

어류상 평가를 활용한 하천 생태계의 교란 및 회복 유형 고찰

이 승 휘* · 양 대 창

(호남대학교 생물학과)

A Study on the Disturbance and the Rehabilitation of Stream by Using Evaluation of Ichthyofauna to Disturbed Ecosystem. Lee, Seung-Hwi* and Dae-Chang Yang (Department of Biology, Honam University, Eodeungno 330, Gwangsan-gu, Gwangju 506-714, Korea)

Streams changed by artificial factor those support positive functions but also negative function to humanbeing. Time and pathway exceed the lost of structure and negative function appearing as disturbance. Therefore, it is desirable to prepare right situation to break of a vicious circle. Stream ecology was evaluated with using ichthyofauna during three years at the three disturbed sites and reference sites in Nakdong River. Forty-one species belonging three orders and ten families were identified in six surveying sites of Nakdong River during 2007~2009. Korean endemic species (14 species, 34.1%) and alien (3 species, 7.3%) were identified in Nakdong River ichthyofauna. Species number, species diversity, ecosystem structure and habitat variability of ecosystem were applied to evaluate stream ecosystem. In view of three year comprehended data at six sites; numeric instability appeared Andong Dam and Naeseongcheon sites worse than Gamcheon and reference site, otherwise more numeric diversity appeared Gamcheon and reference site than Andong Dam and Naeseongcheon. As a result of integration, sand stream including downstream of Andong dam, Naeseongcheon and Gamcheon has been having more diversified biodiversity and habitat diversity than those in the pebble stream.

Key words : ecosystem of stream, ichthyofauna, evaluation to disturbed ecosystem, disturbance and rehabilitation

서 론

기존에 하천은 연속성 개념 (Vannote *et al.*, 1980)으로 설명되었으나 하천과 연관된 수직적, 수평적 사고에 수변의 천이까지 포함시켜 하천 개념은 다양하고 광범위한 요인까지 포함하는 통합적 하천 개념으로 발전하게 되었다 (Bruno and Bruno, 2007).

하천생태계의 고등 소비자이자 하천생태환경의 주요

지표생물 활용 가능성을 갖는 어류를 통하여 (Odum, 1975; Tamai *et al.*, 2000) 이들의 군집 생태적 측면 중 종다양성, 생태계 구조를 중심으로 간략한 하천생태평가나 변환된 평가를 시도할 수 있으나 (FISRWG, 2001) 하천생태평가를 적용한 국외 하천이 국내 하천과 현저하게 차이가 있기 때문에 국외의 기존의 문헌 및 방법론만으로는 국내 실정에 적합한 하천생태평가 수행이 곤란하다. 따라서 국외 방법 (Plafin *et al.*, 1989; Simon, 1991; Barbour *et al.*, 1999; TNRCC, 1999; Somerville and

* Corresponding author: Tel: 062) 940-5433, Fax: 062) 940-5207, E-mail: seunghwi@honam.ac.kr

Table 1. Coordinates of surveying sites.

Sites	Factor of disturbance	Latitude	Longitude
St. 1	Downstream of Andong Dam	36° 33' 4.24"	128° 39' 42.6"
St. 2	Naeseongcheon	36° 36' 50.82"	128° 28' 35.32"
St. 3	Downstream of Imha Dam	36° 32' 12.14"	128° 50' 42.35"
St. 4	Gilancheon	36° 31' 10.39"	128° 50' 16.64"
St. 5	Aggregate gathering at Gamcheon	36° 09' 40.6"	128° 11' 44.0"
St. 6	Upstream of Gamcheon	36° 08' 10.7"	128° 9' 27.1"

Pruitt, 2004)은 참고는 하되 한국 실정에 적합한 변환을 포함한 새로운 방법론을 모색해야 국내의 하천생태평가를 바람직하게 수행할 수 있을 것이다.

하천에는 다양한 교란인자로서 자연적 요인과 인위적 요인이 작용하고 있다(FISRWG, 2001). 그 중 인위적 교란 요인으로 가장 크게 작용할 것으로 예상되는 댐 축조와 골재채취의 영향을 교란 현장에서 확인하는 것은 이론의 실제적 검증 수행 과정으로서 유용한 방법이다. 어류는 국내 대부분의 하천에서 나타나며 손쉽게 포획, 동정할 수 있을 뿐 아니라 인위적 교란(인위적 요인에 따른 순기능과 역기능을 망리함)을 비교적 간편하게 점검할 수 있고 수생태계 중 상위 지위를 점하여(Wootton, 1990) 검증 대상 분류군으로 유용하게 활용된다. 그러나 이를 평가 체제로 운영하기에는 앞에 언급한 국외의 방법론 뿐 아니라 국내에서 일부 기관에서 시도 중인 방법(MCT, 2004) 역시 내용상 제한적인 상태로서 논리적 비약을 극복할 필요가 있다.

본 연구에서는 댐 축조 및 골재채취로 인하여 수생태계 교란이 예상되는 낙동강의 어류상을 출현종, 군집분석, 생태계구조 그리고 지표종을 활용한 서식처 다양성 측면에서 점수를 부여하는 방식을 통하여 하천을 평가함으로써 인위적으로 영향 받은 하천의 교란 및 회복 가능성을 고찰하였다.

연구 방법

1. 연구대상지

조사지점은 총 6개 지점으로 정하였으며(Table 1, Figs. 1, 2), 대상 어류상은 댐과 골재채취에 의해 영향을 받아 교란이 예상되는 지역(St. 1; St. 3; St. 5)으로 임하댐 하류와 안동댐 하류 및 감천과 이들 각 지점 별 대조구간(St. 2; St. 4; St. 6)으로 선정하였다. 조사지점 선정 시 임하댐 하류와 안동댐 하류 및 감천 일대의 항공사진 분석(Fig. 2), 댐 규모와 하류 및 대조하천 규모의 유사성

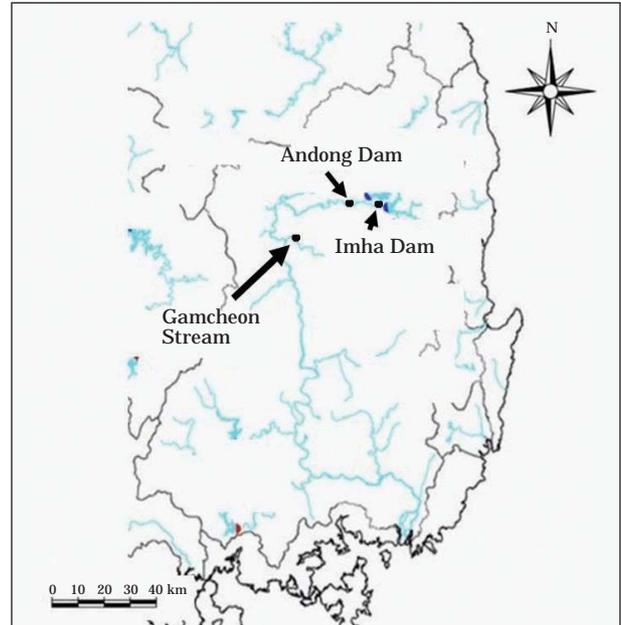


Fig. 1. Map showing target sites of disturbance with dam and aggregate gathering.

