creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

碩士學位論文

앵커지지 흙막이벽의 측방토압 적용에 관한 연구

-제주지역의 지반특성을 중심으로-

濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

黃 基 鉉

2024年 2月

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

앵커지지 흙막이벽의 측방토압 적용에 관한 연구

-제주지역의 지반특성을 중심으로-

指導敎授 李 東 昱

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2024年 2月

黃基鉉의 工學 碩士學位 論文을 提出함.

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2024年 2月

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

목 차

목 차 ····· Ⅰ
표 목 차 ····· Ⅱ
그림목차 ····· Ⅱ
Summary ····· Ⅳ

Ⅰ. 서 론 ····· 1
1. 연구 배경 및 목적 ····· 1
2. 연구 동향 ····· 2
3. 연구 방법 ····· 8

Ⅱ. 이론적 배경 및 수치해석 모델 ····· 10
1. 굴착에 따른 흙막이벽체의 거동이론 ····· 10
2. 흙막이 벽체의 변위 특성 ····· 11
3. 흙막이 벽체의 해석법 ····· 13

Ⅲ. 현장조건과 계측 ····· 16
1. 현장개요 ····· 16
2. 현장계측 ····· 20
3. 현장계측 결과 ····· 21
4. 수평변위 예측 및 비교 ····· 25

Ⅳ. 결론 ····· 47

참고문헌 ····· 49

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 목 차

표 2.1 흙막이 벽체의 수치해석법의 종류 ····· 13
표 3.1 현장별 계측결과 ····· 23
표 3.2 예측값과 실측값과의 비교 ····· 27
표 3.3 적용 설계지반정수 ····· 28
표 3.4 심도별 수평변위 - Site A ····· 39
표 3.5 심도별 수평변위 - Site B ····· 40
표 3.6 심도별 수평변위 - Site C ····· 41
표 3.7 심도별 수평변위 - Site D ····· 42
표 3.8 심도별 수평변위 - Site E ····· 43

그림목차

그림1.1 흙막이벽의 변형형태 ····· 3
그림1.2 굴착단계별 측방토압의 변화 ····· 4
그림1.3 Terzaghi · Peck의 측방토압분포 ····· 6
그림1.4 Terzaghi · Peck의 수정측방토압분포 ····· 6
그림1.5 Tschebotarioff의 측방토압분포 ····· 7
그림2.1 Terzaghi and Peck의 수정토압 ····· 11
그림2.2 Tschebotarioff의 토압 ····· 11
그림2.3 굴착 단계별 토압 및 벽체의 변화 ····· 12
그림2.4 프로그램 내부에서 FEM 모델 구성 ····· 14
그림2.5 탄소성보법의 기본 구조모델 ····· 15
그림3.1 지층에 따른 흙막이벽 설계 - Site A ····· 17
그림3.2 지층에 따른 흙막이벽 설계 - Site B, C ····· 18
그림3.3 지층에 따른 흙막이벽 설계 - Site D, E ····· 19
그림3.4 지중수평변위계의 모식도 및 계측장면 ····· 21
그림3.5 현장 계측결과 ····· 24

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

그림3.6 분석모델 - Site A ····· 29
그림3.7 분석모델 - Site B ····· 31
그림3.8 분석모델 - Site C ····· 33
그림3.9 분석모델 - Site E ····· 35
그림3.10 분석모델 - Site E ····· 37
그림3.11 수평변위의 측정값과 예측값 비교 - Site A, B ····· 44
그림3.12 수평변위의 측정값과 예측값 비교 - Site C, D ····· 45
그림3.13 수평변위의 측정값과 예측값 비교 - Site E ····· 46

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Summary

Recently, along with the continued economic development and industrial advancement, population concentration problems in urban areas appears to be gradually worsening. However, compared to population concentration in urban areas, available land continues to decrease, resulting in social problems such as rising land prices.

Therefore, numerous researchers have paid attention to 'utilizing underground spaces' such as underground parking lots and underground residential spaces as an alternative for efficient use of land in urban areas, However, the construction of such underground structures poses the other social problems such as noise, vibration, and balance and change of existing structures.

When excavation work is carried out in urban areas close to surrounding structures and underground facilities, and the deformation of the retaining wall becomes large, the strength of the ground decreases, causing problems with the stability of the excavation ground. It also has a significant impact on the surrounding ground, so deformation due to (settlements) of the underlying ground and cracks or collapse accidents in adjacent structures often occur during construction. These accidents not only cause enormous damage to property, but in severe cases, they can become large-scale accidents that result in casualties.

When conducting underground excavation work, temporary earth retaining structures are installed to prevent the inflow of soil and groundwater from the surrounding ground and to protect adjacent structures. One of the most important factors in designing earth retaining structures installed on the excavation surface is the lateral earth pressure acting on the structure. However, the lateral earth pressure acting on the retaining structure is determined by the deformation of the retaining wall and the interaction between the retaining wall and the ground. Therefore, it is affected by

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

various factors such as ground conditions, excavation depth, wall rigidity, restraint conditions, and construction method. It is difficult to accurately calculate lateral earth pressure.

Recently, in Korea, there has been an increase in the number of cases of conducting construction management through on-site measurements to investigate the deformation behavior of retaining walls and back ground due to excavation, but objective indicators for conducting reasonable construction management during excavation work are not sufficient. so there is still research gap to determine the deformation of the retaining wall or the stability of the ground behind the excavation using field measurements.

Therefore, in this study, the another collected and accumulated on-site measurement data according to the installation of anchor-supported retaining structures, focusing on excavation sites in Jeju Island, which have different geological characteristics from inland areas.

The lateral earth pressure distribution acting on retaining walls, are caculated using Rankin, Terzaghi-Peck and Tschebotarioff models which can be used to improve the existing design in the future. This study was conducted to enable a rational and economical approach to design.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 지속적인 경제발달 및 산업의 고도화에 따라 도심지로의 인구 집중현상은 점차 심화되고 있는 양상을 보인다. 하지만, 도심지의 인구집중화에 비해 가용용지는 계속적으로 감소되고 있으며, 그에 따른 지가 상승 등 사회적 문제가 야기되고 있다.

따라서, 도심지의 효율적인 용지활용을 위한 대안으로 지하주차장 및 지하 주거공간 등 '지하 공간 활용' 에 대한 관심이 증대되고 있으나 이와 같은 지하구조물 건설은 소음, 진동, 기존 구조물의 균형과 변화 등 또 다른 사회적 문제를 야기한다.

도심지에서 굴착공사가 주변 구조물과 지하 매설물에 근접해서 실시되는 경우, 흙막이벽의 변형이 크게 되면 지반의 강도가 저하되어 굴착지반의 안정성에 문제가 발생하게 된다. 그리고 주변지반에도 상당한 영향을 미치게 되어 시공 중에 배면지반의 변형(침하), 인접구조물의 균열이나 붕괴사고가 종종 발생하게 된다.(김주범외 3인(1990), 백영식외 2인(1990), 홍원표외 2인(1992), 문태섭외 3인(1994)). 이러한 사고는 재산상의 막대한 피해를 가져옴은 물론이고 심한 경우에는 인명피해가 발생하는 대형사고로 나타나기도 한다.

지하 굴착공사를 실시할 때 주변 지반에 부존하는 토사와 지하수의 유입을 방지하는 동시에 인접구조물의 안전을 위하여 가설흙막이구조물이 설치된다. 이와 같이 굴착공사 굴착면에 설치되는 흙막이구조물의 설계 시 가장 중요한 요소중의 하나는 구조물에 작용하는 측방토압이다. 그러나 흙막이구조물에 작용하는 측방토압은 흙막이벽의 변형, 흙막이벽과 지반사이의 상호작용에 의하여 결정되므로 지반조건, 굴착 깊이, 벽체의 강성, 구속 조건, 시공 방법 등과 같은 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받는다. 따라서 이 측방토압을 정확히 산정하기는 매우 어려운 실정이며, 그에 따라 Terzaghi · Peck 및 Tschebotarioff 등의 연구가 진행 된 바 있다.

종래 지하굴착현장에서는 엄지말뚝공법을 이용한 흙막이벽이 많이 사용되었으며

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

엄지말뚝 흙막이벽은 버팀보(Strut)에 의하여 지지되는 구조가 많았다. 이러한 형태의 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포도로 Terzaghi · Peck(1948, 1967) 이나 Tschebotarioff(1951, 1973) 에 의하여 제안된 경험식이 굴착현장에서 많이 사용되어왔다(Dismuke(1991), Hunt(1986), NAVFAC(1982)).

최근에는 굴착구간에서의 작업공간을 넓게 확보하기 위하여 앵커지지방식의 흙막이벽을 사용하는 경우가 많이 늘어나고 있는 실정으로 앵커로 지지하는 흙막이벽에 작용하는 측방토압에 관한 연구 역시 진행된바 있다. 국내에서는 버팀보지지 흙막이벽을 대상으로 제시되었던 측방토압분포가 앵커지지 흙막이벽에도 적용될 수 있는지 검토 됨이 없이 Terzaghi · Peck이나 Tschebotarioff의 경험적 토압분포가 설계에 그대로 적용되고 있는 실정이다.

한편, 흙막이벽의 변형, 굴착배면지반의 변형 및 그 영향 범위 및 측방토압 등은 굴착공사를 실시하는 경우 중요한 검토항목으로 분류되며, 특히 굴착에 따른 흙막이벽의 변형은 흙막이벽과 지반과의 경계면에 작용하는 측방토압에 큰 영향을 미친다.

최근 국내에서는 굴착에 따른 흙막이벽과 배면지반의 변형거동을 조사하기 위하여 현장계측을 통하여 시공관리를 실시하는 사례가 증가하고 있으나 굴착공사 시 합리적인 시공관리를 실시하는 것에 대한 객관적인 지표는 매우 부족한 실정이며, 현장계측을 이용한 흙막이벽의 변형이나 굴착배면지반의 안정성을 판단하는 연구도 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 내륙지역과 상이한 지질특성을 갖는 제주도의 굴착현장을 중심으로 앵커지지 흙막이구조물 설치에 따른 현장 계측자료를 수집, 축적하고 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포를 산정함으로써 향후 기존 설계 시 보다 합리적이고 경제적인 설계로의 접근이 가능하도록 본 연구를 진행하였다.

2. 연구 동향

흙막이벽 배면의 측방토압은 벽체의 변형 형태에 따라 다르게 나타난다. 벽체의 변형에 의하여 토압의 형태가 다르다는 것은 토압이 작용하는 벽체의 유형에 의해서 다르게 나타난다는 것이다. 옹벽의 경우 하나의 구조체로서 일체거동하며, 파괴

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

시에도 구조물 전체가 동일하게 파괴되지만, 버팀대 형태로 지지된 흙막이벽은 상당히 유연하여 흙막이벽에 작용하는 측방토압은 국부적으로 집중되어 발생하게 되어 각각의 부재에 응력을 발생시킨다. 따라서 버팀대의 일부가 파괴되면 인접된 부재의 응력이 증가되어 전체 파괴가 유발되게 된다. 이와 같은 흙막이굴착에 따른 배면지반 응력의 상태를 아칭주동상태라고 한다. 이동 또는 회전에 의해 옹벽에 작용하는 토압과 비교적 변형하기 쉽고, 굴착의 진행 상태에 의해 변형되는 흙막이벽에 작용되는 토압은 토압의 크기나 분포형태도 다르게 나타난다.

옹벽은 그림1.1(a) 와 같이 하단의 축을 중심으로 회전하여 상단변형은 크고 하단의 변형은 작게 되어, 작용하는 토압은 대체적으로 Rankine(1857) 이나 Coulomb(1776) 의 주동토압에 대한 이론으로 그 분포를 계산 할 수 있다. 하지만 흙막이벽체의 변형은 옹벽의 변형과는 달리 그림1.1(b) 와 같이 굴착 깊이에 따라 증가하는 것을 알 수 있다. 흙막이벽체의 상단변형은 매우 작아서 이때 작용하는 토압은 정지토압에 가까우며, 벽체의 하단변형은 매우 커서 토압은 Rankine의 주동토압보다는 작게 나타난다. 즉, 흙막이벽체에 작용하는 측방토압의 분포는 옹벽에서의 주동토압분포와는 전혀 다른 분포를 보이게 된다.

이에 따라 흙막이벽에 작용하는 측방토압은 벽체의 변위량, 변위상태 등에 영향을 받으므로 이론적으로 접근하는 것은 매우 어렵다.

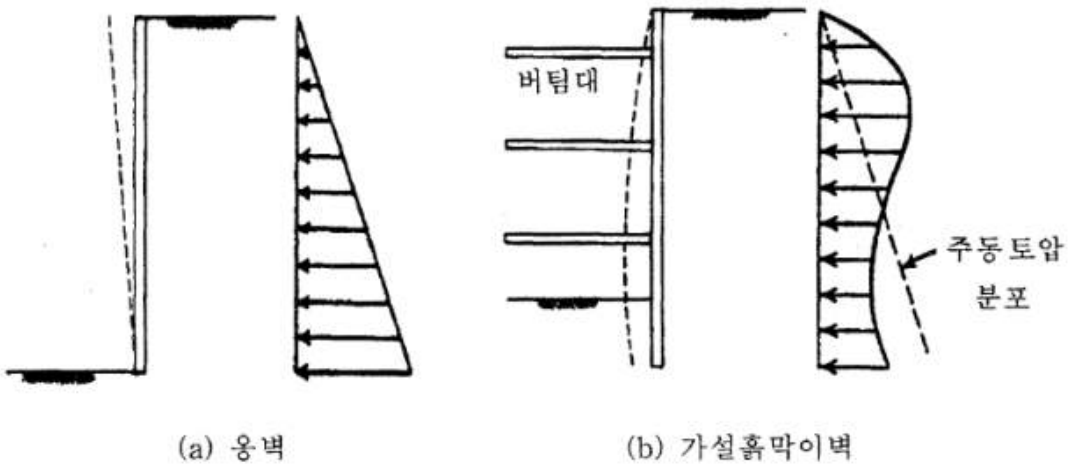


그림1.1 흙막이벽의 변형형태

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Bowles(1996)은 버팀보로 지지 된 흙막이벽의 변형에 따른 측방토압분포를 그림1.2와 같이 나타내었다. 굴착에 따른 단계별 측방토압분포는 굴착심도가 깊어질수록 직사각형의 분포를 나타내고 있다. 이때의 측방토압의 분포는 버팀보의 반력에 직접 적인 관계가 있으며, 굴착에 따른 흙막이벽을 굴착면 방향으로 변형시키려는 주동토압과의 인과 관계가 거의 없는 것으로 보고있다.

흙막이의 설계에 적용하는 토압은 근입부 토압의 분포를 적절하게으로 파악하는 방법이 확립되어있지 않기 때문에 흙막이벽의 근입장을 정하는 경우와 흙막이설계시 단면을 정하는 경우를 각각 다르게 가정하여 설계한다. 이에따라 연구자들이 흙막이 굴착현장의 변위 실측결과로부터 설계 반영에 필요한 경험 측방토압분포를 제시하고 있다.

이러한 경험 측방토압은 버팀재에 작용하는 축력의 실측치나 흙막이벽 배면에 설치한 토압계로 측정한 토압을 환산하여 정리한 것이다. 이러한 방법에 의하여 산정된 토압은 실제로 이들 산정값과 같이 분포하는 것이 아니고, 흙막이벽의 버팀재에 작용할 것으로 예상되는 최대의 하중을 구하기 위하여 만든 토압의 포락선이다. 이러한 경험에 의한 토압분포들은 여러 공사현장에서 얻은 실측자료들을 도시하여 얻어진 최대 토압분포점들을 연결시켜 단순함으로써 얻은 것으로 대부분 상당히 안전측의 분포를 설정하여 과다하게 설계하는 요인이 되고 있다.

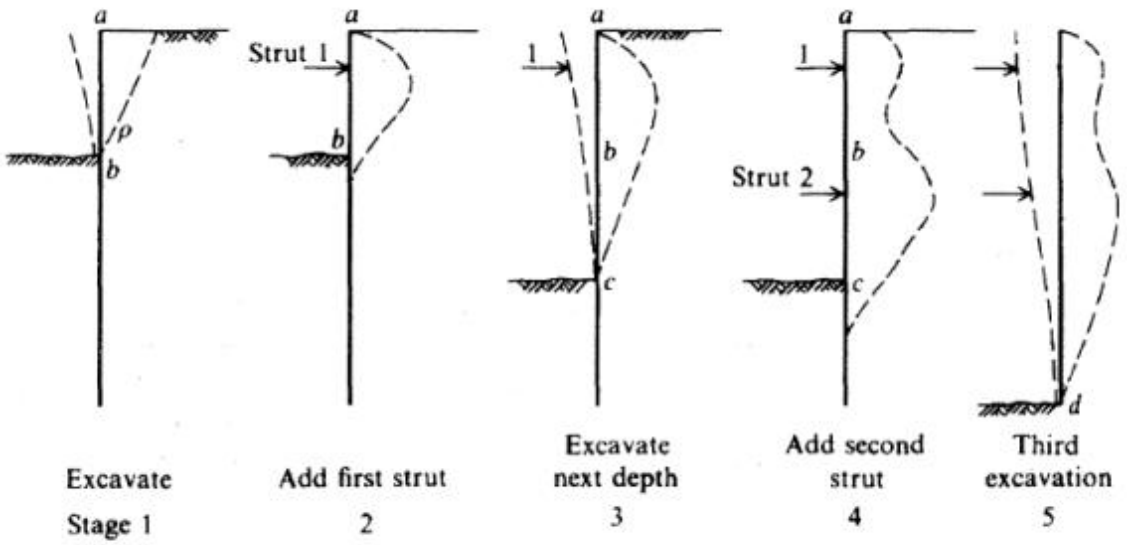


그림1.2 굴착단계별 측방토압의 변화

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(1) Terzaghi · Peck 의 측방토압분포

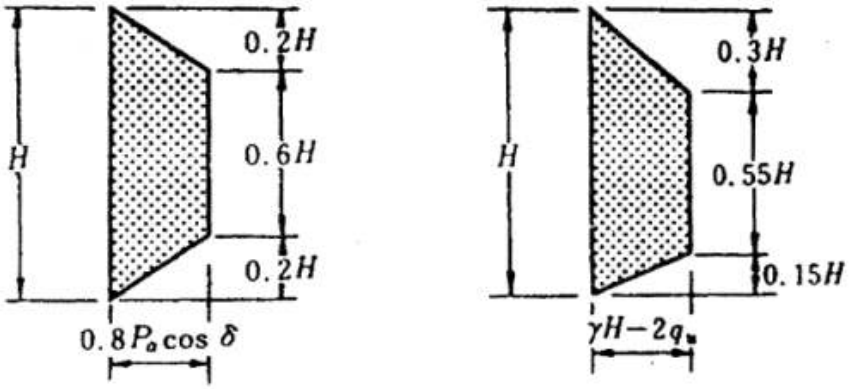
Terzaghi(1936)는 흙막이벽과 같은 연성벽체에서는 벽체의 변위뿐만 아니라 벽체의 변형과 기타 다른 요인으로 Rankine이나 Coulomb의 토압이 작용하지 않는다는 것을 확인 한 후 버팀보의 반력을 계측하여 흙막이벽에 작용하는 측방토압을 추정하는 방법을 최초로 시도하였다.

Terzaghi · Peck(1948)은 시카고 지하철공사의 굴착현장 (Peck, 1943) 의 점성토지반, 베를린 지하철공사의 굴착현장 (Spilker, 1937) 의 사질토지반에서 작용하는 버팀보 하중의 계측 근거를 토대로 그림1.3과 같이 버팀보로 지지된 흙막이굴착현장에서 얻은 측정토압으로 벽체와 버팀보의 설계를 위한 측방토압분포도를 제안하였다. 그 후 더욱 많은 굴착현장에서 측정된 버팀보의 반력을 근거로하여 그림1.4와 같이 수정된 토압분포도 (Terzaghi · Peck(1967), Peck(1969)) 를 제안하였다. 이 토압분포는 굴착깊이가 약 8.5m에서 약 12m까지 한정 된 범위에서 측정된 결과로 부터 얻은 것이기 때문에 이 보다 깊은 굴착에 적용할 경우에는 주의가 요한다고 하였다.

Terzaghi · Peck은 Rowe(1952)와 Bejrrum · Duncan(1952) 등의 사질토지반에 대한 실내실험에서 흙막이벽의 변형에 의해 배면지반의 토립자 사이에 아칭현상이 발생하여, 토압분포는 재분배 된다는 점도 강조하였다. Peck(1969), Peck · Hanson · Thombum(1974) 등은 연약내지 중간정도의 점토지반의 토압분포에 대해서는 안정계수 $N_b = \gamma \cdot H/S_u$를 도입하였다. N_b 〉 6~8일 때 깊은 굴착에서는 굴착저면 부근에서의 소성영역이 확대되기 때문에 추정하는 값보다 큰 토압이 발생한다고 하여 전단강도의 저감계수 m(통상 0.4~1.0)을 고려하여 측압계수(K_A)를 산정하도록 하였다.

한편, 흙막이벽 설치시 사질토와 점성토 혼합되어있는 지반의 경우에는 Peck의 등가점착력($\phi=0$)에 의한 평균점착력과 평균단위중량 산정후 점성토지반의 토압분포를 그림1.4와 같이 적용하였다.

