

한라수목원주차장 차량증가로 인한 대기오염이 수목원 식물에 미치는 영향분석

김종갑*, 이창호¹⁾

제주특별자치도 세계유산·한라산연구원, ¹⁾제주특별자치도 산림휴양정책과

요 약

1. 개요

가. 측정 장소 : 제주특별자치도 제주시 수목원길 72 한라수목원 주차장

나. 측정 일시 : 2015년 2월 16일 00:00 ~ 2월 25일 12:00

다. 측정 기관 : 제주특별자치도 보건환경연구원 대기환경과

라. 비교 측정소

- 연동 측정소 : 제주특별자치도 도청 제2청사 옥상
- 이도동 측정소 : 제주특별자치도 제주시청 옥상

2. 측정항목(4개)과 결과값

가. 아황산가스(SO₂)

아황산가스(SO₂)는 평균 0.003ppm, 국가 기준인 일평균 0.05ppm보다는 아주 적은 측정치를 보이고 있으며 주변의 연동측정소와 이도동 측정소의 값을 비교 아황산가스(SO₂)의 농도가 낮은 것으로 측정되었다.

나. 질소산화물(NO₂, NO_x, NO)

이산화질소는 평균 0.001ppm, 국가 기준인 일평균 0.06ppm보다는 아주 적은 측정치를 보이고 있다. 주변의 연동측정소와 이도동 측정소의 값을 비교

* 교신저자 ; 전화: 064-710-3557, e-mail: jakal3182@korea.kr

아황산가스 농도와 마찬가지로 아주 낮은 것으로 측정되었다.

다. 오존(O₃)

오존(O₃)은 평균 0.0271ppm, 국가 기준인 8시간 평균 0.06ppm보다는 아주 낮은 측정치를 보이고 있다. 주변의 연동측정소와 이도동 측정소치보다 낮은 것으로 측정되었다.

라. 일산화탄소(CO)

일산화탄소(CO)는 평균 0.0182ppm, 국가 기준인 8시간 평균 9ppm 보다는 아주 낮은 측정치를 보이고 있다. 주변의 연동측정소와 이도동 측정소치보다 낮은 것으로 측정되었다.

3. 기타의견

- 제주특별자치도에서는 「제주특별자치도 대기·수질·오수 및 폐기물관리 에 관한 조례」를 제정하여 관리하고 있으나 대기 부분을 마련되어 있지 않다
- 1993년에 개원한 이래 한라수목원에 대한 토양조사가 이루어지지 않아 향후 산성비, 토양, 식생변화 등과 연계한 종합적이고 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

서 론

1. 대기오염의 정의와 측정단위

세계보건기구(World Health Organization)에서는 '대기오염이란 대기중에 인공적으로 배출된 오염물질이 존재하여 오염물질량, 농도 및 지속시간에 따라 지역주민의 불특정 대다수에 불쾌감을 일으키거나 해당지역에 공중보건상의 위해를 미치고 인간이나 식물, 동물의 생활에 해를 미쳐서 인간생활과 재산을 향유할 정당한 권리를 방해받는 상태'라고 규정하고 있다. 대기오염물질 중 기체상태 오염물질의 농도는 ppm(parts per million)단위로 표현되는 것이

보통이다. 1ppm은 공기와 오염물질을 합한 전체로 10⁶중 오염물의 부피가 1인 경우의 농도를 뜻한다.

2. 대기오염물질의 종류와 대기환경기준

가. 대기오염물질의 종류

대기오염물질은 대기, 물, 토양 등을 오염시켜 생태계를 변화하게 하고 더 나아가서는 생물의 서식환경을 위협하여 사회적으로도 많은 문제를 야기하고 있다. 대기오염으로 인한 식물의 장애의 내용을 화학적으로 구분해 보면 표 1과 같다.

