

## 6. 환경공학

### 6.1 환경공학의 탄생 배경과 역사

#### 1) 환경공학의 탄생 배경

자연, 전원, 생태 등의 단어는 평화로움을 연상시킨다. 자연은 과연 온순하고 평화로운 대상일까? 인류가 자연의 여러 현상을 이해하고 불필요한 공포에서 벗어난 것은 그리 오래지 않은 일이다. 지진, 쓰나미, 화산폭발, 태풍과 같은 자연 현상은 여전히 인류에게 가공할 피해를 주고 있으며, 자연에 대한 인류의 투쟁과 극복은 아직도 진행형이다. 인간의 안전하고 쾌적한 삶을 위해 자연의 개발은 불가피하다. 그러나 지나치면 해가 된다. 자연은 인간의 무지와 태만에 대해 엄정한 대가를 반드시 치르게 한다. 인간의 자연에 대한 투쟁에 반해, 인간에 대한 인간의, 자연에 대한 인간의 배려가 환경공학의 탄생 배경이다.

#### 가. 환경공학의 정의

미국 토목학회 (American Society of Civil Engineers, ASCE)는 환경공학을 아래와 같이 정의하고 있다.

- ① 안전하고 맛있는 물의 충분한 공급
- ② 하수나 폐기물의 적절한 처분이나 재활용
- ③ 수질 오염, 토양 오염, 대기 오염, 소음 등의 관리
- ④ 이상의 영역에, 생태, 위해성 평가, 토양 보존 등과 같은 주제가 추가될 수 있다.

환경공학을 보다 폭넓게 파악하기도 한다. 즉, 위와 같은 오염의 저감이나 방지기술 개발이외에 물, 공기와 같은 환경매체 내에 존재하는 오염물질들의 정성 및 정량분석, 이 오염물질들의 환경매체 내에서 거동 예측 등을 포함시키기도 한다. 경우에 따라서는 환경오염에 관한 국가정책이나 국제협약의 수립과 집행에 관한 법규 및 영향평가까지 포함시키기도 환경공학의 영역에 포함시키기도 한다.

환경공학의 정의를 설명하면서, 환경과학과의 차이를 짚고 가지 않을 수 없다. 무릇, 공학이란 자연 과학과 수학적 지식을 이용하여 구조물, 기계장치, 생산품, 시스템과 반응에 유용한 물질이나 에너지를 만들어 내는 직업(profession)을 말한다. 여기서의 직업 즉, profession은 전문직을 의미하며, 일반적인 직업인 vocation과는 구별된다. 과학과 공학의 차이를 명확하게 해주는 다음과 같은 말이 있다. “과학은 돈을 사용하여 지식을 만들고, 공학은 그 지식을 이용하여 돈을 만든다” 환경공학 역시, 환경과학과 같은 관계로 설명할 수 있다.

#### 나. 환경공학의 탄생

1852년에 조직된 미국 토목학회(ASCE) 내에 여러 세부 학술단체들이 만들어지면서 환경공학도 시작되었다고 볼 수 있다. 20세기 초까지도 환경공학의 주된 영역이 상수도 공급을 위한 수질공학이었으므로, “환경공학” 보다는 “위생공학(sanitary engineering)” 이 보다 대중적인 용어였다. 1960년대와 70년대를 거치면서 환경문제가 수질뿐만 아니라, 대기, 토양, 소음, 진동 등에서 다양하게 발생하고 이에 대한 해결이 요구되는 등 영역이 넓어짐에 따라, 학술분야의 명칭도 “위생공학”에서 환경공학으로 바뀌게 된다. 하나의 학술분야가 개인이나 단체에 의해 새로이 창출되었다고 보기는 어렵다. 그러나, Rachel Carson이 환경과학의 선구자이고, 그의 저서 “Silent Spring, 침묵의 봄”이 환경과학의 출현에 크게 기여했다 점은 부인할 수 없다.

환경공학은 civil engineering에서 비교적 최근에 분화된 공학분야에 속한다. 따라서, 아직 독자적인 학문체계가 완성되었다고 보기 어렵다. 실제로 국내외 대학의 환경공학과에서는 토목공학, 화학공학, 기계공학 등의 전통공학들과 화학, 미생물학, 생태학, 독성학, 통계학과 같은 자연과학들의 커리큘럼에 기초한 교과목들이 혼재하여 교육되고 있다. 따라서, 현장에서 문제를 해결하기 위한 초급 기술자로서의 최소한 지식을 갖추기도 대학 4년 학부과정만으로는 쉽지 않다.

고대 그리스에는 물리학과 화학의 구분이 없었으며 심지어는 자연과학과 인문사회과학과의 구분도 모호하였다. 전설적인 자연과학도인 뉴턴의 연구 보고서나 논문 제목도 natural philosophy나 mathematical principles 등으로만 씌여져 있다. 앞서 설명한 대로, 공학도 civil engineering에서 mechanical engineering, electrical engineering, chemical engineering 등으로 분화되어 갔다. 최근 들어 학문간 벽을 허무는 융합기술에 대한 수요가 급증하면서 이제 학문은 다시 수렴하는 과정을 밟고

있다. 더군다나, 이상에서 살펴 본 대로 환경공학은 이미 다양한 학문간의 연계성과 광범위한 학문적 기초를 필요로 하는 종합학문이다.

환경공학의 또 다른 특징은 강한 지역성이다. 오염물질이 인간이나 동식물에 미치는 영향은 지역이나 기후에 크게 달라질 수 없다. 그러나, 오염물질에 대한 환경용량이나 저감을 위한 최적 기술, 측정기술의 수준은 국가에 따라 다를 수 있으며, 이러한 사실은 현실적으로 국가별로 관리대상의 지정과 관리수준의 차이를 낳는다.

## 6.2 주요 교과내용

### 1) 수질

우주정거장과 같은 극한공간에서는 물을 99.9999%까지 재활용한다. 왜냐하면, 물은 인간의 생존에 절대적이고 대체재가 없으며 무겁기 때문에 지구로부터 지속적으로 공급하기에는 너무 값비싼 물질이기 때문이다. 지구상에서도 물의 중요성은 새삼 강조할 필요가 없다.

물속의 오염물질은 제거를 염두에 둘 때, 입자상 물질과 용해성 물질로 구분할 수 있다. 또, 입자상 물질은 더욱 세분하여 물보다 무거운 입자상 물질, 물보다 가벼운 입자상 물질로 나눌 수 있다. 물보다 무거운 오염물질은 가라앉힘 즉, 침전을 통해 물에서 제거할 수 있다. 물보다 가벼운 물질은 띄워 걷어냄 즉, 부상을 통해 제거할 수 있다. 입자상 물질은 비중과 관계없이 걸러서 즉, 여과하여 제거할 수 있다. 입자상 물질은 물리적인 방법을 통해 물에서 제거할 수 있는 반면, 용해성 물질은 화학적 또는 생물학적 방법을 이용하여 입자상 물질로 전환시켜 제거한다. 입자상 물질과 용해성 물질 사이에는 콜로이드상 물질이 존재하며, 콜로이드상 물질 역시 입자상 물질로 전환시켜 제거하거나 여과하여 제거한다.

수질오염 지표로 가장 많이 사용되는 것은 BOD(Biochemical oxygen demand, 생화학적산소요구량)와 COD(Chemical oxygen demand, 화학적산소요구량)이다. 이 두가지 지표는 물속에 존재하는 유기물의 농도를 직접 측정하는 것이 아니라, 그 유기물들이 산화되는 데에 필요한 산소의 양을 의미한다. 따라서, BOD나 COD값이 크다면 이는 곧 물속에 많은 유기물이 존재한다는 의미이긴 하지만, BOD나 COD값이 낮아도 깨끗한 물이 아닐 수도 있다. 왜냐하면, 미생물이나 산화제에 의해 분해되지 않는 오염물질이 존재할 수 있기 때문이다.

수질 분야는 물을 사용하기 위해 정수하는 과정과 사용한 물을 자연으로 돌려 주거나 다시 사용하기 위해 처리하는 부분으로 나눌 수 있다. 이 두 부분을 각각 편의상 상수도와 하수도로 나누어 설명한다.

#### 가. 상수도(Water supply system, 上水道)

##### (1) 상수도의 정의와 역할

인간의 생활을 유지하려면 음용수, 생활용수, 소방용수와 같은 용수가 반드시 필요하다. 이러한 용수를 공급하는 급수시설이 수도이다. 우리나라의 수도법에서는 수도를 “관로(管路), 그 밖의 공작물을 사용하여 원수나 정수를 공급하는 시설의 전부를 말하며, 일반수도·공업용수도 및 전용수도로 구분한다”로 정의하고 있으며, 파이프의 사용을 전제하고 있다. 일반적으로 수도라 하면 상수도를 가리키며, 하수나 공업용 수도와 구분하기 위하여 상수도라 표현한다.

이러한 상수도의 핵심목표는 깨끗한 물을 풍족하고, 안전하게 소비자에게 공급하는 것이다. 따라서, 상수도는 수량, 수질, 공급에서의 안정성 확보가 최우선 요건이다. 이러한 요건들을 충족하며 운전되는 상수도는 공중위생을 향상시키고, 국민들의 생활환경 개선에 기여한다.

##### (2) 상수도의 개발 배경과 우리나라의 상수도 연혁

과거 인류는 생활에 필요한 물을 지하수나 하천에서 취수하여 사용하였다. 그러나 도시화, 산업화, 인구증가와 같은 요인들은 물 공급의 안정성에 막대한 악영향을 끼쳤다. 인구의 도시집중으로 인하여 물 수요량이 급증했지만, 기존의 소규모 수원으로부터 충분한 양의 물을 공급받을 수 없었고, 인간활동에서 야기된 많은 오염물질의 배출로 인하여 수원은 오염되었다. 오염된 수원의 물을 생활에 사용하여 많은 수의 질병환자 및 사망자가 발생하게 되었고, 이러한 과정이 반복되는 악순환에 빠지게 되었다. 19세기 유럽지역에서 유행했던 콜레라의 발생이 이러한 악순환의 대표적인 사례이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 인간활동이 최소화된 지역의 깨끗한 수원으로부터 물을 공급받는 방법이 제안되었고, 증가

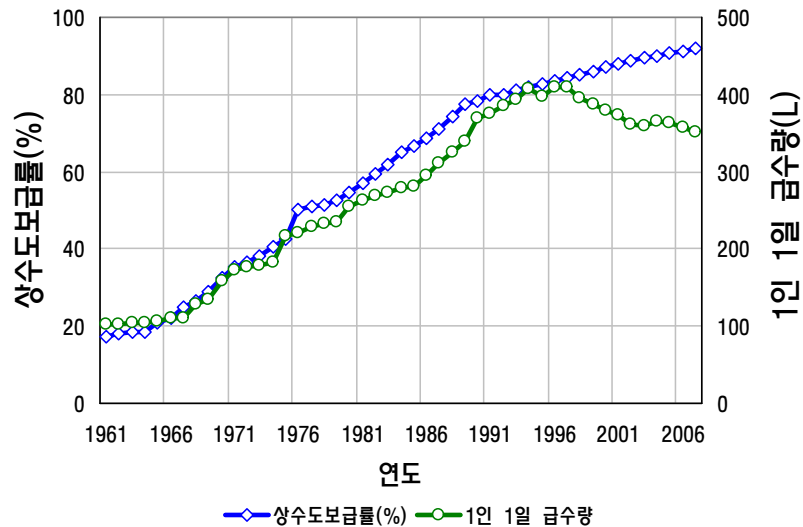


그림 6.1 우리나라의 평균상수도보급률과 1인 1일 급수량(환경부, 2008a)

된 물 수요량을 충족시키기 위하여 대규모로 물을 공급할 수 있는 상수도가 개발되게 되었다.

