

전면벽체 강성에 따른 그린월 시스템의 안정성 평가

Stability Evaluation of Green Wall System due to Facing Rigidity

박 시 삼^{1*} Park, Si-Sam 김 홍 택² Kim, Hong-Taek
김 승 욱³ Kim, Seung-Wook 김 용 언⁴ Kim, Yong-Eon

ABSTRACT

The Green Wall system is one of segmental concrete crib type earth retaining wall. Green wall is constructed as procedures that lay the front stretchers, rear stretchers and headers then making a rigid body through harden filled soil of interior cell. Recently, Green Wall method is applied in variable cutting ground construction because of advantage which minimize to cut base ground. In case of Green Wall method is constructed with soil nail method, expect that total system stability will increase more than flexible facing because of facing stiffness is big. However, in this case of design, facing stiffness is not considered so that is poor economy. Hence, in this study, stability increasing effect of total system analyze about that soil nail method is constructed with rigidity facing like a Green Wall method. In present study, laboratory model tests was performed for analysis on stability increasing effect of total system about changing stiffness of facing. LEM analysis conducted for evaluation on safety factor of total system sliding that facing condition changed.

요 지

그린월 공법은 독립식 콘크리트 보형식의 옹벽으로, 전, 후면 가로보와 세로 방향으로 버팀보를 연속적으로 쌓아 올려 내부에 다짐성토를 시행함으로써 구조체가 일체 거동하도록 강성벽체(rigid body)를 형성시키는 옹벽 구조물이다. 최근의 그린월공사는 원지반 절취량을 최소화 할 수 있다는 장점으로 절토 공사현장에 다양하게 적용되고 있으며, 주로 앵커 및 쏘일네일 등과 함께 시공하는 추세이다. 이처럼 그린월과 함께 쏘일네일이 시공되는 경우에는 전면벽체의 강성이 크기 때문에 연성전면벽체의 경우 보다 전체 시스템의 안정성 증대가 예상되나 실제 설계에서는 이를 반영하지 않고 쏘일네일만 설계하므로 비경제적인 요소가 많은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 그린월과 같은 강성전면벽체와 쏘일네일 공법이 함께 시공되는 경우에 대하여 강성전면벽체로 인한 전체 시스템의 안정성 증대효과를 평가해 보았다. 본 연구에서는 전면벽체의 강성변화에 따른 전체 시스템의 안정성 증대효과를 평가하기 위하여 실내모형실험을 수행하였으며, 한계평형해석을 시행하여 그린월과 같은 전면벽체의 강성이 전체 활동에 대한 안전율에 미치는 영향을 평가하였다.

Keywords : Facing rigidity, Green wall system, Soil nail

1. 서 론

최근의 국내건설공사에 있어서 절토 공사현장의 경우에는 환경문제 및 대지경계 등의 이유로 원지반의 절취량을 최소화 할 수 있는 공법이 요구되고 있으며, 이와 관련

된 많은 공법들이 적용되고 있다. 특히, 예전에는 부지 확보차원에서 많이 사용되고 있던 옹벽공법이 추가 보강재를 병행하여 사용함으로써 절토공사 현장에도 많이 이용되고 있다. 이러한 공법의 경우에는 원지반의 안정성 확보를 위해서 주로 쏘일네일 또는 락볼트와 같은 공법을 병행

1* 정회원, GS건설(주) 기술본부 선임연구원 (Member, Senior Research Engrn, Technical Division, GS E&C Corp., E-mail: parkss7@gsconst.co.kr)
2 정회원, 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil Engrg., Hongik Univ.)
3 비회원, 한국농촌공사 농어촌연구원 연구원 (Researcher, K.R.C.A.C)
4 비회원, (주)그린월 대표이사 (President, Green Wall Co., Ltd.)

하여 시공하게 되며, 전면에 미관의 향상 및 안정성의 증대를 목적으로 전면벽체 또는 콘크리트 패널 등을 이용하고 있다(FHWA-SA-96_069).

