

원심모형실험기를 이용한 철도 교대접속부 배면 기울기 및 형상에 따른 성능비교

Comparison of Performance with Backfill Inclination Slope and Shape in Railway Abutment and Transitional Zone Using Centrifuge Model Tester

최찬용^{1*}, 김현기¹, 박정현²

Chan-Yong Choi^{1*}, Hun-Ki Kim¹, Jung-Hyun Park²

¹Member, Principal Researcher, High Speed Research Division, Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldo bangmulgwan-Ro, Uiwang-Si, Gyeonggi-Do 16105, Republic Korea

²Non-Member, Graduate Student, Department of Civil Engineering, Inha University, 100 Inha-ro, Nam-Gu, Incheon 22212, Republic Korea

ABSTRACT

An existing standard design section of transitional zone between bridge and earthwork section in high speed railway should be designed to gradually change support stiffness from bridge abutment to backfill side that were placed on cemented stabilized gravel, general gravel, soil materials. The larger the backfill slope of the general gravel and soil was more structurally stable, but there is no clear reason about them. In this study, it was compared with settlement and bearing capacity of backfill area in currently design and alternating backfill slope section using large centrifuge tester. As the experimental results, it was showed that the 1:2 slope and 1:1.5 slope have almost similar bearing capacity behavior under the load stage as railway loading level.

요 지

현행 고속철도 교대 접속부 표준단면은 교대배면에서부터 시멘트안정처리골재, 일반골재, 토공부로 하부 지지강성이 점진적으로 변화하도록 설계하고 있다. 일반골재와 토공부의 배면기울기는 기울기가 클수록 구조적으로 안정적이지만 이에 대한 명확한 기준이 없다. 따라서 본 논문에서는 대형 원심모형실험기를 이용하여 교대 뒤채움 배면구간의 토공과 일반골재의 기울기를 변화하여 현행 표준단면과 침하 및 지지력 특성을 비교하였다. 실험결과 철도하중이 경험하는 하중단계에서는 1:2단면과 1:1.5 기울기 단면이 거의 유사한 성능을 가지고 있는 것으로 평가되었다.

Keywords : Railway Abutment, Backfill Slope & Shape, Settlement, Bearing Capacity, Centrifugal Model Tester

1. 서 론

국토의 70%이상이 산악지대로 이루어진 우리나라 지역 특성상 도로나 철도 건설 시 교량과 터널과 같이 구조물의 시공이 많이 이루어지고 있다. 구조물과 토공부와의 접속구간은 하부 지지강성이 다르기 때문에 열차의 이상

진동 및 충격하중이 발생하여 공용 중에 빈번한 유지보수 작업이 발생하고 있다. 특히 궤도의 평탄성 확보는 고속운행에 있어서 매우 중요하기 때문에 접속부 구간은 설계시 점부터 엄격한 재료선정과 지지강성이 점진적으로 변화되도록 설계하고 있다. 구조물 접속부는 일반구간에 비해 거동특성이 복잡하기 때문에 최근까지도 많은 연구가 진행되고 있다. 지반공학적으로는 뒤채움 구간의 침하거동에 대한 연구가 많으며, 궤도분야에서는 열차상호작용해석에 대한 연구가 많이 진행되고 있다(Bowe, 2009; Eum et al., 2013; Choi et al., 2013; Shan et al., 2013; Andre Paixao

Received 14 Dec. 2017, Revised 6 Mar. 2018, Accepted 12 Mar. 2018

*Corresponding author

Tel: +82-31-460-5317; Fax: +82-31-460-5032

E-mail address: cychoi@krrri.re.kr (C. Y. Choi)

et al., 2014). Yoo et al.(2016)은 교대설계의 합리적인 방안으로 시멘트안정처리골재의 역학적 특성을 고려하여 공사비용 절감효과를 정량적으로 평가하였으며, Choi et al.(2015)은 교대접속부에 궤도틀림을 고려하여 열차 동적 상호작용 해석을 수행하여 궤도 평탄성이 동적하중에 매우 중요한 사항이라고 발표하였다.

국내 설계기준에 적용하고 있는 구조물 교대접속부 표준단면은 접속부의 연장(L)을 교대높이의 4H와 20m구간으로 정의하고 고속철도와 일반철도로 구분되어 설계시공하고 있다. 고속철도 콘크리트궤도의 경우에는 교대배면의 부등침하와 급격한 강성 차이를 줄이기 위하여 어프로치슬래브 설치와 교대배면으로부터 시멘트안정처리골재, 일반자갈, 일반토사 순으로 강성이 점진적으로 변화될 수 있도록 설계하고 있다. 이외에도 교대 교대배면의 형상은 역사다리꼴과 사다리꼴 형상으로 나누어지고 있으며, 이때 기울기는 1:1.0~1:2.0을 적용하고 있다. 표준 쌓기 기울기는 비탈면 안정성을 고려하여 높이에 따라 기울기를 다르게 적용하고 있지만 교대 뒤채움의 배면의 기울기에 대한 정확한 산정 기준은 없는 실정이다. 다만 완만한 기울기로 시공할 때 보다 안정성 측면에서 유리하기 때문에 국내에서는 기울기를 1:2.0로 획일적인 기울기로 제시하고 있다. UIC719R(2008)에 제시된 교대 접속부 표준단면과 비교해보면 교대배면의 기울기는 1:2.0 이내로 국내 기준보다는 현장사항에 따라 기울기를 조정하도록 되어 있다. 따라서 본 논문에서는 일반자갈과 토사층 사이의 기울기를 1:2와 1:1.5로 가정된 단면과 사다리꼴과 역사다리꼴과의 교대배면 형상에 따른 교대배면의 침하 및 지지력의 차이가 발생하는지를 파악하고자 원심모형실험을 실시하였다.

