

평면파괴가 예상되는 사면의 보강대책에 관한 사례 연구

A Case Study on Reinforcement Method of Cut Slope Expected Plane Destruction

이동엽¹⁾, Dong-Yub Lee, 박춘식²⁾, Choon-Sik Park, 김병걸³⁾, Beoung-Girl Kim

¹⁾ 국립창원대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student of Civil Engineering, Changwon National Univ.

²⁾ 국립창원대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon National Univ.

³⁾ 국립창원대학교 토목공학과 석사, Dept. of Civil Engineering, Graduate School Changwon National Univ.

SYNOPSIS : From the result of precise field investigation and stability examination for the rock slope, following results were acquired.

1. The weathering rock itself, existing fault zone and underground water complexly effect cut slope so that plane destruction may appear by fault zone.
2. The reinforcement force was decided by the result of limit equilibrium.
3. For rock cut slope, the Rock Bolt was judged as the most proper method to the cut slope as comparing/analyzing Rock Anchor, Rock Bolt and method after relaxing the slope.

Keywords : cut slope, plane destruction, reinforcement method, rock bolt, rock anchor

1. 서 론

우리나라는 3면이 바다로 이루어져있고, 국토의 70~80%가 산지로 이루어져있다. 최근 우리나라는 고도의 경제성장을 통해 도로 및 건설용지의 부족으로 인해 산지의 이용률이 증가하고 있는 추세이다. 도로, 철도 및 건설용지 등의 용도로 사용하기 위해 산을 절토하고 바다를 매립하고 있는 실정이다. 특히 도로나 철도를 새롭게 조성해야 하는 경우 자연사면을 절취하여 절토 사면을 만드는 경우가 많은데 이러한 절취 사면들은 지층을 형성하고 있는 지질, 토질, 지질구조, 지형과 같은 지질학적 특성과 자연적 요인으로 강우, 지하수, 지진, 인위적인 절토 등의 영향으로 크고 작은 붕괴가 발생하고 있다.

사면의 붕괴는 사면의 흙 또는 암반의 전단강도에 의한 전단저항력이 활동력보다 큰 경우는 안정성 확보가 가능하게 되나, 전단저항력이 활동력보다 작은 경우에는 사면은 지질구조 및 응력상태에 따라 다양한 형태의 붕괴가 발생된다. 이러한 사면붕괴는 도로유실 및 교량, 터널 등 인접 구조물에 피해를 일으킬 뿐 아니라 경우에 따라서는 큰 인명 손실을 가져오기도 한다. 이러한 붕괴를 사전에 방지하기 위하여 사면 안정해석에 의한 안정성을 확인 하게 되는 것이다.

이와 같은 사면붕괴를 사전에 방지하기 위하여 사면 안정검토를 하는 것이며, 이는 흙 또는 암반의 다양한 실험 등을 통해 흙 또는 암반의 전단강도를 산정하여 예상 파괴면에 발생되어지는 전단저항력과 활동력을 계산하고 이를 비교하여 안전율로 정의하고 있으며, 이러한 과정을 사면 안정해석이라고 한다.

본 논문의 목적은 평면파괴가 예상되는 지점을 지반조사와 평사투영해석, 한계평형해석 등을 통해서 사면의 안정성을 파악하고, 사면의 최소안전율에 미치지 못 하는 경우 필요한 보강력을 예측하여, 보다 합리적이고 경제적인 보강대책 공법을 제시하고자 하는 것이다.

2. 연구방법

본 연구 대상은 도로 확·포장공사를 위한 절취사면의 형태이며, 총 사면의 연장은 130m, 최대 사면고는 28m이다. 또한 최대 구배는 50~63°이다. 지질 조사를 통해 암석의 일축 압축강도, 암질지수, 평균 불연속면의 간격, 불연속면의 상태, 지하수의 상태 등을 통해 RMR 등을 산정하였으며, RMR 값을 바탕으로 SMR 값을 산정하여 암반사면의 1차적인 안정성을 평가하였다. 본 연구의 대상사면은 그림.1과 같으며, 그 결과는 Table.1에 나타내었다.

