

수중 비디오 촬영과 사진측량 프로그램을 이용한 독도 흑돔굴 해조류 피도 계절 변동 모니터링

우민수*, 민원기**, 배창수*, 권명준*
 *한국해양과학기술원 울릉도·독도해양연구기지
 **한국해양과학기술원 동해환경연구센터
 e-mail: woominsu@kiost.ac.kr

Seasonal monitoring of Seaweed coverage in Dokdo's Hokdomgul using Underwater video recording and Photogrammetry software

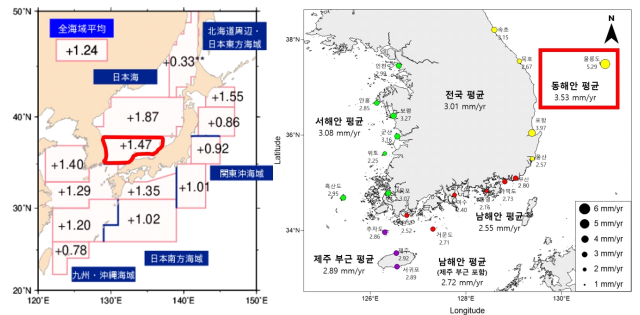
Min-su Woo*, Won-Gi Min**, Chang-Soo, Bae*, Myeong-Jun, Gwon*
 *Ulleungdo-Dokdo Ocean Science Station, Korea Institute of Ocean Science Technology
 **East Sea Environment Research Center, Korea Institute of Ocean Science Technology

요약

최근 해양은 지구온난화로 인한 해수온 및 해수면의 상승, 기후변화 등 다양한 요인으로 인해 빠른 속도로 변화하고 있다. 이러한 변화를 효과적으로 모니터링하고 그 영향을 이해하는 것은 이를 보존 및 관리하기 위해 필수적이다. 하지만 수중이라는 공간적 한계로 인해 기존의 해양 생물 조사는 넓은 지역 또는 다양한 환경을 대상으로 하는데 제한적이였다. 특히 연안에 서식하는 해조류, 성게류, 불가사리류 등 해저면에 서식하는 저서성 해양 생물의 출현 양상 및 피도 (Coverage)를 조사하는 정량적 연구에서는 방형구(Quadrat)를 도구로 이용하였다. 이는 일반적으로 채집자의 의도에 따라 샘플링이 편향될 수 있으며, 균일하지 않은 해양 저서 서식지를 대표하기에는 샘플링이 매우 적다는 점, 그리고 정량적 채집을 위해 일정 면적의 생물들을 끊어서 채집하는 파괴적 샘플링 방법이라는 단점을 가지고 있다. 반면 수중 비디오 촬영과 사진측량 프로그램(Photogrammetry software)을 이용한 조사 방법은 비교적 넓은 구역을 조사하는 데 유리하고 조사된 구역의 면적, 생물상, 시기별 서식 양상 변화 등과 같은 다양한 정량적 자료의 확보가 가능하다. 이 연구는 독도의 서도에 위치한 수중 서식지인 흑돔굴 지역을 대상으로 시기별(3월, 5월, 8월, 11월)로 수중영상과 사진측량 프로그램을 이용한 조사방법을 적용하여, 해조류 종류 및 피도 변화를 수온 자료와 함께 비교하여 모니터링하였다.

1. 서론

2022년 일본기상청이 발표한 지난 100년간 표층 수온 증가율과 국립해양조사원이 발표한 최근 32년(1989-2021) 연간 해수면 상승률을 보면 울릉도·독도 해역을 포함하고 있는 동해 중부 해역의 표층 수온 증가율은 +1.47°C, 연간 해수면 상승률은 3.53mm/yr로 <그림 1>과 같이 서해 및 남해와 비교하여 높은 수치를 보인다. 특히 울릉도의 연간 해수면 상승률은 5.29mm/yr로 동해안 평균보다 훨씬 높은 상승률을 보였다. 이와 같은 급격한 환경 변화는 장기적으로 동해의 가운데 위치한 울릉도, 독도해역의 수중생태계와 주변 서식지에 영향을 주어 서식 생물상 및 수산자원의 변동을 초래할 수도 있다. 이에 다양한 기관에서 장기적인 해양환경 및 생태계 변동을 모니터링하고 있는데, 육상의 모니터링과 비교하여 해양이라는 공간적 특성상 접근의 제한성으로 인해 정량적이고 시계열 변화에 대한 자료를 확보하기 어렵다.