일반적으로 지반재료의 거동은 수치해석모델로 완벽히 모사하기에 어려움이 있으며 특히 교대-토공 접속부의 상호작용을 모사하여 거동을 평가하는데 한계가 있을 수 있다. 모형지반 조성을 위해서는 현장의 시료를 채취하는 것이 이상적이나 현장 지반 재료를 구하는데 어려움이 있고, 축소 모델링을 위한 상사법칙에 따른 입경 크기와 입도 분포의 영향에 대한 고려가 쉽지 않아 현재에도 지반 모델링 기법에 관한 많은 논의가 진행 중에 있다(Bolton and Lau, 1988). 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안으로 동적 원심 모형실험은 모형 구조물을 고속으로 회전시켜 현장의 응력 조건을 재현하는 모형실험 기법으로 일반적인 축소 모형실험의 한계를 보완하면서, 효과적으로 원형구조물의

거동 연구 할 수 있는 시험 방법이라고 할 수 있다(Kim et al., 2012; Kim et al., 2013). 특히 본 논문에서 알고자 하는 기울기변화와 형상 차이에 대한 성능비교를 위한 방법으로 기존의 실대형실험이나 축소모형실험, 원심모형실험 등으로 파악할 수 있으나 실대형실험의 경우에는 결과의 신뢰성은 가장 높지만 대상물의 제작 및 시험의 수행에 있어 경제적 한계 및 방법적인 측면에서 여러 어려움이 존재하여 실제적으로 활용이 미흡하다고 할 수 있다. 또한 지구의 중력장(1g) 내에서 행해지는 축소모형 시험은 지반 거동 특성에 가장 큰 영향을 미치는 자중에 의한 응력상태를 재현하지 못하는 단점이 있을 수 있다. 원심모형실험은 축소된 모형을 고속으로 회전시켜 실제 중력보다 매우 큰 가속도(N-g)를 인위적으로 적용함으로써 현장의 실 응력상태를 구현할 수 있고, 대형 지반 구조물의 설계와 시공 사이에 발생할 수 있는 지반 거동의 괴리를 해소함과 동시에 다양한 변수를 고려하여 신뢰성 있게 현장을 재현할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 원심모형실험을 통하여 교대배면의 일반골재와 일반토사의 기울기를 1:2와 1:1.5로 기울기 변화와 교대배면의 사다리꼴 형상과 역사다리꼴 형상 차이에 의한 지지력, 침하, 수평토압 등을 상호 비교하였다.

2. 원심모형시험 및 대상시료

2.1 원심모형시험기

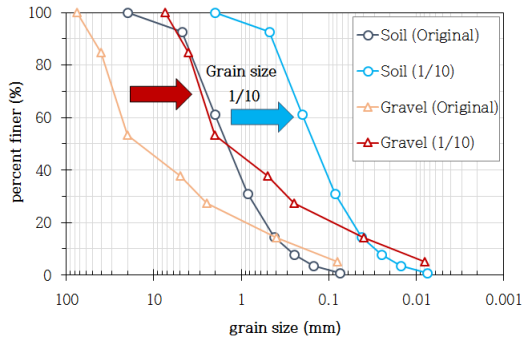
본 논문에서 사용된 원심모형시험기는 KOCED 지오센터 리피지 실험센터의 원심모형시험기로서 프랑스 ACTIDYN SYSTEMES SA의 C72-2 model로 Beam 형태, 회전반경 5m, 최대 용량 240g-tons의 규모를 갖는다. 최대 2,400kg의 지반모형을 적재한 상태에서 100g의 원심가속도까지 구동이 가능하며, 1,300kg 적재하중에서 130g의 최대 원심가속도를 구현할 수 있다. Table 1은 원심모형실험시설의 주요 사양을 보여주고 있다.

2.2 대상시료

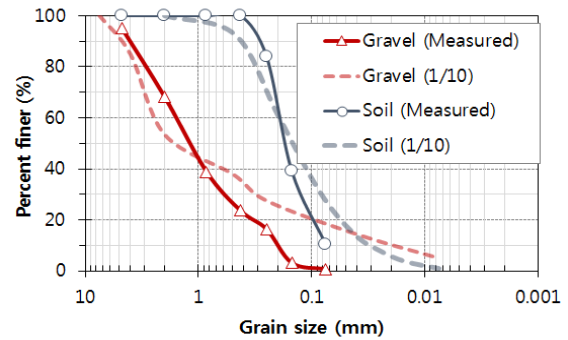
원심모형실험의 경우 원형의 입경크기를 갖는 시료를 사용하는 것은 불가능기 때문에 재료의 물리적 특성을 최대한 반영할 수 있도록 대상 시료를 조정하였다. 원입도를 축소된 시험입도로 조정하는 방법에는 상사입도법, 전두

Table 1. Main Specification of Geo-Centrifuge Model Test Facility

Category	Specification
Producer / Model	ACTIDYN SYSTEMES SA, France / C72-2
Platform Radius	5,0 m
Maximum Capacity	240g-tons
Maximum acceleration / model weight	130 g / 2,400 kg (up to 100 g)
Payload Size	1,2 m(L) × 1,2 m(W) × 1,2 m(H)
Fluid rotary joint	Total 10 lines (air, water, oil)
Electrical slip ring	Total 42 lines (power, signal, video)
Fiber optic rotary joint	Data acquisition and video signal



