KOSDI
ISSN : 1976-2208 (Print)
ISSN : 2671-5287 (On-line)
www.sodi.or.kr

Journal of the Society of Disaster Information
Vol. 18, No. 4, pp. 908-921, December 2022
https://doi.org/10.15683/kosdi.2022.12.31.908

Original Article

네트워크 분석을 활용한 국내·외 복합재난 연구 동향 분석

A Comparative Analysis of Complex Disaster Research Trends Using Network Analysis

김우식[1] · 최연우[2] · 홍유정[3] · 윤동근[4]*
Woosik Kim[1], Yeonwoo Choi[2], Youjeong Hong[3], Dong Keun Yoon[4]*

[1]Doctoral Course, Department of Urban Planning and Engineering, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea
[2]Doctoral Course, Department of Urban Planning and Engineering, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea
[3]Doctoral Course, Department of Urban Planning and Engineering, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea
[4]Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea

*Corresponding author: Dong Keun Yoon, dkyoon@yonsei.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: As the connection between physical and non-physical structures in cities is expanding and becoming more complex, the risk of complex disaster which causes damage in a complex way is increasing. Preparing for these complex disasters, it is important to preemptively identify and manage disasters that can develop into complex disasters. Therefore, this study analyzes the disaster types studied as complex disasters by analyzing the trends of domestic and international studies related to complex disasters, and presents the direction of complex disaster management in the future. **Method:** We first established co-occurrence networks between disaster types based on 993 articles related to complex disasters published in disaster-related journals for the last 20 years (2002-2021). Then, through network analysis, domestic and international complex disaster research trends were compared and analyzed. **Result:** Research on complex disasters related to storm and flood damage, infrastructure failure and fire was high in domestic studies, and it was analyzed that research on complex disasters related to earthquakes and landslides has recently increased. However, in international studies, the proportion of studies on infrastructure failure along with storm and flood damage and earthquake was high, and various types of disasters such as tsunami and drought appeared. **Conclusion:** The results of this study are expected to increase the understanding of the trends in complex disaster research and provide suggestions of domestic complex disaster research in the future.

Keywords: Complex Disaster, Trend Analysis, Text Mining, Network Analysis, Co-occurrence Networks

요 약

연구목적: 도시의 물리적·비물리적 구조간 연결이 확대되고 복잡해짐에 따라 재난으로 인한 피해가 복합적으로 발생하는 복합재난의 위험성이 증가하고 있다. 이러한 복합재난에 대비하기 위해서는 복합재난으로 전개될 수 있는 재난들을 선제적으로 식별하여 관리하는 것이 중요하다. 이러한 배경에서 본 연구는 국내외 복합재난 관련 연구의 동향을 분석함으로써 복합재난으로 연구된 재난 유형을 분석하고, 이를 통해 향후 복합재난 관리의 방향성을 제시하고자 한다. **연구방법:** 본 연구는 재난과 관련된 국내외 학술지에 최근 20년(2002-2021년)간 등재된 복합재난 관련 993편의 서지정보에 기반하여 동시출현 빈도분석을 수행하여 재난 유형 간 네트워크를 구축하였으며, 네트워크 분석을 통해 복합재난 연구 동향에 관한 국내외 및 시기별 비교분석을 수행하였다. **연구결과:** 국내에서는 풍수해(집중호우, 태풍

Received | 30 November, 2022
Revised | 16 December, 2022
Accepted | 20 December, 2022

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 anymedium, provided the original work is properly cited.

ⓒ Society of Disaster Information All rights reserved.

등), 기반시설 붕괴, 화재와 관련한 복합재난 연구의 비중이 높았으며, 최근 들어 지진과 산사태와 관련된 복합재난 연구가 증가하는 것으로 분석되었다. 반면, 국외에서는 풍수해 및 지진과 더불어 기반시설 붕괴에 관한 연구의 비중이 높았으며, 지진해일과 정전 등 재난 연계 유형이 다양하게 나타났다. **결론:** 본 연구는 복합재난 연구 동향에 대한 이해도를 높이고, 앞으로 국내 복합재난 연구가 가져야 할 방향성을 제안하는 데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 복합재난, 동향 분석, 텍스트 마이닝, 네트워크 분석, 동시출현 네트워크

서 론

기후변화에 따른 극한 기후재난으로 인한 위험성이 증가함과 동시에, 도시구조의 복잡성 및 연결성이 증가함에 따라 피해가 여러 분야로 파급되는 등 복합적인 피해가 발생하는 양상을 보이고 있다. 최근 발생하는 재난의 경우 재난 발생의 예측 불가능성이 높아지고 다양한 재난이 연쇄적인 피해를 발생시키는 등 재난으로 인한 파급력이 심각해지고 있다. 특히, 하나의 재난이 단일 피해를 발생시키던 이전과 달리, 여러 재난과 동시에 발생하거나 다른 재난의 발생을 유발하는 등 현대의 재난은 복합재난의 특성을 띠고 있다(Lee, 2019; Lee et al., 2014; Lee et al., 2021; Na et al., 2019).

복합재난은 전개 양상의 특성상, 단일재난과 비교했을 때 심각한 인적·경제적 피해를 발생시킬 가능성이 높지만, 단일재난을 중심으로 운영되는 전통적인 재난관리체계의 복합재난에 대한 적응력은 여전히 낮은 실정이다(Yun et al., 2018). 특히, 복합재난은 도시 및 사회 내부의 여러 분야에 걸친 요소들과 결합 되어 예기치 못한 피해를 발생시킬 가능성이 크다. 이와 관련하여, 후쿠시마 원자력 발전소 폭발사고(2011년), 허리케인 카트리나(2005년) 등은 복합재난으로 인한 피해 발생 양상을 보여준 대표적 사례이다(Park et al., 2016). 후쿠시마 원자력 발전소 폭발사고의 경우, 지진해일이 원자력 발전소에 영향을 미쳐 원자력 발전소의 전력 차단을 유발하고 원자력 발전소 폭발 및 방사능 누출까지 초래한 복합재난의 대표적인 사례이다. 허리케인 카트리나 역시, 폭우 및 해일을 동반한 허리케인은 도시침수, 도시기반시설 및 공공서비스 마비 등을 유발하여 막대한 재산 및 인명피해를 초래하였다. 이처럼, 복합재난은 발생만으로도 막대한 재산 및 인명피해를 동반하는 것은 물론, 대규모 사회적 마비를 유발시킬 수 있다.

