

강원지역의 산사태 위험지 분포 현황에 관한 연구

The Study on the Status of Landslide Risk Region in Kangwon-Do

이승호¹⁾, Seung-Ho Lee, 이민규²⁾ Min-Kyu Lee, 장범수³⁾, Bum-Su Jang, 심정훈⁴⁾ Jung-Hoon Sim

¹⁾ 상지대학교 공과대학 건설시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Sang-ji Univ.

²⁾ 상지대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Sang-ji Univ.

³⁾ 한국시설안전공단 기술개발실 부장, Department manager, Dept. of Technical Development Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation.

⁴⁾ 한국시설안전공단 기술개발실 연구원, Researcher, Dept. of Technical Development Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation.

SYNOPSIS : The whole death by disaster is totalized to 1,515 person from 1993 to 2004 year in our country. In this section life damages by landslide is totalized 357 people(about 24% of whole life damage). About 36 people are died by landslide(such as cutting area failure every year). Kangwon-do need a lot of interests and prevention because dangerous area that landslide occurrence is more than other area at summer localized downpour or thawing season and there is landslide occurrence possibility area more than other area. Kangwon-do area is higher than other area in natural disaster incidence and damage scale because topography and a lot of rainfalls by summer localized in Kangwon-Do than other area.

In this study, dangerous area of landslide occurrence possibility is analyzed and compared Kangwon-Do with other areas in our country. as a result, every year we have experienced landslide occurrence and natural disaster. accordingly, we urgently need to prevent landslide occurrence and natural disaster by analyzed source about landslide occurrence and condition of disaster in Kangwon-Do and suitable engineering method and construction work.

Key words : landslide, configuration of the land, amount of rainfall, failure source

1. 서 론

우리나라에서 발생하는 산사태 중 대부분은 산사면의 모암이 풍화되어 표피 토층이 흘러내리는 토석류로 소규모 산사태 발생형태를 보이며, 주로 6월에서 8월의 집중호우 기간과 해빙기 기간에 산사태가 많이 발생한다.

우리나라에서 '94년부터 '03년까지 재해로 인한 전체 사망자는 1,515명으로 집계되고 있는데 이 중 산사태로 인한 인명피해는 총 357명으로 전체 사망자의 약 24%를 차지하고 있다. 연평균 약 36명이 해마다 절개지 붕괴 등 경사면 붕괴재해로 희생되고 있는 것이다. 이를 좀더 구체적으로 보자면 최근 5년 동안 발생한 산사태로 인한 사망자는 99년 23명, 2000년 7명, 2001년 6명, 2002년 35명, 2003년 10명 등 모두 81명에 이르며 피해면적도 4821ha에 달해 총 6097억원의 복구비가 투입됐다. 더욱이 최근 몇 년간 국지적 집중호우로 인한 산사태가 증가하고 있어 산사태 연구는 방재기술개발이 시급한 분야로 꼽히고 있으며 강원도는 2002년의 태풍 루사, 그리고 2003년의 태풍 매미로 타지역에 비해 많은 피해를 입었다. 따라서 본 연구는 강원지역과 타 지역의 산사태 발생 위험지 분포현황을 파악하고 다각적으로 원인을 분석하고 강원 지역의 특성에 맞는 예방대책 수립과 피해저감 및 재해예방 기술을 개발

하는데 있어 기초 자료로의 활용을 목적으로 한다.

2. 산사태 관련 이론

2.1 산사태의 일반적인 개요

산사태는 지질 및 기상 등 여러 가지 내·외부적 요인의 복합적 작용으로 인하여 대량의 바위, 흙 그리고 잔해물들이 경사면 아래로 흘러내리는 것을 말한다. 산사태는 사면활동의 한 유형으로서 사면의 종류, 지반특성 또는 이동물질, 이동속도와 형태, 유발원인 등에 따라서 정의를 달리하게 되는데 일반적으로 산사태는 “자연사면에서 지진, 강우, 또는 중력 작용으로 사면붕괴, 지반침식 및 토석류가 발생하여 한꺼번에 많은 흙과 돌이 빠른 속도로 아래로 이동하는 현상이다.”라고 정의 할 수 있다.

