

분리형 보강토 옹벽의 시험시공 및 현장계측 Construction and Site Investigation of KORESWall System

김영윤¹⁾, Young-Yoon Kim, 이동연²⁾, Dong-Eon Lee, 김경모³⁾, Kyeong-Mo Kim

¹⁾ 보강기술(주) 기술연구소 소장, Director, E&S Engineering Co., Ltd.

²⁾ 보강기술(주) 기술연구소 수석연구원, Research Fellow, E&S Engineering Co., Ltd.

³⁾ 보강기술(주) 기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, E&S Engineering Co., Ltd.

SYNOPSIS : The use of reinforced earth retaining wall has increased due to economical and technical advantage, ease of construction and excellent appearance. But a large horizontal deformation for incremental system is induced during construction and the deformation can not be adjusted without dismantlement.

The horizontal deformation of reinforced wall is inevitable but can be hidden after created. It is still stable though. KORESWall system is constructed firstly with reinforcement only, and facing blocks are installed later when horizontal deformation is occurred completely. In this study, stress and strain behaviour of the construction method is shown by site investigation of trial embankment of KORESWall.

KEYWORDS : KORESWall system, Separated construction

1. 서론

보강토 옹벽 공법은 그 시공성, 경제성, 구조적 안정성, 수려한 외관 등의 우수한 점 등으로 인하여 최근 국내에서도 여러 가지 공법이 보급되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 보강토 옹벽 공법은 축조과정에서의 유발 수평력이 매우 크기 때문에 대부분의 수평변위가 시공도중에 발생하며, 위로 올라갈 수록 그 변위는 누적되어 상단에서 누적변위가 나타나게 된다. 이러한 누적수평변위는 해체 후 재시공에 의하지 않고는 조정이 불가능하며, 이로 인한 경제적 손실이 막대하다.

따라서 시공도중 유발되는 과대한 수평변위를 수용할 수 있는 구조체를 형성하기 위하여 먼저 보강토체의 형성을 완료한 다음 전면블록을 시공하는 분리시공법을 채택한 분리형 보강토 옹벽을 고안하였으며, 본 논문에서는 분리형 보강토 옹벽의 시험시공 및 현장계측을 통하여 분리시공으로 인한 효과 및 벽면의 변위 수용에 대하여 연구하였다.

2. 분리형 보강토 옹벽(KORESWall)의 설계법

보강토 옹벽의 설계법은 크게 타이백방법과 사면안정해석법의 두 가지 형태로 분류된다. 타이백 방법은 보강토체의 수평방향 활동력이 보강재에 의해서 유발되는 수평방향 저항력과 평형을 이룬다는 가정

하에서의 한계평형해석법이며, 사면안정해석법은 전통적인 사면안정해석에 보강재에 의하여 유발된 저항력을 추가하여 가정된 파괴활동면에 대하여 힘과 모멘트 평형을 계산하는 방법이다.

분리형 보강토 옹벽은 선단활동 파괴면을 그림 1.에서와 같이 대수나선으로 가정하였으며, 공법의 특성상 시공과정이 보강토 벽체의 시공과 블록설치의 2단계로 구분되므로 안정성 검토에서도 블록설치이전과 블록설치이후의 두 가지 경우에 대하여 검토하여야 한다.

먼저 블록 설치이전의 안정해석은 대수나선(logarithmic spiral)형태의 연속함수로 가정된 파괴면에 대하여, 모멘트 평형조건을 토대로 토목섬유 보강토 벽체의 선단파괴에 대한 안정해석을 실시하며, 대수나선으로 가정된 예상파괴면을 토대로 한 보강토 벽체의 관련 기하학적 체계를 개략적으로 도시하면 그림 1. (a)와 같다. 토목섬유 보강토 벽체에 있어서, 모멘트 평형조건을 토대로 한 선단파괴에 대한 안전율(FS_m)은 활동모멘트(M_{TD})와 이에 대응하는 저항모멘트(M_{TR})의 비로 정의되며, 평가방식은 식 (1)과 같다.

