

금개구리 (*Rana chosenica*) 개체군의 생존분석: 개체군의 효과적인 보존과 야생복귀를 위한 제안

정석환* · 성하철¹ · 박대식² · 박시룡¹

환경부, ¹한국교원대학교 생물교육과, ²강원대학교 과학교육과

Population Viability Analysis of a Gold-spotted Pond Frog (*Rana chosenica*) Population: Implications for Effective Conservation and Re-introduction

Seokwan Cheong*, Ha-Cheol Sung¹, Daesik Park² and Shi-Ryong Park¹

Korean Ministry of Environment

¹Department of Biology Education, Korea National University of Education

²Department of Science Education, Kangwon National University

Abstract – Population viability analysis of a Gold-spotted pond frog (*Rana chosenica*) population at Cheongwon-gun, Chungbuk, in South Korea was conducted and we proposed several suggestions for effective conservation and re-introduction of the species. Simulating a developed model over 1,000 times predicted that the population will exist over 30 years with a relatively low growth rate of 0.113, but with a high probability of extinction as 81.1%. Population growth and extinction probability were the most greatly depended on the rate of successful metamorphosis. In the case of outbreak of amphibian diseases such as Chytridiomycosis and Ranavirus, the population will be easily extinct within 4 years with 100% probability. In a habitat of which carrying capacity is 200, to successfully re-introduce an extinct population, it is initially needed to put 100 individuals of which 83% is males and its age structure is normal-distributed. If we additionally conducts artificial supplementation of 10% individuals every 2 years from 4 years to 10 years after initial re-introduction, the population will become a stable with 0.297 growth rate and 0.290 extinction rate. Our results are the first case of amphibian population viability analysis in Korea and could be used to develop effective conservation and re-introduction plans for endangered Gold-spotted pond frog.

Key words : *Rana chosenica*, PVA (Population Viability Analysis), re-introduction

서론

금개구리 (*Rana chosenica*, Gold-spotted pond frog)는

한때 중국 동부에 서식하는 중국금개구리 (*Rana plancyi*)와 동일한 종으로 분류되었으나 최근 들어 한반도의 고유종으로 인정이 되고 있는 (Frost 2007) 무미양서류이다. 주로 한반도의 서해안을 중심으로 분포를 하고 있는 금개구리는 그들의 주된 서식지가 되는 농경지 및 하안습지의 개발과 파괴로 절멸의 위협을 받고 있어 (Matsui

* Corresponding author: Seokwan Cheong, Tel. 02-509-7926, Fax. 02-509-7925, E-mail. skcheong@korea.kr

2004), 국제자연보전연맹(The International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN)의 적색목록(Red book)에 취약종(vulnerable species)으로 등록되었고, 환경부는 멸종위기종 II급으로 지정하여 보호하고 있다(환경부 2005).

절멸의 위협에 처한 동물의 개체군을 야생복귀 시키기 위해서는, 우선 그 개체군이 어느 정도의 절멸 위협에 처해있는가에 대한 정확한 진단이 필요하다. 개체군 생존분석(population viability analysis, PVA)은 각종 환경요소 및 해당 종의 다양한 생태적인 변수들을 이용하여, 개체군이 현재 처한 절멸 위험 정도와 미래의 절멸 가능성, 그리고 개체군 유지를 위한 최소개체군의 크기 등에 대한 정보를 제공하여, 야외 개체군의 관리 및 복원계획을 효과적으로 수립하도록 하는 데 큰 도움을 주고 있다(Morris and Doak 2002). 개체군에 영향을 주는 복잡한 환경적, 생태적 변수들과 이들 간의 상호작용에 대한 분석을 가능하게 해주는 개체군생존분석의 유용성 때문에 IUCN의 '재도입을 위한 지침(IUCN Guidelines for Re-introductions)'에서는 장기적인 개체군 관리를 위해 재도입을 하고자 하는 종에 대하여, 재도입사업의 시작 전에 개체군생존분석을 실시할 것을 권고하고 있다(IUCN 1998).

현재까지 절멸의 위협에 처한 다양한 종의 보전과 재도입을 위한 전략수립을 위하여 개체군생존분석이 이루어져 왔다. 개체군생존분석은 단순히 절멸 위협의 정도를 평가하는 수준부터(Lande 1988; Allendorf *et al.* 1997), 개체군 생존에 가장 중요한 생활사(life history)의 단계를 찾아내고(Crouse *et al.* 1987), 개체군의 생존을 위해 필요한 자원의 양과 개체군의 구조를 분석하여(Armbruster and Lande 1993; South *et al.* 2000) 개체군의 관리를 위한 전략을 수립하는 등 다양한 수준에서 활용이 가능하다.

최근 들어 무미양서류 개체군이 급격하게 절멸하는 양상을 보이고 있어 절멸의 원인 탐색과 보전전략수립에 생존분석을 이용할 것이 제안되고 있으나(Gascon *et al.* 2007), 개체군의 생태적 특성에 관한 세심한 연구결과 자료의 부족으로 이제까지 무미양서류에 속하는 개체군에 대한 생존분석은 그다지 많이 이루어지지 않았다. 현재까지는 Wyoming toad (*Bufo baxteri*), Pool frog (*Rana lessonae*), European tree frog (*Hyla arborea*) 등 극심한 절멸 위기에 처한 종들에 대해서만 연구가 수행되어 있는 정도이다(Jennings *et al.* 2001; Williams and Griffiths 2004; Pellet *et al.* 2006).

