

동진강 수계에서 생태 교란어종(큰입배스, 블루길)의 분포에 대한 물리적 서식지 및 화학적 수질 특성

강유진, 이상재¹, 안광국*

충남대학교 생명시스템과학대학 생물학과, ¹전북지방환경청

Physical habitat and chemical water quality characteristics on the distribution patterns of ecologically disturbing fish (Largemouth bass and Bluegill) in Dongjin-River Watershed

Yu-Jin Kang, Sang-Jae Lee¹ and Kwang-Guk An*

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

¹Chemical Safety Division, Jeonbuk Regional Environmental Office, Jeonju 54872, Republic of Korea

***Corresponding author**

Kwang-Guk An
Tel. 042-821-9690
E-mail. kgan@cnu.ac.kr

Received: 12 November 2018

First Revised: 6 April 2019

Second Revised: 4 June 2019

Revision accepted: 7 June 2019

Abstract: The objective of this study was to analyze the distribution patterns of two exotic disturbing fish species (largemouth bass, *Micropterus salmoides* and bluegill, *Lepomis macrochirus*), their physical habitat features, and chemical water qualities from 13 sites of Dongjin River. The relationships between the fish distributions and water chemistry and physical habitat characteristics (i.e., bottom substrate) were evaluated by comparing dominant vs. absent regions of largemouth bass and bluegill. The relative abundance of the two species decreased sharply with decreased in the water quality in terms of BOD, PO₄-P and pH, but not with NO₃-N and conductivity. The bluegill showed no difference in habitat preference between the two regions with regard to the bottom structure, while the largemouth bass had significant differences in the bottom structures of silt, coarse gravels and boulders. The dominant species were *Zacco platypus* (14.6%), *Lepomis macrochirus* (14.0%), and *Micropterus salmoides* (9.8%) in the order of relative abundance, indicating that exotic species (24% in total) dominated the fish community, perhaps ensuing large ecological disturbances on the ecosystem. In conclusion, the results of this study suggest that the distribution of the two exotic species may be largely influenced by water quality of organic matter and nutrient pollutions.

Keywords: exotic fish, bluegill, largemouth bass, nutrient pollution, organic matter pollution

서 론

국내에서 서식하는 블루길(*Lepomis macrochirus*)과 큰입배스(*Micropetrus salmoides*)는 북미가 원산지인 담수어로 서 내수면 자원 증대 등을 목적으로 국내에 도입된 후 우리나라 하천 및 호수 생태계에서 급격하게 증가하여 종 다양성에 부정적 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 우리나라의 정수생태계(자연호, 인공댐, 저수지) 및 유수생태계(강, 하천)에서의 확산속도가 1980년대 이후 급격히 빨라졌고, 이에 따라 심각한 생태계 교란을 일으켜 국가에서 퇴치에 많은 노력을 기울이고 있다. 따라서 정부에서는 이들을 생태계교란야생동·식물로 지정하였고, 이를 효과적으로 관리하기 위하여 외래종생태계위해성평가제도, 외래종 관리 데이터베이스의 구축, 관련 학제적 교류, 대국민 홍보와 인식의 개발을 통한 사전 예방적 관리제도의 개발, 범부처가 공동 참여하는 생태계교란종 관리 협력체계 구축 등의 생태계교란종 통합관리 방안을 제시하여 집중관리 하고 있는 실정이다.

큰입배스와 블루길 두 어종은 생태적 특성 및 서식 특성에서 상당히 유사한 것으로 알려져 있다. 이들 교란어종들은 모두 유속이 느린 정체성 수역이나 호수, 연못 등에 서식하며, 국내 수계에서는 댐호나 저수지 등에서 높은 우점도를 나타내는 것으로 보고되고 있다(Lee et al. 2009). 블루길은 식물성 혹은 동물성 먹이를 먹는 잡식성으로 알려져 있고, 이입지역에 따라서는 먹이연쇄 단계의 생태적 지위(Ecological Niche) 변화에 따라 소형어류 및 어란 등의 동물성 먹이를 선호하는 것으로 보고되고 있다(Byon and Jeon 1997; Song et al. 2012). 큰입배스는 대형 육식어종으로 수중먹이연쇄에서 최상위 포식자이고, 포식압(Predation pressure)이 매우 강해 어류, 양서류, 갑각류 등 다양한 먹이를 섭식하는 것으로 알려져 있다(Kim et al. 2013). 생태교란어종에 관한 국내 연구는 큰입배스의 경우 분포 범위(서식지) 연구(Kim et al. 2013), 식성 및 먹이섭취에 대한 연구, 어류상에 미치는 영향 연구(Ko et al. 2008; Lee et al. 2013) 등에 대해 집중적으로 이루어져 왔으며, 블루길의 경우 식성 및 섭식분석 연구(Byon and Jeon 1997), 개체군 밀도 및 구조 연구, 분포범위(Song et al. 2012) 등의 연구가 주류를 이루고 있다.

국외에서의 교란어종 연구에 따르면, 외부에서 유입된 종들은 특수한 환경조건(서식지, 수질, 기후 등) 및 서식하는 수체 특성에 따라 이동, 분포, 확산 특성을 달리하는

것으로 알려져 있다. 따라서 물리적 서식지와 어류 군집 간의 관련성뿐만 아니라 이화학적 수질과의 관련성에 관한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다(Park et al. 2009; Hur et al. 2011; Kim et al. 2013; Han and Paek 2016). 담수는 인간의 생활권과 밀접하게 연관되어 있고, 많은 변화가 발생하는 지역이면서 다른 영역의 생태계(육상, 해양)에 비해 쉽게 교란 받으며 회복이 오래 걸리는 특성이 있다. 담수의 활용을 위한 인간의 개발 행위는 하천에 물리적, 화학적, 생물학적 변화를 초래하며 직접적으로 담수 어류의 다양성 및 분포 변화를 야기할 뿐만 아니라, 간접적으로 하천 주변 및 하천 내 서식지 다양성 감소를 일으켜 수생동물들의 분포와 다양성에 영향을 끼친다(Yoon et al. 2018).

