



# 토양오염방지 및 관리

## 2차시

## 1. 토양의 기능 1)2)

토양은 지각의 표층부분에 있고, 물·공기 등과 함께 환경의 중요한 구성인자이며, 인간을 비롯한 생물의 생존기반으로서 또는 물질의 순환이나 생태계의 유지요소로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 환경으로서 토양이 맡고 있는 기능, 즉, 토양환경기능은 다양하고, 동시에 이것들이 복합적으로 발견되는데, 이들 기능을 경제활동 및 환경보전에 관한 요소에 착안하여 본다면 상호간에 중복은 있지만 다음과 같이 정리할 수 있다.

### 1.1. 토양환경기능

#### 1) 식량생산 기능

- 토양에는 각종 미생물과 영양소가 들어있어 농작물의 생육을 가능하게 한다.  
따라서, 토양성분의 풍부 또는 빈약 여부가 국가가 식량생산 능력에 큰 영향을 미친다.

#### 2) 지하수함양 기능

- 토양에 함유된 물은 저수지 구실을 하고 있으며, 토양수의 상당 부분은 지하수 자원으로서는 기능을 하는데, 하루에 수 mm에서 수십 mm 까지 물이 토양속에 축적된다고 한다

#### 3) 오염물질 정화기능

- 토양은 토양유기물이나 점토에 의해 완충능을 가지고 있어 오염물질이 토양에 유입되었을 때, 오염물질을 흡착 고정하고 토착미생물의 분해작용에 의해 오염물질을 정화한다.

#### 4) 환경의 쾌적성 기능

- 토양은 그 곳에서 생육하는 식생(녹지)과 일체되어 사람의 마음을 순화시키고

1) 토양환경공학, 한국지하수토양환경학회 편, 2003

2) 토양지하수환경, 동화기술, 2011

평온함을 준다, 이는 포장이 되어 있지 않은 오솔길을 걸을때의 감촉이나 정원에서 자라는 식물과 꽃을 보면서 우리가 마음의 평화를 느낄수 있는 것을 말하며, 이것이 쾌적성의 기능이다.

## 5) 기타 공익기능

- 토양은 우리의 주거의 토대이다, 토양은 인간의 생존조건인 의식뿐 아니라 주거기로서의 역할을 제공함으로써 인간의 생존기반을 제공해주고 있다.
- 매장문화재 보존기능: 토양 중에는 종종 고고학자거 유물과 주거지와 매장층의 유적이 발견된다. 이들의 존재양식과 그 연대를 확인함으로써 당시의 인류의 생활상을 연구하는 기틀을 제공하고 있다.
- 자연교육교재기능: 흙을 이용해 공작작품을 만들거나 토양을 근거로 살아가는 토양 미소동물의 생활상, 토양과 식물의 관계 등 토양생태계의 일단면을 보여주는 자연교육학습장으로의 기능도 제공하고 있다.

## 1.2. 토양의 물리적 성질

### 1) 토양의 공극

- 일정한 토양 용적내의 입자와 입자사이에 공기나 물로 채워지는 틈새가 있는데 이것을 토양의 공극이라 한다. 토양내에 이부분이 적당히 존재할 때 작물의 생육이 좋기 때문에 토양 공극은 작물 생육에 아주 중요한 의미를 가진다. 토양 공극은 토양의 밀도(비중)를 측정함으로써 알 수 있다.

