

산성비

■ 산성비란 무엇인가?

여러분은 “요즘 내리는 비가 산성비이니까 맞지 말라”는 말을 들어봤을 것이다. 산성비가 과연 우리에게 해로울까? 이를 알기 위해서 먼저 산성비가 무엇인지 정확히 알아보자. 산성비(acid rain)란 평소보다 많은 산성 물질(질산 및 황산)을 함유하고 있는 비(눈, 안개 포함)를 일컫는다. 산성비의 정의는 **pH가 5.6 이하인 비**를 일컫는데, 산성도의 척도를 가리키는 pH는 물속의 수소이온농도의 역수에 상용로그를 취한 값이다($\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$). 순수한 물의 pH는 7의 값을 가지며 산성을 될수록 7보다 작은 값을 갖는다.

지구의 대기 중에는 이산화탄소(CO_2)가 많이 존재하는데 이 이산화탄소가 빗물에 녹으면 탄산(H_2CO_3)을 형성하게 된다. 어떠한 오염물질도 존재하지 않고 이산화탄소의 농도가 330 ppm일 때(현재 화석연료의 사용량이 급증하여 지구의 평균 이산화탄소 농도는 400 ppm에 가까움), 이론적인 깨끗한 비의 pH는 5.6이 된다. 따라서 이 척도를 기준으로 비의 pH가 5.6보다 더 낮은 경우에 ‘산성비’라고 부른다.

■ 산성비를 만드는 원인물질은 무엇인가?

산성비를 만드는 원인물질은 다양한 대기오염원에서 배출된다. 여기에는 **인위적인 배출원(화석연료를 사용하는 발전소, 공장, 자동차 등)** 뿐만 아니라, **자연적인 배출원(화산 폭발, 산발 등)**도 포함된다. 이때 배출되는 **황산화물**과 **질소산화물**은 대기 중에서 물, 산소, 그리고 여러 화학물질들과 반응하여 다양한 산성 물질을 만들고, 경우에 따라 질산과 황산이 혼합된 산성비를 만들어낸다.

그렇다면 이런 산성비는 주로 배출원 주변에서만 만들어질까? 그렇지 않다. 산성비를 형성하는 이산화황과 질소산화물은 대기로 배출된 후 장거리 이동을 할 수 있기 때문에, 중국에서 배출된 다량의 이산화황이 바람에 실려 우리나라까지 쉽게 유입되곤 한다. 따라서 오염배출원에서 수백 수천 킬로미터 떨어진 지역에도 산성비가 내릴 수 있다.

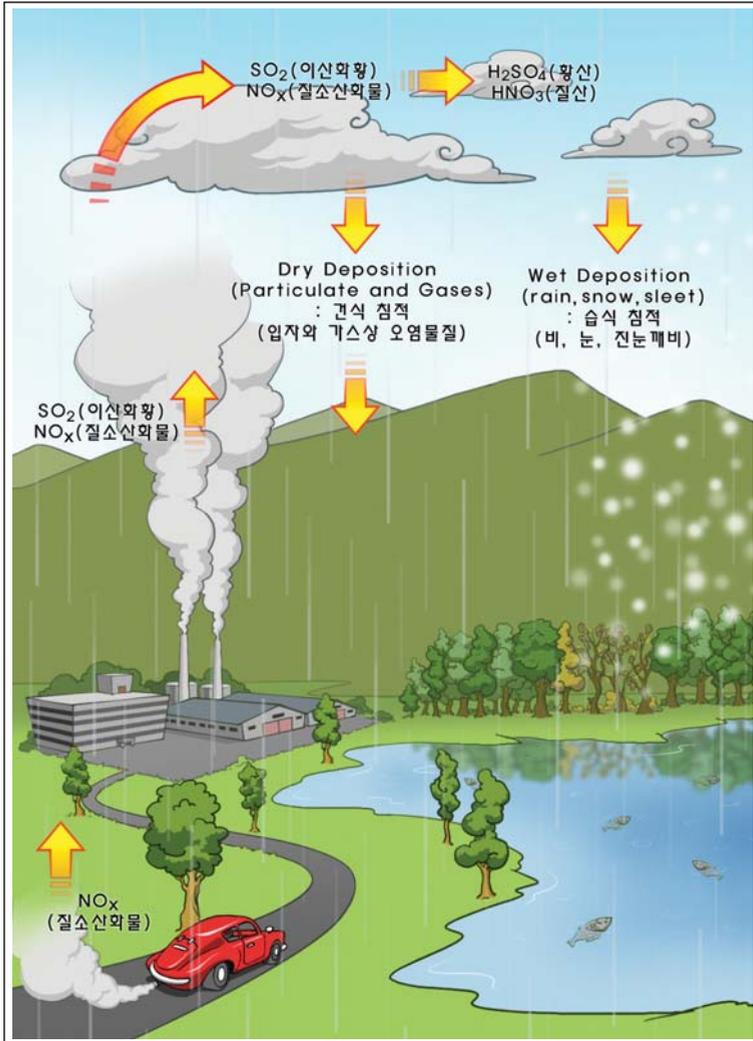
■ 산성비가 미치는 영향을 알아보자!