비교(건설교통부, 1997) 그리고 현지 확인을 수반하였다.

2. 채집 및 동정

조사는 2007년부터 2009년까지 매년 춘계와 추계에 수행하였다. 각 조사지점의 어류상 모니터링은 매뉴얼(MCT, 2004)을 참고하여 실시하였다. 각 채집 시간은 40분 이내에 완료하였고 출현 어종은 채집 현장에서 종명과 개체수를 기록하였다. 동정은 도감(Kim, 1997; Kim and Park, 2002; Yoon, 2002; Kim *et al.*, 2005)을 참고하였고 분류군의 배열은 Nelson (2006)을 참고하였다.

3. 군집 및 수환경 분석

어류는 2007년부터 2009년까지 각 지점별 연도별 차이에 초점을 맞추어 출현종수와 종다양도, 균등도, 풍부

Factor of disturbance	Target stream	Disturbed sites	Reference of disturbed sites
Dam			
	Nakdong River	St. 1. Downstream of Andong Dam	St. 2. Naeseongcheon
Dam			
	Nakdong River	St. 3. Downstream of Imha Dam	St. 4. Gilancheon
Aggregate gathering			
	Nakdong River	St. 5. Aggregate gathering site at Gamcheon	St. 6. Upstream of Gamcheon

Fig. 2. Satellite pictures for disturbed dam and aggregate gathering sites and reference sites.

도 (Margalef, 1958, 1968; Pielou, 1966, 1975; McNaughton, 1967)를 분석, 어류 군집의 시기적 변화를 지점별로 비교하였다. 출현 어종의 지역별 어류상의 구조적 특징 중 보전성을 파악 (Kennard, 2005)하기 위하여 고유종과 외래종의 상대풍부도를 확인하였다. 풍부한 어류의 종 다양성이 나타나려면 생활사와 활동상 중 특이성에 관여함을 감안하여 (Gosline, 1973; Wootton, 1990) 국내하천에 서식하며 생태계 구조 및 서식처 다양성을 지표할 수 있는 종을 평가 자료 제공을 위하여 선정하였다 (Kim, 1997; Kim and Park, 2002; MCT, 2004; 수생태복원사업단, 2008).

4. 하천생태평가

하천생태평가는 ‘자연친화적 하천정비기법 개발’ 사업 (MCT, 2004)에서 개발한 하천생태평가로서 일본에서 개발한 ‘하천환경평가법’을 한국적 현실에 적합하게 수정, 보완한 내용이다. 본 연구에서는 수중생태평가를 간편하게 파악할 수 있도록 어류만을 활용하였다. 어류상이 확

보된 각 조사 지점별 분석 자료는 종수, 군집분석, 생태계 구조, 서식처 다양성을 주된 내용으로 삼아 각 주제별로 90점씩 부여하여 만점이 총 360점이 되도록 하였다 (Table 2). 최종적인 평가는 각 분야별로 식별이 용이하도록 각 분야의 항목별 점수가 누적적으로 합산되도록 방사상 그래프를 작성하여 (Larson and Alexandridis, 2009) 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 어류상 종합

어류상 조사 결과 3년간 낙동강의 댐 하류와 골재채취 구간 및 대조구간으로 설정된 6개 조사 지점에서 확인된 어종은 모두 3목 10과 41종이었으며 한국고유종은 14종 (34.1%)으로서 국내 내수면 평균 고유어종 출현빈도인 28.4% (Kim et al., 2005)보다 높았다. 낙동강의 3개 교란 예상구간 및 3개 대조구간 내 분포어종 중 잉어목 어종

Table 2. Score level to assess the stream ecosystem by using ichthyofauna.

Items		Levels of scoring	Score
Biodiversity I (90) No of species		Over than 31 sp.	90
		21 sp. ~ 30 sp.	65
		11 sp. ~ 20 sp.	40
		10 sp. and below	15
Subtotal			90
Species diversity (H') (40)		Over than 3.0	40
		2.0 ~ 3.0	30
		1.0 ~ 2.0	20
		Below than 1.0	10
Biodiversity II Shannon indices (90) Evenness (E') (30)		Over than 0.95	30
		0.65 ~ 0.95	22
		0.35 ~ 0.65	14
		Below than 0.35	6
Richness (R') (20)		3.0 ~ 5.0	20
		2.0 ~ 3.0, 5.0 ~ 6.0	15
		1.0 ~ 2.0, over than 6.0	10
		Below than 1.0	5
Subtotal			90
Ecosystem structure (90) Epistasis (35): Frequency of carnivorous fish (35)		5 ~ 12%	35
		12 ~ blow than 17%	28
		0 ~ 5% blow than	21
		17% and higher	14
Rareness (20): Excellence (45): movement (10) Index of excellent environment (35) Disturbance (-10) disturbed by alien (-10)		Endangered species	Each 10
		Migrating fish	Each 10
		River salmon and others	Each 5
		Blue gill, bass	Each 5
Subtotal			90
Habitat diversity (90) Environment of riverbed (30)	Gravel, rock (15)	Black shinner and others	Each 3
	Sand, mud (15)	Goby minnow and others	Each 3
	Swamp (15)	Dark chub and others	Each 3
	Rapid (15)	Pale chub and others	Each 3
Environment of stream (60)	Shallow (15)	Korean piscivorous chub and others	Each 3
	Flat water (15)	Funa and others	Each 3
Subtotal			90
Total			360

은 28종 (68.3%), 농어목 어종은 10종 (24.4%), 메기목 어종은 3종 (7.3%), 그리고 기타 분류군은 확인되지 않았다. 외래어종은 배스와 블루길 및 떡붕어 3종이 확인되었으며 이들이 차지하는 종 대비 출현 빈도는 7.3%이고 전체 개체수에 대한 상대풍부도는 1.82%였다.

