

Original article

금강하굿둑, 영암방조제, 아산만방조제 뱀장어 전용어도 모니터링

김재구^{1,*} · 조윤정¹ · 박철우¹ · 김종욱¹ · 신유신^{1,2} · 임민영² · 송영희³ · 김원장³ · 최 윤^{2,*}

¹알파생태연구원, ²군산대학교, ³한국농어촌공사

The Monitoring of Eel-ladder in Geumgang Estuary Bank, Yeongam Embankment and Asanman Embankment. Jae Goo Kim^{1,*} (0000-0003-1626-939X), Yun Jeong Cho¹ (0000-0003-4504-7067), Cheol Woo Park¹ (0000-0002-0416-4542), Jong Wook Kim¹ (0000-0001-5387-8317), Yu-Sin Shin^{1,2} (0000-0001-9095-6388), Min-Young Im² (0000-0001-6728-0834), Younghee Song³ (0000-0002-1441-6838), Wonjang Kim³ (000-0001-9525-3999) and Yoon Choi^{2,*} (0000-0003-1356-5740) (¹Alpha Research Ecology Institute, Gunsan 54151, Republic of Korea; ²Faculty of Marine Applied Biosciences, Kunsan National University, Gunsan 54150, Republic of Korea; ³Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Naju 58327, Republic of Korea)

Abstract The Ministry of Oceans and Fisheries promoted the installation of eel-ladder for the purpose of creating inland water resources. Currently, eel-ladder have been installed and operated at the Geumgang Estuary Bank (2018), Yeongam Embankment (2019), and Asanman Embankment (2020). In this study, the number of glass eels in eel-ladder in 2021 was monitored and factors affecting the rise that from ocean to river of eels were investigated. Glass eels in eel-ladder were found when the salinity was relatively low, and they started when the freshwater and seawater temperatures were above 20°C. Comparing the number of occurrences by year, the largest number of glass eels was observed in 2021, but it is judged that this is not according to the distribution of glass eels in sea, but rather as a result of the investigator's eel-ladder repair and guidance on illegal fishing.

Key words: eel-ladder, *Anguilla japonica*, glass eel, Korea

서 론

뱀장어목 (Anguilliformes) 뱀장어과 (Anguillidae) 뱀장어속 (*Anguilla*) 어류는 온대와 열대 지방 등 전 세계에 19종이 분포하고 있다 (Watanabe *et al.*, 2009). 국내에는 극동산 뱀장어 (*Anguilla japonica*)와 무태장어 (*A. marmorata*)

만 서식하는 것으로 알려져 있으며 (Kim and Park, 2007), 일부에서 외래종인 유럽산 뱀장어 (*A. anguilla*), 북미산 뱀장어 (*A. rostrata*), 동남아산 뱀장어 (*A. bicolor pacifica*) 등 총 5종의 뱀장어속이 출현하는 것으로 보고되어 있으며, 유럽산 뱀장어, 북미산 뱀장어, 동남아산 뱀장어는 양식용으로 수입되고 있으며 (KMI, 2022), 치어방류 시 혼입되거나 일부 양식장에서 유출되어 자연계에서 확인되고 있는 것으로 여겨진다 (Hong *et al.*, 2017). 극동산 뱀장어는 우리나라 원서식 종으로 강 또는 하구에서 생활하다 산란을 위해 바다로 내려가는 강하성 어류로, 알에서 부화한 뱀장

Manuscript received 20 May 2022, revised 7 June 2022,
revision accepted 7 June 2022

* Corresponding author: Tel: +82-63-469-4596 Fax: +82-70-8280-5800
E-mail: jgkim0909@jbnu.ac.kr
Tel: +82-63-469-4596, Fax: +82-41-950-6103
E-mail: choi@kunsan.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

어 자어는 뱀장어(Leptocephalus)로 복적도 해류와 쿠로시오 해류를 따라 이동하며 한반도에 이르러 실뱀장어(glass eel) 형태로 변태한다(NIFS, 2009). 국내에 실뱀장어가 소상하는 시기는 지역별로 매년 차이가 있으며, 제주도는 1~3월, 남해 하구 2~4월, 서해 중부 하구 2월 말~5월 초 순으로 보고되어있다(Hong *et al.*, 2015). 극동산 뱀장어는 국내에서 주로 하구에서 소상한 실뱀장어를 채포하여 양식장에 입식한다. 뱀장어는 국내에서 인기 있는 내수면 양식어종으로 전체 내수면 어업 중 가장 많은 생산량과 생산금액을 차지하고 있으며, 뱀장어 양식어가는 전라북도(19.81%)와 전라남도(55.76%)가 약 75%를 차지할 정도로 높은 비중을 가지고 있다(KOSIS, 2022). 그러나, 2014년 IUCN에서 극동산 뱀장어를 Red List 위기종(Endangered)으로 등재하여 자원의 보존 및 관리의 필요성이 화두가 되고 있다.

