KOREAN JOURNAL OF ICHTHYOLOGY, Vol. 34, No. 2, 127-132, June 2022
ISSN: 1225-8598 (Print), 2288-3371 (Online). DOI: https://doi.org/10.35399/ISK.34.2.7

Received: May 25, 2022
Revised: June 20, 2022
Accepted: June 21, 2022

# 뱀장어 전용어도 개선을 위한 인공어도 실험 II. 자갈 입자 및 각도에 대하여

*김재구**

주식회사 알파생태연구원

**Experiment of Artificial Ladder for the Improve of Eel Ladder: II. About Pebble Size and Ladder Angles**

***by Jae Goo Kim**** (Alpha Research Ecology Institute, Gunsan 54151, Republic of Korea)

**ABSTRACT** Most of the downstream of the river is blocked by beams, so fishways are required for the movement of conciliatory fish species and connection with the upstream. Therefore, it is very important as an ecological pier that can help free movement of fish. The three previously installed eel ladders use only brushes on the bottom. For find out the effect of the bottom material except to brush, experimented used model glass eel ladders to the ascent of glass eel. The eel ladder model was 1.2 m length, 0.3 m wide, and 0.1 m high, and three gravels of different particles were attached to the bottom of the fish ladder setting on the Geumgang Estuary Bank. The first model ladder was made of gravel with particles of 5 mm, and the second model ladder was made of gravel with particles of 2 mm. The third model ladder was made by solidifying with particles of 1 mm or less cement. All experiments were repeated 5 times for 1 hour. As a result of the experiment, the lower the angle, and the smaller the gravel particles, the more glass eels are ascended to the ladder, but the made of cement was nearly not ascent. The gravel-bottom model ladder has a lower discharge and flow rate than the brush ladder so more glass eels can ascent ladder, and if the glass eel ladder is improved through experiments applying various floor materials and variables in the future, more glass eels are going to ascent glass eel ladder.

**Key words:** Glass eel, fish ladder, ladder angle, Geumgang Estuary Bank

## 서 론

우리나라의 큰 강이나 하천의 하구는 조수의 영향을 받아 해수와 담수가 교차되는 완충지 역할을 하고 있다. 다양한 염도로 인해 독특한 생태계가 영유되고 있는 생물의 서식처로 가치가 매우 높은 곳이다. 그러나 농업 및 공업용수 등을 확보하기 위해 인공구조물을 축조하여 하구가 단절되고 있다. 이처럼 해수가 유통되지 않는 하구는 닫힌 하구로 분류되며, 국내의 닫힌 하구는 금강을 비롯하여 영산강과 낙동강 등 모두 228개에 달한다(ME, 2012). 닫힌 하구는 하천을 막아 하굿둑 등을 축조하기 때문에 해수의 유통이 단절되고 이에 따라 하천과 바다를 왕래하는 회유성 어류의 이동 단절을 초래하고 하구수생태계 생물상이 단조로워지는 위기를 맞이하고 있다(Tear *et al*., 1993; White and Knights, 1997; Yang *et al*., 2001; MOE, 2012). 회유성 어류의 단절을 막기 위해 자연환경보전법 및 내수면 어업법에서는 물의 흐름을 차단하는 구조물을 설치할 경우 어도의 설치를 의무적으로 규정하고 있다(Kim *et al*., 2010). 어도는 상류와 하류의 어류 이동을 돕고, 생태적 교각(ecological bridge) 역할을 수행하고 있으며, 특히 회유성 어종인 뱀장어(*Anguilla japonica*)의 이동에도 큰 역할을 수행하고 있다(Kimura *et al*., 1994; Watz *et al*., 2018). 전 세계적으로 개체수 감소 등으로 위협받는 뱀장어의 국내 하천 회귀를 돕기 위한 노력으로 단절된 하구와 댐에 뱀장어 전용어도를 설치를 늘려가고 있는 실정이다(Dekker, 2003;

저자 직위: 김재구(대표이사/이학박사)
*Corresponding author: Jae Goo Kim Tel: 82-63-469-4596, Fax: 82-70-8280-5800, E-mail: jgkim0909@jbnu.ac.kr

MOF, 2019).

