

철탑 하부 대규모 화강암 혼합사면의 시공사례 연구

김재윤, 박부성, 조 현 (쌍용건설(주))

1. 서론

본 연구의 대상사면은 철탑 하부에 위치하며 암반과 토사로 구성된 대규모 혼합사면으로 화강암이 주로 분포하며 부분적으로 염기성 암맥이 관입하여 발달하고 있다. 또한 전반적으로 화강풍 화토가 넓게 분포하고 있으나 부분적으로 사면하부에 화강암 암반이 노출되어 있다. 이러한 토사와 암반으로 구성된 혼합사면의 열악한 지반조건에 의해 대상사면은 시공 중 수 차례에 걸쳐 세굴, 표층유실, 원호·평면·쐐기 파괴 등의 형태로 붕괴가 발생되었다. 따라서 본 논문에서는 시공 단계에서 예상치 못한 불량지반의 출현으로 사면붕괴가 발생된 혼합사면을 대상으로 상세 현장 조사, 붕괴원인 분석 및 최적의 대책방안을 제시한 현장사례를 소개하고자 한다.

2. 지형 및 지질

본 연구의 대상인 절토사면은 국도 36호선 경상북도 영주와 울진을 잇는 00국도건설공사 구간 중 철탑 하부에 위치하고 있다. 지형적으로 볼 때 대상사면 주변부는 중대규모의 산지에 둘러싸인 분지 지형으로 북쪽에는 문수산(1,206m), 각화산(1,176m) 등 높은 봉우리의 산지가 존재하며, 동쪽은 제비산(706m), 남쪽은 청량산(870m)으로 상대적으로 낮은 봉우리가 위치하고 있다.

대상지역 주변부는 선캄브리아기의 소백산 변성암 복합체를 기저로 중생대에 관입한 대규모 화성암체, 그리고 이를 부정합으로 덮고 있는 백악기 경상누층군의 퇴적암으로 구성되어 있으며 (그림 2.1), 연구대상 절토사면은 복운모화강암과 흑운모화강암 등의 화강암류가 분포하고 있다. 또한, 예천전단대 내에 화강암체가 분포하고 있어 절토사면에서 발견되는 주요 지질구조는 단층 파쇄대 및 암맥이며, 단층파쇄대의 발달 방향은 매우 다양하다.

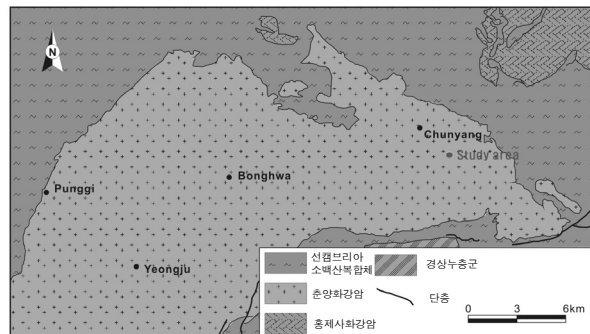


그림 2.1 조사대상 절토사면 주변 지질도

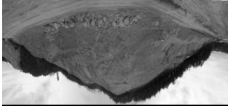


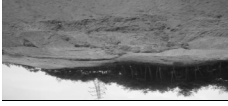
3. 사면활동 이력 분석

조사대상 절토사면은 총연장 200m, 최대높이 47m의 암반과 토층으로 구성된 혼합사면이다. 대상사면의 설계현황은 표 3.1과 같으나 시공과 더불어 사면이 조성되면서 지속적으로 붕괴가 발생하는 등 위험성이 높아 추가적으로 경사도를 완화시켰으며, 사면 활동 이력은 표 3.2와 같다.

표 3.1 대상사면 설계현황

위치	최대사면고(m)	깎기사면 경사			비 고
		토사	리핑암	발파암	
STA.2+060~2+260	47.0	1:1.0	1:0.7	1:0.5	FRP보강 그라우팅

표 3.2 사면 활동이력

활동이력	붕괴 발생 위치	관련 사진	현황
사면굴착 초기 (2006. 04)	STA. 2+060~2+260		·화강풍화토 발달 우세 ·부분적 화강암 및 관입암(염기성 암맥)으로 구성된 암반 노출
1차 붕괴 발생 (2006. 04)	STA. 2+140~2+160 5~7소단부		·원호파괴 ·풍화 및 강우에 의한 붕괴
2차 붕괴 발생 (2006. 05)	STA. 2+150~2+170 3~4소단부		·원호파괴 ·풍화 및 강우에 의한 붕괴
3차 붕괴 발생 (2006. 09)	STA. 2+190~2+230 4소단 이하 범면		·원호파괴(토층 및 암괴 이탈) ·풍화심도가 깊어 우기시 하단부 지지력 상실로 인한 붕괴

4. 현장조사

대상사면의 지질특성과 지반의 상태를 파악하고 사면파괴의 원인분석 및 대책을 마련하기 위해 지표지질조사를 실시해 현황도를 작성하였다(그림 4.1).

