

〈Original article〉

서해로 유입되는 독립하천의 어류상과 수생태계 건강성 평가: 전남과 전북을 대상으로

김진재 · 주현수^{1,*}

국립공원관리공단 가야산국립공원사무소, ¹서남대학교 의과대학

Fish Fauna and the Health Assessment of Independent Streams Flowing into the Yellow Sea in Korea: a Case of the Jeonnam and Jeonbuk Provinces

Jin-Jae Kim and Hyun-Soo Joo^{1,*}

Gayasan National Park Office, Korea National Park Service, Hapcheon 50201, Republic of Korea

¹College of Medicine, Seonam University, Namwon 55724, Republic of Korea

Abstract - In this study, the fauna of freshwater fish were investigated from March until October of 2016 in 24 independent streams in the Jeonnam and Jeonbuk provinces, which were flowing into the Yellow Sea. The health of the aquatic ecosystem in those streams was assessed through the biological and abiological character index (BAC index). During the surveyed period, a total of 4,127 individuals were collected; they belonged to 59 species of 44 genera in 18 families. The most dominant species identified was *Zacco platypus*, and 12 species were endemic species of Korea, including *Rhodeus uyekii*. The BAC index indicated a statistically significant correlation ($p < 0.01$ or 0.05). The stage distribution of the aquatic ecosystem health assessment showed the highest rating of 41.7% at the "Fair" stage. The "Good" and "Poor" stages accounted for 20.8% while the "Excellent" stage took up 16.7%. It has been confirmed that the aquatic ecosystem health of independent streams is influenced more by the abiological character index as a consequence of geographical characteristics and artificial/natural limiting factors, than by the biological character index.

Key words : fish fauna, health assessment, BAC index, independent stream

서 론

서해로 유입되는 독립하천은 다른 강과 합류되지 않는 독립적인 구조를 지니며, 대형 하천에 비해 하천의 길이가 짧고 유역이 좁은 지형적 특성을 가지고 있다(Kim and Han

2008; Jung *et al.* 2014). 이러한 까닭에 독립하천은 하천개발, 오염물질 유입 등 인위적 제한 요소에 비교적 큰 변화를 나타내며, 자연적 제한 요소에 해당되는 갈수기와 홍수기에 따라 유량변화가 극심하여 일반 하천에서 나타나는 자연정화 기능과 이곳에 서식하는 생물 종의 자연 복원력이 저하되거나 상실되는 등의 특성을 가진다(Park *et al.* 2005; Bae and An 2006; Ministry of Environment 2007). 독립하천은 접하고 있는 연안과 기수역에 영양염류 및 먹이 등을 전달하는

* Corresponding author: Hyun-Soo Joo, Tel. 063-620-0382, Fax. 063-620-0301, E-mail. ecojoo3846@hanmail.net

중요한 매개체로 알려져 있다(Kim and Han 2008). 그러므로 독립하천의 기능이 단절될 경우 이와 연결된 수역의 생물상에도 적지 않은 영향을 미치기 때문에 독립하천의 수생태계 건강성 평가를 통한 생태적 이해를 하는 것은 수생태계 관리에 있어 중요성을 갖는다.

서해로 유입되는 독립하천의 어류상에 대한 연구는 Choi (1988)와 Choi (1989)의 과거 연구 결과가 있을 뿐, 전무한 실정이다. 현재까지의 수생태계 건강성 평가는 주로 대형 하천을 대상으로 실시되었고 독립하천을 연구 대상으로 실시한 연구 결과는 매우 제한적이다(Song *et al.* 2005; Bae and An 2006; Choi *et al.* 2008; Choi and An 2013; Han *et al.* 2013). 또한, 해당 하천에 서식하는 주요 생물 분류군을 활용한 군집분석 방법에 부분적 이화학적 평가요소와 함께 소수의 비생물학적 평가요소를 추가한 수생태계 건강성 평가 방식이 주로 실시되었다(Karr 1981; Plafkin *et al.* 1989; Cho *et al.* 1998; An *et al.* 2001a, b; Kang *et al.* 2001; An and Kim 2005; An and Lee 2006; Choi and An 2008; Jo *et al.* 2015). 하천의 자연정화 기능과 생물종 복원력이 대형 하천에 비하여 현저히 낮은 독립하천은 생물학적 평가지수뿐만 아니라 비생물학적 평가요소인 환경적 평가지수를 동일한 가중치로 적용하여 수생태계 건강성을 평가해야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 서해로 유입되는 전남과 전북지역에 속한 24개 독립하천을 대상으로 어류상을 정밀 조사하고 어류상에 따른 생물학적 요소와 하천의 환경적 요소를 등가 적용하여 생물 및 비생물 평가지수(Biological and Abiological character index; BAci index)를 개발하고 본 연구지역인 24개 독립하천의 수생태계 건강성을 평가하였다.

재료 및 방법

1. 조사 방법

전라북도 고창군 부안면부터 전라남도 무안군 삼향면에 이르기까지 서해로 유입되는 24개 독립하천을 대상으로 2016년 3월부터 10월까지 현지조사를 실시하였다. 하천 길이가 10 km 미만인 독립하천은 1~2개 조사지점을, 10~20 km 인 독립하천은 3~4개 조사지점을, 20 km 이상의 독립하천은 5~7개의 조사지점을 선정하여 조사를 실시하였고(Table 1, Fig. 1), 그 출현 결과를 합산하였다(Table 2).

어류의 채집은 투망(망목, 5×5 mm, 20회), 족대(4×4 mm, 30분)를 이용하여 조사하였다. 채집된 어류는 현지에서 동정, 분류하고 종과 개체수를 확인 후 즉시 방류하였다. 표본의 분류 및 동정은 Kim (1997)과 Youn (2002)에 의하여 실

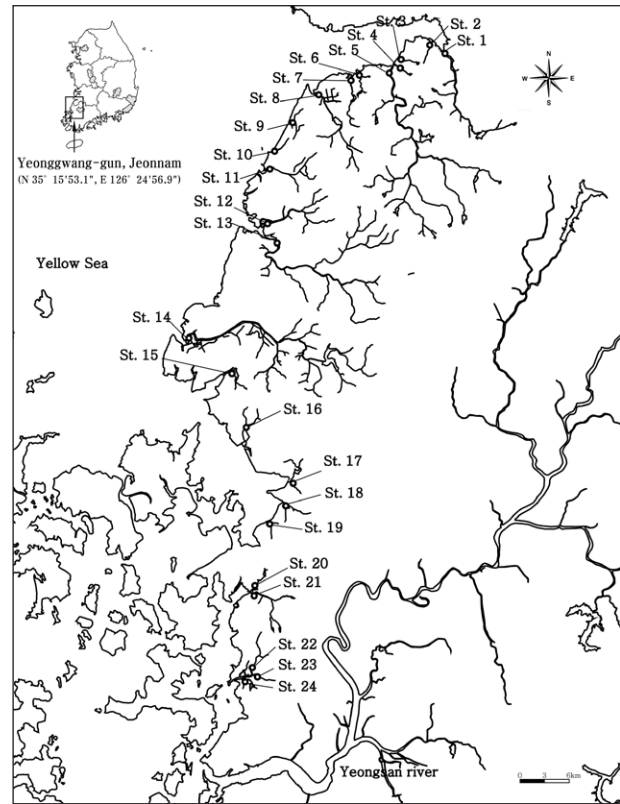


Fig. 1. Map showing the sampling sites for this study. See the Table 1 for Site number.

