

언론보도를 통한 지진에 의한 산사태 발생특성 분석 : 최근 10년(2009-2018)간 국내 언론에 보도된 국외사례를 중심으로

Analysis of the Occurrence Characteristic of Earthquake-Induced Landslide through a Media Report : Focus on International Cases Reported in Domestic Media During the 10 years (2009-2018)

강민정¹ · 김기대² · 서준표^{3*} · 우충식⁴ · 이창우⁵

Minjeng Kang¹, Kidae Kim², Junpyo Seo^{3*}, Choongshik Woo⁴, Changwoo Lee⁵

¹Assistant Researcher, Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea

²Assistant Researcher, Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea

³Researcher, Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea

⁴Researcher, Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea

⁵Senior Researcher, Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul, Republic of Korea

*Corresponding author: Junpyo Seo, seojunpyo@korea.kr

ABSTRACT

Purpose: Most of the studies in the country on earthquake-induced landslide predict the displacement of the slope. Until now, no studies have been conducted on the occurrence of landslides and damage characteristics by earthquakes. Therefore, this study was conducted to obtain basic data of landslides caused by earthquakes. **Method:** In order to analyze the characteristics of earthquake-causing landslides, we have collected data reported in the media over the past decade. Landslides in foreign countries were analyzed separately by cause of occurrences such as rainfall and earthquake. Landslides from abroad were analyzed according to the cause of the occurrence, and landslides caused by earthquakes were further analyzed as follows: the magnitude of an earthquake, year of occurrence, number of occurrences by continent, damage status, etc. **Result:** In the past 10 years, a total of 608 landslides have been reported from overseas, and the cause is the highest with 340 landslides due to rainfall. There were 70 cases of landslides caused by earthquakes, and it was analyzed as the second cause of landslides. The average magnitude for earthquakes that caused landslides was 6.5, and the minimum and maximum magnitude were 4.4 and 8.2 respectively. The earthquake-induced landslides were the most occurrence in 2011yr and 2012yr, and the continent was the most common in Asia. Also, It was analyzed that if an earthquake caused landslides, the number of casualties increased and the size of the damage increased. **Conclusion:** Currently, earthquakes are steadily increasing in Korea, and the possibility of strong earthquakes is also increasing. Earthquake-induced landslides are beyond human control due to natural disasters but can minimize damage through active prevention and response. It is expected that the results of this study will be used as basic data in establishing measures for earthquake landslides to reduce property and human damage in the future.

Keywords: Earthquake, Landslide, Earthquake-induced Landslide, Media Report, Occurrence Characteristic

Received | 23 April, 2020

Revised | 21 August, 2020

Accepted | 21 August, 2020

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

요약

연구목적: 국내 지진에 의한 산사태 관련 연구는 사면 변위를 예측하는 연구가 대부분이며, 지금까지 지진에 의한 산사태 발생특성에 관한 연구는 수행되지 않았다. 따라서 본 연구는 지진에 의한 산사태의 기초자료를 얻기 위해 수행되었다. **연구방법:** 지진으로 인한 산사태 특성 분석을 위해 최근 10년동안(2009~2018) 미디어를 통해 보도된 기사를 수집하였으며, 강우 및 지진과 같은 산사태 발생원인을 분석하였다. 이후 산사태를 발생시킨 지진 규모와 지진에 의한 산사태의 연도별, 대륙별 발생건수 및 인명피해 특성을 분석하였다. **연구결과:** 10년 동안 국내외에서 보고된 산사태는 총 608건이었고, 그 원인은 강우에 의한 발생이 340건으로 가장 많이 나타났다. 지진에 의한 산사태 발생은 총 70건으로 두 번째 많은 원인으로 분석되었다. 산사태를 발생시킨 지진의 평균 규모는 6.5로 나타났으며, 최소, 최대 규모는 각각 4.4, 8.2이었다. 지진에 의한 산사태는 2011년과 2012년에 가장 많이 발생하였으며, 대륙별로는 아시아에서 가장 많이 발생한 것으로 나타났다. **결론:** 현재 우리나라에서 지진 발생은 지속적으로 증가하고 있으며, 그만큼 강진이 발생할 확률도 높아지고 있다. 지진에 의한 산사태는 자연재해로서 인간의 통제가 불가능하지만 적극적인 예방과 대응을 통해 피해를 최소화할 수 있다. 본 연구결과가 향후 국민의 재산 및 인명피해 저감을 위한 지진에 의한 산사태 대책수립에 기초자료로 활용될 것을 기대한다.