산사태(landslide)의 유형은 낙반(fall), 전도(topple), 활동(slide), 측면퍼짐(lateral spread), 썰기(wedge), 단계(steped), 원호(circular) 및 준 원호(semi-circular)등으로 분류 할 수 있다. 이들의 생성이 복합적인 작용에 의한 것인가의 여부에 따라 단일(single)이나 복합(multiple)이 라는 용어를 사용하기도 한다. 우리나라에서의 산사태는 대부분 집중호우에 의해 야기되며, 활동성 또는 유동성 산사태로 분류되어 진다.

2.2 산사태 발생원인

산사태 발생의 지배적인 요소는 강우, 경사면의 기하학적 형상과 구성, 지질 및 지하수의 상태 등이며, 강우가 시작되었을 때 산사태의 발생여부를 결정하는 가장 중요한 요인은 지형과 지질이다.

산사태의 물리적 현상은 세 가지 요건으로 구성되는데, 첫째 사면붕괴, 둘째 붕괴물질의 운반, 셋째 붕괴물질의 퇴적이다, 우리나라에서는 주로 첫 번째 요인인 사면붕괴로 인한 사태가 많은 편이며, 원인으로서는 풍화작용 같은 점진적인 작용이 있고 집중호우나 장마 혹은 급작스런 눈의 융해로 인한 지하수의 변화와 강물이나 파도, 빙하, 도로건설 등에 의한 하부침식 지진이나 건물 건설에 의한 충격이나 진동 사면위의 하중 같은 역학적인 작용이 있다.

2.2.1 강우

산사태 발생요인 중 가장 대표적 요인으로는 강우를 들 수 있는데 이는 흙 입자들이 점착력이나 마찰력으로 인해 어느 정도의 결속력을 갖으나 집중호우로 인해 흙입자 사이로 많은 양의 수분이 유입되고 이 수분이 흙 입자 사이에 간극수의 형태로 존재하게 되어 간극수의 부력으로 인해 흙 입자간의 결속력이 약해지면서 산지 취약부의 붕괴가 발생한다.

최근 우리나라에서는 지역적인 집중호우가 많이 내려 경사면 재해 피해가 발생하는 경향이 있으며, 이러한 집중호우는 이동성 저기압(강우전선), 열대성 저기압(태풍)에 의해 발생한다. 이로 인하여 유출수에 의한 지표면 침식과 침투수에 의한 제체의 단위중량 증가, 토층과 암반층 사이에서 임시 지하수위가 형성되어 산지의 불안정성을 초래한다.

2.2.2 침식 및 지진

자연지반에서 침식의 진행은 결국 지형을 변형시켜 경사면의 안정성을 감소시키며 경사면 재해발생을 촉진시킨다. 침식에 의한 경사면 재해는 초기에는 작은 규모로 발생하나 이것이 연쇄적으로 발전하여 결국 대규모 파괴로 발전하는 경향이 있다. 강원도와 같이 군사시설이 위치해 있는 지역에서 절토, 성토, 굴토 등의 시설이 많기 때문에 강우시 집수지의 역할을 하게 되며 이곳에 모인 유출수는 취약한 도

로의 측구 등에 침식을 유발하며 경사면 재해를 발생시키게 된다. 우리나라에서 발생하는 침식의 발생 원인은 하천유수에 의한 급류부 침식과 해안의 조수와 산지 계곡부에서 발생하는 침식 사면내의 간극수압의 증가로 인한 침식 그리고 토층의 전단강도 저하로 인한 침식과 같이 분류된다.

지진발생시 경사면 붕괴는 포화도나 사질지반에서 순간적인 간극수압의 증가로 입자간의 결합력이 감소하여 입자의 이동이 쉬워지는 토층의 액상화(liquefaction)현상에 의하여 발생한다. 우리나라를 구성하는 암의 대부분은 화강암, 화강편마암, 퇴적암 등이다.

