



토목섬유 (VIII)

이광열

VIII. 토목섬유 차수재의 설계 및 안정성

1. 개요

토목섬유를 이용한 차수공법이 사용되는 분야는 댐, 터널, 굴착공사, 저수조, 하천, 환경오염방지시설 등으로 토목공사 전반에 걸쳐서 사용되고 있다. 토목섬유를 이용한 차수공법이 공비의 절감과 간편한 시공성 등에서 우수성이 인정되면서 설계 및 시공에 대한 연구와 기술개발이 적극적으로 수행되어 현재는 차수공을 필요로 하는 전분야에까지 확산되었다. 그러나 아직까지 우리 나라에서는 토목섬유를 이용한 차수공법의 설계와 시공 그리고 품질관리 기준을 마련하지 못하고 여러 분야에서 광범위하게 사용되어 오고 있다.

차수재로 사용되는 토목섬유는 지오멤브레인, 지오멤브레인 복합재, 토목섬유-점토차수재 등으로 분류할 수 있는데, 본 강좌에서는 현재 광범위하게 사용되고 있는 지오멤브레인을 이용한 차수구조로서 폐기물매립지의 차수공법에 대한 설계와 시공 및 품질관리에 국한하여 설명하고자 한다.

2. 차수재

2.1 차수재의 종류

지오멤브레인은 사용재료와 제조공정에 따라서 다

양한 제품이 생산되기 때문에, 실제 현장에 적용시에는 적용대상 구조물의 용도와 현장특성 등에 적합한 지오멤브레인을 선정하여 사용하여야 한다. 현재 일반적으로 많이 사용하고 있는 지오멤브레인의 종류는 표 2.1과 같고 대표적으로 사용되는 지오멤브레인에 대한 종류별 장단점은 표 2.2와 같다.

2.2 지오멤브레인의 재질기준

지오멤브레인을 차수공으로 사용하는데 있어서 차수재의 재질에 대한 기준은 시설의 수명과 안전성의 확보 뿐만 아니라 제품의 생산과 직접적으로 관계가 있다. 지오멤브레인은 사용목적에 따른 품질관리에 의해 제조되어야 한다. 따라서 지오멤브레인의 품

표 2.1 지오멤브레인의 종류

구 분	지오멤브레인의 종류
열가소성 지오멤브레인	<ul style="list-style-type: none"> • PVC(polyvinyl chloride, 흑색 또는 유색) • HD에, VLDPE, LDPE, LLDPE, MDPE (high density polyethylene, 흑색또는 유색) • CPE(chlorinated polyethylene, 흑색) • Elasticized polyolefine(3110) • EIA(ethylene interpolymer alloy) • PA(polyamide, 백색) • ECB(ethylene copolymer bitumen, 흑색, 유색)
열경화성 지오멤브레인	<ul style="list-style-type: none"> • IIR(isoprene-isobutylene, Butyl, 흑색) • Epichlorohydrin Rubber • EPDM(ethylene propylene diene mixture, 흑색) • CR(polychloroprene terpolymer) • EPT(ethylene propylene terpolymer) • EVA(ethylene vinyl acetate, 흑색 또는 백색)
혼합성 지오멤브레인	<ul style="list-style-type: none"> • PVC-nitrile rubber PE-EPDM • PVC-ethyl vinyl acetate Cross-linked CPE • CSPE(chlorosulphonated polyethylene Hypalon) • CSMR(reinforced chlorosulphonated polyethylene)

* 정희원, 동서대학교 공과대학 토목공학과 교수

표 2.2 지오멤브레인의 종류별 장단점

차수구조	구조 특성	대표적 제품	특징
합성차수막 (Geo-Membrane)	합성수지와 합성고무류, 합성섬유가 있으며 다양한 두께로 제조.	HDPE, EPDM, PVC, CPE, CSPE, EIA	투수성은 $10^{-11} \sim 10^{-14}$ cm/sec 일, 들출부 파괴에 약함.
합성수지 점토 차수막(GCL)	합성차수막, 점토성광물, 특수분말 등과 조합으로 구성하여 합성차수막의 단점을 보완한 것으로 합성섬유 또는 합성수지와 점토광물과의 결합체.	Bento-Mat, Claymax, Geobent, Paraseal, Gundseal 등	작은 규모의 파손시에 자체 교정능력이 있으며 시공성이 우수하다.
토목섬유 합성차수막 (Geo-Composit)	차수, 배수기능을 합성차수막과 토목섬유로 조합하여 이루는 차수시스템.	지오멤브레인, 토목섬유(geocynthetics), 지오네트(geonet), 지오텍스타일(geotextiles)	시공이 간편하다.

질에 대한 기준은 포장, 운반, 취급, 차수공예의 시공 등을 고려한 재질기준이 필요하다. 지오멤브레인의 재질기준은 기관별, 국가별로 약간의 차이가 있는데 우리나라의 차수재 재질기준은 다음의 표 2.3 및

표 2.3 우리나라 폴리에틸렌류 합성차수재의 재질기준(한국지반공학회)

성질	항목	단위	재질기준					비고	
물성기준	공칭 두께	mm	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0		
	최소 두께	mm	0.95	1.43	1.90	2.38	2.90	ASTM D1593	
	용융 지수	g/10min	1.0미만	1.0미만	1.0미만	1.0미만	1.0미만		
	최소 밀도	g/cm ³	0.940	0.940	0.940	0.940	0.940	STM D792	
	최대카본블랙 함량	%	2.5이하	2.5이하	2.5이하	2.5이하	2.5이하	ASTM D1603	
	카본블랙 분산도 ¹⁾	등급	시험편 10개 모두 3등급(175 μ m)이상이고, 8개 이상이 1,2등급(75 μ m)이상일 것.						
강도기준	인장 성능	항복인장강도	kg/cm	150이상	230이상	300이상	380이상	450이상	ASTM D638
		파단인장강도	kg/cm	270이상	410이상	540이상	680이상	810이상	ASTM D882
		항복인장변형률	%	12이상	12이상	12이상	12이상	12이상	ASTM D3083
		파단인장변형률	%	7000이상					ASTM D3083
	최소탄성계수	kg/cm ²	7,000					ASTM D638	
	최소인열 강도	kg	130이상	200이상	260이상	32.5이상	390이상	ASTM D1004	
	꺾힘 강도	kg	320이상	480이상	640이상	800이상	960이상	ASTM D4833	
내구성기준	저온 취약성	°C	-40에서 파괴되지 않음					ASTM D1149	
	최대 치수안정성	%	각방향 ± 2 이하						
	오존저항성	균열	무					ASTM D1149	
	최대 흡수율	%	0.1					ASTM D471	
	산화유도시간(OIT)	표준조건	min	1000이상					표준 · 가압조건
		가압조건	min	4000이상					중 택일
	열노화 OIT유지율	표준조건	%	55이상					표준 · 가압조건
		가압조건	%	80이상					중 택일
자외선 처리 OIT 유지율	가압조건	%	600이상						

주1) 시험편 10개중 최소 8개 이상이 등급 1,2에 해당되어야 하며 나머지는 등급 3까지 허용한다.

