한국환경생태학회지 25(3) : 318~326. 2011
Kor. J. Env. Eco. 25(3) : 318~326. 2011

섬진강 중·상류 수계에서 붕어 개체군의 생태학적 특성치 추정 [1]

장성현[2] · 류희성[2] · 이정호[2*]

Estimation on Population Ecological Characteristics of Crucian Carp, *Carassius auratus* in the Mid-Upper System of the Seomjin River[1]

Sung-Hyun Jang [2], Hui-Seong Ryu[2], Jung-Ho Lee[2*]

요 약

섬진강 중상류 수계에서 붕어의 자원량 및 자원관리의 기초로 사용되는 붕어의 개체군 생태학적 특성치를 추정하고자 하였다. 채집된 붕어의 전장은 95-288㎜의 범위를 보였으며, 연령은 비늘의 윤문을 통해 결정하였다. 연령형질로서 비늘은 윤문이 뚜렷하게 구분되었으며, 이를 통해 확인된 최고 연령어는 5세로 나타났다. 전체 표본에서 2세 연령어가 가장 많은 양을 차지하였으며(n=38), 다음으로는 3세 연령어가 풍부하였다(n=22). 연변수지수 분석을 통해 매년 단일 윤문이 형성됨이 확인되었다. 체장과 체중 간의 관계식은 $BW = 0.0038BL^{3.73}$(R^2=0.96) ($p<0.01$)로 추정되었고, 인경과 체장 간의 관계식은 $BL = 2.362R+2.76$(R^2=0.89)로 나타났다. 비선형 회귀분석을 통해 추정된 von Bertalanffy 성장 파라미터들은 이론적 최대체장 33.2㎝이었으며, 이론적 최대체중 1,798.4g, 성장계수 0.20년$^{-1}$, 체장이 0일 때의 연령 -0.51년 등으로 추정되었다. von Bertalanffy에 의한 붕어의 성장식은 $L_t = 33.23(1-e^{-0.20(t+0.51)})$($R^2$=0.98)로 확인되었다. 연간 생존율은 0.427년$^{-1}$로, 순간자연사망계수는 0.784년$^{-1}$로 추정되었으며, 순간어획사망계수는 0.067년$^{-1}$로 산출되었다. 생존율로부터 추정된 순간전사망계수는 0.851년$^{-1}$로 추정되었다.

주요어: **비늘 윤문**, **연변수지수**, von Bertalanffy **성장식**, **연간 생존율**

ABSTRACT

The population ecological characteristics of the Crucian carp, *Carassius auratus*, were determined in order to estimate stock of the mid-upper system of the Seomjin River. The fish ranged in size from 95 to 288㎜ total length. The age was determined by counting the scale annulus. The scales displayed clear annulus that were used to estimate the age. The oldest fish observed in this study was 5 years old. Age-2 fishes were the most numerous in the sample(n=38), followed in frequency be age-3(n=22). Marginal index analysis validated the formation of a single annulus per year. The relationship between body length and body weight was $BW = 0.0038BL^{3.73}$(R^2=0.96) ($p<0.01$). The relationship between the scale radius and body length was $BL = 2.362R+2.76$(R^2=0.89). The von Bertalanffy growth parameters estimated from a non-linear regression method were L_∞=33.2 ㎝, W_∞=1,798.4 g, K=0.20year^{-1} and t_0=-0.51year. Therefore, Growth in length of the fish was expressed by the von Bertalanffy's growth equation as $L_t = 33.23(1-e^{-0.20(t+0.51))})$($R^2$=0.98). The annual survival rate was estimated to be 0.427year^{-1}. The instantaneous coefficient of natural mortality of estimated from the

1 접수 2010년 10월 20일, 수정(1차: 2011년 6월 24일), 게재확정 2011년 6월 25일
Received 20 October 2010; Revised(1st: 24 June 2011); Accepted 25 June 2011
2 대구대학교 생물교육과 Dept. of Biology Education, Daegu University, Gyeongsan(712-714), Korea
* 교신저자 Corresponding author(jongho@daegu.ac.kr)

Zhang and Megrey method was 0.784year^{-1}, and instantaneous coefficient of fishing mortality was calculated 0.067year^{-1}. From the estimates of survival rate, the instantaneous coefficient of total mortality was estimated to be 0.851year^{-1}.

KEY WORDS: SCALE ANNULUS, MARGINAL INDEX, VON BERTALANFFY GROWTH EQUATION, ANNUAL SURVIVAL RATE

서 론

붕어(*Carassius auratus*)는 잉어목(Cypriniformes), 잉어과(Cyprinidea), 붕어속(*Carassius*)에 속하는 민물어류로 우리나라를 비롯하여 북한, 중국, 일본, 아프리카 및 유라시아 등 전 세계적으로 널리 분포되어 있는 어종이다(Nakamura, 1969; Chung, 1977; Choi *et al*., 1990; Nelson, 2006). 붕어의 몸길이는 보통 10～15㎝이고, 큰 것은 45㎝ 정도에 이르는 것도 있으며, 잡식성이고 우리나라의 하천, 호수, 연못 등 담수역의 거의 전역에 서식하는 어종이다. 또한, 붕어는 수산자원으로서 높은 가치를 가지고 있으며, 우리나라에서 양식이 가능한 어종이다.

