

주문진 모래로 뒤채움한 선반식 옹벽의 수평토압에 관한 수치해석

문인종¹, 김병일^{1*}, 유완규²

¹명지대학교 토목환경공학과, ²한국건설기술연구원

Numerical Analysis for Lateral Earth Pressure on Retaining Wall with Relieving Platform backfilled with Jumoonjin Sand

In-Jong Moon¹, Byoung-Il Kim^{1*}, Wan-Kyu Yoo²

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Myongji University

²Korea Institute of Construction Technology

요약 일반적으로 옹벽은 높이가 높아질수록 안정성이 작아진다. 하지만 선반식 옹벽은 선반 설치로 인하여 옹벽에 작용하는 수평토압의 크기가 감소하기 때문에 다른 옹벽과 비교하면 안정성 및 경제성에서 우수하다고 할 수 있다. 이 연구에서는 기존에 연구된 선반식 옹벽의 수치해석 연구에서와는 다르게 옹벽의 종류, 선반의 길이, 선반의 위치 등의 조건을 변화시켜 총 15가지의 해석 조건으로 수치해석을 실시하였다. 수치해석을 통해 얻은 결과를 비교하여 선반식 옹벽의 수평토압 감소효과를 확인하였고, 또한 모형시험의 결과와 이론해를 동시에 비교하여 수평토압의 감소효과를 확인하고자 하였다. 연구결과 선반식 옹벽은 캔틸레버식 옹벽에 비해 수평토압 감소효과가 뚜렷한 것으로 나타났고, 선반의 위치, 선반의 길이 등에 따라 수평토압의 크기가 영향을 받는 것으로 나타났다.

Abstract Generally, the retaining wall is becoming unstable as the height is higher. On the other hand, the retaining wall with the relieving platform is more stable and more economical than any other type of retaining wall, because the relieving platform the reduce the lateral earth pressure. In this study, numerical analyses were carried out for 15 cases varying with the type of retaining wall, length and location of the relieving platform and the backfill type. From the numerical analyses, the reduction of the lateral earth pressure was checked and the results of numerical analyses were compared with that of model tests and theoretical equations. As the results of this study, the lateral earth pressure of the retaining wall with the relieving platform is considerably less than that of cantilever wall. And the of magnitude of the lateral earth pressure is affected by the length and location of relieving platform and the backfill type.

Key Words : Lateral earth pressure, model test, numerical analysis, relieving platform, retaining wall

1. 서론

옹벽은 흙이 무너져 내리는 것을 방지하기 위해서 사용하는 구조물이다. 옹벽의 종류로는 중력식 옹벽, 캔틸레버식 옹벽, 부벽식 옹벽 등이 있으며, 일반적으로 3m 이하는 중력식 옹벽, 3~7m는 캔틸레버식 옹벽, 그 이상의 높이는 부벽식 옹벽을 사용한다[1]. 이러한 옹벽은 대

부분 사용 재료가 콘크리트인 콘크리트 옹벽이다. 콘크리트 옹벽은 강성이 크며 검증된 구조체이지만 높이가 높아질수록 경제성 및 안정성 등에 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 옹벽 상단 부근에 하나 또는 그 이상의 선반을 설치하여 옹벽 높이가 높아도 옹벽에 작용하는 전체 수평토압의 크기를 줄여주고, 그로인한 옹벽 구조물의 전체적인 안정성을 향상시켜주는 선반식 옹벽

본 논문은 2012년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2012R1A1A2003054).

*Corresponding Author : Byoung-Il Kim(Myongji Univ.)

Tel: +82-31-330-6415 email: bikim@mju.ac.kr

Received February 26, 2014

Revised March 17, 2014

Accepted June 12, 2014

이 있다[2].

