

2006년 원주지역 산사태 발생특성

Characteristics of Landslide Occurrence in Wonju during 2006

유 남 재* 김 종 환** 최 준 식***
Yoo, Nam-Jae Kim, Jong-Hwan Choi, Joon-Sik

Abstract

This paper is results of analyzing characteristics of landslides occurred in Wonju, Gangwondo, around July, 16 in 2006, caused by heavy rainfall and antecedent precipitation by two typhoons of Ewiniar and Bilis.

The main causes of landslides were antecedent precipitation during July 8 to 15, resulting in weakening grounds by increasing the degree of saturation previously, and the heavy rainfall during July 15 to 16. Most of landslides in natural slopes were transitional failures occurred along the boundary between the residual weathered soil in shallow depth and the hard mother rock.

From results of conclusive analyses regarding 28 sites in Wonju region where landslides occurred, the slope length of landslide, the slope width, and the slope area were less than 50m with 71% of frequency, 20m with 79% of frequency and 300m² of 64% of frequency respectively. The average value of slope angle was 35°. The most probable direction of slope was found to be north because of topography and advancing direction of seasonal rain front.

키워드 : 원주, 집중강우, 산사태
Keywords : *Wonju, heavy rainfall, landslides*

1. 서론

여름철 태풍을 동반한 집중호우는 산사태의 발생확률을 높게 할 뿐만 아니라 인명과 재산 손실을 야기하는 직접적 원인이 되고 있다. 그리고 집중호우에 의해 발생한 사면재해는 대부분이 자연사면의 산사태에 기인되는 것이며, 큰 피해를 초래하는 것은 산사태가 예측할 수 없는 곳에서 순식간에 발생하여 다른 자연재해에 비해 예방이 쉽지 않기 때문이다. 산사태를 인위적으로 멈추게 할 수는 없지만, 산사태 발생 가능지역을 예측하고 피해

가 예상되는 지역에 적절한 예방시설을 설치하여 피해를 최소화 하도록 하여야 한다.

산사태를 일으키는 여러 영향인자의 기여도가 다르기 때문에 산사태 발생이나 피해 예상지역을 알아내는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 산사태는 지질 및 지형을 고려하여 강우 시 산지사면의 응력변화를 예측함으로써 그 발생 유형 및 특성을 파악할 수 있다. 우리나라 여러 지역에서 발생되었던 주요 산사태 자료들을 집대성하여 산사태와 관련된 다양한 인자의 특징을 분석하여 특성을 정확하게 파악한다면 자연사면에서의 산사태 예측 및 위험성평가가 가능해 질 것이다.

본 연구는 2006년 7월 집중호우에 의해 원주지역에 발생한 산사태에 대하여 재해대장을 기초자료로 하여 현황을 파악하고 현장 조사를 실시하여

* 강원대학교 토목공학과 교수
** 강원대학교 토목공학과 석사과정
*** 강원대학교 토목공학과 석사과정, 교신저자

산사태 DB를 구축하고 산사태 발생원인인 강우특성과 산사태 규모에 대하여 분석하였다. 분석 결과는 향후 산사태 발생 예측 및 예방의 기본 자료로 활용함으로써 피해를 최소화하기 위한 목적이다.

2. 산사태 발생 요인

산사태의 발생 요인으로는 크게 내적요인과 외적요인으로 나눌 수 있다. 집중호우는 산사태 발생의 외적요인이고, 지형조건, 토질특성은 산사태 발생의 내적요인에 해당한다(홍원표와 송영석, 2002). 집중호우로 인해 얇은 산사태가 발생하며, 충분한 선행강우로 인한 토양에 집중호우로 강우가 침투함으로써 일시적으로 부유대수층이 형성되고, 토양의 유효강도가 감소하고 얇은 산사태가 발생한다(Campbell, 1975). 최소강우는 산사태를 유발할 수 있는 가장 적은 양의 강우를 의미한다. 즉, 최소강우 이하일 경우 산사태는 발생하지 않는다. 최대강우는 경험적으로 반드시 산사태를 유발하는 강우량을 의미하며, 최소강우에서 최대강우로 갈수록 산사태 발생 가능성은 높아진다(Crozier, 1997).

