

보강토 옹벽에 적용되는 연직 배수시스템의 강우시 수압 저감 효과 - 수치해석 연구

Performance of a Chimney Drain in Reinforced Earth Wall for Reduction of Pore Water Pressure During Rainfall - a Numerical Investigation

유 충 식¹ Yoo, Chungsik

김 선 빈² Kim, Sun-Bin

정 혁 상³ Jung, Hyuk-Sang

Abstract

This study is concerned with the effect of a chimney drainage system installed at the back of reinforced soil block on preventing the pore water pressure development. A series of finite-element analyses based on transient seepage analysis were performed for a number of cases with different patterns of the chimney drainage system. The results were thoroughly analyzed to get insight into the mechanism of pore water pressure reduction effect of the chimney drainage system. It is shown that a vertical drainage system installed at the back of reinforced zone can be an effective means of maintaining the wall stability during rainfall by preventing pore pressure increase in the reinforced as well as the backfill zones. Also shown is that the optimum height of the chimney drain is 50% of the wall height. Practical implications of the findings were discussed.

요 지

본 논문에서는 보강토 옹벽에 있어서 보강토체 배면에 설치되는 연직배수층의 강우시 간극수압 증가 억제효과에 대한 내용을 다루었다. 이를 위해 먼저 다양한 배수시스템 설치 조건에 대해 유한요소해석법에 근거한 부정류 침투해석을 수행하였으며 그 결과를 토대로 연직배수층의 간극수압 저감 메카니즘을 고찰하였다. 또한 매개변수 연구 결과를 토대로 다양한 연직배수층의 최적설치 높이를 검토하였다. 그 결과 보강토체 배면에 설치되는 연직배수층은 강우시 보강토체 내외부에 모관흡수력이 감소하는 현상을 억제시킴으로서 전단강도 저하를 억제할 수 있는 것으로 나타났으며 옹벽높이의 50% 정도 높이로 설치할 경우 최적의 효과를 발휘할 수 있는 것으로 검토되었다.

Keywords : Drainage system, Finite element analysis, Geosynthetics, Reinforced earth wall

1. 서 론

경제성, 시공성, 수려한 외관 등의 장점을 가진 보강토옹벽은 1990년도 중반 이후 국내에 널리 보급 되었으

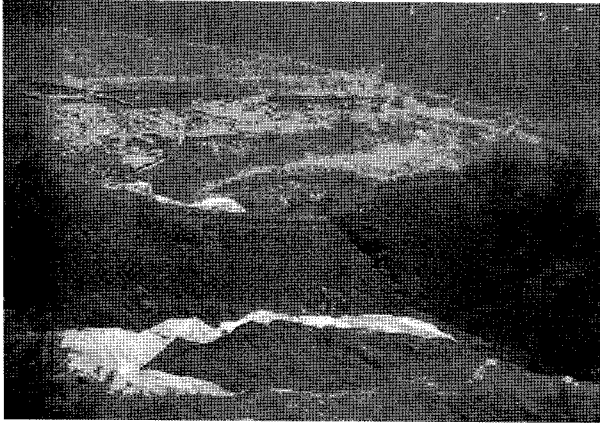
며 현재는 콘크리트 옹벽의 대체 공법으로서 인정받고 있는 등 이제는 실생활에서 흔히 볼 수 있는 구조물로 자리 매김하고 있다. 과거 기술적인 제한으로 인해 조경, 부지조성 및 도로 성토부 등에 제한적으로 적용되

1 정희원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수 (Member, Prof. Dept. of Civil & Environ. Engrg., Sungkyunkwan Univ.)

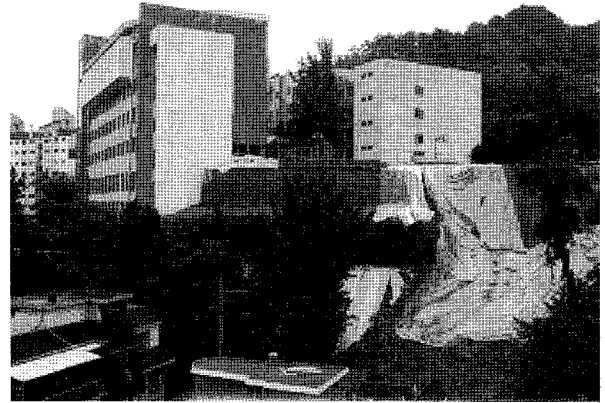
2 정희원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 박사과정 (Member, Graduate Student. Dept. of Civil & Environ. Engrg., Sungkyunkwan Univ., ksb9677@hanmail.net, 교신저자)

3 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정 졸업

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.



(a) 2003년 사고사례



(b) 2006년 사고사례

그림 1. 강우시 발생한 보강토 옹벽 사고사례

었으나, 연구 및 기술개발을 통해 해상구조물, 교대의 날개벽, 연약지반 적용, 하천 및 해안 보호용 옹벽 등으로 사용범위가 확대되고 있다. 그러나 보강토 옹벽의 역학적 이해 부족으로 부적절한 설계/시공이 이루어지는 경우가 있어 이론과 실무의 차이를 좁히기 위한 종합적인 연구가 필요하다(유충식 2003).