선반식 옹벽은 선반의 길이나 위치에 따라 토압의 크기 및 분포가 달라진다. 선반의 길이는 선반이 설치되는 지점에서 활동면에 근접하거나 초과할 정도로 충분한 길이를 가지는 긴 선반일 때 토압의 감소효과가 크다. 선반의 위치는 일반적으로 옹벽 중간 부분에 설치할 때 토압의 감소효과와 경제성에 유리한 특징이 있다[3,4].

이 연구에서는 옹벽의 종류(캔틸레버식 옹벽, 선반식 옹벽), 선반의 길이(긴 선반, 짧은 선반), 선반의 위치($0.73H$, $0.6H$, $0.43H$) 등의 조건을 달리하고, 수치해석을 실시하여 앞서 연구된 모형시험[8]의 결과 및 이론해와 비교하여 선반식 옹벽에 발생하는 수평토압 감소효과를 확인하고자 하였다.

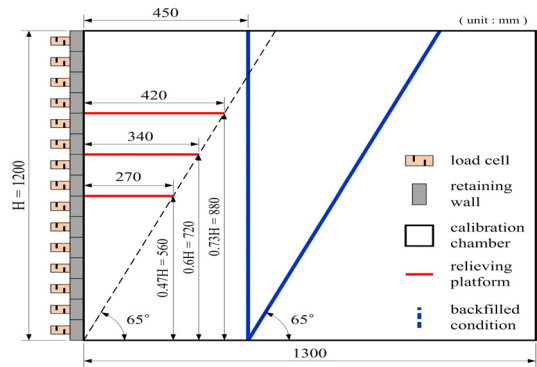
2. 수치해석 방법과 조건

2.1 해석 프로그램

이 연구에서는 2차원 유한요소 해석 프로그램인 PLAXIS(Finite Element Code for Soil and Rock Analyses) 2D를 사용하여 평면변형(plane strain)해석을 적용한 수치해석을 실시하였다. 이 프로그램은 지반공학 범용 유한요소해석 프로그램으로 사용가능한 지반 모델은 Linear-elastic, Mohr-Coulomb, Cam-clay, Creep, Hardening Soil, Jointed Rock Model 등이며 고차요소(15절점 삼각형 요소)의 사용으로 심한 비선형 거동의 해석에도 용이한 장점이 있다.

2.2 수치해석에 사용된 단면 및 물성값

수치해석에 사용된 단면은 Moon et. al.[5]의 모형시험에 사용된 실제 모형크기를 적용하여 Fig. 1과 같이 결정하였다. 수치해석에 사용된 뒤채움 흙과 옹벽 및 로드셀의 물성값은 Moon et. al.[5]의 모형시험에 사용된 흙과 재료의 특성값을 적용하였다. Table 1은 수치해석에 적용된 흙과 재료의 물성값을 정리하여 나타낸 것이다.



[Fig. 1] Cross section for numerical analysis

[Table 1] Structure and soil properties for numerical analysis

Classification	Retaining wall and Relieving platform	Jumoonjin sand
Analysis model	Linear-elastic	Mohr-coulomb
Unit weight(kN/m^3)	-	15.41
Cohesion(kPa)	-	0.1
Friction angle($^\circ$)	-	38.4
Elastic modulus(MPa)	80,000	40
Poisson's ratio	-	0.3
R_{inter}	-	0.3

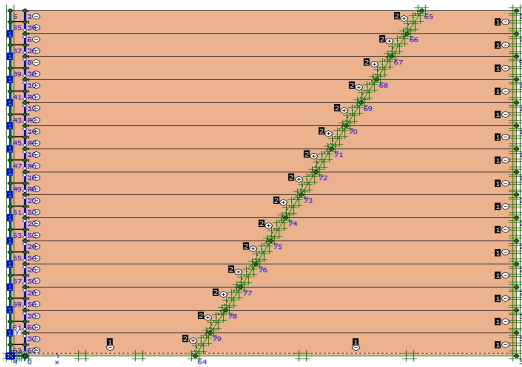
* R_{inter} : Strength reduction factor for interface

