

산성강하물 측정망 운영

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

1. 조사개요

- 조사기간 : 2014년 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^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}

2. 조사결과

○ 강수량 현황

- 2014년 부산지역의 누적 강수량은 1,693 mm로 2013년(1,133 mm)대비 560 mm 증가, 평년 강수량(1981~2010년 30년간 평균치)인 1,519 mm 대비 174 mm 증가하였음.
- 2014년에는 전년도와 비교하여 하절기인 6~7월의 강수량은 감소하였으나, 총 강수량의 1/3 이상(642 mm)이 8월에 집중되는 경향을 나타냄.
- 지역별 강수량은 표 2에서와 같이 광복동 1,693.1 mm, 기장읍 1,668.5 mm, 광안동 1,633.3 mm, 학장동 1,631.8 mm 순으로 나타났으며, 전년 대비 지역별로 고른 강수량 분포를 나타내는 것으로 조사

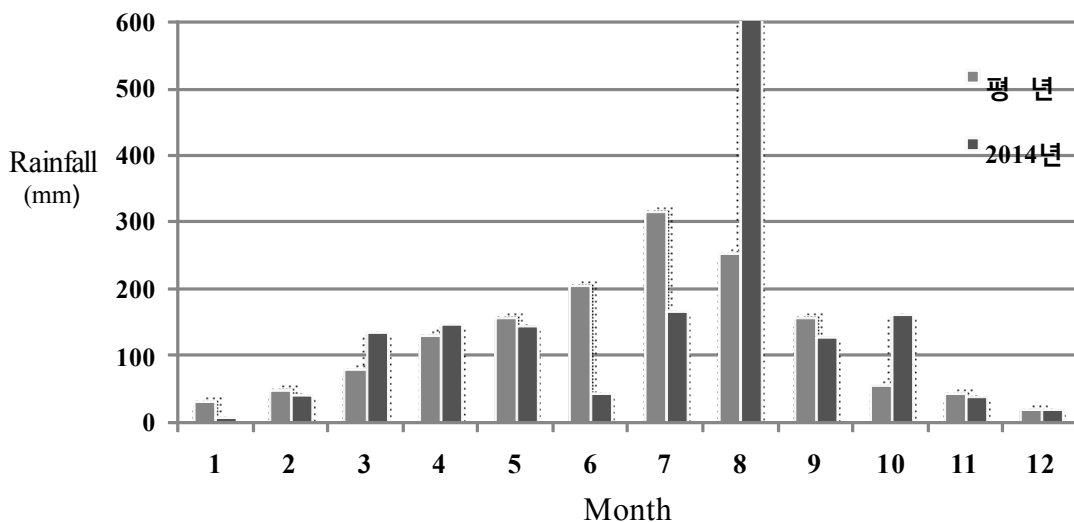


그림 2. 2014년 및 평년 월별 강수량 현황

○ 연도별 pH

- 2014년 산성강하물 측정망 pH(가중평균)는 5.0을 나타내었으며, 전년도와 동일한 강우산도를 나타냄.
- 2005년부터 2014년까지 연평균 산성강하물 pH는 4.6 ~ 5.0의 분포를 나타내고 있으며, 지점별로는 4.5 ~ 5.6의 범위를 보였음.
- 최근 10년 대비 '13 ~ '14년도 연평균 pH 농도가 5.0으로 증가한 원인으로는 양이온 중 칼슘이온의 농도 증가
 - 일반적인 pH 증가 원인으로 양이온 농도 증가로 알려져 있음.
 - 강수의 이론적 pH는 5.6으로 알려져 있으나 '90년도 이후로 5.0으로 보는 추세
 - ▷ 주거지역에 위치한 광안동 및 기장읍 지점의 최근 10년간 평균 강우산도 비교결과 표 1과 같이 대부분 일치하는 경향을 나타냄.