그러나 원지반의 절취량을 최소화하기 위해 사용되는 공법들과 쏘일네일 공법을 병행하여 시공하는 경우에는 안정성 확보 설계차원으로 전면벽체는 고려하지 않고, 쏘일네일만을 설계하는 경우가 많아 비경제적인 시공이 많이 이루어지고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 그린월 공법을 절토현장에 적용하는 경우에 대하여 분석하였다. 절토현장에 그린월과 쏘일네일을 병행하여 시공하는 경우에는 전면에 강성이 큰 그린월이 설치되기 때문에 슛크리트와 같은 연성벽체에 비해 전체시스템의 안정성이 더 높을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 쏘일네일 벽체에서 전면벽체의 강성이 전체 안정성에 미치는 영향에 대하여 알아보기 위하여 모형지반을 조성한 후, 전면벽체의 강성조건을 변화시켜가며 실내모형실험을 시행하였다. 또한, 비교적 강성이 큰 그린월이 쏘일네일공법과 함께 적용되어 시공되는 경우와 그린월이 없이 쏘일네일 공법만 시공되는 경우에 대하여 한계평형해석을 시행하여 비교, 분석하였다.

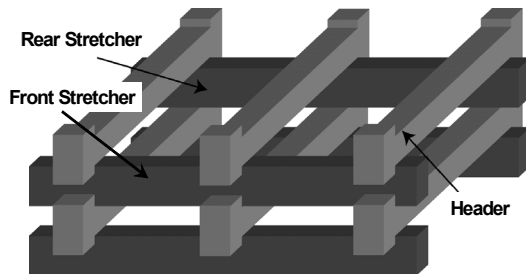
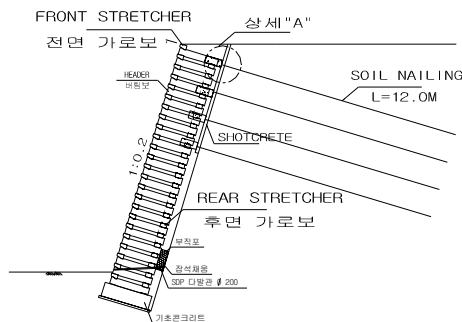


그림 1. 그린월 시스템의 구조



(a) 대표단면

2. 그린월(Green Wall) 시스템

2.1 그린월 시스템의 구성

보편적인 그린월의 기본구조는 그림 1과 같이 전, 후면 가로보(front & rear stretcher), 머뮴보(header) 및 채움재로 구성 되어있다. 머뮴보는 옹벽 전면에서 후면으로 옹벽면에 직각방향으로 설치하며, 토압을 지지하는 역할을 하는 가로보는 옹벽의 전면과 후면에 머뮴보와 직각방향으로 설치한다. 채움재는 조립질 흙으로 다짐 시공하여 옹벽의 중량을 증가시켜주는 역할과 동시에 채움재의 토압에 의해 가로보와 머뮴보의 골격을 유지시켜주는 역할, 식생을 할 수 있는 공간을 제공하는 역할 등을 하게 된다. 즉, 콘크리트 부재(가로보, 머뮴보)와 채움재를 일체화시켜 강성체로 거동하도록 하여, 토압에 저항하는 일종의 중력식 옹벽의 개념이다(박시삼 등, 2005a).

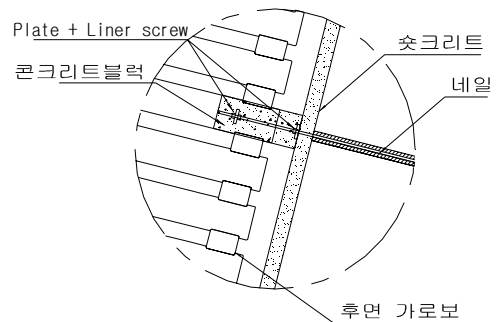
2.2 쏘일네일 적용 그린월 시스템

절토현장에 적용되는 그린월 시스템의 경우, 환경적인 문제로 인하여 원지반 절취를 최소화하도록 요구받고 있으며, 원 그린월 시스템과 동일한 방법으로 시공하는 경우에는 비교적 많은 절취량이 필요로 하게 된다. 따라서 근래 절토현장에 적용되는 그린월은 국내특성에 맞게 개선하였으며, 그린월 벽체에 쏘일네일 두부를 정착시켜 일체화 거동이 되도록 하고 있다. 개선한 그린월 시스템(그린월 + 쏘일네일)의 대표단면도와 그린월 및 네일 결합 상세도는 그림 2와 같다(박시삼 등, 2005b).

