

지진 유발 산지토사재해 관련 국외 연구동향 분석

이상인¹ · 서정일^{1*} · 김진학¹ · 유동섭¹ · 서준표² · 김동엽² · 이창우²

¹공주대학교 산림자원학과, ²국립산림과학원 산림방재연구과

International Research Trend on Mountainous Sediment-related Disasters Induced by Earthquakes

Sang-In Lee¹, Jung-Il Seo^{1*}, Jin-Hak Kim¹, Dong-Seop Ryu¹,
Jun-Pyo Seo², Dong-Yeob Kim² and Chang-Woo Lee²

¹Department of Forest Resources, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

²Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

요약 2016년 9월 12일 발생한 경주지진(M_L 5.8)과 2017년 11월 15일 발생한 포항지진(M_L 5.4)으로 전례없는 피해가 발생하였으며, 이에 지진 유발 산지토사재해 관련 국내외 기초자료의 조속한 구축과 심층적 분석이 필요한 실정이다. 이 연구에서는 국외의 지진 유발 산지토사재해에 관한 선행연구를 수집 및 분석한 후, VOSviewer 프로그램을 이용한 텍스트마이닝과 동시출현단어 분석을 통하여 연구주제에 따른 연구영역을 구별하였으며, 이후 각 연구영역별로 시·공간적인 연구동향을 파악하였다. 그 결과, 2005년 이후 지진 유발 산지토사재해 관련 연구가 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 최근 중국, 대만 및 일본 등지에서 발생한 대규모 지진의 영향으로 사료된다. 국외 지진 유발 산지토사재해에 관한 연구영역은 (i) 재해발생의 메커니즘에 관한 연구영역, (ii) 재해발생에 영향을 미치는 강우인자에 관한 연구영역, (iii) 항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측에 관한 연구영역, (iv) 재해발생 모델링을 통한 재해위험지도 작성에 관한 연구영역으로 구분되었으며, 이들 연구영역은 상호간에 깊은 연관성을 지니고 있는 것으로 판단된다. 이렇게 구분된 각 연구영역이 전체 연구논문 중에서 점유하고 있는 비율을 파악한 결과, 1987년 이래 누적 연구논문수가 총 연구논문수의 50%에 해당하는 연도를 중심으로 모든 연구영역의 연간 연구비율이 증가한 것으로 나타났으며, 특히 ‘항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측’에 관한 연구영역의 연구비율이 상대적으로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 활발한 연구성과는 최근 중국을 대상으로 한 연구논문이 급격히 증가하였기 때문으로 추정되며, 이외에 대만, 일본, 미국 등에서 수행된 연구논문들 역시 모든 연구영역에서 연구성과의 증가에 영향을 준 것으로 추정된다. 이러한 연구결과는 국내의 지진 유발 산지토사재해 관련 미래 연구의 방향을 제시하기 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract: The 2016 Gyeongju Earthquake (M_L 5.8) (occurred on September 12, 2016) and the 2017 Pohang Earthquake (M_L 5.4) (occurred on November 15, 2017) caused unprecedented damages in South Korea. It is necessary to establish basic data related to earthquake-induced mountainous sediment-related disasters over worldwide. In this study, we analyzed previous international studies on the earthquake-induced mountainous sediment-related disasters, then classified research areas according to research themes using text-mining and co-word analysis in VOSviewer program, and finally examined spatio-temporal research trends by research area. The result showed that the related-researches have been rapidly increased since 2005, which seems to be affected by recent large-scale earthquakes occurred in China, Taiwan and Japan. In addition, the research area related to mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes was classified into four subjects: (i) mechanisms of disaster occurrence; (ii) rainfall parameters controlling disaster occurrence; (iii) prediction of potential disaster area using aerial and satellite photographs; and

* Corresponding author

E-mail: jungil.seo@kongju.ac.kr

ORCID

Jung-Il Seo  <http://orcid.org/0000-0002-5494-2306>

(iv) disaster risk mapping through the modeling of disaster occurrence. These research areas are considered to have a strong correlation with each other. On the threshold year (i.e., 2012-2013), when cumulative number of research papers was reached 50% of total research papers published since 1987, proportions per unit year of all research areas should increase. Especially, the proportion of the research areas related to prediction of potential disaster area using aerial and satellite photographs is highly increased compared to other three research areas. These trends are responsible for the rapidly increasing research papers with study sites in China, and the research papers examined in Taiwan, Japan, and the United States have also contributed to increases in all research areas. The results are could be used as basic data to present future research direction related to mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in South Korea.

Key words: co-word analysis, future research direction, research area, web of science, text mining

서 론

산지토사재해는 국토 황폐화의 원인일 뿐만 아니라 국민의 생명과 재산을 위협하는 자연재해이며(Chun, 2011), 크게 산사태, 토석류, 땅밀림으로 구분된다(NIFoS, 2014). 이 중에서 산사태는 1976년부터 2016년까지에 걸쳐 연평균 391ha의 산림면적을 황폐화시켰으며, 특히 최근 들어 태풍 및 장마전선에 의한 집중호우가 더욱 빈번하게 발생함에 따라 1980년대(231 ha)에 비하여 2000년대에 발생한 연평균 산사태 면적(713 ha)이 3배 이상 증가하였다(KFS, 2017a). 또한, 동일 기간 내에 산사태로 인한 사상자는 연평균 29명이었으며, 1976년부터 1996년(연평균 44.5명)에 비하여 1997년부터 2016년의 연평균 사상자수(12.5명)가 28% 수준으로 감소하고 있는 추이를 나타냈다(KFS, 2017a). 그러나 1998년 9호 태풍 ‘예니’와 2011년 여름철 집중호우로 발생한 산지토사재해로 인하여 각각 92명과 43명의 사상자가 발생하기도 하였다(KFS, 2017a).

