

Land Treatment



강원대학교 미생물학과 송 홍 규

1. 서 론

산업화와 생활수준의 향상 및 인구증가로 인하여 발생하는 폐수와 폐기물의 양이 급속히 증가하고 있으며 이에 섞여있는 유해 화학물질의 종류와 양도 점차 증가하고 있다. 하천, 호수, 해양과 토양으로의 이런 폐수와 폐기물의 부적절한 방출은 생태계를 파괴시키며 인간의 건강에도 큰 위협요인이 되므로 반드시 적절한 처리 및 처분을 해야만 한다. 폐수와 폐기물의 처리 및 처분에는 여러 가지 물리적, 화학적, 생물학적 방법이 있으며 특정 종류의 폐수나 폐기물의 경우 소각, 열분해, 고형화, 토양매립 등의 물리화학적 처리를 요구하는 것들도 있으나 대부분의 물리화학적 처리 방법은 처리 시설 건설 및 유지, 운용 비용이 많이 들며 또한 처리한 후 나오는 생성물을 다시 처분해야 하는 단점들이 있다. 이에 반해 생물학적 처리는 비교적 저렴한 비용으로 미생물들의 활동에 의해 오염물질을 생분해, 무독화, 부동화시킬 수 있다.

여러 가지 생물학적 처리방법 중 토양미생물의 활성과 토양의 물리적, 화학적 성질을 이용하는 land treatment는 설치 및 유지가 쉽고 오랜 역사를 가지고 있는데 1860년대부터 영국에서는 생활오수를 경작지에 뿌리는 sewage farming을 설치하였으며 (1), 우리나라의 농가에서도 먼 옛날부터 인분과 가축분뇨를 논밭에 주어왔다. 그러나 이 방법을 산업폐수나 폐기물의 처분방법으로 이용하기 시작한 것은 근래의 일이며, 적극적인 처리방법으로의 이용은 최근에 시작되었다. Land treatment는 특히 유기물 함량이 높은 폐수나 폐기물의 처리에 적합한 방법이며 통상적인 활성오니법이나 살수여상법, 회전원판법으로 처리가 어려운 유해물질이 함유된 여러가지 산업폐수나 폐기물처리에도 이용할 수 있

며(2), 미국에서는 Resource Conservation and Recovery Act(RCRA, Public Law 94 : 580)에서 유해물질 처리방법(Hazardous Waste Management)의 하나로 기재되어 있다(40 CFR Part 264).

2. 폐기물 처리지로서의 토양의 특성

토양은 실험실내의 배양용 배지와 달리 다양한 크기의 입자로 이루어진 복합적이고도 불연속적인 환경으로 다양한 크기의 microhabitats로 이루어져 있으며 각 microhabitat의 물리, 화학적 성질이 다를 수 있다. 이런 다양한 성질 때문에 모든 토양은 매우 많은 종류의 미생물과 미소동물을 포함하고 있으며 이들의 전체 양은 표층 15cm의 깊이에서 0.5~4t/ha에 이르고 있다(3). 이 미생물은 유기물질을 포함한 폐기물을 분해하여 탄소와 에너지원으로 이용하면서 성장하는데 호기성 조건에서는 최종생성물이 이산화탄소, 물과 기타 무기물성분이 되며 토양의 산화환원도에 따라 질소나 황결합물이 산화 또는 환원된다. 토양미생물군은 상당히 다재다능하여 수많은 종류의 생화학적 반응을 수행할 뿐만 아니라 생태학적으로 안정되고 저항성이 있기 때문에 독성물질 등의 유입 등 가혹한 조건에서도 빠른 시일내에 이를 극복하며 원상태로 돌아올 수 있는 능력이 존재한다. 폐수 및 폐기물 처리에 관여하는 대표적인 토양미생물들의 역할은 다음과 같다.

