

## 시공과정에 따른 보강토 옹벽의 거동 특성

### Behavior of Mechanically Stabilized Earth Retaining Walls with Different Construction Sequence

유 충 식<sup>1)</sup>, Chungsik Yoo, 이 광 문<sup>2)</sup>, Kwang-Moon Lee

<sup>1)</sup> 정회원, 성균관대학교 토목공학과 부교수, Assoc. Prof., Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

<sup>2)</sup> 성균관대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

**SYNOPSIS :** This paper presents the results of a parametric study on the behavior of mechanically stabilized earth retaining wall. It has been recognized that the currently available design guidelines, which is base on the limit equilibrium approach, cannot properly account the interaction effect between the components, construction sequence, and foundation settlement which may impose a significant influence on the wall behavior. A parametric study using finite element analysis was performed to investigate the behavior of MSE wall under different construction conditions and the applicability of the current design approach. In the parametric analysis, the effects of the construction sequence, the surcharge, and the foundation stiffness were studied and a detailed finite element modeling for various components of the system were employed. The results, such as wall displacement and earth pressure distributions, reinforcement forces, vertical stress distribution were then thoroughly analyzed to investigate the effect of construction details on the wall behavior.

**Key words :** MSE wall, parametric study, finite element analysis, reinforcement

## 1. 서론

고대 중국 및 바빌론에서부터 시작된 보강토 옹벽 개념은 1960년대 초 프랑스 공학자인 Herry Vidal 에 의해 근대식 보강토 옹벽의 형태로 구체화된 이래 다양한 형태로 발전되어 왔다. 보강토 옹벽은 근본적으로 벽체 배면 토압을 보강재가 부담하도록 설계되며, 기존의 중력식 혹은 캔틸레버식 옹벽과 비교할 때 시공성 및 경제성이 우수하여 그 적용성이 증가하고 있는 추세다. 또한, 기존의 옹벽에 비해 유연하다는 구조적 특성을 지니고 있는 보강토 옹벽은 기초지반이 불량하거나 지진 발생 지역에 적용될 경우 그 역학적 우수성이 입증된 바 있어 선진 외국에서는 이미 보편화되어 있으며, 국내에서도 그 적용성이 증가하고 있는 추세이다.

보강토 옹벽의 설계/해석법은 한계평형해석에 그 근간을 두고 있으며, 따라서 안전율 개념을 적용하여 외적 안정성 및 내적 안정성 검토를 통한 보강재의 인장강도 및 포설조건을 결정하도록 되어 있다.(그림 1) 그러나 이러한 설계/해석법은 해석기법의 특성상 각 구성요소의 상호작용 및 응력-변형을 거동에 관한 검토가 불가능하다는 단점이 있다. 특히 보강토 옹벽은 시공과정 및 벽체 형성과정에 따라 크게 패널식 및 블록식으로 구분되나 현재 적용되고 있는 AASHTO (1998) 혹은 FHWA (1998), BS8006 (1996) 등의 설계기준에서는 이러한 보강토 옹벽의 시공과정에 대한 차이를 두지 않고 있다.

아울러서 벽체 상단에 추가 성토하중이 작용할 경우 현 설계법에서는 등분포 상재하중으로 환산하여 토압을 계산하도록 제안하고 있어 포설된 보강재의 위치에 관계없이 일률적인 인장력 증가를 초래하게

된다. 이러한 접근 방법은 실제 현장 옹벽에서 발생하는 흙/구조물 상호작용으로 인한 응력 재분배 효과를 고려하지 않으므로 실제 거동과는 많은 차이가 있을 수 있다. 또한, 현재 적용되고 있는 설계기준에서는 보강토 옹벽이 시공되는 기초지반을 매우 견고한 지반(non-yielding foundation)으로 간주하나 실제 많은 시공현장에 있어서 기초지반의 침하로 인한 많은 문제점이 보고되고 있다. 이러한 경우에 있어서 보강토 옹벽의 거동은 설계가정과 상이하므로 설계법에서 적용하고 있는 내·외적 안정성 검토 모형의 타당성에 대한 고찰이 요구된다고 하겠다.

본 연구에서는 보강토 옹벽의 설계/시공법 개선에 관한 연구의 일환으로 현 설계기준에서 다루고 있지 않은 제반 사항에 대한 고찰을 시도하였다. 즉, 유한요소해석을 이용하여 패널식, 블록식, 분리형 블록식 등 보강토 옹벽의 종류에 따른 시공과정이 보강토 옹벽의 거동에 미치는 영향 및 성토하중과 기초지반 침하가 보강토 옹벽에 미치는 영향 등을 정성·정량적으로 고찰하였으며, 그 결과를 토대로 현재 적용되고 있는 설계기준의 타당성을 검토하였다.

