

절토사면에서 보강토 옹벽의 적용성 연구

A Study on the Application of Soil-Reinforced Retaining Wall for Excavation Slope

변 요 셸¹⁾ · 류 응 렬¹⁾ · 이 동 호²⁾ · 천 병 식[†]

Byun, Yoseph · Wrryu, Woongryeal · Lee, Dongho · Chun, Byungsik

ABSTRACT : Considering environmental issues and lack of space, it is a necessity to minimize the amount of excavation. Various types of excavation methods are being used in practice. This study proposes a reasonable method for estimating the earth pressure acting on a reinforced wall in front of a excavated slope. The measured data in the field and numerical analyses were used. Results of the study shows that the earth pressure acting on the excavated wall is less than that estimated by Rankine's equations. It was shown that when the excavated slope is used with the reinforced wall, the pressures acting on the reinforced wall can be greatly reduced.

Keywords : Earth pressure, Reinforced wall, Method for estimating the earth pressure, Excavated slope

요 지 : 절토공사 현장의 경우에는 환경문제 및 대지경계 등의 이유로 원지반의 절취량을 최소화 할 수 있는 공법이 지속적으로 요구되고 있으며, 이를 만족하기 위한 많은 공법들이 적용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 절토사면에 대한 보강토 옹벽의 적용성 확대를 위해 제안한 절토사면 보강토 옹벽의 합리적인 토압산정 방안을 제시하기 위하여 실제 현장에서 측정된 계측자료, 수치 해석을 통하여 토압산정 방법을 제안하고자 하였다. 연구결과, Rankine 토압에 비해 보강토 옹벽에 작용하는 토압이 저감된 것을 확인할 수 있었으며, 절토사면 보호공과 보강토 옹벽을 함께 시공하는 경우에는 보강토옹벽 전면에 작용하는 토압을 감소시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

주요어 : 토압, 보강토옹벽, 토압산정방안, 절토사면

1. 서 론

산지가 많은 지형적인 특성으로 인해 국내 공사현장에서는 산지를 절취하는 경우가 빈번히 발생하고 있으며, 환경문제 및 대지경계 등의 이유로 원지반의 절취량을 최소화할 수 있는 공법이 지속적으로 요구되고 있는 실정이다. 이런 원지반 절취량 최소화를 위해 다양한 형태의 옹벽이 제안되어 왔으며, 그 중 보강토공법은 토체내에 보강재를 삽입하여 토류구조물을 보강하는 공법으로 시공된 흙과 보강재의 복합구조는 기존의 지반에 비하여 개선된 인장 및 압축특성을 갖는다. 일반적인 보강토 옹벽의 경우에는 보강재를 설치할 수 있는 뒷채움 공간이 요구되어 절토사면에 인접하여 옹벽이 설치되어야 하는 현장에는 그 적용이 곤란한 경우가 자주 발생하고 있다.

절토사면 전면보호와 미관개선, 내진성능개선 등 보강토 옹벽에는 기존 공법들에 비해 많은 장점들이 있으며, 일정 높이 이상에서는 경제성 또한 확보할 수 있는 공법으로 위 측면들을 고려하여 뒷채움 공간이 부족한 경우에서도 보강토 옹

벽을 적용할 수 있는 공법들이 시도되고 있는 실정이다.

본 연구는 상기와 같은 측면들을 고려하여 절토사면에 인접하여 설치되는 보강토 옹벽의 적용성 증진을 위해 보강재의 길이를 줄여 사면 절토량을 최소화할 수 있으며, 부족한 보강력은 쏘일네일공법과 같은 사면보강공과 연결하여 충분한 저항력을 확보할 수 있도록 한 쏘일네일과 강재스트립으로 보강된 절토사면 보강토옹벽의 토압산정 방법에 대한 연구이다. 따라서 본 연구에서는 시험 시공시 계측 결과, 좁은 되메움 공간에서의 토압 이론식을 적용한 결과와 수치해석 수행 결과를 비교하여 적정 토압산정법을 제안하였으며, 그 적용성을 확대하기 위해 토압분포특성을 파악하였다. 그리고 이를 통하여 유사현장 발생 시 토압저감계수를 통한 설계활용이 가능하게 하는 데에 본 연구의 목적이 있다.

2. 토압 이론

보강토 옹벽의 토압을 산정하는 이론은 일반적으로 Rankine

1) 정희원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정

2) 정희원, 두산건설(주)

† 정희원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

및 Coulomb 토압이론이 이용되고 있으며, 실제거동을 모사할 수 있는 이론으로는 silo 등의 이론이 이용될 수 있다. 또한 본 연구에서와 같이 절토사면에 설치되는 옹벽이 보강재와 함께 적용되는 경우에는 Gässler(1988)의 ‘Two-body translation mechanism’을 이용할 수 있다.

