

대전 주요 산림 내 계곡의 양서류 분포 및 개체군 특성에 관한 기초 연구(II)

이 은 재

기본연구 2018-20

대전 주요 산림 내 계곡의 양서류 분포 및 개체군 특성에 관한 기초 연구(II)

－ 유미목 양서류의 개체군 동태 및 잠재 먹이자원 －

Study on Population Characteristics and distribution of
amphibians at Forest Valley in Daejeon metropolitan City
－ Potential Food resources and Population Dynamics of Salamander －

이 은 재

연구책임

- 이은재 / 도시기반연구실 책임연구위원

조사원

- 정지화 / 서울대학교 산림과학부

기본연구 2018-20

**대전 주요 산림 내 계곡의 양서류 분포
및 개체군 특성에 관한 기초 연구(II)**

- 유미목 양서류의 개체군 동태 및 잠재 먹이자원 -

발행인 박재욱

발행일 2018년 12월

발행처 대전세종연구원

34863 대전광역시 중구 중앙로 85(선화동)

전화: 042-530-0000 팩스: 042-530-3528

홈페이지 : <http://www.dsi.re.kr>

인쇄: (주)카피팩토리 TEL 070-8279-3343 FAX 0507-711-7732

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시와 세종특별자치시의 정책적
입장과는 다를 수 있습니다.

출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

요약 및 정책건의

■ 연구 배경 및 필요성

- 최근 전 세계적으로 지속적인 도시화로 인한 서식지의 양적·질적 감소로 인해 많은 양서류가 멸종되었거나 멸종위기에 처해 있음
- 특히, 유미목 양서류의 경우 관련 연구가 미흡하여 대전 내에서의 분포 및 생태적 특징 파악을 통해 보전·활용 방안을 제시할 필요가 있음

■ 연구목적 및 내용

- 국내·외 유미목 양서류의 연구관리 동향 파악을 통한 시사점 발굴
- 대전 내 분포 및 개체군 동태 파악
 - 월별 각 종의 밀도 변화, 체중의 차이, 번식 유무 등 파악
- 대전에 서식하는 유미목 양서류의 선호 서식지 환경 파악
 - 유미목 양서류의 서식 유무 및 환경과의 상관관계 파악
- 유미목 양서류의 먹이자원 분할 및 잠재 먹이자원 분석
 - 안정성 동위원소 분석을 통한 종별 선호 먹이자원 파악

■ 연구결과

국내외 연구관리 동향

- 유미목 양서류 관련 연구는 지속적으로 증가하는 추세임
- 국외에서는 과거부터 유미목 양서류의 개체군 동태, 서식지 특성, 먹이자원 등 다양한 연구가 수행되었으나, 국내에서는 아직까지 관련 연구가 부족한 실정인 것으로 파악됨
 - 대전에서는 분포와 이끼도롱뇽의 생태적 특성 연구가 일부 수행되었음

□ 개체군 동태

- 번식기인 3월 경 많은 개체들의 활동이 확인됨
- 7~8월까지 활동 개체가 감소하다가 10월까지 조금씩 증가하는 경향을 보임
 - 장마와 폭염으로 인해 여름에는 활동량이 상대적으로 적은 것으로 판단됨
- 이끼도롱뇽의 경우 5월 경 활동개체가 더 많이 확인되어, 다른 종과는 차이를 보임
 - 다른 종에 비해 번식 시기가 다소 늦은 것으로 파악됨
- 체중은 9월 가장 높게 나타남, 여름철 은신처에서 숨어 지내면서 알을 준비하고 9월 이후 산란 준비를 할 가능성이 있음

□ 선호 서식지 특성

- 총 102개의 조사지점 중 도롱뇽은 78개, 꼬리치레도롱뇽은 30개, 이끼도롱뇽은 42개 지점에서 서식이 확인됨
- 도롱뇽의 서식/비서식지 환경특성을 파악한 결과, 암석피도량과 암석피도(G), 토양 상대습도, 수계 유형이 차이를 보이는 것으로 분석됨
- 꼬리치레도롱뇽의 경우 중층피도량, 암석피도(G), 수계유형이 차이를 보이는 것으로 파악됨
- 이끼도롱뇽의 경우 중상층피도량, 수목잔존물(중), 토양 상대습도, 수계폭이 서식에 영향을 부는 요인인 것으로 분석됨

□ 먹이자원 분석

- 대전에 서식하는 유미목 양서류 3종의 시료에 대한 안정성동위원소 분석결과, 이끼도롱뇽은 가장 다양한 먹이자원을 이용하는 것으로 파악됨
- 유미목 양서류 3종의 탄소값은 유의한 차이를 보이지 않았으나, 질소값은 차이를 보여, 도롱뇽과 이끼도롱뇽은 꼬리치레도롱뇽과 서

로 다른 영양 단계에 있는 먹이자원을 이용할 것으로 추정됨

- 잠재 먹이자원을 채취하여 안정성동위원소 분석을 실시한 결과, 탄소값은 연체강을 제외하고 유사하게 나타났으며, 질소값은 일반적인 먹이사슬 순으로 영양단계가 나타났으나, 범위가 넓어 그룹 간 유의한 차이는 없을 것으로 판단됨
- 도롱뇽 3종과 잠재 먹이자원 간 안정성동위원소 값을 파악한 결과, 도롱뇽은 크기가 적당하고 사냥하기 쉬운 연체강, 곤충강, 노래기강 등을 주로 이용하는 것으로 나타났음
- 이끼도롱뇽의 경우 이전 연구결과와는 다르게 개미류 보다는 다른 곤충이나 무척추동물을 먹이자원으로 이용하는 것으로 분석됨

■ 정책건의

- 대전 산림 내 계곡의 유미목 양서류 보전 방안
 - 유미목 양서류 정기 모니터링 수행
 - 소규모 개발사업의 환경영향평가 시행
 - 대전시 유미목 양서류의 서식 평가 및 보호야생생물 지정·검토
 - 대전시 유미목 양서류의 주요 서식지 매입 및 보호구역 지정
- 유미목 양서류 활용 방안
 - 생태교육 프로그램 정기 운영
 - 유미목 양서류의 주요 서식지 보전활동 전개
 - 국내·외 유관기관 협력 강화
 - 시민 홍보책자 발간 및 홍보물 활용 방안 마련

차 례

1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 필요성	3
2. 연구의 목적 및 방법	4
2장 국내외 연구관리 동향	7
1. 국외 연구관리 동향	9
2. 국내 연구관리 동향	16
3장 연구 방법	27
1. 연구 대상지	29
2. 개체 확인	32
3. 산림환경구조 조사	33
4. 먹이자원 조사	34
5. 통계 분석	38
4장 연구 결과	41
1. 개체군 동태	43
2. 선호 서식지 특성	51
3. 먹이자원 분석	57
5장 결론 및 정책 제언	67
1. 결론	69
2. 정책 제언	72
참고문헌	81

표 차례

[표 2-1] 국내 유미목 양서류 목록 및 법정보호종 현황	16
[표 3-1] 연구 대상지의 세부 정보	29
[표 3-2] 산림환경구조 조사에 이용하는 환경 요인	33
[표 4-1] 이끼도롱뇽의 월별 체중 차이	49
[표 4-2] 도롱뇽의 서식지/비서식지 환경의 독립성 검정 결과	52
[표 4-3] 도롱뇽의 선호 서식 환경에 대한 회귀분석 결과	52
[표 4-4] 꼬리치레도롱뇽의 서식지/비서식지 환경의 독립성 검정 결과	54
[표 4-5] 꼬리치레도롱뇽의 선호 서식 환경에 대한 회귀분석 결과	54
[표 4-6] 이끼도롱뇽의 서식지/비서식지 환경의 독립성 검정 결과	56
[표 4-7] 이끼도롱뇽의 선호 서식 환경에 대한 회귀분석 결과	56
[표 4-8] 도롱뇽 3종에 대한 안정성 동위원소 분석 결과	59
[표 4-9] 지역 및 지역별 잠재 먹이자원	61
[표 4-10] 잠재 먹이자원에 대한 안정성 동위원소 값의 평균 비교 결과	64
[표 5-1] 대전광역시 보호야생생물 지정 현황	74

그림 차례

[그림 1-1] 연구의 체계	5
[그림 2-1] 시기별 미주도롱뇽 각 그룹 간 크기 비교	10
[그림 2-2] 도롱뇽의 회귀 및 분산 양상	11
[그림 2-3] 환경 요인을 이용하여 도출된 모델	12
[그림 2-4] 도출된 모델에 따른 적합성	13
[그림 2-5] 지역 및 수심별 도롱뇽과 어류의 안정성 동위원소 비교	14
[그림 2-6] 멸종위기종 양서류의 시간별 선호 먹이의 변화	15
[그림 2-7] 모음당장과 주머니 함정을 이용한 고리도롱뇽 포획	17
[그림 2-8] 큰 수컷과 작은 수컷의 암컷 접촉 횟수 및 암컷의 반응	18
[그림 2-9] 토양 수분함유량 및 수계의 pH 특정	20
[그림 2-10] 이끼도롱뇽 출현지점과 비출현지점의 환경 특성	21
[그림 2-11] 이끼도롱뇽의 위 내용물 분석 결과	22
[그림 2-12] 도롱뇽과 꼬리치레도롱뇽의 위 내용물 분석에 따른 먹이원의 비율 차이	23
[그림 2-13] 꼬리치레도롱뇽의 핵형 분석결과	24
[그림 2-14] 도롱뇽의 배 발생 이상에 관한 연구	25
[그림 3-1] 대전의 주요 5개 산림 내 17개 조사지점의 위치	30
[그림 3-2] 연구 대상지 17개 조사지점 전경	31
[그림 3-3] 양서류의 개체 확인과 환경 요인 측정	32
[그림 3-4] 자연적으로 손상된 도롱뇽의 꼬리	35
[그림 3-5] 시료 채취 후 재생 중인 꼬리치레도롱뇽의 꼬리	35
[그림 3-6] 잠재 먹이자원 확인	36
[그림 3-7] 안정성 동위원소 분석기	37
[그림 4-1] 월별 5개 산림 지역의 도롱뇽 활동 양상	44

[그림 4-2] 2017-2018년 간 도롱뇽 활동 양상	44
[그림 4-3] 월별 2개 산림 지역의 꼬리치레도롱뇽 활동 양상	46
[그림 4-4] 2017-2018년 간 꼬리치레이끼도롱뇽 활동 양상	46
[그림 4-5] 월별 2개 산림 지역의 이끼도롱뇽 활동 양상	48
[그림 4-6] 2017-2018년 간 이끼도롱뇽 활동 양상	48
[그림 4-7] 알을 가진 이끼도롱뇽	50
[그림 4-8] 도롱뇽 3종에 대한 안정성 동위원소 분석 결과	58
[그림 4-9] 잠재 먹이자원 간 안정성 동위원소 분석 결과	63
[그림 4-10] 도롱뇽과 잠재 먹이자원 간 안정성 동위원소 분석 결과	66
[그림 5-1] 대전시 깃대종(하늘다람쥐, 이끼도롱뇽, 감돌고기)	72
[그림 5-2] 사방댐 사업에 따른 이끼도롱뇽 서식지 훼손 사례	73
[그림 5-3] 대전 산지 소유 현황도	75
[그림 5-4] 한밭수목원 및 만인산푸른학습원 생태교육 현장	76
[그림 5-5] 대전 식장산 숲생태체험 및 에코다이브 행사	77
[그림 5-6] 대전 깃대종 지킴이 활동 사진	77
[그림 5-7] 화천 한국수달연구센터 전경	78
[그림 5-8] 대전시 깃대종 설명회 및 집달아주기 행사	79
[그림 5-9] 대전충남녹색연합 깃대종 가이드북	79
[그림 5-10] 동물을 이용한 홍보의 예	80

서론

1. 연구의 배경 및 필요성
2. 연구의 목적 및 방법

1장

1장 서론

1절. 연구의 배경 및 필요성

- 양서류는 생태계 내에서 1차 소비자를 섭식하고 고차 소비자의 먹이가 되는 중간 단계에 있으며, 환경변화에 민감하여 환경 지표종의 역할을 함
- 전 세계 약 7,100여종의 양서류가 서식하고 있고 국내에는 무미목 13종과 유미목 6종 등 총 19종의 양서류가 서식함
 - 특히, 대전의 경우 유미목 양서류는 도롱뇽과 꼬리치레도롱뇽, 이끼도롱뇽 등 3종이 서식하고 있는 것으로 나타났으며, 이끼도롱뇽은 대전시 깃대종으로 선정되어 보전·활용되고 있음
- 지속적인 도시화 및 산업화로 인한 서식지의 양적·질적 감소와 기후 변화 등으로 인해 많은 양서류가 멸종되었거나 멸종위기에 처해 있음
- 종의 분포와 밀도, 개체군 동태, 선호 서식지 환경 및 먹이자원 등에 대한 연구는 종 및 서식지 보전에 매우 중요한 정보임
- 그러나 특히, 국내·외에서 양서류의 경우 기초 생태연구가 전반적으로 미흡한 실정임
 - 특히, 유미목 양서류의 경우 국내 분포 및 밀도, 선호 서식환경 및 먹이자원 등에 대한 연구가 매우 미흡함
- 대전에서는 자연환경조사와 깃대종 정밀 모니터링, 생태계 변화관찰 조사 등을 통해 양서류에 대한 연구가 일부 수행되었음
 - 그러나 유미목 양서류의 정밀 분포와 선호 서식환경, 먹이자원 등 생태적 특성에 대한 연구가 추가적으로 필요함
 - 이를 통해 대전 유미목 양서류 보전·활용 방안 마련 필요

2절. 연구의 목적 및 방법

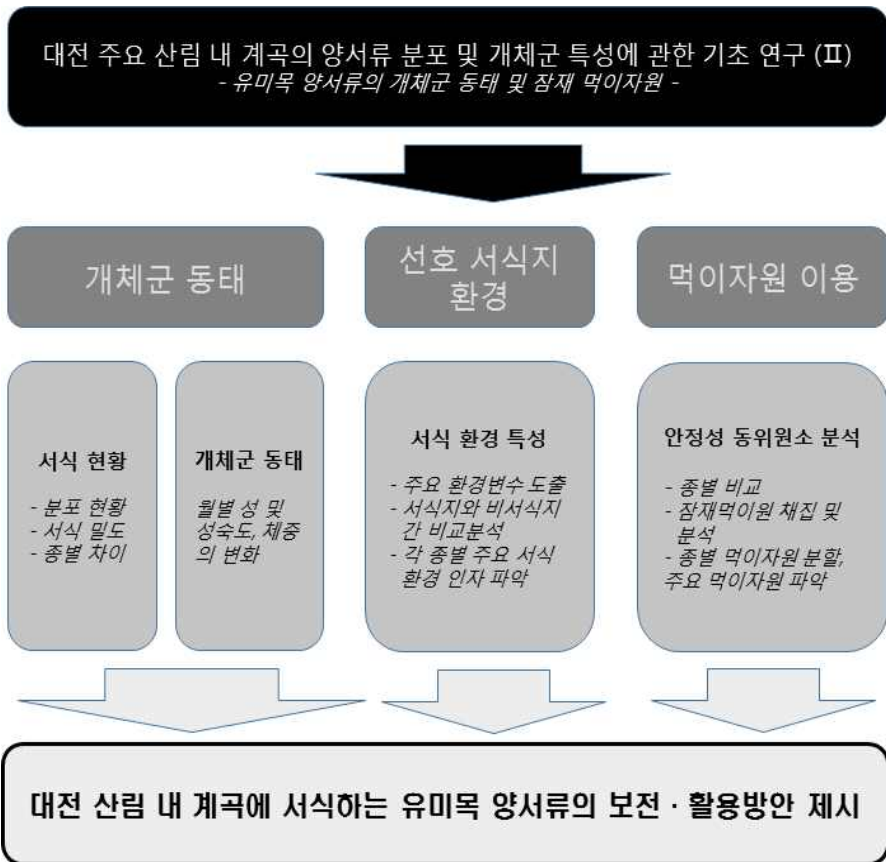
1. 연구의 목적

- 대전 산림 내 계곡부의 유미목 양서류 정밀 분포 및 밀도
- 월별 밀도, 외부 형태형질 등의 변화에 따른 개체군 동태 파악
- 종별 선호 서식환경 및 잠재 먹이자원 파악
- 향후 대전 산림 내 계곡부에서 유미목 양서류의 지속적인 서식을 위한 보전·활용 방안 제시

