

Future Research Direction in Response to Mountainous Sediment-Related Disasters Induced by Earthquakes in South Korea

Jung Il Seo^{1#}, Sang In Lee¹, Hyeong Keun Kweon¹, Kun Woo Chun², Suk Woo Kim², Kye Won Jun³, Jin Hak Kim^{1,4+}, Chang Woo Lee⁴⁺

¹ Department of Forest Resources, College of Industrial Sciences, Kongju National University, 54 Daehakro, Yesan, Chungcheongnamdo 32439, Korea

² Department of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, 1 Kangwondaehakgil, Chuncheon, Gangwondo 24341, Korea

³ Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Joongangro, Samcheok, Gangwondo 25913, Korea

⁴ Division of Forest Disaster Management, Department of Forest Conservation, National Institute of Forest Science, 1 Hoegiro, Dongdaemun, Seoul 02455, Korea

Abstract

The objective of this study was to present future research direction in response to mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in Korea, based on the previous studies in the countries with similar seismic characteristics as Korea. Earthquakes in Korea have lower magnitude and frequency, and occur mainly in faults inside tectonic zones. These features are similar to those in China, but recent major earthquakes in Korea may be related to those in Japan. In fact, the research techniques derived from Chinese studies were overlapped with those in Japan. The findings suggest the need of experimental studies on mechanism of sediment transportation during earthquakes and on scale of the disasters according to sequential occurrence of heavy rainfalls and earthquakes. This study also recommends further studies on the establishment of disaster hazard map including seismic fault information and on the improvement of disaster hazard map incorporating the scope of disaster-related damages with respect to earthquake magnitude and rainfall intensity.

Key words: hazard map, tectonic, seismic fault, seismic frequency, seismic magnitude

1. 서론

과거 우리나라의 산지토사재해는 강우가 주된 유인으로 인식되어 왔다. 대표적 연구사례로서 Chun, *et al.*(2006)은 2006년 강원도 평창지역에서 발생한 산사태를 대상으로 원인을 분석하였으며, 단기간의 집중호

우로 인하여 기반암과 풍화토 사이의 경계 부근에 포화대(saturated layer)가 형성되어 산사태가 발생하였고 보고하였다. 또한, Chae, *et al.*(2006)은 강우강도와 사면경사에 따른 산사태 발생양상에 관한 연구를 통하여 강우강도가 클수록 산사태의 발생개시 시간이 빠르다는 것을 실험적으로 입증하였다. 그리고 Kim, *et*.

The 1st author: Jung Il Seo, Tel. +82-41-330-1302, e-mail, jungil.seo@kongju.ac.kr

+ Corresponding authors: Jin Hak Kim, Tel. +82-33-250-8313, e-mail, jhkim840608@gmail.com
Chang Woo Lee, Tel. +82-41-330-1302, e-mail, leecwfr@korea.kr

al.(2015) 역시 우리나라 산지에 있어서 집중호우 형태와 산사태 발생과의 관계를 정량적으로 파악하여 강우의 강도와 지속시간이 산사태의 발생 및 규모를 결정하는 중요한 유인이라는 것을 규명하였다.

그러나 2016년 9월 12일 경주에서 발생한 규모 5.8의 지진과 2017년 11월 15일 포항에서 발생한 규모 5.4의 지진에서 알 수 있듯이 우리나라도 대규모 지진으로부터 더 이상 안전지대가 아니라는 인식이 대두되었다. 국외에서 발생한 다수의 사례(Huang, *et. al.*, 2002; Zhang, *et. al.*, 2011; Wang, *et. al.*, 2014a, 2014b)에 따르면, 지진은 강우와 함께 산사태, 땅밀림, 토석류 등의 산지토사재해를 유발하는 또 하나의 유인이기도 하다. 실제로 지난 포항지진의 여파로 일부 산지에서는 균열간격 6.5cm의 땅밀림 현상이 관측되어 산사태 피해가 발생할 우려가 있다고 보도된 바 있다(Nocut News, 2017). 그러나 우리나라에서는 아직까지 일본이나 중국 등과 같이 산지토사재해를 유발할 만한 규모의 지진이 발생한 이력이 없어 관련 연구 역시 매우 초보적인 수준에 있다고 판단된다. 이에 반해 일본, 중국, 대만 등의 국가에서는 지진 유발 산지토사재해와 관련하여 다양한 연구가 진행되어 왔다(Lee, *et. al.*, 2017). 특히, 일본에서는 지난 2017년 5월 개최된 ‘공익사단법인 사방학회 정기총회 및 연구발표회’에서 직하형 지진으로 인한 산지토사재해의 발생과 관련된 별도의 세션을 마련하여 지진 유발 산지토사재해에 관련된 선진 연구사례가 소개되기도 하였다(Chun, *et. al.*, 2017; Seo, *et. al.*, 2017).

이러한 상황에서 최근 Lee, *et. al.*(2017)은 지진 유발 산지토사재해와 관련된 국외의 연구동향을 파악하였다. 그 연구결과에 따르면, 국외의 지진 유발 산지토사재해 관련 연구들은 크게 네 개의 연구영역, 즉 (i) 재해발생의 메커니즘, (ii) 재해발생에 영향을 미치는 강우인자, (iii) 항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측, (iv) 재해발생 모델링을 통한 재해위험지도 작성에 관한 연구영역으로 특정 지을 수 있었으며, 이들 연구영역은 상호간에 깊은 연관성을 갖

고 있는 것으로 나타났다. 또한, 각 연구영역별 발행시기 및 대상국가 등을 파악한 결과, 최근 들어 모든 연구영역에서의 연간 연구빈도가 증가한 것으로 나타났으며, 이는 최근 중국을 중심으로 대만, 일본, 미국 등에서 발생한 지진을 대상으로 수행된 연구논문이 급격히 증가하였기 때문인 것으로 보고하였다.

이상의 연구결과와 함께 Lee, *et. al.*(2017)은 다음과 같은 세 가지의 과제를 제안하였다. 그 첫 번째는 과거 국내에서 발생한 지진의 시·공간적 특성을 규정하고, 두 번째는 이와 유사한 지진 특성을 나타내는 국가를 도출하여 구체적인 연구사례를 파악함으로써 국내에 적용 또는 응용 가능한 선진 연구기술을 추출하여야 한다고 제안하였다. 마지막 세 번째는 이러한 선진 연구기술을 참고하여 국내의 현 실정에 적합한 미래 연구과제를 발굴할 것을 제안하였다. 이러한 제안은 우리나라의 지진 유발 산지토사재해 관련 미래 연구의 방향을 설정하는 데 반드시 필요한 내용이므로 이 연구에서는 전술한 세 가지의 과제를 연구목표로 설정하였다.

II. 재료 및 방법

1. 국내의 지진 발생 현황 및 특성 파악

우리나라에서 발생하는 지진의 시간적 특성을 파악하기 위하여 기상청이 제공하고 있는 리히터 규모 3.0 이상의 지진이 발생한 횟수를 연도별로 파악한 후, 동일 기간에 발생한 인접국가(일본, 대만 및 중국)의 지진 발생현황과 비교하였다(CEDC, 2018; JMA, 2018; KMA, 2018). 이때 일본, 대만 및 중국에서 발생하는 지진의 규모와 빈도가 우리나라에 비하여 상대적으로 크고 빈번하다는 점에 착안하여 규모 5.0 이상(일본은 모멘트 규모 기준, 대만과 중국은 리히터 규모 기준)의 지진만을 대상으로 하였다. 참고로, CEDC(2018), JMA(2018) 및 KMA(2018)에 따르면, 각국의 계기지진 관측시점은 우리나라가 1978년이었으며, 일본은 1923년, 중국 및 대만은 모두 1970년이였다. 따라서 당초 1978년 이래 현재까지 보고된 지진 발생 현황정보를 수

집할 예정이었지만, 중국과 대만의 지진 정보를 제공하고 있는 China Earthquake Data Center(CEDC) 데이터베이스의 1978년부터 1982년까지의 데이터가 누락되어 있어 각국의 1983년 이래의 지진 발생 현황정보를 수집하였다.

한편, 우리나라에서 발생한 지진의 공간적 특성을 분석하기 위해 앞서 사용된 Korea Meteorological Administration의 1983년 이후 지진발생 자료가 아닌 1978년 이후에 발생한 규모 3.0 이상의 지진을 대상으로 그 규모별 위치를 파악하였으며(KMA, 2018), 이를 한반도의 단층대 위치(NEMA, 2012)와 비교·검토했다.

이상과 같이 국내에서 발생한 지진현황을 근거로 하여 우리나라의 지진 특성을 나타내는 몇 개의 키워드를 추출하였으며, 이를 바탕으로 우리나라 고유의 지진 특성을 규정하였다.

2. 지진 유발 산지토사재해 관련 국내의 연구현황 파악

NIFoS(2014)에 따르면, 국내 산지토사재해는 크게 ‘산사태’, ‘땅밀림’ 및 ‘토석류’ 등 세 가지 종류로 구분하고 있다. 이 연구에서는 국내의 지진 유발 산지토사재해 연구논문을 수집하기 위하여 이 세 단어를 ‘지진’이라는 단어와 함께 검색어로 사용하였다. 분석 대상 연구논문은 2017년까지 한국연구재단등재지급과 한국연구재단등재후보지급 학술지에 등재된 연구논문으로 제한하였으며, KERIS(2018)에서 제공하고 있는 RISS를 검색기반으로 활용하였다.

3. 국내에서 발생한 지진 특성과 유사한 국가의 관련 연구기술 사례 분석

앞에서 규정된 우리나라의 지진 특성을 나타내는 키워드를 기준으로 하여 우리나라와 유사한 지진 특성을 갖고 있는 국가를 도출하였다. 이때 Lee, et. al.(2017)의 연구방법과 마찬가지로 Clarivate Analytics(2018)에서 제공하고 있는 Web of Science를 검색기반으로 하였고, 2017년까지 발행된 Science Citation Index(SCI)

와 Science Citation Index Expanded(SCIE) 학술지에 등재된 연구논문을 대상으로 하였으며, 앞서 NIFoS(2014)에 의하여 제시된 ‘산사태’, ‘땅밀림’ 및 ‘토석류’의 영문표기인 ‘landslide(s)’, ‘deep seated landslide(s)’ 및 ‘debris flow(s)’를 ‘earthquake’과 함께 동시 검색어로 사용하여 지진 유발 산지토사재해에 관련한 국외의 연구논문을 데이터베이스화하였다.

