

## 독도 암반조간대 무척추동물군집의 공간적 분포

차 재 훈 · 김 미 경<sup>1,\*</sup>

(주)국토해양환경기술단 부설 환경모니터링연구소

<sup>1</sup>영남대학교 해양과학연구소

## Spatial Distribution of Marine Invertebrate Communities on Intertidal Rocky Shore in Dokdo

Jae-Hoon Cha and Mi-Kyoung Kim<sup>1,\*</sup>

Land Ocean Environment Co Ltd. D-1301, Digitaempire I. 980-3, Yeongton-dong, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 443-702, Korea

<sup>1</sup>Marine Science Research Center, Yeungnam University, 980-1 Dae-dong Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do 712-749, Korea

**Abstract** – To determine the spatial distribution of marine invertebrate communities in intertidal rocky shore on Dokdo, 10 times investigation was carried out at 7 stations during the year of 2009 ~ 2011. The marine invertebrate community can be divided into three different groups based on cluster analysis of Bray-Curtis similarity. As a first group, the pebble beach community, *Omphalius rusticus*, *Monodonta perplexa*, and *Chlorostoma lischkei* which were movable gastropod with dominant occurrence. Secondly, the still rocky shore community, *O. rusticus*, *Serpulorbis imbricatus* and *Aplysia kurodai* occurred dominantly. Finally, the wave-exposed rocky shore community which dominantly occurred by two sessile arthropods, Barnacles, *Chthamalus challengeri* and *Pollicipes mitella*. The three groups were likely to be determined by texture of substrate and hydrodynamic conditions of rocky shore in Dokdo. The results indicated that diversity of marine intertidal invertebrate community around Dok do was mainly affected by habitat characteristics and the surrounding physical properties.

**Key words** : spatial distribution, marine invertebrate community, rocky shore, intertidal community, Dokdo

### 서 론

우리나라의 최동단에 위치한 독도는 한반도 본토로부터 200 km 이상(울릉도로부터 87.4 km) 멀리 떨어져 있

고, 열악한 기상조건과 일본과의 외교적 문제로 쉽게 해양생태학자들의 손길이 닿지 않는 곳이었다. 독도의 생물상에 대한 최초의 종합적인 연구보고는 1981년도 한국자연보존협회에서 시행한 울릉도 및 독도 종합학술보고서로서, 울릉도 독도의 육상 및 해양생물에 대한 생물상을 보고하였다(한국자연보존협회 1981; 홍 1981). 이후 독도의 해양생물상에 대한 연구가 다각도로 이루어졌지만, 연중 한 시기에만 중점적인 연구가 이루어졌다

\* Corresponding author: Mi-Kyoung Kim, Tel. 053-810-3863, Fax. 053-813-0726, E-mail. mkkim@ynu.ac.kr

(해양수산부 1999), 독도의 암반저서생물상에 대해서는 제 등(1997, 1998, 2003)에 의해서 연구되었는데, 계절적인 변화에 대한 연구는 차 등(2000)에 의해서 울릉도와 독도를 중심으로 암반해안무척추동물에 대한 조사를 한 바 있으나, 독도에서는 한 정점에 한하여 실시되었다. 이후 독도가 천연보호구역으로 지정되면서 종합적인 학술 조사가 시행되었고, 독도의 해양동물상을 조사하였다(울릉군 2004; 환경부 2006). 이와 같은 독도의 해양동물상에 대한 연구는 독도의 생물 다양성에 대한 연구가 주를 이루었으며, 생물다양성을 지속 가능케 하는 장기적인 생태계에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 그 이유는 독도의 생태계에 대한 장기적인 계획하의 지속적인 연구가 이루어지지 않았기 때문이며 독도에 대한 접근이 허락되지 않았기 때문이다. 그러나 독도의 해안무척추동물에 대한 체계적인 연구는 환경부에서 독도를 특정도서 1호로 지정하면서 2007년부터 매년 독도 암반해안의 해양무척추동물을 모니터링하기 시작되었다(대구지방환경청 2007, 2008, 2009, 2010, 2011).

암반조간대는 바다와 육지가 만나는 곳으로 조석주기로 인한 파도와 온도 염도 등의 변화로 인하여 생물이 생존하기 어려운 환경을 이루고 있다(Nybakken 2001). 그러나 용이한 접근성과 생태학적 중요성으로 인하여 많은 연구가 이루어졌다. 암반조간대의 대상구조는 이미 오래전 규명되어 졌으며(Stephenson and Stephenson 1949), 특이한 여러 환경조건에 적응하는 조간대 생물상의 형태와 기능에 대한 연구(Kronberg 1988; Ricciardi and Bourget 1999; Harley and Helmuth 2003)와 지역적인 생물상의 유지를 위한 기작에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Hutchinson and Williams 2001; Bertocci *et al.* 2007; Christofolletti *et al.* 2010). 국내에서는 제주도의 암반조간대에 서식하는 대형저서무척추동물에 대한 연구가 진행되었지만(이와 현 1992; 이와 김 1993), 독도를 포함한 동해안의 암반조간대의 대형저서무척추동물군집에 대한 종합적인 연구는 드물다(대구지방환경청 2009).

동해안과 울릉도, 독도에서 잘 발달되어 있는 암반 해안은 비교적 용이한 접근성과 아름다운 풍광으로 인한 여가선용과 개발의 대상으로 각광을 받으면서 항상 개발의 위협을 받는 생태환경이다.

