

## 제주 지역의 지반 특성을 고려한 흙막이벽의 측방토압 적용에 관한 연구 II -어스앵커 공법 시공 사례-

### A Study on the Application of Lateral Earth Pressure to Earth Retaining Wall Considering Ground Characteristics in Jeju II – Case of Earth Anchor Construction –

김도형<sup>1</sup>, 이동욱<sup>2\*</sup>, 김승현<sup>3</sup>, 고권문<sup>4</sup>

Do-Hyeong Kim<sup>1</sup>, Dong-Wook Lee<sup>2\*</sup>, Seung-Hyun Kim<sup>3</sup>, Kwon-Moon Ko<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Member, The PhD Student, Dept. of Civil Engineering, Jeju National Univ., 102 Jejudaehak-Ro, Jeju 63243, Republic of Korea

<sup>2</sup>Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Jeju National Univ., 102 Jejudaehak-Ro, Jeju 63243, Republic of Korea

<sup>3</sup>Member, Policy Research Commissioner, Jeju Special Self-Governing Provincial Council, 13 Munyeon-Ro, Jeju 63119, Republic of Korea

<sup>4</sup>Member, Deputy Director, Korea Rural Community Corporation, Jeju Regional Headquarter, 12 Seonsa-ro, Jeju 63318, Republic of Korea

#### ABSTRACT

This paper describes the comparative results of measured and predicted values for the horizontal displacement of earth retaining wall based on two field cases, in order to evaluate the application of lateral earth pressure to earth retaining wall supported by earth anchor in Jeju. The prediction of lateral earth pressure acting on the earth retaining wall was performed by elasto-plastic analysis using Rankine earth pressure, Hong & Yun lateral earth pressure, Terzaghi & Peck modified lateral earth pressure, and Tschebotarioff lateral earth pressure. As a result, the predicted value of the maximum horizontal displacement for site A was about 10 to 12 times greater than the measured value, and in the case of site B, the predicted value was evaluated as about 9 to 12 times greater than the measured value. That is, both sites showed a similar increase rate in the maximum horizontal displacement by the predicted value compared to the measured value. In all field construction cases, the maximum horizontal displacement by measured values occurred in the sedimentary layer, soft rock layer, and clinker layer, and the horizontal displacement distribution was shown in a trapezoidal shape. The maximum horizontal displacement by the predicted value occurred around the clinker layer, and the horizontal displacement distribution was elliptical. In the ground with a clinker layer, the measured value showed a very different horizontal displacement tendency from the predicted value, because the clinker layer exists in the form of a rock layer and continuous layer. In other words, it is unreasonable to apply the existing prediction method, which is overestimated, because the characteristics of the earth pressure distribution in Jeju show a tendency to be quite different from the predicted earth pressure distribution. Therefore, it is necessary to conduct a research on the lateral earth pressure in the realistic Jeju that can secure more economic efficiency.

#### 요 지

본 연구에서는 제주 지역에서 어스앵커로 지지된 흙막이벽의 측방토압 적용을 평가하기 위하여, 2개의 현장 시공 사례를 기반으로 수평변위에 대한 계측값과 예측값을 비교하였다. 흙막이벽에 작용하는 측방토압의 예측은 Rankine 토압, Hong & Yun 측방토압, Terzaghi & Peck 수정측방토압, Tschebotarioff 측방토압을 이용하여 탄소성해석을 실시하였다. 그 결과, A현장에 대한 최대 수평변위의 예측값은 계측값에 비하여 약 10배~12배로 확인되었으며, B현장의 경우에는 예측값이 계측값보다 약 9배~12배로 평가되었다. 즉, 2개 현장 모두 계측값에 비해 예측값에 의한 최대 수평변위가 유사한 증가율을 보였다. 모든 현장 사례에서 계측값에 의한 최대 수평변위는 퇴적층, 연암층 및 클링커층에서 발생하였고, 수평변위 형상은 사다리꼴 형태에 나타났다. 그리고 예측값에 의한 최대 수평변위는 클링커층 주변에서 발생하였으며, 수평변위 형상은 타원형으로 나타났다. 클링커층이 혼재되어 있는 지반에서 계측값이 예측값과 매우 다른 수평변위 경향을 보이는 원인으로는 클링커층이

Received 2 May. 2023, Revised 20 Jun. 2023, Accepted 21 Jun. 2023

\*Corresponding author

Tel: +82-64-754-34580; Fax: +82-64-725-2519

E-mail address: [dwlee@jejunu.ac.kr](mailto:dwlee@jejunu.ac.kr) (D.-W. Lee)

암반층과 연속된 지층의 형태로 존재하기 때문으로 판단되었다. 즉, 예측되는 토압 분포와 상당히 다른 경향을 보이는 제주 지역의 토압 분포 특성을 고려하면 과도하게 평가되는 기존의 예측방법을 적용하는 것은 다소 무리가 있을 것으로 판단되기 때문에, 보다 경제성을 확보할 수 있는 현실적인 제주 지역의 측방토압에 관한 연구가 수행될 필요가 있다.

