



조경지 관리와 산성비(3)



이 원 규
전 임업연구원
중부임업시험장장

5. 산성비는 왜 무서운가?

옛날부터 비는 하늘의 은혜라 하여 존중해 왔다. 농작물이나 풀 또는 나무를 기르기 위하여 꼭 필요한 것이기 때문이었다. 그러던 그 은혜로운 비가 식물을 기르기는커녕 오히려 정반대로 식물들의 죽음을 가져오는 것이 된다면? 이제 와서 그러한 무서움이 현실로 다가오는 느낌이다.

환경오염의 새로운 주역으로 부상한 것이 산성비이기 때문이다. 북 유럽(北歐)이나 북아메리카의 전나무, 가문비나무 등의 침엽수림지대에는 호수의 산성화와 수목의 고사가 각지에서 문제로 되고 있다. 공업지대나 도시에서 배출된 질소나 유황의 산화물이 대기 중의 광화학반응(photochemical

reaction : 물질이 광을 흡수할 때 그 광의 에너지에 의하여 일어나는 화학반응을 말함)에 의하여 산성물질로 변화하여 대기의 큰 이동에 따라서 1,000km 이상이나 운반되어 산림에 산성비를 내리게 하고 있다. 산성화가 진행된 호수에는 이미 물고기가 살 수 없게 되었다 한다. 이 위기적 상황 하에서 유럽 전체의 토양에 관측 망을 펼치고 오염상황을 측정하고 있다. 그러나 수목의 시들음과 산성비와의 인과관계는 아직 확실하지 않은 것이다. 오염물질은 원거리를 이동하므로 종래의 대기오염과는 달리 그 농도가 낮고, 그 때문에 옥시단트(oxydant : 酸化劑 : 보통으로는 타의 물질에 산화를 일으키는 물질을 말함), 질소산화물 등의 복합오염의 가능성이 지적되고 있다.

또, 산성물질에 의한 직접의 피해는 없고 토양이나 호수(湖水)생태계의 변화를 통하여 간접적인 피해를 받을 것으로 생각되어 진다. 그런데 인근 일본에서도 관동지방을 중심으로 산성의 비가 관측되고 있다. 1975년에는 눈의 통증 등 인체에 미치는 피해가 일어났다. 또 우량이라고 하여도 조금이기는 하였으나 pH 2.8의 산성비도 내렸다고 보고되었다. 이 비가 10mm만 내려도 장소에 관계없이 농류산(濃硫酸)을 1㎡ 당 0.5g씩 뿌린 것과 같이 된다. 동 지방에서는 5월, 6월의



비가 개인 때에 철쭉 등의 꽃에 흰 반점이 나타나 꽃이 갑자기 시들어지는 것이 가끔 관찰되어졌으며, 그것이 비의 pH가 4.0 이하의 때에 일어나고 있었다 한다.

최근 일본에서는 관동지방에서 삼나무가 말라가고 있는 것이 문제로 되고 있다 한다. 삼나무가 마르는 것은 먼저 나무 끝 부분의 생장이 멈추고 초두부에서 마르기 시작하며 다음에는 나무 전체가 마른다고 하는 과정을 더듬을 수 있다. 확실하게 아류산(亞流酸)가스나 pH 3.0 이하의 산성비에 의하여 삼나무의 잎에 급성 증상이 나타나게 된다. 강 건너 불구경식으로 보고만 있을 때가 아닌 것 같다. 우리들 조경인 스스로가 조경수가 대기 오염 물질로부터 생육에 영향 받지 않고 건전하게 성장할 수 있도록 입지환경개선에 최선을 다하여야 할 것으로 판단된다.

우리나라에서는 매년 봄철만 되면 북서풍의 기류의 흐름을 따라 몽골지방의 황사가 날아온다. 황사 그 자체 보다 중국의 천진 등 공업지대의 상공에 머물고 있는 석탄이나 석유를 에너지원으로 사용하고 있는 공장, 휘발유, 중유, 경유를 원료로 달리는 자동차 등으로부터 유황산화물(일반적으로 SOX로 약칭한다. 그 대부분이 2산화유황 : SO₂, 별칭 아류산가스), 질소산화물(NOX로 약칭한다. 대개 이산화질소 NO₂ 및 일산화질소 NO) 등이 이동의 과정에서 구름속의 수증기나 물방울 등과 만나 태양의 자외선을 쬐고, 또한 배출된 미량의 중금속이나 공중에서 부유하는 각종 물질의 촉매작용을 받으면서 유황산화물은 유산 등으로, 질소산화물은 초산 등으로, 변화한 각종 공해물질과 혼합한 채로 들어

