

열유도 토목섬유 배수공법이 적용된 보강토 옹벽의 강우시 거동 특성

Behavior of Geosynthetic Reinforced Wall with Heat Induce Drainage Method During Rainfall

신승민¹, 신춘원^{2*}, 유충식³

Seung-min Shin¹, Chun-won Sin^{2*}, Chung-Sik Yoo³

¹Member, the master's course, School of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan Univ. Natural Sciences Campus, Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea

²Member, the master's course, School of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan Univ. Natural Sciences Campus, Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea

³Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan Univ. Natural Sciences Campus, Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea

ABSTRACT

This paper presents the results of a scale model test to the effect of heat exchanger drainage method in retaining wall of weathered granite soil. Purpose to rise in the temperature of the heat wires inside the weathered granite soil is preventing the collapse of the retaining wall and drainage smoothly moved to the drainage layer. Especially using a spray gun to simulate the rainfall since the rainfall drainage work is important for the rainfall effect on soil, find the difference about displacement of the retaining wall, change of volume water content, drainage, earth pressure and change in the strain of the geosynthetic was effected to heat exchanger within the soil. The result from applying the heat exchanger method decreased the earth pressure and displacement of the wall and increased drainage of water.

요 지

본 논문에서는 실제 보강토 옹벽에서 열유도 배수장치에 의한 영향을 분석하기 위하여 옹벽 형태의 축소모형실험을 진행하였다. 열선의 온도상승으로 인해 화강풍화토 내부의 온도가 상승하며 화강풍화토 내부에 있는 수분을 배수층으로 이동시켜 배수를 원활히 하여 옹벽의 붕괴방지를 위한 목적을 가지고 있다. 특히 강우 시 배수활동이 중요하기 때문에 강우조건을 모사하기위해 워터스프레이건을 이용하여 지반에 강우작용을 모사하였으며 강우에 의한 옹벽 벽체의 변위, 지반내부의 체적함수율 변화, 강우배수량, 벽체의 토압의 변화 그리고 보강재의 변형률의 변화를 분석하여 지반 내 열유도 배수장치의 영향으로 인한 차이를 확인하였다. 그 결과 열유도 배수장치를 적용한 경우 배수량이 증가하며 그로인해 토압이 감소하며 벽체의 변위가 감소하는 것으로 나타났다.

Keywords : Geosynthetic, Reinforced wall, Heat exchanger drainage method

1. 서 론

현재 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 이상기후로 인한 자연재해가 이슈가 되고 있다. 특히 여름철 장마로

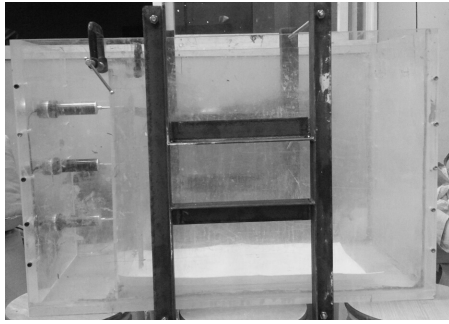
인한 집중강우로 인해 홍수 및 산사태와 같은 여러 재해들이 발생되고 있는데 옹벽붕괴 사고 역시 이 시기에 자주 보고되고 있다. 우리나라의 옹벽은 대부분 화강풍화토로 뒤채움이 되어 있으며 옹벽 내부에 투수층이 설치되어 있습니다. 옹벽 내부의 수분을 배수층으로 빠르게 이동하도록 유도하여 배수 활동을 촉진시키는 공법인 열유도 배수 장치에 대한 연구가 진행되고 있다. Liu et al.(2013)은 사

Received 13 Jan. 2016, Revised 15 Mar. 2016, Accepted 16 Mar. 2016

*Corresponding author

Tel: +82-31-290-7537; Fax: +82-31-290-7549

E-mail address: scw97212@naver.com (C.-w. S.)



(a) Soil tank



(b) Water spray

Fig. 1. Soil tank and water spray for scale retaining wall test

면에 온도변화를 적용하고 이에 따른 사면의 안정성을 분석하였는데 온도가 증가하면 지반내의 함수비가 증가하고 지반의 점착력이 떨어져 사면의 안정에 부정적인 영향을 미친다는 연구 결과를 발표하였다. McCartney et al.(2010)은 빌딩 하부에 열교환 장치를 설치하여 겨울철 지반에 지속적인 열공급을 하였을 때 시간에 따른 기초의 변위를 측정하여 열교환 장치가 지반의 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 Stewart et al.(2014)은 Bony Silt를 사용한 블록식 보강토 옹벽에서 열교환장치를 이용하여 온도 및 시간에 따른 옹벽 및 보강재의 변화를 측정하여 열교환 장치에 의한 옹벽의 거동을 분석하였다. 뿐만아니라 국내에서도 보강토 옹벽의 안정성을 분석하기 위해 Yoo and Jang(2013)은 모형 옹벽을 설치하여 습윤-건조 반복작용이 옹벽의 거동에 미치는 영향을 분석하여 옹벽의 붕괴에 미치는 영향을 분석한바 있다.

이와 같이 지반의 온도와 수분함량에 따른 거동특성에 대해 연구가 지속적으로 진행되고 있지만 강우조건을 만족하며 화강풍화토를 사용한 옹벽 내부에 열유도 배수장치가 사용되어 강제 온도변화가 옹벽 내부에 물리적·역학적 특성에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 강우조건을 모사하여 화강풍화토를 대상으로 열유도 배수장치에 따른 배수량 변화 및 지반의 체적함수율의 변화 경향을 고찰하였다. 아울러 옹벽의 벽체변위, 보강토의 주동토압 그리고 보강재의 변형률의 변화를 분석하여 온도변화와 배수의 상관관계를 검토하였다.

