

# 유역 내에서의 산사태에 의한 토사발생특성 분석

## 2. 강우사상별 분석

### Analysis on Characteristics of Sediment Produce by Landslide in a Basin

#### 2. Rainfall Event-based Analysis

유철상\* · 김기욱\*\*

Yoo, Chulsang · Kim, Keewook

#### Abstract

This study analyzed the characteristics of sediment produce by landslide triggered by rainfall. One-dimensional unsaturated groundwater model and infinite slope stability analysis were used to estimate the behavior of soil moisture and slope stability according to rainfall, respectively. Slope stability analysis was performed considering on soil depth and characteristics of trees. The results of the analysis on characteristics of sediment produce according to rainfall events showed that the sediment produce by landslide was mainly contributed to rainfall intensity and its temporal clustering. The results of the analysis on characteristics of sediment produce by extreme events showed that remaining rainfall amount of typhoon 'Rusa' was much more than that of the other extreme events, and thus this remaining rainfall was to contribute to sediment transportation. Additionally, only a small number of extreme events were found to cause most amount of sediment produce in a basin.

**Key words** : landslide, characteristics of sediment produce, one-dimensional unsaturated groundwater modeling, slope stability analysis, extreme rainfall

#### 요 지

본 연구에서는 강우에 기인하는 산사태에 의한 토사발생특성을 분석하였다. 이를 위해 1차원 불포화 지하수해석을 수행하여 강우에 따른 토양수분의 거동을 추정하였으며, 무한사면해석법을 이용하여 토양수분상태에 따른 유역단위 사면안정해석을 수행하였다. 이 때, 산사태의 발생 및 파괴깊이에 영향을 주는 토양심 및 여러 식생인자들을 고려하였다. 강우사상의 특성에 따른 토사발생특성 분석 결과, 산사태에 의한 토사의 발생에는 강우강도와 강우의 시간적 군집상태가 결정적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 극치강우에 의한 유역 내 토사발생특성 분석결과, 태풍 '루사' 시의 잔여강우량이 다른 극치사상들에 비하여 매우 크게 나타났으며, 이러한 잔여강우량이 발생된 토사의 운송에 기여하였을 것으로 파악되었다. 아울러, 소수의 극치강우에 의하여 발생한 토사량이 유역 내 전체 토사발생량의 많은 부분을 차지함을 알 수 있었다.

**핵심용어** : 산사태, 토사발생특성, 1차원 불포화 지하수해석, 사면안정해석, 극치강우

#### 1. 서 론

최근 이상기후에 의한 국지적 폭우가 증가함에 따라 강우 시 산사태 및 이로 인한 토사유출의 문제가 심각하게 대두되고 있다(박상덕, 2002; 이수곤, 2002; 신현석 등, 2007; Avanzi et al., 2004; Calcaterra and Santo, 2004). 유역 내에서 발생하는 크고 작은 산사태는 인명과 재산의 피해는 물론 하천생태계의 큰 교란을 유발하게 된다. 국제적으로도 많은 연구들이 극치강우에 의한 토사유출 문제에 초점을 맞추고 있다(Meyer et al., 2001; Avanzi et al., 2004;

Calcaterra and Santo, 2004; Guzzetti et al., 2004; Cheng et al., 2005). 특히, 극심한 산사태나 토석류들은 주로 극치강우에 의해 발생하게 된다고 알려져 있다. Kirchner et al.(2001)은 아이다호 유역 토양 내의 우주방사성핵종(cosmogenic radionuclide)에 대한 농도분석을 통해 기간이 증가함에 따라 평균 비퇴사량이 증가함을 보였으며, 소수의 극치강우에 의하여 대부분의 토사가 발생하였음을 밝힌 바 있다. 또한 Austin(1994)은 몇 가지 증거를 들어 그랜드 캐년이 기존에 알려져 있는 비와 같이 수 천 만년 동안의 콜로라도 강의 침식작용에 의해 생성된 것이 아니라 대규모 홍

\*정회원 · 고려대학교 공과대학 건축 · 사회환경공학과 교수 (E-mail : envchul@korea.ac.kr)

\*\*미국 아팔라치안 주립대학 지질학과 박사 후 연구원 (교신저자)

수에 의해 빠르게 생성되었다고 주장하였으며, 이러한 주장은 이후 여러 과학자들에 의해 확인되었다(Perkins, 2000).

이러한 연구결과들은 몇몇 극치강우에 의하여 발생한 토사량이 장기 토사발생량의 많은 부분을 차지하게 됨을 의미한다. 즉, 산사태나 토석류의 발생에 있어 극치강우의 역할이 매우 중요함을 나타내는 결과이다. 그러나 아직 그 관련성에 대한 연구는 충분하지 않다. 이는 기본적으로 관측자료의 한계 때문이며, 특히 강우 및 산사태의 발생이 장기간 체계적으로 기록된 것은 찾아보기 어렵다. 우리나라의 경우도 태풍 '루사', '매미' 및 최근 2006년의 호우 시 관련 재해가 산사태에 집중되어 이에 대한 관심이 증가되고 있는 정도이며, 아직 체계적인 관측은 이루어지고 있지 않다. 이러한 상황에서 강우에 따른 토사발생특성의 파악은 매우 어려운 문제이나, 토사발생에 대한 대책 마련을 위해 반드시 해결되어야 하는 문제이기도 하다.