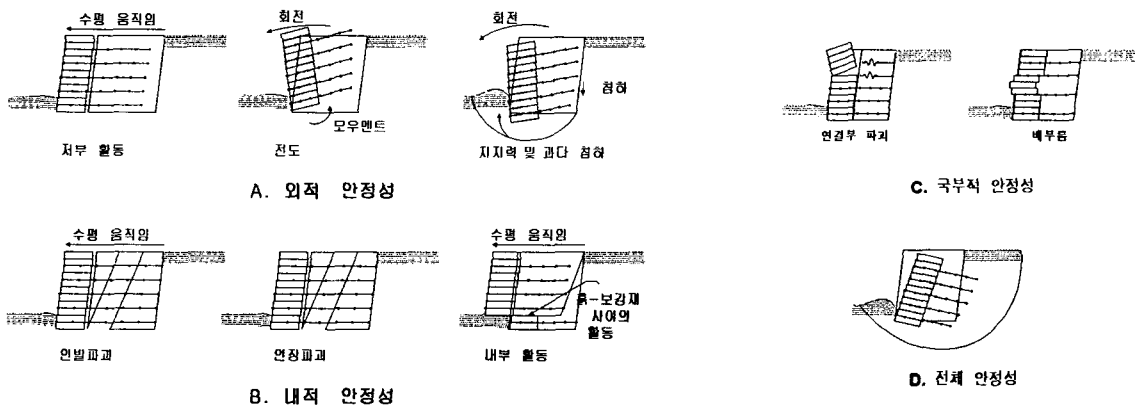


그림 1. 보강토 옹벽의 파괴유형

## 2. 매개변수 연구

### 2.1 개요

기존의 많은 연구들에서는(Christopher et al., 1989; Bathurst et al., 1997 등) 유한요소법 또는 유한차분법과 같은 수치해석 기법이 성공적으로 적용된 바 있다. 따라서 본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 보강토 옹벽의 종류(패널식, 블록식, 분리형 블록식), 상재하중의 영향, 기초지반의 강성 등 다양한 조건에 대한 매개변수 연구를 시도하였다. 본 연구에서는 그림 2에서 보이는 바와 같이 높이(H) 6.0m의 옹벽이 시공되는 경우를 고려하였으며 L/H=0.7의 보강재가  $S_0=0.6m$ 의 등간격으로 포설되고 양질의 사질토가 뒤채움흙으로 사용되는 것으로 가정하였다.

일반적으로 블록식 옹벽의 경우 높이 0.2m x 폭 0.4m x 길이 0.4m의 조립식 블록을 이용하여, 그리고 패널식의 경우 높이 1.0m x 폭 0.15m x 길이 1.0m의 콘크리트 패널을 이용하여 벽체를 시공하나 본 연구에서는 직접적인 비교·연구를 위해 동일한 휨 강성을 갖는 벽체가 시공되는 것으로 가정하였다. 또한, 일반적으로 블록식과 패널식에는 각각 지오그리드와 급속 띠형 보강재가 적용되나 본 연구에서는 벽체의 단위폭당 동일한 강성( $J=2000 \text{ kN/m}$ )의 보강재가 적용되는 것으로 간주하였다.

상재하중의 영향에 대한 해석에서는 블록식 옹벽 상부에 단계별 성토가 이루어 질 경우 이에 대한 보강토 옹벽의 거동 특성을 고찰하였으며 기초지반의 강성이 보강토 옹벽의 거동에 미치는 영향에 대한 고찰에서는 기초지반과 뒤채움흙의 강성을 일정비율로 변화시키며 해석을 수행하였다. 표 1은 해석 조건을 요약·정리하고 있다.

