

## GRS-RW System의 안정해석법 제시 및 3차원적 거동분석

### Analyses of Geosynthetics-Reinforced Soil Retaining Wall Stability System and Three-Dimensional Behavior

김홍택<sup>1)</sup>, Hong-Taek Kim, 방윤경<sup>2)</sup>, Yun-Kyung Bang, 강인규<sup>3)</sup>, In-Kyu Kang,  
최두호<sup>4)</sup>, Doo-Ho Choi, 박사원<sup>5)</sup>, Sa-Won Park

<sup>1)</sup>홍익대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Hong-Ik Univ.

<sup>2)</sup>대원전문대학 전임강사, Full-time Lecturer, Dept. of Civil Engineering, Daewon Junior College

<sup>3)</sup>(주)브니엘컨설턴트 선임연구원, Senior Researcher, Vniel Consultant Co., Ltd.

<sup>4)</sup>한라건설(주) 기술연구소 연구원, R & D Center researcher, Halla Engineering & Construction Corp.

<sup>5)</sup>홍익대학교 대학원 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hong-Ik Univ.

**SYNOPSIS** : The GRS-RW system has several advantages compared to conventional RC Retaining Walls as well as Reinforced-Earth Walls. This paper presents stability analysis procedure for a design of the GRS-RW system having a rigid facing. A continuous rigid facing may be used to increase the overall stability, to reduce the deformations of the wall, and to improve aesthetics. And using the P.S.R.(Plane-Strain Ratio) method, a tentative relationship is further made for estimating three-dimensional maximum wall deflection of the GRS-RW system based on the result of a two-dimensional plane-strain analysis.

**Key words** : GRS-RW system, stability analysis, P.S.R., primary wall, complementary wall,

## 1.서론

### 1.1 연구배경 및 목적

보강토공법은 지반내부에 강재 또는 합성물질 등의 보강재를 삽입하여 흙을 보강시킴으로써 일반 콘크리트벽체에 비하여 안정성 및 경제성 등을 향상시킨 공법으로 1963년 프랑스의 기술자 Henri Vidal에 의해 그 기본 메카니즘이 밝혀진 이래 각국의 대학, 연구소, 건설회사 등에서 많은 축소모형실험, 실물 모형실험, 유한요소해석 등을 통해 보다 체계적인 이론정립과 설계방법이 개발되어 왔으며, 선진국에서는 많은 시공실적을 통해 그 경제성 및 시공의 효율성이 입증되어 왔다. 또한 최근에는 합성물질 제조 기술의 발달과 함께 강도가 크고 내구성이 뛰어난 토목섬유를 이용한 보강토공법의 수요가 점차 증가되고 있는 추세이다.

GRS-RW system은 기존의 보강토벽체에 전면판을 일체식의 강성이 큰 콘크리트 벽체로 처리함으로써 안정성의 확보에 필요한 보강재의 길이가 크게 감소하여 기존 사면이나 제방 등의 절취량 및 뒷채움재 소요되는 흙의 양을 크게 감소시킬 수 있고, 따라서 공사비용의 절감뿐만 아니라 공사의 용이성에 따른 공사기간의 단축 등의 이점 외에 강성전면판의 역할증대에 따른 예상변위량의 감소 및 전체적인 안정성 증대, 미적 효과 등을 강조할 수 있는 보강토벽체와 옹벽의 혼합식 토류구조물이다. 실제로 최근에 외국에서 연구되고 있는 Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Wall System (GRS-RW, 그림 1 참조)은 도심지 도로 및 철도노선의 신설이나 확장시 매우 효과적인 공법으로 평가되고 있다.

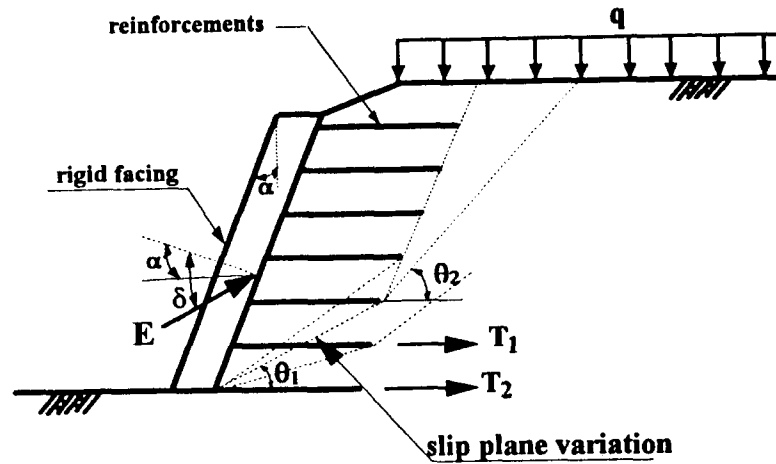


그림 1. GRS-RW system의 단면도

## 1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 기존의 보강토벽체에 전면판을 일체식의 강성이 큰 콘크리트 벽체로 처리하여 보강재의 길이 및 뒷채움 재료의 양을 혁신적으로 감소시킨 새로운 개념의 GRS-RW system의 안정해석법을 제시하고자 하였으며, 아울러 3차원적 모델링을 필요로 하는 해석단면의 거동특성을 파악하여 보다 효율적인 해석방법을 강구하고자 하였다. 따라서, 본 연구에서는 전면판의 저항효과 및 강우시를 고려한 침투수압, 상재하중의 영향 등을 고려한 한계평형해석법을 제시하고자 한다. 본 연구의 효율성 및 적용성 등을 확인하기 위하여, 캐나다의 RMC 및 미국의 FHWA 등에서 실시한 실험결과 등과 비교·분석을 수행하였다. 이외에도 본 연구에서는 GRS-RW system에 대한 3차원적 거동을 살펴보기 위해 모서리부 및 중앙부 등 지점별 벽체변위를 분석하였다. 이러한 분석결과를 토대로 Ou 등(1996)이 제안한 P.S.R. (Plane-Strain Ratio) 기법을 이용, 3차원적 영향평가 방식을 보강토벽체의 경우에 적합하도록 수정하여, 2차원 평면-변형률 조건하의 해석결과로 3차원적 거동을 간접적으로 예측할 수 있는 설계지침 등을 제시하고자 한다.

