한국지반공학회논문집 제32권 2호 2016년 2월 pp. 43 ~ 52
JOURNAL OF THE KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY
Vol.32, No.2, February 2016 pp. 43 ~ 52

ISSN 1229-2427 (Print)
ISSN 2288-646X (Online)
http://dx.doi.org/10.7843/kgs.2016.32.2.43

사질토 지반에 설치된 조립식 지주옹벽(AER)의 안정성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Stability of Assembled Earth Retaining Wall in Sandy Ground

유 재 원[1] Yoo, Jae-Won
임 종 철[2] Im, Jong-Chul
황 성 필[3] Hwang, Sung-Pil
김 창 영[4] Kim, Chang-Young
최 중 현[5] Choi, Jung-Hyun
김 홍 선[5] Kim, Hong-Sun

Abstract

Assembled Earth Retaining wall (AER-wall is used here) using back pile (back supporting beam is used from here) has been developed at Pusan National University. Both cost and time have been significantly reduced because AER-wall can be fabricated in a shop. Also its stability has been improved with a back supporting beam reducing earth pressure. In this study, the test results were analyzed after laboratory model tests were performed. The lateral displacement of AER-wall significantly decreased with both inclined wall and back supporting beams. As a result, the stability of AER-wall and effect of back supporting beam have been analyzed and verified.

요 지

배면말뚝(이하 지주보)을 사용한 조립식 지주옹벽(Assembled Earth Retaining Wall; AER옹벽)을 개발하였다. AER옹벽은 공장에서 제작되어 현장에서 조립하여 완성되는 옹벽으로 품질의 확실성 및 공기를 단축할 수 있다. 또한 지주보에 의한 토압 감소효과로 안정성을 높일 수 있다. 본 연구에서는 AER옹벽의 안정성과 지주보의 효과를 확인하기 위해 실내모형실험을 진행하였다. 실내모형실험의 결과 지주보를 설치함으로써 AER옹벽의 수평변위가 효과적으로 감소하는 것으로 분석되었고, 옹벽의 기울기와 지주보의 면적비에 따른 효과가 분석되었다.

Keywords : Assembled Earth Retaining Wall, Model test, back supporting beam, Lateral displacement ratio, Surcharge ratio, Area ratio

1 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engng., Pusan National Univ.)
2 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학과 정교수 (Member, Prof. Dept. of Civil Engng., Pusan National Univ., Tel: +82-51-510-2442, Fax: +82-51-518-3084, imjc@pusan.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)
3 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 박사 후 연구원 (Member, Senior Researcher, Geotechnical Engng. Research Institute, KICT)
4 비회원, 부산대학교 생산기술연구소 특별연구원 (Researcher of RIIT, Pusan National Univ.)
5 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학과 박사과정 (Member, Graduate Research Assistant, Dept. of Civil Engng., Pusan National Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2016년 8월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

Copyright © 2016 by the Korean Geotechnical Society
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

절토 및 성토를 위한 흙막이 구조물로 옹벽이 많이 사용되고 있으며, 구조형식에 따라 여러 종류의 옹벽이 있다. 각각의 옹벽들은 장점을 가지고 있지만, 돌쌓기·콘크리트블록쌓기 옹벽은 약 7m정도의 높이 제한이 있고, 중력식옹벽의 경우 많은 양의 콘크리트가 사용되야 하는 등 단점들도 가지고 있다(Im, 2013).

이에 옹벽들의 경제성, 시공성, 미관 등을 향상시키기 위해, L형 옹벽에 억지말뚝 효과를 발휘하는 지주보를 결합한 형태의 조립식 지주옹벽(Assembled Earth Retaining Wall; AER옹벽)을 개발하였다. AER옹벽은 공장에서 제작하여 현장에서 조립하는 형식으로, 품질의 확실성 및 공기를 단축시키는 장점이 있다. 또한 지주보에 의한 토압감소 효과로 안정성을 증대 시킬 수 있고, 옹벽 벽체의 두께 및 저판길이를 감소시킬 수 있다. 저판길이의 감소는 부지를 최소화 하여, 용지를 보다 넓게 활용 할 수 있다는 것을 의미한다.

개발된 AER옹벽을 현장에 적용하기 위해서는, 안정성 및 지주보의 효과가 검증 되어야 한다.

그래서 본 연구에서는 실내모형실험을 통해 옹벽의 기울기 차이와 지주보의 설치 유무 및 간격 등의 조건을 달리하여 실험을 실시하고, 실험 결과를 분석하여 수평변위억제를 통한 구조적 안정성을 분석하였다.

2. AER 옹벽

2.1 개요 및 특징

AER옹벽은 Fig. 1과 같은 구조로 되어 있으며, 옹벽의 벽체는 옹벽(Retaining Wall), 배면의 말뚝은 지주보(Back Supporting Beam), 옹벽의 저판은 저판으로 명명하였다. AER옹벽의 특징은 다음과 같다.

(1) 공장에서 제작 후 현장에서 조립하는 형태로 현장에서 타설하여 제작하는 방법에 비해 품질의 확실성을 기대할 수 있다.