뱀장어는 하천에서 성장한 후 바다로 강하하여 마리아나 해구 인근의 깊은 바다에서 산란하며, 부화한 댓잎뱀장어(Leptocephalus)는 해류를 따라 이동하며 실뱀장어(glass eel)로 변태한 뒤 하천을 거슬러 올라가거나 하구에 머무르며 성장하는 생활사를 가진다(Kim and Park, 2002; Tesch and White, 2008; Chow *et al*., 2009; Aida *et al*., 2012). 실뱀장어의 유영 능력은 다른 어류에 비해 매우 떨어지는데, 하굿둑에 설치된 일반적인 어도는 유영력이 뛰어난 숭어나 연어 등 대형어류 위주로 설계되어 있어 실뱀장어의 소상이 매우 제한적이다(Kim *et al*., 2010; Jo *et al*., 2019). 또한 완전양식에 성공하지 못한 뱀장어는 실뱀장어를 채집하여 입식하는데, 하천 하구에 다다른 실뱀장어는 조업선 등에 의해 대량으로 포획되고 있어 하천으로 소상하는 개체수가 더욱 줄어들고 있는 실정이다(Tear *et al*., 1993; Dekker, 2003).

현재까지 뱀장어 전용어도의 연구는 국내외 모두 대부분 성어의 이동을 위한 연구로 몸이 얇고 등판력이 약한 실뱀장어의 전용어도에 적용하기에는 어려움이 있다(Wippelhauser and Gallagher, 2000; Solomon and Beach, 2004). 또한 기존의 Hwang *et al*.(2009)의 연구 등은 모형어도의 길이가 30 cm가량으로 짧아 현장 어도에 바로 적용하기에는 어렵다.

이에 따라 실뱀장어가 소상할 수 있는 전용어도의 필요성이 대두되어 2018년 금강하굿둑에 실뱀장어 전용어도 설치를 시작으로 2019년에 영암호, 2020년 아산만에 실뱀장어 전용어도가 설치되어 가동 중에 있다(MOF, 2019, 2020). 어도의 내부는 뱀장어가 지탱할 수 있는 솔이 일정 간격으로 배열되어 있어서 실뱀장어의 소상을 돕는데, 본 연구는 현재 운용 중인 솔 간격 이외에도 어도 바닥에 자갈을 깔아 그 효율성을 확인하고자 하였다. 따라서 모형어도의 자갈 입자 및 각도를 변경하여 소상 실험을 진행하였으며, 실뱀장어가 소상하는 데 최적의 자갈 입자 및 각도를 분석하여 현장에 적용 가능한 효율적인 실뱀장어 전용어도를 설계하는 데 기초자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

실뱀장어(n = 30, total length 59.7 ± 5.5 mm, body weight 0.14 ± 0.07 g)는 2021년 7월에 전라북도 군산시 성산면 성덕리(N; 36°01′33, E; 126°30′63) 일대의 해수에서 채집하였다. 채집한 실뱀장어는 자연계와 유사한 환경을 만들어 주기 위해 해수(> 33‰)에 보관하였으며, 바로 사용하였다. 모형어도는 합판을 이용하여 길이 1.2 m, 넓이 0.3 m, 높이 0.1 m로 제작하였다(Figs. 1, 2). 뱀장어의 어도 내 이동을 도와줄 자갈을 어도 바닥에 에폭시로 고정하여 제작하였고, 자갈의 입자를 각각 다르게 하여 총 3개를 제작하였다. 첫 번째 어도는 입자가 5 mm인 자갈, 두 번째 어도는 입자가 2 mm인 자갈을 사용했으며, 세 번째 어도는 입자 1 mm 이하의 모래시멘트를 굳혀서 제작하였다(Fig. 1).

