

Research Paper

무당개구리의 인공 수로 내 수로 탈출시설을 통한 생존성 향상에 대한 연구

배정훈* · 주영돈* · 심설웅* · 배양섭**

(주)소운이엔씨*, 인천대학교 생명과학과**

A Study on Improving Survival of *Bombina orientalis* through Escape Facilities in Artificial Canals

Jung-Hoon Bae* · Young-Don Ju* · Sul-Woong Shim* · Yang-Seop Bae**

Sowoon E&C Co.,Ltd.*

Department of Life Sciences, Incheon National University**

요약: 양서류는 생태학적으로 육상생태계와 육수생태계를 연결하는 분류군이며, 생태계 먹이사슬에서 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 전 세계적으로 약 5,948종이 분포하는 것으로 알려져 있으나, 산업혁명 이후 산업화와 도시화로 인하여 종 및 개체군의 감소가 발생하고 있으며, 특히, 인공 수로에 의한 서식처 단절 또는 파편화를 심화시키는 요인이 되고 있어 인공 수로 내 야생동물 생존성 향상을 위하여 수로 탈출시설을 설치하여 저감하고 있다. 본 연구는 주로 산림 인근에서 서식하는 무당개구리를 대상으로 수로 탈출시설의 경사각, 수로 높이, 운영 중인 시설에서의 탈출률 및 이동 거리를 분석하였다. 수로 탈출시설의 경사각은 50° 및 60°에서는 높이와 상관없이 비교적 유사한 탈출 성공률을 나타내는 반면에 경사각 70°에서는 높이 40cm에서만 비교적 높은 탈출 성공률을 나타냈다. 운영 중인 수로 탈출시설에서의 탈출 성공률은 14.71%로 이용률은 매우 저조한 것으로 나타났으며, 수로 측면 벽을 따라 이동함으로써 수로 탈출시설의 인지율이 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러므로 무당개구리를 위한 수로 탈출시설의 경우 60° 각도로 조성 가능하며, 인공 수로의 측면 벽을 60° 이내로 조성할 경우 무당개구리의 양방향 이동이 자유로움으로 기존의 수로 탈출시설의 낮은 이용률을 극복하고 수로의 이동 및 고사로 인한 영향을 최소화할 것으로 판단된다. 또한, 수로 탈출시설 간격을 설치 기준인 30m보다 간격을 좁히고, 경사로를 상·하류 양방향으로 조성하게 되면, 무당개구리 이외의 양서류, 파충류, 소형 포유류 등의 탈출 성공률이 향상될 것으로 판단된다.

주요어: 양서류, 수로 탈출시설, 인공 수로, 무당개구리, 경사각, 높이

Abstract: Amphibians are a taxonomic group that ecologically connects terrestrial ecosystems and aquatic ecosystems. They play a very important role in the food chain of the ecosystem. It is known

First Author: Jung-Hoon Bae, Tel:+82-2-414-9642, E-mail:armyhoon@hanmail.net, ORCID:0009-0007-1944-9376

Corresponding Author: Yang-Seop Bae, Tel:+82-32-835-8246, E-mail:baeys@inu.ac.kr, ORCID:0000-0001-7356-5633

Co-Authors: Young-Don Ju, E-mail:judony@hanmail.net, ORCID:0009-0008-8023-3571

Sul-Woong Shim, E-mail:swshim0214@naver.com, ORCID:0009-0008-4587-6889

Received: 2 August 2023. Revised: 13 December 2023. Accepted: 9 January 2024.

