

토양의 진단과 조경지의 관리(2)



이 원 규
전 국립환경연구원
중부입업시험장장

다. 토양 산성의 원인

(1) 기후와 토양의 반응

토양이 산성이다, 중성이다 혹은 알칼리성이다 하는 등의 반응을 일으키는 물질에는 유기물과 무기물이 있다. 암석을 구성하는 일차광물(모암이나 모재 중에 남아있는 광물을 말하며 규산을 주성분으로 하고 알루미늄, 철, 마그네슘, 칼륨 등을 부수 성분으로 하는 화학조성과 일정한 결정구조를 갖고 있어 규산염이라고 불리 운다)이 풍화하여 칼슘(Ca^{++}), 마그네슘(Mg^{++}), 칼륨(K^{+}), 나트륨(Na^{+})등이 토양 용액 속으로 들어간다. 또 황산화합물은 산화(酸化; 어떤 물질이 산소와 결합하는 것으로서 어떤 물질로부터 수소가 제거되어지는 것을 의미함)되어 황산염으로 된다.

산림에서는 수목이나 잡초가 흡수한 토양 속에 있는 염기(鹽基; 물에 녹아서 양이온으로 되며 酸根과 결합하여 염을 만드는 원소 또는 분자로서 산성 물질을 중화하는 알칼리 물질이라고도 할 수 있다)는 낙엽 낙지로서 토양 중으로 환원하고 유기물은 암색무정형의 부식으로 되어 토양 속에 존재하게 된다. 또 토양 중에는 식물의 뿌리 혹은 미생물의 호흡에 의한 탄산가스(CO_2)가 많게 되며 이것

도 탄산으로 되어 토양의 풍화에 관여한다. 이와 같은 각 종의 염류가 생성하게 되며 이들이 토양 중에 잔류 하는가, 유실하는가에 따라서 토양의 반응은 산성 혹은 알칼리성을 나타내게 한다.

강우량이 적고 증발량이 많은 지역에서는 규산염의 분해에 의하여 생성된 염기는 유실하지 않기 때문에 잔류하며 칼슘, 마그네슘 등은 용해도가 낮은 탄산염으로 되고, 칼륨, 나트륨의 염류가 유실하는 토양에서는 토양의 반응이 약 알칼리성으로 된다. 또 칼륨, 나트륨의 탄산염이 토양에 잔류하는 경우에는 강한 알칼리성 반응을 나타내게 된다. 기후 조건이 한 냉하거나 온난하고 비가 많은 지방에서는 여러 가지의 유기산을 함유한 것으로 토양을 세척하는 결과가 되어 토양중의 염기는 유실하며 토양 콜로이드는 염기 미포화로 된다. 모암이 산성암일 때에는 염기함량이 비교적 적기 때문에 풍화과정 중에 염기의 유실이 많지 않아도 토양은 미포화로 되기 쉽다. 또 중성내지 알칼리성 암류에서도 염기의 일부는 탄산염, 중탄산염으로 되어 강한 용탈작용을 받으면 유실한다.

본 내용은 조경지를 관리함에 있어 토양의 산성화 혹은 알칼리성 화를 예방하는데 기초적인 내용으로 활용할 수 있을 것으로 본다.

(2) 규산염광물과 가수 분해

무기질토양이 산성으로 될 때 그 주된 역할을 하는 것은 점토광물과 알루미늄의 화수(和水)산화물이다. 점토광물에 활성의 수소(H^{+})가 존재하는 장소의 하나는 2:1형 광물(illite, Vermiculite, montmorillonite 등)에 존재하는 동상치환(同像置換)에 따라 나타난 영구하전으로 있는 것이다. 그 외 하나는 주로 1:1형광물(Kaolin, Kaolinite, halloysite, nacrite 등)로 보여지는 파괴원자기에 의한 음하전이다. 이 때 동상치환에 따라 음하전에 흡착된 H^{+} 는 파괴원자기나 핵돌성 수산기의 H^{+} 보다도 해리하기 쉽기 때문에 강한 산성을 나타낸다.

