

## 생태계교란 생물인 블루길(*Lepomis macrochirus*)의 서식 환경에 따른 먹이원 섭식 특성 분석

김재훈<sup>1,4</sup>, 김지윤<sup>2</sup>, 오상혁<sup>3</sup>, 안광국<sup>2</sup>, 이종은<sup>1,4,\*</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 생명과학과, <sup>2</sup>충남대학교 생명과학과, <sup>3</sup>강릉원주대학교 생물학과, <sup>4</sup>안동대학교 환경연구소

## Analysis of food source feeding characteristics of *Lepomis macrochirus* an invasive species according to habitat environment

Jae-Hun Kim<sup>1,4</sup>, Ji Yoon Kim<sup>2</sup>, Sang-hyeok Oh<sup>3</sup>, Kwang-Guk An<sup>2</sup> and Jong-Eun Lee<sup>1,4,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Biological Science, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Biological Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Biology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Republic of Korea

<sup>4</sup>Environmental Institute, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea

### Contribution to Environmental Biology

- In this study, we analyzed various feeding patterns of *Lepomis macrochirus* identified in a dam and a river by examining their stomach contents.
- This study provides basic data to inform the development of management measures for invasive species that disturb the local ecosystem.

### \*Corresponding author

Jong-Eun Lee

Tel. 054-820-5618

E-mail. jelee@anu.ac.kr

Received: 7 August 2024

First revised: 8 September 2024

Second revised: 11 September 2024

Revision accepted: 19 September 2024

**Abstract:** This study conducted field surveys targeting benthic macroinvertebrates and fish in Andong Dam and Yeongsan River, with the specific aim of analyzing bluegill stomach contents. Bluegills in Andong Dam ranged from 40–220 mm, with 93.0% between 80–220 mm, while those in Yeongsan River ranged from 50–210 mm, with 71.4% between 120–210 mm. The highest feeding rates in both sites were for Chironomidae spp., with findings of 72.6% in Andong Dam and 80.4% in Yeongsan River. In Andong Dam, *H. nipponensis* and Baetidae sp. were also significant at 17.5% and 6.5%, respectively, while in Yeongsan River, Baetidae sp. (7.5%) and Hymenoptera sp. were the next most common at 3.8%. The EI index showed that bluegills generally avoided *H. nipponensis* and *S. tsuchigae* (–0.373 and –0.975) whereas they preferred Chironomidae spp. (0.759, 0.892) and Baetidae sp. (0.723). The parameter b values of the total length-weight relationship of bluegill were calculated as 3.452 in Andong Dam and 3.449 in the Yeongsan River, respectively. The slope values of the condition factor were 0.0067 in Andong Dam and 0.0065 in the Yeongsan River. Both values were positive, indicating that the nutritional status of bluegill was good. Aquatic insects constituted the primary food source, particularly in Yeongsan River. Feeding patterns did not significantly differ by habitat orientation groups, but Yeongsan River bluegills consumed more diverse food sources. In Andong Dam, larger bluegills likely consume food sources with larger biomass, while Yeongsan River's diverse and abundant food sources support opportunistic feeding tailored to the water ecological environment.

**Keywords:** *Lepomis macrochirus*, HOGs, EI index, length-weight relationship, bluegill

## 1. 서 론

블루길(*Lepomis macrochirus*)은 농어목(Perciformes) 검정우렁과(Centrarchidae)에 속하며 원산지는 버지니아, 플로리다, 텍사스 등 미국 남동부지역으로 국내에는 1969년 수산청이 내수면 수산자원 증식을 목적으로 일본 오사카 담수어시험장으로부터 치어 510마리를 수입하여 팔당호에 방류하면서 자연생태계에 유입되었다(ME and NIE 2022). 원산지인 북미지역에서는 주로 잡식성을 보이지만 국내에 도입된 블루길은 원산지보다 강한 육식성과 광범위한 먹이생태조건(food niche)을 보이며 토착어류의 생태적 피해 및 개체군 감소를 유발하고, 뛰어난 번식력으로 빠른 속도의 개체군 증식으로 새우류나 작은 어류를 포식하는 등 수생태계 교란을 유발하여 환경부에서 1998년 2월 19일부터 생태계교란 생물로 지정되었고 법적으로 관리되고 있다(ME 1998; ME and NIE 2017). 블루길은 물의 흐름이 없는 정수역(lentic)이나 호소, 유속이 느린 하천의 중·하류에서 높은 점유율을 차지하며(Kim 1997; Schneider 1999; Son and Song 2006), 식물질이나 동물성 먹이, 수중무척추동물 및 소형 어류 등을 포식하고 어류의 산란기에 알을 많이 섭식하는 것으로 알려져 있다(Taylor et al. 1991; Azuma 1992; Yang and Chae 1997). 먹이원 분석과 같은 섭식 생태 연구는 각종 영양단계와 생태계 기능적 역할을 이해하는 데 중요한 요소 중 하나이다(Brodeur and Percy 1992; Woottom 2012). 특히, 저서성 대형무척추동물은 어류의 대표적인 먹이원으로서, 긴 생활사를 갖고 이동성이 적으며, 인위적이거나 자연적인 환경 변화에 민감하여 수질 환경 모니터링에 유용하게 이용되고 있다(Hynes 1970; Rosenberg and Resh 1993; Wipfli and Baxter 2010). 외국에서는 블루길의 섭식 행동, 서식지 이용성, 개체군 생태, 섭식 전략 및 패턴, 식생 밀도의 영향 등 다양한 연구가 수행되어 왔다(Sarker 1977; Ehlinger 1990; Carlson and Hoyer 2023). 그리고 국내에서는 블루길의 식성에 관한 연구가 진행된 바 있으나(Byun and Jeon 1997; Byun et al. 1997), 목(Order) 수준의 동정(identification)과 정량적인 개체 분석, 서식지 유형별 먹이원 분석에 관한 내용은 미미한 실정이다.

본 연구는 생태계교란 생물인 블루길(*L. macrochirus*)의 서식지 유형에 따른 성장도 및 섭식 특성을 분석하기 위해 정수역과 유수역을 구분하여 각각 안동댐과 영산강 본류 지점을 선정한 후 블루길의 위 내용물을 분석하였다. 또한,

서식지에 따른 블루길의 성장 경향을 파악하기 위해 전장-체중 관계 및 비만도 분석을 실시하였으며, 섭식 패턴은 위 내용물을 분석하여 먹이 선호도, 다양한 먹이 유형과 서식 기능군으로 구분하여 분석하였다. 이를 통해 서식지 유형에 따른 블루길의 섭식 패턴 차이를 비교하였으며, 생태계 교란 생물 종의 관리 방안을 마련하는 데 기초자료로 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사지점 및 시기