이상과 같은 방법으로 추출된 지진 유발 산지토사재해와 관련된 국외 연구논문들로부터 연구대상 지진의 규모, 진원 깊이, 지진 유형 및 진앙 위치 등의 기본정보를 추출하였다. 이때 지진은 규모 5.0과 6.0을 기준으로 각각 ‘소규모 지진(5.0 미만)’, ‘중규모 지진(5.0 이상, 6.0 미만)’, ‘대규모 지진(6.0 이상)’으로 구분하였으며(MLIT, 2017), 진원의 깊이는 지상으로부터 70km 지점과 300km 지점을 기준으로 각각 ‘천발성 지진(70km 미만)’, ‘중발성 지진(70km 이상, 300km 미만)’, ‘심발성 지진(300km 이상)’으로 구분하였다(KISTEC, 2017). 또한, 지진의 유형은 Google 및 Wikipedia 등의 웹사이트를 검색기반으로 하여 진앙의 위치를 파악한 후, ‘판 내부 발생 지진’과 ‘판 경계 발생 지진’으로 구분하였다.

이러한 지진정보를 활용하여 우리나라와 유사한 지진 발생 특성을 갖고 있는 국가를 도출하였으며, 도출된 국가를 연구대상지로 한 지진 유발 산지토사재해 대응 연구기술을 분석함에 있어서 복수의 연구논문에서 활용된 연구기술은 그 중에서 하나의 사례만을 제시하였다.

이와 같은 방법으로 추출된 선진 연구기술 사례는 Lee, et. al.(2017)에서 제시된 네 가지 연구영역, 즉 (i) 재해발생의 메커니즘, (ii) 재해발생에 영향을 미치는 강우인자, (iii) 항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측, (iv) 재해발생 모델링을 통한 재해위험지도 작성에 관한 연구영역으로 구분·정리하였으며, 이를 토대로 지진 유발 산지토사재해 관련 연구의 미래과제를 제시하기 위한 자료로 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 국내의 지진 발생 현황 및 특성

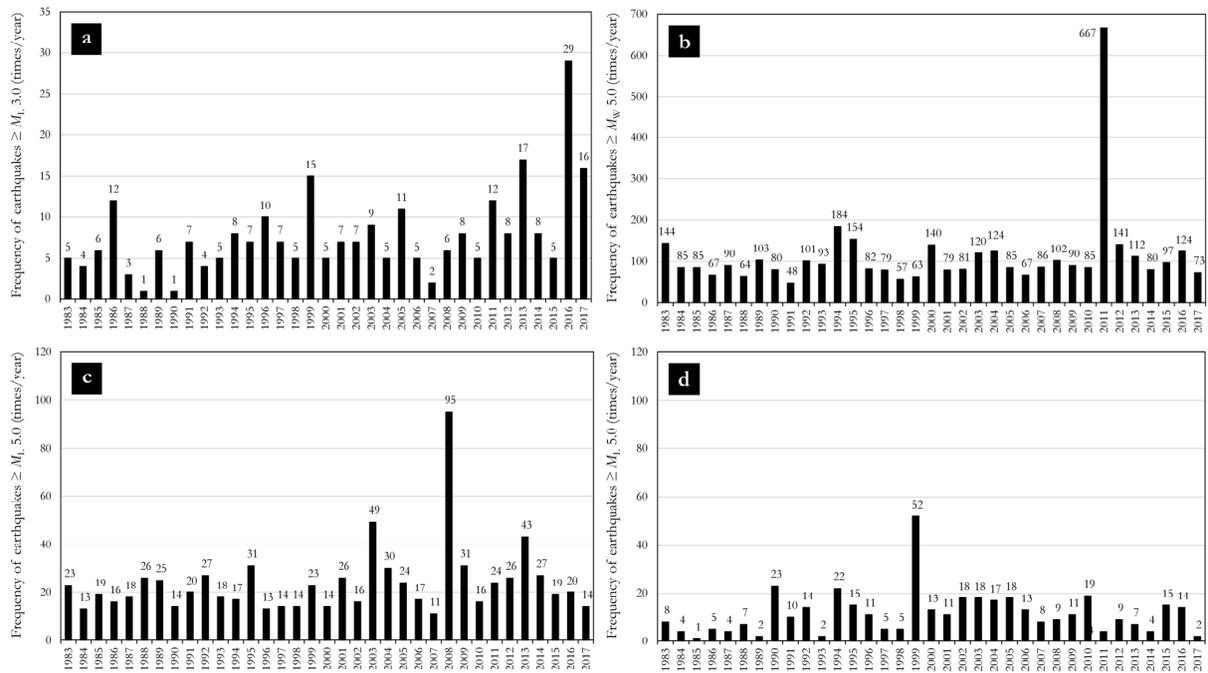
기상청에서 발표한 국내지진의 목록에 공개된 지진 현황을 파악한 결과(Figure 1), 1983년 이래 2017년까지 발생한 지진 중에서 규모 3.0 이상의 지진은 271회(리히터 규모 기준)인 것으로 나타났다. 같은 기간 인접 국가인 일본, 중국, 대만의 규모 5.0 이상의 지진은 각각 3,932회(모멘트 규모 기준), 833회(리히터 규모 기준), 400회(리히터 규모 기준) 발생하였다. 즉, 우리나라는 인접국가인 일본, 대만, 중국에 비하여 상대적으로 발생빈도 뿐만 아니라 발생규모 역시 작다는 것을 정량적으로 확인할 수 있었다.

한편, 우리나라의 경우 계기지진 관측이 시작된 1978년부터 2017년까지 발생한 지진 중 규모 3.0 이상의 지진은 전국적으로 불규칙적으로 발생하였으며, 특히 규모 4.0 이상의 지진은 단층대와 인접한 지역에서 발생한 것을 알 수 있었다(Figure 2) and (Figure 3)). Lee & Yang(2006)의 연구결과에 따르면, 우리나라

라의 지진은 전형적으로 판 내부에서 발생하는 지진활동의 특징을 보여주며, 비교적 규모가 큰 지진들의 진앙은 주요단층이나 지질구조의 경계와 잘 일치한다고 보고하였다. Kyung, *et. al.*(2007) 역시 2007년에 발생한 리히터 규모 4.8의 오대산지진이 월정사단층이 지진 단층의 역할을 하여 발생하였다고 보고하였다. 또한, MPSS(2017)는 우리나라가 유라시아판 내부에 위치하고 있기 때문에 판 경계에 위치한 국가보다 지진의 발생규모가 작고 발생주기가 길 뿐만 아니라 신생대 이전의 조산운동, 송림운동 및 경동성요곡운동 등으로 지각이 약한 단층구조가 많고 발생깊이가 얇은 천발성 지진의 형태를 나타내며, 2016년에 발생한 리히터 규모 5.8의 경주지진도 이에 해당한다고 보고하였다.

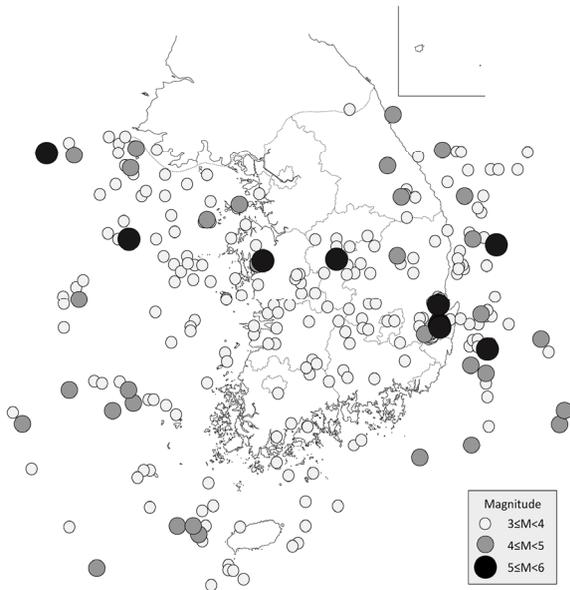
이상의 시·공간적 분석으로부터 우리나라의 지진 특성은 다음과 같이 규정할 수 있었다.

- ① 지진규모가 작다.
- ② 발생깊이가 얇은 천발성 지진에 해당한다.
- ③ 판 내부의 단층대에서 주로 발생한다.
- ④ 발생빈도가 낮다.



※ Source: Earthquake information data from CEDC (2018), JMA (2018), and KMA (2018)

Figure 1. Frequency of the earthquakes occurred from 1983 to 2017 in South Korea and the neighboring countries. (a) Frequency of the earthquakes $\geq M_L$ 3.0 in South Korea. (b) Frequency of the earthquakes $\geq M_W$ 5.0 in Japan. (c) Frequency of the earthquakes $\geq M_L$ 5.0 in China. (d) Frequency of the earthquakes $\geq M_L$ 5.0 in Taiwan



※ Source: Earthquake information data from KMA (2018)
 Figure 2. Locations and magnitudes of the earthquakes greater than or equal to M_L 3.0 occurred during last four decades (i.e., 1978~2017) in South Korea

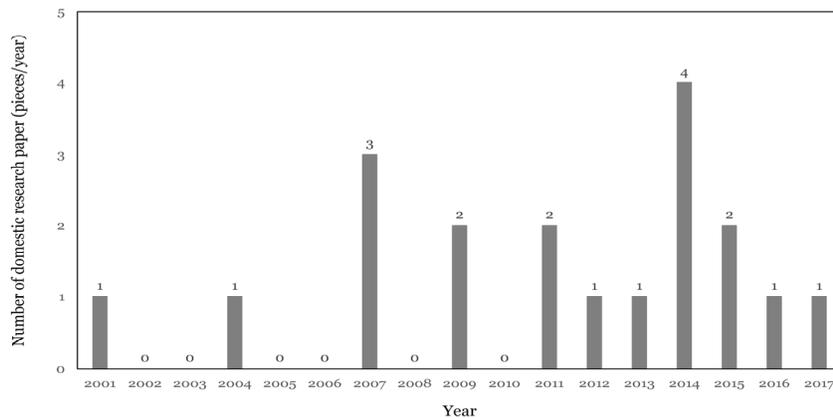


※ Source: Fault information data from NEMA (2012)
 Figure 3. The fault distribution of South Korea

2. 지진 유발 산지토사재해 관련 국내의 연구현황
 NIFoS(2014)의 산지토사재해에 관한 정의에 따라 ‘산사태’, ‘땅밀림’, ‘토석류’이라는 단어를 ‘지진’과 함께 한국연구정보서비스(<http://www.riss.kr>) 상에서 검색한 결과, 총 19편의 지진 유발 산지토사재해 관련 연구논문이 한국연구재단등재후보지급 이상의 학술지에 게재된 것으로 파악되었다(〈Table 1〉).