2. 실험 조건 및 방법

2.1 모형 옹벽 토조 구성요소

Fig. 1에서는 모형 보강토 옹벽 실험에 사용한 옹벽토조

와 강수장치를 나타내고 있다. Fig. 1(a)는 폭 0.4m, 높이 0.6m, 길이 0.9m인 투명 아크릴 모형 토조를 사용하였고 모형 옹벽토조의 벽면은 5mm 두께의 아크릴 판을 하단부만 경첩으로 연결하여 힌지 상태로 만들어 보강토 벽체의 주동토압에 의한 벽체 변형일 일어날 수 있도록 하였다. 또한 토조의 흙채움으로 인한 벌어짐을 방지하기 위해 L형강으로 만들어진 브레이싱을 토조에 고정하여 변형을 방지 하였다. 또한 Fig. 1(b)는 강수장치이며 모형 옹벽토조 설치하여 공압 및 수조와 연결하여 스프레이형식으로 강우를 모사하도록 하였다. 지반의 강우량은 시간당 10ℓ 씩 3시간의 강우작용을 하였는데 이는 일 강수량 450mm로 환산되며 집중호우로 큰 피해를 줄 수 있는 상황을 모사했다. 모든 실험의 경우 강우강도와 강우량은 항시 동일하게 하였다.

2.2 계측장비

Fig. 2에서는 모형 옹벽실험의 단면 모식도를 나타내고 있으며 토조에 설치된 계측장치와 배수층, 보강재 그리고 열선의 설치모습을 나타내었다. 벽체의 변위를 측정하기

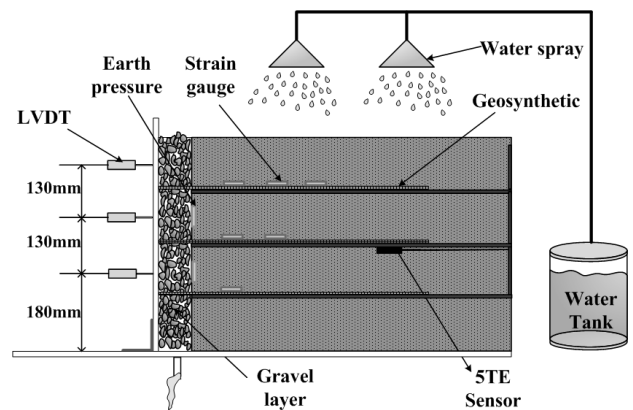


Fig. 2. Components of retaining wall test with heat exchange

Table 1. Specification of Measuring instruments

Gauge	LVDT	Earth Pressure	Straingauge	5TE
Product name	CDP-50 (Tokyo Sokki)	PDA-500kPa	YFLA-5-5L	DECAGON
Number of unit	3	2	6	1
Measuring range	50mm	500kPa	5mm	water content : 1~80%

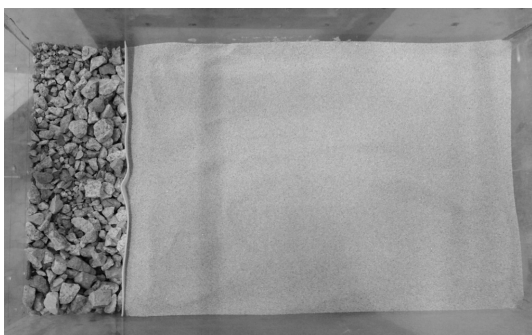
위해 벽체에 3개의 LVDT를 설치하였으며 이는 강수작용에 시간의존적 벽체변위를 측정하여 열유도 배수장치에 의한 벽체변위를 비교하고자 설치하였다. 또한 두 개의 토압계를 설치하여 강수작용 후 토조 벽면에 작용하는 주동토압을 측정하였으며 벽체 변위에 따른 보강재의 변형률을 확인하기 위해 상단부 3개, 중단부 2개, 하단부 1개의 스트레인 게이지를 부착하여 열유도 배수장치에 의한 영향을 비교하였다. 또한 중앙부분 열선에 설치된 5TE센서는 지반의 온도와 체적함수율(Percentage of volumetric water content)을 1분에 한번씩 측정하여 강수작용 및 온도변화를 측정하도록 하였다. 사용된 계측기의 사양은 Table 1에 나타나 있다.

2.3 실험 방법

본 실험에 적용한 지반의 조건은 열유도 배수장치에 따른 시간의존적 보강토 옹벽의 거동을 확인하기 위해 화강 풍화토 90%와 카울린나이트 10% 그리고 물 10%를 섞어 세립분이 포함되어있는 다소 연약한 지반을 조성하였다. 지반의 물성값은 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Geotechnical properties of decomposed granite soil

Type	Grain size characteristics	Max. dry unit weight	Optimum water content	Cohesion	Internal friction angle
Decomposed granite soil	$C_u = 5.29, C_c = 1.02$	19 kN/m ³	11.3%	6 kPa	25°



(a) Drainage and ground



(b) Setting of heating wire and 5TE sensors

Fig. 3. Longitudinal section of soil tank

토조 내부의 지층은 총 4개의 층으로 구성되어있으며 Fig. 3(a)에서와 같이 벽면부에는 15cm 두께의 자갈배수층을 설치하여 보강재로부터 흡수된 수분이 배수층으로부터 배수가 원활이 이루어지도록 하였다. 이 후 Fig. 3(b)에서처럼 열선 및 계측장치를 설치 후 보강재를 설치한다. 보강재 설치 시 모형 옹벽토조 벽체부와 고정되어야 하므로 벽체부에 미리 뚫어두었던 구멍에 보강재를 끼워 빠지지 않도록 나사로 고정시켜 벽체와 보강재 간의 고정이 되도록 하였다.

