한국환경생태학회지 33(2): 216−227, 2019 ISSN 1229-3857(Print) ISSN 2288-131X(Online)
Korean J. Environ. Ecol. 33(2): 216-227, April 2019 https://doi.org/10.13047/KJEE.2019.33.2.216

산지하천을 대상으로 한 국내 연구동향 분석: 국제 연구동향과의 비교[1a]

이상인[2]·서정일[3*]·이요한[4]·김석우[5]·전근우[6]

Analysis of Research Trends on Mountain Streams in the Republic of Korea: Comparison to International Research Trends[1a]

Sang In Lee[2], Jung Il Seo[3*], Yohan Lee[4], Suk Woo Kim[5], Kun Woo Chun[6]

요 약

이 연구에서는 우리나라의 자연환경 조건 및 사회적 요구를 반영한 산지하천의 합리적 관리방안을 제시하기 위한 연구의 일환으로 산지하천을 대상으로 한 국제·국내 연구논문을 수집 및 분석한 후, VOSviewer 프로그램을 이용한 텍스트마이닝과 동시출현단어 분석을 통하여 연구주제에 따른 연구영역을 구별하였으며, 이후 각 연구영역별로 시·공간적인 연구동향을 비교하였다. 그 결과, 산지하천을 대상으로 한 국내 연구논문은 국제 연구논문에 비하여 초보적인 단계에 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 국제 연구논문은 산지하천의 어류 및 무척추동물의 서식환경과 종구성에 관한 연구영역(제1연구영역), 산지하천에서의 수문현상 및 양분이동에 관한 연구영역(제2연구영역), 산지하천에서의 유수에 의한 하상물질 이동 및 지형 변화에 관한 연구영역(제3연구영역), 산지하천 주변의 식물종 구성에 관한 연구영역(제4연구영역)으로 구분되었다. 이 중 제1연구영역과 관련된 국내 연구논문은 주로 대형무척추동물만을 연구소재로 하고 있었으며, 제3연구영역과 관련된 국내 연구논문은 유수에 의한 하상물질 이동 및 지형 변화를 생태계의 교란작용이 아닌 산지토사재해의 원인으로 간주하고 있다는 것을 알 수 있었다. 이렇게 구분된 각 연구영역이 전체 연구논문 중에서 점유하고 있는 비율을 시기별·국가별로 파악한 결과, 국제 연구논문의 경우 3·4연구영역에 해당하는 연구논문이 증가하는 것으로 나타났으며, 여기에는 미국을 중심으로 브라질·캐나다·중국의 영향이 크게 작용하였다. 이와 달리 국내 연구논문의 경우 1·3연구영역에 해당하는 연구논문이 시간의 경과에 따라 다소 증가하였으나, 이 두 연구영역 간 상호 연관성은 다소 부족한 것으로 나타났다. 따라서 향후에는 이를 보완한 하이브리드 성격의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

주요어 : **산지하천관리**, VOSviewer, **텍스트마이닝**, **동시출현단어 분석**

---

1 접수 2019년 1월 8일, 수정 (1차: 2019년 3월 6일, 2차: 2019년 3월 26일), 게재확정 2019년 4월 3일
Received 8 January 2019; Revised (1st: 6 March 2019, 2nd: 26 March 2019); Accepted 3 April 2019

2 공주대학교 산업과학대학 산림자원학과 석사과정 Dept. of Forest Resources, College of Industrial Sciences, Kongju National Univ., 54 Daehak-ro, Yesan-gun, Chungcheongnam-do 32439, Republic of Korea (leesi@kongju.ac.kr)
3 공주대학교 산업과학대학 산림자원학과 부교수 Dept. of Forest Resources, College of Industrial Sciences, Kongju National Univ., 54 Daehak-ro, Yesan-gun, Chungcheongnam-do 32439, Republic of Korea (jungil.seo@kongju.ac.kr)
4 영남대학교 생명응용과학대학 산림자원 및 조경학과 조교수 Dept. of Forest Resources and Landscape Architecture, College of Life and Applied Sciences, Yeungnam Univ., 280 Daehak-ro, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do 38541, Republic of Korea (johnlee@yu.ac.kr)
5 강원대학교 산림환경과학대학 산림과학부 조교수 Division of Forest Science, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National Univ., 1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do 24341, Republic of Korea (kimsw@kangwon.ac.kr)
6 강원대학교 산림환경과학대학 산림과학부 교수 Division of Forest Science, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National Univ., 1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do 24341, Republic of Korea (kwchun@kangwon.ac.kr)

a 이 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-이공분야기초연구사업의 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2017R1C1B1012014).

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-41-330-1302, Fax: +82-41-330-1308, E-mail: jungil.seo@kongju.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose the rational mountain stream management strategy considering the natural conditions and social needs of the Republic of Korea. We reviewed domestic and overseas studies related to mountain streams, identified the study areas by text mining and co-word analysis using the VOSviewer program, and then analyzed the spatial and temporal study trends and topics of each study area. The results showed that domestic studies on mountain streams are still in an initial stage compared to overseas studies. Overseas studies on mountain streams can be classified into four groups: (i) habitat and species composition of fish and invertebrates, (ii) hydrological phenomena and nutrient migration, (iii) transport of sediment and organic materials and the relevant morphological changes by runoff flows, and (iv) plant species composition in mountain streams. Of these study subjects, domestic studies belonging to the (i) group mainly focused on macroinvertebrates while domestic studies belonging to the (iii) group regarded transport of sediment and organic materials as not the ecological disturbance but the source of sediment-related disasters. We then analyzed the rate of each research group to all papers by period and country. The results showed that the overseas studies belonging to (iii) and (iv) groups have increased with time, and the increase was mostly due to the studies in the United States, Brazil, Canada, and China. On the other hand, domestic studies belonging to (i) and (iii) groups increased somewhat with time, but there was a slight lack of correlation between the two subjects. Therefore, the hybridity studies to complement the shortage is necessary for the future.

KEY WORDS: MOUNTAIN STREAM MANAGEMENT, TEXT MINING, CO-WORD ANALYSIS, VOSVIEWER

서 론

산림유역이라는 3차원적 공간을 그물처럼 흐르는 산지하천은 지리적·물리적으로 특정이 가능하며, 기술적으로도 적절한 관리를 필요로 하는 공간이다. 그럼에도 불구하고 우리나라에서는 산지 또는 산림의 일부 공간으로서 인식되고 있을 뿐 하류하천과 같이 하나의 '물길'로서의 존재감은 매우 약하다. 이것은 산지하천을 위한 적절한 관리기술의 개발은 물론 이미 개발되어 있는 관리기술의 현장적용을 더디게 하는 가장 큰 요인이 되고 있다.

