

VOSviewer 프로그램을 이용한 산림유역 관련 연구동향 분석

Analyzing Research Trends in Forest Watersheds Using the Vosviewer Program

이지은¹, 유리화¹, 조민재^{2*}

Ji-Eun Lee¹, Rhee-Hwa Yoo¹, Min-Jae Cho^{2*}

〈Abstract〉

In this study, we collected and analyzed domestic and international studies related to watersheds in the forest sector. Keyword co-occurrence analysis was conducted using the VOSviewer program to identify the research areas of domestic and international studies and the network structure to compare research trends. As a result, the number of research articles in international watershed-related studies showed an overall increasing trend, and the research areas were diverse and located close to each other, indicating that many convergence studies were conducted. On the other hand, the number of papers in domestic watershed-related studies seems to have stagnated overall from the past to the present, and the research areas are mainly focused on forest disasters and hydrology, with limited interdisciplinary convergence studies. In addition, in both domestic and international studies, watersheds are currently mentioned as research sites rather than management or analysis units in the forest sector. It is important to actively promote interdisciplinary research in Korea to provide a scientific and balanced basis for watershed-level forest management planning.

Keywords : Forest, Watershed, VOSviewer Program, Keyword Co-Occurrence Analysis, Research Trend

1 국립산림과학원 미래산림전략연구부

1 Future Forest Strategy Department, National Institute of Forest Science

2* 정회원, 교신저자, 국립산림과학원 미래산림전략연구부
E-mail: mjcho1224@korea.kr

2* Corresponding Author, Future Forest Strategy Department,
National Institute of Forest Science

1. 서론

유역(Watershed)이란 강우 시 지표면 유출수가 동일한 수계(하천, 호수 등)로 흐르는 지역으로, 유역 내에서 물질이 순환하고 동식물이 이동하면서 다양한 생태계서비스가 제공된다[1]. 또한, 유역은 건강, 환경 및 사회경제적 우선순위를 다루는 데 있어 이상적인 거버넌스 관리 단위를 제공한다[2,3]. 이에 몇몇 국가에서는 유역을 토지 관리 단위로 채택하였으며, 예로 캐나다 온타리오주에서는 생태계를 고려한 토지이용계획에 있어 주된 경계를 유역으로 설정하였고, 영국, 호주 및 미국을 포함한 여러 국가에서도 유역을 토지 관리 단위로 승인하였다[4].

우리나라에서도 생태계와 밀접한 관련이 있는 경우나 산림 재해 측면에서 산림을 관리하는데 유역 단위를 사용하고 있다. 제6차 산림기본계획(2018년~2037년)[5]에서는 유역 단위 산림 관리 체계를 확립하여 산림 재해에 대한 대응력을 강화하고 실행 수단으로 토사재해 예방을 위한 산림유역 관리 사업을 시행하고 있다. 또한, 공간적 산림 관리에 있어 유역의 중요성이 언급되면서, 국내 유역 관련 연구도 활발히 진행되고 있다. Sohn 등[6]은 주변 지역과 연계하여 산지가 가지는 지형적인 특징을 산지 구분에 반영해야 할 필요성을 언급하며 우리나라 산림유역을 검토하고 유역 수준에서 산림생태계를 평가하였다. 또한, Sohn 등[7]은 산지에 대한 여건이 변화함에 따라 산지 관리 패러다임전환에 맞춰 산지 관리 정책 발전 과제를 도출하고자 하였으며, 맞춤형 산지 관리는 유역의 특성과 유형에 따라 계획을 세워야 한다고 주장하였다. Roh 등[8]은 산림의 통합관리를 위해 표준화된 산림 관리 단위의 필요성을 제기하면서 그 대안으로 산림유역 단위의 공간적 적합성을 검토하였다. 그 밖에도 유역은 유출의 특

성과 유출량의 변화를 분석하는 연구[9,10], 비점 오염원 관리에 관한 연구[11,12], 그리고 토양침식을 평가하는 연구[13,14] 등에서도 활용되고 있다.

이렇듯 유역은 다양한 생태계 서비스 제공 및 산림 재해 측면에서 연구가 많이 진행되었다. 그러나 향후 유역 단위의 산림 관리를 위한 정책을 제안하고 의사를 결정하기 위해 최신 연구 동향을 파악하여 그 현상과 변화를 이해하는 것이 먼저 필요하다. 특히, 유역 단위의 산림 관리에서 1차적으로 직접 영향을 받는 산림경영, 생태, 재해 및 토지 이용 분야의 연구 내용을 검토하여 지속 가능하게 자원과 토지를 관리하는 데 활용할 수 있다. 그러나, 현재 산림 유역 관련 연구 논문의 현황과 과거부터의 동향을 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 그 일환으로 국내 및 국외 산림 분야에서 유역을 적용 및 활용한 선행 연구의 현황을 파악하고, 연구 영역과 네트워크를 분석하여 우리나라 산림 유역 연구동향을 파악하였다.

2. 연구방법

2.1 연구 논문 수집

국내·국외의 연구 논문을 수집하기 위해 Web of Science(WoS) 데이터베이스를 활용하였다. WoS는 세계 최대 규모의 학술 정보 데이터베이스 중 하나로, SCIE급 학술지에 수록된 연구성과물의 서지정보 검색이 가능하다. 국외 학술지의 경우 WoS의 Core Collection을, 국내 학술지의 경우는 WoS의 KCI Korean Journal Database를 이용하여 2022년까지 발표된 논문을 대상으로 데이터베이스를 구축하였다. 시계열적으로 산림과 유역에 관한 연구를 비교·분석하기 위해 논문 개

제 시작 연도는 별도로 설정하지 않았다.

