	<b>0,739</b>	<b>0,104</b>	<b>0,495</b>	<b>0,143</b>	<b>0,718</b>	<b>0,021</b>	<b>2,219</b>
2010년	4,319	1,895	2,609	8,823	2,529	0,297	0,570	0,245	0,663	0,038	4,342
'10년(전국)	3.40	2.88	2.13	8.41	0.94	1.06	0.34	0.38	0.16	0.04	2.92

\*. 침적량 산정방법 : 강수 중 성분별 농도(mg/L) × 강우량 (mm) / year =  $gm^{-2}yr^{-1}$

- ▷ 2006년부터 습성강하물 침적량을 비교한 결과, 증감을 반복하고 있으며, 2008년부터 침적량이 상승하는 경향을 보이다가 2011년 낮아진 패턴을 보여주었음.

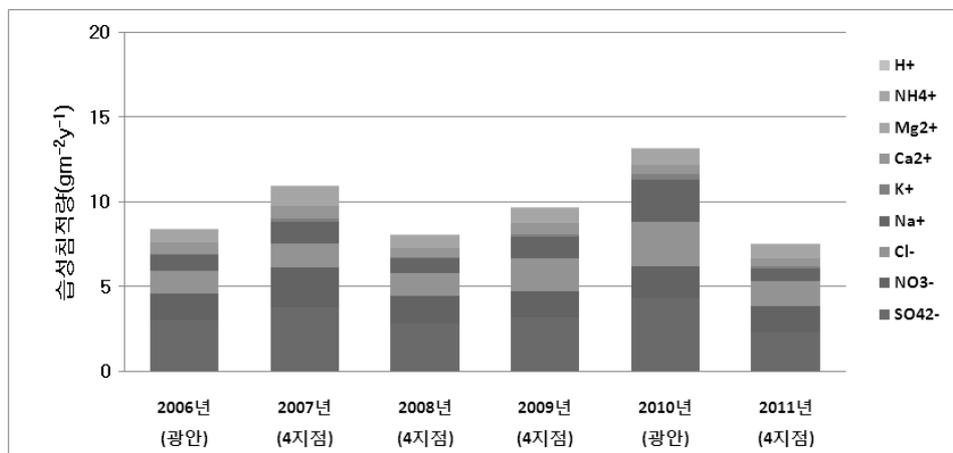


그림 10. 습성강하물 침적량 연도별 비교

▷ 주요이온성분의 월별 습성강하물 침적량은 그림 11과 같으며 4월, 7월, 8월에 다소 높은 수준을 3월, 9월, 12월에 낮은 수준을 나타내었음. 7월은 강수량 증가에 따라 침적량이 증가하였으며, 4월과 8월은 높은 농도의 이온성분을 함유한 강우의 영향인 것으로 판단됨.

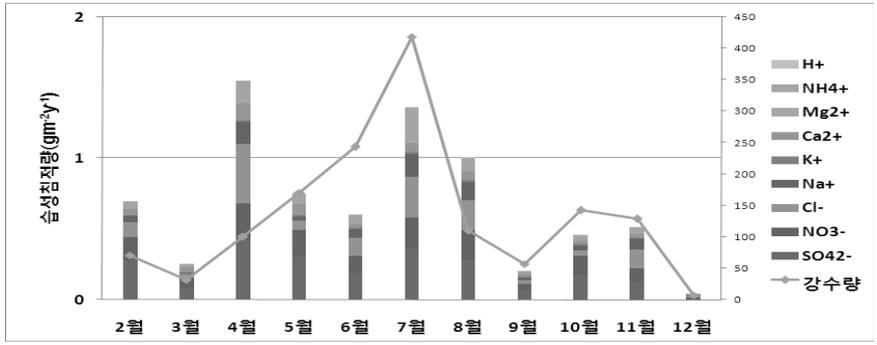


그림 11. 2011년 월별 습성강하물 침적량 추이

### 3. 결론

- 2011년도 부산지역 누적강수량 1,479 mm로 평년 강수량(1981~2010년 30년간 평균치: 1,519 mm)과 유사함.
- 2011년 산성강하물 측정망 pH는 4.9를 나타내어, 전년 pH 4.7 대비 강우산도 다소 감소하였음. 지점별 연평균 pH는 광안 4.7, 광복 5.0, 학장 5.0, 기장 4.7로 나타났음.
- 월별 산성강하물 이온성분농도는 4월에 가장 높은 수준을 6월에 가장 낮은 수준을 나타냄. 강수량이 적은 달은 이온성분농도가 다소 높고, 강수량이 많은 달은 이온성분농도가 다소 낮은 경향을 보임.
- 지점별 이온성분농도는 기장>학장>광복>광안의 순으로 나타났음. 특히 8월에 기장읍 측정소의 이온성분농도가 높게 나타나고 있었는데, 이는 8월 19~21일 기장지역에 이온성분이 높은 강우(pH 3.7)에 의한 것으로 판단됨. 이 기간에는 북풍에 의해 울산지역 오염원 영향을 받아 농도가 높게 나타났던 것으로 판단됨.
- 월별 비해양기원  $SO_4^{2-}$ 의 비율은 광안동 80.2~97.8 %, 광복동 77.6~96.9 %, 학장동 82.0~97.5 %, 기장읍 60.8~98.0 %의 범위를 나타냄. 기장읍의 경우 비율 차이가 가장 크게 나타나, 인위적인 오염원 비율 변동 폭이 가장 큰 것으로 나타났음.
- 월별 습성강하물 침적량은 4월, 7월, 8월에 다소 높은 수준을 3월, 9월, 12월에 낮은 수준을 나타내었음. 7월은 강수량 증가에 따라 침적량이 증가하였으며, 4월과 8월은 높은 농도의 이온성분을 함유한 강우의 영향인 것으로 판단됨.