

## 대형 축조블록을 이용한 보강토옹벽의 안정성 평가

### Stability evaluation of reinforced earth walls based on large-scale modular blocks

한중근<sup>1</sup>, 김민우<sup>2</sup>, 홍기권<sup>3\*</sup>, 윤중만<sup>4</sup>

Jung-Geun Han<sup>1</sup>, Min-Woo Kim<sup>2</sup>, Kikwon Hong<sup>3\*</sup>, Jung-Mann Yun<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

<sup>2</sup>Member, Formerly graduate student, The graduate school of construction engineering, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

<sup>3</sup>Member, Research Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

<sup>4</sup>Member, Professor, Department of Construction Information System, Shin Ansan Univ., 135, Shinansandeahak-Ro, Danwon-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 452-792, Republic of Korea

#### ABSTRACT

This paper describes external and internal stability of reinforced earth wall using large-scale modular block and geogrid reinforcement. The evaluation for external and internal stability was conducted to analyze effect of wall height, reinforced soil (or backfill soils) and reinforcement strength. The external stability showed that the analysis cases were satisfied with design criteria, when the required minimum length and vertical spacing of reinforcement were 0.7H and 1m, respectively. The internal stability conformed that some cases were satisfied with design criteria in 25° of internal friction angle of reinforced soil. Especially, it will be applicable as wall structure considering a structural stability and economic efficiency based on evaluation of internal stability.

#### 요 지

가 . , , 0.7H  
1m , ,  
25°  
가

**Keywords** : Large-scale modular block, Reinforced earth wall, External and internal stability, Geogrid

#### 1. 서 론

보강토는 인장력이 우수한 보강재를 지반 내에 포설함

으로서 인장력에 취약한 흙의 횡방향 구속력을 증가시켜, 지반의 전단저항력을 보강하여 외력이나 토압에 저항하는 공법을 말한다. 이러한 보강토 공법은 프랑스의 건축가 Henri Vidal(1966)에 의해 정립되어 보강토 공법이라고 명명되기 시작하였으며, 최근에는 다양한 공법들이 개발·적용되고 있다. 이와 같은 보강토 공법은 교대, 성토, 비탈

Received 14 Oct. 2014, Revised 2 Dec. 2014, Accepted 4 Dec. 2014

\*Corresponding author

Tel: +82-2-813-5345; Fax: +82-2-813-5346

E-mail address: kkhong@cau.ac.kr (K. Hong)

면, 연약지반 및 옹벽 등의 안정성을 개선하기 위하여 폭 넓게 적용되고 있다(Yoo and Jung, 2006; Chen et al., 2007; Won and Kim, 2007; Yoo and Kim, 2008; Tatsuoka et al., 2009).

이 중, 뒤채움 흙, 뒤채움 지반 내에 포설된 보강재 및 전면벽체가 일체화되어 토압 및 외력에 저항하는 구조물인 보강토옹벽의 경우, 국내에는 1980년 아연도 강판을 보강재로 사용한 패널식 옹벽이 처음 도입되었지만, 도입 초기에는 보강토옹벽 기술에 대한 국내 시장의 인식부족 및 적용성 검증 미비로 인하여 광범위한 적용성에도 불구하고 경제적인 공법으로 자리잡지 못하고, 재래식 옹벽 설치가 불가능하거나 공사기일이 촉박한 일부 현장에서만 적용되었다. 그러나 1980년대 중반 이후 블록식 보강토 옹벽 공법이 소개되면서 점차 보강토 옹벽에 대한 구조적 안전성, 경제성, 시공성 및 미관성 등의 장점을 인정받아 시공사례가 증가하였고, 1990년대 후반부터 고강도 지오그리드를 사용한 블록식 보강토 옹벽 공법이 도입되면서부터 국내 보강토 옹벽의 시공이 활성화되었다. 이와 같은 보강토 옹벽이 콘크리트 옹벽을 대체할 수 있는 구조물로 활성화되고 있지만, 전문성과 기술력이 열악한 시공업체 간 과다수주경쟁 및 부실시공으로 인하여 시공에 대한 품질저하로 보강토 옹벽의 안정성 저하의 문제가 강력히 대두되고 있는 실정이다. 또한 기초지반 지지력 부족, 뒤채움 흙의 다짐 불량, 배수시설 미비, 부적절한 뒤채움 흙 및 배수재 사용, 전면벽체 시공 불량 등으로 인한 보강토 옹벽의 신뢰성 저하가 나타나고 있다(Cho, 2010).

