

## 사면안정해석 프로그램을 이용한 사면 소단 설치의 효용성 평가에 관한 연구 A Study on the Effective Evaluation of Slope Berm Construction using Slope Stability Analysis Program

이종현<sup>1)</sup>, Jong-Hyun Rhee, 이정엽<sup>1)</sup>, Jung-Yub Lee, 김승현<sup>1)</sup>, Seung-Hyun Kim, 유기정<sup>1)</sup>, Ki-Jeong Yoo, 구호본<sup>2)</sup>, Ho-Bon Koo

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Engineering Division, KICT

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Researcher Fellow, Civil Engineering Division, KICT

**SYNOPSIS** : In this study, We performed on the effective evaluation of slope berm construction using slope stability analysis programs. The effective evaluation of slope berm construction was performed by stability of slope and economy of construction. This time, used slope stability analysis programs are Talren97 that use Limit equilibrium method (LEM) and FLAC-SLOPE that use finite difference method (FDM), and carried out using Rocfall program to evaluate slope stability by rockfall occurrence.

**Key words** : slope berm, slope stability analysis program, LEM, FDM, rockfall

### 1. 서론

사면 시공에 있어 기존에는 흩쌓기 높이나 암반의 몇몇 특성을 고려한 획일적인 소단 설치가 설계기준으로 제안되고 있으나, 소단 설치와 소단폭 등의 결정 사항을 사면의 안정성, 시공 경제성 측면에서 검토하는 예는 흔히 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 사면안정해석 프로그램을 이용하여 사면 조성시 소단 설치의 효용성과 적정 소단폭 설정의 중요성을 사면의 안정성, 절취량 비교에 의한 시공 경제성 등의 측면에서 얼마만큼의 효율성이 확인되는지를 검토해 보았다.

본 연구에서는 대상사면을 높이 20m로 한정하고, 경사 1:0.7(55°)로 가정한 상태에서 소단을 설치하지 않은 경우, 사거리 6m마다 소단을 각각 폭 1m, 2m, 3m로 설치한 총 4개의 경우에 대하여 안정해석을 실시하고, 각각의 경우로 사면을 절취했을 때 발생하는 절취물량을 비교해 보았다. 이 때 사용된 안정해석은 한계평형법을 이용한 Talren97과 유한차분법을 이용한 FLAC-SLOPE을 이용하였으며, 낙석 발생에 따른 사면안정을 평가하기 위해 Rocfall 프로그램 등을 사용하여 실시하였다.

### 2. 한계평형법과 유한차분법에 의한 사면 안정성 비교

#### 2.1 대상사면의 선정

우리나라 국도변에 위치한 도로절개면에 대한 현황조사를 실시한 결과, 평균 높이 16.9m, 평균 경사 1:0.75(53.2°)의 값을 보이고 있다. 따라서, 본 연구에서는 각종 안정해석에 사용될 대상사면을 높이 20m, 경사 1:0.7(55°)로 선정하였으며, 소단 설치의 효용성을 판단하기 위해 사거리 6m마다 3개의 소단을 각각 폭 1m, 2m, 3m로 설치한 총 4개의 경우에 대하여 안정해석을 실시하였다.

