'96 Geosynthetics Conference / 3 December, 1996 / Seoul / korea

토목섬유를 활용한 쓰레기 매립장 설계 및 시공
Construction and Design of Sanitary Landfill Using Geosynthetics

신은철[1], Eun Chul Shin, 심재범[2], Jae-Bum Shim, 최찬용[3], Chan-Young Choi

1) 시립인천대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Inchon
2) 신한국당 정책위원회 건설교통전문위원, Senior Adviser for Construction & Transpotation, Policy Committee, New Korea Party
3) 시립인천대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, University of Inchon

SYNOPSIS : There are many problems with inproperly constructed sanitary landfill in Korea such as leachate migration to the outside of the containment system, unpleasant odor, malfunction of leachate collection system, stability problem, and etc. The various bottom liner systems and cover systems in the sanitary landfill are discussed with EPA requirements and cut-off wall systems. Several considerations with designing and constructing the sanitary landfill have been described in the last part of this paper.

Key words : Sanitary landfill , Geosynthetics, Bottom Liner System, Cover System

1. 서 론

산업용쓰레기 및 생활쓰레기의 처리는 국내에서는 최대의 사회적문제로 대두되고 있다. 우리나라 쓰레기매립지는 1994년 현재 612개에 이르며 총 매립용량은 411,000m^{3}으로 매립가능한 잔여용량 345,000 m^{3}으로 몇 년내에 포화상태가 될 것으로 예측된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 한 방안으로써 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 매립비중이 감소추세에 있다. 1995년 1월부터 전국적으로 실시된 쓰레기종량제와 분리수거로 인천광역시 동구의 경우 1994년 1월부터 6월 까지의 쓰레기 발생량은 23,547톤에서 1995년 같은기간에 22,268톤으로 약 5.54% 줄어들었다. 같은기간의 세대별 배출량은 1994년에 0.747톤, 1995년도에는 0.692톤으로 약 7.11%감소하였다. 상기와 같은 쓰레기 발생량의 감소는 종량제 실시로 인한 재활용품의 분리수거와 주민들의 환경의식변화가 큰 요인으로 작용되었다고 볼수 있다. 그럼에도 불구하고 쓰레기 매립장의 매립용적부족과 젖은음식물 쓰레기반입등으로 각 지방자치단체와 매립지 지역주민과의 마찰은 계속되고 있는 실정이다.

쓰레기매립장 설계 및 시공지침에는 매립장 기저부분에 차수막을 설치하게끔 규정되어 있음에도 불

구하고 부실시공, 침출수처리불량 및 악취등으로 수도권지역 및 부산에 설치되어 있는 매립장 주변에는 심각한 환경오염문제를 야기시키고 있는 실정이다. 쓰레기의 체계적인 위생매립은 독일에서는 1910년도부터, 영국은 1916년부터, 미국은 1930년도부터 실시되어왔다. 외국에서는 1980년대 초기 부터 쓰레기매립장에 불투수 차수층을 형성함으로써 쓰레기로부터 발생되는 오염된 침출수를 집수하여 처리하고 지표나 지하수가 매립장내로 침투되는 것을 방지할 수 있게끔 설계 및 시공을 해오고 있다. 쓰레기매립장의 차수재로 사용되는 재료로서는 투수계수가 낮은 점토, 혼합점토, 지오멤브레인쉬트 등이있다. 국내에서는 1990년대초부터 체계적인 쓰레기매립장설계 및 시공이 실시되어오고 있으며 현재 수도권매립지를 필두로 각 대도시주변에 쓰레기매립장 건설이 실시되고 있거나 계획중에 있다.

본 논문에서는 시대에 따라 발전되어가는 쓰레기매립장의 설계기준, 침출수, 지표수 및 지하수의 유출과 유입을 방지하기위한 차수재에 대한 고찰, 매립장의 하부체계설계와 상부체계설계에 대하여 상세히 기술하였다. 논문의 마지막부분에서는 쓰레기매립장설계시 몇가지 고려되어야할 사항에 대하여 간략하게 논하였다.

