



사면안정 해석방법 중 전단강도 감소기법(SSR기법)이 무엇인지 알고 싶습니다.



안태봉 우송대학교 철도건설환경공학과 교수 (공학박사, 토질 및 기초기술사53회)

### 1. 정의

사면에 대한 안전율만을 산정하는 한계평형 법과는 달리 유한요소법은 탄소성지반재료에 대한 응력해석 및 거동해석에 널리 사용되는 수치해석법으로 지반재료의 다양한 특성인 이방성, 소성경화, 소성연화 등을 고려할 수 있으며 사면의 형성과정에 따른 응력 이력효과도 고려할 수 있다. 또한 사면내에 발생하는 변형으로 인한 사면형상의 변화를 미리 예측할 수 있으며, 압밀 등과 같이 지반응력이 시간에 따라 변화하는 경우 보강된 지반구조물에 대한 해석을 쉽게 할 수 있다.

Matusi & San (1990,1992)은 전단강도 감소 기법(Shear Strength Reduction Method; SSRM)을 이용한 사면안정법을 제안하였다. 전단강도 감소기법은 안전계수에 의해 강도를 감소시켜가면서 사면파괴까지 반복하여 변형을 해석을 수행하여 임계단면을 결정하고 현 응력 상태에서 안전율을 산정하는 방법이다. 유한요소법과 유한차분법은 구조, 수리, 지반분야에 널리 사용되어 왔으나, 사면의 안정해석에 있

어서는 제한적으로 사용되어 졌다. 가장 큰 이유는 유한요소 해석으로는 사면의 파괴 여부 및 활동 양태를 살펴볼 수는 있으나 안전율을 구할 수 없기 때문이었다. 하지만 전단강도 감소기법은 지반의 실제 전단강도를 사면에 파괴가 발생할 때까지 점진적으로 감소시켜가며 해석을 반복 수행하여 구할 수 있다. 이러한 전단강도 감소기법은 임계파괴면의 기하학적 형태를 사전에 가정할 필요가 없다.

### 2. 한계평형법과 전단강도 감소기법의 비교

- (1) 전단강도 감소기법은 임계파괴면이 자동으로 찾아지기 때문에 임계면의 기하학적 형태를 원호, log spiral, 부분선형 등으로 가정할 필요가 없다.
- (2) 전단강도 감소기법은 완전 탄성-완전소성 구성방정식과 연상유동법칙(associated flow rule)이 적용될 경우, 전단강도 감소기법으로 구해진

안전율은 절편법에 의해 구한 안전율과 같다.

- (3) 한계평형법(절편법)은 절편 측면에 작용하는 힘을 가정하여야 한다.
- (4) 활동면의 모양 및 연약면, 인장 크랙의 위치를 사전에 설정해주어야 한다.
- (5) 각 절편들은 변형하지 않으며, 파괴는 활동면에 국한된다.
- (6) SSR은 전단응력 파괴기준이 아니라 전단변형을 파괴기준에 근거한다.

### 3. 적용방법

- (1) 사면안정 해석에서 전단강도 감소기법을 사용하려면 실제 지반의 점착력  $c$ 와 내부마찰각  $\phi$ 를 시험안전율  $F^{trial}$ 로 나누어 일련의 해석을 반복 수행하며, 시험안전율과 이에 의해 감소된 지반 물성치와는 다음의 관계를 갖게 된다.

$$c^{trial} = \frac{1}{F^{trial}} c, \quad \phi^{trial} = \tan^{-1} \left( \frac{1}{F^{trial}} \tan \phi \right)$$

- (2) 위(1)의 감소된 지반의 파괴포락선과 시험안전율에 의해 감소된 파괴포락선은 <그림 1>의 아래 직선으로 나타난다.

- ① 초기시험시작안전율( $F^{start}$ )을 1.0으로 정하고 이 결과가 수렴하면 시험안전율을 0.2 간격으로 증가시켜가며 (1.0, 1.2, 1.4) 해석을 수행한다.
- ② 이 때 해석에 사용되는 지반의 강도는 점차 감소하게 된다. 만일 해석 결과가 1.4에서 수렴하지 않을 경우, 실제 안전율은 1.2에서 1.4의 값을 가지게 되므로 다시 1.2에서부터 0.1의 간격으로 시험안전율을 증가시켜 가면서 해석을 수행하며, 1.3에서도 결과가 수렴하지 않으면 실제안전율은 1.2에서 1.3사이에 존재하므로 1.2에서부터 0.02의 간격으로 시험안전율을 증가시켜가며 해석을 수행한다.
- ③ 이러한 절차는  $F^{inc}$ 가 사용자가 정의한 허용오차보다 작아질 때까지 되풀이한다. <그림 2, 참조>
- ④  $F^{low}$ 의 최종값은 한계평형해석에서의 것

