

## 고리도롱뇽의 번식이주 시기와 기후요소와의 관계

김자경<sup>†</sup> · 박대식<sup>1,†</sup> · 이헌주 · 정수민 · 김일훈\*

강원대학교 생물학과, <sup>1</sup>강원대학교 과학교육학부

**The Relationship between the Time of Breeding Migration of the Gori Salamander (*Hynobius yangi*) and Climate Factors. Kim, Ja-Kyoung<sup>†</sup>, Daesik Park<sup>1,†</sup>, Heon-Ju Lee, Soo-Min Jeong and Il-Hun Kim\* (Department of Biology, <sup>1</sup>Division of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon, Kangwon 200-701, Korea)**

**Abstract** To elucidate which climate factors and what periods affect the time of breeding migration of Gori salamanders (*Hynobius yangi*), we have investigated relationships between the 5-years breeding monitoring data from 2006 to 2010 which had obtained in both natural and translocated breeding sites at Bongdae mountain, Gijang-gun, Busan-si and the matched climate data obtained from the weather station, approximately 25 km apart from the sites. Mean average and mean lowest temperatures during one month before the first breeding migration were related with the time of first female migration in the translocated site. Mean temperature variation and mean precipitation during 60~120 days before the first breeding migration affected the time of 30% male appearance at the natural site and the time of 30% female appearance at both natural and translocated sites. Climate factors were more closely related with female appearance than male and at the translocated site than at the natural site. Our results show that changes in mean temperature variation and mean precipitation rather than mean average temperature might more significantly affect the breeding migration of salamanders, female breeding migration is more closely related with climate factors, and the salamanders translocated could be more affected by climate changes than those in natural populations.

**Key words** : Gori-salamander, climate change, breeding migration, monitoring, climate factor

## 서 론

최근 지구 온난화에 의한 평균기온의 상승, 불규칙한 강수 패턴, 해수 온도의 변화 등 다양한 기후변화(IPCC, 2007)가 지구단위 생태계에서 빠르게 일어나고 있다. 이러한 기후변화의 영향으로 전 세계적으로 빠르게 생물

의 개체군이 감소하고 있으며(Harte *et al.*, 2004), 특히 환경변화에 민감한 것으로 알려져 있는 양서류는 1970년대부터 매우 빠르게 감소하고 있는 것으로 보고되고 있다(Beebee, 1995; Parmesan and Yohe, 2003; Carey and Alexander, 2003; Araújo *et al.*, 2006). 양서류의 번식 시기에 영향을 미치는 기후요소들에 대해서는 학자들 사이에 여전히 논쟁으로 남아 있지만(Reading, 1998; Harte, 2008), 다양한 요인들 중 온도와 강수가 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다(Arnfield *et al.*, 2012). 비록 이러한 최근의 기후변동이 양서류의 번식에 다양한 영향을 미칠 것으로 예상하고 있지만, 국내에서 기후 요소와 양서류 번식이주 시기와의 관련성에 대한 연구

Manuscript received 11 August 2014, revised 3 September 2014, revision accepted 6 September 2014

<sup>†</sup> 공동첫저자 (Co-first author)

\* Corresponding author: Tel: +82-33-250-6739, Fax: +82-33-259-5600, E-mail: dlfngs1234@naver.com

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

는 수행된 바가 없다.

고리도롱뇽(*Hynobius yangi*)은 2003년 등재된 한국 고유종으로, 현재 부산광역시 기장군 고리원자력발전소 주변을 중심으로 울산광역시 울주군과 경남 양산시, 부산광역시를 비롯한 경상남도 일부 지역에 분포하고 있다(Kim *et al.*, 2003). 고리도롱뇽의 번식 시기는 2월 말부터 4월 초까지 약 한달이며, 번식 지역으로 먼저 수컷이 들어오고 번식지에 수 일 동안 머무는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2010). 암컷의 경우는 번식지에 들어와 자갈, 수초, 나뭇가지, 혹은 마른 식물 줄기에 알을 붙여 산란하며, 산란 뒤 번식지를 바로 벗어난다. 일반적으로 암컷이 산란한 알의 수정 동안 다수의 수컷이 체외 수정에 참여하는 것으로 알려져 있다(Park, 2010).

