

우리나라에서의 산성우 연구동향에 관하여

이준배* · 배정오*

Study on the Tendency of Acid Rain in Korea

Joon-Bae Lee* and Jeong-O Bae*

Abstract

This reviews investigate to compare acid precipitation that caused by air pollutant. The ecosystem investigated the effect of acid precipitation. The study of foreign acid precipitation and acid precipitation of Korea investigated and injury of acid precipitation is prevented and consider a plan that it is presented.

1. 서 론

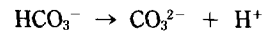
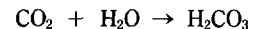
인간문명의 진보와 산업이 발달되고 생활수준의 향상으로 공장이나 자동차등에서 배출되는 각종의 대기오염물질이 방출되어 환경오염이 문제시 되고 있으며, 이로 인한 산성우라는 새로운 현상이 생태계에 여러가지 영향을 미치므로 인하여 새로운 환경문제로 대두 되고 있다.

본 논지에서는 (1)산성우의 산도와 발생원인, (2)산성우의 생태계에 미치는 영향, (3)우리나라에서의 산성우에 관한 연구동향과 외국의 연구사례를 비교하고, (4)산성우의 대책방안을 검토하고자 한다.

2. 산성우의 정의

산성우의 문제는 환경오염이 크게 문제되지 않을

때 산업이 발달되고 공단지역이나 대도시에서 배출되는 각종 오염물질의 양이 늘어나 대기를 오염시키므로서 일어나는 현상이며, 자연상태의 대기중에는 수증기를 제외하고는 질소 78.09%, 산소 20.95%, 아르곤 0.93%, 탄산가스와 수습종의 미량가스가 존재하며 아래식과 같이 자연상태의 대기중에는 0.03%의 이산화탄소가 수증기와 화학평형을 이루어 오염되지 않는 곳에서의 빗물 산성도는 pH 5.6으로 정의하고 있으며, 이 pH 5.6을 자연적 중성치 라고 하고 pH5.6 이하를 산성우라고 정의한다.



산성우는 빗물이 화산폭발과 같은 자연오염원이나 공단지역이나 도심지역에서 배출되는 인공오염원에

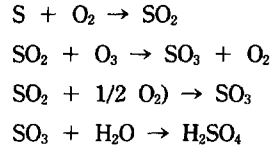
*국립환경연구원

의하여 대기오염도가 높아진 상태에서 내리게 되면 빗물의 산성도가 낮아지게 된다.

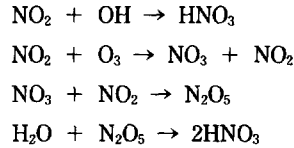
산성우를 다른 물질과 비교한 산성도는 그림1과 같다.

3. 산성우의 발생원

산성우의 발생원은 대기오염물질에서 비롯되며 황산화물과 질소산화물로 대표되는데 황산화물에서의 발생요인을 살펴보면 자연적인 요인으로는 해양(해양과 가스상태)에서 발생되고 대부분은 화산분출과 유기물 분해에 의한 자연적 토양화 과정에서 발생된다. 인공적인 요인으로는 발전소, 공장굴뚝, 자동차등에서 사용되는 등유, 경유, 중유, 석탄등 연료의 연소로서 아래와 같이 발생된다.



질소산화물에서의 발생요인을 살펴보면 자연적인 요인으로는 번개, 화산분출, 미생물의 활동에 의한 생물학적 과정에 의해서 발생되고, 인위적인 요인으로는 발전소, 자동차, 공장등에서 사용되는 석유, 석탄등 연료의 연소로서 아래와 같이 발생된다.



지구상의 질소산화물과 아황산가스방출량을 표1에서 살펴보면 자연상태에서의 방출량보다 인위적인 방출량의 아황산가스가 2배, 질소산화물에서는 4배 이상 차이가나며, 인위적인 상태에서 화석연료가 차지하는 양은 절대적이고 남반구보다 북반구에서 많은 양을 방출하고 있다.

