

# 보강재 간격 및 길이가 강성벽 일체형 보강노반의 거동에 미치는 영향

## Effects of Vertical Spacing and Length of Reinforcement on the Behaviors of Reinforced Subgrade with Rigid Wall

김대상<sup>1\*</sup>, 박성용<sup>2</sup>, 김기환<sup>3</sup>  
Dae-Sang Kim<sup>1\*</sup>, Seong-Yong Park<sup>2</sup>, Ki-Hwan Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Member, Principal researcher, Korea Railroad Research Institute, 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang, Gyeonggi-Do, 437-757, Republic of Korea

<sup>2</sup>Non-member, Senior researcher, Hanwha Engineering and Construction, 6, Sinseong-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-345, Republic of Korea

<sup>3</sup>Non-member, researcher, Sampyo engineering and construction, 80, Susong-Dong, Jongno-Gu, 110-733, Republic of Korea

### ABSTRACT

Facings of mechanically stabilized earth retaining walls have function to fix the reinforcement and prevent backfill loss, but the walls are lack of structural rigidity capable of resisting applied loads. The reinforced subgrade with rigid wall was developed to have the structural functions under train loading. Though it has lots of advantages such as small deformation after construction, its negative side effects of economics and difficult construction were mainly mentioned and not practically used. To apply it for railroad subgrade, this study focus on the construction cost down and the enhancement of constructability without functional loss. To do so, the behaviors of reinforced subgrade with rigid wall were evaluated with the change of the vertical spacing and length of reinforcement. Small scale model tests (1/10 scale) and 3 m full scale tests were performed to evaluate deformation characteristics of reinforced subgrade under simulated train loading. Even though it uses short reinforcement, it showed small horizontal displacement of wall and plastic settlement of subgrade. Also, it was verified that not only 30 cm but also 40 cm of vertical spacing of reinforcement had good performance in serviceability aspects.

### 요 지

국내에 적용되고 있는 블록식 보강토 옹벽의 전면벽체는 보강재의 고정 및 뒷채움재의 유실방지 역할을 하지만, 벽체에 작용하는 하중에 대한 역학적 기능은 부족하다. 보강토체를 구성하는 벽체에 휨 및 전단에 대한 저항 성능을 부여하기 위하여 개발된 강성벽 일체형 보강노반은 다양한 장점에도 불구하고, 기존 공법과 비교하여 경제성 및 시공성 측면에서 단점이 부각되어 현장에서의 적용은 미루어져 왔다. 본 연구에서는 강성벽 일체형 보강노반의 국내 적용성 향상을 목적으로 강성벽의 성능은 확보하면서 경제성 및 시공성을 향상시키기 위한 보강재 연직 배치 간격 및 길이 변화가 보강토체 전체의 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위하여 강성벽을 갖는 1/10 축소모형 보강토체 및 높이 3m의 실내 실험체를 구성하고, 모사 열차하중 하에서의 변형 특성을 평가하였다. 시험 결과 비록 짧은 보강재를 사용함에도 불구하고 강성벽 보강노반에서 벽체 수평 발생변위 및 침하는 허용한계 수준 이하이었으며, 보강재 연직 배치간격이 30cm에서 40cm로 증가하여도 사용성 측면에서의 성능 수준에는 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있었다.

**Keywords** : Rigid wall, Railroad, Reinforced subgrade, Full scale test, Spacing

### 1. 서 론

300km/h 이상 고속으로 주행하는 열차의 대용량 반복 동하중하에서 쌓기부의 잔류침하를 철도 토공의 내구연한

Received 6 Nov. 2012, Revised 17 Dec. 2012, Accepted 18 Dec. 2012

\*Corresponding author

Tel: +82-31-460-3505; Fax: +82-31-460-5032

E-mail address: kds@krii.re.kr (D. S. Kim)

인 80년 동안 30mm이하로 억제시키기 위해서는 많은 노력이 필요하다. 이를 위해서는 토공의 구조 및 재료, 시공 및 품질관리 측면에서의 모든 노력을 기울일 필요가 있다. 이와 같은 이유로 일본 등 해외사례에서도 알 수 있는 바와 같이 철도노반에서의 보강재의 사용은 향후 지속적으로 증가될 것으로 예상된다.

강성벽과 보강재를 사용한 강성벽 보강노반은 1980년대부터 일본철도종합연구소(RTRI)와 동경대학교가 공동으로 개발하여(공법명 : RRR공법) 현재 신칸센 표준공법으로 채택되어 누적 연장 100km 이상의 시공실적을 보유하고 있다(Tatsuoka 등, 2004; Tatsuoka, 2008). RRR공법은 도심지와 같이 노반의 용지 확보가 어려운 개소, 교대 등 이동하중의 변동 폭이 큰 개소, 콘크리트궤도와 같이 침하에 대한 엄격한 사용성이 요구되는 상부구조물의 하부지지 구조로 개발되었다. RRR 토공구조는 지진이 빈번한 일본에서도 그 안정성이 우수한 것이 입증된 바 있으나, 오히려 지진발생 빈도 및 규모가 작은 우리나라에서 본 공법을 그대로 도입 적용하는 것은 과다 설계로 이어질 우려가 있다. 따라서, 경제적이면서도 시공성이 좋은 강성 일체형 벽체를 채용하면서도 사용성 측면에서 국내 환경에 적합한 보강노반에 대한 연구를 수행할 필요성이 높아졌다.

