

A Study on Range of Cut Slope Stability Analysis Due to Upper Natural Slope Angle Variation

Jin Hwan Kim[#], Wan Kyu Yoo⁺

Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, Korea

Abstract

Because of very mountainous topography features in Korea, cutting slope tends to be generated during the construction of road, railroad and the building structure. A natural slope is usually on the top of cutting slope created during construction. As for evaluating the stability of cutting slope, the effect of a natural slope on slope stability has not yet much been studied. This study thus is intended to review the safety of natural slope on cutting slope that may vary depending on slope and analysis scope and then seeks the way of incorporating it into stability analysis. A stability analysis was conducted on a simple model assumption while adjusting the slope and analysis scope in a bid to evaluate the effect of natural slope pattern on slope stability. Consequently, a certain part of natural slope should be included to adequately estimate the safety level of cutting slope. This study suggests that at least 12m should be included for sandy soil slope in the scope of stability analysis, while 18m for cohesive soil slope.

Key words: Cut slope, Upper natural slope, Range of slope stability analysis, Factor of safety

1. 서론

산지가 많이 분포하고 있는 우리나라에서는 도시 간을 연결하는 도로, 철도 건설과 관련하여 많은 터널과 비탈면이 생성되게 된다. 설계 과정에서 터널 또는 비탈면의 결정은 공사비, 시공여건 등을 고려하여 결정하게 된다. <Figure 1> (a)에서는 산지 지형을 간략히 묘사하였다. (a)와 같은 지형에 도로, 철도 등을 건설할 경우에는 (b)와 같이 터널을 굴착하거나 (c)와 같이 산

지를 깎아 비탈면을 형성할 수 있다. 터널과 비탈면의 결정은 여러 가지 조건을 검토하여 결정하게 된다. 터널 또는 비탈면 공사를 위해서는 설계 단계에서 안정성을 확보할 수 있도록 안정해석을 수행하고 기준 안전율이 확보되지 않은 경우에는 보강공법을 적용하여 안정성을 확보하게 된다.

비탈면 공사를 위해서는 비탈면이 조성되었을 경우를 고려하여 설계단계에서 안정해석을 수행하게 되며 비탈면 안정해석과 관련해서는 현재까지 많은 연구내

[#] The 1st author: Jin Hwan Kim, Tel. +82-31-910-0099, Fax. +82-31-910-0561, e-mail. goethite@kict.re.kr

⁺ Corresponding author: Wan Kyu Yoo, Tel. +82-31-995-0877, e-mail. lyy5553@kict.re.kr

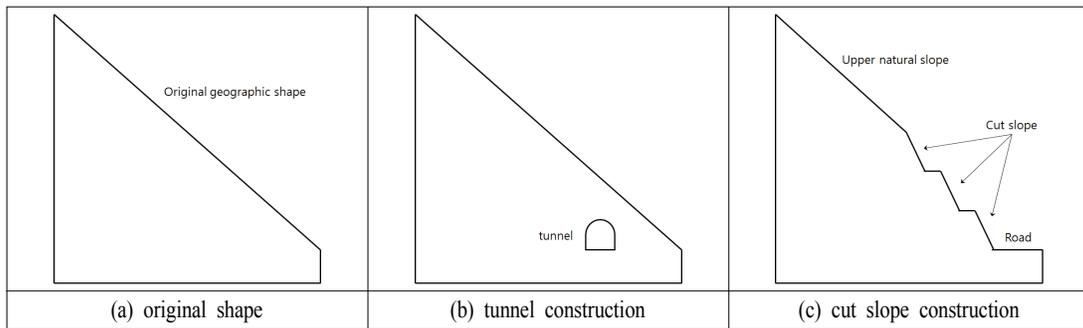


Figure 1. Road construction types of mountainous topography

용이 보고되고 있다. Park, *et. al.*(2010)은 사면안전율에 영향을 미칠 수 있는 다양한 영향인자 중 깎기비탈면에서는 점착력, 내부마찰각, 단위중량 등이 건기조건이 우기조건에 비해서 비탈면 안정성에 미치는 영향 더 크며 지하수위변화는 쌓기비탈면보다 깎기비탈면에서 안전율에 미치는 영향이 크게 나타남을 민감도 분석을 통해 밝힌 바 있다. 사면의 안전율에 관해서 중요한 영향인자인 지하수위(강우) 조건에 대한 연구는 많은 연구자에 의해 연구되고 있으며 강도정수, 사면의 한계절취고, 사면의 높이 및 경사 등의 기하학적 형상이 사면의 안전성 및 안전율에 미치는 영향에 대한 연구도 다수 보고된 바 있다(Baek, *et. al.*, 2005; Han, *et. al.*, 2011; Kim, 2010; Kim, *et. al.*, 2007; La & Kim, 2010; Lee & Kim, 2009; Park, *et. al.*, 2013; Son, 2006; Song & Hong, 2011). 특히 Park, *et. al.*(2015)은 사면의 높이가 사면안전율 변화에 미치는 영향을 다양한 해석조건을 통하여 분석하였으며 사면높이와 안전율의 관계에 대해서 $F_s = 3.86H^{-0.59}$ 의 감소비 관계를 제시한 바 있다. 이와 같이 사면의 안전율은 가장 대표적인 영향인자인 강도정수, 지하수위 조건, 사면 경사뿐만 아니라 사면의 높이 등에도 영향을 받는 것으로 보고되고 있다.

