

남해안 연초천에 서식하는 기수갈고둥의 생태적 특성 연구¹

이수동² · 김미정^{3*} · 김지석⁴

Ecological Characteristic of *Clithon retropictus* inhabiting in Yeoncho River in Southern Coastal Area

Soo-Dong Lee², Mi-Jeong Kim^{3*}, Ji-Suk Kim⁴

요약

기수갈고둥(*Clithon retropictus*)은 염분농도, 물흐름, 지반조건 등 환경의 질을 판단할 수 있는 생물학적 지표종으로서의 가치가 높아 멸종위기야생생물 2급으로 지정되었으나 생리생태적인 특성에 대한 기초 연구는 여전히 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 연초천 기수역을 대상으로 염분농도, 하상 토양입도 등의 환경조건이 개체크기, 밀도 등에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 기수역에서 생물의 분포에 영향을 미치는 핵심 변수인 염분농도를 조사한 결과 민물에서부터 기수에 해당하는 0~25% 범위를 나타내었다. 하상 입도는 연초보와 가까울수록 거친 자갈이 많아진 반면, 하류로 갈수록 모래보다 작은 입자의 비율이 증가했다. 개체수와 개체크기는 연초보를 중심으로 물이 정체되는 담수인 상류와 해수가 만나는 하류에서 급격히 감소한 것으로 미루어 염분농도에 대한 내성은 넓은 것으로 확인되었다. 하지만 양극단으로 갈수록 개체수와 개체크기가 줄어드는 것으로 나타나 적응성은 약해지는 것으로 분석되었다. 개체수 및 개체크기와 환경요인과의 상관관계를 분석한 결과, 염분농도와 하상입도 모두에 영향을 받는 것으로 나타났다. 염분농도와는 높을수록, 하상입도와는 모래보다 작은 입자가 많을수록 개체수는 감소하는 경향이 있었다. 개체크기와 관계에서도 염분농도가 높은 하류로 갈수록 크기는 줄어들었다. 하상입도는 입자크기 19mm 이상인 자갈이 많아질수록 개체가 커지는 것으로 분석되었다.

주요어: 기수역, 염분농도, 하상입도, 내성의 범위

ABSTRACT

Clithon retropictus has been designated as an endangered wildlife Class II due to its high value as a biological indicator species capable of judging environmental quality such as salinity, water flow, and ground conditions. However, basic research on its physiological and ecological characteristics is still lacking. As such, this study intended to examine the impact of environmental conditions such as salinity and soil particle size on the size and density of *Clithon retropictus* at the Yeoncho river estuary. The investigation of the salinity, which is a key variable that affects the distribution of organisms in the estuary, showed that *Clithon retropictus* could grow at a salinity ranging from 0‰ (freshwater) to 25‰ (brackish water). The coarse gravel (19-75mm) tended to

1 접수 2018년 9월 1일, 수정 (1차: 2018년 10월 17일), 게재확정 2018년 10월 31일

Received 1 September 2018; Revised (1st: 17 October 2018); Accepted 31 October 2018

2 경남과학기술대학교 조경학과 교수 Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology, 52725, Korea (ecoplan@gntech.ac.kr)

3 국립생태원 생태연구본부 생태보전연구실 연구원 Division of Ecological Conservation, Bureau of Ecological Research, National Institute of Ecology, 33657, Korea(mijeong098@naver.com)

4 서울특별시 중부공원녹지사업소 공원여가과 과장 Jungbo Parks & Landscape Management Office, 04628, Korea (gstone1@hanmail.net)

* 교신저자 Corresponding author: mijeong098@naver.com

increase nearer the upper stream (under the Yeoncho weir), while the proportion of particles smaller than sand (less than 19mm) increased toward the downstream. The population and the size of the individuals decreased rapidly in the downstream where water stagnated near the Yeoncho weir, and the salt water joined. The results indicated that *Clithon retropictus* had a high tolerance to salinity, but the adaptability was weaker toward the extremes since the population, and the size tended to decrease as the salinity increased. The correlation analysis revealed that both salinity and soil particle size affected the population and individual size. The correlation between the individual size and salinity was -0.242 ($P < 0.01$), indicating that the size decreased with increasing salinity. The correlation between individual size and coarse gravel having a particle size of 19mm or more was 0.420 ($P < 0.01$), indicating that the size increased with increasing the particle size.

KEY WORDS: ESTUARY, SALINITY, PARTICLE SIZE, RANGE OF TOLERANCE

서론

기수역(汽水域, brackish water zone)은 강물이 바닷물과 서로 섞이는 곳으로 염분농도의 변화가 심하기 때문에 다양한 생물들이 서식하고 있으며 하구역(河口域, estuary)이라고도 한다(Tiner, 2017). 담수의 양은 집수역의 강수량에 따라 불규칙하게 변하고 바닷물은 규칙적인 상하운동을 하기 때문에 염분농도는 0.5~30‰로 광범위하며 계절이나 강수량 등에 따라 변동이 심하기 때문에 광범위한 염분농도에 적응할 수 있는 생물들이 분포하는게 일반적이다. 분류군은 순수 해양생물이나 담수생물군에 비해 수가 적으나 해양생물에 속하는 종류가 대부분이며 담수생물은 극히 일부분에 지나지 않는다고 하였다(Batzer and Sharitz, 2006).

기수역 생태계에 대한 연구로는 Mun and Kim(1985a, 1985b), Yoon(1991), Lee and Ahn(2012) 등이 낙동강을 대상으로, Kim et al.(2006a, 2006b), Lee et al.(2003) 등은 만경강과 동진강 하구 염습지의 식물 사회학적 특성 분류를 수행한 바 있다. Kim et al.(1996)은 낙동강 하구의 저서층과 미생물을 조사하였고 Kim(1991)은 만경강 하구의 저서 환경과 생물과의 관계를, Hong et al.(2000; 2004)은 양양 남대천 기수역에 분포하는 대형 저서동물의 서식처 특성을 규명한 바 있다. 어류에 대해서는 Lee(1990)가 하구 주변 해역의 계절적인 변동을, Moon et al.(2011), Kim et al.(2014)은 해수의 영향권인 하구 하류의 계절적인 종조성 변화에 대한 연구를 진행하였다. 야생조류에 대해서는 Lee et al.(2002), Kang et al.(2011), Kim et al.(2015) 등이 만경강, 낙동강 하구에 출현하는 철새와 수조류 목록을 제시한 바 있다. 고등류와 관련해서는 중금속 함유량(Han and Lee, 2001), 식품으로써의 영양성분에 대한 분석(Ha et al., 2002), 생리적 특성(Lee, 2000) 등에 대해서는 분석된 바 있으나 서식처의 환경생태적 특성에 관한 연구는 부족한 실정이다.

하천 자체의 특성을 이해하고 복원하기 위해서는 식생뿐만 아니라 물리적 분류가 우선이라고 한 바 있다(Beschta and Platts, 1986; Kondolf, 1997). 하지만, 생태적 측면에서 하천은 육수생태계인 수면에서 육상생태계로 이행되는 추이대(ecotone)를 포함하고 있어 다양한 생물이 서식할 수 있는 기반을 제공하고 있으나 하천을 정비함에 있어 야생생물 서식처 기능을 고려하여 정비사업을 시행한 것은 최근이다. 하천과 관련된 연구는 여러 분야에 걸쳐 이루어졌는데, 물리적 특성에 관해서는 미세지형을 이용한 자연도 평가 연구(Ahn et al., 1997; Chun et al., 1999), 도시하천 미세지형 연구(Chung and Kim, 1999), 기후 변화에 따른 하천 관리 및 복원 방안을 제시한 사례(KIPE, 2012), 하천내 수목식재 가능성에 대한 연구(Woo and Chung, 1998) 등이 있다. 하지만 구조적인 측면에서의 연구에 비해 서식하는 생물과 수심, 하상입도 등 물리적 환경과의 관계에 대한 연구는 한정적이며 특히, 기수역에 서식하는 저서생물에 대한 연구는 부족한 실정이다. 최근 하천에 대한 자연성 회복을 추구하고 있으나 자체의 생물상과 생태적인 특성에 대해 고려하지 않는 정비는 생물서식처 황폐화를 초래할 가능성이 많다.