3. 실내모형실험

3.1 개요

본 연구에서는 절취사면에 적용되는 그린월의 경우 쏘



(b) 그린월 및 네일 결합 상세도

그림 2. 그린월 시스템 구조도

일네일만 적용되는 공법에 비해 강성이 큰 전면벽체가 위치하고 있기 때문에 보다 전체안정성 확보에 유리할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 전면벽체의 강성이 쓰일네일링 구조체의 전체안정성에 미치는 영향을 알아보기 위한 실내모형실험이 수행되었다.

3.2 모형지반조성

모형지반은 굴착과정을 고려할 수 있도록 굴착직후에도 일정시간 동안 무지보 자립이 가능하도록 주문진표준사와 화강풍화토를 1:1.5로 혼합하여 사용하였으며, 모형토조에서 3회에 걸쳐 층다짐을 시행하여 조성하였다. 아울러 일정한 다짐도를 유지할 수 있도록 80.5%정도의 일정한 수준으로 유지하였다. 조성된 모형지반에 대한 기본

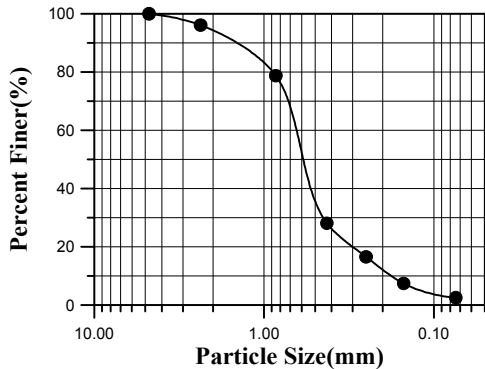


그림 3. 모형지반의 입도분포곡선

표 1. 대상시료의 물성

구분	단위중량	내부마찰각	점착력	액성한계	소성한계
특성치	1.47t/m ³	34°	0.8t/m ²	28.8%	17.6%

물성값을 파악하기 위하여 입도, 직접전단, 액성 및 소성한계, 다짐시험 등 기본적인 물성시험이 수행되었고 이에 따른 입도분포곡선 및 모형지반의 특성치는 다음의 표 1 및 그림 3과 같다.

3.3 모형실험방법

본 연구에서 수행된 실내모형실험은 쓰일네일 공법과 적용되는 그린월의 실제시공을 실내규모의 실험으로 모사하기 위하여 시행되었으며, 모형토조의 크기를 고려하여 실제 시공의 1/10정도 규모로 축소하여 진행하였다(권영호, 2005).

실내모형실험에서는 모형지반을 조성한 후, 실제 시공 과정과 동일하게 단계별 굴착 시공을 순서로 하였다. 슛크리트만으로 전면처리를 하는 연성벽체는 전면판 없이 시험을 수행하였으며, 그린월과 같은 강성벽체의 경우 실내 모형실험에서 아크릴판을 사용하였다. 아크릴 판은 벽체 강성의 변화영향을 알아보기 위하여 두께를 각각 2mm, 4mm, 6mm로 변화시키면서 실험이 수행되었다. 전면판과 네일의 설치 후에는 전면판 앞으로 로드셀과 선형변위센서(LVDT; Linear Variable Differential Transformer)를 설치하였으며, 벽체의 깊이별 변위를 측정하기 위하여 심도별로 4개소에 설치하였다.