**Keywords** : Lateral earth pressure, Clinker layer, Earth retaining wall, Earth anchor, Jeju island

## 1. 서론

제주도는 오랜 기간 활발한 화산활동에 따라 발생한 용암이 고결됨으로써 암반을 형성하는 과정에서 지표면 및 공기와 접하는 위치에서 급격하게 냉각되면서 파쇄되어 이루어진 클링커층(clinker layer)과 함께 현무암층이 기반암으로 이루어진 지질 특성을 가지고 있다(Park et al., 2006; KIGAM, 2013; Kim and Lee, 2019; Lee et al., 2019).

클링커층은 일반적으로 용암 내부와 외부의 겉보기 점착력 또는 전단변형의 차이로 인해 다공질의 상부 표면이 파쇄되어 형성(Moon et al., 2020)되기도 하지만, Look et al.(2010)은 클링커층의 생성 원인이 다양하다고 연구한 바 있다(Fig. 1).

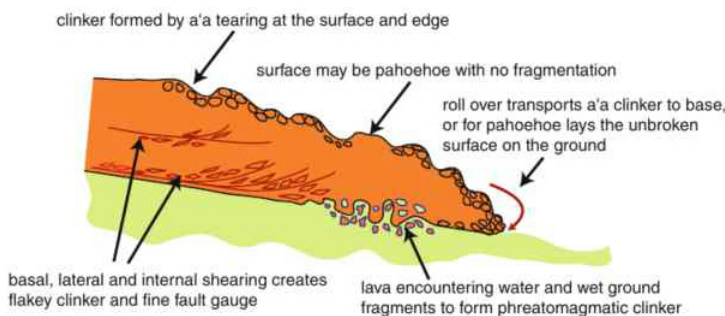
제주 지역에서 형성된 클링커층은 출현 심도 및 분포 두께가 매우 다양하기 때문에, 구조물 시공에 요구되는 지반설계 시에 이를 고려함과 동시에 기초지반에 대한 충분한 지반조사가 필요하다(Kim, 2006; Nam et al., 2008; Yoon et al., 2022).

관광산업이 지역 경제의 주를 이루고 있다 해도 과언이 아닌 제주도에서는 최근 도심지 건축 구조물이 증가함에 따라 다양한 지시시스템(스트럿, 어스앵커, 지하연속벽 등)을 이용한 흙막이벽 또한 시공이 증가하고 있는 추세이다.

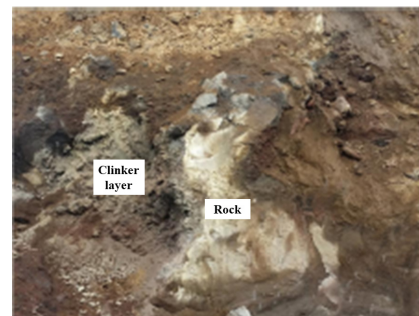
제주도 내 지질 특성을 충분히 활용하기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. Lee et al.(2015)은 제주도 내에서 발생하는 현무암 석분슬러지를 차수용 재료로 재활용하기

위하여 현무암 석분슬러지 혼합토에 대한 특성을 평가한 바 있다. Kim and Lee(2016, 2019)는 제주지역의 다변성 층상구조가 발파로 인한 암파쇄에 미치는 영향과 함께 지반진동 특성을 분석하였다. Kim et al.(2017)은 탄성과탐사를 통해 제주도의 클링커층에 대한 전단파속도를 분석한 바 있다. Yang et al.(2013)은 제주도의 연약층에 대한 공학 특성을 평가하고 모노파일 설계를 위한 지층 특성을 해석적으로 평가하였다. Moon et al.(2020)은 제주도 클링커층을 대상으로 실시한 평판재하시험을 통해 내륙지역의 지지력 특성과 비교한 바 있다. Lee et al.(2019)은 연약층으로 평가받는 제주도의 클링커층을 포함한 지반을 대상으로 약액주입공법에 의한 그라우팅을 통해 보강 효율을 분석하고자 보강여부에 따른 얇은 기초의 거동을 수치해석적으로 평가하였다.

