

급경사지재해 대응공법의 조사기법 개발 및 적용

Development of the field survey technique on the slope hazards mitigation method and its application



송 영 석

한국지질자원연구원 지구환경연구본부 선임연구원

yssong@kigam.re.kr

요지

본 연구에서는 자연사면을 대상으로 적용되는 급경사지 대응공법을 체계적으로 분류하였다. 급경사지재해 대응공법을 합리적으로 조사하기 위하여, 자연사면에 설치된 급경사지 대응공법의 특징을 기록할 수 있는 현장조사양식을 개발하였다. 자연사면에서 급경사지재해 대응공법은 사면부 적용공법과 계곡부 적용공법으로 분류한다. 따라서 개발된 조사양식도 사면부와 계곡부로 구분하여 작성하도록 하였다. 무주 및 장수지역에 설치된 50개소의 급경사지재해 대응공법에 대한 현장조사결과 사면부의 경우 비탈다듬기와 표면보호를 위한 선폐붙이기, 비탈덮기 등이 주로 보강되어 있다. 계곡부의 경우 대부분 콘크리트 사방댐과 기슭막이가 시공되어 있으며, 슬릿댐과 콘크리트 사방댐 및 기슭막이가 복합적으로 적용되고 있음

을 알 수 있다.

주요어 : 급경사지대응공법, 현장조사양식, 사면부, 계곡부, 데이터베이스시스템

1. 서론

급경사지재해의 발생요인은 내적요인과 외적요인의 두 가지로 크게 나눌 수 있으며 이들 두 요인이 함께 구비되었을 때 비로서 급경사지 재해가 발생된다. 즉 내적으로 취약한 지질구조를 가지고 있는 사면에 강우 및 절토 등의 외적요인이 가하여 질 경우 급경사지 재해가 발생되기 쉽다. 국내의 자연사면에서 발생하는 급경사지재해는 대부분 잔류토, 붕적토 및 충적토 등의 미고결층 즉, 토층에서 강우로 인한 간극수압 상승, 지표침식, 단위중량 증가 등에 의하여 발생되고 있다(최경, 1986; 김경수 등, 2006;

이문세 등, 2009; 김윤기 등, 2009). 따라서 급경사지재해 방지 및 저감대책을 마련하려면 이들 발생요인을 잘 파악하여 이에 대한 효과적인 대책을 결정하여야 할 것이다.

최근에 우리나라에서도 급경사지재해를 방지하고자 많은 대응공법이 채택 및 적용되고 있다(홍원표, 1994; 송영석, 2004). 그러나 효과적인 급경사지재해 방지대책은 대상지역의 지질학적, 지형학적 및 지반공학적 특성에 따라 결정되어야 한다. 즉 국가나 지역에 따라 기상특성, 지반특성 및 급경사지재해 발생기구 특성이 달라질 수 있으므로 각 지역의 특성에 적합한 대응공법을 개발할 필요가 있다.

또한, 급경사지재해 발생지역 혹은 발생예상지역을 대상으로 대응공법을 적합하고 안전하게 설계 및 배치하는 것은 매우 중요한 사항이다(송영석 등, 2007; 마호섭과 정원옥, 2007). 그러므로 국내 급경사지재해 대응공법에 대한 설계 및 배치기준을 마련하기 위해서는 먼저 기존에 적용된 급경사지재해 대응공법에 대한 조사 및 DB개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 급경사지재해 대응공법에 대한 조사 및 DB개발을 위하여 자연사면을 대상으로 적용되는 급경사지재해 대응공법을 체계적으로 분류한다. 그리고 이러한 분류체계를 바탕으로 자연사면에 설치된 대응공법의 특징들을 상세히 기록할 수 있는 대응공법 조사양식을 개발한다. 이와 같이 개발된 조사양식을 이용하여 2005년 8월 2일과 3일 사이에 걸쳐 산사태가 발생된 전북 무주 및 장수지역에 적용하고자 한다.

