

횡성호에 분포하는 피라미 (Pale chub: *Zacco platypus*) 개체군의 Length-weight Relationship 및 Condition Factor

장영수 · 최재석^{1,*} · 이광열² · 서진원³ · 김범철

(강원대학교 환경학과, ¹강원대학교 환경연구소, ²강원대학교 생물학과, ³한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소)

Length-weight Relationship and Condition Factor of *Zacco platypus* in the Lake Hoengseong. Jang, Youngsu, Jaeseok Choi^{1,*}, Kwangyeol Lee², Jinwon Seo³ and Bomchul Kim (Department of Environmental Science; ¹Institute of Environmental Research; ²Department of Biology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701; ³Environmental Research Center, KIWE, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea)

The dynamics of *Zacco platypus* population of upstream and downstream in the lake Hoengseong, Korea were investigated from April to October 2005. Length-weight relationship, condition factor (K) and relative condition factor (K_n) of *Z. platypus* were compared by the study stations. The equations based on length-weight relationship in the lake Hoengseong were $\text{Log}(T_w) = -2.26 + 3.18 \cdot \text{Log}(T_l)$ ($r^2 = 0.99$). The result in comparison of variations of *Z. platypus* populations, in lake was more remain to better than in upstream and downstream them. Also the b value, assessed by Length-weight relationship in lake was 3.35, in upstream and downstream were 3.09, 3.15, respectively indicating the fish in lake better than stream. The slopes of population condition controlled by K factor also showed positive relationship. It was higher in lake environment than in stream sample, reflecting that population of *Z. platypus* distributed in lake Hoengseong was favorable and stable condition. The lake environment seems to be providing more favorable condition for *Z. platypus* population.

Key words : pale chub (*Zacco platypus*), length-weight relationship, condition factor

서 론

우리나라 하천생태계는 여러 가지 교란 요인들에 의하여 변화하고 있으며 이러한 변화들은 생태학적으로 긍정적인 측면보다는 부정적인 측면이 많다고 볼 수 있다. 특히 어류는 수중 생태계 내 상위 소비자로서 이동성이 크고 물리·화학적 서식지 변화에 민감하게 반응하므로 지표생물로 이용하기에 좋은 대상이 된다(손 등, 1997).

더욱이 Length-weight relationship 등을 이용한 어류의 성장도와 비만도 분석은 주어진 환경에서 어류의 건강상태나 생식능력의 정도를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 서식환경의 서식처등급, 수질 및 먹이 이용 등의 다양한 정보를 제공하는 지표로서 이용될 수 있다(Anderson and Gutreuter, 1983; Busacker *et al.*, 1990; Ney, 1993).

특히 댐의 건설은 많은 수환경의 변화를 야기시키며, 일부 어종의 분포, 이동, 절멸 등의 결과를 초래하게 된다(최 등, 2006b). 이러한 인공호의 생태계 변화를 관찰

* Corresponding author: Tel: 033) 250-8405, Fax: 033) 251-3990, E-mail: gobiobotia@hanmail.net

