

# 사면안정 해석 프로그램의 운영 특성

백승철 · 이준대\*

안동대학교 토목공학과 · \*세명대학교 토목공학과

## 1. 서론

사면안정 해석은 주어진 활동면에 대해 흙의 전단강도를 전단응력의 비인 안전율로 평가하고 있다. 그러나 안전율은 무지지수로서 입력자료에 대한 무지지수인 지반강도 정수, 하중 및 파괴모델의 불확실성으로 실제 거동과 다른 결과를 얻을 수 있다(백영식, 1997). 또한 프로그램 운영에 있어 여러 입력변수는 결과에 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 사면안정 해석 프로그램 운영상의 오류를 최소화하기 위해 현재 실무에서 이용되고 있는 사면안정 해석 프로그램의 운영 특성을 조사하였다.

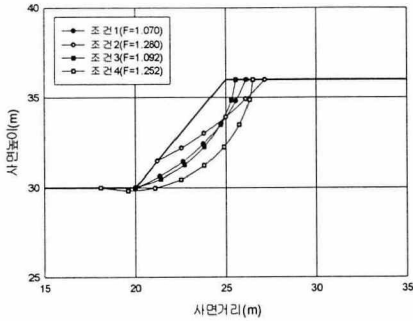
이를 위해 Chen(1981), Mochizuki(1986) 및 Fredlund와 Krahn(1977)의 예제 사면을 STABL5M, STABGM, UTEXAS, SLOPE/W, TALREN97 등의 5개의 사면안정 해석 프로그램을 이용하여 사면안정 검토를 수행하였다.

## 2. 탐색범위에 따른 해석 결과의 차이

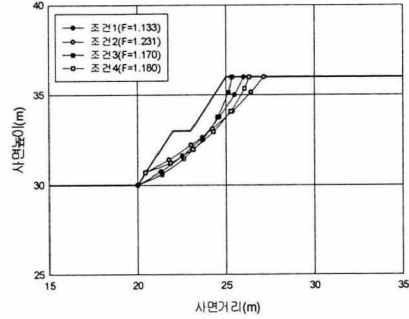
탐색범위에 설정에 의한 임계활동면과 안전율의 변화를 알아보기 위하여 단위중량  $1.8\text{tf/m}^2$ , 내부마찰각  $30^\circ$ , 점착력  $0.5\text{tf/m}^2$ 인 균질지층 사면에 대하여 표 1과 같은 탐색 범위 조건에서 STABL5M을 이용하여 해석하였다. 해석한 결과는 임계활동면의 탐색 방법이 시점좌표와 종점좌표를 이용한 STABL5M의 안전율과 임계활동면의 변화는 그림 1과 같았다. 조사 결과 STABL5M은 시점과 종점좌표의 변화에 따라 안전율과 임계활동면의 탐색에 다른 결과를 도출함을 확인하였으며, 임계활동면 탐색 범위에 의해 해석 결과에 큰 차이가 있었다. 따라서 STABL5M의 운영시 적절한 공학적 판단을 근거로 임계활동면의 시점과 종점의 범위를 제시함으로써 정확한 사면안정해석을 할 수 있음을 확인하였다.

표 1 임계활동면 탐색을 위한 해석 범위조건

조 건	시 점	종 점	조 건	시 점	종 점
1	15~20	25~30	3	15~20	24~30
2	15~22	25~35	4	15~22	24~30



(a) 단순사면



(b) 소단사면

그림 1 파괴면 범위조건에 따른 임계활동면

### 3. Chen의 사면

Chen(1981)은 한계 평형해석과 유한요소법을 이용하여 3차원 사면안정 해석방법을 연구하기 위하여 2차원 균일사면에 대한 예제 사면을 수행하였다. Chen은 STABL2와 Spencer 방법으로 균일사면에 대한 최소 안전율을 평가하였으며, 본 연구의 검증을 위해 추가로 STABL5M, STABGM, UTEXAS, SLOPE/W, TALREN97로 사면안정 검토를 수행하였다. 사면경사는 1:1.5, 1:2.5 및 1:3.5, 점착력은 7.2~28.7 kPa, 내부 마찰각은 15~30°로 변화하는 경우의 안전율을 Chen이 제시한 결과와 각 프로그램으로 수행한 해석한 결과를 정리한 것이 표 3에 제시되어 있다.

