

맹꽁이 대체서식지 조성 평가 및 유지관리 방안 연구

- 서울시립대학교 맹꽁이 대체서식지를 사례로 -

박석철* · 한봉호** · 박민진***

*서울시립대학교 도시과학연구원 연구원 · **서울시립대학교 조경학과 교수 · ***서울시립대학교 대학원 조경학과 대학원생

A Study on the Evaluation and Maintenance for Alternative Habitats of the Narrow-mouth Frog (*Kaloula borealis*)

- A Case Study on the Alternative Habitats of *Kaloula borealis*
at the University of Seoul -

Park, Seok-Cheol* · Han, Bong-Ho** · Park, Min-Jin***

*Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul

**Professor, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul

***Graduate Student, Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, University of Seoul

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the performance of and to derive future maintenance-management measures of the constructed alternative habitat for the *Kaloula borealis* at the University of Seoul, examining the period between 2015-2017. The research was constructed in 2014 and in a 191m² area. The performance evaluation was divided into maintaining the habitat of the target species, maintaining the population and reproduction rates of the target species, maintaining the habitat of the wild species, the resilience of natural ecosystems, and the harmony with the surrounding environment. In terms of maintaining the habitat of the target species, soil collected from the existing habitat of the *Kaloula borealis* and the depth was increased to 30cm in the alternative habitat. An artificial water supply was required every year during the supporting the spawning and hatching of other amphibians along with the *Kaloula borealis*. The sources of water of the alternative habitat were both rain and tap water, as it cannot be maintained naturally. Additionally, the *Kaloula borealis* thrived because it inhabited the research site and the average temperature was 26.2°C from April-June, which is when the *Kaloula borealis* spawns. In terms of maintaining the population and reproduction rates of the *Kaloula borealis*, they were evaluated to have stable rates of reproduction. In terms of maintaining the habitat of the wild species, studies on vegetation and the structure of the characteristics of prey or predators will be needed. Also, alien species, such as *Humulus japonicus* and *Bidens frondosa* needed to be removed to maintain the wetland ecosystem of the wild species. In the assessment of the resilience of the natural ecosystems, the mud was monitored, noting the changes in the depth of water, with steps taken to reduce the leakage of water. The mud collected from the Haneul Pond wetland, which is located around the research site was piled up. Also, partial mowing management and the inducement of a natural vegetation colony was required for vegetation management. It was also necessary to create porous spaces, such as old trees and tree

branches to create a habitat with hiding places and feeding and spawning places for small organisms. In terms of the harmony with the surrounding environment, the following threat factors needed to be managed: amphibian roadkill by vehicles and pedestrians and artificial draining due to nearby user access. Based on the monitoring results, alternative habitat management measures presented the promoting various waterside structures, in which amphibians can spawn and hide in, managing the water environment consistently, managing the vegetation, focused on the habitat of the wild species, and managing the surrounding environment for the habitat. The creation of an alternative habitat should be managed through monitoring, reflecting the characteristics of the changes in the site. Also continuing efforts are also needed to improve the habitat of the target species.

Key Words: Habitat Environment, Target Species, Wild Species, Resilience

국문초록

본 연구는 서울시립대학교 맹꽂이 대체서식지의 2015~2017년 사후모니터링 이후 대체서식지 조성 평가 및 유지관리 방안 도출을 목적으로 하였다. 연구대상지는 2014년에 조성되었으며, 면적은 191m²이다. 조성 평가는 목표종의 서식환경 유지, 목표종의 개체수와 번식을 유지, 자생종 서식환경 유지, 자연생태계로의 회복력, 주변 환경과의 조화로 구분 평가하였다. 목표종의 서식환경 유지 측면에서 대체서식지 내 토양을 기존 맹꽂이 서식지에서 채취하여 토심 30cm 깊이로 조성하였다. 대체서식지 수원은 우수와 수돗물이라 자연적으로 이루어질 수 없으므로 맹꽂이와 함께 다른 양서류 산란 및 부화시기에 인위적인 물 공급이 매년 필요하였다. 그리고 연구대상지는 대체서식지 조성 이후 산란 및 번식을 하는 시기인 6-8월의 평균 기온이 26.2℃로 맹꽂이 서식에는 어려움이 없는 것으로 판단되었다. 맹꽂이 개체수와 번식을 유지 측면에서는 맹꽂이가 점차 안정적인 서식 및 번식을 이루고 있는 것으로 평가하였다. 자생종 서식환경 유지 측면에서는 피식자 또는 포식자 특성을 고려한 식생 종 및 식생 구조 개선이 필요하였고, 환삼덩굴, 미국가막사리 등 외래종은 자생종의 습지 생태계 유지를 위해 제거가 필요하였다. 자연생태계로 회복 평가에서 물빠짐 현상의 완화를 위해 수심 변화 모니터링을 통한 진흙다짐을 실시하였다. 진흙은 대상지 주변에 위치한 하늘문못 습지 바닥에서 채취하여 이설했다. 식생 관리는 부분적인 예초관리가 필요하고, 자연적인 식생 군락 형성 유도가 필요하였다. 또한 고목, 나뭇가지 등 다공질 공간을 조성하여 소생물의 서식 공간 및 은신처, 먹이 산란처를 조성할 필요가 있었다. 주변 환경과 조화 측면에서는 차량 및 보행자에 의한 양서류 로드킬, 인공 배수로에 양서류 빠짐, 주변 이용자 접근 등 위협요인 관리가 필요하였다. 대체서식지 관리방안은 모니터링 결과를 바탕으로 산란 및 은신할 수 있는 다양한 수변구조, 지속적인 수환경 관리, 자생종 서식환경 중심의 식생관리, 야생생물의 서식환경을 위한 주변 환경관리를 제시하였다. 창출형 대체서식지는 모니터링을 통해 대상지 변화 특성을 반영한 관리와 복원 목표종의 서식 환경 개선 노력이 지속적으로 필요하다.

주제어: 서식환경, 목표종, 자생종, 회복력

1. 서론

양서류는 다른 척추동물에 비하여 미세한 서식지 환경 변화에 민감하게 반응하는 특징 때문에 생태계의 건강성을 평가할 수 있는 유용한 생물지표종으로 알려져 있다(Cushman, 2006). 또한 생태계 구성원 중 중간자 역할을 하는 분류군으로 수생태계와 육상생태계를 연결해주는 중요한 고리 역할을 한다. 하지만 최근 기후변화와 서식지 파괴로 인한 개체수 감소에 따라 양서류는 전 세계적으로 멸종될 위험에 처해 있는 분류군으로 간주되고 있다(Wake and Vredenburg, 2008; Gibbons *et al.*,

2000). 현재 환경부 지정 멸종위기야생생물 II급으로 지정된 맹꽂이는 *Kaloula*속에 속하는 양서류로 우리나라에서는 유일하게 한 종이 서식하고 있으며(Ko *et al.*, 2011), 지역개발 및 농약사용으로 개체군 크기가 현저히 줄어든 종이다(Yang *et al.*, 2001). 그리고 맹꽂이 서식지는 인간 거주지 근처로 서식지가 바뀌면서 농촌 주변의 지저분한 웅덩이나 농지 주변 수로, 장마철에 일시적으로 고인 웅덩이 등에서 번식하게 되었다(Kim, 2009). 맹꽂이를 비롯한 야생동물들의 서식지 감소 및 서식지 단편화는 생태계 네트워크의 단절을 가져왔으며, 결과적으로 개체수 감소, 종 다양성 감소를 가져왔다(Hwang, 2000). 이러

한 인위적인 토지이용 변화로 인해 훼손되거나 영향 받을 것으로 예상되는 동·식물 서식지를 보충하기 위해 대체서식지 개념이 대두되었다. Korean Ministry of Environment(2013)는 대체서식지를 개발사업으로 인해 훼손되거나 영향을 받을 것으로 예상되는 생물의 서식지를 보충하기 위하여 사업대상지역 또는 주변지역에 원래의 서식지와 동일하거나 유사한 수준으로 창출, 향상 또는 복원한 서식지로 규정하였다. 맹꽂이 대체서식지의 경우, 다른 양서류와 차별화된 대체서식지 복원 전략이 필요하다. 맹꽂이는 다른 양서류와 달리 물에 대한 의존도는 낮지만 산란지 조성 시 웅덩이가 수심은 50cm 내외이어야 하고, 주변에 산림, 경작지, 구릉지 등 활동지와 동면지가 함께 입지되어야 한다. 본 연구는 개발사업과 관련하여 새로운 대체서식지(창출형)를 조성한 서울시립대학교 맹꽂이 대체서식지를 대상으로 2015~2017년간 사후모니터링 이후 맹꽂이 대체서식지 조성 평가 및 향후 유지관리 방안을 도출하고자 하였다.

