

## 강우량의 누적일수가 산사태 발생에 미치는 영향

강원석<sup>1</sup> · 마호섭<sup>2\*</sup> · 전권석<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림복원연구과, <sup>2</sup>경상대학교 산림환경자원학과(농업생명과학연구원),

<sup>3</sup>국립산림과학원 산림약용자원연구소

## Influences of Cumulative Number of Days of Rainfall on Occurrence of Landslide

Won-Seok Kang<sup>1</sup>, Ho-Seop Ma<sup>2\*</sup> and Kwon-Suk Jeon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Restoration, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest Environmental Resources (Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

<sup>3</sup>Forest Medicinal Resources Research Center, National Institute of Forest Science, Yeongju 36040, Korea

**요약:** 본 연구에서는 산사태 발생 전 강우량의 특성과 누적 강우일수에 의한 누적강우량 분석을 통하여 산사태 발생에 미치는 누적강우량의 영향을 제시하였다. 산사태가 발생한 1520개소의 자료를 중심으로 산사태 발생 20일전까지 일강우량의 평균값은 1일전이 52.9 mm로 가장 많은 양을 보였고, 2일전이 22.8 mm, 6일전이 21.9 mm 순으로 나타났다. 누적 일수에 따른 누적강우량과 산사태 발생과의 관계에서 100 mm이하에서는 누적일수 3일을 기점으로 전체 1520개소 중 64.9%인 986개소가 발생하였다. 누적일수 5일은 전체 1520개소 중 60%인 846개소에서 발생하고 있어 3일이나 5일정도 누적된 강우량이 산사태 발생에 미치는 영향이 큰 시점으로 나타났다. 그러나 누적일수가 늘어남에 따라 누적강우량도 증가하지만 산사태 발생건수는 줄어드는 것으로 나타났다. 또한, 101-200 mm에서는 10일, 201-300 mm에서는 14일, 301-400 mm에서는 18일 누적일수가 산사태 발생에 많은 기여를 하는 것으로 나타나 누적일수에 따른 산사태 예보 및 경보기준을 마련하여 인명 및 재산상의 피해를 최소화해야 할 필요성이 있을 것으로 생각된다.

**Abstract:** In relation to the impact of cumulative rainfall on landslides in accordance with the cumulative number of days, for the more than 100 mm rainfall, the 3 days cumulative rainfall experienced 64.9% of the total points, which is 986 points out of the 1520 points. The 5 days cumulative rainfall period experienced 60% of the total landslides, which is 846 points out of 1520 points analyzed. The 3 days or 5 days cumulative rainfall thus had a greater effect on landslides than the other days. In addition, for the 101-200 mm rainfall, more landslides occurred in the 10 days cumulative number of days, for the 201-300 mm, more landslides occurred in the 14 days cumulative number of days, whereas the 18 days cumulative number of days had more landslides for the 301-400 mm rainfall. Thus, it is imperative to take into consideration cumulative rainfall and the cumulative number of days of rainfall in the establishment of forecasting and warning systems for landslides, to minimize the damage caused to life and property by landslides.

**Key words:** landslide, cumulative rainfall, cumulative number of days

### 서론

최근 우리나라에는 대형 태풍과 집중호우로 인하여 산사태가 많이 발생되고 이로 인해 많은 인명 및 재산 피해를 보고 있다. 특히 2002년에 발생한 태풍 ‘루사’는 전국에 걸쳐 인명피해 321명, 재산피해 5조 1,479억원의 사상 최대 규모의 막대한 손실을 가져왔다(National Institute for

Disaster Prevention, 2002). 그 이후에도 강우에 의한 산사태 재해가 거의 매년 발생하고 있으며, 특정 지역에 국한되어 있지 않고 발생되고 있다.

산사태에 관한 연구 중 산사태 발생요인 분석과 산사태 평가 기술은 오래 전부터 연구되어 왔으며(Choi, 1986; Ma, 1990; 1992; 2001), 이후 GIS를 이용한 예측기술 연구도 진행되었다(Kang et al., 1999; Lee, 2001; Lee, 2005; Jo and Jo, 2009). 최근에는 산사태 위험도 예측 및 피해저감 기술개발에 관한 연구도 비교적 많이 진행되고 있다

\*Corresponding author  
E-mail: mhs@gnu.ac.kr

(Ministry of Science and Technique, 2006; Kim et al., 2008; Woo et al., 2008). 또한, 고산지역인 국립공원을 중심으로 산사태 발생 위험지역 예측기법 개발(Ma et al., 2008)과 토양우량지수를 이용한 산사태 예측기술 적용성 연구도 진행되었다(Oh et al., 2011).