2.2.3 지질 및 지형

경사면 붕괴의 발생에 대한 지질학적 영향은 두 가지 관점으로 볼 수 있는데 지질구조적 관점과 암석학적 관점이다.

첫째 지질구조적 관점에서 산사태 발생원인은 단층과 절리, 풍화등으로 나눌 수 있다. 단층에 의한 파쇄대는 풍화가 빨리 진행되어 연약층을 형성하고 지하수로의 역할을 하여 경사면 붕괴를 촉진한다. 암의 생성은 외부적 작용 등에 의해 생성되며 절리의 경사방향과 사면의 경사방향이 같은 경우 사면의 안전율은 감소하게 된다. 특히, 경사면의 경사보다 절리의 경사가 낮은 경우 중력 작용으로 암반사면 붕괴가 발생한다. 또한 풍화도가 높을수록 단위중량과 마찰각은 감소하며 물을 많이 흡수하게 되어 전단저항력 감소에 의한 사면 붕괴가 발생한다. 둘째 암석학적 관점에서 산사태 발생요인은 변성암, 퇴적암, 화성암에 의한 요인으로 나눌 수 있다. 변성암은 엽리방향과 절리가 경사면의 안정성에 영향을 많이 주며 식생, 수분, 경사면의 경사와 상호관련을 갖는다. 퇴적암은 퇴적암중에서 투수성이 큰 사암, 석회암 등이 혈암과 토층으로 구성된 경우 산사태 발생 가능성이 크며 토사층과 암반층 사이에서 발생한다. 또한 화성암은 변성암과 퇴적암에 비하여 산사태 발생빈도가 작은 암석이나 분출암에서는 발생 가능성이 높다.

지형은 강우시 유출수와 침투수의 집배수 능력에 영향을 주기 때문에 경사면 붕괴의 발생에 깊은 관련을 갖고 있으며, 지형에서 경사면 붕괴의 발생에 가장 중요한 요인은 자연경사면의 경사도와 경사형이다. 즉, 사면 붕괴는 경사면의 경사형 중 하강경사면의 경사도가 30° 이상의 급경사면에서 발생 가능성이 높다.

2.2.4 절·성토

자연에 대한 인간의 활동 즉, 주택지나 산업지 조성, 광산개발, 수로의 변경, 도로나 철도건설 등에 의한 지반의 절토나 성토작업은 지반내 응력의 변화를 초래하여 경사면을 불안정하게 하는 요인이 된다.

또한 사면 선단부 굴착에 의한 지지력 제거로 인한 산사태 발생이 보고된 적도 있다(김춘식 외, 2000).

2.3 산사태 발생위치별 붕괴와 붕괴형태

2.3.1 발생위치에 의한 구분

산사태의 붕괴를 발생 위치 별로 구별하면 산복붕괴, 계안붕괴, 와지붕괴로 나눌 수 있다. 산복붕괴는 지표면의 또는 토양단면상의 불연속이 원인이 되어 일어나는 산사태로 산복부에서 발생하며 계안붕괴는 계류의 중형침식작용에 의하여 발생하는 산사태로 계안에서 발생한다. 그리고 와지붕괴는 집수가 원인이 되어 발생하는 산사태로 산복과 계안 사이의 토심이 깊은 와지에서 발생한다.

2.3.2 붕괴형태

산사태의 붕괴형태는 4가지로 구분할 수 있는데 A형 산사태는 그 발생 위치가 지형이 복잡하고 유수

가 모여드는 하부 및 평형사면의 산복유로에서 발생되며, 수지상이 이에 해당된다.

B형의 발생위치는 경사길이가 짧고 경사가 급한사면, 경사길이가 길고 변각점이 있는 사면(강수가 집수되는 凹형 사면)에서 발생되며 계안에서 발생되는 여상, 설상, 안상과 와지붕괴의 패각상, 표자상이 이에 해당된다. C형의 발생위치는 지형이 단순하며 유로가 비교적 좁고 경사길이가 긴 하강사면이나 평형사면의 유로변에서 발생하며 선상이 이에 해당된다.

