

# 모사열차 반복하중 재하시 블록식 보강토 옹벽의 진동전달특성

## Vibration Transfer Characteristics of the Reinforced Soil SRWs Under the Simulated Cyclic Train Loading

고태훈\* 이진욱\*\* 이성혁\*\*\* 황선근\*\*\*\* 김정무\*\*\*\*\*  
Koh, Tae-Hoon Lee, Jin-Wook Lee, Seong-Hyeok Hwang, Seon-Keun Kim, Jung-Moo

### ABSTRACT

Geogrid is widely used as the reinforcement materials in railway earth structures in order to achieve efficient land utilization as well as securing safety in railway service lines in other countries. In this study, the real scale test was carried out to investigate the application of geogrid reinforced soil segmental retaining walls(SRWs) in railway.

For this goal, the vibration transfer characteristics of reinforced soil segmental retaining walls was evaluated. The resonant frequencies of SRWs, vertical ground vibration in backfill and vertical/horizontal vibration at segmental units were acquired. This experimental data and analysis result can contribute to understand the vibration response behavior of SRWs.

### 1. 서론

보강토 옹벽은 철도 운행선상의 안전성 확보, 용지의 효과적인 활용 차원에서 일반화된 구조물로서 국외에서는 널리 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내철도분야에 있어서 보강토 옹벽의 적용을 도모하고자 지오그리드를 설치한 보강토와 프리캐스트 타입의 블록을 조합한 블록식 보강토 옹벽을 구축하고 모사열차 반복하중을 재하하는 실험을 수행하였다.

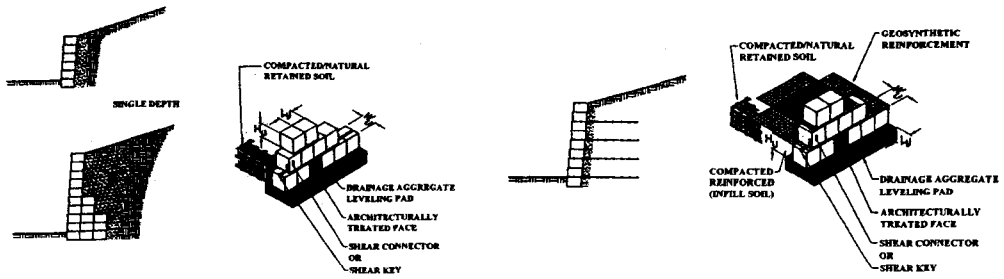
구조체의 공진주파수, 배면토체 내부의 연직방향 진동가속도, 블록식 벽체의 연직/수평방향 진동가속도를 측정, 분석함으로써 모사열차 반복하중에 대한 블록식 보강토 옹벽의 진동전달특성을 평가하였다.

### 2. 블록식 옹벽(Segmental Retaining Walls)

블록식 옹벽(SRWs)은 전통적인 블록식 옹벽(Conventional SRWs), 즉 뒷채움토와 상재하중에 의한 활동력을 단지 블록만의 완만한 경사와 자중으로 지지하는 구조물과 수평으로 설치한 토목섬유 보강재에 의해 안정화된 보강토와 블록이 조합을 이룬 복합적인 시스템으로서의 블록식 보강토 옹벽(Reinforced Soil SRWs)으로 구분된다.

그림 1에 블록식 옹벽의 구조를 도시하였다.

\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 주임연구원, 정회원  
\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정회원  
\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정회원  
\*\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 책임연구원, 정회원  
\*\*\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 연구원



(a) Conventional SRW

(b) Reinforced Soil SRW

그림 1 Segmental Retaining Wall Systems

### 3. 실대형시험

#### 3.1 시료토 및 보강재의 특성

철도 노반재로서의 기본적인 물성과 역학적 특성을 평가하기 위해 시험노반조성용 시료토에 대해 실내시험을 수행한 결과는 표 1과 같다. 또한 시험에 사용된 보강재는 국내에 도입되어 있는 부착형 지오그리드로서 특성은 표 2와 같다.