유철상 등(2010)은 강우에 기인하는 산사태에 의한 유역단위 토사발생특성에 관한 연구를 통해 강우에 의해 많은 양의 토사가 발생함을 보였으며, 결과의 적용성 또한 검토한 바 있다. 그러나 그 결과는 연별 토사발생량을 이용한 결과로서 강우사상의 특성에 따른 토사발생의 특성을 알아보기 위해서는 개개의 강우사상에 대한 분석을 수행해야 할 필요가 있다. 이를 통해 강우사상의 특성이 변화함에 따라 토사발생특성이 어떠한 형태로 변화하는지 파악할 수 있으며, 그 결과를 통해 전술한 기존의 연구결과를 확인해 볼 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 유역 내 토사발생량에 대한 극치강우의 기여도 또한 추정해 볼 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 강우에 기인하는 산사태에 의한 토사발생특성을 강우사상별로 분석하고자 하였다. 토사발생량 산정에는 유철상 등(2010)이 사용한 모형(1차원 Richards 방정식, 무한사면해석법) 및 자료를 이용하였다. 이를 통해 강우에 따른 토사발생량을 모의하였으며, 아울러 얻어진 결과를 이용하여 강우사상의 특성에 따른 토사발생특성을 분석해 보았다.

## 2. 대상유역

본 연구에서는 대상유역으로 오봉댐유역을 선정하였다. 오봉댐 유역은 강릉남대천 상류유역으로 동경 128° 43' 57"~128° 54' 31", 북위 37° 34' 33"~37° 42' 01" 위치한 유역면적 110 km<sup>2</sup> 비교적 지세가 험준한 산지유역이다. 유역 내에 도마천과 왕산천이 위치하고 있으며 유역 하류단에 오봉댐이 있고 하천연장은 도마천 15.8 km, 왕산천 12.3 km이다. 오봉댐 유역도는 Fig. 1과 같으며, 유역 내 하천개황은

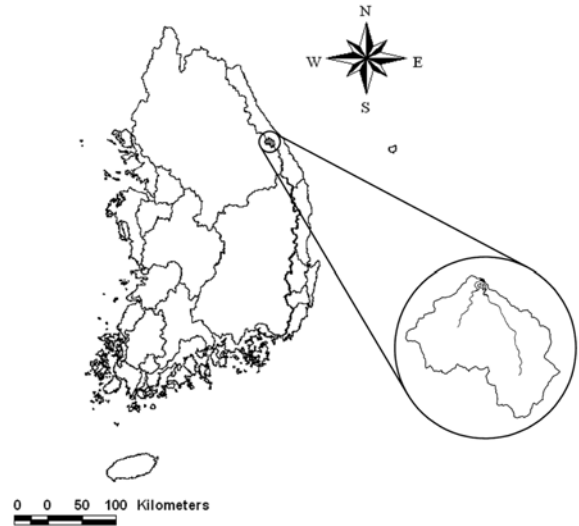


Fig. 1. Obong-dam Basin

Table 1. Subbasins in Obong-dam basin

Subbasin	Area (km <sup>2</sup> )	River length (km)
Domachun	66.1	15.8
Wangsanchun	43.9	12.3

Table 1과 같다.

오봉댐 유역의 하류인 남대천 유역에는 강릉시가 위치하고 있다. 강릉시는 전체 면적 1,040 km<sup>2</sup>(서울시 면적의 1.72배), 총인구 229,869명(80,043가구)으로 태풍 '루사'시 오봉댐의 방류에 의해 막대한 침수피해를 겪은 바 있다. 남대천은 강릉시를 관통하여 동해로 연결되어 있다.

오봉댐 유역 내에는 강우관측소가 존재하지 않으나 그 인근에 강릉 강우관측소(기상청), 대관령 강우관측소(기상청), 대기 강우관측소(건교부)가 운영 중에 있다. 오봉댐 유역 인근의 강우관측소의 개요를 Table 2에 정리하였다. 본 연구에서는 자료기간이 길고 정도가 좋은 강릉 강우관측소의 자료를 분석에 이용하였다.

## 3. 유역단위 토사발생 모의

### 3.1 강우사상별 토사발생특성 분석

본 절에서는 유철상 등(2010)의 연구의 연장선상에서 강우사상별 유역단위 토사발생 모의를 수행하였다. 따라서 해석방법과 자료에 대한 자세한 설명은 생략하였다. 사면안정해석은 유역 내의 각 격자를 단일사면으로 가정하여 격자단위로 단일사면안정해석방법을 적용하였다.

토사발생량 산정 시, 파괴가 발생하면 해당 격자가 모두

Table 2. Specification of raingauges around Obong-dam basin

Raingauge	Location		Elevation (m)	Observation started	Jurisdiction
	Latitude	Longitude			
Gangneung	128-53	37-45	26.1	1911/10/1	기상청
Daegwallyeong	128-43	37-41	772.4	1971/8/1	기상청
Daegi	128-46	37-35	620	1983/7	건교부

파괴되는 것으로 가정하였으며, 산정된 격자별 파괴깊이에 각 격자의 면적(900 m<sup>2</sup>)을 곱하여 발생하는 토사의 양을 산정하였다. 또한 산사태 발생 시, 파괴면은 사면과 평행하게 위치하는 것으로 가정하였으며 산사태에 의한 지형(경사 및 포고)의 변화를 무시하여 강우사상이 종료되면 파괴된 사면이 즉시 복구되는 것으로 가정하였다. 이를 통해, 강우사상의 특성만에 의한 영향을 분석하고자 하였다. 이와 같은 방법을 이용하여 강우사상의 강우발생특성에 따라 토사발생특성이 어떻게 나타나는지를 알아보기 위해 1961년부터 2006년까지 발생한 1542개의 강우사상에 대한 토사발생량을 분석하였다. 각 강우사상에서 발생한 총 강우량, 평균강우강도, 최대강우강도, 강우기간에 따른 토사발생량을 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2를 보면 총강우량, 평균강우강도, 최대강우강도, 강우기간이 증가함에 따라 토사의 발생량이 증가함을 알 수 있다. 또한 Fig. 2(a)와 같이 총강우량의 범위를 크게 네 구간(0~100 mm, 100~250 mm, 250~500 mm, 500 mm 이상)으로 나누어 보면 각 구간에 대한 토사발생량의 범위가 다양하게 나타나는 것을 알 수 있다. Group I의 경우, 토사발생량이

약 0~1500 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 나타나며, Group II의 경우, 약 500~13000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 토사발생량이 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 Group III의 토사발생량은 약 500~18500 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> 나타나는 것을 알 수 있다. 아울러, Group II와 Group III의 경우, 비슷한 총강우량에서 발생하는 토사량의 격차가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 Group III의 경우, 모든 Group의 강우사상에서 발생하는 토사량의 범위를 모두 포함하는 것을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 Group III의 강우사상에서 발생하는 토사량을 세 개의 Subgroup(Subgroup 1 : 500~4000 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, Subgroup 2 : 12000~14500 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, Subgroup 3 : 17000~18500 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>)으로 구분하여 각 Subgroup의 대표적인 강우사상을 도시하였다(Fig. 3~5).

