

# 나무가 숨쉬는 토양

- 나무와 토양환경(2) -

박현준 | 대표이사  
(주)푸름바이오  
hunjun1@hanmail.net



나무에 영향을 미치는 토양환경 중에 가장 많은 비중을 차지하는 것은 수분이다. 우리는 흔히 배수가 불량한 토양에서는 수목이 잘 자라지 않고, 물빠짐이 너무 좋으면 수분공급을 자주해야 한다는 것을 무의식 중에 알고 있다. 흔한 예로 화분의 식물이 시들하면 대부분 화분에 물이 부족하다고 생각해서 물을 준 경험은 누구나 한번쯤은 있었을 것이다.

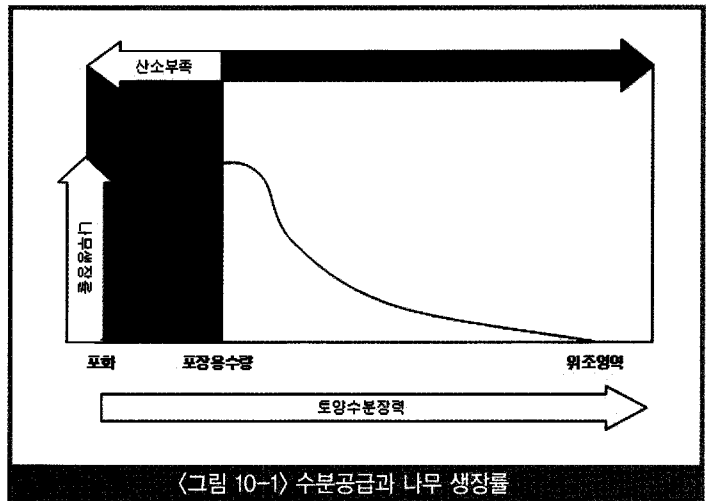
그러면 토양내 수분이 얼마나 있어야 나무의 생육이 좋은 것일까. 답은 적당한 수분이 있는 토양환경이 가장 좋다는 것이다. 토양 입자가 너무 크면 배수성이 좋겠지만 보수성이 떨어지고, 토양 입자가 고우면 보수성은 좋지만 배수성이 떨어지게 된다. 따라서 가장 쉽게 하는 말하면서도 지키기 어려운 말인 ‘적당한’ 수분이 있는 토양이 가장 좋은 토양인 것이다. 사람의 인생에 있어서도 중용의 도를 지키면서 사는 것이 가장 기본적이거나 지키기 어려운 것처럼 말이다.

나무 생장률은 <그림 10-1>과 같이 수분이 너무 많아도 수분이 너무 적어서도 안 되며, 포장용수량 정도의 물에서 가장 나무 생장이 우수하다.

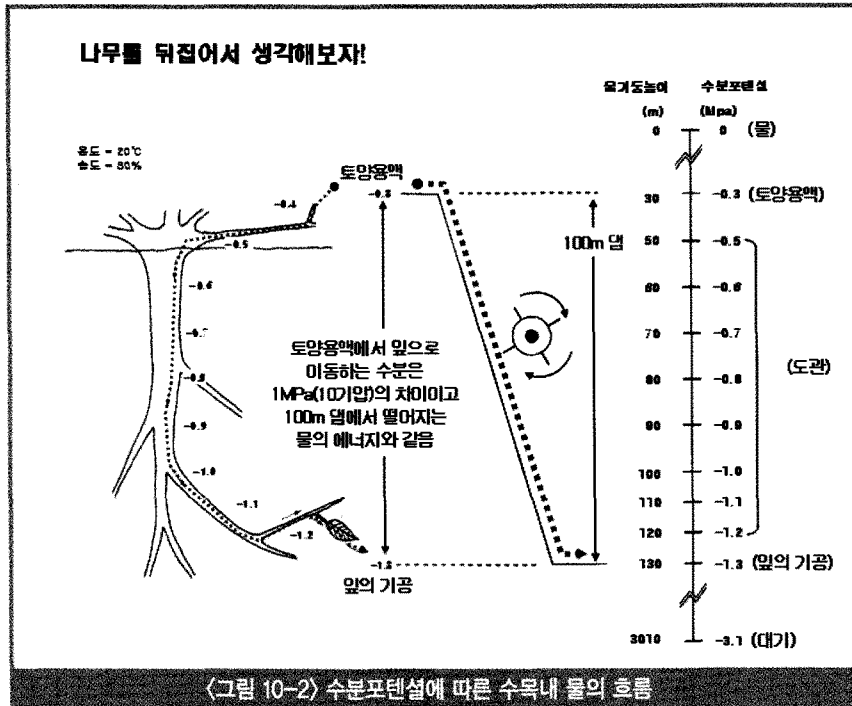
## 1. 나무가 물을 먹는 방법

토양내 수분이 나무의 생장에 어떠한 영향을 주는가에 대해 알아보기 전에 우선 나무가 물을 어떻게 먹는지에 대해 알아보도록 하자. 나무의 호흡에 대해 언급했을 때 나무는 잎의 기공뿐 아니라 뿌리를 통하여 호흡을 한다고 하였다. 마찬가지로 수분도 나무의 뿌리를 통하여 흡수되고, 체내에 필요한 수분을 공급하고 나머지는 나무의 도관을 통해 잎으로 증산된다.