한편, 기수역(brackish water zone)을 중심으로 서식하는 것으로 알려진 원시복족목 깔고둥과의 기수갈고둥(*Clithon retropictus*)은 유속이 빠르고 자갈이 깔려있는 담수와 해수가 접하는 전이대에 서식하는 특성이 있다(Park and Lee, 2008). 대상종은 염도, 물흐름, 지반조건 등 환경의 질을 판단할 수 있는 까다로운 생육조건으로 인해 생물학적 지표종으로서의 가치가 높아 1997년에 멸종위기야생생물 2급으로 지정되었으나(www.me.go.kr) 생리생태적인 특성에 대한 기초 연구는 여전히 부족한 실정이다. 기수갈고둥에 관한 연구로는 전라남도 서남해안의 봉강천에 서식하는 기수갈고둥의 서식처 특성을 밝히고자 유심, 유속, 하상토 상태, 염분도와 서식밀도와의 관계를 밝힌 바 있다(Cho and

Wang, 2010). 하지만 새롭게 발견된 남해안 및 동해안 개체군에 대해서는 기초자료가 부족한 상태로, 관리 및 보전 계획을 수립하기 위해서는 정밀한 조사가 필요한 것으로 판단되었다. 이에 본 연구는 남해안 고현만에 위치한 연초천 기수역을 대상으로 염분농도, 토양입도 등의 환경조건이 기수갈고둥(*Clithon retropictus*)의 개체크기, 밀도 등에 미치는 영향을 파악하고자 진행하였다.

연구내용 및 방법

경상남도 거제시에 위치한 연초천은 제석산, 울천산, 대금산에서 발원하여 상부 연초담에 저류된 후 바다로 흘러드는 형태이다(Figure 1). 지방 2급 하천으로 일부 구간이 정비되었으나 하상은 큰돌과 자갈, 모래 등 다양했으며 수질은 I 등급(6.5~8.5) 이내의 양호한 상태이었다(water.nier.go.kr). 멸종위기야생생물 2급인 기수갈고둥은 2011년 10월 하류인 연초교 하부 일대에서 서식하는 것이 확인되었으나 정확한 현황조사가 이루어지지 않고 있다. 이에 서식처의 생태적 특성을 파악하고자 담수와 기수가 구분되는 연초보로부터 개체가 서식하는 하류까지인 면적 58,977.6m²를 대상으로 100~200m 간격의 조사지점을 설정한 후 서식환경 및 개체군 특성을 파악하였다.

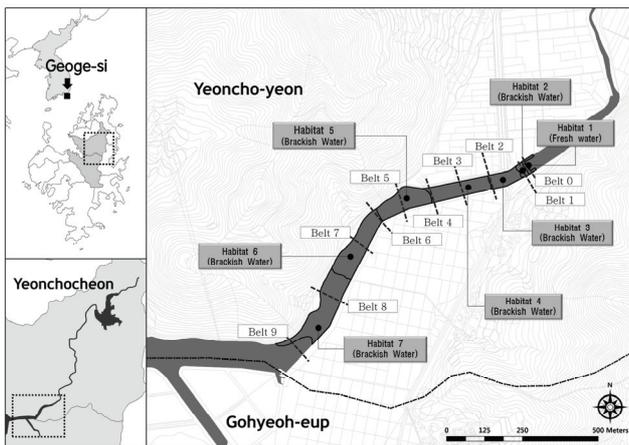


Figure 1. Habitat type classification and survey site location map

멸종위기야생생물 2급인 기수갈고둥 보호 계획을 수립할 시 활용할 수 있는 기초자료 제공을 목적으로 1단계 공간구분, 2단계 물리적 환경과 개체군 특성 조사분석, 3단계 통계 분석을 통한 개체군과 환경과의 상관관계 도출 순으로 진행하였다. 먼저, 저서생물은 기질의 형태에 따라 중수 및 개체

수가 달라질 수 있다고 하였으므로(Kim et al., 2016) 기수갈고둥이 서식하는 공간을 환경 및 생태적 특성에 따라 구분하고자 연초보를 기준으로 보 상류 담수지 일부, 담수와 해수가 혼합되는 지역까지의 지반 특성, 염분농도 등을 고려하여 분류하였다. 또한 멸종위기야생생물의 보호를 위한 계획 수립시 기초자료로 활용할 수 있도록 위치를 1/5,000 지형도에 도면화하였다. 서식처 유형 구분 자료를 바탕으로 환경 특성을 파악하고자 단면도를 작성하고 하상의 특성을 조사분석하였다. 단면을 조사함에 있어서 저질의 형태를 뿔, 모래, 자갈 등으로 구분하였는데 이는 저서생물의 서식은 공극이 많은 저질에서 적합하다라는 Duan et al.(2008)의 연구결과를 반영한 것이다.

2단계 물리적 환경 특성 조사 항목 중 염분농도 및 수질 분석을 위해서 개체군 조사지점(belt-transect)과 동일한 위치에서 채수하였다(Figure 1). 염분농도가 기수갈고둥의 개체군 밀도 또는 서식에 영향을 미치는지 확인하고자 연초보를 기준으로 기수역 하류까지 총 10 곳에 대하여 사리와 조금, 그리고 매일 만조시에 측정하였다. 조사는 2012년에 총 12회 실시하였고 염분농도는 조금과 사리에 관계없이 만조시에 1회 측정하였다. 다만, 해수에 의한 염도 변화를 정량적으로 분석하고자 사리(2012년 7월 4일)와 조금(2012년 7월 26일) 일의 만조와 간조를 기점으로 일변화를 파악하고자 20분 간격으로 12시간의 변화를 측정한 후 개체수 및 크기와의 상관관계를 분석하였다. 이 외에 조금과 사리를 고려하지 않고 연초보까지 해수의 영향이 미칠 것으로 예상되는 만조시에 10개 지점 및 바다와 만나는 합류부를 대상으로 12회를 추가로 측정하였다. 염분 농도는 ATAGO사의 Master Refractometer를 사용하여 %단위로 측정하였다. 토양입도는 저질의 입자 크기가 기수갈고둥의 서식에 영향을 미치는지 확인하고자 전석과 콘크리트로 뒤덮인 연초보를 제외한 8개소를 대상으로 하천 중앙에서 시료를 채취하였다. 시료에는 조개껍질 등이 포함되어 있고 크기가 기수갈고둥의 서식에 영향을 미칠 수 있기 때문에 600 μ m~76.2mm의 체를 활용하여 구별한 후 각각의 비율을 분석하였다.

기수갈고둥의 개체군 특성은 지반 특성, 염분농도 등 환경 및 생태적 특성에 따른 공간 구분을 바탕으로 담수와 기수의 경계부인 연초보를 중심으로 기수역까지 100~200m 간격으로 하천 좌안에서 중앙까지 Belt-transect 방법을 활용하였다. 조사지는 연초보를 중심으로 담수지를 Belt 0, 연초보 상부를 Belt 1로, 기수갈고둥이 분포하는 최하단부인 지역을 Belt 9로 설정하여 조사하였다. 조사는 하천 좌안과 우안에 줄자로 거리를 표시한 후 호안면, 하천중심부, 호안과 중심부 사이에 3m 간격으로 1m×1m 크기의 조사구를 설치하였고 샘플링은 계절적인 개체수 변동을 파악하고자 5월, 7월, 9월, 11월에 실시하였는데 이는 조사 시기 및

방법 등의 요인에 따라 개체수가 달라질 수 있다라고 제시한 Paik et al.(2005)의 견해를 따랐다.

멸종위기야생생물인 기수갈고둥의 서식처 보호 및 보전 대책을 수립할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 염분농도, 토양입도 등의 물리적 환경 요인을 조사분석하였다. 이러한 환경요인이 서식처 미치는 영향을 종합적으로 판단하고자 기반 환경과 개체수, 개체크기 등과의 상관관계를 분석하였는데 R 3.5.1 프로그램을 이용한 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 통하여 유의성을 파악하였다.

