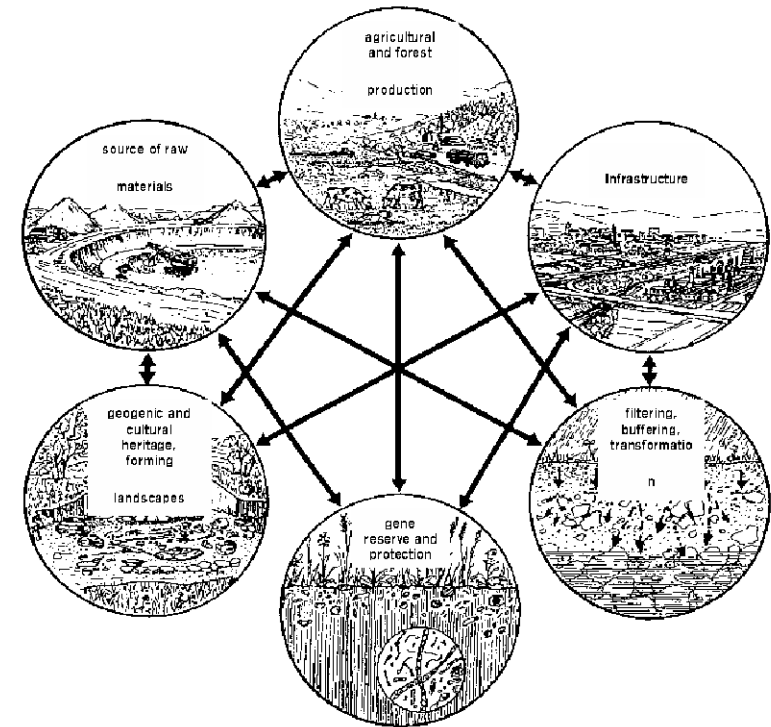


토양오염의 개관

1. 토양오염의 역사와 배경

- 우리가 살고 있는 토양은 인류에게 의식주를 제공할 뿐 아니라 우리가 배출하는 오염물질의 정화, 홍수의 방지, 토양의 침식방지 등 인간의 주변 환경을 쾌적하게 보전 시키어 주는 등 인간을 포함한 지구상의 생물이 그 삶을 영위하는 생존의 터전임
- 인간은 토양 위에서 인류의 발전을 이루어왔으며, 향후에도 이러한 인간의 역사가 토양 위에서 이루어질 것은 자명한 일임
- 토양은 각종 오염물질을 분해하여 생태계의 순환체계를 유지시키는 기능을 수행하고 있으며, 이들 토양의 6개의 기능은 상호간에 경쟁관계에 있음 <그림 1>.

※ 유럽협의회(Council of Europe)는 토양이 보호되어야 할 6가지 기능을 명확히 제시하고 있음. 다음 여섯 종류의 기능 중에 앞의 셋은 생태적 기능에 관련된 것이며 다른 3가지는 인간의 활동과 사용에 관련되어 있음(Council of Europe, 1990). 첫째, 생물질의 생산(biomass production)임. 식품, 사료 재생 가능한 에너지 및 가공하지 않은 재료(raw materials)의 제공임. 둘째, filtering, buffering, storage and transforming 기능임. 예를 들면, 토양은 오염물질로부터 먹이연쇄와 지하수를 한정적으로 보호하고 있으며, 토양은 雨水(rain)의 저장고임. 셋째, 생물학적 서식지 및 유전물질의 저장임. 토양은 동식물이 살아갈 수 있는 공간과 물질, 생물을 제공함. 유전적 재산(genetic heritage)은 인간의 삶에 꼭 필요한 자원을 형성시키고 있음. 넷째, 물리적인 매체임. 즉, 토양은 다양한 기술적이고 산업화된 구조물과 사회/경제적 활동의 공간적인 토대임. 예를 들면 건물, 도로, 철도 및 여가선용지의 토대인 것이다. 다섯째, 가공하지 않은 재료의 근원지임. 토양은 물의 저장고이며 여러 형태의 자갈, 모래, 진흙, 유류, 광물질을 제공하고 있음. 여섯째, 문화적 유산임. 토양은 지구와 인류의 역사를 밝힐 수 있는 고생물학(화석학) 및 고고학적 정보를 포함하고 있음.