우리나라에서는 서울 독점에 정수시설을 설치하여 1908년 9월 1일부터 4대문 안과 용산지역에 물을 공급한 것을 시작으로 인천, 평양, 대구, 목포 등 전국적으로 상수도의 보급이 확산되었다(김동하 외, 2004). 1894년 부산 보수천에 설치된 집수시설, 자연여과, 배수지 등을 우리나라 상수도시설의 효시로 보기도 한다. 6.25 전쟁 이후 파괴된 상수도시설의 복구에 주력하는 한편, 시설확충을 통하여 1961년 평균상수도보급률 17%를 달성하고, 1인 1일 물수요량을 약 99L까지 보장하였다. 이후 도시화, 산업화 등으로 인한 급속한 발전과 생활수준의 향상으로 물 수요량이 급속하게 증가하게 되었고, 따라서, 우리나라의 상수도도 수량적 공급안정성에 초점을 맞추어 운영되었다. 그러나 1990년대에 접어들어 THM 검출사건, 낙동강 폐놀오염사고, 낙동강 수계 수돗물 악취사건, 수돗물 바이러스 오염파동 등의 수질사고로 인하여 수돗물의 수질적 안정성 향상에 대한 국민들의 요구도 급증하게 되었다. 이러한 사회적 요구들에 따라 수돗물의 수량적, 수질적 안정성 향상에 대한 지속적인 노력이 수행되고 있으며, 2007년 평균상수도보급률을 약 92%로 향상시켰다<그림 6.1>.

### (3) 상수도 기본계획

상수도 기본계획에서는 현황조사를 바탕으로 기술적으로 경제적으로 최적의 시설규모를 결정한다. 급수계획년도, 급수대상지역, 급수인구, 급수량, 원수의 수량과 수질 등이 기본계획의 세부적인 요건들이며, 기본계획의 흐름도는 <그림 6.2>와 같다.

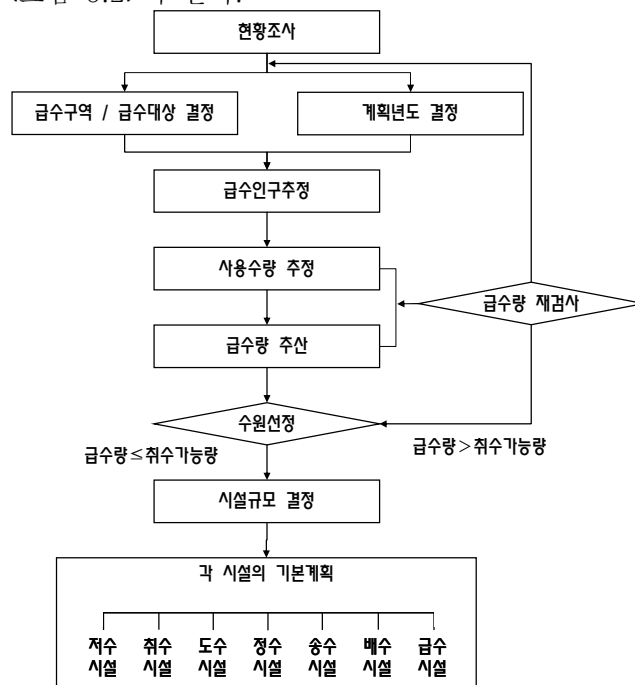


그림 6.2. 상수도 기본계획 결정흐름도(김수원 외, 2005)

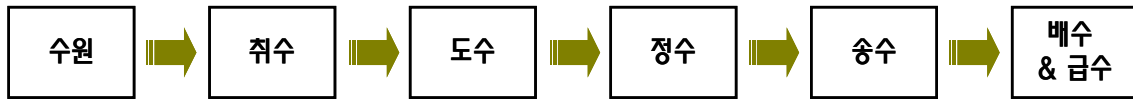


그림 6.3. 상수도시스템의 구성

#### (4) 상수도시스템의 구성

수원으로부터 소비자에게까지 물이 공급되는 일반적인 과정은 <그림 6.3>과 같으며, 각 과정들을 조합하여 구축한 시스템을 상수도시스템이라 칭한다.

- ① 수원: 소비자에게 공급되는 물의 근원이 되는 수원은 풍부한 수량, 청정한 수질, 낮은 오염발생 가능성, 공급지역으로 가까운 위치 등의 여러 구비조건들을 충족하여야 한다. 수원의 종류로는 빗물, 하천수와 호소수를 포함한 지표수, 그리고 지하수 등이 있으며, 경우에 따라 저수시설을 설치하여 이용할 수 있다.
- ② 취수: 취수는 수원으로부터 필요한 물을 끌어 올리는 과정을 말하며, 수원의 종류에 따라 적합한 취수방법을 선택하게 된다. 취수지점은 수원의 구비조건 충족여부, 수리권의 확보, 용이한 시설의 건설 및 유지관리 등의 여러 조건들을 고려하여 선정하게 된다.
- ③ 도수 및 송수: 도수 및 송수는 물을 운반하는 과정이며 그 기능과 역할은 매우 비슷하다. 구분하면, 도수는 취수한 물을 정수장으로 운반하는 과정이고, 송수는 정수된 물을 배수지로 운반하는 과정이다. 도수 및 송수방법으로는 자연유하식과 가압식이 있는데, 운반지역간의 표고차와 거리, 운반의 간편성과 안전성 등의 다양한 조건들을 고려하여 가장 적절한 도수 및 송수방법을 선정하게 된다.
- ④ 정수: 소비자에게 공급되는 물은 지정된 수질기준을 만족해야 한다. 그러나 원수가 이러한 수질기준을 만족하는 경우는 거의 없으므로, 적절한 정수처리를 통하여 원수의 수질을 향상시키게 된다. 즉, 정수장에서 다양한 처리공정을 적용하여 수중의 불순물을 제거하고, 이를 통하여 처리수가 수질기준을 만족하도록 하는 과정이 정수처리과정이다. 불순물을 효율적으로 제거하려면 그 불순물의 특성에 적합한 처리방법들을 적용해야 한다. 원수의 특성에 따라 불순물의 크기, 화학적 반응성, 농도를 고려하여 적절한 처리방법들을 선택할 수 있고, 이들을 조합하여 시스템을 구축할 수 있다<그림 6.4, 6.5>. 일반적으로 정수장과 같이 여러 처리방법을 직렬로 연결하여 불순물을 처리하는 경우, 크기가 크고, 농도가 높은 불순물 성분을 우선 처리하는 것이 경제적으로 유리하며, 필요에 따라 응집, 응석 등의 전처리 과정이나 활성탄을 이용한 고도처리공정을 추가할 수 있다.
- ④ 배수 및 급수장치: 배수는 정수장에서 정수된 물을 급수구역안의 소비자들에게 균등하게 분배하는 과정이다. 특히, 정수된 물이 배수를 통하여 소비자들에게 공급되는 과정이므로, 외부로부터의 오염으로부터 철저히 방어되어야 하며, 필요한 수량의 물을 적절한 수압으로 상시 공급할 수 있어야 한다. 급수장치는 정수된 물이 배수관에서부터 소비지에 급수하는데 필요한 각종 장치를 뜻한다.

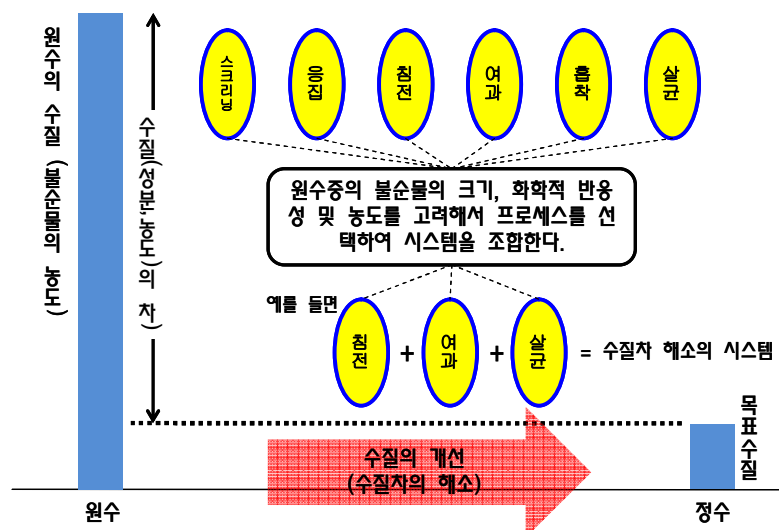


그림 6.4. 정수처리기술의 조합과 정수시스템(유명진과 조용모, 2004)

불순물의 크기	불순물의 분류	불순물의 예	분리 프로세스	입자경 성장프로세스	무해화 프로세스
$10^{-10}m=1\text{\AA}$		이온·수분자 염류	이온교환 전기투석 여상투	응 석	금속이온용해 중화
$10^{-9}m=1nm$	↑ 용 액 ↓ 정 비	색도성분	↑ 흡착 ↓ 전		
$10^{-8}m$	↑ 미생물 ↓ 의미	바이러스		↓ 응 집	↑ 살 균
$10^{-7}m$		점토류 세균류	↑ 현외여과 (상변화) ↓		
$10^{-6}m=1\mu m$	↑ 현탁 ↓ 성 분	조류·원생동물	↑ 여과 ↓	↓ 플록형성	
$10^{-5}m$		실트입자			
$10^{-4}m$		사 림 자	↓ 침전 · 부상		
$10^{-3}m$		거대현탁질	↑ 스크리닝		
$10^{-2}m=1cm$					

그림 6.5 불순물의 크기에 따른 처리방법(유명진과 조용모, 2004)

## 나. 하수도(Wastewater Treatment, 下水道)

### (1) 하수도의 정의와 역할

하수도란 인간의 생활 중에서 어떤 목적으로든 한번 사용된 오수와 빗물 즉, 우수로 구성된 하수를 관거시설을 통해 수집, 배제, 운반, 처리하는 일련의 시설로 정의할 수 있다. 우리나라 하수도법(2007년 4월 개정) 제2조에 따르면, 하수도를 하수와 분뇨를 유출 또는 처리하기 위하여 설치되는 하수관거·공공하수처리시설·분뇨처리시설·중수도·배수설비·개인하수처리시설 그 밖의 공작물과 시설의 총체로 정의하고 있다(이광호, 2008).

오늘날에 있어 하수도는 인구의 증가와 도시화의 급속한 확산으로 인해 인간 생활에 있어 가장 필수적인 시설로서 인식되고 있으며, 2007년 브리티시 메니컬 저널에 따르면 160년 동안 인류 건강에 가장 큰 역할을 한 것으로 하수도가 항생제와 백신을 제치고 1위를 차지하였다. 이러한 관점에서 볼 때, 하수도시설의 목적은 공공수역의 수질오염 등 현대적 문제를 해결하기 위한 기본적인 수단으로서 합리적인 건설비와 유지관리비를 투자하여 도시와 농어촌의 건전한 발전과 공중위생의 향상에 기여하고 공공수역의 수질을 보전하여 쾌적한 생활환경을 조성하는데 있다(이광호, 2008, 조관형, 2008).

### (2) 우리나라 하수도 현황

우리나라는 1970년대에 들어서면서 수질오염방지를 위한 각종 법규의 제정이 이루어졌고, 행정조치가 시작되면서 수질오염방지시설의 확충이 시작되었는데 초기에는 주로 분뇨의 관리와 분뇨처리장의 설치 및 폐수배출업소에 대한 수질규제를 만족시키기 위한 폐수처리시설의 설치로부터 시작되었다. 도시하수처리장의 확충은 1986년 아시안게임과 1988년 서울올림픽게임을 치르고 생활수준이 향상되면서 쾌적한 환경에서 살고자 하는 욕망이 커지고 환경보전의식이 향상되면서 하수처리장의 건설이 활발하게 진행되었다.

2008년 자료기준 하수도 보급률은 전국 평균 87%에 미치고 있지만, 전국민의 식수원수가 위치해 있는 전국 14개 다목적댐 상류지역의 하수도 보급률은 전국 평균보다 낮은 수준인 점은 유려할 사안이다. 또, 중소도시나 농어촌과 대도시와의 차이가 아직 크므로 지방하수도 보급률의 향상에도 많은 관심과 투자가 지속되어야 한다.

과거에는 첨단기술과 풍부한 경험이 많이 축적되어 있지 않은 상태에서 하수처리장을 건설하여 운전하는 과정에서 여러 가지 문제점이 도출되기도 하였지만, 현재에는 지금까지의 시행착오를 겪으면서 축적된 경험을 바탕으로 하수 및 분뇨 슬러지의 처리에 대한 문제점을 검토하여 환경선진국으로 도약하기 위한 합리적인 처리기술의 개발이 이루어지고 있고, 더불어 체계적인 관리 기법도 선진국 수준으로 끌어 올려 상하수도 기술과 환경기술을 외국에 수출하는 국가가 되었다(조관형, 2009).