Fig. 3을 보면 많은 강우사상의 최대강우강도가 15 mm/hr 이하로 나타나며 그렇지 않은 경우에도 전체적인 강우강도가 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 강우의 군집성이 약하게 나타나며 강우가 산발적으로 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 이유로 토양수분의 증가가 더디게 나타나며 토사발생량 또한 작게 나타나게 되는 것으로 판단된다.

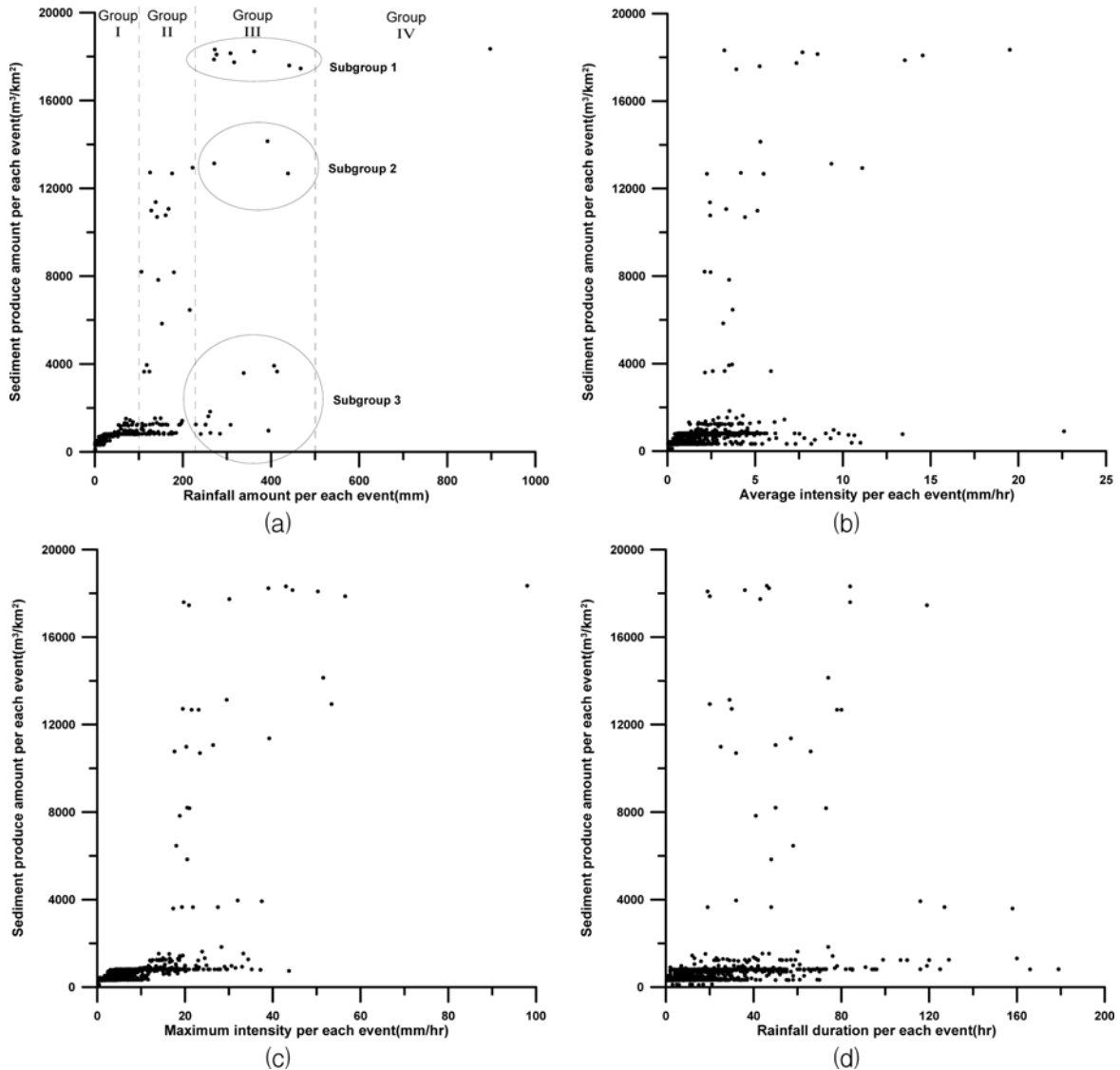


Fig. 2. Total sediment yield according to (a) total rainfall amount, (b) average rainfall intensity, (c) maximum rainfall intensity, and (d) rainfall duration of the each event