사면안정 해석 결과 프로그램에서 이용되는 해석 방법에 따라 안전율 추정에도 차이가 나타난다. 대체적으로 Bishop 방법, Fellenius 방법, Janbu 방법 순서로 작은 안전율을 산정하고 있다. 이상의 결과는 Whitman과 Baily(1967), Wright(1975)의 연구 결과와 일치한다. 또한 프로그램과 관계없이 Bishop의 방법으로 해석한 결과는 최소안전율이 거의 유사하게 나타났으며, SLOPE/W의 Janbu의 방법이 가장 적은 최소안전율을 제시하고 있다. 그리고 임계활동면 탐색의 원리가 유사한 STABGM과 SLOPE/W, UTEXAS와 TALREN97의 최소안전율도 비교적 유사함을 확인할 수 있다.

### 4. Mochizuki의 사면

Mochizuki(1986)는 Fellenius, Bishop의 방법과 새로운 해석방법인 Janbu·h/3과 개량한계평형 해석방법을 제안하였다. 해석에 이용된 사면은 표 4에 지반특성이 제시되어 있다. 사면은 4가지 종류로 일반 단순사면, 요철사면 및 소단사면에 대해 프로그램을 실행하였다. 최소안전율은 표 5에 제시되었고, 임계활동면은 그림 2에서부터 그림 5에 제시되었다. 해석결과 사면중간이 들어간 凹사면에서는 최소안전율이 STABL5M 결과가 다른 프로그램의 해석결과와 약 6~13%의 오차가 나타났다. 임계활동면도 원호형태

가 아닌 직선파괴로 나타나므로 이런 사면을 STABL5M을 이용하여 해석하기 위해서는 충분한 조사가 필요함을 알 수 있다.

표 3 Chen 사면의 해석결과

사면경사 (°)	Case	STABL5M		STABGM		UTEXAS
		Bishop	Janbu	Bishop	Fellenius	Spencer
33.7 (1:1.5)	Case 1	1.700	1.667	1.675	1.586	1.668
	Case 2	1.982	1.974	1.973	1.877	1.965
	Case 3	2.181	2.208	2.176	2.105	2.219
	Case 4	2.391	2.458	2.389	2.338	2.365
21.8 (1:2.5)	Case 5	2.404	2.422	2.353	2.241	2.380
	Case 6	2.642	2.573	2.593	2.468	2.597
	Case 7	2.794	2.721	2.803	2.698	2.759
	Case 8	2.850	2.781	2.970	2.887	2.829
16.0 (1:3.5)	Case 9	3.082	3.068	3.017	2.903	3.025
	Case10	3.201	3.150	2.247	3.138	3.192
	Case11	3.301	3.176	3.473	3.356	3.255
	Case12	3.247	3.154	3.663	3.583	3.239

표 3 Chen 사면의 해석결과(계속)

사면경사 (°)	Case	SLOPE/W				TALTREN97	
		Bishop	Fellenius	Janbu	M-P	Bishop	Fellenius
33.7 (1:1.5)	Case 1	1.687	1.607	1.684	1.682	1.660	1.590
	Case 2	1.996	1.875	1.968	1.991	1.980	1.890
	Case 3	2.190	2.091	2.193	2.991	2.220	2.140
	Case 4	2.351	2.289	2.407	2.186	2.390	2.300
21.8 (1:2.5)	Case 5	2.381	2.298	2.349	2.379	2.380	2.270
	Case 6	2.602	2.445	2.545	2.597	2.600	2.450
	Case 7	2.753	2.641	2.666	2.750	2.750	2.590
	Case 8	2.830	2.712	2.758	2.827	2.850	2.700
16.0 (1:3.5)	Case 9	3.019	2.910	3.006	3.017	3.060	2.890
	Case10	3.184	3.034	3.112	3.181	3.190	3.000
	Case11	3.254	3.052	3.145	3.251	3.270	3.080
	Case12	3.235	3.048	3.132	3.233	3.240	3.040