붕어에 관한 연구는 일반적인 형태 및 생태(Nakamura, 1969; Nam *et al*., 1989), 근단백질의 전기영동상(Lee *et al*., 1989), 분자학적인 분류(Yoon and Park, 2006; Song *et al*., 2007), 합성세제 및 중금속 등의 독성에 관한 연구(Lee *et al*., 1988; Cho *et al*., 2006; Cho *et al*., 2007; Kim *et al*., 2009; Moon *et al*., 2009), 탁도 변화에 따른 붕어의 황산화효소의 활성화(Shin *et al*., 2006) 등이 있다. 그러나 이 종을 보존하고 상업적으로 이용하기 위한 관련 연구들은 부족하며, 특히, 개체군의 생태학적 특성치에 대한 연구는 전무한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 담수생태계 어족자원으로 중요한 붕어자원에 대해서 자원평가의 기초로 사용되는 개체군 생태학적 특성치들인 성장매개 변수와 생존율, 순간자연사망계수, 순간어획사망계수 등을 추정하였으며, 이를 통해 담수산 붕어의 자원동태를 파악하고 자원관리를 수행하는데 필요한 기초적인 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구는 2008년 8월과 9월, 10월, 2009년 4월 등 총 4회에 걸쳐 전라북도 순창군의 섬진강 중·상류 수계인 섬진강과 오수천에서 실시하였다. 섬진강과 오수천은 인위적인 환경적 요인에 의한 교란이 적고, 붕어 개체군이 풍부하게 서식하고 있어 대상 수역으로 선정하였다. 대상 수역 내 붕어 개체군의 전반적인 서식분포를 파악하기 위해 9개 정점

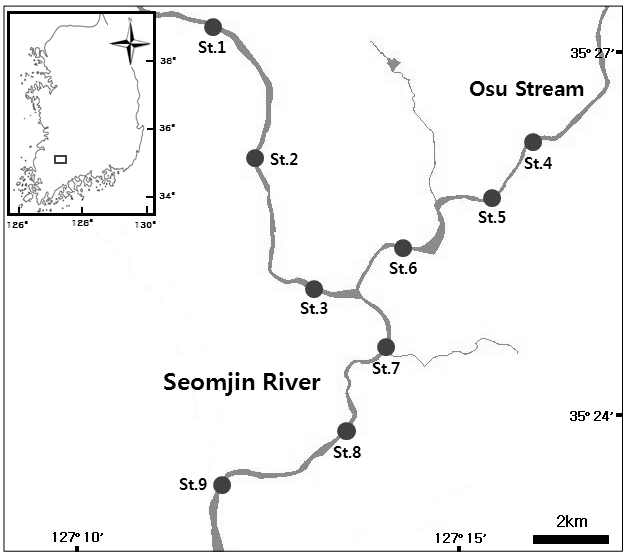

Figure 1. Map showing the sampling sites in the mid-upper system of the Seomjin River.

에서 조사를 실시하였으며, 조사정점의 행정명은 다음과 같다(Figure 1).

St. 1: 전라북도 순창군 동계면 어치리
St. 2: 전라북도 순창군 적성면 석산리
St. 3: 전라북도 순창군 적성면 내월리
St. 4: 전라북도 순창군 동계면 주월리
St. 5: 전라북도 순창군 동계면 현포리
St. 6: 전라북도 순창군 동계면 서호리
St. 7: 전라북도 순창군 적성면 괴정리
St. 8: 전라북도 순창군 적성면 고원리
St. 9: 전라북도 순창군 유등면 오교리

어류의 채집은 투망(10㎜×10㎜)과 삼각망(30㎜×30㎜)을 이용하여 정량조사를 실시하였으며, 채집된 어류는 현장에서 전장과 체장(1㎜까지) 및 습중량(0.1 g까지)을 측정하였다. 이 중 비늘의 부착상태 등을 고려하여 각 체장별 1㎝당 2개체 이상을 선정한 후, 10% formalin 용액에 고정하여 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 연령사정을 위해 비늘을 적출하였으며, 적출된 비늘은 5% KOH 용액에 12시간 침적시킨 후 물로 세척하여 불순물을 제거하였고, 2장의 슬

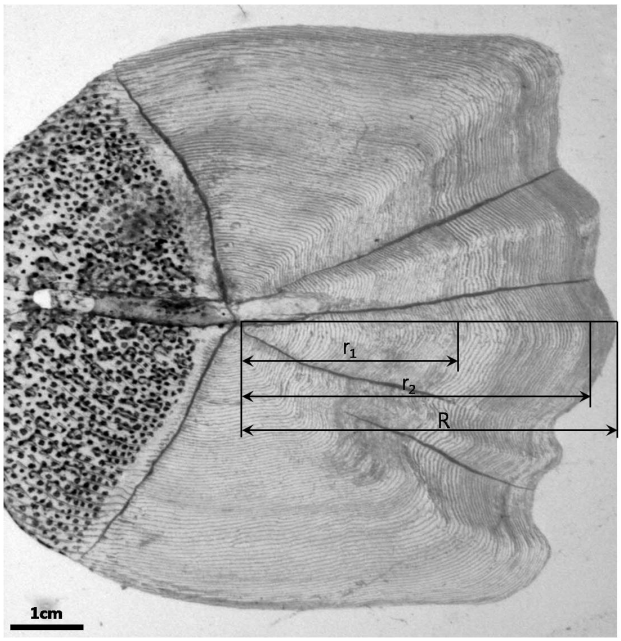

Figure 2. Photograph showing scale radius(R) and ring radius(r_n). Annual ring in the scale of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

라이드글라스를 이용하여 영구표본을 제작하였다. 제작된 비늘은 입체현미경(SteREO Discovery V8, ZEISS Co.)과 컴퓨터의 영상분석 시스템(IMAGE ANALYZER)을 이용하여 ㎛ 단위로 연륜을 측정하였으며(Figure 2), 이때 광원은 반사광(2,800~3,000 Lux)을 사용하였다. 연령사정에 이용된 비늘은 두 명의 관찰자의 분석 결과가 일치한 총 93개의 비늘만을 사용하였다.

