

## 토사절토사면의 침투특성에 관한 연구

### A Study on the Infiltration Characteristics of Soil Cut-Slope

이정엽<sup>1)</sup>, Jeong-Yeob Lee, 구호본<sup>2)</sup>, Ho-Bon Koo, 김승현<sup>3)</sup>, Seung-Hyun Kim, 배규진<sup>4)</sup>, Gyu-Jin Bae

- 1) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology
- 2) 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Researcher Fellow, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology
- 3) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology
- 4) 한국건설기술연구원 지반연구부 연구위원, Researcher Manager, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology

**SYNOPSIS** : The purpose of this study is the infiltration characteristics of soil cut-slope by rainfall. Stability analysis of soil cut-slopes has been conducted by limit equilibrium method on Seep/w and finite element method on Slope/w.

Result is same as following.

First, the hour when seepage line and groundwater in contact is proportionate from rainfall rate condition and upper natural slope gradient condition which is identical.

Second, when seepage line and groundwater is contact, seepage line moves gradually at soil cut-slope surface. Finally, seepage line is formed similarly with soil cut-slope gradient.

Third, when rainfall is ended, from the recording upper natural slope where the hour will pass it is stabilized

**Key words** : soil cut-slope, infiltration characteristics

## 1. 서 론

강우는 사면 붕괴를 유발하는 중요한 요소로 간주된다. 실제로 강우가 많이 발생하는 우기철에는 안정되어 있던 사면이 불안정화되어 붕괴가 빈번히 발생하고 있다. 강우가 발생하게 되면 강우의 대부분은 지표유출이 되어 단시간에 흘러나가며 일부는 지반내로 침투하게 된다. 이때 지표로 유출되는 우수는 법면의 세굴 및 표층의 유실 등을 유발시키나 이것이 사면붕괴의 직접적인 원인은 되지 못한다. 하지만 지반내로 침투한 우수는 그 절대량의 크기는 작을지라도 시간이 지남에 따라 지반내의 간극수압이 증가하여 지반의 전단강도를 감소시켜 사면의 안전율을 저하시키는 요인이 된다. 이러한 침투는 지반의 상태, 함수특성, 지하수위 위치 및 강우강도 크기 등의 여러 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 이들의 관계를 정량적으로 규명하기는 어렵다(신승오, 1990).

본 연구에서는 토사절토사면에서 강우 발생시 사면안정에 불안정한 요소로 작용하는 침투특성을 유한요소해석법인 Seep/w와 사면안정 한계평형해석법인 Slope/w를 이용하여 상관성을 분석하고자 한다.

## 2. 해석조건

### 2.1 강우시 사면 붕괴과정

강우 발생시 사면이 불안정화되어 붕괴되는 과정은 연직침투 과정, 불투수층 평행침투 과정 및 붕괴 등의 3 단계로 구분할수 있다(그림 1). 강우가 지속됨에 따라 침투가 발생하면서 침윤선이 시간 경과와 함께 연직방향으로 강하하여 불투수층에 도달하게 되면 불투수층과 평행한 방향으로 침투가 발생하게 된다. 이때 이미 형성된 지하수위에 도달하여 간극수압의 증가와 함께 수위 상승을 유발하게 되고 이러한 연직침투와 평행침투는 사면 하단부로 갈수록 크게 나타나며 한계수위 형성 위치에서 붕괴가 발생하게 된다(홍원표, 1996).

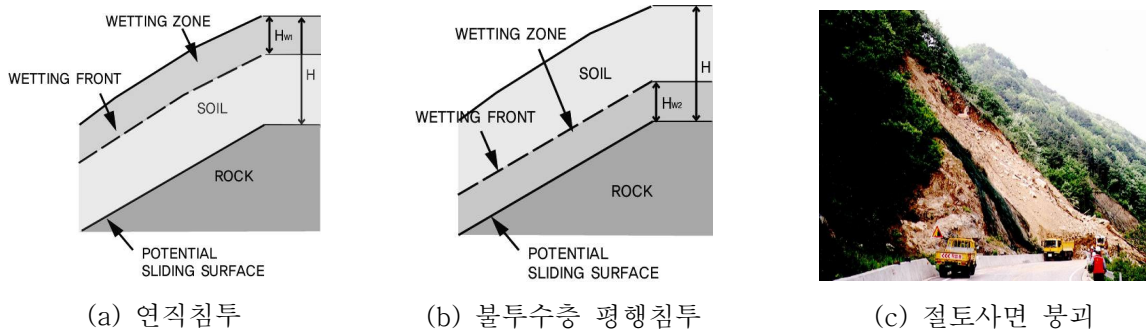


그림 1. 강우시 절토사면 붕괴과정

### 2.2 해석단면 및 지반 강도정수 결정

본 연구를 위해 전국 국도변 절토사면 현황조사자료를 바탕으로, 토사절토사면에 대한 평균높이를 산출한 결과 약 13.8 m이 것으로 산출되어, 적용높이는 15 m로 일정하게 적용하였고, 경사는 일반적인 토사절토사면 절취경사인 45°, 상부자연사면 경사를 0°~30°까지 10°씩 단계적으로 적용하였다(한국건설기술연구원, 2003). Seep/w를 해석하기 위한 투수계수와 강우강도는 가정치를 사용하였으며, Slope/w를 해석하기 위한 지반강도정수는 풍화토의 지반강도정수 범위에서 선정하였다(표 1 참조).