결과 및 고찰

1. 서식지 유형 구분

저서성 생물의 서식은 하상내 저질의 종류, 수심, 염분농도 등 환경적인 요인이 작용한다고 하였으므로(Arunachalam et al., 1991; Alexander and Allan, 1984) 이를 고려하여 연초천내 기수갈고둥의 서식처 유형을 저질의 특성, 염분농도 등을 고려하여 총 7개의 영역으로 구분한 것이 Figure 1이다. Habitat 1은 담수지역으로 기수갈고둥은 연초보와 접한 자갈, 사면지역의 전석에 부착해서 서식하고 있었다. Habitat 2는 전석과 콘크리트에 의해 정비된 기수역이 시작 부분으로 해수의 영향은 미미하였으나 물살은 빨랐다. Habitat 3은 보 하부지역으로 빠른 유속으로 인해 호박돌, 자갈 등 20cm이상의 비교적 큰 돌이 분포하였다. Habitat 4는 자갈지역으로 물살이 3지역에 비해 다소 느려지는 지역으로 자갈과 모래가 혼효된 상태이였으며 Habitat 5도 유사하나 자갈 외에 펄이 혼합된 지역으로 해수의 영향을 상시 받는 것으로 나타났다. Habitat 6은 펄이 본격적으로 나타나기 시작했으나 일부 자갈이 포함되어 있었고 자갈 및 제방의 전석 정비지역에 비교적 큰 개체가 부착 생육하고 있었다. Habitat 7은 염수의 영향을 상시 받는 구간으로 바다에 포설된 굴껍질을 중심으로 분포하였으나 하부로 갈수록 중심부보다는 좌우 퇴적지에 크기가 작은 개체가 관찰되는 경향이였다.

Figure 2는 표본 조사지역의 단면현황을 나타낸 것으로 Belt 1은 연초보에 설치한 조사구로 총 43.1m이었으며 지반은 전석과 콘크리트에 의해 정비되어 있었다. 우측에서부터 제방의 식생대, 전석, 어도 역할을 하는 약 6m 폭의 물길, 전석 정비, 돌쌓기 옹벽으로 이행되는 구조이었다. 기수갈고둥은 물 흐름에 의해 파괴된 콘크리트 즉, 전석 사이에 주로 분포하였으며 만조시에는 전체 지역으로 확산되나 간조시에는 대부분 소규모 물고임 지역에서 관찰되었다. Belt 2는 연초보에서 100m 떨어진 기수역에 설치한 조사구로

총 43m이었으며 지반은 자갈, 모래 등이었다. 간조시 수면인 곳은 모래 또는 펄의 지반이었고 자갈~수면~모래~수면~갈대군락으로 구성되어 있었다. 펄과 모래보다는 자갈 지반인 곳에서 개체수가 많았으며, 지름 10cm 이상의 큰 돌에 부착되어 서식하는 것이 확인되었다. Belt 3은 연초보에서 200m 떨어진 기수역에 설치한 조사구로 총 43m이었으며 지반은 10cm 이상의 암석과 자갈로 이루어져 있었다. 간조시 수로인 지역은 유속으로 인해 미세 입자가 침식되어 큰 자갈과 자갈이, 노출된 제방변은 펄이 퇴적되어 있었고 식생은 없었다. 기수갈고둥은 펄보다는 자갈지반인 곳, 특히, 지름 10cm 이상의 돌에는 큰 개체가, 이하에서는 작은 개체가 부착되어 생육하는 것이 관찰되었다.

Belt 4는 연초보에서 300m 떨어진 기수역에 설치한 조사구로 총 44m이었으며 지반은 10cm 이상의 암석과 자갈, 펄층으로 구성되어 있었다. 좌우호안 변에 약 8m 넓이의 펄층이 분포하였고 물흐름이 원활한 내부는 암반, 자갈 등이 지반을 형성하였다. Belt 5는 연초보에서 400m 떨어진 기수역에 설치한 조사구로 총 57m이었으며 지반은 자갈과 펄층이었다. 좌우호안 주변에는 약 8m, 15m 넓이의 자갈섞인 펄층이, 간조시 수면이 유지되는 수로는 자갈이 깔려 있었다. Belt 6은 연초보에서 500m 떨어진 기수역에 설치한 조사구로 총 52.5m이었으며 지반은 암석과 자갈이 대부분이었다. 좌우호안 주변에는 약 5m 넓이의 자갈과 펄이, 간조와 만조시 물 흐름이 유지되는 수로와 수면 하부는 자갈 지반이었다. Belt 4-6은 우측에서부터 펄층, 수면(자갈), 펄층으로 이어지는 구조로 기수갈고둥은 펄보다는 자갈지반인 곳을 선호하는 것을 확인할 수 있었다.

Belt 7은 연초보에서 600m 떨어진 기수역에 설치한 조사구로 총 62.5m이었으며 우측에서부터 호안, 펄층, 수면(펄), 펄층으로 이어지는 구조이었다. 육안으로는 물의 흐름을 확인할 수 없는 지점으로 대부분 펄 위주의 지반에 자갈과 굴껍질이 일부 혼합되어 있었다. 기수갈고둥은 펄보다는 자갈 지반인 곳에서 더 많은 개체가 관찰되었으며 굴껍질에 부착해 서식하는 것도 확인되었다. Belt 8은 연초보에서 800m 떨어진 곳에 설치한 조사구로 총 56.8m이었으며 지반은 수면(펄), 펄층이었다. 바다에 굴껍질이 본격적으로 나타나는 구간으로 기수갈고둥은 펄보다는 굴껍질에 부착되어 있었다. Belt 9는 연초보에서 1,000m 떨어진 기수역에 설치한 조사구로 총 84m이었으며 우측에서부터 하천호안, 펄층, 수면(펄), 펄층으로 이어지는 단면이었으며, 기수갈고둥은 굴껍질에 부착되어 서식하는 것이 관찰되었다.

이상을 종합해보면 담수의 영향을 받아 간조와 만조 교환주기시 유속이 빠른 기수상부 바닥은 10cm 이상의 큰 자갈과 자갈로 구성되어 있었다. 연초보를 기준으로 300~500m 구간은 조수의 영향으로 형성된 수로에는 자갈이, 호안은

