

## 어도를 통과하는 어류의 형태 체형비 평가

문운기, 배대열, 김도현, 신현범<sup>1</sup>, 서정빈<sup>1</sup>, 임경훈<sup>1</sup>, 이의행<sup>1</sup>, 유재상<sup>2</sup>, 안광국<sup>3</sup>, 김재구\*

(주)청록환경생태연구소, <sup>1</sup>한국농어촌공사, <sup>2</sup>한맥기술, <sup>3</sup>충남대학교 생명시스템과학대학 생명과학과

## Assessment of fish fineness ratios passing through a fishway

Woon-ki Moon, Dae-Yeul Bae, Do-Hyun Kim, Hyun-Beom Shin<sup>1</sup>, Jung Bin Suh<sup>1</sup>,  
Kyeong Hun Lim<sup>1</sup>, Eui-Haeng Lee<sup>1</sup>, Jae-Sang Yoo<sup>2</sup>, Kwang-Guk An<sup>3</sup> and Jai-Ku Kim\*

Environmental Research Institute of Chungrok, Anyang 14059, Republic of Korea

<sup>1</sup>Korea Rural Community Corporation, Naju 58327, Republic of Korea

<sup>2</sup>Hanmac Engineering Co., Ltd., Seoul 05774, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Biological Science, College of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

### \*Corresponding author

Jai-Ku Kim

Tel. 031-478-3353

E-mail. jaikim@hanmail.net

Received: 8 November 2019

Revised: 13 December 2019

Revision accepted: 16 December 2019

**Abstract:** To understand the relationship between water velocity in a fishway and fish morphology, the fineness ratio of fish, expressed as the standard length to the body depth, was measured. The fineness ratios of fish groups belonging to Cyprinidae, Acheilognathinae, Centropomidae, and Centrachidae were relatively low. The FRs of other groups, excluding eel-shaped types of fish, were over 4.5, indicating streamlined structures. The fineness ratios of Korean fish were classified into three different types: type I was Bitterling-Carp group that favored a slow-flowing pool habitat (FRs ranged from 2.1 to 3.3), type II was the Chub group representing streamlined types (FRs ranged from 3.7 to 5.2), and type III was the Smelt-Barbel fish group that preferred riffle-run habitats with high velocity (FRs is over 5.2). Fish abundance analysis of fish using the fishway during the experimental periods showed a relatively high abundance of both type II and III compared to type I. The FRs of the fish passing through fishway (velocity 0.5–1.0 m s<sup>-1</sup>) ranged from 4.5 to 5.0, indicating that the fish using the fishway were mainly the streamlined type. As one of the standard fishways in Korea, the flow rate of the ice harbor type ranged from 0.2 to 2.6 m s<sup>-1</sup>. The FR values of the fish groups using the fishway ranged from 4.3 to 5.0. In contrast, the flow rate measured in an artificial channel type of fishway (same as a natural type of fishway) ranged from 0.1 to 1.9 m s<sup>-1</sup> and the FR values for the fish groups using a natural type of fishway ranged from 3.3 to 5.3. The low FR values in natural fish are considered to be due to differences in the flow rates between the two types of fishways.

**Keywords:** fishway, fineness ratio, streamline, swimming ability

## 서 론

어류는 체형 (Body shape)에 따라 크게 8개 타입으로 나누고 있으며 (Bond 1996), 국내 담수 어류의 경우 체고 (Body depth)와 체폭 (Body width)에 따라 6개 체형으로 구분한다. 유선형 (Streamline)과 같은 방추형 (Fusiform), 측편형 (Compressiform), 종편형 (Depressiform), 장어형 (Anguilliform), 리본형 (Taeniform), 그리고 복어류와 같은 구형 (Globiform) 등으로 나누어진다고 (Kim and Park 2002). 이러한 어류의 체형은 유영능력과 깊은 관련성이 있다 (Lauder 2005; Lauder and Tytell 2006). 특히 유선형에 가까울수록 어류체형에 대한 지체계수 (Drag coefficient)가 최소화되어 유영속도는 최대가 된다 (Scarnecchia 1988). 어류체형에 대한 정보는 체고 (Body depth)와 체장 (Body length)의 비 (Fineness ratio; FR)를 통해 표현된다 (Langerhans and Reznick 2010).

어류의 유영속도는 어도를 이용하는 어종들에 매우 유용한 지표가 된다. 유영속도는 포식, 섭식, 생식 및 회피 활동 등 상황에 따라 달라진다 (Howland 1974; Webb 1986; Vogel 1994; Domenici and Blake 1997; Walker 1997; Plaut 2001; Roff 2002; Domenici 2003; Blake 2004; Langerhans *et al.* 2004; Walker *et al.* 2005). 특히 유선형 어류의 유영속도는 체장 (Body length; BL)에 비례하며 순항속도 (Cruising speed), 유지속도 (Sustaining speed), 돌진속도 (Darting speed)로 구분된다. 이때 유영력 (Swimming ability)은 유영속도에 유속을 더한 값으로 정의된다. 따라서 체장에 따라 어류가 버틸 수 있는 한계유속은 다르게 나타난다 (Nakamura 1991).

