

2006년 횡성지역 산사태 발생특성

Landslide characteristics for Hoengseong area in 2006

유남재¹ · 최준식²Nam-Jae Yoo¹ and Joon-Sik Choi²

(Received March 5, 2011 / Revised April 5, 2011 / Accepted April 20, 2011)

요 약

본 논문은 강원도 횡성지역에서 집중호우와 태풍 에위니아, 빌리스의 선행강우에 의해 2006년 7월 16일에 발생한 산사태 피해 발생 원인과 특성에 대하여 분석한 결과이다. 산사태 발생의 직접적인 원인은 7월 12일~13일의 선행강우로 지반의 포화도가 증가된 상태에서 7월 15일~16일의 집중호우로 인해 피해가 발생한 것으로 확인되었다. 자연 사면의 산사태 유형은 얇은 심도의 풍화잔류토층과 기반암의 경계면에서 활동이 진행되는 전이형 사면활동으로 확인되었다. 횡성지역에서 발생한 100개소에 대한 자료의 종합적인 분석 결과, 산사태 발생의 사면길이는 100m이하(87%), 사면 폭은 30m이하(74%), 평균사면경사는 24°로 나타났다.

주제어: 횡성, 집중호우, 산사태

ABSTRACT

This paper presents the landslide characteristics occurred in Hoengseong, Gangwondo and 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 between July 12 to 13, resulting in weakening grounds by increasing the degree of saturation previously, and the additional heavy rainfall between July 15 to 16. Most of landslides at natural slopes were transitional failures occurred along the boundary between residual weathered soil in shallow depth and hard mother rock. From the results of conclusive analyses for 100 sites in Hoengseong region where landslides occurred, the slope length of landslide and slope width were less than 100m with 87% of frequency and 30m with 74% of frequency, respectively. The average value of slope angles was 24°.

Key words: Hoengseong, Heavy Rainfall, Landslides

1. 서론

최근 들어 나타나는 국지성 집중호우의 강우 형태는 많은 산사태를 유발시켜 매년 인명과 재산상의 피해를 초래한다. 특히 산사태 및 사면붕괴는 다량의 토석 및 암석 등이 계곡부를 따라 이동하는 것으로 실제로 정확한 발생시기와 발생 규모를 예측한다는 것이 매우 힘들다.

우리나라에서 발생하는 낙석·산사태 및 토석류 등 비탈면 관련 재해는 주로 집중호우와 태풍의 영향으로 7~9월에 집중적으로 발생하며, 자연 비탈면 및 건설공사 비탈면에서의 낙석·산사태로 막대한 재산피해를 초래하고 있다(박남선,

2008). 그 피해 중 2006년 태풍에 의한 집중호우로 전국적으로 인명피해 총 61명, 재산피해는 총 2조 1485억원으로 산정되었고, 특히 산지가 많은 강원지역에서 많은 피해가 발생하였다(건설교통부, 2006).

2006년 7월에 발생한 강우는 산악지역의 강원도에서 국지성 집중호우형태로 나타나 유역면적이 작은 중소하천에 큰 피해를 가져왔다(김중원 등, 2006). 이러한 집중호우에 의한 산사태 발생의 주요한 원인은 서남쪽에서 접근해 오는 장마전선이나 태풍의 영향으로 볼 수 있다. 태백산맥이 장마전선이나 태풍의 진로를 가로막아 그 진행속도를 느리게 하여, 함유하고 있는 많은 습기가 집중호우를 내리게 하기 때문이다

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호#08지역기술혁신 B01-01)에 의해 수행된 결과를 바탕으로 작성한 것임.