2.3 지반모델링

수치해석에 사용된 지반모델은 Fig. 2의 단면을 이용하여 옹벽 종류와 뒤채움 조건에 따라 모델링하였다. 옹벽과 선반은 plate요소, 수평토압을 측정하는 로드셀은 anchor요소를 적용하였고, 옹벽과 굴착면에는 인터페이스를 적용하여 흙과 옹벽, 흙과 굴착면 사이에 발생하는 벽마찰 효과를 고려하도록 하였다. 또한 Moon et. al.[5]의 모형시험 지반조성 방법을 모사하여 15단계로 뒤채움 흙을 단계 성토하여 수치해석을 실시하였다.

2.4 수치해석 조건

옹벽 종류, 선반 위치와 선반 길이에 따른 캔틸레버식 옹벽 및 선반식 옹벽에 작용하는 수평토압의 변화를 비교, 분석하기 위해 Table 2와 같은 수치해석 조건을 적용하였다. 굴착각도는 좁은 90° , 좁은 65° , 일반 90° 등 3가지 경우로써 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 좁은 90° 와 좁은 65° 는 뒤채움 폭이 450mm, 일반 90° 는 뒤채움 폭이 1300mm이다. 굴착각도 65° 의 경우 활동면($45 + \phi/2^\circ$)을 나타내기 위한 조건이다.



[Fig. 2] Modelling for numerical analysis

선반 높이는 옹벽 하단을 기준으로 $0.47H(560\text{mm})$, $0.6H(720\text{mm})$, $0.73H(880\text{mm})$ 의 높이에 선반을 적용하였다. 한편, 선반 길이는 긴 선반, 짧은 선반 등 2가지 경우에 대하여 수치해석을 실시하였다. 긴 선반은 설치된 높이에서 활동면(Fig. 1에서 점선)까지 선반 길이가 근접하거나 초과하는 경우이며, 짧은 선반은 그렇지 못한 경우이다. 긴 선반의 경우 $0.47H$ 의 높이에서는 270mm, $0.6H$ 는 340mm, $0.73H$ 는 420mm인 길이의 선반을 각각 사용하였으며, 짧은 선반은 $0.6H$ 의 높이에서 270mm인 길이의 선반을 사용하여 수치해석에 적용하였다.

3. 수치해석 결과

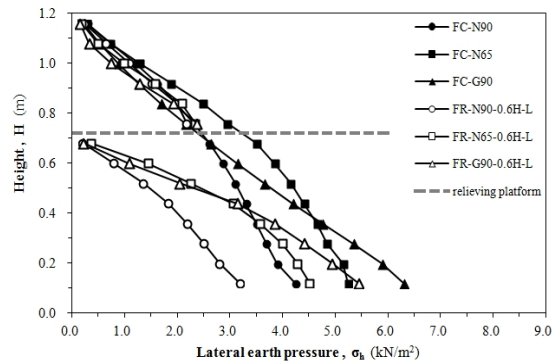
3.1 옹벽 종류에 따른 수평토압 분포

Fig. 3은 수치해석을 통해 구한 캔틸레버식 옹벽과 옹벽 하단으로부터 $0.6H$ 의 위치에 긴 선반이 설치된 선반식 옹벽의 수평토압 분포를 나타내는 그림이다. 선반 상부위치($H \approx 0.72 \sim 1.2\text{m}$)에서는 옹벽 종류와 되메움 조건에 관계없이 수평토압의 크기가 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 선반 하부위치($H \approx 0 \sim 0.72\text{m}$)부터 수평토압 분포를 확인하면 캔틸레버식 옹벽의 경우 높이가 낮아짐에 따라 수평토압은 연속적으로 증가하는 반면에 선반식 옹벽의 경우에는 선반 아래 지점에서 수평토압의 크기가 급격하게 감소하고 높이가 낮아짐에 따라 다시 증가하며 그 크기는 캔틸레버식 옹벽과 비교하면 상당히 작다. 이러한 결과는 Kim et. al.[4], Moon et. al.[5]의 모형시험 결과, Yoo et. al.[6]의 수치해석 결과와 유사한 것을 확인할 수 있다. 선반식 옹벽은 캔틸레버식 옹벽과 달리 선반의 설치로 인해 선반 상부의 되메움 흙의 무게를

선반이 부담하기 때문에 선반 하부에서의 수평토압이 뚜렷하게 감소하는 것으로 판단된다.

