

북동태평양 망간단괴 해역의 환경충격시험 예정지역과 보존지역에서 중형저서생물 수직분포 및 공간분포 특성

민원기*, 노현수*, 김동성**

*한국해양과학기술원 동해연구소

**한국해양과학기술원 해양환경·기후연구본부

e-mail:wgmin@kiost.ac.kr

Vertical and Spatial Distribution of Meiobenthos on the Deep-sea Sediment between Impact and Preserved Sites for Environmental Impact Assessment in Manganese Nodule Area, NE Pacific

Won-Gi Min*, Hyun Soo Rho*, Dongsung Kim**

*East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST)

**Marine Environmental & Climate Research Division, KIOST

요약

본 연구는 북동태평양 Clarion-Clipperton 균열대에 위치한 KODOS(Korea Deep Ocean Study) 해역에서 향후 해저 망간단괴 채광을 대비한 환경 저층 교란 시험 대상해역 선정을 위하여, 심해 퇴적물에 서식하는 중형저서생물 군집 특성을 분석한 결과를 고찰하여 조사해역의 중형저서생물의 수직 분포 및 수평 분포 특성과 자연변화량을 기술하였다. 채집된 시료를 분석한 결과, 비슷한 수심대의 심해역에 비하여 다소 낮은 현존 서식량을 나타냈으나 CCFZ 인근해역에서 실시한 연구들에서 보고된 해역의 현존량과는 비슷한 수직분포 특성을 보였다. 또한 환경교란 현장시험의 선행연구로서의 KOMO 정점과 유사한 분포특성을 가지고 있는 저층충격해역 정점을 선별하기 위해 중형저서생물 군집의 분류군별 서식밀도를 기준으로 대체적으로 골에 위치한 정점의 유사도가 높게 나타났으며, 마루 및 경사면에 위치한 정점들이 골에 위치한 정점과는 유사도가 낮은 결과를 보였다. 군집구조의 유사성으로 정점들의 현존량을 비교하면 지역적인 위치가 중요한 결정 요인으로 보이나, 표층퇴적물의 단괴 밀도, 입도 특성 등의 환경자료와의 연관성을 검토하여 환경요인과의 관계에 대한 고찰이 필요할 것으로 보인다.

1. 서론

연구의 대상해역인 북동태평양 클라리온-클리퍼톤 균열대 (Clarion-Clipperton Fracture Zone, CCFZ)는 1970년대 이후부터 부족한 육상광물을 대신할 수 있는 해양광물자원의 개발과 관련하여 여러 국가들의 주목을 받고 있는 해역이다. 특히 우리나라를 포함하여 독일, 미국, 일본, 프랑스 등의 해양 개발 선진국들은 망간단괴를 상업적으로 개발하기 위해 다양한 기초 연구 및 응용 기술 개발을 수행해 오고 있다[1]. 이와 함께 채광시 발생할 수 있는 환경 영향에 대한 연구도 함께 수반되어 진행되고 있다. 현재까지 제시된 심해 망간단괴 광구에서의 채광 방법은 자가 이동방식 혹은 선박 견인식의 채광기가 심해 퇴적물의 상층 5-10 cm를 거두어 단괴들을 걸러낸 다음 남은 퇴적물은 다시 해저면 위로 떨어뜨려 다시 퇴적물 위에 쌓아게 만드는 방법이 대표적이다. 이러한 채광 방식은 심해 해저면 표층 0-5 cm 이내에 주로 서식하면서 살아가-

