

토양오염 방지를 위한 쓰레기 매립장 설계 및 시공방안

인천대학교 교수, 신은철

1. 서론

효율적인 가정쓰레기 매립 또는 처리는 현재 사회적으로 아주 중요한 문제로 대두되고 있다. 쓰레기의 불량매립이나 처리는 토양오염이나 지하수 오염원의 가장 근본적인 요소이다. 이와 같은 문제를 해결하는 유일한 방법은 철저한 쓰레기 매립장의 설계와 우수한 시공기술이다. 현재 우리나라는 김포쓰레기 매립지, 난지도 쓰레기 매립지등 여러 도처의 쓰레기 매립지에서 유발되는 오염된 침출수로 인하여 주변환경이 오염되어 원인이 확실치않은 여러 징후군이 나타나고 있으며 불쾌한 악취로 인하여 주변주민들의 원성을 사고있는 현실이다.

물론 쓰레기, 분리수거, 재활용등으로 쓰레기 분량을 줄여 종래보다 적게 발생되지만 사회의 팽창으로 인해 아직도 많은 양의 쓰레기가 매립의 대상으로 되고 있다.

위생매립이란 고품쓰레기를 얇은층으로 깔은 다음 양쪽 로울러로 다진 다음 약 10~15cm의 유기성이 적은 흙으로 복토함으로써 환경을 보호하는 매립방법을 일컫는다. 쓰레기 복토재의 기준을 간단히 살펴보면 액성한계가 50%이하이고, 소성지수가 25%이하이며, KSF 2315에 의한 다짐시험을 하였을 경우 최대건조밀도가

1.5ton/m³이상인 흙이나 간극비가 42%이하인 흙을 사용한다.

쓰레기의 체계적인 위생매립은 독일에서는 1910년대부터, 영국은 1916년부터, 미국은 1930년도부터 실시되어왔다. 1980년대 초에 쓰레기 매립장에 불투수 차수층을 형성함으로써 쓰레기로부터 발생하는 오염된 침출수를 침수하여 처리하고 지표나 지하수가 매립장내로 침투되는 것을 방지할 수 있다는 방법이 개발되었다. 쓰레기 매립장의 차수재로 사용되는 재료로서는 투수계수가 낮은 점토, 또는 혼합토, 지오멤브레인슈트등이다.

Green(1981), Morrison(1981), Nashiatka(1981), Anderson(1982), Fong과 Haxo(1981), Danel(1987), Quigley(1988), Broderick와 Danial(1990)그리고 국내에서는 정하익외 3인(1995), 강병희와 장경수(1995)가 오염된 침출수성분이 점토차수재와 화학작용을 일으켜 투수계수가 증가된다는 연구결과를 발표하였다. 쓰레기 매립장의 설계기준은 점점 더 강화되고 있다. 즉 매립장 하부구조의 불투수층 차수재로써 다점된점토 차수재, 인공차수재인 단층의 지오멤브레인 차수재, 이중의 지오멤브레인 차수재, 지오멤브레인-점토 차수재등이 사용되고 있다.

최적의 조건의 쓰레기매립지는 쓰레기의 부패로 인해 발생하는 오염침출수를 완전히 차단할 수 있는 하부층차수체계와 표층수가 매립장으로 침투되는 것을 완전히 방지하는 표층차수체계를 갖추어야 한다. 또한 쓰레기 매립지내에 발생하는 오염침출수 배수시설, 메탄가스 제거체계가 완벽히 시공되어 효율적으로 그 기능을 발휘하여야한다.

2. 쓰레기 발생현황

우리나라 쓰레기 매립지는 1994년 현재 총612개에 이르며 총매립용량은 411,000 m³으로 매립가능한 잔여용량은 345,000m³으로 몇 년내에 포화상태가 될 것으로 예측된다. 이 문제를 해결하기 위해 현재 각 지방자치단체, 시·도별로 매립장 및 소각장을 건설중이거나 계획하고 있다. 1993년 현재 가정용 쓰레기의 일일 발생량은 62,940톤으로 이중 가연성은 44,560톤이고 불연성은 18,380톤이다. 쓰레기의 86%가 매립되고 소각은 2% 재활용은 12%정도이다.

정부와 민간단체, 주민인식의 계몽으로 점차 재활용비중이 점차 증가되고 반면

매립비중이 감소추세에 있다. 미국의 가정용 쓰레기량은 그림 1.1에 나타난 것과 같이 매년 증가추세에 있으며 주민 1인당 발생하는 쓰레기량은 그림 1.2에 나타난 것과 같다.

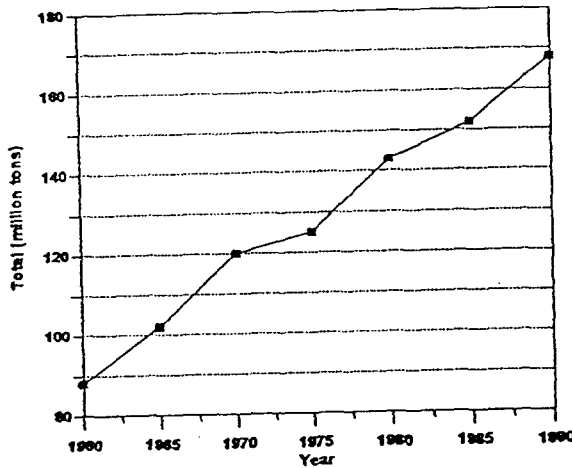


그림 2.1 연간 쓰레기 발생량

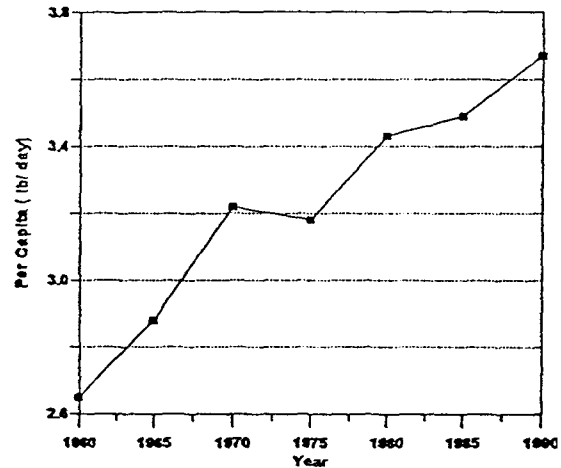


그림 2.2 1일간 1인당 쓰레기 발생량

1990년도 현재 미국의 경우 가정용 쓰레기를 종류별로 구분해보면 다음과 같다. 종이 36.8%, 유리 8.3%, 금속 7.6%, 알루미늄 1.3%, 플라스틱 2.3%, 고무 2%, 섬유 2%, 나무 3.6%, 음식 18.2%로 이루어져 있다.