2. 쓰레기매립장의 하부체계

1980년대부터 쓰레기매립장의 설계기준은 점점 더 강화되어 매립장 하부구조의 불투수층 차수재로써 다짐된 점토차수재, 인공차수재인 단층의 지오멤브레인 차수재, 이중의 지오멤브레인 차수재, 지오멤브레인-점토 차수재등이 사용되고 있다. 최적의 조건의 쓰레기매립지는 쓰레기의 부패로 인해 발생되는 오염침출수를 완전히 차단할 수 있는 하부층차수체계와 표층수가 매립장으로 침투되는 것을 완전히 방지하는 표층차수체계를 갖추어야 한다. 또한 쓰레기 매립지내에 발생되는 오염침출수 배수시설, 메탄가스 제거체계가 완벽히 시공되어 효율적으로 그 기능을 발휘하여야 한다.

2.1 점토 차수체계

쓰레기 매립장은 대체로 하부차수막 구조에 따라 여러형태로 구분되어진다 국내에서 1990년대 이전까지 하부차수막개념이 확실히 정립이 되지않아 원지반상에 쓰레기를 쌓은다음 매일복토를 하는 방식으로 매립장이 형성되었다. 근래에 들어 국민환경의식구조의 변화로 차수막개념이 확실치 않았던 재래식 매립방법을 좀더 구체화하여 진보된점토차수막 쓰레기매립장체계를 그림 2.1와 같이 제시하여 실행해왔다. 그림 2.1에 도시된 쓰레기매립장 하부구조체계는 쓰레기하단부에 15cm정도의 모래층으로 구성된 여과층에 이어 오염된 침출수를 집수처리하기위한 30cm정도두께의 집수층으로 자갈층과 유공관으로 구성되어있다. 이 두층의 투수계수는 최소한 10^{-3}cm/sec이상을 유지해야한다. 그리고 마지막층은 투수계수가 10^{-7} cm/sec인 점토차수막으로 이루어져 있으며 이 층의 두께는 약 0.9~1.5m범위에 있다. 매립장주변의 지하수위가 높아 매립장측면이나 하부로 물이 침투해 들어올 가능성이 있는 경우 그림 2.2과 같이 연직차수벽을 설치한다.

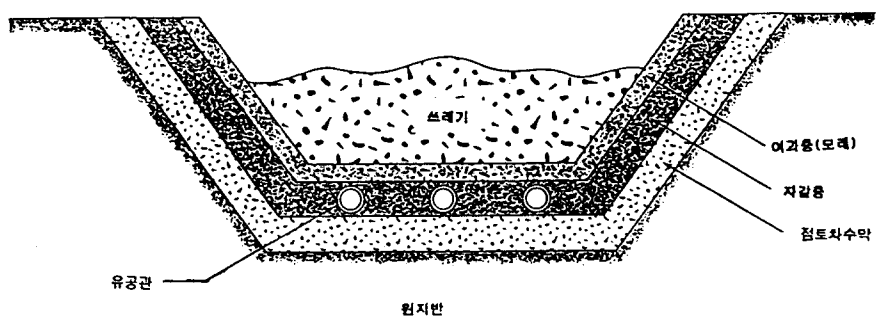

그림 2.1 진보된 쓰레기매립장 하부점토 차수체계

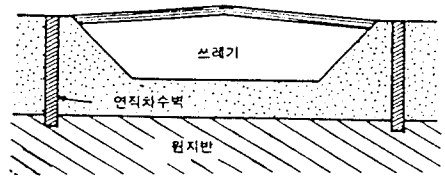

그림 2.2 쓰레기매립장의 연직차수벽

통상쓰이는 연직차수벽은 강재널말뚝, 그라우팅, 슬러리 월 등이있다. 점토차수막에 사용되는 점토의 물성치는 입도분포가 2~60mm이내이어야하고 자갈함유량이 10%이하이며 점토의 소성지수(PI)는 10% 이상이어야한다. 점토차수막은 다짐후 15cm의 층을 형성하며 이때 다짐장비는 다짐이된 점토층사이의 수평분리를 막고 상·하층의 동시다짐효과를 높이기위하여 양족로울러를 사용한다. 점토층을 다질때의 함수비는 실내다짐시험에서 얻은 최적함수비에서 약 2%증가시켜 다짐을 실시하면 주어진시료에 대해 가장적은 투수계수를 얻을수 있음이 Daniel(1984, 1987)의 연구를 통하여 입증되었다.