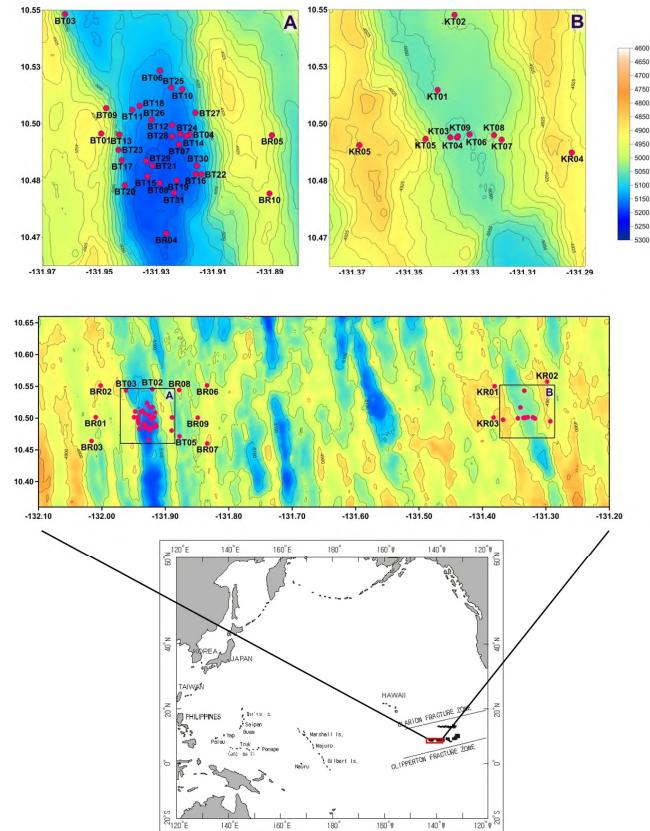
는 생물에게 직·간접적으로 영향을 미치게 된다. 최근의 연구에서는 이러한 채광이 저서생물에 미치는 영향에 대하여 1) 단괴 채집기가 지나간 자리에는 트랙이 만들어지면서 그곳에 살고 있던 생물들은 으스러지거나 플룸(plume)과 함께 퍼져나가며, 2) 퍼져나간 퇴적물 플룸이 가라앉으면서 그 장소에 서식하던 저서생물이 매장되거나 질식되어 죽게 되고, 3) 채광영향으로 제거된 생물을 섭식하는 먹이단계 상위 포식종 역시 영향을 받게 됨을 기술하였다[2]. 실제적으로 태평양 및 인도양에서 망간단괴 광구 탐사권을 보유한 일부 국가들은 자국의 광구지역 또는 그 주변지역에서 심해퇴적물 교란기를 이용한 충격 모의시험과 인위적 교란이 미치는 영향에 대한 연구들을 수행하였는데, 그 결과는 국제적인 이슈로 부각되었다. 이러한 국제정세의 흐름을 반영하듯 공해상의 해저자원을 관리/감독하는 국제해저기구인 ISA(International Seabed Authority)에서는 채광으로 발생하는 교란이 미치는 이러한 생물학적 영향을 평가하고 저감하기 위하여, 상업 채광 이전에 기초 환경조사 및 집광기(또는 심해퇴적물 교란기)를 이용한 환경충격시험의 수행을 강력히 권고하였다. 환경

충격시험의 목적은 채광으로 발생하는 인위적 교란이 해저에서 서식하는 생물들에게 어떠한 영향을 미치는지에 대한 환경영향 및 영향저감 대책 마련인데, 이러한 연구를 진행하기에 앞서 환경충격시험 이전에 대상해역에서 서식하는 생물군집에 대한 정밀한 분포 특성을 정확하게 파악할 수 있는 기반환경 자료 확보가 매우 중요하다. 본 연구의 결과는 향후 저층 충격모의시험과 채광에 대한 사전 비교자료로 의미있게 사용될 것으로 기대한다.

