

다중빔 음향 측심기를 이용한 독도 동도와 서도 남부 연안 해저지형 비교 분석

이명훈¹ · 김창환^{1*} · 박찬홍¹ · 노현수¹ · 김대철²

¹한국해양과학기술원 동해연구소 독도전문연구센터, ²부경대학교 에너지자원공학과

Comparative Analysis of Bathymetry in the Dongdo and the Seodo, Dokdo using Multibeam Echosounder System

Myoung Hoon Lee¹, Chang Hwan Kim^{1*}, Chan Hong Park¹, Hyun Soo Rho¹ and Dae Choul Kim²

¹Dokdo Research Center, East Sea Research Institute, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Uljin 36315, Korea

²Pukyong National University, Department of Energy Resources Engineering, 48513 Busan, Korea

(Received: 9 October 2017 / Revised: 26 December 2017 / Accepted: 28 December 2017)

In this study, we analyze precise seabed geomorphology and conditions for comparing the nearshore areas of the Dongdo(East Island) and the Seodo(West Island) using detailed bathymetry data and seafloor backscattering images, in Dokdo, the East Sea. We have been obtained the detailed bathymetry data and the seafloor backscattering data. The survey range is about 250 m × 250 m including land of islets to the nearshore areas of the southern part of the Dongdo and the Seodo. As a result of bathymetry survey, the southern area of the Dongdo(~50 m) is deeper than the Seodo(~30 m) in the water depth. The survey areas are consist of extended bedrocks from land of the Dongdo and the Seodo. The underwater rock region of the Seodo is larger than the Dongdo. In spite of similar extended rocks features from islets, there are some distinctive seabed characteristics between the southern nearshore areas of the Dongdo and the Seodo. The Talus-shaped seafloor environment formed by gravel and underwater rocks originating from the land of the Dongdo is up to about 15 m depth. And the boundary line of between extended bedrocks and seabottom is unclear in the southern nearshore of the Dongdo. On the other hand, the southern coast of the Seodo is characterized by relatively large scale underwater rocks and evenly distributed sediments, which clearly distinguish the boundary of between extended bedrocks and seafloor. This is because the tuff layers exposed to the coastal cliffs of the Dongdo are weak against weathering and erosion. It is considered that there are more influences of the clastic sediments carried from the land of the Dongdo compared with the Seodo. Particularly, the land of the Dongdo has been undergoing construction activities. And also a highly unstable ground such as faults, joints and cracks appears in the Dongdo. In previous study, there are dissimilar features of the massive tuff breccia formations of the Dongdo and the Seodo. These conditions are thought to have influenced the different seabed characteristics in the southern nearshore areas of the Dongdo and the Seodo.

Key words : Dokdo, Dongdo, Seodo, Bathymetric map, Seafloor image

본 연구에서는 독도, 동도와 서도 연안에서 정밀 해저 지형과 해저면 영상 자료를 획득하여 해수면 아래에서 나타나는 해저 지형 및 해저면 환경 특성을 비교분석하였다. 독도 섬 육지부와 바로 연장되는 동도와 서도 각 남부 연안 해역의 약 250 m × 250 m 범위에서 정밀 수심 자료와 해저면 영상 자료를 획득하였다. 동도 남부 연안은 최대 수심 약 50 m 범위이며, 서도 남부 연안은 최대 수심 약 30 m 범위에 해당한다. 동도와 서도 연안은 섬 육지부에서부터 연장되는 모암이 해수면 아래로 그대로 이어져 해저면에서 큰 수중 암반 지대를 형성하고 있는데, 그 규모는 서도 남부 연안이 동도 연안에 비해 비교적 크게 나타난다. 동도와 서도 연안 모두 유사한 수중 암반 지대가 형성되어 있지만, 주변으로 형

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited.

*Corresponding author: kimch@kiost.ac.kr

성된 해저면 환경은 동도와 서도 남부 연안에서 상이하게 나타나는 특징을 보이고 있다. 동도 남부 연안은 섬 육지부에서 기인한 크고 작은 암설들로 인해 형성된 테일러스(Talus) 형태의 해저면 환경이 수심 약 15 m 범위까지 형성된 특징을 보이며, 수중 암반 지대와 해저면의 경계면이 모호하게 형성되어 있다. 반면에 서도 남부 연안은 비교적 큰 규모의 수중 암반들과 고른 퇴적물이 분포하여 해저면과 접하고 있는 섬 육지부에서 연장되는 암반들의 경계면이 확실하게 구분되는 특징을 보이고 있다. 이는 동도의 해안 절벽에 많이 노출되어 있는 응회암층이 풍화나 침식에 약하여, 서도 연안에 비해 섬 육지부로부터 운반된 쇄설성 퇴적물이 흘러내린 영향이 많은 것으로 판단되는데, 특히 동도는 서도에 비해 선착장이나 통행로 개설공사 등의 활동이 계속되어 섬 육지부의 지반 불안정과 단층, 절리, 균열이 높은 편으로 나타난 바 있다. 또한 과거 연구 결과들에서 동도와 서도에 나타나는 괴상 응회질 각력암층이 서로 다르게 형성되어 있음이 제시된 바 있는데, 이러한 요소가 동도와 서도 남부 연안 해저면에서 구별되어 나타나는 쇄설성 퇴적물 환경에 영향을 주었을 것으로 판단되며, 동도와 서도 남부 연안의 상이한 해저면 환경적 특성이 나타나는 것으로 생각된다.

