

실뱀장어의 하굿둑 어도 및 갑문 이용 실태 연구

조현빈¹ · 곽석남² · 김구환³ · 이완옥¹ · 박기연¹ · 객인실^{1,4} · 김동균^{1,*}

¹전남대학교 수산과학연구소, ²(주)환경생태공학연구원, ³한국수자원공사 부산권지사,
⁴전남대학교 환경해양학전공

Migration of Glass Eel (*Anguilla japonica*) through Fish Way and Lock Gate in an Estuarine Barrage.

Hyunbin Jo¹ (0000-0001-8064-7880), Seok-Nam Kwak² (0000-0003-0785-9443), Koo-Hwan Kim³ (0000-0001-9072-8609), Wan-Ok Lee¹ (0000-0001-5063-3357), Kiyun Park¹ (0000-0003-2965-6970), Ihn-Sil Kwak^{1,4} (0000-0002-1010-3965) and Dong-Kyun Kim^{1,*} (0000-0003-3801-8671) (¹Fisheries Science Institute, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea; ²Ecological Engineering Institute Co. Ltd, Busan 48520, Republic of Korea; ³K-water Busan Office, Busan 49300, Republic of Korea; ⁴Department of Fisheries and Ocean Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea)

Abstract A total of 23 individuals of glass eel (*Anguilla japonica*) were investigated from two estuarine barrages of the Nakdong River in 2016. It was observed that most individuals migrated through the eastern barrage, compared to the western. Individual numbers differed significantly along the corridor modification of the barrages; for example, the number of individuals was two to three times higher after the modification. These results indicate that modification of fish way and lock gate for has facilitated migration of glass eel, and our study potentially offers the operation strategy of estuarine barrage in order to induce more active migration of glass eel.

Key words: Nakdong river estuarine barrages, glass eel, modification of the fish way and lock gate

서 론

뱀장어 (*Anguilla japonica*)는 심해에서 산란하며, 부화 된 자어 (뱀장어)는 해류를 따라 이동하면서 실뱀장 어 (glass eel) 형태로 변한다 (Tesch and White, 2008). 이후 강 하구에서 머무르거나 강 상류로 소상하여 성장하는 독특한 생활사를 가진 강하성 어류 (catadromous fish)이다 (Watanabe *et al.*, 2004). 뱀장어는 한국을 포함하는 아시아 에서 식재료로서 가치가 높아 중요한 경제성 어류로 알려

져 있다 (Ting *et al.*, 2015). 특히 우리나라에서의 뱀장어에 대한 양식-어로어업생산량을 합치면 2018년 내수면 어업 의 67.9%를 차지하며 금액으로는 3,129억원에 이르는 것 으로 알려져 있다 (Ministry of Oceans and Fisheries, 2019).

뱀장어는 심해에서 산란하는 독특한 생활사로 인해 인 공부화 및 자어 생산이 어려워 뱀장어 양식장에서는 하구 에서 채집되는 자연산 실뱀장어를 종묘로 이용하고 있는 실정이다 (Hwang *et al.*, 2009). 하지만 실뱀장어의 연간 어 획량의 변이가 심하여 안정적인 공급이 어려운 상태이며, 연간 어획량은 지속적으로 감소하고 있는 추세로 뱀장어 개체군의 보전을 위한 조치가 필요한 상태이다 (Dekker, 2003). 뿐만 아니라 CITES (국제 야생동식물 멸종 위기종 거래에 관한 조약)에 의해 종 수입 제한 등으로 뱀장어 양

Manuscript received 28 February 2019, revised 9 March 2019,
revision accepted 13 March 2019
* Corresponding author: Tel: +82-61-659-6744, Fax: +82-61-659-6749,
E-mail: dkkim1004@gmail.com

식 산업은 큰 어려움에 직면하고 있다(Kim *et al.*, 2016). 이러한 실뱀장어 어획량의 감소는 남획과 실뱀장어의 회유를 제한하는 시설의(댐, 하굿둑 등) 증가가 주요 원인으로 알려져 있다(Hwang *et al.*, 2009).