that there are about 5,948 species distributed all over the world, but after the Industrial Revolution, due to industrialization and urbanization, there has been a decrease in species and populations. In particular, it is becoming a factor in exacerbating habitat fragmentation or fragmentation due to artificial canals. In order to improve the survival rate of wild animals in artificial canals, escape facilities are installed to reduce it. This study analyzed the slope, height of the escape facility, escape rate, and travel distance in the operating facility for *Bombina orientalis*, which mainly inhabits near forests. The slope of the escape facility showed a relatively similar escape success rate regardless of height at 50° and 60°, while at 70°, it showed a relatively high escape success rate at only 40cm in height. The success rate of escape from the waterway escape facility in operation was 14.71%, showing a very low utilization rate, and the recognition rate of the artificial canal escape facility was found to be very low as it moved along the side wall of the artificial canal. Therefore, in the case of a waterway escape facility for *Bombina orientalis*, it is possible to construct it at an angle of 60°, and if the side walls of the artificial canals are built within 60°, *Bombina orientalis* can move freely in both directions, overcoming the low utilization rate of existing waterway escape facilities. It is expected to minimize the impact of movement and death of artificial canals. In addition, if the spacing between escape facilities is narrowed from the installation standard of 30m and ramps are constructed in both directions upstream and downstream, the escape success rate of amphibians, reptiles, and small mammals other than lady frogs is expected to improve.

Keywords: Amphibian, Escape facility, Artificial canal, *Bombina orientalis*, Inclination angle, Height

I. 서론

양서류는 동물계, 척삭동물문, 양서류강에 속한 분류군으로 전 세계적으로 약 5,948종이 분포하고 있는 것으로 알려져 있다(Frost et al. 2006). 양서류는 대부분 유생 시기를 습도가 높은 웅덩이, 계곡부 등지에서 보내며, 성체 시기는 물과 육지를 오가는 생활사를 가지고 있다. 유생 시기는 아가미를 통하여 호흡하고, 성체 시기는 피부 호흡과 폐 호흡을 동시에 실시한다. 양서류는 피부의 표피층에는 점액선과 진피 내에 과립선이 발달하여 피부 내 수분 유지가 피부 호흡에서 매우 중요한 역할을 수행한다(Jung & Lee 2020). 따라서, 양서류는 습한 조건과 높은 습도를 선호하여 강수량이 많고, 수분 증발이 낮은 지역에서 종 다양성이 높다(Duellman & Trueb 1994). 양서류의 풍부한 개체군 유지와 유생에서 성체로의 안정된 번태를 위해서는 육수생태계가 필요하다. 양서류는 생태학적으로 육상생태계와 육수생태계를 연결하는 분류군이며, 생태계 먹이사슬에서 중간단계에 위치하여 먹이사슬 단계에서도 매우 중요한 역할을 수행하고 있다(Do et al. 2021). 생

태계 먹이사슬에서 중간 단계의 생물군이 절멸하게 되면 상위의 포식자의 먹이 활동에 지장을 주어 먹이사슬의 불안정한 상태를 조성하게 된다. 양서류는 전 세계적으로 다양한 요인에 의하여 개체군 및 종별 감소가 진행되고 있다. 산업혁명 이후에 산업화와 도시화로 인하여 양서류의 서식지 파괴 및 단편화, 환경오염, 기후변화 등은 치명적인 종 및 개체군의 감소를 가져왔다(Pounds 2001; Young et al. 2001; Stuart et al. 2004; Gallant et al. 2007; Becker & Loyola 2008; Lin et al. 2008; Sodhi et al. 2008). 전 세계의 양서류 중 약 1/3 이상이 멸종위기에 처해 있으며, 약 50% 정도의 종이 급격한 개체수 감소를 나타내고 있다(Blaustein 1994; Stuart et al. 2004; Beebe & Griffiths 2005; Mendelson et al. 2006; McCallum 2007). 최근 수십 년간 전 세계적으로 양서류의 멸종 비율은 기존 과거의 멸종 비율에 비하여 약 200배를 초과하였다(Roelants et al. 2007).

환경부 국립생물자원관은 IUCN(세계자연보전연맹)의 지역적색목록 기준을 적용하여 2011년부터 2019년까지 2차례에 걸쳐 평가를 실시하여, 양서류·파충류 중 절멸 3종, 취약 7종, 준위협 4종, 최소관심 22종을 지정

하여 관리 중에 있다(NIBR 2019).