[그림 1] 지난 100년간 표층 수온 증가율(왼쪽, 2022 일본기상청)과 최근 32년(1989-2021) 연간 해수면 상승률(오른쪽, 2022 국립해양조사원)

최근 초경량 무인 비행장치(드론)의 기술 발전과 이를 통해 확보한 고품질의 자료를 손쉽게 처리하는 사진측량 프로그램의 개발로 육상에서는 인공위성보다 높은 품질의 정확성을 가진 시각적 자료들의 장기적 확보가 가능해졌다. 이 방법을 수중에서 최대한 동일하게 적용시켜 수중촬영을 통한 수중생태계 모니터링을 시도하였다. 이 방법은 기존의 파괴적이면서 자료의 편향성이 발생할 수 있는 방형구(Quadrat)를 이용

한 모니터링과 비교하여, 보다 넓은 지역을 하나의 시각적 자료로 도출하고 정기적, 장기적으로 촬영하여 수온, 염분 등과 같은 해양환경 자료와 함께 비교한다면 해양환경 변화에 따른 서식지의 변동을 확인할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해 독도 서도의 어민숙소 남서쪽의 수중에 위치한 흑돔굴 서식지 주변의 13-20 m 해저면 해조류 분포를 시기별로 촬영하여 그 변화상을 분석하였다.

2. 조사 및 분석 방법

조사하고자 하는 구역을 선정한 후, 스쿠버다이빙을 통해 수중촬영 장비를 이용하여, 너비 2 m 이상의 폭이 영상이 담길 수 있도록, 해저면에서 일정 고도로 진행하며 수직 방향으로 해저면을 촬영하였다.

2.1 촬영 장비 및 사진측량 프로그램

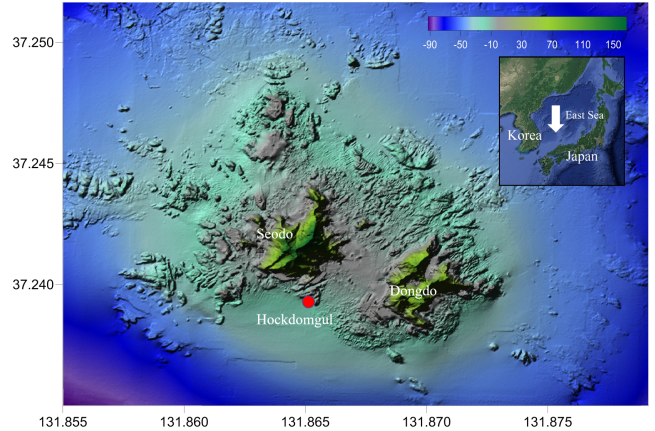
고해상도의 높은 품질의 결과를 얻기 위해 <그림 2>와 같이 4k 해상도와 초당 프레임 수(fps) 60p를 지원하는 캐논 EOS C500 Mark II를 사용하였고, 사진측량 프로그램은 Pix4D사의 Pix4D mapper v 4.8.4를 활용하였다.



[그림 2] 수중촬영 장비(왼쪽: 카메라 본체, 오른쪽: 방수하우징)

2.2 흑돔굴 앞 해조류 변화상 촬영

초경량 무인 비행장치(드론)를 이용하여 원하는 구역을 매핑(Mapping)하는 방법과 동일하게 카메라를 해저면을 향하게 수직으로 두고 <그림 3>과 같이 독도에 위치한 흑돔굴 입구(수심 13m)를 기준으로 수심 20m까지 직선 촬영하였다. 이때 해저면과 촬영자의 거리는 카메라에 가능한 많은 구역을 포함하며 시야범위 내에 해조류 구별이 가능한 거리를 일정하게 유지하였다. 표 1과 같이 같은 지역을 총 4회에 걸쳐 촬영하였고, 수심 20m 지점에 수온 측정장치를 설치하여 촬영 전후의 수온 변화를 함께 기록하였다.



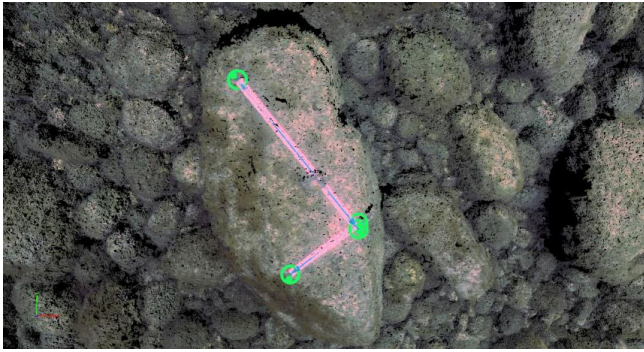
[그림 3] 조사구역인 독도 서도 남쪽 흑돔굴의 위치

[표 1] 흑돔굴 조사 시기(2023년)

