

## 국내 폐기물매립장의 설계 및 시공에 관한 사례분석

### Case Studies on Design, Construction and Quality Control of Domestic Waste Landfills

정하익<sup>1)</sup>, Ha-Ik Chung

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부

#### 1. 서언

국내에서 폐기물매립시설에 대한 위생매립장 개념이 정식으로 도입된 것은 '87년 5월의 폐기물관리법 시행규칙 이후부터였다. 이때부터 매립장에 차수막과 침출수집배수관을 설치하여 침출수를 차집하고 침출수처리시설에서 처리하여 방류하는 설계개념이 도입되었다. 최근의 폐기물 매립장의 설계 및 시공은 폐기물매립장의 시설기준과 관리기준이 규정되어 있는 폐기물관리법에 따라 시행되고 있다. 과거에 비해 시설기준의 강화 및 새로운 재료의 등장과 더불어 매립시설이 나날이 개선되고 있다.

그동안 폐기물 매립시설의 설계·감리·시공의 수준도 꾸준히 발전하고 있으나, 국내 폐기물 매립지 조성기술을 최근 몇 년간에 불과하여 매립장의 설계 및 시공에 관한 기술과 경험이 부족하고 또한 지역별로 기술이 보편화되지 못하여 좁은 국토 내에서도 각기 다른 기술력을 보유하고 있다. 따라서 우리나라 실정에 맞는 기술적인 연구와 구체적인 시공방법에 대한 기술정보의 교환 및 기술지침서와 기술지도의 제작이 필요하다고 하겠다. 이를 위하여 선진외국에서 새롭게 제기되는 설계 및 시공기술에 대해 좀더 깊은 연구 및 검토가 필요하다고 하겠다.

본 고에서는 국내 폐기물매립장의 설계 및 시공에 대한 사례분석을 통하여 국내의 폐기물매립장 설계 및 시공수준을 파악하고, 이의 문제점 및 개선방안을 제시하고자 한다.

#### 2. 폐기물매립장의 기본특성

##### 2.1 폐기물매립장의 보유현황

아래 표는 국내 폐기물매립장 보유현황으로 1997년 현재 사용중인 매립장의 수는 496개에 달하며, 서울특별시, 부산, 인천, 대구, 광주, 및 대전광역시와 차지하는 비율은 9개소로 약 1.8%이나 매립용량은 총 매립장의 전체용량의 60.7%를 차지하고 있다.

표 1. 폐기물 매립장의 지역별, 면적별 보유 현황(이용수, 1999)

	計	1,000m <sup>3</sup>	1,000~5,000m <sup>3</sup> 미만	5,000~10,000m <sup>3</sup> 미만	10,000~20,000m <sup>3</sup> 미만	20,000~50,000m <sup>3</sup> 미만	50,000m <sup>3</sup> 이상
서울특별시	0						
부산광역시	1						1
대구광역시	1						1
인천광역시	5			2	1	1	1
광주광역시	1						1
대전광역시	1						1
경기도	14			1	1	1	11
강원도	61	1	4	6	13	23	14
충청북도	31		1	4	7	6	13
충청남도	90	1	20	20	18	14	17
전라북도	27			3	5	7	12
전라남도	91	1	39	17	15	7	12
경상북도	127						
경상남도	34						
제주도	12			3	2	5	2
計	496	5	85	82	95	97	132

## 2.2 폐기물매립장의 제시설

폐기물의 매립시설의 제시설은 아래와 같이 크게 주요시설, 관리시설 및 부대시설로 분류된다. 주요시설에는 기초지반, 저류구조물, 차수시설, 우수집배수시설, 침출수집배수시설, 침출수처리시설, 매립가스처리시설 등이 있다. 관리시설에는 반입관리설비, 관측설비, 관리동 등이 있으며, 부대시설에는 반입도로, 비산방지설비, 방재설비 등이 있다.

폐기물 매립지에서 가장 기본적인 시설이라고 한다면 침출수가 외부로 유출되지 못하도록 하는 차수층, 우수가 매립지내로 유입되는 것을 방지하기 위한 복토층, 침출수의 배수가 원활하도록 하는 침출수 집배수관이라고 할 수 있다.

- 주요시설 - 저류구조물
  - 차수시설
  - 우수집배수시설
  - 침출수집배수시설
  - 침출수처리시설
  - 가스처리시설
  - 기타시설
- 관리시설 - 반입관리시설
  - 모니터링시설
  - 관리동
  - 기타시설
- 부대시설 - 비산방지시설
  - 방재시설
  - 기타시설

### 2.3 폐기물매립장의 설치위치

국내의 폐기물매립장은 국토의 협소로 인하여 매립장을 건설할 수 있는 가용 공간의 제한으로 대부분 산지 및 해안지역에 위치하는데 전체 매립장 가운데 약 60~70%이상이 산지 및 계곡부에 위치한다. 산지나 계곡부에 위치한 매립장은 매립시설바닥과 기초지반으로서의 안정성은 연약지반보다 뛰어나다. 그러나 산지매립장은 매립시설 바닥면 경사가 급하여 차수층의 견실한 다짐 시공과 차수층 상부 합성수지 보호층인 모래의 포설 및 유지가 어렵고, 여름철의 집중 강우로 침출수위가 급증함으로써 매립시설의 하부 제방의 안정성이 위협받으며, 높고 급한 경사면은 소단의 미비한 설치와 더불어 토목 섬유 차수층(재)의 인장파열, 상부 고정단 이탈, 매립 쓰레기층 붕괴 등의 문제가 발생하는 특성을 가지고 있다.

해안에 위치한 매립장은 연약한 기초지반의 처리가 큰 문제가 된다. 연약지반의 깊이는 매립시설내 장소에 따라 다를 수 있으며, 매립시설내 쓰레기 하중도 매립과정에 따라 균등분포하지 않는다. 따라서 매립시설내 곳곳에서 부등침하가 발생하여 차수층이 파괴됨으로써 침출수가 매립시설 밖으로 유출되는 문제가 발생하기도 한다. 침출수 집배수관로 또한 부등침하의 영향으로 기능이 손상 혹은 마비되어 매립시설내 누적침출수위가 상승하게 된다. 침하에 따른 매립시설내 제방의 안정성 문제도 나타난다.