<그림 1> 유럽협의회(Council of Europe)에서 제시하고 있는 토양의 6가지 기능의 경쟁관계

- 인류는 생활에 필수 불가결한 요소인 토양을 우리는 필요시 언제나 사용할 수 있는 자유재(自由財)로 인식하여 왔으며, 그 결과 인간이 배출한 오염물질은 토양에 축적되었고, 이들 오염물질에 의한 토양오염은 지난 수세기간 급격히 진행됨
- 특히 산업혁명 이후, 기계문명의 발달은 오염물질을 대량으로 발생하게 하였으며, 더욱이 인구증가와 그 활동에 따른 광공업의 발달, 도시의 확대, 집약적 농업, 소비생활의 향상 등으로 토양에 배출되는 오염물질의 종류와 양은 토양생태계를 포함한 자연생태계를 급속히 파괴시켜 자연환경을 오염시키고, 결과적으로 인간의 건강을

위협하고 있음

- 특히 토양에 배출된 오염물질은 토양에 일부 축적되거나 토양을 매체로 灌溉水(관개수), 지하수, 하천, 해양으로 이동함으로써 국부적인 토양오염은 광역적으로 확산되고 있음

○ 토양오염에 의한 환경파괴는 최근에 심각한 사회문제로 나타나고 있음. 특히 토양을 통한 지하수의 오염은 지하수를 식수로 이용하고 있는 많은 국가들의 주요 위협요인으로 제시

- 영국 남부웨일즈 지방의 제련소에서 방출되는 매연 및 분진이 스완지(Swansea)제국의 토양을 고농도의 중금속으로 오염시킨 사건과 1966년에 발생한 아버판(Aberfan) 광미 댐에서의 중금속 유출은 인근의 하천과 토양을 오염시킨. 이로 인한 사회적인 문제를 해결하기 위하여 영국정부는 이 지역의 오염토양의 처리 및 토양오염방지에 관한 재정지원을 2배 이상으로 증가시킨 바 있음
- 미국의 경우 1970년대 뉴욕 주에 위치하고 있는 러브 운하(Love canal)의 매립장 인근지역에서 중금속 및 유해화학물질 등의 유출에 의한 토양 및 하천오염이 계기가 됨. 이 사건은 1976년 「자원의 보전 및 개발법(Resource Conservation and Recovery Act of 1976)」과 1980년 「종합적인 환경반응·보상·책임법(Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act of 1980)」 마련의 계기가 되었으며 미국정부는 1억4천만달러를 소요하여 이 지역의 오염된 토양과 하천을 복원
- 일본의 경우 1960년대 말 후지현(富士縣)의 아시오 금속광산에서 유출되는 중금속(특히, 카드뮴)에 의하여 하천(神通川) 및 농경지가 오염되었으며, 이로 인하여 ‘이따이이따이(아프다 아프다)병’이 발생. 이후 일본은 1970년에 토양오염방지법(土壌汚染防止法)을 제정

○ 우리나라의 경우 1970년대부터의 이루어진 경제성장과는 대조적으로 토양오염에 대한 인체 및 자연의 안전성에 대한 배려가 미흡

- 산업·도시폐기물의 회수·처리에 대한 과학적·사회적인 미흡한 배려는 산업 활동에 의

한 오염물질이 직접 토양에 투기되기도 하고, 광산 및 공장폐수 등은 하천을 오염시키고 그 결과 토양오염이 점진적으로 증가하게 됨

- 광산, 제련소, 폐기물매립지, 산업시설 등에서 배출되는 오염물질은 토양에 지속적으로 누적되었으며, 이러한 토양오염을 저감하기 위한 종합적이고 효율적인 토양보전 정책이 요구됨에 따라 1995년 1월에 「토양환경보전법」이 제정

—<선진외국의 주요 토양오염 사례>—

1. 미국의 Lover canal 오염

- 1836년 미국 정부는 나이아가라 폭포 부근에 운하와 발전소를 세우는 계획을 세웠으나 빗을 보지 못하고 그대로 사장되었고, 1892년에 윌리엄 러브(William Love)가 이 계획을 실행
- 그러나 이후 경기침체 등으로 회사는 도산하고 사업수행이 중단되었으며, 나이아가라 강으로부터 100m 떨어진 곳에 길이 1.6km 가량의 운하(Love canal) 일부만 남게 됨
- 1922-1953년 ‘흑화학물질 및 플라스틱주식회사(Hooker Chemical and Plastic Corp.)’는 22,000톤의 화학폐기물(드럼통으로 약 11만개 정도)을 회사소유로 되어 있는 남겨진 운하에 매립
- 1950년대 초 회사는 운하를 매우고, 회사 소유의 오염부지를 판매
- 이후, 나이아가라 폭포 부근의 도시가 팽창함에 따라 개발자가 이 부지를 구매하고 회사의 화학물질이 폐기된 부지위에 ‘러브운하(Love Canal)’라는 거주 지역을 조성
- 1970년대 중반에는 복개된 운하 위에 세운 학교의 학생들은 간혹 흙 속에서 올라오는 검고 끈끈한 액체에 화상을 입기도 했으며, 신장질환, 천식 등 만성적 질환을 앓는 어린이들과 비가 많이 내리면 하수도가 검은 액체로 뒤덮이며, 그 액체로 인하여 주택의 하수구 바닥이 부식되는 현상과 건강 이상에 관련된 이 지역 주민들의 불만을 각 언론매체들이 보도
- 주민 건강에 관한 연구 결과 이 지역의 오염물질에 의해 인간세포의 기형, 발암확률을 증가, 태아의 기형, 유산을 증가 등이 밝혀짐. 특히, 이 지역 중 복개된 운하에 가장 인접한 지역 주민에게서 1973~1978년간 출생한 16명의 어린이 중 9명이 정신박약, 심장 및 신장질환, 간질증세 등 심각한 선천적 기형을 갖고 있음이 확인되었을 뿐만 아니라 이 지역 부인들의 유산율이 정상인의 4배임이 밝혀짐
- 1978년 8월 당시 미국의 카터대통령은 이 지역이 안전하지 않은 ‘국가재난지역