2. 연구의 방법

- 대전 산림 내 계곡부에 서식하는 유미목 양서류의 개체군 동태
 - 계곡별 유미목 양서류 서식 현황 및 밀도, 월별 변화 파악
 - 외부 형태형질의 변화 파악
 - 대전 내 계곡부의 유미목 양서류 개체군 특성 및 원인 규명
- 유미목 양서류 각 종별 선호 서식지 특성
 - 유미목 양서류의 생태적 특성을 고려한 환경 변수 선정
 - 각 종별 밀도 및 통계분석을 통한 환경 변수간의 상관관계 파악
 - 유미목 양서류 종별 주요 서식지 구성요소 도출
- 유미목 양서류의 먹이자원 분석
 - 대전 내 서식하는 유미목 양서류 3종의 안정성 동위원소 분석을 통한 먹이자원 분할 파악
 - 유미목 양서류의 잠재 먹이자원인 무척추동물 채집 및 추가적인 안정성 동위원소 분석 실시

- 종별 먹이자원 분할 양상 및 선호 먹이자원 파악
- 대전 내 유미목 양서류의 보전·활용 방안 제시
 - 대전 내 유미목 양서류 분포 및 밀도, 개체군 특성 파악을 통한 주요 종 및 서식지 보전 방안 마련
 - 유미목 양서류를 활용한 교육·홍보 등 활용방안 제시



[그림 1-1] 연구의 체계

국내·외 연구·관리 동향

1. 국외 연구·관리 동향
2. 국내 연구·관리 동향
3. 시사점

2장

2장 국내외 연구·관리 동향

1절. 국외 연구·관리 동향

1. 국외 유미목 양서류 연구 동향

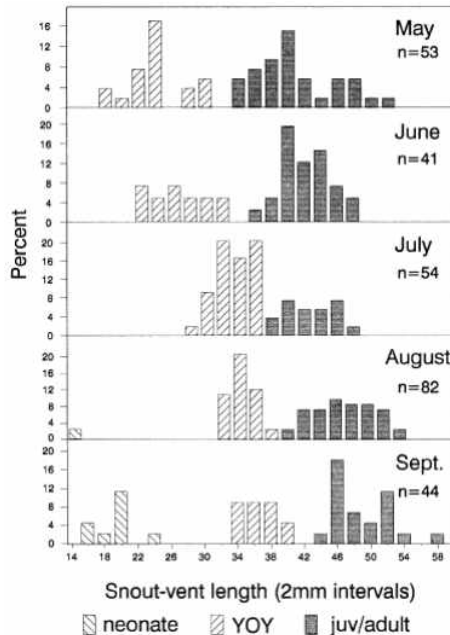
- 양서류는 다양한 변화에 민감하게 반응하며 생태계 내 중요한 역할을 담당하고 있기 때문에 이러한 현상 및 효과 등에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 과거부터 현재까지 꾸준히 개체군 감소가 심각하여 이에 대한 연구 또한 많이 수행되고 있음
 - 유미목 양서류인 도롱뇽은 산림 내 수계지역의 포식자로서 무척추동물들의 다양성을 조절하고 생리학적으로 서식지의 보존에 기여하는 것으로 알려져 있음(Best and Welsh, 2014)
 - 장기적인 자료 분석으로 통해 국제적 양서류 개체군의 변화 양상을 파악하며(Houlahan et al., 2000), 기후변화로 인한 서식지 변경, 생리적 영향(Kiesecker et al., 2001) 등 영향을 미치는 다양한 요인에 대한 연구도 진행된 바 있음
 - 감소하는 양서류 개체군 보전을 위해서는 종 별 선호하는 서식지 특성을 파악하는 것이 중요하며 특히 도롱뇽의 경우 다양한 규모의 요인들이 영향을 미치는 것으로 알려져 있음(Burton and Likens, 1975; Wyman, 1998; Davic and Welsh, 2004)
 - 종의 먹이자원에 대한 연구는 다양한 정보를 제공하며(Connell, 1975; Bar et al., 1984; Zimmerman, 1985) 종의 특성 이해 및 관리방안 도출을 위한 기본 요소로 작용함(Krebs, 1989)

2. 국외 유미목 양서류 연구 현황

1) 개체군 동태 관련 연구

○ 미주도롱뇽과의 개체군 동태와 보전(Kramer et al., 1993)

- 버지니아주에서 포획-재포획을 이용한 도롱뇽의 개체군 크기, 활동량, 시기별 개체들의 크기 및 성장률을 파악함
- 42회 포획 시도를 통해 250개체를 확보하였으며 개체군 크기는 450마리인 것으로 분석됨
- 유생의 성장률은 0.1mm/일, 성체의 성장률은 0.08-0.11mm/일인 것으로 나타남
- 활동량은 여름 > 봄 > 가을 순인 것으로 나타남

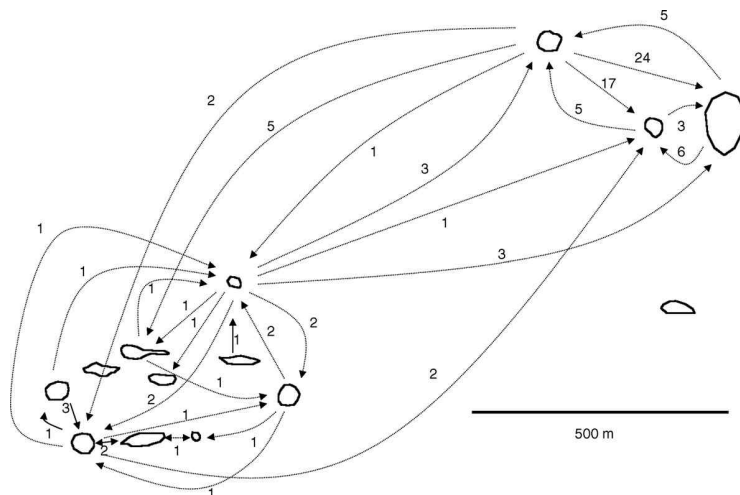


[그림 2-1] 시기별 미주도롱뇽 각 그룹 간 크기 비교

출처: Kramer et al. (1993)

○ 도롱뇽의 시·공간적 개체군 동태(분산)와 보전(Gamble et al., 2007)

- 메사추세츠주에서 도롱뇽의 번식 및 분산 양상을 파악함
- 유생 11,168마리와 성체 5,560마리를 표식 및 개체 파악 후 관찰함
- 유생에서 변태 후 처음 번식에 참여한 개체들은 91%의 확률로 태어난 연못으로 돌아왔으며 번식에 여러 번 참여한 개체들은 96.4%의 확률로 돌아왔음
- 이러한 유소성(philopatry)은 지역 개체군 추세에 영향을 미칠 것으로 보임
- 한편, 몇몇 개체들은 1,000m 이상 떨어진 다른 연못에 터를 잡기도 하며 이러한 분산 비율은 이 지역 개체군의 유전적 부동, 근교 약세 등에 영향을 미침
- 이러한 양상들을 잘 파악해 둔다면 향후 개체군의 보전 전략 수립에 효율적으로 이용할 수 있음



[그림 2-2] 도롱뇽의 회귀 및 분산 양상

출처: Gamble et al. (2007)

2) 선호 서식지 특성 관련 연구

○ 계절적 변화에 따른 도롱뇽의 미세 서식지 선택(Lunghi et al. 2015)

- 이탈리아 동굴에 서식하는 도롱뇽의 외부 환경 변화에 따른 서식지 선택을 파악
- 미세 서식지의 요인들을 이용하여 모델을 도출하고 도롱뇽의 계절별 선호 요인을 분석
- 도롱뇽은 여름에 저온이며 습도가 높은 곳을 선호하였으며 겨울에는 여름과 다른 선호도를 보였음
- 유생은 늦겨울 동안 건조한 곳에서 좀 더 잘 견뎠음
- 도롱뇽은 발달 단계와 시간에 따라 선호하는 요인들이 차이를 보였음

Independent variables included into the model									df	AICc	Δ - AICc	Weight
Humid	Month	Lux	Meta	Temp	Hum : M	Lux : M	Meta : M	Temp : M				
(A) Presence of the species												
1.12	+	-0.34	0.44	0.27	+			+	40	1,384.8	0	0.709
1.64	+	-0.36		0.26	+	+		+	39	1,388.9	4.15	0.089
-2.47	+	-20.74	0.45	0.25	+			+	51	1,389.3	4.5	0.075
1.41	+		0.45	0.27	+			+	39	1,390.2	5.45	0.046
7.79	+	-0.35	0.43		+				28	1,392.1	7.35	0.018
(B) Presence of adults												
1.27	+	-0.43	0.39	0.16	+			+	40	1,253.8	0	0.721
1.7	+	-0.44		0.16	+			+	39	1,256.2	2.44	0.213
1.67	+		0.42	0.16	+			+	39	1,261	7.25	0.019
6.83	+	-0.42	0.4		+				28	1,261.5	7.78	0.015
1.46	+	-0.44	-0.15	0.18	+		+	+	51	1,262.7	8.92	0.008
(C) Presence of juveniles												
1.46	+		0.61	0.41	+			+	39	807.2	0	0.428
1.23	+	-0.26	0.58	0.4	+			+	40	807.3	0.1	0.407
2.14	+	-0.3		0.39	+			+	39	810.5	3.22	0.085
2.57	+			0.39	+			+	38	810.8	3.57	0.072
-2.85	+	-20.8	0.59	0.35	+	+		+	51	816	8.72	0.005

[그림 2-3] 환경 요인을 이용하여 도출된 모델

출처: Lunghi et al. (2015)

○ 고유종 도롱뇽의 선호 서식지 요인(Romano et al. 2018)

- 서식지 파괴 및 고립 등으로 인해 위협받고 있는 이탈리아의 고유종 도롱뇽의 선호 서식지 요인 파악

- 열린 초지 가장자리까지의 거리, 수풀 수, 도목잔존물 등이 중요한 요인으로 도출되었으며 특히 도목잔존물의 큰 영향을 끼치는 것으로 분석됨
- 향후 이와 같은 서식지 요인들의 적절한 배치 등 숲 관리를 통해 도롱뇽의 보전이 가능할 것으로 예상됨

Candidate models in $\Delta QAIc < 4$ range					
	Model	Parameters	QAICc	$\Delta QAICc$	Wi
m1	$p(\cdot) \psi(BRUSH + EDGE)$	4	84.2	0.00	0.30
m2	$p(\cdot) \psi(BRUSH + EDGE + TREE)$	5	86.3	2.14	0.10
m3	$p(\cdot) \psi(BRUSH + EDGE + WOOD)$	5	86.4	2.23	0.09
m4	$p(\cdot) \psi(BRUSH + EDGE + ROCK)$	5	86.5	2.32	0.09
m5	$p(\cdot) \psi(BRUSH + EDGE + ABIES)$	5	86.7	2.49	0.03

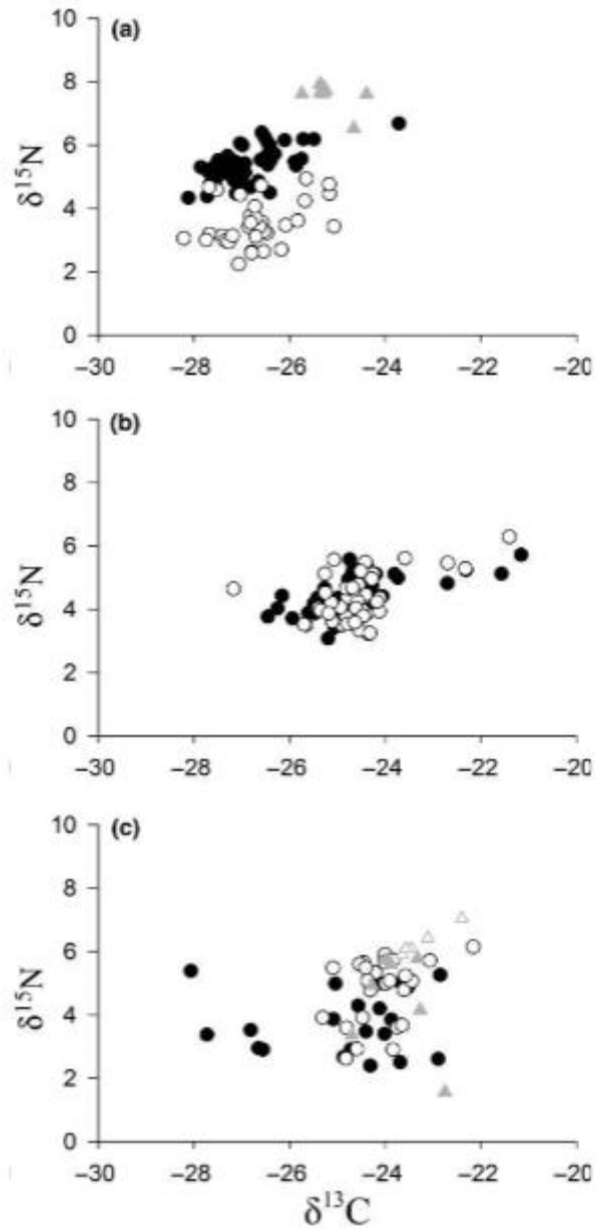
Relative variable importance (W_i) ^a		Ψ estimates (SE) for models in $\Delta QAICc < 4$ range							
Variable	W_i	Mod.	Intercept	β BRUSH	β EDGE	β WOOD	β TREE	β ROCK	β ABIES
BRUSH	0.61								
EDGE	0.61	m1	-1.81(0.70)	1.55(0.68)	2.17(0.93)	-	-	-	-
WOOD	0.10	m2	-1.73(0.68)	1.51(0.73)	1.97(1.00)	-	0.34(0.48)	-	-
TREE	0.10	m3	-1.88(0.72)	1.46(0.69)	2.2(1.01)	0.31(0.48)	-	-	-
ROCK	0.09	m4	-1.98(0.83)	1.56(0.68)	2.59(1.33)	-	-	-0.34(0.63)	-
ABIES	0.03	m5	-1.88(0.75)	1.58(0.69)	2.25(1.00)	-	-	-	0.18(0.54)

[그림 2-4] 도출된 모델에 따른 적합성

출처: Lunphi et al. (2015)

3) 먹이자원 관련 연구

- 안정성 동위원소를 이용한 도롱뇽과 어류의 생태적 지위 분할 (Sepulveda et al., 2012)
 - 북미 지역 수계에 함께 서식하는 도롱뇽과 어류종의 생태적 지위와 종간 경쟁 가능성을 안정성 동위원소를 통해 파악
 - 대상종인 *D. atterimus*, 이와 함께 서식하는 어류는 generalist에 속하며 먹이자원을 공유하는 것으로 밝혀짐
 - 또한 이 종들은 서로 잡아먹기도 하며 먹이사슬의 균형을 유지하는 것으로 나타남