와 피해를 입히고 있으며, 그 피해는 알게 모르게 확산되고 있기 때문에 쉽게 보아 넘길 수 없는 문제점이 있다. 이들 산성강하물의 구도를 보면 위의 설명 내용과 그 외 일련의 화학반응 과정에서 동식물의 생존에 특히 유해한 오존등도 생성되어진다. 산성강하물중에는 유산계(硫酸系), 초산계, 염산계의 3종류가 있다. 그 비율은 유산계, 초산계가 압도적으로 크고, 염산계의 비율은 적다. 그리하여 인위기원(人爲起源)의 산성강하물만으로 한정하면 염산계의 비중은 더욱 적게 된다.

여기에서 잠깐 토양산성과 물질의 이동관계를 살펴보면 대기오염물질 즉 산성물질의 강하에 따라 토양이 산성화하면 pH 5.0 이하에서 유지되었던 무기(無機)이온이 흘러나오게 되며 이들 양(陽)ion이 적어지게 됨으로 인하여 토양의 산성화는 가속화하게 된다. 더욱이 pH 4.0 전후에서 식물에 유해한 알루미늄이나 마그네슘이 용해되어 나오는데 알루미늄의 식물에 대한 유해 작용을 살펴보면 다음 “마”항목의 내용과 같다.

6. 토양중의 산성물질

토양중의 산성은 토양에 머금어져있는 산성물질에 기초한다. 이 산성물질에는 토양수에 용해되어 존재하는 용존 성분과 토양입자에 흡착보존되어있는 흡착성분으로 있어 양자는 토양중에서 평형관계를 갖고 있다. 산성의 용존 성분으로서 무기산 또는 유기산의 수용성산과 알루미늄염과 같은 수용성염류가 있다. 또 흡착성분으로서 교환성알루미늄과 교환성 수소가 있다.

Al^{3+} 는 산성토양에 한하여 존재하는 양(+)이온으로 그 대부분이 흡착 상태로 존재하고 있다.

가. 산으로서의 알루미늄이온의 산성

알루미늄이온의 산성의 발현에 대하여는 2가지의 해설이 있다. 그 하나는 가수분해에 따라 산성을 나타내는 것이다. 또 하나는 Al^{3+} 은 처음부터 산으로 있다고 하는 것이다.

나. 알루미늄이온의 애리와 중합

알루미늄이온이 산이라고 하는 표현에서, 알루미늄이온의 산으로서의 해리는 그 것과 평형하여 중합(重合 : Polymerization : 한 종류의 단위 화합물의 분자가 2개 이상 결합하여 단위화합물의 整數倍의 분자량을 갖는 화합물을 생성하는 화학반응을 말함)이 일어나는 큰 특징이 있다. 즉 중합의 복잡한 과정을 거치면서 강한 산성으로 작용한다.

다. 알루미늄이 뿌리를 죽인다.

식물은 일반적으로 중성내지는 미산성의 토양 환경을 좋아하고 산성이 강하게 되면 생육이 저하한다. 다음은 산성조건하에서 식물이 생육저해를 받는 인자를 표시하였다. 즉, 산성토양의 주된 식물 저해인자로 생각 되는 것에는

- ① 낮은 pH
- ② 알루미늄, 망간의 과잉 장애.
- ③ 칼슘, 마그네슘, 칼륨 등의 염기의 부족
- ④ 아연, 규소 등의 미량요소 결핍
- ⑤ 인산의 불 가급태화
- ⑥ 생물활성의 저하

이들의 인자는 단독으로 혹은 서로 얽혀 붙어서 식물의 정상생장과 맞선다. 흙의 pH가 4.0 이상 뒀에는 식물은 대개 건전하게 자라지만 pH 3.0 에서 4.0의 범위에서 생육이 떨어진다. 그리하여 pH 3.0 이하가 되면 생육이 정지하고 만다. 일반적으로 산성토양이라 하여도 pH 4.0 이하의 것은 드물며 낮은 pH 그 자체에 의한 식물의 생육저해는 적다. 오히려 그 주역은 알루미늄 이온의 과잉에 있다. 산성토양은 교환성 양이온으로서 수소 외에 알루미늄이 탁월한 토양이다. 알루미늄은 산(酸)으로서 활동하여 토양의 pH를 저하시키는 원인으로 된다. 알루미늄은 지각(地殼)중에서 산소, 규소의 순서로 많은 원소이나 식물에 있어서 필수는 아니다. 오히려 차나무 등의 알루미늄을 좋아하는 식물은 예외라 치고 알루미늄이 토양 속에 수 ppm 있는 것만으로도 생육불량으로 되는 작물이 많다. 그러면 알루미늄은 어떻게 하여 식물의 생육을 저해하는 것일까?