우리나라의 논 경작지는 일부 시기를 제외하고는 경작 기간 내 일정한 수량을 유지함으로써 양서류의 최상 서식처를 제공하고 있다. 경작지는 양서류의 중요한 서식처로 역할하고 있으나, 경작지 내 인공 수로는 양서류의 산란기 이동 및 서식처 단절을 발생하고 있고, 추락 및 고사로 인한 개체수 감소를 유발하고 있다. 경작지 내 유량조절을 위하여 용배수로를 운영 중이며, 2020년 기준 남한 내 용배수로의 길이는 총 188,978km(흙수로 94,354km, 구조물 94,624km)로 용수로 길이는 62.8%로 118,740km, 배수로 길이는 37.2%인 70,238km로 분포하고 있다(KRCC 2021).

우리나라 도로 연장 길이는 2021년 말 기준 총 113,405km이고, 고속국도 4,866km, 일반국도 14,175km, 특별·광역시도 5,192km, 지방도 18,286km, 시도 31,752km, 군도 22,619km, 구도 16,515km로 분포하고 있다(MLIT 2022). 도로는 운반수단의 안정성과 관리의 수월함을 이유로 대부분 불투성 소재를 사용하여 표면을 포장한다. 이에 따라 우기에 도로 내 유입되는 수량을 조절하고 도로의 운행에 차질이 생기지 않도록 치수의 역할을 위하여 물길을 고려하여 대부분 인공 수로를 운영하여 도로의 피해를 최소화한다. 그러나, 인공 수로는 양서·파충류를 비롯하여 소형 야생동물의 이동을 방해하여 서식처의 단절 또는 파편화를 심화시키는 역할을 수행하고 있다.

인공 수로 내 야생동물의 생존성 관련된 국내 이전 연구 자료는 농수로를 대상으로 무당개구리, 참개구리, 한국산개구리를 대상으로 수로 탈출시설의 경사각, 재질, 폭에 대하여 탈출 성공률을 제시하여 한국산개구리는 경사각 40°, 재질 부직포, 폭 160mm, 참개구리는 경사각 60°, 재질 부직포, 폭 160mm, 무당개구리는 경사각 50°, 재질 시멘트, 폭 160mm에서 높은 탈출 성공률이 나타났다(An 2020). 무당개구리, 참개구리, 청개구리를 대상으로 높이 30cm, 경사로 길이 75cm로 경사각 30° 및 45°를 대상으로 소요 시간 및 이동 거리를 분석하였으며, 결과는 30° 및 45°에서의 유의미한 차이는 발생하지 않는 것으로 확인되었다(Min 2018). 서식처 파편화가 야생동물에 미치는 영향 및 로드킬 발생 현황을 분석하고, 생태통로(수로 탈출시설, 횡단 연결

다리)에 대하여 문제점 및 개선 방안을 제시하였다(Yoon 2018). 한국산개구리를 대상으로 콘크리트 수로 탈출로의 경사각 20°~60° 범위 내에서 10° 간격으로 설정하여 행동 결과를 통계 분석하여 경사각 30°와 40°는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 분석하였다(Lee et al. 2022). 환경부에서는 2010년 '생태통로 설치 및 관리지침'과 국립생태원에서는 2021년 '수로 탈출 시설 설치 가이드북'을 발간하여 경사로 30° 이내로 권장하고 현장 여건에 따라 40°까지 허용 가능한 것으로 제시되었다. 개구리와 뱀을 대상으로 실험 자료를 제시하였으나, 종별에 따른 탈출 경향을 분석보다는 대상 종의 선정 없이 일반적인 개구리류, 뱀류에 대하여 결과를 제시하였다.

본 연구는 기존 연구들에서 실시하지 않은 무당개구리를 대상으로 수로 탈출시설의 경사로 50°~70° 범위 내에서 10° 간격으로, 수로의 높이는 40cm~70cm 범위에서 15cm 간격으로 탈출률을 비교하여 인공 수로 내 최대 탈출 요건을 분석하였고, 수로 탈출시설이 설치되어 있는 지역에서 현장 실험을 실시함으로써 실제 무당개구리의 탈출률 및 이동 거리를 분석하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 종 선정

