

2021년도 시민과학풀씨 2기  
최종 결과보고서

해안 기수 웅덩이에 서식하는  
청개구리 서식지 및 생태 분석

2021.11.

[바다개구리]

허경만(난징임업대학교 대학원 동물학전공),  
손은기(서울시립대학교 도시과학대학원 조경학전공)

# 해안 기수 웅덩이에 서식하는 청개구리 서식지 및 생태 분석

[바다개구리]

허경만(난징임업대학교 대학원 동물학전공), 손은기(서울시립대학교 도시과학대학원 조경학전공)

## 1. 서론

기후위기는 국제사회에서 심각한 화두로 급부상하여 1995년 베를린에서의 유엔기후변화협약 당사국총회에서 논의된 이후 2021년 26번째 총회가 개최되었다. 기후위기 논의에서 항상 언급되는 문제는 지구의 빙하가 녹음으로써 나타나는 해수면 상승이다. 국립해양조사원은 우리나라 주변 해역의 평균 해수면이 2100년이 되면 최대 73cm 상승할 수 있다는 연구도 발표했다. 이런 식으로 해수면이 상승하면 염분의 지속적인 침투로 해안가에 서식하는 생물들에게 엄청난 피해가 갈 것이다. 그 생물들 중에서도 특히 염분에 대한 감수성이 높은 생물은 해수면 상승에 대한 피해가 더욱 커질 수밖에 없다. 그런 생물중 하나가 바로 양서류이다. 양서류는 피부가 항상 축축하게 젖어 있어야 생존과 호흡이 가능하며 깨끗한 물이 공급되지 않는 상황에서는 다른 어떤 생물보다도 빠른 속도로 개체수가 줄어든다. 양서류는 다른 대부분의 척추동물과는 다르게 피부가 보호와 단열의 역할을 할 뿐만 아니라 체액의 수분 함량과 삼투압을 조절하는 기능을 수행한다(Katz, 1986). 이러한 상황에서 양서류의 내염성은 아주 중요한 연구 주제이다. 고농도의 염분이 포함된 물은 양서류의 삼투 조절 능력에 장애를 일으키기 때문이다. 하지만 지난 2018년까지 국내에 서식하는 양서류의 내염성에 대한 데이터는 하나도 없었다.

그러나 청개구리는 어느 정도 염분에 견딜 수 있다는 연구결과를 발표하였고, 기존의 예측과는 다르게 일부 양서류는 염분에 저항성을 가질 가능성도 확인하였다. 미래 해수면 상승시대의 양서류 보존을 위해 지금부터라도 양서류 내염성에 관한 연구가 절실히 필요하다.

우리나라의 염분에 서식하는 양서류에 관한 연구는 2019년 한 편의 논문이 전부이다. 하지만 해외에서는 염분 서식지에 서식하는 양서류에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 2017년 기준 총 144종의 양서류가 염분 서식지에 서식한다고 알려졌다. 양서류학자 Molly Albecker는 어떠한 유전자 부위가 개구리의 내염성을 강화하는지 밝혀냈으며 여러 가지 관점에서 분석중이다. 또한 몇몇 종에 대해서는 실험실 환경에서 각각 염도를 다르게 한 뒤에 얼마나 버티는지, 얼마나 빠르게 개구리가 되는지를 보는 실험이 진행 중이며 한국 종에 대해서도 같은 연구가 진행되고 있다.

이번 연구에서는 제주도의 청개구리의 염분 서식지로 적합해 보이는 구역 60개의 장소를 선정해 청개구리의 서식 여부와 서식지의 염분 농도를 확인했다. 또한 서식지의 미소서식환경을 보기 위해 날씨, 용존산소량(DO), 수온, 염도, 고도, 해안선까지의 거리, 녹지까지의 거리, 수심, 웅덩이의 최소 폭, 웅덩이의 최대 폭, 기질의 종류, 청개구리의 개체수, 참개구리의 개체수, 포식자인 바위게의 밀도를 측정하여 청개구리의 서식 여부에 대해 상관관계를 조사하였다.