2005년 부산광역시 기장군에서 수행된 신고리 원자력발전소의 건설로 인하여, 최초 고리도롱뇽 종 기재 개체군이 절멸의 위험에 처하게 되었다. 이에 대하여 종 기재 개체군 지역으로부터 가까운 봉대산의 계곡 하단부에 인공습지를 포함하는 대체번식지를 조성하였고, 2005년 전반기에 종 기재 개체군으로부터 포획된 도롱뇽 성체와 알을 이주시켰다. 이후 5년간(2006~2010년)에 걸쳐서 이주시킨 개체군과 인근의 자연개체군에 대한 개체군 모니터링이 수행되었다(Lee *et al.*, 2010). 이러한 모니터링의 수행은 국내에서 최초로 수행된 양서류 대체번식지 개체군 모니터링이며, 특별히 모니터링에 모음담장과 주머니함정을 이용하였기 때문에, 번식지로 출현하는 모든 개체들의 성별 및 정확한 이동 날짜에 대한 상세한 자료를 확보할 수 있었다. 대체번식지와 자연번식지 내의 년도에 따른 개체군 변동에 대한 연구결과는 이전에 발표된 바 있다(Lee *et al.*, 2010).

본 연구에서는 고리도롱뇽을 이주시킨 대체번식지와 이에 인접한 자연번식지에서 2006년부터 2010년까지 5년간의 번식기 동안 날짜에 따라 출현한 개체들의 수를 조사한 개체군 모니터링 자료와 조사지로부터 약 25 km 떨어진 부산 기상대에서 획득한 기상정보를 이용하여 번식 시작 전 어느 시기에 어떠한 기후요소가 고리도롱뇽의 번식이주 시기에 영향을 미치는 지를 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구지점

본 연구에 이용된 자료는 2006년에서 2010년 사이 부산광역시 기장군 장안읍 효암리(N: 35° 19.562', E: 129°

17.528')에 위치하고 있는 고리도롱뇽 대체번식지 및 자연번식지에서 획득되었다(Fig. 1). 신고리 1, 2호기 원자력발전소 건설현장의 반대쪽 봉대산 능선에 자연번식지가 위치하고 있으며, 대체번식지는 봉대산 능선의 하단부에 조성되어 있었다. 대체번식지로부터 직선거리로 약 800 m 떨어진 자연번식지는 반경이 약 5 m인 원형의 산간습지로서 번식지 주변에는 갈대와 교목이 있었다. 대체번식지는 폐기된 양어장 자리에 고리도롱뇽의 산란과 은신이 용이하도록 습지와 은신처를 조성하여 만든 인공번식지로 세 개의 습지가 위 아래로 연결되어 있다(Lee *et al.*, 2010).