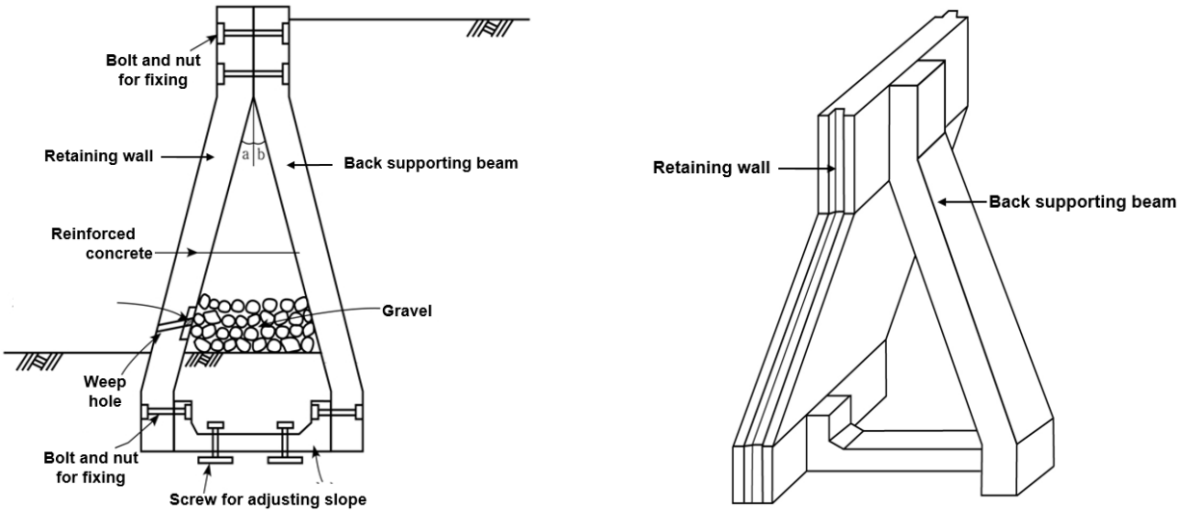
(2) 공장에서 제작한 제품을 현장에서 조립하는 방식으로, 콘크리트의 양생기간이 필요하지 않기 때문에 공기를 단축 할 수 있다.

(3) Fig. 1의 지주보가 억지말뚝으로 작용하기 때문에 옹벽에 작용하는 토압이 감소되어 구조적 안정성이 증대되고, 옹벽 부재 단면을 경감할 수 있어 경제성을 확보 할 수 있다.

(4) Fig. 1의 저판의 상부에 토사 및 자갈을 채움으로서 옹벽의 안정성을 증대시키고, 배수성을 확보하여 강우시 안정성을 확보할 수 있다.

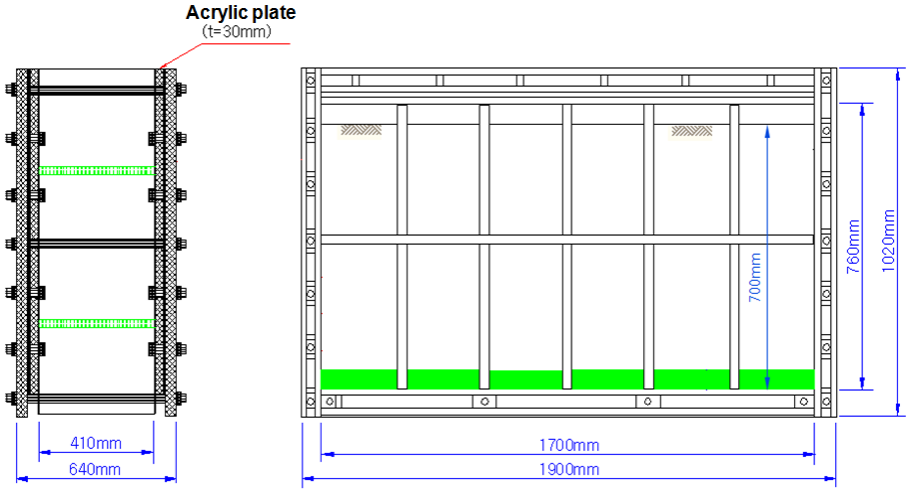
(5) 공장 제작 시 옹벽 및 지주보의 경사각 조절이 자유롭기 때문에 현장 여건에 맞는 AER옹벽의 제작이 가능하다.

(6) 옹벽의 표면에 여러 가지 미관을 고려한 디자인(돌붙임, 무늬, 목재 부착)이 가능하다. 또한 토사 채움상자를 표면에 설치함으로서 녹화가 가능하



(a) Side elevation (b) Schematic diagram of an assembled

Fig. 1. A structure of AER-wall



(a) Side View (b) Front View

Fig. 2. Side view and front view of plane strain soil tank

며, 이외 현장여건에 맞는 여러 가지 응용이 가능하다.

(7) 옹벽의 표면에 태양판을 부착하여 시계나 토압측정장치 등 여러 가지의 운용이 가능하다.