지역적 특성을 고려한 지표틀 제시하여 우리나라를 중서부지역, 남부지역 및 영동지역으로 나누어 중서부지역은 연속강우량, 남부지역은 시강우량이 산사태 발생에 영향을 미치며, 영동지역은 연속강우량과 일강우량이 각각 비슷하게 산사태 발생에 영향을 미친다고 보고하였다(홍원표, 1990). 자연 사면의 형태는 지형에 의해서 결정되므로 지형은 사면파괴 분석 요소 중 가장 중요한 사면의 기하학적 형태를 결정해 줄뿐만 아니라 지표수 및 지하수의 집중, 분산, 이동에 크게 영향을 미치며 산사태 자체가 지형발달의 한 과정이므로 산사태 발생과 밀접히 연관되어 있다(Griffiths, 1990).

3. 유역별 현장조사

3.1 유역 대상선정 및 유역구분

재해대장에서 산사태발생지역을 보면 그 지역 전체에서 일관성 있게 분포하여 산사태가 발생한 것이 아니라 하천유역의 한 지류를 중심으로 하고 있는 유역에서 산사태가 분포하는 것을 알 수 있다. 산사태 발생에 다양한 자연조건이 영향을 주고 유역 형성은 그러한 자연조건에 의한 풍화 작용의 결과로 볼 수 있다. 산사태도 광역적 풍화작용 과정의 하나이므로 하천이 소재하고 있는 유역을 중심으로 분류하여 분석하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

산사태 현장조사는 GPS와 거리측정기, 클리노미터 등을 이용하여 현장 상세조사를 통해 각각의 폭, 침식깊이, 길이, 경사를 조사하였다.

또한, 산사태 발생 유역 구분 방법은 다음과 같

다.

1) 계곡부에서 발생한 산사태발생지역을 기준으로 주변의 능선을 폐합시켜 유역을 완성한다.

2) 능선 구분은 위성사진에서 계곡부와, 능선의 식생의 색의 차이로 구분할 수 있다. 또한 지형도의 등고선을 이용하여 구분할 수 있다.

그림 1은 Mapsource(GPS)를 이용하여 원주지역의 산사태 발생위치를 지형도에 도시한 것이다.

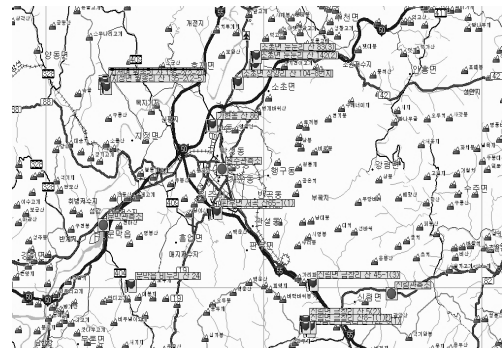


그림 1 원주시 산사태 발생 위치도

3.2 DB구축

유역별 현장조사결과를 바탕으로 총 28개소의 산사태 발생부에 대해서 산사태 발생 DB를 구축하였다.

산사태 발생 DB의 구조는 표 1과 같으며, GPS 좌표는 발생부의 위도와 경도를 WGS84좌표계로 정리하였다. 발생부의 파괴형태는 평면파괴, 쉘기파괴, 원호파괴, 복합파괴, 계곡침식으로 나누어 조사하였다. 또한 사면길이, 사면폭, 면적, 경사, 방위 등을 산사태 발생 지점별로 분류하였다.

표 1 산사태 발생 DB

행정 구역	개 소	발생좌표		길이 (m)	폭 (m)	면적 (m ²)	경사 (°)	방 위
		N	E					

4. 현장조사 결과

원주지역 산사태 발생지역은 총 28개소로서 유역별로 이리천(지정면14개소), 주포천(신림면5개소), 섬강(소초면4개소)유역으로 구분하였고, 판부면(2개소), 문막읍(1개소), 홍업면(1개소), 가현동(1개소)는 유역으로 구분하기 어려워 기타지역으로 구분하였다.

표 2와 그림 2는 유역별 산사태 발생현황을 나타낸 것으로 이리천유역이 전체의 50%로 절반의 피해가 이리천 유역에서 발생하였다.