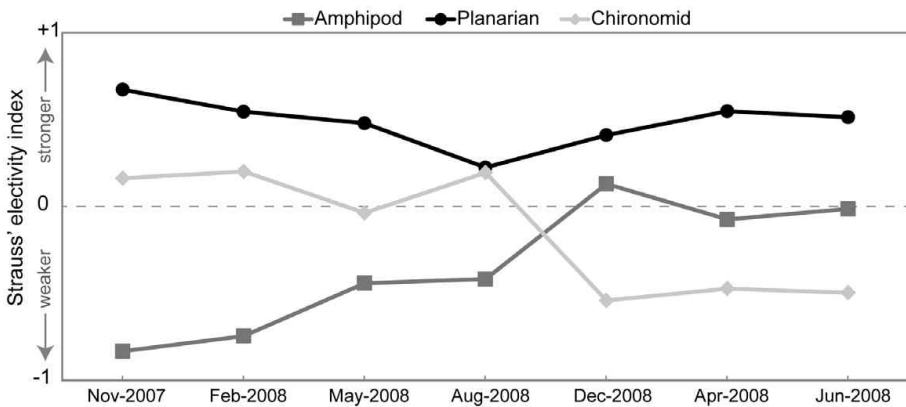


[그림 2-5] 지역 및 수심별 도롱뇽과 어류의 안정성 동위원소 비교

출처: Gillespie (2013)

○ 시간에 따른 양서류 먹이자원의 밀도 및 안정성 동위원소 변화 (Gillespie, 2013)

- 텍사스 내 멸종위기종 양서류와 먹이자원의 안정성 동위원소를 분석하고 이를 시기별로 밀도와 함께 비교하여 시기별 먹이의 기여도를 파악
- 시간적으로 먹이 선택은 변화할 수 있으며 이는 개체군 동태에도 영향을 미치게 됨
- 안정성 동위원소 분석을 이용하면 시간에 따라 변화하는 선호 먹이자원을 파악할 수 있고 이는 멸종위기종 보전 관리에 있어서 유용한 정보를 제공할 수 있을 것임



[그림 2-6] 멸종위기종 양서류의 시간별 선호 먹이의 변화

출처: Gillespie (2013)

2절. 국내 연구·관리 동향

1. 국내 유미목 양서류 현황

- 국내에서 현재 무미목 13종과 유미목 6종 등 19종의 양서류 서식이 확인됨
 - 유미목은 도롱뇽, 제주도롱뇽, 고리도롱뇽, 꼬마도롱뇽, 꼬리치레도롱뇽, 이끼도롱뇽 등
- 이 중 고리도롱뇽은 2017년도에 멸종위기야생생물Ⅱ급으로 추가 지정되었으며, 이끼도롱뇽은 관찰종으로 분류됨
 - 고리도롱뇽은 부산 기장군 일부지역에서만 제한적으로 분포함
 - 이끼도롱뇽은 대전 장태산에서 처음으로 서식이 공식 확인되어, 상징성이 크므로 대전시 깃대종으로 선정되어 보전·활용되고 있음

[표 2-1] 국내 유미목 양서류 목록 및 법정보호종 현황

		학 명	국 명	법정보호종 현황
1		<i>Hynobius leechii</i>	도롱뇽	
2		<i>Hynobius queipaertensis</i>	제주도롱뇽	
3	유미목	<i>Hynobius yangi</i>	고리도롱뇽	멸종위기야생생물Ⅱ
4		<i>Hynobius unisacculus</i>	꼬마도롱뇽	
5		<i>Onychodactylus koreanus</i>	꼬리치레도롱뇽	
6		<i>Karsenia koreana</i>	이끼도롱뇽	

출처: 한반도의 생물다양성 홈페이지(<https://species.nibr.go.kr/index.do>), 한국양서류·충류학회 홈페이지(<http://www.krsh.co.kr/rb>)

2. 유미목 양서류 연구 현황

1) 번식 생태 관련 연구

○ 고리도롱뇽의 번식 생태와 연령 구조(이정현, 2007)

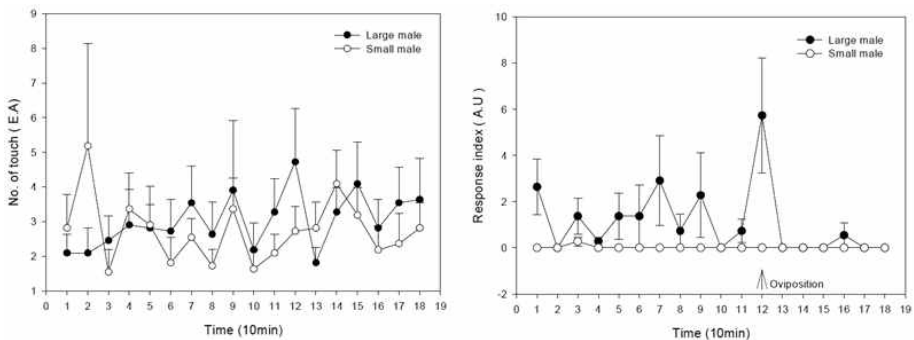
- 부산광역시 기장군 봉화산에서 원형의 모음당장과 17개의 주머니 함정을 설치하여 포획된 개체의 외형적 특성을 파악
- 수컷이 암컷에 비해 꼬리의 넓이가 넓게 나타났고, 암컷은 수컷보다 SVL이 길며 체중은 높게 나타남
- 특히, 암컷의 경우 외형적 크기가 큰 개체일수록 번식지에 먼저 나타나고, 더 오래 머무는 것으로 나타남
- 연령을 파악한 결과 3~11년생이 확인됨



[그림 2-7] 모음당장과 주머니 함정을 이용한 고리도롱뇽 포획

출처: 이정현 (2007)

- 고리도롱뇽 짝짓기 행동의 수컷 크기를 고려한 정량적 분석(박희원, 2010)
 - 고리도롱뇽 작은 수컷과 큰 수컷 각 1마리, 암컷 1마리에 대한 12개 짝짓기 행동을 경쟁, 구애, 수정행동으로 구분하여 정량 분석 실시
 - 수컷들은 암컷을 건드린 후 전 기간에 걸쳐 지속적으로 몸통 흔들기를 하였으며, 주로 땅 위에서 높은 빈도로 수행함
 - 수컷의 몸통흔들기가 개체 간 상호작용에 있어서 중요한 역할을 담당하며, 꼬리치기는 수컷사이의 경쟁 수단으로 이용됨
- 제주도롱뇽 수컷 크기에 따른 짝짓기 행동의 분석(송보배, 2011)
 - 짝짓기가 이루어진 11회의 행동을 구애, 경쟁, 수정행동으로 구분하여 정량적으로 분석함
 - 수컷들은 짝짓기 전 기간에 걸쳐 지속적으로 몸통 흔들기를 하였으며, 큰 수컷이 작은 수컷보다 더 많은 몸통 흔들기를 수행함
 - 암컷은 주로 큰 수컷에 반응하였으며, 큰 수컷이 상대적으로 더 많이 물며 몸의 부위 중 꼬리를 가장 많이 물었음



[그림 2-8] 큰 수컷과 작은 수컷의 암컷 접촉 횟수 및 암컷의 반응

출처: 송보배 (2011)

- 야외 서식지에 설치한 반자연식사육장 안에 산란한 이끼도롱뇽 알의 보고(문광연과 박대식, 2016)
 - 대전 장태산 반자연식 사육장 내에 배란한 암컷 5개체와 수컷 5개체를 넣어 바위 측면에 붙은 7개의 알을 확인함

- 알 크기는 직경 약 4.9mm 이었고, 1.7mm의 자루를 가지고 있었음
- 고리도롱뇽의 번식 이주 시기와 기후 요소와의 관계(김자경 등, 2014)
 - 부산시 기장군의 봉대산 일대에서 고리도롱뇽의 자연번식지와 인접한 대체번식지에서 5년간 번식지 출현 개체군 모니터링 및 기후정보 파악
 - 암컷은 번식 시작 전 1달 동안의 평균기온 및 평균최저기온이 수컷은 번식 전 2~4달 동안의 겨울철 평균일교차와 평균 강수량이 번식이주시기에 영향을 미침

2) 서식지 특성 연구

- 전라남도 광양 백운산에 서식하는 꼬리치레도롱뇽의 서식 환경 특성에 관한 연구(홍누리, 2017)
 - 한국 고유종인 꼬리치레도롱뇽 성체와 유생의 출현지점과 비출현지점의 서식환경 특성을 파악하고 서식 예측 모델 도출
 - 유생과 성체 모두 주간보다는 야간에 더 많이 관찰됨
 - 출현지점과 비출현지점의 환경 요인을 비교한 결과, 고도와 토양, pH 토양 수분, 육상의 돌 피도, 육상과 수변 상층부의 피도 및 수변 바위의 피도 등 7개 요인에서, 유생은 도목잔존물 부피를 포함한 8개 요인에서 유의미한 차이를 보임



[그림 2-9] 토양 수분함유량 및 수계의 pH 측정

출처: 홍누리 (2017)

- 서식지 유형별 양서류 분포 특성(김지석 등, 2015)
 - 충남 청양군 농촌지역을 대상으로 토지이용현황 및 양서류 서식 유무 확인
 - 유미목 양서류의 경우 도롱뇽과 꼬리치레도롱뇽 등 2종이 확인됨
 - 도롱뇽은 폭이 2~5m인 인공수로 및 농수로에서 가장 많은 개체가 확인되었으며, 다양한 환경에 대한 적응성이 높게 나타남

- 대전광역시외의 이끼도롱뇽 서식지 이용 특성 연구(박창득 등, 2017)
 - 대전의 주요 산림 계곡에서 총 33회의 주·야간 선형횡단조사법에 의한 조사를 수행
 - 대전 장태산과 빈계산, 갑하산 지역에 분포하는 것으로 파악되었으며, 중상층 피도량이 높고 암석피도량이 낮으며, 수계폭이 좁을 수록 출현 확률이 높게 나타남

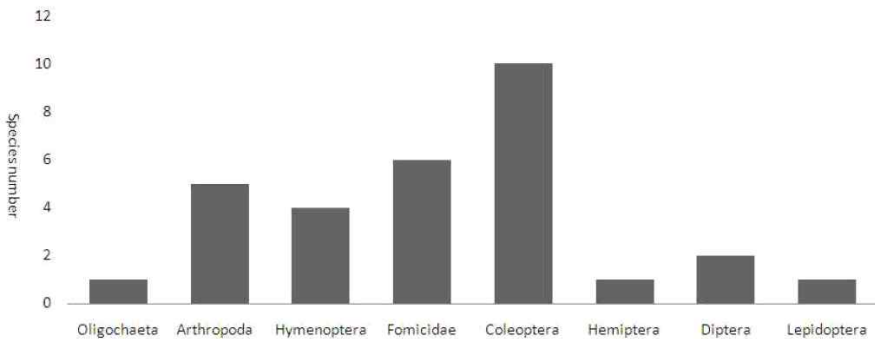


[그림 2-10] 이끼도롱뇽 출현지점(좌)과 비출현지점(우)의 환경 특성

출처: 박창득 등 (2017)

3) 유미목 양서류 먹이자원 연구

- 한국고유종 이끼도롱뇽의 해부학적 분류형질 및 식물 분석(주영돈, 2010)
 - 강원도와 충청권 내 8개의 산림 내 계곡부에서 포획한 이끼도롱뇽 총 39개체의 위 내용물 분석을 수행함
 - 총 11목 30종 208개체의 무척추동물이 분석됨
 - 벌목이 대부분을 차지하고 있었으며, 그 외에 등각류와 딱정벌레 목이 많이 나타남
 - 개미류는 전체의 70% 이상을 차지하여 가장 우점하였음

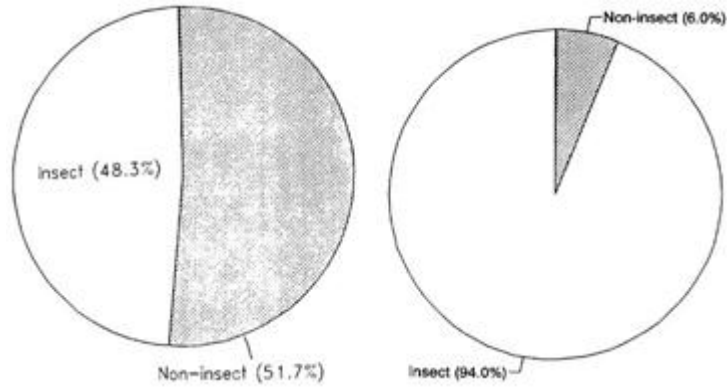


[그림 2-11] 이끼도롱뇽의 위 내용물 분석 결과

출처: 주영돈 (2010)

- 도롱뇽과 꼬리치레도롱뇽의 먹이자원 및 생활사에 관한 연구(윤일병 등, 1996)
 - 광릉과 양산, 상주, 남해에서 채집된 도롱뇽 38개체와 무주, 가평에서 채집된 꼬리치레도롱뇽 25개체를 대상으로 위 내용물 분석을 실시함
 - 분석 결과, 꼬리치레도롱뇽은 총 31종(날도래류 6종, 파리류 5종, 강도래류 4종 등), 도롱뇽은 14종(거리류 및 지렁이류 각 2종 등)이 확인됨

- 특히 도롱뇽은 꼬리치레도롱뇽에 비해 상대적으로 곤충류의 비율이 낮게 나타남



[그림 2-12] 도롱뇽(좌)과 꼬리치레도롱뇽(우)의 위 내용물 분석에 따른 먹이자원의 비율 차이

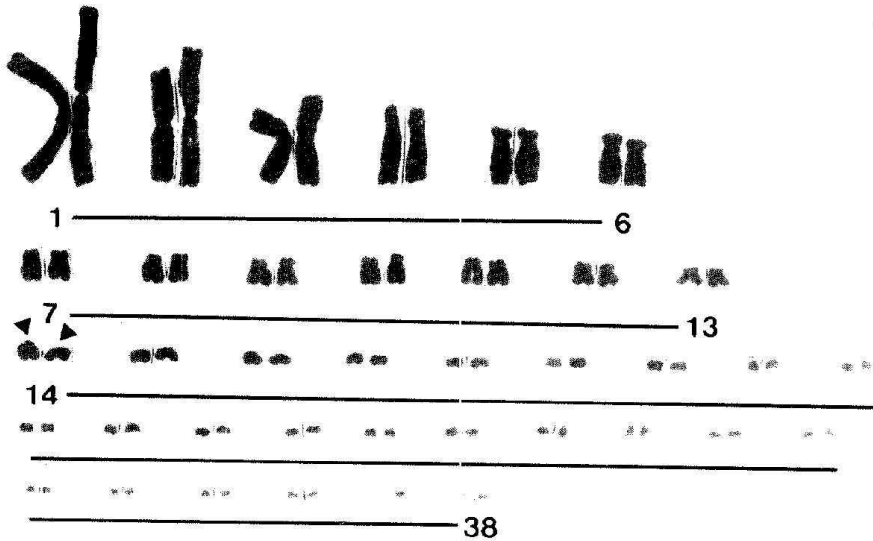
출처: 윤일병 등 (1996)