하천에서 어류 군집의 특성은 서식지 내 유속환경을 이해하는 데 중요한 요인이 된다 (Gaston *et al.* 2012). 특히 하천에서 어종 간 서식지 선택 (Habitat selection)은 유속에 따른 흐름의 특성을 반영하는 것으로 알려져 있다 (Ross 1986). 서식환경에 따른 어류 체형비를 분석한 결과 흐름이 있는 여울 (Riffle) 지역에 서식하는 어종이 흐름이 약한 소 (Pool) 지역에 서식하는 어종에 비해 체형비가 높은 것으로 나타났다 (Gaston *et al.* 2012). Langerhans and Reznick (2010)에 따르면 열대 송사리목 조기어류과 (Poeciliidae)에 속하는 50여 종의 어류를 대상으로 조사한 결과 유속이 빠른 환경에서 서식하는 어류 군집은 유선형에 가깝고 이들의 체형비는 4.5에 근접하는 것으로 보고하고 있다.

어종선택과 흐름의 특성은 하천의 어도 설계와 직접적

인 관계가 있다. 국내 하천설계기준 및 어도설계지침 MLIT (2009)에 따르면 표준어도 설계 시 어도 내 유량은 갈수기 유량을 기준으로 하며, 어류의 유영능력을 고려하여 유속은  $0.5 \sim 1.0 \text{ m s}^{-1}$  범위로 규정하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 극심한 하상계수의 차이로 인해 어도 내 유량과 이에 따른 유속의 범위는 계절에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 이에 따라 어도를 이용하는 어종이 다르게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 국내 어종의 형태학적 특성을 분석하고 어종 간 체형비를 구분하였다. 또한, 어도를 이용하는 어종의 체형비와 유속 간의 상관성을 분석함으로써 유속에 따라 어도를 이용하는 어종의 범위를 제시하였다. 이는 향후 국내 하천에 적합한 어도 설계 시 어류의 형태학적 특성을 바탕으로 목표어종을 결정하는 데 유용한 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 조사시기

본 연구에서는 어도를 이용하는 어류의 체형비를 비교하기 위해 낙동강에 위치하는 구미보 (GMW)는 2012년 10월부터 2013년 6월까지 4회 조사, 금강에 위치하는 세종보 (SJW)는 2013년 5월부터 2015년 8월까지 21회 조사, 강릉 남대천에 위치하는 두산보 (DSW)는 2018년 4회 조사, 섬석천에 위치하는 병산보 (BSW)는 2015년 4월부터 2018년 4월까지 6회 조사, 삼척오십천에 위치하는 삼척오십천0010보 (SOW)는 2015년 4월부터 2018년 7월까지 10회 조사, 양양남대천에 위치하는 돌고지보 (DGW)는 2015년 10월부터 2018년 7월까지 6회 조사, 북천에 위치하는 대대보 (DDW)는 2015년 10월부터 2016년 11월까지 6회 조사, 남천에 위치하는 남천0010보 (NMW)는 2015년 10월부터 2018년 5월까지 4회 조사를 실시하였으며, 각 어도별 위치는 다음과 같다 (Fig. 1).

### 2. 어도 내 유속 측정

각각의 조사어도에서 어도 내 유속의 측정은 유속계 (Flowwatch, Switzerland)를 이용하여 어도 입구부, 중간 율류부, 어도 출구부로 구분하여 측정하여 평균값을 사용하였다.

