

전국자연환경조사 자료를 이용한 배스(*Micropterus salmoides*) 시공간 분포 분석 및 생태위해성 평가

김정은, 안광국^{1,*}

충남대학교 생명과학과, ¹충남대학교 생물과학과

Long-term distribution trend analysis of largemouth bass (*Micropterus salmoides*), based on National Fish Database, and the ecological risk assessments

Jeong Eun Kim and Kwang-Guk An^{1,*}

Department of Bioscience and Biotechnology, College of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

¹Department of Biological Science, College of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

*Corresponding author

Kwang-Guk An
Tel. 042-821-6408
E-mail. kgan@cnu.ac.kr

Received: 14 January 2021

Revised: 25 May 2021

Revision accepted: 10 June 2021

Abstract: Using the data from the national survey of fish, we determined the population size and the distribution of *Micropterus salmoides*, which is a translocated species into the aquatic ecosystem of Korea. The spatial concentration of this species was determined by performing an optimized hot spot analysis. After determining potential invasiveness and risk assessment, we measured the disturbance of biodiversity in the aquatic ecosystem. The result of distribution analysis indicates that the population of *M. salmoides* was concentrated in the major basins of Han river, Geum river, Nakdong river, and Yeongsan-Seomjin river, including the Jeju island. In particular, Nakdong river basin showed the highest appearance rate. On the contrary, Yeongsan-Seomjin river basin showed the lowest appearance rate. The Nakdong river and the Nakdong river basin were the areas with the high spatial concentration of *M. salmoides*. On the other hand, only Han river basin and Geum river basin had the lowest spatial concentration. The fish invasiveness screening kit (FISK) was used to assess *M. salmoides*, which inhabited a broad region of aquatic ecosystem: the assessment score was 31.0, indicating its 'highly invasive' nature. Our study aims to encourage research that improves the biodiversity and the conservation of *M. salmoides* in a priority area.

Keywords: exotic species, invasive alien species, hot spot analysis, freshwater fish

서 론

외래종은 생물다양성에 영향을 미치는 전 지구적 주요

위협 요인으로서 여겨지고 있으며 침습종을 비롯한 생태 계교란종의 유입에 따라 관리를 위한 사회·경제적인 피해가 증가하고 있다(Sala *et al.* 2000). 2000년대 이후 국제

물류와 여객이 급격히 증가하게 되면서 의도적 또는 비의도적인 외래생물의 국내 도입 가능성이 증가하면서 외래종의 출현 가능성이 가속화될 것으로 보인다. 국가에서는 외래생물의 위협으로부터 우리나라 고유 생태계와 생물자원을 지키기 위해 5년 단위 국가전략이자 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률에 근거하여 외래생물 관리계획을 수립하고 있다(Kim 2018). 외래생물의 관리방안을 수립하기 위해서는 대상종의 생태적 특성과 침습성, 생태적 및 사회적 영향을 검토하고 경제적 가치를 종합적으로 고려한 평가가 선행되어야 한다(ME 2019). 특히, 관리 주체가 생물종인 만큼 타깃종에 대한 생태적 지식과 생태계로의 구조적 및 기능적 측면으로의 영향 등의 충분한 기초자료가 마련된 상태에서 생물다양성 보전 계획이 수립되어야 할 것으로 판단된다. 담수 생태계는 수체를 따라서 제한적인 이동 분포 특성을 보이며, 어류와 같은 수생물들이 교란에 취약하여 환경 변화에 민감한 특성을 보인다(Angeler *et al.* 2014). 특히, 인간의 생활권과 밀접하게 연관되어 있으며 인근 토지이용 환경으로부터 영향을 받으면서 수리·수문학적으로 기상환경에 의한 수체로 직접적인 영향을 받기 때문에, 다른 영역의 생태계에 비해 한번 교란이 발생하면 회복이 오래 걸리는 특성을 갖는다(Detenbeck *et al.* 1992; Hrabik *et al.* 2001; Beisner *et al.* 2003; Toft *et al.* 2018; Yoon *et al.* 2018). 어류의 수계 간 이동과 새로운 서식지로 종이 도입되는 현상은 개체 및 개체군 수준에서 개체의 생존과 번식에 영향을 미치면서 토착종과 서식지 경쟁을 통한 생태적 지위 교체를 일으킴으로써 전반적인 생태계 구조와 기능을 변형시켜 생태계 안정성에 큰 교란을 야기하는 것으로 보고되고 있다(MacIsaac 1996; Crowl *et al.* 2008; Carey and Wahl 2010).

국내 하천에 출현하는 것으로 알려진 외래어류는 27종 내외로 보고되어 있으며(NIE 2014), 특히 1970년대 초반 국내에 도입되어 현재까지 광범위하게 분포하는 것으로 알려진 배스(*Micropterus salmoides*)는 국내 토착어류에게 높은 포식압과 생태계에 악영향을 미치는 것으로 연구되어 왔다(Kim *et al.* 2013). 외래어종이자 환경부 생태계교란종으로 지정된 배스는 현재까지 개체 및 개체군 수준에서 생태적 특성 연구(Lee *et al.* 2009; Kim *et al.* 2013)와 담수어류와 생태계에 미치는 영향(Ko *et al.* 2008; Lee *et al.* 2020) 등 단일 종을 대상으로 생태적 특성과 사회적 영향을 중심의 활발한 연구가 수행되어 오고 있다. 그러나, 배

스가 도입된 이후로 약 50년 정도의 시간이 경과된 현재에 이르러 기후변화에 대한 환경 변화의 중요성의 인식이 높아지고 있음에 따라 국내 하천으로의 위해성 영향을 재고하는 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구는 외래어류이자 환경부 생태계교란종인 배스를 대상으로 국가 장기 생물상 조사 자료를 활용하여 배스의 분포 및 확산 현황을 분석하고, 국내 담수 생태계로 미치는 생태적 영향을 검토하기 위해 위해성 평가기법을 적용하여 침습성을 평가하였다. 개체군의 분포 변화를 파악하고 공간적 군집 밀집 지역 분석을 통해 관리우선지역 선정 방안을 제시하고, 향후 외래생물로부터 생물다양성 보전 계획을 수립하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