토양 중에 있는 물이 뿌리 속으



로 흡수되고, 목부를 통하여 잎까지 전달되어 기공에서 증산작용을 통하여 대기권으로 돌아가는 수분의 이동은 토양-식물-대기 연속체(soil-plant-air continuum)를 형성함으로써 가능하다.



〈그림 10-2〉에서 보듯이 댐에서 물이 흐르는 것은 높은 곳에서 낮은 곳으로 즉, 수분포텐셜의 개념으로는 높은(高) 수분포텐셜에서 낮은(低) 수분포텐셜로 물이 이동하는 것이다. 수분포텐셜의 高低로 보면 나무를 거꾸로 놓아 볼 수 있으며, 중력의 역방향으로 수분이 흐르는 것을 설명할 수 있다. 토양의 수분포텐셜이  $-0.3\text{Mpa}$ , 식물의 잎이  $-1.3\text{Mpa}$ 로 그 차이는  $1\text{Mpa}(10\text{기압})$ 이 되며, 이러한 수분포텐셜의 차이로 인하여 에너지의 소모없이 토양용액에서 앞으로 수분이 이동하게 된다. 이때 수분이 수십 m 높이까지 올라가기 위해서는 도관내의 물 기둥이 끊기지 않고 연결되어야 하는데, 물 분자 간의 응집력과 도관내의 인장력이 이를 뒷받침해준다.

### 1) 토양의 유효수분과 잎의 증산작용

나무가 토양에서 물을 흡수하기 위해서는 토양 속에 수분은 적정수준의 상태 즉, 물이 너무 메마르거나 포화되지 않은 상태로 나무가 이용 가능한 물인 유효수분이어야 한다. 토양의 유효수분은 〈표 10-1〉과 같이 약  $-0.1\sim-0.3\text{기압}$ 의 포장용수량과  $-15\text{기압}$ 의 영구위조점 사이의 모관수이다.

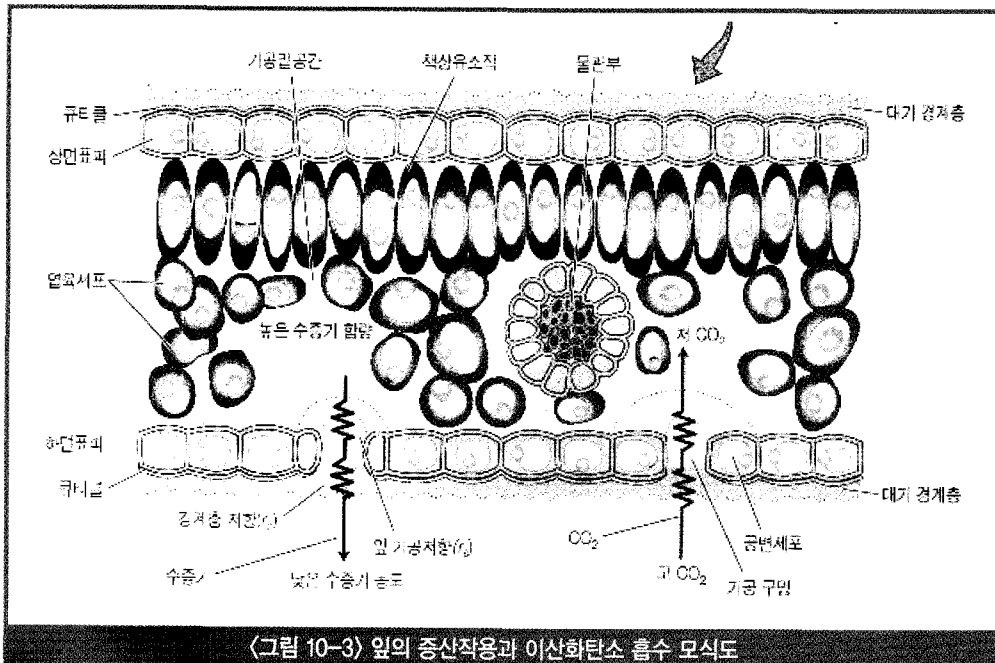
이러한 모관수가 잎의 증산작용으로 순간속 도관을 통하여 나무꼭대기 잎 또는 가지까지 전달되는 것이다. 즉, 나무가 물을 먹는 것이다. 증산작용(transpiration)은 나무의 잎, 정확히 말하면 기공을 통하여 물이 수증기의 형태로 방출되는 것을 말하며, 기공은 광합성을 하기 위해 이산화탄소를 흡수하는 통로이기도 하다.