3. 실내모형실험

3.1 실험장치 및 지반재료

Fig. 2는 본 연구에 적용된 평면변형률 모형 토조를 나타낸 것이다. 변형이 발생하지 않도록 두께 30mm의 투명아크릴로 벽체를 형성하여 평면변형률 조건을 만족 하였으며, 추가적으로 280×380mm 간격으로 철제로 보강하여 길이방향 변형이 발생하지 않도록 장치를 제작하였다. 모형 토조의 내부제원은 길이 1700mm, 높이 760mm, 폭 410mm이며, 지반은 주문진 표준사를 사용하여 조성하였다. 주문진 표준사의 물리·역학적 특성은 Table 1 및 Table 2와 같다. 사질토는 Table 2와 같이 밀도에 따라 역학적 특성이 매우 민감하게 변하기 때문에, 밀도를 일정하게 유지하여 지반을 조성하여야 한다. Fig. 3은 주문진 표준사의 낙하고에 따른 건조밀도의

Table 1. Properties of Jumunjin standard sand

Types	Symbol	Value
Maximum void ratio	$e_{\max}$	0.923
Minimum void ratio	$e_{\min}$	0.604
Maximum dry density	$\gamma_{dmax}\ (g/cm^3)$	1.652
Minimum dry density	$\gamma_{dmin}\ (g/cm^3)$	1.378
Specific gravity	G_s	2.65
Water content	w (%)	0.30
Average particle size	D_{50} (mm)	0.595
Effective particle size	D_{10} (mm)	0.443
Uniformity coefficient	C_u	1.402
Coefficient curvature	C_g	0.912

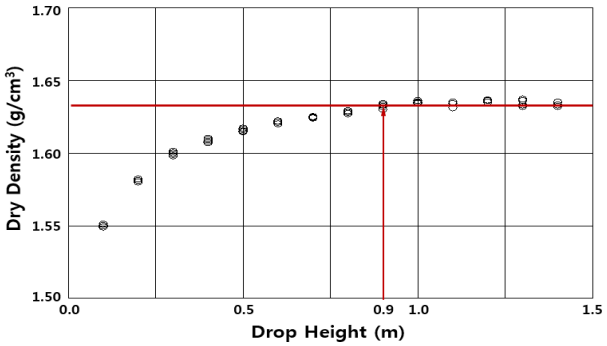


Fig. 3. Variation of the dry density of Jumunjin standard sand with drop height

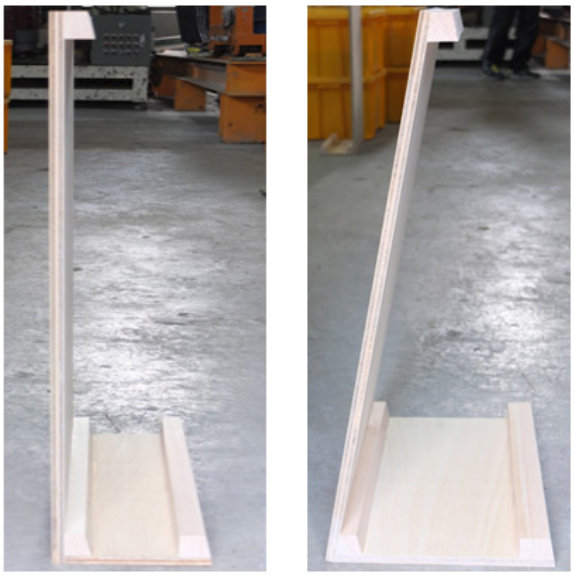
Table 2. Variation of the relative density and friction angle (ϕ_{DS}) of Jumunjin standard sand with dry density

Test No.	1	2	3	4	5	6	7	8
$\gamma_d\ (g/cm^3)$	1.378	1.468	1.522	1.561	1.572	1.602	1.632	1.646
Dr (%)	0	36.9	57.0	70.7	74.4	84.3	93.8	98.2
ϕ_{DS} (°)	31.2	33.0	35.0	37.7	38.0	39.2	41.1	42.0

변화를 나타낸 것이다. 낙하고가 0.9m부터 밀도가 수렴하는 경향을 나타내었고, 본 연구에서는 모형 토조 및 모래뿌리기 장치의 높이를 감안하여 낙하고 1.2m에서 강사법(Ko et al., 1996; Park, 2003; Son et al., 2003; Bautista et al., 2006)으로 지반을 조성하였다.

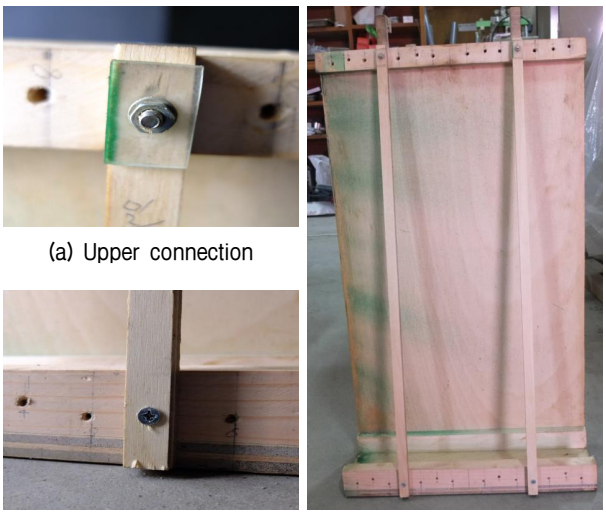
3.2 실험조건 및 종류

실내모형실험에 사용된 모형 AER옹벽은 목재로 제작되었다. Fig. 4와 같이 옹벽과 저판은 완전 고정하여 제작하였고, 현장 여건에 맞춰 적용할 수 있도록 기울기



(a) Vertical wall (b) Inclined wall

Fig. 4. Model AER-wall



(a) Upper connection

(b) Lower connection (c) Model AER-wall

Fig. 5. Typical model of AER-wall employed in the experiment

에 따라 연직옹벽(Vertical wall)과 경사옹벽(Inclined wall)으로 나누어 제작하였으며 경사옹벽의 기울기는 10°로 제작하였다. 또한 실험의 종류에 따라 지주보의 설치·미설치 및 개수의 조절을 위하여 Fig. 5와 같이 상·하부에 각각 나사로 고정하도록 제작하였다. 지주보는 모두 10°로 설치 되도록 제작하였고, 설치를 위하여 옹벽의 상부와 저판의 뒷부분에 연결을 위한 더미를 설치하였다.