핵심용어: 지진, 산사태, 지진에 의한 산사태, 언론보도, 발생특성

서론

우리나라에서 발생하는 자연재해의 경우 여름철 강우가 집중되어 발생하는 풍수해가 대부분을 차지한다. 특히 장마태풍 영향시기에 발생하는 산사태는 산림뿐만 아니라 사회적으로도 큰 피해를 주는데, 2011년 서울 우면산 산사태, 춘천 마적산 산사태가 대표적인 사례이다. 우리나라의 연평균 산사태 피해는 1990년대 349ha에서 2000년대 713ha로 피해면적이 점차 증가하고 대형화되는 추세이기 때문에 산사태 발생원인을 분석하여 이를 사전에 예방하거나 피해를 저감 할 수 있는 대책을 마련하는 것이 중요하다(Korea Forest Service, 2018). 산사태 발생원인은 강우·지진과 같은 직접적인 원인과 지형·지질·임상·토양과 같은 간접적인 원인으로 구분된다. 대체로 국내 산사태 발생원인은 집중호우 및 태풍 등 강우의 영향(Chae et al., 2016)으로 알려져 있는 반면, 국외에서는 강우뿐만 아니라 지진, 적설 및 용설 등에 의해서도 산사태가 발생되고 있다(Rodríguez et al., 1999; Guo et al., 2013; Ma et al., 2017).

그중 우리나라의 인접국인 일본과 중국에서는 지진으로 인한 산사태 피해 사례가 많기 때문에 지진규모에 따른 산사태 발생 메커니즘, 임계강우기준, 사방구조물 등 다양한 연구가 수행되었다(Rodríguez et al., 1999; Itoh et al., 2009; Hayashi et al., 2010; Huang et al., 2011; Guo et al., 2013; Ma et al., 2017). 지금까지 국내에서는 지진에 의한 산사태 발생사례가 보고 되지 않았지만(Seo et al., 2018), 지진에 의한 산사태 연구의 필요성은 1998년부터 제기되었다. Lee(1998)에 의하면 지진(본진) 자체로 산지에 균열이 발생할 수 있으며, 그 후의 변형된 지형에 추가로 발생하는 지진(여진) 또는 강우로 인해 약해진 토층에서 붕괴가 발생할 수 있다고 하였다. 특히 국내에서 지진에 의한 산사태 관련 연구는 지진이 발생했을 때 지진 규모·가속도에 따라서 사면 변위를 예측하는 연구가 대부분이었으나(Park et al., 2014; Lee et al., 2015), 최근 들어 지진에 의한 산사태 관련 국외 연구동향과 국내에서의 관련 연구수행 방향성이 제시되었다(Lee et al., 2017; Seo et al., 2018). 그러나 지진에 의한 산사태의 발생건수, 인명피해 등 피해규모를 분석한 연구는 없었는데, 이를 예방하기 위해서 지진에 의한 산사태 관련 연구의 기초자료 획득이 필요한 시점이다.

한편, 재해 발생빈도와 피해규모 등 관련 정보를 파악하는 것은 재해에 취약한 정도를 평가할 수 있는 척도로서 가치가 있으며, 이러한 재해 정보를 객관적으로 나타내는 것이 언론에서 보도되는 재해 관련 기사라고 할 수 있다(Kong et al., 2015). 특히 언론은 재해에 관한 정보를 대중과 여러 단체에 제공하는 역할을 하며, 재해의 원인과 피해에 따라 대응을 용이하게 할

수 있는 재해 관련 정보의 주요한 공급원이기도 하다(Ahmad et al., 2016).

본 연구에서 제시하고자 하는 지진에 의한 산사태 피해특성은 국내 사례가 없기 때문에 국외 사례를 통해 관련 재해의 발생현황, 피해규모를 분석하여 앞으로의 재해 방지대책에 기초자료로 활용하고자 하였다. 이를 위해 국내 언론에 보도된 국외 산사태 발생원인과 산사태를 발생시킨 지진 규모와 지진에 의한 산사태의 연도별, 대륙별 발생건수 및 인명피해 특성에 대해 분석하고, 지진에 의한 산사태 피해특성을 고찰하였다.

