

## 보강토 옹벽의 거동에 관한 원심모형실험

### Centrifuge Model Test of Reinforced Earth Wall with Passive Resistances

이상덕<sup>1)</sup>, Sang-Duk Lee, 유남재<sup>2)</sup> Nam-Jae Yoo, 김영길<sup>3)</sup> Young-Gil Kim 안영훈<sup>4)</sup>, Young-Hoon An, 남순기<sup>5)</sup>, Soon-Kie Nam

<sup>1)</sup>아주대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Eng. Ajou Univ.

<sup>2)</sup>강원대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Eng. Kangwon Nat'l Univ.

<sup>3)</sup>강원대학교 공과대학 토목공학과 박사과정, Graduate Student in Ph.D, Dept. of Civil Eng. Kangwon Nat'l Univ.

<sup>4)</sup>코오롱건설기술연구소 연구원, Researcher, Inst. of Construction Technology, Kolon Const. Co., Ltd

<sup>5)</sup>아주대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng. Ajou Univ.

**SYNOPSIS** : For the high stability and low cost, reinforced earth structures have been welcomed all over the world. but the backfills are the highest part of construction cost among the basic element. So it will save both money and time if the fine graded soils such as decomposed granite soils or decomposed gneiss are able to be used for backfills.

In this paper, Centrifuge model tests were performed to study the behavior of soil retaining walls reinforced with passive resistances and backfilled with sand and fine graded soil such as decomposed granite soils or decomposed gneiss. Models were constructed with different backfills and different lengths of reinforcement, and loaded to failure under increasing self weight in the geotechnical centrifuge.

**KEYWORDS** : Reinforced earth wall, Passive resistance, Centrifuge test

## 1. 서론

보강토 공법은 지반이 본래에 갖고 있는 강성을 최대한 발휘할 수 있도록 보강재를 사용하고 보강재와 지반의 마찰저항을 이용하여 지반의 인장강도를 보완하는 공법으로, 이를 위하여 마찰특성이 우수한 사질토를 뒷채움 지반으로 사용하거나 보강재 모양을 마찰저항이 우수한 형상으로 변화시켜 왔다.

그러나 보강재의 인발저항을 보강재와 지반간의 마찰저항으로 얻기 때문에 마찰형 보강재를 사용하는 기존의 보강토 옹벽은 뒷채움재의 사용이 입도분포가 양호한 조립토로 제한되어 있으며, 일부 부적합한 현장유용토의 사용으로 인하여 인발저항력이 불충분하게되며 전체적인 옹벽의 안정성에 문제가 발생된다.

따라서 충분한 인발저항력을 확보하기 위하여 보강재 끝에 수동저항체를 장착하여 보강재의 인발저항을 마찰대신에 수동저항으로부터 얻는다면 보다 안정적인 설계가 가능할 것이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 보강재 끝에 수동저항체를 부착한 수동저항형 보강토 공법을 개발하였으며 수동저항체를 장착한 보강토 옹벽의 거동과 파괴메커니즘을 확인하기 위하여 원심모형실험을 실시하였다.

## 2. 원심모형실험

### 2.1 모형지반의 기본물성

본 연구에서 모형지반조성에 사용한 시료는 세립분 함유량에 따라 3가지로 나누었다. 주문진 표준사(No.200체 통과량 0%), 화강암풍화토(No.200체 통과량 30%), 편마암풍화토(No.200체 통과량 40%)로 그 기본물성은 표 1 과 같다.

표 1 모형지반의 기본물성

구 분		주문진표준사	화강암풍화토	편마암풍화토	구 분	
입도분포	D <sub>10</sub>	0.21	0.012	0.0145	D <sub>10</sub>	입도분포
	C <sub>u</sub>	1.19	36.67	29.3	C <sub>u</sub>	
	C <sub>c</sub>	1.01	0.75	0.20	C <sub>c</sub>	
최대건조단위중량	$\gamma_{d\max}$ (tf/m <sup>3</sup> )	1.682	1.848	1.721	$\gamma_{d\max}$ (tf/m <sup>3</sup> )	최대건조단위중량
최소건조단위중량	$\gamma_{d\min}$ (tf/m <sup>3</sup> )	1.384	15.1	17.6	w <sub>opt</sub> (%)	최적함수비
최대간극비	e <sub>max</sub>	0.879	28.1	36.6	액성한계	
최소간극비	e <sub>min</sub>	0.546	N.P	16	소성지수	
No.200체 통과율	(%)	0	30	40	(%)	No.200체 통과율
상대밀도	Dr (%)	80	1.3	2.3	c (tf/m <sup>2</sup> )	점착력
내부마찰각	$\phi$ (°)	45.8	33	38.2	$\phi$ (°)	내부마찰각
통일분류법에 의한 분류		SP	SM	SC	통일분류법에 의한 분류	