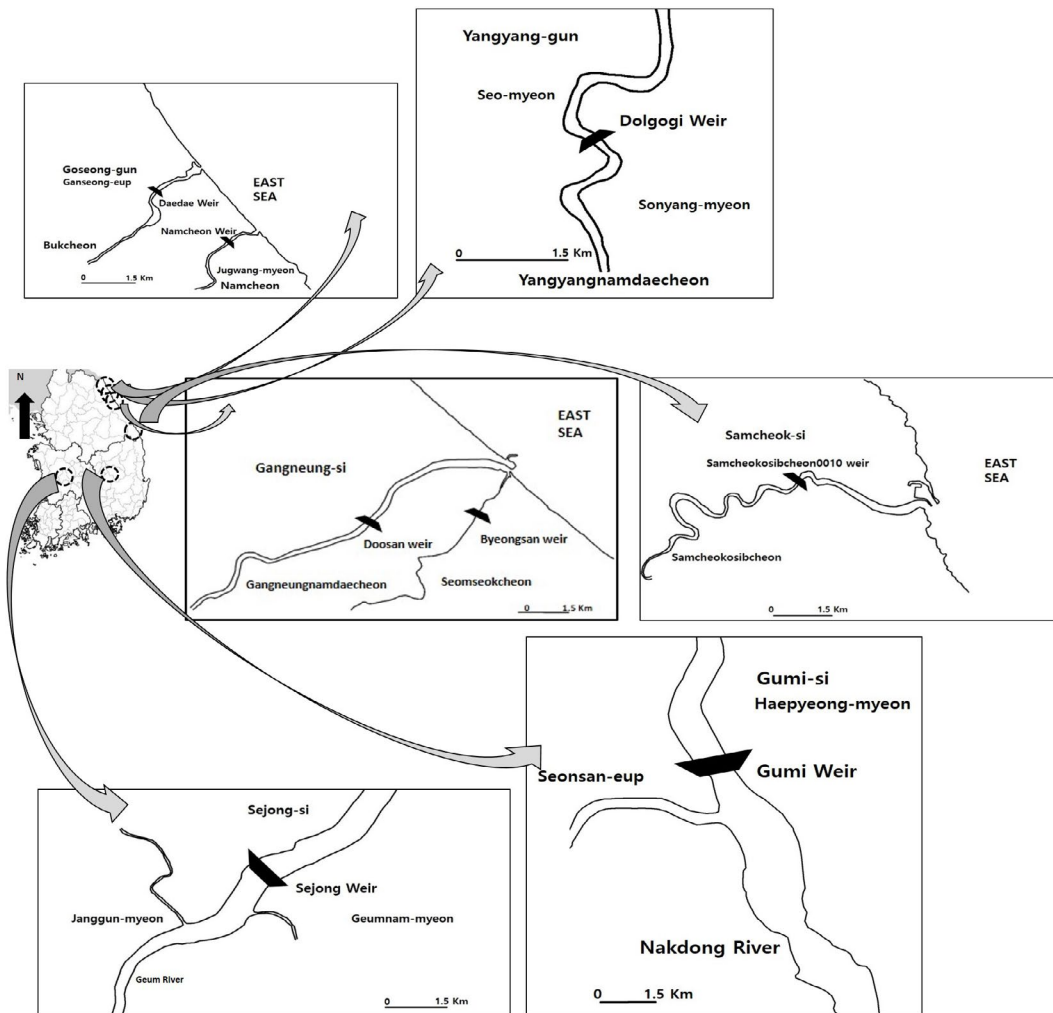


Fig. 1. Map showing the survey sites of the weirs in each river and stream for comparison of fineness ratios.

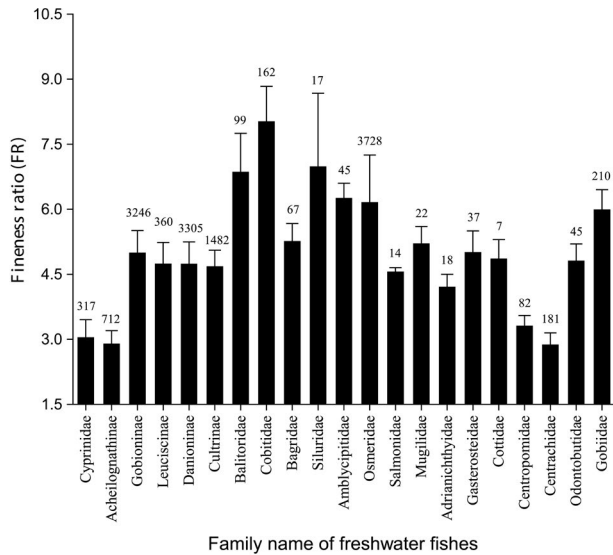
### 3. 어류조사 및 통계분석

어도 이용 어류를 조사하기 위해 어도 출구부에 트랩(가로×세로×높이: 1×1×1 m, 망목: 4×4 mm)을 설치하여 소상하는 어류를 포획하였다. 어류 포획을 위한 트랩은 어도 출구부에 24시간 설치하여 이동하는 어류를 채집하였으며, 어류 개체는 현장에서 동정을 실시하였고, 길이, 체고 및 무게 등의 생체정보를 측정 후 즉시 방류하였다. 어류의 동정은 Kim and Park (2002) 등의 기준에 따랐고, 채집된 어류는 Nelson (1994)의 분류체계를 적용하였다. 어류 체형비는 체장/체고의 비로서 측정하였다. 어도 형태에 따른 체형비 비교를 위해, One-way ANOVA 분석을 실시하였고  $\alpha$ 값 0.05에서 유의성을 검증하였다. Duncan test를 통해 사후검증을 실시하였다.

### 결과 및 고찰

#### 1. 어류 분류군별 체형비(Finness ratio) 비교

각각의 어도에서 채집된 전체 어류의 분류군별 체형비를 비교한 결과, 잉어과(Cyprinidae), 낚자루아과(Acheilognathinae), 꺾지과(Centropomidae), 검정우렁과(Centrachidae)의 어류 체형비가 상대적으로 낮은 것으로 산출되었고, 그 외 잉어과(Cyprinidae)의 어류 중 모래무지아과(Gobioninae), 황어아과(Leuciscinae), 피라미아과(Danioninae), 강준치아과(Cultrinae)와 연어과(Salmonidae), 송어과(Mugilidae) 등에 속하는 어류의 분류군별 체형비는 평균 4.5 이상으로 산출되어 대부분 유명력이 뛰어난 것으로 나타났다(Fig. 2).



**Fig. 2.** Comparison of fineness ratios by fish taxa (the numbers above the bar indicate the number of fish measured).

체형의 형태가 장어형 (Anguilliform)인 종개과 (Balitoridae), 미꾸리과 (Cobitidae), 메기과 (Siluridae), 통가리과 (Amblycipitidae), 망둑어과 (Gobiidae) 어류의 체형비는 6.0 이상으로 산출되어 체형비는 높게 산출되었지만 주로 하천의 바닥 부분에 주로 서식하는 저서유영성 어종들이므로 이들의 유영력은 유속보다는 하상특성에 더 영향을 받는 어종으로 분류할 수 있다.