### 2) 토양의 밀도 3)

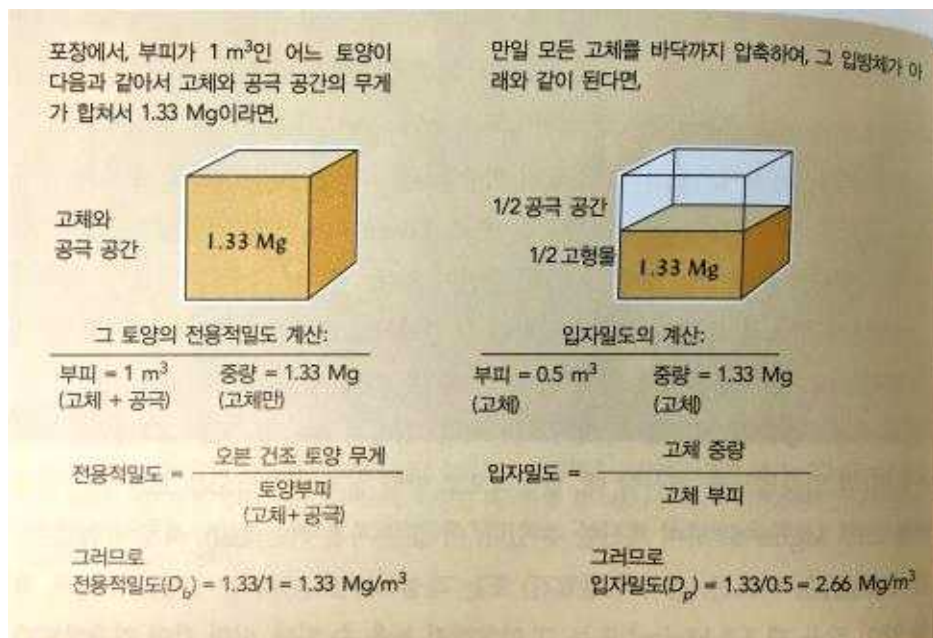
#### ① 입자밀도 (Particle density)

- 토양의 3상 중에서 고상 자체만의 밀도를 나타낸다

3) 토양학, 육현충 편저, 2011

- 공극이 없는 암석 자체의 밀도와 동일한 값으로 암석의 조성에 따라, 2.5~3.0 g/cm<sup>3</sup>의 범위인데, 평균값으로 보통 2.65g/cm<sup>3</sup>가 된다
  - 광물질의 화학적 조성 및 결정 구조가 입자 밀도를 결정한다. 입자 밀도는 공극공간에 의한 영향을 받지 않으므로 입자크기 또는 입자의 배열상태(토양구조)와 관련이 없다.
- ② 용적밀도 (또는 전용적밀도, bulk density)
- 고상, 액상, 기상으로 구성된 자연상태의 토양 밀도를 의미하는데, 일반적으로 105-110℃에서 8시간 정도 건조된 후의 토양, 즉 고상과 기상으로만 구성된 토양의 용적밀도를 측정하여 실제 사용한다
  - 용적 밀도의 값은 입자 밀도보다 훨씬 낮으며, 토양의 구조, 생성 및 공극률에 따라서 그 값이 서로 크게 다르다. 그러므로, 용적밀도는 토양의 구조를 잘 반영하여 주며, 공기의 유통이나 물의 저장 능력을 나타내어 작물의 생육 상태를 이해할 수 있게 하는 기준이 된다.

(그림) 토양의 입자밀도와 용적 밀도



(출처, 토양학, Nyle C. Brady and Ray R. Weil, 교보문고, 2011)