표 2 유역별 산사태 발생현황

이리천	주포천	섬강	기타
14	5	4	5

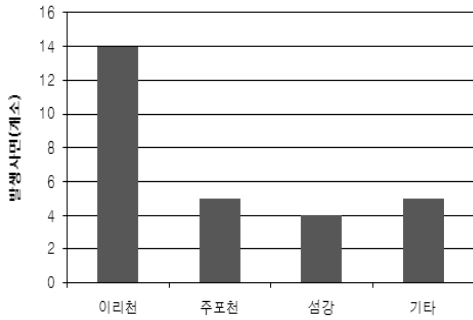


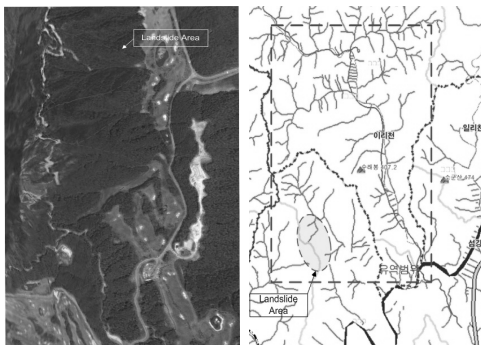
그림 2 유역별 산사태 발생현황

4.1 이리천 유역

이리천은 지방2급 하천으로 남북방향으로 하천 지류가 위치하며 강원 횡성 서원을 중심으로 섬강과 합류한다. 유로 연장은 19.8km이고, 유역면적은 78.47km²이다. 그림 3은 이리천 유역도와 이리천 수계도를 나타낸 것이다. 이리천 유역 내에서는 총 14개소의 산사태 피해가 발생하였다.

정밀현장조사 결과 이리천 유역의 산사태 발생 사면길이는 10~457m의 범위 이고, 폭은 9~40m, 면적은 100~11000m², 경사는 약 30~35°이다. 산사태는 대부분 3,000m²이하의 소 붕괴지 지역이다. 산지 지형은 남북으로 형성되어 전체적인 산사태 사면 방위가 동향을 나타낸다.

경사에 따라 산사태 피해 규모가 항상 크게 발생하는 것은 아니며, 그 유역의 지형적 특성 또한 산사태 발생에 영향을 준 것으로 판단된다.



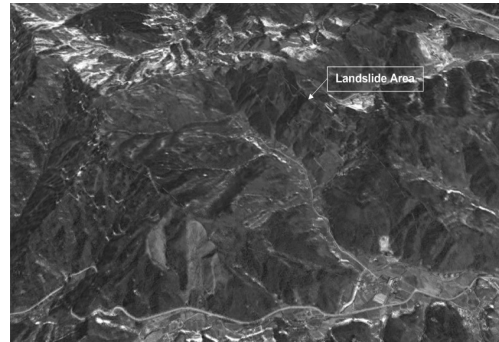
(a) 유역도 (b) 수계도
그림 3 이리천 유역

4.2 주포천 유역

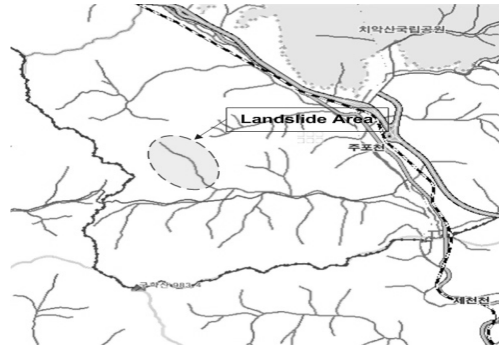
주포천은 원주 신림면을 기점으로 용암리 충북도계를 중심으로 북서쪽에서 남동쪽으로 뻗어있는 지방 2급 하천이다. 유로 연장은 14.5km이고, 유역면적은 83.15km²이다.

그림 4는 주포천유역의 산사태 발생범위와 주포천 유역도를 나타낸다. 주포천 유역 신림면 일대의 산사태 발생지역으로 5개소의 산사태가 발생하였다. 산지 지형은 북서쪽에서 남동쪽으로 나타난다.

정밀 현장조사 결과 길이는 14~50m이고, 사면 폭은 4~14m, 사면면적은 100~500m², 경사는 10°~45°로 나타났다. 주포천 유역 산사태 면적은 500m²이하의 소붕괴지 지역이며, 산지 지형과 주포천 지류가 북서쪽에서 남동쪽으로 위치하고 있고 발생 사면의 방위는 전체적으로 남향을 나타낸다.