D형 산사태의 발생위치는 표토밑에 단단한 암반층이거나 불침투성 모재층이 있는 지역에서 발생되며, 판상이 해당된다. 이러한 붕괴 형태 따른 산사태 발생시 원활한 복구를 위한 붕괴형태별 복구공법을 산림청과 국립방재연구소에서는 제시하고 있었으며 요약, 정리하면 다음 표와 같다(표 2-1 참조).



A형 파괴



B형 파괴



C형 파괴



D형 파괴

그림 1. 산사태 붕괴형태

표 1. 붕괴형태별 복구공법

붕괴형태	복구공법
A형	땅속흙막이, 흙막이, 산비탈돌쌓기 그 후 표면처리를 병행
B형	산비탈돌쌓기, 누구막이
C형	누구막이, 골막이
D형	수로내기, 산비탈돌쌓기, 심근성 수종 식재

3. 지역별 산사태 실태 조사

3.1. 전국 산사태 위험지 판정기준

현재 우리나라의 산사태발생에 관한 연구는 산림청과 국립방재연구소에서 수행하고 있으며 산사태 유발지역과 위험지역을 선정하여 등급별로 관리하고 있다. 산림청의 산사태 발생 위험지 등급 분류기준에 의하면 지형, 모암, 임상, 토심, 경사도 등 조사인자별로 해당 판정표에 따라 점수를 부여하고 누계점수에 의해 산사태 위험지를 등급별로 판정한다.(표3-1참조)

표. 2. 현행 위험등급별 구분(산림청, 2004)

산사태 위험지 등급	누계점수
발생가능성이 대단히 높은 지역(I 등급)	181점 이상
발생가능성이 높은 지역(II 등급)	121~180점
발생가능성이 있는 지역(III 등급)	61~120점
발생가능성이 없는 지역(IV 등급)	60점 이하

산사태 발생이 우려되는 위험지역 조사항목으로는 표 3-2와 같이 구분하고 있으며, 표 3-1과 표 3-2를 토대로 표 3-3과 같이 산사태 위험지역을 판정하고 있다.

표. 3. 조사인자(산림청, 2004)

조사인자	내 용
모 압	석회암(퇴적암), 화강암(화성암), 편마암(변성암) 등
지 형	상승사면, 평형사면, 하강사면, 복합사면
경 사	25°이하, 26°~40°, 41°이상
토 심	20cm이하, 20~100cm, 101cm이상
임 상	침엽수·활엽수·혼효림 및 소·중·대경목 등

표. 4. 산사태 위험지 판정표(산림청, 2004)

인 자	Category 별 점수				
	1	2	3	4	5
경사길이 (m)	50이하 0	51-100 19	101-200 36	201이상 74	
모암	퇴적암 (이암, 혈암, 석회암, 사암 등) 0	화성암 (화강암류 기타) 5	변성암 (천매암, 점 판암 기타) 12	변성암 (편마암류 및 편암류) 19	화성암 (반암류와 안산암류) 56
경사위치	0-4/10 0	2-6/10 9	7-10/10 26		
임상	· 침엽수림 (치수림, 소경목) 18	· 침엽수림(중경목, 대경목) · 활엽수림, 혼효림(치수림) 26	· 활엽수림, 혼효림 (소, 중, 대경목) 0		
사면형	상승사면 0	평형사면 5	하강사면 12	복합사면 23	
토심 (cm)	20이하 0	20-100 7	101이상 21		
경사도 (°)	25이하 16	26-40 9	41이상 0		
조사자의 점수보정	※ 보정인자 1. 조사자 또는 마을사람들이 산사태발생 위험지역이라고 생각함.(+10) 2. 조사자 또는 마을사람들이 산사태발생 위험성이 전혀 없다고 생각함.(-10) 3. 인위적 산림훼손지로 방치하거나 불완전한 방재 시설지(+20) 4. 과수원 및 초지단지, 유실수조림지 등 지피식생이 불완전한 산림(+20) 5. 산림이 도심지에 위치하여 산사태 발생시 피해 확산 위험이 있는 지역(+10)				
점수계					점