표 1. 해석에 적용된 단면 및 지반 강도정수 조건

해석 단면						
조건	사면 종류	높이 (m)	경사 (°)	소단 폭 (m)	소단사이 높이 (m)	상부자연사면 경사
적용치	토사절토사면	15	45	1 m	5 m	0°, 10° 20°, 30°
강우 조건 (가정치)						
조건	투수계수 (m/s)	강우강도 (m/s)		강우지속시간 (h)	지하수위 (m)	
적용치	$4.3 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-5}, 2.0 \times 10^{-5},$ $3.0 \times 10^{-5}, 4.0 \times 10^{-5}$		48	0	
지반 강도정수 (풍화토) ( ) : 범위						
조건	단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	점착력 (t/m <sup>2</sup> )		내부마찰각 (°)		
적용치	1.9 (1.7~1.9)	2.0 (0.0~2.0)		30 (30~35)		

### 3. 강우에 따른 침투특성 및 안전을 변화

#### 3.1 상부자연사면 경사에 따른 침투특성

상부자연사면의 변화에 따른 동일한 강우강도를 기준으로 토사절토사면 내 침투특성 해석을 실시하였으며, 총 강우지속시간은 48 h이다. 해석결과 침윤선은 강우지속시간 3 h마다 산출된 것이며, 강우초기 침윤선은 상부자연사면의 경사와 동일한 경사로 형성되고, 강우지속시간 24 h 경에는 침윤선의 경사가 평탄해지는 경향을 보인다. 동일한 지하수위 조건에서 상부자연사면의 경사가 낮을수록 지하수위에 도달하는 시간은 짧고, 공통적으로 침윤선의 법면쪽 끝점은 선단에 집중되는 경향을 보인다(그림 2 참조).

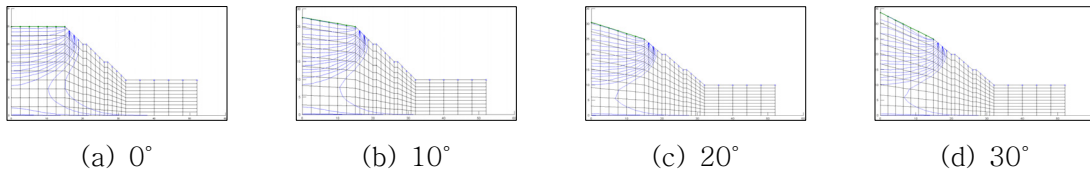


그림 2. Seep/w를 이용한 상부자연사면 경사에 따른 침투특성 (강우강도  $2.0 \times 10^{-5}$  m/s)

#### 3.2 강우강도에 따른 침투특성

강우강도의 변화에 따른 동일한 상부자연사면의 경사를 기준으로 토사절토사면 내 침투특성 해석을 실시하였으며, 총 강우지속시간은 48 h이다. 해석결과 침윤선은 강우지속시간 3 h마다 산출된 것이며, 강우가 발생하게 되면 상부에서부터 침투가 발생하게 되고, 같은 지속시간이라도 강우강도가 크면 클수록 침윤선이 더 하강하는 경향을 보인다. 또한, 침윤선이 지하수위와 접하게 되면 침윤선은 사면의 법면으로 점차 이동하여 사면의 경사와 유사하게 형성되고, 최종적으로는 법면과 접하게 되는 경향을 보인다(그림 3 참조).

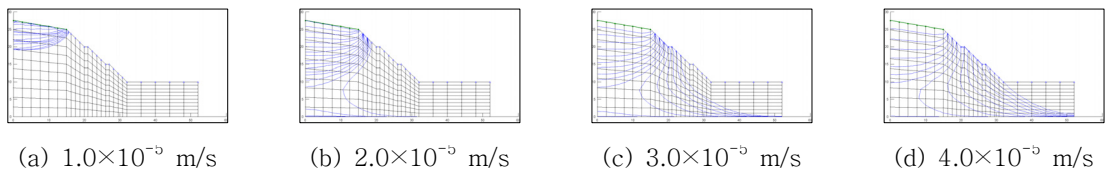


그림 5. Seep/w를 이용한 강우강도에 따른 침투특성 (상부자연사면 경사  $10^\circ$ )

한계평형해석법인 slope/w를 이용한 경과시간에 대한 안전율의 변화를 해석한 결과 강우지속시간 6 h 까지는 비슷한 경향을 보이고 있으나, 침윤선이 지하수위와 접하게 되면 안전율은 급격히 떨어지는 경향을 나타낸다(그림 4 참조)

