

토양의 생성 및 특성

1. 토양의 정의

- 토양의 정의와 범위는 학자들간, 시대, 학자들의 전문분야에 따라 다양함
 - Behrent G. : 토양은 지각(지구표면을 덮고 있는 층으로 약 35km 정도)의 풍화피임
 - Ramann E. : 견고한 지각의 가장 윗부분을 차지하는 모암의 풍화물과 동식물의 유체로부터 생성된 것임
 - Hilgard E. W.(1833-1916) : 토양은 식물을 지지하고 양분과 그 밖의 식물생육에 필요한 상태를 줄 수 있는 엉성하고 부드러운 물질
 - Glinka, K. D. (1914): 토양은 기후, 생물, 모암, 지형, 생성기간 등 종합작용에 의하여 이루어지며, 독특한 형태를 갖는 자연체임
 - Dokuchayev V. V. (1846-1903) : 천연적으로 물과 공기와 생물의 작용에 의하여 이루어진 풍화생성물로서 표층과 이에 접촉되는 층을 말하는 것
 - Joffe J. : 는 토양이란 광물질과 유기물로부터 이루어진 부드러운 천연물이며, 일반적으로 여러 깊이의 층으로 나누어지고 하층과 바탕과는 형태, 이화학적 성질, 성분, 생물 관계 등에 있어서 서로 다른 것
 - 미국토양학회 (Soil Science Society of America, 1927)는 “토양은 광물이 풍화되어 생성된 응고되지 않은(unconsolidated) 무기성 광물질(minerals)과 유기물질로 구성된 집합체로서 지각의 상층부에 위치하고 있고 육상식물의 생육을 위한 천연적 기반으로 기능을 보여주는 것”이라고 정의하고 있음.
- 환경학에서는 일반적으로 이러한 개념을 확장시켜 지표층, 기후적인 지구의 표피층, 액체까지 포함하고 있음 즉 이러한 토양의 정의는 암석과 지하수 등, 물을 포함한 다른 구성물질을 포함하고 상당한 깊이까지 고려하는 부지의 개념을 포함

- 토양을 지질학적인 견해로 지각의 최상층으로 보는 것과, 농업적인 측면에서 보아 식물의 생육장소라고 생각하는 것, 그리고 토양을 천연물로 생각하고 지각의 최상층뿐만 아니라 어느 정도 깊이까지를 고려한 것으로 구분할 수 있음
- 토양을 종합하여 정의하면, 토양은 “암석이 물리화학 및 생물학적 작용을 받아 부서지고 분해된 암석의 풍화산물과 이에 기후·생물 등의 작용을 받아 변화되며 분해(分解)·부후(腐朽)되어가는 유기물이 섞여, 자연환경 변화에 평형을 이루며, 토양의 단면을 형성한 자연체로서, 공기와 물이 공존하며, 기계적으로 식물을 지지하고, 양분을 공급하여 식물을 길러 주는 곳”이라고 할 수 있음

