

텍스트마이닝 (text-mining) 기법을 이용한 국내 담수외래종 연구동향 파악

도윤호 · 고의정 · 김영민 · 김효겸 · 주기재 · 김지윤 · 김현우^{1,*}

부산대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹순천대학교 사범대학 환경교육과

Using Text-mining Method to Identify Research Trends of Freshwater Exotic Species in Korea. Do, Yuno, Eui-Jeong Ko, Young-Min Kim, Hyo-Gyeom Kim, Gea-Jae Joo, Ji Yoon Kim and Hyun-Woo Kim^{1,*} (Department of Biological Sciences, Pusan National University; ¹Department of Environmental Education, Suncheon National University)

Abstract We identified research trends for freshwater exotic species in South Korea using text mining methods in conjunction with bibliometric analysis. We searched scientific and common names of freshwater exotic species as searching keywords including 1 mammal species, 3 amphibian-reptile species, 11 fish species, 2 aquatic plant species. A total of 245 articles including research articles and abstracts of conference proceedings published by 56 academic societies and institutes were collected from scientific article databases. The search keywords used were the common names for the exotic species. The 20th century (1900's) saw the number of articles increase; however, during the early 21st century (2000's) the number of published articles decreased slowly. The number of articles focusing on physiological and embryological research was significantly greater than taxonomic and ecological studies. Rainbow trout and Nile tilapia were the main research topic, specifically physiological and embryological research associated with the aquaculture of these species. Ecological studies were only conducted on the distribution and effect of large-mouth bass and nutria. The ecological risk associated with freshwater exotic species has been expressed yet the scientific information might be insufficient to remove doubt about ecological issues as expressed by interested by individuals and policy makers due to bias in research topics with respect to freshwater exotic species. The research topics of freshwater exotic species would have to diversify to effectively manage freshwater exotic species.

Key words: exotic species, freshwater, big-data, research trend, text-mining

서 론

세계화와 무역활동 증가에 따른 국가 간 인적·물적 교

류가 확대됨에 따라 외래종 유입으로 인한 생태계 안정성 훼손과 경제적 손실이 전 세계적으로 심화되고 있다. 외래종의 침입은 생태학적 피해뿐만 아니라 사회·경제적인 요인에도 피해를 유발하는데 국제자연보전연맹 (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN)의 발표에 의하면 생태계 위해 외래종에 의한 경제적 손실은 전 세계적으로 매년 수천억 달러에 달한다. 이러한 외래종 유입의 급격한 증가는 인간에 의해 발생하는

Manuscript received 29 May 2015, revised 8 September 2015,
revision accepted 17 September 2015
* Corresponding author: Tel: +82-61-750-3384, Fax: +82-61-750-3308,
E-mail: hwkim@sunchon.ac.kr

지구적 환경변화에 주요 상황으로 인식된다 (Rahel, 2002; Pimentel *et al.*, 2005). 하지만 많은 외래종들은 명백하게 생태계 또는 사회·경제적인 피해를 입히지 않기 때문에 이들의 존재는 장기간 동안 알려지지 않을 수도 있다 (Williamson and Fitter, 1996). 그러나 일부 외래종은 고유 또는 토착종의 절멸과 같은 심각한 영향을 끼쳐 본래 생태계의 기능과 생물군집의 구조를 변화시킬 수 있다 (Clavero and García-Berthou, 2005). 담수 생태계에서도 외래종이 침입하여 기존에 서식하고 있던 고유종들을 직접적으로 잡아 먹거나 고유종들과 먹이자원은 물론 공간적으로 경쟁하면서 고유종이 감소하거나 사라지게 된다. 또한 담수생태계에서 외래종은 1차소비자에서부터 상위포식자에 이르기까지 다양하여 외래종이 유입되면 먹이사슬이 변형된다 (Strayer, 2010). 특별히 상호 연결성이 높은 담수생태계의 특성상 외래종의 확산이 매우 빠르게 진행되어 다른 생태계에 비해 외래종에 대해 취약한 모습을 보인다 (Johnson *et al.*, 2001).

