

하천차수에 따른 피라미와 참갈겨니 개체군의 생태지표 특성 비교

이승현 · 정현기 · 신현선¹ · 신유나 · 이수웅* · 이재관²

국립환경과학원 유역생태연구팀, ¹농촌진흥청 연구정책국 기후변화팀, ²국립환경과학원 물환경연구부

Comparison on Ecological Index Characteristics between *Zacco platypus* and *Zacco koreanus* by Stream order in Korea. Lee, Seung-Hyun (0000-0002-2794-6037), Hyun-Gi Jeong (0000-0002-5162-7175), Hyun-Seon Shin¹ (0000-0002-3765-6797), Yuna Shin (0000-0002-2867-3464), Su-Woong Lee* (0000-0001-6827-0769) and Jae-Kwan Lee² (0000-0002-1399-8688) (Watershed Ecology Research Team, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea; ¹Climate Change Team, R&D Coordination Division, Rural Development of Administration, Jeonju 54875, Republic of Korea; ²Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea)

Abstract We collected fishes at the 12,873 sites in stream order (1~7) from 2008 to 2016. In the results, two populations (*Zacco platypus* and *Zacco koreanus*) represented distributional differences in the stream order gradient, and correlation analysis showed that the two populations had a potential competitive relationship. The ecological characteristics of the fish except for the *Z. platypus* and the *Z. koreanus*, according to the gradient of stream order showed a pronounced gradient in the species such as intermediate species, sensitive species, carnivores, herbivores and omnivores. The two populations showed a high correlation between intermediate species, sensitive species of the tolerance guild and omnivores, insectivores of the trophic guild. Fish assessment index (FAI) was negative relation with stream order. According to the stream order gradient, the two populations showed different correlations with FAI.

Key words: stream order, *Zacco platypus*, *Zacco koreanus*, fish assessment index (FAI)

서 론

담수 생태계의 상위 포식자인 어류는 수체 내 생물학적 구조와 기능을 조절하는 중요한 생물군으로 (An *et al.*, 2001; An and Kim, 2005; Gal *et al.*, 2012), 서식하는 어류의 분포 특성으로 인해 수질오염 및 서식처 교란 등 수환경 변화에 따라 수환경 평가지표로 널리 이용되어 왔다

(Jones *et al.*, 2005). 어류를 이용한 하천생태계의 오염 정도는 이화학적 요인과의 상호관계뿐 아니라 생물학적 요인으로서 어류 개체군의 관계 분석 (Beyer, 1987; Bolger and Connolly, 1989)을 통해 평가되어 왔으며 특히 지표종으로서 피라미속 (Genus *Zacco*) 어류를 통해 연구되어 왔다 (Anderson and Neumann, 1996; Hur *et al.*, 2009; Hur and Seo, 2011; Ko *et al.*, 2012; Byeon, 2013; Lee and An, 2016).

어류를 이용한 생물학적 평가는 1981년 미국에서 도입된 IBI (Index of Biotic integrity)를 시작으로 현재까지 하천 생태계의 평가지표로서 다양한 연구에 활용되어 왔

Manuscript received 30 October 2017, revised 12 December 2017, revision accepted 18 December 2017

* Corresponding author: Tel: +82-32-560-7450, Fax: +82-32-568-2051, E-mail: hoffman@korea.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