[Table 2] Conditions for numerical analysis

Case		Retaining wall type	Backfilled condition	Height of relieving platform	Length of relieving platform
Model test	Numerical analysis				
MC-N90	FC-N90	Cantilever	Narrow 90°	-	-
MC-N65	FC-N65		Narrow 65°		
MC-G90	FC-G90		General 90°		
MR-N90-0.6H-L	FR-N90-0.6H-L	Relieving platform	Narrow 90°	$0.6H$ (720mm)	Long
MR-N65-0.6H-L	FR-N65-0.6H-L		Narrow 65°		
MR-G90-0.6H-L	FR-G90-0.6H-L		General 90°		
MR-N90-0.73H-L	FR-N90-0.73H-L		Narrow 90°	$0.73H$ (880mm)	
MR-N65-0.73H-L	FR-N65-0.73H-L		Narrow 65°		
MR-G90-0.73H-L	FR-G90-0.73H-L		General 90°		
MR-N90-0.47H-L	FR-N90-0.47H-L		Narrow 90°	$0.47H$ (560mm)	Short
MR-N65-0.47H-L	FR-N65-0.47H-L		Narrow 65°		
MR-G90-0.47H-L	FR-G90-0.47H-L		General 90°		
MR-N90-0.6H-S	FR-N90-0.6H-S		Narrow 90°	$0.6H$ (720mm)	
MR-N65-0.6H-S	FR-N65-0.6H-S		Narrow 65°		
MR-G90-0.6H-S	FR-G90-0.6H-S		General 90°		

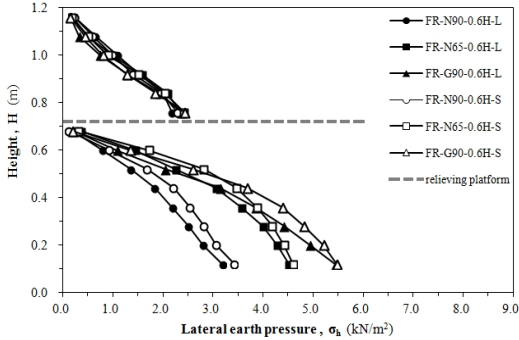


[Fig. 3] Lateral earth pressure distribution according to the type of retaining wall

3.2 선반 길이에 따른 수평토압 분포

Fig. 4는 수치해석을 통해 구한 옹벽 하단으로부터 $0.6H$ 의 위치에 선반이 설치된 선반식 옹벽의 선반 길이에 따른 수평토압 분포를 나타내는 그림이다. 선반 하부위치($H \approx 0 \sim 0.72\text{m}$)에서는 되메움 조건이 동일한 경우 긴 선반을 설치한 선반식 옹벽이 짧은 선반을 설치한 선반식 옹벽에 비해 수평토압의 크기보다 상대적으로 작은 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 Liu & Lin[3]의 연구결과와 같이 짧은 선반의 경우 선반이 설치된 높이에서 선반의 길이가 활동면에 근접하지 못하기 때문에 선반 상부의 되메움 흙의 영향을 받게 되지만, 긴 선반의

경우 선반이 설치된 높이에서 선반 길이가 활동면에 근접하기 때문에 선반 상부의 뒤채움 흙과는 관계없이 선반 하부의 뒤채움 흙에 의한 토압만 작용하여 수평토압의 크기가 상대적으로 작은 것이라고 판단된다.