실뱀장어의 전장은 50~70 mm이나 체고는 2 mm 전후로 소형어류이며 유영능력이 떨어져 해류를 따라 이동하며, 하구 근처에 도착한 후 낮에는 바닥에 붙어 있다가 해가 지고 고조시기가 되면 물의 움직임에 따라 강 상류 쪽으로 올라간다고 알려져 있다(Tesch and White, 2008). 또한 벽면을 기어서 이동하는 습성을 가지고 있다. 하지만 전 세계적으로 이러한 특성에 따른 실뱀장어의 하구 지역 이동에 대한 연구는 제한적이다(Laffaille *et al.*, 2007). 낙동강의 경우 하굿둑과 본류의 대형보로 인해 실뱀장어의 소상이 제한되어있어, 하굿둑 어도 및 갑문을 이용하는 실뱀장어에 대한 기초 자료 확보가 시급하다.

본 연구는 낙동강 하굿둑에 설치된 어도 및 갑문을 이용한 실뱀장어 이동 가능성에 대한 현장 조사를 실시하였다. 이를 통해 향후 하구둑 운영 방안을 제시하고 향후 실뱀장어 보전 방안을 토의해 보았다.

재료 및 방법

1. 조사 지점 및 방법

본 조사는 월령이 망(보름)인 2016년 4월 22~23일(1차 조사)과 5월 25~26일(2차 조사)에 동편 하굿둑 갑문과 어도(1번, 2번 어도)와 서편 하굿둑 어도 등 총 4개 지점에서 실시하였다(Fig. 1). 4개 지점 모두 실뱀장어 채집을 위한 특수 정치망(유도망 2×2 mm, 채집망 0.7×0.7 mm)을 제작하여 사용하였고, 최소 12시간 이상 정치한 후 채집망에 채집된 실뱀장어를 확인하였다. 동편 하굿둑 갑문의 경우 해가 지고 고조인 시간에 맞춰 오후 8~12시 사이에 뜰채와 서치라이트를 이용하여 추가 조사를 실시하였다. 실뱀장어의 소상 지원 시설물 효율성 파악을 위해 2차 조사 경우 서편 하굿둑 3번 계단식 어도에는 인조잔디를 설치하였고, 동편 하굿둑 2번 계단식 어도에 솔을 설치한 후 조사를 실시하였다(1번 계단식 어도는 대조군으로 솔 미설치, Table 1).

2. 지점별 세부 조사 방법

동편 하굿둑 갑문의 경우 실뱀장어용 정치망과 서치라이트와 뜰채를 이용하여 실뱀장어를 채집하였다. 정치망의 경우 오후 4시에 설치하여 12시간 이상 정치한 후 채집망에 잡힌 실뱀장어를 확인하였으며, 뜰채를 이용한 채집은 해가 지고 고조인 시간에 맞춰 실시하였다(Appendix 1). 동편 하굿둑 어도의 경우 실뱀장어용으로 특수 제작된 정치망을 고정형 트랩 안에 설치하여 채집하였다. 2차 조사의 경우 실뱀장어 유도 솔을 어도 수로에 설치하여 실뱀장어의 이동을 용이하게 하였으며, 어도의 수문을 차단하여 유속을 감소시킨 후 조사를 실시하였다(Appendix 2). 서편 하굿둑 어도의 경우 실뱀장어용으로 특수 제작된 정치망을 어도에 설치하여 채집하였다. 설치는 오후 6시에 하여 다음날 8시에 회수하였고, 동편 하굿둑 어도와 마찬가지로 2차 조사의 경우 실뱀장어 유도 인조잔디를 어도 수로에 설치하여 실뱀장어의 이동을 용이하게 하여 조사를 실시하였다(Appendix 3).