자료 및 방법

자료 수집

본 연구에서는 국외 산사태 발생원인과 지진에 의해 발생된 산사태 특성을 분석하기 위해 언론보도 기사를 수집하였다. 이를 위해 2009년 1월부터 2018년 12월까지 최근 10년간 방송사, 전자신문 등 인터넷 포털사이트(Naver, Google 등)의 보도 자료 검색을 통하여 기사를 수집하였다. 검색키워드는 ‘산사태’를 사용하였으며, 산사태와 관련된 내용이지만 실제 산사태가 발생하지 않은 기사 또는 동일한 시점에서 보도된 유사한 내용은 전수 검토를 통하여 분석에서 제외하였다. 이러한 과정을 통해 최종적으로 선별된 기사를 연구자료로 이용하였으며, 기사를 각 언론사별로 분류한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. The number of news classified by domestic media during the 2009-2018

Key word	Media	Case
Landslide ("산사태")	Yonhap News	131
	NEWSIS	80
	YTN	71
	SBS	53
	MBC	47
	News 1	46
	KBS	25
	etc.	155
	Total	608

자료 분석

국외에서 발생한 산사태의 원인을 분석하기 위해서 세계 재난통계 연구센터(CRED; Centre for Research on Epidemiology of Disasters)에서 분류한 수문·기상학적 재해(Hydro-meteorological disasters)와 지질재해(Geological disasters)로 그 원인을 크게 구분하였다. 이러한 분류는 국립방재연구소(Kim et al., 2006)의 전 세계 자연재해 유형 분류에 사용되었고, 그 분류에는 생물재해(Biological disasters)가 포함되어 있지만 산사태 발생원인과는 상관성이 없기 때문에 제외시켰다. 한편, 산사태가 산지개발 등 인위적 훼손에 의해서 발생할 수 있기 때문에 인위적 원인을 추가하였고, 발생원인을 정확하게 알 수 없는 경우에는 원인미상으로 분류하였다. 이를 통해 분류된 자료는 지진에 의한 산사태 피해특성 분석을 위하여 지진 규모별, 연도별, 대륙별 지진에 의한 산사태 발생건수, 인명피해 특성을 파악하였다.

결과 및 고찰

국외 산사태 발생원인 분석

국외 산사태 발생원인을 세계 재난통계 연구센터의 기준을 참고하여 분석한 결과는 Table 2와 같다. 국외 산사태 발생에 기인하는 요인을 찾기 위해 수문·기상학적, 지질학적, 인위적인 원인으로 분류하였으며, 발생원인이 불분명한 경우 원인미상으로 분류하였다. 세부적으로 수문·기상학적 원인은 강우, 태풍, 눈사태, 용해로 구분하였고, 지질학적 원인은 지진, 지반침하, 화산폭발, 암반풍화, 인위적 원인은 댐 붕괴, 개발로 구분하였다.

국외에서 발생한 산사태를 원인별로 분석한 결과, 수문·기상학적 원인 중에서 강우에 인한 산사태 발생이 총 340건으로 전체의 56.1%로 가장 많았다. 이어서 태풍으로 인해 105건(약 17%)의 산사태가 발생하였다. 태풍이 강우와 돌풍을 동반하는 것을 고려한다면 국외에서 발생한 산사태의 74.9%가 강우에 의해 발생했다고 할 수 있다. 이러한 결과는 국내에서 발생하는 산사태의 대부분이 강우에 의해 발생된다는 Oh et al.(2014)과 Chae et al.(2016)의 연구와 유사하였고, 이에 따라 지금까지 많은 연구자들(Kim et al., 2015; Ma et al., 2016; Nam et al., 2018)이 강우강도, 누적강우량, 강우지속시간 등 강우를 매개변수로 한 산사태 발생 예측 연구를 수행해왔다. 더불어 국외에서도 산사태 발생을 예측하기 위해 강우조건을 이용한 연구(Caine, 1980; Guzzetti et al., 2008)가 수행되었던 것도 강우에 의한 산사태 발생이 많기 때문으로 판단된다.

산사태 발생원인을 정확하게 알 수 없는 원인미상(71건)을 제외하고, 두 번째로 많은 원인은 지질학적 원인 중 지진에 의한 산사태가 70건으로 나타났다. 그 외에도 발생원인으로 눈사태(9건), 용해(2건), 지반침하(2건), 화산(2건), 암반풍화(2건), 댐 붕괴(1건), 산지개발(4건)이 있었지만, 국내의 기후특성 및 지리적·지형적 특성상 눈사태, 화산 등으로 인한 산사태는 발생하기 어려운 것으로 사료된다.