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

$$l_n\text{-}a = r_n/R(L\text{-}a) \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

여기서, l_n: n번째 윤문이 형성되었을 때의 체장
a: 인경과 체장 관계식의 상수(BL=a+bR)
r_n: 초점에서 n번째 윤문까지의 거리
R: 비늘의 중심부 초점에서 가장자리까지의 거리
L: 어류의 체장

비늘에 나타나는 윤문의 형성 시기 및 횟수를 추정하기 위해 연변수지수(Marginal Index, MI)의 시기별 변화를 식 (2)를 이용하여 계산하였다(Seo *et al.*, 2007).

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

여기서, R: 비늘의 중심부 초점에서 가장자리까지의 거리
rn: 초점에서 n번째 윤문까지의 거리

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 (3)과 같다.

$$L_t = L_\infty (1 - e^{K(t-t_0)}) + \varepsilon i \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

여기서, L_t: 연령이 t일 때의 체장
L_∞: 이론적 최대체장
K: 성장계수
t: 연령
t_0: 체장이 0일 때의 이론적 연령
ε_i: 평균이 0이고 분산이 σ^2인 임의오차항

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. 생존율(survival rate)은 연속되는 두 시간 간격에서의 자원 개체수를 비교하여 산출하였으며, 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 Ni)와 관측된 연령별 어획개체수(obs Ni)와의 오차를 평방오차합(Sum of squared error: SSQ)으로 비교·분석하였다. 어족자원의 감소에 대한 변화량은 자연사망계수와 어획사망계수로 나타낼 수 있으며, 자연사망은 어획에 의한 것을 제외한 피식, 질병 등 다른 모든 요인들에 의한 사망을 포함한다(Choi *et al.*, 2004). 따라서 순간자연사망계수(Instantaneous coefficient of natural mortality, M)는 환경요인과 생태학적 특성치를 고려하여 간접적인 방법으로 추정하였고, 이입과 이출은 고려하지 않았다. 본 연구에서는 어족자원의 순간자연사망계수(M)을 추정하기 위하여 Zhang and Megrey(2006) 방법으로 추정하였으며, 모델식은 (4)와 같다.

$$M = \beta\, k \,/\, [e^{k(t_{mb}-t_0)} - 1] \quad \cdots\cdots\cdots (4)$$

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(저서성 어류 0.440, 유영성 어류 0.302)
t_{max}: 관측되어진 최고연령

순간어획사망계수(Instantaneous coefficient of fishing mortality, F)는 순간전사망계수(Instantaneous coefficient of total mortality, Z)에서 순간자연사망계수(M)를 제함으로써 추정하였고, 순간전사망계수(Z)는 앞서 추정된 생존

율 값을 이용하여 변환하였다.

결과 및 고찰

1. 연령조성

연령사정에 사용된 붕어 93개체의 연령 분포를 조사한 결과, 최고 연령은 만 5년으로 나타났으며, 평균연령은 2.8세로 확인되었다. 연령분포는 만 2년생이 40.9%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 다음으로 만 3년생이 23.7%, 만 1년생이 18.3%, 만 4년생 9.7%, 만 5년생 4.3% 등의 순으로 나타났으며, 윤문이 형성되지 않은 1년 미만의 미성숙어가 3.2%를 차지하였다(Table 1). 대체적으로 연령이 증가할수록 출현빈도가 감소하는 일반적인 양상을 보였다. 또한, 윤경 간의 관계는 인접한 윤경과 서로 중복됨이 없이 분리가 잘 되었고, 같은 수의 윤문을 가지는 경우에도 비늘이 커짐에 따라 윤경 역시 크게 나타나는 것으로 나타났다(Figure 3). 따라서 비늘에 나타난 인경과 윤경 간에 대응성이 있는 것으로 판단되었다.

본 조사에서 윤문의 형성시기를 추정하기 위하여 연변수지수(MI)를 시기별로 분석하였다. 그 결과 8월과 9월에 0.38와 0.44로 점점 높아지다가, 10월에 0.26로 감소, 이듬해 4월에는 0.30로 다시 증가하는 양상을 보였다(Figure 4). 이것으로 보아 윤문은 수온이 하강하면서 성장률이 둔화되는 겨울(11월～2월) 동안 연 1회 형성되는 것으로 추정할 수 있었으며, 연륜으로 간주할 수 있었다. 따라서 비늘에 나타난 윤문이 대응성과 주기성을 가지므로 비늘이 붕어의 연령형질로 적합한 것으로 판단되었으며, 붕어의 주 산란기가 4월에서 7월까지인 것을(Han *et al.*, 2001) 감안하면 부화되어 첫 윤문이 형성되는데 걸리는 시기는 4～8개월 정도 소요되는 것으로 추정할 수 있었다. 어류의 비늘은 어종에 따라 형태가 다르며, 이 중 둥근비늘과 빗비늘만이 연령형질로 이용되는데 본 연구의 대상 생물인 붕어는 둥근비늘을 가지고 있으며, 연구 결과 비늘의 윤문이 대응성과 주기