주요어 : 독도, 동도, 서도, 정밀 해저 지형, 해저면 영상

1. 서 론

동해는 울릉분지, 아모토분지, 일본분지 등 후열도 분지들(back-arc basins)로 구성되어 있으며, 울릉분지 내에는 독도 및 울릉도와 해수면 밑으로 발달해 있는 해저 화산체인 안용복해산, 심홍택해산, 이사부해산이 동-서 방향으로 나란히 형성되어 있다. 독도는 섬이 발달하지 않은 동해에서 울릉도와 함께 형성된 알칼리 화산암류의 해양섬 기원 화산체로서 해수면 위로 동도와 서도 두 개의 주 섬과 주변의 89개 부속도서들이 드러나 있다(Hirata *et al.*, 1989; Kim *et al.*, 1994). 그러나 현재 우리가 볼 수 있는 해수면 위의 독도는 독도 화산체 그 전체 규모에 비하며 일부분이며, 해수면 아래로 높이 약 2,100 m의 하나의 거대한 원형 형태의 화산체로 되어 있음이 알려져 있다(Kim *et al.*, 1994; Chough *et al.*, 2000)(Fig. 1). 독도는 초기 플라이오세 시기 동안 최초의 화산활동에 의해 원시의 독도 화산체가 형성되었으며, 화산활동이 재개되기까지 약 2백 만년 동안 원시 독도 화산체의 형태 및 크기가 상당 부분 손실된 후, 후기 플라이오세까지 지속된 화산활동에 의해 현재와 같이 해수면 위에 드러난 독도와 함께 해수면 아래로 거대한 독도 화산체가 자리 잡은 형태로 형성되었다(Sohn and Park, 1994; Sohn, 1995). 또한 독도는 울릉도, 제주도와 함께 플라이오세-플라이스토세 시기에 일어난 요린변동(Yolin Disturbance)과 관련된 알칼리 화산 활동에 의한 것으로 해석되며, 울릉도 화산암류와 비슷한 알칼리 현무암, 조면 현무암, 조면 안산암 및 조면암으로 되어 있음이 알려져 있다(Kim *et al.*, 1987). 이러한 생성 기작을 통해 해수면 위의 독도는 현재의 모습으로 남아 있으며, 수면 위의 동도와 서도는 약 150 m의 거리를 두고 형성되어 있다. 동도는 높이 약 98 m, 서도는 높이 약 168 m

로 다른 크기와 형상을 하고 있는데, 동도와 서도는 유사한 화산층서를 가지면서도 일부 범위에서는 상이한 특성을 보이고 있다. 독도는 하부로부터 조면암I, 괴상(응회질)각력암, 층상 응회암, 조면안산암, 스크리아 질 용결 응회암, 조면암II, 조면암III, 조면암 암맥의 순서로 독도 화산층서가 제시된 바 있으며, 동도의 북부 일부와 서도의 남동부 해안의 해수면 근처에는 조면암이 노출되어 있다(Sohn and Park, 1994; Hwang and Jeon, 2003). Shim *et al.*, (2010)은 동도와 서도 간에 나타나는 괴상 응회질 각력암층이 다소 상이한 특성이 나타나고 있음을 제시하였는데, 동도의 경우 괴상 응회질 각력암층이 해안 절벽을 따라 대략 40 ~ 50 m 고도까지 노출되어 있으며, 암편으로는 현무암과 조면 현무암이 우세하고, 조면암 및 스크리아 등도 상당 부분 포함되어 있다. 반면, 서도의 경우 현무암, 조면현무암, 조면암의 비율이 비슷하게 나타나는 것이 특징이다.

본 연구에서는 한국해양과학기술원의 “독도의 지속 가능한 이용 연구” 연구 수행의 일환으로 독도 연안에서 획득한 정밀 수심 자료와 해저면 영상 자료를 활용하였으며, 정밀 해저 지형도와 해저면 영상도를 기반으로 해저면 지형과 환경 특성을 파악하고, 해저 지형 자료와 해저면 영상 자료 결과들을 연계·중첩하여 해저면 환경 특성에 대한 맵핑 분석을 수행하였다. 특히, 해수면 위로 드러난 동도와 서도의 서로 다른 지형·지질 환경과 연계하여 동도와 서도 남부 연안 해역의 해수면 아래에서 서로 다르게 형성되어 있는 해저 지형 및 해저면 환경 특성에 대해 비교·분석하고자 하였다.

2. 연구지역 및 연구자료

해수면 위로 드러난 독도 연안 해역은 동도와 서도 두 개의 섬으로 이루어져 있는데, 섬 주변으로는 용암

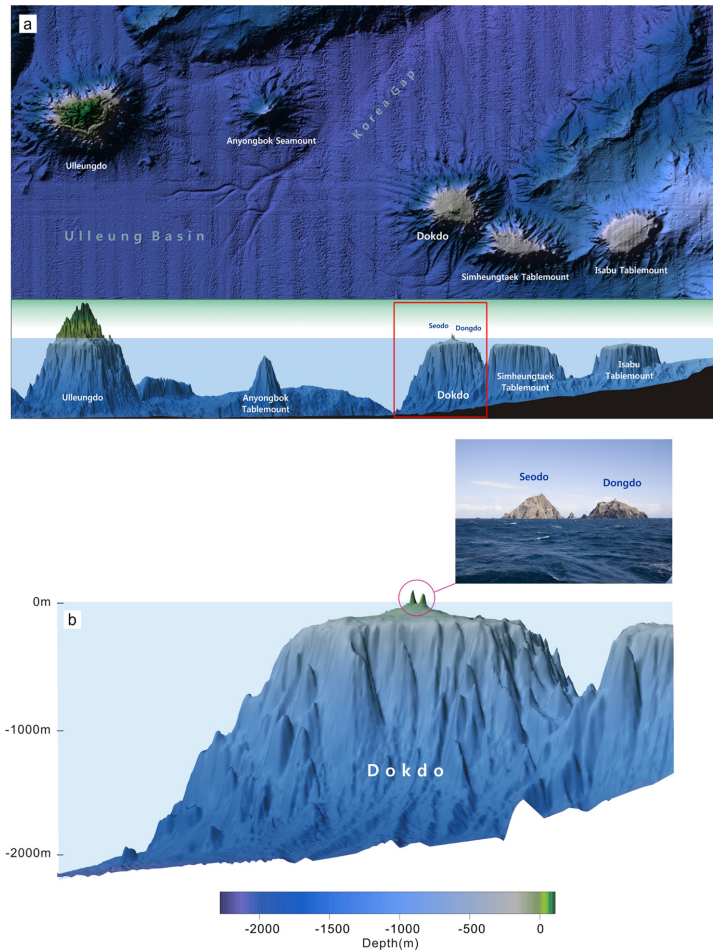


Fig. 1. (a) Topography map of the Ulleung Basin in the East Sea (b) 3D bathymetry map profile of the Dokdo seamount (modified from KIOST).

이 식으면서 만들어낸 주상절리와 수만 년 동안의 풍화와 해식으로 형성된 해식동굴, 해식대, 해식애와 바다 위로 노출된 크고 작은 부속 도서(89개)들이 형성되어 있다. 또한 동도와 서도에는 인공 구조물들도 개발되어 있는데, 동도 연안은 독도 집안을 위한 선착장과 방파제와 통행로 등이 있으며, 서도 연안에는 어민 숙소 건설 및 유지로 인한 구조물들이 설치되어 있다. 본 연구 범위인 수심 약 50 m 이내의 동도와 서도 주변 연안 해역은 섬 육지부의 불규칙하게 형성된 지형 구조가 해수면 아래에서도 연장되어 나타나고 있으며, 이로 인해 독도 연안 해역은 복잡하고 다양한 해저면 지형-지질 환경이 형성되어 있는 것이 특징이다.

