

담수산 어류 꺾지 (*Coreoperca herzi*)의 자원 평가 및 관리 방안 연구: 섬진강 중·상류 수계에서 꺾지의 개체군 생태학적 특성치 추정 (1)

장 성 현 · 류 희 성 · 이 정 호*

(대구대학교 생물교육과)

A Study on the Stock Assessment and Management Implications of the Korean Aucha perch (*Coreoperca herzi*) in Freshwater: (1) Estimation of Population Ecological Characteristics of *Coreoperca herzi* in the Mid-Upper System of the Seomjin River. Jang, Sung Hyun, Hui Seong Ryu and Jung Ho Lee* (Department of Biology Education, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea)

The ecological characteristics of the Korean Aucha perch, *Coreoperca herzi*, were determined in order to estimate stock of the mid-upper system of the Seomjin River. The age was determined by counting the otolith annuli. The oldest fish observed in this study was 5 years old. Relationships between body length (BL) and body weight (BW) were $BW=0.0195BL^{3.08}$ ($R^2=0.966$) ($p<0.01$). Relationships between the otolith radius (R) and body length (BL) were $BL=3.882R+1.66$ ($R^2=0.944$). The von Bertalanffy growth parameters estimated from a non-linear regression method were $L_{\infty}=19.68$ cm, $W_{\infty}=188.64$ g, $K=0.17$ year⁻¹ and $t_0=-1.46$ year. Therefore, growth in length of the fish was expressed by the von Bertalanffy's growth equation as $L_t=19.68(1-e^{-0.17(t+1.46)})$ ($R^2=0.997$). The annual survival rate (S) was estimated to be 0.666 year⁻¹. The instantaneous coefficient of natural mortality (M) of estimated from the Zhang and Megrey method was 0.346 year⁻¹, and instantaneous coefficient of fishing mortality (F) was calculated 0.061 year⁻¹. From the estimates of survival rate (S), the instantaneous coefficient of total mortality (Z) was estimated to be 0.407 year⁻¹.

Key words : *Coreoperca herzi*, ecological characteristics, otolith annuli, growth parameters, survival rate, natural mortality, fishing mortality

서 론

담수생태계의 어족자원은 증식에 의해 지속적으로 생산되는 갱신가능자원(renewable)으로 이를 보전하고 관리하는 것은 생태계 보전 차원에서 뿐만 아니라 국가의 경제적 이익을 추구하는데도 의미가 크다. 그러나 최근 국내 어로어업에 의한 내수면 어족자원의 생산량은 1990년에 18,562톤에서 1995년에 8,878톤, 2000년에 7,157

톤, 2006년에 7,139톤 등 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있어(한, 2009), 추후 내수면 어족자원에 대한 체계적인 관리가 이루어지지 않으면 재생산력은 크게 감소되어지고 광물자원과 같은 고갈성을 띤 갱신불가능자원이 될 것이다. 따라서 내수면 어족자원의 자원량을 평가하여 현재 어족자원의 수준 및 증감을 파악하고 어족자원의 자원량을 최적화 상태로 유지하면서 최대의 생산성을 얻을 수 있는 잠재생산량 평가 등의 관리적인 측면의 연구가 시급하게 필요한 실정이다.

* Corresponding author: Tel: 053) 850-6994, Fax: 053) 850-6999, E-mail: jungho@daegu.ac.kr

꼭지 (*Coreoperca herzi*)는 한반도 고유종으로 (Mori, 1936; 전, 1986), 꼭저기 (*C. kawamebari*), 쏘가리 (*Siniperca scherzeri*) 등과 함께 꼭지과 (Centropomidae)에 속한 담수어종이다. 이 종은 2급수 이상 물이 맑고 자갈이 많은 하천의 중·상류역에 서식하면서 주로 갑각류나 수서 곤충을 먹고 살며, 육질이 우수하고 맛이 담백하여 식용 민물고기로서 상업적 가치가 높은 종이다 (박 등, 1997). 그러나 최근 하천 주변의 개발과 생활하수의 유입 등 수질오염으로 인한 서식지의 파괴로 인해 개체수가 크게 감소하고 있어 보존하기 위한 연구의 필요성이 높아지고 있다 (계 등, 1997). 또한, 내수면양식업계에서는 새로운 어족자원으로 활용하기 위해 본 종의 생산성 증대를 위한 양식기술의 개발을 요청하고 있는 실정이다 (박 등, 1997). 그러나 이 종을 보존하고 상업적으로 이용하기 위한 연구가 요망되지만 꼭지에 대한 관련 연구들은 부족하며, 특히 개체군 생태학적 특성치에 대한 연구는 전혀 이루어지지 못한 실정이다. 그러므로 본 연구는 담수생태계 어족자원으로 중요한 꼭지자원에 대해서 자원평가의 기초로 사용되는 개체군 생태학적 특성치들인 성장매개변수와 생존률, 순간자연사망계수, 순간어획사망계수 등을 추정하였으며, 이를 통해 담수산 꼭지의 자원동태를 파악하고 자원관리를 수행하는데 필요한 기초적인 자료를 제공하는 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 시료채취 및 연령사정