본 연구에서는 엄격한 사용성 기준이 적용되고 있는 국내 철도용 콘크리트궤도에의 적용을 목적으로, 열차 운행 중 발생할 수 있는 노반침하량을 최소화하기 위하여 기존에 국내에서 사용되고 있는 일반 토공, 옹벽 및 보강토 옹벽과 다른 구조와 재료 및 시공 절차를 갖는 강성벽 보강노반의 변형 및 파괴특성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 축소모형실험과 실험시뮬레이션을 실시하였으며, 강성벽 보강노반의 사용성능을 평가하고 그 결과를 정리 분석하였다.

Table 1. Physical quantities and the similitude ratio

물리량	차원	Scale factor	적용 축소율
Length	L	S	0.100
Mass	M	$S^2$	0.010
Time	T	$S^{1/2}$	0.316
Stress	$LM^{-1}T^{-2}$	1	1.000
Velocity	$LT^{-1}$	$S^{1/2}$	0.316
Acceleration	$LT^{-2}$	1	1.000
Force	$LMT^{-2}$	$S^2$	0.010
Stiffness	$MT^{-2}$	S	0.100

## 2. 축소모형 실험

강성벽 보강노반의 보강재 간격 및 길이 변화에 따른 거동특성을 평가하기 위하여 1/10 축소모형실험을 수행하였다. 실험은 제작된 실험체의 성능을 확인하기 위한 1)정지 및 주동토압 실험과 2)보강재 연직간격 변화(30, 60, 90cm) 및 보강재 길이변화(단보강재와 장단보강재 혼용)에 대한 실험을 수행하였다.

### 2.1 실험시스템 개요

축소모형실험은 가속도에 기초한 상사법칙을 이용하였고, 길이에 대한 상사비(1/10)를 기준으로 적용하였다. Table 1은 각 물리량에 대한 적용 축소율을 나타낸 것이다. Fig. 1은 실험에 사용된 모형토조 단면도 및 시스템 개요이다. 토조 제원은 길이 100cm, 높이 60cm, 폭 62cm이며, 평면 변형을 조건을 구현하기 위하여 투명아크릴판을 사용하여 토조 측면의 마찰을 최대한 줄이기 위해 노력하였으며, 실험 시 모형지반의 거동이 관찰 가능하도록 하였다. 벽체는 충분한 휨 강성을 확보할 수 있도록 제작하였다. 벽체를 17개의 분할 가능한 보로 제작하고, 벽체내부에 8개의 토압계를 설치하여 벽체에 작용하는 수평토압을 측정하였다. 토조 바닥 및 벽체 하단에도 토압계를 설치하여 토조 경계에서의 모든 응력상태를 측정할 수 있도록 하였다. Fig. 2는 설치된 바닥 토압계와 벽체 토압계를 보여준다. 벽체의 연직방향에 대한 휨 및 전단에 대한 강성확보를 위하여 직경 20mm의 강봉 4개를 수직으로 벽체 배면에 설치하였으며, 벽체의 수평방향에서의 휨 변형을 최소화하기 위해 “ㄱ”자형 앵글을 분할벽체 배면에 보강하였다.

모형지반은 건조 상태의 주문진표준사(비중=2.65,  $\gamma_{dmax}=1.60g/cm^3$ ,  $\gamma_{dmin}=1.39g/cm^3$ )를 사용하여 공중낙하법(강

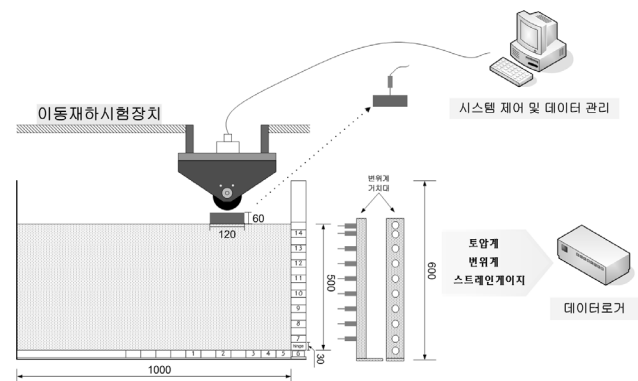


Fig. 1. Concept drawing for small scale test (Unit, mm)

사높이 1.0m)으로, 높이 50cm 상대밀도 65%의 조밀한 상태의 노반을 조성하였다. 실험에 사용한 보강재는 비닐계 아스테지로, 강성은 실물의 1/10~1/50 범위로 적용축소율(1/10)보다 다소 작은 재료(319kN/m)를 사용하였다. Fig. 3은 실험에 사용된 모형보강재 형상 및 보강재 축력 측정을 위해 부착한 변형률계를 보여준다.