깎기비탈면에 대한 안정해석을 수행할 때에는 건설공사를 통하여 형성되는 비탈면 구간과 상부 자연사면(〈Figure 2〉에 나타낸 상부 자연사면의 A, B, C 구간)을 포함하여 안정해석을 수행하게 된다. 하지만 아직까지 상부 자연사면의 포함 범위에 대한 명확한 규정은 마련되어 있지 않은 실정이므로 안정해석을 실시하는

기술자 또는 연구자의 판단에 따라 해석의 범위를 결정하게 된다. Lee, *et. al.*(2004)에 따르면 깎기비탈면의 상부 자연사면 경사의 변화가 사면의 안전율에 미치는 영향을 파악하고자 상부 자연사면의 경사, 깎기비탈면의 경사 등의 조건을 달리하여 안정해석을 실시하였고 상부 자연사면 경사가 $0^\circ \sim 30^\circ$ 로 증가함에 따라 안전율이 선형적으로 감소하는 경향을 나타내는 것으로 보고된 바 있다. 하지만 아직까지 상부 자연사면의 포함범위에 따른 안전율의 변화에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

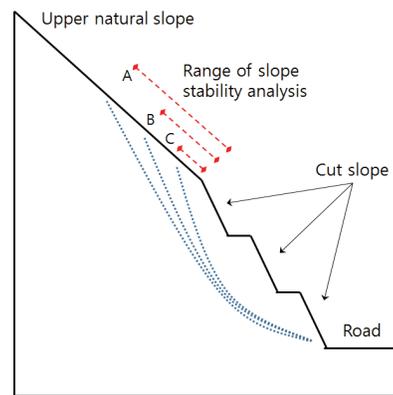


Figure 2. Example of cross section for cut slope analysis

본 연구에서는 비탈면의 안전율에 영향을 미칠 수 있는 인자인 상부 자연사면의 해석범위 및 경사조건을 고려하여 안정해석을 수행하고 안전율의 변화를 검토하였다. 또한, 안정해석 결과를 통해 산지에 조성되는 깎기비탈면의 안정성을 확보하기 위하여 적절한 상부 자연사면의 해석의 범위를 어디까지 결정해야 하는지에 대하여 논의해보고자 한다.

II. 국내 비탈면 설계 기준 및 취약점

국내 비탈면 설계에 대한 규정은 공사 발주처 별로 마련하여 제공되고 있다. 국토교통부, 한국도로공사, 한국토지주택공사에서 발주하는 공사에서 사용되는 비탈면 설계와 관련된 규정은 <Table 1>과 같다(KLHC, 2001; KEO, 2009; MLTM, 2011). 건설 특성에 따라 쌓기와 깎기비탈면으로 구분하고 건기와 우기 조건, 지진 조건 등을 고려하여 기준 안전율을 제시하고 있으며 각각의 상세 조건에 대하여 기술하고 있다. 각각의 기준에 따라 비탈면 안정해석을 수행하기 위해서는 비탈면의 단면을 결정하고 지반물성을 고려하여 안정해석을 수행하게 된다.

국내 비탈면 설계 기준의 검토 및 문제점 분석에 대해서는 일부 연구가 진행된 바 있다. Lee & Kim(2014)은 국내 설계기준에 제시되어 있는 사면 표준경사의 적

용한계와 소단폭이 사면의 안정성에 미치는 영향을 살펴보고자 사면안정해석을 수행하고 그 결과를 비교·분석하였으며 해석결과를 바탕으로 설계기준에 제시된 표준경사의 적용에 큰 문제가 없으며 지하수가 있는 조건에서는 지하수위를 고려한 별도의 사면안정해석을 수행하여야 함을 밝힌 바 있다. Lee(2007)는 국내 깎기비탈면의 지질조사와 지반설계의 실태에 관한 연구를 통해 비탈면과 관련된 조사 및 설계에 대한 기준과 보고서 등을 검토하여 지반조사 결과의 미흡 등의 문제를 제기하였다. 최소 시험의 횟수, 조사지점 및 유효거리 등에 대한 규정 마련의 필요성뿐만 아니라 지질특성을 충분히 고려한 합리적인 구역 설정을 통해서 수치해석을 수행하는 것이 합리적인 방법임을 언급한 바 있다.