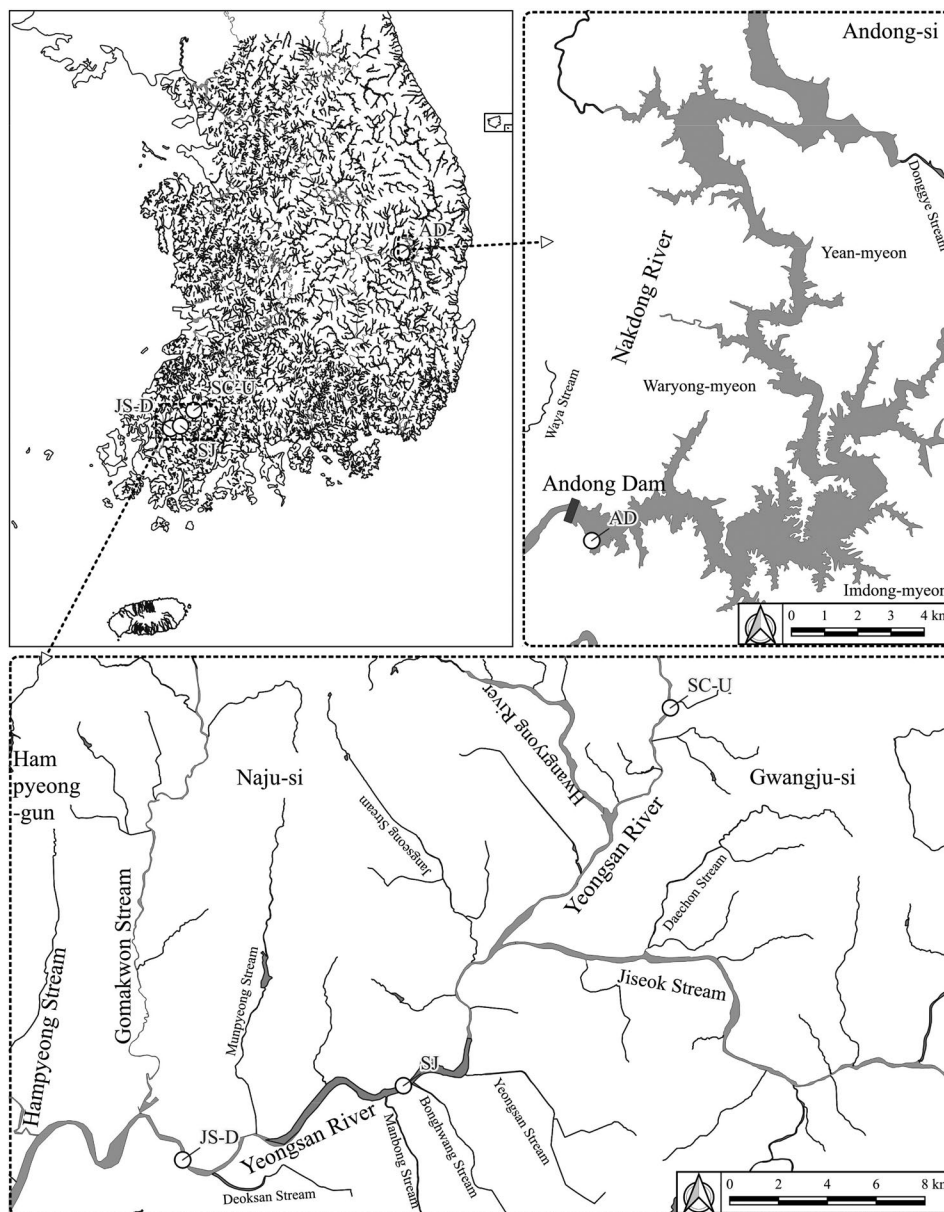
본 연구는 경상북도 안동시의 안동댐 호내 1지점(AD)과 영산강 본류 구간 중 승촌보 상류(SC-U), 승촌보~죽산보 구간(SJ), 죽산보 하류(JS-D) 지점을 선정하여 총 4개 지점에서 조사를 실시하였다(Table 1; Fig. 1). 조사시기는 2021년 봄철(5월)과 가을철(8~9월) 총 2회에 걸쳐 진행되었다. 현장 조사는 저서성 대형무척추동물 및 어류를 대상으로 실시하였다. 특히, 먹이원 파악을 위해 블루길의 전장과 비만도 그리고 위(stomach) 내용물을 중점적으로 분석하였다.

### 2.2. 조사방법 및 분석

저서성 대형무척추동물의 채집은 유수역 구간에는 Surber sampler (30 cm × 30 cm, mesh size: 1 mm)를 이

**Table 1.** Administrative district and GPS coordinates for sampling sites

Sites		Administrative district with Latitude and Longitude
Andong Dam	AD	Seokdong-dong, Andong-si, Gyeongsangbuk-do (N 36°34'36.81", E 128°46'53.95")
	SC-U	Sinchon-dong, Gwangsan-gu, Gwangju (N 35°08'25.28", E 126°49'42.61")
Yeongsan River	SJ	Samyeong-dong, Naju-si, Jeollanam-do (N 35°00'08.12", E 126°42'35.04")
	JS-D	Baeksa-ri, Gonsan-myeon, Naju-si, Jeollanam-do (N 34°58'28.84", E 126°36'35.82")



**Fig. 1.** Map showing the sampling sites in the Andong Dam (AD) and Yeongsan River (YS; SC-U, SJ, JS-D).

용하여 3회, 정수역 구간에서는 Dredge sampler (30 cm, mesh size: 1 mm)를 이용하여 30 cm씩 3회 끌기를 실시하여 정량 채집을 수행하였다. 또한, hand-net과 핀셋을 이용하여 여울(riffle), 흐름(run), 정수(pool), 수변 및 수생 식물 등 다양한 서식처에서 정성 채집을 병행하였다. 채집된 시료는 현장에서 94% ethanol에 고정하여 실험실로 운반한 후, 실체현미경(SZ61; Olympus, Japan)을 활용하여 동정하였다. 동정은 Yoon (1988, 1995), Won *et al.* (2005),

Kim *et al.* (2013), Kwon *et al.* (2013), Jung (2011) 등을 참고하였으며, 형태의 동정이 어려운 일부 분류군은 속(genus), 과(Family) 또는 목(Order) 수준의 sp.로 처리하여 분석하였다.

어류의 채집은 족대(mesh size: 4×4 mm)와 투망(mesh size: 7×7 mm), 보조적으로 정치망(삼각망: mesh size 5 mm, 유도망: 20 m; height: 2 m)을 이용하였다. 채집된 어류는 Kim *et al.* (2005), Han *et al.* (2015), Chae *et al.* (2019)

에 의거하여 동정을 실시하였으며, 현장에서 동정이 어려운 개체의 경우 10% 포르말린 또는 70%의 에탄올 용액에 고정한 다음 실험실로 운반한 후 동정하였다.

본 연구의 대상 어종인 블루길의 경우 개체별 전장(1 mm 단위)과 체중(0.1 g 단위)을 측정 후 이를 기록하였다. 계측 이후 블루길의 위 내용물의 분석을 위하여 복강을 절개한 후 위를 적출하여 94% 에탄올에 고정시켜 실험실로 운반·보관하였다.

### 2.3. 블루길의 전장-체중 관계, 비만도

블루길의 전장과 체중을 기반으로 산출되는 전장-체중 관계는 아래의 식(Eq. 1)과 같다(Le Cren 1951; Anderson and Gutreuter 1983). 매개변수  $b$ 의 값이 3이 산출될 경우 균형잡힌 성장(isometric growth)을 가정할 수 있으며,  $b$ 의 값이 3을 초과할 경우 전장 대비 체중이 증가하는 비만화의 경향,  $b$ 의 값이 3 미만인 경우 전장 대비 체중이 감소하는 경향을 나타낸다.

$$TW = aTL^b \quad (Eq. 1)$$

TW: Total weight (g), TL: Total length (mm), a, b: 변수

어류 개체군의 건강성을 평가하는 방법 가운데 하나인 비만도 지수(Condition factor, K)는 서식 환경 및 먹이원의 섭식 상태를 반영하는 지수이다(Anderson and Neumann 1996). 기울기에 따라서 전장 대비 비만화 또는 왜소화 경향을 판단한다. 일차함수식에서 기울기가 0과 같으면( $a=0$ ) 균형잡힌 성장을, 기울기가 0보다 크면 개체가 성장할수록 비만화 경향, 기울기가 0보다 작으면 개체가 성장할수록 왜소화 경향을 나타낸다.

$$K = W/TL^3 \times 10^n \quad (n=5) \quad (Eq. 2)$$

TL: Total length (mm), W: Weight (g),  $n=5$

### 2.4. 먹이 선택성 지수

어류의 먹이원 선택의 선호도나 회피를 평가하기 위해 Ivlev (1961)가 개념을 도입하고 공식을 수정하여 보다 정교한 Electivity Index를 제안한 Jacobs (1974)의 지수를 이용하여 분석하였다. 이는 환경에서의 가용성과 관련하여 특정 먹이 유형에 대한 포식자의 선호도를 정량화하는 데 사용된다. EI 지수의 범위는  $-1 \sim +1$ 로  $-1$ 에 가까우면 먹

이 유형을 완전히 회피,  $+1$ 에 가까우면 다른 먹이의 가용성에 관계 없이 이 먹이 유형만 소비함을 의미한다. 또한, 0에 가까우면 먹이원으로 선호나 회피가 없음을 나타낸다.

$$EI = (r_i - p_i) / (r_i + p_i - 2r_i p_i) \quad (Eq. 3)$$

$r_i$ : 어류 위 내용물에서 확인된 먹이원  $i$ 의 비율

$p_i$ : 환경에서 출현한 먹이원  $i$ 의 비율

### 2.5. 먹이원 분석

위 내용물에서 확인된 먹이원 중 저서성 대형무척추동물의 경우, 서식기능군(Habitat orientation groups, HOGs)을 분석하여 섭식 패턴을 분석하였다(Merritt et al. 1996). 또한, 먹이원을 수서곤충(Aqua insects, AI), 수서곤충을 제외한 저서성 대형무척추동물(Benthic macroinvertebrates, BE), 어류(Fishes, F), 육상곤충(Ground insects, GI) 등 4개의 유형별로 나누어 분석을 실시하였다. 블루길의 먹이원이 전장에 미치는 영향을 보기 위해 선형 혼합 모델(Linear Mixed Models, LMM; Eq. 4)을 이용하였으며, 지점(서식 환경)의 영향은 모델 내에서 랜덤 효과(Random effects)로 통제하였고, 먹이원을 고정 효과(Fixed effects)로 설정하여 그 결과를 시각화하였다. 원(circle)과 삼각형(triangle) 노드는 각 지점별 블루길의 전장에 따른 해당 먹이원의 섭식한 개체를 표현한 것이며, 각 노드별 수직으로 이어진 선(line)은 해당 먹이원을 섭식한 전장의 가변성을 나타낸다. 또한, 먹이원으로서 가장 빈번하게 섭식된 깔따구류(Chw)를 참조 먹이원으로 설정하여 다른 먹이원과의 비교를 통해 통계적 유의성을 분석하였다.