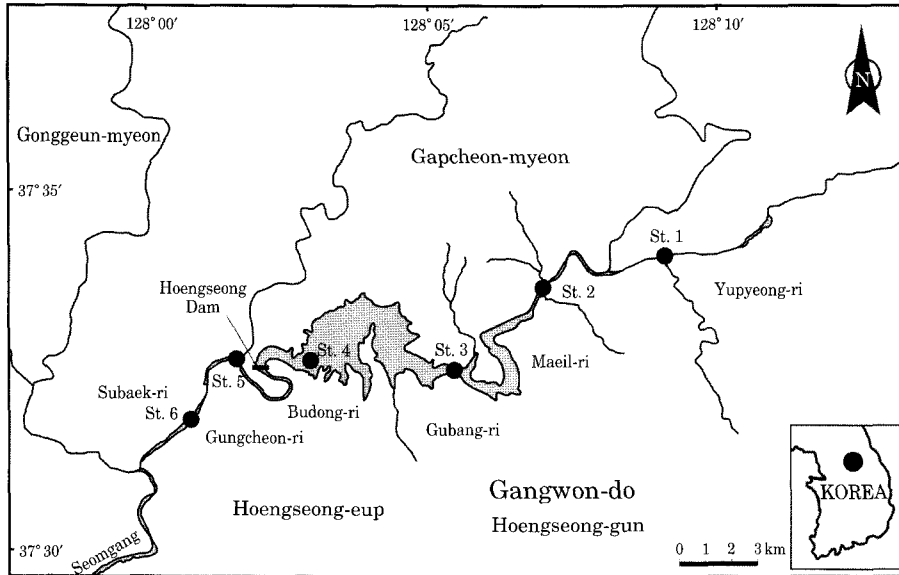


Fig. 1. Map showing the studied area.

하기 위한 어류군집의 변화와 동태에 관한 연구는 비교적 많은 편이었으나 개체군 변화에 관한 질적 연구는 매우 적은 실정이다(서, 2005; 최 등, 2006a, b). 그러므로 이러한 어류 개체군들에 대한 연구는 댐건설에 따른 생태계 변화에 대한 많은 예측을 가능케 하고, 더 나아가 인공호 관리에도 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다. 더욱이 이러한 연구들은 수중 생태계에서 개체군에 대한 상황파악과 나아가 하천 생태계를 질적으로 평가하는데 간접적이고 직접적인 방법이 될 수 있을 것으로 본다.

피라미 (*Zacco Platypus*)는 잉어과(Cyprinidae) 피라미속(*Zacco*)에 속하는 일차담수어(primary freshwater fish)로 우리나라 대부분의 하천에 널리 분포하고 있으며(Mori, 1936; 内田, 1939; 정, 1977; 전, 1980, 1982; 최 등, 1989; 김, 1997; 윤, 2000), 물이 맑은 하천 중류의 여울에서 많이 나타나며 자갈이나 모래에 붙어 있는 수서 곤충을 먹거나, 주로 부착조류를 섭식하는 것으로 알려져 있다(김, 1997; 윤, 2000). 또한 본종은 수질오염, 보의설치, 골재채취, 댐의 구축 등 인위적인 환경 변화에 따라 개체수가 증가(김과 김, 1975; 전, 1980; 최와 김, 2004; 최 등, 2005b)하는 어종으로 우리나라의 영동북부지방을 제외한 모든 하천과 호수에 분포하며 출현빈도도 매우 높게 나타난다(최, 1994). 그러므로 본 종은 우리나라 하천 및 호수 등을 평가하는 데 적합한 지표어종으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 횡성호가 건설된 후 피라미 개

체군의 전장과 체중과의 상관관계 및 비대지수를 통하여 인공호에 대한 개체군의 적응변화과정을 알아보고자 한다.

재료 및 방법

1. 어류조사

본 조사는 2005년 4~10월까지 4회에 걸쳐 횡성호를 중심으로 유입하천 상류와 호수내 지역 그리고 댐 하부 지역을 각각 2개 지점씩 총 6개 지점을 선정하여 실시하였다(Fig. 1).

연구대상어종인 피라미의 채집은 호내지점에서는 소형 삼각망(5×5 mm, 20×20 mm: 48시간)과 삼중자망(15×15 mm, 50×50 mm: 48시간)을 이용하였고, 유입하천인 상류지역과 댐하부 지점에서는 투망(7×7 mm: 14회)과 족대(4×4 mm: 40분)를 사용하였다.

포획된 피라미 개체군은 10% 포르말린액으로 고정 후 실험실에서 전장 및 체중을 측정하였다.

2. 개체군 분석

1) 전장과 체중과의 관계

횡성호 호내와 상·하류에서 출현한 피라미 개체군에 대하여 전장과 체중과의 관계를 이용하여 성장도를 알아 보았다.