외래종 침입에 대한 문제를 인식하고 국가적으로 관리하기 시작한 것은 오래 전부터 진행되었다 (Elton, 2000). 특히, 1970년대 이후 도입된 외래종이 생태계에 미치는 부정적인 영향이 알려지면서 생물학적 연구와 대중의 관심이 증가하기 시작하였다 (Simberloff *et al.*, 2005). 우리나라에서도 국제 교류의 증대와 애완의 목적으로 도입된 외래생물의 유입이 증가되어 외래생물은 2011년 1109종에서 2014년 2167종으로 약 95%가 증가하였고 이후에도 지속적인 증가가 예상된다. 2014년에 시행된 ‘생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률’에 따르면 외래종은 “외국으로부터 인위적 또는 자연적으로 유입되어 그 본래의 원산지 또는 서식지를 벗어나 존재하게 된 생물”을 지칭한다. 법률에 따라 외래생물 중 생태계의 균형을 교란하거나 교란할 우려가 있는 생물을 생태계 교란 생물로 지정하여 관리하고 있다. 1998년 황소개구리, 파랑볼우렁, 큰입배스가 생태계 교란생물로 지정된 이후로 2013년 총 18종으로 꾸준히 증가하였다 (환경부 고시 제2013-12호). 이에 환경부는 『국내 도입 외래동물의 현황 파악 및 생태계위해성 등급 분류 연구 (2006)』를 수행하고, 『제1차 외래생물 관리계획 (2014~2018)』을 수립하는 등 국가적인 차원의 노력이 이뤄지고 있다.

최근 뉴트리아 (*Myocastor coypus*)나 큰빛이끼벌레 (*Pectinatella magnifica*) 등 담수외래종에 대한 대중들의 관심이 높고 이들의 위해성에 대해 논의가 활발해졌다. 하지만 대중들의 관심에 비해 담수외래종에 대한 과학적이고 객관적인 정보가 전달되지 못한 채 혼란만 가중되는 경향이 있다. 비록 국내에서 담수외래종에 대한 연구는 오랜 기간

많은 연구자에 의해 수행되었으나, 연구의 주제가 되는 종은 개인의 관심에 의해 선택되는 경우가 많기 때문에 각 외래종의 연구 정도는 상이할 수 있고 현재까지 파악된 바가 없다. 또한 연구주제 간의 관계와 그들의 정량적인 분석을 통한 연구동향의 파악도 이루어진 적이 없어 추후 담수외래종에 대한 연구방향을 설정하고 효율적인 담수외래종 관리방안을 수립하기에는 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 담수외래종에 대한 연구동향을 파악하고 연구주제 간 관계를 정량적으로 분석하는데 초점을 맞추었다. 이를 위해 본 연구에서는 문헌정보학적 방법과 텍스트마이닝 (text-mining) 기법을 이용하였다. 텍스트마이닝 기법은 무의미한 자연어 모음으로부터 패턴을 찾아 새로운 정보를 추출하는 방법으로 데이터베이스에서 추출된 핵심어 간의 경향과 관계를 찾는 데 유의하다 (Kostoff *et al.*, 2001; Maimon and Rokach, 2005). 예로 Do와 Skłodowski (2014)는 약 10여 년간 발틱지역 (Baltic region)에서 연구된 딱정벌레류의 연구동향을 텍스트마이닝 기법을 이용하여 분석하고 주요 연구주제를 추출하고 주제들의 변화를 파악한 바 있다. 또한 Gobster (2014)도 약 40년간 Landscape and Urban Planning 잡지의 연구동향을 텍스트마이닝 기법을 이용하여 주제의 연대별 변화를 파악하고 이들 간의 관계를 확인한 바 있다. 특히, 연구주제 분석의 기반이 되는 학술발표 자료 및 발간 논문은 제목, 초록 키워드 등 구조화된 형태로 생산되어 자료를 분석하는 데 매우 유용하다. 또한 자료를 시각화하여 표현함으로써 대중들이 쉽게 이해할 수 있는 자료를 도출하는 장점이 있다.