산지하천은 산림유역에 내린 강수가 지형·지질 및 동·식물 등의 영향을 받아 양적·질적으로 변화하며 하류로 이동하는 경로로서(Chun, 2011), 거석과 유목의 집적에 의하여 유수의 흐름을 조절하고 수자원을 저장함으로써(Aberle and Smart, 2003; Montgomery et al., 2003) 동·식물에 필요한 수자원과 어류 및 수서곤충에 서식지를 제공한다(Mossop and Bradford, 2004; Duan et al., 2009). 이러한 산지하천은 지형학적·수문학적 조건에 의해 그 특징이 결정되고, 결국 산지하천을 생활공간으로 이용하는 동·식물의 다양성과 풍부성이 결정된다(Nakano and Nakamura, 2008; Nagayama et al., 2008).

그러나 이러한 인과관계, 즉 지형학적·수문학적 조건에 따른 동·식물의 반응에는 매우 광범위한 변이 폭(variation range)을 나타나는 것이 일반적이다(Hynes, 1963; Allan, 1995). 예를 들어 하폭이 좁고 경사가 급한 상류 산지하천에서는 대형유기물의 공급이 많지만 유수의 양이 적고 그 흐름이 빠르기 때문에(Nakamura and Swanson, 1993; Gurnell et al., 2002) 어류 및 수서곤충의 서식이 어렵고 건생식물의 서식이 활발할 것이다(Montgomery et al., 1999). 반대로 하폭이 넓고 경사가 완만한 하류 산지하천에서는 유수의 흐름이 보다 안정적이고 소편화(fragmentation) 및 부후(decomposition)가 진행된 유기물이 많이 집적되므로(Marcus et al., 2002; Seo and Nakamura, 2009) 이를 이용할 수 있는 어류 및 수서곤충이 습생식물과 함께 서식할 것이다(Goldman and Home, 1983; Day et al., 1989). 이러한 광범위한 스케일 의존형 변이(scale-dependant variation)는 결국 산지하천의 종합적 관리방안 수립에 큰 곤란함을 야기할 수밖에 없다.

산지하천의 관리방안을 보다 합리적으로 수립하기 위해서는 결국 다양한 스케일의 지형학적·수문학적 조건에서 다양한 동·식물의 반응을 대상으로 한 연구의 수행이 전제되어야 할 것이다. 그러나 산지하천을 대상으로 한 연구의

방향성은 대상지역의 자연환경 조건 및 사회적 요구를 반영한 국가 산림정책 방향의 영향을 받기 마련이다. 예를 들어 산림재해가 많이 발생하는 일본에서는 재해예방을 위한 산지하천의 물리적 안정성에 관한 연구가 상대적으로 활발히 이루어졌으며(Yutomo et al., 2006; Shikakura et al., 2012; Asano and Uchida, 2016), 국토면적이 넓고 다양한 기후와 지형을 보이는 미국에서는 산지하천의 기후 및 지형에 따른 생태계 변화에 관한 연구가 상대적으로 많이 이루어졌다(Breeanne et al., 2012; Jaime et al., 2013; Bryan et al., 2014).

그렇다면 우리나라의 자연환경 조건과 사회적 요구 하에서 과거 어떠한 연구들이 산지하천을 대상으로 수행되어 왔으며, 이들은 앞으로 어떻게 변화할까에 대한 의문이 남는다. 이러한 의문을 해결하기 위하여 이 연구에서는 빅데이터 기반의 데이터시각화를 위한 VOSviewer 프로그램를 이용하여 산지하천을 대상으로 한 세계적인 연구동향을 파악하고, 이와 비교하여 국내 연구의 현주소를 제시함으로써 향후 수행될 관련 연구에 기초자료를 제공하고자 하였다.

연구방법

1. 국제·국내 연구논문 수집 및 일반적 특성 분석

이 연구에서는 산지하천을 대상으로 한 국제·국내 연구논문을 수집하기 위하여 산지하천을 표현하는 ‘Stream’, ‘Torrent’, ‘Valley’, ‘Channel’, ‘Bank’ 이상 다섯 가지 단어를 ‘Mountain’ 또는 ‘Forest’와 조합하여 검색어로 사용하였다. 단, 국제·국내 연구논문 모두 영문단어의 조합을 사용하였는데, 이는 국내 연구논문의 검색에서 발생할 수 있는 동음이의어의 출현을 가능한 범위에서 줄이기 위함이다.

국제저널에 게재된 연구논문의 경우 Web of Science (http://apps.webofknowledge.com)를 검색기반으로 하여 2017년까지 발표된 SCI(E)급 연구논문을 수집하였으며, 국내저널에 게재된 연구논문의 경우 한국학술지인용색인(https://www.kci.go.kr)을 검색기반으로 하여 2017년까지 발표된 한국연구재단 등재(후보)지급 연구논문을 수집하여 데이터베이스를 구축하였다. 검색된 전체 논문 중 여전히 중의적 단어의 영향으로 수집된 산지하천과 관련 없는 연구논문은 데이터베이스에서 제외시켰으며, 다른 검색어를 통해 중복 수집된 동일한 연구논문은 오직 1편만을 데이터베이스에 포함시켰다.

이와 같이 수집된 국제·국내 연구논문의 데이터베이스를 활용하여 연구논문의 발표년도를 기준으로 발행편수의 변화 추이를 파악하였다. 또한, 국제 연구논문들만을 대상으로 연구대상지를 기준으로 한 연구대상 국가별 발행편수를 파악하였으며, 이러한 연구대상 국가별 발행편수를 일정 기간별로 구분하여 비교함으로써 시간의 경과에 따른 국가별 연구논문의 점유율 추이를 확인하였다. 이때, 2개 이상의 국가를 연구대상지로 하고 있는 연구논문은 ‘복수국가(Multi-country)’로 분류하였다.

2. 국제·국내 연구논문의 연구영역 분석

수집된 산지하천 관련 국제·국내 연구논문의 영문제목과 영문초록으로부터 연구주제를 나타내는 단어(구)를 추출하고, 이들을 VOSviewer 프로그램에 필요한 데이터베이스로 활용하여 주요 연구영역을 파악하였다(Van Eck and Waltman, 2010). 이때, 연구주제를 나타내는 단어(구)의 추출을 위해서 다음과 같은 두 가지 기준을 적용하였다. 첫째, 국제·국내 연구논문의 총 발행편수를 고려하여 저자들의 주관적인 판단에 의해 일정 연구영역의 구분이 꾸준히 유지되는 임의의 편수 이상의 논문에서 출현한 단어 및 단어구만을 선정하였다. 둘째, 정관사나 부정관사 등 일반적으로 사용되는 단어를 제외하기 위하여 VOSviewer에서 측정된 주제단어의 적정점수(relevance score)가 상위 60%(기본값)에 포함되는 단어로 한정하였다(Van Eck and Waltman, 2014; Lee et al., 2017).

