

충남 예산군 예당저수지 수변 농경지의 어류와 양서류 분포특성¹

김수경² · 박현숙³ · 박시룡^{2,3*}

Distribution of Fish and Amphibian in Rice Fields Near the Yedang Reservoir in Korea¹

Kim, Su-kyung² Hyun-Sook Park³, Shi-Ryong Park^{2,3*}

요 약

예당저수지의 수변 농경지의 어류와 양서류 분포 특성을 파악하고자 실시되었다. 이를 위해 비수변 농경지를 대조군 지역으로 설정하고 수변 농경지의 어류와 양서류의 개체수 및 생물량 비교, 어류와 양서류 분포에 영향을 주는 환경요소 분석, 시기별 개체수 변동 특성을 연구하였다. 전체 조사 대상지역에서 포획된 어류종수는 8과 13종이며, 양서류 종수는 5종이었다. 수변 농경지에서는 미꾸리과 어류, 붕어, 잉어 등의 13종의 어종이 포획되었고, 비수변 농경지에서는 미꾸리과 어류, 붕어 등의 3종의 어종이 포획되었다. 양서류는 황소개구리, 참개구리, 청개구리, 한국산개구리, 옴개구리 총 5종의 유생이 포획되었는데, 비수변 농경지에서는 5종의 양서류 유생이 포획되었고, 수변 농경지에서는 2종의 양서류 유생이 포획되었다. 수변 농경지와 비수변 농경지의 어류와 양서류 분포 특성을 분석한 결과, 수변 농경지에는 잉어과 어류가 많이 포획되었으며, 비수변 농경지에는 미꾸리과 어류가 많이 포획되었다. 어류의 분포에 영향을 주는 환경요소 분석결과, 잉어과 어류는 겨울철에 담수되고, 예당저수지와 가까운 농경지에서 주로 출현할 가능성이 높으며, 미꾸리과 어류는 산간 저수지로부터 용수가 공급되고, 논과 배수로가 잘 연결되어 있는 농경지를 선호하는 것으로 나타났다. 양서류의 경우, 비수변 농경지에서 수변 농경지보다 양서류의 유생이 많이 포획되었다. 수변 농경지에서는 황소개구리가 우점하였고, 비수변 농경지에서는 참개구리가 우점하였다. 황소개구리 유생의 분포에 영향을 주는 주요 환경요소는 겨울철에 담수되고 예당저수지에 가까운 농경지에서 출현할 가능성이 높았고, 참개구리의 경우는 산까지의 거리가 가깝고 예당저수지까지의 거리가 멀수록 출현할 가능성이 높았다.

주요어: 미꾸리과, 잉어과, 환경요소 분석, 시기별 분포, 겨울철 담수

ABSTRACT

The distribution of fish (Cobitidae and Cyprinidae) and amphibians together with related environmental factors were surveyed at 30 randomly selected rice-fields (15 flooded unmanaged rice fields (FUR) and 15 unflooded managed rice fields (UMR)) near the Yedang reservoir in Korea, eight times from May to August in 2012. The total number of species captured from the entire survey area was 13 species with 8 families of fish and 5 species of amphibians. The number of species of Cyprinidae fish captured in FUR was higher than that in UMR. Upon the comparative analysis on the distribution of fish and amphibians in FUR and UMR, it was found that the number of Cyprinidae fish captured in FUR was significantly higher than that in UMR while the number of Cobitidae fish captured in UMR was higher than that in FUR. According to the analysis on the environmental factors that affect the distribution of fish, Cyprinidae fish tend to appear in rice-fields, that were flooded in winter, near the

1 접수 2015년 11월 18일, 수정 (1차: 2015년 12월 18일), 게재확정 2015년 12월 19일

Received 18 November 2015; Revised (1st: 18 December 2015); Accepted 19 December 2015

2 한국교원대학교 황새생태연구원 Eco institute for Oriental Stork, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea

3 한국교원대학교 생물교육학과 Department of Biology Education, Korea National University of Education, Cheongji 28173, Korea

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-43-230-3391, Fax: +82-43-230-3391, E-mail: srpark@knu.ac.kr

Yedang reservoir while Cobitidae fish tend to appear in rice fields that draws its water supply from forest reservoir and have a good water drainage system. In case of amphibians, the number of tadpoles captured in UMR was higher than that in FUR. *Rana catesbeiana* was dominant in FUR and *Rana nigromaculata* was dominant in UMR. Upon the analysis on the environmental factors that affect the distribution of tadpoles, it was found that *Rana catesbeiana* tadpoles tend to appear in rice fields, that were flooded in winter, near Yedang reservoir while *Rana nigromaculata* tadpoles tend to appear near mountains and far from the Yedang reservoir.

KEY WORDS: COBITIDAE, CYPRINIDAE, ENVIRONMENTAL FACTOR, SEASONAL DISTRIBUTION, FLOODING IN WINTER

서론

논 생태계는 일정한 시기에 담수되는 인공적인 내륙습지이며, 다양한 수서생물종이 서식하는 습지 생태계의 독특한 형태이다. 논은 봄부터 여름까지 물에 잠겨있고, 수온이 높으며, 수로와 연결되어 있는 특징이 있기 때문에 담수어류들의 산란과 서식장소로 이용되고 있다(Saito *et al.*, 1988). 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 메기(*Silurus asotus*), 송사리(*Oryzias latipes*) 등의 어류는 관개초기에 논과 수로에서 산란을 하며, 논에서 번성하는 플랑크톤은 산란 후 치어들의 좋은 먹이원이 되므로 논을 주요 산란처로 이용한다(Katano *et al.*, 2003). 또한 논은 다양한 수생생물을 부양하며 비교적 높은 먹이 밀도를 유지함으로써 많은 물새들의 섭식장소로 이용되고 있다(Fasola and Ruiz, 1996). 그러나 대구획경지정리사업과 배수개선사업 등이 이루어지면서 어류 출현 개체수와 종수는 많이 감소하였다(Nakagawa, 1978; Naitoh, 1981).

2008년 국내에서 개최된 제10차 람사협약 당사국 총회에서 습지 생태계로서의 논 생태계의 생물다양성 보전 가치를 부각하면서 국내에서 논 생태계에 대한 관심이 증가하고 있다(Ramsar Convention, 2008). 최근 국내에서 논 생태적 측면에서의 여러 연구가 수행되고 있다. 예를 들어, 친환경농업이 논 내에 서식하는 대형무척추동물의 군집구조에 미치는 영향을 조사하고, 백로류의 섭식생태에 미치는 영향을 조사하였다(Cho, 2010; Lee, 2014). 또한 어도와 둅병의 논 내의 어류 개체수 증가 효과에 대한 연구가 진행되었다(Kim *et al.*, 2011a; Kim *et al.*, 2011b; Kim *et al.*, 2012). 논 생태계의 환경특성에 따른 생물다양성에 대한 이해를 높이기 위해 지속적인 연구가 필요하다.

