

블록식 보강토 옹벽에서의 시공단계별 보강재 타입에 따른 거동비교

The Comparative Experiment of Geogrid Reinforcement Types with Construction Stage on Segmental Retaining Walls

이성혁^{1*}, 이진욱¹, 최찬용²
Sung-Hyoun Lee^{1*}, Jin-Wook Lee¹, Chan-Yong Choi²

¹Member, Principal Researcher, High Speed Railway Infrastructure System Research Center, 360-1, Woram-dong, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Republic of Korea

²Member, Senior Researcher, High Speed Railway Infrastructure System Research Center, 360-1, Woram-dong, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, the earth pressure, displacement and strain were compared with reinforcement types at segmental retaining wall through full scale model test. The test results found that the measurement of earth pressure and displacement at wall for the fully reinforced retaining wall are different from those for the partly reinforced retaining wall. The analyses of these results would suggest that the used of geogrid allowed the vertical earth pressure and displacement at wall to be reduced. The horizontal earth pressure in upper and lower part of wall can change with reinforcement type and earth deformation and were larger than the active and the rest pressure. Also, the lateral earth pressure and displacement of wall have a very high a correlation. It was found that the strain contour distribution of reinforcements was occurred a large strain at central part of wall in segmental retaining wall system.

요 지

본 논문에서는 실험을 통해 블록식 보강토옹벽에서 보강재의 타입에 따른 수평토압, 변위, 보강재의 변형률의 특성을 비교하였다. 본 연구를 통해 보강재의 타입에 따라 토압과 변위관계에서 서로 다른 거동특성을 보이고 있으며, 보강토체 내에 배치된 보강재가 연직토압 감소 및 변체변위 억제 효과 등 보강 성능이 있음을 확인할 수 있었다. 수평토압은 보강재의 특성과 변형에 따라 상단부와 하단부에서 주동토압이나 정지토압보다 크게 발생할 수 있으며, 수평토압과 변체변위는 서로 상관성이 매우 높은 관계를 가지는 것으로 나타났다. 블록식 보강토 옹벽에서 보강재의 등고변형률선 분포는 중앙부분에서 가장 큰 변형이 발생하는 것을 확인하였다.

Keywords : Geotextile, Full scale model test, Horizontal earth pressure, Displacement at wall

1. 서 론

보강토 옹벽은 콘크리트 옹벽과는 달리 지반내부에 보강재를 삽입하여 주변 지반사이의 마찰저항이 흙 입자의 수평방향 변형을 억제하여 구조물의 안정성을 확보하는 공법이다. 일반적으로 보강토 옹벽구조물에 사용되는 보

강재는 크게 신장형 보강재(extensible reinforcement)와 비신장형(inextensible reinforcement) 보강재로서 쉬이트(sheet)형 보강재, 대상(strip)형 보강재, 그리드(grid)형 보강재, 앵커형 보강재 등으로 구분된다. 이러한 보강재의 종류에 따라 파괴거동이 다르게 변화하게 된다. 이러한 영향을 주는 인자로는 많은 것이 있을 수 있으나, 흙과 보강재의 마찰거동에 차이로 기인한다고 알려져 있다. 토목섬유 보강재의 마찰특성에 관한 연구는 Jewell(1984)이 보강토체의 전단면과 보강재의 경사도에 따른 마찰특성을 평

Received 25 Oct. 2012, Revised 3 Dec. 2012, Accepted 6 Dec. 2012

*Corresponding author

Tel: +82-31-460-5303; Fax: +82-31-460-5032

E-mail address: shlee@krri.re.kr (S. H. Lee)

가하였으며, Giroud 등(1993)은 구속응력에 따른 흙과 보강재의 전단특성을 연구하였다. Claybourn 등(1993)은 보강토 옹벽 설계해석 방법을 분석한 결과 보강토체 내의 수평토압 분포와 파괴면의 형상 및 파괴면에서의 보강재 경사도 등의 가정 사항들과 적용하는 설계안전률에서 많은 차이가 있어 해석 및 설계 값이 서로 상이하게 나타날 수 있다고 하였다.

Terzaghi(1934)는 옹벽에서 뒤채움흙을 주동상태로 유도할 수 있는 최소변위는 뒤채움흙의 다짐상태와 흙의 종류에 따라서 달라질 수 있으며, 대략 0.001H~0.005H정도로 평가하였다. 보강토 옹벽의 수평토압에 대한 연구는 Cousens 등(1996)는 무보강 및 보강토 옹벽의 모형실험을 수행한 결과 뒤채움 시공 중과 상재하중의 거동이 달라지고 다짐되는 층의 인접에서는 거의 Coulomb의 수동토압 상태 정도의 높은 수평토압이 발생하고 뒤채움 흙이 높게 시공함에 따라 무보강 옹벽들은 보통 주동상태로 보강토 옹벽은 정지상태보다 다소 상회한다고 하였다. 또한 Sowers 등(1957)은 다짐에 의한 수평토압 증가는 추가적인 수직응력을 초래한다고 알려져 있다. 국내에서는 Kim 등(2004)은 블록형 보강토 옹벽에 대하여 현장실험을 통해 옹벽벽체에 작용하는 수평토압과 보강재의 인장변형률 및 인장응력을 평가하였으며, 토압분포 특성은 기존 설계에 이용되는 랭킨이나 쿨롱 토압 분포형태가 아닌 연성 토류벽체에 작용하는 사다리꼴 형태의 토압분포가 나타난다고 보고하였다. 또한 Kim 등(2006)은 철도하중에 대한 수직 토류벽에 작용하는 수평응력을 이론적으로 검토하였으며, Chung 등(2009)은 기존의 블록식 보강토옹벽의 경우 블록과 보강재 연결하기 때문에 전면부에 응력집중이 발생하는 단점을 보완한 침하형 보강토 옹벽에 대하여 현장계측을 통해 수직, 수평토압분포를 비교하였다. 본 논문