2. 조사 및 분석 방법

중형저서생물 조사정점은 CCFZ내의 여러 광구 후보구역 중에 KR5 해역 안에 위치한 저층충격시험 후보해역인 BIS(Benthic Impact candidate Site)와 인근 비슷한 수심대와 지형특성을 가지는 대조구 정점인 KOMO(KIOST long-term Monitoring site) 해역에서 수행되었다(그림 1). 조사시기는 2008년부터 2014년까지 7년간 매년 하계인 7월에서 8월말 사이에 수행되었으며, 조사선은 2011년에 하와이대학교의 종합해양조사선 KOK(R/V Ka`imikai-o-Kanaloa)를 사용한 것을 제외하고는 모든 조사시기에 한국해양과학기술원 종합해양연구선 온누리호를 이용하여 진행되었다. 중형저서생물 시료 채집은 다중주상시료채취기(Multiple Corer, MC)를 이용하여 실시하였다. 총 55개 정점으로, KOMO 지역에서 14개 정점과 BIS 지역 41개 정점에서 정량, 정성 분석용 시료를 채집하였다(Table 1). 두 해역의 조사정점은 지형적 특성으로 고려하여 심해 분지에 위치한 정점은 BT(BIS Trough), KT(KOMO Trough)로, 마루에 위치한 정점은 BR(BIS Ridge), KR(KOMO Ridge)로 명명하여 구분하였다. 중형저서생물 시료는 MC에 부착된 8개의 코어 라이너 중 표층이 교란되지 않은 3개의 코어(직경 8 cm)를 선택하여 각각 직경 3.6 cm 크기의 아크릴 코어러(acryl sub-corer)를 이용해 정점마다 3개의 부시료를 얻었다(코어가 3개 확보되지 않을 경우에는 코어 라이너 2개에서 3개의 부시료 채취함). 아크릴 코어러로 채집된 시료는 중형저서생물의 수직분포 특성을 분석하기 위해 표층에서 3 cm 까지는 0.5 cm 간격으로 절단을 하였고, 3 cm에서 5 cm 까지는 1 cm 간격으로, 그 이하의 시료는 2 cm 두께로 9 cm 까지 절단하여 처리하였다. 각각의 층으로 절단한 퇴적물 시료들은 5% 포르말린으로 고정하였다. 퇴적물로부터 분리된 중형저서생물은 크기별 체(1 mm, 500 μm, 250 μm, 125 μm, 63 μm, 37 μm)를 이용하여, 습식 체질을 하게 되고, 각 크기별로 구분된 시료는 실체현미경과 고배율 광학현미경 하에서 동정하였다. 중형저서동물의 군집구조가 정점별로 유의한 차이를 파악하기 위하여 집괴분석(CLUSTER analysis)을 실시하였다. 집괴분석은 각 정점에 출현한 분류군의 서식밀도를 Fourth root 값으로

변환 후 Bray-Curtis 유사도 지수를 이용하여 집괴분석을 하였으며, 집괴분석 결과 내에서 각 정점의 통계적 유의한 차이를 확인하기 위하여 SIMPROF test를 진행하였다. 이는 PRIMER V.6를 사용하였다[3].



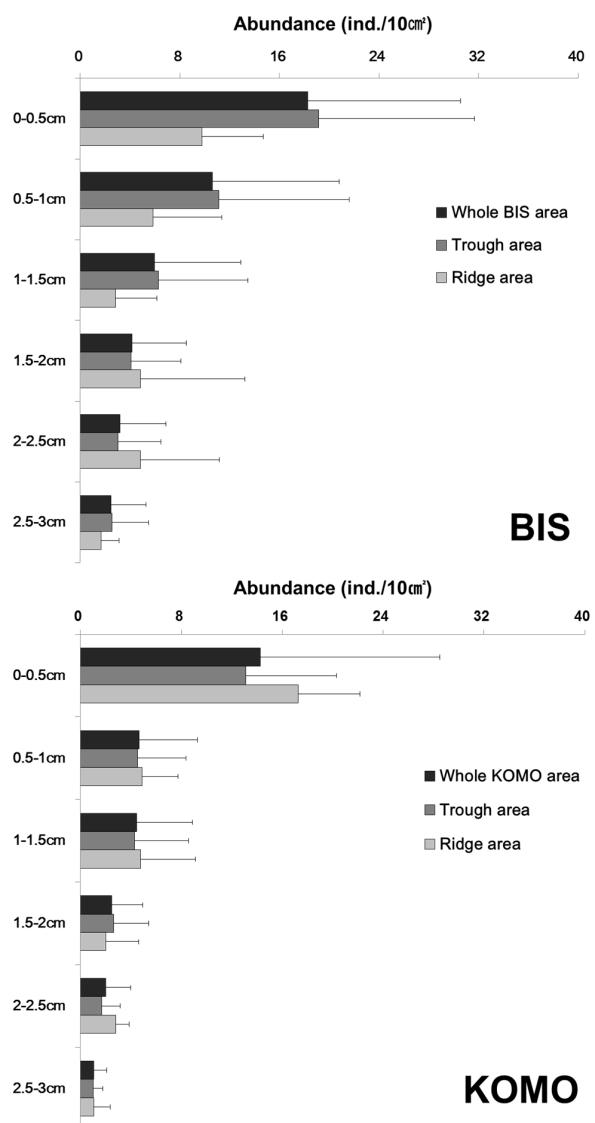
[그림 1] 조사해역 위치 및 정점도 (A: 환경충격시험 예정지, B: 대조해역)