모암별로는 규산(SiO_2) 66%이상의 것으로 산성

암에는 유문암 및 규산이 풍부한 화성암이 있으며, 염기성암에는 규산 함량이 비교적 적은 화성암, 보통 규산 45~52%로 현무암, 반력암 등이며 초염기성암은 규산의 함량 45%이하의 화성암, 감람암 등의 심성암이 있다.

(3) 부식(腐植)에 의한 산성

부식은 H^+ 을 끌어당기거나 혹은 이를 해리하여 칼복실기, 핵놀성수산기, 아미노기를 갖는다. 칼복실기에 어떤 H^+ 는 핵놀성수산기의 H^+ 보다도 해리하기 쉽기 때문에 강한 산성을 나타내게 된다. 따라서 부식산은 부휴 물보다도 낮은 산도를 나타낼 가능성을 갖게 된다. 유기물이 분해하는데 따라 탄산가스 및 여러 가지의 유기산이 생성되며 이들은 한 결 같이 토양의 산성화에 기여한다.

(4) 비료에 의한 산성화

비료에는 생리적인 산성, 중성 및 알칼리성 비료가 있다. 생리적인 산성비료라는 것은 유산암모니아 (NH_4)₂SO₄, 유산 칼륨 K_2 SO₄, 염화암모늄 NH_4 CL 과 같이 비료 그 자체의 반응은 중성으로 있으나 토양 중에서 NH_4^+ 및 K^+ 가 비료성분으로서 식물에 흡수되고 땅속에 남는 SO_4^{--} 및 CL^{--} 가 유산, 염산으로 작용하여 토양은 산성을 띄게 된다. 따라서 이와 같은 비료를 계속하여 사용하게 되면 토양은 점차로 산성으로 기울게 된다. 다행히 이들 비료는 현재 시판되지 않고 있는 실정이다.

질소 질 비료는 토양 중에서 초산화성분에 의하여 NO_3^- 로 된다. 따라서 만약 다량의 질소비료를 사용할 때에는 초산으로 토양을 씻는 결과가 된다. 조경수를 재배하는 묘포장이나 밤, 감, 대추 등의 집단재배지를 제외한 임지나 조경지에서의 비료에 의한 토양 산성화는 문제되지 않을 것으로 생각한다.

(5) 산성강하물에 의한 산성화

먼저 산성 강하물이란 대기 중의 산성 오염물질이 비나 눈으로 인하여 땅으로 내리는 것을 말한다. 빗물에는 탄산이 함유되어있으므로 그 해리에 의하여 생성된 수소이온이 토양속의 염기와 치환하여 중탄산염으로 되며 비가 많은 지방에서는 이들이 지하로 유실하여 흙은 점점 불포화로 된다. 이 작용은 서서히 진행되고 있어 오랜 기간 동안에 강산성의 흙(pH 4)을 만들게 하는 것으로서 산성토의 대부분은 이와 같은 작용으로 생성되어진 것으로 생각되어지고 있다고 한다.

따라서 흙의 풍화가 높은 곳에서 즉, 풍화 시에 용해된 염기가 다른 유실하기 쉬운 곳으로 행하여지는 것 같은 흙에 산성의 것이 많고 또 풍화가 진

행한 흙에 산성의 것이 많다. 특히 산성강하물은 가스 상, 입자상의 대기오염물질이 지표면에 직접 강하하거나 식물체 표면에 흡착된 후 빗물에 씻겨 지표면에 도달하는 건성침착과 빗물이 지상으로 낙하하는 도중에 가스 상, 에어 졸 상 대기오염물질을 함유하여 지상에 도달하는 습성침착으로 구별된다. 건성, 습성침착의 과정에 의해 지표면에 도달한 대기오염물질이 토양에 집적하여 토양의 산도를 떨어뜨린다.

(6) 기타 원인

화산이 많은 곳에서는 화산으로부터 흘러내리는 물이 다량의 황산을 함유한 강산성의 물이 되어 임지 또는 경지로 흘러들어 가고 있다. 또 광산 혹은 공장에서 유출하는 물이 염산, 황산, 금속의 황산염 등을 함유하며 이들도 또 토양의 산성화에 한 원인이 되기도 한다. 전자의 경우는 다행히 없을 것이나 후자의 경우는 한번 생각할 여지가 있는 것 같다.

