

전면판의 연속성이 보강토체의 안정성에 미치는 영향

The Role of Wall Facing on the Stability of Reinforced Soil Wall

임유진¹⁾, Lim, Yu-Jin, 정종홍²⁾, Jeong, Jong-Hong

1) 배재대학교 공과대학 토목환경공학과 전임강사, Full Time Lecturer, Dept. of Civil & Environmental Engineering

2) 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 연구원, Researcher, Geotech. Engg. Div., Highway Research Center, Korea Highway Corporation

SYNOPSIS : A small scale model reinforced soil wall was constructed in a laboratory to investigate role of the wall facing and the effect of construction sequence on the wall. A panel type facing system and a block facing system are introduced for test. These two different types of facing adapt different construction procedure. The model wall is built with geogrid reinforcement, sand, and the facings on rigid surface. The model wall is instrumented with earth pressure gauges, LVDTs, and strain gauges.

It is found in this study that the reinforced soil wall system built with geogrids and panel type facing system be the safest reinforced soil wall ever compared to the block type facing. Thus, it is recommended that study for the wall system be necessary for further wide usage in the future.

Key words : Reinforced soil wall, Wall facing, Wall flexibility, Construction procedure

1. 도입

근래 우리나라 토목현장에서도 경제성 및 시공의 용이성으로 인해 지오그리드 형태의 보강재와 블록형 프리캐스트 전면판을 이용한 보강토 옹벽의 건설이 증가하고 있다. 이와 같은 형태의 보강토 옹벽은 현재 가장 활발히 사용되고 있으나 그 안정성이 검증되었음에도 불구하고 수직 및 수평변위 크기가 가시적 벽체 및 원지반보강벽체에 비해 상당히 많이 발생하는 것으로 알려져 있다(Jones, 1994). 따라서 본 연구에서는 벽체의 변위에 민감할 수 있는 구조물이 보강토 옹벽 상부에 위치하게 될 수 있는 가능성에 주목하여 실내에 모형보강토 옹벽을 축조하고 벽체의 종류를 일체식과 블록식의 두 가지로 구분하여 재하시험을 실시하고 벽체의 변위 및 보강재에 발생하는 변형을 또는 인장력의 크기 변화를 조사하여 벽체의 거동차이를 분석하였다. 일체식의 경우 기존 블록식과는 축조순서를 달리할 수밖에 없으므로 벽체의 축조순서를 달리하여 축조순서가 벽체의 변위 및 보강재의 인장력 발생에 미치는 영향을 함께 조사하였다.

Cardoso and Lopes (1996)는 보강토구조물의 축조순서를 크게 두 가지로 구분하였다. 첫 번째 방법은 일반적인 축조순서로서 블록전면판과 보강재 및 뒷채움토를 바닥부터 차례로 축조하여 초기부터 보강재에 인장력이 발생되도록 하는 것이고, 두 번째 방법은 벽체를 먼저 세우고 이를 prop으로 지탱한 후 뒷채움토와 보강재를 벽체높이까지 타설한 후 prop을 제거함으로써 보강재가 인장력을 발휘하도록 하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 실내 모형보강토 옹벽에 대한 시험시 prop과 일체식 전면판을 이용하여

축조하는 방식과 블록식 전면판을 이용하여 바닥부터 순차적으로 축조하는 방식으로 크게 분류하여 시험을 수행하고 이를 비교/분석하였다.

2. 실내모형토조시험

2.1 모형토조시험기의 개요

본 시험에 사용한 실내 모형토조시험기는 그림 1.과 같다. 토조는 외부의 프레임을 포함하여 전체 길이 2m, 높이 3m, 폭 0.8m의 토조시험기로서 최대하중 20 Ton에서 프레임에 발생하는 최대변형율이 0.01% 이내가 되도록 설계되었다. 토조 시험기는 토조본체와 자동 강사장치, 수평 및 수직하중을 가하기 위한 서보모터(servo motor)와 스크류(Screw) 등의 재하장치로 구성되었다. 각 계측기에서 발생된 신호 데이터는 PC로 시험중 연속적으로 저장되도록 하였다. 하중을 가하는 방법은 하중제어방식(stress-control type)과 변위제어방식(strain-control type)의 선택이 가능하며 본 실험에서는 하중제어방식을 채택하였다.