일반적으로 쓰레기의 단위중량은 시간이 증가함에 따라 증가되며 쌓인 심도에 따라 단위중량은 증가된다. 생활쓰레기의 단위중량범위는 0.64~1.0t/m³ 이며 투수 계수는 10⁻³cm/sec이다.

3. 쓰레기 매립장

쓰레기 매립장은 대개 하부구조 차수막의 종류에 따라 구분되어 진다. 일반적으로 미국에서는 1982년까지는 환경청(USEPA)법규에 최소한도로 단일 점토차수막 체계를 그림 3.1, 그림 3.2와 같이 규정하였다.

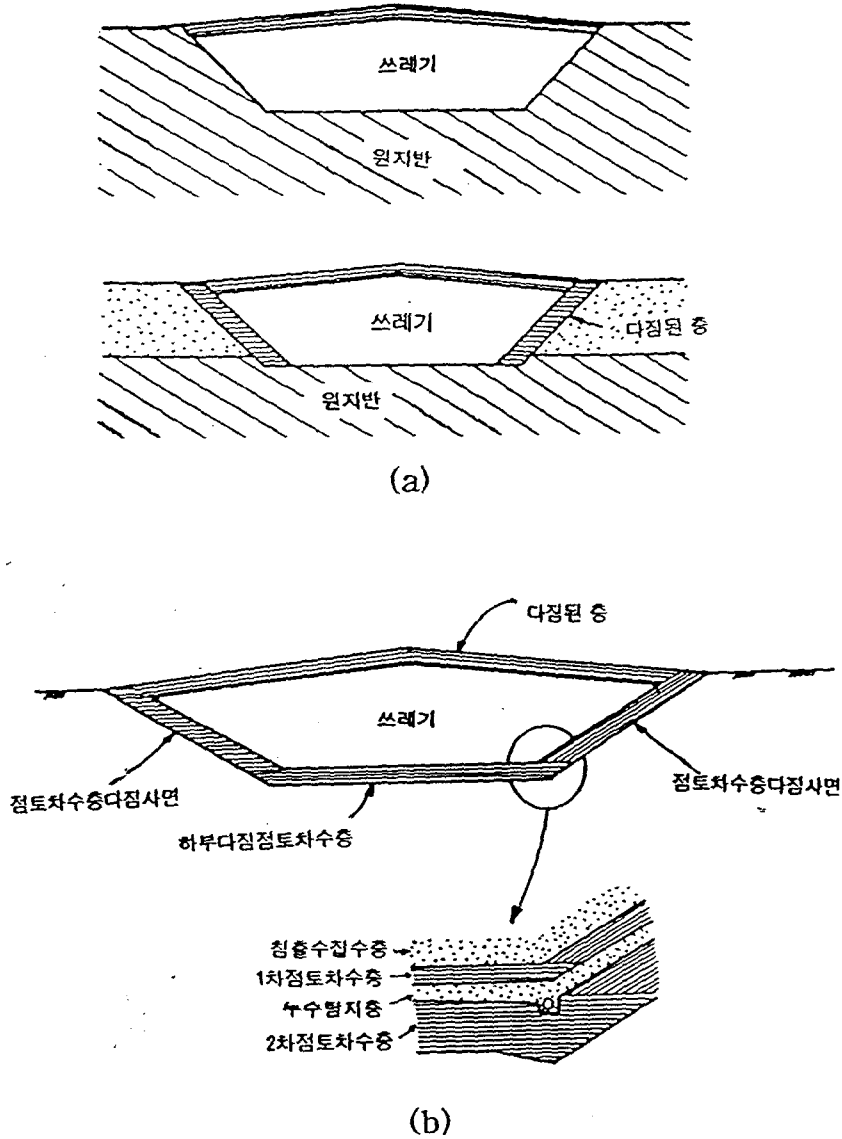


그림 3.1 재래식 쓰레기 매립장 하부점토 차수체계

다져진 점토차수막의 두께는 0.9~1.5m범위이며 투수계수는 10^{-7} cm/sec를 기준으로 하였다. 또한 모래층으로된 15cm정도두께의 여과층, 오염침출수 집수를 위하여 30cm 두께의 자갈층과 유공관, 그리고 점토차수막이다. 여과층과 자갈층의 투

수계수는 최소한 10^{-3} cm/sec 이상을 유지하여야 한다.

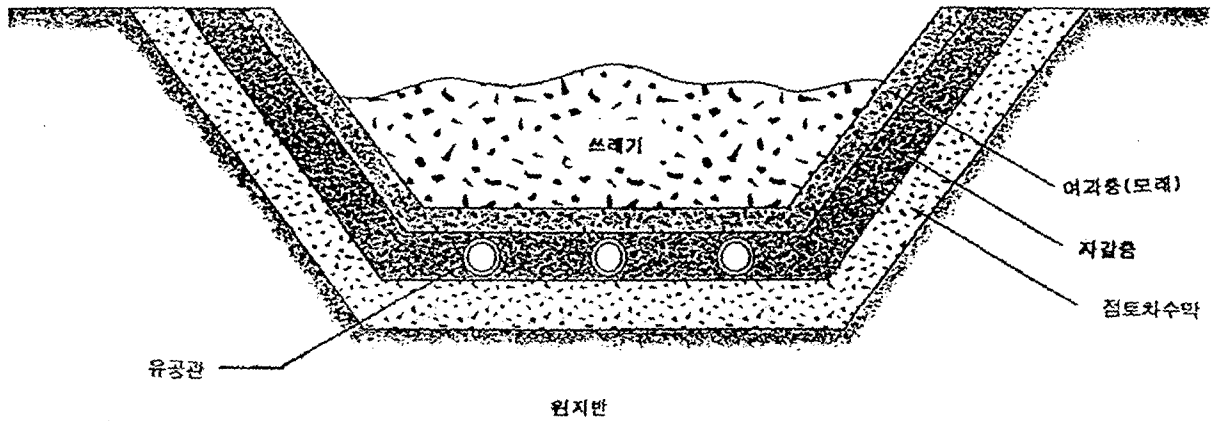


그림 3.2 진보된 쓰레기 매립장 하부점토 차수체계

지하수위가 높거나 측면으로부터 지하수위가 매립장내로 침투해 올 가능성이 있는 경우 그림 3.3, 그림 3.4와 같이 연직차수벽을 설치할 수 있다. 연직차수벽은 강재널말뚝, 그라우팅, 슬러리웰 등을 사용할 수 있다.