2.1 silo 이론

Janssen(1895)은 시멘트 및 곡물 저장을 위한 사일로의 벽면 및 바닥면에 작용하는 수평 및 연직 압력을 저장물질의 함수비 및 단위 부피당 중량에 따른 저장물질의 내부마찰각, 벽면 마찰각 등을 이용하여 산출하는 silo 이론을 제안하였는데, 제안식은 선형 미분방정식이므로 초기 경계치 $h = 0, \sigma_v = 0$ 을 적용하면 식 (1)과 (2)와 같은 해를 얻을 수 있다.

$$\sigma_v = \frac{\gamma \cdot R}{K_a \cdot \tan \delta} \left[1 - \exp\left(-K_a \cdot \frac{h}{R} \cdot \tan \delta\right) \right] \quad (1)$$

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot K_a \quad (2)$$

여기서, R : 동수반경 = (면적/윤변)

K_a : 주동토압계수

δ : 벽마찰각

h : 저장물 자유표면에서의 길이

σ_h : 사일로 내부의 수평압력

σ_v : 사일로 내부의 연직압력

2.2 구조물 기초 설계기준

보강토옹벽 + 쏘일네일링의 구조물과 같은 형식의 구조물은 전면에 설치되는 전면 구조체의 안정성을 확인하는 단계가 필요하며, 이 때 전면벽체에 작용하는 토압은 합리적으로 산정해야 한다.

전면구조물에 작용하는 토압은 활동 파괴면을 직선으로 가정하면 도해법이나 계산식으로 쉽게 산정할 수 있으며,

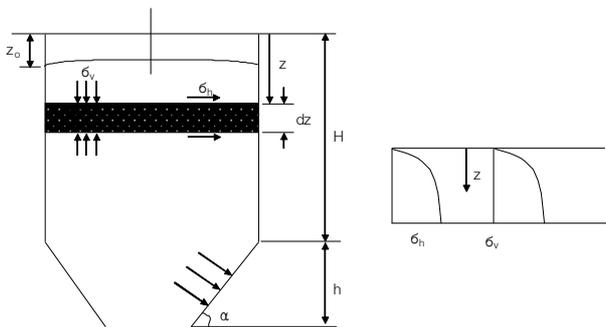


그림 1. silo 안의 미소 평면 요소에 대한 힘의 평형(Janssen, 1895)

예상 파괴면이 성토체 내에 존재하는 경우는 식 (3)과 같고, 예상 파괴면이 원지반에 존재하는 경우는 식 (4)와 같다(한국지반공학회, 2009).

$$\min\left(P = \frac{W \sin(j - \delta')}{\sin(\alpha + j - \delta - \delta')} \text{ or } P = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_z\right) \quad (3)$$

$$P = \frac{W \sin(j - \delta')}{\sin(\alpha + j - \delta - \delta')} \quad (4)$$

2.3 Two-body translation mechanism을 이용한 토압산정

네일의 토압분담 효과를 고려한 토압산정 설계기법은 Gässler(1988)의 안정해석법을 수정하여 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

네일의 총인장력, ΣT 의 경우, 네일의 인장력, T_i 를 평가하는 식 (5)를 이용하여 각각의 네일의 인장력을 결정한 후, 전체 네일에서 발휘되는 총인장력을 산정한다.

$$T_i = \frac{\pi D l_i (\tau_{nr} + C')}{S_H} \quad (5)$$

여기서, l_i : 각각의 네일 유효길이,

$$\tau_{nr} = (\sigma_{nr} - u_w) \cdot \tan \phi'$$

$$\tan \phi' = \frac{\tan \phi}{FS}$$

$$\sigma_{nr} = \frac{\sigma_{yr} \cos^2 \epsilon - \sigma_{xr} \sin^2 \epsilon}{\cos 2\epsilon + \sin 2\epsilon \cdot \tan \phi'}$$

S_H : 네일의 수평방향 설치간격,

$$C' = \frac{C}{FS}, \sigma_{yr} = \gamma z_b, \sigma_{xr} = K \sigma_{yr}$$

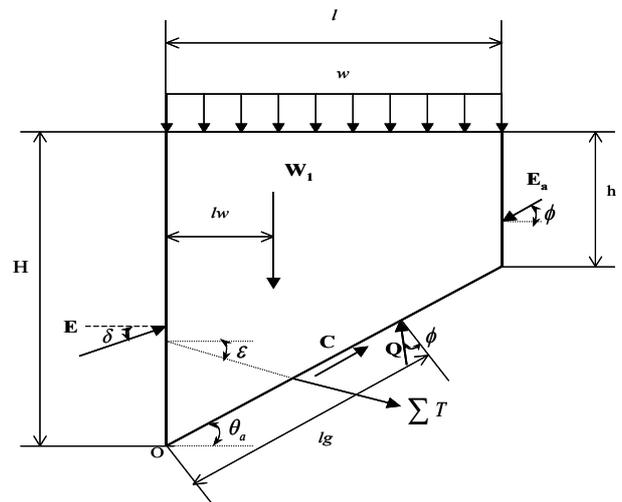


그림 2. 네일로 보강된 토체의 힘의 분포

아울러, 계산된 T_i 의 값은 네일의 항복강도와 비교하게 되는데, 네일의 항복강도와 비교하는 식은, 식 (6)과 같다.