이 후 동일한 방법으로 4층까지 배수층과 지반층 및 계측장치를 설치한 후 상단부에 강수장치를 설치하고 공압을 조절하여 토조 내부에 강수작용을 할 수 있도록 한다. 이 때 강수량은 시간당 10ℓ로 3시간동안 작용한다. 강수작용을 기점으로 항온수조의 온도를 10℃ 또는 70℃로 설정하여 온도 및 시간변화에 따른 벽체변위, 토압, 보강재 변형률 그리고 배수량을 측정한다. 벽체변위, 토압, 보강재 변형률의 경우 10초당 1회씩 측정하였으며 배수량의 경우 시간당 1회씩 측정하였다. 총 24시간동안 측정하였으며 각각의 적용온도 10℃, 70℃를 적용한 후 각각의 계측값을 비교하여 온도작용에 따른 모형옹벽의 변화를 비교 분

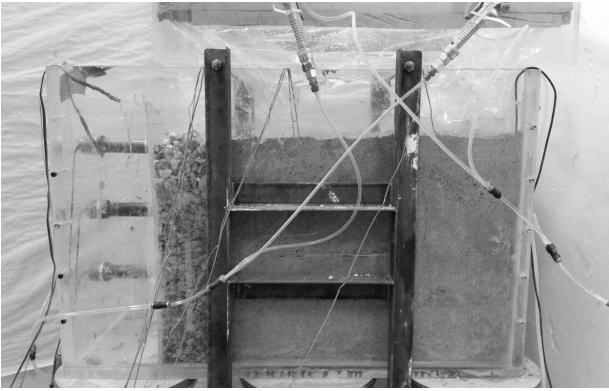


Fig. 4. Picture from final installation of retaining wall test

석 하였다. 실험 진행 모습은 Fig. 4와 같다.

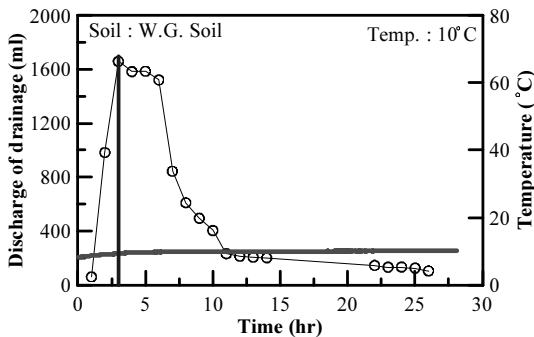
3. 열유도 배수장치에 의한 보강토 옹벽 거동 분석

3.1 시간에 따른 배수량 및 체적함수율 분석

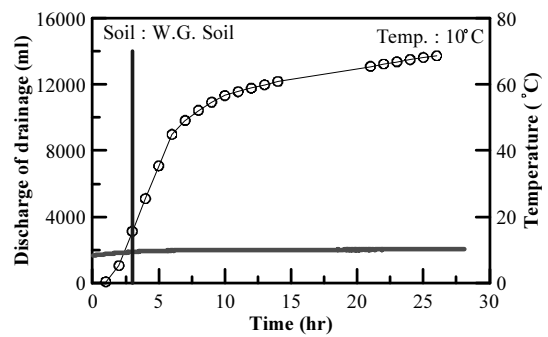
Fig. 5에서는 모형 옹벽실험 진행 시 지반내부의 온도를 항온수조를 이용하여 10°C로 지반의 온도를 유지시키며 토조 상단부에 강우작용을 적용하여 3시간동안 일정한 양의

강우작용을 시작 한 후 한시간마다 토조 배수층으로부터 배수되는 물의 양을 측정한 그래프이다. Fig. 5(a)에서는 시간마다 측정된 배수량을 나타내고 있으며 강우 시작 1시간 이후부터 배수가 점차 일어나기 시작하였다. 강우작용이 끝난 3시간 시점에서부터 최대 배수량을 보였으며 6시간 이후부터 급격하게 배수량이 감소하는 것을 확인하였다. 또한 Fig. 5(b)에서는 10°C에서 시간에 따른 누적배수량을 그래프로 나타냈으며 6시간 이후 누적배수량이 완만하게 줄어들어 24시간동안 총 배수량은 약 13ℓ로 나타났다.

Fig. 6에서는 항온수조의 온도를 70°C 상승시키며 모형 옹벽 토조 상부에 강우작용을 기존실험과 동일하게 적용하여 시간당 배수량을 측정한 그래프를 나타내고 있다. 지반내의 온도는 항온수조를 통해 열이 전달되는 과정에서 발생한 열손실에 의해 최고 60°C까지 상승한 것을 확인할 수 있다. Fig. 6(a)에서는 지반의 강우작용 1시간 이후부터 배수가 시작되면서 강우작용이 끝나는 3시간 지점에서 가장 큰 배수량을 나타냈다. 이 후 급격히 배수량이 감소하면서 수렴하였으며 온도상승으로인해 지반내 배수가 급격히 진행되는 것을 확인하였다. Fig. 6(b)에서는 70°C에서의 누적배수량을 그래프로 나타내고 있으며 10°C 결과와