WoS Core collection 라이브러리는 SCI급 논문으로, SCI-EXPANDED (Science Citation Index Expanded), SSCI (Social Sciences Citation Index), A&HCI (Arts & Humanities Citation Index)를 포함하였다. 연구 목표와 관련된 연구를 수집하기 위하여, 산림을 나타내는 키워드인 ‘forest’, ‘forestland’와 유역을 나타내는 키워드인 ‘watershed’, ‘basin’, ‘catchment’를 동시에 조합하여 검색하였다. 또한, 동음이의어의 출현을 감소시키고자 검색어는 모두 영어 단어의 조합을 사용하였다. 검색 방법으로는 논문의 제목, 초록, 저자가 선정한 키워드 및 인용 문헌 제목의 출현 빈도가 높은 키워드를 검색하는 주제어(Topic) 검색을 이용하였고, 자료 유형으로 논문(Article)을 설정하였다(Step 1). 여기서, 인용 문헌의 제목에서 출현 빈도가 높은 키워드를 포함한 이유는 ‘landslide’와 같이 산림과 유역의 주제어에 포함되어 있지 않지만, 산림 및 유역과 밀접한 연관이 있는 키워드를 포함하기 위함이었다. 이렇게 수집된 연구 논문은 국내 32,072편, 국내 522편이었다(Fig. 1).

2.2 관련 연구 논문 추출

수집된 연구 논문 32,594편에서 산림과 유역의 관련성이 높은 연구 논문만을 추출하기 위해 두 가지 과정(Step 2,3)을 수행하였다(Fig. 1). 2단계에는 산림 분야와 관련 없는 연구 분야(의학분야, 심리학, 천문학, 해양학 등)를 제외하였다. 그 결과, 국외 연구 논문은 29,947개, 국내 논문은 431개가 추출되었다. 3단계에서는 연구 논문의 제목, 초록 및 연구 논문 저자가 선정한 키워드에 국외 논문의 경우 250회 이상, 국내 논문의 경우 5회 이상 출현한 키워드를 기반으로 최종 국외 연구 논문 1,435개, 국내 연구 논문 107개가 추출되었다. 다수의 논문에 출현한 영향력 있는 키워드를 선정하기 위해 출현 횟수를 설정하였다.

2.3 연구동향 일반 특성 및 동시출현단어 분석

선정된 연구 논문을 기반으로 국내외 연구 논문의 연도별·국가별·연구 분야별로 각각 분류하여 연구동향을 살펴보았다. 또한, 키워드 동시출현단어

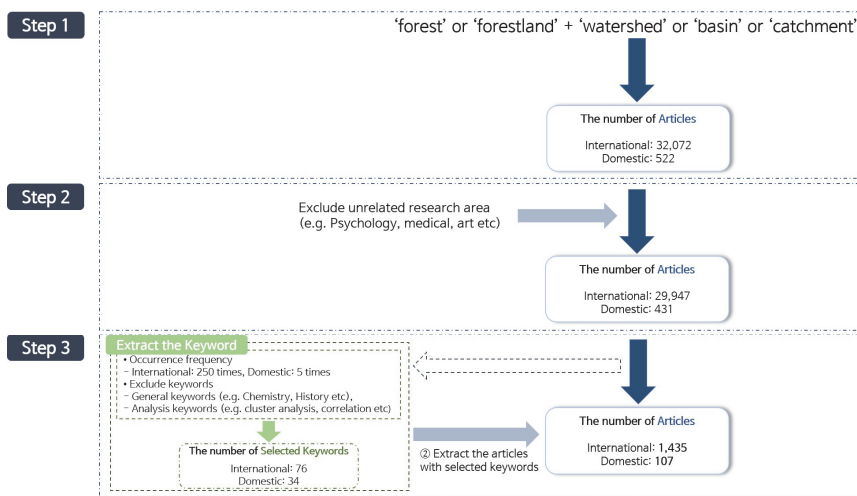


Fig. 1 Steps for collecting preceding researches

분석으로 연구 영역 및 네트워크를 파악하였다.

키워드 동시출현단어 분석 전 수집된 데이터는 전처리 과정을 통해 동일한 의미이지만 다르게 표현된 키워드를 동일한 용어로 변경하였다.

예를 들어 'forests'와 'forest', 'watersheds'와 'watershed'처럼 의미는 같지만 복수/단수만 다를 경우 복수 단어를 모두 단수로 바꾸었으며, 동일한 용어를 약어로 표현한 경우('GIS'와 'Geographic information system'), 그리고 하이픈(-)의 유무('land use'와 'land-use') 모두 같은 용어로 수정하였다. 이후 수집된 연구 논문들의 핵심 키워드를 추출하기 위해 핵심 단어 출현 기준은 안정된 키워드의 군집 결과를 고려하여 국외는 12회, 국내는 3회로 설정하였다. 키워드가 많아지면 분석에 많은 시간이 소요되며, 네트워크의 구조가 복잡해지고 시각화가 어려워지는 등의 문제가 발생하므로, 필수 키워드만 분석 대상으로 설정하였다. 이와 같은 기준으로 최종 키워드를 추출하였으며, 연구 분야 군집 및 네트워크 지도 시각화를 수행하였다. 시각화된 네트워크 지도는 키워드별 다른 크기의 원 모양으로 나타나며, 관련성에 따라 키워드가 모여 개별 색으로 군집을 형성하는 모습을 가진다. 즉, 하나의 키워드를 가지고 있는 원의 색상을 통해 연구 영역이 구분되고, 크기가 클수록 출현 빈도가 높으며, 원간의 거리가 가까울수록 서로 연관성이 높다는 것을 의미한다[15].

키워드 동시출현단어분석으로 연구동향을 파악한 선행연구에는 Lee 등[16]이 산지 하천의 합리적 관리 방안을 제시하고자 산지 하천을 대상으로 텍스트마이닝 및 동시출현단어 분석을 통해 국내외 연구동향을 분석하고 비교하였다. 또한, Lim 등[17]은 표토침식에 대한 근본적인 대책을 마련하기 위해서는 토양 침식의 다양한 연구가 실시되어야 함을 언급하고 동시출현 단어분석으로 향후 토양침식 관련 국내 연구 분야의 과제를 도출하기 위한 기초자료를 제공하였다.