한편, 보강토옹벽의 전면벽체는 주로 패널식과 블록식이 적용되고 있으며, 일반적으로 패널식 및 블록식 보강토 옹벽에는 각각 스트립 및 그리드 형태의 보강재가 사용되고 있다. 이와 같은 패널식 및 블록식 보강토옹벽은 전면벽체의 중량이 크지 않기 때문에, 뒤채움 흙의 다짐시공 중에 있어서 과도한 수평변위가 발생할 수 있다(Hong, 2011). 따라서 시공 중에 발생하는 수평변위를 억제할 수

있는 보강토옹벽에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 주로 적용되고 있는 중량이 적은 블록식 전면벽체의 단점을 개선하고자, 보다 안정적인 대형블록과 지속적으로 적용되고 있는 지오그리드 보강재를 이용한 보강토 옹벽의 실용화를 위한 연구를 수행하였다. 이에 연구대상 구조물의 지반조건 및 지오그리드 보강재의 강도에 따른 안정성을 검토하였으며, 그 적용성에 대하여 평가하였다.

## 2. 대형 축조블록을 이용한 보강토옹벽

### 2.1 개요

블록식 보강토옹벽은 적절한 크기의 단위 블록 일체를 사전에 제작하여 현장에서 조립하고, 이들 단위 블록을 하단으로부터 상단으로 연속적으로 축조하는 과정에서 보강재를 포설하여, 뒤채움 흙, 전면블록 및 보강재가 일체화가 되도록 하는 구조물이다. 이 때, 단위 블록들이 상호 결합될 수 있도록 일반적으로 전단연결핀을 활용하며, 이 전단핀에 의해 블록체들이 맞물린 구조가 안정성을 확보할 수 있도록 한다.

본 연구에서 적용된 대형 축조블록을 이용한 보강토옹벽의 구조는 기존의 블록식 보강토옹벽과 동일하지만, 중량이 증가함으로써 뒤채움 흙의 다짐 시에 벽체 변형이 크지 않으며, 기존 보강토옹벽과 동일하게 지오그리드 보강재를 적용할 수 있는 장점이 있다.

### 2.2 대형 축조블록

연구대상 구조물에 적용되는 블록은 중량이 450kg이며, 크기는 폭, 높이 및 뒷길이가 각각 1m, 0.5m 및 0.8m로서, 흡수율과 최소압축강도는 7%와 28MPa이다(refer to Fig. 1).



Fig. 1. Modular block wall unit

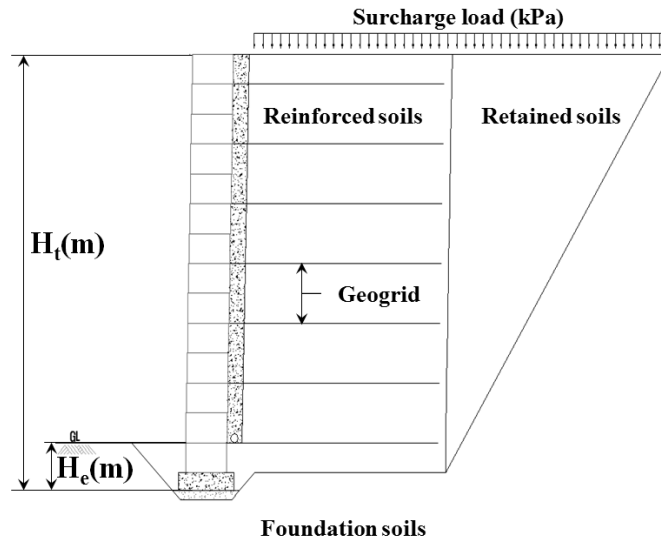


Fig. 2. Generic cross section for stability evaluation of reinforced earth wall

### 3. 대형 축조블록을 이용한 보강토옹벽의 안정성

대형 축조블록이 적용된 보강토옹벽의 안정성을 평가하기 위하여, Fig. 2에 나타난 대표단면에 대하여 외적안정성(전도, 지지력 및 저면활동) 및 내적안정성(파단 및 인발)에 대한 안정성을 검토하였다. 대표단면에 대한 옹벽조건 및 지반조건은 Table 1 및 Table 2에 나타난 바와 같고, 안정성 평가를 위해 적용된 설계기준은 FHWA 설계기준(2009a, 2009b)을 준용하였다. 이때, 지오그리드 보강재의 설치길이 및 보강재의 수직간격은 각각 설계기준에서 제시하고 있는 옹벽 높이의 70%와 블록 뒷길이의 2배를 초과하지 않는다는 기준을 바탕으로 1m를 일괄적으로 적용하였다. 또한 현장조건에 따라 유용되는 뒤채움 흙의 특성을 고려할 수 있는 흙의 내부마찰각 조건을 적용하였고, 안정성 판단 근거는 “건설공사 보강토 옹벽 설계·시공 및

유지관리 잠정지침(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)”을 적용하였다.

한편, 안정성 평가는 앞서 언급한 조건들을 충분히 고려할 수 있는 보강토옹벽 설계 범용프로그램인 XReWall ver.4.0으로 수행하였다.