$$TL_{ij} = \beta_0 + \beta_1 (\text{Food source}_{ij}) + \gamma_{0j} + \epsilon_{ij} \quad (Eq. 4)$$

$TL_{ij}$ :  $j$ 지점에 있는 블루길  $i$ 의 total length

$\beta_0$ : 모든 예측 변수가 0일 때 평균 total length

$\beta_1$ : 고정 효과의 계수

Food source<sub>ij</sub>: 고정 효과

$\gamma_{0j}$ :  $j$  지점(랜덤 효과)

$\epsilon_{ij}$ : 각 값의 잔차 오류

블루길의 서식지에 따른 주요 먹이원과 종별 어떤 상호작용이 있는지 먹이그물을 네트워크 분석을 통해 시각화하였다. 원형 노드는 블루길, 사각형 노드는 각각의 먹이원을 나타내며, 노드 간의 연결은 해당 먹이원을 섭식한 경우

생성된다. 연결선의 수는 블루길에 해당 먹이원을 섭식한 빈도의 수를 나타내고, 연결선의 두께는 먹이원의 개체수를 의미하며, 화살표는 포식-피식의 관계를 나타낸다.

분석은 R (ver. 4.3.2, R Core Team 2023)을 사용하였으며, LMM 분석은 Ime4 패키지(Bates *et al.* 2015)를, 네트워크 분석은 igraph 패키지(Csárdi and Nepusz 2006)를 이용하여 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 전장 분포

본 연구에서 채집된 블루길 중 영산강에서 상태가 양호한 개체를 선별하고 안동댐에서는 블루길만을 대상으로 추가적인 조사를 실시하여 총 141개체에 대해 분석을 실시하였다. 선별된 블루길은 안동댐에서 57개체(40~220 mm), 영산강에서 84개체(50~210 mm)가 확인되었다. 안동댐에서 40~70 mm 범위는 7.0%, 80~220 mm 범위는 93.0%를 차지하였고, 영산강에서 50~100 mm 범위는 28.6%, 120~210 mm 범위는 71.4%를 차지하는 등 다소 상이한 것으로 확인되었다(Fig. 2). Yang and Chae (1997)는 안동댐에서 체장 50~90 mm (2년생), 100~130 mm (3년생), 140~160 mm (4년생)로 구분하였으며, Song *et al.* (2012)은 소양호에서 전장 90 mm 이하(1년생), 90~120 mm (2년생), 120 mm 이상(3~4년생), 의암호에서 120~140 mm (3년생), 140 mm 이상(4~6년생), 청평호에서 120 mm 이하(1~2년생), 160~225 mm (5년생 이상), 팔당호에서 120 mm 이상

(3년생) 등으로 구분하였다. 본 연구에서는 전장빈도분포를 이용하여 블루길의 직접적인 연령을 추정하기엔 어려움이 있으나, 안동댐과 영산강에서 각각 전장 70 mm 이하, 90 mm 이하인 개체가 만 1년생 이하일 것으로 판단되었으며, 우수역인 영산강에 서식하는 블루길이 정수역인 안동댐에서 서식하는 개체보다 성장속도가 더 빠른 것으로 사료된다.

#### 3.2. 안동댐에서의 먹이원 분석

안동댐에서 채집된 블루길 57개체 중 32개체에서 먹이원이 확인되었고, 25개체는 공복의 상태로 공복률은 약 43.9%로 나타났으며, 먹이원의 개체수는 총 212개체로 블루길 1개체당 평균 6.6개체를 섭식하는 것으로 분석되었다. 블루길의 먹이원에 대한 개체수 상대풍부도(relative abundance) 분석 결과, 깔따구류(Chironomidae spp. (non-red type)) 154개체(72.6%)로 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 빙어(*Hypomesus nipponensis*) 37개체(17.5%), 꼬마하루살이류(Baetidae sp.) 10개체(6.5%), 개미류(Hymenoptera sp.) 4개체(1.9%), 실잠자리류(Gomphidae sp.), 딱정벌레류(Coleoptera sp.)가 각각 2개체(0.9%), 그리고 물달팽이(*Radix auricularia*), 동양하루살이(*Ephemera orientalis*), 측범잠자리류(Coenagrionoidae sp.)가 각각 1개체(0.5%)의 순으로 나타났다. 서식지마다 블루길의 식성이 달라지고 특히, 저서성 대형무척추동물의 서식량이 적은 수역에서 보다 강한 육식성(어식성)과 보다 넓은 먹이생태조건(food niche)으로 변하는 것으로 알려져 있는데(Byun and Jeon 1997; Byun *et al.* 1997), 본 연구

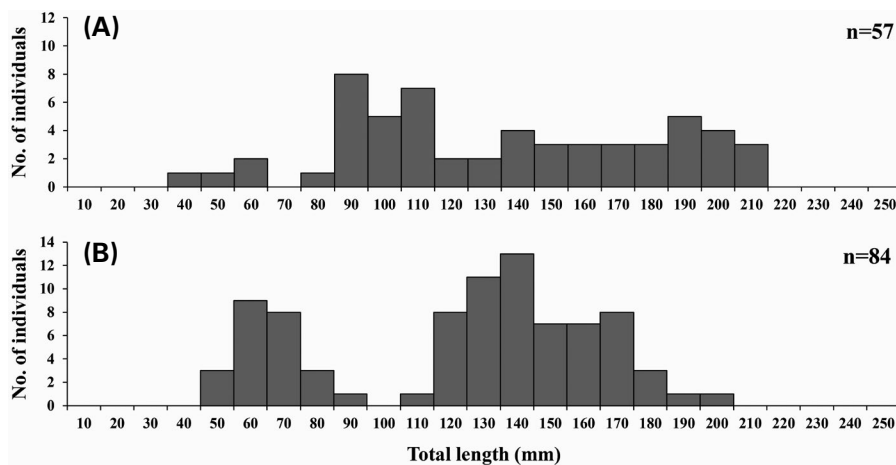


Fig. 2. Total length distribution of *Lepomis macrochirus* in Andong Dam (A) and Yeongsan River (B).

에서 플랑크톤(Plankton)과 조류(Algae)를 제외한 먹이원 중 깔따구류의 섭식이 가장 높았으며, 수서곤충을 포함한 저서성 대형무척추동물의 섭식률이 가장 높은 비슷한 결과로 나타났다.

환경 조사에서 채집된 어류, 저서성 대형무척추동물과 블루길의 위 내용물에서 먹이원으로 확인된 종 중 공통으로 출현된 종은 잉어와 깔따구류로 확인되어 이들의 EI 지수를 분석하였다. 잉어의 EI 지수는 -0.373으로 산출되어 블루길의 먹이원으로서 기피하는 경향을 보인 반면, 깔따구류의 EI 지수는 0.759로 산출되어 선호하는 경향을 보이는 것으로 확인되었다(Fig. 3A).

안동댐에서 블루길과 함께 채집된 공서어종은 Table 2와 같다. 우점종은 붕어(*Carassius auratus*) 31.8%, 아우점종은 잉어 34.6%였으며, 그 다음으로 치리(*Hemiculter eigenmanni*) 16.1%, 참물개(*Squalidus chankaensis tsuchigae*) 4.5% 등의 순으로 나타났으며, 블루길은 2.5%의 상대풍부도를 보여 매우 낮은 것으로 확인되었다. 이는 안동댐의 어류상에 관한 선행 연구와 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다(Han et al. 2007; Kim et al. 2019). 블루길의 주 먹이원인 저서성 대형무척추동물은 Table 3과 같다. 우점 및 아우점종은 깔따구류(Chironomidae spp.) 100.0%로 나타났으며, 정성 조사에 따른 종은 징거미새우(*Macrobrachium nipponense*), 연못하루살이(*Cloeon dipterum*) 등으로 확인되었다.