Table 1. Mean ring radius on the scale of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River

Ring group	No.	%	r_1±SD(㎝)	r_2±SD(㎝)	r_3±SD(㎝)	r_4±SD(㎝)	r_5±SD(㎝)	R±SD(㎝)
0	4	4.3						1.85±0.12
1	17	18.3	2.30±0.25					2.97±0.31
2	38	40.9	2.38±0.22	4.55±0.33				5.27±0.54
3	22	23.6	2.41±0.16	4.54±0.22	5.75±0.22			6.20±0.32
4	9	9.7	2.52±0.21	4.49±0.17	5.55±0.19	7.03±0.54		7.62±0.87
5	3	3.2	2.55±0.21	4.36±0.18	5.77±0.21	7.14±0.16	8.33±0.62	8.66±0.69

R: Scale radius, rn: ring radius, SD: Standard deviation

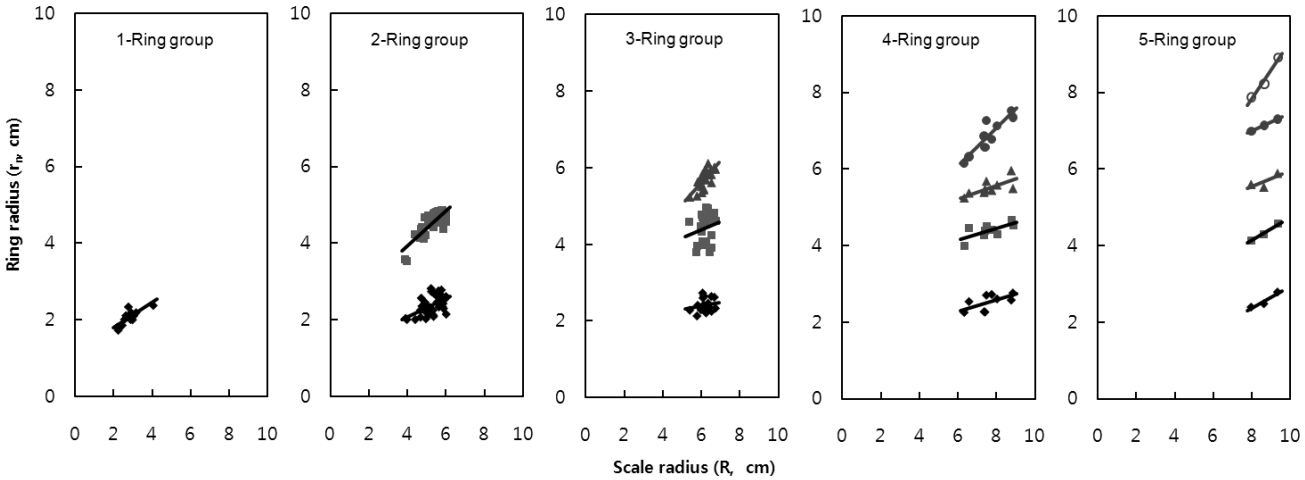

Figure 3. Relationship between scale radius and ring radius of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

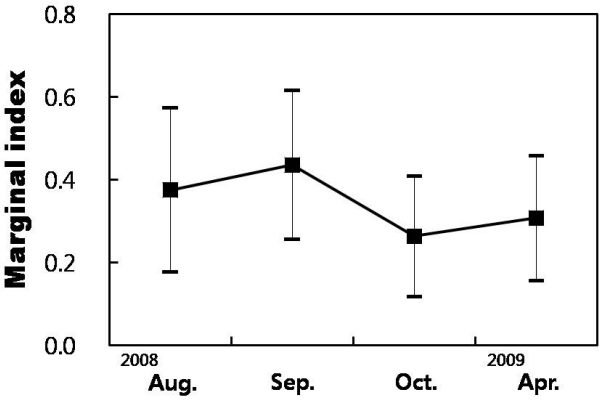

Figure 4. Change in the marginal growth ratio of the scale of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

성을 가지는 것으로 나타나 추후 붕어의 연령 사정은 비늘을 이용하여 수행하여도 가능할 것으로 판단된다. 비늘을 이용한 연령사정은 다른 연령사정에 비해 작업의 편리성과 수집의 용이성 그리고 시간 절약 등의 장점을 가지고 있어 유용하게 사용되는 것으로 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 2006).

2. 체장과 인경의 관계

각 평균 윤경으로부터 윤문 형성시의 체장을 역계산하기 위하여 체장(BL)과 인경(R)의 관계식을 추정하였으며, 관계식은 (5)와 같다(Figure 5 (a)).

$$BL = 2.362R + 2.76 \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$

이를 통해 체장의 성장은 비늘 성장에 비례하며, 이는 비늘 성장으로부터 체장의 성장을 추정할 수 있음을 의미한다. 윤문 형성시의 체장을 역계산한 결과, 만 1년생 붕어의 평균체장(mean ± SD)은 8.5 ± 0.2㎝로 나타났으며, 만 2년생은 13.4 ± 0.1㎝, 만 3년생은 16.2 ± 0.3㎝, 만 4년생은 19.5 ± 0.2㎝, 만 5년생은 22.3 ± 0.0㎝ 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(Jang *et al.*, 2010). 그러나 큰 개체의 경우 성장이 느리고 그룹 간에 중복될 뿐만 아니라 작은 개체들에 비해 더 많은 연급을 가지기 때문에 보다 많은 수의 표본을 취하는 것이 연령-체장 상관의 오용과 남용 등을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다(Zhang, 1991).