4) 유미목 양서류의 유전학적 연구

- Microsatellite loci를 이용한 한국산 꼬리치레도롱뇽 집단유전학적 분석(안정화 등, 2010)
 - 총 252개체(강원도 127개체, 전북 60개체, 경남 20개체, 충남 10개체, 충북 15개체, 경기도 20개체 등)의 꼬리치레도롱뇽을 채집 후 꼬리치레도롱뇽의 microsatellite 10개 중 4개를 선발하여 집단 유전학적 분석 수행
 - 지역별 유전적 다양성으로 파악하였으며, 집단별 locus당 대립인자의 수는 1~16개로 나타남
 - 집단간 분화정도를 파악하기 위한 F_{st} 값을 측정한 결과, 강원도 지역의 유전적 분화도가 낮게 나타남

○ 한국산 꼬리치레도롱뇽 *Onychodactylus fischeri* 의 핵형 분석(이혜영 등, 1997)

- 무주에서 채집된 꼬리치레도롱뇽 5개체의 염색체수와 NORs의 수 및 위치를 재확인하기 위해 일반 염색과 N-banding을 수행함
- 염색체수는 $2n=76$, 완수는 102로 나타났으며 크기에 따라 3개의 그룹으로 나뉨
- 핵형 분석이 가능한 1~6번 염색체 분석결과, NVC의 CV값은 0.012~0.101로 나타났으며, N-banding에 의한 꼬리치레도롱뇽의 인형성부위는 microchromosome의 1쌍에만 존재하는 것으로 나타남



[그림 2-13] 꼬리치레도롱뇽의 핵형 분석결과

출처: 이혜영 등 (1997)

5) 유미목 양서류의 개체군 동태 연구

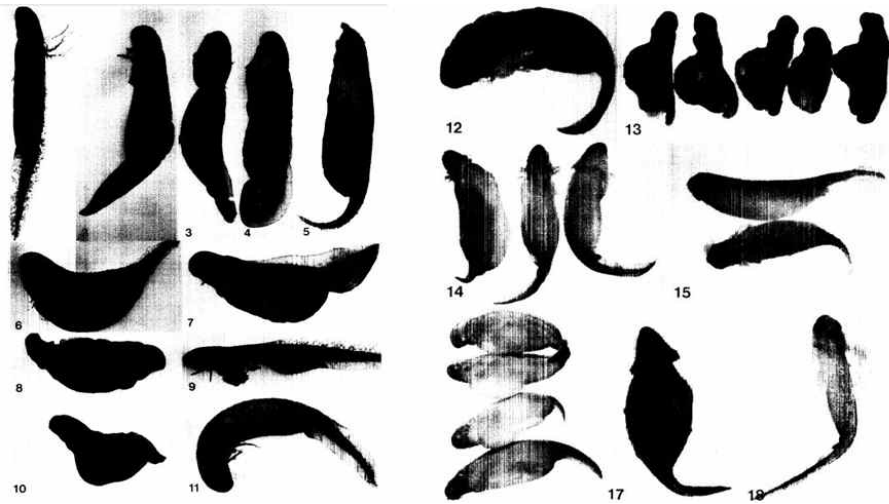
○ 계룡산국립공원 이끼도롱뇽의 개체군 동태(라남용 등, 2015)

- 동학사계곡과 화산계곡의 이끼도롱뇽 특별보호구역에 설치된 4개의 조사구에서 2013년과 2014년도 5~10월 사이에 개체군 조사를 수행함

- 1회 조사당 1개의 조사구(100m²)에서 평균 3.6-3.8마리가 확인됨
- 계절별 개체수는 봄철(5-6월)에 가장 많았고, 재포획이 일부되어 선호하는 좁은 서식지에 대한 애착정도가 높은 것으로 판단됨

6) 유미목 양서류 관련 기타 연구

- 도롱뇽의 배 발생 이상 연구(최영주 등, 2002), 도롱뇽 소송을 중심으로 한 환경법 성격 및 환경행정소송제도 관련 사회과학적 연구(강재규, 2005), 도롱뇽 위장관의 내분비세포에 관한 면역조직화학적 연구(이형식과 이재현, 1995), 도롱뇽의 항아리곰팡이병 관련 연구(전중윤 등, 2018) 등 다양한 분야에서 활용됨



[그림 2-14] 도롱뇽의 배 발생 이상에 관한 연구

출처: 최영주 등 (2002)

3절. 시사점

- 국외에서는 양서류가 환경변화에 민감하게 반응하고 생태계 내에서 중요한 역할을 담당하기 때문에 이와 관련한 다양한 연구들이 과거부터 꾸준히 수행되어 왔음
- 특히, 유미목 양서류인 도롱뇽의 경우 분포와 개체군 동태, 서식지 특성, 기후변화와 각종 개발에 따른 영향, 선호 먹이자원 등에 대한 다양한 연구가 진행되었음
- 국내의 경우, 분포와 밀도, 형태적 특성, 서식지 특성, 먹이자원 등과 관련한 일부 연구들이 이루어졌으나, 유미목 도롱뇽의 개체군 동태와 선호 서식지 특성, 안정성 동위원소 분석을 통한 먹이자원 분할 및 잠재 먹이자원 등에 대한 연구가 아직은 부족한 실정인 것으로 판단됨
- 대전의 경우 10년 단위로 수행되는 자연환경조사와 생태계변화관찰 조사, 깃대종인 이끼도롱뇽과 관련한 생태적 특성 연구가 일부 수행되었음
- 대전에 서식하는 유미목 도롱뇽의 분포와 개체군 동태, 선호 서식지 특성, 안정성동위원소 분석을 통한 먹이자원 분할 등에 대한 연구를 통해 향후 보전·활용 방안을 모색할 필요가 있음

연구 방법

1. 연구 대상지
2. 개체 확인
3. 산림환경구조·조사
4. 먹이자원 조사
5. 통계 분석

3장

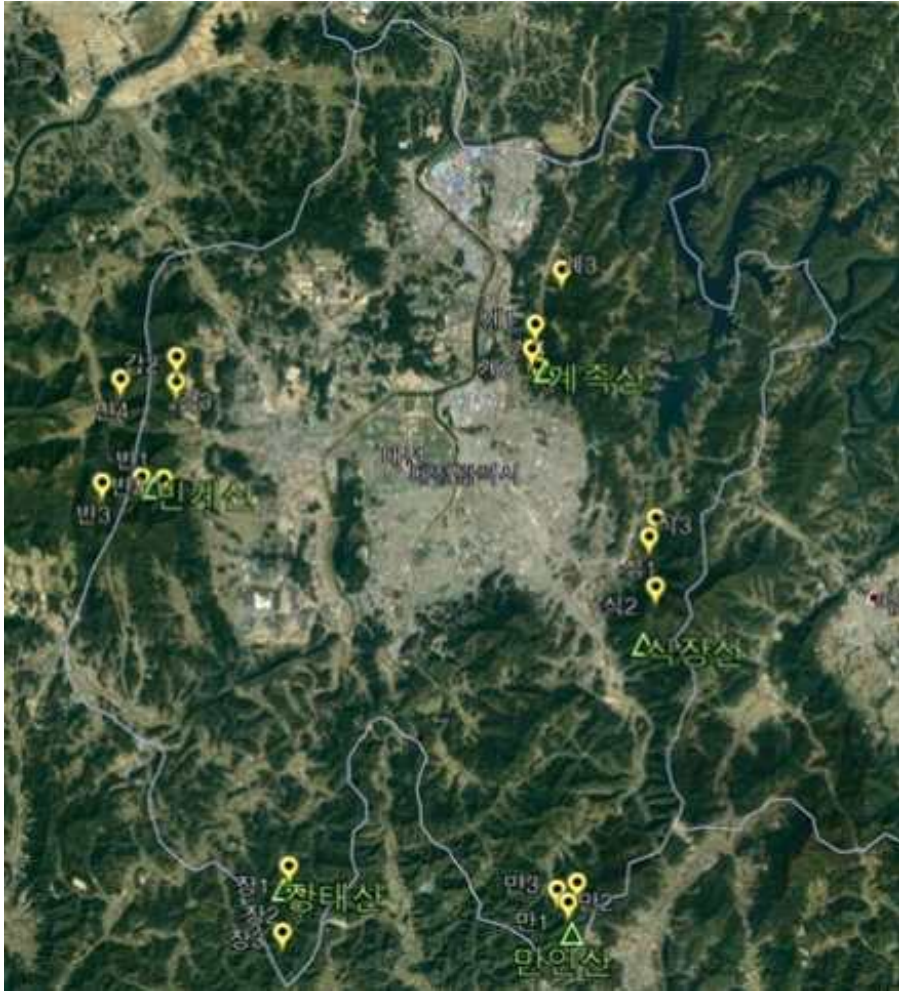
3장 연구 방법

1절. 조사 대상지

- 대전광역시에 있는 5개의 주요 산림 지역(빈계산, 장태산, 만인산, 식장산, 계족산)의 17개 지점이 대상임
- 1차년도(2017년)에 선정된 지점을 동일하게 조사함

[표 3-1] 연구 대상지의 세부 정보

번호	산	지점	주소
1	빈계산	1	대전 유성구 덕명동 산 29
2		2	대전 유성구 계산동 산 1
3		3	충남 공주시 반포면 학봉리 산 30-1
4		4	충남 공주시 반포면 온천리 산 35-12
5	장태산	1	대전 서구 장안동 990-1
6		2	대전 서구 장안동 산 31-1
7		3	대전 서구 장안동 산 25
8	만인산	1	대전 동구 하소동 산 47
9		2	대전 동구 하소동 산 47
10		3	대전 동구 하소동 산 49
11	식장산	1	대전 동구 세천동 577
12		2	대전 동구 세천동 산 43-3
13		3	대전 동구 세천동 393
14	계족산	1	대전 대덕구 연축동 산 32
15		2	대전 대덕구 읍내동 6-3
16		3	대전 대덕구 장동 산 61-2
17		4	대전 대덕구 법동 353-27



[그림 3-1] 대전의 주요 5개 산림 내 17개 조사지점의 위치



[그림 3-2] 연구 대상지 17개 조사지점 전경

2절. 개체 확인

- 17개의 지점을 2018년 3월부터 10월까지 조사함
- 지점 별로 120m의 구간을 선정하고 그 구간을 매월 주·야간 조사함
- 구간 내 수계를 기점으로 육상의 좌우 10m 범위를 선형횡단조사법 (line transect sampling)과 일정시간조사법(time-constrained survey)을 사용하여 정량적인 양서류 개체 확인
- 확인된 도롱뇽 개체는 체중을 측정



[그림 3-3] 양서류의 개체 확인과 환경 요인 측정

3절. 산림환경구조 조사

- 산림 지역에 서식하는 유미목 양서류의 특성을 고려하고 이전 연구에서 주로 이용했던 요인들을 바탕으로 산림환경구조 조사를 실시

[표 3-2] 산림환경구조 조사에 이용하는 환경 요인

요인 범주	요인 종류	설명
육상	도목잔존물	크기에 따른 개수, 부피(지름 10cm 이상)
	엽층별 피도량	높이에(>8m, 2-8m, 1-2m, <1m) 따른 피도를 %로 측정
	기질의 비율	Gravel (2-4mm), Pebble (4-64mm), Cobble (65-256mm), Boulder (>256mm) 등 4개의 범주에 대한 비율을 %로 측정
	암석 피도량	조사구 내 암석의 비율을 %로 측정
	낙엽층 두께	조사구 내 1m*1m 크기의 플롯을 지정하여 무작위로 3지점을 측정하고 그에 대한 평균값 이용
	토양 pH	20m 조사구 내 30, 50, 70% 지점에 대해 측정기(Takemura DM-5)를 이용하여 측정
	토양 상대습도	
수계	유형	Scour pool (유입과 유출이 없는 웅덩이), Seep (기질 사이로 유입과 유출이 적음), Splash zone (기질 사이로 물의 유입 유출이 많음), Riffle (급류) 등 4개의 유형
	온도	조사구 내 측정기(Lutron YK-2005WA)를 이용하여 측정
	pH	
	용존산소량	
폭	20m 조사구 내에 30, 50, 70% 지점의 폭을 측정하고 평균값 이용	

- 120m의 구간 내 10m 간격으로 조사를 실시하며 조사구의 독립성을 확보하기 위해서 조사구 간 10m의 간격을 두었음(120m 구간 내 6개의 조사구가 생기며 총 102개의 조사구를 조사함)

4절. 먹이자원 조사

1. 도롱뇽 시료 채취

- 도롱뇽이 2종 이상 중첩되어 나타나는 빈계산, 만인산, 장태산에서 시료를 채취
- 도롱뇽들이 많이 확인되는 3-5월, 9-10월에 시료를 채집하며 종 별로 20개체씩 총 60개의 시료 채취
- 개체 확인을 통해 채집된 도롱뇽의 꼬리 끝 1cm를 절개하여 시료 채취
 - 도롱뇽의 경우, 사고나 천적의 공격으로 인해 자연적으로 꼬리가 손상되는 경우가 있으며 재생을 통해 상처를 회복하기 때문에 연구 시 꼬리를 주로 사용함



[그림 3-4] 자연적으로 손상된 도롱뇽의 꼬리



[그림 3-5] 시료 채취 후 재생 중인 꼬리치레도롱뇽의 꼬리

2. 잠재 먹이자원 확인 및 시료 채취

- 도롱뇽 2종 이상이 중첩되어 나타나는 빈계산, 만인산, 장태산에서 시료를 채취
- 조사 지점 내 무작위로 50 x 50 (cm) 넓이의 plot을 3개 지정하며 기질을 확보
- 기질을 체에 거른 후 발견된 잠재 먹이자원(무척추동물)을 흡충관으로 수거하며 동정이 가능한 수준까지 진행
- 동정 과정에서 확보된 잠재 먹이자원을 강(class) 수준으로 묶어서(곤충강, 거미강, 지네강, 노래기강, 갑각강, 톡토기강, 결합강, 연체강, 빈모강 등) 시료를 정리하며 이전 자료들을 참고하여 곤충강(개미류와 그 외)과 거미강(거미목과 그 외)은 추가로 나누어서 정리(총 11개의 그룹)



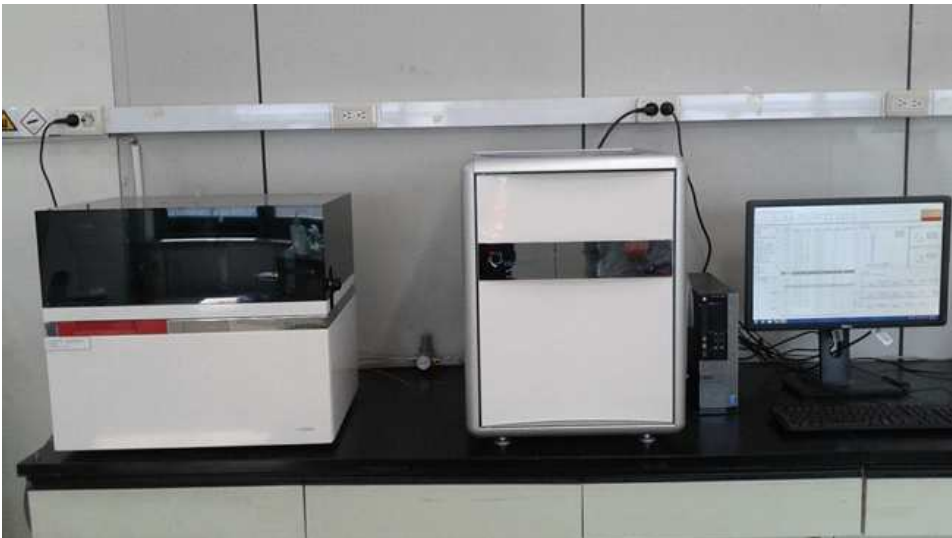
[그림 3-6] 잠재 먹이자원 확인

3. 시료 처리 및 안정성 동위원소 분석

- 시료 처리 방법
 - 증류수에 세척 후 드라이 오븐에 60℃로 4~5일 동안 건조
 - 건조된 시료를 갈아서 균질화 실시
- 안정성 동위원소 분석기(Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer System with elemental analyzer, Micromass Ltd, UK)로 분석
- 안정성 동위원소 수치 산출

$$X (\%) = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}})-1] \times 1000$$