표 2.4 고밀도폴리에틸렌 라이너의 재질기준(1999: 환경부령 제82조)

시험항목	단 위	재질기준	비고	
용융지수	g/10min	1.0미만	KS M 3070	
밀 도	g/cm ³	0.940이상	KS M 3016	
카본블랙함량	%	2.0~3.0	KS M 3031	
카본블랙분산도	급	10개 모두 1, 2 또는 3급에 해당되고 그 중 8개 이상이 1 또는 2급에 해당되어야 함		
인장성능	항복인장강도	kgf/cm ²	150이상	KS M 3006
	파단인장강도	kgf/cm ²	270이상	KS M 3006
	항복인장변형률	%	12이상	KS M 3006
	파단인장변형률	%	700이상	KS M 3006
인열강도	kgf/cm	130이상	KS M 3001	
웨틀림강도	kgf/cm	320이상		
저온취약성	-	-40℃에서 파괴되지 않음	KS M 3059	
치수안정성	%	각방향 ±2이하	KS M 6518	
내환경응력균열성	hr	1,500이상	KS M 3012	
산화유도시간 (OIT)	표준조건	min	100이상	표준·가압조건 중 택일
	가압조건	min	400이상	
열노화후 OIT유지율	표준조건	%	55이상	표준·가압조건 중 택일
	가압조건	%	80이상	
자외선처리후 OIT유지율	가압조건	%	60이상	
접합부강도	전단강도	kgf/cm ²	135이상	항복인장강도의 90%이상
	박리강도	kgf/cm ²	97이상	항복인장강도의 65%이상

비고:
 - 이 기준은 매끄러운 고밀도폴리에틸렌라이너에 적용한다. 시험은 고밀도폴리에틸렌차수막 단체표준(KSP M 6000)의 시험방법에 의한다.
 - 내환경응력균열성은 내하중응력균열성 시험으로 대신할 수 있으며, 이 때 기준은 시험편 5개 중 4개 이상이 200시간 이내에 파단되지 않아야 한다.

2.4와 같다.

2.3 토목섬유-점토 차수재(GCL)

ASTM D4439에 따르면 토목섬유-점토 차수재에 대한 정의는 벤토나이트, 점토 또는 불투수성의 재료들과 지오텍스타일, 지옴브레인 등을 뜨개질, 바느질 그리고 접착 등의 방법을 이용하여 조합해서 만든 제품이다. 토목섬유-점토 차수재는 제조회사에 따라 제조방법이 다르나 기존 차수재의 효율을 높이기

위한 목적은 동일하다. 토목섬유-점토 차수재의 종류는 제조회사에 따라 다양한 제품이 생산되고 있으므로 일정한 기준을 제시하기에는 곤란하다. 따라서 현재 사용되고 있는 토목섬유-점토 차수재를 구성요소 및 제조방법을 기준으로 형식을 구분하면 표 2.5와 같이 네 가지의 형식으로 구분된다.

토목섬유-점토 차수재의 물리적 특성은 양면의 지오텍스타일 사이에 채워진 벤토나이트의 특성과 표면섬유의 재질특성에 따라 큰 차이를 보이고 있다.

표 2.5 토목섬유-점토 차수재의 종류

형식	접착 형식	뜨개질 형식	바느질 형식	멤브레인 형식
표면재료	지오텍스타일	지오텍스타일	지오텍스타일	지오�멤브레인
섬유연결방식	접착제 접착	뜨개질 이용	바느질 이용	가루를 직접부착
차수재료	과립형/가루형	과립형/가루형	과립형/가루형	가루형

표 2.6 토목섬유-점토 차수재의 물리적특성

재료	항목	단 위	적용범위	시험방법
벤토나이트	몬모릴로나이트 함유량	%	70 이상	API ⁽¹⁾ 메틸렌블루 테스트
	단위면적당 중량	kg/m ²	4.5 이상	ASTM D3776
	함수비	%	15 이하	ASTM D4643
	팽윤도	ml	25 이상	ASTM D35.4
	흡수율	%	500 이상	ASTM E946
표면재 (지오텍스타일)	단위면적당 중량	kg/m ²	사용재료에 따른 사양	ASTM D3776
	두께	mm	사용재료에 따른 사양	ASTM D1777
	인장강도	kg/m	사용재료에 따른 사양	ASTM D4632
	찢김강도	kg/m	사용재료에 따른 사양	ASTM D4533
	깨끗림강도	kg/m	사용재료에 따른 사양	ASTM D3787
	신율	%	10 ~ 90	
원제품 (GCL)	단위면적당 중량	kg/m ²	5.0 이상	ASTM D3776
	두께	mm	제품규격(법적기준)	ASTM D1777
	찢김강도	kg/m	17.8 이상	ASTM D413
	함수비	%	15 이하	ASTM D4643
	투수계수	cm/sec	$5 \cdot 10^{-9} \sim 3 \cdot 10^{-10}$	ASTM D5084

주(1) 벤토나이트의 함량을 시험하는 방법

따라서 일정한 범위를 제시하기는 어려우므로 현재 사용되는 제품들을 중심으로 개략적인 범위를 제시하고자 한다. 따라서 설계 및 시공 시에는 반드시 해당 재료에 대하여 시험결과를 사용하여야 한다. 각 특성에 대한 범위는 다음의 표 2.6에 요약하였다.

3. 차수재의 설계

3.1 설계하중 결정시 고려해야할 사항

토목섬유를 이용한 차수공의 설계는 외적인 물리적 하중뿐만 아니라 생물학적 그리고 화학적 내구성을 반영해야 하는 점에서 일반토목구조물의 설계와 다르

다. 토목섬유를 이용한 차수시스템을 설계하는데 있어서 기본이 되는 것은 차수재에 작용하는 구조적 힘의 체계와 한계를 설정하고 차수재의 강도가 차수재에 작용하는 하중에 의한 작용력에 충분히 지탱할 수 있으며 지하수 및 주변환경에 대한 내구성 확보에 적합한 차수재의 종류나 규격을 결정하여야 한다는 점이다. 설계시 고려해야할 사항들은 다음과 같다.

- 저장조인 경우에 파랑(waves)
- 저장물질의 흐름에 의한 힘
- 수로의 차수재인 경우 동수경사
- 하부지반으로부터의 가스압력

- 상재하중에 의한 지표면 돌출부에서의 안전성
- 지반의 부등침하에 대한 안전성
- 보호층에 의한 차수재의 안전성
- 유기물질에 의한 부식 또는 강도저하
- 식물뿌리의 침투 등에 의한 영향
- 조류(algae)의 발생에 의한 영향
- 동물의 침입에 의한 영향
- 차수재로부터 발생 가능한 유독성(toxicity)
- 풍향 및 풍속
- 태양광선
- 온도
- 투수성
- 응력의 감소(강도의 감소)

3.2 차수구조의 설계

1) 설계 일반적 흐름도

차수공의 설계는 대상 구조물에 적합한 차수재의 재질과 규격을 결정하고 그에 대한 안정성과 제반 시방규정을 검토하여야 하며 일반적인 흐름도는 다음과 같다.

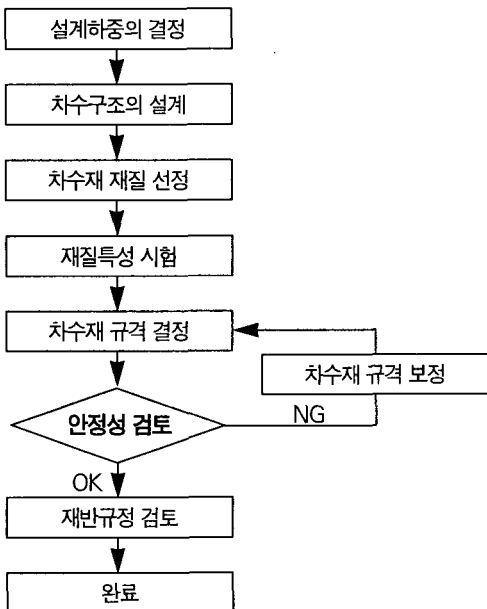


그림 3.1 차수재 설계의 일반적인 흐름도

2) 수평(바닥)부 차수재

차수재는 외력하중 또는 압력에 의해 인장력이 작용하므로 차수재의 두께는 이러한 외력에 충분히 견딜수 있도록 설계하여야 한다. 이러한 인장력을 발생시키는 요인으로는 부등침하, 사면에서의 집중하중 등이 있으며 다음의 경우에 특히 발생하기 쉽다.