지반과 네일의 설치가 종료된 후에는 배면지반에 하중재하장치를 설치하여 변형률제어방식으로 배면지반에 상

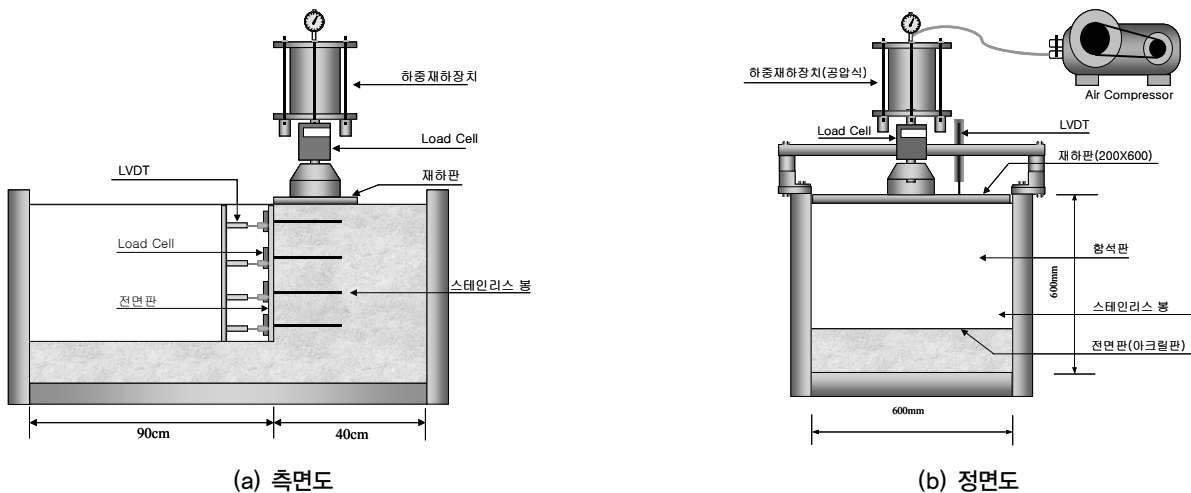


그림 4. 실내모형실험 개요도

재하중을 증가시켜 지반을 파괴하는 방식으로 모형실험을 진행하였다. 배면지반에 하중을 재하하는 동안에는 자료 수집기를 이용하여 배면에 작용하는 하중과 유발되는 변위를 측정하였다. 본 연구에서 시행한 실내모형실험의 개요도는 그림 3과 같으며, 실험과정 전경은 그림 5에 나타내었다.

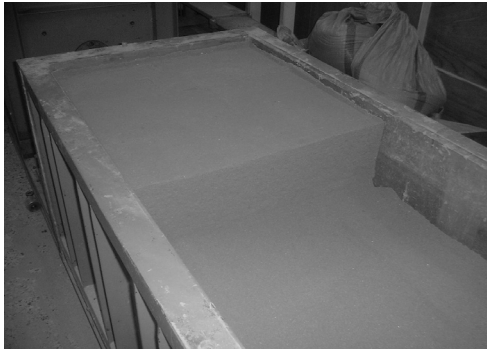
3.4 모형실험종류

전면벽체의 강성에 따른 영향을 규명하기 위하여 총 5회 모형실험을 실시하였으며, 각 경우에 해당되는 실험조건을 요약하면 표 2와 같다.

3.5 모형실험결과분석

전면벽체의 강성에 따른 모형지반의 거동특성을 알아보기 위한 실내모형실험결과는 그림 6에 나타내었다. 모형지반의 파괴시까지 연직하중에 대한 연직변위의 관계는 그림 6의 (a)에 나타내었으며, 모형지반의 상단에서 연직하중에 대한 수평변위 관계는 그림 6의 (b)에 나타내었다.