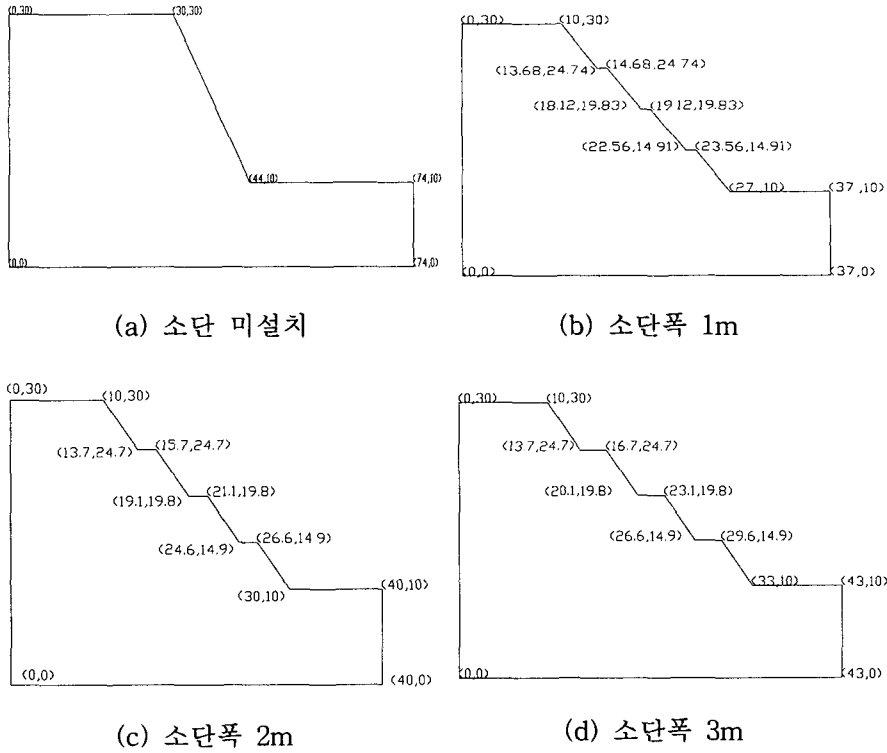


그림 1. 대상사면의 단면도

## 2.2 안전율과 파괴 양상 비교

먼저, 대상사면에 대하여 Talren97 프로그램을 이용하여 건조시와 포화시에 대한 한계평형해석을 실시하였다. 해석 결과, 모든 경우에서 사면의 파괴는 법선파괴가 발생하는 경향을 보였으며, 안전율은 건조시의 경우, 소단 미설치시 1.09, 폭 1m의 소단 설치시 1.17, 폭 2m의 소단 설치시 1.31, 폭 3m의 소단 설치시 1.47로 소단 미설치시보다는 소단을 설치하는 것이 안정적인 결과를 보이는 것을 확인할 수 있으며, 소단 설치시의 경우에서도 소단폭이 늘어날수록 안정적인 결과를 유도하였다(그림 2, 그림 6, 표 1 참조). 또한, 사면 포화시의 안전율을 검토해 보면, 소단 미설치시 0.45, 폭 1m의 소단 설치시 0.50, 폭 2m의 소단 설치시 0.59, 폭 3m의 소단 설치시 0.80으로 소단 미설치시보다는 소단을 설치하는 것이 안정적인 결과를 보이는 것을 확인할 수 있으며, 소단 설치시의 경우에서도 소단폭이 늘어날수록 안정적인 결과를 유도하여 건조시와 포화시의 경우에서 모두 일정한 경향을 보임을 알 수 있다(그림 3, 그림 6, 표 1 참조).

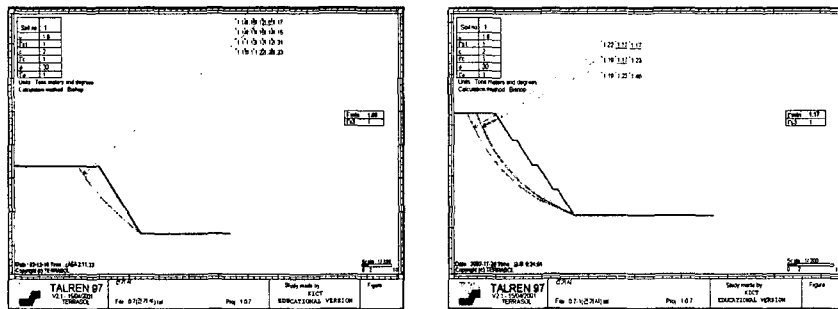
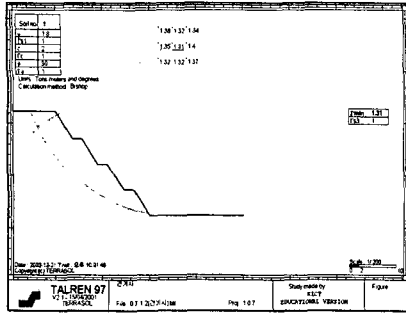
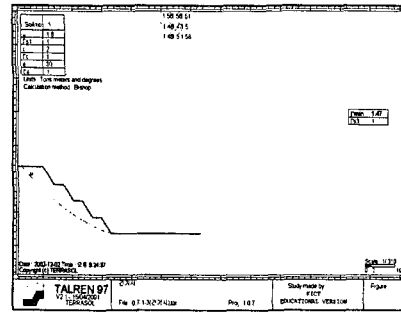