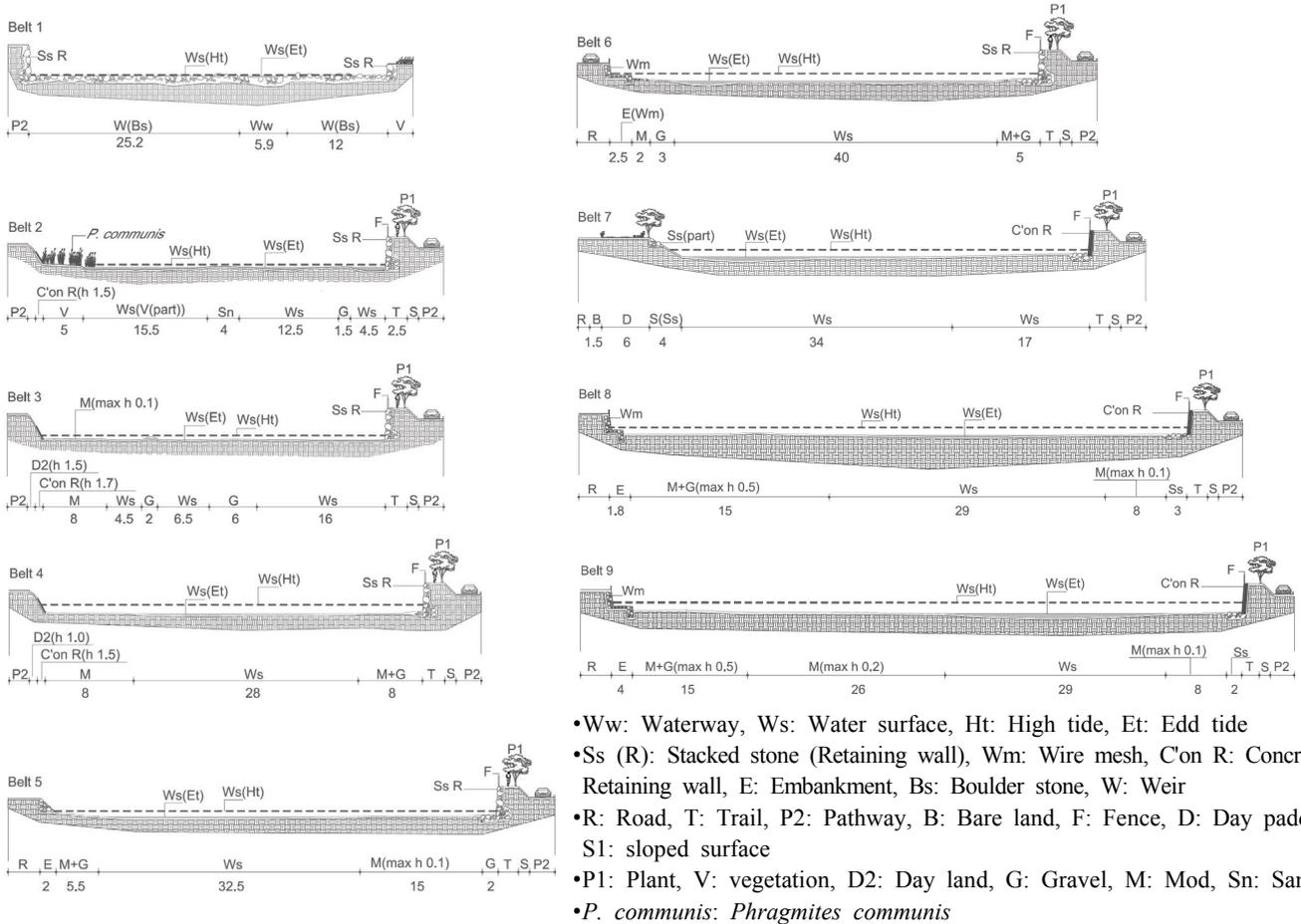


Figure 2. The cross-section of each belt-transsect. The characteristics of bed condition, high tide and ebb tide.

뺨이 지반을 형성하였으며 기수갈고둥은 자갈에 부착해 생육하고 있었다. 500m 이후 구간은 뺨이 많아지면서 굴껍질이 본격적으로 나타나기 시작하였는데 잔자갈과 굴껍질에 부착해 생육하고 있었다. 일반적으로 크기, 형태, 거칠기가 크거나 느슨할수록 다양성이 높다고 하였는데(Duan et al., 2008; Kong and Kim, 2016) 유속에 의해 미세입자가 씻겨 내려간 상부 지역이 공극 및 입자의 다양성이 높기 때문에 많은 개체가 서식할 수 있는 기반이 형성된 것으로 판단되었다.

2. 서식환경 특성

1) 염분농도

염분농도는 생물의 분포에 영향을 미치는 핵심 변수이고 농도 변화에 따라 수직적인 구조 뿐만아니라 생산성 및 군집발달의 기능적인 반응도 불러일으킨다고 하였다(Batzer and Sharitz, 2006). 이에 기수갈고둥 서식 영역을 대상으로

만조 또는 만조로부터 다음 만조까지의 염분농도 변화를 측정된 것이 Figure 3이다. 연초보 상류인 담수지와 연초보와 접한 기수지는 담수의 영향으로 전시간대가 0%로 변화가 없었다. Belt 2에서는 오전시간의 만조시에 약 6%로 변화가 있었으나 대부분 시간대는 0%이었다. Belt 3~6은 최대값이 약 17%이었고 만조시간대에 따라 2회의 큰 변화가 나타났다. 만조시간인 11~13시와 19~21시까지 약 2시간 가까이 최대값이었고 이 외의 시간대는 담수의 영향으로 0%에 가까운 수치를 나타내었다. Belt 7~9는 보에서부터 600~1000m 떨어진 가장 먼 지점으로 최대값은 약 25%로 해수와 유사하였다. 이 지역은 물이 빠진 후에도 해수의 영향이 남아 있었으며 사리시에는 상시 해수의 영향을 받는 지역이었다. 결국 기수갈고둥은 민물에서부터 기수에 해당하는 0~25%까지의 염분농도에서 생육 가능한 것으로 분석되었다.

조금일에 시간대별 염분농도를 측정된 결과로, 담수지와 상부의 기수지인 Belt 1~3은 전시간대가 0%로 변화가 없었

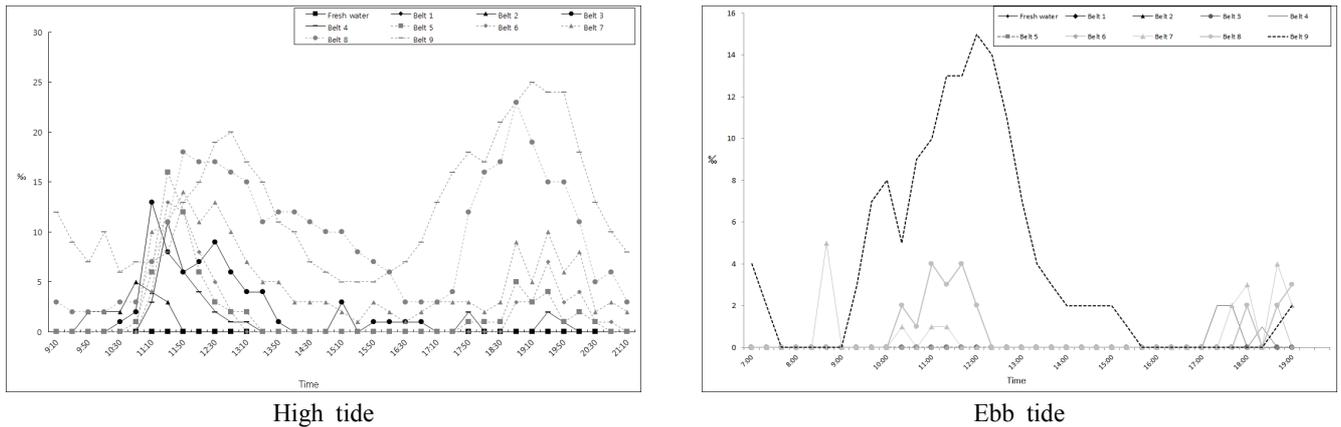


Figure 3. Salinity fluctuation of high tide and ebb tide on every 20 minute.

다. Belt 4는 상류지역과 유사하였으나 17시 이후에 약 2%로 농도가 높아졌으며 이 외의 시간대는 0%이었고 Belt 5, 6은 0%로 변화가 없었다. Belt 7, 8은 10시~12시 20분, 17시 20분~19시까지가 가장 변화가 컸으며 최대값은 4%이었고 Belt 9는 보와 가장 먼 1000m에 위치한 측점으로 최소값이 15%로 사리시의 25%과는 약 10%의 염분농도 차이가 확인되었다. 사리때는 간조시에 해수의 영향을 받는 것으로 분석되었으나 조급때는 간조시 민물의 영향으로 일시 담수화되어 염분농도에 대한 내성의 범위는 유사하였다.

이 외에 조급과 사리를 고려하지 않고 만조시에 염분농도를 측정된 결과, 연초보와 상류는 해수의 영향을 받지 않는 0%이었다. 해수는 Belt 2까지 영향을 미치는 것으로 분석되었으나 약 1%로 미미하였다. 하부 지역의 염분농도는 20~30%이었는데 Belt 9만 해수와 다소 유사할 뿐 대부분은 낮았다. 담수지인 연초보에서부터 기수역까지의 변화를 살펴보면 Belt 3까지는 상류에서 내려오는 담수의 영향권으

로 파악되었고 Belt 4는 사리시와 조급시에 따라 다소 차이는 있었으나 변화가 심한 지점이었다. 이와는 반대로 Belt 6~8은 조수간만의 차이에 따른 영향을 많이 받는 지역으로 염분의 변화폭이 가장 컸다. 이러한 분석 결과, 기수갈고둥은 염분농도에 대한 내성이 넓은 것으로 판단되나 완전한 해수 지역에서는 생육이 불가능한 것으로 나타났다.