본 연구의 조사지점인 동진강의 유로연장은 83.06 km, 유역 면적은 1348.82 km²로서, 정읍시 산외면의 상두산(575 m)에서 발원하여 김제평야를 지나 황해도 홀러드는 강이다. 주변에는 산지와 농경지가 대부분을 차지하는 전형적인 농촌 지역으로, 동진강 수계를 이루고 있는 하천은 본류를 포함하여 정읍천, 원평천, 고부천 등 4개의 직할 하천과 1개의 지방하천, 82개의 준용하천 등 모두 87개 하천에 총 연장은 446.2 km에 이른다(Lee et al. 2004; Lee and Park 2009). 하지만 산업화에 따라 주택 공급 증가와 대지, 도로 등을 포함한 기타 면적이 증가하고 있으며, 새만금 상류에 위치하고 있는 동진강 유역은 축산 단지가 분포하고 있어 토지계와 축산계 등 비점오염원의 비중이 높은 지역이다. 따라서 본 연구지역에 대한 수질 특성 및 이에 따른 어류의 영향에 대한 분석은 동진강 수계의 수질 및 수생태 관리에 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 우리나라 금강 동진강 수계의 본류와 지류에서 13개의 지점을 대상으로 어류를 정량채집을 실시하였고, 이를 기반으로 이화학적 수질 특성을 분석하였고, 생태계교란어종인 큰입배스와 블루길의 분포 및 생태특성을 분석하였고, 이들 교란종 서식지의 이·화학적 수질 자료와 서식 분포 특성 간의 상관성을 분석하여, 향후 외래종의 개체군 변동 및 확산 등의 관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지점 및 시기

본 연구에서는 동진강 수계의 본류 3지점과 지류 10

지점, 총 13개의 지점을 선정하였다. 조사 시기는 수온상승과 장마의 영향이 적어 수체가 안정적인 강우 전기인 (Premonsoon) 2016년 5~6월과 강우 후기인 9월로 대별하여 어류 현장 조사를 실시하였다. 조사 대상 하천 및 세부지점은 아래와 같다(Fig. 1). 또한, 동진강 수계의 어류상 변화를 확인하기 위하여 2008년에 실시한 환경부 수생태 건강성 조사 결과와 비교·평가하였다.

<동진강(DjR) 구간>

- S1. 전라북도 김제시 부량면 옥정리
- S2. 전라북도 정읍시 신태인읍
- S3. 전라북도 정읍시 옹동면 산성리

<정읍천(JeS) 구간>

- S4. 전라북도 정읍시 이평면 하송리
- S5. 전라북도 정읍시 공평동
- S6. 전라북도 정읍시 송산동

<고부천(GbS) 구간>

- S7. 전라북도 부안군 동진면 하장리
- S8. 전라북도 정읍시 영월면 맹성리

<원평천(WpS) 구간>

- S9. 전라북도 김제시 죽산면 죽산리
- S10. 전라북도 김제시 봉남면 용신리

<신평천(SpS) 구간>

- S11. 전라북도 김제시 성덕면 남포리

<용호천(YhS) 구간>

- S12. 전라북도 정읍시 신태인읍 구석리

<천원천(CwS) 구간>

- S13. 전라북도 정읍시 하모동

2. 현장조사

어류 현장조사는 환경부 생물측정망 조사 및 평가 지침을 준용하였다. 채집 도구로는 투망(Casting net, 망목 7×7mm), 족대(Kick net, 망목 4×4mm)를 이용하였으며, 채집거리는 조사구간의 상·하류를 포함하여 200m로 정하여 투망은 조사구간 내의 다른 장소에서 10회, 족대는 이동거리를 포함하여 30분 동안 조사를 실시하였다. 채집한 어류는 현장에서 Kim and Park (2002) 및 Son and Song (2006)에 의거해 동정 및 계수 후 바로 풀어주는 것을 원칙으로 하되 현장에서 동정이 모호한 종은 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 옮긴 후 동정하였다. 채집된 어류의 개체수 산정은 어류 체장의 길이가 20mm 이하의 동정이 불가능한 치어의 경우 제외하였으며, 비정상 어종이 채집되었을 경우에는 감별 방식은 Sanders et al. (1999)의 방법에 따라 기형(DE; Deformity), 지느러미 손상(EF; Erosion), 피부 손상(LE; Lesions) 및 종양(TU; Tumors)의 내용을 비정상성 유형을 감별하여 어류 야장에 기록하였다.

3. 어류 군집분석

본 조사의 어류 군집분석을 위해, 각 조사지점에서 채집된 어종의 개체수를 기준으로 아래와 같이 종 풍부도 지수(Margalef 1958), 종 균등도 지수(Pielou 1975), 종 다양도 지수(Shannon and Weaver 1949) 및 군집 우점도 지수(Simpson 1949)를 산정하였다.

i) 종 풍부도 지수(Margalef's species richness index, *d*)

$$d = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$$

ii) 종 균등도 지수(Pielou's evenness index, *J'*)

$$J' = \frac{H'}{\log_e S}$$

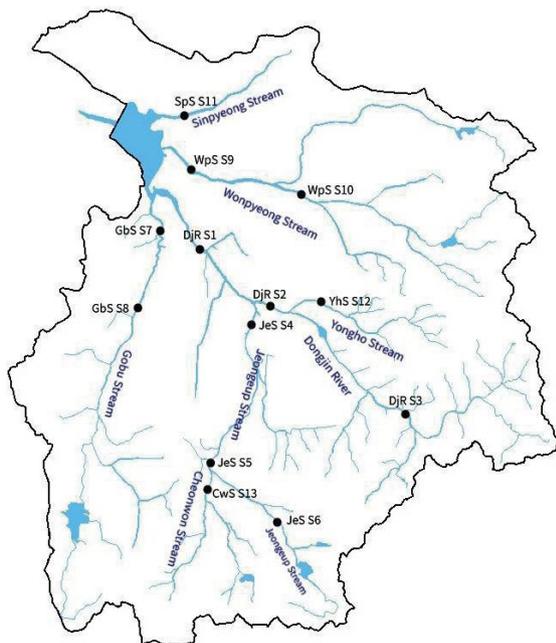


Fig. 1. The map showing the sampling sites (S1-S13) in the watershed of Dongjin-River.

iii) 종 다양도 지수(Shannon-Weaver diversity index, H')

$$H' = - \sum P_i \log_{10} P_i$$

iv) 군집 우점도 지수(Simpson's Dominance Index, λ)

$$\lambda = \sum \frac{N_i^2 - N}{N(N-1)}$$

[N =총 출현 개체수, N_i = i 종의 개체수, P_i = N_i/N , S =총 출현 종수]

4. 하상구조(Substrate Structure) 특성

하상구조를 분석하기 위해 1차적으로 하천차수(Stream order)를 산정하였다. 하천차수는 1:120,000 축적의 지도를 이용하여 Strahler (1957) 방법에 따라 결정하였다. 하천차수 산정 방법은 동일한 차수의 하천이 만나면 차수가 올라가고, 큰 차수의 하천에 작은 차수의 하천이 유입되면 큰 하천차수를 따르는 것을 원칙으로 하였다. 본류 및 지류에서 하상재료 조사를 기초로 하여, Woo (2004)와 Wentworth (1922)의 사립자 크기 등급에 따라 실트(silt, Si, <0.062 mm), 모래(Sand, Sa, 0.062~2.0 mm), 가는 자갈(Fine gravels, Fg, 2.0~16.0 mm), 굵은 자갈(Coarse gravels, Cg, 16.0~64.0 mm), 호박돌(Cobbles, Co, 64.0~256.0 mm) 및 전석(Boulders, Bo, >256.0 mm)으로 분류하였다.