그림 2. Talren97에 의한 건조시 해석 결과

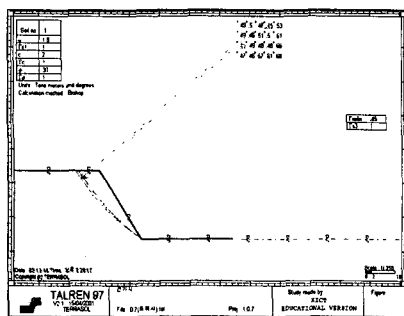


(c) 소단폭 2m

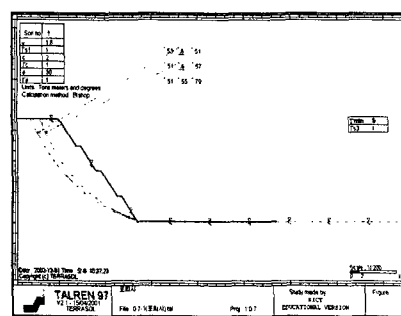


(d) 소단폭 3m

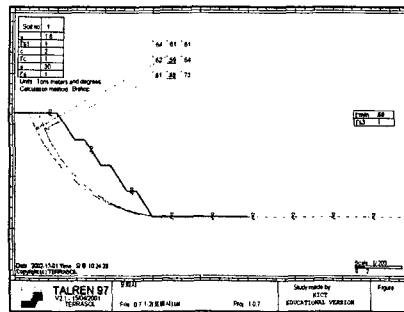
그림 2. Talren97에 의한 건조시 해석 결과(계속)



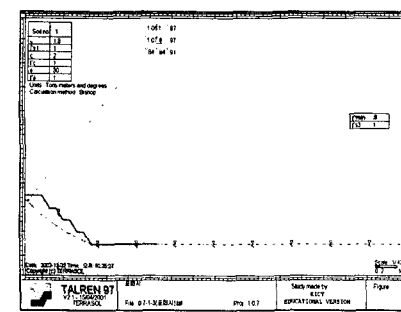
(a) 소단 미설치



(b) 소단폭 1m



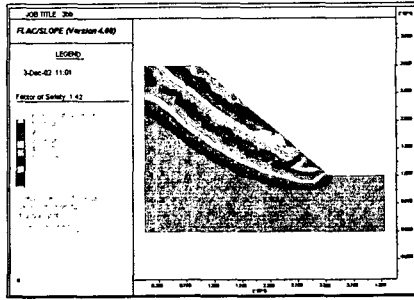
(c) 소단폭 2m



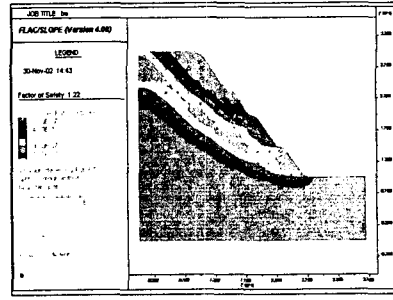
(d) 소단폭 3m

그림 3. Talren97에 의한 포화시 해석 결과

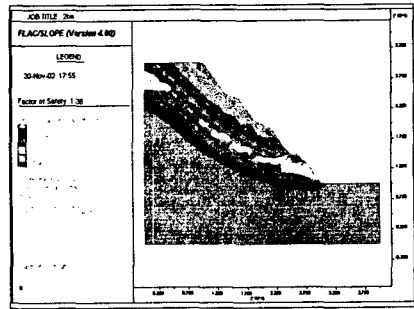
다음은 대상사면에 대하여 FLAC-SLOPE 프로그램을 이용하여 건조시와 포화시에 대한 안전율을 산정하고, 최소안전율을 보일 때 사면에서의 전단변형비를 통해 사면에서의 파괴양상을 살펴보았다. 건조시 해석 결과, 사면 파괴는 법면파괴의 양상을 보이고 있으며, 안전율은 소단 미설치시 1.42, 폭 1m의 소단 설치시 1.22, 폭 2m의 소단 설치시 1.36, 폭 3m의 소단 설치시 1.47로 계산되었다(그림 4, 그림 6, 표 1 참조). 또한, 사면 포화시의 안전율을 검토해 보면, 소단 미설치시 0.67, 폭 1m의 소단 설치시 0.35, 폭 2m의 소단 설치시 0.51, 폭 3m의 소단 설치시 0.60으로 계산되었다. 이 때 계산된 안전율만으로 비교해보면, 소단 미설치시의 안전율이 소단 설치시에 비해 높은 안전율로 계산된 상태를 인지할 수 있으나, 최소 안전율을 보일때의 파괴 양상을 살펴보면 소단 미설치시는 법면파괴가 발생된 반면, 소단을 설치한 경우에는 소단파괴가 발생되고 있는 것을 확인할 수 있다(그림 5, 그림 6, 표 1 참조).