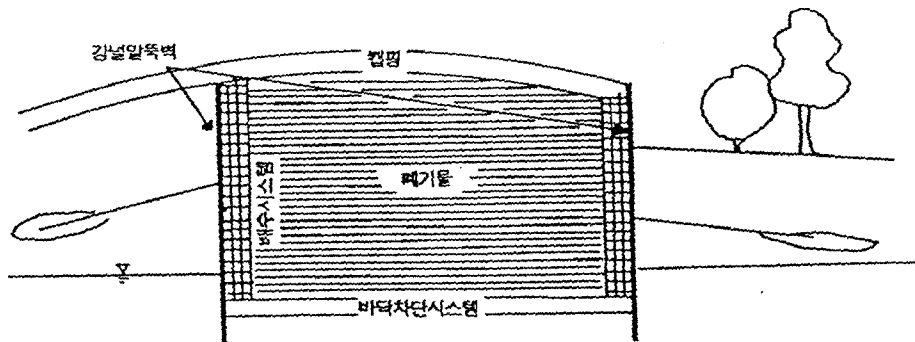


그림 3.3 강널말뚝을 사용한 하부점토 차수체계

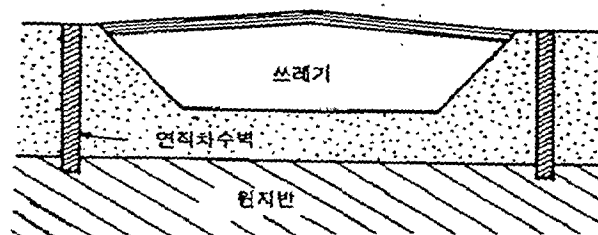
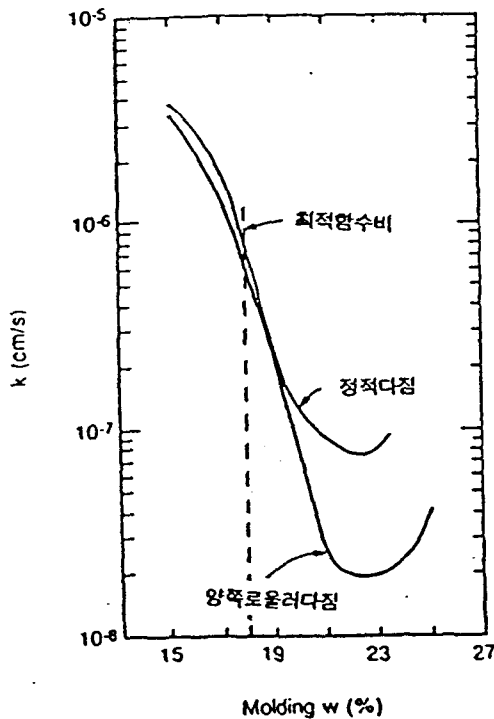


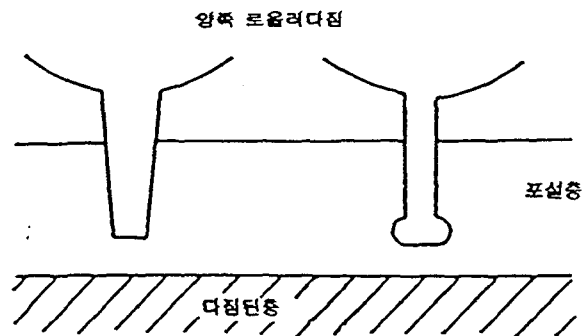
그림 3.4 쓰레기 매립장의 연직차수벽

최근에는 슬러리트렌치를 만든 다음 HDPE로 만든 널말뚝을 불투수층까지 타설하여 차수벽을 형성하는 새로운 공법이 소개되기도 하였다. 쓰레기 매립장의 차수층을 다져진 점토로 축조할 때 입도분포, 흙의 연경도, 투수계수, 자갈함유량, 다짐방법, 함수비, 자갈함유량등 많은 요소가 복합적으로 영향을 미치게 된다. 1990년도에 미국 환경청(USEPA)이 제시한 점토로 축조된 차수막에 요구되는 물성치는 투수계수가 10^{-7} cm/sec이하이며, 실트 및 점토가 차지하는 주어진 시료의 함량은 중량비로 20%이상이어야 한다. 또한 입도분포가 2~60mm인 자갈함량이 10%이하이어야 하며 주어진 점토의 소성지수는 최소한 10%이상이어야 한다.

점토차수층을 시공할 때는 주로 양쪽로울러를 사용하는데 점토의 두께는 다져서 15cm의 층을 형성하여 점토차수막을 완성한다. 양쪽로울러를 사용하면 다져진 아래점토층과 상부층이 동시에 다짐이 되어 점토층사이의 수평분리를 막고 양질의 점토차수층을 건설하게 된다. 양쪽로울러의 다짐방법과 그 결과가 투수계수에 미치는 결과는 그림 3.5에 도시되어 있다.



(a)



(b)

그림 3.5 다짐방법에 따른 투수계수의 변화

또한 다짐에너지에 따른 건조단위중량과 투수계수의 변화는 그림 3.6에 주어진 함수비에 따라 나타나 있다. 일반적으로 다짐시험결과에 의하면 최적함수비에서 함수비가 많은쪽으로 2~3%정도 이동하였을때의 함수비가 투수계수가 가장 낮게 도출됨이 많은 연구를 통해 판명되었다. 또한 점토흙덩어리의 크기도 투수계수에 영향을 미친다는 연구결과도 발표된 바 있다.