표 1. 해석조건

	옹벽의 종류	상재하중	기초지반
시공과정의 영향	패널식 블록식 분리형	무	견고한 지반 (Non-Yielding)
상재하중의 영향	블록식	H=2.0m	견고한 지반 (Non-Yielding)
기초지반의 영향	블록식	무	$E_f/E_b=1.0, 2.0, 5.0, 10$

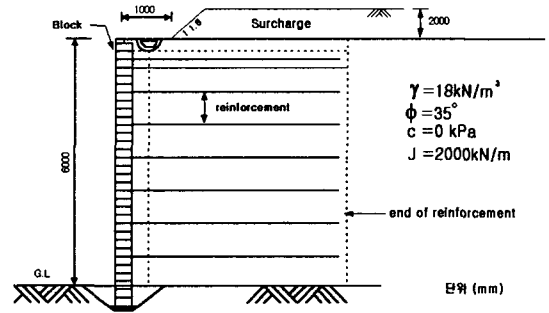


그림 2. 해석대상 단면도

## 2.2 유한요소해석

해석에서는 보강토 옹벽의 각 구성요소와 시공과정의 효율적인 모델링이 가능한 상업용 범용 유한요소해석 프로그램 DIANA(DIANA 1996)를 적용하였다.

### 2.2.1 해석 모델링

그림 3은 해석에서 적용한 유한요소망을 보여주고 있는데 보이는 바와 같이 벽체전면에서 수평 방향으로 약 2.5H에 해당하는 영역을 뒤채움영역으로 간주하였으며, 하부 경계면에는 수평롤러를, 그리고 연직 경계면에는 수직롤러를 설치하여 해석 영역을 설정하였다.

해석영역의 이산화에 있어 뒤채움흙은 평면변형을 8절점 등매개변수(isopramatic) 요소를 이용하여 모델링하였으며, Mohr-Coulomb 항복규준과 Davis(1968)가 제안한 비관련 유동법칙(non-associated flow rule)을 따르는 탄소성 재료로 간주하였다. 뒤채움흙의 팽창각(dilatancy angle)  $\psi$ 는 Bolton(1989)이 제안한 식 (1)과 같이 내부마찰각  $\phi_{cv}$  과 한계상태 마찰각  $\phi_{cw} = 30^\circ$  과 다음과 같은 관계가 있는 것으로 가정하였다.

$$\phi = \phi_{cw} + 0.8\psi \quad (1)$$

한편, 벽체와 보강재는 각각 평면변형을 8절점 등매개변수 요소와 3절점 봉(bar) 요소를 이용하여 모델링하였으며, 선형 탄성재료로 간주하였다.

보강토 옹벽의 거동은 옹벽을 구성하는 각 구성요소의 상호작용에 많은 영향을 받으므로 유한요소해석시에는 각 구성요소의 상호작용이 잘 반영되도록 모델링하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 그림 4와 같이 벽체/뒤채움흙 및 보강재/뒤채움흙의 접촉면에 Goodman 등(1996)의 상호면 요소를 적용하여 벽체/뒤채움흙/보강재의 상호작용을 모델링하였다. 한편, 상호면 요소의 응력-변형을 거동은 bond-slip 구성식을 따르는 Mohr-Coulomb 탄소성 모델을 이용하여 모델링하였다(Karpurapu와 Bathurst 1995). 그림 4는 해석에 적용된 벽체/보강재/뒤채움흙의 모델링 상세도를 보여주고 있으며, 표 2는 해석에 적용된 각 구성요소의 역학적 특성을 나타내고 있다.

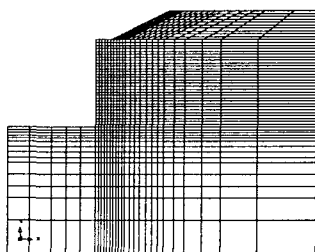


그림 3. 해석에 적용된 유한요소망

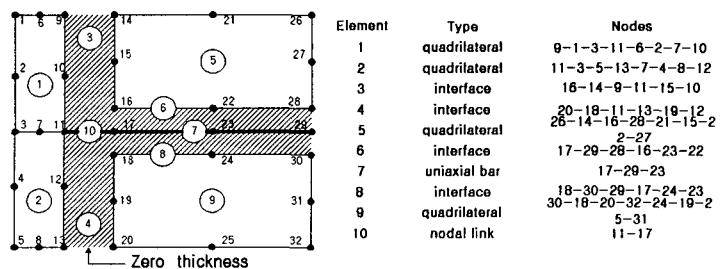


그림 4. 벽체/보강재/뒤채움흙 모델링 상세도

표 2. 해석에 적용된 각 구성 요소의 역학적 특성

구분	탄성계수 (kPa)	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	점착력 (kPa)	내부마찰각 (degree)	포아송비	연직강성 (kPa/m)	전단강성 (kPa/m)
뒤채움흙	30000	18	0	35	0.3	N/A	N/A
블록	5000000	19	0	N/A	0.3	N/A	N/A
보강재	$2.0 \times 10^6$	0.1	N/A	N/A	0.25	N/A	N/A
상호면 요소	N/A	N/A	0	20	N/A	$5 \times 10^4$	1000
Link 요소	7500	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