- (1) 유기물 성분의 분해
- (2) 시안화물의 무기질소화합물로의 변환
- (3) 질소가스로의 탈질화 작용
- (4) 금속의 산화와 환원
- (5) 각종 유기산, 메탄, 수소, 이산화탄소생성
- (6) 폐기물 성분과 반응 또는 흡착할 수 있는 hu mic compounds와 같은 복합유기화합물 생성.

토양미생물들의 독성물질 등에 대한 저항성과 난분해성 유기물의 궁극적인 분해에 미생물의 adaptation과 cometabolism이 크게 관여한다. Adaptation은 어떤 물질과의 사전접촉으로 인해 미생물의 분해능이 크게 증가하는 것으로 다음과 같은 3가지 방식에 의해 일어날 수 있다(4).

- (1) 물질과 접촉전에는 존재하지 않거나 소량 존재하던 특정 효소들의 유도 또는 탈억제
- (2) 유전적 변화에 의한 새로운 대사능력 획득
- (3) 특정변환 능력이 있는 미생물들의 개체수 증가

Cometabolism은 많은 난분해성 유기물분해에 중요한 기작으로 미생물이 어떤 성장기질을 이용하여 살아가는데 또 다른 물질(co-substrate)을 산화시키며 이 산화과정으로부터는 생장에 필요한 에너지나 물질을 공급받지 못하는 현상을 말한다. 많은 난분해성 물질과 유해유기물이 co-substrate로 작용되며 산화된 co-substrate는 본래의 것을 이용하지 못하는 다른 미생물 종류에 의해 계속 분해가 될 수 있다.

토양에서는 미생물만이 유입된 오염물질을 분해 또는 변화시키는 것이 아니라 토양입자와 토양수분 등에서 여러 가지 물리화학적 반응이 같이 일어나 폐수와 폐기물내의 각종 성분을 변화시키며(Fig. 1) 이러한 반응들이 생물체에 의한 작용과 복합적으로 일어나 토양에서의 각종 오염물질의 제거를 가속화시키고 있다(1).

3. Land treatment

1) Land treatment의 원리

넓은 의미의 land treatment는 폐수 및 폐기물의 처리와 처분에 토양을 이용하는 것으로 토양표면에 폐기물을 살포하거나 표층에서 수cm 정도의 깊이에 기계적인 조작으로 폐기물을 주입한 후 그대로 방치하거나 경작(tilling)하는 방법으로 여기에서는 좁은 의미의 land cultivation 또는 land farming이라고 불리우는 적극적 처리방법에 대하여 설명하고자 한다. 미국의 Environmental Protection Agency (EPA)에서는 이 방법을 토양에서 분리, 변환 또는 부동화시키기 위해 동적인 물리적, 화학적 생물학적 과정들에 의존하는 open system이라고 규정되었다. 토양을 이용한 다른 종류의 처분 방법과는 달리 li-

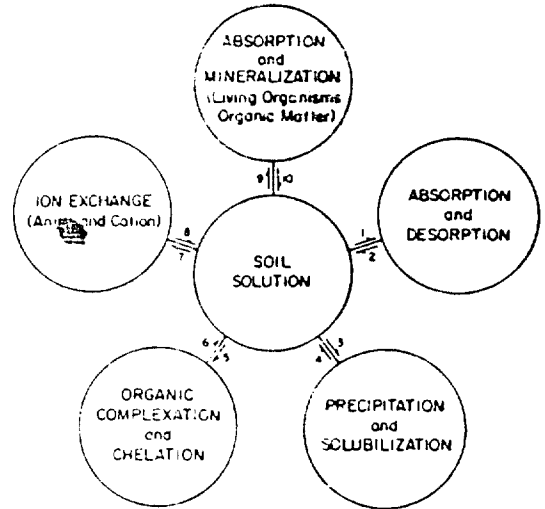


Fig. 1. Illustration of the dynamic chemical equilibria occurring in the soils with solution at the focal point.

ner 같은 물리적 차단장치가 필요하지 않으며 대신 soil processes라고 하는 precipitation, complexation, cation exchange reactions, 토양유기물로의 incorporation 과정 등에 의해 중금속이나 유해물질의 이동이나 침투나 최소화된다.