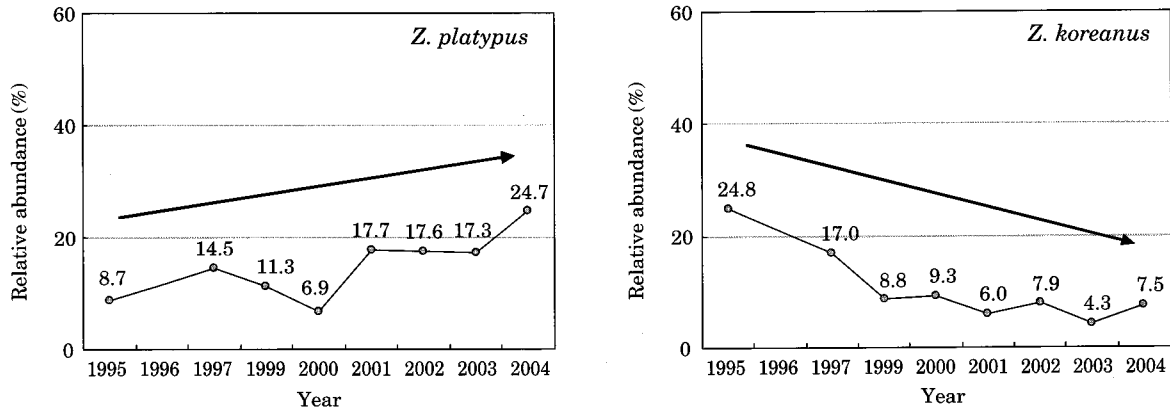


Fig. 2. Annual variations of relative abundance of *Z. platypus* and *Z. koreanus* from 1995 to 2004 (Choi et al., 2005b).

$$T_w = aT_L^b$$

$$\text{Log}(T_w) = \text{Log } a + b \cdot \text{Log}(T_L)$$

T_w = total weight, T_L = total length, (a, b: parameters)

2) 비대지수 (K)와 상대적 비대지수 (K_n)

Fulton-type의 비만도지수(Condition factor, K)와 상대적 비대지수(Relative condition factor, K_n)는 성장도에서 표현하는 a와 b의 관계보다 더 쉽게 설명되고 비교되는데 그 식은 아래와 같다.

$$K = T_w / T_L^3 \times 10^n \quad (n=2) \quad (\text{Anderson and Neumann, 1996})$$

$$K_n = T_w / aT_L^b \quad (\text{LeCren, 1951})$$

결과 및 토의

1. 피라미개체군의 변화 패턴

섬강 상류부에 위치한 횡성다목적댐은 1993년 12월에 착공하여 2000년 11월에 준공되었으며, 1999년부터 담수를 시작하여, 지금의 횡성호가 형성되었다. 이러한 댐의 건설로 인하여 유수역이던 하천생태계가 점차 정수역의 호수생태계로 전환되어 수체의 성격이 변하게 되면 적응하지 못하는 종들은 상류의 하천으로 이동하거나 사멸하게 되고 이와 반대로 호수환경에 적응한 종들은 번성하게 되어 새로운 생물군을 형성하게 된다(최, 2005a). 水野 등(1964a, b, c)은 댐호 형성 전후의 어류군집변화를 연구하면서 피라미는 댐호 건설 5~7년 이후 급격히 증가하는 어종이라 하였고, 이에 반해 갈겨니(*Z. temminckii*)는 감소하는 어종으로 기술한 바 2000년 준공된 본 호가 여기에 해당한다고 할 수 있다. 횡성호에 대한 선행연구에서 최 등(2005b)은 담수 이후의 어류분포특성 그리고