독도의 조간대해안은 자갈해안과 암반으로 이루어진 전형적인 암반저서생태계를 이루고 있으며, 강한 파도와 급변하는 기상조건으로 정치외교적문제가 아니라도 접근이 어려운 지역으로 인위적인 환경위험으로부터 배제된 생태계로 연구가치가 뛰어나지만, 최근 선착장의 건설과 정착민의 상주, 관광객의 방문 등으로 인위적인 영향을 받고 있으며, 생태계에 대한 영향이 있을 것으로 보

인다. 본 연구는 앞으로 독도의 암반조간대생태계에 대한 일련의 연구계획의 첫걸음으로 독도의 암반조간대생태계의 군집구조를 규명하고 독도조간대의 생태학적 특징을 밝혀, 독도의 지속가능한 생태계 유지에 대한 기초 자료로 이용할 예정이다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사정점

독도의 해안은 자갈해안과 암반으로 이루어져 있으며, 접근이 용이한 정점으로 서도의 3개 정점과 동도의 4개 정점을 선정하였다(Fig. 1).

서도의 3개 정점은 W1, W2 그리고 W3로 표시하였으며, W1은 동도의 선착장에서 보았을 때, 서도 어민숙소 왼편의 파식대를 포함한 암반지대를 이루고 있으며 자주 파도의 영향으로 물에 잠기는 곳이다.

W2는 어민숙소 앞 부둣가 옆에 펼쳐진 작은 몽돌해변으로 이루어져 있으며, 잦은 공사와 주민들의 생활로 인한 쓰레기 등이 자주 발견되는 곳이다.

W3는 서도의 뒤편에 있는 물골이 위치한 몽돌해안으로 이루어져 있으며 파도의 영향으로 접근이 어려울 때가 많았다.

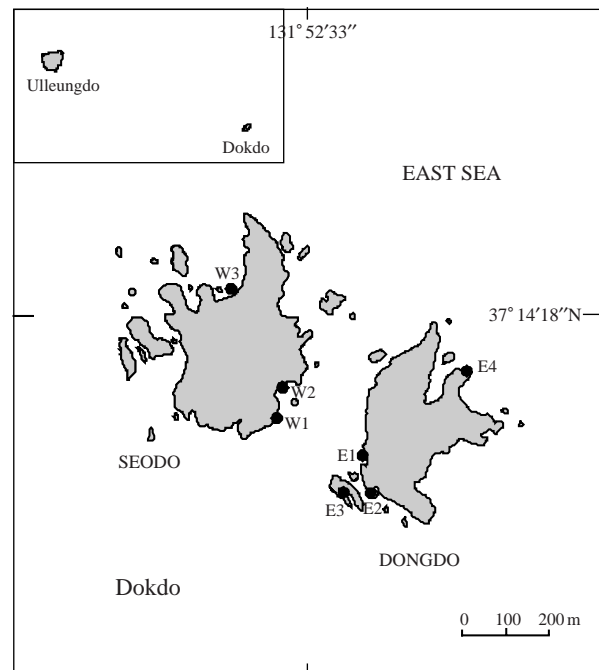


Fig. 1. Map showing the survey stations around two islands of Dokdo.

동도의 정점들은 주로 선착장주변에 위치해 있으며, E1, E2, E3, E4로 표시하였다. 선착장주변의 정점은 E1, E2, E3로 E1은 동도 앞의 몽돌해안으로 되어 있으며, E2는 선착장 옆은 암반지대로 주변이 바위로 막혀 있어 평소에 파도가 심하지 않은 정점이다.

E3는 파식대와 암반으로 이루어져 있으며, E4는 동도의 뒤편에 이전에 이용했던 선착장주변의 암반지대로 W3와 마찬가지로 파도가 심하면 접근이 어려운 정점이다(Table 2). 따라서 이들 일곱 정점은 독도해안의 특성들을 대표적으로 나타낼 수 있는 정점들로 무척추동물의 부착기질과 수리역학적인 힘(Hydrodynamical force)이 다양하게 작용하고 있다.

## 2. 조사방법

조사방법으로는 50 cm×50 cm의 방형구를 이용 정량적인 조사를 시도하였으며, 그 결과를 대구지방 환경청의 독도생태계모니터링 보고서(2009, 2010, 2011)에 보고하였다. 그러나 독도의 암반지형의 복잡성과 생물의 불균형적인 분포로 인하여 수치적인 대표성을 나타내지 못할 것 같아 본 논문에서는 종의 출현여부만을 적용한 정성적인 테이터만을 적용하였다. 독도의 경우 조수간만의 차가 적으나, 파도와 해류에 의해 해안의 폭은 약 4~5m, 혹은 10여 미터로 넓게 펼쳐져 있는 정점도 존재하였다. 조사거리는 정점 간에 차이는 있으나, 약 50~60m 정도로 도보로 20 내지 30분간 최대한의 정성적인 채집과 사진촬영으로 생태환경을 훼손하지 않았으며, 몇몇 정밀 조사가 필요한 종만을 채집하였다. 암반해안의 경우 전체적인 암반지역과 파식대를 조사하였으며, 자갈해안의 경우는 자갈 표면에 서식하는 종을 위주로 수면에 들어난 자갈 위와 수면의 관찰 가능한 지역까지 조사하였다. 채집된 시료는 5%의 중성포르말린으로 고정하여, 실험실로 옮긴 후 80%의 에틸알콜로 바꿔 고정한 후 종 단위까지 분류하였다.

독도의 해안무척추동물의 수직분포는 이미 알려져 있으나(제 등 1997, 2003), 독도의 여러 조간대를 조사하는데 있어서 이러한 수직분포가 모든 정점에 적용되기는 어렵다. 따라서 조간대, 조하대 등의 조수간만의 차이가 적은 지역에서는 구분이 불분명하여 해안에서 육안으로 관찰되는 종을 위주로 조사하였다. 경우에 따라서 수중에서만 존재하는 종도 육안으로 관찰될 시에는 조사하였으며, 잠수조사는 시행하지 않았다.

