

한국 담수어류 10종의 상대 무게지수(Relative weight index) 활용을 위한 표준 길이-무게 상관관계(Standard Length-Weight relationships) 산출

백승호^{1,2} · 박상현^{1,3} · 김정희^{1,*}

¹(주)에코리서치, ²충북대학교 환경공학과, ³목포대학교 해양수산자원학과

Estimation of Standard Length-Weight Relationships of 10 Freshwater Fish in the South Korea for Application of Relative Weight Index by Seung-Ho Baek^{1,2}, Sang-Hyeon Park^{1,3} and Jeong-Hui Kim^{1,*} (¹EcoResearch Incorporated, Gongju 32588, Republic of Korea; ²Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea; ³Department of Marine Fisheries Resources, Mokpo National University, Mokpo 58554, Republic of Korea)

ABSTRACT The Relative weight index is an index for evaluating nutritional condition of fish by calculating a ratio of observed weight to standard weight. The purpose of this study is estimating standard Length-Weight relationships (standard LWRs) to calculate standard weight for application of relative weight index and analyze frequency distribution of relative weight index of 10 freshwater fish in the South Korea. The standard LWRs for each species was calculated by the Length-Weight data sets from 798 times of captures at 141 sites. The correlation of determination (r^2) for all species was over 0.9 and values of parameter b were within the expected range according to Froese (2006). We calculated in increments of 10 from 10 to 90 percentile of relative weight index for each species, and it could be used as a standard for quantitative assessment of nutritional condition of freshwater fish.

Key words: Condition factor, nutritional condition, standard weight, total length, relative weight index, length-weight relationships

서 론

어류의 길이-무게 데이터는 대상 어류의 영양상태를 평가하거나 특정 지역의 생물자원량 평가에 활용되기도 하며, 더 나아가서는 서식처 적합성을 평가하는 데 활용되기도 한다 (Le Cren, 1951; Tesch, 1968; Froese, 2006). 국내에서 어류의 길이-무게 활용의 가장 대표적인 방법은 Keys (1928)가 제안한 길이-무게 상관관계 (Length-Weight relationships, LWRs)와 Fulton (1904)의 비대지수 (Condition factor, K)를 활용하

여 대상 어류의 영양상태를 평가하는 것이다 (Han *et al.*, 2007; Seo and Kim, 2009; Ko *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013). 하지만 LWRs와 비대지수는 어류의 영양상태를 평가함에 있어 명확한 한계를 가지고 있으며 (Froese, 2006), 이러한 한계에 대한 정확한 이해 없이 어류의 영양상태를 평가하는 것은 오류를 범할 가능성이 매우 높다.

LWRs ($W = aL^b$; W , weight in gram; L , length in cm; a and b , parameters)는 지수함수이며 주어진 길이에 대응하는 무게를 산출하기 위해 고안되었다 (Keys, 1928). 즉, LWRs는 본래 어류의 영양상태를 평가하는 것이 아니라, 어류의 체형과 성장 양상 (동형성장, 상대성장 등)을 고려하여 특정 길이에 해당하는 무게를 예측하는 것이 목적이다. LWRs는 회귀분석을 통해 매개변수 a 와 b 값을 산출하며, 각각의 매개변수는 어류의 체

저자 직위: 백승호 ((주)에코리서치 선임연구원, 충북대학교 환경공학과 박사과정), 박상현 ((주)에코리서치 선임연구원, 목포대학교 해양수산자원학과 박사과정), 김정희 ((주)에코리서치 대표이사)

*Corresponding author: Jeong-Hui Kim Tel: 82-41-853-3018, Fax: 82-41-853-3019, E-mail: ragman-k@hanmail.net

형과 성장 양상을 해석하는 데 활용될 수 있다. 어류는 각 종별로 특이적인 체형과 성장 양상을 가지기 때문에 매개변수 a 와 b 는 종의 특성을 대변하는 수치로써 해석되며, 따라서 정확한 LWRs를 산출하기 위해서는 다양한 지역과 시기를 포괄하는 다수의 데이터를 포괄하여야만 한다(Froese, 2006). 반면, 국내에서 LWRs은 특정 시기, 특정지역의 단편적인 LWRs를 산출하여 대상 지역 어류의 영양상태를 평가하는 데 주로 활용하며, 매개변수 b 값이 3.0을 기준으로 이보다 크면 양호, 작으면 불량하다고 평가한다(Han *et al.*, 2007; Seo and Kim, 2009; Ko *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013). 하지만 LWRs의 매개변수 b 는 종 특이적인 성장 양상에 따라 각 종별로 다양한 값을 가지기 때문에 어류의 영양상태를 평가하기에 적합하지 않으며(Hile, 1936), 동일 종 간의 영양상태를 비교한다고 하더라도 a 값을 고려하지 않은 평가는 오류를 범할 가능성이 크다(Froese, 2006).