- X: 안정성 동위원소 값
- *R_{sample}/R_{standard}*: 탄소 및 질소의 시료 및 표준물질 간의 동위원소 비



[그림 3-7] 안정성 동위원소 분석기

5절. 통계 분석

1. 개체군 동태

- 월을 독립 변수, 외부 형태형질인 체중 값을 종속 변수로 선정하여 통계 분석 실시
- 정규성 검정(Shapiro test)을 실시하여 정규분포를 따르는 경우에는 모수통계분석인 ANOVA를 이용하였으며, 정규분포를 따르지 않으면 비모수통계분석인 Kruskal-Wallis test를 이용하여 분석한 후 사후 검정을 실시하였음

2. 선호 서식지 특성

- 서식지와 비서식지의 환경 변수에 대한 독립성을 분석하기 위해 범주형 변수인 경우 Chi-square test를 이용
- 수치형 변수인 경우 정규성 검정(Shapiro test)을 거쳐 서식지와 비서식지의 환경 요인에 대해 정규분포를 따르는 경우에는 모수통계분석인 t-test를 이용하였으며, 정규분포를 따르지 않을 경우 비모수통계분석인 wilcoxon test를 이용하여 각 변수 간의 독립성을 검증함
- 서식지와 비서식지의 환경 변수 중 독립성에 대해 유의성이 없는 변수는 제거
- 독립성 검정에 유의한 환경 변수를 독립 변수, 서식 확인 여부를 종속 변수로 선정하여 회귀 분석을 실시
- 서식 확인 유무에 사용된 자료는 번식기간이 제외된 활동기간의 정보를 이용

3. 먹이자원 분석

- 도롱뇽 종과 먹이자원들을 독립 변수, 안정성 동위원소(C, N) 값을 종속 변수로 선정하여 통계 분석 실시
- 정규성 검정(Shapiro test)을 실시하여 정규분포를 따르는 경우에는 모수통계분석인 ANOVA를 이용하였으며, 정규분포를 따르지 않으면 비모수통계분석인 Kruskal-Wallis test를 이용하여 분석한 후 사후 검정을 실시하였음

4. 프로그램 이용

- 그래프의 경우 엑셀(Microsoft Excel 2016)을 활용하여 도식화하였으며, 통계 분석은 SPSS 22 (IBM, USA)로 시행하였고, 유의수준은 5%로 설정

연구 결과

1. 개체군 동태
2. 선호 서식지 특성
3. 먹이자원 분석

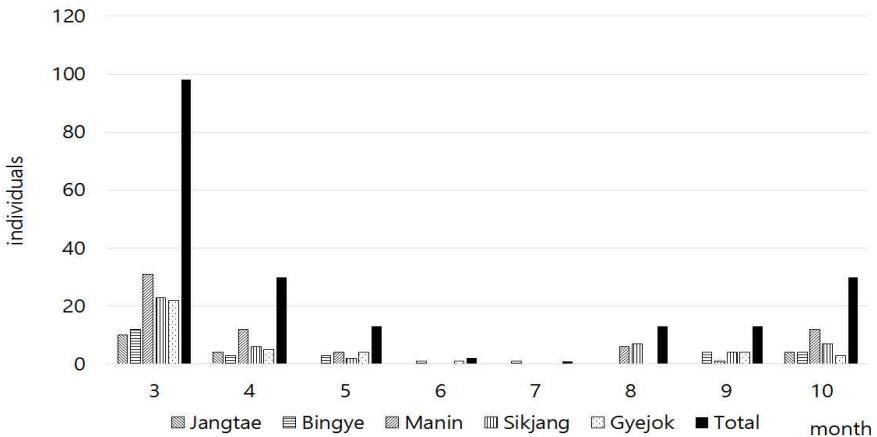
4장

4장 연구 결과

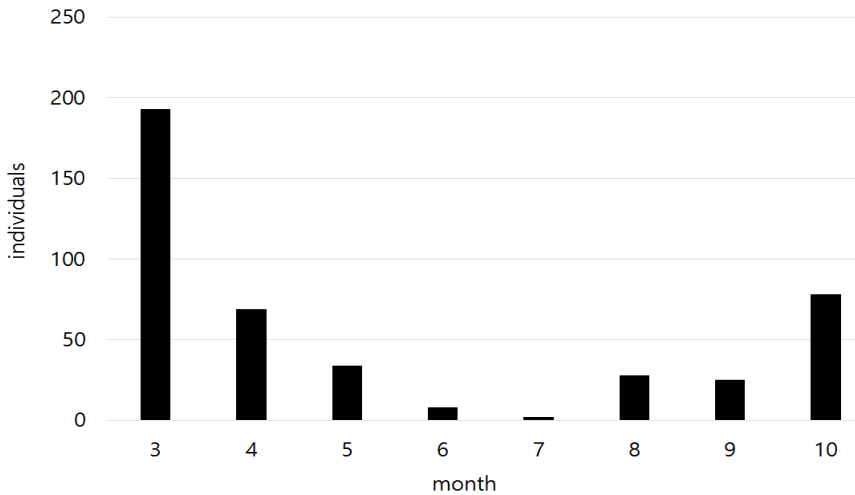
1절. 개체군 동태

1. 도롱뇽

- 3월부터 다소 많은 개체들이 확인되었으며 7월까지 활동이 서서히 감소함
 - 도롱뇽은 2-4월 동안 수계에 집단으로 번식을 하는 습성이 있기 때문에 이 기간에 많은 개체가 발견된 것으로 보임
 - 번식 이후에는 습도가 유지되는 깊은 곳으로 분산하기 때문에 번식기가 지난 이후에는 확인되는 개체가 감소하는 것으로 판단됨
- 8월부터 활동이 다소 회복되면서 10월까지 증가함
 - 가뭄과 장마가 이어지는 6-7월 동안은 거의 활동하지 않고 자연적 교란이 끝나고 서식지가 안정 및 회복되면 활동을 재개하는 것으로 보임
- 10월까지 온도가 내려가면서 활동이 다시 증가하나 11월부터는 동면에 들어가는 것으로 판단됨



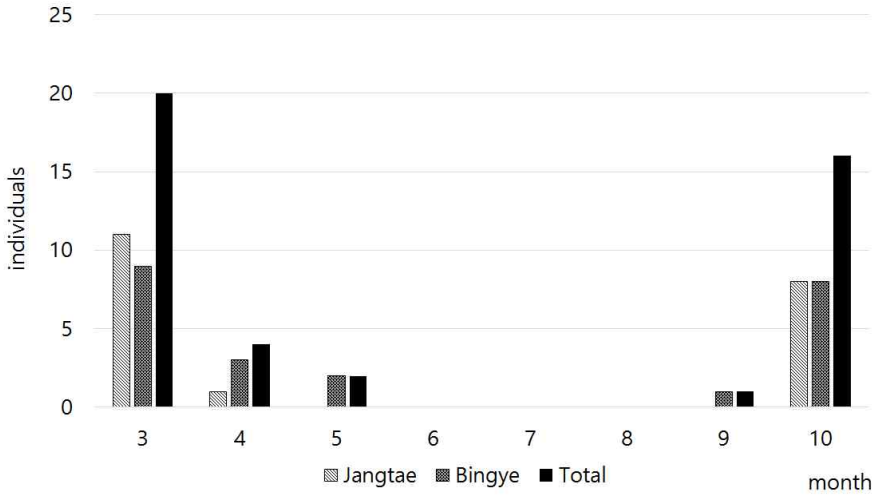
[그림 4-1] 월별 5개 산림 지역의 도롱뇽 활동 양상



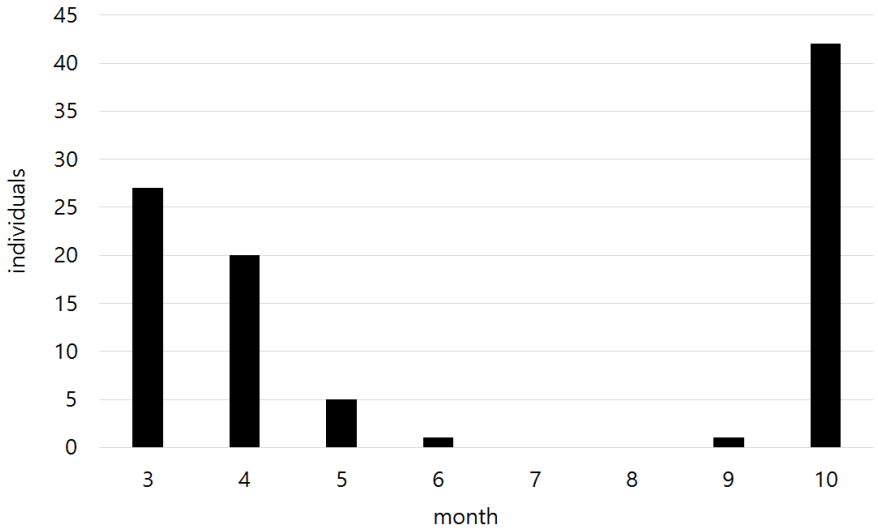
[그림 4-2] 2017-2018년 간 도롱뇽 활동 양상

2. 꼬리치레도롱뇽

- 3월부터 활동이 확인되었으며 평균 온도가 증가하는 4월부터 급격하게 활동하는 개체가 감소함
 - 5-7월 동안 꼬리치레도롱뇽은 지하수가 솟는 곳이나 기타 동굴과 같은 온도가 낮은 수계에 집단으로 번식하기 때문에 3월 이후부터 발견되는 개체가 감소하는 것으로 판단됨
- 7-8월 동안은 활동하는 개체가 발견되지 않음
 - 번식기 이후, 가뭄과 장마가 지속되기 때문에 자연적 교란이 멈추고 서식지가 회복될 때까지 활동을 진행하지 않는 것으로 보임
- 9월부터 다소 활동을 재개하며 10월까지 매우 활발하게 활동함
 - 저온을 선호하는 꼬리치레도롱뇽의 특성상 기온 및 수온이 급격하게 떨어지는 동면 전까지 활동량이 많아지는 것으로 판단됨



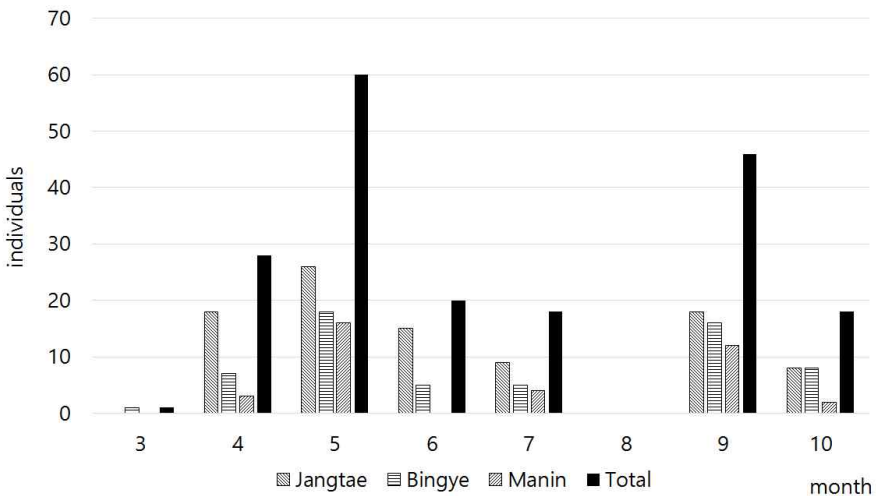
[그림 4-3] 월별 2개 산림 지역의 꼬리치레도롱뇽 활동 양상



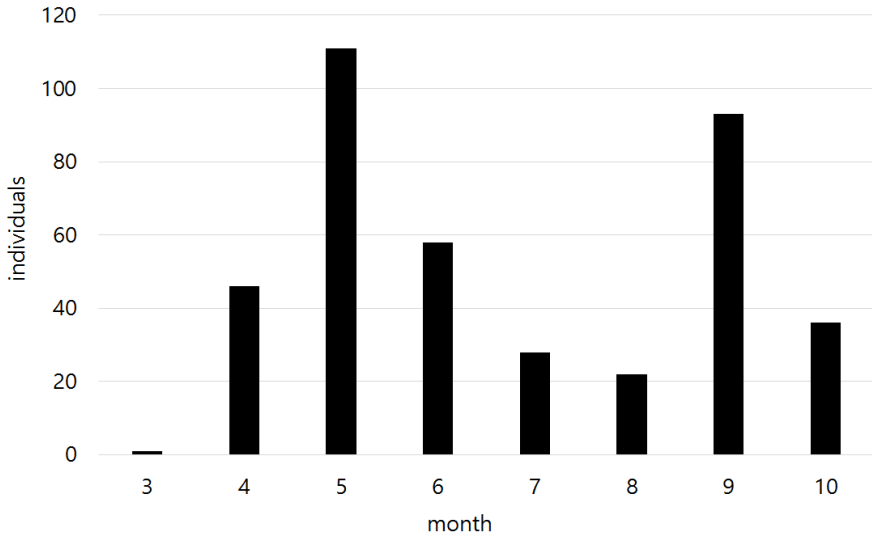
[그림 4-4] 2017-2018년 간 꼬리치레도롱뇽 활동 양상

3. 이끼도롱뇽

- 3월부터 활동을 시작하기는 하나 본격적으로 봄이 진행되는 4월부터 쉽게 발견되며 5월까지 활동하는 개체수가 꾸준히 증가
 - 온도가 상승하는 봄 기간에 개체들이 동면에서 깨어나며 이에 따라 활동하는 개체들이 쉽게 발견되는 것으로 판단됨
- 6월부터 활동이 감소하기 시작하며 8월까지 감소
 - 6월부터는 가뭄 현상으로 온도는 높고 습도는 낮은 환경이 조성되어 발견되는 개체들이 꾸준히 감소함
 - 특히 올해(2018년)의 경우 가뭄이 거듭되어 발견되는 개체가 매우 적었으며 8월의 경우에는 발견된 개체가 없었음
 - 장마 이후 자연적 교란이 중단되고 서식지가 안정될 때까지 깊은 은신처에서 지내는 것으로 보임
- 9월까지 활동이 다소 증가하고 10월부터 다시 감소
 - 자연적 교란이 멈춘 8월 이후 활동 빈도가 9월까지 다시 회복되며 10월부터 온도가 감소하면서 빈도도 다시 감소함
 - 이후 동면에 들어가는 것으로 보임



[그림 4-5] 월별 3개 산림 지역의 이끼도롱뇽 활동 양상



[그림 4-6] 2017-2018년 간 이끼도롱뇽 활동 양상

- 체중은 활동하는 기간 중 9월이 가장 높음
 - 이끼도롱뇽이 주로 활동하는 4-10월 중에서 체중은 9월이 가장 높은 것으로 나타남
 - 특히 9월의 개체군 평균 체중은 5-7월의 체중과 유의한 차이를 보임
 - 이를 통해 자연적 교란인 가뭄이나 장마 기간 동안 은신처에서 숨어 지내면서 알을 준비하고 서식지의 안정화가 끝나면 활동을 재개하며 산란을 준비할 가능성이 있음
 - 9-10월에 확인된 개체들 중에는 배에 알을 가진 개체도 다소 확인됨