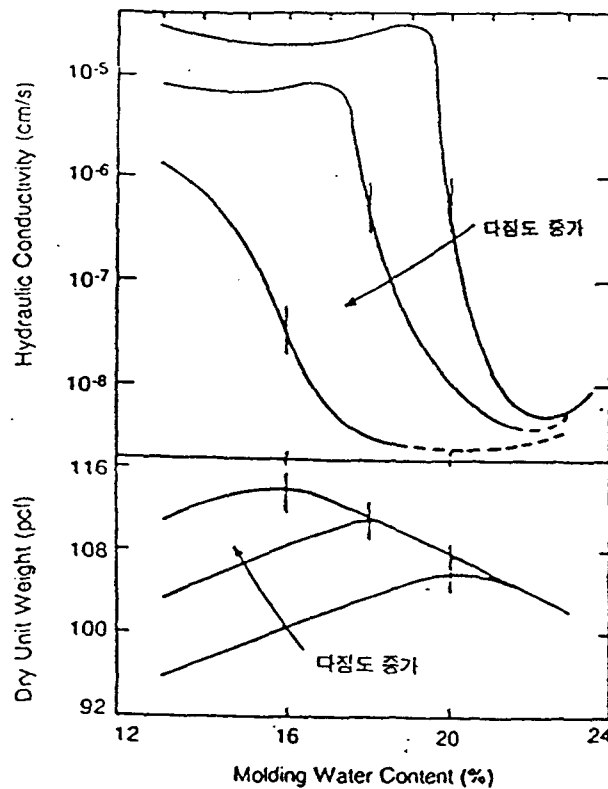


그림 3.6 다짐도에 따른 건조단위중량 및 투수계수의 변화

1982년부터 미국 환경청에서는 그림 3.7과 같이 단층 지오멤브레인을 설치한 쓰레기 매립장 형태를 권장하였으나 각 주별로 각각의 매립장 설계법이 규정되어 있어 최근 몇 년 전까지 위스콘신주는 지오멤브레인 차수막을 쓰지 않고 약 1.5m 두께의 점토차수층으로만 설치하였다.

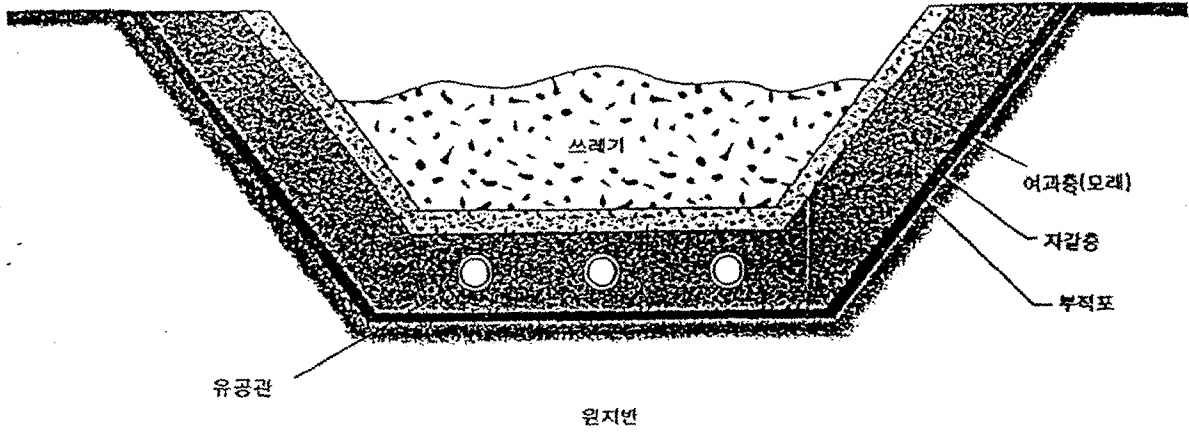


그림 3.7 단층 지오멤브레인을 사용한 쓰레기 매립장 하부구조 단면도

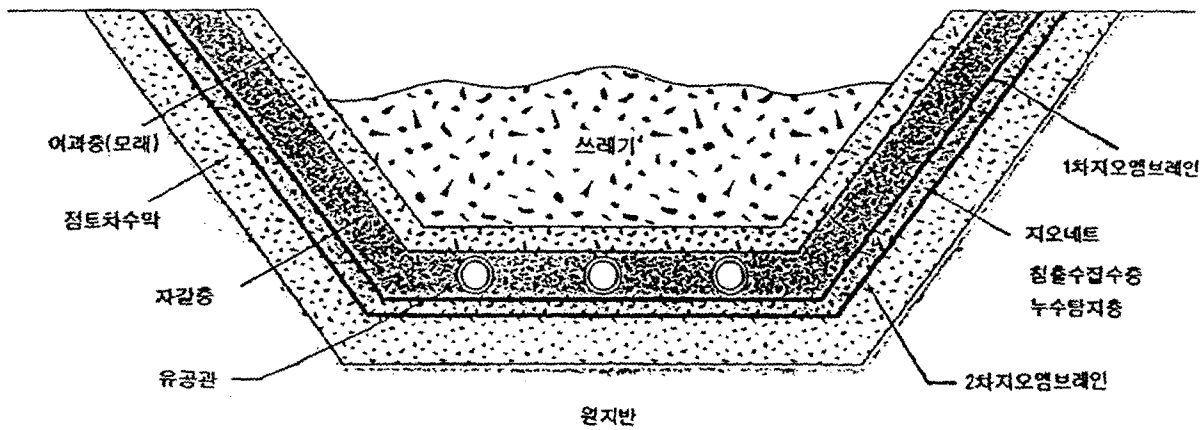


그림 3.8 이중 차수체계에 의한 쓰레기 매립장의 하부구조 단면도

또한 일리노이주 경우 빙하이동 때문에 발생된 실트가 섞인 점토층이 원지반으로 수십 m까지 존재하여 별도의 차수막은 하지 않고 원지반을 다진 상태로 쓰레기 매립장을 건설하였다. 1984년 이후 쓰레기 매립 규정은 강화되기 시작하여 산업용 폐기물 매립장은 그림 3.8에 도시되어 있는 것과 같이 이중차수층으로 건설하고 침출수 누수 탐지층을 설치하도록 규정화하였다. 이중은 지오네트를 사용하여 효율적으로 침출수를 배수하고 탐지할 수 있도록 설계하였다. 1차 침출수 집수층을 침출수 높이가 0.3m이하로 유지하도록 하였다. 모든 매립장에 사용되는 건설재료들은 고형 쓰레기에서 추출되는 오염된 침출수에 함유되어 있는 각종 화학적 침출수와 반응하여 아무 이상이 없이 효과적으로 그 기능을 수행할 수 있어야

한다. 그림 3.8과 그림 3.9는 공히 이중차수층을 설치하도록 설계되어 있으며, 오염된 침출수를 집수하도록 자갈층을 형성하여 침출수 배수용 유공관을 설치하였다. 또한 일반적으로 효과적인 집수를 위하여 2%정도의 구배를 두고 있다.