그림 1. 산지지역에 설치된 매립장



그림 2. 해안지역에 설치된 매립장

## 2.4 폐기물매립장의 설계, 시공 및 운영시 고려사항

### 1) 일반적 고려사항

매립시설 설계 시 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

- 폐기물관리기준
- 폐기물의 조건
- 공학적인 구조체로서의 안정조건
- 침출수와 가스의 현장조절 범위와 기간
- 매립현장의 단계적 개발성
- 매립지역의 이용성
- 매립지의 최대 매립고
- 매립현장 배치조건
- 사후이용계획
- 기타 제한사항

### 2) 지반공학적 고려사항

특히, 지반환경공학적인 고려사항을 살펴보면 다음과 같다

- 매립현장 차수로서의 기초지반
- 바닥차수 시스템
- 최종덮개 시스템
- 폐기물 매립체
- 매립현장의 환경
- 매립현장 운영상의 지반공학적 사항
- 침출수와 가스제거에 관한 지반공학적 관심사
- 복원에 관한 지반공학적 사항
- 매립지 폐쇄 및 사후계획
- 감독 및 장기 관측

### 3) 시공시 고려사항

- 차수층 및 배수층과 같이 사전에 시공된 요소의 보호
- 공사에 필요한 최소 작업공간
- 단순하고 민감하지 않은 설계 및 시공요소
- 기후조건
- 공사재료의 구입성

### 4) 매립지 운영중의 고려사항

- 폐기물 매립체의 안정해석
- 폐기물 매립기술
- 침하 및 변형
- 건물 및 도로와 같은 운영시설
- 가스관리 및 관측 시스템
- 지표수 처리 및 배수
- 침출수 관리 및 지하수 조절
- 먼지, 소음 등의 환경위해 요인

### 5) 매립지 폐쇄시의 고려사항

- 표면의 봉쇄프로그램
- 사후이용계획
- 침하, 배수 및 가스방출을 고려
- 관측, 검토, 보고 및 조치 프로그램
- 사후관리점검

## 3. 폐기물매립장의 설계 및 시공 특성

### 3.1 기초지반

매립지의 기초지반은 매립지의 바닥 상부에 놓인 폐기물 및 구조물을 지지하는 역할을 한다. 또한 차수재 및 침출수 집배수관의 침하를 방지하고 지하수의 침투를 제어하는 역할을 한다. 화강토 등의 양질토로 이루어진 육상매립지에서는 기초지반의 지지력 및 침하가 염려되지 않으나 해성점토 등의 연약토로 이루어진 해안매립지에서는 지지력 및 부등침하가 염려된다.

만일에 기초지반하부에 절리나 균열면이 있으면 기초굴착에 의하여 응력이 감소하거나 기초 내에 작용하는 수압이 불균질하게 되어 국부적인 파손이 발생할 수 있고, 이러한 절리나 균열면이 사면의 선단부분에 위치하면 사면파괴가 일어날 수도 있다. 또한 균열, 샌드렌즈, 샌드심과 같은 불균질층이 존재하게 되면 지하수 및 침출수의 이동통로를 제공하여 파이핑현상을 일으킬 수도 있다.

매립지의 기초바닥은 매립지 시공시 지하수 및 우수 등의 물이 고이지 않고, 매립지 운영시 침출수의 집배수가 용이하도록 설계되어 져야 한다. 매립지의 기초바닥 구배는 경사를 급하게 할 수록 침출수가 보다 빠르게 집수관에 모여 차수재료의 누수를 최대한 억제할 수 있다. 일반적으로 1~2%의 경사를 주는데 2%가 선호되어지며 5%까지 증가하면 한층 침출수 누출방지 효과를 높일 수 있다. 매립지 바닥의 구배는 침출수 집배수용 유공관 및 집수정으로 향하여 구배를 주도도록 설계한다.

지하수위가 높은 지역은 가급적 매립지 건설위치로 선정하는 것을 피하도록 한다. 그러나 부득이하게 지하수위가 높은 지역에 매립지를 건설하는 경우에는 적절한 지하수 제어공법 및 누수 감시시스템을 설치하여 지하수 관측계획을 수립하도록 한다. 매립지의 기초처리시 유의하여야 할 사항에는 다음과 같은 것이 있다.

- 연약토, 유기질토, 매립토, 투수계수가 큰 흙 등은 제거
- 침하를 일으킬만한 연약지반 개량
- 지반내 절리, 균열면 등은 그라우팅이나 양질토로 채움

기초지반의 종류에는 양호한 지반과 불량한 지반이 있다. 양호한 지반은 일반토사나 암반 등의 양질 지반으로 구성된 지반이다. 이는 지반의 강도가 어느 정도 있기 때문에 매립시설이나 폐기물의 하중에 의한 침하가 우려되지 않는다. 불량한 지반은 정글지역의 이토, 부식토 등으로 구성된 유기토 지반과 해안지역의 해성점토 등으로 구성된 연약토 지반이 있다. 불량지반은 지반이 연약하여 매립시설이나 폐기물의 하중에 의하여 지반의 침하가 우려된다. 따라서 지반보강을 위한 필요한 조치 및 대책 방안을 강구하여야 한다.

매립지 바닥에 연약지반이 존재하는 경우에는 바닥지반의 침하, 사면 및 기초의 불안정, 그리고 침출수 수위상승(mounding) 형성 등의 문제점이 발생하게 된다. 연약지반상에 설치된 매립지에서 침출수 수위상승이 발생하게 되면 매립지의 불안정과 침하문제를 야기하거나 악화시키게 된다. 매립현장은 불확실성이 많기 때문에 침출수 수위상승 문제를 예측하거나 교정하기가 매우 어렵다. 바닥부의 매립시설은 연약지반 문제와 밀접하게 관계되며, 이로 인하여 침하와 안정이 문제시되거나 침출수 수위상승을 초래하게 된다. 바닥부에 저장시설이 없는 경우에는, 매립지는 연약지반 문제에 덜 민감하게 된다.

해안매립지의 경우 내륙 매립지에 비하여 하부 기초지반이 해성점토로 이루어져 매우 연약하기 때문에 이러한 연약층 위에 폐기물 매립이 실시되면 장래 폐기물의 자중에 의하여 상당량의 지반부등침하가 우려되므로 이에 대한 대책방안을 강구하는 것이 필요하다.

기초지반에 침하가 발생될 경우 매립지의 성토 표면부 처리를 위한 덮개시설의 안정문제와 차수재 시설의 파손문제가 야기될 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 일차적으로 기초지반의 침하량을 예측하고, 이차적으로 기초지반 침하에 따른 매립시설의 안정문제를 분석하여야 한다.

### 3.2 저류구조물

저류구조물은 폐기물의 처분용량을 확보하고 매립된 폐기물의 유출과 붕괴를 방지하며 폐기물을 안전하게 저장하기 위한 시설이다. 이의 기능은 다음과 같다.

- 계획 매립량의 폐기물을 저류 할 수 있어야 한다.
- 폐기물의 유출이나 제방의 붕괴가 없어야 한다.
- 매립지 내에 침수가 예상될 경우 안전하게 저수할 수 있어야 한다.
- 침출수의 유출 및 누수 그리고 지하수의 유입을 방지할 수 있어야 한다.
- 매립종료 후에도 폐기물을 안전하게 저류 하여야 하며 주변 경관이나 토지이용에도 적합하여야 한다.