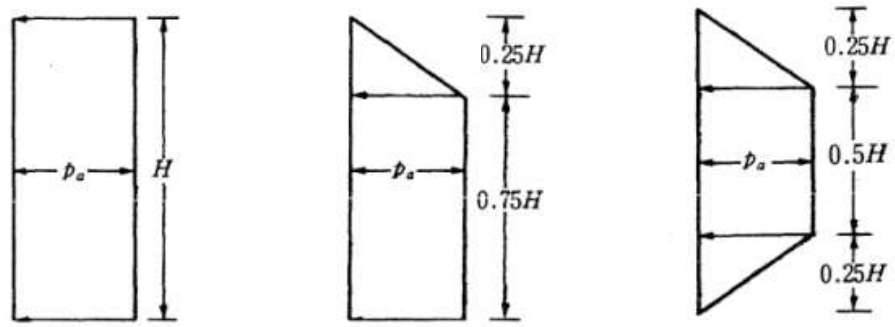
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



P_a : 주동토압
δ : 벽배면의 마찰각
(a) 모래지반

q_u : 흙의 일축압축강도
γ : 흙의 단위중량
(b) 점토지반

그림1.3 Terzaghi · Peck 의 측방토압분포



$P_a = 0.65 K_a \gamma H$
(a)모래지반

$P_a = 0.2\gamma H - 0.4\gamma H$
$N_b > 4$
(b)연약~중간점토지반

$P_a = \gamma H(1 - \frac{4C_u}{\gamma H})$
$N_b \leq 4$
(c)견고한 점토지반

그림1.4 Terzaghi · Peck 의 수정측방토압분포

(2) Tschebotarioff 의 토압분포

사질토지반에 대한 Tschebotarioff의 측방토압분포는 Terzaghi · Peck(1948)의 토압분포와 비교해서 그다지 큰 차이는 없지만 충분한 안전율을 가지고 있다.

그러나 점토지반에 대해서는 자신의 버팀보의 계측결과로부터 Terzaghi · Peck의 토압분포는 굴착 깊이가 얕은 경우에는 과대하게 산정된다고 반론을 제기하고 삼각형분포를 제안하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

소성점토에 대해서는 모래와 같이 아칭작용에 의한 상부토압의 증가가 없다고 생각하고 측압계수를 압밀평행상태의 측압계수와 거의 같다고 하여 K_0 = 0.5를 사용하여 굴착 깊이 구간의 토압을 수압분포형태로 하였다. 점토 (Stiff Clay 및 Medium Clay)의 경우는 굴착저면 상부의 어느 일정높이 구간에서 부터 하부로 가면서 토압이 직선적으로 감소하여 굴착저면에서는 토압이 0이 되도록 토압분포를 수정하였다. Tschebotarioff는 이와 같은 토압의 감소를 굴착 저면의 상부에서 하부로 전단응력이 전달되기 때문이라 하였다. Tschebotarioff(1973) 는 Terzaghi · Peck 의 토압분포를 수정하여 그림 2.8 과 같은 버팀보 설계를 위한 토압분포를 제안하였다.

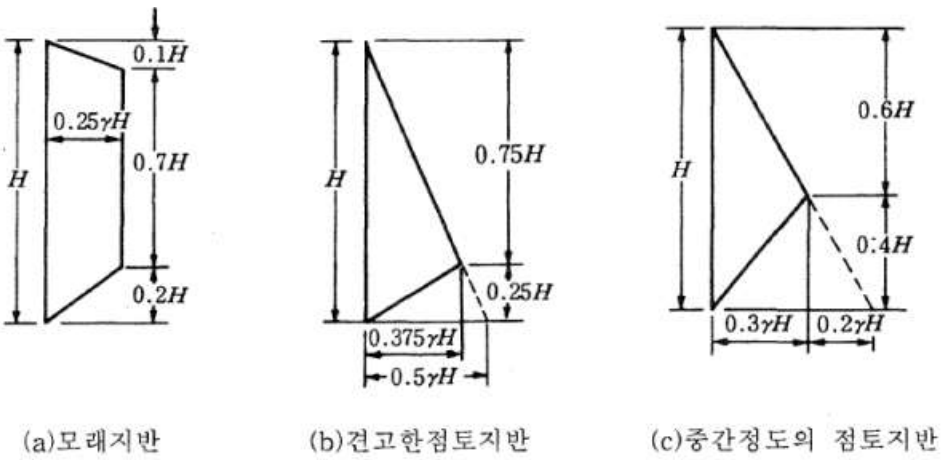


그림1.5 Tschebotarioff의 측방토압분포

(3) 그밖의 측방토압분포

일본의 경우는 각종단체 및 기업체에서 그 나름대로의 기준을 마련하여 사용 하고 있는 실정이다. 그 대표적 예로는 일본건축학회(1974), 일본토목학회(1977) , 일본도로협회(0977), 일본국천(1979)등의 기준을 들 수 있다. 이러한 기준들은 기본적으로 Terzaghi · Peak의 수정측방토압분포 및 Tschebotarioff의 측방토압분포를 채용하고 있지만 자국의 실측결과를 토대로하여 부분적으로 수정 된 측방토압분포를 사용하고 있다. 한편, 국내에는 서울지하철공사, 지하철기술협력회에서 제안된 버팀보 지지벽에 작용하는 측방토압분포가 있다. 이들 토압분포는 사질토지반에 대해서는 Terzaghi · Peak의 토압분포에 상재하중을, 점성토지반에 대해서는 Tschebotarioff의 토압분포에 상재하중이 더하여진 형태이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Terzaghi(1943)는 일반쐐기이론에 의해 파괴면을 대수나선형으로 가정하여 버팀보로 지지된 흙막이벽에 작용하는 토압분포를 제안하였으며, Das · Seeley `(1975)는 일반쐐기이론을 점성토지반에서의 버팀보로 지지된 흙막이벽을 해석하기 위해 사용하였다.

3. 연구 방법

본 연구에서 굴착지반에 설치된 앵커지지 흙막이구조물에 작용하는 측방토압에 관한 연구와 굴착에 따른 흙막이벽 및 굴착배면지반의 변형거동에 관한 연구로 크게 두가지로 구분 할 수 있다.

우선 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포형태를 분석하기 위하여 흙막이벽의 앵커두부에 설치된 하중계와 흙막이벽 배면에 설치된 경사계의 계측자료를 수집하여 이것을 활용한다. 이러한 현장계측자료를 토대로 하여 흙막이구조 물의 설계와 시공에 반영될 수 있는 설계법을 제시한다. 이 설계에는 흙막이구조 물에 영향을 미치는 요소, 토압계수, 토압산정방법, 토압산정식 등이 포함된다.

또한, 흙막이벽의 안정성을 평가하기 위하여 굴착현장을 시공상태가 양호한 현장과 불량한 현장으로 구분하고 이들 각각의 현장으로부터 얻은 계측결과를 분석하고 이 분석결과를 토대로 벽체의 수평변위 허용한계를 제시한다. 그리고, 흙막이벽의 변형거동을 분석하기 위하여 시공현장을 선정하고, 주기적으로 현장계측을 실시한다. 이들 계측자료를 토대로 하여 굴착 및 강우에 따른 흙막이벽 및 배면지반의 변형거동을 검토 한다.

그밖에도 굴착배면지반의 변형거동을 예측하기 위하여 현장계측결과와 수치 해석을 실시하여 얻은 해석치와 비교 분석하여 본 연구에 적용된 해석법의 타당성을 검증한다. 본 연구의 내용 및 범위를 상세히 설명하면 다음과 같다.

(1) 현장계측 및 계측자료수집

앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압산정식을 마련하기 위하여 각종 토목, 건축구조물의 축조를 위한 지하굴착 공사현장으로부터 보다 많은 계측자료를 수집, 분석한다. 그리고 배면 경사지에 설치된 흙막이벽의 거동을 분석하기 위하여 앵커

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

에는 하중계를, 흙막이벽 내부 및 배면지반에는 경사계를 설치하여 주기적으로 현장계측을 실시한다.

(2) 계측결과 분석

각 현장에서 수집된 계측결과를 분석하여 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포를 분석하고 각종 이론 및 경험토압식과 비교, 분석하여 적절한 측방토압산정식을 수정확립한다. 또한 흙막이벽의 안정성을 판단할 수 있는 시공관리기준치도 마련한다. 그리고 굴착배면지반이 경사진 절토사면에 설치된 흙막이벽 및 배면지반의 변형거동도 분석한다.

(3) 수치해석

탄소성보법에 의한 수치해석을 실시하여 현장계측으로부터 얻은 실측치와 비교검토하여 본 연구에 적용된 해석수법의 타당성을 검증한다. 그리고 본 해석수법을 이용하여 굴착배면지반의 변형거동을 검토한다.

이러한 연구에 의거하여 앵커지지 흙막이구조물에 작용하는 설계측방토압의 크기 및 분포를 확립한다. 또한 앵커지지 흙막이벽 안정성을 판단할 수 있는 시공관리기준을 마련할 수 있으며 경사배면지반에 설치된 흙막이벽의 거동도 규명할 수 있을 것이다. 그리고 흙막이벽 변형형태에 따른 굴착배면지반의 변형거동도 예측할 수 있을 것이다.

본 연구는 지하구조물 설치를 위한 굴토 공사에서 사용되는 흙막이벽체지 공법 중 어스앵커공법을 사용한 현장을 주 대상으로 하여 진행되었다.

본 연구에 적용된 계측치는 현장에서 실측한 지중경사계(Inclinometer) 측정값이며 굴착 심도별 체계적인 계측을 통해 신뢰성 있는 데이터로 사용할 수 있게 하였다. 이와 함께 탄소성보법을 이용한 구조해석 프로그램인 MIDAS GeoX를 이용하여 흙막이 벽체의 예상 변위량을 해석하여 본 연구에 적용 하였다. 단계별 굴착에 따른 흙막이 벽체와 주변지반의 수평변위와 토압에 관련된 기존 이론과 여러 학자들에 의해 제안된 변위와 토압분포 형태들의 문헌자료를 검토하였고, 현장에서 계측한 실측자료와 수치해석치의 자료를 분석하여 다층지반 굴착조건 에서 발생하는 수평변위를 현장 사례를 들어 비교 분석하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅱ. 이론적 배경 및 수치해석 모델

1. 굴착에 따른 흙막이벽체의 거동이론

1.1 흙막이 벽체의 토압이론

연성벽체는 강널말뚝이나 흙막이판 공법과 같이 토압에 의하여 힘이 일어나기 쉬운 흙막이벽으로 전체 토압분포는 강성벽체의 옹벽 등에서 삼각형 토압분포와는 상당히 다른 분포를 보이며, 그 형태가 불규칙할 뿐만 아니라 그 분포와 크기가 흙의 강성과 강도, 버팀대의 변위량과 항복정도, 벽체의 시공방법과 순서, 벽체의 강성등에 좌우되기 때문에 이론식에 의해서 간단히 결정될 수 없어 실측한 결과에 근거한 경험적 토합 분포를 보이고 있다. 몇 가지 대표적인 이론을 정리 하면 다옴과 같다

(1) Terzaghi and Peck 이론

Terzaghi and Peck은 엄지말뚝이나 강널말뚝을 각 단 버팀대 지점의 위치로 분할한 단순보로 간주하여 지점의 반력올 구하며 최상단의 버팀대 지점 반력은 그 단 버팀대 설치 위치까지를 하나의 보로 간주하여 그 지점반력을 구한다. Terzaghi and Peck은 이러한 각 단의 버팀대에 작용하는 실측치로부터 산정하여 흙막이 벽체에 작용하는 측압분포를 경험에 의한 방법으로 최초로 제안하였고 1967년에 수정 제안하였다.

(2) Tschebotarioff의 방법

사질토 지반에 대한 Tschebotarioff의 측방토압 분포는 Terzaghi and Peck의 토압분포와 비교해 유사하지만 충분한 안전율을 보인다. 그러나 점토로 이루어진 지반에서는 자신의 버팀보와 실측결과로부터 Terzaghi and Peck의 토압분포는 굴착심도가 얕은 경우, 과다 산정된다고 의견을 제시하고 삼각형 분포를 제안하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

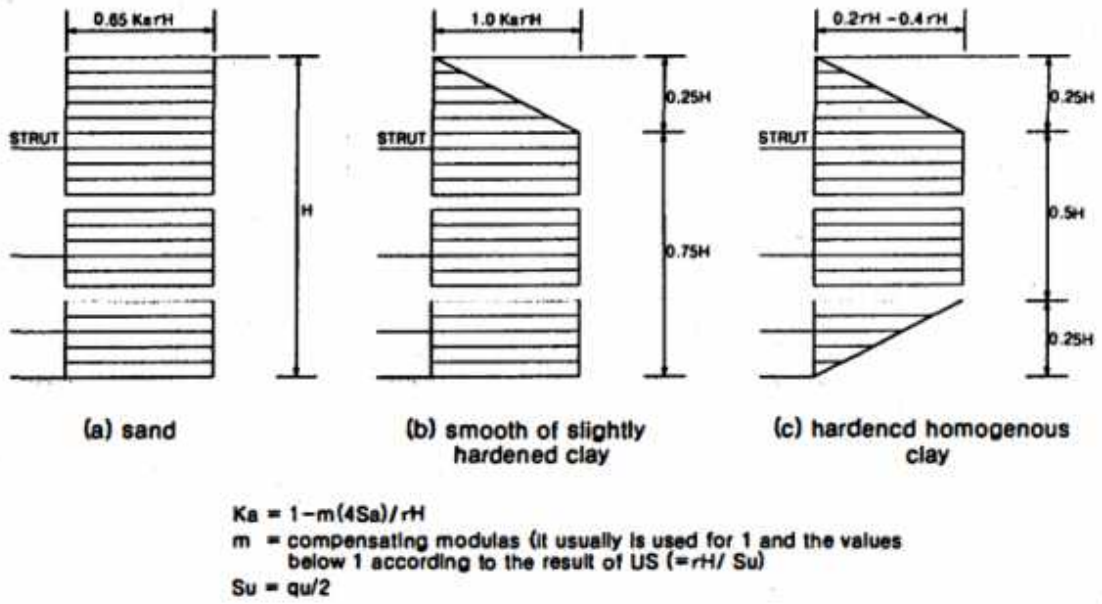


그림2.1 Terzaghi and Peck의 수정토압

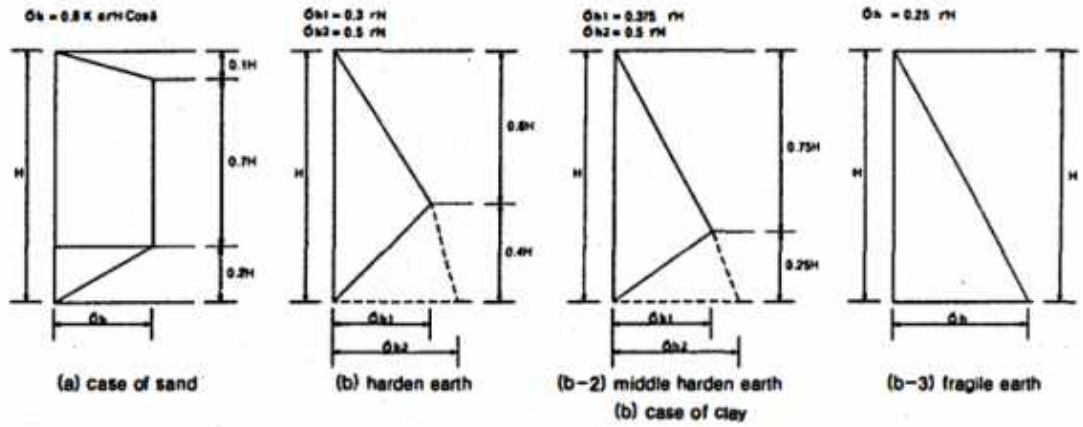


그림2.2 Tschebotarioff의 토압

1.2 흙막이 벽체의 변위 특성

(1) 지반굴착에 따른 각종 거동현상

흙막이 벽체는 지반굴착을 실시할 경우 여러 거동이 일어난다. 주된 거동은 벽체의 변위에 따른 배면지반의 침하, 굴착저면의 히빙과 파이핑 문제, 벽체 사이로 토사가 유출되는 지반손실문제, 천공 및 굴착에 의한 지반침하 등이 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

(2) 단계별 굴착에 따른 벽체의 거동

단계별 지반굴착시 연성벽체는 지보재의 유무, 굴착단계에 따라 각각 다른 거동을 보인다. Bowles(1988)는 다음 <그림 2.8>과 같이 벽체변형거동을 제안하였다.

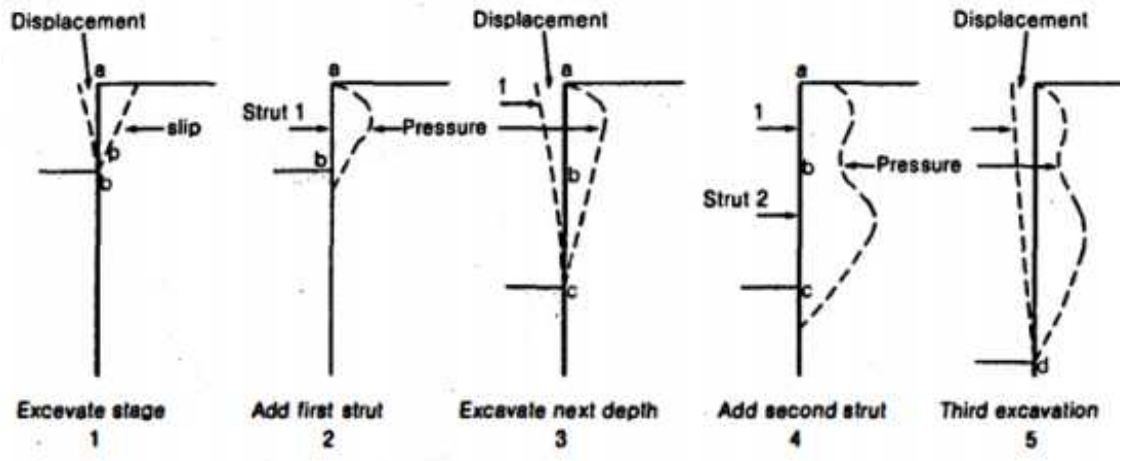


그림2.3 굴착 단계별 토압 및 벽체의 변화

1 단계에서 벽체는 주동토압에 의해 항복을 일으키며(점선은 소성파괴 영역을 표시), 이 때 횡방향의 변위는 토사와 캔틸레버 벽체의 작용에 따라 지배된다. 2단계에서는 버팀보가 설치되면, 지지구조에 가해지는 힘은 1단계에서의 주동토압보다 큰 힘이 작용한다. 그 결과 토압은 증가하게 되고, 토압분포는 경험토압과 유사해진다. 굴착단계 2단계에서 굴착을 진행할시, b와 c사이에 새로운 횡방향 변위가 발생되어 추가적인 토압의 감소가 발생된다. 위와같은 사례는 3단계에 해당하지만 지지구조 설치전 이므로 변형거동을 보아 1단계에서와 같은 토압을 산정하여야 한다. 4단계는 3단계에서 두 번째 지지구조를 설치 후에 첫 번째 지지구조 를 긴장시키면, 이 때의 토압분포 또한 경험토압과 유사하다. 4단계에서 c에서 d 로 굴착을 진행하면 3단계에서와 같이 새로운 횡방향 변위가 발생되어 추가적인 토압의 감소가 발생된다. 이상과 같이 굴착단계에 따른 토압은 서로 다르므로 토압 산정 시 이러한 조건들을 적용하여야 한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1.3 흙막이 벽체의 해석법

흙막이벽체의 구조적인 해석은 과거에는 직접적인 수계산에 의한 관용적 해석법이 주를 이루었지만, 수치해석기술과 컴퓨터 성능의 향상으로 구조물과 흙의 상호작용을 좀 더 정밀하게 구사할 수 있게 되었다. 아래 표2.1은 흙막이 벽체의 수치해석법 종류에 대하여 나타내었다.

표 2.1 흙막이 벽체의 수치해석법의 종류

해석 이론	해석 방법	해석 개요
관용적인 해석법	단순보법	- 벽체를 단순보로 가정, 경험적 토압을 적용 - 굴착 및 지지구조 설치 모사 가능 - 흙과 구조물의 상호작용 반영 불가 - 굴착고가 깊은 경우 정확도가 낮음
	연속보법	- 벽체를 지보재 지점에서 지지된 연속보로 가정 - 보 부재력은 단순보법보다 정확도가 높음 - 벽체배면 지반에 대한 변위 추정 불가 - 굴착고가 깊은 경우 정확도가 낮음
토압에 의한 해석법	탄성보법	- 횡방향 변위, 벽체전면 수동영역의 절점토압, 부재력 및 지보재의 지지력 산정이 가능 - 흙막이벽 근입부분의 횡토압이 수동토압을 초과하는 모순이 발생
	탄소성보법	- 흙막이벽은 탄성보로, 흙은 탄소성 스프링으로 모델링하여 탄성보법에서 발생한 모순점을 해결 - 굴착고가 깊은 경우 정확도가 높음 - 해석방법 및 횡방향 지반반력계수에 따라 결과값의 차이가 큼
흙과 구조물의 상호작용에 의한 해석법	유한요소법	- 토압을 작용시켜 흙막이 벽체의 변위를 산정하는 방법이 아님 - 지반의 탄소성 강도특성과 흙막이벽 및 지보재의 탄성강도특성을입력하여 변위, 응력 결과 산출 - 주변지반과 구조물의 변형을 동시에 해석 가능 - 인접건물이 존재하는 경우, 대규모모델에서 유용
	유한차분법	

(1)유한요소법(FEM)

유한요소해석법은 지반의 탄소성 강도특성 및 흙막이벽체 와 지지구조의 탄성강도특성을 고려함으로써 실제 시공과 유사한 응력-변형율 거동을 구한다. 해석 모델로 벽체는 보 요소, 지지구조는 탄성보 요소로 모델링하며, 벽체및 흙의 거동을 나타내기 위하여 <그림 2.10>과 같이 유한의 Interface요소망을 생성한다. 유한요수

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

해석법을 이용하여 해석하기 위해서는 필수적으로 해당 지반 및 흙막이구조물의 거동을 정확하게 나타 낼 수 있는 응력-변형율 관계가 요구되며 이에 필요한 지반정수들의 정확성이 해석결과의 신뢰도에 큰 영향을 미치게 된다.