표 1. 대기오염물질의 종류

화학적 장애 종류	오염물질
산성장애	불화수소(HF), 염화수소(HCl), 황산화물(SO ₃ , SO ₂ , 황산미스트)
알칼리성장애	암모니아가스(NH ₃)
산화적 장애	오존(O ₃) 이산화질소(NO ₃) 염소(Cl ₂) PAN(peroxyacetyl nitrate) 및 동족체
환원적장애	아황산가스(SO ₂), 황화수소(H ₂ S)등
고체입자상물질	매진, 분진, 금속연기와 산화물, 부유입자상물질(Cd, Zn, Pb등)
산 성 비	산도 pH5.6이하인 경우

나. 대기환경기준

환경정책기본법에 의해 설정된 환경기준은 사람의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 유지하기 위한 환경정책의 목표치로서 환경개선을 위한 오염정도를 판단 예측하고 대책을 강구하는 척도로 사용되고 있다.

우리나라의 대기환경기준은 '78년에 최초로 아황산가스에 대해 설정한 이

래 2006년까지 5차 개정하였으며 현재 7개 항목에 대해 설정하고 있다.

제주특별자치도에서는 「제주특별자치도 대기·수질·오수 및 폐기물관리에 관한 조례」를 제정하여 관리하고 있으나 대기에 부분을 마련되어 있지 않다.

표 2. 우리나라 대기환경 기준

항 목	국가기준	서울시기준	측정방법	비고
아황산가스(SO ₂)	0.02ppm/년 0.05ppm/일 0.15ppm/시간	0.01ppm/년 0.04ppm/일 0.12ppm/시간	자외선형광법	
미세먼지(PM-10)	50 μ g/m ³ /년 100 μ g/m ³ /일	50 μ g/m ³ /년 100 μ g/m ³ /일	베타선흡수법	
이산화질소(NO ₂)	0.03ppm/년 0.06ppm/일 0.10ppm/시간	0.03ppm/년 0.06ppm/일 0.10ppm/시간	화학발광법	
오존(O ₃)	0.06ppm/8hr 0.1ppm/hr	0.06ppm/8hr 0.1ppm/hr	자외선광도법	
일산화탄소(CO)	9ppm/8hr 25ppm/hr	9ppm/8hr 25ppm/hr	비분산적외선분석법	
납(Pb)	0.5 μ g/m ³ /년	0.5 μ g/m ³ /년	원자흡광 광도법	
벤젠(C ₆ H ₆)	5 μ g/m ³ /년	5 μ g/m ³ /년	가스크로마토그래피법	

- * 비고 1. 1시간, 8시간, 24시간의 평균치는 연간3회 이상 그 기준을 초과하여서는 안된다.
- 2. 미세먼지는 입자의 크기가 10 μ m이하를 먼지를 말한다.

3. 대기오염물질이 수목에 미치는 영향

대기오염에 의한 수목의 피해는 피해증상을 육안으로 판단할 수 있는 가시적인 피해와 육안으로 피해를 판단할 수 없으나 수목의 생리적 작용에 영향을 미쳐 생육을 감소시키는 비가시적인 피해로 크게 구분할 수 있다.

가시적인 해는 수목의 각 기관 중에서도 잎에서 가장먼저 나타나며 가장먼

저 피해를 입는다. 고사나 위황증, 잎마름등이 있으며, 피해부위는 점차 건조되고 표백되며 황갈색 또는 백색으로 변한다.

비가시적인 피해는 잎의 변색이나 반점등의 가시적이 증상이 나타나지 않으며 수목의 생육이 불량해지거나, 병해충의 침입이 용이해서 생장이나 생산력이 떨어지는 경우가 많다.

4. 한라수목원 주차장 대기질과 수목의 영향관계

가. 개요

- 1) 측정 장소 : 제주특별자치도 제주시 수목원길 72 한라수목원 주차장
- 2) 측정 일시 : 2015년 2월 16일 00:00 ~ 2월 25일 12:00
- 3) 측정 기관 : 제주특별자치도 보건환경연구원 대기환경과
- 4) 비교 측정소(그림 1)
 - 가) 연동 측정소 : 제주특별자치도 도청 제2청사 옥상
 - 나) 이도동 측정소 : 제주특별자치도 제주시청 옥상