이제 가장 중요한 질문을 할 때가 왔다. 산성비는 우리에게, 그리고 다른 자연 생태계에게 어떤 영향을 미칠까? 산성비는 산성을 띠고 있기 때문에 산성비가 내리는 지역의 호수와 하천을 산성화시키고, 높은 지대에 있는 나무와 산림의 토양에 악영향을 미칠 수 있다. 또한 건물 자재와 페인트의 부식을 가속화하기 때문에, 우리에게 문화유산으로 남겨진 조각품이나 건축물에 커다란 문화적 피해를 입힌다. 뿐만 아니라 산성비의 원인물질인 황산화물과 질소산화물은 대기의 가시도를 저하시키고 인간의 건강을 위협하기

도 한다. 이제 산성비의 영향을 하나씩 살펴보도록 하자.

■ 인간에 미치는 영향...

산성비를 맞으면 대머리가 된다는 속설이 있다. 정말 그럴까? 결론적으로 그럴 확률은 매우 낮다. 산성비는 깨끗한 비와 똑같은 투명성과 느낌과 맛을 가지고 있기 때문에 인간의 감각으로는 감지하기 어렵다.



우리가 먹는 식초의 pH는 4에 가까우며, 레몬 즙의 pH는 2에 가까워 산성비 산도의 수백배 또는 수만배이지만, 인체에 커다란 악영향을 미치지 않는다. 또한 산성비 때문에 산성화된 호수에서 수영을 하는 것과 깨끗한 호수에서 수영을 하는 것도 인체 위해성 측면에서는 차이가 없다. 다시 말해, 산성비의 **산성도 자체는 건강에 직접적인 영향을 끼치지 않는다.**

하지만 산성비를 일으키는 원인물질인 이산화황과 질소산화물은 다르다. 이러한 가스상 오염물질들은 자체적으로도 악영향을 미치지만 대기 중에서 미세한 입자상 오염물질로 변환되기 때문에 문제가 된다. 이들 미세입자는 사람들이 호흡할 때 폐 깊숙이까지 침투하여 폐질환이나 심장질환과 같은 질병을 유발할 수 있다. 또한 질소산화물은 광화학반응을 일으켜 인체에 건강상 피해를 주는 오존을 생성시킬 수 있다.

요약하면, 산성비 자체는 인간의 건강에 직접적으로 영향을 미치지 않는다. 그러나 산성비가 산림, 호수, 농작물 등의 자연 생태계와 조각품 및 건축물 등의 생활환경과 재산상에 미치는 피해는 매우 크기 때문에 많은 나라에서 집중적으로 연구되고 있다. 인간은 다른 생물과 더불어 사는 생태계의 일부이다. 우리는 생존에 필요한 모든 것을 다른 생물들로부터 얻기 때문에, 지구 생태계를 구성하는 생물들에게 피해를 주는 행위는 결국 우리 인간에게 피해로 돌아온다는 점을 명심하여야 한다.