모형어도는 하류에 금강 해측에서 확보한 해수를 이용하여 수조(sea water tank)를 채웠다. 어도로 흐르는 유도수(fresh water)는 금강 담수측 강물을 이용하였으며, 등반에 성공한 뱀장어는 담수조(fresh water tank)에 담길수 있도록 장치하였다(Fig. 2). 유도수의 물은 10 w 수중모터로 같은 양의 물을 같은 시간 동안 흐르게 제작하였다. 또한 어도별 각도를 달리하기 위해 어도의 각도를 조절할 수 있는 장치를 설치하여 15°, 30°, 45°, 60°의 각도별 실험을 진행하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 입자 및 각도에 따른 실뱀장어 소상 실험

Figs. 1, 2와 같이 제작된 모형어도는 최대한 자연상태 컨디션을 유지하기 위해 금강하굿둑에 설치하여 실험을 진행하였다. 어도의 각도는 15°, 30°, 45°, 60°로 변경하면서 각 어도별로 소상하는 뱀장어를 계수하였으며, 각도별 5회 반복실험하였다. 실험은 1회에 1시간씩 진행하여 시간당 소상 실뱀장어 수로 계산하였으며, 1회 실험 시 어도별 실뱀장어 30개체씩 사용하였다. 소상 실험에 이용된 실뱀장어는 충분한 휴식 및 먹이 공급을 거친 뒤 실험에 반복 사용하였다.

#### 2) 통계분석

모형어도 소상실험의 통계분석을 위해 SPSS program (ver. 12.0)을 이용하여 유의성 검증하였다. 본 실험의 동질성 검사는 Levene's test를 사용 후 one-way ANOVA를 이용하여 유의성을