예당저수지는 충남 예산군 대흥면과 응봉면에 걸쳐 위치하고 있으며, 만수면적은 약 1,100 ha이며, 유역면적은 3만 7,360 ha이다. 예당저수지의 수변에 농경지가 넓게 분포하고 있는데, 예당저수지가 만수위가 되는 시기(11월 - 4월)에

수변 농경지가 침수되었다가 예당평야에 관개하는 시기인 5월에 수위가 낮아지면서 수변 농경지가 드러난다. 수변 농경지는 경지정리가 되지 않은 지역으로 흙 수로, 물웅덩이 등이 주로 분포하며, 논과 논 간의 낙차가 낮은 특징이 있다. 이러한 환경 특성은 예당저수지가 조성될 당시의 농업 환경이 유지되어 온 것으로 다목적 농촌용수개발사업, 경지정리사업, 배수개선사업 등으로 변형된 현대화된 농경지와 비교하였을 때 차이점이 있다. 논 생태계와 연결된 하천, 배수로, 용수원 등의 다양한 환경특성은 논 내의 생물상에 영향을 미치기 때문에 이러한 차이점은 서식하는 수생 생물의 분포 특성에도 차이점이 있을 것으로 예측된다(Saito *et al.*, 1988).

본 연구는 예당저수지의 수변 농경지의 어류와 양서류 분포 특성을 대조군 지역인 비수변 농경지와 비교하여 파악하고자 실시되었다. 구체적으로 수변 농경지에 서식하는 어류와 양서류 개체수 및 생물량 비교, 어류와 양서류 분포에 영향을 주는 환경요소 분석, 시기별 개체수 변동 특성을 연구하였다.

연구방법

1. 조사 지역 및 조사 기간

본 연구는 충청남도 예산군에 위치한 예당저수지(N36°35'16", E126°47'43" ~ N36°38'32", E126°48'25")에 인접한 농경지 3개 구역, 총 30개 필지를 대상으로 하였다(Figure 1). 농경지 3개 구역의 행정구역은 광시면 장신리(Jangshin-ri), 장전리(Jangjeon-ri), 신양면 황계리(Hwanggae-ri)이다. 조사 대상 농경지는 수변 농경지 15개 필지와 비수변 농경지 15개 필지로 구분되며, 수변 농경지와 비수변 농경지 각각 15개 필지를 3개 구역에서 담수된 논 중에서 무작위로 선정하여 조사를 실시하였다.

수변 농경지(flooded and unmanaged rice field; FUR)는 11월부터 4월까지 예당저수지의 만수위 담수로 겨울철에

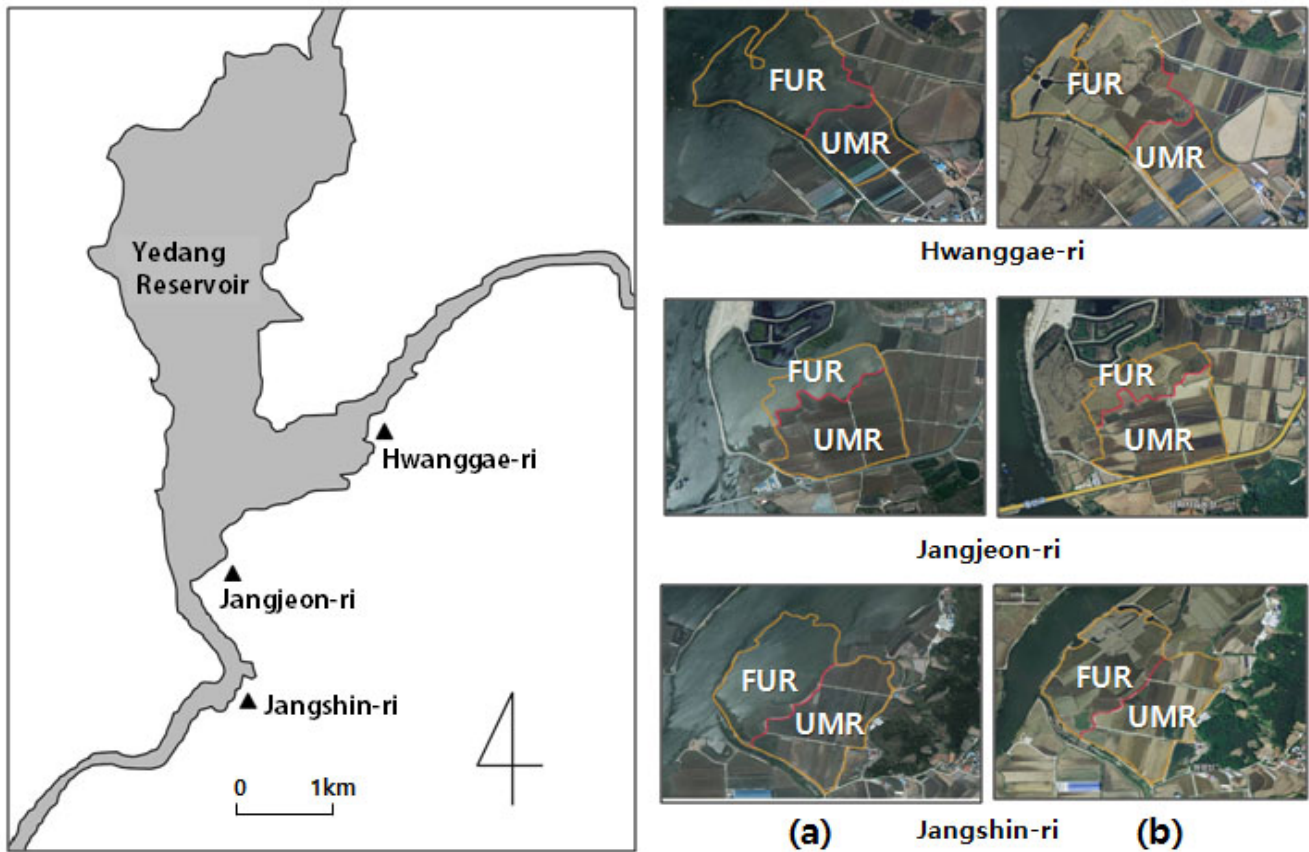


Figure 1. The map of study site(▲three sampling site)and satellite image (a: flooded period, b: unflooded period)

1-2m 수심으로 침수되고, 5월초부터 벼농사 기간 동안 4-10 cm 깊이로 담수되었다. 수변 농경지는 경지정리가 되지 않은 농경지이며, 농사시기에는 인근 하천이나 물웅덩이에서 펌핑하여 담수하였다. 비수변 농경지(unflooded and managed rice field; UMR)는 수변 농경지와 인접하여 위치하며, 겨울철에 침수되지 않으며, 5월-9월까지 벼농사 기간 동안만 담수되는 농경지이며, 경지 정리가 된 농경지이다. 농사시기에는 인근 산간 저수지와 연결된 콘크리트 용수로를 통해 공급된 수원으로 담수하였다. 수변 농경지와 비수변 농경지는 공통적으로 관행농법으로 경작하며, 모내기(5월 중순), 중간 배수기(6월 하순), 농약 및 비료 살포시기(5월, 7월)는 1-3일 정도 차이가 있었다.