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

시각화된 네트워크 지도의 의미는 크게 다음의 네 가지 관점에서 정리할 수 있다(Van Eck and Waltman, 2010). 첫째로 원 안에는 주제단어(구)들이 표시되고, 둘째로 원의 색은 주제단어가 속한 연구영역을 구분하며, 셋째로 원의 크기는 주제단어 출현빈도의 상대적 크기를 나타낸다. 마지막으로 원과 원의 거리와 실선은 주제단어의 상호 연관성을 나타내는데, 원과 원 사이의 거리가 가까이 위치할수록 연관성이 높음을 나타내고, 그 연관성이 특별히 높은 경우에는 실선으로 표시된다.

3. 국제·국내 연구논문의 연구영역별 발행연대 및 대상국가 분석

비록 산지하천을 대상으로 한 국제·국내 연구논문의 제목과 초록에는 다양한 의미의 단어들이 특정 연구영역의 내용을 중심으로 조합되어 있지만, 이들이 반드시 하나의 연구영역으로만 구분되기 어렵다. 따라서 산술적인 계산 과정을 통하여 각 연구영역에 있어서 연구논문의 발행연대 및 대상국가의 비율을 산출할 수 없다. 그 대신에 각 논문의

제목과 초록에서 출현하는 연구영역별 단어비율을 파악하여 각각의 연구영역에 있어서 발행연대별 점유율과 대상국가별 점유율을 산출하였다. 이때, 각 논문에서 출현한 연구영역별 단어(구)의 수를 연구영역 전체 단어(구)의 수로 나누어 연구영역별 단어출현빈도를 표준화하였다. 이후 표준화된 각 논문의 연구영역별 단어출현빈도를 각 논문 내 표준화된 연구영역별 단어출현빈도의 총합으로 나누어 논문별 단어출현빈도를 표준화하였다.

이상의 방법으로 측정된 국제·국내 각 연구논문의 연구영역별 비율을 동일 발행연대 또는 동일 대상국가로 합하여 연구영역별 발행연대 및 대상국가의 점유율을 산출하였다. 여기서 누적 연구논문 편수가 약 33%와 67%에 해당하는 발행연도를 기점으로 전반기·중반기·후반기로 구분하였으며, 그 후 연구영역별 연구비율의 변화를 분석하였다. 또한, 복수의 연구영역에 속하는 하나의 연구논문이 갖는 각각의 연구영역별 연구비율을 계산한 후 동일 국가별로 합하여 연구영역별 대상국가의 비율을 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 국제·국내 연구논문 수집 및 일반적 특성 분석 결과

산지하천을 대상으로 한 국제·국내 연구논문을 수집한 결과, 국제 연구논문은 총 3,196편이 수집되었으며, 국내 연구논문은 총 252편이 수집되었다. 이 중에서 중복 검색된 연구논문을 제외한 국제·국내 연구논문은 각각 2,722편과 188편이며, 이들은 해당 학술지가 SCI(E) 및 한국연구재단등재(후보)지로 채택된 이후에 발표·수록된 연구논문들이다.

먼저 국제·국내 연구논문들을 게재된 연도별로 분석한 결과, 산지하천을 대상으로 한 국제 연구논문은 1990년을 시작으로 2017년 현재까지 발표되고 있으며, 꾸준히 증가추세를 나타냈다(Figure 1a). 반면, 국내 연구논문은 2002년에 최초로 발표되어 국제 연구논문에 비해 약 12년 늦게 시작된 것으로 나타났으며, 이후 2017년 현재까지는 뚜렷한 경향을 나타내지는 않은 채 매년 다소의 증감을 보였다(Figure 1b).

국제 연구논문들을 국가별로 분석한 결과(Figure 2), 1990년부터 2017년까지의 총 2,722편의 연구논문은 우리나라를 포함한 총 98개 국가의 산지하천을 대상으로 수행되었다. 이 중에서 미국을 연구대상으로 한 연구논문이 865편으로 여타 국가에 비해 훨씬 높은 점유율을 나타냈으며, 브라질(171편), 캐나다(149편) 및 복수국가(135편)가 그 뒤를 이었다. 또한, 우리나라와 인접한 중국(113편)과 일본(105편)에서도 100편 이상의 연구논문이 발표된 것을 확인할 수 있었는데, 이는 국내의 산지하천을 연구대상지로 한 총 11편의 국제 수준의 연구논문에 비해 10배 정도 많은 수치이다.

한편, 국제 연구논문이 1990년 이래 28년간 발표된 점을 고려하여 연구대상 국가별 발행편수를 4년 단위로 구분하였다(Table 1). 그 결과, 국제 연구논문에 대한 미국의 높은 점유율은 4년 단위의 시기별 발행편수에서도 확인할 수 있었다. 그러나 2010년 이후 미국의 점유율은 다소 감소한 것으로 나타났으며, 그 대신 브라질과 중국의 점유율이 증가하여 2014년부터 2017년에는 전체 연구논문 중 각각 9%와 7%를 점유하였다. 그에 비해 국내의 산지하천을 대상으로 한 총 11편의 국제 연구논문은 2005년에 1편을 시작으로 2010～2013년에 3편, 2014～2017년에 7편 발표되어 점차 증가하는 추세이지만, 아직 초보적인 수준에 머물러 있는 실정이다.

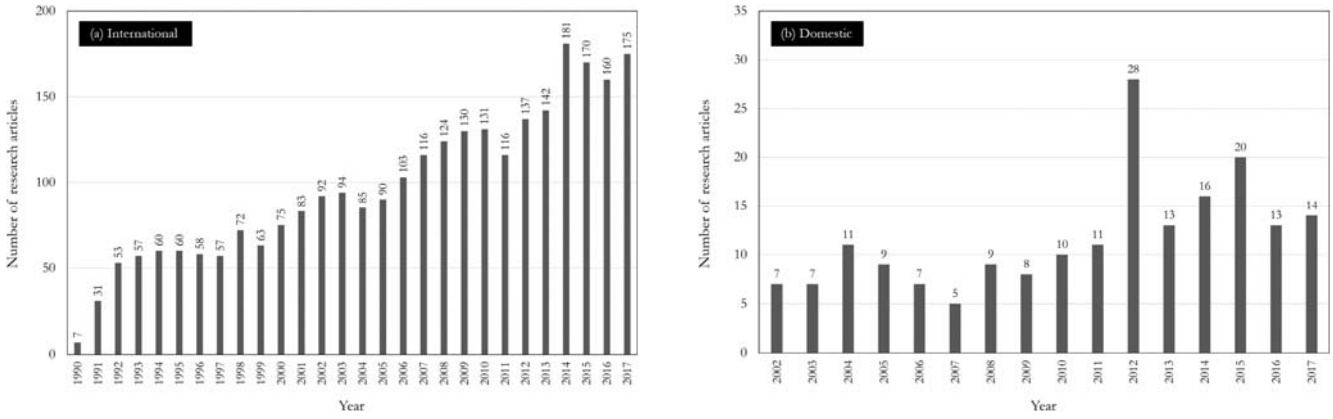

Figure 1. Number of (a) international and (b) domestic studies related to mountain streams by published year.