복합재난은 일반적으로 두 가지 이상의 재난이 시간적, 공간적으로 겹쳐 발생하는 재난을 의미하며(Beroux et al., 2009; Park et al., 2016; Song et al., 2017), 재난의 동시성과 연속성은 복합재난의 주요한 개념이라고 할 수 있으며, 이는 하나의 재난이 다른 재난에 영향을 미치는 '연계성'으로 귀결될 수 있다(Won et al., 2021). Na et al.(2019)은 여러 재난이 연쇄적으로 나타나거나 동시다발적으로 발생하는 현상을 복합재난으로 정의하였으며, 국내의 대표적인 복합재난 유형으로서 호우 및 홍수가 산사태를 동반하는 복합재난을 제시한 바 있다. Yun et al.(2018) 역시, 여러 재난의 집합으로 복합재난을 정의하였으며 풍수해 재난이 동반할 수 있는 복합재난 유형으로서 호우에 따른 홍수와 호우에 따른 산사태를 제시한 바 있다. 반면, 복합재난이 단순히 여러 재난들의 동시다발적·연쇄적인 집합만이 아니라, 재난의 위험성과 지역사회의 취약성 간의 결합으로 정의되기도 한다(Di Mauro et al., 2006). Di Mauro et al.(2006)은 재난 등의 위해요소 간의 중첩뿐만 아니라 위해요소와 취약요소가 시공간적으로 결합되는 것을 복합재난으로 정의하고, 위해요소가 취약요소와 결합되었을 때, 지역사회에 영향을 미칠 수 있는 복합재난의 위험성을 정확하게 이해할 수 있음을 시사하였다(Di Mauro et al., 2006). 이처럼, 복합재난의 개념 또는 범위를 어떻게 정의할 것인지에 대하여 합의된 의견은 없으며(Park et al., 2016), 복합재난의 전개 양상을 어떻게 바라볼 것인지, 어디까지를 복합재난의 영향범위로 규정할 것인지에 따라 복합재난의 개념 및 범위는 상이해질 수 있다.

복합재난 관련 국내외 연구가 활발하게 수행되고 있고 복합재난 발생빈도가 증가하는 현대에 이르러, 과거에 비해 복합재난 연구가 증가하고 있으며, 다양한 복합재난 유형을 대상으로 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 복합재난과 관련하여 수행된 국내외 연구를 중심으로 복합재난에 관한 연구 동향을 분석함으로써 우리나라의 복합재난 관련 연구 동향의 특징을 도출하고, 이를 국외 연구 동향과 비교분석하고자 한다.

일반적으로 연구 동향을 분석한 연구들에서는 네트워크 분석기법을 적용하여 특정한 주제 및 연구 동향을 분석하였다(Lee et al., 2016). 특히, 특정한 주제에 관한 연구 동향 분석의 경우, 주요 키워드를 활용하여 단순히 시계열로 비교하거나 설문조사, 인터뷰 등으로 분석하던 방식에서 현재는 문헌에 제시된 텍스트 자체를 분석하여 의미 있는 정보들을 추출하는 방식으로 고도화되고 있다(Yoon et al., 2017). 재난 관련 연구 분야에서는 재난 유형, 재난·안전대책, 조직·기관, 재난·안전 이슈 등을 중심으로 한 연구 동향 분석을 중심으로 연구가 수행된 바 있다(Han et al., 2021; Kim, 2019; Lee et al., 2016; Yoon et al., 2017). Lee et al.(2016)의 연구에서는 재난 관련 논문을 활용한 연구 동향 분석을 통해 재난 관련 주요 연구영역과 재난과 연관된 타 학문 분야, 재난 연구 내의 주요 키워드 등의 시기별 변화를 분석함으로써 국내 재난 관련 연구 동향의 시기별 특징을 도출하였다. 이와 유사하게, Yoon et al.(2017)의 연구에서는 토픽모델링을 통해 국내 재난 및 안전과 관련된 주요 이슈의 동향을 분석함으로써 재난 유형, 재난안전대책, 관련 조직·기관 등이 재난 및 안전 분야에서의 주요한 주제어임을 분석하였다. 해당 연구에서는 재난 및 안전 분야의 주제어의 시계열적 패턴 분석을 통해 재난에 대한 안전교육, 체험, 훈련 등 안전의식의 고취나 문화 형성 등에 관한 관심이 증가하고 있음을 분석하였다(Yoon et al., 2017). Kim(2019)는 국내 재난·안전 관련 연구를 중심으로 한 연구 동향 분석을 통해 과거 국내 재난·안전과 관련된 연구들이 '예방'을 중심으로 연구가 수행되었음을 분석하였다. 또한, 정권 시기별로 재난·안전 관련 연구의 주제어를 비교분석 함으로써 정권별 재난 및 안전과 관련된 연구의 경향적 특징을 도출하였다. 이처럼, 기존의 선행연구에서는 재난과 관련된 다양한 데이터를 활용하여 주요 이슈, 학술연구 등의 동향을 분석한 것으로 파악되지만, 복합재난의 관점보다는 단일재난의 관점에 기반하여 연구를 수행한 것으로 판단되며, 복합재난 연구 동향을 분석한 연구는 미흡한 것으로 나타났다. 이에, 본 연구에서는 네트워크 분석기법을 활용하여 복합재난과 관련하여 수행된 국내외 연구들의 동향을 분석하고, 국내 및 국외 연구 동향의 특징을 비교분석하고자 한다.

연구 방법

데이터 수집

본 연구는 복합재난에 관한 연구 동향 분석에 앞서, 재난(Disaster)과 관련된 국내외 15개 연구 학술지에서 지난 20년(2002-2021)간 등재된 11,891편의 논문을 수집하였다. 이후, 서지정보 검토를 통해 복합재난에 관한 연구를 수행한 993편의 논문을 추출하였으며, 해당 논문을 본 연구의 분석자료로 활용하였다(Table 1). 국내 연구의 경우 재난 관련 3개의 학술지를 대상으로 복합재난 연구를 수행한 252편의 논문을 추출하였고, 국외 연구의 경우에는 12개의 학술지를 대상으로 741편의 복합재난 관련 논문을 추출하였다. 본 연구에서는 최종적으로 추출된 논문을 활용하여 해당 논문의 키워드를 중심으로 분석을 진행하였고, 분석 시 논문의 제목, 초록, 키워드 정보를 활용하였다.

