

2006년 춘천지역 산사태 유발 강우와 사면의 기하 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of Rainfall Triggering Landslides and Geometry of Slopes in Chuncheon during 2006

유 남 재* 이 용 원** 김 호 진***
Yoo, Nam-Jae Lee, Yong-Won Kim, Ho-Jin

Abstract

This paper is results of analyzing the characteristics of rainfall triggering landslides and geometry of slopes, caused by the heavy rainfall and antecedent precipitation by Typhoons Ewiniar and Bilis at Chuncheon area in Gangwondo around July in 2006.

As results of analyzing the characteristics of rainfall, landslides in 131 sites were found to happen due to the heavy rainfall having the maximum intensity of rainfall in an hour during July 15 and antecedent precipitation during July 12 to 14 causing the ground to be weak by increasing the degree of saturation previously.

From results of analyzing the geometrical characteristics of 131 slopes where landslides occurred, the slope width were in the range of 6~10m. The average slope length and angle were 46m and 51.8°, which was relatively steep slope, respectively. Landslides occurred in the elevation of 400 - 500 m with the most probable frequency.

키워드 : 산사태, 집중강우, 춘천, 2006

Keywords : landslides, heavy rainfall, Chuncheon, 2006

1. 서론

우리나라는 매년 각종 자연재해로 인하여 수많은 인명과 재산피해를 입고 있다. 인위적인 개발에 의한 기후변동에 의해 또는 급격한 사회·경제여건의 변화에 의해 거대한 자연재해의 시대로 향하고 있다. 따라서, 현재 자연의 영향을 무시하고 생활을 영위하는 것은 불가능하게 되었다.

특히 강원도 지역은 수려한 경관의 혜택 이면에 태풍, 홍수, 산불에 의한 대규모 피해가 반복되는 등 자연재해의 잠재적 발생가능성이 높은 특징을

가지고 있다. 지반공학적 측면에서 자연재해는 호우시 발생하는 사면붕괴, 하천제방 붕괴, 옹벽 및 석축 붕괴, 폭풍에 의한 해일 방조제 붕괴, 지진에 의한 지반붕괴 그리고 동결융해 등을 들 수 있는데, 최근 국내에서 지진이나 태풍, 호우, 폭설과 우박, 낙뢰, 해일과 같은 자연재해로 매년 많은 경제적 피해를 입고 있는 실정이다. 특히 전체 피해의 75% 이상이 호우와 태풍에 의해 6~9월에 집중적으로 발생되고 있으며, 그 피해 유형도 인명피해는 물론이고 대형구조물의 전도나 범람, 중대형 사면붕괴 등 다양한 형태를 보이고 있다.

본 논문에서는 2006년 7월 집중강우와 태풍에 위니아와 빌리스의 동반 작용에 의해 춘천지역에서 발생한 산사태에 대하여 자료수집과 현장조사를 실시한 뒤 강우패턴분석 및 산사태 현황 분석을 수행하였다. 따라서, 이러한 분석결과를 바탕으

* 강원대학교 토목공학과 교수

** 강원대학교 산업대학원 토목공학과 석사과정

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정, 교신
저자

로 DB를 구축하여 향후 산사태 발생 예측의 기본 자료로 활용할 수 있다.

2. 이론적 배경

2.1 산사태의 정의

산사태의 사전적 의미는 지진이나 큰 비 등으로, 산 중턱에 있는 암석이나 토사 따위가 갑자기 무너져 내리는 현상이라 한다. Terzaghi(1950)는 산사태를 사면을 구성하는 물질의 이동 또는 활동을 뜻하는 Landslide라 하고, 감지할 수 없을 정도의 느린 이동을 크리프(Creep)로 정의하였다. 지질학적으로 볼 때 암반은 단층(Fault), 층리(Bedding), 절리(Joint), 균열(Fracture) 등의 크고 작은 불연속면들에 의해 분리된 암석블록의 집합체이다. 이러한 집합체는 점착력이나 마찰력으로 인해 어느 정도의 결속력을 갖는다. 그러나 집중호우로 인해 흙 입자 사이로 많은 양의 수분이 유입되고 수분이 흙 입자 사이에 간극수가 존재하게 되면 흙 입자간의 결속력이 약해지면서 붕괴되는 것이다. 대부분의 산사태는 잠재적으로 취약한 구조를 가지고 있는 경사면에 강우나 절토 등과 같은 직접적 원인이 있을 때 발생하게 된다. 산사태의 거동은 파괴면을 따라 암석, 토사 등이 이동(Mass movement)하는 것으로 내적, 외적 원인으로 암반을 구성하고 있는 물질이 불안정하게 되고, 중력과 사면 경사의 방향을 따라 이동한다(Zaruba and Mencl, 1982).