1. 담수어류 분포

국내로 도입되어 높은 번식력과 포식압으로 수생태계 생물다양성을 교란시키는 것으로 알려진 배스의 분포 현황을 파악하기 위해 제2차~제4차 전국자연환경조사(1997~2018) 자료를 이용하여 다양성 변화를 분석하였다(NIE 2019). 전국자연환경조사는 국토의 효율적 관리를 위해 생물다양성 구성요소의 분포 및 현황을 파악하기 위하여 실시되고 있으며, 시대별로 조사목적이 변화해가면서 차수별 조사방법과 결과 활용에 대한 내용이 상이한 특성을 보인다(ME and NIE 2017). 제2차 전국자연환경조사(1997~2005)는 조사지역 수 위주의 지형 및 생태권 중심으로 국가의 자연환경보전의 기반이 되는 생태·자연도와 자연환경종합 DB를 구축하는 데 활용하였으며, 제3차 전국자연환경조사(2006~2013)는 조사도엽 기준의 격자조사 방식으로 전환하여 수행하였다. 제4차 전국자연환경조사(2014~2018)는 도엽의 격자 중심의 생태 자연도를 참고하여 조사를 수행하였다. 우리나라 하천 권역별 배스 분포와 밀집도를 파악하기 위해 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 수자원 단위 기준에 의거하여 대권역과 중권역 단위로 구분하여 출현율을 분석하였다.

배스가 분포하는 인접 서식지와 영향을 받는 공간 특성을 파악하기 위해 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)을 고려하여 배스의 풍부도가 높은 지역과 서식지 집중도가 높은 수계를 모색하고자 핫스팟 분석(optimized

hot spot analysis)을 실시하였다. 배스가 출현한 지역과 인접 지역의 출현밀도가 높은 군집은 통계적으로 유의한 핫스팟 지역을 나타내며, 반대로 낮은 군집은 콜드스팟(cold spot)으로 구분된다(Ko and Cho 2020). 공간분석은 QGIS (Quantum Geographic Information System)를 통해 실시하였다.

2. 위해성 평가

1) FISK(Fish Invasiveness Screening Kit)

환경부 지정 생태계교란 생물인 배스의 침습성을 평가하기 위한 기법으로 Copp *et al.* (2005, 2009)에 의해 개발된 FISK (v. 2.03)를 이용하였다. 본 기법은 수생태계로 유입된 비토착종(외래종, 이입종 등)을 대상으로 생물다양성에 미치는 잠재적 영향을 평가하고 관리방안을 마련하기 위해 제작되었으며, Cefas (<https://www.cefas.co.uk>)에서 누구나 이용할 수 있도록 무료로 제공되고 있다. 최근에는 동물과 식물을 포함한 특정 다양한 분류군들의 침습성 평가 기법을 통합한 프로그램이 개발되었으나, 본 연구에서는 어류 분류군만을 대상으로 침습성을 보다 면밀하게 평가하기 위해 FISK를 활용하였다. FISK는 2가지 주제인 생물지리학 및 종의 기원(Biogeography and Historical)과 생물학 및 생태학(Biology and Ecology)을 중심으로 평가종의 침습성을 평가하기 위한 생태관련 총 49가지 질문으로 이루어진 반정량적인 평가 체계를 나타낸다. 생물지리학 및 종의 기원 주제에서는 3가지 항목인 사육 및 양식(Domestication and Cultivation), 기후 및 분포(Climate and Distribution), 타 수계로의 침습성(Invasive elsewhere)으로 구성되어 있다. 생물학 및 생태학 주제에서는 5가지 항목인 해로운 특성(Undesirable traits), 섭식 길드(Feeding guild), 번식(Reproduction), 분포 특성(Dispersal mechanisms), 저항력(Persistence attributes)으로 구성되어 있다. 평가 체계는 주로 단답형의 질문에 대한 근거 자료 등 자료 출처를 제시하도록 이루어져 있다. 응답자 위주의 반정량적 평가의 특성을 보이기 때문에, 평가결과에 대한 신뢰수준을 제공하기 위한 1 (very uncertain)~4 (highly certain) 사이의 점수를 입력해야 한다. 종의 침습성을 나타내는 기준이 되는 Threshold는 3단계의 낮음(low: 1<), 중간(medium: 1~18.9), 높음(high: ≥19)으로 이루어져 있으며, 본 연구에서는 Copp *et al.* (2009)과 Kim and Lee (2018)의 연구 자료를 참고하여 배스의 침습성 평가를 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 담수어류 및 배스 분포 현황