폐기물 부하율(waste loading rate), 토양 pH와 수분량의 조절 등을 통해 biodegradation, transformation, immobilization을 최대한 증가시키며 토양 미생물 활성화와 폐기물의 생분해를 촉진하기 위해 일반적으로 생강제한요인으로 작용하는 질소, 인 등의 무기영양염류를 공급하고 산소공급과 폐기물 성분의 고른 분포를 위해 주기적으로 경작을 하므로써 처리효과를 최대한으로 증가시킬 수 있다.

폐기물의 유실이나 침출을 막고자 미국의 EPA에서는 land treatment부지의 기준을 정해놓았는데 사용부지는 100년 빈도의 범람지역 밖에 위치해야 하며 처리지역(폐기물이 유입되는 부위)는 깊이가 1.5 m를 넘지 않거나 계절적 최고 수위면보다 1 m 이상 높아야 한다.

2) 처리가능한 폐기물의 종류

Land treatment를 이용하여 처리할 수 있는 폐수와 폐기물의 성질은 다음과 같다.

- (1) 전체 또는 부분적으로 생분해 가능한 물질이어야 하며

- (2) 고유의 토양미생물이 적절한 부하의 폐기물 유입시 생존 또는 성장해야 하며
- (3) 축적된 잔류물과 토양의 교환능력에 의해 흡착된 이온의 장기간 독성효과(long-term toxic effects)가 없거나 낮아야 하며
- (4) 적절하며 실용적인 부하율에서 유해성분에 의한 지하수 오염을 일으키지 말아야 하며 또한 독성물질이 먹이연쇄로 들어가지 않아야 한다.
- (5) 다른 처리 및 처리방법에 비해 land treatment 시에 비용이 적게 들어야 한다.
- (6) land treatment 후 토양의 생산조건이 처음에 비하여 같거나 또는 더 좋아져야 한다.

이런 성질을 고루 갖추고 있으며 유해물질이 비교적 적은 여러 가지 폐수와 폐기물은 단순한 처리 및 처분만이 아니 구성물질의 식물 성장요소로의 이용가치 때문에 경작지에 뿌려 농작물 생육에 이용될 수도 있다(Table 1). 이에 속하는 폐수와 폐기물은 중금속이나 유해성분이 별로 없는 동식물 조직으로부터 비롯된 것으로 식물 성장에 비료성분으로 작용할 수 있어서 일석이조의 효과를 볼 수 있다. 고품 폐기물의 경우 surface placement, soil incorporation 방법으로 투여하며 폐수의 경우에는 spray, overland-flow, rapid infiltration, ridge and furrow spreading 등 여러 가지 surface application 방법과 soil injection 방법이 있다. 경작지 토양에 이용하기 부적합하거나 삼림 또는 초지 등에 이용될 수 있는 폐수와 폐기물은 좀 더 다양하며(Table 2) 여전히 이들 폐수와 폐기물들도 식물생장에 이용될 수 있는 종류들이다(1).

이상과 같은 식물생장에 이용할 수 있는 폐기물 외에 중금속이나 유해성분이 있기 때문에 본격적인 처리를 해주어야 하는 종류 중에서 land treatment에 적합한 산업폐기물의 종류는 Table 3에 나타나 있다. 펄프와 제지공업에서 생성되는 sludge는 식물에서 비롯된 것이며 또한 제조공정시 사용하는 화학약품들의 비교적 낮은 독성때문에 land treatment로 처리하기가 용이한 편이다. 농업 및 임업과 이에 관련된 산업에서 나오는 폐기물도 비교적 쉽게 이 방법으로 처리할 수 있는 종류이다. 방직산업에서는 약 60% 정도의 섬유 등의 유해하지 않은 폐기물과 나머지 40% 정도의 염료, 색소, 방염제, 방

