

절토사면 수리제어공법과 유지관리에 대한 개선방안

A Study about hydraulic condition & maintenance of cut slope

이승우¹⁾, Seung-woo Lee, 신창건²⁾, Chang-Gun Shin, 박재영³⁾, Jae-young Park, 박영은⁴⁾, Young-eun Park,

¹⁾ 한국시설안전공단 기술개발팀, Staff, Korea Infrastructure Safety Corporation

²⁾ 한국시설안전공단 기술개발팀, Assistant Director, Korea Infrastructure Safety Corporation

³⁾ 한국시설안전공단 기술개발팀, Staff, Korea Infrastructure Safety Corporation

⁴⁾ 국토해양부 도로운영과, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

SYNOPSIS : 절토사면의 안정성은 1차적으로 사면 자체의 지반 구조에 의해서 결정되지만 2차적으로 강우와 강설에 의한 수리적인 요소의 영향을 받는다. 매 년 여름 집중호우 기간에 많은 사면들이 붕괴되는 사례를 볼 때, 수리적인 요소가 사면의 안정성에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 수리제어공법의 목적은 물이 배수될 수 있는 길을 만들어주는 것으로 그 목적은 매우 간단하다. 하지만 공법이 시공된 이후 강우와 강설로 인해 유입되는 토사, 낙엽이 관리 소홀로 도수로나 배수로로 막아 본래의 역할을 하지 못하는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점으로 발생한 국내 사례를 통해 사면에 적용되는 수리제어공법들의 유지관리 개선방안에 대해 논의하고자 한다.

Keywords : 절토사면 수리제어시스템의 시공 및 관리 소홀로 붕괴되는 사례가 많음

1. 서 론

‘사면’이란 우리나라 말로 ‘비탈면’, 영어로는 ‘Slope’ 이다. 도로, 철도, 건축, 댐, 토지조성 등에 수반하여 주로 인위적으로 발생한다. 사면은 그 연장성과 면적이 크고 붕괴가 발생했을 경우에는 그 피해가 크다. 그러므로 사면 붕괴에 대한 재해방지대책은 사면의 설계, 시공, 유지관리에 대한 기준을 설정하여 상황에 따라 보수, 보강 등의 조치를 통해 재해를 미연에 방지하여야 한다.

그 중에서도 가장 기본적인지만 무시할 수 없는 것이 바로 수리적인 요소의 제어이다. 수리적인 요소는 그 자체로도 전단강도를 감소시키기도 하지만, 동결융해와 풍화작용을 통해서 2차적인 작용을 하기도 한다. 특히, 암반의 풍화작용을 통해 사면 안정을 저하 시키는 1차적인 원인으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 수리적인 요소를 제어하는 현 시공법의 개선방안과 유지관리의 중요성을 연구함을 목적으로 하고 있다.

2. 절토사면 수리제어의 중요성

2.1 사면 붕괴의 요인

사면의 전단저항력이 전단응력보다 큰 경우에는 평형상태를 유지하기 때문에 사면은 파괴되지 않으나, 평형상태가 깨질 경우 즉, 전단응력이 전단강도를 넘어설 경우 사면은 낙석, 전도, 활동, 퍼짐, 흐름의 형태로 붕괴가 발생한다.

이러한 사면 붕괴 원인은 크게 외적인 요인과 내적인 요인으로 구분 할 수 있는데 외적인 요인에는 인위적인 절토, 우수에 의한 침식 지형의 기하학적 변화, 사면 하부의 하중 제거, 하중의 증가, 충격과 진동, 호수 또는 저수지의 수위 강화로 인한 지하수면 변화, 강우 등이 해당 된다. 내적인 요인에는 진행성 파괴, 수분의 동결융해와 건조 수축에 의한 풍화 작용, 우수의 침투에 의한 침식과 파이핑 현상들이 해당 된다. 이러한 요인들은 사면 안정을 이루는 전단강도 및 전단응력의 평형 상태를 파괴하는 원인이 된다.