시하였다. 분류 체계는 Nelson (2006)에 따랐다. 각 독립하천에서 확인된 출현종과 출현 개체수의 결과를 근거로 종다양성 지수(Shannon and Weaver 1963)를 산출하였다. 생물상 조사와 더불어 하구둑, 수중보 존재 여부 및 하천 현황 등의 지형적 특성을 동시에 조사하였다.

2. 수생태계 건강성 평가

본 연구 대상 지역의 독립하천에 대한 수생태계 건강성 평가를 실시하기 위하여 생물 및 비생물 평가지수(Biological and Abiological character index; BAci index)를 새롭게 작성하여 연구결과에 활용하였다(Table 3). 생물 평가지수(Biological character index)는 Karr (1981)와 An *et al.* (2001a)이 제시한 생물보전지수(IBM) 모델에 기초하였고 추가적으로 과거 어류상의 출현 결과(Choi 1988; Choi 1989)와 비교한 어류상 출현 결과 등 총 15개의 평가지수를 선정하였다(Table 3). 비생물 평가지수(Abiological character index)는 정량적 서식처 평가지수(QHEI), 하천 자연도 평가 및 연안 생태계 건강성 평가 방법을 기초로 하여 총 15개의 평가지수를 선정하였다(Plafkin *et al.* 1989; Barbour *et al.* 1999;

Table 1. Sampling sites for this study

Sites	Location of collection stations
St. 1	Sangam-ri, Buan-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Galgok Stream) • Sub. 1 (N 35°28'24.1", E 126°43'18.8"), Sub. 2 (N 35°28'58.2", E 126°41'55.4"), Sub. 3 (N 35°30'52.9", E 126°40'54.1")
St. 2	Sangam-ri, Buan-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Wondang Stream) • Sub. 1 (N 35°33'00.5", E 126°38'21.9"), Sub. 2 (N 35°32'49.2", E 126°37'42.4")
St. 3	Sunwoon-ri, Buan-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Jangsa Stream) • Sub. 1 (N 35°32'49.2", E 126°37'42.4"), Sub. 2 (N 35°32'56.0", E 126°36'26.1")
St. 4	Songhyun-ri, Buan-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Mapa Stream) • Sub. 1 (N 35°32'01.4", E 126°37'03.4"), Sub. 2 (N 35°32'32.8", E 126°36'11.6")
St. 5	Yonggi-ri, Simwon-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Jujin Stream) • Sub. 1 (N 35°24'29.8", E 126°40'43.1"), Sub. 2 (N 35°25'50.8", E 126°43'08.9"), Sub. 3 (N 35°26'32.6", E 126°39'31.5"), Sub. 4 (N 35°25'46.0", E 126°37'04.4"), Sub. 5 (N 35°27'44.5", E 126°37'37.6"), Sub. 6 (N 35°29'13.3", E 126°36'49.1")
St. 6	Wolsan-ri, Simwon-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Wolsan Stream) • Sub. 1 (N 35°31'05.4", E 126°33'27.8"), Sub. 2 (N 35°31'51.5", E 126°33'17.1")
St. 7	Dua-ri, Simwon-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Damam Stream) • Sub. 1 (N 35°29'41.1", E 126°32'26.1"), Sub. 2 (N 35°31'10.1", E 126°32'37.1")
St. 8	Gungsan-ri, Simwon-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Haeri Stream) • Sub. 1 (N 35°27'01.2", E 126°32'40.7"), Sub. 2 (N 35°26'44.4", E 126°30'51.8"), Sub. 3 (N 35°28'12.1", E 126°31'45.1"), Sub. 4 (N 35°29'29.7", E 126°30'58.9")
St. 9	Raseong-ri, Haeri-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Bupjang Stream) • Sub. 1 (N 35°28'51.5", E 126°28'12.8")
St. 10	Jangho-ri, Sangha-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Naegok Stream) • Sub. 1 (N 35°26'58.7", E 126°26'39.5")
St. 11	Jaryong-ri, Sangha-myeon, Gochang-gun, Jeonbuk (Jaryong Stream) • Sub. 1 (N 35°25'36.7", E 126°27'26.8")
St. 12	Chilgok-ri, Hongnong-eup, Yeonggwang-gun, Jeonnam (Guam Stream) • Sub. 1 (N 35°24'59.0", E 126°30'59.4"), Sub. 2 (N 35°22'39.1", E 126°29'09.8"), Sub. 3 (N 35°23'09.4", E 126°28'33.0")
St. 13	Imam-ri, Beopseong-myeon, Yeonggwang-gun, Jeonnam (Watan Stream) • Sub. 1 (N 35°18'38.3", E 126°34'24.9"), Sub. 2 (N 35°20'43.9", E 126°32'11.4"), Sub. 3 (N 35°17'56.6", E 126°32'18.6"), Sub. 4 (N 35°17'40.7", E 126°30'36.4"), Sub. 5 (N 35°19'44.2", E 126°29'06.8"), Sub. 6 (N 35°19'18.9", E 126°27'24.5"), Sub. 7 (N 35°19'50.2", E 126°26'20.9")
St. 14	Songam-ri, Yeomsan-myeon, Yeonggwang-gun, Jeonnam (Bulgap Stream) • Sub. 1 (N 35°13'05.2", E 126°33'30.4"), Sub. 2 (N 35°12'12.9", E 126°30'01.7"), Sub. 3 (N 35°13'09.8", E 126°26'24.5"), Sub. 4 (N 35°15'18.9", E 126°27'52.7"), Sub. 5 (N 35°14'49.1", E 126°28'43.1"), Sub. 6 (N 35°15'07.6", E 126°25'45.8"), Sub. 7 (N 35°15'53.1", E 126°24'56.9")
St. 15	Odong-ri, Yeomsan-myeon, Yeonggwang-gun, Jeonnam (Odong Stream) • Sub. 1 (N 35°13'07.8", E 126°23'24.7")
St. 16	Wolcheon-ri, Sonbul-myeon, Hampyeong-gun, Jeonnam (Bukseong Stream) • Sub. 1 (N 35°09'17.5", E 126°24'30.1")
St. 17	Seokchang-ri, Sonbul-myeon, Hampyeong-gun, Jeonnam (Jugam Stream) • Sub. 1 (N 35°05'56.8", E 126°28'05.4")
St. 18	Gomac-ri, Nasan-myeon, Hampyeong-gun, Jeonnam (Haeun Stream) • Sub. 1 (N 35°04'23.2", E 126°27'37.0")
St. 19	Hyeonhwa-ri, Hyeonggyeong-myeon, Muan-gun, Jeonnam (Gwanggak Stream) • Sub. 1 (N 35°02'53.6", E 126°26'30.5")
St. 20	Dongsan-ri, Hyeonggyeong-myeon, Muan-gun, Jeonnam (Hakkye Stream) • Sub. 1 (N 34°59'27.9", E 126°25'28.6")
St. 21	Cheongcheon-ri, Cheonggye-myeon, Muan-gun, Jeonnam (Taebong Stream) • Sub. 1 (N 34°58'30.4", E 126°25'46.3")
St. 22	Namsung-ri, Cheonggye-myeon, Muan-gun, Jeonnam (Yonggye Stream) • Sub. 1 (N 34°54'31.4", E 126°25'27.2")
St. 23	Cheonggye-ri, Cheonggye-myeon, Muan-gun, Jeonnam (Cheonggye Stream) • Sub. 1 (N 34°53'17.9", E 126°25'24.0")
St. 24	Jisan-ri, Samhyang-myeon, Muan-gun, Jeonnam (Jisan Stream) • Sub. 1 (N 34°52'58.4", E 126°24'23.5")

Sub.: Subordinate sites.

