

우리나라에서의 사면안정화 대책공법

Remedial methods for slope stabilization in Korea

김상규¹⁾, Sang-Kyu Kim, 박경종²⁾, Kyoung-Jong Park,

요약 (Abstract)

사면활동은 때때로 심각한 인명과 경제적 손실을 초래하고 있다. 이것은 사회적으로 큰 관심사가 되고 있으며, 우리는 우선 사면의 불안요소를 이해하는 것이 중요하다. 본고는 사면의 안정화와 관련한 보고서를 근거로 하여 우리나라 사면활동의 특징과 그 대책공법에 대하여 기술한다. 사면안정 대책보고서는 사면활동의 우려가 있어 안정성을 평가하고 불안한 경우 적절한 대책공법을 제시하고 있어 이를 토대로 하여 사면붕괴의 주 원인, 사면설계의 구배현황, 토사 및 암반사면에서의 활동양상, 암종류별 활동형태, 암반에서의 불연속면의 분포 등을 고찰하고, 사면안정 대책공법에서 제시하는 토질별 대책공법의 적용성 등을 파악하여 사면의 설계 및 시공시 참고가 되도록 하였다.

Landslides can give serious damage to both human lives and properties. Therefore, landslides have become main concern for civil engineers and engineering geologists through the world. It is essential to understand the causes of the instability on terms of analysis and practice. This study describes the characteristics of remedial methods for landslides on the base of the reports of slope stabilization carried out in Korea. And then it shows the main causes of landslides, the types of landslides, the distribution of discontinuities in rocks, and examples of remedial methods for landslides.

주요어(Key words) : landslide, slope stabilization, remedial method, earth anchor, soil nailing

1. 서 론

산업화와 이에 따른 인구의 도시집중은 양호한 주택 및 산업단지의 건설용지를 고갈시키고 있어 토지이용의 효율을 증대시키기 위해 자연사면을 절취하거나 원지반을 매립하여 부지를 확보하고, 국토의 균형 있는 발전과 효율적인 개발이 요구되면서 전국에 걸쳐 건설된 도로망은 대부분 내륙의 산악지형을 경유함으로써 많은 크고 작은 절토 및 성토사면을 형성시키고 있다.

우리나라뿐만 아니라 세계도처에서 많은 인명과 재산상의 피해를 주고 있는 산사태와 인위적인 사면의 활동은 지형, 지질, 식생 그리고 기후 등 여러 요인이 복합적으로 작용하여 발생한다. 국내의 산사태는 자연적인 원인에 의한 것도 있으나 보다 심각한 피해는 인위적으로 자연지반을 절취함으로써 발생하는 절취사면의 붕괴와 관련이 있다.

본 논고는 사면활동과 관련하여 안전진단 전문기관 등이 수행한 사면안정 대책보고서 등의 자료를 토대로 하여 사면활동의 직접적인 원인 분석, 사면활동 지역의 지질 및 지층의 현황과

1) 동국대학교 공과대학 토목공학과 교수

2) 한국토지공사 설계처 과장

특성, 사면의 활동형태 그리고 불연속면의 특성 등을 조사분석하여 사면의 설계 및 시공시 참고가 되고 사면활동 지역에 대하여 신속한 예비조치 및 영구대책이 강구될 수 있도록 하고자 한다.

2. 우리나라 사면활동의 특징

2.1 사면의 유형 및 활동시기

사면의 유형은 일반적으로 자연사면과 인공사면으로 나누며, 인공사면은 다시 절토사면과 성토사면으로 나눈다. 조사 대상지역은 도로개설과 주택 및 산업단지 조성에 의하여 형성된 사면이 주를 이루고 있다. 표 2.1은 전체 조사지역에 대한 사면의 유형을 나타낸다.