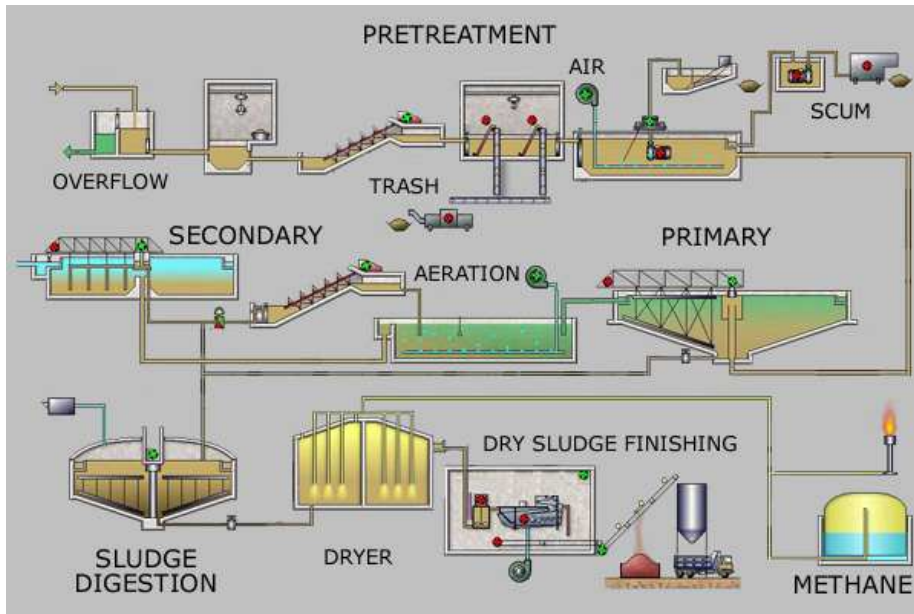


그림 6.6 하수처리과정 (Wikipedia, 2010)

### (3) 하수처리 공정 개요

하수처리는 하수 중에 포함된 오염물질의 제거를 목적으로 하며 그 처리방식에 따라 <그림 6.6>과 같이 1차 처리, 2차 처리, 슬러지 처리로 분류된다. 1차 처리는 하수 중에 부유하는 물질이나 침강성 물질을 물리적으로 제거하는 방법으로 중력침강, 부상분리 등의 시설이 이용되며 대개 하수처리장에서 최초 침전지까지의 공정에 해당한다. 2차 처리는 하수 중에 용존되어 있는 유기물 및 1차 처리에서 처리되지 않은 유기성 고형물의 제거를 목적으로 생물학적 처리방식이 주로 이용되며, 방식에 따라 처리효율에 차이가 있지만 대개 80% 이상의 제거율을 나타낸다(박철휘, 2009).

하수처리과정에서 생긴 슬러지는 물 속에 녹아 있는 유기물을 미생물이 체세포로 전환시킨 것으로, 일반 하수에 비하여 오염성분이 많고 부패성이 크며 하수처리장에서 지속적으로 배출되므로 최종처분을 위한 부피 감소가 중요한 문제이다. 발생한 슬러지는 농축, 감량화, 탈수, 건조 과정을 거쳐 매립, 해양투기, 재활용, 소각된다.

하수처리시설의 2차처리에 의하여 제거되지 않은 잔류 오염물질의 처리를 위하여 설치하는 추가시설을 3차처리 혹은 고도처리라고 한다. 고도처리는 2차처리 공정의 후속공정에 BOD, SS, N, P 등의 처리를 위한 시설을 추가적으로 설치한 것으로 2차처리에서 얻을 수 있는 이상의 수질 확보를 위한 시설이다. 3차처리시설은 처리대상 물질에 따라 분리할 수 있으며, 용존 무기물 제거를 위해서는 활성탄, 막분리, 오존산화시설 등을 설치할 수 있고, 질소 및 인 제거를 위해서는 암모니아 스트립핑, 과산화염소 주입, 이온교환, 화학적 인 제거, 생물학적 질소 및 인 제거 시설 등을 설치할 수 있다(이병학, 2007).

## 2) 대기

우리는 흔히 지구 대기권이 지상에서 배출되는 여러가지 가스상 오염물질들을 흡수할 수 있는 무한한 능력을 가지고 있다고 생각한다. 그러나, 대기권이란 극히 얇은 층에 불과하다. 지구를 오렌지에 비유하자면, 대기권의 두께는 오렌지 껍질의 두께보다 훨씬 얇다. 오염에 대해 매우 민감하고 취약한 매체이다.

대기오염에 대하여 세계보건기구(WHO)는 “대기 중에 인위적으로 배출된 오염물질이 한가지 또는 그 이상 존재하여 오염물질의 양, 농도 및 지속시간이 어떤 지역의 불특정 다수인에게 불쾌감을 일으키거나 해당 지역에 공중보건상 위해를 끼치고, 인간이나 동식물의 활동에 해를 주어 생활과 재산을 향유할 정당한 권리를 방해받는 상태”로 정하고 있다.

대기오염물질은 입자상 물질과 가스상 물질로 나눌 수 있다. 입자상 물질이란, 고체상 또는 액체상의 물질을, 가스상 물질은 기체상의 물질을 말한다. 입자상 물질은 여과나 침전과 같은 물리적 방법으로 가스상 물질은 화학적 방법을 이용하여 입자상 물질로 전환하거나 무해한 물질로 전환시켜 처리할 수 있다.

악취는 대기오염물질과 구분하여 별도로 다루어지기도 한다. 우리나라에서는 환경문제로 분류가 발생하여 당사자들 간에 타협이 어려울 경우, 법원의 판단 이전에 환경부의 분쟁조정위원회에서

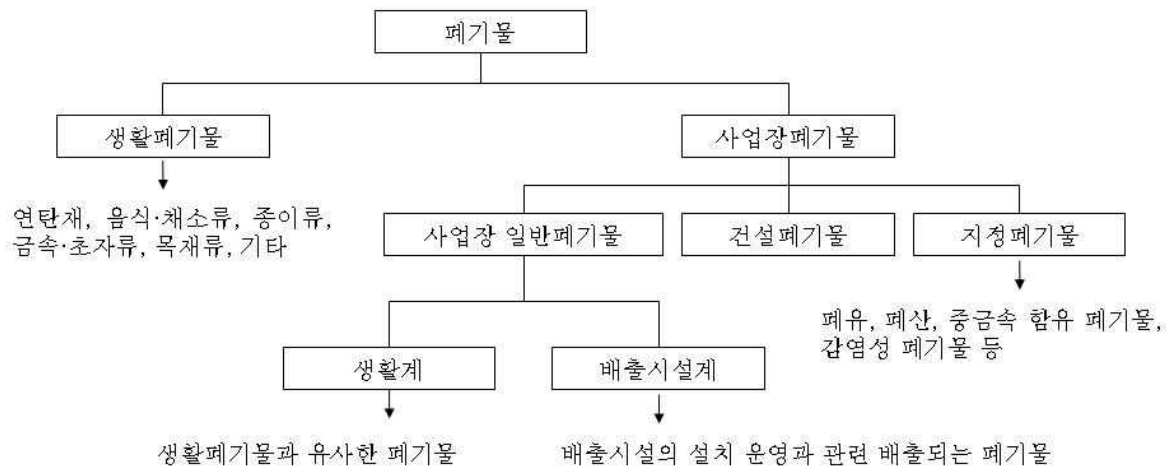


그림 6.7. 폐기물의 분류(이병학 외, 2007)

일차적인 조정을 한다. 대부분의 악취유발물질은 인간이나 동식물의 생명에 치명적이지 않다. 인간의 생명이나 건강에 큰 악영향을 미치는 화학물질들은 무취인 경우도 많다. 환경분쟁은 원인물질의 유해성과는 차이가 있으며, 악취는 중요한 환경분쟁 유발물질이다.

대기는 물과 더불어 대표적인 환경매체이지만, 건설환경공학분야에서 중점적으로 다루는 분야는 아니다. 따라서, 이 책에서는 대기분야에 대해서는 더 이상 다루지 않기로 한다.

### 3) 폐기물(Waste Management)

#### 가. 폐기물 개념 및 분류

폐기물이란 소유자나 사용자가 필요가 없고(useless), 이상 소유하고 싶지 않은(unwanted) 물질을 말한다(Tchobanoglous et al., 1993). 우리나라 폐기물관리법은 폐기물을 “사람의 소비활동이나 생산과정에서 필요하지 아니하게 된 물질로서 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알카리, 동물의 사체 등을 포함하는 것”으로 정의하고 있으며(폐기물관리법 제2조), 발생원에 따라 생활폐기물과 사업장폐기물로 구분한다(환경부, 2010). 폐기물관리법에서 정하고 있는 폐기물의 분류는 <그림 6.7>과 같다.

#### 나. 폐기물 발생 및 처리/처분 현황

폐기물발생량과 조성은 소득수준, 생활습관, 사회의식, 산업구조 등에 영향을 받는다. 일반적으로 소득이 높을수록 폐기물발생량이 증가한다. 우리나라는 2005년 1인당 하루 평균 0.99kg의 일반폐기물을 발생하는 것으로 조사된 이후 더 이상 큰 변화는 없다. 사업장폐기물을 포함한 전체 폐기물발생량은 2005년 국민 1인당 약 6kg에 이르고 있다. <그림 6.8>은 국가별 생활폐기물발생량을 비교한 것이다. 국가간 자료를 비교할 때는, 국가별로 생활폐기물의 법적 분류 기준이 다르며, 발생량은 엄밀히 말해 수거량인 만큼 수거시스템이 얼마나 제대로 갖추어져서 작동하고 있는지 등을 유의하여야 한다.

처리(treatment)는 중간처리, 처분(disposal)은 최종처분의 의미로 구분된다. 아래 표 6.1은 우리나라 폐기물 처리/처분 현황이다. 정부의 꾸준한 폐기물 감량화 및 자원화 정책이 추진됨에 따라 재활용되는 폐기물 비율은 크게 증가하였고 반대로 매립되는 폐기물 비율은 감소하였다. 소각처리비율은 점진적으로 증가되는 추세에 있다(표 6.1).

표 6.1. 연도별 폐기물 발생량 및 처리 현황 (국립환경과학원, 2008)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
총발생량(톤/일)	234,221	260,955	277,440	302,926	311,548	298,862	326,664
매립비율(%)	47.01	43.30	42.93	40.31	36.38	27.69	25.80
재활용비율(%)	41.27	43.14	42.93	45.21	49.17	56.29	57.16
소각비율(%)	11.72	13.56	14.14	14.48	14.4	16.02	17.04



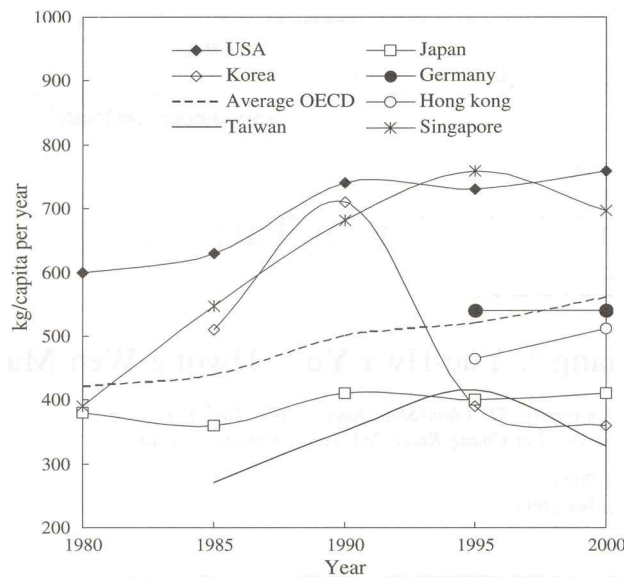


그림 6.8. 국가간 생활폐기물 발생량 비교 (OECD, 2020)

## 다. 폐기물 관리 정책 방향

폐기물로 인한 환경오염 예방중심의 기존 폐기물 정책은 원자재·에너지난과 기후변화 등에 적극 대응하기 위해 자원순환 촉진을 통한 자원생산성 제고를 목표로 전환되었다. 패러다임 전환에 따라 정책체계 또한 기존의 감량, 재활용, 처리 중심에서 효율적 생산소비, 물질 재활용, 에너지회수, 처리 선진화를 통한 녹색성장 달성으로 한 단계 발전시켰다 <그림 6.9>.