(a) 유역도



(b) 수계도

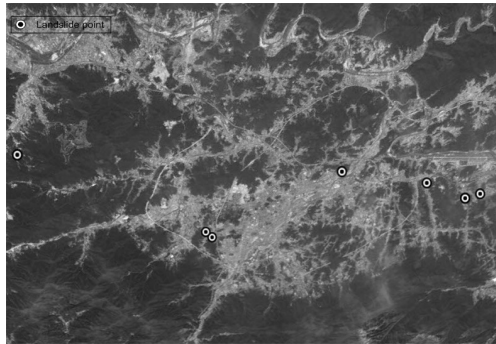
그림 4 주포천 유역

4.3 섬강 유역

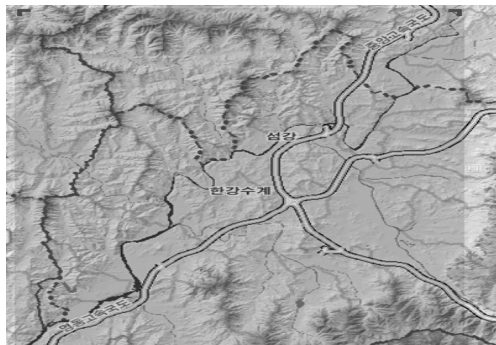
섬강은 국가하천으로 횡성 금계천을 시작으로 경기 여주 강천을 중심으로 한강과 합류한다. 유로 연장은 92.6km이고, 유역면적은 1479.5km²이다. 그림 5는 섬강 유역에 발생한 산사태위치를 위성사진에 나타낸 것과 섬강 유역도를 나타낸다. 섬강

유역 범위 안에서 발생한 산사태 발생 현황으로 4개소의 산사태 피해가 발생하였다.

산사태 발생 사면길이는 3~66m이고, 폭은 4~50m, 면적은 100~1700m², 경사는 20°~45°이다. 섬강유역 역시 소봉괴지 지역으로 소규모의 산사태가 발생하였다. 발생사면의 방위는 주로 서향을 나타낸다.



(a) 산사태 발생위치



(b) 수계도
그림 5 섬강 유역

4.4 기타 유역

산사태 발생수가 적은 곳을 기타유역으로 분류하였고, 기타유역에서의 산사태 발생현황으로 판부면 2개소, 문막읍 1개소, 흥업면 1개소, 가현동 1개소로 총 5개소로 길이는 3~40m, 폭은 10~400m, 면적은 400m²이하로 소규모붕괴지이다. 사면경사는 45°로 급경사를 나타낸다.

5. 산사태 발생 특성

5.1 지질현황

그림 6은 원주 도폭으로 이리천, 주포천, 섬강 유역 일대의 지질현황을 나타내고 있다.

이리천, 주포천, 섬강 유역 등 원주 서부지역으

로 지질현황은 산능선이 남북 방향을 이루며 급경사를 나타낸다. 서부 지역은 풍화 침식에 강한 석영암암과 중립 및 세립의 화강암류가 분포하고 있기에 높은 지형을 형성한다.

동부는 조립질의 반상석리를 갖는 흑운모화강암이 분포하고 있는데 그 구성광물중 하나인 조립 흑운모가 화학적 풍화작용에 약하므로 쉽사리 풍화를 받아 암석 전체가 부스러지게 되고 여기에 절리면에 따른 기계적 풍화작용이 가세되어 풍화 침식이 보다 활발히 일어나 저지형을 이루고 있는 것으로 여겨진다.

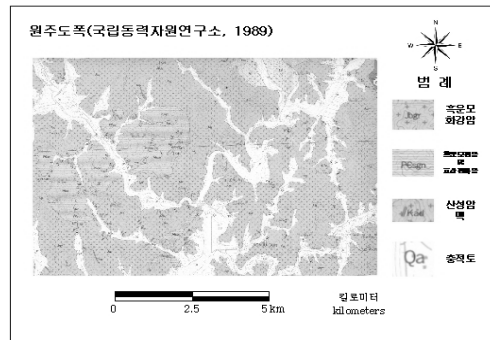
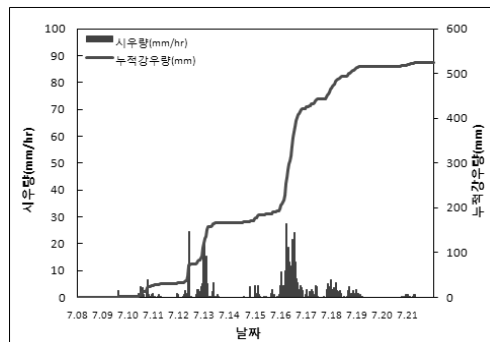