서는 국내에 많이 시공되고 있는 블록식 보강토옹벽을 대상으로 2개의 서로 다른 보강재에 따라 시공단계별 벽체에 작용하는 수평토압과 수직토압, 변위특성과 보강재의 변형률 특성을 실험실 실험으로 서로 다른 보강재에 따른 거동의 차이를 비교하였다.

2. 블록식 보강토 옹벽의 수평토압

토압은 토류벽체의 종류(강성, 연성)에 따라 통상 소성 이론 토압과 경험토압으로 구분된다. 옹벽과 같이 강성벽체의 작용하는 토압은 옹벽 하단을 중심으로 회전하며 벽체의 변형이 한계 평형상태에 도달 했을 때의 주동토압 및 수동토압을 이용한 이론으로 Rankine, Coulomb 및 Dubrova 등에 의해 제시되었다. 그러나 굴착 토류벽과 같이 연성벽체에 있어서는 지반-구조물의 상호작용에 따라 Rankine이 제시한 삼각형 분포 형태와는 다른 비선형 거동을 보인다고 Terzaghi-Peck(1948)등에 의해 제안되었다. 즉 토류벽 상단에서의 변형은 매우 작아서 이때 작용하는 측방 토압은 정지토압에 가까우며 벽체 하단에서의 변형은 훨씬 커 Rankine의 주동토압보다는 작게 된다. 이후 많은 흙막이 굴착현장에서 측정된 버팀보의 반력을 근거로하여 수정된 토압분포를 제안하였다.

보강토 옹벽의 설계는 보강토체의 가상파괴선과 토압계수의 변화에 따라 타이백과 복합중력식개념으로 나누며 최근에는 대수나선 형태의 가상파괴선으로 안정해석을 하고 있으며, 신장성 보강재는 타이백 개념으로 비신장성 보강재는 복합중력식 개념으로 설계하고 있다. Fig. 2(a)는 타이백 설계개념으로서 Rankine의 토압이론을 기초로 하여 보강토체의 파괴형태나 파괴선, 토압계수의 변화를 가정한 것으로 토압을 보강재의 마찰력이 지지하도록 설계하는 방법이

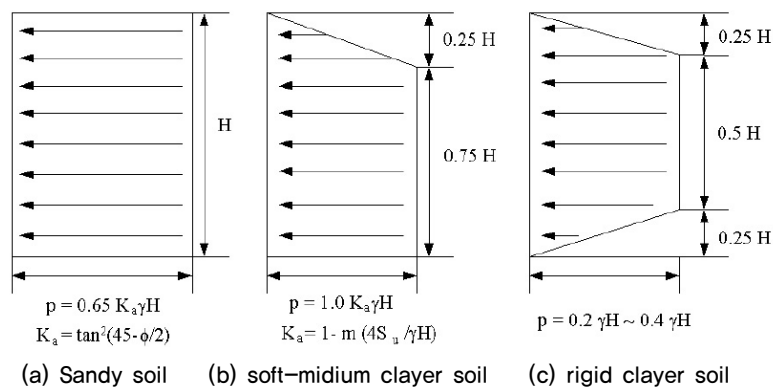


Fig. 1. Distribution of horizontal earth pressure of Terzaghi-Peck

다. Fig. 2(b)은 복합중력식 설계개념으로 보강토 옹벽의 실험과 시공을 통하여 측정된 자료를 바탕으로 정립된 이론이다. 옹벽 윗부분의 토압은 정지토압과 같으며, 아랫부분의 토압은 주동토압과 같다는 가정으로부터 옹벽의 파괴형태와 토압계수의 분포를 가정하였으며, 보강재에 발생하는 최대 인장력의 분포에 따라 파괴선을 가정한 설계방법이다.