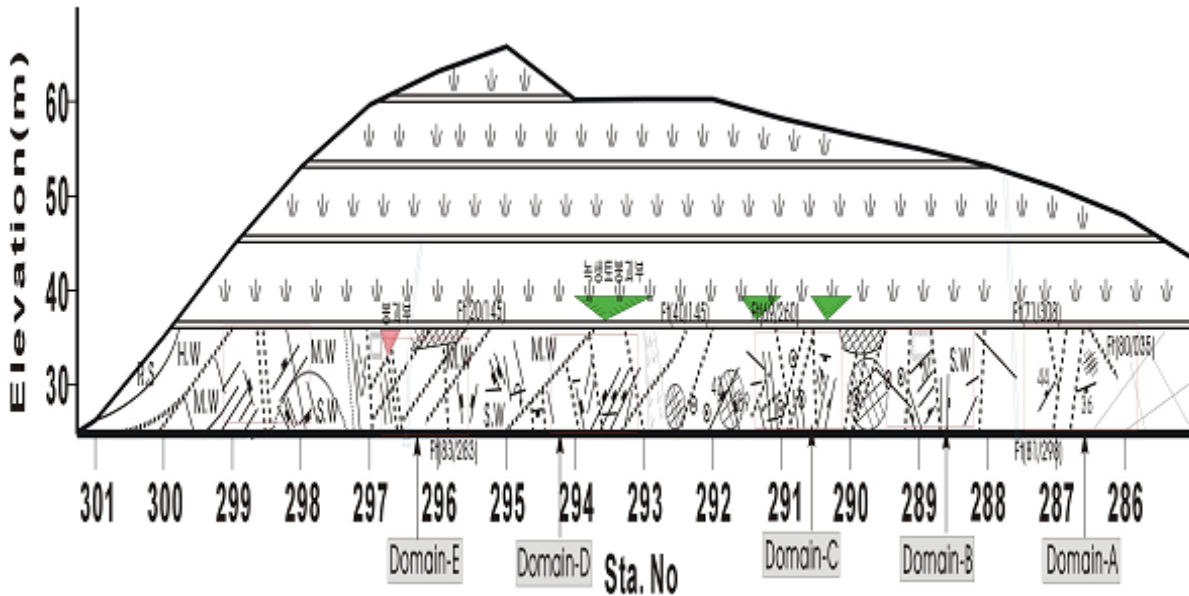


그림.1 대상사면 현황

Table.1 SMR 값에 의해 예상한 파괴유형

구분	파괴현황
A 구역	• 부분적으로 낙석 및 낙반이 발생할 가능성이 있으나 대체적으로 안정한 절토사면이다
B 구역	• 평면파괴 예상 • 부분적으로 낙석 및 낙반이 발생할 가능성이 있다.
C 구역	• 지하수의 flow, wet 구간으로 평면파괴 예상 • 부분적으로 낙석 및 낙반이 발생할 가능성이 있다.
D 구역	• 평면파괴 예상 • 부분적으로 낙석 및 낙반이 발생할 가능성이 있다.
E 구역	• 부분적으로 암괴에 의한 낙석 및 낙반이 발생할 가능성이 있다.

SMR 값을 바탕으로 본 연구에서는 파괴가 예상되는 구역에 대해서 평사투영해석(DIPS version 5.1)을 실시한 결과는 그림.2, Table.2 와 같다.