1970년대 배스가 국내 하천에 도입된 이래 현재까지 확산 현황을 파악하기 위해 전국자연환경조사 어류 분포 자료를 활용한 결과, 조사기간 동안 전체적으로 배스의 분포가 확산되는 경향을 보이는 것으로 분석되었다(Fig. 1). 제주도 포함 모든 권역에서 광범위한 분포를 보이는 것으로 나타났으며, 특히 본류를 중심으로 하천차수가 높을수록 분포 밀집도가 높아지는 것으로 나타났다. 하천차수가 높아지면 일반적으로 하류로 하폭이 넓어지면서 유속이 느려지는 특성을 보이는데 물 흐름이 완만하고 정수역인 호소환경을 선호하는 배스의 서식지 환경 고려했을 때(Lee *et al.* 2009), 전체 수계를 아울러 본류를 중심으로 서식이 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 그러나, 배스의 분포는 서식지 환경뿐만 아니라 수계별 수질 상태와 생물군집의 상호작용 등 다양한 요인에 의해 조절될 수 있다. Lee *et al.* (2013)의 연구에 의하면, 배스의 서식 유무에 따라 붕어 개체군의 성장 패턴이 다르게 나타나며, 전장 크기에서 차이를 보인다. 배스가 강한 포식압으로 생태계 먹이사슬에 영향을 주면서 붕어 개체군의 안정성에 교란을 야기하는 가능성을 시사한다. 또한, 배스가 도입된 생태계는 어류의 종 다양성이 감소하고 1차 생산자인 저서 생물과 조류가 풍부해지면서 영양단계와 서식지 변화에 영향을 미쳐 수생태계의 변형을 야기한다(Carpenter and Kitchell 1993; Garcia-Berthou and Moreno-Amich 2000; Park *et al.* 2019). 수질환경에 따라 개체군 풍부도가 조절되기도 하는데, 수질이 악화됨에 따라 배스의 상대풍부도가 감소하는 경향을 보이지만, 영양염류의 농도가 매우 높은 상태인 부영양화 수계에서는 높은 상대풍부도를 보이며 서식하는 것으로 나타난다(Kang *et al.* 2019). 수질 특성이 배스 분포에 중요한 인자로서 여겨지는 것으로 사료되나, 수계 내 실트, 자갈, 암반으로 구성된 하상구조에 특히 높은 출현율을 보이면서 배스의 서식 및 분포가 서식지 구조적 특성과 높은 관련성을 보이는 것으로 판단된다(Sowa and Rabeni 1995). 배스의 확산 분포 추세는 시간의 흐름에 따라 초기 2차 조사에 비해 4차 조사에서 분포 패턴이 다양해진 것으로 나타났다. 국내에 도입된 배스가 국내에 정착하여 환경에 빠르게 적응한 결과인 것으로 추정된다. Lee *et al.* (2008)의 연구에 의하면, 우리나라 주요 강과 호수에 분포



Fig. 1. Spatial distribution of *M. salmoides*, whose population was estimated from the NIE fish data in South Korea from 1997–2018.

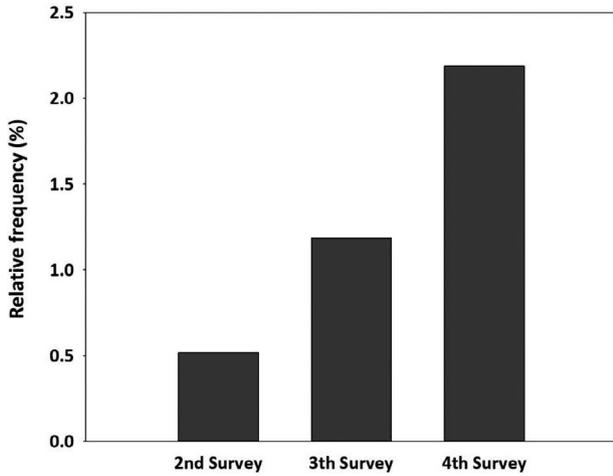


Fig. 2. Long-term variations of *Micropterus salmoides* as relative frequency, which was based on NIE data (2nd survey: 1997–2005, 3rd survey: 2006–2013, 4th survey: 2014–2018).

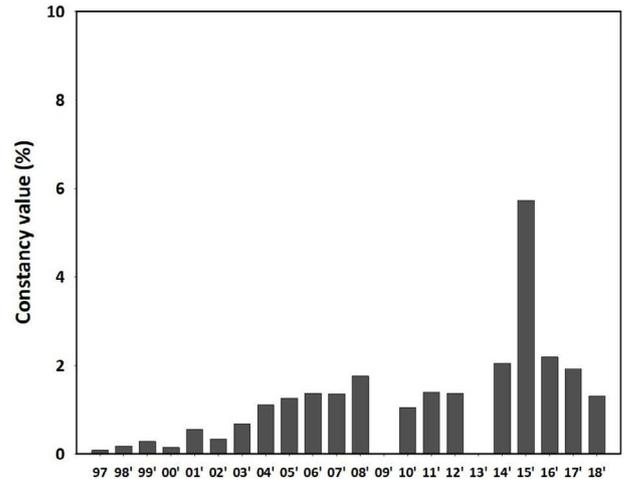


Fig. 3. Long-term inter-annual variations of *Micropterus salmoides* as constancy value.

하는 배스는 집단 간 유전적 거리가 매우 낮아 하나의 작은 단일 집단에서 전국적으로 확산되었을 것으로 추정하고 있다. 본 연구에서 시간의 흐름에 따라 배스 분포 및 확산이 증가하는 경향을 보이는 것과 상기한 확산 경로를 추정하였을 때, 배스는 자연적인 영향에 의한 타수계로의 이입 또는 확산보다는 방류 등 이용 목적에 따른 인위적 확산의 영향이 클 것으로 판단된다.

차수별 조사 결과(Fig. 2), 배스 분포는 시기에 따라 크게 증가하는 것으로 분석되었다. 제2차 조사에서는 전체 출현 종 대비 0.52%의 출현율을 나타내었으며, 제3차 조사에서는 1.18%, 제4차 조사에서는 2.19%를 나타내는 것으로 분석되었다. 전체적으로 5% 미만의 적은 출현율을 보이는 것으로 분석되었으나, 이는 우리나라 담수하천에서 채집된 모든 출현 종 수를 기준으로 비교적 낮은 점유율을 보이는 결과로 판단된다. 또한, 전국자연환경조사가 고정된 조사 지점으로 이루어진 모니터링 방식이 아닌, 목적에 따라 조사방법이 변화하는 형태의 자연환경조사를 수행한 점으로 미루었을 때 나타난 결과인 것으로 보인다. 연도별 조사 결과(Fig. 3), 차수별 조사 결과와 동일하게 시간이 흐를수록 출현율이 증가하는 경향을 나타내는 것으로 분석되었다. 전국자연환경조사 어류 분포 자료에서 누락된 자료인 2009년과 2013년을 제외하고, 2015년에 가장 높은 출현율을 보였으며 1997년에 가장 낮은 출현율을 보였다. 2000년대 초반에는 적은 출현율을 보이면서 중반에 점진적으로 증가하는 추세를 보였는데, 이는 배스가 국내 자원조성