2. 토양의 생성기원

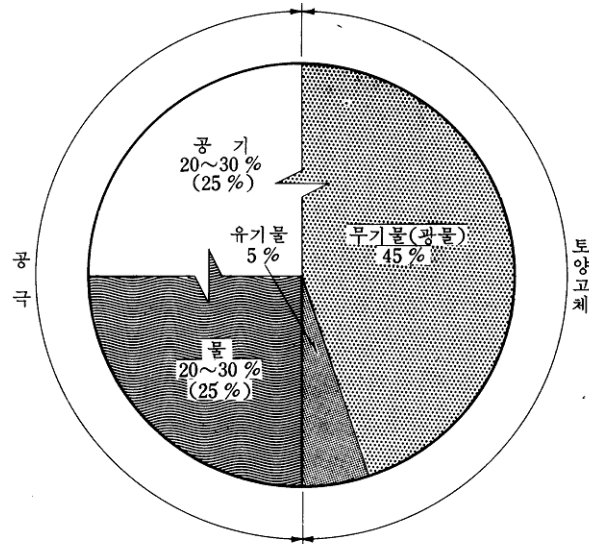
- 약 3억5천만년전에 생명의 보호막인 귀중한 성층권의 오존층이 만들어지면서 원시식물이나 원시동물과 같은 생명체가 육지에 출현하기 시작하였고, 이들이 생물을 부양하는 토양 생성의 기원이 되었다고 추정
- 그 후 토양은 지구에 서식하는 동식물과 상호의존하면서 수 만년에 걸쳐서 성장을 계속하여 점점 비옥한 어느 정도 두꺼운 층을 형성
- 토양의 생성속도는 암석의 종류, 기후, 식생, 지형 그리고 시간 등의 많은 요인에 의하여 달라지는데, 북아메리카에서는 1cm의 토양이 만들어지는 데 100년~500년의 세월이 걸린다고 추정

3. 토양의 구성

3.1. 고상·액상·기상

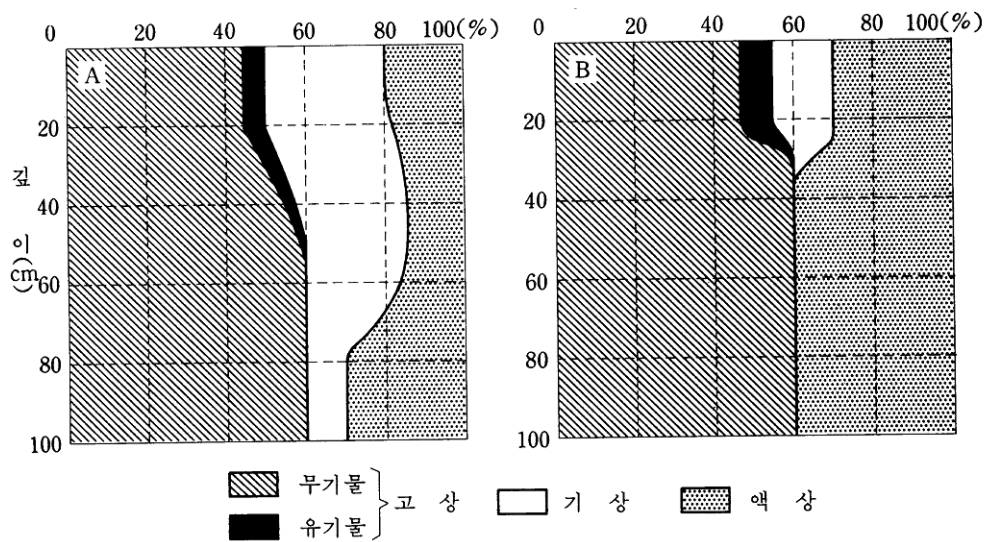
- 토양은 고상·액상·기상의 3상으로 되어 있는데, 고상은 무기물과 유기물, 액상은 토양수, 기상은 토양 공기임 <그림 2>
- 미사질 토양 표토에서의 용적조성은 그림 1에서 보는 바와 같이 대략 고상 50%정도이며, 기상과 액상은 이론적으로는, 각각 평균 25%로 표시하나 실제에 있어서는, 기

상과 액상은 기상조건의 변화에 따라, 그 비율이 일정치 않고 크게 달라짐



<그림 2> 토양의 3상(미사질양토)