표 1. 조사지점별 연평균 pH 추이

연 도	광안동	광북동	학장동	기장읍	연평균
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
2013	4.8	5.5	5.1	4.8	5.0
2014	4.8	5.6	5.2	4.8	5.0

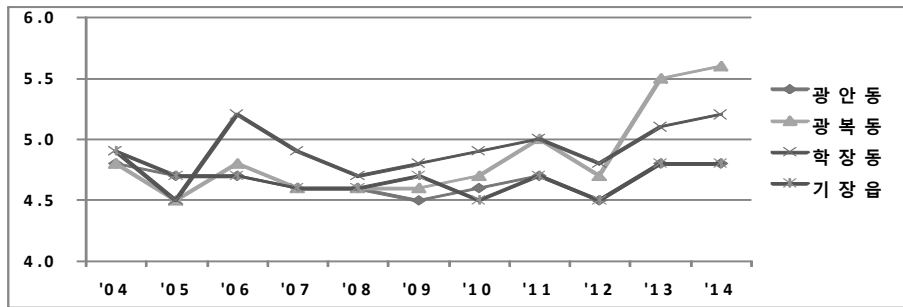


그림 3. 지점별 연평균 pH 추이

○ pH 월별·지점별 현황

- '14년도 산성강하물의 가중평균 pH는 5.0으로 조사되었으며, 월평균 pH는 4.1 ~ 6.3으로 다소 넓은 분포를 보임.
- 지점별 연평균 pH는 광안 4.8, 광북 5.6, 학장 5.2, 기장 4.8로 나타났으며 월별 pH 범위는 학장동 지점이 4.8~6.3으로 타 지점 대비 넓은 분포를 나타냄.
- 6월 및 9월 중 pH는 4.7로 강우산도가 가장 높았으며, 1월에 pH 5.5로 가장 낮았음.

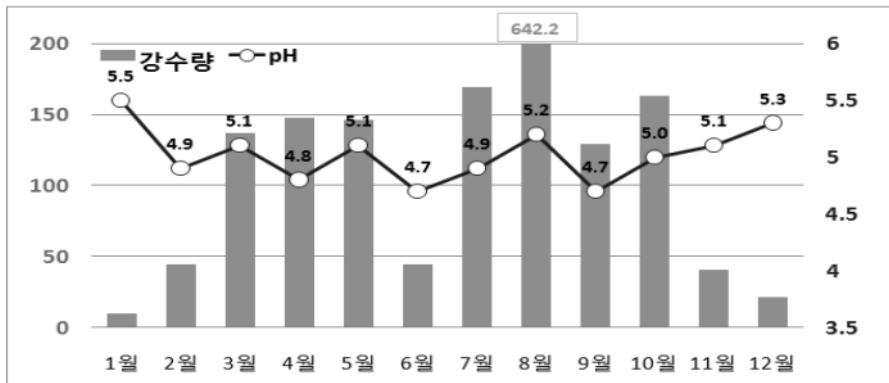


그림 4. 2014년 산성강하물 측정망 월별 pH 및 강우량 현황

표 2. 2014년 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	5.3	10.5	6.2	9.6	6.3	7.5	5.4	10.5	5.5	9.3
2월	4.7	53.0	6.1	44.1	5.6	35.5	4.1	110.0	4.9	60.8
3월	4.9	140.3	6.0	136.7	5.6	115.4	4.9	135.0	5.1	134.3
4월	4.7	157.0	5.6	147.8	4.8	93.5	4.6	175.5	4.8	143.5
5월	4.8	144.5	5.6	145.9	5.2	102.0	5.0	107.0	5.1	124.9
6월	4.6	29.5	5.2	44.5	5.2	32.0	4.4	41.5	4.7	36.9
7월	4.7	174.0	5.5	169.3	5.3	141.5	4.5	121.0	4.9	151.5
8월	5.0	598.5	5.7	642.2	5.2	808.9	5.1	646.5	5.2	674.0
9월	4.5	114.0	5.7	128.7	4.9	125.0	4.5	144.0	4.7	127.9
10월	4.8	149.0	5.6	162.5	4.9	114.0	4.9	100.7	5.0	126.6
11월	4.9	45.5	5.7	40.5	5.9	42.0	4.8	62.8	5.1	47.7
12월	4.9	17.5	6.1	21.3	6.3	14.5	5.2	14.0	5.3	16.8
평균	4.8	1633.3	5.6	1693.1	5.2	1631.8	4.8	1668.5	5.0	1656.7