3. 실험방법

3.1 대상 시료와 지오그리드의 공학적 특성

논문에서 사용되는 노반재료는 실제 철도건설 현장에서 설계기준과 부합되는 재료를 사용하였으며, 시료의 기

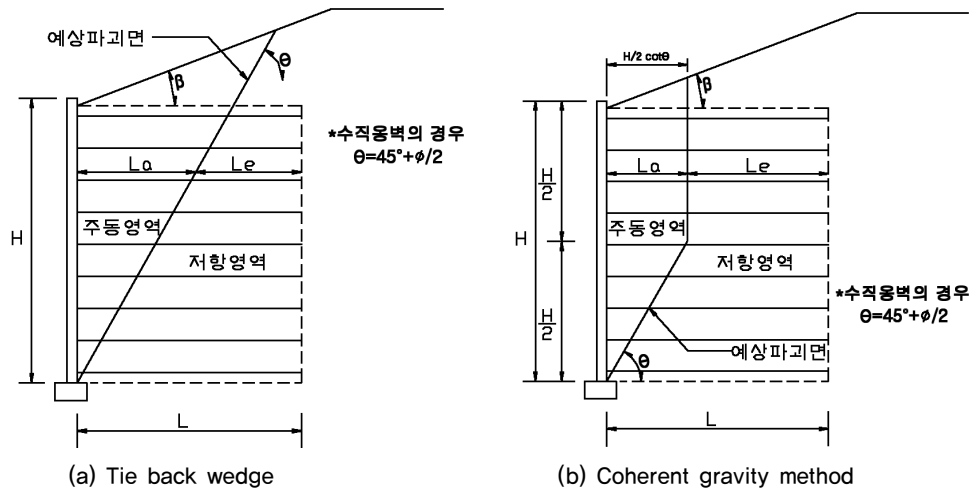


Fig. 2. Design basic concept of a earth retaining wall system

Table 1. Result of the mechanical test and basic properties of soil

Natural water content (%)	Gs	Atterberg limits			Grain size analysis				Unified soil classification system	Compaction		Direct shear test	
		ω_L (%)	ω_P (%)	I_P	#200 통과량 (%)	Effective grain size (D10) (mm)	Uniformity coefficient C_u	coefficient of curvature C_c		γ_{dmax} (g/cm ³)	ω_{opt} (%)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
15.2	2.7	23.9	22.4	1.5	30.28	0.006	80.83	1.68	SM	1.98	11.21	0.39	33

Table 2. Engineering properties of Geogrid

Division	Manufactured forms	Size of the grid (mm)		Ultimate Strength (kN/m)	elongation at failure (%)	
A Geogrid	Woven	20		82	15	
Division	Tensile strength (kN/m)	Strain load (kN/m)		Long-term design strength (kN/m)	Unit weight (kN/m ²)	Maximun straun (%)
B Geogrid	900	21 (2%)	45 (5%)	45.1	3.3e-3	8

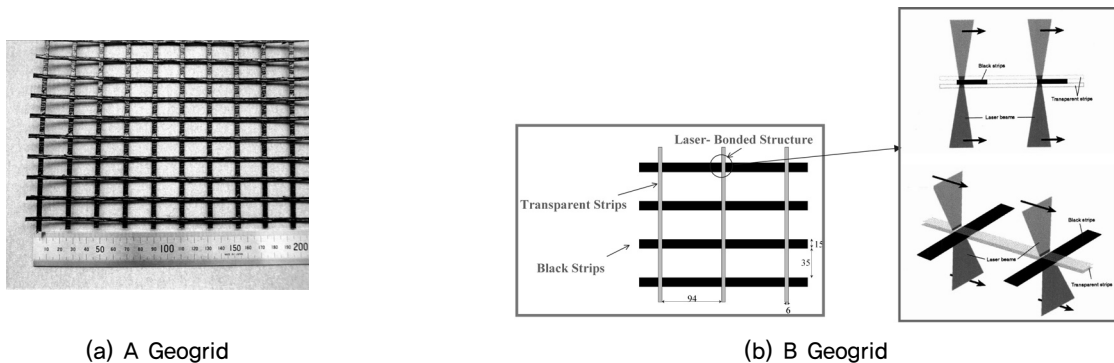


Fig. 3. Geogrid Reinforcement

본물성시험결과는 Table 1과 같다.

보강재는 지오그리드 타입의 보강재로서 공학적 특성은 Table 2와 같다. 보강재는 재질, 인장력, 보강재의 부설 방법 등에 따라 A보강재와 B보강재로 구분하였다. A보강재는 연약지반 보강 용도의 폴리에스테르(PET)를 소재로 PVC로 코팅한 결합형 지오그리드로서 이축 방향으로 정사각형의 형태로서 20cm(B)×500cm(L)을 매층 30cm 높이로 부설하였다. B보강재는 고강도 폴리에스테르(PET)로 구성된 횡방향 부재와 종방향 부재를 격자 형태로 교차시켜 레이저 접합 처리 과정을 통해서 부재간의 연결강도를 향상시킨 지오그리드로서 실험단면 전면에 500cm(B)×500cm(L)의 면상으로 매층 30cm높이로 부설하였다. A보강재보다 B보강재가 전반적으로 5%변형률에서 더 큰 강도를 가지며, 부설된 조건에서도 B보강재가 더 많은 보강 효과를 기대할 수 있도록 실험조건을 설정하였다.

