

## 지오콤을 이용한 사면녹화공법의 현장적용 사례 Case Study of Slope Protection Method using GeoComb

오영인<sup>1)</sup>, Young-In Oh, 김성환<sup>2)</sup>, Sung-Hwan Kim, 유중조<sup>3)</sup>, Jung-Jo Yuu, 심진섭<sup>4)</sup>, Jin-Seap Shim

<sup>1)</sup> 한국농촌공사 농어촌연구원 선임연구원, Senior Research, Rural Research Institute, KRC

<sup>2)</sup> 인천대학교 토목환경공학과 박사과정, Ph.D. Student, Dept. of Civil and Environmental, University of Incheon

<sup>3)</sup> (주) 골든포우 기술연구소, 책임연구원, Principal Researcher, Research Division,, Golden Pow, Korea

<sup>4)</sup> (주) 골든포우 대표이사, President, Golden Pow, Korea

**SYNOPSIS** : The purpose of this study was to evaluate the effect of vegetation on the cutting slope applied by vegetation system in the whole land. The engineering characteristics of slopes were investigated using the face mapping and physical tests. From the statistical methods, a relationship between a geologic stratum and degree of covering was independent. Therefore, the afforestation of slope was affected more by condition of vegetation as direction and opening of joints, and a topsoil state than by conventional classification of layer. It was concluded that the adjustable vegetation on the slope considering condition of geometric shape of slope, joint data and spontaneous type could make useful early afforestation.

**Key words** : Top-Base, Static loading test, Dredging land, Load-displacement, Settlement

### 1. 서 론

지오셀의 기본개념은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE, high density polyethylene) 쉬트(Sheet)를 접합하여 3차원의 벌집모양의 구조체를 만들고 내부에 골재 및 토사를 채워 슬라브형태의 보강구조물 만드는 것이다. 대표적인 제품으로는 1970년대 후반 미 공병단과 토목섬유 생산자인 프레스토(Presto)사의 공동 연구개발에 의하여 개발된 지오웹이 있으며, 당초 표면이 매끈한 고밀도 폴리에틸렌(HDPE, high density polyethylene) 쉬트(Sheet)로 개발 제조되었다. 그 후 많은 연구를 통하여 폴리에틸렌 쉬트에 요철을 둔 형태로 발전하였으며 최근에는 폴리에틸렌 쉬트에 구멍을 뚫어 속채움재와의 마찰효과를 증대시켰다. 본 연구를 통하여 개발된 지오콤은 지오셀의 기본개념을 도입하여 식생이 가능한 하천의 사면보호, 하상침식방지, 토류구조물, 절토 및 성토시의 사면보호, 도로의 기층보강 등에 활용될 수 있도록 개선하였으며, 특히 일반 콘크리트 옹벽구조물이나 돌망태공법과는 다르게 사면에 식물이 자랄 수 있는 환경을 조성하여 자연형 하천복원이나 사면의 녹지조성 등에 뛰어난 다용도 지반보강재이다.

지오콤은 사면 내에 위치한 토사 자체의 응력으로 부족한 사면에 셀 내에 토사를 채움으로 생겨나는 구속응력으로 인하여 사면 안정에 매우 효과적이다. 또한 외부토양을 활용하거나 본래 사면에 위치한 토사를 이용하여 셀을 채울 수 있으므로 하천 환경에 변화를 끼치지 않고 사면안정을 이룰 수 있다. 또한 콘크리트 블록과는 차별화되게 셀 자체가 흙을 구속하여 마찰력으로 사면안정을 이루는 데에 그치지 않고 지오콤 자체의 토사와 지오콤 밑의 원지반이 연속적으로 연결되어 있는 상태이므로, 수분 및 식생의 교류가 끊임없이 이루어 질수 있으며, 원지반과의 특성차가 없다. 지오셀이 흙으로 채워지기 때문에

