

2020년도 시민과학폴씨 1기  
최종 결과보고서

인간의 활동에 의한  
무당개구리의 기형 정도 조사

2020.12.

[봄비]

김용수(목포대학교 일반대학원 생물학전공),  
노성수·박초희·오도근·유소희(목포대학교 생명과학과)



재단법인 숲과나눔

동아사이언스 

## 인간의 활동에 의한 무당개구리의 기형 정도 조사

[봄비]

김용수(목포대학교 일반대학원 생물학전공),  
노성수·박초희·오도근·유소희(목포대학교 생명과학과)

### 1. 서론

인간의 활동으로 인해 환경오염이 가속되고 있다고 뉴스, 기사 등 많은 매체들은 언급해왔다(“폐어구, 생활쓰레기로 동해 바닷속 황폐화“, 뉴시스(<https://newsis.com>. 2020.11.20.) ”평균수명 150년 바다거북이가 매년 죽어가는 이유“, 오마이뉴스(<http://www.ohmynews.com>. 2020.11.20.) 등). 하지만 이러한 내용들은 환경오염에 관한 경각심을 일깨우지 못한다. 우리에게 직접적으로 나타나지 않기 때문이다.

인간 활동은 환경을 변화시킨다. 인간 활동으로 환경에 해를 주는 물질이 방출되면 다양한 오염이 일어난다. 생물은 환경변화에 민감하게 반응하며, 환경오염에 의한 변화는 기형을 유발하는 등 다양한 이유로 생물의 생존을 위협한다. 그 중에서도 생태계에서 2차 소비자로서 중요한 역할을 담당하고 있는 양서류는 생물 농축의 영향을 받기 때문에 환경오염에 대해 민감하다. 또한, 오염된 환경에 노출된 양서류는 발생단계에서 기형을 나타내기 때문에 환경오염의 지표로 적합하다.

연구 대상으로 선정한 무당개구리는 한반도 전역에 분포하며 산, 계곡에서부터, 논가, 민가까지 주변에서 흔히 볼 수 있다. 또한, 몸의 등면은 암녹색, 청녹색, 갈색 바탕에 흑색 얼룩무늬가 흩어져있고, 배면은 밝은 붉은색 바탕에 흑색 무늬가 산재하여 다른 개구리 종들과 구별이 쉽다. 인간 활동지 근처에 서식하며 다른 개구리에 비해 길게 뿔 수 없다. 이러한 특징으로 인해 무당개구리는 관찰과 동정이 용이하다는 장점이 있어 시민들이 연구에 직접 참여하는 프로젝트인 시민과학 풀씨의 연구 종으로 적합하다.

이전 연구에서 인간의 활동에 인접한 무당개구리의 서식지에서는 기형을 가진 개체가 발견되었지만, 인간의 활동이 거의 없는 무당개구리의 서식지는 기형을 가진 개체가 거의 발견되지 않았다. 결과적으로, 무당개구리는 인간 활동의 종류와 인간 활동과 서식지 사이의 거리에 따라 기형 비율이 영향을 받는다(Changku et al.2016). 무당개구리의 기형 발생률이 인간의 활동과 관련되었다고 언급하고 있지만, 인간의 활동과 환경오염과의 관계에 대해서 언급하고 있지 않다. 환경지표 측정을 통해 환경오염이 인간의 활동과 관련성이 있는지 확인하였다.

무당개구리 배아의 기형과 관련된 요인에 대한 연구에 따르면 무당개구리 배아의 생존율은 총용존고형물(TDS, Total Dissolved Solid), 탁도(Turbidity), 전기전도도(EC, Electrical Conductivity)와 음의 상관관계를 보이며, 기형 발생률과 성장률은 양의 상관관계를 보인다(Chan ea al. 2014). TDS, EC를 환경오염을 보여주는 척도로 사용하였다.

많은 연구들은 데이터를 수집하는데 많은 시간과 노력의 투자가 필요하다. 이번 연구 또한, 무당개구리의 서식지 별 기형정도를 비교하는 것으로 많은 양의 데이터가 필요하다. 시민과학풀씨 프로젝트는 시민과학자들과 연구원들이 함께 연구하는 형식으로 진행된다. 다수의 시민과학자들이 다양한 지역에서 연구에 참여하여 보다 많은 서식지에서 많은 데이터를 수집하여 연구를 효율적이고, 성공적으로 할 수 있게 해준다.