1) 강원대학교 토목공학과 교수(주저자: njyoo@kangwon.ac.kr)

2) 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정(교신저자: finksel@naver.com)

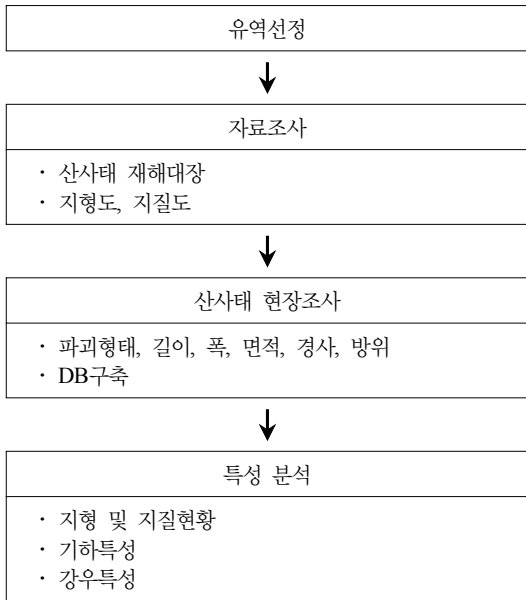


그림 1. 연구진행 흐름도

(박남선, 2008). 이와 같이 산사태 발생 원인을 국지적인 집중호우로 언급하고 있지만, 그와 관련하여 보다 명확한 원인 분석이 필요하다.

이와 같이 산사태 발생여부는 강우와 지역적 특성인 지형 및 지질 조건 등과 관련도가 매우 높으므로, 그 지역의 강우 기록과 지형 및 지질에 관한 자료를 바탕으로 산사태 발생현황 자료와 연계하여 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 2006년 7월 집중강우와 태풍 예위니아, 빌리스의 동반 작용에 의해 발생한 강원도 횡성지역의 산사태 현황 분석에 대하여 그림 1과 같은 연구 절차로 자료 수집과 현장조사를 실시하고 DB를 구축하였다. 산사태 발생 특성을 지형 및 지질현황, 발생유형, 기하특성, 강우특성 등의 관점에서 종합적으로 분석하였다.

2. 유역별 현장조사

재해대장에서 산사태발생지역의 분포현황을 조사하여 보면 그 지역 전체에 고르게 분포하지 않고 하천유역의 지류를 중심으로 분포하는 것을 알 수 있었다. 하천 유역은 강우, 지형, 지질 등 다양한 자연조건에서 형성된 풍화작용의 산물이고, 산사태도 광역적 풍화작용 과정의 하나이므로 산사태 분포 현황을 하천이 위치한 유역을 중심으로 분류하여 분석하는 것이 적절하다고 판단된다.

유역 구분 방법은 계곡부에서 발생한 산사태발생 지역을 기준으로 주변의 능선을 폐합시켜 유역을 완성한다. 능선 구분은 위성사진에서 계곡부와, 능선의 식생 색의 차이로 구분할 수 있다. 또한 지형도의 등고선을 이용하여 구분할 수 있다.

따라서 연구지역인 횡성지역의 산사태 발생지역은 총 100



그림 2. 횡성군 수계도

표 1. 산사태 발생 DB

행정 구역	발생 좌표		길이 (m)	폭 (m)	면적 (m ²)	경사 (°)	경사 방향	파괴 형태
	N	E						

표 2. 현장조사 결과

유역	길이 (m)	폭 (m)	면적 (m ²)	경사 (°)	경사 방향
① 석문천	8.75~50	5~50	75~9100	21~34	서향
② 주천강	5~30	5~200	35~5800	21~48	서향
③ 계천	20~550	7~40	98~11000	18~39	북향
④ 상안천	7~250	10~200	100~6000	13~29	북향
⑤ 대관대천	20~250	2~17	125~4250	18~27	서향

개소로서 석문천(둔내면31개소), 주천강(둔내면16개소), 계천(청일면29개소), 상안천(안흥면17개소), 대관대천(갑천면7개소)유역으로 그림 2와 같이 5개 유역으로 구분하여 현장조사를 실시하였다.