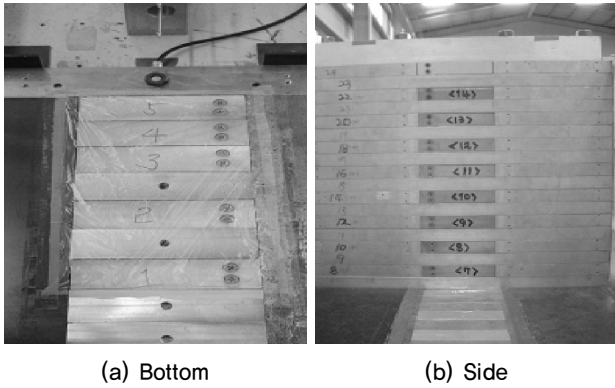


Fig 2. Earth Pressure cells at the bottom and the side of test box

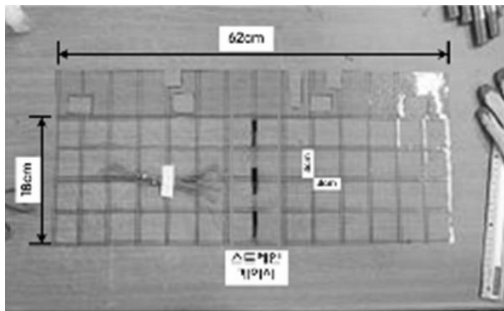


Fig. 3. Reinforcement and strain gauges

## 2.2 실험내용 및 목적

Table 2는 실험 내용 및 목적으로, 보강재 연직간격 및 길이 변화 실험을 포함한다. 실험에 사용한 보강재 길이는 높이의 35%(18cm)를 기본으로 적용하였다. 이는 국내에서 적용되고 있는 보강재 최소길이 0.7H(70%)의 1/2에 해당된다. 짧은 보강재의 적용은 강성벽 보강노반의 주요 장점 중의 하나로, 동 실험에는 이에 대한 성능평가의 목적도 포함되어 있다. R60BL은 단보강재 뿐 아니라, 장보강재를 혼용하는 경우에 대한 실험이다.

시험은 한국철도기술연구원에서 보유하고 있는 이동재하 시험장비를 이용하여 실시하였다. 본 장비의 최대 작용 가능 하중은 40kN이며, 적용가능 주파수 범위는 5Hz이다. 정하중 재하 시 하중재하 속도는 1.67kPa/min로 최대한 천천히 재하하였다. 하중 재하위치는 보강재 부설길이를 고려하여 Fig. 4와 같이 보강영역 상부에서의 재하(Front loading)와 보강영역 배면에서의 재하(Back loading)의 두

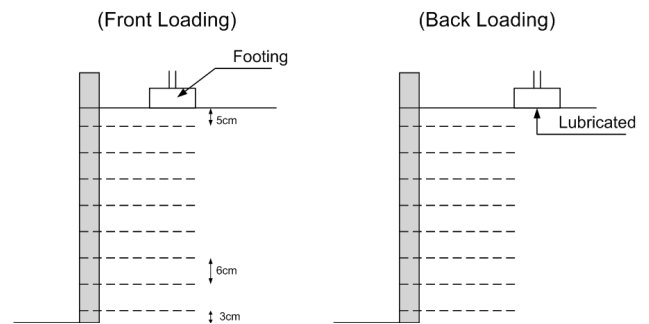
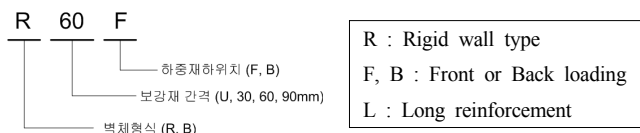


Fig. 4. Locations of Loading

Table 2. Test Contents and Purposes

번호	실험명	실험내용	실험목적	보강재 길이
1	R30F	1. 강성벽식 수평변위 및 토압 2. 보강재 축력 측정	벽체 강성변화 실험	0.35H(18cm)
2	R60F	1. 강성벽식 수평변위 및 토압 2. 보강재 축력 측정	보강재 간격 변화에 따른 성능평가	0.35H(18cm)
3	R90F	1. 강성벽식 수평변위 및 토압 2. 보강재 축력 측정	보강재 간격 변화에 따른 성능평가	0.35H(18cm)
4	R60B	1. 강성벽식 수평변위 및 토압 2. 보강재 축력 측정	하중재하 위치 변화	0.35H(18cm)
5	R60BL	1. 강성벽식 수평변위 및 토압 2. 보강재 축력 측정	보강재 길이 변화에 따른 성능평가	0.35H(18cm), 장보강재(H* $\tan 30^\circ$ )

\* 기호설명



종류로 하였다. 이는 하중재하 위치에 따른 보강토체의 거동과 파괴 메카니즘의 차이를 평가하기 위함이었다.

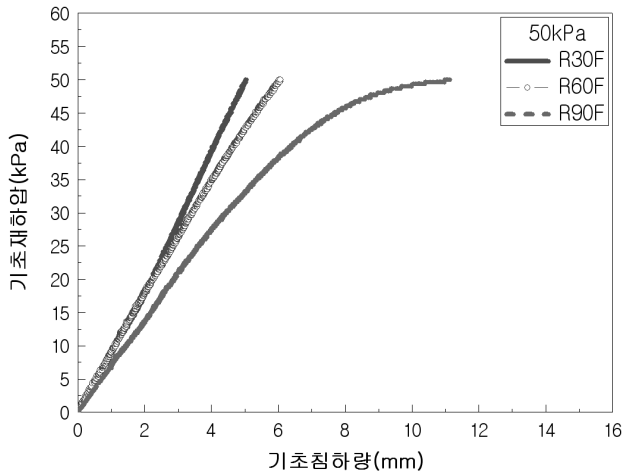


Fig. 5. Relationship between loading pressure and settlement according to vertical spacing of reinforcement