한편, 체형비가 평균 4.5 이상으로 산출된 분류군 중 송사리과 (Adrianichthyidae)와 큰가시고기과 (Gasterosteidae) 어류의 경우 본 종들의 생태특성상 어도를 이용하여 소상한 것보다는 상류역으로부터 유속에 의해 어도내부로 유입된 개체들이 유속이 비교적 약한 어도의 출구부 근처에서 유영하다 트랩 안으로 유입된 것으로 사료된다.

## 2. 어도 이용 어류의 상대풍부도 비교

조사기간 동안 어도가 위치한 수계에서 주로 우점하여 서식하는 종들이 대부분 어도를 이용하여 이동하는 것으로 나타났다. 특히, 동해로 유입되는 하천들의 경우 회유성 어종이 산란을 위해 이동하는 봄철 및 가을철 산란 시기에 황어 (*Tribolodon hakonensis*), 은어 (*P. altivelis*) 등이 어도를 통한 이동이 매우 빈번하게 발생하였으며, 대부분의 개체가 이 시기에 트랩을 통해 채집된 것으로 나타났다.

일반적으로 하천에서 국지회유하는 것으로 알려진 참갈

**Table 1.** Comparison of relative abundance of collected fish in the fishways

Name of weir	Major fish species caught by the trap	Relative abundance (%)
GMW	<i>Erythroculter erythropterus</i>	58.9
	<i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i>	17.3
	<i>Hemibarbus labeo</i>	10.6
	Others (< 10%)	13.2
SJW	<i>Squalidus japonicus coreanus</i>	27.8
	<i>Acheilognathus rhombeus</i>	15.9
	<i>Hemibarbus labeo</i>	13.0
	<i>Erythroculter erythropterus</i>	10.1
DSW	<i>Tribolodon hakonensis</i>	65.0
	<i>Zacco platypus</i>	26.9
	Others (< 10%)	8.0
BSW	<i>Zacco platypus</i>	41.1
	<i>Carassius auratus</i>	23.3
	<i>Tribolodon hakonensis</i>	10.0
	<i>Pungtungia herzi</i>	10.0
SOW	<i>Plecoglossus altivelis</i>	60.8
	<i>Tribolodon hakonensis</i>	34.4
	Others (< 10%)	4.9
DGW	<i>Plecoglossus altivelis</i>	39.0
	<i>Zacco koreanus</i>	18.9
	<i>Tribolodon hakonensis</i>	15.4
	<i>Zacco platypus</i>	14.8
	<i>Pungtungia herzi</i>	10.2
DDW	<i>Plecoglossus altivelis</i>	73.2
	<i>Tribolodon hakonensis</i>	12.5
	Others (< 10%)	14.3
NMW	<i>Plecoglossus altivelis</i>	48.1
	<i>Zacco platypus</i>	31.9
	<i>Rhynchocypris steindachneri</i>	20.0

\*GMW: Gumi Weir, SJW: Sejong Weir, DSW: Doosan Weir, BSW: Byeongsan Weir, SOW: Samchokosibcheon0010 Weir, DGW: Dolgogi Weir, DDW: Daedae Weir, NMW: Namcheon0010 Weir

겨니 (*Z. koreanus*), 피라미 (*Z. platypus*) 등 1차 담수어가 산란기 및 일반적인 시기에 주로 어도를 이용하는 것으로 조사되었다. 본 조사결과를 각각의 어도에서 출현한 어종을 기준으로 비교하면, 내륙에 위치하는 어도의 경우 1차 담수어의 출현 비율이 높게 나타났으며, 동해로 유입되는 하천의 경우 은어 (*P. altivelis*), 황어 (*T. hakonensis*) 등 회유성 어종의 출현 비율이 높게 나타났다 (Table 1).

낙동강에 위치하는 구미보의 아이스하버형 어도를 통해 소상한 개체는 총 18종 3,264개체였으며, 이들 어류 중 강준치 (*Erythroculter erythropterus*), 꼬리 (*Opsariichthys unciro-*

*stris amurensis*), 누치(*H. labeo*) 3종의 상대풍부도가 전체 출현개체의 86.8%를 차지하는 것으로 나타났다.

금강에 위치하는 세종보의 인공하도식(자연형) 어도를 통해 소상한 개체는 총 34종 4,032개체였으며, 이들 어류 중 물개(*Squalidus japonicus coreanus*), 납지리(*Acheilognathus rhombeus*), 누치(*H. labeo*), 강준치(*E. erythropterus*) 4종의 상대풍부도가 전체 출현 개체의 66.8%를 차지하는 것으로 나타났다.

강릉남대천에 위치하는 두산보의 아이스하버형 어도를 통해 소상한 개체는 총 6종 411개체였으며, 이들 어류 중 황어(*T. hakonensis*)와 피라미(*Z. platypus*) 2종의 상대풍부도가 전체 출현 개체의 92.2%를 차지하였다.