- 표층에서의 부등침하
- 차수재 하부의 뒷채움토의 침하
- 국지적으로 분포한 연약토층 지역
- 기타 차수재에 인장을 발생시키는 조건들

위와 같은 제반조건들을 고려하여 설계하여야 하며 수평부 차수재를 설계하는 흐름도를 그림 3.2에 나타내었다. 차수재의 두께를 결정하기 위한 모델은 그림 3.3과 같다. 차수재의 최소두께는 차수재 재질 기준을 참고하여 결정하여야 하며, 차수재에 작용하는 하중과 설계조건에 따라 소요강도를 만족하는 차

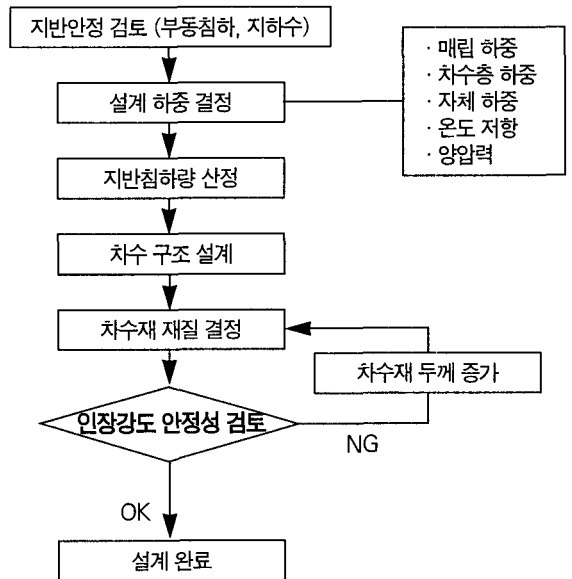


그림 3.2 수평부 차수재의 설계 흐름도

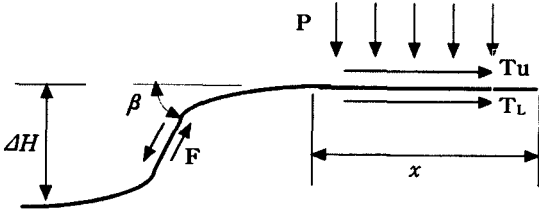


그림 3.3 차수재 두께결정 모델

수재의 두께를 결정하여야 한다.

$$F \cdot \cos\beta = T_U + T_L$$

$$(\sigma_{all} \cdot t) \cos\beta = p \cdot (\tan\delta_U + \tan\delta_L) \cdot x$$

$$t = \frac{p}{\cos\beta} \cdot \frac{x}{\sigma_{all}} (\tan\delta_U + \tan\delta_L)$$

β = 부등침하에 의한 경사각

t = 차수재의 두께

σ_{all} = 차수재의 허용인장응력

p = 저장물에 의한 압력

δ = 접촉재간의 접촉마찰각

x = 차수재의 변형량(재료시험에 의해 결정함)

T_U = 차수재 상부면에서의 전단력

T_L = 차수재 하부면에서의 전단력

3) 사면부 차수재

사면의 차수시스템은 바다의 차수층과 동일한 기능을 수행하지만 시공 및 안정성 유지에 많은 어려움이 있으며 상부의 하중을 충분히 고려하여 설계하여야 한다. 사면부 차수재 설계의 흐름도는 그림 3.4와 같다.

사면에 차수시스템을 설치함으로써 야기되는 문제점은 상부에 작용하는 하중이 사면에 연직으로 작용하여 차수시스템에 인장력을 발생시키고 이로 인해서 사면의 법면을 따라 법면과 층분리 또는 슬라이딩(sliding)이 발생하여 결국 기능이 정지된다. 차수재의 인장과괴에 대한 안정설계를 위한 모델은 그림 3.5와 같다.

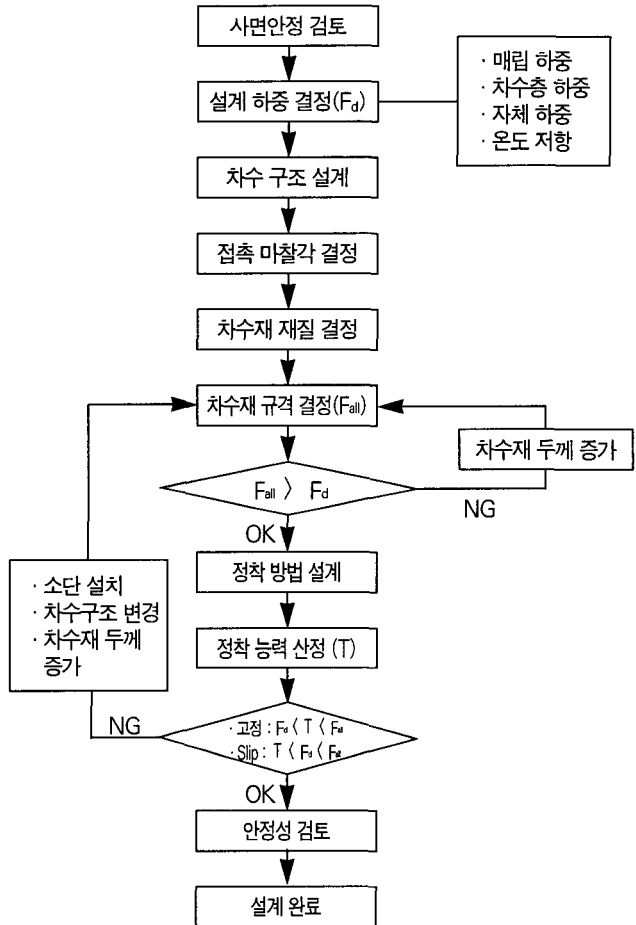


그림 3.4 사면부 차수재 설계흐름도

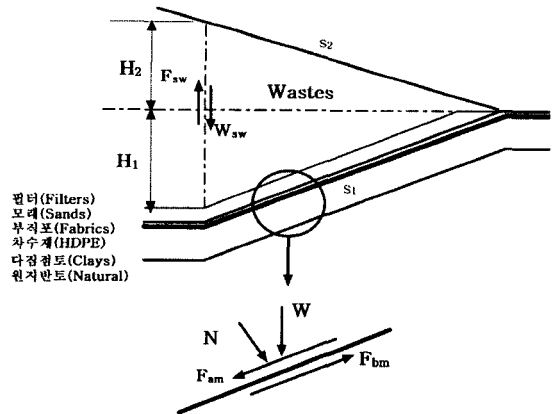


그림 3.5 투록섬유를 이용한 사면 차수구조 설계모델

- H_1 = 제방높이(L)
- γ_{sw} = 매립 폐기물의 단위중량(M/L³)
- H_2 = 제방높이 이상의 매립고(L)
- ϕ_{sw} = 매립폐기물의 내부마찰각
- s_1 = 제방의~사면경사도
- K_0 = 정지 토압계수
- s_2 = 매립체의 사면경사도
- W_{sw} = 매립폐기물 연직하중 + 상부의 차수시스
템 자중
- F_{sw} = 제체의 선단에서 연직면에 작용하는 마찰저
항력