2.2 산사태의 분류

산사태 유형 분류는 나라별, 학자별로 달리하고 있다. 그 중 주로 미국을 중심으로 사용되고 있는 Varnes(1978)의 분류방식은 지반거동의 다섯 가지 원칙을 중심으로 지반거동 방식이 복합적으로 이루어졌을 경우를 고려하여 낙하(Fall), 전도(Topple), 활동(Slide), 퍼짐(Spread)과 유동(Flow), 두 가지 또는 그 이상이 결합된 복합형 이동(Complex slope movement) 이렇게 총 6가지로 분류하였으며, 그림 1에 사면활동의 종류를 나타내었다. 또한, Crozier(1973)는 산사태 형태를 사면의 길이(L)에 대한 두께(D)의 비율에 따라 Slides, Flows, Slumps로 분류하였으며, Hansen(1984)은 암석, 토양, 암석과 토양의 혼합층에 있어서 산사태의 형태를 Free fall, Topple, Avalanche & flow, Rotational slide와 Planna slide 등과 같이 구분하고 이들의 이동형태, 이동물질의 종류, 속도, 사면의 형태에 관하여 이론을 정립하였다.

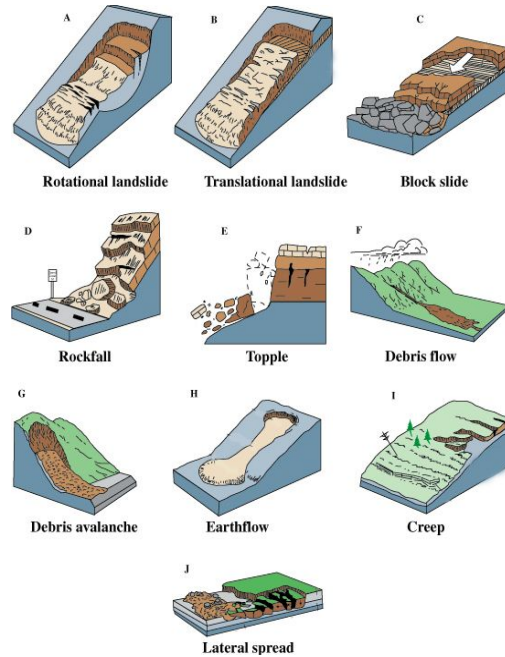


그림 1 사면활동의 종류 (Varnes, 1978)

3. 춘천시 지역현황

3.1 일반적 특성

춘천시는 우리나라 중심부에 위치하고, 인구는 계속적인 증가추세를 나타내고 있으며, 행정구역상으로는 1개읍 9개면으로 구성되어 있다. 경위도상으로는 동경 127°47' ~ 125°31', 북위 37°41' ~ 38°05' 에 위치하고 있으며, 총면적은 1,116.78km²로 강원도 전체면적의 6.6%를 차지하고 있다. 기상현황은 연평균 기온이 10.9℃로 중부 저온구역에 속하고, 최고기온은 36.6℃이며 연 평균 강우량은 약 1,300mm이다.

3.2 지형현황

춘천시의 지형현황에 대한 분석은 문헌조사와 기존의 기타 참고자료를 활용하여 조사하였다.

춘천시의 표고는 그림 2에서와 같이 EL.600m 이하 구간의 면적비가 94.12%로 대부분을 차지하고 있고, EL.600m 이상 지역은 5.88%로 매우 적은 비율을 차지하고 있다. 한편, 경사 분포는 그림 3에서와 같이 완경사지역 및 급경사지역이 시 전체에 고루 분포하고 있으며 경사 15%~25%지역이 가장 많은 것으로 나타났다(춘천시 재해보고서, 2010).