○ 토양 3상의 비율은 토양의 깊이에 따라서도 다르게 나타남 <그림 3>



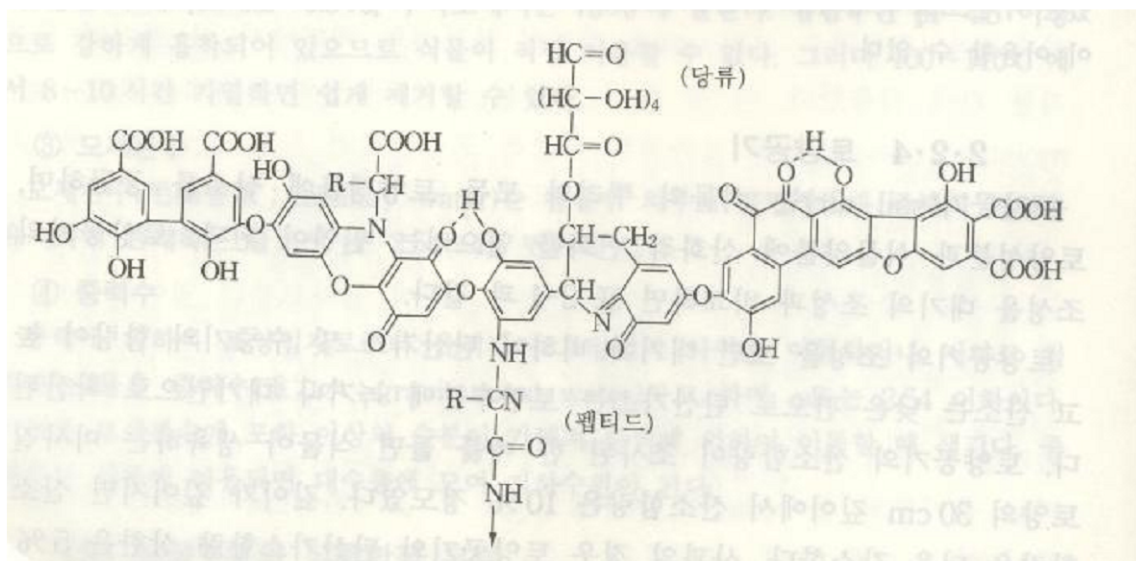
A : 비옥하고 다소 영성한 토양 B : 중점토양

<그림 3> 깊이별 토양의 3상 분포

3.2. 유기물과 무기물

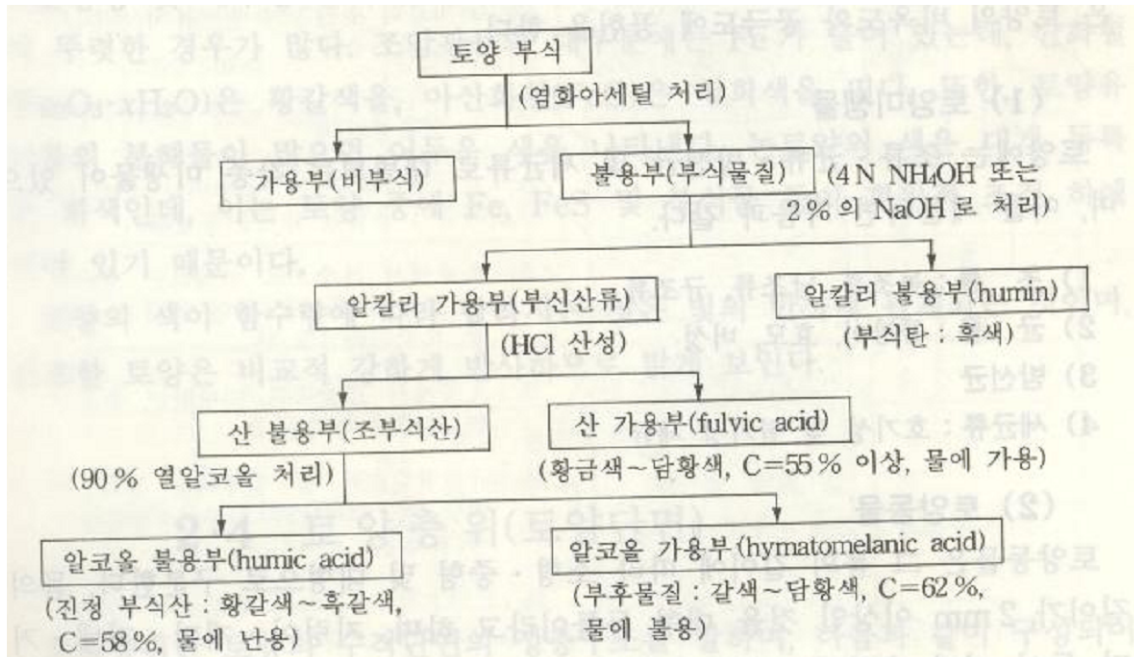
가. 유기물

- 토양에 존재하는 유기물은 대부분이 동식물의 유체와 배설물이며, 토양중에 보통 1-7% 함유
- 부식질(humus)은 토양에 공급된 유기질이 미생물의 분해작용을 받아 원래의 조직이 변형되거나 새롭게 합성된 갈색 또는 암갈색의 형태가 일정하지 않은 교질상의 혼합물로 단일 또는 축합된 방향족 이형환(heterocyclic)과 키톤환 등이 탄소-탄소, 이터(ether), 아미노, 아조 결합으로 연결 또는 교차 연결된 것임



<그림 4> 부식산의 구조(Stevenson, 1976)

- 부식질은 부식탄(humin), 풀빅산(fulvic acid) 히마토멜란산(hymatomelanic acid), 부식산(humic acid) 등으로 구성되어 있으며, 이중에서 부식산은 주요 부분을 구성하고 있음



<그림 5> 부식성분의 구성 (Oden)

- 부식질은 흡수성, 흡착성, 비료 보유능력이 강하며 토양의 물리화학적 성질을 개선하고 식물과 미생물의 영양원이 됨
- 그러나 부식질이 토양에 과다할 경우 토양의 산성화로 일시적 양분 결핍이 일어날 수 있으며, 동시에 무기물의 결핍현상도 수반하게 됨

나. 무기물

- 토양에 존재하는 규소, 산소, 철, 알루미늄, 칼슘, 나트륨 등은 산화물의 형태(SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaCO_3 등)로 존재
- 토양의 화학적 조성은 지각의 조성과 비슷

- 일반적으로 규산염화합물인 SiO_2 가 50-60%, 2,3산화물류인 Al_2O_3 가 20%, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ 10%, 그리고 장염기류인 CaO , MgO , K_2O , Na_2O 등이 5%내외를 구성

