

# 동시출현단어 분석을 이용한 토양침식 연구동향 비교 분석<sup>1a</sup>

임영협<sup>2</sup> · 김석우<sup>3\*</sup> · 남수연<sup>4</sup> · 전근우<sup>5</sup> · 김민석<sup>6</sup>

## A Comparison of Current Trends in Soil Erosion Research Using Keyword Co-occurrence Analysis<sup>1a</sup>

Young-Hyup Lim<sup>2</sup>, Suk-Woo Kim<sup>3\*</sup>, Sooyoun Nam<sup>4</sup>, Kun-Woo Chun<sup>5</sup>, Minseok Kim<sup>6</sup>

### 요약

최근의 환경정책과 산업은 사후관리에서 사전예방 중심으로 그 패러다임이 변화하고 있다. 이에 따라 국토의 유한자원으로서의 표토의 기능과 가치에 대한 인식 제고를 바탕으로 보전예방적으로 관리하기 위한 정책이 추진되고 있다. 이러한 배경을 바탕으로 이 연구에서는 국제·국내 전문학술지의 검색 데이터베이스(Web of science)를 기반으로 최근 10년간의 연구논문에 대하여 VOSviewer를 이용한 동시출현단어 분석을 실시하여 국내·외 토양침식 연구동향을 비교·분석하고 향후 연구방향을 제안하고자 하였다. 그 결과, 우리나라의 국토면적 대비 토양침식 관련 논문 게재건수는 세계적으로 비교적 상위에 속하고, 특히 토양침식 제어와 관련된 연구가 외국에 비해 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 우리나라에서는 기후·지형·토지이용 여건에 따른 토양침식의 심각성을 인식하고 비교적 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 토양침식 제어에 관한 연구영역은 외국에 비해 키워드 수가 적게 나타나 연구항목을 보다 다양화·확장할 필요가 있으며, 특히 토양침식의 프로세스와 이와 관련한 토양의 물리·화학적 특성에 대한 연구는 토양침식에 따른 문제의 근본적인 해결을 위하여 활발히 추진할 필요가 있는 분야로 나타났다.

주요어: Web of science, 연구논문, VOSviewer, 연구영역

### ABSTRACT

Environmental policies and industry practices have recently seen a gradual paradigm shift from reactive management to proactive prevention of environmental impacts. Accordingly, preventive conservation policies are carried out to address the increasing value of protecting soils and soil functions as resources are limited. To propose a direction for future soil erosion research, we analyzed domestic and international research trends of

1 접수 2020년 6월 5일, 수정 (1차: 2020년 8월 16일), 게재확정 2020년 9월 3일

Received 5 June 2020; Revised (1st: 16 August 2020); Accepted 3 September 2020

2 강원대학교 산림과학연구소 박사연구원 Inst. of Forest Science, Kangwon National Univ., Chuncheon 24341, Gangwon-do, Korea (yhim@kangwon.ac.kr)

3 강원대학교 산림과학부 조교수 Div. of Forest Science, Kangwon National Univ., Chuncheon 24341, Gangwon-do, Korea (kimsw@kangwon.ac.kr)

4 강원대학교 산림과학연구소 박사연구원 Inst. of Forest Science, Kangwon National Univ., Chuncheon 24341, Gangwon-do, Korea (sysayks@gmail.com)

5 강원대학교 산림과학부 명예교수 Div. of Forest Science, Kangwon National Univ., Chuncheon 24341, Gangwon-do, Korea (kwchun@kangwon.ac.kr)

6 한국지질자원연구원 선임연구원 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 34132, Korea (minseok\_kim@kigam.re.kr)

a 이 연구는 2018년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비 및 환경부 “표토보전관리기술개발사업; 2019002830002”의 지원으로 수행되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: kimsw@kangwon.ac.kr

soil erosion, based on journal papers retrieved from the Web of Science databases over the last decade, using VOSviewer for keyword co-occurrence analysis. The results showed that the number of publications on soil erosion per land area in Korea ranked high worldwide. In particular, studies on the soil erosion control were found to account for a more significant proportion than other countries. The active ongoing studies on soil erosion in Korea indicate that the country has recognized the severity of soil erosion resulting from climate, topography, and land use. However, the number of keywords found in the studies on the soil erosion control in Korea was relatively smaller than those found at the international level, indicating the need to diversify and expand the study subjects. In particular, studies on the soil erosion process and the related physical and chemical soil properties are necessary to find the fundamental solutions to soil erosion problems.

**KEY WORDS: JOURNAL PUBLICATION, WEB OF SCIENCE, VOSVIEWER, RESEARCH AREA**

## 서론

최근의 환경정책과 환경산업은 오염물질의 사후처리에서 탈피하여 환경자원의 보전과 관리에 중점을 둔 사전예방 중심으로 그 패러다임이 변화하고 있다. 토양관리대책은 1996년 토양환경보전법 시행에 따라 토양오염현황 실태조사 및 유류저장 시설 등 오염원 관리정책 등 사후관리 중심으로 실시되었지만, 2009년 제1차 토양보전기본계획(Ministry of Environment, 2009)과 2020년 제2차 토양보전기본계획(Ministry of Environment, 2020)이 수립되면서 사전관리에 중점을 두고 추진되고 있다. 이에 따라 토양 환경의 보전과 관련하여 표토(topsoil)의 기능과 가치에 대한 인식 제고를 바탕으로 수질오염을 유발하는 비점오염원이 아닌 관리해야 하는 국토의 유한자원으로서 표토의 보전을 위한 관련 정책과 연구가 활발히 추진되고 있다(Ministry of Environment, 2003). 환경부는 2012년 7월에 표토의 침식 현황 조사에 관한 고시를 제정·시행하고, 2013년 1월에는 표토 보전 종합 계획을 수립하여 추진하고 있다(Ministry of Environment, 2013).

표토는 국내에서 유기물층과 용탈층을 포함하는 지표면에서 30cm 깊이까지의 토양층으로 정의된다. 또한, 양분·수분의 저장과 공급을 통한 생태계 유지, 수자원 함양 및 탄소저장, 오염물질 정화 등 생태기반, 물질순환 및 환경정화 측면에서 다양한 기능을 발휘한다(Ministry of Environment, 2013; Shin, 2017). 이러한 표토의 기능을 경제적 가치로 환산하면 약 26조원에 달하는 것으로 추정되고 있는데(Ministry of Environment, 2010; Ministry of Environment, 2013), 1cm 두께의 표토 생성에 100년 이상의 긴 시간이 필요하다는 점은 예방적·체계적 표토환경 관리의 중요성을 시사한다(Gyeonggi Research Institute, 2008; Shin, 2017).

우리나라는 기후, 지형 및 토지이용 여건상 자연적·인위적 원인에 의한 표토의 침식에 매우 취약한 상황이며, 세계적으로

도 심각한 수준인 것으로 알려져 있다(USDA-NRCS, 2003). 환경부의 표토 침식량 예비조사 결과(Ministry of Environment, 2012)에 따르면 연평균 유실량이 ha당 50톤을 초과하여 현장 조사가 필요한 지역이 전국토의 20% 수준이다. 권역별로는 강원, 경남, 전남, 수계별로는 한강권역에서 심한 것으로 파악되고 있다. 표토침식은 토양입자의 분리, 이동 및 퇴적의 단계를 거치며 진행되는데(Holz et al., 2015), 각 단계별로 심각한 환경문제를 초래할 수 있다(Gyeonggi Research Institute, 2008; National Geography Information Institute, 2017). 또한 토양침식에 따른 토지의 황폐화는 최근 수십 년간 전 세계적으로 확산이 진행되고 있어 농업 생산 및 육상 생태계에 심각한 위협이 되고 있다(Chen et al., 2002).