폐기물의 유출을 방지할 수 있는 옹벽, 제방 등의 저류구조물은 매립되는 폐기물의 하중을 고려하여 안전하게 설치하여야 한다. 이때 저류구조물은 소정의 안전율을 확보하여야 한다. 저류구조물은 주변의 지형조건, 매립계획에 따른 하중조건, 기초지반의 토질조건 등을 고려하여 적합한 구조형식을 선정한다. 저류구조물의 종류에는 콘크리트 제방, 토사제방, 옹벽, 널말뚝 등이 있다. 저류구조물은 매립 또는 저장되는 폐기물의 하중에 의한 수평응력에 저항하는 토류벽으로의 역할도 하게 된다. 따라서 지반공학적인 측면에서 저류구조물에 대한 구조적 안정성 및 사면안정해석이 실시되어야 한다. 이와 같은 안정성 해석 시에는 지반의 전단강도, 포화도, 간극수압, 경사도, 흙의 비균질성, 사면에 작용하는 하중 등이 중요한 입력치가 된다. 이를 구하기 위해서는 제방의 축조물뿐만 아니라 저장된 매립물의 역학적 특성을 정확하게 파악하여야 한다. 제방의 설계 시에는 침식 및 건조에 의한 영향을 고려하여 보조적인 뚝을 설치하거나 나무를 심는 방안 등도 고려해 볼 수 있다. 저류구조물은 매립계획에 따른 하중조건, 주변지형조건, 기초지반의 토질조건 등이 고려하여 적합한 형식을 선정한다. 매립폐기물에 대해서는 내부마찰각, 점착력 등의 역학적 특성, 폐기물 매립공법, 재료의 부식 등에 영향을 미치는 폐기물의 화학적 특성을 파악한다. 설치장소의 지형, 지질, 토질에 대해서는 매립지역의 형상과 경사, 기초지반의 지지력 및 폐기물 매립후의 지반안정, 지하수의 존재여부, 수위, 수량, 지반의 변화여부 및 변위량을 파악한다.

아래 그림은 국내 폐기물매립지에서 채택하고 있는 대표적인 저류구조물과 비탈면용 토사제방의 형상을 나타낸다. 아래 표는 매립법면 축조방법에 대한 비교표를 나타낸다.

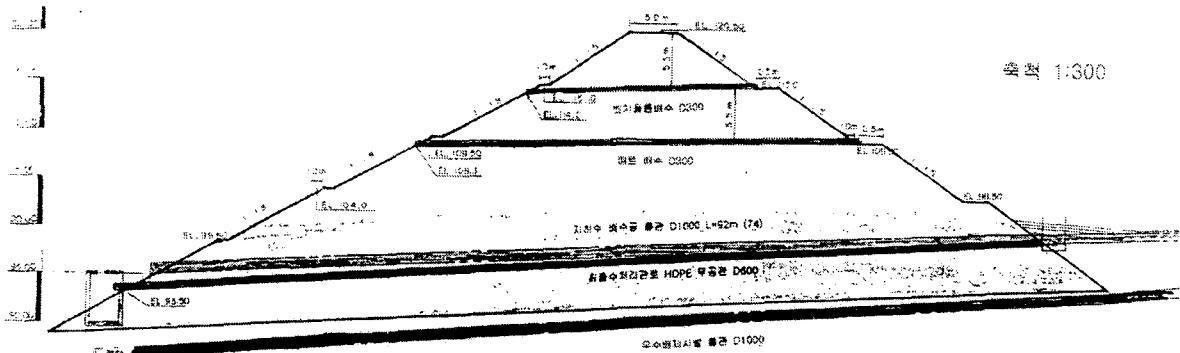


그림 3. 국내 저류구조물의 설치단면도

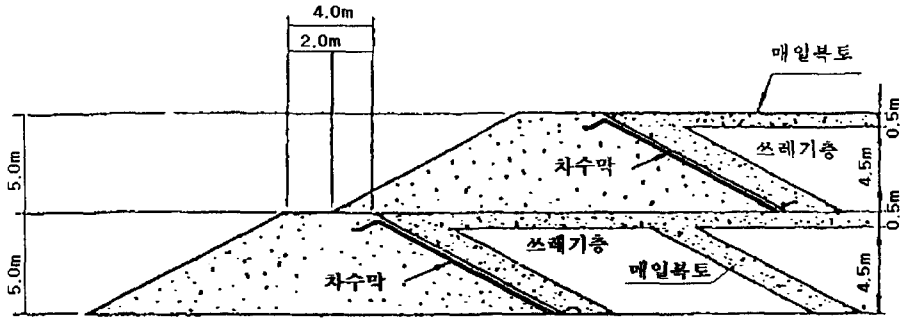


그림 4. 토사제방의 형상

표 2. 매립법면 축조방법 비교(박봉현, 1999)

구 분	폐기물 자체 법면 축조	토사제방에 의한 법면 축조
축조현상		
시공성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 폐기물 매립후 폐기물 매립법면에 따라 성토하므로 시공이 어렵다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 매립전 토사로 다짐을 하여 축조하므로 시공이 용이하다.</li> </ul>
다짐	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 폐기물층 위에서 다져야 하므로 다짐이 불확실하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하천제방 축조와 같이 확실한 다짐을 할 수 있다.</li> </ul>
이용성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 법면 및 소단부에 식재불가능</li> <li>· 유지관리 및 순찰용 이용도로 설치 가 곤란하고, 가스이송관등 부대시설 설치 불가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 법면 및 소단부 식재 가능</li> <li>· 유지관리용 도로로 이용가능하여 가스이송관등 부대시설물 설치 가능</li> </ul>
경제성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토사의 보통 성토로 공사비가 저가이다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 도로의 노체다짐정도로 다지며 축조하므로 공사비가 고가이다.</li> </ul>
안정성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 강우등에 의한 침식 및 흘러내림 방지시설의 설치가 필요하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 사면보호식재의 설치로 별도의 사면보호시설 설치 불필요</li> </ul>
매립작업	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 매립법면구배를 조성하여야 하므로 초기매립작업이 어렵다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 매립작업이 용이하며 환경상 문제인 매립장비소음의 저감효과가 있다.</li> </ul>

### 3.3 차수시설

차수시설은 매립지 내에 있는 침출수가 외부로 유출되는 것을 방지하기 위하여 매립지의 저부, 사면 등에 설치하는 불투수성의 층 또는 벽을 말한다. 또한 매립지 외부의 지하수 등이 매립지 내로 유입 및 침입하는 것을 방지하기도 하며, 다음과 같은 기능을 갖추어야 한다.

- 침출수가 매립지 밖으로 유출되지 않도록 한다.
- 침출수량의 저감을 위하여 매립지 내로 지하수 및 우수 등이 유입되지 않도록 한다.
- 투수계수가  $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$  이하가 되는 차수성을 가져야 한다.
- 매립작업에 지장이 없어야 한다.
- 토지이용에 장애가 되지 않아야 한다.
- 화학반응 및 미생물반응 등이 일어나지 않도록 저항성이 커야 한다.
- 직사광선에 분해, 변색 및 경화되지 않아야 한다.
- 매립 폐기물 및 장비의 중량에 견딜 수 있는 강도를 지녀야 한다.

차수시설을 구성하는 최하부의 점토차수층, 그 위에 설치되는 지오멤브레인 그리고 점토차수층과 지오멤브레인 사이의 접촉면은 다음과 같은 기능을 가지고 있어야 한다.