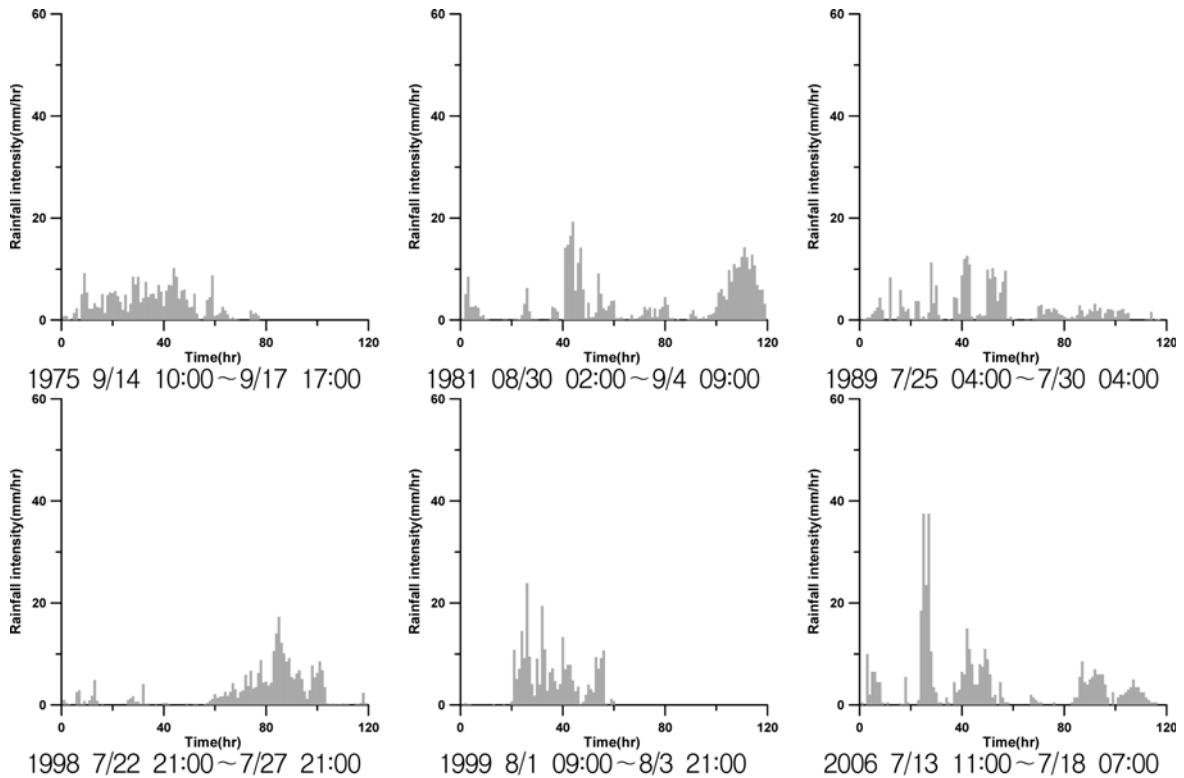


Fig. 3. Hyetographs of the events in the Subgroup 1

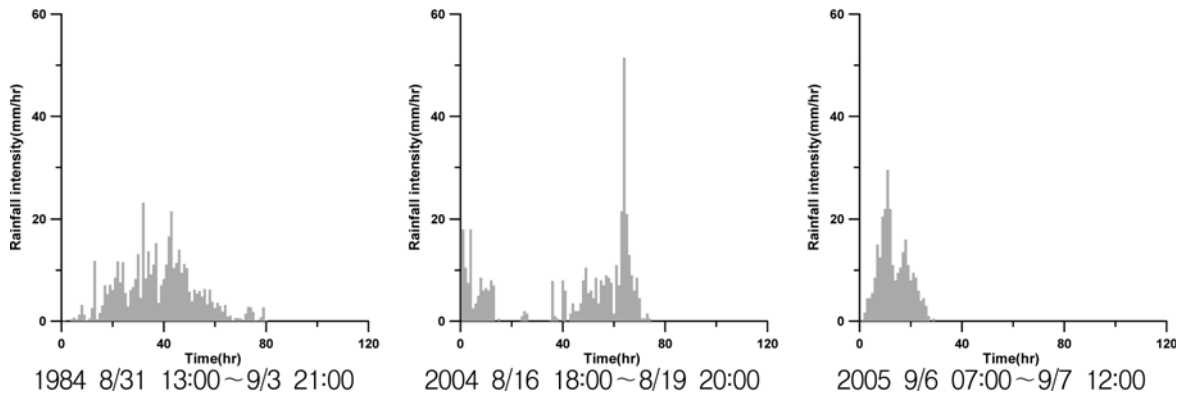


Fig. 4. Hyetographs of the events in the Subgroup 2

Fig. 4의 경우, Fig. 3의 강우사상과 비교하여 전체적인 강우강도가 크게 나타나는 것을 알 수 있으며 아울러 강우가 더욱 균집되어 발생하는 것을 알 수 있다. 이로 인해 토양수분의 증가가 Subgroup 1의 강우사상에 비하여 빠르게 나타나며 토사발생량 또한 크게 나타나는 것으로 파악된다.

Fig. 5를 보면 Subgroup 1, 2의 모든 강우사상과 비교하여 대부분의 강우사상에서 전체적인 강우강도가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 강우강도가 Subgroup 2의 강우사상에 비하여 유의하게 크지 않은 것으로 판단되는 1970, 1972, 1990년의 강우사상의 경우, Subgroup 2의 강우사상에 비하여 매우 균집된 형태의 강우를 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한, 강우침투의 발생 직전에 다량의 선행강우가 발생하는 것을 알 수 있다. 아울러, 다른 강우사상의 경우에도 강우의 균집성이 다른 Subgroup의 강우사상과 비교하여 다소 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 같이 큰 강우강도와 높은 균집성을 보이는 강우에 의해 토사발생량 또한 가장 크

게 나타나는 것으로 판단된다. 이러한 사실은 각 Subgroup에 속하는 강우사상들의 평균강우강도 및 강우강도의 분산, 변동계수를 나타낸 Fig. 6에서도 확인할 수 있다.