Table 2. The number of landslides in foreign countries during the 2009~2018

Causes of landslides	Detailed causes of landslides	Year										Total
		'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	
Hydro-meteorological	Rainfall	19	44	34	48	27	61	26	24	35	22	340
	Typhoon	10	0	17	21	12	7	12	9	12	5	105
	Avalanche	0	0	0	2	2	3	1	1	0	0	9
	Thawing	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Geological	Earthquake	5	4	10	10	7	9	9	5	6	5	70
	Ground subsidence	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
	Volcano	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
	Weathered rock mass	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Artificial damage	Dam collapse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	Development	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	4
Causes unknown	Causes unknown	0	10	4	8	4	11	18	6	8	2	71
Total		34	61	66	90	52	92	70	46	61	36	608

지진에 의한 산사태 발생

산사태를 발생시킨 지진 규모 현황

국외에서 총 70건의 산사태를 발생시킨 지진의 최소, 최대 규모는 각각 규모 4.4, 8.2로 나타났으며, 단순 평균한 규모는 6.5로 나타났다. 이는 규모 6.0~7.0에서 구조물 파괴 및 산사태·지반 균열이 발생한다고 제시한 KMA(2001)의 연구결과와 유사한 것으로 판단된다. 따라서 국내에서도 규모 6.5이상의 지진이 발생한다면 산사태가 발생할 가능성이 있기 때문에 이에 대한 대비가 필요하다. Keefner(1984)에 의하면 지진에 의한 산사태의 발생 위험요인들은 다양하며, 지형 및 지질 특성에 따라 지진에 의한 산사태의 위험도가 상이하다고 하였다. 이외에도 지진의 지속시간, 주파수가 지진에 의한 산사태의 형태와 규모에 영향을 미친다고 하였다. 특히 지진 발생 전 강우에 의해 지층이 포화된다면 소규모 지진에서도 산사태 발생위험이 가중된다. 2006년 2월 필리핀 레이테(Leyte) 남부 지역에서는 집중호우로 지반이 포화된 상태에서 규모 2.6의 지진으로 산사태가 발생하여 1,100여명의 사망자가 발생하였다(Evans et al., 2007; Kim, 2011; Jeon et al., 2014; Jeon et al., 2019). 이는 지진 발생 후 산사태가 발생할 수 있는 강우 임계값은 최소 30% 낮아지기 때문으로(Ma et al., 2017) 지진 발생빈도가 높은 지역에서는 지진 발생 전·후의 강우여부에 따라 지진에 의한 산사태 발생 가능성이 높아진다. 따라서 강우로 지반이 약해진 상태에서 발생하는 지진 혹은 지진 이후 지반이 약해진 상태에서 강우가 발생할 경우 산사태로 이어질 수 있기 때문에 집중호우, 태풍으로 인한 우기에 발생하는 지진에 더욱 유의해야 할 것으로 사료된다.

지진에 의한 산사태의 연도별 발생 현황

최근 10년간(2009~2018) 국외 지진 발생건수와 지진에 의한 산사태의 연도별 발생현황은 Fig. 1과 같다. 기상청(KMA, 2020)에서 제공하고 있는 국외 지진 목록을 분석한 결과, 2011년에만 총 153건의 지진이 기록되었으며, 최근 10년중 가장 많은 지진이 발생한 해로 나타났다. 10년간 연평균 지진 건수는 94건이며, 그 중 산사태를 발생시킨 지진은 연평균 7건이었다. 전 세계에서 가장 큰 규모의 지진은 규모 9.0로 일본 센다이에서 발생한 것으로 관측되었으며, 10년간 지진 평균 규모는 6.2, 최대 규모는 9.0, 산사태를 발생시킨 지진의 평균 규모는 6.5, 최대 규모는 8.2로 나타났다. 지진이 많이 발생한 해 혹은 지진 최대 규모가 아주 강했을 때에 지진에 의한 산사태가 많이 발생할 것으로 예상했지만, 2011년을 제외하고는 지진의 발생빈도와 지진에 의한 산사태 발생건수는 유사한 경향을 나타내지는 않았다. 더불어 1970년부터 2005년까지 전 세계에서 발생한 지질재해의 발생빈도는 뚜렷한 증가와 감소를 나타내지 않고 불규칙하다고 알려져 있는데(Kim et al., 2006), 지진에 의한 산사태 피해도 이와 유사하였다.