#### 3.1 외적안정성 평가 결과

외적안정성 평가 결과를 Table 3에서 보는 바와 같이 정리하였다. 먼저, 저면활동의 경우, 흙의 내부마찰각이 약 30도 이상일 때에 동일한 옹벽 높이에서는 안전율이 동일하게 나타났다. 그리고 전도 및 지지력의 경우에는 동일한 옹벽 높이 조건에서 뒤채움 흙에 관계없이 안전율이 동일하게 나타났다. 이를 기반으로 뒤채움 흙의 내부마찰각 및 옹벽 높이에 관계없이 모든 해석조건에서 기준안전율을 만족하는 것으로 확인되었다.

#### 3.2 내적안정성 평가 결과

내적안정성 평가는 보강재의 파단 및 인발 파괴에 대한 안정성을 검토하였다.

Table 1. Analysis condition

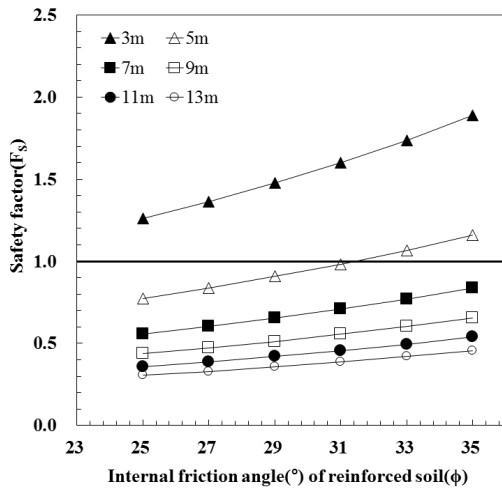
Classification	Conditions
Wall height, $H_t$ (m)	3, 5, 7, 9, 11, 13
Geo-grid strength (kN/m)	60, 80

Table 2. Soil properties

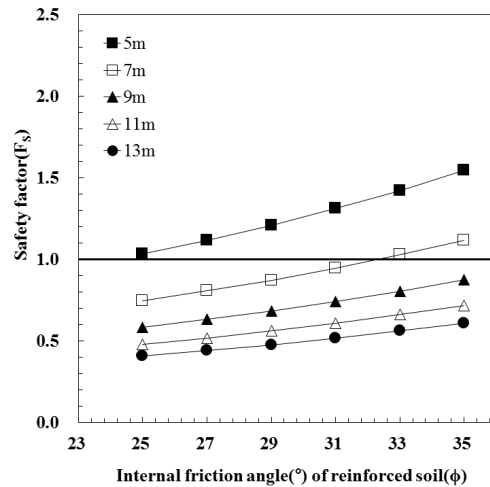
Classification	Reinforced Soil	Retained Soil	Foundaion Soil
Unit weight, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.0		
Internal friction angle, $\phi$ (°)	25, 27, 29, 31, 33, 35	30	
Cohesion, $c$ (kPa)	-		

Table 3. External stability results

Classification	Wall height (m)	Internal friction angle of reinforced soil ( $\phi$ , °)					
		25 °	27 °	29 °	31 °	33 °	35 °
Sliding $F_s > 1.5$	3	1,918	2,095	2,279	2,374		
	5	1,699	1,857	2,020	2,374		
	7	1,750	1,912	2,080	2,166		
	9	1,780	1,945	2,116	2,204		
	11	1,801	1,968	2,141	2,230		
	13	1,813	1,985	2,159	2,249		
Overturing $F_s > 2.0$	3	4,622					
	5	3,591					
	7	3,771					
	9	3,886					
	11	3,966					
	13	4,024					
Bearing capacity $F_s > 2.5$	3	5,176					
	5	3,991					
	7	4,251					
	9	4,409					
	11	4,515					
	13	4,590					