다(Steedman, 1988; Karr and Chu, 1999; Stevens *et al.*, 2006). 국내의 경우, 2000년대부터 IBI 모델을 기반으로 국내 하천의 특성에 맞게 수정 및 보완된 어류평가지수(Fish Assessment Index)로 사용해 왔다. 지수에 이용되는 어류의 생태특성에 따라 내성도 길드(Tolerance guild)는 민감종(Sensitive species), 중간종(Intermediate species), 내성종(Tolerant species)으로 구분되며, 섭식 특성 길드(Trophic guild)는 육식종(Carnivores), 초식종(Herbivores), 충식종(Insectivores), 잡식종(Omnivores)으로 구분되는데(Ohio EPA, 1987), 이러한 생물학적 평가지수의 도입은 어류의 분포 양상 및 서식환경의 교란에 의한 결과를 정량화된 분석이 가능하게 함에 따라 어류의 분포 특성을 파악하는데 용이하게 이용되어 왔다(Karr, 1981; Yoder and Smith, 1999). 특히 피라미속 어류의 경우, 피라미(*Zacco platypus*), 참갈겨니(*Zacco koreanus*), 갈겨니(*Zacco temminckii*)로 국내에는 총 3종이 보고되었으며(Kim *et al.*, 2005; Chae and Yoon, 2010), 최근 연구에 따르면, 피라미와 참갈겨니 개체군을 대상으로 공서하는 어류의 내성도 길드 및 섭식 특성에 따른 개체군의 분포 양상을 분석함으로써 국내 담수 수계를 평가하기 위한 주요 생태지표종으로서 연구되어 왔다(Choi *et al.*, 2017). 특히 내성도 길드에 따라 중간종(Intermediate species)에 속하는 피라미는 국내 수계 하천의 중하류 여울부에서 많이 서식하며, 섭식 특성 길드에 따라 수서곤충이나, 부착조류, 유기물 등을 먹이원으로 섭식하는 잡식종(Omnivore)으로 확인되고 있다. 반면 참갈겨니는 민감종(Sensitive species)으로 하천의 중상류에 유속이 빠른 여울부에서 서식하는 특성을 보이며, 곤충 또는 수서곤충을 먹이원으로 하는 충식종(Insectivore)으로 보고되고 있다.

어류를 이용한 생물학적 평가는 하천차수를 이용하여 생태학적으로 접근이 가능한데(Strahler, 1957), 어류의 종수나 개체수와 같은 생물학적 자료를 하천차수에 따른 물리적 지표로 평가하여 생태적 분포에 따른 하천의 연속성을 이해하는 데 유용하게 사용된다(Matthews, 1986; Vieira and Tejerina-Garro, 2014). 또한 하천차수의 증감 구배는 하폭, 수심, 하상재질, 유속 등 다양한 요인들의 변화에 따른 복잡성을 대변할 수 있으며(Gorman and Karr, 1978; Platts, 1979), 하천 내 오염원 유입, 어류의 이동, 서식처 안정화 등 하천생태계 특성 변화를 대변하는 데 중요한 가치를 가진다(Winemiller *et al.*, 2008).

본 연구는 국내 하천 수계에서 출현하는 피라미와 참갈겨니 개체군을 대상으로 하천차수에 따라 비교함으로써 향후 하천차수별 어류 생태특성에 따른 개체군 분포 양상 연구에 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

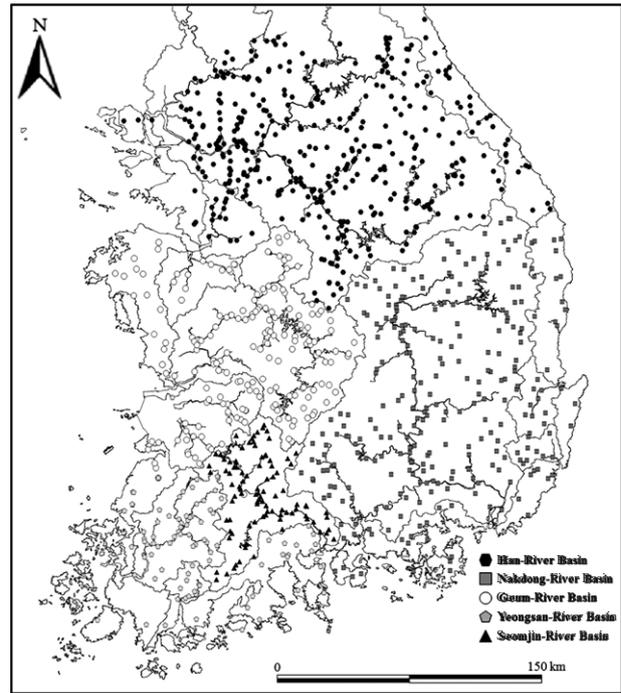


Fig. 1. Location of study sites in Korea (2008~2016).

재료 및 방법

1. 조사지점 및 어류 조사

본 연구는 한강 416지점, 낙동강 290지점, 금강 192지점, 영산강 89지점, 섬진강 97지점 등 총 1,084지점에서 어류를 채집하였으며, 2008~2016년까지 매년 2회씩(5~6월, 9~10월) 반복하였다(Fig. 1). 어류의 채집은 정량조사를 위해 투망(망목 7×7 mm) 및 족대(망목 4×4 mm)를 이용하였으며, 채집된 어류는 현장에서 즉시 동정 및 계수한 후 방류하였다. 어류의 동정은 국내에서 보고된 어류 검색표(Kim, 1997; Kim and Park, 2002; Kim *et al.*, 2005)를 이용하였고, 분류체계는 Nelson(2006)의 체계를 따랐다.