남한 내 산림지역이 약 62.7% 이상 차지(NIFS 2021)하는 특성상 산림 및 임연부에 서식하는 양서류 중에서 무당개구리(*Bombina orientalis*)를 대상으로 실시하였다. 무당개구리는 계통분류학상 척삭동물문 양서강 무미목 무당개구리과 무당개구리속 무당개구리로 분류(NIBR 2022)되며, 주로 동북아시아에 서식하며 우리나라에서는 농경지와 인접한 산림 임연부, 산림 계곡 부 등에서 흔히 발견되는 종으로 제주도가 남방한계선으로 알려져 있다(Tinsley & Koble 1996; Yang, Kim et al. 2001; Song & Lee 2009). 무당개구리는 번식기에는 산림지대의 계곡, 하천 주변과 산지와 평지가 만나는 곳의 논, 농수로, 웅덩이, 습지 등에서 산란하며, 번식기가 끝나면 산림지대의 계곡과 하천으로 이동(NIER 2012)하는 것으로 알려져 있으므로, 번식기로 이동 시 인공 구조물에 의한 단절, 고사 등의 개체수 감소에 따

른 영향에 노출되어 있다.

2. 수로 탈출시설의 경사각 및 높이에 따른 무당개구리 탈출 경향분석

실험을 위하여 무당개구리의 움직임을 통제할 수 있도록 탈출 실험 장치를 제작하였다. 바닥의 폭은 800 mm, 길이는 200mm로 고정된 공간에 서로 다른 각각의 경사각(50°~70°) 및 높이(40cm~70cm)를 적용할 수 있는 형태의 공간을 이용하였다. Figure 1은 실험에 사용된 수로 탈출시설의 규격 및 구조를 나타낸다. 경사각은 기존의 연구 결과를 활용하여 양서류의 탈출 가능한 것으로 예상되는 최대 경사각인 50°, 60°, 70°를 대상으로 실험하였고, 높이는 40cm, 55cm, 70cm로 다양한 높이로 실험하였다. 무당개구리 30개체를 대상으로 20분 내 탈출 성공률 및 개체별 탈출 성공 시간을 기록하였다. 탈출 성공 시간은 탈출에 실패한 개체를 제외하고 20분 내 탈출 성공한 개체의 시간을 산정하였다. 경사각도 및 수로 높이에 따른 통계적 차이 여부를 검증하기 위하여 SPSS ver.29(Statistical Package for the Social Sciences) 프로그램을 이용하여 교차분석에 따른

유의확률을 분석하여 항목별 유의미한 결과를 제시하였다.

3. 운영 중인 인공 수로 내 수로 탈출시설의 무당개구리 이동 거리 및 탈출 경향분석

현재 수로 탈출시설을 운영 중인 경상북도 안동시에 안면의 도로의 인공 수로 내에서 실험을 실시하였다. 본 수로는 Figure 2와 같이 인공 수로 내 수로 탈출시설의 설치 기준에 부합하는 수로로 실험을 위해 총 100 m의 구간을 선정하였으며, 인공 수로는 폭 0.6m, 깊이 0.6m의 규모이고 구간 내에는 측면형 수로 탈출시설이 3개가 설치되어 있다. 수로 탈출시설은 길이 140cm, 폭 19cm, 경사각 25°로 폭이 기준에 1cm 미달하였으나, 다른 조건은 모두 양호하였다. 인공 수로 실험 구간의 정중앙 지점에 무당개구리를 방사 후 30분 후 이동 거리 및 탈출 현황 등을 분석하였다. 실험 구간 끝까지 이동한 개체는 50m를 이동한 것으로 간주하여 회수하였고, 수로 탈출에 성공한 개체는 수로 탈출시설의 최소 간격인 30m를 이동한 것으로 간주하여 회수하였다. 무당개구리 총 102개체를 이용하여 매회 10개체