■ 생태계에 미치는 영향...

산성비가 수생태계에 미치는 영향은 매우 뚜렷하다. 산성비는 호수(하천 포함)에 직접 내리기도 하지만, 호수 주변에 있는 토양이나 산림, 건물 등에 떨어진 후 호수로 뒤통게 유입되기도 한다. 호수가 산성비의 영향을 받으면 호수의 산성도가 커지고(pH가 작아지고), 산성화된 호수를 토양이 중화시키지 못하는 경우에는 토양에서 알루미늄이 용출된 상태로 호수 내로 유입된다. 이 알루미늄은 수생태계에 생존하는 많은 생물종들에게는 독성이 매우 강한 물질이다.

호수가 산성비에 크게 영향을 받느냐 안 받느냐는 호수의 특성에 따라 다르다. 예를 들어, 크기가 작은 호수들은 큰 호수들에 비해 영향을 크게 받는다. 호수의 산성도를 중화시키는 능력을 흔히 완충능력(buffering capacity)이라고 하는데, 이러한 완충능력도 호수의 바닥에 쌓인 토양에 따라 각각 다르다. 때때로 산성도가 갑자기 높아지는 경우가 있는데(봄에 눈이 녹아서 호수로 일시에 유입될 때나 큰 폭우가 몰아칠 때), 이러한 경우에는 **많은 물고기가 죽기도 하고 심지어는 그 호수에서 특정 생물종이 멸종되기도 해서 종 다양성이 떨어질 수도 있다.** 즉, 호수가 산성화되면 pH가 떨어지고 이는 물속의 알루미늄 농도를 증가시키는데, 낮은 pH와 증가된 알루미늄 농도는 물고기에게 직접적인 위해를 가해서 계속 스트레스에 시달리게 한다. 만성적 스트레스에 시달린 물고기는 인간과 마찬가지로 체중이 줄어들고 제대로 자라지 못해서 적자생존 경쟁에서 제대로 적응할 수 없게 된다. 같은 산성호수에서 생존하는 물고기들도 종에 따라 받는 피해가 다르다. 일반적으로 pH가 5 이하로 떨어지면 대부분의 물고기 알은 부화하지 못하고, 이보다 낮은 pH에서는 일부 성어가 죽기도 한다. 어떤 산성 호수에서는 물고기를 한 마리도 찾아볼 수 없는 경우도 있다. 스웨덴의 경우 85,000개의 호수 중 8,000개가 산성화되었으며, 캐나다에서는 산성

비로 인해 어류가 절멸한 호수 또는 절멸에 직면한 호수가 각각 4%와 15%나 된다. 미국 동북부의 뉴잉글랜드 지역과 뉴욕 주 등 9개주 27개 지역의 17,059개의 호수 중 9,432개의 호수가 산성화되었다.

산성비가 산림에 내리면 나무들의 성장이 느려지는 게 일반적이다. 산성비에 포함되어 있는 수소이온은 토양 입자 속에 있는 금속 이온과 이온 교환반응에 의해 대체되어, 나무를 비롯한 식물에 필수적인 영양소인 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 칼륨(K), 나트륨(Na) 등의 금속 이온 성분들이 상실된다. 이로 인해 식물은 토양으로부터 영양분을 공급받을 수 없게 되며, 토양층으로부터 독성 물질이 배출되어 **잎과 줄기를 갈색으로 변화시키고 나무를 약하게 만든다**. 산성비로부터 입는 피해는 호수와 마찬가지로 산림 토양의 완충능력에 따라 달라지는데, 이는 토양층의 두께와 구성성분에 의존한다. **산성비에 가장 취약한 산림은 고지대에 위치해 있는 산림이다**. 이는 고지대일수록 산성 구름과 산성 안개에 둘러싸이는 경우가 많기 때문이다. 일반적으로 산성 구름과 산성 안개는 산성비보다 더 높은 산성을 띤다. 식물이 산성 안개에 자주 노출되면, 잎에서 필수 영양분이 유출되기 때문에 다른 환경적 요인(예를 들어 추운 날씨가 대기오염물질)에 더 민감하게 반응하여 더 큰 피해를 받는다.