2. 자연사면 급경사지재해 대응공법의 분류

먼저 우리나라의 자연사면에 적용된 급경사지 재해 대응공법을 체계적으로 정리하였다. 자연사면에서의 사방공사는 크게 산복사방, 계간사방, 야계사방으로 구분된다. 산복사방은 황폐되거나 밀린 황상, 붕괴지 등이 나타내는 산지의 산복부에서 산림식생을 복구, 보전하여 산림

황폐나 밀리는 형상에 따른 재해를 방지하기 위하여 산지에 시행하는 사방공법이다. 계간사방은 황폐계류 바닥의 중형침식을 방지하고 산각을 고정하여 산복을 보전하며 하류로의 유송토사를 억제하고 조정하는 사방공법 있다. 야계사방은 산간이나 산록에 접한 계천으로 평상시에는 유량이 적으나 비가 많이 오면 계천이 범람하여 도로 및 농경지가 유실되는 등 피해가 심한 황폐성 계류(Wild torrent)에 계상 및 계안 구조물을 설치하여 계천의 중형침식을 방지하고 산각을 고정하여 계류의 안전유출을 기하는 사방공법이다.

그림 1은 자연사면에서의 급경사지재해 대응공법을 분류한 것으로서 크게 산복공법과 계간/야계공법으로 분류하였다. 산복공법은 산복기초공법인 비탈다듬기, 옹벽, 흩막이, 산복수로와 산복녹화공법인 선베풀이기, 사방파종, 비탈덮기, 조공으로 구분할 수 있다. 그리고 계간/야계공법은 계간공법인 골막이, 기슭막이와 야계공법인 사방댐, 링네트로 구분할 수 있다.



〈그림 1〉 자연사면에서의 급경사지재해 대응공법

3. 급경사지재해 대응공법 조사양식 개발

급경사지재해 대응공법에 대한 DB시스템을 구축하기 위해서는 자연사면의 경우 지질, 수계 및 지형조건 등을 충분히 고려하여 소구역으로 분할하고, 대상사면은 위치,

형태 및 주변여건을 고려하여 개별사면으로 구분할 필요가 있다. 또한, 대응공법 자료들을 데이터베이스하고 정보화하기 위해서는 자연 및 인공사면에 설치된 대응공법의 특징들을 상세히 기록할 수 있는 대응공법 조사양식과 이에 대한 현장조사가 필수적이다. 이러한 필요성에 근거하여 급경사지재해 대응공법을 현장에서 입력 및 기재할 수 있는 대응공법 조사양식을 개발하였다.

급경사지재해 대응공법은 사면부와 계곡부로 구분하여 조사양식을 작성하였다. 사면부의 경우 사면부 급경사지재해 대응공법 조사양식을 활용하고, 계곡부의 경우 계곡부 급경사지재해 대응공법 조사양식을 활용하여야 할 것이다.

그림 2는 사면부 대응공법의 조사양식을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 지질조건, 사면현황, 식생, 지하수 등 사면의 안정성에 관련되는 여러 요소 및 인자를 기재할 수 있도록 하였으며, 자연사면 뿐만 아니라 인공사면의 대응공법별로 분류하여 각각의 규모, 특징 등을 기재할 수 있도록 하였다. 사면의 경우 암종, 암석명, 암색, 구성광물, 풍화도, 지질구조 및 방향 등의 지질특성과 인공사면 혹은 자연사면의 길이, 폭, 면적, 방향, 구성물질, 토층, 산사태 유형 및 발생시기 등의 급경사지 특성을 기록할 수 있도록 하였다. 그리고 식생종류, 크기, 밀도 등의 식생 특성과 누수정도, 누수위치, 지표수 유입 등의 지하수 특성을 기록할 수 있도록 하였다. 한편, 급경사지재해

대응공법은 자연사면의 경우 산복공법의 경사, 설치단수, 재료, 위치 등을 기재할 수 있도록 하였으며, 인공사면의 경우 각각의 대응공법에 대한 특징, 설치규모, 재료, 경사 등을 기록할 수 있도록 하였다.