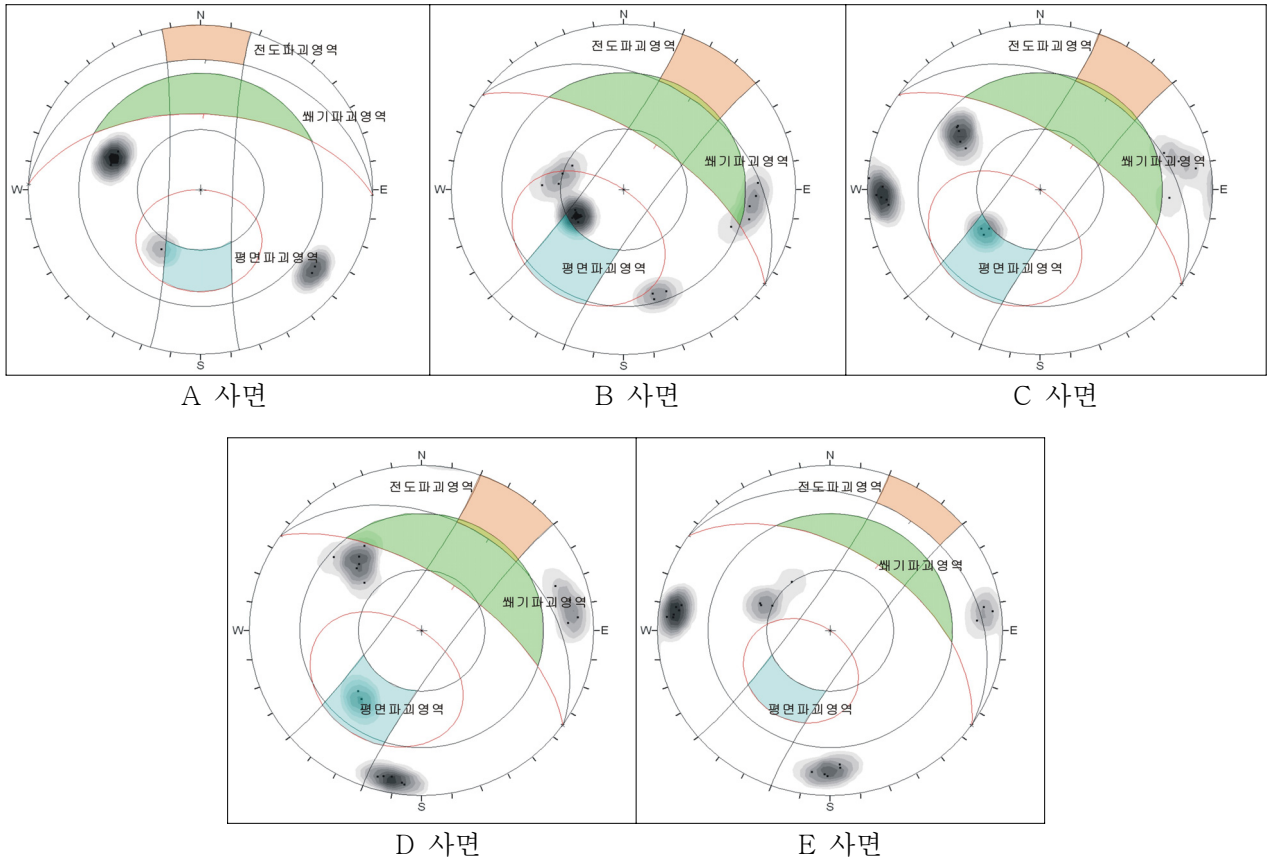


그림.2 평사투영해석 결과

Table.2 평사투영해석을 통한 파괴형태 결과

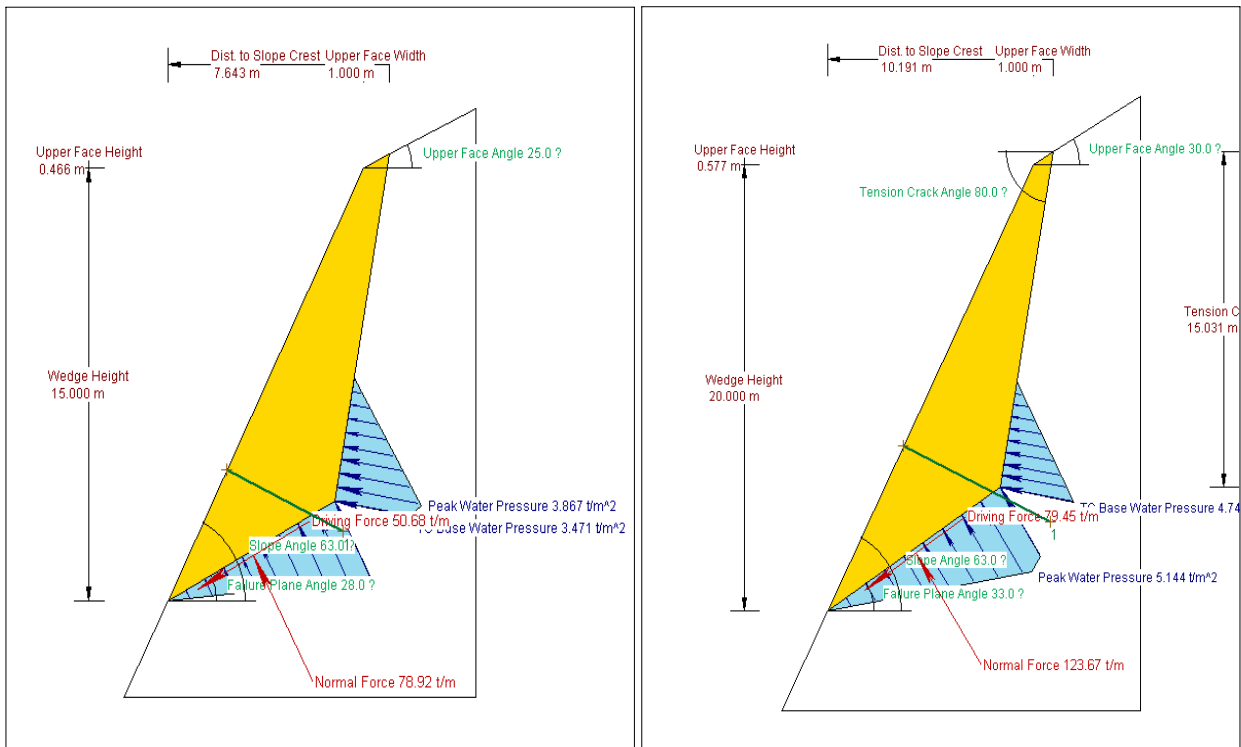
구 분	평사투영해석			비 고
	평면파괴	전도파괴	쇄기파괴	
A 구역	×	×	×	
B 구역	○	×	×	
C 구역	○	×	×	
D 구역	○	×	×	
E 구역	×	×	×	
비 고	○ : 우려, × : 우려없음			