[표 4-1] 이끼도롱뇽의 월별 체중 차이

월	N	평균±표준편차
4	42	1.7471±0.52236
5	101	1.5712±0.62639 ^{b*}
6	46	1.6057±0.70801 ^{b*}
7	20	1.5105±0.67153 ^{b*}
8	10	1.9067±1.16490
9	77	2.1292±1.10443 ^{a*}
10	35	1.9029±0.60675
F		4.707
P		0.00 ^{**}

* a > b

** p < 0.001



[그림 4-7] 알을 가진 이끼도롱뇽

2절. 선호 서식지 특성

1. 도롱뇽

- 조사 환경 변수에 대한 정규성 검정을 실시한 결과, 대부분 정규성을 띠지 않아 비모수 검정에 의해 독립성 검정과 요인 제거를 진행하였음
- 연구 지점에서 도롱뇽의 서식이 확인된 지점은 78개, 확인되지 않은 지점은 24개임
- 도롱뇽의 서식/비서식지 환경은 육상의 경우, 암석피도량과 암석피도(G), 토양의 상대습도가 차이를 보이는 것으로 분석됨
- 수계환경의 변수는 수계 유형과 DO가 도롱뇽의 서식/비서식지 환경간 차이를 보이는 것으로 분석됨
- 육상 환경 변수 중에서는 암석피도량이 도롱뇽의 선호 서식 환경에 있어서 유의한 영향을 주는 변수인 것으로 분석됨
- 수계 환경 변수 중에서는 수계 유형이 도롱뇽의 선호 서식 환경에 있어서 유의한 영향을 주는 변수인 것으로 분석됨

[표 4-2] 도롱뇽의 서식/비서식지 환경의 독립성 검정 결과

환경 변수 (n=102)		N	평균±표준편차
육상	상층피도량	scale 0-3	0.722
	중상층피도량	scale 0-3	0.687
	중층피도량	scale 0-3	0.159
	하층피도량	scale 0-3	0.719
	수목잔존물(소)	개	0.262
	수목잔존물(중)	개	0.440
	수목잔존물(대)	개	0.528
	수목잔존물(부피)	m ²	0.337
	암석피도량	scale 0-3	0.027*
	암석피도(G)	%	0.022*
	암석피도(P)	%	0.450
	암석피도(C)	%	0.673
	암석피도(B)	%	0.204
	토양 상대습도	%	0.039*
	토양 pH	-	0.310
	낙엽두께	cm	0.553
수계	수계 유형	scale 0-3	0.000*
	수온	℃	0.078
	물 pH	-	0.143
	DO	-	0.014*
	수계폭	cm	0.608

*: 0.05 > p

[표 4-3] 도롱뇽의 선호 서식 환경에 대한 회귀분석 결과

환경 변수		B (SE)	Wald's statistics	P
육상	암석피도량	0.987(0.451)	4.793	0.029*
	암석피도(G)	-0.036(0.103)	0.125	0.724
	토양 상대습도	0.427(0.721)	0.350	0.554
수계	수계 유형	3.191(1.076)	8.799	0.003*
	DO	-0.021(0.012)	3.120	0.077

*: 0.05 > p

2. 꼬리치레도롱뇽

- 모든 조사 지점에서 꼬리치레도롱뇽의 서식확인 지점은 30개였으며, 확인되지 않은 지점은 72개로 나타남
- 꼬리치레도롱뇽의 서식/비서식지 환경은 육상의 경우, 중·하층피도량과 수목잔존물(소), 암석피도량과 암석피도(G), 토양 상대습도가 차이를 보이는 것으로 분석됨
- 수계환경 변수는 수계 유형과 DO, 수계폭이 꼬리치레도롱뇽의 서식/비서식지 환경에서 차이를 보이는 것으로 분석됨
- 육상 환경 변수 중에서는 중층피도량과 암석피도(G)이 꼬리치레도롱뇽의 서식에 있어서 유의한 영향을 주는 변수인 것으로 분석됨
- 수계 환경 변수 중에서는 수계 유형이 꼬리치레도롱뇽의 서식에 있어서 유의한 영향을 주는 변수인 것으로 분석됨

[표 4-4] 꼬리치레도롱뇽의 서식/비서식지 환경의 독립성 검정 결과

환경 변수 (n=102)		N	평균±표준편차
육상	상층피도량	scale 0-3	0.616
	중상층피도량	scale 0-3	0.096
	중층피도량	scale 0-3	0.000*
	하층피도량	scale 0-3	0.002*
	수목잔존물(소)	개	0.001*
	수목잔존물(중)	개	0.156
	수목잔존물(대)	개	0.402
	수목잔존물(부피)	m ²	0.560
	암석피도량	scale 0-3	0.025*
	암석피도(G)	%	0.003*
	암석피도(P)	%	0.278
	암석피도(C)	%	0.736
	암석피도(B)	%	0.119
	토양 상대습도	%	0.000*
	토양 pH	-	0.096
낙엽두께	cm	0.591	
수계	수계 유형	scale 0-3	0.000*
	수온	℃	0.078
	물 pH	-	0.067
	DO	-	0.000*
	수계폭	cm	0.026*

*: 0.05 > p

[표 4-5] 꼬리치레도롱뇽의 선호 서식 환경에 대한 회귀분석 결과

환경 변수		B (SE)	Wald's statistics	P
육상	중층피도량	2.120(0.886)	5.721	0.017*
	하층피도량	-0.203(0.689)	0.087	0.768
	수목잔존물(소)	0.516(0.922)	0.314	0.575
	암석피도량	0.047(0.125)	0.142	0.706
	암석피도(G)	-0.127(0.062)	4.155	0.042*
	토양 상대습도	2.620(1.826)	2.060	0.151
수계	수계 유형	3.503(0.910)	14.800	0.000*
	DO	-0.024(0.029)	0.696	0.404
	수계폭	-0.005(0.004)	1.671	0.196

*: 0.05 > p

3. 이끼도롱뇽의 선호 서식 환경

- 전체 조사 지점에서 이끼도롱뇽의 서식이 확인된 지점은 42개였으며, 확인되지 않은 지점은 60개로 나타남
- 이끼도롱뇽의 서식/비서식지 환경은 육상의 경우, 상층피도량을 제외하고, 엽층별 피도량과 수목잔존물(소, 중), 암석피도량과 암석피도(G, C, B), 토양 상대습도와 낙엽두께가 모두 차이를 보이는 것으로 분석됨
- 수계 환경 변수는 수계 유형과 DO, 수계폭이 이끼도롱뇽의 서식/비서식지 환경에서 차이를 보이는 것으로 분석됨
- 육상 환경 변수 중에서는 중상층피도량과 수목잔존물(중), 토양 상대습도가 이끼도롱뇽의 서식에 유의한 영향을 주는 변수인 것으로 분석됨
- 수계 환경 변수 중에서는 수계폭이 이끼도롱뇽의 서식 환경에 유의한 영향을 주는 변수인 것으로 분석됨

[표 4-6] 이끼도롱뇽의 서식/비서식지 환경의 독립성 검정 결과

환경 변수 (n=102)		N	평균±표준편차
육상	상층피도랑	scale 0-3	0.072
	중상층피도랑	scale 0-3	0.040*
	중층피도랑	scale 0-3	0.001*
	하층피도랑	scale 0-3	0.002*
	수목잔존물(소)	개	0.000*
	수목잔존물(중)	개	0.000*
	수목잔존물(대)	개	0.603
	수목잔존물(부피)	m ³	0.745
	암석피도랑	scale 0-3	0.011*
	암석피도(G)	%	0.000*
	암석피도(P)	%	0.321
	암석피도(C)	%	0.023*
	암석피도(B)	%	0.008*
	토양 상대습도	%	0.001*
	수계	토양 pH	-
낙엽두께		cm	0.031*
수계 유형		scale 0-3	0.000*
수온		℃	0.286
물 pH		-	0.881
DO		-	0.000*
수계폭		cm	0.000*

*: 0.05 > p

[표 4-7] 이끼도롱뇽의 서식/비서식지 환경의 독립성 검정 결과

환경 변수	B (SE)	Wald's statistics	P	
육상	중상층피도랑	-2.215(1.063)	4.337	0.037*
	중층피도랑	-0.635(1.530)	0.172	0.678
	하층피도랑	-0.050(1.060)	0.002	0.963
	수목잔존물(소)	2.981(2.075)	2.065	0.151
	수목잔존물(중)	1.022(0.517)	3.909	0.048*
	암석피도랑	0.587(0.361)	2.638	0.104
	암석피도(G)	-0.305(0.161)	3.587	0.058
	암석피도(C)	0.183(0.143)	1.627	0.202
	암석피도(B)	0.028(0.092)	0.091	0.763
	토양 상대습도	14.775(6.919)	4.561	0.033*
	낙엽두께	0.089(0.046)	3.686	0.055
수계	수계 유형	0.585(0.922)	0.403	0.526
	DO	0.071(0.052)	1.848	0.174
	수계폭	-0.040(0.016)	6.522	0.011*

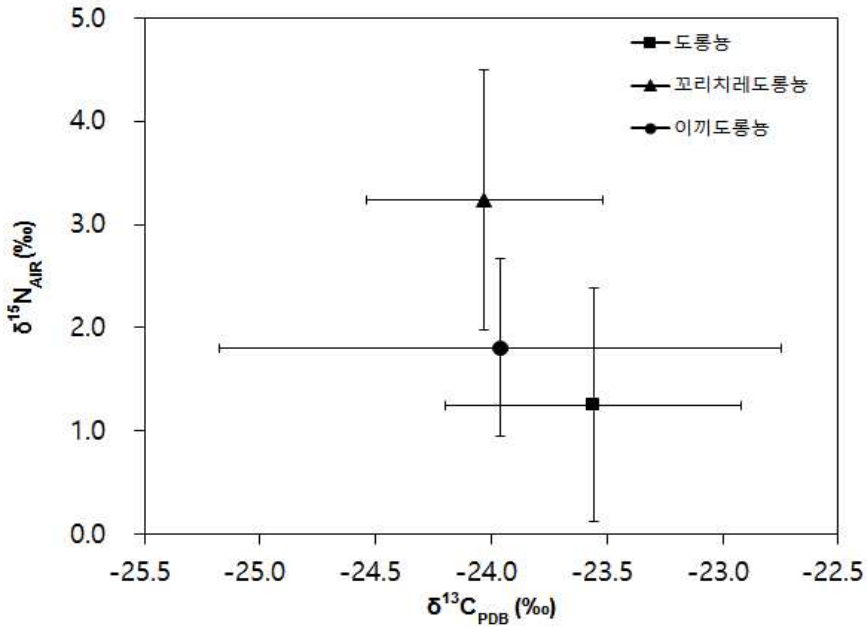
*: 0.05 > p

3절. 먹이자원 분석

1. 도롱뇽 종 간 비교

- 도롱뇽 3종에 대한 탄소 안정성 동위원소 값
 - 탄소 안정성 동위원소는 먹이자원의 기원을 나타내며 평균이 도롱뇽, 이끼도롱뇽, 꼬리치레도롱뇽 순으로 낮아짐
 - 이끼도롱뇽이 가장 다양한 먹이자원을 이용한 것으로 파악되며 꼬리치레도롱뇽과 도롱뇽의 먹이자원 이용 범위는 비슷한 것으로 나타남
 - 종 간 이용하는 먹이자원의 범위가 중첩되는 부분이 많아 먹이자원을 일부 공유하는 것으로 판단됨
 - 종 간 평균값의 차이가 있으나 범위가 중첩되는 부분이 다소 있기 때문에 유의한 차이는 없을 것으로 보임

- 도롱뇽 3종에 대한 질소 안정성 동위원소 값
 - 질소 안정성 동위원소는 먹이의 영양 단계를 반영하며 평균이 꼬리치레도롱뇽, 이끼도롱뇽, 도롱뇽 순으로 낮아짐
 - 서식지 내 영양 단계는 꼬리치레도롱뇽이 가장 높고 다음이 이끼도롱뇽이며 도롱뇽이 가장 낮은 것으로 나타남
 - 이끼도롱뇽과 도롱뇽의 경우, 평균값 차이도 적고 질소 안정성 동위원소 값의 범위가 중첩되는 부분이 많기 때문에 다소 비슷한 영양 단계에 있는 것으로 보이며 꼬리치레도롱뇽은 두 종과는 다른 단계에 있는 것으로 보임



[그림 4-8] 도롱뇽 3종에 대한 안정성 동위원소 분석 결과

○ 도롱뇽 3종에 대한 안정성 동위원소 값의 비교

- 탄소 안정성 동위원소 값의 경우 3종(도롱뇽, 꼬리치레도롱뇽, 이끼도롱뇽) 간 유의한 차이가 없음
- 질소의 안정성 동위원소 값은 3종(도롱뇽, 꼬리치레도롱뇽, 이끼도롱뇽) 간 유의한 차이가 있었고 사후 검정을 실시한 결과, 도롱뇽과 이끼도롱뇽은 꼬리치레도롱뇽과는 다른 영양 단계에 있는 것으로 나타남

[표 4-8] 도롱뇽 3종에 대한 안정성 동위원소 분석 결과

변수 (안정성 동위원소 값)	평균±표준편차			F	P
	도롱뇽 (n=20)	꼬리치레 도롱뇽 (n=20)	이끼도롱뇽 (n=20)		
C	-23.6±0.6	-24±0.5	-24±1.2	1.815	0.172
N	1.3±1.1 ^{b*}	3.2±1.3 ^{a*}	1.8±0.9 ^{b*}	17.576	0.00 ^{**}

* a > b

** p < 0.001

2. 잠재 먹이자원 종류

○ 전체 결과

- 곤충강, 거미강, 툯토키강, 갑각강, 노래기강, 지네강, 절합강, 연체강, 빈모강 등 9개의 강이 확인됨
- 빈계산에서는 연체강이 확인되지 않아 8개의 강이, 나머지 만인산, 장태산에서는 9개의 강이 모두 확인됨

○ 곤충강

- 벌목에 개미과, 집게벌레목에 집게벌레과가 발견됨
- 노린재목에 별노린재과, 머리목노린재과, 긴노린재과, 썩기노린재과, 땅노린재과 등 5개의 과가 발견됨
- 딱정벌레목에 반날개과, 딱정벌레과, 알버섯벌레과, 방아벌레과, 무당벌레붙이과, 바구미과, 거저리과, 검정풍뎡이과 등 8개의 과가 발견됨

○ 거미강

- 거미목에 풀거미과, 굴뚝거미과, 접시거미과, 늑대거미과, 꼬마거미과, 외줄거미과, 잔나비거미과 등 7개의 과가 발견됨
- 그 외 응애목과 의갈목이 발견됨