모형 토조실험은 상사성을 고려하여 실시하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 옹벽의 기울기, 지주보의 설치 및 면적비로 인한 거동을 수평변위를 이용하여 미설치 시와 단순 비교 검토하여 그 효과에 대한 경향성을 분석하고자 한다. 그러므로 정확한 옹벽의 기울기, 지주보의 설치 및 면적비로 인한 거동에 관한 연구는 현장실험 및 계측을 통해 분석되어야 할 것으로 판단된다.

3.3 실험종류

실험은 AER옹벽의 안정성과 지주보의 효과를 확인하기 위해 옹벽의 기울기 변화 및 지주보의 설치·미설치에 대한 실험과 지주보의 설치 개수에 대한 최적의 면적비를 알아보는 실험으로 나누어 실시하였다. 면적비는 지주보가 저항하는 토압의 면적으로 정의 할 수 있다. 즉, 각 지주보 폭의 합을 옹벽의 폭으로 나누어 면적비로 정의하였다. 면적비는 Fig. 6과 식 (1)을 이용하여 구해지고, 실험에서 지주보의 개수가 2개, 4개, 8개 일 때, 면적비는 0.07, 0.15, 0.29이다. 전체 실험의 종류는 Table 3과 같다.

$$\text{면적비}\left\{\frac{\sum(W_b \times H)}{W_w \times H}\right\} = \frac{\sum(\text{각 지주보의 폭} \times H)}{\text{옹벽의 폭} \times H} \quad (1)$$

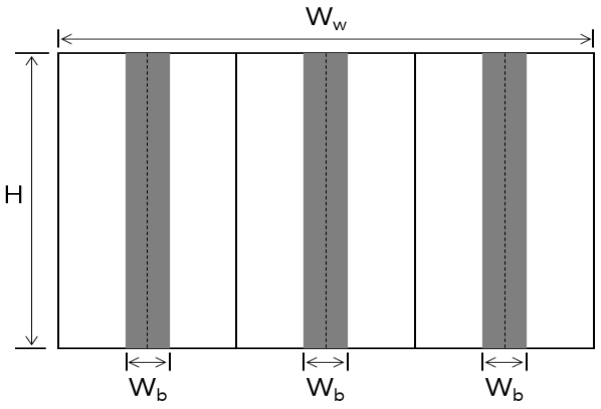


Fig. 6. Illustration of area ratio

Table 3. The types and conditions of model tests

No.	Wall type	Test name	Inclining angle of wall (°)	Inclining angle of back supporting beam (°)	Number of back supporting beams (EA)	Area ratio
1	Vertical wall	W0-B10-AR0.0	0	10	0	0
2		W0-B10-AR0.07	0	10	2	0.07
3		W0-B10-AR0.15	0	10	4	0.15
4		W0-B10-AR0.29	0	10	8	0.29
5	Inclined wall	W10-B10-AR0.0	10	10	0	0
6		W10-B10-AR0.07	10	10	2	0.07
7		W10-B10-AR0.15	10	10	4	0.15
8		W10-B10-AR0.29	10	10	8	0.29

3.4 실험 방법

먼저 모형 토조에 모형 AER옹벽을 거치하고, 옹벽 배면에 1.2m 이상의 높이에서 모래를 낙하시켜 뒤채움하여 지반을 조성하였다. 뒤채움 완료 후, 블록을 이용하여 하중을 재하 하였고, 하중은 1층에 1.3kN/m^2이며, 옹벽의 파괴가 발생 할 때 까지 하중을 재하하면서 변위를 측정하였다. 변위는 AER모형이 모형 토조 바닥면에 수평으로 설치되어 있어 수평변위와 비교하여 수직변위가 거의 발생하지 않아서, Fig. 7과 같이 상부 2곳에

Fig. 7. Top view of dial gauge installation

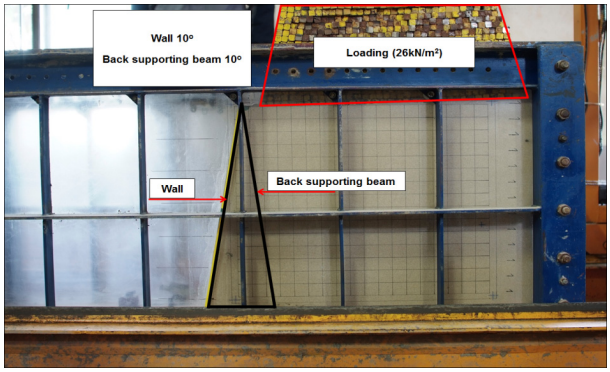


Fig. 8. Front view of surcharging after backfill soil works

1/100mm까지 계측이 가능한 다이얼 게이지를 이용하여 벽체의 좌·우 수평변위만을 측정하여, 평균값으로 상재하중의 증가에 따른 옹벽의 거동을 분석하였다. Fig. 8은 모형을 설치하고 뒤채움하여 상재하중을 재하한 상태를 토조 정면에서 촬영한 사진이다.