$$T_i \leq \frac{A_{st} F_y}{S_H} \quad (6)$$

여기서, A_{st} : 보강재의 단면적,
 F_y : 보강재의 항복강도

3. 현장시험시공

3.1 현장시험 개요

현장 시험시공은 제안된 절토사면 보강토옹벽의 현장 적용성 및 안정성 확보 여부를 평가하기 위한 목적으로 ‘○○-○○간 도로 확·포장공사’ 현장에서 시행되었다. 절토사면 보강토옹벽 적용 현장은 그림 3에서 나타난 바와 같이 계곡부에 위치하며 총 연장이 61.82m 구간으로서 절성토부 및 편절부 시공시 하부의 1단, 2단은 쏘일네일과 사다리꼴 강보강재(steel strip)를 일체로 한 블럭식 절토사면 보강토옹벽으로 시공하였으며, 상부 3단과 4단은 통상적인 블럭식 지오그리드 보강토옹벽을 적용하였다. 절토사면 보강토옹벽의 대표단면은 그림 4와 같다.

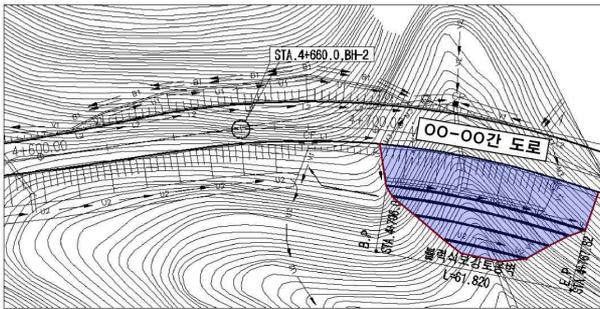


그림 3. 시험시공 현장의 평면현황

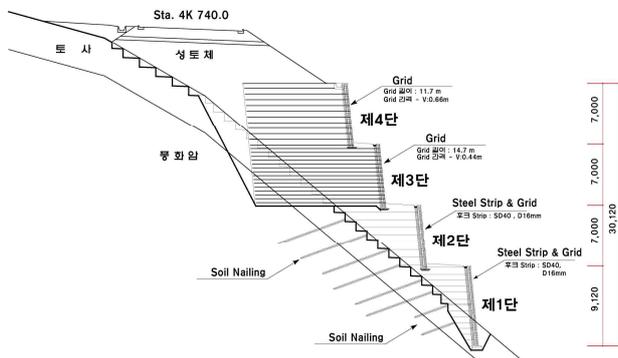


그림 4. 시험시공 현장의 횡단현황

3.2 예측결과 분석

현장시험시공에서는 옹벽 상단으로부터 4.5m 및 9.5m에 각각 토압계를 설치하였으며, 단계별 시공과정에 맞추어 수평토압을 측정하였다. 그림 5에 나타난 바와 같이 시공완료 후 약 190일 경과시까지 블록배면의 수평토압을 측정하였으며, 심도 4.5m지점은 4~11kN/m²정도의 수평토압이 작용하는 것으로 평가되었다. 심도 9.5m 지점의 경우에는 7~17kN/m²정도의 수평토압이 작용하여 심도가 깊어짐에 따라 보강토 옹벽에 작용하는 토압은 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 보강토 옹벽에 작용하는 토압은 Rankine 토압이론으로 평가된 주동토압보다는 작게 평가되어 이론식과는 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다. 심도 4.5m 및 9.5m지점의 경우 Rankine 토압이론에 비해 각각 30.8% 및 46.1% 정도 토압이 감소하는 것으로 평가되었다.

4. 수치해석

4.1 해석모델링

수치해석에는 범용유한요소해석 프로그램인 Pentagon^{2D}를 사용하여 해석을 수행하였다. Pentagon^{2D}는 편리한 사용자 인터페이스와 다양한 해석모델의 적용과 시공단계를 고려한 모델링이 가능하여 복잡한 입력데이터를 손쉽게 입력할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서 지반요소는 일반적인 탄소성 모델인 Mohr-Coulomb Model을 사용하였으며, 지반 및 옹벽 등 모든 요소는 8절점 요소(quad element)를 사용하였으며, 쏘일네일의 경우에는 TRUSS 요소로 모델링하였다. 수치해석에서는 좌측과 우측경계면에 롤러를 두어 횡방향 변위가 발생하지 않도록 구속하였으며, 바닥면에 역시 롤러를 두어 종방향 변위가 발생하지 않도록 구속하여 실제지반의 거동을 모사

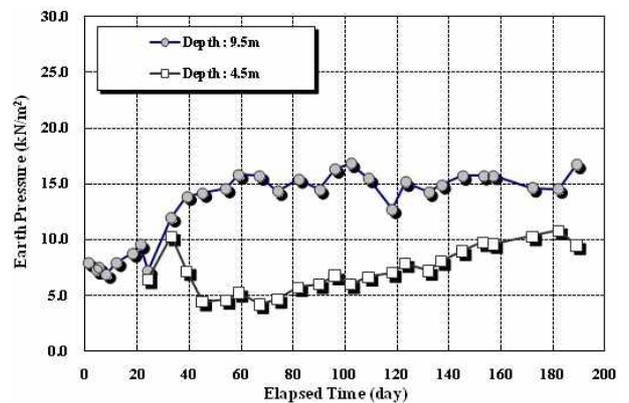


그림 5. 현장 시험시공 구간의 심도별 토압 측정결과

표 1. 지층별 지반강도정수

지층	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kN/m ²)	내부 마찰각 (°)	탄성계수 (kN/m ²)	포와송 비 (ν)
성토층	18.0	15	30	30,000	0.38
토사층	18.4	20	30	35,000	0.37
풍화암	20.0	50	35	300,000	0.33
연암	25.0	70	37	15,000,000	0.25