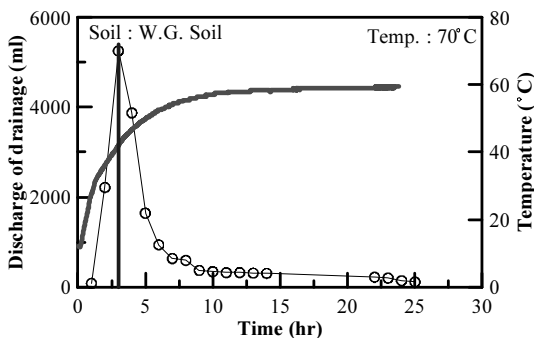


(a) Drainage over time

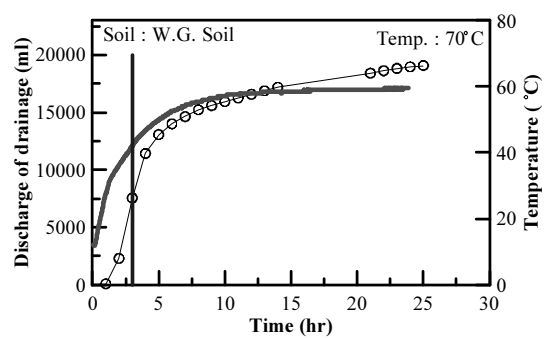


(b) Accumulate drainage over time

Fig. 5. Drainage of retaining wall by 10°C

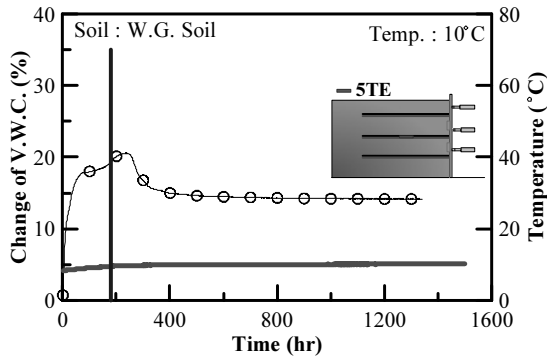


(a) Drainage over time

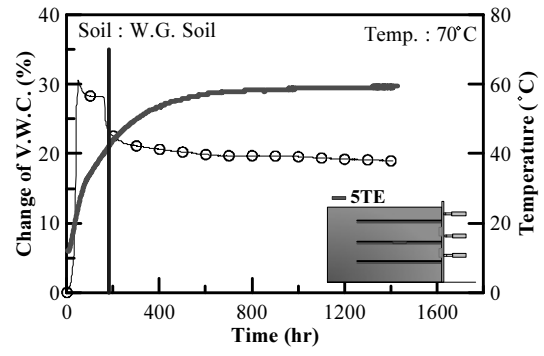


(b) Accumulate drainage over time

Fig. 6. Drainage of retaining wall by 70°C



(a) Change of V.W.C. by 10°C



(b) Change of V.W.C. by 70°C

Fig. 7. Change of V.W.C. by temperature condition and time

비슷한 경향을 나타내지만 총 배수량이 18ℓ로 나타나 약 5ℓ의 물이 옹벽 토조로부터 배수가 더 된 것으로 나타났다.

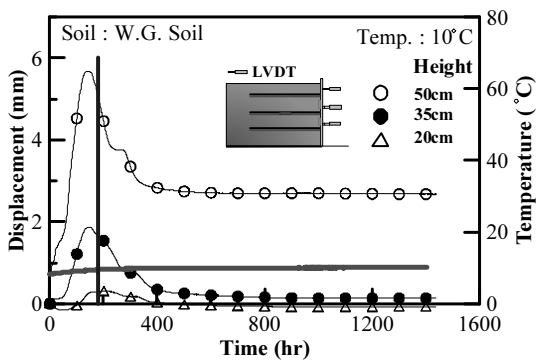
Fig. 7에서는 온도조건 및 시간의 변화에 따라 지반내 체적함수율(V.W.C.)의 변화를 나타내었다. 체적함수율(V.W.C.)은 지반에 포함하고 있는 수분의 양을 나타내고 있으며 강우작용 시작 후 점차 증가하여 강우작용 종료 시 최대점을 나타낸다. Fig. 7(a)에서는 강우작용 후 3시간까지 체적함수율이 증가한 후 시간이 지남에 따라 점차 감소 후 수렴하는 경향을 나타냈다. Fig. 7(b)에서는 70°C 시 지반 가열 시 체적함수율의 변화를 나타내고 있는데 70°C에서도 강우작용 시 체적함수율이 급격히 증가 후 점차 감소하여 수렴하는 형상이 나타났다. 열선의 상승된 온도는 주변의 수분의 활동을 활발하게 하며 끌어들이기 때문에 초기 강우작용 시 체적함수율이 급격히 상승하였으며 배수작용으로 인해 체적함수율이 다시 빠르게 감소하는 경향을 보이고 있다.

3.2 시간에 따른 벽체변위, 보강재 변형률, 토압 분석

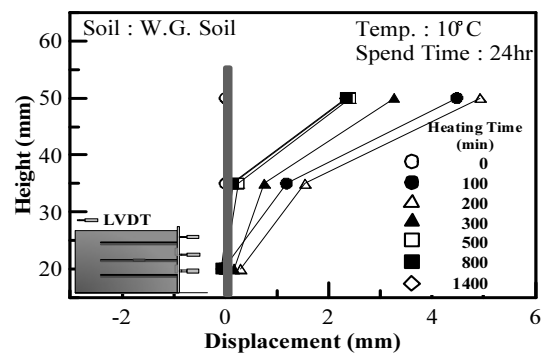
Fig. 8(a)에서는 열선의 온도를 10°C로 설정하여 모형

옹벽 토조 상단부분에 강우작용을 진행 시 시간변화에 따른 벽체의 변위를 나타내고 있다. Fig. 8(a)에서는 초기 강우작용이 시작되면서 상단, 중단 그리고 하단까지 점차 변위가 발생하였으며 강우작용이 끝난 후 점차 벽체의 변위가 감소하여 수렴하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 8(b)는 변위계측장치인 LVDT의 위치에 따른 시간에 흐름에 따라 벽체변위를 나타냈으며 녹색으로 표시한 선은 벽체의 초기 위치이다. 강우작용 초기가 벽체가 가장 크게 변위가 일어나는 것을 확인하였으며 이는 강우 초기단계에 옹벽의 붕괴위험이 가장 크게 나타나는 것으로 분석되어진다.

