

Original article

멸종위기종인 기수갈고둥의 잠재적 서식지 예측을 위한 점유 확률 추정

박웅배¹ · 임성호^{1,2} · 원두희² · 이경락³ · 홍 철³ · 도윤호^{1,*}

¹공주대학교 자연과학대학, ²(주)생태조사단 부설 두희생태연구소, ³국립환경과학원 물환경공학연구과

Occupancy Probability Estimation of Endangered Species *Clithon retropictus*. Woong-Bae Park¹ (0000-0002-6805-932X), Sung-Ho Lim^{1,2} (0000-0002-4365-9695), Doo-Hee Won² (0000-0002-1435-7743), Kyung-Lak Lee³ (0000-0001-7276-0445), Cheol Hong³ (0000-0002-5444-7743) and Yuno Do^{1,*} (0000-0001-7910-9751) (¹Department of Biological Sciences, Kongju National University, Gongju 32588, Republic of Korea; ²Doohee Institute of Ecological Research, Korea Ecosystem Service Inc., Ansan 15426, Republic of Korea; ³Water Environmental Engineering Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Republic of Korea)

Abstract We attempted to estimate potential habitats of *Clithon retropictus* and to determine the community structure of benthic macroinvertebrates by presence of *C. retropictus*. 2016 to 2018 database of “Survey and Assessment of Estuary Ecosystem Health” by the Ministry of Environment were used to identify the distribution site of *C. retropictus*. The occupancy model was applied to estimate the potential habitat of *C. retropictus*. Four diversity indices were used to confirm the community structure of benthic macroinvertebrates. *C. retropictus* was found in the southern coast area and part of the east coast, and this pattern was consistent with previous studies. Additionally, the occupancy model predicted that a potential habitat of *C. retropictus* could appear in the west coast area. The community structure of benthic macroinvertebrates was relatively high at the site with *C. retropictus* than the site without *C. retropictus*. Therefore, the occupancy model can be considered when conserving *C. retropictus* inhabiting a limited area. Additionally, *C. retropictus* can be used to the indicator species that can represent the brackish water environment.

Key words: brackish water area, community structure, endangered species, occupancy model, potential habitat

서 론

기수갈고둥(*Clithon retropictus*)은 연체동물문(Mollusca) 복족강(Gastropoda) 고리갈고둥목(Cycloneritida) 갈고둥과(Neritidae)에 속한 저서성 대형무척추동물이다(Noseworthy *et al.*, 2013). 기수갈고둥은 크기가 작은 고둥류로서 패각의 너비와 높이가 약 10~15 mm로 패각은 4개의 층으로 이루어

져 있다. 기수갈고둥은 해수 및 담수에 서식하는 복족류 중 수명이 긴 생물로 알려져 있다(Ohara and Tomiyama, 2000; Shigemiyama and Kato, 2001; Miyajima *et al.*, 2014).

기수갈고둥은 국내 남해안 일대 하천과 제주도 일부 하천의 기수역에 분포하고(Choi *et al.*, 2018) 일본에서도 민물과 바닷물이 연결된 하천 하류지역에서만 분포한다고 보고되었다(Kobayashi and Iwasaki, 2002). 기수갈고둥은 2월부터 번식해 9월까지 산란하는데(Nishiwaki, 1991), 산란기에는 암컷의 이동범위가 증가하지만 산란 이후 이동범위가 줄어들어 겨울철에는 움직임이 거의 없다(Hirata, 1992). 기수

Manuscript received 16 March 2022, revised 21 March 2022, revision accepted 22 March 2022
* Corresponding author: Tel: +82-41-850-8501, Fax: +82-41-850-8501
E-mail: doy@kongju.ac.kr

갈고둥이 선호하는 서식환경과 이동범위를 고려해 보면 염분의 영향을 받는 기수 환경에 제한적으로 서식하는 것으로 보인다(Hirata *et al.*, 1999). 이러한 종 특성에 의해 기수환경의 이화학적 환경변화를 파악할 수 있는 지표종으로 인식되고 있다.

하구 일대의 개발로 인해 하구순환이 왜곡되고 하상기질이 단순화되면서 기수갈고둥이 서식할 수 있는 기수의 공간범위가 제한되고 개체군도 감소하고 있다. 이에 1998년 환경부는 기수갈고둥을 멸종위기야생생물 II급으로 지정해 보호하고 있다. 멸종위기야생생물의 보전을 위해서는 개체군의 분포에 대한 정보가 중요하다. 일부 연구에서 기수갈고둥의 분포를 파악했지만 특정 하천을 대상으로 조사가 진행되었거나 기존에 분포가 알려진 남해안 일대를 중심으로 조사되었다(Choi *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2018; Jang *et al.*, 2021). 멸종위기야생동물인 기수갈고둥의 효과적인 보호와 관리계획을 수립하기 위해서는 기수갈고둥의 전국 단위의 분포를 파악할 필요가 있고 현재 분포를 기반으로 기수갈고둥 서식처 변화에 따른 기수갈고둥의 분포를 예측할 필요가 있다.