하였다. 표 1은 수치해석에 적용된 지반 특성값으로 현장시험시공에 적용된 강도정수를 보여주고 있다. 지표로부터 붕적토와 풍화토로 구성되는 토사층, 풍화암 및 연암층 순으로 분포하고 있다.

4.2 해석결과

해석결과는 전체 옹벽 4단이 설치되는 전체지반의 연직 침하량, 수평변위, 지반소성도 및 수평응력 중심으로 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음 그림 6과 같다.

해석결과 단계별 시공과정이 진행될수록 수평변위는 점차 증가하는 것으로 나타났으며, 최종시공단계에서 약 6.4cm로 평가되었다. 또한 지반의 침하량 역시 단계별 시공과정에 따라 증가하는 것으로 나타나 최종단계에서 5.4cm로 평가되었다. 지반의 소성도는 보강토 옹벽의 벽체에서 비교적 크게 일어나는 것으로 평가되었으며, 보강토 옹벽의 전면에서 작용하는 수평응력은 5~57kN/m² 정도로 평가되었다.

수치해석으로 평가된 최종단계에서의 보강토 옹벽 전면에서의 심도별 변위와 수평응력분포 결과는 그림 7에서 보는 바와 같다. 전반적인 수평변위 분포형태는 현장시험시 지층경사계를 통한 수평변위와 수치해석을 통한 변위분석

결과 현장계측결과와 유사한 양상을 보여 그 신뢰성은 어느 정도 확보하고 있는 것으로 판단된다. 심도별 수평응력은 최대 57kN/m² 정도로 평가되었으며, 수평변위와 같이 현장시험시공에 측정된 결과와 유사하게 하부 심도로 증가할수록 크게 평가되었다. 그러나 수치해석 결과에서도 보강토 옹벽 전면에서 작용하는 토압은 Rankine 및 Coulmb토압에서 제시하는 이론식 결과보다는 전반적으로 작게 평가되었다.

한편, 사면보강공이 보강토옹벽의 토압을 어느 정도까지 감소시키는지 여부를 확인하고자 대표단면에 네일이 설치되지 않을 경우를 가정하여 사면보강공은 없고, 보강토 옹벽만 설치되는 경우의 토압분포를 분석하였다. 사면보강공이 설치되지 않는 경우에는 그림 8에서 보는 바와 같이 보강토옹벽에 작용하는 토압이 증가하는 것으로 나타나, 보강토옹벽의 토압산정에 있어 사면보강공의 응력분담을 고려하는 것이 합리적인 보강토옹벽의 토압산정방법일 것으로 판단된다.

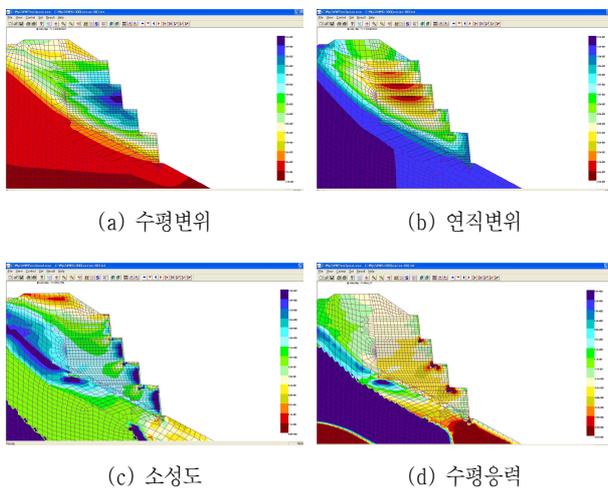
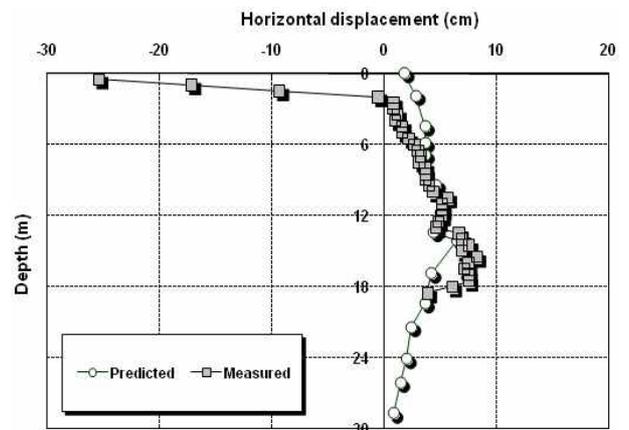
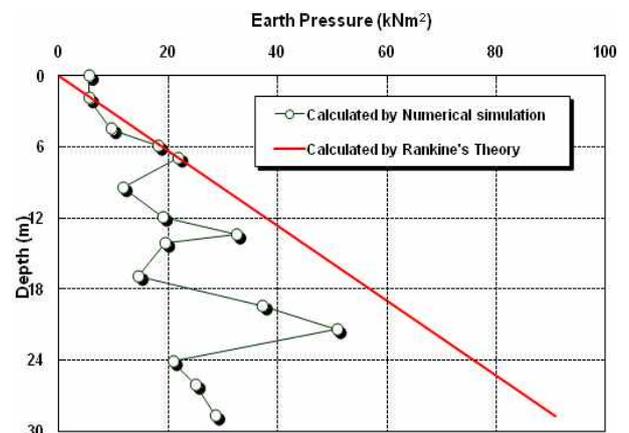