3.2 실험지반 조성

균질한 실험노반을 조성하기 위해 사전에 4개의 실험단

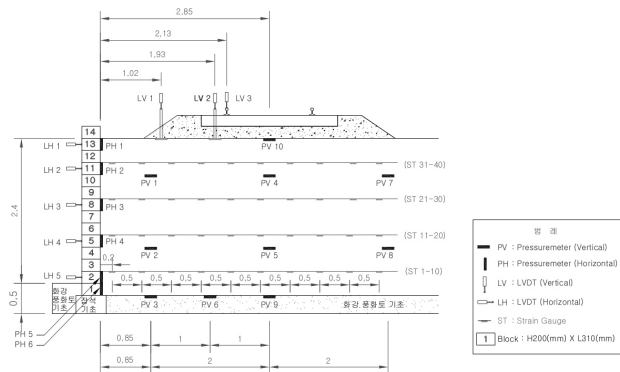
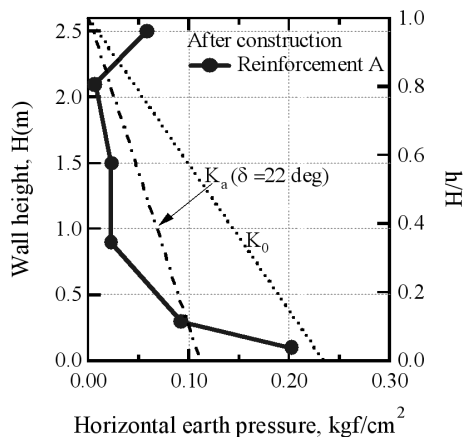
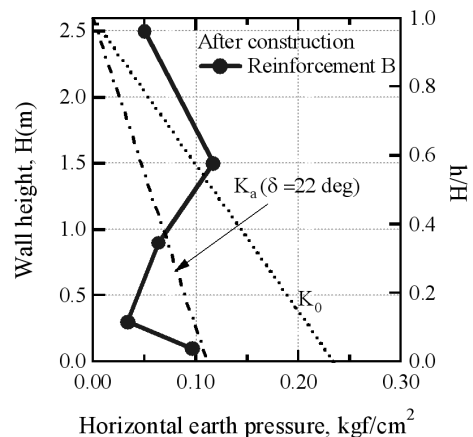


Fig. 4. Layout of instrumentation for a large prototype test



(a) A Geogrid



(b) B Geogrid

Fig. 5. Horizontal earth pressure distribution before track installation stage

면에 대해 각각 20cm씩 3.5tonf의 진동롤러를 사용하여 시험다짐을 실시하였다. 실험다짐결과 왕복 5회의 다짐 시 95%이상의 소요 다짐도를 얻을 수 있는 것을 확인한 후 동일한 방법으로 노반을 조성하였다. 다짐도 확인은 들 밀도 시험을 통해 하였으며, 모든 실험조건에서 다짐도를 만족하는 것을 확인하였다.

계측기는 다짐 중간에 Fig. 4와 같이 토압계, 변위계, 스트레인게이지를 매설하였다. 토압계는 수평토압과 수직토압을 총 19개의 토압을 측정하였다. 전면블럭의 수평변위는 8개와 수직변위 측정을 위해 레일상단과 노반상단 2개소에 침하판을 설치하고 침하봉에서 변위계로 계측하였다. 스트레인게이지는 보강재에 50cm 간격으로 10개씩 부착하였다. 계측기를 설치한 후 모든 데이터는 데이터로거를 통해 각 시공단계별 측정을 하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 수평토압 및 수직토압분포

2종류의 보강재에 따른 수평과 수직토압에 대하여 시공 단계별 토압의 거동을 비교하였다. Fig. 5는 궤도(레일+침목+도상자갈)를 부설하기 전에 측정된 A보강재와 B보강재의 실험조건에서의 수평토압의 분포이다.

A보강재로 실험한 경우 수평토압은 하단부에서는 정지토압, 중간부에서는 Coulomb의 주동토압 이내, 최상부(0.96H)에서는 정지토압 이상의 값을 나타냈으며, B보강재의 경우 하단부(0.3H이하)에서는 Coulomb의 주동토압 이내에서 높이가 높아짐에 따라 Coulomb의 주동토압 이상의 값을 보였다. 또한 0.6H 이상에서는 Jacky's 정지토

압 이상의 값을 나타내었다. 이러한 차이는 B보강재의 경우 A보강재보다 보강 단면이 넓고 인장강도가 큰 보강재를 사용하여 수평저항력이 커짐에 따라 벽체에 작용하는 수평토압이 크게 발생한 것으로 판단되며, A보강재의 경우 벽체가 전면으로 변위가 발생하여 상대적으로 수동저항력이 적게 발생되어 수평토압이 작게 나타난 것으로 판단된다. 하단부에서는 B보강재의 경우 주동토압 부분으로 감소하였으나, A보강재는 정지토압의 근처까지 증가하였다. 이러한 결과를 볼 때 하단부에서의 수평토압은 반드시 감소하고 있지 않으며, 보강재의 위치와 강성에 따라서 하단부의 토압이 변화할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 최상부에서는 A보강재와 B보강재 모두 큰 수평토압이 발생하였으며, 이러한 결과는 많은 연구자들에게 제시된바와 같이 다짐 동안 보다 높은 압력의 발생하여 큰 수평토압이 발생하고 결과적으로 벽체의 변형을 증가시키는 영향이 된다.