본 연구는 (1) 문헌학적 접근을 통해 연구시기에 따른 추이와 담수외래종 연구분야별 논문편수 등을 확인하고 (2) 텍스트마이닝 (text-mining) 기법을 이용하여 국내 담수외래종 연구동향 파악하는 데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 국내 담수외래종 문헌 수집

본 연구는 국내에 서식하는 담수외래종 17종 (포유류 1종, 양서류 3종, 어류 11종, 식물 2종)의 학명과 국명 또한 일반검색어로서 “외래종”, “외래생물”을 학술검색 DB인 Google Scholar, NDL (National Digital Library), DBpia, eArticle, KISS, KISTI에서 검색하여 수집하였다 (Table 1). 각 검색어가 포함된 학술발표초록, 발표논문에서부터 영문 제목과 영문초록, 핵심어, 발행연도, 학회지명을 추출하여 텍스트로 이루어진 원자료 (corpus)를 구성하였다.

Table 1. Scientific names of freshwater exotic species in South Korea as searching keywords

Taxa	Scientific name
Mammals	<i>Myocastor coypus</i>
Amphibians and reptiles	<i>Rana catesbeiana</i>
	<i>Trachemyscripta elegance</i>
	<i>Iguana iguana</i>
Fishes	<i>Cyprinus carpio nudus</i>
	<i>Carassius cuvieri</i>
	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>
	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>
	<i>Aristichthys nobilis</i>
	<i>Oncorhynchus kisutch</i>
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
	<i>Ictalurus punctatus</i>
	<i>Lepomis macrochirus</i>
	<i>Micropterus salmoides</i>
<i>Oreochromis niloticus</i>	
Plants	<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i>
	<i>Paspalum distichum</i>

2. 문헌학적 분석

구체적인 담수외래종에 관한 연구동향을 파악하고자 문헌학적 연구의 일환으로 연도별 연구논문 수, 학회별 연구 발표 수를 비교하였다. 그리고 담수외래종에 대한 연구의 분야를 분류, 생태, 생리 및 발생 3가지로 인위적으로 나눠 분야별 연구 수를 파악하였다. 연구분야 간 논문 수의 차이는 one-way ANOVA (SPSS Inc., USA)로 검정하였다.

3. 텍스트마이닝

핵심어의 중요도 및 빈도수는 word cloud를 통해 시각적으로 표현하였고 빈도수가 높을수록 크게 나타난다. 단어 빈도 분석에는 Tagxedo 프로그램을 이용하였다 (<http://www.tagxedo.com>).

텍스트마이닝기법을 통한 주제어 간의 네트워크(관계) 분석과 주제어의 중요도, 밀도 등은 VOSviewer 프로그램의 클러스터링 맵 (clustering map)과 네트워크 관계도 (network visualization)와 단어 밀도맵 (density map)으로 표현하였다. VOSviewer는 VOS mapping technique과 VOS clustering technique을 이용하여 분석하고 이를 시각화시켜 준다. 네트워크 관계도는 핵심어의 동시 출현 빈도를 기준으로 연관성을 Kullback-Leibler 거리를 이용하여 공간적으로 표현한다. 또한 서로 연관성이 있는 핵심어들을 같은 색깔을 통해 집단화 (clustering)한 후, 같은 색의 집단 안에서도 동시 출현 빈도가 높을수록 거리상 가까이 위치하며 빈