호수의 형성 전후의 어류상의 변화를 언급하였다. Fig. 2는 1995부터 2004년까지 횡성호 일대에 서식하는 피라미와 참갈겨니(*Z. koreanus*) 개체군의 댐호 형성 전후의 개체수구성비 변화를 그린 것으로 담수가 시작된 1999년을 기점으로 참갈겨니(*Z. koreanus*)의 비율이 급격히 감소하였고, 피라미의 경우는 담수가 완전히 진행된 2001년부터 급격히 증가한 것으로 나타났다(최 등, 2005b). 추가적으로 본 조사(2005년)까지 포함한다면 피라미는 37.3%의 높은 구성비를 나타내어 정수환경에 재빨리 적응하여 급격히 번성하는 것으로 나타났으며, 이와는 상대적으로 참갈겨니(*Z. koreanus*)는 3.2%의 낮은 구성비를 나타내어 댐건설 이후 점차 감소되는 양상을 보였다. 이러한 어류의 번성과 쇠퇴에 대하여 홍(1991)은 한강수계 피라미속(*Zacco*) 어류의 분포에 대하여 설명하면서 피라미는 평야유역과 댐호유역에서 우세하여 점차 분포가 증가하고 있지만, 참갈겨니(*Z. koreanus*)의 경우는 댐호에도 극소수 분포하지만 수질오염과 환경변화에 대하여 일방적인 감소추세를 보여준다고 언급한 바 있다. 결국 이러한 변화 패턴은 피라미의 경우 환경변화에 대한 내성이 강하고 또한 정수성 환경을 선호하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 참갈겨니(*Z. koreanus*)의 경우 피라미와 반대로 호수와 같은 정수성 환경보다는 유속이 비교적 빠른 여울역을 선호하는 즉 하천성어류인 것으로 판단된다.

2. 전장과 체중과의 관계 및 비대지수 (K or K_n) 비교분석

횡성호 일대에서 채집된 피라미를 대상으로 전장과 체중과의 관계를 산정하여 피라미 개체군이 생태적으로 어떤 차이를 보이는지 분석하였다(Table 1). 전장과 체중의

Table 1. Number of individuals, total length, weight, and length-weight data of *Z. platypus* caught from the study stations.

		N	Total length (cm)			Total weight (g)			a	b	r ²
			Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean			
Upstream	Apr.	49	3	15.6	10.8	0.2	36.2	12.8	0.0062	3.15	0.98
	Jun.	114	3.5	14.1	9.5	0.3	28.8	8.7	0.0059	3.16	0.99
	Aug.	34	3.5	14.1	9.6	0.3	27.2	9.1	0.0054	3.21	0.99
	Oct.	42	2.3	13.9	6.8	0.12	28.23	6.3	0.0074	3.10	1.00
Lake	Apr.	104	3.9	16	11.3	0.3	37.6	17.1	0.0028	3.44	0.99
	Jun.	33	6.1	15.5	11.5	1.2	33.7	14.4	0.0024	3.47	0.98
	Aug.	117	4.7	15.8	10.9	0.9	36.9	14.4	0.0055	3.17	0.99
	Oct.	96	4	16.4	9	0.4	49.9	9.5	0.0029	3.46	1.00
Downstream	Apr.	50	4.2	14.4	8.4	0.6	29	7.32	0.0087	3.00	0.97
	Jun.	87	5.6	14.5	8.8	1.5	32.7	7.17	0.0056	3.18	0.98
	Aug.	38	2.7	16	7.1	0.1	38.3	6.5	0.0057	3.20	1.00
	Oct.	45	3.4	16.8	8.5	0.27	50.97	9.5	0.0053	3.24	1.00