매년 장마기간 혹은 장마가 종료된 이후, 즉 우기시, 다양한 토류구조물의 붕괴 사고가 많이 발생하는데 보강토 옹벽의 붕괴 사고 또한 예외는 아니며 여름철 강우시에 집중되고 있어 강우와 밀접한 관계를 가지고 있다(유충식 2005, Koerner & Soong 2001). 우기시의 이러한 집중적인 붕괴는 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하여 발생하나 보강토 구조물의 경우 그 중의 가장 큰 원인으로는 강우의 보강토체 및 배면토체에 강우가 침투하여 간극수압의 증가로 인한 유효응력의 감소 및 전단강도 감소를 꼽을 수 있다. 그림 1에서는 장마기간 동안 발생한 두 건의 보강토 옹벽의 사고 현장 전경을 보여주고 있는데 두 사고 현장의 공통점은 우기시 붕괴되었다는 점이며, 다양한 원인이 복합적으로 작용하였으나 그 중의 하나는 강우로 인해 보강토체 및 배면토에 간극수압 증가로 인한 전단강도 감소 및 수압발생으로 인한 외력 증가가 옹벽 붕괴 원인으로 조사되었다.

이러한 강우가 연계된 보강토의 붕괴 내지 구조적 문제발생은 보강토 혹은 배면토 토체내로 유입되는 강우를 신속하게 배수시킴으로서 간극수압 증가로 인한 문제 발생 소지를 줄 일수 있다. 일반적으로 국내에서는 보강토 옹벽에 적용하는 배수시스템으로서 전면벽체와 보강토에 사이에 배수층을 설치하여 옹벽기초 하부에서 배수시키는 개념을 적용하고 있는데 보다 적극적인 방

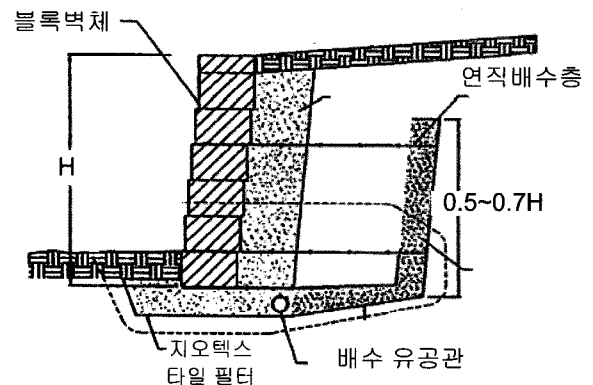


그림 2. 연직배수층 설치 개념(Collin 1997)

법으로서 보강토체 배면에 연직배수층(chimney drain)을 설치하는 방안을 고려할 수 있다(그림 2). 본 연구에서는 이러한 관점에서 기존의 보강토 옹벽 시공에 있어서 연직배수층을 설치할 경우 강우시 보강토 옹벽의 토체의 간극수압 증가 억제 메카니즘을 검토하기 위해 불포화토 개념이 적용된 부정류해석을 수행하였으며 그 결과를 토대로 연직배수층의 역할을 정성·정량적으로 검토하고 설치 높이 측면에서의 최적화를 위한 연구를 실시하였다.

2. 유한요소해석에 의한 침투해석

2.1 불포화토의 전단강도 및 침투해석 기본 이론

대부분의 토류구조물이 그러하듯 보강토 옹벽 및 성토사면의 토체는 평상시에 불포화상태에 있다고 할 수 있으며 강우시 침투수에 의해 부의 간극수압(모관흡수력)이 증가하여 식 (1)로 정의 되는 전단강도가 감소되

어 전반적인 안전율이 감소하게 된다. 즉, 불포화토의 유효응력 σ' 는 아래 식 (2)와 같이 정의 되는데 여기서 σ 는 전응력, u_w 는 간극수압, x 는 0.0~1.0의 사이의 값을 갖는 모관흡수력계수, 그리고 u_a 는 간극내 공기압으로 정의 된다.

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + x(u_a - u_w) \quad (1)$$

일반적으로 x 는 포화도로 대체될 수 있는 것으로 보고되고 있다(Oberg and Sallfors, 1997; Vanapalli et al., 1996). Fredlund et al.(1978)는 불포화토에 적용되는 수정 Mohr-Coulomb 파괴 기준으로 아래 식 (2)를 제안한 바 있다.

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w)\tan\phi^b \quad (2)$$

여기서 τ_f =전단강도, $(\sigma - u_a)$ =파괴면에 작용하는 순 수직응력, 그리고 ϕ^b =모관흡수력에 비례하는 전단강도 증가율을 나타내는 저항각이다. 식 (1)과 (2)로부터 유추할 수 있는 바와 같이 강우로 인한 불포화토의 모관흡수력 감소는 전단강도 저하로 이어지며 따라서 이로 인한 안정성의 문제가 발생할 수 있다.

한편, 불포화토에서의 흐름은 포화토에서의 흐름과는 달리 흙의 포화도에 따라 좌우된다. 즉, 불포화토의 포화도에 따라 모관흡수력(matrix suction)이 달라지며 이에 따라 투수특성 또한 달라지므로 불포화토의 흐름 해석에서는 포화도와 모관흡수력의 관계를 나타내는 흙-수분특성곡선(soil water characteristic curve; SWCC)과 모관흡수력과 투수계수의 변화를 나타내는 투수계수 곡선(hydraulic conductivity function)을 고려하여야 한다. 불포화 흐름의 2차원 지배방정식은 식 (3)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_w \frac{\partial h_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_w \frac{\partial h_w}{\partial y} \right) = m_w \rho_w g \frac{\partial h_w}{\partial t} \quad (3)$$

여기서, k_w 와 h_w 는 각각 흙의 투수계수 및 수두, m_w 는 흙의 함수특성을 나타내는 SWCC의 경사, ρ_w 는 물의 밀도, g 는 중력가속도를 의미한다. 식 (3)의 좌변은 Darcy의 법칙에 근거한 흙속에서의 물의 흐름을 나타내며, 우변은 단위시간에서의 흙 속 존재하는 물의 체적의 변화를 의미한다. 따라서 본 연구에서 대상으로 하고 있는 강우시 보강토체 및 배면토에서의 간극수압변화에 대한 평가를 위해서는 불포화흐름이 고려된 부정류 상태에서의 침투해석을 실시하여야 하며 이때 SWCC와 포화도에 따른 투수계수 곡선이 필요하다.