하천의 하구는 담수와 해수가 만나 혼합되는 장소로 염분 농도의 변화가 다양하며, 하천의 유량 변동과 조차 등으로 인해 염분이 혼합되는 수역의 범위가 달라진다. 이러한 다양한 서식환경으로 인해 어류의 생물 다양성이 높게 나타난다. 하구의 분류는 밀도가 서로 다른 담수와 해수의 물순환이 원활히 이루어지는 열린하구와 하구의 대형 둑이나 보 등으로 막혀 순환이 어려운 닫힌 하구로 나뉜다. 우리나라는 강수량이 하절기에 집중되어 있는 등 강수량의 계절적 편차가 심하여 농업용수, 홍수 조절 등의 목적으로 다목적댐의 건설이 이루어지고 있다(MOLIT, 2012). 염수의 유입을 막고 용수 확보를 위한 하천의 하구를 막는 하굿둑의 축조는 1981년 영산강하굿둑, 1987년 낙동강하굿둑, 1990년 금강하굿둑 순으로 이루어졌다. 그러나 하구 또는 강의 어귀에 설치된 하굿둑 및 보는 회귀성 어종의 이동을 막아 생활사에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 회귀성어종의 강과 바다의 자유로운 진출입을 위하여 어도의 설치가 시급한 실정이다. 특히 뱀장어와 같이 일반적인 어도를 이용하는데 어려움이 있는 종에 대해서는 종 특성에 맞는 전용어도 개발에 국외 및 국내 연구가 진행 중에 있다. 국외에서는 미국, 영국, 프랑스 등에서 뱀장어 전용어도를 설치 운영 중이며, 북미의 Moses-Saunders 댐, Chambly 댐, Beauharnois 댐, Greenville 댐 등 모두 실뱀장어 보다는 성어인 15츠 이상의 뱀장어가 이용하는 것으로 알려져 있다(Solomon and Beach, 2004). 국내에서는 주로 이른 봄부터 우리나라 하구역을 찾는 실뱀장어(Glass eel)를 이동시키기 위한 전용어도 개발을 추진하고 있다. 해양수산부는 내수면 자원조성을 목적으로, 현재 금강하굿둑('18), 영암방조제('19), 아산만방조제('20)에 실뱀장어 전용어도를 설치·운영 중에 있다(MOF, 2021).

본 연구는 뱀장어 전용어도의 실뱀장어 소상개체를 모니터링하여 실뱀장어 소상에 영향을 미치는 요인을 분석하고 뱀장어 전용어도의 효율적 운영을 위한 방안을 모색하여 뱀장어 전용어도의 추후 설치에 도움이 되고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사기간 및 조사지점

뱀장어 전용어도가 설치된 금강하굿둑(전북 군산시 성산면 성덕리 487-14), 영암방조제(전남 영암군 삼호읍 삼포리 산161-1), 아산만방조제(경기도 평택시 현덕면 권관리 564-21)에서 조사가 수행되었다(Fig. 1). 금강하굿둑에 설치된 뱀장어 전용어도는 폭 1.6 m, 길이 33.5 m, 경사도 16.7°로 바닥기질은 높이 5.0 cm, 간격 2.5 cm인 플라스틱 솔 소재로 이루어져 있으며, 평면형과 사면형 2가지 형태로 구성되어 있다. 영암방조제에 설치된 뱀장어 전용어도는 길이 32.0 m, 경사도 16.7°로 바닥기질은 금강과 마찬가지로 높이 5.0 cm, 간격 2.5 cm인 플라스틱 솔 소재이며 평면형으로 구성되어 있다. 아산만방조제에 설치된 뱀장어 전용어도는 길이 32.0 m, 경사도 16.7°로 높이 바닥기질은 5.0 cm, 간격 5 cm인 플라스틱 솔 소재로 평면형으로 이루어져 있다.

조사기간은 2021년 5월 20일~9월 30일로 한 달 기준 소조기 1~3일, 대조기 3~4일, 기타시기 3~8일 실시되어 총 49회 모니터링을 실시하였다.

2. 조사방법

실뱀장어는 뱀장어 전용어도를 이용하여 소상한 개체인 집어조의 개체수를 계수하였다. 계수된 실뱀장어의 전장은 캘리퍼스를 이용하여 0.01 mm 단위로 측정하였으며 중량은 0.1 g 단위로 측정하였다. 조사지점의 집수조, 유인수, 담수, 해수의 수온, 염분, 전기전도도, pH, DO를 수질측정기(ProODO YSI Inc., OH, USA)를 이용하여 측정하였다.

3. 통계분석

조석에 따른 실뱀장어 소상의 유의성을 검증하고자 SPSS program (ver. 12.0)을 사용하여 통계분석을 실시하였다. 동질성 검사는 Levene's test를 사용하였고 그 후 one-way Anova를 이용하여 유의성 검사를 실시하였다. 이 후 사후검증은 모수적 방법인 Fisher's LSD와 비모수적 방법인 Dunnett T3를 사용하였고, 유의수준 95%에서 검증이 이루어졌다($p < 0.05$).