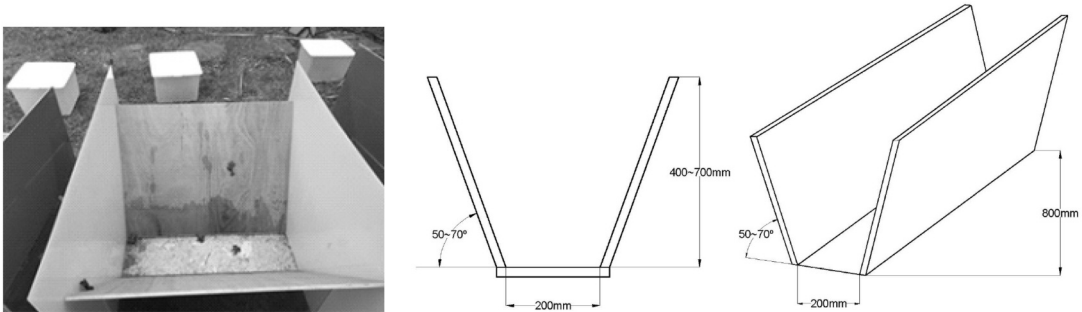


Figure 1. Frog escape experiment according to inclination angle and height.

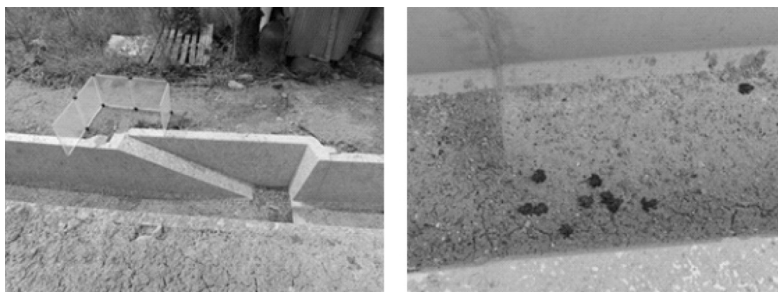


Figure 2. Frog escape experiment in an artificial waterway in operation

Table 1. Comparison of escape success status by each inclination angle and height

Category	50°			60°			70°		
	40cm	55cm	70cm	40cm	55cm	70cm	40cm	55cm	70cm
Failed object	0	1	1	0	4	3	2	12	17
Escape success rate (%)	100.00	96.67	96.67	100.00	86.67	90.00	93.33	60.00	43.33
Escape time per object (min)	5.07	5.59	7.21	9.20	7.31	9.04	9.79	14.94	12.38

Table 2. Probability value by each inclination angle and height

Probability value		50°			60°			70°		
		40cm	55cm	70cm	40cm	55cm	70cm	40cm	55cm	70cm
50°	40cm	-	0.098	0.019	0.023	0.049	0.015	0.002	<0.001	<0.001
	55cm	0.098	-	0.483	0.148	0.061	0.202	0.008	0.005	0.002
	70cm	0.019	0.483	-	0.444	0.192	0.568	0.137	0.010	0.012
60°	40cm	0.023	0.148	0.444	-	0.266	0.419	0.157	0.036	0.010
	55cm	0.049	0.061	0.192	0.266	-	0.086	<0.001	<0.001	0.002
	70cm	0.015	0.202	0.568	0.419	0.086	-	0.273	0.072	0.031
70°	40cm	0.002	0.008	0.137	0.157	<0.001	0.273	-	0.079	0.009
	55cm	<0.001	0.005	0.010	0.036	<0.001	0.072	0.079	-	0.169
	70cm	<0.001	0.002	0.012	0.010	0.002	0.031	0.009	0.169	-

씩(마지막 실험에서는 12개체) 총 10회 반복 실험을 실시하였다.

구리의 탈출 성공률, 개체당 탈출시간, 탈출실패 개체를 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

1. 수로 탈출시설의 경사각 및 높이에 따른 무당개구리 탈출 경향분석

1) 탈출 성공률 분석

무당개구리의 탈출 성공률은 기존 가이드북에서 제시한 30° 및 40°의 경사각보다 급한 경사를 가진 경사각 50° 및 60°에서 높이에 따른 성공률이 86.67%~100.00%로 비교적 높은 것으로 나타났다. 경사각 70°에서는 높이 40cm에서는 93.33%로 높은 성공률을 나타냈으나, 높이 55cm 및 70cm에서는 각각 60.00%, 43.33%로 낮은 성공률로 나타났다.