(a) 60kN

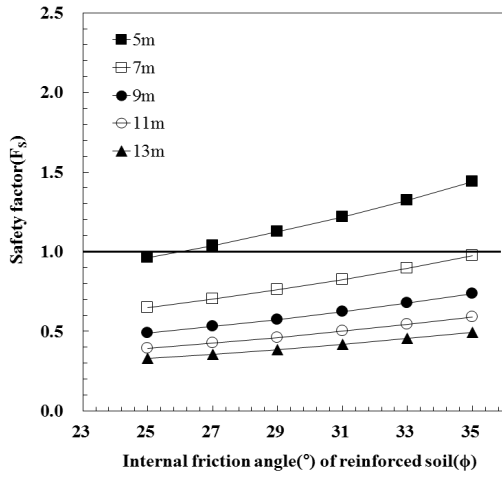


(b) 80kN

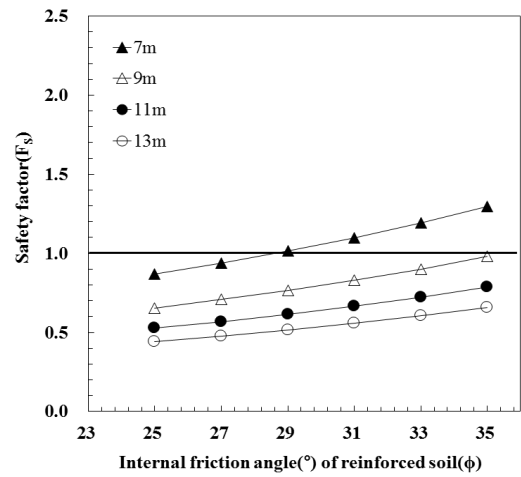
Fig. 3. Rupture stability of geogrid reinforcement at 0.5m from wall bottom

먼저, 파단파괴에 대한 안정성 평가결과는 Fig. 3 ~ Fig. 12에서 보는 바와 같으며, 이는 보강재 포설 높이별로 뒤채움 흙 조건 및 보강재 강도에 따른 보강토옹벽 시공 가능 높이로 나타난 것이다. 보강재가 옹벽 하단으로부터 0.5m까지 포설될 때, 보강재 강도(60kN, 80kN)에 따른 안정성 평가 결과, 보강재 강도가 60kN인 경우에는 옹벽높이 3m에서는 뒤채움 흙 조건(25도 이상)에 관계없이 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났으며, 옹벽높이가 5m에서는

뒤채움 흙의 내부 마찰각이 33°이상에서 안정성을 확보하였고, 그 이상의 옹벽높이에서는 모두 파단파괴가 발생하는 것으로 확인되었다(refer to Fig. 3(a)). 보강재 강도가 80kN인 경우에는 옹벽높이가 5m일 때 뒤채움 흙 조건(25도 이상)에 관계없이 안정성을 확보하였으며, 7m에서는 뒤채움 흙의 내부 마찰각이 33°이상에서 안정성을 확보하는 것으로 나타났고, 그 이상의 옹벽높이에서는 모두 파단파괴가 발생하는 것으로 확인되었다(refer to Fig. 3(b)). 그