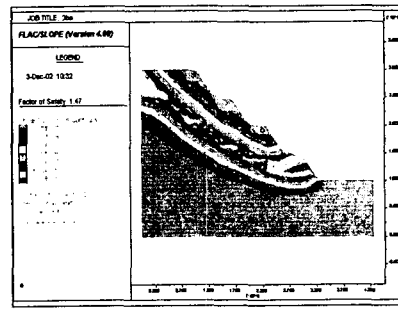
(a) 소단 미설치



(b) 소단폭 1m

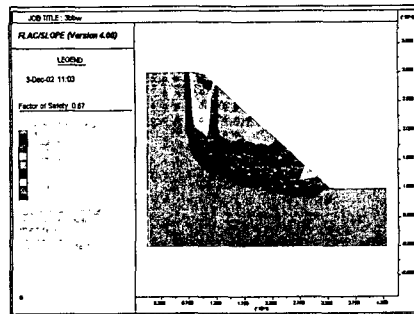


(c) 소단폭 2m

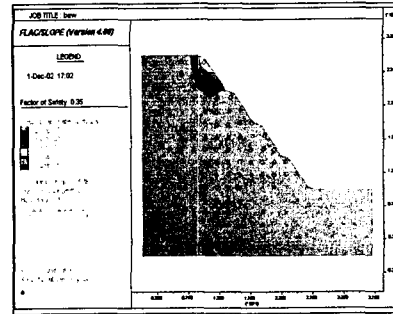


(d) 소단폭 3m

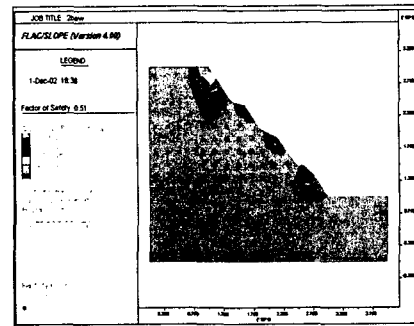
그림 4. FLAC-SLOPE에 의한 건조시 해석 결과



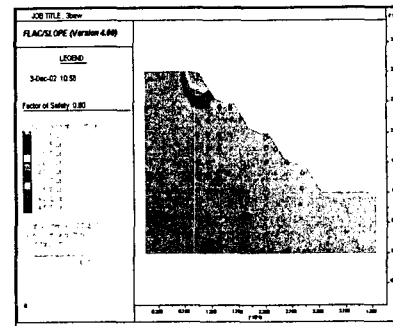
(a) 소단 미설치



(b) 소단폭 1m



(c) 소단폭 2m



(d) 소단폭 3m

그림 5. FLAC-SLOPE에 의한 포화시 해석 결과

표 1. 안전율과 파괴양상 비교

소단폭	수리조건	Talren97		FLAC-SLOPE	
		안전율	파괴양상	안전율	파괴양상
0m	건조시	1.09	범선파괴	1.42	범선파괴
	포화시	0.45	범선파괴	0.67	범선파괴
1m	건조시	1.17	범선파괴	1.22	범선파괴
	포화시	0.50	범선파괴	0.35	소단파괴
2m	건조시	1.31	범선파괴	1.36	범선파괴
	포화시	0.59	범선파괴	0.51	소단파괴
3m	건조시	1.47	범선파괴	1.47	범선파괴
	포화시	0.80	범선파괴	0.60	소단파괴