Table 2. Continued

Scientific names	Sites																								Total	RA	Choi	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
<i>Synechogobius hastus</i> SF, BS, TS, O						2	1					3	7	3		3	2								2	23	0.56	●
<i>Rhinogobius giurinus</i> SF, BS, TS, O								2	2																	4	0.10	●
<i>Rhinogobius brunneus</i> SF, BS, TS, O	38	5	7	11	5	15	13	3				8	8	8	8	3	3	13	3	3	3	18	9	3	176	4.26	●	
<i>Tridentiger trigonocephalus</i> SF, BS, TS, O	12	8	6	8	8	12		7		12	8	8			2	2	2	8							101	2.45	●	
<i>Tridentiger bifasciatus</i> SF, BS, TS, O							25																		25	0.61	●	
<i>Tridentiger obscurus</i> SF, BS, TS, O	5	2	2	3	4	8	3	2		8	12							15							64	1.55	●	
<i>Tridentiger brevispinis</i> SF, BS, TS, O																			9						9	0.22	●	
<i>Boleophthalmus pectinirostris</i> SF, BS, SS, O																									5	0.12	●	
<i>Periophthalmus modestus</i> SF, BS, SS, O																								1	1	0.02	●	
* <i>Periophthalmus megaspinnatus</i> SF, BS, SS, O																									16	0.39	●	
Family Belontiidae																									30	0.73	●	
<i>Macropodus chinensis</i> BS, TS, O	3				2			5	12			5	3												30	0.73	●	
Family Channidae																									17	0.41	●	
<i>Channa arga</i> BS, TS	1				2			2						3	6						1				17	0.41	●	
Family Centrarchidae																									25	0.61	●	
<i>Lepomis macrochirus</i> BS, TS																									41	0.99	●	
<i>Micropterus salmoides</i> SS	33																								41	0.99	●	
No. of species	24	13	13	14	35	10	13	29	13	8	9	21	28	22	9	11	7	9	9	6	7	17	11	10	59	100	63	
No. of individuals	286	144	78	95	593	76	114	341	165	41	61	239	659	363	51	192	23	102	68	65	79	154	89	49	4,127	100	63	

RA(Relative abundance, %), Choi: Choi (1988, 1989)
 *: Korean endemic species, Bold type: Exotic species, ▶: Translocated species, SFS: Secondary freshwater fish, BS: Benthic species, SS: Sensitive species, TS: Tolerant species, O: Omnivores
 See the Table 1 for Site number

An *et al.* 2001b; Park *et al.* 2005; Kim *et al.* 2007). 총 30개 평가지수에 대한 기준은 Karr (1981)와 An *et al.* (2001a)이 제시한 방법을 소규모 독립하천의 특성에 맞게 변경 적용하였으며, 가중치는 각 평가지수마다 “5”, “3”, “1”로 적용하였다(Table 3). 수생태계 건강성 평가 단계는 An *et al.* (2001a)의 등급 기준에 의거하였으며, 본 연구에서는 30개 평가지수의 결과를 종합하여 4단계로 수정하여 구분하였다(Han *et al.* 2013). BAc index 값이 148~94의 범위는 최적 단계(Excellent), 93~76은 양호 단계(Good), 75~65는 보통 단계(Fair), 64~30은 불량 단계(Poor)로 대별하여 평가하였다. 생물 평가지수와 비생물 평가지수의 상관관계 분석을 위해 통계분석(SPSS 20.0)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 어류상

본 연구를 통하여 확인된 어류는 총 8목 18과 44속 59종 4,127개체로 확인되었다(Table 2). 채집된 어류 중에서 잉어목(Cypriniformes)이 26종(RA: 44.1%)으로 가장 많았다. 다음은 농어목(Perciformes)이 24종(40.7%)으로 확인되었다. 잉어과(Cyprinidae) 어류가 많이 출현하여 우리나라 서해와 남해로 흐르는 하천의 특성과 일치하였다(Na 1994; Byeon and Lee 2006; Choi and An 2008; Baek *et al.* 2013; Park and Joo 2015). 일차 담수어류는 피라미(*Zacco platypus*), 붕어(*Carassius auratus*) 및 참붕어(*Pseudorasbora parva*) 등의 35종(59.3%)이 출현하였고 이차 담수어류는 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 두줄망둑(*Tridentiger trigonocephalus*) 및 송어(*Mugil cephalus*) 등의 24종(40.7%)이 확인되었다(Table 2). 우점종은 피라미(*Z. platypus*) (RA: 25.2%), 아우점종은 붕어(*C. auratus*) (RA: 11.1%)로 확인되었다. 이들 종은 하천 중·하류에서 흔히 출현하며 수질오염에 대한 내성이 강한 어종이다(Kim *et al.* 2014). 희소종은 참종개(*Iksokimia koreensis*), 자가사리(*Liobagrus mediadiposalis*) 및 은어(*Plecoglossus altivelis*) 등 6종으로 전체 조사를 통하여 1개 체씩(RA: 0.02%) 출현하였다. 종합하면 정수성 담수어류가 우점하여 출현하는 양상을 나타내었다(Table 2). 이러한 종 조성을 나타낸 것은 본 연구지역이 하류는 기수역에 포함되며 상류는 과거 수십 년 동안 이·치수를 위해 설치된 수중보와 제방, 농경지 개발 등의 인위적 간섭에 의해 유수역에서 정수역으로의 변화에 따른 결과로 사료된다(An and Kim 2005; Choi and An 2008; Park and Joo 2015).

47속 63종의 서식을 확인한 선행연구결과와 비교하여

Table 3. The biological and abiological characters index (BAc index) of matrix for this study

Category	Indicators	Scoring criteria		
		5	3	1
Biological character Index	B ₁ : No. of species	> 19	10-19	< 10
	B ₂ : RSFF (%)	> 51	50-20	< 20
	B ₃ : Diversity (H')	> 2.0	1.99-1.49	< 1.5
	B ₄ : Dominance (%)	20-39	40-50	< 20, > 50
	B ₅ : RES (%)	> 20	10-20	< 10
	B ₆ : No. benthic species	> 20	10-20	< 10
	B ₇ : No. sensitive species	> 10	5-10	< 5
	B ₈ : Ratio of tolerant species (%)	< 20	20-50	> 50
	B ₉ : RIOF (%)	< 20	20-50	> 50
	B ₁₀ : Ratio of rare species (%)	< 10	10-30	> 30
	B ₁₁ : No of individuals	> 299	100-299	< 100
	B ₁₂ : NNCS	< 0	0-10	> 10
	B ₁₃ : NCS	> 3	2-3	< 2
	B ₁₄ : RIC of CS (%)	< 10	10-30	> 30
	B ₁₅ : AES	-	Absent	Present
Abiological character Index	Ab ₁ : Total length of stream (km)	> 19	10-19	< 10
	Ab ₂ : Area of stream basin (km ²)	> 79	40-79	< 40
	Ab ₃ : Total width of estuary (m)	> 99	50-99	< 50
	Ab ₄ : WWE	> 79	30-79	< 30
	Ab ₅ : Depth of estuary (m)	> 2.9	1.0-2.9	< 1.0
	Ab ₆ : Ratio of water surface (%)	> 50	20-50	< 20
	Ab ₇ : Water content of stream (%)	> 50	30-50	< 30
	Ab ₈ : DE	Natural	Low development	Artificial
	Ab ₉ : Type of stream flow	S type	Curve type	Line type
	Ab ₁₀ : Degree of stream order	> 4	4-3	< 3
	Ab ₁₁ : Degree of pollution (Water color, odor)	Low (Clean)	Middle (Yellowish brown)	High (Greenish brown, stink)
	Ab ₁₂ : No. of submerged weir	< 5	5-10	> 10
	Ab ₁₃ : DTAS	Natural	FRA	FCA
	Ab ₁₄ : ITEA	No	Primary	Secondary or more
	Ab ₁₅ : Location of reservoir	No	Upper	Mid/lower