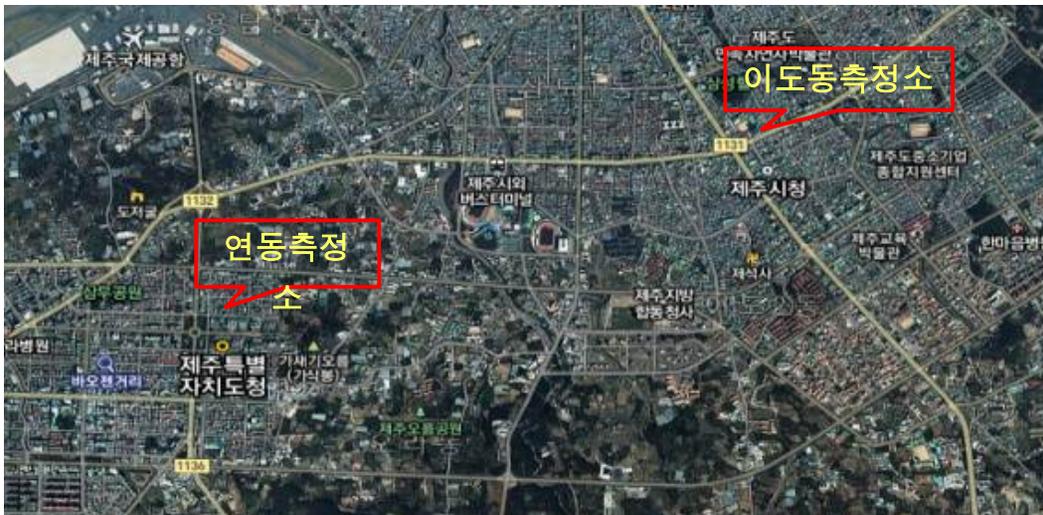


그림 1. 비교 측정소 위치도

나. 아황산가스(SO₂)

수목원 주차장에서 측정한 아황산가스(SO₂)는 평균 0.003ppm, 일평균 0.0027~0.004ppm, 시간0.001~0.022ppm으로 국가 기준인 일평균 0.05ppm보다는 아주 적은 측정치를 보이고 있으며 시간기준인 0.15ppm에는 아주 낮은 결과를 보여 주변의 연동측정소와 이도동 측정소의 값을 비교 아황산가스(SO₂)의 농도가 낮은 것으로 측정되었다(그림 2).

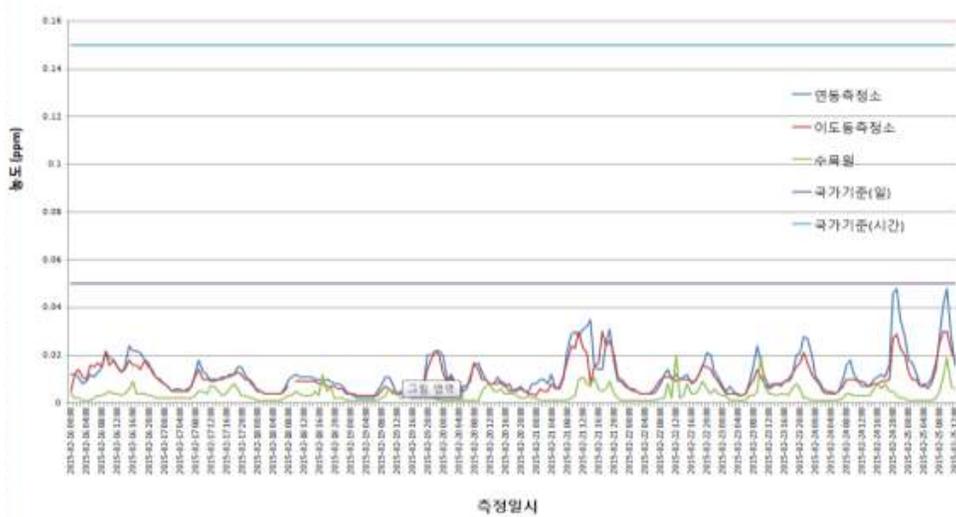


그림 2. 아황산가스(SO₂) 측정값 그래프

아황산가스에 의한 수목의 피해는 황산이나 황산염에 의해 나타나는 급성 피해와 황산염의 축적에 의해 나타나는 만성적인 피해로 나타난다. 온도, 상대 습도, 토양습도, 광도 등에 의해서 크게 영향을 받는다. 이번 조사 측정결과 수목원의 식물에 피해를 미칠 만큼의 농도를 보이지 않고 있으며 수목원 주차장 주변에 아황산가스에 내성이 강한 수종인 낙우송, 메타세콰이아, 가시나무류, 후피향나무 등으로 이미 식재가 되어 있어 영향이 적을 것으로 분석이 되었다.