Table 1. Examples of solid wastes that have been applied to cultivated land growing crops^a

Waste(resource)	Crops
Manures	
Animal(all sources)	Edible and non-edible
Plant(green manures)	Edible and non-edible
Municipal waste	
Sewage water effluent	Pasture, cotton, grains
Sewage slurries (3 to 10% solids)	Pasture, cotton, grains
Sewage sludge (thick slurry or dry)	Pasture, cotton, grains
Solid waste(untreated)	Pasture(alfalfa)
Solid waste (pretreated-compost)	Home gardens
Paper mill (pulp and paper mfg.)	
Waste waters	Alfalfa, grass pasture
Slurries	Alfalfa, grass pasture
Hardboard	
Paper board	
Composted and or biodegraded	Wheat, corn beans
Cannery(tomatoes, corn, etc.)	Small grain
Tannery dust and slurry	Cultivated pasture
Dairy products residues	Cultivated pasture
Animal slaughter waste (e.g., blood meal)	Home gardens, yards
Mine tailings(processed)	All land

수제 등의 유해폐기물이 생성되는데 일반적으로 폐수를 활성오니법 등의 생물학적 처리를 하며 오니는 많은 양의 유기물이 함유되어 있으며 land treatment로 처리가 가능하다. 농약, 의약품, 세제 제조 산업에서는 상당량의 유해성분을 포함한 폐수를 생산하는데 이런 유해폐수의 토양처리 분야에 대한 지식과 경험의 부족으로 일부만이 토양을 이용하여 처분되고 있으므로(5, 6) 이에 대한 연구가 더욱 필요하다.

3) 폐기물의 특성과 부하

일정면적당 투여되는 폐기물량(waste application rate)이 성공적인 land treatment의 조건이다. 과부하를 막기위해서 적절한 폐기물 부하를 사전에 알아야하며 이를 위해 먼저 폐기물의 특성이 파악되

Table 2. Selected solid industrial wastes apparently amenable to non-cultivated land treatment /utilization

Petroleum industry wastes oils, greases, asphalts salty waters	Organic solvents/residues degreasers laundry cleaning certain hospital waste
Acidic and caustic wastes metal brightening acids mining acid wastes electroplating acids caustic residues	paint industry Municipal solid wastes(MSW) shredded MSW composted MSW sewage sludges
Electronic industry wastes acidic and caustic cyanide wastes noble metal residues	Woody and paper wastes sawdust bark shredded paper
Agricultural wastes animal manures pruning crop residue composted residues	waste pulp urban pruning waste grass clippings Solid canning wastes fruit
Fly ash	vegetable meat, poultry, and fish scraps.

어야 한다. 대부분의 폐기물은 조성이 복잡한 혼합물로 질소, 염류, 유류, 독성유기물, 금속, 물, 독성 음이온 등으로 구성되어 있으므로 정량, 정성분석을 통해 각 성분의 양이 측정되어야 한다. 여러 산업 폐수의 처리는 우선적으로 수리부하(hydraulic loading)로 조절된다(Table 4). 폐수의 BOD가 1000 ppm 이하일 때 hydraulic loading 단독으로 land treatment 조절이 가능하다는 보고도 있으나 여러 가지 다른 요인들의 제한을 받을 수도 있기 때문에 부하율은 토양 성질에 맞게 조절이 되어야 하며(1), 화학적 조성 뿐만 아니라 폐기물의 물리적 성질도 고려되어야 한다(Table 5). 부하율의 결정에 기본이 되는 2가지 조건은 첫째, 토양의 폐기물질에 대한 degradation, immobilization, attenuation 능력을 넘지 않게 waste application rate가 결정되어야 하며 둘째, 폐기물은 고루 분포되어야 하며 그런 부하율

에서 환경오염을 유발시켜서는 안된다. 한편 loading rates에 영향을 미치는 폐기물의 특성으로는 수량, 질소, 인, 사람의 병원균, phytotoxicity, BOD 또는 TOC, biodegradability, 중금속, 독성 유기 화합물, 염분과 Na 등이 있다.