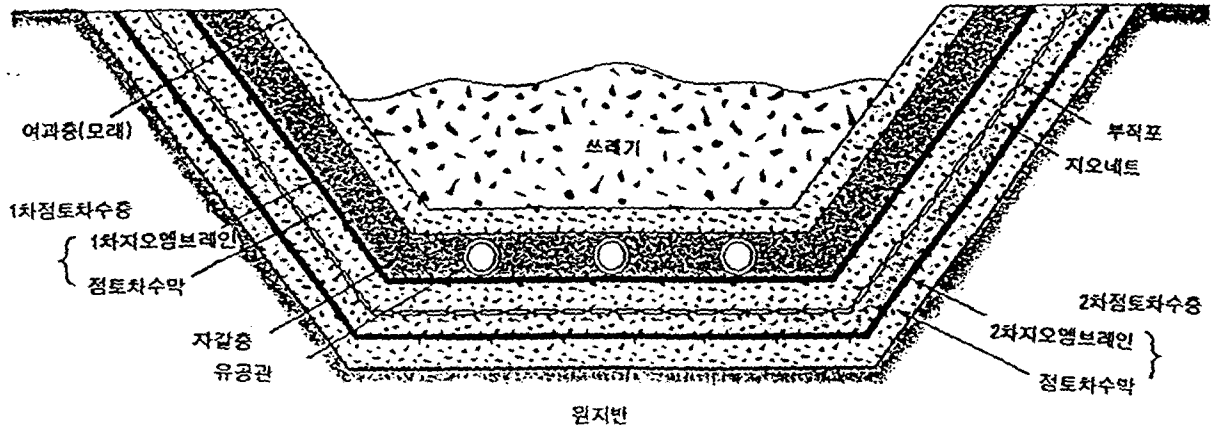


그림 3.9 1차 및 2차 차수층과 이중점토차수층에 의한 쓰레기 매립장의 하부구조 단면도

그림 3.9는 그림 3.8의 체계를 더욱 강화한 것으로 1차 지오멤브레인 차수막 하부에 점토차수층을 한층더 설치하고 부적포와 지오네트를 연속적으로 설치하여 만약의 경우에 발생될 침출수의 집수 및 배수를 효율적으로 하도록 체계화하였다. 지오멤브레인의 두께는 최소한 0.76mm를 사용하도록 규정하고 있으나 경우에 따라서는 더 두꺼운 지오멤브레인이 필요할 경우가 있다. 현장에서 일반적으로 사용하고 있는 지오멤브레인의 두께는 1.8~2.54mm범위에 속하고 있다. 현재 미국의 많은 매립장설계는 그림 3.10에 나타나 있는 것과 같이 상부 및 하부체계에 따라 설계 및 시공하여 주어진 면적에서 최대한의 매립공간을 창출할 수 있는 방법으로 개발되고 있다. 그림 3.9에 도시되어 있는 90cm두께의 2차 점토차수층은 그림 3.10에 지오네트로 대체되어 직접적으로 지오멤브레인과 접하게 설계되었다. 현재 미국환경청(USEPA)는 그림 3.10에 도시되어 있는 매립장 설계방법을 권장하고 있는 실정이다. 상기 기술한 쓰레기 매립장의 하부구조 차수체계의 발전을 요약하여 보면 표 3.1에 나타난 것과 같다. 또한 매립장에 사용하고 있는 토목섬유(Geosynthetics)들의 기능을 구분하여 각 기능별로 요약해 보면 표 3.2와 같다.

유(Geosynthetics)들의 기능을 구분하여 각 기능별로 요약해 보면 표 3.2와 같다

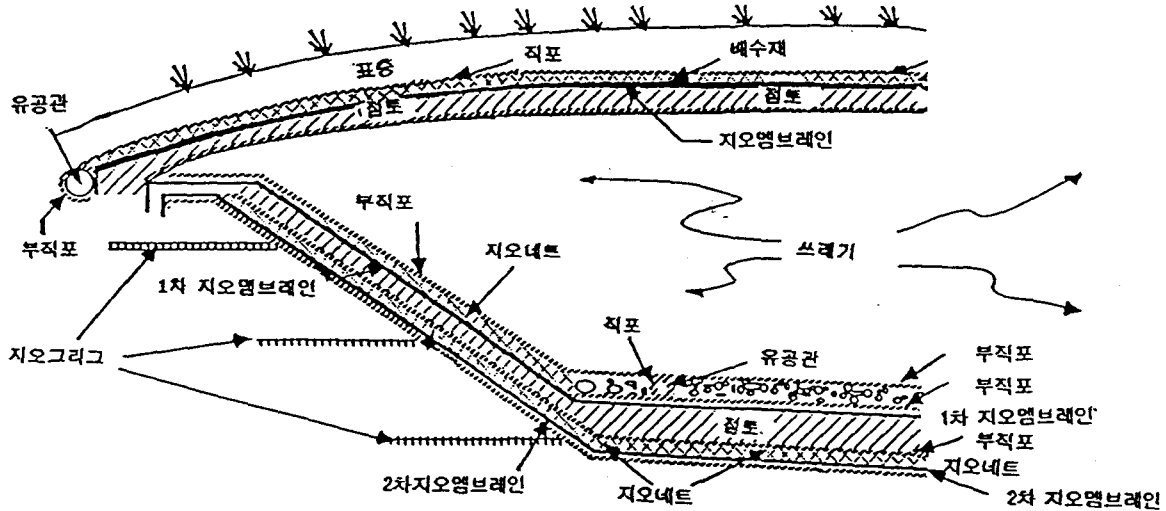


그림 3.10 쓰레기 매립장의 상·하부단면(1989, 미국환경청)

