

강우에 따른 화강암질 풍화토 사면의 전단강도 특성에 관한 연구

심태섭¹⁾ · 김선학¹⁾ · 기완서²⁾ · 주승원³⁾

¹⁾조선대학교 토목공학과, ²⁾조선이공대학 토목건설과, ³⁾서강정보대학 건설환경과

Study on the Characteristics of Shear Strength on the Weathered Granite Soil Slope in Accordance with the Rainfall

Tae-Sup Shim¹⁾ · Sun-Hak Kim¹⁾ · Wan-Seo Ki²⁾ · Seung-Wan Joo³⁾

¹⁾Dept. of Civil engineering, Chosun University

²⁾Dept. of Civil engineering Chosun College of Science&Technology

³⁾Dept. of Construction Environment, Seokang College

화강암질풍화토(SP, SM)로 축조된 사면에 사면경사·강우강도에 따른 사면 내 간극수압, 침투깊이, 강도정수를 산정하였다. 그리고 불포화토의 전단강도 식을 적용하여 강우에 따른 전단강도의 변화를 비교분석하였다. 그 결과 강우에 따른 침투속도는 강우강도가 클수록, 사면의 완만할수록 침투가 빨리 진행되었다. Lumb의 이론치와 모형실험의 실측치를 비교분석한 결과 실측치가 더 빠른 것을 알 수 있었다. 그리고 SM은 SP에 비해 전단강도가 크게 나타나는데 세립분이 증가할수록 투수계수가 작아지고 침투율이 작아짐에 따라 침투속도에 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 또한, 사면 내 전단강도는 1:1.5의 경사에서 가장 작은 전단강도를 보이는데 간극수압의 상승으로 인하여 저하되는 것으로 나타났다.

주요어 : 화강암질 풍화토, 간극수압, 침투깊이, 강우강도, 전단강도

This study calculated the pore water pressure, the depth of seepage, the constant of the strength in accordance with the slope inclination and the rainfall intensity over the slope built by the weathered granite soil (SP, SM). And, the change of the shear strength in accordance with the rainfall has been compared and analyzed by applying the shear strength formula of the unsaturated soil. As a result, the rainfall intensity is stronger and the slope inclination is gentler the seepage speed in accordance with the rainfall became faster proportionally. As a result of comparing and analyzing both the theoretical value of Lumb and the actual value of the model, it can be said that the actual value is faster. Since SM shows the bigger shear strength than SP, it can also be said that as the granules increase, the coefficient of permeability becomes smaller; and as the seepage rate became smaller, it affects the seepage speed. Likewise, the shear strength within the slope displays the smallest shear strength at the inclination of 1:1.5 the reason of its decrease turned out that it was due to the increase of the pore water pressure.

Key Words : Weathered granite soil, Pore water pressure, Depth of seepage, Rainfall intensity, Shear strength

* Corresponding author : wski@mail.chosun-c.ac.kr

서 론

사면 불안정의 원인은 외적 요인과 내적 요인으로 나눌 수 있는데 외적 요인에는 지형의 기하학적 변화, 토피하중의 제거, 하중의 증가, 충격과 진동, 인접한 호수 또는 저수지의 수위강하, 강우 등이 있고, 내적 요인에는 진행성 파괴, 풍화작용, 물의 침투로 인한 침식 등을 들 수 있다. 자연사면파괴는 대부분 강우에 의하여 발생하는 것으로 나타나고 있고, 우리나라에서는 매년 6월~9월 장마철과 태풍이 발생하는 시기에 강우가 집중되어 절취사면파괴 및 자연사면에서의 산사태로 인한 많은 사상자와 재산피해를 초래하는 것으로 나타났다. 강우발생시 표면유수에 의한 침식, 지중 침투수에 의한 간극수압의 상승, 흙의 포화로 인한 활동토층의 단위중량 증가 등에 의해 사면을 파괴시키려는 활동력은 증가되고 사면파괴에 저항하려는 저항력은 감소하여 사면의 안정성이 저하되어 사면파괴가 일어나게 된다. 본질적으로 사면파괴는 전단파괴에 기인하는 것으로 이는 간극수압의 증가로 인한 전단강도의 감소와 전단응력의 증가에 원인이 있으며 강우는 이에 영향을 준다.

최근에는 강우가 자연사면 내의 모관흡수력(matric suction)과 지반의 투수특성에 미치는 영향에 대해 연구하는 등 포화도에 따른 불포화도 내부의 응력상태와 지반거동 그리고 투수특성에 대한 연구가 광범위하게 이루어지고 있다(Fred lund et al., 1994). 국내에서는 강우시 무한사면의 침투거동에 대한 연구가 수행되었으며, 불포화 사면의 간극수압 변화를 측정하기 위한 부의간극수압계의 개발을 시도하였다(김영목, 1989). 최근에는 실내모형 및 현장실험을 통한 강우시 간극수압의 변화, 저류량, 위험강우량 등 사면의 침투거동에 관한 연구가 계속 수행되었다(이선주, 2001; 이인모외, 2003). 그러나 실제 무한사면의 경사, 집중강우에 대한 간극수압변화, 전단특성변화를 정량적으로 제시한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 실제사면이 부분적으로 포화된 불포화토인 점을 고려하여 불포화 화강암질풍화토를 이용한 실내모형 실험을 실시하였다. 그리고 광주전남지역의 강우특성에 따른 강우강도·사면경사를 적용하여 사면파괴에 미치는 영향을 분석하였으며 강우에 의한 무한사면 내의 침투양상·간극수압의 증가에 따른 전단강도 변화를 모형실험을 통하여 고찰하였다.