### 2.2 모형토조 실험장치

원심모형실험에 사용한 모형토조는 두께 2.5 cm의 flexiglass를 사용하여 내부관측이 용이하도록 하였고 균질한 모형지반을 조성하기 위하여 모래의 경우 sand curtain 방법으로 slit 의 폭 및 낙하고를 조절하여 상대밀도를 일정하게 유지시켰으며 화강암풍화토와 편마암풍화토의 경우 특별히 제작된 다짐봉을 이용하여 일정한 높이에서 낙하시켰다.

모형옹벽은 벽체의 강성을 적절히 나타내기 위하여 강성이 있는 코팅된 합석판을 사용하였으며 기초지반 5cm를 조성한 후 수직간격 5cm, 수평간격 6.67cm 간격으로 보강재를 설치하였다.

보강재는 인장변형율이 작고 steel strip과 비슷한 마찰계수를 가지며 성형 및 제작이 용이한 알루미늄 테이프를 길이 20cm, 폭 4mm로 절단하여 3겹을 사용하였다. 수동저항체의 경우 전면판과 동일한 재료를 30mm×10mm의 크기로 절단하여 사용하였으며 strip과의 연결은 강력접착제를 사용하였다.

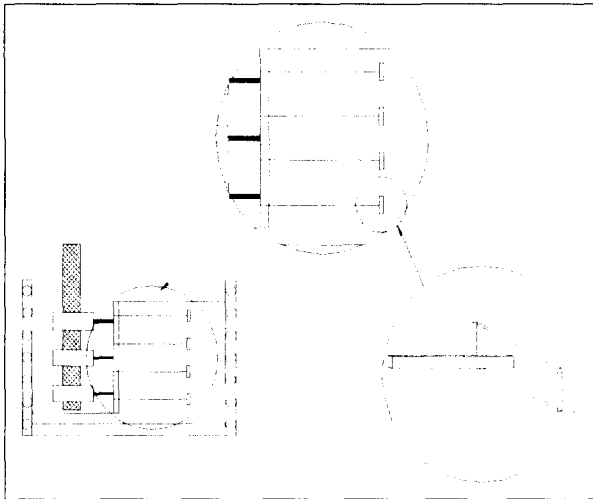


그림 1 모형토조의 개략도

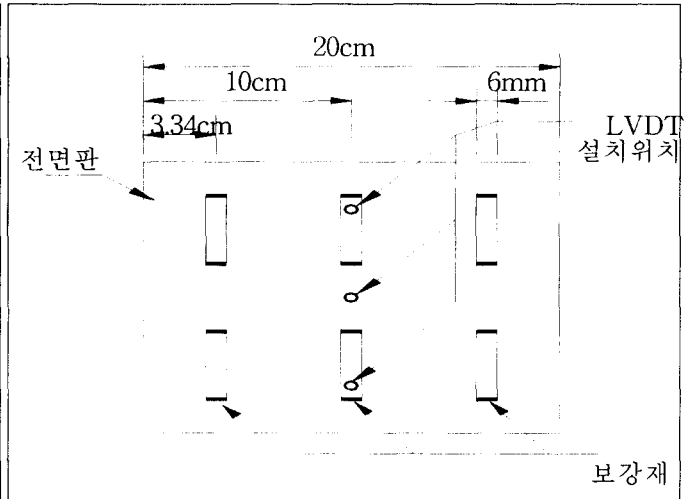


그림 2 전면판 정면도

## 2.3 실험방법

원심모형실험을 통한 모델링을 위하여 수동저항체를 장착한 보강재를 삽입하여 지반을 조성하였으며 모래지반인 경우 염색사를, 화강암 및 편마암 풍화토의 경우 백색 진주핀을 일정 간격·깊이마다 설치하여 중력수준의 증가에 따른 지반의 거동을 파악하였다.

