

지반강도정수의 공간적 변동성을 고려한 저수지 사면의 안정성 평가

Stability Evaluation of Reservoir Slope Considering Spatial Variability of Soil Strength Parameter

신승원¹⁾ · 정종원²⁾

Shin, Seungwon · Jung, Jongwon

국내 설치된 저수지 중 설치경과 년수가 50년 이상 된 시설물이 약 76%를 차지하며, 노후화로 인해 본래의 기능을 수행하지 못하는 시설물이 전국에 산재해 있어 붕괴에 대한 위험성을 가중시키고 있다. 또한, 여름철 집중된 호우와 이상기후로 인해 홍수와 가뭄의 양극화 현상이 심화 되었으며, 국내 지진 발생 추이에 따르면 지진 발생 횟수의 점진적인 증가와 최근 경주와 포항에서 발생한 국내 지진관측 이래 가장 큰 규모의 지진이 잇따라 발생해 재해위험도와 저수지 사면 붕괴에 대한 불안감이 증대되었다. 따라서 저수지 주요 붕괴원인인 월류 및 파이프에 의한 붕괴뿐만 아니라 설계지반가속도를 고려하여 지진에 대한 안정성 평가가 요구되는 실정이다. 또한, 자연상태의 지반은 위치와 공간에 따라 비균질적인 변동성을 갖지만, 기존 사면에 대한 안정성 평가는 지반의 물성치가 균질하다고 가정하고 수행되어 사면 붕괴에 대한 위험성 평가에 한계가 존재한다(Gui et al., 2000). 이와 같은 한계를 극복하고자 현장 특성에 따라 나타나는 불연속성의 특성을 정량화하는 확률론적 해석기법이 요구된다(Feng & Lajai, 1998). 그러므로 본 연구에서는 호우로 인한 수위와 설계지반가속도를 산정하고 몬테카를로 시뮬레이션 기법을 활용해 확률론적 해석을 수행하여 저수지 사면에 대한 안정성을 평가하였다.

확률론적 해석 수행을 위해 내부마찰각 변동성을 고려하여 평균, 분산계수 및 표준편차를 결정하였다. 확률론적 해석에서 가장 많이 사용되는 정밀확률기법인 몬테카를로 시뮬레이션 기법은 결정론적 해석으로 표현되는 모델에 적용할 수 있다. 내부마찰각의 근사적인 확률 분포 산정 후, 확률적으로 등분포하는 임의의 수를 발생시켰다. 5,000회 반복계산을 수행하고 안전율의 확률밀도함수를 통하여 붕괴확률을 산정하였다. 본 연구에서는 확률론적 해석을 활용해 저수지 내부마찰각의 변동계수 내에서 수위와 설계지반가속도를 고려한 사면의 붕괴확률을 산정하였으며, 국내·외 문헌에서 제시된 내부마찰각의 변동계수(Coefficient Of Variation, COV)는 Table 1과 같다.

Table 1. COV(Coefficient Of Variation) of inherent soil variability for friction angle

Soil type	COV(%)	Reference
Sand	5-11	Jones et al. (2002)
Clay & Silt	10-56	
Clay	11-30	Onyejekwe (2012)
Clay & Sand	5-15	Uzielli et al. (2006)
Clay & Sand	6-21	Phoon & Kulhawy (1999)
Silty clay	26	Meyerhof (1970)
Weathered soil	8	Kim et al. (2009)

1) 충북대학교 토목공학과 석사과정(tmddnjs1884@naver.com)

2) 충북대학교 토목공학과 부교수(jjung@chungbuck.ac.kr)

수치해석 대상 저수지에 대한 사면안정해석 결과, 평수위 조건에서 안전율은 1.94, 만수위 조건에서 안전율은 1.83으로 나타났다. 설계지반가속도를 고려한 사면안정해석 결과, 평수위 조건에서 안전율은 1.15, 만수위 조건에서 1.09로 사면 활동에 대한 최소안전율인 1.20을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 내부마찰각 변동성을 고려한 저수지 사면의 붕괴확률 산정 결과, 지진을 고려하지 않은 평수위 조건과 만수위 조건에서는 내부마찰각 변동에 따른 붕괴확률은 0%로 나타났다. 지진을 고려한 평수위 조건에서는 변동계수 5%까지 붕괴확률은 0%이고, 변동계수 8%에서 붕괴확률은 0.2%, 변동계수 10%에서 붕괴확률은 0.48%이며, 만수위 조건에서 변동계수 3%까지 붕괴확률은 0%이고, 변동계수 4%에서 붕괴확률 0.06%, 변동계수 10%에서 붕괴확률 4.08%로 수위와 변동계수가 증가함에 따라 사면의 최소안전율이 감소하여 붕괴확률이 더욱 크게 나타났다. Fig. 1은 내부마찰각 변동계수 변화에 따른 설계지반가속도를 고려한 붕괴확률을 나타낸다. 수치해석 대상 저수지에 대한 안정성과 붕괴확률 산정 결과, 설계지반가속도를 고려한 저수지의 안정성은 사면 활동에 대한 최소안전율을 만족하지 못하며, 내부마찰각 변동계수 증가에 따른 붕괴확률이 나타났다. 이를 바탕으로 저수지의 수위와 설계지반가속도를 고려한 안정성 평가를 토대로 보수 및 보강이 요구된다고 판단된다.

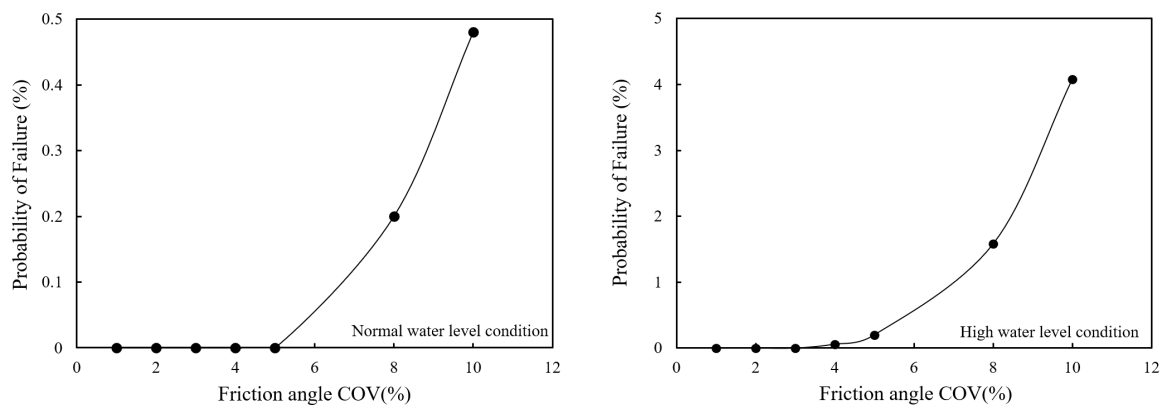


Fig. 1. Probability of failure according to spatial COV of friction angle

감사의 글

본 연구는 "행정안전부 극한 재난대응 기반기술개발사업의 연구비 지원(2018-MOIS31-009) 및 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(과제번호: 20CTAP-C153021-02)"으로 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Feng, P. and Lajtai, E. Z. (1998), Probabilistic treatment of the sliding wedge with EzSlide, Engineering Geology, 50, pp. 153~163.
2. Gui, S., Zhang, R., Turner J. P. and Xue, X. (2000), Probabilistic slope stability analysis with stochastic hydraulic conductivity, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 126, No. 1, pp. 1~9.