그 위에 식생의 분포를 유도할 수 있다. 그렇게 되면 지오폴 내에서부터 원지반까지 식생의 뿌리가 성장하게 되고 그 뿌리에 의해 지오폴과 원지반의 마찰력이 증가하게 되어 시간이 지남에 따라 지오폴로 시공한 사면은 더욱더 효과적으로 작용한다. 이러한 지오폴 제품에 대한 관심은 국내에서 점점 늘어나는 추세로 그와 관련된 연구논문 등이 나오는 반면에 지오폴 자체의 국내 기술을 보유하고 있지 않고 있기 때문에, 전량 수입에 의존하고 있고 고가이며 비경제적이다. 따라서, 본 연구에서는 국내 환경에 적합한 지오폴의 자연친화적인 환경조성에 필요한 설계 인자를 검토하고 사면녹화공법에 적용된 현장사례를 제시하고 이에 대한 안정성 검토를 수행하였다.

## 2. 사면녹화공법의 적용 및 안정성 평가 방법

### 2.1 사면녹화공법

사면안정에 영향을 주는 요소는 강우를 포함하여, 많은 외적 요인들이 있다. 이러한 요인들로는 강우에 의한 빗방울의 충격과 유출수와 침투수, 강설에 의한 크리이프, 눈이 녹아서 발생하는 유출수 및 침투수, 온도의 변화에 따른 동결, 융해, 동상, 바람에 의한 침식 등이 있으며, 특히 새만금 방조제와 같은 경우는 이상 도파 시 발생할 수 있는 월파나 비산에 의한 바닷물의 침입으로 인한 유출수, 침투수 등이 있다. 이러한 요인들이 사면에 작용하여 단면이 불안정한 것으로 판단되면, 물리학적 방법 즉, 구조물을 이용하여 안전율을 증가시키는 사면안정공법을 사용하거나, 단면이 안정할 경우에는 생화학적 방법이나 물리학적 방법에 의해 사면의 안전율을 유지시키는 사면보호공법으로 나누어 사용하고 있다. 국내에서 친환경 사면보호공법으로 적용하고 있는 식생공법은 크게 파종공법, 식재공법, 초식공법으로 분류할 수 있다. 절토사면 사면에 공통적으로 적용 가능한 파종공법은 사면에 종자를 뿌려서 녹화시키는 공법으로 Seed Spray, Co-Mat, 종자뿌어붙이기, 중비토뿌어붙이기공법 등이 있다. 식재공법은 비탈에 직접 나무를 식재하여 식생을 조성하는 공법으로 차폐수벽공법, 덩굴식물 식재공법, 소단상 객토 식수공법 등이 있으며, 이들은 주로 절토부에 활용하고 있는 공법으로 분류할 수 있다. 미국에서는 절토사면의 붕괴과정을 토체의 활동, 토사사면의 침식 및 암반사면의 침식 등으로 분류하고 있으며, 이에 대한 절토사면의 보호공법을 활성(Living)과 비활성(Non-Living)으로 나누어 적용하고 있다. 활성공법에는 식생공법(Vegetative Plantings)과 토질생태공학(Soil Bioengineering)적 공법 등이 있으며, 비활성 공법에는 식생구조물(Vegetated Structure)에 의한 방법과 강성구조물(Rigid Construction)에 의한 방법 등이 있다. 여기서, 식생공법과 식생구조물에 의한 방법 및 강성구조물에 의한 방법 등은 국내의 경우와 다소 유사한 공법이나, 토질생태공학적인 공법은 다소 차이점을 보이는 공법이라고 할 수 있다. 토질생태공학적인 공법은 절토사면의 표면배수와 사면의 침식을 조절하고, 절토로 인해 발생한 자연환경의 훼손을 빠르게 재 식생할 수 있는 환경적이고 미학적인 공법이라 할 수 있다.