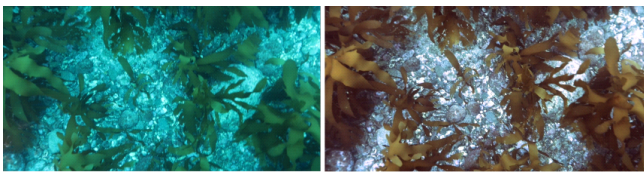
조사 횟수	조사 일자
1	3월 29일
2	5월 31일
3	8월 20일
4	11월 15일

2.3 사진측량 프로그램을 이용한 면적 및 생물상 조사

사진측량 프로그램은 Pix4D mapper를 사용하였다. 이 프로그램은 동영상 원 소스로 하여 프로그램 자체 기능으로 해상도의 저하 없이 사용자가 원하는 프레임 또는 시간 간격으로 이미지를 추출 후 정합(Image merging)하는 장점을 가지고 있다. 이를 이용하여 촬영자는 수중촬영 시 일정 간격으로 셔터를 눌러야 하는 번거로운 과정을 생략하고, 촬영하고자 하는 구역과 일정한 간격을 유지하며 동영상으로 기록하면 된다. 동영상은 사진에 비해 해상도가 떨어질 수 있고 고용량의 저장공간이 필요할 수 있으나 구역 내 중첩율(Overlap ratio)을 높게 확보할 수 있으며 분석자의 필요에 따라 이를 설정하여 자료를 도출할 수 있다. 그리고 이렇게 확보된 수중 이미지 및 비디오와 같은 시각 자료는 수중이라는 특성상 거리 및 면적을 계산할 수 있는 위치정보가 포함되어 있지 않아 이를 분석하기 위해 촬영 시 <그림 4>와 같이 길이를 특정할 수 있는 물체를 촬영 구역 내 설치하여야 한다. 또한 촬영 결과물에 따라 <그림 5>와 같이 색보정(Color grading)을 통해 보다 높은 품질의 결과물을 확보할 수 있다.



[그림 4] 구역의 면적을 계산하기 위해 설치된 직각자(사이즈 0.75x0.35m)



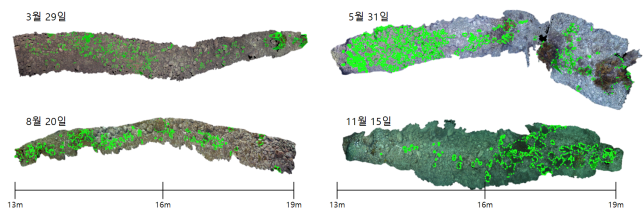
[그림 5] 수중 동영상 및 사진의 색보정 전(왼쪽), 후(오른쪽)

3. 결과 및 고찰

<표 1>과 같이 2023년 총 4회에 걸쳐 2-3개월 간격으로 흑돔굴 앞 해저면의 해조류 변화상을 조사하였고, 각 시기에 조사된 전체 면적 대비 해조류 분포율을 <표 2>와 <그림 6>과 같이 분석하였다. 동일 지역에도 시기에 따라 해조류 분포율이 크게 차이가 나는 것을 확인할 수 있었고, 특히 수온이 낮은 3월, 5월에 해조류가 증가하였다가 고수온이 유지되는 8월에서 11월에 급격하게 줄어드는 경향을 보였다.

[표 2] 흑돔굴 주변 조사 면적당 해조류 비율과 수온 분포

조사 시기	전체 조사 면적(㎡)	해조류 분포 면적(㎡)	해조류 비율(%)	수온(℃)
3월 29일	210.64	35.2	16.7	13.5
5월 31일	295.60	85.4	28.9	19.1
8월 20일	241.99	42.8	17.7	24.2
11월 15일	245.42	39.5	16.1	17.6