Fig. 6을 보면 Subgroup 3에 속하는 강우사상의 평균강우강도가 가장 크게 나타나며, 가장 큰 강우강도의 변동성을 가지는 것을 알 수 있다. 강우강도가 큰 변동성을 가지는 것은 즉, 큰 강도를 가지는 강우가 더 빈번하게 나타남을 의미하며, 이러한 결과가 Fig. 3~Fig. 5에서 확인한 사실을 뒷받침 해주는 것을 알 수 있다. 이와 같이 각 Subgroup별 강우사상의 강우강도, 강우의 균집성, 강우에 따른 토사발생량을 살펴보면 산사태에 의한 토사의 발생에는 강우사상 전반에 걸친 전체적인 강우강도와 강우의 시간적 균집상태가 결정적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

또한 Subgroup 3의 강우사상들을 살펴보면 Subgroup 1, 2의 강우사상들과는 다르게 같은 Subgroup 내의 강우사상들 간의 강우강도와 균집성에 눈에 띄는 차이를 보이는 것을 알

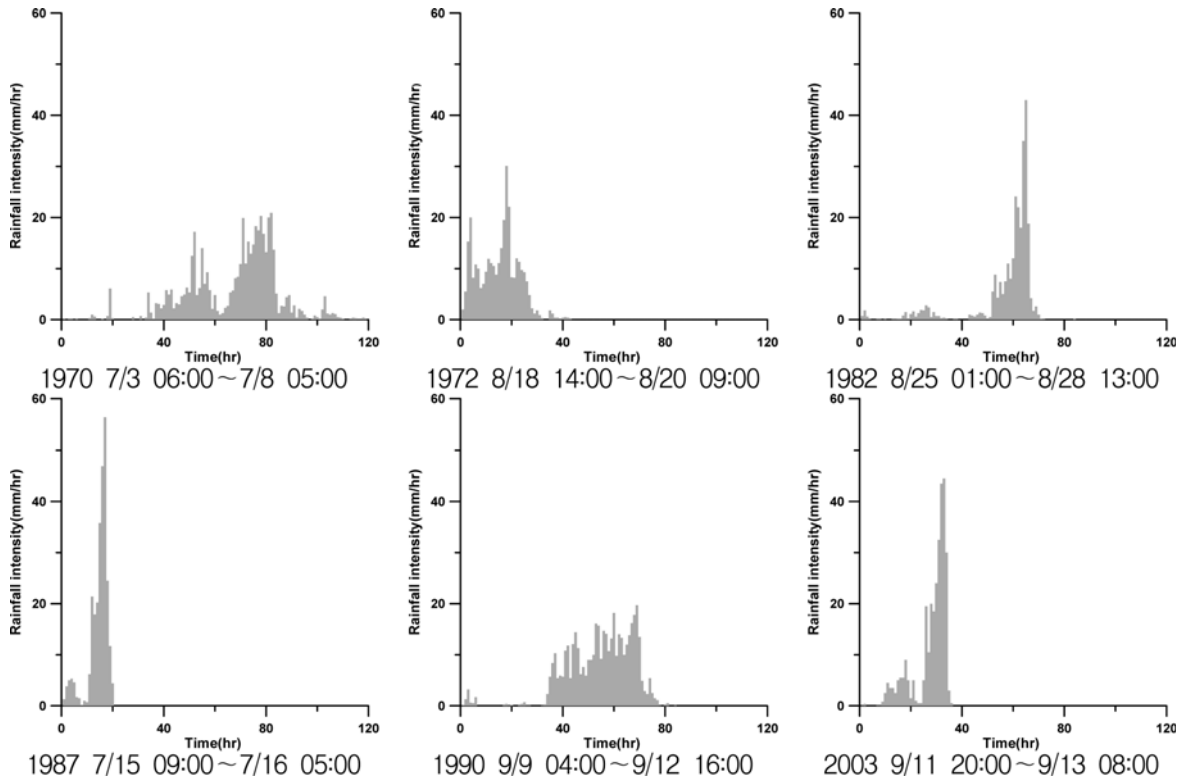


Fig. 5. Hyetographs of the events in the Subgroup 3

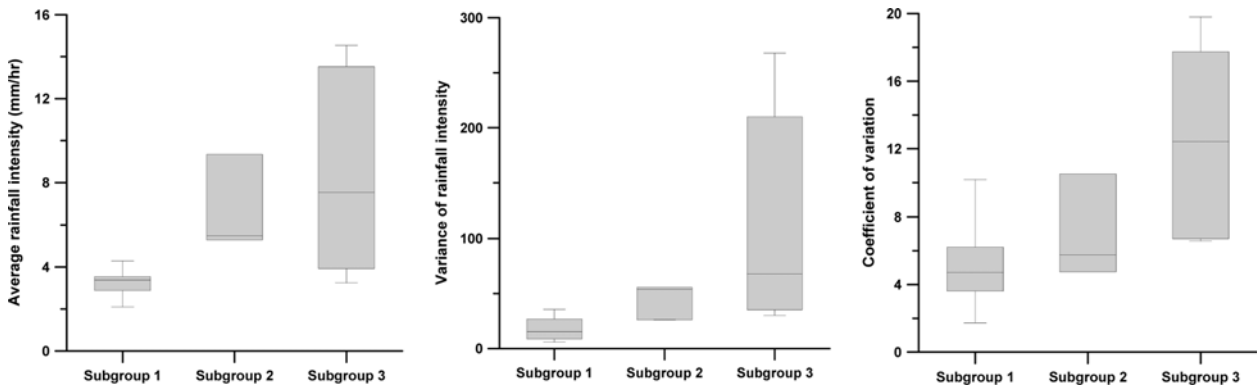


Fig. 6. Average, variance, and variation coefficient of rainfall intensity of events belong to the each Subgroup

수 있다. 예를 들어, 1970, 1972, 1990년의 강우사상의 경우, 다른 강우사상과 강우강도에서 큰 차이를 보이며, 1987, 2003년의 강우사상은 다른 강우사상에 비하여 군집성이 약하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 강우사상이 일정수준 이상의 강우강도와 군집성을 초과하게 되면 유역 내에 존재하는 대부분의 잠재과포면이 파괴되기 때문인 것으로 판단되며 이를 초과하여 발생하는 강우는 더 이상 사면의 파괴에 기여하지 못하고 파괴로 발생된 토사를 운송하는 역할을 하는 것으로 판단된다.