2) 하상 토양 입도

하상내 저질은 저서생물의 주요한 서식처이면서 피난처 역할을 수행하는 것이 밝혀진 바 있으며(Arunachalam et al., 1991) 저질의 크기, 공극, 틈새 등은 생물다양성과 밀접한 관련이 있으므로(Duan et al., 2008; Kong and Kim, 2016) 기수갈고둥 서식지의 입도를 분석한 결과가 Table 1이다. Belt 1은 전석 및 콘크리트로 정비되어 입도분석 대상에서는 제외하였다. Belt 2는 38.1~19.1mm가 35.11%로 가장 많았고 Belt 3, 4는 76.2~19.1mm가 각각 50% 이상으

Table 1. Particle analysis result of each research site (Unit : g)

Particle(mm)	Belt 2	Belt 3	Belt 4	Belt 5	Belt 6	Belt 7	Belt 8	Belt 9
76.2~38.1	220(7.80%)	825(34.09%)	745(28.33%)	.	605(27.07%)	.	55(3.05%)	.
38.1~19.1	990(35.11%)	565(23.35%)	745(28.33%)	325(22.81%)	440(19.69%)	710(33.81%)	460(25.48%)	145(8.68%)
19.1~9.5	520(18.44%)	485(20.04%)	500(19.01%)	465(32.63%)	400(17.90%)	620(29.52%)	405(22.44%)	335(20.06%)
9.5~4.75	400(14.18%)	205(8.47%)	240(9.13%)	280(19.65%)	295(13.20%)	315(15%)	410(22.71%)	490(29.34%)
4.75~2.00	400(14.18%)	140(5.79%)	180(6.84%)	195(13.68%)	230(10.29%)	210(10%)	240(13.30%)	410(24.55%)
2.00~1.18	120(4.26%)	90(3.72%)	80(3.04%)	65(4.56%)	105(4.70%)	95(4.52%)	80(4.43%)	130(7.78%)
1.18~600 μ m	85(3.01%)	55(2.27%)	60(2.28%)	45(3.16%)	75(3.36%)	70(3.33%)	55(3.05%)	80(4.79%)
~600 μ m	85(3.01%)	50(2.07%)	70(2.66%)	50(3.51%)	65(2.91%)	65(3.10%)	95(5.26%)	75(4.49%)
Total	2,820(100.0%)	2,415(100.0%)	2,620(100.0%)	1,425(100.0%)	2,215(100.0%)	2,085(100.0%)	1,800(100.0%)	1,665(100.0%)
Note	-	-	-	-	Shell existence	Shell existence	Shell existence	Shell existence

로 가장 높은 비율로 나타났다. 이후 구간에서는 조개껍질이 바닥에 깔려있는 것이 관찰되었으며 갈수록 입도가 작아져서 Belt 8, 9는 9.5~4.75mm가 가장 많았으며 향후 입도와 개체수와의 상관관계를 파악하고자 한다.

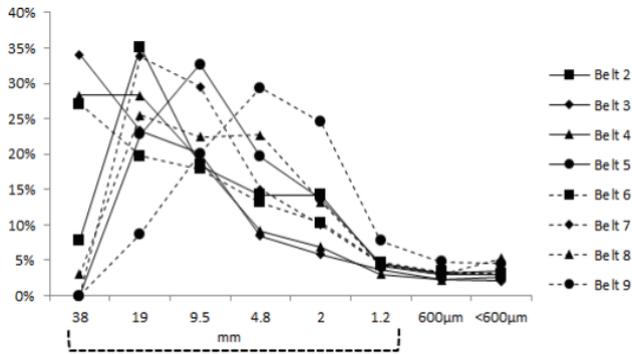


Figure 4. The dendrogram of particle analysis result of *Clithon retropictus*'s each survey site

3. 개체군 특성

1) 개체수

Table 2는 연초천내 기수갈고둥이 분포하는 지역의 조사구별 개체수를 파악한 것으로, 1m²당 평균 10.6~75.1개체가 출현하는 것으로 분석되었으며 Belt 7이 75.1개체로 가장 많았고 Belt 5가 10.6개체가 가장 적어 위치별로 개체수 차이는 큰 것으로 나타났다. 이는 저서생물이 저질 또는 기질, 틈새 형태와 같은 미소서식처의 차이에 따라 중구성 및 개체수가 달라지기 때문인 것으로 판단되었다(Kil et al., 2007; Kim et al., 2016). 개체수를 살펴보면 Belt 1이 779개체, Belt 2가 803개체, Belt 3이 653개체로 연초보와 인접하

여 담수의 영향을 많이 받는 지역의 개체수가 다소 많았다. 담수와 해수의 중간지점에 해당되는 Belt 4(186개체), Belt 5(190개체), Belt 6(366개체)에서 상대적으로 적었다. 해수의 영향을 상시 받으나 담수의 영향권에 해당되는 Belt 7, 8이 각각 1,351개체, 975개체, 상시 해수의 영향을 받는 Belt 9는 다른 종과의 경쟁 및 염분의 영향으로 7개체만 관찰되었고 이후 구간에서는 출현하지 않았다.

개체수 변동 경향을 살펴보면, 담수의 영향을 많이 받는 연초보에서 많은 개체가 출현하였으나 이후 담수와 해수가 혼합되는 중간부분이 약 150개체로 낮아졌다가 해수의 영향을 상시받으나 담수의 영향권에 속하는 지역에서 많이 출현하였다. 이후 지역은 다른 생물과의 경쟁으로 인해 개체수가 급감하였다.

Table 3은 연초천내 기수갈고둥이 분포하는 지역의 월별 개체수 변화를 파악한 것이다. 조사지별 출현 개체수를 살펴보면 1m²당 평균 49.3~621.3개체가 출현하는 것으로 분석되었으며 Belt 1이 621.3개체로 가장 많았으며 Belt 9가 49.3개체로 가장 적어 위치별로 차이는 큰 것으로 나타났다. 위치별 변화를 살펴보면 담수는 99~245개체, Belt 1은 211~999개체, Belt 2는 86~730개체, Belt 3은 312~921개체, Belt 4는 45~620개체, Belt 5는 1~530개체, Belt 6은 94~268개체, Belt 7은 67~670개체, Belt 8은 134~421개체, Belt 9는 0~110개체로 대부분 5월에 가장 적었고 9월에 가장 많은 개체수가 관찰되었다.

개체수 변화는 강우와 밀접하게 연관되어 있는데 흐름이 하상 조성의 변화를 초래하여 개체군에 영향을 미칠 수 있다고 하였으며(Mesa, 2012) 여름에는 토사유입의 영향으로 공극이 없어지면서 감소할 수 있다고 하였다(Chi et al., 2017). 다만 간조, 만조, 상류로부터의 담수 유입으로 인한 토사 또는 부유물의 영향은 미미한 것으로 파악되었다. 파

Table 2. Number of *Clithon retropictus* individual at each survey site

Site	Belt 1	Belt 2	Belt 3	Belt 4	Belt 5	Belt 6	Belt 7	Belt 8	Belt 9
Average	59.9(1~115)	66.9(5~150)	54.4(2~266)	11.6(2~36)	10.6(1~40)	20.3(2~40)	75.1(2~300)	39(3~190)	7
Total	779	803	653	186	190	366	1,351	975	7

Table 3. Variation of *Clithon retropictus* population by season(Unit : individual/m²)

Month	Freshwater	Belt 1	Belt 2	Belt 3	Belt 4	Belt 5	Belt 6	Belt 7	Belt 8	Belt 9	Total
May	-	211	86	312	45	1	94	67	188	7	1,011
July	99	839	330	388	230	269	180	238	132	0	2,705
September	245	999	730	921	620	530	168	670	184	110	5,177
November	245	436	371	753	310	108	268	500	421	80	3,492
Average	196.3	621.3	379.3	593.5	301.3	227.0	177.5	368.8	231.3	49.3	3,145.6

라서 개체수 변동은 계절적인 영향으로 보이며 겨울을 지나면서 혹독한 환경으로 인해 개체수 조절이 일어나 봄에 감소하였으나 산란 후 생육이 활발한 여름을 거친 가을철에 가장 많이 관찰되었다. 이후 조절이 이루어져 11월에 감소한 것으로 판단되었다.