분석 방법

본 연구는 복합재난 연구 동향을 분석하기 위해 논문의 제목, 초록, 키워드가 모두 포함된 서지정보를 활용하였고 분석의

Table 1. The number of articles related to complex disaster by each journal

Division	Journal name	Articles related to complex disaster	Total articles
International Journal (Total: 741)	Disasters	25 (4.6%)	546
	Disaster Advances	101 (9.5%)	1,063
	Disaster Prevention and Management	23 (4.0%)	575
	Environmental Hazards	8 (3.6%)	221
	International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment	7 (3.7%)	187
	International Journal of Disaster Risk Reduction	118 (5.1%)	2,331
	International Journal of Disaster Risk Science	22 (5.2%)	422
	Journal of Disaster Research	29 (5.2%)	556
	Journal of Risk Research	68 (7.0%)	973
	Natural Hazards	212 (12.2%)	1,734
	Natural Hazards Reviews	105 (21.1%)	497
	Risk Analysis	23 (9.2%)	249
Domestic Journal (Total: 252)	Crisisonomy	57 (13.0%)	437
	Journal of Korean Society of Hazard Mitigation	167 (11.1%)	1,503
	Journal of The Korean Society of Disaster Information	28 (4.7%)	598

오류를 최소화하기 위하여 영문으로 작성된 서지정보를 활용하였다. 데이터 전처리를 위하여 먼저, Natural Language Toolkit (NLTK)의 불용어 목록에 복합재난과 관련 없는 단어를 추가한 불용어 목록을 활용하여 서지정보 내에 있는 불용어를 제외하였다. 이후, 파이썬(Python)의 Gensim 라이브러리를 활용하여 확률론적 언어 모형인 바이그램(Bigram), 트라이그램(Trigram) 모델을 생성하고, 서지정보에서 자주 붙여 쓰는 두 개 혹은 세 개의 단어들을 추출하였으며, 언어 간 추출(Lemmatization) 과정을 거친 데이터를 활용한 형태소 분석을 통해 명사와 동사만을 최종적으로 추출하였다(Han et al., 2021).

본 연구에서는 복합재난으로 전개되는 재난 유형 간 연계성을 분석하기 위하여 재난 유형을 정의하였으며, 국내 「재난 및 안전관리 기본법」과 미국의 연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency, FEMA)에서 정의하고 있는 정형화된 재난 유형을 적용하였다. 이후, 동일한 재난에 대한 유사 용어를 통합하는 작업을 통해 자연 재난 유형 13개, 사회재난 유형 19개의 총 32개의 재난 유형을 최종적으로 정의하였다(Table 2).

위에서 정의한 재난 유형을 중심으로 추출된 언어끼리의 연결 관계를 활용한 재난 유형 간 동시 출현 빈도를 분석한 이후에 동시 출현한 재난 유형 간 키워드를 활용하여 동시 출현 행렬(Keyword co-occurrence matrix) 및 재난 유형 간 네트워크를 구성하였다. 이후, 구성된 네트워크를 활용하여 재난 유형 간 연관성 파악을 위해 빈도분석과 네트워크 텍스트 분석(Network Text Analysis)을 수행하였다. 본 연구에서 활용한 네트워크 텍스트 분석은 텍스트(서지정보)에 포함된 단어 간의 연결망을 추출하여 정량화하고 이를 가시적으로 보여줄 수 있으며, 단어들 사이의 관계와 강도를 정량적으로 파악할 수 있다(Diesner et al., 2005; Lee, 2014). 또한, 국내외 복합재난 연구 동향의 시기별 특징을 분석하기 위하여 전체 시기를 2002~2011년과 2012~2021년의 두 시기로 나누어 비교분석하였다.

본 연구에서는 네트워크의 중심을 측정할 수 있는 지표 중 연결 중심성(Degree centrality), 매개 중심성(Betweenness centrality), 고유벡터 중심성(Eigenvector centrality)을 분석하기 위하여 UCINET 프로그램을 활용하였다. 연결 중심성은

Table 2. Disaster types for the research

Division	Disaster Type	Keyword examples
Social Disaster	aircraft accident	aircraft, aircraft accident
	blackout	electric power, blackout, electric, electricity, power failure, outage, power cut
	building collapse	building collapse, collapse, cave in, fall in
	chemical accident	chemical, chemical substances
	dam/levee break	levee, dam
	explosion	explosion, outburst, detonation, blast
	fire	fire, blaze, conflagration, forest fire, bush fire, wildfire
	gas accident	gas, gas explosion, gas outburst, gas accident
	infectious disease	infectious disease, pandemic, pandemic diseases, epidemic
	infrastructure failure	infrastructure, facility, lifeline
	livestock disease	livestock, livestock disease
	marine accident	marine, marine accident, maritime, ship, shipping, boat, boating
	nuclear accident	nuclear, nuclear accident, nuclear power, nuclear pow, nuclear power plant
	particulate matter	finedust, fine dust, particulate matter, pm
	pipeline accident	pipe, pipeline, pipe utility
	railroad accident	railroad, subway, railway, rail
	terror	terror, terrorist attack, terrorist, terrorism
	traffic accident	traffic accident, traffic, road, highway
	water contamination	drinking water, edible water, water pollution, marine pollution, marine contamination
Natural Disaster	coldwave	coldwave, cold wave
	drought	drought, dry spell, dry
	earthquake	earthquake, seismic, tremor, aftershock, foreshock, quake, shake
	flood	flood, inundation, flooding, inundate, swamp, deluge, flash flood
	heatwave	heatwave, heat wave, heat, extreme heat
	landslide	landslide, landslip, rockfall, mudslide, avalnche
	rainfall	rainfall, rain, heavy rain, torrential rain, downpour, pour
	snow	snow, sleet, snowstorm
	storm	typhoon, inundation, tornado, storm, tempest, superstorm, cyclone, heavy wind, gusty, strong wind, gales
	thunder	thunderstroke, thunderstorm, thunderbolt, thunder
	tsunami	tsunami, tidal wave, tidal, seismic wave
	volcanic eruption	volcanic eruption, volcanic, eruption
	yellowdust	yellowdust, sand, dust

한 노드가 다른 노드와 직접적으로 연결된 횟수를 의미하며, 연결 정도가 높은 재난 유형일수록 다른 재난 유형과 연구되는 빈도가 높고, 네트워크상에서 가장 활발하게 연구되고 있는 재난 유형이라고 볼 수 있다. 매개 중심성이란 네트워크 내에서 한 노드가 다른 노드들 사이에 위치하는 정도를 의미하며, 한 노드가 담당하는 매개의 정도를 나타낸다. 특정 재난 유형의 매개 중심성 값이 클수록 서로 다른 재난 유형과 연계되어 연구되는 경향이 큰 것으로 해석할 수 있다. 마지막으로, 고유벡터 중

심성은 특정 노드에 직접 연결된 다른 노드들의 중요도를 반영한 지표이며, 연결된 노드들의 중심성을 가중치로 반영하므로 연결된 노드들의 중심성이 높을수록 특정 노드의 고유벡터 중심성이 높아지게 된다(Freeman, 1979). 고유벡터 중심성이 높은 재난 유형은 복합재난 네트워크에서 해당 재난 유형이 얼마나 높은 영향력이 있는지를 확인할 수 있다.