RSFF: Ratio of Secondary freshwater fish, RES: Ratio of Endemic species, RIOF: Ratio of individuals of omnivore fish, NNCS: No. of no confirmed species with Choi (1988, 1989), NCS: No. of new confirmed species with Choi (1988, 1989), RIC of CS: Ratio of increase and decrease in confirmed species, AES: Appearance of Exotic species, WWE: Water width of estuary, DE: Development type of estuary, DTAS: Development type around stream, FRA: Farm and residential area, FCA: Farm and city area, ITEA: Industrial type of estuary around.

본 연구에서 출현하지 않은 어류는 칠성장어 (*Lampetra japonica*), 다묵장어 (*L. reissneri*) 및 웅어 (*Coilia nasus*) 등의 16종이었다 (Choi 1988; Choi 1989). 칠성장어 (*L. japonica*)는 동해의 독립하천에서 서식하는 종으로, 선행기록은 오동정으로 사료된다 (Shim 1992). 다묵장어 (*L. reissneri*)는 물이 맑고 소와 여울이 잘 발달되어 있으며, 중상류 지역의 하상이 펄과 모래로 이루어진 하천에서 서식한다고 알려져 있다 (Shim 1992; Yamazaki and Goto 2000; Sugiyama and Goto 2002; Takayama 2002). 지난 30년간 산업화 및 도시화에 따른 수환경 변화로 본 연구에서는 출현하지 않는 것으로 사료된다. 웅어 (*C. nasus*), 싱어 (*C. mystus*) 및 도화뱅어 (*Neosalanx andersoni*) 등의 회유성 어종은 대부분 3~4월 산란회유를 위하여 하천의 하구나 상류로 이동하는데, 하천에 설치된 수중보와 하구에 설치된 방조제 등이 어류의 이동을 방해하여 출현하지 않는 것으로 판단된다 (Poff and

Hart 2002; Poulet 2007; Mins and Olden 2013). 과거 연구 결과와 비교하여 새롭게 확인된 어류는 꼬리 (*Opsariichthys bidens*), 꺾정이 (*Trachidermus fasciatus*) 및 얼룩동사리 (*Odontobutis interrupta*) 등의 12종이었다 (Table 2).

한국고유종은 각시붕어 (*Rhodeus uyekii*), 가시납지리 (*Acanthorhodeus gracilis*) 및 긴물개 (*Squalidus gracilis majimae*) 등 12종 (출현율: 20.3%)으로 확인되었다 (Table 2). 이는 우리나라 하천의 고유화 비율인 28.8%보다 낮은 것으로 비교되며 (Lee *et al.* 2008), 유로연장이 짧고 바다로 직접 유입되는 하천의 특성으로 사료된다 (Choi *et al.* 1992; Hong *et al.* 1999; Lee *et al.* 2004). 외래종으로 확인된 배스 (*Microp-terus salmoides*)는 갈곡천 (St. 1, 33개체), 불갑천 (St. 14, 8개체)에서 총 41개체가 출현하였고, 블루길 (*Lepomis macrochirus*)은 불갑천 (St. 14)에서 25개체가 출현하였다. 외래종 출현은 독립하천에 조성된 인공저수지에서 일어난