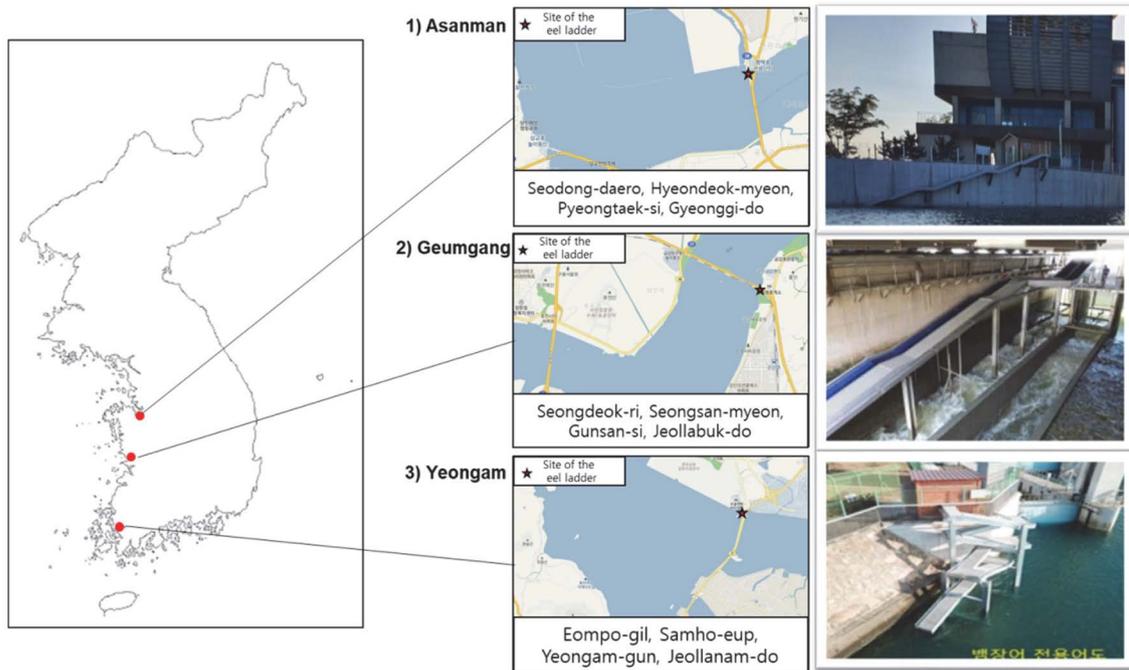


Fig. 1. Map and photographs of the study sites. 1) Asanman Embankment, 2) Geumgang Estuary Bank, 3) Yeongam Embankment.

결 과

1. 각 지점별 소상 모니터링 결과

1) 금강하굿둑 뱀장어 전용어도

금강하굿둑 뱀장어 전용어도 내 출현한 실뱀장어는 총 734개체였다. 실뱀장어는 5월 26일 3개체가 확인된 이후, 7월 21일, 23일에 각각 162개체, 177개체가 출현하여 가장 많은 개체수를 보였으며 8월 20일 3개체 이후 소상하지 않았다. 월별 출현 개체수는 5월 4개체, 6월 57개체, 7월 597개체, 8월 76개체였으며, 9월은 소상 개체가 없었다 (Fig. 2). 조사 기간 동안 평면형에서는 총 652개체가 확인되었으며, 사면형에서는 82개체가 확인되었다. 소상이 확인된 실뱀장어의 평균 전장과 중량은 58.68 mm, 0.12 g으로 확인되었으며, 5월에 각각 71.75 mm와 0.54 g로 가장 컸으나, 이는 비교적 성장한 당년생 뱀장어 1개체가 출현하였기 때문으로 판단된다 (Table 1).

2) 영암방조제 뱀장어 전용어도

영암방조제 뱀장어 전용어도 내 출현한 실뱀장어는 총 55개체였다. 실뱀장어는 6월 29일 1개체가 확인된 이후 7월 9일과 12일에 각각 13개체가 출현하여 가장 많은 개체수를 보인 후 7월 23일 1개체 이후 소상하지 않았다. 월별 출현 개체수는 6월 1개체, 7월 54개체였으며 5월, 8월, 9월

은 소상개체가 없었다 (Fig. 3). 소상이 확인된 실뱀장어의 평균 전장과 중량은 62.73 mm와 0.31 g으로 확인되었으며, 6월에 각각 200.00 mm와 5.58 g으로 가장 컸으나, 이는 성어 뱀장어 1개체가 출현하였기 때문으로 판단된다 (Table 2).

3) 아산만방조제 뱀장어 전용어도

아산만방조제 뱀장어 전용어도 내 출현한 실뱀장어는 총 107개체였다. 실뱀장어는 6월 14일 4개체가 확인된 이후 6월 16일, 7월 23일에 각각 13개체가 출현하여 가장 많은 개체수를 보인 후 9월 15일 이후 소상하지 않았다. 월별 출현 개체수는 6월 40개체, 7월 41개체, 8월 23개체, 9월 3개체였으며, 5월은 소상개체가 없었다 (Fig. 4). 소상이 확인된 실뱀장어의 평균 전장과 중량은 63.01 mm, 0.18 g으로 확인되었으며, 평균 전장은 9월에 67 mm, 평균 중량은 7월에 0.2 g으로 가장 컸다 (Table 3).

2. 각 지점별 수질데이터

1) 금강하굿둑 뱀장어 전용어도

집어조 내 수온은 19.5~30.9°C (평균 24.5°C), EC (전기전도도)는 312~6,360 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 2,120 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.15~2.45 psu (평균 1.07 psu)로 나타났다. 유인수로 내 수온은 19.6~31.1°C (평균 24.3°C), EC (전기전