5. 일반 수질항목 분석

이·화학적 수질 자료를 분석하기 위하여 2016년 1월부터 12월까지 측정된 환경부 물환경정보시스템 월별 수질 자료를 활용하였다. 생물학적 산소요구량(BOD; Biological Oxygen Demand), 화학적 산소요구량(COD; Chemical Oxygen Demand), 총인(TP; Total Phosphorus), 전기전도도(EC; Electric Conductivity), 총질소(TN; Total Nitrogen) 등 9개의 수질항목을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 조사지역의 이·화학적 수질 특성

본 조사지역의 2016년도 이·화학적 수질을 분석한 결과에 따르면, BOD와 COD 등의 유기물 오염지표는 지점별

로 비교적 큰 차이를 보였다(Fig. 2). 신평천의 수질은 타 지역에 비해 악화된 것으로 나타났고, 반면, 정읍천은 비교적 양호한 것으로 나타났다. 동진강 유역은 영농활동과 축산폐수, 농가 생활하수 유입에 영향을 받아 질소(N)의 유입에 의한 오염이 나타날 것으로 예상되었다. 유기물오염 지표인 BOD와 COD는 각각 평균 3.2 mg L⁻¹과 8.8 mg L⁻¹로 나타났으며, 영양염류에 의한 오염지표인 TN과 TP는 각각 평균 3.8 mg L⁻¹과 81.5 µg L⁻¹로 나타났다. 본 수역에서 질소(N)농도는 인(P)에 비해 아주 높은 것으로 나타나, 수체류시간이 높은 구간에서 조류 성장시에는 인(P)이 잠재적 1차적인 제한요인(P-limitation)으로 나타났다. 환경부에서 지정한 하천의 생활환경기준에 따르면 평균적으로 BOD에서 II등급(약간 좋음), COD에서 IV등급(약간 나쁨)을 나타냈다. 동진강과 정읍천이 Ib등급(좋음)을 나타내며 양호한 수질로 확인되었고, 고부천과 신평천이 III등급(보통)을 나타냈다. 이는 신평천의 BOD 농도가 평균 3.9 mg L⁻¹, COD 농도가 평균 11.2 mg L⁻¹로 높게 나타나 평균에 영향을 미친 것으로 보인다.

영양염류의 핵심지표인 총인(TP) 농도는 동진강과 정읍천에서 모두 0.1 mg L⁻¹ 이하의 II등급(약간 좋음)을 나타내는 반면, 신평천과 고부천에서는 III등급(보통)으로 분석되었다. 신평천은 김제시 북죽동에 위치한 김제 하수종말처리장, 고부천은 부안군에 위치한 부안 하수처리장의 영향을 받아 하천으로 영양염류와 유기물의 유입이 직접적인 영향으로 사료되었다. 지점별 CHL 농도의 경우에는 TN과 TP의 농도와 유사하게 증감이 나타나 고부천과 원평천, 신평천에서는 높은 CHL 농도가 확인되었다. 전기전도도의 경우에는 지점별로 뚜렷한 변이 양상이 나타나지 않았으며 이는 지점들이 점·비점오염원으로부터의 이온을 포함한 물질에의 노출 빈도 등이 유사하기 때문인 것으로 사료된다. 상기 수질 변수들을 종합해 보면, 지점별 BOD, COD 농도가 차이를 보였으며 수질 악화 현상을 보이는 하천에 대한 대책 마련과 관리가 필요한 것으로 나타났다.

2. 어류분포 특성 및 외래어종 분포 특성 변화

조사기간 동안 동진강 본류와 지류를 포함해 총 13개 지점들에서 어류는 총 39종, 937개체가 채집되었다(Table 1). 피라미(*Zacco platypus*)가 137개체로 전체의 14.6%를 차지하여 우점종으로 나타났으며, 블루길(*Lepomis macrochirus*)

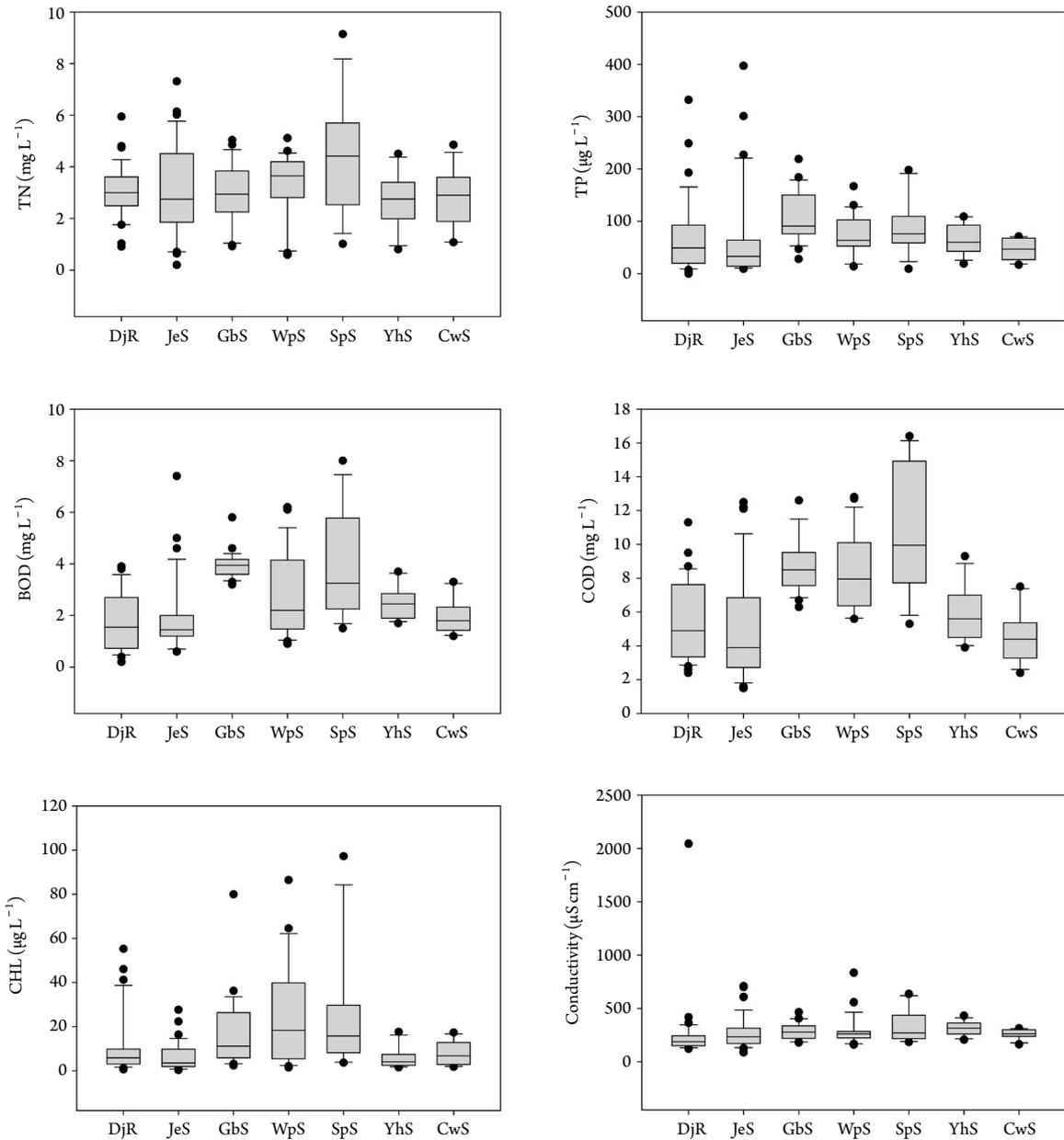


Fig. 2. Water chemistry of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), chlorophyll-a (CHL), and conductivity in the Dongjin River. DjR: Dongjin River, JeS: Jeongeup Stream, GbS: Gobu Stream, WpS: Wonpyeong Stream, SpS: Sinpyeong Stream, YhS: Yongho Stream, CwS: Cheonwon Stream.