그러면 증산작용은 나무가 물을 먹기 위해서 반드시 필요한 것인가? 식물이 증산작용을 별로 할 수 없는 상태, 즉 100% 상대습도를 유지하는 테라리움(terrarium) 속에서도 식물은 건강하게 자란다. 하지만 식물을 온실 내에서 높은 습도에서 기르면 갈습과 봉소의 결핍증이 종종 나타나며, 반대로 습도를 낮추어 증산작용을 과도하게 촉진시키면 무기염이 지나치게 축적되어 독성을 나타내는 경우가 있는 것으로 보아 증산작용은 무기염의 흡수와 이동에 도움이 되는 것으로 보인다.

〈표 10-1〉 토양수분의 종류

수분종류	수분함수	pF*	물기둥높이 (cm)	토양수분장력		
				기압(bars)	kPa	
중력수	최대용수량(포화상태)	0	1	1/1000	0	
	포장용수량(FC)	1	10	1/100	-1	
		2	102	1/10	-10	
모관수	모세관상승정지점	2.5	306	1/3	-33	
		2.7	501	1/2		
		3	1000	1	-100	
		3.8	6200	6		
		4	10000	10		
		영구위조점(PWP)	4.2	15800	15	-1500
		흡습계수	4.8	31700	31	-3100
흡착(습)수	풍건상태	5.5				
		6.0	106	100	-100(MPa)	
		7.0	107		-1000(MPa)	

\* 물기둥의 높이(H, cm)의 대수값(log)으로 예) 1기압=1,020 cm  $\approx 10^3 = \log(10^3) = pF3$



〈그림 10-3〉 잎의 증산작용과 이산화탄소 흡수 모식도

## 2) 수액상승

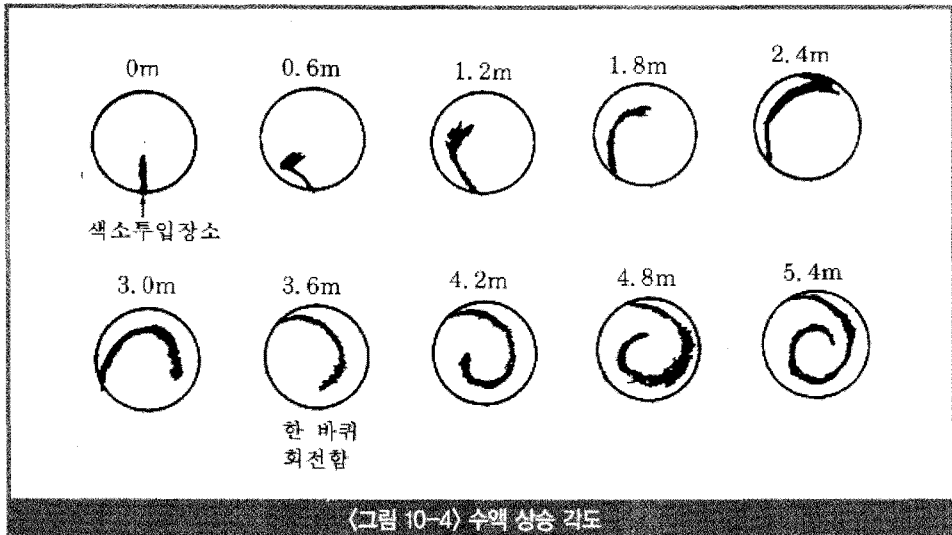
보통 수액은 목부수액(樹液, xylem sap)으로 도관이나 가도관의 증산작용에 의하여 무기염과 그 외 여러 물질(질소화합물, 탄수화물, 효소, 식물호르몬 등)이 용해되어 함께 위로 올라가는 액체를 일컫는다.

질소화합물로는 암모늄태나 질산태 질소와 같은 무기형태의 질소는 거의 존재하지 않고, 아미노산과 ureides 가 검출되며, 탄수화물은 주로 설탕, 포도당, 과당이다. 우리가 흔히 알고 있는 고로쇠나무 수액의 주성분은 맥아당이다. 그 외에 수액에는 시토키닌과 지베렐린과 같은 식물호르몬과 일부 효소도 존재한다.