Figure 5는 위치별 및 계절별 변화경향을 나타낸 것이다. 위치별로는 Belt 2까지는 개체수가 많아졌고 Belt 5, 6에서 가장 낮아진 후 Belt 7에서 급격히 늘어났다가 해수로 갈수록 감소하였다. 계절별로는 봄철인 5월에 가장 적었고 9월에 가장 많은 것으로 나타났는데 이는 8월에 저서생물의 개체수 및 생체량이 가장 높게 나타났다고 제시한 Lim and Lim(2016)과 유사한 결과였다. 앞서 언급한 바와 같이 계절적인 영향인 것으로 판단되었다.

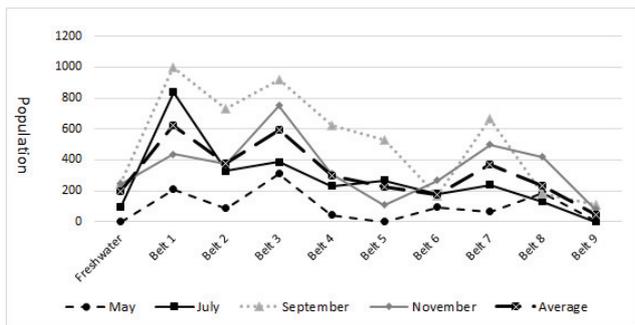


Figure 5. The dendrogram of total *Clithon retropictus*'s population variation by season

2) 개체크기

Table 4는 위치별 기수갈고둥의 개체 크기를 나타낸 것으로 40~200개체를 측정하였다. 조사지별 평균 개체 크기는 6.78~11.09mm의 범위였는데, 담수지인 Belt 0이 11.09mm로 가장 컸고 Belt 3이 6.78mm 가장 작았다. 위치별로는 Belt 0 11.09(8.45~15.72)mm, Belt 1 8.88(6.28~12.91)mm, Belt 2(모래) 9.89(6.30~13.23)mm, Belt 2(자갈) 8.13(5.04~12.09)mm, Belt 3 6.78(5.46~11.29)mm, Belt 4 7.31(5.39~13.21)mm, Belt 5 7.06(3.03~12.22)mm, Belt 6 7.73(5.17~

11.94)mm, Belt 7 8.61(5.32~12.31)mm, Belt 8 7.45(5.28~12.01)mm, Belt 9 7.58(5.79~8.98)mm이었다.

Figure 6은 개체 크기의 경향을 파악하기 위한 그래프이다. Belt 0에서부터 Belt 3까지는 평균 11.09mm에서 6.78mm로 작아지는 경향이었고 이후 Belt 7까지는 8.61mm로 커졌다가 이 후 다시 작아졌다. 이는 개체수가 Belt 4까지 줄어들었다가 이후 Belt 7까지 늘어났으나 염분농도가 높고 타 개체군과의 경쟁에 의해 개체수가 줄어드는 경향과도 일치하였다. 염분농도가 중간쯤인 지역에서는 적응이 쉽지 않아 기수갈고둥의 개체수 뿐만 아니라 크기도 줄어드는 것으로 나타났다.

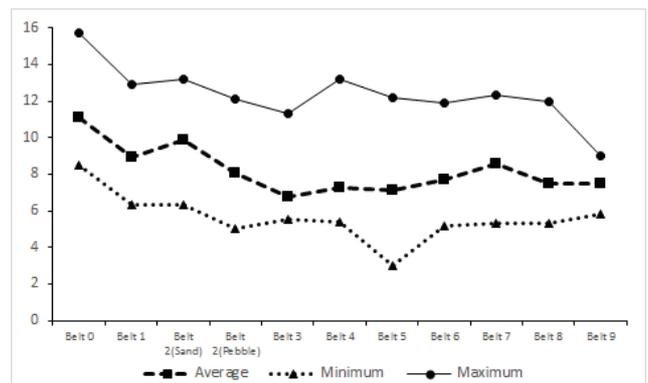


Figure 6. The dendrogram of *Clithon retropictus*'s population size variation in each survey site

4. 상관관계

Figure 7, 8은 염분농도와 개체수 및 개체크기와의 관계를 나타낸 것이다. 개체수는 염분농도가 높아짐에 따라 줄어드는 경향이었고 개체크기도 유사한 패턴인 것으로 분석되었다. Brown의 가설에 의하면 좋은 기본적인 지위(niche)에 의해 분포가 결정되는데 넓은 종은 좁은 종에 비해 생태적·환경적 내성이 높은 것으로 추정한 바 있다(Brown 1984; Calosi et al., 2007). 개체수는 연초보를 중심으로 물이 정체되는 보 상류와 해수가 만나는 하류에서 급격히 감소한 것으로 미루어 염분농도에 대한 내성은 넓으나 극단으로 갈수

Table 4. Size of *Clithon retropictus* population in each survey site(Unit : mm)

Type	Belt0	Belt1	Belt2(sand)	Belt2(pebble)	Belt3	Belt4	Belt5	Belt6	Belt7	Belt8	Belt9
Average	11.09	8.88	9.89	8.13	6.78	7.31	7.06	7.73	8.61	7.45	7.58
Minimum	8.45	6.28	6.30	5.04	5.46	5.39	3.03	5.17	5.32	5.28	5.79
Maximum	15.72	12.91	13.23	12.09	11.29	13.21	12.22	11.94	12.31	12.01	8.98
No. of individuals	94	148	59	200	160	160	120	77	135	100	40

록 적응성은 약해진다(Calosi et al., 2008)라는 것을 확인할 수 있었다. 개체크기 또한 염분농도가 낮은 곳에서는 컸으나 염분농도가 높아지면서 크기는 줄어드는 경향이 확인되었다. 다만 개체크기는 염분농도가 높아지면서 크기가 줄어드는 경향은 분석되었으나 염분농도 10%까지는 높아지면서 줄어들었으나 이후에는 유사한 반면, 염분농도 25%에

서 크기가 커진 것에 대한 부분은 향후 염분농도를 포함한 환경요인과의 검토가 필요한 것으로 사료되었다.

기수갈고둥의 서식 및 생육에 영향을 미칠 가능성이 높은 환경요인인 염분농도, 염분농도와 개체수 및 개체크기와의 상관관계를 분석한 것이 Figure 9이다. 담수인 연초로부터 바다와의 합류부까지의 개체수, 크기, 염분농도, 하상 입도

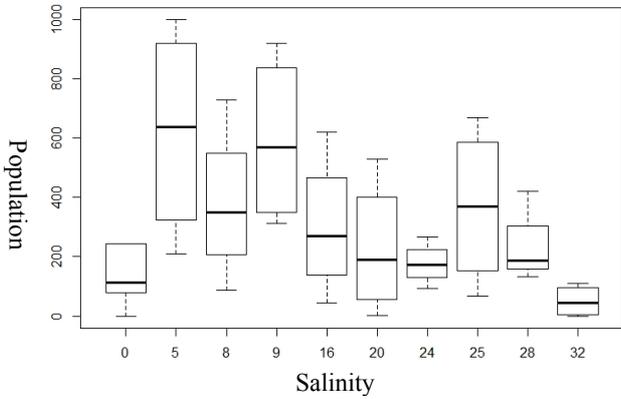


Figure 7. The dendrogram of *Clithon retropictus*'s population variation in each survey site by salinity

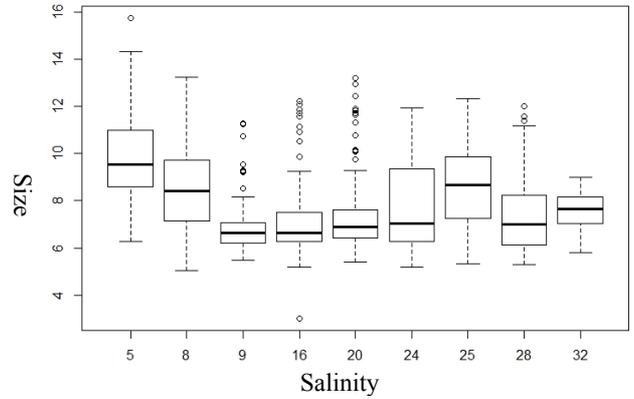


Figure 8. The dendrogram of *Clithon retropictus*'s population size variation in each survey site by salinity