일반적으로 깎기비탈면의 안정해석 수행을 위한 해석 단면을 설정할 때에는 <Figure 2>에서 나타난 바와 같이 상부 자연사면도 포함하게 된다. 그러나 앞서 언

Table 1. Slope design criteria in Korea

Sources	Conditions		Factor of safety	Remarks
Design Criteria of Construction slope	Fill-slope	Dry Condi.	FS>1.5	- In case of no groundwater
		Wet Condi.	FS>1.3	- No specific condition for the level of groundwater in case of general fill-slope - The conditions of rainfall infiltration to be considered in case of rainfall infiltration into the fill-slope surface
	Cut-slope	Dry Condi.	FS>1.5	- In case of no groundwater
		Wet Condi.	FS>1.2 or FS>1.3	- In case of rock slope consisting of soft rock and hard rock, with the level of groundwater in tension cracks or with the level of groundwater up to the half of the height of slope saturated with groundwater along with slip surface - Either the level of groundwater or the rainfall infiltration for the stability analysis of slope consisting of soil and weathered rock
Guide of Road Design	Fill-slope	Dry Condi.	FS>1.5	- In case of no groundwater
		Wet Condi.	FS>1.3	- No specific condition for the level of groundwater in case of general fill-slope - The conditions of rainfall infiltration to be considered in case of rainfall infiltration into the fill-slope surface
	Cut-slope	Dry Condi.	FS>1.5	- In case of no groundwater
		Wet Condi.	FS>1.2 or FS>1.3	- In case of rock slope, with the level of groundwater to the half of height of tension cracks and in case of soil and weathered rock with the level of groundwater to the surface of slope (FS>1.2) - In case of rainfall infiltration(FS>1.3)
Design technique of Koland	Fill-slope	-	FS>1.3	-
	Cut-slope	Dry Condi.	FS>1.5	- In case of no groundwater
		Wet Condi.	FS>1.2	- Estimate the position of groundwater appropriately in consideration of geomorphology and ground condition, analysis in presupposition of G.L. -3m

급한 규정에서는 상부 자연사면을 포함한 해석 구간에 대한 적절한 규정이 마련되어 있지 않아 해석자가 임의로 구간을 설정하여 안정해석을 수행하게 된다. 이러한 경우에 있어서는 해석 범위에 따라 안전율이 변화하게 되고 변화된 안전율은 비탈면 설계에 적합한 안전 확보에 영향을 줄 수 있다. 따라서 비탈면 안정해석 시 상부 자연사면에 대한 해석 범위를 어느 수준까지 포함시켜야 할지에 대해서 검토가 필요하며 현재 사용되고 있는 기준, 지침 등에 기술할 필요가 있다.

III. 상부 자연사면 경사에 따른 비탈면 안전율 변화

상부 자연사면의 안정해석의 범위를 어느 수준까지 정할 것인가를 파악하기 위하여 가상의 비탈면을 설정하여 안정해석을 수행하였다. 안정해석은 Rocscience사에서 개발한 SLIDE 5.0 프로그램을 이용하였다. 지반 조건은 임의의 사질토와 점성토 특성을 갖는 지반에 대하여 2개의 소단을 갖는 가상의 비탈면에 대하여 안정 해석을 수행하였다. 본 해석에서는 Bishop의 간편법(Bishop, 1955)을 적용하였으며 파괴형상은 원호활동으로 가정하여 비탈면 안정해석을 실시하였다. Bishop의 간편법으로 계산된 안전율은 유효요소 해석 방법을 이용하여 계산된 안전율과 약 5% 이내의 오차에서 비교적 잘 일치하는 것으로 Wright, *et. al.*(1973)에 의해 보고된 바 있다. 또한, Bishop의 간편법은 안전율

을 다소 과소평가하지만 대개의 경우 오차가 2% 이하로 보고되고 있어 정확도가 충분한 것으로 평가되고 있으며 전응력 해석법과 유효응력 해석법에서 널리 적용할 수 있으므로 사면안정해석에 널리 쓰이는 방법이다 (Lee, *et. al.*, 2002).