시민 과학자들은 연구자들과 함께 무당개구리 서식지를 탐색하는 것부터, 기형 정도와 서식지의 오염에 관한 데이터 수집까지 연구의 대부분 과정을 함께 수행하였다. 복잡한 분석 없이 다양한 야외연구경험을 체험하는 것은 시민과학자에게는 글로 연구와 수행 과정을 배우는 것보다 효과적

인 학습이다. 특히, 시민과학자들은 야외 현장에서 무당개구리의 기형을 직접 조사하며 환경오염의 영향을 체감할 수 있었다. 이러한 체험은 시민과학자들이 인간 활동으로 인한 환경오염에 대해 깊이 생각할 수 있는 계기가 되었을 것이다.

## 2. 본론

### 1) 무당개구리 채집

무당개구리는 보통 물이 고여 있는 수로나 습지, 산지 등에서 발견된다. 2020년 6월 20일부터 2020년 8월 30일까지 월출산, 도갑산, 용천사, 정선 아우라지, 제주대학교 건천, 유명산 수로, 지장계곡, 백담사 계곡에서 채집이 시행되었다. 봄비 팀과 시민과학팀(YERIELFAM, 감낭감낭, 무리수 무리원, 준형제, 지구우리사랑, 짱이네)이 데이터를 수집하였다. 무당개구리는 등 쪽에 독성물질이 있으므로 채집 시 라텍스 장갑을 착용하고 채집한다. 한 서식지에서 모두 채집하고 데이터에 필요한 것들을 채운 후 풀어주어야 같은 무당개구리를 중복하여 관찰하는 것을 방지할 수 있다.



그림 4 도갑사 수로



그림 5 제주대 건천

### 2) 기형 유무 확인

개구리의 기형은 다리, 발가락, 눈, 뼈에서 나타나며, 다리 기형 약 41%, 발가락 기형 약 36%로 대부분의 기형은 다리, 발가락에서 나타난다(Mari et al. 2013). [그림3] 에서와 같이 무당개구리의 외적인 기형은 육안으로 확인할 수 있으므로 눈으로 확인하여 기형의 유무를 확인하고 재확인이나 더 정확한 확인을 이용하여 하얀색 우드락에 무당개구리를 올려놓은 후 앞/뒷다리, 등, 배가 보이는 사진을 찍어둔다.



그림 6 오른쪽 뒷다리 기형 무당개구리

### 3) 수질 농도 측정

무당개구리의 서식지 오염 정도와 무당개구리의 기형을 비교하기 때문에 무당개구리가 서식하는 곳의 수질오염 정도를 측정해야 한다. 수질 측정 방법에는 수소이온농도 측정(pH), 생물화학적산소요구량(BOD) 측정, 부유물질량(SS) 측정, 용존산소량(DO) 측정 등 외에도 여러 방법이 있는데 그중 우리는 TDS와 EC를 사용하였다. 총고형물질(total dissolved solids; TDS)은 물속에 용해된 미네랄, 염분, 금속, 양이온, 음이온을 말하며 순수한 물(H<sub>2</sub>O) 이외 물속에 포함되어 있거나 부유하는 모든 물질을 일컫는다. 전기전도도(electrical conductivity; EC)는 수질 특성을 파악할 수 있는 요소이며 물이 전류를 전달할 수 있는 능력을 나타낸다. EC는 측정 시 물속에 있는 이온들의 영향도 받기 때문에 TDS가 높은 지역일수록 EC의 값 또한 높아지게 된다. 수질오염 정도를 측정하기 위하여 측정하고자 하는 무당개구리의 서식지의 물을 채취해 수질 검사기(HD416)를 이용하여 값을 측정한다. TDS와 EC의 농도가 높게 측정될수록 오염 정도가 높다.