2.4 분석 도구

선정된 국내외 선행 연구 논문의 연도별, 국가별 및 분야별 현황을 파악하기 위해 WoS에서 제공하고 있는 결과분석 기능을 활용하였다. 또한, 3단계로 추출한 키워드로 키워드 동시출현단어분석을 위해 VOSviewer 프로그램을 이용하였다. VOSviewer 프로그램은 네덜란드 Leiden University Centre for Science and Technology Studies (CWTS)에서 개발한 오픈소스 소프트웨어이며, 주로 서지 정보를 기반으로하여 계량서지적 동시출현 데이터를 분석하고, 그 데이터를 군집화하며 시각화하는데 사용하는 분석 도구이다[15]. 수집된 연구 논문에 포함된 키워드를 추출하여 그 키워드들의 연관성을 통해 연구 영역을 구분하고 네트워크를 분석할 수 있으며, 이미 선행연구에서 VoSviewer 프로그램은 연구동향을 파악하는데 많이 이용되고 있다[16-22].

3. 연구결과 및 고찰

3.1 연구 현황 분석

산림 분야의 유역과 관련된 연구 논문의 분야는 크게 산림경영·재해·생태·토지(산지)로 구성되었다. 이를 먼저 게재된 연도별로 분석해 보면, 국외에서는 1992년에 처음으로 관련 연구가 발표되었고 현재까지도 꾸준히 발표되고 있어 산림 분야에서 유역에 대한 관심도가 지속해서 높아지고 있다(Fig. 2). 반면에, 국내에서는 2004년 첫 논문이 게재되었고, 현재까지 연간 논문 수가 전반적으로 일정 수준에 머무르고 있는 것으로 파악된다(Fig. 3).

국내·외적으로 산림 유역에 대한 연구가 지속되는 이유는, 유역에 대한 활용 관점이 점차 달라졌기 때

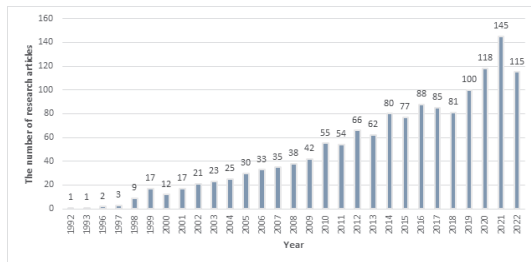


Fig. 2 The number of international research articles by year of publication

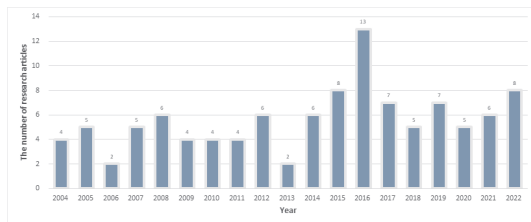


Fig. 3 The number of domestic research articles by year of publication

문으로 보인다. Kim[23]에 따르면, 과거에는 산업화와 인구 증가로 인해 수자원 관점에 집중되어 있었으나, 현재는 지하수, 토양, 야생동식물뿐만 아니라 인간의 간섭 등을 포괄하여 수자원 및 산림생태계를 관리하는 데 유역의 개념이 활용되고 있어 유역 관련 연구 논문 수도 증가하는 것으로 판단된다.

최종 수집된 SCI급 연구 논문을 국가별로 분석해 보면, 1992년부터 2022년까지 우리나라를 포함하여 총 116개 국가에서 산림 유역 관련 연구를 수행한 것으로 나타났다. 총 1,435편의 논문 중 미국이 368편으로 가장 많았으며, 브라질(226편), 중국(171편) 순으로 연구가 활발히 진행되었다(Table 1). 이는 미국(미시시피강 등), 브라질(아마존 등), 중국(양쯔강 및 황하강 등)과 같이 상대적으로 다양한 형태의 유역이 많고, 이 유역이 사회, 경제, 문화적으로 영향을 미치기 때문으로 파악된다. 한편, 우리나라의 경우, SCIE급에 게재된 연구 논문 수는 17편으로 상위 3개국(미국, 브라

Table 1. The number and percentage of research articles by country

Country	The number of articles	Percentage (%)
1 USA	368	25.29
2 BRAZIL	226	15.85
3 PEOPLES R CHINA	171	11.87
4 SPAIN	94	6.54
5 GERMANY	82	5.73
6 AUSTRALIA	70	4.79
7 CANADA	70	4.79
8 FRANCE	64	4.59
9 ITALY	63	4.38
10 MEXICO	58	4.05
...		
30 SOUTH KOREA	17	1.15
...		
Others	946	63.77

질, 중국)과 큰 차이를 보였으며, 전체 국가 중에서 30위로 유역 관련 연구가 상대적으로 미진한 것으로 나타났다. 이에 국내에서도 유역 관련 연구에 대한 관심도가 높아질 필요가 있다.

마지막으로, 국내 및 국외 논문을 상위 10개의 연구 분야별로 구분한 결과는 다음 Fig. 4 및 Fig. 5

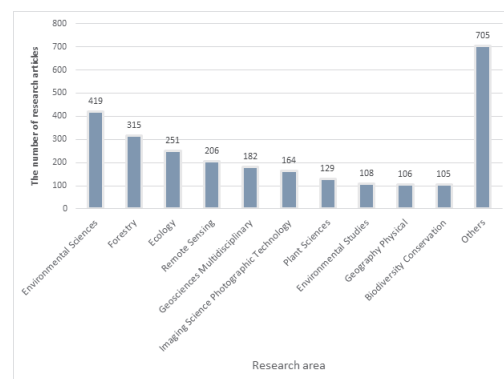


Fig. 4 The number of international research articles by research area

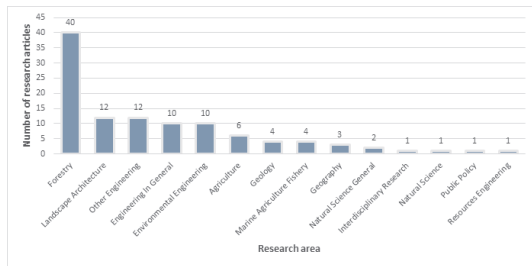


Fig. 5 The number of domestic research articles by research area

와 같다. 국외는 주로 환경과학, 임학, 생태 및 원격탐사 접근에서 산림 유역을 연구하였으나, 국내에서는 주로 임학 분야가 가장 많고, 조경 설계 등 공학적인 접근에서 산림 유역에 관한 연구도 진행되었다.

