

최우추정량기법과 점추정법을 이용한 쉐기파괴의 파괴확률 산정

박혁진^{1)*} · 백진¹⁾

1. 서 론

확률론적 해석기법은 사면의 안정성을 해석하는 과정에서 포함되는 불확실성을 정량적으로 다룰 수 있는 효과적인 방법으로 다양한 기법이 제안되어왔다(Rosenblueth, 1981; 박혁진, 2002; 윤우현, 천병식, 2003; Muralha, 1991; Nilsen, 2000; Park et al., 2005). Monte Carlo simulation 기법은 현재 가장 보편적으로 사용되는 기법으로 가장 정확한 확률값을 획득할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 결과획득을 위한 반복적인 계산으로 인해 많은 계산 시간이 소요되고 확률변수에 대한 정밀한 정보가 요구되는 등의 문제점을 가지고 있다. 따라서 확률변수에 대한 간단한 정보를 활용하고 단순한 계산을 통해 파괴확률의 근사값을 획득하는 점추정법(point estimate method)이 제안되었다. 점추정법은 확률변수들 간의 상관관계를 고려할 수 있고 확률변수의 다양한 확률분포를 고려할 수 있는 장점으로 인해 사용이 증가하고 있는 실정이다. 그러나 점추정법의 활용을 위해서는 단순한 함수 형태의 신뢰함수가 제공되어야 하나 암반사면의 안정성 해석을 위해 이용되는 한계평형 해석식은 경우에 따라 매우 복잡한 형태를 보이고 있어 이러한 점추정법을 적용하기에는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 최우추정량기법(maximum likelihood estimation)을 이용하여 평면파괴에 대한 단순한 함수형태의 신뢰함수를 제안하였으며 이를 활용하여 점추정법을 적용해 보았다.

2. 본 론

2.1 최우추정량기법(maximum likelihood estimation)

최우추정량기법(maximum likelihood estimation)은 먼저 사면의 안전율(F_i)에 대하여 식(1)와 같은 회귀함수를 가정한 후

$$F_i = \alpha X_i + \beta Y_i \quad (1)$$

안전율의 최우추정값과 변수값(X_i, Y_i)으로부터 α 와 β 값을 획득한다(Sah et al., 1994). 이를 위하여 안전율을 확률변수로 가정하고 평균값, μ_F 과 표준편차, σ_F 를 갖는 정규분포함수를 보인다고 가정한다. 이를 최우추정값을 획득하는 통계학적 과정에 따라 추정함수(likelihood function) L로 표현하면

$$L = \prod_{i=1}^n [f(F_i; \alpha, \beta)] = \left(\frac{1}{\sigma_F \sqrt{2\pi}} \right)^n \exp \left\{ - \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \mu_F)^2}{2\sigma_F^2} \right\} \quad (2)$$

주요어 : 자원, 환경, 지질.....

1) 세종대학교 지구정보공학과 (hjpark@sejong.ac.kr)

이고 양변에 log를 취한 후 각각 α 와 β 에 대해 미분한 뒤 정리하면 식(3)과 (4)을 얻는다.

$$\alpha \sum_{i=1}^n X_i^2 + \beta \sum_{i=1}^n X_i Y_i = \sum_{i=1}^n F_i X_i \quad (3)$$

$$\alpha \sum_{i=1}^n X_i Y_i + \beta \sum_{i=1}^n Y_i^2 = \sum_{i=1}^n F_i Y_i \quad (4)$$

따라서 식 (3)과 (4)을 이용하고 현장에서 획득한 자료를 이용하여 각각 α 와 β 의 값을 획득할 수 있다. 앞 선 과정에 따라 최우추정식을 구하면 식(5)와 같다.

$$F = 0.175 \left(\frac{c \cdot \operatorname{cosec}^2 \psi_p}{\gamma \cdot H \cdot (\cot \psi_p - \cot \psi_f)} \right) + 1.46 (\cot \psi_p \cdot \tan \phi) \quad (5)$$

따라서 본 논문에서는 최우추정법에 의해 획득된 식(5)을 이용하여 점추정법에 의한 썩기파괴의 파괴확률을 산정하였으며 이렇게 획득한 값을 Monte Carlo simulation으로부터 획득한 파괴확률값과 비교를 해 보았다.

2.2 사례연구

앞 서 제안된 사면의 파괴확률산정기법을 적용하기 위해 실제 도로사면을 선택하여 암반사면의 안정성을 분석해 보았다. 대상 사면은 변성퇴적암으로 구성되어 있으며 뚜렷한 층리가 관찰되며 그 외에도 5개의 절리군이 조사되었다. 사면의 높이는 약 34m이고 210/75의 방향을 보이고 있다. 불연속면의 기하학적 특성 파악을 위해 현장조사를 수행하였으며 직접전단강도실험을 통해 불연속면의 강도특성을 획득하였다.