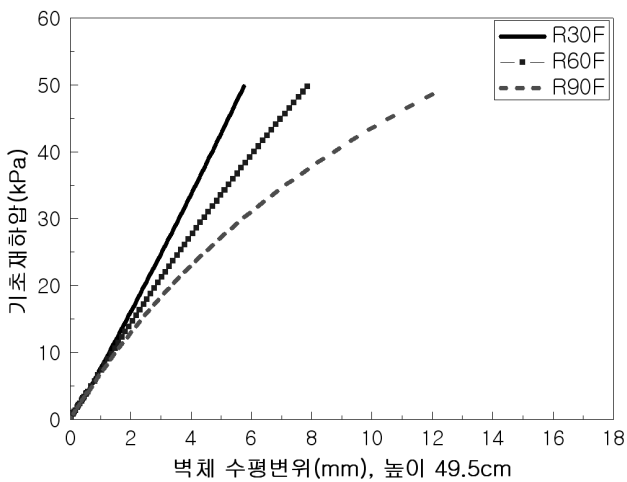


Fig. 6. Relationship between loading pressure and horizontal displacement of wall according to vertical spacing of reinforcement

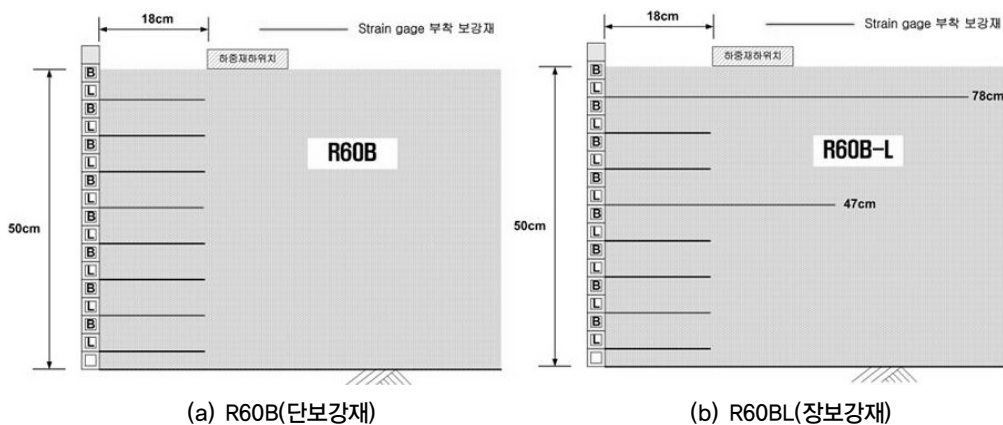


Fig. 7. Two different reinforcement patterns

## 2.3 결과 분석

### 2.3.1 보강재 간격

Fig. 5는 철도 설계하중 작용 시 기초재하압력과 침하량 관계도이다. 그림으로부터 50kPa 작용 시 기초의 평균침하량은 각각 R30F에서 5.0mm, R60F에서 6.0mm, R90F에서 11.0mm로 동일한 상재하중 하에서 보강재 간격 증가에 따라 침하량이 200%이상 증가하는 것을 알 수 있다. R30F와 R60F의 경우 설계하중 작용 시 침하는 선형적으로 증가하여 항복까지는 도달하지 않았으나, R90F의 경우 40kPa 하중 재하시점에서부터 항복 비선형 거동을 보이면서 침하량이 크게 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 R30F, R60F, R90F의 기초재하압과 벽체 최상단 0.99H(49.5cm)에서의 수평변위 관계를 보여준다. 50kPa 하중 작용 시 R30F의 경우 5.75mm(1.15%H), R60F의 경우 7.8mm(1.56%H), R90F의 경우 12.5mm(2.5%H)의 최대수평변위가 발생하였다. R60F에서 R90F로의 변화 시 수평변위 증가량이 비선형적으로 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

R90F의 경우 15kPa 재하 시부터 비선형적으로 벽체 수평변위가 증가하는 경향을 보여 기초침하 경향보다는 낮은 재하 하중에서 비선형 거동을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 일체형 강성벽 보강노반에서도 일정 수준 이상의 보강재 간격 증가는 침하 및 벽체 수평변위의 비선형적 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

### 2.3.2 보강재 패턴(길이)

보강재 설치 패턴, 구체적으로 보강재 적용 길이에서의 변화(장보강재 적용)에 따른 보강토체의 변형 및 벽체와 보강토체 간의 하중 분담률을 평가하기 위하여 Fig. 7과

같이 R60B(단보강재 만 적용)와 R60BL(단보강재와 장보강재 혼용)에 대한 실험을 수행하였다. 하중 재하위치는 그 영향을 보다 확실하게 보기 위하여 보강 영역 외측 보강재 끝단으로 결정하였다.

Fig. 8은 R60B와 R60BL에 대해 기초재하압 증가에 따른 기초침하량 변화를 보여준다. 그림으로부터 40kPa 작용 시 장보강재 적용 유무에 따라 R60BL의 침하량이 R60B와 비교하여 42.2%(6.4mm→3.7mm) 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 단보강재만을 사용하면서 하중재하 위치가 상이한 R60B(보강재 외측)의 경우는 30kPa 재하시점부터 비선형거동을 보였으나, R60F(보강재 내측)는 50kPa 재하 시까지 선형적인 거동을 보여 상이한 거동 형태를 보였다. 이는 단보강재만을 적용하는 경우 하중재하 위치가