그림 7 수질 검사기를 이용한 TDS/EC 측정

### 4) 인간 활동과의 거리 측정

인간의 활동이 무당개구리 서식지 오염에 어느 정도 영향을 주었는지 알기 위하여 무당개구리 서식지로부터 인간이 활동하는 장소와의 거리를 측정하였다. 네이버 지도를 이용하여 무당개구리를 채집한 장소를 출발지, 가장 가까운 곳에서 인간이 활동하는 장소인 야영지, 민가, 절 등을 도

착지로 설정하여 출발지와 도착지의 거리를 측정한다.

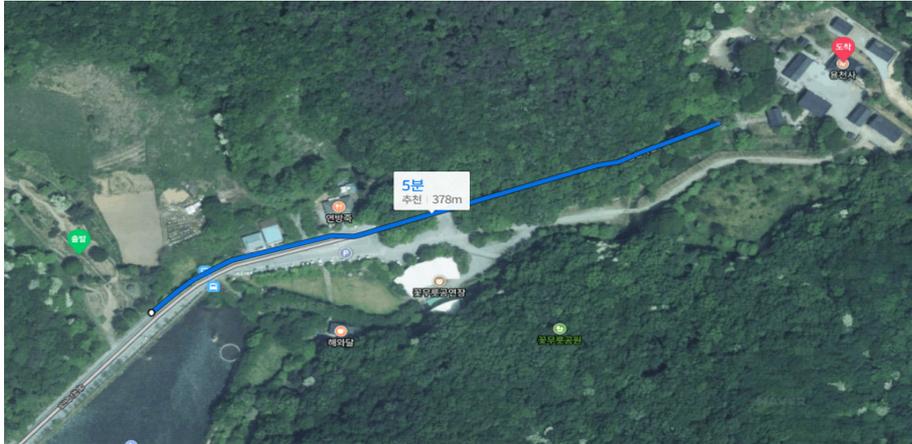


그림 8 서식지와 인간 활동 장소까지의 거리 측정

5) 자료수집 및 분석

시민 과학자들과 연구자들이 개별적으로 측정한 무당개구리의 기형율, 서식지의 TDS, EC, 서식지와 인간 활동 장소와의 거리를 토대로 데이터 사이의 상관관계를 분석하였다. 통계분석은 SPSS의 Mann-Whitney 검정을 이용하여, 무당개구리의 기형이 관찰된 지역들과 관찰되지 않은 지역들 사이에서 TDS, EC, 인간 활동 지역의 차이가 존재하는지 확인하였다.

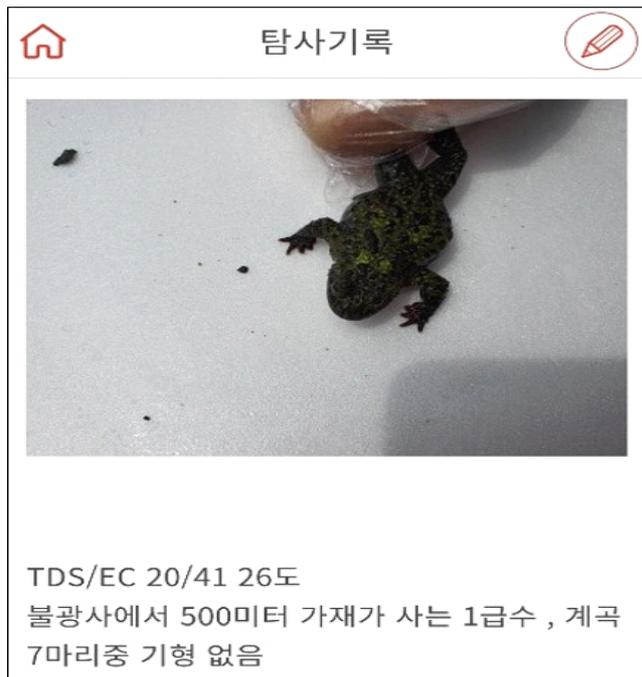


그림 9 시민 과학자 데이터

6) 풀씨 시민 과학 프로젝트 진행

시민 교육

2020년 7월 8일 Zoom을 통하여 시민 과학자들이 어떠한 연구에 참여하게 되는지, 연구를 하는 이유, 환경오염의 심각성, 무당개구리에 대한 모습이나 생활사, 서식지, 먹이 활동 등 기초지식에 대해 교육하고 연구에 앞서 연구 방법, 주의 사항에 대해 공지하였다.