Table 4. Results analyzed of the BAc index for this study

Category	Indicator	Sites																								Average	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Biological character Index	No. of species	24(5)	13(3)	13(3)	14(3)	35(5)	10(3)	13(3)	29(5)	12(3)	8(1)	9(1)	21(5)	28(5)	22(5)	9(1)	11(3)	7(1)	9(1)	6(1)	7(1)	17(3)	11(3)	11(3)	10(3)	2.9	
	RSFF (%)	16.7(1)	30.8(3)	38.5(3)	28.6(3)	31.5(3)	50(3)	46.2(3)	31.1(3)	8.4(1)	37.5(3)	33.4(3)	28.6(3)	17.9(1)	9.1(1)	0(1)	27.3(3)	42.9(3)	44.5(3)	16.7(1)	14.3(1)	5.9(1)	18.2(1)	9.1(1)	40(3)	2.2	
	Diversity (H')	2.7(5)	2.2(5)	2.3(5)	2.4(5)	2.8(5)	2.1(5)	2.2(5)	2.8(5)	2.1(5)	1.9(3)	1.9(3)	2.6(5)	2.4(5)	2.5(5)	2(3)	1.8(3)	1.8(3)	1.9(3)	1.5(1)	1.8(3)	2.6(5)	2(3)	1.8(3)	2.1(5)	4.1	
	Dominance (%)	36.8(5)	48(3)	44.9(3)	37.9(5)	39.8(3)	43.5(3)	45.7(3)	37(5)	44.8(3)	48.8(3)	52.5(1)	38.5(1)	49.1(3)	45.8(3)	47.1(3)	59.4(1)	56.6(1)	52(1)	66.2(1)	55.4(1)	34.2(5)	48.8(3)	67.5(1)	44.9(3)	2.8	
	RES (%)	12.5(3)	0(1)	15.4(3)	14.3(3)	17.2(3)	0(1)	0(1)	6.9(1)	16.7(3)	0(1)	11.2(3)	9.6(1)	21.5(5)	17.3(3)	11.2(3)	18.2(3)	0(1)	11.2(3)	16.7(3)	28.6(5)	23.6(5)	18.2(3)	9.1(1)	10(3)	2.6	
	No. benthic species	14(3)	6(1)	7(1)	6(1)	21(5)	6(1)	8(1)	18(3)	6(1)	4(1)	4(1)	13(3)	17(3)	12(3)	2(1)	6(1)	4(1)	5(1)	3(1)	3(1)	7(1)	3(1)	4(1)	6(1)	1.6	
	No. sensitive species	5(3)	2(1)	4(1)	3(1)	11(5)	0(1)	0(1)	4(1)	4(1)	1(1)	1(1)	3(1)	7(3)	7(3)	4(1)	2(1)	1(1)	0(1)	0(1)	0(1)	2(1)	6(3)	2(1)	2(1)	1(1)	1.5
	Ratio of tolerant species (%)	69.3(1)	47.3(3)	56.5(1)	61.1(1)	62.3(1)	84.3(1)	70.2(1)	78.1(1)	87.8(1)	87.8(1)	86.9(1)	80.4(1)	75.5(1)	53.5(1)	51(1)	85.5(1)	69.6(1)	97.1(1)	76.5(1)	63.1(1)	63.3(1)	77.3(1)	46.1(3)	83.7(1)	1.2	
	RIOF (%)	65.8(1)	74.4(1)	56.5(1)	65.3(1)	65.4(1)	71.1(1)	73.7(1)	81(1)	82.3(1)	43.9(3)	77.1(1)	73.7(1)	74.7(1)	50.7(1)	53(1)	90.2(1)	78.3(1)	77.5(1)	100(1)	78.5(1)	62.1(1)	89.7(1)	58.5(1)	91.9(1)	1.1	
	Ratio of rare species (%)	16.7(3)	15.4(3)	23.1(3)	14.3(3)	25.8(3)	20(3)	30.8(1)	31.1(1)	16.7(3)	12.5(3)	11.2(3)	14.3(3)	25(3)	9.1(5)	33.4(1)	18.2(3)	57.2(1)	11.2(3)	16.7(3)	14.3(3)	41.2(1)	18.2(3)	36.4(1)	40(1)	2.3	
No. of individuals	286(3)	144(3)	78(1)	95(1)	593(5)	76(1)	114(3)	341(5)	165(3)	41(1)	61(1)	239(3)	659(5)	363(5)	51(1)	192(3)	23(1)	102(3)	68(1)	65(1)	79(1)	154(3)	89(1)	49(1)	2.3		
NNCS	10(3)	14(1)	16(1)	14(1)	13(1)	5(3)	4(3)	5(3)	14(1)	8(3)	6(3)	5(3)	10(3)	13(1)	10(3)	14(1)	15(1)	21(1)	6(3)	7(3)	8(3)	6(3)	6(3)	8(3)	2.5		
NCS	6(5)	2(1)	4(3)	4(3)	5(3)	3(3)	6(5)	6(5)	1(1)	2(1)	3(3)	4(3)	2(1)	4(3)	3(3)	3(3)	2(1)	3(3)	1(1)	3(3)	5(3)	2(1)	1(1)	2(1)	2.2		
RIC of CS (%)	14.3(3)	48(1)	48(1)	41.7(1)	18.7(3)	16.7(3)	-18.2(5)	-3.6(5)	52(1)	42.8(1)	25(3)	4.6(5)	22.3(3)	29.1(3)	43.8(1)	50(1)	65(1)	66.7(1)	45.5(1)	36.4(1)	15(3)	26.7(3)	31.3(1)	37.5(1)	2.5		
AES	P(1)	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	2.8		
Bio. total	45	33	33	35	49	35	39	47	31	29	31	45	45	43	27	31	21	29	23	29	39	33	25	31			
Abiological character Index	Total length of stream (km)	14(3)	4(1)	2(1)	3(1)	28(5)	4(1)	7(1)	11(3)	3(1)	3(1)	6(1)	17.3(3)	25.5(5)	26(5)	4.1(1)	1.7(1)	4.8(1)	2.3(1)	3.2(1)	3.3(1)	4.6(1)	7(1)	4(1)	2.2(1)	1.8	
	Area of stream basin (km ²)	63.1(3)	2.6(1)	2.7(1)	3.8(1)	228.7(5)	7.7(1)	8.7(1)	49.3(3)	8.4(1)	8.1(1)	27.4(1)	56(3)	244.7(5)	181.3(5)	11.1(1)	12.6(1)	19.4(1)	8.1(1)	4.6(1)	12.1(1)	24.7(1)	9.1(1)	10.6(1)	5.3(1)	1.8	
	Total width of estuary (m)	120(5)	20(1)	25(1)	25(1)	100(5)	20(1)	25(1)	90(3)	35(1)	22(1)	80(3)	100(5)	90(3)	100(5)	30(1)	16(1)	30(1)	20(1)	20(1)	20(1)	27(1)	15(1)	50(3)	50(3)	2.1	
	WWE	100(5)	11(1)	15(1)	20(1)	90(5)	15(1)	13(1)	60(3)	25(1)	6(1)	12(1)	70(3)	70(3)	25(1)	11(1)	10(1)	14(1)	7(1)	3(1)	7(1)	15(1)	3(1)	10(1)	20(1)	1.6	
	Depth of estuary (m)	5(5)	1.5(3)	5(5)	3(5)	5(5)	1(3)	1.2(3)	3(5)	3(5)	1(3)	3(5)	3(5)	5(5)	1(3)	2.5(3)	1(3)	1(3)	1(3)	0.5(1)	1.5(3)	1.5(3)	1(3)	1.5(3)	2(3)	3.7	
	Ratio of water surface (%)	83.4(5)	55(5)	60(5)	80(5)	90(5)	75(5)	55(5)	66.7(5)	71.5(5)	9.1(1)	15(1)	70(5)	77.8(5)	25(3)	36.7(3)	62.5(4)	46.7(3)	35(3)	15(1)	35(3)	55.6(5)	20(3)	30(3)	3.8		
	Water content of stream (%)	68.7(5)	50(3)	45.8(3)	63.7(5)	83.4(5)	60(5)	46.7(3)	58.1(5)	67.5(5)	14.9(1)	16.7(1)	58.4(5)	69.6(5)	25.5(1)	34.3(3)	52.4(5)	42.9(3)	32(3)	16(1)	32(3)	48.6(3)	20(1)	18.4(1)	35(3)	3.3	
	DE	A.(1)	A.(1)	A.(1)	A.(1)	N.(5)	L.d.(3)	L.d.(3)	A.(1)	A.(1)	L.d.(3)	A.(1)	A.(1)	A.(1)	A.(1)	A.(1)	L.d.(3)	L.d.(3)	L.d.(3)	L.d.(3)	A.(1)	A.(1)	A.(1)	A.(1)	A.(1)	1.7	
	Type of stream flow	C(3)	I(1)	I(1)	I(1)	S(5)	C(3)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	C(3)	C(3)	S(5)	S(5)	I(1)	I(1)	I(1)	C(3)	I(1)	C(3)	S(5)	S(5)	I(1)	C(3)	2.6	
	Degree of stream order	3(3)	1(1)	1(1)	1(1)	3(3)	2(3)	2(3)	3(3)	2(3)	1(1)	2(3)	3(3)	4(5)	4(5)	2(3)	2(3)	1(1)	2(3)	1(1)	2(3)	2(3)	2(3)	2(3)	1(1)	2(3)	2.6
Degree of pollution	Mid.(3)	Mid.(3)	Mid.(3)	Mid.(3)	Mid.(3)	High(1)	Mid.(3)	Mid.(3)	High(1)	High(1)	High(1)	Mid.(3)	Mid.(3)	High(1)	Mid.(3)	Low.(5)	Mid.(3)	High(1)	High(1)	High(1)	Mid.(3)	Mid.(3)	High(1)	High(1)	High(1)	2.1	
No. of submerged weir	26(1)	4(5)	3(5)	5(3)	14(1)	6(3)	4(5)	8(3)	2(5)	2(5)	2(5)	6(3)	22(1)	4(5)	3(5)	3(5)	1(5)	9(3)	3(5)	0(5)	8(3)	5(3)	3(5)	2(5)	3.9		
DTAS	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FCA(1)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FCA(1)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	FRA(3)	2.8	
ITEA	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	Sec.(1)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	Sec.(1)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	No(5)	No(5)	No(5)	No(5)	No(5)	Pri.(3)	Pri.(3)	Pri.(3)	3.2	
Location of reservoir	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	Upp.(3)	2.9	
Abio. total	51	35	37	37	59	41	39	43	39	31	35	51	49	49	33	41	31	29	23	31	37	41	35	33	37	39.7	
Total ()	96(E)	62(P)	70(F)	72(F)	108(E)	76(G)	68(F)	90(G)	70(F)	68(F)	66(F)	96(E)	94(E)	92(G)	60(P)	72(F)	56(P)	66(F)	62(P)	66(F)	76(G)	68(F)	58(P)	76(G)	74.2		

(): See the Table 3 for Scoring criteria. See the Table 1 for Site number

인위적 방류의 결과로 추측된다(Ross 1991; Martinez *et al.* 1994; Hong and Son 2003; Ko *et al.* 2008; Lee *et al.* 2009). 학계천 (St. 20)과 태봉천 (St. 21)에서 출현한 얼룩동사리 (*Odontobutis interrupta*)는 인위적으로 이입되어 분포하는 것으로 확인되었다(Park and Joo 2015).