### 3) 토양의 구조 4)

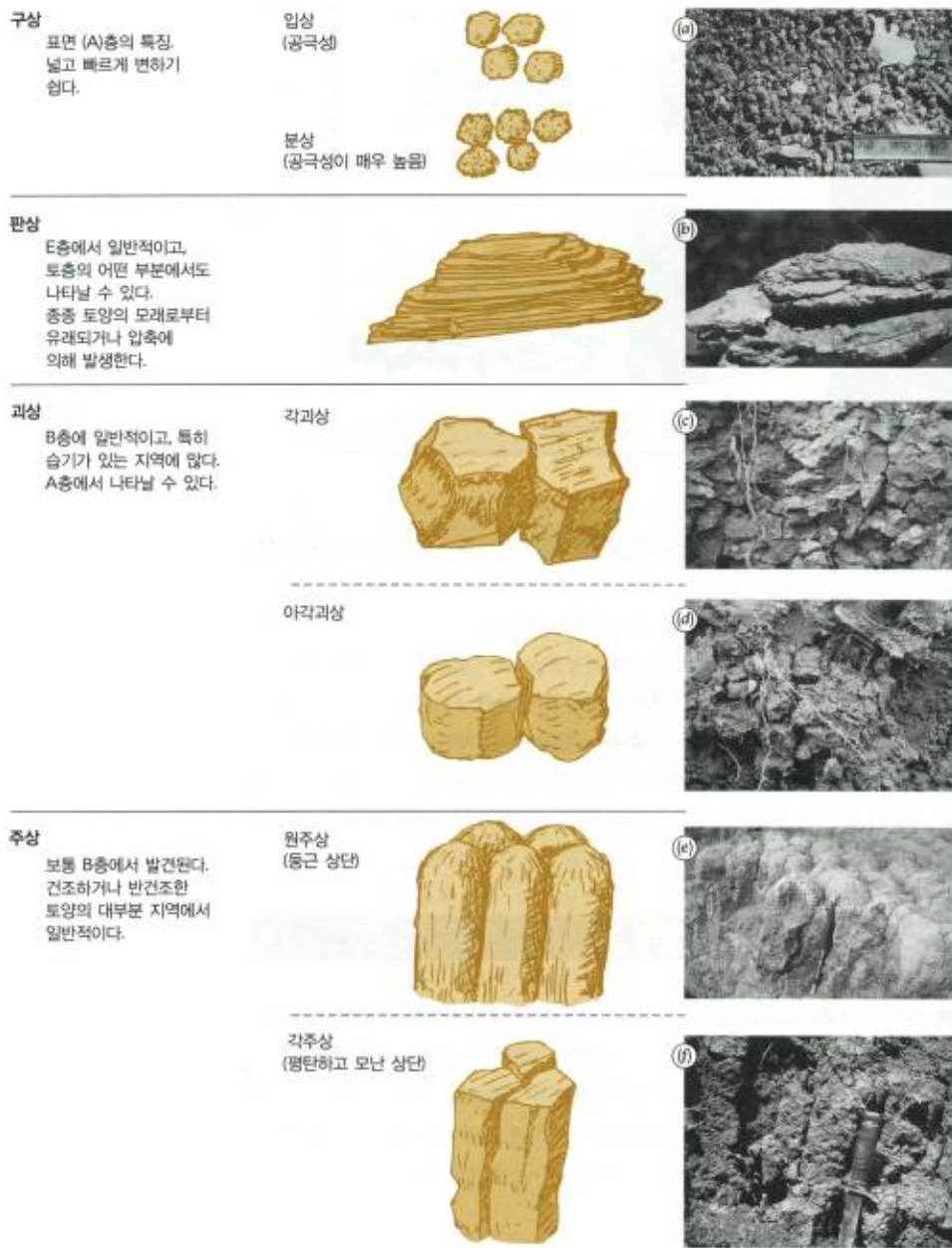
#### ① 토양 구조의 정의

- 토양은 크고 작은 입차 입자가 합쳐져서 일정한 입체적인 배열 형태를 갖는 이차 입자를 형성하여 물의 보유 및 이동과 공기의 유통에 필요한 공극을 이룬다. 즉, 단립과 토괴로부터 발달하여 입단이 되는데 이와 같이 토양 입자의 집단화 또는 배열을 표시하는 것을 토양의 구조라 한다

#### ② 토양 구조의 분류

- 입상구조 : 외관이 거의 구상이고 유기물이 많은 건조한 곳에서 생성되며, 그 모습은 둥글고 직경이 1cm 이하의 작은 입단으로 되어 있다. 작토 및 표토에 많이 분포하며 다공질의 경우에는 빵조각(crumb) 구조이다. 또한 이 구조는 인위적인 영향을 받아 파괴도 되고 발달도 된다.
- 괴상구조 : 외관상 다면체를 이루고 그 각도는 대부분 둥글며, 발토양과 삼림의 하층토에서 발견된다. 여러 토양의 집적층(B층)에서 주로 볼 수 있고 입단 상호 간격이 좁다.
- 주상구조: 각주상인 것과 원주상인 것이 있으며, 토양 입자가 세로로 배열되어 때로는 상당히 길고 큰 구조를 만든다. 건조 또는 반건조 지방의 심토에서 발달되며 찰흙 함량이 많은 염류토의 심토에서도 발견된다. 또한 점토질 논토양과 알칼리성 토양에서도 발견된다.
- 판상구조: 토양입자가 얇은 판자상 또는 렌즈상으로 배열되어 있고 습윤지대의 A 층에서 발달한다. 논토양의 작토 밑에서 흔히 볼 수 있으며 토양수분의 수직배수가 불량하여 습답을 이룬다.