1차 현장 교육

2020년 7월 18일 도갑사에서 시민 과학자들과 현장 교육이 이루어졌다. 첫 현장 교육에서는 무당개구리와 무당개구리 올챙이의 실제 모습과 무당개구리 채집 방법, 기형 유무를 재확인하기 위해 사진 찍는 방법, TDS와 EC를 측정하기 위한 수질 검사기 이용 방법, 인간이 활동하는 곳과 무당개구리 서식지와의 거리를 측정하는 방법을 교육하였으며 직접 도갑사에 서식하는 무당개구리들을 채집하여 데이터를 수집했다.

2차 현장 교육

2020년 8월 1일 용천사에서 2차 현장 교육을 시행하였다. 1차 현장 교육에서처럼 연구 방법을 한번 더 설명하고 용천사에 서식하는 무당개구리를 채집하여 데이터를 수집했다. 또한 1차 현장 교육 이후부터 2차 현장 교육이 이루어지기 전까지의 데이터들을 중간 점검하는 시간을 가졌다.

3. 결론

2020년 6월 20일부터 2020년 8월 30일까지 영암군 도갑사와 월출산, 함평군 용천사, 정선 아우라지, 포천시 지장계곡, 가평군 유명산, 인제군 백담사, 제주도 제주대학교를 총 11번 방문하여 무당개구리 359마리를 채집하였다. 기형이 나타난 무당개구리는 월출산 15마리 중 2마리, 도갑사 20마리 중 3마리, 용천사 24마리 중 1마리, 정선 아우라지 40마리 중 1마리, 제주대학교 건천 61마리 중 2마리가 채집되었다. 기형이 관찰된 서식지에 인접한 인간 활동의 종류는 사찰, 야영지, 등산로, 학교, 수로로 확인되었다. 채집한 무당개구리 중 기형은 모두 발과 발가락에서 나타났다.

날짜	채집 장소	채집	기형	TDS	EC	인간 활동	Distance
2020.07.18	도갑사 근처	20	2	131	259	사찰	590m
2020.08.01	용천사 근처	24	1	19	17	사찰	380m
2020.08.09	정선 아우라지	40	1	131	229	민가	100m
2020.08.16	지장계곡	30	0	140	95	없음	1,000m 이상
2020.08.30	유명산 수로	50	0	156	105	야영	50m
2020.08.25	백담사계곡	10	0	121	166	사찰	200m
2020.06.20	도갑사 근처	20	1	53	106	사찰	590m
2020.06.23	월출산	15	2	16	32	등산로	700m
2020.06.26	제주대 건천	61	2	5	12	학교	540m
2020.07.16	제주대 건천	69	0	5	12	학교	540m
2020.06.28	도갑사 근처	20	0	26	12	수로	590m

표1. 채집 데이터

봄비 팀과 시민과학자들이 무당개구리 서식지 직접 찾아가서 데이터를 수집하였다. 6월부터 8월 말까지 채집이 이루어졌으며 봄비 팀은 주로 전남지역에서 데이터 수집을 하였고, 시민과학자들은 전국 각지에서 데이터 수집을 하였다.

인간의 활동에 따른 무당개구리의 기형정도를 확인하기 위해 서식지마다 채집날짜, 채집한 개체수, 기형인 개체수, 기형율, TDS, EC, 인간의 활동 종류와 인간의 활동 지역과 서식지까지의 거리를 측정하여 비교, 분석하였다. 서식지의 총 채집 개체수가 10 미만인 데이터는 표본의 크기가 너

무 작아 기형율과 오염의 상관관계를 보기 힘들다고 판단되어 분석에서 제외 하였다. 인간의 활동이 수질에 얼마나 영향을 미치는지 평가하기 위해 서식지의 TDS와 EC를 측정하였다. TDS와 EC 수치는 수질오염의 마땅한 기준치가 없어 서식지 끼리 비교하여 TDS와 EC수치가 높을수록 오염 정도가 더 심각하다고 판단하였다.