2. 생태지표 특성 분석

하천차수(stream order)별 개체군 분석은 Strahler(1957)의 방법을 따라 1:120,000의 축적지도를 이용하여, 1차하천에서 7차하천으로 구분하였으며, 하천차수별 지점수는 전체 1,084지점을 2008~2016년까지 매년 2회씩 반복하여, 총 12,873지점으로 1차하천 390지점, 2차하천 2,337지점, 3차하천 4,142지점, 4차하천 3,271지점, 5차하천 1,752지점, 6차하천 925지점, 7차하천 56지점으로 확인되었다. 통계분석을 위해 자료의 정규성을 고려하여 출현 개체수

(X)를 $\text{Log}_e(X+1)$ 로 변환하였으며, 피라미와 참갈겨니 개체군 등 요인에 따른 비교 분석을 위해 One-way ANOVA를 실시하였고, 하천차수에 따라 유의한 차이는 Duncan의 사후검정을 이용하여 확인하였다. 두 개체군 간의 비교 분석은 하천차수 및 공서하는 어류의 생태특성에 따라 상관관계(Spearman's)를 분석하였다. 어류의 생태특성은 하천수생태계 건강성 조사 및 평가에 의거하여 각 출현 어종을 대상으로 Barbour *et al.* (1999)에서 제시된 내성도 길드(Tolerance guild)와 Ohio E.P.A. (1987)에서 제시한 섭식 특성 길드(Trophic guild)를 이용하였다. 내성도 길드는 민감종(Sensitive species), 중간종(Intermediate species), 내성종(Tolerant species)으로 총 3개 기능군으로 구분하였고, 섭식 특성 길드는 육식종(Carnivores), 초식종(Herbivores), 잡식종(Omnivores), 충식종(Insectivores)으로 총 4개 기능군으로 구분하였다. 모든 통계 분석은 PASW Statistic 18 (SPSS, 2009) 프로그램을 이용하였다.

결 과

전체 지점에서 하천차수별 피라미와 참갈겨니의 평균 출현 개체수는 다음과 같다(Table 1). 피라미의 경우, 26.37 ± 43.49~48.67 ± 71.93개체의 범위로 4차하천에 가장 많이 출현한 반면, 2차하천에서 가장 적게 출현하였다. 참갈겨니의 경우, 0.30 ± 16.82~31.30 ± 47.83 개체의 범위로 2차하천에서 가장 많이 출현한 반면, 7차하천에서 가장 적게 출현하였다. 피라미와 참갈겨니 개체군은 1차하천부터 7

차하천까지 모든 하천차수에서 출현하였으나, 참갈겨니의 경우 6차하천과 7차하천에서 출현 개체수가 적게 출현하는 것으로 확인되었다. 피라미는 하천차수의 증가에 따라 출현 개체수가 증가($r^2=0.147, p<0.01$) 하는 반면, 참갈겨니는 하천차수에 따라 감소하였다($r^2=-0.222, p<0.01$). *t*-test 분석 결과 두 개체군의 출현 개체수는 1차하천을 제외한 2차하천부터 7차하천까지 유의한 차이를 보였으며($p<0.01$), One-way ANOVA 분석 결과 하천차수에 따라 두 개체군은 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었는데($p<0.01$), 사후검정에 따르면, 출현 개체수는 피라미의 경우 1차와 2차에서 가장 낮았고, 4차를 정점으로 3차와 5차, 6차와 7차 순으로 구분되었다. 참갈겨니의 경우 7차에서 가장 낮게 확인되었으며, 2차를 정점으로 1차와 3차, 4차와 5차, 6차 순으로 구분되었다. 따라서 하천차수에 따른 두 개체군의 주요 분포는 피라미의 경우 4차를 정점으로 3차, 5차, 6차, 7차에서 출현 개체수가 높게 분포하는 특성을 보이는 반면, 참갈겨니의 경우 2차를 정점으로 1차와 3차에서 높은 것으로 분석되었다(Table 1). 피라미와 참갈겨니의 상관관계 분석 결과, 6차를 제외한 1차부터 7차까지 모든 하천차수에서 유의한 음의 상관성을 보였으며, 6차하천부터 하천차수가 낮아질수록 두 개체군 간 음의 상관관계가 증가하였다(Table 2).