2.2 해석조건

본 연구에서는 높이 5m의 옹벽을 대상으로 하였다(그림 3). 해석에서는 강우시 배수층의 역할과 연직배수층의 간극수압 저감효과를 정성·정량적으로 평가하기 위해 1) 전면 배수시스템이 막힘현상(clogging) 등의 원인으로 인해 기능이 원활하지 못한 경우(CASE A), 2) 원활하게 작용하는 경우(CASE B), 3) 연직배수층이 적용된 경우(CASE C)를 고려하였다. 또한 연직배수층이 적용되는 경우에는 연직배수층의 설치조건에 따른 효과를 검토하여 최적의 설치조건에 대한 검토를 수행하였다. 이격거리 변화를 통해 연직배수시스템의 최적화에 관한 검토를 수행하였다.

2.3 해석 모델링

본 연구에서는 상용프로그램 SEEP/W를 이용하여 부정류 침투해석을 수행하였다. 부정류 해석은 2006년 여름에 발생한 서울지역 강우자료를 토대로 6월(168.5mm/12day)과 7월(1014.5mm/25day)에 발생한 강우에 대한 침투해석을 실시하였다. 그림 4는 해석에 적용된 유한요소모

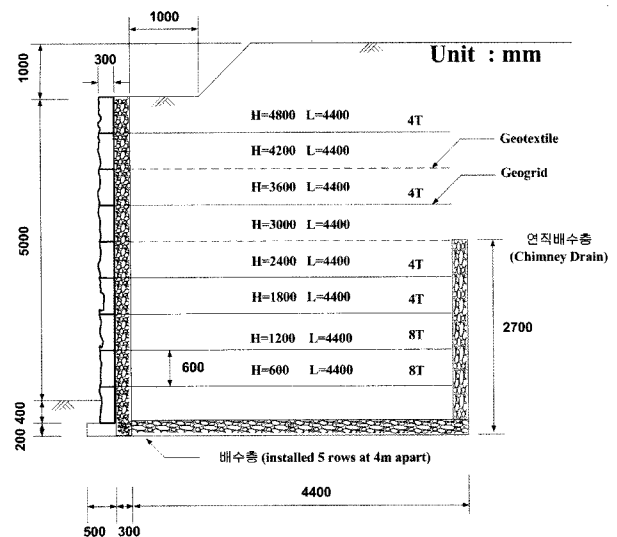


그림 3. 검토대상 옹벽 단면

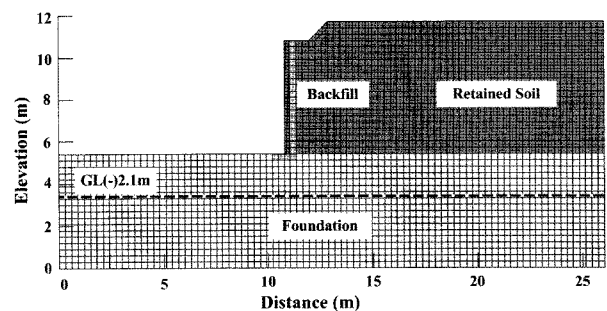
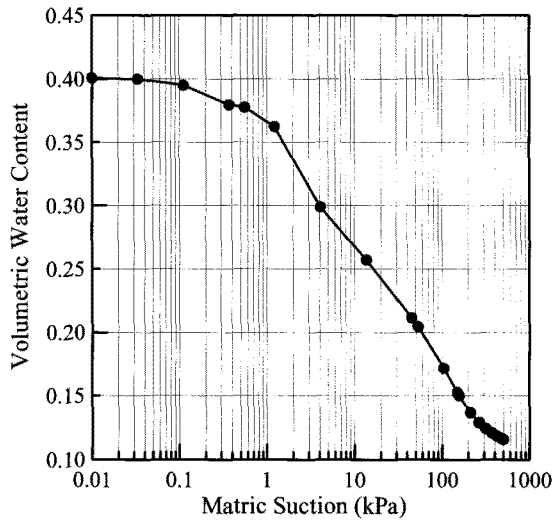
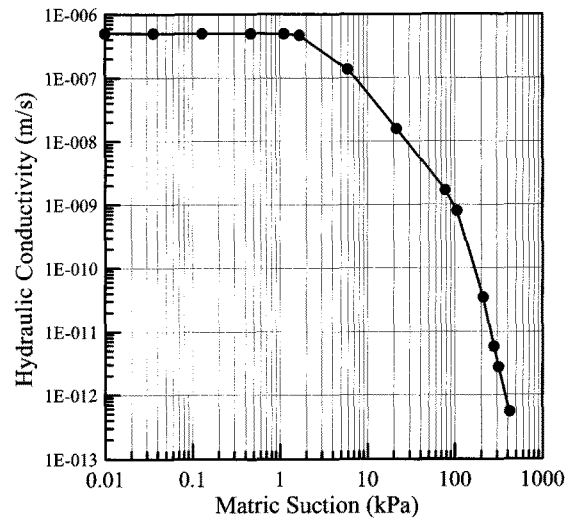