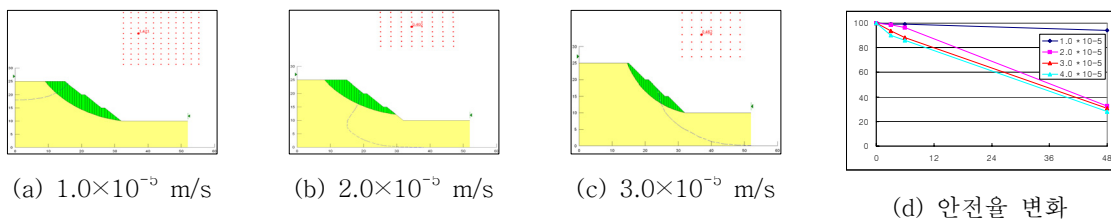


그림 4. Slope/w를 이용한 강우강도에 따른 침투특성 (상부자연사면 경사  $0^\circ$ )

### 3.3 경과시간에 따른 침투특성

강우강도  $2.0 \times 10^{-5}$  m/s일 때 강우지속시간 48 h 종료 후 96 h의 경과시간에 따른 침투특성 해석을 실시하였으며, 해석결과 침윤선은 강우종료 후에 경과시간이 지나감에 따라 침윤선 상부는 사면 법면에서 점차 상부자연사면 쪽으로 이동하다가 연직방향으로 하강하는 경향을 보이고 있고, 침투 방향 벡터는 강우종료 직후에는 연직방향으로 향하다가, 경과시간이 지나감에 따라 침윤선을 따라 사면 하부로 집중되는 것을 알 수 있다(그림 5 참조).

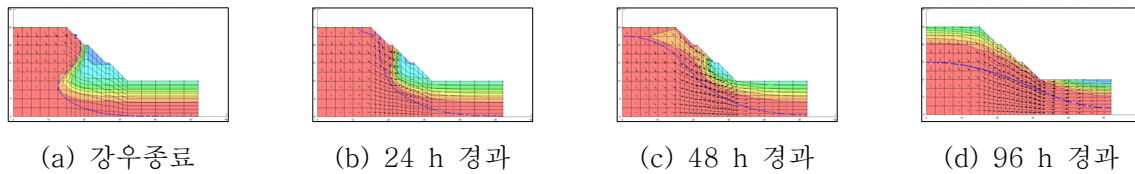


그림 5. Seep/w를 이용한 경과시간에 따른 침투특성 (체적함수비, 48 h 강우)

한계평형해석법인 slope/w를 이용한 경과시간에 대한 안전율의 변화를 해석한 결과 강우종료 후 약 24 h까지는 안전율의 급격한 상승을 보이고 있다가, 차츰 일정한 안전율로 수렴해가는 경향을 보이고 있다. 이는 강우종료 후 침윤선의 하강에 따라 지반의 강도정수에 의해 안전율이 상승하는 것으로 판단된다(그림 6 참조).

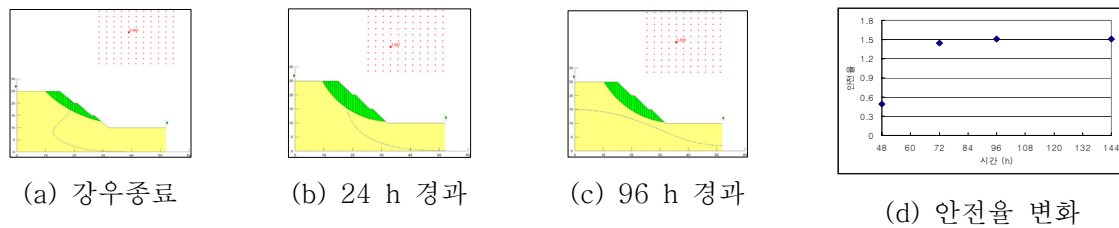


그림 6. Slope/w를 이용한 경과시간에 따른 침투특성 (48 h 강우)

## 4. 결 론

강우에 의한 절토사면의 침투특성을 고려한 해석에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 강우시 지반내 침투가 발생하게 되면 동일한 강우강도 조건과 동일한 상부자연사면 경사 조건에서 각각 침윤선이 지하수위와 접하는 시간은 비례하는 경향을 보인다.
2. 침투특성만을 고려하였을 경우, 침윤선이 지하수위와 접하게 되면 침윤선은 사면의 법면으로 점차 이동하여 사면의 경사와 유사하게 형성되면서 최종적으로 사면 법면과 접하는 경향을 보인다
3. 강우종료후 경과시간이 지날수록 상부자연사면에서부터 안정화되는 경향을 보이고 있으며, 24 h 경과시간 동안 안전율이 급격한 증가를 보이다가 일정한 안전율로 수렴하는 경향을 보이고 있다.

## 참고문헌

1. 신승오(1990), “사면내 침투해석”, 한국토지공사, Vol. 3, No. 3, pp 64-71
2. 한국건설기술연구원(2003), “2002년도 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용”, 건설교통부
3. 홍원표(1996), “강우시 사면안정해석법에 관한 연구”, 대한토목학회, pp 195-198