2.2 점토-지오멤브레인차수체계

국내에서는 1990년대초부터 미국에서는 1982년도부터 그림 2.3과 같이 단층지오멤브레인을 쓰레기매립장 하부체계의 점토차수층을 대신하여 사용하도록 환경부에 규정화하였거나 권장되고 있다. 왜냐하면 많은 지방의 원지반을 구성하고 있는 흙이 시방서에 규정된 차수재의 물성치를 만족하지 못할 뿐만 아니라 기초지반이 점토로 구성되어 있지않고 있기 때문이다. 단층지오멤브레인층하부는 원지반을 다진상태로 기초지반을 조성하였다. 1984년 이후 미국내의 쓰레기매립장 시설기준은 강화되어 그림 2.4에 기술된것과 같이 이중 지오멤브레인을 설치하여 이중차수층을 형성하도록 하였으며 침출수 탐지 및 집수층을 설치하고 그 다음에 지오멤브레인으로 설치하도록 하였다. 또한 두번째차수막을 2차 지오멤브레인층 하부에 약 90cm 두께로 점토차수층을 설치하도록 규정하였다. 집출수 집배수층에 고이는 침출수의 높이는 30cm이하가 되도록 쓰레기매립장 시설관리기준에 규정하였다. 1980년도 후반에는 쓰레기매립장하부체계를 더욱 강화하여 그림 2.4에 나타난 1차지오멤브레인 하부에 점토차수층과 부직포 및 지오네트를 연속적으로 설치하도록 하였다. 현장에서 일반적으로 사용하는 지오멤브레인은 HDPE와 PVC를 많이 쓰이고 있으며 두께는 1.8~2.54cm범위의 것을 사용하고 있으나 규정에는 최소두께 0.76mm를 쓰도록 법으로 규정하고 있다. 집배수층의 횡단구배는 효과적인 집수를 위하여 통상 2%정도의 구배를 두어 건설하고 있다.