○ 주요 도시별 pH 현황

- Table 3에는 전국 주요 도시의 '13년도 강수량에 따른 pH 가중평균을 나타낸 것으로 한 반도 지역의 평균 pH는 5.0이었음.
- 주요 도시별 연간 pH는 4.4 ~ 5.4의 범위를 나타내고 있으며, 지역별로는 수도권 인근 지역의 pH가 다소 낮은 것으로 조사
- 전국 주요 도시 대비 부산지역 강수의 연평균 pH는 전년과 동일하게 평균 수준임.
※ 환경부에서는 산성강하물의 침착량 파악 등을 위하여 한반도를 80~100 km 간격의 격자로 나누어 전국 40개소에 산성강하물 측정망 운영 중

표 3. 주요 도시의 연평균 pH (2013년 대기환경연보)

No.	지 점	pH	No.	지 점	pH
1	서울(불광동)	4.4	5	부산(덕천동)	4.9
2	인천(구월동)	4.4	6	광주(농성동)	5.2
3	대전(구성동)	4.8	7	울산(성남동)	5.1
4	대구(자산동)	5.0	8	제주(고산리)	5.4

○ 이온성분 농도

- '14년도 강수의 주요 이온성분별 평균농도(Table 4)를 살펴보면 SO_4^{2-} 2.265 mg/L, NO_3^- 1.257 mg/L, Cl^- 1.585 mg/L, Na^+ 0.789 mg/L, K^+ 0.146 mg/L, Ca^{2+} 0.666 mg/L, Mg^{2+} 0.097 mg/L, NH_4^+ 0.374 mg/L로 전년 대비 강수량의 증가로 Ca^{2+} 을 제외한 모든 항목에서 농도 감소 경향을 보임.

- 이온성분 농도($\mu\text{eq/L}$) 기준으로 음이온은 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 순으로, 양이온은 $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 의 순으로 조사됨.
- 연도별 이온성분농도(Fig. 5)를 살펴보면, 2007년 이후로 감소하는 경향을 보이다가 2011년부터 증가하는 경향을 보임.

표 4. 연도별 산성강하물 평균 이온농도(mg/L)

항목 연도	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	비 고
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	2.202	1.168	2.228	1.109	0.117	0.554	0.170	0.419	"
2013	2.388	1.302	1.910	0.902	0.229	0.606	0.133	0.563	"
2014	2.265	1.257	1.585	0.789	0.146	0.666	0.097	0.374	"