연구내용

사면 내 침투거동과 전단강도 저하 원인의 규명을 위한 실내모형실험을 실시하기 위하여 모형사면(300mm×300mm×1000mm), 강우재현장치, 간극수압 측정장치를 제작하였다. 모형사면을 제작하기 위한 시료는 화강암질풍화토를 채취하여 통일분류법에 따른 SP와 SM으로 분류하였다. 일반적인 사면이 불포화 상태이고 완전건조 상태가 아닌 점을 고려하여 시료를 완전 건조한 후 현상상태의 함수비 약 5~15% 정도로 맞추어 사용하였다. 또한 사면경사에 따른 재해발생빈도와 광주전남지역의 평년 강우량을 분석한 후 실험에 적용하였다. 강우재현장치를 이용하여 일반적으로 분포하는 사면의 경사(1:1, 1:1.5, 1:2)와 강우강도(50±5mm/hr, 100±5mm/hr, 150±5mm/hr)에 따른 간극수압의 변화, 사면의 길이방향으로 각 지점마다 눈금을 표시하여 침투깊이를 측정하였고, Lumb에 의한 이론치와 실험치를 비교 분석하였다. 실내모형실험을 종료한 후 삼축압축시험을 통한 강도정수를 산정하고 불포화도의 전단강도 식에 적용하여 강우지속시간에 따른 전단강도의 변화를 분석하였다.

불포화토의 특성

습윤대의 두께

강우가 시작되면 지표면에서부터 젖기 시작하며, 물에 젖은 부분은 젖지 않은 부분과 확연히 구분된다. 강우가 지속됨에 따라 사면 내 토층은 깊이에 따라 분포양상이 Fig. 1과 같은 경향으로 나타난다. 강우로 인하여 지표부근은 완전히 포화되어 포화도가 1.0에 접근하나 중력의 영향으로 깊이가 깊어짐에 따라 점차 감소하다가 일정깊이 이상에서는 일정한 포화도를 나타내며 습윤대(wetting zone)를 형성한다.

이와 같은 습윤대의 두께를 결정할 수 있는 간편식을 식(1)과 같이 제안한 바 있으며(Lumb, 1975), 토층의 투수계수와 포화정도에 따른 습윤대 두께는 Fig. 2와 같다.

$$h = \frac{k \cdot t}{n \cdot (S_f - S_o)} \quad (1)$$

여기서, h 는 습윤대의 두께, k 는 토층의 투수계수, t 는 강우지속시간, n 는 공극률, S_f 는 최종 포화도, S_o 는 초기 포화도를 나타낸다.

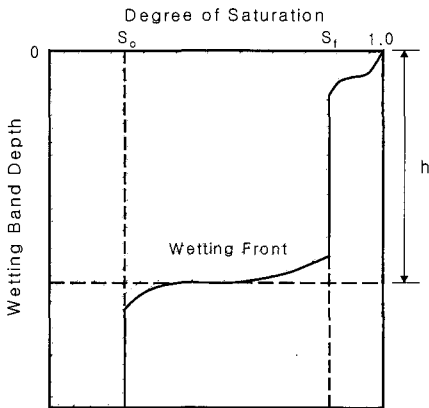


Fig. 1. Formation of wetting zone.

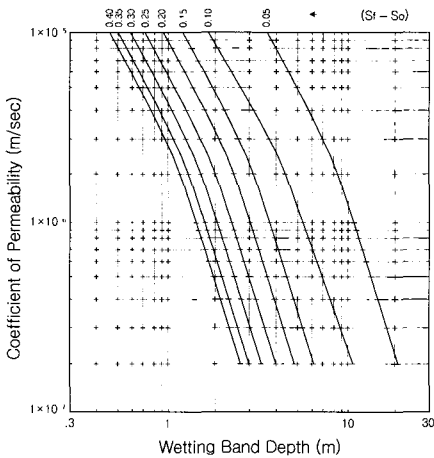


Fig. 2. Coefficient of permeability & degree of saturation vs. Depth of wetting zone

불포화토의 전단강도

강우시 무한사면의 파괴는 궁극적으로 간극수압의 증가에 의해 기인된 전단강도의 감소 때문이며, Fredlund, et al.(1977, 1978)은 마찰력을 전응력의 함수와 간극수압의 함수로 나누어 다음과 같은 전단강도 식을 제시하였다.

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_f - u_a)_f \tan \phi' + (u_a - u_w)_f \tan \phi^b \quad (2)$$

여기서, u_{af} 는 파괴시 파괴면의 간극공기압, u_{wf} 는 파괴시 파괴면의 간극수압, $(u_a - u_w)_f$ 는 파괴시 파괴

면의 모관흡수력, ϕ' 는 $(\sigma_f - u_a)$ 에 대한 유효마찰각, ϕ^b 는 $(u_a - u_w)$ 에 대한 유효마찰각을 의미한다. 전단강도는 유효점착력 c' , 파괴시 파괴면의 순수직유효응력 $(\sigma_f - u_a)_f$ 에 대한 마찰력과 모관흡수력 $(u_a - u_w)$ 에 의한 겉보기 마찰각 ϕ^b 로 구성되어 있다. 순수직응력과 모관흡수력에 의해 유발되는 전단강도는 각각 ϕ' 및 ϕ^b 로 표현되며, ϕ^b 의 크기는 낮은 모관흡수력에서는 ϕ' 와 같고 모관흡수력이 공기 함입치를 초과하면 포화도의 감소에 따라 거의 일정한 크기가 될 때까지 감소한다(Fredlund et al., 1978; Tsaparas et al., 2002).