## 2. GRS-RW system의 안정해석법

일반적인 보강토벽체는 전면부에 연성벽체를 사용하므로 전면부의 저항효과를 기대할 수 없으며, 파괴 흩썩기가 활동하려는 순간에 보강재 사이의 마찰력에 의해 생겨나는 인장력의 발휘로 국부적인 안정효과 이외에는 콘크리트 전면판에 작용하는 토압에 대한 벽체의 저항효과는 거의 기대할 수 없다. 그러나, GRS-RW system을 적용할 경우에는, 흩-보강재 사이에 발휘되는 마찰저항력 외에도 전면부를 현장타설 콘크리트 전면판으로 처리함으로써 토압의 저항효과를 기대할 수 있으며 보강재의 길이 및 뒷채움 재료를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 토압에 대한 저항능력, 활동면 및 보강재에 작용하는 간극수압을 포함하여, 'Two-Body Translation Mechanism'의 한계평형해석법을 토대로 전면판에 작용하는 토압합력을 결정한 다음, 이를 토대로 전도, 활동 및 지지에 대한 안정검토를 실시하였다. 또한, 산정된 토압합력  $E_{max}$ 를 다짐분포곡선 형태로 가정하여 1차원 유한요소해석을 수행하였다.

### 2.1 전면판에 작용하는 토압산정법

토체(가상 파괴흩썩기)에 작용하는 힘들을 모두 표시하면 그림 2와 같으며, 전면판에 작용하는 토압합력 E를 결정하기 위해, 먼저 보강된 토체(Passive Block, 그림 2-a)에 대하여 연직방향 및 수평방향 성분의 힘들의 평형조건식을 이용하여, 이를 정리하면 다음과 같다.

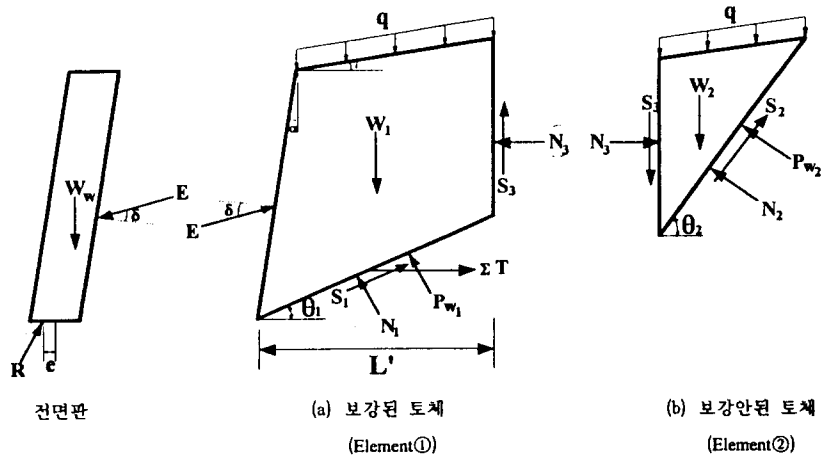


그림 2. 토체 및 전면판에 작용하는 힘

$$\begin{aligned}
 E \cdot \cos(\theta_1 - \phi' + \alpha - \delta) &= (W_1 + Q_1) \cdot \sin(\theta_1 - \phi') + P_{w1} \cdot \sin \phi' \\
 &+ N_3 \cdot \{ \tan \phi' \cdot \sin(\theta_1 - \phi') + \cos(\theta_1 - \phi') \} - C_1' \cdot \cos \phi' \\
 &+ C_3' \cdot \sin(\theta_1 - \phi') - \Sigma T \cdot \cos(\theta_1 - \phi')
 \end{aligned} \quad (1)$$

또한, 식(1)의  $N_3$ 의 계산식은, 보강이 안된 토체(Active Block, 그림2-b)에 대한 연직방향 및 수평방향 성분의 힘들의 평형조건식을 이용하여, 이를 정리하면 다음과 같다.

$$N_3 = \frac{(W_2 + Q_2) \cdot \sin(\theta_2 - \phi') + P_{w2} \cdot \sin \phi' - C_2' \cdot \cos \phi' - C_3' \cdot \sin(\theta_2 - \phi')}{\tan \phi' \cdot \sin(\theta_2 - \phi') + \cos(\theta_2 - \phi')} \quad (2)$$

따라서, 전면판에 작용하는 토압합력  $E$ 의 크기는 식(1) 및 식(2)를 토대로 보강된 토체에 관련된 예상파괴면의 경사각  $\theta_1$ 을 먼저 가정한 다음, 보강되지 않은 토체에 관련된 예상파괴면의 경사각  $\theta_2$ 를 다양하게 변화시켜 수직력  $N_3$ 를 식(2)로부터 각각 계산하여 이 중에서 최대값을 식(1)에 대입하여 토압합력  $E$ 를 계산한다. 계속해서 경사각  $\theta_1$ 을 변화시켜 위의 과정을 반복하고 각각 계산된 토압  $E$ 값 중에서 최대값을 설계에 적용할 한계평형상태의 토압합력  $E_{max}$ 로 결정한다. 또한, 토압합력  $E_{max}$ 를 계산하기 위해서는 보강재에 작용하는 인장력의  $\Sigma T$ 와 침투수압합력  $P_{w1}, P_{w2}$ 의 크기가 미리 결정되어야 한다.