탈출에 실패한 개체를 제외한 탈출에 성공한 개체당 탈출 시간은 경사각 50°에서는 5.07분~7.21분으로 매우 짧은 것으로 나타났고, 60°에서는 7.31분~9.20분, 70°에서는 9.79분~14.94분으로 점차 늦어지는 것으로 경사각 증가에 따라 개체당 탈출 시간은 증가하는 것으로 나타났다. Table 1은 경사각 및 높이에 따른 무당개

2) 통계분석(교차분석)

경사각과 높이에 따른 연관성을 분석하기 위하여 경사각 및 높이별 탈출 시간 자료를 교차분석을 실시하였다. 경사각도별 탈출 시간에 따른 실험 결과를 교차분석을 통하여 각각의 경사각에서는 유의한 차이가 발생하였고($\chi^2=178.726\sim326.252$, $df=112\sim196$, $p=0.001$ 미만~0.006), 각각의 높이에서도 유의한 차이가 발생하였다($\chi^2=340.788\sim536.878$, $df=224\sim240$, $p=0.001$ 미만). 이를 세부적 조건에 따라 Table 2와 같이 각각의 경사각에 따른 높이별 탈출 시간을 교차 분석한 결과 50°·40cm(경사각·높이)에서는 50°·55cm를 제외하고는 유의한 차이가 있었다($\chi^2=17.012\sim42.453$, $df=9\sim14$, $p=0.001$ 미만~0.049). 그 외 대체로 경사각 50°와 60°에서 경사각 및 높이에 의한 유의한 차이가 발생하지 않는 것으로 분석되었고, 일부 70°·55cm와 60°·70cm, 70°·40cm와 50°·70cm, 60°·40cm, 60°·70cm를 제외하고는 전반적으로 경사각 70°에서는 50° 및 60°와 유의미한 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

Table 3. Status of amphibians in artificial waterways in operation

Category	Escape success	Escape failure	Out of rage	Movement distance per object (m)
Population (Percentage)	15 (14.71%)	43 (42.16%)	44 (43.14%)	38.27
Standard deviation	0.97	1.89	1.65	5.79
Variance	0.94	3.57	2.71	33.52

2. 운영 중인 인공 수로 내 무당개구리의 이동 거리 및 탈출 경향분석

수로 탈출시설 내 무당개구리 총 102개체를 대상으로 10~12개체씩 10회 30분간 반복 실험한 결과, 총 15개체(14.71%)가 수로 탈출시설을 이용하여 탈출하였고, 44개체(43.14%)는 출발 지점에서 50m 이상 이동하여 모니터링 구간을 이탈하였다. 그 외 43개체(42.16%)는 조사 시간인 30분이 지날 때까지 탈출에 성공하지 못하고 인공 수로에 남아있었다. Table 3은 운영 중인 인공 수로내 수로 탈출시설은 이용에 따른 탈출 성공 개체, 실패, 개체당 이동거리, 실험 구간 이탈 개체에 따른 개체수, 표준편차 및 분산을 나타낸다.

개체당 이동 거리는 조사 시간인 30분 동안 평균적으로 약 38.27m를 이동하였고, 표준편차 5.79m, 분산 33.52m로 분석되었다.

인공 수로 내 구간 이탈 및 잔류 개체가 많아 실제로 탈출시설의 이용률(14.71%)은 매우 저조한 것으로 조사되었다. 개체당 이동 거리는 30분간 30m 이상을 이동하였으나, 탈출시설의 낮은 이용률 및 이동 시 수로 측면 벽을 따라 이동하는 경향을 감안하였을 때, 무당개구리는 수로 탈출시설의 존재에 대하여 인식하지 못하는 것으로 판단된다.

IV. 결론

무당개구리를 대상으로 실험한 결과, 인공 수로 내 수로 탈출시설은 경사각과 수로의 높이가 낮아질수록 탈출 성공률이 높아지는 것으로 나타났다. 특히, 경사각 50° 및 60°에서는 높이와 상관없이 비교적 유사한 탈출 성공률을 나타냈지만, 경사각 70°에서는 높이 40cm에서만 비교적 높은 탈출 성공률을 나타냈다. 그러나, 그 이상 높이에서는 탈출 성공률이 급감하는 것으로 나타났다. 즉, 경사각뿐만 아니라 수로의 높이도 탈출 성

공에 중요한 요인으로 작용하는 것으로 확인되었으며, 일정 각도 이상에서는 높이가 높아질수록 탈출 성공률이 급감하는 것으로 확인되었다.