각 동물군별 동정에는 연체동물은 최(1992)의 한국동식물도감 33권(연체동물 II)과 민 등(2004)을 참조하였다. 절지동물의 경우 김(1973)의 한국동식물도감 14권

Table 1. Dates and stations of seasonal survey

| Season | Date         | Island | Station        |
|--------|--------------|--------|----------------|
| Spring | 2009.04.31   | West   | W2, W3         |
|        |              | East   | E1, E2, E4     |
| Summer | 2009.08.25   | West   |                |
|        |              | East   | E1, E2, E3, E4 |
| Autumn | 2009.10.26   | West   | W1, W2, W3     |
|        |              | East   | E1, E2, E3     |
| Winter | 2010.1.26    | West   |                |
|        |              | East   | E1, E2, E3     |
| Spring | 2010.5.10    | West   | W1, W2         |
|        |              | East   | E1, E2, E3     |
| Summer | 2010.7.6     | West   | W1, W2, W3     |
|        |              | East   | E1, E2, E3, E4 |
| Autumn | 2010.10.14   | West   | W2             |
|        |              | East   | E1, E2, E3     |
| Summer | 2011.7.28~29 | West   | W1, W2, W3     |
|        |              | East   | E1, E2, E3, E4 |
| Autumn | 2011.9.28    | West   | W1, W2, W3     |
|        |              | East   | E1, E2, E3     |

(집게, 계류)을 참조하였으며, 극피동물의 경우 신과 노(1996)의 한국동식물도감 제36권(극피동물)을 참고하였고, 종합적으로 홍(2006)의 한국해양무척추동물도감을 참고하였다. 일반적인 증명은 한국동물분류학회(1997)의 한국동물명집을 따랐다.

## 3. 조사자료의 분석

독도의 해안무척추동물의 조사는 2007년부터 시작되어 많은 다양한 종이 출현하였지만, 2009년과 2010 그리고 2011년의 조사자료만을 선정하여 분석하였다. 이는 조사자에 따라 생물의 관찰방법이나 조사방법이 달라, 2009년 이후의 조사와 같이 분석하기에는 자료의 동질성을 보장하기 어렵기 때문으로 참고만을 하였다. 또한 독도는 기상의 조건에 따라, 동도와 서도의 이동이 원활치 못하기 때문의 때 조사 때 마다 모든 정점을 조사하기가 어려우며, 특히 겨울철에는 기상상태가 악화되어 독도조사를 포기하는 경우도 발생한다(Table 1).

따라서 조사자료의 분석은 조사된 계절을 중심으로 3년간 9계절 총 47회(정점)의 조사 횟수를 기준으로 하였다. 이를 바탕으로 정점별 종조성과 군집구조를 각 종의 출현율에 의해 분석을 하였으며, 우점종의 선정은 정량적인 조사에서 나타난 개체수밀도를 배제하고, 매 조사 때의 출현율을 전체적인 조사 횟수로 나누어 백분율로 나타낸 최우수 출현종으로 하였다. 이는 매 조사 시에 가장 자주 출현한 종이 그 정점의 대표적인 종으로 볼 수 있기 때문이며, 한정된 조사시간에 각 정점과 종들의 생태학적 대표성을 알아볼 수 있다. 전체적인 최우수출현종의 분석에는 30% 이상 출현한 종을 선정하였으며, 이

는 한정된 조사 횟수에서 다수 출현한 것으로 조사된 종이 생태환경에 잘 적응되어 있는 대표종이라는 기준에 의한 것이다.

$$FRO = N^{FO} / N^{total} \times 100$$

FRO : Frequency Ratio of Occurrence

$N^{FO}$  : Frequency of Occurrence of species

$N^{total}$  : Frequency of total surveys

전체적인 우수출현종간의 관계를 알아보기 위해 상위 30% 이상의 우수출현종간의 출현빈도를 기준으로 자료를 출현유무만을 따져 presence/absence로 변형하여 Bray-Curtis 유사도지수를 구하고 이를 이용한 집괴분석 (cluster analysis)과 다차원척도법 (Non-metric multidimensional scaling: MDS) 분석을 수행하였다.

분석에 이용한 출현빈도는 계절에 관계없이 각 정점별 조사횟수를 합쳐, 전체적인 조사 빈도를 종이 출현한 빈도로 나눈 비율을 사용했으며, 수치자료의 변환을 하지 않았다. 또한 조사가 안 된 정점 및 조사 횟수들을 출현빈도에 포함시키지 않았다. 독도의 각 정점간의 조간대무척추동물상의 관계 및 군집분석을 위한 방법으로는 각 정점별 출현종의 출현빈도를 바탕으로 수치자료의 변환 없이 Bray-Curtis 유사도지수를 구하고 이를 이용한 집괴분석 (cluster analysis)과 다차원척도법 (Non-metric multidimensional scaling: MDS) 분석을 수행하였다. 이와 같은 통계분석에는 PRIMER 패키지 (ver. 5.2.8)를 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 종조성 및 우수출현종

2009년부터 2011년까지 출현한 총 종수는 44종으로 연체동물이 29종, 절지동물이 7종, 극피동물이 4종, 자포동물이 3종 그리고 환형동물이 1종으로 5개의 동물군에서 출현하였다 (Fig. 2). 이 종수는 2007년도의 73종, 2008년도의 66종에 비해 크게 못 미치며, 그 이유는 2007년도와 2008년도의 조사가 조하대를 포함하여 많은 종이 조사된 것으로 보인다. 일반적으로 독도의 해안은 면적이 비교적 적어 많은 종이 출현하지 않는 반면 조하대의 경우는 매우 다양한 종이 출현하고 있다. 2004년도 조사의 경우 수중조사에서 총 274종이 조사된 바 있다 (울릉군 2004).