산사태는 지형, 지질 및 임상 등 산지 자체가 갖고 있는 내적인 요인과 강우와 지진 등 외적요인이 서로 복합적으로 작용하여 발생한다. 특히 강우는 산사태를 야기하는 주된 요인으로서 산사태 예측을 위한 가장 기초적인 정보이다(Dai and Lee, 2001). 그리고 집중적으로 내리는 호우는 지질 및 수문조건과는 상관없이 산사태를 유발하며, 강우강도가 산사태 발생을 야기하는 요인 중 하나이다(Brand et al., 1985).

산사태와 강우특성의 연구는 선행강우량, 누적강우량, 연속강우량, 강우강도 등을 이용하여 여러 학자들에 의하여 많이 이루어지고 있다. 일반적으로 24시간 강우량이 100 mm를 초과하면 집중호우라고 하며, 일 강우량이 연 강우량의 8%이상 내리게 되면 산사태 등 다양한 재해가 발생한다고 하였다(Im, 2009). Caine(1980)은 일정 시간동안 일정 강우강도로 강우가 지속되면 산사태가 발생하는 것으로 간주하고, 강우강도와 지속시간과의 관계 분석을 통하여 산사태 발생 예측 한계식을 제안하였다. Lumb(1975)은 홍콩지역의 경우 강우가 파괴의 주요인이며 대략 15일간의 누적강우량이 200 mm가 되거나 일 강우량이 100 mm이상이면 산사태가 발생하였음을 보여주었다. 일본 나가노 현에서 발생한 산사태로 인명피해가 일어난 당시의 일강우량은 1 mm, 발생 전날 일강우량은 49 mm로 기록되어 강우강도와 누적강우량이 산사태 발생과 관련 있다고 보고하였다(Mauri et al., 1997; Sassa et al., 1997).

Guzzetti et al.(2004)은 이탈리아 Imperia 지역에서 45일

동안 1000 mm의 강우가 발생하였고, 강우발생 약 8~10 시간 이후 강우강도 8~10 mm/hr 상태에서 산사태가 발생하여 선행강우의 영향으로 산사태가 발생한 것으로 보고 선행강우의 중요성을 언급하였다. Park(2008)은 강원도 지역 토석류의 특성에 관한 연구에서 3일간의 누적강우량이 중요하며, 산사태가 일어나기 전날과 발생 당일에 많은 양의 강우가 내렸다고 하였다. Yune et al.(2010)에 의하면 선행강우량이 산사태에 미치는 영향에 관한 연구는 미진한 실정이나 일본의 경우 산사태 발생 3일전, 7일전의 선행강우량과 발생 당일의 강우강도가 밀접한 관계가 있다고 하였다.

이와 같이 산사태 발생에는 여러 강우인자가 영향을 미치고 있으므로 선행강우량 등 누적강우량이 중요함을 알 수 있다. 특히, 산사태는 갑작스럽게 발생되기 때문에 정확한 발생시간을 파악하기 어렵고, 예측하기도 쉽지 않다. 일강우량, 누적강우량, 강우강도 등 여러 강우요인들이 산사태와 어떻게 관련되어 있으며, 이들 강우인자 중 어느 것이 산사태 발생에 관련성이 깊은지 많은 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 산사태 발생 전 강우량의 특성과 누적일수에 따른 누적강우량분석을 통하여 산사태 발생에 미치는 누적강우량의 영향을 분석하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 산사태 발생 자료

본 연구를 위한 산사태 자료는 1991년부터 2012년까지 발생한 자료를 신문, 보고서 및 시도별 산사태 담당자에게 정보공개 요청을 통하여 수집하였다. 각 지자체에서는 정확한 산사태 발생 일과 시간 및 지역까지 파악하여 관리하는 경우는 많지 않았다. 산사태 발생 일시 및 지역을 알 수 있는 시·도별(1개 특별시, 6개 광역시, 8개 도 지