이상의 연구논문을 대상으로 연도별 발행숫자를 파악한 결과, 일정한 경년적 경향성이 나타나지는 않았다

(〈Figure 4〉). 특히, 연구논문의 편수가 매우 적어 연구주제 면에서도 특정한 통계적 경향을 띄지 않았다. 이는 2016년 경주지진과 2017년 포항지진이 발생하기 이전에 산지토사재해가 발생할 수 있는 강도의 지진이 발생하지 않은 것(Chun, *et. al.*, 2017)에 기인한다고 판단되지만, 분명한 것은 우리나라의 지진 유발 산지토사재해에 관한 연구가 아직까지 초기단계의 수준에 머물러 있다는 것이다.



※ Source: Research publication data from RISS in KERIS (2018)
 Figure 4. Annual distribution in number of domestic research papers related to the mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes

Table 1. Previous studies on mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in South Korea

Author(s)	Articles' title	Journal name
Lee, <i>et. al.</i> (2017)	International research trend on mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes	Journal of Korean Forest Society
Moon & Lee (2016)	Development and verification of a module for positioning buried persons in collapsed area	Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society
Lee & Han (2015)	Analysis of landslide hazard map during earthquake with various degrees of saturation and cohesion values	Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Lee, <i>et. al.</i> (2015)	Development of permanent displacement model for seismic mountain slope	Journal of the Korean Geotechnical Society
Chung & Rogers (2014)	Landslide susceptibility as a function of fluctuating ground- water levels and seismic loading	Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation
Jeon, <i>et. al.</i> (2014)	Prediction of the landslide and effect on heritage located in mountain induced earthquake	Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation
Lee, <i>et. al.</i> (2014)	Development of prediction method considering geometrical amplification characteristics of slope II: construction of landslide hazard map during earthquakes in Seoul	Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation
Park, <i>et. al.</i> (2014)	Development of prediction method considering geometrical amplification characteristics of slope I: analysis about amplification characteristics of mountain slopes in Seoul	Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation
Min, <i>et. al.</i> (2013)	The selection of landslide risk area using AHP and geomorphic element	Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Choi, <i>et. al.</i> (2012)	A study of vulnerability of structure by debris flow	Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation
Kang & Kim (2011)	Effects of DEM resolutions in site classification	The Korean Society for Geospatial Information Science
Kim, <i>et. al.</i> (2011)	Assessment of earthquake induced landslide susceptibility with variation of groundwater level	Economic and Environmental Geology
Bae (2009)	Simplified method for the determination of cumulative landslide displacement in the event of an earthquake using "Slide Block" type analyses	Journal of the Korean Geosynthetics Society
Kang & Kim (2009)	A case study of GIS-based site classification in the Gyeongsang Province constrained by geologic and topographic information	Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies
Choi & Hong (2007)	Utilization methods and generation DEMs by using aerial photographs	The Journal of the Korea Contents Association
Lee, <i>et. al.</i> (2007)	Analysis on the influence of groundwater level changes on slope stability using a seismic refraction survey in a landslide area	The Journal of Engineering Geology
Yoon, <i>et. al.</i> (2007)	Evaluation of urban disaster for disaster prevention and public safety using transformation topsis model and maxmin model	Journal of the Korean Data Analysis Society
Jeon (2004)	Loss estimation of steel pipeline damage in Los Angeles using GIS	Journal of the Korean Geotechnical Society
Lee (2001)	Application of regional landslide susceptibility, possibility, and risk assessment techniques using GIS	Economic and Environmental Geology

3. 지진 유발 산지토사재해 관련 국내 연구의 미래방향

1) 국내에서 발생한 지진 특성과 유사한 국가의 도출 결과 전술한 우리나라의 지진 특성, 즉 ① 지진규모가 작

고, ② 발생깊이가 얇은 천발성 지진에 해당하며, ③ 판 내부의 단층대에서 주로 발생하고, ④ 발생빈도가 낮다는 점을 토대로 지진 유발 산지토사재해 관련 국외 연구 논문에서 다루어진 지진들의 특성을 비교·검토하였

Table 2. Basic information of the 72 earthquakes targeted in the 476 previous studies

No.	Earthquake name	Country	Date	Magnitude (M_w)	Depth (km)	Location
1	Ossa De Montiel earthquake	Spain	2015.02.23.	4.70	17.00	Plate boundary
2	Lorca earthquake	Spain	2011.05.11.	5.10	1.00	Plate boundary
3	Kherrata earthquake	Algeria	2006.03.20.	5.20	10.00	Plate boundary
4	Roermond earthquake	Belgium	1992.04.13.	5.50	18.00	Inter-plate
5	Virginia earthquake	USA	2011.08.24.	5.80	6.00	Inter-plate
6	Chenoua earthquake	Algeria	1989.10.29	5.90	10.00	Plate boundary
7	Whittier-Narrows earthquake	USA	1987.10.01.	5.90	14.00	Plate boundary
8	Ardabil earthquake	Iran	1997.02.28.	6.10	10.00	Plate boundary
9	Umbria-Marche earthquake	Italy	1997.09.26.	6.10	10.00	Plate boundary
10	Ludian earthquake	China	2014.08.03.	6.10	10.00	Inter-plate
11	Lefkada earthquake	Greece	2003.08.14.	6.20	12.00	Plate boundary
12	Fjord earthquake	Chile	2007.04.21.	6.20	25.00	Plate boundary
13	Bou'in-Zahra earthquake	Iran	2002.06.22.	6.30	10.00	Plate boundary
14	Pingtung earthquake	Taiwan	2016.02.06.	6.40	23.00	Plate boundary
15	Arenas del rey earthquake	Spain	1884.12.25.	6.50	8.00	Plate boundary
16	Bam earthquake	Iran	2003.12.26.	6.60	15.00	Plate boundary
17	Dingxi earthquake	China	2013.07.22.	6.60	20.00	Inter-plate
18	Nagano earthquake	Japan	2011.03.12.	6.70	8.00	Plate boundary
19	Songpan-Pingwu earthquake	China	1976.08.16.	6.70	10.00	Inter-plate
20	Northridge earthquake	USA	1994.01.17.	6.70	18.20	Plate boundary
21	Kiholo Bay earthquake	USA, Hawaii	2007.10.15.	6.70	29.00	Inter-plate
22	Uttarkashi earthquake	India	1991.10.19.	6.80	11.60	Plate boundary
23	Boumerdes earthquake	Algeria	2003.05.21	6.80	12.00	Plate boundary
24	Niigata earthquake	Japan	2004.10.23.	6.80	15.80	Plate boundary
25	Chamoli earthquake	India	1999.03.29.	6.80	21.00	Plate boundary
26	Yushu earthquake	China	2010.04.14.	6.90	10.00	Inter-plate
27	Prieta earthquake	USA	1989.10.17.	6.90	12.00	Plate boundary
28	Hanshin earthquake	Japan	1995.01.16.	6.90	17.60	Plate boundary
29	Sikkim earthquake	India	2011.09.18.	6.90	19.70	Plate boundary
30	Hengchun earthquake	Taiwan	2006.12.26.	7.00	10.00	Plate boundary
31	Haiti earthquake	Haiti	2010.01.12.	7.00	13.00	Plate boundary
32	Lushan earthquake	China	2013.04.20.	7.00	13.00	Inter-plate
33	Racha earthquake	Georgia	1991.04.27.	7.00	17.00	Plate boundary
34	Finisterre earthquake	Spain	1998.07.17.	7.00	30.00	Plate boundary
35	El-Asnam earthquake	Algeria	1980.10.10	7.10	10.00	Plate boundary
36	Equador earthquake	Equador	1987.03.06.	7.10	10.00	Plate boundary
37	Canterbury earthquake	New Zealand	2010.09.04.	7.10	10.00	Plate boundary
38	Arthur's Pass earthquake	New Zealand	1929.03.09.	7.10	12.00	Plate boundary
39	Inangahua earthquake	New Zealand	1968.05.24.	7.10	12.00	Plate boundary
40	Hector Mine earthquake	USA	1999.10.16.	7.10	20.00	Inter-plate
41	Iwate earthquake	Japan	2008.06.14.	7.20	8.00	Plate boundary
42	Grand Banks earthquake	Canada	1929.11.18.	7.20	20.00	Inter-plate
43	Landers earthquake	USA	1992.06.28.	7.30	1.09	Plate boundary

Table 2. Basic information of the 72 earthquakes targeted in the 476 previous studies (Continued)

No.	Earthquake name	Country	Date	Magnitude (M_w)	Depth (km)	Location
44	Chichi earthquake	Taiwan	1999.09.21.	7.30	8.00	Plate boundary
45	Murchison earthquake	New Zealand	1929.06.17.	7.30	12.00	Plate boundary
46	Altai earthquake	Russia	2003.09.27.	7.30	12.30	Inter-plate
47	Manjil-Rudbar earthquake	Iran	1990.06.21.	7.40	15.00	Plate boundary
48	Khait earthquake	Tajikistan	1949.07.10.	7.50	18.00	Plate boundary
49	Vancouver Island earthquake	Canada	1946.06.23.	7.50	20.00	Plate boundary
50	Colima earthquake	Mexico	2003.01.21.	7.50	23.90	Plate boundary
51	Izmit earthquake	Turkey	1999.08.17.	7.60	15.00	Plate boundary
52	Kashmir earthquake	Pakistan	2005.10.08.	7.60	15.00	Plate boundary
53	El Salvador earthquake	El Salvador	2001.01.13.	7.60	60.00	Plate boundary
54	Kevin earthquake	Kazakhstan	1911.01.03.	7.70	25.00	Plate boundary
55	Luzon earthquake	Philippines	1990.07.16.	7.70	25.10	Plate boundary
56	Kangding-Luding earthquake	China	1786.06.01.	7.75	20.00	Inter-plate
57	Gorkha earthquake	Nepal	2015.04.25.	7.80	15.00	Plate boundary
58	Wenchuan earthquake	China	2008.05.12.	7.90	9.00	Inter-plate
59	Denali earthquake	USA	2002.11.03.	7.90	13.00	Plate boundary
60	Gulf earthquake	Philippines	1976.08.16.	7.90	33.00	Plate boundary
61	Kanto earthquake	Japan	1923.09.01.	8.00	23.00	Plate boundary
62	Peru earthquake	Peru	2007.08.15.	8.00	39.00	Plate boundary
63	Assam earthquake	India	1897.06.12.	8.00	50.00	Plate boundary
64	Lisbon earthquake	Portugal	1755.11.01.	8.70	4.00	Plate boundary
65	Tohoku earthquake	Japan	2011.03.11.	9.05	29.00	Plate boundary
66	Alaska earthquake	USA	1964.03.27.	9.20	25.00	Plate boundary
67	Valdivia earthquake	Chile	1960.05.22.	9.50	33.00	Plate boundary
68	Central Italy earthquake	Italy	2016.08.24.	6.20	4.00	Inter-plate
69	Tongwei-Gansu earthquake	China	1718.06.19.	7.50	-	Inter-plate
70	Shaanxi earthquake	China	1556.01.23.	8.00	-	Inter-plate
71	Gulang earthquake	China	1927.05.22.	7.60	-	Inter-plate
72	Hōei earthquake	Japan	1707.08.28	8.70	-	Plate boundary

다. 그 결과, 총 476편의 국외 연구논문을 데이터베이스화 하였으며, 이들은 총 72건의 지진을 대상으로 하고 있었다(〈Table 2〉).

