

수동저항체를 장착한 보강토 옹벽의 거동에 관한 실험 Full scale test of Reinforced Earth Wall with Passive Resistances

이상덕¹⁾, Sang-Duk Lee, 박영진²⁾, Young-Jin Park, 안영훈³⁾, Young-Hoon An, 남순기⁴⁾, Soon-Kie Nam

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

²⁾코오롱건설기술연구소 연구원, Researcher Fellow, Inst. of Construction Technology, Kolon Const. Co., Ltd

³⁾코오롱건설기술연구소 연구원, Researcher, Inst. of Construction Technology, Kolon Const. Co., Ltd

⁴⁾아주대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Eng. Ajou Univ.

SYNOPSIS : The benefit of reinforced earth wall is well known and the application to field construction spreads widely. In general, the granular soils are used for backfills and the reinforcements in reinforced earth wall systems derive most of their pullout resistance from friction, and the fine graded soils such as decomposited granite soils are not able to apply.

But the decomposited granite soils are abundant and widely distributed throughout the Korea peninsular. so it could reduce the construction cost greatly as an economical backfills.

This paper presents the behavior of reinforced earth wall with passive resistances attached to drain board to assure the usability of fine graded backfill material.

KEYWORDS : Reinforced earth wall, Passive resistance, Decomposited granite soil, Backfills

1. 서론

기존의 보강토 공법은 지반이 본래에 갖고 있는 강성을 최대한 발휘할 수 있도록 보강재를 사용하고 보강재와 지반의 마찰저항을 이용하여 지반의 인장강도를 보완하는 공법이며, 이를 위하여 마찰특성이 우수한 사질토를 뒷채움 지반으로 사용하거나 보강재 모양을 마찰저항이 우수한 형상으로 변화시켜 왔다. 그러나 현장 여건상 적절한 뒷채움 재료를 구하기 힘든 경우에 현장 흙을 그대로 사용하면 이에 따른 보강효과가 불확실하여 부실공사의 가능성이 상재하고 있어서 불가피하게 양질의 조립토를 외지로부터 반입해야하며, 이것이 원가상승의 주요 요인이 되고 또한, 보강토 공법 적용의 한계가 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 점성토를 기준이상으로 포함하는 현장유용토를 뒷채움재로 사용하기 위하여, 기존의 마찰저항형 보강재대신 수동저항체를 사용하는 새로운 보강토 공법을 개발하고자 하였다. 즉, 보강재 끝단에 수동저항체를 부착하여 보강토 옹벽의 내적안정의 주 요소를 보강재의 마찰저항력에서 수동저항체에 의한 저항력으로 대체하였으며, 점성토의 강성저하를 방지하기 위하여 배수성 보강재를 사용하는 경우의 안정성과 파괴메커니즘을 연구하였다. 즉, 세립토 함유량이 15~25%로 제한되어 있는 기존의 뒷채움재의 적용범위의 확대가능성을 확인하기 위하여 세립분 함유량이 각각 40, 30, 0%인 편마암

풍화토, 화강암풍화토, 모래등을 뒷채움재로 변화시키고 또한 보강재의 길이에 따른 영향을 확인하기 위하여 모래지반에서 각각 1.0, 1.5 2.0 m 의 길이로 보강재를 설치하고 각 조건에 따른 변화를 관측하였다.

2. 실험형 실험

2.1 실험지반의 기본물성

본 연구를 위하여 폭 2.4 m, 높이 2.4 m 길이 3.0 m의 실험형 보강토 옹벽을 직접시공하여 그 안전성과 파괴메커니즘 및 거동특성을 연구하였다. 뒷채움재로는 모래와 화강암풍화토 및 편마암풍화토를 사용하였다.

실험형실험시 뒷채움지반조성에 사용된 시료의 기본 물성값은 아래의 표와 같다.