그림 4. 해석에 적용된 유한요소망



(a) SWCC



(b) hydraulic conductivity function

그림 5. 뒤택흙층의 SWCC와 투수계수곡선

델의 개요도를 보여주고 있는데 해석 모델링에 있어 보강토체 및 배면토체는 4절점 평면변형요소를 적용하였으며 경계조건의 설정에 있어서 하부 기초지반 측면 경계면에는 지하수위를 고려하여 일정수두조건을 그리고 하단 경계면에는 'no flux' 경계조건을 설정하여 암반층이 존재하는 것으로 모델링하였다.

본 연구에서는 현장조건을 반영하기 위해 앞서 소개한 2003년에 발생한 붕괴사태 조사시 검토된 시공조건을 반영하여 뒤택흙층으로는 세립분이 30%정도 포함된 화강풍화토가 적용되는 것으로 가정하였다(유충식 등 2005). 침투해석에서 필요한 포화투수계수는 유충식 등(2005)에서 조사된 바와 같이 $5.97 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ 를 적용하였으며 기초지반은 풍화암이상의 견고한 암반으로 가정하여 $8.0 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$ 를 적용하였다. 한편, SWCC와 투수계수곡선은 유충식 등(2005)에서 조사된 입도분포곡선을 토대로 추정하였다. 즉, Arya와 Paris(1981)가 제안한 방법을 토대로 입도분포곡선으로부터 SWCC를 추정 한 후 이를 토대로 다시 Fredlund 등(1994)이 제안한 방법을 토대로 투수계수곡선을 추정하였다. 한편, 지하수위는 옹벽기초로부터 2.1m 하부에 위치하는 것으로 가정하였다. 그림 5는 해석에 적용된 뒤택흙층 및 배면토에 적용한 SWCC와 투수계수곡선을 보여주고 있다. 부정류 침투해석의 결과는 해석이전 초기 간극수압 분포 결과에 좌우되므로(Blake 2003) 부정류 해석 실시이전에 6월 이전의 강우 결과를 토대로 초기 간극수압 분포를 구현하였다(그림 6).

한편, 일반 배수시스템이 적용되고 전면배수가 원활

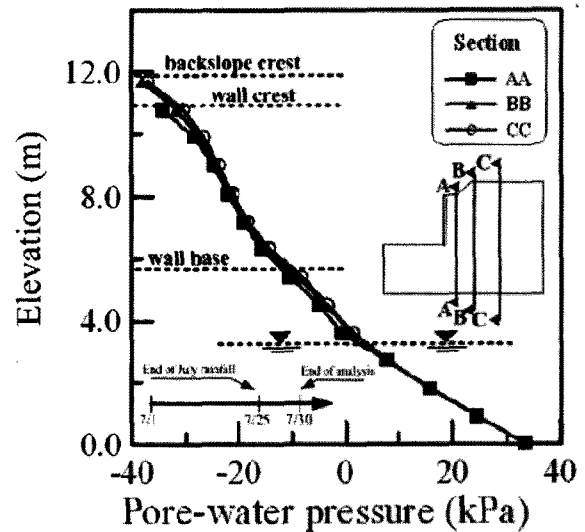


그림 6. 초기 간극수압 분포도

하지 못한 경우(CASE A)의 해석에서는 배수층의 포화 투수계수가 뒤택흙층의 포화 투수계수와 동일한 값을 갖는 것으로 가정하였으며 배수가 원활한 경우(CASE B)에는 $7 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$ 를 적용하였다. 아울러 연직배수층을 적용한 경우(CASE C)에서는 보강토체 배면에 원활한 배수기능을 갖는 연직배수층(포화투수계수 $7 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$)이 설치되는 경우에 대한 모델링을 수행하였다.