따라서 이번 프로젝트에서 우리나라 제주도에 서식하는 청개구리의 내염성과 그 서식지 특성을 시민과학자들과 함께 다루어 보았으며 이를 통해 우리나라에 서식하는 양서류 내염성에 대해 알리는 계기가 될 것이다.

## 2. 본론

1) 연구 대상 및 지역

청개구리(*Dryophytes japonicus*)는 흔히 논이나 작은 습지에 서식하는 종으로 우리나라에서 가장 흔한 양서류 중 중 하나이다. 제주도를 포함한 전국에 분포하며 우리나라에서 염분에 저항성을 가지는 것으로 알려진 유일한 종이다. 이번 연구는 내염성에 관한 연구이기 때문에 제주도 해안가 주변 하천과 바다가 만나는 기수역과 지하수가 유입되어 기수가 유지되는 웅덩이 등 60개의 장소 (이하 사이트)를 선정하였다.



그림 1. 새섬 염분 서식지의 청개구리



그림 2. 새섬 서식지 전경

2) 연구 방법

(1) 사이트 선정

청개구리 서식지 조사를 할 사이트는 구글어스(Google earth)프로그램을 이용하여 위성지도로 기수하천과 기수 웅덩이 지역을 파악하여 선정하였다. 위성지도에 잡히지 않는 기수웅덩이도 있을 수 있기 때문에 지역명+개구리 또는 지역명+올챙이를 조합하여 국내 포털사이트에 검색을 통해 추가적으로 사이트를 선정하였다. 마지막으로 이번 연구에 참여하는 시민과학자의 제보를 받아 추가하였다.

표 1. 제주도 사이트 목록

NO	조사지점 위치	좌표
1	제주시 용담2동 (용언교)	(N33.512345, E126.514172)
2	제주시 도두일동 산1 (도두봉)	(N33.508095, E126.468593)
3	제주시 내도동 898 (도근천)	(N33.491969, E126.440175)
4	제주시 외도2동 241 (마꼬또)	(N33.492423, E126.435540)
5	제주시 외도이동 1956-23 (마이못)	(N33.493344, E126.427612)
6	제주시 애월읍 하귀2리 3015 (문가열쇠)	(N33.482972, E126.405758)
7	제주시 애월읍 하귀2리 3018 (소왕천)	(N33.481683, E126.402094)
8	제주시 애월읍 구엄리 412-4 (수산천)	(N33.484613, E126.385642)
9	제주시 한림읍 동명리 1797-1 (명월담)	(N33.406769, E126.260740)
10	제주시 한림읍 월령리 339 (블루하와이리조트)	(N33.380992, E126.215790)
11	제주시 한경면 판포리 1638-2 (망향물)	(N33.367599, E126.205595)
12	제주시 한경면 금등리 753-3 (민산수산)	(N33.360017, E126.187977)
13	제주시 한경면 금등리 779 (다리목)	(N33.357513, E126.189108)
14	제주시 한경면 신창리 520 (신창리사무소)	(N33.346419, E126.181087)
15	제주시 한경면 신창리 546-10 (신창풍차해안)	(N33.345704, E126.179112)
16	제주시 한경면 신창리 1290-3 (한국남부국체풍력센터)	(N33.344874, E126.176554)
17	한경면 신창리 1442-7 (서쪽바다뷰뷰)	(N33.341914, E126.167713)
18	제주시 한경면 용수리 4037-1 (다령이네민박)	(N33.329185, E126.165478)
19	제주시 한경면 고산리 3997 (놀빛바다)	(N33.307240, E126.165787)
20	제주시 한림읍 협재리 (비양도)	(N33.409603, E126.225701)
21	제주시 화북일동 4453 (안드림물)	(N33.521182, E126.553895)