본 연구는 2008년 8월과 9월, 10월, 2009년 4월 등 총 4회에 걸쳐 전라북도 순창군의 섬진강 중·상류 수계인 섬진강과 오수천에서 실시하였다 (Fig. 1). 어류의 채집은 족대 (5×5 mm)와 투망 (10×10 mm), 삼각망 (30×30 mm) 등을 이용하였으며, 채집된 어류는 현장에서 전장과 체장 (1 mm까지) 및 습중량 (0.1 g까지)을 측정 한 후, 각 체장 계급 1 cm 당 2개체 이상을 선정하여 10% formalin에 고정하여 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 연령사정을 위하여 이석을 적출하였으며, 몰딩작업 (Molding) 및 절단 (Cutting), 연마 (Polishing) 등의 과정을 걸쳐 저배율의 입체현미경 (SteREO Discovery V8, ZEISS Co.)과 컴퓨터의 영상분석 시스템 (IMAGE ANALYZER)을 이용하여 μm 단위로 측정하였다 (Fig. 2). 이때 광원은 반사광 (2,800~3,000 Lux)을 사용하였으며, 각 이석에 대해 두 명의 관찰자가 연령사정을 실시하여 그 결과가 일치한 총

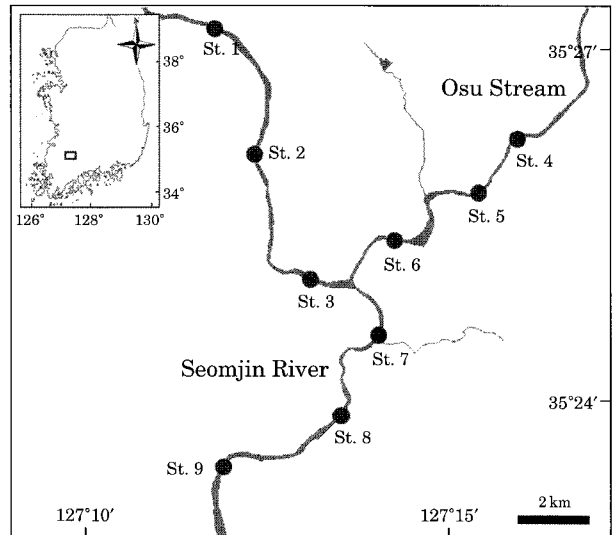


Fig. 1. Map showing the sampling sites in the mid-upper system of the Seomjin River.

78개의 이석만을 연령사정에 사용하였다.

2. 이석경-체장 관계

이석경과 체장의 관계는 선형회귀방법으로 분석하였으며, 식(1)을 통해 각 연령별로 역계산 체장을 추정하였다.

$$L_i = -\left(\frac{a}{b}\right) + \frac{L_c + \frac{a}{b}}{\frac{S_i}{S_c}} \quad (1)$$

여기서, L_i : i 번째 윤문 형성시점의 체장

L_c : 어획 당시의 체장

S_i : 이석의 i 번째 윤경

S_c : 어획 당시의 이석의 윤경

a, b : 이석경과 체장의 선형관계를 통해 얻어진 파라미터

윤문의 형성 시기 및 횡수를 추정하기 위한 연변수지수 (Marginal Index, MI)의 시기별 변화는 식(2)를 이용하여 계산하였다.

$$MI = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}} \quad (2)$$

여기서, R : 이석경으로 이석의 중심부 초점에서 가장자리까지의 거리

r_n : 윤경으로 초점에서 n 번째 윤문까지의 거리

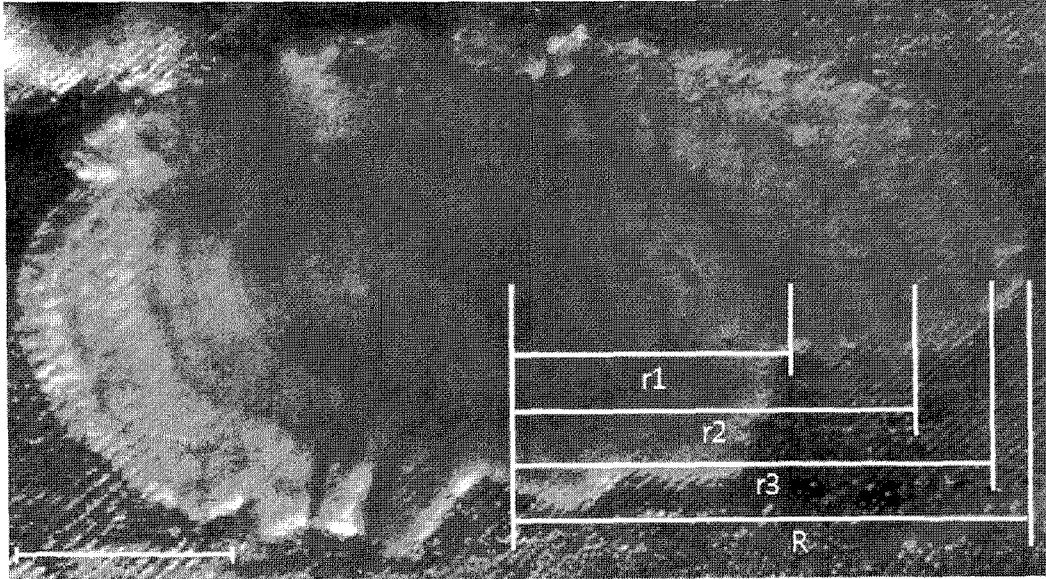


Fig. 2. Photograph showing otolith radius (R) and ring radius (rn). Annual ring in the otolith of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