Fig. 9에서는 열선의 온도 70°C 작용 시 지반에 가해지는 열의 온도와 강우작용에 의한 벽체의 변위를 위치 및 시간에 따라 나타내고 있다. Fig. 9(a)에서는 초기 강우작용 시점에서 벽체의 변위가 급격히 증가하면서 배수작용이 시작되어지고 점차 벽체의 변위가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이 후 배수가 진행되어지고 시간이 지남에 따라 모형 옹벽 토조내부에 있는 자갈층 및 보강토층의 주동토압으로 인해 상단부의 벽체의 변위가 점차 증가하면서 수렴하게 나타난다. Fig. 9(b)에서는 벽체로부터 각각



(a) Height of displacement by 10°C



(b) Heating time of displacement by 10°C

Fig. 8. Displacement of retaining wall by 10°C

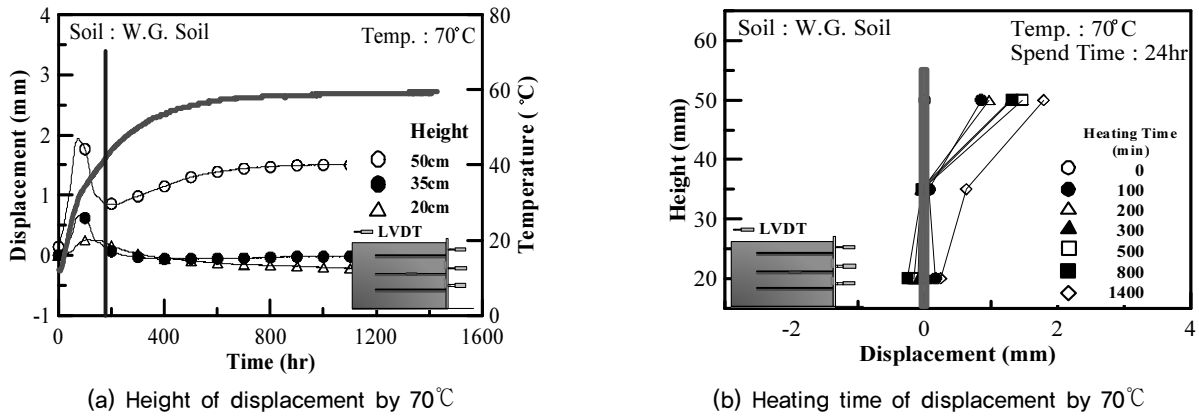


Fig. 9. Displacement of retaining wall by 70°C

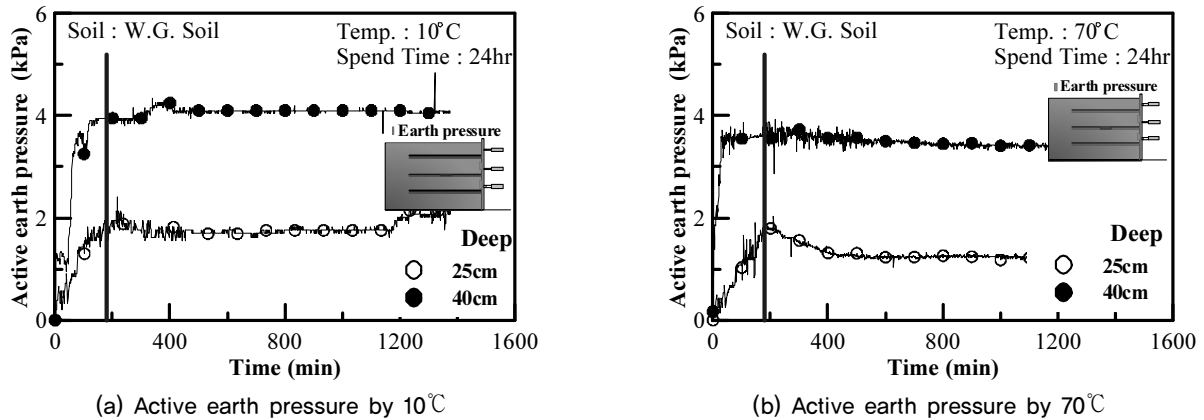
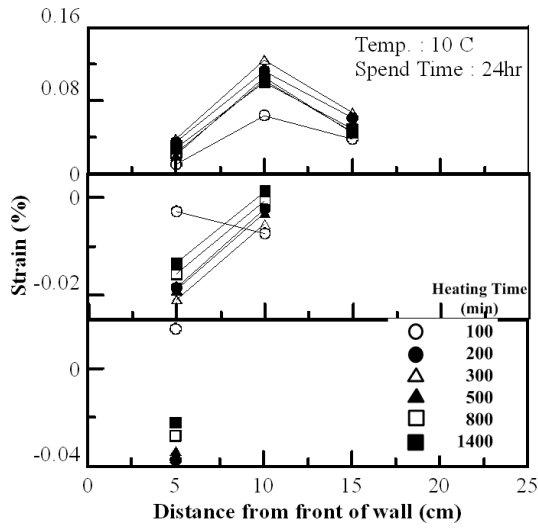