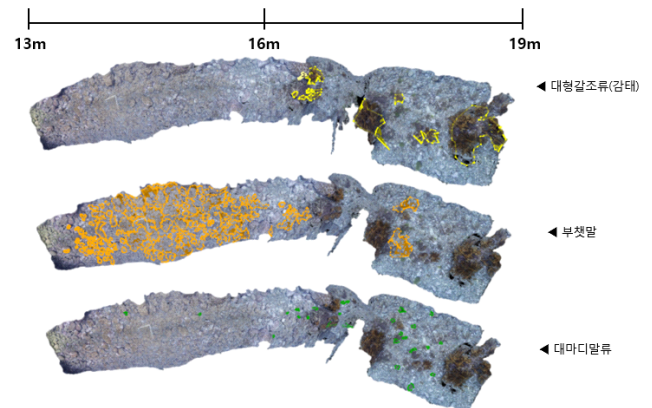
[그림 6] 시기별 조사 구역 내 해조류 분포

조사 시기에 따른 해조류의 종류도 분석하였는데, 크

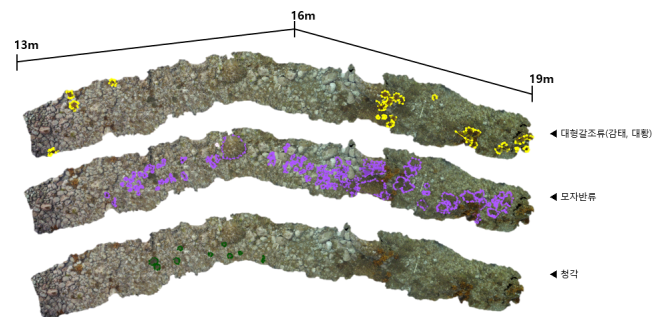
게 부챗말, 청각, 대마디말류, 대형 갈조류인 모자반과 감태로 구분할 수 있었다. 표 3과 같이 3월 29일, 5월 31일 조사에서는 부챗말이 각각 10.1%, 17.63%로 높게 나타났으며 8월 20일, 11월 15일 조사에서는 거의 발견할 수 없었다. 대신 모자반류가 13.35%, 13.09%로 높게 조사되었다. 대마디말류는 3월 29일, 5월 31일 조사에서 발견되었고, 청각은 8월 20일, 11월 15일 조사에서 발견되었다. 다년생의 대형 갈조류인 감태의 경우는 모든 조사 시기에 일정 비율 이상으로 발견되었다.

[표 3] 흑돔굴 주변 조사 구역내 해조류 종별 분포

조사 시기	해조류 면적 ㎡(%)	부챗말 면적 ㎡(%)	청각 면적 ㎡(%)	대마디 말류 면적 ㎡(%)	모자반 면적 ㎡(%)	감태 면적 ㎡(%)
3월 29일	35.2 (16.7)	21.29 (10.1)	-	1.68 (0.80)	-	12.22 (5.80)
5월 31일	85.4 (28.9)	52.13 (17.63)	-	3.44 (1.16)	-	29.94 (10.12)
8월 20일	42.8 (17.7)	-	1.65 (0.68)	-	32.31 (13.35)	8.81 (3.64)
11월 15일	39.5 (16.1)	-	1.07 (0.43)	-	32.13 (13.09)	6.25 (2.54)



[그림 7] 5월 31일 조사 구역 내 해조류 종류별 분포



[그림 8] 8월 20일 조사 구역 내 해조류 종류별 분포

독도 흑돔굴 주변 해저면의 해조류 변화와 관련하여 단년생 해조류의 경우 저수온기에 해당하는 3월에서 수온이 상승하는 시기에 부챗말이 번성하였다가 일정 시기 이후 사라지는 모습을 보였고, 이후 모자반류, 청각 등의 다른 해조류들이 부착되는 모습을 보였다. 본 연구에서 수중촬영 및 영상분석을 통한 수중 서식지의 시기별 변화에 대한 모니터링은 해양생태계의 변화를 정량적, 시각적으로 관찰하고 이해하는 데 효과적으로 활용될 수 있었다. 이러한 수중 영상 데이터는 현장 촬영 당시의 수온, 염분, 광량 등의 필요한 해양 환경 요인 자료를 함께 측정하여 활용하는 것이 중요하며, 그렇게 환경자료와 통합된 시각 자료는 해양생태계의 시계열 변화를 장기적으로 모니터링하는 데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Klaas Gerdes, Pedro Martinez Arbizu, Ulrich Schwarz-Schampera, Martine Schwentner and Terue C. Kihara, "Detailed Mapping of Hydrothermal Vent Fauna: A 3D Reconstruction Approach Based on Video Imagery", *fmars*, 3월, 2019년
- [2] Ahmad Shahrizan Abdul Ghani, Nor Ashidi Mat Isa, "Underwater image quality enhancement through Rayleigh-stretching and averaging image planes", *IJNAOE*, No.6, pp. 840-866, 2014년.
- [3] 홍성훈, "효율적인 수중 영상 모자이킹을 위한 상호 영상 정합도 지표", *대한기계학회 학술지*, 제12호, pp. 1240-1241, 2020년.
- [4] 유정민, 전문구, "자동적 수중 영상 보정을 위한 프레임워크", *한국정보과학회*, 제39권, 1호, pp. 483-485, 2012년.
- [5] 한경민, 최현택, "지능형 수중로봇의 연구 동향과 수중 영상처리 기술소개", *전자공학회지*, 제38권, 7호, pp. 533-537, 2011년.
- [6] 이호상. "컬러 보정과 컨벌루션 신경망을 이용한 수중 영상 개선", *부산대학교 대학원 전기전자공학과*, 2021년.