$$FS_m = \frac{M_{TR}}{M_{TD}} \quad (1)$$

$$M_{TD} = M_{dw} + M_{dq} + M_{du} \quad (2)$$

$$M_{TR} = M_{rc} + M_{rt} \quad (3)$$

위 식에서, M_{dw} ; 파괴흙쌓기 자중에 의한 활동 모멘트

M_{dq} ; 상재하중(q)에 의한 활동모멘트

M_{du} ; 파괴면에 작용하는 침투수압에 의한 활동모멘트

M_{rc} ; 점착력에 의한 저항모멘트

M_{rt} ; 보강재에 유발되는 최대인장력(T_{max})에 의한 저항모멘트

전면부 콘크리트 블록이 순차적으로 설치완료된 상태에서, 선단파괴에 대한 내적안정 검토절차(그림 1. (b))는 전면부 콘크리트 블록 자체 자중에 의한 활동모멘트 등이 추가되는 점 이외에는, 앞에서 기술한 1차 시공시의 경우와 동일하다.

전면부 블록이 설치된 2차 시공완료단계에서는, 활동모멘트(M_{TD}) 및 저항모멘트(M_{TR}) 산정에, 블록자중에 의한 활동모멘트(M_{db})와 블록과 지반 사이의 마찰력에 의한 저항모멘트(M_{rb})가 추가로 고려된다.

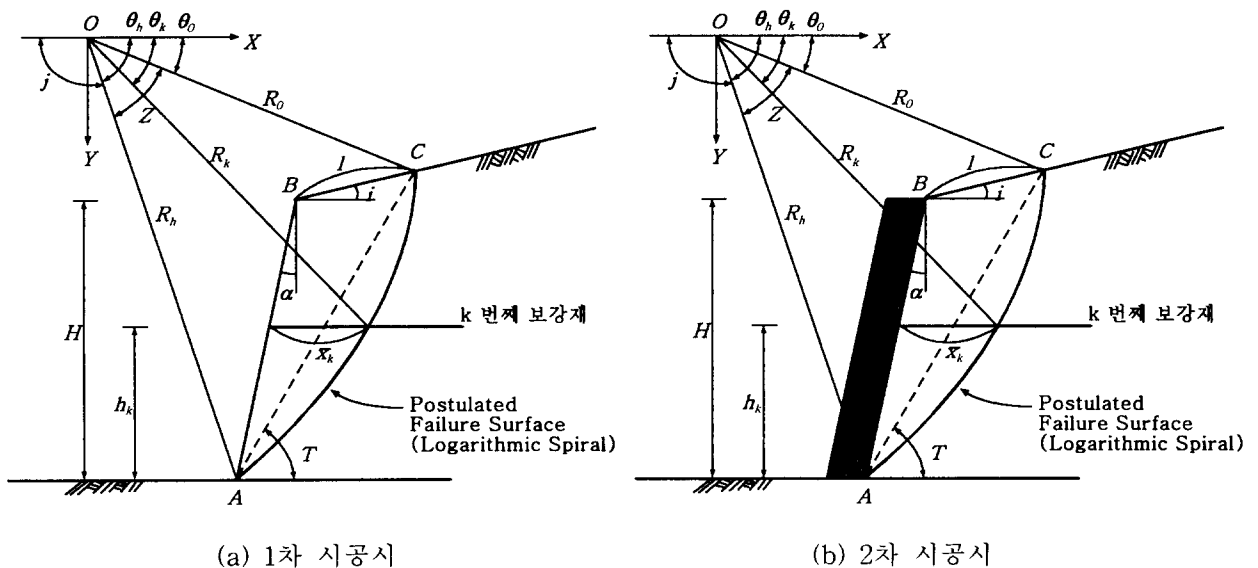


그림 1. 선단파괴면의 기하학적 체계도

$$FS_m = \frac{M_{TR}}{M_{TD}} \quad (4)$$

여기서, $M_{TD} = M_{dw} + M_{dq} + M_{du} + M_{db}$
 $M_{TR} = M_{rc} + M_{rl} + M_{rb}$

3. 시험시공 및 평가

본 연구의 대상은 경기도 화성군 팔탄면 소재 공장부지 내에 축조된 시험시공 보강토 벽체이며, 보강 기술(주)에서 개발한 ES-Grid(100 kN) 와 ES-Block을 사용하여 시공되었다.