(a) PSD using for field and model test



(b) PSD using for centrifuge model test

Fig. 1. Particle size distribution curve

Table 2. Minimum and maximum dry density of soil and gravel ground materials

Items	Soil	Gravel	Remarks
Minimum dry density (kN/m ³)	13,05	16,7	KS F 2311
Maximum dry density (kN/m ³)	15,50	18,4	KS F 2312
Optimum water content (%)	10	7,5	

입도법, 자갈입도보정법 등이 있으며, 이 중에서 가장 널리 적용되는 방법은 상사입도법(Parallel grading method)이다. 이 방법은 시험기의 크기에 맞추어 최대입경을 결정한 후, 원재료의 입도곡선을 평행 이동하여 시험입도의 균등계수가 원입도와 같도록 입도를 축소 조정하는 방법이다(Hou et al., 2004). 1/10 비율로 축소한 입도분포로 목표 입도분포 곡선에 해당하는 토사시료와 자갈시료를 비율을 만족시키기 위해 표준규격 KS F 2301에 따라 체가름 시험을 수행하였다. 토사지반의 입도분포를 맞추기 위하여 Hammer Crusher 공정에 의해 인공적으로 생산한 규사(silica sand)와 실트질 모래를 혼합하여 조성하였으며, 자갈지반은 입경의 크기가 서로 다른 총 7종류의 규사 혼합물을 제조하여 입도분포를 조정하였다. 시험에 사용된 재료의 입도분포 곡선은 Fig. 1(b)과 같다. 또한 실트질 모래와 규사 혼합물, 자갈 혼합물, 그리고 시멘트 처리된 자갈

혼합물의 재료의 최대 및 최소 건조밀도 결과는 Table 2와 같다.

2.3 대상시료의 탄성계수

토사지반(실트질 모래와 규사 혼합물), 자갈 혼합물, 그리고 시멘트(3%) 처리된 자갈재료의 탄성계수를 평가하기 위해 Stokoe식 공진주 실험을 수행하였다. 시험시편은 5층 과소다짐법(under-compaction method)을 이용하여 성형하였다. 시험 시편은 토사 및 자갈 시료의 각각 최적 함수비로 성형하였고, 직경은 약 50mm, 높이는 약 100mm이다. 이후 각 측정 센서를 비롯한 공진주실험 시스템을 설정 하였고, 압축공기를 이용하여 등방의 구속응력을 재하 하였다. 재하 된 구속응력 단계는 총 3단계로 50kPa, 100kPa, 150kPa 순으로 실험을 수행하였다. 시편 내에 균

Table 3. The maximum shear wave velocity

Constraining pressure, kPa (average effective stress)	Soil			Gravel			Cement(3%) + Gravel		
	Vs (m/s)	G (MPa)	E (MPa)	Vs (m/s)	G (MPa)	E (MPa)	Vs (m/s)	G (MPa)	E (MPa)
50	180	52,4	125	218	85,6	205	431	356	854
100	210	71,5	171	246	115,0	276	470	424	1017
150	229	85,0	204	276	144,0	345	500	481	1154

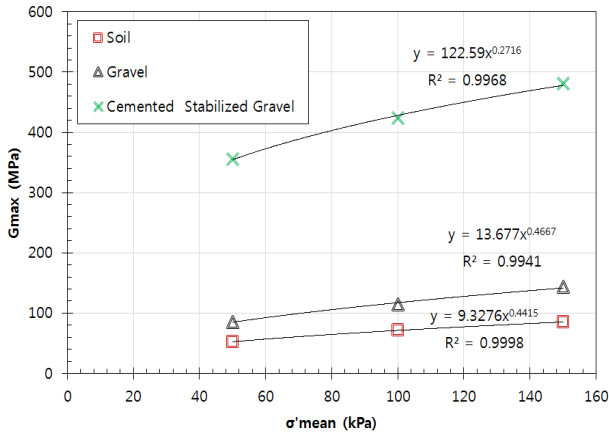


Fig. 2. Variation of regression curve of shear modulus vs mean effective stress of the each materials

일한 구속응력분포의 확보를 위하여 각 구속응력 단계에서 1시간 동안의 압밀과정을 완료한 후, 저변형률에서 고 변형률로 변형률 크기를 증가시키며 공진주실험을 실시하였다. 공진주실험이 완료되면 다음 구속압 단계로 올려서 위와 같은 과정을 반복하며 시험을 수행하는 다단계시험법(multi-stage testing method)을 적용하여 하나의 시료로 여러 구속압 상태에서의 변형특성을 효과적으로 평가하였다.

각 평균유효응력에 대해 얻어진 최대전단탄성계수 및 탄성계수(Young's Modulus, 포아슨 비는 0.2로 가정)는 Table 3와 같다. Fig. 2는 각각의 시료의 공진주 실험으로부터 획득한 최대 전단탄성계수의 평균유효응력 영향평가에 근거하여 획득한 회귀곡선으로 이를 바탕으로 각 지반의 임의의 깊이에서 최대 전단탄성계수 값을 예측할 수 있다.

3. 원심모형실험체 조성

3.1 하중재하장치 및 실험 모형 구성품

모형실험체에 연직하중을 재하 할 수 있도록 하중재하 시스템을 제작하였으며, 실험 조건을 고려하여 원심가속도 50g(상사비) 수준에서 모형을 제작하였다. 재질은 알루미늄을 선택 하였으며 전도 및 변형을 억제하기 위해 20mm의 두께로 교대를 제작하였으며, Fig. 3과 같이 토조 우측면에 설치하였다. 하중재하의 범위를 제한하기 위하여 기존 토조의 폭을 제한하였고 평면변형률 조건을 유지할 수 있도록 토조 뒷면의 지지대 구조물을 알루미늄으로 제작한 벽체와 원형 아크릴 관(외경: 26cm, 내경: 24cm)으로 설치하였다.