표 2.1 조사 대상지역의 사면유형

구 분	사 면 의 유 형			
	절토사면	성토사면	자연사면	계(%)
활동지역	21	5	1	27(77)
미활동지역	4	1	3	8(23)
계(%)	25(71)	6(17)	4(12)	35(100)

사례분석 지역은 대상지역의 77%가 사면활동이 발생하였고, 23%는 사면활동이 우려되어 안전진단을 받은 것으로서, 이 중에서 절토사면의 활동으로 인하여 안전진단을 받은 경우가 60%로서 가장 많았다. 표 2.2와 같이 공사 진행상태에 따른 사면의 활동시기를 볼 때 사면활동은 전체의 66%가 사면의 절토 또는 성토공사 완료 후 발생하였다. 자연사면의 활동 및 미활동구간은 대체로 옛날에 여러 번의 사면활동이 발생하였거나 발생 가능성이 있는 지역 또는 그 인근 지역으로서 활동에 대한 재해위험지구로 선정된 경우가 많았다.

표 2.2 사면활동 지역의 활동시기

구 분	활 동 시 기			
	공사전(자연사면)	공사중	공사후	계
활동지역(개소)	1	8	18	27
비율(%)	4	30	66	100

2.2 사면활동의 원인

우리나라에서 발생한 자연재해는 표 2.3과 같으며, 풍수로 인한 피해가 대부분을 차지하고 있다. 사면활동이 발생한 27개 지역에서 활동의 직접적인 원인을 조사한 결과 강우에 의하여

표 2.3 최근 10년간(1983-1992) 자연재해 발생횟수 (내무부,1992)

구 분	호 우	태 풍	폭 풍	폭풍우	폭풍설	우 박	호우,우박	기 타	계
발생횟수	650	273	66	62	25	24	19	21	1,140
비율(%)	57	24	5.8	5.4	2.2	2.1	1.7	1.8	100

사면활동이 발생한 지역은 미확인 구간을 제외한 20개소중 17개소이며, 이는 전체의 85%로서 강우시 사면활동이 주로 발생하고 있다는 것을 보여준다. 강우에 의한 사면의 활동이 많아지는 것은 우리나라에서 가장 많이 발생하는 재해인 산사태와 밀접한 관계가 있다.

2.3 사면의 설계구배

사면에서의 토질분류는 풍화도와 시공 가능성 등을 고려하여 토사, 리핑암(풍화암), 발파암(연암, 보통암, 경암)으로 나누고 이를 기준으로 하여 절취면의 경사를 정하고 있다. 특히 암반 사면에 있어서는 사면의 절리상태와는 무관하게 일률적으로 기준표에 의하여 사면의 경사를 적용함으로써 부적합한 설계가 이루어지고 있으므로 사면이 불안정하여 붕괴사고 등의 재해가 많이 발생하고 있다.

그리고 우리나라에서는 대체로 각 기관별로 표준설계구배가 제시되어 있어 거의 모든 사면의 설계에 이를 준용하고 있는 실정이며 본 조사에서의 사면구배의 설계 및 시공 상태와 특성은 다음과 같다.

1) 붕적층은 1:1.2~1:1.8 구배인 구간에서 사면활동이 여러 차례 발생하였고, 특히 붕적점토층에서는 사면구배가 1:2.5~1:3.5로서 상당히 완만하지만 강우시 활동이 발생하였다. 이와 같이 붕적층에 있어서는 일반적으로 풍화잔류토층보다 사면구배를 완화하여 설계하는 것이 적절할 것이다.

2) 풍화잔류토층의 설계 및 시공시 구배는 1:1.0~1:2.0 정도로서 일반적인 표준구배를 이루고 있으나 구배가 1:1.0인 급경사지역에서 사면활동이 많이 발생하고 있어 토사사면에서의 구배 1:1.0은 사면안정에 문제를 야기시키는 것으로 나타난다. 또한 구배 1:1.2에서도 사면활동이 수차 발생하여 구배를 1:1.5로 완화 시공한 경우도 있어 대절토구간에서는 구배 1:1.2의 적용시 주의가 필요하다.

3) 풍화암구간의 설계구배는 1:0.7~1:1.2 정도이며, 시공시 활동이 우려되어 현장에서 1:0.8~1:1.4로 구배를 완화하였으나 일부 구간은 사면이 활동하므로써 1:1.2~1:1.5의 구배완화가 필요한 지역도 있다. 사면활동이 발생한 지역은 전단파쇄대, 풍화가 심한 절리 등이 존재하는 지역과 일치하고 있어 풍화암에서는 구배결정시 전단파쇄대 등의 고려가 필요하다.