본 연구는 절멸 위기에 처해 있는 금개구리 개체군의 보전 전략수립을 위하여, 충북 청원군에 소재하는 1개의 금개구리 개체군을 대상으로 개체군생존분석을 실시하

여 해당 개체군의 절멸 위험 정도를 규명하고, 안정된 개체군을 유지하기 위하여 필요한 요소들을 추출하고, 장기적으로는 절멸 위험에 대한 대책을 마련하기 위하여 실시되었다. 나아가, 모델 분석을 통하여 현재 절멸한 개체군을 증식된 금개구리 개체를 이용하여 효과적으로 야생복귀 시키기 위한 전략수립을 위한 요소들을 제안하였다.

재료 및 방법

1. 연구지역

현재 금개구리가 서식하고 있는 충청북도 청원군 강내면 탐연리(36° 36'52"N, 127° 21'40"E)에 소재하는 개체군을 선택하여, 해당 금개구리 개체군의 장기적인 변동을 예측하였다. 이 지역의 개체군은 면적 약 7,000 m², 깊이 약 0.5~1.5 m의 북정논에 형성되어 있다. 이 지역은 6년 이상 작물을 경작하지 않아 자연 습지화 과정에 있는 농경지이다. 습지 내에는 마름(*Trapa japonica*)과 애기부들(*Typha angustata*), 흑삼능(*Sparganium stoloniferum*) 등의 식물이 서식하고 있었으며, 주변은 겨풀(*Leersia oryzoides* SW)과 흑뽕겨풀(*Laparteia bulbifera*)이 밀생하고 있었다. 이 지역에서는 2007년 금개구리의 산란지 이동이 모니터링 된 바 있는데(unpublished data), 개체군의 크기는 약 50마리였다.

2. 개체군생존분석

금개구리 개체군의 생존분석을 위하여 VORTEX(version 9.72)를 이용하였다. VORTEX는 생태적 변수를 이용하여 야생동물 개체군의 변동에 대한 결정적 모형(deterministic model)뿐만 아니라, 개체군학적(demographic), 환경적(environmental), 유전학적(genetic) 요인에 대한 확률적 모형(stochastic model) 또한 제시한다(Miller and Lacy 2005). 생존분석의 시나리오로 멸종은 어느 한쪽 성(sex)이 절멸된 경우로 정의하고, 금개구리의 다양한 생태적 매개변수들(Table 1)을 입력한 후 30년간의 개체군 변화를 1,000회 반복 시현하여 개체군의 변동을 예측하였다.

1) 번식체계(Reproductive system)

번식에 처음 참여하는 암컷과 수컷 금개구리의 연령은 이전의 연구결과에 근거하여 각각 3살과 2살로 하였다(Cheong *et al.* 2007). 번식 최대 연령 또한 이전 연구결과에 근거하여 7살로 하였다(Cheong *et al.* 2007). 금개구리의 번식형태는 번식지에 모여들어 포접을 하는 데

Table 1. Ecological parameters used to obtain a baseline simulation model of a Gold-spotted pond frog population in the population viability analysis using Vortex

Parameter	Value	Reference
Reproductive system	Polygynous	
Age at first breeding (female/male)	3/2	Cheong <i>et al.</i> 2007
Maximum age of reproduction	7	Cheong <i>et al.</i> 2007
Maximum number of progeny per year	120	Won 1971, Lee 2004
Ratio of males at breeding population (%)	83%	Cheong <i>et al.</i> 2007
Density dependent reproduction	No	
Reproductive rate		
Adult females who breed (%)	76%	Lee 2004
Distribution of the number of offsprings	Normal (90 ± 30)	Kim <i>et al.</i> 2002, Lee 2004
Mortality rate		
Mortality from age 0 to 1	62.5%	Lee 2004
Mortality from age 1 to 3	45%	
Mate monopolization	100%	

부분의 무미양서류의 경우 (Stebbins and Cohen 1995)와 마찬가지로 일부다처로 가정하였다. 금개구리 아성체 (subadult)의 연간 최대 생존수, 즉 한 해의 한배새끼 중 첫 동면 시까지 살아남는 개체수는 120마리를 입력하였는데, 이 값은 금개구리의 한배알수 중 관찰된 최대 값인 2,000개 (Won 1971)에 첫 동면 시까지의 생존율인 6% (Lee 2004)를 곱하여 산출하였다. 번식지에서 수컷의 성비는 83%로 조사된 우리의 최근 결과 (Cheong *et al.* 2007)에 근거하여 지정하였다. 금개구리는 밀도비의존적 번식을 하는 것으로 설정하였다. 이는 금개구리가 진화적으로 이미 무리번식체계 (lek system)를 갖고 있으며, 번식에 참여하는 암컷의 성비가 수컷에 비해 매우 낮기 때문에 밀도의 변화가 있더라도 암컷의 번식 기회에는 영향을 미칠 수 없기 때문이다.

2) 번식률 (Reproductive rate)

번식에 참여하는 암컷의 비율은 이전의 연구 (Lee 2004)로부터 암컷의 번식 참여율과 미부화란의 비율을 고려하여 설정하였다. 즉, 번식지의 암컷의 성비가 17%로 수컷에 비해 월등히 적기 때문에 번식지에 들어온 암컷 모두 (100%)가 번식에 참여할 것으로 가정된 후 한배알 중 미부화란의 비율이 24% (Lee 2004)인 것을 감안하여 76%로 입력하였다. 암컷 한 마리의 자손 수는 한배알수의 크기인 1,000~2,000 (Kim *et al.* 2002)에 배율 (6%, Lee 2004)을 곱하여 설정하였으며, 암컷들의

자손수의 분포는 정상분포를 하는 것으로 가정하였다.