표 3.1 미국 차수재체계의 발전

차수체계	연도	LCR 체계	P-GM	LDCR 체계	S-GM
단층점토	이전~1982	흙/파이프	점토	없음	없음
단층 GM	1982	흙/파이프	GM	없음	없음
이중 GM	1983	흙/파이프	GM	흙/파이프	GM
단층 GM	1984	흙/파이프	GM	흙/파이프	GM/점토
단층 GC					
단층 GM	1985	흙/파이프	GM	GN	GM/점토
단층 GC					
이중 GC	1987	흙/파이프	GM/점토	GT/GN	GM/점토
이중 GC	1990	GT/GC	GM/점토	GT/GN , GM/GN	GM/점토

(참고) LCR = 침출수 집수 및 제거 시스템 LDCR = 누수탐지 및 집수, 제거시스템

P-GM = 1차 지오멤브레인 차수재 S-GM = 2차 지오멤브레인 차수재

GM = 지오멤브레인, GT = 지오텍스타일 필터

GN = 지오넛 드레인, GC = 지오컴포지트 차수재

표 3.2 위생매립장에서 다양한 토목섬유의 기능과 이용

층	위치	토목섬유	기능
1	쓰레기상부	GT	필터기능(표층수)
2	..	GC	배수재(표층수)
3	..	GM	차수(표층수 침입 ; 매립장가스누출)
4	..	GT	배수재(매립장 가스)
5	쓰레기하부	GT	필터기능(침출수)
6	..	GN	측사면배수재(침출수)
7	..	GT	침출수집수관 필터기능
8	..	GT	분리기능(보호)
9	..	GM	차수(침출수)
10	..	GT	필터 및 분리(침출수)
11	..	GN	배수재(침출수)
12	..	GM	차수재(침출수)
13	..	GT	분리기능(보호)
14	매립장의외부	GG	보강재

최근에 미국환경청에서 권장되는 매립장상부구조 체계는 그림 3.10에 나타난 것과 같으나 각 현장별로 설계를 별도로 실시하고 있는 실정이다. 1989년도에 미국 환경청(USEPA)에서 권장하는 쓰레기매립장 상부체계는 그림 3.11에 도시되어 있는 것과 같이 지표면으로부터 표토 60cm, 여과층, 지표로부터 침투되는 우수를 배수할 수 있는 지오멤브레인 차수막, 그 하부에 60cm두께의 점토차수층을 설치하도록 되어 있다. 또한 여러다른 기관에서는 그림 3.11의 경우를 좀더 보강한 상부체계를 그림 3.12와 같이 제시하여 쓰레기에서 발생하는 가스를 효과적으로 제거하고 짐승들에 의해 매립장 상부가 해체되는 것을 방지하기 위한 층이 별도로 30cm 설치되어 있다. 저준위 핵폐기장의 경우 이층을 4.2m까지 두껍게 직경이 큰 바위를 사용하여 설치하기도 한다.

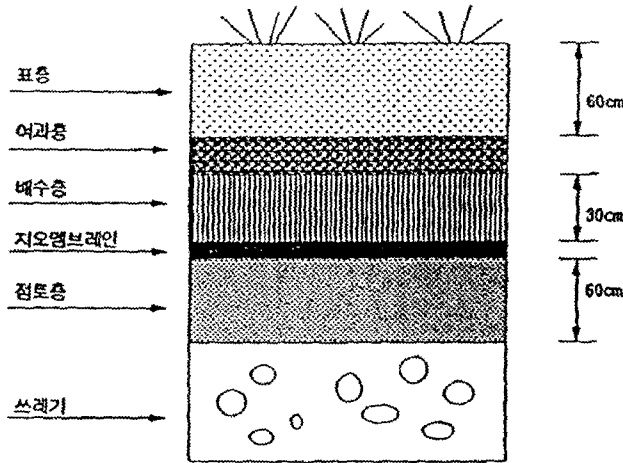


그림 3.11 쓰레기 매립장 상부체계

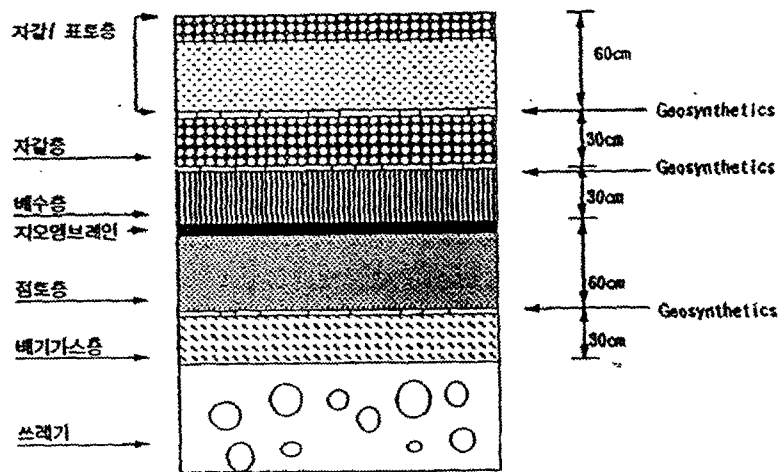


그림 3.12 자갈층이 추가된 쓰레기 매립장 상부체계

쓰레기매립장 상부구조체계는 현재 우리나라를 비롯한 많은 세계여러나라에서는 도시의 팽창과 아울러 과거의 매립장이 도시내부로 위치하게 되어 쓰레기장을 재개발하자는 의견과 함께 신기술이 등장하고 있다. 즉 빠른 시간내에 쓰레기장의 쓰레기를 부패화시켜 그 용지를 재활용하자는 의도이다. 따라서 이러한 기술개발 목적을 대비한다면 그림 3.10에 제시된 비싼 쓰레기매립장 설계는 변경되어야 할 것으로 전망된다.

4. 쓰레기 매립장 설계시 문제점

쓰레기 매립장의 위치선정은 NIMBY(Not In My Back Yard)현상으로 매우 심각한 문제를 야기시키고 있으며, 또한 지역주민간의 감정적인 마찰마저 불러 일으키고 있다. 따라서 쓰레기 매립장은 자연히 인구가 비교적 적은 해안매립 지역에 위치하게 되었다. 모든 토목이나 건축구조물 축조에 앞서 선행되어야 할 사항은 안정된 기초지반의 확보이다. 상기에 이에 언급한 것과 같이 쓰레기 매립장이 해안매립지에 위치하게 되면 지반이 연약할 뿐만 아니라 지하수위가 높아 우선적으로 이 문제들을 해결하여야 한다.