독도 동도와 서도 남부 연안 해역을 대상으로 정밀 수심 자료, 해저면 영상 자료를 획득하였다. 동도, 서

도 섬 육지부와 바로 인접한 남부 해역의 약 250 m × 250 m 범위 내에서 획득하였으며, 동도는 최대 수심 약 50 m, 서도는 최대 수심 약 30 m에 해당하는 범위이다(Fig. 2). 동도 연안 현장 자료는 2014년 9월 18일 ~ 20일 획득하였고, 서도 연안 자료는 2013년 5월 31일 ~ 6월 1일에 조사를 수행하였다. 동도와 서도 주변 연안은 수심이 얇고 주변 부속도서 및 노출암, 돌출암 등이 산재하고 있어서, 효율적인 자료 획득을 위해 한국해양과학기술원의 소형 연구선 장목 2호(R/V Jangmok No.2)를 현장 조사에 활용하였다. 수심 자료 획득은 Kongsberg Maritime사의 다중빔 음향 측심기(Multibeam Echosounder)인 EM 3001 시스템을 활용하였다. 본 모델은 293, 300, 307 kHz 범위에서 주파수 운용이 가능하고, 주사 범위(Beam Swath)는 최

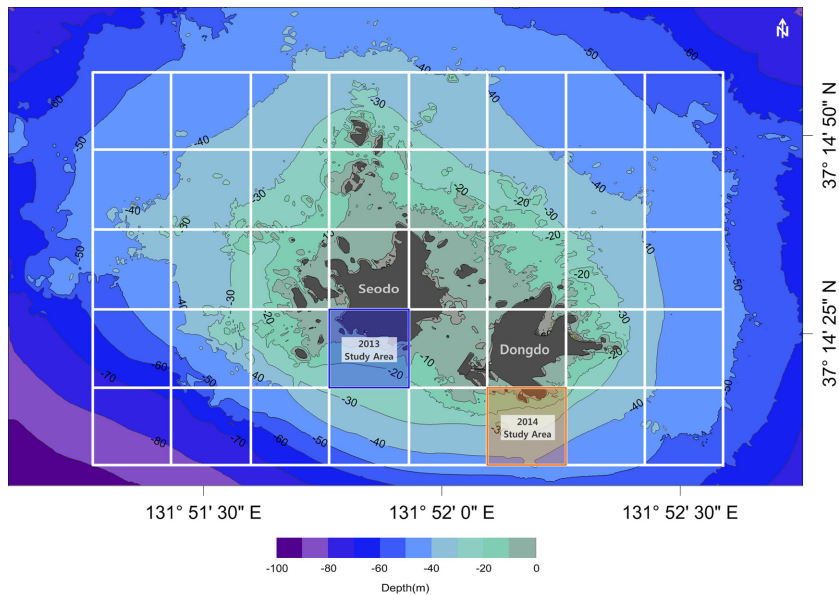


Fig. 2. Bathymetry map of the study area around the nearshore area of Dokdo.

대 130° 범위 내에서 동시에 160개 빔의 송수신을 지원하며, 수심 해상도는 약 1 cm, 최대 측량 가능 수심은 약 150 m 범위로, 연구지역인 독도 주변 연안 현장 조사에서 자료를 획득하기에 적합하였다. 그러나 동도와 서도 섬 육지부와 바로 인접한 해역은 얕은 수심과 함께 불규칙하고 복잡한 지형 환경으로 인하여

소형 연구선과 천해용 다중빔 음향 측심기의 활용으로도 섬 근접 범위에 대한 자료 획득에는 어려움이 발생하였다. 이를 보완하기 위해 동도와 서도 인접 해역에서는 다중빔 음향 측심기의 트랜듀서를 섬 육지부 방향으로 회전시켜, 빔의 송수신 범위를 최대한 확장하는 방법으로 조사를 수행하였다(Fig. 3). 수심대의 형성

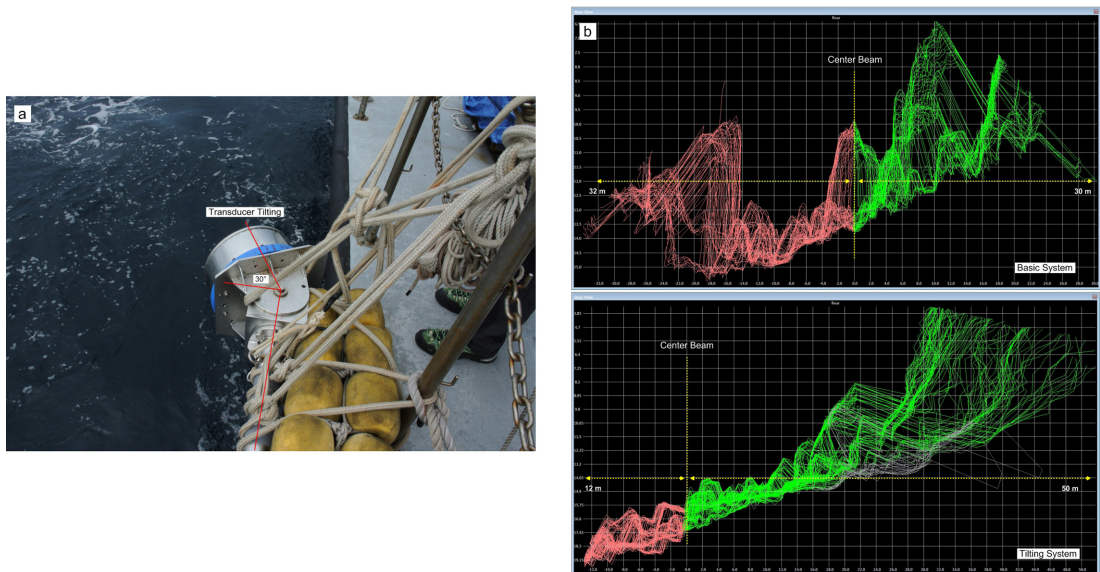


Fig. 3. (a) Installation of tilting the transducer of the multibeam echosounder system in field survey (b) Expansion of swath range using sonar head tilting system.