이와 같이, 기존에 수행되었던 대부분의 연구들은 제주도의 특수한 지질 및 지반공학적 특성을 기반으로 지반진동, 지반보강 및 재료적 특성 평가에 초점을 맞추고 있다. 즉, 도심지 개발이 활발하게 이루어지고 있는 제주 지역에 요구되는 클링커층을 대상으로 하는 토압 특성에 관한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 클링커층이 다수 혼재해 있는 지반 조건에서 어스앵커로 지지된 2개의 흙막이벽 시공 사례를 이용하여 수평변위 계측값과 경험적 방법에 의해 예측된 수평변위를 비교하였다. 그리고 비교 결과를 이용하여 클링커층이 존재하는 지반에서의 어스앵커로 지지된 흙막이벽에 작용하는 측방토압의 적용



(a) Formation of clinker layer (Look et al., 2010)



(b) Example of clinker layer

Fig. 1. Clinker layer

에 관해 고찰하였다.

## 2. 흙막이벽에 작용하는 측방토압

Lambe and Whitman(1979)과 Das(1984)는 흙막이벽에 작용하는 측방토압이 옹벽에 작용하는 주동토압 분포와

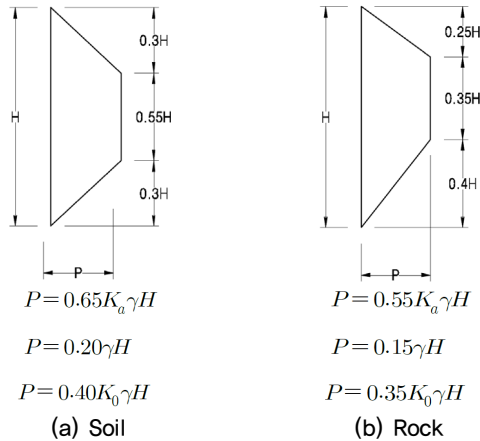


Fig. 2. Lateral earth pressure distribution by Hong and Yun(1995)

비교하여 다른 형태를 보인다고 하였다. 이에 지반 굴착 현장에서의 계측결과를 바탕으로 굴착 배면지반으로부터 흙막이벽에 작용하는 측방토압에 대하여 많은 연구자들에 의해 경험적 산정 방법이 제시된 바 있다.

먼저, Hong and Yun(1995)은 국내에서 암반을 포함하는 다층지반을 대상으로 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압 분포를 제시하였다(Fig. 2). Hong and Yun(1995)이 제시한 측방토압 분포는 암반층의 점착력을 무시하고 산정되었기 때문에, 실제 흙막이벽에 작용하는 측방토압 보다 크게 산정될 수 있다고 하였지만, 안전측의 흙막이벽 설계를 고려하면 적용에 문제가 없다고 제안하였다. Terzaghi and Peck(1967)은 다양한 현장에서의 버팀보에 대한 반력을 이용하여 수평토압분포도를 제안하였다(Fig. 3). Tschebotarioff(1973)는 사질토 지반의 측방토압 분포는 Terzaghi and Peck(1948)가 제안한 토압분포와 유사하다고 하였지만, 점토지반의 경우에는 얇은 굴착깊이에서 Terzaghi and Peck(1948)의 토압분포가 과다하게 산정되기 때문에 삼각형분포로 제안하였다(Fig. 4). 이에 본 연구에서는 어스앵커가 적용된 흙막이벽의 수평변위 계측값과

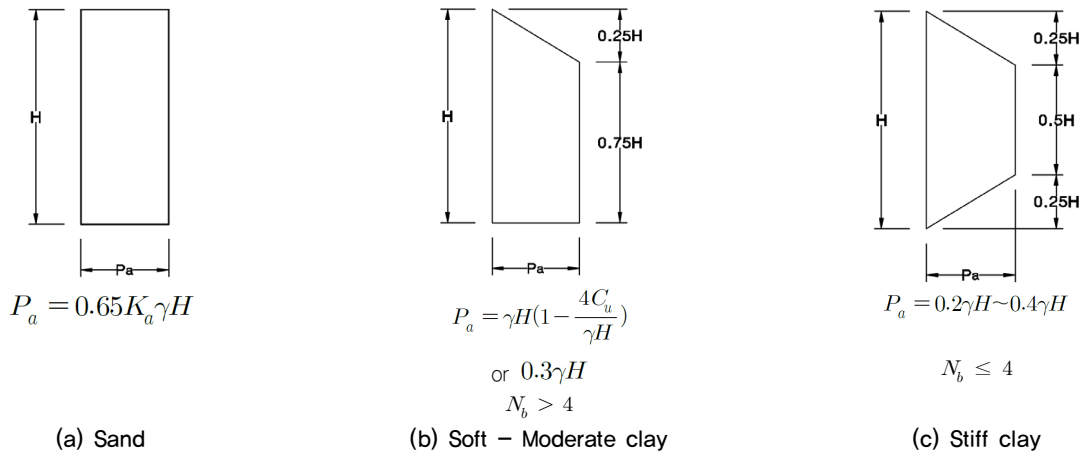


Fig. 3. Modified lateral earth pressure distribution by Terzaghi and Peck(1967)