II. 선행연구

맹꽂이 관련 연구는 2000년 전까지 맹꽂이 분포나 생물학적 특징, 유전적 분석에 대한 연구가 주류였으며, 2000년 이후 맹꽂이 생태 및 서식처 복원에 관한 연구가 시작되었다. 최근에는 기후변화와 서식지 파괴에 따른 맹꽂이의 절멸 방지를 위해서 맹꽂이 서식지 환경 및 맹꽂이 산란 연구, 맹꽂이 서식처 복원 연구, 대체서식지 조성 계획에 대한 연구가 활발하게 이루어졌다. 맹꽂이 서식지 환경 연구로 저지대는 산란지 특성을 지니고 있으며, 평지부와 사면부는 동면지, 휴식처 등 서식지 특성을 나타내고 있다(Rho, 2016). 맹꽂이 산란은 장마로 인해 일시적으로 형성된 연못이나 웅덩이, 배수로, 농수로 등 습지에서 이루어지고, 이 장소가 마르기 전에 올챙이들의 변태과정이 모두 일어난 것을 관찰하게 되어 서식지의 건조가 번식이 성공하는데 중요한 요인으로 작용한다(National Institute of Biological Resources, 2012). Korean Ministry of Environment(2013)에서는 대체서식지 개념, 추진절차, 조성 시 고려사항, 대체서식지 구조와 기능, 입지기준, 유지관리 방안, 조성 평가에 대한 세부 내용을 제시하였다. Jung *et al.* (2013)은 불가피한 개발로 훼손된 야생동물의 서식특성과 서식환경 조건을 고려한 전 과정 대체서식지 조성 계획을 수립하였다. 주요 연구내용은 수문학적 특성, 식생, 유역권, 서식기반, 생태네트워크, 구조 항목으로 총 21개 세부 항목에 대한 계획 지표를 도출하였다. Shim *et al.*(2014)은 맹꽂이의 생태 및 서식처 현황조사와 맹꽂이의 HSI 관련 문헌조사를 바탕으로 맹꽂이 서식처 적합성 지수(Habitat Suitability Index: HSI) 개발하였다. HSI란 특정 어류나 야생생물종이 서식할 수 있는 서식처의 능력을 나타내는 정량적 지표이다. 맹꽂이의 HSI 항목은 공간, 먹이, 은신처, 물

(번식), 위협요소 등 5개의 구성요소를 포함하며, 각 구성요소별로 총 16개의 변수를 제시하였다. 이후 맹꽂이의 HSI를 활용하여 맹꽂이 서식처 복원 위치 선정 방안에 관한 연구(Shim *et al.*, 2015), 맹꽂이 HSI를 활용 및 실제 적용하여 맹꽂이 서식처 복원 계획연구(Cho and Shim, 2016)가 있었다. 최근에는 맹꽂이 서식지 복원 및 대체서식지 조성 시 기초적인 생태자료 구축(Hong *et al.*, 2017) 연구가 있었다. 현재까지는 맹꽂이 대체서식지 조성 및 복원을 위한 기준, 방법, 계획에 대한 연구가 주로 이루어졌다. 이제는 대체서식지 조성 이후 모니터링을 통해 조성 평가와 평가결과에 따른 유지관리 방안을 제시하는 연구가 필요한 실정이다.

III. 연구 방법

1. 연구대상지

서울시립대학교 맹꽂이 대체서식지는 배봉산 자락 캠퍼스 음악관 전면에 조성하였으며, 과거 배봉산에서 발원하는 건천 수로의 일부 지역이었다. 대체서식지의 면적은 191m², 깊이는 1.0~1.5m이었다(Figure 1 참조). 물웅덩이 외곽은 자연석 쌓기로 조성하였고, 물웅덩이는 기존 수로와 연결시켰다. 연구대상지는 훼손지로부터의 가까운 거리, 동면지와 서식지로 이용되는 산림과의 연계, 원래 서식지와 유사한 환경 조성으로 대체서식지의 일반적 기준에는 부합하는 것으로 판단되었다(Korean Ministry of Environment, 2013).

2. 맹꽂이 대체서식지 조성 및 관리 평가를 작성

Korean Ministry of Environment(2013)에서 제시한 성과 평

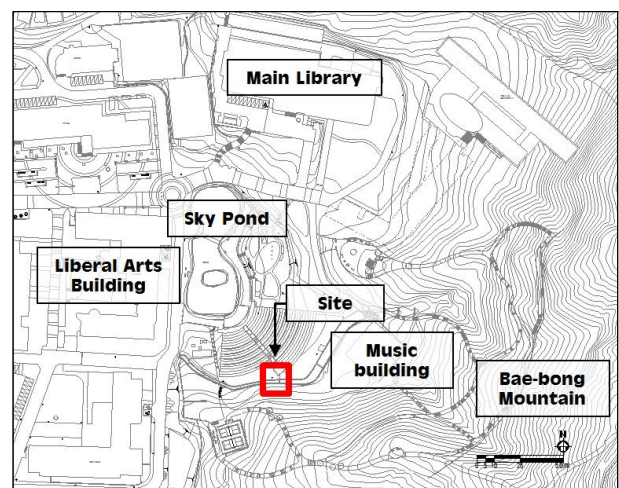


Figure 1. Location map of the alternative habitat for *Kaloula borealis* in University of Seoul

가 항목에 맞추어 조성 및 관리 평가틀을 작성하였다. 평가항목은 목표종의 서식환경 유지, 목표종의 개체수와 번식을 유지, 자생종 서식환경 유지, 자연생태계로의 회복력, 주변 환경과의 조화로 구분하였다. 세부 조사방법은 평가항목에 따라 '대체서식지 조성·관리 환경영향평가 지침'과 맹꽁이 대체서식지 관련 선행연구 내용(Jung *et al.*, 2013; Shim *et al.*, 2014)을 기반으로 작성하였다(Figure 2 참조).

3. 평가 항목 및 방법

목표종의 서식환경 유지는 서울시립대학교 맹꽁이 대체서식지 조성 이전과 이후 지역상황을 다음 항공사진(Aerial map)을 통해 파악하였다. 대체서식지 조성 기법은 토양 기반 조성, 식생 조성, 수원 확보 측면에서 시행된 내용을 파악하였다. 기상 특성은 통계연보(<http://www.ddm.go.kr>)의 기후 데이터를 활용하여 최근 3년간(2015~2017년)의 월평균 기온 및 강수량을 분석하였다. 수환경은 물 공급 체계를 파악을 목적으로 주변 수 체계 현황을 파악하였다. 목표종의 개체수와 번식을 유지를 평가하기 위한 맹꽁이 출현현황 조사는 2015년부터 2017년까지 매년 6~8월 18시 이후 야간시간에 중점 조사하였다. 맹꽁이 출현현황 조사는 번식기 청음 조사 및 성체 조사를 통해 개체수 조사와 산란 이후 알덩어리 및 유생을 관찰하였다. 자생종 서식환경 유지 평가는 식생 생육현황을 1/1,000 수치지형도에 도면화 하였다. 현존식생 조사는 서식기반이 점차 안정화됨에 따라 조사 횟수를 줄여나갔다. 2015년 1차 조사는 6월 26일, 2차 조사는 7월 2일, 3차 조사는 7월 25일, 4차 조사는 8월 10일에 시행하였다. 2016년 1차 조사는 6월 26일, 2차 조사는 8월 8일 시행하였다. 2017년은 8월 2일 1회 조사하였다. 자연생태계로의 회복력은 연구대상지 내 생태적 습지 조성을 위한 환경 개