소단사면의 경우 대체적으로 단순사면과 유사한 결과를 얻고 있으나, STABGM의 임계활동면이 다른 결과와 다르게 큰 원호활동면을 가지고 파괴되는 것으로 나타났다. 이는 소단사면의 경우 STABGM을 소단사면에 적용하기에는 문제가 있음을 의미한다고 판단된다.

표 4 Mochizuki 사면의 지반특성

단순사면			요철 및 소단사면		
단위중량	내부마찰각	점착력	단위중량	내부마찰각	점착력
2.0 tf/m <sup>3</sup>	32°	0.439 tf/m <sup>2</sup>	1.8 tf/m <sup>3</sup>	30°	0.5 tf/m <sup>2</sup>

표 5 Mochizuki 사면의 각 프로그램별 안전율

Case	STABL5M		STABGM		UTEXAS	
	Bishop	Janbu	Bishop	Fellenius	Spencer	
Case 13	1.503	1.493	1.479	1.428	1.498	
Case 14	1.323	1.329	1.351	1.283	1.471	
Case 15	1.140	1.138	1.039	1.026	1.014	
Case 16	1.133	1.241	1.223	1.129	1.142	

Case	SLOPE/W				TALREN 97	
	Bishop	Fellenius	Janbu	M-P	Bishop	Fellenius
Case 13	1.508	1.445	1.519	1.503	1.510	1.440
Case 14	1.347	1.285	1.356	1.341	1.350	1.280
Case 15	1.021	0.971	1.024	1.016	1.030	0.970
Case 16	1.123	1.097	1.123	1.118	1.130	1.080

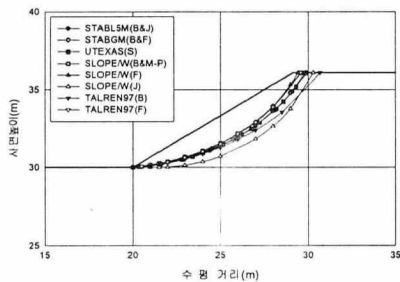


그림 2 임계활동면의 비교(Case 13)

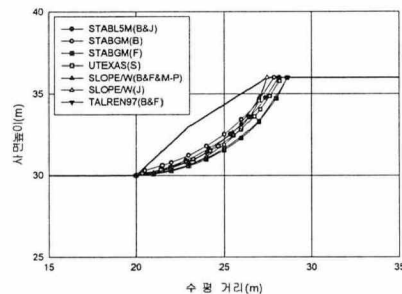


그림 3 임계활동면의 비교(Case 14)

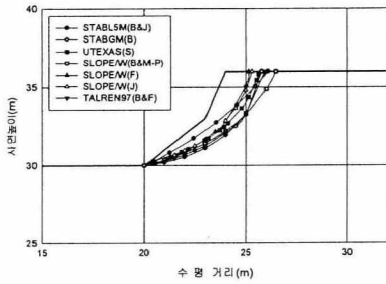


그림 4 임계활동면의 비교(Case 15)

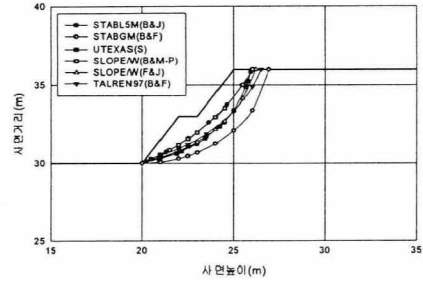


그림 5 임계활동면의 비교(Case 16)

#### 4. Fredlund와 Krahn의 사면

복합지층에 대한 해석결과를 다른 방법과 비교하기 위하여 Fredlund와 Krahn(1977)에 의해 발표된 연구 성과를 각 프로그램을 이용한 방법으로 해석하고 산정된 안전율과 비교하였다. Fredlund와 Krahn은 높이 12m의 경사 1:2 사면에 지반조건 및 지하수 조건과 안정해석 방법을 달리하여 각각의 경우에 대한 안전율을 구하였다.