## 2.2 보강재에 발휘되는 전체 인장력 $\Sigma T$ 의 계산

각 보강재에 작용하는 인장력  $T_i$ 의 크기는 파괴면 바깥쪽에 위치한 보강재의 유효길이( $l_e$ , 그림 3 참조)를 따라 발휘되는 보강재의 마찰저항력을 토대로 결정되며, 실제로 발휘되는 마찰력은 최대마찰저항력에 Taylor 안전율( $FS = FS_s = FS_c$ )을 토대로, 건조시에는 1.5, 침투수압 고려 시에는 1.3으로 보고 마찰저항력에 포함하였으며, 이렇게 결정된 마찰저항력은 보강재의 인장항복강도  $T_{yield}$ 보다 작아야 한다.

$$T_i = \frac{2 \cdot w \cdot t \cdot (\tau_{nr} + c_s')}{S_H} \leq T_{yield} \quad (3)$$

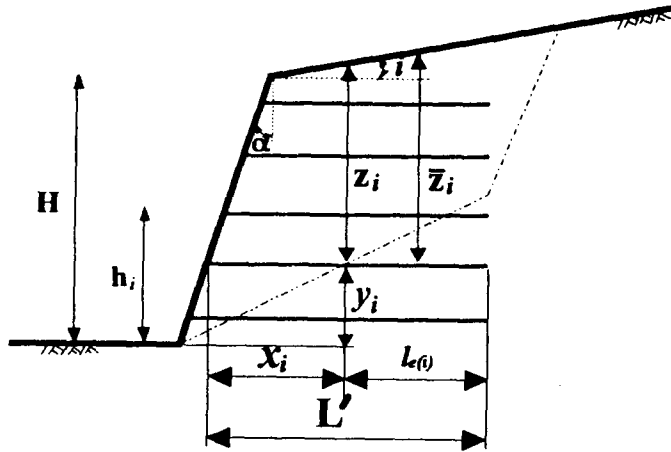


그림 3. 보강재의 유효길이

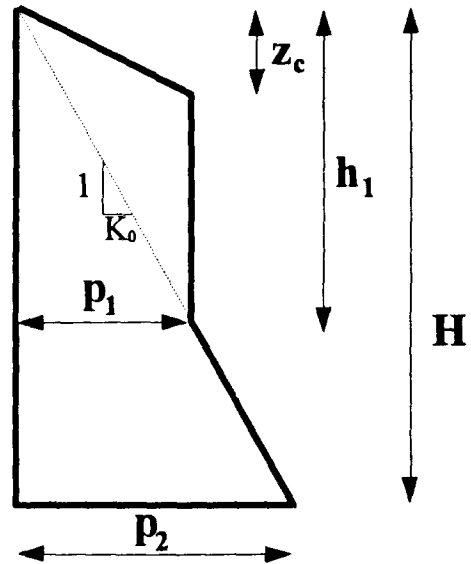


그림 4. 다짐토압 가정분포곡선

### 2.3 전면판의 안정해석 및 변위

위 2.1절에서 산출된 토압합력  $E_{max}$  를 시력선에 의한 전도, 활동 및 지지에 대하여 안정한 지의 여부를 확인한 다음, 보강토공법은 실제로 다짐에 의해 보강재의 마찰저항력을 증대시키므로 토압합력  $E_{max}$  를 가지고 다짐영향을 반영하기 위해 다짐토압 분포곡선을 가정하여 이를 토대로 1차원 유한요소해석을 수행하여 변위를 계산하였다(그림 4 참조). 다짐토압 분포곡선은 미육군 공병단(U.S. Army corps of Eng.)의 기술 및 설계지침(ASCE, 1994)의 형태에 따라 토압을 산정하였으며 이 결과  $p_1$  및  $p_2$  의 값은 다음 식과 같다.

$$p_1 = \frac{2 \cdot \max \cdot \cos(\delta - \alpha)}{(H^2/h_1) + h_1 - Z_c}, \quad p_2 = p_1 \cdot \frac{H}{h_1}, \quad Z_c = \sqrt{\frac{2 K_a K_0 p}{\pi \gamma}}, \quad h_1 = \sqrt{\frac{2 p}{K_a K_0 \pi \gamma}} \quad (4)$$

## 3. 비교분석

### 3.1 RMC의 실험결과와의 비교

본 연구에서는 한계평형해석에 의해 구해진 토압을 미공병단의 설계 및 지침에 근거하여 가정된 토압 분포곡선을 토대로 1차원 유한요소해석을 수행하여 전면부 벽체에 발생하는 수평방향변위를 예측하였다. 따라서 본 절에서의 분석은 캐나다의 RMC(Royal Military College)에서 수행되었던 실험결과(Barthurst & Koerner, 1988)에 의한 변위 및 위 실험조건을 토대로 INDIA의 I.I.T.(Indian Institute of Technology)에서 개발된 GEOWALL의 FEM 프로그램을 이용한 변위결과(K.G. Sharma, G.V. Rao & G.V.S.S. Raju, 1994)를 본 해석법에 따른 해석절차에 의해 예측되는 수평방향 변위결과와 비교·분석을 수행함으로써 본 연구의 해석법에 대한 검증은 확인하고자 하였다. RMC에서 수행되었던 실험의 단면도 및 지반조건은 아래의 그림 5 및 표 1과 같으며 상재하중( $q$ )을 12kPa 및 50kPa로 각각 달리하여 두 번의 실험을 수행하여 변위를 측정하였다.

