

암반사면의 안정성 평가방법에 관한 비교연구

박상범 ((주)아이엠기술단)

김일구 (남양건설(주))

1. 서론

암반사면의 경우 극히 불 균질할 뿐만 아니라 암석 고유의 특성, 풍화의 정도, 성층상태 및 불 연속면의 특성 등에 따라 암반의 거동이 현저하게 다르기 때문에 암석역학과 암반공학의 모든 이론에 근거하여 그 상태를 정량적 지표로 평가할 수 없는 경우가 많다. 암반사면의 안정성 평가는 점추정법에 의한 신뢰성 해석방법을 실제 4개 구간에 적용하여 상호 비교·분석함으로써 각 암반 사면에 대한 안정성 평가의 신뢰성 및 타당성을 검토하였다.

그리고 암반사면의 일반적인 해석법인 평사투영해석과 한계평형해석에 대한 이론과 해석방법에 대해서는 생략하고, 점추정법에 의한 결과와 비교 평가시에 언급하기로 한다.

2. 점추정법에 의한 신뢰성 평가방법

2차모멘트법에 의한 Level II 신뢰성 해석방법은 도함수의 미분계산이 필요하다는 단점이 있으며, MCS에 의한 Level III 신뢰성 해석방법도 계산시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

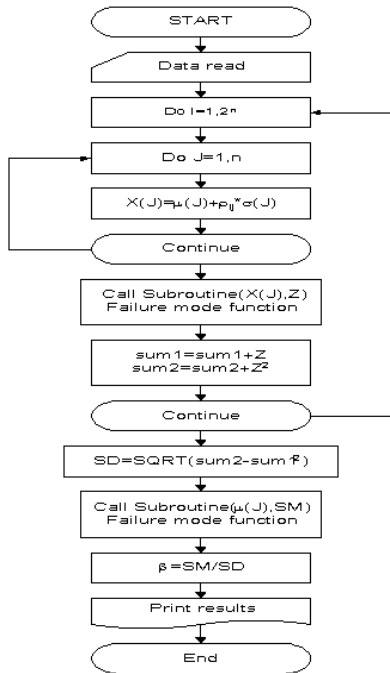


그림 2.1 점추정법에 의한 신뢰성해석 흐름도

이러한 도함수 미분계산 없이 시간도 단축하면서 결과의 정도를 높일 수 있는 근사적 통계수법인 점추정법의 신뢰성이론이 Rosenblueth (1975)에 의해 제안된 Level III 방법이다.

점추정법을 이용한 신뢰성 문제를 공식화 하면 식 (2.1)로 나타낼 수 있다.

$$Z = M_R - M_L \quad (2.1)$$

여기서, M_R 는 사면에 대한 저항요인, M_L 는 사면에 대한 하중요인이다.

위 식의 안전여유($Z = R - S$)의 평균과 분산은 식(2.2)와 식(2.3)에 의해 구할 수 있으며, 점추정법에 의한 신뢰성 해석 흐름도를 왼쪽 그림 2.1에 나타내었다.

$$\text{평균: } \mu_z = E(z) \quad (2.2)$$

$$\text{분산: } \sigma_z^2 = E(z^2) - \mu_z^2 \quad (2.3)$$

3. 암반사면에 대한 안정성 평가 및 분석

3.1 검토대상 및 현황

암반사면의 안정성 평가를 위한 검토대상 지역은 차령산맥과 노령산맥 사이에 위치하는 지역으로 지역지세로 본다면 비교적 저평한 지역이다. 금강 안쪽의 연미산~채축산~사미산을 잇는 능선 및 한산~백운산을 잇는 능선의 방향은 N40~50E로 이는 이 지대에 발달한 퇴적암류 및 단층선의 주향과 평행한 발달을 보인다.

표 3.1은 검토대상 4개구간에 대한 구간별 현황을 나타낸 것이다.