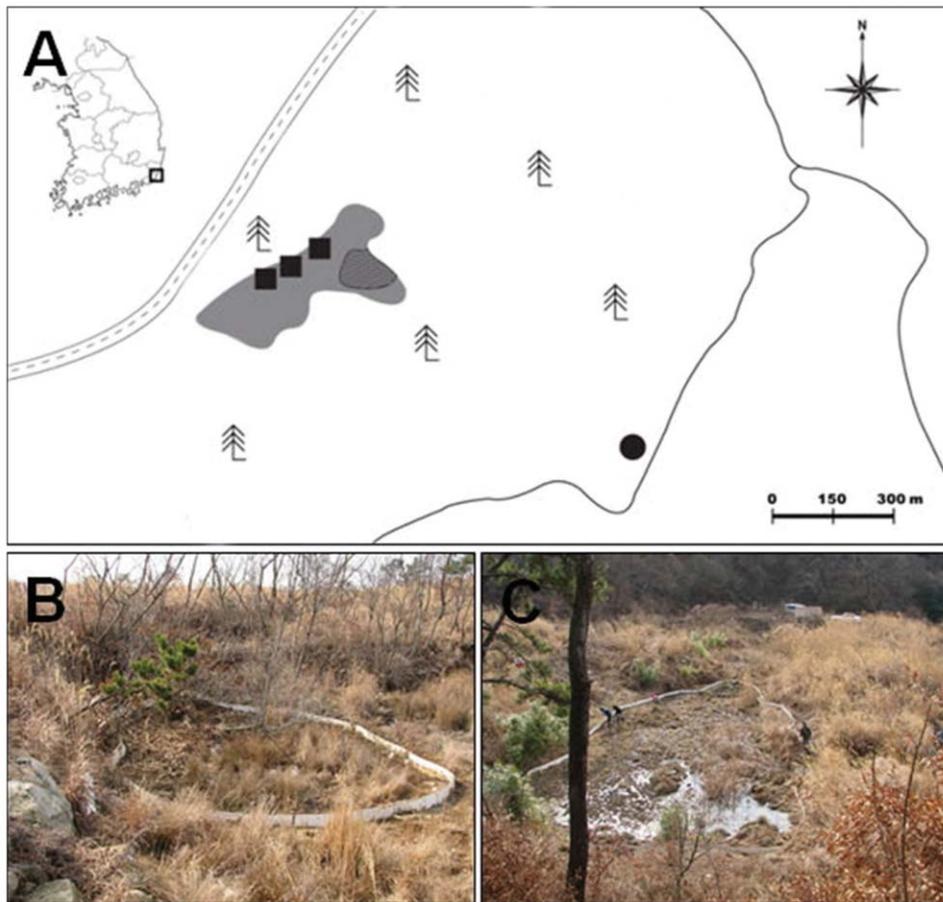
### 2. 개체 포획 방법

번식에 참여하는 개체들을 날짜 별로 포획하기 위하여 대체번식지와 자연번식지에 모음담장(Drift fence)과 주머니함정(Pitfall trap)을 설치하였다(Fig. 1). 모음담장은 번식지로 이용되는 습지에 물이 고여 있는 가장자리로부터 약 50 cm 정도 거리를 두고 높이 30 cm, 깊이 10 cm로 습지를 따라 원형으로 설치하였다. 모음담장을 중심으로 안쪽과 바깥쪽에 약 10 m의 간격으로 주머니함정(35 cm × 25 cm × 25 cm)을 지표면과 수평이 되도록 매설하였다. 주머니 함정 안에는 낙엽과 적당량의 물을 미리 넣어 두어 함정 안에 빠진 고리도롱뇽이 포식자를 피해 은신할 수 있고 건조로부터 사망하지 않도록 하였다. 고리도롱뇽의 번식시기인 매년 2월 중순부터 4월 중순 사이 기간 동안 매일 함정에 빠진 도롱뇽을 확인하고, 날짜와 포획된 도롱뇽들의 성별을 기록하였다.

### 3. 자료의 분석

번식기 이전 어느 시기에 어떠한 기후요소가 대체번식지와 자연번식지에 암컷과 수컷 도롱뇽들 출현시기에 영향을 미치는 지를 조사하기 위하여, 5년 동안 대체번식지 및 자연번식지에서 날짜별 출현한 고리도롱뇽의 암컷과 수컷의 수 자료와 전년 늦가을부터 개체들 출현 시기 사이의 기후요소와 관련성을 분석하였다. 기상자료는 연구지역으로부터 가장 가까운 곳에 위치하는 약 25 km 떨어진 부산기상대의 자료를 이용하였다. 기후변화 관련 연구들에서 연구 현지에서 기상자료를 측정하지 못한 경우, 종종 8~10 km 이상 떨어진 가장 가까운 기상대의 기상자료를 분석에 이용하곤 한다(Reading, 1998; Kusano and Inoue, 2008).

이 연구에서 번식기는 번식지에 첫 번째 고리도롱뇽이 출현한 날로부터 마지막 도롱뇽이 나타난 날 사이의



**Fig. 1.** Map of the breeding monitoring sites: natural (●) and translocated (■) site (A; re-drawn from Lee *et al.* 2010) and the constructed drift fences with pitfall traps at the natural site (B) and the translocated site (C).

기간으로 정의하였다. 수집된 자료를 바탕으로 첫 번째 도롱뇽이 출현한 날과 번식기 동안 번식지에 출현한 전체 개체수의 30%가 도달한 날을 각각 365일 단위로 일수를 계산하였다. 본 연구에서는 번식이주의 시작에 미치는 기후요소의 영향을 평가하고자 하였기 때문에, 번식 시작일과 30% 도달 일의 두 변수와 기후요소와의 관련성만을 분석하였다.

기후요소로는 기상대의 기상자료로부터 특정 기간 동안의 평균기상온도, 평균최고 및 최저기상온도, 평균일교차(최고기온-최저기온), 평균강수량, 평균상대습도를 각각 추출하였다. 번식 시작 이전의 기후요소가 어떻게 번식이주 시기(첫 개체 도달일과 30% 개체 도달일)에 영향을 미치는 지를 확인하기 위하여, 대체번식지와 자연번식지에 암컷과 수컷들의 최초 번식 시작일을 기준으로으로부터 이전 5일씩을 단위로 구분하여, 번식 시작 전 120일까지(ex, 0-이전 5일, 0-이전 10일, 0-이전 15일, ... 0-이전 120), 총 24개의 기간에 대해서 각각 위의

기후요소 값들의 평균값을 산출한 후 개체군 모니터링 자료와의 상관분석에 사용하였다.

#### 4. 통계분석

대체번식지와 자연번식지, 암컷과 수컷에 따라 번식 시작일 및 30% 도달일과 각 번식 시작일 이전의 기후요소들과의 상관관계를 알아보기 위하여 상관분석을 실시하였다. 자료의 샘플수가 작고( $n=5$ , 모든 상관분석의 경우) 몇몇 변수들이 비모수적인 특성을 보였기 때문에 비모수상관 분석인 Spearman correlation 분석을 실시하였다.