본 연구는 점유 모델 중 단일 종을 대상으로 분석하는 방법(single species occupancy model)을 이용해 멸종위기야생동물인 기수갈고둥의 전국적 분포를 파악하고 각 조사지점에서 탐지 또는 점유 확률을 예측해 잠재 서식처를 추론했다. 점유 모델은 동일한 장소에서 반복적인 조사를 통해 해당 종의 존재/부재(탐지/비탐지)를 파악하고 대상 종이 조사지점에서 출현할 수 있는 가능성(점유 확률)을 추정한다(MacKenzie *et al.*, 2002). 여기서 종의 탐지 확률이 낮을 경우 해당 종이 조사지점에 분포하지 않거나 존재하지만 조사의 반복 횟수가 부족해 해당 종이 탐지되지 않았다는 것을 의미한다. 또한 본 연구에서는 기수갈고둥과 함께 조사된 저서성 대형무척추동물의 군집을 분석해 멸종위기야생동물인 기수갈고둥의 출현 유무가 저서성 대형무척추동물의 군집 다양성을 대표할 수 있는가를 파악해 생물다양성 지표로서 기수갈고둥의 활용 가능성을 확인했다.

재료 및 방법

1. 조사 방법

국내 325개 하구의 663개 지점을 2016년부터 2018년까지 조사한 “하구 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가” 결과 자료를 이용해 기수갈고둥의 출현지점과 조사지점에서 기록된 저서성 대형무척추동물의 종목록을 확인했다. 모든 조사지점의 자료는 연 2회 동일한 장소에서 표준화된 조사 방

법을 통해 조사한 결과로 점유 모델 분석을 위한 자료기준을 충족했다.

점유 모델에서는 조사지점의 환경특성에 따른 점유 확률과 탐지 확률이 다르게 추정된다(Rota *et al.*, 2016). 따라서 본 연구에서는 기수갈고둥의 서식환경 중 반복적인 조사 시 비교적 변화가 적은 서식환경요인(수로폭, 하천폭, 하구로부터 조사지점까지의 거리, 해발고도)을 조사해 기수갈고둥의 출현 가능성 간의 관계를 파악했다. 이를 통해 종의 출현 유무만을 이용해 편향된 종의 분포를 추론할 가능성을 배제하였다(McLoughlin *et al.*, 2010; Byholm *et al.*, 2012). 기수갈고둥의 출현에 영향을 미칠 수 있는 환경요인인 수로폭, 하천폭, 해발고도, 하구로부터 조사지점까지의 거리는 Google Earth Pro 7.3.4.8248 버전에서 제공하는 위성영상 중 조사연월과 가장 인접한 시기에 촬영한 영상을 이용해 측정했다. 수로폭과 하천폭은 조사정점을 중심으로 상하류 각각 10m 간격으로 5지점을 선정하고 수로폭은 영상에서 저수로 좌우하안공 간의 거리를 측정하였고 하천폭은 좌우 제방 간의 거리를 측정하였다. 각 조사정점에서 10회 측정된 수로폭과 하천폭을 평균해 분석에 이용했다. 조사지점의 해발고도는 각 조사정점을 기준으로 파악했고 하구로부터 조사지점까지의 거리는 하천 최말단 좌우안을 가상의 직선으로 연결하고 가상의 직선 중심으로부터 조사지점까지의 거리(m)를 하천 중심점 경로기반으로 측정했다.

2. 데이터 분석: 점유 모델링

점유 모델 분석은 PRESENCE 13.16 (Hines, 2006)을 사용하여 단일 계절 단일 종 점유 모델 방법(single season single species occupancy model)을 활용했다. 점유 모델을 분석하기 하기 위해 지점별 조사 차수에 따른 기수갈고둥의 탐지 횟수를 확인해 각 지점 및 조사 차수에 대해 기수갈고둥의 존재/부재를 1과 0으로 나타냈다. 단일 계절 단일 종 점유 모델은 최대 우도 추정법을 사용해 조사지점이 종으로 점유될 확률($\psi = \text{psi}$), 해당 지점에 종이 존재하는 경우 탐지될 확률(p) 모두를 추정했다(MacKenzie *et al.*, 2002).