철도 하중을 모사하기 위한 하중 재하 장치는 1-D 수직 액츄에이터로서 하중 제어와 변위 제어가 가능하며, 최고 변위는 250mm, 변위 제어 속도는 초당 최고 5mm까지 제어가 가능한 시스템이다. 하중재하시스템은 최대 50kN의 압축 하중과 20kN의 인발 하중을 가할 수 있고, 액츄에이터의 점하중을 등분포 하중으로 지반에 균등하게 전달하기 위해 300mm의 너비를 가진 정사각형의 하중 재하 평판을 제작하였다(Fig. 3).

3.2 실험체 조성방법

실험 모델은 크게 지반, 교대, 벽면 세 가지로 구성하였다. 실험 단면은 폭이 300mm 이기 때문에 알루미늄으로



(a) Bridge abutment installation (b) Internal support for soil compaction (c) loading system (d) loading plate

Fig. 3. A loading system component & support system for model test

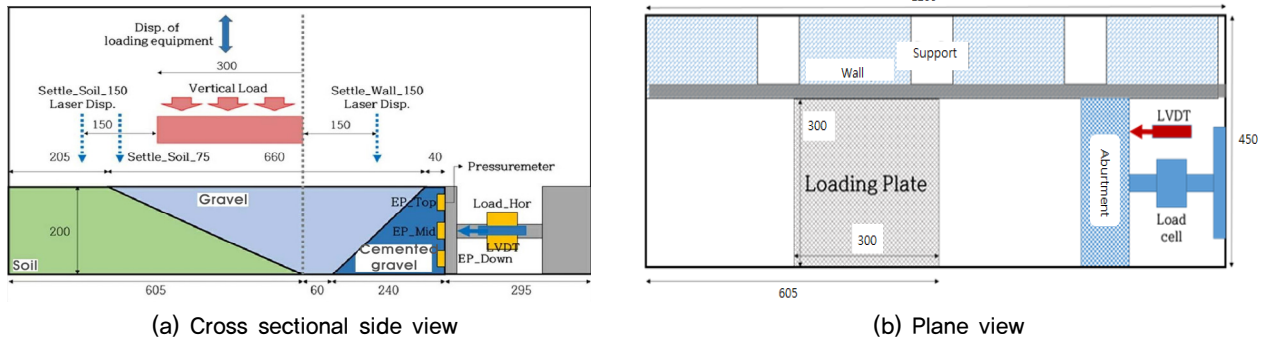


Fig. 4. A schematic diagram of the loading system

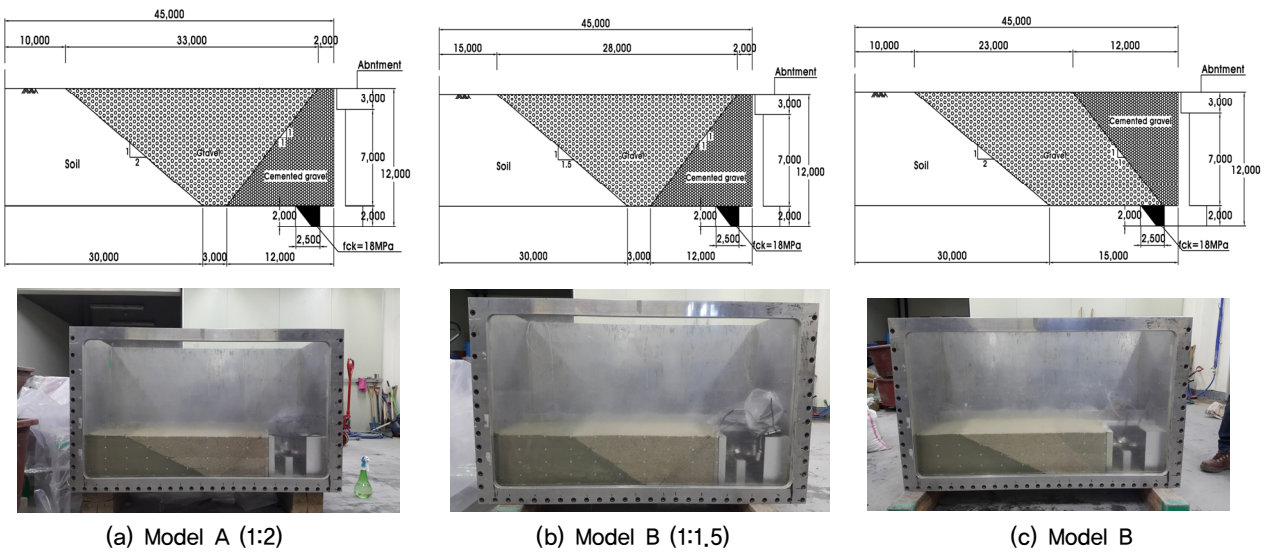


Fig. 5. Model case in this study

제작한 벽면을 설치하여 세로폭을 축소하였고, 벽면 지지를 위해 아크릴 원통을 벽면 뒤에 설치하였다. 벽면의 우측 앞에는 교대 및 로드셀을 설치하여 원하는 단면에 맞도록 다짐 틀을 제작하였다. 실험 간 하중 및 변위를 계측하기 위해 고성능 카메라, 변위 측정 센서(LVDT, Laser sensor), 하중 측정 센서(Load-cell, Earth pressure transducer) 등이 사용되었다. 원심모형실험 시 대상물체의 국부적인 변형을 계측하기 위해 사용되는 LVDT 혹은 Potentiometer, Laser Sensor 등의 한계를 보완하고, Model의 평면적 거동 계측 및 관찰을 위해 고성능 상용 카메라(Canon G10)를 사용하였다.