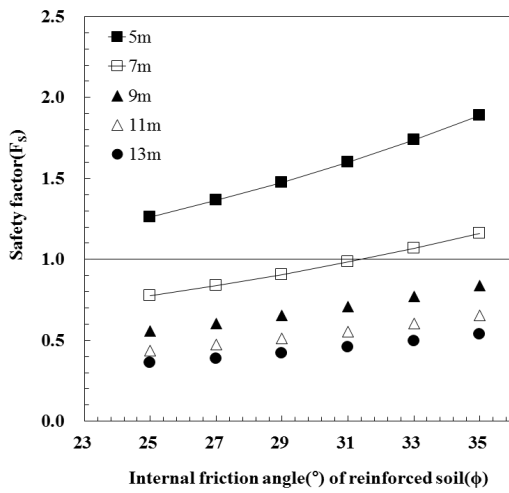


(a) 60kN

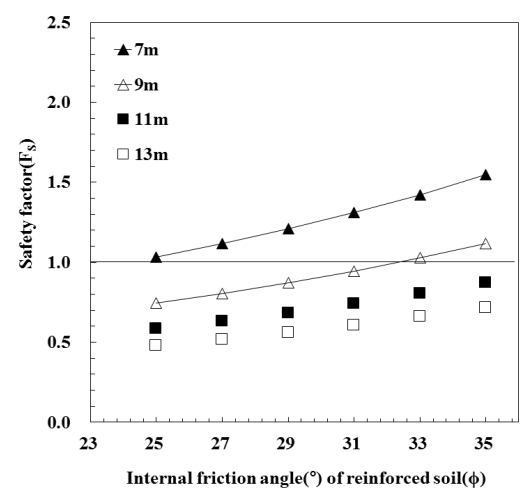


(b) 80kN

Fig. 4. Rupture stability of geogrid reinforcement at 1.5m from wall bottom

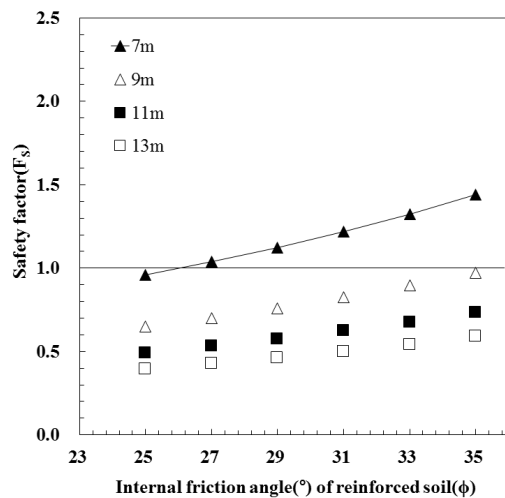


(a) 60kN

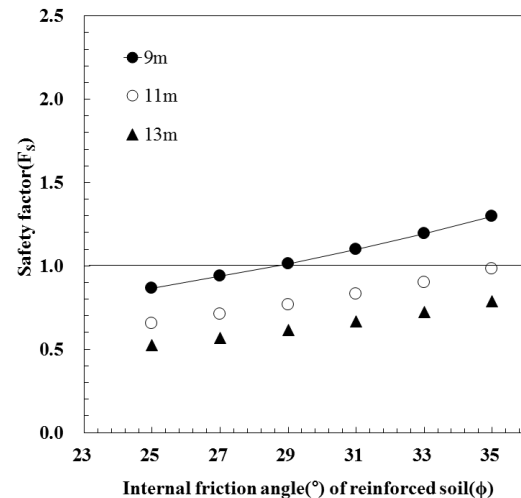


(b) 80kN

Fig. 5. Rupture stability of geogrid reinforcement at 2.5m from wall bottom

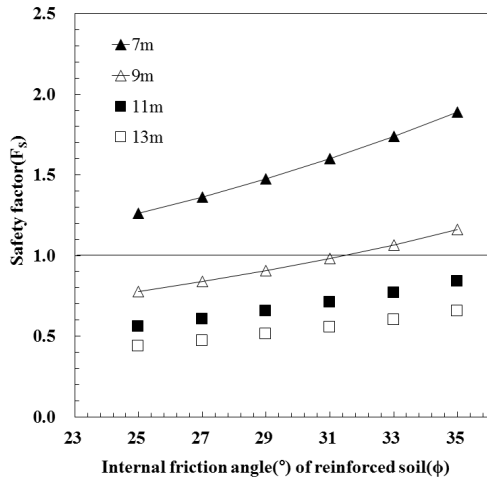


(a) 60kN

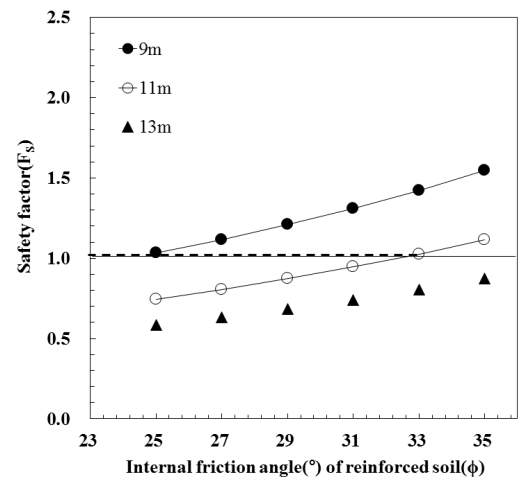


(b) 80kN

Fig. 6. Rupture stability of geogrid reinforcement at 3.5m from wall bottom