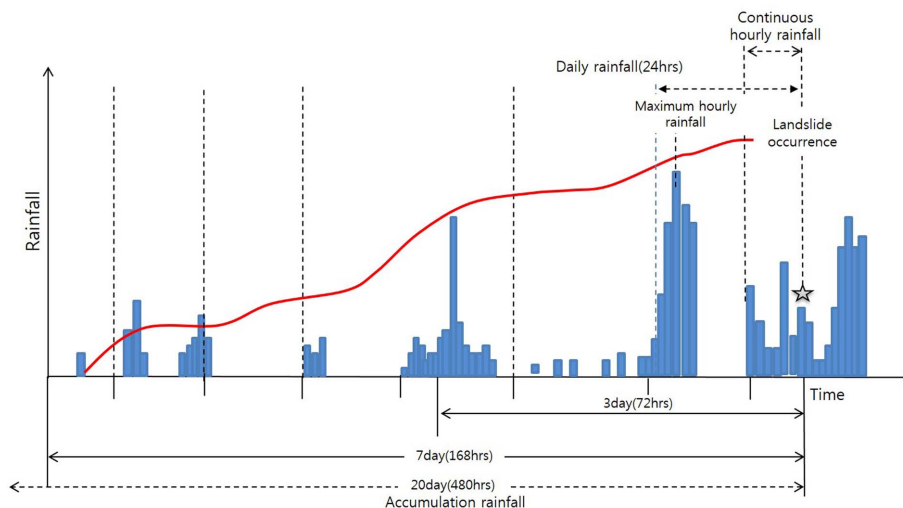


Figure 1. The definition of rainfall events by landslide occurrence.

역·서울특별시, 부산광역시, 울산광역시, 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시, 인천광역시, 경상남도, 경상북도, 전라남도, 전라북도, 충청남도, 충청북도, 경기도, 강원도)으로 구분하여 산사태 발생시간을 중심으로 자료를 수집하였다.

각 시·군의 산사태 수집자료 중 경상남도(부산광역시, 울산광역시 포함)는 1,208개의 개소수 중 525개의 산사태 발생일시 및 지역이 파악되었고, 경상북도(대구광역시 포함)는 2,142개 중 294개, 전라남도(광주광역시 포함)는 44개 중 39개, 전라북도는 429개 중 216개, 충청남도(대전광역시 포함)는 1,017개 중 124개, 충청북도는 299개 중 165개, 경기도(서울특별시 포함)는 549개 중 35개, 강원도는 2,208개 중 122개가 조사되었다. 이중 산사태가 발생한 정확한 일시가 파악된 1,520개의 자료를 이용하여 분석하였다.

2. 강우 자료 수집

산사태가 발생한 일시의 일강우량, 누적강우량 등 강우요인들을 파악하기 위하여 기상청 홈페이지(www.kma.go.kr)의 지역별 자동기상관측소(AWS, Automatic Weathering System)와 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)에서 제공하는 강우자료를 활용하여 분석하였다. 누적강우량은 Figure 1에서 보는바와 같이 산사태 발생 시점을 기준으로 24시간 전을 1일로 하여 20일 전까지 일별로 합산을 하여 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 산사태 발생 전 강우량의 특성

산사태 발생에 영향을 준 강우요인 중 누적이 되는 강우량의 중요성이 많이 인식되고 있으므로 산사태와 누적

Table 1. The number of rainy and non-rainy days during 20 days before landslide.

|                                          |               |
|------------------------------------------|---------------|
| Total number of 20 days before landslide | 30,400        |
| Rainy days                               | 15,681(50.6%) |
| Non-rainy days                           | 14,719(49.4%) |
| Average rainy days                       | 10.3 day      |

강우량과의 관계를 연구할 필요성이 있다. 누적강우량의 영향을 분석하기 위하여 산사태가 발생하기 20일전까지 일강우량에 대해 분석을 실시하였다.

산사태 발생 전 20일까지의 강우일수 및 무강우일수는 Table 1과 같다. Table 1에서 보면 산사태 발생 자료는 1,520개소이므로, 발생 개소 수에 대한 20일전까지의 총 일수는 30,400(1,520×20=30,400)일이다. 이 중 강우는 50.6%인 15,681일 동안 발생하였고, 강우가 발생하지 않은 일수는 전체 일수의 49.4%로서 14,719일로 나타났다. 이러한 결과에 의하면 산사태는 발생 전 20일 중 10일 이상은 강우가 발생하였음을 알 수 있다.