#### ① 점토차수층

- 침출수의 투수 및 확산의 최소화. 이는 재질, 다짐, 층두께, 상재하중에 관계됨
- 침식 및 물의 투과에 대한 저항
- 침출수에 대한 저항, 이는 팽창점토의 광물함량에 관계됨
- 중금속흡착 성능, 이는 점토광물 또는 유기물함량에 관계됨
- 침하에 대한 안정성 확보 및 자체치유 능력, 이는 점토함량과 입도분포에 의해 결정되는 광물의 소성특성에 관계됨
- 팽창과 수축 영향, 이는 수리지질학적 조건에 관계됨

#### ② 지오멤브레인

- 침하에 대한 안정성 확보, 이는 응력-변형거동에 관계됨
- 침출수 유출의 방지
- 장기간의 화학적 저항, 이는 지오멤브레인의 재질, 두께, 점토광물층, 온도에 의존함

#### ③ 차수층 사이의 접촉면

- 지오멤브레인에 천공이 있는 경우 침출수가 수평방향으로 퍼지는 것을 방지
- 지오멤브레인 배면에 수압이 작용하는 것을 방지
- 지오멤브레인 아래 응축수의 형성가능성 고려
- 아래 사항에 관계되는 접촉면에서의 차수효과와 전단저항
  - 점토광물 차수층 표면의 세립자 특성
  - 점토차수층과 지오멤브레인의 하중, 온도 의존성 변형특성
  - 지오멤브레인의 하중의존 변형에 관계되는 기초지반의 경사변화 영향



폐기물관리법의 매립시설 기준에서 바닥차수층은 점토 또는 점토류 차수층을 설치하도록 규정하고 있으며, 사면부에는 원칙적으로 점토차수층을 설치하도록 규정하고 있다. 그러나 사면의 각도가 급하여 차수층의 설치가 어려운 경우 벤토나이트매트(GCL, Geosynthetic Clay Liner) 등을 설치할 수 있다. 과거에는 지오멤브레인과 점토 차수층의 복합 차수층으로 차수층이 구성된 경우, 부직포 지오텍스타일을 지오멤브레인과 점토 차수층사이에 설치하였으나 현재에는 부직포 지오텍스타일을 설치하지는 않는다. 이는 지오멤브레인에 손상이 발생하여 침출수가 누출되었을 때, 지오텍스타일은 투수성이 매우 커 지오멤브레인의 구멍을 통해 누수된 침출수가 점토차수층 전면에 걸쳐 퍼지므로 차수층의 원래 목적과 상반되는 역효과를 초래한다. 점토차수층의 표면을 매끈히 정리하여 상부 지오멤브레인과 접촉을 돕는 것이 바람직하다.

국내의 많은 계곡매립장의 경우처럼 경사가 급하여 지오멤브레인 보호층으로 모래의 사용이 불가능한 경우 적절한 대책을 수립, 시행하여야 한다. 경사가 1 : 0.6~1 : 0.7 (가로:세로) 보다 급한면 내부마찰각이 30~35° 인 모래는 흘러내려 보호층의 역할을 수행하지 못한다. 최근 몇몇의 매립장에서는 경사면의 지오멤브레인 보호를 위해 흙마대(토사마대), 페벨트 또는 페타이어를 매립이 진행됨에 따라 설치한 경우가 있다.

암반사면 굴착 후 증장비에 의한 사면 고름 작업을 시행하더라도 효과는 제한적이다. 암사면 돌출부위가 많거나 정도가 심할 경우 상부에 설치될 GCL층을 보호하기 위해 (1) 슛크리트(shotcret), (2) 지오네트(geonet) 또는 지오컴포지트(goecomposite) 등의 토목섬유, (3) 그라우팅과 토목섬유의 혼합사용 등의 방법이 가능하다.

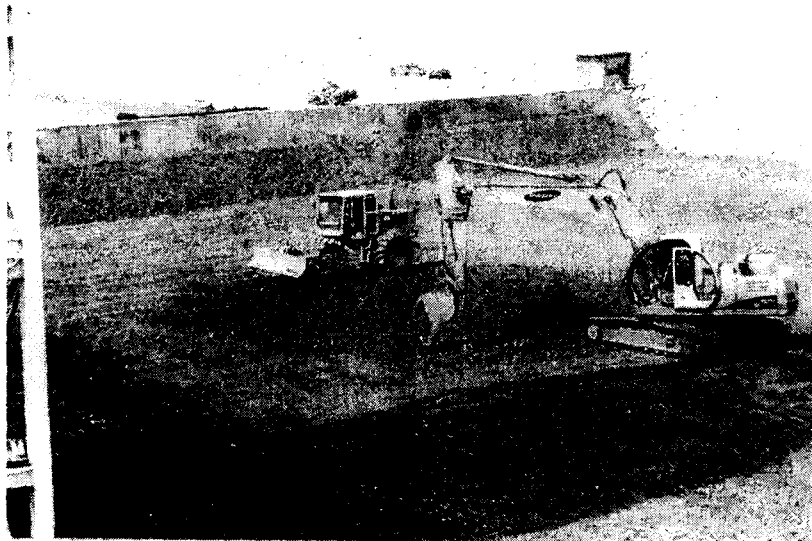


그림 5. 국내 점토차수시설 설치장면

표 3. 국내 지오멤브레인 시험항목 및 기준

시험항목		단 위	기 준	비 고
용융지수		g/10min	1.0미만	
밀도		g/cm <sup>3</sup>	0.940이상	
카본블랙함량		%	2.0~3.0	
카본블랙분산도		급	10개 모두 1, 2 또는 3급에 해당되고 그중 8개 이상이 1 또는 2급에 해당되어야 함	
인장성능	항복인장강도	kgf/cm <sup>2</sup>	150이상	
	파단인장강도	kgf/cm <sup>2</sup>	270이상	
	항복인장변형률	%	12이상	
	파단인장변형률	%	700이상	
인열강도		kgf/cm	130이상	
웨들림강도		kgf/cm	320이상	
저온취약성		-	-40℃에서 파괴되지 않음	
치수안정성		%	각방향 ±2이하	
내환경응력균열성 주1)		hr	1,500이상	
산화유도시간 (OIT)	표준조건	min	100이상	표준·가압 조건중 택일
	가압조건	min	400이상	
열노화후 OIT유지율	표준조건	%	55이상	표준·가압 조건중 택일
	가압조건	%	80이상	
자외선처리후 OIT유지율	가압조건	%	60이상	
접합부강도	전단강도	kgf/cm <sup>2</sup>	135이상	항복인장강도의 90%이상
	박리강도	kgf/cm <sup>2</sup>	97이상	항복인장강도의 65%이상

주1) 필요시 내하중응력균열성 시험으로 대신할 수 있으며, 이 때 기준은 시험편 5개중 4개 이상이 200시간내에 파단되지 않아야 한다.

### 3.4 우수배제시설

매립시설 외부에서 빗물이 유입되지 아니하고 매립시설 내부에 떨어진 빗물이 매립중인 구역에 유입되지 않도록 우수배제시설을 갖추어야 한다. 우수배제시설은 매립지 내로 우수가 유입되지 않도록 우수를 집수하고 배출하는 역할을 하여 침출수량을 감소시키는데 큰 기여를 한다. 이는 다음과 같은 기능을 가져야 한다.