(National Disaster Area) 지역으로 공식적으로 선포하고 이 지역의 1,004가구의 주민들을 대피하게 하며, 3천만 달러 달러를 들여서 이 지역의 집과 오염지역을 사들였고 이러한 조치는 오염지역의 문제와 환경 복원에 관한 국민들의 인식을 극적으로 증대시킴

- 1994년 6월 혹커화학물질 및 플라스틱회사의 승계회사인 옥시덴탈화학회사(Occidental Chemical Co.)는 9천8백만 달러를 이 지역의 정화기금으로 뉴욕 주에 지불하는 것을 동의(14년간의 법정 소송이 끝남)
- 1995년 회사는 미국 환경보호청(US EPA, US Environmental Protection Agency)에 1억2천9백만 달러를 이 지역의 문제해결 비용으로 지불하는 것에 동의
- 1988년 6년간에 걸친 연구(연구비 1600만 달러) 결과, 이 지역의 복원 이후 2/3가량은 주거지역으로 재이용될 수 있으며, 그 외 지역은 산업 및 상업지역으로 이용할 수 있음을 보고. 이에 따라 러브운하재활용기구(Love Canal Revitalization Agency)은 이 지역의 기본계획을 수립하고 1990년 9월부터 주거지역이 다시 만들어지기 시작함

2. 미국 켄터키주 드럼계곡의 오염

- 1975년 유독한 산업폐기물로 채워진 17,000드럼이 켄터키 주의 드럼(Drum) 계곡(약 13 에이커)에 방치되어 있는 것이 조사
- 이들 폐기물 드럼에서 140종 이상의 중금속, 방향성수산화탄소물(Aromatic hydrocarbons), PCB등을 포함한 화학물질이 유출되고, 이들 물질이 인근 윌슨 소하천(Wilson Creek)으로 유입되어 하천생태계를 파괴. 이 하천은 오하이오 강(Ohio River)의 3차 지류임 (US EPA, 1992)

3. 네덜란드 레커르케르트(Lekkerkerk)의 오염

- 네덜란드 레커르케르트 지역은 로테르담 시 북쪽에서 16km 떨어진 지역으로 네덜란드 서부에 위치하고 있으며, 1970년대 개발자들이 이 지역 8.9ha(22acre)에 268채의 집을 건설
 - 이 지역은 해수면보다 낮으며 지하수층이 높은 지역임
- 건설 이전에 이 지역을 높이기 위해 약 1m 정도의 유해폐기물이 혼재된 건설토로 성토하고 개수구를 만들었으며, 건설토에는 페페인트물질, 페플라스틱물질, 프린트 잉크 등 독성물질이 포함되어 있음이 후에 밝혀짐

- 건설토에 포함되어 있는 중금속과 유기화학물질, 특히 방향족 수산화탄소물질, 알콜, 케톤물질, 에스터 물질 등이 지표수, 토양, 건설된 집의 지하에서 조사되었으며, 이 지역의 대기에서 toluene, xylene 등이 1000ppm 수준으로 조사되었으며, 화학물질이 LDPE(Low density polyethylene) 물 공급관으로 확산되어 있음을 발견
- 1980년 봄 네덜란드 정부는 모든 거주자들은 대피시키고 모든 오염물질을 제거하는 복원계획을 수립. 개수구 및 오염된 전지역의 토양을 0.7m 수준까지 모두 제거하고, 집 아래의 토양은 3m까지 제거하고, 오염된 토양과 오염되지 않은 토양을 분리되었으며, 153,000 MT(168,654 ton)의 토양이 소각 처리됨
- 오염부지위에 건설된 학교와 체육관 시설이 해체되고, 이 지역의 오염된 지하수는 인근의 렉(Lek)강에 도달하기 전에 처리됨
- 이 지역의 복원 비용으로 1억5천만 길더(미국화폐로 약 6천5백만달러)가 소요되었으며, 복원 이후 이 지역은 거주 지역으로 재이용