3. 체장-체중 관계

체장(body length)-체중(body weight) 관계식은 함수의 독립변수에 대하여 성장변이가 증가하는 곱의 구조식으로 다음 식(3)과 같다.

$$BW = \alpha BL^\beta \cdot e^{\epsilon_i} \quad (3)$$

여기서, BW: 체중

BL: 체장

α, β : 매개변수

ϵ_i : 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 임의의 오차항

매개변수는 식(1)을 대수선형화 시킨 후 선형회귀방법(linear regression method)으로 추정하였다.

4. 성장식

성장식은 일반적으로 동물의 성장을 나타내는 von Bertalanffy (1938) 성장식을 이용하여 추정하였으며, 연령과 연령별로 역계산된 평균 체장을 이용하였다. von Bertalanffy 성장모델은 연령별 체장 측정치의 합의 오차구조를 가지며, 다음 식(4)와 같다.

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) + \epsilon_i \quad (4)$$

여기서, L_t : 개체의 연령이 i 일 때의 체장

L_∞ : 이론적 최대체장

K: 성장계수

t: 연령

t_0 : 체장이 0일 때의 이론적 연령

ϵ_i : 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 임의의 오차항

von Bertalanffy 성장식의 매개변수(L_∞, K, t_0) 추정은 walford 정차도법에 의해 추정된 각각 매개변수 값들을 초기값으로 사용하여 비선형회귀방법(nonlinear regression method)에 의해 성장매개변수들을 추정하였다.

5. 생존율

생존율(survival rate)은 연속되는 두 시간 간격에서의 자원 개체수를 비교함으로써 구하여지며, 연령조성자료를 이용하여 어획물곡선법과 Jacson 방법, Heincke 방법, 평균연령이용법, Chapman and Robson 방법 및 Beverton and Holt 방법 등 6가지 방법으로 추정하였다. 각 방법들에 의해 추정된 생존율은 계산치($\exp N_i$)와 관측된 연령별 어획개체수($obs N_i$)와의 오차를 다음 식(5)에 의한 평방오차합(Sum of squared error: SSQ)으로 비교·분석하였다.

$$SSQ = \sum \{ \ln(obs N_i) - \ln(\exp(N_i)) \}^2 \quad (5)$$

여기서, $obs N_i$: 실제 관측된 연령별 어획개체수

$\exp N_i$: 추정된 생존율을 통해 계산된 연령별 어획개체수

Table 1. Mean ring radius on the otolith of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

Ring group	No.	$r_1 \pm SD$ (mm)	$r_2 \pm SD$ (mm)	$r_3 \pm SD$ (mm)	$r_4 \pm SD$ (mm)	$r_5 \pm SD$ (mm)	$R \pm SD$ (mm)
0	11						0.963 ± 0.13
1	25	1.248 ± 0.09					1.676 ± 0.17
2	12	1.295 ± 0.08	1.836 ± 0.21				2.317 ± 0.17
3	18	1.396 ± 0.12	1.799 ± 0.11	2.260 ± 0.15			2.637 ± 0.15
4	8	1.363 ± 0.08	1.814 ± 0.05	2.292 ± 0.08	2.678 ± 0.10		2.936 ± 0.07
5	4	1.434 ± 0.11	1.829 ± 0.09	2.403 ± 0.11	2.721 ± 0.11	2.966 ± 0.02	3.231 ± 0.13

R: Otolith radius, r_n : Otolith ring radius, SD: Standard deviation

6. 순간자연사망계수 및 순간어획사망계수

어족자원의 감소에 대한 변화량은 자연사망계수와 어획사망계수로 나타낼 수 있으며, 자연사망은 어획에 의한 것을 제외한 피식, 질병 등 다른 모든 요인들에 의한 사망을 포함한다(최 등, 2004). 따라서 순간자연사망계수(M)는 환경요인과 생태학적 특성치를 고려하여 간접적인 방법으로 추정하였고, 이입과 이출은 고려하지 않았다. 본 연구에서는 어족자원의 순간자연사망계수(M)를 추정하기 위하여 Zhang and Megrey (2006) 방법으로 추정하였으며, 모델식은 (6)과 같다.

$$M = \beta k / [e^{k(t_{mb} - t_0)} - 1] \tag{6}$$

여기서, β : 체장과 체중 관계식을 통해 추정된 매개변수

k: von Bertalanffy 성장식의 성장계수

t_0 : 체장이 0일 때의 연령

t_{mb} : 최적수확연령 ($C_i \times t_{max}$ 을 통해 산출)

C_i : 계수(저어류 0.440, 부어류 0.302)

t_{max} : 관측되어진 최고연령

순간어획사망계수(F)는 순간전사망계수(Z)에서 순간자연사망계수(M)를 제함으로써 추정하였고, 순간전사망계수(Z)는 앞서 추정된 생존율 값에서 식(7)을 이용하여 변환하였다.