2.2 수리제어의 중요성

사면을 붕괴시키는 요인은 2.1에서처럼 많은 요인들이 있다. 가장 기본적으로 지질구조에 의한 사면의 안정성이 결정된다. 이러한 1차적인 요인들은 인위적이든 자연적이든 이미 안식각을 통해 안정을 취하고 있다. 하지만 해마다 우리나라의 사면은 전국 여러 지역에서 붕괴되는 사례가 많다. 그 원인은 바로 2차적인 원인으로 발생 한 것이다. 그 2차적인 원인은 수리요소의 영향이다. 매년 여름 집중호우기간에 사면의 붕괴가 집중 발생하는 것을 생각해볼 때 우수가 붕괴의 원인임을 짐작할 수 있다. 즉, 우수의 유입이 사면의 안정성을 저해하는 중요한 요소인 것이다. 우수는 사면으로 유입되면 단층, 층리, 절리, 균열, 파쇄대, 또는 토사에 유입되어 전단응력을 증가시키거나 전단강도를 감소시킨다. 특히 상부에 유입된 우수는 사면 내 하중을 증가시킨다. 토사 사면 같은 경우 토사의 내부마찰력을 감소시켜 표층유실이나 표층붕괴를 발생시키기도 한다. 우수가 사면의 안정성에서 중요한 것은 바로 우수가 사면 지반의 동결융해작용, 팽창, 건습반복, 점토광물의 수화작용, 풍화작용, Mud Crack, 간극 수압의 증가 등 사면의 안정성을 저해하는 작용들에 모두 관여한다는 것이다. 이러한 우수의 영향은 사면 자체의 전단강도를 감소시키므로 사면의 안정성에 있어서 사면의 수리 제어 능력이 중요한 것이다.

2.3 수리제어공법의 종류 및 문제점

2.3.1 산마루측구

절토사면의 상부자연사면에 콘크리트 U형 수로 등의 배수로를 설치함으로써, 강우나 강설에 의해 지표수가 절토사면 내로 침투하는 것을 방지하여 절토사면 내 간극수압의 상승을 차단하거나 지표수의 흐름을 차단시켜 절토사면의 침식을 방지하는 공법이다.

산마루측구 시공 시 측구와 지표가 밀착되지 않는 경우, 측구와 지표 틈새로 강우가 침투하여 배수효과가 거의 없을 뿐 아니라 토층이 유실되어 지반침하가 발생하는 경우가 많으므로 측구와 지표를 반드시 밀착시켜야 한다. 또한 품질관리를 위하여 가능한 현장타설 콘크리트 배수로를 설치하는 것이 바람직하다.

2.3.2 소단배수로

소단배수로는 절토사면에 흐르는 우수나 용수에 의한 침식을 방지하기 위하여 폭이 3m 이상인 넓은 소단에 설치한다.

중단경사에 따라 배수처리를 실시하며 20m이상 절토 구간이 끝나는 곳에서는 산마루측구와 연결 또는 방류하여 절토사면이 유실되지 않도록 설치한다. 단, 비탈면 침식의 위험성이 적다고 판단될 때는 설치하지 않을 수 있다.