조사대상인 절토사면은 철탑 하부에 위치하며 암반과 토사로 구성된 대규모 혼합사면으로, 화강암이 주로 분포하며, 부분적으로 다수의 염기성 암맥이 관입하여 발달하고 있다. 전반적으로 완전 풍화(C.W) 상태의 화강풍화토가 넓게 분포하고 있으나 부분적으로 사면하부에 약간 풍화(S.W) 상태의 화강암 암반이 노출되어 있다. 지질구조적으로 불규칙한 방향의 단층이 2~3m 간격으로 반복적으로 발달하고 있으며, 부분적으로 단층파쇄대가 집중적으로 발달한 구간이 출현하기도 한다. 사면 파괴양상은 매우 다양하여 토사구간의 경우 세굴, 표층유실 및 원호파괴 양상, 암반구간의 경우 불룩형 암괴탈락(염기성 암맥 구간)과 단층면을 따른 소규모 파괴양상(화강암 구

간) 등을 보이고 있으며, 추가적으로 암반구간은 평면 및 썩기 파괴가 예상되는 불안정한 사면을 형성하고 있다.

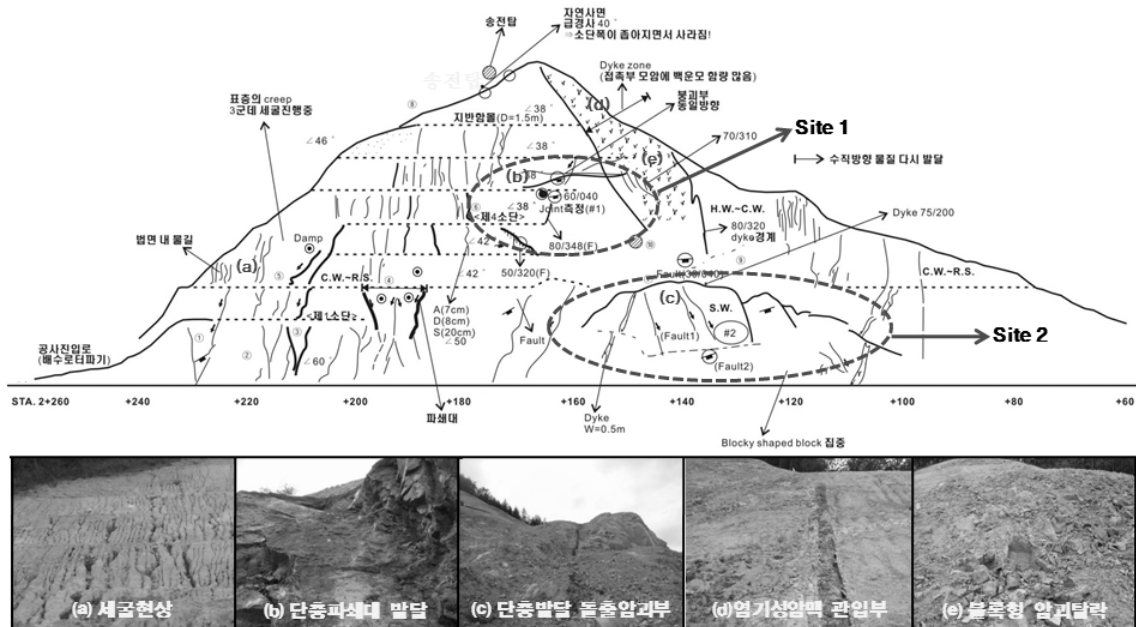


그림 4.1 지표지질조사 결과

5. 사면 안정해석

대상사면은 암반이 주로 존재하는 구간과 토사가 피복되어 있는 두 개의 구간으로 구분되며, 파괴양상, 암질 및 지질구조적 특성을 고려하여 STA. 2+150~2+180 구간 제3소단과 제6소단 사이 법면과 STA. 2+100~2+160 구간의 하부 돌출암반 부분을 각각 Site 1 및 Site 2로 구분하여 불연속면을 조사하였다.