사면안정해석에 사용된 토질정수는 도로설계요령의 자연지반 사질토 및 점성토에 대한 개략적인 토질정수를 참고하여 결정하였다(Korea Expressway Corporation, 2001). 도로설계요령에 따르면 자연지반 사질토의 경우에는 흙의 밀실한 정도에 따라 17~19kN/m³의 단위중량, 25°~30°의 내부마찰각(ϕ), 0~30kN/m²의 점착력(c)을 갖는 것으로 나타나 있다. 또한, 점성토의 경우에는 흙의 연경도 상태를 고려하여 16~18kN/m³의 단위중량, 15°~25°의 내부마찰각(ϕ), 15 이하~50 이하의 점착력(c , kN/m²)을 고려하도록 하고 있다. 이와 같은 자연지반 사질토와 점성토의 토질정수 범위를 고려하여 안정 해석에 적용된 비탈면의 제원 및 흙의 물성은 <Table 2>에 나타내었다. 사질토와 점성토 물성을 갖는 지반 각각에 대하여 안정해석에 사용한 비탈면 경사는 45°와 55° 두 가지 경우를 고려하였으며 각 경사에 대하여 0, 10, 20, 30, 35, 40°의 상부 자연사면 경사를 고려하였다. 앞서 언급한 바와 같이 상부 자연사면의 해석 범위에 따라 안전율의 변화 정도를 파악하기 위하여 깎기비탈면의 최상단부부터 상부 자연사면 방향으로 6m 간격씩 증가하였을 경우를 고려하여 안정해석을 수행하였다(<Figure 3>). 각각의 비탈면 상부 자연사

Table 2. Slope size and simulation conditions

No.	Slope angle	Upper natural slope angle	Unit weight	Cohesion	Friction angle	Remark
1	45°	40°	18 kN/m ³ and 16 kN/m ³	15 kN/m ² and 30 kN/m ²	30° and 15°	Sandy soil properties and Cohesive soil properties
2		35°				
3		30°				
4		20°				
5		10°				
6		0°				
7	55	40°				
8		35°				
9		30°				
10		20°				
11		10°				
12		0°				

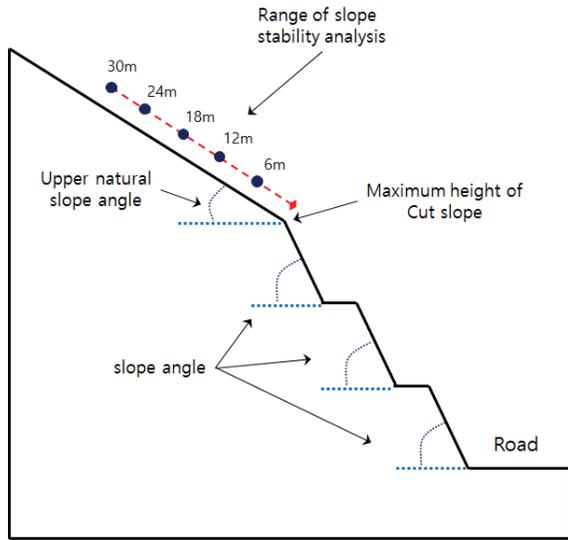


Figure 3. Cut slope analysis cross section of this study

면의 해석 범위를 파악하기 위한 것으로 건기, 우기 상태는 중요하지 않은 것으로 판단하여 강우조건은 고려하지 않았다.

안정해석 결과를 <Table 3>과 <Table 4>에 나타내었다. 비탈면 최상단부에서 가까울수록 안전율이 크며 해석범위가 넓어질수록 안전율이 낮아지는 경향을 보인다. 이는 안정해석에 사용되는 하중이 증가하기 때문에 발생하는 당연한 현상으로 볼 수 있다. 안정해석 결과 중 5번(12m)과 7번(30m)을 <Figure 4>에 나타내었다.

Table 3. Slope size and simulation conditions(sandy soil)

Case	Slope angle(°)	Upper natural slope angle(°)	Factors of safety				
1	45	40	1.16	1.18	1.21	1.24	1.28
2		35	1.22	1.23	1.24	1.25	1.29
3		30	1.27	1.27	1.27	1.27	1.29
4		20	1.28	1.28	1.28	1.28	1.29
5		10	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
6		0	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
7	55	40	1.03	1.03	1.03	1.04	1.07
8		35	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07
9		30	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
10		20	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08
11		10	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
12		0	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
distance from maximum height of slope(m)			30	24	18	12	6

Table 4. Slope size and simulation conditions(cohesive soil)

Case	Slope angle(°)	Upper natural slope angle(°)	Factors of safety				
1	45	40	0.76	0.79	0.83	0.88	0.95
2		35	0.79	0.81	0.85	0.89	0.96
3		30	0.82	0.84	0.86	0.89	0.96
4		20	0.88	0.88	0.89	0.91	0.96
5		10	0.91	0.91	0.91	0.91	0.95
6		0	0.93	0.93	0.93	0.93	0.95
7	55	40	0.67	0.69	0.72	0.76	0.81
8		35	0.71	0.72	0.75	0.77	0.81
9		30	0.73	0.73	0.76	0.79	0.82
10		20	0.78	0.78	0.78	0.79	0.83
11		10	0.79	0.79	0.79	0.80	0.83
12		0	0.81	0.81	0.81	0.81	0.83
distance from maximum height of slope(m)			30	24	18	12	6