대체번식지와 자연번식지 간, 암컷과 수컷 간 24개의 기간 각각에서 유의미한 상관관계를 보인 기후요소 수의 총 합에서 차이가 있는 지를 검증하기 위하여, on-line Chi-square test (Preacher, 2001)를 실시하였다. 통계분석의 해석에서, 특정 번식지, 특정 성의 번식 시작일

혹은 30% 도달일과 기후요소와의 유의한 상관 사례가 많은 경우, 해당 번식지 혹은 특정 성이 기후요소에 더 큰 영향을 받는다는 것으로 해석하였다.

Chi-square test를 제외한 모든 통계분석은 SPSS (v. 17.0)를 이용하여 분석하였다.

## 결 과

### 1. 번식 시작일 및 30% 도달일과 유의한 상관을 보인 기후요소들

자연번식지 내 암컷의 번식 시작일은 번식 전 10일 (이곳부터 -10로 표기) 동안 평균최고기온이 높을수록 늦는 ( $r=0.975, p=0.005$ ) 반면, -15일 동안 평균강수량이 많을수록 빨랐다 ( $r=-0.975, p=0.005$ , Table 1). 자연번식지 내 암컷의 30% 도달일은 -20일 동안 평균일

교차가 클수록 늦으나 ( $r=0.900, p=0.037$ ), -20일, -45일, -65 ~ -120일 동안의 평균강수량이 많을수록, -5일, -20일 동안의 평균습도가 높을수록 빨랐다 ( $r=-1.000 \sim -0.945, p=0.000 \sim 0.014$ , Table 1). 자연번식지 내 수컷의 번식 시작일은 어떤 기후요소와도 유의한 상관관계가 없었다 (모든 경우:  $p>0.05$ ). 자연번식지 내 수컷의 30% 도달일은 -55일, -65 ~ -120일 동안의 평균일교차가 클수록 빨랐다 ( $r=-0.973 \sim -0.917, p=0.005 \sim 0.029$ , Table 1).

대체번식지 내 암컷의 번식 시작일은 -25일과 -30일 동안의 평균기온 및 평균최저기온이 높을수록 빨랐으며 (모든 경우:  $r=-0.894, p=0.041$ ), -25 ~ -55일 동안의 평균습도가 높을수록 빨랐다 (모든 경우:  $r=-0.894, p=0.041$ , Table 1). 대체번식지 내 암컷의 30% 도달일은 -5일 동안의 평균기온과 -5 ~ -10일 동안의 평균최저기온이 높고, -60일 동안의 평균일교차가

**Table 1.** The number of the times that each climate factor was significantly related with the time of the first salamander appearance (Frist) or 30% individual appearance (30%) during the period (from the day of the first individual appearance to the previous 120 days from the day) at the natural or translocated site. Numbers in the brackets indicate the specific period (i.e., -10 is the period from the day of the first individual appearance to the previous 10 days from the day) that the climate factor showed significant relationship with the first or 30% individual appearance day. T indicates temperature and total the total case number of significant correlations within each category.

Site	Sex	Time	Mean average T	Mean lowest T	Mean highest T	Mean daily T range	Precipitation	Humidity	Total
Natural site	Female	First			1 (-10)		1 (-15)		2
		30%				1 (-20)	14 (-20, -45, -65, -70, -75, -80, -85, -90, -95, -100, -105, -110, -115, -120)	2 (-5, -20)	17
	Male	First				13 (-55, -65, -70, -75, -80, -85, -90, -95, -100, -105, -110, -115, -120)			0
		30%							13
Translocated site	Female	First	2 (-25, -30)	2 (-25, -30)				7 (-25, -30, -35, -40, -45, -50, -55)	11
		30%	1 (-5)	2 (-5, -10)		2 (-20, -60)	9 (-20, -30, -35, -40, -45, -105, -110, -115, -120)	1 (-15)	15
	Male	First						1 (-15)	1
		30%						3 (-40, -45, -50)	3
Total			3	4	1	16	24	13	

크며, -20일, -30~-45일, -105~-120일 동안의 평균강수량이 많으며, -15일 동안의 평균습도가 높을수록 빨랐다(모든 경우:  $r=-0.900$ ,  $p=0.037$ , Table 1). 반면 대체번식지 내 암컷의 30% 도달일은 -20일 동안의 평균일교차가 클수록 늦었다( $r=0.900$ ,  $p=0.037$ ). 대체서식지 내 수컷의 번식 시작일은 -15일 동안의 평균습도가 높을수록 빨랐다( $r=-0.900$ ,  $p=0.037$ ). 대체서식지 내 수컷의 30% 도달일은 -40~-50일 동안의 평균습도가 높을수록 빨랐다( $r=-1.000$ ~- $-0.900$ ,  $p=0.000$ ~ $0.037$ , Table 1).