Fig. 6은 시공단계별 수평토압의 변화이다. 시공단계는 총 3단계로서 첫 번째 궤도 부설 후, 두 번째는 안정화, 세 번째는 정적하중(200kN)을 재하(loading)하고 재하(unloading)시킨 다음의 단계이다. 시공단계별 수평토압은 궤도 부설 전의 수평토압과 거의 유사한 형태로 분포하였으며 궤도 부설 전에 비해 궤도 부설 후에 모두 벽체 상부의 토압이 감소하였다. 또한 하단부인 0.2H 이하에서는 궤도 부설 전에 비해 안정화 단계 이후에 수평토압이 증가하고, 0.4H~0.6H에서는 궤도 부설 전에 비해 안정화 단계 후에 수평토압이 더 감소하였다. 이러한 경향은 벽체의 주동 변형에

의하여 벽체에 발생하는 수평토압이 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 열차하중을 모사한 정적하중을 재하시킨 이후의 수평토압의 변화를 보면 안정화 단계보다는 크게 발생하였지만, 시공한 직후의 조건보다는 수평토압이 작게 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과를 볼 때 시공이 종료 후 하중이 재하된 이후 보강토체에서는 탄성 거동을 보이고 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 궤도를 부설하기 전의 수직토압으로 분포곡선이다. 그림에서 점선은 수직토압에 대한 이론값으로 A보강재와 B보강재 모두 이론값에 비해 다소 큰 값을 보였으며, 상대적으로 A보강재가 B보강재 보다 수직토압이 더 크게 발생하였다. A보강재의 경우 뒤채움 중간에 설치된 토압계(d=285cm)에서 가장 선형적인 토압 증가량이 발생하였으며, 벽체에 떨어진 위치와 높이에 따라 수직토압의 분포가 다소 달라졌다. B보강재의 경우 벽체에 가장 가까운 지점에서 이론적인 토압과 가장 유사하게 선형적으로 증가하였으며 벽체에 떨어질수록 수직토압이 가장 크게 발생하였다.

Fig. 8은 궤도부설이 완료된 이후 A보강재와 B보강재의 벽체에서 떨어짐 지점에서의 깊이별 수직토압을 비교한 것이다. 2:1분포법과 Boussinesq 식에 의한 궤도중량 증분값을 고려한 수직토압과의 비교해 보면 벽체에서 떨어짐에 따라 아래 부분에서는 이론값 보다 수직토압이 증가하였다. 벽체로부터 0.85m 떨어진 지점에서 B보강재의 경우에는 이론값과 유사하거나 작은 값을 보였으나, A보강재의 경우 아래쪽으로 내려갈수록 이론값 보다 크게 발