방향을 고려하여 동도에서는 동-서 방향으로, 서도에서는 북서-남동 방향으로 각각 11개의 측선을 따라 수심 자료를 획득하였다. 해저면 영상 자료 획득은 EdgeTech사의 4125 Shallow Water Side Scan Sonar System으로 수행하였는데, 해당 모델은 Full Spectrum의 CHIRP Pulse Type을 지원하고, 400/900 kHz 또는 600/1600 kHz의 듀얼 주파수 운용이 가능한 고해상도 해저면 영상 탐사기이다. 동도 남부에서는 동-서 방향으로 6개의 측선을 따라 자료를 획득하였고, 서도 남부 연안에서는 북서-남동 방향으로 5개의 측선 조사를 수행하였다.

3. 자료처리

현장 조사에서 획득한 원시 자료인 수심 자료와 해저면 영상 자료에 대해서 후처리 및 보정 작업을 수행하였다. 다중빔 음향 측심기와 해저면 영상 탐사기 시스템을 활용한 현장 자료 획득은 특정 주파수대의 특성을 이용하여 음파(Ping)를 생성하고 수중에서 송수신하여, 음파의 회신 시간, 반향 강도 등을 계측하는 원리로 수행된다. 이러한 측량 원리는 음파가 수중에서 산란이나 굴절의 영향이 없다는 가정 하에 수행되는 것을 의미하는데, 실제 현장에서는 원시자료에 왜곡이나 오차를 발생시키는 여러 변수들이 존재하므로, 원시자료에 대한 후처리 및 보정 작업이 필요하였다.

수심 자료의 후처리 및 보정 분석은 CARIS사의 Hips & Sips 프로그램을 활용하였다. Hips & Sips 프로그램은 원시 자료(*.all(Kongsberg Simard Raw Data Format))의 입력(Import) 및 변환(Conversion)을 기반으로 수심 자료의 보정에 관한 일련의 후처리 프로세스의 수행이 가능하다. 독도 동도와 서도 남부 연안의 각 자료에 대한 위치(Navigation) 보정, 자세(Attitude) 보정, 음속(Sound Velocity) 보정, 조위(Tide) 보정 등 수심 원시 자료에 대한 후처리 작업을 수행하였으며, Hips & Sips의 수심값 보정 프로세스(Swath Editor, Subset Editor) 수행으로 수심 원시 자료 중 선박의 움직임(Roll, Pitch, Heave)이나 파도, 조류 등 여러 외부 요인에 의해 발생되어 기록된 오차값들을 보정하였다(CARIS, Hips & Sips, 2017). 해저면 영상 자료의 후처리 및 보정은 Chesapeake Technology사의 SonarWiz 프로그램으로 수행하였다. 해저면 영상 자료(*.jsf(EdgeTech Raw Data Format))의 입력 및 변환, 모자이크(Mosaic) 생성, 영상 기록의 위치 보정, 수주 기록(Water column) 보정 및 영상 기록 보정(AGC(Automatic Gain Control), BAC(Beam Angle Correction), UGC(User-defined Gain Control), TVG(Time varied Gain)) 등의 일련의 후처리 프로세스 과정을 수행하여 정밀 수심 자료와 동일한 범위에 대한 최종 해저면 영상 결과(GeoTiff)를 생성하였다(SonarWiz, 2017)(Fig. 4).

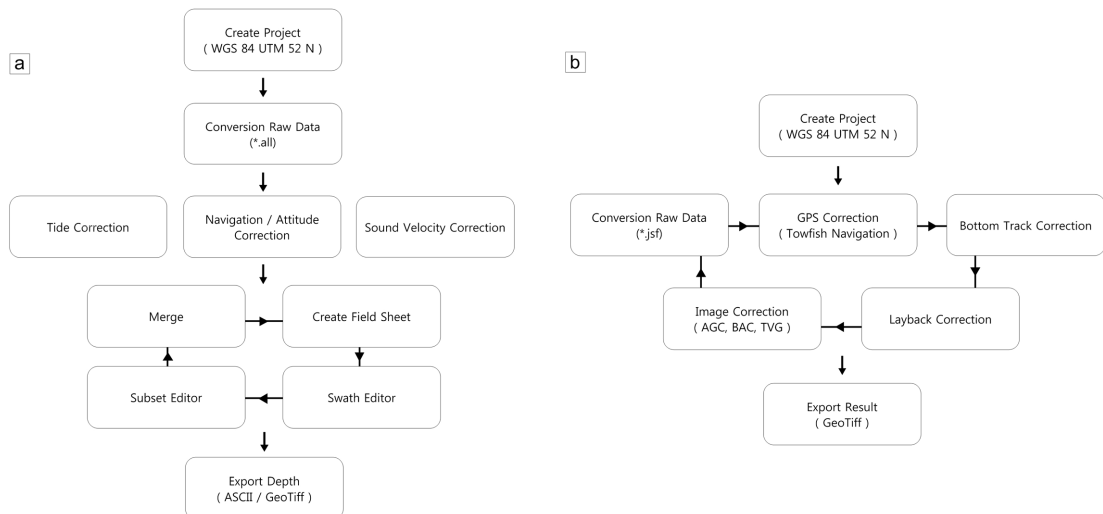


Fig. 4. (a) Workflow of post-processing for bathymetry data in Hips & Sips. (b) Workflow of post-processing for seafloor image in SonarWiz.

4. 결과 및 토의

4.1. 동도와 서도 남부 연안 해저 지형 및 해저면 환경 특성

독도 동도와 서도 남부 연안의 약 250 m × 250 m 범위에 대한 수심 자료와 해저면 영상 자료를 기반으로 해저면 환경 특성 분석하였다. 동도 남부 연안은 섬 육지부와 바로 맞닿은 해역에서부터 최대 수심 약 50 m 범위이며, 서도 남부 연안은 최대 수심 약 30 m 범위에 해당한다.