여러 수종에서 수액의 상승속도는 <표 10-2>와 같으며, 수액은 수직방향으로 곧바로 올라가는 것이 아니고 <그림 10-4>과 같이 나선(spiral)으로 돌면서 올라간다.

<표 10-2> 여러 수종의 대낮의 수액 상승 속도

수종	수액상승속도(m/시간)	목부조직의 구분
설탕단풍나무	1.5~4.5	도관(산공재)
너도밤나무	3.6~4.2	도관(산공재)
호도나무	3.79(최고)	도관(반환공재)
느릅나무	4.3~15.5	도관(환공재)
물푸레나무	25.7(최고)	도관(환공재)
참나무	27.5~60	도관(환공재)
항나무	0.25(최고)	기도관
소나무	0.1~0.8	기도관
낙엽송	0.55(최고)	기도관



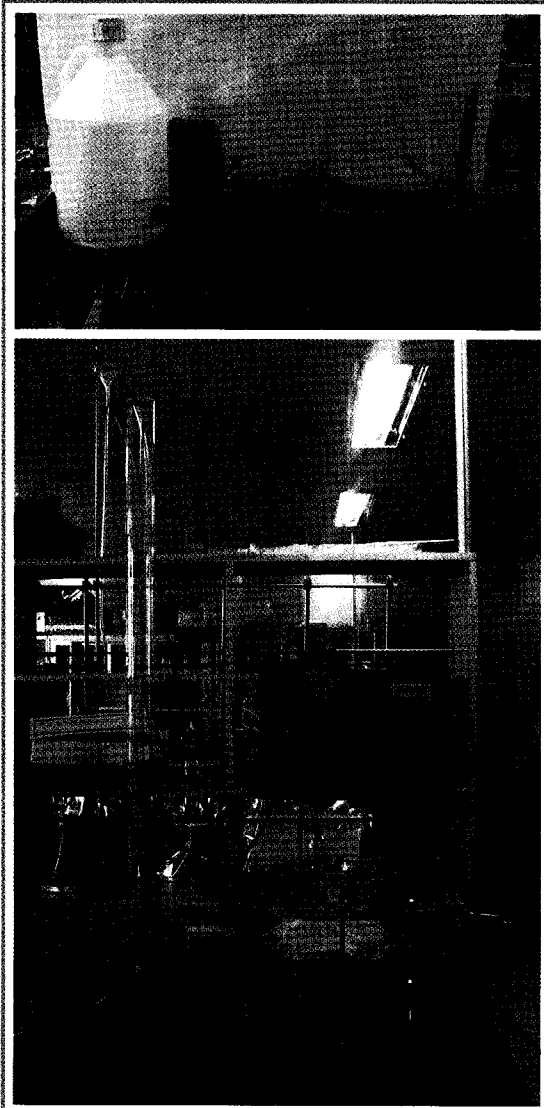
<그림 10-4> 수액 상승 각도

## 2. 토양별 물성

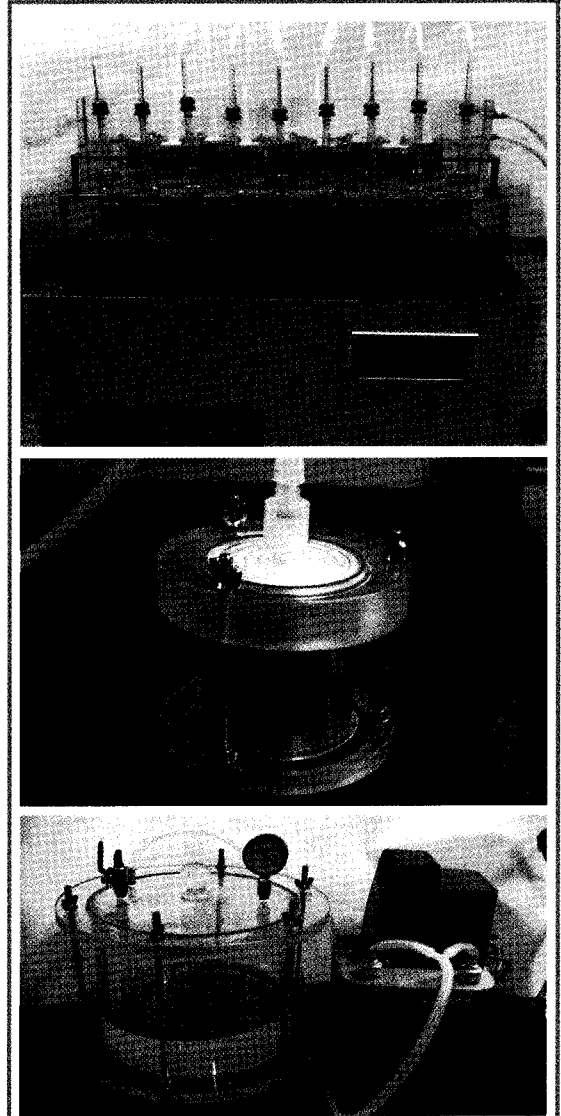
우리 주위에 토양의 종류는 무수히 많다. 자연토양의 경우 토성별 보수성, 배수성이 다르며, 인공토양은 원재료별로 각기 다른 물성을 가진다. 또한 산림토양이었는가, 경작토양이었는가 하는 지반별로 물성이 크게 차이가 난다.