3.3. 토양수

- 토양에 존재하는 토양수분은 토양입자와 수분입자의 물리학적 결합 정도 및 식물에 의 이용 정도에 따라 결합수, 흡습수, 모세관수, 중력수로 구분
 - 결합수(combined water)란 토양입자와 화학적으로 결합되어 있는 수분으로 수분장력의 pF는 7 이상이며, 100-110℃로 가열해도 증발·분리되지 않음. 결합수는 화합물의 성질에 영향을 주며 식물이 생장에 이용할 수는 없음
 - 수분장력(soil moisture tension)은 토양이 수분을 보유하고 있는 힘으로 토양입자와 입자를 둘러싼 수막의 최외층 물분자간의 장력은 이와 맞먹은 압력을 가지는 물기둥의 높이(cm)의 대수값인 pF로 표시. $pF = \log H$ (H =물기둥의 높이). 예를 들어, pF4.0의 수분은 10,000cm의 물기둥의 압력(약10기압)으로 결합되어 있는 수분을 나타냄
 - 흡습수(hygroscopic water)는 상대습도가 높은 공기 중에 풍건토양을 방치하면 토양입자의 표면에 흡착되는 물임.
 - 사질토에서 흡습수의 양은 무게비로 0.2-0.3%, 부식토에서는 70%에 달함
 - 흡습수는 100-110℃에서 8-10시간 가열하면 제거할 수 있으나, 일반적으로 pF4.5이상으로 강하게 흡착되어 있으므로 식물이 직접 이용할 수는 없음
 - 모세관수(capillary water)는 흡습수 외부에 표면장력과 중력이 평형을 유지하여 존재하는 물로서 pF 2.54-4.5범위에 있음
 - 중력수(gravitational water)는 중력에 의하여 토양입자로부터 유리되어 토양입자 사이를 이동하거나 지하로 침투하는 물로 pF는 2.54이하임. 모세관수에 포화 이상의 수분이 가해져 중력에 의하여 이동할 때 생기는 물로서 식물에 이용되며 대수층에 모여 지하수원이 됨
- 토양수분은 식물학적 견지에서 볼 때, 과잉수분, 유효수분 및 무효수분으로 구분