## 라. 폐기물 관련법령 및 관리체계

폐기물은 폐기물 관리에 관한 기본법인 “폐기물관리법”을 중심으로, “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”, “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률” 및 “폐기물의 국가간 이동 및 그 처리에 관한 법률”에 의하여 관리되고 있으며, 기타 관련 법률로는 “폐기물 처리시설 설치 촉진 및 주변지역 지원 등에 관한 법률”, “한국환경자원공사법”, “수도권매립지의 설립 및 운영에 관한 법률” 등이 있다. 국가는 폐기물관리 전반에 관한 기본계획을 수립하고 지방자치단체에 기술적, 재정적 지원을 하며, 광역지방자치단체(시·도)는 관할 기초자치단체의 폐기물처리 사업에 대한 조정 등을 수행한다. 생활폐기물의 수집, 운반, 처리 책무는 시장, 군수, 구청장에게 있고, 사업장폐기물은 폐기물을 배출하는 사업자에게 그 처리에 대한 책임이 있다(국립환경과학원, 2008)



그림 6.9 녹색성장과 자원순환정책(국립환경과학원, 2008)



## 마. 폐기물 수거

폐기물 수거과정은 발생원으로부터 폐기물 수집(collection), 분리(separation), 적환(transfer), 수송(transportation) 등의 작업과정을 포함하며 전체 폐기물 처리 비용 면에서 가장 큰 비중을 차지한다(조영일 등, 1992).

### (1) 폐기물 수집

폐기물 수집방식은 크게 두 가지로 분류된다. (1) 이미 분리가 되어 있는 폐기물을 수집하는 방식 (2) 분리되지 않은 채로 혼합되어 있는 폐기물을 수집하는 방식. 우리나라에서는 폐기물 재활용 정책에 따라 폐기물 분리배출이 이미 의무화되어 있어 (1) 방식에 해당되는 수집 구조의 적용이 가능하다. 배출원에서 일차 분리된 폐기물은 폐기물을 재활용, 자원화, 그리고 에너지화 함에 있어 매우 중요하면서도 필수적인 요소이다.

### (2) 폐기물 분리

폐기물 분리는, 혼합된 형태의 폐기물에서 원하는 물질을 선별(classification)하는 과정을 의미한다. 이 과정을 통해 폐기물의 재활용률이 증가되고 소각, 매립 등 처리/최종 처분과정에서 보다 안정적이고 효율적인 폐기물 처리가 가능해 진다.

### (3) 폐기물 수송

폐기물의 수송 방식은 (1) 직송식과 (2) 중계수송식으로 대별될 수 있다. 직송식은 수집과 수송을 동일한 차량으로 직접 최종처분지까지 수송하는 방식이다. 직송식은 폐기물의 발생량이 작은 지역이나 최종처분지까지의 거리가 가까운 경우에 적용될 수 있겠다. 중계수송식은 수집전용차량과 수송전용차량을 각기 운영하는 방식이다. 즉, 소형 수집전용차량을 이용하여 적환장에 수집된 폐기물을 대형 수송전용차량(혹은 선박, 기차 등)을 이용하여 최종처분지까지 수송하는 방식이다. 중계수송식은 운영시스템이 복잡하고 초기 투자비가 상대적으로 많이 소요되는 단점이 있으나, 최종처분지가 원거리에 있는 경우에는 충분한 경제성을 확보할 수 있다.

### (4) 폐기물 적환

소형차량으로 수집된 폐기물을 하역하고 대형차량이나 기타 대형 수송수단에 적재하는 작업을 적환(transfer) 이라고 부르며, 이러한 작업이 이루어지는 장소를 적환장이라고 한다. 적환장(transfer station)에서 차량간의 폐기물 이동은 (1) 직접적으로 옮기는 직접적환과 (2) 일단 수집된 폐기물을 적환장에 부린 후에 수송용 차량으로 다시 싣는 하역적환 또는 (3) 두 가지의 혼합방식 등으로 운영될 수 있다. 직접적환의 경우는 부지가 적게 소요되고, 폐기물을 저장하지 않음으로 해서 위생상 유리한 등의 이점이 있다. 반면에, 하역적환은 폐기물의 적환장으로의 반입량 변동에 대응하기가 용이하고, 적환장에서 재사용/재활용을 위한 선별이 이루어 질 수 있으며, 수송차량으로의 폐기물 적재 시에 충분한 압축을 가하거나 압축기를 이용하여 압축한 후 수송차량에 적재할 수도 있어 수송효율을 높일 수 있는 등의 이점이 있다. 적환장은 (1) 해당지역의 중심에 가까운, (2) 주요 수송시설과의 연계가 용이한, (3) 공공적인 혹은 환경적인 영향이 최소화되는 지역에 설치하는 것이 바람직하다.

## 바. 폐기물 재사용/재활용

폐기물 재사용 및 재활용은 각각 독립적으로 사용되기도 하고, 구분없이 사용되기도 한다. 예를 들어, 유리 우유병을 우유병으로 다시 사용하면 재사용으로, 유리 가루를 만들어 다른 유리 제품으로 전환하면 재활용으로 구분한다. 폐기물 재사용 및 재활용은 정부의 폐기물 관리에 있어 가장 우선적인 감량화 및 자원화 정책이다. 폐기물 재활용 확대를 위한 대표적인 제도로 생산자책임재활용제도를 예로 들 수 있다. 정부는 2003년부터 종이팩, 유리병, 금속캔, 합성수지포장재, 전지류, 타이어, 윤활유, 전자제품 등을 대상으로 이 제도를 도입하여 시행해 오고 있다(한국환경공단, 2010). 이외에도 정부는 폐기물 재활용 확대를 위해 재활용품 분리배출 및 수거체계의 효율화 추진 및 보완, 재활용품 유통구조의 선진화, 재활용산업의 경쟁력 강화, 재활용제품 수요기반 및 재활용의식 확산 정책 등을 도입 시행해 왔으며 그 결과 표 6.1에 제시했던 것처럼 매년 폐기물의 재활용 처리 비율은 계속 증가하고 있다.

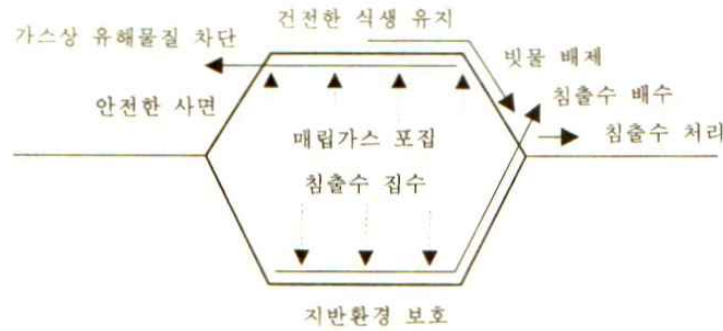


그림 6.10 위생매립지 개념도

## 사. 폐기물 처리/처분

### (1) 폐기물 매립

매립은 인류가 지금까지 사용해오고 있는 가장 전통적이고 일반적인 폐기물 처분 방법이다. 선사시대의 조개무지도 지금의 폐기물매립지에 해당한다. 현재 우리나라에서 운영중인 대부분의 매립지는 위생매립방식을 적용하고 있다. 위생매립지란 침출수 차수시설(liner system), 침출수 집·배수시설(leachate collection and drainage system), 침출수 처리시설(leachate treatment system), 각종 복토의 실시, 매립가스배출시설, 지하수 감시시설 등을 갖춘 매립지를 의미한다<그림 6.10>. 최근에는 신재생에너지원으로서 매립가스의 중요성이 부각됨에 따라 매립가스 회수 및 이용시설을 갖춘 매립지가 점차 증가되고 있다. 매립지에서는 폐기물이 산소가 없는 상태 즉, 혐기성 조건에서 분해되면서 메탄 및 이산화탄소를 주로 포함하는 매립가스가 발생되며 매립가스 중 메탄의 농도는 부피비로 50~60%에 달한다. 메탄은 주요 온실가스지만 발열량이 매우 높아 연소시키거나 분리·정제·압축시킬 경우 열, 전기, 수송연료로의 변환이 가능하다.

### (2) 폐기물의 열적 처리

폐기물의 열적처리 공정은 소각, 열분해, 가스화 등의 공정을 포함한다. 소각은 가장 대표적인 열적처리 공정이다. 소각은 폐기물의 절대량 감소(무게비 약 30%), 안정적 처리 그리고 열에너지를 회수할 수 있다는 점에서 매력적인 처리 방식에는 틀림이 없다. 그러나 소각 시 발생하는 다이옥신 등의 유해한 대기오염물질의 배출 가능성이 존재한다.

열분해는 폐기물을 무산소 상태에서 연소시켜 폐기물 내 유기물을 가스, 액체, 고체 상태의 연료로 전환시키는 공정이다. 열분해 과정을 통해 생산된 합성가스는 수소, 메탄, 일산화탄소, 이산화탄소 등으로 구성되며 생성된 합성가스의 성분은 폐기물 종류 및 온도에 따라 달라진다. 생산된 액체는 기름성분 및 아세트산, 아세톤, 메탄올 등을 포함하고 있어 기름성분은 에너지원으로 아세트산, 아세톤, 메탄올 등은 분리·정제되어 재활용된다. 열분해 과정을 통해서 얻어지는 char는 거의 순수한 탄소로 구성되어 있어 활성화된 대체물질 혹은 에너지를 생산하기 위한 고체연료로 사용된다.

폐기물의 가스화 공정은 폐기물의 부분 연소에 의한 가연성 연료가스(주로 일산화탄소와 수소로 구성)을 생산하는 공정을 의미한다. 대기압에서 공기를 산화제로 하여 가스화 장치를 조작하면, 가스화 공정의 최종 생성물은 저급 에너지 가스(일반적으로 부피기준으로 CO<sub>2</sub> 10%, CO 20%, H<sub>2</sub> 15%, CH<sub>4</sub> 2%, N<sub>2</sub> 57%)와 탄소가 풍부한 char가 생성된다. 산화제로서 순수 산소를 사용할 경우, 중급 에너지 가스의 생산이 가능해진다(조영일 등, 1992).

폐기물 고형연료(RDF, refused derived fuel)란 폐기물을 가공하여 고체연료를 생산하는 공정이다. RDF는 직접 소각하는 외에 열분해, 가스화 공정에도 사용될 수도 있으며, 석탄과 혼합하여 소각할 수도 있다. 또한, 발전용이나 가정용 보일러 등에도 사용이 가능하다. RDF는 폐기물 중에 포함된 가연성 분만을 분리하여 분쇄, 압축하여 생산하므로, 폐기물을 직접 소각하는 것에 비하여 소각 시 열효율이 높으며 열량이 일정하여 전용소각시설 운영을 통한 안정적인 에너지 생산이 가능하다. 생산된 RDF의 발열량은 최소 3, 500 kcal/kg 이어야 하며(환경부, 2009a) 최종제품의 성상에 따라 가벼운 폐기물 연료(fluff RDF), 미분연료(dust RDF), 성형연료(densified RDF) 등으로 구분한다(환경부, 2008b). RDF 역시 최근 폐기물을 활용한 에너지 생산 가능성이 높아짐에 따라 향후 지속적인 기술개발이 예상되는 분야이다.

### (3) 폐기물의 생물학적 처리

폐기물의 생물학적 처리에는 호기성 퇴비화, 혐기성 소화, 그리고 지렁이 퇴비화 등이 있다. 호기성 퇴비화란 산소가 있는 상태 즉, 호기성 조건에서 폐기물 내 유기물질을 미생물이 분해하고 안정화시켜 토양에 환원이 가능한 물질로 전환하는 과정이다. 혐기성 소화는 폐기물을 혐기성 상태에서 발효시켜 처리하는 방법으로, 혐기성 발효라고도 부른다. 혐기성 소화 공정에서 일어나는 반응은 세 단계로 나누어 생각될 수 있다. (1) 먼저 고분자유기물질이 에너지원과 세포생성물로 사용이 가능한 아미노산이나 지방산 등으로 가수분해되며, (2) 가수분해의 결과로 생성된 유기물질은 에탄올 등의 발효부산물과 아세트이트 등으로 분해되는 산생성단계를 거쳐, (3) 최종적으로 메탄과 이산화탄소로 분해된다. 생산된 바이오가스는 매립가스처럼 신재생에너지원으로 이용될 수 있다. 마지막으로 지렁이 퇴비화란 지렁이를 이용하여 폐기물 내의 유기성분을 분해하는 공법이다. 지렁이는 폐기물 내의 유기성분을 섭취하여 양질의 토양개량제인 분변토를 배설한다. 지렁이가 분해를 끝낸 퇴비단에는 토양개량제로 이용이 가능한 분변토와 분해가 끝난 안정적인 폐기물 잔재물 만이 남게 된다. 또한, 성장한 지렁이 자체가 상품가치가 있으므로 부가적인 이익을 기대할 수도 있다.