유역별 현장조사결과를 바탕으로 횡성지역의 총 100개소 현장에 대해서 산사태 DB를 구축하였다. 산사태 발생 DB의 구조는 다음 표 1과 같이 발생좌표는 WGS84좌표계로 정리하였고, 사면길이, 사면폭, 면적, 경사, 경사방향 등을 산사태 발생 지점별로 분류하였다. 파괴형태는 평면파괴, 썩기파괴, 원호파괴, 복합파괴, 계곡침식으로 나누어 조사하였다. 각 유역별 현장조사 범위의 결과는 표 2와 같다.

3. 산사태 발생 특성

3.1 지형 및 지질현황

그림 3은 횡성군 지형도 및 지질도로서 횡성지역을 둘러싸

고 있는 산지들은 직선상이고, 전체적으로 완사면을 이루는 것은 편마암, 화강암지대 특유의 산지지형의 특색을 나타내며, 예리한 산능은 만장년기의 지형적 특징을 보여주는 것이다. 산사태 발생지역에 넓게 분포하는 조립질 흑운모화강암은 화학적 풍화작용에 약하므로 쉽사리 풍화를 받아 암석 전체가 부스러지게 되고, 절리면에 따른 기계적 풍화작용으로 풍화 침식이 보다 활발하다(원종관 외, 1989; 홍승호 외, 1995).

횡성지역에 발생한 산사태는 대부분 임도나 임도 옆 자연 사면에서 발생하였다. 산사태 파괴형태는 대부분 전이형 산사태(translational slide)로 시작되어 사면하부로 이동하면서 산사태 물질이 유역 내 계곡을 따라 흘러내린 형태로 변환되는 유동성 산사태 양상을 보였다.

즉, 횡성지역은 풍화 침식이 활발한 지역으로 풍화토나 잔류토의 투수성이 비교적 양호하여 집중호우시 최대시우량과 일강우량에 취약한 특성을 이루고 있으며, 산사태 유형은 전이형 산사태로 토층과 기반암과의 경계면을 따라 잔류토나 붕괴토로 구성된 토층이 붕괴되었다. 토층두께가 약 0.5m 이하로 붕괴 토층이 얇은 화강암 산지지형의 산사태로 나타났다.

3.2 기하특성

본 연구 대상지역인 횡성지역에서 발생한 산사태는 총 100개소로 집중 호우에 따른 산사태 사면길이, 사면 폭을 발생빈도로 구분하여 그림 4와 같이 나타냈다. 사면길이는 산사태 발생부의 시작 지점부터 퇴적부의 시작 지점까지의 거리를 말하며, 사면 폭은 전체길이를 대상으로 평균하여 나타낸 것이다.

그 결과 그림 4 (a)와 같이 전체적인 산사태 발생 사면길이는 5m~550m의 범위를 보였고, 10m 길이등급으로 구분하였을 경우 100개소 중 11m~20m가 23%(23개소)로서 가장 높은 발생빈도를 나타냈고, 다음으로 1m~10m와 21~30m가 각각 15%(15개소), 14%(14개소)로 나타났다. 100m이하의 산사태가 87%(87개소)로 비교적 길이가 짧은 소규모 산사태가 많이 발생되었다.

사면 폭은 그림 4 (b)와 같이 2m~200m의 범위를 보였고, 사면길이와 비슷한 양상으로 11m~20m의 범위가 34%(34개소)로 가장 많은 발생 빈도를 나타냈고, 1m~10m와 21m~30m의 범위가 각각 27%(27개소), 13%(13개소)로 나타났다.