표토침식에 대한 근본적인 대책을 마련하기 위해서는 토양 침식의 발생·확대과정의 메커니즘까지 고려한 다양한 연구가 실시되어야 한다. 국내의 토양침식 관련 연구는 주로 침식 예측과 방지에 초점이 맞추어져 왔으며, 보전관리적 측면에서 토양 구조의 교란에 따른 침식 특성 연구는 미흡한 실정이다(Gyeonggi Research Institute, 2008). 국내 유관부처별로 진행되어온 농식품부의 밭기반 정비, 환경부(지자체)의 흙탕물 저감사업, 산림청의 임도 관리 등(Ministry of Environment, 2013)도 주로 집중호우 시 급변적·간헐적 토양침식의 산물인 토사로 야기되는 비점오염이나 토사재해라는 결과에 중점을 두고 진행되어 온 사후대책이라고 볼 수 있다. 최근 전세계적 관심사인 기후변화 및 식량난과 관련한 토양안보의 중요성을 고려한다면 지속 가능한 표토환경의 유지를 위하여 예방적 차원에서의 정책 및 연구 방향 수립이 절실히 요구되는 시점이다.

한편, 동시출현단어 분석은 연구자료나 논문 등에 포함된 제목, 초록, 주요 키워드 등으로부터 주요 단어들을 추출하여 동시 출현하는 단어들의 연관성을 통해 연구영역을 구분한다. 이러한 텍스트마이닝 분석은 추출된 단어들을 알고리즘에 따라 군집화하기 때문에 연구동향을 객관적으로 파악하는 데 유용하

여 최근 다양한 연구분야에서 활용되고 있다(Do *et al.*, 2015; Ko *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2019).

전술한 배경을 바탕으로 본 연구는 국제·국내 전문학술지의 검색 데이터베이스를 통해 동시출현단어 분석을 실시하여 최근의 국내·외 토양침식 관련 연구의 동향과 영역을 비교·분석하고, 국내 토양침식 관련 연구분야의 향후 과제를 도출하여 국가 표토자원 관리의 실효성 제고를 위한 최적관리기술 개발의 기초자료를 확립할 목적으로 실시하였다.

## 연구방법

### 1. 연구자료 수집 및 게재 동향 분석

이 연구에서는 국제·국내 학술지에 게재된 토양침식 관련 연구논문의 수집을 위하여 ISI Web of Science(WoS) database를 활용하였으며, 분석 절차와 내용은 Figure 1과 같다. WoS database에서 국제 전문학술지 검색은 Web of science core collection, 국내 전문학술지 검색은 KCI-Korean Journal Database에서 실시하였다. 토양침식 및 제어와 관련된 주요 단어는 토양침식(soil erosion), 토양유실(soil loss), 토양퇴화(soil degradation), 토양보전사업(soil conservation practice) 및 토양침식제어(soil erosion control) 등이 주로 사용되고 있다(Lal, 2001; Wauters *et al.*, 2010; Fu *et al.*, 2011; Finch *et al.*, 2014). 검색어는 미국 농무성(U.S. Department of Agriculture), 세계식량농업기구(Food and Agriculture Organization) 및 우리나라의 환경부와 사방공학 분야에서 토양 침식과 제어(기술)의 영문명으로 통용되는 단어인 'soil erosion'

과 'control'(Natural Resources Conservation Service, 2008; Chun, 2011; Ministry of Environment, 2014; Pennock, 2019)을 선정하여 검색하였다. 검색방법은 논문의 영문제목, 영문초록, 저자키워드에 등장하는 키워드를 검색하는 주제어(Topic) 검색을 이용하여 TS=("soil erosion"), TS=("soil erosion") and ("control"))의 검색어를 설정하였다. 최근의 연구동향을 파악하기 위해 논문검색기간은 최근 10년간(2010~2019년)으로 기간을 한정하였으며, 문서유형은 논문(article)만을 대상으로 검색한 후 자료를 수집하였다. 검색된 논문자료의 게재동향 분석을 위해 Web of science의 통계 분석 시스템을 활용하였으며, 국제 연구논문(SCIE, 국내 연구진에 의해 게재된 SCIE 논문 포함)과 국내 연구논문(KCI)으로 구분하여 게재된 논문의 연도 및 국가별 게재건수, 학술지 분야에 대한 분석을 실시하였다.

### 2. 연구영역분석

WoS database에서 수집된 논문의 계량서지학적 분석은 국제적으로 널리 사용되고 있는 VOSviewer(version 1.6.13; Van Eck and Waltman, 2010)를 이용하여 실시하였다. 분석을 위한 입력 정보는 WoS database에서 수집된 텍스트 형식의 서지자료를 활용하였으며, 이를 기반으로 동시출현단어 분석을 실시하였다. VOSviewer에서 동시출현단어의 분석은 입력된 자료에 등장하는 키워드가 얼마나 동시에 출현하였는가를 기준으로 군집화(clustering)와 도표화(mapping)를 실시한다. 도표화가 생성된 단어간의 위치는 서로 높은 연관성을 갖는 단어들이 가깝게 위치하고, 연관성이 낮으면 두 단어는 멀리 떨어져 위치하게 된다(Van Eck and Waltman, 2017). 수집된 서지정보에서 주요 키워드를 추출하기 위해 국제 논문의 키워

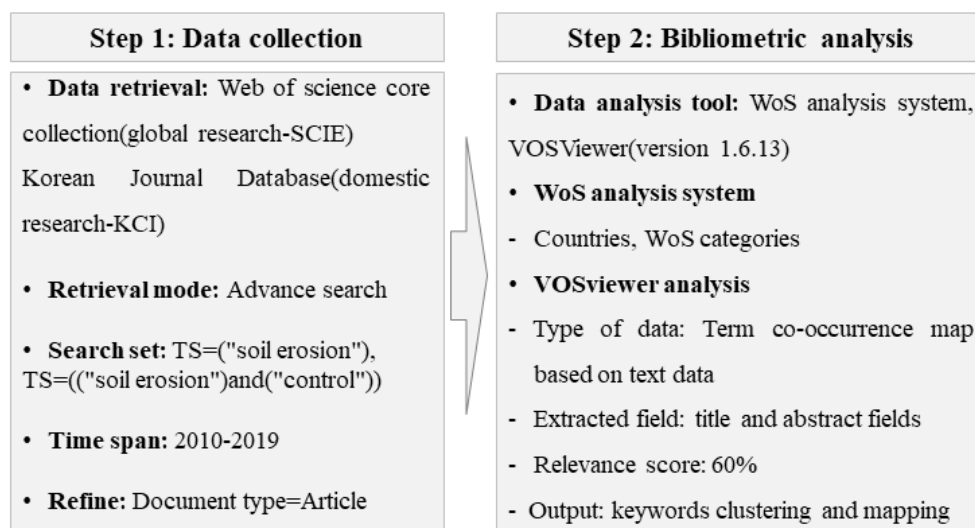


Figure 1. Steps of bibliometric analysis.