비대지수($K = 100 \frac{W}{L^3}$; k , Condition factor; L , length in cm; W , weight in g)는 어류의 길이와, 해당 길이에 대응하는 무게의 비율을 산출하는 함수이며, 같은 길이의 어류 중 무게가 더 무거운 개체의 영양상태가 더 양호하다는 전제하에 만들어진 개념이다(Fulton, 1904). 특정 어류 군집의 비대 지수가 전반적으로 높게 나타난다면, 해당 어류 군집의 먹이 자원이 풍부하며 서식하기에 양호한 상태로 해석하는 데 활용할 수 있다. 하지만 비대지수는 산출된 값의 높고 낮음을 판단할 수 있는 기준이 없기 때문에, 상대적인 평가만 가능할 뿐 절대적인 평가는 불가능하다는 한계가 있다. 또한 어류의 개체 크기별 영양상태가 동일하다고 하더라도, 해당 어종의 성장하는 방식에 따라서 비대지수를 해석하는 데에 오류가 발생할 수 있다(Hile, 1936). 예를 들면, 폴망둑(*Synechogobius hasta*)과 같이 음의 상대성장을 하는 경우 길이가 길어짐에 따라 무게가 증가하는 비율이 작기 때문에, 각 개체의 크기별 비대지수를 산출하여 비교하면 큰 개체들의 영양상태가 불량하다고 해석될 수 있으며, 이와 반대되는 양의 상대성장을 하는 종들은 큰 개체들의 영양상태가 양호하다고 잘못 해석될 위험성이 있다. 즉, 비대지수는 어류의 종 특이적인 성장 양상과 어류의 고유한 체형을 고려하지 못하기 때문에 크기가 다른 개체 간의 영양상태 비교, 혹은 종 간 영양상태를 비교하는 데 적합하지 않다(Le Cren, 1951).

국외에서는 이러한 문제점들을 극복하기 위해 상대 무게 지수(Relative weight index, W_r) 개념을 도입하였다(Le Cren, 1951; Carlander, 1977). 상대 무게 지수($W_r = 100 \frac{W}{W_s}$; W_r , Relative weight index; W_s , Standard weight; W , observed weight)는 표준 무게와 실측 무게의 비율을 계산하며, 표준 무게는 어류의 체형과 성장 양상을 고려하였을 때, 특정 길이에 대해 예상되는 무게를 뜻한다. LWRs는 표준 무게와 완전히 부합하

는 개념으로, 표준 무게를 산출하기 위한 방법으로 활용되었다(Le Cren, 1951). 하지만, LWRs은 회귀분석에 사용한 길이-무게 데이터의 획득 지역 및 시기에 따라서 매개변수 a 와 b 값이 달라지기 때문에(Le Cren, 1951), 이러한 변동을 포괄할 수 있는 LWRs(표준 LWRs)의 필요성이 대두되었으며(Carlander, 1977; Froese, 2006), 표준 LWRs를 산출하는 기술적인 방법에 대한 연구가 최근까지 지속되었다(Murphy *et al.*, 1990, 1991; Brown *et al.*, 1995; Gerow *et al.*, 2005). 그럼에도 불구하고 상대 무게 지수는 어류의 영양상태에 대한 절대적인 평가가 가능하기 때문에, 어류의 개체 간, 종 간, 개체군 간의 영양상태를 비교할 수 있는 큰 장점이 있어 현재까지 북미지역에서 70종 이상에 대한 표준 LWRs가 산출되어 있다(Froese, 2006).

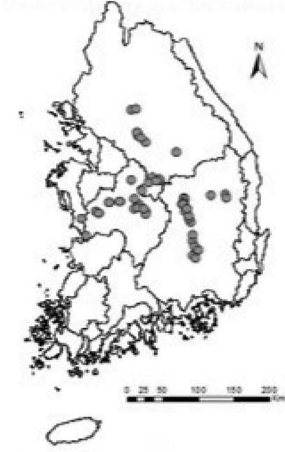
하지만 국내에서는 표준 LWRs에 대한 연구가 전무한 실정이다. 국내에서 수행된 LWRs 연구는 대부분 대상 지역의 영양상태를 평가하거나(Han *et al.*, 2007; Seo and Kim, 2009; Ko *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013), 특정 지역의 LWRs에 대한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다(Yoon and Choi, 2010; Yoon *et al.*, 2013; Yoon *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2015; Baek *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2015; Park *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2016). 이러한 연구들은 특정 시기, 특정 지역에 국한된 자료를 활용하여 LWRs를 산출하였기 때문에, 표준 LWRs로써 활용될 수 없으며 상대 무게 지수를 산출하는 데 활용될 수 없다.