본 시험시공 벽체는 그림 2.에서와 같이 높이 7.2 m 연장 53.2 m로 축조되었으며, 축조시 토압계, 스트레인게이지, 경사계 등의 다양한 계측기기를 매설하여 현장계측을 실시하였다. 현장계측 항목은 보강토체내 및 보강토체와 전면블록 사이의 수평토압, 보강재의 인장변형 및 응력, 지중침하, 전면벽체의 수평변위 등이다.

본 시험시공 벽체의 설계단면도 및 계측기기 매설 위치는 그림 2.에서와 같다.

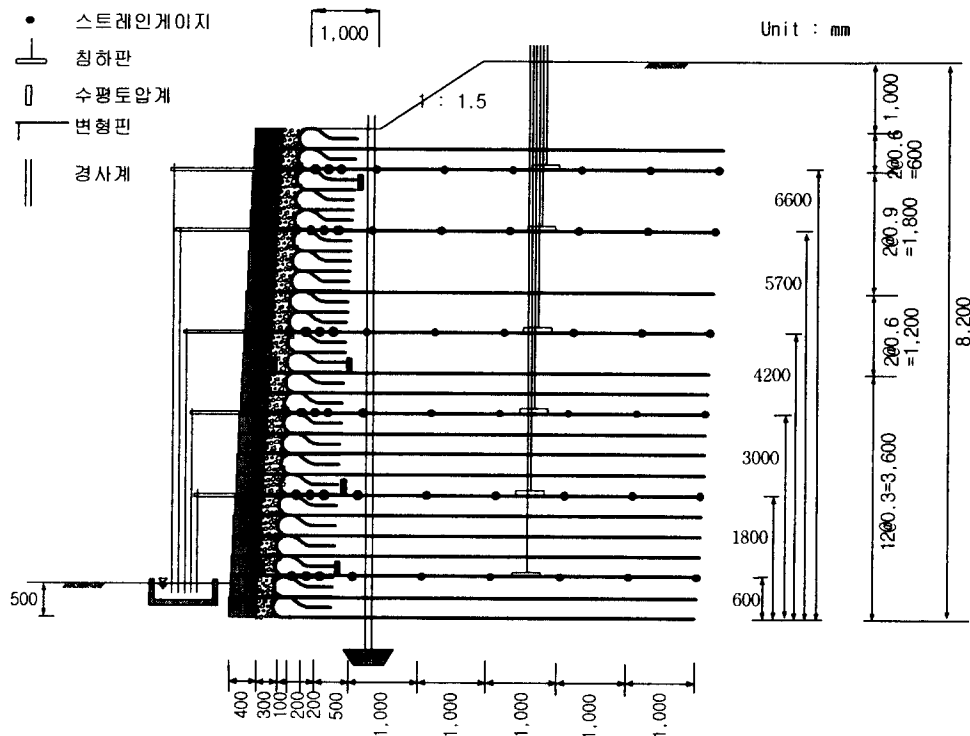


그림 2. 계측기 설치 단면도

4. 계측결과 분석 및 평가

4.1 보강토체의 수평토압

그림 3은 시간의 경과에 따른 각 층에 매설된 토압계에 작용하는 수평토압의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 보강토체 내에서 수평토압은 성토의 진행에 따라 비례해서 커지는 경향을 나타내며, 시공완료후 토압은 대략 높이에 따라 $0.05 \sim 0.3 \text{ kg/cm}^2$ 으로, 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 보강토체와 전면블록 사이에 설치된 토압계 5의 경우에는 설치 초기에는 약간의 토압증가가 있었으나 그 이후에는 작용토압이 0.03 kg/cm^2 으로 거의 변화가 없었으며, 동일한 높이에 매설된 토압계 1(0.3 kg/cm^2)과 비교할 때 약 10 % 정도의 토압만이 작용한다. 