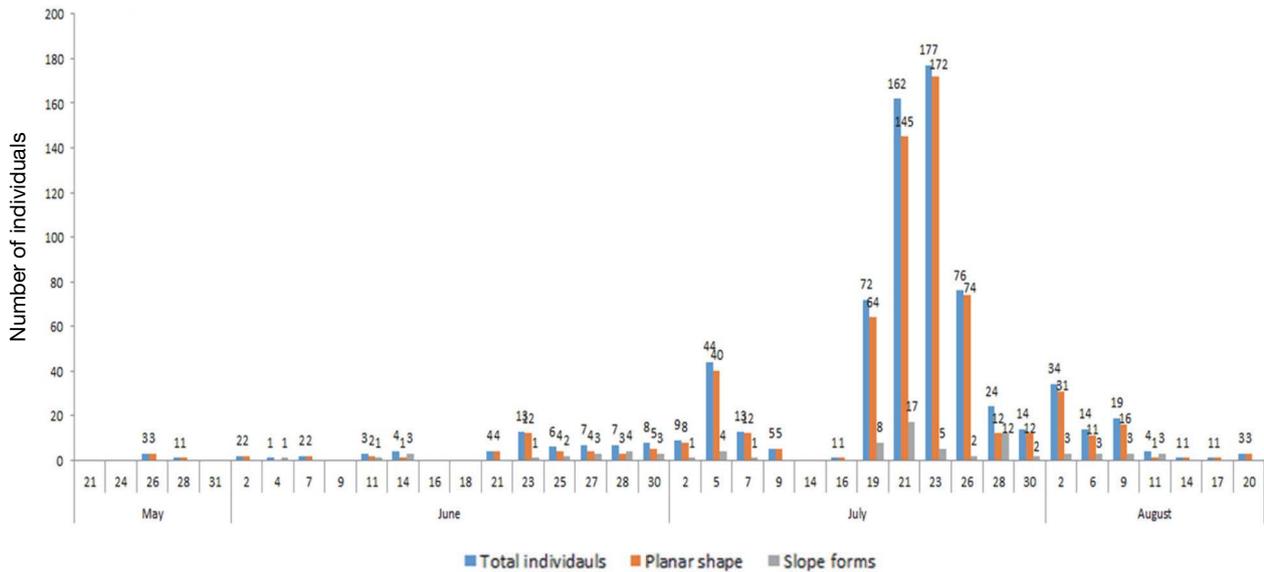


Fig. 2. Graph that glass eels in Geumgang Estuary Bank during study period (2021).

Table 1. Summary of the morphological characteristics(mean ± S.E.) of glass eels in Geumgang Estuary Bank.

	May (n = 4)		June (n = 57)		July (n = 597)		August (n = 76)	
	Average standard length (mm)	Average weight (g)	Average standard length (mm)	Average weight (g)	Average standard length (mm)	Average weight (g)	Average standard length (mm)	Average weight (g)
Planar shape	71.75 ± 26.84	0.54 ± 0.83	56.26 ± 2.29	0.1 ± 0.05	57.82 ± 7.43	0.11 ± 0.14	64.94 ± 15.30	0.23 ± 0.52
Slope forms	-	-	55.17 ± 3.11	0.07 ± 0.04	59.33 ± 7.11	0.12 ± 0.11	70.17 ± 13.29	0.23 ± 0.18

도도)는 312~5,523 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 2,099 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.15~2.96 psu (평균 1.27 psu)로 나타났다. 해측(해수) 내 수온은 18.0~29.4°C(평균 23.9°C), EC(전기전도도)는 332~58,050 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 21,682 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.16~38.63 psu (평균 13.90 psu)로 나타났다. 해측의 염분은 조사 당시 담수를 방류하기도 하여 염분도와 EC가 낮게 측정되었다. 담수측(담수) 내 수온은 19.9~31.9°C(평균 24.9°C), EC(전기전도도)는 255~4,276 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 2,483 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.11~10.20 psu (평균 1.46 psu)로 나타났다.

2) 영암방조제 뱀장어 전용어도

집어조 내 수온은 18.72~32.2°C(평균 25.97°C), EC(전기전도도)는 534~2,702 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 1,568 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.26~2.21 psu (평균 0.86 psu)로 나타났다. 유인수로 내 수온은 18.7~32.2°C(평균 26.0°C), EC(전기전도도)는 879~2,698 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 1,570 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분

은 0.43~2.20 psu (평균 0.86 psu)로 나타났다. 해측(해수) 내 수온은 17.8~27.4°C(평균 23.2°C), EC(전기전도도)는 1,266~76,179 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 38,852 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.62~40.26 psu (평균 26.68 psu)로 나타났다. 담수측(담수) 내 수온은 18.8~31.7°C(평균 25.8°C), EC(전기전도도)는 882~2,695 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 1,567 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.43~2.20 psu (평균 0.85 psu)로 나타났다.

3) 아산만방조제 뱀장어 전용어도

집어조 내 수온은 18.4~32.1°C(평균 24.8°C), EC(전기전도도)는 313~8,301 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 3,372 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.11~4.61 psu (평균 1.76 psu)로 나타났다. 유인수로 내 수온은 18.5~31.9°C(평균 24.8°C), EC(전기전도도)는 839~7,502 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 3,904 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은 0.41~4.14 psu (평균 2.07 psu)로 나타났다. 해측(해수) 내 수온은 16.3~28.5°C(평균 23.2°C), EC(전기전도도)는 1,029~60,910 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 43,830 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분