2.3.3 도수로

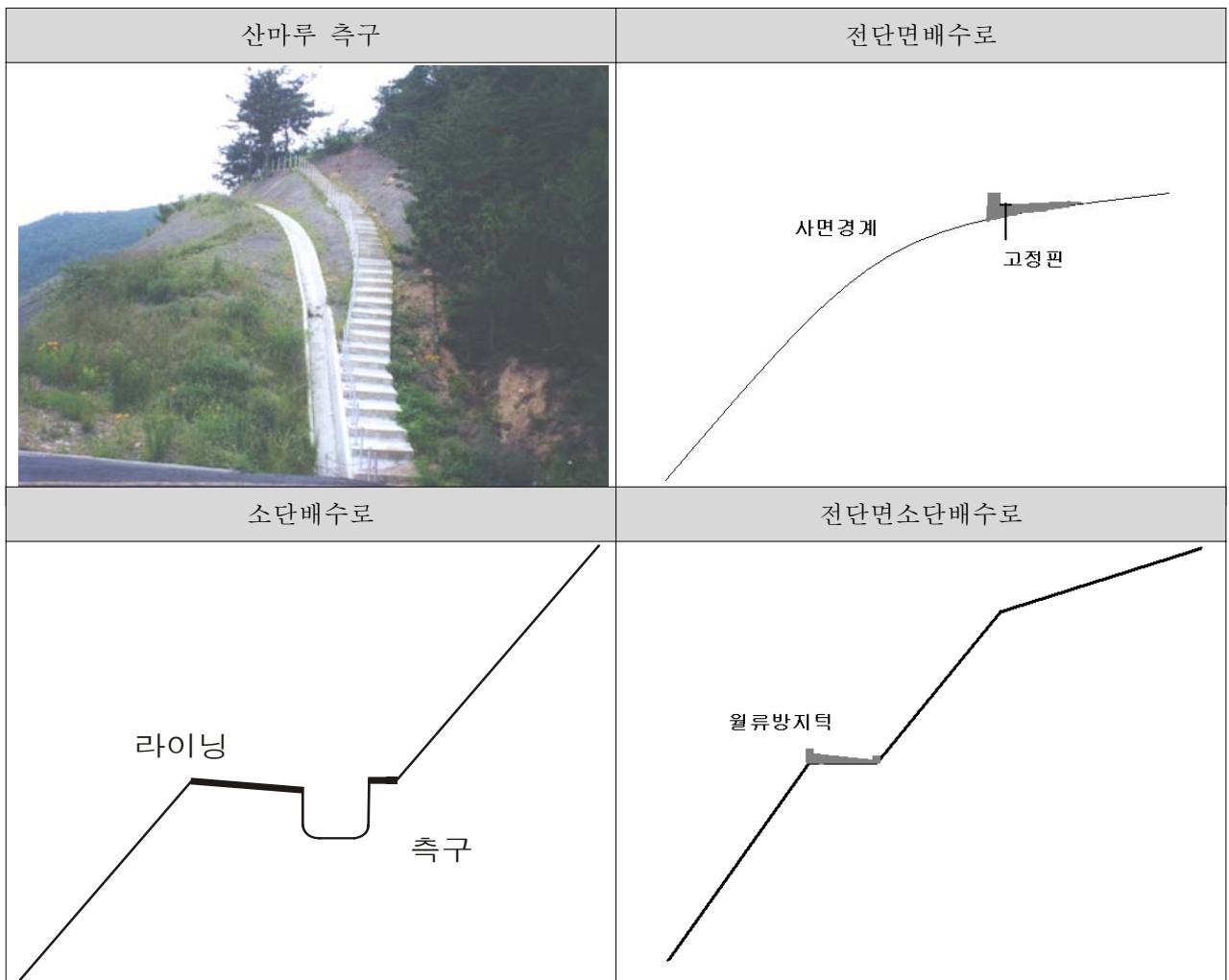
도수로는 집수된 우수를 수로 또는 도로외부로 유출시키는 기능을 수행한다. 원칙적으로 현장타설 콘크리트로 설치하며 도수로의 주변은 콘크리트로 보호하고 세굴이나 풀등의 유입에 의한 통수기능 저하를 방지한다.

2.3.4 수평배수공

절토사면 내에 비교적 깊은 지반 내에 지하수를 배제하는 경우나 지하배수공(암거) 등에 의해 지하수위 저하를 기대할 수 없는 경우에 횡방향공을 굴착하고 유공관등을 삽입하여 배수한다. 수평배수공의 길이는 2m 이상이 바람직하다. 규모가 큰 지반활동지대에서는 배수터널이나 여러 본의 보정공을 조합하여 설치한다.

2.3.5 집수정

집수정은 우수빠기 보링공으로는 보링 길이가 길게 되는 경우나 기반 부근에 집중적으로 지하수를 집수하는 경우에 사용한다.



<표 2.3> 수리제어 공법

(계속)



<표 2.3> 수리제어 공법

3. 사례 연구

3.1 OO 지구

사례 대상사면은 화강암을 기반암으로 하여 표층붕괴가 발생한 34~35m 구간은 풍화잔류토로 구성된 토사사면이다. 절토사면의 전 구간에 걸쳐 L형 측구가 시공되어 있으며, 상태는 양호하다. 6~60m 구간 1소단 상부에는 격자블록이 시공되어 있으나, 60~68m 구간의 격자블록은 송전탑 공사로 훼손되었다. 24~64m 구간 2소단 상부도 격자블록이 시공된 상태로 양호하다.



사례 대상 절토사면은 14~64 m 구간 소단배수로가 시공되어 있으나, 파손 정도가 심하고 유지관리가 되지 않아 보수가 이루어지지 않았다. 그러한 이유로 소단배수로는 토사, 낙엽과 나뭇가지, 낙석 등으로 거의 배수로의 기능을 상실한 상태였으며, 2009년 여름 집중호우기간 소단배수로의 파괴된 부분으로 우수가 집중되어 사면으로 유입되었다.



(계속)



다량의 우수가 사면 내로 침투하여 토사의 전단강도가 저하되고 단위중량이 증가됨에 따라 표층붕괴(깊이 2 m)의 원인으로 작용하였다.