도가 낮을수록 서로 멀리 떨어져서 위치한다 (van Eck and Waltman, 2009). 이는 두 개 이상의 핵심어가 하나의 문서 (논문, 특허를 비롯한 완결된 문서)에서 동시에 활용되고 있다면, 이 핵심어들이 서로 연관되어 있다는 가정을 바탕으로 하고 있다 (van Eck *et al.*, 2010). 중요도는 핵심어의 출현 수에 따라 자동적으로 결정되며 자주 등장할수록 네트워크 관계도에서 크게 나타난다. 핵심어의 밀도도 출현 빈도에 따라 결정되며 밀도가 높은 핵심어 일수록 색깔이 빨강에 가깝고 밀도가 낮을수록 파랑에 가까운 색깔로 표현된다. Word cloud를 통한 빈도 분석은 자료 전체에서 각 핵심어가 얼마나 잦은 빈도로 이용되었는가 단순히 표현시켜 주는 반면 밀도맵에서는 연관성이 높은 핵심어들 집단 내에서 각각 핵심어의 밀도를 표현하여 준다 (van Eck *et al.*, 2010).

결 과

문헌학적 분석

1970년부터 2014년까지의 담수외래종에 대한 논문과 학술발표초록은 총 245편이 발표되었다. 연도별 논문 수는 1980년부터 꾸준히 증가하여 2000년 전후해서 최고치를 보인 이후 감소하는 추세를 보였다 (Fig. 1). 90년대에 46.1% (113편/총 245편)가 발표되어 가장 높은 비율을 보였고 2000년대에 35.1% (86편)가 발표되었다. 연도별로는 1996년에 21편 (8.6%)으로 가장 많았고 2000년이 18편 (7.3%), 1998년이 16편 (6.5%) 순이었다 (Fig. 1a). 각 연구주제별 연평균 논문발행 수를 비교한 결과 (Fig. 2), 분류에 관한 논문은 1.42편±0.29 (평균±표준편차)이었고, 생태연구는 1.71편±0.34, 생리 및 발생에 관한 논문은 한 해 평균 5.7편±0.84이었다. 생리 및 발생에 관한 논문이 분류, 생태에 대한 논문보다 유의하게 많았으며 ($F=35.12, p<0.001$) 분류와 생태 주제에 관한 논문 수는 비슷한 수준으로 나타났다 (Fig. 1b). 본 연구에서 원자료로 수집한 논문들을 발표된 학회별로 분류한 결과, 총 56개의 학회 및 기관에서 담수외래종에 대한 연구결과가 출간되었다 (Fig. 1c). 그중 가장 많은 수의 연구결과가 출간된 학회는 한국수산과학회로 전체 학술발표 자료 중 48편 (19.6%)의 논문이 출간되었다. 이어서 한국양식학회가 38편 (15.5%), 한국어병학회 17편 (6.9%) 순으로 많았으며 이외의 상위를 차지한 학회들 대부분이 수산학관련 학회들이었다. 반면에 한국환경과학회 (10편, 4.1%), 하천호수학회 (5편, 2.0%), 한국환경생태학회 (4편, 1.6%), 한국환경생물학회 (3편, 1.2%) 등 생태 및

환경분야학회에서의 논문 발행 수는 적었다.

Word cloud를 보면, 무지개송어가 330회로 전체 자료에서 가장 자주 사용된 단어로 나타났다(Fig. 2). 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*), 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 역시 각각 323회, 170회로 높은 빈도로 사용되었으며, 생물종명 이외에도 먹이(diet, 219회), 단백질(protein, 107회) 등의 단어 또한 자주 등장하였음을 알 수 있다. 반면에 큰입우럭(bass, 36회), 뉴트리아(nutria, 15회), 서식처(habitat, 35회), 사육(breeding, 19회)과 같은 단어는 낮은 빈도로 언급되었다.