피라미와 참갈겨니 개체군의 생태지표 특성을 살펴보기 위해, 두 개체군과 함께 출현한 공서 어류를 생태특성에 따라 살펴본 결과는 다음과 같다(Table 3). 하천차수에 따라 내성도 길드의 경우 중간종이 2차하천을 제외한 모든 하천차수에서 우점하였으며, 섭식 특성 길드의 경우 충식종이 모든 하천차수에서 우점하였다. 각 기능군은 하천차수의 구배에 따라 출현 개체수가 지속적으로 감소(민감종, 충식종) 및 증가(내성종, 육식종)하였으며, 중간종 및 초식종, 잡식종은 1차하천부터 4차하천까지 증가 후 감소하였다. 각 기능군을 하천차수에 따라 One-way ANOVA 분석 결과, 내성도 길드 및 섭식 특성 길드의 모든 기능군들은 유의한 차이가 확인되었으며, 사후검정 결과 내성도 길드의 경우 중간종은 4차와 5차를 정점으로 3차부터 6차에서 주로 분포하였으며, 민감종은 1차와 2차를 정점으로 1차부터 5차, 내성종은 7차를 정점으로 3차부터 7차까지 대체로 분포하는 것으로 분석되었다. 섭식 특성 길드의 경우 육식종은 6차와 7차를 정점으로 3차부터 7차, 초식종은 5차를

Table 1. Abundance (mean ± S.D.) of Genus *Zacco* (*Z. platypus* and *Z. koreanus*) by stream order.

Stream order	<i>Z. platypus</i>	<i>Z. koreanus</i>	<i>p</i> -value (<i>t</i> -test)
1	26.38 ± 50.55 ^a	24.21 ± 43.82 ^b	0.80
2	26.37 ± 43.49 ^a	31.30 ± 47.83 ^a	<0.01
3	45.61 ± 66.10 ^{bc}	24.48 ± 47.24 ^{bc}	<0.01
4	48.67 ± 71.93 ^c	18.28 ± 37.16 ^d	<0.01
5	34.88 ± 39.47 ^{bc}	17.08 ± 33.41 ^{cd}	<0.01
6	31.82 ± 48.72 ^d	3.51 ± 12.08 ^e	<0.01
7	36.50 ± 66.99 ^d	0.05 ± 0.30 ^f	<0.01

^{a,b,c,d,e,f}: Duncun's post hoc

Table 2. Correlation between *Zacco platypus* and *Zacco koreanus* by stream order.

Stream order	1	2	3	4	5	6	7
Correlation coefficient	-0.559**	-0.577**	-0.279**	-0.115**	-0.048*	-0.034	-0.283*
<i>p</i> -value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.044	0.295	0.035

Table 3. Abundance (mean \pm S.D.) of two guild's functional groups by stream order (IS, intermediate species; SS, sensitive species; TS, tolerant species; C, carnivores; H, herbivores; I, insectivores; O, omnivores).

Stream order	Tolerance guild			Trophic guild			
	IS	SS	TS	C	H	I	O
1	22.30 \pm 224.63 ^a	19.04 \pm 39.70 ^a	7.33 \pm 19.20 ^a	1.28 \pm 3.61 ^a	0.33 \pm 5.94 ^a	38.37 \pm 227.08 ^a	8.70 \pm 18.89 ^a
2	16.91 \pm 27.86 ^b	24.34 \pm 43.56 ^{ab}	7.22 \pm 20.55 ^a	2.57 \pm 4.61 ^b	1.56 \pm 10.45 ^{abc}	35.01 \pm 45.87 ^b	9.32 \pm 22.70 ^a
3	32.29 \pm 45.15 ^d	15.69 \pm 38.04 ^{bc}	12.14 \pm 25.52 ^b	4.43 \pm 8.10 ^c	2.51 \pm 14.18 ^{bc}	36.33 \pm 55.30 ^b	16.85 \pm 28.68 ^b
4	37.56 \pm 52.89 ^d	12.19 \pm 24.98 ^c	17.95 \pm 48.07 ^c	6.46 \pm 11.09 ^d	3.06 \pm 33.93 ^{cd}	33.25 \pm 37.50 ^b	24.92 \pm 50.91 ^c
5	34.88 \pm 38.84 ^d	15.51 \pm 29.21 ^{bc}	14.55 \pm 30.07 ^{bc}	8.13 \pm 14.05 ^{de}	3.04 \pm 14.51 ^d	35.33 \pm 40.93 ^b	18.45 \pm 26.07 ^{bc}
6	29.64 \pm 33.65 ^d	5.28 \pm 16.39 ^d	19.76 \pm 36.43 ^d	11.93 \pm 26.31 ^{ef}	0.96 \pm 5.32 ^{abc}	25.76 \pm 26.41 ^b	16.04 \pm 29.07 ^b
7	20.63 \pm 26.12 ^c	2.16 \pm 5.81 ^d	30.82 \pm 23.53 ^e	12.86 \pm 17.27 ^f	0.54 \pm 2.98 ^{ab}	27.05 \pm 23.82 ^b	13.16 \pm 18.89 ^b