드 출현빈도는 검색된 문헌수와 연구영역 군집화 생성을 고려하여 토양침식 관련 논문은 100회 이상, 토양침식 제어 논문은 30회 이상 출현하는 키워드로 설정하였다. 국내 연구논문의 키워드 출현빈도는 토양침식과 제어 관련 논문 모두 5회 이상으로 설정하였다. 출현된 단어 중 연관성 없는 단어의 제외는 연관성 점수(relevance score)에 따라 40% 이상을 권장하며 (Van Eck and Waltman, 2013), 이 논문에서는 보다 효과적인 단어 추출을 위해 선행연구(Lee *et al.*, 2017)를 참고하여 프로그램의 초기값인 60%로 설정하였다(Figure 1). 위와 같은 설정으로 선택된 단어를 기반으로 연구영역 구분과 출현한 키워드의 도표화를 실시하였다.

## 결과

### 1. 연구 동향

#### 1) 연구논문 게재 동향

2010년부터 2019년까지 토양침식 및 토양침식 제어에 관한 국제 연구논문(SCIE)은 각각 8,462편 및 1,488편이 검색되었으며, 이를 연도별로 나타내면 Figure 2의 (A)와 같다.

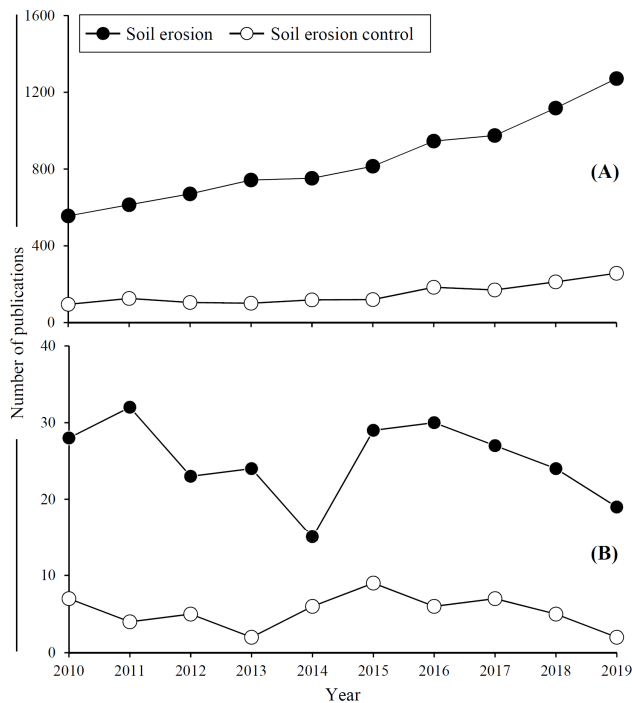


Figure 2. Annual publications on soil erosion and soil erosion control. (A) international research, (B) domestic research.

토양침식 논문의 연도별 게재 편수는 2010년 556편(6.6%), 2013년 743편(8.8%), 2017년 975편(11.5%), 2019년 1,272편(15.0%)으로 매년 게재 편수는 꾸준히 증가하여 2018년에 1,000편 이상의 토양침식 관련 논문이 게재되었다. 토양침식 제어에 관한 논문의 경우, 2010년 95편(6.4%), 2012년 105편(7.1%), 2016년 184편(12.4%), 2019년 257편(17.3%)으로 토양침식에 관한 논문에 비하여 적은 게재 편수를 나타내었으나, 역시 매년 게재 건수가 증가하는 경향을 나타내었다. 국내 연구논문(KCI)의 경우, 토양침식 및 토양침식 제어에 관한 논문은 각각 251편과 53편의 논문이 검색되었으며, 이를 연도별로 나타내면 Figure 2의 (B)와 같다. 토양침식에 관한 논문의 게재 편수는 2010년 28편(11.2%), 2014년 15편(6.0%), 2019년 19편(7.6%)로 연도별로 증가하는 경향은 나타나지 않았고, 연평균 15~32편의 논문이 게재되었다. 토양침식 제어 관련 논문의 경우, 2010년 7편(13.2%), 2013년 2편(3.8%), 2019년 2편(10.4%)의 논문이 게재되어 지난 10년간 연평균 2~9편의 논문이 게재되었다. 전체적으로 토양침식과 토양침식 제어에 관한 국제 연구논문은 연도별로 점차 증가하는 경향을 나타낸 반면에 국내 연구논문의 게재건수는 뚜렷한 경년변화를 보이지 않았다.

최근 10년간 국가별 토양침식 및 토양침식 제어에 관한 논문 게재 편수를 분석한 결과는 Figure 3과 같다. 토양침식 관련 국제 연구논문(SCIE)의 경우, 총 8,462편의 논문 중 중국에서 가장 많은 2,455편(29.0%)을 게재하였고, 이어서 미국 1,774편(21.0%), 독일 646편(7.6%), 스페인 634편(7.5%), 이탈리아 536편(6.3%), 영국 488편(5.8%), 프랑스 452편(5.3%) 등의 순이었으며, 우리나라는 121편(1.4%)으로 나타났다. 국내 연구논문(KCI)의 경우, 251편으로 국제학술지 게재건수(121편)에 비하여 많은 것으로 나타났다. 토양침식 제어에 관한 논문게재 편수 역시 토양침식에 관한 논문게재 편수의 경우와 유사한 경향을 보였다. 이러한 국제 연구논문(SCIE) 게재건수를 동일한 여건에서 비교하기 위하여 국가별 국토면적당(100km<sup>2</sup>) 논문게재 편수를 분석한 결과는 Figure 4와 같으며, 우리나라의 국토면적 대비 토양침식 관련 국제·국내 연구논문 게재 편수는 상대적으로 높은 순위에 위치하는 것을 알 수 있다. 또한, 토양침식 대비 토양침식 제어 관련 논문의 게재 편수 비율로 살펴보면 스페인 22.6%, 중국 22.5%, 한국 22.3%, 남아프리카 19.2%, 이란 18.7% 등의 순이었으며, 국내 연구논문(KCI)도 21.1%로 나타나 다른 국가에 비하여 토양침식 제어 관련 논문게재 비율이 높게 나타났다(Figure 5). 한편, 아시아 국가 중에서는 중국, 일본 및 우리나라에서 토양침식과 제어 관련 논문을 게재하고 있는 것으로 확인되었다.

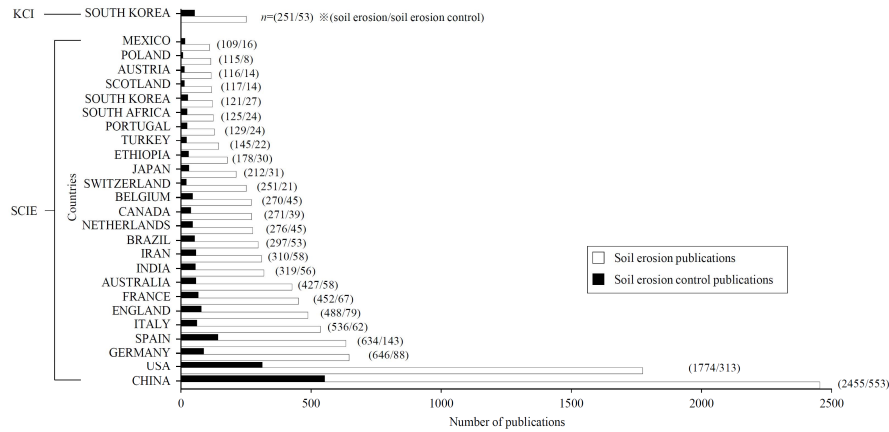


Figure 3. Countries of publications in soil erosion and soil erosion control.