그림 6. 수치해석 결과



(a) 수평변위



(b) 수평응력

그림 7. 최종단계에서의 심도별 수평 변위 및 수평응력(옹벽전면)

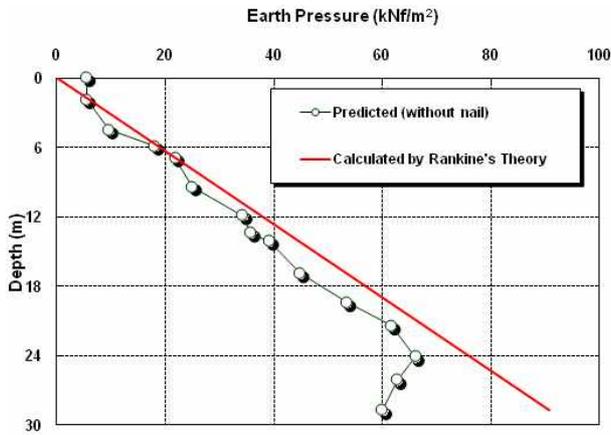


그림 8. 네일이 없는 경우 최종단계에서의 심도별 수평응력

5. 분석 및 고찰

5.1 이론식에 의한 토압산정 결과

대표단면에 대한 토압을 가장 널리 이용되고 있는 Rankine 토압이론과 좁은 되메움 공간에서의 토압분포를 산정할 수 있는 silo 토압이론 그리고 절토사면에 보강되는 보강재를 고려할 수 있는 Gässler의 토압이론을 이용하여 토압을 산정한 결과는 그림 9에서 보는 바와 같다.

그림 9에서 보는 바와 같이 보강토 옹벽 전면에 작용하는 토압은 이론식마다 다소 차이가 남을 알 수 있다. 특히 토압이 연속적이지 못하고 구분되는 것은 소단으로 나뉘어지는 토압을 구분하여 산정된 것이며, 상부에서부터 15m 이내 지점의 경우에는 토목섬유 보강재를 사용하여 하부로 갈수록 많은 보강재가 설치됨으로써 옹벽에 적용하는 토압이 감소하는 것으로 나타나, 15m 이후 지점의 경우에는 스틸 스트립 보강재의 강성이 커서 옹벽전면벽체에 작용하는 토압이 크게 감소되는 것으로 평가되었다. Gassler 토압의 경우 전반적인 분포형태가 silo 토압의 경우와 유사하나 비

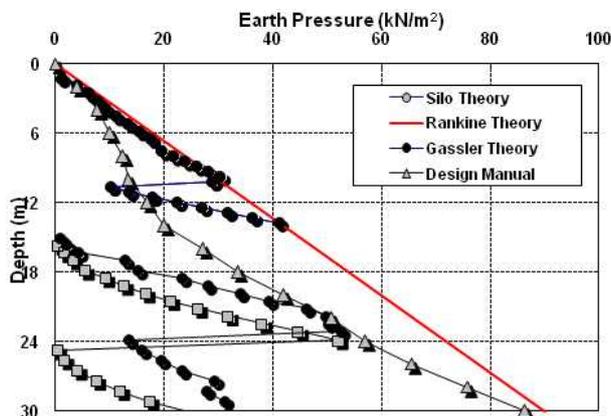


그림 9. 이론식에 의한 보강토 전면 작용토압 산정결과

교적 크게 평가되는 것으로 나타났다.

한편, 구조물 기초 설계기준의 경우에는 전반적으로 Rankine 토압의 분포형태 및 크기와 유사한 것으로 평가되었다.

5.2 수치해석에 의한 토압평가 결과

현장시험시공으로 예측된 토압과 수치해석으로 예측된 토압, 이론식에 의한 토압산정 결과는 그림 10에서 보는 바와 같다. 현장 측정치는 결과가 비교적 소량이나 수치해석 결과와 유사하게 나타나는 것으로 평가되었으며, 수치해석으로 평가된 토압산정결과와 Gässler의 ‘Two-body translation mechanism’을 이용한 토압산정 결과 전반적인 분포형태가 수치해석 결과와 비교적 유사하게 평가되어 Gässler의 토압산정방법이 절토사면에 설치되는 보강토 옹벽의 보강재를 고려한 토압산정 방법으로 적절함을 확인하였다.