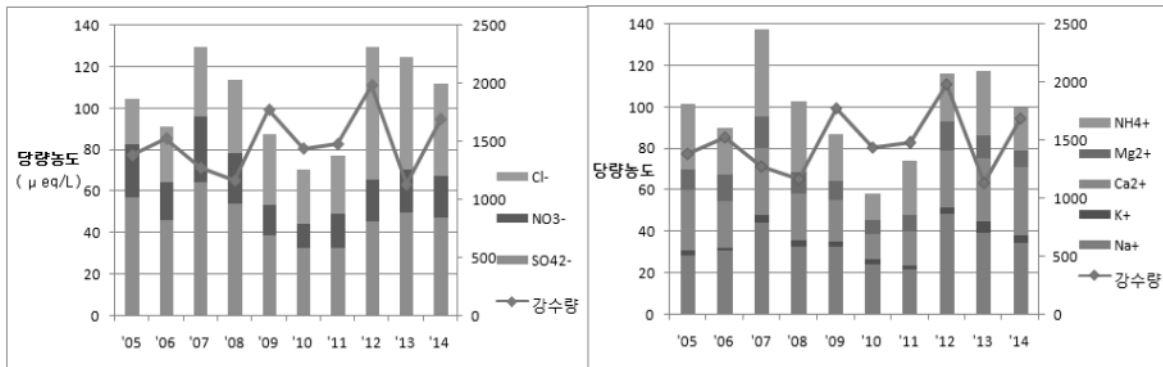


그림 5. 연도별 산성강하물 이온성분농도 추이

○ 2014년 이온성분농도 분석

- 2014년 이온농도는 음이온 농도 기준으로 광복<기장>광안<학장>의 순으로 나타났으며, 광복동 및 기장읍 지점의 총 이온농도가 다소 높은 경향을 보였음.
- 양이온 성분 중에서 pH 중화물질로 알려진 Ca^{2+} 및 NH_4^+ 의 농도는 강우산도가 낮은 광복동 및 학장동 지점에서 높게 나타남.
- 월별 산성강하물 이온성분 농도는 전년도와 유사하게 강우량이 감소하는 동절기에 높은 경향을 보였으며, 특히 12월의 농도가 가장 높았음.

표 5. 2014년 지점별 이온성분농도

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

지점	음이온				양이온						
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	합계	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	H^+	합계
광안	42.6	18.9	40.9	102.4	32.0	3.1	17.6	7.5	15.0	15.2	90.5
광복	56.7	23.1	55.2	134.9	42.0	4.4	59.6	10.2	19.5	2.2	138.0
학장	38.4	20.1	28.7	87.3	21.4	3.0	29.3	5.4	26.0	6.9	92.0
기장	50.6	18.9	53.4	122.9	41.3	4.4	25.5	8.7	22.0	15.8	117.7