- 과잉수분이란 토양에 충분한 물을 공급한 후 24시간 동안에 표층토(부식질이 섞여있는 암갈색의 부분, 0-60cm 내외)로 빠져나가는 수분으로 주로 중력수에 해당함. 이 경우 남아 있는 수분의 최저장력은 포장용수량장력(圃場用水量張力)에 해당하며, 이러한 포장용수량장력 이상의 중력수, 즉 자유수를 지칭함. 이러한 과잉수분은 염류를 요탈시키고 통기를 막아 질소고정 및 암모니아화를 일으키는 호기성 세균의 성장을 저해시킴
- 유효수분(available water)이란 토양수분이 감소하면 토양수분의 장력이 증가하여 식물이 시들기 시작하는 일시위조점(pF 3.8, 약 6기압)에 이르고, 토양수분이 더욱 감소하면 영구위조점(pF 4.5, 약 15기압), 위조한계에 이르게 되는데, 유효수분이란 포장용수량장력과 위조계수력 사이에 보유되는 수분을 뜻함
- 무효수분(unavailable water)은 영구위조점 이하에서 토양에 보유되어 있는 수분으로 흡착수와 응집수의 일부에 이에 해당하며, 식물은 이를 이용할 수 없음

3.4. 토양공기

- 식물의 뿌리와 모든 토양 생물에 산소를 공급하며 토양성분과 식물성분에 산화적 변화를 일으키는 요인으로 대기보다 산소함량이 비교적 낮으며 습도는 높음

<표 1> 대기와 토양공기의 원소 조성 (단위, %)

구분	대기의 조성	토양공기의 조성
질소	78.09	75-90
산소	20.95	2-21
아르곤	0.93	0.93-1.1
탄산가스	0.03	0.1-10
상대습도	30-90	95-100
기타가스	CH ₄ , C ₂ H ₂ , 휘발성유기산, 암모니아, 휘발성 아민, N ₂ O, NO, NO ₂ , H ₂ , H ₂ S 등	

3.5. 토양생물

- 토양에는 세균, 방선균, 균류, 원생동물, 진드기, 응애(mites), 선충(nematodes), 지렁이, 그 밖의 작은 동물들이 존재하며, 이들은 일반적으로 토양 중량의 0.1%를 차지하고, 이들은 토양의 비옥도와 공극도에 기여
- 토양에 존재하는 지렁이의 체내를 통과하는 토양의 양은 건토로서 연간 10acre (4,047m²)당 4톤에 상당하는 경우도 있음. 즉 지렁이는 토양을 뒤집어주며 그 구조를 좋게 하고 토양의 비옥도를 증진