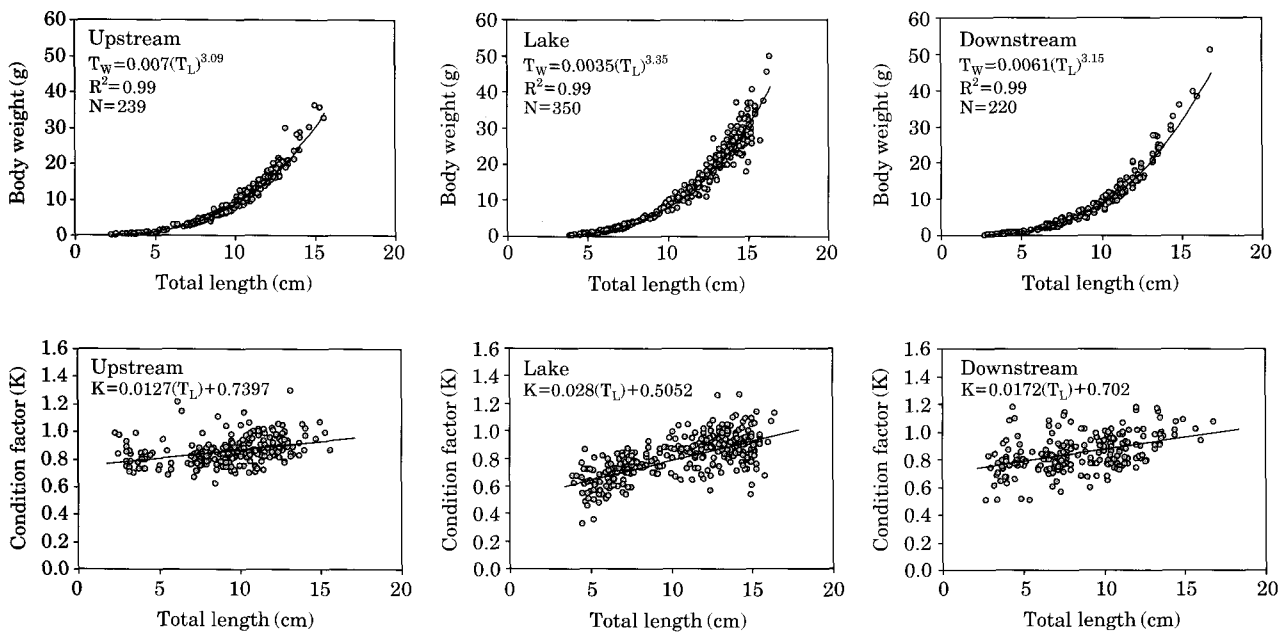


Fig. 3. Length-weight relationship and condition factor for *Z. platypus* collected in the study stations.

관계식에 의하여 얻어진 개체군의 회귀계수 b값을 다른 지역과 비교했을 때 그 값이 크면 상대적으로 비대하다는 것을 뜻하고, 작을 경우엔 왜소화 경향을 나타낸다고 볼 수 있다. 황성호 상류·댐하부 그리고 호내지역에서 채집된 피라미 개체군의 길이(T_L)와 무게(T_W)에 대한 관계식은 아래와 같다.

$$\text{Log } T_W = -2.26 + 3.18 \text{ Log } T_L \quad (r^2 = 0.99)$$

황성호 일대에 서식하는 피라미 개체군의 회귀계수 b

값은 3.18로 나타났으며 같은 한강수계(내린천, 동강, 평창강, 홍천강)에 서식하는 피라미 개체군(b값: 3.3~3.6)보다 낮은 값을 나타냈다(최, 미발표자료).

지역별로 전장과 체중과의 관계를 알아본 결과 호내지역에서 회귀계수 b값이 3.35로 비교적 높았고, 하천지역인 상류와 댐하부에서 각각 3.09, 3.15로 비슷한 값을 나타냈다(Fig. 3). 또한 조사시기별로 피라미 개체군의 전장과 체중과의 관계를 비교해 본 결과에서도 상류지역(b값: 3.10~3.21)과 댐 하부(b값: 3.00~3.24)의 하천지점

Table 2. Condition factor and relative condition factor of *Z. platypus* caught from the study stations.