한편 전면판의 수평변위를 측정하기 위하여 모형옹벽 전면부의 상·중·하 세부분에 LVDT를 설치하여 전면판의 변위를 계측하였다. 또한 모형의 거동 및 주요장면을 video camera 와 35mm camera를 사용하여 촬영함으로써 실험 종료후 보조 분석자료로 활용하였다.

실험종료후 염색사 또는 진주핀의 변화를 tracing paper를 사용하여 지반의 거동 및 파괴형상을 기록하였으며 지표의 균열상황도 확인하였다.

## 3. 실험결과

### (1) 수동저항체의 영향 (표 2)

보강토 옹벽에 있어서 수동저항체의 영향을 확인한 결과, 수동저항체를 장착한 경우 전체적으로 더 큰 G-Level에서 보강토 옹벽의 내적파괴가 발생하였다. 또한 파괴시 전면판의 변위는 수동저항체를 장착한 경우 동일한 G-Level상에서 수동저항체가 없는 경우에 대하여 절반 이하의 변위만 발생하였다. 그러나 모형지반의 파괴 형태는 수동저항체의 유무에 관계없이 거의 비슷하게 나타났으며 이는 모형지반의 파괴거동이 보강재의 인장파괴에 의하여 발생하였기 때문이라 판단된다.

### (2) 보강재 길이의 영향 (표 3)

세립토 함유량이 40%인 편마암 풍화토의 경우 파괴토체가 전면판에 근접하여 발생하였기 때문에 보강재의 길이에 따른 G-Level의 차이가 크게 나타나지는 않았으나, 세립토 함유량이 작아질수록 즉, 편마암 풍화토→화강암 풍화토→모래의 순으로 보강재의 길이에 의한 영향이 크게 나타났다.

또한 보강재의 길이가 예상주동파괴면 내에 위치한 경우 즉, 보강재의 길이가 7cm일때(0.35 H) 파괴면이 보강재의 끝에서 발생하였으며 보강재의 길이가 증가함에 따라 파괴면의 위치가 변하였다. 그러나 사질토의 경우 전면판의 하부에 위치한 보강재는 파단이 일어났으나 상부의 제1열과 제2열의 보강재에

서는 보강재 파단이 발생하지 않았고 보강재의 끝을 지나서 bilinear 형태의 파괴면이 형성되었다.

(3) 뒷체움재의 영향 (표 4)

편마암풍화토의 경우 G-Level이 증가함에 따라 초기에는 전면변위가 거의 발생하지 않다가 높은 G-Level에서 급격한 파괴가 발생하였으며, 화강암풍화토에서는 G-Level이 증가함에 따라 전면변위가 점진적으로 증가하다가 10~15 mm 정도 되면 파괴가 일어났고 모래에서보다 높은 G-Level 값을 나타내었다. 모래의 경우 낮은 G-Level 및 작은 전면변위에서 파괴가 발생하였다. 또한 화강암풍화토 지반에서는 전면판의 중앙부에서 변위가 발생하고 계속적으로 증가하여 파괴시 제일 큰 변위를 나타내었으며 모래에서는 전면판의 상부에서 큰 변위가 발생하고 G-Level에 따라 증가하였다.

편마암풍화토의 경우 지반의 파괴가 뚜렷하게 발생하였으나 파괴토체의 크기는 더 작게 나타났다. 화강암풍화토는 뚜렷한 파괴면이 발생하지는 않았으나 전체적인 모형지반의 침하가 발생했고, 전면변위가 많이 발생한 후 파괴가 발생하였으며 지표 균열은 전면판에서 23 cm 전후의 부분에서 발생하였다. 모래지반의 경우 원지반이 자립하지 못하는 까닭에 파괴가 발생한 후 정확한 파괴면의 형태 및 크기를 확인하기가 어려웠으나 염색사의 변형형태를 파악하여 모래지반의 파괴면을 추측할 수 있었다.