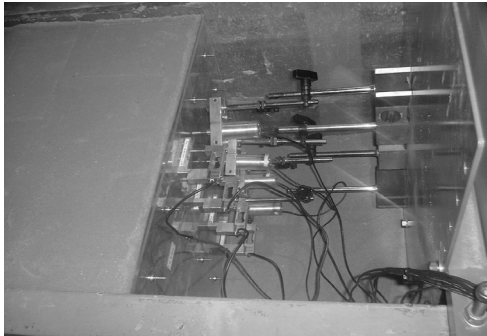
실내모형실험결과, 각각 case의 파괴하중은 무보강인 case 1이 1.13t/m^2 으로 가장 작게 나타났으며 전면벽체의 강성이 가장 큰 case 5가 4.00t/m^2 의 하중으로 가장 큰 저항력을 발휘하는 것으로 나타났다. 이외의 각각 case 별 파괴하중을 살펴보면, case 2의 경우는 2.05t/m^2 , case 3의 경우는 2.48t/m^2 그리고 case 4의 경우는 2.70t/m^2 으로 전면벽체의 강성이 점차 증가할수록 모형지반의 저항력은



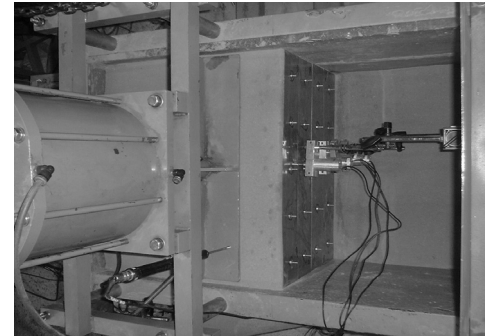
(a) 모형지반 조성



(b) 모형벽체 설치



(c) 계측기 설치

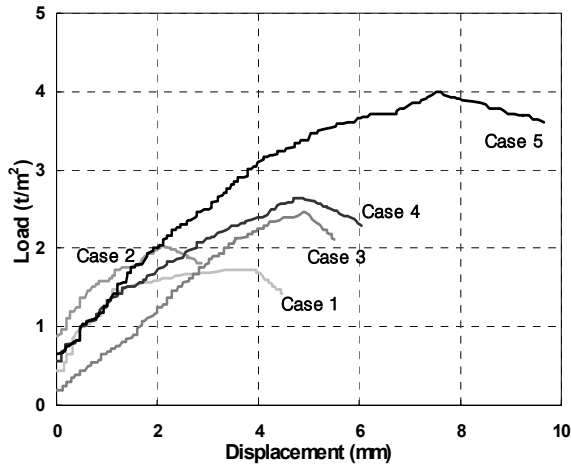


(d) 하중재하

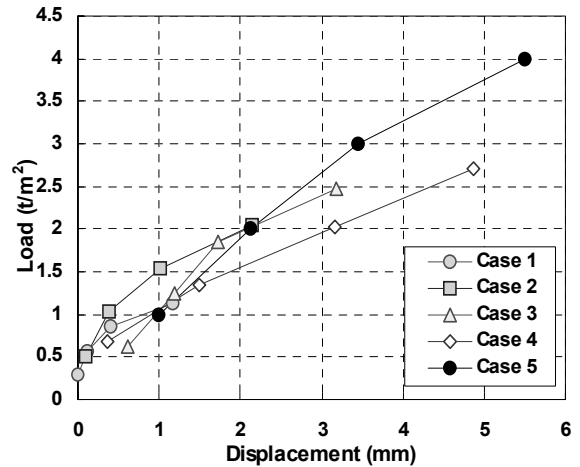
그림 5. 실내모형실험 전경

표 2. 실내모형실험 종류

Case	전면벽체 두께 (mm)	네일 길이 (cm)	네일 직경 (mm)	네일 설치각도 (°)	네일 개수	재하판	비고
Case 1	None	-	-	-	-	20cm×60cm	모형지반의 절취높이 : 40cm
Case 2	None	20	3	0	20		
Case 3	2	20	3	0	20		
Case 4	4	20	3	0	20		
Case 5	6	20	3	0	20		