표적 종이 불완전하게 탐지되고 점유한 종에 대한 단일 조사에서 종을 탐지할 확률 p 가 알려졌다고 가정해 보면 p^* (naive estimation; ne)은 모든 K 번 조사에서 종이 발견되지 않을 확률을 1에서 뺀 값이며, 조사 대상 종이 현장을 점유하고 있는 경우 표적 종을 적어도 한 번 탐지할 확률로 정의된다. p^* 은 다음과 같이 정의된다.

$$p^* = 1 - (1 - p)^K \quad (1)$$

여기서, K 는 조사의 반복 차수를 의미한다.

또한, p 값을 알았을 때 점유 확률은 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{\psi}_p = \frac{s_d}{sp^*} \quad (2)$$

여기서, s는 전체 지점 수를, p*은 ne를, s_d는 종이 발견된 지점의 수를 의미한다. 예를 들어, p 값이 0.4, 조사 차수가 4번이면 p*은 $1 - (1 - 0.4)^4 = 0.8704$ 가 되며, 전체 조사지점이 100지점, 그중 종이 발견된 지점 수가 40지점이면 $\hat{\psi}_p = \frac{40}{100 \cdot 0.8704} = 0.46$ 으로 점유 확률이 계산된다.

환경요인은 관심 매개변수 ψ 및 탐지 확률 p에도 영향을 줄 수 있다. 따라서 적절한 모델을 선택할 때 ψ 에 대한 환경요인의 구조는 일정하게 유지하되 p에 대한 환경요인 구조는 AIC (Akaike information criterion) 값을 기준으로 평가했다. 그 후, p에 대한 환경요인 구조는 가장 낮은 값의 AIC를 갖는 환경요인 구조로 수정했으며 (Burnham *et al.*, 2002), ψ 에 대한 환경요인의 역할이 평가되어 PRESENCE 내에서 AIC 값에 따라 경쟁 모델의 순위를 지정했다 (Table 1).

가장 낮은 AIC 값 또는 평균 모델이 식별된 이후에는 해당 모델을 사용해 기수갈고등이 존재할 가능성이 있는 663개 지점의 점유 및 탐지 확률을 추정했으며, 공변량이 기수갈고등의 점유 및 탐지에 미치는 영향을 확인하기 위해 4개의 환경요인이 추가된 모델을 사용하여 추정된 확률값을 Q-GIS 3.20.1 버전을 통해 지도에 표시했다.

환경요인인 수로폭, 하천폭, 해발고도, 하구로부터 조사지

점까지의 거리는 점유 및 탐지 확률을 측정하기 위한 점유 모델의 공변량으로 사용되었다. 환경요인의 변화는 종의 점유 및 탐지 확률에 변동을 유발하는데, 예를 들어 수로폭이 넓어질수록 조사자가 기수갈고등을 발견할 확률은 줄어들게 된다. 이 중 하구로부터 조사지점까지의 거리는 염분농도에 민감한 기수갈고등의 분포를 설명할 수 있는 중요한 환경요인으로 작용했다. 각 환경요인은 데이터의 편향을 방지하고, 탐지 및 점유 확률의 정확성을 높이고자 프로그램 내에서 normalize시켰다.

3. 조사지점의 생물다양성 지수

기수갈고등의 존재/부재에 따른 저서성 대형무척추동물 군집의 특성이 다른지 확인하기 위해서 군집 지수를 산출했다. 기수갈고등이 채집된 지점과 채집되지 않은 지점을 나누어 다양도, 풍부도, 우점도, 균등도를 산출했다. 다양도는 Shannon-Weiner 지수를 이용하여 산출했으며, 풍부도는 Margalef 지수를 이용하여 산출했다. 또한, 우점도는 Dominance index (DI)를 이용하여 산출했고, 균등도는 Pielou 지수를 이용하여 산출했다 (Magurran, 1988). 다양도의 산출은 Past3 프로그램 (Hammer *et al.*, 2001)을 이용하여 분석했다.

4. 통계 분석

각각 산출된 군집 지수는 GraphPad Prism 8.0.1 버전

Table 1. Results of the occupancy model by applying four environmental factors.

Model	no. Par.	AIC	delta AIC	AIC wgt	Model likelihood	-2*LogLike
psi(.).p(water_width, distance)	3	642.92	0	0.1682	1	636.92
psi(.).p(water_width)	2	643.52	0.6	0.1246	0.7408	639.52
psi(.).p(water_width, elev)	3	643.83	0.91	0.1067	0.6344	637.83
psi(.).p(stream_width, elev)	3	643.99	1.07	0.0985	0.5857	637.99
psi(.).p(water_width, elev, distance)	4	644.21	1.29	0.0883	0.5247	636.21
psi(.).p(stream_width)	2	644.22	1.3	0.0878	0.522	640.22
psi(.).p(stream_width, distance)	3	644.85	1.93	0.0641	0.381	638.85
psi(.).p(water_width, stream_width, distance)	4	644.9	1.98	0.0625	0.3716	636.9
psi(.).p(water_width, stream_width)	3	645.13	2.21	0.0557	0.3312	639.13
psi(.).p(water_width, stream_width, elev)	4	645.3	2.38	0.0512	0.3042	637.3
psi(.).p(stream_width, elev, distance)	4	645.44	2.52	0.0477	0.2837	637.44
psi(.).p(water_width, stream_width, elev, distance)	5	646.2	3.28	0.0326	0.194	636.2
psi(.).p(distance)	2	649.88	6.96	0.0052	0.0308	645.88
psi(.).p(elev, distance)	3	650.52	7.6	0.0038	0.0224	644.52
psi(.).p(.)	2	652.13	9.21	0.0017	0.01	648.13
psi(.).p(elev)	2	652.43	9.51	0.0014	0.0086	648.43