본 연구의 대상 사면의 A, B, C, D, E 구역에서 평사투영해석을 바탕으로 B, C, D 구역에 평면파괴가 발생할 우려가 있을 것으로 판단되어졌으며, 한계평형해석을 B, C, D 구역에 대해 수행하여 사면의 안정을 위한 최소한의 보강력을 산정함으로써 경제적이고 장기적인 안정성을 확보하고자 한다.

3. 한계평형 해석을 통해 암반사면의 보강력 산정

평사투영해석을 통해 본 연구대상인 사면 중 B, C, D 구역에서 평면파괴가 발생할 것으로 나타났다. 따라서 B, C, D 구역의 한계평형해석을 통해 암반사면의 안정성을 확보하기 위해 필요한 보강력을 산

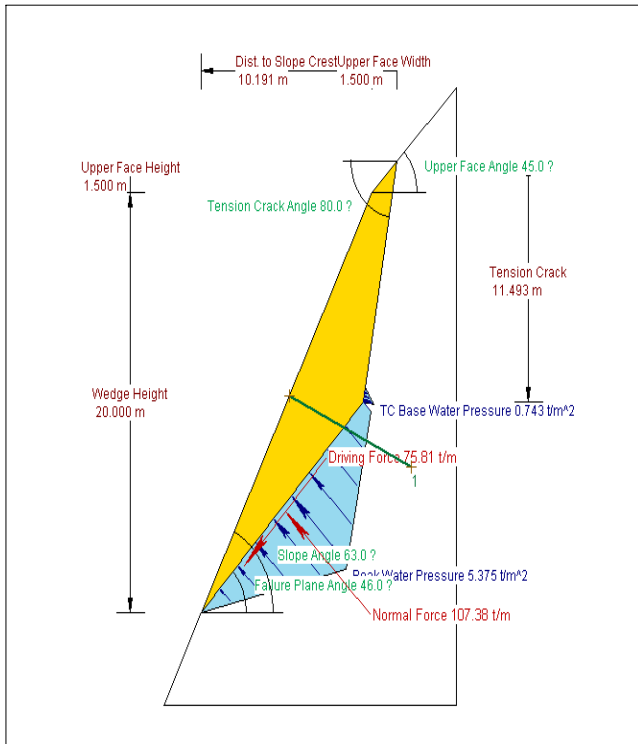
정하고자 한다. 결과는 그림.3, Table.3 과 같다. 그림.3는 우기시를 기준으로 해석한 결과이다.



B 사면

C 사면

그림.3 한계평형해석을 통한 보강력 산정(우기시)



D 사면

Table.3 한계평형 해석 결과

구역	보강력 (ton/m)		안전율
	구분	소요 보강력	
B	우기시	8.0	1.33
C	우기시	30.0	1.31
D	우기시	59.0	1.30

그림.3 한계평형해석을 통한 보강력 산정(우기시) (계속)

4. 암반사면의 보강대책

본 연구에서는 평면파괴가 예상되는 구역에서의 Rock Bolt와 영구 Anchor를 보강대책으로 채택하였으며, Rock Bolt와 영구 Anchor의 설치 위치와 상세도는 그림,4~6 과 같다