Fig. 10. Active earth pressure at each temperature

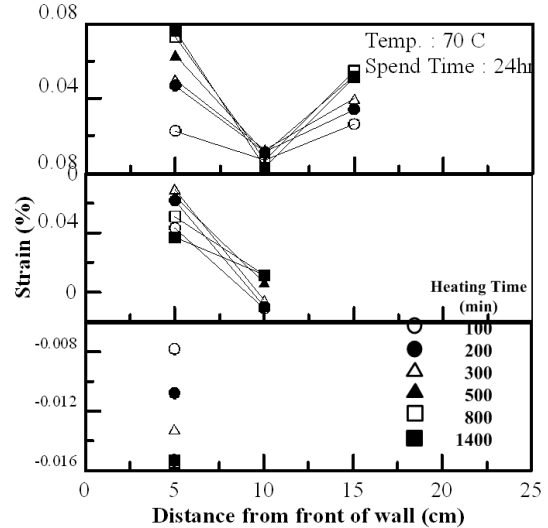
의 시간 변화에 따른 벽체변위를 나타내고 있으며 초반의 벽체변위 증가 후 벽체의 변위가 거의 일정하게 나타나며 이는 열 배수 장치에 의한 배수작용의 활발함으로 인해 벽체의 변위가 점차 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 10에서는 자갈층과 보강토 사이에 지반으로부터 25cm, 40cm 높이에 설치한 토압계를 이용하여 각각의 온도조건에서 강우작용 시 보강토 옹벽에 작용하는 주동토압을 계측하였다. Fig. 10(a)에서는 10°C 온도를 적용한 경우 시간이 지남에 따른 토압의 변화를 측정하였다. 벽체에 설치한 토압계는 전토압이 계측되기 때문에 강우시간에 따라 토압은 점차 상승하며 강우작용이 끝난 후 토압은 일정하게 수렴하였다. Fig. 10(b)에서는 적용온도 70°C에서의 모형 옹벽 토조에 동일한 강우조건을 모사한 뒤 시간의 지남에 따라 토압을 측정된 결과이며 강우작용 시 토압의 크기가 증가하며 상단부의 토압의 경우 강우작용이 끝난 후 점차 토압이 감소하여 수렴하는 것으로 나타났다. 이는 열 배수장치에 의한 배수량의 증가로 인한 토압의 하강이라 판단되어진다.

Fig. 11에서는 옹벽내부에 설치된 보강재의 변형률을 측정하기위해 각 층의 보강재에 스트레인게이지를 설치하여 강우작용 후 시간에 흐름에 따라 보강재의 변형률을 측정된 결과이다. 상부층에는 3개의 스트레인게이지를 설치하였고 중간층에는 2개 그리고 하부층 보강재에는 1개의 스트레인게이지를 부착하여 10초에 한번씩 24시간 동안 측정하였다. Fig. 11(a)에서는 열선온도 10°C를 적용한 모형옹벽 토조에서 강우를 적용하여 시간이 지남에 따라 각 층에서의 보강재의 변형률을 측정하였다. 하단층의 경우 시간의 지남에 따라 스트레인 게이지의 인장 변형률은 증가한다. 하단부 스트레인게이지의 경우 인장변형률이 감소하는데 강우로 인해 지반침하가 발생하여 보강재의 수직 변위 발생으로 인해 음수값으로 나타났다. Fig. 11(b)의 70°C 온도조건에서는 시간의 증가함에 따라 보강재의 인장 변형률이 증가하는 추세를 나타냈지만 10°C 조건에서 보다 변형률의 폭이 작게 나타났다. 이는 지반의 온도상승으로 인해 배수가 원활히 작용하여 벽면으로 작용하는 주동토압의 값이 감소하면서 지반에 매설되어 있는 보강재

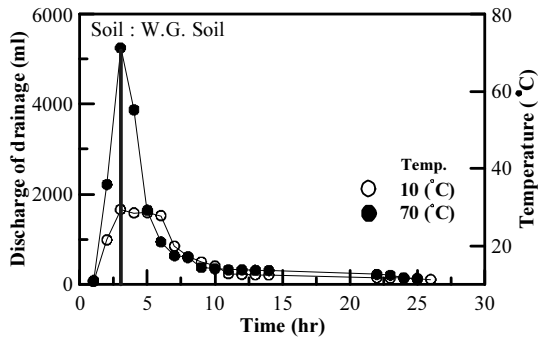


(a) Strain changes by 10°C

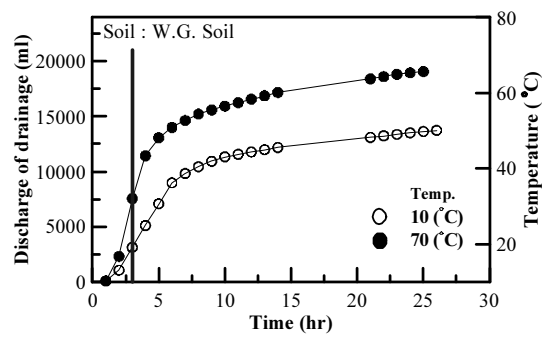


(b) Strain changes by 70°C

Fig. 11. Strain gauge changes over time



(a) Drainage over time



(b) Accumulate drainage over time

Fig. 12. Comparison of water drainage at each temperature

에 가해지는 인장력이 감소된 것으로 분석된다.