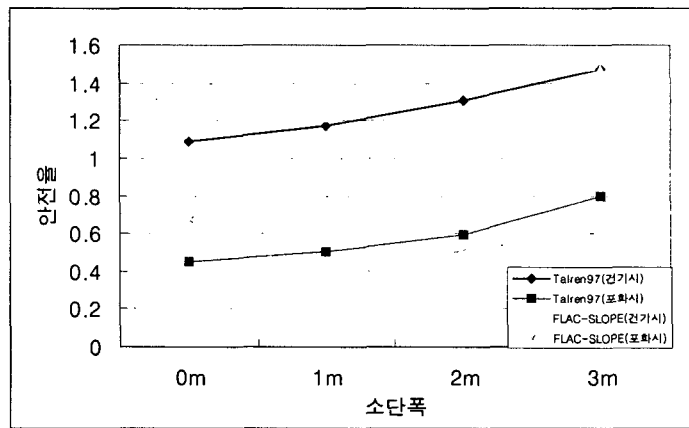


그림 6. 안전율 비교

Talren97과 FLAC-SLOPE을 이용하여 안전율과 파괴양상을 비교해 본 결과, 대체로 안전율은 비슷한 범위내에서 해석되고 있다. 그러나, FLAC-SLOPE에 의해 파괴양상을 살펴보면, 한계평형해석 프로그램인 Talren97과는 다른 결과를 도출하고 있다. 즉, 사면 내 소단을 설치하여 포화시라는 극한적인 상태에서 안정해석을 실시한 결과, 파괴의 양상이 소단부로 축소되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 동일한 안전율 상태에서 소단 설치로 인해 사면 파괴의 규모가 축소될 수 있음을 보여주는 결과이다. 따라서, 사면 조성시 적절한 소단부의 설치는 사면 안정화에 그 효용성이 높다할 수 있다.

### 3. 낙석 해석 프로그램에 의한 소단 효용성 평가

사면에서 발생하는 낙석의 운동 상태에 따라 발생될 수 있는 사면의 안정성 여부를 낙석 해석 프로그램인 Rocfall을 이용하여 알아보고자 한다. 대상사면은 다음의 그림 7과 같이 높이 20m, 경사 1:0.7(55°), 사거리 6m마다 폭 3m의 3개 소단을 형성한 사면과 이 사면과 법견(top of slope)과 법선(toe of slope)의 지점이 동일한 상태로 소단이 설치되지 않은 사면(경사 1:1.15(41°))을 선정하여 이들 사면의 법견에서 낙석을 발생시켜 낙석의 이동거리와 운동에너지 등을 살펴보았다. 발생시킨 낙석의 규모는 우리나라에서 발생하는 낙석의 평균 중량인 0.4톤을 사용하였다.

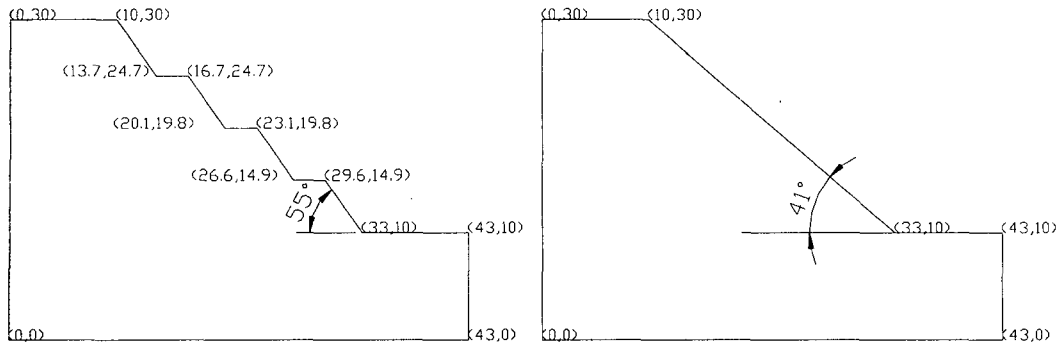
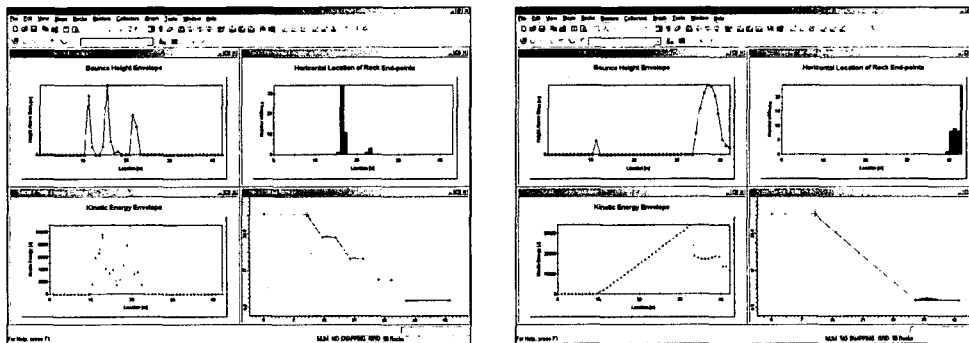


그림 7. 낙석 해석을 위한 대상사면

낙석 해석 프로그램에 의한 해석을 실시한 결과, 소단을 설치한 경우에는 낙석이 최대 11kJ의 에너지를 가지며, 대부분의 낙석이 3소단내에 집적되고, 그 외의 낙석들도 2소단내에 모두 집적되어 낙석이 도로상으로 이동하는 것을 막을 수 있음을 알 수 있으며, 소단을 설치하지 않은 경우에는 낙석이 최대 35kJ의 에너지를 가지며, 대부분의 낙석이 도로상까지 유입되고 있음을 보여주고 있다(그림 8 참조).