표 1. 지구상의 질소산화물과 아황산가스 방출량 (100만톤/년)¹⁾

근원지	아황산가스			질소산화물 총량
	북반구	남반구	합계	
자연적상태				
생물기원	54	44	98	10
- 해양	(22)	(28)	(50)	
- 육지	(32)	(16)	(48)	
무생물기원	22	27	49	10
- 화산분화	(3)	(2)	(5)	
- 물보라	(19)	(25)	(44)	
계	76	71	147	20
인위적상태				
화석연료	98	6	104	20
기타	-	-	-	10
계	98	6	104	30
합계	174	77	251	90

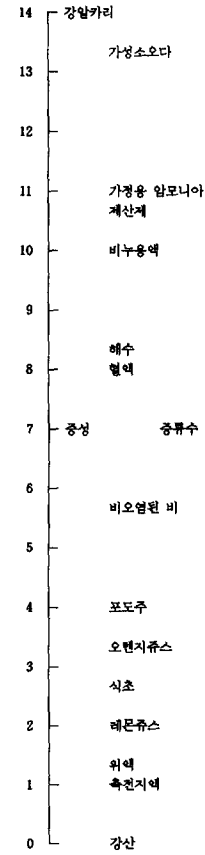


그림1 pH 수준

그림1 pH 수준

표 2. 영국의 대기오염물질 방출량(1980)¹⁾

부분별	아황산가스 (%)	연기 (%)	질소산화물 (%)	일산화탄소 (%)	탄화수소 (%)
가정용	5	63	23	6	6
상업과 공공기관	4	2	3	4	5
발전소	61	6	46	1	1
정유공장등의 기타 공업	28	13	-	-	-
교통기관	2	16	28	89	42
비연소과정	-	-	-	-	46

북반구중에서 표2에서와 같이 영국의 대기오염물질 방출량을 보면 발전소에서 아황산가스와 질소산화물이 가장 많이 방출되고, 이산화탄소는 교통기관에서 많이 방출된다. 그러면 표3에서 우리나라의 아황산가스 총배출량을 전국과 서울을 살펴보면 전국에서는 산업, 난방, 발전, 수송순이고, 서울에서의 배출량은 난방, 산업, 발전, 수송순인데 서울은 인구가 많이 집중되므로서 난방에서 배출되는 양이 가장 많이 나타나는것 같다.

표 3. 우리나라의 아황산가스 총배출량(1987년)
(단위 : 톤/년)⁹⁾

구분	전국	서울
난방	359,311.72 (34.51%)	131,477.21 (76.26%)
산업	430,823.49 (41.39%)	16,492.54 (9.57%)
수송	80,540.27 (7.74%)	9,294.29 (5.39%)
발전	170,250.54 (16.36%)	15,133.70 (8.78%)
합계	1,040,926.02 (100%)	172,397.74 (100%)

4. 산성우가 생태계에 미치는 영향

가. 하천, 호수 및 수생식물에 미치는 영향

산성우에 의해서 하천이나 호수의 pH가 낮아지므로 중금속이 용출되고²⁾ 먹이사슬로 인한 기형어가 발생되며, 물고기가 호흡장애를 일으키거나 pH 5.0 - 5.5에서는 활동이 어렵다^{3,5)}. 표4에서와 같이 물의 pH와 수생생물의 생존한계를 살펴보면 pH 5.8미만에서는 연어, 송어, 잉어류가 생존하기 어렵고, pH

표 4. 물의 pH와 수생생물의 생존한계⁹⁾

생존한계 pH	수생생물
5.9	갑각류, 달팽이, 연체동물
5.8	연어, 송어, 잉어류
5.7	곤충류, 동물성 플랑크톤
5.0	농어, 꼬치고기
4.5	뱀장어, 열기

5.7 미만에서는 동물성 플랑크톤이 생존하기가 어렵다는 것을 보여주고 있다.

나. 토양과 육상생태계에 미치는 영향

산성우에 의해서 토양의 pH가 낮아지므로써 완충능력을 점진적으로 상실하게되며, 토양내에 산이 축적되어 알루미늄, 철, 망간등의 금속성분과 결합하여, 이러한 중금속의 증가로 칼슘, 마그네슘등 염기성분이 유실되므로 영양분이 결핍되어 생산성을 감소시킨다. 산성우가 수목의 잎으로 부터 영양소, 엽록소를 제거하여 탄수화물을 만들어내지 못하고 따라서 생산력을 저하시켜 수목에 피해를 주고토양 미생물의 활동을 저해시킴으로서 토양구조와 생산성 그리고 식생에 상당한 변화를 초래한다^{6,7,8,9,10)}.