- 매립지 주변의 우수 등이 매립지 내로 유입되는 것을 방지하도록 한다.
- 미 매립구역의 우수 등이 매립구역 내로 유입되는 것을 방지하도록 한다.
- 기 매립구역의 우수 등이 매립구역 내로 유입되는 것을 방지하도록 한다.
- 배제된 강수 및 우수 등이 주변지역에 장애를 일으키지 않아야 한다.

- 매립작업 및 장내관리에 지장을 주지 않아야 한다.

우수배제시설은 크게 집배수로(구)와 방재조정지로 구분이 된다. 집배수로(구)에는 상류지역 우회수로, 주변부 집배수구, 매립지내 집배수구 및 매립지표면 집배수구가 있다. 주변부 집배수구는 매립개시 전에 매립지 주변에 설치하는 것으로, 매립지 주변의 우수를 집수하여 매립지,내로 유입하는 것을 방지하는 역할을 하며, 매립완료 후에는 최종복토 표면의 우수를 배수하는 역할까지 하게 된다. 수로의 종단구배는 지형조건에 따라 다르지만 일반적으로 122% 정도의 범위를 갖는다. 배수로 재료로는 현장 타설 콘크리트수로, U형 측구 등이 사용된다.

매립지 내 집배수구는 매립지 내에 내린 우수를 쓰레기와 접촉되지 않도록 매립지 밖으로 배제하는 역할을 한다. 여기에는 기존매립구역 집배수구와 매립예정 집배수구가 있는데, 전자는 복토를 실시한 후에 배수구를 설치하여 표면 유출수를 배수하는 것이며, 후자는 이 지역에 내린 우수를 쓰레기와 접촉하지 못하도록 매립지 외부로 배수하는 것이다.

매립지표면 집배수구는 최종복토가 완료된 매립지의 표면유출수를 배제하기 위하여 설치하는 것으로, 최종복토 후에 쓰레기가 압축이 확실히 된 다음에 구배를 갖도록 하고 효율적인 집배수가 되도록 배치한다. 매립이 완료된 직후에는 지반의 침하가 크기 때문에 터파기 측구에 지오멤브레인을 사용하여 간단한 구조로 설치하고, 침하가 어느 정도 진행된 후에 콘크리트 측구를 설치하는 것이 바람직하다.

매립지의 우수배제 시설은 첫째, 매립지 주변의 우수를 분산배출해서 침출수 발생량을 줄이고 둘째, 강우강도에 따른 최대 홍수량 및 토사유입을 감안하여 충분한 크기의 관경과 맨홀을 설치토록 한다. 또한 우수배제시스템을 검토하여 매립부지 경계선에서 외곽우수배제시설 설치뿐만 아니라 매립단계별지역을 분할하여, 매립중 내부 매립구역과 미매립 구역은 구분하여 우수배제시스템을 구성하고, 소단 우수 배수로를 통해 경사면 차수막을 타고 내려오는 우수를 모아 우수맨홀로 배수토록하며, 매립구역의 복토층 표면에 흐르는 우수는 내부우수배수로를 설치하여 배제토록 한다.

### 3.5 지하수 검사정

국내 폐기물관리법에는 폐기물 매립으로 인하여 침출수가 발생하는 경우에는 지하수 오염여부를 확인할수 있는 지하수 검사정을 폐기물 매립시설의 주변 지하수 흐름층 상류에 1개소이상, 하류에 2개소 이상 설치하여야 한다라고 되어 있다. 다만, 매립지의 경계선이 해수면과 인접하여 있어 지하수검사정 설치가 어려운 시설로서 해수면 인접지역에 지하수검사정대신 해수수질검사를 실시할 수 있는 지점을 2개소이상 선정한 시설의 경우에는 그러하지 아니하며, 이 경우 시료채취지역은 일정하여야 한다.

지하수검사정에 외부수가 유입되지 않도록 그라우팅, 덮개설치 등 오염방지조치 실시하여야 한다. 그리고 검사정의 재질이 지하수에 의하여 용출되지 않는 재질이어야 한다.

### 3.6 지하수배제시설

매립시설의 차수층 밑에는 주변에서 집수된 빗물과 우수 또는 지하수를 배제할 수 있는 시설을 설치하여야 한다. 계곡부에 쓰레기 매립장을 설치하는 것은 지하수가 모여서 하류로 흘러가는 중심부에 매립을 하기 때문에 일단 침출수가 누출되면 바로 지하수로 유입되어 지하수의 오염을 초래하는 경우가 있다. 따라서 지하수가 모이는 계곡부에 매립장을 건설 할 때는 지하수를 원할히 배제하고 어떻게 차단 할 것인가 검토해야 한다. 매립장 외곽 우수배제관거 외부에서 지하로 스며들어 매립장내 차수막 하부로 흐르거나, 용출되어 지하수가 토사입자를 침식 및 세굴시켜 차수막 안정 등에 문제를 일으키기 때문에 이를 배제하기 위해 지하수 배제용 시설을 설치한다.



그림 6. 국내 지하수배제시설 설치장면

### 3.7 침출수집배수시설

매립시설의 차수층 위에는 침출수를 집배수시킬 수 있는 유공관 및 집수정과 이를 처리시설로 이송할 수 있는 설비를 설치하여야 한다. 침출수집배수시설(LCRS: leachate collection and removal system)은 차수층위에 설치되어 매립지 내에서 발생하는 침출수를 집수하여 침출수처리시설로 이송하는 시설로 차수시설의 보완 역할을 한다. 이는 다음과 같은 기능을 가지고 있어야 한다.

- 매립지 내의 침출수를 가능한 신속하게 집수 할 수 있어야 한다.
- 침출수처리 기간 중에 침출수를 매립지역에서 계속해서 배출할 수 있어야 한다.
- 침출수의 처리효율향상에 기여할 수 있어야 한다.
- 차수시설의 보완적인 기능을 가져야 한다.
- 발생가스 처리시설의 보완적 기능을 가져야 한다.

침출수 집배수시설은 매립형상 및 매립구조에 따라 달리한다. 침출수 집배수시설의 배치개념도는 집수피트의 설치장소에 따라 매립지 외부에 집수피트를 설치하는 것과 매립지 내에 집수피트를 설치하는 것이 있다.

바닥 집배수관의 배치형태는 매립지의 형상 및 배치공법에 따라 직선형, 분지형 및 사다리형이 있다. 직선형은 1개 도는 여러 개의 집배수관을 직선적으로 설치하는 것이고, 분지형은 나뭇가지 모양의 지선을 간선에 접속시킨 것이며, 사다리형은 집배수관을 사다리형상으로 배치하는 것으로 횡단구배가 거의 없는 평지매립지에 주로 적용된다. 바닥 집배수관은 쓰레기 및 차수막 보호재의 투수계수, 매립지의 지형 및 규모 등을 고려하여 배치하고, 준호기성 매립지에서는 공기공급의 가능성을 고려하여 배치를 정한다.