본 해석법에 의하여 예측된 변위계산값을 RMC 시험의 변위계측 결과와 비교·분석한 결과, 유한요소 해석 프로그램인 GEOWALL을 이용하여 계산된 변위 결과보다는 본 해석결과가 벽체의 하단부에서는 실제 계측치 보다는 다소 적은 경향이 있었지만 가장 중요한 벽체 상단부의 변위는 상당히 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다. 다음의 그림 6 및 그림 7은 상재하중을 달리하여 해석한 결과이다.

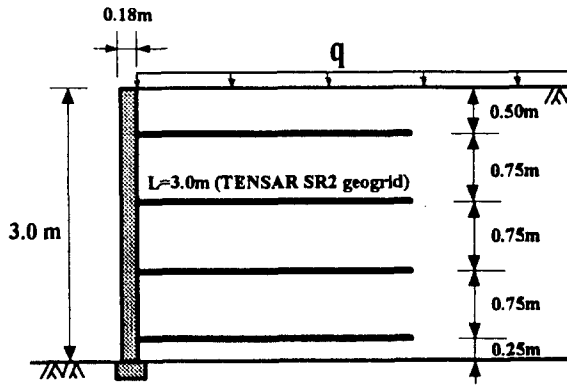


그림 5. RMC Retaining Wall 단면도

표 1. 축소모형실험에 적용된 제원

뒷채움 흙	$\gamma=1.80 t/m^3$ $\phi=35.5^\circ$ $c=0$ 뒷채움경사= $0^\circ$
보강재	보강재 종류 : Tensar SR2 항복 인장력 : $1.75 t/m$ 길 이 : 3.0 m 수 직 간 격 : 0.75 m 첫 단 높 이 : 0.25 m
전면판	$\gamma_{Conc}=2.5 t/m^3$ $E=245000 t/m^2$ 전면판의 두께 ; 0.18 m 전면판의 경사 ; $0^\circ$

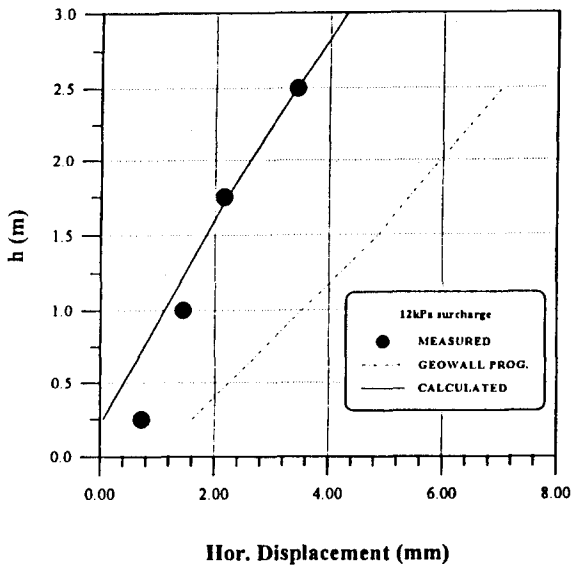


그림 6. 전면부 벽체의 수평변위(12kPa)

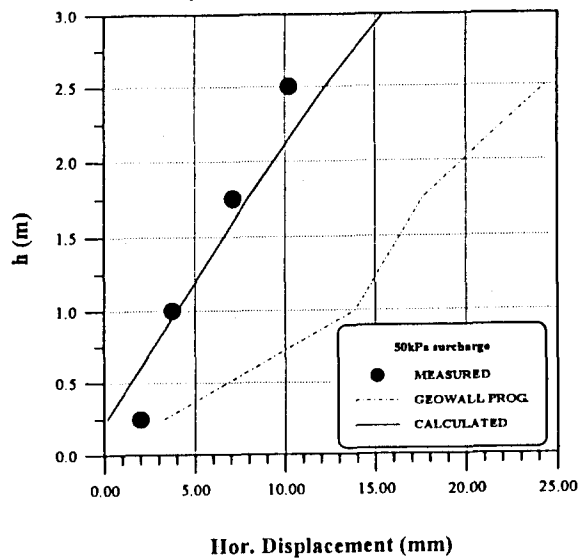


그림 7. 전면부 벽체의 수평변위(50kPa)

### 3.2 FHWA 실험결과와 토압 및 변위 비교

미교통국 산하의 연방 고속도로 관리부의 지원을 받고 1984~1989년 동안 수행된 "보강토의 거동"에 관한 실험모형실험(그림 8)의 결과(Christopher, Bonczkiewicz & Holtz, 1994)를 토대로 벽체에 작용하는 토압계측치 및 전면부 벽체의 변위 계측치를 본 해석법에서 가정한 다짐토압 분포곡선 및 1차원 유한요소 해석에 의해 예측된 전면부 벽체의 변위와 비교·분석이 이루어졌다. 실험모형실험에 사용된 보강재의 종류는 Grid형의 보강재인 TENSAR SR2 Geogrid이며 각 실험시 적용된 제원의 성질은 표 2와 같

다. 분석결과에 따르면 벽체에 작용하는 토압은 벽체 최하단에서는  $0.306 t/m^2$ , 중간높이에서 상단부 벽체까지는  $0.204 \sim 0.286 t/m^2$ 의 토압이 결정되었으며 이것은 실험계측결과와도 상당히 일치함을 보이고 있다(그림 9 참조).

