

사면안정성 영향인자의 민감도 분석

Sensitivity Analyses of Influencing Factors on Slope Stability

박병수* · 전상현** · 조광준*** · 유남재****

Park, Byung-Soo · Jun, Sang-Hyun · Cho, Kwang-Jun · Yoo, Nam-Jae

Abstract

In this paper a sensitivity analysis about effects of influencing factors on the stability of soil cut and embankment slopes in field was performed. Slope stability analysis of slopes in field was carried out with dry, rainy and seismic conditions. As results of analyzing the sensitivity of factors for the dry and rainy conditions, effect of cohesion, internal friction angle and unit weight of soil on the stability of cut slope is more critical in the dry condition than in the rainy condition. However, their effects on the stability of embankment slope for both conditions are similar to each other. The horizontal seismic coefficient does also affect the stability within the similar range of values irrespective of dry or rainy conditions. Cohesion and internal friction angle are more dominant factors influencing the slope stability irrespective of dry or rainy conditions than unit weight of soil and the horizontal seismic coefficient.

Key words : Sensitivity analysis, Slope stability, Horizontal seismic coefficient

요 지

본 논문에서는 절·성토 사면의 안정성에 영향을 미치는 영향인자의 민감도 분석을 수행하였다. 사면안정성 해석은 건기 및 우기조건, 지진시로 구별하여 해석하였다. 건기와 우기 조건에 대한 민감도 분석결과, 절토사면에서는 점착력, 내부마찰각, 단위 중량 등이 사면안정성에 미치는 영향은 우기조건 보다 더 큼을 알 수 있고, 성토사면에서는 건기와 우기조건에서 모두 유사한 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 수평지진계수는 전체사면에서 건기와 우기조건에 관계없이 유사한 값의 범위로 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 강도정수인 점착력과 내부마찰각은 건기 및 우기조건에 관계없이 사면안정성에 단위중량, 지진계수에 비하여 상대적으로 큰 영향을 미치는 영향인자로 나타났다.

핵심용어 : 민감도 분석, 사면안정성, 수평지진계수

1. 서 론

최근 사면 붕괴로 인한 인명과 재산피해가 매해 증가되고 있어 보다 합리적인 사면안정성에 대한 분석 연구가 요구되고 있다. 그러나 사면안정성 해석시 입력되는 지반물성값의 불확실성으로 인하여 정확한 안정성을 평가하는 것은 매우 어려운 실정이다. 따라서 국내외적으로 사면안정성을 평가하기 위하여 보다 정확한 지반물성값을 산정하기 위한 연구들이 진행되어 왔다.

홍원표 등(2004)은 사면의 안정성 평가시 입력되는 입력인자의 부적절성으로 인하여 안정성 평가의 신뢰성이 낮다고 하여 입력인자를 통계처리를 거친후 신경망이론을 적용하여 추출하는 것이 타당하다고 보고하였다. 이후 지반의 강도정수,

상부토층, 강우 등을 고려 할 수 있고 자연사면 뿐만 아니라 절개사면에서도 적용가능한 인공신경망 모델을 개발한 바 있다(홍원표 등, 2005). 또한 이인모 등(1996)은 사면내 지하수 위 예측시 모델변수의 불확실성을 극복하기 위하여 역해석 기법을 사용하였으며, 안종필 등(2004)은 사면안정성 평가시 다양한 인자의 불확실성을 극복하기 위하여 사면의 파괴요인을 토질 등의 내적요인과 지형, 배수 등의 외적요인으로 구분하고 이러한 요인에 대한 파괴형태를 성능함수로 가정한 후 퍼지근사추론법을 이용하여 사면의 안정성을 평가하는 기법을 제안하였다.

이러한 사면안정성에 대한 연구는 주로 가상사면에 대한 매개변수 민감도 분석과 특정사면에 대한 안정성 검토 및 대책공법에 대하여 주로 이루어 졌다. 그러나, 국내의 지반조건

*정회원 · 강원도립대학 건설 토목과 조교수(E-mail : bspark@gangwon.ac.kr)
**정회원 · 세경대학 건설환경과 전임강사
***풍림산업 부장
****강원대학교 토목공학과 교수

에서 다양한 형태로 조성되는 실제 사면에 적용하여 사면안정성 경향을 분석하기 위한 매개변수 분석은 미비한 실정이다. 따라서 실제 절토 및 성토 사면을 대상으로 한 영향인자의 민감도 분석을 통하여 국내에서 현재 적용되는 건기 및 우기, 지진시의 허용안전율 기준설정의 적정성 여부를 확인할 수 있는 사면안정성 검토가 요구된다.

본 논문에서는 사면안정성에 대한 합리적인 연구를 위하여 실제 절토 및 성토 토사사면을 선정하여 이에 대한 영향인자의 민감도 분석을 실시하였다. 이를 통하여 건기 및 우기 조건에 따라 토사사면에 영향을 미치는 매개변수가 사면안정성에 미치는 영향을 비교하였다. 영향인자로는 집착력과 내부마찰각의 강도정수, 단위중량과 더불어 지하수위 및 최근 지진시 안정성 해석의 요구에 의해 등가정적해석에서 적용되는 수평지진계수를 민감도 분석을 위한 매개변수로 선정하였다.

2. 사면안정성 수치해석

토사로 구성된 절토 및 성토사면에서 사면 안정성 영향인자들이 사면안정성에 미치는 영향을 평가하기 위해 실제 설계 및 현장에 적용된 단면을 선정하였다. 선정된 단면은 절토사면 2개와 성토사면 2개로 총 4개의 해석단면에 대해 매개변수를 다양하게 변화시키면서 사면안정성 변화를 분석하였다.

절토사면은 강원도 삼척시에 위치한 도로 사면(이하 절토사면 1)과 경기도 이천시 소재한 절토 사면(이하 절토사면 2)을 해석단면으로 선정하였다. 또한, 성토사면의 해석단면으로는 경기도 이천시 소재 사면(성토사면 1)과 경기도 시흥시에 인접한 도로 사면(성토사면 2)을 선정하였다.

사면안정해석은 캐나다의 GEO-SLOPE에서 개발된 SLOPE/W 프로그램(2002)으로 해석하였으며, 연구에 사용된 안정해석 방법은 Bishop(1955)이 제안한 간편법이다.

2.1 해석 단면

해석에 적용된 사면 해석단면 및 지반물성값을 그림 1~4와 표 1에 각각 나타내었다. 그림 1, 2는 절토사면을 도시한 것으로 절토사면 1은 6.3 m의 붕적층이 연암층 상부에 형성되어 있는 지반에 1:1.5의 기울기로 절취하여 높이 21.7 m를 5단으로 조성한 사면이다. 또한 절토사면 2는 경암-연암-풍화토-붕적토가 절취되어 형성된 사면으로 전체높이 17.3 m이며, 1:1.3 경사의 풍화토와 1:1.5 경사의 붕적토로 구성된 토사층이 8.4 m의 사면높이로 형성되어 있다.