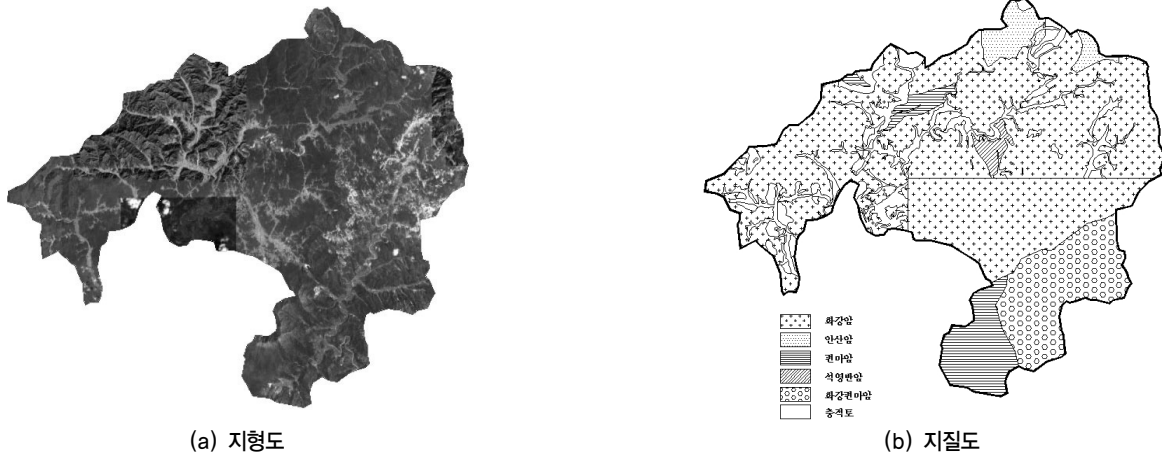


그림 3. 횡성군 지형도 및 지질도

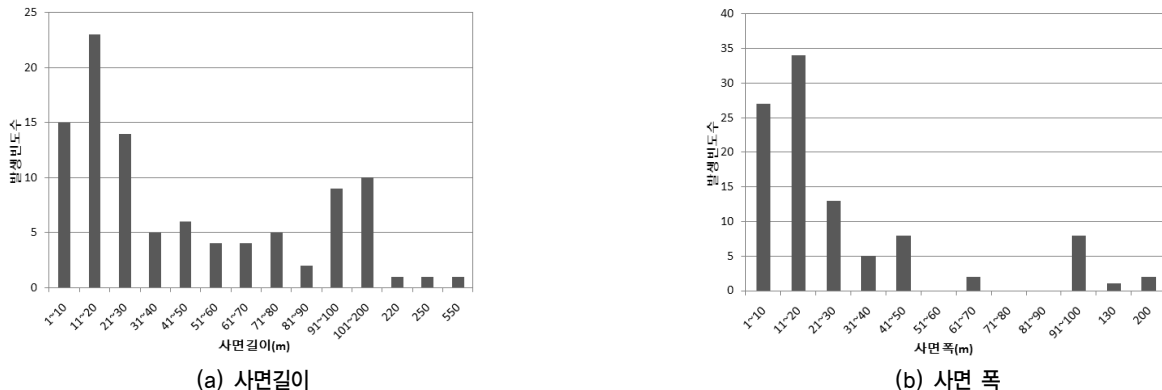


그림 4. 산사태 규모에 따른 발생빈도

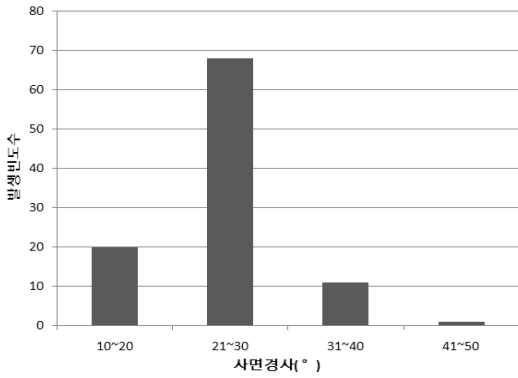


그림 5. 산사태 사면경사에 따른 발생빈도

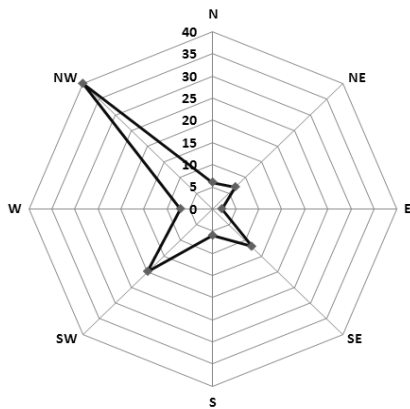


그림 6. 산사태 경사방향에 따른 발생빈도

그 결과 30m이하에서의 발생빈도가 전체의 74%(74개소/100개소)로 가장 많은 발생빈도를 보였다.