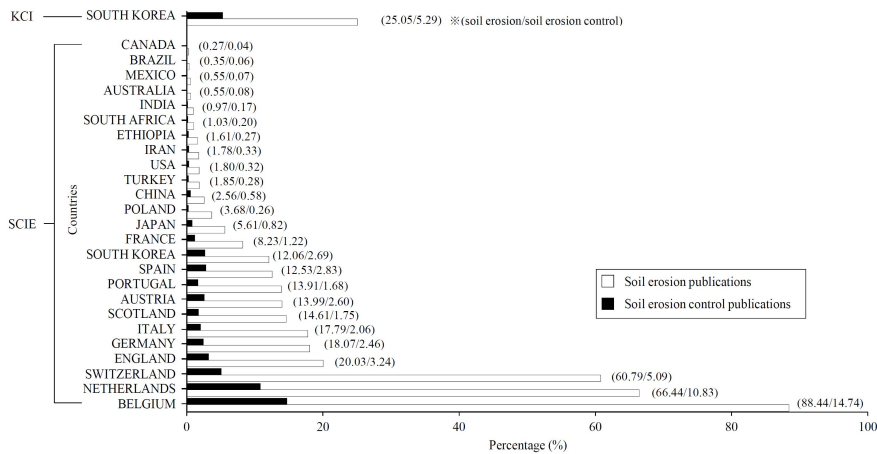


Figure 4. Publication ratio per 100km<sup>2</sup> of land area.

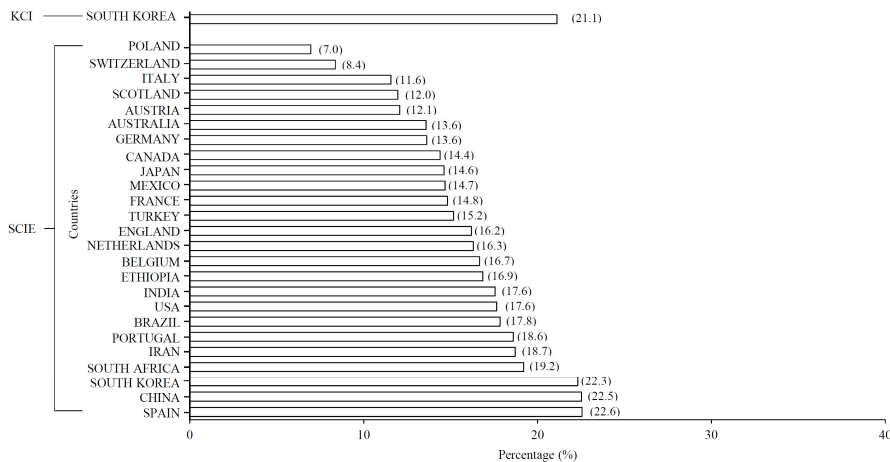


Figure 5. Publication ratio of soil erosion control to soil erosion.

2) 연구논문 게재 학술지의 학문 분야

토양침식 및 제어에 관한 논문이 게재된 국제·국내 전문학술지의 학문 분야를 분석한 결과는 각각 Table 1, Table 2와 같다. 국제 연구논문(SCIE)은 환경과학(Environmental sciences)

분야가 각각 2,956편(34.9%) 및 550편(37.0%)으로 가장 높게 나타났다. 이와 함께 지구과학(Geosciences) 분야에 각각 2,371건(28.0%)과 351건(23.6%), 수자원(Water resources) 분야에 각각 2,058건(24.3%)과 382건(25.7%), 토양과학(Soil science) 분야에 각각 1,950건(23.0%)과 397건(26.7%)이 계

Table 1. Research categories in international research

Rank	Soil erosion categories	Count	%	Soil erosion control categories	Count	%
1	Environmental sciences	2,956	34.9	Environmental sciences	550	37.0
2	Geosciences multidisciplinary	2,371	28.0	Soil science	397	26.7
3	Water resources	2,058	24.3	Water resources	382	25.7
4	Soil science	1,950	23.0	Geosciences multidisciplinary	351	23.6
5	Geography physical	915	10.8	Ecology	145	9.7
6	Ecology	720	8.5	Geography physical	114	7.7
7	Agronomy	399	4.7	Agronomy	90	6.0
8	Engineering civil	395	4.7	Engineering civil	72	4.8
9	Meteorology atmospheric sciences	300	3.5	Agriculture multidisciplinary	62	4.2
10	Agriculture multidisciplinary	293	3.5	Engineering environmental	62	4.2
11	Engineering environmental	271	3.2	Forestry	56	3.8
12	Forestry	224	2.6	Meteorology atmospheric sciences	41	2.8
13	Multidisciplinary sciences	217	2.6	Multidisciplinary sciences	40	2.7
14	Environmental studies	202	2.4	Green sustainable science technology	35	2.4
15	Agricultural engineering	188	2.2	Plant sciences	34	2.3

Table 2. Research categories in domestic research

Rank	Soil erosion categories	Count	%	Soil erosion control categories	Count	%
1	Marine agriculture fishery	56	22.3	Forestry	13	24.5
2	Civil engineering	33	13.1	Marine agriculture fishery	11	20.8
3	Environmental engineering	32	12.7	Environmental engineering	9	17.0
4	Forestry	26	10.4	Other engineering	4	7.5
5	Agriculture	12	4.8	Biology	3	5.7
6	Other Engineering	12	4.8	Civil engineering	3	5.7
7	Other natural science	12	4.8	Geology	2	3.8
8	Geography	11	4.4	Other natural science	2	3.8
9	Biology	7	2.8	Agriculture	1	1.9
10	Natural sciences general	6	2.4	Economics	1	1.9
11	Resources Engineering	6	2.4	History	1	1.9
12	Engineering	4	1.6	Livestock science	1	1.9
13	Agricultural economics	3	1.2	Natural science	1	1.9
14	Area studies	3	1.2	Public policy	1	1.9
15	Engineering in general	3	1.2			

제되었고, 이 외에 지리학(Geography), 생태학(Ecology), 농업(Agriculture), 기상학(Meteorology), 산림학(Forestry) 등 다양한 학문분야의 저널에 폭넓게 게재되고 있는 것으로 나타났다. 국내 연구논문(KCI)은 토양침식의 경우 농업 및 해양 분야에 56편(22.3%), 토양침식 제어는 산림학 분야에 13편(24.5%)이 게재되어 가장 많은 편수를 나타내었으며, 주로 농업 및 해양(Marine agriculture fishery), 토목공학(Civil engineering), 농업(Agriculture), 산림학 분야의 학술지에 게재되고 있는 것으로 나타났다.