^{a,b,c,d,e,f}: Duncun's post hoc

Table 4. Correlation between Genus *Zacco* (*Z. platypus* and *Z. koreanus*) and two guild's functional groups by stream order (IS, intermediate species; SS, sensitive species; TS, tolerant species; C, carnivores; H, herbivores; I, insectivores; O, omnivores).

Stream order		1	2	3	4	5	6	7	
<i>Z. platypus</i>	Tolerance guild	IS	0.308*	0.339*	0.394*	0.396*	0.369*	0.416*	0.527*
		SS	-0.047	-0.238*	-0.099*	0.079*	0.163*	0.254*	0.464*
		TS	0.378*	0.451*	0.291*	0.189*	0.121*	0.028	-0.072
	Trophic guild	C	-0.130*	-0.012	0.068*	0.177*	0.089*	0.054	-0.087
		H	0.037	-0.003	0.016	0.064*	0.087*	0.142*	-0.04
		I	0.212*	0.033	0.248*	0.328*	0.345*	0.378*	0.419*
		O	0.484*	0.433*	0.364*	0.237*	0.198*	0.250*	0.046
<i>Z. koreanus</i>	Tolerance guild	IS	-0.036	0.053*	0.114*	0.202*	0.218*	0.177*	-0.161
		SS	0.068	0.379*	0.484*	0.592*	0.527*	0.452*	-0.089
		TS	-0.278*	-0.473*	-0.543*	-0.566*	-0.588*	-0.302*	-0.147
	Trophic guild	C	0.128*	0.165*	0.017	-0.028	-0.212*	-0.087*	-0.096
		H	-0.115*	0.190*	0.294*	0.288*	0.158*	0.169*	-0.053
		I	-0.032	0.219*	0.258*	0.325*	0.258*	0.138*	-0.126
		O	-0.385*	-0.319*	-0.303*	-0.184*	0.062*	0.147*	-0.208

* $p < 0.01$

정점으로 2차부터 6차, 잡식종은 4차와 5차를 정점으로 3차부터 7차에 주로 분포하는 것으로 나타났다. 반면, 충식종은 1차를 제외한 2차부터 7차까지 하천차수별 분포 차이가 뚜렷하게 확인되지 않았다.

두 개체군과 함께 출현한 어류의 하천차수별 상관관계 분석 결과, 내성도 길드의 경우 피라미는 하천차수별로 1차와 2차에서 내성종과 상관성이 높게 나타났으며, 3차부터 7차까지 중간종과 상관성이 높게 나타났다. 하천차수의 증가에 따라 중간종과 민감종은 양의 상관관계로 상관성이 증가하였으며, 내성종은 음의 상관관계로 상관성이 증가하였다. 참갈겨니는 하천차수별로 1차, 2차, 3차, 5차에서 내성종, 4차와 6차에서는 민감종의 상관성이 높게 나타났으며, 하천차수 구배에 따른 상관관계는 1차부터 5차까지 피라미와 동일하게 높은 상관성을 보였다. 섭식 특성 길드의 경우 피라미는 하천차수별로 1차부터 3차까지 잡식종

과 상관성이 높게 나타났으며, 4차부터 7차까지 충식종과 상관성이 높게 나타났다. 하천차수의 증가에 따라 충식종은 양의 상관관계로 상관성이 증가하는 반면, 잡식종은 감소함을 보였다. 참갈겨니는 하천차수별 1차부터 3차까지 잡식종, 4차와 5차에서 충식종, 6차에서 초식종과 높은 상관성을 보였으며, 하천차수에 따라 1차부터 6차까지 초식종, 충식종, 잡식종이 양의 상관관계로 상관성이 증가했다 (Table 4).