3.5 실험 결과

3.5.1 실험종류별 수평변위

실험 종류별 각 단계의 하중재하 후, 벽체 선단의 좌·우측 수평변위를 평균하여 정리한 것이 Table 4이다. 그리고 Fig. 9는 상재하중과 수평변위의 관계를 그래프로 나타낸 것이다.

3.5.2 파괴 시 상재하중

파괴 시 상재하중의 기준은 Table 5와 같이 Rankine (1857)의 소성상태에 이르는 회전변위를 적용하였으며, 본 실험에 해당되는 조밀한 모래의 경우 0.005를 제안하고 있어 이를 적용하였다.

Fig. 10은 식 (2)를 이용하여, 실험종류별 상재하중에

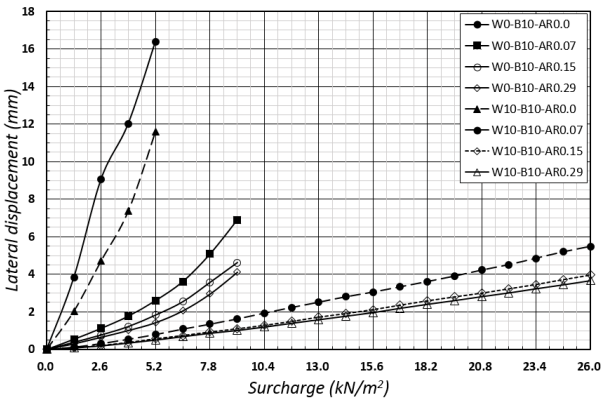


Fig. 9. Lateral displacement of retaining wall relative to surcharge

Table 4. Lateral displacements with surcharge

Surcharge (kN/m^2)	Lateral displacement (mm)							
	W0-B10 -AR0.0	W0-B10 -AR0.07	W0-B10 -AR0.15	W0-B10 -AR0.29	W10-B10 -AR0.0	W10-B10 -AR0.07	W10-B10 -AR0.15	W10-B10 -AR0.29
1.3	3.84	0.54	0.38	0.30	2.03	0.12	0.09	0.08
2.6	9.06	1.12	0.77	0.65	4.71	0.31	0.21	0.19
3.9	12.02	1.77	1.22	1.01	7.36	0.54	0.37	0.34
5.2	16.39	2.60	1.83	1.43	11.59	0.79	0.57	0.50
6.5		3.61	2.54	2.06		1.08	0.74	0.68
7.8		5.08	3.57	2.96		1.34	0.93	0.86
9.1		6.89	4.62	4.12		1.62	1.10	1.01
10.4						1.93	1.28	1.19
11.7						2.23	1.49	1.39
13.0						2.51	1.72	1.58
14.3						2.80	1.91	1.77
15.6						3.05	2.12	1.96
16.9						3.33	2.36	2.19
18.2						3.61	2.59	2.40
19.5						3.90	2.80	2.60
20.8						4.22	3.00	2.81
22.1						4.51	3.23	3.01
23.4						4.85	3.46	3.23
24.7						5.19	3.72	3.44
26.0						5.48	3.96	3.66

Table 5. Torsional displacement of retaining wall structure during failure (Rankine,1857)

Soil type	Wall rotation (=Lateral displacement /Wall height)	
	Active	Passive
Loose sandy soil	0.001-0.002	0.01
Dense sandy soil	0.0005-0.001	0.005
Soft clay soil	0.02	0.04
Stiff clay soil	0.01	0.02

대한 회전변위를 나타낸 것이고, Table 6은 파괴기준 0.005에 해당되는 파괴시의 상재하중을 정리한 것이다.

$$\text{회전변위}\left(\frac{\Delta L}{H}\right) = \frac{\text{옹벽 선단 좌·우측 수평변위의 평균 값}}{\text{옹벽 높이}} \quad (2)$$

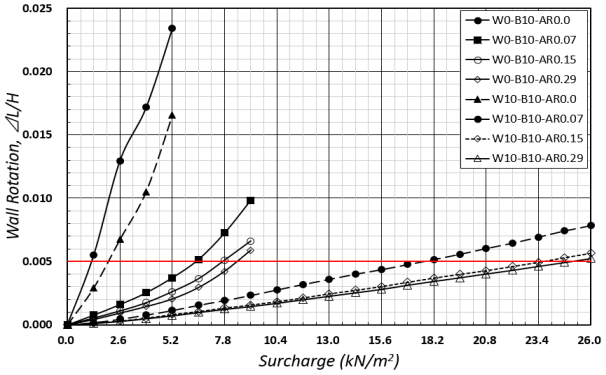


Fig. 10. Wall rotation of the retaining wall relative to surcharge

4. 실험 결과 분석

본 연구에서는 옹벽의 기울기 차이 및 지주보의 설치 유무, 설치간격에 대한 면적비의 변화에 따른 옹벽의 수

Table 6. Surcharge at failure (△L/H=0.005)

Vertical wall	Surcharge at failure (kN/m^2)	Inclined wall	Surcharge at failure (kN/m^2)
W0-B10-AR0.0	1.20	W10-B10-AR0.0	2.05
W0-B10-AR0.07	6.45	W10-B10-AR0.07	17.85
W0-B10-AR0.15	7.75	W10-B10-AR0.15	23.60
W0-B10-AR0.29	8.45	W10-B10-AR0.29	25.10

평변위 감소효과를 수평변위비(Seo et al., 2012)와 상재하중비를 사용하여 비교 분석하였으며, 분석 결과는 다음과 같다.