선 관리들을 파악하였다. 세부 환경 개선 관리 내용으로 진흙 다짐 실시, 산림과의 연계, 식생관리 유무, 미소서식처 이용 유무를 평가하였다. 주변 환경과의 조화 평가를 위해 대체서식지의 3년간 전체 양서류 출현현황을 조사하였고, 사후모니터링을 실시하면서 발생한 위협요인을 조사·분석하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 맹꽁이 대체서식지 조성 평가

1) 목표종의 서식환경 유지

(1) 항공사진 변화

서울시립대학교 맹꽁이 대체서식지는 교내 하늘연못과 배봉산 사이에 위치한 콘크리트 수로 중 일부 지역에 조성하였다. 대체서식지는 2014년 9월 캠퍼스 음악관 건립 공사 중 이설대상 수로 내에서 맹꽁이를 발견하면서부터 시작되었다. 서울시립대학교는 2014년 10월 맹꽁이의 안전한 서식을 위해 맹꽁이습지를 조성하였고, 10월 28일에 수로 내 맹꽁이가 있을 만한 지점을 중심으로 포획 및 방사를 실시하였다(Figure 3 참조). 기존의 맹꽁이가 발견된 지점은 수로 벽면(H: 2m)과 바닥(L: 4m)이 콘크리트로 만들어져 있었고, 수로 상·하류에 사각웨어가 설치되어 있었으나 기능이 상실되었다. 콘크리트 수로에 쌓인 토사는 토심이 10cm 내외이었다. 대체서식지 면적은 191m²로 맹꽁이가 서식 가능한 최소 습지 면적 50m²이상 기준에는 부합하였다(Jung *et al.*, 2013). 연구대상지는 하늘연못과 잔디노천극장과 인접하여 추후 건축물 개발 가능성은 낮았지만, 배봉산 녹지 및 수계 연결성은 음악관과 인공수로로 단절된 상황이었다.

Factor	Evaluation item	Evaluation methods
Maintaining the habitat	Pre-construction	Aerial photograph(location criteria)
	Under construction	Composition techniques(soil, vegetation, water sources)
	After construction	Weather conditions Water system
Maintain population and breeding rates	Appearance status	Monitoring in breeding season(<i>Kaloula borealis</i>)
Maintaining the habitat of native species	Foreign and agitated species	Vegetation survey
Resilience to the natural ecosystem	Ecological wetland environment	Measures to improve the wetland environment
Harmony with the surrounding environment	Amphibian appearance status	Appearance of all amphibians
	Threat factor	Investigation of threat factors

Figure 2. Evaluation framework of creation and management

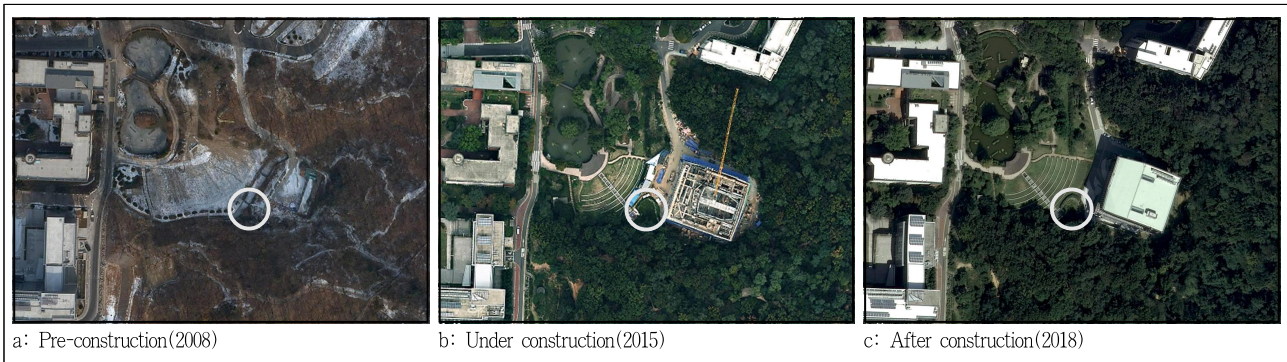


Figure 3. Changes in the environment of the alternative habitat for *Kaloula borealis* in University of Seoul



Figure 4. Process of construction of the alternative habitat for *Kaloula borealis* in University of Seoul

(2) 대체서식지 조성 기법 평가

Figure 4는 서울시립대학교 뱀꽂이 대체서식지 조성 과정을 보여주고 있다. Shim *et al.*(2014)의 HSI 항목 기준에 따르면 토질은 부드러운 흙으로 토심 20cm 이상 확보하는 것을 기준으로 설정하였다. 연구대상지는 대체서식지 내 토양을 외부에서 가져오기보다는 기존 뱀꽂이 서식지인 콘크리트 수로 내 퇴적된 토양 중 쓰레기가 없는 양호한 토양을 채취 후 토심 30cm 깊이로 조성하였다. 식생 조성 측면에서 Shim *et al.*(2014)의 HSI 항목 기준은 습지 수생식물의 피도 70% 내외를 제시하고 있다. 연구대상지 초기에 습지 수생식물의 피도는 30% 미만의 저밀도이었지만, 2~3년이 흐른 후 대체서식지 내 식생은 안정화 단계를 거쳐 70% 이상 식생으로 덮였다. 수원 확보 측면에서는 Shim *et al.*(2014)의 HSI 항목 기준은 영구습지 면적은 500m² 이상으로, 일시습지 면적은 50m² 이상으로 제시하고 있지만 연구대상지는 영구습지는 확보되지 않았고, 인위적인 물 공급을 통해 습지 전체 면적(191m²)의 50%의 수면적을 형성하고 있었다. 뱀꽂이는 육상동면을 하므로 영구습지의 절대적인 필요성은 없지만 대상지 내 수원 공급이 자연적으로 이루어질 수 없으므로 뱀꽂이 산란 및 부화시기에 물 공급과 같은 인위적인 관리가 필요할 것으로 보인다.

(3) 기상 현황

최근 3년간 뱀꽂이 산란시기인 6월에서 8월까지의 월평균

기온 현황을 분석한 결과, 2015년의 최고기온은 7월에 36℃이었으며, 2016년은 8월에 37℃, 2007년은 7월과 8월에 35℃로 최고기온이었다. Hong *et al.*(2017)의 연구에 따르면 뱀꽂이 개체수와 관련된 온도는 25℃ 이상일 때 활발한 움직임을 보이는 것으로 보고되었다. 대체서식지 조성 이후 산란 및 번식을 하는 시기인 6~8월의 평균 기온은 26.2℃로 뱀꽂이 서식에는 어려움이 없는 것으로 판단되었다. 최근 3년간 월평균 강수량 현황을 분석한 결과, 2017년에는 월평균 강수량이 2016년에 비해 증가하여 뱀꽂이 서식에는 도움이 되었을 것으로 판단되었다. 하지만 2015년 6~8월의 강수량은 현저하게 낮았다(Figure 5 참조). 조성 초기 2015년에는 서식지 불안정, 빈번한 물빠짐 현상으로 뱀꽂이를 비롯한 양서류의 산란 및 번식이 어려웠을 것으로 판단되었다.

(4) 수계 현황

뱀꽂이습지 내 수체계를 조사한 결과, 수원은 우수, 수돗물이었으며, 양서류 산란기에 수돗물을 통해 인위적인 물을 공급하고 있었다(Figure 6 참조). 서울시립대 뱀꽂이 대체서식지의 경우, 지하수, 우수, 정수역 등 지속적인 수원이 없는 점(Jung *et al.*, 2013)은 뱀꽂이 서식에 큰 제약으로 파악되었다. 물론 이를 극복하기 위해 지속적인 물공급을 통해 대체서식지는 3~5월 일정한 수심을 유지하였다.