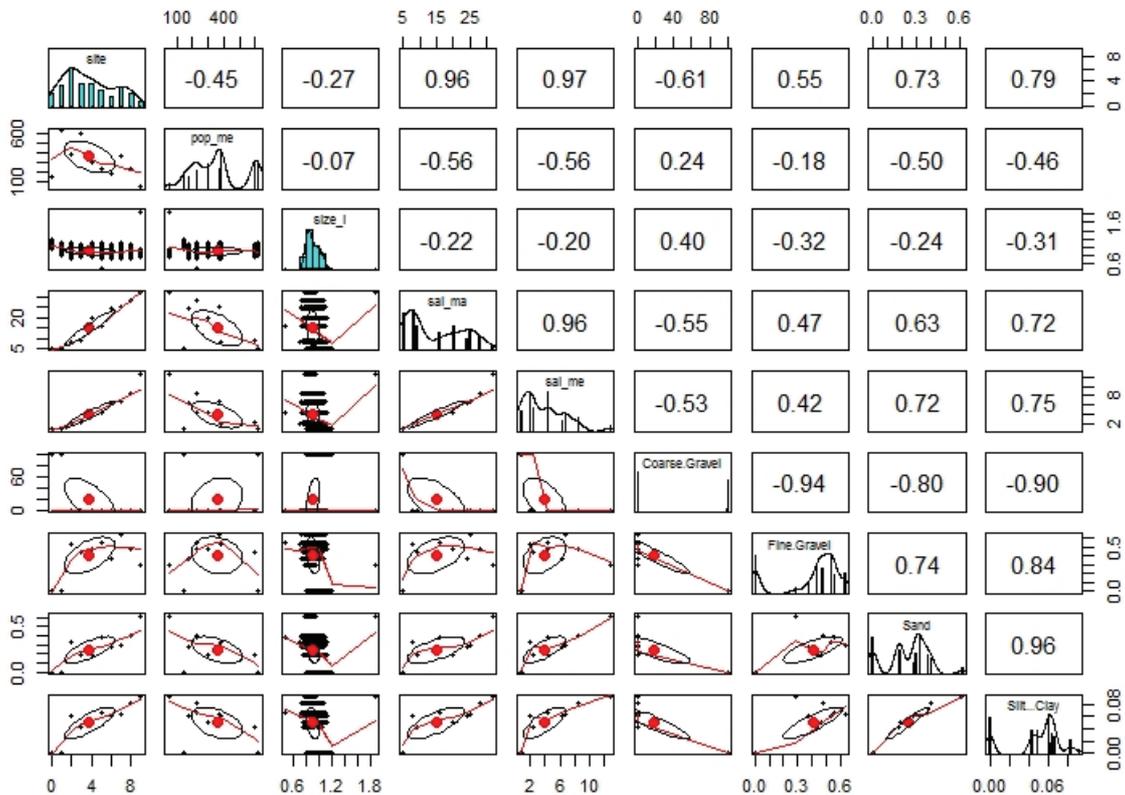


Figure 9. The correlation between environmental factors(salinity, particle size etc.) and *Clithon retropictus*'s population and individual size

의 차이는 조사구별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 개체수와 환경요인과의 관계를 살펴보면 염분농도는 높아질수록, 입도는 작아질수록 줄어드는 경향이였다. 기수갈고둥은 염분농도에 대한 내성의 폭은 0~25%로 넓었으나 해수의 영향이 많이 받는 지역일수록 줄어들었으며 입도 또한 미세할수록 생육하기 어려운 것으로 나타났다. 개체크기와 환경요인과의 관계는 개체수와 유사한 결과로, 염분농도가 높을수록, 토양입자가 작을수록 크기는 작아지는 추세이였다. 결국, 개체수와 개체크기는 유사한 경향을 나타내었는데 담수로 갈수록 개체수는 늘고 크기는 커지는 것으로 나타났다. 입도의 경우, 기수갈고둥은 부착성의 수생생물로서 모래, 펄흙 보다는 자갈, 호박돌 등 입도가 큰 지역이 은신 또는 부착하여 서식하는 것이 유리하여 개체수와 개체크기가 늘어나는 경향을 나타내었다. 자연상태에서 염분농도의 조절은 어려운 부분이 있으나 입도의 경우 조절이 가능하므로 Coarse gravel 이상되는 크기의 돌을 배치하는 것이 서식에 유리한 것으로 판단된다.

개체수 및 개체크기에 영향을 미치는 환경요인과의 차이를 파악하기 위하여 상관성을 분석한 것이 Table 5이다. 염분농도, 토양입도와의 상관관계를 분석한 결과, 개체수에 영향을 미치는 요인은 염분농도와 입도에 영향을 받는 것으로 나타났다. 염분농도의 경우 상관계수 $-0.561(P<0.01)$ 로 염분농도가 높아질수록 개체수는 줄어드는 것으로 나타났다. 토양입도 또한 모래(19mm 이하)보다 작은 입자에서는

$-0.497\sim-0.176(P<0.01)$ 로 감소하였으나 19mm 이상에서는 $0.235(P<0.01)$ 로 Coarse gravel(19~75mm)인 자갈이 많아질수록 증가하였다. 개체크기와와의 관계에서도 염분농도의 경우 상관계수 $-0.242(P<0.01)$ 로 염분농도가 높아질수록 개체크기는 줄어드는 것으로 나타났다. 토양입도 또한 모래(19mm 이하)보다 작은 입자에서는 $-0.339\sim-0.275(P<0.01)$ 로 감소하였으나 19mm 이상인 자갈(Coarse gravel)에서 $0.420(P<0.01)$ 로 증가할수록 개체크기는 커지는 것으로 분석되었다.

REFERENCES

- Ahn, H.K., A. Takaaki and I. Kouichi(1997) A study on the analysis of the Riparian vegetation naturality and viewscape in upstream. J. KILA 25(3): 222-233. (in Korean with English abstract)
- Alexander, S.F. and J.D. Allan(1984). The Importance of Predation, Substrate and Spatial Refugia in Determining Lotic Insect Distributions. Oecologia 64(3): 306-313.
- Arunachalam, M., K.C. Madhusoodanan Nair, J. Vijverberg, K. Kortmulder and H. Suriyanarayanan(1991) Substrate Selection and Seasonal Variation in Densities of Invertebrates in Stream Pools of a Tropical River. Hydrobiologia 213: 141-148.

Table 5. The correlation between salinity and soil particle size and *Clithon retropictus*'s population and individual size

	Correlation coefficient	Population	Size
Salinity	Pearson correlation	-0.561**	-0.242*
	P-value	< 2.2e-16	< 2.2e-16
	N	1291	1291
Coarse Gravel (19~75mm)	Pearson correlation	0.235**	0.420**
	P-value	< 2.2e-16	< 2.2e-16
	N	1291	1291
Fine Gravel (2.0~4.8mm)	Pearson correlation	-0.176**	-0.326**
	P-value	1.792e-10	< 2.2e-16
	N	1291	1291
Sand (0.08~2.0mm)	Pearson correlation	-0.497**	-0.275**
	P-value	< 2.2e-16	< 2.2e-16
	N	1291	1291
Silt & Clay (< 0.08mm)	Pearson correlation	-0.455**	-0.339**
	P-value	< 2.2e-16	< 2.2e-16
	N	1291	1291