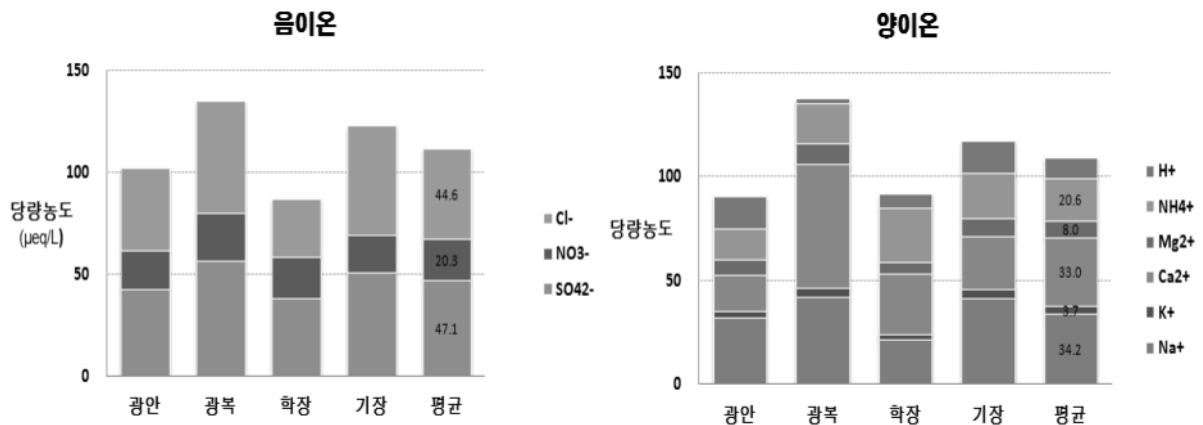


그림 6. 2014년 산성강하물 지점별 이온성분농도

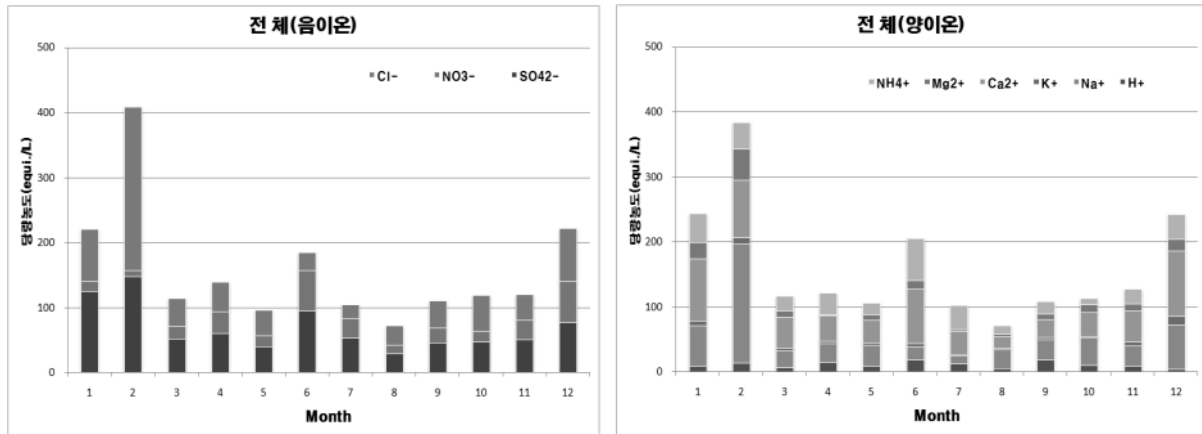


그림 7. 2014년 월별 이온성분농도

○ 비해양기원 이온 현황

- 2014년도 비해양기원 SO_4^{2-} 와 Ca^{2+} 연평균 비율은 각각 91.3 %, 95.5 %이며 전년도 90.5 %, 94.3 % 대비 다소 증가한 것으로 나타남.

- 지점별 비해양기원 SO_4^{2-} 연평균 비율은 광안동 91.0 %, 광복동 91.1 %, 학장동 93.3 %, 기장읍 90.2 %로 고른 분포를 나타냄.
- 4개 운영지점 중 기장읍은 비해양기원 SO_4^{2-} 의 비율이 90.2 %로 낮게 나타나 인위적 오염원 비율이 상대적으로 높음.
- 최근 3년간 비해양기원 SO_4^{2-} 연평균 비교결과 지속적으로 증가하는 것으로 나타남.
 - ※ 산성강하물에는 오염물질 외 해양기원물질도 포함되어, 산성강하물 농도 평가 시 해양에 의한 영향 고려 필요
 - ※ 비해양기원 성분 산출 항목으로 SO_4^{2-} 와 Ca^{2+} 가 있으며, Na^+ 기준에 의한 방법으로 비해양기원 성분을 산정

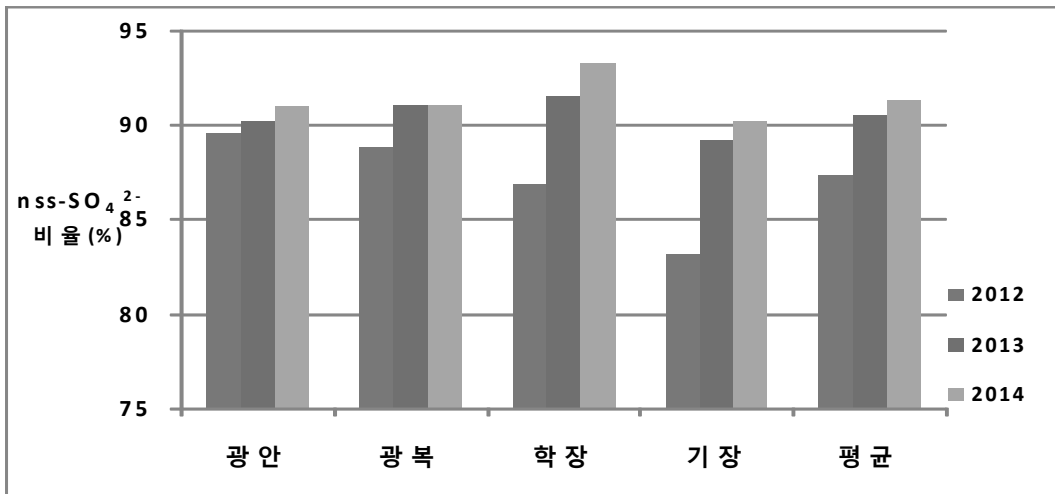


그림 8. 년도별 nss-SO₄²⁻ 비율(%) 추이 (nss; non sea salt)