본 연구의 목적은, 첫째로, 상대 무게 지수를 활용하기 위해, 국내 다양한 환경에서 통용될 수 있는 표준 LWRs를 산출하는 것이다. 따라서 다양한 환경에서 채집된 담수어류를 대상으로, 최대한 많은 길이-무게 데이터를 사용하여 표준 LWRs를 산출하고자 하였다. 이후, 본 연구를 통해 산출된 표준 LWRs를 사용하여 산출된 상대 무게 지수의 빈도 분포(frequency distribution)를 제시하는 것이다. 이를 통해 향후 상대 무게 지수를 활용하여 어류의 영양상태를 정량적으로 평가할 수 있는

Table 1. Total number of sampling sites in South Korea from 2009 to 2019

	Total number of sampling sites	Total number of times of sampling
Stream	80	553
Geum-River Watershed	16	169
Nakdong-River Watershed	47	305
Han-River Watershed	17	79
Reservoir	61	245
Geum-River Watershed	23	143
Nakdong-River Watershed	34	83
Han-River Watershed	4	19
Total	141	798

Acheilognathus lanceolata



Carassius auratus



Erythroculter erythropterus



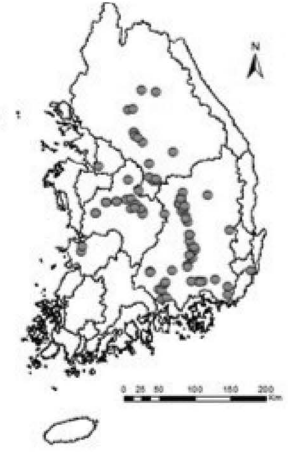
Hemibarbus labeo



Hemiculter eigenmanni



Pseudogobio esocinus



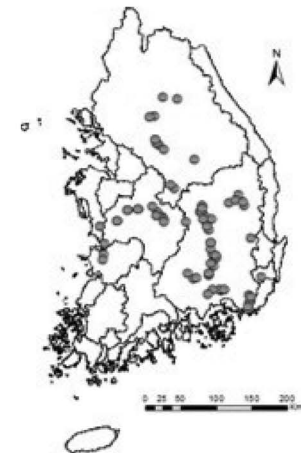
Squalidus chankaensis



Zacco platypus



Opsariichthys uncirostris



Lepomis macrochirus



Fig. 1. Map showing the sampling sites for each species in South Korea from 2009 to 2019.

Table 2. Descriptive statistics and estimated parameters of the length-weight relationships in South Korea from 2009 to 2019

Family	Scientific name	n. site	n. specimen	Total length (cm)	Body weight (g)	a	95% CL of a	b	95% CL of b	r ²
Cyprinidae	<i>Acheilognathus lanceolata</i>	48	8,369	2.5~13.1	0.1~24.8	0.0080	0.0078~0.0082	3.147	3.132~3.161	0.957
	<i>Carassius auratus</i>	99	4,616	2.2~45.3	0.2~1859.4	0.0108	0.0106~0.0111	3.130	3.122~3.137	0.993
	<i>Erythroculter erythropterus</i>	65	6,412	3.7~85.4	0.3~3635.0	0.0051	0.0050~0.0052	3.007	3.001~3.013	0.994
	<i>Hemibarbus labeo</i>	81	6,611	3.2~67.0	0.2~2437.4	0.0075	0.0074~0.0076	3.002	2.996~3.007	0.994
	<i>Hemiculter eigenmanni</i>	76	6,478	3.4~28.1	0.2~199.8	0.0025	0.0024~0.0026	3.357	3.345~3.368	0.981
	<i>Pseudogobio esocinus</i>	76	6,482	3.6~25.3	0.3~134.1	0.0053	0.0051~0.0055	3.122	3.111~3.133	0.980
	<i>Squalidus chankaensis</i>	72	4,523	3.6~17.5	0.3~49.6	0.0053	0.0051~0.0057	3.224	3.198~3.249	0.931
	<i>Zacco platypus</i>	91	15,075	2.5~22.5	0.1~90.0	0.0045	0.0045~0.0046	3.248	3.239~3.256	0.973
	<i>Opsariichthys uncirostris</i>	74	12,501	2.7~44.4	0.1~722.1	0.0053	0.0052~0.0054	3.111	3.105~3.117	0.989
	<i>Lepomis macrochirus</i>	80	7,243	2.4~25.1	0.1~321.9	0.0068	0.0066~0.0069	3.364	3.355~3.373	0.987

n. site, number of sampling sites; n. specimen, number of specimens

Table 3. Summary of the frequency distributions of W_t for 10 Korean freshwater fish in South Korea from 2009 to 2019