표 3.1 암반사면의 구간별 현황

| 평가항목 | 제 1구간 | 제 2구간 | 제 3구간 | 제 4구간 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 사면높이(m) | 42.2 | 63.8 | 37.5 | 23.3 |
| 사면연장(m) | 28.3 | 29.5 | 26.4 | 28.1 |
| 노 건 폭(m) | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 교통량(대/일) | 55,834 | 55,834 | 50,748 | 55,834 |
| 낙 석 방 지 | Ritchie기준 | Ritchie기준 | Ritchie기준 | Ritchie기준 |
| 지 질 | 비연속성 균열의 랜덤한 배열 | 비연속성 균열의 랜덤한 배열 | 비연속성 균열의 랜덤한 배열 | 비연속성 균열의 랜덤한 배열 |
| Block size | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.2 |

3.2 점추정법에 의한 평가

암반사면에 대한 신뢰성 해석은 토사사면에서 전술한 바와 같이 확률이론에 기초를 둔 점추정법에 의한 신뢰성 안정해석을 실시하였다.

표 3.2 암반사면 안정계산의 하중 및 저항의 확률변수

| 하중의 확률변수 | | 저항의 확률변수 | |
|----------|------------------------------|----------|---------------|
| Z1 | c | Z11 | $W\sin\theta$ |
| Z2 | H | Z12 | $V\cos\theta$ |
| Z3 | Z | - | - |
| Z4 | $\operatorname{cosec}\theta$ | - | - |
| Z5 | W | - | - |
| Z6 | $\cos\theta$ | - | - |
| Z7 | γ_w | - | - |
| Z8 | Z_w | - | - |
| Z9 | $\sin\theta$ | - | - |
| Z10 | $\tan\phi$ | - | - |

표 3.2와 같이 하중의 불확실량(Ω_S)은 c, H, Z, $\operatorname{cosec}\theta$, W, $\cos\theta$, γ_w , Z_w , $\sin\theta$, $\tan\phi$ 를 확률변수로 취하면 하중의 대한 변동계수는 식(3.1a)와 같이 되고, 저항의 불확실량(Ω_R)은 $W\sin\theta$, $V\cos\theta$ 를 확

률변수로 취하면 저항에 대한 변동계수는 식(3.1b)와 같이 된다.

$$\Omega_S = \sqrt{\Omega_c^2 + \Omega_H^2 + \Omega_Z^2 + \Omega_{\text{cosec}\theta}^2 + \Omega_W^2 + \Omega_{\text{cos}\theta}^2 + \Omega_{r_W}^2 + \Omega_{Z_W}^2 + \Omega_{\text{sin}\theta}^2 + \Omega^2 \tan\theta} \quad (3.1a)$$

$$\Omega_R = \sqrt{\Omega_{W\text{sin}\theta}^2 + \Omega_{\text{cos}\theta}^2} \quad (3.1b)$$

표 3.3 암반사면의 안정계산에 대한 평균과 표준편차 산정결과

| 구 분 | 안정계산의 제원 및 확률변수 | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------|------|-----|--------|-------|------|----------------|----------------|------|------|-------|-------|
| | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 | Z8 | Z9 | Z10 | Z11 | Z12 |
| | c | H | Z | cosecθ | W | cosθ | γ _w | Z _w | sinθ | tanφ | Wsinθ | Vcosθ |
| 평균 | 3.1 | 41.7 | 1.3 | 1.2 | 208.8 | 0.6 | 1.0 | 0.6 | 0.8 | 0.7 | 171.2 | 0.1 |
| 표준편차 | 0.2 | 4.5 | 0.8 | - | 20.0 | - | - | 0.6 | - | 0.1 | 18.1 | 0.5 |

표 3.3은 점추정법에 따른 암반사면 안정계산의 불확실량 즉, 하중과 저항의 확률변수에 대한 각각의 평균과 표준편차를 산정하여 나타내었다.

$$F.S = \frac{1}{1 - (\beta)(\Omega_x)} \quad (3.2)$$

여기서, Ω_x : 변동계수 β : 신뢰성지수이다.

이때 점추정법의 신뢰성해석에 의한 안전율은 FAURE(1994)의 제안 식(3.2)을 이용하면 구할 수 있으며, 표 3.4는 그림 3.1과 같이 점추정법에 의한 신뢰성 해석을 실시하여 나타난 결과로서 제안된 식(3.2)에 신뢰성지수와 변동계수값 0.072를 대입하여 계산한 결과이다. 이때 변동계수값의 허용안전율을 1.3으로 보고 Meyerhof 등의 파괴확률 연구범위 계산시 사용한 신뢰성지수 2.33~3.10을 역산하여 나온 값을 사용하였다.