강릉남대천 지류인 섬석천에 위치하는 병산보의 아이스하버형 어도를 통해 소상한 개체는 총 10종 90개체였으며, 이들 어류 중 피라미(*Z. platypus*), 붕어(*C. auratus*), 황어(*T. hakonensis*), 돌고기(*Pungtungia herzi*) 등 4종의 상대풍부도가 전체 출현 개체의 84.4%를 차지하였다.

삼척오십천에 위치하는 삼척오십천0010보의 아이스하버형 어도를 통해 소상한 개체는 총 14종 943개체였으며, 이들 어류 중 은어(*P. altivelis*)와 황어(*T. hakonensis*) 2종의 상대풍부도가 전체 출현 개체의 95.1%를 차지하였다.

양양남대천에 위치하는 돌고지보의 아이스하버형 어도를 통해 소상한 개체는 총 9종 344개체였으며, 이들 어류 중 은어(*P. altivelis*), 참갈겨니(*Z. koreanus*), 황어(*T. hakonensis*), 피라미(*Z. platypus*), 돌고기(*P. herzi*) 등 5종의 상대풍부도가 전체 출현 개체의 98.3%를 차지하였다.

북천에 위치하는 대대보의 아이스하버형 어도를 통해 소상한 개체는 총 5종 112개체였으며, 이들 어류 중 은어(*P. altivelis*), 황어(*T. hakonensis*), 대황어(*Tribolodon brandti*) 등 3종의 상대풍부도가 전체 출현 개체의 85.7%를 차지하였다.

남천에 위치하는 남천0010보의 아이스하버형 어도를 통해 소상한 개체는 총 3종 210개체였으며, 이들 어류 중 피라미(*Z. platypus*), 은어(*P. altivelis*), 버들개(*Rhynchocypris steindachneri*) 등 3종의 상대풍부도가 전체 출현 개체의 100.0%를 차지하였다.

### 3. 어류 체형비(Finness ratios) 범위에 따른 어종 범위

어도의 출구부에서 트랩에 의해 채집되어진 유영성 어류를 대상으로 체장-체고비에 따른 서식지 선호를 분석한 결과 크게 3가지 어종타입으로 구분되었다. 체장이 짧고

**Table 2.** Fish and habitat groups represented in the freshwater ecosystem based on the range of fineness ratios

Ranges of fineness ratio	Fish group	Major species	Habitat type
2.1-3.3	Bitterling-Carp group	<i>Carassius auratus</i> <i>Carassius cuvieri</i> Species of Acheilognathinae <i>Lepomis macrochirus</i> <i>Micropterus salmoides</i>	Pool
3.5-5.0	Chub group	Species of <i>Squalidus</i> Species of <i>Sarcocheilichthys</i> <i>Cyprinus carpio</i> <i>Hemibarbus mylodon</i> <i>Rhynchocypris oxycephalus</i> <i>Zacco platypus</i> <i>Zacco koreanus</i> <i>Oncorhynchus masou masou</i> <i>Hemiculter leucisculus</i> <i>Pungtungia herzi</i> <i>Opsariichthys uncirostris amurensis</i> <i>Brachymystax lenok tsinlingensis</i> <i>Erythroculter erythropterus</i>	Riffle
5.5-6.8	Smelt-Barbel group	<i>Plecoglossus altivelis</i> <i>Hemibarbus labeo</i> <i>Hemibarbus longirostris</i> <i>Mugil cephalus</i> <i>Squaliobarbus curriculus</i>	

체고가 높아 유영력이 낮은 납자루-붕어형 (Bitterling-Carp group)의 체형비는 2.1~3.3 범위로 산출되었으며, 대표적으로 붕어 (*Carassius auratus*), 떡붕어 (*Carassius cuvieri*), 납자루아과 (Acheilognathinae) 어류, 매퓌 (*Micropterus salmoides*), 블루길 (*Lepomis macrochirus*) 등이 포함되었다.

전형적인 유선형의 비율을 가지는 참갈겨니형 (Chub group)은 체형비가 3.5~5.0의 범위였으며, 피라미 (*Zacco platypus*), 참갈겨니 (*Zacco koreanus*), 꼬리 (*Opsariichthys uncirostris amurensis*), 강준치 (*Erythroculter erythropterus*), 열목어 (*Brachymystax lenok tsinlingensis*) 등 주로 표층 및 중층을 유영하며 서식하는 종들이 대부분 포함되는 것으로 나타났다. 체장이 체고의 5.0배 이상으로 슬림한 형태를 가지는 은어-누치형 (Smelt-Barbel group)은 누치 (*Hemibarbus labeo*),

참마자 (*Hemibarbus longirostris*), 은어 (*Plecoglossus altivelis*) 등 개체의 체장이 체고에 비해 비교적 큰 종들이 포함되었다.

Gaston *et al.* (2012)에 따라 어류 체형비에 따른 서식지 유형을 구분하면 납자루-붕어형은 흐름이 완만한 소 (Pool habitat) 형태의 서식지를 선호하는 어종들이며, 반면 참갈겨니형, 은어-누치형의 경우 유속이 비교적 빠른 여울형 서식지 (Riffle habitat)를 선호하는 어종들로 구분할 수 있다 (Table 2).