$$Z = -\ln(S) \tag{7}$$

여기서, S: 생존율

결과 및 고찰

1. 연령평가

연령사정에 사용된 꺃지 78개체의 연령 분포를 조사한 결과, 최대 연령은 만 5년으로 나타났으며, 평균연령은 2.31세로 확인되었다. 연령분포는 만 1년생이 32.0%로

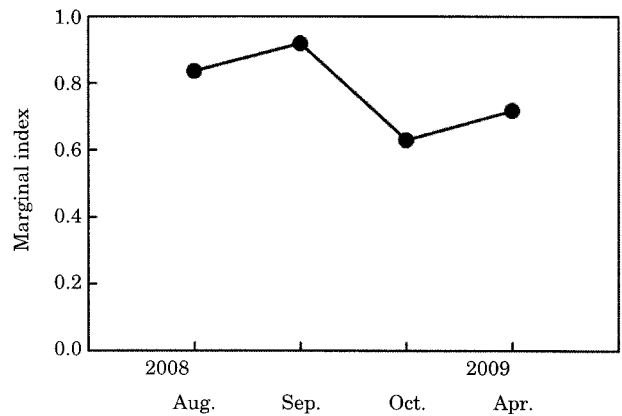


Fig. 3. Change in the marginal growth ratio of the otolith of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

가장 높은 비율을 차지하였으며, 다음으로 만 3년생이 23.1%, 만 2년생이 15.4%, 만 4년생 10.3%, 만 5년생 5.1% 등의 순으로 나타났으며, 윤문이 형성되지 않은 1년 미만의 미성숙어가 14.1%를 차지하였다(Table 1). 대체적으로 연령이 증가할수록 출현빈도가 감소하는 양상을 보였다. 또한, 윤경 간의 관계는 인접한 윤경과 서로 중복됨이 없이 분리가 잘 되었고, 같은 수의 윤문을 가지는 경우에도 이석경이 커짐에 따라 윤경 역시 크게 나타나는 것으로 나타났다. 따라서 이석에 나타난 이석경과 윤경 간에 대응성이 있는 것으로 판단되었다.

본 조사에서 윤문의 형성시기를 추정하기 위하여 연변수지수(MI)를 시기별로 분석하였으며, 그 결과 8월과 9월에 0.835와 0.919로 높은 MI 수치를 보이다가 10월에 0.629로 감소, 이듬해 4월에는 0.718로 다시 증가하는 양상을 보였다(Fig. 3). 이것으로 보아 윤문은 수온이 하강하면서 성장률이 둔화되는 겨울(11월~2월)동안 연 1회 형성되는 것으로 추정할 수 있었으며, 연륜으로 간주할 수 있었다. 따라서 이석에 나타난 윤문이 대응성과 주기성을 가지므로 이석이 꺃지의 연령형질로 적합하다고 판

단되었다. 그러므로 꺾지의 주 산란기가 5월과 6월(라, 2007)인 것을 감안하면 부화되어 첫 윤문이 형성되는데 걸리는 시기는 5~9개월 정도 소요되는 것으로 판단할 수 있었다. 김 등(2006)은 수산자원 생물의 자원량을 추정하고 정확한 자원평가를 하기 위해서는 대상 자원의 연령을 얼마나 정확하게 추정할 수 있는지에 달려 있음을 강조하였으며, 이 등(2000)은 이석을 이용한 연령사정이 다른 연령형질보다 정확한 윤문을 판독할 수 있다고 보고하였다.

2. 체장과 이석경의 관계

각 평균 윤경으로부터 윤문 형성시의 체장을 역계산하기 위하여 체장(BL, body length)과 이석경(R)의 관계식을 추정하였으며, 관계식은 (8)과 같다 (Fig. 4).

$$BL=3.8824R+1.66 \quad (8)$$

이를 통해 체장의 성장은 이석 성장에 비례하며, 이는 이석의 성장으로부터 체장의 성장을 추정할 수 있음을 의미한다. 윤문 형성시의 체장을 역계산한 결과, 만 1년생 꺾지의 평균체장(mean±SD)은 6.890 ± 0.29 cm로 나타났으며, 만 2년생은 8.724 ± 0.07 cm, 만 3년생은 10.660 ± 0.29 cm, 만 4년생은 12.141 ± 0.12 cm, 만 5년생은 13.175 ± 0.00 cm 등으로 나타났다(Table 2). 이와 같이 체장 계급에 따른 연령 분포의 측정은 체장이 주어진 각 개체 물고기가 나타내는 연령 추정의 신뢰도를 높일 수 있는 장점이 있다. 그러나 장(1991)은 큰 개체의 경우, 성장이 느리고 그룹 간에 중복될 뿐만 아니라 작은 개체들에 비해 더 많은 연령을 가지기 때문에 큰 개체에 대해서는 많은 수의 표본을 취하는 것이 연령-체장 상관의 오용과 남용 등을 최소화할 수 있을 것으로 보고하였다.