## 4) 토양 및 지하수

공기·물과 더불어 토양은 인간을 포함한 생물의 생존에 필요한 중요한 환경 요인이다. 토양은 단순히 인간 활동의 기반을 제공하는 것이 아니라 유해화학물질을 여과, 흡착, 분해 또는 변환시켜 정화작용을 하므로 지하수의 오염을 막거나 먹이사슬을 통해 유해 물질이 동물이나 인간의 생체 내에 전달되지 못하게 하는 등 토양의 기능은 매우 다양하다. 그러나 산업의 발달로 토양이 유해화학물질로 오염되고, 대기 및 수질오염과 더불어 과도한 비료사용 등으로 토양의 산성화가 초래되며, 도시화로 인한 건설 및 개발사업 등으로 토양의 표면이 밀폐되는 등 토양훼손이 심화되고 있다. 토양의 중요성에도 불구하고 수질이나 대기 보전에 비하여 소홀히 대처해 온 것은 사실이다. 최근에는 비로소 토양환경의 보존과 토양환경의 오염 및 정화에 관심을 가지게 되었다.

토양은 자체로 고체상태로 생각되기 쉬우나 실제로는 고체상태의 흙, 액체상태의 지하수 그리고 기체상태의 공기(토양 내 틈 속에 존재)가 어우러진 것으로 그 자체가 자정능력을 가지고 있다. 이렇게 자정능력을 가지고 있는 토양이 오염되는 건 방대한 오염물질이 유입되어 자정능력을 초과하였기 때문이다. 오염물질이 토양에 유입되어 토양오염이 이루어지면 지하에서 발생하는 오염문제가므로 직접 눈으로 확인하기 어려울 뿐만 아니라 토양성질의 불균일성으로 인해 오염 정도와 범위에 대한 관측 및 예측이 매우 어렵다. 또한 토양 속에 존재하는 생물과 지하수의 오염을 유발시키며, 지하수의 이동으로 인해 오염되지 않은 토양으로의 오염물질확산을 야기한다. 따라서 토양이 한번 오염되면 복원을 위해서 많은 시간과 경제적인 노력이 필요하다.

토양오염과 관련하여 가장 기본적인 교과내용은 토양의 개념, 구성, 분류, 물리적 특성, 공학적 특성 등에 대한 과학적인 배경 지식이다. 토양은 무기질, 유기물, 물, 공기, 생물 등으로 구성되어 있으며, 이러한 구성 물질과 토양의 특성에 따라 오염의 특성이 달라지기 때문에 토양에 대한 분석이 가장 우선적으로 이루어져야 한다.

### 가. 토양오염의 정의

토양환경보전법에 공포된 바에 의하면 토양오염이란 “사업활동 기타 사람의 활동에 따라 토양이 오염되는 것으로서 사람의 건강이나 환경에 피해를 주는 상태를 말한다” 라고 정의하고 있다. 이 법에서는 토양오염물질을 “카드뮴 및 그 화합물, 구리 및 그 화합물, 비소 및 그 화합물, 수은 및 그 화합물, 납 및 그 화합물, 6가크롬화합물, 아연 및 그 화합물, 니켈 및 그 화합물, 불소화합물, 유기인화합물, 폴리클로리네이티드비페닐, 시안화합물, 페놀류, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 석유계총탄화수소, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 벤조(a)피렌, 기타 환경부장관이 고시하는 물질”로 정하고 있다(환경부, 2009b).

표 6.2. 지역별 주요 토양오염원

지역	토양오염유발시설
생활주거지역	유류저장시설, 유해화학물질 저장시설, 폐건축물
산업지역	산업시설, 유류저장시설, 유해화학물질 저장시설
농업지역	농약저장시설, 축산폐기물처리시설
기타 지역	광산, 폐기물매립지, 과거 군부대주둔지역

토양오염의 특징은 다음과 같다.

- ① 시차성: 토양오염은 눈에 보이지 않는 오염으로서 오염의 발생과 오염에 따른 문제의 발생 간에는 시간차가 있다. 따라서, 오염이 발견되거나 문제가 발생했을 때에는 이미 많은 양의 오염물질이 배출되었고, 토양내 지하수를 통해 넓은 범위로 확산된 경우가 대부분이다.
- ② 오염물질 및 오염지역에 따른 특이성: 토양오염은 오염물질의 특성에 따라 오염 양상이 달라지며, 또한 오염지역의 토양 특성에 따라 오염물질의 이동특성과 주요 이동경로가 달라져 오염의 범위와 오염정도가 크게 변화한다.
- ③ 다른 매체와의 상호연관성: 토양오염은 단지 토양오염만으로 끝나는 것이 아니라 지하수오염, 하천오염, 대기오염 등 다른 매체로 오염물질이 이동하여 오염을 야기시키는 원인이 된다.
- ④ 지속성 및 잔류성: 토양이 오염되면 오염물질은 토양입자 표면에 흡착되어 제거하기가 쉽지 않다. 특히, 토양입자에의 흡착성이 큰 오염물질은 장기간 정화가 필요하므로 처리에 많은 노력과 비용이 소요된다.

토양오염은 토양에 근거를 두고 생활하는 인간과 동식물의 생장에 직접적인 영향을 미치게 된다. 토양오염의 주요 영향은 다음과 같다.

- ① 지하수 오염: 토양오염에 의하여 야기되는 지하수오염의 특징은 일단 한번 오염되면 원상복구가 불가능하거나 복구에 시간과 비용이 많이 소요된다는 점이다.
- ② 먹이사슬을 통한 오염물질의 농축: 중금속에 오염된 토양에서 자란 농작물에는 중금속이 농축되어 있어 이를 인간이 장기간 섭취하게 되면 중금속중독에 의한 피해가 발생한다. 또한 오염된 토양이 수계로 들어가는 경우 수질오염을 야기시킬 수 있다. 특히, 농약 등과 같이 지표면 부근에 잔류하는 오염물이 수계에 흘러 들어가면 생물농축에 의해 어류나 조류 등의 체내에 축적된다.
- ③ 휘발성 유기오염물질의 지표면 배출: 휘발성이 강한 토양오염물질은 토양 중에 기체상으로 존재하려는 경향이 강하고 확산을 통해 지표면으로 배출된다. 이러한 오염물질이 포장이 많이 된 주거지역 근처에 존재하는 경우 주택지의 균열부위를 타고 오염물질이 집중적으로 배출되는 때에는 인체에 악영향을 미칠 수 있다.

#### 나. 토양오염 대책

토양오염 문제는 지상 또는 지하에 보관중인 토양오염물질이 누출됨에 따라 발생하는 경우가 대부분이다. 예를 들면, 지하 또는 지상 유류저장탱크가 부식 등에 의한 파괴, 탱크 급유시 연결관에서의 유류 누출 등에 의하여 유류가 유출되어 오염을 야기한다. 이를 방지하기 위하여 저장탱크에 이중벽 혹은 방조벽을 설치하도록 하며, 유출시 자동으로 경보가 울리는 방식 등을 채택하기도 한다. 유류저장시설 외에도 폐기물매립장이나 광산 등에도 사전에 적절한 누출방지시설을 설비하기도 한다.

토양오염대책은 크게 사전 예방대책과 토양 오염방지 및 복원기술로 구분할 수 있다. 다른 환경오염분야보다도 특히, 토양오염은 사전 예방대책이 중요하다. 토양 오염방지 및 복원기술은 토양오염물질의 종류 및 오염된 토양의 특성에 의하여 그 처리방법이 결정된다. 오염원별 토양오염 방지 및 복원기술과 토양 특성별 적용기술을 다음 표에 정리하였다.

표 6.3. 오염원별 토양오염 방지 및 복원기술

오염원	주요 해당기술
주유소 등 지하저장시설	저장탱크 및 배관 부식산화방지 기술 모니터링기술 생물활성대에 의한 처리기술
폐기물매립지	토양증기추출법 및 bioventing (생물환기)기술 수직차단벽 생물활성대 처리기술
휴 · 폐광산	고형화/안정화 처리기술 중화제를 이용한 화학적 처리기술 고형화/안정화 처리기술 갱내수처리기술

표 6.4. 오염물질 및 토양 특성별 적용기술

매체	처리위치	처리방법	처리기술	오염물질 특성
토양	원위치 (In-situ)	생물학적 물리화학적  열적	생분해 (biodegradation) Bioventing (생물환기) 토양세척soil flushing  고형화/안정화 (solidification/stabilization) 토양증기추출 (soil vapor extraction) 고온이용 토양증기추출 (thermally enhanced SVE) 유리화 (vitrification)	생분해성 생분해성 중금속/반 휘 발성 중금속 휘발성 반휘발성  중금속
	현장내 (On-situ) 또는 현장 밖 (off-situ)	생물학적 물리화학적  열적	퇴비화 (composting) 토지경작 (landfarming) 토양세척 (soil washing) 고형화/안정화 소각 (incineration) 저온열이용 탈착 (low temperature thermal desorption) 유리화	생분해성 생분해성 중금속 중금속 유기성 유기성  중금속
지하수	원위치	생물학적  물리화학적 기타	공기분사에 의한 산소보강 (oxygen enhanced by air sparging) H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 에 의한 산소보강 (oxygen enhanced with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) 공기분사 (air sparging) 자연정화 (natural attenuation)	생분해성 생분해성  휘발성 생분해성
	현장내 또는 현장 밖	물리화학적 · 생물학적	양수 후 처리 (pump and treat)	

## 5) 소음 및 진동

현대사회는 급속한 물질문명의 발달로 각종 편리함을 추구하고 있으나 그 부산물로 인한 환경상의 피해 역시 늘어나고 있다. 그 중 소음공해는 교육 및 문화 수준이 전반적으로 높아짐에 따라 중요한 피해원인으로 인식되고 있으며 그와 관련된 민원은 전체 환경민원의 60% 이상을 차지하고 있다. 따라서 편안한 생활환경을 유지하는 것이 당면한 과제로 대두되고 있으며 이에 필요한 효과적인 소음진동 저감 기술이 요구되고 있다(이병학 외, 2007, 정명규 외, 2001).

### 가. 소음 및 진동의 정의

#### (1) 소음의 정의

소음이란 통상 원치 않는 소리(unwanted sound or undesirable sound)로 정의한다. 우리나라 소음·진동규제법에서는 “기계, 기구, 시설, 기타 물체의 사용으로 인하여 발생하는 강한 소리”로 정의하고 있다. 환경문제 가운데 민원이 가장 많은 분야 중 하나이며, 소음환경기준은 낮과 밤에 따라 적용기준이 다르다. 음의 크기는 SPL(sound pressure level)로 표시하며 단위는 데시벨(decibel)로 약자로 dB을 사용한다. dB은 A, B, C 세가지 눈금이 국제적으로 사용되는데 우리나라에서는 사람의 청각 특성에 가까운 dB(A)를 사용하고 있다. 가청범위란 귀로 들을 수 있는 음압레벨의 최대·최소치 및 가청주파수의 최고·최저치를 가지고 한정되는 범위이다. 국제표준화기구(ISO, international organization for standardization)의 조사에 의하면, 일상적인 소음에 비해 15 dB이 초과할 경우 주민들의 집단항의가 빈발한다고 한다(이병학 외, 2007, 정명규 외, 2001).

표 6.5. 진동이 인체에 미치는 영향

감각적 영향		생리적 영향	
6 Hz	허리, 가슴 및 등쪽에 통증이 심하다	순환기	맥박수 증가가 일어난다.
9~13 Hz	9Hz에서 머리부분에 통증이 오기 시작하며 13Hz에서 진동을 크게 느낀다.	후두계	12~16Hz에서 먹은 것이 위아래로 오르락내리락하는 느낌을 받는다
4~14 Hz	복통이 일어난다	호흡기	1~3Hz에서 호흡에 영향을 주어 호흡이 힘들어진다.

## (2) 진동의 정의

진동이란 기계, 기구, 시설 기타 물체의 사용으로 인하여 발생하는 강한 흔들림을 말한다. 진동공해란 사람에 따라 불쾌하고, 목적을 저해하고, 쾌적한 생활환경을 해치고, 사람의 건강이나 가옥 등에 피해를 주는 진동을 말한다. 일반적으로 사람이 받는 공해진동은 주파수 1~90 Hz 범위의 진동으로, 진동 레벨 60~80 dB 범위의 경우가 많다(이병학 외, 2007, 정명규 외, 2001).