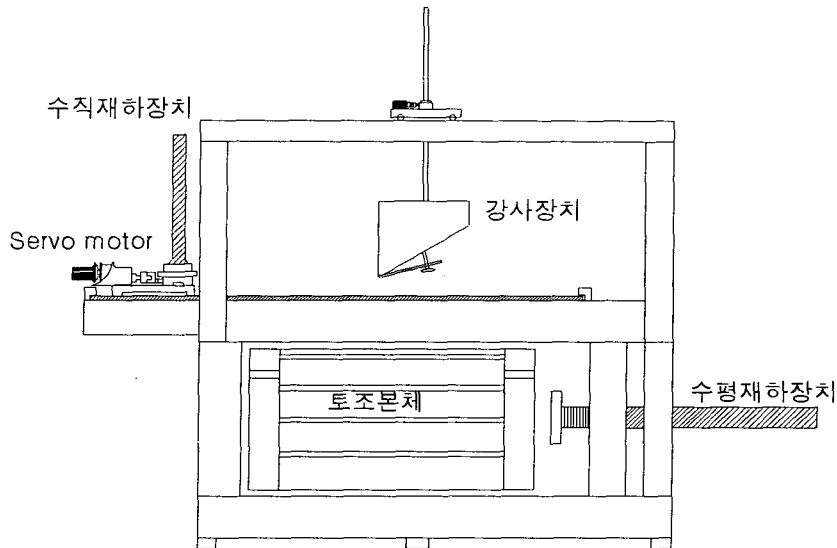


그림 1. 실내모형토조 시험장치 (정면도)

2.2 실내모형토조 시험

2.2.1 시험의 준비 및 계측기의 설치

모형 보강토옹벽은 토조내에 길이 1.2m, 높이 0.8m, 폭 0.8m의 크기로 축조하였으며 이때 벽체와 보강된 토체의 하부는 강성지반으로 가정하여 강철 프레임상에 직접 축조하였다. 이 모형옹벽에 토압계, 변위계(LVDT), 변형율계(strain gage) 등의 계측기를 그림 2.와 같이 설치하여 보강재의 변형을 또는 인장력, 전면판의 횡방향변위와 배면의 토압을 측정토록 하였다. 시험은 전면판의 형식과 보강재의 길이 및 재하크기를 변화시키면서 일체식 전면판과 블록식 전면판의 거동차이를 분석하였고 이들로부터 전면판의 형식 및 축조순서가 보강토 옹벽의 안정성 및 거동에 미치는 영향을 평가하였다. 시험은 보강토체를 완전히 축조한 뒤 재하판의 폭(W)과 재하중의 크기(1.0, 2.0, 4.0 t/m²)를 달리하여 하중을 가하였다. 계측대상중 토압은 측정의 부정확으로 인해 본 결과분석에서 제외시켰다. 시험에 사용된 보강재는

격자형태의 지오그리드로서 기성품으로 나와있는 것을 사용하였으며 뒷채움 재료로서는 주문진 표준사를 사용하였다(표 1, 참조). 시험에 사용된 전면판은 재생우레탄에 유리섬유를 5%비율 섞어 압착한 두께(t) 50mm 기성품을 토조크기에 맞게 잘라서 사용하였다. 일체식 전면판은 높이(H) 800mm, 폭(W) 800mm의 크기이며 블록식의 전면판은 높이(H) 200mm, 폭(W) 800mm의 4개 블록으로 잘라서 각 블록의 위아래 절삭면 중앙에 높이 및 깊이 각 5mm, 길이 800mm의 요철을 만들어 전면판이 축조순서에 따라 위아래 전면판이 연결되도록 하였다. 따라서 요철부는 실제 블록식 보강토 옹벽에서의 전단키의 역할을 할 수 있으며 블록식 전면판의 무게와 일체식 전면판의 총무게는 같다(표 2.참조).