한편, 그림 3, 4는 성토사면을 나타낸 것으로 성토사면 1은 풍화암-풍화토-토사로 구성된 원지반에 최대 10.4 m로 성토하여 철도의 노체 및 노상을 형성한 사면이다. 경사면은 상부 5 m까지는 1:1.5, 하부는 1:1.8로 형성되어 있으며, 소단은 5 m에 1개 위치하고 있다. 성토사면 2는 실트층으로 구성된 지반에 3.3 m 두께의 모래층을 포설하고, 상부에 성토체를 최대 10.6 m 높이로 형성하는 사면이다. 경사면은 상부 7.8 m는 1:2.3으로 하부 2 m는 1:2.8의 경사로 형성되어

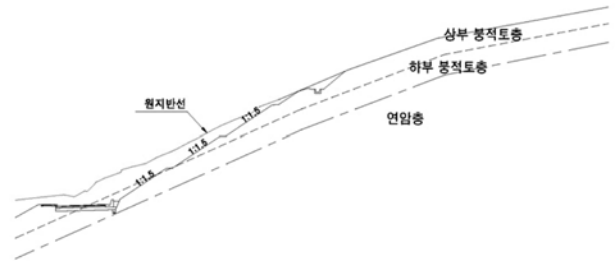


그림 1. 절토사면 1의 설계단면

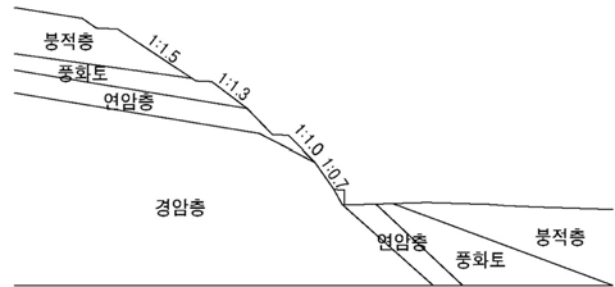


그림 2. 절토사면 2의 설계단면

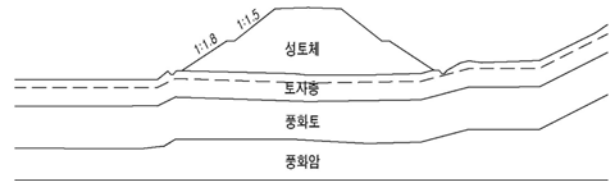


그림 3. 성토사면 1의 설계단면

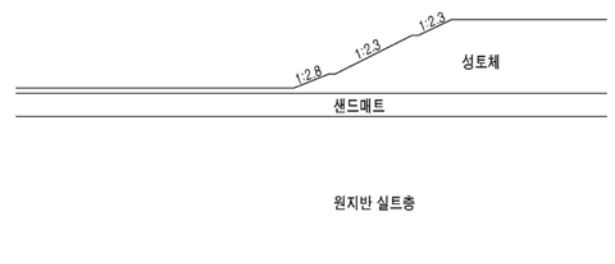


그림 4. 성토사면 2의 설계단면

있으며, 소단은 성토체 상부로부터 2.3 m, 7.8 m에 2개가 위치하고 있다.

2.2 지반물성값

민감도 분석을 위해 적용된 매개변수 중 토사에 대한 물성값과 영향인자의 변화범위를 표 1에 나타내었다. 표 1의 기준값은 설계시 적용된 물성값이며 영향인자의 변화는 국내의 각종 설계기준에서 제시된 토질정수를 검토하여 그 범위를 선정하였다. 해석에 적용된 수평 지진계수는 절토사면과 성토사면 1은 0.154 g, 성토사면 2는 0.132 g를 적용하여 실제 설계 값을 그대로 적용하였다. 매개변수를 변화하면서 4개 사면에 대해 건기시 36회, 우기시 45회 총 324회의 사면안정성 해석을 수행하였다. 우기시에 대한 해석에서 지하수위는 절토사면은 지표면에 있는 것으로 하였으며 성토사면에서는 원지반이 포화된 것으로 해석하였다.

표 1. 해석에 사용된 지반정수

구분		습윤단위 중량, γ_t (kN/m^3)	포화단위 중량, γ_{sat} (kN/m^3)	점착력 c (kN/m^2)	내부 마찰각 ϕ ($^\circ$)
변화범위(%)		80~120	80~120	0~200	60~140
절토 사면 1	상부봉적	18.63	20.01	4.90	23
	하부봉적	18.63	20.01	4.90	30
	연암층	22.56	22.56	49.03	40
절토 사면 2	봉적층	17.65	18.63	9.81	20
	풍화토	18.14	19.12	14.71	26
	연암층	23.54	24.52	245.17	35
성토 사면 1	토사층	17.65	18.63	9.81	20
	풍화토	18.14	19.12	14.71	26
	풍화암	20.59	21.57	24.52	31
	성토체	17.65	18.63	9.81	25
성토 사면 2	원지반	17.85	17.85	44.42	0
	모래매트	18.14	19.12	0	30
	성토체	18.63	19.61	14.71	25

3. 매개변수 민감도 분석

3.1 절토사면

절토사면 1의 영향인자에 대해 산정된 사면의 안정성을 대상으로 매개변수의 민감도를 분석하여 건·우기에 대한 해석 결과를 그림 5, 6에 도시하였다. 그림의 가로축은 영향인자를 각 기준값으로 나누어 비율(%)의 축척으로 나타내었고 세로 축은 산정된 안전율 및 기준값에 대한 안전율의 비율(%)로 각각 나타내었다.

그림 5의 건기시 해석결과에서 보는 바와 같이, 내부마찰각

이 가장 급한 기울기로 안전율을 변화하고 있으며, 단위중량, 점착력, 수평지진계수의 순으로 안전율의 기울기를 보이고 있다. 각 영향인자의 변화를 일반적으로 고려할 수 있는 범위로 설정하였으므로 안전율에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 점착력으로 약 63.3~131.9% 안전율 변화범위를 나타내고 있으며, 내부마찰각은 71.4~126.0%, 단위중량은 86.7~122.8%, 수평지진계수는 86.5~117.8%의 범위로 나타났다.

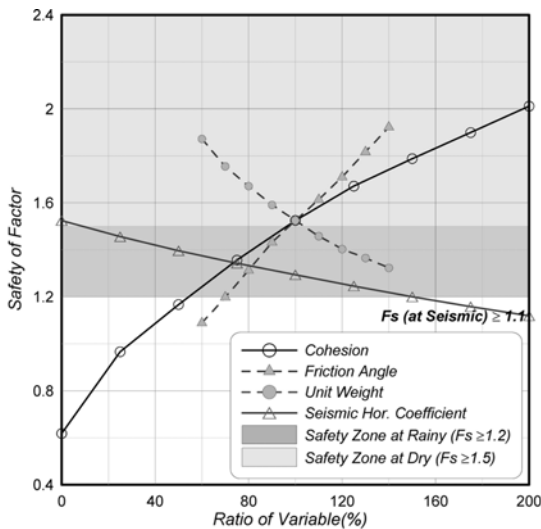
그림 6은 우기시의 결과를 나타낸 것으로 내부마찰각에 의한 안전율의 변화가 가장 크게 나타나고 있으며, 건조시보다 기울기가 더 크게 나타나고 있다. 점착력과 지하수위가 다음의 기울기 정도로 유사하게 나타나며, 수평지진계수와 단위중량이 가장 낮은 안전율 변화 기울기를 보이고 있다. 안전율에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 점착력이 0일 때를 제외하면, 내부마찰각이 71.9~136.0%로 가장 큰 범위를 보이며, 다음은 점착력이 73.7~135.9%, 지하수위 66.5~125.0%, 수평지진계수 86.5~117.2%, 단위중량 97.3~107.5%의 순으로 나타났다.