이전 연구에서는 무당개구리, 참개구리, 청개구리를 대상으로 경사각 30° 및 40°에서는 유의미한 차이가 발생하지 않았고(Min 2018), 한국산개구리는 경사각 40°, 참개구리는 경사각 60°, 무당개구리는 경사각 50°에서 높은 탈출 성공률이 나타났으며(An 2020), 한국산개구리에서는 경사각 30° 및 40°에서는 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다(Yoon 2018). 양서류 중 무당개구리를 대상으로 탈출 실험에서 An(2020)은 경사각 50°에서만 높은 탈출 성공률이 나타난 반면에 본 연구에서는 무당개구리는 경사각 50° 및 60°에서 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 무당개구리는 인공 수로의 높이가 낮을수록, 경사각이 적을수록 탈출 시간 감소 및 탈출 성공률이 향상되는 것으로 나타났으나, 경사각 50° 및 60°에서 유의미한 차이가 없는 것으로 확인된바, 무당개구리 집단 산란 지역의 경우 인공 수로 내 경사각 60° 이내의 수로 탈출시설을 설치하더라도 충분히 탈출 가능한 것으로 나타났다. 탈출의 난이도를 고려하여 낮은 각도의 탈출로가 이상적이나, 탈출 경사로의 길이가 길수록 탈출 도중 이탈하여 탈출에 실패하는 가능성이 높아질 수 있으며, 탈출 경사로에 필요한 거리가 짧을수록 인공 수로 내 공간을 최대한 활용 가능하고, 비용 절감 등의 효과도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

운영 중인 수로 탈출시설에서의 무당개구리 탈출 성공률은 14.71%로 이용률은 매우 저조한 것으로 나타났다. 실험을 통해 수로 탈출에 성공한 무당개구리 개체의 행동은 대부분 수로 탈출시설을 인지하고 접근하기보다는 수로 탈출시설이 설치된 인공 수로 벽면을 비스듬하게 점프를 통하여 이동하다가 우연히 수로 탈출

시설에 접근하여 탈출하는 경향을 나타냈다. 특히 무당개구리의 이동 방향과 수로 탈출시설 내 경사로의 방향이 동일하지 않을 경우, 탈출에 성공하는 개체는 나타나지 않아 수로 탈출시설 조성 시에는 경사로를 상하류 양방향으로 조성하는 것이 탈출 성공을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 인공 수로 내 무당개구리의 평균 이동 시간은 30분간 38m로 이동 거리를 감안하면 수로 탈출시설 설치 기준인 30m 간격에 부합하는 것으로 나타났다. 그러나, 무당개구리의 운영 중인 수로 내 저조한 탈출 성공률을 향상시키기 위해서는 본 연구를 통해 무당개구리는 경사각 60°에서도 인공 수로 내 탈출이 가능하고 측면 벽을 따라 이동하는 경향을 감안하였을 때 인공 수로의 측면 벽 자체를 경사각 60° 이내로 조성하게 된다면 인공 수로 내 추락 시 서식지로서의 이동이 자유로워 서식지 단절을 감소시키는 데 큰 효과가 있을 것으로 판단된다. 또한, 수로 탈출시설 간격을 설치 기준인 30m보다 간격을 좁히고, 경사로를 상하류 양방향으로 조성하게 되면, 무당개구리 이외의 양서류, 파충류, 소형 포유류 등의 탈출 성공률이 향상될 것으로 판단된다.

본 실험은 무당개구리를 대상으로 제한적인 실험을 진행하였으나, 인공 수로에 추락하는 동물은 무당개구리를 포함하여 다양한 양서류, 파충류, 소형 포유류 등이 분포함에 따라 향후 후속 연구에서는 다양한 분류군 및 종을 대상으로 수로 탈출과 관련된 추가적인 실험이 필요하며 그에 따른 대책이 종합적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 실험결과에 대한 유의미성을 교차분석으로만 분석하였으나, 이를 보완한 실험 개체의 생태적 특성, 실험환경, 반복실험 등 행동결정에 영향을 미칠 수 있는 생물학적 요인 및 비생물학적 요인을 고려한 통계방법이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

References

An BD. 2020. A study on the reduction of habitat disconnection using ecological characteristics of amphibians and mammals. Master's dissertation. Kongju National University.