실내모형실험

실험계획 및 방법

강우에 의한 사면의 파괴는 일반적으로 여름철 집중호우로 인해 많이 발생하므로 7-8월의 광주, 전남 지역의 30년간 강수량과 여름철 집중호우시 시간당 최대 강우강도를 고려하여 결정하였다. 또한 화강암 질풍화토를 통일분류법(USCS)에 따른 SM과 SP로 일반적인 사면에서 흔히 볼 수 있는 사면의 경사를 고려하여 실험조건을 결정하였다. 자체 제작한 모형토조 (300mm × 300mm × 1000mm)에 화강암질풍화토(SP, SM)로 사면을 축조한 후 단계별로 강우를 재현하여 사면경사, 강우강도에 따른 강우의 침투깊이와 간극수압의 변화 등의 특성을 분석하였다. 실내모형실험을 종료한 후 UD시료를 채취하였고, 삼축압축시험을 통하여 산정된 강도정수를 불포화토의 전단강도 식에 적용하여 강우의 진행에 따른 전단강도의 변화를 분석하였다.

토질조건 : 사용된 시료는 화강암질풍화토를 대상으로 하였으며, 광주전남지역의 도로공사 현장의 절토사면에서 각각의 시료를 채취하였다. 사용시료의 기본 물리적 성질은 Table 1과 같고 입경가적곡선은 Fig. 3과 같다.

Table 1. Physical properties of Weathered Granite Soils

Unified Soil Classification System	Water content (%)	Specific gravity	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plastic index	No.200 passage (%)
SP	10±2	2.62	-	-	N.P	7.3
SM	15±2	2.65	31.4	20.3	11.1	23.4

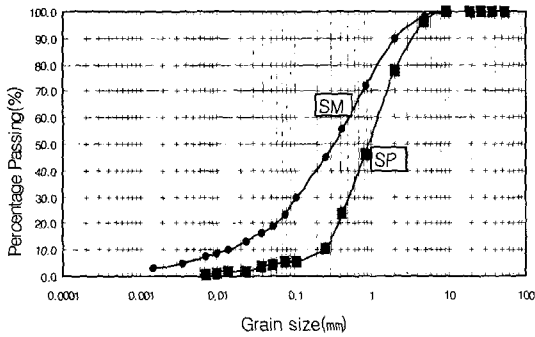


Fig. 3. Grain size distribution curve

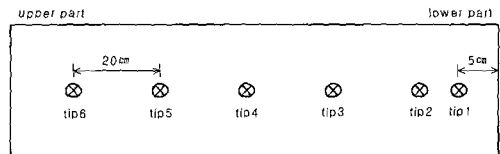


Fig. 4. Set in place of pore pressure meter

실험장치

실내모형실험장치는 크게 모형사면장치, 강우재현장치, 간극수압측정 장치로 구성되어 있으며 Fig. 5와 같다.

사면조건 : 본 실험에 적용된 조건은 다음 Table 2와 같다.

Table 2. The application of the model test

Classification	Weathered granite soil	
	SP	SM
Rainfall intensity (mm/hr)	50±5	50±5
	100±5	100±5
	150±5	150±5
Gradient of slope	1:1.0	1:1.0
	1:1.5	1:1.5
	1:2.0	1:2.0
Water content (%)	10±2	15±2
Wet density (t/m ³)	1.694	1.679

간극수압의 측정 : 간극수압의 측정은 간극수압 측정 장치를 이용하였으며, 측정값은 Data 수집 장치를 거쳐 30초 간격으로 컴퓨터의 자동기록 프로그램에 의하여 자동으로 기록되었다. 모형사면 하부에 총 6개의 tip을 우측으로부터 5cm 간격으로 두 개의 tip을 배치하였으며, 20cm 간격으로 tip3~tip6을 배치하였다. 간극수압측정 장치의 배치단면은 Fig. 4와 같다.

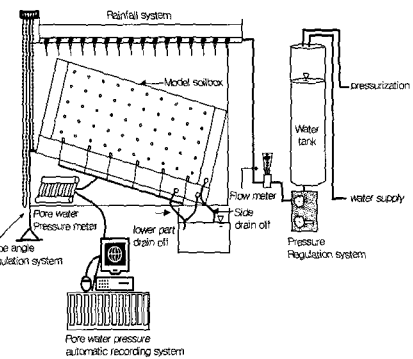
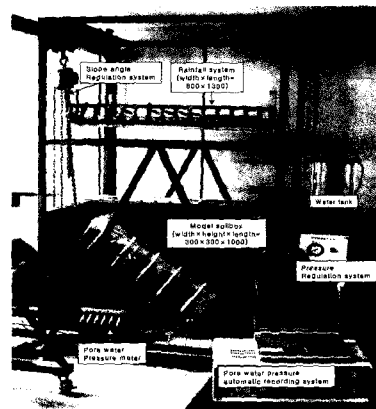
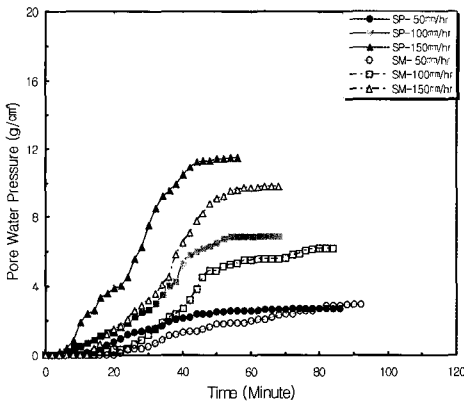