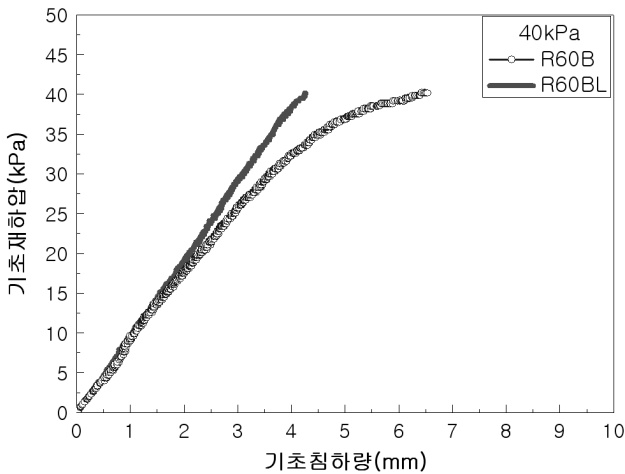


Fig. 8. Relationship between loading pressure and settlement according to different reinforcement patterns

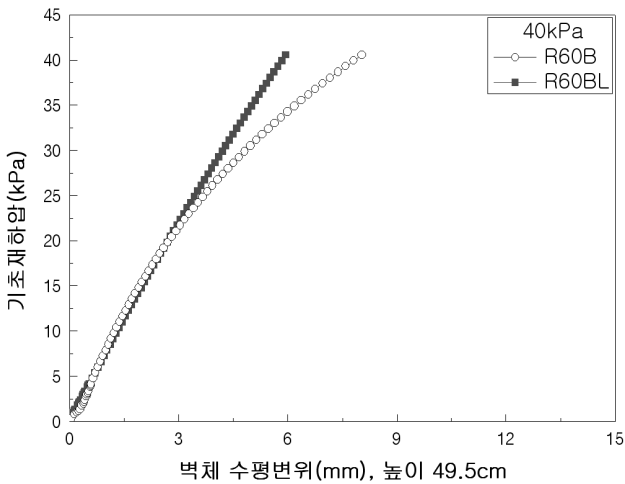


Fig. 9. Relationship between loading pressure and horizontal displacement of wall according to different reinforcement patterns

기초 침하패턴에 큰 영향을 미치는 것을 의미한다.

Fig. 9는 R60B와 R60BL에 대하여 기초재하압 변화에 따른 벽체 최상단에서의 수평변위 변화를 나타낸 것이다. 그림으로부터 40kPa 재하 시 R60BL은 6.4mm (0.128%H)의 수평변위가 발생하였으며, 변위 발생 형태도 선형적이었다. 이에 비해 R60B는 2배에 가까운 10.5mm(0.21%H)의 수평변위가 발생하였으며, 20kPa 하중에서부터 비선형 거동을 보였다. 상기의 결과로 부터 벽체 수평변위도 장보강재 사용 시 크게 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 보강재 설치 패턴 변화에 따른 벽체 높이별 수평토압 분포를 나타낸 것이다. 그림으로부터 R60BL의 경우가 R60B과 비교하여 작은 수평토압이 작용하는 것을 알 수 있다. 이는 장보강재 배치가 수평변위 뿐 아니라 벽체에 작용하는 토압의 경감(최대값 기준 1.39kPa 차이, 34%)에도 기여하는 것을 알 수 있다. 또한, 토압 발생 형태로부터 토압 분산에도 영향을 미쳐 최대 토압 발생 위치도 변화시키는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 실험형 시험

높이 3m의 실내 실험형 시험을 통하여 100만회 반복 열차하중 재하 시 보강재 간격 변화에 따른 강성벽 일체형 보강노반의 거동을 분석하였다.

#### 3.1 시험시스템 개요

보강재 간격이 다른 2종류(30cm\_R30와 40cm\_R40)의 시험체를 구축하기 위해 한국철도기술연구원 실험형 토조

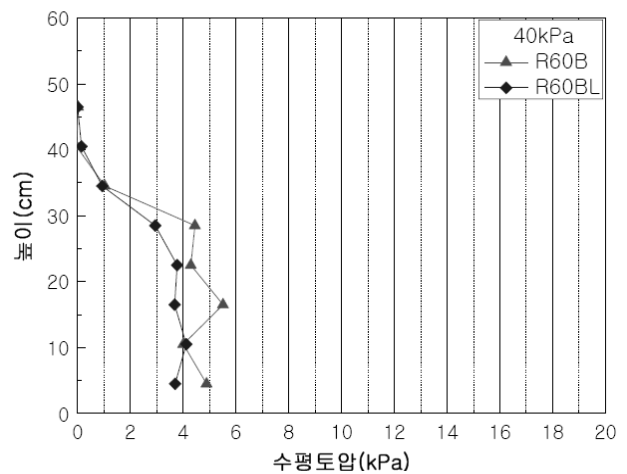


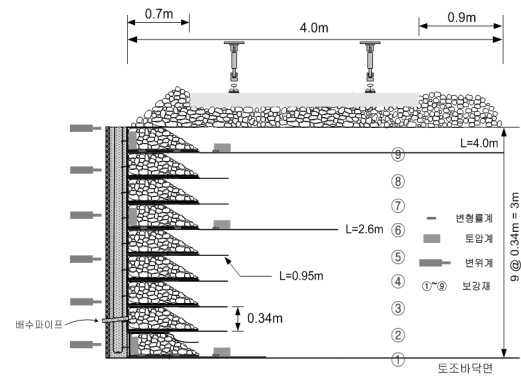
Fig. 10. Horizontal earth pressures according to different reinforcement patterns