원자료로부터 선정된 약 60개의 키워드들을 상호 연관성을 토대로 하여 5개의 집단(빨간색, 파란색, 녹색, 보라색, 노란색)으로 구분되었다(Fig. 3a). 5개의 집단은 연구대상 담수외래종을 대표하며 파란색은 무지개송어(rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*), 분홍색은 나일틸라피아(nile tilapia, *Oreochromis niloticus*), 녹색은 뉴트리아(nutria, *Myocastor coypus*)와 큰입우럭(large-mouse bass, *Micropterus salmoides*), 황소개구리(bullfrog, *Rana catesbeiana*), 노란색은 은연어(coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*)를 나타낸다. 네트워크 관계도(Fig. 3b)에서는 무지개송어와 나일틸라피아의 성장(growth rate)과 먹이(diet) 등에 대한 영향(effect) 중심으로 연구된 연구주제들이 서로 연결되어 있는 것을 알 수 있다. 반면 뉴트리아나 큰입우럭, 황소개구리 등은 다른 군집들과의 네트워크 연결성이 적으며 숫자(number), 종(species), 성별(sex) 등의 핵심어들로 구성되어 있다. 밀도 맵에서도 word cloud에서 나타난 바와 같이 무지개송어(rainbow trout)가 가장 높은 밀도를 나타내어 원자료에 가장 높은 빈도로 등장한 핵심어임을 알 수 있다(Fig. 3c). 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*), 영향(effect), 먹이(diet) 또한 높은 밀도를 나타냈다. 반면에 뉴트리아(nutria), 체성분(body composition), 사육(breeding) 등은 낮은 밀도의 핵심어들로 보였다.

고 찰

연구결과 발간 수의 연간 변화는 전문가들의 관심을 반영한다. 1990년대 이후 국내로 유입된 외래종의 수가 급격하게 증가하였고 이들의 관리를 위한 연구가 필요한 시기였다(Bang *et al.*, 2004). 더욱이 1992년 우리나라는 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity, CBD)에 가입하면서 CBD의 주요 의제인 외래종 관리에 참여하게 되었고 이에 따라 1994년 외래종 관련 법안을 제정하고

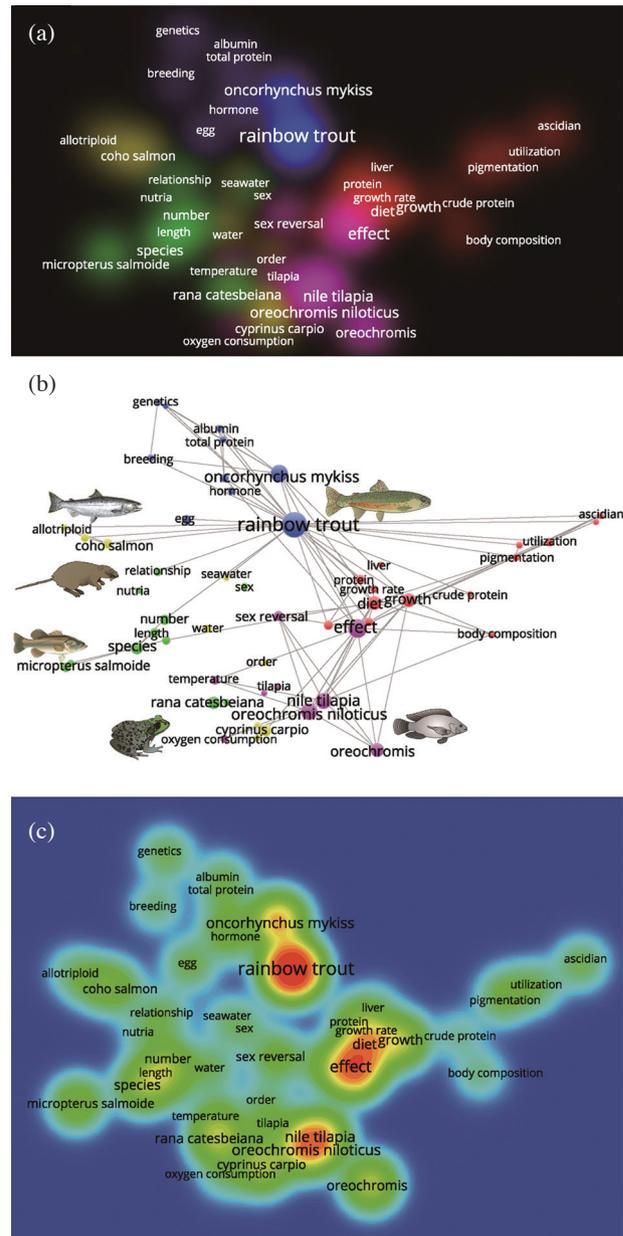


Fig. 3. Term map for exotic species researches in the South Korea (a) cluster density map (b) network map (c) density map.