절토사면 1은 상부 및 하부 봉적층이 6.3m의 두께로 형성되어 있는 지반으로 봉적층의 전단각도는 23~30°이며, 점착력은 9.81~14.71 kN/m^2 으로 점착력보다 내부마찰각의 변화에 대한 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다. 또한, 단위중량에 의한 안전율은 건기시가 우기시에 비하여 크게 변화하고 있는데, 이는 우기시는 대부분 수중단위중량의 적용으로 단위중량의 변화가 감소하기 때문이라 사료된다.

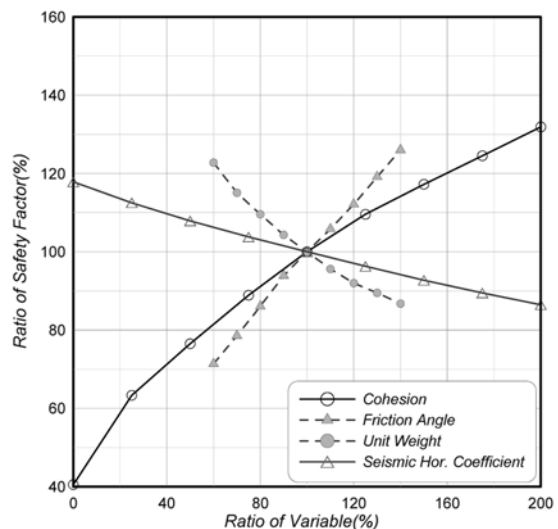
한편, 절토사면 2에 대한 해석결과를 그림 7, 8에 도시하였다.

건기시에는 그림 7에서 보는 바와 같이, 내부마찰각이 다소 급한 기울기로 안전율 변화를 나타내며 단위중량은 비선형적인 기울기를 보이면서, 특히 단위중량의 감소에 따라 안전율이 강도정수와 큰 차이없이 급하게 증가하는 것으로 나타나고 있다.

안전율에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 점착력으로 점착력을 무시할 경우를 제외하고 58.0~146.2% 안전율 변화범

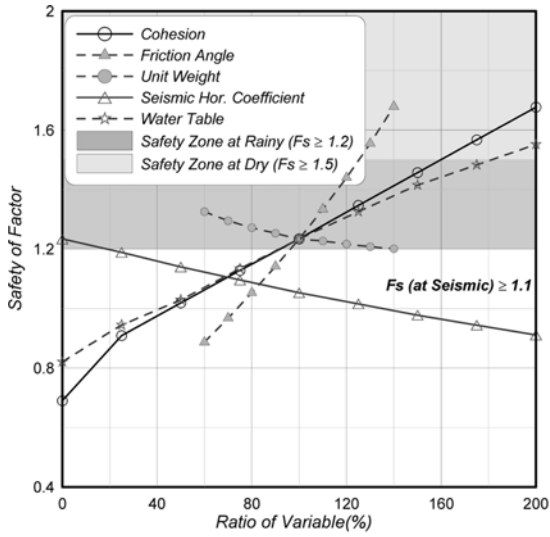


(a) 영향인자에 따른 안전율

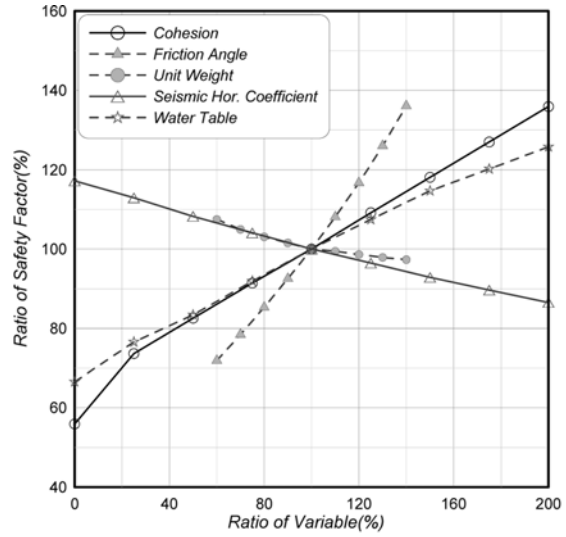


(b) 영향인자에 따른 안전율 변화비

그림 5. 건기시 영향인자에 따른 안전율(절토사면 1)

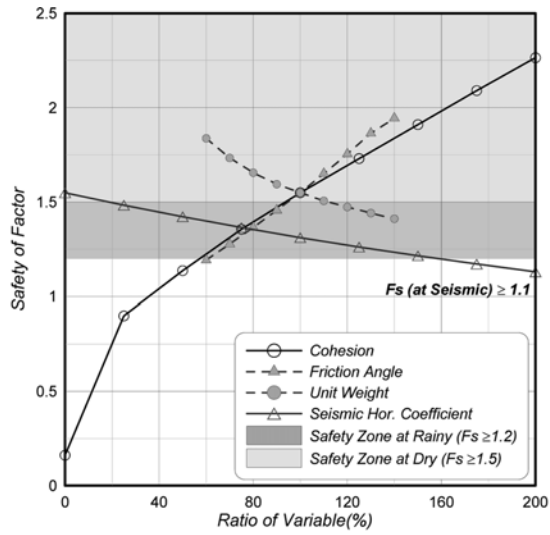


(a) 영향인자에 따른 안전율

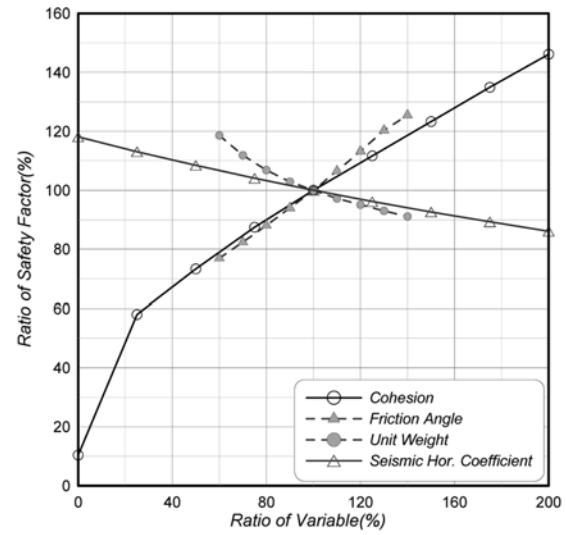


(b) 영향인자에 따른 안전율 변화비

그림 6. 우기시 영향인자에 따른 안전율(절토사면 1)