2. 연구영역 구분

1) 토양침식 연구

VOSviewer 프로그램을 통한 동시출현단어 분석을 실시하여 토양침식 및 제어와 관련된 국제, 국내 연구논문들의 주요 연구영역을 파악하였다. 먼저 토양침식 관련 연구논문의 영문 제목, 영문초록, 핵심어에서 나타나는 키워드를 모두 추출한 결과, 국제 연구논문(SCIE) 8,462편과 국내 연구논문(KCI) 251편에서 각각 153,636개와 6,473개의 키워드가 추출되었다. 이 중에서 연구영역의 동시출현단어 선정 기준을 적용하여 연구논문에서 각각 477개와 264개 키워드가 추출되었다. 이후 국제 연구논문과 국내 연구논문에서 연관성 점수가 60%에 해당하는 286개와 158개의 키워드를 최종적으로 선택하여 분석하였으며, 그 결과를 클러스터맵으로 도표화하여 나타내면 Figure 6과 같다. 여기서, 원의 크기와 색상은 각각 키워드의 출현빈도와 영역을 나타내며, 원의 크기가 클수록 키워드의 출현빈도가 높고 같은 색상은 동일한 연구영역을 의미한다(Van Eck and Waltman, 2010). 국제 연구논문에서 추출된 총 286개의 키워드는 4개의 연구영역으로 그룹화 되었고(Figure 6(A)), 국내 연구논문에서 추출된 총 158개의 키워드는 5개의 연구영역으로 그룹화 되었다(Figure 6(B)).

Figure 6을 토대로 국제 및 국내 연구논문의 각 연구영역별로 출현빈도가 높은 상위 10개의 키워드를 정리한 결과는 Table 3과 같다. 출현빈도가 높은 주요 키워드는 국제 연구논문의 경우, 피복(cover), 침식모형(model), 유출(runoff), 토사(sediment)등이며, 국내 연구논문의 경우, 산림(forest), 침식량 평가(estimation), 경사(slope), 지리정보시스템(GIS), 강우강도(rainfall intensity)등이 연구영역별로 출현하였다. 출현한 주요 키워드를 토대로 각 연구영역별 주제를 추정하면, 국제 연구논문의 경우 제1연구영역(Figure 6(A)의 빨간색)은 농경지의 토양유실과 보전기술, 제2연구영역(Figure 6(A)의 초록색)은 물리모형기반의 토양침식 예측 및 평가, 제3연구영역(Figure 6(A)의 파란색)은 유역스케일에서 토양침식으로 인한 토사유출, 제4연구영역(Figure 6(A)의 노란색)은 현장실험(인공강우, 플롯 등)을 통한 토양침식 프로세스 규명과 연관된 연

구영역으로 구분되었다. 특히 제2연구영역과 제3연구영역은 서로 중첩되거나 인접하고 있어 상호연관성이 높은 것으로 나타났다. 국내 연구논문의 경우, 제1연구영역(Figure 6(B)의 빨간색)은 산지의 토양침식과 보전, 제2연구영역(Figure 6(B)의 초록색)은 물리모형기반의 농경지 토양침식 추정, 제3연구영역(Figure 6(B)의 노란색)은 비점오염원으로서 농경지의 토양침식 저감, 제4연구영역(Figure 6(B)의 파란색)은 GIS와 (R)USLE 모형 및 토석류 위험도, 제5연구영역(Figure 6(B)의 보라색)은 강우강도 및 강우에너지와 관련된 연구영역으로 구분되었다. 특히 제5연구영역은 다른 4개의 연구영역과 인접하며 연구영역맵 중심에 위치하여 다른 연구영역과 상호연관성을 갖고 있는 것으로 나타났다.

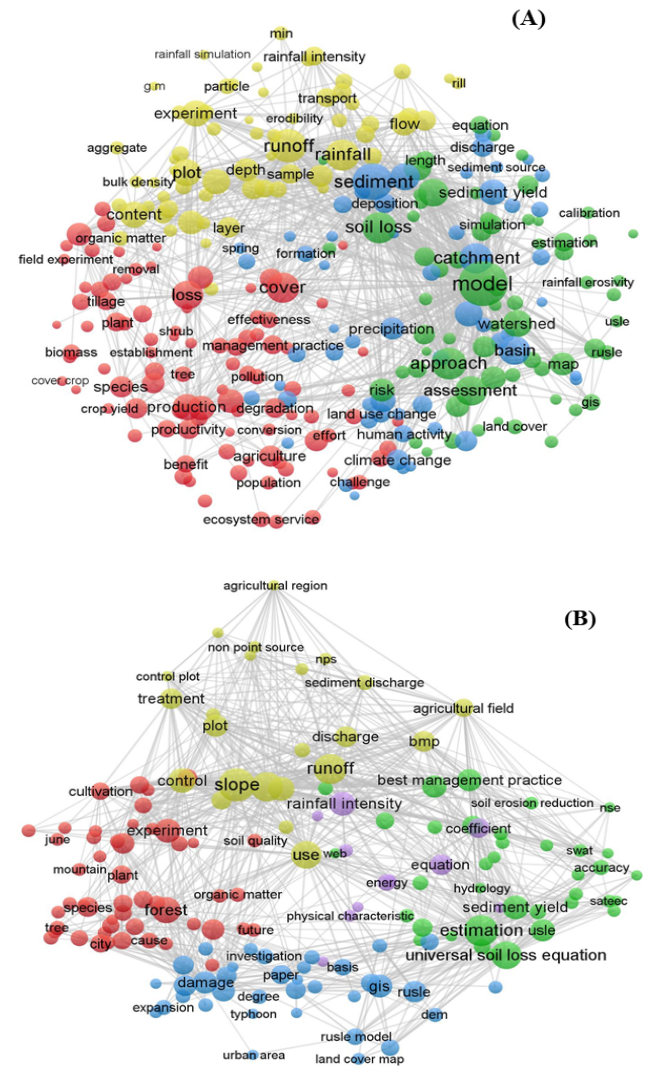


Figure 6. Cluster map of co-occurrence keywords related to soil erosion. (A) international research, (B) domestic research.

Table 3. Top 10 keywords in cluster

Field	Research	Cluster	Top 10 keywords
Soil erosion	International research	Cluster 1	cover, loss, production, practice, ecosystem, control, treatment, agriculture, species, strategy
		Cluster 2	model, approach, soil loss, assessment, parameter, watershed, measurement, study area, risk, map
		Cluster 3	sediment, catchment, basin, event, sediment yield, river, climate, precipitation, climate change, scenario
		Cluster 4	runoff, rainfall, plot, content, experiment, concentration, flow, property, depth, degree
	Domestic research	Cluster 1	forest, experiment, conservation, growth, species, city, plant, yield, agriculture, characteristics
		Cluster 2	estimation, universal soil loss equation, sediment yield, best management practice, usle, simulation, efficiency, ministry, surface runoff, accuracy
		Cluster 3	slope, runoff, reduction, use, control, water quality, plot, discharge, bmp, treatment
		Cluster 4	gis, damage, rusle, construction, landslide, facility, paper, study area, prevention, risk
		Cluster 5	rainfall intensity, equation, coefficient, energy, kinetic energy, previous study, physical characteristic, consideration, hydraulic conductivity, limit
		Cluster 1	treatment, application, content, production, species, property, ecosystem, yield, crop, benefit
Soil erosion control	International research	Cluster 2	model, data, sediment, scale, approach, sediment yield, variation, catchment, paper, pattern
		Cluster 3	loss, runoff, cover, plot, rainfall, experiment, effectiveness, flow, rainfall intensity, simulation
		Cluster 1	runoff, research, field, reduction, stream, time, rainfall intensity, water quality, control plot, pam
	Domestic research	Cluster 2	development, soil loss, model, universal soil loss equation, watershed, problem, country, effective erosion control, sateec
		Cluster 3	amount, forest, site, addition, debris flow, landslide