그림 6 원주도폭

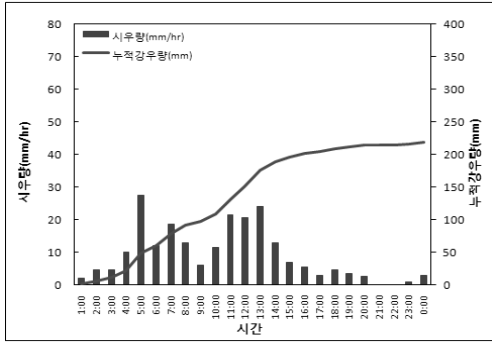
5.2 강우특성

5.2.1 이리천 유역

이리천 유역 근처에 가장 근접한 강우량 관측소로 문막 관측소를 선정하였다. 그림 7 (a)는 7월 8일~21일 누적강우량으로 이리천 유역 범위에서의 집중호우로 시우량-누적강우량 간의 관계를 나타낸 것이다. 7월 16일에 최대시우량은 27.5mm/hr, 산사태 발생 전 7월 8일~15일 8일간의 누적강우량은 207mm이다. 그림 7 (b)는 7월 16일 일일강우량으로 16일 일일강우량은 218.5mm/day이다.



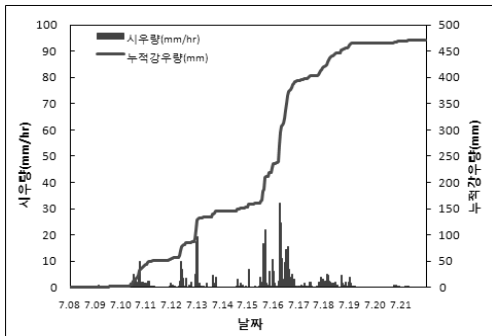
(a) 7월 8일~21일 누적강우량



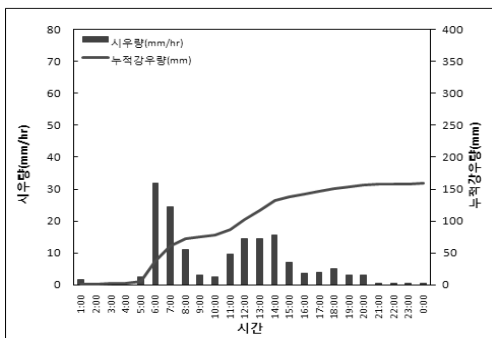
(b) 7월 16일 일일강우량
그림 7 문막 관측소

5.2.2 주포천 유역

주포천 유역 근처에 가장 근접한 강우량 관측소로 신림 관측소를 선정하였다. 그림 8 (a)는 7월 8일~21일 누적강우량으로 주포천 유역 범위에서의 집중호우로 시우량-누적강우량 간의 관계를 나타낸 것이다. 7월 16일 최대시우량은 32mm/hr, 산사태 발생 전 7월 8일~15일 8일간의 누적강우량은 235mm이다. 그림 8 (b)는 7월 16일 일일강우량으로 159mm/day이다.