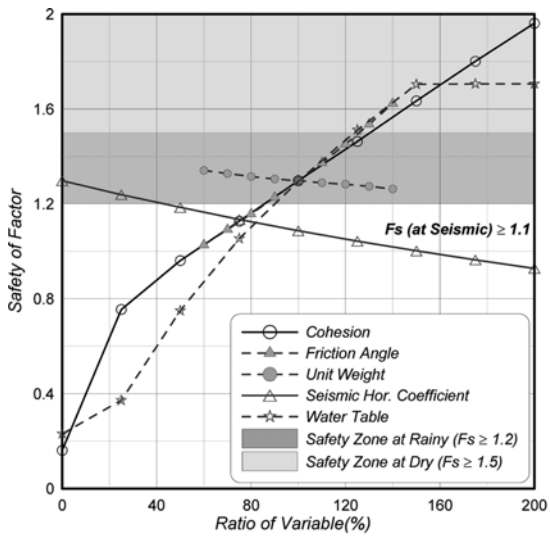


(a) 영향인자에 따른 안전율

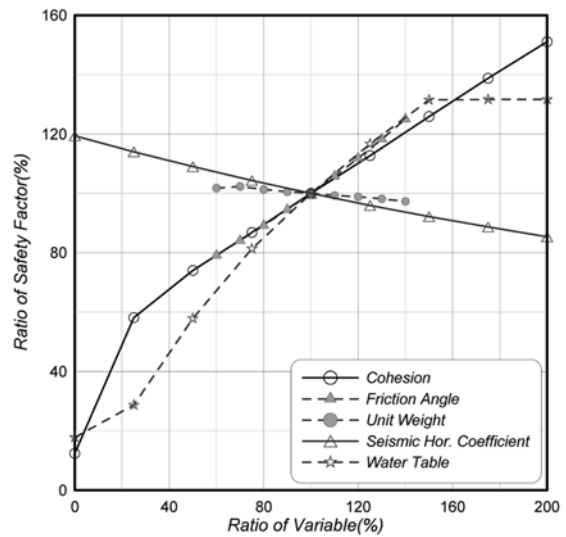


(b) 영향인자에 따른 안전율 변화비

그림 7. 건기시 영향인자에 따른 안전율(절토사면 2)



(a) 영향인자에 따른 안전율



(b) 영향인자에 따른 안전율 변화비

그림 8. 우기시 영향인자에 따른 안전율(절토사면 2)

위를 나타내고 있으며, 내부마찰각 77.0~125.5%, 수평지진계수 86.1~118.2%, 단위중량 91.1~118.6%의 안전율 변화의 순서로 나타났다.

우기시에는 그림 8에서 보는 바와 같이, 지하수위가 가장 급한 안전율 변화를 보이고 있다. 내부마찰각과 점착력이 선형적으로 유사한 안전율의 영향을 미치는 특성을 보이고 있다. 수평지진계수는 건기시와 유사한 안전율 변화 특성을 갖는 반면에, 단위중량은 다른 영향인자나 건기시 조건에 비하여 상대적으로 작은 영향을 미치고 있다. 안전율에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 점착력을 무시할 경우를 제외하고는 지하수위가 17.8~131.6%의 안전율 범위로 가장 큰 범위를 보이고 있으며, 점착력 58.2~151.1%, 내부마찰각 79.1~125.0%, 수평지진계수 85.4~119.4%의 안전율 변화 순으로 나타났으며, 단위중량이 97.3~101.8%로 가장 작은 안전율 영향 인자로 나타났다.

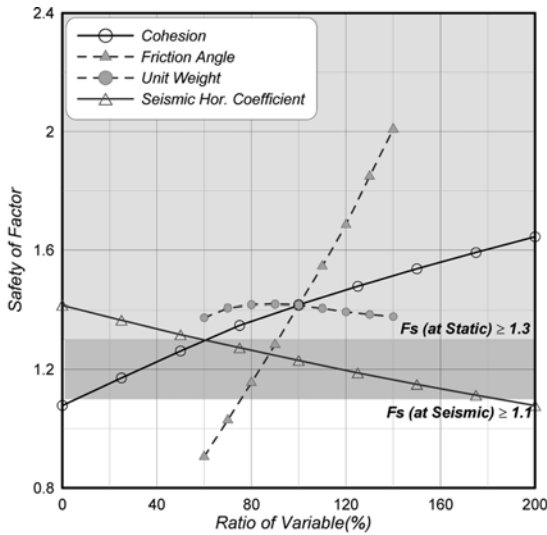
절토사면 2는 봉적층 1:1.5, 풍화토층 1:1.3의 경사로 조성

된 사면으로 봉적층의 두께가 약 4.3 m 형성되어 있다. 지하수위가 지표에 형성될 경우는 안전율이 급격히 감소하는 것은 경사면이므로 활동하려는 토괴의 하부에서만 전단강도가 발휘되므로 유효응력의 감소가 큰 영향을 미치기 때문이라 판단된다.

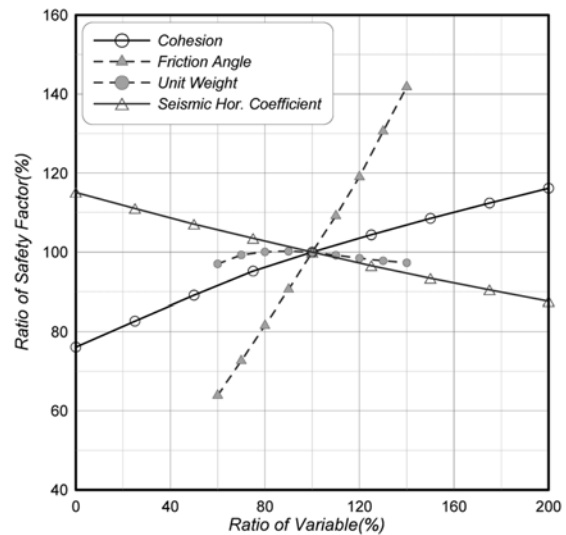
3.2 성토사면

성토사면 1에 대한 해석결과를 그림 9, 10에 나타내었다.

그림 9에서 보는 바와 같이, 건기시에는 내부마찰각의 변화에 따른 안전율의 변화가 가장 크게 나타나며, 점착력에 의한 영향이 다음으로 나타났다. 수평지진계수 및 단위중량 변화에 따른 영향이 그 이후의 순서를 나타냈다. 따라서 안전율에 가장 크게 영향을 미치는 요소와 그 범위는 내부마찰각 63.9~141.8% 안전율 변화범위를 나타내고 있으며, 점착력 76.1~116.2%, 수평지진계수 87.6~115.1%, 단위중량 97.0~100.2%의 범위로 나타났다.