연구 결과

국내외 복합재난 연구 빈도분석

복합재난의 유형을 크게 "자연재난+자연재난", "자연재난+사회재난", "사회재난+사회재난"으로 구분했을 때 국내 연구에서는 "자연재난+자연재난" 유형을 분석한 연구의 비중이 가장 높은 반면, "자연재난+사회재난" 유형을 분석한 연구의 비중이 가장 낮은 것으로 분석되었다(Table 3). 국외 연구에서도 복합재난 관련 전체 연구 중, "자연재난+자연재난" 유형 관련 연구의 비중이 가장 높았으며, 국내와는 다르게 "사회재난+사회재난" 유형 관련 연구의 비중이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 복합재난 유형과 관련하여 국내외 모두 자연재난과 자연재난 간 복합적 관계에 기인한 복합재난 연구를 중점적으로 수행하고 있음을 시사한다.

국내외 복합재난 연구 수의 연도별 추이를 분석한 결과, 국내외에서 모두 복합재난 연구가 증가해왔으며, 상대적으로 국외 연구가 국내 연구에 비해 더욱 가파른 상승세를 보였다(Fig. 1). 국내 연구의 경우 최근 20년(2002~2021년) 동안 연도별 약 1.43의 증가세를 보인 반면, 국외 연구에서는 연도별 약 3.12의 증가세를 보였다. 시기별로는 국내 연구에서 2002~2011년에 비해 2012~2021년의 복합재난 연구가 약 4.4배 증가하였고, 국외 연구에서는 약 4.2배 증가한 것으로 분석되었다. 특히, 국외 연구의 경우 2012~2014년, 2017년에 복합재난 연구가 급증한 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 후쿠시마 원자력 발전소 폭발사고(2011년), 허리케인 하비(2017년) 등 대형 복합재난으로 인한 재산 및 인명피해가 발생함에 따라 이와 관련된 복합재난 연구가 재난 발생 이후에 급증한 것으로 해석할 수 있다.

Table 3. Co-occurrence score between natural & social disaster in domestic and international journals

Division	Type of complex disaster	Period 1 (2002-2011)	Period 2 (2012-2021)	Total (2002-2021)
Domestic journal	Natural disaster – Natural disaster	52 (34.9%)	280 (39.1%)	328 (38.3%)
	Natural disaster – Social disaster	41 (27.5%)	219 (30.5%)	260 (30.0%)
	Social disaster – Social disaster	56 (37.6%)	218 (30.4%)	274 (31.7%)
	Total	149	717	866
International journal	Natural disaster – Natural disaster	248 (51.1%)	936 (51.8%)	1,184 (51.6%)
	Natural disaster – Social disaster	145 (29.9%)	529 (29.2%)	674 (29.4%)
	Social disaster – Social disaster	92 (19.0%)	344 (19.0%)	436 (19.0%)
	Total	485	1,809	2,294

복합재난 유형별 시기별 추이를 분석한 결과, 국내 연구에서는 "자연재난+자연재난" 및 "자연재난+사회재난" 유형의 복합재난 연구의 비중이 2002~2011년에 비해 2012~2021년에 증가한 반면, "사회재난+사회재난" 유형의 복합재난 연구 비중은 감소한 것으로 분석되었다(Table 3). 이러한 결과는 과거 국내에서 발생한 복합재난 사례와 관련지어 설명할 수 있다. 집중호우에 따른 우면산 산사태(2011년), 지진해일로 인한 후쿠시마 원자력 발전소 폭발사고(2011년), 폭설로 인한 마우나리조트 붕괴사고(2014년) 등 자연재난이 또 다른 자연재난으로 인한 피해를 발생시키거나 자연재난이 사회재난을 유발하는 등의 대규모 복합재난이 빈번하게 발생함에 따라, 이와 관련된 연구가 증가한 것으로 해석할 수 있다. 반면, 국외 연구에서는 시기에 따라 복합재난 유형별 연구 비중의 변화가 크지 않은 것으로 분석되었지만, 모든 복합재난 유형 관련 연구가 급증한 것으로 분석되었다(Table 3).