### 1) 자연토양과 인공토양의 물성

토양의 물성중 보수성과 배수성을 측정하기 위한 장치는 각각 <그림 10-5>, <그림 10-6>과 같으며, 이 장치를 이용하여 다양한 자연토양과 인공토양의 보수성과 관련 있는 유효수분과 배수성과 관련 있는 투수계수를 측정할 수 있다.



<그림 10-5> 샌드박스(上)과 가압판(下)을 이용한 토양의 유효수분 측정장치



<그림 10-6> 토양의 투수계수 측정장치(정수위법)

#### (1) 자연토양의 기본 물성

옥상 녹화용 인공토양의 물성관리 기준을 설정하는 기초자료로 활용하고자, 자연계에서 존재하는 5가지 대표토양의 물성을 분석하였으며 그 결과는 <표 10-3>과 같다.

〈표 10-3〉 자연토양의 기본 물성

토양 종류	경량성	다공성	통기성	배수성	보수성	보비성	토양반응
	전용적밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	공극률 (vol%)	대공극율 (vol%)	투수계수 (cm/sec)	유효수분 (vol%)	CEC (cmolc/kg)	pH
식토(clay)	1.14	57	25	$5.8 \times 10^{-5}$	19.4	8.2	5.6
식양토(clay loam)	1.30	49	30	$2.9 \times 10^{-4}$	27.2	8.0	5.4
양토(loam)	1.25	53	36	$4.2 \times 10^{-4}$	31.5	7.8	5.4
사양토(sandy loam)	1.36	49	36	$1.2 \times 10^{-3}$	25.2	6.5	5.2
사토(sand)	1.63	39	34	$4.7 \times 10^{-3}$	12.6	4.2	5

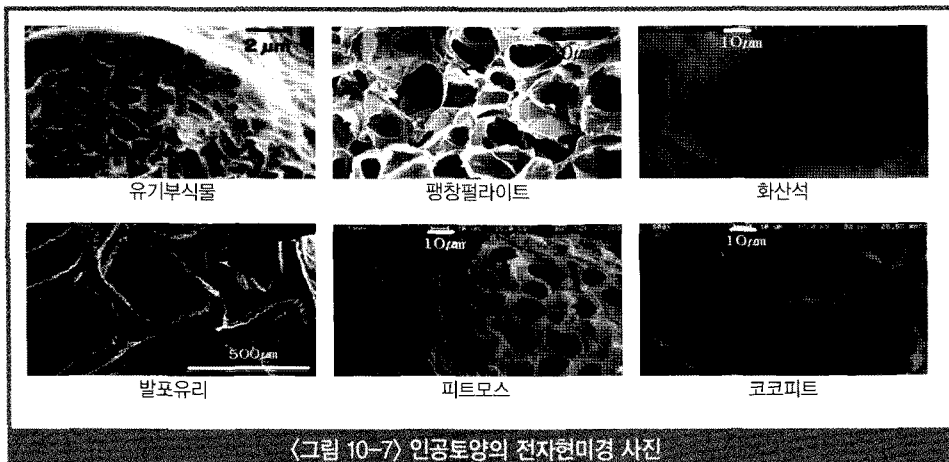
전용적밀도는 식토와 양토가 낮게 나타났으며, 사토는 비교적 높은 값을 나타냈으며, 측정된 자연토양의 전용적밀도는 모두가 1이상의 높은 수치를 나타내어 옥상 녹화용으로 사용하기에는 문제가 된다.