#### 4. 어도 내 유속과 어도를 이용하는 어류군집의 체형비 비교

조사기간 동안 전체 어도의 입·출구부와 중간부에서 측

**Table 3.** Average velocity of flow (inlet, middle, outlet) measured in the fishway and fineness ratios for fish communities using the fishways

Name of weir	Average velocity in the fishway (m s <sup>-1</sup> )	FR of community (±SD)	Number of fish individual measured (n)	Name of weir	Average velocity in the fishway (m s <sup>-1</sup> )	FR of community (±SD)	Number of fish individual measured (n)
GMW	1.2	4.9(±0.3)	7	BSW	0.6	6.0(±1.3)	3
	1.2	4.4(±0.7)	267		0.7	5.1(±0.8)	5
	0.8	4.3(±0.4)	592		1.4	3.7(±1.1)	10
	1.2	4.8(±0.7)	107		0.4	4.9(±0.8)	9
	1.2	4.7(±0.4)	202		0.5	4.4(±0.9)	58
	1.0	4.8(±0.5)	581		0.6	4.4(±0.3)	5
	0.9	5.0(±0.7)	1,362		SOW	1.1	4.7(±0.4)
0.2	5.0(±0.9)	141	1.8	5.3(±0.5)		14	
SJW	0.6	4.7(±1.3)	45	1.3		5.8(±0.7)	763
	0.9	4.7(±0.9)	140	1.3		5.2(±1.3)	5
	0.5	5.3(±0.3)	12	2.1		6.9(±0.7)	27
	0.7	4.8(±0.4)	255	1.5		5.0(±0.6)	14
	0.7	3.7(±1.4)	69	1.2		5.9(±1.2)	42
	0.5	5.2(±0.3)	295	1.1		5.5(±0.8)	41
	0.6	3.3(±1.3)	732	0.7		5.9(±1.8)	14
	0.3	4.8(±0.9)	72	1.0		5.3(±0.7)	16
	0.5	3.3(±1.3)	95	DGW	0.6	5.5(±0.6)	152
	0.6	4.5(±1.2)	202		3.1	4.9(±0.2)	28
0.4	4.9(±0.9)	595	1.2		6.9(±0.9)	43	
0.6	5.0(±0.4)	61	1.4		6.5(±1.8)	91	
1.4	4.0(±1.1)	149	1.5		5.2(±0.2)	23	
1.9	4.7(±1.1)	118	1.1		6.3(±1.2)	7	
1.1	4.6(±0.9)	34	DDW	2.3	6.0(±0.6)	38	
1.7	5.0(±0.9)	129		3.3	5.0(±0.2)	4	
1.8	4.5(±0.6)	13		3.1	4.3(±0.4)	12	
1.8	4.7(±0.9)	20		1.3	5.2(±0.6)	7	
1.8	4.9(±0.50)	61		1.3	4.6(±0.4)	47	
1.8	4.9(±0.4)	40		1.1	5.2(±0.4)	5	
1.5	5.0(±1.0)	118		NMW	0.5	5.4(±0.8)	8
DSW	0.8	4.7(±0.4)	268		0.5	4.6(±0.5)	18
	0.5	4.8(±0.2)	28		0.5	4.1(±0.1)	6
	0.9	4.9(±0.4)	90		0.8	5.7(±0.9)	45
	2.0	5.1(±0.2)	24				

\*GMW: Gumi Weir, SJW: Sejong Weir, DSW: Doosan Weir, BSW: Byeongsan Weir, SOW: Samchokosibcheon0010 Weir, DGW: Dolgogi Weir, DDW: Daedae Weir, NMW: Namcheon0010 Weir



정된 유속(Velocity)은 25~75<sup>th</sup>에서 0.6~1.4 m s<sup>-1</sup> 범위였으며, 평균 1.1 (±0.6) m s<sup>-1</sup>로 측정되었다. 또한, 어도를 이용하는 어류 군집의 체형비는 25~75<sup>th</sup>에서 4.7~5.2 범위였으며, 평균값은 약 4.9 (±0.7)이었다(Table 3). 이는 최적의 체형에 따른 유속범위로서 이 범위를 벗어난 체형비를 가진 어류도 어도 이동이 확인되었다. 특히 자연형 어도인 세종보 어도의 경우 다른 어도와 달리 군집의 체형비가 평균 4.4 (±1.2)로서 상대적으로 낮은 값을 보였으며, 이는 어도의 경사가 1:140로 설계되어 상대적으로 체형비 3.0 이하의 납자루아과 어류인 납지리, 가시납지리, 납자루 등의 일부 어류가 어도를 통과하는 것이 확인되었다.