사례의 경우는 수리제어를 담당하는 사면의 수리제어시스템이 재기능을 발휘하지 못하면서 사면의 붕괴가 발생한 경우이다. 오히려 사면의 안정성 도모를 위해 설치된 수리제어 시설물은 사면을 붕괴시키는 역할을 하였다.

3.2 기타 사례

3.2.1 도수로 시공 실패 사례

사례 현장은 연장 150m, 높이 15m 규모의 현장으로 상부자연사면으로부터 지표수 유입으로 인한 범면의 유실이 발생하였다.

<사진 3.2.1> 사례 연구 절토사면 전경



이 사례의 경우 현장타설이 아닌 기성품 도수로 시공으로 인한 범면과의 밀착이 이루어지지 않아 도수로 시공 옆 지점에서 우수의 유입이 발생하였다. 상부자연사면 지속적 유입으로 우수에 의한 유실 및 세굴 등이 유발되었고 이해 인해 도수로 하부 사면 지반 상실로 도수로가 떠 있는 상태가 되었다.

<사진3.2.2> 붕괴부 전경



<사진3.2.3> 붕괴부 근경



3.2.2 소단배수로 시공 실패 사례

사례 현장은 연장 150m, 높이 40m 규모의 현장으로 2007년 3월 집중강우에 의한 토석류가 도로로 유입되었다.

<사진 3.2.4> 사례 연구 절토사면 전경



이 사례의 경우 1차적으로 제3소단 소단배수로 시공 불량 상태였으며, 사면 하부까지 소단배수로가 연결되지 않고 단락되었다. 소단배수로 후방 비탈면 부착 불량으로 지표수 배제공이 아닌 집수공의 역할로 인하여 붕괴가 발생하였다.



4. 수리제어시스템의 문제점 및 해결 방안

4.1 문제점

대부분의 절토사면은 시공된 지 몇 년이 지나면 수리제어를 담당하는 시설물에는 <사진4.1.1>처럼 우수에 의해 유입된 토사, 낙엽, 나뭇가지, 낙석 및 유실물들로 채워진다. 그러므로 사면의 우수를 배수하기 위해 만들어진 시설물이 재기능을 못하는 것은 당연하며, 오히려 악재로 작용하는 경우가 많다. 또한 <사진4.1.2>에서처럼 수직도수로 하단부에 집수정이나 수평도수로가 설치되어있지 않아 집중호우 시 도로로 물이 고이고, 동절기에는 빙판을 형성에 지나다니는 차량의 사고를 유발하고 있다. 집수정이 설치된 경우에도 유지관리 및 정비가 이루어지지 않아 집수정으로 유도된 우수들이 도로로 범람하는 경우가 많다. 수평배수공의 경우는 사면 내의 지하수 배출을 위해 만들어진 경우로 동절기에는 외부의 배수공이 우수로 얼어붙거나 PVC로 설치된 경우가 많아 깨지기도 한다. 전단면배수로나 전단면소단배수로의 경우는 월류방지턱의 역할을 목적으로 시공된다. 하지만 집중호우로 인한 다량의 우수가 흘러내릴 시 방지턱의 높이가 낮게 설계되어 사면의 법면으로 유입될 가능성이 있다. 산마루측구나 소단배수로는 <사진4.1.3>의 경우처럼 사면으로 흘러내린 우수가 배수로 내로 유도되는 것이 아닌 배수로 외부 지표 경계점에서 하부로 유입되어 배수로 하부의 토사가 유실되는 경우가 많다.



4.2 개선 방안

수리제어를 담당하는 시설물은 대부분이 개방형으로 우수뿐만이 아닌 다른 이물질들이 유입된다. 즉, 다른 물질들을 배제한 우수만을 유입 시킬 수 있다면 배수로의 기능을 충분히 활용할 수 있다. 그러므로 현재 설계된 배수로 상부를 개방형에서 상부를 우수만을 유입시킬 수 있는 소재를 이용 배수로의 공간을 확보해준다면 우수만이 유입되므로 배수에 문제가 없을 것이다.

전단면(소단)배수로의 경우 월류방지턱의 역할로 만들어진다. 하지만, 우리나라의 강수량은 여름 장마 기간에 집중된다. 즉, 연평균 강수량을 기준으로 월류방지턱의 높이를 설계하는 것이 아닌 여름 집중호우기간의 강수량을 기준으로 월류방지턱을 지역별로 다르게 설계한다면 방지턱을 넘어 월류하는 우수를 방지할 수 있을 것이다.