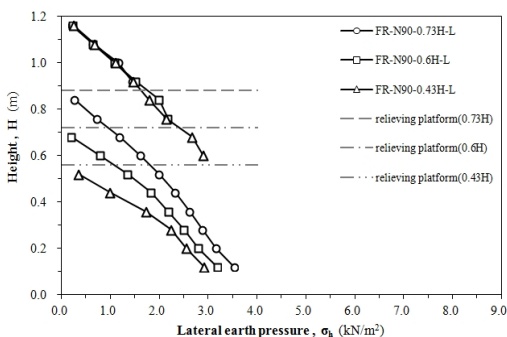


[Fig. 4] Lateral earth pressure distribution according to the length of relieving platform

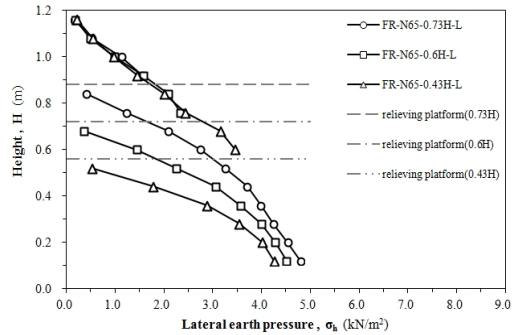
3.3 선반 높이에 따른 수평토압 분포

Fig. 5는 선반 높이에 따른 수평토압 분포를 나타내는 그림이며, Table 3은 선반 높이에 따른 수평토압의 합력을 수치로 비교한 표이다. Fig. 5를 통해 선반 높이가 낮아질수록 선반이 부담하는 뒤채움 흙의 무게는 증가하므로 옹벽 바닥부에서의 수평토압은 작아지는 것을 알 수 있다.

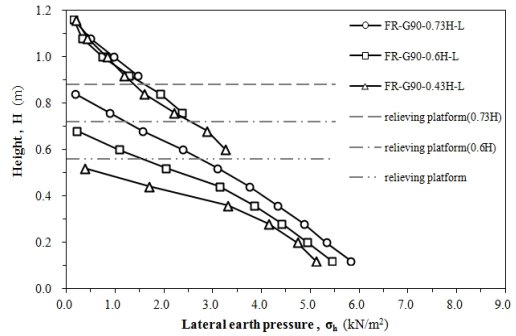
또한 Table 3을 통해 선반 높이가 상부(0.73H)에 위치한 경우에는 선반 길이는 가장 길고 수평토압의 감소효과는 작음을 알 수 있다. 하부(0.47H)에 위치한 경우에는 선반 길이는 가장 짧고 수평토압의 감소효과는 작음을 알 수 있다. 반면에 중부(0.6H)에 위치할 경우에는 선반의 길이는 상부와 하부의 중간이고 수평토압의 감소효과는 가장 크다. 이러한 결과는 Liu & Lin[3]의 연구결과와 유사함을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

[Fig. 5] Lateral earth pressure distribution according to the height of relieving platform

- (a) Backfilled condition - Narrow 90°
- (b) Backfilled condition - Narrow 65°
- (c) Backfilled condition - General 90°

[Table 3] Comparison of lateral earth pressure according to the height of relieving platform

Case	Height of relieving platform (mm)	Length of relieving platform (mm)	Resultant force of lateral earth pressure (kN/m)
FR-N90-0.73H-L	880	420	1.511
FR-N90-0.6H-L	720	340	1.405
FR-N90-0.47H-L	560	270	1.630
FR-N65-0.73H-L	880	420	2.186
FR-N65-0.6H-L	720	340	1.916
FR-N65-0.47H-L	560	270	2.132
FR-G90-0.73H-L	880	420	2.245
FR-G90-0.6H-L	720	340	1.961
FR-G90-0.47H-L	560	270	2.174