3.2 키워드 동시출현단어 분석

VOSviewer 프로그램을 이용하여 키워드 동시출현단어를 분석한 결과는 Table 2와 Table 3과 같다. 이때 전처리 과정으로 국외 연구 논문에서는 총 7,049개의 키워드가, 국내 연구 논문에서는 412개의 키워드가 추출되었고, 이후 적정 출현 기준을 정하여 국외 연구 논문에서는 총 118개의 키워드를, 국내 연구 논문에서는 15개의 키워드가

Table 2. Top 10 keywords

Rank	International research	Domestic research
1	• forest	• remote sensing
2	• biodiversity	• management
3	• remote sensing	• land use
4	• management	• soil erosion
5	• conservation	• sediment
6	• land cover	• watershed
7	• climate change	• forest
8	• land use	• swat
9	• vegetation	• landscape
10	• landscape	• conservation

최종 추출되었다. 이를 분석한 결과, 산림 유역에 대한 국내외 연구 논문의 상위 10개 출현 키워드는 다음 Table 2와 같다. 국외 연구 논문의 경우, 산림을 중심으로 생물다양성, 원격탐사, 관리, 생태계 보전, 토지피복 및 토지이용, 기후변화, 식생과 경관에 대한 키워드가 포함되었고, 반면에 국내 연구 논문의 경우, 원격탐사, 관리, 토지 이용, 토양 침식, 침전물, 유역, 산림, SWAT(Soil and water assessment tool) 모형, 경관, 그리고 생태계 보전의 키워드가 포함되었다. 원격탐사, 관리, 토지이용 등 국내외 모두 포함된 키워드도 있지만, 국외에서는 생물다양성 및 생태계 보전 주제가 더 많이 출현한 것으로 보아 산림 유역 기반 생물종을 보호하고 생태계를 보전하는 연구가 많이 수행된 것으로 유추된다. 국내의 경우에는 토지이용, 토양 침식 및 침전물 주제가 국외 키워드에 비해 더 많이 출현하였는데, 이를 통해 국내에서는 토지이용에 따른 재해 혹은 수질 변화에 대한 연구가 주로 수행되었던 것으로 파악된다.

국외 및 국내 키워드의 영역별로 자세하게 살펴보면, 국외 키워드 네트워크는 5개의 연구 영역으로, 국내 연구 논문은 4개 연구 영역으로 구분되었다(Table 3).

출현 빈도를 토대로 각 연구 영역별 주제를 추정해 보면, 국외 연구 논문의 제1 연구 영역은 주로 생태계와 생물다양성에 대한 주제를 다루며, 이와 관련하여 아마존과 열대림에서 연구가 많이 진행되었다. Hansen 등[24]은 열대우림의 산림 파편화로 인한 서식지 및 생물다양성 손실의 문제점을 보고, 열대림 손실 가능성과 파편화 크기와의 관계를 분석하고 파편화가 진행된 지역을 복원하기 위해서는 엄격한 토지 이용 계획과 관리 및 시행의 필요성을 제시하였다. Cavalcante 등[25]은 아마존 동부 Itacaiúnas 강 유역을 대상으로 다기준접근법(Multicriteria approach)으로 생물다양성을 보전하고 복원하는데 우선순위를 분석하였다.

제2 연구 영역은 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 활용하여 특정 구역/지역의 토양 침식에 대한 연구 영역이었다. Kucuker와 Giraldo[26]는 지속 가능한 산림 관리를 위해 튀르키예 에르주룸(Erzurum) 지역 내 코루(Coruh) 강 유역을 대상으로 분석적 계층화 기법(Analytic hierarchy process)과 GIS를 통해 잠재적 토양침식 위험을 평가했으며, Pham 등[27]은 범용토양손실공식(Universal Soil Loss Equation)과 GIS를 사용하여 베트남 투아티엔후에 지역 내 유역의 토양 침식을 정량화하는 연구를 수행하였다.

제3 연구 영역은 기후변화에 대응한 산림 및 유역 관리 연구 내용으로 여기에는 산림 재해(산불, 생태교란, 토양 등) 및 복원에 대한 연구가 포함된다. 연구 사례로는, Talyor 등[28]이 미국 남부 캐스케이드의 벌채를 하지 않은 혼합 침엽수림 근방 유역을 대상으로 19세기 산불의 피해 공간 패턴과 21세기 산불의 피해 공간 패턴을 비교하고 경관 규모에서 공간적 패턴을 제어하는 데 영향을 미치는 요인을 분석하였으며, 이를 통해 산불이 발생하기 쉬운 경관에서 산림 회복력을 증진하는데 기여하였다. 또한, Vergarechea 등[29]은

Table 3. Cluster analysis

Cluster	Top 10 keywords in each cluster		
	International research		Domestic research
1	• Ecosystem/Biodiversity		SWAT model
	• biodiversity • conservation • patterns • deforestation • tropical forest	• fragmentation • amazon • atlantic forest • species richness • rain-forest	• land use • soil erosion • sediment • swat • soil loss
2	Soil erosion		Conservation/Management
	• gis • basin • model • area • soil erosion	• river • random forest • catchment • region • watershed	• management • conservation • endangered species • landscape
3	Forest disaster/Restoration		Hydrological modelling
	• management • climate change • vegetation • wildfire • dynamics	• restoration • growth • carbon • soil • regeneration	• watershed • forest • hec-hms • runoff
4	Remote sensing/Forest inventory		Remote sensing/Landslide
	• forest • remote sensing • classification • biomass • tree	• accuracy • imagery • crown delineation • forest inventory • height	• remote sensing • landslide
5	Land use/Ecosystem service		-
	• land cover • land use • landscape • impact • ecosystem services	• degradation • water • indicators • wetlands • framework	

다양한 기후변화 시나리오와 입목 조건에서 지중해 유역의 피니아 소나무(*Pinus pinea*)와 피나스터 소나무(*Pinus pinaster*)의 천연 갱신(Natural regeneration)을 평가하고, 그 원인을 분석하여 향후 환경 및 입목 조건 사이에 존재하는 복잡한 상호 작용을 반영하여 다양한 수준의 갱신을 적절히 관리하도록 기여하였다.