표 6 해석결과

Case	Fredlund and Krahn(1977)				FLAC*
	Fellenius	Bishop	Spencer	Morgenstern-Price	
17	1.928	2.080	2.073	2.076	2.068
18	1.288	1.377	1.373	1.378	1.325

표 7 각 프로그램 해석결과

Case	STABL5M		STABGM		UTEXAS	
	Bishop	Janbu	Bishop	Fellenius	Spencer	
Case 17	2.030	1.992	2.028	1.916	2.012	
Case 18	1.408	1.354	1.388	1.321	1.378	
Case	SLOPE/W				TALREN97	
	Bishop	Fellenius	Janbu	M-P	Bishop	Fellenius
Case 17	2.015	1.906	1.976	2.010	2.03	1.90
Case 18	1.431	1.363	1.475	1.422	1.38	1.32

표 6과 표 7에 Fredlund와 Krahn이 제시한 결과와 박연준 등(1999)이 진단강도 감소

기법을 이용하여 유한요소 해석방법으로 구한 최소 안전율을 제시하였다. Fredlund와 Krahn의 해석결과를 살펴보면, Fellenius 방법은 White와 Bailey(1967)의 연구 결과와 같이 산정된 안전율의 오차가 나타난다. Bishop 방법, Morgenstern과 Price 방법 및 Spencer 방법은 미소한 차이를 나타내고 있다(Anderson, 1987). 전단강도 감소기법을 이용한 박연준 등의 연구결과는 다른 방법과 매우 유사한 결과를 산정하고 있다.

## 5. 결 론

이상과 같이 현재 실무에서 이용되고 있는 사면안정 해석 프로그램은 파괴 범위의 시·종점 및 사면 형상에 의해 그 해석 결과가 나타났다. 또한 사면 형상이 달라짐에 따라 안정해석 프로그램에 의해 해석 결과에 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 사면경사, 사면단면 및 해석방법에 의해 안정검토의 결과의 차이가 나타날 수 있으므로 사용하는 해석 프로그램의 특성을 잘 파악하여 사면안정 해석을 수행하여야 할 필요가 있다. 향후 본 연구결과를 보완하기 위해서는 더 많은 사면에 대한 해석결과가 필요하며, 지하수위를 고려한 결과를 추가하여 좀 더 정확한 사면안정 해석 프로그램의 특성을 제시할 필요가 있다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 박연준, 채영수, 유광호, 백영식(1999), "절편법과 유한차분법에 의한 사면안정 해석 비교 연구", 한국지반공학회 논문집, 제15권, 제 6호, pp. 263~272.
2. 백영식(1997), "사면안정 해석 총설", 지반공학 시리즈 5 사면안정, 한국지반공학회, 도서출판 구미서관, pp. 1~19.
3. 望月秋利, 三笠正人, 勝田守文,(1986),"2つの斜面安定計算法の提案", 土木學會論文集, 제370호/Ⅲ-5, pp. 261~270.
4. Anderson, M. G.(1987), and Richards, K. S., "Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1987, pp. 11~75.
5. Chen, R. H.(1981), "Three-Dimensional Slope Stability Analysis", Indiana State Highway Commission, Joint Highway Research Project, No. C-36-36N, pp. 108~120.
6. Fredlund, D. G., and Krahn, J.(1977), "Comparison of Slope Stability Methods of Analysis", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 14, No. 3, pp. 429~439.
7. Wright, S.(1975) "Evaluation of Slope Stability Analysis Procedures", Preprint 2616, ASCE, National Convention, Denver(Colorado).