4.1 옹벽의 기울기에 따른 거동 분석

옹벽의 기울기 변화에 대한 효과를 분석하기 위해서 연직옹벽(0°)과 경사옹벽(10°)의 지주보가 미설치(면적비 0.0)인 경우를 비교 분석하였다.

상재하중이 비교 가능한 1.3～5.2kN/m^2의 범위에서 연직옹벽(W0-B10-AR0.0)을 기준으로 하여 경사옹벽(W10-B10-AR0.0)과의 수평변위비를 Table 7과 같이 정리하였다. 옹벽이 10° 경사질 경우 수평변위가 52～71%로 평균 59%만 발생하는 것을 알 수 있다.

Table 8은 파괴시의 상재하중과 상재하중비를 비교한 것이다. 그 결과 옹벽이 10° 경사질 경우 연직일 경우보다 1.71배 더 하중을 버틸 수 있는 것으로 판단된다.

4.2 지주보 설치에 따른 거동 분석

지주보 설치에 따른 효과를 알아보기 위하여 경사옹벽의 연직옹벽과 경사옹벽의 지주보가 없는 경우와 지주보의 설치개수가 4개(면적비 0.15)인 경우를 비교 분석하였다.

4.2.1 연직옹벽(0°)인 경우

Table 9는 비교 가능한 1.3～5.2kN/m^2의 하중재하 단계에서 지주보가 미설치(W0-B10-AR0.0)된 경우를 기준으로 하여 지주보가 4개 설치(W0-B10-AR0.15)된 경우와의 수평변위와 수평변위비를 정리한 것이다. 지주보 설치 시 수평변위는 8.0%～11.0%로 평균 9.9%만 발생함을 알 수 있다.

Table 10은 파괴시의 상재하중과 상재하중비를 나타낸 것이다. 분석 결과 지주보를 설치함으로써 상재하중에 대해 6.46배 더 버틸 수 있을 것으로 판단되어졌다.

Table 7. Lateral displacement ratio of retaining wall showing the effect for inclining retaining wall (without back supporting beam)

Surcharge (kN/m^2)	W0-B10-AR0.0	W10-B10-AR0.0	Lateral displacement ratio
			W10-B10-AR0.0 / W0-B10-AR0.0
1.3	3.84	2.03	0.53
2.6	9.06	4.71	0.52
3.9	12.02	7.36	0.61
5.2	16.39	11.59	0.71

Table 8. Surcharge ratio at failure showing the effect for inclining retaining wall (without back supporting beam)

Contents	Surcharge at failure (kN/m^2)	Surcharge ratio at failure
W0-B10-AR0.0	1.20	1.0
W10-B10-AR0.0	2.05	1.71

Table 9. Lateral displacement ratio showing the effect for installing back supporting beam (the case of vertical retaining wall)

Surcharge (kN/m^2)	Lateral displacement (mm)		Lateral displacement ratio
	W0-B10-AR0.0	W0-B10-AR0.15	W0-B10-AR0.15 / W0-B10-AR0.0
1.3	3.84	0.38	0.10
2.6	9.06	0.77	0.08
3.9	12.02	1.22	0.10
5.2	16.39	1.83	0.11

Table 10. Surcharge ratio at failure showing the effect for installing back supporting beam (the case of vertical retaining wall)

Contents	Surcharge at failure (kN/m^2)	Surcharge ratio at failure
W0-B10-AR0.0	1.20	1.0
W0-B10-AR0.15	7.75	6.46

4.2.2 경사옹벽(10°)인 경우

Table 11은 상재하중이 1.3～5.2kN/m^2에서 지주보가 미설치(W10-B10-AR0.0)된 경우를 기준으로 하여 지주보가 4개 설치(W10-B10-AR0.15)된 경우의 수평변위와 수평변위비를 정리한 것이다. 경사옹벽에서 지주보의 설치 시 수평변위가 4～5%로 평균 4.7%만이 발생하여 구조적으로 상당히 안정함을 보여주고 있다.

Table 12는 파괴시의 상재하중과 상재하중비를 나타낸 것이다. 지주보의 설치 시 옹벽만 설치 되어있는 경우 보다 상재하중에 대해 11.51배 더 버티는 것으로 분석되어 졌다.

실험 결과로 부터 지주보의 설치로 인한 안정성에 대해 확인을 했고, 지주보의 설치 개수에 따른 효과도 분석 할 필요가 있다고 판단되어졌다.

4.3 지주보의 면적비에 대한 분석

면적비는 앞서 언급한 바와 같이, 각 지주보 폭의 합을 옹벽의 폭으로 나눈 값으로 정의하였다. 만약, 지주보의 개수만으로 실험을 분석하게 되면, 지주보의 폭이 다른 각 각의 현장에 직접 적용이 불가능하다. 그렇기 때문에 면적비로 표기하여 적용을 한다면 지주보의 폭이 달라지더라도 면적비를 쉽게 계산하여 적용 가능하다.