바닥 집배수관은 유공관, 들망태 및 배수층을 조합하여 설치한다. 여기에서 배수층의 폭은 집수기능 확보와 집배수관의 연직하중을 경감하기 위하여 관경의 3배 이상으로 하는 것이 좋다. 표면차수막이 사용되고 있는 경우에는 자갈 및 쇄석이 직접 차수막에 접하지 않도록 부직포 등으로 차수막을 보

호하는 경우도 있다.

수직 집배수관은 기초망태로 하부를 고정하여 자립할 수 있도록 하고 매립과 병행하여 이어 올라간다. 수직 집배수관에 모여진 침출수가 저부 집배수관으로 원활히 유입되도록 바닥 집배수관 바로 위에 설치하는 것이 좋으나 바로 위에 설치할 수 없는 경우에는 바닥 집배수관 주위에 접속시킨다.

침출수 집배수관으로는 일반적으로 유공흡관, 유공합성수지관 및 돌망태가 사용된다. 유공흡관은 강성재료이고 유공합성수지관은 연성이므로 매설조건에 따라 선정한다. 돌망태 집배수관을 사용하는 경우에는 여과용 부직포를 병행하여 사용하는 것이 좋다. 집배수관은 부식성이 있는 침출수를 대상으로 하고 매립심도가 일정하지 않기 때문에 내식성 및 충분한 강도를 가진 재료를 선정하는 것이 필요하다. 유공관은 관 주위의 작은 구멍이 막히지 않도록 막힘방지에 유의하여야 한다.

표 4. 집배수관의 종류 및 특징(정하익, 1998)

종 류	직경 (mm)	특 징
유공흡관	150-1,500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 집수관 및 배수관으로 광범위하게 사용</li> <li>• 강성이 높아 관의 변형이 우려되는 곳에 적당</li> </ul>
유공합성수지관 경질염화비닐관(PVC관) 경질폴리에틸렌관(PE관) 강화플라스틱관(FRP관)	150-600 100-400 100-400 300-1,500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 집수관 및 배수관으로 광범위하게 사용</li> <li>• 연성이 좋아 지반침하에 어느 정도 적응</li> <li>• 재료에 따라 다르지만 내식성이 좋음</li> <li>• 경량으로 시공성이 좋음</li> <li>• 통상 400mm 이상은 주문제작</li> </ul>
돌망태	입의	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소규모 매립지에 사용</li> <li>• 집수관으로 주로 사용</li> <li>• 막힘문제로 유공관 지름의 2배 이상으로 적용</li> </ul>

보통 침출수 집수관의 집수기능을 확보하기 위하여 관의 주위에 배수층을 설치하게 된다. 배수층의 선정 시에는 다음과 같은 사항에 유의한다.

- 최소두께 30cm 이상으로 한다.
- 투수계수 0.01cm/sec을 확보한다.
- 경사를 2% 이상으로 한다.
- 쓰레기, 토사, 스케일 등에 의하여 막히지 않는 입도분포를 가진다.
- 침출수 집배수관의 유공관을 막지 않을 정도의 큰 입경을 가진다.
- 강도가 있고 침하량이 적고 내구성이 커야 한다.
- 배수층은 보통 입경 30~100mm의 자갈 및 쇄석으로 한다.



### 3.8 가스처리시설

매립지 내에서 발생하는 가스의 이동경로와 원인을 생각해보면 아래 그림과 같이 그려볼 수 있다 (McBean 등, 1995). 가스의 이동은 저항력이 작은 곳으로 이동되는 특성이 있다.

유기성 폐기물 등 가스가 발생하는 폐기물을 매립하는 경우에는 매립시설에서 발생하는 가스를 모아 처리할 수 있는 가스처리시설을 설치해야 한다. 가스처리시설은 매립지에서 매립처분 된 유기물이 분해되어 무기화 되는 과정에서 발생하는 가스를 대기확산 또는 연소하기 위한 시설이다. 이는 매립지내 화재나 폭발의 발생, 주변 나무의 고사, 매립작업에 미치는 악영향 등을 방지하는 역할을 한다. 가스처리시설은 다음과 같은 기능을 가져야 한다.

- 매립 중이나 매립 후에 가스에 의하여 주변환경이 재해를 받지 않도록 적절히 처리할 수 있어야 한다.
- 매립작업이나 부지 이용상 지장이 되지 않는 구조이어야 한다.
- 매립작업과 병행하여 용이하게 설치할 수 있어야 한다.
- 매립층의 안정화 촉진에 기여할 수 있어야 한다.
- 침출수 집배수시설의 보완적인 기능을 가지고 있어야 한다.

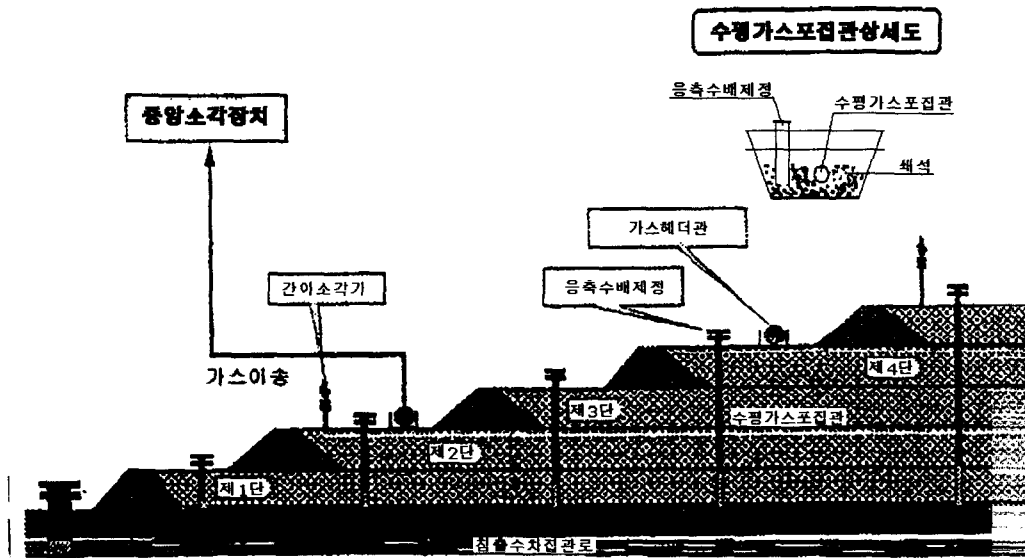


그림 9. 수도권매립지의 가스포집시설

## 4. 폐기물매립장의 문제점 및 개선대책

### 4.1 폐기물매립장 시공상의 문제점 및 대책

국내 매립장 조성에 필요한 기술적인 시공기준과 관계법규가 제정된 지 얼마 되지 않아, 해를 거듭하며 기술적인 보완과 제도적인 내용이 개정되고 있다. 폐기물 매립시설에 대한 시설기준은 지난 수년간에 걸쳐 종류, 두께, 규격 등에서 점차 강화되고, 매립시설의 설계·시공·감리의 기술적 수준도 꾸준히 향상되고 있으나, 단기간의 많은 변화는 분야별 관계자들의 기술적인 인식과 경험부족, 숙련된 기능공의 부족으로 실제 시공현장에서 새로운 기술의 적용에 있어 시행착오를 거듭하고 있는 실정이다. 매립시설에서 발생하는 전형적인 문제점과 원인 및 개선대책을 정리해 보면 다음 표와 같다.