산사태가 발생한 사면경사에 대한 발생 빈도는 그림 5와 같이 10°~50°까지 다양한 분포를 보였다. 사면경사 20°까지는 20%(20개소)로 발생빈도가 낮은 편이고, 21°~30°범위에서 68%(68개소)로 가장 많은 발생빈도로 보였으며, 30°이상에서는 급격히 감소하였다. 산사태 발생경사의 평균경사는 24°로 나타났다.

산사태 발생사면의 경사방향은 그림 6에서와 같이 북서향(NW), 남서향(SW)이 각각 전체의 40%(40개소), 20%(20개소)로 나타났다. 경사방향에 따른 산사태 발생은 전체적으로 보면 서향 방향이 주를 이룬다. 그 원인은 산사태 발생지역의 유역을 포함하는 산지형이 대부분 남북 방향의 형태이기 때문이다.

3.3 강우특성

3.3.1 집중호우

2006년 7월에 발생한 호우는 7월 9일 경에 시작하여 7월 29일까지 약 21일 동안 장기간에 걸쳐 전국에 걸쳐 발생하였다.

횡성지역 산사태 발생의 원인이 되는 집중호우는 2가지로 구분되는데 7월 9일 미국 괌 부근 해상에서 발생한 태풍 빌리스(Bilis)가 대만 쪽으로 접근함에 따라 남쪽에서 올라온 수증기와 태풍 에위니아(Ewinia)가 남긴 수증기가 합쳐져 12일~13일 사이에 집중호우가 발생하였고, 15일 중국 화남지방에 상륙한 태풍 빌리스가 열대저기압으로 변질된 후, 막대한 양의 수증기가 14일부터 남하하고 있는 장마전선에 공급되어 7월 14일~21일에 걸쳐 집중호우를 야기하였다.

이 호우의 원인은 장마전선이 태풍 에위니아로부터 수증기를 공급받아 활성화 되었고, 태풍 에위니아가 빠져나가면서 남하한 장마전선이 다시 태풍 빌리스로부터 수분을 공급받아 활성화되었다. 또한 중국으로 유입된 수증기가 태백산맥에 가로 막혀 빠져나가지 못하고 국지성 집중호우가 발생하였다(건설교통부, 2006).

3.3.2 강우와 산사태

우리나라 산사태의 발생요인 중 가장 큰 요인은 강우임을 예측 할 수 있으며(최경, 1986), 우리나라에서 발생하였던 산사태 발생위치와 강우강도를 분석해 본 자료에 의하면 우리나라는 어느 한계이상의 강우가 있으면 거의 전국 어디에서나 산사태가 발생할 수 있다. 또한, 거의 공통적으로 2일 누적강우량이 200mm이상이거나, 최대시우량이 30mm이상이면 한 지역의 여러 곳에서 수많은 산사태가 발생한 것으로 보고되었다(홍원표 외, 1990). 부산 문현동 산사태의 조사 자료에 의하면 강우로 인한 지반활동은 1, 2주 지속되는 누적강우량보다 1, 2일의 누적강우량이 활동을 일으킬 수 있는 결정적인 인자가 된다는 것을 제안하였다(우보명 외, 1985).