○ 습성강하물 침착량

- 부산지역의 '14년 습성강하물 침착량은 총 음이온이 8.433 gm⁻²yr⁻¹ 및 총 양이온이 3.432 gm⁻²yr⁻¹ 으로 전년 대비 증가하였고, 음이온/양이온 비율도 2.46으로 전년도의 2.30 대비 증가하였음.
 - ※ 이온성분의 연간 습성강하물 침착량은 강수량 기중 연평균 농도에 각 지점별 연간 강수량을 곱하여 산출
 - ※ 부산지역 연간 습성강하물 침착량은 각 지점의 연간 습성강하물 침착량에 대한 산술평균치로 계산
- 표 7에 항목별 연간 침착량을 나타내었으며, 음이온 중에서는 SO_4^{2-} , 양이온 중에서는 Na^+ 의 침착량이 가장 많은 것으로 분석됨.
- '14년 습성강하물 침착량은 지점별로는 광복>기장>광안>학장 순으로 나타났으며, 최근 4년간 침착량 비교결과 강수량 증가 시 침착량도 증가하는 것으로 나타남.

표 6. 2014년 지점별 이온성분농도

구 분	2011년	2012년	2013년	2014년
강수량(mm)	1,479	1,983	1,133	1,693
습성강하물량(gm ⁻² yr ⁻¹)	7.57	14.36	5.52	11.87

- 2013년 전국 습성강하물 침착량(환경부 자료)과 비교한 결과, '14년도 부산지역 습성강하물 침착량은 음이온의 비율이 다소 높은 경향을 보임.

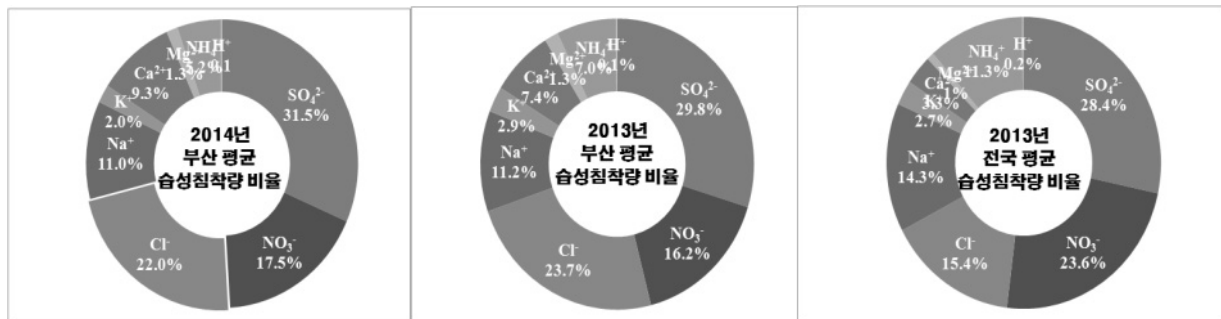


그림 9. 습성강하물 침착량 항목별 비율

표 7. 연간 습성강하물 침착량

(gm⁻²yr⁻¹)

구 분	음이온				양이온						
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	합계	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	H ⁺	합계
광 안	3,338	1,907	2,366	7,612	1,202	0,200	0,571	0,148	0,444	0,025	2,590
광 북	4,566	2,405	3,280	10,252	1,620	0,287	2,004	0,207	0,597	0,004	4,718
학 장	3,006	2,036	1,659	6,702	0,802	0,188	0,960	0,108	0,766	0,011	2,835
기 장	4,057	1,958	3,152	9,168	1,578	0,286	0,856	0,176	0,663	0,026	3,586
2014년	3,742	2,077	2,615	8,433	1,301	0,240	1,098	0,160	0,618	0,017	3,432
2013년	2,357	1,285	1,876	5,518	0,887	0,226	0,586	0,129	0,557	0,011	2,396
2013년 (전국)	3.10	2.58	1.68	7.36	1.56	0.30	0.36	0.09	1.24	0.02	3.57

* 강수량은 AWS 기준으로 산출

- 2008년부터 습성강하물 침착량을 비교한 결과, '08년부터 '10년까지 침착량이 증가하는 경향을 보이다가 2011년 이후부터 증감을 반복하는 경향을 나타냄.