22	제주시 조천읍 조천리 조천8길 16 (아침해변펜션)	(N33.543942, E126.638069)
23	제주시 조천읍 신흥리 939 (신흥리1)	(N33.551722, E126.648059)
24	제주시 조천읍 신흥리 707-1, 741 (신흥리2, 3)	(N33.551722, E126.648059)
25	제주시 구좌읍 김녕리 474-3 (김녕풍력연구단지)	(N33.562901, E126.764292)
26	제주시 구좌읍 월정리 월정서로 141 (월정로)	(N33.563425, E126.777302)
27	제주시 구좌읍 하도리 947 (용목개와당)	(N33.508428, E126.893031)
28	제주시 구좌읍 하도리 947-36 (탕탕물)	(N33.508428, E126.893031)
29	제주시 구좌읍 종달리 14-1 (종달리)	(N33.507405, E126.911584)
30	제주시 우도면 연평리 1197-4 (안녕육지사람)	(N33.515114, E126.957238)
31	제주시 우도면 연평리 1804 (해별빌리지)	(N33.494270, E126.948743)
32	제주시 우도면 연평리 1732-1 (톨칸이)	(N33.492055, E126.954504)
33	서귀포시 성산읍 신천리 1086 (천미천)	(N33.339013, E126.849819)
34	서귀포시 표선면 세화리 287-2 (가시천)	(N33.306220, E126.806233)
35	서귀포시 표선면 세화리 1550 (가마초등학교)	(N33.303962, E126.800596)
36	서귀포시 남원읍 태흥리 2002 (신흥천)	(N33.298281, E126.759836)
37	서귀포시 남원읍 태흥리 1154-3 (태흥Hits집)	(N33.280980, E126.745444)
38	서귀포시 남원읍 태흥리 1059-1 (의귀천)	(N33.282228, E126.739606)
39	서귀포시 남원읍 태흥리 1059-1 (제주어항원)	(N33.282388, E126.739281)
40	서귀포시 남원읍 위미리 1715-4 (리와장)	(N33.270072, E126.673166)
41	서귀포시 남원읍 위미리 1757-16 (좌메머들코지)	(N33.271598, E126.662713)
42	서귀포시 남원읍 위미리 2908-1 (위미1리경로당)	(N33.274314, E126.657386)
43	서귀포시 남원읍 신례리 74-1 (뜨레향펜션)	(N33.264423, E126.638060)
44	서귀포시 남원읍 하례리 77-3 (하례리마을회관)	(N33.259522, E126.639345)
45	서귀포시 하효동 1459 (쇠소깍다리)	(N33.258456, E126.623822)
46	서귀포시 보목동 1634 (라라보목)	(N33.241230, E126.604432)
47	서귀포시 동홍동 299-3 (정방폭포)	(N33.246174, E126.571947)
48	서귀포시 대정읍 신도리 3016 (돌고래스토어)	(N33.279508, E126.170222)
49	서귀포시 안덕면 사계리 112-3 (용머리해안)	(N33.232861, E126.314063)
50	서귀포시 안덕면 사계리 3634 (다이버하우스펜션)	(N33.240904, E126.321785)
51	서귀포시 안덕면 감산리 1956 (창고천)	(N33.239408, E126.343073)
52	서귀포시 색달동 3389-6 (갯갯다리)	(N33.241142, E126.396742)
53	서귀포시 하원동 1639-2 (하원동)	(N33.242453, E126.456383)
54	서귀포시 강정동 5647 (강정교)	(N33.233401, E126.487808)
55	서귀포시 강정동 2681-4 (약근교)	(N33.234465, E126.489796)
56	서귀포시 법환동 286-3 (막숙물)	(N33.237562, E126.515646)
57	서귀포시 호근동 1628 (주차장)	(N33.240778, E126.526578)
58	제주 서귀포시 서홍동 791 (외돌개)	(N33.239073, E126.544587)
59	서귀포시 서홍동 795-6 (황우지선녀탕)	(N33.239324, E126.548930)
60	제주 서귀포시 서홍동 707-4 (새섬)	(N33.237910, E126.557323)