보강재와 벽체의 연결은, 한쪽 단부가 흰 스크류형 철판(직경 3mm)을 벽체에 고정(4열×8개/열)하고, 시공순서에 따라 지오그리드 보강재가 해당 높이의 편에 거치 되도록 하였다. 지오그리드 보강재에는 각 열당 6개의 스트레인 게이지를 길이방향으로 부착하여 발생 변형을 또는 인장력의 분포를 측정토록 하였다. 스트레인 게이지 부착위치는 모든 보강재에 전면판위치로부터 0.03L, 0.08L, 0.38L, 0.65L, 0.98L(L=보강재 길이) 되는 위치에 부착하였다. 또한 보강재의 첫층은 바닥으로부터 10cm높이에 포설하고 그 이후 층은 각 20cm 높이마다 포설하여 총 4층의 보강재가 포설되도록 하였다. 따라서 스트레인 게이지는 총 24개가 부착되었다. 변위계(LVDT)는 보강재 포설높이 마다 각 1개씩, 그리고 벽체 최상부에 추가로 1개, 도합 5개를 벽체폭 중앙에 설치하여 횡방향 변위를 측정하였다.

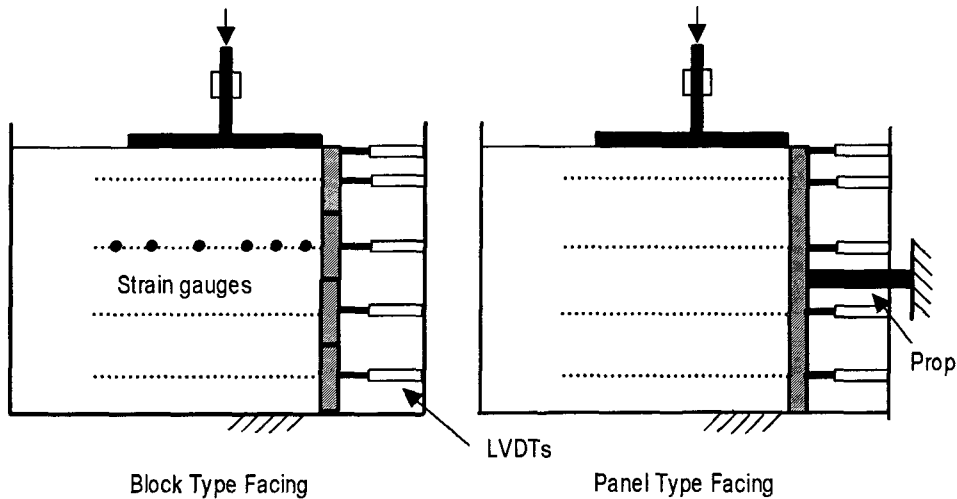


그림 2. 시험에 사용된 일체식과 블록식 전면판 보강토 옹벽의 비교

표 1. 시험에 사용된 뒷채움재료 및 보강재의 재료특성

표준사 물성치					보강재 물성치		
비 중	최대밀도 (g/cm ³)	최소밀도 (g/cm ³)	상대밀도	내부마찰각 (deg.)	인장강도 (kN/m)	5%변형시 인장강도 (kN/m)	과단시 변형률 (%)
2.65	1.65	1.36	77%	45	80	25	13

표 2. 실험에 사용된 전면판의 재료특성

	Full facing (panel)	Block type
Young's modulus (kN/m ²)	6.27E6 kN/m ^b	6.27E6 kN/m ^b
Poisson's ratio	-	-
Section area (m ²)	0.04	-
I (m ⁴)	1.04×10 ⁻⁵	-
Unit weight (kN/m ³)	5.88	5.88

토조상부에 장착된 자동강사 장치를 사용하여 뒷채움을 실시하였다. 최대 상대밀도를 구하기 위한 모의 시험결과 최적 강사높이는 약 1100mm임을 확인하였고, 이 높이에서 강사하여 균질한 지반이 확보(상대밀도 Dr=77%)되도록 하였다. 사용된 표준사의 전단시험으로부터 구한 내부마찰각은 약 45°이었다.

2.2.2 축조순서 및 시험조건

모형보강토 옹벽의 축조순서는 일체식과 블록식이 완전히 다르다. 일체식의 축조순서는 다음과 같다: 1)전면판 및 prop설치, 2) 표준사 강사 및 소요높이에서의 보강재 포설, 3) 최상부 강사완료후 prop 제거. 따라서 변위계(LVDT)는 prop제거 직후부터 발생된 변위를 측정한다. 반면 블록식 보강토옹벽의 축조순서는 기존의 실물 보강토 옹벽의 축조순서를 따랐다. 표 3.은 시험조건을 대비하여 정리한 것이다. 그림 2.는 계측기 설치상태와 더불어 일체식과 블록식의 축조후 상태를 비교한 것이다.