라. 산성토양의 주된 식물 피해 인자

식물생장에 있어서 산성토양이 갖는 주된 저해인자로서는 ① 알루미늄과 망간의 과잉 장해, ② 칼슘, 마그네슘, 칼륨 등의 염기의 부족, ③ 아연, 규소 등의 미량요소의 결핍, ④ 인산의 불 가급대화, ⑤ 생물활성의 저하를 들 수 있으며, 이 들 인자는 그 하나하나가 단독으로 해를 미치게 하는 것보다는 복합적으로 식물생장에 해를 가져온다.

산림토양의 산성화되는 주된 요인은 유기물의 분해가 불완전하기 때문에 중간 생성물로서 생성되어지는 각 종의 유기산이 주체를 이루는 것으로 추정되어지고 있다. 토양이 산성으로 되어 지면 산의 해리에 의하여 발생한 수소이온(H^+)이 토양 중에서 음(-)의 전기를 띠고 있는 점토 및 부식으로부터 이루어진 토양콜로이드 표면에 흡착 보지되어 진다. 토양의 산성의 정도가 강하여지면 흡착 보지되어있는 수소이온이 많아지게 되어 화학적으로 불안정하게 되고 점토광물의 결정구조의 일부가 파괴되어 알루미늄이온(Al^{3+})을 생성하여 점토의 표면에 흡착 보지되어진다. 토양의 산도가 pH 5.0 이하로 되면 이와 같이 교환 흡착된 알루미늄이온이 급격하게 증대한다.

토양의 교환산성은 이와 같이 토양콜로이드에 흡착 보지되어 있기 때문에 토양 용액 중에는 직접으로 산으로서 기능을 하지 않는 토양산성(잠재산성)을 의미한다. 이렇게 음의 토양콜로이드입자에 양이온이 흡착하는데 그 흡착하는 힘이 강한 순서는 $H > Ca > Mg > K = NH_4^+$ 로 H^+ 가 가장 강하

게 흡착한다. 또 입자에 접근하여있는 수소이온(H^+)일수록 강하게 흡착하며 입자로부터 간격이 멀어지며 따라 그 힘은 약하게 된다. 입자로부터 멀리 떨어져 흡착력이 약한 H^+ 는 토양에 물을 부어 진탕하는 것만으로 물속으로 유리하여 존재하게 된다. 물속에는 H^+ 와 OH^- 가 등량으로 존재할 때의 액의 반응은 중성으로, H^+ 의 농도가 증가하는데 따라 그 반응은 산성으로 OH^- 가 증가하면 알칼리성으로 된다. 이와 같이 토양에 물을 가할 때에 나타나는 산성을 활 산성(active acidity)이라 한다.

활 산성에는 콜로이드입자에 비교적 약하게 흡착되어 있는 H^+ 와 이것 외에 수용성의 산성 물질에 의한 것이 있다. 물 침출액으로 나타나지 않으나 중성염을 가하므로써 나타나는 산성을 잠재산성(potential acidity)라고 한다. 유기태의 질소가 무기화하여 최초로 발생하는 것은 암모니아이다. 암모니아이온(NH_4^+)은 주로 토양의 양이온 교환부위에 흡착되어 존재하며 토양 중을 두드러지게 이동하는 것은 드물다. 그러나 토양 pH 4.0 이상의 산성토양 조건하에서는 아초산을 거쳐 초산으로까지 초화(硝化; nitrification)되어 물에 녹아 용이하게 유실한다. 이는 산성토의 조건하에 있는 조경지의 비배 시에 유의하였으면 한다.

토양의 pH가 3.0~4.0의 범위에서는 식물의 생육이 떨어지고, 3.0의 강산성 땅에서는 생육이 정지된다하므로 조경지 관리에 참고하였으면 한다.