2. 교란하천과 대상하천 간 어류상 비교

교란 예상 조사 대상하천인 안동댐 하류와 임하댐 하

류 및 감천과 비교되는 대조하천 간 어류상 중 출현종의 수, 고유종의 상대풍부도 및 외래종의 상대풍부도의 차이는 Table 4에 요약한 바와 같았다. 댐에 의해 교란이 예상된 안동댐 하류 (21종)의 경우 대조구간인 내성천 (13종)보다 출현종은 많았으나 한국고유종의 출현빈도 (12.7% vs 21.1%)나 외래종의 출현빈도 (0.9% vs 0%) 등을 보면 내성천보다 상대적으로 보전 상태가 미흡함을 파악할 수 있었다. 임하댐 하류 (25종)의 경우 역시 대조구간인 길안천 (22종)보다 출현종이 다소 많았으나 한국

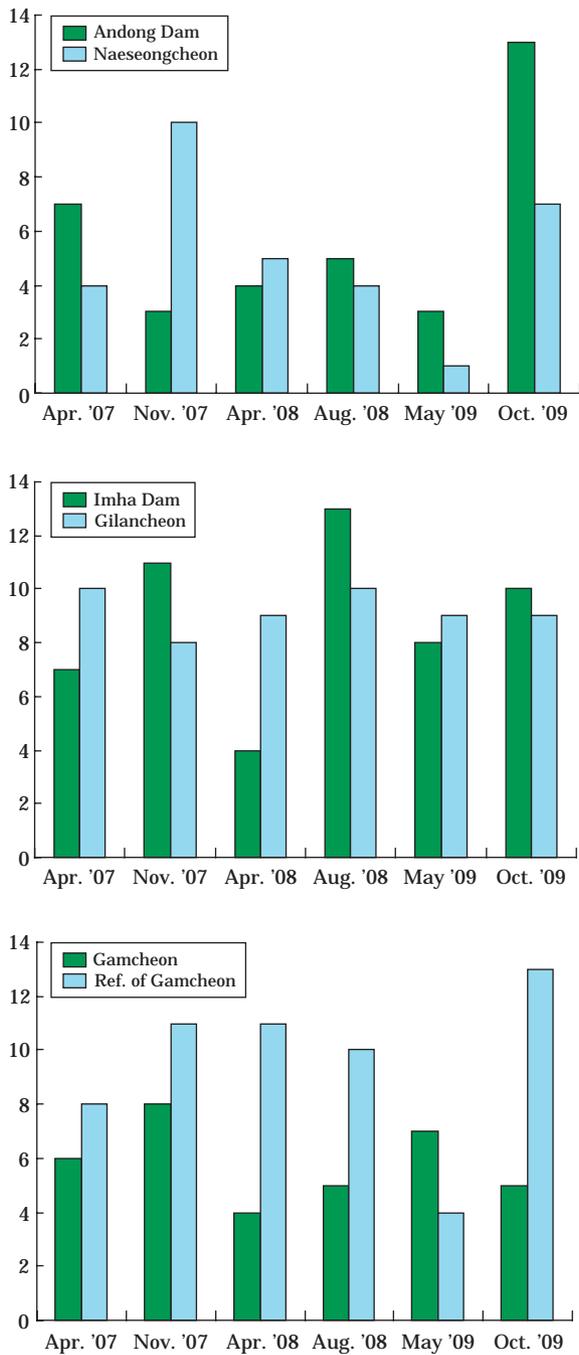


Fig. 3. Periodical changes of fishes estimated with dam construction or aggregate gathering disturbance.

고유종의 출현빈도 (20.9% vs 47.2%)나 외래종의 출현빈도 (4.8% vs 0.6%) 등을 보면 임하댐 하류의 보전 상태가 상대적으로 훨씬 미흡하였다. 골재채취에 의해 교란이 예상된 감천은 댐 하류 하천의 경우와 다른 양상으로서 골재채취구간(17종)에서 대조하천(22종)보다 다소 적은 어

종이 출현하였으나 한국고유종의 출현빈도 (4.0% vs 2.5%)나 외래종의 출현빈도 (0% vs 3.3%) 등을 보면 상대적으로 교란이 예상되는 하천임에도 불구하고 비교적 양호한 상태의 어류상을 비교할 수 있었다 (Tables 3, 4).

Fig. 2와 Table 3은 3개 교란 지점 및 대조 구간에서 3년간 나타난 출현 어종의 수적 변화를 보인 내용으로서 안동댐 하류 및 내성천 수계는 출현 어종의 수적 불안정성을 나타내는 한편 임하댐의 대조구인 길안천의 경우 안정적인 출현 양상을 나타내고 있었다. 하상이 모래가 대부분이고 수심과 하폭이 유사한 점 등 구조적으로 안동댐하류 및 내성천 수계와 유사한 감천의 경우 비교적 안동댐 수계보다 출현어종이 다양하게 나타났다.

3. 교란하천과 대상하천 평가

각 조사지점의 시기별 평가결과는 Table 5 및 Fig. 4와 같았다. Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 임하댐과 길안천의 하천생태평가 결과가 가장 양호하게 나타났으며, Table 2에서 제시한 바와 같이 ① 출현종수, ② 군집분석, ③ 생태계구조, 그리고 ④ 서식처와 연관된 지표종의 수 및 다양성 측면에서 타지점보다 모든 면에서 우수한 상태가 종합된 결과로 나타나 일부 항목이 유사한 것과 상관없이 전체적으로 평가점수의 두드러진 차이를 나타내게 되었다.

본 연구의 조사 대상으로 삼은 6개 지점의 시기적 변화에 따른 생태평가를 시도한 결과는 Fig. 5 및 Fig. 6과 같았다. 그림에서 볼 수 있는 현저한 특징은 하상이 자갈 하천인 임하댐 하류와 길안천이 가장 우수하게 평가되었고 하상이 모래하천인 안동댐 하류, 내성천 그리고 감천과 달리 비교적 안정적인 생물다양성 및 서식처 다양성을 나타냈다.

6개 조사 하천에서 추계보다 춘계에 현저하게 낮은 평가점수가 나와 유량을 비롯하여 식생 등 서식환경에 현저하게 영향을 받고 있음을 파악할 수 있었다. 이는 하천생태계의 구조적 측면에서 안정성을 확보하여야 어류상의 활성화 등 기능적 측면의 다양성이 나타날 수 있음을 예시하는 점이었고 낙동강의 상류 수계에 속하는 안동댐 하류와 임하댐 하류의 경우 어류상을 비롯하여 본 평가 결과 현저한 차이가 나타났음은 하상이 모래와 자갈이라는 뚜렷한 서식 환경의 차이로 인하여 자갈 하상을 선호하는 저서성 어종들이 분포 상 두드러지게 나타났기 때문이며 이들 선호도에 대한 행동학적, 생태학적 연구는 지속되어야 할 것으로 여겨진다.