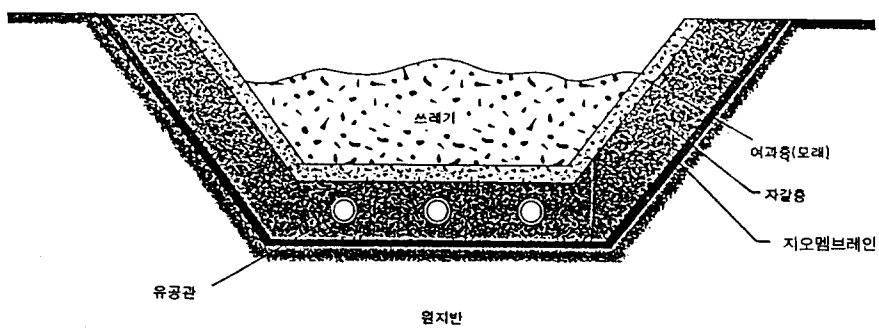

그림 2.3 단층 지오멤브레인을 사용한 쓰레기 매립장 하부체계 단면도

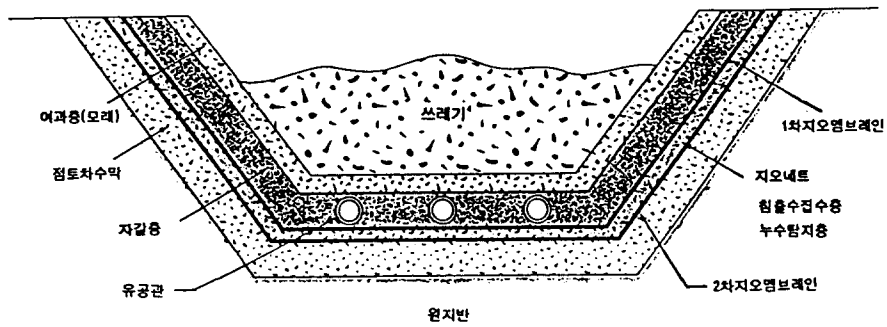

그림 2.4 이중차수체계에 의한 쓰레기매립장의 하부체계 단면도

2.3 토목섬유를 활용한 하부체계

국내에서 발생되는 생활 및 산업쓰레기량은 인구증가와 더불어 산업의 활성화로 매년증가추세에 있어 2000년대에 가서는 현재있는 모든 쓰레기매립장이 포화상태가 될것으로 예측된다. 따라서 매립장건설은 주어진 부지에 구조적안정성을 확보하는한 최대한의 매립공간을 확보할 수 있는 방법으로 설계 및 시공을 하게된다. 이러한 시대가 요청하는 모든사항을 고려할때 미국환경청(US EPA,1989)이 제시한 쓰레기매립장 설계체계(그림 2.5)는 상당히 바람직한 방법이다. 그림 2.4와 그림 2.5에 나타난 매립장하부체계를 살펴보면 쓰레기층 바로 하단부에 그림 2.4에는 약 30cm두께의 여과층을 설치하였으나 그림 2.5에는 간단히 부직포로 대체하여 보다많은 매립공간을 확보하였고 쓰레기와 하부체계와의 분리기능역할을 수행하였다. 그림 2.5에서는 점토차수층과 지오네트사이에 부직포를 설치하여 점토가 지오네트배수층으로 유입되지 않도록 부직포로 분리하여 배수기능을 원활하게 하였다. 또한 매립장사면을 지오그리드로 보강하여 사면안정을 도모하여 최대한의 매립공간을 창출할수 있도록 설계하였다. 이상에서 고찰한 쓰레기매립장에 하부구조의 차수체계를 발전상황을 요약하여 보면 표 2.1과 같다.

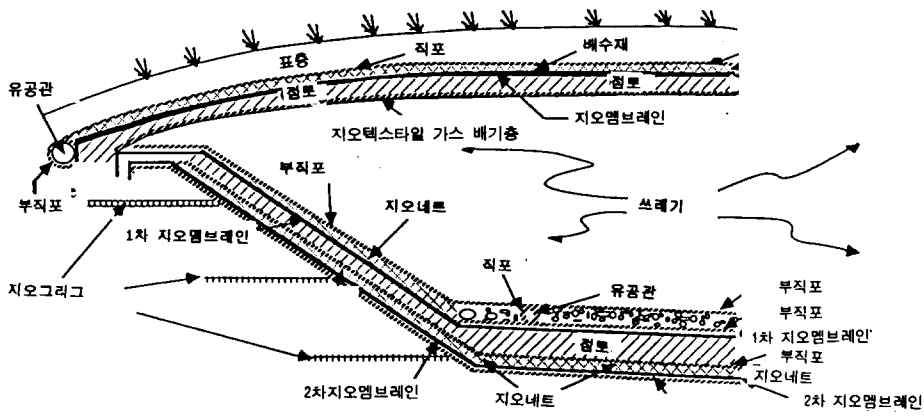

그림 2.5 토목섬유를 활용한 쓰레기매립장의 상·하부체계 단면도

표 2.1 쓰레기매립장 하부차수체계의 발달(Koerner, 1990)

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 단층 GC	1984	흙/파이프	GM	흙/파이프	GM/점토
단층 GM 단층 GC	1985	흙/파이프	GM	GN	GM/점토
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 = 지오네트 드레인,　GC = 지오컴포지트 차수재

3. 쓰레기매립장 상부체계

쓰레기매립장의 상부체계는 매립된 쓰레기 또는 오염된 쓰레기와 지표면외부와 단절시키는 중요한 기능을 갖고 있다. 따라서 상부체계는 지표수가 매립된쓰레기더미내로 침투되는 것을 방지하여야 하며 매립된 쓰레기에서 발생되는 가스의 유출을 방지하여야 한다. 상부체계를 설계 및 시공하는 과정에서 고려해야할 여러 가지요소를 고찰해보면 동결심도, 주기적인 건·습에 따른 변화, 나무나 식물뿌리의 침투, 벌레 및 짐승들에 의해 피해, 매립된 쓰레기의 부패에 따른 상부체계의 부등침하, 사면의 크리프 및 활동파괴, 지진에 의한 영향등이다. 미국환경청(1989)이 그림 2.5에 제시한 매립장 상부체계는 표층과 침투된 지표수의 배수를 위한 부직포와 지오네트, 인공차수막인 지오멤브레인과 점토층, 매립된 쓰레기에서 발생된 가스를 배기 시키기위한 부직포로 구성되어 있다. 여과층과 배수층이 그림 3.1에 제시된 쓰레기매립장 상부체계에 비하여 각 층의 두께가 얇아 더 많은 매립공간을 확보할수 있고 시공이 용이하다. 설계 및 시공할때의 상부체계의 선택은 지역과 국가별로 각각 시방기준과 경제성, 기술력등 여러여건에 따라 다를것이라 판단된다. 그림 3.1에 도시되어 있는 상부체계는 가장 보편적으로 사용될 수 있는 쓰레기매립장 상부체계이다.