하천차수별 어류평가지수 (Fish assessment index)는 42.45 \pm 12.89 ~ 72.38 \pm 17.36의 범위로 산정되었으며, 1차에서 가장 높은 반면 7차에서 가장 낮게 나타났다. One-way ANOVA 분석 결과 하천차수에 따라 어류평가지수는 유의한 차이를 보였으며, 하천차수의 증가에 따라 감소하였다 (Fig. 2). 피라미와 참갈겨니는 어류평가지수와 1차하천부터 6차하천까지 유의한 상관성이 확인되었으며, 하천

라미와 내성종 간 상관관계에서 다른 상관성을 보여(Kim and An, 2015; Lee and An, 2016; Choi *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2017), 내성도 길드가 반영된 구체적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 하천차수에 따른 두 개체군은 내성도 길드에 따라 상관성의 차이를 보였지만 하천차수 구배에 따른 상관관계 변화는 동일하였고, 섭식 특성 길드는 1차부터 3차의 경우 잡식종, 4차부터 7차의 경우 충식종으로 구분됨에 따라 유사한 상관관계를 보였다. 특히 잡식종의 경우 유기물 오염이나 서식환경의 변화에 따라 종수 및 개체수가 변화하는데(Karr and Dudley, 1981; US EPA, 1991), 본 연구에서는 피라미와 참갈겨니 개체군을 제외한 공서하는 어류의 생태특성에 따라 각 하천차수별 충식종의 개체수가 잡식종보다 전반적으로 높게 나타났다. 하지만 특정 수계 및 구간에 따라 직·간접적 교란의 가능성으로 수환경의 변화에 따른 피라미와 참갈겨니 개체군의 출현 분포는 수환경 평가에 중요한 지표가 될 것으로 판단된다.

하천차수의 증가에 따라 감소하는 어류평가지수의 변화는 상류에서 하류로 내려갈수록 농경지나 주거지와 같은 외부 요인의 인위적인 교란의 가능성을 내포하고 있으며, 특히 민감종과 충식종에서는 감소하는 반면, 내성종과 육식종에서는 증가함을 보였다. 어류평가지수에 따라 두 개체군은 상관성의 차이를 보임에도 불구하고, 하류로 내려갈수록 피라미는 양호한 환경에 서식하는 기능군과 높은 상관성을 보였으며, 참갈겨니 또한 1차부터 7차까지 모든 하천차수의 양호한 환경에 서식하는 기능군과 높은 상관성을 보여 유사하게 확인되었다. 따라서 피라미와 참갈겨니 개체군의 출현 개체수는 하천차수에 따라 차이를 보였지만, 두 개체군은 같은 피라미속 어류로 산란습성 및 서식환경이 비교적 유사하기 때문에 상호 잠재적인 경쟁관계의 가능성을 가지고 있으며, 두 개체군의 경쟁관계에 따른 상호관계를 규명하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 공서 어류의 생태특성에 따른 두 개체군의 차이가 하천차수 구배에 따라 차이를 보여주고 있으나, 본 연구결과에서는 각 하천차수에 따른 뚜렷한 차이의 원인은 확인되지 않았다. 이는 동일한 하천차수에도 수계의 위치, 조사 지점 또는 구간의 차이, 수계 인근에 위치한 농경지나 도심지에 따른 영향 차이가 생태특성 변화에 중요한 요인으로 작용될 것으로 판단되며, 향후 연구에서는 각 지역별 및 수계별 환경요인에 따른 지표어종의 분포 특성 연구가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 2008년부터 2016년까지 1차부터 7차까지 총