### 3.2 극치강우에 의한 토사발생특성 분석

유역 내에서 발생한 토사의 하류이송은 강우에 의한 지표수에 의해 발생하게 된다(Julien and Simons, 1985). 따라서 3.1절에서 언급한 비와 같이 산사태로 인해 발생한 토사의 이송문제를 설명하기 위해서는 강우와 토사발생의 패턴에 관한 분석이 필요하다. 따라서 본 절에서는 평년에 비하여 많

은 양의 토사가 발생한 9개년의 토사발생에 결정적인 역할을 한 것으로 판단되는 Fig. 2(a)의 Group III, Subgroup 3의 8개의 강우사상과 Group IV의 1개의 강우사상 등 총 9개의 강우사상에 대한 시간별 강우량과 누가 토사발생율에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위해 먼저 각 강우사상의 시간별 누가 토사발생율(failure rate)을 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7을 보면 강우가 증가함에 따라 누가 토사발생율이 증가하는 것을 알 수 있으며 대부분의 토사가 강우의 침투 부근에서 발생하는 것을 알 수 있다. 여기서 2002년 태풍 '루사' 시의 토사발생패턴에 주목할 필요가 있다. 2002년 태풍 '루사'의 강우는 크게 두 개의 침투를 보이는 복합강우사상으로 이루어져 있음을 알 수 있는데 그림을 보면 첫 번째 침투에서 대부분의 토사가 발생하고, 이후에 많은 양의 추가강우가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 7의 다른 강우사상과 큰 차이를 보이는 부분으로써 토사발생 이후에 발생한 침투값이 98 mm/hr에 달하는 엄청난 양의 강우가 토사의 이

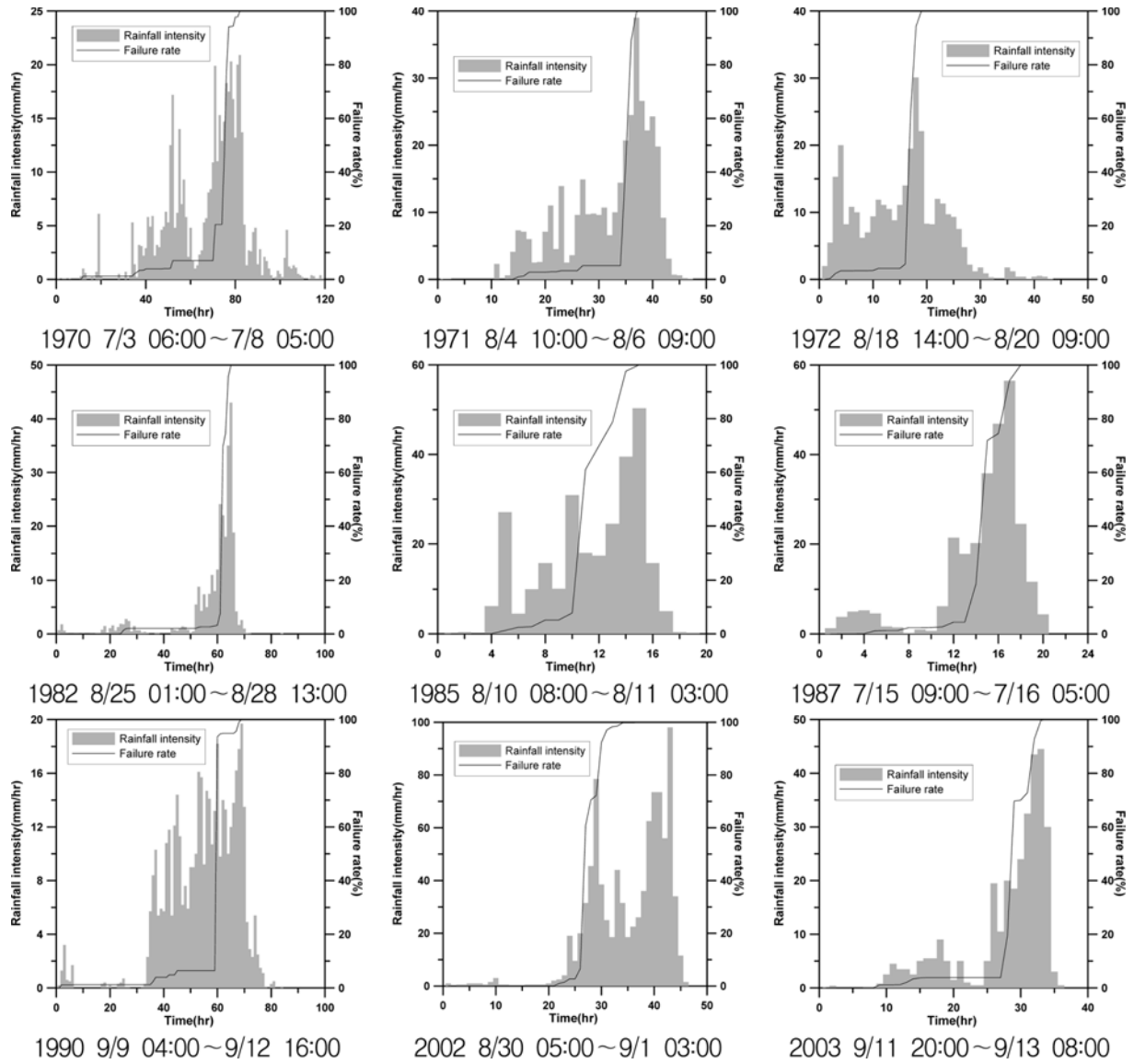


Fig. 7. Rainfall intensity and failure rate on extreme events

송에 큰 기여를 했을 것으로 판단되는 부분이다.