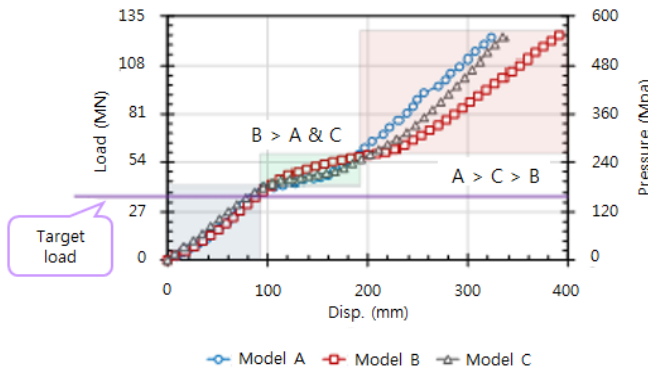
Fig. 4에 시험 Model의 측면 및 평면도를 도시하였다. 실험단면은 배면기울기 1:2단면(Model A), 배면기울기 1:1.5단면(Model B), 역사다리꼴 단면(Model C)으로 조성하였다. 지반의 높이는 총 200mm 이며 균질한 지반 조성을 위해 각각 50mm 씩 4개의 층으로 나누어 각 층은 부피와 목표 단위중량으로부터 무게를 계산하여 원하는

단위중량으로 조성하였다. Model A와 B의 경우 토사, 시멘트 처리된 자갈, 자갈지반의 순으로 지반을 조성하였으며 Model C의 경우 토사, 자갈, 시멘트 처리된 자갈 순으로 지반을 조성하였다(Fig. 5).

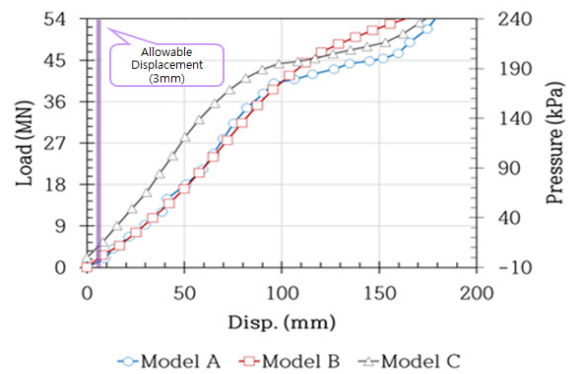
4. 교대접속부 표준단면 및 개선단면의 실험결과

4.1 수직하중 및 변위

Fig. 6(a)은 연직하중 재하장치인 액추에이터에 변위계측 장치인 LVDT를 통해 측정된 하중-변위곡선이다. 그림에서와 같이 약 150kPa 이내에서는 3개의 단면에 따른 변위의 차이가 나타나지 않지만 240kPa 이상에서는 변위의 특성이 다르게 발생하고 있는 것을 볼 수 있다. Model A에 비해 Model B의 경우가 지지력이 다소 낮은 것으로 나타났으며 Model C는 중간 정도의 값을 보여주고 있다. 하중재하관에 의해 지반에 전달되는 영향범위는 3개의



(a) load vs displacement



(b) load vs Displacement (less than 240 kPa)

Fig. 6. The curve of Load vs Displacement with model cases

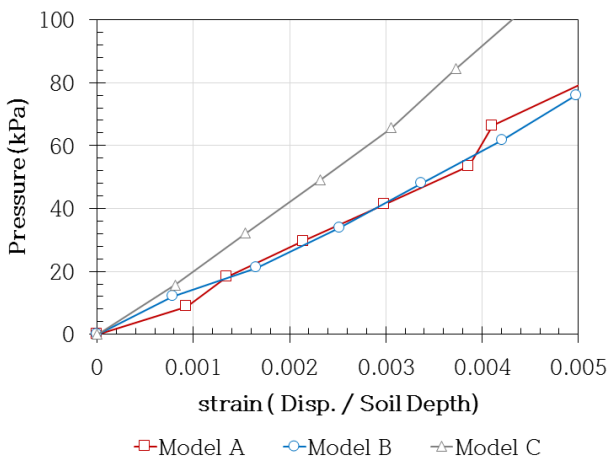


Fig. 7. The curve of loading pressure vs strain with soil depth

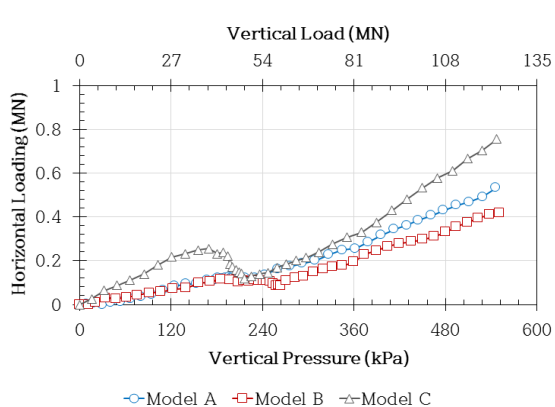
Model이 다소 차이가 있으나 접지하중 150kPa이하의 경우 Model A, B, 그리고 C 모든 단면에서 변위가 유사하게 나타났다. 하지만 접지하중이 150kPa이상으로 증가할 경우 Model B가 Model A와 C에 비해 상대적으로 강성이 작은 토사가 하중을 지지하는 비율이 많기 때문에 누적변위가 다소 증가하는 현상이 나타났다. Fig. 8(b) 150kPa 이하의 접지하중에서의 하중-변위곡선을 보면 목표 접지하중 이하의 하중변위곡선에서는 Model A와 B가 매우 유사한 결과를 보이고 있어 Model B 단면의 하중 재하시 거동은 열차의 상용하중에서는 동일한 결과를 보일 것으로 판단된다.