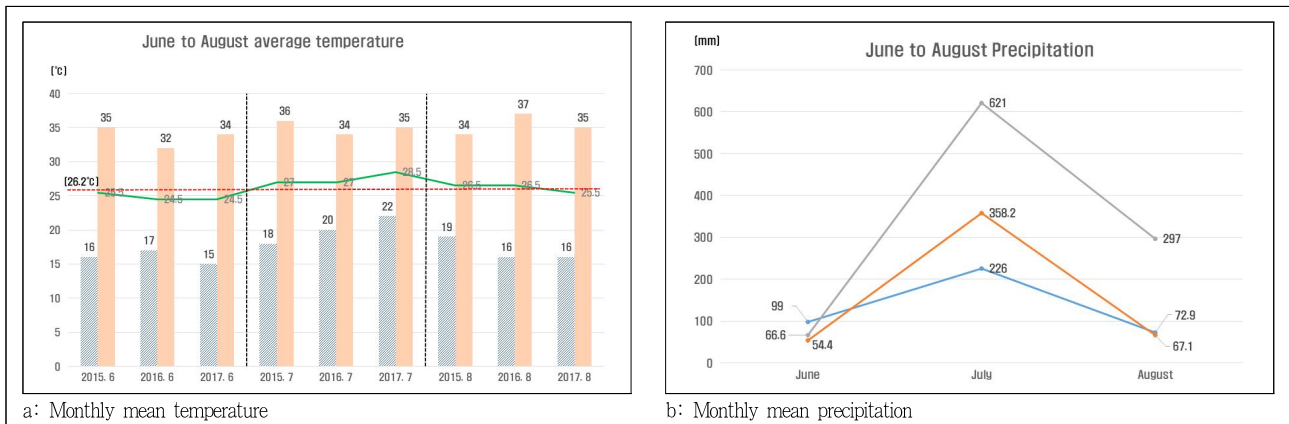


Figure 5. Status of monthly mean temperature and precipitation in spawning period

Legend: Maximum temperature Minimum temperature Average temperature 2015 2016 2017

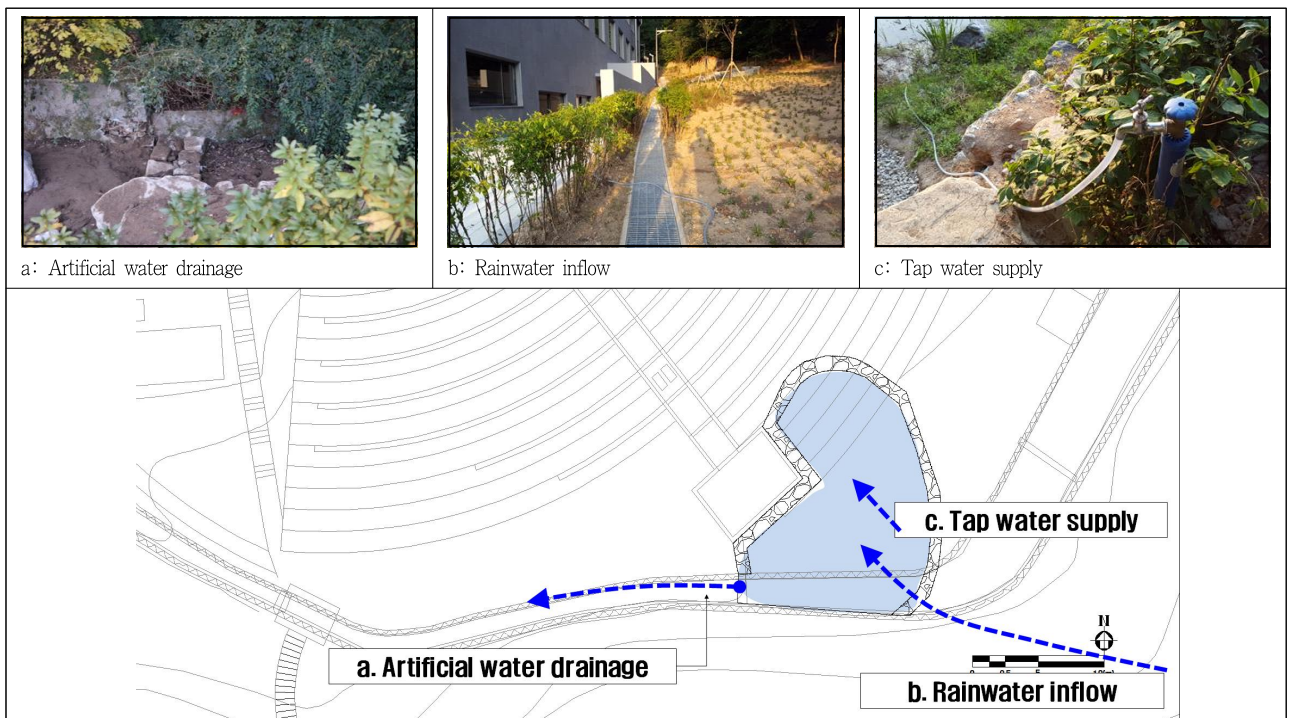


Figure 6. Water system of the alternative habitat for *Kaloula borealis* in University of Seoul

2) 맹꽁이 개체수와 번식률 유지

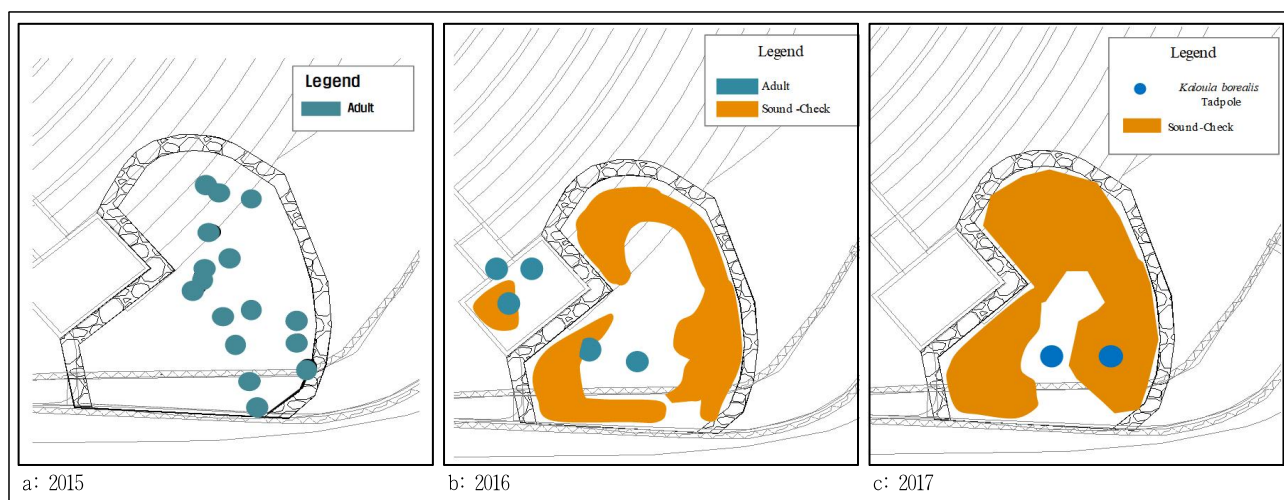
2015년 1차 모니터링에서는 청음 최대 개체수가 8개체이었으며, 2016년 2차 모니터링에서는 청음 최대 개체수가 18개체, 2017년 3차 모니터링에서는 청음 최대 개체수 30개체로 조사되었다. 조사 시기 및 강도의 차이에 따라 맹꽁이 출현 개체수의 차이가 나타난 것으로 판단되었으며, 연구대상지 맹꽁이는 점차 안정적인 서식 및 번식을 이루고 있는 것으로 판단되었다 (Table 1, Figure 7 참조).