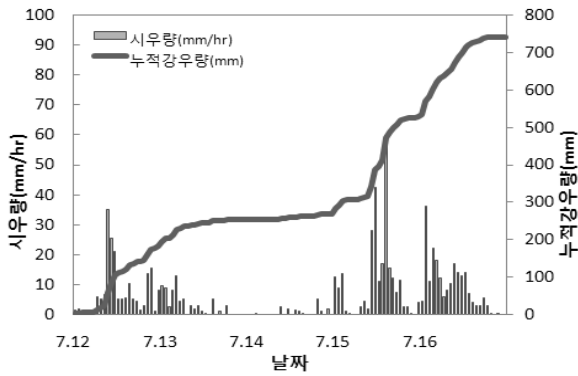
이와 같이 최대시우량, 1일강우량, 2일 누적강우량이 산사태 발생 여부를 예측할 수 있는 중요한 지표이다.

본 연구에서는 산사태 밀집지역으로부터 가장 가까이에 위치한 청일, 안흥, 횡성관측소의 강우자료 중 최대시우량, 1일강우량, 2일 누적강우량에 대한 각 관측소별 자료를 산사태 발생일 기준으로 검토하였다.

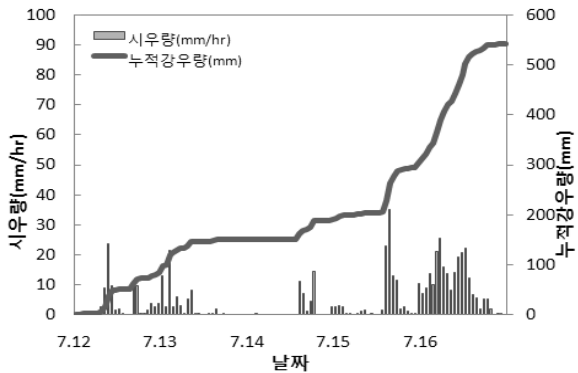
먼저 석문천, 계천, 주천강 유역에서 발생한 산사태는 76개소이며, 강우량 자료는 석문천, 계천, 주천강 유역과 가장 근접한 청일 관측소에서 수집하였다. 상안천 유역에서 발생한 산사태는 17개소이며, 강우자료는 안흥 관측소에서 수집하였다. 대관대천 유역에서 발생한 산사태는 7개소이며, 강우자료는 횡성 관측소에서 수집하였다.

그림 7은 7월 12일~16일간의 시우량-누적강우량 간의 관계를 나타낸 것이다. 종축의 왼쪽은 시우량을 막대로 표시하였고, 오른쪽은 누적강우량을 실선으로 나타내었다.

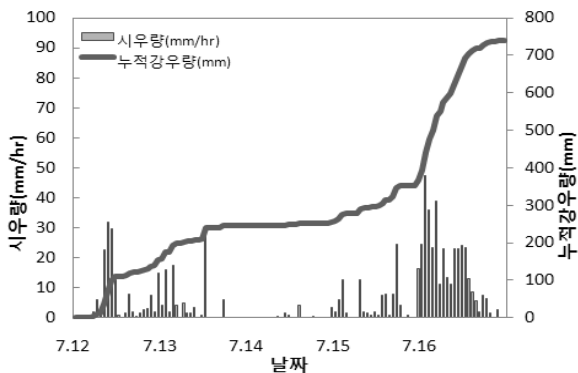
그림 7 (a)의 청일관측소 결과를 보면 발생일 7월 16일의 최대시우량은 59mm/hr로 나타났다. 7월 16일의 1일강우량은 212.5 mm/day로 나타났으며, 1일강우량 중에서 181.5mm의



(a) 청일관측소



(b) 안흥관측소



(c) 황성관측소

그림 7. 시우량-누적강우량(2006.07.12~16)

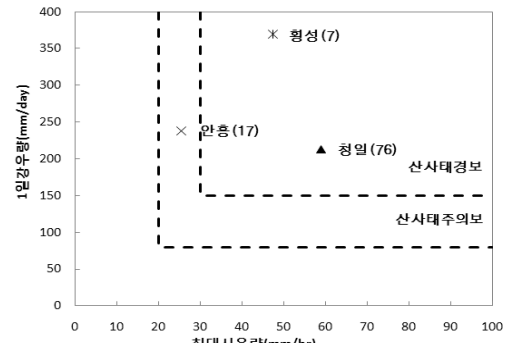
강우가 2시~13시 사이에 12시간 동안 집중되었다. 산사태 발생 전 7월 14일~15일 2일간 누적강우량은 275mm의 강우로 나타났다.