일반적으로 유한요소법을 이용한 흙막이벽의 해석을 실시할 경우 얻을 수 있는 결과 값은 다음과 같다.

① 지하굴착 및 진행과정의 시뮬레이션
② 구체적인 벽체의 변위 및 지반의 변형형상
③ 지반거동 모델에 사용된 지반정수
④ 흙막이벽체의 강성 및 재료의 특성
⑤ 그 외에 실제로 시공 당시에 예상치 못했던 벽체 및 지반거동변화

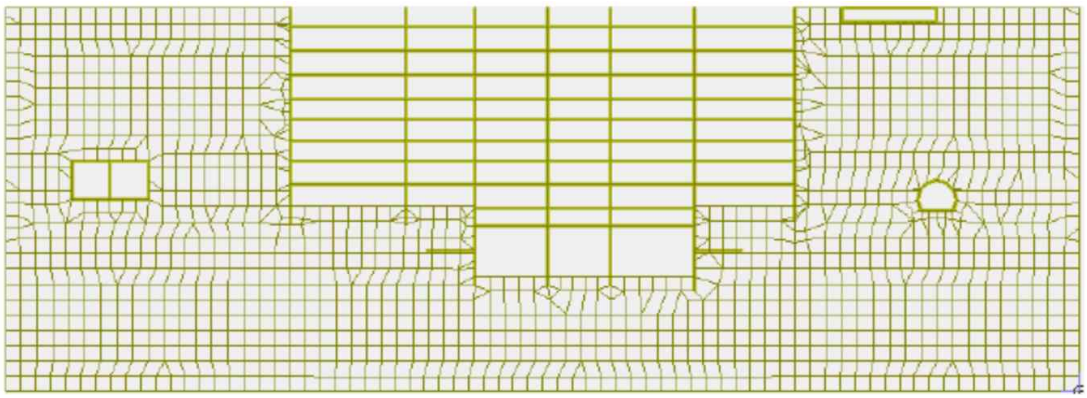


그림2.4 프로그램 내부에서 FEM 모델 구성

(2) 탄소성보법

각 단계별 굴착완료 및 버팀구조 설치후의 토압분포는 토류벽의 안정에 필수적인 것 이지만 보다 불리한 경우는 다음으로 버팀구조를 설치하기 위하여 굴착을 진행중인 과정이다. 이런 경우 토압의 분포는 추정하기 어려울 뿐만 아니라, 벽체의 변위에 지배되므로 벽체를 해석하는 방법에 따라 다르게 된다. 횡토압을 고려하여 굴착단계별로 해석하는 대표적인 방법은 탄소성 지반상 연속보해석법이다. 이 탄소성 해석법은(Beam on Elasto-Plastic Foundation Analysis) 지반을 굴착함에 따라 단계적으로 변하는 응력이나 변위 및 토압 등을 비교적 충실하게 계산할 수 있어 많은 전산 프로그램이 이 원리에 따라 개발되어 설계에 적용되고 있다.

탄소성보법은 <그림 2.9>와 같이 흙막이 벽체는 탄성보, 지보공은 탄성스프링,

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

지반은 탄소성스프링으로 모델링하고, 초기 토압을 가하여 발생되는 변위를 계산한 후 그 변위에 상당하는 지반의 탄소성상태를 판단한 후에 토압을 보정하며 다시 변위를 계산하는 과정을 반복하여, 흙막이벽의 변위, 응력 및 지보공의 반력을 계산하는 해석법이다. 하중과 변형에 대한 기본식은 다음과 같이 표시된다.

$$EI\frac{d^4x}{dy^4}+\frac{A\times E_s}{L}\times x=P_i\pm K_s\times x$$

여기서, E : 흙막이 벽체의 탄성계수

I : 흙막이 벽체의 단면 2차모멘트

A : 지지구조의 단면적

E_s: 지지구조의 탄성계수

L : 지지구조의 길이

P_i : 초기토압(주로 정지토압이 사용됨)

K_s : 수평 지반반력계수로 구한 지반스프링 강성계수

x : 깊이 y지점에서 벽체의 정방향변위

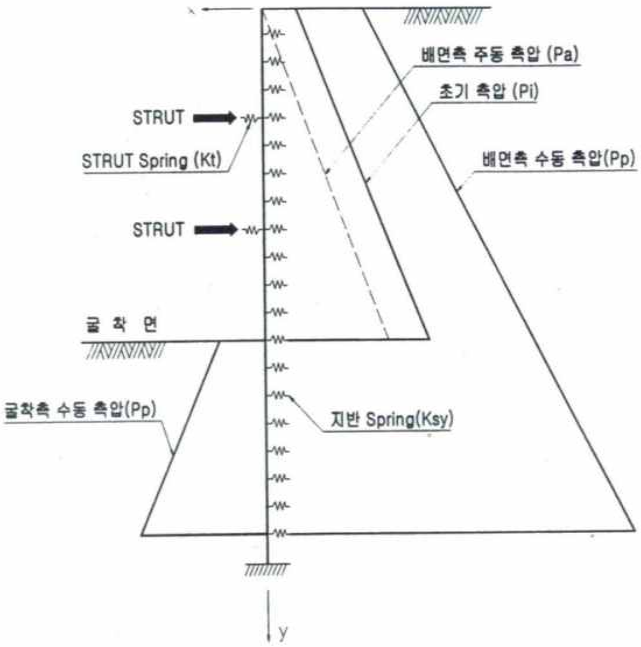


그림2.5 탄소성보법의 기본 구조모델

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅲ. 현장조건과 계측

1. 현장 개요

본 연구에서는 제주도 내에서 앵커지지 흙박이벽 이 시공된 5개의 현장을 대상으로 수평변위에 대하여 현장계측 결과와 경험적 예측방법에 의한 결과를 비교하였다. 각각의 현장 특성은 다음과 같다.

A현장의 최종 굴착깊이는 8.24m이다. 흙막이벽은 4.0m의 근입깊이로 H파일(300×300×10×15)과 토류판(T=80㎜) 으로 시공되었으며, 3단의 어스앵커로 지지하였다. 지층구조는 자갈섞인실트층, 연암층, 실트질모래층, 연암층, 클링커층, 연암층, 클링커층, 연암층, 클링커층의 순으로 연암과 클링커층이 연속해서 나타나는 지층구조를 나타내고 있다(그림3.1(a)).

B현장의 최종 굴착깊이는 6.25m이다. 흙막이벽은 4.0m의 근입깊이로 H파일(300×300×10×15)과 토류판(T=80㎜) 으로 시공되었으며, 2단의 어스앵커로 지지하였다. 지층구조는 자갈섞인실트층, 연암층, 자갈섞인실트층, 보통암층, 연암층, 클링커층, 연암층 순으로 보통암과 연암층이 주를 보이는 비교적 조밀한 지층구조를 나타내고 있다(그림3.1(b)).

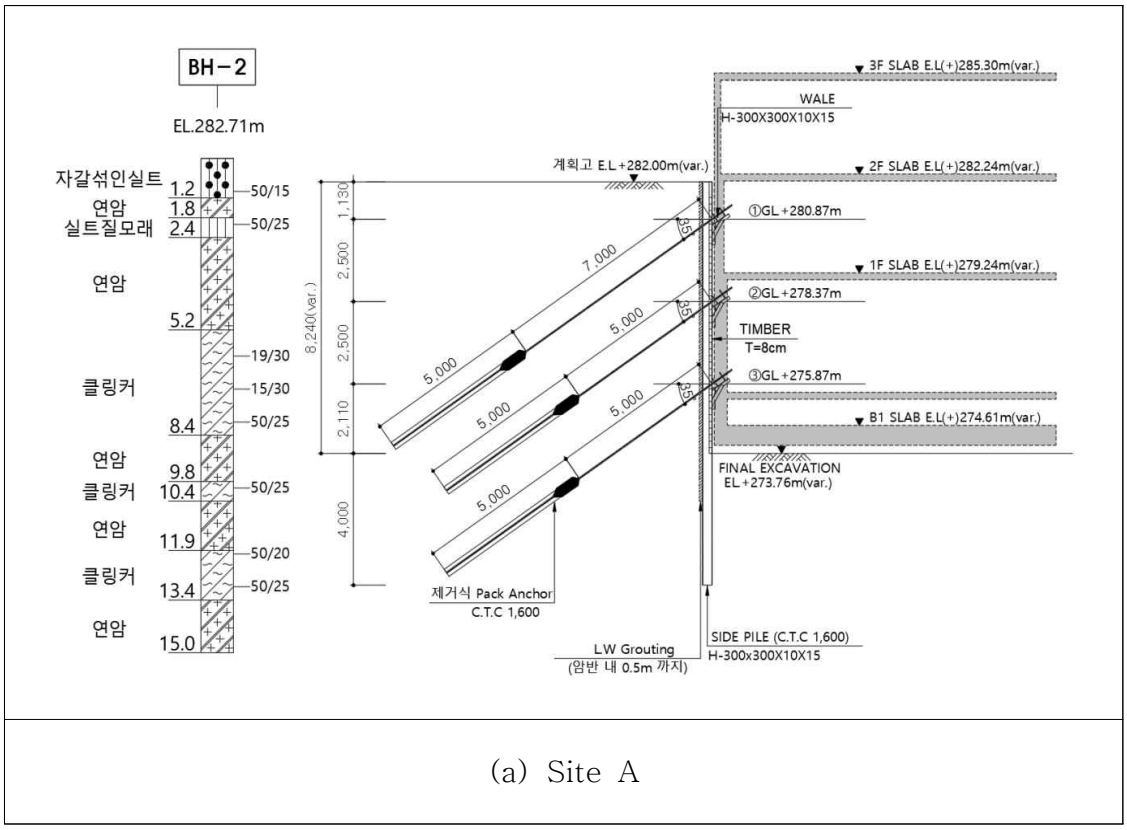
C현장의 최종 굴착깊이는 5.91m이다. 흙막이벽은 4.0m의 근입깊이로 H파일(300×300×10×15)과 토류판(T=80㎜) 으로 시공되었으며, 1단의 어스앵커로 지지하였다. 지층구조는 자갈섞인실트층, 연암층, 클링커층, 연암층, 클링커층, 연암층, 자갈섞인실트층, 연암층, 클링커층, 연암층 순으로 연암과 클링커층이 연속해서 나타나는 지층구조를 나타내고 있다(그림3.1(c)).

D현장의 최종 굴착깊이는 10.38m이다. 흙막이벽은 3.0m의 근입깊이로 H파일(298x201x9/14)과 토류판(T=80㎜) 으로 시공되었으며, 1단의 어스앵커와 2단

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

스트럿으로 지지하였다. 지층구조는 클링커층, 연암층, 클링커층, 연암층, 클링커층, 연암층 순으로 연암과 클링커층이 연속해서 나타나는 지층구조를 나타내고 있다(그림3.1(d))).

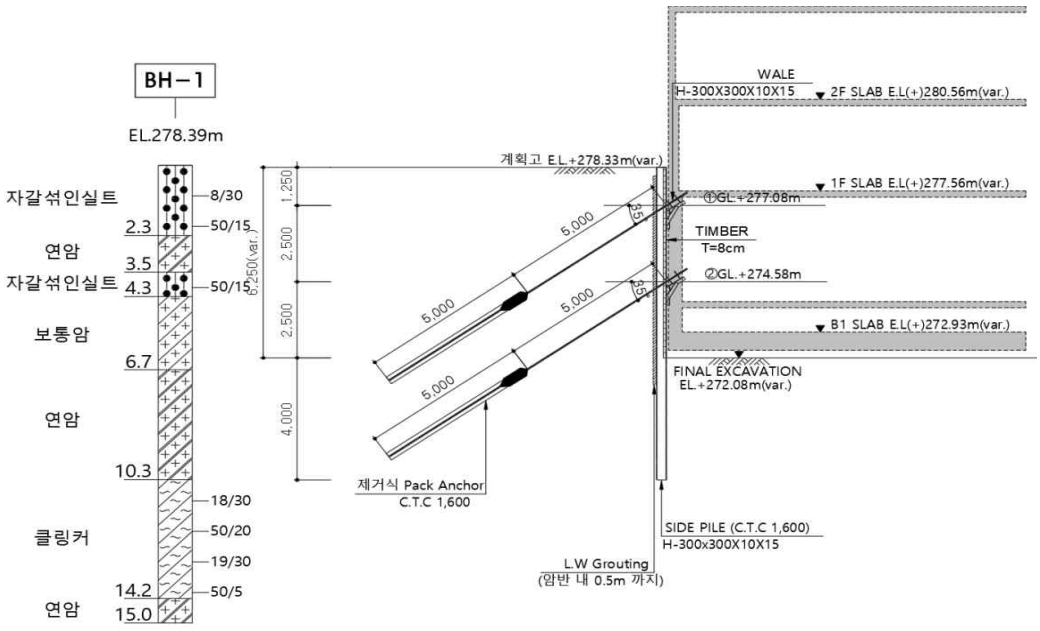
E현장의 최종 굴착깊이는 5.90m이다. 흙막이벽은 3.0m의 근입깊이로 H파일(298x201x9/14)과 토류판(T=80㎜) 으로 시공되었으며, 2단의 어스앵커로 지지하였다. 지층구조는 자갈섞인실트층, 보통암층, 클링커층, 연암층, 클링커층 순으로 암반층과 클링커층이 연속해서 나타나는 지층구조를 나타내고 있다(그림3.1(e)).



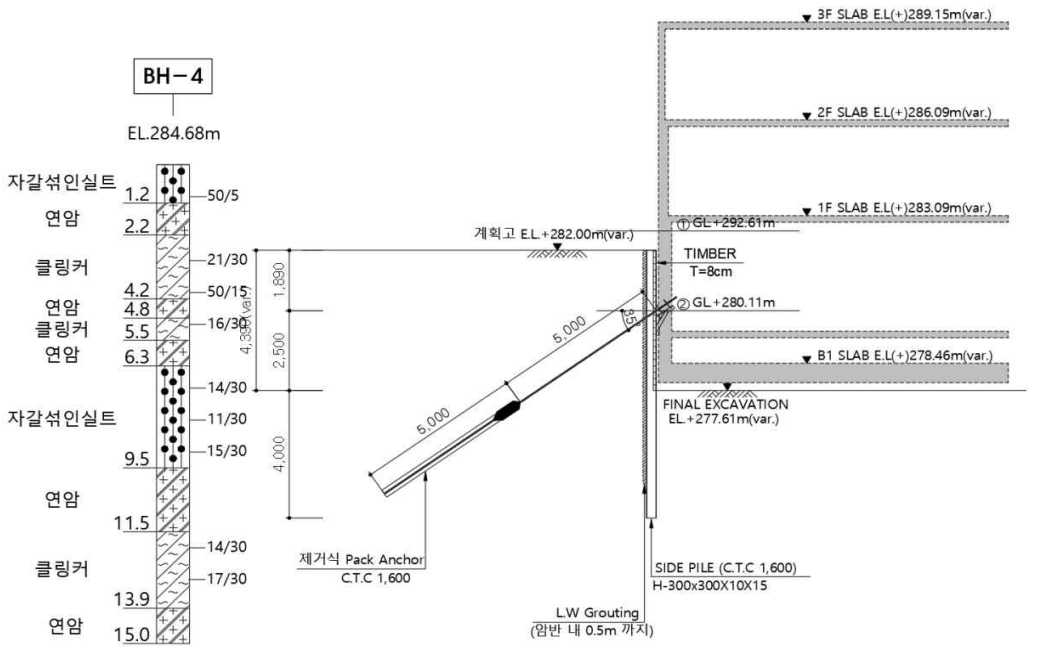
(a) Site A

그림3.1 지층에 따른 흙막이벽 설계 – Site A

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



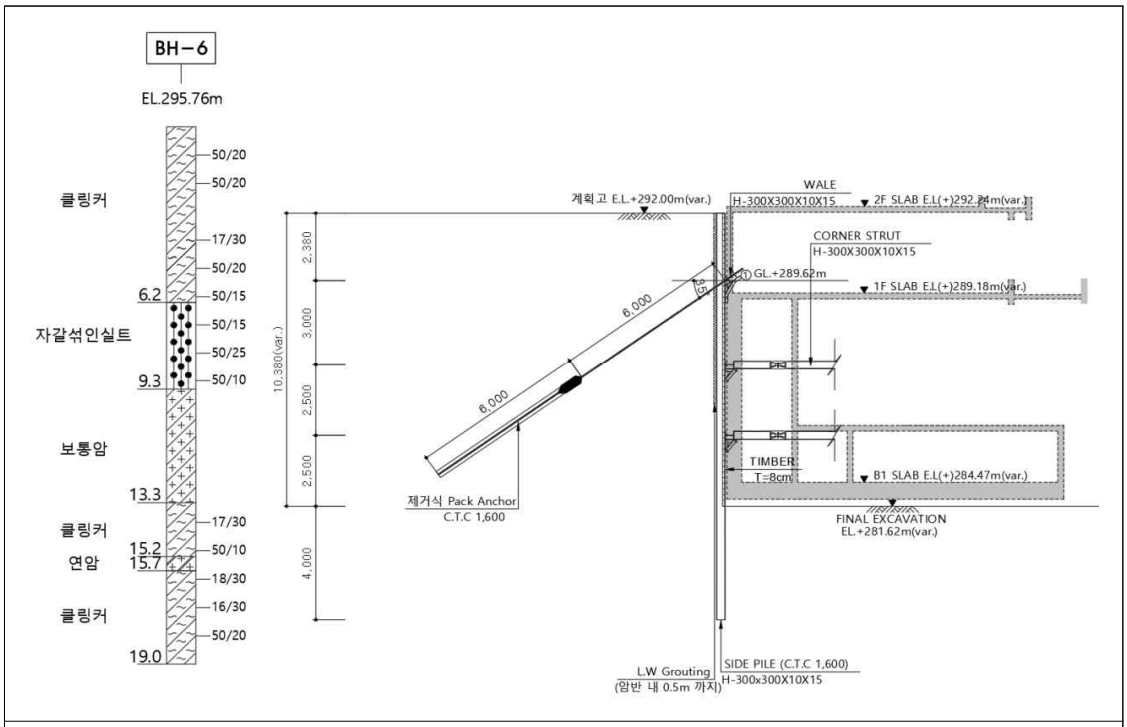
(b) Site B



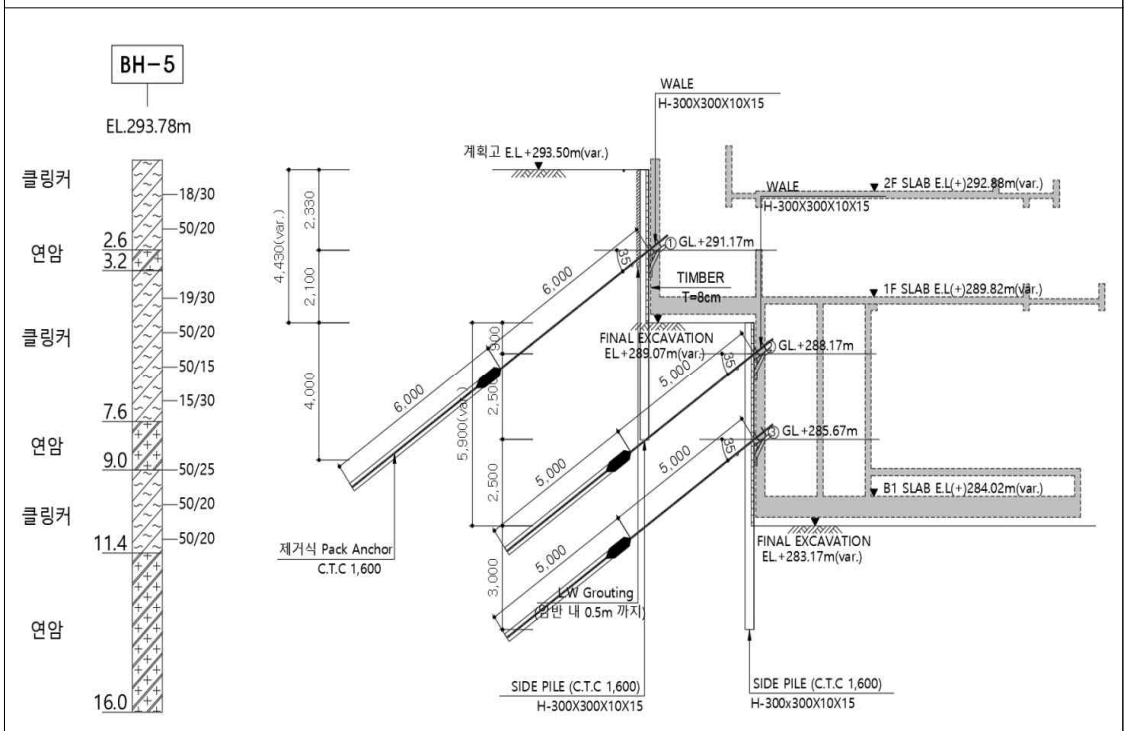
(c) Site C

그림3.2 지층에 따른 흙막이벽 설계 – Site B, C

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



(d) Site D



(e) Site E

그림3.3 지층에 따른 흙막이벽 설계 – Site D, E

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 현장계측

2.1 흙막이벽의 계측관리

흙막이 공사의 경우는 계획 단계에서 지반의 주동토압, 수동측의 지반반력계수 등 정확하게 파악하기 어려운 요소들을 많이 포함하고 있다. 이러한 이유로 계획 단계에서 예측된 가시설의 변형과 응력을 초과하는 변형 및 응력이 시공 중에 발생하면 Strut나 앵커의 축력을 증대시키는 시공관리를 함으로써 흙막이 가시설의 과대한 변형이나 붕괴를 방지하는 것이다.