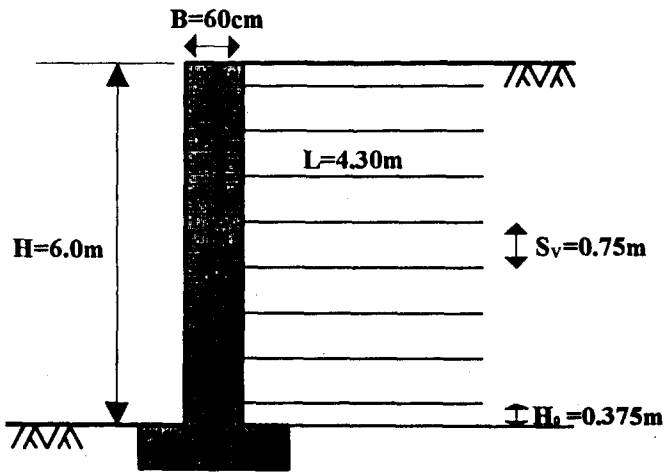


표 2. 실물모형실험에 적용된 제원

뒷채움 흙	$\gamma = 2.10 t/m^3$ $\phi = 40.0^\circ$ $c=0$ 뒷채움경사= $0^\circ$
보강재	보강재 종류 : Tensar SR2 항복 인장력 : $2.30 t/m$ 길 이 : 4.30 m 수 직 간 격 : 0.75 m 첫 단 높 이 : 0.375 m
전면판	$\gamma_{Conc} = 2.5 t/m^3$ $E = 245000 t/m^2$ 전면판의 두께 : 0.60 m 전면판의 경사 ; $0^\circ$

그림 8. FHWA 모형실험 단면도

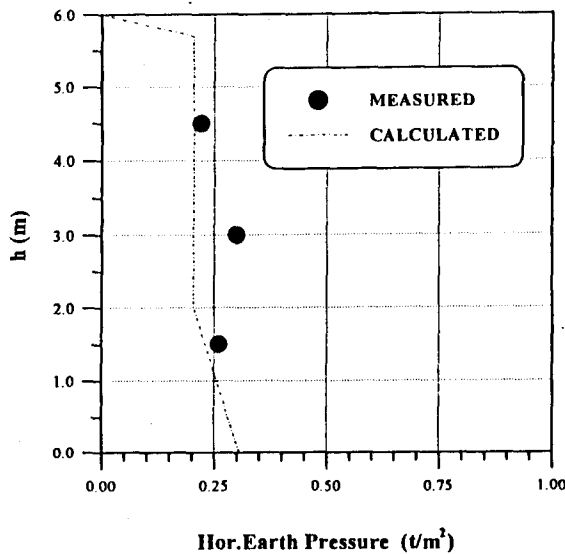


그림 9. 벽체에 작용하는 토압계측치 비교

## 4. GRS-RW System의 3차원적 거동분석

### 4.1 해석단면 및 모델링 개요

최근 GRS-RW System의 시공실적이 급속히 증가하고 있는 일본의 경우, '나가노 철로확장공사'에 약 1800m 길이에 이르는 시공사례가 보고된 바 있으며, 서쪽부근의 벽체는 모서리부가 존재하는  $90^\circ$  각도의 교차형식을 취하고 있다. 본 고에서는 3차원 해석이 비교적 용이하고, 모델링이 적합한 점을 감안하여 이와 유사하게 단면을 가정하여 분석을 실시하였다. 본 해석에 적용된 GRS-RW System의 단면은 개략적으로 그림 10과 같으며, 지층은 원지반과 성토층으로 구성되어 있으며 상재하중 및 지하수위는

존재하지 않는 것으로 가정하였다. 선정된 강도정수 및 스트립형 보강재의 제원은 표 3과 같다. 또한 본 연구에서는 유한차분해석 프로그램인 FLAC 2D 및 FLAC 3D가 사용되었는데 2차원해석 및 3차원 해석 시의 동일조건을 유지하기 위해 지반거동은 Mohr-Coulomb 모델로, 60cm 두께의 전면부벽체는 콘크리트의 탄성계수를 적용한 선형탄성모델로 가정하였다.

그림 10의 3차원 해석 격자망은 좌우경계면이 로올러(roller)로 바닥면은 힌지(hinge)로 가정되었다. 해석단면의 총 성토높이는 지표면 상부 7m 까지이고, 수직방향 보강재의 갯수는 7개이며 단계별 분할성토 해석을 수행하였다. 또한, 본 연구에서는 굴착단면의 기하학적 조건에 따른 영향 등을 분석하기 위하여, Ou(1996)등의 연구결과를 참조하여 효율적인 해석단면을 결정하였으며, 변위가 평가되는 벽체를 주벽체(primary wall)라 하고, 주벽체에 직각방향인 벽체를 보조벽체(complementary wall)라 가정하였다(그림 11 참조).