(A) Mann-Whitney U test

수집한 데이터를 통하여 Mann-Whitney 검정을 이용해 분석하였고, 분석 결과 기형이 관찰된 서식지와 기형이 관찰되지 않은 서식지의 기형율, TDS, EC, 인간 활동지역과의 거리 모두  $p > 0.05$ 로 통계적으로 유의미한 차이는 발견되지 않았다.

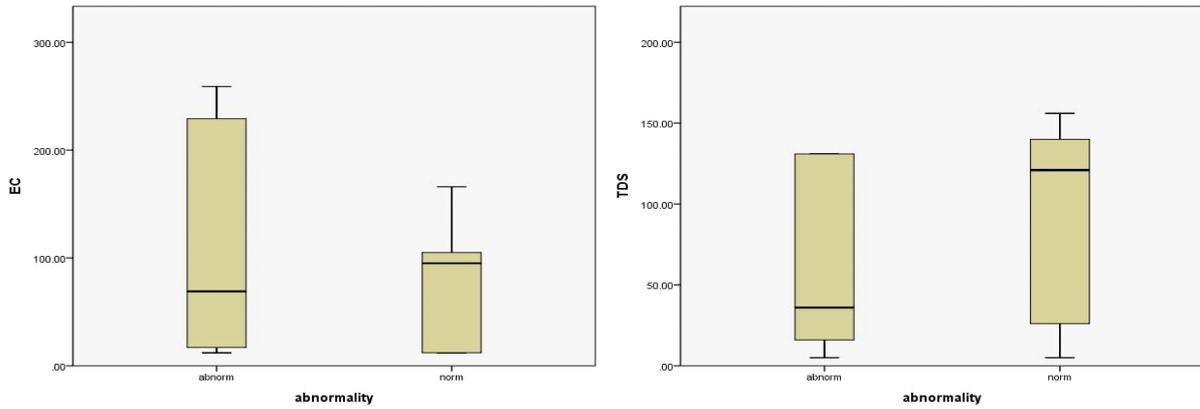


그림 10 기형이 발견된 지역과 발견되지 않은 지역 사이의 EC 비교( $p=0.409$ )

그림 11 기형이 발견된 지역과 발견되지 않은 지역 사이의 TDS 비교( $p=0.409$ )

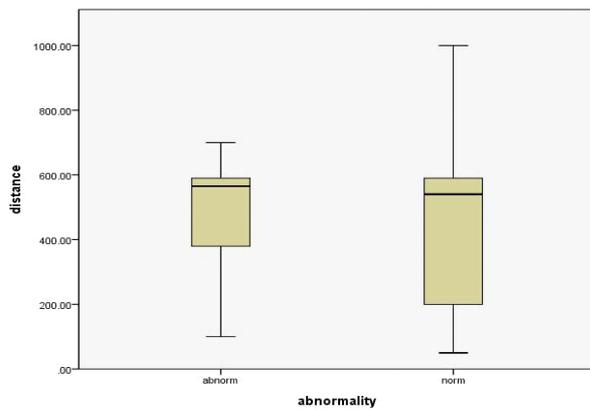


그림 12 기형이 발견된 지역과 발견되지 않은 지역 사이의 인간 활동 지역과의 거리 비교 ( $p=0.461$ )

(B) 기형율과 상관관계

수집한 데이터의 기형율과 TDS, 기형율과 EC, 기형율과 인간 활동과의 거리 데이터를 분석한 결과 특별한 상관관계를 확인 하지 못하였다.

