

강우사상을 고려한 화강풍화토 비탈면의 안정성 평가 Evaluation of Stability of Slope with Granite Weathered Soil considering Rainfall Events

김규형^{a,1}, 황의필^b, 이강일^{c*}

Gyu-Hyeong Kim^{a,1}, Eui-Pil Hwang^b, Kang-Il Lee^{c,*}

^a Department of Civil and Environmental Engineering, Daejin University, Gyeonggi-do, 11159, Republic of Korea

^b Department of Civil and Environmental Engineering, Daejin University, Gyeonggi-do, 11159, Republic of Korea

^c Department of Civil Engineering, Daejin University, Gyeonggi-do, 11159, Republic of Korea

ABSTRACT

Purpose: This study conducted a slope stability study considering changes in the ground water level due to rain phenomena and the duration of rainfall, that is for the purpose of analyzing the stability of the slope surface of the cut section, seepage numerical analysis is performed by height of slope and rainfall accident, and the characteristics of rainfall was applied reasonably in order to determine the slope change during rain by analyzing rainfall and rainfall pattern due to climate change.

Results: As a result of numerical analysis of stability for slope composed of the granite weathered soils according to the characteristics of rainfall(Uniform Rainfall, US Army Corps., Huff's method - 1/4, 4/4),

Conclusion: The higher the slope, the smaller the safety factor of the slope, the smaller the elevation of the ground water level as the rainwater seepage does not reach the underground water level. In addition, the ground water level was assessed to be rose significantly in condition of case 3 Huff's method - 1/4, rain pattern with the largest initial rainfall duration, and the safety factor was analyzed to be small.

KEYWORDS

Slope stability,
Rainfall pattern,
Safety factor,
Rainfall intensity,
Weathered soil

연구목적 : 본 연구는 기후변화에 따른 강우량 및 강우패턴을 분석하여 강우시 비탈면 거동을 파악하기 위해 강우사상을 합리적으로 적용하여 절토부 비탈면 안정성해석에 활용하고자 수치해석기법을 이용하여 비탈면 높이별, 강우사상별 침투해석을 실시하여 강우사상 및 강우지속시간에 따른 지하수위 변화를 고려한 비탈면 안정성검토를 실시하였다.

연구결과 : 강우사상(Uniform Rainfall, US Army Corps., Huff 4분위법 중 1/4법 및 4/4법)에 따른 화강풍화토 비탈면의 수치해석결과 비탈면이 높을수록 침투된 강우가 지하수위까지 빠르게 도달하지 못하여 지하수위 상승은 작아지고, 비탈면의 안전율도 작게 분석되었다.

결론 : 초기강우강도가 제일 큰 강우패턴 Case 3조건인 Huff 4분위법 중 1/4법에서 지하수위 상승량이 제일 크게 나타났으며, 안전율은 가장 작게 나타났다.

사면안정,
강우양상,
안전율,
강우강도,
풍화토

© 2018 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-31-539-2024. Fax. 82-31-539-2020.

Email. kilee@daejin.ac.kr

1 Tel. 82-31-539-2024. Email. khhh9663@naver.com

ARTICLE HISTORY

Received Oct. 27, 2018

Revised Nov. 1, 2018

Accepted Dec. 3, 2018

1. 서론

강우사상은 지속시간에 따른 강우량의 패턴을 의미하는 것으로 각종 토목구조물을 설계하는데 고려되는 중요한 요소이다. 강우사상이 비탈면에 미치는 영향은 절대적이며, 이는 대다수의 비탈면 파괴의 원인이 강우라는 사실로부터 알 수 있다. 특히 비탈면의 파괴는 비탈면의 토질 특성만이 아니라 침투특성(침투깊이와 강우특성)에 따라서 복합적으로 발생하기 때문에 비탈면의 안정성 평가시 지속시간에 따른 강우침투를 고려한 접근이 필요하다. 현재 강우를 고려한 침투해석은 강우의 특성에 따른 지하수위의 변동 특성을 파악하기 위함이며, 이러한 지하수의 변동특성으로 인하여 비탈면파괴의 형태의 차이가 발생하게 된다. 이러한 강우특성을 고려한 침투해석을 수행하기 위해서는 강우사상의 이해가 필수적이나 본래 강우의 시간적 분포를 합성 형태로 나타내기는 매우 어렵고 극한 조건을 가정하여 해석하고 있으며 이와 관련된 많은 학자들의 연구가 이루어지고 있다.