그림 3. 조사지 위성지도

(2) 서식지 확인 및 측정

선정된 60개의 사이트에 5월-7월에 직접 방문하여 청개구리와 그 올챙이가 서식하는지 확인하였다. 각각의 사이트에서 청개구리 서식 여부와 함께 날씨, 용존산소량(DO), 수온, 염도, 고도, 해안선까지의 거리, 녹지까지의 거리, 수심, 웅덩이의 최소 폭, 웅덩이의 최대 폭, 기질의 종류, 청개구리의 개체수, 참개구리의 개체수, 포식자인 바위게의 밀도를 측정하였다. 이 과정에서 대만 LUTRON ELECTRONIC ENTERPRISE CO., LTD.사의 YK2001PHA 수질측정기를 사용하여 DO, 수온, 염도를 측정하였다. 거리를 재는 측정 항목은 블루텍사의 BD-D100를 사용하였으며 추가적인 개체 확인을 위해 Campark사의 4k light trail camera로 번식기 야간 촬영을 했다.



그림 4. 수온, DO, 염도 측정

(3) 자료 분석

서식지에서 얻은 여러 데이터를 바탕으로 R (R Core Team, 2013)통계 분석을 통해 기수지역의 청개구리 서식 조건을 확인하였다.

3) 연구 결과

(1) 서식지 조사 결과

2021년 5월부터 8월까지 선정된 60개의 사이트를 모두 조사한 결과 청개구리의 기수 웅덩이 서식지를 총 4개 발견하였다. 비가 와서 임시로 형성된 서식지 1개를 제외한 3개의 서식지를 최종적으로 기수 청개구리 서식지로 선정하였다. 기존에 알려져 있던 서귀포시 서흥동에 위치한 새섬 바위절벽지대 서식지(N33.23616, E126.56017)와 서흥동의 외돌개 서식지(N.33.23785, E 126.54757), 강정동의 강정천 서식지(N33.23225, E126.49050)를 추가로 기록하였다.



그림 5. 서식지 위성지도

① 새섬

새섬 바위절벽지대는 서귀포 중부의 서식지로 고도 8.84m 바위절벽 위에 형성되어있으며 서식지 중에서 가장 면적이 넓다. 바위게가 서식하기는 하나 10m 절벽위로 접근이 쉽지 않아 그 서식 밀도는 낮다. 염분의 유입은 자연적인 현상으로 인해 일어나며 비가 오면 일시적으로 염도가 0.04% 정도로 낮아지고 가뭄이 계속되면 염도가 올라간다(최대 0.78%, 평균 0.25%). 너무 작은 웅덩이는 마르기도 한다. 청개구리와 참개구리가 함께 서식하고 있다.



그림 6. 새섬 절벽 서식지 특성

② 외돌개

외돌개 서식지는 폭풍의 언덕이라고 불리는 고도 12.34m의 절벽 위의 웅덩이에 형성되어있으며 그 면적은 넓지 않고 바위게가 관찰되지 않았다. 또한 평균적으로 가장 높은 염도(0.44%)에 서식하고 있었고 참개구리 없이 청개구리만 단독으로 서식하고 있었다.



그림 7. 외돌개 서식지 특성

③ 강정천

강정천 서식지는 고도가 4.15m로 다른 두 서식지보다 상대적으로 낮았지만 바위계가 없었다. 유일한 하구 서식지이며 기수역을 따라 길게 형성되어있는 특징이 있다. 전체적으로 염분 농도가 낮으며(평균 0.03%) 청개구리의 단독 서식지이다.



그림 8. 강정천 서식지 특성

④ 천미천

비가 와서 임시로 형성된 서식지는 제주 서귀포시 표선면에 위치한 천미천 하구 서식지로 유일하게 청개구리 이외에 참개구리의 올챙이가 발견되었다. 참개구리는 첫 사례라 검증이 필요하여 같은 서식지를 수일에 걸쳐 관찰했으나 참개구리 올챙이에겐 너무 높은 염분으로 인해 그 지역에서 절멸했다. 또한 이 서식지의 염분은 바닷물에 유입에 의한 영향도 있으나 하천의 서쪽에 위치한 양식장에서 지속적으로 해수가 유입되는 해수의 영향이 컸다. 실제로 올챙이는 동쪽 하천변에서 발견되었으며 서쪽으로 갈수록 웅덩이의 염도가 올라갔다.