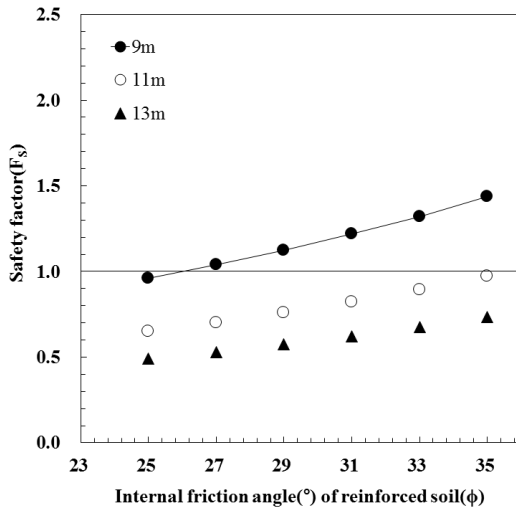


(a) 60kN

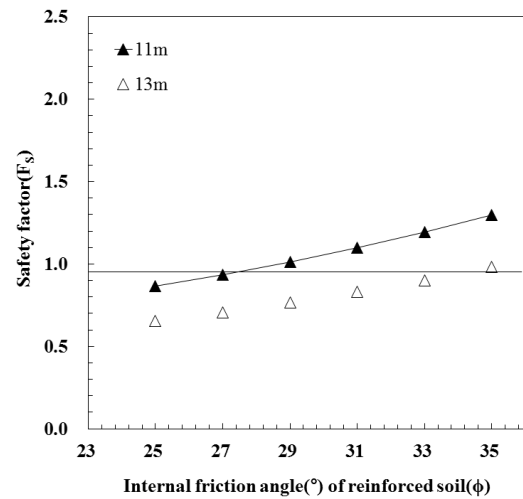


(b) 80kN

Fig. 7. Rupture stability of geogrid reinforcement at 4.5m from wall bottom

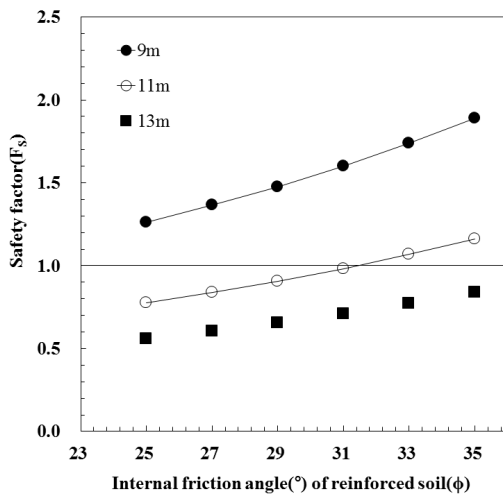


(a) 60kN

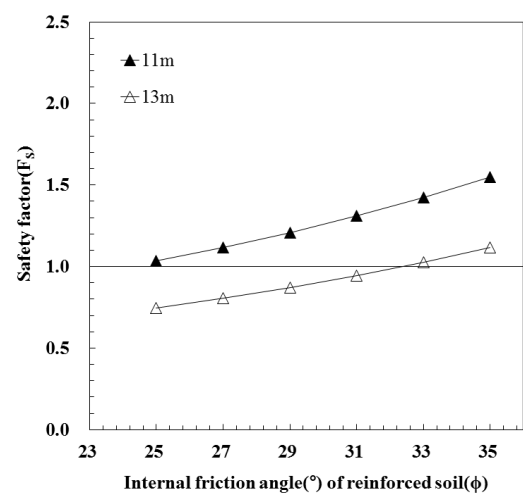


(b) 80kN

Fig. 8. Rupture stability of geogrid reinforcement at 5.5m from wall bottom

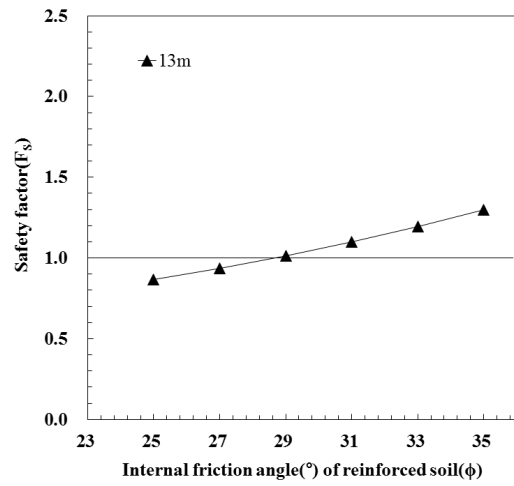
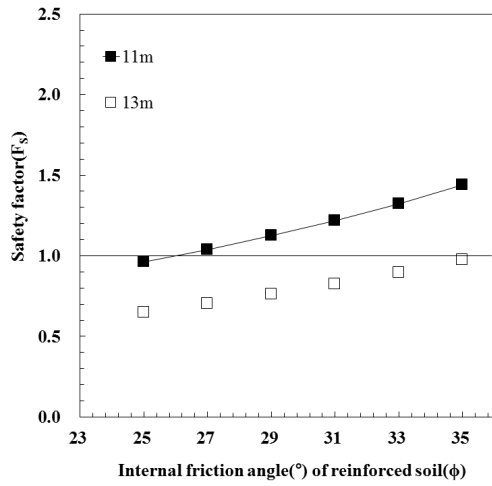


(a) 60kN

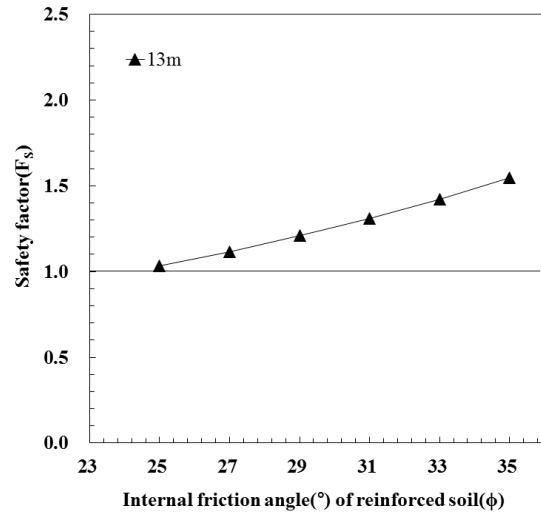
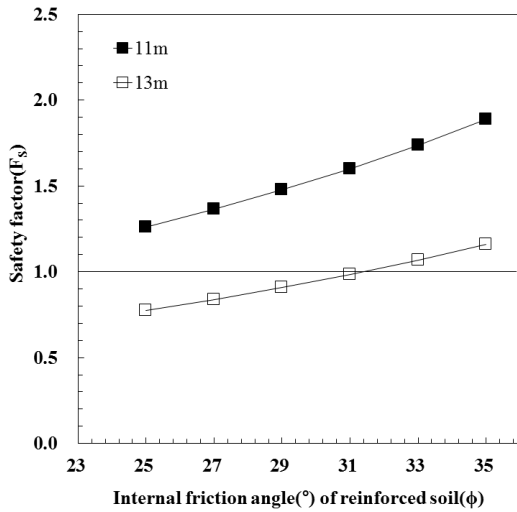