국내 연구 중 Hong et al.(1990)은 전국을 대상으로 1977년부터 1987년 사이에 발생한 비탈면파괴 자료분석을 통하여 누적 강우량, 파괴 일일 강우량, 그리고 최대 강우강도의 영향 등에 대해 연구하였으며, Kim and Kim(1991)은 강우로 인한 산사태발생 메커니즘에 관한 연구에서 침투해석을 수행하는 단계적 침투-응력 해석을 수행하였다. Ryu(1997)는 비탈면내의 중력효과로 인해 불포화 지반의 연직흐름과 간극수압의 상승의 원인에 대한 연구를 수행하였다. 또한 Cho and Lee(2000)은 국내 토사비탈면의 불포화 거동특성을 확인하고자 수치해석기법과 침투해석에 대한 수정 간략법을 제안하기도 하였다. 또한 Kim et al.(2013)은 배수기능을 겸한 상향식 쏘일네일로 보강한 지반의 경우 무 보강지반에 비해 지하수위 상승이 매우 완만하고 일정 시간이 경과 한 후 더 이상 증가하지 않는다는 연구결과를 제시하였다.

국외의 연구로는 Nilson and Tumor(1975)는 캘리포니아 Contra costa country 지방에서 1959년~1971년까지 25mm 이상의 강우가 존재한 강우량과 그 이전의 선행 강우량과의 관계로부터 선행 강우량이 비탈면붕괴 횟수에 밀접한 관계가 있음을 규명하였으며, Yagi and Yatabe(1987)는 일본지역의 경우 선행 7일 누적강우량이 큰 경우 작은 강우에도 붕괴 될 수 있음을 밝히고 있다. Lumb(1975)는 집중호우 강우로 인한 직접적인 침투가 파괴의 주된 원인이었으며, 붕괴 당시의 일 강우량뿐만 아니라 선행 강우량의 크기에 중요한 영향을 받고 있다고 주장하였다. 그러나 그 후 Brand and Phillipson(1984)는 비탈면붕괴 당시 시간당 강우강도의 크기가 지배적인 조건임을 발표하였다. 또한 Fredlund et al.(1994, b)는 집중호우 강우발생시 지중침투수에 의한 간극수압의 상승, 표면유수에 의한 침식 및 흙의 포화로 인한 비탈면활동 토층의 단위중량 증가 등에 의해 비탈면을 붕괴시키려는 활동력은 증가되고 비탈면붕괴에 저항하려는 저항력은 감소되어 비탈면의 안정성은 저하된다고 하였다.

본 연구는 강우 발생기간 동안의 강우량 및 강우패턴이 비탈면 거동에 미치는 영향을 분석하기 위해서 수치해석기법을 이용하여 비탈면 높이별, 강우사상별 침투해석을 실시하여 강우사상 및 강우지속시간에 따른 지하수위 변화를 고려한 비탈면 안정검토를 실시하였다. 강우자료는 서울 기상관측소의 20년간 일강우량 자료를 기초로 극한강우조건을 이용하여 강우조건은 시간적 영향을 고려하지 않는 방법(Uniform rainfall)과 시간적 분포에 따른 영향을 고려하는 방법(US Army Corps of Engineers의 방법, Rainfall 4분위법)을 적용하였다. 해석 비탈면 단면은 4가지 형태의 비탈면 높이(10m, 15m, 20m, 25m)로 모델링하여 침투해석과 한계평형해석을 실시하여 강우지속시간별 지하수위 변화와 비탈면의 안전율 변화를 분석하였다. 이와 같이 본 연구에서는 다양한 형태의 강우사상 조건을 고려하여 수치해석기법을 통해 강우가 비탈면 거동에 미치는 영향을 분석하고, 합리적인 비탈면 안정해석 방향을 제시하였다.

2. 강우사상 이론

강우사상은 지속시간에 따른 강우량의 패턴을 의미하는 말로써 각종 토목구조물을 설계하는데 고려되는 중요한 요소이다. 비탈면의 강우사상이 미치는 영향은 절대적이며, 이는 대다수의 비탈면파괴의 원인이 강우라는 사실로부터 알 수 있다. 특히 비탈면의 파괴는 비탈면 내의 지질 특성만이 아니라 침투특성(지반의 침투깊이와 강우특성)에 따라서 복합적으로 발생하기 때문에 비탈면 안정성 평가시 지속시간에 따른 강우침투를 고려한 접근이 필요하다. 현재 강우를 고려한 침투해석은 강우의 특성에 따른 지하수위의 변동 특성을 파악하기 위함이며, 이러한 지하수의 변동특성으로 인하여 비탈면파괴의 형태의 차이가 발생하게 된다. 강우사상이론에는 Uniform Rainfall 방법, US army Corps of Engineers 방법, Huff 방법 등이 있으며

현재 국내에서는 Uniform Rainfall 방법으로 침투해석을 실시하여 지하수위 상승위치를 찾아서 설계를 진행하고 있다.

2.1 Uniform Rainfall

Fig. 1은 시간적인 영향을 고려하지 않는 강우사상으로 6시간 지속 총강우량 300mm인 경우에 대한 강우강도는 50mm/hr (300mm/6hr)이며, 일반적으로 설계시에 적용하는 강우의 패턴이 일정한 형태의 강우패턴이다.