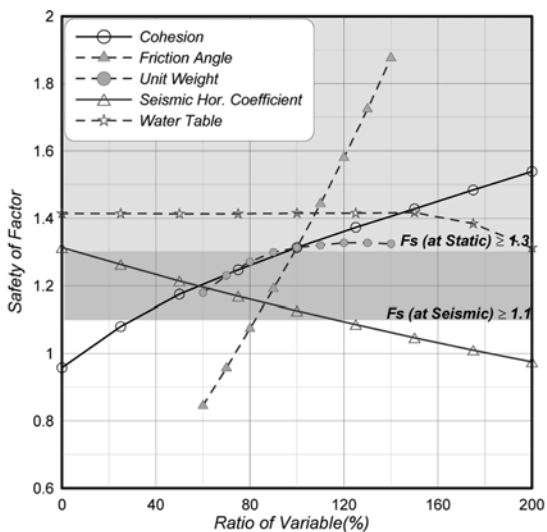


(a) 영향인자에 따른 안전율

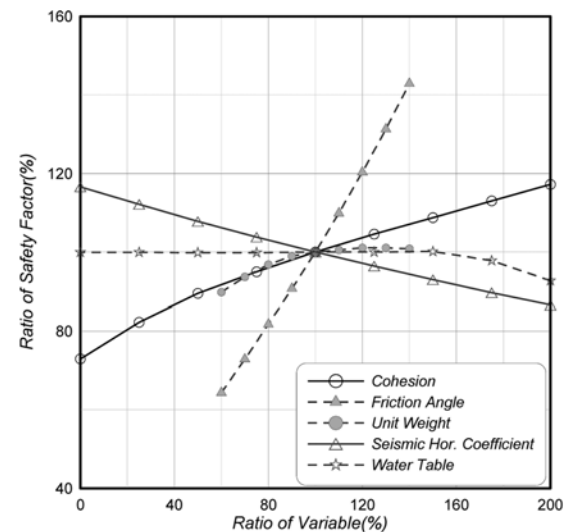


(b) 영향인자에 따른 안전율 변화비

그림 9. 건기시 영향인자에 따른 안전율(성토사면 1)



(a) 영향인자에 따른 안전율



(b) 영향인자에 따른 안전율 변화비

그림 10. 우기시 영향인자에 따른 안전율(성토사면 1)

그림 10은 우기시에 대한 해석결과로 내부마찰각의 변화가 가장 큰 안전율 변화 범위를 보이고 있다. 점착력, 수평지진 계수, 단위중량의 순으로 안전율 변화의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

한편, 성토사면 2에 대한 해석결과를 그림 11, 12에 도시하였다.

그림 11에서 보는 바와 같이, 건기시에는 점착력과 내부마찰각의 변화에 따라 유사한 안전율 변화 거동을 보이고 있다. 단위중량은 비선형적인 기울기를 보이면서, 특히 단위중량의 감소에 따라 안전율이 급하게 증가하는 것으로 나타나고 있으며 안전율에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 점착력으로 약 55.8~144.6% 안전율 변화범위를 나타내고 있으며, 단위중량은 84.0~129.6%, 내부마찰각은 80.9~119.8%, 수평지진계수는 82.3~125.3%의 범위로 나타났다.

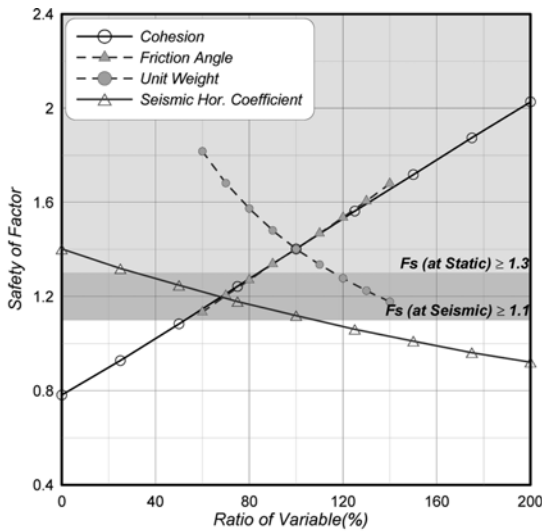
그림 12는 우기시에 대한 해석결과로 건조시와 같이 점착력과 내부마찰각의 변화에 선형적인 변화로 유사한 변화특성

을 보이고 있다. 또한, 지하수위는 수위면 상승시에 사면 안정성에 미치는 영향이 더 크게 나타나고 있으며 안전율에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 건기시와 같은 점착력으로 약 53.7~146.3% 안전율 변화범위를 나타내고 있으며, 다음은 수평지진계수로 82.0~125.4%, 내부마찰각 81.4~118.9%, 단위중량은 84.8~118.9%, 지하수위가 84.7~103.9%로 나타났다.

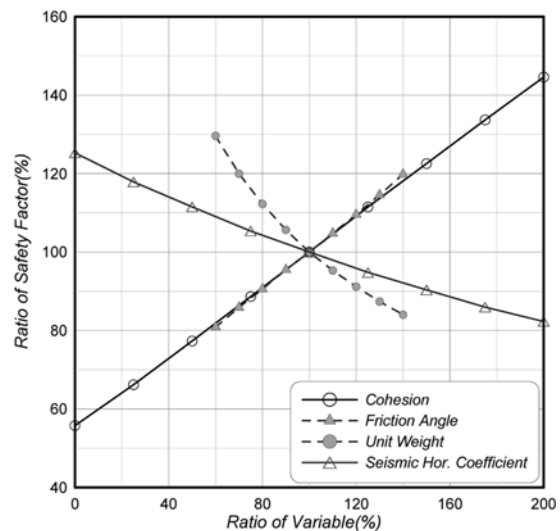
성토사면 2는 수평으로 조성된 실트질의 원지반과 샌드매트 상부에 성토체가 시공되는 복잡하지 않은 사면 조건이므로 전단저항의 지배적인 요소인 점착력과 내부마찰각에 의한 안전율 변화가 선형적으로 유사한 경향을 보이고 있다.

4. 사면조건에 따른 영향분석

본장에서는 실제 절토와 성토사면 각각에 대해 점착력과 내부마찰각의 강도정수와 단위중량, 지하수위 그리고 수평지진계수 등의 매개변수가 사면의 안전율에 미치는 영향에 대

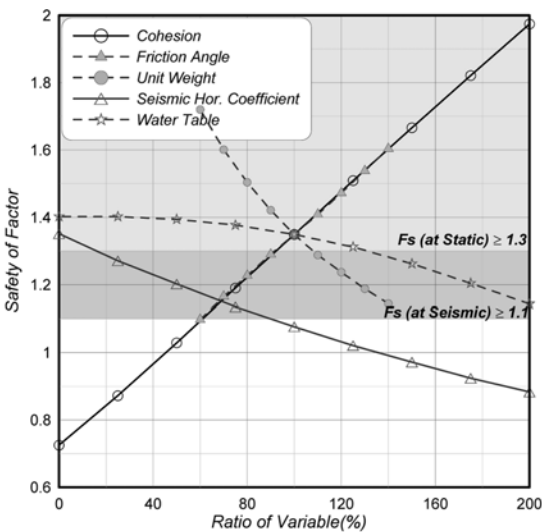


(a) 영향인자에 따른 안전율

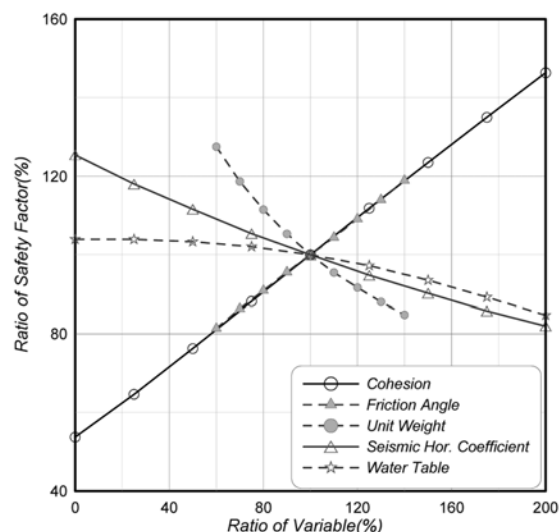


(b) 영향인자에 따른 안전율 변화비

그림 11. 건기시 영향인자에 따른 안전율(성토사면 2)



(a) 영향인자에 따른 안전율



(b) 영향인자에 따른 안전율 변화비

그림 12. 우기시 영향인자에 따른 안전율(성토사면 2)

한 민감도 분석을 종합적으로 실시하였다.