그림 9. 천미천 서식지 특성

(2) 비서식지 조사 결과

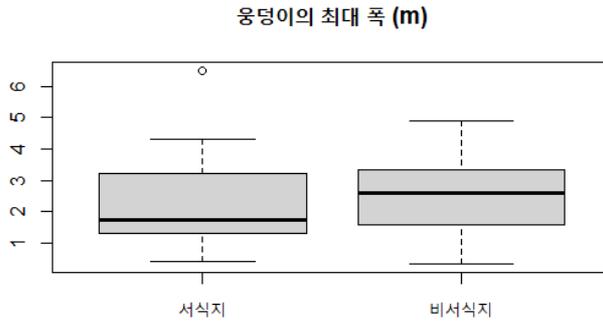
비서식지는 56개의 사이트이기 때문에 대표적인 장소 3곳인 수산천, 창고천, 깃갯다리를 선정하여 청개구리의 염분 서식지와 비교하였다.



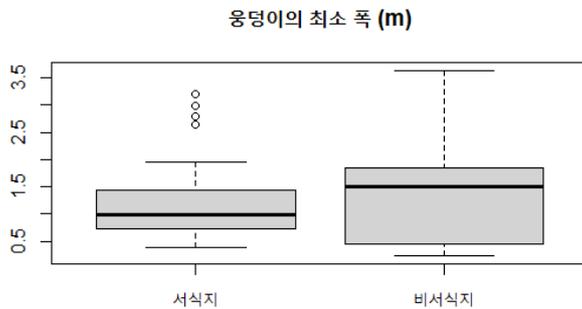
(3) 서식지 분석

서식지 분석 결과 날씨, 용존산소량, 수온, 해안선까지의 거리, 녹지까지의 거리, 웅덩이의 크기, 기질의 종류에서는 유의한 차이를 찾기 힘들었으나 고도와 바위개의 밀도는 유의한 차이를 보였다.

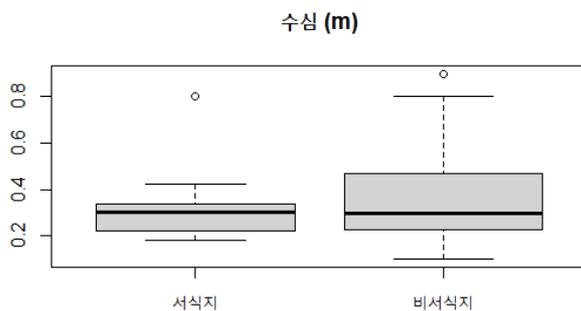
① 웅덩이의 최대 폭 (m) : 웅덩이의 최대 폭은 유의한 차이를 보이지 않았다.



② 웅덩이의 최소 폭 (m) : 웅덩이의 최소 폭은 유의한 차이를 보이지 않았다.

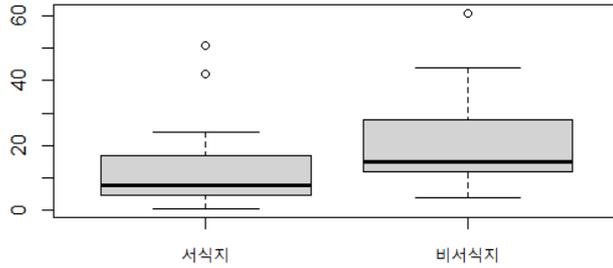


③ 수심 (m) : 수심은 비서식지에서 더 다양하게 나타났으며 대체로 더 얕은 수심에서 서식지가 형성되어 있었다.