2.2 US Army Corps of Engineers의 방법(1965)

Fig. 2는 6시간 지속 총강우량 300mm인 경우 강우강도는 50mm/hr (300mm/6hr)이며, US Army Corps of Engineers에서 제시하는 방법을 이용한 강우조건은 다음과 같다.

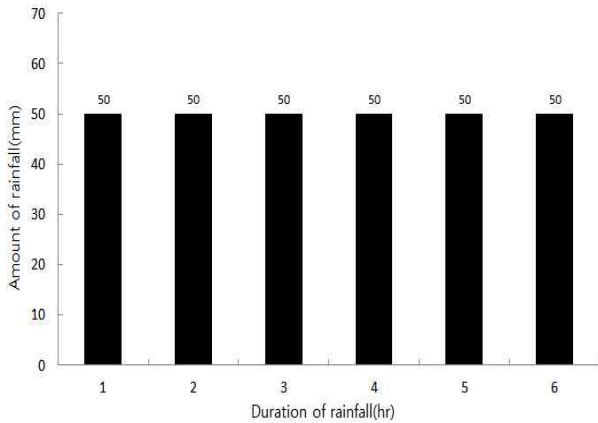


Fig. 1. Rainfall conditions on Uniform Rainfall

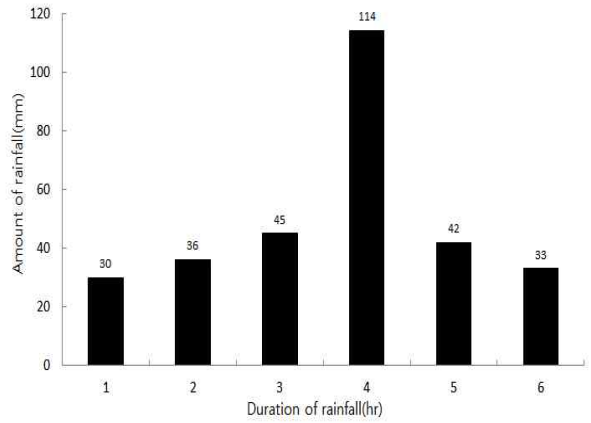


Fig. 2. Rainfall conditions on US Army Corps of Engineers

2.3 Huff 4분위법(1967)

Huff의 4분위법은 시간적 분포에 따른 영향을 고려하는 강우 적용 방법으로 누가강우량 곡선을 이용하여 지속시간을 4개의 구간으로 나누고 구간 중 최대 누가우량을 선별하여 총 4개의 분위로 구분하여 적용한다. 분류된 분위별로 무차원 강우지속시간비와 무차원 강우량비로 환산하여 무차원 지속시간비에 대응하는 무차원 강우량의 발생확률을 계산하며, 각 구간별 확률계산시 무차원 지속시간은 10개의 구간으로 분할하고, 10개의 각 구간별 확률로 무차원 누가곡선을 작성한다. Fig. 3, 4는 6시간 지속 총강우량이 300mm인 경우 강우강도 50mm/hr (300mm/6hr)에 대한 Huff 4분위의 강우강도 중 Huff의 1/4분위 및 4/4분위법을 나타내었다.