이상의 국외 연구논문에서 대상으로 한 지진은 규모 4.7~9.5 범위에 해당하는 중·대규모 지진에 속하여 우리나라의 지진 규모(2017년까지 보고된 1,352건의 지진이 규모 1.7~5.8 범위에 분포)와 분포범위가 상이하였다. 그러나 선행 연구논문의 대상 지진이 규모가 크고 막대한 피해를 야기했다는 점에 착안하여 연구논문의 대상이 된 지진의 규모를 특정 국가의 지진 특성으로 간주하여 우리나라와의 유사여부를 검토하는 데에

는 한계가 있을 것으로 판단하였다.

지진의 발생깊이 면에서는 국외 연구논문의 대상 지진의 경우 진원의 깊이가 대부분 1~60km에 분포하는 천발성 지진에 해당하는 것으로 나타나 우리나라의 경우와 크게 다르지 않았다.

한편, 지진의 유형을 파악한 결과, 총 72회의 지진 사례 중에서 중국(10회)과 미국(3회)만이 우리나라와 동일하게 판 내부에서 발생한 복수의 사례를 갖고 있었다(〈Table 2〉). 그러나 미국에서 발생한 3회의 지진 사례는 모두 진앙지점이 공간적으로 크게 이격되어 있는 반면, 중국의 지진 사례 10회 중 4회는 쓰촨성 지방에서

발생하였으며, 나머지 6회 역시 쓰촨성 접경지역(원난성, 간쑤성, 칭하이성 및 산시성)에 진앙지를 두고 있었다.

이와 같은 지진 특징을 나타내는 중국을 대상으로 1983년 이후 발생한 지진의 주기를 일본 및 우리나라와 비교하면 <Figure 5>와 같다. 분석 결과, 중국의 지진 발생주기는 판 경계에서 고강도의 지진이 빈번하게 발생하는 일본의 형태와는 확연한 차이를 보인 반면, 지진의 규모가 상대적으로 작은 우리나라와는 비교적 유사한 발생주기를 나타내고 있었다. 이는 역사지진 시기(1905년 이전)인 조선 중기(16~18세기)에 발생하였던 우리나라의 지진이 중국 북동부에서 발생한 활발한 지진활동과 매우 유사한 시간적 패턴을 갖고 있다고 보고

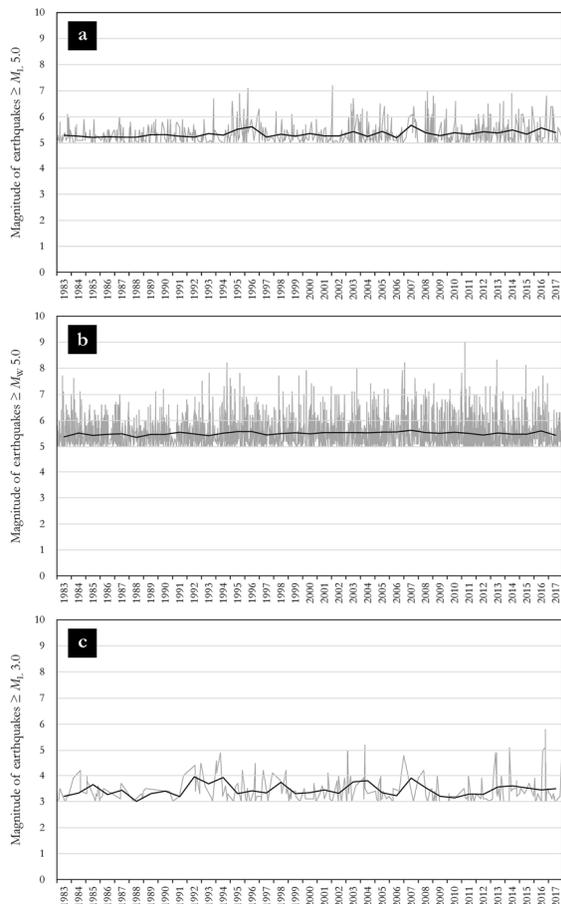
한 Kim, *et. al.*(2006)의 연구와도 일치한다.

그러나 역사지진 시기 이후에 발생한 국내 지진의 시간적 분포는 중국의 지진보다는 오히려 일본에서 발생한 대규모 지진과 밀접한 연관성이 있는 것으로 추정된다. MPSS(2017)에 따르면, 2016년에 발생한 경주지진(리히터 규모 5.8)은 일본의 구마모토지진(모멘트 규모 7.3)이 발생한지 5개월 후에 발생하였으며, 2013년에 발생한 백령도지진(리히터 규모 4.9)과 2014년에 발생한 서격렬비도지진(리히터 규모 5.1) 역시 2011년 동일본대지진(모멘트 규모 9.0)이 발생 뒤 2~3년이 지난 시점에 발생한 것을 알 수 있다.

2) 우리나라와 유사한 지진특성을 지닌 국가의 선진 연구기술 사례 분석 결과

우리나라와 비교적 유사한 지진 발생특성을 갖는 것으로 나타난 중국을 연구대상지로 수행한 총 233편의 지진 유발 산지토사재해 관련 연구논문으로부터 추출한 선진 연구기술 사례는 <Table 3>과 같다. 이 연구기술 사례들은 전술한 네 가지의 연구영역에 독립적으로 포함되기보다는 복수의 연구영역에 걸쳐있는 연구논문에 기술되어 있었다. 즉, 제 1 연구영역(재해발생 과정)과 제 2 연구영역(재해발생에 영향을 미치는 강우인자)에 해당하는 ‘연구주제’를 뒷받침하기 위하여 제 3 연구영역(항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측)과 제 4 연구영역(재해발생 모델링을 통한 재해위험지도 작성)의 ‘연구기법’을 활용한 사례로 정의할 수 있다.

특히 주목할 만한 사항은 이 선진 연구의 대부분에 공동연구자로서 일본의 연구자들이 참여하고 있으며, 일본에서 기 수행된 연구기술들과 상당부분 중첩되고 있다는 점이다. 실제로 Lidar, SAR, InSAR와 같은 위성영상 판독을 통한 지진 유발 산지토사재해 현황 파악 연구(<Table 3>의 No. 1과 7)는 일본을 대상으로 한 Kieffer, *et. al.*(2006), Meunier, *et. al.*(2012) 및 Wartman, *et. al.*(2013) 등에서 보고되었으며, 지진 유발 산지토사재해를 설명하거나 복수 인자를 사용하여 새로운 모델을



※ Source: Earthquake information data from CEDC (2018), JMA (2018), and KMA (2018)

Figure 5. Trend of earthquake occurrence in China, Japan and South Korea. Black and grey solid lines represent annual earthquake trend and all earthquakes occurred in each country, respectively. (a) Trend of the earthquakes $\geq M_L 5.0$ in China. (b) Trend of the earthquakes $\geq M_W 5.0$ in Japan. (c) Trend of the earthquakes $\geq M_L 3.0$ in South Korea

Table 3. Advanced research technology related to the mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in China

No.	Advanced research technology	Research area*	Representative research
1	Identification of spatial components related to earthquake-induced mountainous sediment-related disasters by reading satellite images (Lidar, SAR, InSAR)	1 st , 3 rd	Zhou, <i>et. al.</i> (2015)** Huang, <i>et. al.</i> (2015b)**
2	Application of MAM and DDA models using 20 variables explaining earthquake-induced mountainous sediment-related disasters	1 st , 4 th	Zhang, <i>et. al.</i> (2015)**
3	Ring shear test to investigate soil physical and mechanical properties in high risk zones due to earthquake-induced mountainous sediment-related disasters	1 st , 4 th	Zhang & Wang (2007)**
4	Estimation of sediment production due to earthquake-induced mountainous sediment-related disasters using various simulations	1 st , 4 th	Hu, <i>et. al.</i> (2016)**
5	Risk assessment of earthquake-induced mountainous sediment-related disasters based on SPH modeling	1 st , 4 th	Huang, <i>et. al.</i> (2015a)**
6	Comparison of SVM and ANN methods for hazard mapping due to earthquake-induced mountainous sediment-related disasters	1 st , 4 th	Xu, <i>et. al.</i> (2016)
7	Usage of aerial photographs to detect mountainous sediment-related disasters caused by heavy rainfall after earthquakes	2 nd , 3 rd	Tang, <i>et. al.</i> (2012)**
8	Design criteria for overflow section of erosion control facilities to minimize the risk from earthquake-induced mountainous sediment-related disasters	2 nd , 4 th	Peng, <i>et. al.</i> (2014)
9	Modeling to estimate spatial extension of potential damage area using multiple factors affecting earthquake-induced mountainous sediment-related disasters	3 rd , 4 th	Guo, <i>et. al.</i> (2014)**

* The research area was classified by text-mining and co-word analysis, as shown in Lee, *et. al.* (2017): the 1st research area denotes the mechanisms of disaster occurrence; the 2nd research area denotes the rainfall parameters controlling disaster occurrence; the 3rd research area denotes the prediction of potential disaster area using aerial and satellite photographs; and the 4th research area denotes the disaster risk mapping through the modeling of disaster occurrence.

** Representative researches including Japanese researcher(s) as coauthor(s).

제시 또는 시뮬레이션을 수행한 연구(〈Table 3〉의 No. 2, 4, 5 및 9)는 일본의 Wakai, *et. al.* (2010), Zheng, *et. al.* (2012) 및 Kamai (2014) 등에서 살펴볼 수 있다. 또한, 지진이 유발하는 산지토사재해 우려지역 토층의 물리적·기계적 성질을 파악하기 위한 연구(〈Table 3〉의 No. 3)도 일본의 Sassa, *et. al.* (2005), Uzuoka, *et. al.* (2005) 및 Wang, *et. al.* (2014b) 등에서 보고되었으며, 지진에 의한 산사태 위험지도 작성을 위한 SVM 기법과 ANN 기법에 관한 연구(〈Table 3〉의 No. 6)도 일본의 Nakasuji (2011)에서 살펴볼 수 있다. 마지막으로 산지토사재해로부터 위험성을 최소화 할 수 있는 사방시설물의 위치나 설계 기준에 관한 연구(〈Table 3〉의 No. 8)는 일본의 Goto, *et. al.* (2010)와 Kiyota, *et. al.* (2011)에서 보고되었다.