3) 사망률 (Mortality rate)

첫 동면에 들어가는 개체들의 사망률은 이전의 연구 결과에 준하여 62.5%로 하였다 (Lee 2004). 변태를 끝낸 무미양서류의 사망률에 대한 자료는 매우 부족하나, 일반적으로 성체의 사망률은 유생이나 아성체의 사망률에 비해 낮은 경향이 있다. 진정개구리과 (Ranidae)에 속하는 무미양서류의 사망률은 이전의 연구결과에 의하면 31~55%로 보고되고 있다 (Duellman and Trueb 1994). 본 연구에서는 이들 보고를 바탕으로 금개구리의 사망률을 45%로 하였다.

4) 번식독점율 (Mate monopolization)

번식독점율이란 전체 수컷 개체군 중에서 번식하는 수컷의 비율을 의미하며 이 값으로 100%를 입력하였다. 수컷의 수가 암컷의 수에 비해 월등히 많은 데도 불구하고 100%로 설정한 이유는 번식독점율이 수컷의 생리적 특성보다는 사회적 행동 특성에 의해 결정되기 때문에, 금개구리의 모든 수컷은 기회가 독점적으로 주어진다면 모두 동등하게 암컷과 번식할 수 있다고 보았기 때문이다.

5) 기타 매개변수

연구지역의 수용력은 초기개체군 수의 2배로 설정하였으며, 그 외 개체군의 변동에 영향을 미칠 수 있는 사냥, 개체의 인위적 보충, 유전적 관리는 일어나지 않는 것으로 설정하였다.

개체군의 치사상당량 (lethal equivalent)과 각 요인에 대한 환경변수 (environmental variation)는 신뢰할 수 있는 값을 얻지 못하였을 경우 VORTEX가 제공하는 내정값 (default value)을 사용하였다. 환경변수는 기상 변화, 포식-피식자의 개체군 변화 등의 환경적 변화에 따라 나타날 수 있는 개체군 변동의 정도를 의미하는데, 본 연구는 대상 개체군의 1~2년간의 관찰을 바탕으로 이루어졌으므로 정확한 값을 얻을 수 없어서 내정값을 이용하는 것으로 설정하였다.

(1) 민감도 검사 (Sensitive test)

입력한 매개변수를 통하여 금개구리 개체군의 기저모델 (baseline model)을 얻은 후 매개변수 중 개체군 및 서식지 관리를 통하여 상대적으로 쉽게 변화시킬 수 있는 변수인 번식률 (미부화란의 비율), 암컷의 자손수 (변태율), 사망률, 수용력의 변화에 따라 해당 금개구리의 개체군이 어떻게 변화할 것인가를 예측하였다. 매개변수에 변화를 줄 경우, 단일 변수에 의한 효과를 보기 위하여 목적한 변수만을 변화시켰으나, 변화를 준 변수가 여

러 변수에 영향을 줄 경우, 예를 들어 변태율이 변화하면 한배새끼수가 변화하는데, 이러한 경우에는 관련된 변수 모두에 변화를 주었다. 사망률에 관한 민감도 검사는 관련 근거가 있는 아성체의 사망률만 변화를 주어 실시하였다.

또한 사망률에 크게 영향을 줄 수 있는 질병의 발생을 예상하여 개체군 생존분석을 실시하였다. 예상한 질병은 세계적으로 양서류 감소에 큰 요인 중의 하나로 지목되고 있으며, 감염시 높은 사망률을 보이는 것으로 알려진 항아리곰팡이병 (Chytridiomycosis)과 개구리바이러스 (Ranavirus)였다. 각 질병에 대한 생존율은 이전의 연구결과에 준하여 각각 4% (Berger *et al.* 2004), 10% (Densmore and Green 2007)를 이용하였다.

(2) 절멸 금개구리 야생개체군의 야생복귀를 위한 방법의 탐색

절멸된 금개구리 개체군을 야생복귀시키기 위하여 증식된 개체를 이용하여 개체군 내로 재도입을 실시할 경우 적절한 개체군의 크기와 구조를 결정하기 위하여 VORTEX를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에 사용된 금개구리의 생태적 매개변수는 청원군의 개체군 생존분석을 위하여 이용된 매개변수와 동일하게 설정하였다.

먼저 야생복귀 개체군의 크기를 결정하기 위하여 개체군의 크기를 50마리부터 150마리까지 10마리 단위로 변화를 시키면서 각 크기에 따른 개체군의 성장률과 절멸가능성을 비교하여 적절한 개체군의 크기를 선택하였다. 그 후 개체군의 구조를 결정하기 위하여 성비에 변화를 주어 최적의 값을 선택하였고, 나이구조의 변화로 세 가지 시나리오(모두 아성체, 모두 성체, 안정 분포)를 가정하여 이에 따른 성장률과 절멸가능성의 변화를 시뮬레이션 한 후 가장 적합하다고 생각되어지는 값을 도출하였다. 이들 값으로 얻어진 기저모델에 대하여 성장률을 높이고 절멸가능성을 낮출 수 있는 방법으로 개체군의 인위적 보충(야생복귀 4년 후 4회 초기 개체군 크기의 10% 또는 20% 보충)과 야생복귀 된 개체군의 관리 방안을 제안하였다.