표 1 시료토의 물리·역학적 특성

비중	입경		$T_d \text{ max}$ ( $\text{tf/m}^2$ )	$\omega_{\text{opt}}$ (%)	상대밀도 (%)	내부마찰각 ( $^\circ$ )	점착력 ( $\text{kg/cm}^2$ )	통일분류
	Gs	Cu						
2.7	80.83	1.68	1.98	11.21	75.4	33	0.386	SM

표 2 지오그리드 특성(단위 : mm)

보강재 종류		
	QC강도(kN/m)	재질
	90.0	폴리에스테르 (PET)

#### 3.2 블록 및 가속도계

Standard Block (A-type)  
Weight : 39kg  
W × H × D (mm) : 440 × 200 × 310



PIN  
Material : Glass-fiber reinforced polymer

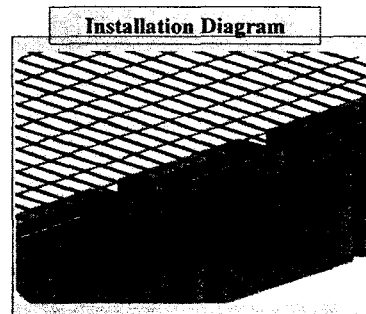
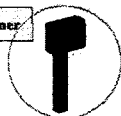


그림 2 블록, 핀 및 설치 개념도

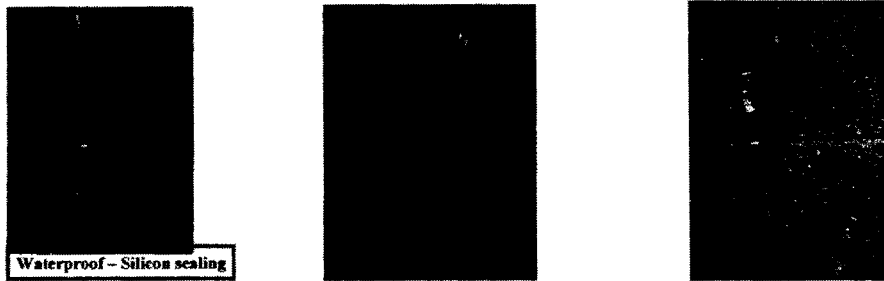


그림 3 가속도계 및 설치 개념도

블록식 용벽을 구축하기 위해 사용된 블록과 핀, 그리고 설치 개념도를 그림 2에 나타냈다. 용벽구조물의 진동전달특성을 고찰하기 위해 내부에 ICP(Integrated Circuit Piezoelectric)회로와 Amplifier가 내장되어있는 Voltage Type의 가속도계를 사용하였으며, 센서의 감도(Sensitivity)는 저진폭신호에도 응답특성이 뛰어나도록 5000 ~ 10000 mV/g의 고감도의 센서를 사용하였다.

### 3.3 재하하중 및 주파수

재하하중은 현행 철도 설계시에 적용되는 LS22하중과 설계속도(V) 200km/h, 직선부의 장대레일을 대상으로 하였다. 열차의 주행에 따른 충격하중의 중분을 고려하기 위해 충격계수 산정식( $i = 1 + 0.3V/100$ )으로부터 1.6을 얻고 이를 고려하여 1 축당 작용 운중을 14.3 tonf으로 적용하였다. 또한 재하 주파수는 차량의 대차중심간 거리(d), 열차주행 속도(V), 통과주기(T)를 고려하여 식 1, 2로부터 산정하였다.

$$T = d/V \quad (\text{식 1})$$

여기에서, 재하진동수  $f=1/T$ 이므로,

$$f = 1/T = V/d \quad (\text{식 2})$$

위의 식으로부터 1급선의 설계속도 200km/h 기준으로 하고 대차의 축간을 고려할 때 재하주파수는 약 5Hz가 된다.