연체동물의 높은 비율 (66%)은 암반해안에서는 일반적인 경우이나 독도의 경우는 다른 지역에 비해 조금 높게 나타났는데, 제주의 암반조간대의 경우 48% (이와

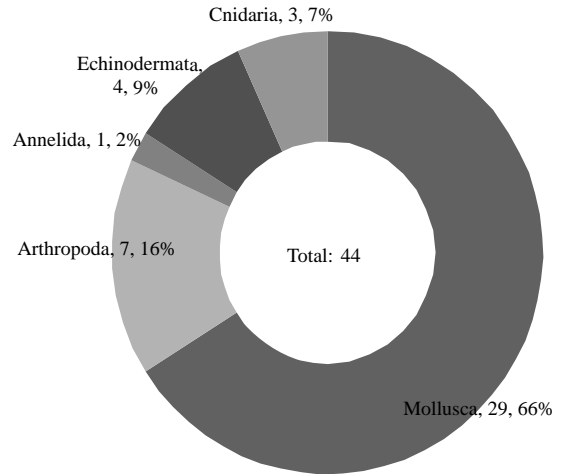


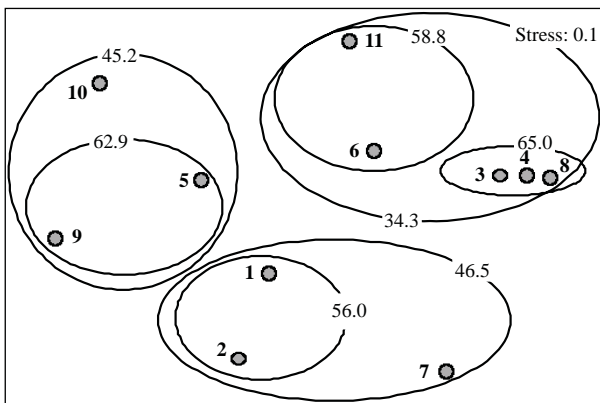
Fig. 2. The faunal composition of marine invertebrate on rocky shore in Dokdo.

현 1992)에서 55% (이와 김 1993)를 나타냈다. 이는 독도의 경우 연체동물이외의 다른 동물군의 종이 많이 출현하지 않았기 때문으로 보인다. 절지동물의 경우 전체 7종중 4종이 고착형 절지동물인 따개비류와 거북손 (*Pollicipes mitella*)이고 나머지 3종은 이동성이 큰 게류들이다. 극피동물은 조간대무척추동물로 보기는 어려우나 파도에 밀려오거나 얕은 해안바위에 서식하는 것이 관찰되므로 조사가 되었으나, 출현율은 비교적 낮다. 그러나 극피동물은 조간대의 동물의 중요한 포식자로서 중요한 역할을 하는 것으로 알려졌는데 (Menge 1976; Lubchenco and Menge 1978; Paine *et al.* 1985), 한 우점종의 지나친 발달로 점령된 공간을 우점종을 포식함으로써 다른 종이 정착할 수 있는 공간을 마련하여 암반조간대의 종다양성을 극대화시키는 Keystone species의 역할을 한다 (Paine 1966).

본 연구에서 나타난 최우수출현종은 연체동물중 애기삿갓조개 (*Cellana toreuma*)로 총 47회중 26회 출현하여 55.3%의 출현율을 보였다 (Table 2). 애기삿갓조개는 조간대 암반지역에 서식하는 대표적인 삿갓조개류로 독도의 많은 정점에서 관찰되고 있으며, 개체변이가 심한 것이 특징이다. 다음은 보말고둥 (*Omphalius rusticus*)으로써 24회 출현하여 전체의 51.1%의 출현율을 보였다. 보말고둥은 조간대와 조하대의 바위에 서식하며, 암반이나 자갈 해안에서도 많이 발견할 수 있는 종이다. 다음은 조무래기따개비 (*Chthamalus challenger*)로 20회 출현하여 42.5%의 출현율을 보였는데 조간대 상부의 대표적인 고착형 절지동물로 국내 해안에 널리 분포하고 있다. 4위는 거북손으로 20회 출현하였다. 5위는 좁쌀무늬총알고둥 (*Granulilittorina exigua*)으로써 조무래기따개비와

**Table 2.** The dominant species ranked by the frequency rate of occurrence (FRO) data from 47 surveys on 7 stations in Dokdo (Mol: Mollusca, Arth: Arthropoda)

| Rank | Phylum | Specie name                    | FO | FRO  |
|------|--------|--------------------------------|----|------|
| 1    | Mol    | <i>Cellana toreuma</i>         | 26 | 55.3 |
| 2    | Mol    | <i>Omphalius rusticus</i>      | 24 | 51.1 |
| 3    | Arth   | <i>Chthamalus challengeri</i>  | 20 | 42.5 |
| 4    | Arth   | <i>Pollicipes mitella</i>      | 20 | 42.5 |
| 5    | Mol    | <i>Granulilittorina exigua</i> | 19 | 40.4 |
| 6    | Arth   | <i>Pachygrapsus crassipes</i>  | 19 | 40.4 |
| 7    | Mol    | <i>Serpulorbis imbricatus</i>  | 17 | 36.2 |
| 8    | Arth   | <i>Tetraclita japonica</i>     | 17 | 36.2 |
| 9    | Mol    | <i>Chlorostoma lischkei</i>    | 16 | 34.0 |
| 10   | Mol    | <i>Monodonta perplexa</i>      | 15 | 31.9 |
| 11   | Mol    | <i>Reishia bronni</i>          | 15 | 31.9 |



**Fig. 3.** Two-dimensional (MDS) plots from presence/absence transformed data and combined by results from cluster analysis. Bold numbers refer to the ranking of dominant species in Table 3. The numeric data on the line of circle refer to similarity of cluster analysis performed with Bray-Curtis similarity matrix.