3. 결과 분석 및 고찰

3.1 배수조건에 따른 영향

그림 7은 전면배수층만 설치된 경우에 있어서 배수기

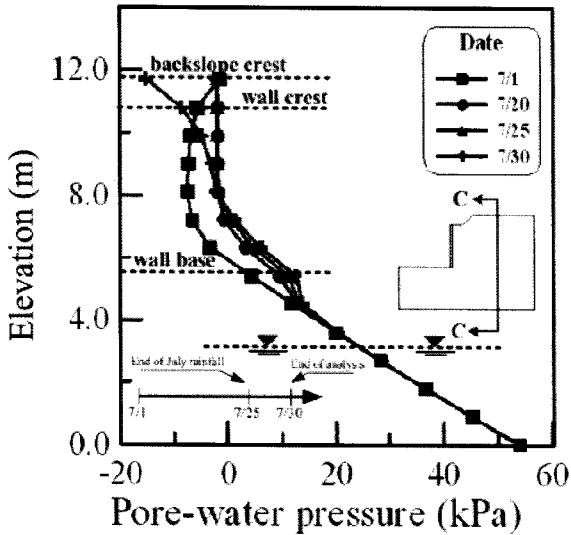


그림 7. 보강토체 배면에서의 간극수압 분포 - CASE A

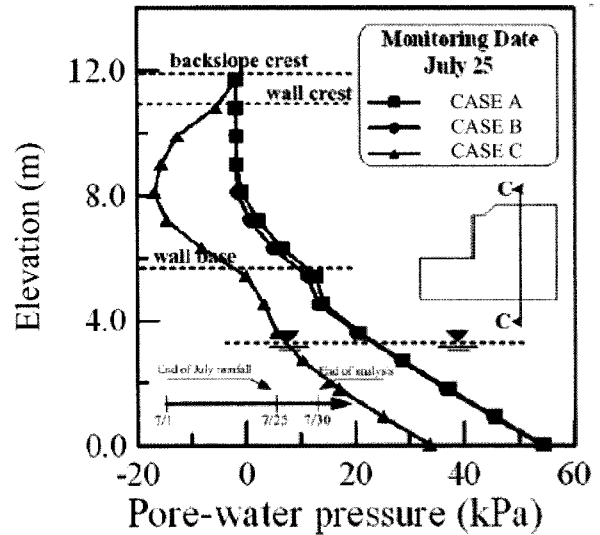


그림 8. 배수조건에 따른 보강토체 배면에서의 간극수압 분포

능이 상실된 경우인 CASE B의 경우에 대해서 보강토체 배면(단면 C-C)에서의 7월 강우 발생시 간극수압 분포 경향을 보여주고 있다. 보이는 바와 같이 전반적으로 7월 중 지속되는 강우로 인해 배면에서의 모관흡수력이 감소하는 경향을 뚜렷이 관찰할 수 있는데 보다 구체적으로 살펴보면 7월 강우 시작전에는 약 10kPa의 부의 간극수압이 형성되어 있으나 7월 강우로 인해 거의 소멸되는 것으로 나타나 이를 앞서 기술한 불포화토의 전단강도와 연계시킬 때 전단강도의 저하가 발생할 수 있음을 보여주고 있다.

한편, 그림 8은 배수시스템 조건별로 강우 완료 시점에서 단면 C-C, 즉 보강토체 배면에서의 간극수압 분포도를 보여주고 있다. 보이는 바와 같이 블록벽체 배면에 전면배수층만이 포설된 CASE A와 CASE B의 경우 배수기능 확보여부에 따라 벽체부에서의 차이만 보일뿐 보강토체 및 배면에서는 거의 차이를 보이지 않고 있는데 이는 전면배수시스템 만으로는 보강토체 배면에서의 수압을 해소시킬 수 없음을 의미하며 우리나라와 같이 6~8월에 발생하는 집중강우시에는 전면배수시스템 만으로는 충분한 배수기능을 확보할 수 없을 수도 있음을 보여주고 있다. 반면에 보강토체 배면에 연직배수시스템이 적용된 CASE C의 경우 7월 강우시에도 약 20kPa의 모관흡수력이 형성되어 있어 연직배수시스템을 적용할 경우 강우시 보강토체 배면에서의 간극수압 증가를 억제할 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 경향은 벽체전면으로부터 2.7m, 기초부에서 2.7m 상부에 위치한 지점에서의 시간에 따른 간극수압 변화경향을 보여

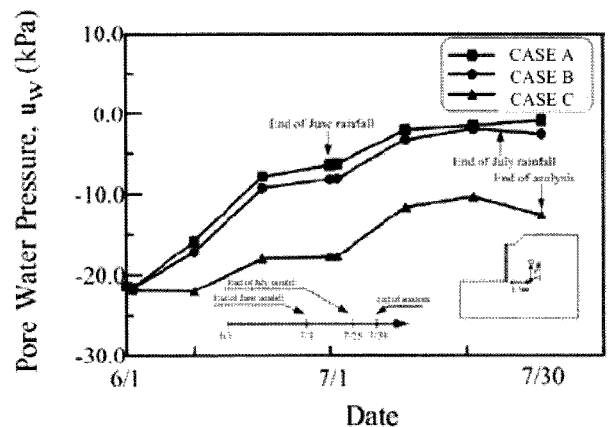


그림 9. 임의 지점에서의 간극수압 변화 경향

주고 있는 그림 9에서 보다 상세히 관찰할 수 있다. 즉, 여기서 보이는 바와 같이 전면배수시스템만이 적용되는 경우에는 7월 강우로 인해 측정지점에서의 수압이 꾸준히 증가하여 모관흡수력이 거의 상실되는 경향을 보이고 있으나 연직배수시스템이 적용된 경우에는 그 증가 정도가 크지 않아 약 10kPa의 감소 효과가 있는 경향을 관찰할 수 있다.

위에서 언급한 경향은 배수시스템 조건별로 시간에 따른 간극수압 분포도를 보여주는 그림 10에서 보다 상세히 관찰할 수 있다. 즉, 이 그림에서는 강우 종료 후 5일 경과시 간극수압 분포도를 보여주고 있는데 보이는 바와 같이 CASE A의 경우 보강토체 및 보강토 배면까지 지하수위가 2m 가량 증가하고 특히 전면블록 벽체에 1.5m 이상 수위가 상승하는 경향을 보여주고 있으며 CASE B의 경우 전면시스템의 기능으로 인해 벽체 배