### 3.4 시험노반 조성 및 계측기 설치

본 연구에서는 시방서의 시공순서에 준하여 가급적 실현장조건에 부합하도록 보강토용벽을 축조하여 실험노반을 조성하였다.

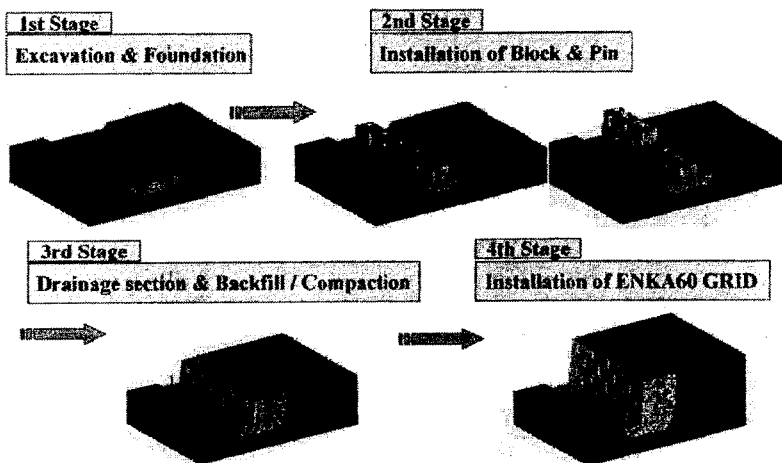


그림 4 시공순서

위와 같은 시공순서로 조성된 시험노반은 안정화단계를 거친 후, 현재 경부선의 통과횟수를 고려하여 100만회(약 1년 6개월 상당)의 모사열차 반복하중이 재하되었다. 그림 5와 같이 진동가속도의 계측위치는 배면토체 지중의 연직가속도 3지점, 블록식 벽체의 연직가속도, 수평가속도 각각 3지점으로 하였다.

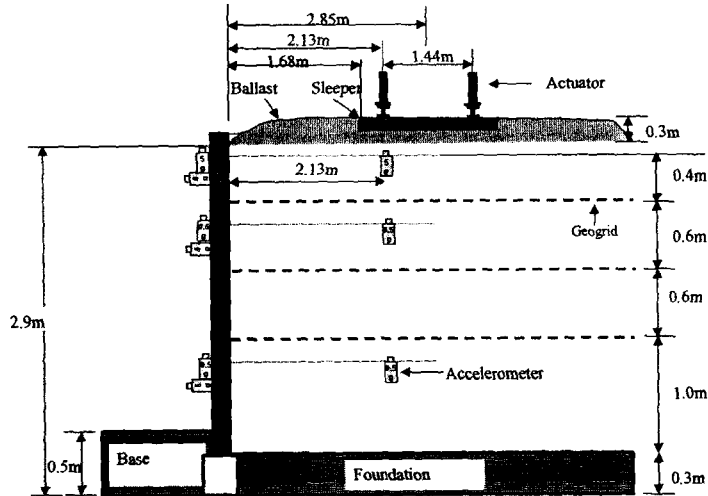


그림 5 계측위치

#### 4. 시험결과 및 고찰

##### 4.1 공진주파수 특성

블록식 옹벽구조물의 공진특성을 고찰하기 위해 종합 궤도노반 시험장치의 Actuator를 이용하여 가진력 1 ~ 3 ton(진폭 2ton)과 가진주파수를 5Hz씩 단계적으로 증가시켜 최대 45Hz 범위까지 재하하여 가속도응답을 얻었다.