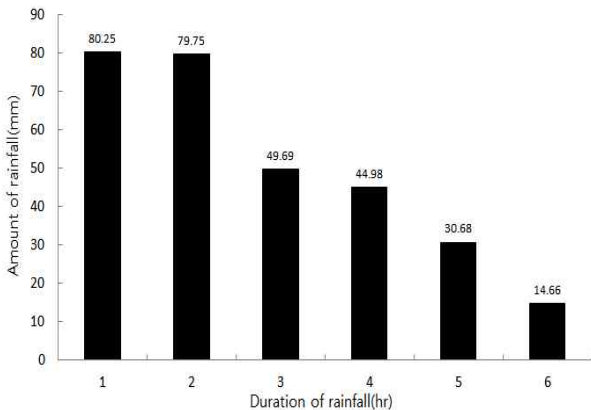


Fig. 3. Rainfall conditions on Huff's 1/4 method

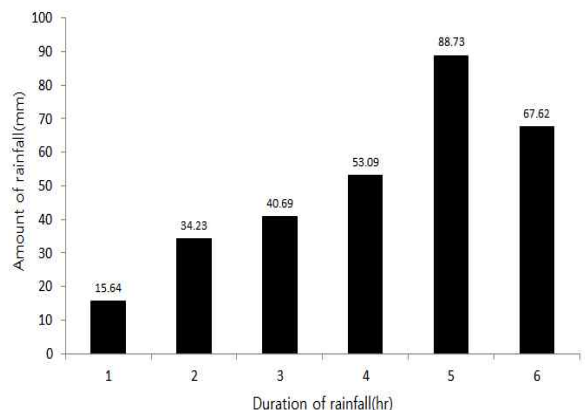


Fig. 4. Rainfall conditions on Huff's 4/4 method

3. 해석조건

3.1 해석단면

비탈면의 안정 해석단면은 강우에 의한 지하수위 변화를 고려하기 위해 땅깍기 비탈면은 국내의 건설비탈면 설계기준에서 제시하고 있는 표준단면도를 적용하였으며 이때 표준기울기는 1:1.5를 적용하고 5m마다 1m의 소단을 적용하였다. 또한 비탈면의 높이는 10m, 15m, 20m, 25m인 4단면에 대하여 지하수위 변화에 따른 안정성 평가를 실시하였다. Fig. 5는 비탈면의 높이가 15m인 경우의 안정 해석단면 및 침투해석에 대한 대표 단면을 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에서 제시한 GW-1~GW-6은 수치해석시 지하수위 측정 위치를 나타낸 것이다.

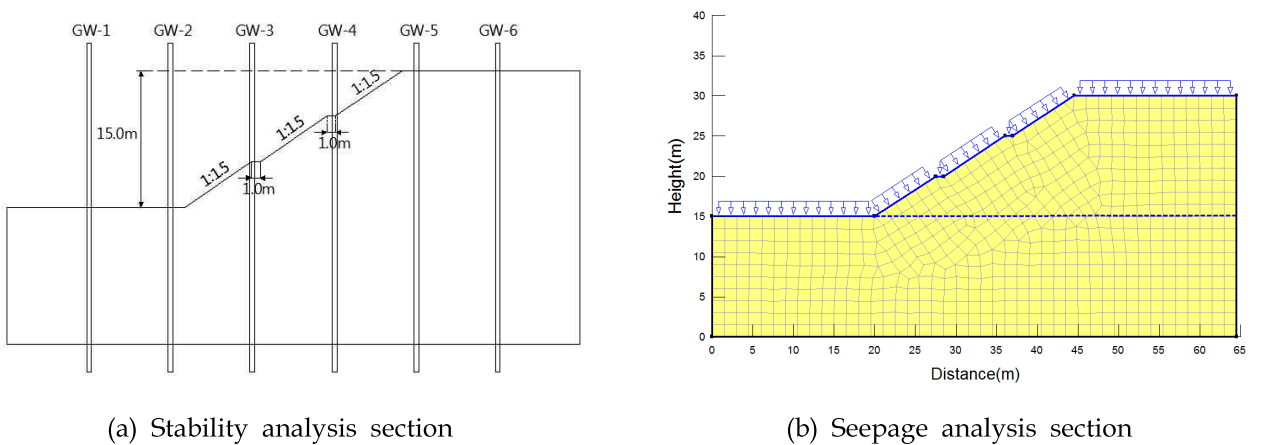


Fig. 5. Stability and seepage analysis section(Slope height H=15m)

3.2 강우강도

침투해석을 위한 강우강도는 극한강도 조건일 경우를 가정하였으며 이때 강우량을 6시간동안 총 300mm가 내렸을 경우를 가정하여 해석에 적용하였다. 따라서 강우지속시간은 실제 발생한 강우강도와 동일하게 6시간 동안 연속적으로 분사하는 것으로 모델링하였다. 본 연구에서 적용한 강우사상은 앞서서도 언급한바와 같이 크게 시간적 영향을 고려하지 않는 방법과 시간적 분포에 따른 영향을 고려하는 방법으로 다음의 Table 1과 같다. 본 연구에서는 Uniform Rainfall, US Army Corps., Huff 4분위법 중 1/4법 및 4/4법인 4가지 경우를 적용하여 침투해석을 실시하였다.

Table 1. Application method of rainfall event condition

Rainfall event condition	Application method of rainfall event	Note
None time-dependent case	Uniform rainfall method	Case 1
Time-dependent case	US Army Corps of engineers method	Case 2
	Huff's 1/4 method	Case 3
	Huff's 4/4 method	Case 4

3.3 불포화토 함수특성곡선(SWCC)

흙의 함수특성곡선(SWCC)은 함수비와 흙의 흡인력 또는 응력상태 변수와의 관계로 정의된다. 본 연구에 적용한 함수특성곡선은 보편적인 화강풍화토 흙의 입도분포곡선과 기본물성 시험결과를 이용하여 SWCC를 결정하였다. 또한 투수계수

함수는 함수특성곡선(Soil-Water Characteristic Curve, SWCC)를 Fredlund and Xing(1994, a)이 제안한 통계적 모델을 적용하여 결정하였으며 그 결과는 Fig. 6과 같다.