4.2.1 지주보의 개수에 따른 수평변위

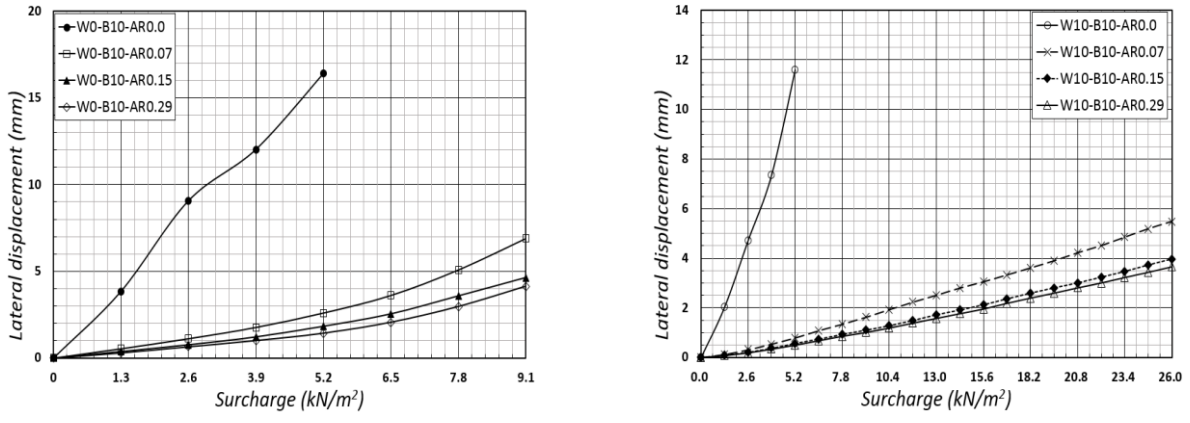
먼저, 지주보의 최적간격을 찾기 위한 실험으로 지주보의 개수가 2개(면적비 0.07), 4개(면적비 0.15), 8개(면적비 0.29)인 경우의 실험결과를 비교 분석하였다. Fig. 11은 연직·경사옹벽의 상재하중 재하시의 수평변위를 나타내고 있다. 그림에서 보면 지주보의 개수가 증가하면 수평변위는 감소한다. 하지만, 지주보의 개수가 증가하는 비율보다 수평변위의 감소량이 적은 것을 알 수 있다. 이는 지주보의 개수가 무한히 늘어나더라도 수평변위 감소량은 점점 줄어 일정 지주보의 개수 이상에서는 변위가 거의 줄지 않을 것으로 판단 할 수 있다.

Table 11. Lateral displacement ratio showing the effect for installing back supporting beam (the case of inclined retaining wall)

Surcharge (kN/m^2)	Lateral displacement (mm)		Lateral displacement ratio
	W10-B10-AR0.0	W10-B10-AR0.15	W10-B10-AR0.15 / W10-B10-AR0.0
1.3	2.03	0.09	0.04
2.6	4.71	0.21	0.04
3.9	7.36	0.37	0.05
5.2	11.59	0.57	0.05

Table 12. Surcharge ratio at failure showing the effect for installing back supporting beam (the case of inclined retaining wall)

Contents	Surcharge at failure (kN/m^2)	Surcharge ratio at failure
W10-B10-AR0.0	2.05	1.0
W10-B10-AR0.15	23.60	11.51



(a) Vertical wall (b) Inclined wall

Fig. 11. Lateral displacement of retaining wall relative to surcharge for increasing number of supporting beams

Table 13은 파괴시의 상재하중과 상재하중비를 나타낸 것이다. 연직옹벽의 경우 지주보가 미설치 일 때 보다, 2개 일 때 5.38배, 4개 일 때 6.46배, 8개 일 때 7.04배 상재하중에 대해 더 버티는 것으로 분석되었고, 경사옹벽의 경우 지주보가 미설치 일 때 보다, 2개 일 때 8.71배, 4개 일 때 11.51배, 8개 일 때 12.24배 더 버티는 것으로 분석되어, 지주보의 설치 개수가 증가함으로 인해 상재하중비도 수평변위의 거동과 비슷하게 급격히 증가하다 어느 지점에서 부터는 그 증가량이 감소하는 것을 볼 수 있다.

4.2.2 수평변위비와 최적면적비의 관계

연직옹벽과 경사옹벽의 상재하중에 대한 수평변위비를 이용하여 Fig. 12와 같이 수평변위비-면적비 그래프를 작도하였다. 추세선은 일정 면적비 이후 수렴하는 형태를 나타내고 있다. 연직옹벽과 경사옹벽의 경우 모두 면적비가 약 0.25에서 수렴하는 것으로 나타났고 추세선의 식은 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$y = \frac{0.1342x}{-0.0569+x} + 0.4062 \quad (3)$$

$$y = \frac{0.0763x}{-0.0612+x} + 0.5466 \quad (4)$$

여기서, 면적비가 0.07인 경우를 기준으로 수평변위비를 계산한 이유는 면적비가 0인 경우 상재하중 4단계인 5.2kN/m^2에서 파괴가 일어나 파괴의 시점이 빠르기 때문에 비교 할 수 있는 케이스가 작고, 면적비가 0보다 커질 경우 수평변위비의 크기가 급격하게 증가하기 때문에 나머지 면적비에서 최적면적비를 찾는 것이 힘들다. 만약, 실내모형실험을 면적비 0.1이하의 실험을 세분화 하여 실시 할 수 있었다면 면적비가 0인 경우를 기준으로 적용 가능하다고 판단된다.