(a) 모형벽체의 하중-침하 곡선



(b) 모형벽체 상단의 하중-수평변위 곡선

그림 6. 실내모형실험 결과

점차 증가하는 것으로 평가되었다. 전면벽체 강성의 영향을 보다 명확하게 살펴 보기 위하여 전면벽체의 강성이 없는 쏘일네일링 공법만 적용한 case 2의 경우와 비교한 결과, 전면벽체의 두께가 2mm, 4mm 및 6mm로 증가하는 case 3, case 4 및 case 5는 case 2에 비해 각각 21%, 32% 및 95%의 저항력이 증가하는 것으로 나타났다. 그림 6의 (b)는 모형지반 작용하중에 대한 모형벽체 상단의 수평변위를 나타낸 것으로, 본 결과에서도 전면벽체의 강성이 증가함에 따라 모형지반에 작용하는 하중은 더 커진 것으로 평가되었다. 하중작용에 따른 모형지반 수평변위의 경우, 전면벽체의 강성이 증가함에 따라서 점차 증가하는 것으로 나타났는데 이는 전면벽체의 강성이 증가함에 따라 모형지반은 더 큰 변위가 유발될 때까지 저항한데에서 기인한 것이다.

4. 한계평형해석을 통한 그린월의 안정성증대효과 평가

유한차분해석결과, 전면에 그린월시스템이 적용된 경우가 전체안정성을 증대시키는 효과가 있는 것으로 나타나 본 연구에서는 그린월시스템의 크기에 따른 영향정도를 파악하기 위하여 한계평형해석을 추가로 시행하였다. 한계평형해석에서는 그린월시스템과 함께 쏘일네일의 길이비, 정착비와 같은 설계변수 변화에 따른 전체 안전율변화를 평가하였다. 본 분석은 상용 한계평형해석 프로그램인 TALREN 97 프로그램을 이용하여 쏘일네일링의 보강정도를 결정하는 무차원변수를 다양하게 변화시켜 분석하였다.

쏘일네일 벽체의 보강정도를 결정하는 무차원변수(Bruce & Jewell 1986, 1987)에는 길이비(R_L , length ratio), 정착비(R_B , bond ratio) 및 강도비(R_S , strength ratio)가 있으며 이에 대한 정의는 다음과 같다(박시삼 등, 2006).

$$\text{길이비} : R_L = \frac{L}{H},$$

$$\text{정착비} : R_B = \frac{d_{hole} \cdot L}{S_h \cdot S_v},$$

$$\text{강도비} : R_S = \frac{d_{bar}^2}{S_h \cdot S_v} \quad (1)$$

여기서, L : 쏘일네일의 길이

H : 사면높이

d_{hole} : 천공직경

d_{bar} : 보강재직경

S_h : 쏘일네일의 횡방향 설치간격

S_v : 쏘일네일의 연직방향 설치간격

쏘일네일링 벽체에 있어서 일반적으로 적용되고 있는 길이비, 정착비 및 강도비의 범위는 그라우트 네일의 경우 일반적으로 $R_L=0.5\sim 0.8$, $R_B=0.3\sim 0.6$ 및 $R_S=(0.3\sim 0.5)\times 10^{-3}$ 이기 때문에, 본 분석에서는 $R_L=0.5\sim 0.8$, $R_B=0.3\sim 0.6$ 에 대한 분석을 시행하였다. 분석에 적용한 대표단면과 지반 강도정수는 그림 7과 표 3에 정리된 수치해석 적용 대표단면을 이용하였다. 아울러 한계평형해석이 시행된 설계변수변화별 해석조건은 표 4에 정리되어 있다. 그린월벽체의 두께를 2.0m에서 1.50m, 1.0m 그리고 0.5m로 감소시키는 경우와 쏘일네일의 길이비 및 정착비 변화에 따른 한