3. 체장과 체중 관계

어족자원의 성장에 관한 연구는 체장의 증가와 함께 체중도 증가하므로 체장(BL)과 체중(BW)의 관계는 매우 중요하다. 꺾지의 체장에 대한 체중의 관계는 체장이 커짐에 따라 종속변수인 체중의 변이가 증가하는 곱의 오차 구조(multiplicative error structure)를 나타내고 있으며, 따라서 식(3)을 대수선형화 시킨 후, 선형회귀방법으로 추정된 꺾지의 체장-체중 관계식은 다음과 같다(Fig. 5).

$$BW=0.0195BL^{3.08} \cdot e^{\epsilon_i} \quad (9)$$

결과적으로 개체군의 체장과 체중의 관계 수식($W=aL^b$)에서 상수 a는 0.019를, 매개변수 b는 3.08로 추정되

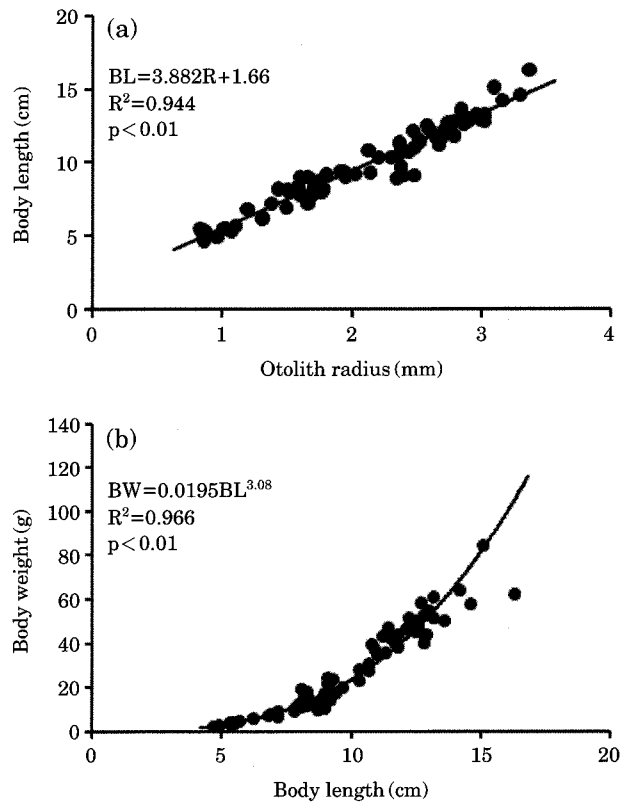


Fig. 4. (a) Relationship between otolith radius and body length of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River. (b) Relationship between body length and body weight of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

었다. 일반적으로 개체군이 동형성장인 경우 b는 3.0과 가깝다. 즉, 매개변수 b가 3.0보다 작으면 길이의 증가만큼 개체가 비대하지 않음을 의미하고 3.0보다 크면 반대로 길이에 비해 비대하는 것을 뜻한다(서, 2005). 최 등(2006)도 매개변수 b가 3.0 이상일 경우 개체군의 성장이 비교적 양호한 것으로 판단하였다. 따라서 섬진강 중·상류 수계에 서식하는 꺾지 개체군은 매개변수 b가 3.0보다 커서 영양상태가 비교적 양호한 것으로 판단되었다. 이와 같이 체장과 체중의 상관관계는 자원량 평가의 매개 변수뿐만 아니라 어류의 건강성 및 개체군 평가에 광범위하게 사용되어져 왔으며, 이를 통해 영양결핍, 질병, 중금속 등에 의한 수질오염 등의 영향을 직·간접적으로 추정하는 지수로 활용되고 있다.

체장-체중 관계식을 통해 윤문 형성시의 체중을 역계산한 결과, 만 1년생 꺾지의 평균체중은 7.444 ± 0.97 g로 나타났으며, 만 2년생은 15.401 ± 0.35 g, 만 3년생은

Table 2. Back-calculated body length (cm) and body weight corresponding to the age when each annulus was formed in the otolith of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

	Ring group	Length when the annulus was formed				
		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅
Body length (L, cm)	1	6.504				
	2	6.688	8.789			
	3	7.078	8.643	10.433		
	4	6.952	8.704	10.558	12.059	
	5	7.229	8.761	10.989	12.224	13.175
	Mean±SD	6.890±0.29	8.724±0.07	10.660±0.29	12.141±0.12	13.175±0.00
	Ring group	Weight when the annulus was formed				
		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅
Body weight (W, g)	1	6.231				
	2	6.791	15.752			
	3	8.088	14.961	26.714		
	4	7.651	15.290	27.714	41.732	
	5	8.630	15.599	31.351	43.512	54.808
	Mean±SD	7.444±0.97	15.401±0.35	28.593±2.44	42.622±1.26	54.808±0.00