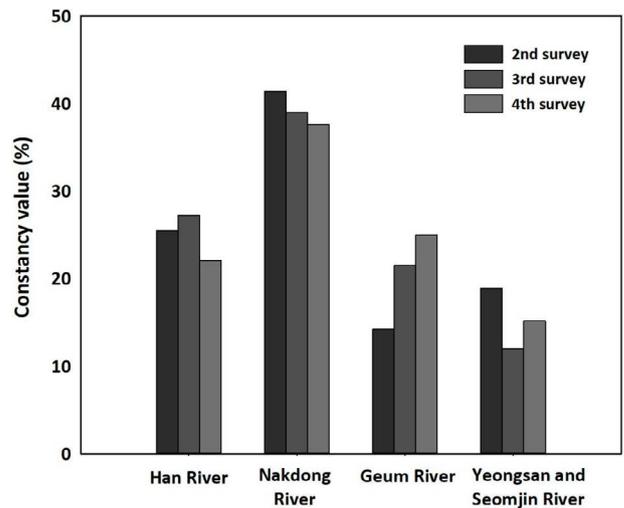


Fig. 4. A comparison of *Micropterus salmoides* population in major watersheds.

용의 목적으로 국내 호소와 댐을 중심으로 도입 및 방류되고 대형호소에 적응하여 1990년대 초반 하천으로 점차 확산하면서 출현율이 증가하게 된 것으로 추정된다(Ko et al. 2008). 제주도 지역을 제외하고, 우리나라 주요 권역인 한강권역, 낙동강권역, 금강권역, 영산강·섬진강권역을 대상으로 차수별 배스 분포현황을 조사한 결과(Fig. 4), 전체 조사기간 동안 낙동강권역에서 배스 출현빈도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 제2차 조사에서 낙동강권역의 출현빈도가 41.4%로 가장 높게 분석되었으며, 제3차 조사에서 영산강·섬진강권역의 출현빈도가 12.0%로 가장 낮게 분석되

Table 1. A list of the number of occurrence sites and the relative abundance of *Micropterus salmoides*, which was obtained from the NIE fish data

River	Watershed	2nd survey		3rd survey		4th survey	
		No. of sites	R.A	No. of sites	R.A	No. of sites	R.A
Han river	Han river	27	15.98	62	13.75	111	17.26
	Anseong stream	12	7.10	31	6.87	10	1.56
	Western Han	4	2.37	28	6.21	21	3.27
	Eastern Han			2	0.44		
Nakdong river	Nakdong river	68	40.24	158	35.03	221	34.37
	Taehwa river	1	0.59	2	0.44	8	1.24
	Hyeongsan river	1	0.59	5	1.11	6	0.93
	Hoeya-Suyeong river			7	1.55	1	0.16
	Eastern Nakdong						
	Western Nakdong			4	0.89	6	0.93
Geum river	Geum river	5	2.96	36	7.98	58	9.02
	Mankyeong-Dongjin river	19	11.24	36	7.98	18	2.80
	Sapgyo stream			8	1.77	26	4.04
	Western Geum			17	3.77	59	9.18
Yeongsan-Seomjin river	Seomjin river	19	11.24	12	2.66	29	4.51
	Southern Seomjin	3	1.78	18	3.99	20	3.11
	Yeongsan river	10	5.92	9	2.00	38	5.91
	Tamjin river					10	1.56
	Southern Yeongsan river			14	3.10	1	0.16
	Western Yeongsan river			1	0.22		
	Jeju Island			1	0.22		
Total		169	100	451	100	643	100

었다. 낙동강권역은 차수별로 점차 감소하는 경향을 보였으며, 반대로 금강권역은 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 낙동강 하류 생태계의 영양단계 구조는 52.0%의 높은 비율의 포식성을 나타내어, 배스와 누치 등 상위소비자의 포식이 낙동강 하류의 에너지 흐름에 큰 영향을 주어 다른 권역에 비해 배스의 출현율이 높은 것으로 사료된다 (Jang *et al.* 2008). 한강권역은 한강동해수계를 제외한 한강수계, 안성천수계, 한강서해수계에서 모두 출현하였으며, 한강수계에서 최근 확산추세를 보이는 것으로 분석되었다 (Table 1). 낙동강권역은 낙동강동해수계를 제외한 낙동강수계, 태화강수계, 형산강수계, 회야·수영강수계, 낙동강남해수계에서 모두 출현하였으며, 특히 낙동강수계에서 비교적 높은 출현율을 보이는 것으로 분석되었다. 금강권역은 금강수계, 만경·동진강수계, 삽교천수계, 금강서해수계에

서 모두 출현하였으며, 만경·동진강수계를 제외한 전체 수계에서 점차 증가하는 추세를 보이는 것으로 분석되었다. 영산강·섬진강권역은 전체 수계에서 배스의 출현이 확인되었으며, 다른 권역과 수계에 비해 적은 출현율을 나타내었으며, 차수별 분포 변동에 대해서 큰 차이는 없는 것으로 판단된다.

국내 담수하천으로 생태계교란종의 확산은 자연 생태계에서 토착종의 서식을 포함한 생물다양성의 감소를 야기하는 국가적 차원의 주요 생태학적 문제로 여겨지고 있다 (Pascual *et al.* 2002). 과거 내수면 어족자원의 식량자원으로서 방류가 이루어졌으나, 현대에 이르러 경쟁 관계 유사종이 거의 없는 이유로 고유 담수어류 개체군 크기의 감소 내지 절멸을 초래하고, 생태계 먹이사슬에 큰 교란을 야기하고 있는 실정이다 (Park *et al.* 1998). 외래종은 지역사회뿐