산사태 발생 전 강우 일수가 늘어나면서 장기적으로 누적될 일강우량의 특성을 파악하기 위하여 산사태가 발생한 1520개소의 자료를 중심으로 산사태 발생 20일전까지 일강우량의 평균값, 표준편차, 최대값을 분석한 결과는 Figure 2와 같다.

Figure 2에서 보면 산사태 발생 1일 전의 최대 일강우량은 385 mm, 2일전 420 mm, 3일전 265 mm, 4일전 380 mm로서 일정하지는 않지만 비교적 산사태 발생일로부터 멀어질수록 일 최대강우량은 줄어드는 경향을 보이고 있다. 평균 일강우량은 1일전이 52.9 mm로 가장 많은 양을 보였고, 2일전이 22.8 mm, 6일전이 21.9 mm 순으로 나타났다. 그리고 20일전이 6.1 mm로 가장 낮게 나타났

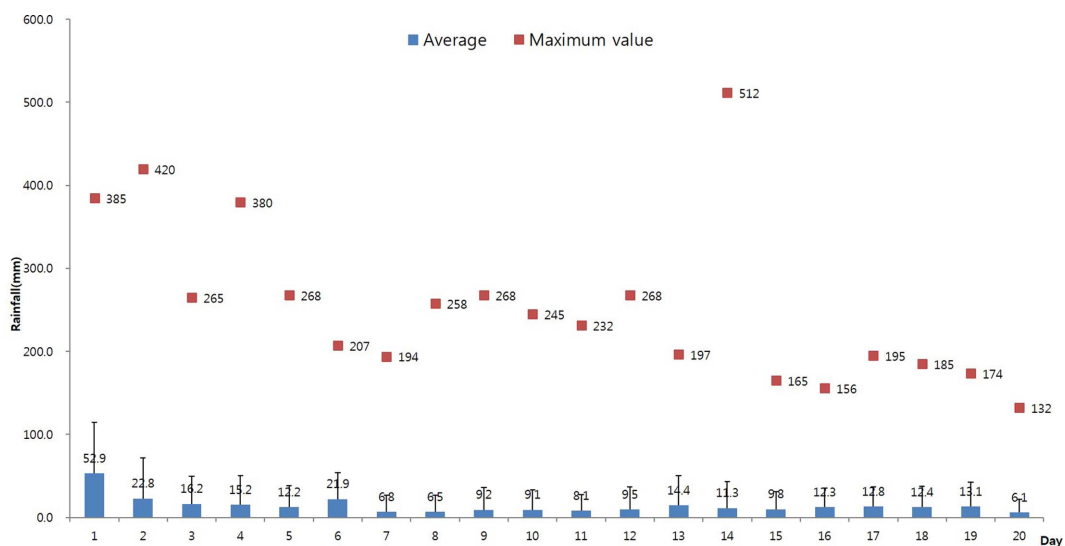


Figure 2. Daily rainfall during 20 days before landslide.

고 8일전 6.5 mm, 7일전 6.8 mm로 나타났다. 특히, 최대 일강우량은 150 mm 이상뿐만 아니라 300 mm 이상의 많은 비가 내리는 날도 있었다.

2. 누적강우일 수 및 누적강우량에 따른 산사태 발생 수

산사태 발생자료 1520개소에 대하여 산사태 발생 전 장기적으로 누적된 누적강우량에 따른 산사태 발생 건수가 얼마나 되는지 파악하기 위해 20 mm미만 및 이상, 30 mm 미만 및 이상, 80 mm미만 및 이상, 150 mm미만 및 이상으로 구분하여 조사한 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 보면 20 mm미만에서 발생한 산사태 건수는 263개소, 30 mm미만에서 316개소, 80 mm미만에서 514개소, 150 mm미만에서 842개소, 150 mm이상에서도 678개소의 산사태가 발생하여 누적강우량이 산사태 발생에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

또한, 발생한 산사태 자료를 중심으로 며칠 동안 어느 정도 양의 누적된 강우로 산사태가 발생되는지 알아보기 위하여 발생되기 전 1일부터 20동안의 누적강우량에 따른 산사태 발생 개소수를 분석한 결과는 Figure 3과 같다.