대공극율과 투수계수는 사양토, 사토, 양토가 비교적 높게 나타났으며, 양토, 사양토의 대공극율이 사토보다도 높게 나타난 이유는 양토, 사양토가 사토보다도 입단구조(개개의 토양입자가 서로 결합하여 존재하는 구조)가 더 발달되어 있어 그만큼 물과 공기가 유통할 수 있는 대공극을 더 많이 보유하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

유효수분은 식양토와 양토가 높게 나타났다. 일반적으로 식토가 수분보유력이 좋아 유효수분을 또한 높을 것으로 판단하는 경향이 있으나, 측정결과에서 증명된 바와 같이 식토는 사토를 제외한 다른 토양들보다 오히려 유효수분이 떨어진다. 최대포장용수량에서의 수분함량이 높다고 하여 유효수분 또한 많은 것은 아니며, 식토는 포장용수량에서 수분함량이 많지만(53.6%), 영구위조점에서의 수분함량 또한 많아(34.2%) 오히려 사양토, 양토, 식양토 보다 낮은 유효수분을 가진다.

## (2) 인공토양의 기본 물성

최근 20년간 원예용 배지에서는 인공 혼합배지의 사용이 일반화 되어 〈그림 10-7〉과 같은 펠라이트, 질석, 제오라이트 등의 무기물과 피트모스, 코코피트 코이어, 부속바크 등의 유기물을 적정 혼합한 인공배지들이 등장하여 급속히 보급 되었고, 주요소재와 혼합배지에 대한 물성 및 특성조사가 상당 수준까지 진행 되었으며, 특히 물리적, 화학적 측면에서의 인공토양 물성결과는 옥상녹화 분야에서도 상당히 의미 있고 주목할 만한 영향을 미쳤다.



〈그림 10-7〉 인공토양의 전자현미경 사진

〈표 10-4〉는 각 원예용 배지 소재의 물리성을 정리한 것으로 기존의 토양, 모래 소재를 제외한 소재들은 일반적으로 전용적밀도가 0.03~0.26g/cm<sup>3</sup>으로 가벼우며, 공극량이 77.7~97.0%로 매우 통기성이 높고, 유효수분은 소재별로 20~60%로 다양한 물성을 나타낸다.

따라서 소재의 적정 혼합을 통해 최적 토양물성치를 만족하는 토양의 선정이 가능하다.

〈표 10-4〉 인공토양의 물리성

배지 종류	고상율(vol%)	공극율(vol%)	유효수분(vol%)	전용적밀도(g/cm <sup>3</sup> )
펄라이트	7.0	93.0	45.3	0.15
질석	13.0	87.0	24.5	0.34
피트모스	7.1	92.9	50.7	0.07
바크	22.3	77.7	25.6	0.30
목탄	12.4	87.6	-	0.26
훈탄	5.0	95.0	27.6	0.19
모래	56.2	43.8	21.0	1.49
암면	3.0	97.0	54.2	0.17
입상면	8.9	91.1	60.6	0.26
코코피트	13.0	87.0	40.0	0.06
일반토양 평균치	52.6	47.0	32.3	1.46

〈표 10-5〉는 각 소재의 화학성을 정리한 것인데, 크게 무기소재와 유기소재로 구분하여 비교해 보면, 유기소재의 경우 유기물함량이 38% 이상이며, 최소 40 cmol/kg 이상의 양이온치환용량을 가진다. 무기소재는 양이온치환용량이 거의 없고(예외 : 질석 44.4 cmol/kg), 유기물함량이 매우 낮다. pH는(피트모스, 바크 제외) 6~8 수준으로 나타났다.

〈표 10-5〉 인공토양의 화학성

배지 종류	pH(1:5)	CEC(cmol/kg)	O.M(%)	Ava. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg
					(cmol/kg)		
펄라이트	6.9	0.5	0.1	16	0.40	5.88	1.31
질석	6.8	44.4	0	84	0.36	6.76	1.68
피트모스	3.9	102.5	53.4	18	0.19	1.52	1.41
바크	4.4	41.0	48.5	64	0.41	2.81	0.25
목탄	8.8	-	39.7	70	1.15	5.15	0.61
훈탄	7.4	-	38.0	75	1.76	5.44	0.70
모래	6.8	1.0	0.1	12	0.65	0.85	0.19
암면	7.5	0	0	0	1%	23%	7%
입상면	8.5	0	0	0	1%	26%	5%

혼합배지는 1948년에 독일에서 최초로 피트모스와 토양을 50:50으로 섞어 만든 배지에서 출발하였는데, 본격적인 경량 혼합배지는 1950년대에 미국의 캘리포니아 대학에서 개발한 몇 종의 혼합배지로 피트모스와 모래를 몇 가지 비율로 섞어 만들어진 것이다. 그리고 경량 혼합배지는 1960년대에 코넬대학에서 개발되어 사용되었는데, 경량화를 위해 모래 대신 버미큘라이트와 펄라이트를 사용한 것이 특징이다.

〈표 10-6〉에서는 미국 캘리포니아 대학에서 다양한 소재의 인공토양과 자연토양을 혼합하여 여러 가지 물성을 측정된 결과이다. 이와 같은 혼합배지의 물성에서 인공토양은 단독으로 사용되거나 혹은 일반토양과 혼합하여 사용됨으로써 식물생장을 가능케 하는 물리성과 화학성을 보유하게 된다.