표 3. 실내 모형 토조 시험 설계

시험구분	전면판종류	보강재 길이 (mm)	하중조건				
			재하판 폭 (mm)		하중강도 (t/m ²)		
			300 (0.37H)	600 (0.75H)	1.0	2.0	4.0
No.1	FHP	720 (0.9H)		○	동일한 조건		
No.2	"	560 (0.7H)		○	"		
No.3	"	560 (0.7H)	○		"		
No.4	"	400 (0.5H)		○	"		
No.5	BP	720 (0.9H)		○	"		
No.6	"	560 (0.7H)		○	"		
No.7	"	560 (0.7H)	○		"		
No.8	"	400 (0.5H)		○	"		

NOTE) FHP : 일체식 벽체, BP : 블록식 벽체, H: 벽체높이

3. 시험결과와 분석

3.1 인장변형을 및 인장력

그림 3. ~ 그림 5.는 각 전면판형식 별로 재하크기에 따라 보강재에 발생되는 인장변형을 또는 이로

부터 계산된 인장력의 일부 시험결과를 도시한 것이다. 전체적으로 일체식에 비해 블록식의 인장변형율이 무재하시와 재하시 공히 훨씬 크게 발생하였다. 일체식 및 블록식 전면판 공히 보강재의 길이가 짧아질수록 인장변형율의 크기가 증가하였다. 일체식의 경우, 무재하시 보강재에 발생된 최대 인장 변형율 (또는 인장력)은 보강재 길이 $L=0.7H$ 에서 가장 큰 인장변형율의 발생을 보였다. 일체식에서는 상열(3, 4열)의 보강재에서 인장변형율이 크게 발생하였고 하위열 보강재로 갈수록 점점 인장변형률이 감소하는 경향을 보였다. 일체식의 경우 prop을 제거하고 재하를 실시하더라도 보강재에 발생하는 변형률은 매우 작았다. 발생하는 최대 인장변형율을 보강재 길이 $L=0.9H$ 일 경우에 살펴보면 블록식이 일체식에 비해 2~3배 정도의 큰 인장변형율이 발생하였다. 또한 이보다 짧은 보강재에서도 일체식에 비해 훨씬 큰 인장변형율의 발생을 확인하였다. 축조 완료후 무재하시 최상열 보강재에서의 최대인장변형율을 살펴보면 일체식에서는 크게 발생하였으나 블록식에서는 하위 보강재보다 오히려 작게 발생하였다. 또한 블록식에서는 2, 3열 보강재에서 상하 1, 4열 보강재 보다 훨씬 큰 최대인장변형율이 발생하였다. 이는 일체식의 경우 저면을 모멘트중심으로 한 회전변위 발생이 블록식에 비해 크기 때문이며 블록식의 경우에는 벽체의 회전이동량보다 수평이동량이 크기 때문으로 판단된다.

블록식에서는 변위의 수평이동량이 전체변위에 대해 차지하는 비율이 큰 반면에, 일체식의 경우에는 전체변위에서 차지하는 회전이동량이 큼으로 인해 두 벽체 사이에 발생하는 최대인장력의 깊이에 따른 격적이 서로 다른 양상을 보인다. 따라서 블록식에서는 중간층, 즉 2열과 3열 보강재에서 이 외의 보강재보다 큰 최대인장력이 발생하고 일체식에서는 최상단 보강재에서 최대 인장력의 크기가 그 아래의 보강재 보다 크게 나타났으며 하열로 내려가면서 선형의 감소를 보임을 알 수 있었다.