제4 연구 영역에서는 원격탐사를 활용하여 유역 단위 대상지에서 임목축적을 측정하거나 개별 나무의 정보를 분석한 영역으로, Maesano 등[30]은 이탈리아 남부 유역을 대상으로 지상 바이오매스를 정량화했으며, 머신러닝 알고리즘인 랜덤 포레스트(Random Forest) 모델과 단계적 선형 회귀 모델을 비교하여 추정치의 정확도가 높은 모델을 도출하였다. Huang 등[31]은 경제적으로 데이터를 수집하여 산림 인벤토리를 구축하고 의료 영상 분할에 사용되는 바이어스 필드법(Bias field)과 마커 제어유역분할 알고리즘(Marker-controlled watershed segmentation algorithm)을 이용하여 개별 입목의 수관을 감지하고 식별하였으며, 이와 같은 방법이 개별 입목의 수관을 식별하는 게 가능하고 효과적인 것을 증명하였다.

제5 연구 영역에서는 토지 이용의 유형과 생태계서비스 및 토지이용의 변화와 그에 따른 생태계서비스 변화 연구가 주를 이룬 것으로 보인다. Bhandari 등[32]은 네팔의 추레 지역의 유역을 대상으로 토지 이용 유형에 따라 생태계서비스를 식별하고 순위를 매겨 하류 지역에 거주하는 지역 주민을 대상으로 생태계 서비스에 대한 지불 의향을 조사하였다. Abulizi 등[33]은 토지 이용과 피복의 변화는 생태계서비스와 그 기능에 영향을 미치는 것으로 보고 중국의 Charchan Oasis의 지역을 대상으로 토지 이용과 생태계서비스 변화를 정량화하였다.

한편, 국내 연구 논문의 제1 연구 영역은 SWAT

(Soil and water assessment tool)모형을 이용해 토지 이용에 따른 유역의 토양 및 수문 등을 분석한 연구 영역이었다. Moon과 Kim[34]은 남한강 하류부에 있는 흑천 유역을 대상으로 토지이용 변화에 따른 유역내의 유량 및 유사량을 SWAT 모형을 이용하여 산정하였으며, Jeong과 Kim[35]은 SWAT 모형을 이용하여 용담호 유역 내 토양유실량과 유사량을 산정하고, 유역 내 토지피복 변화 시나리오에 따라 강우 시 유입되는 유사량의 저감 효과를 평가하였다.

제2 연구 영역은 생태계 보전 및 멸종위기종과 생태계 관리에 관한 연구였다. Lee 등[36]은 멸종위기야생동물이 서식하는 습지가 건조화가 진행되지 않도록 지속해서 관리하는 것이 필요하며, 화염늪의 산지화 진행 실태와 생태계의 지속적인 보전을 위한 예방 관리 방안을 제시하였다. Song[37]은 종분포모형을 이용하여 멸종위기종인 청개구리의 번식지 서식지를 분석하였으며, 생활사에 따라 서식지가 변화하는 양서류의 서식지 연구는 국지적인 대상지보다 광역적인 관찰이 필요하며, 이는 유역 단위의 개념을 적용할 수 있음을 시사하였다.

제3 연구 영역은 산림 및 유역 내 수문학적 모델링 연구를 통한 강수량 연구가 키워드로 나타났다. Kim 등[38]은 미래의 극심한 홍수를 예측하고 대비하기 위해 기후변화에 따른 강수량의 변화와 토지이용을 고려하였으며, 한국의 황구지강 유역을 대상으로 토지이용 및 영향 변환(Conversion of land use and its effects) 모델과 수문학적 모델링 시스템(Hydrologic engineering center-hydrologic modeling system, hec-hms)을 이용하여 미래 설계홍수를 시뮬레이션하였다. Kim 등[39]은 남강댐 유역 내 3개 관측소에 대해 수문학적 모델링 시스템(hec-hms)을 적용하여 홍수 유출을 시뮬레이션하고 2004년부터 2008년까지 홍수 유출량을 추정 및 비교하였다.

제4 연구 영역은 원격탐사를 이용한 산사태 관련 연구였다. Kim 등[40]은 금호강 유역을 대상으로 GIS와 원격탐사기법을 활용하여 산사태 취약성을 예측하고 지도화하였으며, 주로 높은 경사도와 낮은 식생지수를 가지는 산림지역이 취약성이 매우 높다는 결과를 도출했다. Park 등[41]은 산지 하천 유역의 산사태 위험지역을 분석하고 예방하고자 수자원 지리정보시스템의 세부 모듈을 개발하였으며 위험지 판정기준의 가중치를 재조정하여 위험지역을 더 효과적으로 분류하였다.

국외의 경우 기후변화 대응 산림재해, 생물다양성, 토지 이용 유형 및 생태계서비스 등 유역에 관한 선행연구가 다양하게 진행되었다. 반면, 국내에서는 유역을 대상으로 산림 재해에 관한 연구가 주로 이루어졌다. 토지 보전 및 이용의 효율성 증대, 생태계 연결성 확보 및 기후변화로 인한 재해 증가에 대응하는 통합적 산림 관리를 위해 국내에서도 다양한 영역의 유역 연구가 필요한 것으로 사료된다.

또한, 국외 네트워크 지도에서는 영역별로 가까이 위치하고 서로 중첩되는 것을 통해 연구 주제가 독립적이지 않고 하나의 논문에서 다양한 연

구 주제가 출현하며 서로 연결되어 있었다. 반면, 국내 네트워크 지도에서는 영역별로 그리고 같은 영역 내에서도 키워드가 서로 떨어져 있어 주요 연구가 개별 주제로 진행되어 있었다(Fig. 6-7). 추후 산림 관리를 위해서는 국내에서도 국외 연구 논문처럼 여러 관점에서 바라보는 융복합 연구가 요구된다.

한편, 본 연구에서는 산림을 관리하는데 하나의 단위가 될 수 있는 유역의 중요성을 고려하여 유역을 분석 단위로 활용한 연구 사례를 추가로 살펴보았다. 주로 생태계서비스를 평가하거나 토지 이용 및 피복에 대한 분석에서 유역 단위를 이용한 것으로 파악되었다.