Signif. codes: '***' 0.01 '**' 0.05

- Batzer, D.P. and R.R. Sharitz(2006) Ecology of freshwater and estuarine wetlands. University of California Press, California.
- Beschta, R.L. and W.S. Platts(1986) Morphological Features of Small Streams: Significance and Function. *Journal of the American Water Resources Association* 22(3): 369-379.
- Brown, J.H.(1984) On the relationship between abundance and distribution of species. *The American Naturalist* 124: 255-279.
- Calosi, P., D. Morrirt, G. Chelazzi and A. Ugolini(2007) Physiological capacity and environmental tolerance in two sandhopper species with contrasting geographical ranges: *Talitrus saltator* and *Talorchestia ugalini*. *Marine Biology* 151: 1647-1655.
- Calosi, P., D.T. Bilton, J.I. Spicer and A. Atfield(2008) Thermal tolerance and geographical range size in the *Agabus brunneus* group of European diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae). *Journal of Biogeography* 35: 295-305.
- Chi, S., S. Li, S. Chen, M. Chen, J. Zheng and J. Hu(2017) Temporal variations in macroinvertebrate communities from the tributaries in the Three Gorges Reservoir Catchment, China. *Revista Chilena de Historia Natural* 90: 6.
<https://doi.org/10.1186/s40693-017-0069-y>
- Cho, M.G. and B.N. Wang(2008) Research morphology and ecology of *Clithon retropictus* (Endangered wild life II) within the Bonggang river. Conference of science. (in Korean)
- Chun, S.H., J.Y. Hyun, and J.K. Choi(1999) A study on the distribution patterns of *Salix gracilistyla* and *Phragmites japonica* communities according to micro-landforms and substrates of the stream corridor. *J. KILA* 27(2): 58-68. (in Korean with English abstract)
- Chung, K.J. and D.Y. Kim(1999) Effects of microtopography on the development of riparian vegetation in stream corridors. *J. KILA* 27(4): 39-49. (in Korean with English abstract)
- Duan, X., Z. Wang and S. Tian(2008) Effect of Streambed Substrate on Macroinvertebrate Biodiversity. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China* 2(1): 122-128.
- Ha, J.H., D.J. Song, P.H. Kim, M.S. Heu, M.L. Cho, H.D. Sim, H.S. Kim and I.S. Kim(2002) Changes in food components of top shell, *Omphalium pfeifferi capenteri* by thermal processing at high temperature. *J. Korean Fish. Soc.* 35(2): 166-172. (in Korean with English abstract)
- Han, S.J. and I.S. Lee(2001) Accumulation and elimination of Cadmium and Zinc in *Littorina brevicula*. *The Korean journal of ecology* 24(1): 35-43.
- Hong, J.S., I.N. Seo, C.G. Lee, S.P. Yoon and R.H. Jung(2000) An Ecological feature of benthic macrofauna during summer 1997 in Namdaechon estuary, Yangyang, Korea. *J. Korean Fish. Soc.* 33(3): 230-237. (in Korean with English abstract)
- Hong, J.S., I.S. Seo, K.T. Yoon, I.S. Hwang and C.S. Kim(2004) Notes on the benthic macrofauna during September 1997 Namdaechon estuary, Gangneung, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 22(2): 341-350. (in Korean with English abstract)
- Kang, T.H., S.H. Yoo, J.P. Yu, H.S. Lee and I.K. Kim(2011) A study on the community of wintering waterbirds in Saemangeum. *Kor. J. Env. Eco.* 25(1): 81-90. (in Korean with English abstract)
- Kil, H.K., D.G. Kim, S.W. Jung, I.K. Shin, K.H. Cho, H.S. Woo and Y.J. Bae(2007) Changes of benthic macroinvertebrate communities after a small Dam removal from the Gyeongsan stream in Gyeonggi-do, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 25(4): 385-393. (in Korean with English abstract)
- Kim, B.S., U.S. Yeo, D.H. Oh and K.J. Sung(2015) Effects of Landscape Ecological Characteristics on Bird Appearance -Focused on The Nakdong River Estuary-. *J. Environ. Impact Assess.* 24(3): 287-299. (in Korean with English abstract)
- Kim, B.Y., J.C. Ko and H.G. Choi(2016) Rock type difference and Benthic Community Structures in the coast of Jeju, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 30(6): 996-1008. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.H., D.S. Cho, K.B. Lee and S.Y. Choi(2006a) Population formation strategies of Halophytes in Mankyong river estuary. *Kor. J. Env. Eco.* 20(3): 299-310. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.H., K.B. Lee, D.S. Cho and H. Myoung(2006b) The study on the flora and vegetation of salt marshes of Mankyong river estuary in Jeonbuk. *Kor. J. Env. Eco.* 20(3): 289-298. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.S.(1991) Study on the zoobenthos and inhabited environment in estuary of Man Kyong river. *Korean Journal of Limnology* 24(1): 17-26. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.H., I.K. Yoon, S.J. Song and Y.E. Kim(1996) Environmental factors and benthic microbial distributions in the sediments of Nakdong river estuary. *Korean Journal of Limnology* 29(3): 205-214. (in Korean with English abstract)
- KIPE(2012) River management and ecological restoration in response to climate change. Seoul. (in Korean)
- Kondolf, G.M.(1997) Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management* 21(4): 533-551.
- Kong, D.S. and J.Y. Kim(2016) Development of Benthic Macroinvertebrates Streambed Index (BMSI) for Bioassessment of Stream Physical Habitat. *Journal of Korean Society on Water Environment* 32(1): 1-14. (in Korean with English abstract)
- Lee, C.L.(1990) The Structure and function of estuarine ecosystem of Manggyong River-on the dynamics of the fish communities-. *Korean J. Ecol.* 13(4): 267-283. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.H.(2000) Sexual maturation of the truban shell, *Lunella coronata coreensis*(Gastropoda: Turbinidae), on the west coast

- of Korea. J. Korean Fish. Soc. 33(6): 533-540. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.B., C.H. Kim, D.B. Lee, J.G. Kim, C.W. Park and S.Y. Na(2003) Species diversity of riparian vegetation by soil chemical properties and water quality in the upper stream of Mankyong river. Korean Journal of Environmental Agriculture 22(2): 100-110. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.S., U.K. Baek and J.C. Yoo(2002) Important wintering & migrating route for waterbirds on the intertidal mudflat of Mankyung river estuary. Bull. Kor. Inst. Orni. 8(1): 1-7. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.K. and K.H. Ahn(2012) Actual Vegetation and Vegetation Structure at the Coastal Sand Bars in the Nakdong Estuary, South Korea. Kor. J. Env. Eco. 26(6) : 911-922. (in Korean with English abstract)
- Lim, J.G. and H.S. Lim(2016) Subtidal Macrobenthic Community in Shia Sea, Southwest Coast of Korea. Korean J. Environ. Biol. 34(4) : 329-345. (in Korean with English abstract)
- Mesa, L.M.(2012) Interannual and seasonal variability of macroinvertebrates in monsoonal climate streams. Brazilian Archives of Biology and Technology 55: 403-410.
- Moon, B.R., S.L. Jeon, M.S. Hyun, J.S. Hwang and J.K. Choi(2011) A study on fish fauna and fish habitat-Downstream of Singok submerged weir in Han river estuary-. J. Environ. Impact Assess. 20(5): 757-764. (in Korean with English abstract)
- Mun, H.T. and J.H. Kim(1985a) Studies on plant succession of sand bars at the Nakdong river estuary- I. Vegetation and Soil Environment. Korean J. Bot. 28(1): 79-93. (in Korean with English abstract)
- Mun, H.T. and J.H. Kim(1985b) Studies on plant succession of sand bars at the Nakdong river estuary- I. Vegetation development and interspecific associations. Korean J. Bot. 28(1): 79-93. (in Korean with English abstract)
- Paik S.G., S. Yun, K.H. Kim and S.G. Yun(2005) Macrobenthic community on Anglo tidal flat in JinHae. Kor. J. Environ. Biol. 23: 106-113. (in Korean with English abstract)
- Park, J.S. and J.A. Lee(2008) Research habitat and ecology of *Clithon retropictus* (Endangered wild life II) within the Changpo bay. National Science Contest. (in Korean)
- Platts, W.S., W.F. Megahan and G.W. Minshall(1983) Methods for Evaluating Stream Riparian and Biotic Conditions, Gen. Tech. Rep. INT-138, Forest Service, U. S. Dept. Agriculture, Ogden, Utah, 177pp.
- Tiner, R.W.(2017) Wetland indicators-A guide to wetland formation, identification, delineation, classification, and mapping. CRC Press, NW.
- Woo, W.J. and D.Y. Chung(1998) Analysis of Kap-Chon's water level by the waterside planting. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 1(1): 3-17. (in Korean with English abstract)
- Yoon, H.S.(1991) A study on vascular hydrophytes of intertidal area in Nakdong estuary-Productivity of intertidal vascular before and after the construction of Nakdong barrage-. Korean J. Ecol. 14(1): 63-73. (in Korean with English abstract)