댐 하류 하천으로서 하상이 모래인 안동댐 하류의 경

Table 3. Comprehensive ichthyofauna identified at disturbed sites and reference sites during three years from Apr. 2007 to Oct. 2009. Unit of relative abundance: percentage, characteristics of food habit for fish and habitat preference. O: omnivorous, C: carnivorous, I: insectivorous, H: herbivorous, RB: riffle benthic.

Scientific name	Dam effected site								Aggregate gathered				Total	Food habit	Habitat prefer
	Andong Dam		Naeseong-cheon		Imha Dam		Gilan-cheon		Gam-cheon		Reference site				
	No	RA	No	RA	No	RA	No	RA	No	RA	No	RA	No	RA	
Order Cypriniformes															
Family Cyprinidae															
<i>Cyprinus carpio</i>	0		1	0.75	2	0.56			1	0.22	6	1.16	10	0.47	O
<i>Carassius auratus</i>	7	2.06	5	3.76	1	0.28	1	0.29	7	1.54	40	7.71	61	2.84	O
<i>Carassius cuvieri</i>	3	0.88			13	3.63	2	0.59			8	1.54	26	1.21	O
<i>Rhodeus uyekii</i>			7	5.26					2	0.44			9	0.42	O
<i>Acheilognathus lanceolatus</i>							2	0.59					2	0.09	O
<i>Acheilognathus koreensis</i>					2	0.56	8	2.35					10	0.47	O
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>	2	0.59			2	0.56							4	0.19	O
<i>Acanthorhodeus macropterus</i>	4	1.18									4	0.77	8	0.37	O
<i>Pseudorasbora parva</i>									4	0.88	19	3.66	23	1.07	O
<i>Pungtungia herzi</i>	19	5.60	13	9.77	33	9.22	19	5.57					84	3.92	I
<i>Coreoleuciscus splendidus</i>	1	0.29			1	0.28	62	18.18					64	2.98	I
<i>Gnathopogon strigatus</i>	1	0.29											1	0.05	I
<i>Squalidus gracilis majimae</i>	22	6.49			36	10.06	16	4.69	2	0.44	3	0.58	79	3.68	I
<i>Squalidus japonicus coreanus</i>					3	0.84	1	0.29	2	0.44	1	0.19	7	0.33	O
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>					9	2.51					1	0.19	10	0.47	O
<i>Hemibarbus labeo</i>	3	0.88	1	0.75	1	0.28			2	0.44			7	0.33	I
<i>Pseudogobio esocinus</i>	35	10.32	10	7.52	8	2.23	10	2.93	7	1.54	13	2.50	83	3.87	I
<i>Abbottina rivularis</i>											1	0.19	1	0.05	O
<i>Gobiobotia nakdongensis</i>	14	4.13							4	0.88	1	0.19	19	0.89	I
<i>Microphysogobio yaluensis</i>					3	0.84	2	0.59	1	0.22			6	0.28	O
<i>Zacco temmincki</i>			1	0.75	11	3.07	41	12.02					53	2.47	I
<i>Zacco platypus</i>	203	59.88	57	42.86	147	41.06	85	24.93	378	83.08	342	65.90	1212	56.50	O
<i>Opsariichthys uncirotris amurensis</i>	8	2.36	12	9.02	17	4.75	1	0.29	18	3.96	23	4.43	79	3.68	C
Family Cobitidae															
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	3	0.88	4	3.01			4	1.17	9	1.98	16	3.08	36	1.68	O
<i>Misgurnus mizolepis</i>	2	0.59					3	0.88	9	1.98	6	1.16	20	0.93	O
<i>Cobitis hankugensis</i>	4	1.18			12	3.35	7	2.05			2	0.39	25	1.17	I
<i>Cobitis lutheri</i>			1	0.75	1	0.28							2	0.09	I
<i>Niwaella multifasciata</i>							54	15.84					54	2.52	O
Order Siluriformes															
Family Siluridae															
<i>Silurus asotus</i>					1	0.28	2	0.59					3	0.14	C
Family Bagridae															
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	1	0.29							2	0.44	3	0.58	6	0.28	I
<i>Pseudobagrus koreanus</i>			1	0.75									1	0.05	I
Order Perciformes															
Family Centropomidae															
<i>Siniperca scherzeri</i>					3	0.84	2	0.59					5	0.23	C
<i>Coreoperca herzi</i>	3	0.88			4	1.12	7	2.05					14	0.65	C
Family Centrarchidae															
<i>Lepomis macrochirus</i>											1	0.19	1	0.05	I
<i>Micropterus salmoides</i>					4	1.12					8	1.54	12	0.56	C
Family Odontobutidae															
<i>Odontobutis platycephala</i>	1	0.29	20	15.04	14	3.91	11	3.23	1	0.22	7	1.35	54	2.52	C
<i>Odontobutis interrupta</i>									6	1.32			6	0.28	C

Table 3. Continued.

Scientific name	Dam effected site								Aggregate gathered				Total	Food habit	Habitat prefer	
	Andong Dam		Naeseongcheon		Imha Dam		Gilancheon		Gamcheon		Reference site					
	No	RA	No	RA	No	RA	No	RA	No	RA	No	RA				
Family Gobiidae																
<i>Rhinogobius brunneus</i>	2	0.59			6	1.68	1	0.29			2	0.39	11	0.51	I	RB
<i>Tridentiger brevispinis</i>					24	6.70							24	1.12	I	RB
Family Belontiidae																
<i>Macropodus ocellatus</i>											12	2.31	12	0.56	I	
Family Channidae																
<i>Channa argus</i>	1	0.29											1	0.05	C	
Individual	339		133		358		341		455		519		2145			
Species No.	21		13		25		22		17		22		41			
H'	1.63		1.85		2.25		2.28		0.87		1.51		2.05			
E'	0.54		0.72		0.70		0.74		0.31		0.49		0.55			
R'	3.43		2.45		4.08		3.60		2.61		3.36		5.21			

Table 4. A brief ichthyofaunal comparison of disturbed sites to reference sites.