3. 체장과 체중 관계

어류는 체장의 증가와 함께 체중도 증가한다. 따라서 어족자원의 성장에 관한 연구에서 체장(BL)과 체중(BW)의 관계는 매우 중요하다. 또한, 이들 사이의 관계는 어족자원의 자원상태를 파악하는 중요한 정보로 활용되어 진다(Zhang, 1991). 연구 결과, 붕어의 체장에 대한 체중의 관계는 체장이 커짐에 따라 종속변수인 체중의 변이가 증가하는 곱의 오차구조(multiplicative error structure)를 나타내고 있으며, 따라서 식 (2)를 대수선형화 시킨 후, 선형회귀방법으로 추정한 붕어의 체장-체중 관계식은 다음과 같다(Figure 5 (b)).

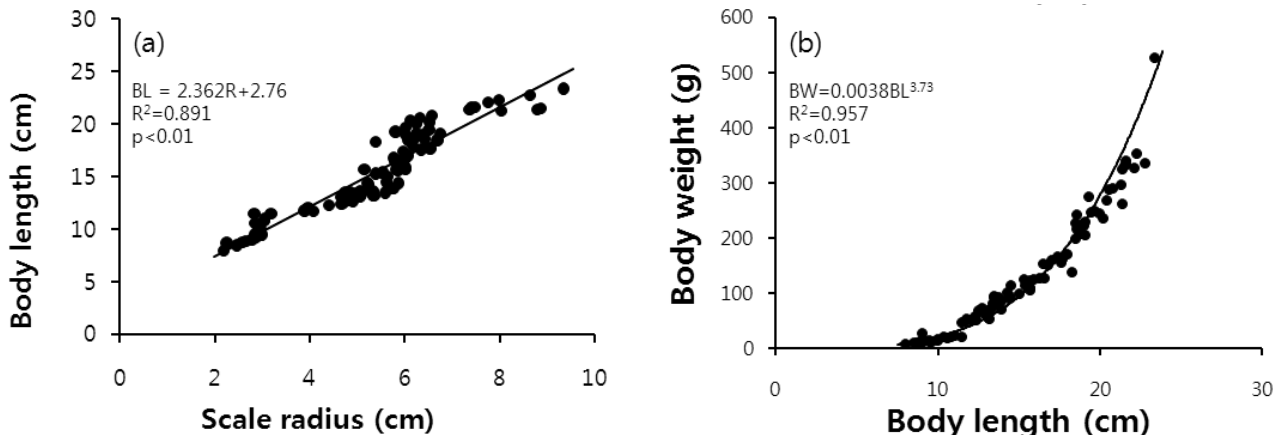

Figure 5. (a) Relationship between scale radius and body length of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River. (b) Relationship between body length and body weight of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

Table 2. Back-calculated body length(㎝) and body weight(g) corresponding to the age when each annulus was formed in the scale of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

	Ring group	Length when the annulus was formed				
		L1	L2	L3	L4	L5
Body length (L, ㎝)	1	8.2				
	2	8.4	13.5			
	3	8.5	13.5	16.3		
	4	8.7	13.4	15.9	19.4	
	5	8.8	13.4	16.4	19.6	22.3
	Mean ±SD	8.5±0.2	13.4±0.1	16.2±0.3	19.5±0.2	22.3±0.0
	Ring group	Weight when the annulus was formed				
		W1	W2	W3	W4	W5
Body weight (W, g)	1	9.7				
	2	10.6	62.6			
	3	10.9	62.2	127.5		
	4	12.2	60.2	114.2	240.1	
	5	12.6	59.0	128.8	252.3	404.4
	Mean ±SD	11.2±1.2	61.0±1.7	123.4±8.1	236.1±8.7	404.4±0.0

$$BW = 0.0038BL^{3.73} \cdot e\varepsilon_i \quad \cdots\cdots\cdots (6)$$

결과적으로 개체군의 체장과 체중의 관계 수식($W=aL^b$)에서 상수 a는 0.0038을, 매개변수 b는 3.73로 추정되어 체중은 체장의 약 3.7 제곱승에 비례하는 것으로 나타났다. 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(Seo, 2005). Choi *et al.*(2006)도 매개변수 b가 3.0 이상일 경우 개체군의 성장이 비교적 양호한 것으로 판단하였다. 따라서 섬진강 중·상류 수계에 서식하는 붕어 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, 중금속에 의한 수질오염 등의 영향을 직·간접적으로 추정하는 지수로 활용되고 있다(Jang *et al.*, 2010).