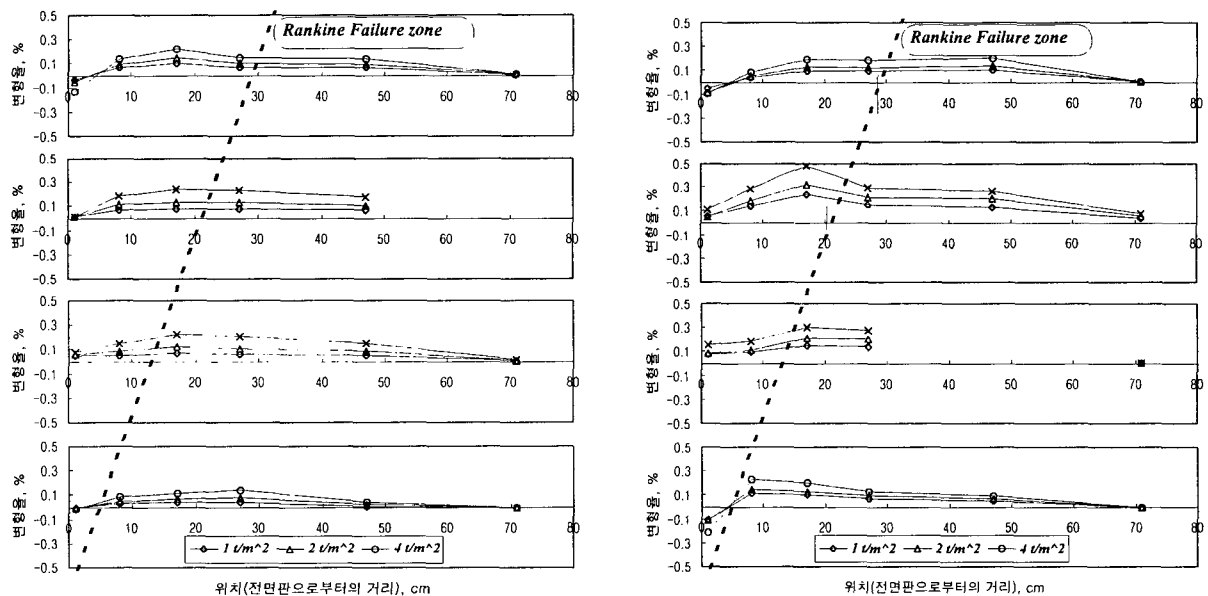


그림 3. 보강재에 유발된 변형율 분포: (a) 일체식, (b) 블록식
(보강재 길이 : $0.9H$, 재하판 폭 : 60cm)

일체식의 경우 보강재 길이가 $0.7H$ 이상일 경우, 최대 인장변형율은 Rankine 파괴면 보다 전면판쪽에 가까운 곳에서 발생하였다. 아울러 축조완료후 재하가 진행됨에 따라 최대인장력은 Rankine파괴면쪽으로 이동하는 경향을 보였다. 보강재 길이가 $0.5H$ 인 경우 최대 인장변형율 발생지점은 거의 Rankine 파괴면과 일치하는 경향을 보였다.

보강재 전길이에 걸쳐서 변형을 발생경향을 살펴보면 일체식의 경우에는 상위 보강재는 전 길이에 걸쳐 고루 발생하는 반면에 하위보강재로 갈수록 전면판쪽으로 집중해서 발생하는 경향을 보여주었다.