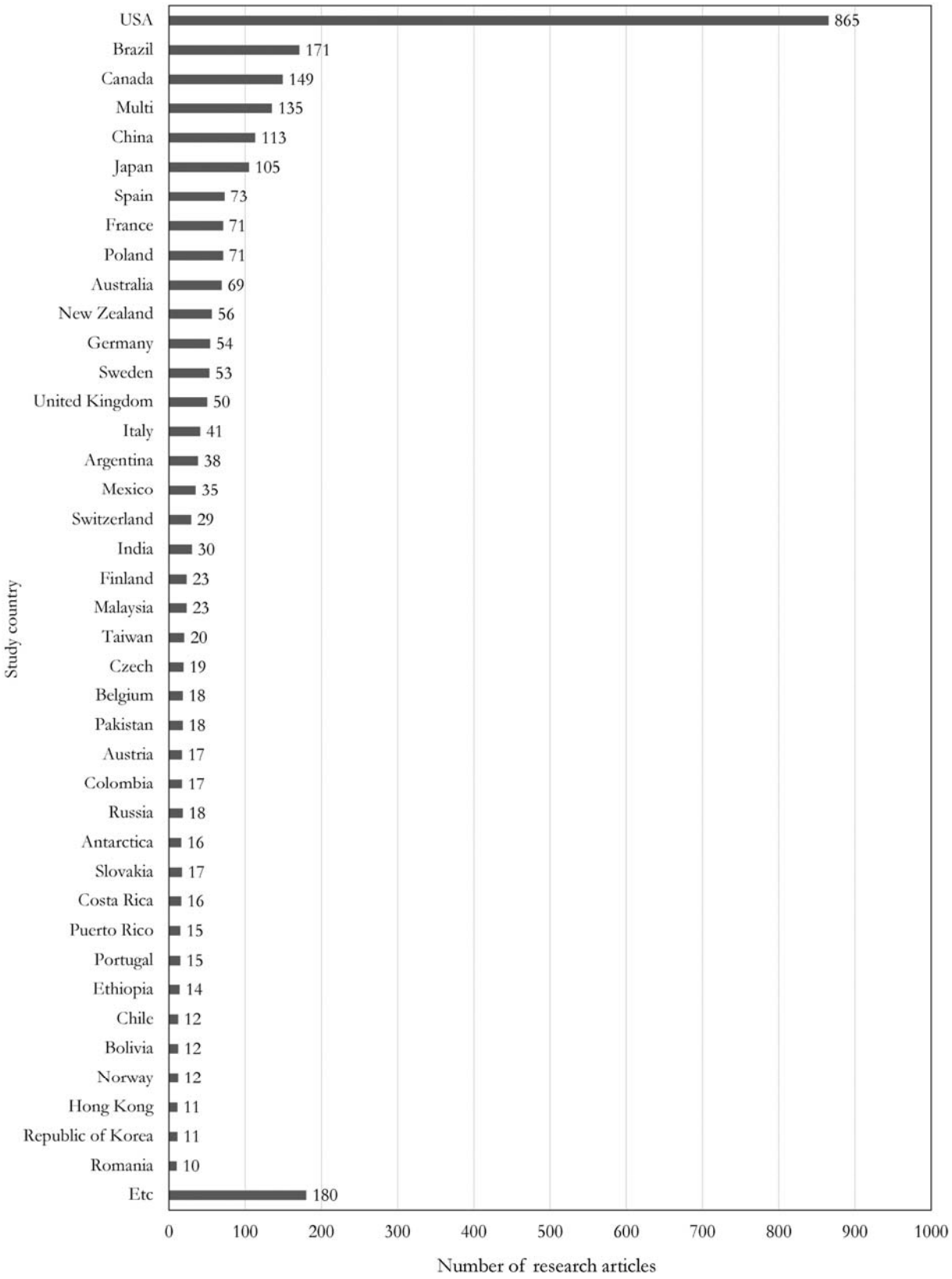

Figure 2. Number of international studies related to mountain streams by study country.

Table 1. Number of international studies related to mountain streams in each country every four years.