(그림) 무기질 토양에 있는 다양한 토양구조의 모양



(출처, 토양학, Nyle C. Brady and Ray R. Wil, 교보문고, 2011)

## 1.3. 토양 유기물

### 1) 토양 유기물의 급원 및 분해

- 토양 유기물의 재료가 되는 것은 대부분 식물체의 유체이며, 그 외에 식물 뿌리의 분비물, 미생물의 대사분비물, 토양 생물 및 미생물의 유체 등이 포함된다
- 자연적으로 또는 경작을 통하여 토양 중에 공급되고 분해 변형이 되어 일부가 고유한 부식물의 형태로 남게 된다
- 주요한 유기물질로는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 펙틴, 단백질 등이 있다.
- 유기 화합물 중에서 당류나 단순단백질은 분해가 빨리 이루어지며 헤미셀룰로오스와 셀룰로오스는 그 다음이고 리그닌 왁스 유지 등은 분해되기 매우 어렵다. 일반적으로 질소 함량이 많은 유기물일수록 분해되기 용이하다

### 2) 부식(humus)의 정의 및 조성분

- 토양중의 유기물이 여러 가지 생물적 분해작용을 받아 원조직이 변질되었거나 재합성된 갈색 또는 암갈색의 일정한 형태가 없는 교질상의 물질이며, 매우 복잡하고 분해에 대하여 저항성이 큰 물질의 혼합물이다
- 부식은 용제에 대한 성질로 구분한다
  - 알칼리에 녹고 산으로 침전되는 부분을 부식산(humic acid)
  - 알칼리와 산에 다 같이 녹는 부분을 풀브산(fulvic acid)
  - 어느 것에도 녹지 않고 토양에 남는 부분을 휴민(humin)이라고 한다

## 1.4. 토양의 화학적 성질

### 1) 토양 광물

- ① 1차 광물
  - 암석이 기계적, 화학적, 생물학적 작용으로 붕괴 또는 분해되었을 때 큰 변화가 없는

광물로 주요한 화학성분은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  등이 함유되어 있다. 특히 토양광물은 주로 Si, Al, Fe 등을 함유하고 있으므로 이를 규반염 광물이라고도 한다

## ② 2차 광물 (점토 광물)

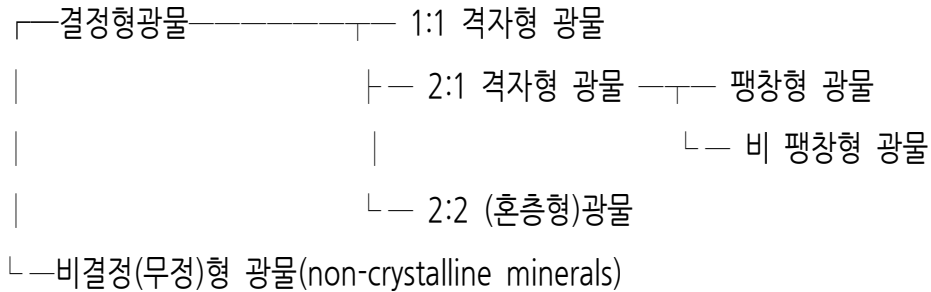
- 일차 광물이 풍화되어 토양생성과정에서 재합성된 미세 광물이다. 2차 광물은 대부분 판상의 격자를 이루며 그 화학적 조성은 다음과 같다.

점토광물	성분	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$
Kaolinite		45~48	38~40				
Montmorillonite		42~55	0~28	0~30	0.0~25	0~0.5	0~3
Illite		50~56	18~31	2~5	1~4	4~7	0~2
Vermiculite		33~37	7~18	3~12	20~28	0~2	0~2
Chlorite		22~35	12~24	0~15	12~34	0~1	0~2

- 점토광물은 입경이 0.002mm 이하인 소립자로 이루어지므로, 그 활성표면이 매우 커서 식물 무기양분의 흡착, 방출, 산도, 고정, 토양반응, 통기, 통수성 등 물리·화학적 성질을 지배하므로 식물 생육에 중요한 요인이 된다.
- 점토광물(clay minerals)의 종류는 광학현미경적 방법(위상차법·한외현미경법)·X선회절법(X-ray diffraction method)·시차열분석법(differential thermal analysis; DTA)·적외선분광법·전자현미경사진법·화학분석법등을 이용하여 분류