그림 7 (b)의 안흥관측소 결과를 보면 발생일 7월 16일의 최대시우량은 25.5mm/hr로 나타났다. 7월 16일의 1일강우량은 238mm/day로 나타났으며, 1일강우량 중에서 195mm의 강우가 3시~14시 사이에 12시간 동안 집중되었다. 산사태 발생 전 7월 14일~15일 2일간 누적강우량은 154.5mm의 강우로 나타났다.

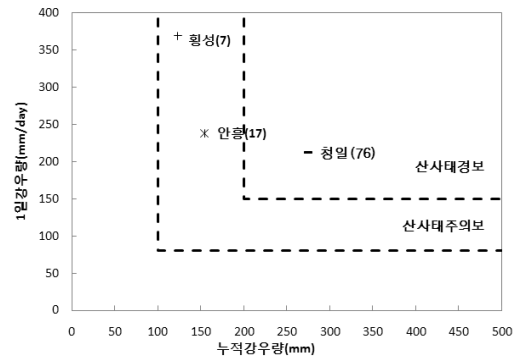
그림 7 (c)의 황성관측소 결과를 보면 발생일 7월 16일의 최대시우량은 47.5mm/hr를 나타냈다. 7월 16일의 1일강우량은

표 3. 산사태 예보 기준치(산림청, 1993)

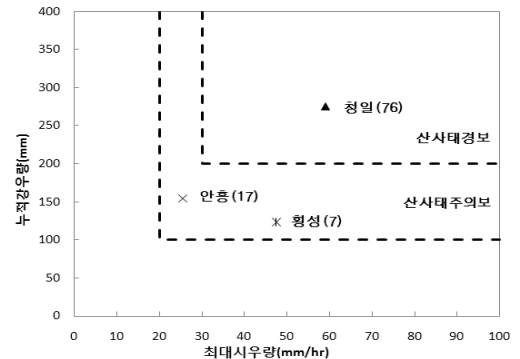
기관	구분	산사태 주의보	산사태 경보
산림청	최대시우량 (mm/hr)	20~30	30이상
	1일강우량 (mm/day)	80~150	150이상
	2일 누적강우량 (mm)	100~200	200이상



(a) 1일강우량-최대시우량



(b) 1일강우량-누적강우량



(c) 최대시우량-누적강우량

그림 8. 강우와 산사태 기준과의 관계

은 369.5mm/day로 나타났으며, 1일강우량 중에서 352mm의 강우가 24시~14시 15시간 동안 집중되었다. 산사태 발생 전 7월 14일~15일 2일간의 누적강우량은 123.5mm의 강우로 나타났다.

표 3은 우리나라 산림청에서 산사태 예보를 위한 기준치로

산사태 주의보, 경보 기준을 최대시우량, 1일 강우량, 2일 누적강우량으로 적용하고 있다. 표 3과 유역별 강우량 분석 결과를 바탕으로 산사태 발생일의 최대시우량, 1일강우량, 2일 누적강우량의 상관관계를 그림 8에 나타내었고, 팔호안은 관측소 주변지역에서의 산사태 발생수를 제시한다.

그림 8 (a)의 1일강우량과 최대시우량의 상관관계 분석결과 청일관측소와 횡성관측소에서 산사태경보 기준치를 초과한 것으로 나타났다. 그림 8 (b)의 1일강우량과 2일 누적강우량의 상관관계 분석결과 청일관측소에서 산사태경보 기준치를 초과하였다. 그림 8 (c)의 최대시우량과 2일 누적강우량의 상관관계 분석결과 청일관측소에서 산사태경보 기준치를 초과하였다.