4. 결과 및 요약

본 연구에서 지반조건과 강우조건이 동일한 모형 보강 토옹벽 실험에서 열유도 배수시스템을 적용한 경우와 열을 가하지 않은 조건의 실험 결과를 비교하여 열유도 배수 시스템 작용 시 영향을 비교분석하였다. Fig. 12(a)와 Fig. 12(b)에서는 70°C, 10°C에서의 시간에 따른 배수량과 누적 배수량을 비교한 그래프로 강우작용 시 10°C 조건에서 비해 70°C에서 초기 배수량이 크게 차이가 나타났다. 시간당 최대 배수량은 10°C에서 약 1.8ℓ이며 70°C에서는 5.2ℓ의 배수량이 나타나 열유도 배수장치 효과로 인해 배수량이 약 3배가까이 증가하였다. 또한 누적배수량의 경우 24시간 이후 최종 배수량이 10°C에서는 13.7ℓ의 물이 배수되었고 열유도 배수시스템을 적용한 결과 19.0ℓ의 물

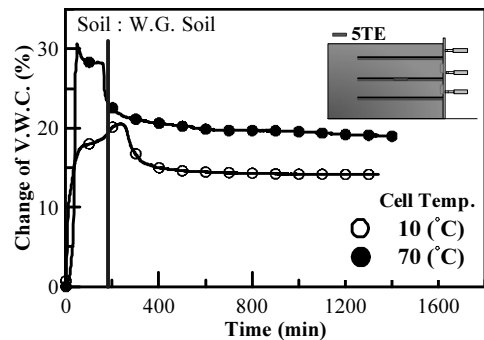
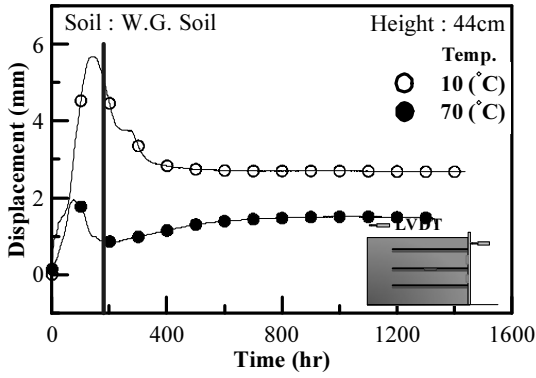


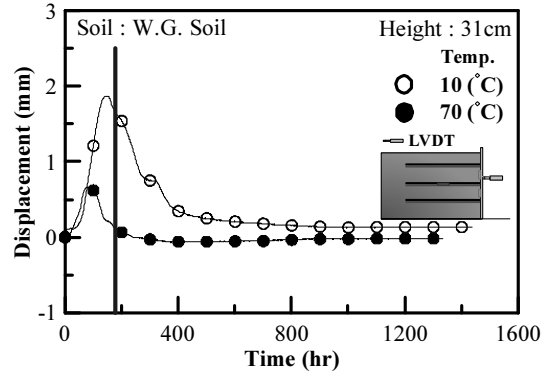
Fig. 13. Comparison of V.W.C. by temperature

이 배수되어 열유도 배수시스템에 의해 총 배수량이 약 1.4배 증가하여 지반내 온도상승이 지반의 배수작용을 원활하게 한다고 할 수 있다.

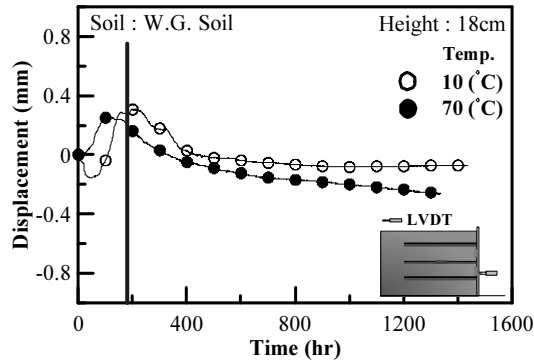
Fig. 13에서는 열유도 배수시스템 적용 시 지반내 체적 함수율 변화를 시간에 따라 나타낸 그래프로 모형 보강토 옹벽 중앙 열선에 위치한 5TE 센서가 토조에 강우작용 시



(a) Displacement of upper section

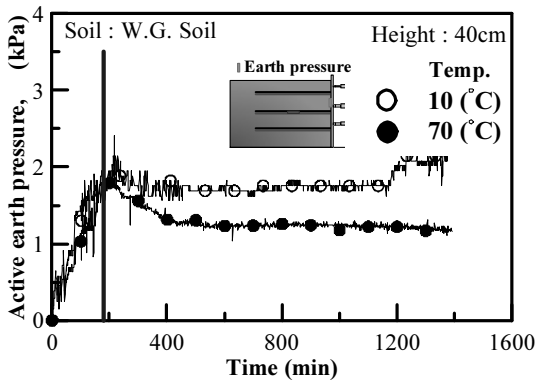


(b) Displacement of middle section

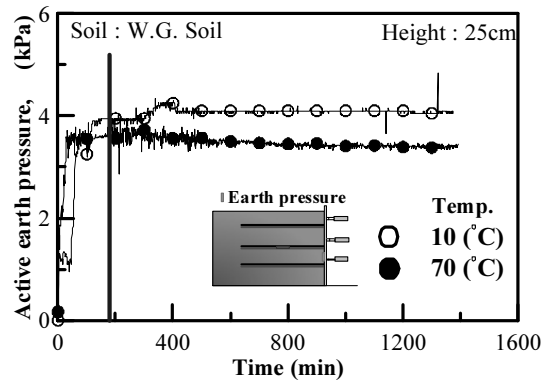


(c) Displacement of bottom section

Fig. 14. Comparison of wall displacement at each location



(a) Active earth pressure of upper section



(b) Active earth pressure of bottom section

Fig. 15. Comparison of active earth pressure at each location

시간에 따라 체적함수율의 변화를 측정하였으며 70°C 에서 체적함수율이 10°C 에서의 체적함수율 보다 크게 나타났으며 이는 5TE 센서의 위치가 열선 및 보강재에 위치하여 열선에 의해 상승된 지반의 온도가 주변 수분의 이동을 증가시키며 열선 주변의 지반의 체적함수율이 증가시키며 강우작용이 끝난 후 보강토의 체적함수율이 점차 감소되는 것으로 설명할 수 있다.