2. 조사 및 분석 방법

조사 대상지역의 생물조사는 2012년 5월부터 8월까지 월 2회, 총 8회를 실시하였다. 조사 대상지역 내의 농경지 별로 어류와 양서류의 종과 개체수, 생물량을 조사하였다. 조사방법은 네트조사법과 트랩조사법을 이용하였으며, 네

트조사법은 제작한 채집망(가로 32cm × 세로 20cm, 망목 1.5×1.5mm)을 이용하여 한 필지별로 농경지 내 담수되어 있는 곳을 무작위로 2m 씩 5회 논 바닥 1cm 깊이로 스위핑하였다. 유영성 어류인 잉어과 어류의 채집을 위해 선행연구의 조사방법을 참고하여 실시되었다(Katano *et al.*, 2003). 1회당 채집된 샘플은 동정하고 종별 개체수를 1m² 당 개체수로 환산하였다. 그리고 트랩 조사법은 Tanaka (1999)가 저서성 어류인 미꾸리과 어류 채집에 사용한 조사법으로 Mondori trap (길이 28cm × 지름 13cm, 망목 3×3mm)을 한 필지별로 4개 설치하였고, 24시간 경과 후 트랩당 채집된 샘플은 수거하여 동정하고 종별 개체수를 기록하였다. 양서류의 유생의 조사에도 트랩 조사법을 사용하였다.

채집된 생물은 전장(total length)과 무게를 측정하였다. 전장(mm)은 머리부터 꼬리지느러미까지 길이를 기준으로 하였다. 미꾸리과 어류는 Tanaka (1999)의 크기별 분류기준에 따라 15mm미만(자어), 15-50mm(치어), 51-80mm(미성어), 81mm이상(성어)로 분류하였다. 조사자에 의한 간섭을 최소화하기 위하여 채집된 개체는 포획된 장소에 방사하였다. 그리고 2012년 5월, 7월에 동일 지역의 무작위로 선택된

배수로와 용수로 내 어류상을 네트조사법과 트랩 조사법으로 총 2회 조사하였다.

수변 농경지와 비수변 농경지의 어류와 양서류 포획 개체수를 비교하기 위해 SPSS (ver. 18)를 이용하여 Mann-Whitney U test를 실시하였으며 유의수준 0.05로 검증하였다(Zar, 1984).

그리고 어류와 양서류의 분포에 영향을 주는 환경요소를 분석하기 위하여 로지스틱 회귀분석을 이용하였다. 로지스틱 회귀분석은 연속형과 범주형 자료를 다 포함 시킬 수 있으며, 자료의 통계적인 가정이 덜 제약적이고 출현 및 비출현 자료를 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다(Seo and Park, 2000). 어류와 양서류의 출현/비출현 여부를 종속변수로 두고, 6가지 범주형 변수와 3가지 수치형 변수를 독립변수로 선택하였다. 범주형 변수는 겨울철 담수여부(Flooding in winter; 겨울철 담수일 경우, 1), 논과 배수로의 연결여부(Connection at outlets; 낙차가 8cm이하인 경우, 1), 흙수로 여부(Earth-lined ditch; 흙수로인 경우, 1), 둑병과의 연결여부(Connection with small pond; 논과 둑병이 연결된 경우, 1), 산간 저수지 용수공급(Inlets from forest reservoir; 산간 저수지로부터 용수를 공급할 경우, 1), 논과 논 간의 연결여부(Connection with other rice fields; 다른 논과 연결이 되어 물의 흐름이 있을 경우, 1) 총 6가지이며, 수치형 변수는 산까지의 거리(Distance from mountain), 예당저수지까지의 거리(Distance from Yedang reservoir), 표고(Altitude) 총 3가지이다.

환경요소는 로지스틱 회귀분석의 변수로 사용되기 이전에 그 유의성이 검증되어야 한다. 범주형 변수는 Chi-square test를 이용하고, 수치형 변수는 정규성 분포를 따르지 않아 Mann-Whitney U test를 이용하여 검증하였다. p-value < 0.01의 변수를 선정하였다(Rho, 2009). 로지스틱 회귀분석 결과, 개발된 모형의 경쟁 모형이 다른 모형에 내재되어 있지 않는 경우에는 Akaike's Information Criterion(AIC)을 기준으로 최적 모형을 선택한다. 선택된 모형들의 AIC값을 산출하여 AIC값이 가장 작은 모형을 선택하였다(Akaike, 1973).

결 과

1. 연구지역의 관찰 어류 및 양서류의 종 조성

전체 연구지역에서 채집된 어류는 총 8과 13종이며, 미꾸리과 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 미꾸라지(*M. mizolepis*), 잉어과 붕어(*Carassius auratus*), 떡붕어(*C. cuvieri*), 잉어(*Cyprinus carpio*), 참붕어(*Pseudorasbora parva*), 치리(*Hemiculter eigenmanni*), 버들붕어과 버들붕어(*Macropodus ocellatus*), 메기과 메기(*Silurus asotus*), 드

렁허리과 드렁허리(*Monopterus albus*), 송사리과 대륙송사리(*Oryzias sinensis*), 망둑어과 밀어(*Rhinogobius brunneus*), 검정우럭과 배스(*Micropterus salmoides*)가 관찰되었다. 그 중 붕어, 떡붕어, 잉어, 참붕어, 메기, 밀어, 배스는 치어만 관찰되었다.

수변 농경지에서는 13종의 어류가 모두 포획되었고, 그 중 붕어, 떡붕어, 미꾸리, 미꾸라지, 잉어, 참붕어 순으로 우점하였고, 메기, 배스, 밀어, 치리, 버들붕어, 드렁허리, 대륙송사리는 소수 개체만이 포획되었다. 비수변 농경지에서는 4종의 어류가 포획되었고, 미꾸리과 어류 2종이 가장 우점하였으며, 붕어, 드렁허리 2종은 소수 개체가 포획되었다. 어류의 경우, 수변 농경지에서 비수변 농경지보다 9종의 어종이 더 포획되었다.

채집된 양서류 유생은 총 5종으로, 황소개구리(*Rana catesbeiana*), 참개구리(*R. nigromaculata*), 움개구리(*R. rugosa*), 한국산개구리(*R. coreana*), 청개구리(*Hyla japonica*)가 채집되었다. 그 중 참개구리가 우점종이었고, 청개구리가 아우점하였다. 나머지 양서류 종은 소수 개체가 채집되었다. 비수변 농경지에서는 5종의 양서류가 모두 포획되었고, 수변 농경지에서는 황소개구리, 참개구리 2종이 포획되었다. 양서류의 경우, 비수변 농경지가 수변 농경지보다 3종 더 많이 포획되었다.