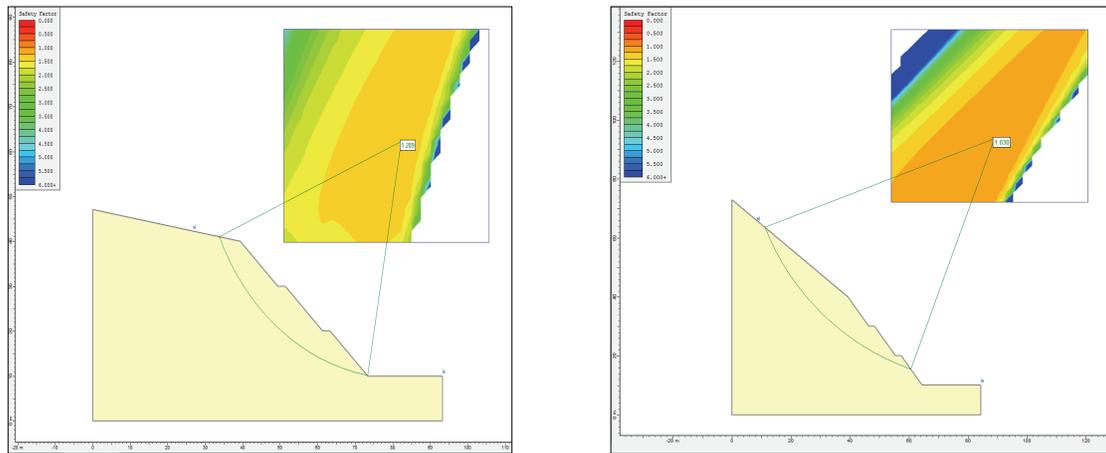


Figure 4. Results of slope stability analysis for No.5(12m), No.7(30m) case(sandy soil)

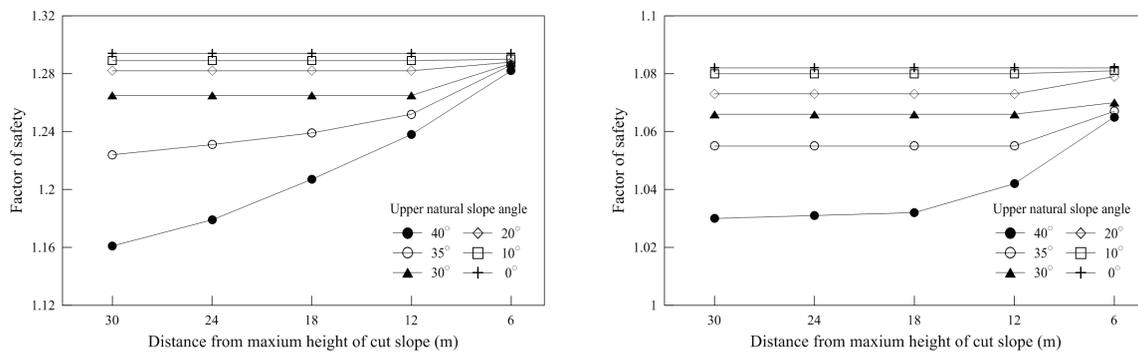


Figure 5. Variation of safety factor due to analysis range in sandy soil slope (left : slope angle 45°, right : slope angle 55°)

45° 및 55° 경사를 갖는 비탈면이 상부 자연사면의 경사와 해석범위가 달라짐에 따라 변화하는 안전율 특성을 (Figure 5)와 (Figure 6)에 나타내었다. (Figure 5)의 왼쪽에서 볼 수 있듯이 사질토 지반의 경우에는 비탈면 경사가 45°인 조건에서 상부 자연사면의 경사가 0, 10°, 20°의 경우 상부 자연사면의 경사가 변화하더라도 안전율의 변화가 나타나지 않는다. 상부 자연사면이 30°인 조건에서는 12m 이후부터 안전율이 일정해지는 경향을 보이며 35°와 40°인 조건에서는 안전율이 계속 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과를 볼 때 45° 경사를 갖는 비탈면을 설계할 경우에는 상부 자연사면은 30° 이하의 경사를 유지하는 것이 적절하다고 볼 수 있다. 또한, 안정해석의 범위는 최소 12m까지는 포함하여 수행하는 것이 바람직하다. 비탈면의 경사가 55°인 조건에서는 상부 자연사면의 경사가 40°인 경우

를 제외하면 전체적으로 안전율의 변화가 크게 나타나지 않았다. 비탈면 경사가 45°인 경우와 같이 상부 자연사면의 해석범위를 12m까지 포함하는 것이 일정한 안전율을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

점성토 지반의 경우에 있어서는 상부 자연사면의 경사와 해석 범위가 안전율에 미치는 영향이 사질토 지반보다 큰 것으로 나타났으며 비탈면의 경사가 45°와 55°인 조건 모두에서 비슷한 경향을 나타내었다. 상부 자연사면의 경사가 0~20°인 조건에서 해석 범위를 최소 18m 이상 포함하였을 경우에 안전율이 비교적 일정한 것으로 나타났다. 한편 30° 이상의 상부 자연사면 경사를 갖는 조건에서는 안전율이 지속적으로 감소하는 경향을 나타내므로 깎기비탈면 설계에는 고려하지 않는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