일반적으로 토사이송능은 유량과 사면경사의 멱함수의 형태로 나타난다(Julien and Simons, 1985; Nearing et al., 1997; Prosser and Rustomji, 2000; Istanbuluoglu et al., 2003). 또한 Julien and Simons(1985)는 기존의 연구들을 종합하여 유량의 멱수로 1.4~2.4의 값이 나타남을 보였으며, Prosser and Rustomji (2000)는 1.0~1.8의 값을 이용할 것을 제안하였다. 따라서 Fig. 7에서 나타난 토사발생 이후 잔여강우량의 큰 차이는 토사의 하류이송에 직접적인 영향을 줄 것이며 그 영향 또한 매우 크게 나타날 것으로 판단된다. 또한 태풍 '루사' 시에 오봉담이 붕괴위기에 처할 정도로 기록적인 수위에 도달했음을 고려해 볼 때 저수지 유입량 또한 기존과 비교하여 크게 증가했을 것이며 이에 따라 토사운송량도 매우 컸을 것으로 추정된다. 이러한 잔여강우의 차이는 Table 3에서 더 자세하게 파악할 수 있다.

Table 3을 보면 토사발생율이 50, 80, 100%일 때 모두 태풍 '루사'의 잔여강우량이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 모든 토사가 발생한 이후의 잔여강우가 타 강우사상에

비하여 4~100배까지 차이를 보이며 그 잔여시간 또한 매우 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 태풍 '루사' 시에 많은 양의 잔여강우가 짧은 시간에 집중되어 발생하였음을 의미한다. 이 결과에 Julien and Simons(1985)의 연구결과를 적용해 보면 태풍 '루사' 시에 다른 극치강우사상에 비하여 작게는 약 7배에서 크게는 약 63000배에 달하는 토사이송능을 보였을 것으로 짐작할 수 있다. 추후에 토사이송모의를 통한 토사유출해석을 통해 이를 확인하고 강우의 특성에 따른 토사유출특성을 정량적으로 파악해 볼 필요가 있다.

다음으로 강우사상별 토사발생량의 상위비율에 대한 누가토사발생량의 비를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8를 보면 토사발생량 상위 20, 40%까지의 강우사상으로부터 발생하는 누가토사발생량이 각각 모든 강우사상에서 발생한 총 토사발생량의 55, 70% 이상을 차지하는 것을 알 수 있다. 특히, 토사발생량 상위 약 2%(24개의 호우사상)까지의 누가토사발생량이 총 토사발생량의 30% 이상을 차지함으로써 유역 내 대규모 산사태에 의해 발생하는 토사의 양이 유역 내 장기토사발생량의 많은 부분을 차지하는 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Remaining rainfall and time after failure on each event

Event year	Total rainfall (mm)	Duration (hr)	Failure rate					
			50%		80%		100%	
			Remaining rainfall (mm)	Remaining time (hr)	Remaining rainfall (mm)	Remaining time (hr)	Remaining rainfall (mm)	Remaining time (hr)
1970	467.4	119	168.6	43	151.1	42	59.9	37
1971	361.6	47	145.8	11	145.8	11	80.2	9
1972	316.3	43	135.0	26	104.9	25	82.8	24
1982	272.3	84	124.8	22	71.8	20	10.0	18
1985	276.4	19	153.2	8	71.7	5	21.4	4
1987	270.6	20	144.0	5	40.6	3	16.1	2
1990	441.3	84	161.7	16	161.7	16	35.1	15
2002	897.5	46	795.0	19	632.5	16	348.0	7
2003	308.0	36	178.0	7	78.0	4	3.5	2

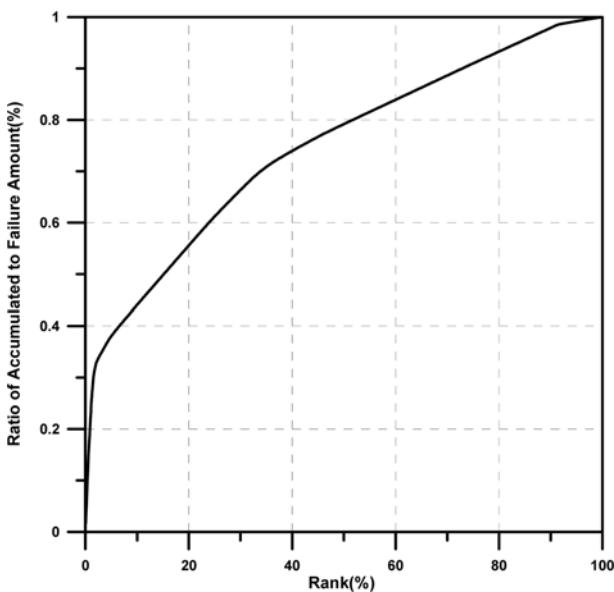


Fig. 8. Accumulated failure amount according to the rank of failure amount on each event

## 6. 결 론

본 연구에서는 강우에 기인하는 산사태에 의한 토사발생특성을 분석하였다. 이 때, 산사태의 발생 및 파괴깊이에 영향을 주는 토양심 및 식생인자(뿌리깊이, 뿌리분포, 생체량)를 고려하였다. 아울러, 사면안정해석모형을 유역단위에 적용하여 강우사상별 토사발생량을 추정하였으며 그 결과를 이용하여 강우사상의 특성에 따른 토사발생특성을 분석해 보았다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 유역의 강우사상별 토사발생특성 분석결과, 강우사상의 총강우량, 평균강우강도, 최대강우강도, 강우기간이 증가함에 따라 토사의 발생량이 증가함을 알 수 있었다. 또한 산사태에 의한 토사의 발생에는 강우사상 전반에 걸친 전체적인 강우강도와 강우의 시간적 균집상태가 결정적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 아울러, 강우사상이 일정수준 이상의 강우강도와 균집성을 초과하게 되면 유역 내에 존재하는 대부분의 잠재과파면이 파괴되

며 이를 초과하여 발생하는 경우는 파괴로 발생한 토사를 운송하는 역할을 하는 것으로 파악된다.

- 2) 극치강우에 의한 유역 내 토사발생특성 분석결과, 태풍 '루사' 시의 잔여강우량이 다른 극치사상들에 비하여 매우 크게 나타났으며, 이러한 잔여강우량이 발생한 토사의 운송에 기여하였을 것을 고려하면 태풍 '루사' 이후에 관측된 오봉저수지 비퇴사량의 증가를 설명할 수 있다.
- 3) 토사발생량의 상위비율에 대한 누기토사발생량의 비를 분석해 본 결과, 소수의 극치강우에 의하여 발생한 토사량이 유역 내 전체 토사발생량의 많은 부분을 차지함을 확인할 수 있었다. 오봉댐유역의 경우, 지난 30년간 총 토사발생량 중 30%가 단지 24개의 호우사상에 의해 기인한 것으로 나타났다.