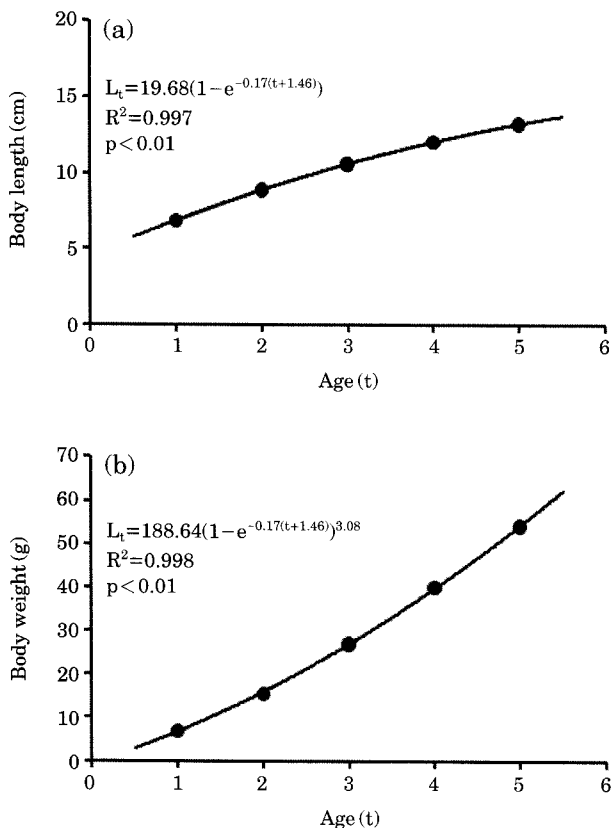


Fig. 5. The von Bertalanffy growth curve estimated by non-linear regression method of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of Seomjin River. (a) Length growth curve. (b) Weight growth curve.

28.593±2.44 g, 만 4년생은 42.622±1.26 g, 만 5년생은 54.808±0.00 g 등으로 나타났다(Table 2).

4. 성장식

수서생물의 성장을 나타내는 데는 여러 종류의 모델이 사용되지만, 본 연구에서는 최근 수산자원 연구에서 성장식을 추정하기 위하여 가장 많이 이용되며, 순간자연사망계수(M)와 가입당생산량을 산출하기 위해 입력자료로 성장매개변수가 이용되는 von Bertalanffy 성장식을 통해 성장매개변수를 추정하였다. 오 등(1999)은 비선형회귀방법을 통한 von Bertalanffy 성장식 추정이 가장 정확한 매개변수를 추정할 수 있다고 보고하였다. 윤문형성시의 체장평균치를 사용하여 walford의 정차도법에 의해 구한 매개변수 값들을 초기 값으로 하여, 비선형회귀방법으로 von Bertalanffy 성장식의 매개변수(L_∞, K, t₀)를 추정하였다. 추정된 이론적 최대체장(L_∞)은 19.68 cm, 성장계수(K)는 0.17 year⁻¹, 체장이 0일 때의 연령(t₀)은 -1.46세로 나타났으며, 성장식은 (10)과 같았다.

$$L_t = 19.68(1 - e^{-0.17(t+1.46)}) + \epsilon_i \tag{10}$$

체장-체중 관계식에 역계산한 체장의 성장식을 대입하여 구한 꺝지의 이론적 최대체중(W_∞)은 188.64 g로 나타났다으며, 성장식은 (11)과 같았다.

$$W_t = 188.64(1 - e^{-0.17(t+1.46)})^{3.08} + \epsilon_i \tag{11}$$

결과적으로 von Bertalanffy 성장식으로부터 구한 이론

적 꺾지의 연령별 체장은 만 1년생이 6.83 cm로 나타났으며, 만 2년생은 8.88 cm, 만 3년생은 10.59 cm, 만 4년생은 12.04 cm, 만 5년생은 13.25 cm 등으로 확인되었다. 또한, 이론적인 연령별 체중은 만 1년생이 6.91 g를 보였으며, 만 2년생이 15.55 g, 만 3년생이 26.93 g, 만 4년생이 40.07 g, 만 5년생이 54.08 g 등으로 나타났다. 이를 통해 섬진강 중·상류 수계 꺾지 분류군의 성장 특징은 이론적 최대 성장치의 34.7%까지 초기(만 1년)에 성장하는 것으로 나타났으며, 그 이상의 연령(만 2년 이상)이 되면 성장률이 점진적으로 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같이 초기에 성장이 빠른 것은 수온이 상승하는 시기에 산란하는 어류에서 많이 볼 수 있는 성장 특징이며 (Al-Husaini *et al.*, 2001), 수온 상승은 어류의 신진대사가 활발히 일어날 수 있도록 촉진시키는 역할을 한다.

본 연구에서 von Bertalanffy 성장식을 통해 추정된 꺾지의 이론적 최대체장(19.68 cm)은 경호강 및 덕천강에서 박 등(1997)에 의해 밝혀진 최대전장 29.50 cm와는 다소 차이가 있는 결과를 보였으나, 박(2008)은 이러한 차이는 서식지역의 환경 및 성장기의 수온분포와 같은 수질 등에 의해서 발생할 수 있다고 보고하였다. 따라서 보다 정확한 자원생태학적 특성치를 추정하기 위해 더 많은 고연령군 개체의 확보가 필요할 것으로 판단되었다.

5. 생존율

이석을 통해 분석된 연령조성자료(Table 3)를 이용하여 6가지 추정방법에 의해 추정된 생존율은 0.363~0.679의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 그 중 Heincke 방법에 의한 추정치(0.679 year⁻¹)가 가장 높은 값을 보였고, Beverton and Holt 방법이 가장 낮은 추정치(0.363 year⁻¹)를 보였다. 또한, 계산방법이 유사한 평균연령법과 Chapman and Robson 방법에 의한 추정치는 각각 0.530 year⁻¹과 0.533 year⁻¹로 유사하게 나타났다(Table 4).