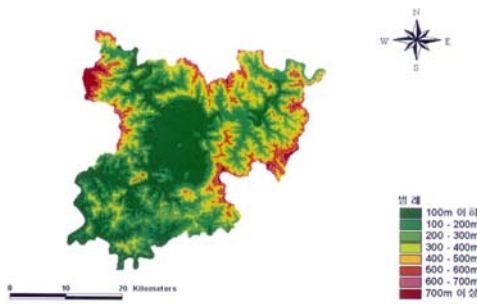


그림 2 춘천시 표고 분포

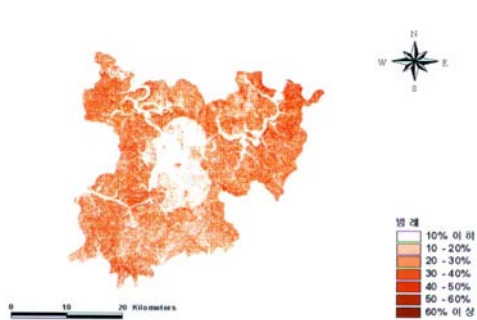


그림 3 춘천시 경사 분포

표를 획득하고, 산사태 발생 분포가 밀집된 장소를 선별하여 현장조사를 수행할 수 있었다. 그림 4는 피해위치도와 위성사진을 오버레이 작업한 것을 나타내었다.

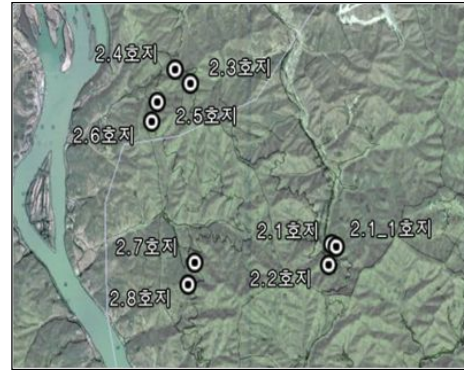


그림 4 이미지 오버레이

3.3 피해현황

재해발생 당시의 춘천시의 전체 피해현황이 기록되어 있는 행정자료를 토대로 피해현황을 조사한 결과, 2006년 7월 12일~7월 20일에 내린 집중호우로 인하여 춘천시 전체피해액은 100억 원이며 동면이 21억 원, 동산면이 18억 원 순으로 피해가 발생하였다. 주택 총40 세대 99명의 이재민이 발생하였고, 인명피해는 발생하지 않았다. 또한, 농경지 총29.18ha의 침수피해가 발생하였고, 총 47동(유실 및 전파 1동, 반파7동, 침수 39동)의 건물피해가 발생하였다. 공공시설피해는 총 369개소 137억 원 중에서 도로의 피해가 53개소 31억 원으로 가장 많은 피해가 발생하였다.

4. 산사태 실내 사전조사 및 현장조사

4.1 실내 사전조사

현장에서 산사태 조사를 수행하기 이전 실내에서 산사태의 발생위치, 분포 및 피해현황 등을 사전에 숙지하는 것이 현장조사의 효율을 높이는 데 도움이 되었다. 실내사전조사는 문헌조사, 재해대장검토, 산사태 발생위치가 표시된 지형도(1:50,000)와 위성사진관독을 실시하였으며, 이를 토대로 GPS좌

4.2 현장조사 방법

실내사전조사를 통하여 획득된 GPS좌표를 이용하여 산사태 발생위치를 찾아가 그림 5와 같은 현장조사야장과 측정 장비들을 이용하여 사면의 경사, 폭, 길이, 사면의 방위, 지형형상, 고도 등을 조사하였다. 개략적인 조사 사진은 그림 6~8에 나타내었다.

〈현장조사야장〉												
위치												
날짜												
ID	GPS좌표	파괴형태			기반암 및 풍화정도							
사면		평면 파괴	원호 파괴	복합 파괴	F	SW	MBV	HW	CW	RS		
사면파괴면		사면파괴후			파괴특성		지형형상					
사면경사	경사 방향	사면경사	경사 방향				오	폭	면	복		
종교토양				사면해위 여부		상징종류						
종교종	종교 깊이	종교사면 길이		종교단상면	침범 수	침범 수	침범 수	침범 수	침범 수	침범 수	침범 수	침범 수
기타사항 :												

그림 5 현장조사야장(예)



그림 6 Scout를 이용한 사면의 폭과 길이 측정



그림 7 스테프와 클리노미터를 이용한 사면의 경사/경사방향 측정



그림 8 GPS를 이용한 사면의 위치 확인

4.3 현장조사 결과

본 연구 대상지역인 춘천시 중에서 북산면, 남산면, 동면, 서면 및 사북면 다섯 개 면을 조사한 결과 전체 131개소 산사태 발생사면 중에서 동면이 전체의 48%로 가장 높은 빈도수를 보였으며, 서면이 25%로 두 번째로 높은 빈도수를 보였고, 남산면과 사북면은 12%로 같은 빈도수로 나타났

으며, 마지막으로 북산면의 산사태 발생 빈도수가 3%로 가장 적게 조사되었다. 각 면별 산사태 발생 현황은 표 1과 그림 9에 나타내었다.