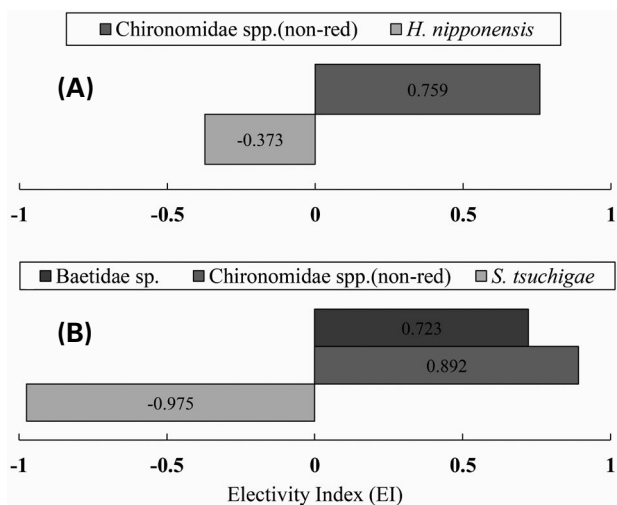


Fig. 3. Analysis of electivity index (EI) of species that commonly appeared in environmental surveys of *Lepomis macrochirus* stomach contents of fish and benthic macroinvertebrates at Andong Dam (A) and Yeongsan River (B).

### 3.3. 영산강에서의 먹이원 분석

영산강에서 채집된 블루길 84개체 중 44개체에서 먹이원이 확인되었고, 40개체는 공복의 상태로 공복률은 약 47.6%로 나타났으며, 먹이원의 개체수는 총 520개체로 블루길 1개체당 평균 11.8개체를 섭식하는 것으로 분석되었다. 블루길의 먹이원에 대한 개체수 상대풍부도(relative abundance) 분석 결과, 깔따구류가 418개체(80.4%)로 가장 높은 것으로 나타났고, 그 다음으로 꼬마하루살이류 39개체(7.5%), 개미류 20개체(3.8%), 너도나방파리류(*Ulomyia* sp.) 15개체(2.9%), 참물개 7개체(1.3%), 물땡땡이류(*Ecnocrus* sp.) 6개체(1.2%), 별날도래류(*Ecnomus* sp.) 5개체(1.0%), 늪깔따구류(*Tanypodinae* sp.) 4개체(0.8%), 입술하루살이(*Labiobaetis atrebatinus*), 딱정벌레류(Coleoptera sp.)가 각각 2개체(0.4%), 민물담치(*Limnoperna fortunei*), 등딱지하루살이류(*Caenis* sp.)가 각각 1개체(0.2%)의 순으로 나타났다.

환경 조사에서 채집된 어류, 저서성 대형무척추동물과 블루길의 위 내용물에서 먹이원으로 확인된 종 중 공통으로 출현된 종은 참물개, 꼬마하루살이류, 깔따구류로 확인되어 이들의 EI 지수를 분석하였다. 참물개의 EI 지수는 -0.975로 산출되어 블루길의 먹이원으로서 완전 기피하는 경향을 보인 반면, 꼬마하루살이류와 깔따구류의 EI 지수는 각각 0.723, 0.892로 산출되어 선호하는 경향을 보이는 것으로 확인되었다(Fig. 3B).

영산강에서 블루길과 함께 채집된 공서어종 중 우점종은 참물개 51.42%, 아우점종은 참붕어(*Pseudorasbora parva*) 5.87%였으며, 그 다음으로 치리 4.75% 등의 순으로 나타났다. 지점에 따른 블루길의 상대풍부도는 SC-U 3.33%, SJ 19.22%, JS-D 34.26%로 영산강 하류로 갈수록 높은 것으로 나타났다. 이는 더 넓은 하폭과 이에 따른 유속의 변화, 실트(silt) 및 모래(sand)와 같은 하상 기질의 비율이 높아져 나타난 결과로 판단된다(Kang et al. 2019). 블루길의 주 먹이원인 저서성 대형무척추동물의 우점종은 실지렁이(*Limnodrilus gotoi*) 56.2%, 아우점종은 깔따구류(Chironomidae spp.) 40.6%로 나타났으며, 정성 조사에 따른 종은 민물담치(*Limnoperna fortunei*), 입술하루살이(*Labiobaetis atrebatinus*) 등으로 확인되었다.

### 3.4. 블루길의 전장 분포, 전장-체중 관계

전장-체중 관계의 매개변수 b 값은 안동댐에서 3.452, 영

**Table 2.** Fish species compositions in the Andong Dam (AD) and Yeongsan River (YS; SC-U, SJ, JS-D)

Scientific Name	Andong Dam (AD)	R.A. (%)	Yeongsan River (YS)			Total	R.A. (%)	Remarks
			SC-U	SJ	JS-D			
<b>Engraulidae</b>								
<i>Coilia nasus</i>					45	45	1.35	
<b>Cobitidae</b>								
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>					1	1	0.03	
<b>Cyprinidae</b>								
<i>Abbottina rivularis</i>				3		3	0.09	
<i>Acheilognathus macropterus</i>				63	1	64	1.93	
<i>Acheilognathus rhombeus</i>				7	3	10	0.3	
<i>Carassius auratus</i>	666	31.84	41	4		49	1.48	
<i>Carassius cuvieri</i>	13	0.62						Ex
<i>Culter brevicauda</i>	63	3.01		93	6	103	3.1	
<i>Cyprinus carpio</i>	2	0.1	2		1	3	0.09	
<i>Hemibarbus labeo</i>	20	0.96	5	16	21	46	1.38	
<i>Hemiculter eigenmanni</i>	337	16.11	82	50	3	160	4.82	
<i>Microphysogobio yaluensis</i>				2		2	0.06	
<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	2	0.1		11	6	17	0.51	
<i>Pseudogobio esocinus</i>			1	8	1	10	0.3	
<i>Pseudorasbora parva</i>	10	0.48	2	164	1	167	5.03	
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>	93	4.45	80	1,244	138	1,463	44.04	
<i>Zacco platypus</i>			91			91	2.74	
<b>Osmeridae</b>								
<i>Hypomesus nipponensis</i>	662	31.64				367	11.05	
<b>Centrarchidae</b>								
<i>Lepomis macrochirus</i>	47	2.25	11	414	123	565	17.01	Ex
<i>Micropterus salmoides</i>	19	0.91	10	60	7	78	2.35	Ex
<b>Centropomidae</b>								
<i>Siniperca scherzeri</i>	1	0.05						
<b>Channidae</b>								
<i>Channa argus</i>			4			4	0.12	
<b>Gobiidae</b>								
<i>Rhinogobius brunneus</i>	50	2.39		11		30	0.9	
<i>Tridentiger brevispinis</i>	37	1.77				37	1.11	
<b>Bagridae</b>								
<i>Leiocassis nitidus</i>				2	2	4	0.12	
<i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	70	3.35		2		2	0.06	
<b>Siluridae</b>								
<i>Silurus asotus</i>			1			1	0.03	
Total number of Species	16		12	17	15	25		
Total number of Individuals	2,092	100.00	330	2,154	359	3,322	100.00	

R.A.: Relative Abundance, Ex: Exotic Species

산강에서 3.449로 각각 산출되어(Fig. 4; Left panel) 성장할수록 몸무게의 비율이 상대적으로 증가하고, 몸집이 비대해지는 것으로 나타났다(Baek *et al.* 2020). 비만도 지

수(K)를 산출한 결과 기울기 값은 안동댐 0.0067, 영산강 0.0065로 양의 값을 보이는 것으로 분석되었다(Fig. 4; Right panel). 일반적으로 높은 비만도 지수는 양의 기울기

**Table 3.** List of food sources identified from stomach contents of benthic macroinvertebrates and *Lepomis macrochirus* collected from Andong Dam (AD) and Yeongsan River (YS; SC-U, S.J, JS-D)