Fig. 5. Equipment of slope model test

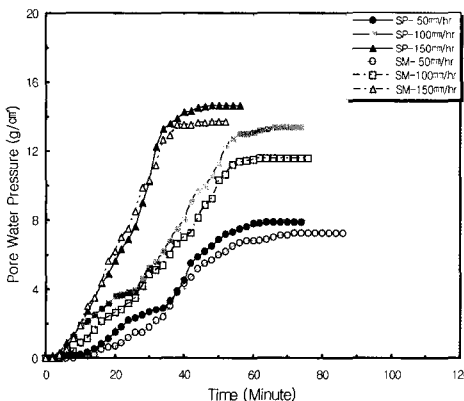
시험결과 및 분석

간극수압의 변화

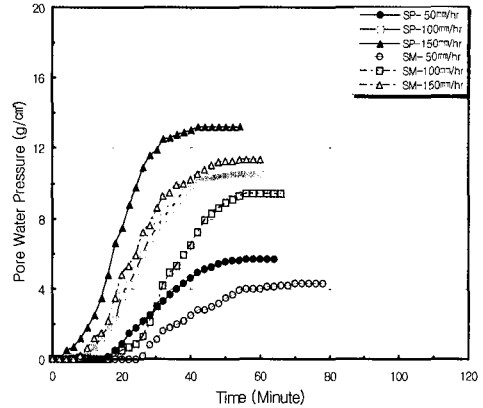
강우재현장치로 발생하는 강우강도(50±5, 100 ±5, 150±5mm/hr)와 사면경사(1:1.0, 1:1.5, 1:2.0)에 따른 사면 내 간극수압의 변화를 모형사면 우측하단으로부터 사면의 길이방향으로 총 6개의 간극수압 tip을 설치하여 측정하였다. 간극수압을 측정한 결과 사면이 완전히 포화된 후 사면 우측하단부의 2개의 tip에서 간극수압의 변화가 측정되었으며, 나머지 4개의 tip에서는 간극수압의 변화가 나타나지 않았다. 간극수압의 변화를 나타낸 tip 중에서 최대의 간극수압 변화가 나타난 tip2에서의 간극수압을 분석하였다. Fig. 6은 1:1, 1:1.5, 1:2의 사면경사에 따른 두 가지 시료의 간극수압 변화를 나타낸 것이다.



(a) 1:1.0



(b) 1:1.5



(c) 1:2.0

Fig. 6. Pore water pressure distribution with time

Table 3. Maximum pore water pressure(g/cm²)

Classification		Weathered Granite Soils	
Gradient of slope	Rainfall intensity (mm/hr)	SP	SM
1 : 1.0	50±5	2.71	2.93
	100±5	6.92	6.18
	150±5	11.50	9.80
1 : 1.5	50±5	7.90	7.26
	100±5	13.39	11.98
	150±5	14.61	13.70
1 : 2.0	50±5	5.68	4.30
	100±5	10.56	9.40
	150±5	13.20	11.32

Table 3은 SP와 SM으로 구성된 사면의 강우강도와 사면경사에 따른 최대 간극수압을 나타낸 것이다. SP의 경우 강우강도에 따라 사면경사 1:1.0일 때 2.71~11.50g/cm², 사면경사 1:1.5일 때 7.90~14.61g/cm², 사면경사 1:2.0일 때 5.68~13.20g/cm²의 범위로 측정되었으며, 강우강도 150mm/hr일 때 50mm/hr일 때에 비해 사면경사에 따라 1.85~4.24배까지 높게 측정되는 것으로 나타났다. 사면경사에 따른 간극수압의 변화는 사면경사 1:1.5일 때 가장 크게 측정되었고 사면경사 1:1.0일 때 가장 작은 값이 측정되었다. SM의 경우 강우강도에 따라 사면경사 1:1.0일 때 2.93~9.80g/cm², 사면경사 1:1.5일 때 7.26~13.70g/cm², 사면경사 1:2.0일 때 4.30~11.32g/cm²의 범위로 나타났으며, 강우강도 150mm/hr일 때 50mm/hr일 때에 비해 1.93~3.34배까지 높게 측정되는 것으로 나타났다. 사면경사에 따른 간극수

압의 변화는 사면경사 1:1.5일 때 가장 크게 측정되었고 사면경사 1:1.0일 때 가장 작은 값이 측정되었는데 이는 SP의 결과와 동일함을 알 수 있다. 그러나 SP는 SM에 비해 동일한 경사와 강우강도일 때 같은 조건으로 비교한 결과 간극수압 변화의 차이가 더 큰 것으로 나타났다. Table 3과 Fig. 7에서 알 수 있듯이 강우강도가 클수록 사면 내 최대 간극수압은 증가하는 것을 알 수 있고, 사면경사가 커질수록 증가하는 경향을 보이지만 1:1.5에서 최대치를 나타내고 1:1.5 이상의 급경사가 되면 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 SP는 SM에 비해 간극수압이 1.07~1.32배 정도 더 크게 측정되었으며, 최대 간극수압에 더 빨리 도달하는 것으로 나타났다.

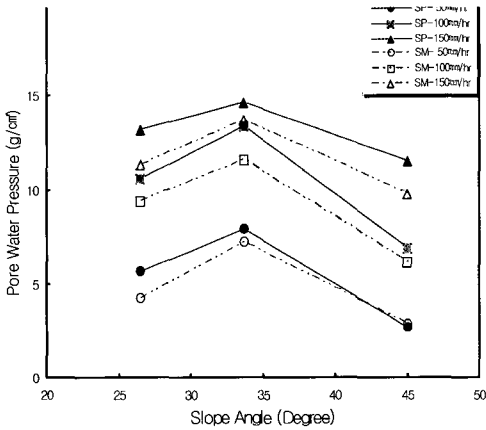
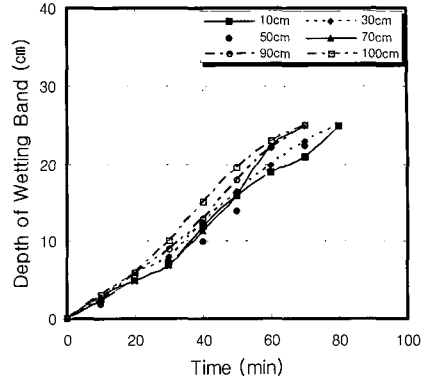