표 1. 국내의 사면보호공법

구분	세부공법
파종공법	Co-Mat공법, 종자뿌어붙이기공법, Verdyol SeedSpray공법, 중비토뿌어붙이기공법, SF분사녹화공법, 법면녹화배토습식공법, 기반재뿌어붙이기공법, PEC공법, NGR공법, 페타이어사면녹화공법, 그물망·9카펫공법, NET·8종자분사 파종공법, 론생공법, Taxol녹화토공법, 녹생토공법, 식생반심기공법, 식생구멍심기공법, 객토Spray공법, 식생자루심기공법, 씨뿌리기공법
식재공법	차폐수벽공법, 덩굴식물식재공법, 새집공법, 암반사면부분녹화공법, 소단상
초식공법	줄떼공법, 평떼공법, 새심기공법, NET잔디공법
기타공법	등고선구배법, 격자틀붙이기공법

### 2.2 사면 안정해석방법

일반적인 사면의 안정 해석 방법은 절편법(method of slice)이다. 이 해석들은 기본적으로 부정정 문

제이므로 정정화 시키기 위한 가정이 필요하게 된다. 즉, 연속된 지반의 일부를 제한·분리·가정하여 힘의 균형을 고려하여야 한다. 사면안정성 검토는 단면형상에 따라 무한사면(infinite slope)검토, 복토고가 균질한 유한사면(finite slope with uniform cover soil)검토, 복토고가 변하는 유한사면으로 구분하나, 무한사면 검토방법은 사면의 길이는 무한하고 폭은 사면의 두께에 비교하여 매우 넓다고 가정하여 간략하게 사면 안전율을 무한사면에서의 힘의 균형관계에 의하여 계산하는 방법으로 보다 정밀한 검토를 위해서는 전체 유한단면에 대한 사면안정 검토가 요구된다. 따라서, 본 연구에서 적용된 현장사례의 사면에 대하여 사면의 포화시 안정성의 정밀검토를 위하여 사면 복토고가 균질한 유한사면 검토방법을 준용하여 안정성 검토를 수행하였다. 안정성 검토 시 적용하는 모든 물성자료는 기존 자료에 의한 값을 사용하였으며, 기타 추가적으로 필요한 물성자료는 문헌자료를 바탕으로 현행 설계 및 안정검토 시 타당한 범위 내에서 설정하였다. 본 연구에서 적용된 현장 사례의 사면안정검토는 “토목섬유 설계 및 시공요령”(한국지반공학회, 1998)에 수록된 설계 및 검토방법을 준용하였다. 그림 1은 복토에 따른 사면안정검토의 개념도를 나타낸 것이며, 사면안정해석을 위한 각종 적용식과 방법을 기술하였다. 우선, 주동영역에서 발생하는 힘들은 식 (1) ~ 식 (3)을 적용하여 산정할 수 있다. 수동영역에서 발생하는 힘들은 식 (4) ~ 식(5)를 적용하여 산정하였다. 마지막으로 주동영역과 수동영역에서 발생하는 힘의 평형관계에 따른 안전율은 식 (6) ~ 식 (7)과 같이 유도된 식으로 산정하였다.

$$W_A = \gamma h^2 \left( \frac{L}{h} - \frac{1}{\sin \beta} - \frac{\tan \beta}{2} \right) \quad (1)$$

$$N_A = W_A \cos \beta \quad (2)$$

$$C_a = c_a \left( L - \frac{h}{\sin \beta} \right) \quad (3)$$

여기서,  $W_A(t/m)$  = 주동쇄기의 총 무게이고  $\gamma(t/m^3)$  = 복토(cover soil)의 단위중량,  $h(m)$  = 복토의 두께,  $\beta(^{\circ})$  = 사면의 경사각,  $N_A(t/m)$  = 주동쇄기의 파괴면에 수직인 유효 힘,  $C_a(t/m)$  = 주동쇄기에서 복토와 지오클의 부착력,  $c_a(t/m^2)$  = 주동쇄기에서 복토와 지오클 사이의 부착력,  $L(m)$  = 경사길이이다.