표 5. 폐기물매립장 시공시 문제점과 개선대책(고시은, 1999)

문 제 점	원 인	개 선 대 책
○ 사면붕괴	· 부지조성시 지형 및 지질 조사 내용 미반영 -연약지반 -지하수 용출에 따른 사면 세굴	· 설계시 지형조건과 지질조사 결과 충분히 고려 입지 선정 -연약지반 처리 -지하수 배제 유도(배수로) 또는 차단벽 등 설치
○ 사면 소단폭 협소	· 매립용량 최대 확보 위한 사면 급경사 조성 · 계곡지형의 암사면 공사시 공사 비절감 목적	· 소단폭 최소 2.0M이상 조성 : 차수막의 고정효과와 공사 및 유지관리시 장 비이동 용이
○ 우수 배제 시스템 (우수 과다 유입)	· 매립부지 경계 외곽 배수만 계획 · 입지 선정시 계곡의 중간 위치 부지 조성	· 계곡수의 우회 배제 · 매립 단계별 구역 설정 -내부 우수 배제로 구성 :매립구역 표면우수와 비매립구역우수 배제로 침출수 발생량 저감

문 제 점	원 인	개 선 대 책
○ 지하수 배제 시스템 -사면 및 바닥지반 세굴  -바닥 차수막 용기 및 파괴	· 지하수 용출부 배제시설 미비  · 지하수 위,아래 매립시설 조성시 지하수 압 상승	· 사면부: 돌망태매설, 지오폴리머 등 설치 · 바닥부:맹암거, 지하유공관 설치, 지하수 집배수층 설치  · 수위 저하를 위한 매립굴착 깊이조절 · 차단벽 설치 · 양수 및 지하수 유도 배제 시설 설치
○ 점토·토사 벤토나이트 차수층 -차수층의 건조 균열  -차수층의 밀도 감소  -다짐층간 경계면 분리  -차수층 재료의 투수성 증가부위 발생	-건조 수축  -동상용해  -다짐층간 경계면 처리부적절  -불균질 차수층 재료 사용 -재료 혼합 불충분 -다짐불량	· 하절기 건조기간 시공제한 · 차수층 시공시 살수(양생포 설치) · 차수층 표면 비닐 포설 보호  · 동절기간 시공제한 · 차수층 상부 단열재 포설보호  · 층별 다짐시 기다짐층 표면 거칠게 마감후 상부층 다짐시공 · 층별 다짐층의 동일 함수비 유지  · 토취장 선정 및 재료의 규격검사 선별사용 · 함수비/밀도/투수계수 시험 실시 · 다짐공정 시험관리 철저
○ 합성수지 차수막 손상 (지오멤브레인) -바닥부 파손  -사면부 파손	· 차수층 관통 시설물의 부적절한 마감 · 바닥 합성수지 차수막 보호층 설치시 장비에 의한 파손 · 초기 매립시 장비에 의한 파손  · 과도한 인장응력  · 미끄럼(SLIDING)층 조성	· 관통시설주변 차수시설 설치  · 차수막 보호층 시공시 장비 출입로 보강 · 시공 및 매립 장비 운영시 주의교육 철저  · 소단별 합성수지 차수막의 분리 시공 매립적전 집합 · 매립초기시 폐기물의 마찰력을 저감기 위한 미고정 미끄럼층 설치(페시트,토목섬유등 활용)



문 제 점	원 인	개 선 대 책
○ 합성수지 차수막 접합부 탈리	-과다한 인장응력  -접합부 용접불량 (불량재료, 미숙련, 청소불량)	-적정재질 기준이상의 동일 재료사용(동일 생산제품)  -숙련된 용접사 시공 및 전문화 육성 -품질관리 절차 수립 시행 (QA/QC): 일일 시험시공 및 파괴 강도 시험 실시 및 현장교육
○ 소단부 들뜸 현상	-온도변화에 의한 수축	-용접작업시간대 조절 (하절기 대기온도 25℃ 이상시 강한 일광 아래 작업중단) -차수막 포설시 적절한 느슨함을 주어 포설 -모래주머니등을 이용 고정
○ 폐기물 매립시설의 인식도 저하	-쓰레기 매립시설에 대한 작업자의 단순하고 단일한 작업 접근자세	-작업실명제 실시(실명제카드) : 현장 작업자의 작업중요성과 책임의식 고취 → 정교한 시공유도
○ 차수막 상부 보호층 사면시공 곤란	-급경사면위 모래30cm이상	-페타이어+모래 충전 : 강우시 모래 유실 및 자하중에 의한 하강 -토목섬유 보호층 활용 방안 강구 : 모래등 30cm이상 규정 변경 필요
○ 합성수지 차수막의 시공 주름	-합성수지 제품의 열 팽창	-경사면 이질 차수막(Textured)사용, 표면 마찰력 증대 시켜 주름의 크기 감소, 부착력 증대 효과 -과다 주름은 적절한 보수조치
○ 침출수 집배수로(층)의 막힘	-미세토분 및 침전물 유입  -연약지반의 부등 침하	-토목 섬유(지오네트, 지오텍스타일 등)을 이용분리, 관로주변 잡석 여과층 설치  -집배수로 간선 하부 지반층 보강 -하부 합성수지 차수막 접합부 배제 -구역별 집수정 설치 및 관리 확인

#### 4.2 차수시설 설계 · 시공상의 문제점 및 대책

폐기물 매립시설중 차수시설에 대한 기준은 지난 수년간 종류, 두께, 규격 등에서 월등히 강화되었으며, 폐기물 매립시설의 설계/시공/감리의 수준도 시행착오를 겪으며 꾸준히 향상되고 있는 추세이다. 그러나 비닐막을 한 겹 설치한 지반에 폐기물을 투기하던 시점에서 오늘날 폐기물을 소위 차단형 혹은 관리형의 공학적 설계가 가미된 시설에서 처리하는 시점까지의 기간이 짧고 요구되는 기술의 발전이 빨랐던 만큼, 현행의 법 기준과 이를 만족하기 위한 설계/시공/감리의 수준 및 인식간의 괴리도 여전히 존재한다.

아래 표에 차수시설에서 흔히 발생할 수 있는 문제점과 원인 및 대책을 정리하였다. 점토 차수층의 부실시공의 가장 큰 원인은 점토재료의 기준, 시공방법, 품질의 관리방법에 대한 지식의 결여와 경험부족에 기인한다. 지오멤브레인은 품질이 일정한 공장제품이므로, 지오멤브레인의 부실은 재료보다는 시공방법에서 그 원인이 발생한다. 지오멤브레인 접합부위의 품질은 접합 온도, 압력, 시간에 따라 달라진다. 따라서, 본 시공에 앞서, 위 세가지 인자에 대한 시험시공을 하고 접합부위의 일부분을 절단하여 현장에서 접합부위의 강도를 측정함으로써 본 시공에서 사용할 접합 온도, 압력, 시간을 결정하여야 한다.