3. 결과 및 고찰

전체 정점의 0-3 cm 퇴적물을 0-0.5 cm, 0.5-1.0 cm, 1.0-1.5 cm, 1.5-2.0 cm, 2.0-2.5 cm, 2.5-3.0 cm의 6개 층으로 나누어 각 깊이 별로 출현한 개체수를 분석한 결과, 각 정점별 중형저서생물의 퇴적물 내 수직분포 특성은 표층 0-0.5 cm에 전체 출현개체 수의 32-53%가 서식하는 경향을 보였으며, 표층 0-1 cm 층까지는 정점별로 평균적으로 45-66% 이상의 중형저서생물이 집중되어 분포하고 있는 것으로 분석되었다(그림 2). 해역별로 살펴보면, BIS해역에서는 평균 63.9%, KOMO 해역의 정점에서는 59.5%의 개체들이 표층 0-1.0 cm 퇴적물 내에 집중 서식하고 있었으며, 0-0.5 cm의 최상층 퇴적물에는 BIS 해역에서 평균 40.9%의 개체들이 서식하고 있었고, KOMO 해역에서는 49.5%가 서식하고 있어서 비슷한 수직분포 양상을 보였다. 지형적 특성별로 나누어 살펴보면, BIS해역의 Trough 정점에서는 표층 0-1 cm 층에 평균적으로 65.5% 이상의 중형저서생물이 집중되어 분포하고 있었고, Ridge 정점들에서는 45.5%가

서식하였으며, KOMO 해역에서는 Trough 정점에서 표층 0-1 cm 층에 평균적으로 57.9% 이상의 중형저서생물이 집중되어 분포하고 있었고, Ridge 정점들에서는 63.3%이 서식하는 양상을 나타냈다. 분석한 깊이에서 최하층인 2.5-3.0 cm 층에는 BIS 해역에서는 평균 5.4%, KOMO 해역의 정점에서는 2.2%의 개체들이 서식하고 있었으며, BIS 해역의 Trough 정점에서는 평균적으로 5.6%의 개체들만 분포하고 있었고, Ridge 정점들에서는 3.6%가 서식하였으며, KOMO 해역에서는 Trough 정점에서 평균적으로 2.2% 이하의 일부 중형저서생물 개체들만 분포하고 있었고, Ridge 정점들에서도 유사하게 2.3%가 최하층에 서식하는 양상을 나타냈다(그림 2). 심해에서 주로 나타난 수직분포의 제한요소는 먹이조건과 퇴적물의 간극수 중의 용존산소의 양으로 알려져 있다. 관련된 연구 자료에 의하면 산소가 존재하는 최심층의 지표로 산화망간층과 중형저서생물의 출현 최심층간에 상관성이 있고, 중형저서생물의 출현 최심층은 간극수 중의 용존산소에 의해 결정되어진다고 알려져 있다. 또한 표층에 분포하는 망간단괴의 크기와 갯수는 중형저서생물의 단위면적당 서식공간에 크게 영향을 미치기 때문에 수직분포 뿐만 아니라 표층 퇴적물의 서식밀도 값 자체에도 큰 영향을 미칠수 있기 때문에 향후에는 표층 서식밀도 및 수직분포와 표층퇴적물의 단괴 밀도, 입도 특성 등의 환경 자료를 해당정점에서 추가로 분석하여 수직 분포에 영향을 주는 요인을 보완 고찰이 요구된다.