이 결과에서 보강토체와 전면 블록의 분리시공에 의하여 전면블록에 작용하는 토압은 매우 작다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 벽체의 높이에 따른 토압의 변화를 나타낸 것이며, 이 그림에서 벽체 상부에서 측정된 토압은 Rankine의 주동토압 보다 약간 크게 나타났으며, 중간부분에서는 두 개의 토압계에서 비슷한 값을 나타내었고, 하부에서 커지는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향의 토압분포는 성토체 내에 보강재를 삽입함으로써 토체의 토질특성이 변화하였기 때문으로 판단된다.

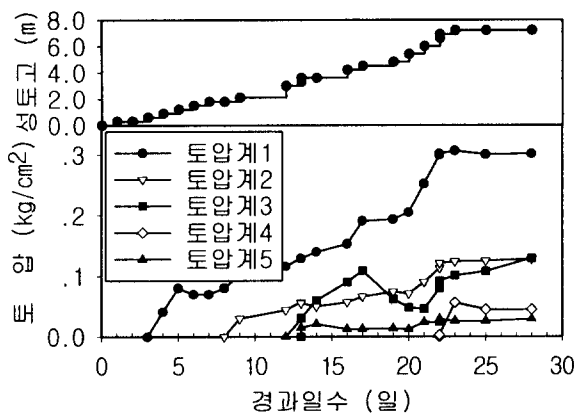


그림 3. 시간 경과에 따른 토압의 변화

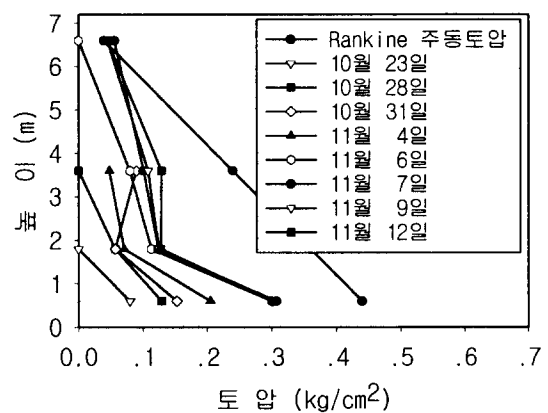


그림 4. 벽체의 높이에 따른 토압의 변화

4.2 보강토체의 수직 및 수평 변위

그림 5는 시간의 경과에 따른 층별침하량을 나타낸 것으로, 성토가 진행됨에 따라 층별침하량은 대체적으로 증가하는 경향을 나타내며, 시공완료 시점에서의 침하량은 높이별로 1 ~ 5 cm로 측정되었고, 시공완료후에는 거의 침하가 발생하지 않는 것으로 나타났다.

또한 그림 6에서는 보강토체 벽면에서 각각 0.3 m, 0.8 m 위치에 설치된 변형편으로부터 측정된 벽면의 변위를 나타낸 것으로 구조계산 프로그램에 의해서 예측된 변위를 함께 나타내었다. 이 그림에서 보면 벽체 전면의 변위는 벽체 높이의 상반부에서의 변위가 하반부에서 보다 크게 나타났으며, 0.3 m 지점과 0.8 m 지점에서 발생변위의 차이의 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 벽체의 변위형태는 프로그램에 의하여 예측된 변형형태와 유사한 결과를 나타내며, 그 크기는 예측변위에 훨씬 못 미치는 값이었다.