만 아니라 전 세계적으로 생물다양성에 막대한 손실을 미치고 있다. 높은 포식압으로 인해 경쟁에서 우위를 차지하여 토착종의 개체군 감소 내지 절멸을 야기하며, 외부에서 유입되어 새로운 질병을 도입하면서 생태계의 구조와 기능을 훼손시키며, 먹이사슬 구조와 생태계 에너지 흐름을 변형시키면서 생태계 구조와 서비스의 질적 훼손을 야기하게 된다(Richardson *et al.* 1995; Simon *et al.* 2004; Gozlan *et al.* 2005; Britton *et al.* 2010; Almeida *et al.* 2012; van der Veer and Nentwig 2015). 미국의 경우, 외래종이 발생하는 경제적 손실은 비용이 연간 약 54억의 규모로 방대하게 소비되고 있지만, 예산 규모에 비해 퇴치 활동의 효용성이 비교적 낮은 실정이다(Pimentel *et al.* 2005). 외래종의 유입은 인간을 매개로 수계 간 이동이 원활하여 인간 생활과 밀접한 관련성이 높은 것으로 나타난다. 즉, 의도적 또는 비의도적인 목적에 따라 도입되어 환경에 적응하고 수계로 정착하여 생활사를 보내는 것이다. 의도적인 도입으로는 주로 어족자원 증진을 위한 방류, 낚시 등 레크리에이션 활동, 생물학적 방제에 의한 도입 등이 있으며, 비의도적인 도입으로는 수족관으로부터 관리부실로 인한 관상어류의 이입, 불법 방생, 수로를 이용한 수계 간 유입 등이 있다(Keller *et al.* 2011). 이처럼, 경제활동이 증가하고 생활수준이 향상됨에 따라 자연적 도입보다는 무분별한 인위적 방류 행위로 인한 타 수계로의 도입이 빈번한 것으로 판단된다. 담수어류는 도입 및 확산경로가 불분명하기 때문에 적합한 퇴치 방법을 적용하기 위해서는 외래어종의 경시적인 분포 변화를 파악하고, 지역별 또는 수계별 도입경로 유형을 분석하여 개체군 크기에 따른 알맞은 방제법이 도입되어야 할 것으로 사료된다.

2. 서식지 핫스팟 집중도

조사기간 동안 배스가 출현한 지역을 대상으로 Optimized hot spot 분석을 실시한 결과는 다음과 같다(Fig. 5). 배스 출현한 한강권역과 낙동강권역, 금강권역, 영산강·섬진강권역을 중심으로 총 560개의 격자가 생성되었으며, 그중 153개의 격자(27.3%)에서 통계적으로 유의한 핫스팟 지역으로 구분되었다. 286개의 격자(51.1%)에서는 유의한 스팟이 나타나지 않았으며, 121개의 격자(21.6%)에서 통계적으로 유의한 콜드스팟 지역으로 구분되었다. 핫스팟 분석의 경우, 각각의 배스 출현 격자의 공간 단위 주변으로 인접한 공간 단위의 수가 많다는 것을 의미하기 때

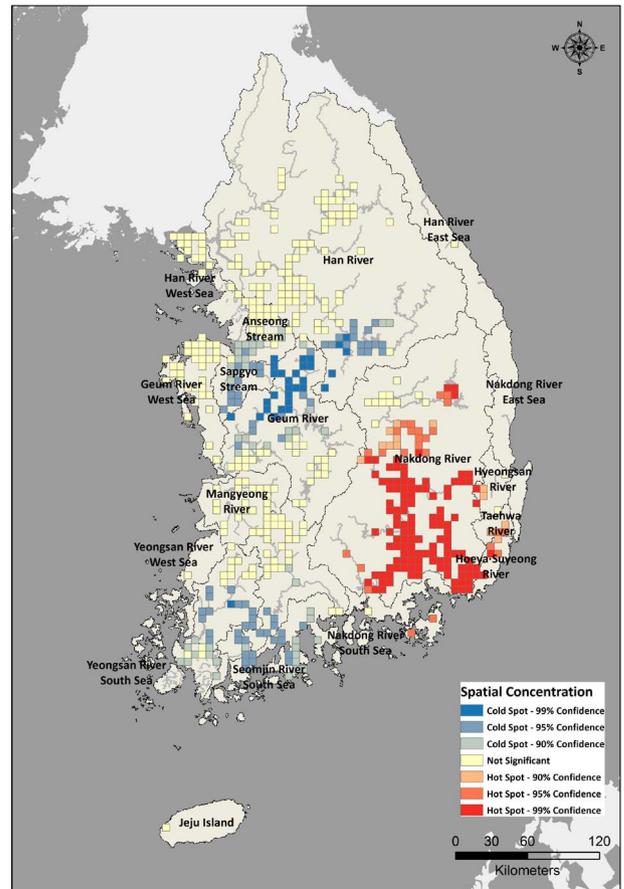


Fig. 5. Spatial concentration of *Micropterus salmoides*, which was determined by performing an optimized hot spot analysis.

문에, 공간 단위 자체의 속성 값의 고유 속성을 파악하기는 어려운 점이 있다. 추가로, 개체수가 명시되어 있지 않은 전국자연환경조사 자료를 활용하였기 때문에, 배스 출현에 대한 공간 군집의 밀집도를 해석하는 데 주의가 필요할 것으로 생각된다. 유의한 핫스팟 지역으로 분류된 지역은 낙동강권역의 낙동강수계로 나타났으며, 유의한 콜드스팟 지역으로 분류된 지역은 금강권역과 한강권역의 인접한 지역인 것으로 분석되었다. Hot spot 분석은 배스 분포 지역 중에서도 유의한 수준에서 공간적 군집이 높은 지역과 낮은 지역을 분간하여 우선적으로 생태계교란종 저감 대책을 수립해야 하는 관리지역을 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 생태계교란종인 배스의 저감 대책이 시급할 것으로 판단되는 지역으로 낙동강수계를 선정하였으며, 차선으로 관리가 필요할 것으로 판단되는 지역으로 금강권역과 한강권역의 인접한 지역으로 선정

하였다. 콜드스팟으로 분류된 금강권역과 한강권역의 인접한 지역의 경우, 공간 군집의 밀집도가 비교적 낮은 것으로 분석되었으나, 한강권역은 낙동강권역 다음으로 배스의 출현율이 높으며, 과거조사 대비 최근 높은 출현율을 나타내는 것으로 분석되어 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 보인다. 금강권역은 출현율이 감소하고 있는 추세인 만경·동진강수계를 제외한 전체 수계에서 연도에 따라 출현율이 증가하는 결과를 나타내었다. 낙동강권역에 비해 다소 산발적인 분포 패턴을 보여 콜드스팟 지역으로 분류된 것으로 사료되나, 잠재적으로 급진적인 확산 가능성을 보일 것으로 우려되어 한강권역과 동시에 확산 및 분포에 대한 감시가 이루어져야 할 것으로 보인다.