결과 및 고찰

생존분석을 위한 매개변수 입력을 통하여 청원군 금개구리 개체군의 30년간의 생존분석 기저모델을 결정하였다(Fig. 1). 청원군의 개체군은 성장률 0.113 ± 0.853 의 낮은 성장률을 갖지만, 30년 후에도 현재의 50마리 개체

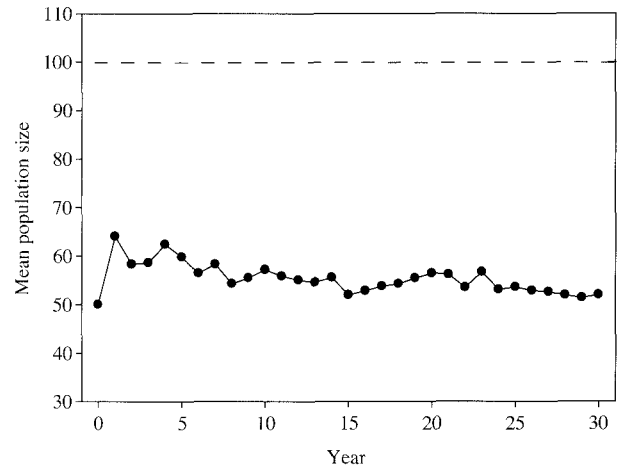


Fig. 1. Baseline simulation model, the result of population viability analysis of a Gold-spotted pond frog population at Cheongwon-gun, Chungbuk. The dashed line means the carrying capacity of the habitat.

군의 크기와 유사한 평균 51.99마리로 지속적으로 유지될 것으로 예측되었다. 하지만 절멸 가능성은 0.811로 매우 높게 나타났다. 또한 청원시식지의 금개구리 개체군은 최대 64마리까지만 성장을 하는 것으로 나타나, 설정된 수용능력(100마리)에 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다.

IUCN(2001)은 취약종(vulnerable species)을 최근 10년 내에 또는 세 세대 동안 개체군의 크기가 50% 이상 줄어든 종으로 정의하고 있다. 본 연구의 기저모델에 의하면 비록 청원군에 현존하는 금개구리의 개체군은 비교적 안정된 개체군 변동을 보여 해당 개체군이 절멸의 가능성에서 취약으로 분류하기는 무리가 있어 보인다. 하지만 절멸가능성이 매우 높게 나타났다는 것은 주목할 만하다. 절멸가능성은 기저모델의 시뮬레이션에서 정해진 시뮬레이션 기간 동안, 즉 30년 사이에 개체군이 절멸을 한 확률을 의미 한다(Miller and Lacy 2005). 이 결과는 금개구리의 개체군이 작은 변화에 의해서도 쉽게 영향을 받아 절멸할 수 있는 민감한 특성을 가지고 있음을 의미한다.

해당 금개구리 개체군의 성장률은 변태율에 가장 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다(Fig. 2, Table 2). 민감도 분석을 위하여 조절된 변인들 중에서 아성체의 사망률, 수용능력, 번식률의 저하는 개체군의 성장률과 절멸가능성, 30년 후의 개체군의 크기에 큰 영향을 주지 않았다. 반면 변태율은 5%가 변화할 때 마다 성장률이 단계당 0.06에서 0.335의 차이로 큰 폭으로 증가하였다. 특히 변태율은 기저모델의 시뮬레이션에 사용된 6%에서 1%

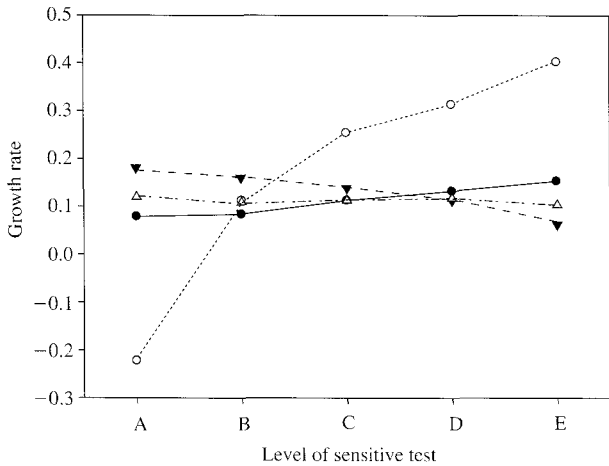


Fig. 2. Results of sensitivity tests for the simulated Gold-spotted pond frog population. The graph shows stochastic population growth rate for models in which a particular parameter is varied. The values for baseline models were level B for the mortality rate (MR) and metamorphosis rate (MMR), and level C for the carrying capacity (K) and Reproductive rate (RR). See table 2 for the detailed level setting (▼, MR; △, K; ●, RR; ○, MMR).

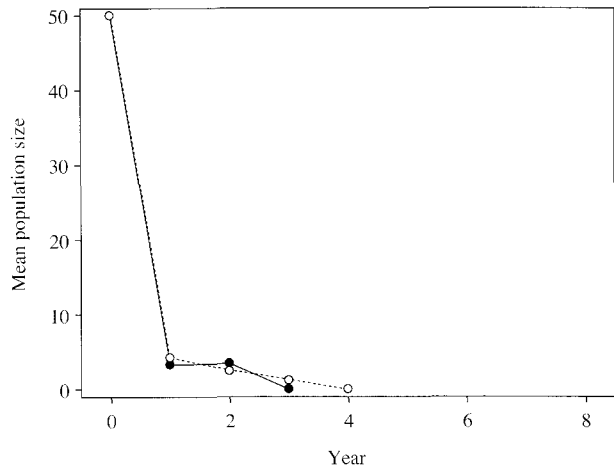


Fig. 3. Population sensitivity to amphibian disease infections (●, Chytridiomycosis; ○, Ranavirus).