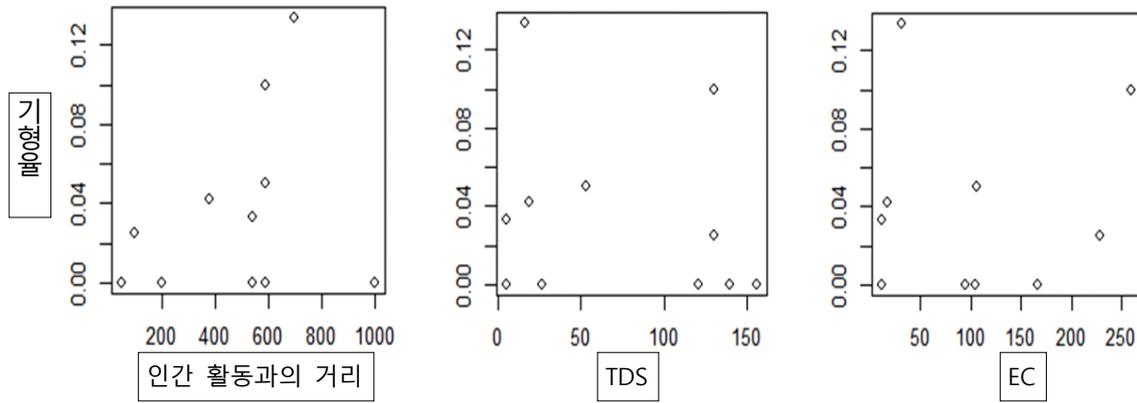


그림 13 기형율과 인간 활동과의 거리, TDS, EC 의 관계

“인간 활동이 활발한 지역 또는 인간 활동과 가까운 지역에서 서식하는 무당개구리는 그렇지 않은 무당개구리보다 더 높은 기형 비율을 보여줄 것이다.” 라는 가설을 세우고, 인간 활동 지역에 근접한 물에서 더 높은 수치의 TDS, EC가 측정될 것이라고 예상하며 연구를 진행하였다. 그러나 연구 결과에서 기형이 있는 무당개구리와 인간 활동이 근접한 서식지와의 상관관계는 나타나지 않았으며, TDS와 EC의 수치 또한 예상 수치에서 많이 벗어났다. 그 이유는 연구 데이터의 양이 부족하기 때문이라 생각된다. 채집한 무당개구리의 수에 비해 기형 무당개구리의 수가 매우 적었으며, 9마리의 데이터로 가설을 증명하기에는 턱없이 부족한 양이었다. 만약, 이 9마리에서 가설과 비슷한 상관관계의 데이터가 결과로 도출되었다고 하더라도 수가 너무 적기 때문에 데이터의 신뢰성이 떨어진다. 그러므로 이번 가설을 증명하거나 기각하기 위해서는 기형 무당개구리가 더 많이 관찰되었어야 하며, 그로 인한 데이터의 양이 충분했어야 한다.

데이터의 신뢰도를 얻기 위해서는 데이터의 양도 중요하지만, 정확한 데이터를 수집하는 것이 중요하다. 이번 연구에서 채집 장소는 사찰, 야영지, 학교, 등산로, 수로 등이었다. 인간 활동과 가까운 지역은 야영지, 학교이며 비교적 인간 활동과 먼 지역은 사찰, 등산로, 수로이다.

가설에 따르면 야영지나 학교가 사찰, 등산로 및 수로보다 더 많은 기형 발생율을 보여야 하며 TDS, EC 또한 더 높은 수치가 나와야 한다. 그러나 이번에 도출된 연구 결과에서 인간 활동과 이러한 수치들은 아무런 상관관계가 없었다. 무당개구리의 채집 장소가 우리의 가설을 증명하기에 명확하지 않았던 것으로 생각된다. 더 명확한 비교를 위해 무당개구리를 채집하는 장소를 산 속 개울가, 공장단지 수로 등으로 결정했어야 한다고 생각된다.

무당개구리 기형율의 분포가 가설과 맞지 않는 그래프로 도출된 이유를 추론해보았을 때 ‘기형을 가진 개체의 서식지 이동’을 들 수 있다. 기형을 가진 개체와 정상인 개체가 서로 포집쌍을 이루어 알을 낳게 되면 유전적으로 기형 DNA를 갖고 태어나는 올챙이가 생겨나 후에 기형 유전자를 가진 개구리가 된다. 그러나 문제는 기형을 가진 개체가 한 곳에만 머물러 있는 것이 아니라 자의적으로든 아니든 서식지를 이동한다는 것이다. 예를 들어, 기형 유전자를 가진 알이 물웅덩이에 떠 있을 때 비가 오게 되면 다른 곳으로 떠내려갈 것이고, 기형을 가진 올챙이는 생존을 위한 여러 매개변수인 서식지 물의 깊이, 서식지의 여러 식생, 서식지 안에서 동종의 존재 및 포식자의 존재 등에 따라 이동할 것이다. 또한 기형 유전자를 가진 개구리는 산란기에 자손 번식을 위해 여러 서식지를 찾아다닐 것이다. 이렇게 기형 개체의 무작위적인 서식지 이동이 인간 활동과 기형율의 상관관계에 영향을 미쳤다고 생각된다.