	Downstream site of dam and reference site				Aggregate gathering site and reference site	
	Andong Dam	Naeseongcheon	Imha Dam	Gilancheon	Gamcheon	Upstream of Gamcheon
Species No.	21 species 3 orders, 7 families	13 species 3 orders, 4 families	25 species 3 orders, 7 families	22 species 3 orders, 6 families	17 species 3 orders, 4 families	22 species 3 orders, 7 families
Frequency of endemic species	12.7% 6 species	21.1% 3 species	20.9% 9 species	47.2% 8 species	4.0% 7 species	2.5% 5 species
Frequency of alien species	0.9% 1 species	— —	4.8% 2 species	0.6% 1 species	— —	3.3% 3 species

우 3년간 춘계조사 자료의 평가 결과는 감소추세를 여실히 나타내고 있었으며, 상대적으로 골재채취 하천인 모래하상의 감천 양상과는 현저하게 차이는 경향을 보이고 있었다. 그러나 하상이 자갈하천인 임하댐의 하류는 안정적인 뿐 아니라 3개의 교란대상 하천 중 가장 다양성과 풍부성, 안정성 등 어류 뿐 아니라 수서생물의 서식에 유리한 공간으로 제공되고 있음을 파악(미발표자료)할 수 있었다 (Fig. 5). 이는 Fig. 6의 경우도 유사한 상태로 나타나고 있었으나 안동댐 하류의 경우 2007년에 호전되는 양상을 파악할 수 있는 반면 지속적 골재채취가 이루어지고 있는 감천의 경우 3개 대상하천 중 상대적으로 평가 결과가 낮게 나타나 골재채취 등으로 인한 직간접적 교란 영향을 받고 있음을 파악할 수 있었다. 이는 평가결과 중 나타난 대조하천과의 비교 시 더욱 명확히 확인되었다.

하천에서 나타나는 일시적 수서생태계의 악화 및 훼손으로 인해 주어지는 생태계의 교란이 어류 군집의 감소로 나타났다가 이후 증가추세인 회복단계로 변화하는 양상이 2003~2007년까지 연장 27 km의 구간을 세부적으로 분리하여 지속적으로 골재채취가 이루어진 영산강에서 확보된 어류상 Database 평가를 통하여 확인되었다 (Lee et al., 2010). 그 결과 크게 5가지 유형으로 구분할 수 있었다. 어류상이 증가하려면 어류의 서식처 뿐 아니라 food web의 하위소비자 및 먹이동물인 저서무척추동물과 일부 종과 공생관계인 이매패류의 안정적 출현, 회복 및 증가가 있어야 어류군집의 회복이 가능한 결과를 잘 반영하는 결과라 할 수 있다.

전체적인 평가 결과를 통하여 파악할 수 있는 유형은 ① 교란 받은 하천 상태에서 지속적인 악화요인의 추가로 인하여 회복 억제된 상태를 보이는 감소 경향(distur-

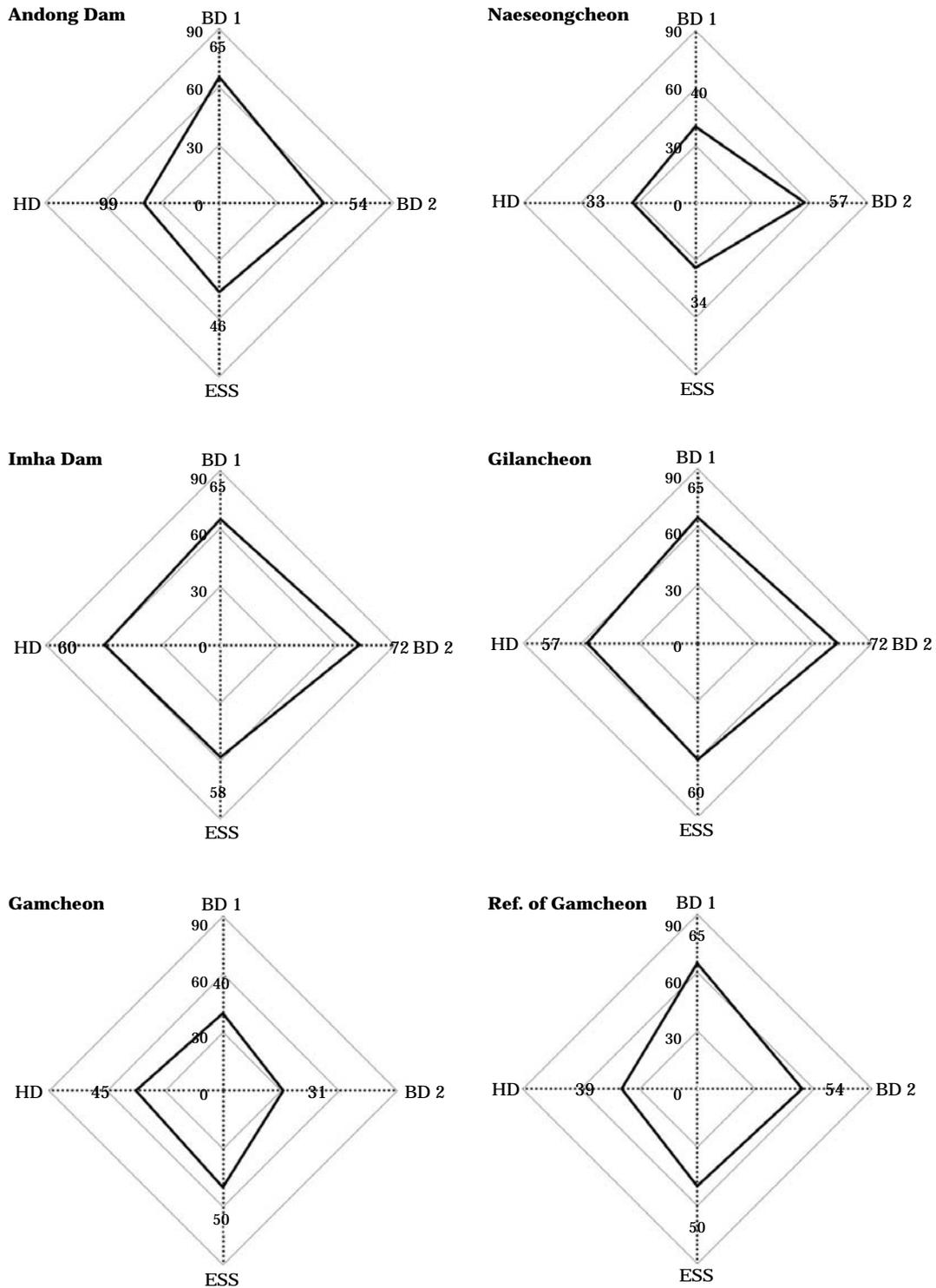


Fig. 4. Comparison with scoring for disturbed sites to reference sites. BD 1: bio diversity 1 (species number), BD 2: bio diversity 2 (Shannon indices), ESS: ecosystem structure, HD: habitat diversity.

bance type), ② 골재채취 이전에 악영향을 받았던 상태에서 골재채취와 상관없이 복구 상태로 돌아가는 단계인

회복 경향 유형 (rehabilitation type), ③ 교란 받아 일시적 악화를 보인 군집이 회복되어 가는 과정인 감소 이후

Table 5. Score level to assess the stream ecosystem by using ichthyofauna.