〈그림 2〉 점토광물의 분류



## 2) 양이온 치환용량

- 토양입자의 확산이중층 내부의 양이온과 유리양이온이 서로 위치를 바꾸는 현상을 양이온치환 또는 염기치환이라 하며, 그 크기를 양이온치환용량(cation exchange capacity: CEC) 또는 염기치환용량(base exchange capacity: BEC)이라 함
- 양이온치환용량은 일정량의 토양 또는 교질물이 가지고 있는 치환성양이온의 총량을 의미하며, 토양이나 교질물 1kg이 보유하는 치환성양이온의 총량을 cmol(centimole)로 표기
  - ※ 과거에는, 100g이 보유하는 치환성양이온의 총량을 mg당량(milli-equivalent)로 표시. 즉, 다른 표현으로는 양이온치환용량은 토양이나 교질물 100g 이 보유하고 있는 음전하의 수와 같음
- 주요토양교질물의 이름과 양이온치환용량은 <표 1> 참조

〈표 1〉 주요 토양교질물의 양이온치환용량(cmol+/kg)

토 양 교 질 물	CEC	토 양 교 질 물	CEC
kaolinite	3~15	montmorillonite	80~150
halloysite(2H <sub>2</sub> O)	5~10	vermiculite	100~150
halloysite(4H <sub>2</sub> O)	40~50	chlorite	10~40
illite	10~40	allophane	30~200
		부식	>200

- 양이온 치환용량의 대소는 토양화학적 측면에서 다음과 같은 의미를 갖음
  - 첫째, 작물의 생육에 필요한 유효영양성분인  $K+NH_4+Ca+2Mg+2$  등의 보유량은 양이온치환용량이 크면 클수록 많으므로 이와 같은 면에서 생각해볼 때 비옥한 토양일수록 양이온치환용량이 크다고 할 수 있음
  - 둘째, 비료로 공급하는 황산암모늄·염화암모늄·염화칼리 및 황산칼리 중의  $NH_4+$  또는  $K+$ 가 일단 교질물이나 토양미세입자에 흡착되었다가 서서히 작물에 공급되어야 하는데, 양이온치환용량이 작은 토양에서는 흡착이 잘 안되므로 작물에 흡수되지 못한 비료성분은 유실 또는 용탈되기 쉬움. 즉, 양이온치환용량이 클수록 비료로 사용하는 영양성분의 작물에 이용되는 율이 증대됨
  - 셋째, 작물의 생육에 여러 가지 면에서 영향을 끼치는 토양반응의 변동에 저항하는 힘인 토양완충능은 염기치환용량이 크면 클수록 커지므로, 염기치환용량이 큰 토양에서 생육하는 식물은 비교적 안정하다고 할 수 있음

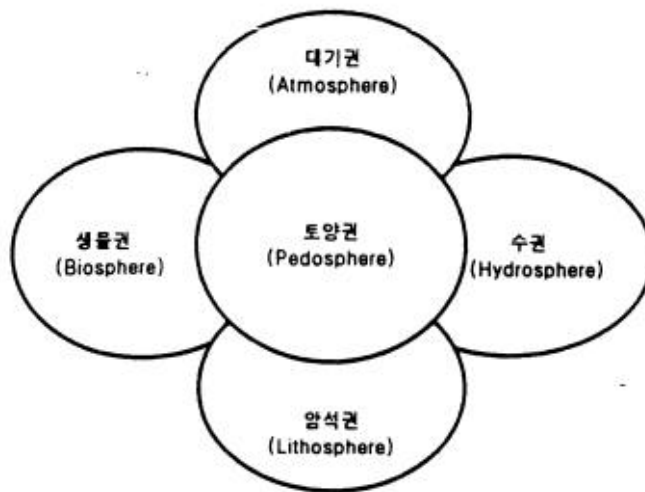
## 2. 토양 생태계

### 2.1. 토양계

- 생물의 생활터전인, 지구의 가장외각 표면인 토양을 총괄하여, 토양권이라 함

- 토양권의 하부는 암석층인 암석권으로 구성되어 있음
- ※ 공기로 둘러싸인 기권(또는 대기권), 물로 둘러싸인 부분인 수권, 생물권의 5개 구성요소를 총칭하여 자연계라 함 <그림 1>

<그림 1> 토양권과 자연계 다른권의 구성



- 지구상의 모든 생명체(동물·식물·미생물 등)를 중심으로 이를 둘러싸고 있는 환경이 생태권(ecosphere)임
- 지상의 모든 생물군집과 모든 자원을 포함한 무기적 환경은 서로 밀접한 관계를 갖고 하나의 계(system)를 이루고 있으며, 이것을 생태계(ecosystem)라 함. 특히, 토양을 생활의 근원지로 하고 있는 고등식물의 근계·토양·미생물·동물 등은 이를 둘러싸고 있는 토양환경과 밀접한 상호작용에 의해 연결되어 있어 전체로 볼 때 하나의 계를 이루고 있음. 이것이 토양생태계(soil ecosystem)임.
- ※ 환경과학에서 중요한 개념인 생태계(ecosystem)란 생태학 용어의 창시자인 Tanksley는『생물이 그 환경과 함께 구성하고 있는 물리적 시스템』으로 「지구표면의 기본적 단위」이고, 이 시스템 중에는 「모든 종류의 상호변화가 생물 사이만이 아니라 생물과 비생물의 사이에도 존재