이 131개체 14.0%로 아우점종으로 출현하였다. 그 외 큰입배스 (*Micropterus salmoides*), 물개 (*Squalidus japonicus coreanus*), 붕어 (*Carassius auratus*) 순으로 우점하였다. 한편, 가물치 (*Channa argus*), 납지리 (*Acheilognathus rhombeus*), 드렁허리 (*Monopterus albus*), 떡붕어 (*Carassius cuvieri*), 왜매치 (*Abbottina springeri*), 참마자 (*Hemibarbus longirostris*)

등은 0.1% 이하의 낮은 상대풍부도를 보였다. 외래종 우점 현상이 나타나는 하천은 S2 (동진강)와 S4 (정읍천)로 블루길이 각각 52.5%, 45.0%로 우점하고 있었고, S11 (신평천)에서는 큰입배스가 43.1%로 크게 우점하는 것으로 나타났다 (Table 2). 또한 S5 (정읍천)과 S13 (천원천)에서 각각 블루길(25.7%)과 큰입배스(20.4%)가 아우점종으로 나

Table 1. Fish fauna, based on tolerance guilds, trophic guilds, and habitat guilds in the watershed of Dongjin-River in 2016 and 2008, respectively. The values within the parenthesis are 2008 data and the data before the parenthesis are 2016 data

Species	Tolerance guilds	Trophic guilds	Habitat guilds	DjR		JeS			GbS		WpS		SpS		YhS		CwS	TNI	RA (%)
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13			
<i>Zacco platypus</i>	IS	O	-	2	20	3	20	11			5	24			32	20	137	14.6	
<i>Lepomis macrochirus*</i>	TS	I	-	62		36	19					6	2		6	131	14.0		
<i>Micropterus salmoides*</i>	TS	C	-	8	1	3	5	14	2	6	2	16	3	22		10	92	9.8	
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	TS	O	-	4		8				16	1	30	2			61	6.5		
<i>Carassius auratus</i>	TS	O	-	1		2	1			8		7	15	16	3	6	59	6.3	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	IS	I	-	4	17		4	5			4	1	3		11	5	54	5.8	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	TS	O	-	20		1				4	6	22		1			54	5.8	
<i>Zacco koreanus</i>	SS	I	-			6		3	29						14		52	5.5	
<i>Hemibarbus labeo Pallas</i>	TS	I	-	19	9	2	6			1		5					42	4.5	
<i>Rhinogobius brunneus</i>	IS	I	RB	2							20				5		27	2.9	
<i>Zacco temminckii</i>	SS	I	-			24		3									27	2.9	
<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	TS	C	-	2	10	2	11										25	2.7	
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	IS	O	-	5	1	3				7		6			2		24	2.6	
<i>Tridentiger brevispinis</i>	IS	I	RB							9	10		3				22	2.3	
<i>Pseudorasbora parva</i>	TS	O	-								7	9		6			22	2.3	
<i>Oryzias sinensis</i>	TS	O	-												15		15	1.6	
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>	IS	O	-		1	3	1	4									9	1.0	
<i>Erythroculter erythropterus</i>	TS	C	-								8						8	0.9	
<i>Acanthorhodeus gracilis</i>	IS	O	-								8						8	0.9	
<i>Coreoperca herzi</i>	SS	C	-			1		1	6								8	0.9	
<i>Cobitis lutheri</i>	IS	I	-			1							1		3	2	7	0.7	
<i>Rhodeus uyekii</i>	IS	O	-												6		6	0.6	
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	TS	I	-		4		2										6	0.6	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>	IS	O	RB		3		2										5	0.5	
<i>Odontobutis platycephala</i>	SS	C	-			3			2								5	0.5	
<i>Abbottina rivularis</i>	TS	O	-												4		4	0.4	
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	TS	O	-			1		2					1				4	0.4	
<i>Sarcocheilichthys nigripinnis morii</i>	IS	I	-	2						1			1				4	0.4	
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	IS	O	-											4			4	0.4	
<i>Cyprinus carpio</i>	TS	O	-								1	1	1				3	0.3	
<i>Pungtungia herzi</i>	IS	I	-			2											2	0.2	
<i>Gnathopogon strigatus</i>	IS	I	-					2									2	0.2	
<i>Rhodeus notatus</i>	IS	O	-		2												2	0.2	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>	IS	O	-	1													1	0.1	
<i>Hemibarbus longirostris</i>	IS	It	-					1									1	0.1	
<i>Channa argus</i>	TS	C	-		1												1	0.1	
<i>Carassius cuvieri</i>	TS	O	-								1						1	0.1	
<i>Abbottina springeri</i>	TS	O	-								1						1	0.1	
<i>Monopterus albus</i>	TS	C	-					1									1	0.1	
Total number of species				9	14	14	11	12	6	8	12	10	11	6	10	6	39		
Total number of individual				63	118	72	80	74	52	52	69	102	60	51	95	49	937		

SS: Sensitive species, IS: Intermediate species, TS: Tolerant species, O: Omnivore, I: Insectivore, C: Carnivore, H: Herbivore, RB: Riffle-benthic species, TNI: Total number of individual, RA: Relative Abundance, *: Exotic species, DjR: Dongjin River, JeS: Jeongeup Stream, GbS: Gobu Stream, WpS: Wonyeong Stream, SpS: Sinpyeong Stream, YhS: Yongho Stream, CwS: Cheonwon Stream

타났다. 한편, S5에서의 블루길이 19개체 채집되어, 20개체 채집된 피라미와 1개체 밖에 차이나지 않아 우점종과 아우점종의 구분이 큰 의미 없는 수치로 판단된다. 조사지점별 출현종수 및 개체수 분석에 따르면, 상대적으로 양호한 수질을 가진 동진강 지점 중 S2와 S3에서 14종으로 가