		N	Condition factor (K)			Slope	Relative condition factor (K_n)		
			Min.	Max.	Mean		Min.	Max.	Mean
Upstream	Apr.	49	0.701	1.3	0.881	0.0161	0.811	1.504	1.009
	Jun.	114	0.619	1.144	0.841	0.0155	0.753	1.455	1.011
	Aug.	34	0.683	1.109	0.852	0.019	0.869	1.315	0.997
	Oct.	42	0.702	1.053	0.88	0.0154	0.793	1.229	1.002
Lake	Apr.	104	0.329	1.262	0.801	0.0351	0.587	1.46	0.999
	Jun.	33	0.529	1.049	0.752	0.0317	0.718	1.425	1.015
	Aug.	117	0.572	1.051	0.823	0.0136	0.681	1.235	1.009
	Oct.	96	0.482	1.269	0.792	0.0437	0.811	1.284	1.004
Downstream	Apr.	50	0.508	1.174	0.873	-0.0007	0.588	1.357	1.012
	Jun.	87	0.556	1.181	0.829	0.0188	0.712	1.381	1.014
	Aug.	38	0.508	1.019	0.822	0.0207	0.702	1.253	1.007
	Oct.	45	0.672	1.171	0.875	0.0277	0.825	1.181	1.001

에서 b값이 유사하게 나타났다(Table 1). 그러나 호내지역에서의 회귀계수 b값의 범위는 3.17~3.47로 하천지역과 비교해 볼 때 월등히 높았으며, b값이 3.17이었던 8월을 제외하고는 b값이 3.4 이상으로 하천지점보다 피라미 개체군이 성장도가 더 양호한 것으로 나타났다. 이와 같이 호수에서 피라미개체군이 높은 b값을 보이는 것은 북한강수계(평화의 댐, 파로호, 춘천호)에 서식하는 개체군에서도 나타났는데, 북한강수계의 피라미 개체군의 경우 호수에서 회귀계수 b값의 범위는 3.3~3.6이었고, 유입하천에서 b값의 범위는 3.1~3.2이었다(최, 미발표자료).

전장과 체중과의 관계와 함께 어류의 건강성과 개체군 평균에 널리 이용되는 비대지수(K 또는 K_n)는 어류에 있어서 풍부한 먹이원 유용을 반영하며 높은 에너지 축적으로 설명된다(서, 2005). 반면에 영양결핍, 질병 또는 중금속에 의한 수질오염과 같은 경우 어류에 직·간접적으로 영향을 주어 결과적으로 낮은 비대지수를 보이기도 한다(Möller, 1985; Munkittrick and Dixon, 1988; Miller *et al.*, 1992; Adams, 2002). 황성호 상·하부 지역 및 호내지역의 비대지수(K)와 상대적 비대지수(K_n)를 살펴본 결과 각각 0.329~1.300, 0.587~1.504의 범위를 보여 다양한 영양상태의 피라미 개체를 확인하였으며, 각 지점별, 시기별 평균 K와 K_n 값은 큰 차이를 보이지 않아 안정된 영양상태를 보였다. 한편 성장에 따른 K값의 기울기는 호내지역(0.0136~0.0437)에서 월등히 높게 나타나 댐상류(0.0154~0.019) 및 하부지역(-0.0007~0.0277)의 K값의 기울기와는 많은 차이를 보였다(Table 2, Fig. 3).

이와 같이 회귀계수 b값 및 비대지수(K)값이 호수에서 더 높게 나타난 것은 호수에 서식하는 피라미가 하천보

다 개체군 성장이 상대적으로 더 유리하다는 것을 의미한다. 본 종은 우리나라 하천에서 가장 높은 빈도로 출현하는 것으로 알려져 있지만(최, 1994), 중·상류에 위치한 저수지나 댐호의 연구에서도 우점하여 출현하고 있는 종이다(최 등, 1997, 2003, 2004, 2005a, b; 변 등, 2004; 최, 2005a, b, c). 최 등(2002)은 댐호에서 본 종이 번성하는 이유에 대하여 인공구조물 설치로 유하(流下)되는 자어가 머무를 수 있는 공간이 형성되면 대량으로 번성한다고 하였는데 이보다는 각 수체의 영양염류나 유량 등의 환경적인 요인들이 본 종의 성장을 하천보다 더 만족시켜 본 종의 번성에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 결국 본 종은 유수역보다는 정수역을, 그리고 상류보다는 중류역을 더 선호하는 것으로 생각된다.