Fig. 7는 액츄에이터에서 측정된 연직변위를 지반의 깊이를 이용하여 연직 변형률로 정의하고 연직응력-연직변형률 그래프를 나타냈다. 확대기초에서 정적하중에 대한 흙의 지지력에 대하여 KS F 2444 기준에서는 허용하중의 3배 이상, 25mm 또는 재하판 지름의 10% 초과로 되어 있

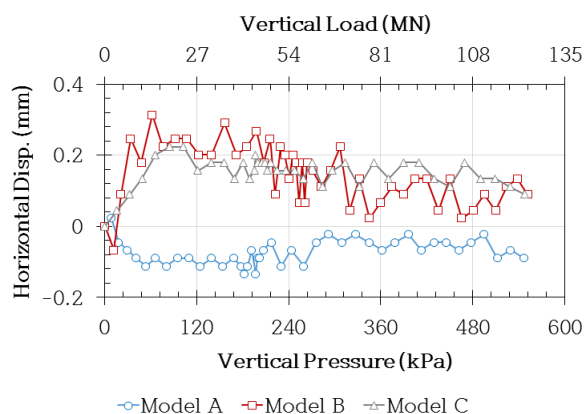
다. 하중 재하 침하량은 모델에 따라 평균적으로 8mm (model scale) 정도 발생하였으며 이는 정사각형 재하판의 한변의 길이 300mm(model scale)에 대해 2.6%에 해당하는 값이므로 10%를 초과하기에는 하중재하판의 변위가 부족하였다. 따라서 하중재하판이 원형 기준으로 25mm 침하하였을 때의 하중값을 바탕으로 지지력계수를 평가하였다. 25mm의 침하는 지반 깊이에 대해 약 0.0025의 변형률을 갖고 있으며 이때 연직응력-변형률 그래프의 길이를 지지력으로 판단하면 각각 19MPa (Model C), 13MPa (Model A & Model B)이다. 이는 일반적인 평판재하시험에서의 지지력보다 다소 작은 값을 보이고 있지만, 지반재료의 차이점 및 하중 재하 시 재하판과 지반과의 접촉에 따라 초기 기울기가 상이할 가능성이 있으므로 정량적 평가보다는 정성적으로 Model A 단면과 Model B 단면의 차이점이 크지 않음을 알 수 있다.

4.2 교대의 수평하중 및 변위

Model A, B, 그리고 C 단면에 대한 원심모형실험에서 교대 접속부 지반에 연직하중이 작용하는 동안 수평방향으로의 하중전달 영향을 평가하였다. 연직하중 증가에 따른 수평하중 증가량의 변화는 Fig. 8(a)와 같다. 수직하중이 최대 범위(약 130MN)까지 도달하는 동안 수평하중의 증가는 약 0.7% (=1(Hor.)/135(Vert.))로 Model A, B, 그리고 C 모두 미비했다. Model A와 B는 연직방향 목표 접지하중(150kPa) 이하에서 연직하중 증가에 따른 유사한 수평하중 증가 현상이 보이지만 Model C에서는 연직하중 증가에 따른 상대적 큰 수평하중의 증가를 보였다. 목표 접지하중(150kPa) 이상에서는 연직하중 증가에 따른 수평

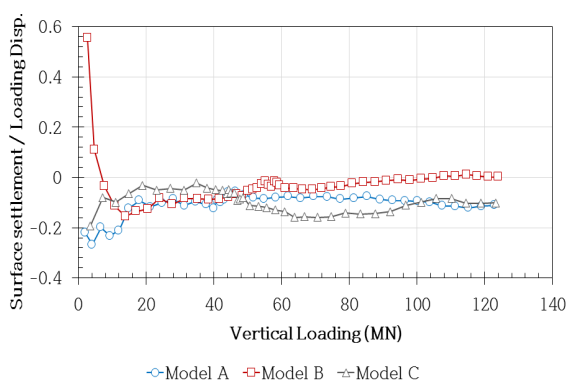


(a) Horizontal load vs Vertical pressure

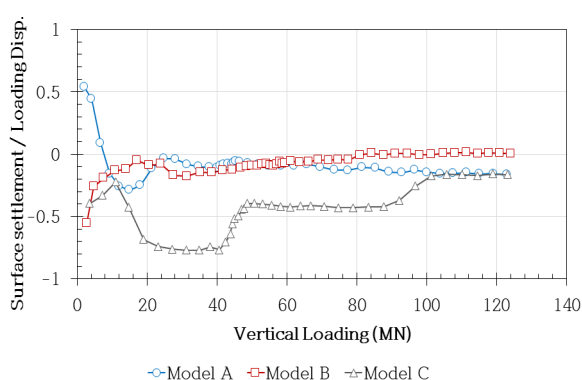


(b) Horizontal displacement vs Vertical pressure

Fig. 8. Increase in horizontal load and Abutment horizontal displacement due to vertical load increment