그림 3은 계곡부 대응공법의 조사양식을 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 지질조건, 계곡특성, 식생, 계곡수 등 사면의 안정성에 관련되는 여러 요소 및 인자를 기재할 수 있도록 하였으며, 자연사면에서의 계간 및 야계공법을 중심으로 각각의 규모, 특징 등을 기재할 수 있도록 하였다. 계곡의 경우 사면부에서와 마찬가지로 암종, 암석명, 암색, 구성광물 풍화도, 지질구조 및 방향 등의 지질특성을 기재하도록 하였으며, 계곡의 길이, 폭, 방향, 경사, 단면형상 등의 계곡부 특성을 기록할 수 있도록 하였다. 그리고 식생종류, 크기, 밀도 등의 식생 특성과 유수정도, 유수위치 등의 계곡수 특성을 기록할 수 있도록 하였다. 한편, 급경사지재해 대응공법은 계간 및 야계공법의 단수, 위치, 폭, 높이, 재료 등을 기재할 수 있도록 하였다.

Investigation Sheet of Countermeasure to Control the Slope Hazards

항목	계곡구역		사면구역		조사지		조사지		조사지	
번호	No.		계곡구역		사면구역		조사지		조사지	
지역	장소	장서명	위치	구분구분	경사도	지질구조	지질구조	방향	지질구조	방향
	동서/남북/경도	북위/동경/경도	면적	방향	구분	암종	암석명	암색	구성광물	풍화도
사면현상	길이(고도기준)		폭	면적	방향	구분	암종	암석명	암색	구성광물
	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하
사면	종류	크기	밀도	지표수	누수정도	누수위치	지표수유입	지표수유입	지표수유입	지표수유입
	암종/암석명/암색/구성광물/풍화도	길이/폭/면적/면적	길이/폭/면적/면적	지표수	누수정도/누수위치/누수유입	누수정도/누수위치/누수유입	지표수유입	지표수유입	지표수유입	지표수유입
대응공법	자연사면		인공사면		자연사면		인공사면		자연사면	
	상대높이		상대높이		상대높이		상대높이		상대높이	
	사면각		사면각		사면각		사면각		사면각	
	사면면적		사면면적		사면면적		사면면적		사면면적	
	사면길이		사면길이		사면길이		사면길이		사면길이	
	사면폭		사면폭		사면폭		사면폭		사면폭	
	사면경사		사면경사		사면경사		사면경사		사면경사	
	사면높이		사면높이		사면높이		사면높이		사면높이	
	사면경사		사면경사		사면경사		사면경사		사면경사	
	사면경사		사면경사		사면경사		사면경사		사면경사	
기타 (특이사항)										

〈그림 2〉 사면부 급경사지재해 대응공법 조사양식

Investigation Sheet of Countermeasure to Control the Valley Area

항목	계곡구역		사면구역		조사지		조사지		조사지	
번호	No.		계곡구역		사면구역		조사지		조사지	
지역	장소	장서명	위치	구분구분	경사도	지질구조	지질구조	방향	지질구조	방향
	동서/남북/경도	북위/동경/경도	면적	방향	구분	암종	암석명	암색	구성광물	풍화도
계곡현상	길이(고도기준)		폭	면적	방향	구분	암종	암석명	암색	구성광물
	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하
사면	종류	크기	밀도	지표수	누수정도	누수위치	지표수유입	지표수유입	지표수유입	지표수유입
	암종/암석명/암색/구성광물/풍화도	길이/폭/면적/면적	길이/폭/면적/면적	지표수	누수정도/누수위치/누수유입	누수정도/누수위치/누수유입	지표수유입	지표수유입	지표수유입	지표수유입
대응공법	계간 및 야계공법		계간 및 야계공법		계간 및 야계공법		계간 및 야계공법		계간 및 야계공법	
	길이		길이		길이		길이		길이	
	폭		폭		폭		폭		폭	
	면적		면적		면적		면적		면적	
	경사		경사		경사		경사		경사	
	높이		높이		높이		높이		높이	
	재료		재료		재료		재료		재료	
	단수		단수		단수		단수		단수	
	위치		위치		위치		위치		위치	
	기타		기타		기타		기타		기타	
기타 (특이사항)										