이상에서 본 우리나라의 산지토사재해는 강우인자가 주된 원인으로 작용하였다. 실제로 2011년 7월에 발생한 우면산 산사태와 춘천 마적산 산사태, 2012년 9월 발생한 산청 산사태, 2017년 7월에 발생한 청주 산사태 등 우리나라의 산사태는 여름철 집중호우 기간에 발생하였다(NIFoS, 2014; KFS, 2017b). 이에 산림청은 사방댐 설치 사업 및 계류보전사업과 같은 구조물 대책은 물론 토사 재해경계구역 설정 및 토사재해위험지도 작성 등의 비구조물 대책을 수립하여 산지토사재해로 인한 인명피해 제로화를 위한 정책을 추진하고 있으며, 이 과정에서 사방 구조물의 설계 및 토사재해의 피해범위 산정에 있어서도 강우의 발생시기, 강도 및 지속시간 등의 인자가 주요 변수로 활용되고 있다.

그러나 2016년 9월 12일 한반도 지진 계측 이래 가장 큰 규모 5.8의 지진이 경주에서 발생한 이후 지진 역시 산지토사재해의 유인으로서 작용할 수 있다는 인식이 확산되고 있다. 실제로 1999년 발생한 대만의 치치진으로 산사태가 발생하여 약 20명의 사망자가 발생하였고

(Huang et al., 2002), 2008년 중국의 쓰촨성지진으로 대규모 산사태가 발생하여 20,000여명의 사망자가 발생하였다(Zhang et al., 2011; Wang et al., 2014). 이와 같이 지진을 유인으로 하는 산지토사재해가 발생할 수 있으며, 그로 인해 대규모의 인명 및 재산피해가 발생할 수 있다. 이러한 우려는 지난 2017년 11월 15일 포항에서 발생한 규모 5.4의 지진으로 인해 더욱 커지고 있는 실정이다.

최근 20년간 우리나라에서도 지진과 관련된 다양한 분야의 연구가 다수 진행되었다. 대표적으로 Cho(2000)은 국내외 지진발생 추이 및 피해사례를 파악하고, 그에 대한 지진관측 및 대응체계 구축의 필요성을 강조한 바 있다. 또한, Yu and Park(2016)은 과거 안전관리차원에서 중점 관리되어 온 침성대를 대상으로 지진 전·후의 비교를 통하여 피해현황을 파악하고, 이를 통해 문화재의 구조성능과 안전성을 평가할 수 있는 기초자료 구축의 필요성을 제시하였다. Koo et al.(2013)은 지진발생으로 인한 국외 학교시설 피해를 파악하고, 국내 고등학생 및 대학생을 대상으로 지진 교육 및 훈련에 대한 인식조사를 실시하여 학교 내부에서 지속적인 지진 안전교육과 지진 발생에 따른 대응체계 마련은 물론, 학생들의 의문사항이 반영된 교육이 이루어져야 한다고 보고한 바 있다. 그러나 지진으로 인해 발생하는 산지토사재해에 관한 연구는 아직까지 거의 수행되고 있지 않은 실정이며, 이는 우리나라 지진 유발 산지토사재해에 관한 연구의 방향성, 국가 예산의 투입 우선순위 결정 등에 필요한 정보 및 근거를 제공하지 못하는 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 첫 번째 단계로서 이 연구에서는 지진 유발 산지토사재해와 관련된 국외의 연구논문을 분석하여 연구동향의 시·공간적 변화를 파악하였다.

재료 및 방법

1. 국외 연구논문 수집

NIFoS(2014)에 따르면, 국내 산지토사재해는 크게 ‘산사태’, ‘토석류’, ‘땅밀림’ 이상 세 가지 종류로 구분하고

있다. 이 연구에서는 국외의 지진 유발 산지토사재해 관련 연구논문을 수집하기 위하여 이 세 가지 단어의 영문표기인 ‘landslide(s)’, ‘debris flow(s)’, ‘deep seated landslide(s)’를 지진의 영문표기인 ‘earthquake’과 함께 동시 검색어로 사용하였다.

분석 대상 논문은 2016년까지 발행된 Science Citation Index (SCI)와 Science Citation Index Expanded (SCIE) 학술지에 등재된 연구논문으로 제한하였으며, Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com>)를 검색기반으로 활용하였다.

검색된 논문 중 지진 유발 산지토사재해와 관련 없는 연구논문은 데이터베이스에서 제외시켰으며, 중복 수집된 연구논문은 1편만을 데이터베이스에 포함시켰다.

2. 국외 연구논문의 연구영역 분석

수집된 연구논문의 제목과 초록으로부터 연구주제를 나타내는 단어(구)를 추출하고, 이를 기초로 주요 연구영역을 분류하기 위해 VOSviewer 프로그램(version 1.6.6)을 이용하였다(Van Eck and Waltman, 2010). 이 때, 연구주제를 나타내는 단어(구)의 추출을 위해서 먼저 ① 총 5편 이상의 논문에서 출현한 단어 및 단어구만을 선정하였으며, ② 정관사나 부정관사 등 일반적으로 사용되는 단어를 제외하기 위하여 VOSviewer에서 측정된 주제단어 적정점수(relevance score)가 초기값인 상위 60%에 포함되는 단어로 한정하였다(Van Eck and Waltman, 2014).

위와 같은 기준으로 최종 선정된 단어들을 이용하여 네트워크 지도 시각화 및 단어 군집 분석을 수행하였으며(Waltman et al., 2010), 이를 통해 가장 안정적으로 유지되는 연구영역을 결정하였다.

