

## 사면 안정해석시 사용되는 입력변수들의 상관성 분석에 관한 연구

백 용	한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원
장수호	한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원
권오일	한국건설기술연구원 지반연구부 연구원
정자혜	한국건설기술연구원 지반연구부 연구원
구호분	한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원

### 1. 서 론

사면의 안전율을 산정할 경우, 많은 입력 자료를 사용하게 된다. 반면 입력 자료가 안전율에 대하여 상호 어느 정도 민감성을 가지는지에 대하여 연구를 수행하였다. 본 논문은 안정해석에 사용되는 지반강도정수 및 입력변수의 상호 민감성에 대한 분석을 실시하는 것이다. 입력 자료로는 일반국도변의 절토사면 현장조사 자료를 사용하였으며 입력변수들은 Monte-Carlo Simulation 기법을 이용하여 변수를 산출하고 한계평형식을 사용 안전율을 도출하였다. 대상 사면 모델은 기붕괴가 발생한 사면을 대상으로 민감성을 분석하였다. 민감성 분석 인자로는 사면 경사, 점착력, 내부마찰각을 대상으로 하였으며 출력인자로는 안전율을 선정하였다. 민감도 분석시 민감도지수는 PCC(Partial Correlation Coefficient)를 적용하였다.

### 2. 절토사면 조사 자료

본 연구에 활용한 현장 조사 자료는 전국 일반국도변에 위치한 절토사면 1934개소의 현장을 조사에서 수집된 자료를 활용하여 분석하였다. 조사된 현장 조사 자료를 이용하여 지반강도정수를 산정하였다. 지반강도 정수산정 기법은 경험식은 많은 학자들에 의하여 제시되었다. 대표적으로 Bieniawski(1989), Trueman(1988) 등 의하여 제시된 방법이 주로 적용되고 있다. 본 방법은 회귀 분석식으로부터 제안된 식으로 일반적으로 점착력은 과대한 값을 나타내고 있으며 마찰각은 과소 평가되는 단점이 있다. 그러나 현장에서 취한 RMR값을 손쉽게 계산할 수 있는 장점을 최대한 이용할 수 있어 본 연구에서 채택하였다. 식 (1)과 (2)는 본 연구에 활용된 지반강도정수 산출식이다.

$$C = 0.25 \exp(0.05 \times RMR) \quad (1)$$

$$\phi = 0.5 \times RMR + 5 \quad (2)$$

절토사면 현장에서 수집된 자료를 활용하여 분포특성을 분석하였다. 분포특성 분석은 Monte-Carlo simulation에 활용하기 위한 확률변수를 구하기 위하여 시도되었다. 분포형태를 분석한 결과 3가지의 경우 모두 정규분포(normal distribution)를 따르는 것으로 나타났다. 입력변수의 평균 및 분산은 전체 값들과 SMR 분류법에 의하여 총 4 단계로 분류하였다. 분석결과는 표 3과 같으며 현장의 자료를 이용하여 도출한 확률변수 결과이다. 그림 1은 현장에서 수집한 전체 입력

변수의 분포형태를 나타낸 것이다. 그림 2는 SMR 등급중 III에 해당되는 자료를 분석한 입력 변수 분포형태이다. 다음으로 Monte-Carlo Simulation을 이용하여 1000개의 난수를 발생시켰으며 이들 난수를 이용하여 모델 사면의 안전율을 산출하였다.

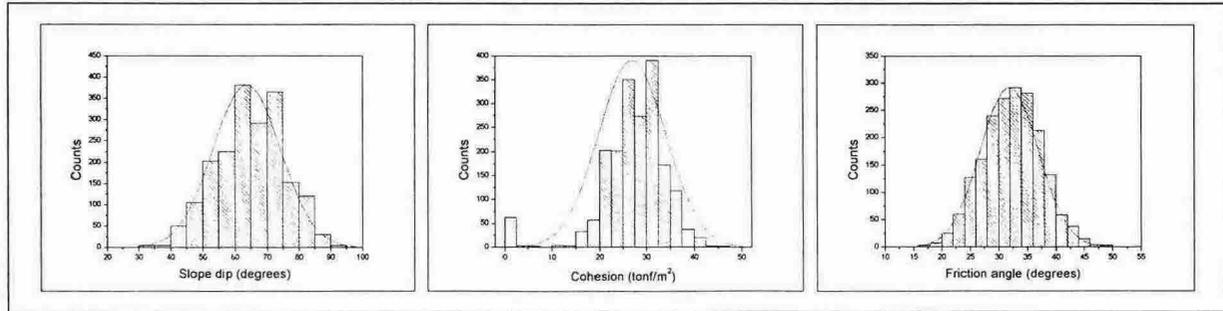


그림 1. 조사된 입력 변수전체의 확률분포.