### 3.2.2 시공과정의 모델링

보강토 옹벽과 같이 단계별 시공이 이루어지는 토류구조물의 수치해석에 있어서는 시공과정에 대한 정확한 모델링이 필수적이다. 따라서 해석에서는 블록(패널)설치 ⇒ 뒤채움흙 포설 ⇒ 보강재 포설로 이어지는 일련의 시공과정을 상세히 모델링하였다.

블록식 옹벽의 경우에는 시공과정 흐름도를 보여주는 그림 5(a)와 같이 블록설치 ⇒ 뒤채움흙 포설 ⇒ 보강재 포설의 반복 시공과정을 총 20단계에 걸쳐 모사하였으며, 분리형 블록식 옹벽의 경우에는 그림 5(c)와 같이 보강토 시공 완료 후 블록이 설치되는 과정을 모사하였다. 한편, 패널식의 경우 그림 5(b)에 제시된 시공 흐름도와 같이 패널을 설치한 후 패널 전면을 고정시킨 상태로 뒤채움흙 및 보강재를 포설하고 시공완료 후 패널의 변위를 허용하는 방법으로 총 22단계에 대한 모델링을 수행하였다.

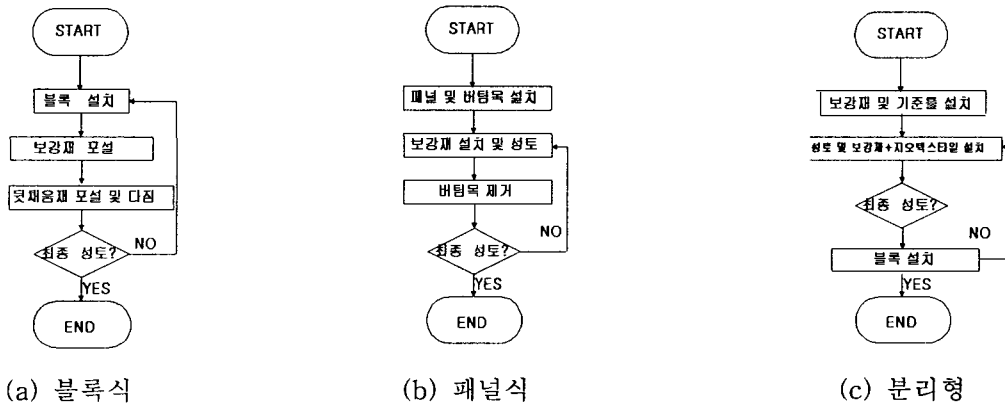


그림 5. 시공과정 모델링 흐름도

## 3. 해석 결과 분석 및 고찰

### 3.1 시공과정의 영향

각 옹벽에 대한 시공완료 후 벽체 수평변위 발생 경향이 그림 6에 나타나 있다. 여기서 분리형 블록식 옹벽의 경우는 벽체 설치 이전 보강토체 전면의 변위를 허용하여 타 옹벽과의 직접적인 비교가 무의미하므로 비교에서 제외되었다. 한편, 블록식과 패널식은 거의 유사한 수치의 최대 변위를 나타내고 있으며 최대변위는 블록식의 경우 벽체 중간부분에서 발생하는 경향을 보이고 있으나 패널식의 경우에는 벽체 하부를 지점으로 하는 캔틸레버식 거동을 나타내어 상단부에서 발생하는 경향을 나타내고 있다.

그림 7은 벽체 및 보강토체 배면 수평토압 분포를 각 옹벽의 형태별로 나타내고 있다. 벽체 배면 수평토압에 있어서 분리형 블록식 옹벽의 경우에는 이론적으로 벽체 배면토압은 발생하지 않으므로 비교에서 제외하였다. 벽체 배면 수평토압은 보이는 바와 같이 두 경우 거의 유사한 것으로 나타났으며, 벽체 상부에서 2/3H 지점까지는 Coulomb 토압과 거의 일치하나 하단부에서는 수동 내지 정지토압에 해당하는 높은 토압이 발생하는 경향을 관찰할 수 있는데 이는 벽체 하단부에서의 toe resistance에 기인하