3) 지진 유발 산지토사재해 관련 국내 연구의 미래과제

우리나라와 유사한 지진 특성을 갖고 있는 중국의 최신 연구는 전술한 바와 같이 대부분의 경우 일본의 선진 연구를 습득하여 진행된 것으로 추정된다(〈Table 3〉). 일반적으로 자연재해를 현장에서 직접 관찰하면서 연구를 진행하는 데에는 한계가 있기 때문에 일본을 중심으로 한 방재분야 선진국에서는 다양한 주제로 자연재해를 재현한 모형실험에 관한 연구를 진행하고 있다. 대표적인 연구사례로 Nakagawa, *et. al.* (2002)과 Gotoh (2006)은 모형수로실험을 이용하여 산지토사재해의 발생, 이동 및 퇴적에 관한 메커니즘을 규명하기 위한 연구를 진행하였으며, Nakatami, *et. al.* (2008)과 Gonda (2009)는 모형실험과 수치시뮬레이션을 병행한 연구결과를 발표하기도 하였다.

한편, 일본의 모형실험에 관한 연구는 지진 및 쓰나미 연구분야에서도 활용하고 있으며, 특히 지진 유발 산지토사재해에 관한 연구사례도 다양하게 보고되고 있다(Sassa, *et. al.*, 1996, 2005; Mizuhashi, *et. al.*, 2006; Kamai & Sangawa, 2011). 실례로 일본의 국립 방재과학기술연구소 효고내진공학연구센터에서는 대규모의 지진을 재현하여 구조물의 변화나 강도 등에 따른 내진설계 기준 파악에 관한 연구를 수행하고 있으며, 실험결과를 지진으로 인한 피해에 대응하기 위한 다양한 방재기술을 개발하는 데에 활용하고 있다(Sato & Inoue, 2004).

이러한 모형실험은 자연조건을 단순화시켜 제한된 시·공간적 조건에서 정량적인 해석이 가능하고, 동일한 환경조건을 반복적으로 설정할 수 있다는 장점이 있기 때문에 우리나라와 같이 지진의 발생빈도가 적고 그 규모 또한 작은 국가에서 활용이 가능하다고 판단된다. 국내의 산지토사재해분야에서도 모형실험에 관한 연구(Kim, *et. al.*, 2016, 2017; Eu & Im, 2017)가 진행되었지만, 국외의 선진연구사례를 활용하여 모형실험의 스케일을 대형화하거나 시뮬레이션 및 모델링과 결합한 연구로 진행되어야 한다는 숙제는 여전히 남아 있다.

이상의 연구결과로부터 도출한 지진 유발 산지토사재해 관련 국내 연구의 미래과제를 정리하면 다음과 같다. 먼저 제 1 연구영역(재해 발생 과정)의 경우 지진 중·후의 토사이동 상황 및 기작에 관한 연구가 필요하며, 특히 지진에 의한 산지토사재해의 발생이력이 없는 우리나라의 경우 토질 및 암질, 퇴적물 안식각, 암반 경사, 등을 실험조건으로 고려한 진동테이블 모형실험이 그 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 제 1 연구영역과 높은 상관관계를 갖는 제 2 연구영역(재해 발생에 영향을 미치는 강우인자) 역시 실험적 연구의 필요성에서 크게 다르지 않다고 판단되며, 특히 지진과 강우 이벤트 중 어느 것이 선행되느냐에 따른 토층의 수분함량 변화와 이로 인한 토층붕괴에 관한 전단실험, 나아가 산지토사재해 발생 규모 및 빈도에 관한 수치 모델링 연구가 우선적으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

이러한 미래연구의 결과는 결국 지진 유발 산지토사재해에 따른 사방시설물의 안정성 확보 및 규모 결정 등에 반영될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 최근 항공사진 및 위성영상을 이용한 측량 및 공간정보 분석기술이 발전함에 따라 지진 유발 산지토사재해 지역에 대한 모니터링과 이에 대한 모델링 관련 연구도 증가하고 있는 추세이다(Lee, *et. al.*, 2017). 최근의 선행연구(Rathje, *et. al.*, 2006; Iwahashi, *et. al.*, 2012; Wartman, *et. al.*, 2013)를 살펴보면, 항공사진 및 위성영상과 함께 지상 및 항공 Lidar를 이용한 원격탐사(remote sensing) 결과를 동시에 활용하여 예측 정확도를 높이려는 시도가 다양한 분야에서 증가하고 있는 추세이다.

항공사진과 위성영상을 취득하기 위한 드론 및 항공 측량기술은 정확도와 효율성의 측면에서 기초 데이터를 취득할 수 있는 매우 유용한 방법이다. 특히, 모델링을 통한 위험 예측 시뮬레이션을 실시하기 위해서는 지진에 대한 원인 파악과 여러 영향인자와의 상관관계뿐만 아니라 지진 유발 산지토사재해에 대한 정확하고 다양한 사례를 바탕으로 데이터베이스를 구축함으로써 합리적인 의사결정을 내릴 수 있도록 하여야 한다.

항공사진 및 위성영상은 방대한 양의 공간정보를 수집하고 분석할 수 있는 기초 데이터로서 이를 통하여 시계열 분석, 피해 형태 및 규모 파악 등의 지진 유발 산지토사재해에 대한 모니터링을 여러 측면에서 지원해 줄 수 있는 분야이다. 또한, 원격탐사 결과를 이용한 시뮬레이션은 미래 재해위험지도 작성과 예측 등, 다양한 측면에서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

세계적인 흐름에 따라 국내 산림방재분야에서도 드론 및 항공레이저를 이용하여 다양한 연구를 시도하고 있으며(NIFoS, 2017), 항공사진, 위성영상 및 모델링을 이용하여 개발된 산사태위험지도(KFS, 2017)는 현재 그 정확도와 예측시스템 기술향상을 제고하는 단계에 이르렀다.

이러한 측면에서 제 3 연구영역(항공사진 및 위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측) 및

제 4 연구영역(재해발생 모델링을 통한 재해위험지도 작성)에 해당하는 미래 연구로서 기존의 산사태위험지도를 활용하여 국내에서 연구된 단층대의 위치 및 규모 등을 변수로 반영한 산지토사재해 피해위험지도의 초안 작성에 관한 연구가 우선적으로 수행되어야 할 것이다. 또한, 지진의 규모 및 강우 정도에 따른 산사태 피해범위의 예측을 통한 산지토사재해 피해위험지도의 고도화에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다. 그리고 고도화된 산지토사재해 피해위험지도에 근거를 둔 구조물대책의 안정성 점검 및 보완에 관한 연구와 비구조물대책의 구축상황 점검 및 보완에 관한 연구가 반드시 수행되어야 한다고 판단된다. 이러한 미래연구의 결과는 결국 지진 유발 산지토사재해에 따른 사방시설물의 적정배치는 물론 피해지역의 복원계획 및 재발방지 대책 수립 등에도 널리 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결론

이 연구는 지진 유발 산지토사재해에 관한 국외 연구 동향 분석 결과(Lee, *et al.*, 2017)를 출발점으로 하여 국내의 지진 특성을 규모가 작고 빈도가 낮지만 발생 깊이가 얇은 천발성 지진이 판 내부의 단층대에서 주로 발생하여 피해 규모가 가중되는 것으로 규정하였다. 이와 유사한 지진 특성을 지닌 국가로서 중국을 도출하였으며, 큰 규모의 지진은 일본과도 밀접한 연관이 있는 것으로 추정하였다. 또한, 중국의 연구기술이 일본의 선형 연구기술과 상당부분 중첩되는 것으로 파악되었다. 이러한 선진 연구기술을 참고한 지진 유발 산지토사재해 관련 국내의 미래연구로서 지진 중·후의 토사 이동 및 기작, 지진과 강우의 연속적 발생에 의한 산지토사재해의 규모 및 빈도, 단층대 정보를 반영한 피해위험지도의 작성 및 고도화에 관한 연구를 제시함으로써 지진 유발 산지토사재해와 관련한 연구분야에 있어서 세계수준으로의 조속한 도약을 위한 추적연구를 제안하였다.

이러한 연구결과는 지진 유발 산지토사재해에 대한

대책을 마련할 수 있는 자료를 데이터베이스화함으로써 향후 국내 지진 발생지역의 사방대책을 수립하는 데 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 지진 유발 산지토사재해에 대한 구조물·비구조물 대책이 조화된 효율적인 계획 수립, 새로운 재해형태에 대한 대응 및 2차 피해 방지대책 수립 등에 활용될 수 있으며, 더욱이 지진 유발 산지토사재해의 위험요소를 사전에 제거 및 보완될 수 있는 자료를 제공함으로써 재해 위험지역의 지속적인 관리방안 수립, 산지 및 생활권 주변의 사방대책 재정립에 필요한 기초자료로서 활용될 수 있다.

그러나 한편으로는 산지토사재해와 관련된 방재정책의 우선순위를 결정하는데 필요한 역할분담에 대하여 학계 및 국가연구기관, 그리고 관련 산업체가 진지하게 고민하여야 하며, 이를 통하여 산지토사재해로부터 국민의 인명 및 재산피해를 최소화해 이바지 할 수 있도록 산림행정의 적극적인 뒷받침이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

이 연구를 위한 데이터베이스 구축에 도움을 준 공주대학교 산업과학대학 산림자원학과 산림공학연구실의 유동섭 학생과 이민우 학생에게 감사를 표합니다. 이 연구는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 중견연구(No. 2017R1A2B4010181)에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Bae, Yoon Shin. 2009. Simplified Method for the Determination of Cumulative Landslide Displacement in the Event of an Earthquake Using 'Slide Block' Type Analyses. *Journal of the Korean Geosynthetics Society*. 8(1): 1-10.
- China Earthquake Data Center(CEDC). 2018. *China and Taiwan*