○ 툯토키강

- 툯토키목에 가시툯토키과, 털보툯토키과, 흑무늬툯토키과, 마디툯토키과, 둥근툯토키과 등 5개의 과가 발견됨

○ 갑각강

- 등각목에 갯강구과가 발견됨

○ 노래기강

- 띠노래기목에 띠노래기과가 발견됨

- 각시노래기목에 갈퀴노래기과가 발견됨

- 가시노래기목에 털노래기과가 발견됨

○ 지네강

- 돌지네목에 돌지네과가 발견됨

○ 기타

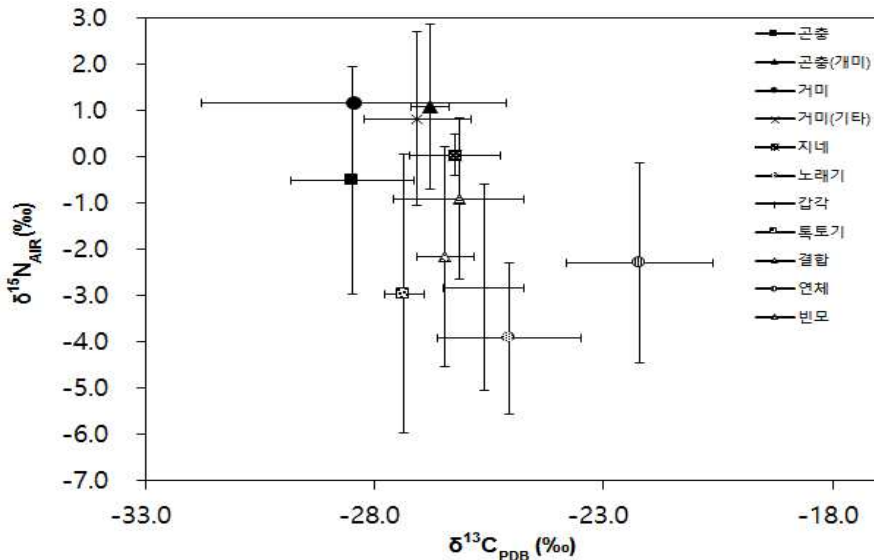
- 결합강, 연체강, 빈모강은 하위 분류단계로 동정되지 않음

[표 4-9] 지역 및 지점별 확인된 잠재 먹이자원

분류		만인산			장태산			빈계산		
강	목	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
곤충강	별목	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	노린재목	+		+	+	+	+	+		+
	딱정벌레목	+	+		+	+	+	+	+	+
	집게벌레목			+			+		+	
거미강	거미목	+	+	+		+		+	+	+
	응애목			+		+	+	+		
	의갈목		+				+			
톡토기강	톡토기목	+	+	+	+	+	+	+	+	
갑각강	등각목	+	+	+	+	+	+	+	+	
노래기강	띠노래기목	+					+	+		
	각시노래기목		+			+			+	
	가시노래기목				+		+			+
지네강	돌지네목	+	+	+	+	+	+	+	+	
결합강			+			+		+	+	
연체강			+	+			+			
빈모강		+	+		+	+	+		+	+

3. 잠재 먹이자원 간 비교

- 잠재 먹이자원에 대한 탄소 안정성 동위원소 값의 양상
 - 평균이 연체강, 노래기강, 결합강, 지네강, 빈모강, 곤충강(개미), 거미강(거미목 외), 톱토기강, 곤충강 및 거미강 순으로 낮아짐
 - 곤충강은 다양한 종이 포함되어 가장 광범위하게 나타났음
 - 연체강을 제외하고는 대부분의 그룹이 중첩되기 때문에 그룹 간 유의한 차이는 적을 것으로 보임
- 잠재 먹이자원에 대한 질소 안정성 동위원소 값의 양상
 - 평균이 거미강, 곤충강(개미), 거미강(기타), 지네강, 곤충강, 결합강, 빈모강, 연체강, 톱토기강, 노래기강 순으로 낮아짐
 - 일반적으로 알려져 있는 먹이사슬 순으로 영양 단계가 나타난 것으로 분석됨
 - 각 그룹 내에 표준편차가 큰 편이라 그룹 간 유의한 차이는 적을 것으로 판단됨



[그림 4-9] 잠재 먹이자원 간 안정성 동위원소 분석 결과

[표 4-10] 잠재 먹이자원에 대한 안정성 동위원소 값의 평균 비교 결과

변수 (안정성 동위원소 값) 및 분류군		C	N
평균 ± 표준편차	곤충강	-28.5±1.3	-0.5±2.5
	곤충강(개미)	-26.8±0.4	1.1±1.8
	거미강	-28.5±3.33	1.2±0.8
	거미강(기타)	-27.1±1.2	0.8±1.9
	지네강	-26.2±0.4	0.04±0.5
	노래기강	-25.1±1.6	-3.9±1.6
	갑각강	-25.6±0.9	-2.8±2.2
	톡토기강	-27.4±0.4	-3±3
	결합강	-26.2±1.4	-0.9±1.7
	연체강	-22.2±1.6	-2.3±2.2
	빈모강	-26.5±0.6	-2.2±2.4
F	3.508	2.414	
P	0.007	0.043	

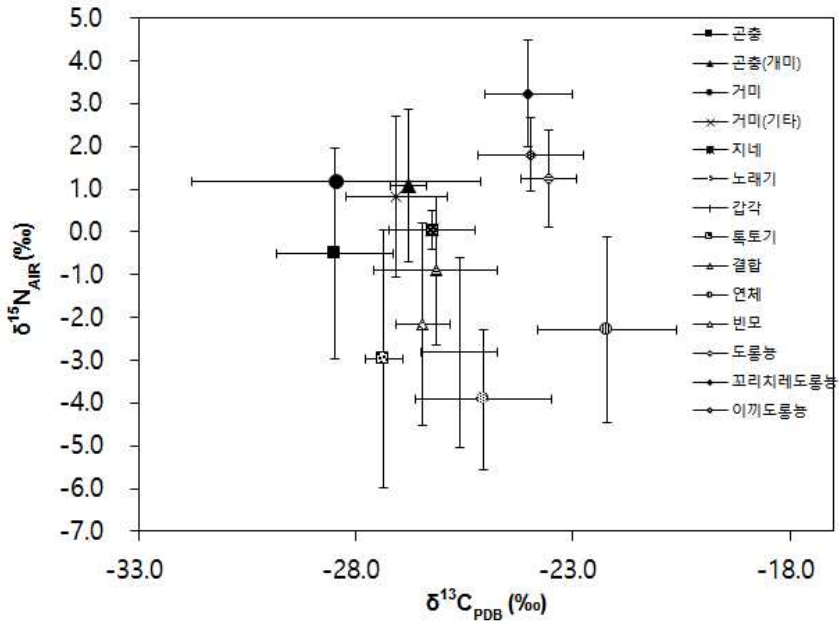
* p < 0.001

○ 잠재 먹이자원에 대한 안정성 동위원소 값의 평균 비교 결과

- 탄소 및 질소 안정성 동위원소 값 모두 분류군 간 유의한 차이가 약하게 나타남
- 사후 검정 결과, 유의 수준 하에서 분류군끼리 두드러진 차이는 발견되지 않음

4. 도롱뇽과 잠재 먹이자원 간 비교

- 도롱뇽 3종과 잠재 먹이자원 간 탄소 안정성 동위원소 값의 비교
 - 잠재 먹이자원 중에 연체강, 곤충강, 결합강, 노래기강 등을 주로 이용하는 것으로 나타났음
 - 상대적으로 적당한 크기와 사냥하기 쉬운(또한 위협적이지 않은) 분류군을 이용하는 것으로 판단됨
 - 각 도롱뇽에 대한 먹이자원들의 성장 및 건강도 등 기여도에 대한 정보가 있다면 먹이 이용의 효율성이나 선호도 등의 정보를 반영할 수 있기 때문에 더욱 더 분명한 결과를 도출할 수 있을 것으로 보임
 - 이끼도롱뇽의 경우, 이전 연구결과와는 다르게 개미류 보다는 다른 곤충이나 기타 무척추동물을 먹는 것으로 나타남
- 도롱뇽 3종과 잠재 먹이자원 간 질소 안정성 동위원소 값의 비교
 - 전반적으로 먹이자원보다 도롱뇽들의 영양 단계가 높은 것으로 나타남
 - 이는 곧 대부분의 무척추동물을 도롱뇽이 먹이로 이용할 수 있는 가능성이 있다는 것을 의미함
 - 그러나 도롱뇽의 경우 거미나 개미와 같은 먹이자원 내에서도 먹이사슬 내 다소 상위에 있는 분류군과는 영양 단계가 비슷한 것으로 나타남



[그림 4-10] 도롱뇽과 잠재 먹이자원 간 안정성 동위원소 분석 결과

결론 및 정책제언

1. 결 론
2. 정책제언

5장

5장 결론 및 정책제언

1절. 결 론

1. 개체군 동태

○ 도롱뇽

- 동면에서 깨어나며 번식이 시작되는 3월에 활동이 가장 활발하며 6월 까지 점진적으로 활동량이 감소함
- 7-8월까지 가뭄 및 장마 기간 동안 가장 활동량이 낮다가 서식지가 안정화된 9월부터 활동이 재개
- 10월까지 다시 증가하다 월동에 들어감

○ 꼬리치레도롱뇽

- 기온이 다소 낮은 3월에 동면에서 깨어나며 활발하게 활동하다 4월부터 6월까지 급격하게 활동량이 감소
- 5-7월은 번식기이며 7-8월까지 가뭄 및 장마 기간 등 자연적 교란이 끝나고 서식지가 안정화되면 활동 재개
- 10월까지 활동이 상당히 회복되다 월동에 들어감

○ 이끼도롱뇽

- 본격적인 봄이 시작되는 4월부터 주로 동면에서 깨어나며 5월까지 점진적으로 활발하게 활동하다 6-8월까지 활동량이 꾸준히 감소함
- 서식지 안정화 이후 9월부터 활동량이 현저하게 회복되고 가을로 접어들며 기온이 떨어지는 10월부터 다시 감소하다 월동에 들어감

- 자연적 교란이 진행되는 시기가 지나고 활동이 재개되는 9-10월이 다른 시기보다 두드러지게 체중이 많이 나가며 알을 가진 개체를 확인할 수 있기 때문에 이 시기에 알을 가지며 차후에 산란을 하는 것으로 보임

2. 선호 서식지 특성

- 도롱뇽은 암석의 피도가 높아 밑에서 은신할 수 있고 물의 유입이 상대적으로 정체된 곳보다는 있는 곳을 서식지로써 선호하는 것으로 보임
- 꼬리치레도롱뇽은 엽층별 피도 중 중층(1-2m)의 피도가 풍부하여 그들이 다소 낮게 지고 2-4mm의 기질이 다소 적으며, 물의 유입이 활발하여 유속이 빠른 곳을 선호하는 것으로 분석됨
- 이끼도롱뇽은 엽층별 피도 중 중상층(2-8m)의 피도가 다소 적고 은신처로써 활용 가능한 중간 크기의 수목잔존물(지름이 5-10cm)이 많으며, 토양 상대습도가 다소 높고 수계 폭이 비교적 좁은 곳을 선호하는 것으로 판단됨

3. 먹이자원 분석

- 도롱뇽 3종 간 비교
 - 이끼도롱뇽이 가장 다양한 먹이를 이용하며 꼬리치레도롱뇽과 도롱뇽은 먹이 이용 범위가 비슷함
 - 종 간 먹이자원은 공유될 것으로 추정되며 이용되는 먹이의 종류가 현저하게 차이가 나지는 않을 것으로 판단됨
 - 영양 단계는 꼬리치레도롱뇽, 이끼도롱뇽, 도롱뇽 순으로 나타나며 특히 꼬리치레도롱뇽은 이끼도롱뇽 및 도롱뇽과 유의한 차이가 있음

○ 잠재 먹이자원 간 비교

- 곤충강이 종이 다양한 관계로 기원이 가장 광범위하게 나타났으며 대부분의 그룹이 중첩되기 때문에 그룹 간 큰 차이는 없을 것으로 보임
- 일반적인 먹이 사슬 순으로 영양 단계가 나타났으며 그룹 간 현저한 차이는 적을 것으로 판단됨

○ 도롱뇽 3종과 잠재 먹이자원 간 비교

- 삼키기 적당한 크기와 사냥이 용이한 연체강, 곤충강, 결합강, 노래기강 등을 주로 먹이로 이용하는 것으로 나타남
- 잠재 먹이자원보다는 도롱뇽 3종의 영양 단계가 일반적으로 높으나 도롱뇽의 경우, 잠재 먹이자원 내에서 상위 영양단계에 속하는 거미나 곤충과 크게 차이가 나지 않기 때문에 서로가 천적이 될 수 있음

2절. 정책제언

1. 대전 산림 내 계곡의 유미목 양서류 보전 방안

1) 유미목 양서류의 정기 모니터링 수행

- 현재 매 10년마다 대전광역시 자연환경조사를 수행하고 있음
 - 1차: 2002-2004, 2차: 2012-2014
- 또한, 멸종위기야생생물이나 대전광역시 깃대종의 주요 서식지를 대상으로 매년 생태계 변화관찰 모니터링을 수행하고 있음
 - 2017년: 계족산, 장태산, 유등천, 추동습지
 - 2018년: 금수봉, 보문산, 식장산, 갑천
- 2019년부터 도시생태현황도 구축이 의무화됨에 따라 5년 단위로 생물상 조사 및 비오톱지도 구축·갱신이 이루어질 계획임
- 현재 수행되는 조사·연구 자료를 바탕으로 유미목 양서류의 분포 및 밀도의 변화 양상과 원인 구명을 지속적으로 파악해야 함
 - 이를 통해, 향후 보전 계획 수립을 검토할 필요가 있음



[그림 5-1] 대전시 깃대종(하늘다람쥐, 이끼도롱뇽, 감돌고기)

2) 소규모 개발사업의 환경영향평가 시행

- 『환경영향평가법 시행령』의 ‘별표3 환경영향평가 대상사업의 구체적인 종류, 범위 및 협의 요청시기(제31조제2항 및 제47조제2항 관련)’와 『대전광역시 환경영향평가 조례』의 ‘별표1 대상사업의 범위’에서 환경영향평가 시행 범위에 대해 제시
- 환경영향평가 범위에 들어가지 않는 소규모 개발사업의 경우, 개발사업 시행이 용이하여, 사전에 야생생물의 서식지 보전방안을 마련할 제도적 장치가 미흡한 실정임
 - 특히, 상대적으로 분포 및 생태적 특성과 관련한 조사·연구가 미흡하고 행동권이 좁아 절종의 위험이 높은 유미목 양서류의 경우 소규모 개발 사업에 노출될 가능성이 높음
 - 2014년도 장태산의 이끼도롱뇽 서식지가 사방댐 공사로 인해 피해를 입은 사례가 있음
- 따라서 환경영향평가를 수행하지 않는 소규모 개발계획에 대해서도 지자체 차원의 제도적 장치를 구축할 필요가 있음
 - 현재 소규모 개발계획 추진 시 ‘생태영향검토제’운영 방안을 검토 중에 있음



[그림 5-2] 사방댐 사업에 따른 이끼도롱뇽 서식지 훼손 사례

출처: http://m.ohmynews.com/NWS_Web/Mobile/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002006848