Figure 3에서 보면 산사태 발생 1일전 100 mm이하의 강우에서 산사태 발생 개소가 1,520개소 중 1,251개소로서 82.3%가 발생하여 가장 많았다. 101 mm초과 200 mm 강우량에서는 220개소, 201 mm초과 300 mm 강우량에서

36개소, 301-400 mm에서는 13개소로 점차 줄어드는 것으로 나타났다. 강우 1일째에서 산사태가 발생한 것은 집중 호우에 의하여 강우강도가 큰 시우량이나 일우량에 의하여 붕괴가 된 것으로 볼 수 있다.

누적강우량의 영향으로 산사태가 발생한 것으로 볼 수 있는 2일전 100 mm이하의 강우에서는 1191개소, 3일전 986개소, 4일전 901개소 및 5일전 845개소로서 누적일수가 늘어남에 따라 산사태 발생 건수가 점차적으로 줄어 들었다. 특히, 5일째가 되면서 전체 1520개소 중 40.1%인 609개소로 다소 큰 폭으로 줄어드는 경향을 보이고 있다.

101 mm초과 200 mm 강우량에서는 5일 정도 누적될 때까지는 발생율이 다소 낮았으나, 6일 이후부터는 100 mm 이하의 발생건수보다 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 6일 누적일수에서 636개소, 7일 누적일수에서 661개소가 발생하였고, 10일 누적일수에서도 666개소가 나타나 전반적으로 균등한 발생 특성을 보여주고 있는 것을 알 수 있다.

201 mm초과 300 mm 강우량에서는 10일 누적일수에서 208개소, 11일 누적일수에서 343개소가 발생하여 다소 증가하였고, 그 이후부터 비교적 균등한 발생을 보였다. 또한 18일 동안 누적된 강우량 301-400 mm에서도 258개소로서 비교적 많은 개소수를 나타내었다. 20일 동안 누적되어 연평균 강우량에 육박하는 1,000 mm이상에서 발생한 지역도 1개소가 있었다.

특히, 산사태 발생은 일강우 또는 단기간 연속강우에 많은 영향을 받고 있으나 우리나라의 산사태 발생은 강우요인들 중에서 강우일수가 늘어나면서 2일 이상 장기적으로 누적된 강우에 의해서도 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

특히, 누적일수에 따른 누적강우량과 산사태 발생과의 관계에서 100 mm이하에서는 누적일수 3일을 기점으로 전체 1,520개소 중 64.9%인 986개소가 발생하였으며, 누적일수 5일은 전체 1,520개소 중 60%인 846개소가 발생하고 있으므로 3일이나 5일정도 누적된 강우량이 산사태

Table 2. The Number of landslide by accumulative rainfall.

| Accumulation rainfall | Number of landslide | Total |
|-----------------------|---------------------|-------|
| < 20 mm               | 263                 | 1520  |
| ≥ 20 mm               | 1257                |       |
| < 30 mm               | 316                 | 1520  |
| ≥ 30 mm               | 1204                |       |
| < 80 mm               | 514                 | 1520  |
| ≥ 80 mm               | 1006                |       |
| < 150 mm              | 842                 | 1520  |
| ≥ 150 mm              | 678                 |       |

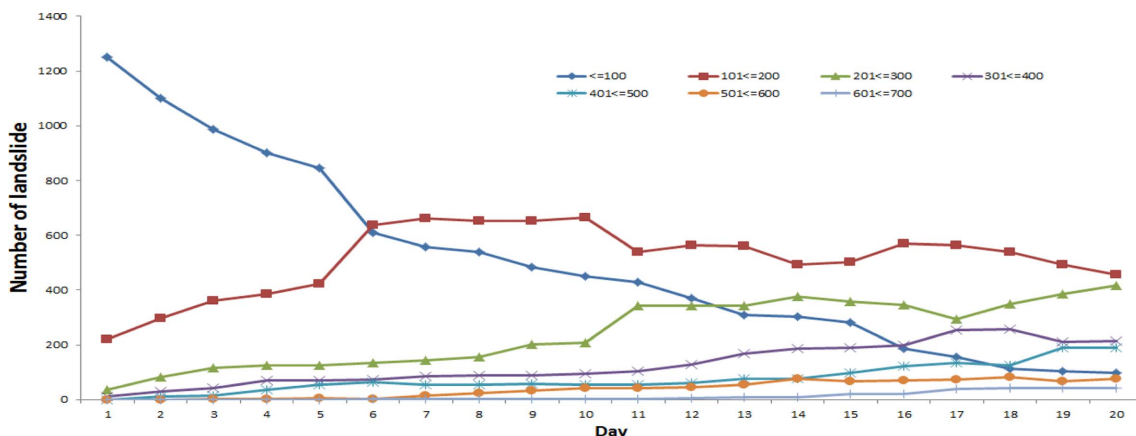


Figure 3. The number of landslide by the accumulative days of rainfall.