Items	Levels of scoring	Score	Stream disturbance with dam construction and aggregate gathering						
			Downstream site of dam and reference site			Aggregate gathering site and reference site			
			Andong Dam	Naesong-cheon	Imha Dam	Gilancheon	Gamcheon	Upstream of Gamcheon	
Biodiversity I (90) No of species	Over than 31 sp.	90						22 sp.	65
	21 spp. ~30 sp.	65	21 sp.	65	25 sp.	65	22 sp.	65	
	11 spp. ~20 sp.	40		13 sp.	40			17 sp.	40
	10 spp. and below	15							
Subtotal			65	40	65	65	65	40	65
Biodiversity II Shannon indices (90)	Over than 3.0	40							
	2.0 ~ 3.0	30			2.25	30	2.28	30	
	1.0 ~ 2.0	20	1.63	20	1.85	20		0.87	20
	Below than 1.0	10							1.51
Evenness (E') (30)	Over than 0.95	30							
	0.65 ~ 0.95	22		0.72	22	0.70	22	0.74	22
	0.35 ~ 0.65	14	0.54	14					0.49
	Below than 0.35	6						0.31	6
Richness (R') (20)	3.0 ~ 5.0	20	3.43	20		4.08	20	3.60	20
	2.0 ~ 3.0, 5.0 ~ 6.0	15		2.45	15			2.61	15
	1.0 ~ 2.0, over than 6.0	10							
	Below than 1.0	5							
Subtotal			54	57	72	72	72	41	54
Ecosystem structure (90)	Epistasis (35): Frequency of carnivorous fish (35)	35				7.26	35	6.74	35
	5 ~ 12%	28		15.03	28				8.09
	12 ~ below than 17%	21	1.47	21				0.21	21
	Below than 5% 17% and higher	14							1.73
Rareness (20): Excellence (45): Movement (10) Index of excellent environment (35)	Endangered species	Each 10	1	10	0	0	0	1	10
	Migrating fish	Each 10	0	0	0	0	0	0	0
	River salmon and others	Each 5	3	15	4	20	5	25	1
	5								5
Disturbance (-10) disturbed by alien (-10)	Blue gill, bass	Each 5	0	0	0	1	-5	0	0
	0								2
	-10								-10
Subtotal			46	48	55	60	60	36	61
Habitat diversity (90)	Environment of riverbed (30)	Each 3	0	0	0	2	6	2	1
	Gravel, Rock (15)	Each 3	5	15	2	6	3	9	3
	Sand, Mud (15)	Each 3							4
	Swamp (15)	Each 3	2	6	4	12	5	15	4
Environment of stream (60)	Rapid (15)	Each 3	2	6	2	6	3	3	1
	Shallow (15)	Each 3	3	9	2	6	4	12	2
	Korean piscivorous chub and others	Each 3	1	3	2	6	2	6	2
	Funa and others	Each 3	1	3	2	6	2	6	3
Subtotal			39	36	57	33	33	39	33
Total			204	181	249	230	230	156	213

회복 경향 (disturbance and rehabilitation type), ④ 교란 요인의 증대로 교란 받았던 군집이 회복되는 초기과정

또는 완만하게 회복되어 가는 과정인 감소와 회복 후 일시적 소강 (disturbance, rehabilitation and lull type), 그

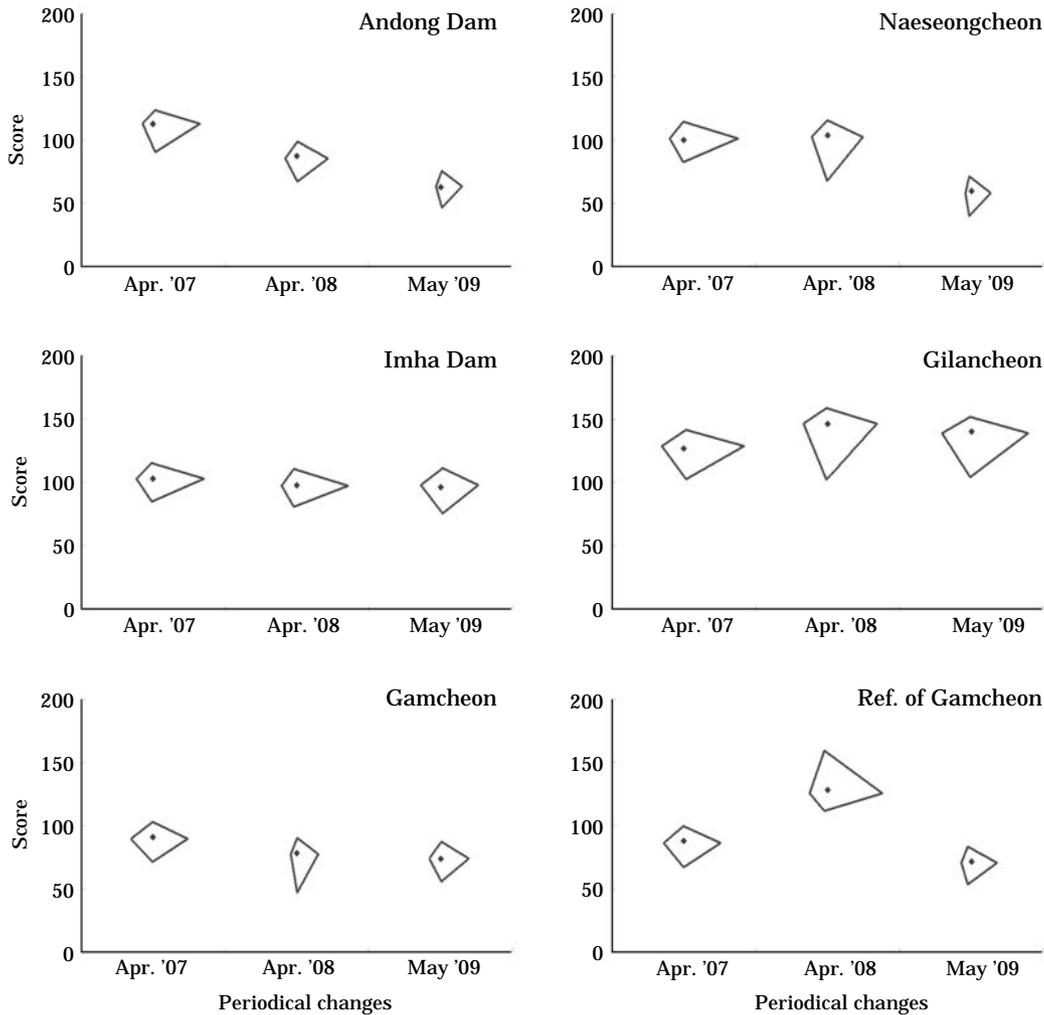


Fig. 5. Comparative scores for disturbed sites to reference sites with periodical changes at spring during three years.