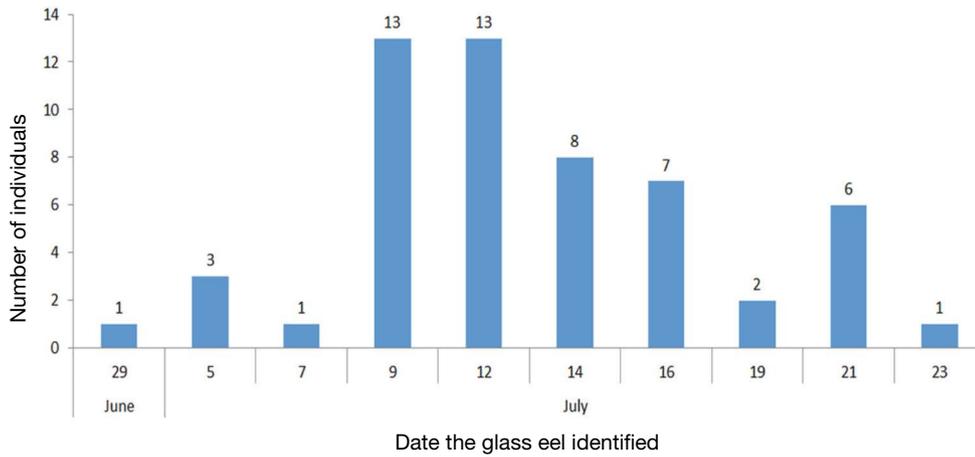


Fig. 3. Graph that glass eels in Yeongam Embankment during study period (2021).

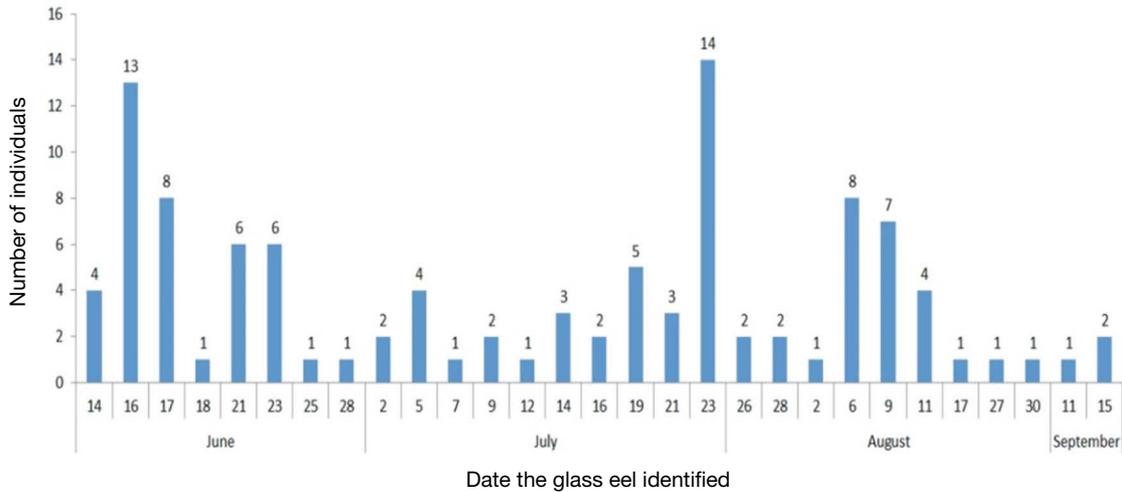


Fig. 4. Graph that glass eels in Asanman Embankment during study period (2021).

Table 2. Summary of the morphological characteristics (mean ± S.E.) of glass eels in Yeongam Embankment.

June (n = 1)		July (n = 54)	
Average standard length (mm)	Average weight (g)	Average standard length (mm)	Average weight (g)
200	5.58	60.19 ± 17.31	0.22 ± 0.75

은 0.51~40.81 psu (평균 27.97 psu)로 나타났다. 담수층 (담수) 내 수온은 17.7~32.5°C (평균 25.0°C), EC (전기전도도)는 803~8,245 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (평균 3,633 $\mu\text{S cm}^{-1}$), 염분은

0.39~4.58 psu (평균 1.92 psu)로 나타났다.

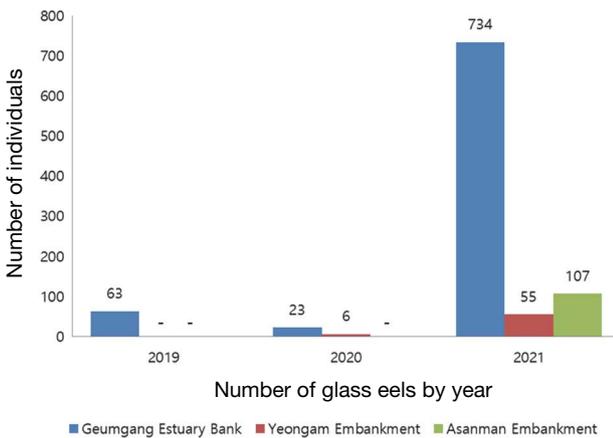
3. 조석에 따른 출현 개체수 비교

조석에 따른 소상량의 차이를 분석하기 위해 소조기, 대조기, 기타시기의 각 어도의 모니터링 개체수를 조사하였다. 금강하굿둑 뱀장어 전용어도의 조석에 따른 소상량은 소조기 156개체, 대조기 135개체, 기타시기 443개체였다. 영암방조제 뱀장어 전용어도의 소상량은 소조기 11개체, 대조기 21개체, 기타시기 23개체로 확인되었다. 아산만방조제 뱀장어 전용어도의 소상량은 소조기 20개체, 대조기 25개체, 기타시기 62개체로 확인되었다.

각 어도의 조석에 따른 출현 개체수의 통계분석 결과,

Table 3. Summary of the morphological characteristics (mean \pm S.E.) of glass eels in Asanman Embankment.