또한, 이번에 기형을 확인한 서식지는 무당개구리 성체가 서식하는 서식지이다. 산란이 이루어지는 지역인지, 배아가 성체까지 성장하는 지역인지에 대한 확인은 이루어지지 않았다. 환경오염의

결과로 기형이 발생하였다면, 산란부터 성장까지 같은 환경에 노출 되어야 확인할 수 있다. 따라서, 무당개구리의 서식지로 선택한 지역이 무당개구리가 서식하고 있는 지역인지, 생활사 전체를 지낸 지역인지 확인이 필요할 것으로 보인다.

총 359마리의 무당개구리를 채집하였지만 그 중에서 기형을 가진 무당개구리의 수는 9마리뿐 이었다. 물론 연구 계획을 세울 때에 기형 개체의 수가 적을 것이라 예상했으나, 전체 무당개구리 수에 비해 턱없이 적은 수가 채집되었다. 아마도 이유는 ‘기형 개체의 자연선택에 의한 경쟁배제’라고 생각된다. 경쟁·배타의 원리는 생활양식이 서로 비슷한 같은 서열에 있는 개체군은 같은 서식지에서 계속 같이 살 수 없다는 원리이다. 같은 종 내에서나 다른 종끼리 먹이나 서식지를 가지고 경쟁해 두 종 중 약한 하나의 종이 도태된다. 여기에서 약한 종은 당연히 기형을 가진 개체가 될 것이며, 경쟁·배타의 원리에 의해 도태되어 정상인 개체보다 생존율이 낮을 것이라 생각된다.

이번 연구를 통해 인간 활동이 무당개구리의 기형 발생에 미치는 영향에 대해 조사 및 확인하였으며, 인간 활동과 무당개구리의 기형에 대한 상관관계는 도출되지 않았다. 앞에서 언급한 것처럼 더 많은 데이터를 모아야 하며, 더 정확한 데이터 수집 등과 같은 추가적인 연구가 있어야만 우리의 가설을 증명할 수 있을 것이다. 또한, 이번 연구에서는 인간 활동의 환경지표로 TDS와 EC 만을 확인하였지만, 서로 다른 서식지의 질을 평가하기 환경지표의 설정이 데이터의 신뢰도를 높일 것이다.

시민과 함께하는 연구를 진행하기 위해서 연구자들은 시민들이 연구에 참여할 수 있는 요건을 제공해야 하고, 시민들은 맡은 연구에 적극적인 참여가 필요하며, 이 조건들이 서로 만족할 때에 성공적인 연구가 될 것이다.

### 참고문헌

- Kang, C. et al. The incidence of abnormalities in the fire-bellied toad, *Bombina orientalis*, in relation to nearby human activity. *J. Ecol. Environ.* 39, (2016). 11 - 16
- Park, C. J. et al. Developmental toxicity of treated municipal wastewater effluent on *Bombina orientalis* (Amphibia: Anura) embryos. *Environ. Toxicol. Chem.* 33, (2014). 954 - 961
- Reeves, M. K. et al. Localized hotspots drive continental geography of abnormal amphibians on U.S. wildlife refuges. *PLoS One* 8, (2013). 16 - 22
- Yi, J. L. M. & Ahn, J. L. K. 국가 지하수관측소 지하수위 전기전도도 및 수온자료에 대한 모수적 및 비모수적 변동 경향성 분석 Parametric and Non-parametric Trend Analysis of Groundwater Data Obtained from National Groundwater Monitoring Stations. 11, 56 - 67 (2006).