는 것으로 판단된다. 보강토체 저면 연직응력 분포경향을 보여주고 있는 그림 8을 살펴보면 시공과정의 차이에도 불구하고 전반적으로 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

그림 9는 보강재에 작용하는 유발인장력 분포를 비교하고 있다. 블록식과 패널식의 경우는 벽체 상단부로부터 2/3지점까지는 거의 일정한 값을 나타내다가 아래로 갈수록 감소하는 경향을 보이는 반면 분리형의 경우는 거의 Coulomb의 설계이론과 일치하는 경향을 나타내고 있다. 또한 예상할 수 있는 바와 같이 블록식과 패널식의 경우는 전반적으로 유사한 결과를 보이고 있으나 보강토체의 변위가 가장 크게 발생하는 분리형 블록식 옹벽의 경우가 타 옹벽에 비해 최대 200% 이상 크게 났으며 이는 앞절에서 설명하였듯이 벽체의 부재로 인하여 보강재가 부담하는 응력이 증가한 것으로 사료된다.

시공과정에 따른 거동 메커니즘을 종합적으로 판단할 때 블록식과 패널식의 경우는 시공방법의 차이에 불구하고 수평토압, 연직응력 및 유발인장력의 발생경향이 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 한편 분리형의 경우는 전반적인 해석 결과는 현 설계법에서 제시하는 이론적 수치 이내의 범위에 있으나 시공시 보강토체의 변위를 허용함에 따라 유발인장력이 크게 발생하고 있어 유발인장력 계산시 이에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

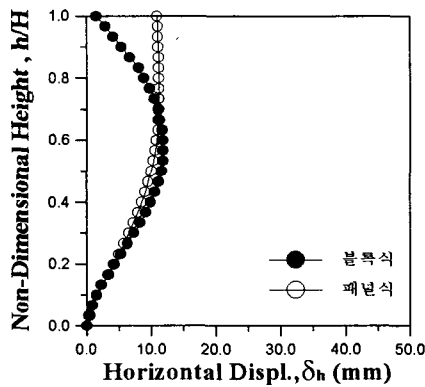


그림 6. 벽체 수평변위 발생경향

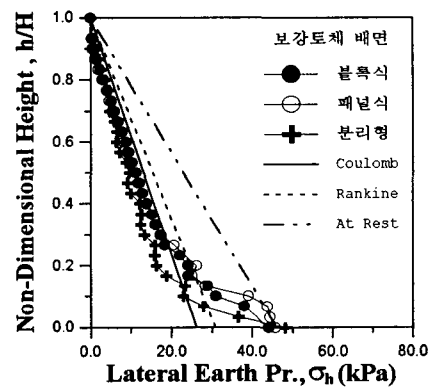
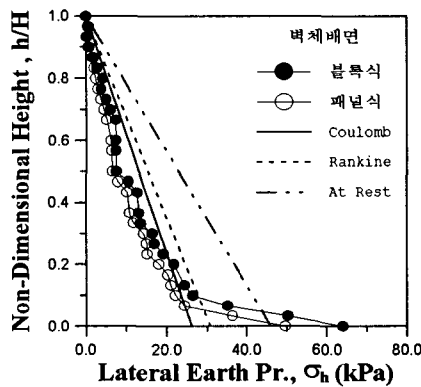


그림 7. 벽체 및 보강토체 배면 수평토압 분포

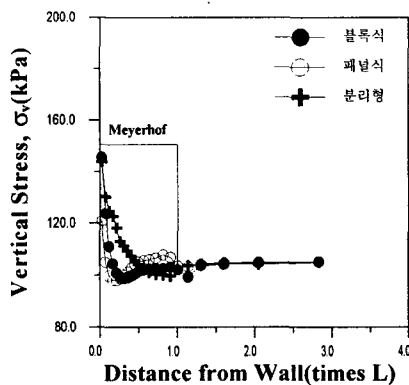


그림 8. 보강토체 저면 연직 응력

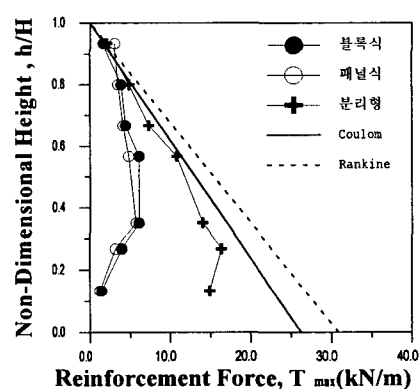


그림 9. 보강재의 최대 유발인장력 ( $T_{max}$ ) 분포

#### 4.2 성토하중의 영향

본 연구에서는 현 설계/해석법에서 적용하고 있는 성토하중 영향의 고려방법의 타당성을 검토하기 위해 옹벽 시공완료후 약 2m의 추가 성토하중이 작용하는 경우에 대한 해석을 수행하고 그 결과를 현 설계/해석법의 결과와 정성적인 측면에서의 비교를 시도하였다.