4. Land treatment of oily sludges

Land treatment를 이용하여 처리하기 좋은 폐기물로 petroleum wastes가 있는데 정유산업에서 1950년대 초부터 oily sludges의 처분에 land treatment 기술을 개발, 이용하여 왔다. 정유공장에서 나오는 모든 refinery sludges 즉 API separator, tank bottom, flotation unit 등으로부터 나오는 높은 탄화수소 농도(30~50%)의 sludges와 생물학적 처리공정에서 나오는 낮은 탄화수소 농도(5~10%)의 sludges를 모두 land treatment로 처리할 수 있으며 정유공장뿐 아니라 다른 산업이나 도시, 가정에서 나올 수 있는 oily wastes도 처리 가능하다. Oily sludges의 부하율은 함유되어 있는 탄화수소 양에 따라 달라질 수 있는데 경작층 토양무게(2.25×10^6 kg/ha)당 투여되는 탄화수소 무게로 나타낸다(7). 생분해에 미치는 부하율의 영향에 대한 여러 실험결과를 보면 최대 탄화수소 분해율은 1회 부하가 5~10%(w/w)일 때 나타나며 이를 넘을 경우에도 상당히 높은 분해율이 유지된다(8-10). 이를 단위 면적당으로 환산하면 100~200 t/ha가 된다. Oily sludge의 투여 빈도는 탄화수소 종류와 환경조건에 의해 좌우되는데, 적당한 조건하에서는 5% 부하율로 4개월 간격으로 투여될 수도 있다(7,8).

미생물의 분해능을 증가시키기 위하여 토양의 통기, pH조절, 영양염류 투여를 하게된다. 토양의 경작은 산소공급 뿐만 아니라 탄화수소를 고루 분포시키는 기능도 있는데 여러가지 토지경작기구를 이용할 수 있으며 1내지 4주 간격으로 반복한다. 토양 pH는 산성토양의 경우 CaCO_3 성분의 석회를 이용하여 7.5내지 7.8 정도로 맞추면 최대 탄화수소 분해능을 얻을 수 있다. 석유 성분은 거의 대부분이 탄소와 수소로만 이루어져 있기 때문에 탄화수소가 기질로 이용될 때 미생물의 생장에는 질소와 인이 항상 부족하다. C : N : P가 대략 500-1000 : 5-15-1의 비율에서 최대분해능을 나타내므로 질소와 인을

Table 3. Selected industrial wastes suitable for land treatment

Industry	Waste Type	Specific Potential Hazards	Recommendations 1 Precautions
Food and kindred products	Wastewater, sludge	High sodium and TDS content and resulting detrimental effects on soil properties and plant growth	Gypsum addition : segregation of high sodium and TDS waste streams
Textile finishing	Secondary waste-water treatment sludge	Heavy metal content	Plant and water monitoring : appropriate loading rate
Wood preserving	Wastewater	Pentachlorophenol creosote and possible contamination of waste supplies	Appropriate loading rate about 28 to 37 m ³ /ha (3000 to 4,000 gal/ac)
Paper and allied products	Primary waste-water treatment sludge	Contamination with toxic materials may occur at some plants reprocessing secondary materials	Sludge analysis and subsequent appropriate site design and operating precautions
Organic fibers, noncellulosic	Secondary waste-water treatment sludge	High zinc and nitrate content	Appropriate application rate and cover crop
Pharmaceuticals	Waste mycelium	High zinc and TDS content	Appropriate application rate and cover crop
Soap and other detergents	Wastewater	Possible water supply degradation from excess nutrients	Use cover crop with good nutrient uptake characteristics
Organic chemicals	Wastewater treatment Sludges	Potential hazards are dependent on the specific chemicals produced	Chemical analysis of sludge to detect potentially hazardous constituent
Petroleum refining	Nonleaded tank bottoms	High nickel, copper, vanadium and lead content	Monitoring of soil and groundwater concentrations to determine when disposal site life is expended

적절히 보충해 준다(7).