결과 및 고찰

본 연구를 통해 실뱀장어는 총 23개체가 채집되었으며,

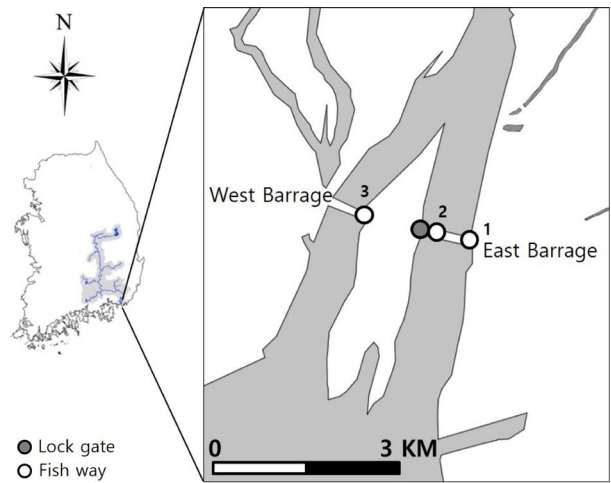


Fig. 1. Map of the study site in the Nakdong River estuary.

Table 1. Description of sampling design (peddle in lock gate for attracting fishes).

Date in 2016	East barrage			West barrage
	Lock gate	Fish way 1	Fish way 2	Fish way 3
22~23 April	Open peddle	Open water gate	Open water gate	Closed water gate
25~26 May	Closed peddle	Closed water gate	Closed water gate / installed brushes	Closed water gate / laid artificial grass

Table 2. Number of individuals of glass eel in the lock gate and fish way (control: fish way 1).

Species	Eastern barrage			Western barrage	Total
	Lock gate	Fish way 1	Fish way 2	Fish way 3	
<i>Anguilla japonica</i>	20	0	2	1	23

지점별로 보면 동편 하굿둑에서 22개체, 서편 하굿둑에서 1개체가 채집되었다(Table 2). 동편 하굿둑 갑문에서 20개체로(뜰채 18, 정치망 2) 가장 많이 채집되었고, 그 다음으로 동편 하굿둑 2번 어도 및 서편 하굿둑 어도에서 각각 2개체, 1개체 순으로 채집되었다. 동편 하굿둑 1번 어도에서는 실뱀장어가 채집되지 않았다(Table 2). 소상지원 시설물 형태 변화, 즉 갑문의 패들 및 어도의 수문 개방 여부, 인조잔디 및 솔의 설치에 따른 실뱀장어의 채집 개체수의 변화를 보면, 동편 하굿둑 갑문의 경우 5개체에서 15개체로 3배 상승하였고, 2번 어도의 경우 0개체에서 2개체로 상승하였다(Fig. 2). 이와 같은 결과는 2차 시기인 5월에 실뱀장의 소상지원을 위한 인조잔디 및 솔의 설치가 실뱀장어의 소상에 긍정적 영향을 준 것으로 판단된다. 그리고 패들을 개방하지 않았을 때가 개방했을 때보다 현저하게 높은 개체수를 나타내었다. 하지만 이는 패들 개방시 유속증가와 물결이 발생하여 뜰채를 이용한 육안 채집이(뜰채) 어려움에 일부 원인이 있었던 것으로 추정된다. 따라서 하굿둑의 갑문 및 어도 자체 구조물에 큰 영향을 주지 않는 범위 안에서 설치된 적정 시설물은 갑문 및 어도를 이용하는 실뱀장어와 유영력이 약한 어류의 이동 및 분포에 영향을 줄 것으로 판단된다.

본 조사는 2회 조사(4월, 5월) 결과로 표본수가 작아 모집단에 대한 대표성은 결여되어 있으나, 낙동강 하굿둑 어도와 갑문 모두에서의 실뱀장어를 채집하여 실뱀장어의 하굿둑 어도와 갑문 이용 가능성을 확인하였다. 뿐만 아니라 하굿둑 어도 및 갑문의 소상지원 시설물 형태 변화에 따른 실뱀장어 채집 개체수가 현저한 차이를 보여주고 있어, 향후 실뱀장어 회유시기에는 하굿둑 어도 및 갑문을 능동적으로 운영해야 할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 이번 조사결과를 바탕으로 하여 실뱀장어 보전 방안을 아래와 같이 제안한다.