3.2 전국 산사태 위험지 분포현황

우리나라는 산림청과 방재연구소에서 위험등급 및 조사인자들의 점수를 부여하여 전국 각 시도별로 산사태 위험지를 지정하고 있다. 시도별 지정현황에서 2004년 현재 총 110개소 중 강원도는 40개소로서 36%를 차지, 위험 등급별 구분에서 1등급 총 19개소 중 7개소로 36%, 2등급은 총35개소 중 15개소로 43%, 3등급은 56개소 중 18개소로 31%를 차지하고 있다. 이런 산림청 통계 자료를 근거로 강원지역이 타 지역에 비해 산사태의 위험에 많이 노출되어 있다는 것을 알 수 있었다.

또한 강원도 지역은 전국의 다른 지역에 비해 많은 개소의 면적이 산사태 위험지로 선정되어 높은 비중을 차지하고 있다. (그림 3.1-3.4 참조)

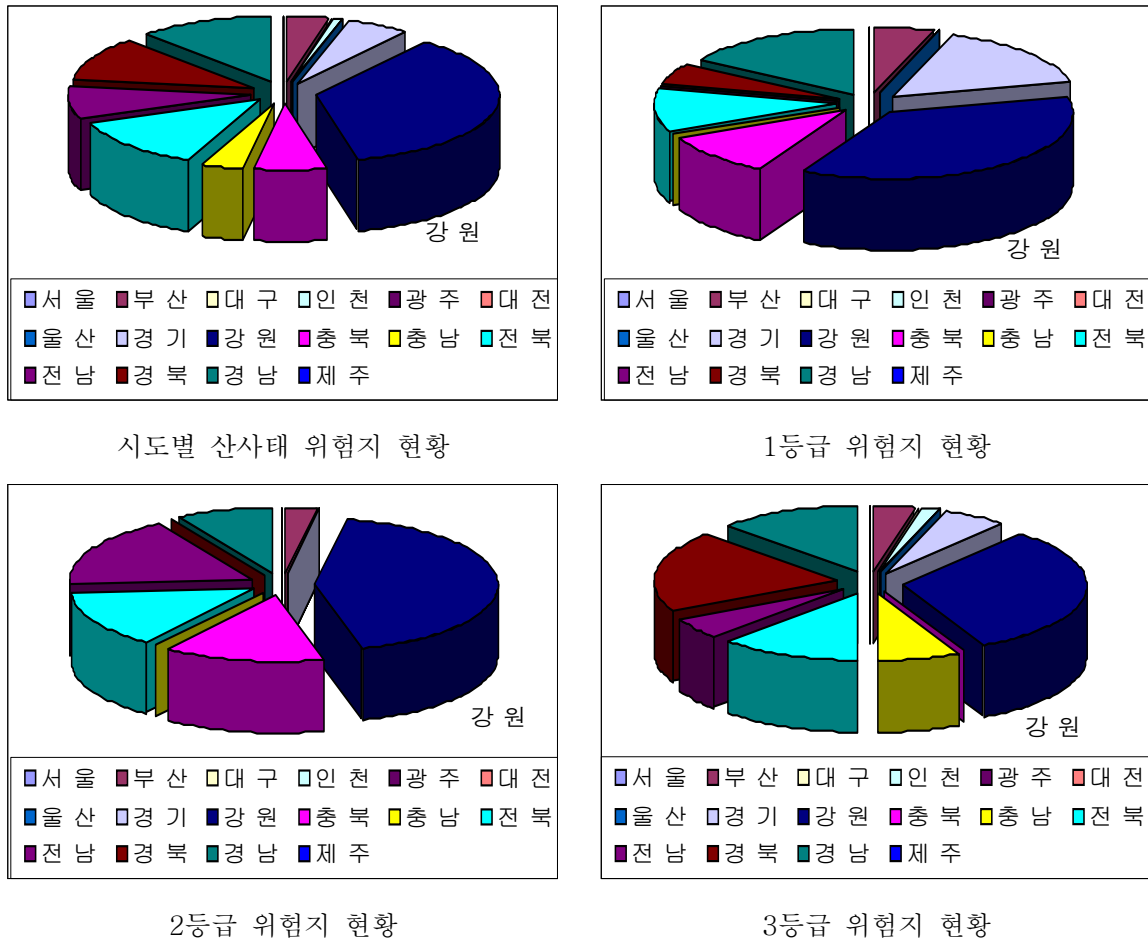


그림 2. 산사태 위험지 현황

4. 강원지역의 산사태 발생 위험지 다(多)분포 원인

강원도 지역이 전국 다른 지역에 비해 산사태의 위험에 많이 노출되어 있는 원인을 규명하기 위하여 국내외 문헌, 기상자료 및 지질도를 수집하여 분석한 결과 크게 기상학적, 지형적, 지질적 특징으로 구분할 수 있었다.

4.1 강원지방의 기상학적 특징

산맥의 정상부를 중심으로한 강원지방은 산악기후의 특성을 가지고 있어 우리나라의 다른 어느 지역

보다도 복잡한 기상현상을 나타내고 있다. 강수량은 영동북부지방은 연간 1,400mm로 많은 편이나, 영동남부지방은 이보다 100-200mm 적은 1,200mm 정도의 분포를 보이고 있다. 바람은 겨울철과 봄철에 강풍현상이 자주 있으며 평균풍속도 다른 지역에 비하여 강한 편이다. 또한 겨울철에는 눈이 많이 내리는데 영서지방이나 서해안지방과는 다르게 1, 2월에 많은 눈이 내리고 북동기류 유입시 더욱 많이 내린다. 또한 계절에 관계없이 탁월한 북동류가 있을 때 영동지방에는 강우 및 강수량이 증가하는 경향이 있다.