## 2. 번식 시작일 및 30% 도달일과 유의한 상관을 보인 기상요소 수의 두 번식지 및 암수 간 비교

두 번식지 간 비교에서, 번식 시작일의 경우 자연번식지는 총 144개의 가능한 변수들 중 2개의 변수, 대체번식지는 12개의 변수와 유의한 상관을 보여 차이가 유의하였다( $X^2=7.14$ ,  $p=0.008$ , Table 1). 반면, 30% 도달일의 경우 자연번식지가 30개 변수, 대체번식지가 18개의 변수로 그 차이가 유의하지 않았다( $X^2=3.0$ ,  $p=0.08$ , Table 1).

암수 간 비교에서, 번식 시작일의 경우 총 144개의 가능한 변수들 중 암컷이 13개로 수컷의 1개 변수보다 유의하게 유의한 상관의 수가 많았으며( $X^2=10.29$ ,  $p=0.001$ ; Table 1), 30% 도달일 역시 암컷이 32개, 수컷이 16개 변수로 암컷이 많았다( $X^2=5.33$ ,  $p=0.02$ , Table 1).

## 고 찰

번식 시작 전 어느 시기의 어떠한 기후요소가 고리도롱뇽의 번식이주 시기에 영향을 미치는 지를 파악하고자 대체번식지와 자연번식지 두 곳에서 5년간의 고리도롱뇽 모니터링 자료와 기후요소와의 상관관계를 연구하였다. 연구결과, 번식지 출현이 부분적으로 번식 시작 이전 20~45일 동안의 기후요소에 영향을 받기는 하지만, 주로 겨울을 포함하는 번식 시작 이전 65~120일 동안의 기후조건이 주요하게 봄철 번식출현에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 봄철 번식지 출현은 평균기온보다는 평균강수량과 평균일교차에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 더불어서, 대체번식지 내 출현이 자연번식지 내 출현보다 더 많은 기후요소의 영향을 받으며, 수컷보다는 암컷이 더 큰 영향을 받았다. 이는 고리도롱뇽 번식이주 시기에 대한 기후요소의 영향이 번

식지의 특성 및 성과 관련되어 있음을 보여주는 결과라고 하겠다.

고리도롱뇽의 번식지 내 출현은 부분적으로 번식 시작 전 약 20~45일 동안의 평균기온이나 평균최저온도에 영향을 받지만, 겨울철을 포함하는 번식 시작 전 65~120일 동안의 기후영향, 특히 평균일교차와 평균강수량이 더 중요하게 작용하는 것으로 나타났다. 양서류의 번식지 출현을 결정하는 기후요소로는 평균기온, 겨울 동안의 특정온도 이상의 경험, 강수량 등이 알려져 있으며(Hurlbert, 1969; Sexton *et al.*, 1990; Reading, 1998; Miwa, 2007; Kusano and Inoue, 2008; Hartel, 2008), 유미양서류의 경우 강수량이 가장 중요한 요소로 관여하고 있다고 이전의 연구들은 보고하고 있다(Semlitsch, 1985; Todd and Winne, 2006; Arnfield *et al.*, 2012). 번식 시기에 영향을 미치는 기후와 관련하여 연구와 종에 따라서 번식 이전 40일 동안 혹은 번식 전 한달 동안의 기후, 혹은 겨울철 동안의 온도가 중요하다고 각각 알려져 있어, 일반화는 쉽지 않다. 예를 들어서, 유럽의 common toad (*Bufo bufo*)의 번식지 출현은 번식 시작 전 40일 동안의 평균기온과 밀접한 관계를 보이고 있으며(Reading, 1998), 특별히 해당 40일 동안 6°C 이상을 보인 날의 수와 높은 상관관을 보이는 것으로 나타났다. 반면, 일본의 Kusano and Inoue (2008)의 연구결과에 따르면 일본 도롱뇽 (*Hynobius tokyoensis*)들의 번식지 출현은 번식기 전 한달 동안의 월평균 기온과 높은 상관관을 보이는 것으로 나타났다. 반면, Hurlbert (1969)는 vermilion-spotted newt (*Notophthalmus viridescens*)의 경우 번식지보다는 이른 봄 혹은 늦가을의 강수와 기온이 이들의 번식지 출현과 중요하게 관련되어 있다고 보고하고 있다. 이러한 결과들은 국내의 다양한 양서류 종들을 대상으로 해당 종들이 어떠한 기후요소들에 밀접하게 반응하는 지에 대한 추가 연구가 필요함을 보여준다.