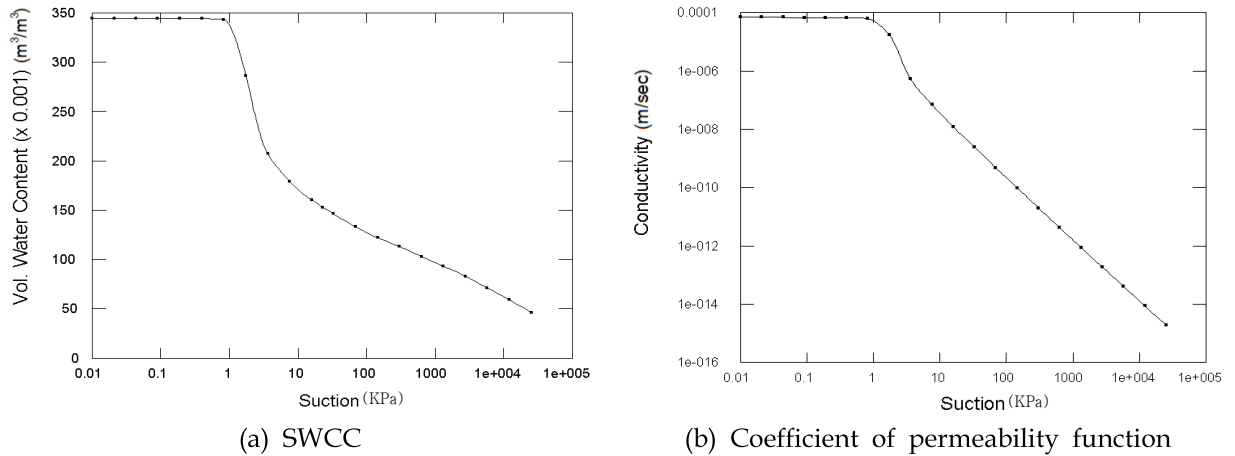


Fig. 6. SWCC and coefficient of permeability function using numerical analysis

3.4 지반강도정수

한계평형해석에 의한 비탈면의 안정성 검토는 토사(화강풍화토) 지반에 대하여 실시하는 것이 일반적이므로 본 연구에서는 대상지반을 화강풍화토 지반으로 가정하여 비탈면 안정성 검토를 실시하였다. 비탈면 안정해석에 적용된 화강풍화토 비탈면의 지반강도정수는 포천지역의 화강풍화토의 특성 및 직접전단시험 등을 실시하여 결정하였으며 적용된 지반강도정수는 Table 2와 같다.

Table 2. Soil properties of granite weathered soil applied to slope stability analysis

Soil properties	Unit weight(kN/m ³)	Cohesion(kN/m ²)	Friction angle(°)
Granite weathered soils	19	15	30

4. 해석결과 및 분석

강우사상을 고려한 비탈면 높이별 비탈면 안정해석을 위해서 Geo-Slope사의 유한요소 침투해석 프로그램인 SEEP/W와 한계평형법에 의한 비탈면 안정해석 프로그램인 Slope/W를 사용하였으며 침투해석으로부터 결정된 우기시 최대 지하수위 조건을 4개의 해석단면에 적용하여 한계평형해석을 통한 안전율을 평가하였다.

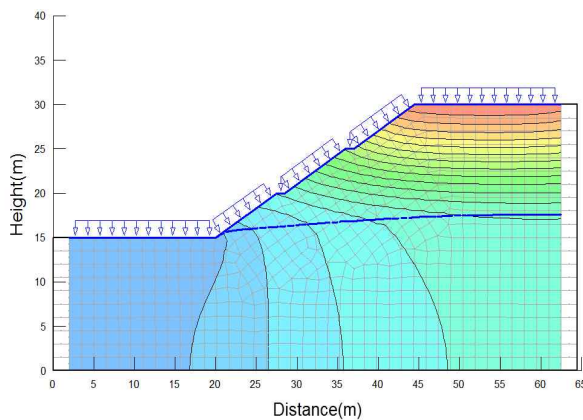
4.1 침투해석 결과 분석

Table 3은 각 비탈면 높이별로 강우사상에 따른 4가지 경우에 대하여 침투해석을 통해서 얻은 지하수위 변화를 나타낸 것이며 Fig. 7은 침투해석 결과에 대한 벡터량 및 지하수위 변화량을 대표적으로 Case3인 경우에 대하여 나타내었다. 침투해석결과, 동일한 비탈면(높이, 투수특성 등) 조건에서 강우사상별 최대 지하수위는 유사한 상승량을 보이고 있으나, 강우사상(Uniform Rainfall, US Army Corps., Huff 4분위법 중 1/4법 및 4/4법)에 따른 지하수위 상승량은 Case3, Case2, Case4, Case1순으로 나타났으며 그 중 초기 강우강도가 제일 큰 Huff의 1/4법(Case 3)에서 지하수위 상승량이 가장 크고