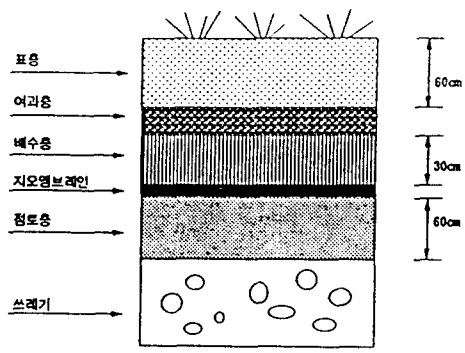

그림 3.1 쓰레기 매립장 상부체계

지표면으로부터 60cm 두께의 표층과 여과층, 지표수의 침투방지를 위한 지오멤브레인 차수막, 다음층은 60cm 두께의 점토차수막으로 투수계수는 1×10^{-7}cm/sec을 유지하여야 한다. 상부체계도 하부체계와 같이 매립지를 건설하는 국가의 환경청(EPA)기준과 지역, 매립물질 등에 따라 조금씩 차이가 있을 것이라 예측된다. 그림 3.1을 더 보강한 상부체계를 고려해 보면 들짐승이나 쥐, 사람등 인위적으로 매립지 상부체계의 파손을 방지하기 위하여 상부표토층과 배수층사이를 30cm두께의 자갈층을 형성하고 자갈층 상·하부는 부직포를 설치하여 각각 층을 분리시킨다. 또한 점토차수층과 쓰레기 사이에 그림 2.5에 도시된것과 같이 부직포를 설치하여 가스를 배기시킬수 있는 층을 형성하는 상부체계를 생각 할 수 있다. 저준위 핵폐기물매립장의 경우 자갈층의 두께를 4.2m까지 두껍게 하며 심지어는 직경이 큰 바위까지 사용하여 짐승 및 예기치 않은 인위적인 상부체계 파괴를 방지하기도 한다. 쓰레기매립장 상부체계와 하부체계에서 사용하고 있는 토목섬유(Geosynthetics)들의 종류를 사용위치 및 용도에 따른 기능을 요약해보면 표 3.1과 같다.

표 3.1 위생매립장에서 다양한 토목섬유의 기능과 이용

층	위 치	토목섬유	기 능
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	매립장외부	GG	보강재

4. 쓰레기매립장 설계시 고려되어야할 사항

국내의 쓰레기매립장 위치선정은 NINMBY(Not In My Back Yard)현상과 사용용지 부족 및 높은 지가 때문에 해안가 및 해안매립지등 인위적으로 매립지를 확보하기 용이한 곳에 위치하는 경우가 대부분이다. 대부분의 이러한 지역은 기초지반이 연약지반이고 지하수위가 높은 것이 상례이다. 따라서 여러 가지 지반안정처리공법중 주어진 지반조건과 경제성에 맞게 공법을 선택하여 지반을 안정시켜 매립장 상·하부체계, 쓰레기하중 및 기타상부하중으로 인한 과잉침하 및 부등침하를 방지하도록 지지력을 확보하여야 한다. 여기서 선행하중(Preloading)공법이나 토목섬유보강공법을 병행하여 사용하면 효과적일수도 있다. 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 매립장외곽에 수직차수벽을 불투수층인 암반선까지 설치하여 지하수의 이동을 차단하여야 한다. 설치된 차수벽은 침출수와 작용하여 파괴되지 않는 재료를 사용하여야 한다. 예로서 그라우팅방법, 쉬트파일방법, JSP, SCW등이 있다.