## 2) 토양침식 제어 연구

토양침식 제어 관련 국제 연구논문(SCIE) 1,488편과 국내 연구논문(KCI) 53편에서 각각 37,097개와 1,711개의 키워드가 추출되었으며, 연구영역의 동시출현단어 선정 기준을 적용하여 연구논문에서 각각 287개와 44개 키워드가 추출되었다. 이후 국제 연구논문과 국내 연구논문에서 연관성 점수 60%에 해당하는 172개와 26개의 키워드를 최종적으로 선정하여 분석을 진행하였으며, 그 결과를 클러스터맵으로 도표화하여 나타내면 Figure 7과 같다. 국제 연구논문에서 추출된 총 172개의 키워드는 3개의 연구영역으로 그룹화 되었고(Figure 7(A)), 국내 연구논문에서 추출된 총 26개의 키워드는 3개의 연구영역으로 그룹화 되었다. 국제 및 국내 연구논문의 각 연구영역별로 출현 빈도가 높은 상위 10개의 키워드(Table 3)과 같다. 출현빈도가 높은 주요 키워드는 국제 연구논문의 경우, 처리(treatment), 침식 모형(model), 유실(loss) 등이며, 국내 연구논문의 경우 유출(runoff), 모형개발(development), amount

(양) 등이 연구영역별로 출현하였다.

출현한 주요 키워드를 토대로 각 연구영역별 주제를 추정하면, 국제 연구논문의 경우 제1연구영역은 토양의 물리·화학적 특성과 침식 저감(Figure 7(A)의 빨간색), 제2연구영역은 모델 기반 토양침식 평가(Figure 7(A)의 초록색), 제3연구영역은 토양침식 프로세스(Figure 7(A)의 파란색)와 연관된 연구영역으로 구분되었다. 국내 연구논문의 경우, 제1연구영역은 농지 토양침식 저감(Figure 7(B)의 빨간색), 제2연구영역은 모델 기반 토양침식 저감효과 평가(Figure 7(B)의 초록색), 제3연구영역은 산지토사재해 저감(Figure 7(B)의 파란색)과 연관된 연구영역으로 구분되었다. 국제 연구논문의 경우, 다양한 키워드가 출현하며 영역이 명확히 구분되고 연구영역간의 상호연관성이 높은 것으로 나타났다. 이에 비하여 국내 연구논문의 경우, 출현한 키워드의 수가 적고, 연구영역간 구분은 명확하지만 연구영역간의 연관성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.



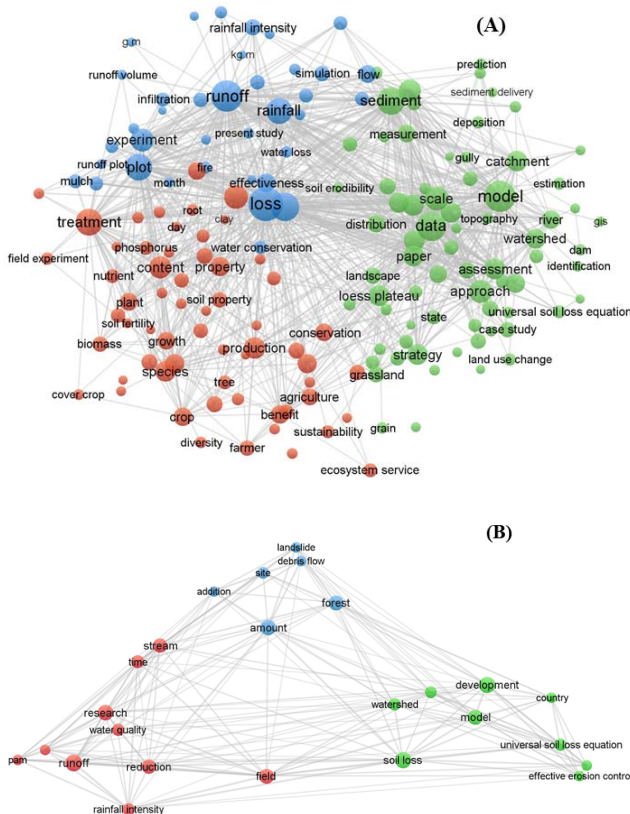


Figure 7. Cluster map of co-occurrence keywords related to soil erosion control. (A) international research, (B) domestic research

## 고찰

이 연구에서 토양침식 관련 연구동향 분석을 위해 검색 키워드로 사용한 soil erosion과 soil erosion & control은 각각 토양침식의 현상과 대책을 의미한다. 최근 10년간 토양침식의 현상과 대책 관련 연구논문 게재편수는 전세계적으로 매년 꾸준히 증가하였다. 이는 토양침식이 세계적으로 생태기반환경과 농업생산성을 위협하는 심각한 문제로 인식되고 있기 때문이다(Jang *et al.*, 2018). 특히 최근에는 기후변화의 영향에 대한 탄소저장고(Zomer *et al.*, 2017)와 식량안보의 필수조건(Sá *et al.*, 2017)으로서의 기능이 더욱 강조되고 있기 때문에, 이러한 토양환경의 가치와 중요성에 대한 인식 제고를 바탕으로 토양침식이나 대책 관련 연구논문 모두 환경과학 분야의 학술지에 많이 발표된 것으로 판단된다.

토양침식 관련 연구논문의 게재 편수가 각각 1순위와 2순위로 나타난 중국과 미국은 세계적으로도 국토면적이 매우 넓기 때문에 다양한 현상들이 나타나고 있을 것으로 추정된다. 중국

내 일부 지역은 기후변화로 인한 건조지역의 확대와 사막화가 가속화되고 있으며, 특히 황토고원은 세계에서 가장 심각한 토양침식이 발생하고 있는 지역이다(Shi and Shao, 2000). 이로 인한 하천에서의 비점오염 문제도 매우 심각한 것으로 알려져 있다(Xiong *et al.*, 2018). 특히 황토고원의 토양침식을 저감하기 위해 반건조지역에 적합한 조림사업을 지속적으로 실시하고 있다(Zhao *et al.*, 2013). 이러한 중국의 지리적 위치와 기후 및 토양 특성은 토양침식과 제어와 관련된 논문 출판의 증가에 크게 기여하고 있다고 판단된다. 미국은 오래전부터 토양침식을 농지의 생산성을 저하시키는 심각한 문제로 인식하고 침식 방지와 토양보전을 위한 관리대책을 수립하여 왔다(Gyeonggi Research Institute, 2008). 강우패턴과 토양피복 등은 토양입자 분리 및 이동에 중요한 역할을 하기 때문에 토양의 보전과 침식 방지를 위하여 토양침식의 현상(메커니즘)과 최적관리방안에 관한 다양한 연구를 진행하였다(Vsquez-Mendez *et al.*, 2010; Lemke *et al.*, 2011; Montenegro *et al.*, 2013; Wear *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2014). 특히 농경지 토양 유실의 예측을 위하여 개발한 범용토양유실공식(USLE)(Wischmeier and Smith, 1965), 수정범용토양유실공식(RUSLE)(Tang *et al.*, 2015; Kim and Kim, 2018)은 현재 전세계적으로 활용되고 있을 정도로 토양침식 연구 분야의 선진국이라고 할 수 있다.