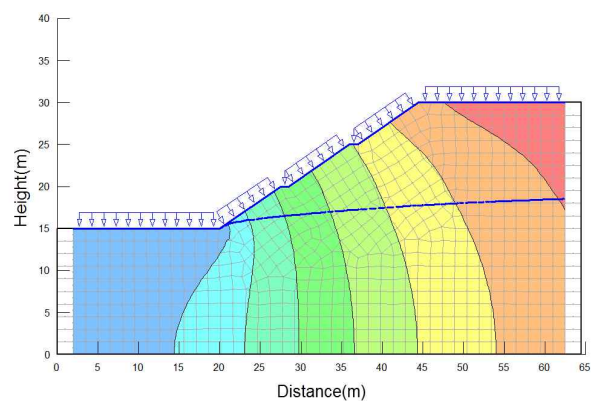
균등한 강우강도를 갖는 Case1이 가장 지하수위 상승량이 적게 나타났다. 또한 강우사상에 따른 지하수위는 비탈면 높이가 높을수록 지하수위 상승량이 적은 것으로 나타났다. 이는 비탈면이 높을수록 비탈면 표면에 침투된 강우가 지하수위까지 빠르게 도달하여 많은 양의 강우를 공급하지 못하는 반면 비탈면이 낮은 경우에는 침투된 강우가 지하수위에 빠르게 공급되어 지하수위 상승에 기인하기 때문으로 판단된다.

Table 3. Comparison of maximum groundwater level by each location according to rainfall condition

Analysis condition		Rainfall	H.G.W.L	Duration
			GW-3~GW-6	
Seepage analysis	Slop height H=10m	Case 1	2.914m ~ 4.144m	4hr ~ 6hr
		Case 2	2.925m ~ 4.297m	
		Case 3	2.954m ~ 4.318m	
		Case 4	2.924m ~ 4.254m	
	Slop height H=15m	Case 1	1.405m ~ 2.745m	4hr ~ 6hr
		Case 2	1.416m ~ 2.899m	
		Case 3	1.421m ~ 2.945m	
		Case 4	1.411m ~ 2.931m	
	Slop height H=20m	Case 1	1.317m ~ 1.924m	4hr ~ 6hr
		Case 2	1.354m ~ 1.918m	
		Case 3	1.365m ~ 1.937m	
		Case 4	1.321m ~ 1.932m	
	Slope height H=25m	Case 1	1.221m ~ 1.625m	4hr ~ 6hr
		Case 2	1.246m ~ 1.632m	
		Case 3	1.261m ~ 1.642m	
		Case 4	1.240m ~ 1.629m	



(a) Duration = 1hr



(b) Duration = 6hr

Fig. 7. Seepage analysis result(Slope height H=15m, Case3)

4.2 비탈면 안전을 분석

강우사상별 침투해석을 통해 결정된 지하수위를 연동하여 비탈면 안정해석을 실시하였으며, 강우사상(Uniform Rainfall, US Army Corps., Huff 4분위법 중 1/4법 및 4/4법)에 따른 지하수위가 비탈면안정에 미치는 영향을 분석하였다. 강우사상

이 적용한 비탈면 안정해석은 화강풍화토의 지반강도정수를 적용하여 우기시의 비탈면의 안정 상태를 평가하였다. 또한, 각 강우사상이 발생하는 동안 지하수위 변화에 따른 안전율의 변화를 관찰하기 위해 강우지속시간 1시간 단위로 지하수위를 평가하고, 이 때 비탈면의 안전율 변화를 분석하였으며, 그 결과는 Table 4 및 Fig. 8~Fig. 11과 같다.

Table 4. Safety factor of slope according to rainfall condition

Analysis condition		Rainfall	H.G.W.L	Safety factors
			GW-3~GW-6	
Slop stability	Slop height H=10m	Case 1	2.914m~4.144m	1.889~1.891
		Case 2	2.925m~4.297m	1.875~1.882
		Case 3	2.954m~4.318m	1.872~1.879
		Case 4	2.924m~4.254m	1.880~1.891
	Slop height H=15m	Case 1	1.405m~2.745m	1.650~1.661
		Case 2	1.416m~2.899m	1.641~1.650
		Case 3	1.421m~2.945m	1.638~1.648
		Case 4	1.411m~2.931m	1.640~1.649
	Slop height H=20m	Case 1	1.317m~1.924m	1.495~1.513
		Case 2	1.354m~1.918m	1.494~1.501
		Case 3	1.365m~1.937m	1.490~1.497
		Case 4	1.321m~1.932m	1.494~1.503
	Slop height H=25m	Case 1	1.221m~1.625m	1.398~1.402
		Case 2	1.246m~1.632m	1.393~1.395
		Case 3	1.261m~1.642m	1.392~1.394
		Case 4	1.240m~1.629m	1.396~1.397