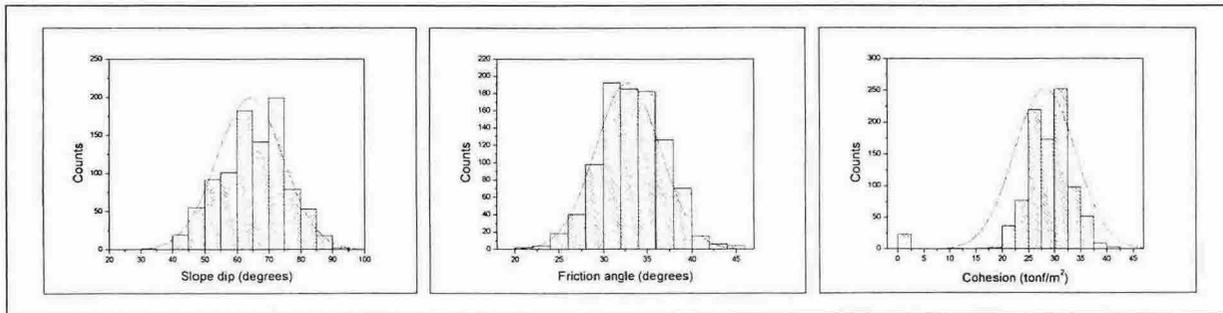


그림 2. 조사된 입력 변수중 SMR III등급의 확률분포.

### 3. 사면 안전율 검토와 입력 인자 민감도 분석

암반 사면의 안정성 해석은 동역학적으로 한계평형해석을 통하여 안전율을 산출할 수 있다. 입력 인자들에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 민감도분석은 입력변수들과 모델 변수들의 불확실성을 평가하는 방법이다. 또한 민감도분석은 모델의 출력이 입력변수들의 변화에 어떻게 영향을 받는지 평가하여 모델의 신뢰성과 예측결과에 대한 신뢰성을 향상시키기 위해 사용된다. 따라서 민감도분석은 모델 입력변수의 불확실성의 결과로서 얻어지는 전체 불확실성을 정량하는 데 목적을 둔 불확실성 해석(Uncertainty Analysis)과 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 본 연구에서는 민감도 분석 기법 중에 지반강도정수와 설계인자에 대한 표본을 추출하고 출력변수 즉 안전율에 대한 민감도를 분석하기 위하여 대역적 민감도 분석을 실시하였다.

민감도 분석은 다음과 같은 순으로 결정된다. 먼저 실험 계획을 설계하고 어떠한 입력변수들을 고려할지 결정한다. 각 입력변수에 대한 확률밀도함수 또는 편차 범위를 결정한다. 다음 적절한 설계에 의해 입력 벡터 및 행렬을 발생시키고 출력결과의 분포를 조사하여 모델을 평가한다. 끝으로 출력 변수에 미치는 각 입력변수의 영향 또는 상대적인 중요도를 평가하게 된다.

본 연구에서는 현장의 조사 자료를 활용하여 입력변수에 대한 확률밀도함수를 설정한다. 다음으로 출력결과의 값인 안전율과 입력 변수와의 상관관계를 도출하여 민감도를 분석하게 된다. 입력 변수로는 지반강도정수와 설계변수를 적용하였으며 안전율을 출력변수로 평가하였다.

본 연구에서는 지반강도정수의 입력변수들의 분포에 따른 결과들의 중요도와 불확실성을 분석

하는데 유용한 Monte Carlo Simulation에 근거한 민감도 분석을 수행하였다. 입력변수의 범위를 동일한 확률을 가진 N개의 간격으로 나누고 각 간격에서 입력변수의 값을 추출하는 표본추출 기법인 Latin hypercube 표본추출기법을 적용하였다. 이 기법은 출력결과가 입력변수들 가운데 단지 몇 가지 요소들에 의해 지배 될 때 매우 우수하며 출력결과와 평균과 분포함수를 추정하는데 있어 무작위 표본추출기법보다 우수하다고 알려져 있다(Hoek 등, 1995). 민감도 분석에 사용되는 민감도 분석 지수는 상관(correlation)과 부분상관(partial correlation)의 개념에 근거한 PCC지수를 사용하였다.

#### 4. 해석 대상 및 결과

사면 안정 해석을 실시하기 위하여 다음 그림 3과 같은 모델을 선정하여 해석을 실시하였다. 본 사면은 20°경사를 가지는 연약대층을 따라 평면파괴가 발생하였으며 전체 사면높이는 48.2m이며, 인장균열의 깊이가 19.8m에 해당된다. 사면 경사는 58°이며, SMR에 의한 암반 등급은 III등급에 해당되는 것으로 가정하였다.

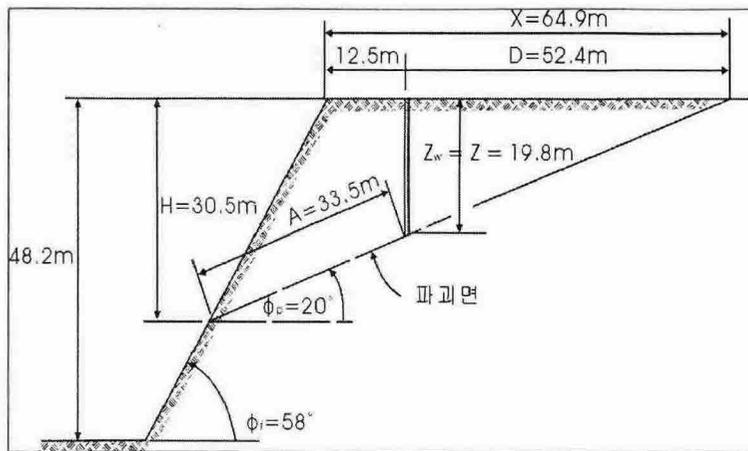


그림 3. 해석 모델 사면 모식도.