다. 질소산화물

수목원 주차장에서 측정한 이산화질소(NO₂)는 평균 0.001ppm으로 측정되었다. 일평균 측정치는 0.000045~0.002ppm으로 측정되었으며 국가 기준인 일평균 0.06ppm보다는 아주 적은 측정치를 보이고 있다. 시간단위로는 0~0.008ppm으로 국가대기환경 시간기준인 0.10ppm에는 아주 낮은 결과를 보였으며 주변의 연동측정소와 이도동 측정소의 값을 비교 아황산가스 농도와 마찬가지로 아주 낮은 것으로 측정되었다(그림 3).

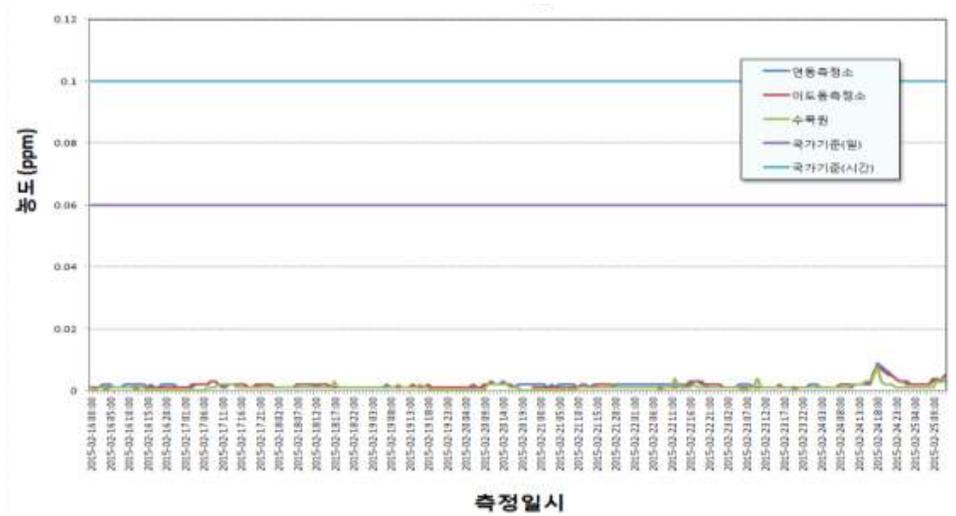


그림 3. 이산화질소(NO₂) 측정값 그래프

질소산화물은 주로 자동차 배기가스에 의해 발생되기 때문에 도로변이나 주차장에서 주로 피해가 발생한다. 수목에 대한 피해는 아황산가스보다는 덜하지만 다른 가스와 반응하면 효과가 더 강하게 되어 피해를 준다. 잎에 축적이 되면 불규칙적인 반점을 발생하고 낮은 성장률과 조기 낙엽을 일으킨다. 수목원에서 측정한 수치는 주변 식물들에게 피해를 줄 수 있는 농도인 20ppm(민감 수종 1시간 접촉)에 비하면 아주 낮은 수치를 보이고 있어 피해는 없을 것으로 예상된다. 질소산화물(NO_x, NO)은 별도의 기준이 제시되어 있지 않아 그림 4로 나타내었다.