쓰레기매립장에서 사용되고 있는 유공관을 비롯, 지오멤브레인, 지오네트, 지오텍스타일등은 쓰레기에서 발생되는 오염침출수와 화학적으로 작용하여 쓰레기매립장 수명동안 아무이상이 없는 거의 영구적인것이어야 한다. Haxo(1976), Haxo, White & Fong(1982)은 지오멤브레인등 토목섬유와 폐기물에서

유발되는 여러오염침출수간의 상호화학작용으로 인하여 역학적성질변화 등을 초래한다는 연구결과를 발표하였다. 상기의 자재들은 크리프(Creep)에 의한 변형이 사용기간동안 허용범위내에서 발생되어야 있으며, 토목섬유간의 접합부분(Seam)이 완벽해야되고 배수구멍이 막히거나, 부직포나 지오네트사이에 미생물이나 미세토사가 끼여 막힘현상이 없어야 한다. 또한 매립장시공시 각종 토목섬유(Geosynthetics)가 일사광선(UV)에 노출하게 됨으로써 품질이 저하될 가능성이 높으며, 온도차이에 의한 전단파괴, 쓰레기 부패에 따른 침하가 유발하는 하향견인력에 의한 변위등이 현재 해결해야될 중요한 문제로 제기되고 있다. 따라서 이들 문제에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

설계에 앞서 수행되어야 할 또 다른 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 경사각β와 각 부재의 접촉마찰각의 대비이다. 여러사항을 고려한 사면안정검토가 있겠지만 본 논문에서는 단편적으로 다음과 같은 방법으로 안전율을 검토해본다. 즉, 매립장의 사면의 안정결정은 다음과 같은 방법으로 안전율을 산정한다.

$$F.S = \tan \varnothing_i \; / \; \tan \beta \qquad (4.1)$$

여기서, F.S는 안전율, $\varnothing_i$ 는 매립장 사면을 구성하고 있는 접촉부재간의 접촉마찰각이다.

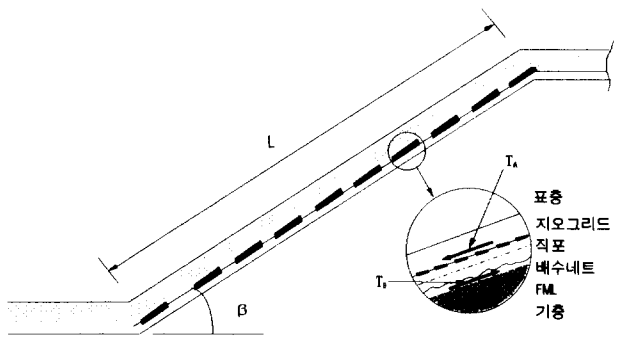

그림 4.1 매립장 사면구성체계

여기서 매립장 측면경사각이 결정되면 부재간의 접촉마찰각이 매우 중요한 요소로 작용한다. 접촉각 측정에 직접적인 영향을 주는 인자는 구속응력, 흙의 포화도, 시험방법 및 기구, 현장상태를 고려한 결과치 해석이다. 매립장 각부재간의 직접전단시험에 의하여 도출된 대표적인 접촉마찰각의 범위는 표 4.1에 나타난 것과 같으며 크게 대분하여 토목섬유와 흙, 각각 다른 토목섬유간의 마찰각이다.

표 4.1. 각 부재간의 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 쓰레기매립장의 사면을 구성하고있는 각 부재의 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_A와 저항하는 강도 T_B의 비율이다. T_A와 T_B의 관계식은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$FS = \frac{T_B}{T_A} \tag{4.2}$$

여기서, T_A 와 T_B 는 다음과 같이 각각 표현 할 수 있다.

$$T_A = C_{aA} + (W\cos\beta)\tan\phi_{iA} \tag{4.3}$$

$$T_B = C_{aB} + (W\cos\beta)\tan\phi_{iB} \tag{4.4}$$

여기서 C_{aA} 와 C_{aB}는 A와 B부재와의 점착력이며, W는 상부토피의 무게, ϕ_{iA}, ϕ_{iB}는 각부재가 접하는 부재간의 접촉마찰각이다. 사면안정외에 시공상에 있어서도 많은 문제점이 있다. 복토재중 입도분포가 큰 자갈이 섞여 있어 상부차량하중이나 기타하중으로 인한 토목섬유의 파괴, 복토의 포설두께가 낮은 관계로 장비의 이동으로 인한 문제점, 오염침출수 및 가스포집관과 지오멤브레인사이의 쓰레기침하 및 지반침하, 온도차이로 인한 접합부분문제를 예로 들을수 있다. 물론 점토 및 복토 등을 다짐할때의 다짐에너지, 다짐방법, 토사의 시방조건등에서도 시방규정과 맞지 않아 문제점이 있을수도 있다. 설계회사와 감독기관이 협조하여 시료채취 및 실험과정이 포함된 품질관리체계를 구축하여 모든과정에서 설계도 및 시방규정과 현장시공이 적절하게 진행되고 있는지를 주기적으로 점검 기록 하여야 한다.