3. 국외 연구논문의 연구영역별 발행연대 및 대상국가 분석

국외의 지진 유발 산지토사재해 관련 연구논문은 각각 하나의 연구영역으로 구분되기 어렵다. 따라서 산술적인 계산 과정을 통하여 각 연구영역에 있어서 연구논문의 발행연대 및 대상국가의 비율을 산출할 수 없다. 그 대신 각 논문의 제목과 초록에서 출현하는 연구영역별 단어비율을 파악하여 각 연구영역에 있어서 발행연대별 점유율과 대상국가별 점유율을 산출하였다. 이 때, 각 논문에서 출현한 연구영역별 단어(구)의 수를 연구영역 전체 단어(구)의 수로 나누어 연구영역별 단어출현빈도를 표준화하였으며, 이후 표준화된 각 논문의 연구영역별 단어출현빈도를 각 논문 내 표준화된 연구영역별 단어출현빈도의 총합으로 나누어 논문별 단어출현빈도를 표준화하였다(Van Eck and Waltman, 2010, 2014).

이상의 방법으로 측정된 각 연구논문의 연구영역별 비

율을 동일 발행연대 또는 동일 대상국가로 합하여 연구영역별 발행연대 및 대상국가의 점유율을 산출하였다. 여기서 누적논문수가 약 50%에 해당하는 발행연도를 기점으로 과거와 최근으로 구분하였으며, 그 후 연구영역별 연구비율의 변화를 분석하였다. 또한, 각 연구논문의 연구영역별 연구비율을 동일 국가별로 합하여 연구영역별 대상국가의 비율을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 지진 유발 산지토사재해 관련 국외 연구논문 수집 및 일반특성 분석 결과

지진 유발 산지토사재해 관련된 국외의 연구논문을 수집하기 위하여 ‘landslide(s)’, ‘debris flow(s)’, ‘deep seated landslide(s)’를 ‘earthquake’과 함께 검색한 결과로 총 471편의 논문이 Web of Science로부터 수집되었으며, 이 중 중복 검색된 연구논문 및 지진 유발 산지토사재해와 관련 없는 연구논문을 제외한 총 415편의 연구논문을 대상으로 분석을 진행하였다.

이 연구논문들을 연도별로 분석한 결과(Figure 1), 지진 유발 산지토사재해 관련 국외논문은 1987년부터 2004년까지 매년 10편 미만씩 발행되었으나, 2005년 이후 매년 10편 이상의 연구논문이 발행된 것으로 나타났다. 특히, 국외의 지진 유발 산지토사재해에 관한 연구는 과거 수십 년에 비하여 최근 수 년 사이에 급격히 증가한 것으로 나타났으며, 이는 최근 중국, 대만 및 일본 등지에서 발생한 대규모 지진(예를 들어 1999년 대만의 치치지진, 2008년 중국의 쓰촨성지진, 2011년 일본의 동일본대지진 등)으로 인해 발생한 막대한 인명 및 재산피해와 무관하지 않은 것으로 판단된다. 실제로 1987년부터 2016년까지 발표된 총 415편의 논문은 총 36개 국가에서 발생한 지진 유발 산지토사재해 피해를 연구대상으로 수행되었으며, 이 중에서 중국, 대만 및 일본을 대상으로 한 연구논문이 각각 203편, 52편 및 34편으로 나타났다(Figure 2). 또한, 1999년 대만의 치치지진이 발생한 이후인 2001년을 기점으로 대만을 대상으로 한 연구가 점차 증가하였고, 2008년 중국의 쓰촨성지진이 발생한 직후인 2009년부터는 중국을 대상으로 한 연구가 상당부분을 차지하였으며, 지진이 빈번하게 발생하여 2005년부터 꾸준한 연구가 진행되어 왔던 일본에서는 2011년 동일본대지진을 계기로 2014년까지 보다 많은 연구가 수행된 것으로 나타났다(Figure 3). 이들 국가의 대표적인 연구들을 살펴보면, Shou et al.(2011)과 Liu et al.(2013)은 1999년 대만 Nantou 지역에서 발생한 치치지진에 의한 산사태와 강우의 상관관계를 규명하는 내용의 연구를 수행하였으

며, 그 결과 산사태 분포와 강우의 분포 사이에 밀접한 상관관계가 있으며, 연속적인 강우로 인해 새로운 산사태 발생 시 주기가 점차 짧아지는 경향을 보인다는 결과를 보고한 바 있다. 또한, Has et al.(2012)과 Wartman et al.(2013)은 2011년 일본 Tohoku 지역에서 발생한 동일본 대지진으로 인한 산사태의 피해원인을 규명하고자 항공 사진을 기반으로 하여 공간분석을 실시하였으며, 그 결과 Tohoku 지역의 3,477건의 산사태는 신생대 4기와 신제 3

기 지질로부터 형성된 토양에서 전체 산사태 수의 80%에 해당하는 산사태가 발생하였다는 결과를 보고한 바 있다. 마지막으로 Tang et al.(2015)과 Zhou et al.(2015)은 2013년 중국 Lushan 지역에서 발생한 지진으로부터 산사태 피해지의 현황을 파악하고자 12,900개소의 산사태 피해지를 대상으로 GIS 및 항공사진을 이용한 공간분석을 실시하였으며, 그 결과 산지사면의 경사 및 활성단층의 거리가 산사태 발생면적에 큰 영향을 미친다는 것을 밝힌 바 있다.

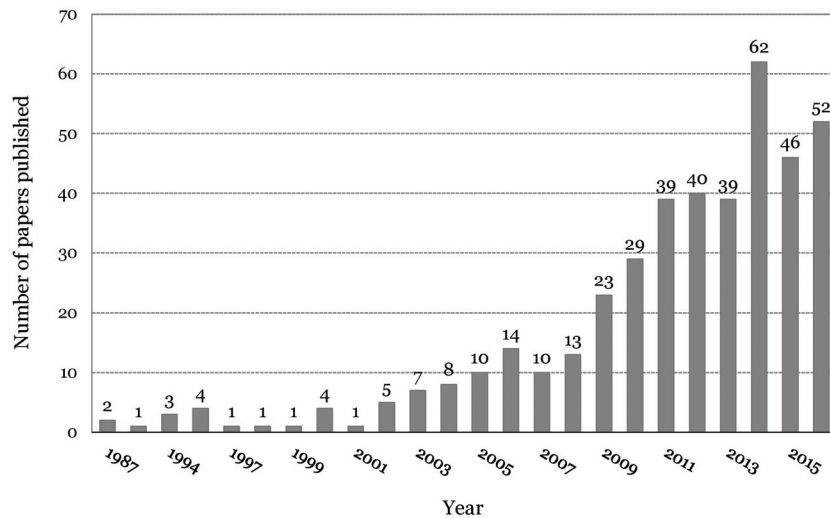


Figure 1. Long-term distribution in number of international researches related to the mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes.