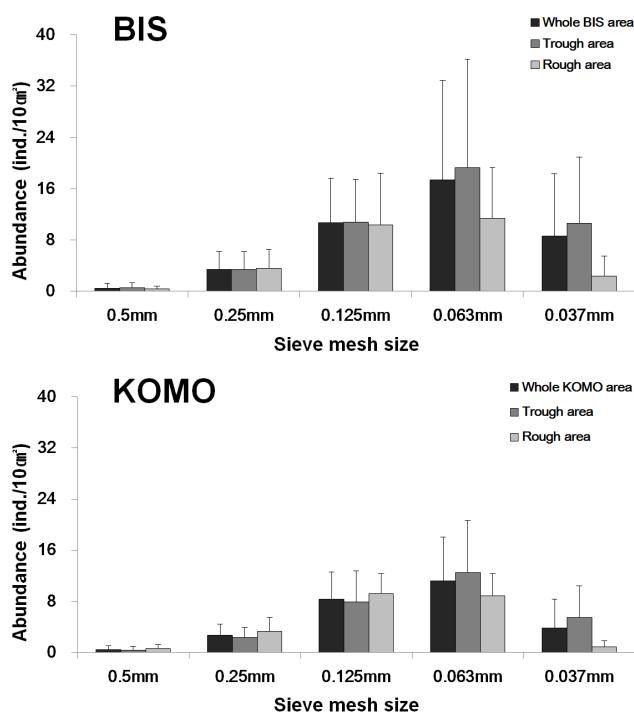
개체 크기 분포 특성을 망목 크기별로 분석한 결과, 대부분의 정점에서 망목 0.125 mm의 체를 통과하여 망목 0.063 mm의 체 크기에 남는 크기의 개체들이 가장 높은 비율로 서식하는 양상을 보였다(Fig 4; Table 5). 그 다음은 망목 0.25 mm의 체를 통과하여 0.125 mm 크기의 체에 걸러지는 크기를 가진 개체들과 0.063 mm의 체를 통과하여 0.037 mm 크기의 체에 걸러지는 상대적으로 작은 크기를 가진 개체들이 많이 나타났고, 0.25 mm 크기의 체에 걸러지는 크기를 가진 개체들과 이보다 더 큰 0.5 mm 크기의 체에 걸러지는 크기를 가진 개체들은 정점별로 거의 5% 미만의 낮은 조성비를 보였다(그림 3). 개체 크기별 평균 출현 조성비를 해역별로 비교해 보면, BIS 해역에서 0.037 mm 체에 걸린 가장 작은 개체들이 평균 21.2%를 차지하였고, KOMO 해역에서는 14.5%를 차지해서 BIS 해역의 정점들에서 크기가 작은 개체들의 비중이 약간 높은 경향을 보였다(그림 3). 0.125 mm 체를 통과하고 0.063 mm 체에 걸린 개체들은 BIS에서 평균 42.8%를 차지하였고, KOMO 해역에서는 42.0%를 차지해서 거의 비슷한 값을 보였으며, 0.25 mm 체를 통과하고 0.125 mm 체에 걸린 개체들은 BIS에서 평균 26.3%를 차지하였고, KOMO 해역에서는 31.5%를 차지해서 KOMO에서 약간 높은 값을 보였으나 통계적 차이를 나타내지는 않았다.



[그림 2] 조사해역에서 출현한 중형저서생물의 퇴적물내 수직분포의 비교

0.50 mm 체를 통과하고 0.25 mm 체에 걸린 개체들은 BIS에서 평균 8.5%를 차지하였고, KOMO 해역에서는 10.3%를 차지해서 거의 비슷한 값을 보였으며, 가장 큰 크기의 0.5 mm 체에 걸려지는 개체들은 BIS에서 평균 1.2%를 차지하였고, KOMO 해역에서는 1.8%를 차지해서 두 해역 모두에서 매우 적은 비중을 나타냈다.

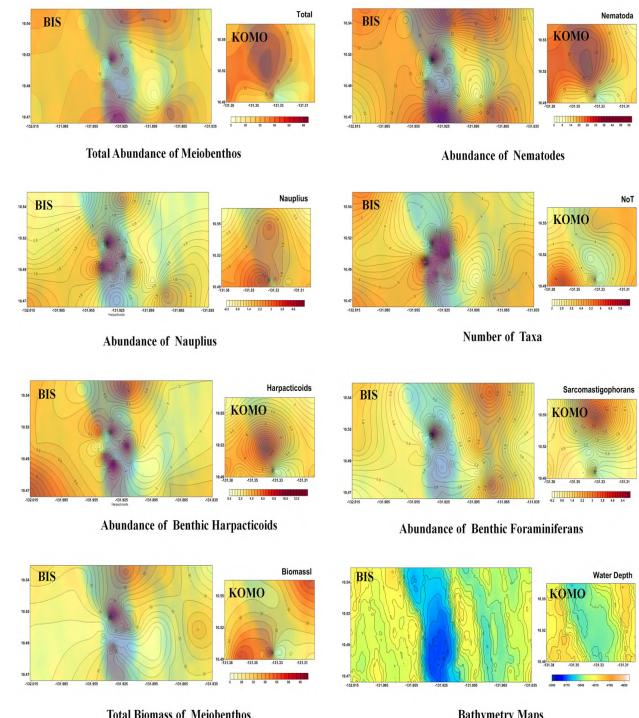
중형저서생물 분류군별 공간분포 특성을 살펴보면 전 정점에서 가장 우점하는 양상을 보였던 선형동물의 서식밀도는 평균 2.3 개체/10cm²에서 105.3 개체/10cm²를 나타냈으며, 전체 중형저서생물의 서식밀도 패턴과 비슷한 경향을 보였고, BIS 해역의 정점들에서 다소 높은 선형동물의 서식밀도를 보였으며, 실험 주요 대상해역인 BT 정점들과 KT 정점들의 선형동물 서식밀도 역시 BIS에서 다소 높았으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다(P>0.05, 그림 4).