표 2 수동저항체의 유무에 따른 결과

세립토 함유율 (F)	보강재 길이 (L)	다짐도 (D)	수동 저항체 (P)	G-Level		지표파괴위치(cm)	
				변위발생	파괴발생	내적	외적
40	10	0.95	○	47.6	68.09	3.5	-
40	10	0.95	×	44.96	62.62	7.2	-
30	10	0.97	○	1.299	43.14	10	21
30	10	0.97	×	1.030	44.35	8	21.5
0	20	80	○	0.978	7.061	8	-
0	20	80	×	1.537	5.541	9	-

표 3 보강재의 길이에 따른 결과

세립토 함유율 (F)	보강재 길이 (L)	다짐도 (D)	수동 저항체 (P)	G-Level		지표파괴위치 (cm)	
				변위발생	파괴발생	내적	외적
40	10	0.95	○	65.29	68.09	3.5	-
40	7	0.95	○	51.4	65.92	7	-
30	12	0.97	○	2.708	44.74	7	17
30	10	0.97	○	1.299	43.14	10	21
30	7	0.97	○	0.904	37.06	6.5	18
0	12	80	○	14.21	19.69	11	-
0	10	80	○	3.166	12.61	10	-
0	7	80	○	1.079	7.14	8.5	-

표 4 뒷채움재의 종류에 따른 결과

세립토 함유율 (F)	보강재 길이 (L)	다짐도 (D)	수동 저항체 (P)	G-Level		지표파괴위치 (cm)	
				변위발생	파괴발생	내적	외적
40	10	0.95	○	65.29	68.09	3.5	-
30	10	0.97	○	1.299	43.14	10	21
0	10	80	○	3.166	12.61	10	-

#### 4. 결론

보강재 끝에 수동저항체를 부착한 보강토 옹벽의 거동 및 파괴메커니즘을 확인하기 위하여 원심모형 실험을 실시하였다. 수동저항체의 유무 및 뒷채움지반의 종류를 변화시키며 자중실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 원심모형실험결과 수동저항체를 장착한 경우 모형지반의 파괴형상은 대수나선(log-spiral) 형태로 나타났다. 이는 원심모형실험에서 내적파괴를 유발해서 파괴메커니즘을 확인하기 위하여 상대적으로 인장강도가 작고 적은 양의 보강재를 사용하였기 때문이라 판단된다.
- (2) 모래지반에서는 수동저항체를 부착한 경우와 그렇지 않은 경우, 벽체의 변위가 발생하는 G-Level 값과 벽체 변위의 크기 및 최대변위 발생위치가 거의 유사하게 나타났다.
- (3) 모래지반을 뒷채움재로 사용할 때에는 G-Level이 증가되면 전면판 상부부터 벽체의 수평변위가 서서히 발생되었으며 일정한 G-Level이 지나면서 벽체 상부에서는 보강재가 뽑히고 하부에서는 보강재가 끊어지는 형태로 파괴되었다.
- (4) 수동저항체를 장착한 경우 세립분 함유량이 클수록 초기변형이 작게 발생하였고 더 높은 G-Level에서 파괴되었다.
- (5) 수동저항체가 가상 파괴면내에 위치할 경우 더 높은 응력 수준까지 도달하였다. 따라서 수동저항체를 사용하면 마찰형 보강재 보다 더 짧은 길이의 보강재를 사용할 수 있을 것이다.

#### 5. 참고문헌

1. 이상덕, 1995, "Drain board 보강토공법의 적용성에 관한 연구", 아주대학교 토목기술연구소 연구보고서
2. 조삼덕, 김진만, 1995, "토목섬유 보강토 구조물의 합리적인 해석과 설계", 한국건설기술연구원
3. 김영길, 1992, "보강토옹벽의 안정해석에 관한 연구", 강원대학교 석사학위논문
4. Colin J.F.P Jones, 1996 "Earth Reinforcement & Soil Structures", Thomas Telford
5. C.R.I. Clayton, J. Milititsky, UFRGS, R.I.Woods, 1993, "Earth Pressure and Earth-retaining Structures", 2nd edition, Blackie Academic & Professional pp, 289~325
6. Fumio Tatsuoka and Dov Leshchinsky, 1992, "Recent Case Histories of Permanent Geosynthetic-Reinforced Soil retaining Walls", Proc. Seiken Symposium No.11, A.A. Balkema
7. R.N. Taylor, 1995, "Geotechnical Centrifuge Technology", Blackie Academic & Professional
8. Yamaguchi, T., Miura, N. & Ochiai, H., 1988, "Theory and Practice of Earth Reinforcement", A.A. Balkema