2.2.1 결정론적 해석 결과

제안된 해석기법의 해석 결과와의 비교를 위하여 기존의 해석방법인 결정론적인 해석방법을 이용하여 안정성분석을 수행하였다. 해석 결과 J1과 J3, J1과 J4, J1과 J6, J3과 J4, J3과 J5, J4와 J5, J4와 J6 절리군의 결합면에서 운동학적(kinematic)으로 파괴가 일어날 것으로 파악되었으며 안전율을 계산 결과는 표 1과 같다. 그 외의 불연속면군의 조합에서는 운동학적으로 파괴가능성이 인지되지 않았다.

2.2.2 Monte Carlo simulation 해석 결과

Monte Carlo simulation에 의한 확률론적 해석 결과 J1과 J2, J1과 J5, J2와 J5 그리고 J5와 J6 절리군 조합의 경우 결정론적 해석에서는 안정한 것으로 해석되었으나 확률론적 해석에서는 불안정한 것으로 해석되었다. 이는 절리군 방향이 가지는 분산을 고려한 결과 결정론적 해석에서는 안정한 것으로 해석되었던 썩기파괴의 가능성이 확률론적 해석에서는 불안정한 것으로 해석되었기 때문이다. Monte Carlo simulation의 해석 결과 썩기파괴의 확률은 표 1에서와 같이 1.3%에서 56.1%까지의 값을 보이고 있다.

2.2.3 점추정법과 최우추정량기법의 해석 결과

최우추정량기법에 의해 획득된 식 (5)을 이용하고 점추정법을 적용, 썩기파괴의 확률을 계산한 결과 표 1과 같다. 표 1에서와 같이 Monte Carlo simulation에 의해 해석된 파괴확률과

점추정법 및 최우추정량기법에 의해 획득된 파괴확률이 잘 일치하고 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 경우에 따라서는 일부 해석 결과가 차이가 발생하고 있는 것을 알 수 있는데 이는 점추정법과 최우추정량기법이 근사값을 획득하는 기법이기 때문으로 보인다.

표 1 점추정법과 최우추정량기법의 해석 결과

Set No. 1	Set No. 2	Factor of safety	Probability of failure		
			kinematic instability	kinetic instability	
				using MC	using PEM and MLE
J1	J2	Stable	0.001	0.036	0.021
J1	J3	0.29	0.4	0.013	0.001
J1	J4	0.32	0.374	0.007	0
J1	J5	Stable	0.037	0.244	0.384
J1	J6	0.43	0.189	0.007	0.001
J2	J3	Stable	0	0	0
J2	J4	Stable	0	0	0
J2	J5	Stable	0.002	0.331	0.211
J2	J6	Stable	0	0	0
J3	J4	0.09	0.935	0.013	0.016
J3	J5	0.36	0.738	0.561	0.502
J3	J6	Stable	0	0	0
J4	J5	0.33	0.471	0.514	0.563
J4	J6	0.39	0.309	0	0
J5	J6	Stable	0.009	0.193	0.214

3. 결론

최근들어 지질공학분야에서 불확실성에 대한 관심이 증가하면서 확률론적 해석기법에 대한 관심도 증가하고 있다. 특히 암반사면의 경우에는 암반이 가지는 불확실성과 함께 암반내 불연속면의 불확실성도 암반사면의 안정성 해석에 영향을 미치는 요소로 작용한다. 따라서 암반사면의 안정성을 기존의 안전율의 개념이 아닌 파괴확률을 이용하여 평가하고자 하는 연구들이 진행되고 있다. 현재 가장 폭 넓게 사용되는 확률론적 해석기법인 Monte Carlo simulation이 가지는 단점을 극복하기 위해 최근에는 점추정법과 같은 approximate 기법이 활용되고 있다. 본 연구에서는 점추정법이 가지는 한계점, 즉 단순한 함수형태의 파괴함수가 제공되어야 한다는 점을 극복하기 위해 최우추정량기법을 사용하였다. 최우추정량기법을 이용하여 복잡한 사면의 파괴함수를 단순한 함수형태로 제시하였으며 이를 이용하여 점추정법을 활용, 사면의 파괴확률을 산정하였다. 이러한 과정을 거쳐 획득한 결과는 Monte Carlo simulation을 통해 획득한 결과와도 잘 일치하는 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 일부 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(사면붕괴예측 및 대응기술개발)연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.