3) 대전시 유미목 양서류의 서식 평가 및 보호야생생물 지정검토

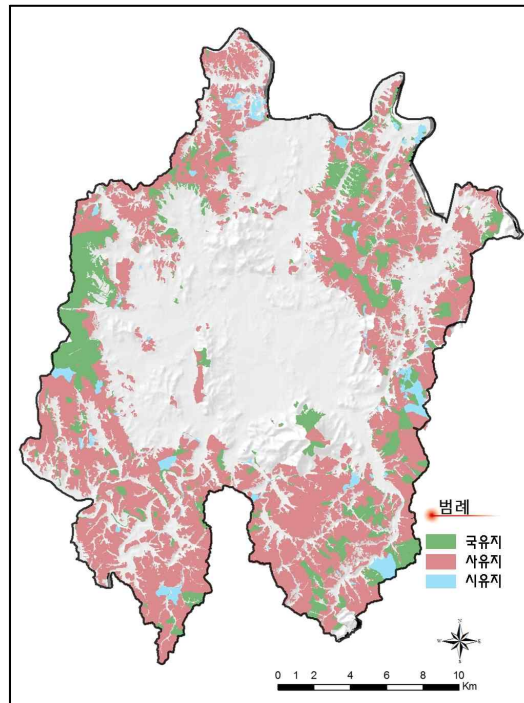
- 현재까지 대전 내 3종의 유미목 양서류 서식 확인
 - 대전광역시 자연환경조사, 깃대종 모니터링조사, 생태계 변화관찰 모니터링, 본 조사 등
- 각 종별 대전 내 분포 및 밀도 등 평가
 - 도롱뇽은 대부분의 계곡에 폭 넓게 분포하며 밀도도 상대적으로 높음
 - 이끼도롱뇽과 꼬리치레도롱뇽은 일부 지역에 제한적으로 분포하고 있으며, 밀도도 상대적으로 낮은 편임
 - 이끼도롱뇽은 환경부 관찰종이며, 대전시 깃대종임
 - 꼬리치레도롱뇽은 법/제도적인 보호장치가 없는 상태임
 - 그러나 현재 시 보호야생생물로 도롱뇽만 지정되어 있음
 - 현재 시 보호야생생물로 41종이 선정되어 있으나, 유미목 양서류를 포함한 전체 종에 대한 평가 및 재지정 검토가 필요함
 - 또한, 이를 바탕으로 시 자체적으로 보전대책을 수립·시행하여야 함

[표 5-1] 대전광역시 보호야생생물 지정현황

분류군	종수	종 명 (種名)
계	41	
1. 포유류	3	족제비, 고슴도치, 멧밭쥐
2. 조류	11	해오라기, 삿갓새, 큰오색딱다구리, 청호반새, 호랑지빠귀, 동고비, 꿩꼬리, 후투티, 깃도요, 개똥지빠귀, 오색딱다구리
3. 양서류	4	두꺼비, 무자치, 도롱뇽, 북방산개구리
4. 어류	6	동사리, 눈동자개, 가시납지리, 동자개, 증고기, 자가사리
5. 곤충류	9	사슴풍뎡이, 왕오색나비, 유리창나비, 장수풍뎡이, 길앞잡이, 큰녹색부전나비, 늦반딧불이, 애반딧불이, 운문산반딧불이
6. 식물류	8	개비자나무, 흰털팽이눈, 넓은잎각시붓꽃, 까치밥나무, 연복초, 사철란, 솔붓꽃, 앵초

4) 대전시 유미목 양서류의 주요 서식지 매입 및 보호구역 지정

- 산림청에서는 2006년부터 백두대간 보호지역을 포함한 주요 산림의 사유지 매입 계획을 수립하였음
 - 24%인 현재의 국유림 면적을 2020년까지 30%까지 연차적으로 확장할 계획에 있음
- 대전 산림의 대부분은 사유림으로 유미목 양서류의 주요 서식지 훼손 가능
 - 대전 전체 면적 중 56%가 산림이며 이 중 사유지가 전체 산림면적의 78.8%를 차지
 - 멸종위기야생생물 등의 국가적·지역적 수준의 주요 서식지에 대한 토지 매입이나 보호구역 지정 등 검토 필요



[그림 5-3] 대전 산지 소유 현황도

출처: 대전광역시 (2014)

2. 유미목 양서류 활용 방안

1) 생태교육 프로그램 정기 운영

- 현재 대전시 자체적으로 유미목 양서류를 포함한 주요 생물과 서식지 등을 활용한 정기적인 교육 프로그램 부재
 - 한밭수목원 여름방학 생태교육, 만인산푸른학습원의 일반인 대상 환경교육 등 일회성 교육 프로그램이 일부 수행됨



[그림 5-4] 한밭수목원 및 만인산푸른학습원 생태교육 현장

출처: <https://www.youtube.com/watch?v=QUuSL9sNYzw>, <http://cafe.daum.net/sssaaannn/N4tN/56?q=%EB%8C%80%EC%A0%84%EC%8B%9C%20%EC%83%9D%ED%83%9C%EA%B5%90%EC%9C%A1>

- 유미목 양서류를 포함하여 대전 내 주요 생물과 서식지 등의 정보를 공유할 수 있는 정기적인 교육 프로그램 운영 필요
 - 어린이, 청소년, 일반 시민, 담당 공무원 등 교육 대상에 맞게 프로그램 개발·운영
- 유미목 양서류를 포함한 대전의 생물과 서식지(하천, 산림 등)의 중요성에 대한 인식 증진



[그림 5-5] 대전 직장산 숲생태체험 및 에코다이브 행사

출처: <http://blog.daum.net/sudal7/18326755>,

<http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=harimmarket&logNo=220425995161>

2) 유미목 양서류의 주요 서식지 보전활동 전개

○ 대전 학생이 중심이 되어 서식지 정화활동과 보전·홍보 운동 전개

- 2014년도에는 대전 중앙고 학생이 환경부의 ‘생물다양성 청소년 리더’의 일환으로 ‘깃대종 지킴이’가 위촉되어 하늘다람쥐 집 달아 주기 행사, 환경신문 배포 등 깃대종 보호 및 홍보 활동 전개



[그림 5-6] 대전 깃대종 지킴이 활동 사진

출처: <http://www.newscj.com/news/articleView.html?idxno=256441>

3) 국내·외 유관기관 협력 강화

- 환경부 및 출현기관, 시도연구원 담당자, 타 지자체 공무원 등 유
미목 양서류 보전·활용 방안 지속적 정보 공유
 - 현재 한국환경정책평가연구원 및 전국 시·도연구원 환경연구자
간 워크숍이 매년 1~2회씩 지속적으로 개최되어 생물다양성과 관
련한 연구성과 공유 및 대안 모색이 이루어지고 있음
- 국외 선진 보전사례 공유 노력
 - 화천의 경우 2004년 수달연구센터를 건립하고 국제수달심포지엄
을 개최하여 수달 보전방안을 위한 정보 공유를 지속적으로 유지
하고 있으며, 수달이 화천의 대표종이라는 인식을 제고함
 - 특히, 이끼도롱뇽의 경우 아시아에서는 대전 장태산에서 최초로
확인되어 의미가 있으며, 이를 활용한 ‘국제 심포지엄’ 개최를 통
해 연구 동향 및 보전사례 검토가 필요함



[그림 5-7] 화천 한국수달연구센터 전경

출처: 한국수달연구센터 홈페이지

4) 시민 홍보책자 발간 및 홍보물 활용 방안 마련

- 대전에서는 최근 깃대종인 하늘다람쥐, 이끼도롱뇽, 감돌고기를 중
심으로 시민 설명회, 집달아주기 사업, 안내판 설치 등을 통한 홍
보 활동을 수행하고 있음

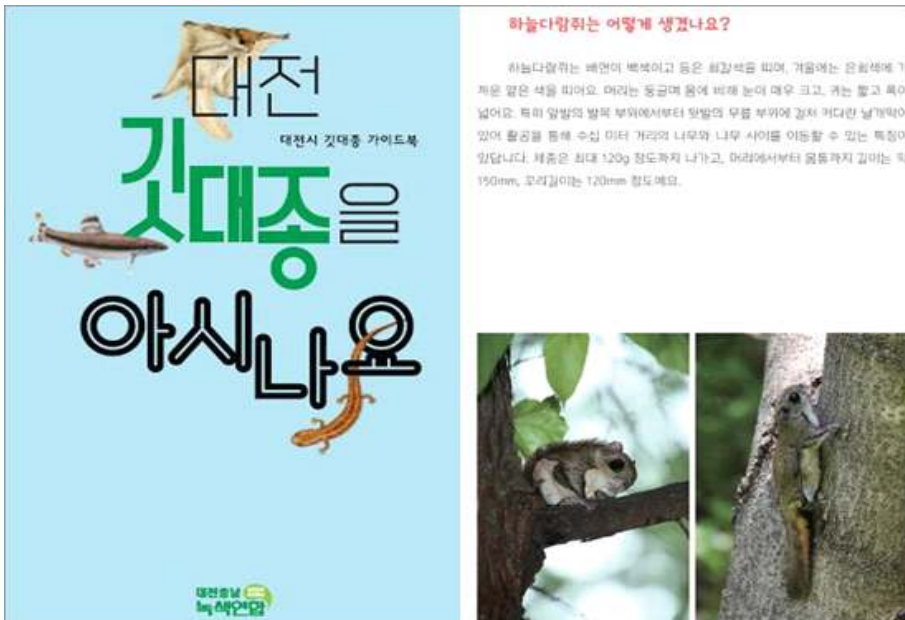


[그림 5-8] 대전시 깃대종 설명회 및 집달아주기 행사

출처: <https://blog.naver.com/power9565/221105290411>,
<http://www.sejongntv.co.kr/news/articleView.html?idxno=29437>

○ 전반적인 대전의 생물과 서식지 관련 교육 책자 발간

- 생물다양성 현황, 가치, 생태, 보전방안 등
- 초등학교와 중학교 배포, 활용



[그림 5-9] 대전충남녹색연합 깃대종 가이드북

- 유미목 양서류 등 주요종을 대상으로 한 홍보물 제작·활용
 - 대중교통시설 내 홍보물 부착, 홍보동영상 제작 및 각 학교 시청 권유, 생물다양성 관련 어플 제작 등
 - 주요 서식지에 안내판, 동물을 이용한 각종 조형물 설치 등
 - 깃대종 노래 제작, 홍보대사 위촉, 티셔츠 제작, 관련 미술전, 사진전, UCC 공모전 등 추진



[그림 5-10] 동물을 이용한 홍보의 예

출처: <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=syslight&logNo=130070606966>,
<https://www.youtube.com/watch?v=qKVLmoOH9Ys>, 국립공원관리공단 홈페이지,
<http://www.makgeolli.or.kr/contest>, <http://cafe.daum.net/ticparents/3WnL/212?q=%B5%BF%B9%B0%20%B9%CC%BC%FA%0%FC&re=1>,
<http://cafe.daum.net/fumfum/6arL/644?q=%B5%BF%B9%B0%20%B8%D3%B1%D7%04%05&re=1>

참고문헌

- 김자경·박대식·이현주·정수민·김일훈(2014), 고리도롱뇽의 번식이주 시기와 기 후요소와의 관계. 한국하천호수학회 47: 194-201.
- 김시석·피해황·이수동·이창호(2015), 서식지 유형별 양서류 분포특성. 한국환경 생태학회 학술대회논문집 25: 56pp.
- 대전광역시(2014), 대전광역시 자연환경조사.
- 라남용·함충호·이유영·한혜성·성하철(2015), 계룡산국립공원 이끼도롱뇽의 개체 군 동태. 한국양서·파충류학회 학술대회 7:16pp.
- 문광연·박대식(2016), 야외 서식지에 설치한 반자연식사육장 안에 산란한 이끼 도롱뇽 알의 보고. 한국양서·파충류학회 7: 1~5.
- 박창득·정지화·이은재·문광연·이우신(2017), 대전광역시의 이끼도롱뇽 서식지 이용 특성 연구. 한국양서·파충류학회 학술발표대회 자료집 7:9pp.
- 박희원(2010), 고리도롱뇽 짝짓기행동의 수컷 크기를 고려한 정량적 분석. 강원 대학교 석사학위논문.
- 안정화·백혜준·정유진·김경석·이항·민미숙(2010), Microsatellite loci를 이용한 한국산 꼬리치레도롱뇽 집단유전학적 분석. 한국양서·파충류학회 학술대회 1: 9-10.
- 윤일병·이성진·양서영(1996), 도롱뇽과 꼬리치레도롱뇽의 먹이자원 및 생활사에 관한 연구. 환경생물학회지 14: 195-203.
- 이정현(2007), 고리도롱뇽의 번식생태와 연령구조. 강원대학교 석사학위논문.
- 이혜영·박옥이·진정화·오세조·양서영(1997), 한국산 꼬리치레도롱뇽 *Onychodactylus fischeri*의 핵형 분석. 한국유전학회 19: 137-142.
- 주영돈(2010), 한국고유종 이끼도롱뇽의 해부학적 분류형질 및 식물물 분석. 인천대학교 석사학위논문.
- 최영주·윤춘식·박주홍·진정효·정선우(2002), 한국산 도롱뇽의 농경지에서의 배 발생 이상과 살균제 Benomyl의 독성 효과. 생태와 환경 35: 198-212.
- 홍누리(2017), 전라남도 광양 백운산에 서식하는 꼬리치레도롱뇽의 서식 환경 특성에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
- Bar Y., Z. Abramsky, Y. Gutterman.(1984), Diet of gerbilline rodents in the Israeli desert. Journal of Arid Environments 7(4): 371-376.

- Best M.L. and H.H. Welsh Jr.(2014), The trophic role of a forest salamander: impacts on invertebrates, leaf litter retention, and the humification process. *Ecosphere* 5(2): 1-19.
- Burton T.M. and G.E. Likens.(1975), Salamander Populations and Biomass in the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Copeia* 3: 541-546.
- Connell J.H..(1975), Some mechanisms producing structure in natural communities, a model and evidence from field experiments. In *Ecology and Evolution of Communities* (M. L. Cody and J. M. Diamond, Ed.): 460-490. Harvard University Press. Massachusetts.
- Davic R.D. and H.H. Welsh Jr..(2004), On the ecological roles of salamanders. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35: 405-434.
- Gamble L.R., K. McGarigal, B.W. Compton.(2007), Fidelity and dispersal in the pond-breeding amphibian, *Ambystoma opacum*: Implications for spatio-temporal population dynamics and conservation. *Biological Conservation* 139: 247-257.
- Gillespie J.H..(2013), Application of Stable Isotope Analysis to Study Temporal Changes in Foraging Ecology in a Highly Endangered Amphibian. *PLOS ONE* 8(1): e53041.
- Houlahan J.E., C.S. Findlay, B.R. Schmidt, A.H. Meyer, S.L. Kuzmin.(2000), Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature* 404: 752-755.
- Kiesecker J.M., A.R. Blaustein, L.K. Belden.(2001), Complex causes of amphibian population declines. *Nature* 410: 681-684.
- Kramer P., N. Reichenbach, M. Hayslett, P. Sattler.(1993), Population Dynamics and Conservation of the Peaks of Otter Salamander, *Plethodon hubrichti*. *Journal of Herpetology* 27(4): 431-435.
- Krebs C.J..(1989), *Ecological Methodology*. Harper Collins Publishers. New York.

- Lunghi E., R. Manenti, G.F. Ficetola.(2015), Seasonal variation in microhabitat of salamanders: environmental variation or shift of habitat selection?. PeerJ
- Romano A., A. Costa, S. Salvidio, M. Menegon, E. Garollo, K. Tabarelli de Fatis, D. Miserocchi, G. Matteucci, P. Pedrini.(2018), Forest management and conservation of an elusive amphibian in the Alps: Habitat selection by the Golden Alpine Salamander reveals the importance of fine woody debris. *Forest Ecology and Management* 424: 338-344.
- Sepulveda A.J., W.H. Lowe, P.P. Marra.(2012), Using stable isotopes to test for trophic niche partitioning: a case study with stream salamanders and fish. *Freshwater Biology* 57: 1399-1409.
- Wyman R.L.(1998), Experimental assessment of salamanders as predators of detrital food webs: effects on invertebrates, decomposition and the carbon cycle. *Biodiversity & Conservation* 7(5): 641-650.
- Zimmerman E.G..(1965), A comparison of habitat and food of two species of *Microtus*. *Journal of Mammalogy* 46(4): 605-612.



34863 대전광역시 중구 중앙로 85 (선화동)
TEL. 042-530-3500 FAX. 042-530-3508
www.dsi.re.kr