Scientific Name	Andong Dam		Yeongsan River (YS)				Food Source (Stomach contents)							HOGs		
	AD	R.A. (%)	SC-U	SJ	JS-D	Total	R.A. (%)	AD	R.A. (%)	SC-U	SJ	JS-D	Total		R.A. (%)	Initialism
<i>Limnoperna fortunei</i>					○	○						1	1	0.19	Lf	BU
<i>Cipangopaludina chinensis</i>					○	○										BU
<i>Radix auricularia</i>				4	○	4	0.43	1	0.47						Ra	CL
<i>Physa acuta</i>			○	○	○	○										CL
<i>Polyphysa hemisphaerula</i>			○	○	○	○										CL
<i>Oxyloma hirasei</i>			○	○	○	○										CL
<i>Pomacea canaliculata</i>	○															CL
<i>Limnodrilus gotoi</i>			508	12	4	524	55.69									BU
<i>Erpobdella lineata</i>			12			12	1.28	37	17.45		4	3	7	1.35	HN	CL
<i>Hypomesus nipponensis</i>															ST	-
<i>Squalidus chankaensis tsuchigae</i>																-
<i>Cardina denticulata</i>					○	○										-
<i>Macrobrachium nipponense</i>	○				○	4	0.43	10	4.72	3	10	26	39	7.50	Ba	SW
Baetidae sp.						8	0.85									SW
<i>Baetis silvaticus</i>			8			8										SW
<i>Cloeon dipterum</i>	○		○	○	○	○										SW
<i>Labiobaetis atrebatinus</i>			○			○					2	1	2	0.38	La	SW
<i>Caenis</i> sp.						4	0.43	1	0.47		1		1	0.19	Ca	SP
<i>Ephemera orientalis</i>						○									Eo	BU
<i>Aciairion migratum</i>					○	○		2	0.94						Coe	CB
Coenagrionidae sp.						○										CB
<i>Ischnura asiatica</i>			○	○	○	○										CB
<i>Calopteryx atrata</i>					○	○										CB
Gomphidae sp.						○		1	0.47						Go	BU
<i>Orthetrum albistylum</i>	○					○										SP
<i>Micronecta sedula</i>	○					○										SW
Gerridae sp.						○										SK
<i>Enochrus (Halcophilydrus) simulans</i>						○										CL
<i>Enochrus</i> sp.						○				1	5		6	1.15	En	CL
<i>Sternolophus rufipes</i>						○										CL
Coleoptera sp.						○		2	0.94			2	2	0.38	Co	-
Hymenoptera sp.						○		4	1.89		17	3	20	3.85	Hy	-
<i>Ulomyia</i> sp.						○				14		1	15	2.88	Ul	BU
Chironomidae spp. (red type)	120	72.29	157	57	214	22.74					6		6	1.15	Chr	BU
Chironomidae spp. (non-red type)	46	27.71	101	42	171	18.17		154	72.64	24	58	330	412	79.23	Chw	BU
Tanypodinae sp.						○				4			4	0.77	Ta	BU
<i>Culex</i> sp.			○		○	○										SW
<i>Ecnomus</i> sp.						○					3	2	5	0.96	En	CL
Total number of Individuals	166	100.00	786	58	97	941	100.00	212	100.00	46	106	368	520	100.00	-	-
Total number of Species	7		14	14	11	23		9								

R.A.: Relative Abundance, HOGs: BU: Burrower; CB: Climber; SP: Sprawler; SW: Swimmer; CL: Clinger; SK: Skater; ○: Species observed during qualitative research Initialism: The scientific name is expressed as an arbitrary abbreviation



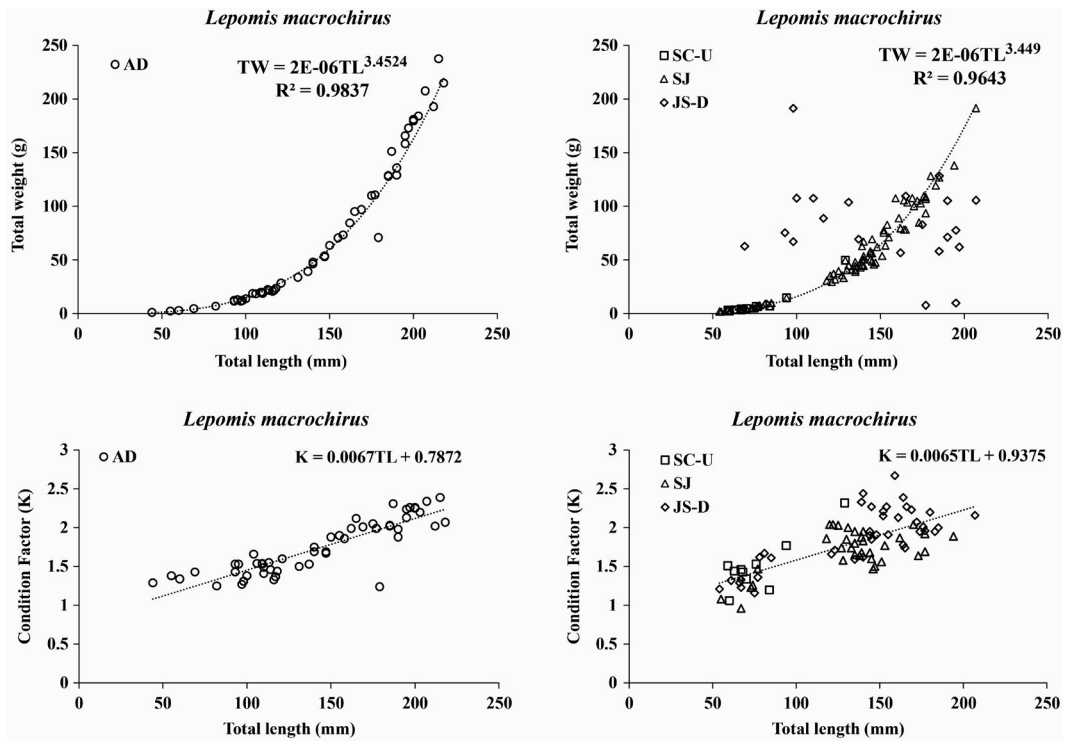


Fig. 4. Length-Weight Relationship (LWR; Left panel) and Length-K trend (Right panel) of *Lepomis macrochirus* by sites.

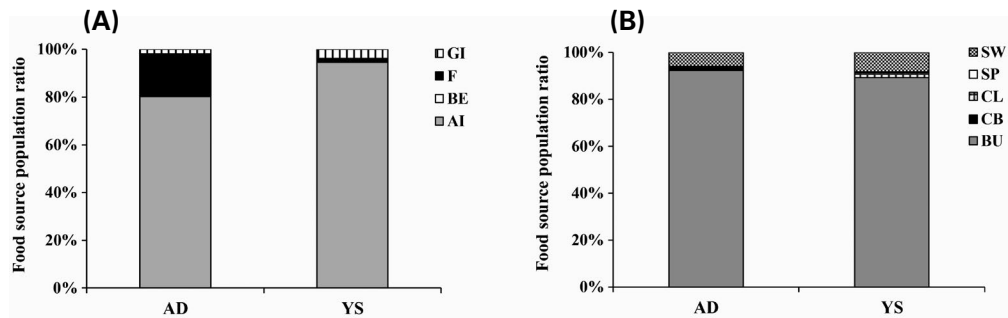
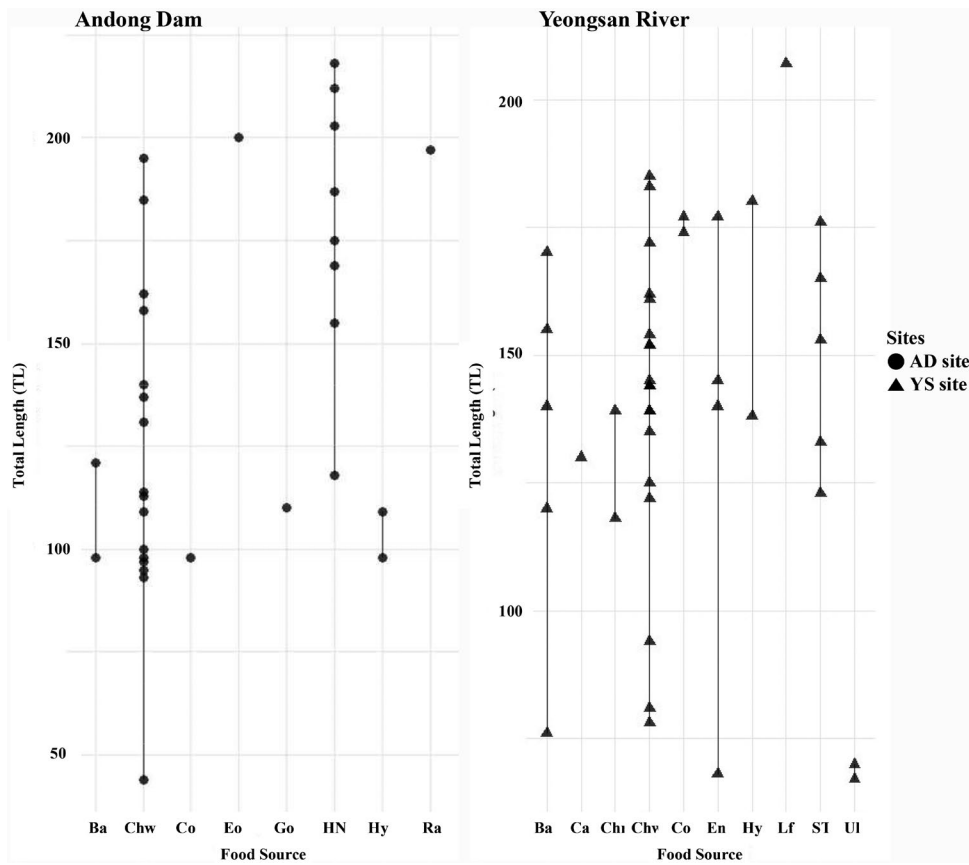


Fig. 5. Proportion of *Lepomis macrochirus* feeding on food types (Left panel; AI: Aquatic insects; BE: Benthic macroinvertebrates; F: Fishes; GI: Ground insects) and HOGs (Right panel; Habitat orientation groups; BU: Burrowers; CB: Climber; CL: Clinger; SP: Sprawlers; SW: Swimmers) by sites.