지반안정처리는 지반이 연약해성점토로 구성되어 있어 샌드파일이나, 쇄석다짐말뚝, 연직배수재, 진공배수공법, 심층안정공법 등으로 지반을 안정시켜 상부하중으로 인한 과대침하 및 부등침하를 방지함과 동시에 지지력을 확보한다. 지반안정처리가 제대로 수행되지 않으면 이로 인하여 상부에 설치해놓은 차수막, 가스포집체계, 오염 침출수 집수체계, 사면안정등 설계규정의 의하여 시공된 모든시설이 안정성을 잃게 되어 오염침출수의 유출 및 배수기능의 마비로 인한 심각한 환경오염문제를 야기시킨다. 지하수위가 높으면 매립장의외곽에 수직차수벽을 암반선까지 설치하여 지하수의 유동을 차단하여야 한다. 설치된 차수벽은 침출수와 작용하여 파괴되지 않을 재료를 사용하여야 한다. 예로서 그라우팅방법, 슈트파일방법, JSP, SCW등이 있다. 설계에 앞서 수행되어야 할 과제는 매립장 사면안정문제와 상부 및 하부체계를 구성하고 있는 각 재료에 충분한 결속력이 있는가를 검토해 보는 문제이다. 그림 4.1은 매립장 사면을 구성하고 있는 체계이다. 이와 같은 경우의 사면안정은 사면의 경사각 β 와 각 부재의 접촉마찰각의 대비이다. 여러사항을 고려한 사면안정검토가 있지만 본 논문에서는 단편적으로 다음과 같은 방법으로 안전율을 검토해본다. 즉, 매립장의 사면의 안정결정은 다음과 같은 방법으로 안전율을 산정한다.

$$F.S = \tan \phi_i / \tan \beta \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

여기서 F.S = 안전율, ϕ_i = 접촉마찰각, β = 매립장 측면경사각

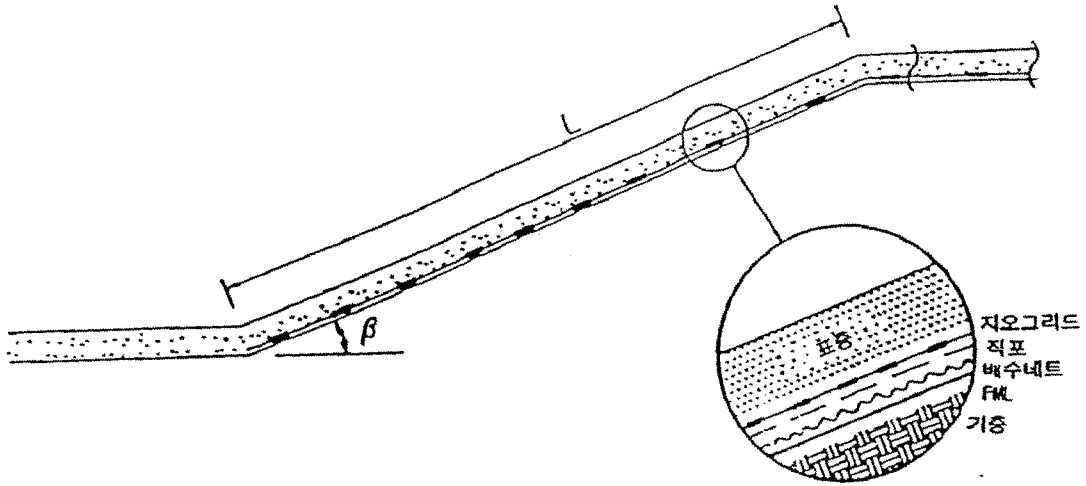


그림 4.1 매립장 사면구성체계

여기서 매립장 측사면경사각이 결정되면 부재간의 접촉마찰각이 매우 중요한 요소로 작용한다. 접촉각측정에 영향인자를 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 구속압력
- (2) 포화도
- (3) 시험방법 및 기구
- (4) 결과치의 해석(현장상태)

매립장 각 부재간의 직접전단시험에 의하여 도출된 접촉마찰각의 범위는 표 4.1에 나타난 것과 같다. 크게 구분하여 토목섬유와 흙 각각 다른 토목섬유간의 마찰각이다.

표 4.1. 접촉마찰각의 범위

접촉물		마찰각
토목섬유/흙	단단한 지오그리드 / 사질토	23° ~ 34°
	연한 HDPE FML / 사질토	18° ~ 26°
	PVC FML / 사질토	20° ~ 28°
	비직포 토목섬유 / 사질토	21° ~ 29°
	연한 HDPE FML / 점토	12° ~ 19°
	PVC FML / 점토	13° ~ 20°
	비직포 토목섬유 / 점토	14° ~ 22°
토목섬유/토목섬유	비직포 토목섬유 / 연한 HDPE FML	9° ~ 16°
	비직포 토목섬유 / PVC FML	12° ~ 18°
	비직포 토목섬유 / 배수 네트	10° ~ 16°
	연한 HDPE FML / 배수 네트	8° ~ 15°

방정식 (4.1)에 의거하여 수직/수평의 경사가 1/3일 때 각부재의 안전율은 다음과 같다.

표 4.2 쓰레기매립장 각부재별 안전율 (수직/수평=1/3)

접촉물	접촉마찰각	안전율
다진흙 / 지오멤브레인	15°	0.80
지오멤브레인 / 지오네트	10°	0.53
지오네트 / 지오텍스타일	14°	0.75
지오텍스타일 / 지오멤브레인	9°	0.48
지오텍스타일 / 사질토	>25°	>1.40
지오멤브레인 / 사질토	18°	0.97

쓰레기 매립장 사면안정에 있어서 검토해 보아야할 각부재면에 작용되는 사면을 따라 미끌어지는 강도 T_A 와 저항하는 강도 T_B 의 이다. T_A 와 T_B 의 관계식은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$FS = \frac{T_B}{T_A} \dots\dots\dots (4.2)$$

그리고

$$T_A = C_a A + (W \cos \beta) \tan \phi_{\epsilon A} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$T_B = C_a B + (W \cos \beta) \tan \phi_{\epsilon B} \dots\dots\dots (4.4)$$