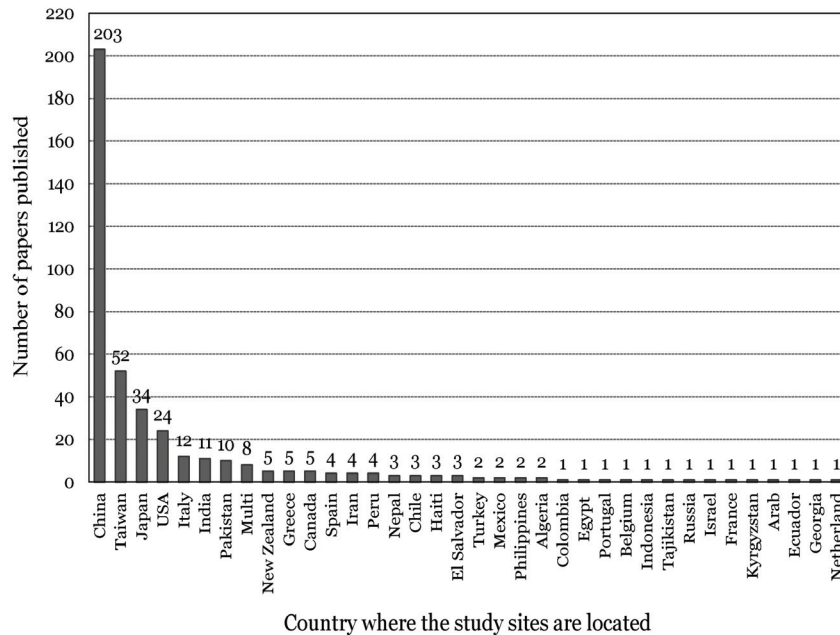


Figure 2. Regional distribution in number of international researches related to the mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes.

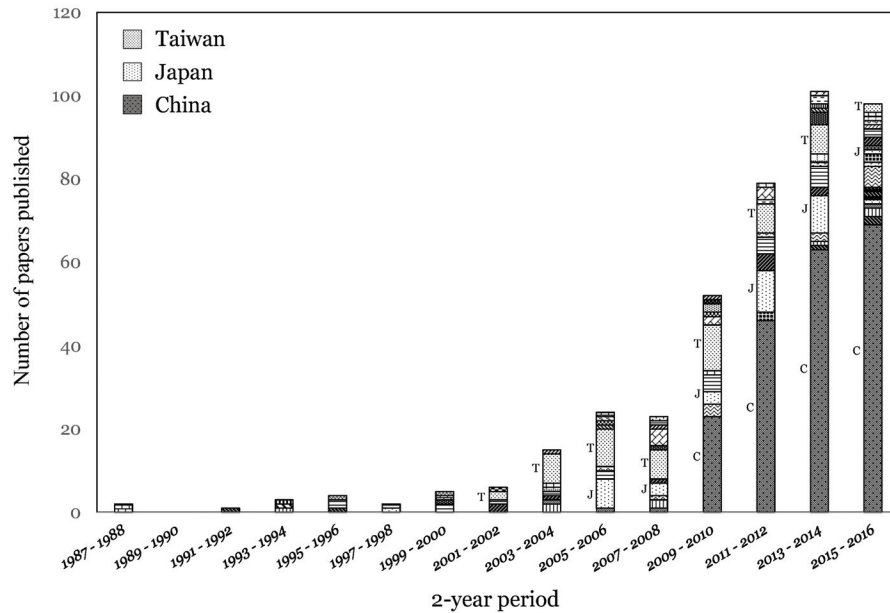


Figure 3. Regional distribution in number of international researches related to the mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in each 2-year period from 1987 to 2016.

2. 지진 유발 산지토사재해 관련 국외 연구논문의 연구영역 분석 결과

VOSviewer 프로그램을 통한 텍스트마이닝(text-mining)을 실행하여 국외의 지진 유발 산지토사재해 연구논문들의 주요 연구주제를 파악하기 위해 필요한 총 10,045개의 주제단어(구)를 추출하였다. 이 중에서 5편 이상의 연구논문에서 출현한 주제단어(구)는 총 603개로 나타났으며, 이후 주제단어 적정점수(relevance score)가 상위 60%에 해당하는 총 362개의 주제단어(구)를 추출하였다.