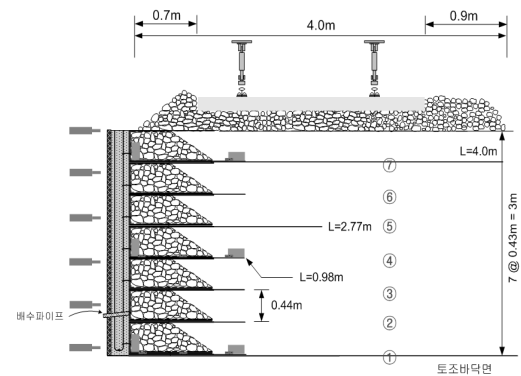
Fig. 11. Procedures to construct reinforced subgrade with rigid wall

(폭 5m, 깊이 3m, 길이 22m)를 사용하였다. 보강 노반 구축을 위한 뒷채움재는 자연함수비 10.8%, 비중 2.66, #200 체 통과율 12.89%인 점토질 모래(SC)를 사용하였다. 다짐 시험결과 뒷채움재의 최대건조단위중량과 최적함수비는 각각 19.89kN/m<sup>3</sup>과 11.2%였다. 재료의 역학적 특성을 위하여 직접전단시험(KS F 2343)을 실시하였으며, 그 결과 점착력(c)은 20.6kPa, 내부마찰각( $\phi$ )은 33°로 나타났다. 보강재는 설계인장강도 60kN/m의 폴리에스테르 폴리프로핀 코팅 보강재를 사용하였다. 뒷채움 다짐용 기준틀은 격자형 철근망으로 직경 13mm의 철근을 용접하여 사용하였다. 다짐 시 완화층 자갈 및 흙 시료의 유출을 방지하기 위하여 자갈 유실방지막을 기준틀 전면에 설치하였다. Fig. 11은 강성벽 일체형 보강노반의 시공 순서를 보여준다. 시험체 시공 및 계측기 설치 순서는 아래와 같다.

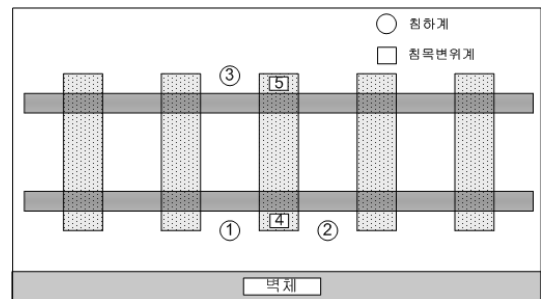
- (a) 토조 바닥에 잡석기초를 포설한 후 보강재와 기준틀을 설치한다.
- (b) 자갈 유실방지막(마대)을 설치하고 완화층 쇄석자갈과 뒷채움 흙을 포설한 다음 진동롤러와 소형다짐기를 이용하여 충분히 다짐한다. 1층 다짐높이는 15cm로 하였다.  
이 후 보강재를 기준틀 전면으로 말아 감는 작업을 실시하였다.
- (c) (a)~(b) 단계를 반복수행하여 뒷채움을 완료한다.
- (d) 벽체 철근 배근 후 거푸집을 설치하고, 콘크리트 타설을 실시한다.
- (e) 소정의 양생기간을 거쳐 거푸집을 해체하면 강성벽 일체형 보강노반 시공이 완료된다.



(a) R30 section view



(b) R40 section view



(c) Sensors on track

Fig. 12. Sensor locations

- (f) 하중 재하 시 벽체 수평변위 측정을 위한 거치대를 설치한다.
- (g) 보강노반 상부에 자갈궤도와 하중 재하지그를 설치한다.
- (h) 변위계 등 계측기를 설치하고 재하시험을 실시한다.

Fig. 12는 구축한 보강노반 시험체에 설치된 센서 배치도이다. 단면도에는 토체 내에 설치된 토압계 및 벽체 수평변위계를, 궤도상에는 침목 및 노반 침하용 센서위치를 표시하였다. 벽체 수평변위, 침목 침하량 및 노반의 탄소성 침하량을 측정하기 위하여 변위계 11개를, 심도별 연직 및 수평토압 측정을 위하여 토압계 14개(시험체 별 각 7개)를, 보강재에 발생하는 인장변형률 분포를 평가하기 위하여 스트레인게이지를 벽체배면에서 0.15m, 0.55m, 0.95m 지점에 총 18개 설치하였다.

### 3.2 시험내용 및 방법

그림 13은 하중 재하조건을 보여준다. 정동하중 재하 시험 전 자갈궤도의 도상 안정화를 위하여 개통 후 초기 열차 서행에 해당하는 0.5Hz, 500회, 유지보수 기계장비의 작업 주파수인 35Hz, 2100회 가진을 실시하였다. 또한 동하중 재하 전후 정하중 실험을 실시하여 동하중 시험 전