장 많은 종이 확인되었다. 한편 S2에서 총 118개체로 가장 많은 개체가 출현하였는데, 이는 블루길이 62개체로 전체 50% 이상을 차지하는 것으로 확인되었다. 피라미는 동진강 본류를 포함하여 정읍천, 원평천, 용호천, 천원천 모든 지점에서 높은 개체 풍부도를 보였는데, 이는 Kim and

Table 2. Comparisons of dominant species and subdominant species by sites in Dongjin River System

	DjR			JeS		
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Dominant species	<i>Hemiculter eigenmanni</i>	<i>Lepomis macrochirus</i>	<i>Zacco temminckii</i>	<i>Lepomis macrochirus</i>	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco koreanus</i>
No. of dominant speices	20 (31.8%)	62 (52.5%)	24 (33.3%)	36 (45.0%)	20 (27.0%)	29 (55.8%)
Subdominant species	<i>Hamibarbus labeo</i>	<i>Pseudogobio esocinus</i>	<i>Zacco platypus</i>	<i>Opsarichthys uncirostris amurensis</i>	<i>Lepomis macrochirus</i>	<i>Zacco platypus</i>
No. of subdominant species	19 (30.2%)	17 (14.4%)	20 (27.8%)	11 (13.8%)	19 (25.7%)	11 (21.2%)

	GbS		WpS		SpS	YhS	CwS
	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
Dominant species	<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	<i>Rhinogobius brunneus</i>	<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	<i>Zacco platypus</i>	<i>Micropterus salmoides</i>	<i>Zacco platypus</i>	<i>Zacco platypus</i>
No. of dominant speices	16 (30.8%)	20 (29.0%)	30 (29.4%)	24 (40.0%)	22 (43.1%)	32 (33.7%)	20 (40.8%)
Subdominant species	<i>Tridentiger brevispinis</i>	<i>Tridentiger brevispinis</i>	<i>Hemiculter eigenmanni</i>	<i>Carassius auratus</i>	<i>Carassius auratus</i>	<i>Oryzias sinensis</i>	<i>Micropterus salmoides</i>
No. of subdominant species	9 (17.3%)	10 (14.5%)	22 (21.8%)	15 (25.0%)	16 (31.4%)	15 (15.8%)	10 (20.4%)

DjR: Dongjin River, JeS: Jeongeup Stream, GbS: Gobu Stream, WpS: Wonpyeong Stream, SpS: Sinpyeong Stream, YhS: Yongho Stream, CwS: Cheonwon Stream

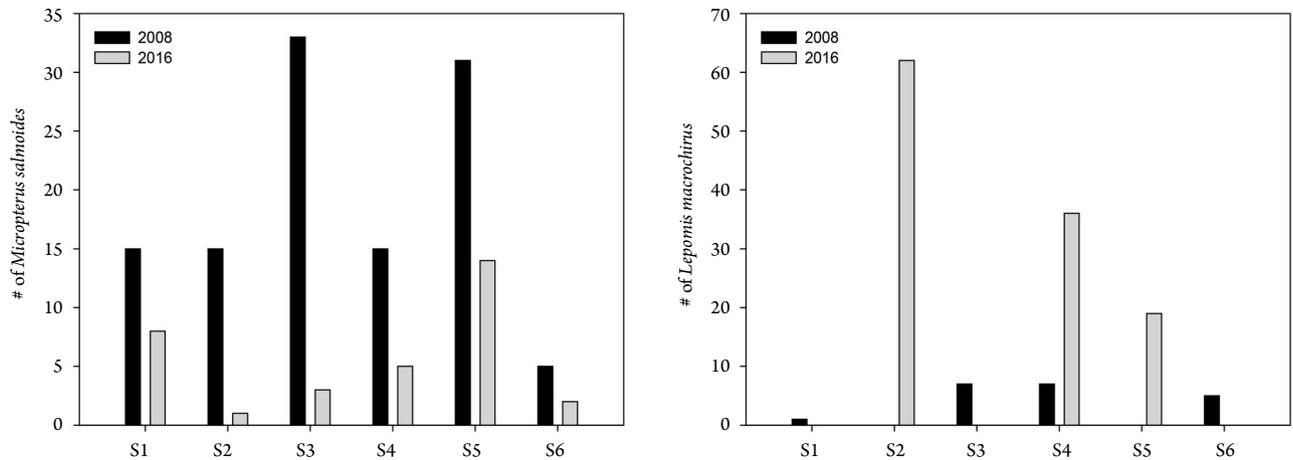


Fig. 3. Changes of the individual numbers of *Lepomis macrochirus* and *Micropterus salmoides* in 2008 vs. 2016.

Lee (2001), Kim *et al.* (2009)에서 보고된 바와 같이 피라미가 동진강 본류에서 우점하는 결과와 동일한 것으로 나타났다. 연구대상 지역인 동진강 수계의 이전 연구에 따르면 동진강 본류에서 46종, 고부천에서 21종을 기록하였고 (Kim and Lee 1984), 동진강 본류에서 47종, 고부천에서 32종, 원평천에서 36종을 확인하였다(Kim and Lee 2001). 이는 본 연구기간인 2016년에 실시한 조사결과에 비교해 보

았을 때 수계 전체 어류상과 하천별 어류상이 전반적으로 소폭 감소한 것으로 나타났다.

어류의 내성도 길드(Tolerance guild)를 분석한 결과 동진강 수계에서 내성종이 약 56.6%로 가장 높은 것으로 나타났고, 중간종이(Intermediate species) 33.6%, 민감종(Sensitive species)이 9.8%로 나타났다. 내성종 우점현상은 수계 내 이화학적 수질악화에 따른 영향으로 사료된다.

Table 3. Fish community analysis, based on the species richness index (d), evenness index (J'), species diversity index (H'), and dominance index (λ) in the sampling sites

Sampling sites		Dominance I. (λ)	Diversity I. (H')	Richness I. (d)	Evenness I. (J')
DjR	S1	0.209	1.758	1.931	0.800
	S2	0.308	1.686	2.725	0.639
	S3	0.194	1.995	3.040	0.756
JeS	S4	0.237	1.834	2.282	0.765
	S5	0.176	1.948	2.556	0.784
	S6	0.361	1.279	1.265	0.714
GbS	S7	0.170	1.823	1.772	0.876
	S8	0.142	2.096	2.598	0.844
WpS	S9	0.170	1.932	1.946	0.839
	S10	0.229	1.779	2.442	0.742
SpS	S11	0.293	1.382	1.272	0.771
YhS	S12	0.176	1.952	1.976	0.848
CwS	S13	0.235	1.568	1.285	0.875

d : Margalef's species richness index, J' : Pielou's evenness index, H' : Shannon-Weaver diversity index and λ : Simpson's dominance index. DjR: Dongjin River, JeS: Jeongeup Stream, GbS: Gobu Stream, WpS: Wonpyeong Stream, SpS: Sinpyeong Stream, YhS: Yongho Stream, CwS: Cheonwon Stream

Table 4. The physical habitat conditions, based on stream width, river type, stream order, and the bottom substrate structure of the sampling sites