4) 발파암구간에서의 설계 및 시공구배는 1:0.3~1:1.0이며, 사면활동이 발생한 지역은 층리, 전단파쇄대, 과발파시 암괴이완, 블록의 조합 등이 많이 분포하고 있어 설계시 발파암 구간에서는 특히 절리와 전단파쇄대에 대한 고려가 우선되어야 한다.

2.4 사면활동의 형태

2.4.1 토질별 사면활동

사면의 활동형태는 토사와 암반구간에서 차이가 있다. 토사구간에서는 주로 원형활동, 썩기 활동, 평면활동이 주로 발생하고 있으며, 암반구간에서는 썩기활동, 평면활동, 원형활동, 전도 활동이 발생하고 있다. 표 2.4는 암반사면이 활동한 구간에 대한 사면의 활동형태를 나타낸다.

표 2.4 암반사면의 활동형태

구분	원형활동	썩기활동	평면활동	전도활동	계
구간수	2	7	7	4	20
비율(%)	10	35	35	20	100

기존 사면이 활동한 지역에 대한 조사 결과 토사구간에서는 원형활동이 주로 발생하고 있으며, 암반구간에서는 썩기 및 평면활동이 약 70%로서 주종을 이루고 있으며, 전도활동이 약간 일어나고 있는 상태이다. 그러므로 토사구간에서의 사면활동에 대한 조사는 원형활동을 우선 고려하고 또한 암반구간에서의 활동에 대한 현장조사에서는 썩기 및 평면활동의 가능성에 대하여 고려하여야 한다.

특히 암반구간에서는 낙석의 발생 비율이 높아 상부 토사층의 활동으로 인한 암반사면의 노출과 노출된 사면의 풍화 등으로 인하여 낙석의 위험성이 증가되고 있다.

2.4.2 암종류별 활동형태

사면의 활동은 토사와 암구간에서 활동형태가 다르게 나타나듯이 기반암의 종류별로 또한 다른 활동양상을 나타낸다. 표 2.5는 토사 및 암반구간에서 기반암의 종류별로 활동형태를 나타낸다.

화성암구간은 주로 안산암 및 화강암이 분포하며 풍화잔류토가 원형활동을 일으킨 지역으로 암반자체의 활동가능성은 극히 미약한 것으로 나타나므로 화성암구간에서는 암반자체에 대한 조사보다는 화성암의 붕적잔류토, 풍화화강토 등의 실트질화 또는 모래질화된 토사부분과 풍화된 암반에 대한 고려가 우선되어야 한다. 퇴적암구간에서는 평면활동, 변성암구간에서는 썩기 활동에 대한 검토가 우선 고려되어야 한다.

표 2.5 기반암의 종류별 활동형태

구분	원형활동	썩기활동	평면활동	전도활동	계(%)
퇴적암	1	1	4	2	8(40)
변성암	1	6	3	2	12(60)
계(%)	2(10)	7(35)	7(35)	4(20)	20(100)

2.5 토질 및 지질현황

2.5.1 지질현황

한국의 지질현황은 주로 중생대 트라이아스기, 쥐라기 및 백악기에 형성된 화성암인 화강암과 선캠브리아누대 선캠브리아기의 변성암인 편마암으로 구성되어 있고 부분적으로 신생대 3기층 등이 분포하고 있다.

본 조사구역에서는 표 2.6과 같이 선캠브리아기의 변성암과 중생대 백악기의 퇴적암 및 화성암지역이 대부분을 차지하고 있다.

사면활동이 예상되어 사전 안정성 검토를 한 구간에 대한 지질조사 결과 신생대 제3기 및 제4기의 퇴적암구간, 중생대 백악기의 퇴적암과 화성암구간 및 선캠브리아누대 선캠브리아기의 변성암 구간에서 사면활동의 가능성이 있으며 이는 우리나라에서 지질의 분포도가 많은 이유도 있지만 지질적인 문제도 내재하고 있다. 특히 선캠브리아기의 변성암구간에서는 실제 많은 활동이 발생하고 있다. 그러므로 사면의 조사, 설계 및 시공시 그 지역의 지질학적 특성을 파악하는 것이 중요하며, 정(1994)은 암석의 시대별 및 지역별 분포에 대하여 기술하고 있다.