표 3.4 암반사면 안정계산의 신뢰성 해석결과

| 조건 | 구 간 | 최 소 안 전 율(Fs) | | | |
|-----------|-----|---------------|-------|-------|-------|
| | | 제 1구간 | 제 2구간 | 제 3구간 | 제 4구간 |
| 신뢰성지수(β) | | 2.23 | | | |
| 안 전 율(Fs) | | 1.19 | | | |

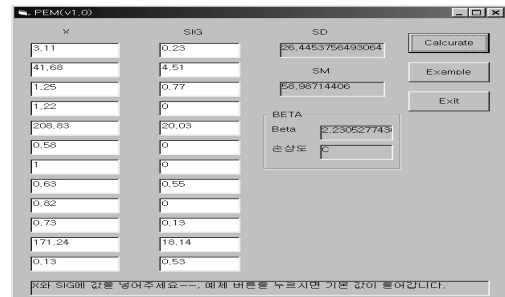


그림 3.1 점추정법 신뢰성해석을 이용한 입력 및 결과의 창

표 3.5 암반사면에 대한 안정성 평가 결과 비교

| 구 분 | 제 1구간 | 제 2구간 | 제 3구간 | 제 4구간 |
|---------|-----------------------------------|--------------|----------------------|--------------|
| 평사투영해석법 | 평면파괴 전도파괴 낙석우려 | 평면파괴 전도파괴 | 평면파괴 전도파괴 낙석우려 | 전도파괴 낙석우려 |
| 한계평형해석법 | 1.48(OK) | 1.24(NG) | 1.46(OK) | 2.13(OK) |
| 점추정법 | 신뢰성지수 - 2.23 안 전 율 - 1.19(불안정) | | | |
| 총 합 분 석 | 부분적 안정 | 부분적 안정 | 부분적 안정 | 부분적 안정 |

4. 결 론

암반사면의 안정성 평가에 있어 평사투영해석법과 한계평형해석법 및 점추정법에 의한 신뢰성 평가방법을 실제 암반사면에 적용하여 비교·분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 검토 대상인 4개 구간 모두 부분적으로 안정한 상태로 분석되었으며, 한계평형해석방법은 평사투영해석에 대한 신뢰성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었고, 지표지질조사 및 시추 조사로는 안정성 평가에도 한계가 있어 암반사면의 균열이 촘촘하고 비교적 균질한 경우를 제외하고는 적용상의 문제점이 있을 수 있다.
- (2) 점추정법에 의한 평가방법은 암반사면 구간 전체의 신뢰성지수와 안전율을 도출할 수 있으며, 평균과 표준편차만으로 신뢰성해석을 할 수 있어 확률변수가 15개 이하인 경우에는 아주 유리한 방법으로 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.
- (3) 점추정법에 의한 신뢰성 해석은 신뢰성지수와 변동계수값 0.072를 대입하여 계산한 결과, 4개 구간에서 안전율이 1.19로 산정되어 위험성을 내포하고 있는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 김일구, 2009, 퍼지-신경망에 의한 사면지반의 안정성 평가방법에 관한 연구, 조선대학교 공학박사 학위논문.
2. 안종필, 박주원, 오수동, 1998, 암반사면의 안정성평가 및 적용에 관한 연구, 한국지반공학회가을학술발표회 논문집, 제2권 2호, pp.177-184.
3. 안종필, 이증빈, 박경환, 박주원, 1998, 퍼지근사추론을 이용한 암반사면의 안전성 평가모형, 한국구조물진단학회 가을학술발표회 논문집, 제2권 2호, pp.113-118.
4. Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classification, John Wiley & Sons, New York.
5. Bishop, A.W., 1955, The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of slopes, Geotechnique, Vol.5, No.1, pp.7-17.
6. Kanda, J, and Adachi, T., 2001, Influence of Probability Distribution of Load on Optimum Reliability, Reliability Engineering and System Safety, Elsevier 73, pp.197-204.