Table 2. Results and parameters used in sensitive tests of a baseline simulation model

Parameter	Value	Growth rate	Extinction rate	Population size
Mortality rate	47%	0.181	0.704	61.49
	52%	0.161	0.729	60.86
	57%	0.139	0.794	57.83
	62%*	0.113	0.811	51.99
	67%	0.063	0.881	48.68
Metamorphosis rate	1%	-0.222	0.998	23.00
	6%*	0.113	0.811	51.99
	11%	0.254	0.709	62.36
	16%	0.314	0.721	63.40
	21%	0.403	0.645	64.02
Carrying capacity	60	0.120	0.866	40.28
	80	0.109	0.861	47.58
	100*	0.113	0.811	51.99
	120	0.118	0.762	60.59
	140	0.104	0.749	60.99
Reproductive rate	66%	0.079	0.858	50.15
	71%	0.084	0.835	52.27
	76%*	0.113	0.811	51.99
	81%	0.133	0.779	54.68
	86%	0.154	0.768	57.19

*, values used to obtain a baseline simulation model

로 5%만 떨어진 것으로 가정하여도 전체 개체군의 성장률이 음이 되며, 개체군의 절멸 확률이 99.8%로 급격하게 높아지는 것으로 나타났다. 기저모델의 시뮬레이션에서 금개구리 개체군이 민감한 특성을 보이는 이유도 생태율의 변화와 관련이 있을 것으로 보인다.

이 결과는 금개구리 개체군의 보전 전략을 수립할 때 시행하여야 할 조치들의 우선순위에 대하여 중요한 것을 말해준다. 즉 금개구리 야외 개체군의 보전을 위해서는 무엇보다도 생태율을 안정적으로 유지하거나 높일 수 있는 방법, 즉 알에서 깨어나 변태할 때까지의 생존율을 향상시킬 수 있는 대책이 마련되어야 한다는 것을 의미한다. 예를 들어 성장과 변태에 필요한 영양물질을 충분히 제공해 줄 수 있도록 서식지를 조성해 주거나, 황소개구리와 같은 포식자를 구제하거나 유생의 은신처가 될 수 있는 수초를 조성하여 금개구리 유생의 피식을 막는 방법 등을 들 수 있다.

항아리곰팡이병 (Chytridiomycosis)이나 개구리바이러스 (Ranavirus)와 같은 질병은 금개구리 개체군에 큰 영향을 줄 것으로 예상되었다. 두 질병이 개체군에 발병할 경우, 금개구리 개체군의 절멸가능성은 모두 100%로 한번 발생하였을 경우 개체군의 유지가 4년을 넘기지 못하여 모두 절멸할 것으로 예상되어 예방적 차원에서의 철저한 관리가 요구된다.

야생에 절멸한 금개구리 개체군을 야생복귀 시키기 위하여, 우선 야생복귀 시킬 야생 개체군의 크기 결정을 위한 성장률과 절멸가능성이 분석되었는데, 큰 개체군을 야생복귀 시킴에 따라 개체군 성장률은 큰 변화를 보이지 않으나 개체군의 절멸 가능성은 줄어드는 것으로 나타났다 (Fig. 4A). 그런데 많은 수의 금개구리를 야생복귀 시키기 위해서는 큰 수용능력을 갖는 서식지가 필요하다. 수용능력은 서식지의 질이 일정하다고 가정할 때 면적과 비례하므로 절멸가능성이 낮아진다고 하더라도 무한정 크게 설정될 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 야생복귀 개체군의 크기를 100마리로 선택하여 개체군