〈그림 3〉 계곡부 급경사지재해 대응공법 조사양식

4. 무주-장수지역 급경사지재해 대응공법 현장조사

4.1 대상현장

개발된 조사양식을 이용하여 전라북도 무주 및 장수지역에 발생된 급경사지재해를 대상으로 적용된 대응공법

을 조사하였다. 이를 위하여 무주 및 장수지역을 대상으로 급경사지재해 대응공법 적용구간에 대한 현장조사를 실시하였다. 무주 및 장수지역은 2005년 8월 2일과 3일 사이에 걸쳐 전북지방에 내린 폭우로 인하여 산사태가 발생하여 무주군 안성면 죽천리 죽장마을에서 2명이 사망하였으며 장수군 계북면 농소리에서 1명이 사망하는 피해가 발생했다. 이처럼 무주 및 장수지역의 산사태 집중은 많은 비와 더불어 노년기에 접어든 토질과 마사토, 뿌리가 옆으로 퍼지는 친근성 수종인 침엽수와 낙엽송 등에 기인한다고 할 수 있다. 이는 지난 60~70년대까지 정부의 조립정책이 산사태 방지 등 각종 부가사항을 고려하지 않은 채 친근성 수종인 리기다소나무와 낙엽송 등 이른바 성장속도가 빠른 수종위주로 집중 식재된 데 따른 것으로 최근에는 산사태 방지를 위해 참나무, 상수리나무 등 활엽수로 수종을 변경 식재사업을 벌이고 있는 실정이다(김원영 외, 2006).

무주 및 장수지역은 비교적 험한 산지로 둘러싸여 있으며, 거대한 소백산맥의 주맥이 남서로 연계되면서 고준한 장년기 산지를 형성하였다. 산릉은 뚜렷이 북동-남서방향 선형으로 발달되고 동부는 서부보다 급사면을 나타낸다. 이것은 편마구조의 주향과 경사 방향에 지배된 것을 가리킨다.

소백산맥의 북부에 놓인 무주 및 장수지역은 주로 선캄브리아기의 편마암류로 구성되어 있으며 중생대의 화강암류와 퇴적암류가 국지적으로 분포되기도 한다. 편마암류로는 흑운모편마암과 우백질 화강편마암이 분포하며 흑운모편마암은 화강암화작용에 의하여 대부분 화강암질 편마암화 되었다. 우백질 화강편마암의 암상은 압쇄 엽리를 발달시키면서 직경 3cm 정도의 반상변정을 포함한다. 화강암류로는 각섬석흑운모화강암과 육십령화강암이 분포하고 있는데, 각섬석화강암은 무주군 안성면 공진리 일대에 국지적으로 분포하고 있으며, 암상은 조립질 입상조직에 가끔 희미한 엽리구조를 보인다. 육십령화강암은 장수군 계북면과 계내면 등지에 걸쳐 비교적 넓게 분포되어

있으며 암상은 조립질 입상조직을 이룬다(홍승호와 윤옥, 1993).

무주 및 장수지역에서 기 조사된 248개소의 산사태 특징을 살펴보면 전체의 92%가 사면에서 발생하였으며 능선부위에서 발생한 산사태는 8%로 나타났다. 산사태가 발생한 방향은 주로 동향과 서향으로 산사태가 많이 발생하였다. 대부분의 산사태는 깊이가 50m 이내가 전체의 65%를 차지하고 있으며, 경사는 30°에서 40°가 주를 이루고 있으나 험준한 지형인 관계로 40° 이상인 곳도 50개소에 달한다. 산사태가 발생한 곳의 심도는 지역에 따라 차이를 보이고 있는데, 대체로 0.5m이하의 얇은 두께를 보이나 장수군 계북면 임평리 및 양악리와 무주군 안성면 공진리 일부지역에서 발생한 산사태의 깊이는 1m 이상으로 나타나 깊은 심도를 나타냈다(김원영 등, 2006).