표 2.6 지질현황

지 질 시 대	기	암석종류	개소수	비 고
신 생 대	4 기	퇴적암	1	
	3 기	퇴적암	2	
중 생 대	백 약 기	퇴적암	4	
		화성암	8	
고 생 대	오오도비스기	퇴적암	2	
	석탄,페름기	퇴적암	1	
선캠브리아누대	선캠브리아기	변성암	14	4개소는 중생대 화강암이 관입

2.5.2 암반의 불연속면 현황

암반에서 큰 응력이 작용하면 소성변형 또는 취성과파괴가 일어나며, 이 조건은 응력조건, 구속조건, 지하수의 존재, 온도 및 변형속도 등의 요인에 의하여 결정된다.

불연속면의 강도, 빈도, 방향, 충전물질 등은 암반의 공학적 요소에 큰 영향을 미치므로 정확한 조사가 필요하다. 표 2.7은 퇴적암 20개소, 화성암 8개소, 변성암 22개소 총 50개 소구간에서의 암종류별 불연속면의 현황을 나타낸다.

조사결과 퇴적암에서는 층리 및 절리가 전체의 약 60%에서 존재하며, 화성암에서는 절리가 거의 모든 단면에서 발견되고, 변성암에서도 거의 모든 구간에서 절리가 발생하였고 전단파쇄대는 약 64%나 존재하고 있다. 암반사면의 안정을 위한 대책 수립시 절리면의 방향, 간격, 충전물질, 연속성, 거칠기, 절리면의 강도, 투수성 등과 전단파쇄대의 풍화정도, 점토 또는 암편 등의 충전물질은 암반의 강도에 큰 영향을 미치므로 이들 사항에 대한 조사 및 시험은 매우 중요하다.

표 2.7 암종류별 불연속면 현황

불연속면	퇴적암	화성암	변성암	계(%)
절 리	13	7	19	39(48)
층 리	9	-	-	9(11)
엽 리	-	-	4	4(5)
편 리	-	-	3	3(4)
박 리	-	2	-	2(4)
전단파쇄대	7	3	14	24(29)
총 계	29	12	40	81(100)

2.6 최소안전율

사면이 활동한 토사구간에서 건조시 최소안전율은 평균 1.38(최대1.9, 최소1.1)로서 최소안전율이 1.2 이하인 경우는 3개 구간으로서 부분적으로 사면이 불안정하나 대부분 안정한 것으로 나타난다. 그러나 포화시 사면의 최소안전율은 평균 0.82(최대 1.47, 최소0.4)로서 29개 구간중 최소안전율이 1.0이하인 구간은 19개소, 1.2이하는 28개소로 강우에 의한 사면의 포화시 거의 전구간에서 불안한 요소를 보이고 있다. 건조시의 평균안전율 1.38과 포화시의 안전율 0.85를 비교시 안전율은 약 60%로 감소하고 있다.

위의 결과와 사면붕괴 원인을 비교하여 보면 강우시 사면의 안전율이 극히 작아져 붕괴가 발생하는 것으로 나타난다. 특히 무한사면에서 점착력이 없는 사질층은 지하수위가 지표면과 일치할 때에는 지하수위가 활동사면내에 없을 때보다 사면의 안전율은 대략 반으로 감소한다고 한다.(김,1995)

3. 사면활동에 대한 대책공법

3.1 사면활동 대책공법

사면의 활동에 대한 대책공법은 기능별로 안전율감소방지법과 안전율증가법으로 구분된다. 안전율감소방지법은 현재 사면의 안전율이 소요 안전율을 만족시키는 위치에서 우수나 융설수에 의한 사면표면의 침식과 비탈면의 공기중 노출에 의한 풍화작용으로 사면안전율이 감소될 우려가 있는 경우 비탈면의 보호를 위한 피복공, 블럭공 및 표층안정공법과 지중에 침투한 물을 배수하는 배수공법 등이 있다. 안전율증가법은 사면의 절취로 사면의 소요 안전율이 확보되지 못하는 구간에서 사면구배를 완만하게 조정하거나 옹벽공, 말뚝공, 앵커공 등의 억지공으로 이들의 저항력을 이용하여 불안정한 사면의 안전율을 증가시키는 방법이다. 이들 공법들은 또한 조합하여 이용되기도 한다. 사면활동의 방지를 위한 원리별 대책공법은 표 4.1과 같이 분류된다.