3. 위해성 평가

국내 담수 생태계 대표적인 침습외래어류인 배스를 대상으로 위해성 평가를 실시한 결과, 31점의 침습성이 높은 종 (high risk: ≥ 19)으로 평가되었다 (Table 2). 영국과 일본에서 활용하는 침습성 기준에 적용하면 본 연구의 결과와 동일하게 높은 침습성을 나타내는 것으로 평가되었다. 생물지리학 및 종의 기원 주제의 경우, 타 수계로의 침습성 항목에서 높은 점수를 획득하여 총 16점으로 분석되었으며, 생물학 및 생태학 주제의 경우, 해로운 특성 항목에서 높은 점수를 획득하여 총 15점으로 분석되었다. FISK를

Table 2. Fish Invasiveness screening results of *Micropterus salmoides* in South Korea, which was assessed with FISK (Fish Invasiveness Screening Kit)

Score partition		FISK assessment
A. Biogeography/ Historical	1. Domestication/Cultivation	4
	2. Climate and Distribution	2
	3. Invasive elsewhere	10
Total		16.0
B. Biology/Ecology	4. Undesirable traits	6
	5. Feeding guild	3
	6. Reproduction	1
	7. Dispersal mechanisms	3
	8. Persistence attributes	2
Total		15.0
Total score		31
Outcome		High invasive

이용하여 침습종 또는 이입종의 위해성을 평가한 선행 연구들과 비교했을 때, 국가마다 편차가 존재하지만 본 연구에서 배스의 침습성 평가결과는 상대적으로 높은 위해성을 결과를 보이는 것으로 판단된다 (Mastitsky *et al.* 2010; Almeida *et al.* 2013; Mendoza and Aguilera 2015; Marr *et al.* 2017). FISK 평가를 위한 각 질문의 답변에 대한 신뢰도 값은 0.91의 비교적 높은 신뢰수준을 보이는 것으로 분석되었다. 배스는 1970년대에 도입된 이후 담수어류의 개체군 변화와 군집 수준에 미치는 영향 등을 중심으로 다양한 연구가 이루어져 왔기 때문에, 평가를 위한 비교적 다채롭게 이루어진 생태연구가 신뢰도 수준에 영향을 미친 것으로 보인다. 국내로 유입된 외래어류와 생태계교란종으로 지정된 담수어류는 대부분 하천 내 상위 포식자로서 여겨지고 있다. 생태계교란종에 의한 수생태계 교란을 최소화하고 토착 담수어류를 보전하고자 국가 및 지자체에서는 배스를 대상으로 다양한 유형의 퇴치 사업을 진행해 오고 있다. 어구를 이용한 포획과 인공 산란장, 호소 및 댐 수위 조절을 통한 산란장 파괴, 수매 사업, 친환경 비료 제작 등 활발히 진행되고 있지만, 전국적으로 확산되어 적응을 통한 토착화가 이루어진 상황에서 완전한 제거와 즉각적인 효과를 기대하기에 어려울 것으로 판단된다.

4. 생태계교란종 관리 방안

20년 이상의 장기간의 조사기간 동안 국내에 도입된 배스의 분포범위는 점차 확산하는 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 일부 수계를 제외하고 대부분 하천에서 광범위하게 출현하여 우리나라 하천 생태계에 토착화 및 정착하여 서식하고 있는 것으로 판단된다. 일반적으로 배스를 포함한 생태계교란종은 인위적 또는 반자연적으로 새로운 서식지로 도입되어 토착종과 자원경쟁에서 우위를 차지하게 되면서 토착 담수어류의 서식범위 축소와 서식지 변화를 통한 수생태계 내 생태적 교란을 발생시킨다 (Didham *et al.* 2005; Yoon *et al.* 2018). 낙동강권역은 분류를 중심으로 배스의 서식 밀집도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 낙동강권역의 경우, 다른 권역에 비해 영양단계의 포식성 비율이 매우 높은 수환경 특성을 보이는데, 배스가 수체 내 최상위 포식자로서 높은 생태적 지위를 차지하게 되면서 서식지 세력을 확장하고 있는 것으로 판단된다. 특히, 낙동강수계에서 배스 출현에 대한 공간적 밀집도가 높은 것으로 나타났다. 지류를 포함하여 수계의 상류부터 하

류까지 구간별로 보가 존재함으로써 정체수역이 형성되면서 배스가 서식할 수 있는 조건의 수환경이 연속적으로 조성된 것으로 보인다. 낙동강수계의 경우, 본류와 인접한 지류를 포함하여 수계 전체적으로 배스 분포 및 확산 밀도가 높은 것으로 나타나, 정밀 분포조사와 상·하류 사이의 확산 범위를 고려한 중장기적 관리방안이 필요할 것으로 보인다. 반대로 공간적 밀집도가 낮은 금강권역과 한강권역의 인접한 지역의 경우, 지류를 포함한 전반적인 수계에서 분포하는 경향이 아닌, 본류 중심의 특정 구간에서 연속적으로 출현하여 낙동강수계와 다소 다른 분포양상을 보이는 것으로 나타났다. 대표적으로 서해로 유입되는 삼교천수계와 대청댐을 포함한 금강수계에서 일정 구간을 중심으로 본류에서 출현하는 양상을 보여 낙동강수계와는 다른 차원의 관리계획이 수립되어야 할 것으로 판단된다. 배스는 외래어류로서 생태계교란종으로 지정되어 개체군 수준에서 수생태계에 미치는 상호작용과 영향 등에 관한 연구가 수행되어 오고 있다. 그러나, 연구의 최종 목표인 생태계교란종 저감에 대한 관리방안을 제공하기 위해서는 생태적 기초 연구와 생물지리학적 분포 및 동향 연계를 통한 관리방안이 제시되어야 할 것으로 판단된다. 수계 특성에 따라 배스의 분포 및 확산 특성에 차이가 있는 것으로 미루어 볼 때, 정량 평가를 통한 수계별 관리 대책이 이루어져야 한다. 생태계교란종과 토착종 간 경쟁적 상호관계를 확인하여 어류 군집 수준에서 배스의 서식에 미치는 상대적 영향을 다각도로 분석한다면, 수계 특성에 적합한 개체군 조절관리방안을 제시할 수 있을 것으로 전망한다.