## 나. 소음 및 진동이 인체에 미치는 영향

### (1) 소음이 인체에 미치는 영향

- ① 심리적 영향 및 청취 방해: 2,000~8,000 Hz 범위의 높은 주파수대역에서 강한 에너지가 발산될 때 불쾌감을 느끼게 된다. 지속시간이 길어지고 발생횟수가 많아질수록 불쾌감이 커지게 된다. 마스킹(Masking)현상도 일어난다. 마스킹 현상이란 2개의 음이 동시에 존재할 경우 한쪽의 음이 다른 한쪽의 음에 의해 은폐되어 들리지 않게 되는 현상을 말한다. 조용한 상태라면 작은 음이라도 명확하게 잘 들리지만 주위의 소음이 클 경우에는 큰 음이라도 잘 들리지 않는 현상을 말한다.
- ② 수면방해 및 생리적 영향: 수면방해는 소음레벨 40 dB(A) 이상에서 영향이 나타나며, 소음레벨이 50~70 dB(A)을 넘으면 주로 교감신경이 긴장하게 된다. 소음이 큰 직장에서는 일하는 작업자의 순환기장애가 그렇지 않은 직장의 작업자보다 발병률이 높다. 가축의 임신율 저하 및 수정란의 발육 부진을 초래한다. 계속적인 소음은 감정 흥분, 주의집중 방해, 김장의 박동수를 높인다.
- ③ 청각에의 영향: 강력한 소음에 수년간 노출됨에 따라 회복이 불가능한 영구적 난청이 유발되기도 한다. 경우에 따라서는 강한 소음에 노출이 되면 잠시 귀가 들리지 않는 일시적 난청현상이 일어나기도 한다. 소음이 심한 직장에 오랜 기간 근무한 노동자의 청력을 측정해 보면, 3~6 kHz의 고주파 음역의 청력 특히, 4 kHz 부근의 청력에 강한 장애가 발생하는 경우가 많다.

### (2) 진동이 인체에 미치는 영향

진동은 인체에 작용하는 방식에 따라 전신진동과 국부진동(국소진동)으로 분류할 수 있다. 국부진동은 국소적으로 손과 발 등 특정 부위에 전파되는 진동이고, 전신진동은 지지구조물을 통해서 전신에 전파되는 진동을 말한다. 진동은 또한 감각적 영향과 생리적 영향을 줄 수 있다(표 5, 이병학 등, 2007).

## 다. 소음 및 진동 발생원

### (1) 소음 발생원

- ① 공장 소음: 공장의 각종 운송, 제조과정 등에서 배출되는 소음이다. 공장소음은 점소음원이자 고정소음원으로서 한번 설치되면 지속적인 피해를 줄 수 있다. 교통소음과 달리 영향 범위는 국지적이거나 지속적인 특징이 있다.
- ② 교통 소음: 자동차, 철도 등 교통기관에 의해 발생하는 소음이다. 최근 차량의 증가와 도로망의 확충에 따라 대도시의 주된 소음원으로 자리 잡고 있다. 소음도가 높고 영향권이 광범위한 특성이 있어 중·소도시 및 농·어촌지역으로까지 피해가 확산되고 있다.
- ③ 건설 소음: 굴삭기, 덤프트럭, 향타기, 브레이크, 불도저 등 각종 건설장비에 의해 발생하는 소음이다. 주거지 인접지역에서 공사를 하는 건축공사장에서 피해가 많다.
- ④ 항공기 소음: 민간 항공기, 군용 항공기의 이착륙, 정비과정에서 발생하는 소음이다. 항공기 운항횟수 증가 및 신규항로 개설에 따라 피해지역이 확산되고 있다. 학교, 도서관, 병원 등 정온



시설에 미치는 영향이 크고, 지가 하락과 같은 재산피해를 동반한다.

- ⑤ 생활 소음: 생활 주변의 각종 확성기, 유흥업소의 심야소음, 악기음, 애완동물 소리 등 일상생활에서 발생하는 소음이다. 최근 공동주택(아파트)에서 생활소음이 이웃 세대간의 다툼으로 비화되는 일이 종종 발생되고 있다.

## (2) 진동 발생원

진동은 기계, 기구의 사용으로 인한 강한 흔들림을 말하며 주로 지반을 통해 전달된다. 진동발생원에는 건설진동, 교통진동, 산업진동 등이 있다(표 6.6).

## 라. 소음 및 진동 관리대책

### (1) 환경기준과 배출허용기준

환경기준은 지역(일반지역, 도로변 지역)과 적용 대상지역(가, 나, 다 지역), 낮(오전 6~오후 10시)과 밤(오후 10시~오전 6시)에 따른 기준이 설정되어 있다. 배출허용기준은 환경기준을 달성하기 위한 규제기준으로 소음진동 배출시설에 적용하고 있다(이병학 등, 2007).

### (2) 배출시설 관리

- ① 공장: 토지 이용의 적정화를 통한 소음·진동 배출원과 주거지역을 분리한다. 법으로 규정한 배출허용기준을 준수하도록 지도 및 단속을 강화한다. 주택가의 공장에 대하여는 철저한 소음·진동 방지시설을 설치한다. 저소음·저진동 기계류를 개발한다. 주거지 인접 공장의 경우 작업시간을 조정한다.
- ② 자동차 및 철도: 교통·소음진동규제지역의 지정을 확대한다. 자동차 경음기의 사용 금지, 속도제한, 주거단지 우회도로를 개설한다. 저소음 자동차 개발을 위해 자체기술 개발 및 선진기술을 도입한다. 자동차소음 허용기준을 강화한다.
- ③ 건설소음: 건축허가 시 도로 및 철도로부터의 이격 거리를 준수한다. 주택지역 통과 지역의 도로변 및 철도 변에 방음벽을 설치한다. 굴삭기, 브레이커, 향타기 특정 공사장비를 사용하는 건설공사장의 사전신고를 강화한다. 철도 변 공동주택의 중간층의 이중창 및 삼중창을 장치한다. 공동주택을 선로와 직각배치 또는 복도 거실을 철로 변으로 배치한다. 짧은 레일을 긴 레일로 대체하고 방진 침목을 설치한다. 주거지 통과 시 저속 운행한다.
- ④ 진동: 공장의 배출시설 설치 시 진동방지시설을 설치, 강화한다. 진동배출허용기준을 준수하도록 지도 및 단속을 철저히 한다.

## 마. 소음 및 진동 방지시설

### (1) 소음방지시설

소음방지의 기본 원리는 소음 발생원을 제거하거나, 발생한 소음의 영향이 크지 않도록 흡음해 소음의 영향을 받는 수용체의 영향을 줄이는 방법이 있다. 일반적인 소음방지 시설로는 방음덮개, 방음창, 방음외피시설, 방음벽, 방음터널, 방음림, 방음언덕 등이 있다(이병학 외, 2007).

### (2) 진동방지시설

진동은 공기를 통해 전달되는 음과 달리 지반을 통해 전달되므로 진동 유발체를 고무나 비금속 등으로 감싸 영향을 줄이는 방법이 일반적이다. 진동 방지시설로는 탄성지지시설 및 제진시설, 방진구, 진동 절연장치 등이 있다(이병학 외, 2007).

표 6.6. 발생원별 진동의 종류(이병학 외, 2007)

구분	작업	진동
건설진동	폭파: 폭파다짐·치환, 구조물 해체 등 지질탐사 발파: 채광발파, 건설발파 지반타격: 동다짐공법, 석주공법, 타격식 굴착 항타: 단말뚝, 터널말뚝의 타입 지반굴착: 암파기, 파쇄, 기계식 현장타설 기초조사 지반천공: 시추, 어스앵커링 건설장비: 다짐장비, 토공장비	일시진동
교통진동	도로차량진동: 도로 중 교통도로, 고속도로 철도열차진동: 지하철, 일반철도, 고속철도	지속진동
산업진동	동력기계: 회전원동기, 왕복운동 동력기, 컴프레서 가공기계: 체련, 제지, 절삭기계 기타: 대형 크레인	

## 바. 소음 및 진동의 단위

### (1) 소음의 단위 및 제량

① dB: 소음의 크기를 나타낸다.

$$\textcircled{2} \text{ 음의 세기레벨(SIL: sound intensity level)} = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \text{dB}$$

여기서,  $I_0$ 는 정상청력을 가진 사람의 최소가청음의 세기,  $I$ 는 대상음의 세기

$$\textcircled{3} \text{ 음압레벨(SPL: sound pressure level)} = 20 \log \left( \frac{P}{P_0} \right) \text{dB}$$

여기서,  $P_0$ 는 정상청력을 가진 사람이 1,000(Hz)에서 가청 할 수 있는 최소 음압실효치( $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ )의 최소가청음의 세기,  $P$ 는 대상음의 음압실효치, 가청한계란  $60 \text{ N/m}^2$ 정도 = 130 dB

$$\textcircled{4} \text{ 음향 파워레벨(PWL: sound power level)} = 10 \log \left( \frac{W}{W_0} \right) \text{dB}$$

여기서,  $W_0$ 는 기준음향 파워(10~12w),  $W$ 는 대상음원의 음향 파워

### (2) 진동의 단위 및 제량

① 진동가속도레벨(VAL: vibration acceleration level): 진동의 물리량을 dB로 나타낸 것을 말한다.

$$\text{VAL} = 20 \log \left( \frac{a}{a_0} \right) \text{dB}$$

여기서,  $a$ 는 진동가속도의 실효치,  $a_0$ 는 기준치로서 환경이나 공해를 목적으로 한 경우  $10^{-5} \text{ m/s}^2$ 를 사용한다.

② 진동레벨(VL: vibration level)이란 1~90Hz 범위의 주파수대역별 진동가속도레벨에 주파수대역별 인체의 진동감각 특성을 보정한 후의 값을 dB로 합산한 것을 말한다.

$$\text{VL} = \text{VAL} + C_n(\text{dB}): \text{sound intensity level}$$

여기서,  $C_n$ 는 주파수 대역별 인체감각에 대한 보정치를 말한다.

## 6.3 최근의 유망 연구내용

### 1) 종합 도시 물관리

홍수와 가뭄 등 기후변화에 의해 물관리 인프라의 안전성에 대한 위협이 현실화 되고 있다. 지금까지 도시계획, 빗물, 상수, 하수, 지표수, 지하수 분야에서 개별적으로 관리되어 오던 물관리방법은 에너지와 효율적인 관점에서 분리할 수 있다. 지속가능하고 안전한 저에너지형 도시를 건설하기 위하여 물관리 시스템에 대한 전반적이고 종합적인 관리가 필요성이 대두되었고, 이에 대한 연구가 국내외적으로 진행되고 있다.

도시의 물관리의 안전성을 확보하여 지속가능한 도시를 만들려는 노력은 UNESCO를 비롯한 전세계의 목표로서 새천년개발목표 (Millennium Development Goal: MDG)에 포함되어 있으며, 유럽에서는 SWITCH(Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health)라는 대형의 연구프로젝트를 수행하고 있다.

분산형으로 여러 개의 작은 빗물관리 시스템을 도시 전역에 설치하면 기존의 집중형 물관리시스템의 취약성 보완, 운전에 소비되는 에너지 절감, 물공급의 안전성 향상이 가능하다<그림 6.11>. 이러한 시설들은 홍수 및 가뭄방지, 하천수질오염방지, 지하수보충, 음용수 확보, 산불방지 등 다목적으로 사용할 수 있다. 분산형 다목적 빗물관리는 저비용-저에너지 물관리 기술로 도시의 물공급 체계의 안전성 향상에 기여할 수 있다.

### 2) 분리막을 이용한 하수처리

분리막이란 선택적인 물질이동이 이루어지도록 한 막을 말한다. 분리막은 <그림 6.12>와 같이 공극의 크기에 따라 크게 정밀여과막(Microfiltration,  $0.1\mu\text{m}$ ), 한외여과막(Ultrafiltration,  $0.01\mu\text{m}$ ), 나노여과막(Nanofiltration,  $0.001\mu\text{m}$ ), 역삼투막(Rreverse osmosis,  $<1\text{nm}$ )로 구분되는데, 선택된 막에 따라 원하는 물질은 통과시키고, 원하지 않는 물질은 분리, 회수하는 역할을 한다. 하수처리의 가장 기본이 되는 활성슬러지 공정에 막분리 공정을 결합시킨 MBR(Membrane Bio-Reactor) 공법은 분리막에 의해 고액분리가 이루어지므로 유입수의 부하변동에 관계없이 안정적인 처리수를 얻을 수 있다.