평방오차합(SSQ)으로 실제치와 추정치 간의 적합성을 분석한 결과, 어획물곡선법이 1.012로 가장 작았으며, Beverton and Holt 방법이 가장 큰 오차(2.233)를 보였다(Table 4). 따라서 본 연구에서는 평방오차합(SSQ)이 가장 작은 어획물곡선법에 의해 추정된 생존율 0.666 year⁻¹을 생태학적 특성치로 활용하였다. 결과적으로 섬진강 중·상류 수계에 서식하는 꺾지 분류군의 생존율이 50% 이상으로 높게 나타났으며, 이와 같은 높은 생존율은 추후 더 많은 고연령어가 존재할 수 있음을 간접적으로 시사한다.

Table 3. Age composition of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

Age (i)	P _i	Convert age	lnP _i
0	11		2.398
1	25	0	3.219
2	12	1	2.485
3	18	2	2.890
4	8	3	2.079
5	4	4	1.386

P_i: Caught individuals

Table 4. Estimated of survival rates and their sum squared errors of the Korean aucha perch, *Coreoperca herzi* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River using mean age composition by six different methods.

Methods	Survival rates (S)	Sum of squared errors (SSQ)
Catch-curve	0.666	1.012
Jackson	0.667	1.013
Heincke	0.679	1.022
Average age	0.530	1.126
Chapman and Robson	0.533	1.118
Beverton and Holt	0.363	2.233

6. 순간자연사망계수 및 순간어획사망계수

인간의 어획활동을 제외한 포식, 노쇠, 질병, 오염 등에 기인된 사망을 자연사망이라고 하며, 자연사망에 관한 정보는 성장과 더불어 자원의 유효한 이용관리의 측면에서 대단히 중요하다(장, 1991).

체장-체중과의 관계를 통해 산출되어진 매개변수(b=3.08)와 von Bertalanffy 식의 성장계수(K=0.17), 체장이 0일 때의 연령(-1.46세), 관측되어진 최고연령(8.9년) 등 추정된 값들을 식(6)에 대입하여 Zhang and Megrey (2006)의 방법으로 추정된 순간자연사망계수(M)는 0.346 year⁻¹로 확인되었다. 수산자원 연구에 있어서 순간자연사망계수(M)는 거의 대부분의 자원평가 방법이나 관리 모델을 사용하는데 필수적인 특성치인데도 불구하고 일반적으로 연구대상으로 크게 주목을 받지 못해서 정확한 값을 얻기가 매우 어려운 상태이다(오 등, 1999). 그러나 본 연구에서 순간자연사망계수를 추정하기 위해 사용한 Zhang and Megrey (2006) 방법은 60종을 대상으로 일괄적으로 추정된 상수값(Ci=0.38 year⁻¹)을 적용한 기존의 Alverson and Carney (1975) 방법을 개선한 방법으로 우선 적용범위를 부어류와 저어류로 나누어 상수값(Ci)를

추정하였으며, 실제적으로 산출되어진 값(b)을 사용함으로써 각각의 종에 대한 특징을 더욱 명확히 설명할 수 있는 장점을 가진 방법이다.

어족자원의 변화량은 자연사망계수와 어획사망계수로 나타낼 수 있으며, 이는 순간전사망계수(Z)=순간자연사망계수(M)+순간어획사망계수(F)와 같은 식으로 나타낼 수 있다. 여기서 순간전사망계수는 생존률과의 관계로부터 추정할 수 있으며, 어획물곡선법에 의해 추정된 생존율(S)을 식(7)에 의해 변환하여 추정된 순간전사망계수(Z)는 0.407 year⁻¹로 나타났다. 또한 순간어획사망계수는 순간전사망계수의 값에서 순간자연사망계수를 제하여 추정할 수 있으며, 그 결과 순간어획사망계수(F)는 0.061 year⁻¹로 확인되었다. 결과적으로 섬진강 중·상류 수계 꼭지 분류군은 어획에 의해 사망되는 것보다 자연사망하는 비율이 더 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 자연사망이 어획사망보다 큰 결과를 보인 생태계는 경우에 따라 어업을 더욱 강화시킬 수 있음을 시사한다. 또한, 추정된 자원생태학적 특성치를 통해 섬진강 중·상류 꼭지 개체군의 변화량은 전체 개체수 중 연간 33%가 사망하며, 이 중 15.2%는 어획에 의한 사망을, 84.8%는 포식 등 기타 요인에 의해 자연사망하는 것으로 추정할 수 있었다. 이와 같은 정보는 어족자원의 자원관리 측면에서 매우 유효하게 활용될 것으로 판단된다.