적 요

본 연구는 전국자연환경조사 어류 데이터를 이용하여 국내 담수 생태계에 도입된 배스의 분포 현황을 파악하고 공간분석을 통해 핫스팟 지역을 분석하였다. 위해성 평가를 통해 배스의 잠재적 침습성을 평가하여 수생태계 생물 다양성 교란에 대한 영향을 재고하였다. 분포 분석 결과, 제주도 지역을 포함하여 한강권역과 낙동강권역, 금강권역, 영산강·섬진강권역 전체에서 분포하는 것으로 분석되었다. 낙동강권역에서 가장 높은 출현율을 나타내었으며, 제주도 지역을 제외한 영산강·섬진강권역에서 비교적 낮은 출현율을 나타내는 것으로 분석되었다. 배스의 공간적

군집 밀도가 높은 지역으로는 낙동강권역의 낙동강수계가 선정되었으며, 반대로 낮은 지역으로는 한강권역과 금강권역의 인접한 지역으로 분석되었다. 국내 대부분의 담수하천에 서식하는 것으로 나타난 배스의 위해성 평가를 실시한 결과, 31점의 높은 침습성을 보이는 것으로 분석되었다. 본 연구를 통해 우리나라 담수 생태계에 정착한 것으로 파악되는 생태계교란종인 배스로부터 실질적인 관리 우선지역을 도출하여 담수 생태계 다양성 보전을 위한 과학적 기초자료를 마련할 수 있을 것으로 전망한다.

사 사

이 연구는 충남대학교 연구장려장학금에 의해 지원되었음.

REFERENCES

- Almeida D, A Almodovar, GG Nicola, B Elvira and GD Grossman. 2012. Trophic plasticity of invasive juvenile largemouth bass *Micropterus salmoides* in Iberian streams. *Fish. Res.* 113:153-158.
- Almeida D, F Ribeiro, PM Leunda, L Vilizzi and GH Copp. 2013. Effectiveness of FISK, an invasiveness screening tool for non-native freshwater fishes, to perform risk identification assessments in the Iberian Peninsula. *Risk Anal.* 33:1404-1413.
- Angeler DG, CR Allen, HE Birge, S Drakare, BG McKie and RK Johnson. 2014. Assessing and managing freshwater ecosystems vulnerable to environmental change. *Ambio* 43:113-125.
- Beisner BE, AR Ives and SR Carpenter. 2003. The effects of an exotic fish invasion on the prey communities of two lakes. *J. Anim. Ecol.* 72:331-342.
- Britton JR, GD Davies and C Harrod. 2010. Trophic interactions and consequent impacts of the invasive fish *Pseudorasbora parva* in a native aquatic foodweb: a field investigation in the UK. *Biol. Invasions* 12:1533-1542.
- Carey MP and DH Wahl. 2010. Native fish diversity alters the effects of an invasive species on food webs. *Ecology* 91:2965-2974.
- Carpenter SR and JF Kitchell. 1993. *Trophic Cascade in Lakes*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. p. 400.
- Copp GH, R Garthwaite and RE Gozlan. 2005. Risk identification and assessment of non-native freshwater fishes: a sum-