Scientific name	n. specimen	W _t range	Percentile									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	
<i>Acheilognathus lanceolata</i>	8,369	55.0~163.8	88.9	92.0	94.3	96.0	98.6	101.4	104.4	108.1	115.4	
<i>Carassius auratus</i>	4,616	51.4~175.7	84.8	90.0	94.0	97.1	100.2	103.1	106.5	111.0	118.1	
<i>Erythroculter erythropterus</i>	6,412	72.0~161.2	87.1	90.3	93.5	96.1	98.8	101.6	105.3	109.7	116.7	
<i>Hemibarbus labeo</i>	6,611	62.5~173.4	87.0	91.8	94.8	97.3	99.9	102.1	105.1	108.9	115.1	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	6,478	47.6~174.1	84.0	89.2	92.9	96.3	99.9	103.2	107.1	112.3	120.1	
<i>Pseudogobio esocinus</i>	6,482	73.3~151.2	86.4	90.9	94.0	97.0	99.8	102.7	105.8	109.7	115.6	
<i>Squalidus chankaensis</i>	4,523	55.1~166.6	80.3	86.7	92.1	96.4	100.6	105.4	109.6	115.1	123.0	
<i>Zacco platypus</i>	15,075	43.8~172.4	82.0	87.6	91.7	95.6	99.9	103.7	108.6	114.3	122.2	
<i>Opsariichthys uncirostris</i>	12,501	64.9~165.0	85.3	89.9	93.3	96.4	99.6	102.4	106.3	110.7	117.5	
<i>Lepomis macrochirus</i>	7,243	55.6~171.5	82.8	89.1	93.3	96.7	100.0	103.4	107.3	112.5	121.0	
Average			84.9	89.8	93.4	96.5	99.7	102.9	106.6	111.2	118.5	
Standard deviation			2.6	1.7	1.0	0.5	0.6	1.2	1.6	2.3	2.9	

n. specimen, number of specimens

기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

재료 및 방법

1. 어류 채집 및 계측

어류의 길이-무게 계측을 위한 어류 채집은 2009년 12월부터

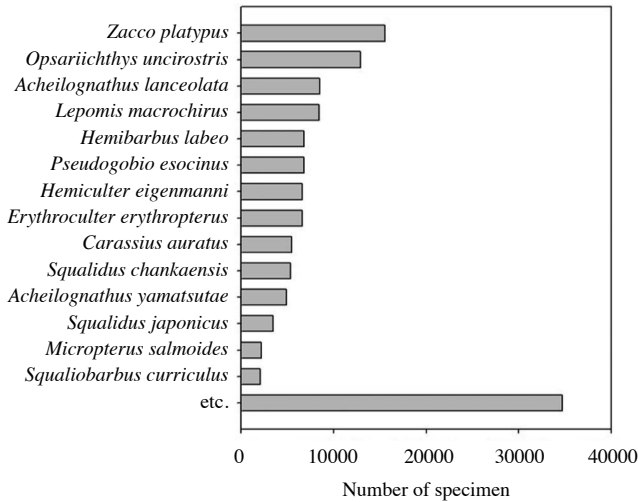


Fig. 2. Number of specimen for each species in South Korea from 2009 to 2019.

터 2019년 9월까지 수행되었다. 조사기간 동안 총 141개 지점을 대상으로 총 798회의 어류 채집이 수행되었다(Table 1, Fig. 1). 한반도를 4대강 권역으로 구분하였을 때, 금강, 낙동강, 한강 권역에서 조사가 수행되었으며, 서식처 유형별 구분 시 하천 80지점, 호소 61지점에서 조사가 수행되었다. 어류의 채집은 투망(망목 7 mm), 족대(망목 4 mm), 삼중자망(6절 50 m; 12절 50 m), 정치망(망목 4 mm)을 사용하였으며, 채집 지점의 환경에 따라 적합한 어구를 선별하여 사용하였다. 채집된 어류의 동정은 Kim and Park (2007)을 기준으로 하였다. 어류의 길이와 무게의 계측은 채집 직후 현장에서 수행되었으며 채집된 모든 어류를 대상으로 하였다. 길이는 전장(total length, mm)을, 무게는 전자 저울(MW II-6000N, CAS)을 사용하여 습중량(wet weight, 0.1g)을 측정하였다. 채집된 모든 어류는 계측 이전에 0.1 gL⁻¹ ethyl 3-aminobenzoate methanesulfonate salt (Sigma-Aldrich, Munich, Germany)로 마취하였으며, 계측이 끝난 후 회복실(recovery tank, 100×100×80 cm)로 옮겨 충분한 회복 후 현장에 방류하였다.

2. 데이터 분석

총 798회의 현장조사를 통해 확보된 160종 어류의 길이-무게 데이터 중, 샘플 수가 많은 순서로 상위 10종을 선별하였다. 선별된 10종은 각 종별로 구분하여 Keys (1928)의 방법에