표 1 뒷채움지반의 기본 물성

구 분		모래	화강암풍화토	편마암풍화토
통일분류법에의한 분류		SP	SM	SC
# 200 통과량 (%)		0	31	40
입도분포	D ₁₀	0.28	0.012	0.0145
	C _u	3.31	36.67	29.30
	C _c	1.01	0.75	0.20
소성지수		N.P	N.P	16
내부마찰각	ϕ (°)	40	35.5	36
점착력	c (kgf/cm ²)	0	0.30	0.33
최대건조단위중량	$\gamma_{d \max}$ (tf/m ³)	-	1.848	1.721
최적함수비	w _{opt} (%)	-	15.1	17.6

2.2 실험장치 및 계측기

본 실험은 폭×깊이×높이의 비가 2.4m×3.0m×2.4m인 실험형 토조를 사용하였으며 효과적이며 안정된 계측값을 얻기 위하여 자동계측장치인 UPC-601-U card 및 LVDT, Load Cell 등을 사용하였다. 전면판 변위 6점, 지표 변위 6점 및 각 층마다 삽입된 보강재 내부변위 4점등 총 28개의 LVDT와 200 ton 용량의 재하하중 측정용 Load Cell 그리고 8개의 보강재에 작용하는 인장력을 측정하기 위한 500 kg, 1 ton용량의 Load Cell 등을 사용하였다.

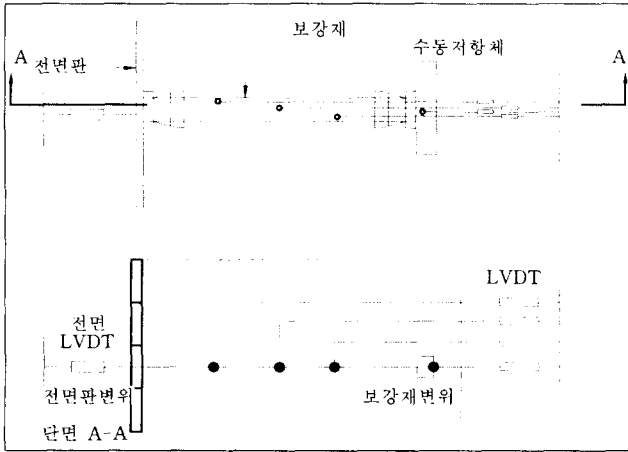


그림 1 보강재 부분변위 측정

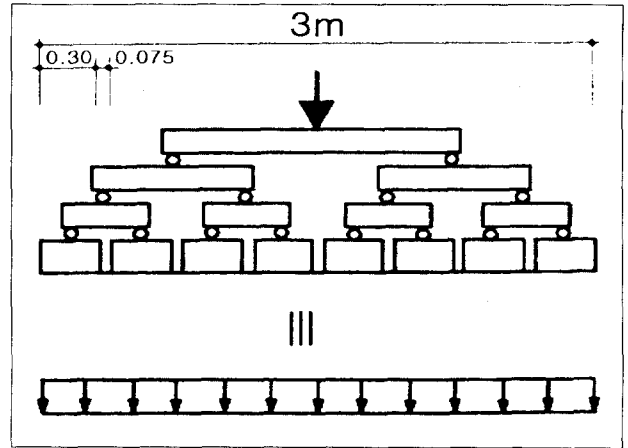


그림 2 하중전달장치

2.3 실험방법

세립분을 기준이상 함유한 뒷채움재의 적용성, 시공성 및 안정성을 확인하기 위하여 모래, 화강암풍화토, 편마암풍화토 등의 뒷채움재를 사용하여 균질한 지반을 각각 조성하였다.

성토가 완료된 후 등분포 상재하중을 가하기 위하여 그림 2와 같은 하중전달장치를 사용하였으며 최고 120 tf (= 15.8 t/m²)의 하중을 평균 약 1.5~3.0 tf/min의 속도로 응력제어식으로 재하하였다.

성토지반은 DIN 4021형 코어 커터를 이용하여 채적이 일정한 얇은 원형관을 지반내에 밀어 넣고 코어 시료를 채취한 후에 단위중량과 함수비를 측정하여 지반조성상태를 확인하였으며 그 결과, 일정한 기준의 균질한 지반이 조성되었음이 확인되었다.

각 지반 조성 재료 및 조건에 따른 지반의 다짐도는 표 2와 같다.

표 2 실험지반의 평균 건조단위중량

항 목	기호 및 단위	No.200체 통과량						
		0 %			30 %		40 %	
다짐도	(Dr 또는 R/C)	66 %	50 %	26 %	0.89	0.88	0.93	0.94
평균건조단위중량	($\gamma_{d,avg}$, t/m ³)	1.600	1.555	1.483	1.644	1.631	1.614	1.605
평균함수비	w_{avg} , %	5.0	4.5	4.0	22.5	19.4	21.8	22.6