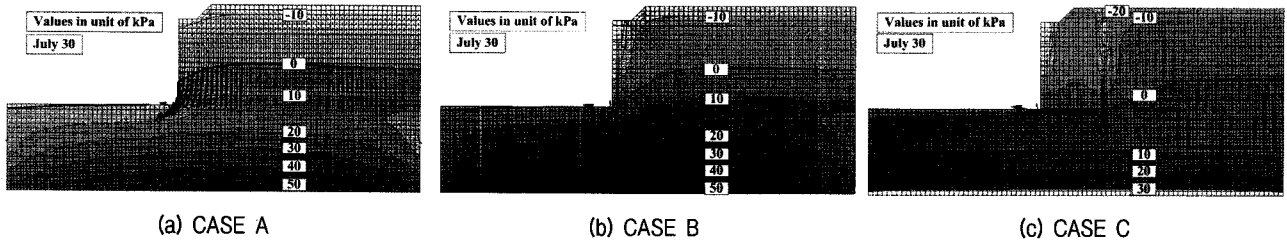


그림 10. 배수조건에 따른 보강토체 간극수압 분포

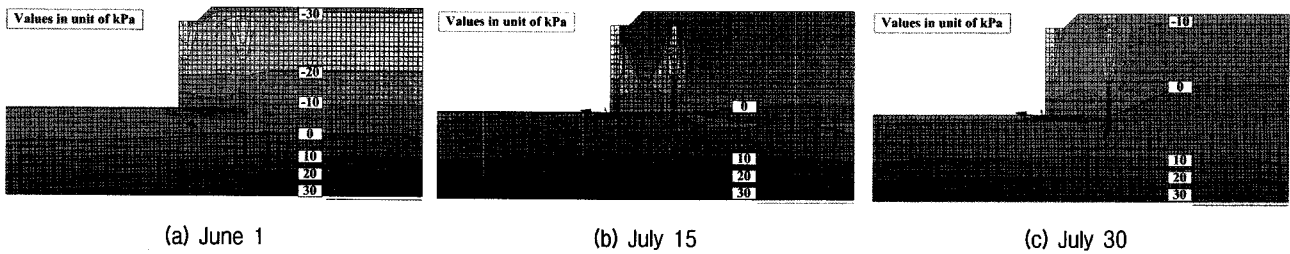


그림 11. 연직배수층 설치시 경과시간에 따른 간극수압 분포

면 및 보강토체에서는 어느 정도 수압감소 현상을 보이 고이는 있으나 보강토체 배면에서는 2m 가량 수위가 증 가하는 경향을 보여주고 있다. 이는 본 해석 대상 옹벽 조건에 있어서 전면배수시스템이 충분한 기능을 확보 한다고 하더라도 지속적인 강우로 인해 모관흡수력 저 감으로 인한 전단강도 감소뿐만 아니라 배면 수압이 작 용하여 작용하중도 증가하는 결과가 발생하여 결국 외 적 안정성에 문제가 발생할 수 있음을 보여준다고 하겠 다. 반면, 연직배수시스템이 적용된 CASE C의 경우에 는 보강토체와 배면토에 수압증가가 발생하지 않음을 알 수 있어 수압저감효과 매우 효과적인 것으로 나타났 다. 그림 11은 연직배수시스템이 적용된 경우에 대해 7월 강우시 시간대 별로 간극수압 분포도를 보여주고 있는 데 보이는 바와 같이 비교적 큰 강우강도에서도 보강토 체 및 배면토에 강우로 인한 수압증가가 충분히 억제되 는 경향을 잘 관찰할 수 있다.

3.2 연직배수층 최적 배치 조건

1) 설치 높이의 영향

연직배수층을 적용하는데 있어 시공성 및 경제성 측 면에서 연직배수층의 설치 높이는 매우 중요한 설계항 목이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 연직배수층 의 설치 높이(H_d)에 따른 배수효과를 정량적으로 검토 하기 위해 연직배수층의 높이를 옹벽 기초부에서 부터 0.3H, 0.5H, 1.0H의 높이로 변화시키며 해석을 수행하

였다. 해석 결과의 분석에 있어서는 배수효과를 명확히 관찰할 수 있는 지점인 A'-A'(전면으로부터 이격거리 1.2m), B'-B'(전면으로부터 이격거리 2.7m), C'-C'(전면 으로부터 이격거리 5.4m) 단면에서 간극수압의 분포를 강우 시작 후 17일 경과시점에서 간극수압을 토대로 분 석하였다.

그림 12는 그 결과를 보여주고 있으며 표 1은 B'-B' 단면에서의 결과를 수치로 제시하고 있다. 보이는 바와 같이 검토 단면에 따라서 정량적인 차이는 있으나 H_d 가 증가할수록, 즉 연직배수층 높이가 높아질수록, 간극수 압 증가정도가 감소하나 $H_d = 0.5H$ 의 경우가 $H_d = 1.0H$ 의 경우와 거의 유사한 결과를 보이고 있어 경제성 측면 에서 $H_d = 0.5H$ 로 연직배수층을 설치할 경우 본 연구대 상의 옹벽/강우 조건에 있어서 충분한 간극수압 증가 억 제효과를 확보할 수 있는 것으로 검토되었다.