Table 6. Types of disturbance and rehabilitation estimated annual changes by using ichthyofaunal evaluation to aquatic ecosystem.

Type	Prediction of disturbed and/or rehabilitated sites in evaluating aquatic ecosystem
1. Disturbance	A stage that rehabilitation was suppressed by additional degenerative factors under the disturbed stream.
2. Disturbance and rehabilitation	A stage that a community which had been temporarily degenerated by the disturbance was rehabilitating.
3. Rehabilitation	A stage affected severely before aggregate gathering and on going to restore without regard to aggregate gather.
4. Disturbance, rehabilitation and lull	A stage that early or beginning of rehabilitating that community was disturbed by increasing the factors of the disturbance.
5. Stationary	A stationary stage of a community in surveying sites and this state could reflect the stage of disturbed aquatic ecosystem though it is not perfect.

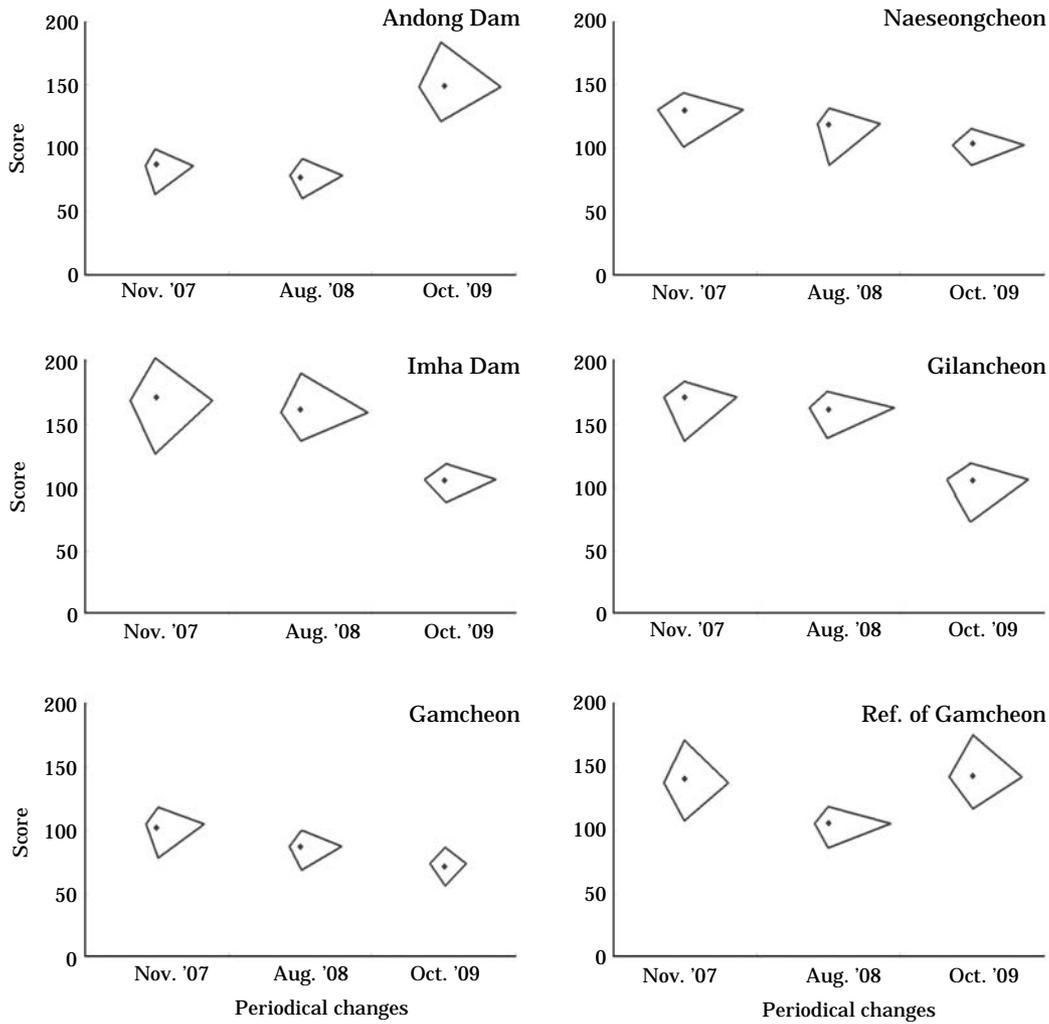


Fig. 6. Comparative scores for disturbed sites to reference sites with periodical changes at autumn during three years.

리고 ⑤ 해당지점 군집이 비교적 안정적 상태로서 동일 수준의 생물상 및 생태평가 결과는 아니라 할지라도 해당지역 수서생태계의 현황을 반영할 것으로 추정할 수 있는 경향의 감소 및 증가의 연차적인 반복 유형 (stationary type)으로서 크게 5가지로 구분할 수 있으나 (Table 6), Pickett and White (1985)가 제시한 4가지 유형의 교란 및 안정 유형을 고려할 수 있고 그 회복 과정까지 추정할 수 있다.

여울과 소 등의 하상형태, 수류의 상황 그리고 하상재료나 어류의 은신처와 피난장소를 제공하는 식생과 거석 등 (Tamai et al., 2000; FISRWG, 2001)까지 감안한 생태 지표선정과 함께 하천생태계의 교란 및 회복에 관한 기초자료를 어류의 이동 능력, 이동 거리, 섭식대상과 방법, 산란 시기와 산란 장소, 주요 서식처 (Bone et al., 1995; Kennard, 2005) 등 어류 생태학적 측면에서 제시하는 내

용으로서 이들 특징의 상황에 따른 어류의 반응을 잘 이해, 적용하면 수서 생태계의 평가를 용이하고 효율적으로 수행할 수 있을 것이다 (Simon, 1999). 하천에서 교란은 자연스러운 것이며 다양한 형태로 나타난다.