2. BAc index의 상관관계와 수생태계 건강성 평가

본 연구지역에 해당되는 24개 독립하천의 수생태계 건강성 평가는 생물 및 비생물의 30개 평가지수(BAc Index)를 선정하여 시행하였다(Tables 3, 4). 일반적으로 상관관계는 두 변수 간의 상관 여부를 파악하는 통계적인 선형적 상관도를 의미하며, 상관계수의 절대값이 '1'에 가까울수록 강한 선형관계를 나타낸다(Lee and Im 2008). 총 30개 평가지수 가운데, 14개 평가지수에서 통계적으로 유의한 ($p < 0.01$ 또는 0.05) 상관관계가 확인되었다(Table 5). 희소종 빈도는 출현 종수 변화율과 비교하여 -0.830 으로 뚜렷한 음의 상관관계로 희소종 빈도가 감소함에 따라 출현 종수 변화율이 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 외래종 출현은 출현 종수(0.332), 유역 면적(0.349) 및 오염도(0.495) 등과 비교적 뚜렷한 양의 상관관계를 보여 다양한 어종과 넓은 서식 면적이 외래종 출현에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 이차 담수어 빈도는 고유종 빈도와 -0.607 의 높은 음의 상관관계를 보인 반면, 수중보 수와는 0.082 의 낮은 양의 상관관계를 보였다. 이러한 결과는 이차 담수어의 서식지가 바다와 인접한 하류지역에 집중된 결과로 사료된다. 본 연구 결과로 확인된 출현 종수는 유역 면적, 수면폭 비, 오염도 및 수중보 수와 각각 $0.804, 0.665, 0.747, 0.263$ 으로 양의 상관관계를 보였지만, 우점도와 저서종 수는 모두 음의 상관관계를 보여 생물 평가지수가 비생물 평가지수에 영향을 받는 것으로 확인되었다. 또한, 출현 종수 변화율, 고유종 빈도 및 출현 종수의 결과는 환경적 요소에 해당되는 유역 면적, 수면폭 비, 오염도, 수중보 수와 상대적으로 높은 양의 상관관계를 보여 생물 평가지수와 비생물 평가지수를 활용한 BAc Index가 국내 독립하천 평가에 필요한 지표임을 나타내고 있다(Table 5). 나머지 16개 평가지수는 통계적으로 유의하지는 않았으나($p > 0.05$) 포괄적인 독립하천 평가를 위한 상호 보완적인 필요 평가지수로 사료된다.

본 연구 대상 지역인 전체 독립하천들의 수생태계 건강성 평가지수는 이론적으로 최고 148 BAc Index와 최저 30 BAc Index이다. 수생태계 건강성 평가에 대한 본 연구결과를 종합해보면, 전체 24개 독립하천들의 BAc Index는 4단계(Excellent · Good · Fair · Poor)로 구분된다(Table 6, Fig. 2).

총 30개 평가지수의 합산 점수가 94~108 BAc Index를 보

Table 5. The correlation coefficients of 14 variables among BAc index

	B14	B10	B15	B2	B5	B1	B4	B6	B12	Ab2	Ab6	Ab11	Ab12	Ab15
1														
B14														
B10	-0.830^{**}	1												
B15	$.281^{**}$	$.091^{**}$	1											
B2	$-.161$	$.032^{*}$	$-.287$	1										
B5	$.279$	$-.288$	$.046$	$-.607^{**}$	1									
B1	$.899^{**}$	$-.666^{**}$	$.332$	$-.121$	$.178$	1								
B4	$-.294$	$.115^{**}$	$-.228$	$-.074$	$.019$	$-.576^{**}$	1							
B6	$-.050^{**}$	$.050^{**}$	$-.312$	$.158$	$.184$	$-.191^{**}$	$.298$	1						
B12	$.075^{**}$	$-.109^{**}$	$.109^{*}$	$.098^{*}$	$.089$	$-.006^{**}$	$.007$	$-.125^{**}$	1					
Ab2	$.926^{**}$	$-.848^{**}$	$.349$	$-.182$	$.279$	$.804^{**}$	$-.222$	$-.206^{**}$	$.095^{**}$	1				
Ab6	$.588^{**}$	$-.570^{**}$	$.154$	$-.083$	$.271$	$.665^{**}$	$-.479^{*}$	$-.218^{**}$	$.150^{**}$	$.507^{**}$	1			
Ab11	$.797^{**}$	$-.495^{**}$	$.495^{*}$	$-.231$	$.295$	$.747^{**}$	$-.415^{**}$	$-.043^{**}$	$-.106^{**}$	$.783^{**}$	$.395^{**}$	1		
Ab12	$.84$	$.022^{**}$	$-.022$	$.082$	$-.072$	$.263$	$-.295$	$-.057$	$.216$	$-.054$	$.216$	$-.044^{**}$	1	
Ab15	$-.530^{**}$	$.357^{*}$	$-.051$	$-.121$	$.305$	$-.518^{**}$	$.261$	$.112^{**}$	$.138$	$-.401$	$-.467^{*}$	$-.388$	$-.159$	1

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, B14: Ratio of increase and decrease in confirmed species, B10: Ratio of rare species, B15: Appearance of Exotic species, B2: Ratio of Secondary freshwater fish, B5: Ratio of Endemic species, B1: No. of species, B4: Dominance B6: No. of benthic species, B12: No. of no confirmed species with Choi (1988, 1989), Ab2: Area of stream basin, Ab6: Degree of pollution, Ab11: No. of submerged weir, Ab12: Location of reservoir

Table 6. A summary of the results analyzed of the BAc index for this study

Integrity class	Excellent				Good				Fair								Poor							
Stie no.	5	1	12	13	14	8	21	7	6	4	16	3	9	2	22	24	11	18	20	10	15	23	17	19
Total score	108	96	96	94	92	90	80	78	76	72	72	70	70	68	68	68	66	66	66	60	60	58	54	52
Bio. score (B)	49	45	45	45	43	47	39	39	35	35	31	33	31	33	33	31	31	29	29	29	27	25	23	21
Abio. score (A)	59	51	51	49	49	43	41	39	41	37	41	37	39	35	35	37	35	37	37	31	33	33	31	31
B-A: ▲					4																			
B-A: ▼	-10	-6	-6	-4	-6	-2			-6	-2	-10	-4	-8	-2	-2	-6	-4	-8	-8	-2	-6	-8	-8	-10