영동지방은 산맥의 급경사면이 바다와 접해 있고 편현상과 같은 기상현상 등으로 인하여 암반의 풍화 촉진과 아울러 암반이 파쇄되고, 절리틈새가 이완되면서 암반의 투수성이 높아져 지표수의 유입이 용이하게 되어 산사태가 발생이 더욱 우려되는 지역이다.

4.2 강원지방의 지형적 특징

강원도는 남북으로 길게 뻗은 태백산맥을 중심으로 영동과 영서로 분리되어 있으며 기후적으로 전혀 다른 특성을 나타내고 있다. 지리적으로 서쪽으로는 대부분이 산간지역이나 비교적 경사가 완만하고 분지가 형성되어 있는 곳이 많다. 동쪽으로는 태백산맥 분수령(평균고도 900m)에서 해안쪽으로 서쪽경사에 비하여 약 5배에 달하는 급경사를 이루면서 대관령 정상에서 해안선까지 경사면 약 20km 정도로 서쪽에 비해 매우 짧으며 동쪽으로 동해바다와 접해있어 산간, 해안, 바다 등이 복합된 지형지세로 국지적, 시간적 기상변화가 심하다. 특히 전체면적의 78.6%가 급경사와 계곡, 분지 등으로 형성되어 산악기후의 특성인 갑작스런 기상변화로 뜻하지 않은 재해를 입는 경우가 종종 발생한다.

4.3 강원지방의 기질적 특징

‘동해고속도로 동해~강릉간 확·포장공사 절토비탈면 표면처리방안에 관한 연구(한국지반환경공학회, 2003)’ 결과에 의하면 강원지역에 넓게 분포하는 지질은 시대적으로 선캄브리아기부터 신생대 제 4기 충적층까지 다양하게 분포하고 있다. 선캄브리아기의 암석은 장석질이 우세하게 발달하는 편마암 또는 편암으로 장석반정이 크개는 10cm내외의 규모로 발견되기도 한다. 상부지층과는 부정합관계로 고생대층이 분포하고 있다. 고생대 하부에 해당하는 평안층군이 상부를 부정합으로 덮고 있으며 이후 중생대 쥐라기의 대보화강암 관입에 의하여 일부 호른펠스(hornfels)화 된 광역변성암도 나타나기도 한다.