표5에서와 같이 산성우가 원인으로 알려진 독일의 산림피해를 살펴보면 산림면적의 40%을 차지하는 가문비나무는 1982년과 비교하여 1985년에는 52%로 급속히 감소하였고, 은빛전나무는 멸종위기 상태에 있으며, 대부분 산림면적 50%이상의 피해를 나타내고 있다¹¹⁾.

표 5. 독일의 산림피해¹²⁾

수종	산림면적의 %	나무피해의 %			
		1982	1983	1984	1985
가문비나무	40	9	41	51	52
소나무	20	5	44	59	58
은빛전나무	2	60	75	87	87
너도밤나무	17	4	26	50	55
떡갈나무	8	4	15	43	55
기타수종	13	4	17	31	31
합계	100	8	34	50	52

표 6-1. 인공산성강우가 각 작물의 수확량에 미치는 영향¹²⁾

인위적농도 비율 SO ₄ ⁻² / NO ₃ ⁻	회수	시간	빗방울 크기	pH	영향
'Veral' alfalfa(Lee and Neely, 1980)					
0.7	26	1.5h / 회	1200 μm	5.6	Control
6.4	26	1.5h / 회	1200 μm	4.0	생산량 9%증가
19.5	26	1.5h / 회	1200 μm	3.5	변화없음
61.3	26	1.5h / 회	1200 μm	3.0	변화없음
'Davis' soybean(Heagle et al.,1983)					
1.8	30	0.5h / 회	900 μm	5.3	Control
3.4	30	0.5h / 회	900 μm	4.0	변화없음
7.9	30	0.5h / 회	900 μm	3.2	변화없음
8.3	30	0.5h / 회	900 μm	2.8	변화없음
'Pioneer 3992' corn(Neely, 1980)					
0.7	58	1.5h / 회	1200 μm	5.6	Control
1.1	58	1.5h / 회	1200 μm	4.0	생산량 9%낮음
1.5	58	1.5h / 회	1200 μm	3.5	변화없음
1.5	58	1.5h / 회	1200 μm	3.0	변화없음

표 6-2. 인공산성강우가 각 작물의 수확량에 미치는 영향¹³⁾

인위적농도 비율 (H ₂ SO ₄ : HNO ₃)	총살포량	pH	토양 pH	Al (ppm)	Ca (me/100g)	Mg	영향
'Pinus koriensis' (Chung., 1987)							
3 : 2	736.7	6.5	6.25	2.92	3.10	1.17	Control
		4.0	5.90	5.90	2.86	1.21	건중량이 11% 증가
		2.0	4.27	151.03	0.63	0.24	건중량이 18% 증가

표6에서는 인공산성우가 작물에 미치는 영향을 나타낸 것으로 각 작물에 따라 영향이 다르게 나타나고 있으며 pH농도에 따라서도 영향이 다르게 나타난다. 이것은 대기오염이 식물에 따라 차이가 있는 것과 비슷한 경향을 보이고 있다. pH 4.0에서 알팔파는 생산량이 9% 증가한 반면에 옥수수는 9% 감소하였고, 콩에서는 변화가 없었다¹²⁾. 인공산성우를 pH별로 살포한 토양에서의 변화는 pH가 낮아질수록 알루미늄용출 함량이 증가한 반면에 칼륨은 감소하였다¹³⁾.

5. 산성우 연구

가. 외국에서의 산성우 연구 변화

산성우에 대한 연구는 1852년 Robert Angus Smith가 영국 맨체스터(Manchester)의 빗물을 분석하여 빗물의 산성화 현상을 최초로 발견하였고, 1972년 Acid rain이라는 용어를 처음으로 사용하였다. 1950년대에 Erickson이 대기오염물질의 생물학적, 지질학적, 화학적 변화에 관한 이론을 발표하였고, Gorham이 산성우의 원인 및 산성우가 수중생태계에 미치는 영향을 조사하여 산성비가 화석연료의 소비량과 비례, 원인물질이 황산이라고 발표하였다. 1960년에는 Likens등이 미국 동북부지역에서 빗물의 산성도를 측정하여 산성우가 내리고 있음을 주장하였고, 1961년에는 스웨덴의 토양학자 Svante Olden이 생태계에 미치는 산성강하물의 중요성을 인식하고 빗물이 황(S) 과 질소(N)를 포함하고 있음을 밝힘으로서 산성강하물에 의한 여러 현상을 예측하였다. 1962년 Rachel Carson 대기오염물질의 이동, 확산 강하현상을 지적하였고, 1967년에는 빗물의 산도 및 주요 이온농도의 분포가 시간과 장소에 따라 변화하는 현상을 조사하였으며, 1970년대에는 산성우의 정성적인 원인이 규명되고, 1980년대에는 산성우의 빗방울 크기, 방향등에 관하여 연구가 지속되었다¹⁴⁾.