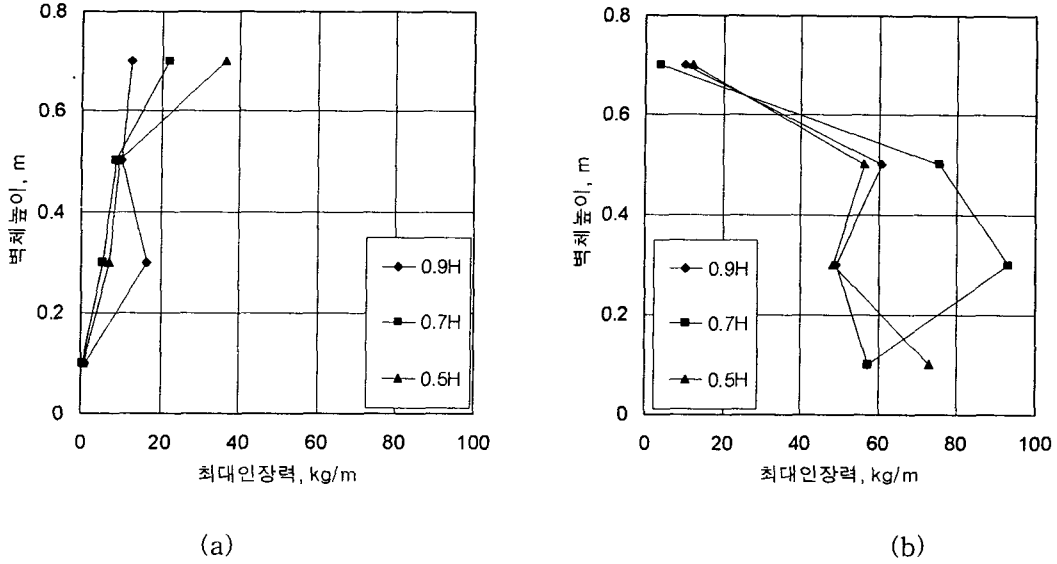


그림 4. 보강재에 발생하는 최대인장력 비교(무재하): (a) 일체식-prop제거직후, (b) 블록식-축조완료후

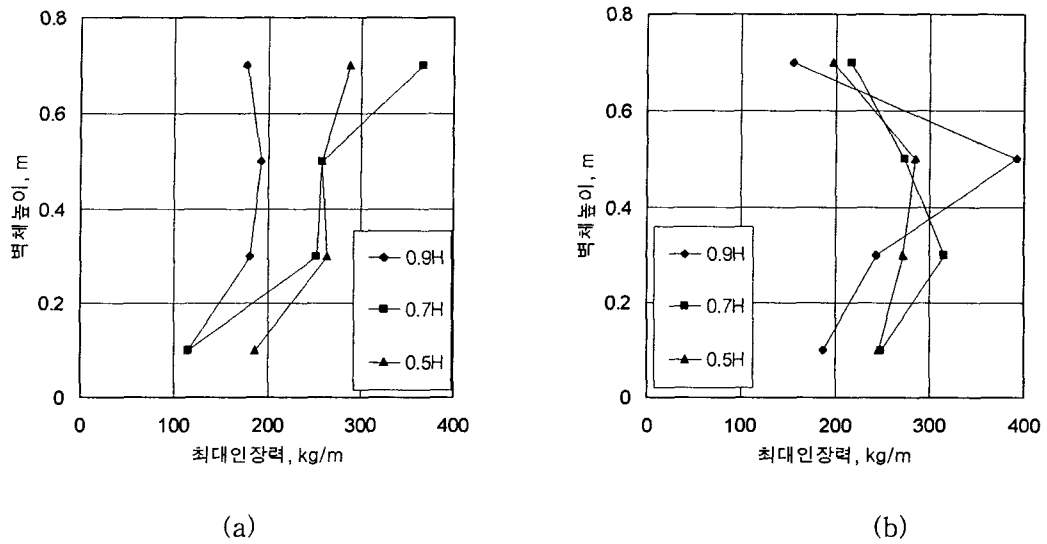


그림 5. 보강재에 발생하는 최대인장력 비교 ($4t/m^2$ 재하시): (a) 일체식, (b)블록식

3.2 수평변위

그림 6은 벽체의 수평변위를 전면판형태별로 구분하여 비교한 것이다. 축조순서 및 벽체의 종류(일체

식 또는 블록식)에 따라 두 벽체의 횡방향 변위발생 크기 및 경향에 큰 차이를 보였다. 일체식 벽체와 블록식 벽체에 발생하는 변위를 축조완료후 및 재하하중 $4t/m^2$ 로 재하완료 후에 각 보강재 길이별로 비교하면, 보강재 길이에 상관없이 전체적으로 블록식 전면판의 경우 일체식에 비해 약 10배 ~ 17배 정도의 상당히 큰 변위가 발생하였고 축조 완료후 $4t/m^2$ 의 하중을 가했을 경우 4배 ~ 5.7배 정도의 변위가 발생해 하중재하에 따른 변위차가 감소하기는 하지만 여전히 블록식의 변위가 일체식에 비해 크게 발생하는 것을 발견하였다.

축조 완료후 $4t/m^2$ 의 하중을 가할 경우, 추가로 발생된 변위(순변위)는 일체식과 블록식 공히 비슷한 비율로 증가하였다. 그러나 일체식에 비해 블록식의 변위 순증분이 덜 증가하는 경향을 보였다. 이는 블록식의 경우 하중재하전 이미 충분한 변위가 발생하였기 때문으로 보인다.