출력변수의 분포를 살펴보면 정규분포를 나타내는 것을 알 수 있다. 안전율 Fs(Factor of Safety)이 1.0이하인 경우는 72.9%에 해당이 되며 1.2이하는 92%에 해당되어 본 사면은 불안정한 상태임을 알 수 있다(그림 4). PCC 민감도 지수를 분석한 결과는 그림 5와 같다. 민감도 분석 결과 사면의 점착력과 사면 경사가 매우 민감한 것으로 나타났으며 내부마찰각은 다소 민감성이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 입력변수 및 출력변수의 요소수가 적은 점을 감안할 때 민감도 지수의 정량적인 의미는 없을 것이다.

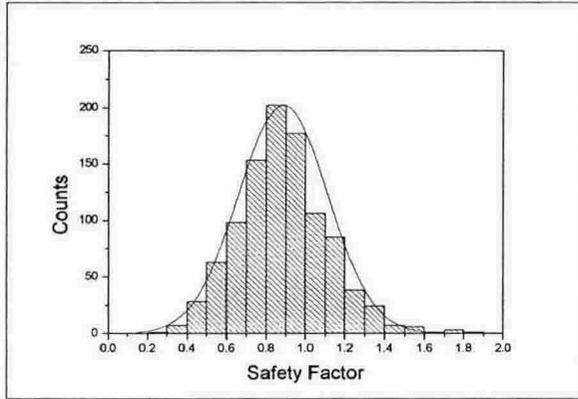


그림 4. 안전율에 관한 출력변수 분포도.

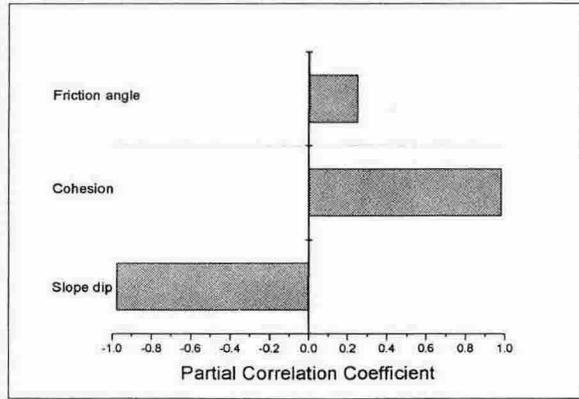


그림 5. 민감도 분석을 통한 PCC지수 분포.

### 5. 결 론

사면 안정에서 입력 변수로 활용되는 지반강도 정수의 민감성에 대하여 분석을 실시하였다. 붕괴된 모델 사면을 대상으로 안정성 결과와 상응하여 입력변수에 대한 검토를 실시하였다. 민감도 분석 지수로는 PCC 민감도 지수를 이용하였다. 분석 결과 입력 변수로 선정된 3가지의 요소중에 점착력, 경사, 내부마찰각순으로 민감성이 있는 것으로 해석되었다. 그러나 결과에서 나타난 정량적인 값은 입력변수 및 출력변수의 요소수가 적어 지수 자체의 값에 대한 가중치는 고려하기 어렵다.

향후 입력변수의 요소 수와 출력 변수의 요소수를 늘려서 요소간의 민감성 분석에 대한 연구도 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 보강공법에 대한 적정성에 대한 추가적인 연구도 앞으로 추진되어야 할 연구 과제라 생각된다.

### 참고문헌

배규진 외 3인, 2003, 슛크리트 라이닝의 거동해석에 영향을 미치는 입력변수들에 대한 민감도 분석, 대한토목학회, 제 23권, 제 5C호, 345-356.

Bieniawski, 1973, Engineering classification of jointed rock mass, Trans. South Afr. Ins. of Civil Eng., Vol. 15, N12, 335-344.

Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classification, John Willy & Sons.

Conover, W. J., 1980, Practical Nonparametric Statistics, 2nd ed., Wiley, New York.

Hoek, E., Kaiser, P. K. and Bawden, W. F. 1995, "Horizontal vibration-New lumped parameter model", Proc of 9th Inter. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng, Tokyo. Vol. 2, 365-368.

Romana, R.M., 1993, A Geomechanical classification for slopes: Slope mass rating, Comprehensive rock engineering, ed. Hudson, Pergamon Press, 575-600.

Saltelli, A., Cahn, K. and Scott, E. M. 2000, Sensitivity analysis, John Wiley and Sons Ltd., England.

Trueman, R. 1988, An evaluation of strata support techniques is dual life gateroad, Ph.D, Thesis, Univ. of Wales.