체장-체중 관계식을 통해 윤문 형성시의 체중을 역계산한 결과, 만 1년생 붕어의 평균체중은 11.2 ± 1.2g로 나타났으며, 만 2년생은 61.0 ± 1.7g, 만 3년생은 123.4 ± 8.1g, 만 4년생은 246.2 ± 8.7g, 만 5년생은 404.4 ± 0.0g 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. Oh *et al.*(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, t_0)를 추정하였다. 추정된 이론적 최대체장(L_∞)은 33.2㎝, 성장계수 (K)는 0.20year^{-1}, 체장이 0일 때의 연령(t_0)은 -0.51세로 나타났으며, 성장식은 (7)과 같았다 (Figure 6 (a)).

$$L_t = 33.23(1-e^{-0.20(t+0.51)}) + \varepsilon_i \quad \cdots\cdots\cdots (7)$$

체장-체중 관계식에 역계산한 체장의 성장식을 대입하여 구한 붕어의 이론적 최대체중 (W_∞)은 1,798.35g으로 나타났으며, 성장식은 (8)과 같았다(Figure 6 (b)).

$$W_t = 1798.35(1-e^{-0.20(t+0.51)})^{3.73} + \varepsilon_i \quad \cdots\cdots\cdots (8)$$

결과적으로 von Bertalanffy 성장식으로부터 구한 이론적 붕어의 연령별 체장은 만 1년생이 8.6㎝로 나타났으며, 만 2년생은 13.0㎝, 만 3년생은 16.6㎝, 만 4년생은 19.6㎝, 만 5년생은 22.0㎝ 등으로 확인되었다. 이는 김과 박(2002)의 도감에서 제시한 연령별 전장(1년 14-16㎝, 2년 16-18㎝, 3년 20-23㎝)의 결과와 유사한 수치이다. 또한, 이론적인 연령별 체중은 만 1년생이 11.6g를 보였으며, 만 2년생이

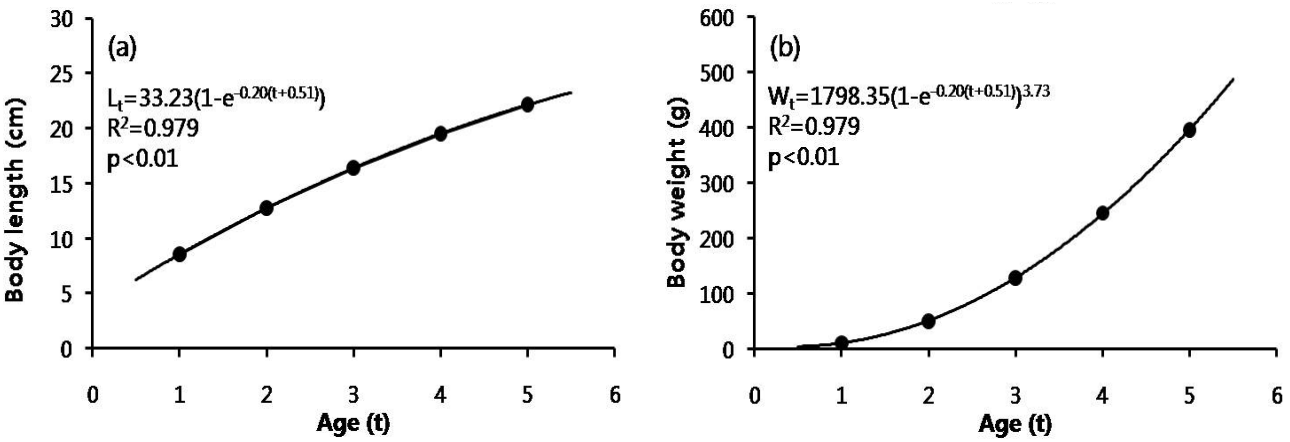

Figure 6. The von Bertalanffy growth curve estimated by non-linear regression method of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of Seomjin River. (a) Length growth curve. (Lt is the mean length of fish of age t) (b) Weight growth curve. (Wt is the mean weight of fish of age t)

54.4g, 만 3년생이 136.1g, 만 4년생이 251.5g, 만 5년생이 389.6g 등으로 나타났다.

5. 생존율

비늘을 통해 분석된 연령조성자료(Table 3)를 이용하여 6가지 방법에 의해 추정된 생존율은 0.345~0.591의 범위를 보이는 것으로 나타났다. 그 중 Heincke 방법에 의한 추정치 (0.591year^{-1})가 가장 높은 값을 보였고, 평균연령법이 다음으로 높은 추정치 (0.493year^{-1})를 보였다. 또한, 계산방법이 유사한 평균연령법과 Chapman and Robson 방법에 의한 추정치는 각각 0.345 year^{-1}과 0.348 year^{-1}로 유사하게 나타났다(Table 4).

평방오차합(SSQ)으로 실제치와 추정치 간의 적합성을 분석한 결과, 어획물곡선법이 0.156로 가장 작았으며, Heincke 방법이 가장 큰 오차(0.465)를 보였다(Table 4).

Table 3. Age composition of the Crucian carp, *Carassius auratus* sampled in the mid-upper system of the Seomjin River.