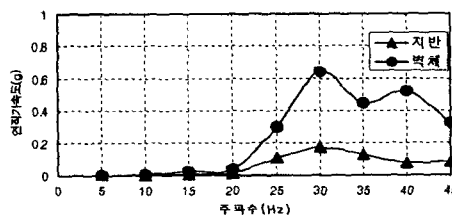


그림 6 공진주파수특성

그림 6에서와 같이 공진시험결과, 배면토체에서의 공진주파수는 일반적인 지반에서의 공진주파수 대역으로 알려져 있는 30Hz에서 나타났으며, 블록식 벽체의 경우에 있어서도 30Hz에서 탁월한 주파수성분을 보임을 알 수 있었다.

##### 4.2 시간영역에서의 진동가속도 분포

모사열차 반복하중(가진력 10kN ~ 143kN, 가진주파수 5Hz)의 재하횟수에 따른 블록식 보강토 옹벽 배면토체에서의 연직방향 진동수준과 블록식 벽체에서의 연직/수평방향 진동수준을 시간영역에서 고찰하였다.

#### 4.2.1 배면토체의 연직가속도

배면토체 하부에서의 연직방향 지반진동응답을 시간영역에서의 가속도로 나타내면 그림 7과 같다. 그림에서와 같이 재하주파수에 해당하는 5Hz성분의 진동가속도를 얻을 수 있었으며, 재하횟수 증가에 따라 다소 진동가속도의 진폭이 증가하는 경향을 보였다. 이는 반복하중에 의한 토체의 전반적인 강성증가로 인해 진동에너지의 감쇠(Damping)가 작게 발생하는 것으로 판단된다.

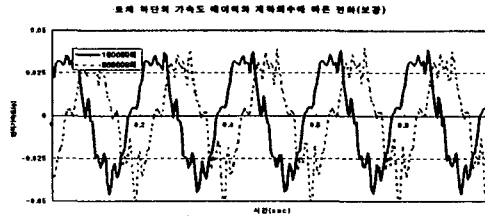


그림 7 배면토체의 연직가속도

#### 4.2.2 블록식 벽체의 연직·수평가속도

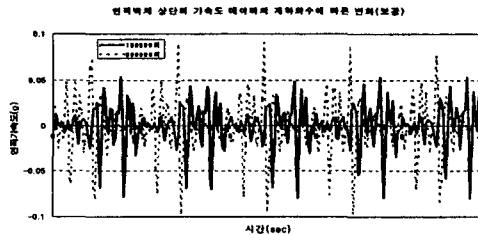


그림 8 블록식 벽체의 연직가속도

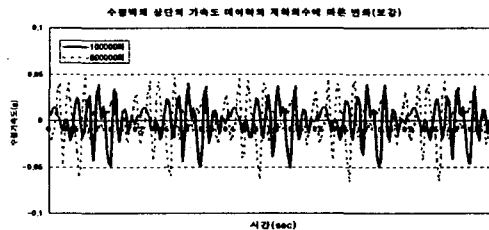


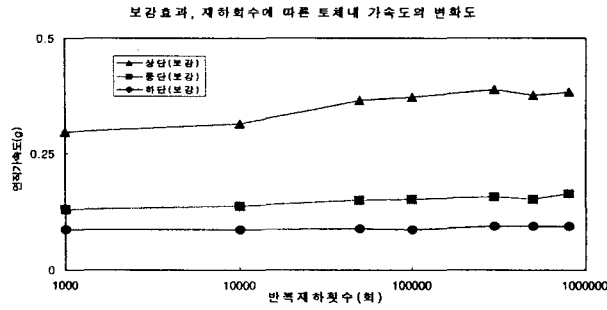
그림 9 블록식 벽체의 수평가속도

블록식 벽체 상부에서의 연직/수평방향 진동가속도의 계측결과는 그림 8 ~ 9와 같다. 벽체의 경우에 있어서는 재하주파수와는 상이한 주기적인 주파수성분의 진동응답을 얻을 수 있었는데 이는 핀으로 연결되는 구조(dry-stacked system)로 이루어진 블록(SRW units)간의 반복하중에 의한 불연속적인 거동에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 배면토체의 경우에서와 같이 재하횟수에 따라 진동가속도의 진폭이 증가하는 것을 알 수 있다.