한다」고 논의한 바 있음

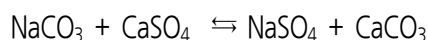
- ※ 육상생태계의 생물은 생산자(광합성 녹색식물), 소비자(동물), 분해자(토양동물, 토양미생물)로 구분하고, 이들은 무생물(대기, 물, 토양) 환경과의 상호작용으로 에너지나 물질을 교환하며, 생물상호 간의 먹이사슬을 통하여 서로 의존하고 있음. 이들 상호작용의 결과로 이 시스템의 평형이 유지되는 극상(climax)이 형성. 토양은 이 시스템 중에서 무생물 환경의 한 구성인자로서 식물에 물과 양분을 공급하고, 또 생물유체의 분해자의 서식·활동 무대를 제공함. 이와 같은 시스템은 토양과 그것을 감싸는 환경(대기, 물, 동식물)과의 사이에도 존재하는데, Volobuev(1963)는 이 시스템을 토양의 생태계라고 부름. 米田(1978)에 의하면 Richard(1973)나 高井(1976)은 토양 중의 생물과 무기적인 토양환경으로 구성되어는 계, 즉 생태계의 하위시스템으로서의 계를 토양생태계라고 부르고 있음. 정리하자면 토양과 그것을 싸고 있는 환경(대기, 물, 동식물)과의 사이에 존재하는 자연 시스템은 생태계와 동격으로 별개의 계이고, 어원은 분명하지 않으나 이 계를 토양계(폐도시스템)라고 부를 수 있음.

## 2.2. 토양의 질

- 토양을 적절하게 관리하기 위해서는 무엇보다도 먼저 ‘토양의 질 (Soil Quality)’에 대한 명확한 정의가 필요
  - 한때는 토양의 비옥도(soil fertility)를 토양관리의 지표로 삼기도 하였었지만, 이제는 토양이 가지는 식량생산기능은 물론이고, 환경정화기능이나 사회경제적 기능까지를 포함하는 지표로 토양을 관리해야 함
  - ※ 미국토양학회(The Soil Science Society of America, 1995)는 ‘토양의 질’을 ‘자연계나 인공적인 생태계 안에서 식물과 동물의 생산성을 유지하게 하며, 수질을 유지 또는 개선하고, 인간의 건강과 거주를 지지하는 역할을 하는 토양의 용량’이라 정의. 즉, 토양의 질이란 ‘생물학적인 생산량, 환경의 질, 식물과 동물의 건강’이라는 세 가지의 주요 인자들이 균형적으로 기능하고 평형을 유지하도록 하는 토양의 능력임

### 3.3. 토양의 완충능

- 산 또는 알칼리의 첨가에 의한 pH의 변화를 억제하는 작용을 완충작용(buffer action)이라고 하고, 토양의 이와 같은 성질을 완충능(buffer capacity)이라 함
  - 화학적으로 완충작용은 약산, 약염기와 그 염의 존재 하에서 일어남. 토양 중에는 이와 같은 물질로서 탄산, 중탄산, 인산, 규반산염류, 부식산 등이 있는데, 특히 중요한 것은 활성의 약산기인 토양무기 및 유기교질 복합체임
- 토양의 완충작용은 여러 가지 뜻을 지니고 있지만, 천연적으로 토양의 pH를 안정화시키는 작용과 토양의 pH를 변화시키는 데 필요한 중화제의 양을 결정하는 데 그 중요성이 있음
  - 작물과 미생물의 생육은 강산성과 강알칼리성반응에 의해 저해되므로 이들 생물에 대하여 토양의 완충능은 매우 이로운 것이며, 특히 토양 중에는 질산화작용 또는 비료로 사용되는 황산염이나 염화물에 의해 질소황산염산 등의 강산이 생성되는 일이 있는데, 이와 같은 경우에 토양에 알맞은 정도의  $\text{Ca}^{2+}$ 로 포화되어 있으면 갑작스런 pH의 저하를 막을 수 있음
  - 알칼리성에서의 토양의 완충능은 산성인 경우만큼 강력하지 않다. 이에  $\text{CaSO}_4$ 를 가하면 다음과 같은 반응이 일어나서 pH를 8.5이하로 억제시킬 수 있음