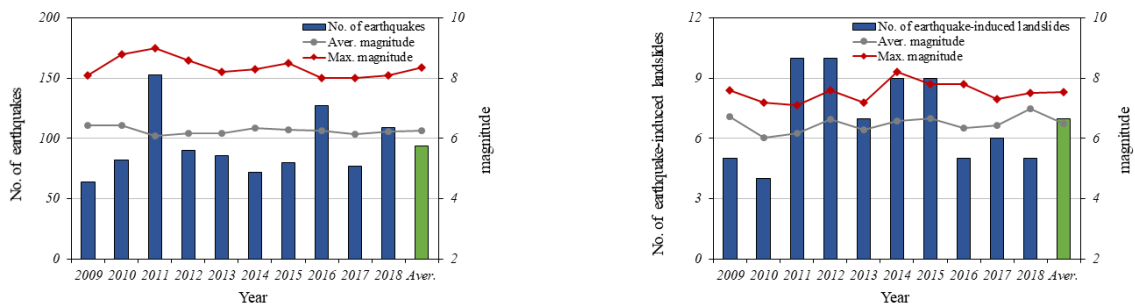


Fig. 1. The number of earthquakes and earthquakes-induced landslides classified by during the 2009-2018

지진에 의한 산사태의 대륙별 발생현황

최근 10년간(2009~2018) 지진에 의한 산사태는 Fig. 2와 같이 아시아에서 44건(66%)으로 가장 많이 발생하였다. 이는 지진 발생원인의 판구조론(Theory of plate tectonics)에 의한 것으로 아시아가 다른 대륙에 비해 공간적 범위가 가장 넓고, 다른 여러 가지 판들과 복잡하게 접해있어 지진에 의한 산사태 발생빈도가 높은 것으로 판단된다. 반면에 아프리카의 경우 지진에 의한 산사태는 0건으로 나타났는데 일반적으로 지진이 많이 발생하는 지역은 대륙과 대양의 경계지대로 대륙의 중심부나 대양의 중심부는 경계지대에 비해 발생이 미비하기 때문이다(Ahn et al., 2003). Ahn et al.(2003)의 대륙별 지진분포 현황에 따르면 1906년부터 2003년까지 주요한 대지진이 127회 발생하였는데, 대륙별로 구분하였을 때 아시아에서 56회, 유럽에서 29회가 발생하였으며, 아메리카 27회, 아프리카 7회 순으로 나타나 본 연구의 대륙별 지진에 의한 산사태 발생현황과 유사한 경향성으로 분석되었다.

지진 발생 빈도가 높은 곳은 태평양 연안지역으로 지진이 많이 발생하는 지역의 형태가 마치 커다란 둥근띠 모양과 같아서 환태평양 지진대라 한다. 특히 환태평양 지진대의 영향을 받는 곳은 우리나라를 포함하여 일본과 중국이 대표적이다. 일본과 중국에서는 과거 수십 년에 비하여 최근 수년 동안의 대규모 발생에 따라 지진에 의한 산사태 관련 연구가 활발해지고 있으며(Seo et al., 2018), 주변국에서 발생하는 대규모 지진의 빈발과 지진에 의한 산사태 발생추세로 볼 때 우리나라도 앞으로 지진에 대한 철저한 대비가 필요할 것이다.

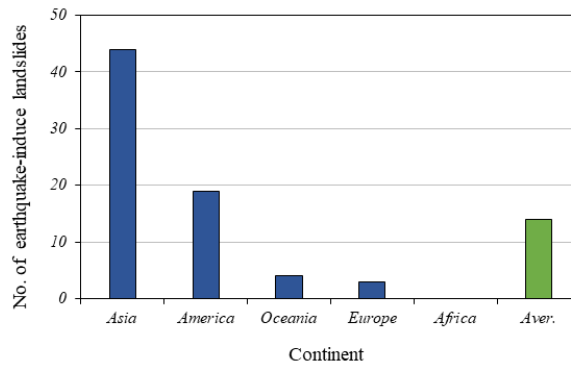


Fig. 2. The number of earthquake-induced landslides classified by continents during the 2009-2018

지진에 의한 산사태의 인명피해 현황

최근 10년간(2009~2018) 지진에 의한 산사태의 인명피해 현황은 Fig. 3과 같다. 피해현황은 인명피해 및 경제적 피해로 나눌 수 있는데, 언론보도 자료에서는 개략적인 인명피해 정보만 추출할 수 있었고, 가옥의 수, 피해면적 등 상세 정보를 파악하는 것에는 한계가 있었다.