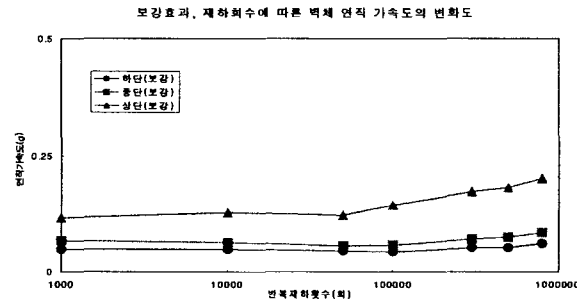
#### 4.3 위치에 따른 진동가속도분포

모사열차 반복하중 재하횟수에 따른 블록식 보강토 옹벽 배면토체와 블록식 벽체 각 위치에서의 진동가속도의 변화는 다음과 같다.

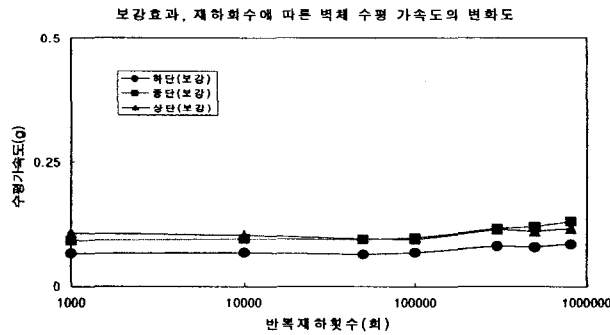
배면토체내 연직방향 진동가속도의 경우, 궤도(진동원)로부터 심도가 깊어짐에 따라 진동에너지의 기하학적인 감쇠의 영향을 파악할 수 있었다.



(a) 배면토체의 연직가속도



(b) 블록식 벽체의 연직가속도



(c) 블록식 벽체의 수평가속도

블록식 벽체의 경우, 비교적 연직방향 구속의 영향이 미미한 상단지점에서는 연직가속도가 수평가속도에 비해 크게 평가되었으나 이하 심도가 증가함에 따라 블록식 벽체의 구속정도가 증가함에 따라 수평가속도의 진동수준이 지배적임을 알 수 있다.

## 5. 결론

블록식 보강토 옹벽의 진동전달특성을 고찰하고자 수행한 모사열차 반복하중 재하시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 배면토체에서의 공진주파수는 일반적인 지반에서의 공진주파수 대역으로 알려져 있는 30Hz에서 나타났으며, 블록식 벽체의 경우에 있어서도 30Hz에서 탁월한 주파수성분을 보였다.
- 2) 배면토체의 진동가속도 : 반복하중에 의한 토체의 전반적인 강성증가로 인해 연직방향 진동가속도가 다소 증가하였으며, 궤도(진동원)으로부터 심도가 깊어짐에 따라 진동에너지의 기

하학적인 감쇠의 영향을 파악할 수 있었다.

- 3) 블록식 벽체의 진동가속도 : 핀으로 연결되는 구조(dry-stacked system)로 이루어진 블록 (SRW units)간의 반복하중에 의한 불연속적인 거동으로 인해, 재하주파수와는 상이한 주파수특성을 보였으며, 심도에 따른 구속정도로 인해 수평가속도가 지배적임을 알 수 있다.

#### 참고문헌

1. NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION (1997) "DESIGN MANUAL FOR SEGMENTAL RETAINING WALLS, SECOND EDITION", pp.3 ~ 12
2. Kenneth G. McConnell (1995) "VIBRATION TESTING-Theory and Practice", JOHN WILEY & SONS, INC. pp.169 ~ 182
3. Z. Cai and R.J.Bathurst (1996) "Sesmic-induced permanant displacement of geosynthetic-reinforced segmental retaining walls" Can. Geotech. J. 33, pp.937 ~ 955