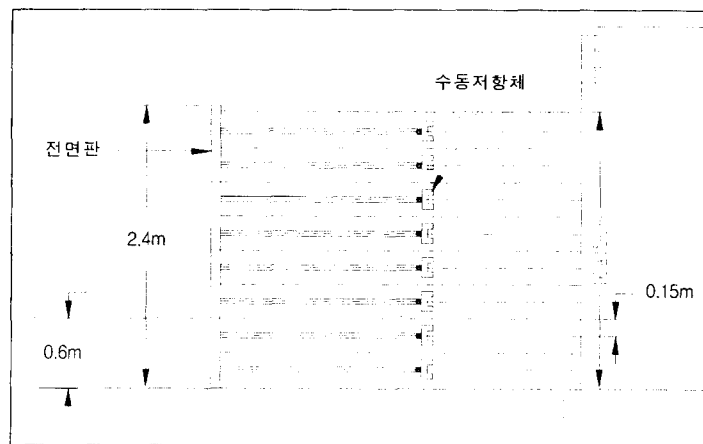


그림 3 실대형 실험 지반

3. 실험결과 및 분석

(1) 뒷채움재의 종류에 따른 비교

재하시 뒷채움재의 종류 즉 세립분의 함유량에 따라 재하시 발생하는 지반거동을 비교한 결과, 사질토의 경우 최대 발생침하량이 세립분 함유량이 30%인 화강암풍화토에 비하여 약 14%정도에 불과했다. 세립분 함유량이 40%인 편마암풍화토의 경우에는 화강암풍화토에 비하여 지표침하량은 약 25% 정도 더 발생하였으며 전면판의 최대 변위 발생 위치는 지반 종류와 무관하게 모두 동일하여 유사한 파괴양상을 가지는 것으로 측정되었다.

표 3 뒷채움재의 종류에 따른 최대변위 및 발생위치

조 건		최대변위 및 발생위치			
		지표변위 (mm)	위치	전면판변위 (mm)	위치
#200 통과량	0 %	11.46	9	11.04	3
	30 %	79.63	11	55.43	3
	40 %	99.58	11	63.99	3