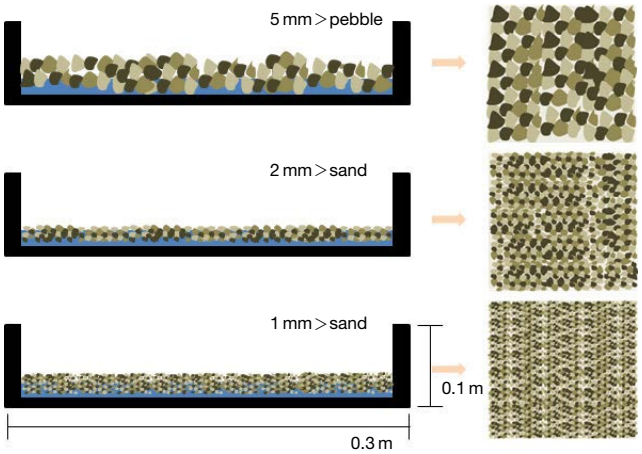


**Fig. 1.** The three ladders model for the glass eels.

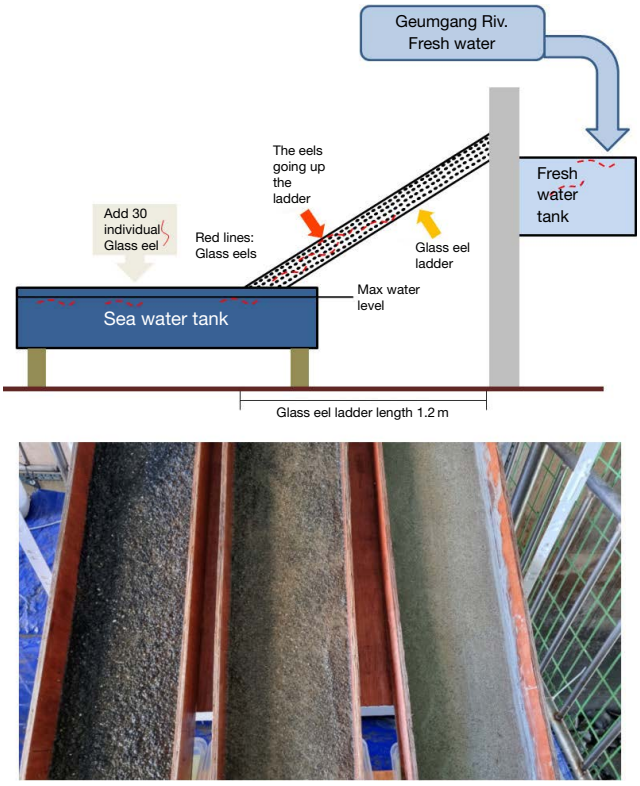


**Fig. 2.** The blueprint of the eel ladders and photo are applied field.

검사하였다. 사후검정은 모수적 방법인 Fisher's LSD와 비모수적 방법인 Dunnett T3를 이용하였으며, 유의수준 95%에서 검증되었다($p<0.05$)

## 결 과

자갈 입자와 모형어도의 각도별 실뱀장어의 소상 개체를 5회 반복 실험한 결과, 모형어도 15° 각도에서는 5 mm에서 17.8개체(59.3%), 2 mm에서 18.4개체(61.3%)가 소상하였으며, 모래시멘트에서 2개체(6.7%)가 소상하였다. 15°에서 5 mm와 2 mm는 유의한 차이가 없었으며($p=0.756$), 두 그룹과 모래시멘트는 유의한 차이가 있었다($p>0.05$). 30° 각도에서는 5 mm에서 15.6개체(52%), 2 mm에서 14.2개체(47.3%)가 소상하였으며, 모래시멘트에서 소상하는 실뱀장어는 0개체로 소상하는 실뱀장어가 없었다. 이후 모래시멘트 어도에서는 30° 이상 각도에서 소상하는 실뱀장어는 없었다. 45° 각도에서는 5 mm에서 12.4개체(41.3%), 2 mm에서 14개체(46.7%)가 소상하였으며, 60° 각도에서는 5 mm에서 6.2개체(20.7%), 2 mm에서 9.6개체(32%)가 소상하였다(Table 1, Fig. 3). 소상 실험에서 모든 실뱀장어들은 입자 크기에 관계 없이 균등하게 소상하였으나, 모래시멘트 어도에서는 15° 각도에서만 최대 5개체가 소상하였고, 더 높은 각도에서는 소상하지 못했다. 모래시멘트를 제외한 5 mm, 2 mm 어도에서는 1개체도 소상하지 않은 경우는 없었다(Table 2). 자갈 입자 어도 소상 실험에서는 어도의 각도가 낮을수록, 자갈의 입자가 작을수록 더 많은 개체가 소상하였으나, 30° 각도의 어도에서는 5 mm 자갈 어도에서 더 많은 실뱀장어가 소상하였다.

해당 실험에서 실뱀장어의 소상 행동은 모든 개체가 바닥을 기어서 올라가는 행동을 보였다. 대체로 표면이 고르지 못한 자갈 바닥을 기어서 올라가는 모습을 보였으며, 모래시멘트 어도를 제외한 자갈 어도에서는 유속에 의해 쓸려 내려가거나 방해가

**Table 1.** Average number of eels by angle and pebble size (average individuals)

| Angle (°) | Size (mm) | | |
|---|---|---|---|
| | 5 mm | 2 mm | Sand cement |
| 15° | 17.8 | 18.4 | 2 |
| 30° | 15.6 | 14.2 | 0 |
| 45° | 12.4 | 14 | 0 |
| 60° | 6.2 | 9.6 | 0 |