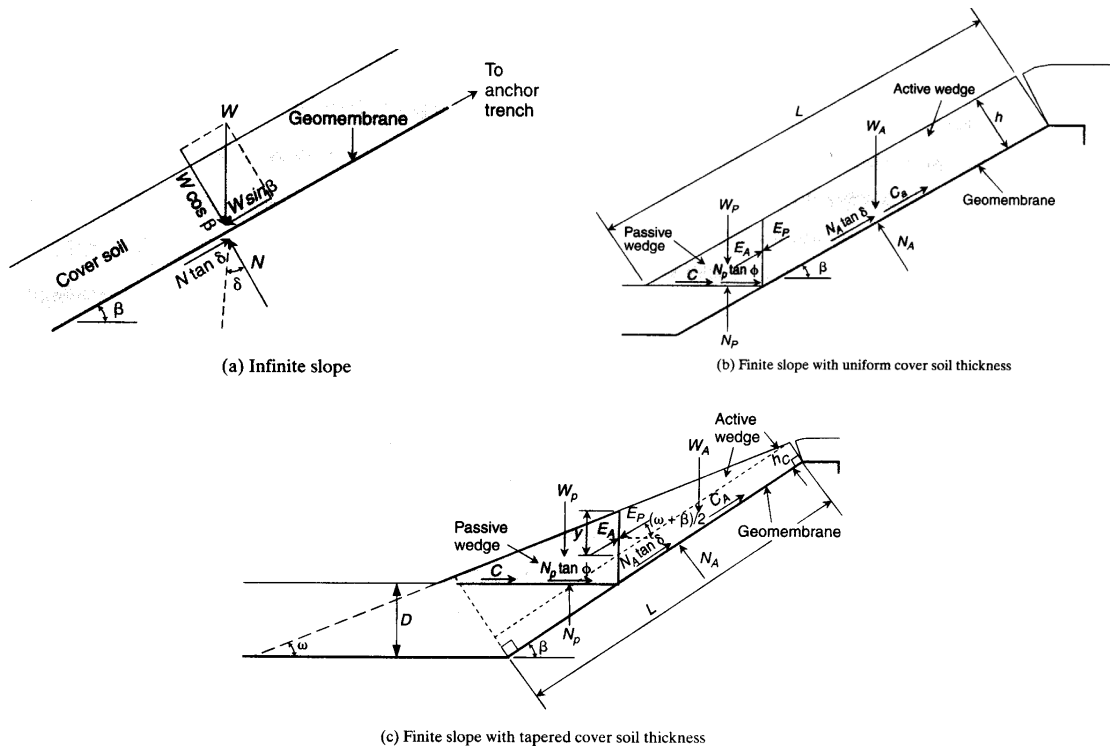


그림 1. 사면안정해석 개념

$$W_P = \frac{\gamma h^2}{\sin 2\beta} \quad (4)$$

$$C = \frac{(c)(h)}{\sin \beta} \quad (5)$$

여기서,  $W_P(t/m)$  은 수동쌓기의 총 무게,  $C(t/m)$  은 수동쌓기에서 파괴면에 따른 점착력,  $c(t/m^2)$  은 복토층의 점착력이다.

$$a(FS)^2 + b(FS) + c = 0 \quad (6)$$

여기서  $a = (W_A - N_A \cos \beta) \cos \beta$ ,  $b = -[(W_A - N_A \cos \beta) \sin \beta \tan \phi + (N_A \tan \delta + C_a) \sin \beta \cos \beta + \sin \beta (C + W_P \tan \phi)]$   
 $c = (N_A \tan \delta + C_a) \sin^2 \beta \tan \phi$ 이며, 안전율은 다음 식 (7)과 같다.