water_width: Width of waterway, stream_width: Width between left and right levee, elev: Elevation, distance: Distance of river mouth to sites

(GraphPad Software, San Diego, USA, www.graphpad.com)을 사용하여 정규성 검정 테스트를 실시했다. 정규성을 가진 Shannon 다양성 지수(H')는 t-test를 실시했고 정규성을 가지지 않은 풍부도, 우점도, 균등도는 비모수통계인 Mann-Whitney test를 실시해 기수갈고등 출현 유무에 따른 군집 지수의 차이를 확인했다.

결 과

1. 기수갈고등의 분포와 점유 확률

2016년부터 2018년 사이 진행된 “하구 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가” 결과 663개 조사지점 중 78개 지점 (11.76%)에서 기수갈고등이 채집되었고 585개 지점 (88.24%)에서는 기수갈고등이 채집되지 않았다. 채집된 지점은 남해안을 중심으로 분포하였고, 일부 동해안 하구에서도 분포하는 것을 확인했다(Fig. 1).

기수갈고등의 점유 모델 분석 결과 naive estimation (p*) 값이 0.1176으로 전체 조사지점을 2회 조사하였을 때 기수

갈고등이 탐지될 확률이 11.76%이다. 환경요인이 포함되지 않은 일반 모델부터 환경요인 4가지 모두를 포함한 모델까지 가능한 모든 경우의 수를 반영해 분석한 결과 AIC 값을 기준으로 적합성이 높은 모델은 수로폭과 하구로부터 지점까지의 거리를 환경요인으로 적용한 모델이었다. 수로폭과 하구로부터 지점까지의 거리를 고려해 전체 조사지점을 2회 조사했을 경우 psi는 0.1546 ± 0.0165 (mean \pm Standard Error)로 기수갈고등이 해당 조사지점을 점유할 확률이 15.46%이다. 또한 기수갈고등이 존재한다고 가정할 경우 2회 조사를 통해 탐지될 확률이 54.12%였다($p \pm SE$, 0.5412 ± 0.0491). 반면 수로폭과 하천폭, 해발고도, 하구로부터 지점까지의 거리를 모두 환경요인으로 적용하였을 때는 기수갈고등이 해당 조사지점을 점유할 확률이 15.58%였으며 ($psi \pm SE$, 0.1558 ± 0.0167), 조사지점에 기수갈고등이 존재할 경우 탐지될 확률은 53.48%였다($p \pm SE$, 0.5348 ± 0.0832) (Table 2). psi 값을 기준으로 기수갈고등이 분포할 가능성이 있는 지점을 살펴보면 기수갈고등이 채집되지 않았던 지점 중 서해안 일원의 일부 지점에서 psi 값이 높게 나타났다(Fig. 2). 또한 하구

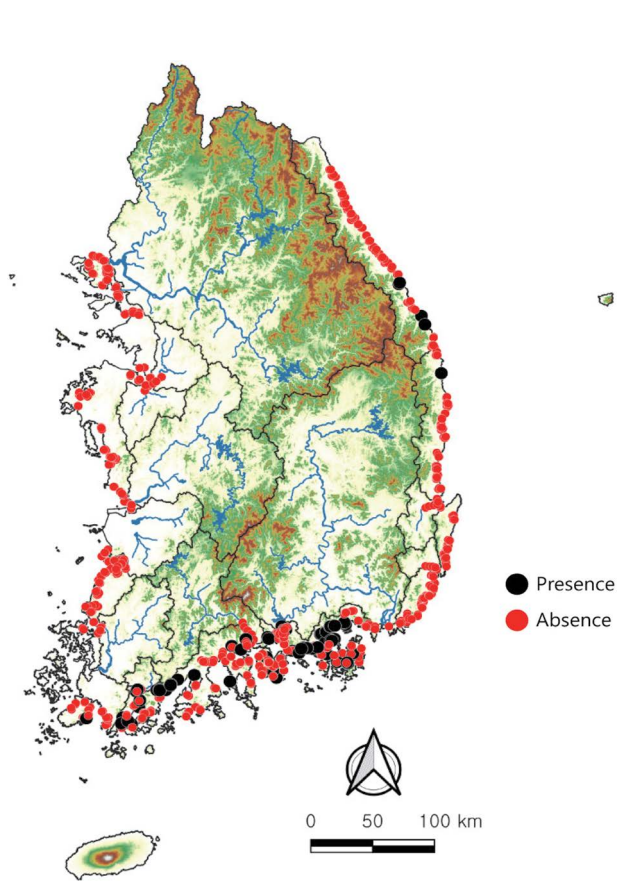


Fig. 1. Distribution of the *C. retropictus*.