**Table 2.** Number of climbing eels per angles and pebble size (individuals)

| Angle (°) | Size (mm) | | |
|---|---|---|---|
| | 5 mm | 2 mm | Sand cement |
| 15° | 17 | 20 | 1 |
| | 11 | 18 | 0 |
| | 23 | 15 | 5 |
| | 20 | 18 | 3 |
| | 18 | 21 | 1 |
| 30° | 17 | 17 | 0 |
| | 17 | 10 | 0 |
| | 13 | 13 | 0 |
| | 16 | 15 | 0 |
| | 15 | 16 | 0 |
| 45° | 5 | 9 | 0 |
| | 2 | 4 | 0 |
| | 25 | 25 | 0 |
| | 19 | 21 | 0 |
| | 11 | 11 | 0 |
| 60° | 8 | 6 | 0 |
| | 3 | 4 | 0 |
| | 7 | 15 | 0 |
| | 6 | 13 | 0 |
| | 7 | 10 | 0 |

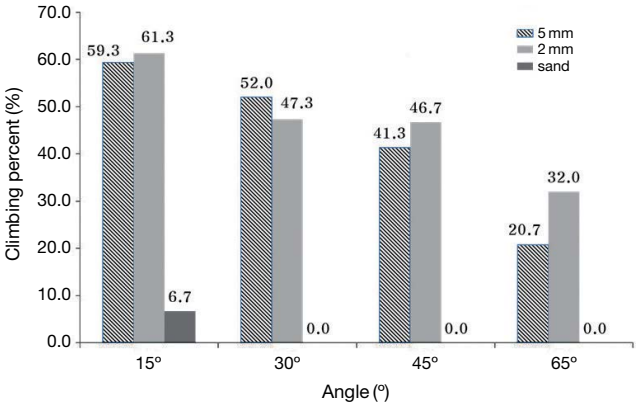


**Fig. 3.** Glass eel climbing rate by angle and pebble size.

되는 모습은 보이지 않았다. 모형어도 내에서 실뱀장어가 1회 이동 시 약 30~120 cm가량 이동하였으며, 각도에 따른 소상률 통계분석 결과 유의미한 차이는 없었다.

## 고 찰

본 연구는 실뱀장어가 보 또는 갑문 등으로 차단된 하구에서 하천으로 쉽게 소상할 수 있도록 돕는 방법 중 한 가지로서, 기존에 가동되고 있는 솔 재질 어도 이외에 실뱀장어의 소상에 유리한 바닥 재질을 알아보기 위해 시행되었다. 자갈로 이루어진 바닥은 유인수를 흘려보냈을 때 자갈 사이로 물이 스며들어 유속이 느리고 뱀장어가 지지대로 사용할 수 있는 자갈이 많아 기어서 소상하기에 최적의 환경인 것으로 파악된다. Lee (2003)에 의하면 금강 실뱀장어의 일일 어획량은 조차와 월령에 따라 변하며, 수온, 염분, 풍속 및 날씨 변화 등 다양한 조건에 영향을 받으나, 해에 따라 소상하는 실뱀장어에 미치는 영향이 다르다고 알려져 있다. 본 연구는 실뱀장어가 어도 내로 진입하여 소상하는데 가장 큰 영향을 미치는 요소 중 하나인 바닥 기질에 대한 실험을 진행하였다. 현재 실뱀장어 전용어도의 바닥은 매끈한 플라스틱으로 이루어져 있으며, 실뱀장어가 소상할 때 몸을 지탱할 수 있는 솔이 2.5 cm 및 5 cm 간격으로 심어져 운용되고 있다. 솔은 실뱀장어가 어도를 소상할 때 몸을 지탱하는 역할을 하며, 때로는 유속에 실뱀장어가 쓸려 내려가지 않도록 지지대의 역할을 하기도 한다. 다만 솔 간격 어도는 바닥이 플라스틱으로 이루어져 매끄러우며, 솔의 간격이 넓은 경우 유속에 쓸려 내려가는 경우도 발생한다. 해당 실험은 어도 바닥에 5 mm 자갈과 2 mm 자갈 및 모래시멘트를 굳혀 제작한 어도를 통해 이루어졌다. 실험결과 모든 소상하는 실뱀장어는 기어서 올라가는 형태를 보였으며, 1회 소상 시 30~120 cm가량 이동하였다. 1회 소상 시 거리는 어도의 각도와 관련 없이 대체로 비슷한 거리를 올라갔으며,