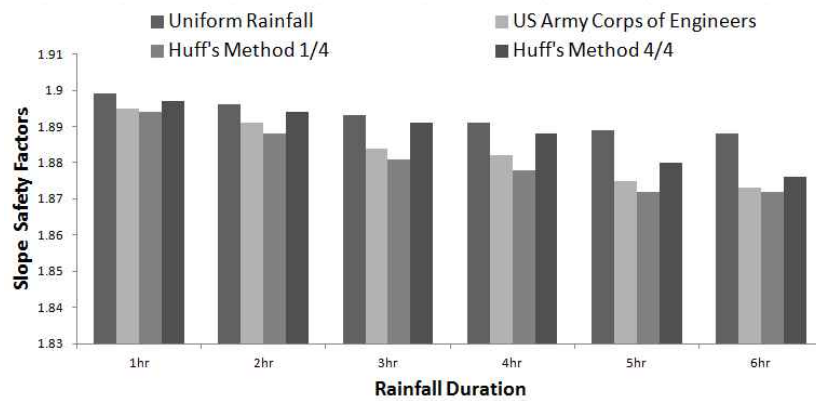


Fig. 8. Comparison of safety factors by rainfall duration(H=10m)

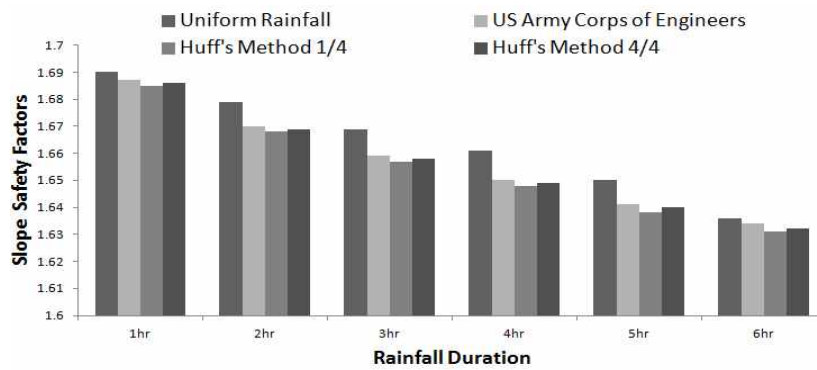


Fig. 9. Comparison of safety factors by rainfall duration(H=15m)

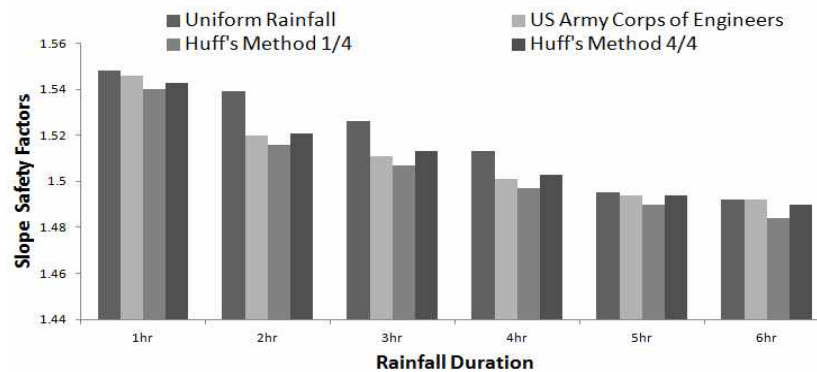


Fig. 10. Comparison of safety factors by rainfall duration(H=20m)

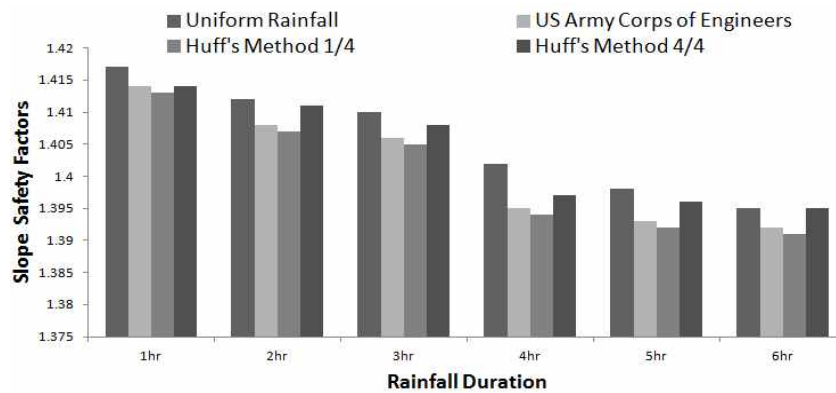


Fig. 11. Comparison of safety factors by rainfall duration(H=25m)