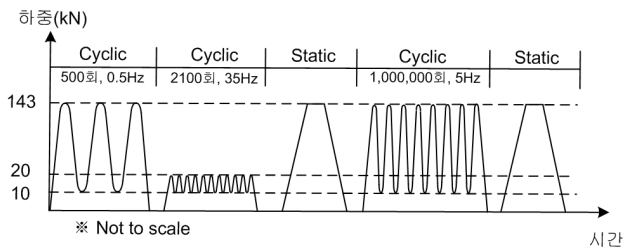
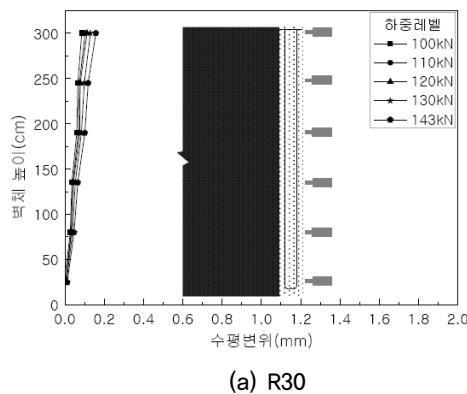
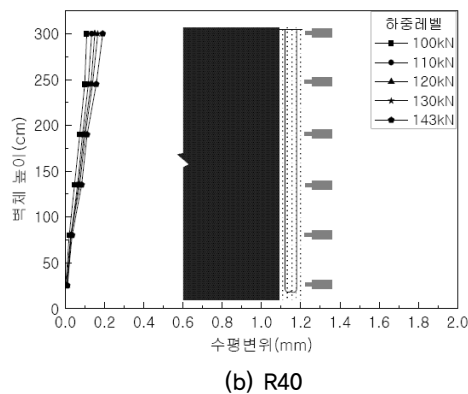


Fig. 13. Loading conditions



(a) R30



(b) R40

Fig. 14. Horizontal displacement of wall under static loading

후의 노반에 대한 강성을 평가하였다. 시험 동하중은 열차 속도 200km/h와 L22 열차하중을 고려하여 최대 작용 운중을 143kN으로 재하주파수는 5Hz를 적용하였다.

### 3.3 결과분석

#### 3.3.1 정하중 재하시험

Fig. 14는 정하중 재하 시의 벽체 수평변위 분포로, R30과 R40 모두 벽체 최상단에서 최대 수평변위가 발생하는 전도형 변위 형태를 보이고 있다. R30의 경우 최대 수평변위는 0.15mm이고, R40은 0.19mm였다. 이는 벽체 높이(3m)의 0.005~0.006%에 해당하는 값으로, 고속철도 설계 기준(노반편, 2005)에서 규정하고 있는 콘크리트 전면판을 사용하는 경우 허용 수평변위량(6mm)의 2.5~3.2%로 매우 낮은 수준이었다. Fig. 15는 정하중 재하 시 하중과 노반침하량과의 관계로 R30(0.88mm)보다 R40(0.92mm)이 최대 하중조건 하에서 침하량이 크고(0.04mm) 약간 작은 강성을 보였으나, 그 차이는 크지 않았다.

#### 3.3.2 동하중 재하시험

Fig. 16은 반복열차하중 100만회 재하 시 보강재 설치 간격에 따른 벽체 높이와 발생 수평변위 관계를 보여준다. R30과 R40 모두 최대 발생변위는 0.33mm와 0.35mm에 불과하였으며, 전도형 변위형태를 보여 주었다.

Fig. 17은 반복열차하중 100만회 재하 시 노반의 소성 침하 변화를 나타낸 것으로, R30이 1.6mm, R40이 1.9mm였다. R30보다 R40이 18.8% 크게 나타나 보강재 간격이 작을수록 소성침하량이 작게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 두 경우 모두 콘크리트궤도의 허용잔류침하기준인 30mm보다 매우 작은 수준의 침하량이 발