강우와 산사태 발생 기준과의 관계를 보여주는 그림 8을 분석해보면 청일관측소 주변지역은 최대시우량, 1일강우량, 2일 누적강우량의 영향을 받았고, 안흥관측소는 1일강우량의 영향을 받은 것으로 나타났다. 횡성관측소는 최대시우량, 1일강우량의 영향을 받은 것으로 판단된다.

결과적으로 산사태 발생빈도가 가장 높은 청일관측소와 다른 관측소를 비교해보면 단기간에 집중된 최대시우량이 높은 것으로 나타났다. 즉, 강우에 따른 산사태 발생빈도는 최대시우량과 관계된 것으로 판단되며, 단기간에 많은 양의 비가 집중되는 것에 따라 산사태 발생빈도와 규모가 커지는 것으로 판단된다.

5. 결론

우리나라에서 발생된 산사태는 강우, 지형 및 지질특성 등에 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 2006년 7월 9일~29일 사이에 발생한 집중호우에 의해 횡성지역에 발생한 산사태 현장에 대한 조사결과를 바탕으로 지형 및 지질현황, 발생 유형, 기하특성, 강우특성 등을 종합적으로 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 연구지역은 풍화 침식이 활발한 지역으로 풍화토나 잔류토의 투수성이 양호하여 집중호우시 최대시우량, 1일 강우량에 취약하며, 붕괴형태는 전이형 산사태로 토층과 기반암과의 경계면을 따라 발생하였다.

2. 횡성지역은 소규모 산사태로 사면길이는 100m이하, 사면 폭은 30m이하, 사면경사는 30°이하, 사면경사는 북서향에서 발생빈도가 높게 나타났다. 또한 화강암 지대의 산지지형의 산사태 유형으로 사면폭이 좁고, 토층두께는 약 0.5m 이하로 매우 얇게 나타남이 특징적이다.
3. 연구지역인 횡성지역으로 산사태 발생의 원인이 되는 2가지 집중호우는 7월 12일~13일 사이에 발생한 태풍 에위니아와 빌리스에 의한 집중호우로 지반이 포화되었고, 7월 15일~16일 사이에 발생한 태풍 빌리스에 의한 집중호우가 산사태 발생에 직접적인 원인으로 나타났다.
4. 강우관측소에 대한 특성을 비교한 결과 청일관측소 주변지역은 최대시우량, 1일강우량, 2일 누적강우량의 영향을 받아 가장 많은 피해가 발생한 것으로 나타났고, 안흥관측소는 1일강우량의 영향인 것으로 나타났고, 횡성관측소는 최대시우량, 1일강우량의 영향인 것으로 나타났다.
5. 산사태 발생빈도증가는 최대시우량, 1일강우량, 2일 누적강우량 중에서 최대시우량이 제일 큰 청일지역에서 발생빈도가 가장 큼을 고려할 때 최대시우량의 영향이 큰 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 건설교통부(2006), 「2006년 7월 태풍 및 집중호우 피해조사」.
2. 김종원·이성형·김창현·심우배(2006), 「현장중심적 접근을 통한 수해특성 분석 및 정책과제」, 국토연구원.
3. 박남선(2008), 「강원도 토석류 산사태의 특성에 관한 연구」, 강원대학교 석사학위논문.
4. 우보명·강위평(1985), “85년 7월 부산 문현동 산사태재해에 관한 연구”, 「한국임학회」, 70(1): 77~83.
5. 원종관·지정만·정지근·이문원·김원사(1989), 「1:50,000 갑천도폭 지질보고서」, 한국동력자원연구소.
6. 산림청(1993), 「산사태 위험지 조사 판정 요령」.
7. 최경(1986), 「한국의 산사태 발생 요인과 예지에 관한 연구」, 강원대학교 박사학위논문.
8. 홍승호·황상기·조동룡(1995), 「1:50,000 창동도폭 지질보고서」, 한국자원연구소.
9. 홍원표·김상규·한중근(1990), “강우로 기인되는 우리나라 사면활동의 예측”, 「대한 토질공학회지」, 6(2): 55~63.