실뱀장어의 소상을 지원하기 위해서는 첫째, 어도 및 갑문의 유속조절이 필요하다. 실뱀장어는 고조시기의 해류의 흐름을 따라 강의 하구를 지나 상류 쪽으로 올라가는 것으로 알려져 있다. 또한 실뱀장어는 수온이 낮아 다른 어류의 활동이 적은 시기인 2~5월 사이에 가장 많이 이동하는 것으로 알려져 있다(Hwang *et al.*, 2009). 따라서 이 시기에는 갑문 및 어도의 유속을 최대한 감소시켜 실뱀장어의

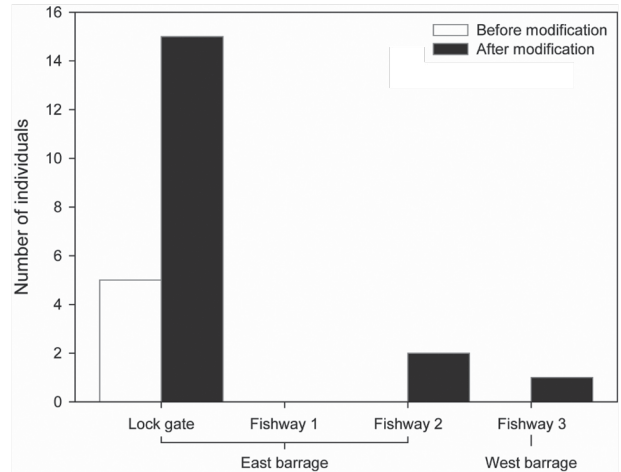


Fig. 2. Number of individuals of glass eels before and after corridor modification of the barrages (control: fish way 1).

이동에 도움을 줄 필요성이 있다. 하지만 본 시기는 담수 어류 산란기가 포함되어 활동성이 월동기에 비해 상대적으로 많으므로, 다른 회유성 어종인 웅어, 은어, 뱀어과 등의 영향을 고려하여 갑문 및 어도의 운영 방안을 탄력적으로 조절할 필요성이 있다.

둘째, 실뱀장어 이동 보조 시설 설치가 필요하다. 실뱀장어는 유영 능력이 떨어지는데 반해 기어가는 습성을 가지고 있어 실뱀장어의 어도 및 갑문 통과에 도움을 주기 위해서는 인조잔디 및 솔과 같은 보조 시설을 설치할 필요성이 있다(Hwang *et al.*, 2009). 특히 하굿둑에 설치되어 있는 어도의 경우 대형 및 유영 능력이 뛰어난 어류(연어, 은어 등)에 초점을 맞춰 설계되어 있어 실뱀장어가 이용하기에는 유속이 빠르며 기는 습성을 가진 어류에 대한 고려가 되어 있지 않다. 이러한 어도의 한계점을 극복하기 위해서는 보조시설(예: 인조잔디, 솔 및 바닷 등)을 추가적으로 설치하여 실뱀장어의 어도 통과를 위해 도움을 주어야 할 것이다.

마지막으로 상류 보 어도와 연계한 실뱀장어와 뱀장어(성체)의 장기적인 모니터링 실시가 필요하다. 서두에서 언급하였듯이 실뱀장어의 연간 어획량의 변이가 심하여 1회성 조사로는 실뱀장어의 정량적 조사 및 개체군 크기 파악이 불가능하다. 뿐만 아니라 4대강 살리기 공사 이후 하