이렇게 추출된 362개의 주제단어(구)를 대상으로 동시출현단어 분석을 진행한 결과(Figure 4), 국외 지진 유발 산지토사재해 연구는 네 개의 주된 연구영역으로 나누어졌다. 네 개의 연구영역별로 출현 주제단어(구)를 살펴본 결과 (Table 1), 먼저 제 1 연구영역에서는 ‘motion’, ‘surface’, ‘movement’, ‘deformation’, ‘mass’, ‘initiation’, ‘rupture’, ‘velocity’, ‘amplification’, ‘acceleration’, ‘simulation’, ‘duration’, ‘scenario’ 등의 단어가 높은 빈도로 출현하였으며, 제 2 연구영역에서는 ‘debris flow’, ‘deposit’, ‘channel’, ‘lake’, ‘disaster’, ‘landslide dam’, ‘measure’, ‘risk’, ‘gully’, ‘precipitation’, ‘heavy rainfall’, ‘possibility’, ‘flow’ 등의 단어가 높은 빈도로 출현하였다. 또한, 제 3 연구영역에서는 ‘peak ground acceleration’, ‘correlation’, ‘aerial photograph’, ‘slope gradient’, ‘spatial distribution’, ‘slope aspect’, ‘total area’, ‘inventory’, ‘seismic landslide’, ‘seismogenic fault’, ‘seismic intensity’, ‘remote sensing image’ 등의 단어가 높

은 빈도로 출현하였으며, 마지막으로 제 4 연구영역에서는 ‘lithology’, ‘index’, ‘elevation’, ‘GIS’, ‘landslide occurrence’, ‘landslide inventory’, ‘road’, ‘landslide susceptibility’, ‘drainage’, ‘landslide inventory map’, ‘infrastructure’ 등의 단어가 높은 빈도로 출현하였다.

이상의 출현 주제단어(구)를 기초로 각 영역이 다루고 있는 연구주제를 의미론적으로 파악한 결과, 제 1 연구영역은 ‘재해발생의 메커니즘’에 관한 연구영역으로 판단하였으며, 제 2 연구영역은 ‘재해발생에 영향을 미치는 강우인자’에 관한 연구영역으로 판단하였다. 또한, 제 3 연구영역은 ‘항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측’에 관한 연구영역으로 판단하였으며, 제 4 연구영역은 ‘재해발생 모델링을 통한 재해위험지도 작성’에 관한 연구영역으로 판단하였다. 각 연구영역별 대표적인 연구논문을 살펴보면 이하와 같다. 제 1 연구영역에 해당하는 연구사례로서 Zhang et al.(2011)은 산사태 발생 후 산사태 피해지의 토양입자 크기를 통해 재해 발생 과정을 규명하는 연구를 수행하였으며, 그 결과로서 토양입자의 크기가 클수록 이동거리가 증가하고, 이동과정에서 토양입자의 붕괴 및 분쇄를 통해 세립화가 진행된다고 보고한 바 있다. 제 2 연구영역에 해당하는 연구사례로서 Tang et al.(2011)은 지진 및 강우가 산사태에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구를 수행하였으며, SPOT 이미지를 통한 모니터링 데이터를 사용하여 지진의 진동 이후 강우가 지표층을 심하게 어지럽혀 산사태

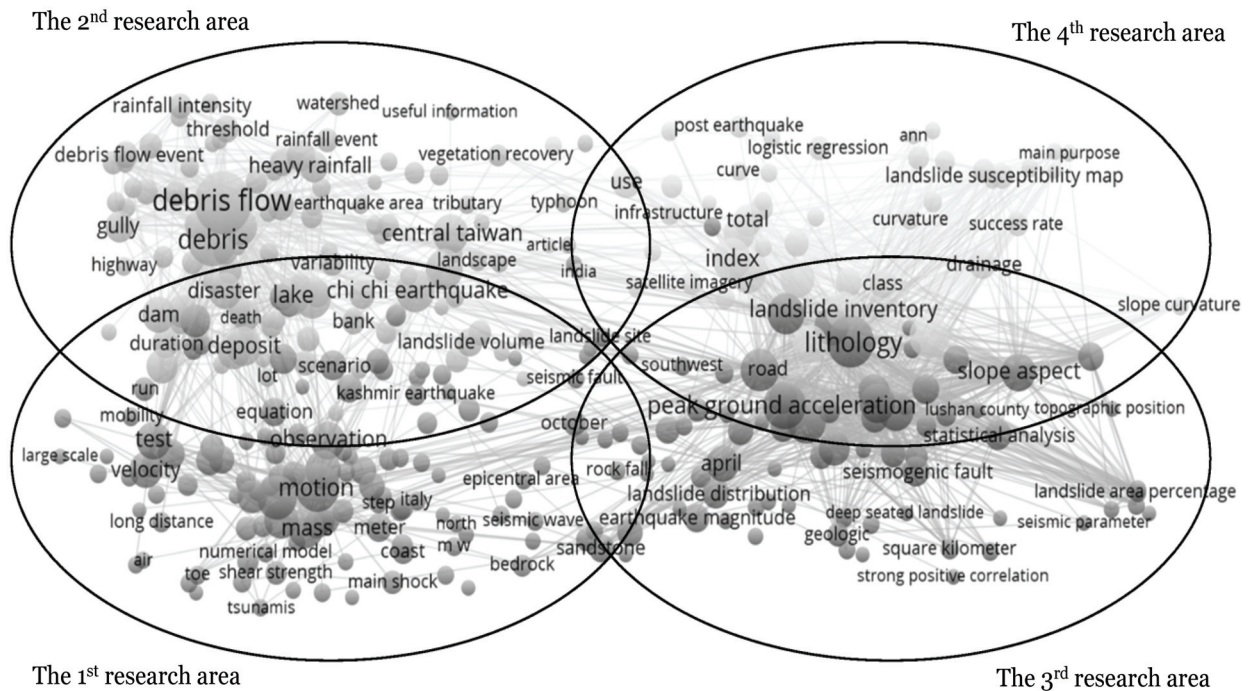


Figure 4. A thematic map displaying networks of four research areas classified by text-mining and co-word analysis. Each research area is distinguished by different brightness. The size of the circle is proportional to the number of occurrences of the words.

Table 1. Top 20 most frequent words in each research area classified by text-mining and co-word analysis.