Alvarez-Vargas 등[42]이 콜롬비아 중앙 안데스 유역을 대상으로 유역 단위에서 토지이용의 변화에 따른 물 관련 생태계 서비스의 변동을 분석하였으며, Duan 등[43]은 생태 및 수자원 보호를 효과적으로 강화하기 위해 다양한 토지 이용 유형의 수요와 공간 패턴을 최적화하는 방법을 논의하여, 수문학적 모델과 토지이용모델을 통합한 유역 단위의 토지이용계획 프레임워크와 개발 시나리오에 따른 다목적 토지 이용 수요 최적화 모델을 구

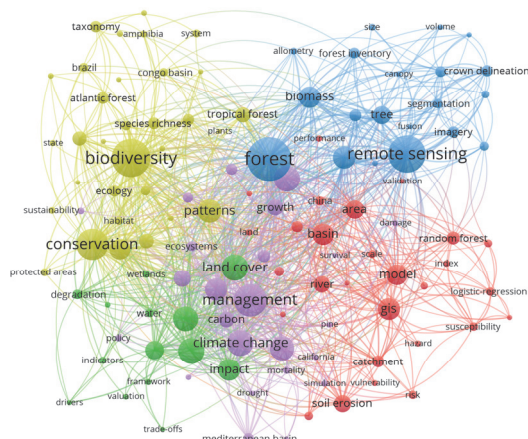


Fig. 6 Keyword network map by VOSviewer of international research articles

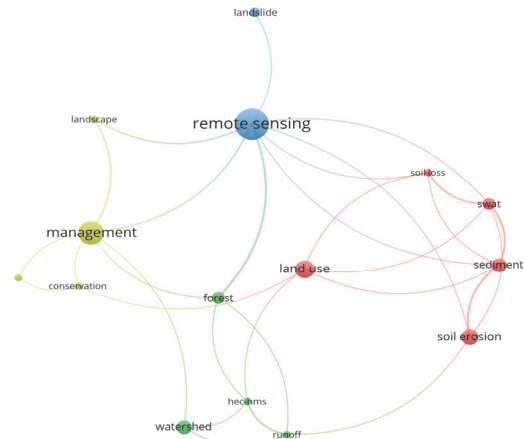


Fig. 7 Keyword network map by VOSviewer of domestic research articles

축하였다. Pandi 등[44]은 과거 및 미래의 토지이용 및 피복 변화를 유역 단위에서 예측하고 평가하였고, 유사하게 Abino 등[45]이 필리핀 마리카나 소유역을 대상으로 원격탐사와 지리정보시스템을 이용하여 시간에 따른 토지 이용 및 피복의 변화 추세를 파악하고 소유역 수준의 지도를 개발하였다. Kwon 등[46]과 Kim 등[47]은 유역 단위에서 산림의 기능을 평가하고 적합한 평가 단위를 제안하였다.

한편, 산림유역을 적용 및 활용한 선행 연구는 관리 단위보다 대체적으로 산림유역이 연구 대상으로 언급되는 경우가 다수였다. 유역이 추후 산림 관리 단위로 활용되기 위해서는 단위 관리에 직접적으로 영향을 받는 산림경영, 생태, 재해 및 토지 분야에서 유역 단위의 다각도 연구가 적극적으로 수행될 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 Web of Science(WoS)와 VOSviewer 프로그램을 사용하여 선행연구를 수집하고 키워드 동시출현단어 현황을 분석하여 선행연구의 동향을 파악하고 향후 관련 연구 방향성을 제시하기 위한 기초자료를 제공하는데 기여하고자 했다.

분석 결과, 첫째, 산림유역의 키워드를 가진 다양한 연구가 시도 되었으며, 지속해서 연구 논문 수가 증가한 국외와는 달리 국내에서는 연도별로 논문 수의 변동이 비교적 크며, 전반적으로 증가는 하였으나, 그 증가 폭은 크지 않았다. 둘째, 국외 연구 논문과 국내 연구 논문의 키워드 동시출현단어 분석 결과, 국외의 경우가 키워드의 수와 연구 영역 수가 더 많았으며, 연구 영역이 더 다양하게 나타났다. 세 번째로, 국외 연구 논문과 국내 연구 논문의 키워드 네트워크의 양상이 다르

게 나타났다. 국외 연구 논문의 키워드 네트워크에서는 키워드 및 연구 영역들의 사이의 거리가 가깝고 서로 중첩되는 현상이 있었으나, 국내 연구 논문의 키워드 네트워크에서는 키워드가 비교적 멀리 떨어져 있고, 서로 중첩되지 않아 상호작용이 낮은 것으로 보였다. 마지막으로, 유역은 관리 혹은 분석 단위로 활용된 것보다 연구 대상으로 활용된 경우가 많았다.

이를 종합하면, 국내 산림 분야의 유역 대상 연구는 다양성이 부족하고 산림 재해나 수문학에 국한되어 있으며, 연구 영역 간 연결성이 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 국토의 효율적인 이용과 보전 및 지속적인 생태계서비스 공급을 위해 유역 단위의 산림 관리계획을 수립할 때는 과학적이고 균형 있는 근거가 뒷받침 되어야 한다. 이는 한 분야에서의 연구만이 아닌 융합연구를 요구하며 폭넓고 다각도의 연구가 시도되어야 할 것이다. 특히, 임소반 및 필지 단위에서의 현행 산림 관리 체계에서 유역 단위로 전환했을 때의 효용성에 대한 연구도 추후 검토되어야 국가 예산의 투입 및 정책 우선순위 결정에 필요한 과학적 근거를 제공할 수 있을 것이다.