표 1 각 면별 산사태 발생현황

북산면		남산면		동면		서면		사북면	
발생사면	구성비 (%)	발생사면	구성비 (%)	발생사면	구성비 (%)	발생사면	구성비 (%)	발생사면	구성비 (%)
4	3	16	12	63	48	32	25	16	12

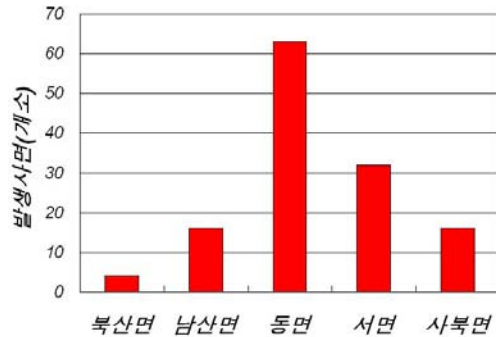


그림 9 각 면별 산사태 발생현황

4.3.1 남산면 백양리/방하리

백양리와 방하리 지역은 춘천 남서쪽에 위치해 있으며, 산 능선을 따라 임도가 많이 발달해 있다. 산사태 현황 분석을 위하여 재해대장의 피해위치를 통하여 산사태 발생위치를 파악한 결과 백양리 5개소, 방하리 4개소 이렇게 총 9개소에서 산사태 피해가 발생한 것으로 나타났다.

그림 10~11은 사전 실내조사에서 얻은 결과를 바탕으로 실제 현장을 답사하여 현장조사를 수행한 그림이다. 1호지의 경우 그림과 같이 소규모의 산 정상부에서 산사태가 발생하여 강우가 지속됨에 따라 가파른 경사를 따라 쓸려 내려간 형상을 보이고 있고, 산사태 하부 퇴적부인 임도에 퇴적이 거의 되지 않은 것으로 보아 얇은 표층이 강우발생시 쉽게 유실된 것으로 판단된다.



그림 10 남산면 백양리 산사태 발생 1호지

1_1호지의 경우 역시 자연사면으로서, 집중강우로 인하여 지형적으로 응집력이 약화되고 제체 단위중량이 증가함으로써 토사가 유출되어 발생한 상류 토사 유실에 의한 산사태로 볼 수 있다. 본 연구지역에서 발생한 사면의 형태는 대부분 임도 상부에 위치하여 이와 같은 형태로 산사태가 발생한 것으로 나타났다.



그림 11 남산면 백양리 산사태 발생 1_1호지

4.3.2 동면 상걸리

동면 상걸리 지역은 춘천 동쪽에 위치해 있으며, 산사태 발생지가 발달된 임도를 따라 길게 분포하는 특징을 보였다. 산사태 현황 분석을 위하여 재해대장을 통한 발생 위치를 파악한 결과 총 35개소의 산사태 발생지를 확인할 수 있었다.

3호지의 경우 그림 12와 같이 폭이 75m이고, 길이가 80m로 넓은 면적으로 산사태가 발생하였고, 사면경사 또한, 50°로 급경사 산지사면임을 알 수 있었으며, 현재 석축과 줄 때 등 복구공사가 이루어

어진 상태다. 피해원인으로는 지표층 토사 급경사 산지사면인 지질학적 원인을 들 수 있겠고, 집중강우로 인한 토사 유출 및 응집력 약화 및 제체 단위중량의 증가가 피해 원인으로 추정된다.



그림 12 동면 상걸리 산사태 발생 3호지

그림 13에서와 같이 5호지의 경우 사면아래 계곡이 집중강우에 의해 늘어나면서 사면 아래 토사가 계곡류와 함께 유실되어, 상부 지표층 토사의 응집력 약화와 자중에 의한 평면활동이 일어난 것으로 추정된다. 현재 돌망태 옹벽을 계단식으로 시공하여 안정성을 확보하였으며, 복구 후 추가적인 피해는 찾을 수 없었다.