그림 10은 벽체 및 보강토체 배면에 작용하는 토압을 설계/해석시 적용되는 이론토압과 비교하고 있다. 벽체배면 토압의 경우 보이는 바와 같이 유한요소해석 결과는 벽체상부로부터 1/2H지점까지는 상

재하중의 영향이 거의 없으나 하단부에서 수평토압의 증가가 두드러지는 경향을 보이고 있어 상재하중을 고려한 Rankine 토압분포와는 다소 차이가 있는 것으로 나타났으며 보강토체 배면토압에 있어서는 상재하중을 고려한 Rankine 토압분포와 매우 유사하게 나타났다. 이러한 경향은 본 연구에서 고려한 경사진 성토하중의 경우 내적 안정성 검토를 위한 수평토압 계산시 기존의 토압계산 방법을 적용할 경우 다소 보수적인 결과를 얻을 수 있음을 의미한다. 즉 그림 11에서는 해석결과에서 유추한 벽체 배면 작용 수평토압을 토대로 계산된 보강재 유발인장력을 현 설계/해석법을 토대로 계산된 결과와 비교하고 있는데 보이는 바와 같이 전반적으로 벽체 상단부에서는 현 설계법에 의한 계산결과가 현저히 큰 것으로 나타나고 있으며 따라서 성토하중 작용시 현 설계/해석법은 상단부 유발인장력을 과대평가할 수 있음을 의미한다.

보강토체 저부 연직응력 분포가 성토하중이 존재하지 않는 경우와 함께 그림 12에 제시되어 있다. 그림에서 관찰할 수 있는 바와 같이 상재하중의 영향을 뚜렷하게 관찰할 수 있으며 Meyerhof 이론을 적용한 계산결과와 거의 일치하므로 현 설계법을 적용함에 있어 큰 무리가 없는 것으로 나타났다.

표 3은 앞서 언급한 결과를 토대로 내·외적 안정성 검토시 적용되는 벽체배면과 보강토체에 작용하는 수평토압 및 보강토체 저면 연직 토압에 대하여 해석 및 계산 결과를 비교하고 있다. 수평토압은 Rankine 토압이론에 근거하여 계산된 수평토압의 합력을 비교하고 있으며, 연직응력의 경우는 해석에서 도출된 최대값과 Meyerhof의 이론으로 계산된 지지력을 보강토체의 길이로 나누어서 구한 접지압을 비교하고 있다. 보이는 바와 같이 수평토압 및 연직토압 모두 전반적으로 해석결과가 다소 작게 나타나고 있어 성토하중 작용 경우에 있어서 현 설계/해석법은 다소 보수적인 내·외적안정성 검토 결과를 줄 것으로 판단된다.