결론적으로 본 연구의 목적은 꼭지의 연령과 성장파라미터의 추정에만 초점을 맞춘 것이 아니라 자원평가를 위한 기초자료로서 여러 가지의 파라미터를 더 나은 방법으로 추정하는데 있다. 이를 위해 정확도나 정밀도에 있어서 상대적으로 양호한 연령형질로 알려진 이석에 의한 연령측정 자료를 이용하였다. 본 연구를 통하여 밝혀진 꼭지의 자원생태학적 특성치는 추후 섬진강 중·상류 수계의 꼭지 자원량 및 잠재생산량을 추정할 수 있으며, 이 결과를 바탕으로 한 합리적인 자원관리가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 섬진강 중·상류 수계의 꼭지자원에 대해서 자원평가의 기초로 사용되는 자원생태학적 특성치들을 분석하고자 하였다. 연령사정을 위한 연령형질로서 이석(otolith)을 사용하였으며, 연령사정 결과, 최고연령은 5세로 나타났다. 체장(BL)과 체중(BW)의 관계식은 $BW = 0.0195BL^{3.08}$ ($R^2 = 0.966$)이었으며, 윤문이 형성되었을 때의 체장을 역계산하기 위한 체장(BL)과 이석경(R)과의

관계식은 $BL = 3.882R + 1.66$ ($R^2 = 0.944$)로 나타났다. 비선형회귀방법을 이용한 von Bertalanffy 성장모델의 매개변수는 이론적 최대체장(L_{∞})이 19.68 cm, 이론적 최대체중(W_{∞})이 188.64 g, 성장계수(K)가 0.17, 체장이 0일 때의 연령이 -1.46세 등으로 각각 추정되었다. 이를 통해 추정된 성장식은 $L_t = 19.68(1 - e^{-0.17(t+1.46)})$ ($R^2 = 0.997$)로 나타났다.

생존율을 추정하는 6가지 방법 중 평방오차합(Sum of squared error: SSQ)이 가장 작은 어획물곡선법을 이용하여 생존율을 추정하였으며, 추정된 생존율(S)은 0.666 year⁻¹으로 확인되었다. 순간자연사망계수(M)와 순간전사망계수(Z)는 0.346 year⁻¹과 0.407 year⁻¹로 각각 추정되었으며, 이를 통해 확인된 순간어획사망계수(F)는 0.061 year⁻¹로 확인되었다.

사 사

본 연구는 2007학년도 대구대학교 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 본 논문 작성에 도움을 주신 대구대학교 옥수학 연구실원들께 감사드립니다. 논문 교정에 수고를 아끼지 않으신 임명의 심사위원들께 깊은 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

- 김영혜, 이선길, 이재봉, 이동우, 김영섭. 2006. 한국 남해 참조기의 연령과 성장. 한국어류학회지 18(1): 45-54.
- 계명찬, 정규희, 유병선. 1997. 북한강 지류산 꼭지(*Coreoperca herzi*)의 생식소 성숙에 관한 연구. 환경생물 15(2): 201-205.
- 라남용. 2007. 북한강 상류에 서식하는 꼭지(*Coreoperca herzi*)의 생식생태. 강원대학교 석사학위 청구논문. 춘천.
- 박경동. 2008. 통영바다목장에 서식하는 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)의 자원생태. 부경대학교 박사학위 청구논문. 부산.
- 박준택, 한경호, 방인철, 정규화. 1997. 꼭지, *Coreoperca herzi*의 생활사. 여수수산대학교 해양과학연구소발표집 6: 49-57.
- 서진원. 2005. 감천 중·상류역의 어류상과 갈겨니(*Zacco temminckii*) 개체군의 생태학적 특성. 한국어류학회지 38(2): 196-206.
- 오용대, 장창익, 조순근, 손명호. 1999. 한국 동해산 노래미(*Hexagrammos agrammus*)의 자원생태학적 특성치 추정. 한국수산자원학회지 2: 14-23.
- 이만우, 장창익, 이장욱. 2000. 이석을 이용한 참조기(*Pseudosciaena polyactis* Bleeker)의 연령사정과 성장식 추정. 한국어업기술학회지 36(3): 222-233.

- 장창익. 1991. 수산자원 생태학. 우성출판사. 서울.
- 전상린. 1986. 한국산 농어과 주연성담수어의 검색과 분포. 상명여대논문집 **18**: 143-163.
- 최영민, 장창익, 김영섭, 백철인, 박영철. 2004. 한국 근해 고등어의 생태학적 특성치 및 자원량 변동. 한국수산자원학회지 **6**(2): 79-89.
- 최의용, 서진원, 최재석. 2006. 낙동강 지류에 분포하는 참갈겨니 개체군의 전장과 체중 관계 및 von Bertalanffy의 성장모델. 한국육수학회지 **39**(2): 226-235.
- 한형균. 2009. 내수면 연구 선진화 방안. 국립수산과학원. 부산.
- Alverson, D.L. and M.I. Carney. 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. *J. Cons. int. Explor. Mer.* **36**(2): 133-143.
- Al-Husaini, M., S. Al-Ayoub and J. Dashti. 2001. Age validation of nagroor, *Pomadasys kaakan* (Cuvier, 1983) (Family: Haemulidae) in Kuwaiti water. *Fish. Res.* **53**: 71-81.
- von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquires on growth laws. II). *Human biological* **10**(2): 181-213.
- Mori, T. 1936. Studies on the geographical distribution of fresh water fishes in Eastern Asia. Published by the Author, Keijo.
- Zhang, C.I. and B.A. Megrey. 2006. A revised alverson and carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality. *Trans Amer. Fish. Soc.* **135**(3): 620-633.

(Manuscript received 12 January 2010,
Revision accepted 2 March 2010)