동도와 바로 인접한 해역은 육지부터 연장되는 모암과 노출암 및 돌출암 등의 암반들이 많이 나타나는 해저면 환경을 형성하고 있다(Fig. 5). 이러한 수중 암반들로 인한 불규칙한 해저 지형과 함께 그 주변으로는 섬 육지부에서 기인한 크고 작은 암설들로 인해 형성된 테일러스(Talus) 형태의 해저면 환경이 수심 약 15 m 범위까지 형성된 특징을 보이고 있다(Fig. 5-A). 수심 약 15 m 이후로는 큰 지형 굴곡이나 기복없이 수심 약 50 m 범위까지 평탄한 해저면으로 이어지며, 세 개의 수중 암반이 나타나고 있다(Fig. 5-B). 세 개의 수중 암반 중 가장 큰 규모는 수심 약 30 m 범위에 발달되어 있는데, 길이 약 70 m, 폭 약 35 m의 타원체 형태이며 높이는 약 15 m에 달한다. 수심 약 40 m 범위에는 약 5 m 높이로 유사한 형태의 비교적 작은

두 개의 수중 암반이 위치하고 있는데, 길이 약 20 m, 폭 약 18 m 크기와 길이 약 80 m, 폭 약 20 m 크기로 형성되어 있다. 연안부터 수심 약 15 m 내 범위는 약 13°의 경사면으로 가장 가파른 해저면이 발달되어 있고, 수심 약 15 m 부터는 경사면이 약 5 ~ 7°의 범위로 완만해지며 수심 약 40 m 범위까지 나타나고 있으며, 이후로 수심은 점차 깊어지면서 독도 화산체의 평탄한 정상부 해역이 나타난다.

서도 남부 연안은 섬 육지부에서 연장되는 모암이 해수면 아래로 크게 네 개의 수중 암반 형태로 형성되어 있는데, 가장 동쪽에 있는 암반이 해저면부터 높이 약 10 m 크기로 가장 큰 규모로 나타나며 나머지 세 개의 암반들은 높이 약 5 m의 크기로 발달되어 있다(Fig. 6). 네 개의 수중 암반들에 둘러싸인 수심 약 16 m 범위 내에는 높이 약 4 m 이내 규모의 유사한 크기와 형태의 작은 암반들이 불규칙하게 분포하고 있는 특징을 보인다(Fig. 6-A). 불규칙하게 산재하고 있는 작은 암반들은 수심이 깊어짐에 따라 그 크기 및 규모가 작아지고 분포 범위가 좁아지는 경향을 보이며 수심 약 30 m 범위까지 자갈류의 퇴적층이 완만한 해저면과 함께 형성되어 있다. 연안에서 수심 약 16 m 범위 사이에는 약 15°의 가파른 경사면이 수중 암반들과 함께 복잡하게 나타나며, 이후로는 약 4.5°의 완만한 경사면으로 큰 지형 기복이 나타나지 않고 독도 화산

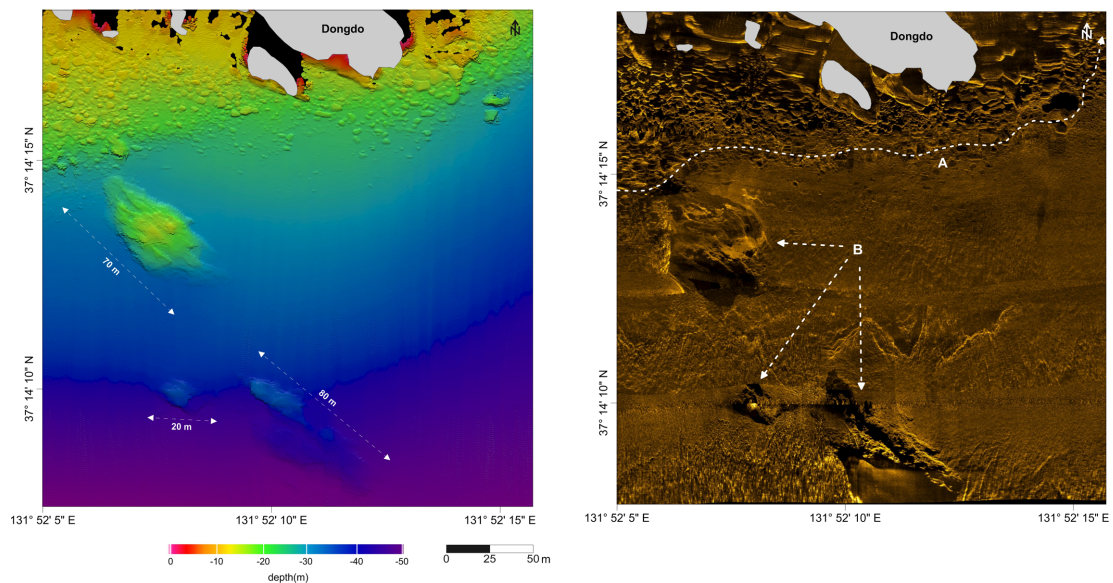


Fig. 5. The result of topographic map(left) and seafloor image map(right) of the southern nearshore area of the Dongdo.

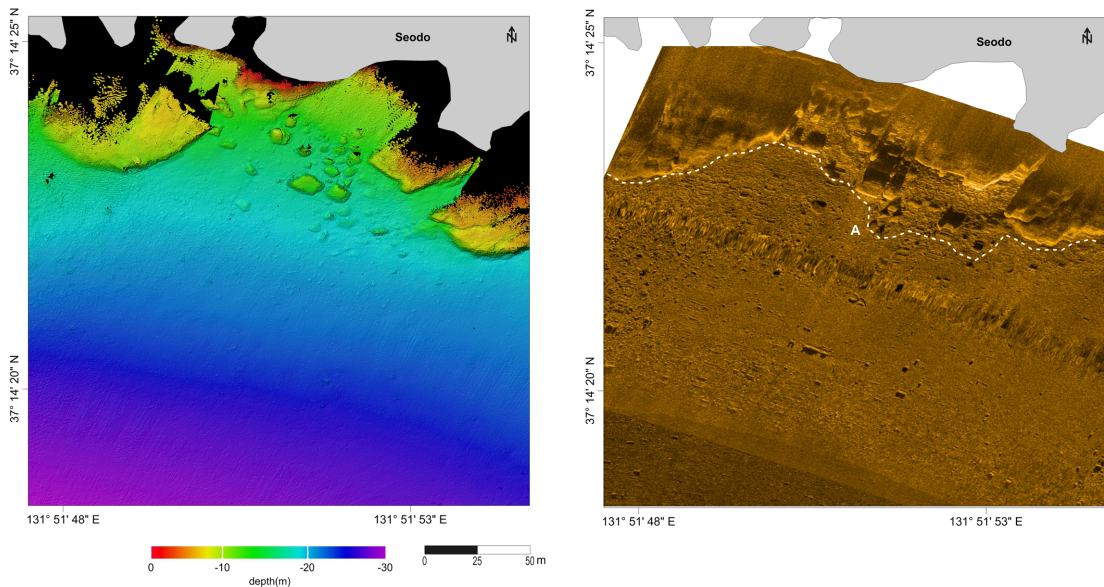


Fig. 6. The result of topographic map(left) and seafloor image map(right) of the southern nearshore area of the Seodo.