Period / Country	1990 ~ 1993		1994 ~ 1997		1998 ~ 2001		2002 ~ 2005		2006 ~ 2009		2010 ~ 2013		2014 ~ 2017	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
USA	63	43	73	31	121	41	133	37	158	33	142	27	175	26
Brazil	3	2	4	2	6	2	16	4	39	8	40	8	63	9
Canada	11	7	10	4	11	4	32	9	29	6	35	7	21	3
Multi-country	6	4	22	9	12	4	14	4	20	4	25	5	36	5
China	0	0	1	0	1	0	7	2	18	4	36	7	50	7
Japan	2	1	2	1	15	5	18	5	22	5	23	4	23	3
Spain	2	1	3	1	8	3	10	3	11	2	17	3	22	3
France	3	2	12	5	9	3	9	2	13	3	14	3	11	2
Poland	1	1	7	3	7	2	3	1	12	3	13	2	28	4
Australia	8	5	14	6	7	2	7	2	14	3	10	2	9	1
New Zealand	2	1	12	5	7	2	18	5	7	1	6	1	4	1
Germany	4	3	5	2	5	2	5	1	7	1	10	2	18	3
Sweden	2	1	3	1	4	1	5	1	13	3	12	2	14	2
United Kingdom	5	3	12	5	11	4	11	3	5	1	4	1	2	0
Italy	0	0	1	0	4	1	4	1	5	1	10	2	17	2
Argentina	0	0	1	0	4	1	4	1	8	2	12	2	9	1
Mexico	2	1	2	1	3	1	5	1	2	0	4	1	17	2
Switzerland	2	1	2	1	1	0	5	1	5	1	4	1	10	1
India	1	1	3	1	4	1	4	1	2	0	8	2	8	1
Finland	2	1	2	1	4	1	1	0	3	1	6	1	5	1
Malaysia	3	2	3	1	1	0	3	1	1	0	5	1	7	1
Taiwan	1	1	0	0	3	1	2	1	6	1	4	1	4	1
Belgium	0	0	0	0	3	1	6	2	4	1	4	1	1	0
Czech	0	0	0	0	3	1	3	1	5	1	2	0	6	1
Pakistan	0	0	2	1	1	0	4	1	0	0	1	0	10	1
Austria	1	1	2	1	2	1	2	1	2	0	2	0	6	1
Colombia	0	0	0	0	0	0	2	1	3	1	4	1	8	1
Russia	2	1	2	1	0	0	1	0	1	0	6	1	6	1
Antarctica	0	0	4	2	2	1	1	0	0	0	4	1	5	1
Slovakia	1	1	4	2	1	0	2	1	1	0	4	1	4	1
Costa Rica	2	1	2	1	3	1	1	0	4	1	2	0	2	0
Portugal	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	5	1	8	1
Puerto Rico	7	5	1	0	4	1	1	0	1	0	0	0	1	0
Ethiopia	0	0	2	1	1	0	2	1	2	0	2	0	5	1
Chile	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4	1	6	1
Bolivia	0	0	0	0	0	0	2	1	7	1	2	0	1	0
Norway	1	1	3	1	0	0	1	0	2	0	0	0	5	1
Hong Kong	0	0	6	3	0	0	2	1	2	0	0	0	1	0
Republic of Korea	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	1	7	1
Romania	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	1	5	1
Etc	11	7	13	6	22	8	14	4	36	8	38	7	46	7
Total	148	100	235	100	293	100	361	100	473	100	526	100	686	100

2. 국제 연구논문의 연구영역 분석 결과

VOSviewer 프로그램을 통한 텍스트마이닝(text-mining)을 실행하여 산지하천을 대상으로 한 국제·국내 연구논문들의 주요 연구주제를 파악하였다. 여기서 국제 연구논문에 포함되어 있는 국내 산지하천을 대상으로 한 11편의 논문은 국내 연구논문으로 편입시켰다. 먼저 국제·국내 연구논문의 영문제목과 영문초록으로부터 연구주제를 나타내는 단어(구)를 모두 추출한 결과, 국외 연구논문에서는 63,168개, 국내 연구논문에서는 5,113개의 주제단어(구)가 추출되었다. 이 중에서 2,711편의 국제 연구논문(국내를 대상지로 수행한 11편의 국제 연구논문을 제외)에서는 10편 이상의 연구논문에서 출현한 주제단어(구)를, 국제 연구논문의 1/14 수준인 199편의 국내 연구논문(국내를 대상지로 수행한 11편의 국제 연구논문을 포함)에서는 3편 이상의 연구논문에서 출현한 주제단어(구)를 선정하기로 하였으며, 그 결과 국제 연구논문과 국내 연구논문에서 각각 1,600개와 517개의 주제단어(구)가 1차적으로 추출되었다. 이후 국제 연구논문과 국내 연구논문에서 주제단어 적정점수(relevance score)가 60%에 해당하는 946개와 310개의 주제단어(구)가 최종적으로 추출되었다.

위와 같이 국제·국내 연구논문에서 추출된 946개와 310개의 주제단어(구)를 대상으로 동시출현단어 분석을 진행한 결과, 산지하천을 대상으로 한 연구는 국제 연구논문이나 국내 연구논문 모두 Figure 3과 같이 4개의 연구영역으로 구분 할 수 있었다. 각 연구영역별로 출현빈도가 높은 20개의 주제단어(구)들을 살펴보면 Table 2에서 보는 바와 같다.

각 연구영역별로 출현한 주제단어(구)에 기초하여 국제 연구논문 2,711편의 각 연구영역이 다루고 있는 연구주제를 의미론적으로 파악한 결과,

- ○ 제1연구영역 : 산지하천의 어류 및 무척추동물의 서식환경과 종구성
- ○ 제2연구영역 : 산지하천에서의 수문현상 및 양분이동
- ○ 제3연구영역 : 산지하천에서의 유수에 의한 하상물질 이동 및 지형 변화
- ○ 제4연구영역 : 산지하천 주변의 식물종 구성

에 관한 연구영역으로 판단하였으며, 이들 연구영역 간에는 내용상 매우 밀접한 상호연관성이 존재할 것으로 추정된다. 예를 들어 제1·3·4연구영역 중 어느 하나 또는 복수의 연구영역에 속하는 연구논문은 제2연구영역에 해당하는 연구내용을 포함하고 있을 가능성이 높을 것으로 판단된다. 이러한 국제 연구논문들의 연구주제 구분은 199편의 국내 연구논문에도 유사하게 적용할 수 있었다. 다만, 제1연구영역에서는 여타의 동물보다는 대부분 대형무척추동물만을 연구소재로 하고 있어 '산지하천의 대형무척추동물의 서식환경과 종구성'에 관한 연구영역으로 판단할 수 있으며, 제3연구영역에 해당하는 연구논문들의 대부분은 산지하천에서의 토사동태, 즉 생산·이동·퇴적 메커니즘보다는 산지하천으로부터 야기된 산지토사재해라는 결과와 그에 대한 인간생활권에서의 대응에 중점을 두고 있는 것으로 보여 '산지하천에서의 강수에 의한 산지토사재해 발생 및 대책'에 관한 연구영역으로 판단하였다.

한편, 시각화된 네트워크 지도는 국제 연구논문 2,711편에 대한 4개의 연구영역이 Table 2에 제시된 출현빈도가 매우 높은 특정 주제단어(구)를 중심으로 매우 유기적인 상호관계를 갖는 것을 보여준다. 이에 반해 199편의 국내 연구논문에 대한 네트워크 지도는 Table 2에 제시된 주요 주제단어(구)의 출현빈도가 국제 연구논문에 비해 상대적으로 낮은 것을 보여준다. 또한, 제3연구영역인 '산지하천에서의 강수에 의한 산지토사재해 발생 및 대책'을 중심으로 제1연구영역인 '산지하천의 대형무척추동물의 서식환경과