June (n=40)		July (n=41)		August (n=23)		September (n=3)	
Average standard length (mm)	Average weight (g)	Average standard length (mm)	Average weight (g)	Average standard length (mm)	Average weight (g)	Average standard length (mm)	Average weight (g)
60.47 \pm 4.85	0.18 \pm 0.09	64.41 \pm 9.10	0.20 \pm 0.13	63.52 \pm 10.22	0.16 \pm 0.13	67.00 \pm 7.94	0.18 \pm 0.03

**Fig. 5.** Comparative graph on raise that glass eels of each year. Monitoring period : Geumgang 2019~2021, Yeongam 2020~2021, Asanman 2021.

금강하굿둑의 소조기, 대조기의 출현 개체수의 유의한 차이는 없었으며 ($p=0.94$), 기타시기와도 유의미한 차이는 없었다 ($p>0.05$). 영암방조제와 아산만방조제도 소조기, 대조기, 기타시기의 출현 개체수의 유의미한 차이는 없는 것으로 확인되었다 ($p>0.05$).

4. 연도별 출현 개체수 비교

금강하굿둑 뱀장어 전용어도는 2018년 준공하여 2019~2021년 3년간 모니터링 했으며, 영암방조제 뱀장어 전용어도는 2019년 준공하여 2020~2021년 2년간 모니터링 하였다. 아산만방조제 뱀장어 전용어도는 2020년 준공하여 2021년 1년간 모니터링을 실시하였다. 금강하굿둑 뱀장어 전용어도에서 실뱀장어의 개체수는 2019년 63개체, 2020년 23개체, 2021년 734개체로 확인되었다. 영암방조제 뱀장어 전용어도가 설치된 이후 출현한 실뱀장어의 개체수는 2020년 6개체, 2021년 55개체로 확인되었다. 아산만방조제 뱀장어 전용어도가 설치된 이후 출현한 실뱀장어의 개체수는 2021년 107개체로 확인되었다 (Fig. 5; MOF, 2021).

고 찰

우리나라 실뱀장어는 제주도에서 1~3월경, 남해 하구 2~4월, 서해 하구 2월 말~5월 초에 소상하는 것으로 알려져 있다 (Hong *et al.*, 2015). 본 조사는 서해의 전남권인 영암방조제, 전북권인 금강하굿둑, 경기권인 아산만방조제에서 수행되었다. 본 조사 결과, 금강하굿둑에서 5월 26일 가장 먼저 소상이 확인되었고 그 후 아산만방조제에서 6월 14일, 영암방조제에서 6월 29일 소상이 확인되었다. 이는 영암방조제 뱀장어 전용어도의 집어조 밑 담수 측 유입 구멍에 망이 설치되어있지 않아 집어조 턱을 넘어 담수로 유출됐거나 어도 끝에서 시행된 불법조업으로 인한 결과로 판단된다.

실뱀장어의 평균 전장은 금강하굿둑에서 56.68 mm로 가장 작았으며, 아산만방조제에서 63.01 mm로 가장 컸다. 금강하굿둑 뱀장어 전용어도의 바닥 기질은 간격 2.5 cm로 설치되어 비교적 전장이 짧은 실뱀장어가 바닥 기질을 감고 소상하는데 용이하였으나, 아산만방조제 뱀장어 전용어도의 바닥 기질 간격은 5 cm로 금강하굿둑과 영암방조제에 비해 간격이 넓었다. 따라서 금강하굿둑과 영암방조제에 비해 전장이 더 큰 개체들이 확인된 것으로 판단된다. 영암방조제 뱀장어 전용어도에서 출현한 실뱀장어의 평균 전장은 62.73 mm로 금강하굿둑에 비해 컸으나, 이는 6월에 채집된 성어 뱀장어 1개체 (200 mm, 5.58 g)가 소상한 결과로 판단되며, 이를 제외한 평균 전장은 60.19 mm로 아산만방조제에서 출현한 개체보다 작았다. 뱀장어 전용어도의 바닥 슬간 간격이 좁으면 슬러지, 이끼 등이 발생할 수 있고, 넓으면 실뱀장어의 소상에 문제가 있을 수 있기 때문에 적절한 간격을 찾는 것이 중요하다. 이에 따라 해양수산부는 21년 뱀장어 전용어도의 개보수 사업을 실시하였으며, 기존 바닥 솔에 추가적으로 뿔개 솔 (간격 3.5~4 cm)을 부착하여 솔 간격이 좁아지도록 시공하였다.

뱀장어는 덧뱀장어 시기를 바다에서 보내고 실뱀장어 시기에 연안을 지나 담수로 소상한다. 이때 실뱀장어는 고염분에서 저염분으로 서식처가 변화되기 때문에 염분

차의 적응을 위해 삼투압 조절이 이루어질 것으로 보인다 (Hwang *et al.*, 2009). 실뱀장어의 소상에 염분의 농도가 영향을 미치는 것으로 보고되어있으며(MOF, 2020), 본 조사에서도 염분의 농도가 낮을 때 실뱀장어의 소상이 비교적 증가하였다. 해수의 평균 염분 농도는 5~6월이 가장 낮았으나 이 시기에는 불법 조업의 영향으로 인해 실뱀장어 소상의 정확한 요인을 판단하기 어려웠다. 그러나 실뱀장어가 어도를 통해 가장 많이 소상한 날에 각 어도의 염분 농도는 낮았다. 또한 뱀장어가 다수 소상한 날의 해수의 염분 변화가 급격한 것으로 확인되어 이는 담수 방류량의 증가로 인해 일시적으로 해수의 염분 농도가 낮아진 것으로 추측된다.