4. 토양의 색

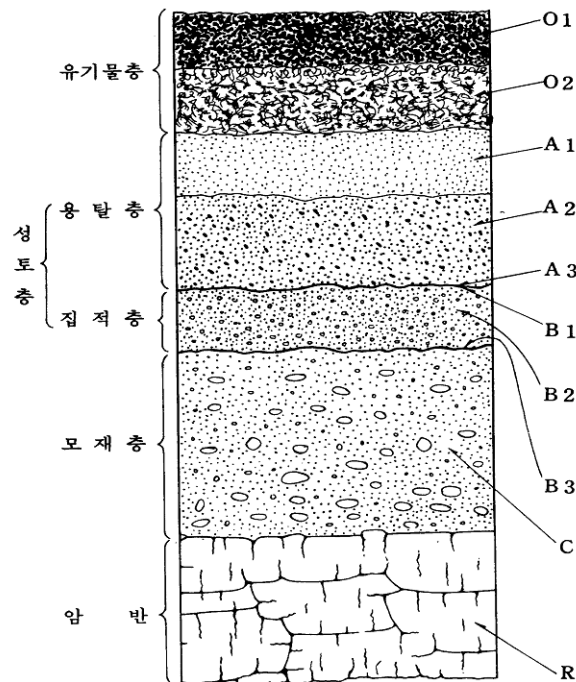
- 토양의 색에 영향을 미치는 요인은 토양의 구성암석, 광물 및 유기물 함량, 수분함량 및 배수성 등임
- 광물로서는 Fe와 Mn 광물에 의한 착색이 뚜렷함. 산화철은($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)은 황갈색, 아산화철(FeO)은 청회색을 띰.
- 유기질의 분해물이 많으면 어두운 색을 띠고, 논토양은 토양중에 Fe, FeS 및 부식물 등이 환원조건하에 섞여 있기 때문에 회색을 띠고 있음.

5. 토양의 단면

- 토양은 생성학적인 측면에서 여러층으로 구분되어 있음 <그림 4>
- O층(O horizon)은 부분적으로 분해가 일어나고 있는 유기물층으로 대체로 밀접한 식생 하에서나 삼림토양에서 볼 수 있으며, 상당한 두께와 특성을 지니고 있음. O층은 유기물의 분해정도에 따라 다시 O1, O2층으로 구분. O1층은 유기물이 신선하거나 일부가 변질된 상태로 있지만 원조직은 육안으로 볼 수 있으며 가장 윗부분의 유기물층임. 낙엽이나 나뭇가지 등으로 되어 있기 때문에 낙엽퇴(litter; L층)라고도 함. O2층은 O1층 아래 또는 A1층위에 있는 유기물층위로서 어느 정도 분해되어 원조직을 육안으로 잘 식별할 수 없음. 이 층위는 그 분해정도에 따라 다시 F층과 H층으로 나뉘는데, F층(fermentation layer)은 유기물의 분해가 활발하게 진행되고 있는 층

위이고, H층(humified layer)은 부식화가 진행된 층위로서 A1층 바로 위에 위치.

- A층(A horizon)은 성토층(solum)의 가장 윗부분에 있으며, 기후·식생 등의 영향을 직접 받아 가용성 염기류가 용탈될 뿐만 아니라 경우에 따라서는 점토·부식 등과 같은 교질물질도 아래층으로 이동. 그러므로 A층을 크게는 용탈층 (alluvial horizon) 이라고도 함. A층을 특성에 따라 다시 A1, A2 및 A3층으로 구분.
- B층(B horizon)은 규산염점토와 철, 알루미늄 등의 산화물 및 유기물의 일부가 집적 되는 집적층(illuvial horizon) 이라 하며 A층의 경우와 같은 개념에 따라 B1, B2, 및 B3층으로 다시 구분
- C층(C horizon)은 모재층으로 칼슘, 마그네슘 등의 탄산염이 교착상태로 쌓여있거나 위에서 녹아 내려온 물질이 엉키어 쌓인층임
- R층(R horizon)은 암반층으로 단단함 모암층임



<그림 6> 토양단면의 모형도

6. 토양의 입경구분과 물리성

○ 토양은 크기가 다른 여러 가지 입자로 구성

- 토양을 풍건한 후 그물망의 크기가 $2 \times 2 \text{mm}^2$ 인 체로 쳐서 걸러진 입자가 자갈임. 그 이하의 것을 세토(fine soil)라 하며, 세토를 다시 모래·미사·점토 등으로 나눈다. 이와 같은 구분을 입경구분(separates)이라 함 <표 2>.