세계적으로 강우에 의한 산사태로 인한 누적사망자는 30,391명, 실종자 9,949명, 부상자 4,438명으로 나타났고, 지진에 의한 산사태로 인한 누적사망자는 10,133명, 실종자 926명, 부상자 16,714명으로 강우에 의한 산사태가 더 많은 사상자를 발생시킨 것으로 나타났다. 그러나 발생건수당 사상자수의 차이를 단순 비교해본 결과, 실종을 제외하고 사망과 부상은 지진에 의한 산사태가 월등히 많은 것으로 나타났다. 이는 지진이 발생한 경우 지진 감지로부터 산사태 발생에 이르는 시간이 매우

짧다. 또한 일순간 쏟아지는 토사에 매몰될 뿐만 아니라 외력으로 인해 무너진 구조물, 도로 파괴 등으로 인해 산사태 발생 시 대피에 어려움이 생겼기 때문에 추측된다. 따라서 추후 재해 발생상황에 복합적인 요인들을 고려한 대책 및 경계 피난체계 마련이 필요하다.

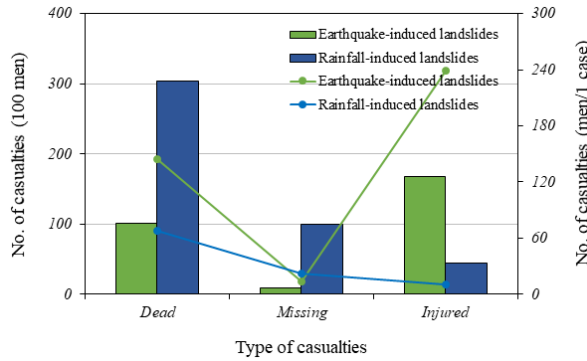


Fig. 3. The number of casualties by rainfall-induced and earthquake-induced landslides

결론

본 연구는 국내 언론보도를 통해 최근 10년(2009-2018)간 발생한 국외에서 발생한 지진에 의한 산사태 발생현황을 분석하였다. 과거 10년간 보도된 국외 산사태 사례는 총 608건이었고, 강우에 의한 발생이 340건으로 가장 많이 나타났다. 지진에 의한 산사태 발생은 총 70건으로 주로 집중호우를 동반한 태풍을 제외하고는 두 번째로 산사태를 많이 발생시키는 원인이었다. 산사태를 발생시킨 지진의 평균 규모는 규모 6.5로 나타났으며, 최소, 최대 규모는 각각 규모 4.4, 규모 8.2로 나타났다. 발생연도의 경우 2011년과 2012년이 각각 10건으로 가장 많이 발생하였으며, 대륙별로는 아시아에서 가장 많이 발생하였다. 지진에 의한 산사태로 인한 인명피해는 산사태 발생지 하부의 피해이기 때문에 지진규모보다는 산사태의 토사유출량 또는 생활권 구성 여부에 따라 증감이 결정되는 것으로 추측된다.

또한 강우에 의한 산사태가 많은 국내 특성에 따라 지진 산사태 대책수립에서 있어서도 지진 전·후 강우상황의 복합적인 분석이 필요할 것으로 사료된다. Ma et al.(2017)은 지진발생 후 강우강도와 지속시간이 30% 낮은 조건에서도 산사태가 발생한다고 하였으며, 반대로 누적강우로 토층이 포화된 상태에서 지진이 발생한다면 소규모의 지진에서도 산사태가 발생할 수 있기 때문이다(Jeon et al., 2019).

앞서 지진 발생현황을 살펴보면 지진의 총 횟수는 지속적인 증가추세를 보이고 그만큼 강진이 발생할 확률 또한 높아지고 있음을 알 수 있다. 특히 지진에 의한 산사태는 자연재해로 인간의 통제가 불가능하지만, 적극적인 예방과 대응을 통해 피해를 최소화 할 수 있다. 기존까지는 우리나라가 지리적으로 유라시아판 내부에 위치하고 있고, 활발한 판 경계로부터 떨어져 있기 때문에 지진에 대해 안전하다고 알려져 있었다. 하지만 최근 국내 지진은 인도판과 유라시아판과의 충돌, 태평양판 아래로 필리핀판이 수렴하면서 생기는 진동의 영향을 받고 있으며(Jang et al., 2007), 국내 지진관측 이래 최대 규모 지진이 발생했을 뿐만 아니라 포항 지진으로 인해 땅밀림 산사태 위험성이 대두되면서 지진에 의해 산사태가 발생하는 것에 대한 대비가 시급한 실정이다.