Sites	Stream width (m)	River type	Stream order	Bottom substrate structures (%)							
				Si	Sa	Fg	Cg	Co	Bo	Ro	
DjR	S1	95-100	Ag	5	5	50	10	20	5	10	0
	S2	35-45	Ag	4	30	50	0	10	0	0	10
	S3	25-40	Ag	3	0	15	0	45	20	20	0
JeS	S4	35-50	Ag	4	20	55	0	7.5	10	7.5	0
	S5	95-105	Ag	4	5	25	0	35	10	25	0
	S6	35-45	Ag	3	5	25	5	30	5	30	0
GbS	S7	95-135	Ag	4	5	55	5	5	15	15	0
	S8	50-60	Ag	4	45	17.5	0	7.5	0	5	25
WpS	S9	50-55	Ag	4	10	50	10	7.5	10	12.5	0
	S10	30-40	Ag	4	30	25	0	20	10	15	0
SpS	S11	40-50	Ag	2	30	45	5	10	5	5	0
YhS	S12	10-15	Ag	2	10	70	5	12.5	2.5	0	0
CwS	S13	15-35	Ag	4	10	40	0	32.5	2.5	15	0

Ag: Agriculture, Ur: Urban, Fo: Forest, Si: Silt (<0.062 mm), Sa: Sand (0.062-2.0 mm), Fg: Fine gravels (2.0-16.0 mm), Cg: Coarse gravels (16.0-64.0 mm), Co: Cobbles (64.0-256.0 mm), Bo: Boulders (>256.0 mm) and Ro: Rock. DjR: Dongjin River, JeS: Jeongeup Stream, GbS: Gobu Stream, WpS: Wonpyeong Stream, SpS: Sinpyeong Stream, YhS: Yongho Stream, CwS: Cheonwon Stream

내성종의 비율은 S2에서 17.4%로 가장 높게 나타났는데, 이는 블루길 우점에 의한 영향으로 나타났다. 한편 민감종의 비율은 S6에서 40.2%로 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 큰입배스와 블루길의 개체수 변화 비교 결과, 큰입배스의 개체수는 S1~S5까지 큰입배스 개체수는 평균 14 마리가 감소한 반면, 블루길의 개체수는 S2, S4, S5 등

일부 지점에서 증가하여 16개체가 증가한 것으로 확인되었다(Fig. 3).

3. 어류 군집분석(Community Analysis)

지점별 군집분석에 따르면, 우점도 지수(Dominance

Table 5. The distributions of the exotic species of largemouth bass and bluegill from upstream (S1) to downstream (S13) in the watershed of Dongjin River

	DjR			JeS			GbS		WpS		SpS	YhS	CwS
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
<i>Micropterus salmoides</i>	8	1	3	5	14	2	6	2	16	3	22	0	1
<i>Lepomis macrochirus</i>	0	62	0	36	19	0	0	0	0	6	2	0	6

DjR: Dongjin River, JeS: Jeongeup Stream, GbS: Gobu Stream, WpS: Wonpyeong Stream, SpS: Sinpyeong Stream, YhS: Yongho Stream, CwS: Cheonwon Stream

Table 6. Comparisons of streambed substrate structures between the dominant region and absent (or rare) region of *Lepomis macrochirus* and *Micropterus salmoides*, respectively.

	Dominant region by <i>L. macrochirus</i>	Absent (rare) region by <i>L. macrochirus</i>	Dominant region by <i>M. salmoides</i>	Dominant region by <i>M. salmoides</i>	
Stream width (m)	55–66.7	44.5–57.5	40–50	47.5–60.4	
Stream order	4	3.5	2	3.8	
Bottom substrate types (%)	Si	18.3	15.0	30	14.6
	Sa	43.3	39.3	45	39.8
	Fg	0.0	4.0	5	2.9
	Cg	17.5	19.0	10	19.4
	Co	6.7	7.5	5	7.5
	Bo	10.8	12.8	5	12.9
Ro	3.3	2.5	0	2.9	

Ag: Agriculture, Ur: Urban, Fo: Forest, Si: Silt (<0.062 mm), Sa: Sand (0.062–2.0 mm), Fg: Fine gravels (2.0–16.0 mm), Cg: Coarse gravels (16.0–64.0 mm), Co: Cobbles (64.0–256.0 mm), Bo: Boulders (> 256.0 mm) and Ro: Rock.

Table 7. Water chemistry in the dominant regions and the absent (rare) regions of *Lepomis macrochirus* and *Micropterus salmoides*

	<i>L. macrochirus</i> Dominant region	<i>L. macrochirus</i> Absent (rare) region	<i>M. salmoides</i> Dominant region	<i>M. salmoides</i> Absent (rare) region
BOD (mg L ⁻¹)	2.10	2.65	3.99	2.53
COD (mg L ⁻¹)	6.02	6.89	10.66	6.69
NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	2.48	2.19	2.25	2.25
PO ₄ -P (μg L ⁻¹)	0.04	0.03	0.00	0.03
pH	7.70	7.93	7.74	7.87
Conductivity (μS cm ⁻¹)	334.03	263.48	334.83	279.76

index, λ)는 S6에서 0.361로 최고치를 보였는데, 이는 전체의 50% 이상을 상회하는 참갈겨니의 영향을 받은 것으로 분석되었다. 그러나 군집 우점도는 다른 지점들과의 뚜렷한 차이를 나타내지는 않는 것으로 확인된다. 종 다양도 지수 (Species diversity index, H') 또한 지점별로 큰 차이를 나타내지 않았지만 S8에서 2.096으로 최대치를 보였다 (Table 3). 한편 풍부도 지수 (Richness index, d)는 S3에서 가장 높게 나타났고 동시에 다양도와 균등도 (Evenness index, J') 또한 상대적으로 높은 값이 확인되었다. 군집분석 결과 다양도와 풍부도, 균등도가 전반적으로 높게 나타난 S8이 안정적인 군집구조를 형성하고 있는 것으로 나타났다.