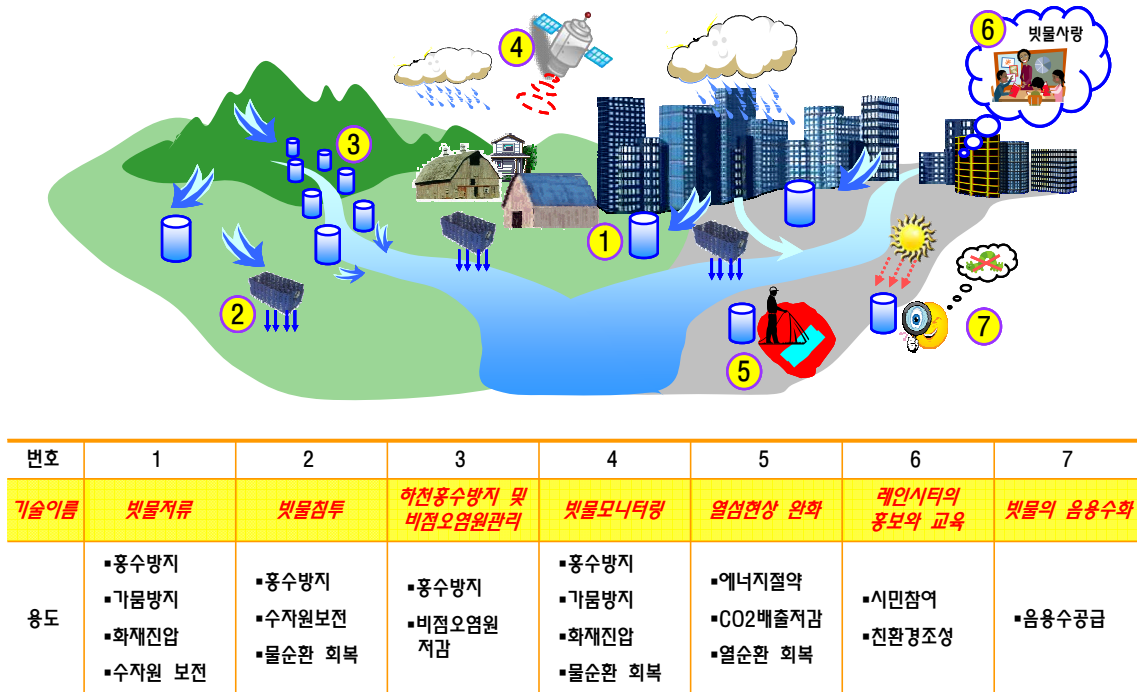


그림 6.11 분산형 다목적 빗물관리시스템

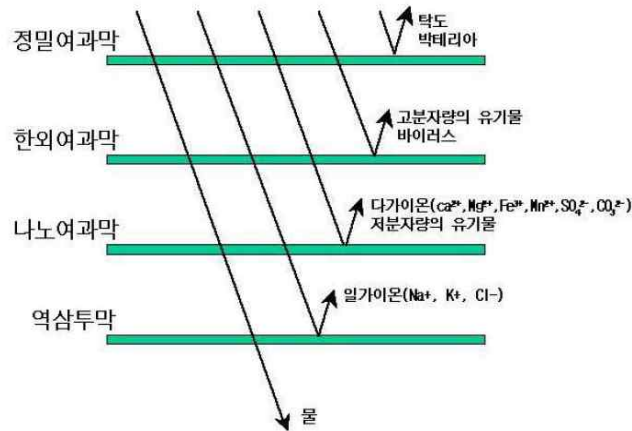


그림 6.12 막의 크기에 따른 분리막의 종류

MBR 공법은 미생물의 침강성에 관계없이 안정적인 수질을 확보할 수 있으며, 미생물의 농도를 높게 유지할 수 있으므로 전체적인 공정 부지 감소 효과를 가져온다. 이러한 장점이 부각되어 국내외적으로 MBR 공정이 고도처리공법으로 수처리에 많이 이용되고 있는 추세이다. 그러나 MBR 공정의 장점에도 불구하고 막오염(Membrane fouling)으로 인한 효율의 감소, 유지관리 비용의 증가가 문제가 된다. 막오염을 감소하기 위한 막재질 개발, 운전조건의 최적화, 첨가제 개발 등의 연구가 수행되고 있으며, 향후 그 적용범위의 확대가 기대된다(이병호, 2008).

### 3) 미생물 연료전지를 이용한 하수처리

신재생 에너지 개발기술로서 관심을 받는 미생물연료전지(Microbial Fuel Cell, MFC)는 하수 내 유기물로부터 직접적인 전기 생산이 가능함이 입증된 2000년대 초반부터 활발히 연구되고 있다. 대체에너지 기술의 하나로 주목받고 있는 MFC는 <그림 6.13>과 같이 하수 중의 오염물질을 미생물의 먹이로써 제거하면서 오염물질에서 직접 전기를 회수할 수 있는 고효율의 에너지 변환장치이다(김선일, 2009). MFC는 음극과 양극으로 구성되며 그 사이에 양이온 교환막이 존재한다. 음극과 양극 반응조 내부에는 탄소 전극이 설치되어 있다. 음극반응조에서는 미생물을 식종하고 유기물을 포함하는 연료, 즉 하수를 공급해 준다. 양극반응조에는 전자전달 매개체를 주입하고 각 반응조의 외부 저항이 연결된 도선을 이용하여 외부회로를 만들어 준다. 음극반응조에서 전자는 외부회로를 통해 양극반응조의 전극으로 이동하고 수소이온은 양이온 교환막을 통하여 양극반응조로 이동하여 산소와 반응 후 물을 생성시킨다(채경진, 2007). MFC를 이용한 하수처리공정은 경제성의 관점에서 전극, 막의 비용절감, 에너지 효율 향상, scale-up의 많은 연구 개발이 필요하나, 향후 화석연료자원 고갈에 대한 해결방안의 하나로 활용 가능한 유망한 기술로 평가된다.

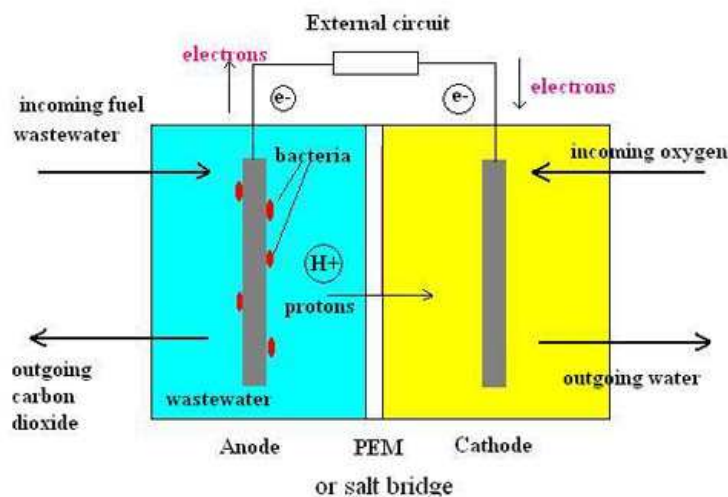


그림 6.13 MFC의 개략도

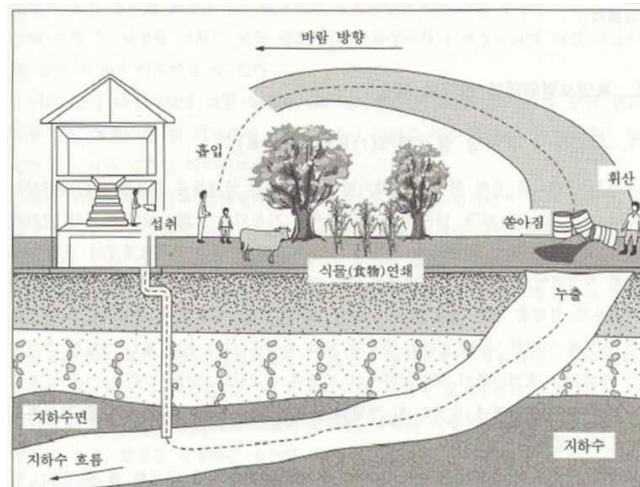


그림 6.14 토양오염으로 인한 오염물질의 노출경로

#### 4) 위해성평가

유해(Hazard)와 위해(Risk)는 다르다. 낮은 유해한 성분이지만, 콘크리트 상자로 격리된 상태라면 위해성은 극히 낮다. 오염된 환경을 정화, 복원하기 위해서는 얼마나 깨끗이 해야 (How clean is clean)하고, 어느 지역부터 복원을 시작해야 하나 등에 정책적인 판단의 수단이 필요하다. 이 수단으로 위해성평가(Risk assessment)를 사용하고 있다. 위해성평가란 사람이 환경적 위험에 노출되었을 경우 발생 가능한 영향을 일련의 과정 즉, [유해성 확인, 용량-반응평가, 노출평가 및 위해도 결정]의 과정을 통해 발생 가능한 영향을 추정하는 과정이다. 위해성평가는 건강 위해의 정도와 확률을 평가하기 위해 화학, 생물학, 독성학, 통계학 등 다양한 학문분야를 수단으로 사용하고 있다.

위해성평가는 모든 환경공학 분야에서 적용가능하다. <그림 6.14>와 같이 토양에서 대기로 확산되어 나간 오염물질의 흡입에 의한 대기 위해성평가, 토양에서 지하수 및 지표수로 이동한 오염물질의 섭취에 의한 위해성평가, 토양 입자의 확산에 의한 접촉 및 섭취 등 다양한 경로를 통해 이동하는 오염물질이 대상(인간)에 어떠한 영향을 미치는지 판단하는 것이다.

### 6.4 타 학문과의 융합 연구사례

#### 1) 정보통신기술 융합 사례

스타시티는 서울시 광진구에 위치하고 있는 대규모 주상복합단지로서 2007년 3월에 완공되었으며, 35~58층에 이르는 건물 4개 동으로 구성되어 있다. 스타시티는 단지 안에 내린 강우를 100mm까지 저장함으로써 주변 하수도에 영향을 주지 않도록 설계되었으며 하류부의 홍수를 방지하고, 저장된 빗물을 조경용수나 화장실용수로 사용하며, 1,000톤의 수돗물을 상시 저장하여 비상용수로 준비하고 있다<그림 6.15>. 이런 시설에 IT기술을 적용하여 상시 모니터링 및 원격관리시스템을 구축했다.

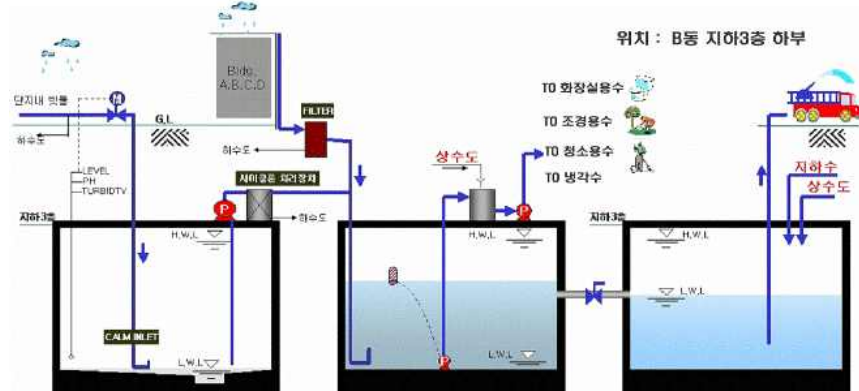
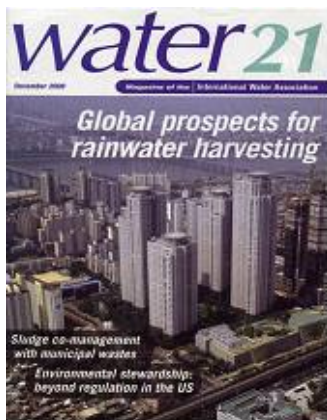


그림 6.15 스타시티의 빗물이용시설(좌: Water 21 표지, 우: 개요도)

스타시티 빗물이용시설의 집수면은 그 면적이 약 5만 $\text{m}^2$ 이며, 지붕면과 조경지역을 포함하는 대지면으로 구성된다. 2007년의 연간 빗물사용량은 약 40,000 $\text{m}^3$ 이며, 저장된 빗물의 탁도, pH, 색도, BOD와 같은 수질은 거의 1급수를 상회한다. 특히, 스타시티 내부에 설치된 빗물이용시설은 세계 물 협회(International Water Association)에서 발간하는 Water21 저널의 2008년 12월호 표지 기사로 게재되어 빗물이용의 세계적인 모범 사례로 소개된 바 있다<그림 6.15>.