일체식 전면판을 채용한 보강벽체의 경우 prop을 제거한 직후 벽체 최상부에서의 변위는 벽체 높이의 약 0.625%($L=0.9H$) ~ 1.25%($L=0.5H$)정도 발생하였으며 보강재 길이가 감소함에 따라 변위가 증가하는 경향을 보였으나 변위발생 크기는 길이에 상관없이 매우 작은 값을 보였다. 하중을 $1\sim 4t/m^2$ 까지 점차 증가시키면 보강재 길이에 따라 발생하는 변위의 차도 일정한 증감율을 보였으며 최소보강재 길이 ($0.5H$)에서 최장보강재의 약 2배 크기의 변위가 발생하였다

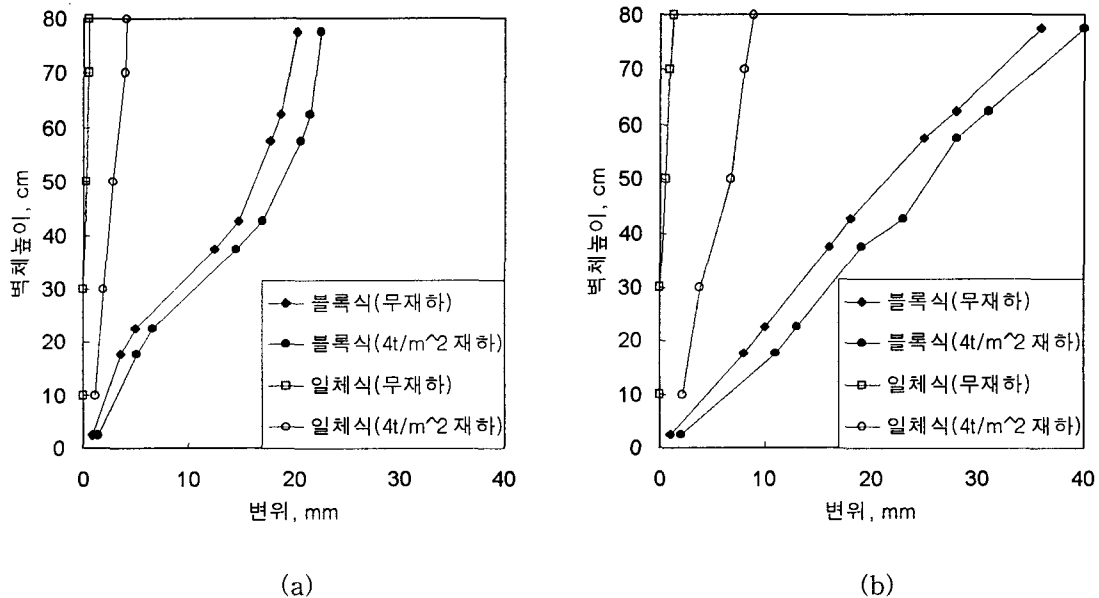


그림 6. 일체식과 블록식의 횡방향 변위 비교: (a) $L=0.9H$, (b) $L=0.5H$

4. 결론

실내 모형토조내에 prop을 댄 일체식 벽체와 종래의 블록식 벽체를 축조순서를 달리하여 모형 보강토 옹벽을 축조하고 이것에 각종 계측기를 매설하여 재하시험을 실시하였다. 전면판은 일체식 및 블록식 공히 같은 두께 및 중량을 갖도록 하였다. 시험을 통해 벽체의 거동을 분석한 결과 아래와 같은 결과를 얻을수 있었다:

- 1) 블록식의 전면판과 일체식의 전면판을 사용한 벽체는 발생하는 수평변위 및 보강재내 인장력의 분포 및 크기에 있어서 큰 차이를 보였다.
- 2) 일체식 벽체와 블록식 벽체에 발생하는 변위를 축조완료후 및 재하하중 $4t/m^2$ 로 재하완료 후에 각 보강재 길이별로 비교하면, 보강재 길이에 상관없이 전체적으로 블록식 전면판의 경우 일체식에 비해 약 10배 ~ 17배 정도의 상당히 큰 변위가 발생하였고 축조 완료후 $4t/m^2$ 의 하중을 가했을 경우 4배 ~ 5.7배 정도의 변위가 발생해 하중재하에 따른 변위차가 감소하기는 하지만 여전히 블록식의 변위가 일체식에 비해 크게 발생하였다.