5.1 지반강도정수 산정

지반강도정수는 암반의 불연속면 특성을 고려하여 평가한 RMR 분류법을 이용하여 산출한 값을 경험식에 대입하여 구하였으며, 점착력과 내부마찰각 산출을 위한 삼축압축시험은 비교적 양질의 암석 확보가 가능한 Site 2 암반에서만 제한적으로 실시되었다. 토사의 경우, 농업기반공사 (2002)에서 제시한 화강풍화토의 지반강도 값을 참고하여 결정하였으며, 적용된 지반강도정수는 표 5.1과 같다.

표 5.1 지반강도정수

구 분	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kN/m ²)	내부마찰각 (°)
Site 1(기반암)	26.9	100	28
Site 2(기반암)	26.9	200	31
화강풍화토	17	3	22
풍 화 암	21	23	30

5.2 암반사면 안정성 해석

불연속면에 대한 평사투영 해석을 실시한 결과 Site 1은 사면경사가 1:1.0~1.2에서 평면 및 썸기파괴 가능성이 있는 것으로 나타났으며, Site 2는 사면경사가 1:0.5~0.7에서 썸기파괴 가능성이 있는 것으로 나타났다(표 5.2). 불안정성이 인지된 불연속면에 대해서는 추가적으로 Swedge와 RocPlane을 이용하여 우기시 안전율을 산출한 결과 우기시 허용안전율(1.2)에 미달되어 추가적인 보강조치가 필요한 것으로 확인 되었다(표 5.3).

표 5.2 평사투영 해석결과

활동이력		Site 1	Site 2
평사 투영 해석 결과	평면/전도 파괴	<p>평면, 전도파괴 안정해석</p>	<p>평면, 전도파괴 안정해석</p>
	썸기 파괴	<p>썸기파괴 안정해석</p>	<p>썸기파괴 안정해석</p>
사면 경사		1 : 1.0 ~ 1.2	1 : 0.5 ~ 0.7
해석결과		평면 및 썸기파괴 가능성 있음	썸기파괴 가능성 있음

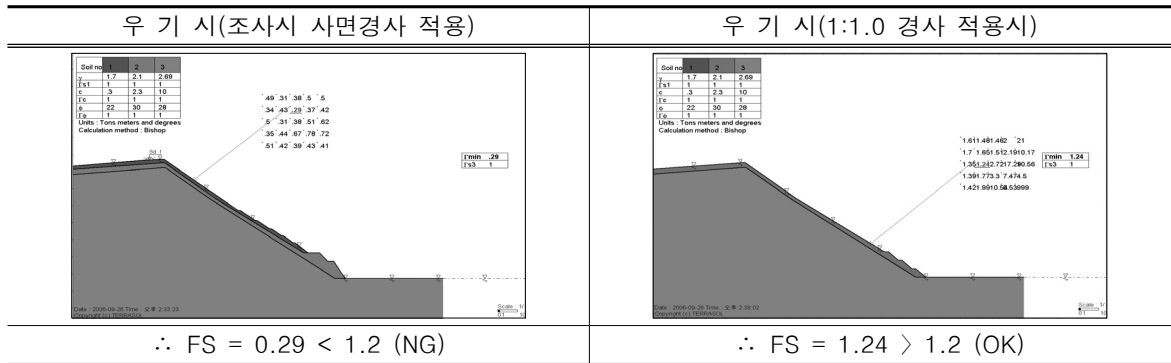
표 5.3 한계평형 해석결과

구 간	구 분	사면 경사	해석결과		비 고
			안전율	허용안전율	
Site 1	Swedge	1 : 1.0	0.94	1.2	보강 필요
	RocPlane	1 : 1.2	1.02	1.2	보강 필요
Site 2	Swedge	1 : 0.5	0.97	1.2	보강 필요
		1 : 0.7	1.13	1.2	보강 필요

5.3 토사사면 안정성 해석

STA. 2+165 지점을 기준으로 절토사면 좌측부의 토사가 피복된 조사 당시 사면을 대상으로 TALREN 97을 이용한 한계평형해석을 실시하였다. 해석 결과 조사대상 절토사면의 우기시 안전율은 허용안전율에 미달되는 결과를 보였으며, 사면경사를 1:1.0으로 완화 후 안정성 해석을 수행한 결과(1:1.0경사 적용시 화강풍화토층의 제거가 가능) 우기시 안전율은 1.24로서 허용안전율을 상회하는 것으로 나타났다(표 5.4).