1998년 생태계 교란 생물 지정 등 외래종 관리를 위한 일련의 과정이 1990년대에 진행되었다. 따라서 이 시기에 담수외래종에 대한 다양한 정보가 필요하였으나, 분석 결과 생물자원으로 활용하기 위해 증식방법이나 가공방법에 대한 연구가 주를 이루는 것으로 확인되었다. 담수외래종과 관련된 환경문제는 사실 생태학적 연구와 직접적으로 연결된 경우가 많은데 이들에 대한 연구는 부족한 것을 알 수 있다. 비록 2000년대 이후 최근에 들어서 담수외래종의 생

태학적 연구가 일부 진행되었지만 외래종을 관리하거나 퇴치하는 데 필요한 자료를 충분히 제공하지는 못하는 것으로 보인다. 큰입우렁과 파랑불우렁과 같이 담수외래어종에 대한 연구가 다른 담수외래종에 비해 많은데 이들 연구에서 도출된 결과는 외래어종 유무에 따라 종다양성이나 종조성에 차이가 있다는 것이 주를 이룬다 (Ko *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2013). 다만 직접적인 피해나 영향을 나타낸 연구결과는 부족하며 대부분 해외에서 연구된 결과 (Maazono and Miyashita, 2003; Takamura, 2007)를 바탕으로 외래어종에 의한 피해나 영향을 설명하고 있다. 붉은귀거북이나 뉴트리아 등 다른 담수외래종 역시 분포나 서식처 특성에 대한 기술이 주를 이루고 있어 이들 종에 의한 담수생태계의 영향 또는 문제점을 설명하는 데는 연구결과 상의 한계가 있다. 다만 사육을 위해 진행된 생리생장의 연구의 결과는 비교적 뚜렷하므로 담수외래종과 관련된 환경문제의 해결을 위해서는 현재까지 진행된 자원화 연구를 꾸준히 진행하여 이러한 종들의 경제성을 다시 확보할 수 있는 방안을 찾거나 생리학적으로 개체군을 조절할 수 있는 방안을 제시해야 할 것이다 (Allendorf and Lundquist, 2003).

지난 30여 년간 담수외래종에 대한 국제적 연구동향을 파악한 결과를 보면 국내 담수외래종에 대한 연구가 얼마나 부족한지 명확하다 (Thomaz *et al.*, 2014). 국제적으로 담수외래종의 영향, 확산 그리고 정착 등이 다양하게 연구되어왔으며 이후 퇴치 또는 관리방안을 수립하기 위한 연구가 진행되었다 (Sousa *et al.*, 2014). 외래종에 대한 관리방안 중에서도 그들의 사전 예방을 위해서는 수많은 정보가 우선되어야 한다. 생리, 생태, 분류 등의 다양한 기본 정보는 담수외래종을 효율적으로 관리할 수 있는 여건을 제공한다. 하지만 초기의 관리 과정이 실패할 경우 이후의 관리나 퇴치는 매우 어렵고, 비용 역시 증가한다 (Wittenberg and Cock, 2001; Simberloff *et al.*, 2013). 따라서 연구자들은 담수외래종에 대한 기본 정보를 수집하는 데 많은 노력을 기울여야 할 것이며 수집된 정보는 객관적인 정보로 가공하여 다른 분야 또는 연구자들이 손쉽게 공유할 수 있도록 지원할 필요가 있다.