실뱀장어가 하구를 통해 담수로 소상하는 시기의 수온은 낮고 이후 수온 상승에 적응한다(Lee, 2003). 실뱀장어의 소상은 수온 8~10°C에서 시작하여 14°C 이상이 되면 활발해진다(NIFS, 2016). 본 연구에서 실뱀장어는 담수와 해수 모두 20°C 이상일 때 소상이 시작되었으며, 소상이 가장 활발했던 7월의 담수의 평균 수온은 약 27°C(금강하굿둑: 30.7°C, 영암방조제: 27.1°C, 아산만방조제: 28.2°C) 이상으로 높았으며, 해수의 평균 수온은 약 23°C(금강하굿둑: 26.5°C, 영암방조제: 23.1°C, 아산만방조제: 23.6°C) 이상으로 확인되어 해수와 담수의 수온차가 컸던 것으로 확인되었다.

각 어도의 소조기, 대조기, 기타시기에 따른 출현 개체수의 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 세 어도 모두 기타시기에 소상량이 가장 많았으나 조석별 차이가 없는 것으로 확인되었다. 이는 월별 출현 개체수가 적었으며 7월을 제외한 나머지 기간의 출현 차이가 크지 않아 소조기, 대조기, 기타시기의 유의미한 결과가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 실뱀장어의 생체리듬으로 조석주기가 내재되어 있어(Kim *et al.*, 2002, 2006), 연안으로 올라오는 실뱀장어는 조석주기에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그러나 뱀장어 전용어도는 하굿둑에 자리하고 있지만 연안의 환경과 달리 어도를 이용해 소상하는 시간이 소요된다는 특징이 있어 약간의 차이가 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, Hwang *et al.* (2009)에 의하면 실험용 어도에서 실뱀장어의 조석 시간(썰물, 밀물)에 따른 유의한 차이는 없었으나 고조위때 실뱀장어의 소상량이 더 많았다고 보고하였다. 따라서 뱀장어 전용어도의 실뱀장어 소상에도 조위에 따른 영향이 있을 수 있기에 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

2021년 뱀장어 전용어도에 소상한 실뱀장어는 금강하굿둑 평면형에서는 652개체, 사면형에서 82개체로 총 734개체, 영암방조제 55개체, 아산만방조제 107개체로 확인되었

다. 금강하굿둑에 설치된 어도는 평면형과 사면형 두 종류로 사면형에서 더 많은 개체가 소상한다고 알려져 있었으나(Hwang *et al.*, 2009) 본 조사에서는 평면형이 월등히 소상개체가 많았다. 이는 평면형이 사면형(60 cm)에 비해 어도 내 유수구간이 80 cm로 더 넓고, 사면형 어도의 입구부 파손으로 인한 결과로 판단된다. 연안으로 소상한 실뱀장어는 많은 개체가 양식업을 위해 조업되고 일부 개체가 강이나 소하천으로 소상한다. 2021년 양식산 뱀장어는 1 kg 당 4~5만원에 거래되고, 자연산 뱀장어는 1 kg당 10만원 이상 거래되고 있어 전용어도를 통해 실뱀장어의 잠재적 경제가치가 매우 높다. 극동산 뱀장어(*A. japonica*) 성어(357~924 mm) 한 개체는 700~1,200만 개의 알을 산란한다(MacNamara *et al.*, 2012). 따라서 뱀장어 전용어도로 소상한 실뱀장어 한 개체가 성어로 잘 성장한다면 추후 뱀장어 자원량에 큰 도움을 줄 것으로 판단된다.

이와 같이 실뱀장어 소상에 뱀장어 전용어도의 역할은 중요하다. 대부분의 하천은 보와 하굿둑으로 단절되어 있고 기수에서는 실뱀장어의 불법포획이 이루어지고 있어 뱀장어 전용어도가 추가 설치가 필요할 것으로 판단된다.

연도별 출현 개체수는 2021년에 해당하는 본 연구에서 가장 많은 개체수를 확인할 수 있었다. 실뱀장어는 자연산 개체를 채포하여 양식장에 입식하므로 한국해양수산개발원 수산업관측센터(KMI)의 실뱀장어 입식량은 실뱀장어 채포량을 알 수 있는 지표로 활용될 수 있다. 수산업관측센터에 따른 극동산 뱀장어의 채포량은 2019년 총 6,414톤, 2020년 14,154톤, 2021년 9,417톤으로 확인되어 해측에 분포하는 실뱀장어는 2020년에 비해 2021년이 비교적 적은 수였으나(KMI, 2022), 금강하굿둑 뱀장어 전용어도를 통한 실뱀장어의 개체수는 2019년 63개체, 2020년 23개체, 2021년 734개체로 확인되어 2021년에 매우 많은 개체수가 관찰되었다. 이는 해측의 실뱀장어 분포량에 따라 뱀장어 전용어도의 소상량에 영향을 미치는 것이 아니라 다른 요인으로 인한 결과로 사료된다. 각 뱀장어 전용어도에 실뱀장어가 처음 소상한 시기는 실뱀장어 조업이 끝난 5월에서 6월이었으며, 어도의 입구에서 불법 조업이 끝난 7월에 가장 많은 실뱀장어 소상 개체가 확인되었다. 또한, 뱀장어 전용어도의 유인수가 방류되지 않거나 바닥 기질 사이로 사이로 실뱀장어가 빠져나가는 등의 문제점이 확인되고 이를 개선한 후 실뱀장어가 원활히 소상하였다. 이처럼 뱀장어 전용어도의 모니터링이 꾸준히 지속되어 문제점을 파악 후 개선해야하며 꾸준한 유지관리를 함으로써 실뱀장어 소상률을 높일 수 있을 것으로 보인다. Solomon and Beach, 2004에 뱀장어 어도 연구결과와 비교하면, 북미, 영국, 프랑스에 설치된 뱀장어 어도는 주로 성