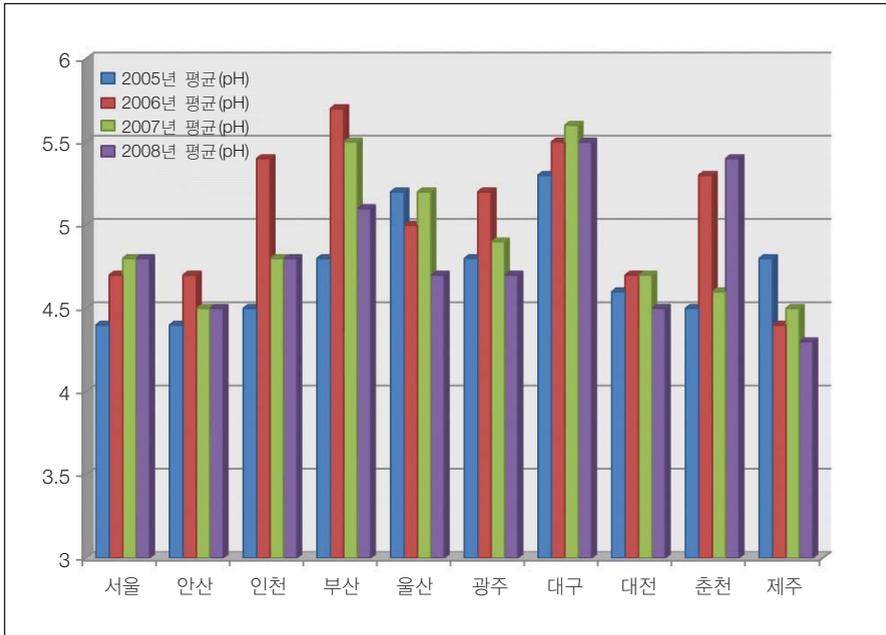
■ 재료와 자동차 표면에 미치는 영향...

산성비는 **금속을 쉽게 부식시키고 페인트나 돌(특히 석회암과 대리암)을 약화시켜서, 건물뿐 아니라 자동차의 페인트에도 큰 피해를 준다**. 여러분도 실험을 통해 확인할 수 있다. 석회암의 구성성분인 탄산칼슘(CaCO_3)은 우리가 사용하는 분필의 주요 구성성분이다. 두 개의 비커에 한 쪽에는 물을 담고 한쪽에는 식초를 담아서, 양쪽에 분필을 넣고 하루밤을 기다려 보자. 다음 날 아침 식초에 담겨진 분필이 훨씬 많이 닳아 없어진 것을 볼 수 있을 것이다. 산성비나 산성 강하물이 자동차에 입히는 피해를 줄이기 위해서 요즘에는 산성에 저항을 가진 페인트를 사용하기도 한다. 이러한 단순한 재산상 피해뿐만 아니라, 문화적인 유산인 건축물에 입히는 영향은 그 잠재적 피해액이 상상을 초월할 수 있다. 또한 그 피해를 줄이기 위해서 건축물을 청결하게 유지하는 관리비용과 보수비용도 상당할 것으로 추측할 수 있다.

■ 우리나라의 산성비 현황...

우리나라는 산성강하물의 침적량을 파악하기 위해 산성강하물 측정망을 설치하여 운영하고 있으며, 현재 30곳 이상의 측정소가 있다. 이곳에서는 빗속의 pH를 비롯하여 강수의 산성도를 결정하는 주요 원인 물질인 이온성분의 농도를 측정한다. 환경부에서 분석한 2008년의 자료를 보면 **우리나라의 강수 내 연평균 pH는 전 지역이 4.3~6.2 범위**로 지역에 따라 다소 차이를 보인다. 서울과 경기도 지역 및 전라도 지역이 비교적 낮은 pH(강한 산성도를 뜻함)를 보인 반면, 경상도와 강원도 지역의 산성도가 약하였다. 2005년부터 2008년까지 강수의 산성도를 살펴보면, 2005년에 전국적으로 낮은 pH가 측정되었으며 특히 서울, 안산, 인천, 대전, 제주 지역에서 비교적 강한 산성도가 나타났다.