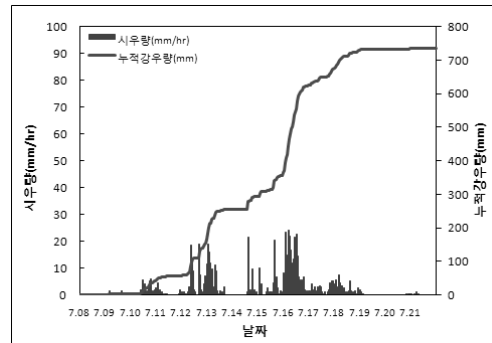
(a) 7월 8일~21일 누적강우량



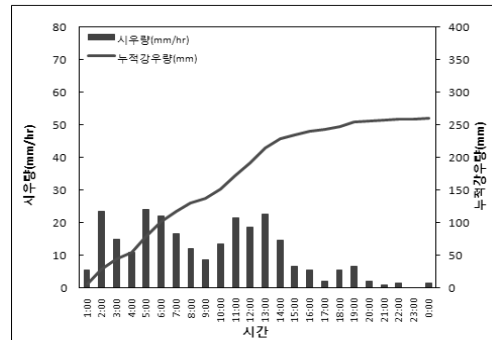
(b) 7월 16일 일일강우량
그림 8 신림 관측소

5.2.3 섬강 유역

섬강 유역 근처에 가장 근접한 강우량 관측소로 소초 관측소를 선정하였다. 그림 9 (a)는 7월 8일~21일 누적강우량으로 섬강유역 범위에서의 집중호우로 시우량-누적강우량 간의 관계를 나타낸 것이다. 7월 16일에 최대시우량은 24mm/hr, 산사태 발생 전 7월 8일~15일 8일간의 누적강우량은 364.5mm이다. 그림 9 (b)는 7월 16일 일일강우량으로 260.5mm/day이다.



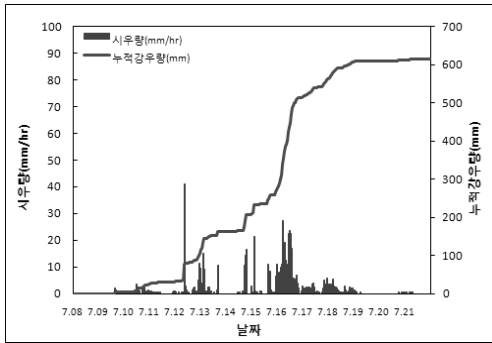
(a) 7월 8일~21일 누적강우량



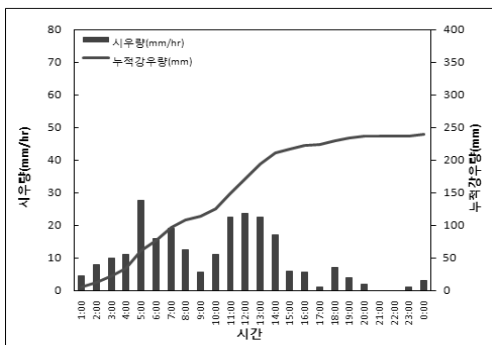
(b) 7월 16일 일일강우량
그림 9 소초 관측소

5.2.4 기타 유역

기타유역내의 관측소로 원주 관측소를 선정하였다. 그림 10 (a)는 7월 8일~21일 누적강우량으로 원주관측소 범위에서의 집중호우로 시우량-누적강우량 간의 관계를 나타낸 것이다. 7월 16일에 최대시우량은 27.5mm/hr, 산사태 발생 전 7월 8일~15일 8일간의 누적강우량은 277mm이다. 그림 10 (b)는 7월 16일 일일강우량으로 240mm/day이다.



(a) 7월 8일~21일 누적강우량



(b) 7월 16일 일일강우량
그림 10 원주 관측소

집중호우기간의 기상자료를 기상청과 수자원관리 종합정보시스템 자료를 바탕으로 각 유역에 해당되는 강우 관측소를 선정하였다. 표 3은 산림청에서 제시한 우리나라의 산사태 예보기준이다.

표 3 산사태 예보 기준치(산림청)

기 관	구 분	산사태 주의보	산사태 경보
산림청	시우량	20~30	30이상
	일일강우량	80~150	150이상
	연속강우량	100~200	200이상

유역별 최대시우량, 일일강우량, 누적강우량의 상관관계를 분석한 결과 산사태 발생 전 누적강우량에 의한 지반의 포화가 증가하였고, 7월 8일~21일의 집중호우 기간 중 16일에 가장 많은 일일강우량과 최대시우량의 영향으로 대부분의 산사태 발생은 16일에 발생하였다.

표 4는 연구지역의 유역별 강우량 분석결과로 일일강우량 평균은 원주지역은 219.5mm/day, 이다. 최대시우량 평균은 원주지역 27.7mm/hr, 이다. 산사태 발생 전 7월 8일~15일 8일간 누적강우량

은 원주지역 270.8mm이다.