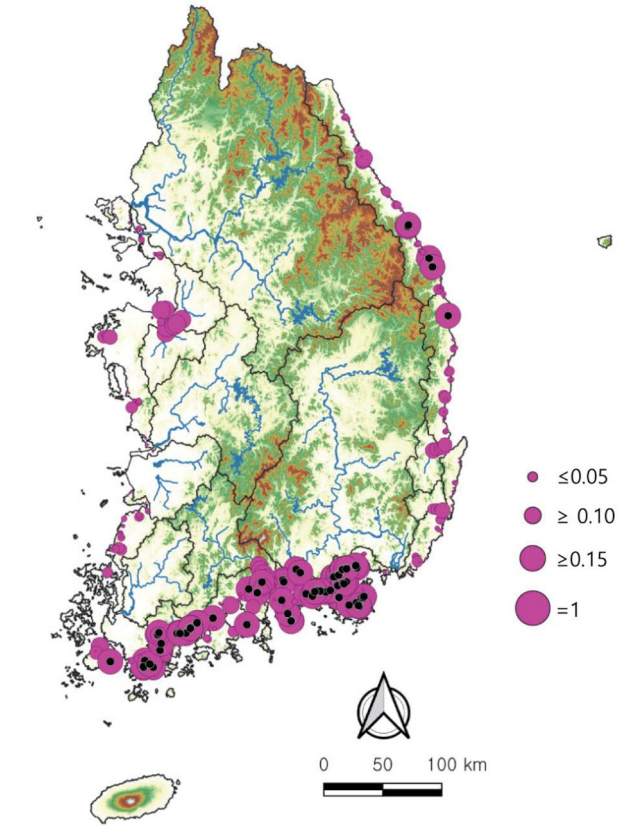


Fig. 2. Estimated probability of occupancy based on the presence or absence of the *C. retropictus*. (Black circle: Presence sites of *C. retropictus*, Purple circle: occupancy estimate of *C. retropictus*).

Table 2. Naive estimation, average occupancy (ψ) and detection (p) probability, and standard Error (SE) derived from the occupancy model with four environmental factors.

Model	Naive estimation	$\psi \pm SE$	$p \pm SE$
$\psi(\cdot), p(\text{water_width}, \text{distance})$		0.1546 ± 0.0165	0.5412 ± 0.0491
$\psi(\cdot), p(\text{water_width})$		0.1530 ± 0.0163	0.5434 ± 0.0354
$\psi(\cdot), p(\text{elev}, \text{distance})$	0.1176	0.1591 ± 0.0169	0.5045 ± 0.0519
$\psi(\cdot), p(\text{elev})$		0.1585 ± 0.0169	0.4996 ± 0.0328
$\psi(\cdot), p(\text{water_width}, \text{stream_width}, \text{elev}, \text{distance})$		0.1558 ± 0.0167	0.5348 ± 0.0832
$\psi(\cdot), p(\cdot)$		0.1391 ± 0.0164	0.6071 ± 0.0545

Table 3. Number of site and proportion with higher occupancy probability based on the estuary type.

Estuary type	Open	Closed
Total sites (%)	427 (64.40)	236 (35.60)
$\psi = 1$ site $\{(\psi = 1 \text{ sites}/\text{total sites}) \times 100\}$	71 (16.63)	7 (2.97)
$\psi \geq 0.1$ site $\{(\psi \geq 0.1 \text{ sites}/\text{total sites}) \times 100\}$	99 (23.19)	23 (9.75)
Average ψ	0.20	0.07

의 유형을 나누었을 때 밀물과 썰물에 의해 하구순환과 생물의 이동이 자유로운 열린하구가 방조제로 인해 단절되어 하구순환과 생물의 이동이 제한되는 닫힌하구보다 조사지점의 수가 많았다. 하구의 유형별 점유 확률을 분석한 결과 점유 확률이 10% 이상인 지점이 열린하구에서 더 많았고 평균 점유 확률도 더 높아 상대적으로 닫힌하구보다 열린하구에서 점유 확률이 더 높음을 확인했다(Table 3).