그림 3.5에서 전단활동력(F_{am})과 전단저항력(F_{bm} : 마찰저항력)은 인접한 재료간의 접촉마찰각(interface friction angle)과 주응력에 의한 관계식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{am} = N \tan(\delta_{am})$$

$$F_{bm} = N \tan(\delta_{bm})$$

여기서 δ_{am} = 상부층 접촉부재간의 마찰각
 δ_{bm} = 하부층 접촉부재간의 마찰각

차수재에 작용하는 인장력(F_{act})과 차수재의 인장강도(F_y)를 고려하여 차수재의 인장파괴에 대한 안전율은 각각 다음과 같이 계산할 수 있으며 최소안전율은 2.0 이상이어야 한다.

$$F_{act} = F_{am} - F_{bm}$$

$$FS = \frac{F_y}{F_{act}}$$

설계를 위한 차수재의 규격 및 크기는 소요 인장강도에 의해서 결정되는데 차수재의 두께를 t라 하고 단위폭당 소요인장응력을 구하면 $\sigma = \frac{F_y}{t}$, 따라서 이 설계 대상 차수재의 소요두께는 $t = \frac{F_y}{\sigma}$ 에 의해서 결정할 수 있다. 이 식은 차수시스템을 구성하는

모든 토목섬유의 설계에 적용되며 부재간의 접촉마찰각은 반드시 시험(ASTM D5321)을 통해서 얻은 값을 적용해야 한다.

차수재의 인장력($F_{act} = F_{am} - F_{bm}$) ≤ 0 이면 인장력이 발생하지 않는데 이러한 경우에는 상부부재와 그 부재의 상부부재와의 마찰력을 적용해야 한다. 접촉마찰각은 습도, 함수비, 표면상태 등의 조건에 따

표 3.1 흙-토목섬유간의 접촉마찰각의 범위 (Sharma, Lewis:1994)

토목섬유	모래	점토
직포	23~42	16~26
부직포	25~44	15~28
열접착 부직포	22~40	17~33

표 3.2 흙-지오멤브레인간의 접촉마찰각의 범위 (Sharma, Lewis:1994)

지오멤브레인	모래		점토	
	기존문헌	추천값	기존문헌	추천값
PVC	21~33	20~30	6~39	6~15
HDPE	17~28	17~25	5~29	5~10
Textured HDPE	30~45	30~40	7~35	9~15
VLDPE	21~28	-	-	-

VLDPE는 신제품인 관계로 자료가 부족함.

표 3.3 토목섬유-지오멤브레인간의 접촉마찰각의 범위 (Sharma, Lewis:1994)

토목섬유	PVC	HDPE		지오네트
		고른 면	거친 면	
직포(woven textile)	10~28	7~11	9~17	9~18
부직포(nonwoven, needle punched)	16~26	8~12	15~33	10~27
열접착 부직포(nonwoven resin or heat bounded)	18~21	9~11	15~16	17~21
지오네트	11~24	5~19	7~25	

라서 많은 차이를 나타낸다. 참고자료로 현재까지 보고된 자료들을 조사한 결과 접촉마찰각의 범위를 다음의 표.3.1~3.3에 제시하였다.

4) 차수재의 정착 설계

사면에서의 차수막은 사면 상부표면의 일정거리 이격해서 정착시켜야하며 저장물 또는 매립물 등의 외적 하중을 설계하중으로 채택하는 방법과 부재의 항복인장강도를 설계하중으로 채택하는 방법이 있다. 또한 정착방법은 수평정착과 트렌치정착이 있으며 이 두가지 방법에 대하여 설명하고자 한다.

● 수평정착의 안정성 검토

사면의 상단부에서는 차수재의 단부를 정착시켜야 한다. 사면부 차수재의 단부정착 방법 중에서 트렌치 없이 제체의 상단부에서 피복층만을 하중으로 이용하여 차수재를 정착시키는 방법을 단부 평면정착이라 하며 이에 대한 안정성 해석은 모델을 이용하여 정착길이를 산정한다. 덮개토사(cover soils)에 의한

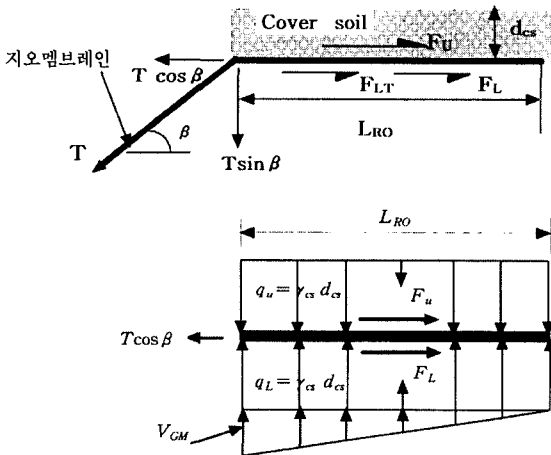


그림 3.6 단부 평면정착길이 산정 모델

단부정착 구조의 일반도 및 응력분포도는 그림 10.5와 같다. 모델로부터 단부정착길이(L_{RO})를 선정하여 경제적이고 안전한 값을 택하여 적용한다.

그림 3.6에서 차수재 상부면의 마찰력을 무시하면, 정착길이 L_{RO}는 다음 식에 의해서 결정된다.

$$\Sigma F_H = 0$$

$$T_{all} \cdot \cos\beta = F_U + F_L + F_{LT}$$

$$L_{RO} = \frac{T_{all} (\cos(\beta) - \sin\beta \tan\delta_L)}{d_{cs} \gamma_{cs} (\tan(\delta_L) + \tan(\delta_U))}$$

T_{all} = 토목섬유의 허용인장력(σ_{all} c · t)

σ_L = 토목섬유와 하부지반 사이의 접촉마찰각

γ_{cs} = 토목섬유 상부 흙의 단위중량

d_{cs} = 토목섬유 상부 흙의 두께, β = 사면 경사각

V_{GM} = 지오멤브레인에 의한 연직응력 (= $\frac{2T\sin\beta}{L_{RO}}$)

F_u = 차수재 상부면에서의 마찰력

F_L = 차수재 하부면에서의 마찰력

F_{LT} = 차수재 인장력의 연직방향성분에 의한 마찰력

● 트렌치정착의 안정성 검토

제체의 상단부에서 피복층의 하중과 트렌치의 깊이(d_{AT})만큼 차수재를 삽입하여 저항력을 증가시키는 방법을 트렌치정착이라 한다. 이에 대한 안정성 해석은 설계하중에 따른 정착길이를 트렌치근입깊이를 산정하는 것이며 트렌치정착 설계의 모델은 그림 3.7과 같다. 정착트렌치(anchor trench)는 차수재를 삽입하여 트렌치 내부를 토사나 콘크리트로 채우고 차수재를 앵커로 고정하는 방법(fix)과 인장력에 의해 끌려나오도록 하는 방법(slip)을 사용할 수도 있다. 설계방법은 정착부 독립적인 설계방법과 사면차수재 설계와 병행하는 방법의 두가지가 있는데 상세한 것은 설계 예에서 다루었다. 설계로부터 현장의 여건과 경제성을 고려하여 적절한 값의 차수재 연장길이(L_{RO})와 단부정착 근입깊이(d_{AT})를 선정하여야 한다.