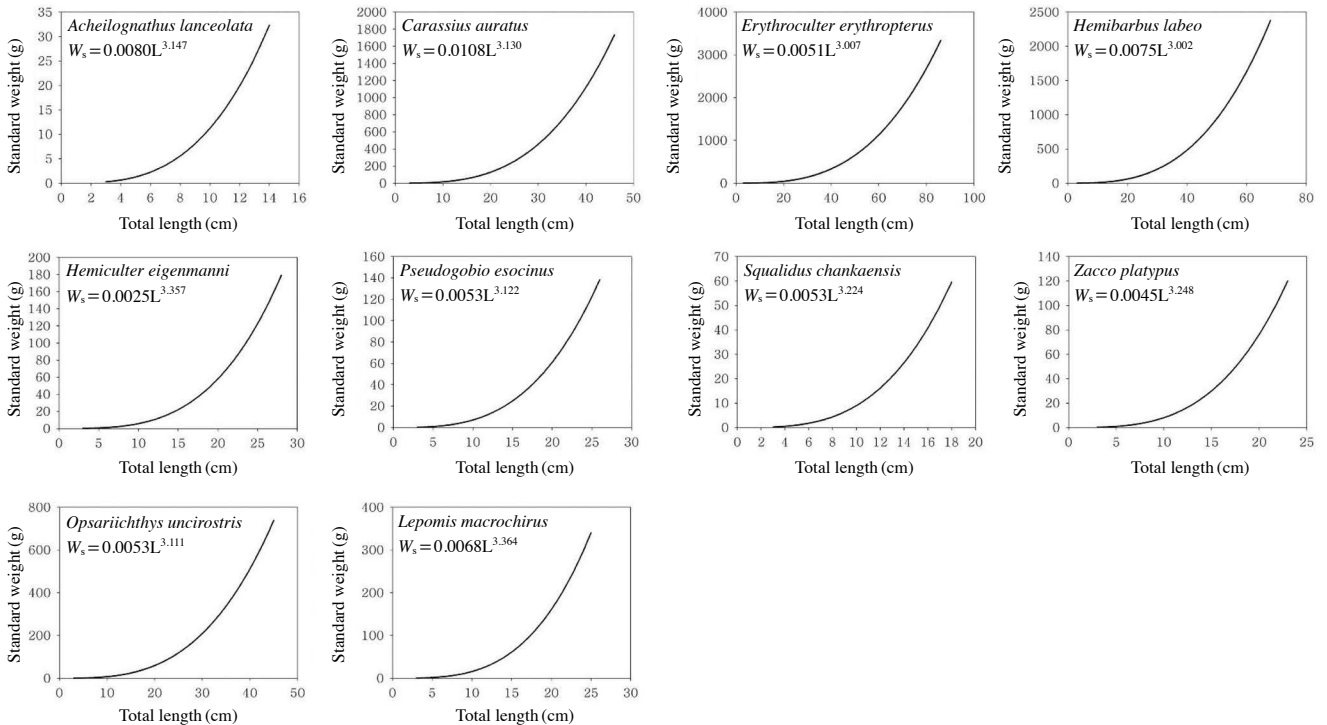


Fig. 3. Standard LWRs for estimating standard weight of 10 Korean freshwater fish species in South Korea from 2009 to 2019 (W_s , Standard weight; L , Total length).