$$FS = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (7)$$

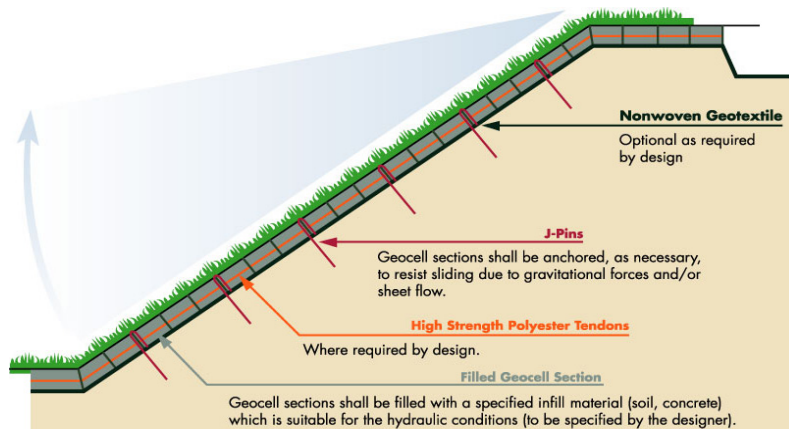


그림 2. 지오클 적용 사면녹화공법 적용 개념도



(a) 지오클 포설

(b) 지오클 내부 채움

(c) 식생작업

그림 3. 지오클 현장 시공 전경

### 3. 사면안정 해석 결과

본 연구에서는 기존 골재 배수층(30cm)으로 설계된 사면에 지오클을 적용할 경우, 유한사면 안정검토 방법을 이용하여 추가적인 건조시 안정성 검토를 수행하였다. 또한, 지오클의 설치목적이 배수층이므로 강우침투에 의해 배수층이 완전히 포화된 경우를 고려하였다. 일반적으로 완전 포화 시 토목섬유와 토

사의 접촉마찰각이 10~30% 감소하므로 접촉마찰각  $\delta$ 를 30% 하향조정하며, 접촉면에서의 겉보기 점착력  $C_a = 0$ 로 하여 검토를 수행하였다. 유한사면 안정검토방법에 의한 건조시의 안전율 FS=2.46, 포화시 FS=1.98로 기준안전율 1.5이상으로 발생되어 두 가지 조건 모두에 대하여 사면활동파괴에 안전한 것으로 도출되었다. 사면안정 해석은 다음 그림 4와 같이 수행하였다.

폐기물 매립장 유한 사면 안정검토(건조조건)		폐기물 매립장 유한 사면 안정검토(포화조건)	
1. 입력설계정수		1. 입력설계정수	
슬론단위중량( $\gamma$ )	1.85	슬론단위중량( $\gamma$ )	1.85
복토고 ( $h$ )	0.6	복토고 ( $h$ )	0.6
복토층사면길이(L)	8.94	복토층사면길이(L)	8.94
사면경사( $\beta$ )	26.6	사면경사( $\beta$ )	26.6
토사마찰각( $\phi$ )	40.7	토사마찰각( $\phi$ )	40.7
토사 점착력(C)	1.7	토사 점착력(C)	1.7
접촉마찰각( $\delta$ )	33.8	접촉마찰각( $\delta$ )	22.5
겉보기점착력 $\otimes$	0.1	겉보기점착력 $\otimes$	0
2. 삼각함수관계		2. 삼각함수관계	
$\sin\beta$	0.447759088	$\sin\beta$	0.447759088
$\sin 2\beta$	0.800731371	$\sin 2\beta$	0.800731371
$\cos\beta$	0.894154237	$\cos\beta$	0.894154237
$\tan\beta$	0.500762698	$\tan\beta$	0.500762698
$\tan\phi$	0.860135695	$\tan\phi$	0.860135695
$\tan\delta$	0.669441652	$\tan\delta$	0.414213562
$h^2$	0.36	$h^2$	0.36
$\sin^2\beta$		$\sin^2\beta$	
3. 영역별 힘		3. 영역별 힘	
활동영역 무게( $W_a$ )	8.269239025	활동영역 무게( $W_a$ )	8.269239025
유효연직힘( $N_a$ )	7.39397511	유효연직힘( $N_a$ )	7.39397511
저항영역 무게( $W_p$ )	0.831739612	저항영역 무게( $W_p$ )	0.831739612
복토층점착력 $\otimes$	2.278010715	복토층점착력 $\otimes$	2.278010715
4. 안전율 영향계수		4. 안전율 영향계수	
a	1.4824	a	1.4824
b	-4.0006	3.205	-3.205
c	0.87083	c	0.52815
$b^2$	16.0049	$b^2$	10.2722
4ac	5.16369	4ac	3.13173
5. 사면활동 안전율		5. 사면활동 안전율	
FS	2.459930714	FS	1.982320374