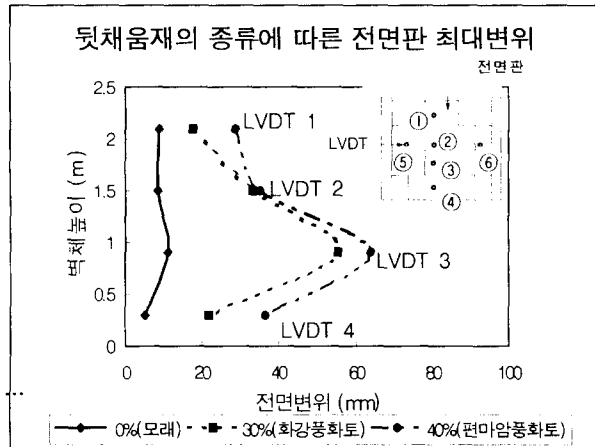


그림 4 전면판 최대변위

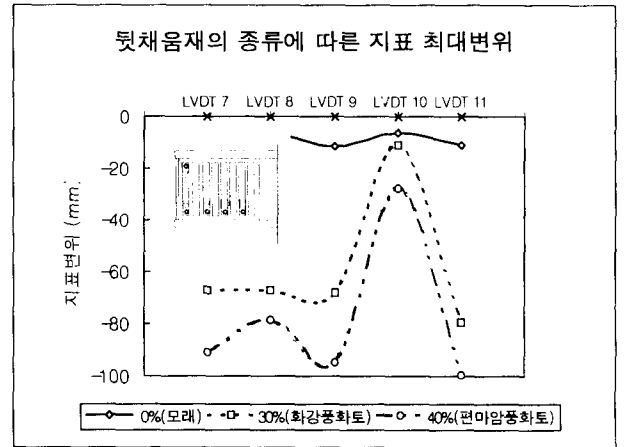


그림 5 지표 최대변위

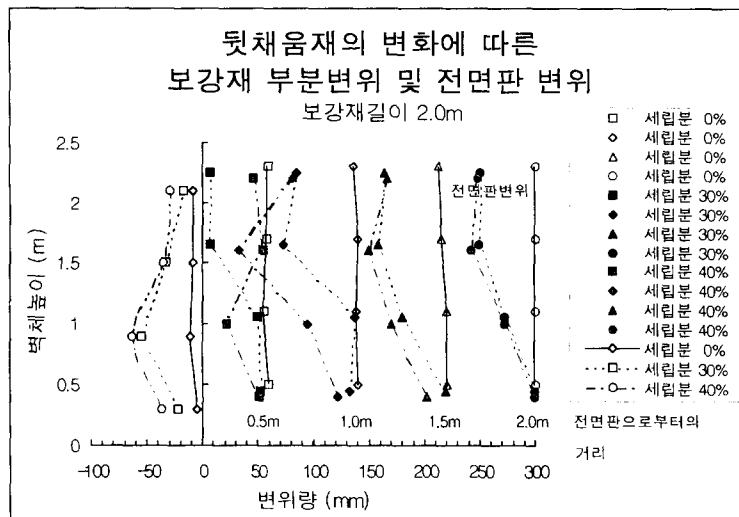


그림 6 보강재 부분변위 및 전면변위

또한, 뒷채움지반내에 매설된 보강재의 부분적인 변위량 측정결과를 볼 때 세립분의 함유량이 많을수록 보강재의 변위가 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 세립토 함유량이 30%일 경우, 1/2H 이상인 부분에서 큰 변위가 발생하였으며 수동저항체가 벽체상부에서 부분적으로 뺏히는 거동을 나타냄을 알 수 있다. 중간이하에서 발생한 변위량의 차이는 보강재와 전면판의 연결부 등에서 발생한 변위라고 판단된다.

(2) 보강재의 길이에 따른 비교

보강재의 길이에 따른 영향을 관측하기 위하여 사질토로 뒷채움하고 보강재의 길이를 1.0, 1.5, 2.0 m로 변화시키며 지표 및 전면 변위와 보강재에 작용하는 인장력 그리고 보강재내부의 변위를 계측·비교하였다.

재하하중의 증가에 따른 관측 결과, 보강재의 길이가 길어짐에 따라 전면판의 변위 및 지표 변위는 감소하였으며 전면판의 변위형태 즉, 변위 발생 위치가 거의 동일한 형상으로 발생하였다.