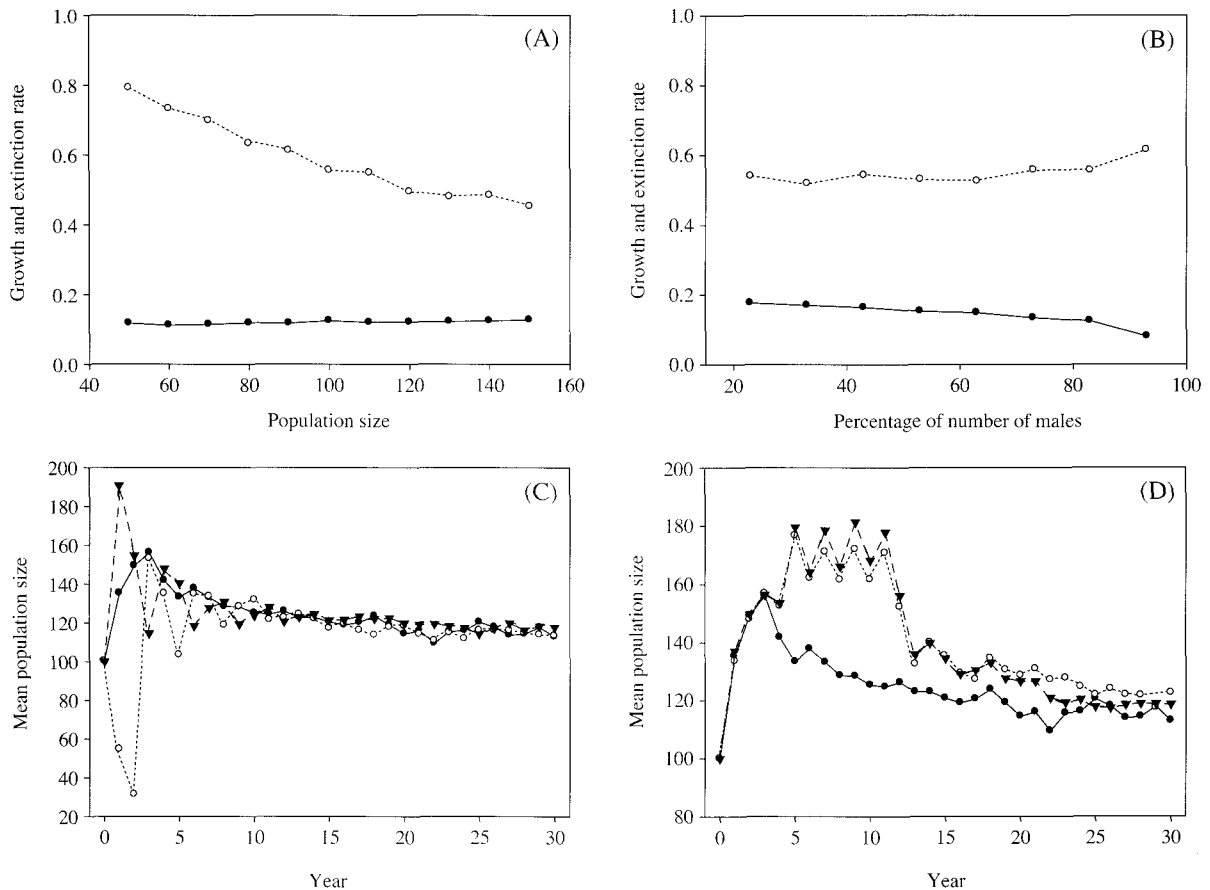


Fig. 4. Sensitivity of the recovery population of the Gold-spotted pond frog to various changes of ecological parameters. A : Step 1, size of re-introduced population (●, growth rate; ○, extinction rate), B : Step 2, sex ratio of the frogs re-introduced (●, growth rate; ○, extinction rate), C : Step 3, age composition of the frogs re-introduced (●, stable distribution; ○, only froglet; ▼, only adult), D : Effect of artificial supplementation after initial re-introduction (●, no supplementation; ○, 10% add every 2 years; ▼, 20% add every 2 years).

의 구조를 결정하고자 하였다. 청원 서식지의 경우 금개구리의 밀도는 0.7마리/100 m²이었는데 (unpublished data), 이 밀도를 기준으로 한다면 약 14,300 m²의 넓이를 갖는 서식지가 조성되어야 할 것이다. 이 면적은 서식지의 질에 따라 다소 크기에서 달라질 수 있을 것으로 생각된다.

야생복귀 개체군의 구조 중 성비는 수컷의 비율이 극심하게 높지만 낮다면 개체군의 성장률과 절멸가능성에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다(Fig. 4B). 따라서 금개구리 개체군의 본래의 성비인 수컷 83%를 선택하여도 될 것이다.

야생복귀 개체군의 나이구조를 결정하기 위한 시뮬레이션에서 각 시나리오 모두 개체군의 성장률과 절멸가능성에는 큰 차이를 보이지 않았다(모두 아성체, 성장률=0.117, 절멸가능성=0.593, 개체군크기=113.32; 모두 성체, 성장률=0.199, 절멸가능성=0.528, 개체군크기=

117.67, 안정 분포, 성장률=0.148, 절멸가능성=0.553, 개체군크기=112.85). 단지 야생복귀를 실시 한 직후의 개체군 크기에는 큰 영향을 줄 것으로 예상이 되었다. 이는 야생복귀를 실시할 때 목적과 상황에 맞게 성비가 결정될 수 있다는 것을 보여준다. 예를 들어 만일 야생복귀를 시킨 후 즉각적으로 개체군 증가의 효과가 필요하다면 성체를 중심으로 야생복귀 개체군을 결정할 수 있을 것이다. 하지만 초기 개체를 모두 아성체로 구성하는 것은 아성체의 높은 사망률에 의해 초기 개체군의 많은 손실이 예상되며 최초 5년 동안의 절멸 가능성이 0.843으로 매우 높아 아성체의 사망률을 낮출 수 있는 대책이 마련되지 않는다면 권고하기 힘들다. 본 연구에서는 안정분포를 선택하였다(Fig. 4C). 안정분포는 개체군의 성비와 기저모델의 시뮬레이션에 사용된 나이 구조를 이용하여 설정되어지는 분포를 의미한다.

마지막으로 야생복귀 된 개체군에 지속적으로 인위적

보충을 하였을 경우 개체군의 절멸가능성을 낮추는 효과를 나타내었는데, 인위적 보충이 없을 경우 절멸가능성은 0.553이었으며 10% 보충 시 0.374, 20% 보충 시 0.381이었다. 개체군의 크기에 있어서도 보충이 없을 때에 비하여 보충을 하는 동안 큰 차이를 나타내었다(Fig 4D). 즉 최초 야생복귀를 시킨 지 4년 후 2년마다 1회씩 4회 10~20마리의 개체군 보충에 의하여 개체군이 절멸될 가능성이 크게 낮아진다. 이는 비교적 적은 비용으로 개체군 안정화에 큰 효과를 볼 수 있는 방법이며, 따라서 야생복귀의 방법을 설정할 때 인위적 보충은 반드시 고려되어야 할 사항으로 사료된다.

이와 같은 결과를 고려할 때 야생복귀 방법으로 수컷의 비율이 야생과 유사한 83%이며 안정적 나이구조를 갖는 100마리의 개체군을 200마리를 수용할 수 있는 지역에 복귀를 시키고, 4년 후 2년 단위로 10년 후까지 10%씩 보충하는 방법이 효과적일 것이라는 것을 제안한다. 또한, 추가적으로 금개구리의 유생이 변태할 때까지의 생존율을 높일 수 있는 보호대책이 마련된다면 성장률 0.297, 절멸가능성 0.290을 갖는 안정된 개체군을 30년 후 138마리까지 유지할 수 있을 것으로 분석되었다(Fig. 5).