과잉의 알루미늄은 주로 근계의 발달을 저해한다. 근계는 양·수분의 흡수구이며 지상 부를 지탱하는 토대이다. 토대가 갖추어지지 않는 건물은 장래가 없는 것과 같이 그 식물은 장래가 없다는 뜻이다. 알루미늄이 근계의 발달을 억제하는 기구는 뿌리에서 흡수된 알루미늄이 세포의 핵이나 세포질에 있는 인(磷)과 결합하는 것으로서 활동을 약하게 하든지 DNA의 인(磷)과 결합하여 세포분열을 저해하기 때문이다. 또, 초산(硝酸)의 흡수나 동화(同化)를 저해하고 지상부의 질소함량을 저하 시키기도 한다. 이와 같이하여 근계, 지상부를 공격하고 드디어는 식물을 고사로 몰아넣는다. 이 외에 흙의 산성화의 과정에서



칼슘이나 칼륨 등의 염기나 아연, 규소 등 미량 요소가 용탈되어 식물의 양분부족으로 된다고 하는 문제가 있다.

7. 알루미늄의 움직임과 그 작용


산림토양에 있어서 알루미늄의 동태에 대하여는 밝혀져 있지 않는 부분이 너무 많다. 알루미늄은 강한 산성토양이 되지 않는 한 비교적 안정한 형태를 유지한다. 그러나 토양용액의 pH가 낮을수록 광질(鑛質)토양에는 알루미늄이 용출하여 주로 수용성 알루미늄(Al^{+++})의 형태로 된다. 산림토양의 pH가 5.0이하로 되면 점토광물에서 방출한 비율이 많아진다. Al^{+++} 부하전자(負荷電座)에 흡착된 교환성이다. Al^{+++} 는 선택적으로 교환 좌에 밀접한 관계를 가지므로 토양용액에서 비교적 낮은 농도의 Al^{+++} 에도 포화되기 쉽다.

내 산성수종인 너도밤나무와 가문비나무는 pH4.2 이하에서 Al^{+++} , $Al(OH)^{++}$, $Al(OH)_2^+$ 가 존재할 때에만 알루미늄스트레스가 발생한다. 너도밤나무림에 있어서 갱신치수는 산성우의 피해를 받으면 근계의 발달이 빈약하고 주근이 특히 짧고 굵은 부정근(不定根)이 과생한다. 그 위에 피해지의 표층도를 사용한 재배시험에는 치수는 대부분 고사한다. 알루미늄에 의한 식물독성의 영향으로서 식물의 지상부·지하부의 성장저하, 인산, 칼슘, 철의 결핍증상이 발현한다. 알루미늄에 대하여 지하부의 생산은 지상부의 생산보다 민감하게 영향을 받고 뿌리의 신장저하가 대표적인 가시증상(可視症狀)으로 된다.

8. 산성강하물 등의 생물과정에 미치는 영향

토양의 산성화는 토양생태계의 많은 구성분에 영향을 주며 H^+ 의 독성에 의한 변화와 토양현상에 있어서 산성유발에 의한 영향과를 구별하는 것은 극히 곤란하다.

가. 토양미생물이 완수한 기능에의 영향

미생물은 일반적으로 산성에 민감하다. 산성비에 의한 토양산도의 변화는 미생물의 수나 활성도에 영향하고 미생물이 관여하는 생물지구화학 Process(과정)을 변화시킨다. 미생물의 활성도는 H^+ 의 직접적 효과, 독성금속의 용해와 생물가급성으로 있는 간접적인 pH 유도효과에 의하여 방해된다. 세균의 산성 측에의 생육한계는 대개 pH 5로서 이 보다 산성 측에는 그 활동이 저해된다. 사상균은 세균이나 방선균에 비하여 생육적정범위는 넓고 토양이 산성화하여도 미생물상은 사상균 생육에는 유리하다. 

(다음 호에 계속)