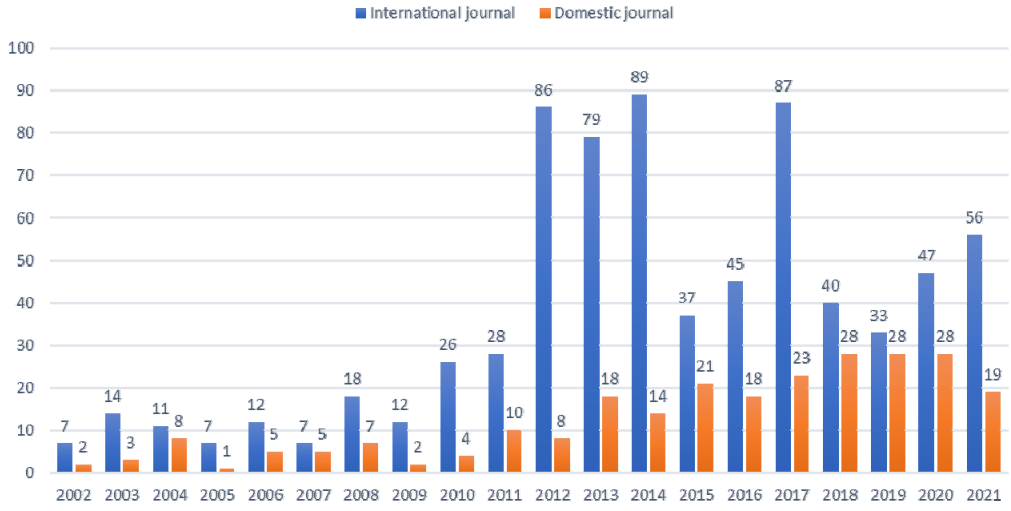


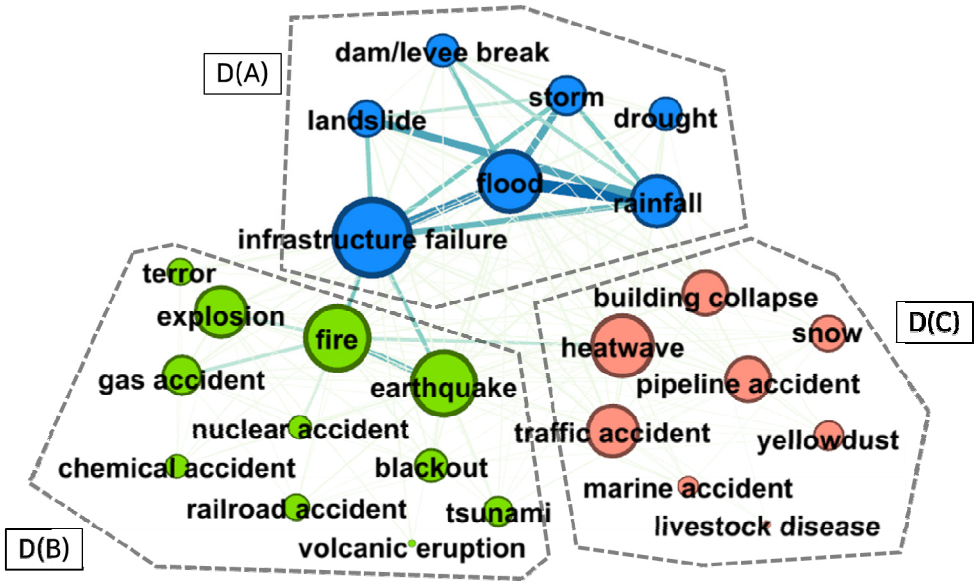
Fig. 1. The number of articles related to complex disaster by year

복합재난의 재난 연계 네트워크 분석 결과

앞서 정의한 32개 재난 유형 간 동시 출현 빈도를 활용한 국내 연구의 네트워크 분석 결과, 총 26개의 노드(Node)와 169개의 엣지(Edge)로 구성되고 평균 약 13개의 노드가 서로 밀접하게 연결되어 있으며, 네트워크 밀도는 약 0.520으로 높은 밀도를 가지는 것으로 분석되었다(Fig. 2). 네트워크 내에서 중심성이 높은 재난은 기반시설 붕괴(Infrastructure failure), 홍수(Flood), 지진(Earthquake), 화재(Fire), 폭염(Heatwave) 등으로 분석되었고, 이는 국내 복합재난 연구에서는 풍수해와 같은 전통적인 재난뿐만 아니라 도시지역에서 복합재난으로 전개되기 쉬운 화재나 기반시설 붕괴 등의 재난 유형도 복합재난의 주요한 재난 유형으로 인식하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

국내 복합재난 연구 네트워크에 기반한 군집분석 결과, 총 3개의 군집으로 재난 유형이 분류되었다(Fig. 2, Table 4). D(A) 군집에서는 기반시설 붕괴(Infrastructure failure) 및 홍수(Flood)를 중심으로 구성된 군집으로, 해당 재난 유형을 중심으로 자연재난 유형에서는 집중호우(Rainfall), 산사태(Landslide), 폭풍(Storm)이 포함되며, 사회재난 유형에서는 댐/제방 붕괴(Dam/levee break)이 관련성이 높은 재난 유형으로 분석되었다. 특히, 해당 군집 내에서는 타 군집에 비해 재난 유형 간 연관성이 매우 높게 분석되었으며, 이를 통해 해당 군집 내의 재난 유형들이 복합재난의 하위 재난 유형으로서 주요하게 인식되

고 있는 것으로 해석할 수 있다. D(B) 군집의 경우 지진(Earthquake)과 화재(Fire)를 중심으로 형성된 군집으로서 폭발(Explosion), 정전(Blackout), 원자력 사고(Nuclear accident), 지진해일(Tsunami), 철도 사고(Railroad accident) 등의 재난 유형이 관련성이 높게 분석되었다. 해당 군집은 지진, 지진해일 등으로 인한 시설물의 물리적 손상과 이로 인한 폭발사고, 화재 등 자연재난으로 인한 피해가 연쇄적으로 사회재난을 유발하는 복합재난의 특징을 지니는 것으로 해석할 수 있다. D(C) 군집에서는 교통사고(Traffic accident), 건축물 붕괴(Building collapse) 등의 사회재난 유형과 함께 폭염(Heatwave), 폭설(Snow) 등 자연재난 유형으로 구성되어 있으며, 재난 유형 간 연결성은 낮은 것으로 분석되었다.



#Node: 26, #Edge: 169, Network density: 0.520, Average degree: 13.00, Average path length: 1.48

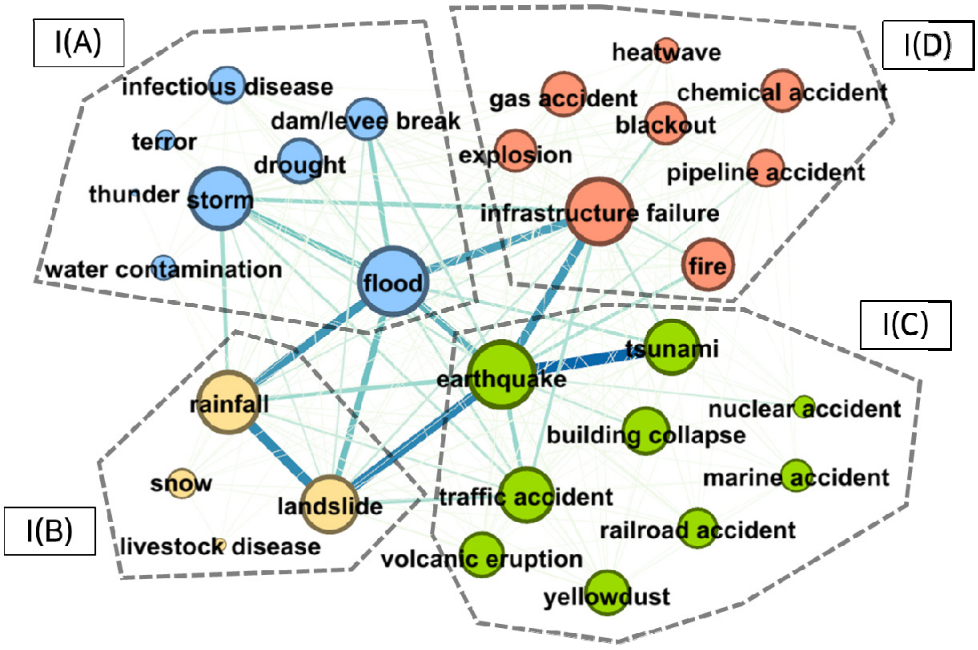
Fig. 2. A result of network analysis and visualization using Gephi (Domestic)

Table 4. A result of cluster proportion using Gephi (Domesitc)