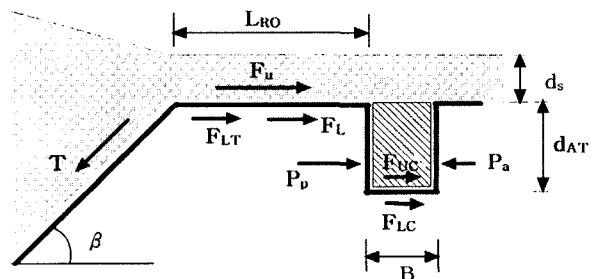


그림 3.7 트렌치정착 모델

$$\Sigma FH = 0$$

$$T_{all} \cdot \cos\beta = T_{all} \cdot \cos\beta = F_U + F_L + F_{LT} - P_a + P_p + F_{LC} + F_{UC}$$

T = 차수재의 허용응력 또는 사면부재의 인장력

F_U = 상부의 흙에 의한 부재 상부에서의 마찰력

$$= \gamma_s \cdot d_s \cdot \tan\delta_u \cdot L_{RO}$$

여기서, γ_s : 흙의 단위중량

δ_u : 차수재와 상부흙과의 마찰각

F_L = 상부의 흙에 의한 부재 하부에서의 마찰력

$$= \gamma_s \cdot d_s \cdot \tan\delta_L \cdot L_{RO}$$

여기서, δ_L : 차수재와 하부흙과의 마찰각

F_{LT} = 차수재 인장력의 수직방향 성분에 의해 발생하는 마찰력

$$= T \cdot \sin\beta \cdot \tan\delta_L$$

여기서, T: 차수재의 허용응력 또는 사면부재의 인장력

P_p = 트렌치의 좌측벽면에서 차수재에 작용하는 수동토압

$$= 0.5(\gamma_{AT} \cdot d_{AT})K_p \cdot d_{AT} + (\gamma_s \cdot d_s)K_p \cdot d_{AT}$$

여기서, γ_{AT} : 사면부지반의 단위중량, K_p: 수동토압계수

P_a = 트렌치의 우측벽면에서 차수재에 작용하는 주동토압

$$= 0.5(\gamma_{AT} \cdot d_{AT})K_a \cdot d_{AT} + (\gamma_s \cdot d_s)K_a \cdot d_{AT}$$

여기서, K_a: 주동토압계수

F_{LC} = 트렌치 채움재 및 복토재의 무게에 의한 차수재 상부에서의 마찰력

$$= W \cdot \tan\delta_{UC} \cdot B$$

F_{LC} = 트렌치 채움재 및 복토재의 무게에 의한 차수재 하부에서의 마찰력

$$= W \cdot \tan\delta_{UC} \cdot B$$

LRO = 사면부 상단에서 트렌치까지의 거리

d_{AT} = 트렌치 깊이

● 트렌치정착 방법

차수재의 단부는 제방의 상부에서 정착시키는데 정착방법으로는 보통 제방의 상부에서 수평으로 연장하여 그 위에 압성토를 하는 방법과 제체 상부에 트렌치를 파고 차수재를 연장하여 삽입한 후 트렌치를 흙이나 콘크리트로 메워 정착시키는 방법이 있다. 차수재가 충분한 인장강도를 갖는 경우는 트렌치에 충분한 하중을 갖는 콘크리트체를 형성하고 콘크리트에 볼트 등을 이용하여 차수재를 정착시키는 앵커(anchor) 공법을 사용하기도 한다. 그림 3.8과 그림 3.9에서는 폐기물매립지에서 사용하는 제방 사면에서의 단일차수시스템과 이중차수시스템의 여러 가지 형식의 트렌치정착방법을 도시하였다.

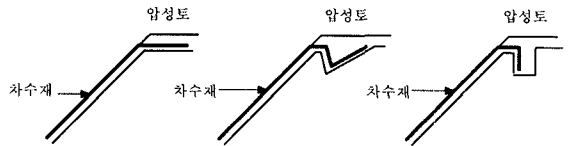


그림 3.8 단일 차수시스템의 단부정착 방법

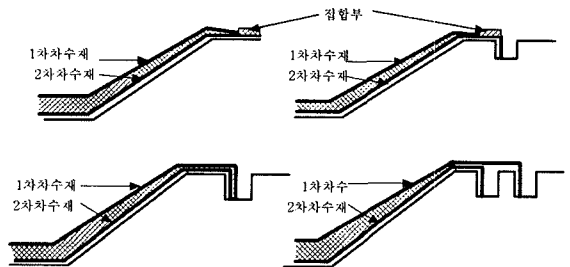


그림 3.9 이중 차수시스템의 단부정착 방법

3.3 폐기물 매립지의 차수구조

폐기물 매립지에서 차수시설의 기능은 침출수의 누출방지와 집수 및 배수 그리고 주변으로 부터의 지하수 또는 침투수의 유입방지 등이다. 이러한 기능의 차수시스템은 매립지의 바닥과 제체사면에 설치하여 매립폐기물을 주변으로부터 격리시키는 역할을 한다. 차수재는 이 두가지의 기본 재료를 사용하여 차수성, 내구성, 시공성, 경제성 등에서 최적의 조건을

갖추어야 하며 이를 고려하여 차수재를 선정한다. 폐기물 매립지의 바다 차수시스템으로서 갖추어야 할 기본적인 사항은 차수성이 우수하고 전단강도가 차중을 포함한 매립하중에 충분히 견딜 수 있는 이상이어야 하며 침출수의 화학적성분에 대한 화학적 내구성이 우수해야 한다.

1) 폐기물매립지 차수구조

차수시설을 구성하는 핵심시설은 보호층, 배수층, 차수층이다. 이 세가지의 핵심시설들의 기능을 원활하게 하고 최상의 효율을 발현하도록 층간 경계면에 부직포 또는 필터재를 이용한다. 차수시설의 종류는 앞 절에서 언급한 바와 같이 형식이나 재료에 따라서 다양하다. 차수재의 설치목적은 폐기물중의 유해성분의 누출을 차단하는 것이므로 차수시스템의 설계는 대상 매립지의 폐기물의 종류와 성분에 따라서 적합한 시설이 되도록 설계하여야 한다.

폐기물매립장의 차수시스템은 사용재료의 개발과 시스템의 개발로 인하여 아주 다양한 형식의 차수시스템들을 사용하고 있기 때문에 일정한 규격을 제시할 수는 없으며 차수효과에 대한 기준을 가지고 폐기물의 유해성에 따른 일반적 기준을 제시할 수 있다. 현재 폐기물매립장의 차수시스템으로 사용되고 있는 지오멤브레인을 위주로 한 일반적인 형식을 보

면 다음의 표 3.4와 같다.

2) 우리나라 폐기물매립장 차수구조의 최소기준

일반폐기물매립장 차수구조의 최소기준일반폐기물이라 함은 일반적으로 무해성의 폐기물을 말하는데 우리나라의 분류체계에 의하면 생활쓰레기와 산업폐기물중 무해성 폐기물을 포함한다. 일반폐기물매립장의 차수시스템은 차수재를 HDPE로 사용하는 경우 최소두께 2.0mm이상의 HDPE와 인접하부층에 투수계수가 10^{-7} cm/sec 미만인 다짐점토 50cm 이상 또는 그와 동등한 효율을 가진 재료의 규격을 사용하며, 투수계수가 10^{-7} cm/sec 미만의 다짐점토만을 사용하는 경우 최소두께를 100cm 이상 사용하거나 그와 동등한 효과를 갖는 타 재질의 구조를 사용함을 원칙(폐기물관리법 시행령규칙 20조관련 별표7)으로 한다. 차수구조의 설계는 폐기물의 매립고, 제체의 높이, 사면의 경사, 지반 지지력 및 침하 특성, 기후 및 제반 환경여건 그리고 차수재(토목섬유)간의 마찰특성 등을 고려하여 차수재의 규격을 결정하여야 한다. 폐기물층, 배수층, 차수층(차수막), 원지반 등을 구성하는 각층의 사이에는 부직포 등을 이용하여 차수재의 손상방지와 층별 간섭 및 입자들의 유실방지 등의 위해작용을 방지하여야 한다. 그러나 차수재 하부지반은 반드시 불투수성 지반이