나. 우리나라에서의 산성우 연구 변화

1979년에 우리나라에서는 처음으로 산성우현상에

대한 조사연구가 시작되었고, 1980년초 산성우의 산도에 대한 연구가 이루어졌고, 1980년도 중반 강우성분을 분석하고 강하현상과 토양에 미치는 영향을 조사하였다. 1980년도 중반이후 산성우로 처리한 수목의 생리적 변화와 토양관계를 조사하였으며, 1990년초에는 산림생태계에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되고 있다^{15,16,17,18,19)}.

6. 산성우 대책방안

대책방안으로는 에너지를 효율적으로 이용하므로써 화석연료의 사용을 줄이고 화석연료를 대체할 대체자원을 확보하고, 저황연료사용으로의 전환, 연료의 탈황화, 운송 및 교통계획의 전환, 질소산화물의 방출을 줄이고 연소효율을 높이는 엔진개발로 발생량을 줄이므로써 산성우의 피해를 방지하는 것이다²⁰⁾.

참고문헌

1. 정상립, 임근옥(1992), 산성비, 원탑문화.
2. Comment(1982), "Who'll Stop the rain : Resolution Mechanism for U.S.-Canadian Transboundary Dispute," 12 Den. J. Int'l L. & Policy 51, 61.
3. UNEP(1984), "State of the World Environment".
4. Almer, B., Dickson, W. Ekstrom, C. Hornstrom E., and Miller, U.,(1974), "Effects of acidification on Finnish lakes", *Ambio*, 3 : 30-6.
5. 환경처(1992), 환경백서.
6. Tamm, C.O. and Cowling, E. B.,(1977), "Acid precipitation and forest vegetation", *Water, Air and Soil Pollution*, 7 : 503-11.
7. Tamm, C.O., Wiklander, G., and Popovic, B., (1977), "Effects of application of sulphuric acid to poor pine forest", *Water, Air and Soil Pollution*, 8 : 75-87.

8. Tukey, H.B.,(1979), "The leaching of substances from plants", *Annual Reviews of Plant Physiology*, **21** : 305-24.
9. 김준민(1985), "토양에 미치는 산성비의 영향", *자연보존* 3 : 16-17.
10. Lance, S.E.,Nicholas, F.G., and Filomena, D.C., (1977), "Leaf surface and Histological perturbations of leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Helianthus annuus* after exposure to simulated acid rain", *Amer. J. Bot.*, **64**(7) : 903-913.
11. Agren,(1984), "FRG : forest damage accelerating", *Acid News*, **5** : 12-13.
12. Allen, S.H., Robert, B.P., Patricia, F.B., and Ronald, E.F.,(1983), "Reponse of Soybeans to Simulated Acid Rain in the Field", *J. Environ. Qual.*, **12** : 538-543.
13. 정용문,(1988), "인공산성우가 소나무 및 개나리 분식묘토양의 화학적 성질에 관한 연구", *한국 대기 보전학회지*, **4** : 33-44.
14. Cowling(1982), "Acid Precipitation in Historical Perspective", *Environ. Sci. Technol*, IIIA.
15. 한국환경과학연구협의회,(1990), "산성비의 법적 근거".
16. 김갑태,(1987), "인공산성우가 은행나무 유묘의 생장, 생리적 특성 및 토양의 화학적 성질에 미치는 영향", *한국임학회지*, **76**(2) : 99-108.
17. 김복영, 김규식,(1988), "농작물에 대한 인공산성비의 영향", *한국토양비료학회지*, **21**(2) : 161-167.
18. 최호진,(1990), "인공산성비가 콩, 들깨의 초기생장 및 토양 특성에 미치는 영향", *고려대 석사학위논문*.
19. 국립환경연구원,(1992), "대기오염과 산성비에 의한 피해조사 및 평가에 관한 연구", *국립환경연구원보*, **14** : 35-44.
20. 노재식,(1981), "산성비의 현황과 대책", *환경과조경*, **11** : 81.