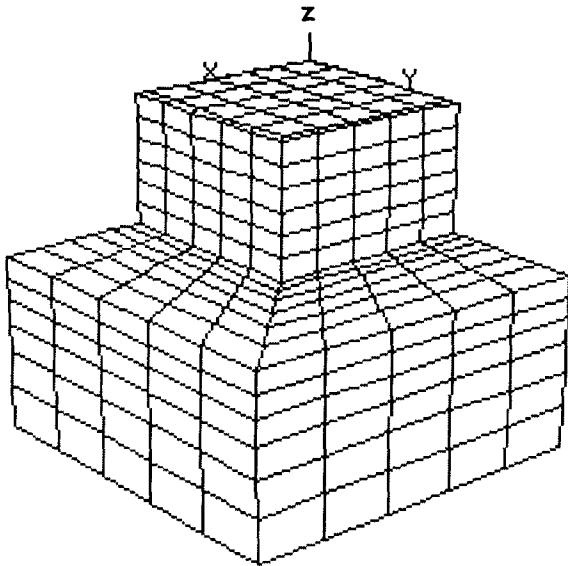


그림 10. 해석단면 (3차원 격자망)

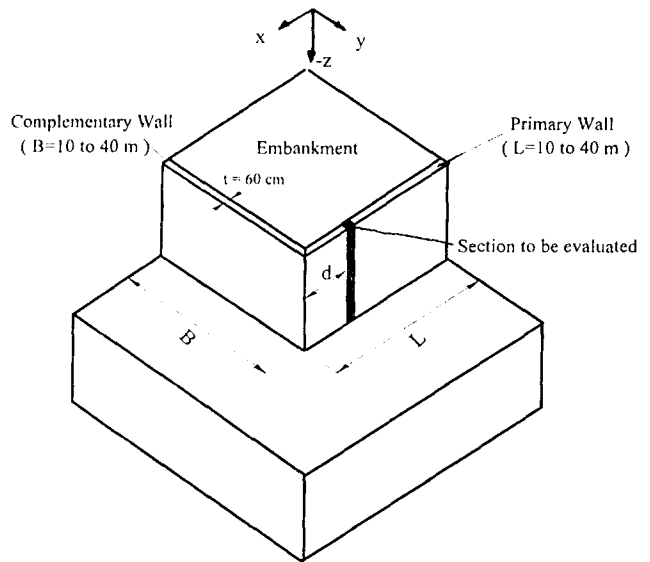


그림 11. 기하학적 조건

표 3. 해석에 적용된 토질정수 및 보강재의 제원

지층	층 두께	단위중량	내부마찰각	점착력	포아손비
원지반	7 m	$1.8 t/m^3$	$25^\circ$	$1 t/m^2$	0.25
성토층	1 m × 7층	$1.7 t/m^3$	$35^\circ$	$0 t/m^2$	0.3
보강재의 제 원	길이	단면적	주변장	항복강도	수평, 수직간격
	4.25 m	$4.95e-3 m^2$	0.1910 m	$4.58e4 N$	1 m

## 4.2 벽체거동 분석

본 연구에서는 주벽체의 길이(L) 및 보조벽체의 길이(B) 변화에 따른 영향을 분석하기 위하여, 주벽체 및 보조벽체의 길이를 10m에서 40m까지 10m씩 순차적으로 변화시키면서 총 16개 단면에 대한 해석을 수행하였다(표 4 참조).

표 4. 해석단면별 벽체길이

B(m)	10				20				30				40			
L(m)	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40

#### 4.2.1 주벽체(primary wall) 길이(L)의 영향

성토단면의 벽체변위에 미치는 주벽체 길이의 영향을 분석하기 위하여, 보조벽체의 길이는 일정하게 유지하고, 주벽체의 길이를 다양하게 변화시켜가며 해석을 수행하였다. 그림 12는 보조벽체의 길이가 10, 20, 30 및 40m인 경우, 각각에 대해 주벽체의 길이를 10, 20, 30, 40m로 변화시켜 각 경우의 최종 굴착단계에서, 모서리부터 중앙부까지 최대수평변위 변화를 도시한 결과를 보여주고 있다. 또한 그림 12에 나타난 점선은 모서리부터 중앙부까지 일정한 크기의 변위를 가정하는 일반적인 2차원 평면-변형을 해석결과를 의미한다. 그림 12의 해석결과를 살펴보면, 주벽체의 길이가 증가할수록 최대수평변위 또한 증가함을 알 수 있으며, 아울러 보조벽체의 길이가 증가할수록 주벽체의 길이증가에 따른 최대수평변위의 증가 효과도 커지는 것을 알 수 있다.