5.3 보강재의 토압분담효과

5.3.1 개요

본 연구에서는 절토사면 보강용 옹벽에 작용하는 합리적인 토압산정방법을 알아보고자 현장시험시공 및 수치해석을 통해 보강토 옹벽에 작용하는 토압을 산정하였다. 전술한 바와 같이 절토사면 보강용 옹벽의 경우에는 보강재의 토압분담효과로 인해 보강토 옹벽에 작용하는 토압은 이론식에 비해 작게 평가된다. 이에 본 연구에서는 보강재로 인한 토압저감 효과를 정량적으로 알아보기 위하여 수치해석기법을 이용하여 보강재의 토압저감효과를 알아보았다.

절토사면에 보강되는 보강재의 보강정도는 Bruc 등(1986; 1987)이 제안한 무차원변수인 길이비(R_L , length ratio), 정착비(R_B , bond ratio) 및 강도비(R_S , strength ratio)로 나타낼 수 있으며, 이에 대한 정의는 식 (7)과 같다.

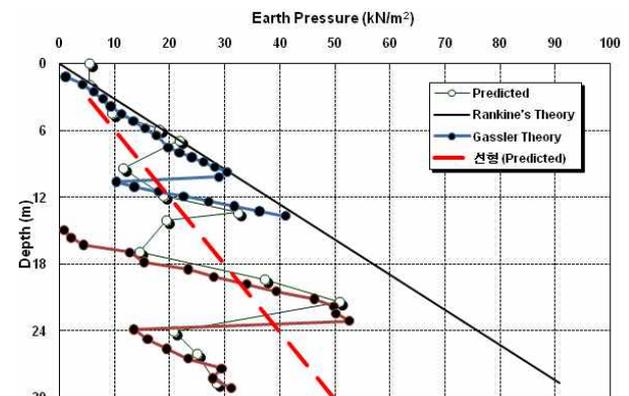


그림 10. 수치해석 및 이론식에 의한 보강토 전면 작용토압 산정결과

$$\begin{aligned}
 \text{길이비, } R_L &= \frac{L}{H} \\
 \text{정착비, } R_B &= \frac{d_{hole} \times L}{S_h \times S_v} \\
 \text{강도비, } R_S &= \frac{d_{bar}^2}{S_h \times S_v}
 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서, L : 보강재 길이
 H : 사면높이
 d_{hole} : 천공직경
 d_{bar} : 보강재 직경
 S_h : 보강재 횡방향 간격
 S_v : 보강재 연직방향 간격

사면보강에 있어서 일반적으로 적용되는 길이비, 정착비 및 강도비의 범위는 그라우트를 이용하는 경우 일반적으로 $R_L=0.5 \sim 0.8$, $R_B=0.3 \sim 0.6$ 및 $R_S=(0.3 \sim 0.5) \times 10^{-3}$ 이다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 길이비, 정착비 및 강도비의 범위로 보강재가 설치되었을 경우에 대한 보강토 옹벽의 작용토압을 수치해석으로 산정하였다.

5.3.2 변수분석

R_L , R_B , R_S 의 변수 변화에 따른 토압특성을 분석하기 위해 변수분석은 임의의 절토사면 보강토옹벽을 대상으로 수행하였으며, 변수분석에 적용된 제반조건은 표 2에 정리하여 나타내었다.

사면보강에 일반적으로 적용되는 보강비의 범위($R_L=0.5 \sim 0.8$, $R_B=0.3 \sim 0.6$ 및 $R_S=(0.3 \sim 0.5) \times 10^{-3}$)에서 다른 변수들은 고정된 값을 적용하여 길이비, 정착비 및 강도비별 변화에 따른 토압의 변화를 분석하였다.