인공토양은 유기물과 무기물로 나누어질 수 있으며, 일반적으로 경량이며, 통기성, 보수성이 매우 우수하여, 자연토양과 같이 수분공급능력, 양분공급능력, 뿌리에서의 가스 교환 능력, 식물지지능력 등의 기능을 가진다.

이미 원예용 배지에서 사용된 펄라이트, 질석, 코코피트, 코코피트 등의 소재는 단독 또는 혼합하여 사용하여 식물생육을 가능하게 하는데, 일반적으로 경량이며, 통기성, 보수성이 우수한 장점을 가지고 있어 이에 대한 추가 연구를 통해 우수한 토양소재에 대한 선정이 가능할 것이다.

〈표 10-6〉 혼합 배지의 물성 (University of California, Cornell University)

인공토양 또는 혼합물 (V:V, M + M)	용적밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	공극률 (%)	기상률 (%)	액상률 (wt%)	투수계수 (cm/hr)
토양	1.15	57	13	44	4.1
가는 모래	1.32	47	7	41	-
1:1 토양 + 펄라이트	0.82	69	27	42	20.3
3:7 토양 + 펄라이트	0.68	74	34	40	132.6
펄라이트	0.18	92	56	37	152
2:7:1 토양 + 펄라이트 + 피트모스	0.46	82	43	39	152
1:1 펄라이트 + 피트모스	0.14	93	42	52	152
피트모스	0.10	94	31	64	152
바크	0.47	-	2.3a	33b	-
1:1 가는 바크 + 질석	0.29	-	2.3a	23b	-
9:1 가는 바크 + 펄라이트	0.28	-	2.7a	21b	-
4:1 삼나무 칩 + 가는 펄라이트	0.22	-	2.6a	17b	-
5:4:1 피트모스 + 질석 + 펄라이트	0.20	-	1.1a	17b	-
4:4:1:1 피트모스 + 부속바크 + 질석 + 펄라이트	0.24	-	2.5a	19b	-

a : 10cm 깊이의 용기에서 물을 통과시킨 후 공기부피

b : 부피로 계산된 수분량

하지만 원예용으로 사용되는 인공토양은 사용기간이 보통 3~6개월로 짧고, 주기적으로 교체 및 폐기되기 때문에 식재기반으로 영구히 사용되는 인공지반 녹화용 토양과 같이 고도의 내구성을 필요로 하는 경우는 매우 드물다. 따라서 원예용 소재 및 혼합배지의 인공지반 녹화토양으로 적용하는데 있어서 1차적으로 염두해 두어야 할 것은 토양식재기반의 시간경과에 따른 토양구조 및 물성의 변화이다.



각 소재의 물성(물리성, 화학성)에 대한 심층적인 연구를 통해 다양한 물성의 인공토양의 선정이 가능하며, 이를 통해 다양한 환경에 적용가능한 시스템의 분화도 가능할 것이다.

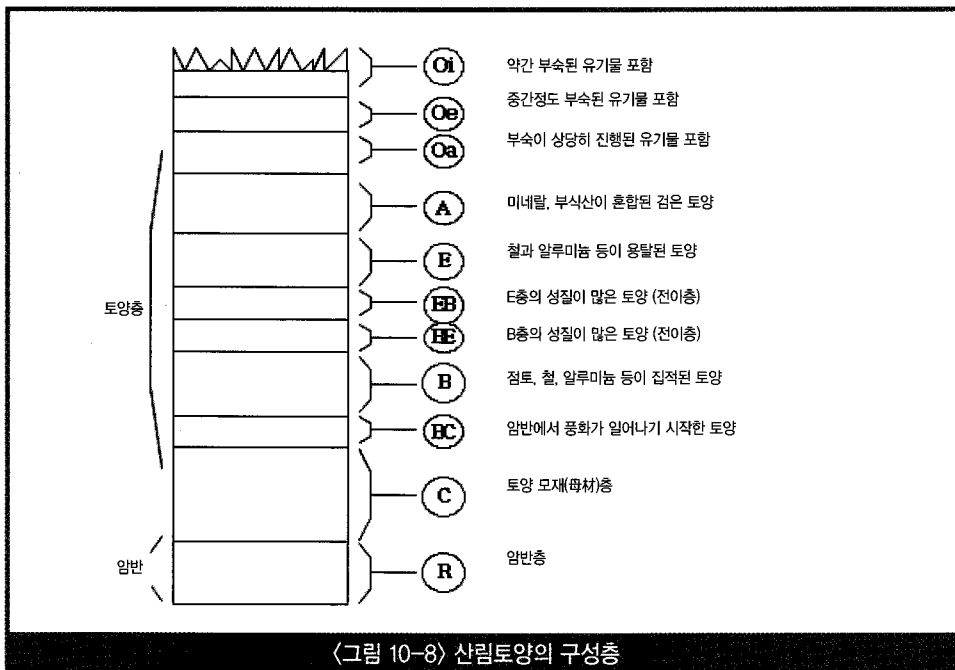
따라서 안정된 식재기반을 반영구적으로 지속하기 위해서는 시간 경과에 따라 구조 및 물성변화를 최소화하기 위해서는 무기질 위주의 토양 사용하여야 하며, 유기질 소재의 사용은 가능한 최소화하는 것이 바람직하다.