2. 예당저수지 수변 농경지와 비수변 농경지의 어류 개체수 및 생물량 비교

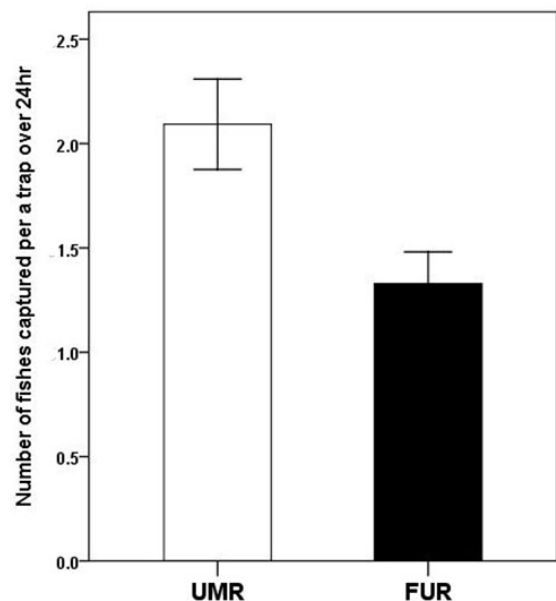


Figure 2. Comparison on the number of Cobitidae fishes captured per a trap over 24hr between UMR and FUR (Mean±S.E.)

미꾸리과(Cobitidae)와 잉어과(Cyprinidae) 어류로 분류해서 수변 농경지와 비수변 농경지에서 포획된 어류 개체수를 비교하였다. 나머지 어종은 소수 개체만이 포획되었기 때문에 제외하였다.

트랩조사법에 의한 미꾸리과 어류 개체수를 비교한 결과, 수변 농경지의 미꾸리과 어류 포획 개체수는 트랩당 1.33 ± 0.15 (Mean \pm S.E.) 개체이며, 비수변 농경지의 어류 포획 개체수는 트랩당 2.09 ± 0.22 (Mean \pm S.E.) 개체이었는데, 미꾸리과 어류 포획 개체수는 비수변 농경지에서 수변 농경지보다 많이 포획되었다(Mann-Whitney U test, $Z=-2.819$, $P=0.005$)(Figure 2).

네트조사법에 의한 잉어과 어류 개체수를 비교한 결과, 수변 농경지의 잉어과 어류 포획 개체수는 1m^2 당 1.01 ± 0.20 (Mean \pm S.E.) 개체이며, 비수변 농경지의 잉어과 어류 포획 개체수는 1m^2 당 0.08 ± 0.05 (Mean \pm S.E.) 개체이었는데, 잉어과 어류 포획 개체수는 수변 농경지에서 비수변 농경지보다 많이 포획되었다(Mann-Whitney U test, $Z=6.395$, $P=0.000$)(Figure 3).

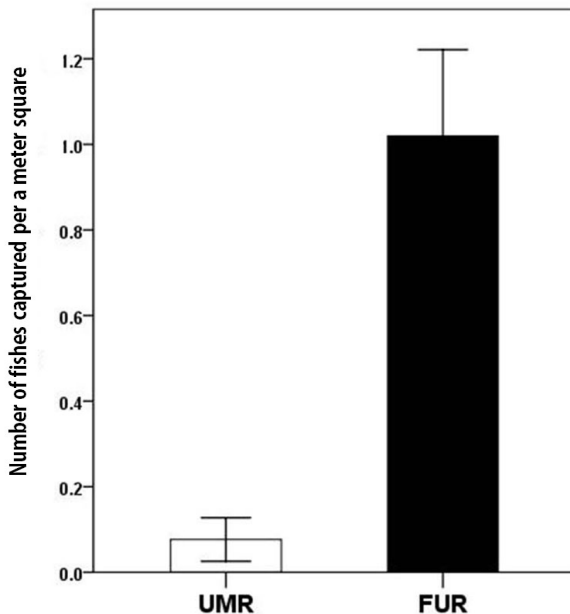


Figure 3. Comparison on the number of Cyprinidae fishes per a meter square between UMR and FUR (Mean \pm S.E.)

그리고 트랩조사법에 의한 미꾸리과 어류 포획 생물량을 비교한 결과, 수변 농경지의 미꾸리과 어류 생물량은 트랩당 3.27 ± 0.49 (Mean \pm S.E.) g이였으며, 비수변 농경지의 미꾸리과 어류 생물량은 트랩당 4.46 ± 0.50 (Mean \pm S.E.) g이었는데, 미꾸리과 어류 포획생물량은 비수변 농경지에서

수변 농경지보다 높게 나타났다(Mann-Whitney U test, $Z=-3.060$, $P=0.002$). 수변 농경지와 비수변 농경지의 미꾸리과 어류 개체수 비교 결과와 유사하게 나타났다.

네트조사법에 의한 잉어과 어류 포획 생물량을 비교한 결과, 수변 농경지의 잉어과 어류 포획 생물량은 1m^2 당 0.19 ± 0.64 (Mean \pm S.E.) g이며, 비수변 농경지의 잉어과 어류 포획 생물량은 1m^2 당 0.06 ± 0.03 (Mean \pm S.E.) g이었는데, 잉어과 어류 포획 생물량은 수변 농경지에서 비수변 농경지보다 높게 나타났다 (Mann-Whitney U test, $Z=6.338$, $P=0.000$). 수변 농경지와 비수변 농경지의 잉어과 어류 개체수 비교 결과와 유사하게 나타났다.

3. 어류 분포에 영향을 주는 환경요소 분석

앞서 나타난 결과로 수변 농경지와 비수변 농경지의 잉어과와 미꾸리과 어류 포획 개체수가 유의미한 차이가 있었다. 이러한 차이의 요인을 분석하기 위해 어류의 분포에 영향을 주는 환경요소를 분석하였다.

로지스틱 회귀분석을 수행하기 전에 어류의 출현 및 비출현 지점에서 추출한 환경요소들의 변수로서의 유의성을 검증하였다. 검증결과, 6가지 범주형 환경요소 중 논과 논 간의 연결여부를 제외한 5가지 환경요소가 통계적으로 유의한 차이를 보였으며(Chi-square test, $P<0.01$), 3가지 수치형 환경요소 중 표고를 제외한 2가지 환경요소가 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Mann-Whitney U test, $P<0.01$).

로지스틱 회귀분석으로 분석하여 총 5가지 모형을 확인한 결과, 미꾸리과 어류의 경우, 산간 저수지 용수공급, 논과 배수로의 연결여부, 흙수로 여부, 산까지의 거리, 겨울철 담수여부의 환경요소 조합으로 이루어진 모형의 AIC값은 168.5로 다른 경쟁 모형들과 비교하여 가장 낮은 값을 나타내어 최적의 모형으로 선택되었다. 산간 저수지 용수공급은 가장 높은 coefficient (SE)가 5.78(1.54)를 나타내었는데, 이는 미꾸리과 어류의 출현에 가장 중요한 환경요소는 산간 저수지 용수공급이라는 것을 나타낸다. 다음으로 논과 배수로의 연결여부, 흙수로 여부, 산까지의 거리, 겨울철 담수여부의 coefficient (SE)는 각각 2.81(0.95), 1.52(0.24), -0.99(0.31), -0.74(0.22) 순으로 나타났다. 산까지의 거리, 겨울철 담수여부를 제외한 나머지 환경요소는 양의 상관관계를 나타내었다(Table 1).