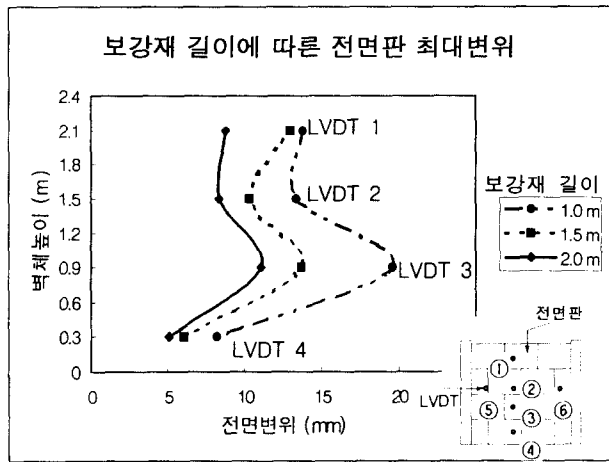


그림 7 전면판 최대변위

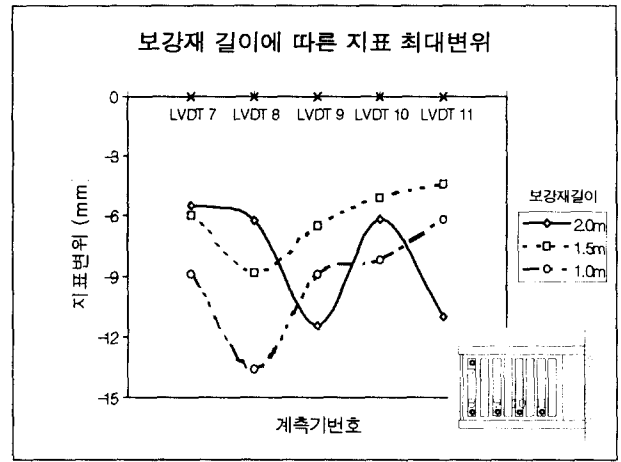


그림 8 지표 최대 변화

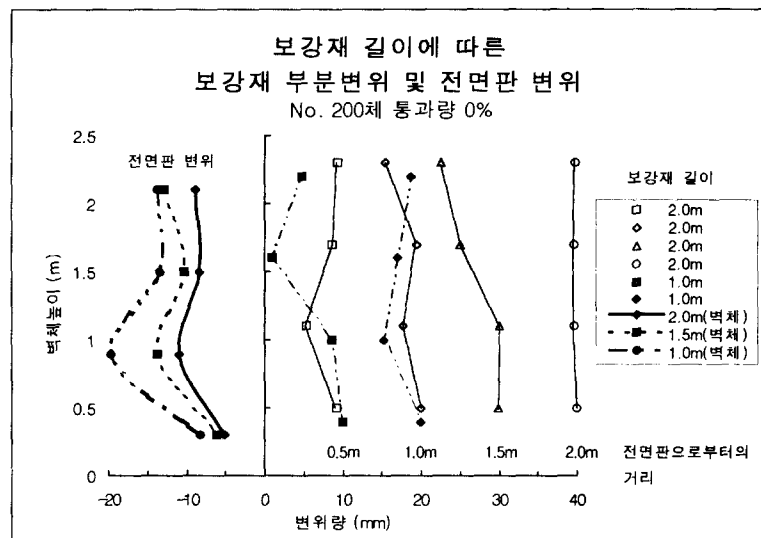


그림 9 보강재 부분변위 및 전면변위

(3) 시간의 경과에 따른 토압변화

뒷채움지반 조성시 토압계를 매립하여 성토 단계, 재하 및 시간의 경과에 따른 토압의 변이를 관측하였다. 이는 실험 종료후 지반의 물성치에 따른 이론식과 비교하여 전면판 및 지반에 작용하는 실제 토압을 산정하는데 그 목적이 있다.

수직토압은 재하가 이루어짐에 따라 비례하여 증가하는 반면에 수평토압은 그 증가 기울기가 점차 감소하는 경향을 보였다.

사질토를 뒷채움재로 사용한 경우 토압이 일기변화등에 다소 민감하게 측정되었으나 세립분을 함유한 흙을 뒷채움재로 사용했을때에는 토압의 변화가 크게 나타나지 않았다. 이는 세립분을 함유한 흙을 사용했을 때 지표표를 통하여 우수의 침입등 각종 주변요인의 영향을 크게 받지 않기 때문으로 추정된다.

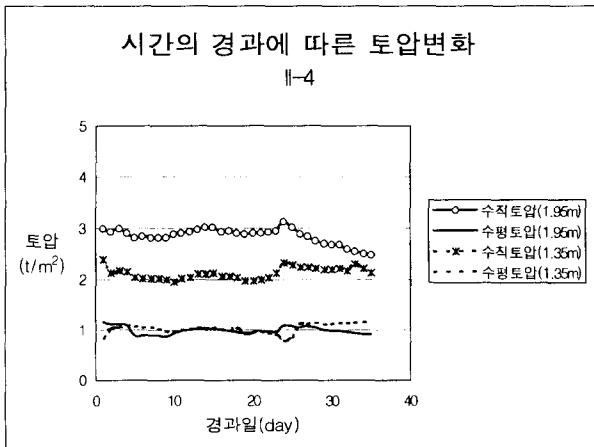


그림 10 시간의 경과에 따른 토압변화
(II-4 : No. 200체 통과량 40%, 상대다짐도 0.94)

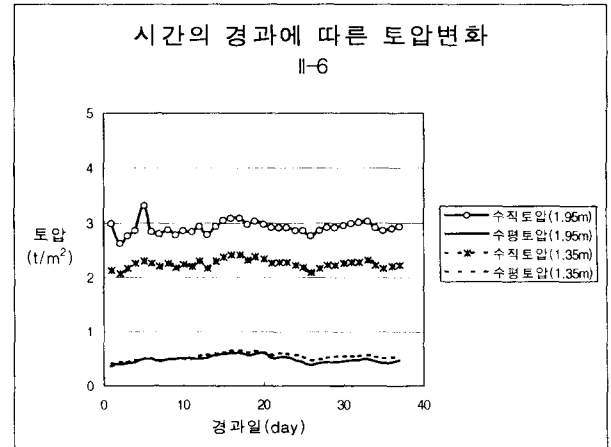


그림 11 시간의 경과에 따른 토압변화
(II-6 : No. 200체 통과량 30%, 상대다짐도 0.88)

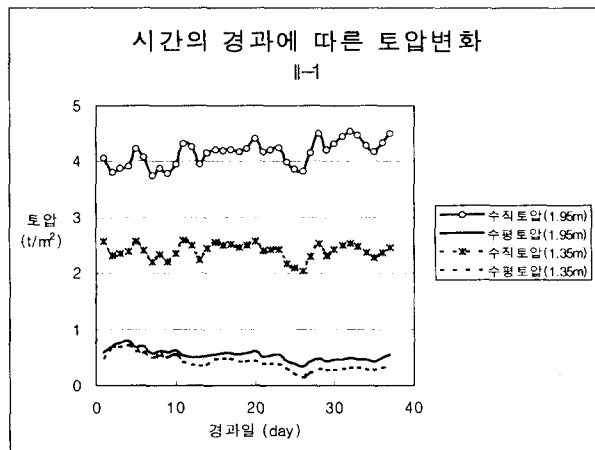


그림 12 시간의 경과에 따른 토압변화
(II-1 : No. 200체 통과량 0%, 상대밀도 66%)