Research area	Top 20 most frequent words
1 st	motion, surface, movement, deformation, mass, understanding, observation, initiation, rupture, test, velocity, amplification, acceleration, stage, simulation, duration, equation, meter, scenario, water
2 nd	debris flow, debris, deposit, period, channel, lake, disaster, landslide dam, measure, risk, dam, gully, precipitation, heavy rainfall, possibility, flow, measurement, large amount, landslide debris, earthquake area
3 rd	peak ground acceleration, correlation, aerial photograph, slope gradient, purpose, spatial distribution, thousand, slope aspect, total area, inventory, seismic landslide, sandstone, seismogenicfault, rock avalanche, landslide distribution, percentage, seismic intensity, remote sensing image
4 th	lithology, index, elevation, GIS, landslide occurrence, total, landslide inventory, road, landslide susceptibility, drainage, technology, landslide inventory map, infrastructure, class, weight, post earthquake, validation, success rate, curvature, landslide hazard map

발생확률을 증가시킨다고 보고하였다. 또한, 제 3 연구 영역에 해당하는 연구사례로서 Xu et al.(2013)은 GIS 및 모델링기법 등을 이용한 산사태 민감도 매핑 사용의 제시에 관한 연구를 수행하였으며, 항공·위성사진의 해석 및 현장조사 데이터를 이용하여 경사각, 경사면, 고도, 배수로와의 거리, 도로와의 거리, 주요 단층과의 거리 등을 추출하고, 이들을 산사태 민감성 평가의 주요인으로 보고한 바 있다. 마지막으로 제 4 연구영역에 해당하는 연구사례로서 Song et al.(2012)은 모델링을 통한 산사태의

발생 요인 규명 및 민감성 평가 연구를 수행하였으며, 연구대상 산사태지의 토사붕괴에 가장 큰 영향을 미친 요인은 암석의 강도와 종파 진폭의 크기라고 보고한 바 있다. 비록 이상에서 본 바와 같이 지진 유발 산지토사재해에 관한 국외 연구는 총 네 가지의 독립된 연구영역으로 구분되었지만, 이 중에서 제 1 연구영역(재해발생의 메커니즘)과 제 2 연구영역(재해발생에 영향을 미치는 강우인자)의 연구주제는 과거로부터 발생한 재해이력의 축적을 전제로 수행할 수 있는 연구영역이라는 점에서 상호 연관성을 지

니고 있다. 또한, 제 3 연구영역(항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측)과 제 4 연구영역(재해발생 모델링을 통한 재해위험지도 작성)의 연구주제는 제 1·2 연구영역에서의 연구결과를 근간으로 지진 유발 산지토사재해 우려지역에서의 발생 가능성을 예측하기 위한 ‘연구기법’의 개발을 연구주제로 한다는 점에서 상호 연관성이 있다고 판단된다. 실제로 Liu et al.(2015)은 2008년 중국의 Lushan 지방에서 발생한 지진을 대상으로 지진 유발 산지토사재해의 현장조사와 고해상도 항공사진의 해석 등을 통하여 지진 피해지역에 산사태 감수성 평가에 관한 연구를 수행하였으며, 그 결과로 지진 강도와 경사도가 지진의 발생에 가장 중요한 요인이었음을 보고한 바 있다. 이 연구는 제 1 연구영역과 제 3 연구영역에 동시에 해당하는 연구로 분류할 수 있을 것이다. 또 다른 사례로서 Wang et al.(2014)은 2011년 일본의 Tohoku 지방에서 발생한 동일본대지진을 대상으로 산지토사재해의 원인 규명을 위해 현장조사 및 실내실험을 수행하였고, 그 결과로 연구 대상지역의 지층 중 고생대시기에 생성된 층과 그 상부 층의 역파가 일어난 지역에서 산사태가 발생했다는 결과를 보고한 바 있다. 앞선 Liu et al.(2015)의 연구와는 달리 이 연구는 제 1 연구영역과 제 4 연구영역에 동시에 해당하는 연구로 분류할 수 있을 것이다.

3. 국외 연구논문의 연구영역별 발행연대 및 대상국가 분석 결과

국외의 지진 유발 산지토사재해 관련 연구들 중에서 과거에 비해 활발해진 연구분야를 파악하기 위한 첫 번

째 단계로서 1987년 이래 대해 발표된 연구논문들의 누적 수가 총 연구논문수의 50%에 해당하는 연도를 파악한 결과, 2012년과 2013년의 사이인 것으로 나타났다. 이 시점을 중심으로 1987~2012년(26년간)과 2013~2016년(4년간)으로 나누어 전체 연구논문 중에서 각 연구영역이 점유하고 있는 비율을 분석한 결과(Figure 5), 제 1 연구영역(재해발생의 메커니즘), 제 2 연구영역(재해발생에 영향을 미치는 강우인자), 그리고 제 4 연구영역(재해발생 모델링을 통한 재해위험지도 작성)의 비율은 감소한 반면, 제 3 연구영역(항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측)의 비율은 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 두 기간을 구분하는 중심점의 누적논문수가 약 50%인 점을 감안할 때 각 연구영역 비율의 변화는 곧 연구논문수의 변화를 나타내며, 따라서 제 3 연구영역에 해당하는 연구논문만이 시간의 경과에 따라 증가한 것으로 해석될 수 있다. 그러나 이러한 결과는 1987~2012년과 2013~2016년, 각각 26년간과 4년간의 연구영역별 비율을 나타내고 있다. 따라서 각 연구영역의 비율을 단위연도별로 산출한다면 모든 연구영역의 연구성과가 급격한 증가추세를 나타내고 있는 것을 알 수 있으며, 그 중에서도 제 3 연구영역(항공·위성사진을 이용한 지진 유발 산지토사재해 위험지 예측)에 해당하는 연구가 더욱 활발하게 수행되었다고 해석할 수 있다.