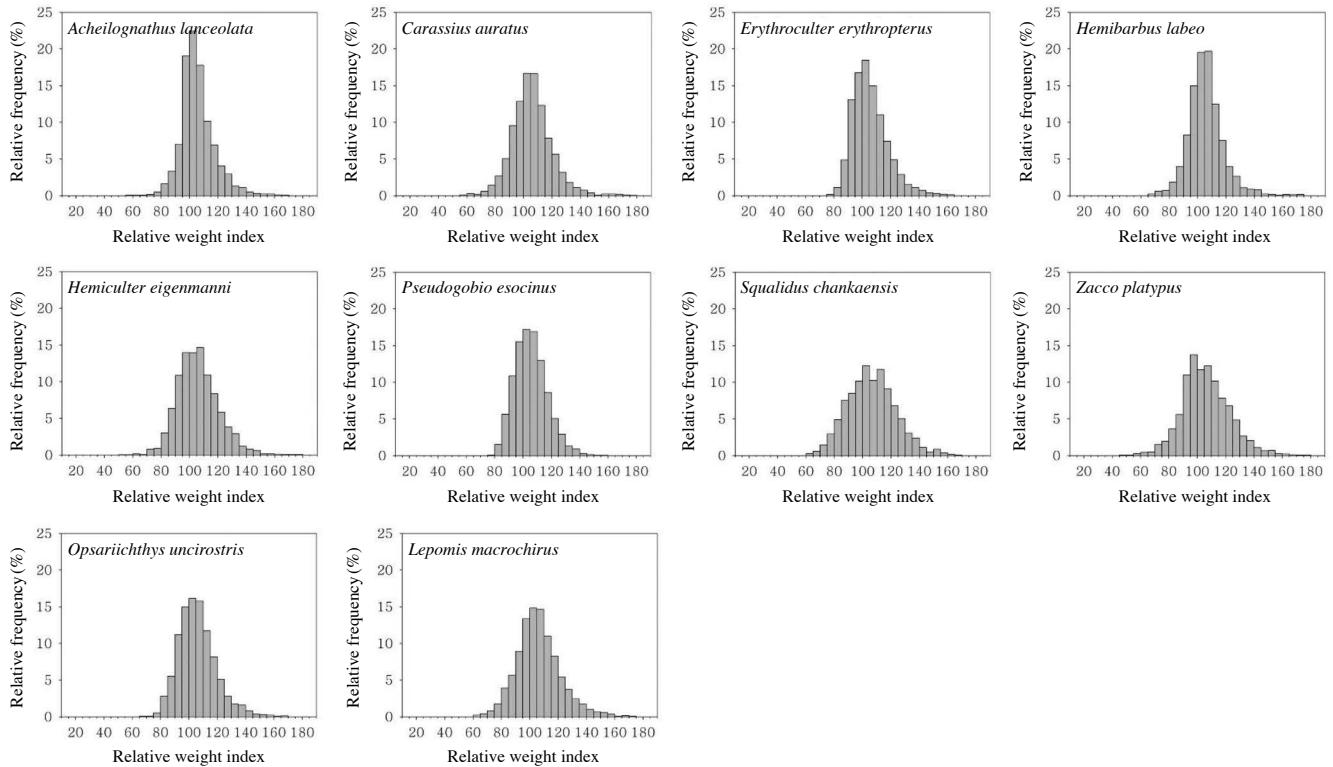


Fig. 4. Relative frequency distribution of relative weight index of 10 Korean freshwater fish species in South Korea from 2009 to 2019.

따라 회귀 분석을 통해 LWRs를 산출하였다(Eqn 1). LWRs 회귀분석에 앞서 길이-무게 데이터는 로그를 취하여 선형 회귀 분석을 통해 이상치(Outlier)를 제거하였다(Froese, 2006).

$$W = aL^b \tag{Eqn 1}$$

(W, weight in gram; L, length in cm; a and b, parameters)

위 방법으로 확보한 각 종별 LWRs 방정식을 통해 산출되는 무게를 해당 종의 표준 무게로 정의하고, 이상치(Outlier)가 제거된 각 종별 길이-무게 데이터를 대상으로 상대 무게 지수를 산출하였다(Eqn 2). 이어서, 각 종별로 산출된 상대 무게 지수의 빈도 분포(frequency distribution)를 분석하였다. 빈도 분포 분석은 10~90 백분위수(percentile)를 10단위로 구분하여 산출하였다.

$$W_r = 100 \frac{W}{W_s} \tag{Eqn 2}$$

(W_r, Relative weight index; W_s, Standard weight; W, observed weight)

모든 종의 학명(scientific name) 및 과명(family name)은 2019 국가생물종목록(NIBR, 2020)을 기준으로 하였으며, 종의 배열 순서는 Nelson (2006)의 분류체계를 따랐다.

결 과

조사기간 동안 확보한 어류의 길이-무게 자료는 총 130,479 개였으며, 이 중 가장 샘플수가 많은 10종은 피라미(Zacco platypus), 꼬리(Opsariichthys uncirostris), 납자루(Acheilognathus lanceolata), 블루길(Lepomis macrochirus), 누치(Hemibarbus labeo), 모래무지(Pseudogobio esocinus), 치리(Hemiculter eigenmanni), 강준치(Erythroculter erythropterus), 붕어(Carassius auratus), 참물개(Squalidus chankaensis)였다(Fig. 2).

선정된 10종에 대한 표준 LWRs 산출 결과 Table 2와 Fig. 3에 요약하였다. 채집 지점 수와 샘플 수는 각 종별로 제시하였으며, 지점수는 최소 48지점, 샘플수는 최소 4,523개체였다. 각 종별 전장과 무게 범위 또한 제시하였으며, LWRs의 매개변수인 a와 b값은 각각의 95% 신뢰 한계(95% confidence limits, 95% CL)와 함께 제시하였다. LWRs 회귀분석에 대한 결정계수(Correlation of determination, r²)는 모두 0.9 이상으로 나타났으며, 매개변수 b는 10종 모두 Froese (2006)의 예상 범위인 2.5~3.5 내에 포함되었다.

상대 무게 지수 산출 결과 및 빈도 분포 분석 결과는 Table 3과 Fig. 4와 같다. 각 종별 상대 무게 지수의 최소값과 최대값을 범위로 제시하였으며, 10~90 백분위수를 10단위로 구분하

여 제시하였다. 각 백분위수에 대한 종별 표준편차는 3.0 이내로 나타났으며, 50 백분위수를 기준으로 양 극단에 가까울수록 표준편차가 커지는 경향을 보였다. 80 백분위수에 대한 종별 평균은 111.2 ± 2.3 로 확인되어 표준 무게보다 약 11.2% 이상 무거운 개체들이 상위 20% 구간에 포함되는 것 나타났다. 20 백분위수에 대한 종별 평균은 89.8 ± 1.7 로 나타나, 표준 무게와 비교하여 약 10.2% 이상 가벼운 개체들이 하위 20%에 포함되는 것으로 나타났다. 10 백분위수와 90 백분위수의 종별 평균은 각각 84.9 ± 2.6 , 118.8 ± 2.9 로 나타났으며, 표준 무게와 비교하여 약 15% 이상의 무게 차이를 보이는 개체들은 양 극단의 10%에 포함되는 것으로 나타났다.