- Earthquake List*. <http://data.earthquake.cn/sjfw/index.html?PAGEID=websources&orgid=a370b883-f16d-4c1d-ba06-4f78a96a98bc>. (Retrieved 2018.1.1.).
- Chae, Byung Gon, Young Suk Song, Yong Seok Seo, Yong Chan Cho, and Won Young Kim. 2006. A Test for Characterization on Landslides Triggering and Flow Features of Debris Using a Flume Test Equipment. *The Journal of Engineering Geology*. 16(3): 275-282.
- Choi, Hyun, and Soon Heon Hong. 2007. Utilization Methods and Generation DEMs by Using Aerial Photographs. *The Journal of the Korea Contents Association*. 7(3): 168-175.
- Choi, Woo Il, Su Gon Lee, Byok Kyu Lee, and Seung Jin Jang. 2012. A Study of Vulnerability of Structure by Debris Flow. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 12(3): 141-146.
- Chun, Kun Woo, Dong Kun Song, Jin Ho Lee, Min Sik Kim, and Tsugio Ezaki. 2006. A Study on Characteristics of Rainfall, Vegetation and Country Rock in Gangwon Province Pyeongchang Landslide Area, 2006. *Proceedings of the 2009 Conference Co-Hosted by KISTEC & KGES*. 2009(4): 342-347.
- Chun, Kun Woo, Suk Woo Kim, Youn Tae Lee, Su Jin Jang, Jee Won Chang, Jung Il Seo, and Tsugio Ezaki. 2017. Characteristics and Responses for Sediment-related Disasters Induced by Epicentral Earthquakes in Japan (1): In Case of Erosion Control Works Conducted in the Aso-Ohashi District, 2016. *Journal of Korean Society of Forest Engineering*. 15(2,3): 79-94.
- Chung, Jae Won, and J. David Rogers. 2014. Landslide Susceptibility as a Function of Fluctuating Groundwater Levels and Seismic Loading. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 14(5): 115-121.
- Clarivate Analytics. 2018. *Web of Science*. <http://www.webofknowledge.com>. (Retrieved 2018.1.1.).
- Eu, Song, and Sangjun Im. 2017. Examining Velocity Estimation Equations of Debris Flow Using Small-scaled Flume Experiments. *Journal of Korean Forest Society*. 106(4): 424-430.
- Gonda, Yutaka. 2009. Function of Debris-Flow Braker. *International Journal of Erosion Control Engineering*. 2(1): 15-21.
- Goto, Akiko S., Takeshi Muramatsu, and Yoshiji Teraoka. 2010. Timing of the Landslide-dammed Lake Triggered by Earthquake at Toyama River, Central Japan. *Radiocarbon*. 52(3): 1090-1097.
- Gotoh, Hitoshi, Eiji Harada, Tetso Sakai, and Kenichi Goda. 2006. Numerical Simulation of Blocking Process of Grid-type Dam by Debris Flow. *Proceedings of Hydraulic Engineering*. 50: 739-744.
- Guo, Deping, Masanori Hamada, Chuan He, Yufeng Wang, and Yulin Zou. 2014. An Empirical Model for Landslide Travel Distance Prediction in Wenchuan Earthquake Area. *Landslides*. 11(2): 281-291.
- Hu, Wei, Xiujun Dong, Qiang Xu, Gonghui Wang, Theodore W. J. van Asch, and Pierre Yves Hicher. 2016. Initiation Processes for Run-off Generated Debris Flows in the Wenchuan Earthquake Area of China. *Geomorphology*. 253: 468-477.
- Huang, Chien-Shui, Mien-Ming Chen, and Ming-I Hsu. 2002. A Preliminary Report on the Chiufenershan Landslide Triggered by the 921 Chichi Earthquake in Nantou, Central Taiwan. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*. 13(3): 387-395.
- Huang, Yu, Hualin Cheng, Zili Dai, Qiang Xu, Fanf Liu, Kazuhide Sawada, Shuji Moriguchi, and Atsushi Yashima. 2015a. SPH-based Numerical Simulation of Catastrophic Debris Flows After the 2008 Wenchuan Earthquake. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*. 74(4): 1137-1151.
- Huang, Yu, Miao Yu, Qiang Xu, Kazuhide Sawada, Shuji Moriguchi, Atsushi Yashima, Chengwei Liu, and Long Xue. 2015b. InSAR-derived Digital Elevation Models for Terrain Change Analysis of Earthquake-triggered Flow-like Landslides Based on ALOS/PALSAR Imagery. *Landslides*. 12(3): 537-547.
- Iwahashi, Junko, Izumi Kamiya, and Hiromitsu Yamagishi. 2012. High-resolution DEMs in the Study of Rainfall- and Earthquake-induced Landslides: Use of a Variable Window Size Method in Digital Terrain Analysis. *Geomorphology*. 153-154: 29-38.
- Japan Meteorological Agency(JMA). 2018. *Seismic Magnitude Database Search*. <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/>

- shindo/index.php. (Retrieved 2018.1.1.).
- Jeon, Seong Kon, Derk Moon Kim, Won Il Choi, and Eun Hwa Choi. 2014. Prediction of the Landslide and Effect on Heritage Located in Mountain Induced Earthquake. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 14(2): 139-148.
- Jeon, Sang Soo. 2004. Loss Estimation of Steel Pipeline Damage in Los Angeles Using GIS. *Journal of the Korean Geotechnical Society*. 20(2): 47-58.
- Kamai, Toshitaka. 2014. Landslides in Urban Residential Slopes Induced by Strong Earthquakes in Japan. *Episodes*. 37(4): 295-302.
- Kamai, Toshitaka, and Akira Sangawa. 2011. Landslides on Ancient Embankments in the Kinki District (Japan): Strong Motion Seismoscope of the 1596 Keichou-Fushimi Earthquake. *Quaternary International*. 242: 90-105.
- Kang, Su Young, and Kwang Hee Kim. 2009. A Case Study of GIS-Based Site Classification in the Gyeongsang Province Constrained by Geologic and Topographic Information. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 12(4): 136-145.
- Kang, Su Young, and Kwang Hee Kim. 2011. Effects of DEM Resolutions in Site Classification. *The Korean Society for Geospatial Information Science*. 19(1): 21-28.
- Kieffer, D. Scott, Randy Jibson, Ellen M. Rathje, and Keith Kelson. 2006. Landslides Triggered by the 2004 Niigata Ken Chuetsu, Japan, Earthquake. *Earthquake Spectra*. 22(S1): 47-73.
- Kim, Jin Hak, Kun Woo Chun, Jung Il Seo, Suk Woo Kim, Ju Ung Yun, and Kye Won Jun. 2016. An Examination of Optimum Slit Aperture Suited to Flat-board Debris-flow Breaker in Residential Piedmont Areas. *Crisisonomy*. 12(4): 73-83.
- Kim, Jin Hak, Kun Woo Chun, Jung Il Seo, Youn Tae Lee, and Kye Won Jun. 2017. The Effect of Side Screen Attached to Flat-board Debris-flow Breaker on Damage Reduction. *Crisisonomy*. 13(1): 109-121.
- Kim, Ji Seok, Hyuek Jin Park, and Jung Hyun Lee. 2011. Assessment of Earthquake Induced Landslide Susceptibility with Variation of Groundwater Level. *Economic and Environmental Geology*. 44(4): 289-302.
- Kim, Sung Kyun, Myung-Soon Jun, and Jeong-Soo Jeon. 2006. Recent Research for the Seismic Activities and Crustal Velocity Structure. *Economic and Environmental Geology*. 39(4): 369-384.
- Kim, Suk Woo, Kun Woo Chun, Kyoichi Otsuki, Yoshinori Shinohara, Man Il Kim, Min Seok Kim, Dong Kyun Lee, Jung Il Seo, and Byoung Koo Choi. 2015. Heavy Rain Types for Triggering Shallow Landslides in South Korea. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*. 60(1): 243-249.
- Kiyota, Takashi, Ahsan Sattar, Kazuo Konagai, Zaheer Abbas Kazmi, Daisuke Okuno, and Takaaki Ikeda. 2011. Breaching Failure of a Huge Landslide Dam Formed by the 2005 Kashmir Earthquake. *Soils and Foundations*. 51(6): 1179-1190.
- Korea Education and Research Information Service(KERIS). 2018. *Research Sharing Service*. <http://www.riss.kr/index.do>. (Retrieved 2018.1.1.).
- Korea Forest Service(KFS). 2017. *Landslide Hazard Map*. <http://sansatai.forest.go.kr/forecast/mapList.ls>. (Retrieved 2017.12.21.).
- Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation(KISTEC). 2017. *Earthquake Classification*. https://www.kistec.or.kr/wpge/m_177/info/info04.do. (Retrieved 2017.10.17.).
- Korea Meteorological Administration(KMA). 2018. *Domestic Earthquake List*. http://www.kma.go.kr/weather/earthquake_volcano/domesticlist.jsp. (Retrieved 2018.1.1.).
- Kyung, Jai Bok, Seo Yun Huh, Ji Yong Do, and Deok Rae Cho. 2007. Relation of Intensity, Fault Plane Solutions and Fault of the January 20, 2007 Odaesan Earthquake ($M_L=4.8$). *Journal of Korean Earth Science Society*. 28(2): 202-213.
- Lee, Joon Yong, and Jin Tae Han. 2015. Analysis of Landslide Hazard Map During Earthquake with Various Degrees of Saturation and Cohesion Values. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 35(3): 599-606.
- Lee, Joon Yong, Jin Tae Han, Yong Baek, Du Hee Park, Jong Hoo Lee, and Inn Joon Park. 2014. Development of Prediction Method Considering Geometrical Amplification Characteristics of Slope II: Construction of Landslide Hazard Map During Earthquakes in Seoul. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 14(5): 85-92.