이러한 모든 연구영역에서의 활발한 연구성과는 최근 급격히 증가한 중국 대상 연구논문의 영향이 큰 것으로 추정된다. 국외 연구논문의 연구영역별 대상국가를 확인한 결과(Table 2), 중국을 대상으로 한 연구가 제 1 연구

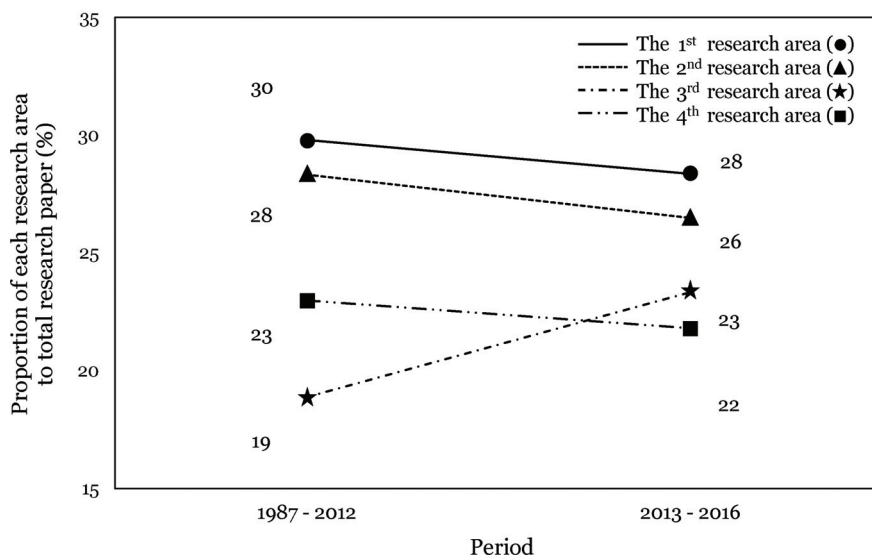


Figure 5. Changes in proportions of research areas including the international researches related to the mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in the periods of 1987-2012 and 2013-2016.

Table 2. Regional proportions of international researches related to the mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes in each research area.

The 1 st research area ^a		The 2 nd research area ^b		The 3 rd research area ^c		The 4 th research area ^d	
Study country	Proportion (%)	Study country	Proportion (%)	Study country	Proportion (%)	Study country	Proportion (%)
China	42	China	54	China	51	China	49
Taiwan	12	Taiwan	13	Taiwan	10	Taiwan	15
Japan	10	Japan	7	Japan	9	Japan	6
USA	7	USA	6	USA	5	USA	5
Italy	4	Pakistan	3	Pakistan	3	India	3
India	2	India	2	Italy	3	Pakistan	3
Multi	2	Multi	2	India	3	Italy	3
New Zealand	2	Italy	2	Multi	2	El Salvador	2
Pakistan	2	Canada	2	Greece	2	Greece	1
Spain	2	Peru	1	Haiti	2	Iran	1
Canada	2	New Zealand	1	Iran	2	Philippines	1
Chile	1	Nepal	1	Peru	1	Haiti	1
Greece	1	Spain	1	Spain	1	Nepal	1
Turkey	1	Greece	1	Nepal	1	Multi	1
El Salvador	1	Algeria	0	New Zealand	1	Peru	1
Algeria	1	Iran	0	Ecuador	1	New Zealand	1
Iran	1	Chile	0	Portugal	1	Indonesia	1
Peru	1	Philippines	0	Canada	1	Canada	1
Mexico	1	Colombia	0	Mexico	1	Egypt	1
Nepal	1	Turkey	0	Kyrgyzstan	0	Algeria	0
Netherland	1	Mexico	0	Chile	0	Chile	0
Total	100	Total	100	Total	100	Total	100

^a The 1st research area: mechanisms of disaster occurrence.

^b The 2nd research area: rainfall parameters controlling disaster occurrence.

^c The 3rd research area: prediction of potential disaster area using aerial and satellite photographs.

^d The 4th research area: disaster risk mapping through the modeling of disaster occurrence.

영역에서는 약 42%, 제 2 연구영역에서는 약 54%, 제 3 연구영역에서는 약 51%, 제 4 연구영역에서는 약 49%의 비율을 차지하는 것으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 대만 (10~15%), 일본(6~10%), 미국(5~7%)의 순으로 나타났다. 특히, 중국을 포함한 이들 4개 국가를 연구대상지로 수행된 연구들은 특정 연구영역에만 편중되지 않고 모든 연구영역에 골고루 분산·포함되는 것으로 나타났다. 이는 전술한 연구영역 간 상호 연관성으로 인하여 단일 연구영역이 단독적으로 발전할 수 없는 관계에 놓여 있기 때문으로 사료된다.

결론

이 연구에서는 국내의 지진 유발 산지토사재해 관련 미래 연구의 방향성을 제시하기 위한 연구의 일환으로 지진 유발 산지토사재해 관련 국외 연구논문을 대상으로 연구동향을 파악하였다. 그 결과, 지진 유발 산지토사재

해에 관한 국외 연구논문을 수집하여 일반적 특성을 파악할 수 있었다. 특히, 국외의 지진 유발 산지토사재해에 관한 네 개의 연구영역을 특정 지을 수 있었으며, 각각의 연구영역에 해당하는 연구논문들의 발행연대 및 대상국가 등을 파악함으로써 국외 연구동향의 시·공간적인 특징을 확인할 수 있었다.

한편, 지진 유발 산지토사재해에 관한 국내 연구의 방향성을 제시하기 위해서는 다음과 같은 숙제가 여전히 남아 있다. 먼저 국내의 지질·지형 및 지진 등의 특성을 규정하고, 이와 유사한 환경을 갖는 국가를 도출하여야 한다. 이후, 도출된 국가를 대상으로 수행된 구체적인 연구사례를 파악하여 국내에 적용 또는 응용 가능한 선진 연구기술을 추출해야 할 것이다. 마지막으로 이러한 선진 연구기술을 참고하여 국내의 현 실정에 부합하는 미래 연구과제를 발굴하되 중·장기적인 관점에서 우선순위를 두어 결정하는 것이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 2017년 일반연구사업 “맞춤형 산지토사재해 피해저감 기술 개발 - 땅밀림, 지진, 도시생활권 토사재해를 중심으로 - (과제번호: FE0401-2017-01)”에 의하여 이루어진 것입니다.