### 3.4. 토양에서의 물질이동

- 토양 중 물질은 내부 혹은 외부의 힘에 의해 이동하고, 그 결과 토양성분과 반응
  - 이 반응에는 화학적·물리적·생물학적 작용이 있고 이들의 작용은 일반적으로 오염물질과 토양과의 상호반응에 의해 일어남
- 물질과 토양사이에 일어나는 상호반응의 기작을 이해하기 위해서는 물질이나 토양의 성분을 파악하여, 용질사이에서 일어나는 상호작용 및 간극수(interstitial water 또는 pore water)

와 토양입자 사이에서 일어나는 과정을 정확히 인식할 필요가 있음

- 그러나 오염물질과 토양계에서 고려해야하는 무기물이나 유기물은 단순한 구조인 것에서 복잡한 것까지 매우 다양하기 때문에 각각의 과정을 구별하여 고찰한다는 것은 쉽지 않음

## 1) 물질의 동태와 이동: 물리적 작용

○ 토양 중의 물질의 동태, 이동, 확산, 반응 등에 영향을 미치는 물리적인 특성은 다음과 같이 요약

- ① 토양수분 ② 표면적 ③ 토성 ④ 점토광물의 종류와 양 ⑤ 토양 입단화 ⑥ 수리전도도 ⑦ 토양의 구조

○ 토양중의 물질은 물과 함께 이동하기 때문에 물의 이동은 물질의 이동, 동태에 매우 중요

- 토양 중에 물이 일정량 이상이 되면 물의 일부는 아래쪽으로 이동. 토양수의 하강 정도는 물의 점성계수, 토양의 성질, 지하수 등에 따라 매우 달라짐. 이러한 토양의 투수정도는 토양오염 및 지하수 오염에 중요한 원인이 됨. 투수성이 양호한 토양은 여과 능력은 있으나 지하수에서 물질이 쉽게 이동하며, 토양에 잔류하는 양은 크지 않음

○ 토양 공극의 형태 및 크기는 그 안을 흐르는 물의 속도를 지배하며, 공극의 형태와 크기는 간접적으로 물질의 이동에 관여함.

- 용질이 액상과 토양입자 경계면 사이에서 물질이 토양입자의 전하에 끌려 그 표면과 결합하는 것은 물리적 흡착
- 토양입자에 물질이 물리적으로 흡착함으로써 토양에 축적되고 지하수로 침투되는 것은 늦어짐. 이렇게 토양은 물질이 지하수로 이동하는 것을 방지 또는 완충 역할을 함

## 2) 물질의 동태와 이동: 화학적 작용

○ 토양의 화학적 특성은 주로 유기물의 함량과 양이온 치환능력, 그리고 토양의 산화/환원전위,

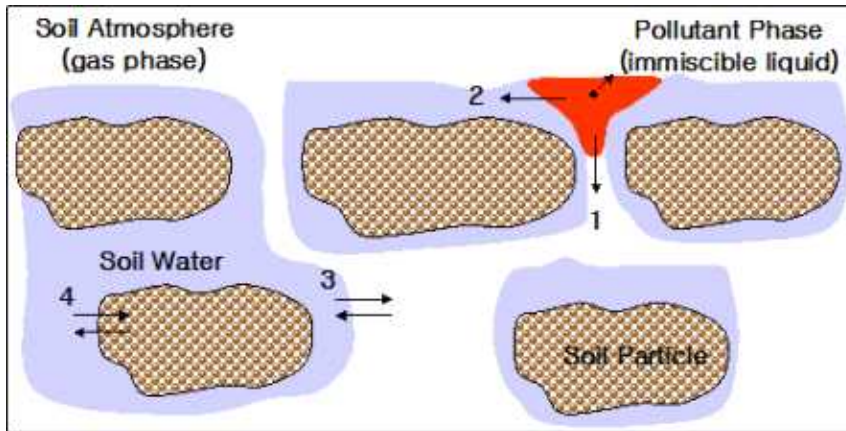
pH, 수분함량 등에 따라 결정

- 토양 중의 물질의 동태이동·확산반응 등에 영향을 미치는 화학적인 특성은 토양용액 중 물질의 종류와 농도, 토양용액과 고체 입자의 상호작용에 의해 크게 영향을 받음
- 물질의 이동은 물질의 특성에 의해 결정되며, 증기압·헨리상수·용해도·흡착계수·화학적 조성 등이 중요한 요소로 작용