더불어 조간대 상부의 대표적인 연체동물로써 바위의 갈라진 틈에 많이 서식하고 많은 개체가 모여 있기 때문이다. 6위는 바위게 (*Pachygrapsus crassipes*)로써 독도의 바위틈에서 자주 발견된다. 큰뺨고둥 (*Serpulorbis imbricatus*)과 검은큰따개비 (*Tetraclita japonica*)는 같은 출현율을 보이며 7위와 8위에 올랐다 (Table 2).

우수출현종의 분포를 바탕으로 Bray-Curtis 유사도지수를 이용한 집괴분석과 MDS를 시행한 결과 집괴분석은 30% 이상의 유사도를 가진 종들로 볼 때 크게 세 그룹으로 나누었으나, MDS는 고착성 절지동물 3종 즉 거북손과 검은큰따개비, 조무래기 따개비가 가장 가까운 종으로 나타냈다 (Fig. 3). 유사도가 높은 세 고착성 절지동물은 파식대의 암반지대에 서식하며, 이중 조무래기따개비와 거북손은 유생의 착지에서부터 시·공간적으로 유사한 패턴이 보인다고 보고되고 있다 (Pineda 1994) 또

한 검은큰따개비와 거북손은 같은 공간에 밀생하여 이들 고착성절지동물의 생활사는 거의 같은 공간에서 이루어진다고 봐야 할 것이다. 이밖에 바위게와 두드럭고둥 (*Reishia bronni*)은 유사도가 높은 종들이며, 앞서 설명한 세 고착성절지동물과 같은 공간에서 서식한다 (대구지방환경청 2009, 2010, 2011). 바위게는 파식대 암반 지역에서 발견되며, 두드럭고둥은 고착성절지동물의 포식자로서 따개비류의 군집위에서 서식한다 (Minchinton and Scheibling 1993).

최우수출현종인 애기삿갓조개와 보말고둥은 높은 유사도를 보였으며, 큰뺨고둥과도 높은 유사도를 보였다 (Fig. 3). 그러나 MDS에서 나타난 유사도 위치 면에서는 분산되어 있어 특징을 규정하기는 어렵다. 다만 최우수출현종으로서 많은 정점에 출현하여 높은 유사성을 보이는 종들로 암반조간대 환경에 잘 적응한 종들로 보인다. 밤고둥 (*Chlorostoma lischkei*)과 좁쌀무늬총알고둥 그리고 감장각시고둥 (*Monodonta perplexa*)도 매우 유사도가 높은 그룹으로 나타났는데, 좁쌀무늬총알고둥은 암반조간대 상부에 주로 서식하며, 밤고둥과 감장각시고둥은 자갈해안에 서식하는 종으로 운동성이 큰 종들이다. 좁쌀무늬총알고둥을 자갈해안의 암반에서 발견되어 이들 종과 출현유사성을 보이는 것으로 추정된다.

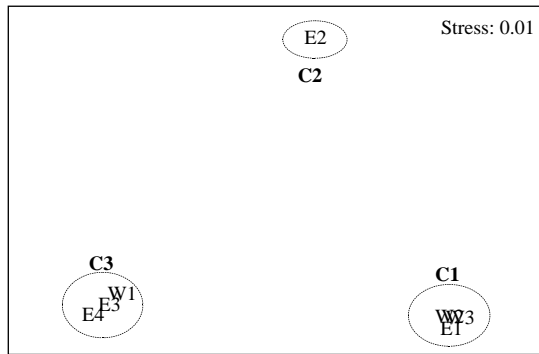
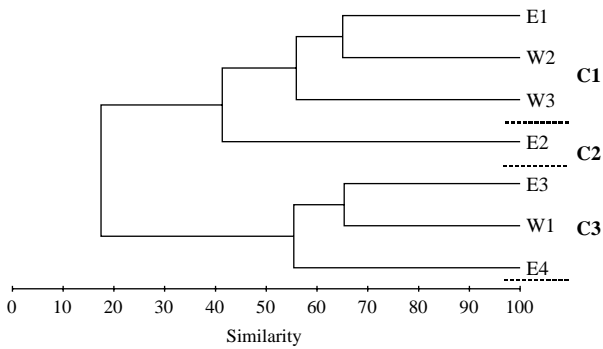
## 2. 군집구조

독도의 7개 정점에 출현한 종들의 출현빈도를 토대로 각 정점들의 생태학적 특성을 알아보고자 각 정점의 출현종을 바탕으로 Bray-Curtis similarity matrix를 이용하여 크게 세 군집으로 구분하였다 (Fig. 4). 첫 번째로 정점 E1, W2, W3은 몽돌해안을 이루는 정점으로 비교적 넓은 자갈밭을 형성하고 있으며 (군집 C1), 두 번째는 정점 E2로써 비교적 파도가 적은 암반지형 (군집 C2)이고, 마지막으로 정점 W1, E3, E4로 파도의 물리적인 힘을 직접적으로 받는 암반해안으로 파식대를 이루는 정점들 (군집 C3)이다 (대구지방환경청 2009, 2010, 2011).

집괴분석의 결과 나누어진 군집들은 유사도 50% 이상에서 묶여졌으며, 단일 정점이 군집으로 된 정점 E2는 같은 암반재질의 C1과 41% 정도의 유사도를 보였다. 그러나 다차원척도법 (MDS)에서 정점군들의 배치는 매우 선명한 양상을 보이며 낮은 stress 수치 (0.01)로써 각 정점군이 분리되는 것으로 나타났다 (Fig. 4).

먼저 군집별 종수에 있어서는 군집 C3가 36종으로 가장 많았으며, 군집 C2가 26종으로 가장 적었다.