잉어과 어류의 경우, 겨울철 담수여부, 예당저수지까지의 거리, 산간 저수지 용수공급, 둠벙과의 연결여부, 논과 배수로의 연결여부, 흙수로 여부의 환경요소 조합으로 이루어진 모형의 AIC값은 162.5로 다른 경쟁 모형들과 비교하여 가장 낮은 값을 나타내어 최적의 모형으로 선택되었다. 겨울철 담수가 가장 높은 coefficient (SE)가 4.82(0.93)를 나타

Table 1. Information-theoretic statistics and coefficients of selected variables for the top five models explaining the probability that Cobitidae fish is present

Model	AIC	ΔAIC	w_i	Field variables					GIS variables	
				Flooding in winter	Connection at outlets	Earth-lined ditch	Connection with small pond	Inlets from forest reservoir	Distance from mountain	Distance from Yedang reservoir
1	168.5		0.108	-0.74(0.22)	2.81(0.95)	1.52(0.24)		5.78(1.54)	-0.99(0.31)	
2	168.9	0.79	0.089		2.74(0.98)	1.67(0.27)	0.54(0.19)	5.47(1.52)	-0.94(0.24)	
3	169.2	0.84	0.076	-0.89(0.34)	2.79(0.97)	1.64(0.35)		5.61(1.51)	-1.22(0.20)	
4	169.4	1.05	0.063	-0.84(0.38)	2.57(0.94)	1.41(0.24)	0.78(0.20)	5.57(1.50)		
5	170.2	1.33	0.059		2.64(0.94)	1.70(0.34)	0.84(0.24)	5.49(1.54)	-1.34(0.43)	

Values in parentheses represent SE

Table 2. Information-theoretic statistics and coefficients of selected variables for the top five models explaining the probability that Cyprinidae fish is present

Model	AIC	ΔAIC	w_i	Field variables					GIS variables	
				Flooding in winter	Connection at outlets	Earth-lined ditch	Connection with small pond	Inlets From forest reservoir	Distance from mountain	Distance From Yedang reservoir
1	162.5		0.103	4.82(0.93)	1.59(0.54)	0.87(0.49)	1.89(0.71)	-2.14(0.84)		-3.41(0.88)
2	163.4	0.78	0.098	4.97(0.91)	1.33(0.58)		1.94(0.70)	-2.04(0.83)		-3.15(0.87)
3	163.7	0.88	0.084	4.77(0.90)		0.79(0.49)	1.87(0.72)	-2.11(0.83)	-0.98(0.21)	-3.45(0.81)
4	164.4	1.02	0.053	3.74(0.89)	1.21(0.52)		1.54(0.75)	-2.08(0.82)		-4.11(0.84)
5	164.8	1.43	0.047	4.55(0.92)		0.57(0.47)	1.50(0.76)	-2.17(0.85)	-1.02(0.24)	-3.50(0.83)

Values in parentheses represent SE

내었는데, 이는 잉어과 어류의 출현에 가장 중요한 환경요소는 겨울철 담수여부라는 것을 나타낸다. 다음으로 예당저수지까지의 거리, 산간 저수지 용수공급, 둠병과의 연결여부, 논과 배수로의 연결여부, 흙수로 여부의 coefficient (SE)는 각각 -3.41(0.88), -2.14(0.84), 1.89(0.71), 1.59(0.54), 0.87(0.49) 순으로 나타났다. 예당저수지까지의 거리, 산간 저수지 용수공급을 제외한 나머지 환경요소는 양의 상관관계를 나타내었다(Table 2).

요약하면, 산간 저수지에서 용수공급이 되고, 논과 배수로가 잘 연결이 되고, 흙수로가 있으며, 산까지의 거리가 가깝고, 겨울철 담수가 되지 않은 논에서 미꾸리과 어류가 출현할 가능성이 높게 나타났다. 겨울철 담수가 되고 예당저수지까지의 거리가 가까우며, 산간 저수지로부터 용수공급이 안되고, 둠병과 연결되고, 흙수로가 있는 논에서 잉어과 어류가 출현할 가능성이 높게 나타났다.

4. 시기별 어류 포획 개체수 변화특성

수변 농경지와 비수변 농경지의 트랩당 채집된 미꾸리과 어류의 포획 개체수를 5월 18일부터 8월 24일까지 시기별로 비교하였다. 5월 18일부터 7월 19일까지 트랩당 미꾸리과 어류 포획 개체수가 증가하였다가 감소하였다. 비수변 농경지는 트랩당 최고 4.8마리였고, 수변 농경지는 트랩당

최고 2.8마리가 포획되었다(Figure 4). 비수변 농경지에서 5월에는 성어(81 mm 이상)가 81.2%를 차지하였고, 6월에는 치어(15-50mm)가 42.3%, 미성어(51-80mm)가 48.7%를 차지

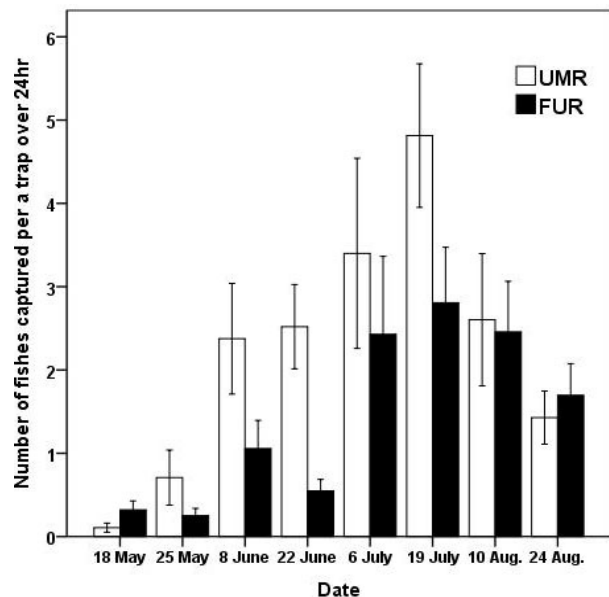


Figure 4. Seasonal change of the number of Cobitidae fishes captured per a trap over 24hr between UMR and FUR (Mean±S.E.)

하였다. 7월에는 미성어가 79.5%를 차지하였고, 8월에는 미성어가 59.2%를 차지하였다.