3) 자생종 서식환경 유지

맹꽁이 대체서식지 내 현존식생을 조사한 결과, 조사 시기에 따라 우점 식생종 및 분포 면적이 변화하였다. 주요 우점종은 고마리(*Persicaria thunbergii*), 돌피(*Echinochloa crus-galli*), 달뿌리풀(*Phragmites japonica*), 꽃창포(*Iris ensata* var. *spontanea*) 등이었다(Figure 8 참조). 연구대상지는 식생 유형이 단순하고, 식생 피도가 70% 이상으로 맹꽁이가 서식하는 데는 적합한 것으로 판단되었다(Shim *et al.*, 2014). 2015년 총 4회에 걸친 현존식생 조사 결과, 6월 초에는 고마리 순군락, 돌피-고마리 군락, 고마리-달뿌리풀 군락, 돌피-고마리-갈대 군락, 꽃창포 군락이 분포하였고, 8월경에는 고마리 순군락, 돌피-고마리 군락,

Table 1. Appearance of *Kaloula borealis* at the alternative habitat for *Kaloula borealis* in University of Seoul

Date of investigation		Appearance status
2015	1-July	• 1 adult
	13-July	• 6 adults
	15-July	• A large number of eggs(about 1,500), 4 tadpoles
	17-July	• A Large number of eggs(about 280), 18 tadpoles
	23-July	• 8 adults
	25-July	• 15 tadpoles
	3-August	• Tadpoles(about 200)
	20-August	• Tadpoles
2016	3-May	• 3 objects of sound
	17-May	• 1 adult, 6 objects of sound
	2-July	• 150 eggs, 3 adults
	5-July	• 1 adult, 18 objects of sound
	29-July	• 6 objects of sound
2017	7-June	• 1 object of sound
	13-June	• 6 objects of sound
	15-June	• 6 objects of sound
	25-June	• 30 objects of sound
	26-June	• 13 objects of sound
	15-August	• 3 objects of sound, 2 tadpoles
	21-August	• 1 object of sound

Figure 7. Appearance status map of narrow-mouth Frog(*Kaloula borealis*) at the alternative habitat for narrow-mouth Frog(*Kaloula borealis*) in University of Seoul from 2015 to 2017Legend: ■ Adult ■ Sound-check ● *Kaloula borealis* tadpole

돌피-왕고들빼기 군락으로 세력이 변화하였다. 2016년 1차 조사 결과, 고마리 순군락, 갈대-고마리 군락, 고마리-환삼덩굴 군락이 분포하였고, 수면은 습지 중앙에 넓게 분포하였다. 2차 조사 결과, 주요 식생은 고마리-바랭이-꽃창포 군락, 미국가막사리-고마리 군락, 부들-큰고랭이 군락, 고마리-환삼덩굴 군락 등이 생육하였다. 2017년 현존식생 조사 결과, 대상지 동측은 고

마리-환삼덩굴이 분포하였고, 북쪽과 동쪽에는 고마리가 넓게 분포하였다. 습지 중심에는 부들과 애기부들, 서쪽에는 물억새, 고마리-미국가막사리, 남쪽에는 명아주, 질경이택사, 망초 등이 분포하였다. 연구대상지 내 외래종 출현현황을 살펴보면 습지 남측 둔덕에 아까시나무 치수가 소규모로 분포하였고, 환삼덩굴과 미국가막사리가 소규모로 세력을 형성하고 있었다. 서울

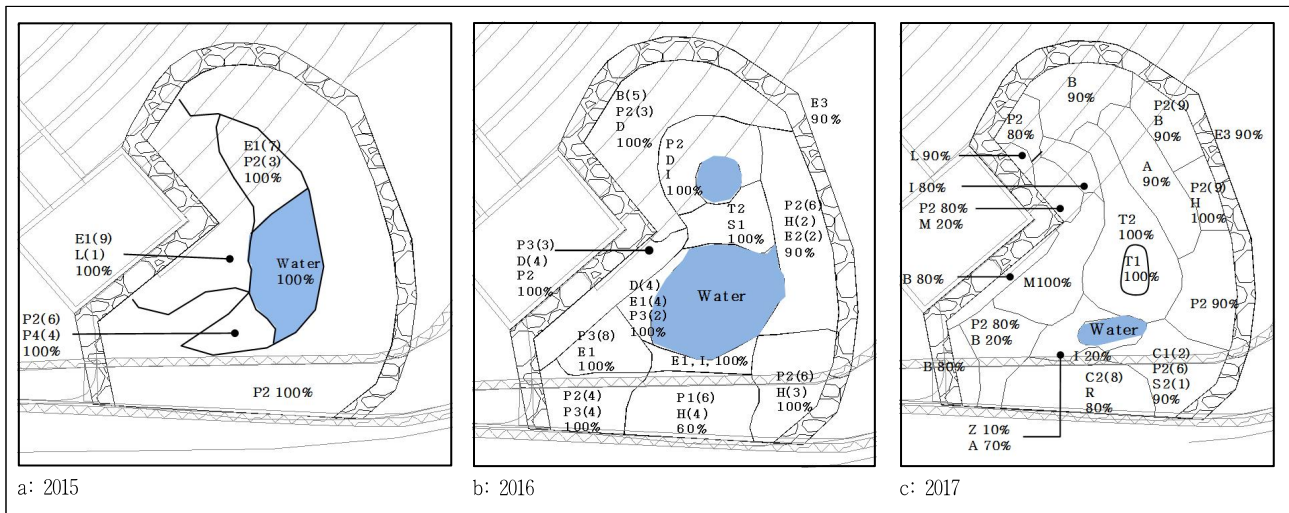


Figure 8. Actual vegetation map of the alternative habitat for *Kaloula borealis* in University of Seoul(2015~2017)

Legend: A: *Alisma orientale* B: *Bidens frondosa* C1: *Chenopodium album* C2: *Conyza canadensis* D: *Digitaria ciliaris*
 E1: *Echinochloa crus-galli* E2: *Erigeron annuus* H: *Humulus japonicus* I: *Iris ensata* var. *spontanea* L: *Lactuca indica*
 M: *Miscanthus sacchariflorus* P1: *Pennisetum alopecuroides* P2: *Persicaria thunbergii*

시립대 맹꽁이 대체서식지는 자생종 서식환경 유지 측면에서 피식자 또는 포식자 특성을 고려한 세부 식생 종 및 식생 구조에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다. 그리고 곤충류를 유인하기 위해 짙레꽃, 털부처꽃, 붓꽃, 노란꽃창포, 원추리 등의 보완식재가 필요하였다(Jung *et al.*, 2013).

4) 자연생태계로의 회복력

자연생태계로의 회복력은 진흙다짐, 배봉산 산림과의 연계 방안, 식생관리 유무, 미소서식처 이용 유무 등 생태적 습지환경 조성을 위한 조치들을 검토하였다. 연구대상지는 2005년 조성 초기 연못 바닥에 차수막을 설치하지 않아 인위적인 물공급이 없을 때는 물빠짐 현상이 뚜렷하였다. 이에 조성 이후 2016

년에 봄철 1개월 간 습지 내 물 빠짐 현상에 대한 정밀 수위 모니터링을 실시하여 수심 변화를 파악하였다. 습지 내 첫 물 공급이 이루어진 2016년 3월 31일의 수심은 39cm이었으며, 총 6일의 수위 측정 결과 매일 약 7cm씩 수심이 낮아지는 것을 확인하였다. 4월 4일에 수심 약 15cm로 감소하였으나, 4월 5일 물 공급으로 대상지의 수심이 43cm로 높아졌다(Figure 9 참조). 수심 변화 모니터링을 통해 2016년 5월 12일에 연못 내 가장 수심이 깊은 2개 지점을 선정하여 가로 2m×세로 2m×높이 30cm 규모로 진흙다짐을 실시하였다. 진흙은 대상지 주변에 위치한 하늘연못 습지 바닥에서 채취하여 이설했다. 이후 물 빠짐 현상은 완화되어 습지 내 물 공급 주기가 길어진 것을 확인하였다. 대상지는 산림과 인접해 조성하였지만, 과거 인공호안을 유