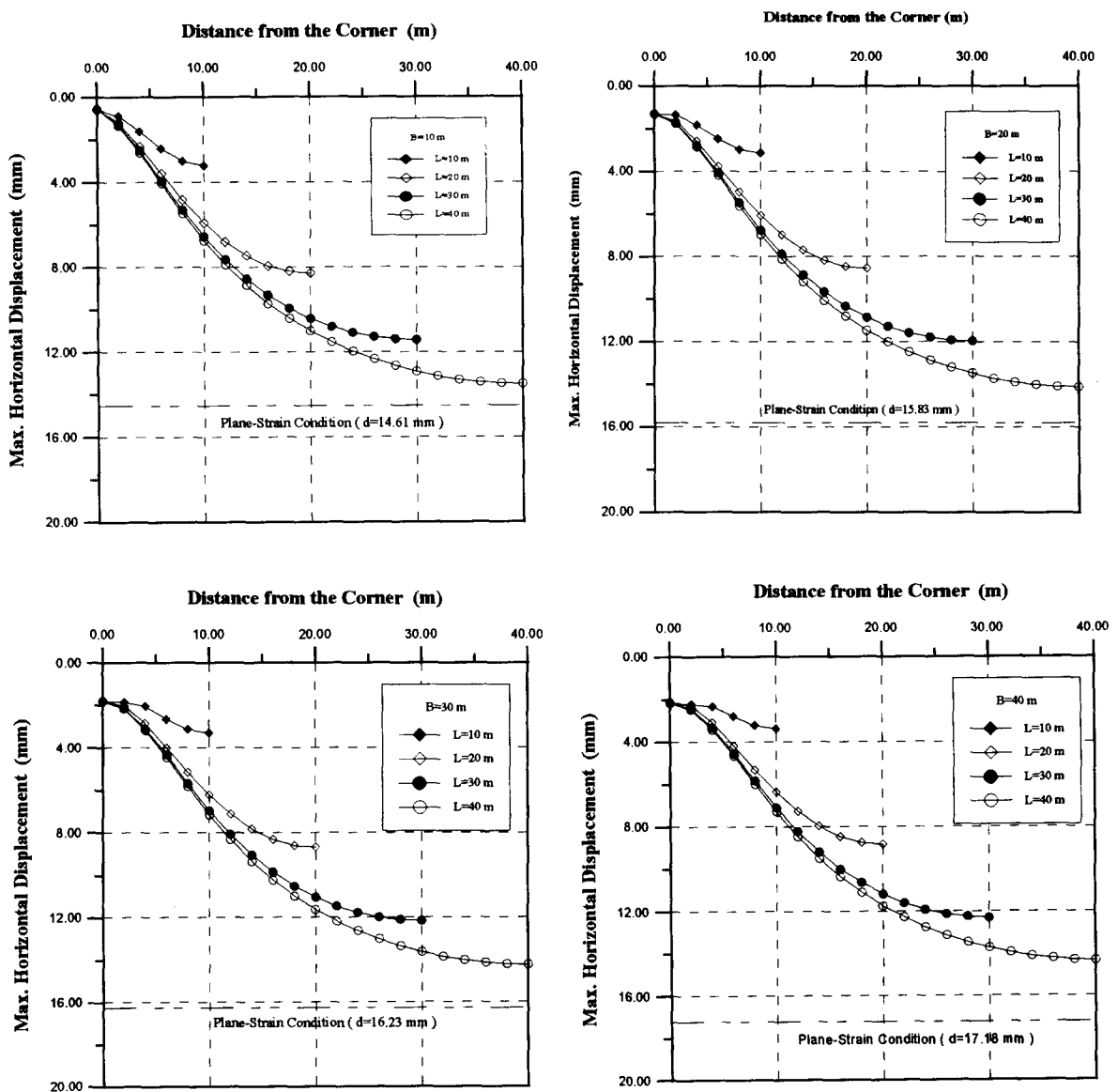


그림 12. 주벽체의 길이변화에 따른 벽체의 최대수평변위



### 4.3 P.S.R.

본 연구에서 수행된 여러 해석결과를 토대로 회귀분석을 실시하여, 주벽체에 대한 보조벽체의 길이의 비(B/L) 및 모서리로부터의 거리(d)와 P.S.R. 값 사이의 관계를 도시화하면 그림 13과 같다. 그림 13은 주벽체 및 보조벽체의 길이가 10~40m 까지 변화하는 경우를 토대로 작성된 것이므로, 실제 적용시에는 대칭성을 감안하여 주벽체 및 보조벽체의 길이가 20~80m 범위내의 조건인 경우까지도 직접적인 관련이 있다고 할 수 있다. 그림 13의 도표를 이용하여 3차원적 거동을 예측하고자 하는 경우, 벽체의 길이(B, L) 및 변위를 알고자 하는 지점까지의 거리(d)로부터 P.S.R. 값을 먼저 구한 다음, 2차원 평면-변형을 해석을 통해 산정된 수평변위에 P.S.R. 값을 곱함으로써 모서리 부분의 구속효과가 고려된 해당지점의 수평변위를 예측할 수 있다.

그림 14는 그림 13에 제시된 도표를 이용하여 해석을 수행한 결과이다. 벽체로부터의 거리 d=30m 인 지점에서의 최대수평변위를 나타내고 있으며, P.S.R. 기법에 의한 예측결과는 2차원 평면-변형을 조건하에서의 해석결과에 약 72%에 해당하는 값을 나타내고 있으나, 3차원 해석결과와는 비교적 유사한 값을 보이고 있다.