4.1 강도정수 및 단위중량 분석

강도정수인 점착력과 내부마찰각, 그리고 단위중량이 사면에 미치는 영향에 대해 실제 설계·시공이 이루어진 절토 및 성토사면을 대상으로 분석을 수행하였다.

4.1.1 점착력

점착력이 사면안정에 미치는 영향을 분석하기 위해 실제 절토 및 성토사면에 대해 실시한 매개변수 민감도 분석 결과를 그림 13, 14에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이, 점착력이 가장 크게 영향을 미치는 사면은 절토사면 2, 성토사면 2, 절토사면 1, 성토사면 1의 순서이다. 건기시와 우기시 모두에서 점착력이 사면의 미치는 영향에 대한 순서는 사면형성조건이 절토 또는 성토 조건과는 상관없이 나타나는 것으로 볼 때, 점착력에 의한 사면안정성 영향은 지반의 구성토질 및 다른조건에 의해 영향

이 큰 것으로 파악할 수 있다. 즉, 사면의 조건이나 우기 및 건기 조건보다는 구성토질이 사면안정성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석할 수 있다.

4.1.2 내부마찰각

내부마찰각의 변화에 의해 사면안정에 미치는 영향을 분석하기 위해 실제 절토 및 성토사면에 대해 매개변수 민감도 분석을 한 결과를 그림 15, 16에 도시하였다.

건·우기시의 내부마찰각에 의한 사면안전을 변화비를 나타낸 그림 15, 16에서 보는 바와 같이, 성토사면 1에서 가장 큰 내부마찰각의 영향을 보이고 있다. 절토사면 1, 2는 건기시에 유사한 변화를 나타내나, 우기시에는 다소 차이가 나타난다.

이는 성토사면의 2의 우기시 지하수위가 지표면에 형성된 조건이므로 전단강도에서 유효상재하중이 감소하여 우기시 지하수위가 지표 아래 3m의 형성되는 절토사면 1에 비하여 상대적으로 전단강도에 미치는 영향이 감소하기 때문이라 판단된다.

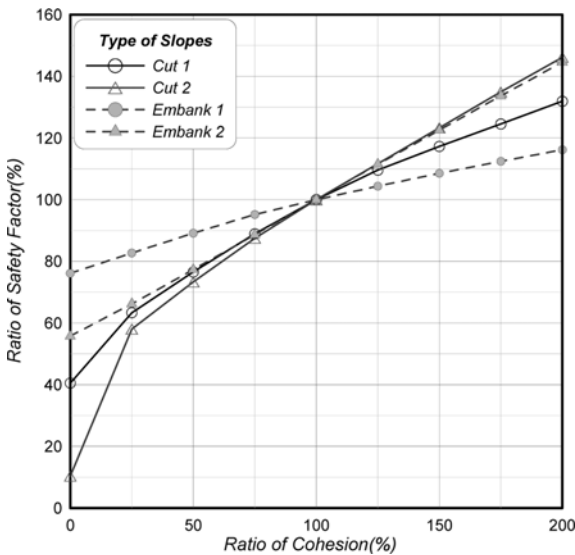


그림 13. 점착력 민감도 분석(건기시)

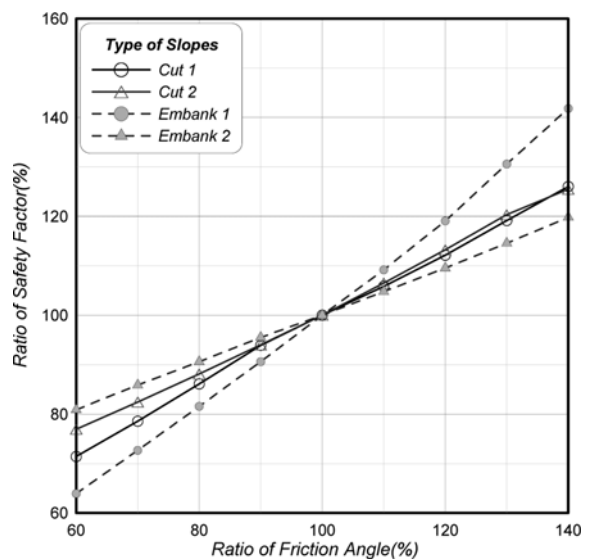


그림 15. 내부마찰각 민감도 분석(건기시)

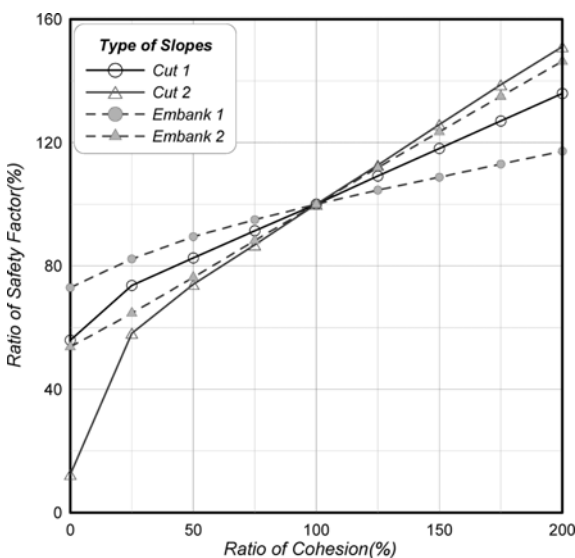


그림 14. 점착력 민감도 분석(우기시)

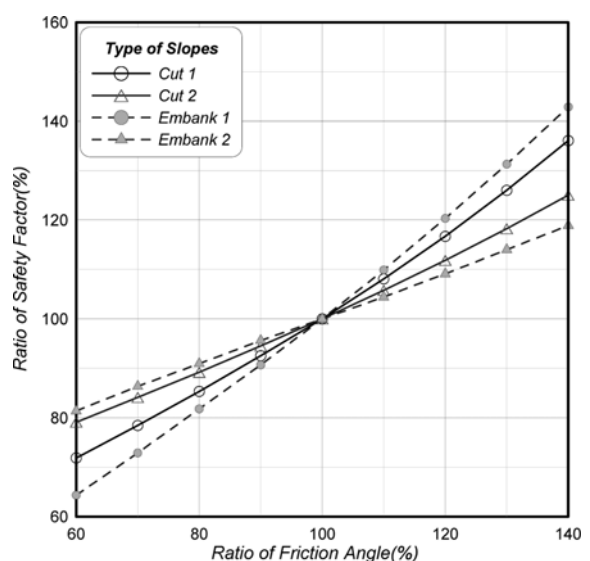


그림 16. 내부마찰각 민감도 분석(우기시)

이와 같이 내부마찰각에서도 사면의 조건보다는 전단강도에 직접적으로 영향을 주는 흙의 구성토질이나 지하수위가 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4.1.3 단위중량

단위중량에 의한 사면안정성 변화는 그림 17, 18에 건기시, 우기시로 각각 나타내었다.