강우사상별 비탈면 안정해석결과, 동일한 단면크기의 비탈면에서 침투해석에 의한 지하수위가 유사하므로 비탈면 안전율도 유사한 경향을 보이고 있으나, 강우사상에 따른 화강풍화도 비탈면 안전율은 초기 강우강도가 제일 큰 강우패턴인 Huff의 1/4법(Case 3)에서 안전율이 가장 작게 분석되었다. 이는 초기 강우강도가 크면 지하수위에 빠르게 공급되어 지하수위 상승량이 커지면서 비탈면내 간극수압의 증가로 비탈면 안전율은 작아지는 경향을 나타낸 것으로 보인다. 그리고 동일한 강우량 및 강우지속시간에서 비탈면이 높을수록 비탈면 표면에 침투된 강우가 지하수위까지 빠르게 도달하여 많은 양의 강우를 공급하지 못하는 반면 비탈면이 낮은 경우에는 침투된 강우가 지하수위에 빠르게 공급되어 지하수위가 상승하고, 안전율은 작아

지는 것을 알 수 있었다. 따라서, 강우사상에 따른 지하수위 상승량이 커지면 비탈면내 간극수압이 증가하여 비탈면 안전율은 작아지는 경향을 보였다.

이러한 결과에 비추어 비탈면의 안전율에 큰 차이를 나타내는 수치적인 차이는 아니지만 현재 설계에서 적용하고 있는 강우강도가 균등한 방법보다는 초기 강우강도가 가장 큰 Huff의 1/4방법에서 안전율이 가장 작다는 것은 초기 강우강도가 비탈면의 안전율에 매우 중요한 영향을 미치고 있는 것으로 판단되므로 설계시 시간에 따른 강우사상이 급변할 경우 이러한 영향을 고려하여 비탈면의 최대 지하수위를 결정하여 우기시 조건에 대하여 안전율 평가에 반영할 필요가 있다고 판단된다.

5. 결론

본 연구는 우기시 강우사상에 따른 화강풍화토 비탈면에 대하여 수치해석을 통해 지하수위 변화를 고려한 안정성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 강우사상에 따른 지하수위는 초기 강우강도가 제일 큰 Huff의 1/4(Case 3), US Army Corps.(Case 2), Huff의 4/4법(Case 4), Uniform Rainfall(Case 1) 순으로 지하수위 상승량은 가장 크게 나타났고, 안전율은 가장 작게 분석되었다.

(2) 비탈면의 높이 변화에 따른 강우사상별 지하수위 상승량 및 안전율은 비탈면의 높이와는 연관성이 없는 것으로 분석되었다.

(3) 강우강도가 균등한 경우보다 초기 강우강도가 큰 경우에서 안전율이 가장 작게 나타난 것으로 평가해 볼 때 비탈면의 안전율은 초기 강우강도에 크게 의존하고 있는 것으로 판단되므로 설계시 이러한 조건을 반영할 필요가 있다.

References

- [1] Brand, E.W., Phillipson, H.B, (1984), "Relationship between Rainfall and Landslides in Hong Kong", Proceedings of the Forth International Symposium on Landslides, Toronto, Vol.1.
- [2] Cho, Sung-Eun, Lee, Seung-Rae(2000), "Slope Stability Analysis of Unsaturated Soil Slopes Due to Rainfall Infiltration", Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol.16, No.1, pp.51~64.
- [3] Fredlund, D. G. and Xing, A.(1994,a), "Equation for the Soil-Water Characteristic Curve", Canadian Geotechnical Journal, Vol.31, pp.521~532.
- [4] Fredlund, D. G., Xing, A. and Huang, S.(1994,b), "Predicting the Permeability Function for Unsaturated Soils using the Soil-Water Characteristic Curve", Canadian Geotechnical Journal, Vol.31, pp.533~546.
- [5] Hong, Won-Pyo, Kim, Sang-Kyu, Kim, Maria, Kim, Yeon-Won, Han, Jung-Geun(1990), "Prediction of Rainfall-triggered Landslides in Korea", Journal of the Engineering Geology, Vol.6, No.2, pp.53~63.
- [6] Kim, S. G. and Kim, Y. M. (1991), "Slope Instability due to Rainfall", Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol.7, No.1, pp.53~64.
- [7] Kim, Young-Nam, Chae, Yong-Su, Lee, Kang-Il(2013), "Experimental Study of Down-Scaled Model Slope on the Variation of the Ground Water Level of Drainable Soil Nailing, Journal of the Korean Geosynthetics Society, Vol.12, No.1, pp.39~50.
- [8] Lumb P.(1975), "Slope Failures in Hong Kong", Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol.8, pp.31~65.
- [9] Nilson, T. H., and Tumor, B. L.,(1975), "Influence of Rainfall and Ancient Landslide Deposit on Recent Landslides(1959-1971) in Urban Area of Contra Costa County", Col USGS Bull., 1388, pp.1~18
- [10] Ryu, Chi-Hyob(1997), " Characteristics of Permeability and Shear Strength of Unsaturated Weathered Granite Soils, Ph.D Thesis, Dan-Kuk University, pp.205.
- [11] Yagi, N. and Yatabe, R. (1987), "Prediction Method of Slope Failure in Sandy Soil due to Rainfall", Proc., 8th Asian Regional Conf., Soil Mechnics and Foundation Engineering, 1, pp.217~220