9. Yoo, Nam-Jae, 1988, "Centrifugal Model Experiments of Reinforced Earth Retaining Walls", Ph.D. Thesis, University of Colorado

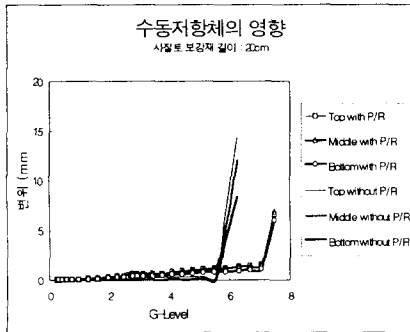


그림 3 수동저항체의 영향 (모래)

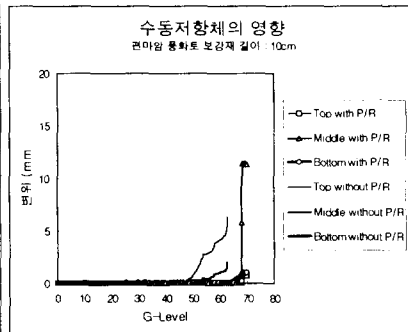


그림 4 수동저항체의 영향 (편마암 풍화토)

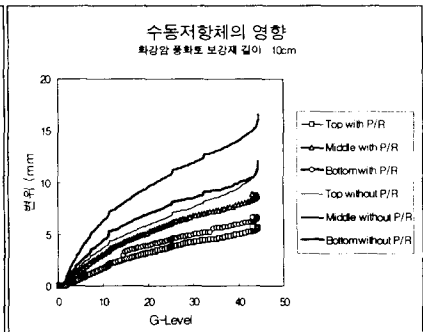


그림 5 수동저항체의 영향 (화강암 풍화토)

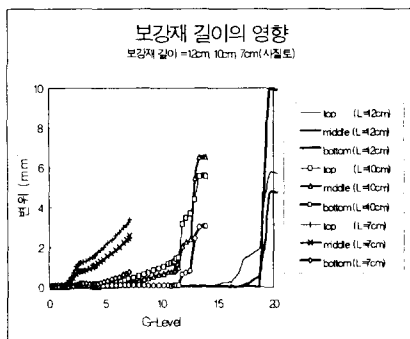


그림 6 보강재 길이의 영향 (모래)

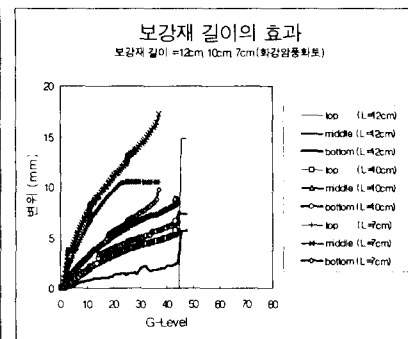


그림 7 보강재 길이의 영향 (화강암 풍화토)

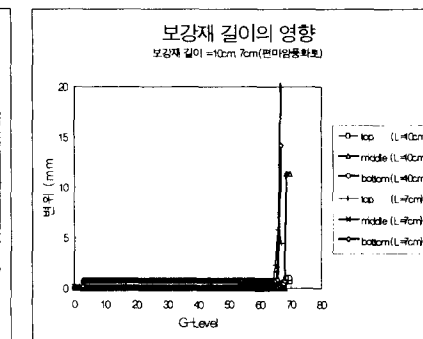


그림 8 보강재 길이의 영향 (편마암 풍화토)

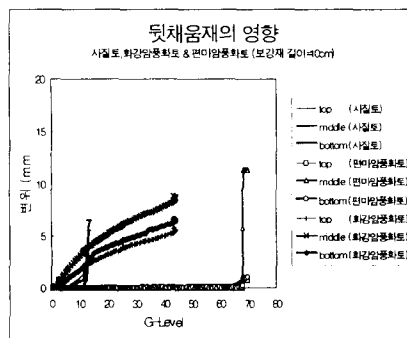


그림 9 뒷채움재의 영향