하천교란은 수문학적으로 불안정성을 초래한 결과 하천생태계의 구조 변화를 통하여 어류 군집 변화까지 유발하나, 유형화된 하천에 대해 적어도 계절별 정기적 자료 확보가 이루어진 조사지점별 평가 및 변화 추이 파악을 통하여 하천생태계의 교란 및 회복에 관한 가치 있는 자료가 제공될 것으로 사료된다.

적 요

인위적 요인에 의해 특성이 바뀐 하천은 인류에게 좋

은 기능을 제공하기도 하나 역기능을 주기도 한다. 역기능은 주로 교란으로서 교란이 나타나면 하천의 구조 및 기능 상실은 시간의 경과에 따라 심화된다. 따라서 이 악순환을 끊기 위하여 현황에 대책 마련이 바람직하다. 낙동강에서 하천교란이 이루어진 3개 구간 및 대조구간에서 3년간 어류상을 활용하여 하천생태를 평가하였다. 2007년부터 2009년까지 낙동강의 6개 조사지점에서 나타난 어류상은 3목 10과 41종이었다. 확인된 어종 중 한국고유종은 14종 (34.1%), 외래어종은 3종 (7.3%)이었다. 하천 생태평가 시 출현 종 수, 군집분석, 생태계 구조 및 서식처 다양성을 적용하였다. 6개 지점의 3년 종합 자료 평가를 보면 안동댐 하류, 내성천 수계에서는 출현어종의 수적 불안전성을 나타낸 반면 감천은 안동댐 수계보다 출현종의 다양성이 나타나고 있었다. 안동댐 하류, 내성천, 그리고 감천을 포함하는 모래하천은 임하댐 하류 및 길안천을 포함하는 자갈하천보다 생물 다양성과 서식처 다양성이 우수한 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구 개발사업 '자연과 함께하는 하천복원 기술개발 (이코리버 21)'의 연구비 지원 (06건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- 수생태복원사업단. 2008. 수생태계 내 생물서식처 복원기술 개발 보고서 (1단계), Eco-STAR Project, 과제번호 07-I-1.
- 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, Second Edition. USEPA Office of Water, EPA 841-B-99-002, Washington D.C.
- Bone, Q., N.B. Marshall and J.H.S. Blaxter. 1995. Biology of Fishes. Blackie Academic and Professional. Chapman and Hall, London, p. 1-332.
- Bruno, M. and C. Bruno. 2007. The river continuum concept revisited: lessons from the Alps. In The Water Balance of the Alps; Alps Space. *Man and Environment* **3**: 67-76.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). 2001. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices, US Department of Commerce, NTIS, Springfield, VA, USA.
- Gosline, W.A. 1973. Functional Morphology and Classification of Teleostean Fishes. The University Press of Hawaii, Honolulu, p. 1-208.
- Kennard, M.J. 2005. A quantitative basis for the use of fish as indicators of river health in eastern Australia. Ph. D. Thesis for Griffith University, Brisbane, Australia, p. 1-206.
- Kim, I.-S. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea Vol. 37 Freshwater Fishes. Ministry of Education (in Korean with English Preface), p. 1-629.
- Kim, I.-S. and J.-Y. Park. 2002. Freshwater Fishes of Korea. Kyohak Pub. Co. Ltd., Seoul (in Korean), p. 1-465.
- Kim, I.-S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohak Pub. Co. Ltd., Seoul (in Korean with English Abstract), p. 1-613.
- Larson, S. and K. Alexandridis, 2009. Socio-economic profiling of tropical rivers. CSIRO Sustainable Ecosystems. Tropical Rivers and Coastal Knowledge. Townsville (Fact Sheet).
- Lee, S.-H., D.H. Kim, D.-C. Yang and J.-G. Shin. 2010. A predicted model on the disturbance and the rehabilitation of stream using evaluation of ichthyofaunal ecosystem inducible disturbed aquatic ecosystem in aggregate gathered stream. Proceedings in Korean Society Limnology Conference and International Symposium, p. 171-174.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* **3**: 36-71.
- Margalef, R. 1968. Perspectives in Ecological Theory. University of Chicago Press, Chicago, p. 1-112.
- McNaughton, S.J. 1967. Relationship among functional properties of Aligornia Grassland. *Nature* **216**: 168-169.
- Ministry of Construction and Traffics (MCT). 2004. Development to close-to nature river improvement techniques. p. 1-1460.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the World. John Wiley and Sons, fourth edition, New York, p. 1-601.
- Odum, E.P. 1975. Fundamentals of Ecology, New York, p. 1-574.
- Pickett, S.T.A. and P.S. White. 1985. Patch dynamics: a synthesis, p. 371-384 *In*: The ecology of natural disturbance and patch dynamics (Pickett, S.T.A. and P.S. White, eds.). Academic Press.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144.

- Pielou, E.C. 1975. *Ecological Diversity*. Wiley, New York, p. 1-165.
- Plafin, J.L., M.T. Barbour, K.D. Proter, S.K. Gross and R.M. Hughes. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers benthic macroinvertebrates and fish, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C., EPA 440-4-89-001, p. 1-170.
- Simon, T.P. 1991. Development of ecoregion expectations for the index of biotic integrity (IBI) Central Corn Belt Plain. U.S. Environmental Protection Agency, Region V, Chicago, Illinois, EPA 905/9-91/025, p. 1-128.
- Simon, T.P. 1999. Assessing the Sustainability and Biological Integrity of Water Resources Using Fish Communities. CRC Press, Boca Raton, p. 1-671.
- Somerville, D.E. and B.A. Pruitt. 2004. Physical Stream Assessment: A Review of Selected Protocols for Use in the Clean Water Act Section 404 Program, p. 1-62.
- Tamai, N., S. Okuda and S. Nakamura. 2000. Assessing Riverine Environments for Habitat Suitability on the Basis of Natural Potential, Univ. Tokyo Press, p. 1-270.
- Texas Natural Resources Conservation Commission (TNRCC). 1999. "Stream Habitat Assessment Procedures." Chapter 8 In *Surface Water Quality Monitoring Procedures Manual*, GI-252, Water Quality Division, Texas Environmental Quality Commission, Austin, Texas.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell and C.E. Cushing. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* **37**: 130-137.
- Wootton, R.J. 1990. *Ecology of Teleost Fishes*. Chapman and Hall, London, p. 1-404.
- Yoon, C.H. 2002. *Fishes of Korea with Pictorial Key and Systematic List*. Academy Books. Pub. Co. Ltd., Seoul (in Korean), p. 1-747.

(Manuscript received 22 March 2010,
Revision accepted 26 April 2010)