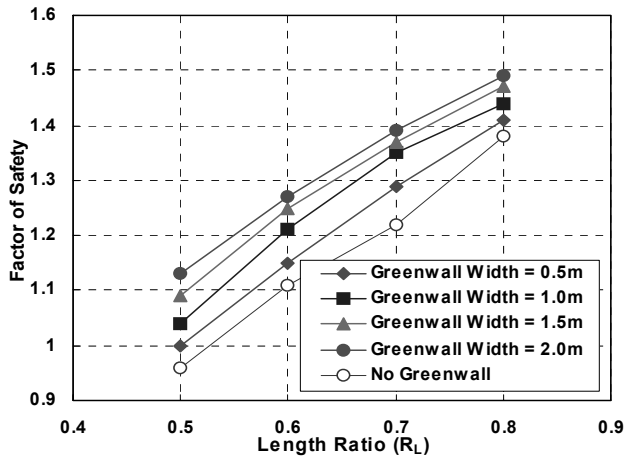
표 3. 한계평형해석에 적용된 지반강도정수

구 분	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)
풍 화 토	17.65	9.81	30	29.42
채 움 재	17.65	9.81	30	29.42
합성강도정수	18.24	65.7	31	925.27

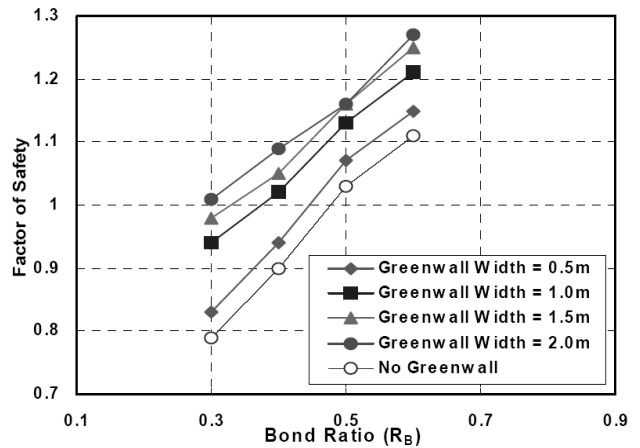
구 분	호칭	단면적	탄성계수	인장강도
쏘일네일	SD 40, D29	5.067cm ²	205939MPa	392.2MPa

표 4. 설계변수별 한계평형해석 조건

구 분	R_L	R_B	H (m)	L (m)	S_h (m)	S_v (m)	d_{hole} (mm)
길이비의 변화에 따른 영향분석	0.5	0.6	16.5	8.3	1.50	1.50	105
	0.6			10.0			
	0.7			11.5			
	0.8			13.2			
정착비의 변화에 따른 영향분석	0.6	0.3	16.5	10.0	2.15	2.15	105
		0.4			1.85	1.85	
		0.5			1.66	1.66	
		0.6			1.50	1.50	



(a) 길이비 변화에 따른 안전율 변화



(b) 정착비 변화에 따른 안전율 변화

그림 7. 한계평형해석결과

계평형해석결과에 의한 전체안전율의 변화는 그림 7에 나타내었다.

한계평형해석 결과를 살펴보면, 쏘일네일의 길이비 및 정착비가 증가함에 따라서 전체안전율은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 그린월의 벽체두께가 두꺼워질수록 전체안전율은 증가하는 것으로 확인되었다. 그린월벽체가 0.5m 두께인 경우, 전체안전율은 그린월이 없는 경우에 비해 2.1%~5.1%의 안전율 증가효과가 있는 것으로 평가되었으며, 그린월 벽체가 각각 1.0m, 1.5m 및 2.0m의 두께인 경우에는 그린월이 없는 경우에 비해 각각 약 8.3~13.3%, 6.5~24.0% 그리고 7.9%~27.8%의 안전율 증대효과가

있는 것으로 평가되었다.

그린월의 벽체두께가 2.0m, 쏘일네일의 길이비가 0.7 (쏘일네일 길이=11.5m)인 경우의 평가된 안전율을 살펴보면, 그린월이 설치되지 않은 일반 쏘일네일 구성사면 길이비 0.8(쏘일네일 길이=13.2m)인 경우와 유사한 안전율을 나타내는 것으로 평가되었다. 또한, 그린월의 벽체 두께가 1.0m, 쏘일네일의 정착비가 0.4(수평, 수직 설치 간격= 1.85m)인 경우 평가된 안전율은, 그린월이 없는 일반 쏘일네일 구성사면의 정착비 0.5(수평, 수직 설치간격 1.66m)의 경우와 유사한 안전율을 나타내는 것으로 평가 되었다.