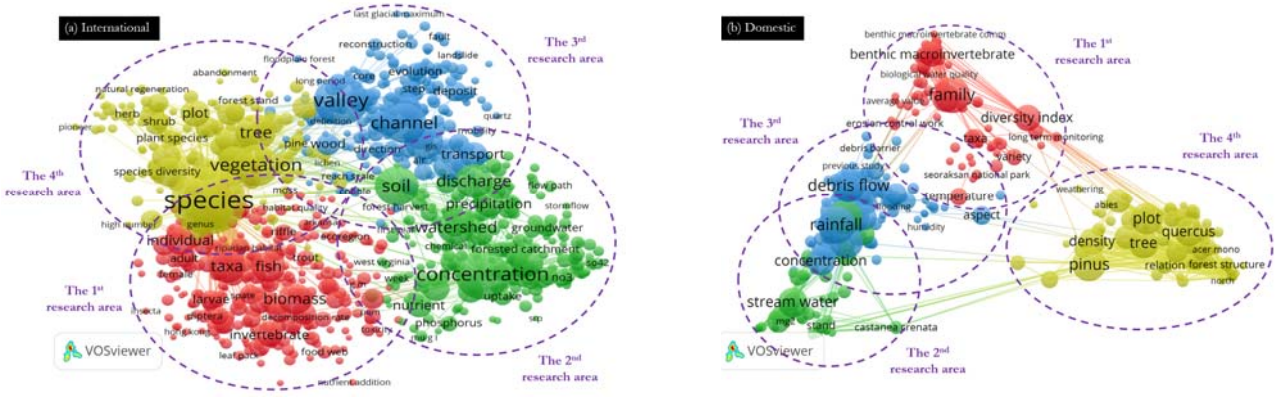

Figure 3. Classification of research areas in (a) international and (b) domestic studies related to mountain streams.

Table 2. Top 20 most frequent words in each research area classified by international and domestic studies related to mountain streams.

Research area	Top 20 most frequent words			
	International papers		National papers	
1st	·taxa ·biomass ·fish ·individual ·invertebrate ·leafe ·macroinvertebrate ·forested stream ·leaf ·brazil	·larvae ·community structure ·fauna ·algae ·shredder ·Trichoptera ·emergence ·ecology ·autumn ·Ephemeroptera	·family ·class ·diversity index ·benthic macroinvertebrate ·taxa ·phyla ·temperature ·variety ·DCA ·genera	·shredder ·benthic macroinvertebrate community ·Ephemeroptera ·flora ·control site ·dominate index ·erosion control work ·richness ·upper reach ·vascular plant
2nd	·concentration ·soil ·discharge ·watershed ·stream water ·precipitation ·deposition ·organic matter ·nutrient ·nitrogen	·flux ·export ·organic carbon ·fraction ·chemistry ·lake ·runoff ·retention ·water chemistry ·nitrate	·quality ·stream water ·stream water quality ·march ·anion ·land use ·erosion control ·NO^{3-} ·electrical conductivity ·stand	·BOD ·*Castanea crenata* ·coniferous forest ·rainfall intensity ·SO_4^{2-} ·turbidity ·Ca^{2+} ·cation ·COD ·Mg
3rd	·valley ·channel ·sediment ·measurement ·volume ·transport ·formation ·morphology ·wood ·erosion	·record ·deposit ·load ·simulation ·diameter ·profile ·storage ·evolution ·river valley ·sequence	·rainfall ·debris flow ·erosion ·landslide ·concentration ·discharge ·model ·sediment ·debris ·development	·case ·catchment ·event ·flood ·function ·precipitation ·property ·risk ·aspect ·disaster
4th	·species ·density ·vegetation ·diversity ·tree ·species richness ·plant ·plot ·species composition ·richness	·stand ·similarity ·conservation ·layer ·restoration ·strategy ·tree species ·family ·fire ·recruitment	·*Pinus* ·plot ·tree ·*Quercus* ·density ·altitude ·species diversity ·*Quercus mongolica* ·vegetation structure ·*Carpinus laxiflora*	·elevation ·positive correlation ·*Quercus serrata* ·*Pinus densiflora* community ·*Quercus mongolica* community ·relation ·tree layer ·age ·cluster analysis ·negative correlation

종구성’에 관한 연구와 제2연구영역인 ‘산지하천에서의 수문현상 및 양분이동’에 관한 연구가 이루어지고 있는 형상으로 나타났다. 상대적으로 제4연구영역인 ‘산지하천 주변의 식물종 구성’에 관한 연구는 타 연구영역과 상호 연관성이 낮은 것으로 나타났다.

3. 국제·국내 연구논문의 연구영역별 발행연대 및 대상국가 분석 결과

1990년 이래 매년 발표된 국제 연구논문들의 각 연구영역별 전반기·중반기·후반기의 점유율 변화를 파악하고자 누적 수가 총 연구논문수의 33%와 67%에 해당하는 연도를 파악한 결과, 각각 2003년과 2004년 사이와 2011년과 2012년 사이인 것으로 나타났다. 이 시점을 중심으로 전반기 14년간(1990～2003년), 중반기 8년간(2004～2011년), 후반기 6년간(2012～2017년)으로 나누어 전체 연구논문에 대한 각 연구영역의 점유율을 분석한 결과(Figure 4a), 제1연구영역(산지하천의 어류 및 무척추동물의 서식환경과 종구성)은 전·중·후반기에 걸쳐 큰 변화 없이 가장 작은 점유율을 나타냈으나(17%→16%→16%), 상대적으로 제2연구영역(산지하천에서의 수문현상 및 양분이동)은 가장 큰 점유율을 유지하면서 4%p 범위 내에서 다소 감소하는 추세를 나타냈다(35%→32%→31%). 이와 달리 제3연구영역(산지하천에서의 유수에 의한 하상물질 이동 및 지형변화)과 제4연구영역(산지하천 주변의 식물종 구성)은 제1연구영역과 제2연구영역의 점유율 구간 사이에 위치하고 있었으며, 5%p 범위 내에서 상이한 증감패턴을 보이기는 하였으나 전반기에 비해 후반기에 높은 점유율을 나타냈다(제3연구영역: 25%→30%→27%, 제4연구영역: 23%→22%→26%).