4.2 현장조사 결과

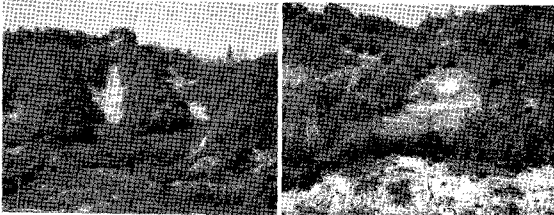
무주 및 장수지역의 급경사지재해 발생구간을 대상으로 개발된 사면부 및 계곡부 조사양식을 이용하여 대응공법에 대한 현장조사를 실시하였다. 대상지역의 경우 총 50개소에 대한 대응공법 현장조사를 실시하였으며, 사면부 47개소 및 계곡부 3개소에 대한 조사를 완료하였다.

표 1은 급경사지재해 대응공법이 적용된 사면부 현장조사결과를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 비탈다듬기는 47개소 가운데 44개소에 설치되어 있으며, 산사태 규모에 따라 2~14단의 소단을 두고 있는 것으로 나타났다. 소단사이의 거리는 약 5m이며, 주로 토층이 존재하는 부분에만 설치되어 있는 것으로 나타났다. 그림 4는 비탈다듬기와 산복수로가 적용된 사면을 나타낸 것이다.

표면보호를 위한 선베물이기, 사방파종 및 비탈덮기는 41개소에 설치되어 있으며, 이들 3가지 공법을 혼합하여 중복으로 설치한 구간도 9개소인 것으로 나타났다. 그림 5 및 그림 6은 표면보호를 위하여 각각 선베물이기와 비탈덮기가 적용된 사면을 나타낸 것이다.

[표-1] 사면부 급경사지재해 대응공법 현장조사 결과

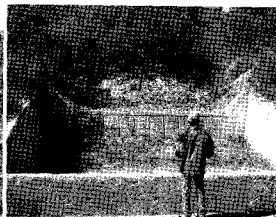
산복공법	흙막이	산복수로	옹벽	비탈다듬기	선폐붙이기	사방파종	비탈덮기	조공
설치개소수	1	12	4	44	26	23	1	0



〈그림 4〉 비탈다듬기와 산복수로
보강 사면



〈그림 6〉 비탈덮기 보강 사면



〈그림 7〉 콘크리트 옹벽 보강 사면

한편 옹벽은 모두 사면 하단에 설치되어 있으며, 일부 콘크리트 옹벽이 있으나 대부분 석축으로 시공되어 있는 것으로 나타났다. 그림 7은 사면의 하단에 설치된 콘크리트 옹벽을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 콘크리트 옹벽은 사태물질이 범람하는 것을 방지하기 위하여 옹벽의 전면부에 침사지를 두고 있는 것이 특징이다.

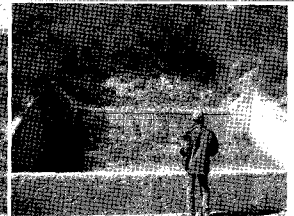
표 2는 급경사지재해 대응공법이 적용된 계곡부 현장조사 결과를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 사방댐은 계곡부 대응공법을 적용한 전체구간에서 모두 시공되어 있는 것으로 나타났다. 대부분 콘크리트 사방댐으로 구성되어 있으며, 강구조물을 이용한 슬릿댐(1개소)이 콘크리트 사방댐과 함께 시공되어 있는 구간도 있는 것으로 조사되었다. 골막이는 주로 개비온(Boulder+Steel net)으로 시공되어 있으며, 기슭막이는 콘크리트와 Boulder를 이용하여 시공되어 있는 것으로 나타났다. 대부분의 계곡부에서 기슭막이, 골막이 및 사방댐은 복합적으로 사용되고 있는 것으로 나타났다.