**Table 3.** The number of glass eels left on the ladder without completely climbing (individuals)

| Angle (°) | Size (mm) | | |
|---|---|---|---|
| | 5 mm | 2 mm | Sand cement |
| 15° | 0 | 3 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 3 | 7 |
| | 4 | 1 | 6 |
| | 4 | 0 | 3 |
| 30° | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 2 | 0 |
| | 7 | 9 | 4 |
| | 5 | 8 | 8 |
| | 2 | 4 | 2 |
| 45° | 3 | 3 | 0 |
| | 0 | 1 | 0 |
| | 0 | 1 | 3 |
| | 1 | 0 | 4 |
| | 1 | 1 | 2 |
| 60° | 0 | 4 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 2 | 0 |
| | 2 | 0 | 0 |
| | 1 | 4 | 1 |

주로 물을 거슬러 올라가야 하는 솔 간격 어도에 비해 자갈 입자 어도는 기어서 올라가므로 상대적으로 어도를 소상하는 실뱀장어의 에너지 소모가 덜할 것으로 추측된다. 해당 실험은 1회 1시간씩 진행되었으며, 어도 내로 들어온 실뱀장어는 대체로 어도 끝까지 올라갔으나, 일부 개체는 시간 내에 소상을 완료하지 못하고 어도 내부에 남아 있기도 하였다(Table 3).

자갈의 입자는 실뱀장어의 소상과는 크게 관련이 없었으나, 모래시멘트 바닥의 어도에서는 15° 각도를 제외하고는 한 개체도 소상하지 못했다. 이는 굵은 입자를 가진 자갈은 굳히는 과정에서 자갈 사이로 틈이 생겨 어도 내 유인수가 틈으로 흘러 유량이 줄어들고 유속이 낮아지기 때문에 실뱀장어가 소상하기 좋은 환경임과 동시에, 표면이 거칠어 실뱀장어가 지탱할 수 있는 공간이 많은 자갈 어도의 특징 때문인 것으로 판단된다. 반대로 모래시멘트 어도는 입자가 너무 가늘어 입자 사이의 틈이 없이 그대로 물이 흐르기 때문에 자갈 어도에 비해 어도 표면의 유량이 많고 유속이 세며, 실뱀장어가 몸을 지탱할 수 있는 구조물도 없기 때문에 실뱀장어가 거슬러 올라오더라도 유속에 의해 쓸려 내려가는 모습이 관찰되었다. 일부 개체가 유속을 이기지 못하고 쓸려 내려가는 솔 간격 어도와는 달리, 자갈 입자 어도는 모래시멘

트 어도를 제외하고는 쓸려 내려가는 실뱀장어가 없었다. 이는 실뱀장어가 어도 내에서 이동 시 표면이 거친 자갈을 타고 이동하며, 솔 간격 실험과 같은 양의 유인수가 흐르지만, 굳힌 자갈 내의 틈새로 물이 들어가 솔 간격 어도에 비해 유속 및 유량이 줄어들어 실뱀장어가 소상하기에 더욱 유리한 환경이 조성되었기 때문으로 판단된다.

이전 모형어도를 이용하여 실험을 진행하였던 Hwang *et al*. (2009)에 의하면 어도 바닥 재질 실험 시 자갈은 12.33개체, 솔은 12.67개체가 소상하였다. 이는 모형어도의 길이 차이에 의한 것으로 추정된다. 해당 어도는 길이가 30～50 cm로 다소 짧으며, 1회 도약 시 해당 어도의 길이보다 긴 거리를 도약하는 실뱀장어의 특성상 솔 간격 어도가 자갈 어도보다 많은 개체가 소상한 것으로 생각된다.