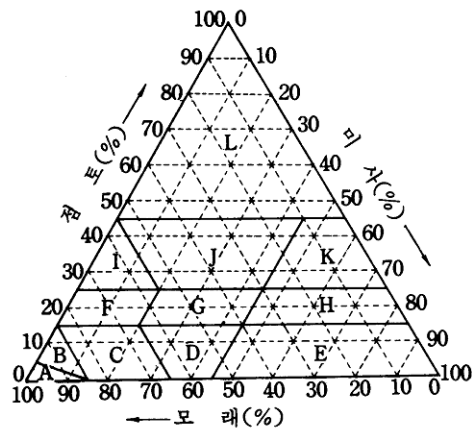
<표 2> 토양의 입경구분과 입자수 및 비표면적

구 분	지름(mm)		토양 1g 당 입자수	비표면적 (cm^2/g)
	미국 농무성법	국제 토양학회법		
礫 (자갈; gravel)	>2.00	>2.00	-	-
極粗砂 (왕모래; very coarse sand)	2.00~1.00	-	90	11.3(2.00)
粗砂 (coarse sand)	1.00~0.50	2.00~0.20	720	22.6(1.00)
中間砂 (중모래; medium sand)	0.50~0.25	-	5,700	45.3(0.5)
細砂 (가느모래; fine sand)	0.25~0.10	0.20~0.02	46,000	90.6(0.25)
極細砂 (고운모래; very fine sand)	0.10~0.05	-	722,000	226.4(0.10)
微砂 (가루모래; silt)	0.05~0.002	0.02~0.002	5,776,000	452.8(0.05)
粘土(clay)	<0.002	<0.002	90,260,853,000	1,509.434(5×10^{-6})

7. 토성

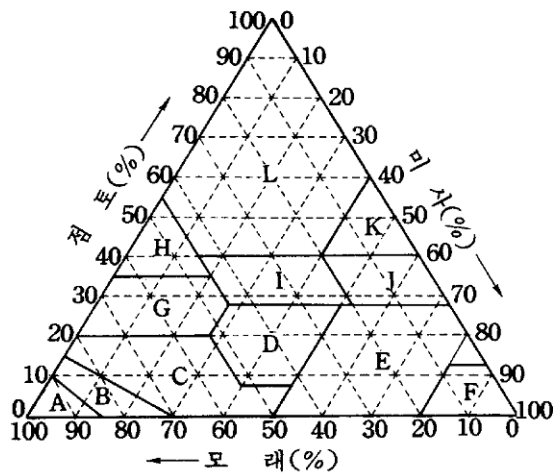
- 토성(soil texture, soil class)은 토양의 무기질입자의 입경조성(기계적 조성)에 의한 토양의 분류로 모래·미사·점토 등의 함유 비율에 의하여 결정됨
- 토양의 기계적 분석으로 모래(조사+세사)·미사 및 점토의 백분율을 산출하여 삼각도표법을 이용하면 토성을 쉽게 결정할 수 있음
- <그림 7>는 국제토양학회, <그림 8>은 미국 농무성(USDA, United States Department of Agriculture)에 의한 토성의 구분으로 삼각형의 각 정점을 모래·미사 및 점토의 100%로 취하고, 각 변상에 그 토양의 모래·미사 및 점토의 함량을 취하여 대변과 평행하게 그은 직선교점으로부터 토성을 결정하는 것임
- ※ 예를 들면, 점토의 함량이 20%, 미사의 함량이 60%, 모래의 함량이 20%인 토양은 국제토양학회에 의하면 <그림 7>에서 보는 바와 같이 H의 범위에 있어 미사질식

양토이고, 미국 농무성 자료에 의하면 <그림 8>에서 보는 바와 같이 E의 범위에 있으므로 미사질 양토임. 토성명이 경계선 상에 해당될 경우에는 작은 입자가 많은 토성의 이름을 따르게 됨