4. 결론

수동저항체를 부착한 배수성 보강재를 사용하여 No. 200체 통과량이 각각 0%, 30%, 40%인 지반으로 뒷채움한 폭 2.4 m, 높이 2.4 m, 길이 3 m의 보강토 옹벽을 시공하여 그 거동특성과 메커니즘 및 안정성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 최종 15.80 t/m^2 하중재하가 종료된 후 세립분을 함유한 뒷채움 지반은 모래 뒷채움보다 약 2배 가량의 침하가 발생하였다. 하중 재하시 전면판 저면 및 이음부에서 물이 배수되는 것이 관측되는 것으로 볼 때에 보강재의 배수기능이 작동함을 알 수 있었다.
- (2) 하중재하시 전면판의 수평변위는 뒷채움재의 종류에 상관없이 유사한 형태로 발생하였으며 최대수평변위는 지면으로부터 전면판 높이의 $0.3H \sim 0.4H$ 지점에서 발생하였다. 수평변위량은 세립토 함유량이 많을수록 점점 증가하였으며, 최대수평변위는 지표변위의 약 63%를 나타내었다. 또한 세립토 함유량이 많을수록 지표연직변위도 크게 발생하였다.
- (3) 뒷채움재의 투수계수가 작고 계측기간이 짧았기 때문에 배수로 인한 뚜렷한 함수비의 감소는 관측되지 않았다. 또한 일기의 변화 즉, 비가 온 후에도 유동화등과 같은 지반 상태의 변화나 급격한 토압의 변화는 관측되지 않았다.
- (4) 성토 지반의 높이에 따라 연직토압은 거의 선형비례하여 증가하였으나 수평토압은 선형 증가되지 않고 증가되는 기울기가 점차 감소하는 형태를 나타내었다.
- (5) 하중재하에 따라 보강재에 작용하는 인장력은 세립분 함유량이 증가할수록 하부에서보다 상부에서 더 큰 변화를 나타내며 벽체높이의 $0.5H \sim 0.7H$ 사이에서 가장 크게 나타났다.

이상의 결과를 토대로 보강토 옹벽의 내적 안정의 확보에 수동저항개념의 적용가능성을 확인하였다. 즉, 옹벽 배면의 상재하중이 극히 크지 않거나, 배면지반의 침하가 어느 정도 허용이 되는 경우라면 수동저항형 보강재와 함께 세립토를 현행 기준 이상으로 다량 함유한 지반을 뒷채움 재료로 사용하여도 안정성을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

세립분을 다량 함유한 흙을 뒷채움재로 사용할 경우 함수비의 변화에 지반의 전단강도가 큰 영향을 미치므로 추후의 지속적인 연구 및 시험시공을 통한 장기거동 관측으로 우기 및 동절기 등의 일기변화에 대한 추가적인 연구가 계속되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

1. 이상덕, 1995, "Drain board 보강토공법의 적용성에 관한 연구" 아주대학교 토목기술연구소
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 and R.I.Woods, 1993, "Earth Pressure and Earth-retaining Structures" 2nd Edition, Blackie Academic & Professional

6. Fumio Tatsuoka and Dov Leshchinsky, 1994 "Recent Case Histories of Permanent Geosynthetic Reinforced Soil retaining Walls", Proc. Seiken Symposium No.11, A.A. Balkema
7. L. Palossy, P.Scharle and I. Szalatkay, 1993, "Earth Wall", Ellis Horwood, pp 97-164
8. James K. Mitchell, and Willem C.B. Villet, 1987, "Reinforcement of Earth Slopes and Embankments", Transportation Research Board, National Research Board, Washington,D.C.,
9. Ramaiah Shivashankar, 1991, "Behavior of a Mechanically Stabilized Earth (MSE) Embankment with Poor Quality Backfills on Soft Clay Deposits, including a study of the Pullout Resistances", Ph.D. Thesis, AIT
10. Yamaguchi, T., Miura, N. & Ochiai, H., 1988, "Theory and Practice of Earth Reinforcement", A.A. Balkema