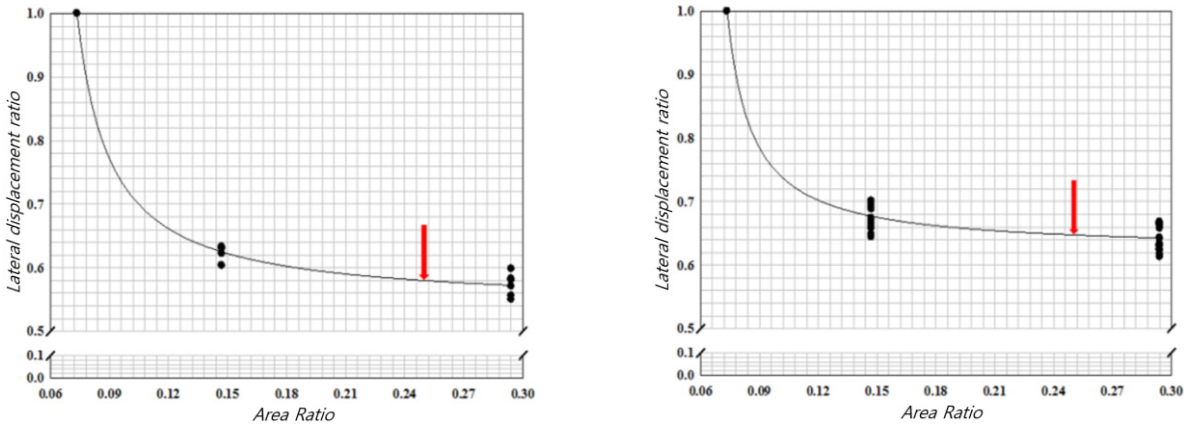
6. 결 론

본 연구에서는 AER옹벽의 기울기 및 지주보 설치 효과, 최적면적비를 통해 안정성을 확인하기 위해 실내모형실험이 수행되었다. 결론은 다음과 같다.

(1) 지주보가 설치되지 않은 조건에서 연직옹벽과 경사옹벽을 비교 분석한 결과, 옹벽의 경사가 10° 기울어질 경우 수평변위는 연직옹벽 보다 약 41% 감소

Table 13. Surcharge ratio at failure showing the effect for increasing number of supporting beams

Vertical wall	Surcharge at failure (kN/m^2)	Surcharge ratio at failure	Inclined wall	Surcharge at failure (kN/m^2)	Surcharge ratio at failure
W0-B10-AR0.00	1.20	1.0	W10-B10-AR0.00	2.05	1.0
W0-B10-AR0.07	6.45	5.38	W10-B10-AR0.07	17.85	8.71
W0-B10-AR0.15	7.75	6.46	W10-B10-AR0.15	23.60	11.51
W0-B10-AR0.29	8.45	7.04	W10-B10-AR0.29	25.10	12.24



(a) Vertical wall (b) Inclined wall

Fig. 12. Area ratio of back supporting beams relative to lateral displacement ratio

하였고, 상재하중에 대해서는 약 1.7배 더 버티는 것으로 분석되었다.

(2) 지주보가 미설치인 경우와 지주보를 4개 설치 했을 때를 비교 분석하면, 연직옹벽의 경우 수평변위는 약 90% 감소하고, 상재하중에 대해서는 약 6.5배 더 버티며, 경사옹벽의 경우 수평변위는 약 95% 감소하고, 상재하중에 대해서는 약 11.5배 더 버티는 것으로 분석되어 구조적으로 상당히 안정한 것으로 판단된다.

(3) 실험 결과를 분석하여, 면적비(x)에 대한 수평변위비(y)의 그래프를 통해 관계식을 제안하였다.

(4) AER옹벽의 안정성에 대한 실험 결과를 분석한 결과 연직옹벽 보다 경사옹벽이, 지주보의 면적비는 증가 할수록 안정한 것으로 분석되었고, 최적 면적비는 약 0.25로 분석되었다.

참고문헌 (References)

1. Im, J. C. (2013), *A guide for soil engineering 3th*, POD of CIR, Seoul, pp.468-475.
2. Ko, H. S., Im, J. C., Park, L. K., and Oh, M. L. (1996), "Model Tests on the behaviour of Sandy Ground during Tunneling", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers,* Vol.1996, No.2, pp.371-374.
3. Park, L. K. (2003), *A Study on the Characteristic of Ground Behaviour and Settlement Restraining effect of Micropile during Shallow Tunnel Construction in Soft Ground*, Ph.D. Thesis, Pusan National University, pp.110-147.
4. Son, J. H., Im, J. C., Park, L. K., and Lee, T. H. (2003), "A Study on the Group Effect of Micropiles Installed Beneath Shallow Foundations", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.2003, No.10, pp.3354-3357.
5. Bautista, F. E., Park, L. K, Im, J. C., and Lee, Y. N. (2006), "Variation of Earth Pressure Acting on Cut-and-Cover Tunnel Lining with Settlement of Backfill", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.22, No.6, pp.27-40.
6. Seo, M. S., Im, J. C., Jeong, D. U., Yoo, J. W., Koo, Y. M., and Kim, G. H. (2012), "An Experimental Study on the Stability of Inclined Earth Retaining", *Journal of the Koeran Geotechnical Society*, Vol.28, No.12, pp.99-110.

Received : January 15th, 2016
Revised : February 19th, 2016
Accepted : February 19th, 2016