본 연구에서 제시된 개체군생존분석의 결과와 개발된 야생복귀 방법의 타당성에 관해서는 실제적 모니터링 및 야생복귀의 실시를 통하여 검증되어야 할 필요가 있다. 왜냐하면, 생존분석은 확률적 모형이며 분석에 사용된 매개변수들의 질에 의해 결과가 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 또한 생존분석의 대상이 한 종에만 국한되기 때문에 종간의 상호작용에 의한 효과를 규명하는데 한계가 있다(Akçakaya and Sjögren-Gulve 2000). 따라서 개체군생존분석의 결과는 보전을 위한 정책 결정의 근거로 이용이 되나(Beissinger 2002) 그 한계에 대해서는 명확하게 설정되고 있다. Reed *et al.* (2002)은 개체군생존분석에 대한 정의를 단지 수학적 형식의 정량적 모형으로 제한할 것을 주장하였다. 또한 개체군생존분석의 결과를 통해 생존 가능한 최소 개체군의 크기나 절멸가능성 등을 단정 짓는 등 정의적으로 이용할 수 없으며, 보전을 위하여 강구되는 대책들이 어떠한 효과를 보일 것인가에 대한 예측의 수단으로 이용할 것을 권고하였다.

본 연구에서도 사용된 매개변수의 값의 상당량이 사전연구의 부족으로 분석 해당 개체군인 청원의 개체군으로부터 얻어진 것이 아닌 것은 본 연구결과의 이용의 제한점이 된다. 따라서 본 연구의 결과는 금개구리 개체군의 확정적인 성장률이나 절멸가능성, 개체군의 크기를 제시하는 것보다는 보전과 재도입을 위한 방법의 효과

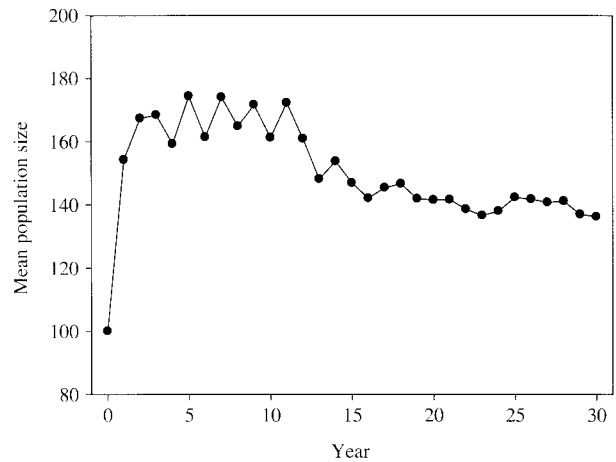


Fig. 5. Baseline simulation model, the result of population viability analysis of a re-introduced Gold-spotted pond frog population. The carrying capacity of the habitat assumed as 200. The number of initially re-introduced individuals was 100. Other ecological parameters adapted and used the data from Cheongwon-gun population analysis. In addition, we assumed artificial supplementation of 10% individuals every 2 years from 4 years to 10 years after initial re-introduction.

를 시뮬레이션 하는 의미를 지닌다.

요컨대 청원서식지의 금개구리의 개체군에 대한 생존분석 결과 낮은 성장률을 가지고 존속해 나갈 것이라 예측이 되었으나 절멸가능성은 매우 높아 환경적으로 민감한 특징을 가지고 있었으며, 보다 안정된 개체군 유지를 위해서는 금개구리 유생이 변태할 때까지의 생존율을 높이는 방법의 투여가 필요하며 질병의 유입을 철저하게 예방하는 대책이 구상되어야 할 것으로 예측되었다. 또한 새로이 개체군을 재도입할 경우 약 14,300 m²의 면적의 조성된 서식지에 야생 개체군의 성비와 나이구조를 갖는 100마리의 개체군을 야생복귀 시킬 것이 제안된다. 야생복귀를 시킨 개체군의 안정된 성장을 위해서는 주기적으로 초기 개체군의 10%씩 보충하여야 할 것이다.

적 요

멸종위기종 금개구리 (*Rana chosenica*) 개체군의 존속가능성을 알아보고 효과적인 보전 대책의 마련과 야생복귀 방법을 개발하기 위하여 충북 청원군에 서식하는 개체군을 대상으로 개체군생존분석을 실시하였다. 해당 금개구리의 개체군은 30년간 1,000회의 시뮬레이션을 통해 0.113의 낮은 성장률을 가지고 존속해 나갈 것이

라 예측이 되었으나 절멸가능성 또한 81.1%로 매우 높아 환경적으로 민감한 특징을 가지고 있었다. 금개구리 개체군의 개체군 성장률과 절멸가능성은 변태율의 변화에 대해 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났는데, 이는 금개구리의 야외 개체군을 안정적으로 유지하기 위해서는 무엇보다도 금개구리 유생이 변태할 때까지의 생존율을 높이는 것이 결정적이라는 것을 의미한다. 항아리곰팡이병이나 개구리바이러스와 같은 질병이 발병할 경우 개체군의 절멸확률이 100%로 예측되었다. 절멸 개체군의 야생개체군 복원의 방법으로는 수컷의 비율을 83%, 투여개체들의 나이구조가 정상분포를 보이는 100마리의 개체군을 200마리를 수용할 수 있는 지역에 복귀를 시키고, 4년 후 2년 단위로 10년 후까지 10%씩 보충하는 방법이 가장 안정된 개체군을 복원, 유지하는 방법으로 나타났으며, 이 복원된 개체군의 경우 지속적으로 금개구리의 유생이 변태할 때까지의 생존율을 높일 수 있는 보호대책이 마련된다면 성장률 0.297, 절멸가능성 0.290을 갖는 안정된 개체군을 30년 후 138마리까지 유지할 수 있을 것으로 분석되었다. 이러한 결과들은 금개구리 개체군의 보전과 재도입을 위한 효과적인 전략 수립의 근거로 활용될 수 있을 것이다.