군집	재난 유형 비율	재난 유형
D(A)	26.92%	infrastructure failure, flood, rainfall, storm, landslide, drought, dam/levee break
D(B)	42.31%	earthquake, fire, explosion, gas accident, tsunami, blackout, railroad accident, nuclear accident, chemical accident, terror, volcanic eruption
D(C)	30.77%	heatwave, traffic accident, building collapse, pipeline accident, yellowdust, snow, marine accident, livestock disease

국외의 경우, 총 4개의 군집으로 재난 유형이 분류되었으며(Fig. 3, Table 5), 총 29개의 노드가 223개의 엣지로 서로 연결되어 있고 그 중에서 16개 노드 간 상호 연결성이 높으며, 네트워크의 평균 밀도는 약 0.574로 국내 네트워크와 유사하게 높은 밀도로 형성되어 있는 것으로 분석되었다. 네트워크의 전체적인 관점에서도 국내외 유사하게 홍수(Flood), 폭풍(Storm), 지진(Earthquake), 기반시설 붕괴(Infrastructure failure), 집중호우(Rainfall), 산사태(Landslide), 교통사고(Traffic accident) 등의 재난 유형의 중심성이 높은 것으로 분석되었다.

국외 복합재난 연구 네트워크에 기반한 군집분석 결과, I(A) 군집은 홍수(Flood), 폭풍(Storm) 등의 풍수해 재난을 중심으로 댐/제방 붕괴(Dam/levee break), 감염병(Infectious disease), 수자원 오염(Water contamination) 등의 재난 유형이 연결성이 높게 분석되었다. I(B) 군집에서는 집중호우(Rainfall) 및 산사태(Landslide)가 중심이 된 군집으로서, 호우는 I(A) 군집의 홍수(Flood)와 강한 연결성을 지니고 산사태는 I(C) 군집의 지진(Earthquake)과 강한 연결성을 지니는 것으로 분석되었다. I(C) 군집의 경우 지진(Earthquake)을 중심으로 발생할 수 있는 지진해일(Tsunami), 건축물 붕괴(Building collapse), 교통사고(Traffic accident), 철도 사고(Railroad accident), 원자력 사고(Nuclear accident) 등의 재난 유형이 응집된 군집으로 분석되었다. 마지막으로 I(D) 군집은 기반시설 붕괴(Infrastructure failure)와 더불어 화재(Fire), 폭발(Explosion), 정전(Blackout) 등 각종 사고와 관련된 재난 유형이 응집되어 있으며, 그중 기반시설 붕괴는 I(A) 군집의 홍수와 I(C) 군집의 지진과 높은 연결성을 지니는 것으로 분석되었다.



#Node: 29, #Edge: 233, Network density: 0.574, Average degree: 16.069, Average path length: 1.431

Fig. 3. A result of network analysis and visualization using Gephi (International)

Table 5. A result of cluster proportion using Gephi (International)

군집	재난 유형 비율	재난 유형
I(A)	27.59%	flood, storm, drought, dam/levee break, infectious disease, water contamination, terror, thunder
I(B)	13.79%	rainfall, landslide, snow, livestock disease
I(C)	31.03%	earthquake, traffic accident, tsunami, building collapse, volcanic eruption, railroad accident, yellowdust, marine accident, nuclear accident
I(D)	27.59%	infrastructure failure, fire, blackout, explosion, gas accident, pipeline accident, chemical accident, heatwave

국내 복합재난 네트워크는 풍수해와 관련된 재난 유형 사이에 강한 연결 관계를 보이고 있었으며, 특히, 기반시설 붕괴는 풍수해를 비롯하여 화재와 지진 등의 다양한 재난 유형과 강한 연결 관계를 형성하고 있었다. 이와 같은 결과는 국내 복합재난 연구에 풍수해와 기반시설 붕괴가 중심이 되어 관련된 다른 재난 유형과 연계되어 있다고 볼 수 있다. 반면, 국외 복합재난 네트워크는 지진, 홍수, 집중호우, 산사태, 기반시설 붕괴를 중심으로 재난 유형 사이에 강한 연결 관계를 나타내고 있었다. 특히, 풍수해 연구와 관련하여 국내와는 달리 집중호우와 산사태가 별도의 군집으로 형성되었으며, 이외에도 국내에서 약한 관계를 보이던 지진과 지진해일이 국외 연구에서는 매우 강한 연결 관계를 나타내고 있었다. 또한, 국외에서 감염병 재난과 풍수해와 관련된 물 오염, 낙뢰 등의 다양한 재난 유형 간의 연결을 확인할 수 있었으며 이는 전반적인 복합재난 연구가 국내에 비해 국외에서 더 활발하게 진행된다고 해석할 수 있다.

시기별 복합재난의 재난 연계 네트워크 분석 결과

국내외 복합재난 연구의 재난 유형 간 상호 연계성을 시기별(Period 1: 2002~2011년 , Period 2: 2012~2021년)로 분석한 결과, 국내 연구에서는 Period 1에서 화재, 집중호우, 홍수, 기반시설 붕괴 등의 연결 중심성이 높고 고유벡터 중심성도 높은 것으로 분석되어 해당 재난 유형과 관련된 복합재난 연구가 활발하게 진행된 것을 확인할 수 있다(Table 6). 또한 화재의 경우에 매개 중심성이 가장 높게 분석되었는데, 이는 해당 시기의 복합재난 연구에서 화재를 중심 키워드로 타 재난과 연계하여 복합재난을 분석한 연구가 많이 진행된 것으로 해석된다. Period 2에서도 이전 시기와 유사하게 화재, 홍수, 기반시설 붕괴의 연결 중심성이 높은 것으로 분석되었으며, 국내에서 수행된 복합재난 연구에서 해당 재난 유형은 시기를 막론하고 복합재난의 하위 재난 유형으로서 주요한 키워드였음을 확인할 수 있다. 해당 재난 유형 외에도, 풍수해와 관련된 산사태, 댐/제방 붕괴의 경우 Period 2에서 이전 시기에 비해 연결 중심성 및 고유벡터 중심성이 높아졌으며, 이는 연결 중심성이 높은 홍수, 호우 등의 재난 유형과 연계되어 연구가 더욱 활발히 진행된 것으로 해석할 수 있다. 단, 화재의 경우에는 Period 1에 비해서 Period 2의 매개 중심성이 낮아진 것으로 분석되었고, 반대로 지진의 경우에는 오히려 Period 2에서 타 재난 유형과의 연계가 더욱 활발하게 이뤄져 복합재난 연구로 수행되었다.