표 3.4 현재 사용되는 토목섬유 차수시스템

구분	차수시스템	1차 집배수	1차 차수	2차 집배수	2차 차수
a	단일 CCL	sand/pipe	CCL	없음	없음
b	단일 GM	sand/pipe	GM	없음	없음
c	이중 GM	sand/pipe	GM	sand/pipe	GM
d	단일 GM, composit	sand/pipe	GM	sand/pipe	GM/CCL
e	단일 GM, composit	sand/pipe	GM	GN	GM/CCL
f	이중 composit	sand/pipe	GM/CCL	GT/GN	GM/CCL
g	이중 composit	sand/pipe	GM/GCL	GT/GN	GM/CCL
h	이중 composit	GT/GC	GM/GCL	GT/GN	GM/CCL

GM=지오멤브레인, GN=지오네트, GT=지오텍스타일, GC=지오폼포지트,
CCL=다짐점토(compactd clay liner), GCL=토목섬유 점토 차수(geosynthetic clay liner)

나 동등한 성능을 가진 층을 두어야 한다. 차수시스템의 배수층은 충분한 배수능력(모래 배수층과 동등 이상의 배수능력)을 가진 토목섬유로 사용할 수도 있다. 사면에서의 차수시스템은 시공성을 고려하여 바닥차수시스템과 동등한 성능을 가진 다른 구조의 차수시스템으로 설계할 수 있다. 우리나라에서 적용되는 일반폐기물매립장의 차수시스템의 표준단면은 다음의 그림 3.10와 같다.

● 지정폐기물매립장 차수구조의 최소기준

우리나라의 환경법(폐기물관리법 시행령규칙 20 조관련 별표7)에서는 지정폐기물 매립장의 차수시스템은 HDPE를 차수재로 사용하는 경우 최소두께 2.5mm 이상의 HDPE와 그 하부층에 100cm 이상의 다짐점토층을 사용하며, 다짐점토만을 사용하는 경우 최소두께를 150cm 이상으로 하거나 그와 동등한 효과를 갖는 재질 및 규격이어야 하는 것으로 규정하고 있다. 다짐점토의 투수계수는 10^{-7} cm/sec 미만으로 한다. 차수재의 두께 등 규격은 폐기물의 매립고, 제체의 높이, 사면의 경사, 지반 지지력 및 침하특성, 기후 및 재배환경여건 등을 고려하여 결정하여야 한다. 폐기물층, 배수층, 차수층(차수막), 원지반 등을 구성하는 각층의 사이에는 부직포 등을 이용하여 차수재의 손상방지과 층별 간섭 및 입자들의 유실방지 등의 위해 작용을 방지하여야 한다. 그러나 차수재 하부지반은 반드시 불투수성지반이나 동등한 성능을 가진 층을 두어야 한다. 차수시스템의 배수층은 충분한 배수능력(모래 배수층과 동등 이상의 배수능력)을 가진 토목섬유로서 사용할 수도

있다. 사면에서의 차수시스템은 시공성을 고려하여 바닥차수시스템과 동등한 성능을 가진 다른 구조의 차수시스템으로 설계할 수 있다. 우리나라에서 적용되는 일반폐기물매립장의 차수시스템의 표준단면은 다음의 그림 3.11와 같다.

3.4 토목섬유-점토 차수재(GCL)의 설계

토목섬유-점토 차수재를 이용하여 차수층을 설계하는 방법으로는 토목섬유-점토 차수재자체를 이용하는 단일차수구조와 지오멤브레인 또는 지오폴프로 지트와 같은 타재료와 복합적으로 사용하는 복합차수구조로 구분할 수 있다. 토목섬유-점토 차수재는 나트륨(sodium)벤토나이트를 주로 사용하기 때문에 인접재료 또는 지반에 칼슘(calcium)이나 마그네슘(magnesium)이 많이 함유된 곳은 피하는 것이 좋다. 만약 칼슘과 마그네슘을 배재할 수 없는 곳에서는 토목섬유-점토 차수재를 포설전에 미리 물로 수화시킨 후에 설치하여야 한다.

지오멤브레인과 토목섬유-점토 차수재 조합의 차수구조를 설계하는 경우는 반드시 지오멤브레인 하부에 토목섬유-점토 차수재를 설치토록 하여야 하며, 토목섬유-점토 차수재와 지오멤브레인이 접촉하는 부분에서는 토목섬유-점토 차수재의 표면으로부터 벤토나이트가 새어나올 수 있는 표면이 위치하도록 설치하여야 한다. 한쪽 표면이 거친 지오멤브레인을 이용하는 경우는 그 부분과 토목섬유-점토 차수재가 밀착되도록 설치하여야 한다. 이렇게 토목섬유-점토 차수재의 벤토나이트가 새어나올 수 있는 부분을 위로 하여 지오멤브레인과 밀착되도록 하는

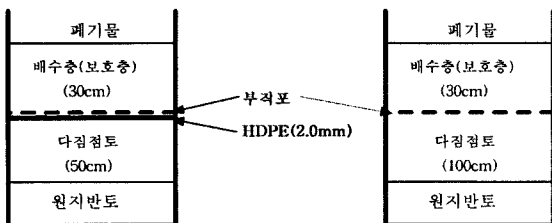


그림 3.10 일반폐기물매립장의 바닥차수시스템 최소기준

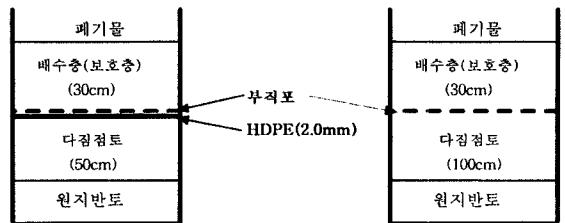


그림 3.11 지정폐기물매립장의 바닥차수시스템 최소기준

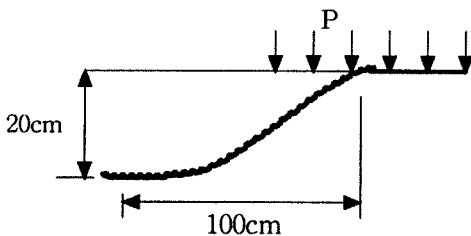
이유는 지오멤브레인의 파손된 부분에서 침투하는 침투수가 토목섬유-점토 차수재에 의해 이중으로 차단되도록 하기 위함이다.

4. 설계 예

본 절에서는 앞에서 기술한 토목섬유를 이용한 차수공의 설계방법을 이용하여 폐기물매립장 차수재의 안정성을 검토하고자 한다.

4.1 수평 차수재의 안정성 검토

최대 매립계획고가 20m인 폐기물매립장에서 바닥의 차수를 토목섬유 차수재(매끄러운 표면의 HDPE 2.0mm)를 이용하고자 한다. 차수재의 하부 지반은 흙-벤토나이트 혼합토이고 차수재 상부는 부직포와 30cm 두께의 모래층을 설치하고자 한다. 폐기물 매립층의 평균 단위중량이 1.3t/m³이다. 매립장 부지의 지반조사 결과 전체가 연약지반이며 국부적으로 모래질 토층을 이루고 있어서 매립완료 시 장기적으로 부등침하가 예상되며 부등침하량은 약 20cm 정도로 예측되었다. 사용하려는 차수재의 항복인장강도(σ_{ult})가 150kg/cm²이며 부등침하에 의한 수평 변형량은 약 10cm이다. 부직포와 차수재간의 접촉마찰각은 7° 이고 혼합토와 차수재간의 접촉마찰각은 12° 이다. 차수재의 인장파괴에 대한 안정성을 검토하시오.