Age (i)	Pi	Convert age	lnPi
0	4		1.386
1	17		2.833
2	38	0	3.638
3	22	1	3.091
4	9	2	2.198
5	3	3	1.099

P_i: Catched individuals

따라서 본 연구에서는 평방오차합(SSQ)이 가장 작은 어획물곡선법에 의해 추정된 생존율 0.427year^{-1}을 생태학적 특성치로 활용하였다. 생존율을 추정하기 위하여 사용되는 연령조성자료는 원칙적으로 한 코호트(동일발생군)에 대해 추적한 자료를 사용하여야 한다. 그러나 대개는 한 코호트에 대한 자료를 얻기가 힘들기 때문에 자원의 평형상태를 가정하여 한 해의 채집자료를 사용하게 된다(Zhang, 1996). 이러한 가정은 사실상 현실 상황을 너무 무시하고 있기 때문에 자원평가에 있어 큰 무리가 따른다. 그러므로 본 연구에서는 보다 안전한 값을 산정하기 위하여 어획물의 연령조성자료를 6가지 추정방법을 통하여 추정한 후, 이 중 추정치가 가장 낮은 값을 생태학적 특성치로 활용하였으며, 가장 낮은 값에 속하기 때문에 자원평가의 자원보전적 측면에서 안전한 값이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4. Estimated of survival rates and their sum squared errors of the Crucian carp, *Carassius auratus* 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	0.427	0.156
Jackson	0.493	0.213
Heincke	0.591	0.465
Average age	0.345	0.298
Chapman and Robson	0.348	0.299
Beverton and Holt	0.452	0.164

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(Zhang, 1991). 체장-체중과의 관계를 통해 산출되어진 매개변수 (b=3.73)와 von Bertalanffy 식의 성장계수(K=0.20), 체장이 0일 때의 연령 (-0.51세), 관측되어진 최고연령(9.69년) 등 추정된 값들을 식 (6)에 대입하여 Zhang and Megrey(2006)의 방법으로 추정한 순간자연사망계수(M)는 0.784year^{-1}로 확인되었다. 수산자원 연구에 있어서 순간자연사망계수(M)는 거의 대부분의 자원평가 방법이나 관리모델을 사용하는데 필수적인 특성치 임에도 불구하고 일반적으로 연구대상으로 크게 주목을 받지 못해서 정확한 값을 얻기가 매우 어려운 상태이다(Oh *et al.*, 1999). 그러나 본 연구에서 순간자연사망계수를 추정하기 위해 사용한 Zhang and Megrey(2006) 방법은 60종을 대상으로 일괄적으로 추정한 상수값(C_i=0.38year^{-1})을 적용한 기존의 Alverson and Carney(1975) 방법을 개선한 방법으로 우선 적용범위를 유영성 어류와 저서성 어류로 나누어 상수값(C_i)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 생존율과의 관계로부터 추정할 수 있으며, 어획물곡선법에 의해 추정된 생존율(S)을 변환하여 추정한 순간전사망계수(Z)는 0.851year^{-1}로 나타났다. 또한 순간어획사망계수는 순간전사망계수의 값에서 순간자연사망계수를 제하여 추정할 수 있으며, 그 결과 순간어획사망계수(F)는 0.067year^{-1}로 확인되었다. 결과적으로 섬진강 중·상류 수계 붕어 개체군은 어획에 의해 사망되는 것보다 자연사망하는 비율이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 현재 어업활동이 없는 본 수계를 잘 반영하는 결과로 생각되며, 이와 같이 자연사망이 어획사망보다 큰 결과를 보인 생태계는 경우에 따라 어업을 더욱 강화시킬 수 있음을 시사한다(Jang *et al*, 2010). 또한, 추정된 자원생태학적 특성치를 통해 섬진강 중·상류 붕어 개체군의 변화량은 전체 개체수 중 연간 57.3%가 사망하며, 이 중 7.8%는 어획에 의한 사망을, 92.2%는 포식 등 기타 요인에 의해 자연사하는 것으로 추정할 수 있었다. 이와 같은 정보는 어족자원의 자원관리 측면에서 매우 유효하게 활용될 것으로 판단된다(Jang *et al.*, 2010).

결론적으로 본 연구의 목적은 붕어의 연령과 성장파라미터의 추정에만 초점을 맞춘 것이 아니라 자원평가를 위한 기초자료로서 여러 가지의 파라미터를 더 나은 방법으로 추정하는데 있다. 따라서 이와 같이 본 연구를 통하여 밝혀진 붕어의 개체군 생태학적 특성치를 통하여 상세하고 정확한 자원평가가 수행되어야 하며, 자원 평가의 결과를 바탕으로 합리적인 자원관리가 시행되어야 할 것으로 생각된다.

인용문헌

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.

Cho, K.S., J.H. Park, W.H. Lee and J.C. Kang(2006) Acetylcholinesterase Inhibition and Behavioral Changes of Crucian carp (*Carassius auratus*) Exposed to the Waterborne Parathion. Journal of Korean Sociery on Water Quality 22(2): 364-369.

Cho, N.K., T.G. Jin, C.W. Lee, H.M. Kim, K.H. Choi, K.H. Chung, J.C. Kang and J.S. Lee(2007) Change of Reproductive Indicator of the Crucian carp, *Carassius auratus*(Teleostei: Cyprinidae) Long-term Exposed to Nonylphenol. J. Encoron. Toxicol. 22(3): 235-245. (in Korean with English abstract)

Choi, E.Y., J.W. Seo and J.S. Choi(2006) Length-weight Relation and von Bertalanffy's Growth Model of *Zacco koreanus* Population Distributed in the Tributaries of the Nakdong River. Korean J. Limnol. 39(2): 226-235. (in Korean with English abstract)

Choi, K.C., S.R. Jeon, I.S. Kim and Y.M. Son(1990) Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyangmunsa, Seoul, 278pp. (in Korean)