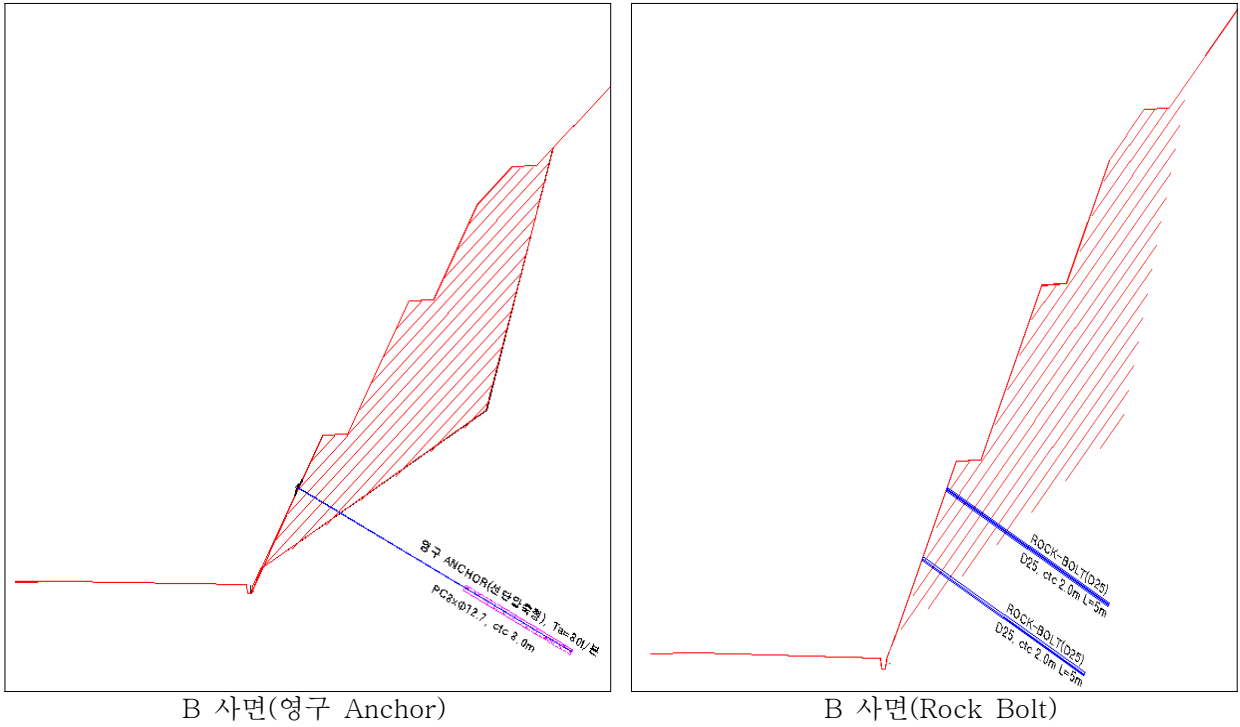


그림.4 B사면의 보강대책

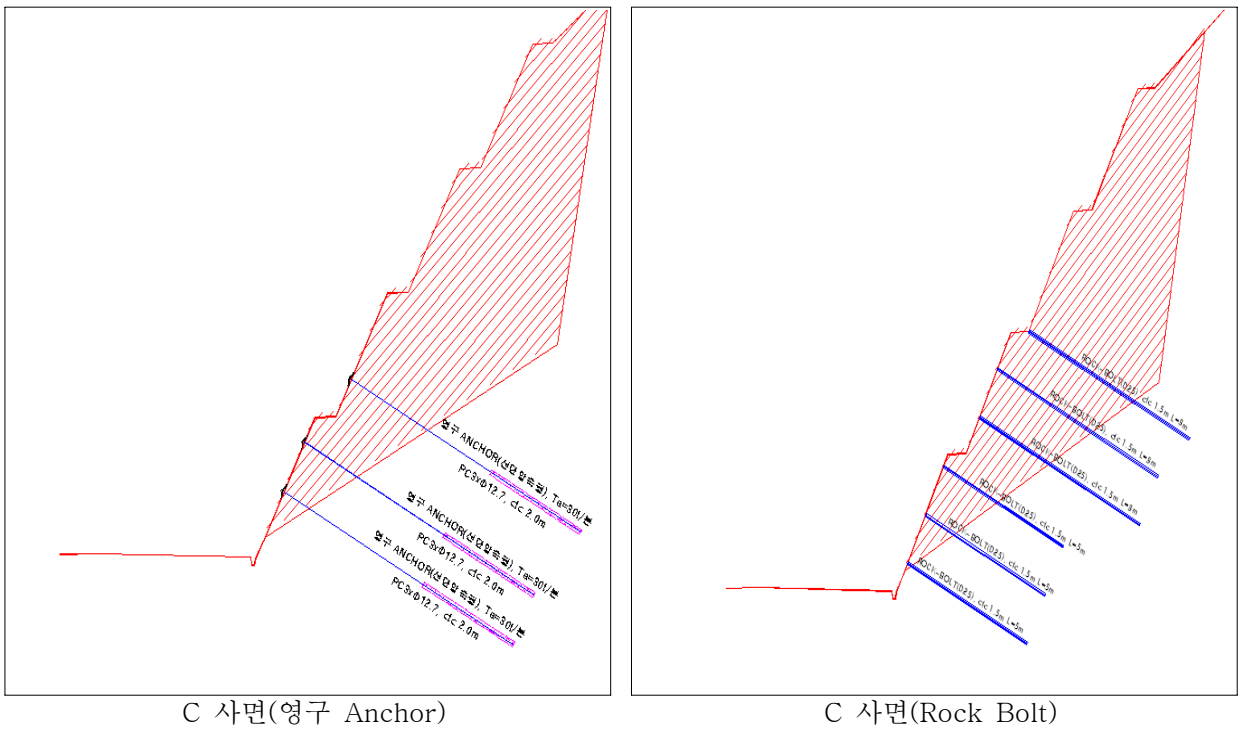


그림.5 C사면의 보강대책

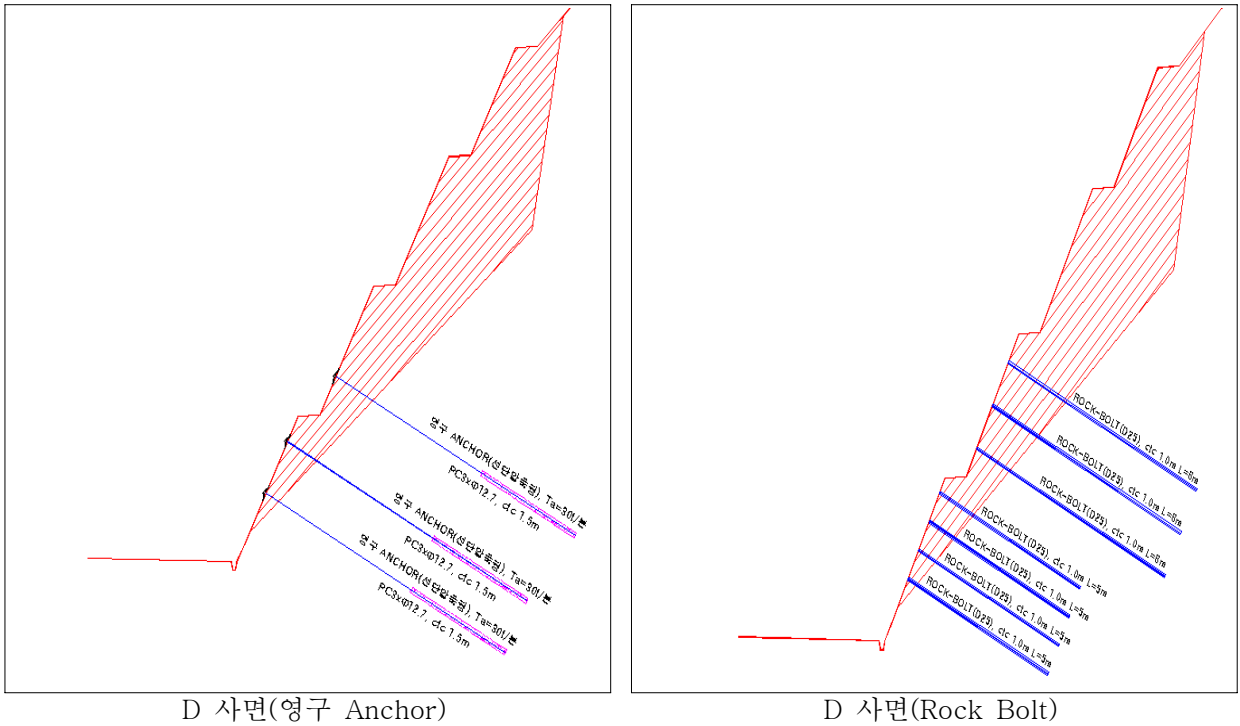


그림.6 D사면의 보강대책(계속)

암반사면의 장기적인 안정성을 확보하기 위해 그림.4~6 과 같은 방법으로 보강대책을 수립하였다. Table.4는 그림.4~6 와 같이 보강시 암반사면의 안전율에 대한 결과이다.