우리나라의 경우, 여름철에 장마, 국지성 호우 및 태풍의 형태로 강수가 집중되고(Kim *et al.*, 2015), 산지와 함께 경사지에 개간된 밭이 많아 토양침식은 매우 심각한 수준으로(National Geography Information Institute, 2017) 세계적으로도 고위험 지역에 속한다(USDA-NRCS, 2003). 우리나라 국토의 30% 이상에서 연평균 ha당 33톤을 초과하는 토양유실이 발생하고 있어 OECD 토양침식 등급 중 매우 심한 단계에 해당하며(Ministry of Environment, 2013), 이는 OECD 평균인 11톤의 약 3배에 달하는 것으로 평가되고 있다(Ministry of Environment, 2014). 이러한 상황은 국내의 연구동향에도 어느 정도 반영되고 있는 것으로 판단된다. 최근 10년간 국제 학술지에 게재된 국내의 토양침식 논문(SCIE)은 총 121건으로 21위이지만(Figure 3), 국토면적 대비 편수로 환산하면 상위 11위에 해당하여(Figure 4), 토양침식 현상에 관심을 갖고 연구가 진행되고 있다고 판단된다. 특히, 최근 10년간 국내에서 게재된 전체 토양침식 국제연구논문 121편 중 제어대책 관련 연구논문은 27편으로 22.3%를 차지하여 토양침식 관련 논문 게재 편수를 분석한 25개국 중 3위로 나타나고 있다(Figure 5). 국내 연구논문(KCI)에서도 제어 대책 관련 논문의 비율이 21.1%로 외국에 비하여 상대적으로 큰 비중을 차지한다. 이는 토양침식의 메커니즘 등 현상 자체보다는 토양침식에 의한 발생하는 문제 해결에 보다 집중하고 있음을 의미한다고 판단된다. 국내에서는 지금까지 토양침식에 따른 하류에서의 비점오염 발생의 문제와 이의 저감에 중점을 둔 사후관리대책이 주로

추진되어 왔는데, 토양침식의 근본적인 원인 해결에는 한계가 있었던 것으로 지적되고 있다(Jeon, 2015). 이러한 한계는 이 연구의 동시출현단어 분석 결과(Figure 6, 7)에서도 잘 나타나고 있다. 국외에서는 유역(catchment, watershed, basin), 근원지(sediment source) 등의 키워드가 나타난 것에 비하여 국내에서는 비점오염 관련 키워드(i.e., non point source, agricultural field, best management practice, bmp 등)가 출현하고 있다. 또한, 국외와 마찬가지로 국내에서도 침식모형(model)과 실험(experiment)을 통한 토양침식 평가 연구는 진행된 것으로 확인되지만, 토양의 물리적 특성 관련 키워드(e.g., particle, bulk density, aggregate; Figure 6)가 국내 연구영역에서는 도출되지 않아 침식 메커니즘과 관련한 토양의 물리·화학적 특성 규명에 대해서는 국외에 비해 충분히 진행되지 못한 것으로 판단된다. 본 연구의 DB에 포함된 국내의 주요 토양침식 관련 연구 논문을 확인한 결과, 주로 토양침식유발 강우에너지 산정(Lee and Won, 2013; Lee et al., 2015; Kim et al., 2018), 인공강우실험을 통한 토양침식량 산정(Lee et al., 2012; Won et al., 2012; Park et al., 2013; Nam et al., 2014; Kim et al., 2016)등이 진행된 것으로 나타났다. 이러한 토양침식 현상 규명의 한계는 제어 관련 연구와도 연결되어 국외에 비해 도출된 키워드의 수가 적고 다양하지 못한 것으로 판단된다(Figure 7).

토양침식에 관여하는 자연적 인자로는 기후, 지형, 토양, 식생(피복) 등으로 알려져 있다(Nearing et al., 2004). 이 중 토양침식의 근본적인 원인 해결을 위해서는 토양의 수식성(erodibility)과 밀접한 관련이 있는 물리적 성질, 즉 점착력(cohesion), 토성(soil texture), 토질(soil property), 용적밀도(bulk density), 입단(aggregate) 특성 평가(Baumgartl and Horn, 1991; Franzluebbers et al., 2002; Zhang et al., 2009; Prasannakumar et al., 2012)와 이에 따른 침식 메커니즘과 확대과정에 관한 연구가 보다 활성화 되어야 한다. 이러한 연구를 바탕으로 현재 국가적으로 추진하고 있는 토양침식 예측 모델과 사전예방적인 대책 기술의 고도화가 가능할 것으로 판단된다.

이 연구에서는 국제·국내 전문학술지의 검색 데이터베이스를 통해 동시출현단어 분석을 실시하여 최근의 국내·외 토양침식 관련 연구 영역을 비교·분석하였다. 동시출현단어와 연구영역의 시계열 분석에는 한계가 있었지만, 토양침식의 “현상”과 “제어” 영역으로 구분하여 논문 출판량과 연구영역의 비교 분석을 통해 최근의 동향 파악은 가능하였다. 이러한 결과로부터 우리나라의 토양침식에 따른 환경문제의 근본적인 해결을 위해서는 향후 토양침식 프로세스와 이와 관련한 토양의 물리·화학적 특성에 관한 연구가 활발히 진행될 필요가 있음을 제언한다.

## REFERENCES

- Baumgartl, T. and R. Horn(1991) Effect of aggregate stability on soil compaction. *Soil and Tillage Research* 19: 203-213.
- Chen, J., J. Chen and M. Tan(2002) Soil degradation: A global problem endangering sustainable development. *Journal of Geographical Sciences* 12: 243-252.
- Chun, K.W.(2011) *New Erosion Control Engineering*. Hyangmunsa, 426pp. (in Korean)
- Do, Y.H., E.J. Ko, Y.M. Kim, H.G. Kim, G.J. Joo, J.Y. Kim, G.J. Joo, J.Y. Kim and H.W. Kim(2015) Using text-mining method to identify research trends of freshwater exotic species in Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* 48: 195-202. (in Korean with English abstract)
- Finch, H.J.S., A.M. Samuel and G.P.F. Lane(2014) *Soils and soil management*. Lockhart and Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland. 37-62pp.
- Franzluebbers, A.J.(2002) Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research* 66: 197-205.
- Fu, B., Y. Liu, Y. Lü, C. He, Y. Zeng and B. Wu(2011) Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China. *Ecological Complexity* 8: 284-293.
- Gyeonggi Research Institute(2008) *The status of soil exposure and management practices for soil conservation in urban watersheds*. (in Korean)
- Holz, D.J., K.W.J. Williard, P.J. Edwards and J.E. Schoonover(2015) Soil erosion in humid regions. *Journal of Contemporary Water Research and Education* 154: 48-59.
- Jang, W.S., J. Neff, J. Herrick and L. Doro(2018) Soil erosion constraints on global agricultural productivity potential. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* 20: 10743.
- Jeon, M.S.(2015) *An institutional plan to manage areas in Gangwon province that are vulnerable to nonpoint source pollution*. (in Korean)
- Kim, H.K. and J.S. Kim(2018) Effect of cover crop *Arunco dioicis* var. *kamtschaticus* on reducing soil erosion. *Journal of Korean Society of Forest Science* 107: 50-58. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.K., M.S. Kim, M. Han and D.Y. Yang(2016) Oscillating rainfall simulator using veejet nozzle: Set-up and calibration for soil erosion and failure studies. *Journal of the Association of Korean Geographers* 5: 133-142. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.W., A.C. Jeong, G.H. Lee and K.S. Jung(2018) Estimation of the kinetic energy of raindrops for hourly rainfall considering the rainfall particle distribution. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society* 19: 15-23. (in Korean with English abstract)