표 6. 차수시설의 설계·시공시 문제점과 대책(한국건설기술연구원, 1998)

문제점	원인	대책
• 사면 이탈 및 붕괴	• 부정확한 토질 강도정수의 사용에 기인한 부적절한 사면 설계 • 매립시설 안쪽 방향으로 사면에 작용하는 높은 수압	• 설계시 지반조사 및 물성실험 실시 • 수두감소방안: -매립시설 측벽에 지하수 유입차단 목적의 슬러리월 등 설치 -지하수 차단용 도랑설치 후 배수유도 -양수를 통한 지하수위 하강
• 바닥 차수면 융기 및 파괴	• 지하수위 아래 매립시설 조성시 바닥면으로 작용하는 높은 수압	• 수두저하를 위한 굴착깊이의 조절 • 측면 슬러리월 시공, 양수 등의 방법으로 수두저하 • 융기발생전 매립시설내 폐기물 적하 • 지하수 배제시설 설치
• 점토 차수층의 건조/균열과 이로 인한 투수성 증가	• 건조수축	• 하절기 건조기간 시공 제한 • 건조기간내 차수층에 물 살포 • 일시적 시공중단 경우 비닐 혹은 흙으로 차수층 표면처리 • 차수층 시공 완료후 폐기물 적하시까지 대기 노출 금지 • 보호층 모래를 차수층 시공후 즉시 포설
• 점토 시공성 저하	• 저온	• 다짐 및 동결기간 공사중단
• 다짐층간 경계면의 분리 및 그에 따른 다짐층내 횡방향 투수성 상승	• 시공시 다짐층간 경계면의 부적절한 처리	• 층별 다짐시 기다짐층 표면을 거칠게 마감 후 상부층 다짐시공 • 기다짐층과 시공층 다짐층의 동일 함수비 유지
• 차수층재료 중 모래 혹은 자갈 등의 고투수성 재료의 집중부위 발생	• 불균질 점토 재료	• 토취장에서 차수층 재료의 주의 선별과 시공중 조립토 반입/사용 금지
• 차수층 밀도 감소(투수성 증진)	• 동상 융해	• 동절기 시공 억제 및 기시공된 차수층 상부에 표토 혹은 기타 단열재(층) 포설/설치
• 차수층손상에 의한 누수	• 차수층 관통 시설 주변의 부적절한 마감 • 연약지반에서 부등침하	• 설계시 차수층 관통시설 가급적 배제 • 관통시설 주변의 철저한 차수시설 설치 • 연약지반 처리 • 매립경계부지 외곽에 연직차수벽 설치
• 침출수·집배수로(층)의 막힘	• 집배수층내 침전물의 유입 • 연약지반에서 부등침하	• 지오텍스타일을 이용한 침출수 집배수로와 주변과의 분리 혹은 관로 주변 잡석필터 설치 • 집배수로(층) 하부지반 보강 처리
• 매립시설 운용중 침출수 집배수로(층)의 기능저하	• 매립장의 부적절한 운영	• 운영자에 대한 교육 • 폐기물 매립 전 지오텍스타일 혹은 표토 설치
• 경사면에서 지오�멤브레인의 파손	• 과단한 인장응력 • 보호층	• 소단설치 및 소단에서 상하 지오�멤브레인의 분리 시공 • 모래, 페벨트, 페타이어, 흙마대 등으로 폐기물과 지오�멤브레인 직접 닿지 않도록 보호층 설치

## 5. 결론

이상과 같이 국내의 폐기물매립장에 대한 설계 및 시공 사례를 분석하여 보았다. 국내의 폐기물 매립장은 지형적인 특성으로 인하여 평지보다는 산지나 계곡부에 많이 위치하고 있으며 경우에 따라 해안가에 위치하고 있는 것도 있었다. 국내는 위생매립지의 개념이 도입된지 10여년 내외로 아직까지 매립시설의 설치에 많은 문제점이 발생되고 있다. 따라서 폐기물매립시설의 설계 및 시공에 관한 기술 개발이 절실하게 필요한 실정이다.

지난 10여년 동안 공무원, 설계사, 시공사 및 연구자의 노력으로 매립시설기술이 나날이 발전되었다. 또한, 매립시설검사의 도입으로 매립시설 설치기술 및 매립재료의 개발이 매우 빠른 속도로 진행되었다. 따라서 그동안 매립시설에 대한 기술적 개발이 진행되었으며 과거보다는 합리적인 폐기물 매립장의 설계 및 시공이 이루어졌다. 그러나 선진외국에 비하면 아직까지도 매립시설관련 연구 및 기술 개발이 미흡한 상태에 있으므로 향후 이에 대한 관심 및 지원이 활성화되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 강호정, “폐기물 매립시설의 설계 기술,” 위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술, 한국건설기술연구원, pp.13~55, 1999. 6.
2. 고시온, “폐기물 매립시설의 시공 기술,” 위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술, 한국건설기술연구원, pp.61~118, 1999. 6.
3. 농어촌진흥공사, 농어촌지역 자원재활용형 쓰레기 매립 기술 개발, 연구보고서, 농림부, 1997. 11.
4. 박봉현, “폐기물 매립시설의 유지 및 사후관리 기술,” 위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술, 한국건설기술연구원, pp.119~164, 1999. 6.
5. 이용수, 한국의 폐기물매립장 현황 및 설계·시공 실태, 제 10회 일·한건설기술세미나 논문집, 국토개발연구센터·한국건설기술연구원, 1999.9.
6. 정하익, 지반환경공학, 도서출판 유림, 1999. 12
7. 환경부, 폐기물처리시설 설치업무 편람, 행정간행물등록번호 38000-37520-67-9810, 1998. 4.
8. 한국건설기술연구원, 도시폐기물 매립장의 건설부지활용과 위생매립 시스템에 관한 연구, 연구보고서 건기연 92-GE-112, 1992. 12.
9. 한국건설기술연구원, 폐기물 매립지 차수재 개발, KICT 95-GE-1202, 1995. 12.
10. 한국건설기술연구원, 폐기물 매립시설의 설계·시공 기술에 관한 연구, 건기연 98-075, 연구보고서, 1998. 12.
11. Jessberger, H.L.(1996), TC5 activities - Technical committee on environmental geotechnics, Second International Congress on Environmental Geotechnics, ISSMFE and JSG.
12. Landva A.O. and Clark, J.I.(1990), Geotechnics of Waste Fill, ASTM Special Technical Publication 1070, pp. 86~103.
13. Rollings, M. P. and Rollings, R. Jr., Geotechnical Materials in Construction, McGraw -Hill, New York, New York, USA, 1996.
14. Oweis, I.S. and Khera, R.P.(1990), Geotechnology of Waste Management, Butterworths, pp. 171~273.