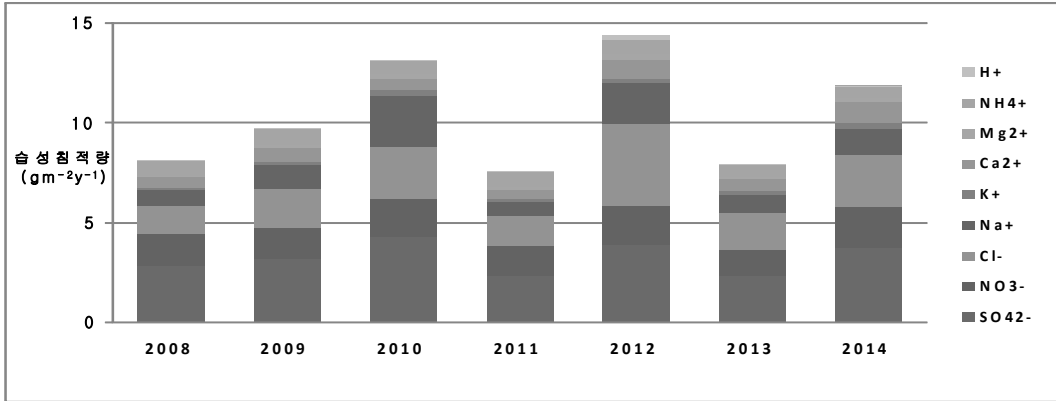


그림 10. 습성강하물 침착량 연도별 비교

- 주요이온성분의 월별 습성강하물 침착량은 그림 11과 같으며 1월에 가장 낮은 수준을, 집중호우가 발생한 8월에 가장 높은 수준으로 나타났음.

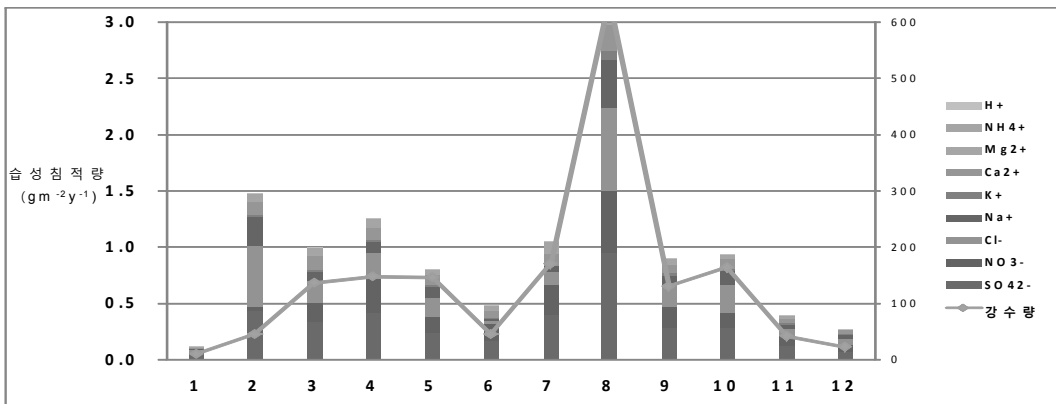


그림 11. 2013년 월별 습성강하물 침착량 추이

3. 결 론

- 2014년도 부산지역 누적강수량은 1,693 mm로 평년(1,519) 및 전년(1,133)대비 증가함.
- 2014년도 산성강하물 측정망 pH는 5.0으로 전년 강우산도와 동일함.
(광안동·기장읍 4.8, 학장동 5.2, 광복동 5.6)
- 전년대비 강수량의 증가로 Ca²⁺을 제외한 모든 항목에서 농도 감소 경향을 보임.
- 지점별 이온성분 농도는 광복>기장>광안>학장의 순으로 나타났으며, 강수량이 감소하는 동절기에 높은 것으로 나타남.
- 최근 3년간 비해양기원 SO₄²⁻ 이온의 연평균 비율을 비교한 결과 지속적으로 증가하는 것으로 나타남.
- 습성강하물 침착량은 총 음이온 8.433 gm⁻²yr⁻¹, 총 양이온 3.432 gm⁻²yr⁻¹으로 전년 대비 증가하였고 음이온/양이온 비율도 2.46으로 전년도 2.30 대비 증가하였음.