한편, 2002년 이래 매년 발표된 국내 연구논문들의 누적 수가 총 연구논문수의 33%와 67%에 해당하는 연도를 파악한 결과, 각각 2009년과 2010년 사이와 2013년과 2014년 사이인 것으로 나타났다. 이 시점을 중심으로 전반기 8년간(2002～2009년), 중반기 4년간(2010～2013년), 후반기 4년간(2014～2017년)으로 나누어 전체 연구논문에 대한 각 연구영역의 점유율 분석한 결과(Figure 4b), 제1연구영역(산지하천의 대형무척추동물의 서식환경과 종구성)은 전·중·후반기에 걸쳐 가장 작은 점유율을 유지하였으며, 전반기 이후 7%p 범위 내에서 증감을 보인 후 후반기에는 상대적으로 높은 점유율을 나타냈다(12%→19%→16%). 제2연구영역(산지하천에서의 수문현상 및 양분이동)은 전·중·후반기 모두 가장 큰 점유율을 유지하면서도 6%p 범위 내에서 지속적으로 감소하는 패턴을 보였다(40%→36%→34%). 제4연구영역(산지하천 주변의 식물종 구성)의 점유율 역시 제2연구영역과 마찬가지로 지속적인 감소를 보였지만, 그 감소폭은 무려 2배 정도(12%p)로 나타났다(29%→20%→17%). 이들과 반대로 제3연구영역(산지하천에서의 강수에 의한 산지토사재해 발생 및 대책)은 전반기에 20% 이하의 다소 낮은 점유율을 나타냈지만, 이후 지속적인 증가로 후반기에는 전반기 대비 무려 15%p 증가하여 제2연구영역과 함께 최고의 점유율을 나타냈는데(19%→25%→34%), 이러한 변화는 최근 증가추세에 있는 집중호우로 인한 산지토사재해와 밀접한 관계가 있을 것으로 추정된다.

결과적으로 국제 연구논문의 경우 제3·4연구영역에 해당하는 연구논문만이, 국내 연구논문의 경우 제1·3연구영역에 해당하는 연구논문만이 시간의 경과에 따라 증가한 것으로 해석될 수 있다. 그러나 이러한 결과는 국제·국내 연구논문들의 누적 수가 총 연구논문의 33% 정도씩의 연구영역 점유율을 나타내고 있다. 따라서 각 연구영역의 비율을 단위기간(연수)별로 산출하면 전·중·후반기가 각각 14년·8년·6년인, 즉 발표되는 연구논문의 수가 점차 증가하고 있는 국제 연구논문(Figure 1a에서 국내 대상 11편의 국제 연구논문 제외)은 모든 연구영역의 연구 성과가 지속적인 증가추세를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 전·중·후반기가 각각 8년·4년·4년인, 즉 발표되는 연구논문의 수가 중반기에 들어서며 증가했던 국내 연구논문(국

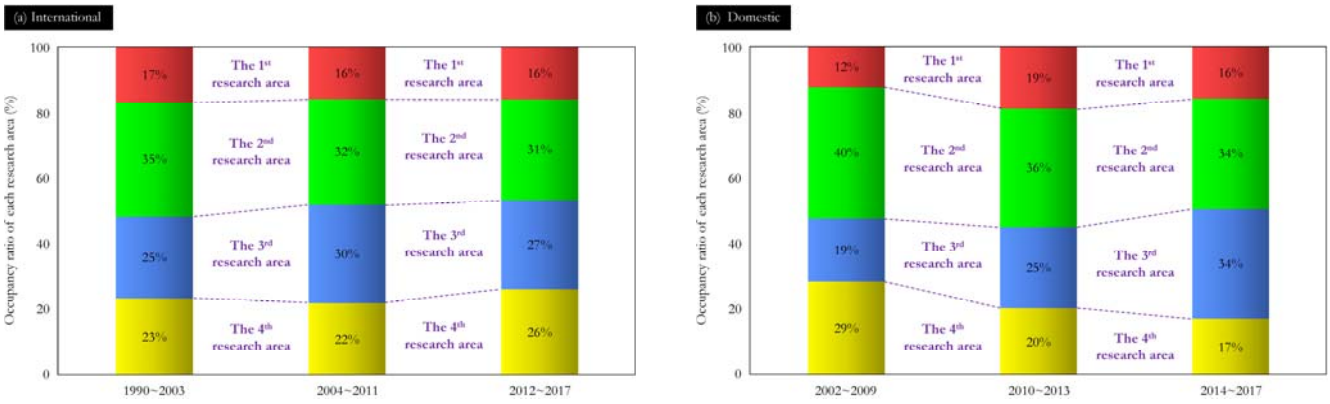

Figure 4. Changes in proportions of research areas by the time period published in (a) international and (b) domestic journals related to mountain streams.

내를 대상지로 수행한 11편의 국제 연구논문을 포함)은 모든 연구영역의 연구 성과가 적어도 중반기까지는 증가했던 것을 알 수 있다.

이러한 국제 연구논문 연구영역에서의 활발한 연구 성과에는 총 2,711편 중 865편을 점유하는 미국을 대상으로 한 연구논문(Figure 2)의 영향이 상당부분 미치고 있다고 추정된다. 국제 연구논문의 연구영역별 대상국가를 확인한 결과(Table 3), 미국을 대상으로 한 연구가 제1연구영역에서는 약 29%, 제2연구영역에서는 약 36%, 제3연구영역에서는 약 38%, 제4연구영역에서는 약 25%의 비율을 차지하는 것으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 브라질(3～10%), 캐나다(5～6%), 중국(3～5%)의 순으로 나타났다. 특히, 이들 네 나라를 연구대상지로서 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 놓여있기 때문으로 사료된다.

4. 향후의 과제

이 연구에서는 산지하천을 대상으로 한 세계적인 연구동향을 파악하고, 이를 기준으로 우리나라의 자연환경 조건과 사회적 요구 하에서 이루어진 국내 산지하천 관련 연구의 현주소를 살핌으로써 향후 연구의 방향성을 제시를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 비록 이 연구에서는 특정 학술지가 SCI(E) 및 한국연구재단등재(후보)지로 등급이 매겨진 이후에 발표·수록된 연구논문들만을 대상으로 하고 있어 연구동향 파악에 다소 한계가 있을 수 있지만, 산지하천 대상 국외 연구논문을 수집하여 국내의 연구수준이 아직까지는 초보단계에 있음을 파악할 수 있었다. 특히, 국제·국

Table 3. Regional proportions of international researches related to mountain streams in each research area.