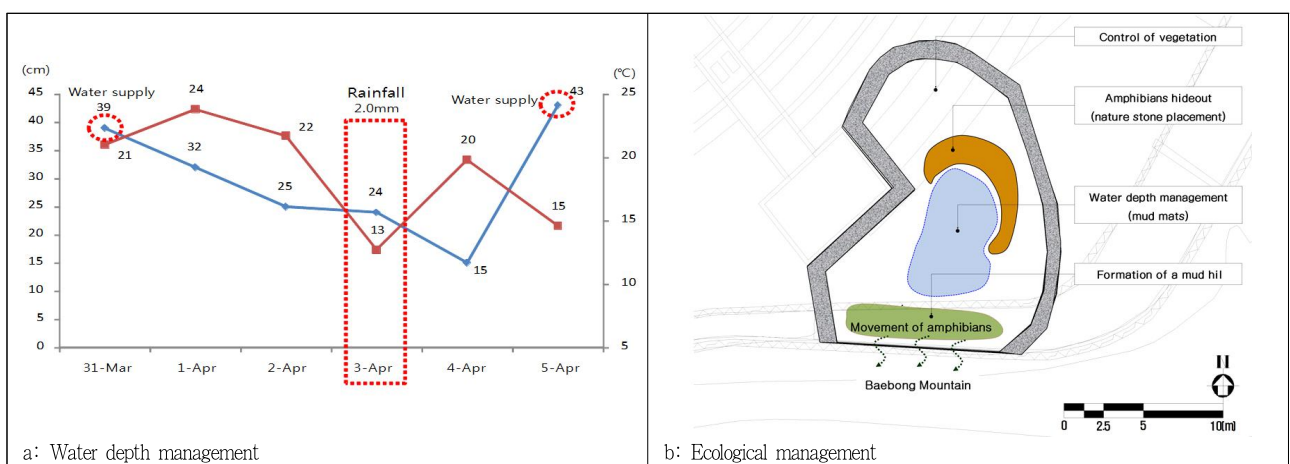


Figure 9. Ecological managements of the alternative habitat for *Kaloula borealis* in University of Seoul

Legend: — The depth of water — Maximum temperature(°C)

지하면서 산림과의 녹지 및 수계 연결성은 떨어졌다. 이에 산림과의 연결성을 향상시키기 위해 흙 둔덕을 2개소 설치하여 산림과의 생태적 연결을 향상시켰다. 대상지 내 식생은 매년 장마철 이후 수면 및 수변식생이 대체식지를 전면적으로 피복하여 전면 풀깎기를 시행하였다. 이는 개방수면 확보 측면에서 유리하지만 기존의 서식하고 있는 야생생물에 대한 고려가 없는 무분별한 예초관리이었다. 따라서 핵심 공간 이외 공간을 대상으로 부분적 관리를 시행하고, 핵심공간은 자연적인 식생 군락 형성을 유도할 필요가 있었다. 맹꽁이 은신처 확보 차원에서 습지 내부에 자연석 배치를 실시하였는데, 대부분 물에 잠기게 되어 맹꽁이의 커버 장소로서 잠자리, 피난, 은식, 휴식 등의 장소 제공 측면에서 한계가 있었다. 향후 맹꽁이 대체서식

지는 고목, 나뭇가지 등 다공질 공간을 조성하여 소생물의 서식 공간 및 은신처, 먹이 산란처를 함께 조성할 필요가 있었다 (Jung *et al.*, 2013).

5) 주변 환경과의 조화

서울시립대학교 맹꽁이 대체서식지 내 전체 양서류 출현현황을 조사하였다(Table 2 참조). 맹꽁이습지 내 산란 및 번식하는 양서류는 맹꽁이, 북방산개구리, 계곡산개구리, 청개구리로 총 4종이었다. 연구대상지는 맹꽁이뿐만 아니라, 다양한 야생동물의 서식처를 제공하므로써 주변 자연생태계의 먹이사슬을 다양하게 하고, 외부 생물종이 이입되어 종다양도가 풍부한 습지서식지의 기능을 수행하고 있었다. 대체서식지 위

Table 2. Appearance of amphibians at the alternative habitat for *Kaloula borealis* in University of Seoul

Date of investigation		Species name		Appearance status
2015	11-April	Dybowski's brown frog	<i>Rana dybowskii</i>	· 7 eggs
	1-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 1 adult
	13-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 6 adults
	15-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· A large number of eggs(about 1,500), 4 tadpoles
	17-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· A large number of eggs(about 280), 18 tadpoles
	23-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 8 adults
	23-July	Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 1 adult
	25-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 15 tadpoles
	3-August	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· Tadpoles(about 200)
	20-August	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· Tadpoles
	30-August	Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 2 adults
2016	3-April	Dybowski's brown frog	<i>Rana dybowskii</i>	· 3 eggs
	5-April	Huanren brown frog	<i>Ranahuanrenensis</i>	· 3 eggs
	3-May	Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 3 objects of sound
		Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 3 objects of sound
	17-May	Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 2 adults
		Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 1 adult, 6 objects of sound
	2-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 150 eggs, 3 adults
	5-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 1 adult, 18 objects of sound
	15-July	Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 1 adult
	16-July	Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 3 objects of sound
	29-July	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 6 objects of sound
2017	7-June	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 1 object of sound
	13-June	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 6 objects of sound
	15-June	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 6 objects of sound
	25-June	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 30 objects of sound
		Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 5 objects of sound
	26-June	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 13 objects of sound
	15-August	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 3 objects of sound, 2 tadpoles
		Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 10 adults, 2 tadpoles
	21-August	Narrow-mouthed toad	<i>Kaloula borealis</i>	· 1 object of sound
		Tree frog	<i>Hyla japonica</i>	· 6 adults, 1 tadpole

협요인은 차량 및 보행자에 의한 양서류 로드킬, 인공 배수로 양서류 빠짐, 대체서식지 주변 이용자 접근 등이 있었다.

6) 대체서식지 조성 평가 종합

Figure 10은 서울시립대학교 맹꽁이 대체서식지 조성 평가를 종합한 것이다. 맹꽁이가 안정적으로 서식할 수 있는 환경을 유지하였는지에 대한 평가 결과, 추가적인 보완 조치가 필요하였다. 향후 대체서식지 주변 개발 가능성은 낮았지만 배방산과의 녹지 및 수계 연결성은 음악관 부지와 인공호안으로 단절된 상황이었다. 따라서 주변 산림 및 녹지와 자연스러운 연결을 위해 자연형 호안으로 전환이 필요하였다. 연구대상지는 대상지 내 수원 공급이 자연적으로 이루어질 수 없으므로 맹꽁이를 비롯한 다른 양서류의 산란 및 부화시기에 물 공급 관리가 매년 필요하였다. 맹꽁이의 안정적인 개체수와 번식률을 유지하고 있는지를 평가한 결과, 적합한 것으로 판단되었다. 연구대상지는 조사 시기 및 강도의 차이에 따라 맹꽁이 출현 개체수의 차이가 나타났지만, 맹꽁이는 점차 안정적인 서식 및 번식을 이루고 있는 것으로 판단되었다. 대체서식지가 자생종 서식환경을 유지하였는가 평가는 추가적인 보완 조치가 필요하였다. 연구대상지는 자생종 서식환경 유지 측면에서 피식자 또는 포식자 특성을 고려한 세부 식생 종 및 식생 구조에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다. 그리고 곤충이 모일 수 있도록 쪼레꽃, 털부처꽃, 붓꽃, 노란꽃창포, 원추리 등의 보완식재 필요하였다. 습지 내 환삼덩굴, 미국가막사리는 자생종의 안정적인 습지 생태계 유지를 위해 제거가 필요하였다. 환삼덩굴은 덩굴성 식물로 주변의 다른 식물을 피압하여 생육을 방해하고, 미국가막사리 같은 외래식물은 천적이 없고, 빠른 속도로 확산되어 자생