한편, 이러한 결과는 보강토체 배면 중앙부에서 H_d 에 따른 간극수압 변화경향을 보여주는 그림 13에서 잘 관 찰할 수 있다. 즉, 해당 시간에 있어서 검토 지점의 간극 수압은 H_d 가 증가하면서 감소하는 경향을 보이고 있 으나 $H_d = 0.5H$ 이상에서 감소율이 급격히 떨어지는 경향 을 보이고 있어 앞에서 언급한 바와 같이 $H_d = 0.5H$ 를 확보함으로써 충분한 간극수압 증가 억제 효과를 확보 할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 설치 위치의 영향

연직배수층 설치시 보강토체 배면을 기준으로 수평

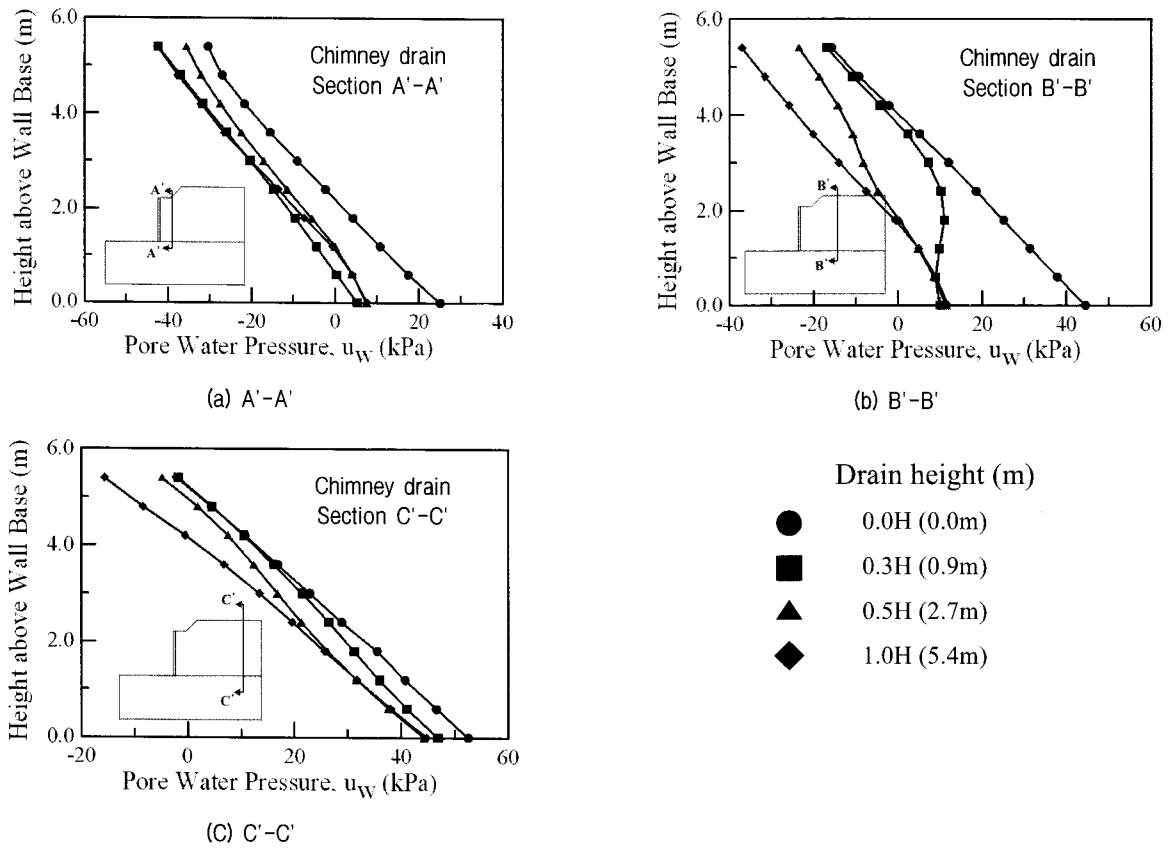


그림 12. 연직배수층 높이에 따른 간극수압 분포도

표 1. 단면 B'-B'에서의 배수층 높이에 따른 간극수압 비교표

지점 위치* (m)	B'-B' 전면에서 2.7m 이격된 지점의 간극수압(kPa)			
	0.0H	0.3H	0.5H	1.0H
5.4m	-15.74	-16.96	-23.55	-37.01
4.8m	-9.28	-10.78	-18.66	-31.55
4.2m	-2.06	-4.11	-14.26	-25.9
3.6m	5.19	2.32	-10.77	-20.09
3.0m	12.05	7.24	-8.26	-14.03
2.4m	18.62	10.29	-4.7	-7.53
1.8m	25.02	11.06	0.4	-0.6
1.2m	31.38	9.77	4.82	4.92
0.6m	37.83	8.94	8.55	8.96
0.0m	44.5	9.87	11.46	11.82

* 옹벽하단부로 부터의 높이

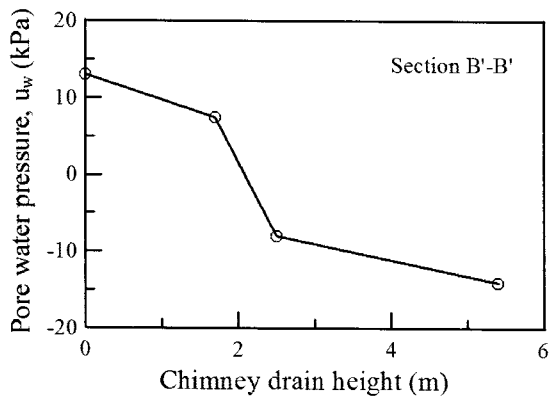


그림 13. 연직배수층 높이에 따른 간극수압

설치위치 또한 보강토체 및 배면토체 배수 측면에서 중요한 검토항목이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 연직배수층 설치위치에 있어 블록벽체 전면으로의 위치(L_d)를 5.4m, 8.1m, 10.1m 로 변화시키며 해석을 수행하였다. 그림 14는 그 결과를 강우 개시 후 17일 경과 시점에서 B'-B'단면에 대해 제시하고 있는데 보이는 바와 같이 L_d 에 따라 그다지 큰 차이는 없으나 $L_d = 5.4m$, 즉 보강토체 배면에 설치하는 경우가 간극수압 저감에 가장 효과적인 것으로 나타났다.