사 사

이 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업 프로젝트 21”에 의해 지원받았다.

참 고 문 헌

- 환경부. 2005. 야생동식물보호법 시행규칙.
- Akçakaya HR and P Sjögren-Gulve. 2000. Population viability analyses in conservation planning: an overview. *Ecological Bulletin* 48:9-21.
- Allendorf FW, D Bayles, DL Bottom, KP Currens, CA Frissell, D Hankin, JA Lichatowich, W Nehlsen, PC Trotter and TH Williams. 1997. Prioritizing Pacific salmon stocks for conservation. *Conservation Biology* 11:140-152.
- Armbruster P and R Lande. 1993. A population viability analysis for African elephant (*Loxodonta africana*): How big should reserves be? *Conservation Biology* 7:602-610.
- Beissinger SR. 2002. Overview of population viability analysis. In *Population viability analysis* (Beissinger SR and DR McCullough eds.). Univ. Chicago Press, Chicago.
- Berger L, R Speare, HB Hines, G Marantelli, AD Hyatt, KR McDonald, LF Skerratt, V Olsen, JM Clarke, G Gillespie, M Mahony, N Sheppard, C Williams and MJ Tyler. 2004. Effect of season and temperature on mortality in amphibians due to chytridiomycosis. *Australian Vet. J.* 82:31-36.
- Cheong S, D Park, HC Sung, JH Lee and SR Park. 2007. Skeletochronological age determination and comparative demographic analysis of two populations of the Fold-spotted pond frog (*Rana chosenica*). *J. Ecol. Field Biol.* 30:57-62.
- Crouse D, L Crowder and H Caswell. 1987. A stagebased population model for loggerhead sea turtles and implications for conservation. *Ecology* 68:1412-1423.
- Densmore CL and DE Green. 2007. Diseases of amphibians. *ILAR Journal* 48:235-254.
- Duellman WE and L Trueb. 1994. *Biology of amphibians*. McGraw-Hill Pub Com. Baltimore.
- Frost DR. 2007. *Amphibian species of the world: an Online reference*. Version 5.0 (research.amnh.org/herpetology/amphibian/index.php). American Museum of Natural History, New York, USA.
- Gascon C, JP Collins, RD Moore, DR Church, JE McKay and JR Mendelson (eds). 2007. *Amphibian conservation action plan*. IUCN/SSC Amphibian specialist group. Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- IUCN. 1998. *Guidelines for re-introductions*. Prepared by the IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- IUCN. 2001. *Red list categories and criteria version 3.1*.
- Jennings M, R Beiswinger, S Corn, M Parker, A Pessier, B Spencer and P Miller (eds.). 2001. *Population and habitat viability assessment for the Wyoming toad (Bufo baxteri)*. Final workshop report. Apple Valley, MN: IUCN/SSC Conservation breeding specialist group.
- Kim KC, MS Kim, RT Kim, KN Kim, TS Kim, CY Rim, UI Pak and KH Han. 2002. *Red data book of DPRK (animal)*. MAB National Committee of DPR Korea, Pyongyang.
- Lande R. 1988. Demographic models of the Northern spotted owl (*Strix occidentalis caurina*). *Oecologia* 75:601-607.
- Lee SC. 2004. *Study on in-situ and ex-situ, and restoration strategy planning for the protected wildlife anura (Rana plancyi chosonica Okada) in Korea*. (MS thesis). Inha Univ. In-chon.
- Matsui M. 2004. *Rana chosonica*. In: IUCN 2007. *IUCN Red list of threatened species*. (www.iucnredlist.org). Retrieved on 07 Jan. 2008.
- Miller PS and RC Lacy. 2005. *VORTEX: A stochastic simulation of the extinction process*. Version 9.50 user's manual. Apple Valley, MN: Conservation breeding specialist group (SSC/IUCN).
- Morris WF and DF Doak. 2002. *Quantitative conservation biology: Theory and practice of population viability analysis*.

- Sinauer Assoc Inc. Sunderland.
- Pellet J, G Maze and N Perrin. 2006. The contribution of patch topology and demographic parameters to population viability analysis predictions: the case of the European tree frog. *Popul. Ecol.* 48:353-361.
- Reed JM, LS Mills, JB Dunning Jr, ES Menges, KS McKelvey, R Frye, SR Beissinger, MC Anstett and P Miller. 2002. Emerging issues in population viability analysis. *Conservation Biology* 16:7-19.
- South A, S Rushton and D Macdonald. 2000. Simulating the proposed reintroduction of the European beaver (*Castor fiber*) to Scotland. *Biological Conservation* 93:103-116.
- Stebbins RC and NW Cohen. 1995. A natural history of amphibians. Princeton Univ Press. New Jersey.
- Williams C and RA Griffiths. 2004. A population viability analysis for the reintroduction of the pool frog (*Rana lessonae*) in Britain. *English nature research reports* 585.
- Won HG. 1971. Amphibia and reptilian in Chosen. The Society of Science, Pyongyang.

Manuscript Received: February 3, 2009

Revision Accepted: February 18, 2009

Responsible Editor: Hak Young Lee