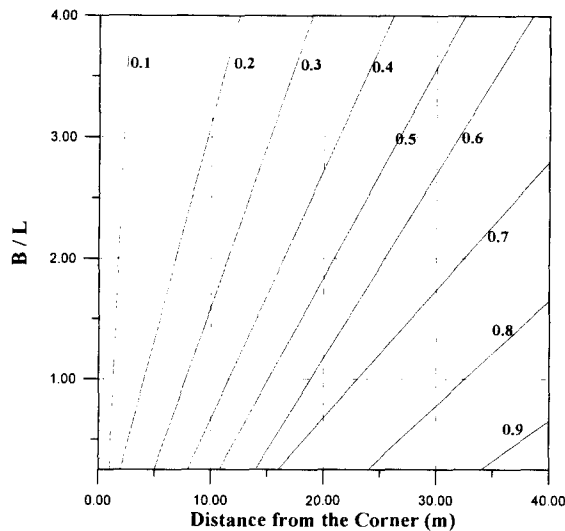


그림 13. B/L-P.S.R.-d의 관계도표

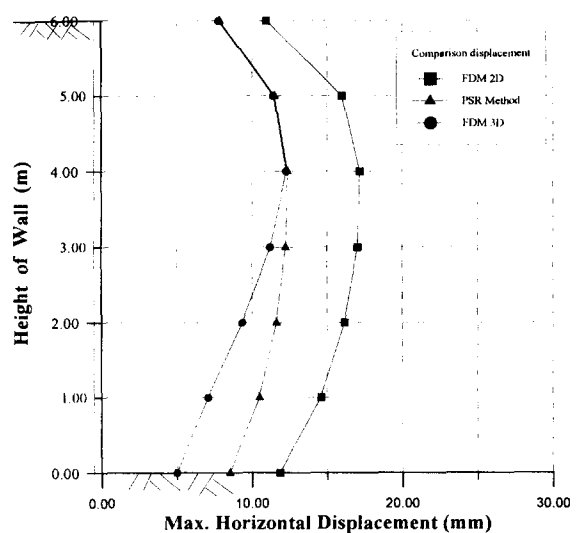


그림 14. P.S.R. 기법의 적용예

### 4.4 보강재의 중첩효과 및 구속효과

Top-down 방식으로 다각굴착을 실시하는 경우, 굴착시 발생하는 모서리효과(corner effect)는 하중전 이(load transfer) 현상 또는 soil arching 현상으로 설명되지만, 원지반을 bottom-up 방식으로 성토해 나가는 보강토 벽체에서는 모서리 효과를 기대하기 어렵다. 그러나 일체식 현장타설 콘크리트 강성벽체 라는 특징을 지니고 있는 GRS-RW system의 경우에는 기존의 조립식 전면판을 이용하는 보강토벽체와는 달리 모서리 부분에서 2방향 구속능력을 지니게 된다. 즉, 기존의 보강토벽체는 모서리 부분에 불연속면(joint)이 조성되며, 모서리부 벽체는 1방향 구속능력만 지니기 때문에 이 부분에서 최대수평변위가 발생하는 반면, GRS-RW system은 모서리 부분을 일체식 연속벽체로 시공하므로 모서리부가 아닌 단면 중앙부에서 최대수평변위가 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 모서리 부분은 스트립형 보강재의 중첩효과로 인하여 보강재가 분담하고 있는 토체의 구속능력도 상당부분 증가하게 된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 기존의 보강토공법에 전면판을 강성이 큰 일체식 콘크리트 전면판으로 두께를 30~70cm로 처리하여, 보강재의 마찰저항력 이외에도 전면부 벽체의 저항효과를 고려함으로써 뒷채움재의 양과 보강재의 길이를 혁신적으로 줄일 수 있는 GRS-RW System의 새로운 안정해석을 제시하였으며, 본 해석법의 효율성 및 적용성 등을 검증하기 위하여 외국의 실험자료와 비교·분석을 수행하였다. 아울러 3차원적인 거동을 간접적으로 예측할 수 있는 기법을 제안하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 보강토 벽체에 전면판을 강성이 큰 콘크리트 벽체로 처리하여 보강재의 길이와 뒷채움재의 양을 혁신적으로 줄일 수 있는 옹벽과 보강토벽체의 혼합형태인 GRS-RW System의 안정해석법을 제시하였다.
- 2) 한계평형해석에서 얻어진 토압을 미공병단에서 제시한 다짐토압곡선 형태를 토대로 하여 유한요소 해석을 수행하여 수평방향의 변위를 예측하였다.
- 3) 캐나다의 RMC(Royal Military College)에서 실행한 실험결과와 본 연구에서 계산된 변위를 비교·분석한 결과 근접한 결과를 얻었으며, 또한 미국의 FHWA에서 수행한 모형실험 결과와도 일치함을 보이고 있다.
- 4) Ou등(1996)이 제안한 P.S.R.(Plane-Strain Ratio) 기법을 GRS-RW system에 적합하도록 수정하여, 3차원 해석을 수행하지 않고도 2차원 평면-변형을 조건하의 해석결과를 이용하여, 3차원적인 거동을 간접적으로 예측할 수 있는 도표를 제시하였다.

향후 추가적인 분석 및 지속적인 자료수집 등을 통해, 본 연구의 예측결과를 국내 현장의 계측결과와 비교하는 검증·확인작업 등이 필요할 것으로 판단되며, 궁극적으로 GRS-RW system의 3차원적 안정 해석법을 정립하는 것이 장차의 연구과제이다.

## 참고문헌

1. 김홍택, 강인규, 최두호(1995. 10.), "GRS-RW 시스템의 안정해석," 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 375-378
2. ASCE(1994)., "Retaining and Flooding Wall" *Technical Engineering and Design Guides as Adapted from the U.S. Army Corps of Engineering*, No. 4, ASCE Press.
3. Gassler, G., "Soil Nailing-Theoretical Basis and Practical Design," *Proc. of the Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement*, Fukuoka, Japan, 1988, pp. 283-288
4. Gray, H., "Contribution to the Analysis of Seepage Effects in Backfills," *Geotechnique*, Vol. 8, No. 4., 1958, pp. 166-170
5. Ou, Chang-Yu, Chiou, Dar-Chang and Wu, Tzong-Shiann.(1996), "Three-dimensional finite element analysis of deep excavations," *Jour. of Geotechnical Engineering Div. ASCE*, Vol. 122, pp. 337-345.
6. Wicher(1994), "Geosynthetic-Reinforced Retaining Structures in Germany," *Recent Case Histories Permanent Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls*, Balkema, pp. 151-161