우리의 연구에서 왜 겨울철 평균일교차와 평균강수량이 고리도롱뇽 번식이주 시기와 밀접하게 관련되어 있을까? 이에 대하여 몇 가지의 설명이 가능하다. 첫 번째, 늦가을부터 겨울철의 강수량은 봄철 계곡 혹은 습지에서 도롱뇽의 산란에 용이한 물의 양을 결정하는 중요한 요소가 된다(McCain and Colwell, 2011). 즉, 겨울철 강수가 많은 경우 봄철 번식지에 물의 양이 충분하기 때문에, 도롱뇽이 산란을 결정하는 시기가 빨라질 수 있다. 더불어서, 많은 강수량과 높은 습도는 개체들이 건조를 피하며 안전하게 번식지 이주를 하는 요소로도 작용할 수 있다. 둘째, 겨울철 동안의 일교차와 강수량은 아마도 암컷과 수컷의 생식과 관련된 요소들의 발달에

영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다. 한국산 도롱뇽들의 경우 동면 후 먹이를 섭취하지 않은 상태에서 번식에 참여를 하게 됨으로, 겨울 및 번식 전 봄철에 걸쳐서 번식을 위한 정자의 생산 및 알의 발달 등이 이루어져야 하며 (Hasumi, 1996), 이러한 과정은 기온 및 가능한 물의 이용 정도에 영향을 받을 수 있을 것이다. 마지막으로 동면 기간 동안의 일교차가 개체들의 에너지의 수지에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 우리의 결과에서 번식 전 약 한달 동안의 큰 평균일교차는 개체들의 번식지 출현을 늦추었지만, 번식 전 두 달 동안의 큰 평균일교차는 번식시기를 앞당기는 것으로 나타났다. 겨울철, 동면기간 동안 평균일교차가 크다는 것은 개체가 감내해야 하는 온도변동의 폭이 크다는 것을 의미하며, 이는 동면시기 동안 소비되는 에너지의 양이 많아질 수 있음을 의미한다 (Brenner, 1969; Johnson *et al.*, 1993). 그러므로 겨울철 큰 평균일교차로 인하여 축적된 에너지가 부족한 개체들은 빠르게 번식지로 이동하는 것으로 판단된다. 반면, 번식 전 한 달 동안의 큰 평균일교차는 개체들이 번식지로 이동하는 과정 혹은 번식지에서 낮은 기온으로 인한 동사의 가능성이 클 수 있음을 의미하므로, 이 경우에는 오히려 번식지 출현을 늦추는 요소로 작용하는 것으로 보인다. 전체적으로 우리의 이러한 결과들은 최근의 기후변화가 봄철의 기후에 영향을 미쳐서 양서류 번식에 영향을 주는 것만큼이나 겨울철의 기온변동의 확대 및 강수량의 변화 역시 중요하게 봄철 번식시작 시기에 영향을 줄 것이라는 것을 보여주는 것이다.

대체번식지로 이주된 고리도롱뇽들은 번식지로 출현시기를 결정함에 있어서 자연번식지 내의 개체들에 비하여 더 크게 기후요소의 영향을 받는 것으로 보인다. 우리의 결과에서 대체번식지에서 번식 개체들의 최초 출현일, 30% 출현일과 기후요소 사이의 유의한 상관관계가 자연번식지에서의 유의한 상관보다 많았다. 일반적으로 이주된 유미양서류들은 새로운 환경에 적응을 위하여 이주 이전보다 더욱 많은 움직임과 먼 거리를 이동하는 것으로 알려져 있다 (Dodd and Seigel, 1991; Bodinof *et al.*, 2012a, b). 이주된 개체들의 이동 및 적응 경향은 특별히 이주된 서식지의 특성과 높은 관련성을 보이는 것으로 연구되어 있다 (Bodinof *et al.*, 2012a). 이러한 이주 개체들의 서식지 내 빈번한 이동은 큰 에너지의 소모를 유발하여, 번식지 출현을 앞당길 것으로 예상된다. 더불어 대체번식지의 경우 습지 내 물의 공급이 자연번식지에 비하여 년 중 원활하며 (Lee *et al.*, 2010), 또한 대체 번식지가 개방된 남쪽 사면을 가지고 있는데, 이러한 요

소들 역시 대체번식지 내 개체들의 빠른 이동을 결정하는 하나의 요소로 작용하였으리라 판단된다. 본 연구의 결과는 대체서식지의 조성과 이주사업이 빈번한 국내의 상황을 고려할 때, 이주 개체들이 대부분의 시간을 보내게 될 비번식지의 특성이 이들의 번식 출현에 영향을 미치는 점을 고려하여, 대체번식지 조성뿐만 아니라 주변의 비번식지 서식지역 역시 중요하게 고려하여야 한다는 것을 보여준다.