수직도수로는 상부 산마루측구나 소단배수로에서 집수된 우수를 최종적으로 사면의 하부로 유도하는 도수로이다. 그러므로 최종적으로 사면 하부에는 집수정이나 도수호가 설치되어야 한다. 하지만 설치되지 않은 사면이 많으며 이러한 원인은 우수의 도로 유입을 발생시킨다. 이러한 문제는 수직도수로 하부에 도수로나 집수정을 필히 설치하도록 하는 시공지침의 수정을 통해 마련해야한다.

마지막으로 산마루측구 하부의 토사유실은 현재 많은 현장에서 발생하는 문제이다. 산마루측구는 지표와의 밀착이 중요하고 지표 지질상태에 따라 주변토사가 유실되지 않도록 U자형에서 애프론이 설치된 U형으로 시공될 수 있도록 한다.

그리고 가장 중요한 것은 기본 배수체계 시스템을 갖추는 것이다. 현재 절토사면은 현황에 따라 수리제어가 필요한 부분에 각각 시공된다. 이런 경우, 수리제어 공법이 적용된 구간에서의 수리제어는 가능하겠지만, 절토

사면 전구간의 수리제어는 불가능하기 때문이다. 만약 가능하더라도 집중호우 시 수리시설 부족 또는 배수가 원활하지 못해 범람이나 월류 현상이 발생할 수 있기 때문이다. 수리제어를 담당하는 시설물은 집중호우나 장기간의 호우 시에도 신속한 배수가 가능해야 한다. 그러므로 도수로+배수로+집수정의 체계를 기본으로 설계해야 한다. 이런 수리제어 시스템의 체계를 기본으로 한 후 절토사면의 현황이나 상태, 그 지역의 강우량 등을 파악하여 시공 수량을 조절하는 것이 절토사면 수리제어시스템이 가장 효율적으로 운용될 수 있을 것이다.

5. 결 론

앞에서 언급한 바와 같이 절토사면에서의 우수의 영향은 안정성에 매우 큰 영향을 끼친다. 우수는 사면의 전단강도와 전단응력을 증감하는 중요한 요소이다. 사면의 안정성을 유지하기 위한 보호·보강 공법이 현재 많은 개발이 이루어져 있다. 하지만 수리제어를 담당하는 시설물의 경우 그 개발성에서 상대적으로 다른 보호 보강 공법보다는 속도가 떨어진다. 그러나 그 역할은 다른 보호·보강공법과 같이 중요하다. 새로운 시공방침과 함께 다각도로 새로운 시설물의 개량과 개발이 필요하다. 사면의 안정성을 최대한 유지하기 위해서는 1차적으로 지질·지반 구조의 상태도 중요하지만 그 이후에 발생하는 2차적인 요인을 얼마나 제어할 수 있느냐의 따라 그 절토사면의 안정성을 보장 받을 수 있을 것이다. 이러한 2차적인 요인으로 우수가 가장 많은 영향력을 가지고 있다.

절토사면은 항상 같은 모습, 같은 상태로 있지 않는다. 항상 이동하고 변위하고 있다. 요즘 2중 시설물이나 위험사면은 대부분 계측시스템이 설치되어 상시관측이 이루어진다. 즉, 사면은 항상 붕괴될 요인을 가지고 있다는 것이다. 절토사면의 붕괴로 인한 피해를 우리가 최소화하기 위해서는 꾸준한 정기점검과 정비가 이루어져야 한다. 또한 간과하지 말아야 할 것은 수리제어시설물의 정기적인 유지관리 및 보수이다. 현재 절토사면에 설치된 대부분의 수리제어 시설물은 앞의 문제점에서 말한 바와 같은 상황이다. 우리나라 같은 경우 여름에 우수의 집중이 심한 계절적 특성을 가지고 있으므로 항상 집중호우 기간 전에는 사면 배수로, 도수로, 집수시설의 정비와 관리가 필요하다. 이러한 부분에 대해서 유지관리 지침을 만들어 정기적으로 유지관리 보수할 수 있도록 해야 할 것이다.

위의 언급한 바와 같이 절토사면의 수리제어 부분에 관한 시공 및 유지관리와 지침, 다각적인 시설물의 개발과 개량이 이루어진다면 우리나라 절토사면의 안정등급 또한 한 등급 올라가리라 의심치 않는다.

참고문헌

1. 한국시설안전공단(2009.3), “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(절토사면)”, pp.151~162.
2. 건설교통부(2003.12), “도로절토사면 유지관리지침”, pp.95~108.
3. 한국시설안전공단(2004.12), “절토사면유지관리 매뉴얼”, pp.135~139.