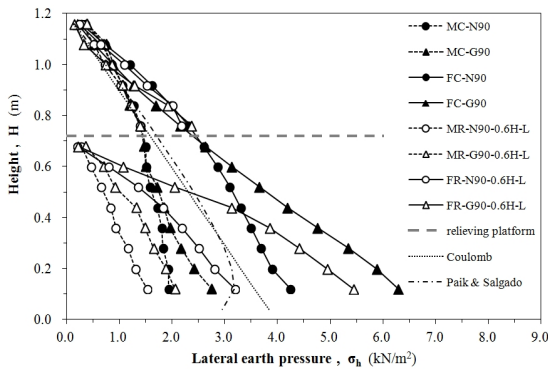
4. 수치해석과 모형시험 결과의 비교

이 연구에서는 수치해석을 통해 얻은 결과와 앞서 언

구되었던 Moon et. al.[5]의 모형시험을 통해 얻은 결과를 동시에 비교하여 선반식 옹벽의 수평토압 분포를 분석하였다. 시험조건의 양이 많기 때문에 3가지의 되메움 조건을 모두 비교하기에 어려움이 있어 좁은 90°, 일반 90° 등 2가지의 조건만을 선택하여 비교하였으며, 모형시험과 관련된 자세한 내용은 Moon et. al.[5]의 연구내용을 참고하기 바란다.

4.1 옹벽 종류에 따른 수평토압 비교

Fig. 6은 모형시험, 수치해석 그리고 이론해를 이용하여 옹벽 종류에 따른 수평토압 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 6을 통해 수평토압의 크기는 수치해석의 결과가 모형시험의 결과보다 다소 큰 경향을 알 수 있다. 특히, 일반 되메움 조건에서 캔틸레버식 옹벽의 모형시험 결과는 Coulomb의 주동토압에 비해 작은 경향을 보이고, 수치해석의 결과는 큰 경향을 보인다. 또한 좁은 되메움 조건에서 아칭효과를 고려한 Paik & Salgado[7]의 주동토압과 비교하면 모형시험과 수치해석 결과 모두 이론해보다는 상부 위치($H \approx 0.6 \sim 0.7m$)에서 수평토압의 증가율(기울기 변화)이 줄어드는 경향을 보인다. 이러한 결과는 Yoo et. al.[6]의 결과와는 다르게 모형시험과 수치해석 모두 좁은 되메움 조건에서 벽마찰에 의해서 아칭현상이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.



[Fig. 6] Lateral earth pressure distribution according to the type of retaining wall

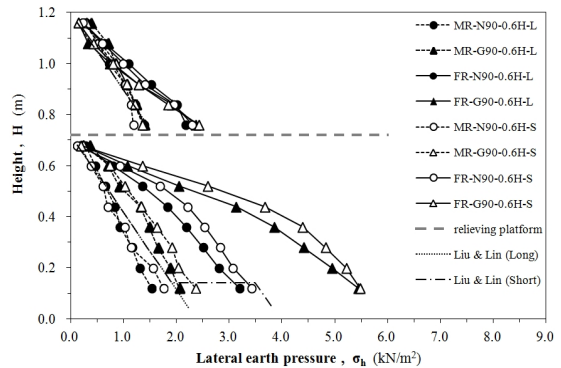
4.2 선반 길이에 따른 수평토압 비교

Fig. 7은 모형시험 및 수치해석 결과와 이론해로 구한 선반 길이에 따른 선반식 옹벽의 수평토압 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 7에서 보는 것처럼 수평토압의 크기는 수치해석의 결과가 모형시험의 결과보다 다소 큰 경향을 보이고 있으나 전체적인 분포 양상은 유사함을 알 수 있