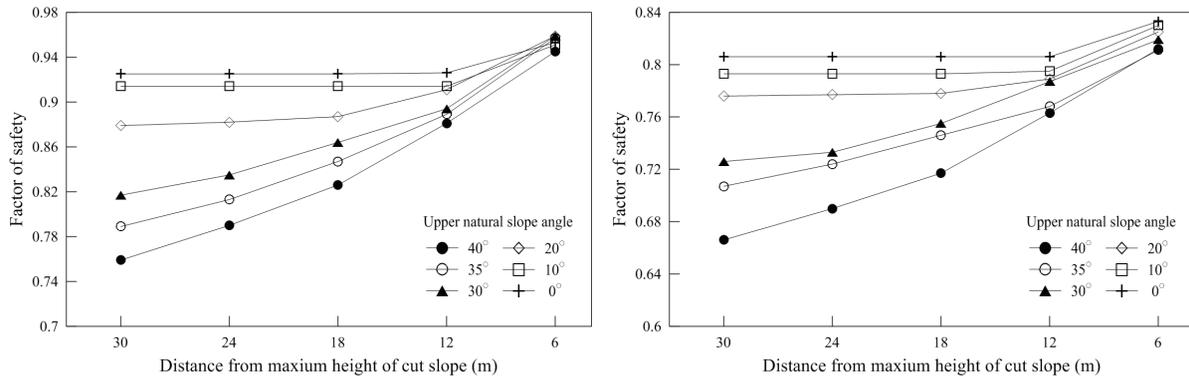


Figure 6. Variation of safety factor due to analysis range in cohesive soil slope (left : slope angle 45°, right : slope angle 55°)

IV. 기존 비탈면 안정해석 사례 검토

깎기비탈면을 대상으로 상부 자연사면의 경사와 해석범위를 조절하여 안정해석을 수행한 결과를 통해서

비탈면 안정해석을 좀 더 정확하게 수행하기 위해서는 깎기비탈면 상부 자연사면의 일정 범위를 해석에 포함하는 것이 바람직하다는 결과를 얻었다. 현재 업계에서 도로, 택지 조성을 위해 비탈면 설계를 위해 안정해석

Table 5. Cases of slope stability analysis without considering natural slope range

No.	Design of slope cross section	Results of slope stability analysis
1		
2		
3		

을 어떻게 수행하고 있는지 파악하기 위하여 안정해석 보고서를 입수하여 검토하였다. 검토한 보고서는 공사가 완료된 현장으로 비탈면 안정해석을 재수행하지 않았으며 설계단면과 안정결과 그림만을 보고서에서 발췌하여 제시하였다(〈Table 5〉 참조). 〈Table 5〉에서 제시한 사례에서 볼 수 있듯이 안정해석을 위한 상부 자연사면의 범위가 매우 좁게 형성된 것을 확인할 수 있다. 이번 연구 결과를 고려해 볼 때 〈Table 5〉와 같은 비탈면 안정해석은 결과로 제시된 안전율이 실제 조건에 비해서 다소 크게 도출되었을 가능성이 높다고 볼 수 있으며 이와 같이 평가된 안전율은 비탈면 안정성 확보에 문제가 될 가능성이 있다. 즉, 상부 자연사면 범위에 대하여 규정이 마련되어 있지 않아 해석자 임의로 단면을 결정한다면 이는 비탈면 설계에 오류를 끼칠 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 깎기비탈면 안정해석과 관련하여 상부 자연사면의 범위가 안전율에 미치는 영향을 검토하기 위하여 지반조건, 비탈면 경사 및 자연사면의 해석 범위 등을 다르게 하여 안정해석을 수행하였다. 안정해석 결과를 통해 자연사면의 해석 범위에 따라서 사면의 안전율이 과대평가 될 수 있는 문제점이 있음을 파악하였으며 비탈면 안전율을 좀 더 정확하게 판단하기 위해서는 일정 범위의 상부 자연사면 범위를 안정해석에 포함시키는 것이 타당하다는 결과를 얻었다.

본 연구에서 검토된 해석 조건에 따르면 사질토 지반 특성 비탈면의 경우에 있어서는 비탈면의 최상단부에서 상부 자연사면 방향으로 최소 12m 이상 포함하여야 하고 점성토 지반특성 비탈면의 경우에 있어서는 상부 자연사면을 최소 18m 이상 포함하여 안정해석을 수행할 경우에 정확한 안전율을 산정할 수 있는 것으로 파악되었다. 연구 결과를 실제 설계에 반영하기 위해서는 좀 더 다양한 조건을 고려한 안정해석 사례 제시가 필요하며 비탈면 설계 관련 기준 및 지침 등에 상부 자연

사면 해석 범위를 규정할 수 있도록 추가 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업 “터널시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 압판정 기술 및 운영모델 개발(15SCIP-C069312-03)” 과제의 지원에 의하여 연구되었음.