국내의 경우 Period 1에서 화재와 철도 사고와 관련 중심성이 높은 것으로 나타났으며, 이는 막대한 인명피해를 일으킨 2003년 대구 지하철 참사와 관련하여 복합재난 연구가 활발하게 진행되었다고 유추할 수 있다. 화재와 관련된 복합재난 연구는 계속 활발하게 진행되고 있었으나, 철도 사고 관련 연구는 Period 2 이후부터 중심성이 높은 재난에 해당하지 않았으며, Period 1과 비교해 볼 때 복합재난 연구에서 중요도가 현저히 감소하였다고 볼 수 있다. 또한, 풍수해와 관련된 복합재난 연구의 경우 기반시설 붕괴와 연계하여 Period 1과 Period 2 모두에서 활발하게 연구되고 있는 유형이라고 볼 수 있다. 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미 등 해당 기간에 태풍으로 인한 기반시설 붕괴 그리고 공동구 및 정전사고가 다수 발생하였기에 이와 관련하여 복합재난 연구가 활발하게 진행되었다고 유추할 수 있다. 이외에도 복합재난 연구가 활발해진 재난 유형이 있었는데, 산사태와 관련된 복합재난 연구가 중심성 순위가 가장 많이 상승하였으며, 풍수해와 연계되어 연구되는 경향이 높은 것으로 분석되었다. 2011년 중부권 폭우 사태로 인해 우면산 산사태가 발생하였으며, 이와 관련하여 집중호우와 산사태가 연계된 복합재난 연구가 활발하게 진행된 것으로 유추해 볼 수 있다. 지진의 경우 복합재난 연구가 점차 활발해졌으며 특히, 경주지진(2016년)과 포항지진(2017년) 이후로 지진으로 인한 건축물 붕괴, 공동구 사고 등에 대비하기 위해 내진과 관련된 연구가 활발하게 진행되고 있는 것으로 볼 수 있다. 이외에도 전 기간에 걸쳐 폭염, 교통사고 등과 관련된 복합재난 연구가 국내에서 활발하게 진행되는 것으로 도출되었다.

국외의 경우 국내와 유사하게 지진, 풍수해, 기반시설 붕괴와 관련하여 복합재난 연구가 활발하게 진행되고 있는 것으로 나타났다(Table 6). 특히, 국외에서는 국내보다 지진의 중심성이 모든 시기에 걸쳐 높게 도출되었고, 산사태, 기반시설 붕괴, 지진해일 등의 고유벡터 중심성이 높은 것으로 미루어 볼 때 기반시설 붕괴, 산사태 등의 재난 유형과의 연계가 활발히 이루어졌다고 볼 수 있다. 또한, 지진해일과 관련된 연구는 Period 2 이후부터 연결 중심성이 높은 재난에 해당하였으며, Period 1과 비교해 볼 때 복합재난 연구에서 중요도가 높아졌다고 해석할 수 있다. 국외 풍수해 연구와 관련하여 태풍과 홍수의 매개 중심성이 가장 크게 나타났으며, 태풍과 홍수는 기반시설 붕괴, 집중호우, 산사태, 교통사고 등 다른 재난 유형과의 연계가 활발하다고 볼 수 있다. 국내에서는 태풍과 관련된 매개 중심성이 상위 재난 유형에 도출되지 않았으며 국외와 달리 태풍이 다른 재난 유형과의 연계가 약게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

Table 6. Result of network analysis by period (Top 10 disaster type, Domestic and International)

Rank	Domestic - Period 1 (2002-2011)			Domestic - Period 2 (2012-2021)		
	Degree centrality	Betweenness centrality	Eigenvector centrality	Degree centrality	Betweenness centrality	Eigenvector centrality
1	fire (0.774)	fire (0.234)	flood (0.633)	flood (4.000)	infrastructure failure (0.109)	flood (0.705)
2	rainfall (0.710)	rainfall (0.084)	rainfall (0.609)	infrastructure failure (3.581)	earthquake (0.058)	rainfall (0.617)
3	flood (0.677)	pipeline accident (0.058)	infrastructure failure (0.532)	rainfall (3.000)	fire (0.033)	infrastructure failure (0.598)
4	infrastructure failure (0.581)	earthquake (0.054)	fire (0.465)	fire (2.290)	flood (0.028)	storm (0.400)
5	earthquake (0.484)	infrastructure failure (0.051)	storm (0.449)	earthquake (2.161)	heatwave, traffic accident (0.026)	landslide (0.377)
6	storm (0.355)	flood (0.027)	earthquake (0.388)	storm (1.806)	-	earthquake (0.303)
7	traffic accident, railroad accident, heatwave (0.258)	traffic accident (0.018)	traffic accident (0.278)	landslide (1.645)	explosion (0.022)	fire (0.283)
8	-	railroad accident (0.016)	dam/levee break (0.256)	heatwave (1.226)	building collapse (0.017)	dam/levee break (0.262)
9	-	storm (0.011)	heatwave (0.217)	dam/levee break (1.129)	rainfall (0.011)	traffic accident (0.191)
10	pipeline accident (0.226)	heatwave, building collapse (0.007)	landslide (0.216)	explosion (1.065)	gas accident (0.007)	heatwave (0.184)

Table 6. Result of network analysis by period (Top 10 disaster type, Domestic and International) (Continue)

Rank	International - Period 1 (2002-2011)			International - Period 2 (2012-2021)		
	Degree centrality	Betweenness centrality	Eigenvector centrality	Degree centrality	Betweenness centrality	Eigenvector centrality
1	earthquake (2.903)	earthquake (0.170)	earthquake (0.626)	earthquake (11.774)	storm (0.089)	earthquake (0.682)
2	flood (2.613)	storm (0.074)	flood (0.619)	flood (9.645)	flood, infrastructure failure (0.059)	flood (0.606)
3	storm (1.935)	infrastructure failure (0.068)	landslide (0.538)	infrastructure failure (7.935)	-	infrastructure failure (0.511)
4	landslide (1.806)	flood (0.061)	rainfall (0.517)	landslide (6.806)	earthquake (0.040)	landslide (0.507)
5	rainfall (1.645)	rainfall (0.044)	storm (0.483)	rainfall (6.194)	rainfall (0.029)	rainfall (0.440)
6	infrastructure failure (1.613)	landslide (0.031)	infrastructure failure (0.360)	tsunami (4.458)	drought (0.024)	tsunami (0.400)
7	traffic accident (1.000)	yellowdust (0.018)	traffic accident (0.273)	storm (4.226)	landslide, building collapse (0.016)	traffic accident (0.297)
8	fire (0.839)	traffic accident (0.014)	dam/levee break (0.249)	traffic accident (4.065)	-	storm (0.286)
9	dam/levee break (0.774)	fire (0.013)	fire (0.215)	dam/levee break (2.452)	traffic accident, tsunami, fire (0.014)	dam/levee break (0.200)
10	yellowdust (0.548)	dam/levee break (0.006)	yellowdust (0.136)	fire (2.226)	-	fire (0.142)