위의 결과를 종합해 볼 때, 소수의 극치강우에 의하여 발생한 토사량이 장기토사발생량의 많은 부분을 차지한다는 것을 알 수 있으며 이는 기존의 연구결과와 부합하는 결과임을 알 수 있다. 또한 토사발생 이후에 계속되는 강우가 발생한 토사의 하류이송에 크게 기여하는 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 유역 내의 토사관리를 위한 사방댐의 규모 및 위치 결정, 저수지 퇴사량의 추정, 하천관리, 수질관리 등의 유역관리를 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 기대되며 아울러 유역 내의 산사태 관리에 필요한 자료를 제공해 줄 수 있을 것으로 판단된다.

## 7. 참고문헌

국기수자원관리종합정보시스템(WAMIS) 홈페이지(www.wamis.go.kr) 국립방재연구소 (2003) **지리정보시스템을 이용한 사면붕괴 재해 연구**, pp.80.  
 박상덕 (2002) 태풍 루사로 인한 홍수특성과 대책. **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp.36-47.  
 신현석, 강두기, 최영돈, 갈병석 (2007) SWAT모형을 이용한 임하댐 유역 토사 유출 성향 분석 연구. **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp.1920-1924.  
 유철상, 김기욱, 김성준, 이미선 (2010) 유역 내에서의 산사태에 의한 토사발생특성 분석 1. 토사발생모의 및 검증, **한국방재**

- 학회논문집, 한국방재학회, 제10권, 제3호, pp.133-145
- 이수곤 (2002) 태풍 루사에 의한 피해현황 및 대책방안(산사태). **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제50권, 제10호, pp.40-49.
- 이인모, 정상규, 임충모 (1991) 뿌리의 강도가 자연사면 안정에 미치는 영향에 관한 실험연구, **대한토질공학학회지**, 대한토질공학학회, 제7권, 제2호, pp.51-66.
- 지병윤, 오재현, 최병구, 전근우, 차두송 (2004) 수목의 근계구성에 따른 사면의 붕괴방지효과에 관한 연구(IV) - 잣나무 뿌리의 인장특성 -, **한국임학회지**, 한국임학회, 제93권, 제1호, pp.103-107.
- Austin, S. A. (1994) *Grand Canyon: Monument to catastrophe*, Institute for Creation Research, California.
- Avanzi, G. D., Giannecchini, R., and Puccinelli, A. (2004) The Influence of the Geological and Geomorphological Settings on Shallow Landslides. An Example in a Temperate Climate Environment: the June 19, 1996 Event in Northwestern Tuscany(Italy). *Engineering Geology*, Vol. 73, pp.215-228.
- Calcaterra, D. and Santo, A. (2004) The January 10, 1997 Pozzano Landslides, Sorrento Peninsula, Italy. *Engineering Geology*, Vol. 75, pp.181-200.
- Cheng, J. D., Huang, Y. C., Wu, H. L., Yeh, J. L., and Chang, C. H. (2005) Hydrometeorological and Landuse Attributes of Debris Flow and Debris Floods during Typhoon Toraji, July 29-30, 2001 in Central Taiwan. *Journal of Hydrology*, Vol. 306, pp. 161-173.
- Chun, J. H., Lim, J. H., and Lee, D. K. (2007) Biomass Estimation of Gwangneung Catchment Area with Landsat ETM+ Image. *Journal of Korean Forest Society*, Vol. 96, No. 5, pp.591-601.
- Clapp, R. B. and Hornberger, G. M. (1978) Empirical Equations for Some Soil Hydraulic Properties. *Water Resources Research*, Vol 14, No. 4, pp.601-604.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Cipolla, F., Sebastiani, C., Galli, M., and Salvati, P. (2004) Landslides Triggered by the 23 November 2000 Rainfall Event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. *Engineering Geology*, Vol. 73, pp.229-245.
- Istanbulluoglu, E., Tarboton, D. G., and Pack, R. T. (2003) A Sediment Transport Model for Incision of Gullies on Steep. *Water Resources Research*, Vol. 39, No. 4, 1103.
- Julien, P. Y. and Simons, D. B. (1985) Sediment Transport Capacity of Overland Flow. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 28, No. 3, pp.755-762.
- Kirchner, J. W., Finkel, R. C., Riebe, C. S., Granger, D. E., Clayton, J. L., King, J. G., and Megahan, W. F. (2001) Mountain Erosion over 10 yr, 10k.y., and 10 m.y. Time Scales. *Geology*, Vol. 29, No. 7, pp.591-594.
- Meyer, G. A., Pierce, J. L., Wood, S. H., and Jull, A. J. T. (2001) Fire, Storms, and Erosional Events in the Idaho Batholith. *Hydrological Processes*, Vol. 15, pp.3025-3038.
- Nearing, M. A., Norton, L. D., Bulgakov, D. A., Larinov, G. A., West, L. T., and Dontsova, K. M. (1997) Hydraulics and Erosion in Eroding Rills. *Water Resources Research*, Vol. 33, No. 4, pp.865-876.
- Perkins, S. (2000) The Making of a Grand Canyon: Carving this beloved hole in the ground may not have been such a long-term project. *Science News*, Vol. 158, Iss. 14, pp.218-220.
- Prosser, I. P. and Rustomji, P. (2000) Sediment Transport Capacity Relations for Overland Flow. *Progress in Physical Geography*, Vol. 24, No. 2, pp.179-193.

◎ 논문접수일 : 10년 03월 01일  
 ◎ 심사의뢰일 : 10년 03월 02일  
 ◎ 심사완료일 : 10년 04월 16일