적 요

2005년 4월부터 10월까지 황성호를 중심으로 상·하부 및 호내지역에 분포하는 피라미 개체군의 동태를 알아보았다. 피라미는 황성호에서 우점종으로 나타났으며 본 종의 생태학적 특성을 파악하기 위해 댐 상류하천과 호내 그리고 댐 하류지역의 하천에서 채집된 피라미를 지역별로 구분하여 전장과 체중과의 관계, 길이와 비대지수(K와 K_n)와의 관계를 각각 비교하였다. 전장-체중의 관계에 의해 관계식을 추정된 결과 $\text{Log}(T_w) = -2.26 + 3.18 \text{Log}(T_L)$ 로 나타났다. 회귀계수 b값은 호내지역에서 3.35로 높았고, 상류하천과 댐 하부지역에서 각각 3.09와 3.15의 값을 나타내 유수역인 하천보다 정수역인 호수에

서 채집된 피라미가 더 양호한 성장도를 나타냈다. 비대 지수에 의한 개체군의 비만기율기 또한 양의 상관성을 보였으며 호수에서 기율기 값이 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 횡성호에 분포하는 피라미 개체군이 양호하거나 안정되었음을 반영하고 있다. 호수는 피라미 개체군에 더 좋은 조건을 제공하고 있는 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 한국수자원공사의 연구비 지원과 강원대학교 환경연구소의 도움을 받았습니다. 이 연구에 참여한 장영수는 “2단계 BK21 사업”의 지원을 받았습니다.