이러한 결과는 빠른 유속(1.0 m s<sup>-1</sup> 이상)에서보다 느린 유속(1.0 m s<sup>-1</sup> 이하)에서 더 많은 어종이 어도를 이용할 수 있다고 보고한 Choi *et al.* (2013), Park and An (2014) 등의

연구와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

### 5. 어도 내 유속과 어도를 이용하는 어류군집의 체형비

유속의 범위에 따른 어류군집의 체형비를 분석한 결과 평균유속 0.80 m s<sup>-1</sup>에서 소상하는 어류 군집의 평균 체형비는 4.6이었다. 이를 25~75<sup>th</sup>로 보면 유속은 약 0.5~1.0 m s<sup>-1</sup> 범위이고, 이에 상응하는 FR 값은 약 4.5~5.0 범위를 가지는 것으로 나타났다(Fig. 3). 즉, 어도 내 유속이 0.5 m s<sup>-1</sup> 이상인 경우 소상하는 어류의 형태는 유선형(stream-line) 이상의 슬림형 몸체를 가져야 하는 것으로 나타났다. 따라서 어도 내 유속범위 0.5~1.0 m s<sup>-1</sup>에서 일부 체고가 높은 어종을 제외하고 대부분의 어류가 어도를 이용할 수 있는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 어도 내 유속범위가 0.5~1.0 m s<sup>-1</sup>에서 최고의 유영력을 보인다는 연구결과와 일치하는 것으로 판단된다(Noonan *et al.* 2012).

따라서, 하천의 종적 연결성 확보를 위한 구조물인 어도 설치 및 관리 시 대상 하천에 대한 목표어종을 설정하고, 해당 어류의 체형비를 고려한 어도 유속을 설정하면 보다 효과적인 어도 설계에 대한 결과를 도출할 것으로 판단된다.

### 6. 어도의 형태에 따른 이용어종의 체형비 비교

어도 형태에 따른 어류 군집의 체형비를 비교한 결과 어도 간 유의한 차이를 보였다( $F_{7,6095} = 311.45, p < 0.0001$ ). 사후검정 결과 각각의 어도는 체형비에 의해 6개 그룹으로 나누어졌으며 삼척오십천0010보, 돌고지보, 남천0010보-대대보, 두산보, 구미보, 세종보-병산보 등이 동일그룹으로 나타났고, 유속이 가장 낮았던 자연형어도인 세종보와 어도의 유량이 부족하였던 병산보에서 낮은 것으로 확인되었다. 이러한 차이는 어도 내 유속의 차이로 인한 결과로 판단되었다(Table 4).

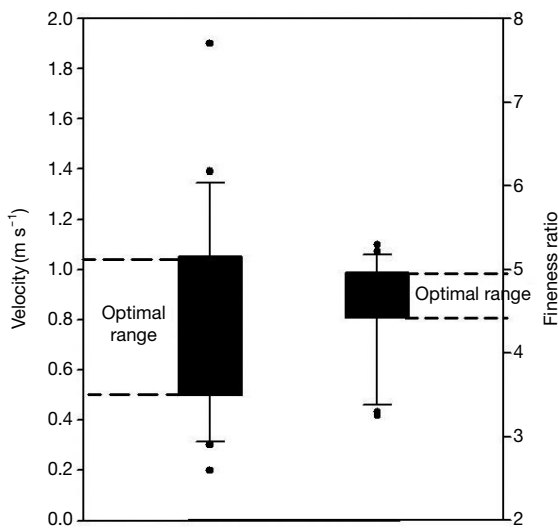


Fig. 3. Analysis of the optimum fineness ratio according to the range of flow velocity.

Table 4. Grouping of fishways based on fineness ratio (Duncan's Multiple Range Test)

Name of weir	SJW	BSW	GMW	DSW	NMW	DDW	DGW	SOW
FR (±SD)	4.4 (1.2)	4.5 (0.5)	4.6 (0.6)	4.8 (0.6)	5.3 (0.8)	5.2 (0.8)	5.6 (1.2)	5.3 (0.8)
n	1,666	89	2,032	608	125	177	308	1,098
Fishway type	Artificial channel				Iceharbor			

\*GMW: Gumi Weir, SJW: Sejong Weir, DSW: Doosan Weir, BSW: Byeongsan Weir, SOW: Samchokosibcheon0010 Weir, DGW: Dolgogi Weir, DDW: Daedae Weir, NMW: Namcheon0010 Weir

## 적 요

본 연구에서 국내 어류 분류군별 체형비(Fineness Ratios; FR)를 분석한 결과 일부 잉어과와 납자루아과, 꺾지과, 검정우럭과 등의 어류 체형비가 상대적으로 낮았고, 그 외 분류군별 어류의 체형비는 4.5 이상으로 대부분 유영력이 뛰어난 것으로 나타났다. 유영성 어류를 대상으로 체장-체고비에 따른 서식지 선호를 분석한 결과 크게 3가지 어종타입은 구분되었다. 유영력이 낮은 납자루-붕어형은 체형비는 2.1~3.3 범위이며, 유선형의 비율을 가지는 피라미-참갈겨니형은 체형비가 3.7~5.2 범위였다. 은어-누치형은 체장이 체고의 5배 이상으로 유영력이 뛰어난 형태를 가지고 있었다. 어류 체형비에 따른 서식지 유형을 구분하면 붕어-납자루형은 흐름이 완만한 소(Pool habitat) 형태의 서식지를 선호하는 어종 우세하였고, 반면 피라미-참갈겨니형, 은어-누치형의 경우 유속이 빠른 여울형서식지(Riffle habitat)를 선호하는 어종들로 구성되었다. 조사기간 동안 어도를 이용한 어류의 상대풍부도를 분석한 결과, 대부분의 어종들이 피라미-참갈겨니, 은어-누치형에 속하는 유영성이 높은 어류들로 확인되었다. 어도 내 유속이 0.5~1.0 m s<sup>-1</sup> 범위에서 이용 어종의 FRs는 4.5~5.0 범위로 나타나 대부분 유영성 어종들이 어도를 주로 이용하는 것으로 나타났다.