12,873지점을 대상으로 하천차수별 어류분포를 조사하였다. 하천차수에 따른 피라미와 참갈겨니 개체군의 분포 양상에서 차이를 보였으며, 상관관계 분석 결과 두 개체군 간 잠재적인 경쟁관계 가능성을 확인하였다. 두 개체군과 다른 공서 어류의 생태특성은 하천차수의 구배에 따라 중간종, 민감종, 내성종, 육식종, 초식종, 잡식종 등 뚜렷한 구배가 나타나는 반면, 충식종의 경우 뚜렷한 구배가 나타나지 않았다. 어류의 생태특성에 따르면, 피라미의 경우 중간종이면서 잡식종, 참갈겨니의 경우 민감종이면서 충식종으로 구분이 되는데, 두 개체군은 내성도 길드의 중간종과 민감종, 섭식 특성 길드의 잡식종과 충식종에서 유사한 상관관계의 변화를 보였지만, 두 개체군은 생태특성에 따른 각 기능군과 서로 다른 상관성의 차이를 보였다. 어류평가 지수는 하천차수의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 상관관계 분석 결과 두 개체군은 하천차수별 상관성의 차이를 보였지만, 1차에서 4차까지 유사한 상관관계의 변화를 보였으며, 5차부터 7차까지 차이를 보였다.

사 사

본 연구는 2017년 국립환경과학원의 지류지천 어류폐사 원인 연구사업II (과제번호: NIER-RP2017-168)의 예산으로 수행되었고 하천수생태계 건강성 조사 및 평가를 수행해 온 어류 연구자분들께 감사사를 드립니다.

REFERENCES

- An, G.K. and J.H. Kim. 2005. A diagnosis of ecological health using physical habitat assessment and multimetric fish model in Daejeon Stream. *Korean Society of Limnology* **38**(3): 361-371.
- An, K.G., D.H. Yeom and S.K. Lee. 2001. Rapid Biomass assessments of Kap stream using the index of biological integrity. *Korean Society of Environmental Biology* **19**(4): 261-269.
- Anderson, R.O. and R.M. Neumann. 1996. Length, Weight, and Associated Structural Indices. pp. 447-482. *In: Fisheries Techniques* (Murphy, B.R. and D.W. Willis, eds.). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, 2nd Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington D.C.
- Beyer, J.E. 1987. On length-weight relationships computing the