- A : 砂 土(sand)(S)
- B : 壤質砂土(loamy sand)(LS)
- C : 砂壤土(sandy loam).....(SL)
- D : 壤 土(loam)(L)
- E : 微砂質壤土(silt loam).....(SiL)
- F : 砂質壤壤土(sandy clay loam)...
-(SCL)
- G : 壤壤土(clay loam)(CL)
- H : 微砂質壤壤土(silty clay loam)...
-(SiCL)
- I : 砂質壤土(sandy clay)(SC)
- J : 微砂質壤土(silty clay)(SiC)
- K : 輕壤土(light clay)(LiC)
- L : 重壤土(heavy clay).....(HC)

<그림 7> 국제토양학회에 의한 토성구분 및 이름



- A : 砂 土(sand)(S)
- B : 壤質砂土(loamy sand)(LS)
- C : 砂壤土(sandy loam)(SL)
- D : 壤 土(loam)(L)
- E : 微砂質壤土(silt loam)(SiL)
- F : 微砂土(silt)(Si)
- G : 砂質壤壤土(sandy clay loam)...
-(SCL)
- H : 砂質壤土(sandy clay).....(SC)
- I : 壤壤土(clay loam)(CL)
- J : 微砂質壤壤土(silty clay loam)...
-(SiCL)
- K : 微砂質壤土(silty clay)(SiC)
- L : 壤 土(clay)(C)

<그림 8> 미국농무성법에 의한 토성구분 및 이름

8. 토양반응

○ 토양반응이란 토양이 산성인가 아니면 알칼리성인가를 말하는 것으로서 흔히 pH값

으로 나타냄

- pH값이 7.0이면 중성, 7.0 이하는 산성, 7.0 이상이면 알칼리성임
- pH는 토양 중 양분의 유효성에 끼치는 영향이 가장 중요한데, 강산성에서는 유효성이 낮아지고, 약산성(pH약6.5)에서는 일반적으로 증대

- 우리나라 내륙지방의 토양은 대부분 산성이고, 해안지대의 신간척지 또는 바닷물이 침입하는 지대의 토양은 알칼리성임
- 내륙지방, 즉 충북의 단양, 경북의 문경, 강원도의 영월·삼척·정선 등지의 석회암 지대에서 생성된 토양은 중성에 가까우며, 화강암이나 화강편마암에서 유래된 구릉지의 밭토양은 일반적으로 강산성이어서 pH 값이 4.5 내외인 경우도 있음
- 해안지대의 배수가 불량한 경지에서는 유기물·황 등이 표층토에 집적되어 이른바 特異酸性土壤을 이루고 있는 곳도 있음

- 우리나라 논·밭 표토의 pH 범위는 대체로 산성이 강한 편임

<표 3> 우리나라 논·밭 표토의 pH 범위 별 분포(단위:%)

<농촌진흥청, 1985~1963>								
구 분	지역별	조 사 점 수	pH(1:1)의 범위					
			<4.9	5.0~5.4	5.5~5.9	6.0~6.4	6.5~7.0	7.1<
논토양	중부	8,924	16.0	38.6	29.9	9.9	3.5	2.1
	남부	13,660	19.4	44.1	22.6	8.1	3.3	2.5
밭토양	중부	6,898	17.3	3.0	28.1	13.7	5.5	4.4
	남부	10,560	27.2	27.3	22.1	9.2	2.9	1.3

참고문헌

농촌진흥청. 1999. 농업환경변동대책연구. pp3-31.

양재의, 이규승. 2001. 농업환경. 한국환경농학회.

조인상. 2001. 논토양관리. 토양과 물 관리에 대한 국제심포지움. 한국토양비료학회
pp64-67.

한국지하수토양환경학회. 2001. 토양환경공학. 향문사.