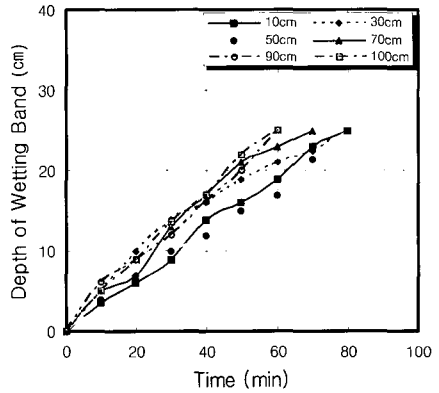
Fig. 7. Gradient of slope vs. Maximum pore water pressure

침투깊이의 변화

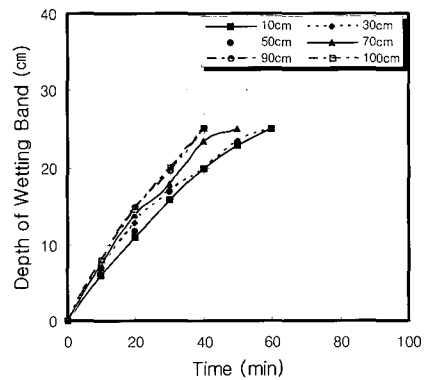
측정결과 : 강우에 따른 사면 내 침투거동을 알아보기 위하여 모형사면의 왼쪽에서부터 길이방향(100cm)으로 10cm, 30cm, 50cm, 70cm, 90cm, 100cm 지점의 눈금을 통해 침투깊이를 측정하였다. Fig. 8, 9는 강우강도 50±5mm/hr일 때 두 시료의 각 지점에서 강우지속시간에 따른 침투깊이 측정값을 나타낸 것이다. 강우 발생 초기에는 사면 전 면적에서 고르게 우수가 침투하다가 약 10분 정도 경과된 후부터 사면의 지점별 침투깊이에 차이가 발생하는데 사면의 하단부인 90~100cm 지점이 가장 빠른 침투양상을 나타내며 사면의 상단부인 10~20cm 지점은 사면표면을 따라 유출되는 유량이 많아지면서 우수의 침투가 사면 하단부에 비해 약 5~10분정도 느리게 진행되는 양상을 보였다.



(a) 1:1.0

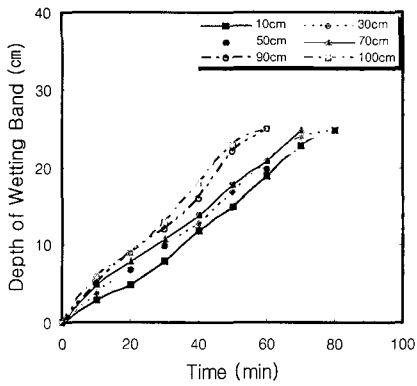


(b) 1:1.5

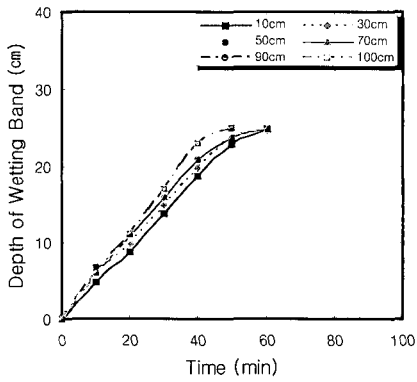


(c) 1:2.0

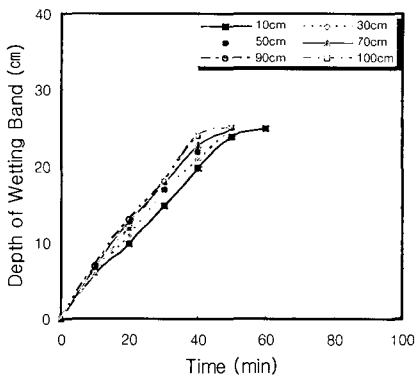
Fig. 8. Depth of wetting band vs. Time (SP, 50±5mm/hr)



(a) 1:1.0



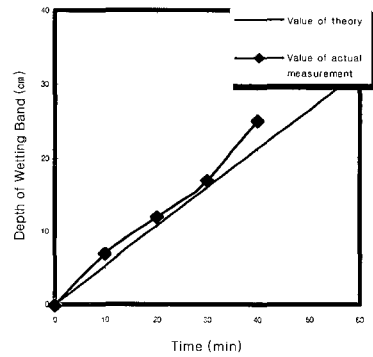
(b) 1:1.5



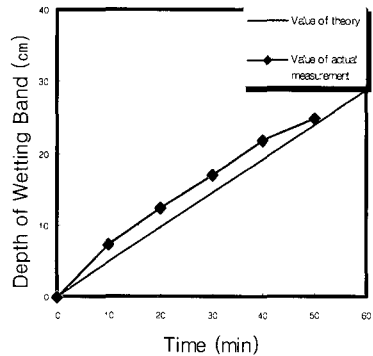
(c) 1:2.0

또한 각각의 강우강도와 경사에 따른 침투깊이의 진행 양상을 관찰한 결과 동일경사에서 강우강도를 달리하였을 경우 강우강도가 클수록 우수의 침투가 빨리 진행되는 양상을 보이며, 경사가 완만해질수록 침투속도 또한 증가하는 양상을 보였다. SP는 SM에 비해 강우초기부터 더 빠른 침투를 나타냈고, 사면의 최종침투시간도 더 빠르게 포화되는 것으로 나타났다.