식물의 서식환경을 교란하는 것으로 알려져 있다. 대체서식지가 자연상태에서 발생하는 주기적인 교란 요인에 적응능력을 갖추고 있으며, 본래의 자연생태계로 회복할 수 있는지 평가는 추가적인 보완 조치가 필요하였다. 진흙다짐 이후 물 빠짐 현상은 완화되었고, 산림과의 연계성을 향상시키기 위해 자연재료인 흙 둔덕을 2개소 설치하여 산림과의 생태적 연결은 향상시켰다. 식생 관리는 핵심 공간 이외의 공간을 대상으로 부분적 예초관리를 시행하고, 자연적인 식생 군락 형성을 유도할 필요가 있었다. 또한, 습지 주변으로 다공질 공간을 조성하여 소생물의 서식 공간 및 은신처, 먹이 산란처를 함께 조성할 필요가 있었다. 대체서식지가 주변 환경과 조화를 유지하며 외부환경에서 생물종이 유입되거나, 외부로 생물종을 공급하는 역할을 수행하였는지의 평가는 추가적인 보완 조치가 필요하였다. 연구대상지는 맹꽁이뿐만 아니라, 다양한 야생동물의 서식처를 제공함으로써 주변 자연생태계의 먹이사슬을 다양하게 하고, 다양한 생물종이 이입되어 종다양도가 풍부한 습지서식지의 기능을 수행하고 있었다.

대체서식지는 획일적인 매뉴얼에 기초한 관리보다는 습지 변화 상태에 따라 유연하게 대응할 수 있는 관리, 습지 생물다양성을 향상시킬 수 있는 관리가 되어야 한다(Jang, 2013). 서울시립대학교 맹꽁이 습지는 모니터링을 통해 대상지 변화 특성을 반영한 관리와 복원 목표종인 맹꽁이의 서식 환경 개선 노력이 지속적으로 이루어져야 한다.

2. 맹꽁이 대체서식지 유지관리 방안

맹꽁이 대체서식지 관리방안은 3년간의 모니터링 결과를 바

Factor	Evaluation item	Results of evaluation	Complementary contents
Maintaining the habitat	Pre-construction	Requires complementary	<ul style="list-style-type: none"> • Conversion to natural type waterproofing • Water supply in spawning season
	Under construction		
	After construction		
Maintain population and breeding rates	Appearance status	Suitability	-
Maintaining the habitat of native species	Foreign and agitated species	Requires complementary	<ul style="list-style-type: none"> • Various vegetation structures • Planting of insects • Manage removal for alien species
Resilience to the natural ecosystem	Ecological wetland environment	Requires complementary	<ul style="list-style-type: none"> • Natural vegetation management • Need to create a habitat for resuscitation, a shelter, and a food scattering site
Harmony with the surrounding environment	Amphibian appearance status	Suitability	-
	Threat factor	Requires complementary	<ul style="list-style-type: none"> • Pre-blocks the path to the artificial waterway

Figure 10. Results of evaluation for creation and management

탕으로 습지 내부구조, 수환경 관리, 식생관리, 주변 환경관리로 구분하여 제시하였다(Figure 11 참조). 습지 내부구조는 집중호우 시 생물종이나 토사의 유실 위험이 없도록 출수구를 높이고, 대상지 내부에서 자연석 배치, 풀덤불 존치 등을 통해 산란 및 은신할 수 있는 다양한 수변 공간 조성을 제시하였다. 특히 산림과 인접한 지역에 조성한 흙 둔덕은 경사를 완만하게 하고, 식생의 활착이 이루어지도록 추가적인 식재가 필요하였다. 수 환경 관리에서는 양서류 산란기(6~8월)에 습지 내 일정한 수량(수심 30cm)을 유지할 수 있도록 지속적인 물 공급이 필요하였고, 습지 내 수심은 다양하게 유지하고, 연못 바닥에서 동면하는 맹꽁이 외 다른 양서류를 위해 겨울철 연못 바닥이 얼지 않도록 할 필요가 있었다(Hur *et al.*, 2017). 습지 수 공간은 개방수면을 유지할 수 있도록 번성하고 있는 수생식물에 대해서는 일부 관리가 필요하였다. 또한, 식생 관리 측면에서는 덩굴성 식물인 환삼덩굴과 외래종인 미국가막사리 등의 집중적인 제거 관리가 필요하였다. 주변 환경관리로 쓰레기와 같은 오염원이 유입되지 않도록 해야 하며, 현재 유입된 쓰레기는 정화활동이 필요하였다. 맹꽁이 대체서식지는 주변 산림에 영향으로 햇볕이 차단되는 것과 연못 바닥에 토사 및 낙엽이 쌓이지 않도록 관리가 필요하였다. 맹꽁이와 다른 야생동·

식물의 안정적인 서식을 위해 최근 습지 주변에 설치된 조명등은 차단막을 설치하여 빛에 의한 영향을 최소화할 조치가 필요하였다.

V. 결론

본 연구는 서울시립대학교 맹꽁이 대체서식지를 대상으로 2015~2017년 사후모니터링 이후 대체서식지 조성 평가 및 유지관리 방안 도출을 목적으로 하였다. 연구대상지는 배봉산 자락 음악관 전면에 조성하였으며, 면적은 191m², 깊이는 1.0~1.5m이었다. 조성 평가는 목표종의 서식환경 유지, 목표종의 개체수와 번식률 유지, 자생종 서식환경 유지, 자연생태계로의 회복력, 주변 환경과의 조화로 구분하여 평가하였다. 목표종의 서식환경 유지 측면에서는 추가적인 보완 조치가 필요하였다. 연구대상지는 훼손된 서식지와 동일한 구역에 조성하였지만, 배봉산 녹지 및 수계 연결성은 음악관 부지와 인공호안으로 단절된 상황이었다. 수원은 우수, 수돗물이라 자연적으로 이루어질 수 없으므로 맹꽁이와 함께 다른 양서류 산란 및 부화시기에 인위적인 물 공급이 매년 필요하였다. 맹꽁이 개체수와 번식률 유지 측면에서는 적합한 것으로 평가하였다. 조사 시기 및 강