Table.4 보강대책 및 안전율

구 분	보강대책		
	영구 Anchor (30ton/本)	Rock Bolt (9.1ton/本)	안전율
B구역	1단 설치	2단 설치	1.35
	3m 간격	2m 간격	1.33
C구역	3단 설치	6단 설치	1.49
	2m 간격	1.5m 간격	1.35
D구역	3단 설치	7단 설치	1.4
	1.5m 간격	1m 간격	1.45

5. 결론

본 연구 대상 사면은 암석 자체의 풍화, 근본적으로 내재해 있는 단층, 지하수위, 등이 복합적으로 작용하고 있으며, 현장 조사 결과로부터 파쇄암반의 낙반, 단층면에 따른 평면파괴가 발생할 우려가 있다고 판단되어 졌다.

따라서 본 연구의 대상사면에 대한 정밀한 현장조사 및 안정성 검토를 실시하여 장기적인 안정성을 확보할 수 있는 보강대책을 수립하는 과정에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지형 및 지질

본 지역은 중생대 백악기 안산암질 외암류가 과업구간을 중심으로 넓게 분포하고 북쪽으로 안산암 질

암류 이를 관입하고 있는 불국사관입암류 그리고 이들을 부정합으로 피복하고 있는 신생대 제4기 층적층이 과업구간 남쪽으로 넓게 분포하는 것으로 확인되었다.

선구조선 방향 분석결과 북동-남서의 빈도가 우세하고, 연장성은 북서-남동 방향이 우세하게 나타나고 있으며, 다음으로 북북동-남남서 방향 또는 서북서-동남동 방향의 선구조가 발달하였다.

2. SMR 분류

SMR 분류는 암반사면의 1차적인 안정성을 평가하는 매우 유용한 방법으로, 불안정한 파괴형태와 이에 요구되는 보강에 관한 간편한 방법을 제시하고 있는 방법이며, 이를 통해 연구 대상의 사면 중 파괴가 예상되는 A, B, C, D, E 구역을 산정하였다.

3. 평사투영해석과 한계평형해석 결과

본 연구의 주요 대상 사면은 길이 약 130m, 최대사면고 28m의 절취사면이며, 사면 곳곳에서 소규모 평면파괴, 이완 및 파쇄암반의 낙반이 예상된다.

따라서 예상되어지는 구역의 A, B, C, D, E 를 대상으로 평사투영해석의 결과 A 구역과 E 구역에서는 안정한 것으로 나타났으며, B, C, D 사면 구역에서 평면파괴의 우려가 있는 것으로 확인 되었다. 평사투영해석의 결과로 B, C, D 구역에 사면의 안정성을 확보하기 위해 한계평형해석을 통해 최소 보강력을 산정하였다.

4. 보강대책 수립결과

본 사면에 발생된 붕괴는 암석 자체의 풍화, 근본적으로 내재해 있는 단층, 지하수위 등이 복합적으로 작용하여 발생된 것으로 판단되며, 사면 곳곳에 이완 및 파쇄 암반의 낙반이 예상되므로 이에 대한 적절한 대책이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 사면에 Rock Bolt 와 영구 Anchor를 보강대책으로 산정하여 장기적인 안정성을 확보하고자 한다.

참고문헌

1. 김병걸(2008) “평면파괴가 예상되는 암반사면의 보강대책 연구 사례”
2. 김상규 외 1인(1997) “우리나라에서의 사면 안정화 대책공법” 사면 안정 학술 발표회
3. 정형식 “토목기술자를 위한 암반 역학“
4. 이창섭 “토목 지질 공학”
5. Braja M. Das (1983) "Advanced Soil Mechanics“, Mc Graw Hill,
6. Braja M. Das (1990) "Principles of Foundation Engineering" Pws Publishing Company
7. F.K KONG and R.H EVANS (1995)"Critical State Soil Mechanics" Mc Graw Hill,