The 1st research area		The 2nd research area		The 3rd research area		The 4th research area	
Study country	Proportion (%)	Study country	Proportion (%)	Study country	Proportion (%)	Study country	Proportion (%)
USA	29	USA	36	USA	38	USA	25
Brazil	10	Canada	6	Canada	6	Brazil	9
Multi-country	6	Multi-country	5	Multi-country	5	China	5
Canada	6	Brazil	5	China	4	Canada	5
Japan	4	Japan	4	Brazil	3	Poland	3
Spain	3	China	3	Poland	3	Multi-country	3
New Zealand	3	Sweden	3	Japan	3	New Zealand	3
Australia	3	Spain	3	France	2	Australia	3
China	3	France	3	Australia	2	Spain	3
France	3	United Kingdom	3	Spain	2	France	3
Argentina	2	Australia	2	New Zealand	2	Mexico	3
Germany	2	Poland	2	Italy	2	Japan	3
Hong Kong	2	Germany	2	Switzerland	2	Argentina	2
Poland	1	New Zealand	1	Germany	2	Belgium	2
Sweden	1	Argentina	1	United Kingdom	2	Sweden	2
United Kingdom	1	Mexico	1	Sweden	1	Germany	2
Finland	1	Finland	1	Austria	1	United Kingdom	2
Mexico	1	Czech	1	Argentina	1	India	2
Taiwan	1	Italy	1	Mexico	1	Italy	1
Costa Rica	1	India	1	India	1	Pakistan	1
Portugal	1	Switzerland	1	Antarctica	1	Ethiopia	1
Total	100	Total	100	Total	100	Total	100

내의 산지하천 대상 연구와 관련하여 네 개의 연구영역을 특정 지을 수 있었는데, 국내에서 수행된 극소수의 연구가 야생동물 중 주로 대형무척추동물에만 국한되어 있어 연구 소재가 상대적으로 제한적임을 알 수 있었으며, 동시에 유수에 의한 하상물질 이동 및 지형 변화를 하천생태계의 교란작용이 아닌 산지토사재해의 원인으로 간주하고 있다는 것을 알 수 있었다. 더불어 국내의 연구들은 연구영역별로 상호 연관성이 다소 부족한 것으로 나타나 향후 이러한 복수의 연구영역이 밀접하게 연계된 하이브리드 성격의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

Aberle, J. and G.M. Smart(2003) The influence of roughness structure on flow resistance on steep slopes. Journal of Hydraulic Research 41: 259-269.

Allan, D.J.(1995) Stream Ecology: Structure and Function of Running Water. Chapman and Hall, London, 388pp.

Asano, Y. and T. Uchida(2016) Detailed documentation of dynamic changes in flow depth and surface velocity during a large flood in a steep mountain stream. Journal of Hydrology 541: 127-135.

Chun, K.W.(2011) New Erosion Control Engineering. Hyangmunsa. Seoul, Korea, 426pp. (in Korean)

Currinder B., K.K. Cecala, R.M. Northington and M.E. Dorcas(2014) Response of stream salamanders to experimental drought in the southern Appalachian Mountains, USA. Journal of Freshwater Ecology 29(4): 579-587.

Day, J.W., C.A.S. Hall, W.M. Kemp and A. Yanez-Arancibia(1989) Estuarine Ecology. John Wiley and Sons, New York, NY, 588pp.

Duan, X., Z. Wang, M. Xu and K. Zhang(2009) Effect of streambed sediment on benthic ecology. International Journal of Sediment Research 24(3): 325-338.

Goldman, C.R. and A.J. Home(1983) Limnology. McGraw-Hill, Tokyo, Japan, 464pp.

Goode, J.R., J.M. Buffington, D. Tonina, D.J. Isaak, R.F. Thurow, S. Wenger, D. Nagel, C. Luce, D. Tetzlaff and C. Soulsby(2013) Potential effects of climate change on streambed scour and risks to salmonid survival in snow-dominated mountain basins. Hydrological Process 27: 750-765.

Gurnell, A.M., H. Piégay, F.J. Swanson and S.V. Gregory(2002) Large wood and fluvial processes. Freshwater Biology 47: 601-619.

Hynes, H.B.N.(1963) The Biology of Polluted Water. University of Liverpool press. Liverpool, Merseyside, England, 202pp.

Jackson, B.K., S.M.P. Sullivan and R.L. Malison(2012) Wildfire severity mediates fluxes of plant material and terrestrial invertebrates to mountain streams. Forest Ecology and Management 278: 27-34.

Lee, S.I., J.I. Seo, J.H. Kim, D.S. Ryu, J.P. Seo, D.Y. Kim and C.W. Lee(2017) International research trend on mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes. Journal of Korean Forest Society 106(4): 431-440. (in Korean with English abstract)

Marcus, W.A., R.A. Marston, C.R. Colcard and R.D. Gray(2002) Mapping the spatial and temporal distributions of woody debris in stream of the Greater Yellowstone Ecosystem, USA. Geomorphology 44: 323-335.

Montgomery, D.R., B.D. Collins, J.M. Buffington and T.B. Abble(2003) Geomorphic effect of wood in rivers. In: S.V. Gregory, K.L. Boyer and A.M. Gurnell (eds.), The Ecology and Management of Wood in World Rivers (American Fisheries Society Symposium 37), American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 21-47.

Montgomery, D.R., E.M. Beamer, G.R. Pess and T.P. Quinn(1999) Channel type and salmonid spawning distribution and abundance. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 56: 377-387.

Mossop, B. and J. Bradford(2004) Importance of large woody debris for juvenile Chinook salmon habitat in small boreal forest streams in the upper Yukon River basin, Canada. Canadian Journal of Forest Research 34: 1955-1966.

Nagayama, S., Y. Kawaguchi, D. Nakano and F. Nakamura(2008) Methods for and fish responses to channel remeandering and large wood structure placement in the Shibetsu River Restoration Project in northern Japan. Landscape and Ecological Engineering 4: 69-74.

Nakamura, F. and F.J. Swanson(1993) Effect of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in western Oregon. Earth Surface Processes and Landforms 18: 48-61.

Nakano, D. and F. Nakamura(2008) The significance of meandering channel morphology on the diversity and abundance of macroinvertebrates in a lowland river in Japan. Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems 18(5): 780-798.

Seo, J.I. and F. Nakamura(2009) Scale-dependent controls upon the fluvial export of large wood from river catchment. Earth Surface Processes and Landforms 15: 149-156.

Shikakura, Y., Y. Fukahata and M. Matsu'ura(2012) Spatial relationship between topography and rock uplift patterns in asymmetric mountain ranges based on a stream erosion model. Geomorphology 138(1): 162-170.

Van Eck, N.J. and L. Waltman(2010) Software survey; VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics 84: 523-538.

Van Eck, N.J. and L. Waltman(2014) Visualizing bibliometric network. In: Y. Ding, R. Rousseau and D. Wilfram (eds.), Measuring Scholarly Impact: Methods and Practice, Springer, New York, NY, pp. 285-320.

Waltman, L., N.J. Van Eck and E.C. Noyons(2010) A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. Journal of Informetrics 4(4): 629-635.

Yumoto, M., T. Ogata, N. Marsuoka and E. Matsumoto(2006) Riverbank freeze-thaw erosion along a small mountain stream, Nikko Volcanic Area, Central Japan. Permafrost and Periglacial Process 17: 325-339.