수변 농경지와 비수변 농경지의 1m² 당 포획된 잉어과 어류의 개체수를 5월 18일부터 8월 24일까지 시기별로 비교하였다. 수변 농경지의 잉어과 어류는 미꾸리과 어류와 달리 5월 18일에 1m² 당 최고 2.7개체수가 포획되고 점차 감소하였다. 6월 22일에 0.4개체로 감소하였다가 7월 6일에 1개체로 증가하였다(Figure 5). 반면 비수변 농경지에서는 최고 0.4개체만이 포획되었고, 시기별로 소수 개체가 포획되거나 포획되지 않았다. 5월 중순부터 6월 초순까지 농경지에서 포획되었던 잉어과 어류인 붕어, 잉어, 떡붕어는 모두 1-5cm의 치자어였으며, 성어는 포획되지 않았다.

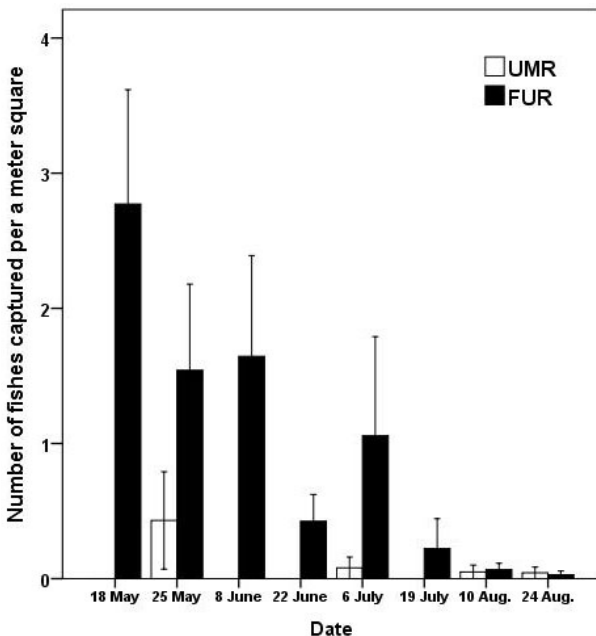


Figure 5. Seasonal change of the number of Cyprinidae fishes per a meter square between UMR and FUR (Mean±S.E.)

5. 예당저수지 수변 농경지와 비수변 농경지의 양서류 분포특성

수변 농경지와 비수변 농경지에서 트랩조사법을 이용하여 양서류 유생의 포획 개체수를 조사하였다. 트랩조사법에 의한 양서류 유생 포획 개체수를 비교한 결과, 수변 농경지의 유생 포획 개체수는 트랩당 0.07±0.02(Mean±S.E.) 개체이었으며, 비수변 농경지의 유생 포획 개체수는 트랩당 0.88±0.21(Mean±S.E.) 개체이었다. 비수변 농경지에서 수변 농경지보다 많이 포획되었다(Mann-Whitney U test,

Z=-5.458, P=0.000)(Figure 6). 수변 농경지에서 포획된 양서류 유생은 황소개구리가 64.6%로 가장 우점하였으며, 다음으로 참개구리가 35.4%를 차지하였다. 비수변 농경지에서 포획된 양서류 유생은 참개구리가 47.3%로 가장 우점하였으며, 다음으로 청개구리 31.3%, 옴개구리 13.1%, 한국산개구리 5.3%, 황소개구리 3.0% 순으로 나타났다.

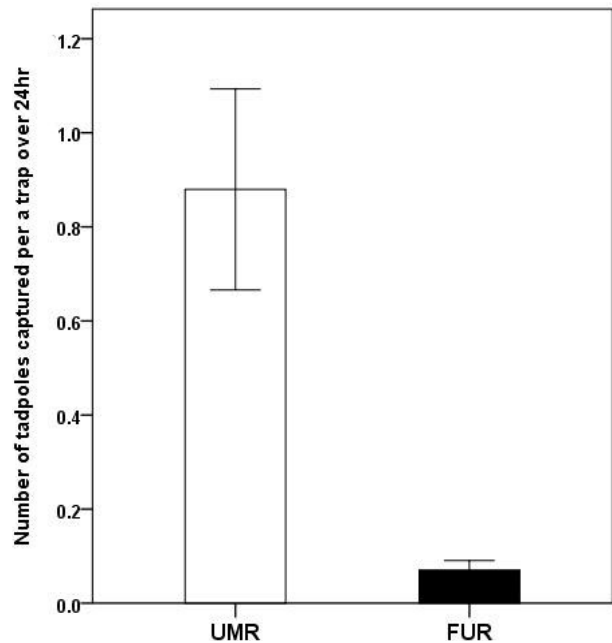


Figure 6. Comparison of the number of tadpoles captured per a trap over 24hr between UMR and FUR (Mean±S.E.)

5월 18일부터 8월 24일까지 총 8회에 걸쳐 수변 농경지와 비수변 농경지를 포함하여 전체 농경지의 트랩당 채집된 양서류 유생의 개체수를 시기별로 비교해보았다. 5월 18일부터 6월 22일까지 트랩당 포획 개체수가 점차 증가하다가, 6월 22일에 트랩당 1.88개체로 가장 높게 나타났으며, 7월 6일 이후에는 크게 감소하였다(Figure 7).

로지스틱 회귀분석을 수행하기 전에 양서류 유생의 출현 및 비출현 지점에서 추출한 환경요소들의 변수로써의 유의성을 검증하였다. 검증결과, 6가지 범주형 환경요소 중 흙수로 여부, 둥벙과의 연결여부, 겨울철 담수여부 3가지가 유의한 차이를 보였으며, 3가지 수치형 환경요소 중 산까지의 거리와 예당저수지까지의 거리 2가지가 유의한 차이를 보였다(Mann-Whitney U test, P<0.01). 수변 농경지의 우점종인 황소개구리와 비수변 농경지의 우점종인 참개구리를 대상으로 로지스틱 회귀분석을 실시한 결과, 황소개구리는 예당저수지까지의 거리, 겨울철 담수여부, 흙수로 여부, 둥

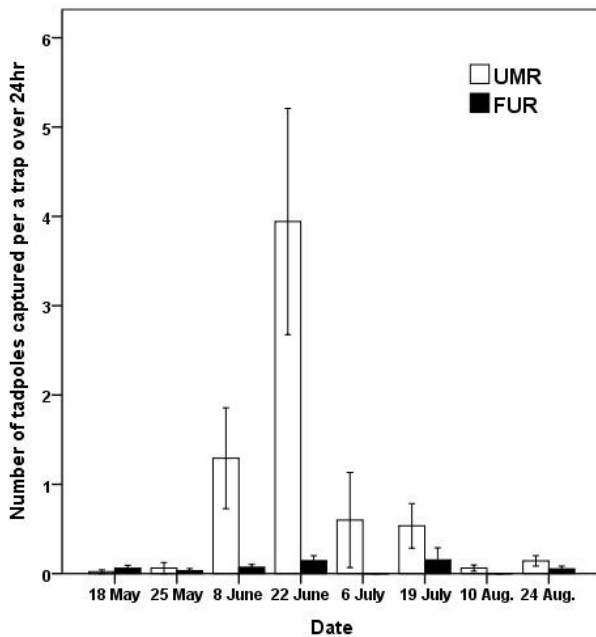


Figure 7. Seasonal change of the number of tadpoles captured per a trap over 24 hr (Mean±S.E.)