2. 기수갈고둥 출현장소의 저서성 대형무척추동물 군집 특성

기수갈고둥이 출현하는 장소에서 저서성 대형무척추동물 군집의 평균 다양도(H')가 기수갈고둥이 출현하지 않은 장소보다 유의미하게 높았다($t=2.288$, $p=0.0225$). 풍부도(R)도 기수갈고둥 존재 여부에 따라 통계적 차이가 있었고 기수갈고둥이 출현한 장소에서의 풍부도가 기수갈고둥이 출현하지 않은 장소에 비해 높았다($U=18882$, $p=0.0131$). 반면, 우점도($U=20321$, $p=0.1167$)와 균등도(J' , $U=20552$, $p=0.1547$)는 기수갈고둥의 출현 여부에 따라 유의미한 통계적 차이가 없었다(Fig. 3).

고찰

점유 확률은 조사시간, 조사자의 노력 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있지만(Moore *et al.*, 2016), 하구 수생태계

현황 조사 및 건강성 평가의 조사는 표준화된 조사 방법을 통해 조사자에 의한 조사 결과의 편차가 최소화되어 있으므로 점유 모델을 적용하는 데 문제가 없는 것으로 판단된다.

기수갈고둥이 남해안 일대와 동해안 일부 지역에 서식하는 것이 확인되었으며 남해안을 중심으로 점유 확률도 높았다. 현재까지 서해안에서 기수갈고둥의 출현이 확인되지 않았지만 서식환경을 고려할 경우 기수갈고둥이 일부 장소에서 점유될 확률은 존재한다. 서해안 일원의 하구는 하구순환이 왜곡되어 해수의 영향이 차단된 하구가 많고 동해와 남해에 비해 서해가 35년간 표층과 50 m 수층에서 모두 염분 농도가 낮아져(Jeong *et al.*, 2003) 해수의 영향을 받는 장소를 선호하는 기수갈고둥이 서식하지 않는 것으로 보인다. 본 연구에서 확인한 환경요인 중 하구로부터 지점까지의 거리는 염분 농도를 추정할 수 있는 환경요인으로 거리가 길어질수록 담수환경에 가까워지게 되고 염분 농도가 줄어들게 되는데 기수갈고둥의 점유 확률은 하구로부터 지점까지의 거리가 늘어남에 따라 감소하는 양상을 보였다. 또한 환경요인이 점유 확률에 미치는 영향으로는 수로와 하천폭이 넓어질수록 점유 확률이 감소하는 양상을 보였고 고도가 높아짐에 따라 지리적으로 상류지점이 많이 분포되어 기수갈고둥의 점유 확률이 감소되는 양상을 보였다.

기수갈고둥이 채집된 지점이 채집되지 않은 지점과 비교하였을 때 저서성 대형무척추동물의 다양도와 풍부도가 상대적으로 높았다. 기수갈고둥이 출현하는 대부분의 장소는