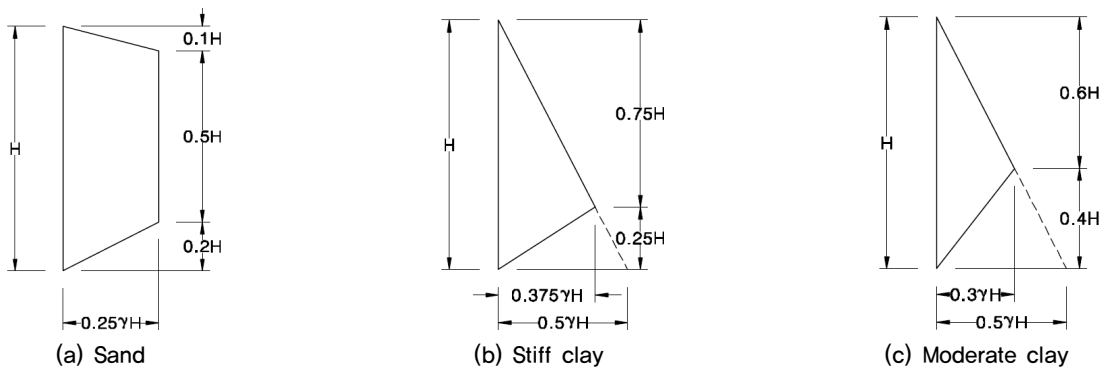


Fig. 4. Lateral earth pressure distribution by Tschebotarioff(1973)

예측값의 비교를 위하여 Rankine 토압이론, Hong & Yun, Terzaghi & Peck 및 Tschobotarioff의 경험적 토압 산정 방법을 적용하였다.

### 3. 현장계측 사례를 이용한 어스앵커로 지지된 흙막이벽의 수평변위 평가

#### 3.1 현장 개요

전술한 바와 같이, 본 연구에서는 어스앵커 지지 흙막이벽이 시공된 2개의 현장에서 계측된 수평변위와 경험적 방법으로 예측된 수평변위를 비교하였다. 각각의 현장 특

성은 다음과 같다.

먼저, A현장은 지하 2층 및 지상 4층의 건축 구조물 시공 현장으로, 최종 굴착깊이는 8.2m이다. 흙막이벽은 4.0m의 근입깊이로 H파일(300×300×10×15)과 토류판(T=80 mm)으로 시공되었으며, 3단의 어스앵커로 지지하였다. Fig. 5(a)와 같이, 지층구조는 퇴적층이 상부에 위치하고 있으며 연암층과 클링커층이 지속적으로 반복되는 특성을 보였다.

B현장은 지하 2층 및 지상 4층의 건축 구조물 시공 현장이고, 최종 굴착깊이는 6.25m이다. 흙막이벽의 근입깊이는 4.0m로 A현장과 동일한 크기의 H파일과 토류판으로 시공되었으며, 2단의 어스앵커가 적용되었다. 지층구