4. 조사 대상 하천의 물리적 특성 및 외래종 분포

조사지점은 모두 농경지 주변에 위치하고 있으며 암반 하상 구조를 가진 지점은 S2와 S8로 나타났고 전 지역에서 모래와 자갈의 비율이 높은 것으로 확인됐다 (Table 4). 특히 S12에서 모래의 비율이 약 70%로 나타나므로 하상 구조의 단순화 현상 (Habitat simplification)으로 인해 어류의 종 조성에 영향을 미칠 것으로 사료되었다. 상류에 위치하는 S2와 S3에 비해 하류의 S1의 경우 하천차수가 높고 하폭이 넓어 유속이 느릴 것이라 예상되며 물 흐름이 느린 정수역인 호소 및 하천을 선호하는 어종의 분포가 많을 것으로 추정되고, 한편 10~30m 정도의 좁은 하폭을 가

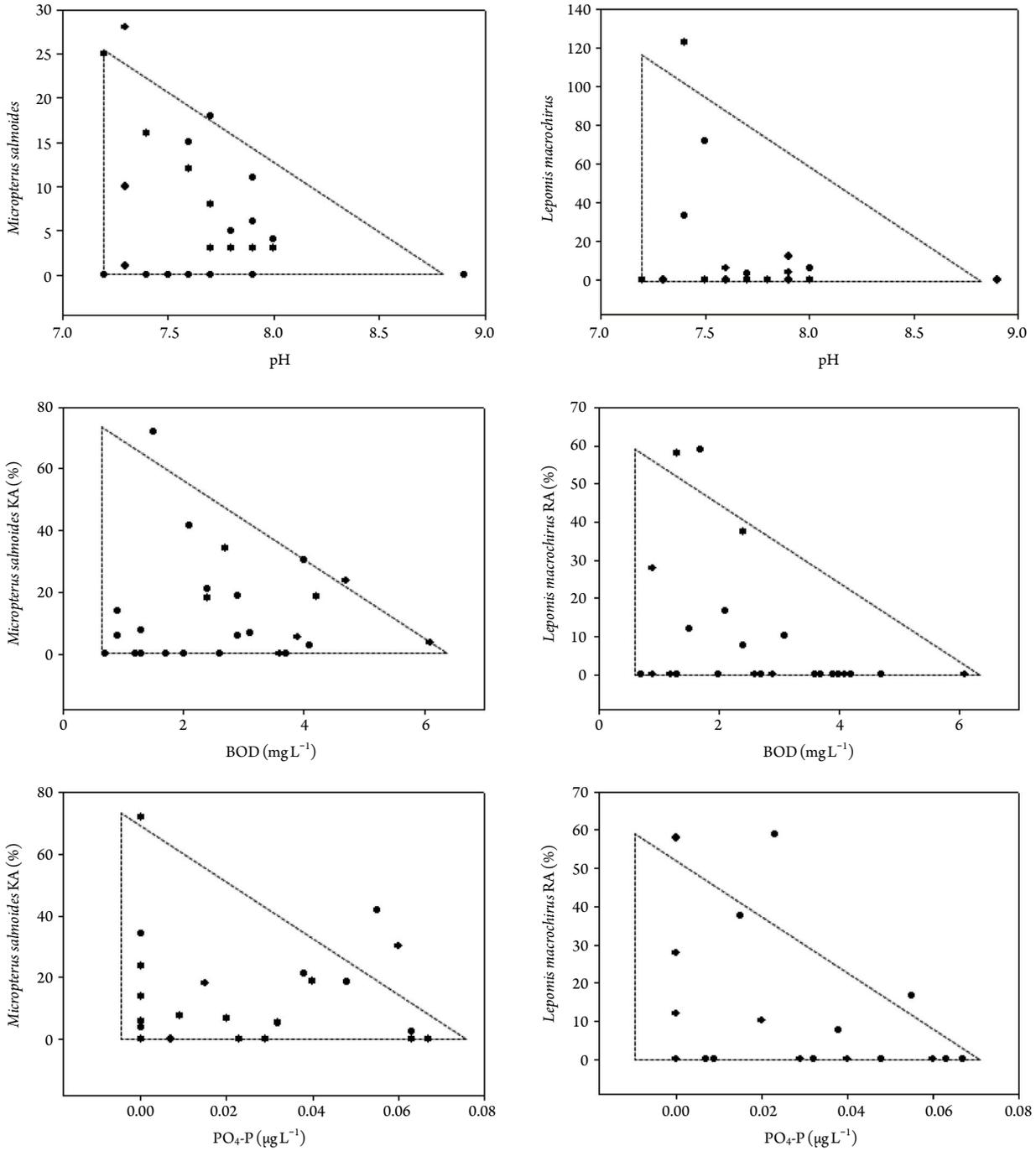


Fig. 4. The relations of *Micropterus salmoides* and *Lepomis macrochirus* as a proportion of the total, to the water quality parameters of pH, BOD, and PO₄-P.

진 하천은 비교적 빠른 유속이 나타나 유수성 어종이 우점하는 것으로 분석되었다.

지점별 외래종 분포 조사에 따르면, S12를 제외한 모든 지점에서 큰입배스 및 블루길이가 출현하였다(Table 5). 특

히 S2와 S4, S11서 많은 수의 블루길과 큰입배스가 확인되었다. 동진강 수계의 상당 부분이 외래종의 우점현상에 의해 생물 종 다양성에 악영향을 미치는 것으로 사료된다. 외래종이 우점한 지점의 하상구조를 분석 결과, 블루길

우점한 지점에서는 약 10m 더 넓은 하폭과 높은 하천차수를 나타내었으며, 실트(Silt)와 모래(Sand)의 비율은 외래종의 비출현 지역 및 비우점 지역들에 비해 높게 나타났다(Table 6). 한편 큰입배스가 우점한 지점은 다른 지점들에 비해 좁은 하폭과 낮은 하천차수를 나타내었으며 블루길과 마찬가지로 실트와 모래의 비율이 높게 나타났다. 외래종 우점 지역의 수질 분석에 따르면, 전기전도도의 평균은 우점 지역이 약 $60\sim70\mu\text{S cm}^{-1}$ 더 높게 나타나는 것으로 확인되었다. BOD와 COD 농도에서 블루길의 경우 비우점 지역이 상대적으로 높은 농도를 나타내었고 큰입배스는 우점 지역에서 더 높게 오염되었음이 나타났다. 하지만 전기전도도를 제외한 나머지 수질 항목들은 같거나 유사한 결과를 나타내는 것으로 확인되었다(Table 7).

일반적으로 하상구조와 하천차수 등 하천의 물리적 특성은 하천 내 서식하는 어류의 종조성 및 군집 특성에 직·간접적 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 하상구조의 다양성이 높을수록 수중 서식처가 복잡해지고, 복합적인 하상구조에 의해 조성된 미소서식처는 어류, 수서곤충의 서식에 영향을 미쳐 하천 생물다양성에 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Yoon et al. 2014). 또한 Moon et al. (2010)은 하천차수(Stream order)가 증가함에 따라 출현 어종 수와 개체수가 증가함을 밝힌 바 있으며 동시에 민감종 및 충식종의 수가 감소하는 반면 내성종 및 잡식종이 증가하는 것으로 분석한 바 있다.