동물군별 구성비를 보면, 종조성에 있어서는 모두 연체동물이 가장 많은 종수를 보였고, 그룹 C2에서 연체동



**Fig. 4.** Dendrogram of cluster analysis and non-metric multidimensional scaling (MDS) plots for non transformed FO data: Group C1 represented by a pebble beach: St. E1, W2, W3 Group C2 represented by a still rocky shore: St. E2, Group C3 represented by an wave-exposed rocky shore: St. E3, E4, W1.

물이 가장 낮은 중수와 출현율을 보였다. 절지동물에 있어서도 모든 군집에서 유사한 중수를 보였으며 군집 C3에서 6종으로 가장 많은 종이 출현하였으나 출현비에서는 가장 낮았다. 이는 군집 C3에서 연체동물뿐만 아니라, 다른 동물군도 다수 출현했기 때문이다. 즉 파도와 같은 물리적인 에너지가 큰 정점에서 종다양성이 가장 높았음을 알 수 있다. 환형동물은 모든 군집에서 한 종씩 출현했으며, 극피동물은 군집 C2에서 3종으로, 자포동물은 군집 C3에서 3종으로 가장 많이 출현하였다(Table 3).

**3. 군집별 우수출현종**

군집별 우수출현종을 보면, 자갈해안군집인 군집 C1의 경우 고동류인 감장각시고동이 가장 흔히 발견되는 종이었고, 애기삿갓조개와 보말고동, 그리고 밤고동과 좁쌀무늬총알고동은 총 15회 조사 중 50% 이상 발견되었다(Table 4). 감장각시고동은 자갈해안에서 흔히 볼 수 있는 종으로 독도에서 뿐만 아니라 울릉도 및 경북해안에도 흔히 볼 수 있으며, 상당한 개체수로 서식하고 있다

**Table 3.** The faunal composition of marine invertebrate communities resulted by cluster analysis

|               | C1         |     | C2         |     | C3         |     |
|---------------|------------|-----|------------|-----|------------|-----|
|               | Nb. of sp. | %   | Nb. of sp. | %   | Nb. of sp. | %   |
| Mollusca      | 20         | 73  | 16         | 61  | 24         | 66  |
| Arthropoda    | 5          | 19  | 5          | 19  | 6          | 17  |
| Annelida      | 1          | 4   | 1          | 4   | 1          | 3   |
| Echinodermata | 1          | 4   | 3          | 12  | 2          | 6   |
| Cnidaria      | 0          | 0   | 1          | 4   | 3          | 8   |
| Total         | 27         | 100 | 26         | 100 | 36         | 100 |

**Table 4.** Dominant Species ranked by the frequency rate of occurrence (FRO) in 3 communities (Mol: Mollusca, Arth: Arthropoda, Cni: Cnidaria). The numbers in parentheses refer to frequency of surveys

| Group   | Phylum                      | Species name                   | FO   | FRO  |
|---------|-----------------------------|--------------------------------|------|------|
| C1 (21) | Mol                         | <i>Monodonta perplexa</i>      | 15   | 71.4 |
|         | Mol                         | <i>Cellana toreuma</i>         | 12   | 57.1 |
|         | Mol                         | <i>Omphalius rusticus</i>      | 12   | 57.1 |
|         | Mol                         | <i>Chlorostoma lischkei</i>    | 11   | 52.4 |
|         | Mol                         | <i>Granulilittorina exigua</i> | 11   | 52.4 |
| C2 (9)  | Mol                         | <i>Serpulorbis imbricatus</i>  | 8    | 88.9 |
|         | Mol                         | <i>Omphalius rusticus</i>      | 7    | 77.8 |
|         | Mol                         | <i>Aplysia kurodai</i>         | 6    | 66.7 |
|         | Mol                         | <i>Cellana toreuma</i>         | 6    | 66.7 |
|         | Mol                         | <i>Chlorostoma lischkei</i>    | 5    | 55.6 |
| C3 (18) | Arth                        | <i>Pollicipes mitella</i>      | 17   | 94.4 |
|         | Arth                        | <i>Tetraclita japonica</i>     | 16   | 88.9 |
|         | Arth                        | <i>Chthamalus challengerii</i> | 15   | 83.3 |
|         | Mol                         | <i>Acanthopleura japonica</i>  | 14   | 77.8 |
|         | Arth                        | <i>Pachygrapsus crassipes</i>  | 13   | 72.2 |
|         | Mol                         | <i>Reishia luteostoma</i>      | 12   | 66.7 |
|         | Mol                         | <i>Acanthochitona achates</i>  | 10   | 55.6 |
|         | Mol                         | <i>Cellana toreuma</i>         | 10   | 55.6 |
| Mol     | <i>Crassostrea gigas</i>    | 10                             | 55.6 |      |
| Cni     | <i>Anthopleura japonica</i> | 10                             | 55.6 |      |

(차 등 2000; 대구지방환경청 2009). 보말고동과 밤고동 등도 자갈해안에서 주로 서식하는데, 애기삿갓조개와 좁쌀무늬총알고동은 자갈 위보다는 자갈해안주변의 큰 바위에 붙어 있는 종이며 애기삿갓조개의 경우 모든 군집에서 우점출현종으로 여러 환경에 잘 적응하는 종으로 나타났다. 좁쌀무늬총알고동은 조간대 상부에 바위틈에서 자주 발견되는 종으로 자갈 위보다는 주변의 암반에서 발견된다(제 등 2003).

군집 C2에서는 큰뽕고동이 최우수출현종이었으며, 보말고동 그리고 군소가 우점 출현 하였다. 큰뽕고동은 얕은 수심의 암반과 조간대에 서식하는데 파도가 강한 지역보다는 잔잔한 암반에 고착생활을 하는 연체동물이다. 그러나 파도의 영향이 적은 암반과식대의 뒤편에 넓은 암반지대에서도 발견된다(대구지방환경청 2010, 2011).