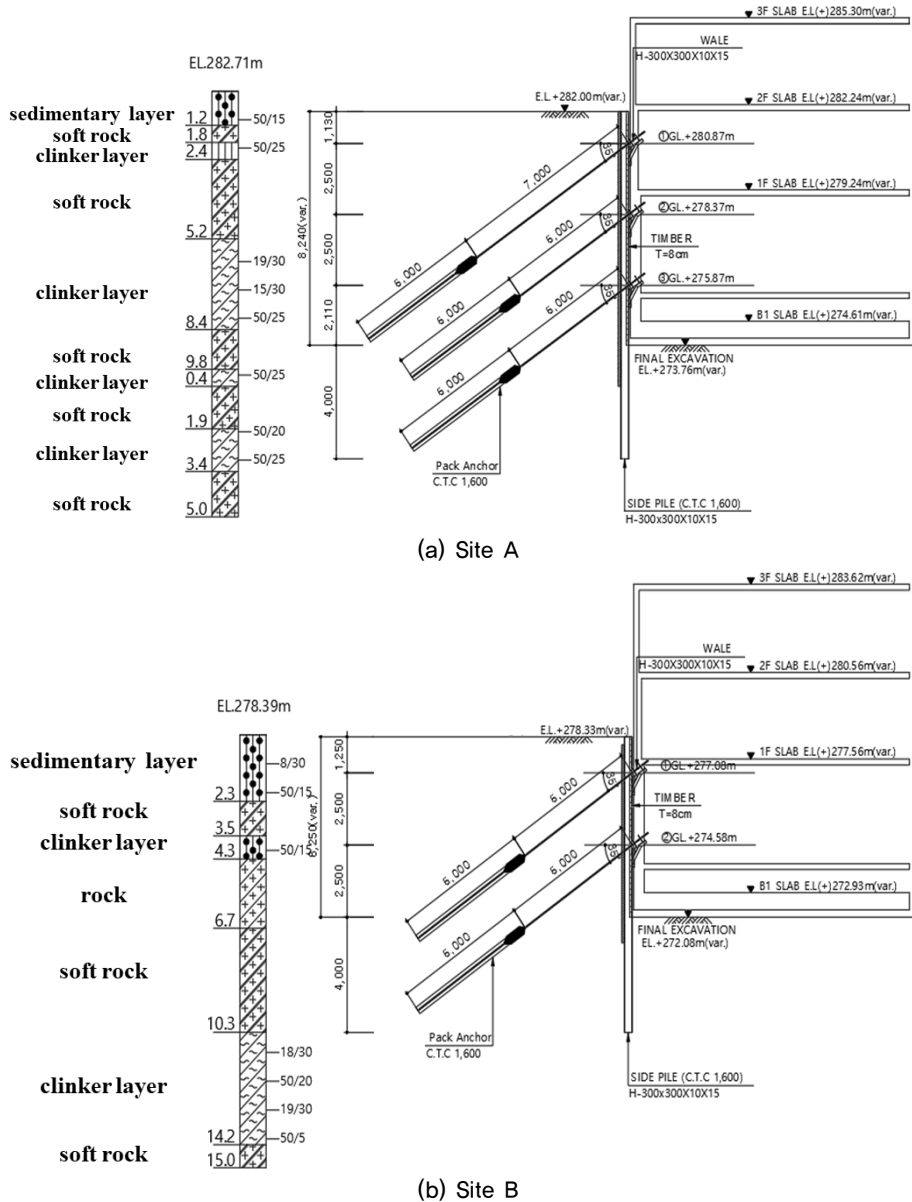


Fig. 5. Soil layer and retaining wall construction in field cases

조는 퇴적층 하부에 연암층, 클링커층, 보토암층이 혼재되어 있는 것으로 확인되었다(Fig. 5(b)).

### 3.2 현장계측 결과

Fig. 6은 최종굴착단계에서 흙막이벽의 수평변위를 나타낸 것이다.

A현장의 수평변위는 연암층 사이에 분포하고 있는 클링커층(G.L.(-)5.8m)에서 2.7mm로 가장 크게 발생하였으며, 최대 수평변위가 발생한 클링커층의 상부 연암층에서의 수평변위와 유사한 크기를 보였다. B현장의 경우에는 상부로부터 퇴적층, 연암 및 클링커층에 이르기까지 0.97mm의 최대 수평변위가 발생하였고, A현장과 동일하게 클링커층의 수평변위는 연암층과 유사하였다.

현장계측 결과로부터 어스앵커로 지지된 흙막이벽의 수평변위 발생 경향은 클링커층에서 가장 큰 변형이 발생하는 것으로 확인되었으며, 이는 지층 사이에 분포한 연암에서 발생하는 수평변위와 유사한 것을 알 수 있었다.

### 3.3 수평변위 예측 및 비교

어스앵커로 지지된 흙막이벽의 수평변위 예측값과 경험적 측방토압 산정방법에 의해 예측된 수평변위를 비교하기 위해 GeoX 프로그램을 이용하여 탄소성해석에 의한 수평변위를 예측하였다. 이때, 수평변위 예측은 Rankine 토압이론, Hong & Yun 측방토압, Terzaghi & Peck 수정측방토압, Tschebotarioff 측방토압 산정방법을 적용하였다.