고 찰

LWRs 산출 결과 10종 모두 매개변수 b 값이 3보다 크게 나타났다. 이는 어류가 양의 상대성장을 한다고 해석할 수도 있겠지만(Froese, 2006), 본 연구에 포함된 10종 모두 길이 성장에 따른 체형 변화는 보고된 바 없다. 따라서 이들이 성장함에 따라 체고(body height) 혹은 체폭(body width)의 성장 비율이 높아진다고 해석하기 보다는, 단순히 큰 개체가 더 비대해 지는 경향이 있다고 해석하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 특히 블루길(3.364)과 치리(3.357)의 b 값이 높게 나타났으며, 누치(3.002)와 강준치(3.007)가 가장 3에 근접하게 나타났다. 이러한 종별 차이는 어류의 생리학특 특성과 연관성이 있을 것으로 판단되나, 이와 관련된 연구가 매우 부족한 실정이다.

현재까지 국내에서는 어류의 영양상태를 평가하기 위해 Keys (1928)가 제안한 길이-무게 상관관계와 Fulton (1904)의 비대지수를 활용하고 있다(Han *et al.*, 2007; Seo and Kim, 2009; Ko *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013). 따라서 결과에 대한 해석이 매우 제한적으로 이루어지고 있으며, 이는 국내에서 어류의 영양상태를 평가하기 위한 연구가 매우 부족하기 때문이다. 본 연구에서는 상대 무게 지수의 다양한 백분위수를 제시하였다. 이는 향후 상대 무게 지수를 정량적으로 해석하기 위한 기준으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

미국에서는 상대 무게 지수를 활용하기 위해 표준 무게 산출방법에 대한 연구들이 다수 수행되었다. 이는 기존에 제안된 방법들로 산출되는 표준 무게의 대표성 문제가 제기되고, 이를 지속적으로 개선해 나가는 일련의 과정이었다(Carlander, 1977; Wege and Anderson, 1978; Murphy *et al.*, 1990; Brown and Murphy, 1996; Gerow *et al.*, 2005). 본 연구에서 제시하는 표준 LWRs는 국내에서 처음으로 제안되는 것이며, 실제 현장에서 적용된 사례가 없다. 따라서 해당 LWRs의 대표성에 대한 검증이 이루어지지 않았으며, 이는 향후 연

구를 통해 반드시 보완되어야 한다. 어류의 무게는 시기와 지역에 따라 달라질 수 있다(Le Cren, 1951). 서식처 유형, 수계, 하천의 규모에 따라 어류의 무게가 경향성을 가질 가능성이 있으며, 이러한 경향성을 반영하는 표준 무게 산출 방법에 대한 추가 연구가 수행된다면, 국내 서식 어류의 표준 무게 대표성 개선에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

요 약

상대 무게 지수(Relative weight index, W_r)는 어류의 표준 무게와 실측 무게의 비율을 산출하는 지수로서 영양상태를 평가하는데 활용된다. 본 연구의 목적은 상대 무게 지수 활용을 위해 국내 담수어류 10종의 표준 무게 산출을 위한 길이-무게 상관관계(표준 LWRs)를 산출하는 것과, 상대 무게 지수 산출 결과에 대한 빈도 분포를 분석하는 것이다. 총 141개 조사 지점에서 798회 어류 채집을 통해 확보한 어류의 길이-무게 데이터를 활용하여 LWRs를 산출하였다. LWRs는 매개변수 a 와 b 값을 95% 신뢰한계(confidence limits)와 함께 제시하였으며, 모든 종에서 결정계수(r^2)는 0.9 이상으로 산출되었고, b 값은 Froese (2006)의 예상 범위에 포함되었다. 상대 무게 지수 산출 결과에 대한 빈도 분포 분석은 각 종별로 10~90 백분위수를 10 단위로 산출하여 제시하였으며, 이는 상대 무게 지수를 활용하여 어류의 영양상태를 정량적으로 평가하기 위한 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Baek, S.H., M.H. Jang, J.D. Yoon, J.H. Kim, S.H. Park, J.W. Lee and M.S. Byeon. 2015. Length-weight relationships of 19 freshwater fishes from the Daechung reservoir in South Korea. *J. Appl. Ichthyol.*, 31: 937-938. <https://doi.org/10.1111/jai.12767>.
- Brown, M.L. and B.R. Murphy. 1996. Management: Briefs selection of a minimum sample size for application of the Regression-line-percentile technique. *N. Am. J. Fish. Manage.*, 16: 427-432. [https://doi.org/10.1577/1548-8675\(1996\)016<0427:MBSOAM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8675(1996)016<0427:MBSOAM>2.3.CO;2).
- Brown, M.L., Jr. F. Jaramillo, D.M. Gatlin III and B.R. Murphy. 1995. A revised standard weight (W_s) equation for channel catfish. *J. Freshwater Ecol.*, 10: 295-302. <https://doi.org/10.1080/02705060.1995.9663448>.
- Carlander, K.D. 1977. *Handbook of freshwater fishery biology*, Vol.2. The Iowa State University Press, Ames, U.S.A., 431pp.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations.