3) 축조 완료후 $4t/m^2$ 의 하중을 가할 경우, 추가로 발생된 변위(순변위)는 일체식과 블록식 공히 비슷한 비율로 증가하였다. 그러나 일체식에 비해 블록식의 변위 순증분이 덜 증가하는 경향을 보였다. 이는 블록식의 경우 하중재하전 이미 충분한 변위가 발생하였기 때문으로 보인다.

4) 축조 완료후 무재하시, 일체식에 발생하는 최대인장력이 블록식에 비해 전체적으로 훨씬 작은 값을 보였으나 최상위 보강재에서는 거의 비슷한 값을 보였다. 블록식에서는 변위의 수평이동량이 전체변위에 대해 차지하는 비율이 큰 반면에, 일체식의 경우에는 전체변위에서 차지하는 회전이동량이 큼으로 인해 두 벽체 사이에 발생하는 최대인장력의 깊이에 따른 궤적이 서로 다른 양상을 보인다. 따라서 블록식에서는 중간층, 즉 2열과 3열 보강재에서 이 외의 보강재보다 큰 최대인장력이 발생하고 일체식에서는 최상단 보강재에서 최대 인장력의 크기가 그 아래의 보강재 보다 크게 나타났으며 하열로 내려가면서 선형의 감소를 보임을 알 수 있었다. 또한 일체식의 경우 보강재가 짧아짐에 따라 회전변위양상이 두드러졌으며, 보강재가 충분히 길 경우($L=0.9H$)에 재하시 두 벽체 사이의 최대인장력 발생값의 차이는 크게 줄었다.

5) 일체식에 비해 블록식의 변위 및 보강재 인장력이 크게 발생하는 원인은 크게 (1) prop을 사용하는 일체식벽체와 블록식사이의 축조순서 차이에 의한 영향, (2) 두 벽체가 단위폭당 같은 무게이므로 일체식의 경우 전면판의 휨강성에 의한 추가적인 배면토압에 대한 저항력을 들 수 있을 것이다.

수평 변위의 발생이 상부구조물 또는 인접지반의 안정성 판단에 필요한 주요한 기준치가 되어야 할 경우 일체식의 전면판을 사용하여 벽체변위를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위해서는 축조 방법 및 설계기법에 대한 면밀한 검토를 거쳐야 하고 특히 적정 보강재의 길이, 토압분포에 대한 가정, 안정성 평가에 대한 기준 등에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것이다. 후속 연구로서는 다양한 조건에서의 일체식벽체에 대한 유한요소해석 등이 필요하다.

참고문헌

1. 김진만, 조삼덕, 정한교(1997) "블록형 지오그리드 보강토 옹벽의 현장계측 연구", 연구보고서, 한국건설기술연구원
2. Cardoso, A. S. and Lopes, M. L.(1996) "The Influence of the Construction method on the Behavior of Geosynthetic Reinforced Walls - A Numerical Study", Proc. The Int. Symp. on Earth Reinforcement, Kyushu, Japan, pp351 - 355
3. Jones, C. J. F. P. (1994). "Economic construction of reinforced soil structures." Proc. Recent Case Histories of Permanent Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls, Ed. Tatsuoka and Leshchinsky, Balkema, Rotterdam, 103-115
4. Rowe, R. K. and Ho, S. K. (1997). "Continuous Panel Reinforced Soil Walls on Rigid Foundations.", J. Geotech. and Geoenv. Engg., ASCE, pp912-920
5. Mitchell, J. K. and Villet, W. C. B. (1987). *Reinforcement of Earth Slopes and Embankments*, Transportation Research Board, Washington, D.C., U.S.A.
6. Simac, P.E. et al.(1997). "Segmental Retaining Walls.", NCMA Design Manual, 2nd Ed.
7. Tatsuoka, F. (1992) "Roles of Facing Rigidity in Soil Reinforcement", Key Note Lecture, Proc. The Int. Symp. on Earth Reinforcement, Kyushu, Japan