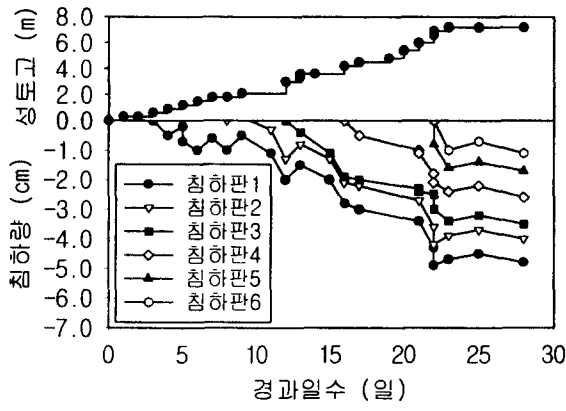


그림 5. 시간경과에 따른 지중침하량

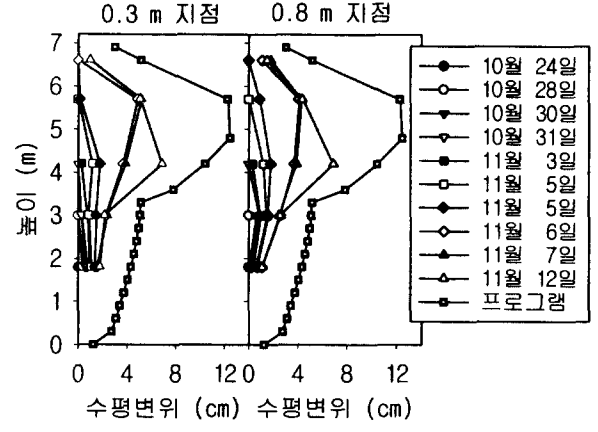


그림 6. 벽체 높이에 따른 벽면의 수평변위

이렇게 벽체 상반부에서 큰 변위가 발생하는 것은 강성이 작은 보강재를 사용하고 상부에서는 설치된 보강재의 수직간격이 넓어지기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 보강재의 유발변위 및 인장력 평가

그림 7.은 각 층별 보강재의 인장변형율을 나타낸 것이다. 각 층 보강재의 인장변형율은 최대 0.63 %로서 허용인장변형율 5 %에 훨씬 못미치는 결과를 나타내었으며, 이는 현재 보강토체가 안정한 상태에 있다는 것을 보여준다. 또한 보강재의 인장변형율은 상부층에서 더 크게 측정되었으며, 이는 벽체 상부의 수평변위가 하부의 수평변위 보다 큰 벽면의 수평변위 측정결과와 잘 일치한다.

각 층 보강재의 유발최대인장변형율은 구조계산시 적용된 최대인장력선(그림의 점선 부분)을 기준으로 저항영역 내에 위치하게 되어 설계조건과는 상이한 결과를 나타낸다. 이러한 원인은 현재 보강재에 작용하는 응력상태가 설계시에 적용한 보강재의 응력상태와는 서로 다른 데에서 기인한 것으로 판단되며, 파괴시 최대인장력선은 더 앞쪽으로 이동될 것으로 예상되어 설계시의 가상파괴면에 가까워질 것으로 예상된다.

각 층별 보강재의 최대 인장력은 다음 표와 같으며, 실제 작용하고 있는 최대 인장력은 설계허용인장력의 최대 55.3 %에 불과하여 현재 본 보강토체는 안정한 상태에 있는 것으로 판단된다.