- mean weight of the fish of a given length class. *Fishbyte* **5**(1): 11-13.
- Bolger, T. and P.L. Connoly. 1989. The selection indices for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology*. **30**: 171-182.
- Byeon, H.K. 2013. The Fish Fauna Changes and Characteristics populations of *Zacco koreanus* in Cheonggye Stream after the Rehabilitation, Korea. *Korean Society of Environment and Ecology* **27**(6): 695-703.
- Chae, B.S. and H.N. Yoon. 2010. Habitat Segregation between NE and NS Type of *Zacco koreanus* (Cyprinidae). *Korean Journal of Ichthyology* **22**(1): 49-55.
- Choi, S.Y., J.H. Han, J.W. Choi and K.G. An. 2017. Trophic gradients of two minnow species with similar eco-type and their relations to water chemistry and multimetric biological integrity. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity* **10**(3): 371-378.
- Gal, J.K., M.S. Kim, Y.J. Lee, J. Seo and K.H. Shin. 2012. Foodweb of Aquatic Ecosystem within the Tamjin River through the Determination of Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios. *Korean Society of Limnology* **45**: 242-251.
- Gorman, O.T. and J.R. Karr. 1978. Habitat structure and stream fish communities. *Ecology* **59**: 507-515.
- Hong, Y.P. 1991. A study on distribution and population dynamics of pale chub (*Zacco platypus*) and dark chub (*Zacco temminckii*) in Han River watershed. PhD thesis. Daejeon. Korea: Chungnam National University.
- Hur, J.W., S.Y. Park, S.U. Kang and J.K. Kim. 2009. Physical Habitat Assessment of Pale Chub (*Zacco platypus*) to Stream Orders in the Geum River Basin. *Korean Society of Environmental Biology* **27**(4): 397-405.
- Hur, J.W. and J.W. Seo. 2011. Investigation on physical Habitat Condition of Korean Chub (*Zacco koreanus*) in Typical Streams of the Han River. *Environmental Impact Assessment* **20**(2): 206-214.
- Jones, J.P.G., F.B. Andriahajania and N.J. Hockley. 2005. A multidisciplinary approach to assessing the sustainability of freshwater crayfish harvesting in Madagascar. *Conservation Biology* **19**: 1863-1871.
- Karr, J.R. 1981. Assessment of Biotic Integrity using Fish Communities. *Fisheries* **6**: 21-27.
- Karr, J.R. and D.R. Dudley. 1981. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management* **5**(1): 55-68.
- Karr, J.R. and E.W. Chu. 1999. Restoring life in running waters: better biological monitoring Island Press. Covelo. California. USA. 206pp.
- Kim, C.H., W.O. Lee, K.E. Hong, C.H. Lee and J.H. Kim. 2006. Ichthyofauna and Fish Community structure in Namdae Stream, Yangyang, Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **18**(2): 112-118.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korean Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education, p. 518.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Press Co., Seoul, p. 465.
- Kim, I.S., M.K. Oh and K. Hosoya. 2005. A new Species of cyprinid fish, *Zacco koreanus* with redescription of *Z. temminckii* (Cyprinidae) from Korea. *Korean Journal of Ichthyology* **17**(1): 1-7.
- Kim, S.Y. and K.G. An. 2015. Nutrient regime, N : P ratios and suspended solids as key factors influencing fish tolerance, trophic compositions, and stream ecosystem health. *Korean Journal of Ecology and Environment* **38**(4): 505-515.
- Ko, D.G., J.H. Han and K.G. An. 2012. Length-Weight Relations and Condition Factor (K) of *Zacco platypus* Along Trophic Gradients in Reservoir Ecosystems. *Korean Society of Limnology* **45**(2): 174-189.
- Lee, S.H., H.G. Lee, S.J. Park, S.H. Lee and J.K. Choi. 2014. Distribution Characteristics of Fish Community to Stream Order in Namhan River Watershed. *Korean Society of Limnology* **47**(1S): 100-115.
- Lee, S.J. and K.G. An. 2016. Distributions of Endangered Fish Species and Their Relations to Chemical Water Quality-Ecological Stream Health in Geum-River Watershed. *Korean Society of Environment and Ecology* **30**(6): 986-995.
- Lee, S.J., H.S. Park and K.G. An. 2017. Preliminary Environmental Impact Assessments on Fish Compositions and the Ecological Health of Jeokbyeok River on the Road Construction of Muju-Geumsan Region. *Environmental Impact Assessment* **26**(1): 27-43.
- Matthews, W. 1986. Fish faunal "break" and stream order in the eastern and central United States. *Environmental Biology of Fishes* **17**:81-92.
- Ministry of Environment. 2011. Stream/River Ecosystem Survey and Health Assessment. National Institute of Environmental Research. pp. 333.
- Moon, W.K., D.Y. Bae, J.W. Seo and K.G. An. 2012. Fish distribution and compositions along with altitude and longitudinal distance from the river mouth in the Tamjin River Basin, Korea. *Journal of Korean Society on Water Environment* **28**(4): 512-522.
- Moon, W.K., J.H. Han and K.G. An. 2010. Fish fauna and community analysis in Heuck Stream Watershed. *Korean Society of Limnology* **43**(1): 69-81.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of The World. 4th ed. New Jersey: John Wiley and Sons Inc. pp. 397-398.
- Ohio, E.P.A. 1987. Biological criteria for the protection of aquatic life: Volume I, II, III. Ohio EPA Division of Water Quality Monitoring and Assessment, Surface Water Section. Columbus.
- Platts, W.S. 1979. Relationships among stream order, fish populations, and aquatic geomorphology in an Idaho River drainage. *Fisheries* **4**(2): 5-9.
- Steedman, R.J. 1998. Modification and assessment of an index of biotic integrity to quantify stream quality in southern

- Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **45**: 492-501.
- Stevens, C., G. Scrimgeour, W. Tonn, C. Paszkowski, M. Sullivan and S. Millar. 2006. Developing and testing of a fish-based index of biological integrity to quantify the health of grassland streams in Alberta. Technical report produced by Alberta Conservation Association, Edmonton Alberta, Canada. 50pp.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union* **38**(6): 913-920.
- US EPA. 1991. Technical support document for water quality-based toxic control. EPA 505-2-90-001. US EPA, Office of Water. Washington D.C. USA.
- Vieira, T.B. and F.L. Tejerina-Garro. 2014. Assessment of fish assemblages in streams of different orders in the Upper Paraná River basin, Central Brazil. *Iheringia Série Zoolo-gia* **104**(2): 175-183.
- Winemiller, K.O., A.A. Agostinho and E.P. Caramaschi. 2008. Fish Ecology in tropical streams. pp. 107-146. *In: Tropical stream ecology* (Dudgeon, D., ed.). Amsterdam, Elsevier.
- Yoder, C.O. and M.A. Smith. 1999. Using fish assemblages in a state biological assessment and criteria program: essential concepts and considerations. Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources Using Fish Communities. p. 17-56.