병과의 연결여부의 환경요소 조합으로 이루어진 모형의 AIC값은 152.7로 다른 경쟁 모형들과 비교하여 가장 낮은 값을 나타내어 최적의 모형으로 선택되었다. 겨울철 담수여부는 가장 높은 coefficient (SE)가 2.87(0.46)을 나타내었는데, 이는 황소개구리 유생의 출현에 가장 중요한 환경요소는 겨울철 담수여부라는 것을 나타낸다. 다음으로 예당저수지까지의 거리, 흙수로 여부, 둥병과의 연결여부의 coefficient (SE)는 각각 -1.11(0.34), 0.99(0.14), 0.51(0.17) 순으로 나타났다. 즉 겨울철에 담수되고 예당저수지에 가까울수록, 흙수로가 있고, 둥병과 연결되어 있는 농경지에서 황소개구리의 유생이 출현할 가능성이 높은 것이다.

참개구리는 산까지의 거리, 예당저수지까지의 거리, 흙수로 여부, 둥병과의 연결여부의 환경요소 조합으로 이루어진 모형의 AIC값은 155.6로 다른 경쟁 모형들과 비교하여 가장 낮은 값을 나타내어 최적의 모형으로 선택되었다. 산까지의 거리는 가장 높은 coefficient (SE)가 -2.69(1.31)을 나타내었는데, 이는 참개구리 유생의 출현에 가장 중요한 환경요소는 산까지의 거리이며, 다음으로 예당저수지까지의 거리, 둥병과의 연결여부, 흙수로의 여부의 coefficient (SE)는 각각 0.98(0.34), 0.56(0.12), 0.42(0.16) 순으로 나타났다. 즉 산까지의 거리가 가깝고, 예당저수지까지의 거리가 멀고, 둥병과 연결되어 있고, 흙수로가 있는 농경지에서 참개구리의 유생이 출현할 가능성이 높은 것이다.

고찰

미꾸리과 어류는 수변 농경지보다 비수변 농경지에서 더욱 많은 개체가 포획되었다. 특히, 저수지로부터의 용수공급이 되고, 배수로가 논과의 낙차가 8cm 이하로 낮고, 흙수로인 논에서 주로 출현하였다. 이 결과를 뒷받침하는 선행 연구인 Tanaka (1999)의 연구에서는 미꾸라지가 유입할 수 있는 경로는 용수로로 통해서 들어오거나, 비 관개기 논의 토양 중에 수분이 있는 곳에서 월동을 한 것으로 볼 수 있다고 하였다. Minagawa *et al.* (2006)에 따르면 미꾸리류와 붕어속은 수로나 강으로부터 논으로 들어올 때 용수로와 배수로를 모두 이용한다고 보고하고 있다. 이때 이들의 진입경로는 논마다 다르고 일정한 경향은 없지만 배수로의 유출구로부터 소상이 가능하지 않은 논에서도 용수로의 유입구를 통하여 미꾸리류 진입이 있었다고 보고하고 있다.

실제로 이번 조사에서 저수지로부터 용수가 공급되는 용수로의 어류 채집 결과, 미꾸리과 어류의 성어가 트랩당 평균 3.5개체가 포획되었다. 비수변 농경지에서 수변 농경지보다 미꾸리과 어류의 포획 개체수가 높게 나타난 것은 대부분의 비수변 농경지가 저수지로부터 용수가 공급되는 용수로가 연결되었기 때문인 것으로 사료된다.

그리고 논과 배수로가 연결되어 있고, 흙수로인 농경지에서 포획 개체수가 높게 나타난 것을 뒷받침하는 선행 연구 사례도 있다. Suzuki *et al.* (2004)에 따르면 수로와 가까운 논 일수록 미꾸리류의 진입 개체수가 많았다고 보고하고 있다. Tanaka (1999)의 연구에서도 주로 항구적 수로 등에 월동한 미꾸리과 성어 또는 미성어는 논에 물을 대기 위해 담수가 시작되면 일시적 흙수로에 이동하여 물을 댄 이후에 논에 침입하는 것으로 나타났다. 즉, 흙수로에서 월동하였거나 강우 시에 머물던 미꾸리류가 논으로 소상할 가능성이 있다고 사료된다.

Kim *et al.* (2011b)에 따르면, 5월에 논에서 채집된 미꾸라지는 대부분 성어로 분류되었고, 그 외의 시기는 54-67mm의 미성어가 주로 분포하였다. 5월 이후 논에서 채집된 미꾸라지는 대부분 미성어 정도의 크기로서 논에서 부화 후 서식하고 있는 것으로 볼 수 있다(Naruse and Oishi, 1996). 이번 조사에서도 6월부터 15-50mm의 치어와 51-80mm 미성어의 포획 비율이 증가하다가 7월에 미성어 포획비율이 크게 증가하였다. 이는 담수가 시작되는 5월에 논에서 산란하고, 6월부터 7월까지 치자어가 성장하는 것으로 사료된다. 논은 미꾸리의 산란장소로 이용되며 산란 후 치자어의 성장 및 번식장소로서 매우 중요한 역할을 한다(Naruse and Oishi, 1996; Tanaka, 1999). Tanaka (1999)는 중간 물 떼기 시기나 강우 시에 성장한 미꾸리 미성어는 인근 수로로 이동한

다고 하였다. 이번 조사에서도 8월에는 미성어를 비롯한 전체 미꾸리과 어류의 포획 개체수가 감소하였는데 인근 배수로로 이동한 것으로 추정된다.

잉어과 어류는 비수변 농경지보다 수변 농경지에서 더욱 많이 포획되었다. 특히, 겨울철 담수가 되고 예당저수지까지의 거리가 가까우며, 산간 저수지로부터 용수공급이 안되고, 둠벙과 연결되고, 흙수로가 있는 논에서 잉어과 어류가 출현할 가능성이 높게 나타났다. Hata (2002)는 잉어와 붕어가 4월과 5월에 강이나 저수지에서 이동하여 배수로나 논에서 산란하는데 알을 갈대 등의 수생식물에 붙여 물살에 흘러나가지 않도록 한다고 하였다. 또한 Katano *et al.* (2003)는 논과 배수로는 잉어, 붕어 등의 어종에게 산란과 섭식지역으로 활용되며, 흙수로에는 어류 개체수와 생물량이 높게 나타난다. 그리고 다음으로 수로와 논 사이의 연결성도 중요하다고 하였다.