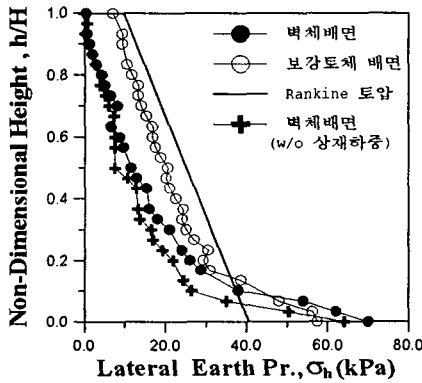


그림 10. 수평토압의 설계/이론치

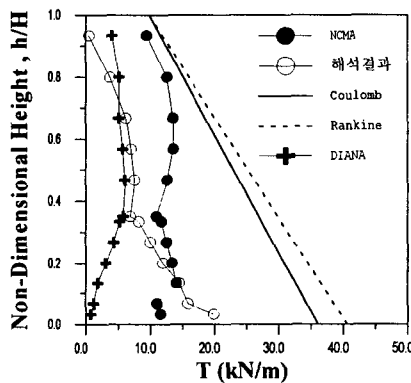


그림 11. 인장력 설계/해석결과

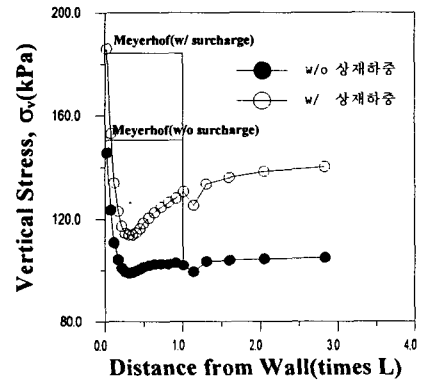


그림 12. 보강토체 연직응력분포

표 3. 해석 및 계산결과의 비교

		해석결과	계산결과
수평토압 합력	벽체 배면	84kN/m	146.5kN/m
	보강토체 배면	135kN/m	146.5kN/m
최대연직토압	보강토체 저면	188kPa	190kPa

### 4.3 기초지반 강성의 영향

기초지반의 강성에 따른 보강토 옹벽의 거동을 고찰하기 위해 블록식 옹벽을 대상으로 기초지반의 강성( $E_f$ )과 뒤채움흙의 강성( $E_b$ )의 비로 정의되는 강성비( $SR=E_f/E_b$ )를  $SR=2.0, 10.0, 100.0$ 으로 변화시키며 해석을 수행하였다. 그림 13은  $SR$ 에 따른 벽체의 수평변위 경향을 비교하고 있는데 보이는 바와  $SR$ 이 감소할수록 벽체 배면으로의 기울음현상으로 인해 최대 수평변위가 약 27% 증가하는 경향을 나타내고 있다.

한편, 그림 14와 15에서는 벽체 및 보강토체 배면 수평토압을 비교하고 있는데 보이는 바와 같이 기초지반 강성의 변화에도 불구하고 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 대체적으로 Coulomb의 토압이론과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나  $SR$ 이 증가함에 따라 벽체 하단부에서는 앞절에서 언급한 바와 같이 toe resistance에 기인한 영향으로 수동 내지 정지토압에 해당하는 높은 토압이 발생함을 관찰할 수 있다.

최대 유발인장력 분포 경향은 그림 16에서 나타난 바와 같이 벽체 상단부 1/2지점까지는 기초지반의 강성비  $SR$ 에 관계없이 거의 일정하나 하단부로 갈수록 강성비  $SR$ 이 감소함에 따라 보강재의 유발인장력이 다소 크게 작용함을 알 수 있다.

기초지반의 강성비  $SR$ 에 따른 벽체의 거동 메커니즘을 전반적으로 종합해 볼 때 해석결과가 현 설계/해석법에서 제시하는 허용치 이내에 있으므로 현 설계법을 적용하는데 있어 큰 무리가 없을 것으로 판단되며 해석단면 길이방향으로의 부등침하에 대한 안정성 평가가 중점적인 검토 사항이 되어야 할 것으로 판단된다.