토양온도는 탄화수소 분해율에 가장 큰 영향을 미치며 이에 따라서 부하빈도가 결정된다. 여러 보고에 따르면 토양에서의 최대 석유탄화수소 분해가 20~30°C에서 일어나며 5°C 이하에서는 거의 일어나지 못한다. 일반적으로 15°C 이하에서의 분해능은 20°C 이상에서 보다 훨씬 감소하는 것으로 알려져 있으나 Sandvik 등(1986)은 12에서의 분해능이 24°C에서와 거의 유사한 것으로 보고한 바 있다(11). 우리나라의 경우에는 겨울철을 제외한 나머지 기간에는 비교적 활발하게 탄화수소의 분해가 일어날 수 있다.

석회나 질소, 인 등의 비료성분을 제외하고는 다른

종류의 물질의 투여는 그다지 큰 효과를 보이지 못하고 있으며 'seed microorganisms'으로서의 미생물의 투여는 약간의 효과를 보이는 경우도 있으나 아직 논란의 대상이 되고 있다(12). 토양미생물의 생존, 증식, 천이 등에 대한 정확한 이해와 유전공학적인 방법이 같이 도입되면 보다 효과적인 미생물 접종에 의한 처리가 가능하리라 기대된다.

Land treatment는 정유공장에서 나오는 oily sludges 처리 뿐만 아니라 여러 곳으로부터 나올 수 있는 각종 oily wastes도 처리할 수 있으며 또한 이 원리는 육상에서의 누유사고 등이 일어났을 때 현장에서 유출된 탄화수소를 처리하는 enhanced *in situ* bioremediation에도 적용된다(13, 14). 이 방법

Table 4. Summary of hydraulic and organic loading rates used in existing land application systems for industrial wastes^a

Type of Waste	Hydraulic Load		Organic Load (BOD)
	gal/ac/day ^a	in/wk	lb/ac/day ^b
Biological chemicals	1,500	0.39	370
Fermentation beers	1,350	0.35	170
Vegetable tanning			
Summer	54,000	13.91	360
Winter	8,100	2.09	54
Wood distillation	6,850	1.76	310
Nylon	1,700	0.44	287
Yeast water	15,100	3.89	—
Insulation board	14,800	3.81	138
Hardboard	6,000	1.55	85
Boardmill whitewater	15,100	3.89	38
Kraft mill effluent	14,000	3.61	26
RI ^c	350,000	90.13	120
Semichemical effluent	72,000	18.54	90-210
Paperboard	7,600	1.96	13-30
Drinking	32,400	8.34	108
Poultry	40,000	10.30	100
Peas and corn			
57 day pack	49,000	12.62	238
35 day pack	34,400	8.86	2,020
Dairy			
Low value	2,500	0.64	10
High value	30,000	7.73	1,000
Soup	6,750	1.74	48
Stem peel potato	19,000	4.89	80
Instant coffee and tea	5,800	1.49	92
Citrus	3,100	0.80	51-346
Cooling wateraluminum casting(RI)	95,000	24.46	35

a. Multiply by 9.35×10^{-3} to convert to $m^3/ha/day$.

b. Multiply by 0.89 to convert to $kg/ha/day$.

c. RI-Rapid Infiltration.

은 정유공장 등에서의 처리공정과 동일한데, 정제된 석유제품의 경우 중간 증류물들인 제트유, 등유, 경유 등의 경우 2배 내지 3배 정도의 제거효과를 보

Table 5. Suggested waste consistency classification

Consistency	Characteristics
Liquid	Less than 8% solids and particle diameter less than 2.5 cm
Semiliquid	3-15% solids or particle diameters over 2.5 cm
Low moisture solids	Greater than 15% solids
Bulky wastes	Solid materials consisting of contaminated lumber, construction materials, plastic, etc.