체 정상부의 평탄한 해역으로 이어지고 있다.

4.2. 동도와 서도 남부 연안 해저 지형 비교

독도 연안 해역의 전반적인 퇴적상은 쇄설성 퇴적물과 역질 크기의 탄산염 퇴적물이 주로 형성되어 있는데(현 등, 2010), 본 연구 지역인 독도 연안의 동도 남부 연안은 사(sand, S) 퇴적상이 우세하고, 서도 남부 연안은 역질 사(gravelly sand gS), 사질 역(sandy gravel, sG), 역(gravel, G)의 세 가지 퇴적상이 혼재하여 나타나는 특성을 보이고 있다. 정밀 해저 지형 자료와 해저면 영상 자료를 기반으로 동도와 서도 남부 연안의 해저면 특성에 따른 해저면 환경을 분류하였는데, 섬 육지부와 인접한 해역에서는 큰 규모의 수중 암반들이 형성되어 있으며, 그 주변으로는 역질 크기의 쇄설성 퇴적물이 혼재하여 나타나고, 수심이 깊어지면서 자갈질 모래 퇴적층이 고르게 나타나는 특징을 보인다(Fig. 7). 독도 연안 해역은 전반적으로 불규칙한 수중 암반들에 의해 수중 암반 지대가 우세한 해저면 지형 환경과 퇴적상이 형성되어 있으나, 그 분포와 양상은 동도 연안과 서도 연안에서 다소 다른 특징을 보이고 있다. 동도와 서도 모두 섬 육지에서 연장되는 모암이 수중 암반 지대를 형성하고 있지만, 그 암반 주변의 퇴적 형상과 암반의 경계면에서는 동도와 서도에서 다른 해저면 환경 특성이 나타난다. 동도 연안은 많은 양의 쇄설성 퇴적물과 불규칙하게 형성된

암반들이 연안에서 연장되는 수중 암반 지대 사이에 밀집되어 있어서 그 경계부가 해저면 바닥과 모호하게 형성되어 있다. 반면, 서도 연안은 비교적 큰 규모의 암반들과 고른 퇴적물이 분포하여 해저면과 접하고 있는 섬 육지부터 연장되는 암반들의 경계면이 뚜렷하게 구분되는 특징을 보이고 있다(Fig. 8). 동도와 서도 연안 해저면에서 나타나는 환경 특성 차이는 섬 육지부의 퇴적양상에서도 나타나는데, Shim *et al.*, (2010)은 동도와 서도에 나타나는 괴상 응회질 각력암층이 다소 상이한 특성이 나타난다고 제시하였다. 이는 분화구의 위치에 따른 차이와 하부 조면암 용암이 분출할 당시의 해수면에 대한 지형적인 차이로 인해 각력암의 퇴적양상이 달라졌기 때문으로 해석하였다. 동도의 경우 괴상 응회질 각력암층은 해안 절벽을 따라 대략 40 ~ 50 m 고도까지 노출되어 있으며, 암편으로는 현무암과 조면현무암이 우세하고, 조면암 및 스크리아 등도 상당 부분 포함되어 있다. 반면, 서도의 경우 어업민 숙소 부근의 조면안산암과 조면암맥에 암편이 포유되거나 물골 쪽에 소규모로 분포하는데 현무암, 조면현무암, 조면암의 비율이 비슷하게 나타나는 것이 특징이다(Shim *et al.*, 2010). 이러한 동도와 서도 모암에서 나타나는 퇴적양상의 차이는 동도 남부 연안 해역이 서도에 비해 풍화나 침식에 약하여, 섬 육지부로부터 운반된 쇄설성 퇴적물의 영향이 많다고 볼 수 있는데, Park *et al.*, (2008)에 의하면 독도의 암석은 주로 응

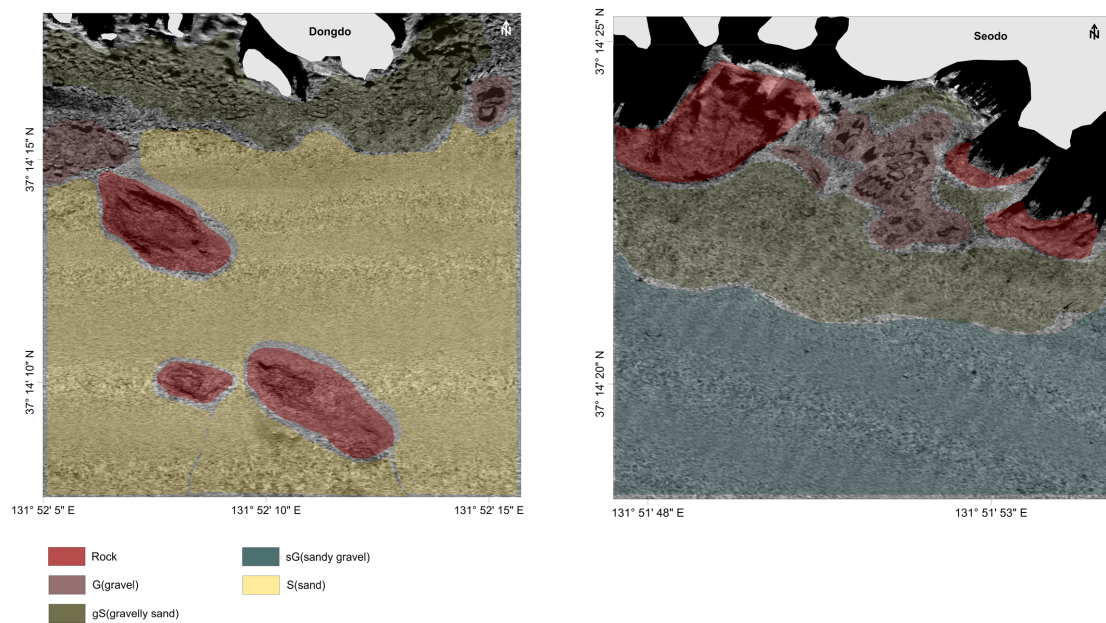


Fig. 7. Classification of seafloor conditions of the southern nearshore area of the Dongdo and Seodo.