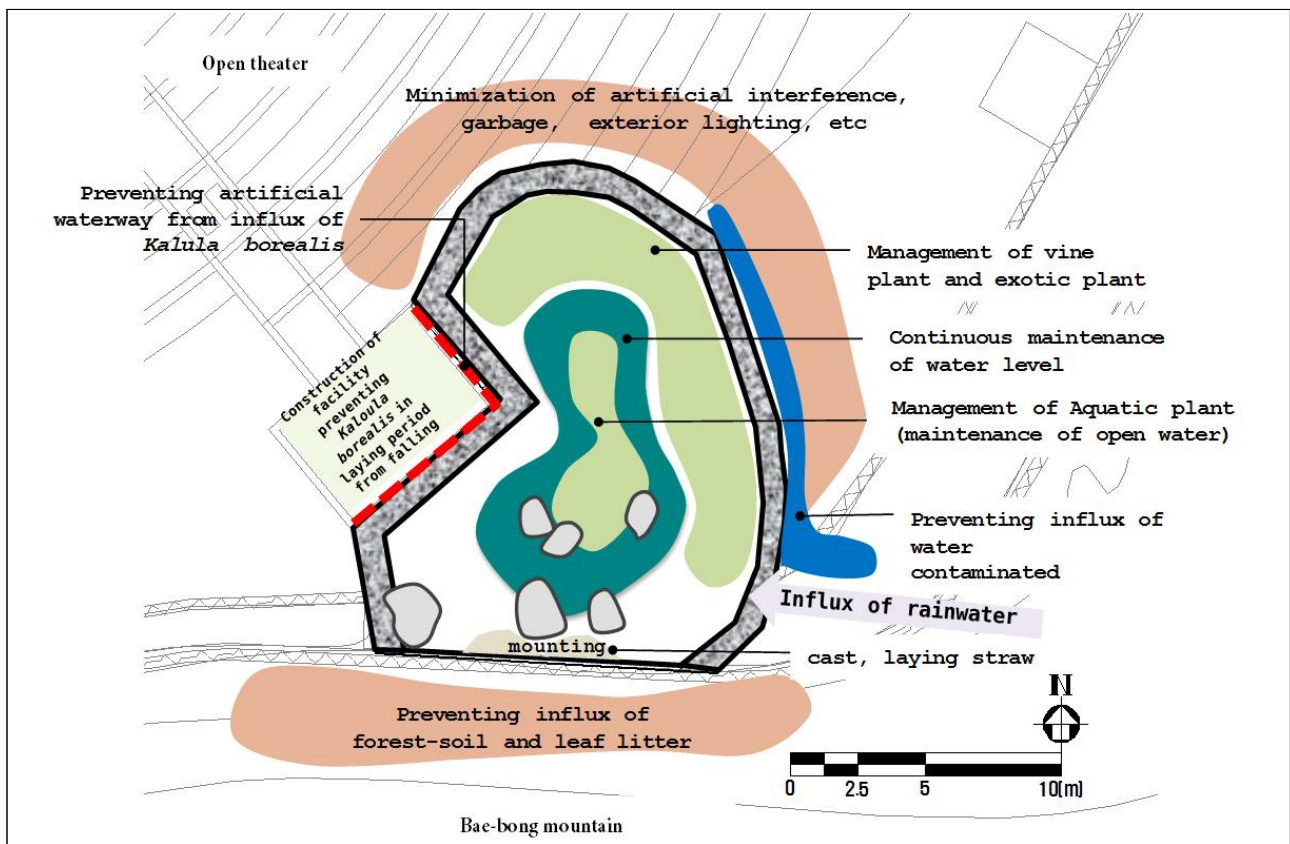


Figure 11. Management planning map of the alternative habitat for narrow-mouth Frog(*Kaloula borealis*) in University of Seoul

도의 차이에 따라 맹꽁이 출현 개체수의 차이가 나타났지만, 점차 안정적인 서식 및 번식을 이루고 있는 것으로 판단되었다. 자생종 서식환경 유지 측면에서는 추가적인 보완 조치가 필요하였다. 현존식생은 조사 시기에 따라 식생 종 및 분포 면적이 변화하였으며, 피식자 또는 포식자 특성을 고려한 식생 종 및 식생 구조 개선이 필요하였다. 환삼덩굴, 미국가막사리는 자생종의 안정적인 습지 생태계 유지를 위해 제거가 필요하였다. 대체서식지의 자연생태계로 회복할 수 있는지 평가는 추가적인 보완 조치가 필요하였다. 식생 관리는 핵심 공간 이외 지역을 대상으로 부분적 예초관리를 시행하고, 자연적인 식생 군락 형성을 유도할 필요가 있었다. 또한, 습지 주변으로 고목, 나뭇가지 등 다공질 공간을 조성하여 소생물의 서식 공간 및 은신처, 먹이 산란처를 함께 조성할 필요가 있었다. 주변 환경과 조화 측면에서 위협요인은 양서류 로드킬, 배수로 빠짐 현상, 습지 내부로 이용자 접근 등이 있어 추가적인 보완 조치가 필요하였다. 대체서식지 관리방안은 모니터링 결과를 바탕으로 산란 및 은신할 수 있는 다양한 수변 공간구조, 인위적인 물 공급을 통한 지속적인 수환경 관리, 자생종 서식환경 중심의 식생관리, 다양한 야생동식물의 서식환경 조성을 위한 주변 환경관리로 제시하였다.

본 연구는 대체서식지의 조성 평가를 3년간의 결과에 한해서 평가함으로써 자연생태계 변화에 대한 정밀 변화분석의 한계가 있어서, 향후 모니터링을 통해 대상지 변화 특성을 반영한 관리와 복원 목표종인 맹꽁이의 서식 환경 개선 노력이 지속적으로 이루어져야 한다. 또한, 맹꽁이 HSI 항목 중 수질 평가(DO, pH), 수온 평가, 먹이가 되는 곤충류 등은 추가적인 모니터링이 필요하였고, 시민들에게 대체서식지 조성을 통한 멸종위기종 보호 관리의 인식 증진을 다양한 노력도 필요하였다.

References

1. Cho, D. G. and Y. J. Shim(2016) Planning of narrow-mouth frog (*Kaloula borealis*) habitat restoration using habitat suitability index (HSI). Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering 3(1): 62-69.
2. Cushman, S. A.(2006) Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. Biological Conservation 128(2): 231-240.
3. Gibbons, J. W., D. E. Scott, T. J. Ryan, K. A. Buhlmann, T. D. Tuberville, B. S. Metts and C. T. Winne(2000). The global decline of reptiles, *Déjà Vu Amphibians: Reptile species are declining on a global scale*. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change. AIBS Bulletin, 50(8): 653-666.
4. Hong, S. G., C. K. An, H. J. Kim, K. C. Oh, S. Y. Park, S. M. Na and H. B. Yi(2017) Ecological study of narrow-mouthed Toad (*Kaloula borealis*) population at Myeongji district in Busan Metropolitan City. Journal of Wetlands Research 19(1): 172-179.
5. Hur, M. J., B. H. Han and J. I. Kwak(2017) Planning for amphibians habitats in urban forest wetlands, Korea. The Korea Society of Environmental Restoration Technology 20(6): 1-19.
6. Hwang, Y. S.(2000) Study in the Korean narrow-mouth frog(*Kaloula borealis*) In-situ Conservation. JHU Press 9(2): 89-98.
7. Jang, J. H.(2013) Method of Restoration and Management for Biodiversity Improvement of Urban Wetlands in Seoul. Ph.D. Dissertation, University of Seoul, Seoul, Korea.
8. Jung, Y. S., M. O. Park and B. H. Koo(2013) A substitute habitat planning for '*Kaloula borealis*' based on wetlands. The Korea Society of Environmental Restoration Technology 16(1): 1-15.
9. Kim, J. C.(2009) A Study on Habitat Improvement for Narrow-Mouth Frog(*Kaloula borealis*) In-situ Conservation. Master's Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea.
10. Ko, S. B., Y. M. Ko and H. S. Oh(2011) Distribution of spawning site of *Kaloula borealis* in Jeju Island. Korean Journal of Environment and Ecology 25: 846-852.
11. Korean Ministry of Environment.(2013) Environmental Impact Assessment Guideline for Creation and Management of Compensatory Habitat.
12. National Institute of Biological Resources(2012) Precise Ecological Survey of Endangered Herptile (*Kaloula borealis*) and Post Evaluation and Improvement of Proliferation and Restoration Project.
13. Rho, P. H.(2016) Relationship between abundances of *Kaloula borealis* and meteorological factors based on habitat features. The Korea Society of Environmental Restoration Technology 19(3): 103-119.
14. Shim, Y. J., D. G. Cho, S. H. Park, D. J. Lee, Y. H. Seo, S. H. Kim, D. H. Kim, S. B. Ko, J. Y. Cha and H. C. Sung(2014) Development of habitat suitability index for habitat restoration of narrow-mouth frog (*Kaloula borealis*). Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 17: 109-123.
15. Shim, Y. J., D. G. Cho, J. P. Hong, D. H. Kim, Y. S. Park and H. C. Sung(2015) Site selection of narrow-mouth frog (*Kaloula borealis*) habitat restoration using habitat suitability index. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 18: 33-44.
16. Wake, D. B. and V. T. Vredenburg(2008) Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. Proceedings of the National Academy of Sciences 105(Supplement 1): 11466-11473.
17. Yang, S. Y., J. B. Kim, M. S. Min, J. H. Suh and Y. J. Kang(2001) Monograph of Korean Amphibia. Seoul: Academy Press.
18. <http://www.ddm.go.kr>

Received : 22 January, 2019

Revised : 11 February, 2019

Accepted : 11 February, 2019

3인익명 심사필