이기 때문에 이런 종류의 석유탄화수소의 토양유출시 land treatment가 효과적으로 이용될 수 있다(10). 1989년 3월에 Alaska에서 발생한 Exxon Valdez호의 원유누출로 인한 해안오염처리에도 이 원리가 적용되어 2내지 3배의 생분해능의 증가가 보고되었다(15). 이와 같이 land treatment는 각종 oily wastes 및 탄화수소로 오염된 토양의 처리에 다양하게 이용될 수 있다.

5. Monitoring and Closure

Monitoring은 모든 폐기물 처분방법에 있어서 필수적인 항목으로 처분시설의 작동, 처분시설과 접촉하는 자연환경 및 주위환경을 관찰, 조사하는 것으로 land treatment시에는 다음 사항에 대한 정기적인 시료채취와 분석이 필요하다.

- (1) 폐기물 부하에 따른 분해율
- (2) 처리장 및 주변토양과 깊이에 따른 토양수분
- (3) 처리장 및 주변의 식생
- (4) 폐기물 중 유기물 성분의 분해
- (5) 병원성 미생물
- (6) 수리학
- (7) 지하수 수질
- (8) 토양침식과 유출수

Monitoring은 처리장 선정시의 premonitoring 처리 및 처분기간 동안의 monitoring 뿐만 아니라 처리장의 폐쇄 후에도 잔류영향을 조사하기 위해 postmonitoring을 해야 한다. 특별히 중요한 것은 지하수보호, 먹이연쇄에의 영향, 표층 유출수 및 토

Table 6. Monitoring program during operation, closure, and postclosure

Waste	Purpose	Sampling frequency	Number of samples	Parameters
	Quality change	Quarterly if continuous stream, each batch if intermittent generation		Rate and capacity limiting constituent, plus those within 25% of being limiting
Soil in the zone of incorporation	Determine degradation pH, nutrient, and rate and capacity limiting constituents	Load design life : Frequency of sampling during operation and closure :	Load design life : 1 sample per :	Rate and capacity limiting constituent, those within 25% of being limiting
		<2 years Quarterly	<2 years 0.5 ha	
		2-10 years Semiannually	2-10 years 2.0 ha	
	>10 years Annually	>10 years 2.0 ha		
Soil below the zone of incorporation	To determine movement of metals	Load design life : Frequency of sampling during operation and closure :	Load design life : 1 sample per :	Metals that limit the loading capacity, those within 25% of being limiting, plus slowly mobile organics
		<2 years Quarterly	<2 years 0.5 ha	
		2-10 years Semiannually	2-10 years 2.0 ha	
	>10 years Annually	>10 years 4.0 ha		
Vegetation	Phytotoxic and transmitted constituents and food chain hazards	Annually or at harvests	Load design life : 1 sample per :	Metals nutrients if needed for diagnosis
			<2 years 0.5 ha	
			2-10 years 2.0 ha	
		>10 years 4.0 ha		
Runoff water	Soluble or suspended constituents	Postclosure, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, and 30 year after closure	As permit requires, or one	Discharge permit or background parameters plus organics
Unsaturated zone water	Determine mobile constituents	Quarterly during operation and closure ; preferably following leachate generating	Load design life : 1 sample per :	
			<2 years 0.5 ha	
			2-10 years 2.0 ha	
		>10 years 4.0 ha		
Groundwater	Determine mobile constituents	Semiannually during operation and closure ; postclosure, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, and 30 years following closure	1 upgradient and 3 downgradient	

^aComposite of six locations.

양침식으로 처리장 폐쇄 후에도 상당기간의 조사가 필요하다(Table 6).