그림 4. 사면안정 해석결과

#### 4. 종합결론

본 연구에서는 지오표를 이용하여 사면녹화 및 보호를 위한 현장적용시 안정성에 대하여 검토를 수행하였다. 전체 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

1. 본 연구에서는 유한사면 검토방법을 적용하여 지오표 포설에 따른 건조 및 포화시의 사면안정성 검토를 수행하였으며, 배수층이 완전히 포화된 경우는 토목섬유와 토사의 접촉마찰각  $\delta$ 를 30% 하향조정하며, 접촉면에서의 겉보기 점착력  $C_a = 0$ 로 적용하였음. 유한사면고려 방법을 통한 안정성 검토결과, 건조시의 안전율 FS=2.46, 포화시 FS=1.98로 기준안전율 1.5이상으로 발생되어 두 가지 조건 모두에 대하여 사면활동파괴에 안전한 것으로 도출되었다.
2. 지오표가 적용된 현장의 최종복토층의 차단시스템 공법에 대한 검토결과, 고화토공법은 현장토사 적용에서 경제적이고 고화처리로 강도는 우수하나, 시공시 정밀한 양생관리가 요구되며 및 운영 중 동결융해로 인한 균열발생 우려가 있고 특히 고화제 정량살포 및 양생관리를 위한 특수장비와 복잡한 공정이 요구된다. 점토처리공법은 재료원 확보 측면 및 침출수 집배수시설 등 기반시설 설치를 위한 강도 확보 측면과 현장 시공관리 및 품질관리 측면에서 불리한 것으로 판단된다.

3. 따라서, 지오클 적용 현장의 최종복토층 차단시스템의 경우 상재하중이 크게 작용하는 구간이 아니며 침출수가 아닌 우수침투에 반응하게 되므로 정상적인 팽윤이 발생할 것으로 판단된다. 또한, 주변 기시공 현장에서 효과적으로 시공을 완료한 광범위한 현장토사 적용이 가능하고 법적기준치 이하의 균일한 투수계수를 만족하며 동결융해 저항성 및 시공성이 우수한 혼합토 공법을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.
4. 본 연구가 보다 효과적이고 현장 적용성을 높이기 위해서는 지오클과 원지반과의 전단시험을 통한 물성치를 확보하는 것이 필요하다고 판단된다. 전단시험시는 현장 블록시료를 채취하여 시험을 수행하는 것이 토사의 현장조건을 더 정확히 구현 할 수 있다. 또한, 보다 정밀한 검토를 위해서는 표준 시험규격에 의한 시험을 수행하는 것이 바람직하다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 고경훈(2007), “새만금 방조제 내측사면의 침식특성 및 침식방지공법에 관한 연구”, 석사학위논문, 전북대학교.
2. 안태봉(1999), “식생매트를 이용한 사면보호녹화공법 개발 연구”, 우송대학교 산업연구 제 1 권 제 2 호, pp. 199~223.
3. 유능환(2003), “농경사지 사면보호를 위한 안정성 분석”, 석사학위논문, 강원대학교.
4. 이영생(2004), “환경친화적인 비탈면 녹화공법의 개선방안에 관한 연구”, 석사학위논문, 경기대학교.
5. 한국지반공학회(1998), “토목섬유 설계 및 시공요령”.
6. 한국토목섬유학회(2007), “토목섬유의 특성 평가기법 및 활용”.
7. Robert M. Koerner, “*Design with Geosynthetics*”, 5th, pp. 494~495.