또한, 설계 계획 단계에서 파악이 어려웠던 요소를 변형, 응력 등의 실측자료를 이용하여 좀 더 정확하게 하고 이를 근거로 하여 다음 단계의 굴착 시 가시설의 거동이 예측 가능하며, 그 결과를 당초 계획과 비교함으로써 다음 단계의 굴착에 지장 여부를 판단하여 안정하고, 합리적인 시공관리를 하는 것이 계측의 목적이며 간단히 요약 하면 다음과 같다.

① 현장의 조건에 관한 정보의 부재에 의한 설계 오류를 시공 현장에서 발견하기 위함.

② 굴착공사가 그 지반에 미치는 영향성과 지반의 변화가 구조물에 미치는 영향을 파악하여 안전관리의 기준 마련.

③ 현장관리 중 발생할 수 있는 법적소송에 대비하기 위함.

④ 실측된 자료를 수집 및 정리 후 분석하고, 그 자료가 축적되면 차후 구조물 설계 및 시공에 반영하여 설계에 대한 확신을 주어 안전성과 경제성을 도모한다.

측정한 자료를 수집 및 정리 후 분석하고, 이를 근거로 그 안전성을 판단하고, 보다 정확한 설계 및 시공에 의해 시공관리를 함으로써 안전성과 경제성을 도모한다.

2.2 지중수평변위계(경사계, Inclinometer) 설치 및 측정방법

흙막이 공사 시 일반적으로 터파기 방향으로 흙막이 벽체 및 지반의 횡방향의 변위가 발생하고 지반이 함몰하게 될 우려가 있어 시공중에 발생하는 횡방향의 변위를 실측하여 공사의 진행속도를 조절함으로써 배면의 침하 및 벽체에 발행하는 응

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

력을 검토하여 공사 중이나 공사후의 안전을 도모하기 위하여 지중수평변위계를 설치한다.

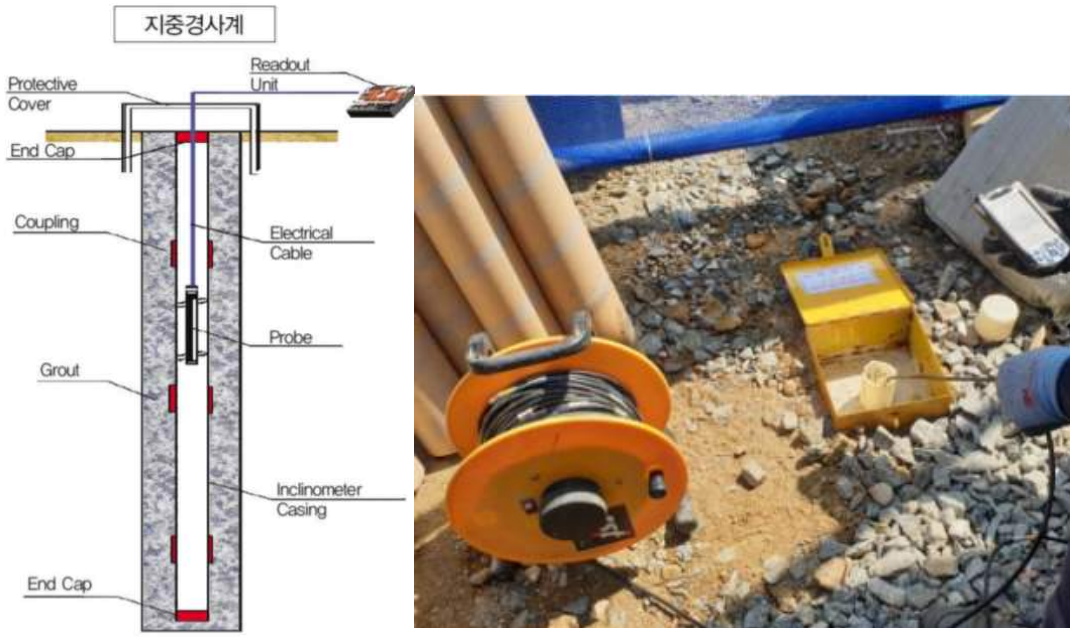


그림3.4 지중수평변위계의 모식도 및 계측장면

3. 현장계측 결과

그림3.2은 최종굴착단계에서 지중수평변위계의 계측값에 의한 흙막이벽의 수평변위를 나타낸 것이다.

A현장의 수평변위는 연암층 사이에 분포하고 있는 클링커층(G.L(−)4.13m)에서 2.93㎜로 가장 크게 발생하였으며, 최대 수평변위가 발생한 클링커층의 상부 연암층에서의 수평변위와 유사한 크기를 보였다.

B현장의 수평변위는 연암층과 보통암 사이에 분포하고 있는 자갈섞인실트(G.L(−)3.5m)에서 1.11㎜로 가장 크게 발생하였으며, 최대 수평변위가 발생한 자

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

갈섞인실트층의 상부 연암층에서의 수평변위와 유사한 크기를 보였다.

C현장의 수평변위는 상부 연암층(G.L(-)0.5m)에서 2.52㎜로 가장 크게 발생하였다.

D현장의 수평변위는 연암층 사이에 분포하고 있는 클링커층(G.L(-)2.38m)에서 0.40㎜로 가장 크게 발생하였으며, 최대 수평변위가 발생한 클링커층의 상부 연암층에서의 수평변위와 유사한 크기를 보였다.

E현장의 수평변위는 연암층과 보통암 사이에 분포하고 있는 클링커층(G.L(-)1.77m)에서 1.32㎜로 가장 크게 발생하였으며, 최대 수평변위가 발생한 클링커층의 상부 연암층에서의 수평변위와 유사한 크기를 보였다.

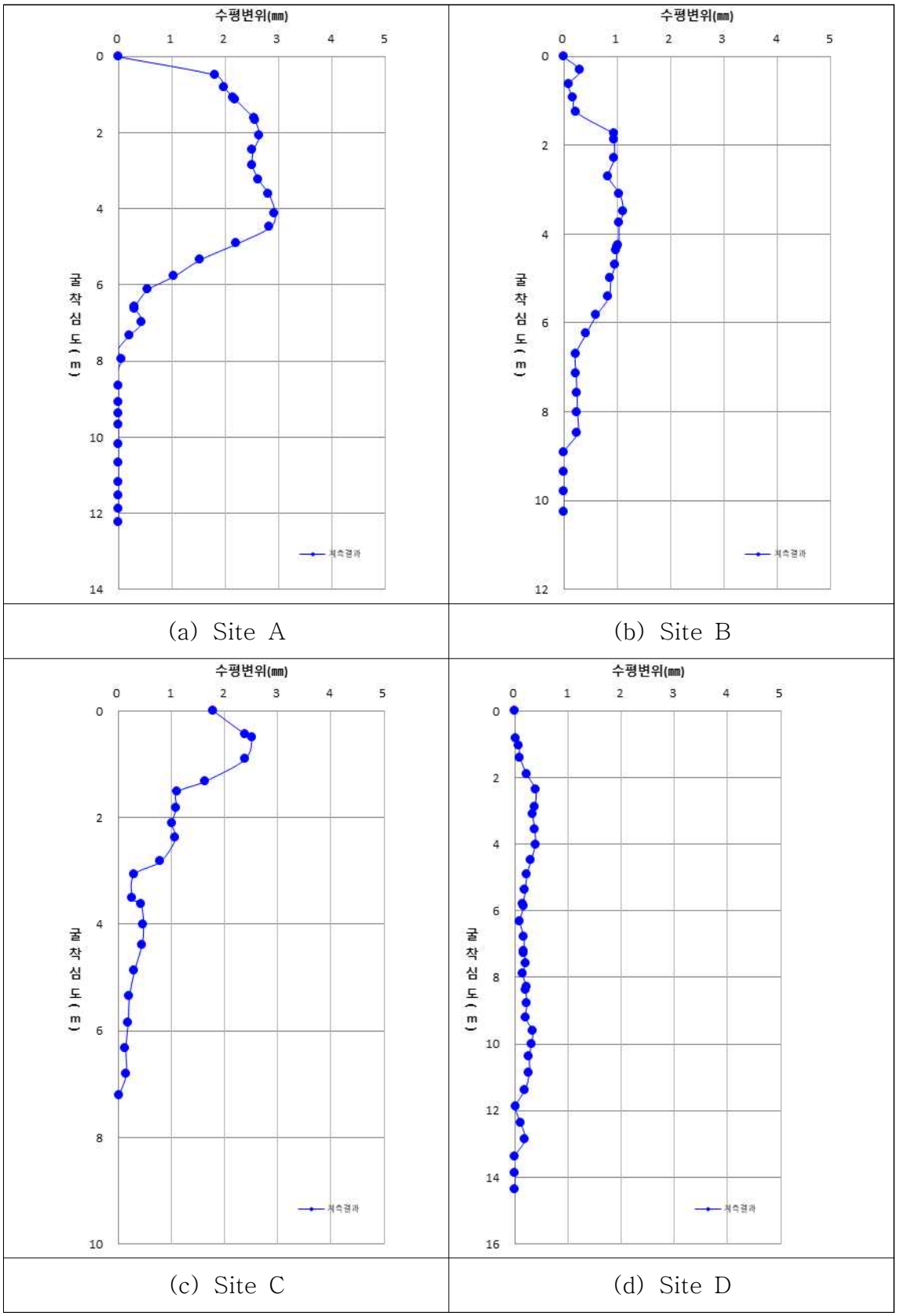
현장계측 결과로부터 어스앵커로 지지된 흙막이벽의 수평변위 발생 경향은 암반 사이 위치하는 클링커층에서 가장 큰 변형이 발생 하는 것으로 확인되었으며, 이는 지층 사이에 분포한 연암에서 발생하는 수평변위와 유사한 것을 알 수 있었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 3.1 현장별 계측결과

Site A		Site B		Site C		Site D		Site E	
심도	계측결과	심도	계측결과	심도	계측결과	심도	계측결과	심도	계측결과
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.8	0.00	0.00	0.00	0
0.49	1.82	0.31	0.30	0.44	2.40	0.41	−0.02	0.30	0.51
0.82	1.99	0.63	0.09	0.50	2.52	0.82	0.02	0.59	1.16
1.09	2.16	0.94	0.18	0.91	2.39	1.04	0.08	0.90	1.24
1.13	2.19	1.25	0.24	1.32	1.64	1.42	0.10	1.40	1.17
1.63	2.54	1.75	0.96	1.52	1.12	1.90	0.23	1.77	1.32
1.69	2.56	1.88	0.94	1.82	1.10	2.38	0.40	2.19	1.28
2.08	2.64	2.30	0.94	2.12	1.01	2.88	0.38	2.61	1.17
2.47	2.52	2.70	0.84	2.39	1.08	3.11	0.34	3.01	1.15
2.86	2.50	3.10	1.05	2.82	0.80	3.57	0.38	3.40	1.14
3.24	2.63	3.50	1.11	3.07	0.30	4.02	0.39	3.90	1.08
3.63	2.82	3.75	1.04	3.51	0.27	4.47	0.31	4.13	0.84
4.13	2.93	4.25	1.03	3.62	0.43	4.93	0.23	4.43	0.89
4.49	2.83	4.30	1.01	4.01	0.48	5.38	0.20	4.72	0.81
4.92	2.22	4.38	0.99	4.39	0.45	5.82	0.16	5.11	0.83
5.34	1.53	4.69	0.96	4.88	0.31	5.88	0.17	5.51	0.83
5.77	1.05	5.00	0.88	5.36	0.21	6.33	0.10	5.90	0.82
6.13	0.55	5.42	0.84	5.85	0.19	6.77	0.17	6.26	0.76
6.59	0.30	5.83	0.60	6.33	0.14	7.22	0.18	6.61	0.62
6.63	0.32	6.25	0.42	6.82	0.15	7.27	0.17	7.09	0.61
6.98	0.44	6.70	0.22	7.21	0.02	7.57	0.21	7.56	0.30
7.34	0.21	7.14	0.24	7.61	−0.09	7.88	0.15	8.04	0.10
7.69	0.00	7.59	0.25	8.00	−0.10	8.30	0.22	8.51	0
7.97	0.06	8.03	0.26	8.39	−0.04	8.38	0.21	8.90	0
8.24	−0.01	8.48	0.26	–	–	8.79	0.23	–	–
8.67	0.00	8.92	0.00	–	–	9.21	0.21	–	–
9.09	0.00	9.36	0.00	–	–	9.62	0.34	–	–
9.39	0.00	9.81	0.00	–	–	10.00	0.32	–	–
9.69	0.00	10.25	0.00	–	–	10.38	0.28	–	–
10.19	0.00	–	–	–	–	10.88	0.28	–	–
10.69	0.00	–	–	–	–	11.38	0.20	–	–
11.19	0.00	–	–	–	–	11.88	0.01	–	–
11.54	0.00	–	–	–	–	12.38	0.11	–	–
11.89	0.00	–	–	–	–	12.88	0.20	–	–
12.24	0.00	–	–	–	–	13.38	0.00	–	–
–	–	–	–	–	–	13.88	0.00	–	–
–	–	–	–	–	–	14.38	0.00	–	–

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

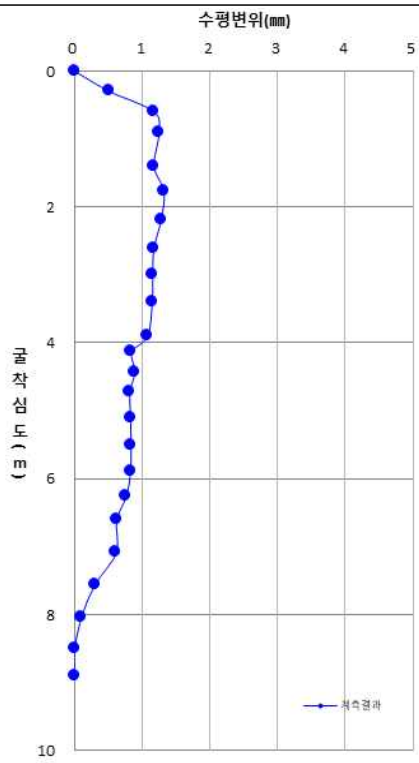


(a) Site A (b) Site B

(c) Site C (d) Site D

그림3.5 현장 계측결과

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



(e) Site E

–

그림3.5 현장 계측결과

4. 수평변위 예측 및 비교

흙막이벽의 실측된 수평변위와 경험적 측방토압 산정 방법에 의해 예측된 수평변위를 비교하기 위해 GeoX 프로그램으로 탄소성해석에 의한 예측 수평변위를 산정하였다. 이때, 예측 수평변위는 Rankine 토압과 경험적 측방토압 산정식(Terzaghi & Peck 수정측방토압, Tschebotarioff 측방토압)을 적용하였다.

해석에 적용된 지반정수는 지반조사에 의해 확인된 N값를 이용하여 추정하였다. 그리고 퇴적층 및 클링커층에 대한 지반반력 계수는 후쿠오카 방법으로 추정하여 적용하였다. 표 3.3은 해석에 적용된 지반정수를 요약한 것이다.

각 현장에서의 흙막이벽 수평변위에 대한 실측결과와 예측결과를 표 3.2과 같이 비교하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

A현장에 대한 예측 수평변위의 경우, Rankine 토압, Terzaghi & Peck 수정측방토압, Tschebotarioff 측방토압에 의해 산정된 최대 수평변위는 약 26.99㎜~31.14㎜ 수준인 것으로 평가되었다. 그리고 각각의 예측 수평변위 및 경향은 유사한 것을 알 수 있었으나, 실제 계측결과의 최대 수평변위인 2.93㎜와는 큰 차이를 보이고 있다.

B현장에 대한 예측 수평변위의 경우, Rankine 토압, Terzaghi & Peck 수정측방토압, Tschebotarioff 측방토압에 의해 산정된 최대 수평변위는 약 6.83㎜~13.16㎜ 수준인 것으로 평가되었다. 그리고 각각의 예측 수평변위 및 경향은 유사한 것을 알 수 있었으나, 실제 계측결과의 최대 수평변위인 1.11㎜ 와는 큰 차이를 보이고 있다.

C현장에 대한 예측 수평변위의 경우, Rankine 토압, Terzaghi & Peck 수정측방토압, Tschebotarioff 측방토압에 의해 산정된 최대 수평변위는 약 2.78㎜~9.47㎜ 수준인 것으로 평가되었다. 그리고 각각의 예측 수평변위 및 경향은 유사한 것을 알 수 있었으나, 실제 계측결과의 최대 수평변위인 2.52㎜ 와는 유사한 값을 보이지만 실제 설계값 보다는 작은 변위를 나타내고 있다.

D현장에 대한 예측 수평변위의 경우, Rankine 토압, Terzaghi & Peck 수정측방토압, Tschebotarioff 측방토압에 의해 산정된 최대 수평변위는 약 25.91㎜~31.07㎜ 수준인 것으로 평가되었다. 그리고 각각의 예측 수평변위 및 경향은 유사한 것을 알 수 있었으나, 실제 계측결과의 최대 수평변위인 0.40㎜ 와는 큰 차이를 보이고 있다.

E현장에 대한 예측 수평변위의 경우, Rankine 토압, Terzaghi & Peck 수정측방토압, Tschebotarioff 측방토압에 의해 산정된 최대 수평변위는 약 3.29㎜~10.51㎜ 수준인 것으로 평가되었다. 그리고 각각의 예측 수평변위 및 경향은 유사한 것을 알 수 있었으나, 실제 계측결과의 최대 수평변위인 1.32㎜ 와는 큰 차이를 보이고 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

또한, 실측값 중 최대 변위가 발생하는 심도에서 각각의 설계값을 비교하여 보면 A현장은 계측값이 예측값의 17.1~36.1% 수준의 값을 나타내며, B현장은 계측값이 예측값의 8.5~15.2% 수준의 값을 나타낸다.

C현장은 계측값이 예측값의 50.1~183.1% 수준의 값을 나타낸다. 이는 일부 Rankine 토압으로 설계 시 예측값보다 계측값이 크게 나타나지만 이는 흙막이 벽 상부(G.L(−)0.5m)의 측정값으로 계측기 설치에 따른 특정 값으로 판단된다.

D현장은 계측값이 예측값의 1.3~1.6% 수준의 매우 낮은 값을 나타내며, E현장은 계측값이 예측값의 12.6~45.0% 수준의 값을 나타낸다.

가시설 흙막이 구조계산 프로그램(MIDAS GEOX)에 의한 수평 변위 결과와 동일한 단계에서의 실제 시공 시 계측관리(지중경사계)를 통해 얻은 흙막이 벽체의 수평 변위 결과는 큰 차이를 보이고 있다.

이와 같이 상이한 수평 변위 결과가 나타나는 주된 이유는 설계 시 적용한 지반 강도정수가 실제 지층 조건보다 보수적으로 적용되었기 때문으로 판단되며, 다층구조를 갖는 지층에서의 프로그램 모의는 좀 더 다양한 연구가 필요하며, 다층구조에 맞는 경험식의 적용이 필요하다.