References

- Baek, Yong, O Il Kwon, Seong Hyun Kim, and Ho Bon Koo. 2005. Characteristics of Slope Failure Due to Local Downpour and Slope Stability Analysis with Changing Soil Depth and Groundwater Level. *The Journal of Engineering Geology*. 15(1): 57-66.
- Bishop, A. W. 1955. The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Geotechnique*. 5(1): 7-17.
- Han, Heui Soo, Jae Ho Cho, Nam Yong Yang, and Baek Chul Shin. 2011. Slope Stability Analysis by Rainfall Infiltration. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*. 12(10): 29-38.
- Kim, Min Seok, Myung Sagong, and Soo Sam Kim. 2007. Slope Stability Analysis under Rainfall Condition by Using Multiple Slip Surfaces. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*. 8(2): 11-18.
- Kim, Sung Kook. 2010. A Study on the Correlation between the Strength Parameters of Soil and the Safety Factor of Slope. Master's thesis. Changwon National University.
- Korea Expressway Corporation. 2001. *Road Design Method(Vol.2 Earthwork and Drainage, Chapter 5 Earthwork)*.
- Korea Land & Housing Corporation(KLHC). 2001. *Design Technique of Koland, Optimization Technique of Slope Stability Analysis*.
- La, You Sung and Bum Joo Kim. 2010. A Study on the Effect of Geometric Shape of Soil Slope on the Stability Analysis Considering Rainfall. *Proceedings of Korean Geo-Environmental*

- Society*. 264-271.
- Lee, Jung Yeup, Ho Bon Koo, and Ki Jeong Yoo. 2004. A Study on the Effect of Upper Natural Slope on the Stability of Cut-Slope. *Proceedings of KSEG Conference*. 155-159.
- Lee, Kyung Soo. 2007. A Study on Methods of Geological Investigation and Geotechnical Designing on Cut-Slopes in Korea. Master's thesis. The University of Seoul.
- Lee, Min Seok and Gyo Won Kim. 2009. Relationship between Rainfall Intensity and Slope Stability Based on Numerical Analysis. *The Journal of Engineering Geology*. 19(1): 25-31.
- Lee, Seung Hyun and Byung Il Kim. 2014. Analytical Verification of the Standard Inclinations of Slope in the Design Criteria. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*. 15(8): 5342-5348.
- Lee, Song, Kyu Hwan Lee, and Jum Sik Chae. 2002. *Design and Construction of Slope*. Yeamoonasa. 22-23.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MLTM). 2010. *Manual of Road Design Vol.3 Earthwork and Drainage*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MLTM). 2011. *Design Criteria of Construction Slope*.
- Park, Byung Soo, Sang Hyun Jun, Kwang Jun Cho, and Nam Jae Yoo. 2010. Sensitivity Analyses of Influencing Factors on Slope Stability. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*. 10(3): 91-100.
- Park, Chun Sik, Sang Jin Ahn, Jong Hwan Kim, and Jun Tae Park. 2015. A Study on the Safety Factor of Slopes by Slope-Heights. *Proceeding of KSCE 2015 Convention-2015 Civil Expo & Conference*. 199-200.
- Park, Jun Hyung, Dong Hyun Lim, Jong Un Park, and Oh Kyun Kwon. 2013. Variation of Slope Stability according to Rainfall. *Proceeding of KSCE 2013 Convention-2013 Civil Expo & Conference*. 2460-2463.
- Son, Jeon Su. 2006. An Analytical Study on the Critical Height of Cut-Slope. Master's thesis. Changwon National University.
- Song, Young Suk and Won Pyo Hong. 2011. Analysis of Slope Stability with Consideration of the Wetting Front and Groundwater Level During Rainfall. *The Journal of Engineering Geology*. 21(1): 25-34.
- Wright, S. G., F. H. Kulhawy, and J. M. Duncan. 1973. Accuracy of Equilibrium Slope Stability Analysis. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. ASCE. 99(10): 783-791.
- Korean References Translated from the English*
- 국토해양부. 2011. 건설공사 비탈면 설계기준.
- 국토해양부. 2010. 도로설계편람 제3편 토공 및 배수.
- 김민석, 사공명, 김수삼. 2007. 다중 파괴면을 이용한 강우시 사면의 안정성 해석. *한국지반환경공학회 논문집*. 8(2): 11-18.
- 김성국. 2010. 강도정수와 사면안전율의 상관관계. *창원대학교 석사학위논문*.
- 나유성, 김범주. 2010. 토사면의 기하학적 형상이 강우조건을 반영한 안정해석에 미치는 영향. *한국지반환경공학회 학술발표회논문집*. 264-271.
- 박병수, 전상현, 조광준, 유남재. 2010. 사면안정성 영향인자의 민감도 분석. *한국방재학회논문집*. 10(3): 91-100.
- 박준형, 임동현, 박종운, 권오균. 2013. 강우강도에 따른 절토사면의 안전율 변화. 제39회 대한토목학회 정기학술대회 논문집. 2460-2463.
- 박춘식, 안상진, 김종환, 박준태. 2015. 사면높이에 따른 사면안전율 변화에 관한 연구. 제41회 대한토목학회 정기학술대회논문집. 199-200.
- 백용, 권오일, 김승현, 구호본. 2005. 집중호우시 사면 붕괴의 특성 및 토층 침도와 지하수변동에 따른 사면 안정성 해석. *지질공학*. 15(1): 57-66.
- 손전수. 2006. 토사사면의 한계절취고에 관한 해석적 연구. *창원대학교 석사학위논문*.
- 송영석, 홍원표. 2011. 강우시 습윤전선 및 지하수위를 고려한 사면의 안정성 해석. *지질공학*. 21(1): 25-34.
- 이경수. 2007. 국내 절취사면의 지질조사와 지반설계의 실태에 관한 연구. *서울시립대학교 석사학위논문*.
- 이민석, 김교원. 2009. 수치해석에 의한 강우강도와 사면 안정성의 상관성 분석. *지질공학*. 19(1): 25-31.
- 이송, 이규환, 채점식. 2002. 사면의 설계와 시공. *예문사*. 22-23.
- 이승현, 김병일. 2014. 설계기준에 제시된 사면 표준경사에 대한 해석적 검증. *한국산학기술학회논문지*. 15(8): 5342-5348.
- 이정엽, 구호본, 유기정. 2004. 상부자연사면이 절토사면 안정성에 미치는 영향에 관한 연구. *대한지질공학회 학술발*