토사사면의 처리는 일반적으로 사면 상부에 토사 배수로를 만들거나 콘크리트구조물을 설치하며, 하부는 석축 또는 옹벽을 설치하고, 절개면은 식생 등으로 피복한다. 그러나 구조물의 부적절한 설치와 절개면의 풍화와 침식에 따라 사면이 약해짐으로서 구조물의 파괴 등이 발생하

표 3.1 원리별 대책공법의 분류

구 분	원리	공법
응급대책	사면단면수정	절토공
		성토공
	간극수압감소	지하수차단공
		지하수배제공
		지표수배제공
	토성개량	치환공법
		다짐공법
		동결공법
		소결공법
	항구대책	토류공법
억지말뚝		
뿌리말뚝		
소일 네일링(soil nailing)		
어스 앵커(earth anchor)		
암반보강		록볼트(rock bolt)
		록앵커(rock anchor)
		첼스
		와이어 메쉬(wire mesh)
		다우웰(dowel)
		샷크리트(shotcrete)

고 있다. 토사사면 보강공법은 사면활동에 대한 흙의 저항력을 증대시키고 인장, 압축, 휨 또는 전단에 저항하는 요소로 이루어지며, 표 3.2는 토사사면에서의 항구대책 공법별 외력에 대한 적용성을 나타내고 있다.

기존의 암반사면 처리는 절토면의 낙석에 대한 위험표지판의 설치, 가옥, 도로 및 시설물 주위에 낙석방지 펜스의 설치, 일시적인 위험을 제거하기 위한 부분적인 절취작업 및 절개면의 피복 등의 방법을 적용하고 있으나 암반사면의 붕괴는 계속되고 있으며, 토사사면에 대한 식생 공법은 식물의 뿌리가 암반 절리면내에 침투하여 썩기역할을 하므로써 암반에 절리를 확대시켜 전도활동을 유발하기도 한다. 현재는 붕괴 또는 탈락의 위험이 있는 암괴를 고정시키는 록볼트공법을 많이 채택하고 있으나 일률적 사면전체에 대한 보강으로 과도한 공사비의 증가를 가져오는 경우가 있다. 암반사면의 안정을 위한 가장 효과적인 방법은 우선 암반에서 불연속면의 강도를 증가시키기 위한 앵커링, 볼팅, 그라우팅 등의 공법이 있다. 구조물에 의한 초기안정 대책공법 적용 후 공법의 장기효과를 유지하고 또한 주변지역의 사면안정을 감소시키는 열화를 방지하기 위해 배수처리 등의 2차 처리가 필요하다.

표 3.2 공법별 외력에 대한 적용성(Schlosser,1982)

구 분	소일 네일링	뿌리말뚝	역지말뚝	앵커
인 장	**	**	-	**
압 축	-	**	-	-
휨	*	*	**	-
전 단	*	*	**	-

** 적용성 큼 * 적용성 보통

3.2 대책공법의 적용에

3.2.1 적용현황

사면안정 대책보고서 등에 의거 사면안정 대책공법별 적용빈도가 표 3.3에 있다. 조사결과 안전율감소방지법은 슛크리트공, 블럭공, 녹화토공법, 수평 및 수직배수공, 식생공법 등이 주로 적용되었고, 안전율증가법중 역학적특성을 이용한 방법은 Earth Anchor, Earth Anchor 옹벽, 옹벽, Soil Nailing, 역지말뚝공법, Rock Anchor 및 Rock Bolt공법 등이 사용되었다.