표 3.2 예측값과 실측값과의 비교

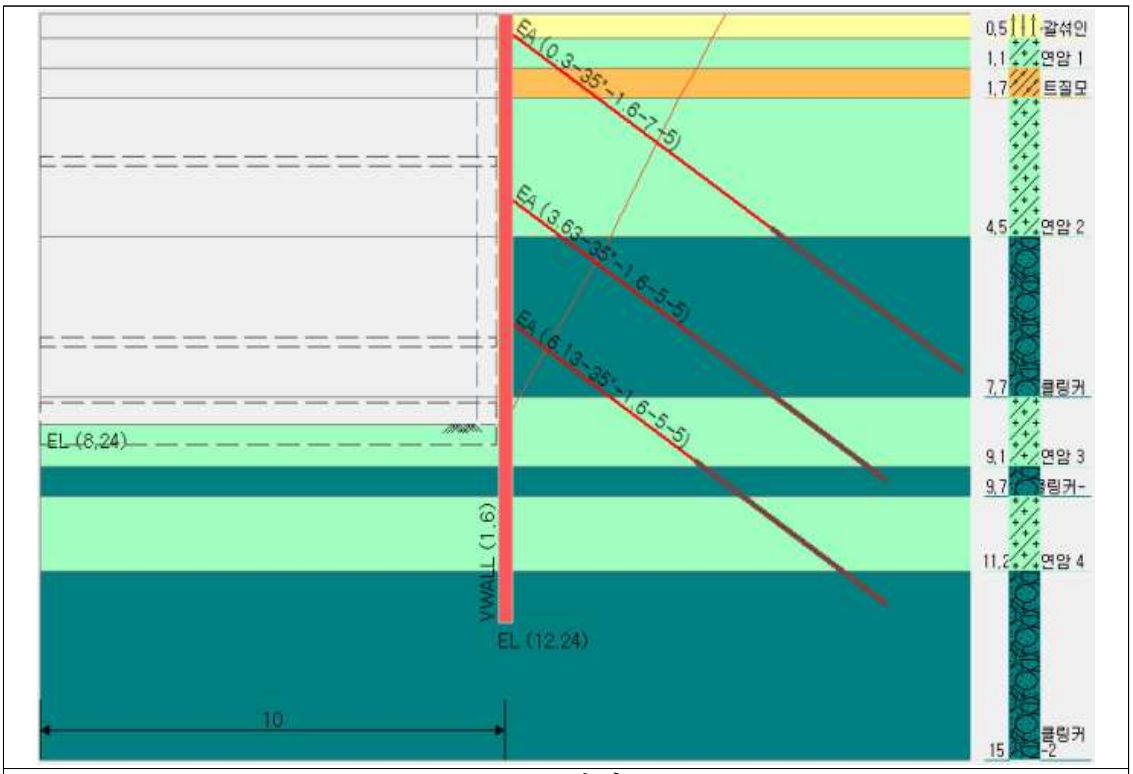
현장	최대변위 심도(m)	실측값	Rankine 토압		Terzaghi-Peck		Tschebotarioff	
			예측값	비율(%)	예측값	비율(%)	예측값	비율(%)
A	1.63	2.54	7.04	36.1	14.02	18.1	14.86	17.1
B	3.75	1.04	6.82	15.2	12.24	8.5	12.10	8.6
C	0.50	2.52	1.38	183.1	5.03	50.1	4.99	50.5
D	2.38	0.40	25.59	1.6	30.37	1.3	31.07	1.3
E	1.77	1.17	2.75	45.0	10.51	12.6	8.44	14.8

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

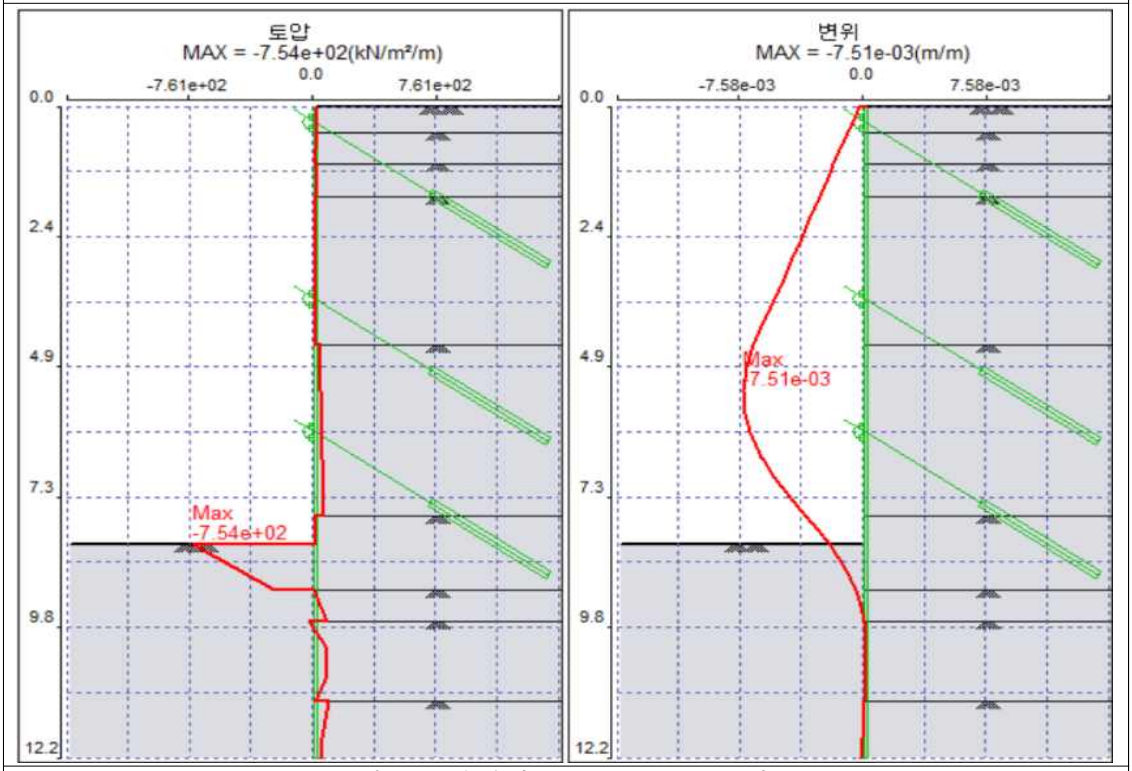
표 3.3 적용 설계지반정수

구분		지층심도 (m)	N치 (평균값)	단위중량 (t/㎥)	점착력 (t/㎡)	내부마찰각 (°)	수평지반반력계수 (t/㎥)
Site A	자갈섞인실트	0.10	3	1.8	0	21.0	1,079
	연암	0.68	50	2.3	5	35.0	4,500
	실트질모래	1.28	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	4.08	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	7.28	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	8.68	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	9.28	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	10.78	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	15.00	15	1.8	0	28.4	2,075
Site B	자갈섞인실트	2.30	3	1.8	0	21.0	1,079
	연암	3.50	50	2.3	5	35.0	4,500
	자갈섞인실트	4.30	3	1.8	0	21.0	1,079
	보통암	6.70	50	2.5	10	38.0	6,000
	연암	10.30	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	14.20	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	15.00	50	2.3	5	35.0	4,500
Site C	자갈섞인실트	0.04	3	1.8	0	21.0	1,079
	연암	1.04	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	3.04	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	3.64	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	4.34	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	5.14	50	2.3	5	35.0	4,500
	자갈섞인실트	8.34	3	1.8	0	21.0	1,079
	연암	10.34	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	12.74	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	15.00	50	2.3	5	35.0	4,500
Site D	클링커	0.82	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	1.42	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	5.82	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	7.22	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	9.62	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	15.00	50	2.3	5	35.0	4,500
Site E	클링커	0.82	15	1.8	0	28.4	2,075
	보통암	1.42	50	2.5	10	38.0	6,000
	클링커	5.82	15	1.8	0	28.4	2,075
	연암	7.22	50	2.3	5	35.0	4,500
	클링커	9.62	15	1.8	0	28.4	2,075