일수록 먹이자원에 의한 에너지의 축적을 의미하며 성장 및 영양상태가 양호함을 나타내는데 (Schreck and Moyle 1990; Froese 2006), 본 연구 결과에서 두 지점 모두 블루길의 영양상태는 양호한 것으로 분석되었다. 특히, 안동댐에서 매개변수  $b$  값과 비만도 지수의 기울기 값이 영산강에 비해 다소 더 높게 나타났는데, 이는 먹이생물의 풍부도 보다는 블루길의 서식 밀도 등과 관련이 있을 것으로 사료된다.

### 3.5. 안동댐과 영산강에서 먹이원 비교

안동댐과 영산강을 나누어 블루길의 먹이 유형별 섭식 패턴을 파악하고자 수서곤충 (AI), 저서성 대형무척추동물 (BE), 어류 (F), 육상곤충 (GI)으로 구분하여 분석하였다 (Fig. 5). 안동댐의 경우, 수서곤충 170개체 (80.2%), 어류 37개체 (17.5%), 육상곤충 4개체 (1.9%), 저서성 대형무척추동물 1개체 (0.5%) 순의 비율로 섭식하였으며, 영산강의 경우, 수서곤충 492개체 (94.6%), 육상곤충 20개체



**Fig. 6.** Total length (TL) of *Lepomis macrochirus* according to food source using the Linear Mixed Model (LMM) at AD (Left panel) and YS (Right panel) sites. HN: *Hypomesus nipponensis*; Lf: *Lemnoperna fortunei*; Ra: *Radix auricularia*; ST: *Squalidus chankaensis tsuchigae*; Ba: Baetidae sp.; Ca: *Caenis* sp.; Eo: *Ephemera orientalis*; Go: Gomphidae sp.; En: *Ecnomus* sp.; Co: Coleoptera sp.; Hy: Hymenoptera sp.; Ul: *Ulomyia* sp.; Chr: Chironomidae spp. (red type); Chw: Chironomidae spp. (non-red type); En: *Ecnomus* sp.

(3.8%), 어류 7개체(1.3%), 저서성 대형무척추동물 1개체(0.2%) 순의 비율로 섭식하였다. 안동댐과 영산강 모두 수서곤충의 섭식 비율이 가장 높게 나타났으며, 안동댐의 경우 어류의 섭식 비율이 다소 높게 나타났다. 또한, 영산강의 경우 수서곤충의 섭식에 크게 의존하는 경향으로 나타났다. 먹이원 중 수서곤충을 포함한 저서성 대형무척추동물의 서식기능군에 따른 섭식 패턴 분석 결과, 영산강에서 헤엄치는 무리(SW)와 붙는 무리(CL)의 섭식 비율이 조금 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 영산강 상류(SC-U) 지점은 일부 여울(riffle)과 흐름(run)이 분포하고 있어 서식 환경의 차이에 따른 결과로 판단되며 전반적으로 서식기능군에 따른 섭식 패턴의 큰 차이는 없는 것으로 확인되었다. 이는 블루길의 서식 환경에 대한 비율이 여울 8.7% (0.0~24.9%), 흐름 60.4% (20.1~100.0%), 소 30.9% (0.0~72.2%)로 비교적 흐름이 있거나 정체된 수역에서 서

식 비율이 높고 평균 유속은 17.2 cm s<sup>-1</sup>로 느린 곳에서 출현이 높은 것으로 알려져 있는데(Lee et al. 2020), 이와 같은 결과가 반영된 것으로 판단된다.

블루길의 먹이원에 대한 전장의 가변성을 분석한 결과, 댐에서는 갈따구류(Chw)가 가장 넓은 전장 범위(44~195 mm)에서 섭식한 것으로 나타나 주 먹이원일 것으로 판단된다(Fig. 6). 반면, 전장이 118 mm 이상 되는 범위에서 주 먹이원은 빙어(HN)로 나타나 전장이 커질수록 생체량이 큰 먹이원을 섭식할 확률이 높아질 것으로 예상된다. 영산강에서는 안동댐에 비해 좀 더 다양한 먹이원을 섭식하는 것으로 나타났으며, 꼬마하루살이류(Ba), 물팽팽이류(En), 개미류(Hy) 등은 대부분 전장이 180 mm 이하 범위의 블루길에 주 먹이원으로 이용되는 것으로 확인되었다. 특히, 갈따구류가 가장 넓은 범위의 전장(78~185 mm)의 먹이원으로 작용되고 있으며, 참물개(ST)를 섭식한 전장의 범

**Table 4.** Effect of food sources on total length of *Lepomis macrochirus* from Andong Dam and Yeongsan River using Linear Mixed Models

Fixed effects (Food sources) <sup>a</sup>	Estimate	Standard error	t value	p-value	Significance <sup>b</sup>
Intercept (Chw)	4.58	12.69	0.36	0.720	NS
Ba	116.62	12.69	9.19	<0.001	***
Ca	-7.17	32.88	-0.22	0.828	NS
Chr	-8.67	25.09	-0.35	0.731	NS
Co	15.85	21.17	0.75	0.457	NS
En	5.66	19.13	0.30	0.768	NS
Eo	85.39	32.74	2.61	<0.05	*
Go	-4.61	32.74	-0.14	0.889	NS
HN	65.01	16.77	3.88	<0.001	***
Hy	3.80	19.04	0.20	0.843	NS
Lf	63.58	32.67	1.95	0.057	NS
Ra	82.39	32.74	2.52	<0.05	*
ST	9.08	17.97	0.51	0.615	NS
UI	-21.09	27.71	-0.76	0.450	NS

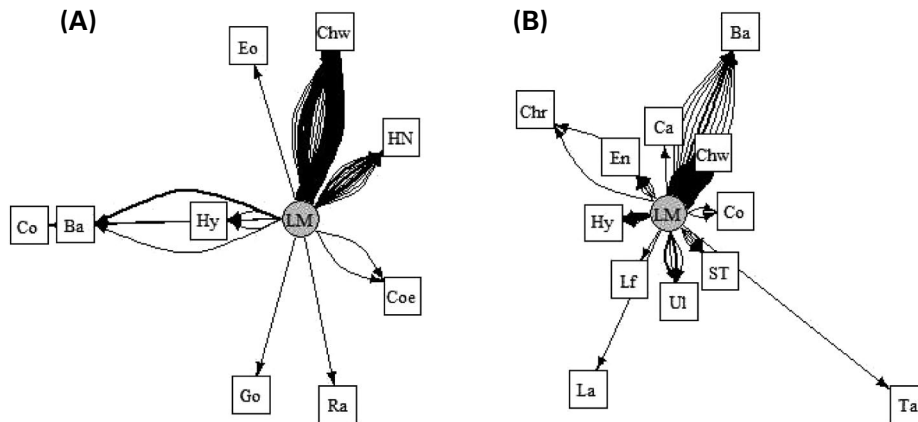
Random effects (Sites)	Standard Error
Intercept	26.39
Residual	30.06

<sup>a</sup>HN: *Hypomesus nipponensis*; Lf: *Lemnoperna fortunei*; Ra: *Radix auricularia*; ST: *Squalidus chankaensis tsuchigae*; Ba: Baetidae sp.; Ca: *Caenis* sp.; Eo: *Ephemera orientalis*; Go: Gompidae sp.; En: *Enochrus* sp.; Co: Coleoptera sp.; Hy: Hymenoptera sp.; Ul: *Ulomyia* sp.; Chr: Chironomidae spp. (red type); Chw: Chironomidae spp. (non-red type); En: *Ecnomus* sp.