## 2) 생물공학기술 융합 사례

Biotechnology(BT)의 진전 속에서 순수한 미생물을 분리, 동정하고, 미생물의 형태적, 생물·화학적, 유전학적 특징에 따른 분자생물학적 기법은 많은 공학적 분야에 적용되어 오고 있다. 최근에는 작은 리보솜 유닛인 RNA를 기반으로 한 분자생물학이 “분자생물학의 시계”로 간주되어 활발히 연구되고 있으며, RNA는 살아있는 생물체에 다양하고 풍부하게 존재하고 있으며, 진화과정에서도 잘 보존된 유전자 정보를 가지고 있다는 점에서 높은 가치를 가진다.

가정에서 발생하는 하수, 공장에서 발생하는 폐수, 폐기물매립지에서 발생하는 침출수 등의 처리에 있어서, 분자생물학기술은 주로 활성슬러지 플럭의 특징을 이해하거나, 하수처리장내 형성되는 생물막의 연구에 주로 적용되었다. 특히, RNA 분석 기술은 하수처리 과정에 이용되는 특정 미생물을 분리하지 않고도 분자생물학적 기술을 이용하여 군집의 다양성과 미생물종을 구분해 낼 수 있다는 장점을 가지고 있다. <그림 6.16>은 하수처리에 있어 분자생물학이 어떻게 이용되고 있는지를 보여주는 대표적인 예로서, 하수처리 반응조 내 미생물의 16S rRNA를 분리해 내고(A), PCR(Polymerase chain reaction)을 이용하여 분리된 16S rRNA를 증폭한 후(B), DGGE(Denaturant gradient gel electrophoresis)를 이용하여 DNA mixture를 밴드의 형태로 분리시킨다(C). 각 밴드를 잘라 DNA sequencing을 하여(D) 미생물의 분자생물학적 특징을 파악할 수 있다(E) (Sanz and Kochling, 2007).

하수처리 내 미생물의 다양성과 군집구조에 대한 정보를 이용하여 하수내 유기물을 제거하는 방법은 이미 일반화가 되었으며, 이 외 질소, 인, 난분해성 독성물질 제거 등을 위하여 유전공학기술과 대사공학기술을 이용한 접근에 대한 연구가 추가적으로 필요하다고 판단된다.

생물학적 오염토양복원기술은 지중에 존재하는 오염물질을 분해하는 능력을 가진 미생물을 이용하여 토양 및 지하수 내의 유기오염물질을 분해하는 기술이다. 생분해법은 세부적인 방법에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. Biostimulation은 미생물이 잘 자랄 수 있도록 산소, 산소발생물질, 영양분 등을 공급하는 방법으로 오염 현장의 토착 미생물을 이용하는 방법이다. Bioaugmentation은 미생물을 직접 공급하는 방법으로 지상에서 성장시킨 토착미생물 개체군이나 대상 오염물질을 분해할 수 있는 미생물을 토양에 공급하는 방법이다. 토양정화기술 외에도 미생물을 이용한 방법에는 분자생물학적 모니터링 기술이 있다. 오염물질에 대한 미생물의 유전자 발현 정도를 분석하여 오염지역의 오염정도를 정량적으로 분석할 수 있으며, 더불어 해당 오염 지역에서 생물학적 분해가 잘 이루어지고 있는지 알아볼 수 있고, 다양한 생물학적 공정의 최적화를 이룰 수 있다.

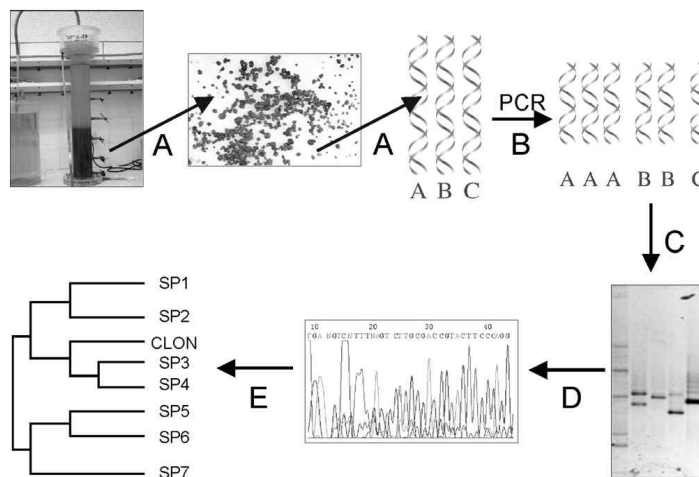


그림 6.16 분자생물학적 기법을 이용한 하수내 미생물 분석(Sanz and Kochling, 2007)



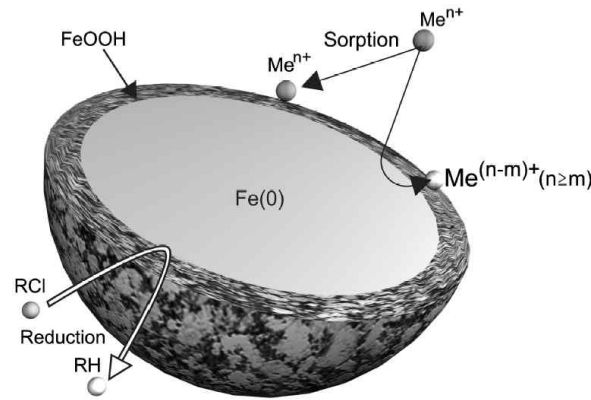


그림 6.17 철을 이용한 나노 물질의 개발(Theron, et al., 2008).

### 3) 나노기술 융합 사례

Nanotechnology(NT)는 독성 금속이온, 유기물, 무기물을 처리하는데 있어 새로운 방향을 제시하고 있다. 특히, 난분해성 오염원에 대한 나노물질의 활용 가능성이 검증되면서 환경복원기술개발, 센서 개발, 사전오염예방 등의 측면에서 많은 연구와 개발이 수행되고 있다. <그림 6.17>은 철 산화를 이용하여 core-shell 형태의 나노물질을 생성한 예이다. 이러한 물질은 산화, 환원 능력을 동시에 지니고 있으며, 반응성이 매우 크므로 하수처리에 적용함에 있어 난분해성 물질 및 금속 이온의 처리에 매우 효율적이다(Theron et al., 2008).

나노 기술은 오염물질의 분해비용을 감소하고 효율을 높였을 뿐 아니라, 기존에 해결하기 어려웠던 미세독성 물질의 제거와 더불어 모니터링도 가능하다는 점에서 그 활용 가치가 매우 높다. 이와 반대로, 오염물질의 정화나 복원에 사용하기 위해 투입된 나노물질이 자연계로 유출되었을 때 또 다른 오염물질이 될 수 있다. 자연계로 유출된 나노물질의 이동특성과 거동에 관한 연구에 대한 필요성도 높아지고 있다.

## 6.5 미래의 발전방향

환경분야 정책과 가치관의 변화과정은, 공해시대에서 미량오염시대를 거쳐 생태소비시대로 이어질 것으로 예상된다. 공해시대란 말 그대로 공해와 싸우는 시기다. 이 시대에 환경공학의 역할은 오염물질이 자연계로 유입되는 지점 즉, end of pipe에서의 오염물질을 처리하는 것이었다. 정수장, 하수 및 폐수 처리장, 쓰레기 위생매립장 및 소각장, 대기오염방지시설 등의 설치로 공단이나 대도시에서 배출되는 대량의 오염물질에 대한 관리가 어느정도 가능해짐에 따라 극도로 미량의 화학물질들이 일으키는 미세한 건강상의 피해에 대해 관심이 이동하는 미량오염시대로 이어졌다.

대부분의 소비재들을 즐기기 위해서는 다른 사람들과의 경쟁이 불가피하다. 그러나, 생태소비시대의 자연 소비나 경관 소비는 다른 사람들과의 경쟁이 없으며, 있다 하더라도 극히 제한적이다. 환경재의 또 다른 특징은 싫증이나 권태감이 쉬이 생기지 않으며, 한번 투자하여 만들어진 환경재는 내구성마저 극도로 크다. 잘살게 될수록 자연재를 찾는 욕구는 높아진다. 멀지않은 미래에는 환경재, 생태재, 자연재에 대한 투자가 삶의 질 향상을 위해 투자 대비 가장 효율적인 방법이 될 것이며, 환경공학의 발전 방향도 이에 따를 것이다.

2008년말 미국 공학한림원은 미국과학재단(National Science Federation, NSF)의 요청으로, 인류의 삶의 질 향상을 위해 해결되어야 할 21세기의 14가지 공학적 도전 과제를 발표하였다. William Perry(前 스탠포드대 교수), Mario Molina(노벨상수상자, 캘리포니아대 교수), Larry Page(구글 창립자) 등 전 세계 다양한 분야의 전문가 18명으로 구성된 위원회는 웹사이트를 통해 일반 대중들의 의견도 수렴하였다. 도전과제의 발굴은 지속가능성(Promoting sustainability), 건강증진(Advancing health), 위험 감소(Reducing vulnerability to risk), 행복한 삶(Increasing joy of living)이라는 4개 관점에서 도출되었다. 이상 4개의 관점을 보더라도 앞으로 인류에게 주어진 가장 시급한 공학적 과제들의 방향성이 예상되며 환경공학의 미래도 이와 크게 다르지 않을 것이다. 도출된 14개 도전과제는 아래와 같다.

- ① Promoting sustainability(지속가능성): 1. 경제성 있는 태양에너지 실용화 2. 탄소 격리 3. 핵융합을 통한 에너지 공급 4. 깨끗한 물 확보 5. 질소 순환 관리 6. 도시 기반시설의 재건 및 개선 7. 과학연구를 위한 도구 개발
- ② Advancing health(건강증진): 8. 개인맞춤형 신약 개발 9. 의료 정보학 10. 인간의 뇌에 대한 역공학(Reverse-Engineering)
- ③ Increasing joy of living(행복한 삶): 11. 개인맞춤형 학습 프로그램 12. 가상현실 활용
- ④ Reducing vulnerability to risk(위험감소): 13. 핵무기 테러 예방 14. 사이버공간의 보안

이상 14개 도전과제 중, 환경공학 분야에서 적극적으로 다루어질 수 있는 과제들에 대해 주요 내용과 연구동향에 대해 좀더 상세히 살펴 보자.

- ① 탄소격리(Develop carbon sequestration methods): 화석연료의 연소를 통해 발생하는 CO<sub>2</sub>를 포집하여 땅 속이나 바다에 저장하는 기술이다. 지구온난화 방지에 기여할 뿐 아니라 관련 기술을 발전소 및 철강산업, 석유화학산업 등에 응용함으로써 경제적 파급효과도 거둘 수 있을 것으로 기대된다.
- ② 깨끗한 물 공급(Provide access to clean water): 지구상의 물 중 97%에 해당하는 바닷물에서 염분을 제거하는 담수화기술이 현재 주로 중동지역 등에서 활용되고 있으며, 분리막을 이용한 역삼투압 기술 및 나노튜브를 이용하여 염분을 걸러내는 나노삼투압 기술(비용이 보다 저렴) 등이 개발되고 있다. 나노필터막을 이용한 폐수와 하수 재처리 기술 및 농업용수 소비량을 저감시킬 수 있도록 작물에만 물방울이 떨어지게 하는 세류관개(drip irrigation) 기술 등도 개발 중이다.
- ③ 질소 순환 관리(Manage the nitrogen cycle): 곡물의 대량 생산을 위한 질소가 포함된 화학비료의 과다 사용과 화석연료의 사용 등으로 산성비 등의 환경문제뿐 아니라 심각한 질병을 초래할 가능성이 있어 질소 사용을 최소화하기 위한 기술이 필요하다. 질산을 질소 가스로 환원시켜 대기 중으로 돌려보내는 탈질화(denitrification) 및 질소 사용의 효율성 향상을 위한 기술개발이 추진이다.
- ④ 도시기반시설의 재건 및 개선(Restore and improve urban infrastructure): 사회적 약자(장애인, 노약자 등)를 배려한 장애물 없는 도시환경 구현기술, 도시공간의 재배치 기술, 폐기물 처리 기술, 도시형 종합 에너지시스템 개발, IT(RFID 등)를 활용한 도시체계 재설계 등과 관련된 기술이 핵심 내용이다.