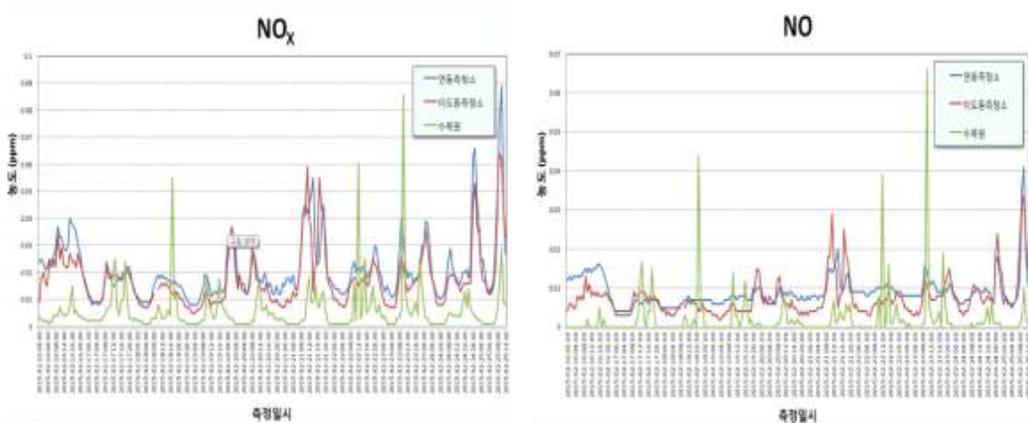


그림 4. 질소산화물(NOx, NO) 측정값 그래프

라. 오존(O₃)

수목원 주차장에서 측정한 오존(O₃)은 평균 0.0271ppm으로 측정되었다. 8시간 평균 측정치는 0.01725~0.03625ppm으로 측정되었으며 국가 기준인 8시간 평균 0.06ppm보다는 아주 낮은 측정치를 보이고 있다. 시간단위로는 0.006~0.034ppm으로 국가대기환경 시간기준인 0.10ppm에는 아주 낮은 결과를 보였으며 주변의 연동측정소와 이도동 측정소치보다 낮은 것으로 측정되었다 (그림 5).

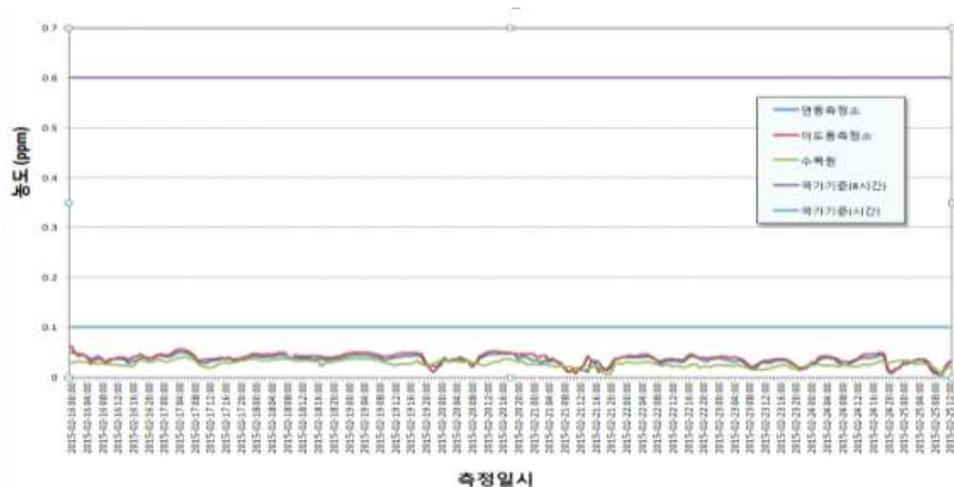


그림 5. 오존(O₃) 측정값 그래프

오존의 피해는 일반적으로 그 강력한 산화작용에 의한 것으로 잎이 가장 많은 피해를 받는다. 활엽수는 잎의 표면에 작은 반점이 형성이 되고 점점 합쳐져서 표면이 백색이 된다. 침엽수는 잎 주변부터 괴사가 진행이 되고 반점이 생기고 잎이 작아지는 경향을 보인다.

오존은 일반적으로 대기중 농도가 0.03ppm 이상(8시간 기준)이 되면 수목에 피해를 준다. 이번 측정 수치인 0.02ppm는 다소 낮은 측정치를 보이고 있다.

마. 일산화탄소(CO)

수목원 주차장에서 측정한 일산화탄소(CO)는 평균 0.0182ppm으로 측정되었다. 8시간 평균 측정치는 0~0.59ppm으로 측정되었으며 국가 기준인 8시간 평균 9ppm 보다는 아주 낮은 측정치를 보이고 있다. 시간단위로는 0~0.84ppm으로 국가대기환경 시간기준인 25ppm에는 아주 낮은 결과를 보였으며 주변의 연동측정소와 이도동 측정소치보다 낮은 것으로 측정되었다(그림 6).