그림 13 동면 상걸리 산사태 발생 5호지

4.3.3 서면 오월리/서상리

오월리와 서상리 지역은 춘천 북서쪽에 위치해 있으며, 산사태 발생이 넓게 분포되어 있었다. 산사태 현황 분석을 위하여 재해대장을 통한 발생 위치를 파악하고, 그 결과 오월리 10개소, 서상리 3개소 이렇게 총 13개소에서 산사태 피해가 발생한 것으로 나타났다.

그림 14의 1호지 사면의 경우 임도사면 절개지 사면경사가 70°로 매우 가파르고, 사면보호공이 설치된 후 추가적인 사태가 발생한 것으로 보인다. 노출된 지층 현황을 관찰한 결과 고결의 풍화 잔

류토 사층으로 판단된다.



그림 14 서면 오월리 산사태 발생 1호지

그림 15의 2호지 사면의 경우 임도를 따라서 긴 폭으로 피해가 발생하였다. 구성암의 암질은 대부분은 기반암의 풍화 잔류토인 토사로 구성되어 있으며, 추가적인 피해가 발생할 것으로 판단된다.



그림 15 서면 오월리 산사태 발생 2호지

5. 산사태 발생원인 분석

5.1 강우특성 분석

춘천시의 산사태와 강우량과의 상관관계를 분석하기 위해 수해피해당시의 강우자료를 기상청(AWS)의 춘천관측소로부터 수집된 강우자료를 통해서 최대시간강우량 및 일일 강우량, 누적 강우량 등을 분석하여 강우량과 산사태 발생빈도의 관계를 분석하였다.

연구지역의 강우량을 분석한 결과 그림 16에서와 같이 산사태 발생 전 7월 9일부터 7월 14일까지

지 누적강우량은 총 282.5mm를 기록하였으며, 사건발생 3일전부터(7월 12일~7월 14일) 내린 누적강우량 263.5mm의 선행강우가 있었다, 그림 17에서 산사태 발생 당시 일 강우량 130mm, 최대시간 강우량 41.5mm를 기록하여 7월 15일을 기점으로 총 131개의 크고 작은 산사태가 발생하였다. 이는 산사태 발생일시 전 많은 누적강우량에 의한 지반포화에 따른 지반약화에 이어 7월 15일을 기점으로 당일 최대 시간 강우량 41.5mm의 기록적인 폭우로 인해 많은 산사태가 발생한 것으로 판단되진다.

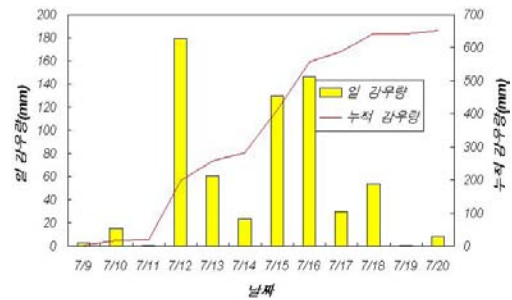


그림 16 2006년 7월 9일~7월 20일 일-누적 강우량

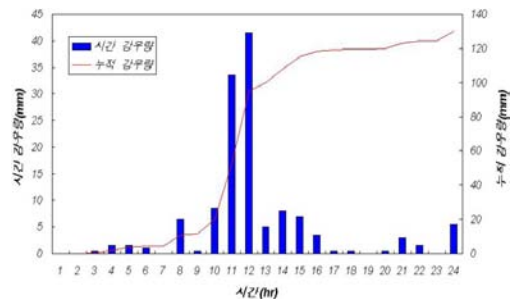


그림 17 2006년 7월 15일 시간-누적 강우량

5.2 기하특성 분석

5.2.1 산사태 발생사면의 폭

본 연구 대상지역인 춘천시에서 발생한 산사태는 총 131개소로 산사태가 발생한 사면폭에 대한 발생 빈도는 그림 18과 같이 폭 6~10m의 발생빈도가 전체의 39%로 가장 많았으며, 폭 11~15m의 발생빈도가 21%로 그 다음으로 많았다. 아래 그림을 보면 대부분의 산사태가 폭 20m 이내의 범위로 발생하는 것을 알 수 있다.