- Lee, Jong Hoo, Du Hee Park, Jae Kwang Ahn, and Inn Joon Park. 2015. Development of Permanent Displacement Model for Seismic Mountain Slope. *Journal of the Korean Geotechnical Society*. 31(4): 57-66.
- Lee, Kie hwa, and Woo Sun Yang. 2006. Historical Seismicity of Korea. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 96(3): 846-855.
- Lee, Kyoung Mi, Hyun Kim, Jae Hyuk Lee, Young Seok Seo, and Ji Soo Kim. 2007. Analysis on the Influence of Groundwater Level Changes on Slope Stability Using a Seismic Refraction Survey in a Landslide Area. *The Journal of Engineering Geology*. 17(4): 537-546.
- Lee, Saro. 2001. Application of Regional Landslide Susceptibility, Possibility, and Risk Assessment Techniques Using GIS. *Economic and Environmental Geology*. 34(4): 385-394.
- Lee, Sang In, Jung Il Seo, Jin Hak Kim, Dong Seop Ryu, Jun Pyo Seo, Dong Yeob Kim, and Chang Woo Lee. 2017. International Research Trend on Mountainous Sediment-related Disasters Induced by Earthquakes. *Journal of Korean Forest Society*. 106(4): 431-440.
- Meunier, Patrick, Taro Uchida, and Niels Hovius. 2012. Landslide Patterns Reveal the Sources of Large Earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters*. 363: 27-33.
- Min, Byung Keun, In Joon Kang, Dong Hyun Park, and Byung Woo Kim. 2013. The Selection of Landslide Risk Area Using AHP and Geomorphic Element. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*. 31(6-1): 431-437.
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism(MLIT). 2017. *Outline of Seismic Design Criteria in Japanese Building Standard Law*. http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000043.html. (Retrieved 2017.11.2.).
- Ministry of Public Safety and Security(MPSS). 2017. *The 9.12 Earthquake White Book: A Record for 180 Days after the 9.12 Earthquake*. Seoul, Korea: Association Together with the Disabled.
- Mizuhashi, Masanori, Ikuo Towhata, Junichi Sato, and Takashi Tsujimura. 2006. Examination of Slope Hazard Assessment by Using Case Studies of Earthquake- and Rainfall-induced Landslides. *Soils and Foundations*. 46(6): 843-853.
- Moon, Hyoun Seok, and Woo Sik Lee. 2016. Development and Verification of a Module for Positioning Buried Persons in Collapsed Area. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*. 17(12): 427-436.
- Nakagawa, Hajime, Tamotsu Takahashi, Satofuka Yoshifumi, and Kenji Kawaike. 2002. Evaluation of Efficiency of Sabo Facilities by Means of Numerical Simulation Methods. *Proceedings of Hydraulic Engineering*. 46: 665-670.
- Nakasuji, Akito. 2011. Landslide Hazard Mapping during a Large Scale Earthquake. *Journal of Mountain Science*. 8(2): 223-227.
- Nakatani, Kana, Takashi Wada, Yoshifumi Satofuka, and Takahisa Mizuyama. 2008. Development of 'Kanko 2D (Ver. 2.00),' a User-friendly One- and Two-dimensional Debris Flow Simulator Equipped with a Graphical User Interface. *International Journal of Erosion Control Engineering*. 1(2): 62-72.
- National Emergency Management(NEMA). 2012. *Active Fault Map and Seismic Hazard Map*. Seoul, Korea: Research Report of National Emergency Management.
- National Institute of Forest Science(NIFoS). 2014. *Correct Understanding of Landslides for National Safety and Land Conservation*. Seoul, Korea: Korea Moonhwa-Printing Association of People with Disabilities.
- National Institute of Forest Science(NIFoS). 2017. *A Research Field by Department*. http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/study/study_02050102.html&mn=KFS_14_01_06_01&orgId=kfri. (Retrieved 2017.12.15.).
- Nocut News. 2017. *Occurrence of Deep Seated Landslide with the 6.5-cm Crack on a Hillslope in Pohang*. <http://www.nocutnews.co.kr/news/4878598>. (Retrieved 2017.11.16.).
- Park, Du Hee, Jong Hoo Lee, Jae Kwang Ahn, Jin Tae Han, Joon Yong Lee, and Inn Joon Park. 2014. Development of Prediction Method Considering Geometrical Amplification Characteristics of Slope I: Analysis about Amplification Characteristics of Mountain Slopes in Seoul. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 14(5): 77-84.
- Peng, Ming, Linin Zhang, Dongsheng Chang, and Zhen Ming Shi. 2014. Engineering Risk Mitigation Measures for the

- Landslide Dams Induced by the 2008 Wenchuan Earthquake. *Engineering Geology*. 180: 68-84.
- Rathje, Ellen, Robert Kayen, and Kyu Seok Woo. 2006. Remote Sensing Observations of Landslides and Ground Deformation from the 2004 Niigata Ken Chuetsu Earthquake. *Soils and Foundations*. 46(6): 831-842.
- Sassa, Kyoji, Hiroshi Fukuoka, Gabrielle Sarascia-Mugnozza, and Stephen Evans. 1996. Earthquake-induced-landslides: Distribution, Motion and Mechanisms. *Soils and Foundations*. 36: 53-64.
- Sassa, Kyoji, Hiroshi Fukuoka, Fawu Wang, and Gonghui Wang. 2005. Dynamic Properties of Earthquake-induced Large-scale Rapid Landslides within Past Landslide Masses. *Landslides*. 2: 125-134.
- Sato, Masayoshi, and Takahito Inoue. 2004. General Frame Work of Research Topics Utilizing the 3-D Full-scale Earthquake Testing Facility. *Journal of Japan Association Earthquake Engineering*. 4(3): 448-456.
- Seo, Jung Il, Kun Woo Chun, Suk Woo Kim, Youn Tae Lee, Jin Hak Kim, Sang In Lee, and Tsugio Ezaki. 2017. Characteristics and Responses for Sediment-related Disasters Induced by Epicentral Earthquakes in Japan (2): Effect of Forest on Crack and Slope Stability by Earthquake. *Journal of the Korean Society of Forest Engineering*. 15(2,3): 95-102.
- Tang, Chuan, Theodore W. J. van Asch, Ming Chang, Guang Qi Chen, Xue Hong Zhao, and Xiang Chao Huang. 2012. Catastrophic Debris Flows on 13 August 2010 in the Qingping Area, Southwestern China: The Combined Effects of a Strong Earthquake and Subsequent Rainstorms. *Geomorphology*. 139-140: 559-576.
- Uzuoka, Ryosuke, Noriaki Sento, Motoki Kazama, and Toshiyasu Unno. 2005. Landslides During the Earthquakes on May 26 and July 26, 2003 in Miyagi, Japan. *Soils and Foundations*. 45(4): 149-163.
- Wakai, Akihiko, Keizo Ugai, Atsuo Onoue, Seiichiro Kuroda, and Kunihiko Higuchi. 2010. Numerical Modeling of an Earthquake-induced Landslide Considering the Strain-softening Characteristics at the Bedding Plane. *Soils and Foundations*. 50(4): 533-545.
- Wang, Gonghui, Runqiu Huang, Sérgio D.N. Lourenço, and Toshitaka Kamai. 2014a. A Large Landslide Triggered by the 2008 Wenchuan (M 8.0) Earthquake in Donghrkou Area: Phenomena and Mechanisms. *Engineering Geology*. 182: 148-157.
- Wang, Gonghui, Akira Suemine, Fanyu Zhang, Yoshiya Hata, Hiroshi Fukuoka, and Toshitaka Kamai. 2014b. Some Fluidized Landslides Triggered by the 2011 Tohoku Earthquake (M_w 9.0), Japan. *Geomorphology*. 208: 11-21.
- Wartman, Joseph, Lisa Dunham, Binod Tiwari, and Daniel Pradel. 2013. Landslides in Eastern Honshu Induced by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103(2B): 1503-1521.
- Xu, Chong, Lingling Shen, and Genlong Wang. 2016. Soft Computing in Assessment of Earthquake-triggered Landslide Susceptibility. *Environmental Earth Sciences*. 75(9): 1-17.
- Yoon, Sang Bok, Tae Chang Ryu, and Hyung Bo Kim. 2007. Evaluation of Urban Disaster for Disaster Prevention and Public Safety Using Transformation Topsis Model and Maxmin Model. *Journal of the Korean Data Analysis Society*. 9(3): 1457-1469.
- Zhang, Dexuan, and Gonghui Wang. 2007. Study of the 1920 Haiyuan Earthquake-induced Landslides in Loess (China). *Engineering Geology*. 94(1): 76-88.
- Zhang, Limin, Yuanhua Xu, Runqiu Huang, and Dongsheng Chang. 2011. Particle Flow and Segregation in a Giant Landslide Event Triggered by the 2008 Wenchuan Earthquake, Sichuan, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 11: 1153-1162.
- Zheng, Lu, Guangqi Chen, Kouki Zen, and Kiyonobu Kasama. 2012. Numerical Validation of Multiplex Acceleration Model for Earthquake Induced Landslides. *Geomechanics and Engineering*. 4(1): 39-53.
- Zhang, Yingbin, Jinmei Wang, Qiang Xu, Guangqi Chen, John X. Zhao, Lu Zheng, Zheng Han, and Pengcheng Yu. 2015. DDA Validation of the Mobility of Earthquake-induced Landslides. *Engineering Geology*. 194: 38-51.
- Zhou, Suhua, Ligang Fang, and Baochen Liu. 2015. Slope Unit-based Distribution Analysis of Landslides Triggered by the April 20, 2013, Ms 7.0 Lushan Earthquake. *Arabian Journal of Geosciences*. 8(10): 7855-7868.