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



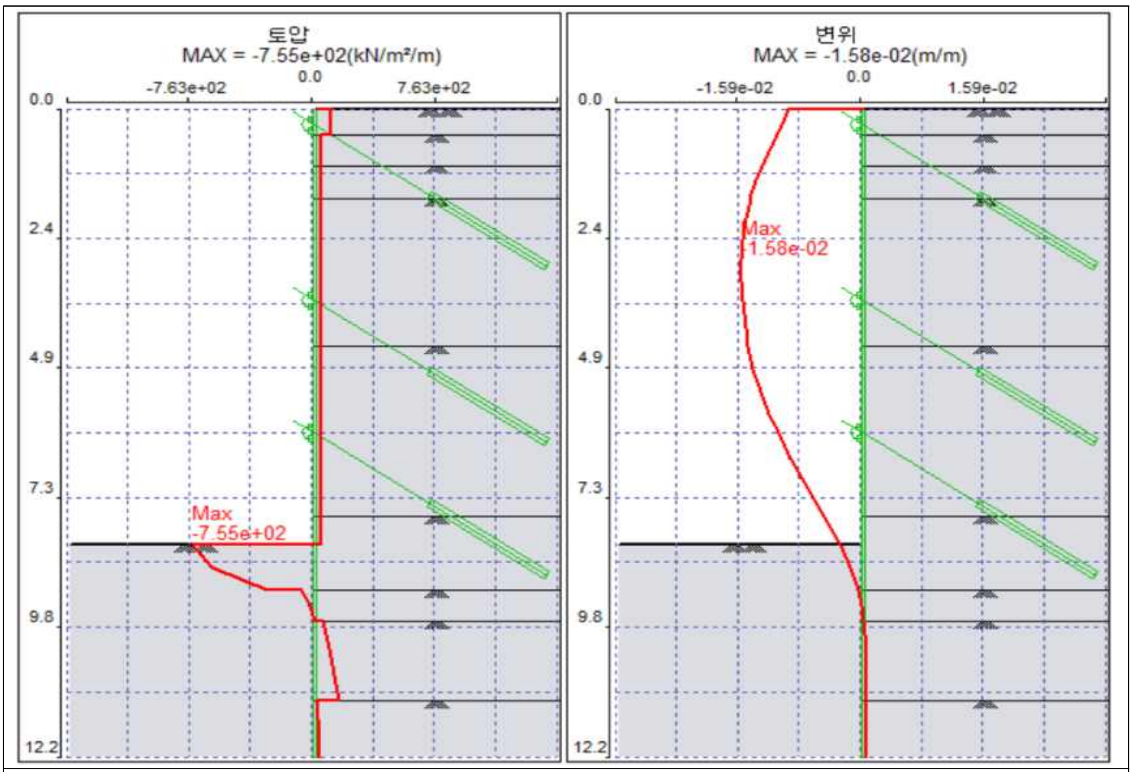
표준단면



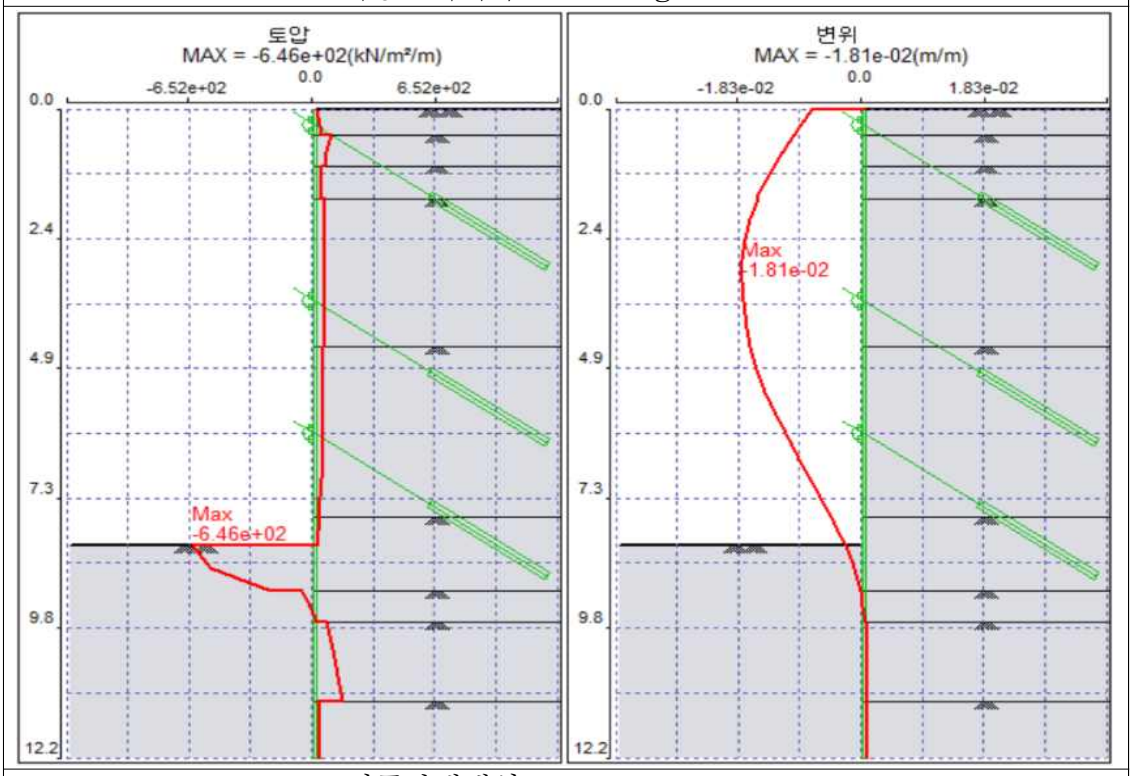
시공단계해석 – Rankine 토압

그림3.6 분석모델 – Site A

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



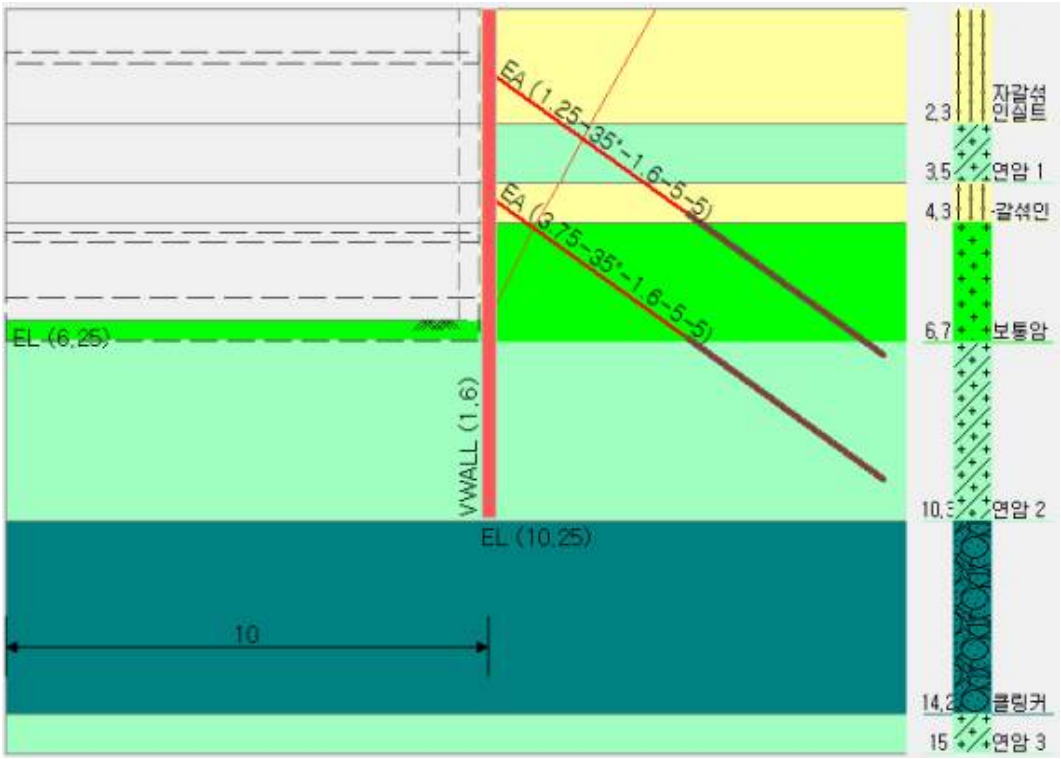
시공단계해석 – Terzaghi-Peck



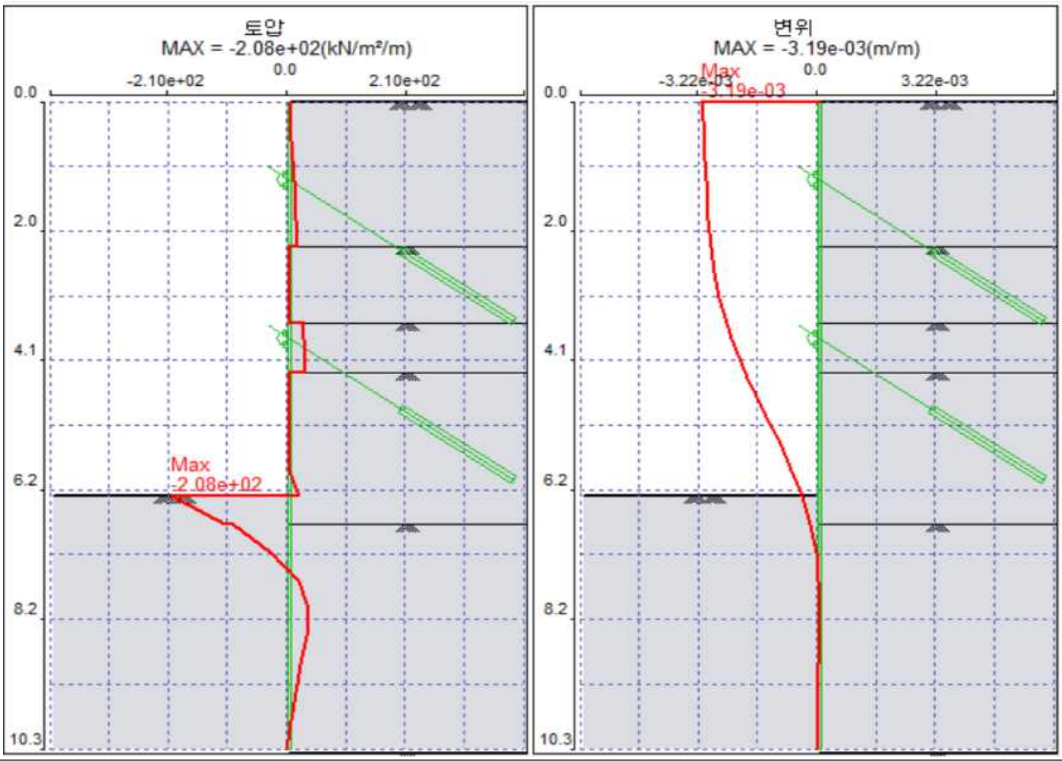
시공단계해석 – Tschebotarioff

그림3.6 분석모델 – Site A

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



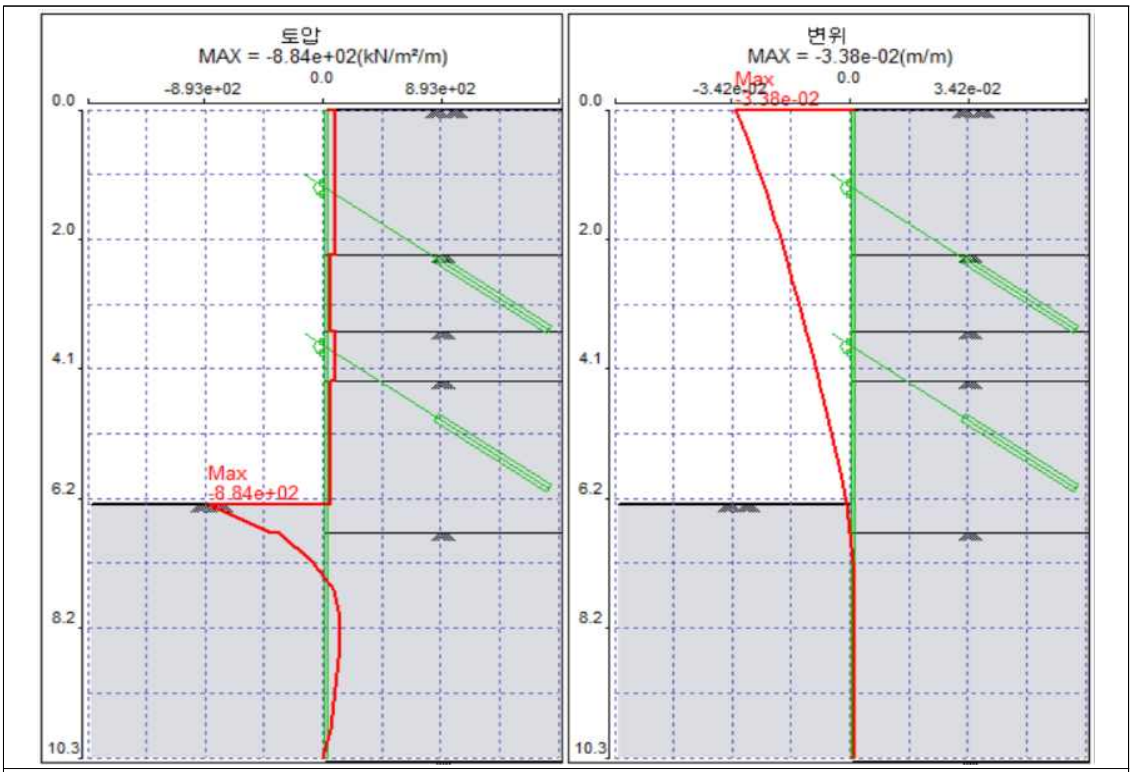
표준단면



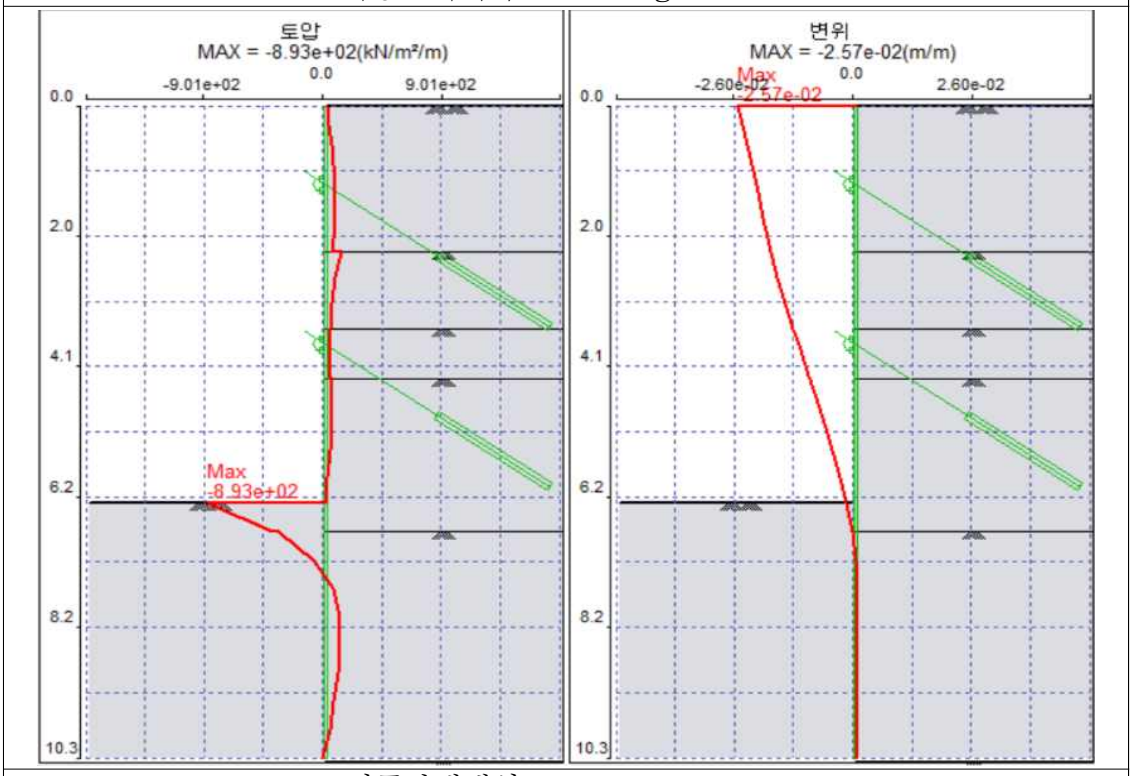
시공단계해석 – Rankine 토압

그림3.7 분석모델 – Site B

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



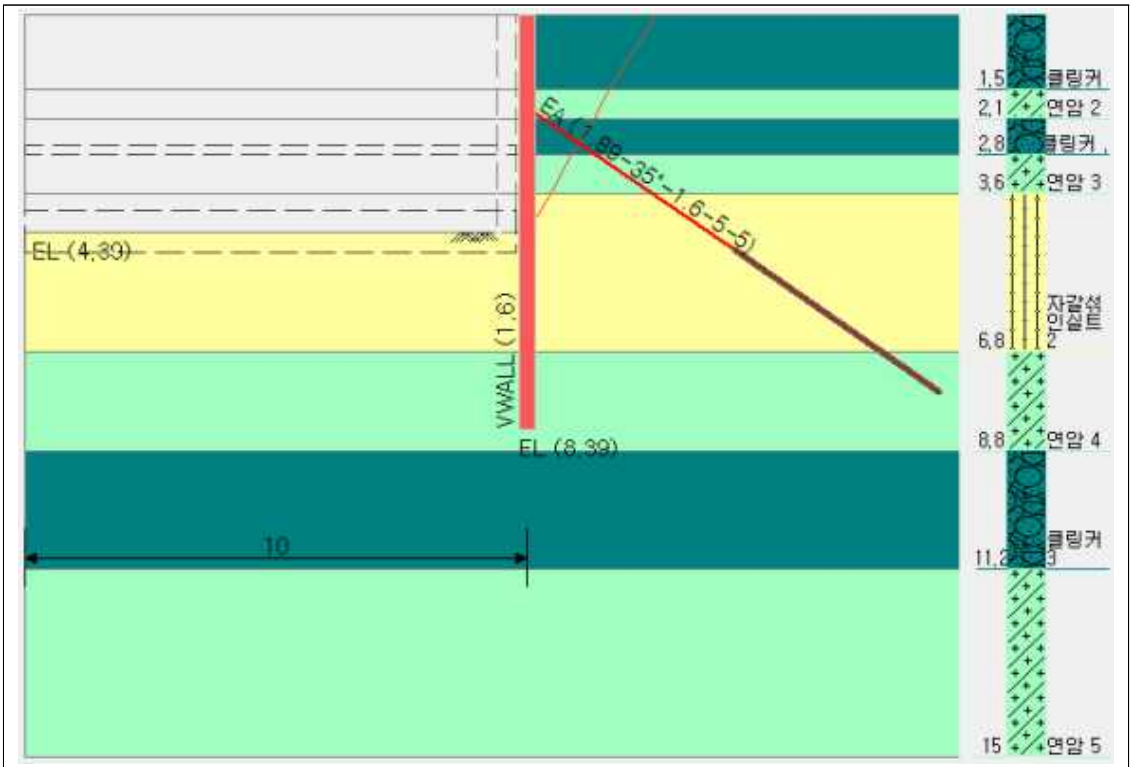
시공단계해석 – Terzaghi-Peck



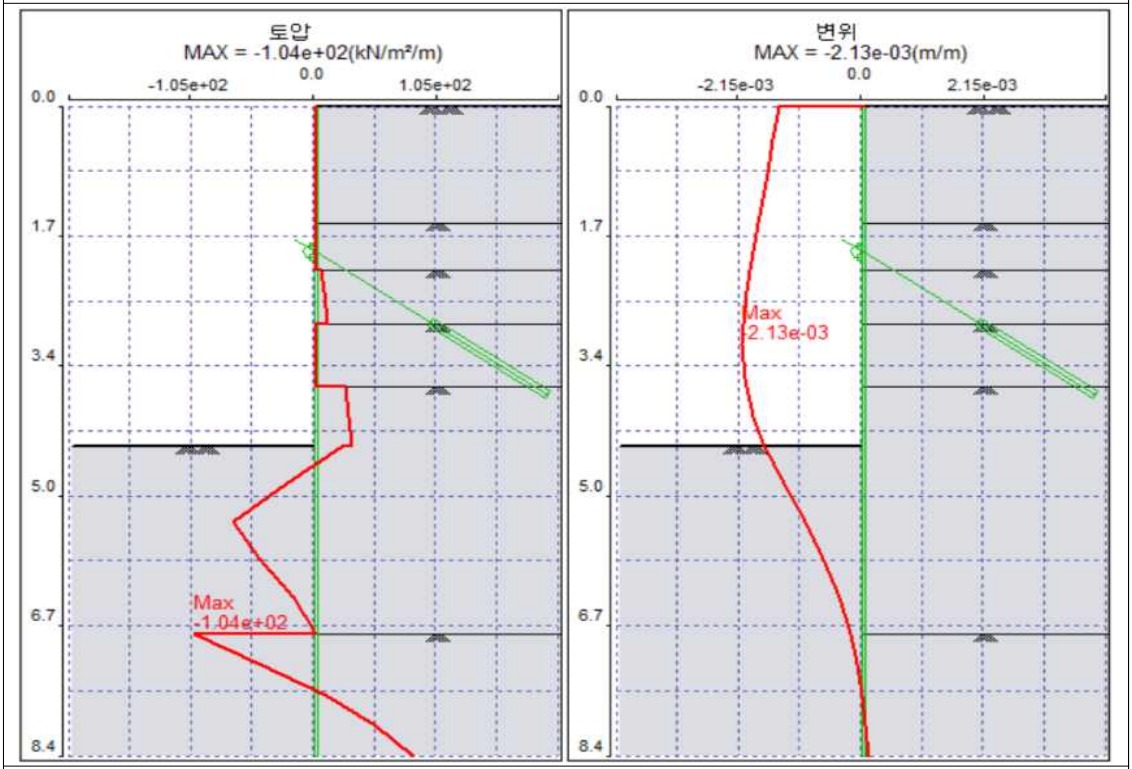
시공단계해석 – Tschebotarioff

그림3.7 분석모델 – Site B

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



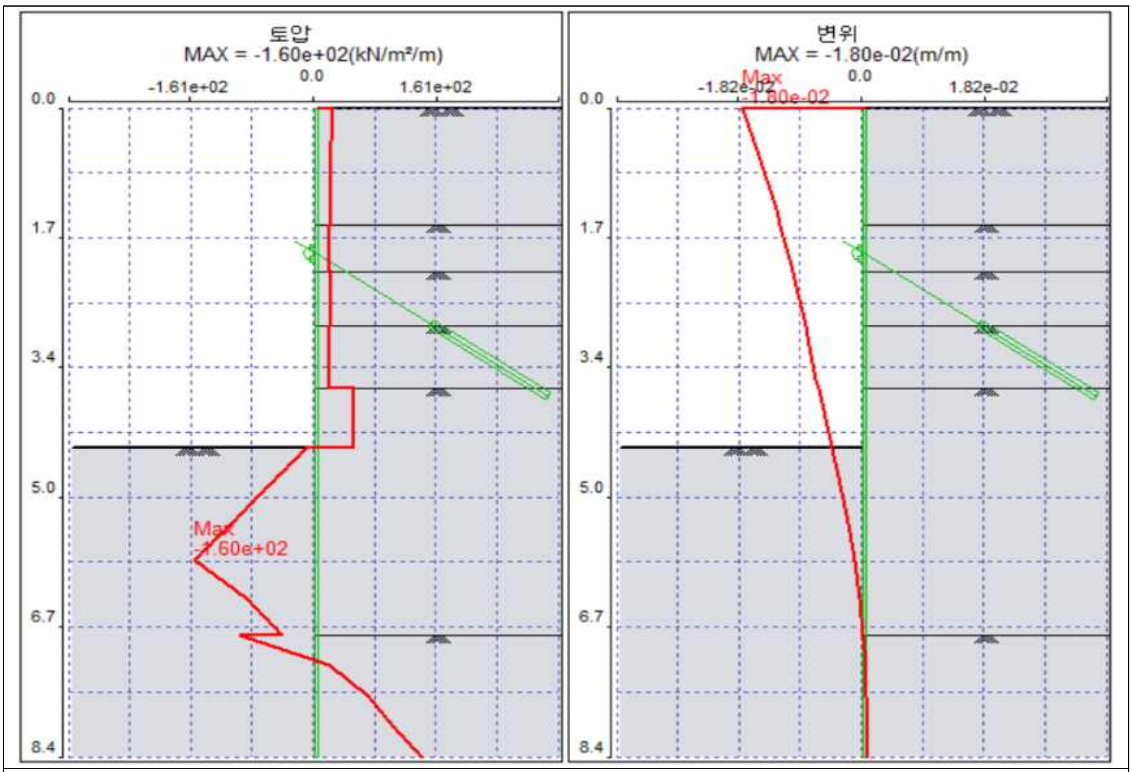
표준단면



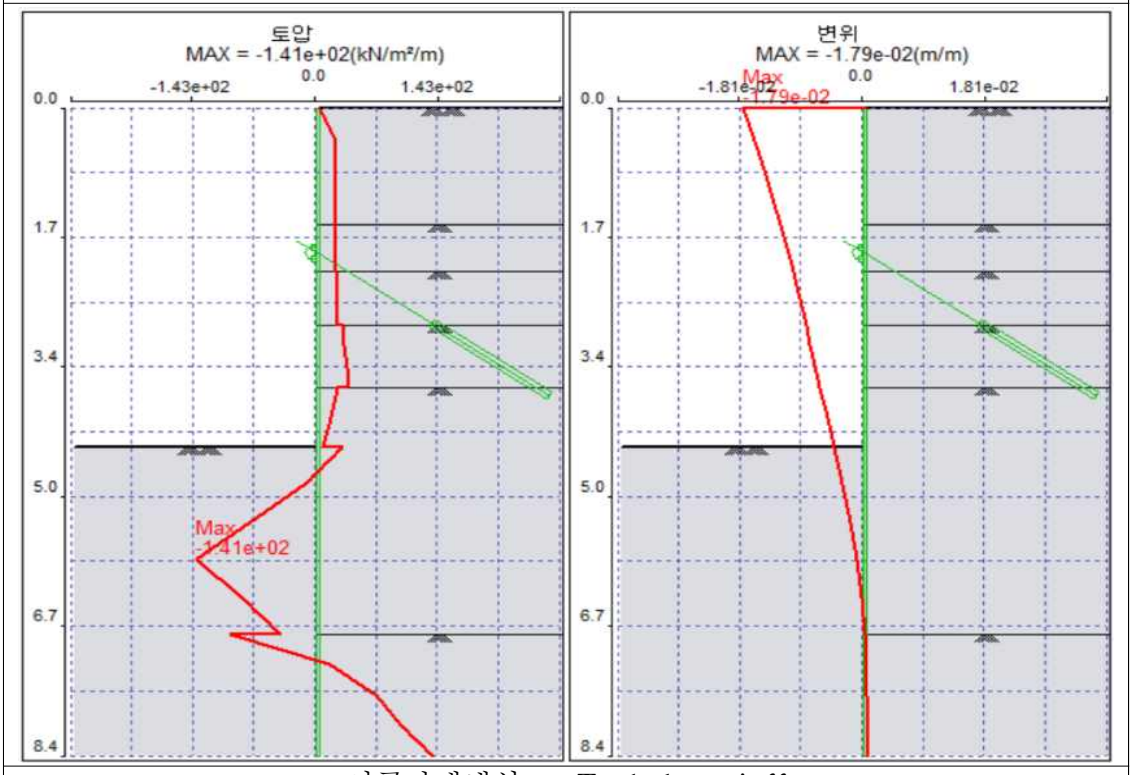
시공단계해석 – Rankine 토압

그림3.8 분석모델 – Site C

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



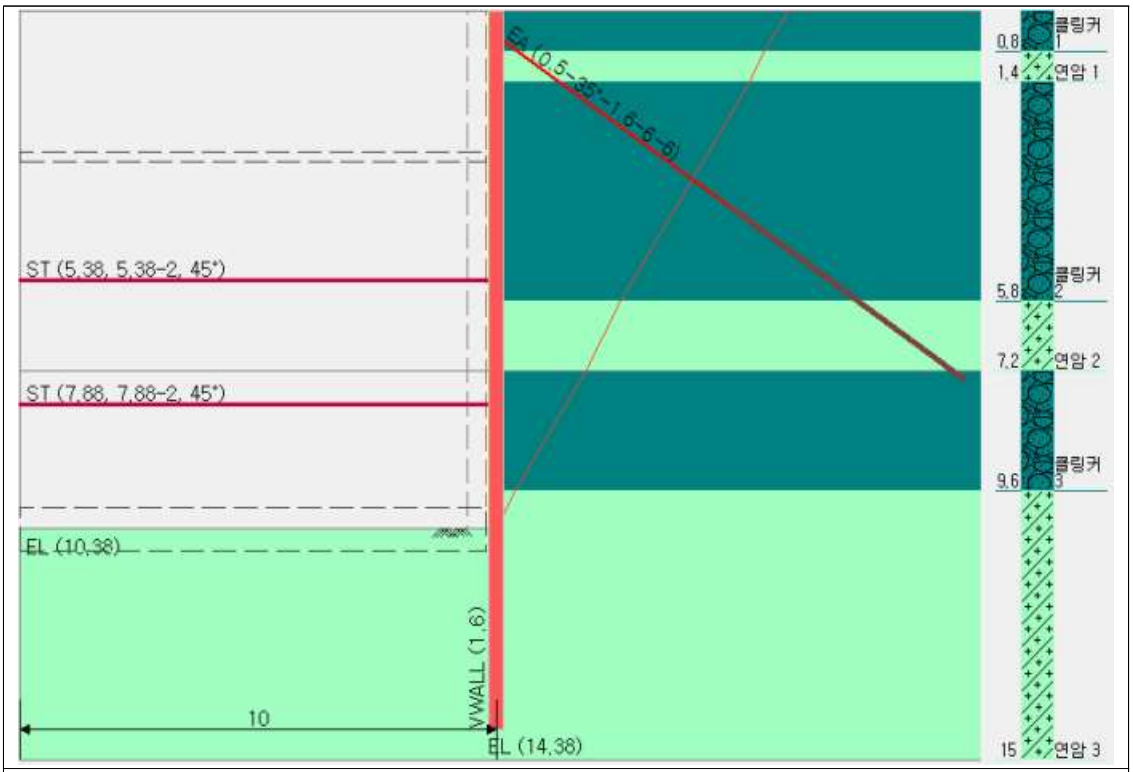
시공단계해석 – Terzaghi-Peck



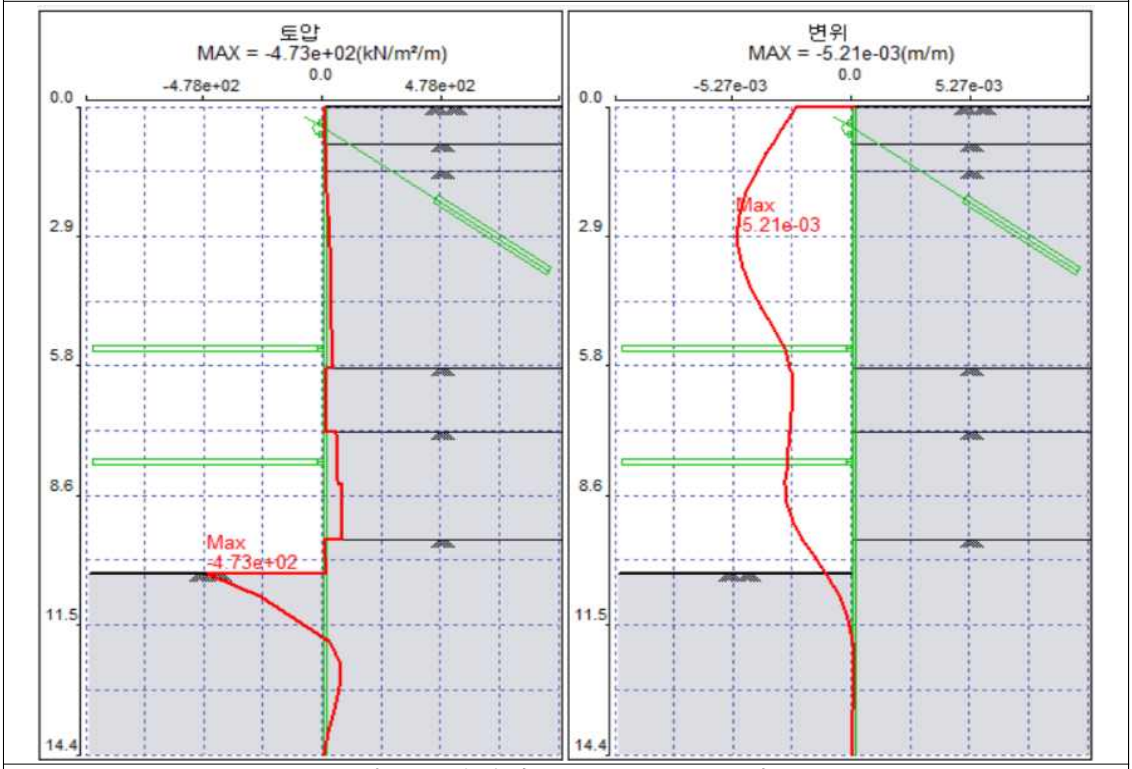
시공단계해석 – Tschebotarioff

그림3.8 분석모델 – Site C

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



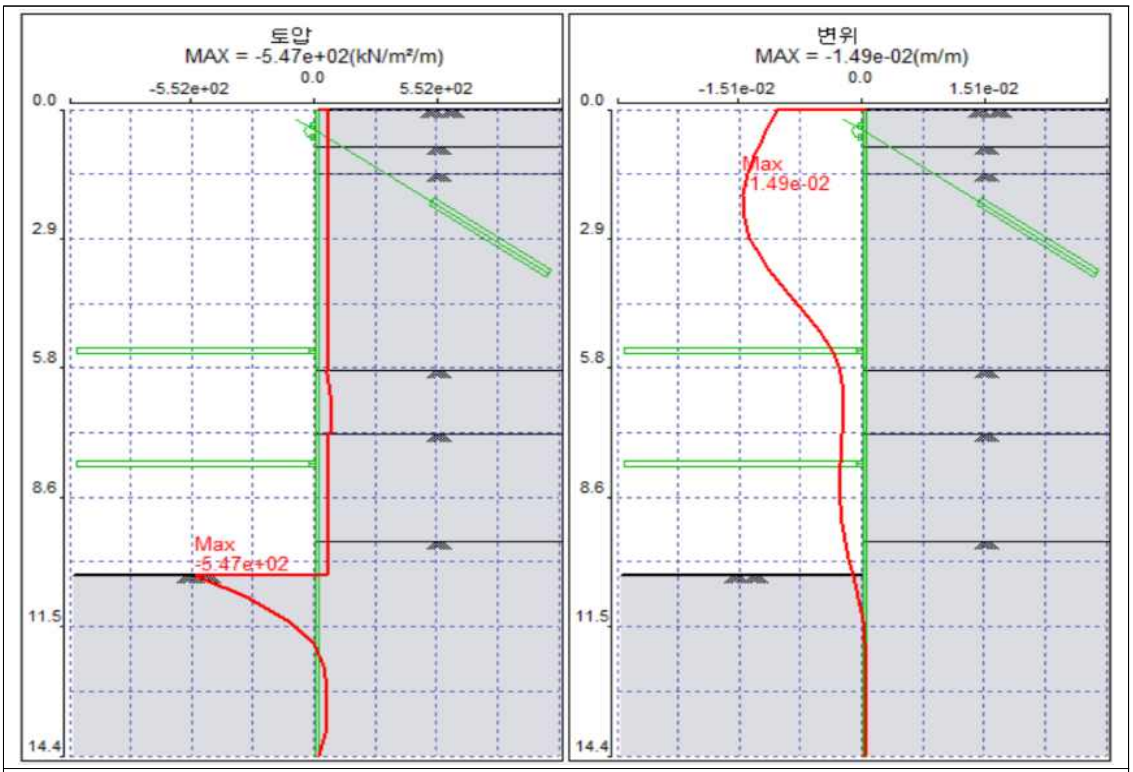
표준단면



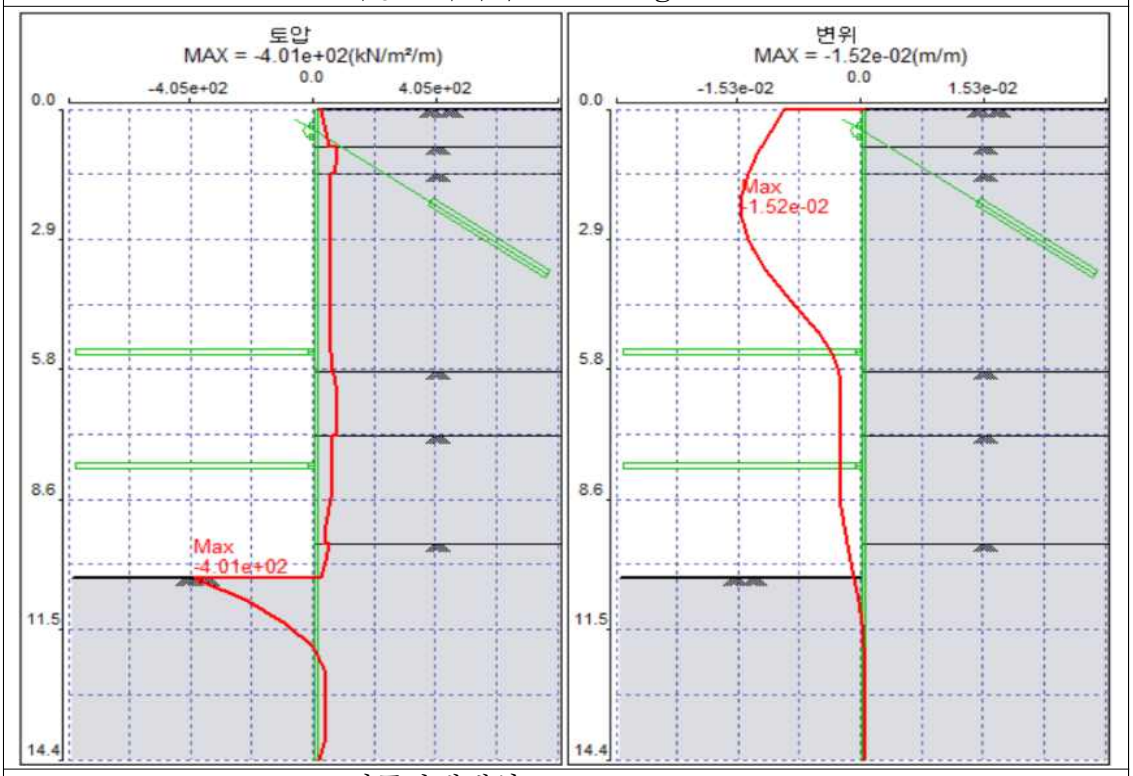
시공단계해석 – Rankine 토압

그림3.9 분석모델 – Site D

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



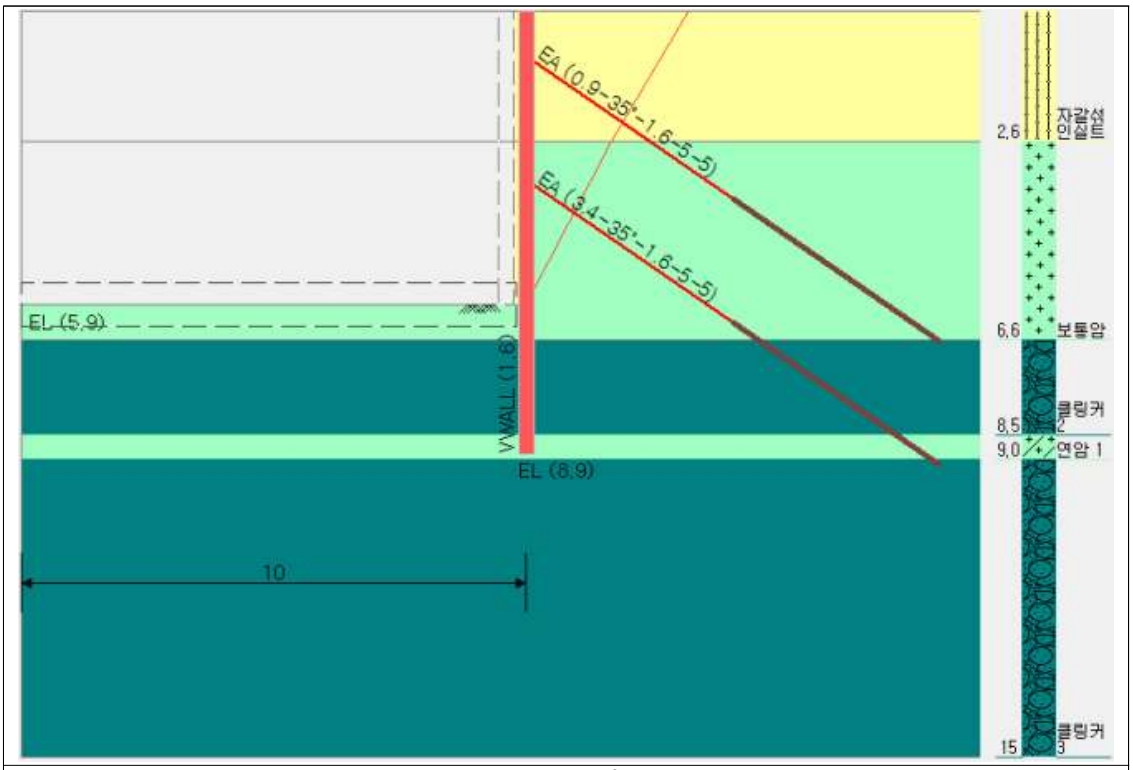
시공단계해석 – Terzaghi-Peck



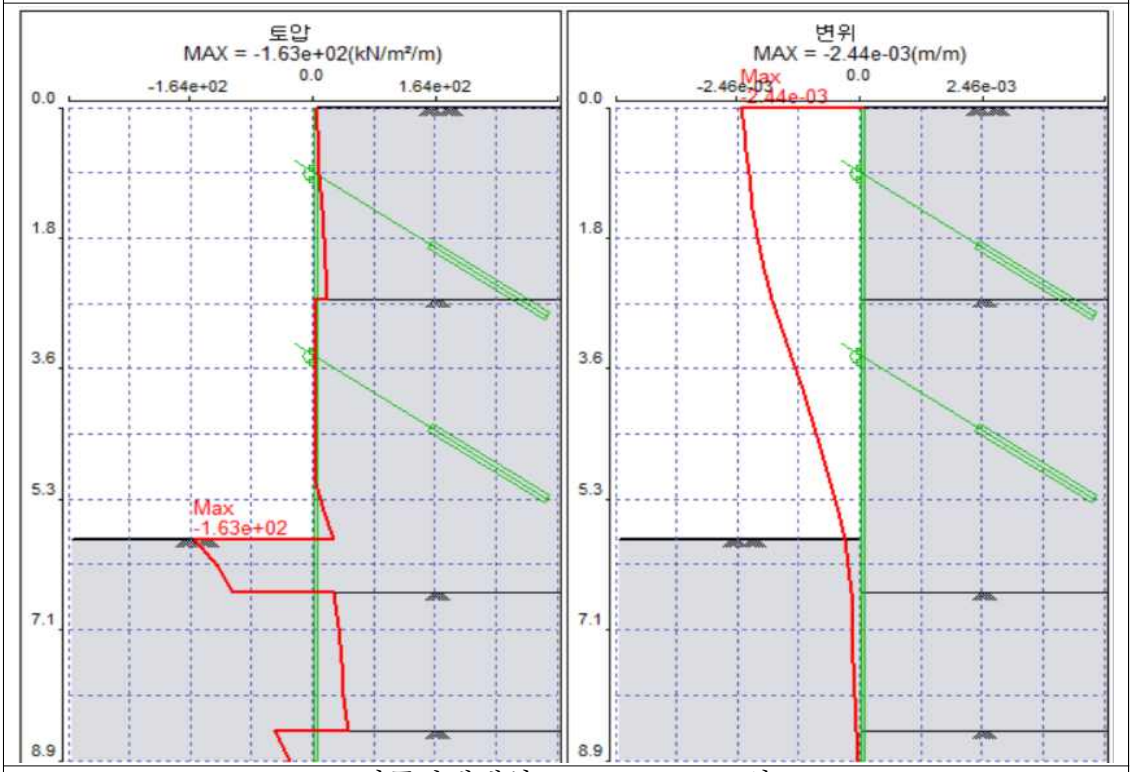
시공단계해석 – Tschebotarioff

그림3.9 분석모델 – Site D

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



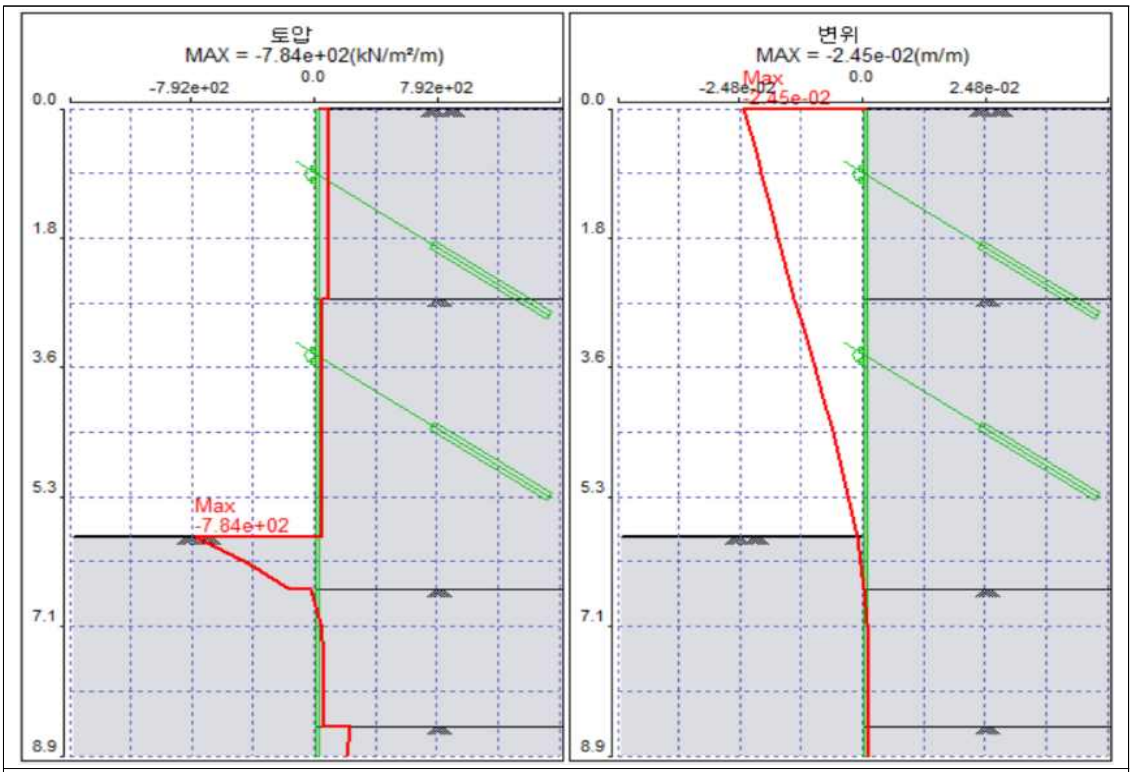
표준단면



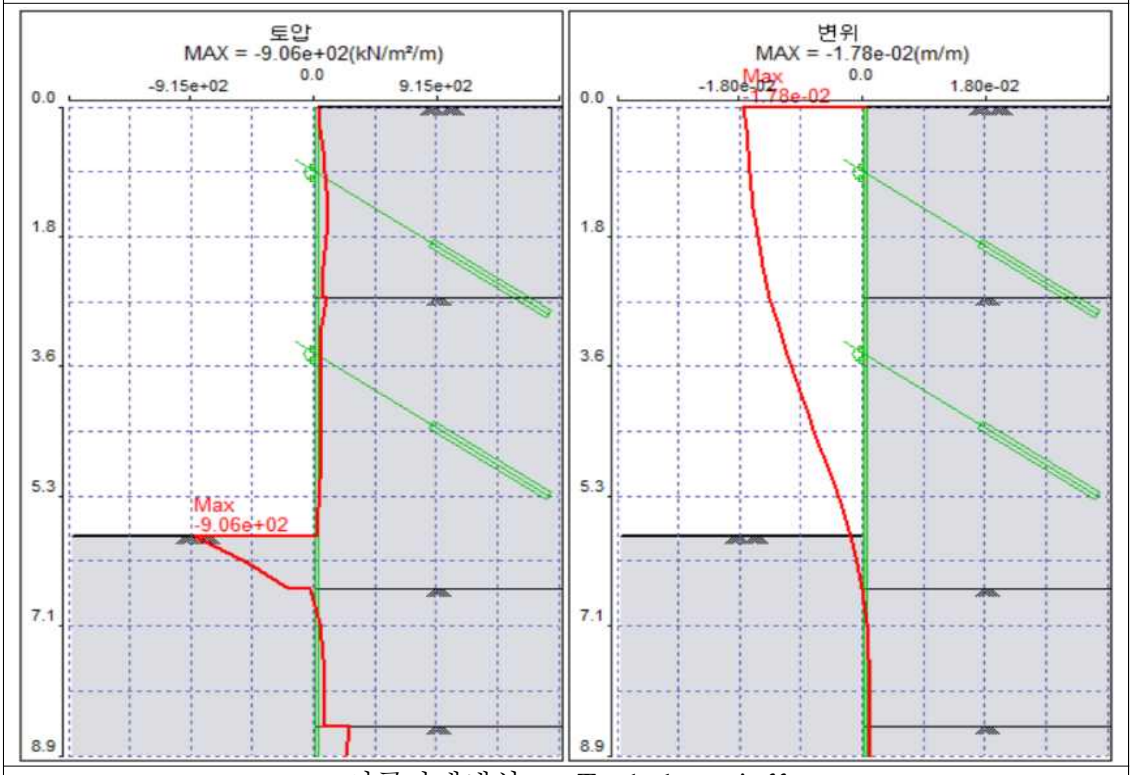
시공단계해석 – Rankine 토압

그림3.10 분석모델 – Site E

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



시공단계해석 – Terzaghi-Peck



시공단계해석 – Tschebotarioff

그림3.10 분석모델 – Site E

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 3.4 심도별 수평변위 – Site A

심도	실측값	설계값		
	계측결과	Rankine 토압	Terzaghi-Peck	Tschebotarioff
0.00	0.00	1.82	9.76	5.37
0.30	0.51	2.17	10.07	6.55
0.59	1.16	2.23	10.13	6.77
0.90	1.24	2.50	10.39	7.68
1.40	1.17	2.75	10.51	8.44
1.77	1.32	2.93	10.43	8.93
2.19	1.28	3.09	10.10	9.22
2.61	1.17	3.19	9.55	9.28
3.01	1.15	3.25	8.96	9.21
3.40	1.14	3.29	8.30	9.05
3.90	1.08	3.28	7.62	8.75
4.13	0.84	3.24	7.25	8.51
4.43	0.89	3.15	6.74	8.10
4.72	0.81	3.01	6.17	7.58
5.11	0.83	2.75	5.35	6.73
5.51	0.83	2.42	4.46	5.74
5.90	0.82	2.03	3.55	4.68
6.26	0.76	1.67	2.75	3.73
6.61	0.62	1.33	2.01	2.82
7.09	0.61	0.93	1.17	1.73
7.56	0.30	0.60	0.49	0.82
8.04	0.10	0.33	−0.05	0.06
8.51	0.00	0.10	−0.51	−0.60
8.90	0.00	−0.09	−0.86	−1.11

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 3.5 심도별 수평변위 – Site B

심도	실측값	설계값		