사면에서 단위중량 변화에 대한 사면 안전율은 절토사면에서는 건기시가 우기시보다 큰 영향으로 나타나는 반면에, 성토사면에서는 유사한 경향으로 분석되었다. 이는 절토사면의 경우는 지하수위의 위치에 따른 지반의 전단강도의 영향이 큰 것에 반하여, 성토사면에서는 지하수위의 변화가 성토체에 영향을 미치지 못하기 때문에 건기시와 우기시의 변화가 유사하게 나타나는 것으로 사료된다.

성토사면 1의 낮은 단위중량 조건을 제외하고는 단위중량 증가에 따라 안전율은 비선형적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이로부터 본 검토사면의 대부분 조건에서, 단위중량

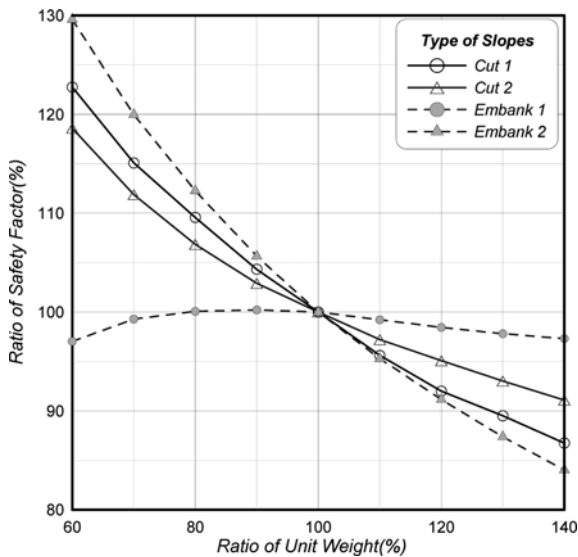


그림 17. 단위중량 민감도 분석(건기시)

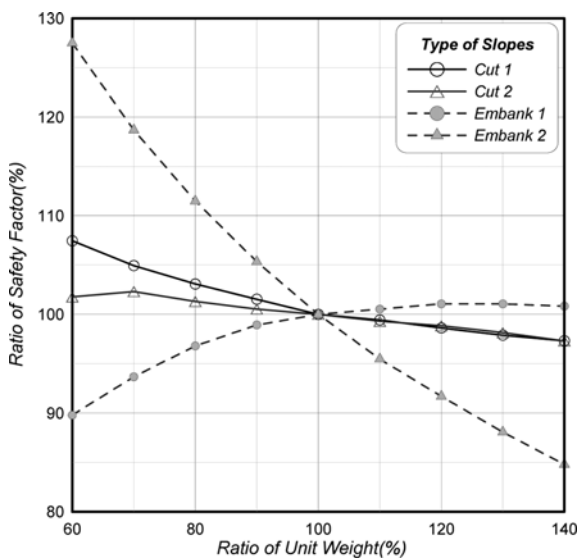


그림 18. 단위중량 민감도 분석(우기시)

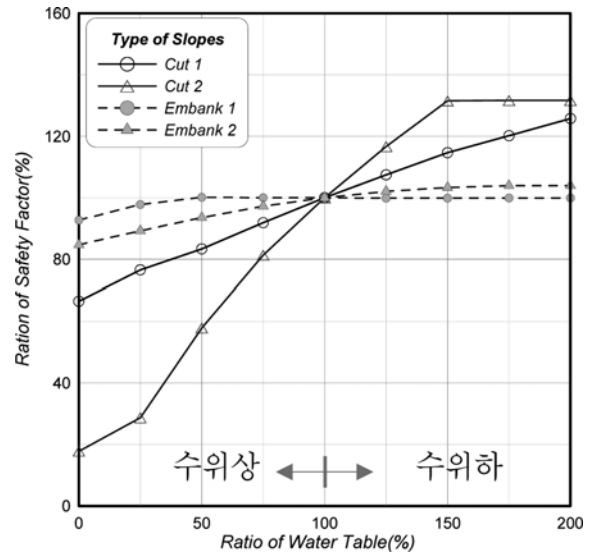


그림 19. 지하수위 민감도 분석

의 증가는 활동력의 증가로 발현되는 것을 알 수 있다. 성토사면 1의 낮은 단위중량조건시에는 사면의 활동력이 토괴와 더불어 상대적으로 상부의 큰 철도하중(60.80 kN/m²)이 주요한 힘으로 작용하므로 단위중량의 증가가 저항 토체의 상대하중 증가에 더 큰 영향으로 나타났기 때문이라 판단된다.

4.2 지하수위 분석

지하수위의 변화에 의해 사면안정성에 미치는 영향을 절토 및 성토사면의 안전율 변화비로 분석하여 그림 19에 나타내었다.

그림에서 볼 수 있듯이 지하수위 하강에 따라 안전율은 전반적으로 커지고 있음을 알 수 있다. 특히, 연구대상의 절토사면에서는 경사면의 상부에서 지하수위 상승 및 하강이 나타나기 때문에 그 영향이 성토사면에 비해 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

4.3 수평지진계수

사면에 대한 지진시 안정성 검토를 위해 등가정적해석에서 사용되는 수평지진계수에 대한 실제 절토 및 성토사면에서의 안정성 검토를 실시하였다. 등가정적해석에서는 수평지진계수의 50%값이 설계지진하중으로 적용된다.

수평지진계수의 변화에 따라 절토 및 성토 사면의 안전율을 그림 20, 21에 건기시와 우기시로 각각 나타내었다. 그림 20의 건기시 수평지진계수 변화에 따른 실제 절토 및 성토사면의 안전율을 보면, 설계에 적용된 수평지진계수인 100%에서 4개의 사면 모두 안전성을 만족하고 있다. 반면에 그림 21의 우기시 조건에서는 수평지진계수 100%에서 성토사면 1을 제외하고는 모두 허용안전율 이하의 결과를 보이고 있다.

지진시의 안전율 차이는 절토사면 1에서 0.208~0.291, 절토사면 2에서 0.201~0.251, 성토사면 1에서 0.102~0.104, 성토사면 2에서 0.038~0.051로 나타났다. 이는 지진시의 평균 안전율을 기준으로 약 3.4~22.5%의 범위이며, 평균적으로 12.0%의 안전율의 차이를 보이는 것이다. 건·우기조건에서

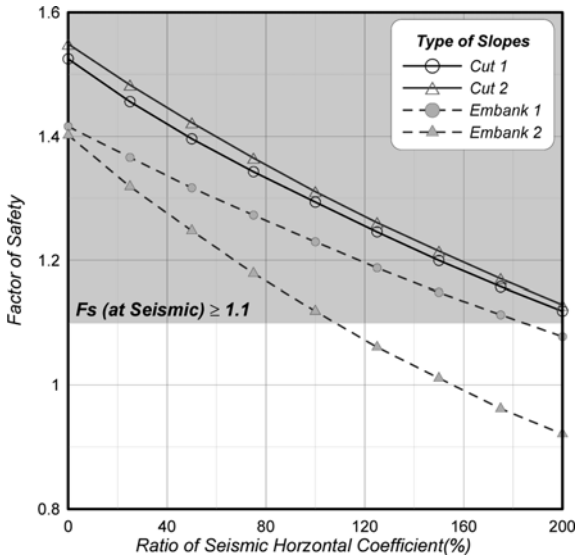


그림 20. 수평지진계수에 의한 안전율(건기시)