Choi, Y.M., C.I. Zhang, Y.S. Kim, C.I. Baik and Y.C. Park(2004) Ecological Characteristics and Biomass of Chub Mackerel, *Scomber Japonicus* Houttuyn in Korean Waters. J. Korean. Soc. Fish. Res. 6(2): 79-89. (in Korean with English abstract)

Chung, M.K.(1977) The Fishes of Korea. Iljisa, Seoul, 727pp. (in Korean)

Han, K.H., D.S. Jin, D.J. Yoo, S.R. Baek and D.S. Hwang(2001) The Early Life History of the Crucian Carp, *Carassius auratus* in Korea. Bull. Yosu Nat'l. Univ., pp. 379-387. (in Korean with English abstract)

Jang, S.H., H.S. Ryu and J.H. Lee(2010) 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. Korean J. Limnol. 43(1): 82-90. (in Korean with English abstract)

Kim, J.S., M.J. Shin, J.E. Lee and E.W. Seo(2009) Heavy Metal Contents in Tissues of *Carassius auratus* in Andong and Imha Reservoir. Journal of Science 19(11): 1562-1567. (in Korean

with English abstract)

Kim, I.S. and J.Y. Park(2002) Freshwater fishes of Korea. Kyohaksa, Seoul, 465pp. (in Korean)

Kim, Y.H., S.K. Lee, J.B. Lee, D.W. Lee and Y.S. Kim(2006) Age and Growth of Small Yellow Croakerm *Larimichthys polyactis* in the South Sea of Korea. Korean J. Uchthyol. 18(1): 45-54. (in Korean with English abstract)

Lee, J.Y., Kim Y.G., Kim j.Y. and Kim E.B.(1988) Acute Toxicity of Synthetic Detergents on the Mortality for Crucian carp, *Carassius auratus*. Bull Fish. Sci. Inst., Kunsan Fish. Jr. Coll. 4: 43-53. (in Korean with English abstract)

Lee, K.A., C.K. Lee and S.R. Jeon(1989) Studies on Electrophoretic Patterns of Muscle Proteins of Crucian carps (*Carassius auratus langsdorfi*) from Korea. Korean J. Limnol. 22(1): 1-20. (in English)

Moon, J.Y., D.H. Moon and G.H. Jeong(2009) Accumulated Levels of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins, Dibenzofurans and Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls in the Freshwater Fish (Crucian carp). Jounal of the Environmental Sciences 18(7): 803-810. (in Korean with English abstract)

Nakamura, M.(1969) Cyprinid fishes of Japan. Studies on the like history of Cyprinid fishes of Japan. Res. Inst. Nar. Resour., 4, 455pp.

Nam, M.M., H.J. Yang and B.K. Seo(1989) Morphological Variation of the Crucian carp, *Carassius auratus*(Linnaeus) from Yongnam Area in Korea. Korean J. Uchthyol. 1(1,2): 54-63. (in Korean with English abstract)

Nelson, J.S.(2006) Fishes of the world (4th ed). John Wiely and Sons, New york, 601pp.

Oh, Y.D., C.I. Zhang, S.K. Jo and M.H. Sohn(1999) Estimation of Population Ecological Characteristics of *Hexagrammos agrammus* in the East Sea. J. Korean Soc. Fish Res. 2: 14-23. (in Korean with English abstract)

Seo, J.W.(2005) Fish Fauna and Ecological Characteristics of Dark Chub(*Zacco temminckii*) Population in the Mid-Upper Region of Gam Stream. Korean J. Limnol. 38(2): 196-206. (in Korean with English abstract)

Seo, Y.I., J.I. Kim, T.Y. Oh, S.K. Lee, S.T. Kim and H. Joo(2007) Age and growth of the Robust tonguefish, *Cynoglossus robustus* in the Southern sea of Korea. Korean J. Ichthyol. 19(4): 324-331. (in Korean with English abstract)

Shin, M.J., C. Lee, J.E. Lee and E.W. Seo(2006) Effect of Turbidity Changes on Antioxidant Enzyme Activity of *Carassius auratus* Tissues. Korean J. Environ. Biol. 24(2): 119-125. (in Korean with English abstract)

Song, K.H., J.W. Jung, H.Y. Koo and W. Kim(2007) Development of Species-specific Molecular Marker as a Tool for Discrimination between Crucian Carp Gengorobuna (*Carassius cuvieri*) Introduced from Japan and Korea Native one(*C. auratus*). Korean J. Limnol. 40(1): 143-148. (in Korean with English abstract)

von Bertalanffy, L.(1938) A quantitative theory of organic growth (Inquires on growth laws. II). Human biological 10(2): 181-213.

Yoon, J.M. and S.Y. Park(2006) Genetic Comparison Between Crucian carp(*Carassius auratus* Linnaeus)and Crucian carp(*C. cuvieri* Temminck and Schlegel). J. Anim. Sci. & Technol. 48(5): 637-650. (in Korean with English abstract)

Zhang, C.I.(1991) Fisheris resource ecology. Woosungsa, Seoul, 399pp. (in Korean)

Zhang, C.I.(1996) A study on the Stock Assessment and Management Implication of the Hairtail, Trichiurus Lepturus Lenne in Korean Waters. 1. Estimation of Population Ecological Characteristics of the Hairtail, *Trichiurus leptures* Lenne in Korean Waters. J. Korean Fish. Soc. 29(5): 567-577. (in Korean with English abstract)

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.