표 3.3 각 공법 적용빈도

공 법	적용빈도 (회)	공 법	적용빈도 (회)	공 법	적용빈도 (회)
Earth Anchor	5	Earth Anchor 옹벽 또는 앵커벽	7	활동방지턱 (콘크리트블럭 + Dowel Bar)	2
역지말뚝	5	뿌리말뚝	2	Dowel Bar	3
옹벽	3	H-Pile기초 옹 벽	2	Shotcrete	6
Soil Nailing	8	Rock Anchor	2	표면보호공	13

3.2.2 적용성 결과 분석

사면활동에 대한 제안된 대책공법의 지질 및 지형 특성별 적용성은 아래와 같다.

(1) Earth Anchor공법은 두꺼운 붕적층 또는 파쇄심한 풍화잔류토와 풍화암 지역에서 원형 활동이 우려되는 지역, 지층간 경계가 뚜렷하고 작은 활동현상이 일어난 지역 및 개방구간에 단층점토와 경면, 인장균열 등으로 썩기활동이 우려되는 지역에 적용되고 있다.

(2) Earth Anchor 옹벽(앵커벽)공법은 점토 충전절리, 전단파쇄대, 인장균열에 의한 얇은 활동 및 썩기활동이 발생하는 지역, 절리면경사가 사면경사와 비슷하고 엽리로 인한 평면활동이 우려되는 지역, 활동암이 하단부에 지지되어 있고 충전절리, 차별풍화 및 박리작용으로 핵석이 존재하는 지역, 수류에 의한 사면하단부의 침식방지 및 붕적층의 활동과 연약층 위에 성토된 사면의 활동을 억제하기 위해 적용되었다.

(3) Soil Nailing공법은 토사사면이 암반의 활동 및 단층파쇄대 등으로 썩기활동이 우려되는 구간, 편마암지대의 잔류토와 풍화가 심한 암반으로 구성된 대절토 풍화암지역 및 인장균열, 층리 또는 절리면이 사면경사와 비슷하여 평면활동이 우려되고 용출수가 있어 얇은 활동에 대한 대비책이 필요한 지역에 적용성이 좋다.

(4) 역지말뚝공법은 지반활동을 직접 억제하는 억제기능과 이동층과 부동층 사이에 썩기를 막아 지반활동을 억제하는 썩기기능을 가지는 것으로서, 기초부 암반이 토압으로 활동현상이 발생한 지역, 토층 사이의 경계면에서 평면활동이 발생하거나 풍화층의 유실과 침식으로 표면 붕괴의 우려가 있는 지역 또는 급구배 토사사면의 구배완화가 불가하거나 단층파쇄대 구간으로서 지하수위가 낮고 침투수 영향이 적은 구간에 적용된다.

(5) 뿌리말뚝공법은 사면 상부에 주요 구조물이 존재하는 성토구간이 붕괴하거나, 사면이 활동한 지역으로 인장균열, 층리 및 절리면이 사면과 비슷하거나 용출수가 있는 사면 등 깊은 활동이 우려되는 구간에 적합하다.

(6) H-Pile기초 옹벽공법은 활동암괴가 하부선단부에 지지된 상태로 전단파쇄대, 박리작용, 점토층진물로 하부에서의 활동이 우려되어 사면 하단부의 저항력 증대가 필요한 지역, 절취노출면의 풍화가 심한 지역 및 두꺼운 붕적토층으로서 오래 전부터 상부 사면의 산사태가 여러 차례 발생하였고 이 활동은 붕적토층과 잔류토층 사이의 경계면이 활동면이 되어 평면활동이 발생하였으며 강우시 활동 가능성이 있는 지역에 적용되었다.

(7) Rock Bolt공법은 다양한 절리, 단층대점토 및 전단파쇄대의 블록이 조합되어 썩기활동이 예상되는 지역, 암반이 뜬 상태로 있어 이를 기반암에 고정시키거나, 대규모 단층 및 파쇄대가 존재하고 사면상부는 주향이 사면경사와 비슷하여 평면활동이 우려되는 지역에 적절하다. 필요시 낙석방지망과 조합으로 시공되어지고 있다.

(8) Rock Anchor공법은 썩기활동이 발생한 급구배 사면에서 암괴가 뜬 상태로 존재하여 이를 모암에 고정시키기 위하여 적용되었다.