## 사 사

본 연구는 2014~2018년도 “어도 개보수사업 모니터링 및 효과분석”의 사업 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다. 또한, 세종보 자료는 금강수계관리위원회 “금강수계 2015년도 환경기초조사사업 어도 효율성 평가 및 개선방안”에서, 구미보 자료는 한국수자원공사 “다기능 보 어도이용 모니터링”에서 인용하였으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Blake RW. 2004. Fish functional design and swimming performance. *J. Fish Biol.* 65:1193–1222.
- Bond CE. 1996. *Biology of Fishes*, 2nd ed. Saunders College Publishing, OR, USA. p. 750.
- Choi JW, CS Park, BJ Lim, JH Park and KG An. 2013. Fish passage evaluations in the fishway constructed on Seungchon weir. *J. Environ. Sci. Int.* 22:215–223.
- Domenici P and RW Blake. 1997. The kinematics and performance of fish fast start swimming. *J. Exp. Biol.* 200:1165–1178.
- Domenici P. 2003. Habitat, body design and the swimming performance of fish. pp.137–160. In *Vertebrate Biomechanics and Evolution* (Bels VL, JP Gasc and A Casinos eds.). BIOS Scientific Publishers Ltd, Oxford.
- Gaston KA, JA Eft and TE Lauer. 2012. Morphology and its effect on habitat selection of stream fishes. *Proc. Indiana Acad. Sci.* 121:71–78.
- Geum Gang Watershed Management Committee. 2015. Evaluation and Improvement of Fishway Efficiency. Kongju National University Industry-University Cooperation Foundation, Korea. p. 170.
- Howland HC. 1974. Optimal strategies for predator avoidance: the relative importance of speed and manoeuvrability. *J. Theoret. Biol.* 47:333–350.
- Kim IS and JY Park. 2002. *Freshwater Fishes of Korea*. KyoHak Publishing Co., Seoul.
- K water. 2015. Monitoring of Fishway in Multi-function Weir. Kunsan National University Industry-Academic Cooperation Foundation, Korea. p. 662.
- Langerhans RB, CA Layman, AM Shokrollahi and TJ DeWitt. 2004. Predator driven phenotypic diversification in *Gambusia affinis*. *Evolution* 58:2305–2318.
- Langerhans RB and DN Reznick. 2010. Ecology and evolution of swimming performance in fishes: predicting evolution with biomechanics. pp. 200–248. In *Fish Locomotion: An Eco-Ethological Perspective* (Domenici P ed.). Science Publishers, Enfield.
- Lauder GV. 2005. Locomotion. pp. 3–46. In *The Physiology of Fishes* (3rd ed) (Evans DH and JB Claiborne eds.). CRC Press, Boca Raton, FL.
- Lauder GV and ED Tytell. 2006. Hydrodynamics of undulatory propulsion. pp. 425–468. In *Fish Biomechanics* (Shadwick RE and GV Lauder eds.). Academic Press, San Diego, CA.
- MLIT. 2009. River Design Criteria, Commentary. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, Korea. p. 628.
- Nakamura S. 1991. *Design of Fishways*. Sankaido Publishing Company, Japan. p. 376.
- Nelson JS. 1994. *Fisheries of the World* (3rd ed.). John Wiley & Sons, New York. p. 600.
- Park CS and KG An. 2014. Fish passage assessments in the fishway of Juksan weir constructed in the downstream area of Youngsan-river watershed. *J. Environ. Sci. Int.* 23:1513–1522.
- Plaut I. 2001. Critical swimming speed: its ecological relevance. *Comp. Biochem. Physiol. A* 131:41–50.



- Roff DA. 2002. Life History Evolution. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA. p. 527.
- Ross ST. 1986. Resource partitioning in fish assemblages: a review of field studies. *Copeia* 1986:352-388.
- Scamecchia DL. 1988. The importance of streamlining in influencing fish community structure in channelized and unchannelized reaches of a prairie stream. *Regul. Rivers-Res. Manage.* 2:155-166.
- Vogel S. 1994. *Life in Moving Fluids* (2nd ed.). Princeton University Press, Princeton, NJ. p. 467.
- Walker JA. 1997. Ecological morphology of lacustrine threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* L. (Gasterosteidae) body shape. *Biol. J. Linnean Soc.* 61:3-50.
- Walker JA, CK Ghalambor, OL Griset, D Mckenney and DN Reznick. 2005. Do faster starts increase the probability of evading predators? *Funct. Ecol.* 19:808-815.
- Webb PW. 1986. Locomotion and predator prey relationships. pp. 24-41. In *Predator Prey Relationships* (Lauder GV and ME Feder eds.). University of Chicago Press, Chicago, IL.