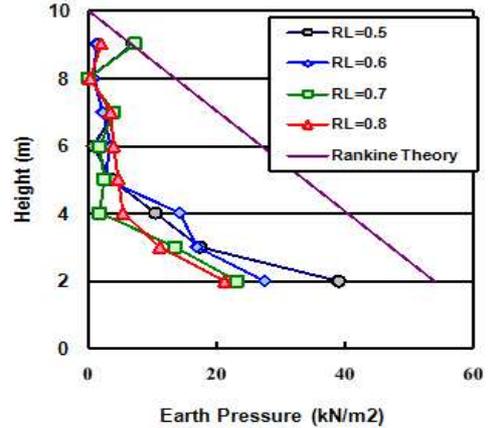
5.3.3 분석결과

그림 11에서 보는 바와 같이 보강재의 길이비가 증가함

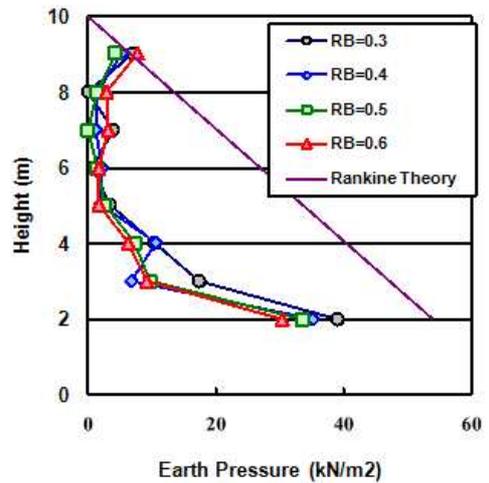
표 2. 변수분석에 적용된 제반조건

구분	R_L	R_B	R_S	H (m)	L (m)	S_h (m)	S_v (m)	d_{hole} (m)	d_{bar} (m)	
길이비	0.5	0.3	0.5×10^{-3}	10.0	5.0	1.75	1.0	0.105	0.029	
	0.6				6.0					
	0.7				7.0					
	0.8				8.0					
정착비	0.5	0.3	0.5×10^{-3}	10.0	5.0	1.75	1.0	0.105	0.029	
		0.4								1.31
		0.5								1.05
		0.6								0.88
강도비	0.5	0.3	0.3×10^{-3}	10.0	5.0	1.75	1.0	0.105	0.022	
			0.4×10^{-3}						0.025	
			0.5×10^{-3}						0.029	

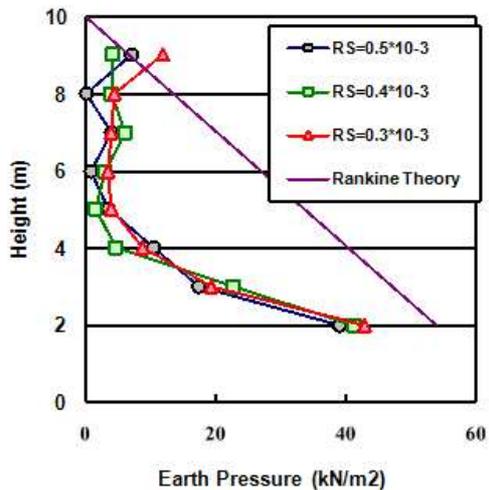
에 따라서 최대토압과 심도별 분포토압은 전반적으로 감소하는 것으로 평가되었으며, 정착비 및 강도비가 증가함에 따라 토압은 전반적으로 감소하는 것으로 평가되었다.



(a) 보강재의 길이비에 따른 보강토 옹벽 토압분포



(b) 보강재의 정착비에 따른 보강토 옹벽 토압분포



(c) 보강재의 강도비에 따른 보강토 옹벽 토압분포

그림 11. 강비에 따른 보강토옹벽 작용토압 산정결과

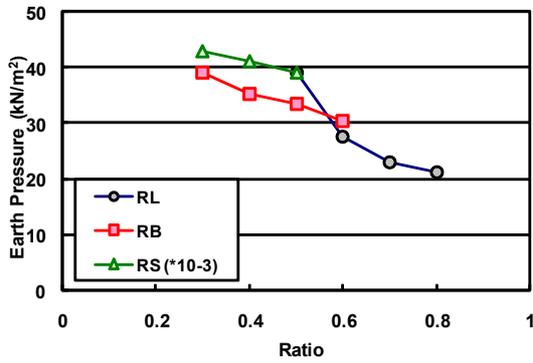


그림 12. 보강비(길이비, 정착비, 강도비) 변화에 따른 토압의 변화

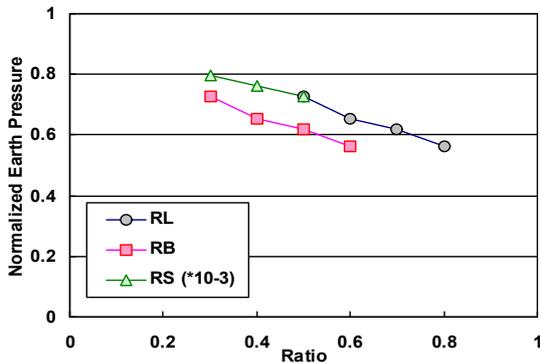


그림 13. Rankine토압으로 정규화 시킨 보강비(길이비, 정착비, 강도비)에 따른 토압

또한 수치해석으로 평가된 토압 중 최대값을 길이비, 정착비 및 강도비 변화에 따른 변화는 그림 12에 나타내었으며, 상호간의 비교분석을 위하여 Rankine토압이론으로 산정된 토압을 기준으로 정규화시켰으며, 그 결과는 그림 13에 나타내었다.

그림 13에서 보는 바와 같이, 보강재의 길이비가 0.5에서 0.8로 증가함에 따라서 보강토 옹벽에 작용하는 토압은 Rankine토압이론으로 산정된 토압에 비해 27.5%~60.5%가 감소하는 것으로 평가되었으며, 보강재의 정착비가 0.3~0.6인 경우에는 27.5%~44.6% 정도의 토압이 감소하는 것으로 평가되었다. 또한 강도비가 $0.3 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3}$ 로 증가함에 따라서 토압은 20.5%~27.5% 정도의 토압이 감소하는 것으로 평가되었다.