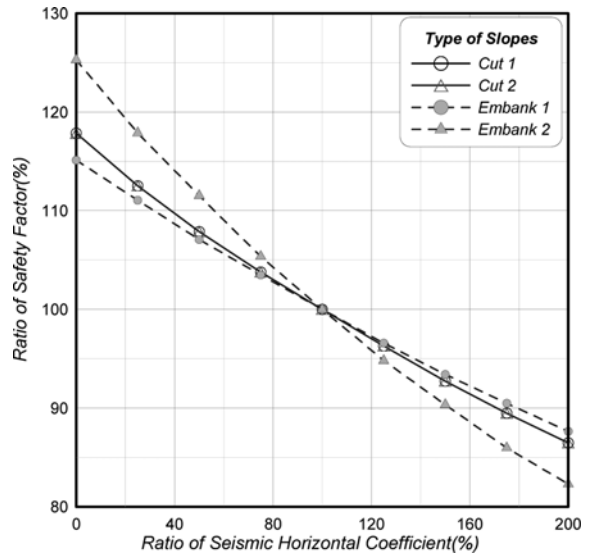


그림 22. 수평지진계수 민감도 분석(건기시)

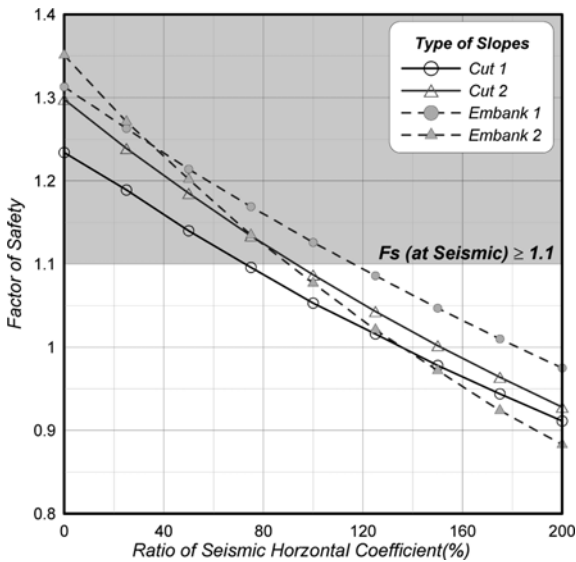


그림 21. 수평지진계수에 의한 안전율(우기시)

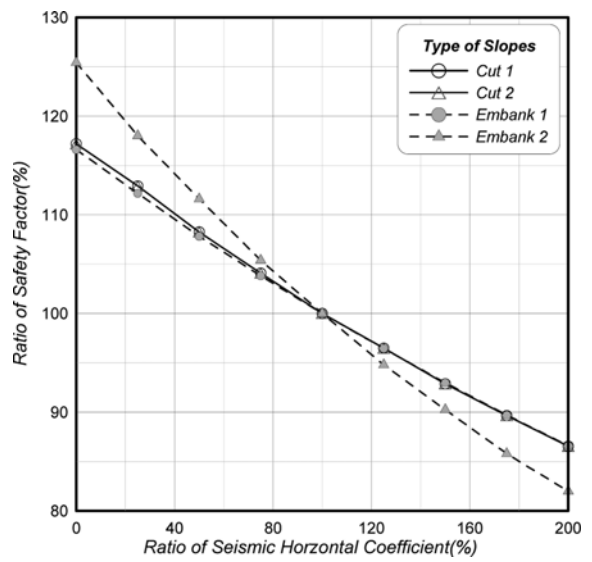


그림 23. 수평지진계수 민감도 분석(우기시)

지진시 안전율 차이는 평균 12.0%이므로 지진시 건·우기조건에 대한 선정이 중요할 것으로 판단된다.

수평지진계수에 의한 사면안전율 변화비를 그림 22, 23에 건기시와 우기시로 나누어 나타내었다. 그림과 같이, 성토사면 2에서 지진계수변화에 대하여 안전율이 크게 변화하는 경향을 보이나 전체적으로 절·성토 조건이나 건기나 우기조건과 무관하게 유사한 안정성 변화를 보이고 있다.

5. 결 론

본 논문은 주요 매개변수들이 사면안정성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 실제 설계 및 시공이 이루어진 절토사면 2개와 성토사면 2개를 선정하여 이에 대한 매개변수 민감도 분석을 실시하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 건기시 절토사면에서 점착력, 내부마찰각, 단위중량 등이 사면안정성에 미치는 영향은 우기조건보다 더 큼을 알 수 있고, 성토사면에서는 건기와 우기조건에서 모두 유사한 영향을

주는 것으로 나타났다. 또한, 수평지진계수는 전체사면에서 건기와 우기조건에 관계없이 유사한 값의 범위로 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

2) 강도정수인 점착력과 내부마찰각은 단위중량, 지진계수와 비교하여 건·우기조건에 관계없이 사면안정성에 상대적으로 큰 영향을 미치는 영향인자로 나타났으며 단위중량과 지진계수는 사면형성조건 및 건·우기 조건에 따라 사면안정에 미치는 영향의 정도가 다르게 나타났다.

3) 단위중량과 지하수위에 대한 민감도 분석결과, 지하수위 변화는 성토사면보다 절토사면에서 안전율에 미치는 영향이 크게 나타났으며 이러한 결과는 원지반 사면의 지형조건과 관련된 것으로 판단된다.

4) 수평지진계수에 따른 사면안전율 변화의 민감도 변화는 절·성토조건, 건기 또는 우기 조건에 따라 큰 차이는 없으나 우기시, 수평지진계수 변화에 따라 건기시에 비하여 안전율이 크게 저하되므로 절·성토조건에서 우기시 적정의 지하수위 선정조건을 제시할 필요가 있음을 나타내었다.

참고문헌

- 안종필, 박주원, 박용훈 (2004) 사면의 안정성 평가기법 개발, 2004 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.2441-2446.
- 이인모, 이주공, 이우진 (1996) 사면의 지하수 흐름에서 통계학적인 방법을 이용한 매개변수 분석, 1996 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.191-194.
- 홍원표, 송영석, 임석규 (2005) 인공신경망모델을 이용한 절개사면의 안정성 평가, 대한토목학회 논문집, 제25권 제4C호, pp.275-283.
- 홍원표, 임석규, 송영석 (2004) 신경망이론에 의거한 사면의 안정성 평가를 위한 인자추출, 2004대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.1347-1352.
- Bishop, A. W. (1955) *The Use of Pore Pressure Coefficient in Practice*, Geotechnique, Vol.5, pp.7-17.
- Geo-Slope (2002) *SLOPE/W Manual for Slope Stability Analysis*, Version 5, Geo-Slope Office.

◎ 논문접수일 : 10년 02월 19일
◎ 심사의뢰일 : 10년 03월 11일
◎ 심사완료일 : 10년 04월 08일