고리도롱뇽 암컷의 번식지 출현이 수컷에 비해서 기후요소의 변동에 더욱 민감한 것으로 나타났다. 우리의 연구에서 암컷의 번식지 첫 출현일 및 30% 출현일에서 각각 더 많은 기후요소에 영향을 받았다. 이러한 결과는 암컷의 번식생리와 번식지 출현 패턴의 특성에 의한 것으로 보인다. 일반적으로 도롱뇽 암컷들이 번식지에 도달했을 때는 알의 발달이 마무리된 상태이다 (Sung *et al.*, 2005). 이는 동면 이후부터 번식지 출현 전 사이 동안에 알의 발달이 이루어진다는 것을 의미한다. 도롱뇽 알의 발달이 온도변화에 민감한 것을 고려할 때 (Hasumi, 1996), 번식 시작 전의 온도나 습도와 같은 기후요소들은 암컷의 번식지 출현에 더 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다 (Beebee, 1995). 더불어서, 산란된 이후, 알은 산란지에 고정되어 있기 때문에 알의 발달과 생존여부는 산란지의 온도 및 습도와 밀접하게 관련되어 있다 (Caldwell, 1987). 따라서 암컷 도롱뇽들은 번식지로 이동할 때 수컷에 비해 더 많은 기후요소를 고려하는 것으로 판단된다. 또한, 이전의 연구들에서 대부분의 암컷들은 번식지에 출현한 당일 알을 산란하고 번식지를 벗어나는 것을 고려할 때 (Sung *et al.*, 2005), 번식지로의 일정한 거리 이상을 안전하게 움직일 수 있는 기후조건이 허락되는 경우 번식지로의 이동이 이루어질 것으로 생각된다. 즉, 번식지 내로 안전한 이동과 번식지 내에서 알의 적절한 발달할 수 있는 조건 모두가 충족될 때 암컷은 번식지 내로 이동하며, 이러한 이유로 기후요소는 암컷의 번식지 출현에 더 큰 영향을 미치는 것으로 보인다.

연구 결과, 고리도롱뇽의 번식 시기는 온도뿐만이 아니라 일교차와 강수량에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 더불어 이와 같은 기후요소는 번식지의 특성 및 성별에 따라서 서로 다르게 나타났다. 즉, 기후요소의 영향이 자연번식지 보다는 대체번식지, 수컷보다는 암컷에 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기후변화에 따른 개체군의 영향을 예측하거나, 대체번식지를 조성하여 개체군을 이주하기 전 고려하여야 할 사항에 대한 의미 있는 정보를 제공한다.

## 적 요

번식 시작 전 어느 기간의 어떠한 기후요소가 고리도롱뇽의 번식이주 시기에 영향을 미치는 지를 파악하고자, 부산시 기장군 봉대산 일대에서 고리도롱뇽의 자연 번식지와 인접한 대체번식지에서 2006년부터 2010년까지 5년의 번식기 동안 날짜에 따라 번식지에 출현한 개체들을 기록한 개체군 모니터링 자료와 조사지로부터 약 25 km 떨어진 기상대에서 획득한 기후정보 사이의 상관관계를 분석하였다. 연구결과, 번식 시작 전 약 1달 동안의 평균기온 및 평균최저기온은 대체번식지 내 암컷의 번식이주 시기에 영향을 미쳤으며, 번식 전 2~4달 동안의 겨울철 평균일교차와 평균강수량은 각각 자연번식지의 수컷과 자연번식지와 대체번식지의 암컷의 번식이주 시기에 영향을 미쳤다. 번식이주 시기와 기후요소와의 관련성은 수컷보다 암컷에서, 자연번식지에서 보다는 대체번식지에서 더 높았다. 이러한 연구결과는 년도에 걸친 단순한 평균온도의 상승보다는 겨울철을 포함하는 기간 동안의 평균강수량과 평균일교차의 변동이 유미양서류 번식이주 시기에 더 큰 영향을 미치는 것을 보여준다. 더불어 암컷의 번식이주 시기가 수컷에 비하여 기후요소에 보다 더 밀접하게 관련되며, 특별히 이주된 유미양서류의 개체군들에서 이주시기는 기후요소의 영향을 더 크게 받는다는 것을 보여준다.

## 사 사

고리도롱뇽의 모니터링에 참가하였던 민미숙, 이정현, 라담용 박사와 초기 자료의 분석에 참여했던 이상의, 허준행 군에게 감사의 말을 전합니다. 아울러 연구기간 동안 적극적으로 협조해 주신 한국수력원자력 관계자 분들께도 감사드립니다.