- J. Appl. Ichthyol., 22: 241-253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>.
- Fulton, T.W. 1904. The rate of growth of fishes. Twenty-second annual report, 141-241.
- Gerow, K.G., R.C. Anderson-Sprecher and W.A. Hubert. 2005. A new method to compute standard-weight equations that reduces length-related bias. N. Am. J. Fish. Manage., 25: 1288-1300. <https://doi.org/10.1577/M04-196.1>.
- Han, S.C., H.Y. Lee, E.W. Seo, J.W. Sim and J.E. Lee. 2007. The influence of muddy water in Imha reservoir on the ichthyofauna and fish growth. J. Life Sci., 17: 1104-1110. <https://doi.org/10.5352/JLS.2007.17.8.1104>.
- Hile, R. 1936. Age and growth of the cisco, *Leucichthys artedi* (Le Sueur), in the lakes of the northeastern highlands, Wisconsin. Bull. U.S. Bureau Fish., 45: 211-317.
- Keys, A.B. 1928. The weight-length relation in fishes. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 14: 922.
- Kim, D.K., J.S. Gim, J.D. Yoon, Y. Do, G.J. Joo and H. Jo. 2016. Length-weight relationships of 10 freshwater fishes from the Busan metropolitan city in South Korea. J. Appl. Ichthyol., 32: 1365-1367. <https://doi.org/10.1111/jai.13228>.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyo-Hak Publishing Co. Ltd., Seoul, Korea, pp. 52-338.
- Kim, J.H., J.D. Yoon, D.H. Won, M.S. Byeon and M.H. Jang. 2015. Length-weight relationships of 19 fish species from the Saemangeum reservoir in South Korea. J. Appl. Ichthyol., 31: 951-953. <https://doi.org/10.1111/jai.12825>.
- Ko, D.G., J.H. Han and K.G. An. 2012. Length-weight relations and condition factor (*K*) of *Zacco platypus* along trophic gradients in reservoir ecosystems. Korean J. Limnol., 45: 174-189.
- Le Cren, E.D. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). J. Anim. Ecol., 20: 201-219. <https://doi.org/10.2307/1540>.
- Lee, J.W., J.D. Yoon, J.H. Kim, S.H. Park, S.H. Baek, J.J. Yu, M.H. Jang and J.I. Min. 2015. Length-weight relationships for 18 freshwater fish species from the Nakdong river in South Korea. J. Appl. Ichthyol., 31: 576-577. <https://doi.org/10.1111/jai.12757>.
- Lee, S.R., S.K. Park and H.S. Joo. 2013. Length-weight relationship for *Zacco koreanus* in the national park of Korea - A case of Sobaeksan, Songnisan and Gayasan. Korean J. Environ. Biol., 31: 173-179.
- Murphy, B.R., D.W. Willis and T.A. Springer. 1991. The relative weight index in fisheries management: status and needs. Fisheries, 16: 30-38. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1991\)016<0030:TRWIF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1991)016<0030:TRWIF>2.0.CO;2).
- Murphy, B.R., M.L. Brown and T.A. Springer. 1990. Evaluation of the relative weight (W_r) index, with new applications to walleye. N. Am. J. Fish. Manag., 10: 85-97. [https://doi.org/10.1577/1548-8675\(1990\)010<0085:EOTRWW>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8675(1990)010<0085:EOTRWW>2.3.CO;2).
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2020. National list of species of Korea (2019). Retrieved from <http://kbr.go.kr>.
- Nelson, J.S. 2006. Fishes of the world. 4th ed. John Wiley & Sons Inc., New Jersey, U.S.A., pp. 15-467.
- Park, S.H., J.D. Yoon, J.H. Kim, J.W. Lee, S.H. Baek and M.H. Jang. 2016. Length-weight relationships of fifteen endemic freshwater fishes in South Korea. J. Appl. Ichthyol., 32: 158-159. <https://doi.org/10.1111/jai.12943>.
- Seo, J.W. and H.S. Kim. 2009. A study of fish community on up and downstream of Hwabuk Dam under construction in the upper Wie stream. Korean J. Ecol. Environ., 42: 260-269.
- Tesch, F.W. 1968. Age and growth. In: Ricker, W.E. (ed.), Methods for assessment of fish production in fresh waters. Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K., pp. 93-123.
- Wege, G.J. and R.O. Anderson. 1978. Relative weight (W_r): a new index of condition for largemouth bass. In: Novinger, G. and J. Dillard (eds.), New approaches to the management of small impoundments. Amer. Fisheries Soc. Spec. Publ., 5: 79-91.
- Yoon, H.S. and S.D. Choi. 2010. Length-weight relationships for 19 fish species in Sargassum beds of Gamak bay, Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 13: 254-256.
- Yoon, H.S., Y.K. An, J.H. Hwang, H.S. Lim, W.K. Lee, K.H. Han, S.H. Lee and S.D. Choi. 2013. Length-weight relationships for 14 fish species of the Suer River estuary in southern Korea. J. Appl. Ichthyol., 29: 468-469. <https://doi.org/10.1111/jai.12097>.
- Yoon, J.D., J.H. Kim, S.H. Baek, M.S. Byeon and M.H. Jang. 2014. Length-weight relationships of eight cyprinid fishes from the Geum River in South Korea. J. Appl. Ichthyol., 30: 560-561. <https://doi.org/10.1111/jai.12386>.