(9) Dowel Bar공법은 암반에서의 국부적인 절리개방 및 단독 분리암괴로 암편의 탈락이 예상되어 암편을 모암에 고정키기 위하여 적용되었다.

(10) 활동방지턱(콘크리트블럭+Dowel Bar)공법은 크고 작은 부석이 암괴에 걸려 있거나 활동층면상에 존재할 때 이를 고정하기 위해 적용된다..

(11) Shotcrete공법은 과발파로 2차 균열이 발생한 지역, 부석, 낙석 또는 뜬 돌이 다량 발생한 지역, 전단파쇄대 지역의 풍화구간 등의 여굴 또는 표면처리에 적용되며, Rock Anchor 또는 Rock Bolt와 함께 사용되는 경우가 많다.

(12) 기타 암반사면의 보호공법은 전단파쇄대나 수직단층 등의 절리의 발달로 표면박리, 탈락 및 소규모 썩기활동과 원호활동, 낙반이 우려되는 지역, 경사가 급한 단층지대 또는 암편이 걸려 있는 암반사면 등에서 Rock Bolt 시공 및 식생이 곤란한 구간에 적용되었다.

4. 결 론

주택지 및 산업용지의 개발과 도로 등의 산업기반시설의 건설에 따른 질성토사면의 조성과 자연사면은 사면활동이라는 문제를 야기시키고 있다. 이들 사면활동에 대한 제반 지질학적조건 등을 고려한 사면활동성 및 사면안정대책공법의 적용성을 판단하고자 사면안정 대책보고서 등의 사례를 조사하여 분석한 결론은 다음과 같다.

1) 사면활동의 직접적인 원인을 조사한 결과 주로 절토구간에서 사면활동이 발생하였으며, 강우에 따른 사면활동이 전체활동의 85%를 차지하고 있다.

2) 붕적점토층에서는 사면구배가 상당히 완만하나 강우시 활동이 자주 발생하고 있어, 붕적층은 풍화잔류토층보다 사면구배를 완화하는 것이 적절하며, 암반층에서는 전단파쇄대, 풍화가 심한 질리 및 과발파에 따른 압괴 이완현상 등이 존재하는 구간에서 사면활동이 주로 발생하고 있어, 암반층의 조사 및 현장 시공시 이들 불연속면 등이 다수 관찰되면 즉시 사면의 안정성검토를 하는 것이 적절하다.

3) 토사구간에서는 원형활동, 암반사면에서는 켜기 및 평면활동이 주로 발생하고 있어 사면에 대한 활동 가능성은 이들에 대하여 고려하고, 암반사면은 활동 후 낙석의 가능성이 높아지고 있어 풍화 등으로 인한 낙석의 위험성을 감소시켜야 한다.

4) 화성암구간은 암반자체의 활동 가능성은 미약하나 풍화잔류토의 원형활동이 우려되어 풍화에 대한 고려가 필요하고, 변성암구간에서는 수평 및 수직질리, 단층파쇄대 등 불연속면에 의한 켜기활동, 평면활동이 주를 이루고 있으며 특히 켜기활동에 대한 검토가 우선 고려되어야 한다.

5) 토사구간에서 포화된 흙의 최소안전율은 건조한 흙보다 약40% 감소하므로, 대절토사면 또는 중요한 구조물이 인접하고 있는 사면 그리고 현장조사 및 시공시 유출수 등이 발견되는 사면은 지하수처리에 대한 조치가 필요하다.

6) 대책공법 적용사례를 참고로 현장의 제반조건과 각 공법별 시공성 및 경제성 등을 감안하여 사면활동에 대한 개략적인 안정대책공법을 선정할 수 있다.

참고문헌

1. 김상규(1995), 토질역학 - 이론과 응용, 청문각, p360
2. 박경종(1995), 우리나라 사면활동의 특징과 대책공법 연구, 동국대학교 토목공학과 석사학위논문
3. 정창희(1994), 지질학개론, 박영사, pp585-621
4. Schlosser,F.(1982), "Behaviour and Design of Soil Nailing", Proc. Symp. Recent Developements in Ground Improvement Techniques, A.I.T, Bangkok, pp399-413