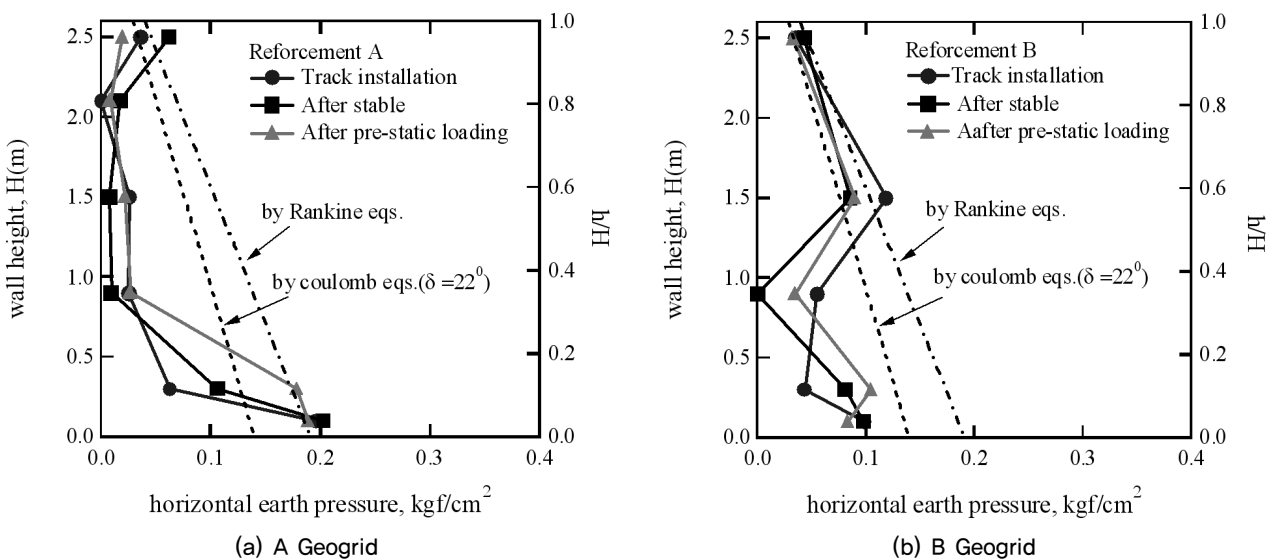


Fig. 6. Variation of horizontal earth pressure with construction stage

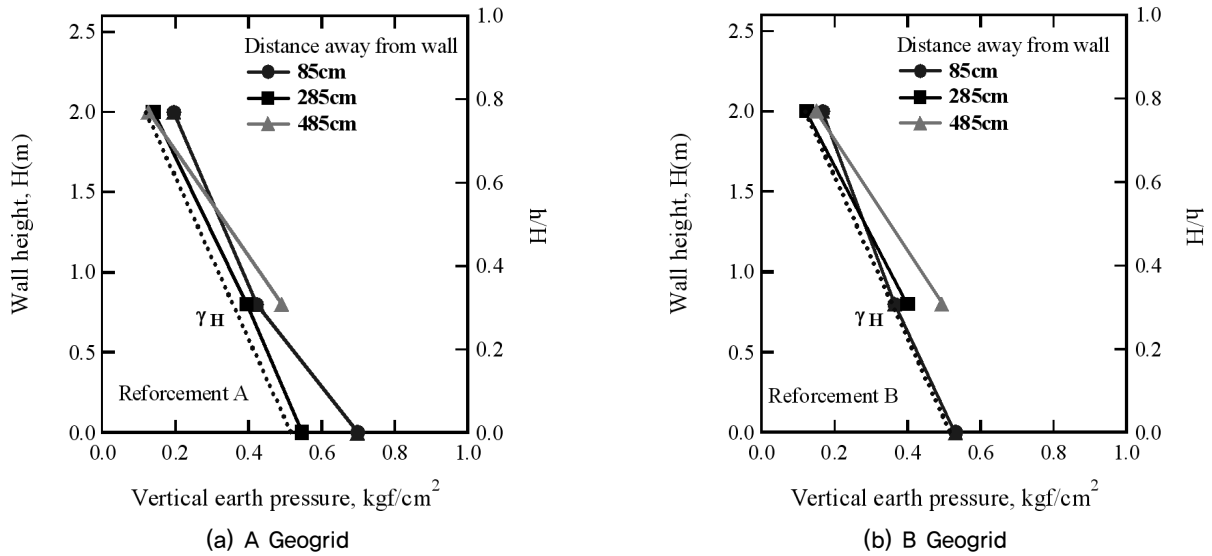


Fig. 7. Variation of vertical earth pressure on each position before track installation stage

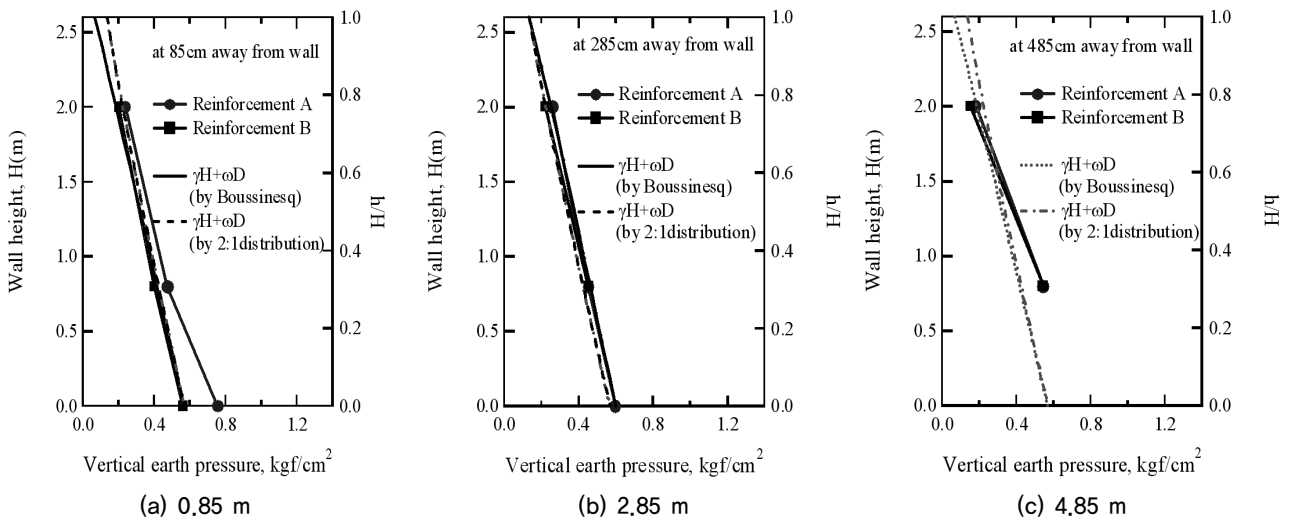


Fig. 8. Distribution of earth pressure with depth after track installation stage

생하였다. 이러한 결과를 볼 때 벽체 앞 부분에서 가장 민감한 수직토압의 변화가 발생하며, 보강재의 보강효과에 따라 뒤채움 부분의 수직 및 수평토압의 영향을 줄 수 있다는 것을 간접적으로 확인할 수 있었다.