표 5.4 안정성 해석결과



6. 보강방안 검토

대상 절토사면의 불연속면의 발달 양상은 매우 복잡하며, 다양한 추가 붕괴를 유발할 수 있는 상황이지만, 불연속면으로 규제되는 압괴의 크기가 비교적 소규모로 대규모 붕괴를 유발할 가능성은 낮은 것으로 분석되었다. 그러나, 발파압이 주로 노출되는 제2소단 하단부의 적정 경사도가 확보되지 못할 경우, 노출암반의 상부에 분포하는 화강풍화토가 2006년 9월 발생한 원호파괴와 같은 붕괴양상으로 지속적으로 발생될 가능성이 크기 때문에 적절한 경사도로 절취를 하여 안전율을 확보할 필요가 있다. 절취공법 적용시 과도한 토공량 발생과 더불어 상부자연사면 내 존재하는 송전탑의 이전이 불가피하지만, 적절한 안정경사도를 확보하는 것이 우선적으로 요구되는 상황이라 할 수 있겠다. 대상사면의 경우, 토층을 제거하더라도 1~2년이 경과되면 다시 표면 풍화가 진행되어 화강풍화토로 구성광물이 분해될 가능성이 크므로, 절취 후 빠른 시간 내 식생공 등 표면보호공을 적용하여 암반 표면을 조속히 피복함이 바람직할 것으로 판단된다. 본 대상사면에 적용된 사면 보강공법의 특징은 아래 표 6.1에 나타내었다.

표 6.1 절토사면 대책공법

구 분	경사완화공법 + 식생공
개 요	<ul style="list-style-type: none"> · 제3소단 하단부는 1:1.2 경사도로 절취하고, 제3소단 이상 사면은 1:1.5 경사도를 적용하여 활동가능한 토사 및 암괴를 미면에 제거함으로써 사면의 장기적인 안정성 확보 · 사면절취 후 최대한 빨리 식생공을 설치해 사면의 표면침식 방지
개요도 및 시공전경	

7. 결론

본 연구에서는 경북 북부지역 일대 화강암이 주로 분포하고 있는 암반과 토사로 구성된 대규모 혼합사면의 설계 및 시공사례를 통하여, 화강암류와 염기성 암맥의 암질, 지질구조 및 암반공학특성이 사면활동에 미치는 영향 및 혼합사면의 지반조건에 부합된 장기적인 사면안정대책에 대해 고찰하였으며, 그 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 대상사면은 화강암류가 주로 분포하며, 부분적으로 염기성 암맥이 관입하여 발달하고 있다. 본 화강암 지반 내에는 다양한 방향의 단층파쇄대가 부분적으로 발달하고 있으며, 전반적으로 완전 풍화(C.W) 상태의 화강풍화토가 넓게 분포하고 있으나 부분적으로 사면하부에 약간 풍화(S.W) 상태의 화강암 암반이 노출되어 있다. 토사구간의 경우 세굴, 표층유실 및 원호파괴, 암반구간의 경우 블록형 암괴탈락과 단층면을 따른 소규모 파괴양상 등을 보이고 있으며, 평면 및 썩기 파괴가 예상되는 불안정한 사면을 형성하고 있다.
- (2) 시공단계에서 예상치 못한 불량지반의 출현으로 수 차에 걸쳐 사면붕괴가 발생된 본 혼합사면을 대상으로 상세 현장조사 및 붕괴원인 분석을 통해 사면의 지층분포 상태, 암종, 지질구조, 불연속면 발달상태 등을 파악하였고 이를 사면활동 원인 분석 및 사면안정대책 선정시 적용하였다.
- (3) 사면안정대책은 대상사면의 불연속면 발달상태, 시간 경과시 풍화 상태 및 안정성해석 결과를 고려하여 사면구배를 1:1.2~1.5로 완화함으로써 사면활동력을 최소화 하여 장기적인 사면의 안정성을 확보하고자 하였다. 절취공법 적용시 과도한 토공량 발생과 더불어 상부 자연사면 내 존재하는 송전탑의 이전이 불가피하지만, 시공성, 경제성, 유지관리성 등의 차원에서 역지공법보다 우위를 가지는 것으로 판단되었다.
- (4) 절취를 실시하더라도 1~2년이 경과되면, 본 화강암의 암질특성상 표면 풍화가 급속히 진

행되어 화강풍화토로 구성광물이 분해될 가능성이 크므로, 절취 후 빠른 시간 내 식생공 등의 표면보호공을 시공함으로써 세굴이나 표층유실 등을 방지함이 바람직 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강지훈, 김형식(2000), “봉화군 상운면지역에서의 북부 소백산 육괴의 지질구조 해석”, 암석학회지, 9, pp. 254-270.
2. 건설기술연구원(2007), “법전-소천간 국도건설공사 절토사면 안정성 해석 및 대책안 제시”, pp. 1-128.
3. 농업기반공사(2002), 기계화경작로 포장공법 및 실용화 연구(최종), p. 27.
4. 한국시설안전기술공단(2006), “건설공사비탈면설계기준”, 제5장, pp. 117-140.