본 연구는 산림 분야에서 유역의 역할이 중요해지고 있는 시점에 유역의 국내외 선행연구의 연구 주제와 분야를 비교 및 분석하여 현주소를 제시했다는 데 의미가 있다. 다만, 연구 논문이 지닌 키워드를 중심으로 데이터를 수집하였기에, 키워드에 따라 포함되지 못한 중요 논문이 존재할 수 있다는 한계가 있다. 또한, 수집된 논문의 제목, 초록, 저자 키워드로부터 추출한 키워드만을 분석하였는데, 후속 연구에서는 연구 논문의 본문을 모두 확인하여 산림 분야에서 유역의 활용 현황을 더 면밀히 살펴보고 정리할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Gang, W. M. Recommendations for sustainable watershed management: based on the concepts of ecosystem services and servicesheds. *Water for future (Korea Water Resources Association)*, 53:6 p.30-40, (2020).
- [2] Parkes, M.W., Morrison, K., Bunch, M., Venema, H. *Ecohealth and Watersheds: Ecosystem Approaches to Re-integrate Water Resources Management with Health and Well-being*. Network for Ecosystem Sustainability and Health and the International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, MB, (2008).
- [3] Parkes, M.W. and Horwitz, P. *Water, ecology and health: exploring ecosystems as a settings for promoting health and sustainability*. *Health Promotion International* 24, p.94-102, (2009).
- [4] Conservation Ontario. *Watershed management in Ontario: Lessons learned and best practices*. Newmarket: Conservation Ontario, (2003).
- [5] Korea Forest Service. *The Sixth National Forest Plan (2018~2037)*. Korea Forest Service, Daejeon. 151p, (2018).
- [6] Sohn, H.G., Jung, H.N., Choi, S., Lee, D.K., Seo, C.W. *Policy Directions for Rational Classification and Management of Forestland by Considering the Mountain Ridge and Valley Networks*. Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS), Sejong. 139p, (2010).
- [7] Sohn, H.G., Jin, J.S., Kwon, Y.S., Kim, J.Y., Seong, S.Y., Seong, Y.B., Eum, J.H. *A Study of the Forestland Management Policy on the Perspective of New Paradigm*. Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS), Sejong. 162p, (2012).
- [8] Roh, Y.H., Min, S.H., Hong, S.H., Song, J.E., Sohn, H.K., Kim, J.M. *Development and Utilization of Watershed-based Standard Forest Management Units for Integrated Forest Resource Management and Construction of Digital Forest Information*. *Journal of the Korean Cartographic Association* 23:2, p.91-102, (2023).
- [9] Park, S.H., Kim, H.J., Jang, C.H. *Analysis of Streamflow Characteristics of Boryeong-dam Watershed using Global Optimization Technique by Infiltration Methods of CAT*. *Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society* 20:2, p.412-424, (2019).
- [10] Kim, S.A., Kim, S.H., Lee, H.J., Kwak, J.H., Kim, J.H., Kang, M.S. *Future changes in runoff characteristics of an estuarine reservoir watershed using CMIP6 multi-GCMs*. *2023 Proceedings of Korea Water Resources Association*: p.419-419, (2023).
- [11] Choi, Y.J., Lee, S.R., Kum, D.H., Han, J.H., Park, W.J., Kim, J.G., Lim, K.J. *Analysis of the Efficiency of Non-point Source Pollution Managements Considering the Land Use Characteristics of Watersheds*. *Journal of Korean Society on Water Environment* 36:5, p.405-422, (2020).
- [12] Kim, J.M. and Kim, J.H. *Establishment and Dissemination of Multilevel Governance for Management of Nonpoint Sources Pollution in Rural Area*. *Journal of The Korean Rural Sociological Society* 31:2, p.213-255, (2021).
- [13] Kim, S.W., Lee, D.E., Jung, S.H., Lee, G.H. *Assessment of Soil Erosion and Sedimentation in Chuncheon Basin Considering Hourly Rainfall*. *Journal of the Korean GEO-environmental Society* 21:4, p.5-17, (2020).
- [14] Lim, Y.S., Byun, J.M., Kim, J.K. *Evaluation of Soil Erosion in Small Mountainous Watersheds Using SWAT Model: A Case Study of the Woldong Catchment, Anseong*. *JOURNAL OF THE KOREAN GEOMORPHOLOGICAL ASSOCIATION* 28:1, p.13-33, (2021).
- [15] Van Eck, N. and Waltman, L. *Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping*. *scientometrics* 84:2, p.523-538, (2010).
- [16] Lee, B.J., Kim, B.J., Lee, J.M., Eo, S.H. *The Trends of Artiodactyla Researches in Korea, China and Japan using Text-mining and Co-occurrence Analysis of Words*. *Korean Journal*