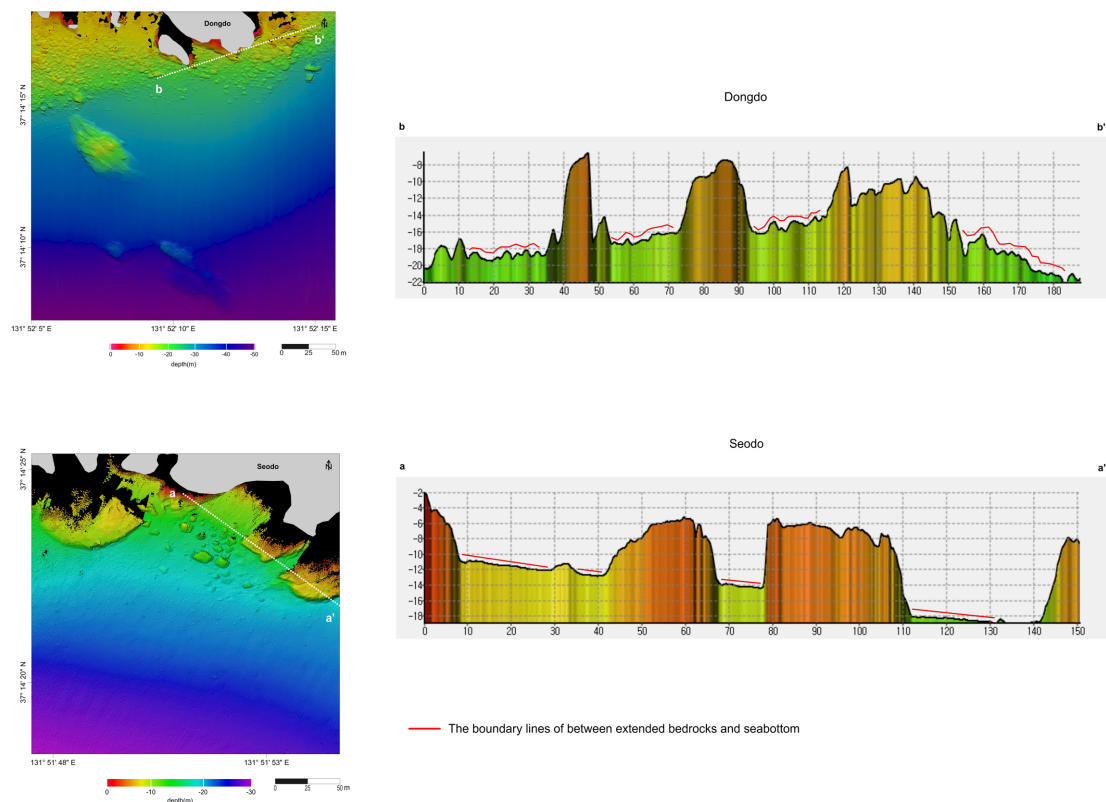


Fig. 8. The results of detailed bathymetry profile in the nearshore of the Dongdo(upper) and the Seodo(lower).

회암, 조면안산암, 조면암으로 구성되어 있으며, 전체적으로 풍화와 침식에 의해 국내 암석의 역학적 물성 수치에 비해 상대적으로 낮은 수치를 보인다고 밝힌 바 있다. 특히 동도의 해안 절벽에 많이 노출되어 있는 응회암은 풍화의 영향을 많이 받는 것으로 추정되며 조면안산암과 조면암에 비해 상대적으로 낮은 역학적 물성수치를 가지는 것으로 나타났다. 또한 Park *et al.*, (2008)은 독도 지반에는 단층과 절리들이 잘 발달되어 있으며, 단층 부근에서는 단층작용으로 인해 주변으로 연약층이 형성되어 켜기과파나 낙반이 일어난다고 나타낸 바 있다. 또한 화산활동이나 암괴 이동에 의해 생성된 균열 역시 낙석이나 낙반의 요인이 되는데, 특히 동도는 서도에 비해 선착장이나 통행로 개설공사 등의 활동이 계속되어 섬 육지부의 지반 불안정과 단층, 절리, 균열이 높은 편으로 제시되었다(Park *et al.*, 2008). 서도에 비해 동도 남부 연안 해역에서 집중되어 나타나는 쇄설성 퇴적물에 의한 복잡한 해저면 환경은 본 연구 결과 및 기존 연구들을 종합하여 볼 때, 동도와 서도에 형성되어 있는 서로 다른 특성의 기반암과 상이한 퇴적양상 환경에 의한 차별적인 풍화 및 침식 작용에 의한 것으로 판단되는데, 동도 남부 연안 해역은 섬에서부터 연장되는 기반암이 해저면으로 연장되어 수중암반을 형성함과 동시에 주변으로 쇄설성 퇴적물이 산재하고 있어 복잡한 지형 특성을 보이며, 서도 남부 연안 해역은 섬 육지부에서 이어지는 기반암의 경계면이 해저면과 잘 구별이 될 정도로 모래 퇴적층이 고르게 분포하고 있는 특성을 보인다.

5. 결 론

본 연구에서는 독도 화산체 중 해수면 위로 드러나 있는 동도와 서도 연안 해역에서 나타나는 해저 지형 및 해저면 환경 특성을 파악하여 비교·분석하고자 하였다. 동도와 서도 남부 연안 해역의 정밀 해저 지형과 해저면 영상 자료를 기반으로 분석하였으며, 동일한 범위 해역에 대해 동도와 서도에서 각각 수행하였다. 동도와 바로 인접한 남부 해역은 섬 모암과 노출암 및 돌출암 등의 암반들이 육지부에서부터 그대로 연장되어 해저면 환경을 형성하고 있다. 이러한 수중 암반들로 인한 불규칙한 해저 지형과 함께 주변으로는 섬 육지부에서 기인한 크고 작은 암설들로 인해 형성된 테일러스(Talus) 형태의 해저면 환경이 수심 약 15 m 범위까지 형성된 특징을 보이고 있다. 수심 약 15 m 이후로는 큰 지형 굴곡이나 기복없이 수심 약 50 m