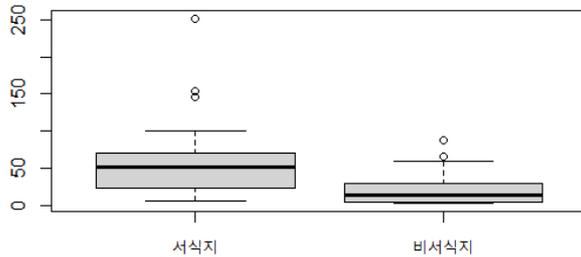
④ 녹지까지의 거리 (m) : 비서식지가 상대적으로 녹지까지의 거리가 멀다. 이는 녹지가 가까운 곳을 선호하는 기존 연구와 부합하는 내용이다.

녹지까지의 거리 (m)



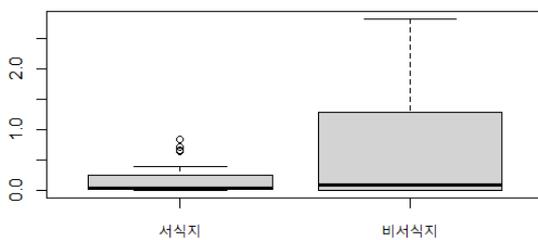
⑤ 해안선까지의 거리 (m) : 해안선까지의 거리는 서식지가 더 멀게 나타났다. 이는 직접적으로 청개구리의 서식에 영향을 주지는 않지만 비서식지는 상대적으로 염분에 더 많이 노출되기 때문에 나타나는 것이다.

해안선까지의 거리 (m)



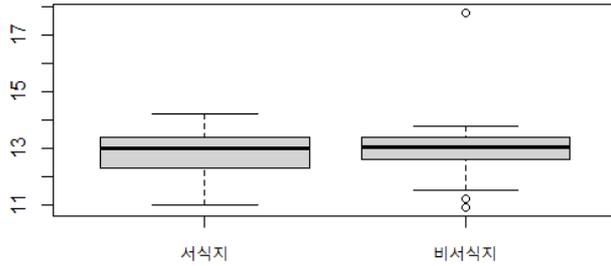
⑥ 염분 (%) : 서식지의 염분은 0.0~0.8까지 다양하게 나타나며 비서식지의 염분은 개구리가 견딜 수 없는 농도까지 더욱 넓은 범위로 나타난다.

염분 (%)



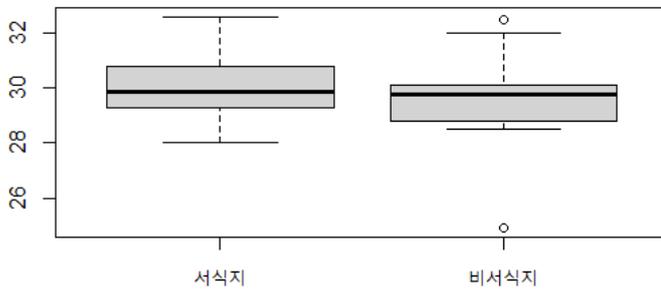
⑦ DO : DO는 유의한 차이를 보이지 않았다. 다만 흐르는 물의 DO값이 높게 나와 튀는 결과가 나왔다.

DO



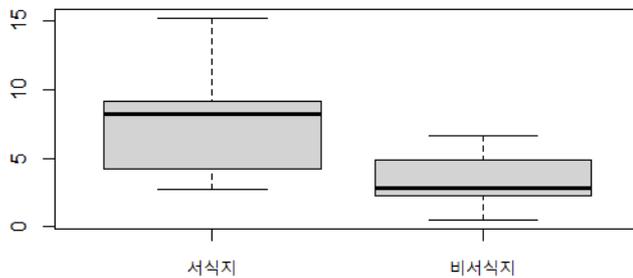
⑧ 수온 (°C) : 수온은 거의 일정했다. 비서식지에서는 흐르는 물을 측정해서 수온이 비교적 낮은 결과도 있었다.