강원 영동지역에 존재하는 암석종류별 풍화에 대한 내구성을 평가하기 위하여 현장에서 5개의 종류별 암석시료를 채취하여 slaking 내구성 시험을 실시하였으며 시험결과, 화강암은 매우 높은 내구성을 나타내었고 화강섬록암 및 편마암질 화강섬록암은 비교적 높은 내구성을 나타내었다. 또한 강원 영동지역에서 주로 발견되는 산성질 변형암 및 운모편암은 낮은 내구성지수를 나타내어 풍화에 취약한 것으로 나타났다.

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 강원지역과 타 지역의 산사태발생 및 발생 가능 위험지역의 분포현황 분석과 그 원인을 분석하고자 하였으며 결론은 다음과 같다.

- (1) 강원도 지역은 시도별 산사태 위험지역 지정현황에서 2004년 현재 총 110개소 중 강원도는 40개소로서 36%를 차지, 위험 등급별 구분에서 1등급 총 19개소 중 7개소로 36%, 2등급은 총 35개소 중 15개소로 43%, 3등급은 56개소 중 18개소로 31%를 차지하고 있어 다른 지역에 산사태 발생 위험이 높은 것으로 조사 되었다.

- (2) 강원지역은 계절라성 폭우와 폭설 등의 기상적 특성과 아울러 무분별한 절·성토 등으로 인한 군사 시설이 집중되어 있으며 이들 군사시설은 집수정의 역할을 하여 사면내 간극수압을 증가시켜 사면의 불안정성을 초래, 산사태 위험지가 많이 분포하는 것으로 사료된다.
- (3) 또한 강원 영동지역에서 주로 발견되는 산성질 변형암 및 운모편암 등은 낮은 내구성지수를 나타내는 등 폭합적 요인들로 인한 산사태 위험지역의 분포가 높은 것으로 사료된다.
- (4) 재해 규모에 비해 인명피해가 크게 발생하는 강원도 재해 상황에 대한 원인 분석을 토대로 재해 예방 대책과 피해지역의 특성에 적합한 공법의 시공으로 해마다 되풀이 되는 산사태에 대한 자연 재해 방지가 필요하며 산사태 발생 위험지역에 대한 관련기관의 체계적이고 과학적인 관리와 산사태 발생과 궁극적인 원인규명에 전문가들의 활발한 연구 진행이 수반되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 정형식(2004), 토목기술자를 위한 암반역학, pp119~288, 도서출판 새론,
2. 이승호, 황영철 (2004) 집중호우시 군사시설물이 설치된 사면의 안정성평가에 관한 연구, 한국지반환경공학회 p47-56
3. 이승호, 최구락, 이재기, 김기환 (2001), 강원도 산악지형 도로사면 붕괴특성 및 유지관리, 사면안정 학술발표회 p189-198
4. 이승호, 정형식, 김태남, 신희순, 2001, 고속도로 대절토사면 안정성 평가에 관한 연구, 한국지반공학회 사면안정 학술발표회(사면안정 조사 및 대책)
5. 이승호, 황영철, 정응환, 지영환, 노홍제, 2003, 강원산간지방 도로확장 대절토부 사면안정 처리에 관한 연구, 한국지반공학회 봄학술발표회
6. 이승호, 2002, 강원도 산악도로 절개사면의 파괴특성 분류에 관한 연구, 한국지반공학회 사면안정 학술발표회
7. 한국지반환경공학회(2003), '동해고속도로 동해~강릉간 확·포장공사 절토비탈면 표면처리방안에 관한 연구
8. 황영철, 이승호, 1999, 암반사면의 파괴조건 고찰, 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회, p98-105
9. 김상규, 김영목(1991), 강우로 인한 사면 불안정, 대한토질공학회지, 제7권, 제1호, pp.53-64
10. 산림청, 2003, 산사태 발생원인 및 예방 대책에 관한 연구보고서
11. 한국 암반공학회, 2003,붕적토구간 사면안정 및 보강대책 연구보고서
12. 국립방재연구소, 2001, 방재연구