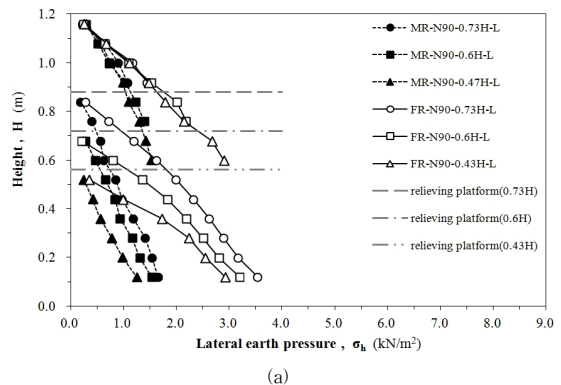
다. Liu & Lin[3]의 이론에 의하면 긴 선반의 경우에는 선반 아래에서 선형적으로 수평토압이 증가하는 반면에 짧은 선반의 경우에는 선반 아래 580mm($H=120mm$, 계산된 값)에서 수평토압의 증가 양상이 변한다. 하지만 모형시험 및 수치해석의 결과에서는 그러한 경향을 보이지 않는다. 이러한 결과는 모형시험과 수치해석에서 0.6H 지점에 사용된 짧은 선반의 길이가 다소 길기 때문에 수평토압의 증가 양상이 변하는 지점이 옹벽 바닥부에 위치함에 따라 경향을 확인하기 어렵기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 선반 높이에 따른 수평토압 분포

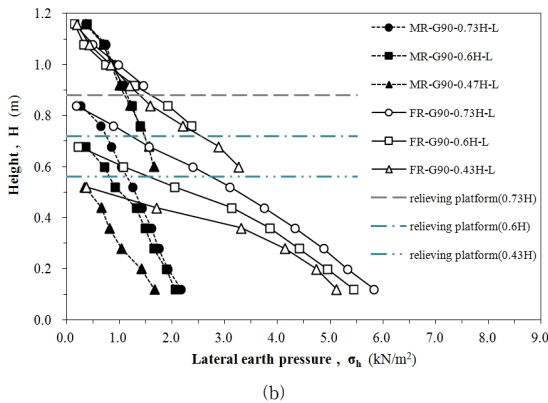
Fig. 8은 모형시험과 수치해석을 이용해 선반 높이에 따른 선반식 옹벽의 수평토압 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 8에서 보는 것처럼 수평토압의 크기는 수치해석의 결과가 모형시험의 결과보다 다소 큰 경향을 보이고 있으나 선반의 위치가 높을수록 옹벽 하단에서의 수평토압이 큰 값을 가지는 경향은 모형시험의 결과와 유사함을 알 수 있다.



[Fig. 7] Lateral earth pressure distribution according to the length of relieving platform



(a)



[Fig. 8] Lateral earth pressure distribution according to the height of relieving platform
 (a) Backfilled condition - Narrow 90°
 (b) Backfilled condition - General 90°

하지만 Table 4를 확인하면 모형시험의 수평토압의 합력은 선반의 위치가 하부로 갈수록 작아지지만 수치해석의 수평토압의 합력은 선반의 위치가 중부로 갈수록 작아지는 것으로 나타났다. 이를 통해 수치해석의 결과가 모형시험의 결과보다 Liu & Lin[3]의 연구결과에 부합하다는 것을 알 수 있다.

[Table 4] Comparison of lateral earth pressure according to the height of relieving platform

Case	Height of relieving platform (mm)	Length of relieving platform (mm)	Resultant force of lateral earth pressure (kN/m)
MR-N90-0.73H-L	880	420	0.997
MR-N90-0.6H-L	720	340	0.984
MR-N90-0.47H-L	560	270	0.957
MR-G90-0.73H-L	880	420	1.310
MR-G90-0.6H-L	720	340	1.279
MR-G90-0.47H-L	560	270	1.144
FR-N90-0.73H-L	880	420	1.511
FR-N90-0.6H-L	720	340	1.405
FR-N90-0.47H-L	560	270	1.630
FR-G90-0.73H-L	880	420	2.245
FR-G90-0.6H-L	720	340	1.961
FR-G90-0.47H-L	560	270	2.174