본 연구에서 실시한 낙석 해석을 통해 사면에 소단을 설치할 경우에는 설치하지 않은 경우에 비해 낙석이 가지는 에너지를 31.43% 정도로 줄이는 효과가 있음을 알 수 있으며, 낙석의 이동거리 또한 50% 가량 줄일 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 사면에 설치된 소단은 낙석흡수도랑(ditch)의 역할을 수행하여 낙석에 의한 피해를 줄일 수 있는 큰 효과가 있음을 알 수 있다.



(a) 소단 설치

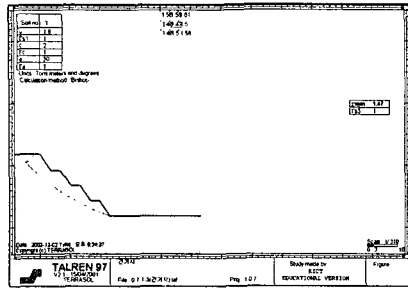
(b) 소단 미설치

그림 8. 낙석 해석 프로그램에 의한 소단 효용성 평가

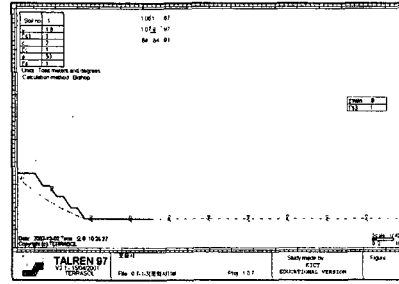
#### 4. 소단 설치에 따른 경제성 평가

사면내 소단 설치에 따른 효용성을 경제적 측면에서 살펴보기 위해 3장에서 이용한 대상사면을 활용하여 각 단면에 대한 안정해석을 통해 안전율의 차이를 비교·검토하고, 2차원 단면에서의 평면적인 절취 면적을 구해보았다.

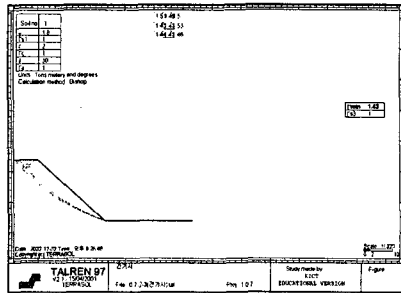
먼저, 폭 3m의 소단을 3개 설치한 경우의 안전율은 건조시 1.47, 포화시 0.80으로 계산되었으며, 소단을 설치하지 않은 경우에는 건조시 1.43, 포화시 0.72의 안전율이 계산되어 안전율의 차이가 거의 없음을 알 수 있다(그림 9, 표 2 참조).



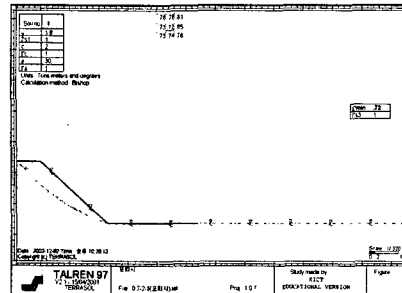
(a) 설치(건조시)



(b) 설치(포화시)



(c) 미설치(건조시)



(d) 미설치(포화시)

그림 9. 소단 설치 여부에 따른 안정해석 결과

표 2. 소단 설치 여부에 따른 안전을 비교

수리조건	소단 설치 여부에 따른 안전율	
	설치	미설치
건조시	1.47	1.43
포화시	0.80	0.72

위의 해석 결과에 의하면, 2개의 대상사면은 거의 유사한 안전율을 보여 동일한 법선, 법선의 위치를 가질 경우, 소단 설치에 무관하게 사면의 안정성이 동일함을 보여주고 있다. 이와 같은 해석 결과를 근거로 소단 설치의 경제적 효과에 대하여 평가를 실시해 보면, 그림 10에서와 같이 소단을 설치한 경우 단위 m당 227.6534m<sup>2</sup>의 절취 면적이 계산되었으며, 소단을 설치하지 않은 경우는 단위 m당 230.0415m<sup>2</sup>의 절취 면적으로 계산되었다.