인 용 문 헌

- 김익수, 김환기. 1975. 전주천의 수질오염과 어류군집의 변화에 관한 연구, *육수지* **8**: 7-14.
- 김익수. 1997. 한국동식물도감 제37권. 동물편(담수어류). 교육부, 서울. p. 133-520.
- 변화근, 이완옥, 김동섭. 2004. 영천호의 어류상과 어류군집, *육수지* **16**(3): 234-240.
- 서진원. 2005. 감천 중·상류역의 어류상과 갈겨니 (*Zacco temminckii*) 개체군의 생태학적 특징, *육수지* **38**(2): 196-206.
- 손영목, 송호복, 변화근, 최재석. 1997. 팔당호의 어류군집 동태, *한어지* **9**(1): 141-152.
- 윤희남. 2000. 한국산 피라미속 어류의 서식특성 요인에 관하여, 상명대학교 대학원 석사학위 청구논문. p. 1-80.
- 전상린. 1980. 한국산 담수어의 분포에 관하여, 중앙대학교 대학원 박사학위 청구논문. p. 18-45.
- 전상린. 1982. 동해로 유입되는 소하천의 어류상에 관하여, 자연보존연구보고서 **4**: 230-248.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사. p. 59-497.
- 최기철. 1994. 우리가 정말 알아야 할 우리 민물고기 백가지. 현암사, 서울. p. 152-156.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 1989. 한국산담수어류분포도. 한국담수생물학연구소. p. 2-202.
- 최기철, 전상린, 김익수, 손영목. 2002. 개정 원색한국담수어도감. 향문사, p. 17-258.
- 최신석, 송호복, 황수옥. 1997. 대청호의 어류 군집, *육수지* **30**(2): 155-166.
- 최의용, 서진원, 최재석. 2006a. 낙동강 지류에 분포하는 참갈겨니 개체군의 전장과 체중 관계 및 von Bertalanffy의 성장모델, *육수지* **39**(2): 226-235.
- 최재석. 2005a. 의암호의 어류군집, *한어지* **17**(1): 73-83.
- 최재석. 2005b. 청평호의 어류상과 어류군집, *육수지* **38**(1): 63-72.
- 최재석. 2005c. 춘천호의 어류상과 군집구조, *환경생물* **23**(2): 173-183.
- 최재석. 2006. 북한강 수계 수 중 생태계 조사. 화천군. p. 109-125.
- 최재석, 김재구. 2004. 홍천강의 어류상 및 어류군집, *환경생물* **18**(3): 446-455.
- 최재석, 박승철, 장영수, 이광열, 최준길. 2006b. 횡성호 상·하류에 분포하는 참갈겨니 (*Zacco koreanus*, Cyprinidae)의 개체군 동태, *한국환경생태학회지* **20**(4): 391-399.
- 최재석, 이광열, 장영수, 고명훈, 권오길, 김범철. 2003. 소양호의 어류군집 동태, *한어지* **15**(2): 95-104.
- 최재석, 이광열, 장영수, 최의용, 서진원. 2005a. 평화의 댐 어류군집 분석, *육수지* **38**(3): 297-303.
- 최재석, 장영수, 이광열, 김진국, 권오길. 2004. 파로호의 어류상 및 어류군집, *환경생물* **22**(1): 111-119.
- 최재석. 2004. 강원도 토속어종 부화장 건립 타당성 조사. 강원도 환경해출장소. p. 66-83.
- 최준길, 최재석, 신현신, 박승철. 2005b. 횡성호 일대의 어류군집 동태, *육수지* **38**(2): 188-195.
- 홍영표. 1991. 한강수계에 서식하는 피라미 (*Zacco platypus*) 와 갈겨니 (*Z. temminckii*)의 분포 및 군집동태에 관한 연구. 충남대학교박사학위논문. p. 1-197.
- 内田惠太郎. 1939. 朝鮮魚類誌, 朝鮮水産試驗場報告 **6**: 1-458.
- 水野信彦, 名越誠, 森主一. 1964a. 奈良縣猿谷ダムの魚類I 生息状態のあらまし, *日本生態學會誌* **14**(1): 4-9.
- 水野信彦, 名越誠. 1964b. 奈良縣猿谷ダムの魚類II 續生息状態のあらまし, *日本生態學會誌* **14**(2): 61-65.
- 水野信彦, 名越誠. 1964c. 奈良縣猿谷ダムの魚類III オイカワの生活史, 生理生態 (京都大學) **12**(1-2): 115-126.
- Adams, S.M. 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Anderson, R.O. and R.M. Neumann. 1996. Length, weight, and associated structural indices. p. 447-482 in Murphy, B.R. and D.W. Willis editor. Fisheries Techniques, 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Anderson, R.O. and S.J. Gutreuter. 1983. Length weight and associated structural indices. p. 283-300 in Johnson, L.A. editor. Fisheries techniques. American Fisheries Society. Bethesda, Maryland, USA.
- Busacker, G.P., I.A. Adelman and E.M. Goolish. 1990. Growth. p. 363-377 in Schreck, C.B. and P.B. Moyle editor methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- LeCren, E.D. 1951. The length-weight and condition in the seasonal cycle in gonad weight and condition in the

- perch *Perca fluviatilis*. *Journal of Animal Ecology* **20**: 201-219.
- Miller, P.A., K.R. Munkittrick and D.G. Dixon. 1992. Relationship between concentrations of copper and zinc in water, sediment, benthic invertebrates, and tissues of white sucker (*Catostomus commersoni*) at metal-contaminated sites. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **49**: 978-984.
- Moller, H. 1985. A critical review on the role of pollution as a cause of fish disease. Ellis, A.E. editor. *Fish and Shellfish Pathology*. Academic Press, New York.
- Mori, T. 1936. *Studies on the geographical distribution of freshwater fishes in Eastern Asia*. Published by the author. p. 1-87.
- Munkittrick, K.R. and D.G. Dixon. 1988. Growth, fecundity, and energy stores of white sucker (*Catostomus commersoni*) from lakes containing elevated levels of copper and zinc. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **45**: 1355-1365.
- Ney, J.J. 1993. Practical use of biological statistics. p. 137-158 in Kohler, C.C. and W.A. Hubert editor. *Inland fisheries management of North American Fisheries Society*. Bethesda, MD. USA.
- (Manuscript received 10 August 2007,
Revision accepted 6 September 2007)