See the Table 1 for Site number

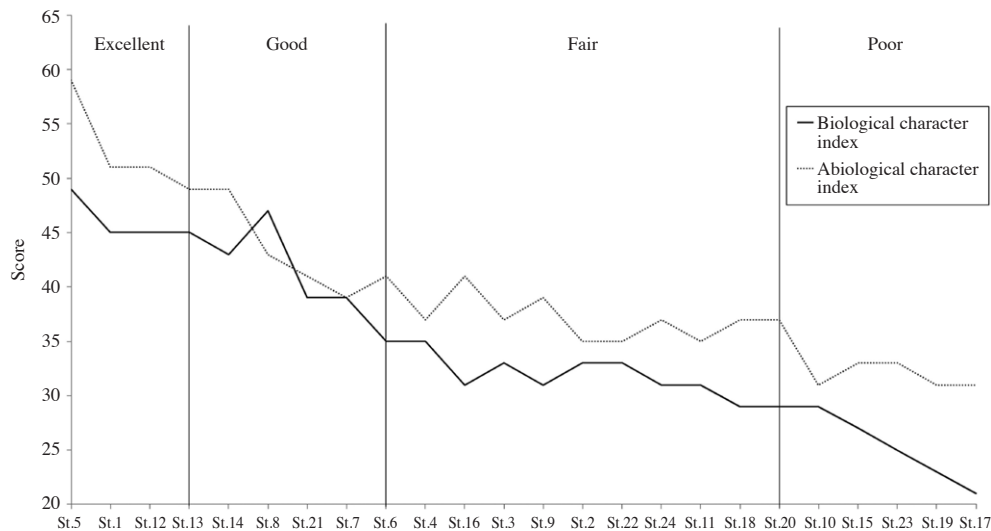


Fig. 2. Comparison of results analyzed of the BAc index for this study. See the Table 1 for Site number.

인 갈곡천(St. 1), 주진천(St. 5) 및 구암천(St. 12) 등의 4개 독립하천은 최적 단계(Excellent)를 나타냈다. 최적 단계인 94 이상의 BAc Index로 평가된 독립하천들은 하천 길이가 14 km보다 길며, 유역 면적이 56 km² 이상으로 하천 규모가 발달되는 환경적 요소를 갖추었을 뿐만 아니라 어류 서식에 영향을 미치는 다양한 미세 서식처가 형성되어 있기 때문인 것으로 사료된다. 76~92 BAc Index를 나타내어 양호 단계(Good)로 평가된 독립하천은 월산천(St. 6), 담암천(St. 7) 및 해리천(St. 8) 등의 5개 독립하천으로 확인되었다. 이들 독립하천 가운데, 해리천(St. 8)은 생물 평가지수가 비생물 평가지수보다 높게 나타나 다른 독립하천들과 차이를 보였다(Fig. 2). 해리천(St. 8)은 하천 중류에 넓게 조성된 공산저수지의 환경적 요소에 의하여 생물 평가지수에 포함되는 출현 종수, 다양도, 고유종 빈도, 저서 종수, 민감 종수 및 전체 출현 개체수의 6개 평가지수가 큰 값을 나타냈다. 66~72 BAc Index를 나타내어 보통 단계(Fair)로 평가된 독립하천은 원당천(St. 2), 장사천(St. 3) 및 마파천(St. 4) 등의 10개 독립하천으로 확인되었다. 보통 단계(Fair)로 평가된 독립하천들

의 생물 평가지수와 비생물 평가지수는 대칭되는 출현 양상을 나타냈다(Fig. 2). 60 BAc Index 이하로 확인되어 불량 단계(Poor)의 수생태계 건강성 평가 결과를 나타낸 내곡천(St. 10), 오동천(St. 15) 및 죽암천(St. 17) 등의 5개 독립하천들의 경우 하천 길이가 매우 짧고 하천 유역 면적이 협소한 환경적 요소로 인하여 생물 평가지수와 비생물 평가지수가 현저히 낮게 나타난 것으로 사료된다(Table 6, Fig. 2).

본 수생태계 건강성 평가 결과에서 확인된 평가 단계가 보통 단계(Fair)에서 불량 단계(Poor)로 낮아질수록 각 평가 단계로 분류되는 독립하천들의 생물 평가지수 결과는 비생물 평가지수 결과에 비해서 불량 단계(Poor)로 확인된 독립하천들에서 급격히 낮아지는 경향이 나타났다(Fig. 2). 보통~불량 단계(Fair~Poor)로 평가된 독립하천들은 하천 길이가 7 km 미만인 지형적 특성을 나타내고 있다. 따라서 현재 보통 단계(Fair)로 평가된 독립하천은 오염원 노출, 하천 개발 및 하천 훼손 등의 영향을 받을 경우 불량 단계(Poor)로 변화될 가능성이 상대적으로 클 것으로 사료된다. 이러한 수생태계 건강성 평가 결과의 하락현상은 최적 단계

(Excellent)로 평가된 독립하천들을 포함하여 모든 독립하천에서 잠재적 가능성을 배제할 수 없으며, 이에 향후 예상되는 하천 오염원의 억제 및 차단이 절실히 요구될 뿐만 아니라 보통~불량 단계(Fair~Poor)로 평가된 독립하천들에 대해 복원 대책이 필요할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 서해로 유입되는 전남과 전북의 24개 독립하천들을 대상으로 2016년 3월부터 10월까지 어류상을 조사하고, 생물 및 비생물 평가지수(BAC index)를 선정하여 수생태계 건강성 평가를 실시하였다. 출현 어류는 총 18과 44속 59종 4,127개체가 확인되었다. 우점종은 피라미(*Zacco platypus*)로 확인되었다. 한국고유종은 각시붕어(*Rhodeus uyekii*) 등 12종이었다. BAC index는 통계적으로 유의한($p < 0.01$ 또는 0.05) 상관관계가 확인되었다. 수생태계 건강성 평가의 단계별 분포는 보통 단계(Fair)가 41.7%로 가장 높은 비율을 나타냈다. 양호 단계(Good)와 불량 단계(Poor)는 20.8%, 최적 단계(Excellent)는 16.7%로 각각 나타났다. 독립하천의 수생태계 건강성은 생물학적 평가지수보다 지형적 특성, 인위적·자연적 제한 요소에 따른 비생물학적 평가지수의 영향을 더 받는 것으로 확인되었다.