발생에 미치는 영향이 큰 시점인 것으로 알 수 있다. 그리고 101-200 mm에서는 10일, 201-300 mm에서는 14일, 301-400 mm에서는 18일 누적일수가 산사태 발생에 많은 기여를 하는 것으로 나타났다.

산사태 재해를 유발하는 강우특성에 대한 규명은 강우 시 조기경보체제 수립이나 사면재해 예방을 위한 대책공법의 설계 및 유지관리를 위하여 중요하다. Caine(1980)은 일정 시간동안 일정 강우강도로 강우가 지속되면 산사태가 발생한다는 임계강우개념(Critical rainfall threshold concept)을 처음으로 제시한 이후로 많은 연구자들이 산사태 예보 및 경보를 위한 다양한 강우기준에 대하여 연구를 수행하였다(Crosta and Frattini, 2000; Wilson et al., 1995). 이러한 연구들은 산사태 재해와 관련시키기 위하여 강우기준으로서 강우강도, 강우지속시간, 일강우량 및 선행강우량 등의 자료를 이용하였다. 국내에서도 산사태가 발생하는 강우기준을 연속강우량 200 mm 이상과 시간강우강도 30 mm 이상이 되면 위험이 있다고 보고 하였다(Choi, 1986). Hong et al.(1990)은 1977-1987년 사이의 주요 산사태와 강우자료 분석을 통해 일강우량과 시우량이 산사태 발생과 관련이 있고, 강우특성에 따라 발생규모가 달라진다고 하였다.

강우특성과 산사태와의 연구는 선행강우량, 누적강우량, 연속강우량, 강우강도 등을 이용하여 많은 연구도 필요하지만, 누적일수에 따른 누적강우량과 산사태 발생 영향에 대한 연구도 매우 중요하다.

누적일수에 따른 누적강우량과 산사태 발생과 관련하여 외국의 사례에서 Lumb(1975)은 홍콩지역의 경우 대략 15일간의 누적강우량이 200 mm가 되거나 일 강우량이 100 mm이상이면 산사태가 발생하였다고 하였다. Guzzetti et al.(2004)은 이탈리아 Imperia 지역에서 45일 동안 1,000 mm의 강우가 발생하였고, 강우발생 약 8~10시간 이후 강우강도 8~10 mm/hr 상태에서 산사태가 발생하여 선행강우의 영향으로 산사태가 발생한 것으로 보고하였다. Calcaterra and Santo(2004)는 이탈리아 나폴리의 Pozzano 지역에 발생한 산사태는 총 선행강우 160 mm 였으며, 산사태가 발생 전 4개월 동안 이 지역 연평균 강우량의 69%에 달하는 800 mm의 강우가 발생하였다고 하였다.

Yagi and Yatabe(1987)는 7일간의 선행강우량이 많을 경우 적은 강우에 의해서도 산사태가 발생할 수 있다고 하였다. Marques et al.(2008)은 Azores 제도에 위치한 Sao Miguel 섬에서 짧은 기간 동안 발생한 강한 강우나 오랜 기간 동안 발생한 적은 강우에 의해 산사태가 발생한다고 하였다. Yune et al.(2010)은 일본의 경우 산사태 발생 3일 전, 7일전의 선행강우량과 발생 당일의 강우강도가 밀접한 관계가 있다고 하였다. Kim et al.(2013)은 강우강도-지속시간을 이용한 산사태 발생확률 연구에서 24시간 동안

누적강우량 212.9 mm 이면 50%, 누적강우량 363.8 mm 이면 90%의 산사태가 발생할 가능성이 있다고 하였다. Kim et al.(2011)은 경남지역에 있어서 누적강우량 230 mm 이상에서 산사태가 발생한다고 하였다.