4. 영국 틸버그 가스(Tilburg Gas) 발전 시설 부지 오염

- 틸버그 가스발전시설(Tilburg Gas Work)은 석탄을 가스로 전환하는 공장으로 1960년 폐쇄될 때까지 100여년동안 시설이 운용됨. 이 시설은 틸버그 시의 중앙에 위치하고 면적은 약 5.5ha임
- Gas의 부산물로 타르, 벤젠, 톨루엔, 나프탈렌, 암모니아와 유독성 폐기물이 생산되었으며, 이들 물질이 인근지역에 매립되었으며, 이들 물질이 공장 운영기간 중에 흘러졌거나 누출되었을 것으로 추정
- 1982년 틸버그 시는 틸버그 가스발전시설 지역의 환경성 평가를 하기로 합의하였으며, 조사시 토양과 지하수가 휘발성 방향족 수산화탄소물, 방사성 방향족화합물, 수산화탄소물, 시안으로 오염되어 있음이 보고. 특히 시안화합물의 농도는 최고 7,700ppm, 토양이 4m 깊이까지 타르와 유류로 오염되었으며, 방향족화합물은 6-9m까지 확산되었음을 보고. 지하수는 20m 깊이까지 고농도의 벤젠으로 오염
- 이 지역 토양에서의 모든 오염물질은 평균 2m 깊이까지 제거되었으며, 지하수에서의 오염물질은 6m 이하의 물질까지도 대상으로 하여 정화

2. 토양오염의 의미

- 오염물질이 토양의 완충능력의 한계 이상으로 토양에 부하될 때, 이들은 토양에 잔

류, 축적되고 농·축산물, 인간에게 직접 또는 간접적으로 피해를 야기

- 완충능력(buffering capacity)이란 토양에 負荷되는 오염물질이 토양미생물에 의하여 분해, 소멸되거나 식물체내에 흡수되고, 강우 등에 의해 용탈되어 일정 시간 후에 토양에서 사라지게 하는 토양의 능력임

○ 예를 들면, 토양에 축적된 오염물질은 동·식물의 성장에 영향을 주며, 동·식물 및 인체에 축적됨으로써 심각한 건강장해를 일으킴

- 특히, 중금속과 같은 난분해성 오염물질이 다량으로 존재하는 농경지에서 재배되는 작물은 인간의 건강을 해칠 수 있는 상대적으로 높은 오염물질을 함유하게 되며, 이들 오염물질은 농작물의 성장을 저해시키는 직접적인 원인이 되기도 하지만, 이를 규칙적으로 섭취한 인간의 경우 상대적으로 높은 오염물질을 혈액에 함유하게 됨. 이로 인하여 질병이 발생하거나 심한 경우 고귀한 인간의 생명을 잃게 될 수 있음

○ 토양오염이란 인간의 활동에 의해 토양에 존재하는 특정한 화학물질의 농도가 높아져서 사람의 건강이나 환경에 피해를 주는 상태임

- 이러한 토양오염의 정의에 대해서는 반론의 여지가 없으나, 토양을 사람이 토지를 이용하는 방법에 따라 오염물질의 종류 및 농도가 인체 및 자연환경에 피해를 나타내는 정도가 달라질 수 있음
- 즉 토양이 오염을 논의하기 위해서는 어떤 물질이(오염물질의 종류), 얼마만큼(오염물질의 농도), 어떠한 종류의 토양에(토양의 이용도 및 토양의 종류), 어떠한 상태(오염물질의 존재 상태)로 있는가 등을 고려해야 함

참고문헌

- Bowie, F. R. S., and Thornton, I. 1985. Environmental geochemistry and health. Riddle Publishing Co., Dordrecht. 140p.
- Brooks, R. R. 1983. Biological methods of prospecting for minerals. Jones and Sons Inc. 321p.
- Council of Europe. 1990. European Soil Charter.

Davis D. J. A., Thornton, I., Watt, J. M., Culbard, E. B., Harvey, P. G., Thomas, J. P.

A. 1990. Lead intake and blood lead in two-year-old U. K. urban children. In: *The science of the total environment*. 90:13-29.

Goyer, R. A., and Mehlman, M. A. 1977. Toxicology of trace elements. John Wiley & Sons. 303p.