참고로 조경수종과 토양산도와와의 관계를 보면 일반적으로 낙엽활엽수는 pH 5.3 정도의 약 산성토양 및 알칼리성 토양에서 잘 성장하고, 침엽수인 경우는 낙엽활엽수보다 산성도가 높은 곳 즉 중성에서 그 수치가 약간 떨어지는 곳에서 잘 성장하는 것으로 알려지고 있다.

그러나 수종별 적정 양분 환경을 구명하기 위하여 조사 대상 임목들이 비교적 정상적으로 성장하는 것으로 예측되는 임지에서 수종별로 적정 산도를 조사한 결과 잣나무, 낙엽송, 강송, 전나무, 해송, 삼나무 및 편백은 pH 4.9~5.5 범위, 물푸레나무, 상수리나무, 신갈나무 및 굴참나무는 pH 5.2~5.3의 범위임이 밝혀졌다.

마. 식물 양분의 가급 태와 토양 산도

무기의 질소 화합물인 유산암모니아, 초산암모니아 등은 토양산도에 관계없이 한결 같이 물에 녹아 이용되어지나 유기태질소가 무기화하는 데에는 토양산도 pH 6~8 사이의 알칼리 토양이 좋다. 물론

이것은 토양미생물의 활동에 알맞은 토양산도이다.

인산은 토양산도 6.5~7.5에서 가급태로 된다. 또 7.5이상에서는 칼슘(Ca)과 침전을 일으켜 불용성으로 된다. 용탈을 받지 않은 토양에서는 가리, 석회함량은 많으나 pH 7.5~9.5로 되면 가리의 흡수는 생리적으로 나빠지게 된다.

무기태의 유허화합물은 질소의 경우와 같이 토양산도와 관계없이 물에 녹는다.

그러나 유기태의 유허화합물은 미생물에 의하여 무기화하기 때문에 미생물이 활동에 알맞는 비교적 높은 토양산도 쪽이 좋다.

철, 망간, 아연, 동 등의 금속 양이온은 산성에서 가용성으로 된다. 그러나 철은 pH 5.0이하에서 가용성으로 존재하는데 반하여 망간, 아연, 동은 pH 5.0 이하에서는 급속하게 불 가급태로 된다. 또, 모리브덴은 중성에서 산성으로 기울게 됨에 따라 가급도가 감소하고 산성이 강하여지면 철 혹은 알루미늄에 의하여 침전한다. 붕소도 pH 5.0 이하로 되면 가급태의 것이 감소한다. 이점 조경지 뿐만 아니고 특히 과수원 경영에 크게 활용될 것으로 기대한다.

바. 산성토양의 특징

산성토양에는 예외 없이 염기포화도(degree of saturation)가 낮고 산성반응을 나타낸다. 토양의 산성도가 강하여지면 여타 이온과 자리바꿈을 할 수 있는 치환 성 칼슘 함량이 적고 또 치환 성 마그네슘 함량도 적어진다. 따라서 이러한 산성토양에 살고 있는 식물은 칼슘 및 마그네슘의 결핍을 일으키기 쉽다. 수소이온은 토양콜로이드에 가장 흡수되기 쉬운 양이온으로서 이것이 많이 흡수되어있으면 암모니아, 칼슘, 칼륨, 마그네슘 등의 양분원소 이온의 흡수가 적어지며 시용한 비료성분의 흡수가 적게 되는 결과가 되어 토양콜로이드에 흡착하지 못한 이들 이온은 토양수와 함께 유실하게 된다.

토양이 산성으로 되면 알루미늄, 철, 망간 등이 활성화하여 이온화하게 되는데 그 정도는 토양의 종류에 따라 다르며 특히 pH 5.0 이하의 강산성으로 되면 이런 현상이 현저하고 식물생장을 저해한다.

그 외 산성토양에서는 일반적으로 토양미생물 특히 세균의 활동이 억제되어 유기물의 분해 암모니아 초산화작용, 공중질소고정작용이 약하게 된다. 또한 산성토양의 조건하에서는 토양의 단립화를 방해하므로 물이나 공기의 유통이 자유롭지 못하게 되고 경사지의 경우 토양침식을 받기 쉽게 된다. 