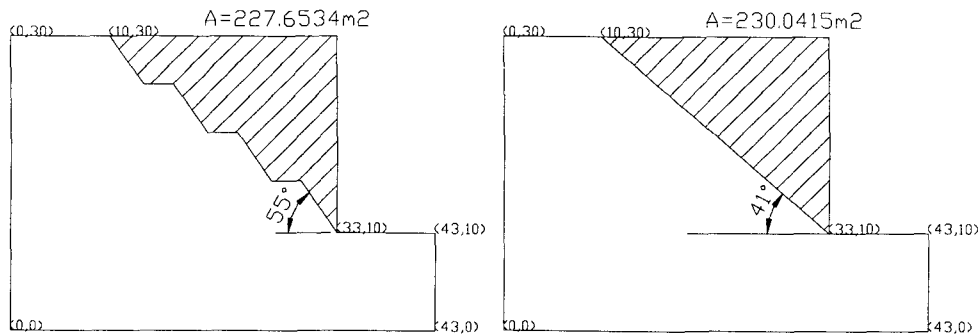


그림 10. 절취 면적 비교

이상과 같이 소단 설치에 따른 경제성을 평가해본 결과, 동일한 사면고의 절취에서 사면의 경사를 1:0.7(55°)로 급하게 조성하더라도 적절히 소단을 설치할 경우에는 사면에 소단을 설치하지 않고 경사 1:1.15(41°)의 저경사로 절취했을 경우와 비교하여 동일한 안정성을 확보할 수 있을 뿐 만 아니라 단위 m당 2.3881m<sup>3</sup>의 절취 물량을 덜 절취하여 경제적인 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

사면 시공에 있어 획일적인 설계기준으로 제안되고 있는 소단 설치와 소단폭 등의 결정 사항을 사면의 안정성, 시공 경제성 측면에서 검토하여 적정 소단 설치의 효용성을 평가해 보았다.

1. Talren97과 FLAC-SLOPE을 이용하여 안전율과 파괴양상을 비교해 본 결과, 대체로 안전율은 비슷한 범위내에서 해석되었다. 그러나, FLAC-SLOPE에 의한 유한차분해석을 실시한 결과, 사면에 소단을 설치하여 포화시라는 극한적인 상태에서 안정해석을 실시한 결과, 파괴의 양상이 동일한 안전율 상태에서 소단부로 축소되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 소단 설치로 인해 사면 파괴의 규모가 축소될 수 있음을 보여주는 결과이다.
2. 낙석 해석 프로그램을 이용한 해석에서는 소단을 설치하였을 경우 발생 낙석의 이동 거리와 충격 에너지를 소단 미설치에 비해 크게 감소시키는 경향을 보여 설치된 소단이 기존 낙석흡수도랑(ditch)으로서의 역할을 수행하여 낙석에 의한 피해를 크게 줄일 수 있음을 알 수 있었다.
3. 소단 설치에 따른 경제성을 평가해본 결과, 동일한 사면고의 절취에서 사면의 경사를 1:0.7(55°)로 급하게 조성하여 적절히 소단을 설치할 경우에는 사면에 소단을 설치하지 않고 경사 1:1.15(41°)의 저경사로 절취했을 경우와 비교하여 동일한 안정성을 확보할 수 있을 뿐 만 아니라 단위 m당 2.3881m<sup>3</sup>의 절취 물량을 덜 절취하여 경제적인 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

따라서, 본 연구를 통하여 사면 조성시 소단 설치의 효용성을 확인할 수 있으며, 적정 소단폭 설정의 중요성을 인식할 수 있었다.

## 참고문헌

1. 임종석 외 4인 편역(1996), *지반공학용어사전*, 엔지니어즈
2. 전성기(1998), *실무자를 위한 사면안정화 설계실무편람*, 과학기술
3. 한국건설기술연구원(2000), *도로안전시설 설치 및 관리 지침*, 건설교통부
4. 한국건설기술연구원(2003), *도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 V*, 건설교통부
5. Turner, A. K., Schuster, R. L. editors(1996), *Landslides ; Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council(U.S.), pp.493-495