## REFERENCES

- Araújo, M.B., W. Thuiller and R.G. Pearson. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography* **33**(10): 1712-1728.
- Arnfield, H., R. Grant, C. Monk and T. Uller. 2012. Factors influencing the timing of spring migration in common toads (*Bufo bufo*). *Journal of Zoology* **288**(2): 112-118.
- Beebee, T.J.C. 1995. Amphibian breeding and climate. *Nature* **374**: 219-220.
- Bodinof, C.M., J.T. Briggler, R.E. Junge, J. Berninger, M.D. Wanner, C.D. Schuette, J. Ettling and J.J. Millsbaugh. 2012a. Habitat attributes associated with short-term settlement of Ozark hellbender (*Cryptobranchus alleganiensis bishopi*) salamanders following translocation to the wild. *Freshwater Biology* **57**(1): 178-192.
- Bodinof, C.M., J.T. Briggler, R.E. Junge, T. Mong, J., Beringer, M.D. Wanner, C.D. Schuette, J. Ettling and J.J. Millsbaugh. 2012b. Survival and body condition of captive-reared juvenile Ozark hellbenders (*Cryptobranchus alleganiensis bishopi*) following translocation to the wild. *Copeia* **2012** (1): 150-159.
- Brenner, F.J. 1969. The role of temperature and fat deposition in hibernation and reproduction in two species of frogs. *Herpetologica* **25**(2): 105-113.
- Caldwell, J.P. 1987. Demography and life history of two species of chorus frog (Anura: Hylidae) in South Carolina. *Copeia* **1987**(1): 114-127.
- Carey, C. and M.A. Alexander. 2003. Climate change and amphibian declines: is there a link? *Diversity and Distributions* **9**(2): 111-121.
- Dodd, C.K. Jr and R.A. Seigel. 1991. Relocation, repatriation, and translocation of amphibians and reptiles: are they conservation strategies that work? *Herpetologica* **47**(3): 336-350.
- Harte, J., A. Ostling, J.L. Green and A. Kinzig. 2004. Climate change and extinction risk. *Nature* **427**: 145-148.
- Hartel, T. 2008. Weather conditions, breeding data and population fluctuation in *Rana dalmatina* from central Romania. *Journal of Herpetology* **18**(1): 40-44.
- Hasumi, M. 1996. Seasonal fluctuations of female reproductive organs in the salamander *Hynobius nigrescens*. *Herpetologica* **52**(4): 598-605.
- Hurlbert, S.H. 1969. The breeding migrations and interhabitat wandering of the vermilion-spotted newt *Notophthalmus viridescens*. *Ecological Monograph* **39**(4): 465-488.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge. p. 996.
- Johnson, D.C., C.T. Burt, W.C. Pernal and B.M. Hitzig. 1993. Effects of temperature on muscle pH<sub>i</sub> and phosphate metabolism in newts and lungless salamanders. *American Journal of Physiology* **265**: R1162-R1167.
- Kim, J.B., M.S. Min and M. Matsui. 2003. A new species of lentic breeding Korean salamander of the genus *Hynobius* (Amphibia, Urodela). *Zoological Science* **20**(9): 1163-1169.
- Kusano, T. and M. Inoue. 2008. Long-term trends toward earlier breeding of Japanese amphibians. *Journal of Herpetology* **42**(4): 608-614.
- Lee, J.H., T.H. Kim, H.J. Baek, M.S. Min, D. Park and J.K. Kim. 2010. Monitoring of the relocated population of *Hynobius yangi* over five years. *Korean Journal of Herpetology* **2**: 35-44.
- McCain, C. and R.K. Colwell. 2011. Assessing the threat to mon-

- tane biodiversity from discordant shifts in temperature and precipitation in a changing climate. *Ecology Letters* **14**(12): 1236-1245.
- Miwa, T. 2007. Conditions controlling the onset of breeding migration of the Japanese mountain stream frog, *Rana sakuraii*. *Naturwissenschaften* **94**(7): 551-560.
- Park, H.W. 2010. Mating Behavior of *Hynobius yangi*: A Quantitative Analysis Based on Different Male Size. MS thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea.
- Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural system. *Nature* **421**: 37-42.
- Preacher, K.J. 2001. Calculation for the chi-square test: An interactive calculation tool for chi-square tests of goodness of fit and independence [Computer software]. Available from <http://quantpsy.org>.
- Reading, C.J. 1998. The effect of winter temperatures on the timing of breeding activity in the common toad *Bufo bufo*. *Oecologia* **117**(4): 469-475.
- Semlitsch, R.D. 1985. Analysis of climatic factors influencing migrations of the salamander *Ambystoma talpoideum*. *Copeia* **1985**(2): 477-489.
- Sexton, O.J., C. Phillips and J.E. Bramble. 1990. The effects of temperature and precipitation on the breeding migration of the Spotted salamander (*Ambystoma maculatum*). *Copeia* **1990**(3): 781-787.
- Sung, H.C., J.H. Lee and D. Park. 2005. Entering and exiting routes of *Hynobius leechii* to a breeding site and staying time within the site. *Korean Journal of Ecology* **28**(5): 237-243.
- Todd, B.D. and C.T. Winne. 2006. Ontogenetic and interspecific variation in timing of movement and responses to climatic factors during migrations by pond-breeding amphibians. *Canadian Journal of Zoology* **84**(5): 715-722.