(a) Soil surface settlement



(b) Gravel surface settlement

Fig. 9. Ground surface settlement using laser sensor measurement

하중의 증가 현상이 Model A에서 가장 작고, Model B가 중간이며, 마지막으로 Model C가 가장 크게 나타났다. 하지만, Model 모두 수평하중 증가량이 매우 미비하므로 그 차이를 무시할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 8(b)은 교대에 부착된 변위 계측장비인 LVDT로부터 측정된 Model A, B, 그리고 C의 수평변위 결과를 나타낸다. 3개의 Model 모두 최대 약 0.3mm미만의 수평변위량이 계측되었으며, 이것은 연직 하중 재하에 따른 교대의 수평변위가 발생하지 않는다고 판단된다.

4.3 지반의 침하

레이저 센서를 이용하여 토사와 골재 지반의 표면에서 발생하는 연직 변위를 계측하여 연직방향 변위에 대한 현상을 분석하였다. 레이저 센서는 하중 재하 끝변에서 각각 7.5m 떨어진 위치에서 측정하였다. 토사와 골재 지반 표면에서 계측된 결과들은 Fig. 9(a)와 (b)에 각각 나타났다.

지반의 지표면 침하량을 하중재하 시 계측된 중앙부의 LVDT 연직하중침하량 값으로 정규화 하였으며 이와 함께 연직 하중을 도시하였다. 토사지반의 경우 50MN 이하의 연직 하중 재하 시에는 Model A와 B는 지반의 변위가 점점 증가하는 현상이 나타났고, 반면에 Model C는 점진적으로 지반의 변위가 감소하는 현상이 나타났다. Model A와 B의 경우는 일반적인 지반 재료의 삼축 압축시험에서 관찰 할 수 있는 팽창(Dilatancy)현상과 유사한 현상을 나타내며, 반면 Model C의 경우는 경화(Hardening)현상과 유사한 현상을 나타낸다고 예측할 수 있다. 50MN이상의 연직하중 재하 시에는 3개 Model 단면 모두 침하량 비율이 약 -0.1 정도의 값에 수렴하는 결과를 나타내었다. 초기 지반 침하량은 하중재하판의 침하량이 작으므로 변화가 큰 값을 보여주지만 하중이 증가하고 재하판 침하량이 증가할수록 지반 침하의 값은 그에 비해 매우 작은값을 보여주고 있다. 이로부터 하중 재하에 따른 지반 침하의 영향이 매우 적을 것으로 예상되며 자갈 지반과 토사 지반의

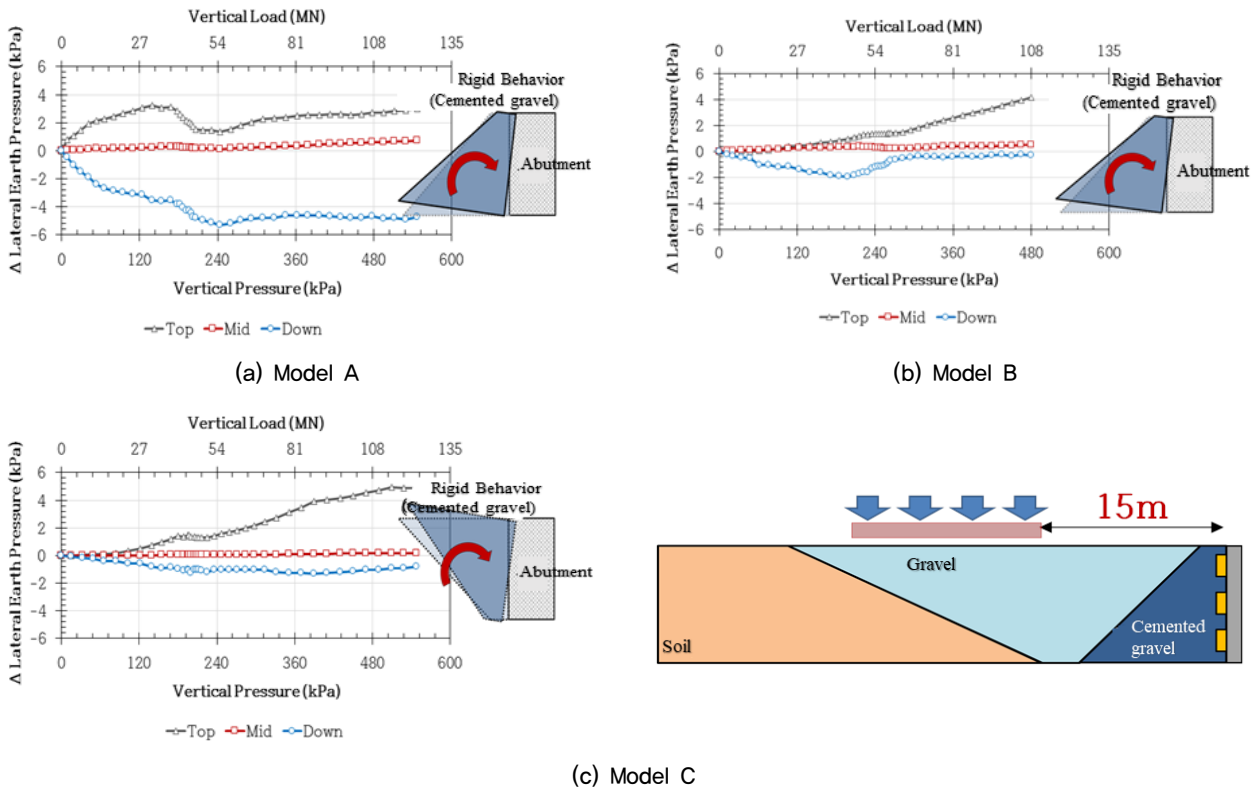


Fig. 10. Difference of horizontal earth pressure increase with vertical load increase

부등침하 가능성이 작을 것으로 판단된다.