	계측결과	Rankine 토압	Terzaghi-Peck	Tschebotarioff
0.00	0	3.01	10.55	6.13
0.31	0.30	3.79	11.38	7.76
0.63	0.09	3.99	11.60	8.17
0.94	0.18	4.56	12.23	9.36
1.25	0.24	5.10	12.74	10.41
1.75	0.96	5.58	13.06	11.25
1.88	0.94	5.73	13.12	11.48
2.30	0.94	6.16	13.16	12.05
2.70	0.84	6.43	13.05	12.30
3.10	1.05	6.64	12.87	12.39
3.50	1.11	6.83	12.58	12.34
3.75	1.04	6.82	12.24	12.10
4.25	1.03	6.66	11.69	11.63
4.30	1.01	6.63	11.61	11.55
4.38	0.99	6.57	11.46	11.42
4.69	0.96	6.26	10.78	10.78
5.00	0.88	5.84	9.95	9.97
5.42	0.84	5.13	8.65	8.67
5.83	0.60	4.29	7.18	7.19
6.25	0.42	3.38	5.64	5.63
6.70	0.22	2.42	4.02	4.01
7.14	0.24	1.58	2.60	2.59
7.59	0.25	0.91	1.45	1.44
8.03	0.26	0.46	0.62	0.61
8.48	0.26	0.18	0.07	0.07
8.92	0.00	0.04	−0.25	−0.25
9.36	0.00	−0.01	−0.44	−0.44
9.81	0.00	−0.03	−0.56	−0.56
10.25	0.00	−0.03	−0.65	−0.65

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 3.6 심도별 수평변위 – Site C

심도	실측값	설계값		
	계측결과	Rankine 토압	Terzaghi-Peck	Tschebotarioff
0.00	1.80	0.96	3.56	3.46
0.44	2.40	1.33	4.85	4.80
0.50	2.52	1.38	5.03	4.99
0.91	2.39	1.71	6.23	6.23
1.32	1.64	2.03	7.34	7.36
1.52	1.12	2.18	7.83	7.85
1.82	1.10	2.37	8.46	8.48
2.12	1.01	2.54	8.95	8.95
2.39	1.08	2.66	9.26	9.23
2.82	0.80	2.77	9.47	9.38
3.07	0.30	2.78	9.42	9.29
3.51	0.27	2.72	9.03	8.82
3.62	0.43	2.69	8.88	8.65
4.01	0.48	2.50	8.15	7.89
4.39	0.45	2.23	7.19	6.92
4.88	0.31	1.80	5.76	5.54
5.36	0.21	1.33	4.26	4.10
5.85	0.19	0.90	2.86	2.76
6.33	0.14	0.55	1.67	1.62
6.82	0.15	0.28	0.76	0.74
7.21	0.02	0.14	0.22	0.22
7.61	−0.09	0.04	−0.19	−0.18
8.00	−0.10	−0.03	−0.51	−0.50
8.39	−0.04	−0.09	−0.81	−0.80

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

표 3.7 심도별 수평변위 – Site D

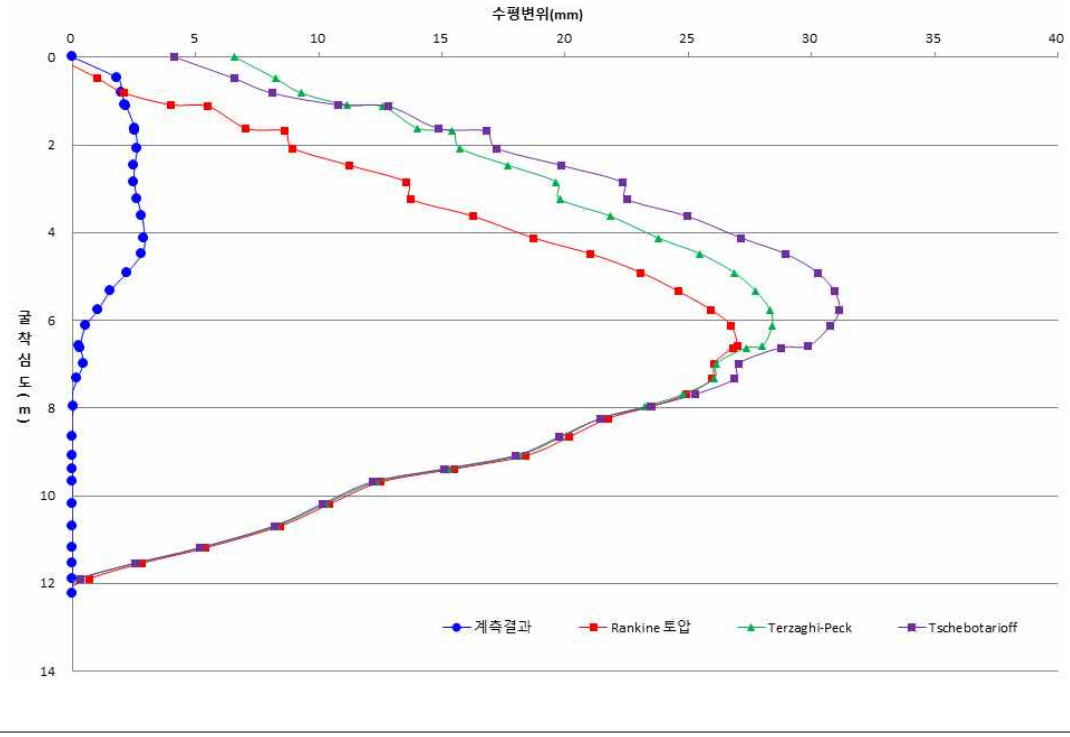
심도	실측값	설계값		
	계측결과	Rankine 토압	Terzaghi-Peck	Tschebotarioff
0.00	0.00	18.54	24.61	23.77
0.41	-0.02	20.33	26.28	25.90
0.82	0.02	21.46	27.36	27.26
1.04	0.08	22.22	28.06	28.13
1.42	0.10	23.44	29.13	29.46
1.90	0.23	24.73	30.06	30.63
2.38	0.40	25.59	30.37	31.07
2.88	0.38	25.91	29.97	30.71
3.11	0.34	25.85	29.52	30.25
3.57	0.38	25.35	28.22	28.88
4.02	0.39	24.37	26.43	26.97
4.47	0.31	23.00	24.32	24.71
4.93	0.23	21.42	22.10	22.36
5.38	0.20	19.85	20.07	20.23
5.82	0.16	18.55	18.49	18.63
5.88	0.17	18.39	18.31	18.44
6.33	0.10	17.23	17.04	17.18
6.77	0.17	16.13	15.92	16.06
7.22	0.18	15.06	14.87	14.98
7.27	0.17	14.95	14.77	14.87
7.57	0.21	14.26	14.09	14.15
7.88	0.15	13.64	13.48	13.47
8.30	0.22	12.92	12.73	12.63
8.38	0.21	12.80	12.60	12.48
8.79	0.23	12.09	11.87	11.64
9.21	0.21	11.23	10.99	10.69
9.62	0.34	10.15	9.91	9.59
10.00	0.32	8.95	8.74	8.43
10.38	0.28	7.61	7.43	7.16
10.88	0.28	5.74	5.59	5.42
11.38	0.20	3.95	3.83	3.74
11.88	0.01	2.42	2.30	2.27
12.38	0.11	1.27	1.11	1.12
12.88	0.20	0.51	0.30	0.31
13.38	0.00	0.05	-0.25	-0.23
13.88	0.00	-0.24	-0.64	-0.63
14.38	0.00	-0.47	-0.97	-0.97