보말고둥은 응덩이의 바위표면에서 흔히 발견되며, 군소(*Aplysia kurodai*)는 느린 이동형의 비교적 큰 연체동물로 해조류를 먹고 사는데, 적은 수의 개체가 물웅덩이와 바위틈에서 자주 발견되며, 극히 작은개체도 발견되어, 안정된 군집을 형성하고 있는 것으로 보인다. 군소는 파도가 적은 암반지역인 군집 C2에서 매우 특징적인 종이 라 할 수 있다. 즉 보말고둥과 큰뺨고둥은 각각 자갈해안과 암반파식대 뒤편 해안에서 즉 군집 C1과 C3에서도 관찰 될 수 있으나 군소는 군집 C2에서만 서식한다. 그 외 애기삿갓조개와 밤고둥이 군집 C1에 이어서 우점 출현 하였다(Table 4).

군집 C3는 파도가 치는 지역으로 가장 우점출현종은 고착형 절지동물로써 거북손이 총 18회 조사 중 17회 조사되어 94.4%의 출현율을 보였고, 다음은 검은큰따개비가 16회 그리고 조무래기따개비가 15회 등으로 조사 되었다. 군집 C3의 큰 특징은 군집 C1과 C2와 달리 고착성 절지동물이 주요 우점출현종으로 조사되었으며 연체동물과 자포동물등 다양한 동물군이 우수출현종으로 나타나고 있다는 점이다(Table 4).

또한 군집 C3의 환경적인 조건은 독도의 동도와 서도를 둘러싸는 대부분의 파식대와 유사한 형태로 이들 우수출현종은 개체수밀도에 있어서도 독도를 대표할 수 있는 우점종이다(대구지방환경청 2009, 2010, 2011). 또한 군집 C3는 다른 군집보다 우수출현종이 두 배나 많은 10종으로 매우 풍부한 생물상을 보여준다. 즉 10종 이상 항상 서식이 확인되는 그룹인 것이다. 50% 이상의 출현율을 보인 종 중 유일한 연체동물인 군부(*Acanthopleura japonica*)는 다른 독도의 군집에서는 발견되지 않았다. 이외 바위게는 유일한 이동성 절지동물로써 군집 C3에서 흔히 발견되는 종이며, 대수리(*Reishia clavigera*)는 따개비류의 포식자로서 같이 서식하는 것으로 보인다(Minchinton and Scheibling 1993). 군집 C2와 C3는 같은 암반해안을 가지고 있으면서 파도의 유무에 따라 우점종이 확연히 차이나는 흥미로운 현상을 보여준다. 특히 군집 C3의 거북손과 검은큰따개비 군집은 동해안 어디에서도 흔히 볼 수 없는 장관을 연출하고 있으며, 그 개체수밀도에 있어서도 매우 큰 군집을 형성하고 있다(대구지방환경청 2009, 2010, 2011). 이와 같이 우수출현종의 분포로써도 각 군집의 차이는 현격히 다르며, 각 정점의 생태계가 환경적인 요소에 매우 민감할 수 있음을 보여준다.

결론적으로 독도의 암반조간대생태계는 환경조건에 따라 각 군집의 출현종의 양상에 큰 차이를 보였다. 세 군집으로 나뉜 정점들의 환경적인 특성은 파도와 같은 수리역학적 요인과 저질로써, 환경이 저서무척추동물

의 분포에 큰 영향을 미침을 알 수 있었고, 환경변화에 따른 군집의 변화도 클 수 있음을 알 수 있다. 이는 갯벌이나 연성조하대 등 다른 저서생태계에 비해 더욱 뚜렷한 환경과 생태계의 연관관계를 보이며, 환경의 다양성이 생물다양성의 증가시키는 필요조건임을 보여 주었다. 따라서 이러한 생태학적 차이를 좁히는 개발이나 환경변화를 경계할 필요가 있으며, 지속적인 모니터링 되어야 하고, 독도뿐만 아니라 울릉도와 동해안 암반해안 생태계를 같이 비교 연구 한다면, 독도 생태계의 기원 및 유지 등의 연관관계 또한 밝힐 수 있을 것이다.

## 적 요

독도 조간대 해양무척추동물의 공간적인 분포를 밝히기 위해서 2009년부터 2011년까지 10차례에 걸쳐 현장 조사를 실시하였다. Bray-Curtis 유사도를 이용한 집괴분석을 통하여 3개의 군집을 밝혔으며, 첫 번째 군집은 자갈해변군집으로 이동성 복족류인 보말고둥과 갯장각시고둥 그리고 밤고둥이 우점종으로 나타났으며, 두 번째 군집은 잔잔한 암반해안으로 보말고둥, 큰뺨고둥 그리고 군소가 우점종으로 나타났으며, 마지막 군집은 두 종의 고착성 절지동물인 검은큰따개비와 거북손이 우점하는 것으로 나타났다. 이들 군집은 독도 암반조간대의 기질의 종류와 수리역학적인 조건에 의해 결정되었으며, 환경적인 조건이 해양생물의 생물다양성을 유지하고 증가 시키는데 중요한 역할을 하는 것으로 보인다.

## 사 사

본 논문은 2011년 교육과학기술부 지정, 정책중점연구소 지원사업으로 수행되었습니다.

본 논문에 세심한 지적과 지도 편달을 아끼지 않으신 두 익명의 심사위원님들께 심심한 감사를 포함합니다.

독도의 암반조간대 무척추동물연구에 많은 도움을 주신 대구지방환경청 관계자 여러분께도 심심한 감사를 드리며, 특히 많은 지원을 아끼지 않으신 김두찬, 김성대, 박강욱씨에게 감사의 말씀을 전합니다.