모형 옹벽토조의 벽체의 변위를 측정하기위해 토조 하

단으로부터 180mm, 310mm, 440mm에 위치한 변위측정 장치(LVDT)를 설치하여 강우작용에의한 시간에따른 벽체 변위를 측정하였으며 Fig. 5.14에서는 각각의 LVDT 위치에서 열유도 배수장치에 의한 시간에 따른 벽체 변위를 비교하여 나타냈다. Fig. 14(a)과 Fig. 14(b)에서는 옹벽 벽체의 가장 상단부분과 중앙부분에 위치한 벽체부분의 변위를 열유도 배수장치를 적용한 값과 비교하였으며 열 유도 배수장치를 적용하지 않은 경우의 변위보다 약 2.8배

최대 벽체의 변위가 감소한 것으로 나타났다. Fig. 14(c)의 경우 벽체의 하단부로 벽체의 경첩부분과 가까운 위치여서 벽체의 변위가 크게 나타나지 않았다. 전반적으로 열유도 배수장치를 사용한 결과 초기 벽체 변위량이 급격히 감소되었으며 이는 열유도 배수장치에 의한 배수량의 증가로 인한 벽체 변위의 감소로 판단된다.

강우작용을 모사한 모형옹벽에 상부 및 하단부에 설치한 각각의 토압계를 이용하여 열유도 배수장치를 사용할 때 사용 시간에 따른 토압의 변화를 Fig. 15에서 비교하였다. 강우작용을 적용할 때 초기 토압은 상단부분과 하단부분의 경향이 유사하게 나타났지만 강우작용이 끝난 후 열배수공법을 사용한 경우가 열 배수공법을 사용하지 않은 경우보다 점차 감소율이 증가하여 열유도 배수공법을 통해 지반내 물 함량이 감소하여 벽체에 작용하는 주동토압이 감소되고 벽체의 붕괴위험이 감소되는 것으로 검토되었다.

5. 결론

이 연구에서는 열유도 배수공법을 보강토 옹벽에 적용시켜 여름철 집중 강우시 보강토 옹벽의 배수를 원활하게 하여 붕괴사고를 예방하는데 목적을 두고 모형 옹벽토조에 열유도 배수공법 적용하고 강우를 모사하여 온도변화에 의한 모형 옹벽의 배수량, 체적함수율, 벽체변위, 주동토압 그리고 보강재의 변형율을 비교분석하여 열유도 배수공법의 적용성을 확인하였다. 연구결과를 통해 향후 보강토 옹벽에서 열유도 배수공법을 활용한 새로운 공법을 개발하는데 효율적인 수단으로 활용될 것으로 기대된다.

(1) 보강토 옹벽 모형 실험에서 강우 작용 시 배수량 및 지반의 체적함수율을 비교한 결과 열유도 배수공법 적용 시 총 배수량이 약 1.4배 증가하는 것으로 나타났다. 지반 중앙부의 열원 근처에 5TE 센서를 설치하여 측정된 체적함수율은 열원이 주변의 물을 모으는 역할을 하기 때문에 높게 나타났다. 위의 결과를

통해 지반내 열유도 장치를 설치하였을 때 열원이 배수층으로 물의 이동을 유도하고, 옹벽의 배수활동이 촉진된다는 것을 알 수 있다.

(2) 열유도 배수공법에 의한 보강토 옹벽의 거동특성을 분석한 결과 상단부분 벽체의 최대변위가 감소하였으며 토압 및 보강재의 인장변형률 또한 열유도 배수공법 작용한 조건에서 작게 나타났다. 열유도 배수 공법으로 배수량이 증가하면서 옹벽 내부의 수분 함량이 감소되며 옹벽의 벽체 변위, 보강재의 인장 변형률 그리고 주동토압의 증가율이 감소한다. 그러므로 보강토 옹벽에서 열 유도 배수공법은 우기시 배수량을 증가시켜 벽체의 붕괴를 예방이 가능하다고 판단된다.

Acknowledgement

This research is supported by Grant No. 2014004636 from the Basic Research Program of the Korea Science & Engineering Foundation. The financial supports are gratefully acknowledged.

References

1. Liu, C., Shi, B., Shao, Y., and Tang, C., (2013), "Experimental and numerical investigation of the effect of the urban heat island on slope stability.", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol.72, Issue.3, pp.303-310.
2. McCartney, J. S., LaHaise, D., LaHaise, T., and Rosenberg, J. (2010), "Application of geoexchange experience to geothermal foundations.", *Art of Foundation Engineering Practice (GSP 198)*, pp.411-422.
3. Stewart, M., Coccia, C., and McCartney, J. (2014), "Issues in the Implementation of Sustainable Heat Exchange Technologies in Reinforced, Unsaturated Soil Structures.", *Geo-Congress 2014 Technical Papers*, pp.4066-4075.
4. Yoo, C. S. and Jang, D. K. (2013), "Effect of Cycles of Wetting and Drying on the Behavior of Retaining Walls Using Reduced-Scale Model Tests", *JOURNAL OF THE KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY*, Vol.29, No.12, pp.25-34.