$\tan\beta = (20/100) = 0.5, \quad \beta = 11.3^\circ$
 매립하중 $P = (1.3)(20) = 26.0 \text{ t/m}^2 = (\text{kg/cm}^2)$
 차수재 상부와 하부에서의 마찰각 $\delta_U = 7^\circ, \delta_L = 12^\circ$

차수재의 항복인장강도 $\sigma_{ult} = 150(\text{kg/cm}^2)$, 그리고 부등침하에 의한 변형량 $x = 10\text{cm}$ 이므로 사용할 차수재의 HDPE 2.0mm 두께의 인장파괴에 대한 안전율(FS)은

$$FS = \frac{t \cdot \cos \beta \cdot \sigma_{ult}}{P \cdot x \cdot (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}$$

$$= \frac{0.2 \cdot \cos(11.3) \cdot 150}{2.6 \cdot 10 \cdot (\tan(7) + \tan(12))} = 3.3 \text{ (OK)}$$

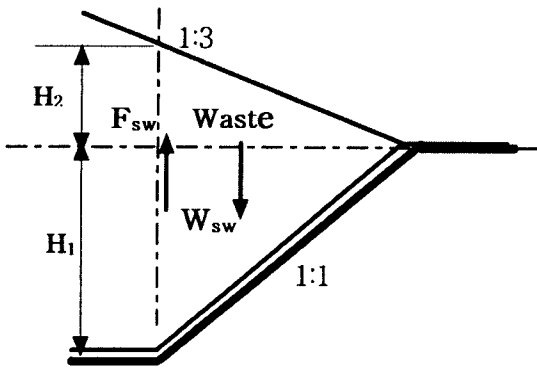
따라서 2.0mm 두께의 HDPE를 차수재로서 사용할 경우 부등침하에 의한 차수재의 안전율이 2.0이상이므로 차수재의 인장파괴에 대하여 안전한 것으로 판단된다.

4.2 사면부 차수재의 안정성 검토

일반폐기물매립장에서 제방사면 차수재(HDPE 2.0mm)의 상부에 부직포를 설치하였고 하부에는 GCL을 설치하였다. 제방은 소단 없이 10m의 높이로서 제방사면의 경사는 1:2(V:H)이고 매립종료 후 최종복토층의 구배는 1:3(V:H)로 계획되어 있다. 매립폐기물의 평균단위중량이 1.35t/m³이고 폐기물층의 내부마찰각(ϕ)은 35도이고 재료시험결과는 다음의 표와 같다. 풍하중, 온도변화에 따른 하중, 부재의 자체하중 등은 무시하고 차수재 상부층은 모두 매립폐기물층의 단위중량으로 가정하고 매립하중만을 고려하여 차수재의 인장파괴에 대한 안정성을 검토하시오.

재료명	항복인장강도	파단인장강도	시험방법
HDPE(2.0mm)	160 (kg/cm ²)	280 (kg/cm ²)	ASTM D638
부직포(700g)		350 kg	KS K0520

부재종류	접촉마찰각(도)
부직포+HDPE	7
HDPE-GCL	5
사질토-HDPE	23
콘크리트+HDPE	26



위의 그림에서 $H_1 = 10\text{m}$, $H_2 = 3.3\text{m}$
 사면부에 작용하는 매립하중
 $W_{sw} = (0.5)(1.35)[10+3.3](10) = 89.78 \text{ (t/m)}$
 제체의 선단에서 연직면에 작용하는 마찰저항력
 $F_{sw} = (0.5)(1.35)(10+3.3)^2(1-\sin 35^\circ)(\tan 35^\circ)$
 $= 35.65 \text{ (t/m)}$

법면에 작용하는 연직순하중
 $W = W_{sw} - F_{sw} = 89.78 - 35.65$
 $= 54.13 \text{ (t/m)}$

법면에 연직으로 작용하는 하중
 $N = W \cos \beta = (54.13) \cos(45^\circ) = 38.28 \text{ t/m}$
 HDPE 상부 마찰력 $F_{am} = N \tan(\delta_{am})$
 $= (38.28) \tan(7^\circ) = 4.7 \text{ t/m}$

HDPE 상부 마찰력 $F_{bm} = N \tan(\delta_{bm})$
 $= (38.28) \tan(5^\circ) = 3.35 \text{ t/m}$

차수재에 작용하는 인장력 $F_{act} = F_{am} - F_{bm}$
 $= 1.35 \text{ t/m}$

차수재(HDPE)의 인장강도가 160 kg/cm^2 ($1,600 \text{ t/m}^2$)이므로 $F_y = (1600 \text{ t/m}^2)(0.002) = 3.2 \text{ t/m}$

$$FS = \frac{F_y}{F_{act}} = (3.2/1.35) = 2.37 \geq 2.0 \text{ (OK)}$$

상기의 안정성검토결과 안전율(FS)이 2.37로 계산되었으며 이는 법규상의 2.0을 초과하므로 본 매립장의 사면부 차수재는 인장파괴에 대하여 안정한 것으로 판단된다. 그러나 실제의 설계에서는 차수구

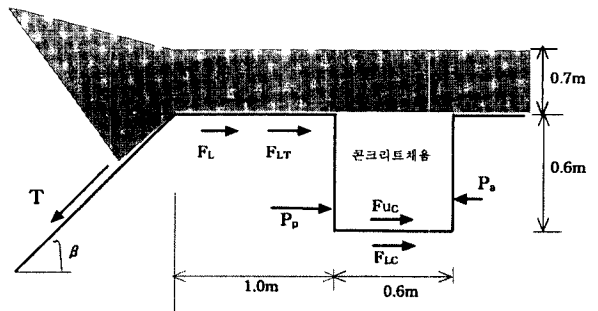
조 자체하중과 온도저항에 따른 하중 그리고 주변조건 및 제품의 규격을 반드시 고려하여 설계하여야 한다.

4.3 차수재의 트렌치정착력 검토

사면의 차수재 정착력을 앞단원(4.2)에서와 동일한 폐기물매립장의 사면 차수구조에서 트렌치방법에 의한 정착을 하고자 한다. 사면 상부끝으로부터 트렌치 까지의 거리는 1.0m이며, 트렌치의 깊이와 폭이 각각 0.6m 이고 트렌치 내부는 무근콘크리트를 채우고 차수재 상부의 복토 두께는 0.7m로 하는 것으로 계획되어 있다. 재료의 시험결과는 다음과 같다. 차수재의 정착력을 구하고 사면부의 인발력에 의하여 차수재가 끌려나오는지 여부에 대한 안정성을 검토하시오.