빗물 산성도의 기준은 pH를 통해서 나타낼 수 있는데, pH를 결정하는 요인은 염소이온(Cl^-), 질산이온(NO_3^-), 그리고 황산이온(SO_4^{2-})과 같은 음이온 농도이다. 음이온 농도가 높으면 pH값이 낮아지고 양



이온 농도(NH_4^+ , Na^+ 등)가 높으면 pH값이 높아진다. 1999년부터 2005년까지 한반도의 연간 평균 습식 강하물 침적량은 총 음이온이 $7.363\text{g/m}^2\text{-yr}$, 총 양이온이 $3.025\text{g/m}^2\text{-yr}$ 로 보고되었고 1999년부터 꾸준히 증가추세에 있다.

이온별 기여도를 보면 질산이온은 1980년대 중반부터 현재까지 계속 증가하고 있다. 이는 우리나라의 발전소, 공장, 자동차 등에서 화석연료의 사용량이 급속히 증가하면서 질소산화물의 배출량이 지속적으로 높아지기 때문이다. 반면 황산이온은 1999년까지 질산이온에 비해 감소하다가 1999년부터 현재까지는 계속 증가하고 있는데, 우리나라는 대기오염 관리정책을 강화하여 80년대 말 이후 대기 중 이산화황의 농도를 효과적으로 감소시켰다. 하지만, 최근의 경우 내 황산이온의 기여율이 높아지는 이유는 중국을 비롯한 동북아시아의 최근 급속한 경제성장으로 인해 다량 배출된 이산화황이 우리나라로 유입되기 때문인 것으로 생각된다.

강우 내 총 음이온의 농도로 산성도의 정도를 판단해 볼 때, **우리나라 평균은 현재 세계 평균의 중간 정도에** 위치해 있다. 그러나 우리나라는 다행히도 산성비를 중화시키는 완충능력이 높아 외국처럼 큰 피해를 입고 있지는 않다.

■ 우리가 해야 할 일

산성비를 줄이기 위해서 우리가 해야 할 일은 무엇일까? 우선 산성비를 만드는 원인물질인 이산화황과 질소산화물을 감소시켜야 한다. 이산화황과 질소산화물은 화석연료(석탄, 석유, 가스 등)를 사용하여 에너지를 만들 때 발생한다. 황은 화석연료에 불순물로 들어가 있어 연료를 태울 때 공기와 결합하여 이산화황이 되고, 질소산화물은 모든 화석연료의 연소에서 배출된다. 따라서 이러한 오염물질들이 대기로 배출되기 전에 세정기나 자동차 촉매변환장치와 같은 대기오염 방지시설을 거치게 하여 감소시킬 수 있다. 또한 화석연료의 사용을 줄이고, 원자력, 수력, 풍력, 지열에너지, 태양에너지 등의 대체 연료를 사용하는 것도 하나의 방법이다.

늘 들어왔겠지만, 여러분 개인이 할 수 있는 최선의 방법은 전기를 아껴 쓰고 웬만한 거리는 걷거나 자전거를 이용하거나 또는 대중교통을 이용하는 것이다. 전기용품을 사용하지 않을 때는 플러그를 뽑아 대기전력을 줄이고 에너지 효율이 높은 기기를 사용하는 것이 좋다. 차를 소유하고 있다면 정기검진을 철저히 하는 것도 질소산화물의 배출량을 감소시키는 데 도움이 된다. 또한 다량의 산성비 원인물질이 중·장거리를 이동하기 때문에 국내 지방자치단체 사이를 비롯하여, 인근 국가사이의 대기환경개선을 위한 정책개발을 모색해야 할 것이다. 이러한 방법들을 통해 이산화황과 질소산화물이 직접적으로 감소될 뿐 아니라, 다른 대기오염물질(이산화탄소 등)도 부수적으로 감소되어 이중의 개선효과를 얻을 수 있다.