5. 결론

본 연구에서는 그린월과 쏘일네일 공법이 함께 적용되는 경우에 쏘일네일 전면에서 시공되는 그린월벽체의 강성이 전체 안정성에 미치는 영향에 대하여 알아보기 위하여 수행되었다. 본 연구에서는 전면벽체의 강성조건을 변화시켜 실내모형실험을 시행하였으며, 유한차분 수치해석을 시행하여 실제규모의 대표단면에 대해 검증하였다. 아울러 그린월의 경제적인 시공가능 여부를 평가하기 위하여 한계평형해석을 시행하여 그린월 시스템의 적용성을 평가하였다.

본 연구를 통해 얻어진 주요내용을 정리하면 다음과 같다.

1. 실내모형실험결과, 각각 case의 파괴하중은 무보강인 case 1이 $1.13t/m^2$ 으로 가장 작게 나타났으며 전면벽체의 강성이 가장 큰 case 5가 $4.00t/m^2$ 의 하중으로 가장 큰 저항력을 발휘하는 것으로 나타났다. 다시 말해 전면벽체의 강성이 점차 증가할수록 모형지반의 저항력은 점차 증가하는 것으로 평가되었다.
2. 한계평형해석 결과를 살펴보면, 그린월의 벽체두께가 두꺼워질수록 전체안전율은 증가하는 것으로 확인되었다. 그린월벽체가 0.5m두께인 경우, 전체안전율은 그린월이 없는 경우에 비해 2.1%~5.1%의 안전율 증가 효과가 있는 것으로 평가되었으며, 그린월 벽체가 각각 1.0m, 1.5m 및 2.0m의 두께인 경우에는 그린월이 없는 경우에 비해 각각 약 8.3~13.3%, 6.5~24.0% 그리고

7.9%~27.8%의 안전율 증대효과가 있는 것으로 평가되었다.

3. 한계평형해석결과를 종합적으로 분석한 바, 그린월과 쏘일네일공법이 함께 시공되는 경우에는 그린월의 단면크기를 감소시키는 것이 가능할 것으로 생각되며, 쏘일네일이 그린월에 결속되어 시공되는 경우에는 쏘일네일의 설치밀도를 감소시키는 경제적인 시공이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 권영호 (2002), *전면벽체의 강성이 쏘일네일링 시스템의 안정성에 미치는 영향에 관한 연구*, 홍익대학교 박사학위논문.
2. 박시삼, 김종민, 김홍택 (2005a), “Green Wall 시스템의 설계 및 해석을 위한 기초연구”, *한국지반공학회 2005 지반공학 공동 학술발표회 논문집*, pp.681-688.
3. 박시삼, 최기병, 유찬호, 김홍택, 김용언 (2005b), “Green Wall 시스템의 설계사례에 대한 고찰”, *한국토목섬유학회 2005 가을학술발표회 논문집*, pp.171-178.
4. 박시삼, 조성한, 유찬호, 김홍택, 김용언 (2006), “네일의 토압분담효과를 고려한 Green Wall 시스템의 설계”, *한국지반공학회 2006 봄학술발표회 논문집*, pp.1038-1045.
5. Bruce, D. A. and Jewell, R. A. (1986), “Soil Nailing: Application and Practice - part 1”, *Ground Engineering*, Nov., pp.10-15.
6. Bruce, D. A. and Jewell, R. A. (1987), “Soil Nailing: Application and Practice - part 2”, *Ground Engineering*, Jan., pp.2-38.
7. FHWA, *Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls*, Publication No. FHWA-SA-96_069, pp.63-136.

(논문접수일 2006. 9. 1, 심사완료일 2006. 9. 15)