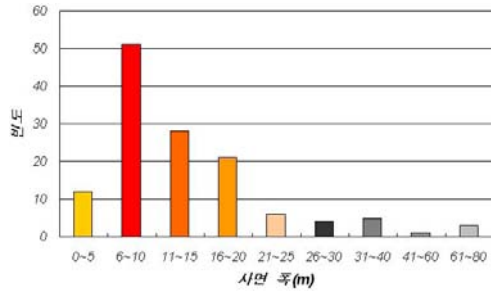


그림 18 산사태 사면폭과 빈도와의 관계

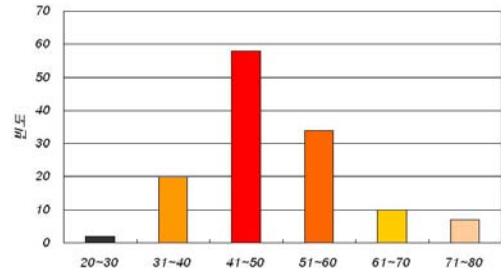


그림 20 산사태 사면 경사와 빈도와의 관계

5.2.2 산사태 발생사면의 길이

산사태가 발생한 정상부의 시점에서 산사태 종점까지의 사면 경사길이를 측정하여 연구 대상지역의 집중 호우에 따른 산사태 사면길이 별 발생빈도를 그림 19에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 산사태 사면의 경사거리는 최소 5m 에서 최고 480m 까지 매우 광범위한 특성을 보이거나, 전반적으로 보면 사면 경사거리 70m을 초과하는 산사태 발생 빈도수는 매우 적은 것을 알 수 있다. 여기서 대부분의 산사태가 70m 이하 특히 40m 내외의 규모 형태를 보이는 것을 알 수 있고, 평균 사면길이는 46.02m로 나타났다. 이러한 기하적인 양상을 볼 때 춘천시에 발생한 산사태의 크기는 대체로 6~10m 정도의 작은 폭에 70m 이하 11~50m의 범위에 집중되는 길이를 가지는 비교적 작은 산사태가 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

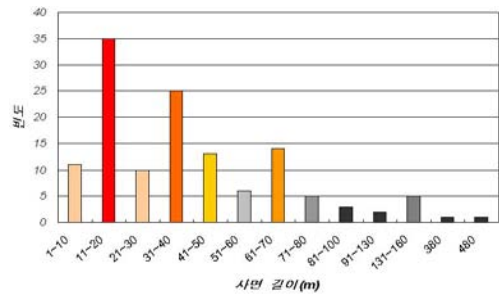


그림 19 산사태 사면 길이와 빈도와의 관계

5.2.3 산사태 발생사면의 경사

그림 20에서와 같이 총 131개 사면에 대하여 41~60°범위 경사의 산사태가 전체의 44%로 가장 많이 발생하였고, 51~60°범위 경사의 산사태는 전체의 26%로 두 번째로 많은 빈도양상을 보였다. 여기서 산사태 발생의 경우 약 31~60°범위에서 산사태 발생이 집중되었고, 평균경사 51.77°의 매우 급한 사면경사 특징을 보인다.

5.2.4 산사태 발생사면의 방위

산사태 발생사면의 경사방향은 그림 21에서와 같이 북향이 전체의 19%, 북동향이 전체의 16%로 가장 많은 발생빈도를 보였고, 북서향, 남동향이 전체의 14%로 두 번째로 많은 발생빈도였고, 서향, 남향, 동향, 남서향 순으로 발생빈도가 나타났지만, 방향에 따라 고른 분포양상을 보인다. 산사태 발생 지점의 경사방향 발생 빈도수가 북향(N)과 남향(S)의 격차가 큰 차이를 보이는 원인으로 춘천시 기상학적 특징상 풍향이 남서향(SW)으로 가장 많이 부는 것을 고려하여 볼 때 풍향과 풍속의 영향이 어느 지점에서 어떤 방향으로 이동했는지에 따른 상관관계가 있다고 판단되며, 선행 경우 당시의 풍향과 일치여부, 지형적 특성 등도 배제할 수 없는 영향인자이며, 그와 관련된 인자를 종합적으로 분석이 선행된 후 산사태 발생빈도와 관계를 고려하여 분석이 필요할 것으로 판단된다.