표 4 유역별 강우량 분석결과

구분	원주			
	이리천	주포천	섬강	원주
산사태 발생 일일강우량(mm/day)	218.5	159	260.5	240
산사태 발생당일 최대시우량(mm/hr)	27.5	32	24	27.5
산사태 발생전 8일간 누적강우량(mm)	207	235	364.5	277

표 3과 표 4에서의 유역별 강우량 분석 결과를 바탕으로 산사태 발생일의 일일강우량과 최대시우량의 관계를 그림 11에 나타내었고, 그림 12는 일일강우량과 누적강우량의 관계를 나타낸 것이다.

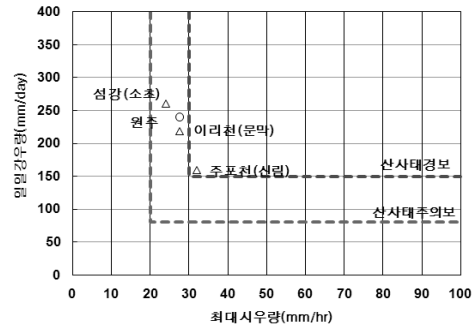


그림 11 일일강우량-최대시우량

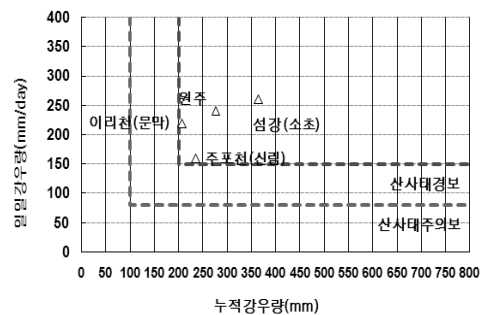


그림 12 일일강우량-누적강우량

강우분석결과 원주 지역에서 일일강우량-최대시우량의 관계는 주포천 유역만, 산사태 경보에 포함되었고, 다른 유역은 산사태 주의보에 포함되었다. 일일강우량-누적강우량의 관계는 원주 지역 모든 유역에서 발생 당일 산사태 경보 범위 내에 포함된다.

따라서 원주유역에서는 일일강우량, 최대시우량,

누적강우량 모두 높지만, 산사태 발생은 누적강우량에 의한 것으로 판단된다.

5.3 기하특성

본 연구 대상지역인 원주에서 발생한 산사태는 총 28개소로 산사태가 발생한 정상부의 시점에서 산사태 종결까지의 사면 경사길을 측정하여 연구 대상지역의 집중 호우에 따른 산사태 사면길이 별 발생빈도는 그림 13과 같이 나타났다. 그 결과 사면길이는 50m이하의 발생빈도가 전체의 71%(20개소/28개소)로 나타났다.

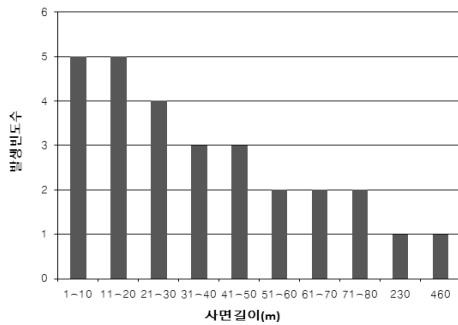


그림 13 산사태 사면길이와 빈도와의 관계

산사태가 발생한 사면폭에 대한 발생 빈도는 그림 14와 같고, 그 결과 20m이하의 발생빈도가 전체의 79%(22개소/28개소)로 가장 많은 발생빈도를 보였다.

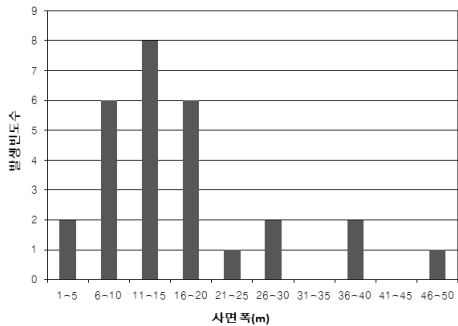


그림 14 산사태 사면폭과 빈도와의 관계

산사태가 발생한 사면면적에 대한 발생 빈도는 그림 15와 같고, 그 결과 300m²이하의 발생빈도가 전체의 64%(18개소/28개소)로 가장 많은 발생빈도를 보였다.