## 참 고 문 헌

- 김훈수. 1973. 한국동식물도감 제14권 동물편(집게, 게류). 문교부. 694pp.  
대구지방환경청. 2007. 독도 생태계 모니터링보고서. 179pp.

- 대구지방환경청. 2008. 독도 생태계 모니터링보고서. 179pp.
- 대구지방환경청. 2009. 독도 생태계 모니터링보고서. 191pp.
- 대구지방환경청. 2010. 독도 생태계 정밀조사보고서. 218pp.
- 대구지방환경청. 2011. 독도 생태계 모니터링보고서. 191pp.
- 민덕기, 이준상, 고동범, 제종길. 2004. 한국패류도감. 도서출판 한글. 566pp.
- 신숙, 노분조. 1996. 한국동식물도감 제36권 (극피동물). (주)국정교과서. 415pp.
- 울릉군. 2004. 독도 천연보호구역 학술조사. 경주대학교 울릉학연구소. 450pp.
- 이정재, 김종철. 1993. 제주도 서부연안역의 생물생태학적 기초연구 - 비양도 조간대에 분포하는 대형저서무척추동물과 계절적 군집변동 - 한국패류학회지. 9:68-84.
- 이정재, 현재민. 1992. 제주도 동부연안역의 생물생태학적 기초연구 - 조간대 암반역에 분포하는 저서무척추동물의 계절적 군집변동 - 한국패류학회지. 8:1-20.
- 제종길, 강래선, 명철수, 이종수, 이시완, 신상호. 1997. 독도의 해양저서생물상. 수중과학기술. 1:76-80.
- 제종길, 이시완, 신상호, 고철환. 1998. 독도 바위해안 연체동물의 생물지리분포. 독도연구총서4. 독도연구보존협회 pp. 119-139.
- 제종길, 오윤식, 신상호. 2003. 독도의 바위해안생태계 In: 독도 인근해역의 환경과 자연적 가치. 독도해양수산연구회. pp. 235-250.
- 차재훈, 제종길, 김기태. 2000. 울릉도 · 독도 조간대 저서동물의 계절적 변이에 대한 연구. 수중과학기술. 2:1-7.
- 최병래. 1992. 한국동식물도감 제33권 (연체동물 II). (주)국정교과서. 860pp.
- 한국동물분류학회. 1997. 한국동물명집 (곤충제외). 아카데미서적. 489pp.
- 한국자연보존협회. 1981. 울릉도 및 독도 종합학술조사보고서 한국자연보존협회 조사보고서. 제19호. 294pp.
- 해양수산부. 1999. 독도 해양환경 · 수산자원 보존을 위한 기초연구. 최종보고서. 544pp.
- 홍성윤. 2006. 한국해양무척추동물도감. 아카데미서적. 479pp.
- 홍재상. 1981. 독도의 해양저서생물상의 잠수관찰. In 한국자연보존협회 조사보고서, 제19호. pp. 229-236.
- 환경부. 2006. 독도 생태계 정밀조사 보고서. 환경부. 178pp.
- Bertocci I, S Vaselli, E Maggi and L Benedetti-Cecchi. 2007. Changes in temporal variance of rocky shore organism abundances in response to manipulation of mean intensity and temporal variability of aerial exposure. Mar. Ecol. Prog. Ser. 338:125-134.
- Christofoletti RA, VA Murakami, DN Oliveira, RE Barreto and AAV Flores. 2010. Foraging by the omnivorous crab *Pachygrapsus transversus* affects the structure of assemblages on sub-tropical rocky shores. Mar. Ecol. Prog. Ser. 420:125-134.
- Harley ChDG and BST Helmuth. 2003. Local- and regional-scale effects of wave exposure, thermal stress, and absolute versus effective shore level on patterns of intertidal zonation. Limnol. Oceanol. 48:1498-1508.
- Hutchinson N and GA Williams. 2001. Spatio-temporal variation in recruitment on a seasonal, tropical rocky shore: the importance of local versus non-local processes. Mar. Ecol. Prog. Ser. 215:57-68.
- Kronberg I. 1988. Structure and adaptation of the fauna in the black zone (littoral fringe) along rocky shores in northern Europe. Mar. Ecol. Prog. Ser. 49:95-106.
- Lubchenco J and BA Menge. 1978. Community development and persistence in a low rocky intertidal zone. Ecol. Monogr. 59:67-94.
- Menge BA. 1976. Organization of the New England rocky intertidal community: Role of predation, competition and environmental heterogeneity. Ecol. Monogr. 46:355-393.
- Minchinton TE and RE Scheibling. 1993. Free space availability and larval substratum selection as determinants of barnacle population structure in a developing rocky intertidal community. Mar. Ecol. Prog. Ser. 95:233-244.
- Nibakken JW. 2001. Marine Biology: An ecological approach, 5th (ed.), Addison Wesley longman Inc.
- Pain RT. 1966. Food web complexity and species diversity. Amer. Nat. 100:65-75.
- Paine RT, JC Castillo and J Cancimo. 1985. Perturbation and recovery patterns of starfish dominated intertidal assemblages in Chile, New Zealand and Washington State. Amer. Nat. 125:679-691.
- Pineda H. 1994. Spatial and temporal patterns in barnacle settlement rate along a Southern California rocky shore. Mar. Ecol. Prog. Ser. 107:125-138.
- Ricciardi A and E Bourget 1999. Global patterns of macroinvertebrate biomass in marine intertidal communities. Mar. Ecol. Prog. Ser. 185:21-35.
- Stephenson TA and A Stephenson. 1949. The universal features of zonation between tide marks on rocky coasts. J. Ecol. 37:289-305.

Received: 19 April 2012

Revised: 7 June 2012

Revision accepted: 9 June 2012