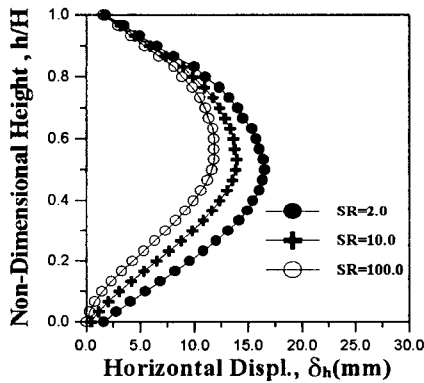


그림 13. 강성비에 따른 벽체의 수평변위

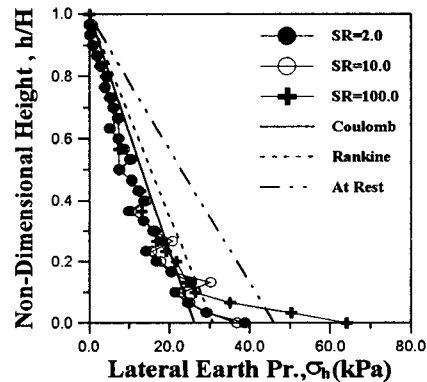


그림 14. 강성비에 따른 벽체 배면 수평토압

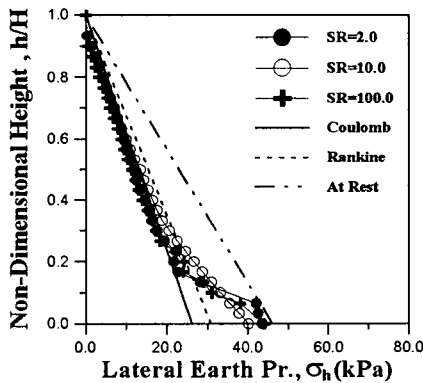


그림 15. 강성비에 의한 보강토체 배면 수평토압

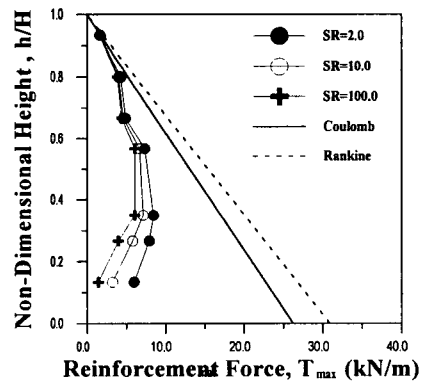


그림 16. 강성비에 따른 보강재의 최대 유발인장력 ( $T_{max}$ )

## 5. 결론

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 패널식, 블록식, 분리형 블록식 등 보강토 옹벽의 종류에 따른 시공과정이 보강토 옹벽의 거동에 미치는 영향 및 성토하중과 기초지반 침하가 보강토 옹벽에 미치는 영향 등을 정성·정량적으로 고찰하였으며, 그 결과를 토대로 현재 적용되고 있는 설계기준의 타당성을 검토하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 블록식과 패널식의 경우는 벽체의 수평변위 발생경향에서 다소의 차이를 보이나 시공방법의 차이에도 불구하고 수평토압, 연직응력 및 유발인장력의 발생경향이 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 한편, 분리형의 경우는 보강토체의 변위를 허용함에 따라 유발인장력이 크게 발생하고 있어 유발인장력 계산시 이에 대한 고려가 필요하다.
- (2) 성토하중으로 인한 벽체/보강토체 배면 수평토압은 벽체 하단부를 제외하고는 Rankine 또는 Coulomb 토압과 잘 일치하며 보강재의 유발인장력에 있어서는 벽체 상단부에서 현 설계법에 의한 계산결과가 현저히 큰 것으로 나타나고 있으므로 성토하중 작용시 현 설계/해석법은 유발인장력을 과대평가 할 수 있음을 의미한다.
- (3) 기초지반의 강성이 감소함에 따라 최대 수평변위는 증가하는 경향을 나타내며 최대 유발인장력 발생 경향은 벽체 상단부 1/2 지점까지는 기초지반의 강성비에 관계없이 거의 일정하나 하단부로 갈수록 기초지반 강성의 감소에 따라 보강재의 유발인장력이 다소 크게 발생한다.
- (4) 본 연구의 해석결과와 현 설계/해석법을 종합적으로 비교해 볼 때, 보강토 옹벽의 설계시 현 설계/해석법을 적용하는데 있어 큰 무리가 없을 것으로 나타났으나 이에 대한 보다 종합적인 연구가 요구된다.

## 참고문헌

1. Bathurst, R.J. and Simac, M.R.(1997), "Design and Performance of the Facing Column for Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Walls", International Symposium on Mechanically Stabilized Backfill, Denver, Colorado, pp 6~14.
2. Bolton, M. D. (1986). "The strength and dilatancy of sands." Geotechnique, London, U.K., 36(1), 65-78.
3. Christopher, B.R., Gill, s.A., Giroud, J.P., Juran, I., Scholsser, F., Mitchell, J.K. and Dunnicliff, J(1989), "Reinforced Soil Structures, "Volume I. Design and Construction Guidelines", Federal Highway Administration, Washington, D.C., Report No. FHWA-RD-89-043.
4. Davis, E. H. (1968). "Theories of plasticity and the failure of soil masses." Soil mechanics:Selected topics, I. K. Lee, ed., Butterworth's, London, U.K., 341-380.
5. DIANA Users Manual, Release 6.1, TNO Building and Construction Research, Netherlands, 1996.
6. Elias, V. and Christopher, B.R.(1996), "Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
7. Holtz, R.D., Christopher, B.R., Berg, R.R.(1995), "Geosynthetic Design and Construction Guidelines Participant Notebook", Federal Highway Administration, Washington, D.C.
8. Karpurapu, R. and Bathurst, R.J.(1995), "Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Retaining Walls Using the Finite Element Method", Computers and Geotechnics, Vol. 17, pp. 279~299.