이번 조사에서 수변 농경지의 흙수로에서 붕어의 성어가 포획되었으며, 논에서는 붕어, 떡붕어, 잉어의 치어만이 포획되었다. 이를 통해 추정할 수 있는 것은 수변 농경지가 11월부터 4월까지 침수될 때 잉어, 붕어, 떡붕어가 산란한 후 저수지로 이동하고, 5월에 경작을 위해 일시적으로 배수할 때 물이 고인 곳이나 수로에 알이나 치아가 머물다가 5월 중순에 재담수할 때 논 내에서 확산되어 성장하는 것으로 보인다. 실제로 5월에 일시적으로 배수된 논에서 약 10 mm 이하의 자어 무리가 수로와 고인 물에서 관찰되었다. 반면 비수변 농경지는 4월까지 침수되지 않기 때문에 잉어과 어류가 저수지에서 이동하기 어렵기 때문에 거의 포획되지 않았다고 사료된다. 그러나 비수변 농경지 중 배수로와 잘 연결된 경우, 소수의 잉어과 어류가 포획되기도 하였다.

양서류의 유생은 5월 중순부터 6월 하순까지 점차 증가하다가 7월 초순에 크게 감소하였다. 이는 6월 하순에 중간 배수가 실시되어 일부 유생들이 폐사하였고, 배수 시 일부 유생들이 배수로로 이동하였기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 중간 배수 후 흙수로가 있거나 둠벙이 연결된 농경지에는 양서류 유생이 논에 남아있는 경우가 관찰되었다. 황소개구리는 저수지와 하천에서 주로 서식하며, 4월부터 산란을 한다(Chung, 2002). 수변 농경지는 4월까지 침수되어 예당저수지와 연결되기 때문에 황소개구리가 산란하여 유생이 많이 포획된 것으로 사료된다. 반면 참개구리의 서식 환경은 주로 논, 밭고랑, 논둑, 농수로, 하천 주변으로의 초지와 낙엽, 산림지역의 밭 주변과 산지습지에 서식하는 특성을 가지기 때문에(Lee *et al.*, 2011), 산림에 인접하여 위치하는 비수변 농경지에서 참개구리 유생이 다수가 관찰된 것으로 사료된다. 그 외 청개구리, 한국산개구리, 옴개구리도 산림에 인접한 농경지를 선호한다고 하기 때문에 수변 농경지보다 비수변 농경지에서 주로 관찰된 것으로 사료된다

다(Yang *et al.*, 2001; Kim and Song, 2010).

REFERENCES

- Akaike, H.(1973) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, In, B. N. Petrov, F. Csaki, (eds.), Second International Symposium on Information Theory, p 267-281. Akademiai Kiado, Budapest, Hungary.
- Cho, J.H.(2010) A study on the biodiversity in rice fields by environmental characteristics at Hongsong, Chungcheongnam-do and the foraging activity of Ardeidae by agricultural methods at ohchang, Chungcheongbuk-do. Master Department of Biology Education Korea national university of education, p. 75. (in Korean with English abstract)
- Chung, H.H.(2002) A study on the ecological characteristics, capture and use of Bullfrog. Master Department of Environmental Engineering Industrial Graduate School Chosun University, p. 23. (in Korean with English abstract)
- Fasola, M. and X. Ruiz(1996) The value of rice fields as substitutes for natural wetlands for waterbirds in the mediterranean region. Colonial Waterbirds. 19: 122-128.
- Hata, K.(2002) Perspectives for fish protection in Japanese paddy field irrigation systems. JARQ. 36(4): 211-218.
- Katano, O., Hosoya K., Iguchi K., Yamaguchi M., Aonuma Y. and S. Kitano(2003) Species diversity and abundance of freshwater fishes in irrigation ditches around rice fields. Environmental Biology of Fishes 66: 107-121.
- Kim, J.B. and J.Y. Song(2010) Amphibian in Korea. World Science, Seoul, p. 146. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.O., S.H. Lee and K.S. Jang(2011a) Efforts to improve biodiversity in paddy field ecosystem of South Korea. Reintroduction. 1(1): 25-30.
- Kim, J.O., H.S. Shin, J.H. Yoo, S.H. Lee, K.S. Jang and B.C. Kim(2011b) Distribution of fish in paddy fields and effectiveness of fishways as an ecological corridor between paddy fields and streams. Korea J. Limnol. 44(2): 203-213. (in Korean with English abstract)
- Kim, S., J. Yoon and S. Park(2012) Observation of fish movements through artificial fish passes installed in rice paddy fields near a reintroduction site for Oriental Storks *Ciconia boyciana*. Reintroduction 2(1): 51-55.
- Lee, J. H., H. J. Cheong and J. H. Seo(2011) Ecological guide book of herpetofauna in Korea. National Institute of Environmental Research. Korea, p. 256. (in Korean with English abstract)
- Lee, J. K.(2014) The impact of environmental friendly agriculture to bentic macroinvertebrates. Korea National Open University, Korea, p. 55. (in Korean with English abstract)
- Minagawa, A., K. Nishida and Y. Senga(2006) Study on fish movement between dual-purpose-channel and unimproved paddy

- field. JSIDRE. 74(4): 467-474. (in Japanese with English abstract)
- Naitoh, K.(1981) The development of pipelines for rice fields and its background. Water & Soil. 44: 2-5. (in Japanese with English abstract)
- Nakagawa, S.(1978) Movement of water and irrigation for paddy fields. Kagaku. 48(10): 605-613. (in Japanese with English abstract)
- Naruse, M. and T. Oishi(1996) Annual and daily activity rhythms of loaches in an irrigation creek and ditches around paddy fields. Environmental biology of fishes 47: 93-99.
- Ramsar Convention(2008) Resolution X 31 ‘ Enhancing biodiversity in rice paddies as wetland systems’. 10th meeting of the conference of the parties to the convention on wetlands.
- Rho, P.H.(2009) Use of GIS to develop a multivariate habitat model for the leopard cat *Prionailurus bengalensis* in mountainous region of Korea. Journal of Ecology and Field Biology. 32: 229-236.
- Saito, K., O. Katano and A. Koizumi(1988) Movement and spawning of several freshwater fishes in temporary waters around paddy fields. Jpn. J. Ecol. 38: 35~47. (in Japanese with English abstract)
- Seo, C. W. and C. H. Park(2000) Korea Spatial Information Society. 8(1): 85-99. (in Korean with English abstract)
- Suzuki M., M. Mizutani and A. Goto(2004) Effects of Connection of paddy fields, ditch and stream through small-scale fishways on fish fauna. JSIDRE. 72(6): 641-651. (in Japanese with English abstract)
- Tanaka, M.(1999) Influence of different aquatic habitats on distribution and population density of *Misgurnus anguillicaudatus* in paddy fields. Japan. J. Ichthyol. 46(2): 75-81. (in Japanese with English abstract)
- Yang, S.Y., J.B. Kim, M.S. Min, J.H. Seo and Y.J. Kang(2001) Monograph of Korean Amphibia. Academy book, Seoul, p. 187. (in Korean with English abstract)
- Zar, J.H.(1984) Biostatistical analysis, 2nd. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, p. 718.(in Korean with English abstract)