- of Environment and Ecology 33:1, p.9-15, (2019).
- [17] Lim, Y.H., Kim, S.W., Nam, S., Chun, K.W., Kim, M. A comparison of current trends in soil erosion research using keyword co-occurrence analysis. *Korean Journal of Environment and Ecology* 34:5, p.413-424, (2020).
- [18] Lee, S.I., Seo, J.I., Kim, J.H., Ryu, D.S., Seo, J.P., Kim, D.Y., Lee, C.W., International research trend on mountainous sediment-related disasters induced by earthquakes. *Journal of Korean Society of Forest Science* 106:4, p.431-440, (2017).
- [19] Huang, T., Wu, H., Yang, S., Su, B., Tang, K., Quan, Z., Zhong, W., Luo, X. Global trends of researches on sacral fracture surgery: a bibliometric study based on VOSviewer. *Spine* 45:12, E721- E728, (2020).
- [20] Zhang, R., Lin, J., Chen, F., Chen, M. Worldwide trends of research on periprosthetic osteolysis: a bibliometric study based on VOSviewer. *Indian Journal of Orthopaedics* 55, p.1326-1334, (2021).
- [21] Mostafa Hatami, A., Sabour, M.R., Haj Babaei, M.R., Nematollahi, H. Global trends of VOSviewer research, emphasizing Environment and Energy areas: A bibliometric analysis during 2000-2020. *Environmental Energy and Economic Research* 6:1, p.1-11, (2022).
- [22] Hirawan, D., Oktafiani, D., Fauzan, T.A., Luckyardi, S., Jamil, N. Research trends in farming system soil chemical: A bibliometric analysis using VOSviewer. *Moroccan Journal of Chemistry* 10:3, p.576-590, (2022).
- [23] Kim, K.M. *Governance for the Watershed Management with Focus to Water Resources*. JOURNAL- KOREAN SOCIETY OF ENVIRONMENTAL ENGINEERS 29:11, p.1191-1203, (2007).
- [24] Hansen, M.C., Wang, L., Song, X.P., Tyukavina, A., Turubanova, S., Potapov, P.V., Stehman, S.V. The fate of tropical forest fragments. *Science Advances* 6:11, p.eaax8574, (2020).
- [25] Cavalcante, R.B.L., Nunes, S., Viademonte, S., Rodrigues, C.M.F., Gomes, W.C., da Silva Ferreira Jr, J., Pontes, P.R.M., Giannini, T.C., Awade, M., Miranda, L.D.S., Nascimento Jr, W.R. Multicriteria approach to prioritize forest restoration areas for biodiversity conservation in the eastern Amazon. *Journal of Environmental Management*, 318, p.115590, (2022).
- [26] Kucuker, D.M. and Giraldo, D.C. Assessment of soil erosion risk using an integrated approach of GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) in Erzurum, Turkiye. *Ecological Informatics*, 71, p.101788, (2022).
- [27] Pham, T.G., Degener, J. and Kappas, M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research* 6:2, p.99-110, (2018).
- [28] Taylor, A. H., Airey-Lauvaux, C., Estes, B., Harris, L., Skinner, C. N. Spatial patterns of nineteenth century fire severity persist after fire exclusion and a twenty-first century wildfire in a mixed conifer forest landscape, Southern Cascades, USA. *Landscape Ecology* 35:12, p.2777-2790, (2020).
- [29] Vergarechea, M., Calama, R., Fortin, M., del Río, M. Climate-mediated regeneration occurrence in Mediterranean pine forests: a modeling approach. *Forest Ecology and Management*, 446, p.10-19, (2019).
- [30] Maesano, M., Santopuoli, G., Federico, V., Moresi, Federico V., Matteucci, G., Lasserre, B., Mugnozza, G. Above ground biomass estimation from UAV high resolution RGB images and LiDAR data in a pine forest in Southern Italy. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 15, p.451-457, (2022).
- [31] Huang, H., Li, X., Chen, C., Individual tree crown detection and delineation from very-high-resolution UAV images based on bias field and marker-controlled watershed segmentation algorithms. *IEEE Journal of Selected Topics in*

- Applied Earth Observations and Remote Sensing 11:7, p.2253-2262, (2018).
- [32] Bhandari, P., Mohan, K.C., Shrestha, S., Aryal, A., Shrestha, U.B. Assessments of ecosystem service indicators and stakeholder's willingness to pay for selected ecosystem services in the Chure region of Nepal. *Applied Geography* 69, p.25-34, (2016).
- [33] Abulizi, A., Yang, Y., Mamat, Z., Luo, J., Abdulslam, D., Xu, Z., Zayiti, A., Ahat, A., Halik, W. Land-use change and its effects in Charchan Oasis, Xinjiang, China. *Land Degradation & Development*, 28:1, p.106-115, (2017).
- [34] Moon, H.I. and Kim, K.S. A study on the changes of flow and sediment in changing land use by SWAT model. *Journal of Korean Society of Environmental Technology* 12:1, p.37-42, (2011).
- [35] Jeong, J.K. and Kim, H.G. Simulation of the Reduction Effect of Soil Loss Using SWAT Model. *Journal of Environmental Impact Assessment* 17:4, p.243-253, (2008).
- [36] Lee, S.D., Kim S.H., Kim J.S. Analysis actual conditions of arid progress and prevention management of Hwaecom wetland in Yangsansi. *Korean Journal of Environment and Ecology* 26:4, p.498-511. (2012).
- [37] Song, W.K. Habitat analysis of *Hyla suweonensis* in the breeding season using species distribution modeling. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 18:1, p.71-82, (2015).
- [38] Kim, J., Park, J., Song, J.H., Jun, S.M., Kang, M.S. Design flood estimation in the Hwangguji river watershed under climate and land use changes scenario. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58:1, p.39-51, (2016).
- [39] Kim, S.J., Park, T.Y., Jang, M.W., Kim, S.M. Flood runoff estimation for the streamflow stations in Nangang-Dam watershed considering forest runoff characteristics. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52:6, p.85-94. (2010).
- [40] Kim, K.T., Jung, S.G., Park, K.H., Oh, J.H. Evaluation of landslide susceptibility using GIS and RS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 8:1, p.75-87, (2005).
- [41] Park, J.S., Kim, K.T., Choi, Y.S. Landslide risk assessment using HyGIS-landslide. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15:1, p.119-132, (2012).
- [42] Álvarez-Vargas, F.J., Castaño, M.A.V., Restrepo, C. Demand for Ecosystem Services Drive Large- Scale Shifts in Land-Use in Tropical Mountainous Watersheds Prone to Landslides. *Remote Sensing* 14:13, p.3097, (2022).
- [43] Duan, Y., Tang, J., Li, Z., Yang, Y., Dai, C., Qu, Y., Lv, H. Optimal planning and management of land use in river source region: A case study of Songhua River Basin, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19:11, p.6610, (2022).
- [44] Pandi, D., Kothandaraman, S., Kumarasamy, M.V., Kuppusamy, M. Assessment of Land Use and Land Cover Dynamics Using Geospatial Techniques. *Polish Journal of Environmental Studies* 31:3, p.2779-2786, (2022).
- [45] Abino, A., Kim, S., Jang, M., Lee, Y.J., Chung, J. Assessing land use and land cover of the Marikina sub-watershed, Philippines. *Forest Science and Technology*, 11, p.1-11. (2015).
- [46] Kwon, S.D., Jang, K.M., Seol, A., Chung, J.S. Evaluation of forest functions considering the distribution patterns of communal forests at the watershed level. *Journal of Korean Society of Forest Science* 97:1, p.71-76, (2008).
- [47] Kim, H.H., Park, Y.K., Roh, H.J., Jeon, J.H., Hwang, J.Y., Kang, H.D., Park, J.H. . A case study for evaluating forest functions by watershed unit: Gyeongsangnam-do. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14:3, p.163-173, (2011).