4.4 교대의 수평토압

연직 하중 재하로 인하여 지반이 교대에 작용하는 토압을 평가하기 위하여 Fig. 10에서와 같이 하중 재하 끝에서 약 15m 떨어진 교대 후면부에 토압계를 교대 하부, 중간부, 그리고 상부에 각각 설치하였다. 3개의 Model 모두 연직방향 재하 하중이 최대값(130MN)에 도달 할 때까지 수평 토압의 증가량은 매우 미미한 것으로 나타났다 (+6 or -6kPa / 500kPa = + or -1.2 % 증감). 또한, 세 model 모두 상부에서는 양의 토압, 중간부에서는 0에 근접한 토압, 그리고 하부에서는 음의 토압이 계속되었으며, 이는 시멘트 처리된 자갈 지반이 강제거동을 나타내는 것으로 예측되며 연직하중 재하로 인하여 교대 벽면에서 모멘트 전도 현상이 나타난 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 교대 접속부 배면의 기울기 1:2와 1:1.5 단면, 역사다리꼴 형상에 대하여 원심모형실험기로 지지

력 및 침하특성을 비교하였다. 수평하중의 경우 전체적으로 연직하중 증가에 의한 전달이 거의 나타나지 않았으며, Model A와 Model B의 경우 토사와 자갈층의 배면 기울기가 달라지면서 하중-침하 곡선을 비교해 본 결과, 철도의 동적 하중을 정적하중으로 고려할 때 200kPa 이하 수준에서는 매우 유사한 결과를 나타냈다. 시공 순서를 고려한 비교 단면 Model C의 결과, 초기 하중-침하 곡선에서 좀 더 강성이 큰 것으로 나타났지만 그 차이가 미미하여 Model A & Model B와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

시멘트처리된 자갈 구간의 강제 거동과 유사하게 토압이 상부에서는 증가, 하부에서는 감소하는 경향으로 발생하였으며, 교대 접속부의 단면 형상에 관계없이 유사하게 나타났다. 결론적으로 기존 토사의 경사면 1:2는 1:1.5와 비교하여 노반의 강성과 부등침하가 크지 않기 때문에 경제성을 고려하여 경사면을 1:1.5로 반영하는 것이 유리할 것으로 사료되며, 뒤채움 형상은 강성 및 지지력 측면에서 큰 차이가 없어 시공순서 및 시공현장 조건에 따라 뒤채움 형상을 적용하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant (17RTRP-B067919-05) from Railroad Technology Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Bowe, C. (2009), *Dynamic Interaction of Trains and Railway Bridges Using Wheel Rail Contact Method*, Ph.D. thesis, National University of Ireland Galway.
2. Bolton, M.D. and Lau, C.K. (1988), "Scale effects arising from particle size", *Proceedings of the International Conference on Geotechnical Centrifuge Modelling (Centrifuge88)*, 127-132.
3. Choi, C.Y., Kim, H.K., Chung, K. Y. and Yang, S. B. (2015). "Train-Structure Dynamic Interaction Analysis of The Bridge Transition Considering Track Irregularity". *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 31(9): 29-38.
4. Choi, I.Y., Um, J.H., and Kim, M.C. (2013), "Analysis of the Influence of Track Alignment on Ride Comfort and Safety of KTX", *Journal of The Korean Society for Railway*, 16(2): 110-116.
5. Eum, K.Y., Kim, Y.H., and Kim, J.W. (2013), "Study on Dynamic Characteristics of Structure Approaches by Train Moving Loads", *Journal of The Korean Society for Railway*, 15(4): 298-304.
6. Hou, Y. J., Xu, Z. P. and Liang, J. H. (2004) Centrifuge modeling of cutoff wall for CFRD built in deep overburden. Proc. of Int. Conf. of Hydropower, Yichan, China, pp.86-92.
7. Kim, D.S, Ha, J.G, Lee, S. H, Choo, Y.W, Kim, S. H. (2012), "Simulation of Dynamic in-situ Soil Properties for the Centrifuge Test (Hualien Site in Taiwan)", *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol.16 No.4 pp.27-36
8. Kim, D.S., Kim, N.R., Choo, Y.W., and Cho G.C. (2013), "Newly Developed State-of-the-Art Geotechnical Centrifuge in Korea", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(1): 77-84.
9. Paixao, A., Fortunato, E. and Calcada, R. (2014), "Transition Zones to Railway Bridges: Track Measurements and Numerical Modelling", *Engineering Structures*, 80(1): 435-443.
10. Shan, Y., Albers, B., and Savid, S.A. (2013), "Influence of Different Transitions Zones on the Dynamic Response", *Computers and Geotechnics*, 48: 21-28.
11. UIC 719R (Ed. 3) (2008), *Earthworks And Track Bed Construction For Railway Lines Describes earthworks and track beds for ballasted track*, UIC code.
12. Yoo, C.H, Choi, C.Y, Yang, S.H (2016), "Comparison of Construction Cost and External Stability of Railway Abutment wall with Friction Angle of Backfill Materials", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.5, No.3, 67-76.