수온 (°C)



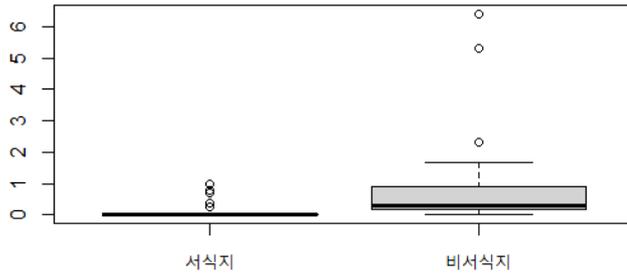
⑨ 고도 (m) : 고도는 중요한 원인으로 작용하였다. 이는 뒤에 나오는 바위게의 존재와도 관련되며 고도가 높은 사이트에서 청개구리가 서식하는 것으로 나타났다. 서식지는 절벽 위에 형성되는 경우가 많았고 절벽 위가 아니더라도 바위게가 접근하기 어렵게 바다와 하천이 만나는 부분이 폭포였다. 반면 비서식지는 하천의 하구로 고도가 낮아 바위게의 접근이 용이했다. 바위게와 별개로 고도가 낮으면 염도의 변화도 더 심하고 고염분이 유입될 가능성이 더 크다.

고도 (m)



⑩ 바위게의 밀도 (마리/m<sup>2</sup>) : 바위게의 밀도는 청개구리 서식과 매우 밀접한 상관관계를 보인다. 서식지 바위게의 밀도는 평균 0에 수렴하였으며 최대 1이 넘지 않는다. 반면 비서식지의 경우 제곱미터당 6마리의 높은 서식밀도를 보이는 곳도 있으며 보통 1마리 이하의 서식밀도를 보인다.

바위계의 밀도



### 3. 결론

60개의 사이트중에서 4개의 사이트에서 기수지역 서식지를 발견하였으며 고도와 바위계의 서식 여부가 중요한 요인으로 작용했다. 청개구리는 하구역보다 절벽위에 지하수 또는 빗물로 형성된 웅덩이를 선호하는 것으로 나타났다.

시민과학자들은 육지 지역의 새로운 서식지 발견을 도와주었는데 유의미한 서식지를 발견해 후속 연구를 이어나갈 것이다. 또한 이번 연구에서는 하구역을 중심으로 서식지 후보를 선정하였지만 다음 연구에서는 해안 절벽을 중심으로 서식지 후보를 선정하려 한다. 이번 연구에서는 기존 조사결과보다 높은 염도에서의 올챙이 서식을 밝혀냈다. 고염도에서의 올챙이 서식은 장마철의 간헐적인 강수로 염도가 주기적으로 내려가서 가능할 것으로 보이며 이는 후속연구에서 다룰 것이다. 실험 결과에서 고염분의 유입에 대한 상관관계를 규명하는 것이 필요하다고 판단되었으며 이어 진행할 후속 연구에서는 청개구리 올챙이가 어느 정도의 염분까지 견딜 수 있는지에 대해 다룰 것이다. 만약 서식지로 예상되는 장소의 웅덩이에서 지속적으로 후속 연구를 통해 밝혀질 올챙이가 견딜 수 있는 최대 농도 이상의 염분이 유입된다면 그 장소는 서식지로 부적합하다고 규명할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- Heo, K., Kim, Y. I., Bae, Y., Jang, Y., & Borzee, A., "FIRST REPORT OF *Dryophytes japonicus* TADPOLES IN SALINE ENVIRONMENT", Russian Journal of herpetology, 26(2), 2019.
- Albecker, M. A., & McCoy, M. W., "Adaptive responses to salinity stress across multiple life stages in anuran amphibians". *Frontiers in zoology*, 14(1), 2017, 1-16
- Katz, U. (1986). The role of amphibian epidermis in osmoregulation and its adaptive response to changing environment. In *Biology of the Integument* (pp. 472-498). Springer, Berlin, Heidelberg.
- "외톨개", <https://blog.naver.com/jejupay/222474515089>, (2020년 10월 15일)
- "강정천" <https://blog.naver.com/deekay1980/221579754550>, (2020년 10월 25일)
- Groffen, J., Borzée, A., & Jang, Y. (2018). "Preference for natural borders in rice paddies by two treefrog species" *Animal cells and systems*, 22(3), 2018, 205-211.