결 론

본 연구는 최근 20년(2002~2021년) 동안 복합재난과 관련하여 수행된 연구들을 중심으로 복합재난의 연구 동향을 분석하였다. 분석 결과, 국내외 모두 복합재난 연구가 증가했으며, 국내외 복합재난 연구에서 공통적으로 자연재난과 자연재난 간 연계에 따른 복합재난 연구의 비중이 가장 높았다. 국내외 연구에서 모두 풍수해, 지진, 기반시설 붕괴가 군집내 주요 재난 유형으로 도출되었다. 국내외 복합재난 네트워크의 재난 유형간 연계를 보면, 국내에서는 풍수해와 기반시설 붕괴를 중심으로 복합재난 연구가 활발히 진행되었으며, 국외에서는 풍수해, 지진, 산사태, 기반시설 붕괴 등 더 다양한 재난 유형을 중심으로 복합재난 연구가 활발하게 진행되었다. 또한, 국내에서 2002-2011년에는 화재와 관련된 복합재난 연구가 활발하게 진행되었다면, 이후 2012-2021년에는 풍수해와 기반시설 붕괴와 관련된 연구가 활발하게 진행되었으며 산사태와 관련된 복합재난 연구가 증가한 것으로 분석되었다. 국외 복합재난 연구는 전체 기간에 걸쳐 지진과 풍수해 관련 연구가 활발하게 진행되었으며, 2012-2021년에는 지진해일과 관련된 복합재난 연구가 증가한 것으로 분석되었다. 이처럼 국내외로 복합재난 연

구의 필요성이 점진적으로 대두되고 있는 만큼, 향후 국내 복합재난 연구는 풍수해나 지진 등의 재난 유형과 더불어 산사태, 지진해일 등 상위 재난 유형으로 등장하는 재난과의 연계를 강화하고, 기반시설 붕괴를 비롯하여 정전사고, 방사능 사고 등 다양한 재난 유형과의 연계가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 기존에 단일재난의 관점에서 접근한 재난연구 동향 분석과 달리, 20년 동안 수행된 국내외 복합재난 연구의 동향을 분석함으로써 국내외 복합재난 연구에서 대상이 되는 복합재난의 유형을 도출하고 재난 유형 간의 연계되는 관계를 분석했다는 점에서 의의가 있다. 또한, 본 연구의 결과는 복합재난 연구 분야에 대한 이해를 높이는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 단, 본 연구는 재난과 관련된 대표적인 학술지만을 대상으로 분석자료를 수집하였다는 점에서 모든 복합재난 연구를 포괄하지는 못하였다는 점과 복합재난의 하위 재난 유형 간 연계성만을 고려했다는 점에서 연구의 한계를 지닌다. 이러한 점에서, 추후 복합재난 연구 동향을 분석함에 있어, 재난 유형 간 연계 외에도 재난 유형별 취약요소나 위험요소 등을 복합재난의 구성요소로 고려하는 등 복합재난에 대한 다양한 관점에서의 연구가 수행될 필요가 있다.

Acknowledgement

이 논문은 행정안전부 재난안전취약핵심역량 도약기술개발사업(시뮬레이션 기반 조직단위 비상대비 훈련기술 개발, 2018-MOIS33-001)의 지원을 받아 수행된 연구임.

References

[1] Beroux, P., Guilhou, X., Lagadec, P. (2009). “Implementing rapid reflection forces.” Crisis Response, Vol. 3, No. 2, pp. 36-37.

[2] Diesner, J., Carley, K.M. (2005). Revealing Social Structure from Texts: Meta-matrix Text Analysis as a Novel Method for Network Text Analysis. In Diesner, J. and Carley, K.M. (Eds.), Causal Mapping for Research in Information Technology, pp. 81-108.

[3] Di Mauro, C., Bouchon, S., Carpignano, A., Golia, E., Peressin, S. (2006). “Definition of multi-risk maps at regional level as management tool: experience gained by civil protection authorities of Piemonte region.” Proceedings of the 5th Conference on Risk Assessment and Management in the Civil and Industrial Settlements, University of Pisa, Italy, pp. 17-19.

[4] Freeman, L.C. (1979). “Centrality in social networks conceptual clarification.” Social Networks, Vol. 1, No. 3, pp. 215-239.

[5] Lee, H.J., Yun, H.S., Han, H. (2021). “A study on the selection of types of social disasters by region.” Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 17, No. 2, pp. 206-217.

[6] Lee, J.E., Lee, W.K. (2014). “Hybrid disaster response and crisis management system in Korea.” Crisisonomy, Vol. 10, No. 9, pp. 15-31.

[7] Lee, J.Y., Kim, S.J. (2016). “A bibliometric analysis of research trends on Disaster in Korea.” Journal of the Korean Society for Information Management, Vol. 33, No. 4, pp. 103-124.

[8] Lee, S.J. (2019). “A framework for climate change risk management.” Journal of the Society of Disaster Information, Vol. 15, No. 3, pp. 367-379.

[9] Lee, S.S. (2014). “A content analysis of journal articles using the language network analysis methods.” Journal of the Korean Society for Information Management, Vol. 31, No. 4, pp. 49-68.

[10] Na, Y.G., Park, J.H., Choi, J.M. (2019). "Analysis of the characteristics of a complex disaster using bigdata." Journal of the Korean Association of Professional Geographers, Vol. 53, No. 4, pp. 375-384.

[11] Park, M.R., Lee, Y.K. (2016). "Cases and implications of huge complex disasters." Journal of Disaster Prevention, Vol. 18, No. 3, pp. 19-27.

[12] Song, C.Y., Park, S.H. (2017). "Strategy for improvement of disaster response system of hybrid disaster in Korea." Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 21, No. 3, pp. 45-53.

[13] Won, J.Y., Lee, Y.R. (2021). "Complex disaster management plan considering the connectivity of disasters: Focusing on social network analysis." Crisisonomy, Vol. 17, No. 5, pp. 1-20.

[14] Yoon, S.Y., Yoon, D.K. (2017). "A trends analysis on disaster and safety management using topic modeling." Journal of Korean Society for Geo-spatial Information Science, Vol. 25, No. 3, pp. 75-85.

[15] Yun, W.S., Ham, H.J., Choi, S.H., Lee, S.S. (2018). "Development of a method for national risk assessment based on heavy rain-induced multi-hazard scenarios." Journal of Korean Society and Hazard Mitigation, Vol. 18, No. 6, pp. 325-333.