곳둑 상류로 대형 보가 건설되어 하굿둑을 넘어온 실뱀장어의 이동에 또 다른 제약이 따르고 있다. 따라서 다년간에 걸친 실뱀장어와 뱀장어(성체)에 대한 회유 및 산란 이동 모니터링을 상류 보와 연계하여 수행해야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 조사는 월령이 망(보름)인 2016년 4월 22~23일과 5월 25~26일에 낙동강 하굿둑 갑문과 어도 등 총 4개 지점에서 실뱀장어 이동 가능성에 대한 현장 조사를 실시하였다. 실뱀장어는 총 23개체가 채집되었으며, 지점별로 보면 동편 하굿둑에서 22개체, 서편 하굿둑에서 1개체가 채집되었다. 소상지원 시설물 형태 변화, 즉 갑문의 패들 및 어도의 수문 개방 여부, 인조잔디 및 솔의 설치에 따른 실뱀장어의 채집 개체수의 변화를 보면, 동편 하굿둑 갑문의 경우 5개체에서 15개체로 3배 상승하였고, 2번 어도의 경우 0개체에서 2개체로 상승하였다. 본 조사는 2회 조사 결과로 표본수가 작아 모집단에 대한 대표성은 결여되어 있으나, 낙동강 하굿둑 어도와 갑문 모두에서의 실뱀장어를 채집하여 실뱀장어의 하굿둑 어도와 갑문 이용 가능성을 확인하였다. 뿐만 아니라 하굿둑 어도 및 갑문의 소상지원 시설물 형태 변화에 따른 실뱀장어 채집 개체수가 현저한 차이를 보여주고 있어, 향후 실뱀장어 회유시기에는 하굿둑 어도 및 갑문을 능동적으로 운영해야 할 것으로 사료된다.

저자기여도 개념설정: 모든 저자, 방법론 및 분석: 조현빈 & 광석남 & 김구환, 원고 초안작성: 조현빈, 원고 교정: 모든 저자, 원고 편집: 광인실, 김동균

모든 저자들은 논문의 결과에 동의하였고, 출판될 최종본을 검토하고 동의하였습니다.

이해관계 본 논문에 포함된 모든 저자들은 연구에 있어서

의 학술출판에 있어서 어떠한 이해충돌도 없음을 알려드립니다.

연구비 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다 (NRF-2018R1A6A1A03024314).

사사 한국수자원공사 부산권지사를 통해 자문형태의 지원을 받았습니다.