[표-2] 계곡부 급경사지재해 대응공법 현장조사 결과

계간 및 야계공법	골막이	기슭막이	사방댐	링네트
설치개소수	1	1	3	0



〈그림 8〉 계곡부에 설치된 콘크리트 사방댐



〈그림 9〉 계곡부에 설치된 슬릿댐

그림 8은 계곡부에 설치된 콘크리트 사방댐을 나타낸 것으로 수조의 콘크리트 사방댐이 계곡부에 설치되어 있으며, 계곡 양안을 보호하기 위하여 기슭막이도 함께 설치되어 있다. 또한 그림 9는 계곡부에 설치된 슬릿댐을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 강(steel)과 콘크리트의 혼합구조물로 설치되어 있으며, 기슭막이도 함께 설치되어 있다.

5. 결론

본 연구에서는 급경사지재해 대응공법에 대한 조사 및 DB개발을 위하여 자연사면을 대상으로 적용되는 급경사지재해 대응공법을 체계적으로 분류하고, 자연사면에 설치된 대응공법의 특징들을 상세히 기록할 수 있는 대응공법 조사양식을 개발하였다. 그리고 이를 토대로 무주 및 장수지역에 적용된 급경사지재해 대응공법에 대한 현장조사를 실시하였으며, 이를 간략하게 정리하면 다음과 같다.

- (1) 자연사면에서의 급경사지재해 대응공법은 산복공법과 계간 및 야계공법으로 구분할 수 있다. 산복공법에는 흙막이, 산복수로, 옹벽, 비탈다듬기, 선폐붙이기, 사방파종, 비탈덮기, 조공 등을 들 수 있으며, 계간 및 야계공법에는 골막이, 기슭막이, 사방댐, 링네트 등을 들 수 있다.
- (2) 급경사지재해 대응공법에 대한 DB를 구축하기 위

하여 자연사면에 설치된 대응공법의 특징들을 상세히 기록할 수 있는 대응공법 조사양식을 개발하였다. 개발된 조사양식은 사면부와 계곡부로 구분하여 작성하였다.

(3) 전라북도 무주 및 장수지역의 총 50개소에 대한 대응공법 현장조사를 실시한 결과 사면부의 경우 비탈다듬기와 표면보호를 위한 선베풀이기, 비탈덮기 등이 주로 보강되어 있다. 계곡부의 경우 대부분 콘크리트 사방댐과 기슭막이가 시공되어 있으며, 슬릿댐과 콘크리트 사방댐 및 기슭막이가 복합적으로 적용되고 있다.

감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원의 주요사업인 '급경사지 및 휴폐 광산지역의 재해예방기술 개발' 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김경수, 송영석, 조용찬, 김원영, 정교철 (2006) 지질조건에 따른 강우와 산사태의 특성분석, 지질공학, 제16권 제2호, pp.201-214.
2. 김원영, 채병곤, 이춘오, 김경수, 조용찬, 송영석, 최영삼, 서용석 (2006) 산사태 위험도 산정식별 및 피해저감기술 개발과목기술문, 한국지질자원연구원, 363p.

3. 김윤기, 최정찬, 이승래, 성주현 (2009) Reliable assessment of rainfall-induced slope instability, 한국지반공학회논문집, 제25권 제5호, pp.53-64.
4. 마호설, 정원옥 (2007) 산지사면에 있어서 퇴사량에 의한 사방댐의 시공적지 예측, 한국임학회지, 제96권 제3호, pp.300-306.
5. 송영석 (2004), 활동역지시스템으로 보강된 사면의 설계법, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, 348p.
6. 송영석, 채병곤, 서용석 (2007) 강우에 의한 산사태 확산범위 산정기법 제안, 대한토목학회논문집, 제27권 제5C호, pp.343-352.
7. 이문세, 김경수, 송영석, 류제천 (2009) 강우 및 식생에 의한 토질특성 변화 분석, 지질공학, 제19권 제1호, pp.33-41.
8. 최경 (1986) 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구, 강원대학교 박사학위논문
9. 홍승호, 윤욱 (1993), 장계도폭 지질보고서 (1:50,000), 한국자원연구소, 17p.
10. 홍원표 (1994) 한국에서 실시되고 있는 산사태방지대책공법, Proc., North-East Asia Symposium and Field Workshop on Landslides and Debris Flows, Seoul, Korea, pp.155~210.