○ 용해도는 물질이 지하수나 토양의 수분에 녹아 들어가는 양을 결정함

- 특히 석유화학제품을 비롯한 유기화합물들은 매우 넓은 영역에 걸쳐 다양한 용해도를 가지고 있고 오염물질인 탄화수소의 조성은 매우 복잡한데, 조성이 복잡할수록 탄화수소들은 순수한 상태와는 다른 용해특성을 보임
- 토양용액 중의 물질이 토양입자나 유기물에 흡착하는 성질은 오염물질의 이동현상에 있어 매우 중요한 부분임
- 토양 중 물질은 내부 혹은 외부의 힘에 의해 이동하고, 그 결과 토양성분과 반응함. 오염물질과 토양계사이의 이동을 예를 통해 쉽게 설명하면 <그림 9>으로 나타낼 수 있음.
  - ① 증발 (Evaporation) : 순수한 오염물질과 토양공기(기상) 사이에서 분배 및 이동
  - ② 용해 (Solubilization) : 순수한 오염물질과 물(액상)사이의 분배 및 이동
  - ③ 휘발 (Volatilization) : 물(액상)과 토양공기(기상) 사이의 이동
  - ④ 수착 (Sorption) : 오염물질이 물(액상)과 토양입자 경계면(고상) 사이에서 분배

〈그림 3〉 물질과 토양계사이의 이동 (Pepper 등, 1996)



- 수탁에 관계하는 각종 현상 중 화학반응은 물질과 토양과의 상호반응에 중요한 영향을 미침
  - 단순히 물리흡착, 화학흡착, 침전형성 과정을 명료하게 구별하는 것은 아주 어렵지만, 여기서 “흡착”이란 고체와 액체의 경계면에서의 물질의 이동 과정임. 즉 오염물질과 토양과의 상호반응은 용액 중 오염물질이 정전기적 인력에 의해 토양입자의 표면과 결합할 때에 화학반응이 일어남
  - 유기물은 금속과 킬레이트를 형성하도록 배위자 혹은 작용기를 갖고 있기 때문에, 토양 성분의 유기물 부분은 중금속의 양이온에 강한 친화성을 나타냄.
- ※ 이와 같은 작용기로서는 카복실기, 페놀기, 알코올기, 카보닐기가 있음. pH가 높아지면, 착물체의 안정도도 높아지는 경향이 있는데, 이는 작용기의 이온화가 커진다는 것으로 설명할 수 있음.
- 침전은 용해의 반대 개념으로, 수용액으로부터 고상 표면으로 용질이 이동하고 새로운 물질로서 축적되는 것임
  - 침전은 토양입자의 표면이나 간극수중에서 일어남. 흡착과 침전은 둘 다 수용액으로부터 용질을 제거하는 과정으로, 흡착의 경우에는 고체-액체 경계에 있어서 물질의 정량적인 축적이 일어나며, 침전의 경우에는 새로운 고상이 형성됨



### 3) 물질의 동태와 이동: 생물학적 작용

- 물질의 동태와 관련된 생물학적 작용은 미생물에 따라 제어됨
  - 따라서 토양 미생물 활성에 영향을 미치는 토양온도·수분함량·유기물의 존재 등이 오염물질의 동태와 관련
  - 유기화합물질이 미생물에 의해 분해될 때에는 에너지원으로서 유기탄소가 이용
  - 미생물은 동물이나 식물에 축적된 오염물질을 분해하는 능력을 가지고 있어 결과적으로 오염물질을 제거하는 역할을 하기도 함

### [참고문헌]

- 김정규 등. 2003.10 농업환경오염복원기술개발. 농림기술관리센터.
- 양재의, 이규승. 2001. 농업환경. 한국환경농학회.
- 한국지하수토양환경학회. 2001. 토양환경공학. 향문사.
- Pepper, I. L, Gerba, C. P., Brusseau, M. L. 1996. Pollution science. Academic Press. pp3-276.