(b) 80kN

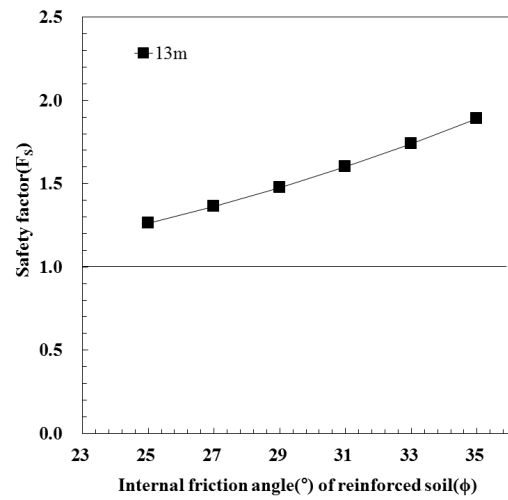
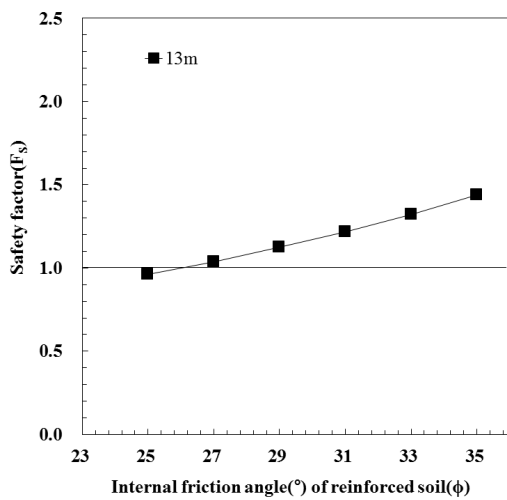
Fig. 9. Rupture stability of geogrid reinforcement at 6.5m from wall bottom



(a) 60kN (b) 80kN  
 Fig. 10. Rupture stability of geogrid reinforcement at 7.5m from wall bottom



(a) 60kN (b) 80kN  
 Fig. 11. Rupture stability of geogrid reinforcement at 8.5m from wall bottom



(a) 60kN (b) 80kN  
 Fig. 12. Rupture stability of geogrid reinforcement at 9.5m & 10.5m from wall bottom

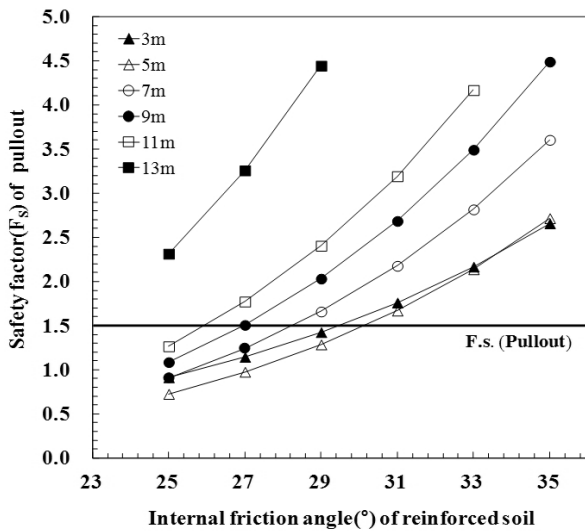


Fig. 13. Pullout resistance of reinforced earth wall

리고 보강재가 옹벽 하단으로부터 10.5m까지 포설될 때, 보강재 강도가 60kN인 경우에는 뒤채움 흙의 내부마찰각이 27도 이상에서 안정성을 확보하는 것으로 나타났으며, 보강재 강도가 80kN인 경우에는 뒤채움 흙 조건(25도 이상)에 관계없이 안정성을 확보하였다(refer to Fig. 12). 이와 같은 방법으로 보강재 강도에 따른 시공가능 옹벽높이 및 적용 가능 뒤채움 흙의 내부마찰각과의 관계를 분석한 결과, 본 연구에서 적용된 대형 축조블록을 이용한 보강토 옹벽은 기존의 설계기준(FHWA, 2009)을 충분히 만족시킬 수 있으며, 구조적 안정성 및 경제성을 고려할 수 있는 구조물로의 적용이 가능한 것으로 확인되었다.