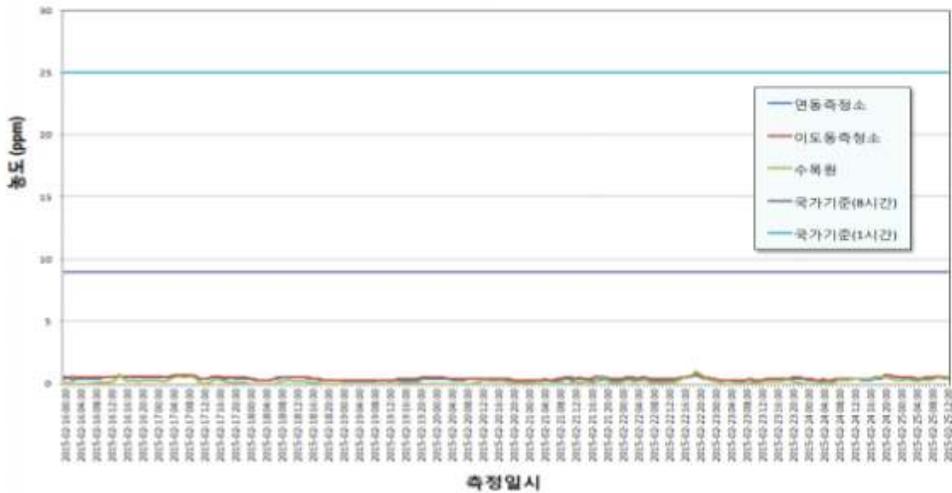


그림 6. 일산화탄소(CO) 측정값 그래프

일산화탄소는 대기오염물질로 분류하고 있지만 수목에 미치는 영향에 대해서는 아직 보고된 자료가 없는 실정이다.

바. 기타 물질

1) 산성비

산성비란 대기오염물질이 구름이나 강수에 유입되어 산성화된 비를 의미하는 것으로 흔히 pH 5.6 이하의 비를 말한다. 일반적으로 오염되지 않은 정상적인 비의 pH는 5.6 정도로 나타나며 약산성을 띤다. 산성비는 인간 활동에 의한 각종 공장이나 자동차등에서 배출되는 가스 상 오염물질이 대기중에 있는 수분과 결합하여 생성되는 것으로 산성화된 물방울은 구름이 되어 오랜 시간을 공중에 머물러 수백 또는 수천km를 이동하여 공해와 무관한 곳까지 피해를 준다고 알려져 있다.

산성비는 오염원, 원인물질 및 기상조건 등에 따라 각기 다르게 나타난다. 주요 오염원을 보면 고정오염원으로서 공장, 화력발전소 또는 사업장이나 건물 및 가정에 설치되어 있는 보일러, 소각로, 가열로 등 고정된 배출시설에서 발생하는 황산화물, 질소산화물, 염화수소 등이 원인물질로 작용한다. 또한 이동오염원으로서 자동차, 항공기, 선박 등의 이동시설에서 배출되는 황산화물, 질소산화물, 탄화수소 등이 원인물질로 작용한다.

최근에는 산성비로 인한 피해를 줄이고자 전 세계적으로 대응책을 제시하고 있다. 영국에서는 석탄의존도가 높아 이산화황 배출량을 조기에 대폭 삭감은 곤란하나 점진적으로 추진하겠다는 입장을 보였으며 1987년 발표된 산성비 대책은 금후 10년간 14% 삭감을 목표로 정한바 있다. 미국에서는 1970년도에 미국과 캐나다간 동북부지역을 중심으로 산성비 문제가 제기되었으며 1991년 3월 양국은 이산화황 등 산성비 원인물질의 대폭삭감을 요구하는 Air Quality Agreement에 서명하였다. 중국에서는 중국 외부로 이동되는 오염물질은 없다는 입장을 유지하여 오다가 1994년 오염물질이 이동하는 것을 인정하여 중국 내의 대기오염물질 배출량조사 및 산성비와 장거리이동에 관한 연구를 진행하고 있다. 일본에서는 엄격한 대기오염방지대책으로 최근 이산화황 농도가 많이 감소되었으나 질소산화물농도는 상승하여 탈질장치를 설치하고 있으며 환