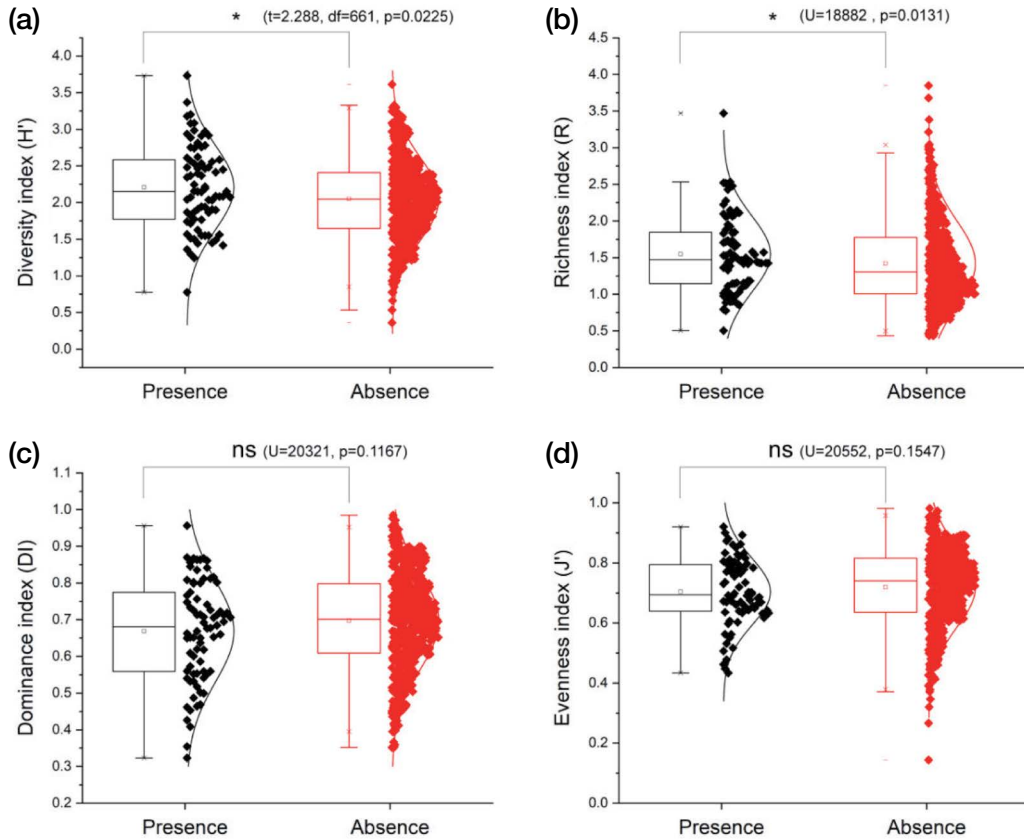


Fig. 3. Statistical difference of diversity index (a), richness index (b), dominance index (c), and evenness index (d) according to the presence or absence of the *C. retropictus*.

하구순환이 원활한 열린하구로 하구순환에 의해 하상기질이 다양하게 유지되어 여러 저서성 대형무척추동물이 서식하는 데 적합한 환경을 제공하는 것으로 보인다.

기수갈고등은 기수환경을 대표할 수 있는 생물로서 출현 유무를 통해 지점 또는 해당 하천 기수역의 생물다양성을 설명할 수 있는 지표종으로 활용이 가능할 것으로 판단된다 (Duelli and Obrist, 2003; Heink and Kowarik, 2010). 현재 제한된 지역에서 서식하는 기수갈고등을 복원 또는 대체서식지를 마련할 때 본 연구에서 확인된 점유 확률을 고려해 볼 수 있을 것으로 생각된다. 현재 하구 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가는 연차별로 서로 다른 지점에 서식하는 저서성 대형무척추동물의 전반적인 군집 구조를 조사하지만 기수갈고등이나 분류학적 및 생태적으로 중요한 일부 종에 대해서는 특정 지역에서 연속적인 조사가 필요할 수 있다. 훼손된 하구의 복원사업이나 환경개선사업이 진행될 경우 저서성 대형무척추동물 전체 군집을 이용해 사업의 효과를 판단하는 것보다 지표종을 이용한 건강성 회복 효과를 판단하는 것이 효과적일 수 있다.

적 요

기수갈고등의 잠재적 서식지를 추정하고, 기수갈고등의 존재 여부에 따라 저서성 거대무척추동물의 군집 구조를 확인하고자 했다. 기수갈고등의 분포지는 환경부에서 수행 중인 “하구 수생태계 현황 조사 및 건강성 평가” 자료 중 2016년부터 2018년까지의 자료를 이용했다. 점유 모델은 기수갈고등의 잠재적 서식지를 추정하기 위해 사용되었으며 저서성 거대무척추동물의 군집 구조를 확인하기 위해 4개의 다양성 지수가 사용되었다. 기수갈고등은 남해안 일대와 동해안 일부 지역에서 발견되었으며, 이러한 양상은 기존 연구와 일치했다. 추가로 점유 모델 적용 결과 기수갈고등의 잠재적 서식지가 서해안 일부 지역에 나타날 수 있음을 예측했다. 저서성 거대무척추동물의 군집 구조는 기수갈고등이 채집되지 않은 지역에 비해 기수갈고등이 채집된 지역에서 상대적으로 높았다. 따라서 제한된 지역에 서식하는 기수갈고등을 보전할 때 점유 모델을 고려할 수 있으며, 기수갈고등은 기수환경을 대표할 수 있는 생물로서 지표종으로 활용될 수

있는 것으로 판단된다.

저자정보 박웅배(공주대학교 석박사통합과정), 임성호(㈜생태조사단 연구원, 공주대학교 박사과정), 원두희(㈜생태조사단 대표이사), 이경락(국립환경과학원 연구사), 홍철(국립환경과학원 전문위원), 도윤호(공주대학교 부교수)

저자기여도 개념설정: 도윤호, 박웅배, 원두희, 이경락, 홍철, 방법론: 박웅배, 도윤호, 자료수집: 임성호, 원두희, 박웅배, 분석: 박웅배, 도윤호, 임성호, 자료관리: 박웅배, 임성호, 원고 초안작성: 박웅배, 도윤호, 원두희, 이경락, 홍철, 원고교정: 박웅배, 도윤호, 원두희, 원고 편집: 박웅배, 임성호, 과제관리: 원두희, 연구비 수주: 원두희

이해관계 이 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없습니다.

연구비 본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2020-04-02-009).