처리장의 폐쇄 후에는 토지가 원래의 상태로 돌아가야 하는데 식물성장이 다시 일어나기 위해서 soil conditioner나 비료성분을 투여하기도 하고 건조지역에서는 관개를 하기도 한다. 비교적 적은 면적의 토지가 이용되었을 때는 타지역으로부터 양질의 토양을 표층에 덮으면 식물성장이 빠른 시일내에 일어날 수 있다. 독성 잔류성분이 남아있는 넓은 지역의 경우에는 토양을 깊이 갈아서 아래쪽의 양호한 토양과 섞어서 유해성분을 희석시킨다(1). 여러 가지 방법을 이용하여 어떤 종류의 식물체이전, 비록 경제성 없는 잡초라 할지라도 식생의 재건이 일어나면 토양에 남아있는 잔류 폐기물 성분의 제거에 효과가 있는데, 식물체 특히 뿌리부분에서 다양한 유기물을 토양에 공급하여 미생물의 활성을 증가시켜 처리장 토양의 잔류유기물 성분의 분해를 촉진하는 이른바 'rhizosphere effect'를 나타내기 때문이다. 이런 과정을 거치면 보다 영구적인 식생을 확립할 수 있다.

6. 맺는말

Land treatment를 이용한 폐수와 폐기물의 성공적이며 안전한 처리는 토양에서의 적절한 생물학적, 물리적, 화학적 반응들이 일어날 때 이루어지며 이를 위해서는 처리해야 할 폐기물과 토양의 성질에 따라 적절한 공정의 설계가 따라야 할 것이다.

Land treatment는 다른 물리화학적 처분방법에 비해 약간 느리고 불완전하다 할지라도 비용이 저렴하고 또한 landfill이나 deepwell injection 등 토양을 이용한 다른 처분방법에 비해 지하수나 인근 지역의 오염, 가스발생 등의 문제점이 훨씬 적다. 토지의 반복적인 처리장 부지로서의 사용 후에는 경우에 따라서는 농작물이나 가축사육용 초지로 이용할 수 있고 농경지로 이용 못할 경우에는 공원이나

건축용부지, 체육시설 등으로 이용이 가능하므로 우리나라에서도 정유, 식품공장 등지에서 폐기물의 처리 및 처분방법으로 시도해 보는 것이 바람직하다고 생각된다.

참고문헌

1. Fuller, W.H and A.W. Warrick, 1985. Soils in waste treatment and utilization. CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida.
2. Ross, D.E. and M.-T. Phung, 1978. EPA/600/9-78-016 p. 366-376.
3. Clark, F.E. 1967 in Soil Biology. Burges. A and F. Raw(ed.) Academic Press, Inc, New York p. 115
4. Spain, J., P. Pritchard, and A. Bourguin, 1980. *Appl. Environ. Microbiol.* **40** : 726-734.
5. Sims, R.C., J.L. Sims, D.L. Sorensen, W.J. Doucette, and L.L. Hastings, 1987. EPA/600/56-86/003.
6. Sims, R.C. W.J. Doucette, J.E. McLean, W.J. Grenney, R.R. Dupont. 1988. EPA/600/56-88/001
7. Bartha, R., and I. Bossert, 1984. in Petroleum microbiology R.Atlas(ed.) Macmillan Pub. Co. N.Y. p. 533-577.
8. Dibble, J.T., and R. Bartha, 1979. *Appl. Environ. Microbiol.* **37** : 729-739.
9. Bossert, L., W. Kachel, and R. Bartha, 1984. *Appl. Environ. Microbiol.* **47** : 763-767.
10. Song, H.-G., X. Wang, and R. Bartha, 1990. *Appl. Environ. Microbiol.* **56** : 652-656.
11. Sandvik, S., A. Lode, and T. Pedersen, 1986. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **23** : 297-301.
12. Atlas, R.M., 1981. *Microbiol. Rev.* **45** : 180-209.
13. Dibble, J.T., and R. Bartha, 1979. *Soil Sci.* **128** : 56-60.
14. Bartha, R., 1986. *Microb. Ecol.* **12** : 155-172.
15. Crawford, M. 1990. *Science* **247** : 1537.