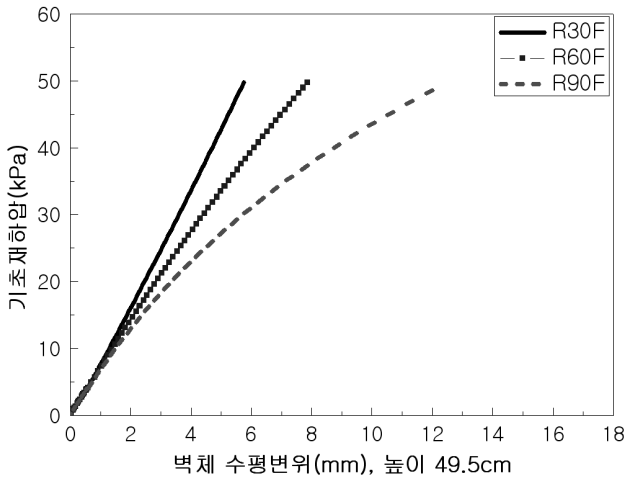


Fig. 15. Subgrade settlement under static loading

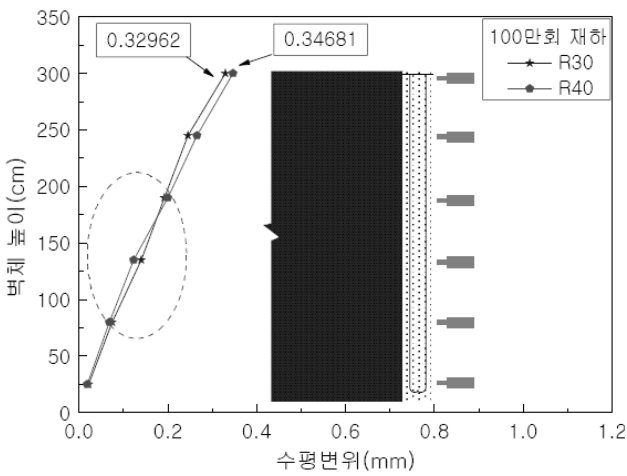


Fig. 16. Horizontal displacement of wall under dynamic cyclic loading

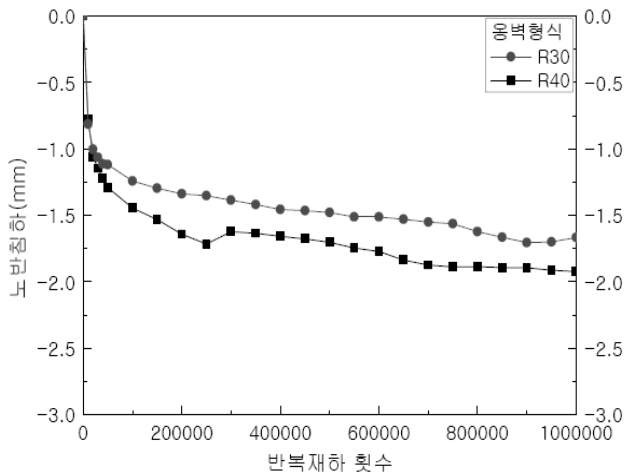


Fig. 17. Subgrade settlement under dynamic cyclic loading

생하여 사용성 측면에서는 부족함이 없을 것으로 판단되었다.

#### 4. 결론

강성벽 일체형 보강노반의 경제성 및 시공성 향상을 목적으로, 보강재 간격 및 패턴(길이) 변화가 보강토체 전체의 거동에 미치는 영향을 축소모형실험 및 실대형시험을 통하여 평가한 결과는 다음과 같다.

(1) 축소모형실험(상사비 1/10)을 통하여 보강재 간격 변화(30mm(30cm), 60mm(60cm), 90mm(90cm))에 따른 일체형 보강노반의 침하 및 벽체 수평변위 평가 결과는 다음과 같다. 철도 최대설계하중인 50kPa 작용 단계에서 보강재 간격 30mm(30cm)와 60mm(60cm)에서는 선형적인 거동을 보였으나, 90mm(90cm)에서는 비선형적으로 항복하는 거동을 보였다. 기초 침하량 증가 시 강성벽은 전도형태의 파괴 패턴을 보였다. 축소모형실험(상사비 1/10)을 통하여 보강재 패턴(길이) 변화에 따른 침하 및 벽체 수평변위는 장보강재를 혼용하는 경우 단보강재만을 적용하는 경우와 비교하여 40%이상 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 장보강재는 강성벽에 작용하는 최대토압의 경감(최대값 기준 1.39kPa 차이, 34%)에 기여하며, 이를 통한 토압분산에도 영향을 주어 벽체 설계를 보다 경제적으로 할 수 있을 것으로 판단되었다.

(2) 높이 3m의 실대형시험을 통하여 보강재 간격 변화(30cm와 40cm)에 따른 일체형 보강노반의 침하 및 벽체 수평변위 평가 결과는 다음과 같다. 정하중 재하시 간격 30cm의 경우 최대 수평변위는 0.15mm였고, 40cm는 0.19mm로, 벽체 높이의 0.005~0.006%에 해당하는 변위가 발생하였다. 이는 고속철도 설계기준(노반편, 2005)에서 규정하고 있는 콘크리트 전면판을 사용하는 경우 허용 수평변위량(6mm)의 2.5~3.2%로 매우 낮은 수준이었다. 100만회 동하중 재하시 간격 30cm와 40cm의 최대 수평변위는 0.33mm와 0.35mm에 불과하였다. 노반 장기소성침하는 각각 1.6mm, 1.9mm로 40cm에서 상대적으로 크게 나타났지만, 콘크리트궤도의 허용잔류침하기준인 30mm 보다는 크게 하회하는 수준이었다.

(3) 상기 결과로부터 강성벽 일체형 보강노반은 높이의 35% 길이의 짧은 보강재를 사용함에도 불구하고, 열차하중 작용 시 침하와 벽체 수평변위 측면에서 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 또한, 보강재 연직 배



치간격 30cm의 보강노반 뿐만 아니라 배치간격 40cm 인 보강노반도 충분히 콘크리트궤도용 노반으로서의 사용성은 확보하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히 장보강재는 열차하중에 대한 사용성 측면(침하억제) 과 전면벽체의 안정성 측면(전도방지)에서 큰 역할을 하는 것으로 판단되었다.

향 후 강성벽 일체형 보강노반의 현장 적용성능을 향상 시키기 위하여 실의 실대형 시험체에 대한 내기후성 평가, 벽체와 뒷채움재 사이의 연결부 성능평가, 전철주 기초 하중에 대한 벽체의 저항 성능 산정, 현장 콘크리트타설 공법의 단점 보완 등에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Tatsuoka, F., Hirakawa, D. Shinoda, M., Kongkitkul, W, and Uchimura, T. (2004), "An Old but New Issue; Viscous Properties of Polymer Geosynthetics Reinforcement and Geosynthetic-Reinforced Soil Structures", *Proc. of the 3rd Asian Regional Conference on Geosynthetics*, Korean Geosynthetic Society, Seoul, pp.29-77.
2. Tatsuoka, F. (2008), *Recent developments in practice and research of geosynthetic-reinforced earth structures in Japan*, Keynote lecture, 30, Gaugrundtagung, Dortmund.
3. Korea Rail Network Authority (2011), *Rail design standard specification*, Korea.