4.1 보강토 벽체변위

Fig. 9는 안정화 이후에 벽체의 변위를 보강재의 종류에 따라 비교한 그림이다. 그림에서와 같이 최대변위는 상단부에서 약 0.6mm정도가 발생하였으며, A보강재가 B보강재보다 더 많은 주동변위와 수동변위가 발생하였다. 블록의 높이 0.6H를 기준으로 윗부분은 주동변위, 아래부분은 수동변위의 특징을 보이는 것을 볼 수 있다. 앞서 수평

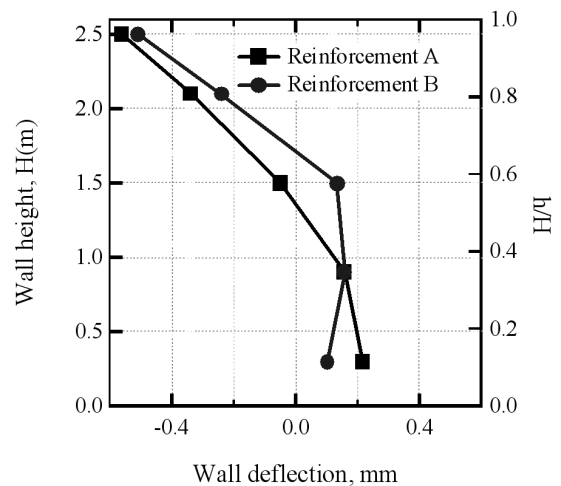


Fig. 9. Variation of displacement of wall facing after stable stage

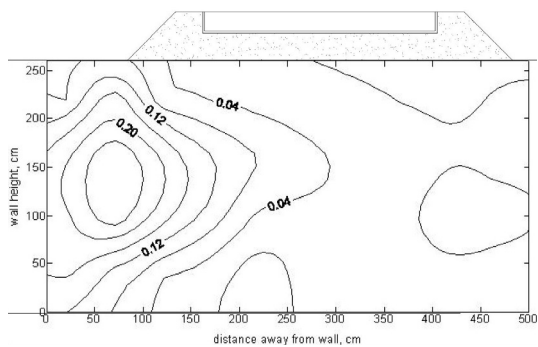
토압과 변위의 관계를 보면 A보강재의 하단부의 수평토압의 증가는 벽체의 변위를 수동변위를 원인이 되며, 중앙과 상단의 수평토압의 감소는 주동변위가 발생되어 서로 상관성이 높은 것을 볼 수 있다. B보강재의 경우 최대 수평토압이 발생된 0.6H부분에서 최대의 수동변위가 발생하였으며, 하단부의 수평토압의 감소는 주동변위를 일으켜 결과적으로 변위가 일정수준으로 변위를 수렴시키는 결과를 보였다. 따라서 수평토압의 증감은 벽체의 변위에 영향을 미치며 보강재의 종류에 따라 벽체의 변위는 다르게 나타날 수 있음을 의미할 수 있다.

4.3 보강재의 변형률 및 변위특성

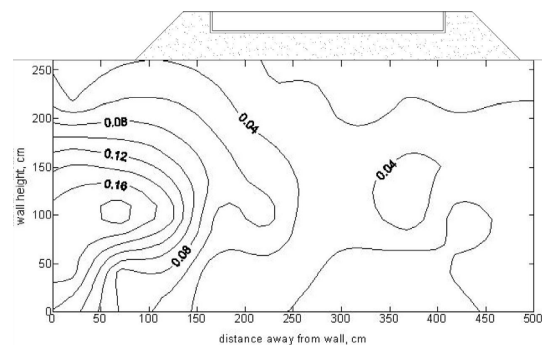
각 층별 보강재를 부설한 직후를 초기 값으로 설정하고 시공단계별로 보강재의 층별 변형률을 측정하였다. Fig. 10은 노반을 축조한 후 보강재의 변형률의 등고선도이다. 그림에서와 같이 A보강재의 경우 벽체 저부로부터 0.6H에서 벽체로부터 0.7m의 위치에서 약 0.275%의 변형률이 발생하였으며, B보강재의 경우 비해 큰 변형률을 측정되

었다. 측정된 보강재의 최대변형률은 보강토 응벽의 원심모형시험에서 측정된 노반 축조시 보강재에서의 최대 변형률인 0.2%와 유사하게 나타났다. B보강재의 경우 지오그리드 최대 변형률 분포는 0.4H에서 벽체로부터 0.7m의 위치에서 약 0.194%가 발생하였으며, 0.5H이하에서 최대 변형율이 발생하고 있으며 벽체로부터 1.5m범위에서 변형이 집중하고 있음을 볼 수 있다. A보강재와 B보강재의 변형률 등고선을 보면 전반적으로 B보강재가 넓게 분포되고 변형률도 작게 나타나는 특징을 보이고 있다.

Fig. 11은 궤도부설이후 안정화 단계 이후에 보강재의 변형률 등고선도이다. 그림에서와 같이 노반 축조때 측정된 등고 변형률선보다 더 넓게 분포하고 있으며, A보강재보다 B보강재가 더 넓고 작은 등고변형률이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 볼 때 보강재에 따라 보강영역이 달라지며 보강효과도 달라질 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 블록식 보강토응벽의 경우 토압과 변형률 거동을 종합적으로 볼 때 중앙지점에서의 가장 큰 에너지가 발생하는 것을 확인하였다.