경청은 1988년부터 5년간 제2차 산성우대책으로서 만성적 피해의 실태해명과 오염물질의 중거리·장거리수송모델에 대한 조사를 수행하고 있다. 우리나라는 전국적으로 45개 산성우측정망에서 산성우 실태를 파악하고 있으며 1980년 후반 이후 산성비에 관한 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

산성비에 의한 가장 심각한 영향중의 하나는 삼림 등 식물생태계에 대한 영향이다. 산성비는 황화합물이 빗물에 용해되어 황산의 형태로 강하할 때 가장 큰 피해가 나타나게 된다. 산성비가 내리면 토양의 산성화를 초래하게 되고 토양이 산성화되면 토양으로부터 식물에 필요한 각종 영양성분들이 씻겨 내려가 토양이 척박하게 된다. 따라서 식물은 그들의 성장에 필요한 칼슘과 마그네슘 등과 같은 영양소가 결핍되어 결국 식물은 고사하게 된다. 또한, 토양중에서 황화합물의 형태로 존재하고 있던 알루미늄을 용출시켜 나무뿌리에 의해서 식물체 내로 흡수하게 됨으로서 해독작용을 하게 된다.

황산으로 변환되지 않은 기타 황화합물은 식물체의 잎에 침착되어 기공을 폐쇄함으로써 광합성작용을 억제하여 식물의 성장을 저해하거나 엽록소와 잎의 조직을 파괴시킴으로서 잎이 떨어지게 되고 결국 식물은 고사하게 된다. 산성물질의 하나인 질소산화물은 식물이 서식하고 있는 토양에 필수영양성분이 없는 경우일지라도 식물의 과잉성장을 초래하여 겨울철과 같은 때에 냉해를 입게 된다.

기상청(2014)이 발표한 2013 지구대기감시 보고서에 의하면 2013년도 한반도 배경지역 강수의 평균 산성도(pH)는 4.73으로 나타났다(표 3). 이 수치는 1997년부터 2013년까지의 평균 pH 4.80보다 낮고, 2012년 평균 pH 4.68보다는 높았다. 2013년 지점별 평균 pH인 안면도가 4.57, 울진이 4.78, 고산이 4.68, 울릉도가 4.93이었다. 안면도의 pH가 가장 낮았으며 다음으로는 제주도 고산에서 pH가 낮았다. 1997년부터 2013년까지의 17년 동안의 평균 pH를 보면 울진 > 울릉도 > 고산 > 안면도 순으로 낮았다. 따라서 제주의 경우도 강수의 산성도가 강해지는 추세인 것으로 생각되며 이에 대한 지속적인 모니터링과 대책 강구가 요구되어 진다.

1993년에 개원한 이래 한라수목원에 대한 토양조사가 이루어지지 않아 향후 산성비, 토양, 식생변화 등과 연계한 종합적이고 지속적인 연구가 이루어져

야 할 것으로 판단된다.

표 3. 관측지점별 평균 산성도(pH)

기간 \ 지점	안면도	울진	고산	울릉도	한반도 평균
2012	4.75	4.90	4.92	4.43	4.68
2013	4.57	4.78	4.68	4.93	4.73
1997* ~ 2012	4.69	4.88	4.84	4.83	4.80
1997* ~ 2013	4.68	4.88	4.82	4.84	4.80

* 울진과 고산은 1998년도부터 평균한 값임

5. 관련자료

가. 한라수목원 주차현황

연 도	주차 현황(대)			
	소 계	승용차	소형버스	버 스
2015년	207,954	170,572	17,743	19,639
2014년	219,968	178,309	19,238	22,421
2013년	196,704	152,325	20,330	24,049
2012년	245,936	189,511	28,656	27,769
2011년	193,042	137,434	26,705	28,903
2010년	189,558	131,008	26,418	32,132
2009년	202,799	144,100	27,125	31,754
2008년	210,790	154,325	23,607	32,858
2007년	208,847	158,372	19,469	31,006
2006년	173,725	139,225	11,877	22,623
2005년	173,116	143,328	9,465	20,323
2004년	9,305	8,050	397	858