이론치와 측정치 비교 : Lumb(1975)이 제안한 식 (1)을 적용한 이론치와 강우지속시간에 따른 사면내의 침투깊이를 측정된 실측치를 비교해 보았다. SP에 대하여 가장 빠른 침투속도를 나타내는 사면경사 1:2.0일 때 각 강우강도 대한 50cm지점에서의 침투깊이를 이론치와 실측치를 비교하였다. 투수계수 (k)는 6.89×10^{-4} cm/sec, 간극률 (n)은 0.412, 강우 전·후의 포화도의 차 ($S_f - S_o$)는 0.15~0.40를 적용하였다.

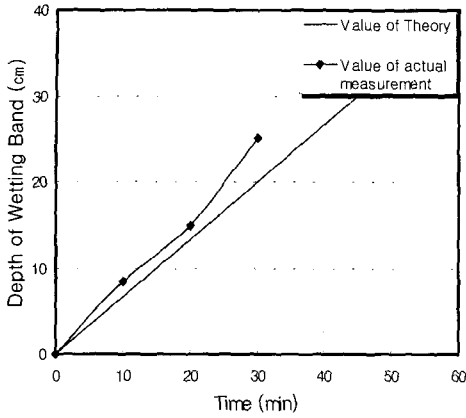


(a) 50±5mm/hr



(b) 100±5mm/hr

Fig. 9. Depth of wetting band vs. Time (SM, 50±5mm/hr)



(c) 150±5mm/hr

Fig. 10. Depth of wetting band with time

Fig. 10의 결과로부터 강우초기에는 실측치가 이론치보다 빠른 침투를 보였으며 Lumb이 제안한 간편식으로 산정한 이론치와 모형실험을 통해 측정된 침투 깊이를 비교한 결과 이론치보다 실제 강우로 인한 침투가 더 빠른 경향을 나타냈다.

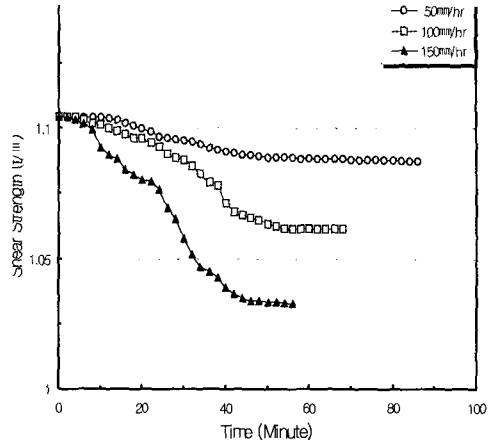
전단강도의 변화

강우시 무한사면의 파괴는 궁극적으로 간극수압의 증가에 의해 기인된 전단강도의 감소 때문이며, Fredlund, et al.(1978)은 마찰력을 전응력의 함수와 간극수압의 함수로 나누어 식(2)와 같은 전단강도 식을 제시하였다.

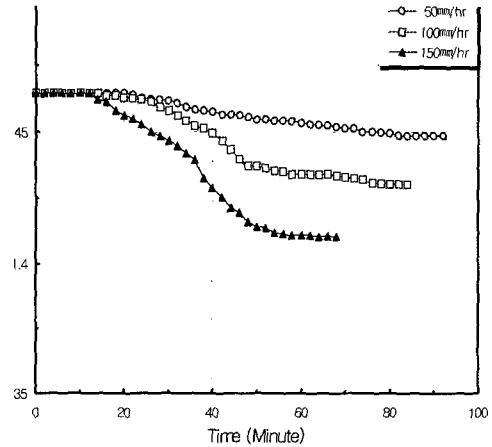
Table 4. The application of the strength parameter

Classification	SP	SM
c'	0.08 kg/cm ²	0.12 kg/cm ²
ϕ'	32°	29°
ϕ^b	20°	22°

Table 4의 강도정수를 식(2)에 적용하여 각 사면경사와 강우강도에 따른 전단강도를 산정하였고, 시간의 경과에 따른 사면 내 전단강도 변화를 Fig. 11~13에 나타내었다.

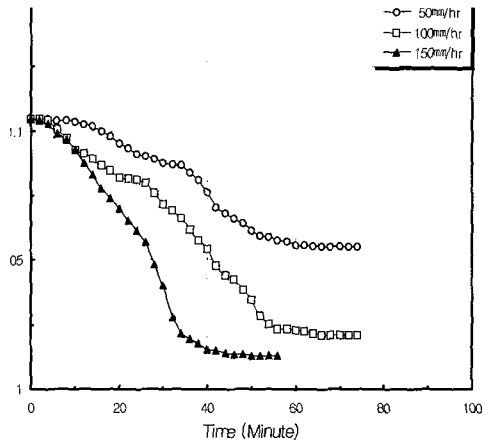


(a) SP

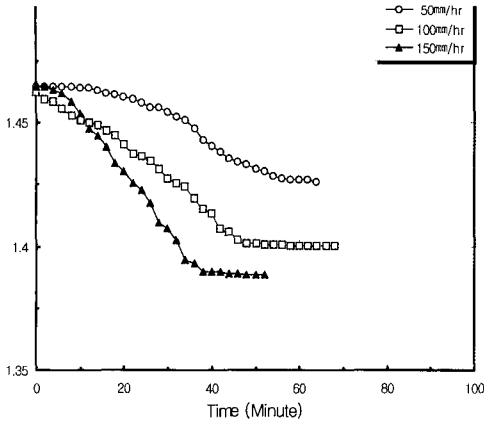


(b) SM

Fig. 11. Change of Shear strength (Gradient of slope =1:1.0)