## 2) 산림토양과 경작토양의 비교

우리나라에서 골프장은 보통 산을 끼고 조성하는 경우가 많으며, 아파트는 논, 밭 또는 동산과 같은 경사지에 건축을 많이 한다. 조경 대상지가 산, 논 또는 밭이나에 따라서 식재방법이나 토양개량방법이 다르다. 따라서 이러한 토양에 대한 정확한 이해를 바탕으로 조경계획이나 시공을 한다면 실무에 많은 도움이 될 것이다.

산림토양은 여러 가지 성질에서 경작토양과 다르다. 가장 큰 차이는 경작토양은 주기적으로 갈아엎기 때문에 경운층이 있는 반면에, 산림토양은 낙엽층이 있다. 바로 이 낙엽층의 존재와 낙엽의 분해로 인하여 산림토양의 물리적, 화학적, 생물학적 성질은 경작토양과 크게 다르다.

산림토양의 단면은 <그림 10-8>와 같으며, 유기물이 포함된 유기물층(Oi, Oe, Oa)과 미네랄, 부식산이 집적된 검은 토양층(A), 용탈층(E), 전이층(EB, BE), 집적층(B), 광물질 모재층(C) 등으로 이루어졌다.



한국의 산림토양은 모래가 많고 경사가 있기 때문에 통기성이 좋고 배수가 양호한 반면, 보수력이 떨어져서 봄과 가을에 흔히 볼 수 있는 건조기에 한발로 인하여 나무의 생장이 불량해지는 경우가 많다. 그리고 모래가 많은 산림토양은 무기영양소의 함량도 적어, 소나무류나 참나무류와 같이 영양소를 적게 요구하며 건조에 강한 나무만이 자라게 된다. 반면에 미사토나 점토가 많은 토양은 보수력과 영양소가 많아 단풍나무, 서나무, 물푸레나무, 전나무 등이 자랄 수 있는 환경을 만들어 준다.

산림토양은 낙엽층이 있기 때문에 표토 15cm내 유기물 함량이 높다. 따라서 유기물로 인하여 공극이 많고 멀칭효과로 인하여 온도나 기타 외부환경에 완충능력이 뛰어나며, 보수력과 보비력이 높고 토양미생물의 활성이 높아 경작토양에 비하여 뛰어난 물성을 가지게 된다.

하지만 낙엽이 완전히 분해되면서 부식산(humic acid)이 생겨 토양을 산성화시키며, 낙엽이 분해될 때 분해되지 않고 남는 페놀화합물과 탄닌류가 다른 식물이나 미생물의 생장을 억제하는 효과를 가지기도 한다.

우리나라에서 산림토양과 경작토양의 차이점을 <표 10-7>에 나타내었다. 🌲

< 표 10-7 > 산림토양과 경작토양의 차이점

항목		산림토양(원인)	경작토양(원인)
토양단면	유기물층	낙엽층, 발효층, 부식층(낙엽)	없음
물리적	토성	모래와 자갈이 많음(점토유실)	미사와 점토가 많음
	공극률	높음(유기물)	적음(경운)
	용적비중	작음(공극률 높음)	큼(공극률 낮음)
	보수성	나쁨(모래, 경사지)	보통
	배수성	좋음(모래, 배수양호)	보통
	유기물	많음(유기물층에 집중)	많음(인위적 유기물 투입)
화학적	pH	산성(humic acid)	중성(7이하)
	CEC	낮음(유기물층만 높음)	높음(점토 함량 높음)
	C/N비	높음(낙엽성유소의 공급)	낮음(질소질비료 시비)
	타감물질	축적(페놀, 탄닌)	거의 없음
	무기태질소	암모늄태 질소(질산화억제)	거의 없음(작물흡수)
생물학적	토양미생물	곰팡이	박테리아, 곰팡이
	질산화작용	억제됨(산성)	왕성함(중성)