표회. 155-159.
한국도로공사. 2009. 도로설계요령(제2권 토공 및 배수, 제5편 토공).
한국토지주택공사. 2001. KOLAND 설계기법 중 사면안정해석 최적기법 설계(1-3)편.

한희수, 조재호, 양남용, 신백철. 2011. 강우침투에 따른 사면의 안정성 평가. 한국지반환경공학회 논문집. 12(10): 29-38.

Received: Oct. 31, 2016 / Revised: Dec. 6, 2016 / Accepted: Dec. 13, 2016

상부 자연사면 경사에 따른 깎기비탈면 안정해석 범위 연구

국문초록 산지가 많이 분포하는 우리나라는 지형 특성상 도로, 철도, 건축물 등을 건설하는 과정에서 깎기비탈면이 발생하는 경우가 많다. 건설 과정에서 생성된 깎기비탈면의 상단부에는 기존 산지의 한 부분인 상부 자연사면이 위치하게 된다. 깎기비탈면의 안정성을 평가할 때, 상부 자연사면의 경사가 비탈면 안정성에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 깎기비탈면 상단부에 위치한 상부 자연사면이 경사 및 해석 범위에 따라 달라지는 안전율의 변화를 검토해보고 안정해석에 반영하기 위한 방안을 논의해보고자 한다. 상부 자연사면의 형상이 비탈면의 안정성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 간단한 비탈면 모형을 가정하고 상부 자연사면의 경사 및 해석 범위를 조정하여 안정해석을 수행하였다. 해석 결과, 깎기비탈면의 안전율을 적합하게 도출하기 위해서는 상부 자연사면의 경사를 일정 부분 포함해야 하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 사질토 특성의 비탈면의 경우, 최소 12m 이상, 점성토 특성의 비탈면의 경우 18m 이상을 안정해석 범위에 포함하여 한다.

주제어 : 깎기비탈면, 상부 자연사면, 안정해석 범위, 안전율

Profiles **Jin Hwan Kim** : He is a researcher of Geotechnical Engineering Research Institute at Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT). His main research areas are slope, tunnel and natural disasters. He has published many articles including “Study on Problems Related to Slope Stability Analysis under Dry Condition and Proposed Alternative(2012)”, and “A Study on the Variation of Ground Safety Factor by Earthworks(2014)”(goethite@kict.re.kr).

Wan Kyu Yoo : He received his Ph.D. from Myongji University, Korea in 2011. He has been a budding researcher of Geotechnical Engineering Research Institute at Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT) since 2013. His interesting subject and area of research are foundation structure, soft ground improvement and tunnel. He has published numerous articles in journals, including “Model Test Study on the Behavior of Geotextile-encased Sand Pile in Soft Clay Ground(2015)”(lyu5553@kict.re.kr).