표 1. 보강재의 위치별 장기설계허용강도 및 유발최대인장력

위 치(m)	0.6	1.8	3.0	4.2	5.7	6.6
장기설계허용강도(t/m)	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
유발최대인장력(t/m)	1.33	1.18	1.43	1.51	1.10	1.22

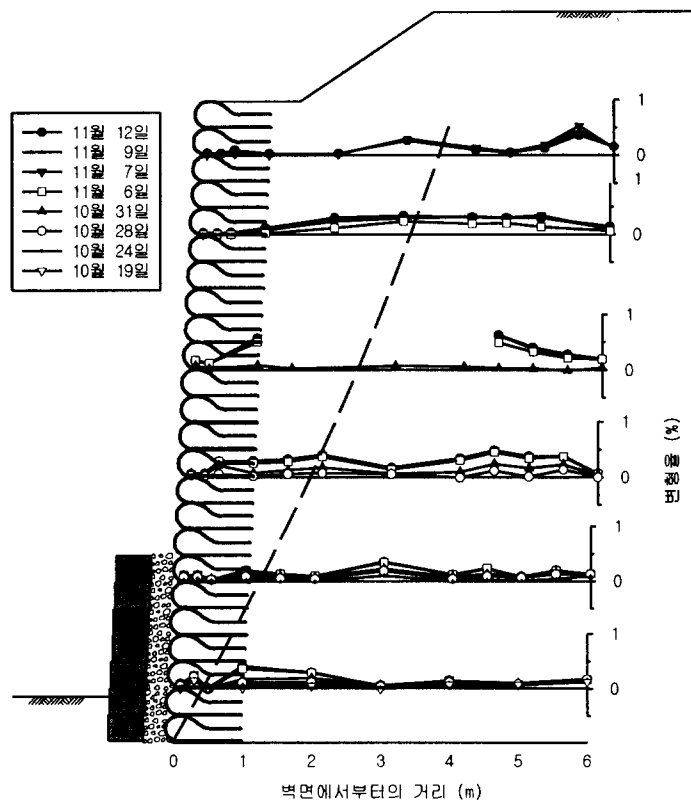


그림 7. 각 층별 보강재의 인장변형을 분포

5. 결론

본 연구에서 분리형 보강토 옹벽의 시험시공 및 현장계측 결과를 분석한 결과 아래와 같이 요약할 수 있다.

1. 본 시험시공결과 측정된 보강토체 내의 토압은 시공완료후 높이에 따라 대략 $0.05 \sim 0.3 \text{ kg/cm}^2$ 로서 Rankine의 주동토압과 비교할 때 0.67배 이하로 나타났다. 또한 0.6 m 높이에서 보강토체와 블록 사이에서 측정된 토압이 토체내 토압의 약 1/10 정도로 나타나 분리시공의 효과를 확인할 수 있었다.
2. 시공 중 및 시공완료후에 보강재의 인장변형율을 측정한 결과 각 층 보강재의 인장변형율은 최대 0.63 %로 나타나, 현재 보강재에 작용하는 인장변형율이 설계인장변형율 5 %에 훨씬 못 미치는 상태에 있다. 또한 측정된 보강재의 최대인장력선은 설계시 적용된 최대인장력선을 기준으로 저항영역 쪽에 위치하고 있다.
3. 벽체의 수평변위는 벽체의 하부에서 보다 상반부에서 더 크게 나타났으며, 이는 설계프로그램에 의하여 예측된 변위형태와 같고, 그 크기는 예측치에 못미치는 결과를 나타내었다. 본 시험시공 벽체에서 벽면의 수평변위가 상반부에서 크게 나타나는 것은 비교적 강성이 작은 보강재의 사용과 보강재의 수직간격의 변화 때문인 것을 판단된다.

4. 본 연구에서 분리형 보강토 옹벽의 시험시공 및 현장계측을 통하여 분리시공의 효과를 확인할 수 있었으며, 현시점에서 본 시험연구가 완료된 상태가 아니므로, 향후 실용화를 위하여 장기적인 계측을 통한 분리형 보강토 옹벽의 장기거동특성의 파악이 필요하다.

참고문헌

1. 김홍택(1997), “독립형 보강토 옹벽에 관한 연구”, 연구보고서
2. 한국건설기술연구원(1997), “CHAMSTONE 블록 보강토 벽체의 현장계측 및 안정성 평가”, 연구보고서