여러 나라 사례에서 보는 바와 같이 산사태 발생은 지역적인 지형, 지질, 식생상태 및 강우 등 기후특성에 따라 많은 영향을 받기 때문에 누적일수 및 누적강우량에 있어서도 많은 차이가 나타나고 있다. 특히, 산사태 재해를 유발하는 강우특성 중 시간강우량 및 일강우량도 중요하지만, 그 이전에 내렸던 선행강우량도 산사태 발생에 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 누적강우량도 산사태 발생에 많은 기여를 하기 때문에 누적일수에 따른 산사태 예보 및 경보기준을 마련하여 인명 및 재산상의 피해를 최소화해야 할 필요성이 있을 것으로 생각된다.

## 결론

본 연구에서는 산사태 발생 전 강우량의 특성과 누적강우 일수 및 누적강우량에 의한 산사태 유형분석을 통하여 산사태 발생에 미치는 누적강우량의 영향을 분석하기 위하여 수행하였다.

산사태가 발생한 1,520개소의 자료를 중심으로 산사태 발생 20일전까지 일강우량의 평균값은 1일전이 52.9 mm로 가장 많은 양을 보였고, 2일전이 22.8 mm, 6일전이 21.9 mm 순으로 나타났다. 누적강우량에 따른 산사태 발생 건수는 20 mm미만에서 263개소, 30 mm미만에서 316개소, 80 mm미만에서 514개소, 150 mm미만에서 842개소, 150 mm이상에서 678 개소가 발생하였다.

누적 일수에 따른 누적강우량과 산사태 발생과의 관계에서 100 mm이하에서는 누적일수 3일을 기점으로 전체 1,520개소 중 64.9%인 986개소가 발생하였고, 누적일수 5일은 전체 1520개소 중 60%인 846개소가 발생하고 있어 3일이나 5일정도 누적된 강우량이 산사태 발생에 미치는 영향이 큰 시점으로 나타났다. 또한, 101-200 mm에서는 10일, 201-300 mm에서는 14일, 301-400 mm에서는 18일 누적일수가 산사태 발생에 많은 기여를 하는 것으로 나타났다.

따라서, 누적강우량도 산사태 발생에 많은 기여를 하기 때문에 누적일수에 따른 산사태 예보 및 경보기준을 마련하여 인명 및 재산상의 피해를 최소화해야 할 필요성이 있을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호:

S211216L020110)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

## References

- Brand, E.W. 1985. Predicting the Performance of Residual Soil Slopes. Proc of 11<sup>th</sup> Inter. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. San Francisco. pp. 2541-2573.
- Caine, N. 1980. The rainfall intensit-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler* 62: 23-27.
- Calcaterra, D. and Santo, A. 2004. The January 10, 1997 Pozzano Landslides, Sorrento Peninsula, Italy. *Engineering Geology* 75: 181-200.
- Choi, K. 1986. Landslides Occurrence and its Prediction in Korea. Doctor of Philosophy Dissertation Kangwon National University Korea. pp. 42.
- Crosta G.B. and Frattini, P. 2001. Rainfall Thresholds for Triggering Soil Slips and Debris Flow. *Mediterranean Storms: Proceedings of the EGS 2nd Plinius Conference, Siena, Italy.* pp. 463-487.
- Dai, F.C. and Lee, C.F. 2001. Frequency-volume Relation and Prediction of Rainfall-induced Landslides. *Engineering Geology* 59: 253-266.
- 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* 73: 229-245.
- Hong, W.P., Kim, Y.W., Kim, S.K., Han, J.G., and Kim, Maria. 1990. Prediction of Rainfall-triggered Landslides in Korea. *Journal of Korean Society of Geotechnical Engineers* 6(2): 55-63.
- Im, O.B. 2009. A Study on Characteristics of Landslide and Restoration Works in Damaged Area by Heavy Rainfall-Focused on Hongcheon area in Gangwondo. Master D. Diss. Kangwon National University. Korea. pp. 88.
- Jo, M.H. and Jo, Y.W. 2009. Developing Forecast Technique of Landslide Hazard Area by Integrating Meteorological Observation Data and Topographical Data -A Case Study of Uljin Area-. *The Korean Association of Geographic Information Studies* 12(2): 1-10.
- Kang, J.T., Jung, S.Y., Ma, H.S., and Chung, Y.G. 1999. Analysis of the Forest-land Conservation Function by the GIS. *Research Bulletin of Experiment Forests Gyeongsang National University* 9: 63-70.
- Kim, G.H., Won, S.Y., Youn, J.H., and Song, Y.S. 2008. Hazard Risk Assessment for National Roads in Gangneung City. *Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information System* 16(4): 33-39.
- Kim, K.H., Jung, H.R., Park, J.H. and Ma, H.S. 2011. Analysis on Rainfall and Geographical Characteristics of Landslide in Gyeongnam Province. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Tecnology* 14(2): 33-45.
- Kim, S.W., Chun, K.W. Kim, M.S., Kim, M.S., Kim, J.H., and Lee, D.K. 2013. Rainfall Intensity-Duration Thresholds for the Initiation of a Shallow Landslide in South Korea. *Journal of Korean Forestry Society* 102(3): 463-466.
- Lee, S.H. 2005. Application of Physically based Hydrologic Model to The Prediction of Shallow Landslide Potential Area Using GIS. Ph.D. Diss. Chungbuk University, Korea.
- Lee, S.R. 2001. Application of Regional Landslide Susceptibility, Possibility, and Risk Assessment Techniques Using GIS. *The Korean Society of Economic and Environmental Geology.*, *Economic and Environmental Geology* 34(4): 385-394.
- Ma, H.S. 1990. Studies on Landslide and Debris Flow in Mt. Chiri District. *Research Bulletin of Experiment Forests Gyeongsang National. University* 1: 13-25.
- Ma, H.S. 1992. Studies on Landslide and Debris Flow in Mt. Chiri District(II). *Research Bulletin of Experiment Forests Gyeongsang National University* 2: 17-28.
- Ma, H.S. 2001. Landslide Characteristics and Recovery Direction in Korean National Parks. *Journal of National Park Research* 27: 17-21.
- Ma, H.S., Jeong, W.O., and Park, J.W. 2008. Development of technique of landslide hazard area in Korea National Parks. *Journal of Korean Forestry Society* 97: 326- 331.
- Marques, R., Zezera, J., Trigo, R., Gaspar, j., and Trigo, I. 2008. Rainfall Patterns and Critical Values Associated with Landslides in Povoacao Country(SaoMiguel Island, Azores) : Relationship with the North Atlantic Oscillation. *Hydrological Processes* 22(4): 478-494.
- Marui, H., Sato, O., and Watanabe, N. 1997. Gamahara Torrent Debris Flow on 6 December 1996. *Japan Landslide News* 10: 4-6.
- Ministry of Science and Technology. 2006. Development of QRA system and damage mitigation technology of landslides. pp. 360.
- National Institute for Disaster Prevention. 2002. The field survey report of damages caused by the typhoon RUSA in 2002. Ministry of Government Administration and Home Affairs. pp. 257.
- Oh, C.Y., Jun, K.W., Jang, C.D., and Jun, B.H. 2011. Verifying of Soil Water Index for Sediment Disaster Triggering in Mountainous Area. *Korean Review of Crisis & Emergency Management* 7(4): 167-176.
- Park, N.S. 2008. A Study on Characteristics of Landslide of Debris Flow in Kangwon-do. Master D. Diss. Kangwon National University. Korea. pp. 96.
- Sassa, K. 1997. Landslide Triggered Debris Flow: Mechanism of Undrained Loading of Torrent Deposits (Special Issue on Landslide-Triggered Debris Flow). *Monthly Journal Chikyu (Earth)* 19(10): 652-660.
- Woo, C.S., Lee, C.W., and Jeong, Y.H. 2008. Study on Application of Topographic Position Index for Prediction of the Landslide Occurrence. *Journal of the Korea Society of*

- Environmental Restoration Technology 11(2): 1-9.
- Wilson, R.C. and Wiczoreak, G.F. 1995. Rainfall Threshold for the Initiation of Debris Flow at La Honda, California, Environmental and Engineering Geoscience 1(1): 11-27.
- Yagi, N. and Yatabe, R. 1987. Prediction Method of Slope Failure in Sandy Soil due to Rainfall. In: proceedings of 8th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Kyoto, Japan. pp. 217-220.
- Yune, C.Y., Jun, K.J., Kim, K.S., Kim G.H., and Lee, S.W. 2010. Analysis of Slope Hazard-Triggering Rainfall Characteristics in Gangwon Province by Database Construction. Journal of Korean Geotechnical Society 26(10): 27-38.
- 

(Received: August 10, 2015; Accepted: May 22, 2016)