부재종류	접촉마찰각
사질토+HDPE	23(도)
콘크리트+DPE	26(도)

물성치	복토흙	제체	콘크리트
단위중량(t/m ³)	1.8	1.8	2.2
내부마찰각(도)	30	28	-



$$\Sigma FH = 0$$

$$T_{all} \cdot \cos \beta = F_u + F_L + F_{LT} - P_a + P_p + F_{LC} + F_{UC}$$

① 차수재 상부에서의 마찰저항력

$F_u = 0$ (건조균열 등에 의해 무시함)

② 차수재 하부에서의 마찰저항력

$$FL = \gamma_s \cdot ds \cdot \tan \delta_L \cdot L_{RO}$$

$$= (1.8)(0.7) \tan(5) (1.0) = 0.11 \text{ t/m}$$

③ 차수재 인장력의 수직방향 성분에 의해 발생하는 마찰력

A) 사면부 차수재에 작용하는 인장력을 이용

$$F_{act} = F_{am} - F_{bm} = 1.35 \text{ t/m} (4.2 \text{ 단원 참조})$$

$$F_{LT} = (1.35 \text{ t/m}) (\sin 45) (\tan 5)$$

$$= 0.084 \text{ t/m}$$

B) 차수재의 허용응력을 적용

$$F = (160 \text{ kg/cm}) (0.2 \text{ cm}) (\frac{1}{2})$$

$$= 16 \text{ kg/cm} (1.6 \text{ t/m})$$

$$F_{LT} = (1.6 \text{ t/m}) (\sin 45) (\tan 5)$$

$$= 0.099 \text{ t/m} \leftarrow \text{적용}$$

④ 트렌치 내의 토압

$$P_p = 0.5(\gamma_{AT} \cdot d_{AT}) K_p \cdot d_{AT} + (\gamma_s \cdot d_s) K_p \cdot d_{AT}$$

$$\{0.5(1.8)(0.6)(0.6) + (1.8)(0.7)(0.6)\}$$

$$\tan^2(45 + 28/2) = 2.99 \text{ t/m}$$

$$P_a = 0.5(\gamma_{AT} \cdot d_{AT}) K_a \cdot d_{AT}$$

$$+ (\gamma_s \cdot d_s) K_a \cdot d_{AT}$$

$$= \{0.5(1.8)(0.6)(0.6)$$

$$+ (1.8)(0.7)(0.6)\} \cdot \tan^2(45 - 28/2)$$

$$= 0.39 \text{ t/m}$$

⑤ Anchor Trench 채움하중에 의한 마찰 저항력

$$F_{UC} = W \cdot \tan \delta_{UC} \cdot B$$

$$= \{(1.8)(0.7)(0.6) + (2.2)(0.6)(0.6)\}$$

$$\tan(26) (0.6) = 0.45 \text{ t/m}$$

$$F_{LC} = W \cdot \tan \delta_{LC} \cdot B$$

$$= \{(1.8)(0.7)(0.6) + (2.2)(0.6)(0.6)\}$$

$$\tan(23) (0.6) = 0.394 \text{ t/m}$$

⑥ 정착부에서의 Total 저항력

$$T = F_u + F_L + F_{LT} + P_p - P_a + F_{UC} + F_{LC}$$

$$= (0) + (0.11) + (0.099) + (2.99) - (0.39)$$

$$+ (0.45) + (0.394) = 3.653 \text{ t/m}$$

⑦ 결과검토

차수재(HDPE 2.0mm)의 항복인장강도가 3.2 t/m 이므로 차수재가 항복인장강도에 도달했을 때의 정착부에서의 수평인장력(인발력)은

$$T = (T) \cos(\beta) = (3.2) \cos(45) = 2.26 \text{ t/m}$$

Anchor Trench 에서의 총 정착력은 3.65 t/m

차수재 수평인발력에 대한 Anchor Trench의 정착력의 안전율은

$$FS = 3.65/2.26 = 1.6 \text{ (안전한 것으로 판단.)}$$

참고문헌

1. 한국지반공학회 (1994), 폐기물매립시설 세부설치기준, 환경부
2. 환경부 (1999), 폐기물관리법
3. 이광열, 김수석 (1997), 폐기물매립지 사면부 차수구조의 전단파괴에 대한 안정성 연구, 대한토목학회 논문집, 17권 5호 III집.
4. Bembem, S.M., and Schulze, D.A. (1993) "The Influence of Selected Testing Procedures on Soil/Geomembrane Shear Strength Measurements, in Geosynthetics '93, Conference Proceedings, IFAI, Vancouver, British Columbia, Canada
5. Gerber, D.H. (1984), Floating Reservoir Cover Designs, Proc. Int. Conf. Geomembranes, Denver, Co., pp. 79-84
6. Koerner, R.M., ed., (1993), "Proceedings 6th GRI Seminar on MQC/MQA and CQC/CQA of Geosynthetics", St. Paul, MN: IFAI, pp. 267
7. Koerner, R.M., (1992) Preservation of the Environment via Geocynthetic Containment, in Geotextiles, Geomembranes, and Related Products, G. Den Hoedt, Ed., A.A. Balkema, Notlerdam, The Netherland
8. Motan, E.S., et al, (1993) "Geomembrane protection by Nonwoven Geotextiles", Geosynthetics

- '93, IFAI, Vancouver, British Columbia, Canada
9. Martin, I.P., Koerner, R.M. and Whitty, J.E.(1984), "Experimental friction evaluation of slippage between geomembranes", geotextiles and soils, Proc. International Conference on geomembranes, Denver:IFAI, pp191-196
 10. Quinn, M., and Chandler, M.,(1991), "Landfill Liner Side Slope Design to Minimize Geomembrane Tensile Stress", Geosynthetics '91, IFAI, Atlanta, Ga
 11. Richards, E.A., and Scott, J.D.,(1985). "Soil Geotextile Frictional Properties", in Proceedings of the 2nd Canadian Symposium on Geotextiles and Geomembranes, Edmonton, Alberta, Canada
 12. Reynolds, R.T. (1991), Geotechnical Field Techniques Used in Monitoring Slope Stability at a Landfill, Proc. Field Measurements in Geotechnics, G. Sorum, ed., Rotterdam: Balkema, pp. 883-891
 13. Somasundaram, S., and Khilnani, K.,(1991). "Stability of High Refuse Slopes on Synthetic Lining Systems at The Bee Canyon Landfill", Geosynthetics '91, IFAI, Atlanta, Ga.
 14. U.S. EPA (1991), Technical Guidance Document - Inspection Techniques for the Fabrication of Geomembrane Field Seams, EPA/530/SW-91-051, pp. 174
 15. U.S. EPA (1993), Technical Guidance Document - QA/QC for Waste Containment Facilities, EPA/600/R93/182, pp. 305

도서 판매 안내

1. '94 봄 학술발표회 논문집 / 5,000원
2. '94 가을 학술발표회 논문집 / 10,000원
3. 지반공학시리즈 2 - 얇은 기초(구) / 5,000원
4. '94 발표 폴리스티렌(EPS) 이용 성토공법 / 10,000원
5. 한 일 합동 세미나 논문집 / 5,000원
6. '97 가을 학술발표회 논문집 / 10,000원
7. 제11차 ARC 개최전 초청강연 논문집 :
Dr. R.H.G Parry, Prof. A.S. Bala / 10,000원
8. 단기강좌Ⅱ : Ground Improvement Using
Prefabricated Vertical Drains / 10,000원
9. '98 가을 학술발표회 논문집 / 15,000원
10. '98 토목섬유(위) 학술발표회 논문집 / 10,000원
11. 강관말뚝의 설계와 시공가이드 / 5,000원
12. '99 지반조사(위) 학술발표회 논문집 / 5,000원
13. 김상규 교수 퇴임기념 심포지엄 논문집 / 10,000원
14. '99 토목섬유(위) 학술발표회 논문집 / 10,000원
15. '00 정보화 시공(위) 학술세미나 / 10,000원

**** 무료로 드립니다. ****

- 지반공학 관련업체 소개서
- '98가을학술발표회Ⅱ

※ 우편 발송시 우송료는 본인 부담입니다.
한국주택은행 (예금주 : 한국지반공학회)
534637-01-000160