5. 결론

이 연구에서는 여러 가지 조건을 달리하여 캔틸레버식 옹벽과 선반식 옹벽에 대한 수치해석을 실시하였고,

앞서 연구되었던 Moon et. al.[5]의 모형시험을 통해 얻은 결과를 동시에 비교하여 선반식 옹벽의 수평토압 분포를 분석하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 모형시험과 수치해석의 결과를 통해 기존 선반식 옹벽에 대한 다른 연구결과들[3, 4, 5, 6]과 유사하게 선반식 옹벽의 수평토압 감소효과가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인했다. 이러한 결과는 실제 옹벽 설계 및 시공 시 선반식 옹벽을 사용하게 될 경우 옹벽 단면의 감소로 인한 시공비용의 절감, 옹벽고의 높이 증가로 인한 적용 대상지의 다양성 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 선반식 옹벽은 짧은 선반 보다는 긴 선반을 설치하는 것이 수평토압의 크기를 줄여주는데 더 효과가 있음을 확인했다. 따라서 선반식 옹벽의 설계 시에는 적용 대상지의 활동면을 고려하여 선반의 적정 길이를 결정해야 할 것으로 판단된다.
- 3) 수치해석에 따르면 긴 선반을 적용할 경우 옹벽의 중간 높이에 선반이 설치될 때 토압의 합력이 가장 작은 것으로 나타나 기존의 이론을 뒷받침함을 알 수 있었다.
- 4) 이 연구에서의 해석결과는 선반의 위치를 3가지 조건에 대해서만 고려하여 분석한 결과로 연구결과와 신뢰성을 높이기 위해서는 추후 선반의 위치 조건을 추가하여 최적의 선반 위치를 결정하는 것이 필요하다고 판단된다.

References

- [1] S. H. Chol, *Design of Reinforced Concrete Structures* [Internet], Kookmin University, 2010, Available From: <https://home.kookmin.ac.kr/~shchoi/rc/RetainingWall.pdf> (accessed 2012)
- [2] F. G. Bell, *Ground Engineer's Reference Book*, Butterworths, London, 1987.
- [3] Liu Fuchen and Lin Shile, "Earth Pressure Calculation for Retaining Structure with Relieving Platform", *Port Engineering Technology*, Aug. 2008, Total 182, No.4, 2008.
- [4] B. I. Kim, W. K. Yoo, M. R. Yang and Y. S. Park, "Model Test Study on the Earth Pressure of the Retaining Wall with the Relieving Platform", *Journal of Korean Society of*

Civil Engineers, Vol.32, No.1C, pp. 27-35, 2012.

- [5] I. J. Moon, B. I. Kim, W. K. Yoo and Y. S. Park, "Model Tests for Measurement of Lateral Earth Pressure on Retaining Wall with the Relieving Platform Using Jumoonjin Sand", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.14, No.11, pp. 5923-5929, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.11.5923>
- [6] W. K. Yoo, B. I. Kim, I. J. Moon and Y. S. Park, "Comparison of the Lateral Earth Pressure on the Retaining Wall with the Relieving Platform by Model test and Numerical Analysis", *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.13, No.5, pp. 2382-2389, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.5.2382>
- [7] K. H. Paik and R. Salgado, "Estimation of Active Earth Pressure against Rigid Retaining Walls Considering Arching Effects", *Geotechnique*, 53(7), pp. 643-653, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/geot.2003.53.7.643>

유 완 규(Wan-Kyu Yoo)

[정회원]



- 2006년 2월 : 명지대학교 토목환경 공학과(공학석사)
- 2011년 8월 : 명지대학교 토목환경 공학과(공학박사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 Geo-인프라연구실 수석연구원

<관심분야>

토질역학, 기초공학, 지하구조물

문 인 중(In-Jong Moon)

[정회원]



- 2012년 2월 : 명지대학교 토목환경 공학과(공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석박사통합과정

<관심분야>

토질역학, 기초공학

김 병 일(Byoung-II Kim)

[종신회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 토목공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학