현장을 모사한 해석모델은 Fig. 7에 각각 나타내었으며,

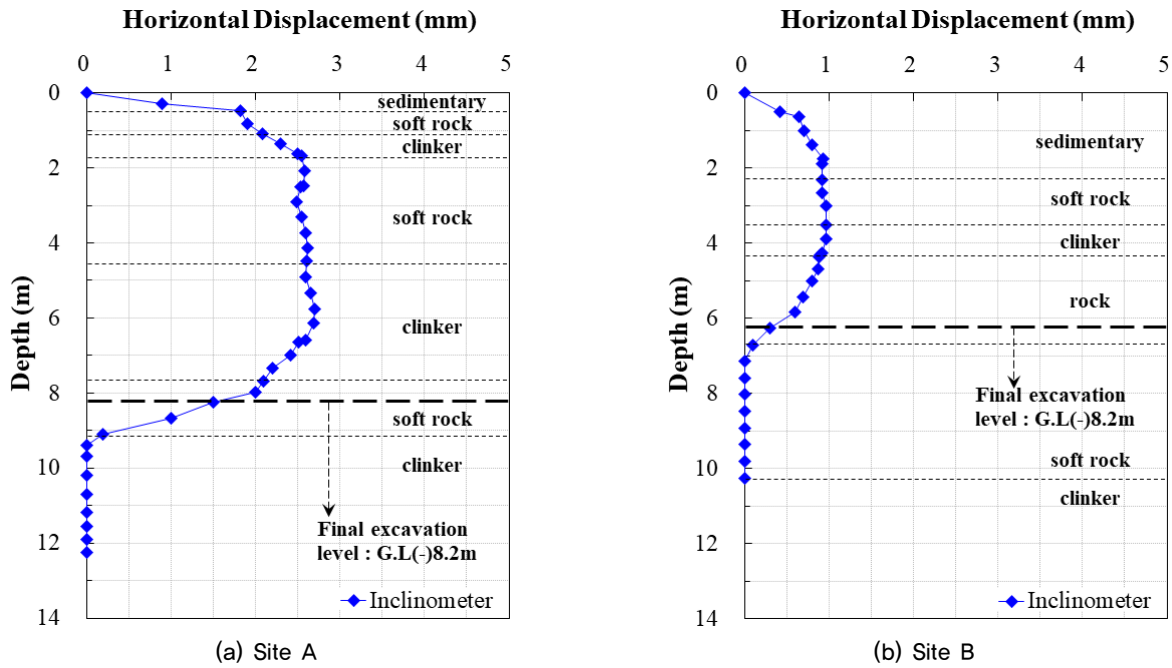


Fig. 6. Field measurement results

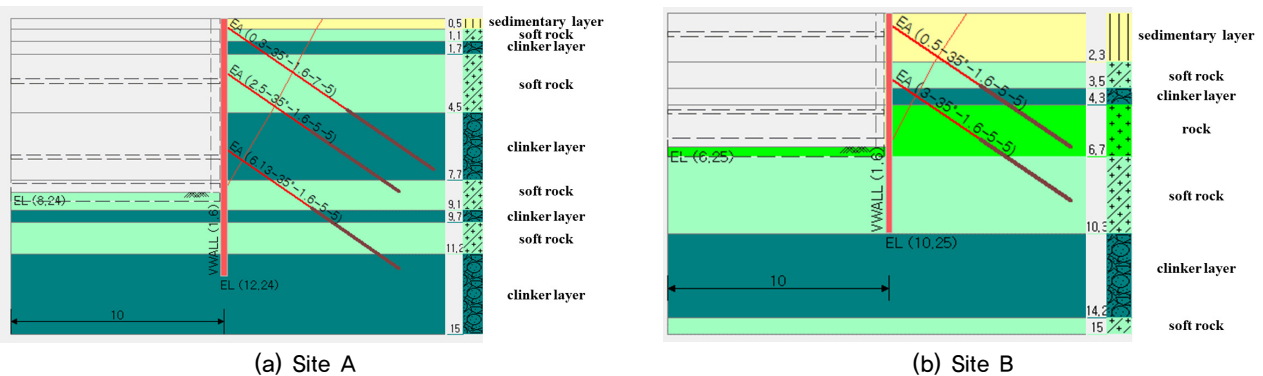
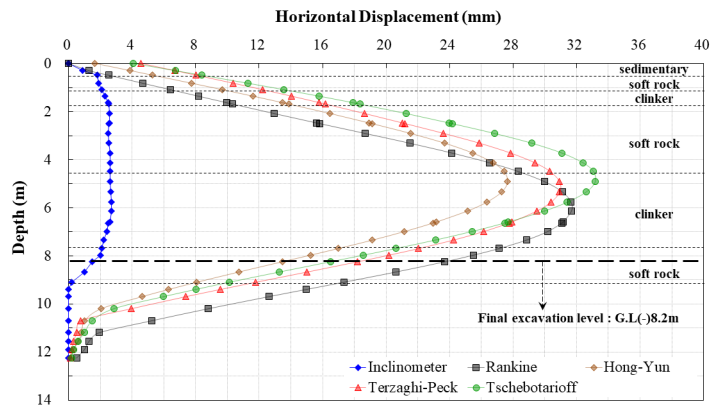