<sup>b</sup>NS: No significance, \*\*\*:  $p < 0.001$ , \*:  $p < 0.05$

위는 138~180 mm로 나타나 기회적으로 섭식이 이루어지는 것으로 판단된다. 가장 큰 전장이 207 mm인 블루길은 이매패류(*Bivalvia*)인 민물담치(Lf)를 섭식한 것으로 나타났다. 가장 작은 67~70 mm 전장을 가진 블루길은 너도나방파리류(UI)를 섭식한 것으로 확인되었다. 지점별 전장에 대한 먹이원 섭식 행동의 차이는 수환경 조건에 따른 먹이원의 종별 다양성과 풍부도에 따른 영향이 큰 것으로 판단되며, 다양한 서식지 환경이 조성되어 있는 영산강에서 전장별 먹이원 섭식이 활발하게 이루어지는 것으로 사료된다. 특히, 수위 변동과 같은 물리적 교란이 큰 안동댐보다 상대적으로 교란이 적고 수변 식생이 분포하고 있는 영산강의 경우 전장이 작은 블루길의 먹이원은 동물성 플랑크톤이나 작은 무척추동물물을 섭식하는 것으로 알려져 있는데(Mittelbach 1981; Harrel and Dibble 2001), 본 연구에서도 70 mm 이하의 전장에서는 갈따구류(Chw), 물뽕이류(En), 너도나방파리류(UI)와 같은 소형 무척추동물이 주 먹이원인 것으로 확인되었다. Yang and Chae (1997)에 의하면 안동댐에서 전장이 70 mm 이하의 개체에서는 대부분 갈따구류를 섭식하였고, 70~80 mm 범위에서는 갈따구류와 새우류인 십각류(Decapoda), 100 mm 이상의 개체

에서는 어류의 치어를 많이 섭식하였으며, 소양강댐(Byun and Jeon 1997), 팔당댐(Byun et al. 1997)에서 블루길이 섭식한 먹이원과 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 대부분 전장이 커질수록 생체량이 큰 먹이원 위주의 섭식 비율이 높아지는 공통적인 결과를 확인할 수 있었으며, 본 연구와도 비슷한 경향을 보이는 것으로 확인되었다. 선형 혼합 모델의 고정 효과로 설정된 먹이원 중 꼬마하루살이류(Ba)의 추정치는 116.62 ( $p < 0.001$ ), 동양하루살이(Eo)는 85.39 ( $p < 0.05$ ), 물달팽이(Ra)는 82.39 ( $p < 0.05$ )로 블루길의 전장에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났으며(Table 4), 나머지 먹이원은 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다( $p > 0.05$ ). 또한, 지점에 대한 랜덤 효과는 26.39의 표준 편차를 보였는데, 이는 지점 간의 서식지 환경의 이질성이 블루길의 전장에 기여한 것으로 판단된다. 기존의 섭식길드(Trophic guild)에서 블루길은 충식성(Insectivore) 어류로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서 먹이 유형 분석 결과, 다양한 유형의 먹이를 섭식한 것으로 나타났다. 따라서 블루길의 먹이 습성은 잡식성이지만 육식성의 경향이 강한 어종인 것으로 사료된다.



**Fig. 7.** Network analysis of *Lepomis macrochirus* (LM) food sources in Andong Dam (Left panel) and Yeongsan River (Right panel). LM: *Lepomis chirus*; HN: *Hypomesus nipponensis*; Lf: *Lemnoperna fortunei*; Ra: *Radix auricularia*; ST: *Squalidus chankaensis tsuchigae*; Ba: Baetidae sp.; La: *Labiobaetis atrebatinus*; Ca: *Caenis* sp.; Eo: *Ephemera orientalis*; Coe: Coenagrionoidae sp.; Go: Gomphidae sp.; En: *Ecnomus* sp.; Co: Coleoptera sp.; Hy: Hymenoptera sp.; Ul: *Ulomyia* sp.; Chr: Chironomidae spp. (red type); Chw: Chironomidae spp. (non-red type); Tanyptodinae sp.; En: *Ecnomus* sp.

안동댐과 영산강 지점에서 블루길의 전반적인 먹이원에 대한 상호작용과 먹이그물을 파악하기 위해 네트워크 분석을 실시하여 시각화한 결과, 안동댐에서 블루길의 먹이원 중 깔따구류(Chw), 빙어(HN), 꼬마하루살이류(Ba), 개미류(Hy)와 연결선 수가 많고 두께가 두꺼운 것으로 확인되어(Fig. 7A), 개체군 유지에 있어 주요 먹이원인 것으로 판단된다. 영산강에서는 깔따구류(Chw), 꼬마하루살이류(Ba), 개미류(Hy)를 비롯한 별날도래류(En), 너도나방파리류(Ul), 참물개(ST) 등 연결선의 수는 적지만 더 다양한 먹이와 넓은 범위의 먹이 유형을 섭식하고 있는 것으로 확인되었다(Fig. 7B). 영산강과 비교했을 때, 안동댐에서 블루길의 단순화된 먹이그물은 먹이원의 다양성이 낮음을 의미하고 생태적 안전성의 감소를 나타내는 것으로 판단된다. 또한, 특정 먹이원에 대한 의존도가 높아 수환경 변화에 따른 먹이원 감소가 블루길 개체군에 있어 더 취약하게 작용할 수 있을 것으로 사료된다. 반면, 영산강의 경우 먹이 가용성의 대체성이 높음을 의미하며 환경 교란에 대한 회복력이 상대적으로 클 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 안동댐과 영산강에서 저서성 대형무척추동물 및 어류를 대상으로 현장조사와 블루길의 위 내용물에 대한 먹이원 분석을 실시하였다. 서식지 유형에 따른 전

장 범위는 안동댐에서 40~70 mm 범위는 7.0%, 80~220 mm 범위는 93.0%를 차지하였고, 영산강에서 50~100 mm 범위는 28.6%, 120~210 mm 범위는 71.4%를 차지하였다. 블루길의 먹이원 중 안동댐과 영산강에서 깔따구류(Chironomidae spp.)의 섭식률이 각각 72.6%, 80.4%로 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 안동댐에서는 빙어(*H. nipponensis*) 17.5%, 꼬마하루살이류(Batidae sp.) 6.5% 등의 순으로 나타난 반면, 영산강에서는 꼬마하루살이류 7.5%, 개미류(Hymenoptera sp.) 3.8% 등의 순으로 나타나 차이를 보이는 것으로 확인되었다. 안동댐과 영산강에서 블루길의 EI 지수 분석 결과, 빙어, 참물개와는 각각 -0.373, -0.975의 값으로 산출되어 먹이원으로서 기피하는 경향을 보였으며, 깔따구류(0.759, 0.892), 꼬마하루살이류(0.723)에는 먹이원으로서 선호하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 블루길의 전장-체중 관계의 매개변수 b 값은 안동댐에서 3.452, 영산강에서 3.449로 각각 산출되었으며, 비만도 지수의 기울기 값은 안동댐 0.0067, 영산강 0.0065로 모두 양의 값을 나타내어 블루길의 영양상태는 양호한 것으로 분석되었다. 안동댐과 영산강에서 블루길의 먹이원 유형별 섭식 패턴 결과, 수서곤충의 섭식 비율이 가장 높게 나타났으며, 특히 영산강은 수서곤충의 섭식에 크게 의존하는 경향으로 나타났다. 서식지유형에 따른 섭식 패턴은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 안동댐보다 영산강에서 더 다양한 먹이원을 섭식하는 것으로 나타났으며, 안동댐의 경우, 전장이 커질수록 생체량이 큰 먹이원을 섭

식할 확률이 높아질 것으로 예상되며, 영산강의 경우 상대적으로 먹이원의 다양성과 풍부도가 높아 수환경 조건에 따라 기회적으로 섭식이 이루어지는 것으로 사료된다.

## CRediT authorship contribution statement

**JH Kim:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Data curation, Writing-Original draft, Writing-Review & editing. **JY Kim:** Conceptualization, Investigation, Writing-Review & editing. **SH Oh:** Investigation. **GK An:** Conceptualization, Validation. **JE Lee:** Conceptualization, Writing-Review & editing, Supervision.

## Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

## REFERENCES

- Anderson RO and RM Neumann. 1996. Length, weight and associated structural indices. pp. 447–482. In: Fisheries Techniques (Murphy BR and DW Willis, eds.). 2<sup>nd</sup> ed. Am. Fish. Soc. Bethesda, MD, USA.
- Anderson RO and SJ Gutreuter. 1983. Length, weight and associated structural indices. pp. 283–300. In: Fisheries Techniques (Nielsen LA and D Johnson, eds.). 1<sup>st</sup> ed. Am. Fish. Soc. Bethesda, MD, USA.
- Azuma M. 1992. Ecological release in feeding behaviour: The case of bluegills in Japan. *Hydrobiologia* 243:269–276. <https://doi.org/10.1007/bf00007042>
- Baek SH, SH Park and JH Kim. 2020. Estimation of standard length-weight relationships of 10 freshwater fish in the South Korea for application of relative weight index. *Korean J. Ichthyol.* 32:55–62. <https://doi.org/10.35399/ISK.32.2.3>
- Bates D, M Mächler, B Bolker and S Walker. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J. Stat. Softw.* 67:1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Brodeur RD and WG Pearcy. 1992. Effects of environmental variability on trophic interactions and food web structure in a pelagic upwelling ecosystem. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 84:101–119.
- Byun HK and SR Jeon. 1997. Feeding habit of Bluegill, *Lepomis macrochirus* introduced in Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 15:165–174.
- Byun HK, HB Song, SR Jeon and YM Son. 1997. Feeding habit of Bluegill, *Lepomis macrochirus*, introduced at Lake Paldang. *Korean J. Limnol.* 30:75–84.
- Carlson AK and MV Hoyer. 2023. Bluegill population demographics as related to abiotic and biotic factors in Florida Lakes. *Fishes* 8:100. <https://doi.org/10.3390/fishes8020100>
- Chae BS, HB Song and JY Park. 2019. A Field Guide to the Freshwater Fishes of Korea. LG Evergreen Foundation. Seoul, Korea.
- Csárdi G and T Nepusz. 2006. The igraph software package for complex network research. *InterJ. Complex Syst.* 1695:1–9.
- Ehlinger TJ. 1990. Habitat choice and phenotype-limited feeding efficiency in bluegill: Individual differences and trophic polymorphism. *Ecology* 71:886–896. <https://doi.org/10.2307/1937360>
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendation. *J. Appl. Ichthyol.* 22:241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Han JH, CS Park, JW An, KG An and WG Baek. 2015. A Guide Book of Freshwater Fishes, 1<sup>st</sup> ed. Natl. Sci. Museum. Daejeon, Korea.
- Han SC, HY Lee, EW Seo, JH Shim and JE Lee. 2007. Fish fauna and weight-length relationships for 9 fish species in Andong Reservoir. *J. Life Sci.* 17:937–943. <https://doi.org/10.5352/JLS.2007.17.7.937>
- Harrel SL and ED Dibble. 2001. Foraging efficiency of juvenile bluegill, *Lepomis macrochirus*, among different vegetated habitats. *Environ. Biol. Fishes* 62:441–453. <https://doi.org/10.1023/A:1012259922727>
- Hynes HBN. 1970. The Ecology of Running Waters. Liverpool University Press. Liverpool, UK. p. 555.
- Ivlev VS. 1961. Experimental Ecology of the Feeding of Fishes. Yale University Press. New Haven, CT, USA.
- Jacobs J. 1974. Quantitative measurement of food selection. A modification of the forage ratio and Ivlev's electivity index. *Oecologia* 14:413–417. <https://doi.org/10.1007/BF00384581>
- Jung KS. 2011. Odonata Larvae of Korea. Nature and Ecology. Seoul, Korea. p. 399.
- Kang YJ, SJ Lee and KG An. 2019. Physical habitat and chemical water quality characteristics on the distribution patterns of ecologically disturbing fish (Largemouth bass and Bluegill) in Dongjin-River Watershed. *Korean J. Environ. Biol.* 37:177–188. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.2.177>
- Kim IS. 1997. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea. Vol. 37. Freshwater Fishes. Ministry of Education. Seoul, Korea. p. 629.
- Kim IS, Y Choi, CL Lee, YJ Lee, BJ Kim and JH Kim. 2005. Illust-

- rated Book of Korean Fishes, 1<sup>st</sup> ed. Kyohak Publishing. Seoul, Korea.
- Kim JH, JY Kwon, JY Song, YK Oh, KS Kim and JW Hur. 2019. Ichthyofauna and community structure of fish in Chuncheon and Andong Reservoirs. *J. Mar. Life Sci.* 4:70–80. <https://doi.org/10.23005/KSMLS.2019.4.2.70>
- Kim MC, SP Chun and JK Lee. 2013. Invertebrates in Korean Freshwater Ecosystems. Geobook. Seoul, Korea. p. 483.
- Kwon SJ, YC Jun and JH Park. 2013. Benthic Macroinvertebrates. Nature and Ecology. Seoul, Korea. p. 791.
- Le Cren CD. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in Perch, *Perca fluviatilis*. *J. Anim. Ecol.* 20:201–219. <https://doi.org/10.2307/1540>
- Lee DS, DY Lee, CW Ji, IS Kwak, SJ Hwang, HJ Lee and YS Park. 2020. Impacts of introduced fishes (*Carassius cuvieri*, *Micropterus salmoides*, *Lepomis macrochirus*) on stream fish communities in South Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 53:241–254. <https://doi.org/10.11614/KSL.2020.53.3.241>
- ME. 1998. Enforcement Decree of the Natural Environment Conservation Act No. 15639. Ministry of Environment. Sejong, Korea.
- ME and NIE. 2017. Information for the Field Management of Invasive Alien Species in Korea. Ministry of Environment and National Institute of Ecology. Seochon, Korea. p. 221.
- ME and NIE. 2022. Invasive Alien Species in Korea. Ministry of Environment and National Institute of Ecology. Seochon, Korea. p. 183.
- Merritt RW, JR Wallace, MJ Higgins, MK Alexander, MB Berg, WT Morgan, KW Cummins and B Vandeneeden. 1996. Procedures for the functional analysis of invertebrate communities of the Kissimmee River-floodplain ecosystem. *Fla. Sci.* 59:216–274.
- Mittelbach GG. 1981. Foraging efficiency and body size: A study of optimal diet and habitat use by bluegills. *Ecology* 62:1370–1386. <https://doi.org/10.2307/1937300>
- R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing (Version 4.3.2).
- Rosenberg DM and VH Resh. 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman and Hall. New York, USA. p. 488.
- Sarker AL. 1977. Feeding ecology of the bluegill, *Lepomis macrochirus*, in two heated reservoirs of Texas. III. Time of day and patterns of feeding. *Trans. Am. Fish. Soc.* 106:596–601. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1977\)106<596:FEOT-BL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1977)106<596:FEOT-BL>2.0.CO;2)
- Schneider JC. 1999. Dynamics of quality bluegill populations in two Michigan lake with dens vegetation. *North Am. J. Fish Manage.* 19:97–109. [https://doi.org/10.1577/1548-8675\(1999\)019<0097:DOQBPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8675(1999)019<0097:DOQBPI>2.0.CO;2)
- Schreck CB and PB Moyle. 1990. Methods for Fish Biology. Am. Fish. Soc. Bethesda, MD, USA. p. 684.
- Son YM and HB Song. 2006. Freshwater Fish of the Geumgang River. Jisung Company. Seoul, Korea. p. 128.
- Song HB, MS Byeon, DW Kang, CY Jang, JS Moon and HK Park. 2012. Population structure of bluegill, *Lepomis macrochirus* in Lakes of the Han River System. *Korean J. Ichthyol.* 24:278–286.
- Taylor BE, MA John, LM Diane and AE Ruth. 1991. Population dynamics and food habits of bluegill (*Lepomis macrochirus*) in a thermally stressed reservoir. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48: 768–775. <https://doi.org/10.1139/f91-092>
- Wipfli MS and CV Baxter. 2010. Linking ecosystems, food webs, and fish production: subsidies in salmonid watersheds. *Fisheries* 35:12–26. <https://doi.org/10.1577/1548-8446-35.8.373>
- Won DH, SJ Kwon and YC Jun. 2005. Aquatic Insect of Korea. Korea Ecosystem Service. Seoul, Korea. p. 415.
- Wootton RJ. 2012. Ecology of Teleost Fishes. Vol. 1. Chapman & Hall, New York, USA. p. 404.
- Yang HJ and BS Chae. 1997. Ecological study on the bluegill, *Lepomis macrochirus* Rafinesque, in Andong-Dam Reservoir. *Korean J. Limnol.* 30:135–143.
- Yoon IB. 1988. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea. Vol. 30. Aquatic Insects. State-Compiled Textbook Company Limited. Seoul, Korea. p. 840.
- Yoon IB. 1995. Aquatic Insects of Korea. Junghaengsa. Seoul, Korea. p. 262.