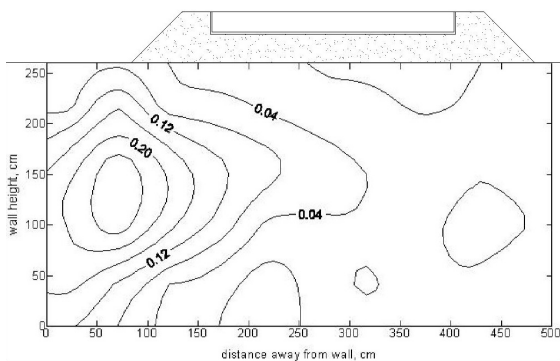


(a) A Geogrid

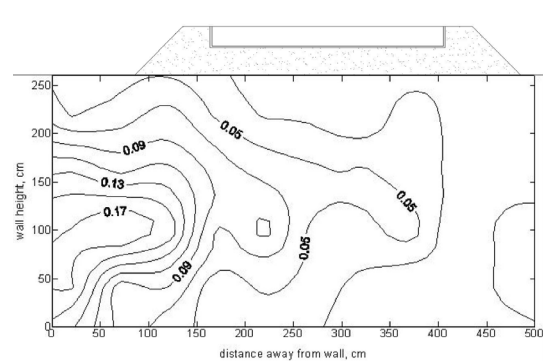


(b) B Geogrid

Fig. 10. Diagram of equi-strain contour of geogrid after roadbed installation stage



(a) A Geogrid



(b) B Geogrid

Fig. 11. Diagram of equi-strain contour of geogrid after stable stage

5. 결론

실대형 보강토옹벽 실험단면에서 2종류의 보강재에 대하여 보강재에 따른 시공단계별 토압과 변위거동, 그리고 보강재의 변형률을 계측하여 아래와 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 보강효과가 큰 B보강재가 A보강재보다 수평저항력이 커짐에 따라 벽체에 작용하는 수평토압이 크게 발생하였으며, A보강재의 경우 벽체가 전면으로 변위가 발생하여 상대적으로 수동저항력이 적게 발생되어 수평토압이 작게 나타난 것으로 판단된다. 하단부에서의 수평토압은 반드시 감소하고 있지 않으며, 보강재의 위치와 강성에 따라서 하단부의 토압이 변화할 수 있다는 것을 알 수 있다.
- (2) 블록식 보강토옹벽은 블록의 높이 0.6H를 기준점으로 윗부분은 주동변위와 아래부분은 수동변위의 특징을 보이며 수평토압의 증가는 벽체의 변위를 수동변위를 발생시키며, 수평토압의 감소는 주동변위가 발생되어 서로 상관성이 높은 것을 볼 수 있다. 수평토압의 증감은 벽체의 변위에 영향을 미치며 보강재의 종류에 따라 벽체의 변위는 다르게 나타날 수 있음을 의미할 수 있다.
- (3) 노반 축조시 보강재에서의 최대 변형률인 0.2%로 나타났으며, A보강재와 B보강재의 변형률 등고선을 보면 전반적으로 B보강재가 넓게 분포되고 변형률도 작게 나타나는 특징을 보이고 있다. 또한 블록식 보강토옹벽의 경우 등고변형률선의 분포를 보면 벽체 앞부분의 중앙부에서 가장 큰 변형률이 발생하고 있으며, 이 지점을 중심으로 변위의 양상이 바뀌는 것을 볼 수 있었다.

참고문헌

1. D.S. Kim, H.G. Kim, K.K. Kim (2008), "A study on horizontal stress of retaining walls caused by train loading", *2012 Autumn Conference & Annual Meeting of the Korean Society for Railway*, pp.964-972.
2. J.M. Kim, S.D. Cho, J.J. Lee, Y.S. Paik (2004), "An Experimental Study on Characteristics of Earth Pressure Distribution for Segmental Reinforced Earth Wall", *The Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.20, No.1, pp.83-90.
3. J.H. Chung, J.K. Oh, S. Lee (2009), "Behavior of Reinforced Earth Retaining Wall for Permitting Reinforcement to Subside with Monitoring", *The Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.25, No.2, pp.5-15.
4. Claybourn, A.F and Wu, J.T.H. (1993), "Geosynthetic-reinforced Soil Wall Design", *Geotextiles and Geomembrans*, Vol.12, pp.707-724.
5. Cousens, T.W., Isabel, M., Pinto, M. (1996), "The effect of compaction on model fabric reinforced brick faced earth retaining walls", *Earth Reinforcement*, Ochiai, Yasufuku & Omine, Balkema, 1996.
6. Giroud, J.P., Darrasse, J. and Bachus, R.C. (1993), "Hyperbolic Expression for Soil-geosynthetic or Geosynthetic-geosynthetic Interface shear strength", *Geotextile and Geomembrans*, Vol.12, pp.275-286.
7. Jewell R.A. (1980), *Some effects of Reinforcement on the Mechanical Behavior of Soil*, Ph. D. Thesis, Cambridge University.
8. Sowers, G. F., Robb, A. D., Mullis, C. H. and Glenn, A. J. (1957), "The residual lateral pressures produced by compacting soils", *Proceedings of the fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering 2*, pp.243-247.
9. Terzaghi, K. (1934), *Large Retaining Wall Tests*, Engineering News Record, Feb.1, March 8, April 19.
10. Terzaghi, K. and Ralph B. Peck (1948), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, The second edition, John Wiley and Sons, New York.