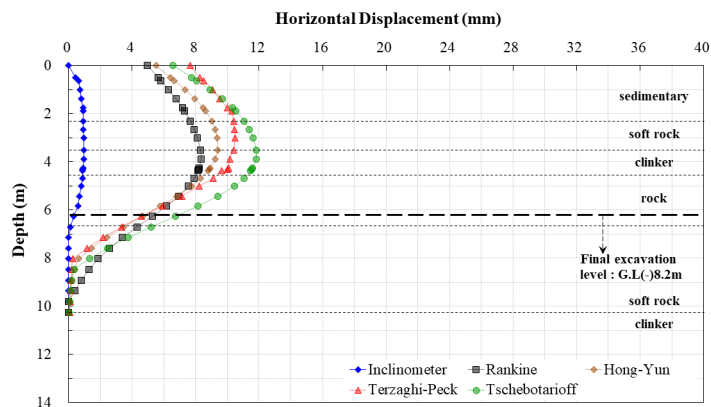
Fig. 7. Analysis model

Table 1. Soil properties for analysis

Classification		Depth (m)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (tf/m <sup>2</sup> )	Internal friction angle (°)	coefficient of horizontal subgrade reaction (tf/m <sup>3</sup> )
Site A	sedimentary layer	0.5	1.8	0	26.0	1760
	soft rock	1.1	2.3	5	35.0	4500
	clinker layer	1.7	1.8	0	28.4	2075
	soft rock	4.5	2.3	5	35.0	4500
	clinker layer	7.7	1.8	0	28.4	2075
	soft rock	9.1	2.3	5	35.0	4500
	clinker layer	9.7	1.8	0	28.4	2075
	soft rock	11.2	2.3	5	35.0	4500
Site B	clinker layer	15.0	1.8	0	28.4	2075
	sedimentary layer	2.3	1.8	0	26.0	1760
	soft rock	3.5	2.3	5	35.0	4500
	clinker layer	4.3	1.8	0	28.4	2075
	rock	6.7	2.5	10	38.0	6000
	soft rock	10.3	2.3	5	35.0	4500



(a) Site A



(b) Site B

Fig. 8. Comparison of measured and predicted values for horizontal displacement

해석에 적용된 지반정수는 지반조사에서 확인된 N값으로 추정하였고, 각 현장별 지층의 지반정수는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

각 현장에 대한 흙막이벽의 깊이별 수평변위 예측값과 예측값의 비교 결과는 Fig. 8에서 보는 바와 같다.

A현장에 대한 수평변위의 경우, Rankine 토압, Hong &

Yun 측방토압, Terzaghi & Peck 수정측방토압 및 Tschbotarioff 측방토압에 의해 예측된 최대 수평변위는 모두 클링커층을 포함하는 지층에서 27.7mm(Hong & Yun 측방토압)~33.2mm(Tschbotarioff 측방토압)로 나타났다. 이는 계측에 의한 최대 수평변위(2.7mm)에 비하여 약 10배~12배로 예측된 결과이다. 그리고 계측값에 의한 수평변위 발생 경향은 사다리꼴 형상을 띠고 있지만, 모든 예측 변위는 상부 퇴적층에서부터 클링커층까지 지속적으로 증가하다가 깊이가 증가함에 따라 감소하는 급격한 타원형의 형상을 보였다. 그리고 최대 수평변위의 발생 위치를 확인한 결과, 계측값은 암반층과 클링커층에서의 변위거 거의 유사한 수준으로 나타났지만, 모든 예측값은 연암층과 클링커층의 경계부 또는 클링커층 중앙부에서 최대 수평변위가 나타났다. 이와 같은 차이는 클링커층이 암반층과 연속된 지반 특성에 기인하여, 예측값보다 계측값이 현저히 낮은 수평변위와 함께 유사한 측방토압 특성을 갖는 것으로 판단되었다.

B현장의 경우 A현장과 유사한 형태의 수평변위 경향을 갖는 것으로 확인되었다. 먼저, 예측된 최대 수평변위는 모두 클링커층 또는 클링커층과 인접한 연암층에서 8.3mm(Rankine 토압)~11.8mm(Tschbotarioff 측방토압)로 확인되었다. 이와 같은 결과는 계측된 최대 수평변위(0.97mm)에 비하여 약 9배~12배 수준이다. 그리고 계측값에 의한 수평변위 발생 경향은 사다리꼴에 가까운 타원형을 띠고 있지만, 예측값은 다소 완만한 타원형의 형태를 나타내는 것으로 분석되었다. 이와 같은 수평변위 경향은 앞서 언급한 클링커층이 암반층과 연속된 특성에 의해 영향을 받는 것으로 판단되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 다수의 클링커층이 혼재하는 다층지반에 어스앵커로 지지된 2개의 흙막이벽 현장 사례를 이용하여 수평변위에 대한 계측값과 경험적 방법에 의한 예측값을 비교함으로써 측방토압 적용에 관한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 모든 현장 사례에서 계측값에 의한 최대 수평변위는 퇴적층, 연암층 및 클링커층에서 발생한 것을 알 수 있었고, 그 형상은 다소 상이하긴 하지만 사다리꼴 형태를 보였다. 또한 예측값에 의한 최대 수평변위는 클

링커층 주변에서 발생하였으며, 타원형의 형상을 나타내었다.