- Kim, S.W., K.W. Chun, K. Otsuki, Y. Shinohara, M.I. Kim, M.S. Kim, D.K. Lee, J.I. Seo and B.K. Choi(2015) Heavy rain types for triggering shallow landslides in South Korea. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 60: 243-249.
- Ko, B.J. and S.H. Eo(2017) Mammalian research topics and trends in Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 31: 30-41. (in Korean with English abstract)
- Lal, R.(2001) Soil degradation by erosion. *Land Degradation and Development* 12: 519-539.
- Lee, B.J., B.J. Kim, J.M. Lee and S.H. Eo(2019) 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: 9-15. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.J., J.P. Kim, J.W. Lee and W. Kim(2015) Analysis on rainfall distribution in a large experimental rainfall simulator with fixed nozzle arrangement. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 16: 8116-8127. (in Korean with English abstract)
- Lee, G.J., J.T. Lee, J.S. Ryu, D.S. Oh and J.S. Kim(2012) Effects of Slope Gradient and Rainfall Intensity on Soil Losses with Rainfall Simulator Experiment. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 45: 877-881. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.S. and J.S. Won(2013) Analysis of the characteristic of monthly rainfall erosivity in Korea with derivation of rainfall energy equation. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 13: 177-184. (in Korean with English abstract)
- 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 Society of Forest Science* 106: 431-440. (in Korean with English abstract)
- Lemke, A.M., K.G. Kirkham, T.T. Lindenbaum, M.E. Herbert, T.H. Tear, W.L. Perry and J.R. Herkert(2011) Evaluating agricultural best management practices in tile-drained subwatersheds of the Mackinaw River, Illinois. *Journal of Environmental Quality* 40: 1215-1228.
- Ministry of Environment(2003) Healthy and comfortable environment, sustainable development, National Government 5 Years-Environment Achievements and challenges. (in Korean)
- Ministry of Environment(2009) The first basic plan on soil conservation. (in Korean)
- Ministry of Environment(2010) Research on progressive methodology for economic value evaluation of soil and groundwater. (in Korean)
- Ministry of Environment(2012) The topsoil preliminary investigation guidance. (in Korean)
- Ministry of Environment(2013) Comprehensive plan for surface soil conservation. (in Korean)
- Ministry of Environment(2014) Evaluating multifunctional quality of topsoil and developing the optimized management system. (in Korean)
- Ministry of Environment(2020) The second basic plan on soil conservation. (in Korean)
- Montenegro, A.A.A., J.R.C.B. Abrantes, J.L.M.P. De Lima, V.P. Singh and T.E.M. Santos(2013) Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena* 109: 139-149.
- Nam, K.H., D.H. Lee, S.R. Chung and G.C. Jeong(2014) Effect of rainfall intensity, soil slope and geology on soil erosion. *The Journal of Engineering Geology* 24: 69-79. (in Korean with English abstract)
- National Geography Information Institute(2017) The national atlas of Korea. [http://nationalatlas.ngii.go.kr/pages/page\\_124.php](http://nationalatlas.ngii.go.kr/pages/page_124.php) (2020.02.17).
- Natural Resources Conservation Service(2008) Urban soil erosion and sediment control.
- Nearing, M.A., F.F. Pruski and M.R. O'Neal(2004) Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review. *Journal of Soil and Water Conservation* 59: 43-50.
- Park, S.D., S.S. Shin, S.J. Kim and B.K. Choi(2013) Effects of surface compaction treatment on soil loss from disturbed bare slopes under simulated rainfalls. *Journal of Korea Water Resources Association* 46: 559-568. (in Korean with English abstract)
- Pennock, D.(2019) Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management. Rome: FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Prasannakumar, V., H. Vijith, S. Abinod and N. Geetha(2012) Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers* 3: 209-215.
- Sá, J.C.M., R. Lal, C.C. Cerri, K. Lorenz, M. Hungria and P.C. De Faccio Carvalho(2017) Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environment International* 98:102-112.
- Shi, H. and M. Shao(2000) Soil and water loss from the Loess Plateau in China. *Journal of Arid Environments* 45: 9-20.
- Shin, K.H.(2017) Soil conservation and environmental impact assessment. (in Korean)
- Tang, Q., Y. Xu, S.J. Bennett and Y. Li(2015) Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: A case study of the Yangou watershed in the Loess Plateau, China. *Environmental Earth Sciences* 73: 1715-1724.
- USDA-NRCS(2003) Vulnerability to Water Erosion Map.

- [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/worldsoils/?cid=nrcs142p2\\_054006%0A](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/use/worldsoils/?cid=nrcs142p2_054006%0A) (2020.02.17).
- Van Eck, N. and L. Waltman(2010) Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*. 84: 523-538.
- Van Eck, N. and L. Waltman(2013) VOSviewer manual.
- Van Eck, N. and L. Waltman(2017) Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer. *Scientometrics* 111: 1053-1070.
- Vsquez-Mndez, R., E. Ventura-Ramos, K. Oleschko, L. Hernandez-Sandoval, J.F. Parrot and M.A. Nearing(2010) Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. *Catena* 80: 162-169.
- Wang, B., G.H. Zhang, Y.Y. Shi and X.C. Zhang(2014) Soil detachment by overland flow under different vegetation restoration models in the Loess Plateau of China. *Catena* 116: 51-59.
- Wauters, E., C. Biielders, J. Poesen, G. Govers and E. Mathijs(2010) Adoption of soil conservation practices in Belgium: An examination of the theory of planned behaviour in the agri-environmental domain. *Land Use Policy* 27: 86-94.
- Wear, L.R., W.M. Aust, M.C. Bolding, B.D. Strahm and C.A. Dolloff(2013) Effectiveness of best management practices for sediment reduction at operational forest stream crossings. *Forest Ecology and Management* 289: 551-561.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith(1965) Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the rocky mountains. USDA. 47pp.
- Won, C.H., M.H. Shin, Y.H. Choi, J.Y. Shin, W.J. Park and J.D. Choi(2012) Simulations of runoff using rice straw mats and soil amendments. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54: 95-102.
- Xiong, J.F., C. Lin, M. Min, R.H. Ma, Z.P. Wu and J.J. Jia(2018) Spatio-temporal pattern evolution of non-point source phosphorus loads in chaohu lake basin(Anhui Province, China) under different land use patterns. *Applied Ecology and Environmental Research* 16: 6219-6238.
- Zhang, G.H., M.K. Tang and X.C. Zhang(2009) Temporal variation in soil detachment under different land uses in the Loess Plateau of China. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 1302-1309.
- Zhao, G., X. Mu, Z. Wen, F. Wang and P. Gao(2013) Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the loess plateau of china. *Land Degradation and Development* 24(5): 499-510.
- Zomer, R.J., D.A. Bossio, R. Sommer and L.V. Verchot(2017) Global sequestration potential of increased organic carbon in cropland soils. *Scientific Reports* 7: 1-8.