- mary of concepts and perspectives on protocols for the UK. J. Appl. Ichthyol. 21:371.
- Copp GH, L Vilizzi, J Mumford, GV Fenwick, MJ Godard and RE Gozlan. 2009. Calibration of FISK, an invasiveness screening tool for non-native freshwater fishes. Risk Anal. 29:457-469.
- Crowl TA, TO Crist, RR Paramenter, G Belovsky and AE Logo. 2008. The spread of invasive species and infectious disease as drivers of ecosystem change. Front. Ecol. Environ. 6:238-246.
- Detenbeck NE, PW DeVore, GJ Niemi and A Lima. 1992. Recovery of temperate-stream fish communities from disturbance: a review of case studies and synthesis of theory. Environ. Manage. 16:33-53.
- Didham RK, JM Tylianakis, MA Hutchison, RM Ewers and NJ Gemmill. 2005. Are invasive species the drivers of ecological change? Trends Ecol. Evol. 20:470-474.
- Garcia-Berthou E and R Moreno-Amich. 2000. Introduction of exotic fish into a Mediterranean lake over a 90-year period. Arch. Hydrobiol. 149:271-284.
- Gozlan RE, S St-Hilaire, SW Feist, P Martin and ML Kent. 2005. Disease threat to European fish. Nature 435:1046.
- Hrabik TR, MP Carey and MS Webster. 2001. Interactions between young-of-year exotic rainbow smelt and native yellow perch in a northern temperate lake. Trans. Am. Fish. Soc. 130:568-582.
- Jang SH, CI Zhang, JH Na and JH Lee. 2008. Analysis of trophic structures and energy flows in aquatic ecosystem of the lower reaches of the Nakdong River. Korean J. Environ. Biol. 26:292-302.
- Kang YJ, SJ Lee and KG An. 2019. Physical habitat and chemical water quality characteristics on the distribution patterns of ecologically disturbing fish (Largemouth bass and Bluegill) in Dongjin-River Watershed. Korean J. Environ. Biol. 37:177-188.
- Keller RP, J Geist, JM Jeschke and I Kuhn. 2011. Invasive species in Europe: ecology, status, and policy. Environ. Sci. Eur. 23:1-17.
- Kim DE. 2018. Management system of invasive alien species threatening biodiversity in Korea and suggestions for the improvement. J. Environ. Impact Assess. 27:33-55.
- Kim HM, JH Kil, EH Lee and KG An. 2013. Distribution characteristics of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) as an exotic species, in some medium-to-large size Korean reservoirs and physio-chemical water quality in the habitats. Korean J. Ecol. Environ. 46:541-550.
- Kim JE and HG Lee. 2018. The evaluation of potential invasive species in the Gangneungnamdae Stream in Korea using a Fish Invasiveness Screening Kit. Korean J. Environ. Biol. 36:73-81.
- Ko MH, JY Park and YJ Lee. 2008. Feeding habits of an introduced Large Mouth Bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrachidae), and its influence on ichthyofauna in the Lake Okjeong, Korea. Korean J. Ichthyol. 20:36-44.
- Ko YG and KH Cho. 2020. Analysis of areas vulnerable to urban heat island using hotspot analysis: A case study in Jeonju City, Jeollabuk-do. J. Korean Instit. Lands. Archit. 48:67-79.
- Lee DJ, HK Byeon and JK Choi. 2009. Characteristics of fish community in Gap Stream by habitat type. Korean J. Limnol. 42:340-349.
- Lee DS, DY Lee, CW Ji, IS Kwak, SJ Hwang, HJ Lee and YS Park. 2020. Impacts of introduced fishes (*Carassius cuvieri*, *Micropterus salmoides*, *Lepomis macrochirus*) on stream fish communities in South Korea. Korean J. Ecol. Environ. 53:241-254.
- Lee JW, JH Kim, SH Park, KR Choi, HJ Lee, JD Yoon and MH Jang. 2013. Impact of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) on the population of Korean native fish Crucian Carp (*Carassius auratus*). Korean J. Environ. Biol. 31:370-375.
- Lee WO, IR Lee, HY Song and IC Bang. 2008. Genetic differentiation of the Largemouth Bass *Micropterus salmoides* from the major rivers and reservoirs in Korea assessed by AFLP. Korean J. Limnol. 41:395-401.
- Lee WO, H Yang, SW Yoon and JY Park. 2009. Study on the feeding habits of *Micropterus salmoides* in lake Okjeong and lake Yongdam, Korea. Korean J. Ichthyol. 21:200-207.
- MacIsaac HJ. 1996. Potential abiotic and biotic impacts of zebra mussels on the inland waters of North America. Am. Zool. 36:287-299.
- Mar SM, BR Ellender, DJ Woodford, ME Alexander, RJ Wasserman, P Ivey, T Zengeya and OL Weyl. 2017. Evaluating invasion risk for freshwater fishes in South Africa. Afr. Biodivers. Conserv. 47:1-10.
- Mastitsky SE, AY Karatayev, LE Burlakova and BV Adamovich. 2010. Non-native fishes of Belarus: Diversity, distribution and risk classification using the Fish Invasiveness Screening Kit (FISK). Aquat. Invasions 5:103-114.
- ME. 2019. A study on the mid-to long-term management plan and detailed implementation plan of exotic species. Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- ME and NIE. 2017. 30 Years of Natural Environment Survey (1986-2016). Ministry of Environment, Sejong and National Institute of Ecology, Seochon, Korea.
- Mendoza R, S Luna and C Aguilera. 2015. Risk assessment of the ornamental fish trade in Mexico: Analysis of freshwater species and effectiveness of the FISK (Fish Invasiveness Screening Kit). Biol. Invasions 17:3491-3502.

- NIE. 2014. Present and Future of Invasive Alien Species. National Institute of Ecology. Seocheon, Korea.
- NIE. 2019. Ecobank. National Institute of Ecology. Seocheon, Korea.
- Pascual M, P Macchi, J Urbanski, F Marcos, CR Rossi, M Novara and P Dell'Arciprete. 2002. Evaluating potential effects of exotic freshwater fish from incomplete species presence-absence data. *Biol. Invasion* 4:101–113.
- Park YH, SD Lee and JW Kim. 1998. The Environmental Policy Propelled Direction about the Exotic Species. Korea Environment Institute, Seoul.
- Pimentel D, R Zuniga and D Morrison. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien invasive species in the United States. *Ecol. Econ.* 52:273–288.
- Richardson MJ, FG Whoriskey and LH Roy. 1995. Turbidity generation and biological impacts of an exotic fish *Carassius auratus*, introduced into shallow seasonally anoxic ponds. *J. Fish Biol.* 47:576–585.
- Sala OE, FS Chapin, JJ Armesto, E Berlow, J Bloomfield, R Dirzo, E Huber-Sanwald, LF Huenneke, RB Jackson, A Kinzig, R Leemans, DM Lodge, HA Mooney, M Oesterheld, NL Poff, MT Sykes, BH Walker, M Walker and DH Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770–1774.
- Simon KS, CR Townsend, BJF Biggs, WB Bowden and RD Frew. 2004. Habitat-specific nitrogen dynamics in New Zealand streams containing native or invasive fish. *Ecosystems* 7:777–792.
- Sowa SP and CF Rabeni. 1995. Regional evaluation of the relation of habitat to distribution and abundance of smallmouth bass and largemouth bass in Missouri streams. *Trans. Am. Fish. Soc.* 124:240–251.
- Takaharu N, N Takamura, M Nakagawa, Y Kadono, T Tanaka and H Mitsuhashi. 2015. Environmental and biotic characteristics to discriminate farm ponds with and without exotic largemouth bass and bluegill in western Japan. *Limnology* 16:139–148.
- Toft JD, SH Munsch, JR Cordell, K Siitari, VC Hare, B Holycross, LA DeBruyckere, CM Greene and BB Hughes. 2018. Impact of multiple stressors on juvenile fish in estuaries of the northeast Pacific. *Glob. Change Biol.* 24:2008–2020.
- Van der Veer G and W Nentwig. 2015. Environmental and economic impact assessment of alien and invasive fish species in Europe using the generic impact scoring system. *Ecol. Freshw. Fish* 24:626–656.
- Yoon JD, JH Kim, SH Park and MH Jang. 2018. The distribution and diversity of freshwater fishes in Korean Peninsula. *Korean J. Ecol. Environ.* 51:71–85.