Fig. 13은 인발저항에 대한 안정성 평가결과를 나타낸 것으로서, 옹벽높이가 3m 및 5m의 경우에는 뒤채움 흙의 내부마찰각이 약 30도 이하에서 인발파괴가 발생하였으며, 옹벽높이 7m에서는 약 28도 이하에서 인발파괴가 나타났다. 그리고 옹벽높이 9m 및 11m의 경우에는 각각 약 27도 및 26도 이하에서 안정성을 확보하지 못하는 것으로 확인되었으며, 13m에서는 뒤채움 흙의 조건(25도 이상)에 관계없이 안정성을 확보하였다. 즉, 뒤채움 흙의 내부마찰각이 약 30도 이상이 되어야 옹벽높이에 관계없이 인발에 대한 안정성을 확보할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 대형 축조블록과 지오그리드 보강재를 이용한 보강토 옹벽의 실용화를 위하여, 뒤채움 흙의 강도 및 지오그리드 보강재의 강도 조건에 따른 외적 및 내적안

정성을 평가하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 외적안정성 분석 결과, 보강재의 길이는 전면벽체 저면으로부터 산정된 옹벽높이의 0.7H와 보강재 수직 간격을 1m로 설치하였을 때, 뒤채움 흙의 내부마찰각 및 옹벽 높이에 관계없이 모든 해석조건에서 기준안전을 만족하는 것으로 나타났기 때문에, 적용성에 문제가 없는 것으로 판단되었다.
- (2) 옹벽 높이, 뒤채움 흙의 내부마찰각 및 보강재 강도에 따른 내적안정성 평가 결과, 파단 및 인발 파괴에 있어서 뒤채움 흙의 내부마찰각이 25°인 경우에도 일부 옹벽 높이에서 파단 및 인발에 대한 안정성이 확보할 수 있는 것으로 나타났지만, 보강토옹벽 높이에 부합하는 보강재 강도를 적용하는 경우에 안정성 및 경제성을 보다 확보할 수 있는 설계가 가능함을 확인하였다.
- (3) 특히, 본 연구에서 평가된 내적안정성 평가결과를 기반으로 시공가능 옹벽높이 및 적용 가능 뒤채움 흙의 내부마찰각과의 관계를 이용하여 최적의 보강재 적용 강도 산정법을 제시할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 기반으로 보다 경제성을 확보할 수 있는 공법으로서의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

#### References

1. Berg, R. R., Christopher, B. R. and Samtani, N. C. (2009a), *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes - Volume I*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, Publication No. FHWA-NHI-10-024(FHWA GEC 011-Vol I).
2. Berg, R. R., Christopher, B. R. and Samtani, N. C. (2009b), *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes - Volume II*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, Publication No. FHWA-NHI-10-025(FHWA GEC 011-Vol II).
3. Chen, H.-T., Hung, W.-Y., Chang, C.-C., Chen, Y.-J. and Lee, C.-J. (2007), "Centrifuge modeling test of a geotextile reinforced wall with a very wet clayey backfill", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 25, No. 6, pp. 346-359.
4. Cho, S. D. (2010), "The Present Condition and Outlook for Application of Reinforced Earth Wall in Korea", The Fall 2010 Geosynthetics Conference, Seoul, Korea. (in Korean with English summary)
5. Hong, K. K. (2011), *Evaluation of pullout resistance and*



*design of strip-type reinforcement based on anchorage effect*, Ph.D. Thesis, Chung-Ang University. (in Korean with English summary)

6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), *건설공사 보강토 옹벽 설계 시공 및 유지관리 잠정지침*
7. Tatsuoka, F., Hirakawa, D., Nojiri, M., Aizawa, H., Nishikiori, H., Soma, R., Tateyama, M. and Watanabe, K. (2009), "A new type of integral bridge comprising geosynthetic-reinforced soil walls", *Geosynthetics International*, Vol. 16, No. 4, pp. 301-326.
8. Vidal, H., 1966. *La terre armée*, Ann. Inst. tech. bâtiment et trav. pub., Paris.
9. Won, M.-S. and Kim, Y.-S. (2007), "Internal deformation behavior of geosynthetic-reinforced soil walls", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 25, No. 6, pp. 10-22.
10. Yoo, C. and Kim, S. B. (2008), "Performance of a two-tier geosynthetic reinforced segmental retaining wall under a surcharge load: Full-scale load test and 3D finite element analysis", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 26, No. 6, pp. 460-472.
11. Yoo, C. and Jung, H. Y. (2006), "Case History of Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Wall Failure", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 132, No. 12, pp. 1538-1548.