여기서 C_a 는 점착력이며, W 는 상부토피의 무게, $\phi_{\epsilon A}$, $\phi_{\epsilon B}$ 는 각부재가 접하는 부재간의 접촉마찰각이다. 사면안정외에 시공상에 있어서도 많은 문제점이 있다. 예를 들면 멤브레인과 멤브레인사이의 접합문제, 복토재 중 입도분포가 큰 자갈로 인한 파쇄파열, 쓰레기 내부와 외부에 노출된 지오멤브레인의 온도차이에 의한 파열, 일광에 노출되어 야기되는 문제점, 오염폐수와의 화학반응, 쓰레기부패에 따른 침하가 유발하는 하향전인력에 의한 변위, 사면상부면에 충분한 고정등 많은 문제

점을 들을수 있다. 유공관이나 지오네트를 통해 오염된 침출수가 배수될 때 흡입자의 막힘 또는 박테리아 성장에 따른 막힘등을 문제점으로 도출할 수 있다. 점토 차수층을 시공할때에는 다짐에 대한 철저한 품질관리가 이루어져야하며 모든과정에서 설계도와 현장에 적합하게 시공이 되고 있는가를 품질관리를 통하여 점검되어야 한다.

5. 결론

국내 기존의 쓰레기매립장은 대부분이 환경청에서 규정한 엄격한 설계 및 시공 과정에 따라 건설되지 않은 관계로 매립장주변의 토양오염 및 지하수오염이 심각할 정도로 문제시되고 있다. 따라서 오염확산의 방지를 위하여 철저한 대책이 긴급하게 요망되고 있다. 본 논문에서는 연도별로 쓰레기발생의 실태와 쓰레기매립장 설계 단면도를 미국 환경청이 제시한 자료를 바탕으로 검토하여 보았다. 마지막으로 쓰레기매립장 설계시 고려해야 할 사항과 문제점을 도출하여 보았다. 오염방지를 위한 대책과 쓰레기 매립지용지 재활용을 대비하여 보다 효율적인 쓰레기 매립지 유지, 관리에 차원으로 발전시켜야 한다. 김포매립지를 비롯한 모든 국내 쓰레기매립장이 지반오염을 최소화 할 수 있는 방향으로 설계, 시공, 품질관리가 이루어져야 한다.

참고문헌

1. 강병희, 장경수, “해성점토의 투수성에 대한 폐기물 침출수의 영향,” 한국지반공학회지 1995년, 제 11권 3호 pp 37-41
2. 신은철, 폐석회를 활용한 차수재 및 복토재 개발에 관한 연구, 연구보고서, 1996. 5.10.
3. 정하익, 이용수, 심한인, 우재윤(1995), “불량매립지 차폐방안 및 차폐재와 침출수의 반응성에 관한 연구,” 한국지반공학회지 '96 봄학술발표회 논문집, pp 191-198
4. 토목기술 “최근 매립장의 강널말뚝벽에 의한 연직차수벽” 1995년, 제 3권 2호 pp 92-96
5. 한국건설기술연구원, 한국토지개발공사, 삼성엔지니어링(주), 쓰레기매립지의 처리 및 토지이용개발기술, 1995. 6. 5.
6. Braja M. Das “ Principles of Geotechnical Engineering” third Edition, 1993
7. D. Anderson and K.W. Brown. Organic Leachate Effects on the Permeability of Clay Liners. Proc. Land Disposal of Hazardous Waste, U. S. EPA, Philadelphia, pp 119-130, 1981
8. D. E. Daniel “Earthen Liners for Land Disposal Facilities” , Geotechnical Practice Waste Disposal '87, Geotech. Special Publication No. 13, pp 21-39, 1987.
9. D.E. Daniel. Predicting the Hydraulic Conductivity of Compacted Clay Liners, J. Geotech. Engrg., ASCE, 110(2), pp 285-300, 1984
10. D.M. Nasiatka, T. A. Shepherd, and J. D. Nelson, “Clay Liner Permeability in Low pH Environment,” Proc. Symposium on Uranium Mill Tailings Management, Colorado State University, Fort Collins, pp 627-645, 1981
11. D.W. Reades, L.R. Lahti, R.M. Quigley, and A. Bacopoulos, “Detailed Case History of Clay Liner Performance” Waste containment Systems, ACSE, Getech. Special Publication No. 26, pp 156-174, 1990
12. F. Fernandez and R.M. Quigley. Hydraulic Conductivity of Natural Clay Permeated with Simple Liquid Hydrocarbones, Can. Geotech. Journal, pp 205-214, 1985

13. G. F. Sowers. Settlement of Waste Disposal Fills, Proc, 11th ICSMFE, Moscow, pp 207-210, 1973
14. H.E. Haxo, R.M. White, P.D. Haxo, and M.A. Fong. Liner Materials Exposed to Municipal Solid Waste Leachate, Matron, Inc., Prepared for Municipal Environmental Research Lab. Cincinnati, OH, Dec., 1982
15. H. E. Haxo, Jr. Evaluation of Selected Liners When Exposed to Hazardous Wastes, Proc. of the Hazardous Waste Research Symposium., EPA-600/9-76-015, pp 102-111, 1976
16. H.Y. Fang. Introductory Remarks on Environmental Geotechnology, Inter. Symposium on Environmental Geotechnology, Vol. 1, pp 1-14, 1986
17. I.S. Oweis and R.Khera. Criteria for Geotechnical Construction of Sanitary Landfills, Inter. Symposium on Environmental Geotechnology, Vol. 1, pp 1-14, 1986
18. K.W. Brown and D.C. Anderson. Effects of Organic Solvents on the Permeability of Clay Soils. EPA-600/S2-83-016, April, 1983
19. M.E. Gordon, P.M. Huebner, and P. Kmet. An Evaluation of the Performance of Four Clay-Lined Landfills in Wisconsin, Department of Natural Resources, Wisconsin, 1984
20. R.M. Koerner. Preservation of the Environment via Geosynthetic Containment Systems, 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes, and Related Products. Hague, Netherlands, Vol. 3 pp, May 28-June 1, 1990
21. R.M. Koerner, A.E. Lord, R.B. Crawford, and M. Cadwallader. Geomembrane seam inspection using the ultrasonic shadow method. Proc. Conf. on Geosynthetics, Feb. New Orleans.
22. W. J. Green, G. F. Lee, and R. A. Jones, "Clay-soil Permeability and Hazardous Waste Storage," J. Water Pollution Control Fe, Vol. 53, pp. 1347-1354, 1981