최근 정부는 지진방재 분야 최상위 계획으로써 「지진·화산재해대책법」이라는 중장기 지진방재 종합계획을 수립하고 있다. 이에 근거한 제 2차 지진방재 종합계획(2019~2023)에서는 산사태 위험도 평가기술 개발에 관한 내용으로 지진에 의한 산사태 발생에 대비한 계획도 포함되어있지만, 위험도 평가의 이후의 대책 내용은 명확하게 제시되어 있지 않다. 따라서 본 연구를 통해 지진에 의한 산사태 피해저감을 위한 향후 연구방향 제언은 아래와 같다.

먼저, 현재 국내에서는 산사태 피해저감에 있어서 가장 큰 부분을 차지하는 구조물 대책인 사방댐, 사방공작물 등에 대해서는 내진설계를 전혀 고려하지 않고 있다. 따라서 기존 사방댐의 내진 성능 연구가 선행되어야 하며, 이후 시설물 설계지침에 내진보강 기준을 적용하도록 하는 연구를 단계적으로 실시해야 한다. 또한 내진 설계기준을 마련하기 위해서 신재난에 대비한 사방구조물 규모 및 재료 등에 대한 기초연구가 선행되어야 할 것이다. 구조물 기준마련 외에도 비구조물적 대책으로 지진 발생시 산사태 예·경보 기준 정립 등 관련 연구를 통해 신속한 정보전달로 인명피해를 최소화할 수 있는 연구가 필요하다. 지진으로 인한 산사태 예측은 국내에 발생한 사례가 전무하여 정확한 예측이 힘들고 발생지역이 광범위하며, 지진 발생 후 태풍 등의 집중호우가 발생하게 되면 더 큰 피해가 우려된다. 이러한 상황들을 예방하기 위해서는 항구적인 대책과 더불어 지역 주민에게 위험성 교육과 홍보, 산사태 발생시 경계·피난대책 등 비구조물 대책을 마련하여 효율적인 재난관리를 수행하는 것이 가장 효과적인 대책이 될 것으로 판단된다.

References

- [1] Ahn, J.-P., Yu, D.-C., Kim, Y.-I. (2003). "A study on the specific character of earthquake in the Korea." Korea Society of Civil Engineers Annual Conference, Daejeon, Republic of Korea, pp. 4144-4149.
- [2] Ahmad, J., Lateh, H. (2016). "Media and the environment in Malaysia: An analysis on new coverage of landslide disaster in Kuala Lumpur." Malaysian Journal of Communication, Vol. 32, No. 2, pp. 525-544.
- [3] Caine, N. (1980). "The Rianfall intensity: duration control of shallow landslides and debris flows." Geografiska Annaler, Vol. 62, No. 1/2, pp. 23-27.
- [4] Chae, B.-G., Choi, J.-H, Jeong, H.-K. (2016). "A feasibility study of a rainfall triggering index model to warn landslides in Korea." The Journal of Engineering Geology, Vol. 26, No. 2, pp. 325-250.
- [5] Evans, S.G., Guthrie, R.H., Roberts, N.J., Bishop, N.F. (2007). "The disastrous 17 February 2006 rockslide-debris avalanche on Leyte Island, Philippines: A catastrophic landslide in tropical mountain terrain." Natural Hazards and Earth System Science, Vol 7, pp. 89-101.
- [6] Guo, D., Hamada, M. (2013). "Qualitative and quantitative analysis on landslide influential factors during Wenchuan earthquake: A case study Wenchuan county." Engineering Geology, Vol. 152, pp. 202-209.
- [7] Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Colin, P.S. (2008). "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: An update." Landslides, Vol. 5, No. 1, pp. 3-17.
- [8] Hayashi, S., Araki, T., Yamada, T., Numamoto, S. (2010). "Factors of slope failures triggered by the Noto-Hanto earthquake in 2007." Journal of Japan Society of Erosion Control Engineering, Vol. 63, No. 3, pp. 19-26.
- [9] Huang, R., Pei, X., Fan, X., Zhang, W., Li, S., Li, B. (2011). "The characteristics and failure mechanism of the largest landslide triggered by the Wenchuan earthquake, May 12, 2008, China." Landslides, Vol. 9, No. 1, pp. 131-142.
- [10] Itoh, H., Osanai, N., Nishimoto, H., Usuki, N., Sagichi, O. (2009). "Relationship between the distribution of slope failures and seismic intensity." Journal of Japan Society of Erosion Control Engineering, Vol. 61, No. 5, pp. 46-51.