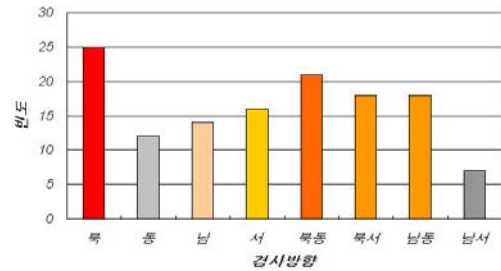


그림 21 산사태 사면 방향과 빈도와의 관계

5.2.5 산사태 발생사면의 고도

춘천시에서 발생한 산사태 총 131개소에 대하여 지형고도에 대한 산사태 발생 빈도는 그림 22에 나타내었다. 아래의 그림과 같이 산사태 발생 빈도는 고도 200~600m 범위에서 고루 분포되었고, 특히 400m 에서 500m 사이의 산사태 발생빈도가 전체의 35%로 가장 많은 발생양상을 보였다.

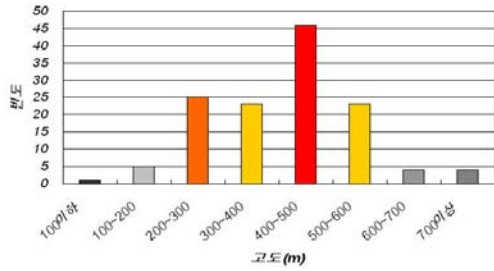


그림 22 산사태 사면 고도와 빈도와의 관계

6. 결론

본 논문에서는 2006년 7월 12일~7월 20일 사이에 춘천시에서 발생한 집중호우로 인한 산사태 피해현장을 실내사건조사 및 현장조사를 통한 강우특성 및 기하특성 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 발생 전 3일(7월 12일~7월 14일) 누적강우량 263.5mm의 선행강우로 인한 지반포화 및 지반약화에 이어 산사태 발생당일(7월 15일) 일강우량 130mm(최대시간강우량 41.5mm)의 폭우가 산사태 발생의 가장 큰 영향을 주었다.

(2) 산사태의 폭은 6~10m의 발생빈도가 전체의 39%로 가장 많았으며, 대부분의 산사태가 폭 20m 이내의 범위로 발생하는 것을 알 수 있었다.

(3) 산사태의 길이는 최소는 5m에서 최고 480m까지 다양한 크기로 나타나며, 대부분의 산사태가 70m 이하 특히 40m 내외였으며, 평균 사면길이는 46.02m로 나타났다.

(4) 총 131개 사면에 대하여 41~60°범위 경사의 산사태가 전체의 44%로 가장 많이 발생하였고, 약 31~60°범위에서 집중되었으며, 평균경사 51.77°로 매우 급한 사면경사 특징을 갖는 것을 알 수 있었다.

(5) 산사태의 경사방향은 북향이 전체의 19%, 북동향이 전체의 16%로 가장 많은 발생빈도를 보였고, 전체적으로 볼 때 북쪽방향으로 산사태 발생이 많이 치우쳐져 있는 원인으로는 춘천시의 기상학적 특성상 풍향이 남서향(SW)으로 가장 많이 부는 것을 고려하여 볼 때 풍향과 풍속의 영향이 상관관계가 있는 것을 알 수 있다.

(6) 춘천시에서 발생한 산사태 총 131개소에 대하여 지형고도에 대한 산사태 발생 빈도는 고도

200~600m 범위에서 분포되었고, 특히 400m에서 500m 사이의 산사태 발생빈도가 전체의 35%로 가장 많은 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 김태환, "GIS를 이용한 산사태 위험지역 추출 기법", 공학석사 학위 강원대학교 대학원, 2006.
- [2] 박병수, 유남재, "집중호우시 산사태 원인분석에 관한 사례 연구", 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 제21권, A호, pp. 303~314, 2001.
- [3] Crozier, M. J., *Techniques for the Morphometric Analysis of Landslips*, Zeitschrift für Geomorphologie Dynamique, 17, pp. 78~101, 1973.
- [4] Hansen, M. J., *Strategies for Classification of Landslides*, In: D. Brunsten and D. B. Prior (Editors), Slope Instability. J. Wiley and Sons, New York, pp. 1~25, 1984.
- [5] Terzaghi, K., *Mechanism of Landslides*, Geological Society America, Berkely Volume, pp. 83~123, 1950.
- [6] Varnes, D. J., "Slope Movement Types and Processes". In: Schuster R. L. & Krizek R. J. Ed., *Landslides, Analysis and Control*. Transportation Research Board Sp. Rep. No. 176, Nat. Acad. of Sciences, pp. 11~33, 1978.
- [7] Zaruba Q. and Mencl V., *Landslides and Their Control*, Elsevier, New York, 1982.