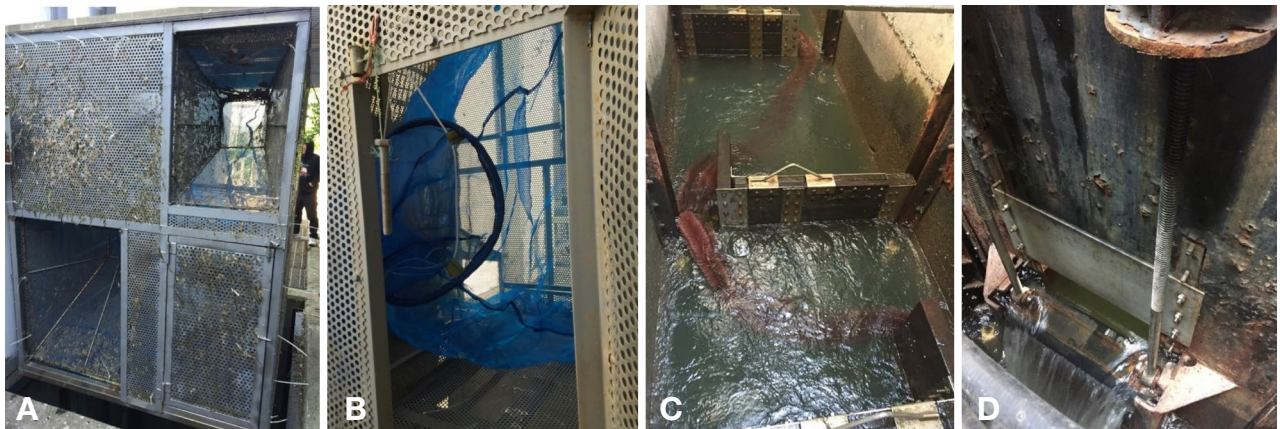
REFERENCES

- Dekker, W. 2003. Worldwide decline of eel resources necessitates immediate action-Quebec Declaration of Concern. *Fisheries* **28**: 29-30.
- 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 Journal of Ichthyology* **21**(4): 262-272.
- Kim, J.W., W.C. Lee, H.C. Kim, S.H. Hong and K.D. Park. 2016. Feeding Habits of the Glass Eel *Anguilla japonica* Determined by C and N Stable Isotopes in the Nakdong River Estuary of the Korean Peninsula. *Journal of the Korean Society of Oceanography* **21**(1): 36-43.
- Laffaille, P., J.M. Caraguel and A. Legault. 2007. Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*) at the Couesnon estuarine dam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **73**(1-2), 81-90.
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2019. <http://www.mof.go.kr/index.do>. Accessed on 27 Feb. 2019.
- Tesch, F.W. and R.J. White. 2008. The eel. John Wiley & Sons.
- Ting, K.H., K.L. Lin, H.T. Jhan, T.J. Huang, C.M. Wang and W.H. Liu. 2015. Application of a sustainable fisheries development indicator system for Taiwan's aquaculture industry. *Aquaculture* **437**: 398-407.
- Watanabe, S., J. Aoyama and K. Tsukamoto. 2004. Reexamination of Ege's (1939) use of taxonomic characters of the genus *Anguilla*. *Bulletin of Marine Science* **74**: 337-351.

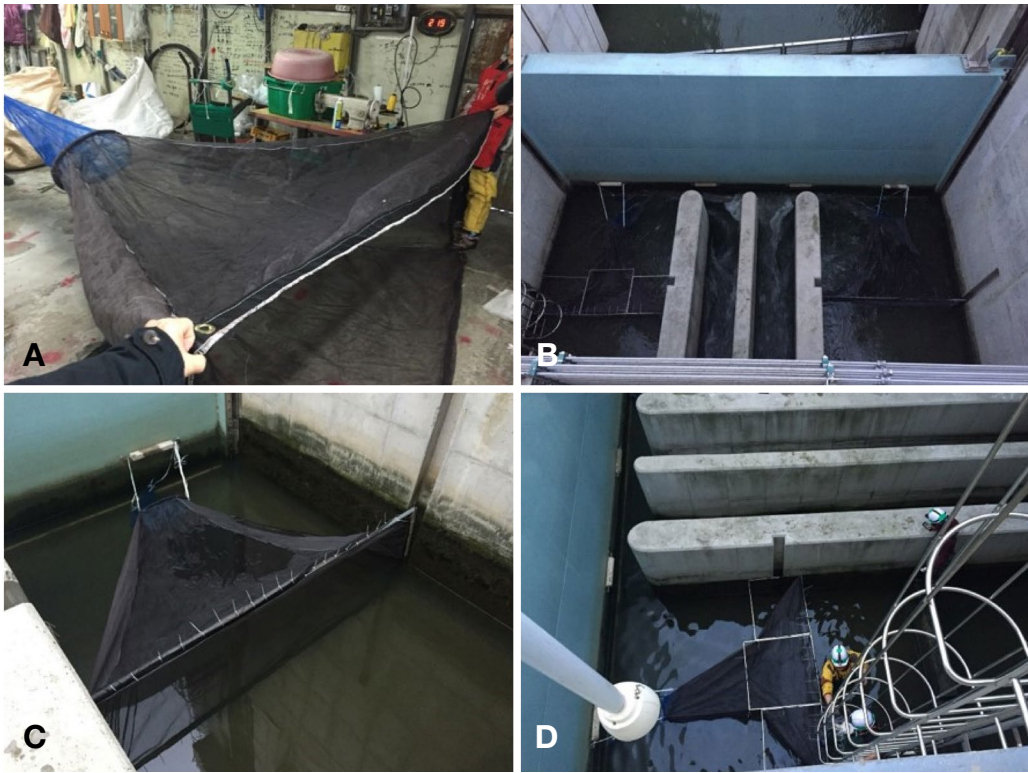
APPENDIX



Appendix 1. The fishing gears for a lock gate in the east barrage (scoop net [A], sampling using searchlight with scoop net [B], a stationary net for glass eel [C], installation of stationary net [D]).



Appendix 2. The fishing gears for fish ways in the east barrage (fixed net in fish way 1 [A], fixed net in fish way 11 [B], installed brushes [C], gate of fish way [D]).



Appendix 3. The fishing gears for fish ways in the west barrage (a stationary net for glass eel [A], installation of stationary nets [B-D]).