- [11] Keefer, K.D. (1984). "Landslides caused by earthquakes." *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 95, No. 4, pp. 406-421.
- [12] Kim, D.-E, Choi, W.-J., Sim, J.-H. (2006). "Analysis of status and types of natural disaster in the world." *Water for Future*, Vol. 41, No. 2, pp. 56-61.
- [13] Kim, J.-S. (2011). "Assessment of landslide hazard induced by earthquake and groundwater level variation." Master's Dissertation, Sejong University.
- [14] Kim, S.-W., Chun, K.-W., Otsuki, K., Shinohara y., Kim, M.-I, Kim, M.-S., Lee, D.-K., Seo, J.-I., Choi, B.-K. (2015). "Heavy rain types for triggering shallow landslides in South Korea." *Kyushu University Institutional Repository*, Vol. 60, No, 1, pp. 243-249.
- [15] Kong, H.-J., Lee, S.-H. (2015). "A study on the change of meteorological disaster reported in the newspapers in Korea." *Journal of Climate Research*, Vol. 10, No. 1, pp. 1-11.
- [16] Korea Forest Service (2018). "Implementation plan for landslide prevention in 2018." Daejeon, Republic of Korea.
- [17] Korea Meteorological Administration (KMA) (2001). "Earthquake observation data." Seoul, Republic of Korea.
- [18] Jang, H.-N., Lee, J.-Y. (2007). "Case study earthquake damage in Korea and other countries." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 55, No. 4, pp. 133-139.
- [19] Jeon, S.-K., Baek, S.-C. (2019). "Comparison of prediction models for identification of areas at risk of landslides due to earthquake and rainfall." *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 20, No. 6, pp. 15-22.
- [20] Jeon, S.-K., Kim, D.-M., Choi, W.-Il, Choi, E.-H. (2014). "Prediction of the landslide and effect on heritage located in mountain induced earthquake." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 2, pp. 139-148.
- [21] Lee, J.-H. (1998). "The characteristics of the earthquake-induced landslide disaster and the influence of forests." *Monthly Forestry Information*, Vol. 86, pp. 44-47.
- [22] Lee, J.-H., Park, D.-H., Ahn, J.-K., Park, I.-J. (2015). "Development of permanent displacement model for seismic mountain slope." *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 31, No. 4, pp. 57-66.
- [23] Lee, S.-I., Seo, J.-I., Kim, J.-H., Ryu, D.-S., Seo, J.-P., Kim, D.-Y., Lee, C.-W. (2017). "International research trend on mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes." *Journal of Korean Society of Forest Science*, Vol. 106, No. 4, pp. 431-440.
- [24] Ma, C., Wang, Y., Hu, K., Du, C., Yang, W. (2017). "Rainfall intensity-duration threshold and erosion competence of debris flows in four areas affected by the 2008 Wenchuan earthquake." *Geomorphology*, Vol. 282, pp. 85-95.
- [25] Ma, H.-S., Kang, W.-S., Enekuwa, E.H. (2016). "Influence of cumulative rainfall on the occurrence of landslides in Korea." *Journal of Geography and Geology*, Vol. 8, No. 2, pp. 49-58.
- [26] Nam, D.-H., Lee, S.-H., Kim, M.-I., Kim, B.-S. (2018). "Calculation of rainfall triggering index (RTI) to predict the occurrence of debris flow." *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 28, No. 1, pp. 47-59.
- [27] Oh, J.-R., Park, H.-J. (2014). "Analysis of landslide triggering rainfall threshold for prediction of landslide occurrence." *Journal of Korean Society Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 2, pp. 115-129.
- [28] Park, D.-H., Lee, J.-H., Ahn, J.-K., Han, J.-T., Lee, J.-Y., Park, I.-J. (2014). "Development of prediction method considering geometrical amplification characteristics of slope I : Analysis about amplification characteristics of mountain slopes in Seoul." *Journal of Korean Society Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 5, pp. 77-84.
- [29] Rodríguez, C.E., Bommer, J.J., Chandler, R.J. (1999). "Earthquake-induced landslides: 1980-1997." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 18, pp. 325-346.
- [30] Seo, J.-I., Lee, S.-I., Kweon, H.-K., Chun, K.-W., Kim, S.-W., Jun, K.-W., Kim, J.-H., Lee, C.-W. (2018). "Future research direction in response to mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in South Korea." *Crisisonomy*, Vol. 14, No. 3, pp. 119-138.