국외 뱀장어 전용어도는 주로 성어를 위한 회귀 및 강하에 집중되어 있다. 북미의 경우 지그재그 형태의 슬로프형과 활송장치를 병행하며, 85% 이상 소상하는 뱀장어의 전장이 20.0 cm～45.0 cm 의 범위로 확인되어 주로 성어가 이용한다. 이외에도 실린더형, 수로형, 나일론 망, 강모형 등 다양한 형태와 방법으로 뱀장어 자원 보전을 위해 노력하고 있다(Solomon and Beach, 2004). 하지만 대부분 큰 댐이나 상류에 설치되었으며, 우리나라의 뱀장어 전용어도가 가장 연안과 가까이 설치 운영 중이다. 현재 국내에 설치된 뱀장어 전용어도는 실뱀장어를 위한 전용어도로 국외에서도 그 사례를 찾기 어렵다. 실뱀장어 자원량 회복 및 증대를 위해서라도 효율적인 어도를 개발하고 연구가 필요한 실정이다.

따라서 실뱀장어가 다량으로 소상할 수 있는 기질에 대한 연구와 풍향, 조도, 월령, 유량 및 유속 등의 다양한 조건과 변수를 추가한 장기모니터링 및 실험을 통해 실뱀장어 전용어도를 더 효율적으로 개선할 수 있는 방안이 만들어질 것으로 판단되며, 보완을 통해 한국형 실뱀장어 전용어도를 개발할 수 있을 것이다. 이를 통해 뱀장어 전용어도는 어족자원의 보전과 어민 소득 증대에 큰 역할을 수행할 것으로 판단된다.

## 요 약

현재 하천 하류의 대부분이 보에 막혀 있어 회유성 어종의 이동 및 상류와의 연결을 위한 어도가 필요하다. 따라서 어류의 자유로운 이동에 도움이 될 어도는 생태적 교각으로서 매우 중요하다. 현재 가동되고 있는 실뱀장어 전용어도는 바닥에 솔이 심어져 있으며, 솔 이외에 바닥 재질이 실뱀장어의 소상에 미치는 영향을 알아보기 위해 금강하굿둑에 설치한 모형어도를 이용한 소상 실험을 진행했다. 모형어도는 길이 1.2 m, 넓이 0.3 m, 높이 0.1 m로, 어도 바닥에 각기 다른 입자의 3가지 자갈을 붙여 제작하였다. 첫 번째 어도는 입자가 5 mm인 자갈을 사용하였고, 두 번째 어도는 입자가 2 mm인 자갈을 이용하여 제작하였다. 세 번째 어도는 입자가 1 mm 이하인 모래시멘트를 굳혀 제작하였다. 모든 실험은 1시간씩 5회 반복하여 진행하였다. 실험 결과, 각도가 낮을수록 더 많은 실뱀장어가 소상하였고, 자갈의 입자는 작을수록 실뱀장어가 더 많이 소상하였으나, 시멘트로 만든 어도는 실뱀장어가 거의 소상하지 못했다. 자갈을 굳혀 만든 모형어도는 솔 간격 어도에 비해 유량 및 유속이 적어 실뱀장어가 더욱 많이 소상하였으며, 차후 다양한 바닥 재질 및 변수를 적용한 실험을 통해 어도를 개선하면 더 많은 실뱀장어가 소상할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 조사는 한국농어촌공사 2021년 뱀장어 전용어도 생물상 모니터링 연구사업에 의해 수행되었습니다. 또한 본 연구에 도움을 주신 한국농어촌공사 어촌수산처 관계자 분들과 신유신, 박철우, 김종욱, 조윤정, 임민영 연구원에게 감사드립니다.