5. 결 론

국내에는 현재까지 쓰레기매립장 설계 및 시공지침이 미비한 관계로 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 국내 기존의 쓰레기매립장은 구체적인 설계 및 시공과정에 따라 건설되지 않은 관계로 대부분의 매립장주변이 악취와 지하수가오염되어 큰 환경적인 문제로 제기되고 있다.

본 논문에서는 쓰레기매립장의 하부체계를 점토차수체계로부터 점토-지오멤브레인차수체계, 이중지오멤브레인차수체계, 토목섬유를 활용한 차수체계까지 자세히 고찰해 보았다. 상부체계도 각 층별로 심도있게 고찰해 보았다. 마지막으로 쓰레기 매립장설계 및 시공시 고려되어야할 사항과 매립장 사면안정과 품질관리에 관하여 논하였다. 쓰레기매립장 주변환경에 영향을 최소화 할 수 있도록 설계, 시공, 품질관리가 철저히 이루어질수 있도록 계속적인 연구개발이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 신은철(1996), "폐석회를 활용한 차수재 및 복토재 개발에 관한 연구", **연구보고서**
2. 여병철(1995), "최근 매립장의 강널말뚝벽에 의한 연직차수벽", **토목기술**, 제 3권 2호 pp 92-96
3. 인천광역시 동구청(1995), "생활쓰레기의 효율적처리 및 원가산정에 관한 연구", **연구보고서**
4. 정하익, 이용수, 심한인, 우재윤(1995), "불량매립지 차폐방안 및 차폐재와 침출수의 반응성에 관한 연구", **한국지반공학회, '96 봄학술발표회 논문집**, pp 191-198
5. 한국건설기술연구원(1995), "쓰레기매립지의 처리 및 토지이용개발기술", **연구보고서**
6. Brown, K.W. and Anderson, D.C.(1983), "Effects of Organic Solvents on the Permeability of Clay Soils", *EPA-600/S2-83-016*
7. Daniel, D.E.(1987). "Earthen Liners for Land Disposal Facilities", *Geotechnical Practice Waste Disposal '87, Geotechnical Special Publication No. 13*, pp 21-39
8. Daniel, D.E.(1984), "Predicting the Hydraulic Conductivity of Compacted Clay Liners", *J. of Geotechnical Engineering*, ASCE, 110(2), pp 285-300
9. Das, B.M.(1993), *Principles of Geotechnical Engineering*, 3rd Edition
10. Fang, H.Y.(1986), "Introductory Remarks on Environmental Geotechnology", *Inter. Symposium on Environmental Geotechnology*, Vol. 1, pp 1-14
11. Gordon, M.E., Huebner, P.M. and Kmet, P.(1984), *An Evaluation of the Performance of Four Caly-Lined Landfills in Wisconsin*, Department of Natural Resources, Wisconsin
12. Green, W.J., Lee, G.F., and Jones, R.A.(1981), "Clay-Soil Permeability and Hazardous Waste Storage", *J. of Water Pollution Conrol*, Vol. 53, pp. 1347-1354
13. Haxo, H.E., White, R.M., Haxo, P.D. and Fong, M.A.(1982), *Liner Materials Exposed to Municipal Solid Waste Leachate*, Matron, Inc., Prepared for Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, OH
14. Haxo, H.E.(1976), "Evalation of Selected Liners When Exposed to Hazardous Wastes", *Proc. of the Hazardous Waste Research Symposium., EPA-600/9-76-015*, pp 102-111
15. Koerner, R.M(1990). "Preservation of the Environmental via Geosynthetic Containment Systems", *4th International Conference on Geotexitles, Geomembranes, and Related Products*. Hague, Netherlands
16. Oweis, I.S. and Rhera, R.(1986), "Criteria for Geotechnical Construction of Sanitary Landfills", *Inter. Symposium on Environmental Geotechnology*, Vol. 1, pp 1-14
17. Sowers, G.F.(1973), "Settlement of Waste Disposal Fills", *Proc, 11th ICSMFE*, Moscow, pp 207-210