REFERENCES

- An KG, DH Yeom and SK Lee. 2001a. Rapid bioassessments of Kap stream using the index of biological integrity. Korean J. Environ. Biol. 19:261-269.
- An KG, SH Jung and SS Choi. 2001b. An evaluation on health conditions of Pyong-Chang river using the index of biological integrity (IBI) and qualitative habitat evaluation index (QHEI). Korean J. Limnol. 34:153-165.
- An KG and JH Kim. 2005. A diagnosis of ecological health using a physical habitat assessment and multimetric fish model in Daejeon stream. Korean J. Limnol. 38:367-371.
- An KG and EH Lee. 2006. Ecological health assessment of Yoogu stream using a fish community metric model. Korean J. Limnol. 39:310-319.
- Bae DY and KG An. 2006. Stream ecosystem assessments, based on a biological multimetric parameter model and water chemistry analysis. Korean J. Limnol. 39:198-208.
- Baek SH, JD Yoon, JH Kim, HJ Lee, KR Choi and MH Jang. 2013. Characteristics of fish community in the Seomjin river and brackish area. Korean J. Environ. Biol. 31:402-410.
- Barbour MT, J Gerritsen, BD Snyder and Jb Strubling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. EPA 841-B-99-002 (2nd ed.). Office of Water, US EPA, Washington, DC, USA.
- Byeon HK and WO Lee. 2006. The ichthyofauna and fish community in the lower course of the Imjin river. Korean J. Limnol. 39:32-40.
- Cho KJ, JK Shin, SK Kwak and OH Lee. 1998. Diatom Genus *Stephanodiscus* as eutrophication for water quality assessment. Korean J. Limnol. 31:204-210.
- Choi JW and KG An. 2008. Characteristics of fish compositions and longitudinal distribution in Yeongsan river watershed. Korean J. Limnol. 41:301-310.
- Choi JW and KG An. 2013. Ecological health assessments on stream order in Southern Han River watershed and physical habitat assessments. Korean J. Environ. Biol. 31:440-447.
- Choi JK, HS Shin, O Mitamura and SJ Kim. 2008. Health assessment of aquatic ecosystem for Wonju stream using the composition of aquatic insects. Korean J. Environ. Eco. 22:544-550.
- Choi KC. 1988. Nature of Jeonbuk (Freshwater Fishes). Jeollabuk-do Education Committee. p. 386.
- Choi KC. 1989. Nature of Jeonnam (Freshwater Fishes). Jeollanam-do Education Committee. p. 399.
- Choi CG, JB Lee and YJ Hwang. 1992. On the ichthyofauna of Paikchon streams, Puan, Cholla-bukdo, Korea. Korean J. Ichthyol. 4:63-71.
- Han JH, HM Kim and KG An. 2013. Chemical water quality and multi-metric eco-health model assessments in Baekma river. Korean J. Environ. Biol. 31:96-104.
- Hong YP and YM Son. 2003. Studies on the interspecific association of community including *Micropterus salmoides* population, introduced fish in Korea. Korean J. Ichthyol. 15:61-68.
- Hong YP, MH Chang, H Kang and SS Choi. 1999. The fish community of the Ungchon stream around the new dam intended area. Korean J. Environ. Biol. 17:79-88.
- Jo MH, JS Sim, JA Lee and SH Jang. 2015. Health assessment of the Nakdong river basin aquatic ecosystems utilizing GIS and spatial statistics. Korean J. Geo. Info. 18:174-189.
- Jung HY, HK Kyeong, YS Mi and WO Lee. 2014. Characteristics of fish fauna and community structure in Ungcheon stream due to the environmental changes. Korean J. Environ. Eco. 28:314-325.
- Kang YH, BS Chae and HJ Yang. 2001. Evaluation of water quality in the Keumho river system according to the freshwater fishes. J. Environ. Sci. Int. 10:225-231.

- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6:21–27.
- Kim IJ and DH Han. 2008. A small stream management plan to protect the aquatic ecosystem. Korea Institute of Policy Evaluations. p. 167.
- Kim IS. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. 37 (Freshwater Fishes). Ministry of Education. p. 629.
- Kim JS, SM An and WS Gwak. 2014. Ichthyofauna of stream on Goseong in Gyeongsangnam-do, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 26:322–330.
- Kim YO, HW Choi, MC Jang, PK Jang, WJ Lee, K Shin and M Jang. 2007. A brief review of approaches using planktonic organisms to assess marine ecosystem health. *Ocean Polar Res.* 29:327–337.
- Kim YO, WJ Shin and KD Yum. 2007. Implications for coastal ecosystem health assessments and their applications in Korea. *Ocean Polar Res.* 29:319–326.
- Ko MH, JY Park and YJ Lee. 2008. Feeding habits of an introduced largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Perciformes; Centrarchidae) and its influence on ichthyofauna in the lake Okjeong, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 20:36–44.
- Lee HS and JH IM. 2008. Statistical package for the social sciences. p. 561.
- Lee JH, KH Han, WI Seo, SM Yoon, CC Kim, SY Hwang and KS Kim. 2004. Ichthyofauna and fish community of Sora Stream in Yeosu, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 16:348–365.
- Lee Wo, H Yang, SW Yoon and JY Park. 2009. Study on the feeding habits of Bass (*Micropterus salmoides*) in Paldang and Togyoji. Autumn academic presentation of Korean J. Ichthyol. p. 128.
- Lee WO, KH Kim, JH Kim and KE Hong. 2008. Study of freshwater fish fauna and distribution of introduced species of Mankyeong river, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 20:198–209.
- Martinez PJ, TE Chart, MA Trammell, JG Wullschlegler and EP Bergersen. 1994. Fish species composition before and after construction of a main stem reservoir on the White river, Colorado. *Environ. Biol. Fish.* 40:227–239.
- Mins MC and JD Olden. 2013. Fish assemblages respond to altered flow regimes via ecological filtering of life history strategies. *Freshw. Biol.* 58:50–62.
- Ministry of Environment. 2007. A final report on river restoration models and standards for recovering aquatic ecological health. Ministry of Environment. p. 145.
- Nelson JS. 2006. *Fishes of the world* (4th ed.). John Wiley & Sone. New York. p. 601.
- Na CS. 1994. Fish fauna in the Tamjin river, Korea. *Korean J. Ichthyol.* 6:244–250.
- Plafkin JL, MT Barbour, KD Porter, SK Gross and RM Hughes. 1989. Rapid assessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish, EPA/444/4-89-001, Office of Water, US EPA, Washington, DC, USA.
- Park BJ, JI Shin and KS Jung. 2005. The evaluation of river naturalness for biological habitat restoration: I. Proposal of evaluation method. *J. Korea Water Resour. Assoc.* 38:37–48.
- Park SK and HS Joo. 2015. Fish fauna in the Seomjin river, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 33:314–329.
- Poff NL and DD Hart. 2002. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *Bioscience* 52:659–668.
- Poulet N. 2007. Impact of weirs on fish communities in a piedmont stream. *River Res. Applic.* 23:1038–1047.
- Ross ST. 1991. Mechanisms structuring stream fish assemblages: are there lessons from introduced species. *Environ. Biol. Fish.* 30:359–368.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois press, Urbana. p. 177.
- Shim JH. 1992. A Systematic Study on the genus *Lampetra* (Agnatha, Petromyzonidae) from Korea. Chonbuk National University. Doctoral Thesis. p. 150.
- Song HB, HM Baek and CW Lee. 2005. Water environmental assessment by the species biotic index of freshwater fish in the Namdaecheon, Gangneung city. *J. Environ. Impact Assess.* 14:237–245.
- Sugiyama H and A Goto. 2002. Habitat selection by larvae of affluvial lamprey, *Lethenteron reissneri*, in a small stream and an experimental aquarium. *Ichthyol. Res.* 49:62–68.
- Takayama M. 2002. Spawning activities and physical characteristics of the spawning ground of *Lethenteron reissneri* at the headstream of the Himekawa river, central Japan. *Ichthyol. Res.* 49:165–170.
- Yamazaki Y and A Goto. 2000. Breeding season and nesting assemblages in two forms of *Lethenteron reissneri*, with reference to reproductive isolating mechanisms. *Ichthyol. Res.* 47:271–276.
- Youn CH. 2002. *Fishes of Korea with pictorial key and systematic list*. Academy-book. p. 747.

Received: 7 September 2017

Revised: 23 November 2017

Revision accepted: 23 November 2017