어의 이동을 돕는 큰 댐이나 저수지에 설치된 어도로 주목적이 국내 설치된 어도와 많은 부분이 다른 것으로 확인되었다. 국내 뱀장어 전용어도는 하구에 설치되어 실뱀장어만 이용할 수 있는 전용어도로 목적이 달라 직접비교는 어려운 실정이다. 다만 국내 설치된 뱀장어 전용어도를 지속적으로 모니터링하여, 문제점을 보완해 간다면, 점차 자연계에서 개체수가 감소하고 있는 뱀장어 자원량 회복에 큰 역할을 수행할 것으로 보인다. 따라서 실뱀장어의 소상을 높이기 위해서 전용어도 인근 불법 조업에 대한 계도와 관리자의 지속적인 유지관리 및 모니터링이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

적 요

해양수산부에서는 내수면 자원조성을 목적으로 뱀장어 전용어도 설치사업을 추진하였으며, 현재 금강하굿둑('18년), 영암방조제('19년), 아산만방조제('20년)에 뱀장어 전용어도가 설치되어 운영중에 있다. 본 연구에서는 2021년 뱀장어 전용어도의 실뱀장어 소상 개체수를 모니터링하고 소상에 영향을 주는 요인들을 조사하였다. 뱀장어 전용어도의 실뱀장어 소상은 염분이 비교적 낮을 때 많았으며, 담수와 해수 수온이 20°C 이상일 때 시작되었으며, 조석(소조기, 대조기, 기타시기)에 따른 차이는 없었다. 연도별 출현 개체수를 비교하였을 때 2021년에 가장 많은 소상 개체수가 관찰되었으나, 이는 해측 실뱀장어의 분포량에 따른 것이 아닌 조사자의 어도 보수와 불법 조업의 계도에 따른 결과로 판단된다.

저자정보 김재구 ((주)알파생태연구원 대표이사), 조윤정 ((주)알파생태연구원 연구원), 박철우 ((주)알파생태연구원 연구원), 김종욱 ((주)알파생태연구원 연구원), 신유신 ((주)알파생태연구원 연구원, 군산대학교 대학원), 임민영 (군산대학교 대학원), 송영희 (한국농어촌공사 어촌수산처 차장), 김원장 (한국농어촌공사 어촌수산처 부장), 최 윤 (군산대학교 교수)

저자기여도 연구설계: 김재구, 최 윤; 현장조사 및 자료수집: 조윤정, 박철우, 김종욱, 신유신, 임민영, 최 윤, 송영희; 원고 수정 및 검토: 모든저자

이해관계 본 연구 논문의 모든 저자는 이해관계에 충돌이 없음을 밝혀드립니다.

연구비 본 조사는 한국농어촌공사 2021년 뱀장어 전용어도 생물상 모니터링 연구사업에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Hong, Y.K., M.Y. Song, S.E. Yi and W.O. Lee. 2015. Change in Morphological and Biological Characteristics by Maturation of Japanese Eel, *Anguilla japonica*, Collected in Korea Waters. *Korean Journal of Ichthyology* **27**: 263-274.
- Hong, Y.K., J.E. Kim, J.H. Lee, M.Y. Song, H.W. Park and W.O. Lee. 2017. Occurrence of exotic eels in natural waters of South Korea. *Animal Cells and Systems*.
- 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 Journal of Ichthyology* **21**: 262-272.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 2007. Freshwater fishes of Korea. Kyohak Publishing, Seoul, Korea.
- Kim, W.S., S.J. Yoon, H.T. Moon and T.W. Lee. 2002. Effects of water temperature changes on the endogenous and exogenous rhythm of oxygen consumption in the glass eels *Anguilla japonica*. *Marine Ecology Progress Series* **243**: 209-216.
- Kim, W.S., S.J. Yoon., J.W. Kim., J.A. Lee and T.W. Lee. 2006. Metabolic response under different salinity and temperature conditions for glass eel *Anguilla japonica*. *Marine Biology* **149**: 1209-1215.
- Korea Maritime Institute. (2022.04.19)
- Korean Statistical Information Service. (2022.04.19)
- MacNamara, R. and T.K. McCarthy. 2012. Size-related variation in fecundity of European eel (*Anguilla anguilla*). *ICES Journal of Marine Science* **69**: 1333-1337.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. http://www.molit.go.kr/USR/policy/Data/m_34681/dtl.jsp?id=228
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2003. A study of the early life history and migration of glass eels in order to predict stock size.
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2020. 2020 Monitoring of Eel-ladder in Korea.
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2021. 2021 Monitoring of Eel-ladder in Korea.
- National Institute of Fisheries Science. 2016. A study on eel resource assessment and management plan.
- National Fisheries Research and Development Institute. 2009. Standard Manual of Eel (*Anguilla japonica*) Aquaculture.
- Solomon, D.J. and M.H. Beach. 2004. Fish pass design for eel and elver (*Anguilla Anguilla*). Environment Agency. 1-105 pp.
- Watanabe, S., J. Aoyama and K. Tsukamoto. 2009. A new species of freshwater eel *Anguilla luzonensis* (Teleostei: Anguillidae) from Luzon Island of the Philippines. *Fisheries Science* **75**: 387-392.