범위까지 평탄한 해저면이 형성되어 있다. 서도 남부 연안은 섬 육지부에서 연장되는 모암이 해수면 아래로 크게 네 개의 수중 암반 형태로 형성되어 있는데, 가장 동쪽에 있는 암반이 높이 약 10 m 크기로 가장 큰 규모로 나타나며 나머지 세 개의 암반들은 높이 약 5m의 크기로 발달되어 있다. 네 개의 수중 암반들에 둘러싸인 수심 약 16 m 범위 내에는 높이 약 4 m 이내 규모의 유사한 크기와 형태의 작은 암반들이 불규칙하게 분포하고 있는 특징을 보인다. 동도와 서도 연안 해역은 전반적으로 유사한 해저면 지형 환경과 퇴적상이 형성되어 있으나, 그 분포와 양상은 다소 다른 특징을 보이고 있다. 동도와 서도 모두 섬 육지부에서 연장되는 모암이 수중 암반을 형성하고 있지만, 암반 지대 주변의 퇴적 형상과 암반의 경계면에서 해저면 환경 특성이 다르게 나타난다. 동도 연안은 많은 양의 쇄설성 퇴적물과 크고 작은 수중 암반들이 연안부의 수중 암반들 사이에 밀집되어 있으며, 암반들과 해저면 바닥의 경계면이 모호하게 형성되어 있다. 반면, 서도 연안은 비교적 큰 규모의 암반들과 고른 퇴적물이 분포하여 해저면과 접하고 있는 섬 육지부에서 연장되는 암반들의 경계면이 명확히 구분되는 특징을 보이고 있다. 이는 동도의 해안 절벽에 많이 노출되어 있는 과상 응회질 각력암층이 서도에 고르게 분포하고 있는 현무암, 조면현무암, 조면암에 비해 풍화나 침식에 약하여, 섬 육지부로부터 운반된 쇄설성 퇴적물이 동도 남부 연안 해저면 환경 형성에 많은 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 동도는 서도에 비해 선착장이나 통행로 개설공사 등의 활동이 계속되어 섬 육지부의 지반 불안정과 단층, 절리, 균열이 높은 편으로 확인된 바 있다. 이러한 동도와 서도 연안의 해저면 환경에서 나타나는 서로 다른 특성이 본 연구 해역 범위에서는 잘 나타나고 있으나, 분석 범위가 동도와 서도 남부 연안 내의 비교적 한정된 범위에서 수행된 결과이므로, 향후에는 동도와 서도 연안 전체에 대한 자료를 추가적으로 획득하고 분석한 결과를 기반으로 한 비교 분석도 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부의 제원으로 한국해양과학기술원의 지원을 받아 수행된 “독도의 지속가능한 이용 연구(PG49880)”, “동해 연안 Eco-mapping 연구(PE99519)”, “연안침식저감 원천기술 개발(PE99523)”의 지원을 받아 수행되었음을 밝히며 이에 감사드립니다.

References

- Chough, S.K., Lee, H.J. and Yoon, S.H. (2000) Marine Geology of Korean Seas, Elsevier, New York, p.131.
- Fledermaus Users Guide (2017) QPS
- HIPS and SIPS 10.3 Users Guide (2017) Caris
- Hirata, N., Tokuyama H. and Chung T.W. (1989) An anomalously thick layering of the crust of the Yamato Basin, southeastern Sea of Japan : the final stage of back-arc spreading, *Tectonophysics*, v.165, n.1, p.303-314.
- Hyun, S.M., Kim, C.H., Jou, H.T., Kim, J.K. and Park, C.H. (2010) Characteristics of Surface Sediments Distribution and Submarine topography around Dokdo Island, Korea, *Journal of the Geological Society of Korea*, v.46, n.6, p.647-660.
- Hwang, S.K. and Jeon, Y.G. (2003) Eruption Cycles and Volcanic Form of the Dokdo Volcano, Korea, *Journal of the Korean Society of Economic and Environmental Geology*, v.36, n.6, p.527-536.
- John Perry Fish, Arnold Carr, H., Lee, C.S. (1999) Sound Underwater Images, *jipmoon*, p.188.
- Kim, C.H. (2006) A Study on Dokdo and Surrounding Seamounts in the Northeastern part of the Ulleung Basin using Geophysics Data, Graduate school of Yonsei University, p.148.
- Kim, C.H. and Park, C.H. (2007) The Study of Formation for Dokdo Seamounts at the Northeastern Part of the Ulleung Basin using Gravity and Magnetic Data, *Journal of the Korean Society of Economic and Environmental Geology*, v.40, n.2, p.153-170.
- Kim, C.H. and Park, C.H. (2010) A Study on the Geophysical Characteristics and Geological Structure of the Northeastern Part of the Ulleung Basin in the East Sea, *Journal of the Korean Society of Economic and Environmental Geology*, v.43, n.6, p.625-636.
- Kim, H.J., Park, C.H., Hong, J.K., Jou, H.T., Chung, T.W., Zhigulev V. and Anosov G.I. (1994) A Seismic Experiment in the Ulleung Basin (Tsushima Basin), southwestern Japan Sea (East Sea of Korea), *Geophysics. Res. Lett.*, v.21, p.1975-1978.
- Kim, J.Y. (2008) Development of removal technique of the errors in MultiBeam Echo Sounder data, Graduate school of Pukyung National University, p.131.
- Lee, M.H. (2015) Enhancement of Geological Environment Study by Integrated Seafloor Visualization of Dokdo Island the East Sea, Graduate school of Pukyung National University, p.82.
- Park, C., Cheon, D.S., Jung, Y.B., Song, W.K., Sunwoo, C. and Kim, B.C (2008) Mechanical Properties of Rocks in Dokdo, *Journal of Korean Society for Rock Mechanics*, v.18, n.1, p.69-79.
- Park, Y.S. (2004) A Study on Error Analysis and Data Processing for Multibeam Swath Sonar System, Graduate school of Inha University, p.217.
- Park, Y.S., Hong, J.P. and Kong, S.K. (2011) Increasing Surveyed Area using Tilted Multi Beam Echo Sounder, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, v.31, n.5, p.739-747.
- Review of standards and protocols for seabed habitat mapping (2007)
- Shim, S.H., Im, J.H., Jang, Y.D., Choo, C.O., Park, B.J. and Kim, J.H. (2010) Petrological Characteristics and Origin of Volcaniclasts within the Massive Tuff Breccia Formation from Dokdo Island, Korea, *Journal of The Petrological Society of Korea*, v.19, n.2, p.141-156.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H. (1994) Geology and Evolution of Tok Island, Korea, *Journal of the Geological Society of Korea*, v.30, p.242-261.
- SonarWiz 5, SonarWiz 6 (2017) Chesapeake Technology
- Pandian, P.K., Ruscoe, J.P., Shields, M., Side, J.C., Harris, R.E., Kerr, S.A. and Bullen, C.R. (2009) Seabed Habitat Mapping Techniques : an Overview of the Performance of Various Systems, *Mediterranean Marine Science*, v.10, p.29-43.
- Woo, K.S., Ji, H.S., Kim, L., Jeon, J.N., Park, J.S., Park, H.S., Kim, D.S. and Park, C.H. (2009) Distribution and Origin of Carbonate Sediments near Dok Island : Preliminary Study, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, v.14, n.3, p.171-180.