[그림 3] 조사해역에서 출현한 중형저서생물의 개체 크기별 분포특성 비교

선형동물 다음으로 우점한 분류군인 저서성 요각류의 서식밀도는 전체 해역에서 1.0 ± 16.0 개체/ 10cm^2 의 서식밀도 범위를 나타냈으며 총 평균 서식밀도는 5.3 ± 3.4 개체/ 10cm^2 의 값을, BIS 해역에서 5.5 ± 3.3 개체/ 10cm^2 , 대조구인 보존해역 KOMO 해역에서는 5.0 ± 3.7 개체/ 10cm^2 로 비슷한 값을 보였다. Trough 정점들과 Ridge 정점들 간에는 각각 5.8 ± 3.6 개체/ 10cm^2 , 4.1 ± 2.6 개체/ 10cm^2 로 Trough 정점에서 다소 높은 값을 보였으나 통계적으로는 유의한 차이를 나타내지 않았다($P>0.05$). 실험 대상해역인 BIS 해역의 Trough와 KOMO 해역의 Trough 정점들에서는 각각 5.9 ± 3.4 개체/ 10cm^2 , 5.4 ± 4.1 개체/ 10cm^2 로 거의 비슷한 값을 나타냈다. 세 번째로 우점한 분류군인 저서 유공충류의 서식밀도는 전체 해역에서 $0\sim26.0$ 개체/ 10cm^2 의 서식밀도 범위를 나타냈으며 총 평균 서식밀도는 2.5 ± 4.6 개체/ 10cm^2 의 값을, BIS 해역에서 3.0 ± 5.1 개체/ 10cm^2 , 대조구인 KOMO 해역에서는 1.3 ± 2.3 개체/ 10cm^2 로 다소 차이가 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($P>0.05$). 갑각류의 유생은 전체해역에서 $0\sim12.3$ 개체/ 10cm^2 의 서식밀도 범위를 나타냈으며 총 평균 서식밀도는 2.3 ± 2.1 개체/ 10cm^2 의 값을, BIS 해역에서 2.4 ± 2.4 개체/ 10cm^2 , 대조구인 KOMO 해역에서는 2.3 ± 1.8 개체/ 10cm^2 로 비슷한 값을 보였으나, Trough 해역과 Ridge 해역의 비교와 BT 정점과 BR 정점의 서식밀도 간에 통계적으로 유의한 차이를 보여서 Trough 해역에서 높은 값을 나타냈다($P<0.01$). 이하의 미소 분류군에서는 전 정점에서 대부분 평균 1 개체/ 10cm^2 미만의 서식밀도를 보였으며, 해역간에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($P>0.05$). 전체

분류군 중에서 갑각류의 유생만 정점 간 차이가 유의하게 나타났는데, 이는 대부분 저서성 요각류의 유생으로 간주되어 저서성 요각류와 비슷한 분포 패턴을 보이는 연구 사례가 많으며, 분류군의 특성상 유생시기를 가지는 특정 시기에 서식밀도가 높게 나타나고 선형동물에 비하여 운동성이 발달하여 패치를 이루는 경우가 많아 본 연구에서도 지역적 차이를 보였을 가능성이 있다.



[그림 4] 조사해역에서 출현한 중형저서생물의 개체 크기별 분포특성 비교

참고문헌

- Glover AG, Smith CR (2003) The deep-sea floor ecosystem: current status and prospects of anthropogenic change by the year 2025. Environmental Conservation 30:219–241, 2003
- Chung JS, Schriever G, Sharma R, Yamazaki T, “Deep Seabed Mining Environment: Preliminary Engineering and Environmental Assessment”, ISOPE Special Report OMS-EN-1, 19 p, 2002
- Clarke KR, Gorley RN, “Primer v6: User manual/tutorial” Primer-e Plymouth, 192 p, 2006.