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

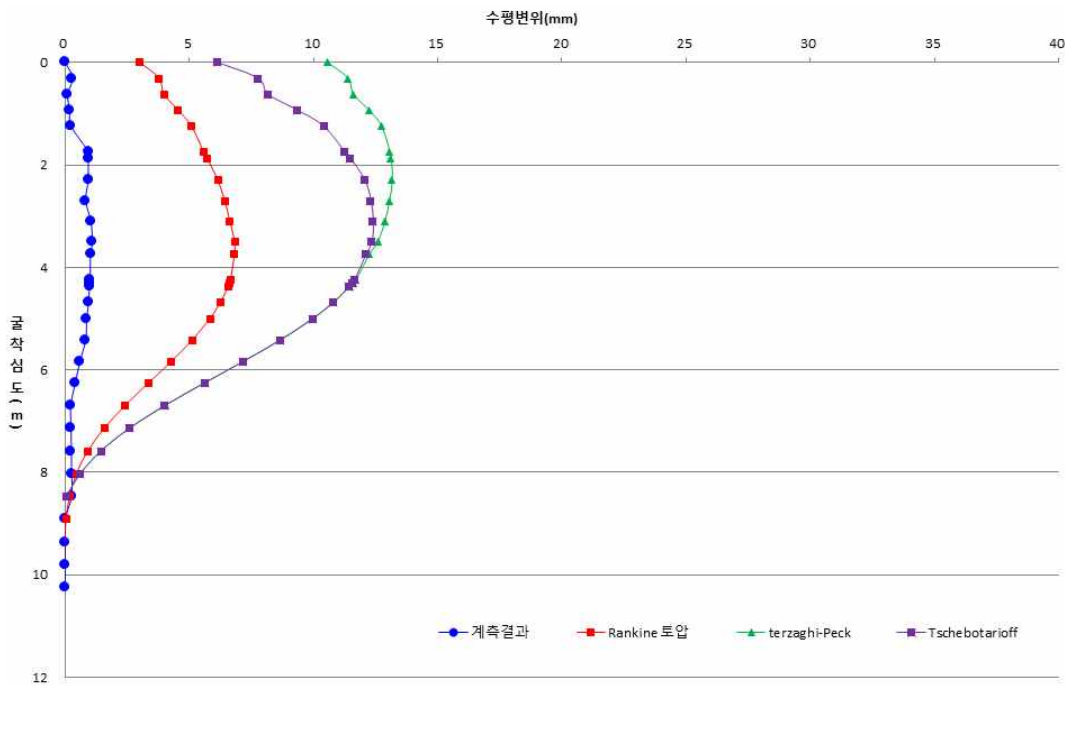
표 3.8 심도별 수평변위 – Site E

심도	실측값	설계값		
	계측결과	Rankine 토압	Terzaghi-Peck	Tschebotarioff
0.00	0	1.82	9.76	5.37
0.30	0.51	2.17	10.07	6.55
0.59	1.16	2.23	10.13	6.77
0.90	1.24	2.50	10.39	7.68
1.40	1.17	2.75	10.51	8.44
1.77	1.32	2.93	10.43	8.93
2.19	1.28	3.09	10.10	9.22
2.61	1.17	3.19	9.55	9.28
3.01	1.15	3.25	8.96	9.21
3.40	1.14	3.29	8.30	9.05
3.90	1.08	3.28	7.62	8.75
4.13	0.84	3.24	7.25	8.51
4.43	0.89	3.15	6.74	8.10
4.72	0.81	3.01	6.17	7.58
5.11	0.83	2.75	5.35	6.73
5.51	0.83	2.42	4.46	5.74
5.90	0.82	2.03	3.55	4.68
6.26	0.76	1.67	2.75	3.73
6.61	0.62	1.33	2.01	2.82
7.09	0.61	0.93	1.17	1.73
7.56	0.30	0.60	0.49	0.82
8.04	0.10	0.33	−0.05	0.06
8.51	0	0.10	−0.51	−0.60
8.90	0	−0.09	−0.86	−1.11

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



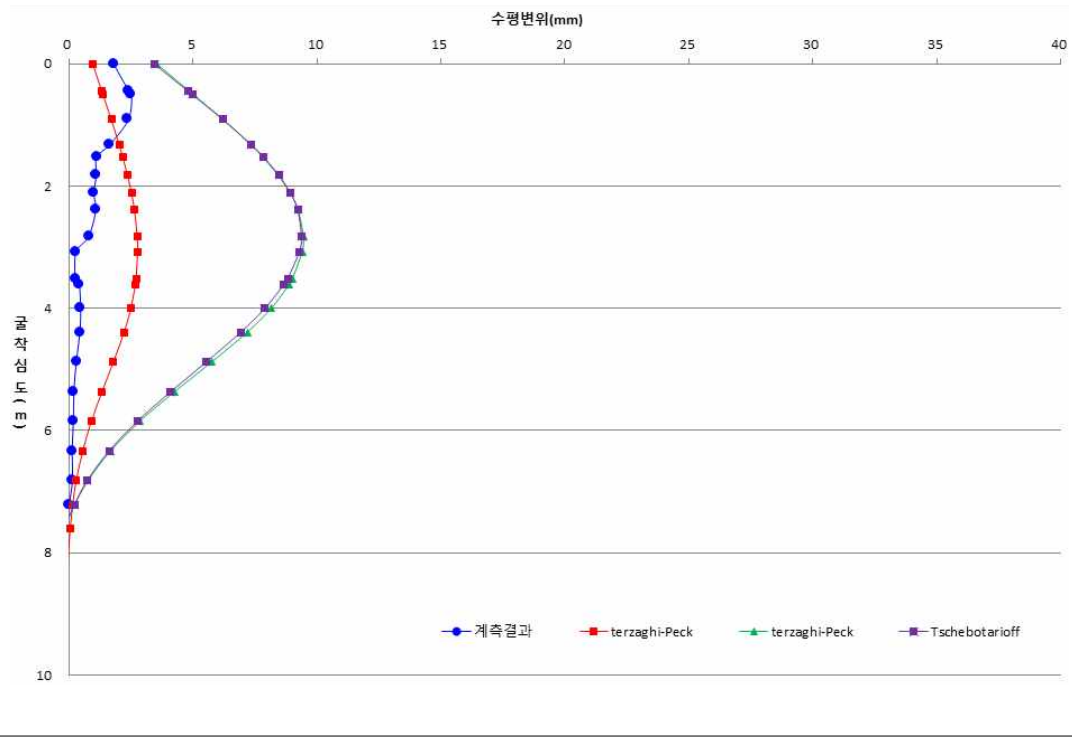
(a) Site A



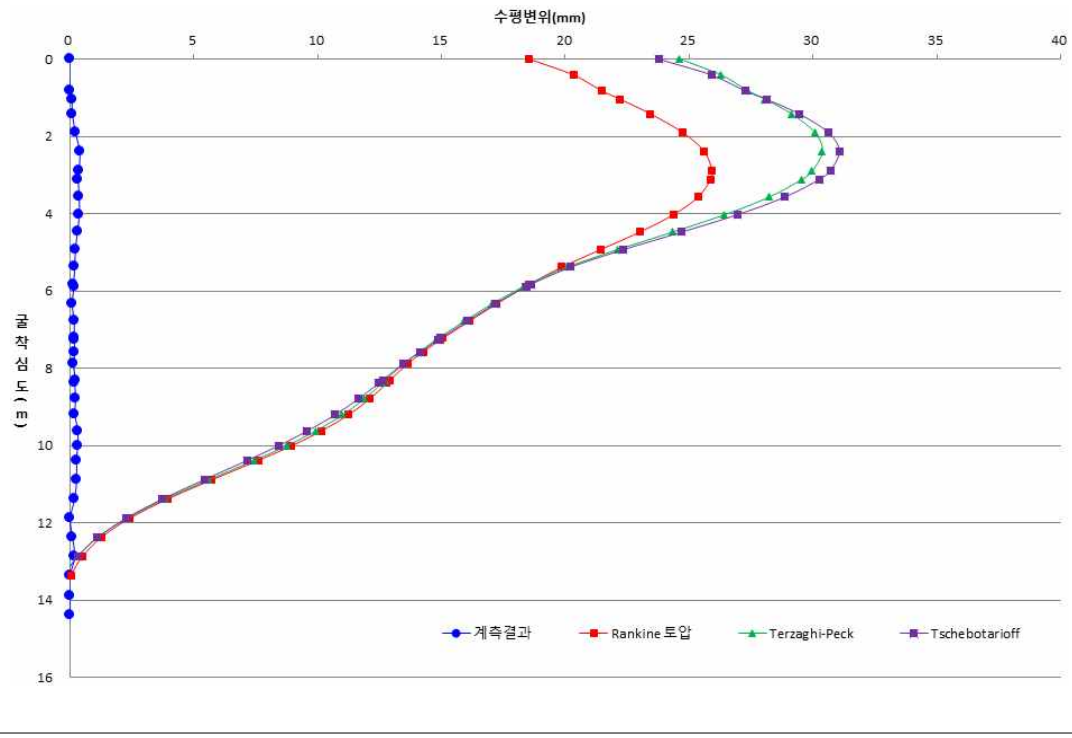
(b) Site B

그림3.11 수평변위의 측정값과 예측값 비교 – Site A, B

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



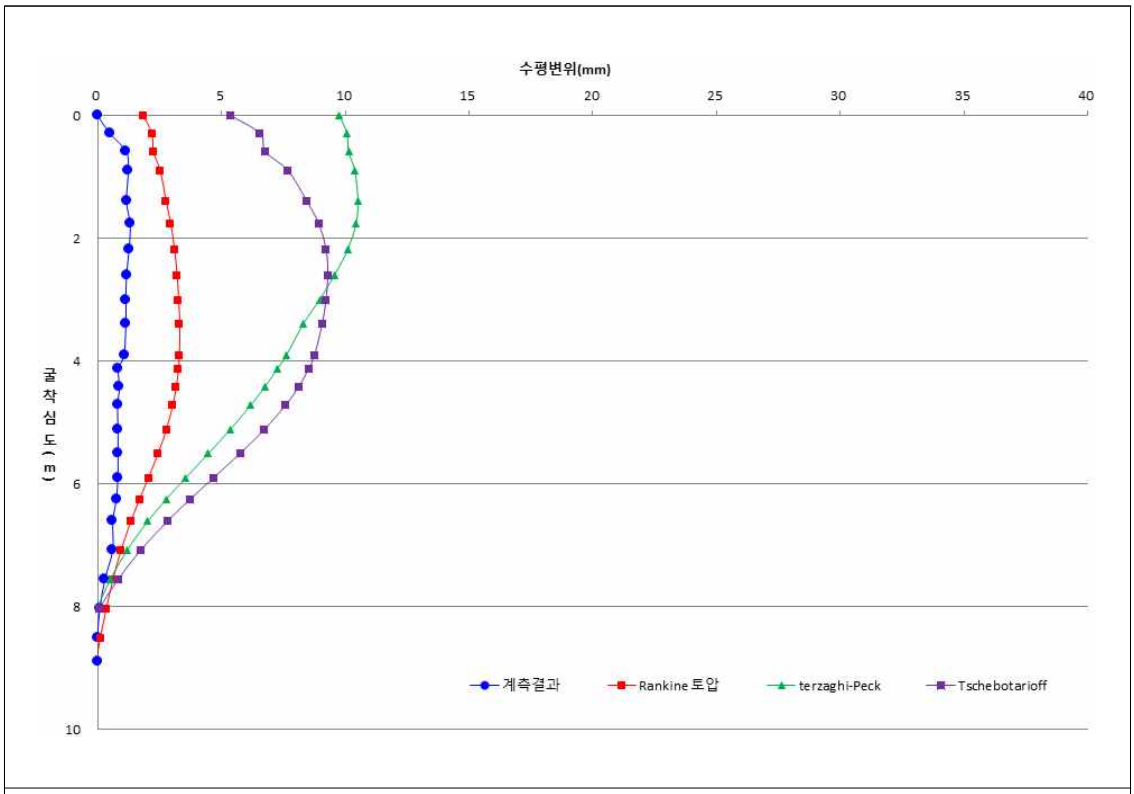
(c) Site C



(d) Site D

그림3.12 수평변위의 측정값과 예측값 비교 – Site C, D

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



(e) Site E

그림3.13 수평변위의 측정값과 예측값 비교 – Site E

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅶ. 결론

최근 제주도에서는 굴착에 따른 흙막이벽과 배면지반의 변형거동을 조사하기 위하여 현장계측을 통하여 시공관리를 실시하는 사례가 증가하고 있으나 굴착공사 시 합리적인 시공관리를 실시하는 것에 대한 객관적인 지표는 매우 부족한 실정이며, 현장계측을 이용한 흙막이벽의 변형이나 굴착배면지반의 안정성을 판단하는 연구도 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 내륙지역과 상이한 지질특성을 갖는 제주도의 굴착현장을 중심으로 앵커지지 흙막이구조물 설계 시 반영된 흙막이벽에 작용하는 측방토압분포모의결과와 현장 계측자료의 비교·분석 결과는 다음과 같다.

1. 5개 현장의 최종굴착 단계에서 수평변위량을 계측한 결과 흙막이 벽체의 강성이 크거나 지반 상태가 양호 하고, 터파기고가 낮으며, 지하수위의 영향을 고려하지 않은 굴착공사는 수평변위가 적게 나타나는 것을 알 수 있었다.

2. 현장계측에 의한 수평변위량을 수치해석상의 예측치와 비교한 결과 전반적으로 유사한 변형의 형태를 보이지만, 최대변위 발생위치 등에서의 변위량은 상당한 차이를 보이고 있으며, MIDAS GeoX 프로그램 자체로는 어스앵커로 지지되는 현장에서 변위량을 정확하게 예측하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 MIDAS GeoX 프로그램의 해석 방법인 탄소성모델의 한계 또는, 해석 시 사용되는 지반정수들이 계략적으로 산정한 토질정수들을 사용하거나 문헌에 나타난 암반의 역학적 특성 등으로 추정되었기 때문이라 판단되며, 향후 수치해석을 통한 변위량 예측시에는 해석프로그램의 신중한 선택과 실내시험 및 현장시험을 통한 신뢰성 있는 지반정수들이 사용되어져야 할 것이다.

3. 본 연구논문에 적용된 5개 현장의 현장계측결과와 수치해석을 통한 예측 결과를 지반조건, 흙막이벽체의 종류별로 분류한 여러 가지 기존 제안들과 비교, 분석한 결과 기존의 경험식이 보수적인 것으로 나타났다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

본 연구에서는 제주도 내 지하 굴착 현장 5개소를 선정하여 현장계측치와 수치해석을 통한 예측변위량과의 차이점과 연관성을 현장 사례별로 분석, 비교 하였다. 이에 다음과 같은 결과를 얻었다. 본 연구에서는 건축물 터파기 공사 현장에서의 실제 계측관리 자료를 이용하여 제주도 지반에 설치된 가시설 흙막이의 수평변위 특성을 검토하였다. 검토 결과, 설계 단계 시 구조계산에 의한 수평 변위와는 상이한 수평 변위 특성을 보였으며, 이는 제주도 지층 특성을 고려하지 않고 보수적인 설계로 인한 결과라고 판단된다. 따라서, 향후 자갈 및 전석이 함유된 퇴적층과 클링커층에서의 현장 계측관리 자료를 분석하여 제주도 지층에 적합한 강도정수 및 제주 실정에 맞는 측방토압의 도출이 필요하다고 판단된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참고문헌

1. 남정만, 윤중만, 이용두(2000), “지지방식에 따른 흙막이벽의 변형거동과 안정성”, 해양과환경연구소 연구논문집, Vol.24 No.-[2000], pp.125~133

2. 권오균(2000), “암반에 따른 흙막이벽체의 변형특성에 관한 연구”, 세명 대학교 산업기술대학원, 석사학위논문, pp.21~23

3. 김주범(2004), “굴토가시설현장의 가설벽체변위계측 및 수치해석”, 명지 대학교 산업대학원, 석사학위논문, pp.18~20

4. 김호찬(2007), “유한요소법을 이용한 가시설의 거동해석에 관한 연구”, 금오공과대 대학원, 석사학위논문, pp.18~21

5. 박성호(2004), “흙막이벽체 수평변위 계측관리 기준치에 관한 연구”, 중앙대학교 건설대학원, 석사학위논문, pp.36~38

6. 신정식(2000), “현장계측을 통한 흙막이벽의 거동 해석에 관한 연구”, 한양대학교 산업경영대학원, 석사학위논문, pp.18~19

7. 이송, 채점식, 김일, 우종태(2003), “흙막이 구조물의 설계와 시공”, 예문사, pp.43~46, pp.246~254

8. 이인모(2000), “토질역학의 원리”, 새론, pp.423~427

9. 이종규, 전성곤(1996), “다층지반 굴착시 토류벽에 작용하는 토압분포”, 한국지반공학회지, Vol.19, No.1, pp.169~225

10. 윤중만(1997), “흙막이 굴착지반의 측방토압과 변형거동”, 중앙대학교 대학원, 박사학위논문

11. 안이환(2010), “현장계측과 수치해석을 통한 흙막이벽의 수평변위에 관한 연구”, 한양대학교 공학대학원, 석사학위논문

12. 김도형, 이동욱, 최희복, 고권문(2023), “제주 지역의 지반 특성을 고려한 흙막이벽의 측방토압 적용에 관한 연구 Ⅰ-스트럿 공법 시공 사례-”, 한국지반신소재학회논문집 제22권 2호, pp. 55 ~ 61

13. 김도형, 이동욱, 최희복, 고권문(2023), “제주 지역의 지반 특성을 고려한 흙막이벽의 측방토압 적용에 관한 연구 Ⅱ-어스앵커 공법 시공 사례-”, 한국지반신소재학회논문집 제22권 2호, pp. 85 ~ 92

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

14. 정인준(1988), “기초공학 원론”, 구미서관, pp.122~127

15. 정찬수(2003), “SUNEX Program 사용법 설명서”, (주)지오그룹이엔지

16. 정철호(2001), “지반 굴착기술”, 구민서관, pp89~95, pp837~888

17. 천병식(1994), “흙막이 구조물”, 한국지반공학회지 Vol.10, No.3, pp.173~198

18. 천병식(1998), “지반공학 -이론과 실제-”, 구미서관, pp.233~236

19. 홍원표, 윤중만(1995), “지하굴착시 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압”, 한국지반공학회지, Vol.11, No.1, pp.63~77

20. Bjerrum, L. and Eide, O.(1956), "Stability of Strutted Excavations in Clay", Geotechnique, Vol 6, No.1, pp.32~47

21. Clough, G. W., and O'Rourke, T. D.(1990), "Construction Induced Movements of Insitu Walls. Design and Performance of Earth Retaining Structures", Geotechnical Special Publication, No.25, pp.439~470

22. Das, B. M.(1984), "Principles of Foundation Engineering", 3rd Edition, PWS Publishing, pp.423~425

23. NAVFAC DESIN MANUAL(1982)-7.2, pp.13~19

24. Peck, R. B.(1969), "Deep Excavations and Tunnelling in Soft Ground", 7th ICSMFE, State-of-Art, pp.225~290

25. Peck, R. B.(1943), "Earth Pressure Measurements in open cut", ASCE, Vol.108, pp.1008~1058

26. Terzaghi, K.(1936), "On Stability on Loose Earth", Philosophic Transactions of Royal Society, London, Part Ⅰ, pp.9~27

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 오랜 시간동안 세심한 지도와 많은 가르침으로 이끌어 주신 이동욱 지도교수님께 무한한 존경과 감사를 드립니다.

아울러 차민수 교수님, 안은종 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

또한, 많은 조언과 격려를 해주신 주식회사 케이지오 김도형 기술사님, 제주대학교 강명수 박사님께도 깊이 감사드립니다.

그리고 학업을 병행할 수 있게 배려와 관심을 주신 존경하는 남정만 교수님, 주식회사 연웅이앤씨 남혜웅 대표이사님, 김영갑 상무님께 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

마지막으로 지금 이 순간까지도 저의 선택을 존중해 주시고 지켜봐 주신 부모님과 가족들, 어려운 상황에서도 언제나 나를 믿고 따라주는 사랑하는 아내 박은경과 앞으로 학업을 시작하고 세상을 살아 나아갈 나의 아들 황이준에게는 항상 노력하고 성실한 삶을 살아가길 바라는 아빠의 마음을 전하며, 감사의 말씀을 올립니다.

지금까지의 소중한 경험들이 제 꿈을 이뤄나가기 위한 밑거름이 될 수 있도록 노력하는 사람이 되겠습니다.

감사합니다.

2024년 2월

황 기 현

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY