

절취사면 용출수의 효율적인 배제에 대한 사례연구

A Study Of Case On Prescription Of Spring Out Water In Cut Slope

신창건¹⁾, Shin, Chang-Gun, 서정유²⁾, Seo, Jeong-Yoo, 홍남경³⁾, Hong, Nam-Kyeong

¹⁾ 정회원, 한국시설안전공단, 차장 (vice director, Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation)

²⁾ 정회원, 한국시설안전공단, 연구원 (Researcher, Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation)

³⁾ 비회원, 국토해양부 도로운영과 주무관 (Road Management Division, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs)

Abstract : In general, slope failures are occurred by the interaction among various factors(slope shape, hydraulic condition, and geologic condition, etc.). Hydraulic condition was a very important factor of a stability in cut slope and a dangerous of road passing. In this study, two cut-slope case on prescription of spring out water present. And this study data is used at practical affairs.

요 지 : 절취사면의 붕괴 발생은 지질 및 지형적인 요인과 수리적인 요인 등 매우 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 발생한다. 이 중 수리적인 요인은 지질 및 지형적인 요인과 더불어 사면의 안정성 및 도로통행의 위험성에 중요한 요인으로 작용하고 있다. 사면내의 물은 전단강도의 저하 및 활동력의 증가를 시키며, 이는 사면의 붕괴를 유발한다. 또한 지하수의 용출수는 사면의 안정성 이외에 추가적인 도로유지관리에 문제를 일으킨다. 효율적인 방법으로 용출수 및 지표수를 제어한 사례를 제시하여 실무에 좋은 자료로 이용되고, 더 많은 사례연구가 이루어져 유사한 현장에 적용될 많은 자료가 필요할 것으로 판단된다.

Keywords : ground water, cut-slope, spring out water

1. 서론

대부분 산악 지형인 우리나라에서는 국토의 개발 및 국민의 편의시설 확충 과정에서 토목 및 건축 구조물 등을 시공하면서 많은 절취사면들이 생성되고 있다. 절취사면은 국토의 경우 전국에 약 12,650여개, 고속도로의 경우 약 3,000여개, 지방도의 경우 약 4,000여개를 비롯하여 철도, 주택지 배후, 임지 등 다양하게 분포해 있으며, 향후 도로망 확충 및 국토 인프라구축 과정에서 그 수가 더욱 증가할 것으로 예상된다.

절취사면의 붕괴 발생은 지질 및 지형적인 요인과 수리적인 요인 등 매우 다양한 요인들이 복합적으로 작용하여 발생한다. 이 중 수리적인 요인은 지질 및 지형적인 요인과 더불어 사면의 안정성 및 도로통행의 위험성에 중요한 요인으로 작용하고 있다. 사면내의 물은 전단강도의 저하 및 활동력의 증가를 시키며, 이는 사면의 붕괴를 유발한다. 또한 지하수의 용출수는 사면의 안정성 이외에 추가적인 도로유지관리에 문제를 일으킨다.

지표수 및 용출수의 효율적인 배제는 절취사면의 수명을 증대시키고 안정성을 확보하여 이용하는 국민들이 안전하게 이용할 수 있도록 할 수 있다. 본 연구는 용출수 및 지표수를 효율적으로 현지여건에 맞게 조치한 사례를 통해 추후 유사한 현장에 이용되는 기초자료 활용에 그 목적이 있다.

2. 사면의 붕괴 요인

2.1 수리적인 요인

사면붕괴는 지반의 안정화과정으로 구성지반의 강도가 현상태를 지탱하기 어려울 때 발생한다. 과거에 안정하게 유지되었던 지반이 현재에 불안정하게 된 요인으로서는 물에 의한 열화작용이 가장 주된 요소이다. 사면붕괴의 주요 원인인 물에 의한 수리적인 요인은 크게 기후적 수리, 인위적 수리, 지형적 수리로 나눌 수 있다. 또한 물이 지반에 미치는 영향은 단기적인 영향과 장기적인 영향으로 나눌 수 있다. 단기적인 영향은 지반의 포화에 따른 활동력 증가와 저항력 감소현상 등이며, 장기적인 영향은 물에 의한 지반 및 사면시설의 열화(풍화)작용이 있다. 물이 절토사면의 안정성에 미치는 악영향을 정리하면 다음과 같다. 표 1은 물에 의한 지반의 불안정화에 대하여 설명한 것이다.

표 1. 물에 의한 지반의 불안정화 현상

구 분	내 용
장기적인 작용	<ul style="list-style-type: none"> · 간극에 침투한 물의 동결융해에 의한 지반의 기계적 풍화 · 물과 물에 용해되어 있는 화학성분이 구성지반의 일부분분과 화학작용을 일으켜 발생하는 지반의 화학적 풍화작용 · 사면시설의 부재 부식 등에 의한 노후화
단기적인 작용	<ul style="list-style-type: none"> · 지반포화로 인한 단위중량의 증가 · 간극수압 증가, 유효응력 감소, 마찰저항 감소 등에 의한 저항력 감소 · 지반구성 입자의 유실 (세굴, 침식)

기후적 수리요인은 집중강우와 같은 일련의 기후조건에 의해 좌우된다. 해마다 장마철이 되면 태풍에 의한 국지성 호우로 사면 붕괴가 빈번히 발생하는데 국내 절토사면의 경우 누적강우량 보다는 최대 강우강도에 더 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이는 지속적으로 내리는 비보다는 집중강우에 의해 발생하는 사면붕괴빈도가 높음을 의미한다.

인위적인 수리요인으로서는 절토사면 상부에 위치한 전답(농경지)이나 인공저수지 등이 있다. 일반적으로 전답이 상부자연사면에 분포하면 수리적인 측면에서 절토사면의 안정성에 악영향을 미친다. 이는 상부자연사면의 전답이 대부분의 강우를 흡수하여 지하수위를 상승시키고 절토부 방향으로 유선을 형성하여 불안정을 야기하는 것으로 요약할 수 있다. 이를 정리하면 다음과 같다.

지형적 수리요인으로서는 절토사면내에 존재하는 계곡부 등이 있다. 절토사면 좌우측부가 아닌 중간부에 위치한 상부자연사면내 계곡부는 사면안정성에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 충분한 대책이 필요하다. 계곡부의 불안정성 정도는 집수지형의 유역 면적에 비례한다. 계곡부는 일반적으로 토층심도가 깊고 지반강도가 약한 봉적층으로 구성되는 경우가 많아 표층붕괴나 토석류가 주로 발생된다. 평상시에도 지하수의 이동경로로서 절토사면 지반에 지속적으로 지하수를 공급하며 계절변화에 따른 동결융해로 풍화진행을 가속시킨다.

3. 사례연구

3.1 ○○지구

연구대상 절취사면은 연장 약 328m, 최대 높이 약 52m, 절취사면 경사 55°, 상부자연사면 경사 6° 이다. 절토사면은 화강암으로 구성된 혼합사면이며, 풍화도는 보통풍화~심한풍화(보통풍화 우세) 양상을 보인다. 동절기에 지하수 용출수 결빙으로 빙벽이 형성되며, 용출수의 도로유입으로 도로의 결빙현상이 발생하여 도로이용에 어려움이 있다.



그림 1. 연구대상 사면의 전경



그림 2. 동절기 결빙으로 빙벽형성



그림 3. 빙벽형성 구간 측면부

계곡부에는 상부로부터 유입된 유실물이 산마루측구 및 산마루측구에 연결되는 1소단 배수로 내부에 적치되어 있다. 이로 인해 유입수가 측구 및 소단배수로에 저류되어 있으며, 사면 외부로 원활한 배수가 이루어지지 못하고 사면내로 침투되는 것으로 판단된다. 거대빙벽 형성지역은 다량의 지하수가 유출되고 있고, 일부는 도로에 유입되어 빙판을 이루어 교통안전에 위협이 되고 있다. 본 절토사면의 안정화 대책으로는 수평배수공 설치후 유도관을 연결하여 측구 배면으로 배수되도록 하고, 유도관의 동파방지를 위해 파이프 보온재로 피복후 기온하강을 차단하기 위해 단열재를 사용한 옹벽 설치가 제시되었다.

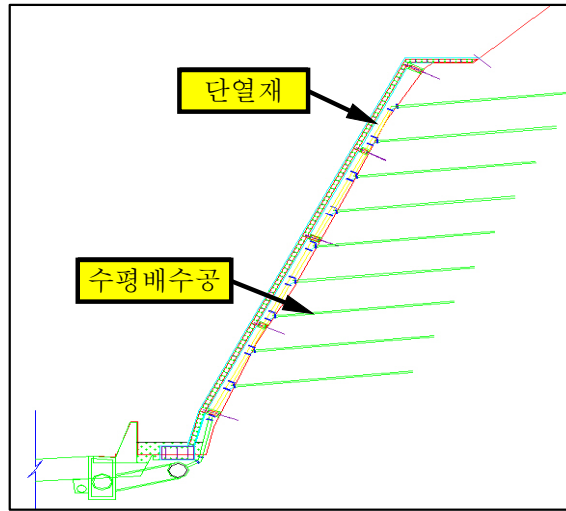


그림 4. 수평배수공, 옹벽설치 모식도

3.2 ◇◇지구

연구대상 절취사면은 연장 약 560m, 최대 높이 약 32m, 절취사면 경사 70°, 상부자연사면 경사 10°내외이다. 절토사면은 편마암으로 구성된 암반사면이며, 풍화도는 보통풍화~심한풍화(보통풍화 우세) 양상을 보인다. 동절기에 지하수 용출수 결빙으로 빙벽이 형성되며, 용출수의 도로유입으로 도로의 결빙현상이 발생하여 도로이용에 어려움이 있다.



그림 8. 연구대상사면의 전경

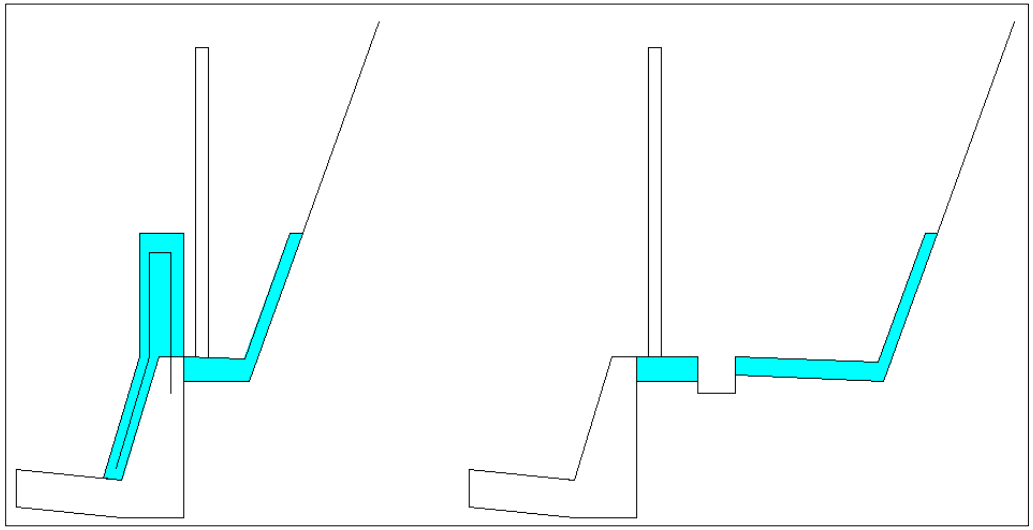


그림 9. 동절기 결빙으로 빙벽형성



그림 10. L형측구 하단부 배수상태

사면내에 결빙과 용출수를 육안으로 확인할 수 있었으며, 이는 지하수와 사면내부로의 침투수에 의한 것으로 판단된다. 거대빙벽 형성지역은 다량의 지하수가 유출되고 있고, 일부는 도로에 유입되어 빙판을 이루어 교통안전에 위험이 되고 있다. 이에 대한 대책공법으로는 수평배수공 및 기설치된 L형측구의 높이를 증고하고 종배수로와 연계하여 배수로로 확보하는 방안이 제시되었다.



(a) 이격거리 협소구간 시공단면도 (b) 이격거리 양호한 구간 시공단면도

그림 11. L형측구 증고 시공 모식도

4. 결론

절토사면의 붕괴원인을 살펴보면, 지질상태와 수리적인 조건 등이 있다. 수리적인 문제가 사면의 안정성 뿐만 아니라 도로통행에 영향을 미쳐 문제점으로 대두되고 있다.

수리를 제어하는 방법으로는 일반적으로 지하수위의 저하목적으로 시공되는 수평배수공이 있으며, 사면 내로의 지표수의 유입을 방지하기 위해 산마루측구와 소단배수로, 종배수로 등이 사용되고 있다.

연구대상사면은 지하수 및 지표수의 원인에 의해 사면표면의 결빙이 발생하였으며, 또한 용출수의 도로 유입으로 인한 도로포장층의 결빙이 발생하여 도로통행에 위험성이 존재하는 현장이다. ○○지구는 수평 배수공 설치후 유도관을 연결하여 측구 배면으로 배수되도록 하고, 유도관의 동파방지를 위해 파이프보온 재료 피복후 기온하강을 차단하기 위해 단열재를 사용한 옹벽 설치가 제시되었다. ◇◇지구는 이격거리의 협소하여 일반적인 방법으로 배수가 불가능하여 수평배수공 및 기설치된 L형측구의 높이를 증고하고 종배수로와 연계하여 배수로로 확보하는 방안이 제시되었다.

연구대상사면의 사례연구를 통해 향후 연구대상사면과 유사한 조건의 현장이 존재하면 본 사례연구와 같은 방법을 적용하여 실무에 좋은 자료가 될 것이며 추후 더 많은 사례연구가 이루어져 유사한 현장에 적용될 많은 자료가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 백용, 구호분(2002), “터널 갱구부 붕괴 사면의 안정성 해석 및 보강공법에 관한 연구”, **지질공학회**, 제 12권, 제 4호, pp.367 ~ 378.
2. 전성기(2001), **실무자를 위한 사면안정화 설계실무편람**, 과학기술, 서울, pp.124 ~ 130.
3. 국토해양부, 2008년도 도로절토사면 유지관리시스템 운용업무(2009),
4. 한국시설안전기술공단(2006), “사면붕괴 위험수준 결정기법 개발연구”
5. 국립방재교육연구원, 방재연구원(2006), “사면재해 저감 및 안전관리를 위한 연구”