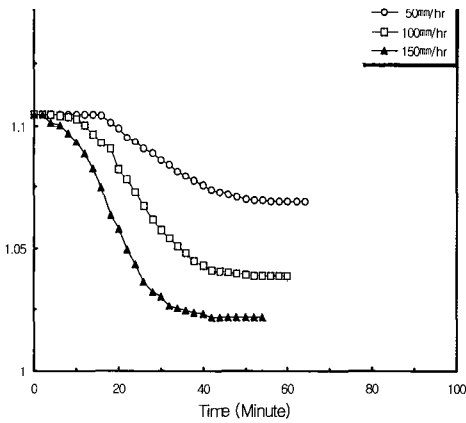


(a) SP

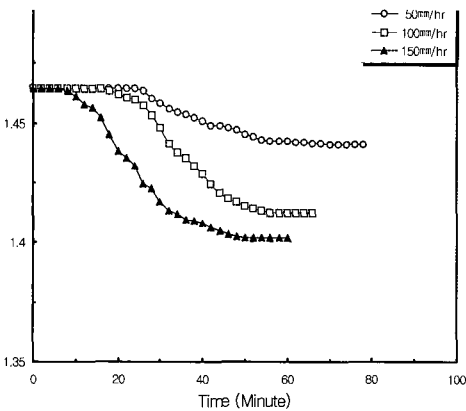


(b) SM

Fig. 12. Change of Shear strength (Gradient of slope =1:1.5)



(a) SP



(b) SM

Fig. 13. Change of Shear strength (Gradient of slope =1:2.0)

Table 5. The minimum Shear strength

Classification		Weathered Granite Soils	
Gradient of slope	Rainfall intensity (mm/hr)	SP	SM
1 : 1.0	50±5	1.088	1.448
	100±5	1.061	1.430
	150±5	1.033	1.410
1 : 1.5	50±5	1.055	1.426
	100±5	1.021	1.401
	150±5	1.013	1.389
1 : 2.0	50±5	1.069	1.069
	100±5	1.039	1.039
	150±5	1.022	1.022

Table 5는 SP, SM에 대한 사면의 최저 전단강도를 나타낸 것으로 SP의 경우 강우 전 1.105 t/m²의 전단강도를 보였으나 간극수압의 변화가 가장 컸던 사면 1:1.5와 강우강도 150mm/hr에서는 1.013t/m²로 나타났다. SM의 경우 강우 전 1.464t/m²의 전단강도를 보였으나 SP와 마찬가지로 간극수압의 변화가 가장 컸던 사면 1:1.5와 강우강도 150mm/hr에서는 1.389t/m²임을 알 수 있다.

위의 Table 5의 결과로부터 세립분이 증가할수록 투수계수가 작아지고 침투율이 작아짐에 따라 침투속도에 영향을 미치며, 간극수압이 더 작게 나타나기 때문에 세립분을 더 많이 함유하고 있는 SM은 SP에 비해 전단강도가 더 크게 나타나고 전단강도의 변화율도 더 작게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 14, 15는 사면경사와 강우강도에 따른 최저 전단강도의 변화를 비교 분석한 것이다.

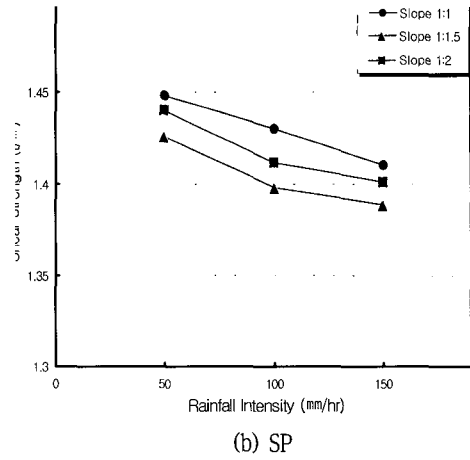
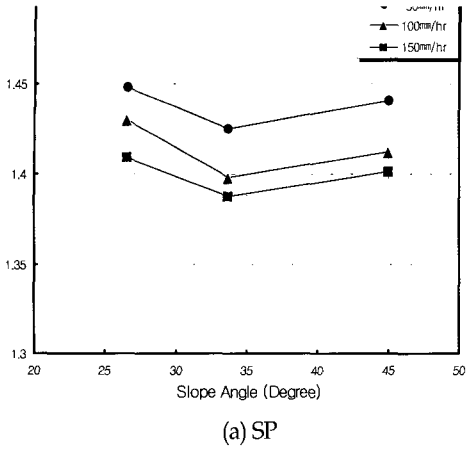


Fig. 15. Rainfall intensity vs. Minimum shear strength

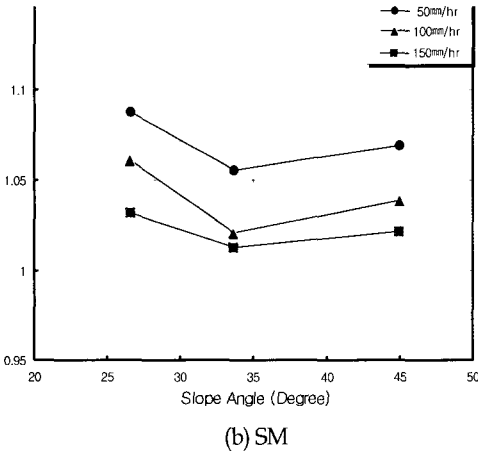
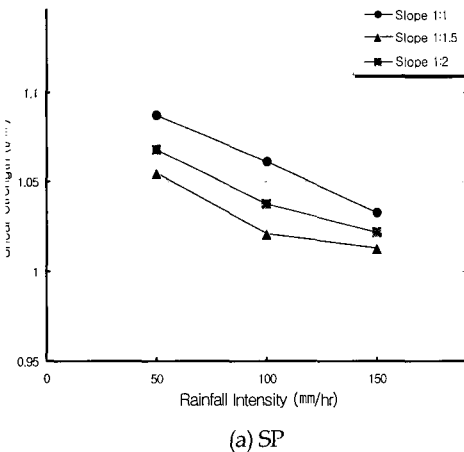


Fig. 14. Gradient of slope vs. Minimum shear strength



SP와 SM 모두 사면경사와 강우강도에 따른 전단강도의 변화는 비슷한 경향을 나타냈다. Fig. 14의 결과로부터 사면경사가 급해질수록 감소하다가 1:1.5에서 가장 낮은 전단강도를 보이며, 그 이상의 급경사에서는 사면내로 침투되는 물의 양보다 유출량이 더 많아 간극수압이 더 작은 값을 나타내므로 전단강도는 서서히 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 15에서 전단강도는 강우강도가 커질수록 저하되는 것을 뚜렷하게 나타내고 있다.