적 요

본 연구는 국내 담수외래종의 연구동향을 파악하기 위해서 비정형 데이터로부터 키워드 간의 연계성을 파악하는 데 적합한 텍스트마이닝 (text-mining) 기법을 이용하였다. 환경부가 지정한 담수외래종 17종 (포유류 1종, 양서류

파충류 3종, 어류 11종, 식물 2종)의 학명과 국명 또한 일반 검색어로 이용하여 56개의 국내 학회 및 기관에서 발행된 총 245편 논문을 개체군 수준에서 분석하였다. 담수외래종에 대한 연구는 90년대에 증가하여 2000년대 이후 감소하는 양상을 보였으며 외래종의 생리 및 발생에 대한 연구가 분류, 생태에 대한 연구보다 유의하게 많았다. 특히, 무지개송어 (44%/전체 논문편수), 나일틸라피아 (19%), 이스라엘잉어 (8%), 은연어 (4%)와 같이 수산자원으로 이용하기 위해 도입된 종들에 대한 연구가 많았다. 하지만 담수외래종의 생태적 특성과 분포, 행동에 대한 연구는 뉴트리아와 큰입우렁, 황소개구리로 제한되어 있고 연구 수 역시 생리 및 발생 관련 연구에 비해 적었다. 지금까지 담수외래종들의 위해성과 문제점은 계속 제기되고 있지만, 분석 결과 연구 주제가 편향되어 있어 그들의 생태적인 문제를 해결하기에는 정보가 부족한 것으로 보인다. 담수외래종의 효과적인 관리를 위해서는 그들에 대한 다각적인 접근과 폭넓은 연구주제의 설정이 필요하다.

REFERENCES

- Allendorf, F.W. and L.L. Lundquist. 2003. Introduction: population biology, evolution, and control of invasive species. *Conservation Biology* **17**: 24-30.
- Bang, S.W., M.H. Kim and T.H. Ro. 2004. Development of integrated management plan for abating the threats from invasive alien species in Korea. Korea Environment Institute.
- Clavero, M. and E. García-Berthou. 2005. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *Trends in Ecology and Evolution* **20**: 110.
- Do, Y. and J. Skłodowski. 2014. Research topics and trends over the past decade (2001-2013) of Baltic Coleopterology using text mining methods. *Baltic Journal of Coleopterology* **14**: 1-6.
- Gobster, P.H. 2014. (Text) Mining the LANDscape: Themes and trends over 40 years of Landscape and Urban Planning. *Landscape and Urban Planning* **126**: 21-30.
- Johnson, L.E., A. Ricciardi and J.T. Carlton. 2001. Overland dispersal of aquatic invasive species: a risk assessment of transient recreational boating. *Ecological Applications* **11**: 1789-1799.
- Ko, M.H., J.Y. Park and Y.J. Lee. 2008. Feeding habits of an introduced large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrarchidae), and its influence on Ichthyofauna in the Lake Okjeong, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **20**: 36-44.
- Kostoff, R.N., D.R. Toothman, H.J. Eberhart and J.A. Humenik. 2001. Text mining using database tomography and biblio-