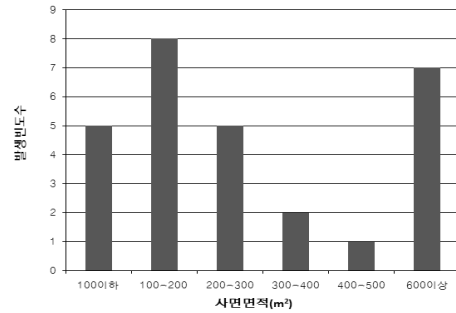


그림 15 산사태 사면면적과 빈도와의 관계

산사태가 발생한 사면경사에 대한 발생 빈도는 그림 16과 같이 10°~50°까지 다양한 분포를 보였으며, 그 결과 31°~40°에서 50%(14개소/28개소)로 가장 많은 발생빈도로 나타났다. 산사태 발생경사의 평균경사는 32°로 나타났다.

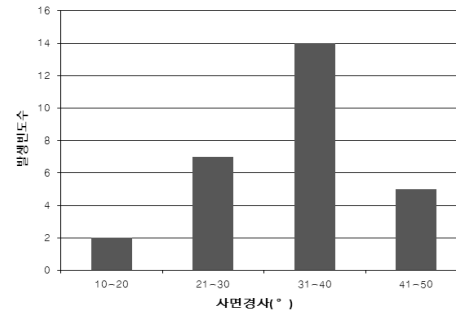


그림 16 산사태 사면경사와 빈도와의 관계

산사태 발생사면의 경사방향은 그림 17 에서와 같이 북향(N), 북동향(NE)이 각각 6개소 발생하였고, 전체의 43%(12개소/28개소)이다. 그 다음으로 북서향(NW)이 17%(5개소/28개소)로 나타났다. 원주지역의 경사방향에 따른 산사태 발생은 전체적으로 보면 북향 방향이 주를 이룬다. 그 원인으로 산지지형이 원인으로 판단되며, 원주 유역 일대의 산지지형이 동서 방향의 형태로 나타났다.

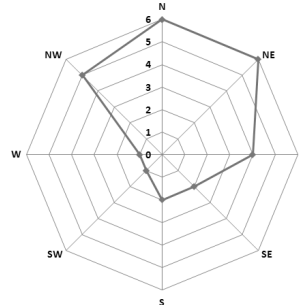


그림 17 경사방향 별 산사태 발생 빈도

6. 결론

본 연구에서는 2006년 7월 8일~21일에 발생한 집중호우에 의해 원주지역에 발생한 붕괴사면 현장에 대한 현장 조사결과를 바탕으로 산사태 유발 강우상태, 지형조건과 발생양상 및 기하특성 등을 종합적으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 산사태 발생 특성 분석을 위하여 하천 소재 유역별 분석이 적합한 것으로 판단된다.

(2) 원주일대 유역에서의 7월 16일 일강우량은 219.5mm/day, 최대시우량은 27.7mm/hr, 산사태 발생전(7월 8일~15일) 8일간 누적강우량은 270.8mm가 발생하였고, 단기간 집중적으로 발생한 강우로 인한 것으로 판단된다.

(3) 강우량 관측소별 강우량 특성을 비교한 결과 일일강우량, 누적강우량, 최대시우량 모두 산사태 발생에 영향을 주지만, 원주일대 유역 산사태 발생은 누적강우량에 의한 것으로 판단된다.

(4) 산사태 발생은 전이형 산사태로 유역별로 붕괴 형태의 차이를 보이고 있지만, 전체적인 산사태 발생 기하특성으로 사면길이는 50m이하, 사면폭은 20m이하, 사면면적은 300m²이하, 평균사면경사는 32°이하, 경사방향은 북향으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호#08지역기술혁신 B01-01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 홍원표, 사면안정(VIII), 한국지반공학회지, 제 6권, 제3호, pp.88-98, 1990.
- [2] 홍원표, 송영석, “우리나라에서의 사면안정 대책공법 적용사례연구”, 사면안정학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 1~28, 2002.
- [3] Campbell, R. H., “Soil Slips, Debris Flows, and Rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California”, *US Geological Survey*, Reston, VA, USGS Professional Paper 851, pp. 51, 1975.
- [4] Crozier, M. J., *The Climate-landslide Couple : A Southern Hemisphere Perspective*. In: J. A. Matthews, D. Brunnsden, B. 1997.
- [5] Griffiths, J. S. and Hearn, G. J., *Engineering Geomorphology*, Bull. of Engineering Geology, 42, pp. 39~44, 1990.