Table 6. Decrease rate of shear strength (%)

Classification		Rainfall intensity(mm/hr)		
		50±5	100±5	150±5
1:1.0	SP	1.53	3.91	6.51
	SM	1.11	2.34	3.71
1:1.5	SP	4.46	7.57	8.26
	SM	2.61	4.38	5.18
1:2.0	SP	3.21	5.97	7.47
	SM	1.63	3.56	4.28

Table 6은 초기 전단강도로부터 간극수압 상승으로 인한 전단강도의 감소율을 나타낸 것이다. 전단강도 감소율이 강우강도 150±5mm/hr일 때 강우강도 50±5 mm/hr일 때에 비해 SP는 1.85~4.25배 정도 크게 나타났고, SM은 1.98~3.34배 정도 더 크게 나타났다. 이는 동일한 비교를 했을 때 간극수압의 차이와 비슷한 수치를 보여 간극수압에 의해 전단강도가 저하됨을 알 수 있다.

결론

사면파괴의 가장 큰 요인이 되고 있는 강우에 의한 무한사면 침투양상과 간극수압 변화를 알아보기 위해 화강암질풍화토를 채취하여 실내모형실험을 실시하였다. 통일분류법(USCS)에 따라 SP와 SM으로 분류하고 사면경사강우강도에 따른 침투깊이의 분포와 간극수압, 전단강도 변화의 특성을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 간극수압은 강우강도가 클수록 증가하지만 사면경사 1:1.5에서 최대치를 나타내고 1:1.5이상의 급경사에서는 감소함을 알 수 있으며 SP는 SM에 비해 최대간극수압에 더 빨리 도달하는 것으로 나타났다.

2) 강우에 따른 침투속도는 강우강도가 클수록, 사면이 완만할수록 빨리 진행되며, Lumb의 이론치와 모형실험의 실측치를 비교한 결과 실측치가 더 빠른 것을 알 수 있다.

3) 세립분이 증가할수록 투수계수가 작아지고 침투율이 작아짐에 따라 침투속도에 영향을 주기 때문에 세립분을 더 많이 함유하고 있는 SM은 SP에 비해 전단강도가 더 크게 나타났다.

4) 사면내 전단강도는 강우강도가 크고 사면경사가 급할수록 저하되는 경향을 보였으나 1:1.5의 경사에서 가장 작은 전단강도를 보이는데, 전단강도 저하는 강우에 의한 간극수압 상승에서 기인됨을 알 수 있다.

사사

본 연구는 2002년도 조선대학교 교내학술연구비를 지원받아 연구되었으며 연구를 지원해 주신 학교당국에 감사드립니다. 또한, 본 논문을 심사하여 주신 심사위원님께 감사를 표합니다.

참고문헌

김영목, 1989, 강우시 무한사면의 침투거동, 동국대학교 대학원 박사학위논문.
 이선주, 2001, 강우시 사면의 침투거동에 관한 연구, 홍익대학교 대학원 석사학위논문
 이인모, 조우성, 김영옥, 성상규, 2003, 풍화토 사면에서 강우로 인한 간극수압 변화에 대한 실험연구, 한국지반공학회지, Vol.19, No.1, pp.41~49.
 Fredlund, D. G., Morgenstern, N. R., 1977, Stress

State Variables for Unsaturated Soils, ASCE, Vol.113, No.GT103, pp.447- 464.
 Fredlund, D. G., Morgenstern, N. R., Widger, A., 1978, Shear Strength of Unsaturated Soils, Can., Geotech. J., Vol.15, No.3, pp.313~321.
 Fredlund, D. G., Xing, A., Huang, S., 1994, Predicting of Permeability function for Unsaturated Soils using the Soil-water Characteristic curve, Can., Geotech. J., Vol.31, pp.533~546.
 Lumb, L., 1975, Slope Failures in Hong Kong, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.8, pp.31~65.
 Tsaparas, I., Rahardjo, H., Toll, D. G., Leong, E. C., 2002, Controlling Parameters for Rainfall-induced Landslides, Computer and Geotechnics, Vol.29, pp.1~27.

투 고 일 2004년 10월 22일
 심 사 일 2004년 10월 23일
 심사완료일 2004년 12월 1일

심태섭
 조선대학교 토목공학과
 501-759 광주광역시 동구 서석동 375
 Tel: 062-230-7085
 Fax: 062-230-7083
 E-mail: tssim@mail.chosun.ac.kr

김선학
 조선대학교 토목공학과
 501-759 광주광역시 동구 서석동 375
 Tel: 062-230-7093
 Fax: 062-230-7083
 E-mail: sun93k@naver.com

기완서
 조선이공대학 토목건설과
 501-744 광주광역시 동구 서석동 290
 Tel: 062-230-8662
 Fax: 062-230-8677
 E-mail: wski@mail.chosun-c.ac.kr

주승완
서강정보대학 건설환경과
500-742 광주광역시 북구 운암동 789-1
Tel: 062-520-5198
Fax: 062-520-5198
E-mail: swjoo@seokang.ac.kr