- metrics: A review. *Technological Forecasting and Social Change* **68**: 223-253.
- Lee, J.W., J.H. Kim, S.H. Park, K.R. Choi, H.J. Lee, J.D. Yoon, and M.H. Jang. 2013. Impact of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) on the Population of Korean Native Fish, Crucian Carp (*Carassius auratus*). *Korean Journal of Environmental Biology* **31**: 370-375.
- Maezono, Y. and T. Miyashita. 2003. Community-level impacts induced by introduced largemouth bass and bluegill in farm ponds in Japan. *Biological Conservation* **109**: 111-121.
- Maimon, O. and L. Rokach. 2005. Data mining and knowledge discovery handbook. Springer.
- Pimentel, D., R. Zuniga and D. Morrison. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* **52**: 273-288.
- Rahel, F.J. 2002. Homogenization of freshwater faunas. *Annual Review of Ecology and Systematics* **33**: 291-315.
- Simberloff, D., I.M. Parker and P.N. Windle. 2005. Introduced species policy, management, and future research needs. *Frontiers in Ecology and the Environment* **3**: 12-20.
- Simberloff, D., J.-L. Martin, P. Genovesi, V. Maris, D.A. Wardle, J. Aronson, F. Courchamp, B. Galil, E. García-Berthou and M. Pascal. 2013. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution* **28**: 58-66.
- Sousa, R., A. Novais, R. Costa and D.L. Strayer. 2014. Invasive bivalves in fresh waters: impacts from individuals to ecosystems and possible control strategies. *Hydrobiologia* **735**: 233-251.
- Strayer, D.L. 2010. Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology* **55**: 152-174.
- Takamura, K. 2007. Performance as a fish predator of largemouth bass [*Micropterus salmoides* (Lacepède)] invading Japanese freshwaters: a review. *Ecological Research* **22**: 940-946.
- Thomaz, S.M., K.E. Kovalenko, J.E. Havel and L.B. Kats. 2014. Aquatic invasive species: general trends in the literature and introduction to the special issue. *Hydrobiologia* **746**: 1-12.
- Van Eck, N.J. and L. Waltman. 2009. VOSviewer: A computer program for bibliometric mapping.
- Van Eck, N.J., L. Waltman, R. Dekker and J. van den Berg. 2010. A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* **61**: 2405-2416.
- Williamson, M. and A. Fitter. 1996. The varying success of invaders. *Ecology* **77**: 1661-1666.
- Wittenberg, R. and M.J. Cock. 2001. Invasive alien species: a toolkit of best prevention and management practices. CABI.

Appendix 1. Abbreviation (Abbrev.) of publication societies and institutes of figure 1(c).

Abbrev.	Full name	Abbrev.	Full name
GSK	The Genetics Society of Korea	KSAR	Korean Society of Animal Reproduction
GSNU	Gyeongsang National University	KSAS	The Korean Society of Analytical Sciences
IMSYU	Institute of Medical Science of Youngnam University	KSEIA	Korean Society of Environmental Impact Assessment
KAICS	The Korea Academia-Industrial cooperation Society	KSIB	The Korean Society for Integrative Biology
KASL	The Korean Association for the Study of the Liver	KSVC	The Korean Society of Veterinary Clinics
KILA	Korean Institute of Landscape Architecture	KSEB	Korean Society of Environmental Biology
KIOST	Korea Institute of Ocean Science & Technology	KSWS	The Korean Society of Weed Science
KNU	Kyungnam University	KVMA	Korean Veterinary Medical Association
KOOS	The Korean Ophthalmic Optics Society	KALAS	Korean Association for Laboratory Animal Science
KSANF	Korean Society of Animal Nutrition and Feedstuffs	KSDB	The Korea Society of Developmental Biology
KSBB	The Korean Society for Biotechnology And Bioengineering	KSEE	Korean Society of Environment and Ecology
KSEEN	Korean Society of Environmental Engineers	KSFSN	The Korean Society of Food Science and Nutrition
KSEHT	The Korean Society of Environmental Health and Toxicology	KSL	The Korean Society of Limnology
KSFSE	The Korean Society Fisheries And Sciences Education	KSP	The Korean Society for Parasitology
KSFST	Korean Society of Food Science and Technology	KSM	Korean Society of Microscopy
KSN	The Korean Society of Nephrology	KSVS	The Korean Society of Veterinary Science
KSSZ	The Korean Society of Soil Zoology	KSLS	Korean Society of Life Science
KST	The Korean Society of Toxicology	KESS	The Korean Environmental Sciences Society
KSWE	Korean Society on Water Environment	KSFT	The Korean Society of Fisheries Technology
KTRA	Korea Tourism Research Association	KSAST	Korean Society of Animal Science and Technology
MKJ	Monthly Korea Journal	ISK	The Ichthyological Society of Korea
PSK	The Pharmaceutical Society of Korea	KSFP	The Korean Society of Fish Pathology
RIVM	Research Institute of Veterinary Medicine	KAS	Korean Aquaculture Society
ESK	The Ecological Society of Korea	KSFAS	The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science
KRIFM	Korean Research Institute of Fisheries Management		