- (2) A현장의 최대 수평변위 예측값은 계측값 비하여 약 10배~12배 정도 크게 나타났으며, B현장의 경우에는 예측값에 비하여 약 9배 ~ 12배로 평가되었다. 즉, 2개 현장 모두 계측값에 비해 예측값에 의한 최대 수평변위가 유사한 증가율을 보였다. 또한 모든 예측값이 보수적인 예측 결과를 보였는데, Tschbotarioff 측방토압이 2개 현장 모두 가장 큰 수평변위를 예측하였다. 반면에, 클링커층이 다수 혼재된 지반(A현장)에서는 Hong & Yun 측방토압, 클링커층이 단순한 지반(B현장)에서는 Rankine 토압에 의한 예측값이 가장 작은 수평변위 결과를 나타냈다.
- (3) 클링커층이 혼재되어 있는 지반에서 계측값이 예측값과 매우 다른 수평변위 경향을 보이는 원인으로는 클링커층이 암반층과 연속된 지층의 형태로 존재하기 때문인 것으로 판단되었다. 즉, 예측되는 토압 분포와 상당히 다른 경향을 보이는 제주 지역의 토압 분포 특성을 고려하면 과다하게 평가되는 기존의 예측방법을 적용하는 것은 다소 무리가 있을 것으로 판단되기 때문에, 보다 경제성을 확보할 수 있는 현실적인 제주 지역의 측방토압에 관한 연구가 필요하다.

#### Acknowledgement

This research was supported by the 2022 scientific promotion program funded by Jeju National University

#### References

1. Das, B. M. (1984), *Principles of Foundation Engineering*, 3th Ed., PWS Publishing, pp.423-425.
2. Hong, W. P. and Yun, J. M. (1995), "Lateral Earth Pressure Acting on Anchored Retention Walls for underground Excavation", *Journal of the Korea Geotechnical Society*, Vol.11, No.1, pp.63-78.
3. Kim, J. H. (2006), *A study on the mechanical characteristics and the strength in Pyoseonri basalt*, Thesis, Cheju National University. (in Korean)
4. Kim, S. H. and Lee, D. W. (2016), "Analysis of Blasting Vibration at the Irregular Layered Structure Ground", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.36, No.5, pp.891-901. (in Korean)

5. Kim, S. H. and Lee, D. W. (2019), "Analysis of Ground Vibration Characteristics by Test Blasting in Southern Region of Jeju", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.39, No.3, pp.419-429. (in Korean)
6. Kim, S. H., Lee, D. W., Kang, J. S. and Lee, K. S. (2017), "Analysis of Shear Wave Velocity of the Clinker Layer in Jeju", *2017 KSCE convention*, pp.13-14. (in Korean)
7. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (2013), *Experience the Geological Splendor of Jeju Island: The Visitor's Guide*, Rodem Design Institute, Daejeon, pp.41-46.
8. Lambe, T. W. and Whitman, R. V. (1979), *Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, pp.185-188.
9. Lee, K., Shin, H., Jung, H., Kim, D., Ryu, Y. and Kim D. (2019), "Evaluation of Shallow Foundation Behavior on Basalt Rock Layers With Clinker and Sediment Layers Reinforced Using Cement Grouting", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.18, No.3, pp.33-44. (in Korean)
10. Lee, Y. G., Yun, J. M., Song, Y. S., Kim, K. Y. and Hong, K. (2015), "Permeability Characteristics of Cement Mixtures with Powdered Sludge of Basalt in Jeju Island", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.14, No.4, pp.159-165. (in Korean)
11. Loock, S., van Wyk de Vries, B. and Henot, J.-M. (2010), "Clinker formation in basaltic and trachybasaltic lava flows", *Bull Balcanol*, Vol.72, pp.859-870.
12. Moon, K., Boo, S. and Park, S. (2020), "Evaluation of Bearing Capacity of Clinker Layer in Jeju Island", *2020 KSCE convention*, pp.1386-1388. (in Korean)
13. Nam, J. M., Yun, J. M., Song, Y. S. and Kim, J. H. (2008), "Analysis of Engineering Properties to Basalt in Cheju island", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.7, No.1, pp.13-21. (in Korean)
14. Park, K. H., Ahn, J. S., Ki, W. S. and Park, W. B. (2006), *Jeju Island Geological Travel*, KIGMR (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources). (in Korean)
15. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967), *Soil Mechanics in Engineering practice*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, pp.394-413.
16. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948), "Soil Mechanics in Engineering practice", 1st Ed., John Wiley and Sons, New York, pp.345-352.
17. Tschebotarioff, G. P. (1973), *Foundations, Retaining and Earth Structure*, McGraw-Hill, New York, pp.415-457.
18. Yang, K. H., Seo, S. D., Cho, Y. S. and Park, J. J. (2013), "Numerical Analysis of Offshore Wind Turbine Foundation Considering Properties of Soft layer in Jeju", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.12, No.4, pp.45-56. (in Korean)
19. Yoon, B. J., Park, S. Y. and Lee, S. J. (2022), "A Study on the Geotechnical Characteristics of Jeju Area Using Field Tests", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol.18, No.4, pp.769-777. (in Korean)