REFERENCES

- Burnham, K.P. and D.R. Anderson. 2002. A practical information-theoretic approach. *Model Selection and Multimodel Inference* 2: 70-71.
- Byholm, P., D. Burgas, T. Virtanen and J. Valkama. 2012. Competitive exclusion within the predator community influences the distribution of a threatened prey species. *Ecology* 93(8): 1802-1808.
- Choi, S.D., N.Y. Myeong, S.M. Choi, C. Lee and Y.K. An. 2018. Protection and preservation of *Clithon retropictus*, level II endangered species declining due to development projects carried out in its habitat. *Korean Journal of Environmental Biology* 36(2): 174-179.
- Duelli, P. and M.K. Obrist. 2003. Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98(1-3): 87-98.
- Hammer, Ø., D.A. Harper and P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9.
- Heink, U. and I. Kowarik. 2010. What criteria should be used to select biodiversity indicators?. *Biodiversity and Conservation* 19(13): 3769-3797.
- Hines, J.E. 2006. PRESENCE2: Software to estimate patch occupancy and related parameters. USGS-PWRC. <http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html>.
- Hirata, T. 1992. Seasonal changes in moving activity of *Clithon retropictus* (Prosobranchia: Neritidae). *Venus* 51: 57-66.
- Hirata, T., H. Ueda, Y. Tsuchiya, T. Sato and S. Nishiwaki. 1999. Distribution of *Clithon retropictus* (Gastropoda; Neritidae) and environmental conditions in the rivers of Izu Peninsula. *Memoirs of Faculty of Education and Human Science of Yamanashi University* 1: 24-30.
- Jang, K.G., M.S. Kim, S.G. Jo, W. Yih and H.S. Kim. 2021. Habitat environments and spatiotemporal distribution of *Clithon retropictus* at the estuaries of Bonggang and Miryoung Streams in the Southern Coast of Korea. *Ocean and Polar Research* 43(3): 127-140.
- Jeong, H.D., J.D. Hwang, K.K. Jung, S. Heo, K.T. Sung, W.J. Go, J.Y. Yang and S.W. Kim. 2003. Long term trend of change in water temperature and salinity in coastal waters around Korean peninsula. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety* 9(2): 59-64.
- Kobayashi, S. and K. Iwasaki. 2002. Distribution and spatiotemporal variation in the population structure of the fluvial neritid gastropod *Clithon retropictus*. *Benthos Research* 57(2): 91-101.
- Lee, S.D., M.J. Kim and J.S. Kim. 2018. Ecological characteristic of *Clithon retropictus* inhabiting in Yeoncho River in Southern Coastal Area. *Korean Journal of Environment and Ecology* 32(6): 591-602.
- MacKenzie, D.I., J.D. Nichols, G.B. Lachman, S. Droege, J. Andrew Royle and C.A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83(8): 2248-2255.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton university press.
- McLoughlin, P.D., D.W. Morris, D. Fortin, E. Vander Wal and A.L. Contasti. 2010. Considering ecological dynamics in resource selection functions. *Journal of Animal Ecology* 79(1): 4-12.
- Miyajima, H. and K. Wada. 2014. Spatial distribution in relation to life history in the neritid gastropod *Clithon retropictus* in the Kanzaki River Estuary, Osaka, Japan. *Plankton and Benthos Research* 9(4): 207-216.
- Moore, A.L. and M.A. McCarthy. 2016. Optimizing ecological survey effort over space and time. *Methods in Ecology and Evolution* 7(8): 891-899.
- Nishiwaki, S. 1991. Egg-laying season and monthly change in egg capsule production of *Clithon retropictus* (Prosobranchia: Neritidae) in the Naka River of Izu Peninsula. *Venus* 50: 197-201.
- Noseworthy, R.G., H.J. Lee and K.S. Choi. 2013. The occurrence of *Clithon retropictus* (v. Martens, 1879) (Gastropoda: Neritidae) in an unusual habitat, northern Jeju Island, Republic of Korea. *Ocean Science Journal* 48(3): 259-262.
- Ohara, T. and K. Tomiyama. 2000. Niche segregation of coexisting two freshwater snail species, *Semisulcospira libertina* (Gould) (Prosobranchia: Pleuroceridae) and *Clithon retropictus* (Martens) (Prosobranchia: Neritidae). *Japanese Journal of Malacology* 59(2): 135-147.
- Rota, C.T., M.A. Ferreira, R.W. Kays, T.D. Forrester, E.L. Kallies, W.J. McShea, A.W. Parsons and J.J. Millsbaugh.

2016. A multispecies occupancy model for two or more interacting species. *Methods in Ecology and Evolution* 7(10): 1164-1173.
- Shigemiya, Y. and M. Kato. 2001. Age distribution, growth, and lifetime copulation frequency of a freshwater snail, *Clithon retropictus* (Neritidae). *Population Ecology* 43(2): 133-140.