5.4 토압저감 설계차트 제안

절토사면에 설치되는 보강토 옹벽의 작용 토압을 보다 합리적으로 산정하기 위하여 사면보강공의 보강정도를 나타내는 보강비(길이비, 정착비, 강도비)를 일반적으로 사용되는 범위내에서 변화시켜 수평토압의 저감 범위는 그림 14에서 보는 바와 같다.

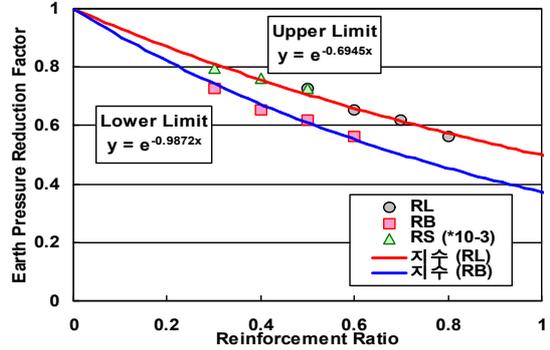


그림 14. 보강정도에 따른 토압저감계수

일반적으로 사용되는 Rankine토압이론과 대비하여 정규화된 토압과 보강정도를 나타내는 보강비의 관계를 통해 사면보강공과 함께 적용된 보강토 옹벽에 작용하는 토압의 저감범위를 정량적으로 표현하였다.

본 설계차트를 통해 보강비(길이비, 정착비, 강도비)에 따른 토압 저감 효과를 예측할 수 있으며, 이를 통해 보강토 옹벽 전면판 및 보강재의 제원 설계에 활용할 수 있을 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 절토사면에 대한 보강토 옹벽의 적용성 확대를 위해 제안한 절토사면 보강토 옹벽의 합리적인 토압 산정 방안을 제시하기 위하여 실제 현장에서 측정된 측정자료, 수치해석 등을 통하여 토압산정 방법을 제안하고자 하였다. 본 연구를 통해 얻어진 주요 내용을 요약, 정리하면 다음과 같다.

- (1) 현장 시험시공 결과, 보강토 옹벽에 작용하는 토압은 Rankine토압이론으로 평가된 주동토압보다는 작게 평가되어 이론식과는 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다.
- (2) 수치해석 결과 현장에서 측정된 토압결과와 유사하게 나타나는 것으로 평가되었으며, 수치해석에서도 Rankine토압에 비해 보강토 옹벽에 작용하는 토압이 저감된 것을 확인하여, 절토사면 보호공과 보강토 옹벽을 함께 시공하는 경우, 보강토 옹벽 전면에 작용하는 토압을 감소시킬 수 있는 것으로 평가되었다.
- (3) Gässler의 토압산정결과 전반적인 분포형태가 수치해석 결과와 비교적 유사하게 평가되어 Gässler의 토압산정 방법이 절토사면에 설치되는 보강토 옹벽의 보강재를 고려한 토압산정 방법으로 적절함을 확인하였다.
- (4) 수치해석 결과, 보강재의 길이비가 0.5에서 0.8로 증가함에 따라서 보강토 옹벽에 작용하는 토압은 Rankine토

압이론으로 산정된 토압에 비해 27.5%~60.5%가 감소하는 것으로 평가되었으며, 보강재의 정착비가 0.3~0.6인 경우에는 27.5%~44.6% 정도의 토압이 감소하는 것으로 평가되었다. 또한 강도비가 $0.3 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3}$ 로 증가함에 따라서 토압은 20.5%~27.5% 정도의 토압이 감소하는 것으로 평가되었다.

- (5) 변수분석결과를 토대로 보강재의 설치정도에 따라서 보강토 옹벽에 작용하는 토압의 저감계수 차트를 제안하였으며, 절토사면 보강토 옹벽의 경우에는 토압저감계수를 고려하여 옹벽에 작용하는 토압을 산정함이 합리적인 토압의 산정방안으로 생각된다.
- (6) 추후 보강토 옹벽의 기하학적 조건 및 지반강도정수 등에 대한 변수분석이 수반되는 경우에는 보다 정확한 토압저감계수의 산정이 가능할 것으로 판단되며, 정량적인 토압저감계수 설계기법 정립을 위한 다양하고 심도 있는 검토가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 한국지반공학회 (2009), 구조물 기초 설계기준 해설, 구미서관, pp. 433~518.
2. Bruce, D. A. and Jewell, R. A. (1986), Soil Nailing: Application and Practice Part 1, Ground Engineering, *The Journal of the British Geotechnical Society*, Vol. 19, No. 8, pp. 10~15.
3. Bruce, D. A. and Jewell, R. A. (1987), Soil Nailing: Application and Practice Part 2, Ground Engineering, *The Journal of the British Geotechnical Society*, Vol. 20, No. 1, pp. 21~28.
4. Gässler, G. (1988), Soil Nailing Theoretical Basis and Practical Design, *International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement*, Balkema, pp. 283~288.
5. Janssen, H. A. (1895), Versuche über Getreidedruck in Silozellen, *Partial English Translation in Proceeding of Institute of Civil Engineers*, London, England, Vol. 39, No. 3, pp. 1045~1049.

(접수일: 2009. 12. 1 심사일: 2009. 12. 14 심사완료일: 2009. 12. 31)