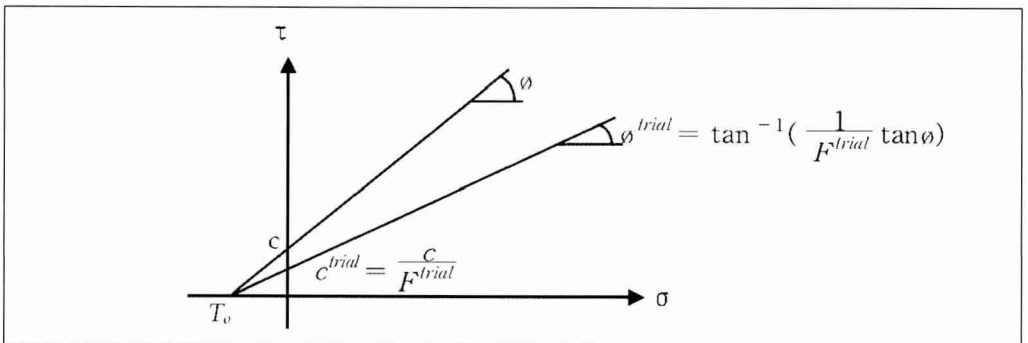


그림 1. A relationship between the actual strength and a strength reduced by a trial factor of safety



과 동일하다. 그러나 유한요소법과 유한차분법에 의한 방법은 어느 지점에서나 국부적인 평형조건을 만족하지만, 한계평형법은 해석에서 고려한 활동지반 전체의 평형조건만을 만족한다.

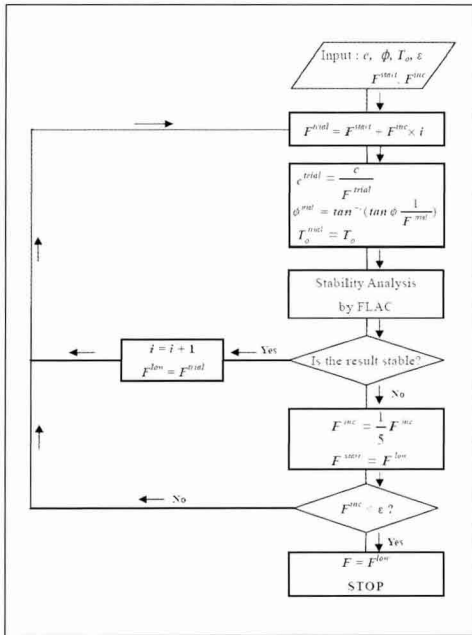


그림 2. Flowchart of the calculation routine for safety factor

$$F^{trial} = F^{start} + F^{inc} \times i = 1.0 + 0.2 \times 1 = 1.2$$

$$c^{trial} = \frac{c}{1.2}, \quad \phi^{trial} = \tan^{-1}\left(\tan \phi \frac{1}{1.2}\right)$$

$i=1$ ,  $F^{trial} = 1.2$  FLAC의 해석결과가 안정하면  $i=2$ 로 하고  $F^{trial} = 1.4$ 로 늘려  $c^{trial} = \frac{c}{1.4}$ ,  $\phi^{trial} = \tan^{-1}\left(\tan \phi \frac{1}{1.4}\right)$ 로 하여 안정해석을 다시 하고 강도정수가 작아졌는데도 안정하면 또 늘리

고 안정하지 않으면  $F^{inc} = \frac{1}{5} F^{inc}$ 로 줄여서, 즉 1.24로 늘려서 안정해석을 다시 한다.

그 결과 안정하면 또 늘리고 안정하지 않으면 증가분을  $F^{inc} = \frac{1}{5} F^{inc}$ 로 줄여서 오차범위에 있을 때까지 반복한다.

### 3. 해석사례

단일층으로 이루어진 사면에서 전단강도 감소기법과 한계평형기법은 거의 같고 이질층으로 이루어진 사면에서는 전단강도 감소기법에 의한 안전율이 사면경사가 커지면서 다르게 나타난다. <그림 3, 4>

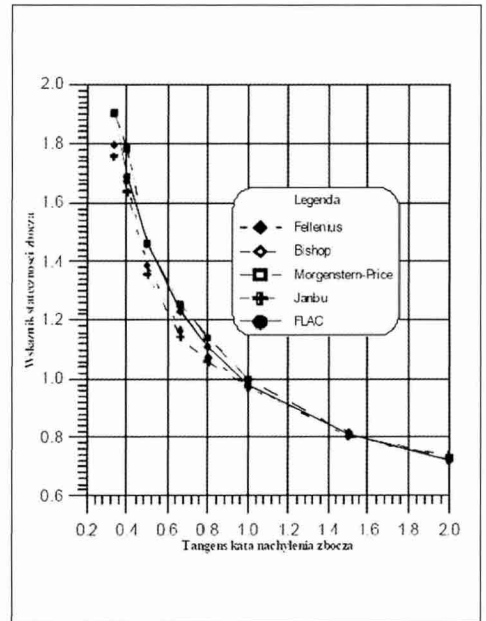


그림 3. 단순층 사면에서의 한계평형법과 전단강도 감소기법의 안전율 비교 (Cala & Flisiak, 2001)