5. 외래종 분포와 수질 특성의 관계

생태교란 외래종의 출현 빈도와 수질자료의 분석에 따르면, 큰입배스와 블루길은 모두 pH의 증가에 따라, 두 어종의 개체수는 감소하는 경향을 보였다(Fig. 4). 전 지점에서 평균 pH는 7.8로 나타났고, 대부분 일정한 pH를 유지했다. 일부 지점에서 외래종의 개체수가 집중되어 나타났으나, 이는 pH가 증가함에 따라 개체수가 직간접적인 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 또한 유기물 오염도의 지표인 BOD 농도와 외래종의 상대풍부도에 대한 분석에 따르면, BOD 수치가 증가할수록 큰입배스와 블루길은 감소하는 것으로 보인다. 블루길은 3개 지점(S2, S4, S5)에서 우점종으로 단연 높게 나타났고, 조사지점 중 적은 수의 개체가 발견되거나 개체가 나타나지 않은 지점이 다수로 나타났다. 큰입배스는 BOD가 $1.5\sim4.5\text{ mg L}^{-1}$ 구간에서 높은 상대풍부도를 보였다. 한편 큰입배스와 블루길의 상대풍

부도는 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도에서 최대 $300\mu\text{g L}^{-1}$ 까지 부영양화된 수체에서도 나타나는 것으로 확인됐다. 블루길은 $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 $1.3\sim2.4\text{ mg L}^{-1}$ 구간에서 높은 상대풍부도를 보였다. 중대형 수체에서의 큰입배스 분포 특성을 연구한 Kim et al. (2013)에 따르면, 큰입배스의 분포 특성은 다른 어종군집에 비해 수질의 영향을 덜 받을 수 있고, 산란장과 같은 물리적 서식지 특성, 유속, 수심과 같은 수리수문학적 특성, 이용 가능한 자원의 양(먹이) 및 타종들과의 경쟁 등의 여러 다양한 요인들에 의해서도 영향을 받는 것으로 보고하고 있다. 따라서 큰입배스와 블루길 등 외래종의 분포지 선호도에 대한 연구는 메소코즘 연구 및 통제된 조건의 다양한 야외 실험을 적용하여 다양한 개체군 영향요인 분석을 통해 좀 더 과학적으로 밝혀져야 할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구에서는 동진강 수계에서 외래 교란어종(큰입배스와 블루길)에 대한 물리적 서식지 및 화학적 수질 특성의 영향을 분석하였다. 또한 큰입배스(*Micropterus salmoides*)와 블루길(*Lepomis macrochirus*) 각각 어종에 대한 우점 지역(출현 지역)과 비출현 지역을 구분하였고, 수 화학(Water chemistry) 및 어류서식지 특성(하상구조 등)에 대한 상관도 분석을 실시하였다. 두 교란어종의 상대 풍부도는 BOD, $\text{PO}_4\text{-P}$ 및 pH의 수질이 악화됨에 따라 크게 감소하였으나, $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 전기전도도에 따른 풍부도 변화는 보이지 않았다. 블루길은 동진강 수계의 우점 지역(출현 지역)과 비출현 지역 두 지역 사이에 서식지 구조적 측면에서 유의한 차이를 보이지 않은 반면, 큰입배스는 두 지역 간의 비교군에서 뚜렷한 차이를 보였고, 특히, 실트, 자갈, 암반과 같은 하상구조에서 뚜렷한 차이를 보였다. 동진강에서 우점종은 피라미(14.6%), 블루길(14.0%) 및 큰입배스(9.8%)로서 나타났다. 즉, 외래 생태교란종이 전체 개체수의 24%를 차지하여, 동진강 수계는 외래종의 분포는 유기물 오염 및 영양염(P) 오염에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기

술원의 생물다양성위협 외래생물관리기술개발사업의 지원(RE201807019) 및 대전녹색환경지원센터의 2016년도 연구개발사업 지원에 의해 수행됨.

REFERENCES

- Byon HK and SR Jeon. 1997. Feeding habit of Bluegill, *Lepomis macrochirus* introduced in Korea. Korean J. Environ. Biol. 15:165-174.
- Han JH and WK Paek. 2016. Water chemistry characteristics and fish fauna of Sodo stream watershed in Taebaeksan Provincial Park. Korean J. Environ. Ecol. 30:71-80.
- Hur JW, HS Kang and MH Jang. 2011. Investigation on physical habitat condition and fish fauna in Dal stream of Han River Basin. J. Korean Soc. Environ. Eng. 33:564-571.
- 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 physico-chemical water quality in the habitats. Korean J. Limnol. 46:541-550.
- Kim IS and JY Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Press, Seoul.
- Kim IS and WO Lee. 1984. Effects of stream modification in the Seomjin River on the fish communities of the Dongjin River in Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci. 17:549-556.
- Kim JR and CL Lee. 2001. Ichthyofauna and fish community from Dongjin River system, Korea. Korean J. Limnol. 42:39-47.
- Kim YP, EH Lee and KG An. 2009. Ecological health assessment of Dongjin River based on chemical measurement and fish assemblage analysis. Korean J. Limnol. 42:183-191.
- Ko MH, JY Park and YJ Lee. 2008. Feeding habits of an introduced large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrarchidae), and its influence of ichthyofauna in the Lake Okjeong, Korea. Korean J. Ichthyol. 20:36-44.
- Lee HW and SS Park. 2009. Trend analysis of water quality in Dongjin River Watershed. Korean J. Limnol. 42:39-47.
- 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 KB, CH Kim, DB Lee, JG Kim and CW Park. 2004. The flora and vegetation of the Dongjin River. Korean J. Environ. Agric. 23:33-40.
- 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.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. Generation System 3:36-71.
- Moon WK, JH Han and KG An. 2010. Fish fauna and community analysis on Heuck Stream Watershed. Korean J. Limnol. 43:69-81.
- Park JY, SH Kim, MH Ko, MK Oh and JC Shin. 2009. Change of ichthyofauna and fish community on natural stream restoration in Jeonju-Chon stream, Jeollabuk-do, Korea. Korean J. Environ. Ecol. 23:381-391.
- Pielou EC. 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York. p. 165.
- Sanders RE, RJ Miltner, CO Yoder and ET Rankin. 1999. The use of external deformities, erosion, lesions, and tumors (DELT anomalies) in fish assemblages for characterizing aquatic resources: a case study of seven Ohio streams. pp. 225-246. In Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources using Fish Communities. CRC press, Boca Raton, Florida.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana.
- Simpson EH. 1949. Measurement of diversity. Nature 163:688.
- Son YM and HB Song. 2006. Freshwater fishes of Geum River, Korea. Jisung Press, Seoul.
- Song HB, MS Byeon, DW Kang, CY Jang, JS Moon and HK Park. 2012. Population structure of bluegill, *Lepomis macrochirus* in Lakes of the Han River System, Korea. Korean J. Ichthyol. 24:278-286.
- Strahler AN. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Eos. Trans. AGU 38:913-920.
- Wentworth CK 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol. 30:377-392.
- Woo HS. 2004. River Hydraulics. Cheongmoongak publishing, Seoul. pp. 362-363.
- Yoon JD, JH Kim, SH Park and MH Jang. 2018. The distribution and diversity of freshwater fishes in Korean Peninsula. KJEE 51:71-85.
- Yoon SJ, JK Choi and HG Lee. 2014. Comparison of fish distribution characteristics by substrate structure in the 4 streams. Korean J. Environ. Ecol. 28:302-313.