References

- Cho, Y.S. 2000. Trend of recent earthquake activity of Korea and the monitoring system of earthquake and tsunami in Korea. Proceedings of the Symposium of the Journal of Engineering Geology 10(2): 79-97.
- Chun, K.W. 2011. New erosion control engineering. Hyangmunsa. Seoul, Korea. pp. 426.
- Has, B., Noro, T., Maruyama, K., Nakamura, A., Ogawa, K. and Onoda, S. 2012. Characteristics of earthquake-induced landslides in a heavy snowfall region: landslides triggered by the northern Nagano prefecture earthquake, March 12, 2011, Japan. Landslides 9(4): 539-546.
- Huang, C.S., Chen, M.M. and Hsu, M.I. 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.
- Koo, W.H., Shin, H.J. and Baek, M.H. 2013. A study on youth's awareness of earthquake prevention: focusing on high school students. Journal of The Korean Society of Disaster Information 9(2): 214-219.
- Korea Forest Service(KFS). 2017a. LIS(Landslide Information System) materials: landslide statistics. http://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/lisis/UI_LSIS_1000_050101.html&orgId=lisis&mn=KFS_02_06_05_07_01. (2017. 10. 20).
- Korea Forest Service(KFS). 2017b. KFS news: a news release. http://www.forest.go.kr/newkfsweb/cop/bbs/selectBoardList.do?bbsId=BBSMSTR_1036&mn=KFS_03_02_01. (2017. 10. 20).
- Liu, F., Li, J.F. and Yang, S.H. 2015. Landslide erosion associated with the Wenchuan earthquake in the Minjiang River watershed: Implication for landscape evolution of the Longmen Shanm, eastern Tibetan Plateau. Natural Hazards 76(3): 1911-1926.
- Liu, S.H., Lin, C.W. and Tseng, C.M. 2013. A statistical model for the impact of the 1999 Chi-Chi earthquake on the subsequent rainfall-induced landslides. Engineering Geology 156: 11-19.
- National Institute of Forest Science(NIFoS). 2014. Correct understanding of landslides for national safety and land conservation. Korea Moonhwa-Printing Association of People with Disabilities. Seoul, Korea. pp. 71.
- Shou, K.J., Hong, C.Y., Wu, C.C., Hsu, H.Y., Fei, L.Y., Lee, J.F. and Wei, C.Y. 2011. Spatial and temporal analysis of landslides in Central Taiwan after 1999 Chi-Chi earthquake. Engineering Geology 123(1-2): 122-128.
- Song, Y.Q., Gong, J.H., Gao, S., Wang, D.C., Cui, T.J., Li, Y. and Wei, B.Q. 2012. Susceptibility assessment of earthquake-induced landslides using Bayesian network: a case study in Beichuan, China. Computers and Geosciences 42: 189-199.
- Tang, C., Ma, G.C., Chang, M., Li, W.L., Zhang, D.D., Jia, T. and Zhou, Z.Y. 2015. Landslides triggered by the 20 April 2013 Lushan earthquake, Sichuan Province, China. Engineering Geology 187: 45-55.
- Tang, C., Zhu, J., Qi, X. and Ding, J. 2011. Landslides induced by the Wenchuan earthquake and the subsequent strong rainfall event: a case study in the Beichuan area of China. Engineering Geology 122(1-2): 22-33.
- Van Eck, N.J. and Waltman, L. 2010. VOSviewer: a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics 84: 523-538.
- Van Eck, N.J. and Waltman, L. 2014. Visualizing bibliometric networks. pp. 285-320. In: Ding, Y., Rousseau, R. and Wolfram, D. (Eds.). Measuring Scholarly Impact: Methods and Practice. Springer. New York, U.S.A.
- Waltman, L., Van Eck, N.J. and Noyons, E.C. 2010. A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. Journal of Informetrics 4(4): 629-635.
- Wang, G., Huang, R., Lourenco, S. and Kamai, T. 2014. A large landslide triggered by the 2008 Wenchuan (M 8.0) earthquake in Donghekou area: phenomena and mechanisms. Engineering Geology 182(B): 148-157.
- Wang, G., Suemine, A., Zhang, F., Hata, Y., Fukuoka, H. and Kamai, T. 2014. Some fluidized landslides triggered by the 2011 Tohoku Earthquake (M_w 9.0), Japan. Geomorphology 208: 11-21.
- Wartman, J., Duham, L., Tiwari, B. and Pradel, D. 2013. Landslides in Eastern Honshu Induced by the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. Bulletin of the Selsmological Society of America 103(2B): 1503-1521.
- Xu, C., Xu, X.W., Dai, F.C., Wu, Z.D., He, H.L., Shi, F., Wu, X.Y. and Xu, S.N. 2013. Application of an incomplete landslide inventory, logistic regression model and its

- validation for landslides susceptibility mapping related to the May 12, 2008 Wenchuan earthquake of China. *Natural Hazards* 68(2): 883-900.
- Yu, H.R. and Park, C.M. 2016. A study on the damaged architectural heritage 'Cheomseongdae Observatory' in Gyeongju's from an earthquake. *Journal of the Society of Cultural Heritage Disaster Prevention* 1(2): 83-89.
- Zhang, L.M., Xu, Y., Huang, R.Q. and Chang, D.S. 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.
- Zhou, S.U., Fang, L.G. and Liu, B.C. 2015. Slope unit-based distribution analysis of landslides triggered by the April 20, 2013, M_s 7.0 Lushan earthquake. *Arabian Journal of Geosciences* 8(10): 7855-7868.
-
- (Received: November 22, 2017; Accepted: December 7, 2017)