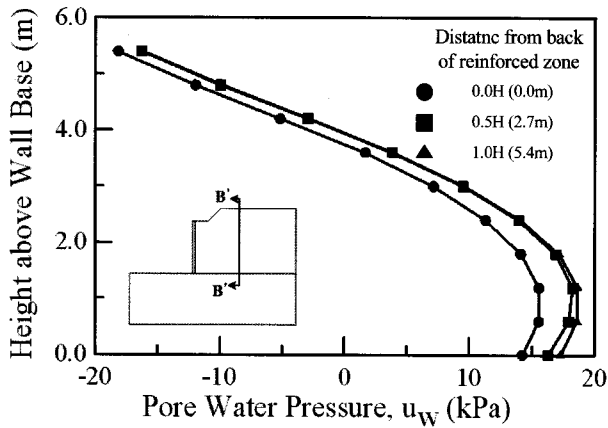


그림 14. 연직배수층 수평설치 위치에 따른 보강토체 배면 간극수압 분포도

4. 결론

본 연구에서는 보강토 옹벽에 있어서 보강토체 배면에 설치되는 연직배수층의 강우시 간극수압 증가 억제 효과에 대한 내용을 다루었다. 이를 위해 먼저 다양한 배수시스템 설치 조건에 대해 유한요소해석법에 근거한 부정류 침투해석을 수행하였으며 그 결과를 토대로 연직배수층의 간극수압 저감 메커니즘을 고찰하였다. 또한 매개변수 연구 결과를 토대로 다양한 연직배수층의 최적 배치조건에 대한 내용을 검토하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- (1) 전면 벽체 배면에 설치된 배수층에 의한 배수시스템의 배수기능이 원활하지 못한 경우 보강토체 및 보강토 배면에 모관흡수력이 감소하여 양의 간극수압이 유발 될 수 있으며 그 증가량은 강우조건 및 뒤채움흙의 배수특성에 따라 달라 질 수 있으나 본 연구에서 대상으로 한 조건에 있어서 옹벽 저부로부터 약 2m의 지하수 상승효과가 있는 것으로 나타났다.
- (2) 본 연구에서 대상으로 한 장마기간 동안의 집중 강우시 전면 배수시스템이 배수기능을 충분히 확보하더라도 상부에서의 강우 유입이 있을 경우 보강토체 배면에 간극수압이 증가하여 수압이 작용할 수 있으며 따라서 외적안정성에 대한 안전성이 위협 받을 수 있다.
- (3) 전면 배수시스템과 아울러 연직배수시스템을 병행 적용한 경우에 있어서는 옹벽 상부에서 강우시 보

강토체 및 배면토체의 간극수압 증가를 현저히 억제할 수 있는 것으로 나타나 수압저감 공법으로 매우 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

- (4) 연직배수시스템의 적용에 있어서 설치 높이는 옹벽 높이의 0.5배 정도로 설치하는 경우 간극수압 증가 억제 효과에 있어서 최적의 효과를 확보할 수 있는 것으로 나타났으며 설치 위치는 보강토체 배면에 위치시키는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국 과학재단 기초과학연구사업 특정기초연구(과제번호 R01-2004-000-10953-0) 및 (주)동양건설산업의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 유충식, 정혜영, 정혁상 (2005), 집중강우시 발생한 블록시 보강토 옹벽의 붕괴사례, 한국토지반공학회, 한국지반공학회논문집, 제21권 4호, pp.135-43.
2. 유충식, 정혁상, 정혜영 (2004), 강우로 인한 보강토 옹벽의 붕괴 사례에 관한 연구, 한국토목섬유학회 2004년 가을 토목섬유 학술발표회 논문집, pp.51-59.
3. Arya, L. M. and Paris, J. F. (1981). "A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, pp. 1023-1030.
4. Blake, J.R. and Renu, J.P. (2003), Prediction of rainfall induced transient water pressure head behind a retaining wall using a high-resolution finite element model, *Computers and Geotechnics* 30, pp.431-442.
5. Collin, J. (1997), "Design Manual for Segmental Retaining Walls, 2nd Ed." National Concrete Masonry Association (NCMA), Virginia, USA.
6. Fredlund, D. G., Morgenstern, N. R. and Widger, A. (1978), "Shear strength of unsaturated soils", *Can. Geotech. J.*, Ottawa, 15, pp. 313-321.
7. Fredlund, D. G., Xing, A., and Juang, S. (1994), "Predicting the permeability functions for unsaturated soils using the soil-water characteristic curve", *Can. Geotech. J.*, Ottawa, 31, pp. 533-546.
8. Koerner, R. M. and Soong, T. Y. (2001), "Geosynthetic reinforced segmental retaining walls", *Geotextiles and Geomembranes*, 19(6), 359-386.
9. Oberg, A and Salfors, G. (1997), "Determination of shear strength parameters of unsaturated silts and sands based on the water retention curve", *Geotech Test. J.*, 20(1), pp.40-48.
10. Vanapalli, S. K., Fredlund, D. G., Pufahl, D. E., and Clifton, A. W. (1996), "Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction", *Can. Geotech. J.*, 33, pp.379-392.

(접수일자 2008. 2. 18, 심사완료일 2008. 5. 22)