[Korean Literature]

- Becker CG, Loyola RD. 2008. Extinction risk assessments at the population and species level: implications for amphibian conservation. *Biodiversity and conservation*, 17, 2297-2304.
- Beebee TJ, Griffiths RA. 2005. The amphibian decline crisis: a watershed for conservation biology. *Biological conservation*, 125(3), 271-285.
- Blaustein AR. 1994. Chicken little or Nero's fiddle? A perspective on declining amphibian populations. *Herpetologica*, 50(1), 85-97.
- Do MS, Choi G, et al. 2021. Patterns of Anura Communities Inhabiting Rice Field Around the Mid-west in Republic of Korea. The Korean Society of Herpetologists Conference, 13-13. [Korean Literature]
- Duellman WE, Trueb L. 1994. *Biology of amphibians*. JHU press.
- Frost DR, et al. 2006. The amphibian tree of life. *Bulletin of the American Museum of natural History*, 2006(297), 1-291.
- Gallant AL, et al. 2007. Global rates of habitat loss and implications for amphibian conservation. *Copeia*, 2007(4), 967-979
- Jung JH, Lee WS. 2020. Habitat characteristics of three salamanders (Caudata: Amphibia) in forests and genetic diversity of *Karsenia koreana*. The Korean Society of Herpetologists Conference, 3-4. [Korean Literature]
- Korea Rural Community Corporation (KRCC). 2021. *Statistical yearbook of land and water development for agriculture 2020*. [Korean Literature]
- Lee TH, Kim JK, et al. 2022. Analysis of *Rana coreana* behavior according to the slope angle degree of escape ramp. *Journal of Environmental Impact Assess*, 31(1), 75~81. [Korean Literature]
- Lin HC, et al. 2008. Involving local communities in amphibian conservation: Taipei frog *Rana taipehensis* as an example. *International Zoo*

- Yearbook, 42(1), 90-98.
- McCallum ML. 2007. Amphibian decline or extinction? Current declines dwarf background extinction rate. *Journal of Herpetology*, 41(3), 483-491.
- Mendelson III JR, et al. 2006. Confronting amphibian declines and extinctions. *American Association for the Advancement of Science*, 313, 48-48.
- Min BH. 2018. A study on the eco-corridor development by analysis of ecological habits in amphibians. Ph.D. dissertation. Andong National University. [Korean Literature]
- Ministry of Environment. 2010. Guidelines for Design and Management of Wildlife Crossing Structures in Korea. [Korean Literature]
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT). 2022. Yearbook of road statistics 2021. 7-8. [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2019. Red data book of republic of korea Vol. 2 amphibians and reptiles. [Korean Literature]
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2022. National list of Korea.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2012. Ecological guide book of herpetofauna in Korea. [Korean Literature]
- National Institute of Forest Science (NIFS). 2021. 2020 Forest resources of Korea, 3. [Korean Literature]
- Pounds JA. 2001. Climate and amphibian declines. *Nature*, 410(6829), 639-640
- Roelants K, et al. 2007. Global patterns of diversification in the history of modern amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(3), 887-892.
- Sodhi NS, et al. 2008. Measuring the meltdown: drivers of global amphibian extinction and decline. *PloS one*, 3(2), e1636.
- Song JY, Lee Is. 2009. Elevation distribution of korean amphibians. *Korean Journal of Herpetology*, 1(1), 15-19. [Korean Literature]
- Stuart SN, et al. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306(5702), 1783-1786.
- Tinsley RC, Kobel HR. 1996. The biology of *Xenopus*. Zoological Society of London.
- Yang SY, Kim JB, et al. 2001. Monograph of Korean amphibia. Academy Books. [Korean Literature]
- Yoon JH. 2018. A study on improvement for the Eco-way (escaping facility on waterway) helping wild animals' migration. Master's dissertation. Korea National University of Transportation.
- Young BE, et al. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation biology*, 15(5), 1213-1223.