## REFERENCES

Aida, K., K. Tsukamoto and K. Yamauchi. 2012. Eel biology. Tokyo, Japan: Springer.

Chow, S., H. Kurogi, N. Mochioka, S. Kaji, M. Okazaki and K. Tsukamoto. 2009. Discovery of mature freshwater eels in the open ocean. Fish. Sci., 75: 257-259. https://doi.org/10.1007/s12562-008-0017-5.

Dekker, W. 2003. Worldwide decline of eel resources necessitates immediate action-Quebec Declaration of Concern. Fisheries, 28: 28-30.

Hwang, S.D., T.W. Lee, H.B. Hwang, I.S. Choi and S.J. Hwang. 2009. Upstream behavior of glass eels (*Anguilla japonica*) in an experimental eel-ladder. Korean J. Ichthyol., 21: 262-272.

Jo, H.B., S.N. Kwak, K.H. Kim, W.O. Lee, K.Y. Park, I.S. Kwak and D.K. Kim. 2019. Migration of glass eel (*Anguilla japonica*) through fish way and lock gate in an Estuarine Barrage. Korean J. Ecol. Environ., 52: 65-70. https://doi.org/10.11614/KSL.2019.52.1.065.

Kim, I.S. and J.Y. Park. 2002. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, Korea, 467pp.

Kim, J.O., K.S. Jang, H.S. Shin, H. Yang and J.H. Jang. 2010. Ecological function assessment for a fishways of Geumgang Estuary Dike. J. Korean Soc. Agric. Eng., 52: 1-7. https://doi.org/10.5389/KSAE.2010.52.3.001.

Kimura, S., K. Tsukamoto and T. Sugimoto. 1994. A model for the larval migration of the Japanese eel: Roles of the trade winds and salinity front. Mar. Biol., 119: 185-190. https://doi.org/10.1007/BF00349555.

Lee, T.W. 2003. A study of the early life history and migration of

glass eels in order to predict stock size. Chungnam National University. Daejeon, Korea, 85pp.

MOE (Ministry of Environment). 2012. A study on the selection of estuaries subject to pilot restoration to damage the aquatic ecosystem and improve health, Ministry of Environment, Sejong, Korea, pp. 15-57.

MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2019. Monitoring the eel ladder. Ministry of Oceans and Fisheries. Sejong, Korea, 98pp.

MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2020. Monitoring the eel ladder. Ministry of Oceans and Fisheries. Sejong, Korea, 136pp.

Solomon, D. and M. Beach. 2004 Fish pass design for eel and elver (*Anguilla anguilla*). Environment Agenc., pp. 1-105.

Tear, T.H., J.M. Scott, P.H. Hayward and B. Griffith. 1993. Status and prospects for success of the endangered species act: a look at recovery plans. Science, 262: 976-977. https://doi.org/10.1126/science.262.5136.976.

Tesch, F.W. and R.J. White. 2008. The eel. John Wiley & Sons, 416pp.

Watz, J., P.A. Nilsson, E. Degerman, C. Tamario and O. Calles. 2019. Climbing the ladder: An evaluation of three different anguillid eelclimbing substrata and placement of upstream passage solutions atmigration barriers. Animal Conservation, 22: 452-462.

White, E.M. and B. Knights. 1997. Dynamics of upstream migration of the European eel, *Anguilla anguilla* (L.), in the rivers Severn and Avon, England, with special reference to the effects of man-made barriers. Fish. Manag. Ecol., 4: 311-324. https://doi.org/10.1046/j.1365-2400.1997.00050.x.

Wippelhauser, G. and M. Gallagher. 2000. Eel and elver progress report. Stock Enhancement division, Maine department of Marine Resources, Augusta, Maine, U. S. A., 33pp.

Yang, H.J., K.H. Kim and J.D. Kum. 2001. The fish fauna and migration of the fishes in the fish way of the Nakdong River mouth dam. Korean J. Limnol., 34: 251-258.