Korean References Translated from the English

- 강수영, 김광희. 2009. GIS기반의 지질·지형 자료를 활용한 경상도지역의 지반분류 사례. 한국지리정보학회지. 12(4): 136-145.
- 강수영, 김광희. 2011. DEM 해상도가 지반분류에 미치는 영향. 한국지형공간정보학회지. 19(1): 21-28.
- 경제북, 허서윤, 도지영, 조덕래. 2007. 2007년 1월 20일 오대산 지진($M_L=4.8$)의 진도, 단층면해 및 단층과의 관계. 한국 지구과학회지. 28(2): 202-213.
- 국립산림과학원. 2014. 국민안전과 국토보전을 위한 산사태 바로알기. 서울: 사단법인장애인문화인쇄협회.
- 국립산림과학원. 2017. 부서별 연구분야. http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/study/study_02050102.html&mn=KFS_14_01_06_01&orgId=kfri. (검색일: 2017.12.15.).
- 국민안전처. 2017. 9.12지진 백서: 9.12지진과 그 후 180일 간의 기록. 서울: 사단법인 장애인 동반성장협회.
- 기상청. 2018. 국내지진 목록. http://www.kma.go.kr/weather/earthquake_volcano/domesticclist.jsp (검색일: 2018.1.1.).
- 김성균, 전명순, 전정수. 2006. 국내 지진활동 및 지각구조 연구 동향. 자원환경지질. 39(4): 369-384.
- 김지석, 박혁진, 이정현. 2011. 지하수위 변화에 따른 지진 유발 산사태의 취약성 분석. 자원환경지질. 44(4): 289-302.
- 김진학, 전근우, 서정일, 김석우, 윤주용, 전계원. 2016. 생활권 산록지역에 있어서 토석류 피해 저감을 위한 철강재 바닥스크린의 최적 순간격 파악. Crisisonomy. 12(4): 73-83.
- 김진학, 전근우, 서정일, 이운태, 전계원. 2017. 철강재 바닥스크린의 토석류 피해저감 기능 극대화를 위한 측면스크린의 부착효과. Crisisonomy. 13(1): 109-121.
- 노컷뉴스. 2017. 포항 야산 6.5cm '땅밀림 현상' 발생. <http://www.nocutnews.co.kr/news/4878598>. (검색일: 2017.11.16.).
- 문현석, 이우식. 2016. 붕괴지역의 매몰자 위치추위를 위한 모듈 개발 및 검증. 한국산학기술학회논문지. 17(12): 427-436.
- 민병근, 강인준, 박동현, 김병우. 2013. 지형요소와 AHP를 활용한 산사태취약지역 선정. 한국측량학회지. 31(6-1): 431-437.
- 배윤신. 2009. 지진발생시 Slide Block형 분석을 이용한 누적 산사태 변위 결정 단순법. 한국토목섬유학회논문집. 8(1): 1-10.
- 박두희, 이종후, 안재광, 한진태, 이준용, 박인준. 2014. 사면의 기하학적 증폭특성을 고려한 지진시 산사태 예측기술개발 I: 지진시 서울지역 산사면의 기하학적 증폭 특성 분석. 한국방재학회논문집. 14(5): 77-84.
- 산림청. 2017. 산사태위험지도. <http://sansatai.forest.go.kr/forecast/mapList.ls> (검색일: 2017.12.21.).
- 서정일, 전근우, 김석우, 이운태, 김진학, 이상인, 江崎次夫. 2017. 일본에 있어서 직하형 지진에 따른 토사재해의 특징과 대응(2): 산림이 지진에 따른 균열 및 사면 안전율에 미치는 영향. 한국산림과학회지. 15(2,3): 95-102.
- 소방방재청. 2012. 활성단층지도 및 지진위험지도 제작 연구보고서. 서울: 소방방재청.
- 유송, 임상준. 2017. 소형 수로실험을 통한 토석류 유동속도 추정식 평가. 한국임학회지. 106(4): 424-430.
- 윤상복, 류태창, 김형보. 2007. Maxmin 모형과 transformation topsis 모형을 이용한 지역 위험도 평가. 한국자료분석학회지. 9(3): 1457-1469.
- 이경미, 김현, 이재혁, 서용석, 김지수. 2007. 지구물리탐사를 이용한 산사태지역의 지하수위에 따른 안정성 해석. 지질공학. 17(4): 537-546.
- 이사로. 2001. GIS를 이용한 광역적 산사태 취약성, 가능성, 위험성 평가 기법 적용. 자원환경지질. 34(4): 385-394.
- 이상인, 서정일, 김진학, 유동섭, 서준표, 김동엽, 이창우. 2017. 지진 유발 산지토사재해 관련 국외 연구동향 분석. 한국 임학회지. 106(4): 431-440.
- 이종후, 박두희, 안재광, 박인준. 2015. 지진 시 산사면의 영구 변위 추정식 개발. 한국지반공학학회논문집. 31(4): 57-66.
- 이준용, 한진태. 2015. 포화도 및 점착력 변화에 따른 지진시 산사태 위험도 분석. 대한토목학회논문집. 35(3): 599-606.
- 이준용, 한진태, 백용, 박두희, 이종후, 박인준. 2014. 사면의 기하학적 증폭특성을 고려한 지진시 산사태 예측기술개발 II: 서울지역 지진시 산사태 재해도 작성. 한국방재학회지논문집. 14(5): 85-92.
- 전근우, 송동근, 이진호, 김민식, 江崎次夫. 2009. 2006년 강원도 평창지역 산사태지에 있어서 강우, 식생 및 모암 특성과 산사태 발생. 2009년도 한국지반화공학학회 학술발표회논문집: 342-347.
- 전근우, 김석우, 이운태, 장수진, 장지원, 서정일, 江崎次夫. 2017. 일본에 있어서 직하형 지진에 따른 토사재해의 특징과 대응(1): 2016년 아소(阿蘇)대교지구의 사방공사

를 중심으로. 한국산림공학회지. 15(2,3): 79-94.

전상수. 2004. GIS를 이용한 로스엔젤레스에 매설된 강관 손상 평가. 한국지반공학회논문집. 20(2): 47-58.

전성곤, 김덕문, 최원일, 최은화. 2014. 지진시 산사태 발생 예측 및 산지 내 문화재 영향 분석. 한국방재학회논문집. 14(2): 139-148.

정재원, J. David Rogers. 2014. 지하수위 변동과 지진동에 따른 산사태 평가. 한국방재학회논문집. 14(5): 115-121.

채병곤, 송영석, 서용석, 조용찬, 김원영. 2006. 모형실험 장치를 이용한 산사태 발생 및 사태물질 거동특성 실험. 대한지질공학회지. 16(3): 275-282.

최우일, 이수곤, 이벽규, 장승진. 2012. 토석류에 의한 구조물 취약성평가에 관한 연구. 한국방재학회논문집. 12(3): 141-146.

최현, 홍순현. 2007. 항공사진을 이용한 수치표고모형 생성과 활용방안. 한국콘텐츠학회논문지. 7(3): 168-175.

한국교육학술정보원. 2018. 한솔연구정보서비스. <http://www.riss.kr/index.do> (검색일: 2018.1.1.).

한국시설안전공단. 2017. 지진의 분류. https://www.kistec.or.kr/wpge/m_177/info/info04.do (검색일: 2017.10.17.).

Japanese References Translated from the English

後藤仁志, 原田英治, 酒井哲郎, 合田健一. 2006. 数值移動床による格子型砂防ダム閉塞過程のシミュレーション. 水工学論文集. 50: 739-744.

中川一, 高橋保, 里深好文, 川池健司. 2002. 砂防施設の効果の評価に関する研究. 水工学論文集. 46: 665-670.

気象庁. 2018. 震度データベース検索. <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>. (검색일: 2018.1.1.).

国土交通省. 2017. 建築基準法の耐震基準の概要. http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000043.html. (검색일: 2017.11.2.).

Chinese References Translated from the English

国家地震科学数据共享中心. 2018. 中国台网地震目录. <http://data.earthquake.cn/sjfw/index.html?PAGEID=websources&orgid=a370b883-f16d-4c1d-ba06-4f78a96a98bc>. (Retrieved 2018.1.1.).

Received: Jan. 11, 2018 / Revised: Feb. 12, 2018 / Accepted: Feb. 21, 2018

국내 지진 유발 산지토사재해 대응을 위한 향후 연구방향

국문초록 이 연구에서는 지진 유발 산지토사재해에 관련한 국내 연구의 방향성을 제시할 목적으로 국내의 지진특성을 규정하고, 이와 유사한 특성이 나타나는 국가를 도출하여 구체적인 연구사례를 파악하였으며, 이를 토대로 국내의 현 실정에 적합한 연구과제를 고찰하였다. 그 결과, 우리나라의 지진은 그 규모가 작고 빈도가 낮지만, 발생 깊이가 얇은 천발성 지진이 판 내부의 단층대에서 주로 발생하여 피해 규모가 가중되는 것을 알 수 있었다. 이와 비교적 유사한 지진 특성이 나타나는 국가는 중국이었으며, 계기지진 관측 이래 국내에서 발생한 큰 규모의 지진은 일본과 밀접한 연관이 있는 것으로 추정된다. 또한, 중국에서 발행된 연구논문에서 제시된 연구기술은 방재분야 선진국인 일본의 선형 연구기술과 상당부분 중첩되는 것으로 파악되었다. 이러한 연구결과에 근거하여 지진 유발 산지토사재해의 발생이력이 거의 보고되고 있지 않은 우리나라에서는 지진 중·후의 토사이동 및 기작, 지진과 강우가 연속적으로 발생할 경우의 산지토사재해 규모 및 빈도에 관한 종합적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한, 기존의 산사태위험지도에 단층대 정보를 반영한 피해위험지도의 작성, 지진의 규모 및 강우 정도에 따른 산지토사재해 피해범위를 고려한 위험지도의 고도화 등에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

주제어 : 위험지도, 지진판, 단층, 지진빈도, 지진강도

-
- Profiles
- Jung Il Seo** : He got his Ph.D. degree with the theme entitled 'Spatial and temporal variations in the fluvial export of large woody debris at the watershed scale' from Hokkaido University, Japan in 2008. Since getting position as an assistant professor in the Department of Forest Resources, College of Industrial Sciences, Kongju National University in 2013, he has currently served as an associate professor. His interests of research and education include the fluvial & non-fluvial processes, channel morphology, riparian dynamics & ecological responses, and watershed conservation & restoration. He has the published 56 articles in national/international journals and the written 4 co-author books(jungil.seo@kongju.ac.kr).
- Sang In Lee** : He is a master course student in the Department of Forest Resources, College of Industrial sciences, Kongju National University in Korea. Research interests include mountainous sediment-related disasters, ecosystem responses, and torrent ecosystem restoration(leesi@kongju.ac.kr).
- Hyeong Keun Kweon** : He received his Ph.D. degree from Chungnam National University, Korea in 2015. He is a post-doctorate researcher in the Department of Forest Resources, College of Industrial Sciences, Kongju National University since 2017. His interesting subject and area are forest engineering and management, especially forest-road planning, road engineering, and surveying. He has the published 20 articles in journals(hkkweon00@gmail.com).
- Kun Woo Chun** : He received his Ph.D. degree from Hokkaido University, Japan in 1987. He is a professor of the Department of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, in which he has taught since 1987. His interesting subject and area of research and education is erosion control engineering, forest hydrology and revegetation engineering. He has the published 296 articles in journals and the written 22 books (including co-author books)(kwchun@kangwon.ac.kr).
- Suk Woo Kim** : He received his Ph.D. degree from Hokkaido University, Japan in 2009 (thesis title: Sediment Transport and Morphodynamics in a Mountainous Bedrock Stream). Currently, he is an assistant professor in the Division of Forest Sciences, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University. His interesting subject and area of research and education are rainfall-triggered shallow landslides, geomorphological changes and sediment transport in small mountain streams. He has published 59 articles in journals and written 4 co-author books(kimsw@kangwon.ac.kr).

Kye Won Jun : He received his Ph.D. degree from Chungbuk National University, Korea in 2004. He is a professor of the Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, in which he has taught since 2004. His interesting subject and area of research and education are flood prevention, mountainous disaster prevention, and natural disaster prevention & management. He has published 80 articles in journals and written 8 books (including co-author books)(kwjun@kangwon.ac.kr).

Jin Hak Kim : He received his Ph.D. degree from Kangwon National University, Korea in 2017. He is a post-doctorate researcher in the Department of Forest Resources, College of Industrial Sciences, Kongju National University since 2017. His research interests include debris-flow mechanism, urban erosion control works and related structures, and flume experimental test. He has the published 19 articles in journals(jhkim840608@gmail.com).

Chang Woo Lee : He took his Ph.D. degree from Tokyo University, Japan in 1998. Since getting position in the Division of Forest Disaster Management, Department of Forest Conservation, National Institute of Forest Science in 2005, he has currently served as a senior researcher. His research interests are erosion control engineering, prevention of sediment-related disasters, and forest hydrology. He has the published 27 articles in journals and the written 26 books during recent 5 years(leccwfr@korea.kr).