

실시간 견인식 카메라를 이용한 독도 연안에 서식하는 등근성게의 서식밀도 모니터링

박진혁, 민원기, 우민수, 김윤배
한국해양과학기술원 울릉도·독도해양연기지
e-mail:9485pjh@kiost.ac.kr

Monitoring the population density of *Strongylocentrotus nudus* inhabiting the coast of Dokdo using a real-time towed camera

Jin-Hyeouk Park, Won-Gi Min, Min-su Woo, Yun-Bae, Kim
Ulleungdo-Dokdo Ocean Science Station, Korea Institute of Ocean Science and Technology

요약

우리나라 갯녹음 현상을 촉진하는 종으로 알려진 성게는 2010년대 이후 독도 연안에서 매우 높은 서식밀도로 집중되어 서식하는 것이 간헐적으로 관찰되었고, 2019년에 CCTV를 이용한 예비 조사가 이루어졌다. 이후 매년 등근성게의 서식 밀도를 CCTV를 이용하여 조사가 진행되었다. 2021년 3월, 5월, 7월, 10월과 2022년에 3월과 8월에 CCTV를 이용한 모니터링을 진행하였다. 총 33정점을 조사한 결과 0-4.10 개체/m²의 서식밀도 범위를 보였으며 2021년에는 0.57±0.99 개체/m²의 서식밀도를 보였으며, 2022년에는 0.56±0.66 개체/m²의 결과가 나왔다. 띄어 인근 정점과 가제바위 인근 정점에서 가장 높은 4.10 개체/m², 1.82 개체/m² 서식밀도를 보였으며, 계절의 차이는 있지만 삼형제굴바위 인근, 해너바위 인근 정점에서는 성게를 한 마리도 확인하지 못하였다. 반면, 등근성게를 한 마리도 발견하지 못한 삼형제굴바위 인근, 해너바위 인근 정점에서는 50% 이상의 해조류 피도를 보였으며, 성게의 서식밀도가 가장 높은 가제바위 인근 정점에서는 30% 미만의 해조류 피도를 확인할 수 있었다. 이처럼 성게의 서식밀도가 높은 곳에서 해조류의 피도가 낮게 나타나는 경향은 성게의 섭식에 따른 해조상의 감소를 유추할 수 있는 결과이나, 조사방법 상 대형 갈조류 숲에 서식하는 개체들은 상부에서 카메라로 촬영할 수 없기 때문에, 다이빙에 의한 정밀 관측결과와 결부해서 해석이 필요하다. CCTV를 이용한 모니터링 방법이 정형화 되지 않고 정확도가 상대적으로 낮지만, 스쿠버다이빙 조사보다 넓은 지역을 빠르게 확인할 수 있으며, 깊은 수심의 지역도 조사가 가능하다는 장점들이 있기에 이를 활용한 조사를 지속적으로 진행하고자 한다.

1. 서론

갯녹음은 엽상형 해조류가 사라지고 무절석회말류가 증가하여 바위표면이 백색 또는 붉은색으로 변하여 황폐화가 되는 현상으로 1980년대 제주와 남해안 일부 지역에서 나타났지만 1990년대 중반에는 동해연안까지 올라왔으며 연간 1,200ha씩 증가하고 있다[1]. 해조류는 연안생태계에서 일차 생산자 뿐만 아니라 많은 생물들의 서식처와 산란처 기능을 하며, 식용, 산업용등으로 활용할 수 있는데[2], 갯녹음 지역이 넓어지면서 활용가능성이 높은 해조류가 사라지고 먹이생물로써 가치가 없는 무절석회조류가 번성하여 연안생태계에 많은 영향을 주게 되었다. 이러한 갯녹음 발생의 원인은 물리적, 화학적 생물학적 등 여러 요인이 복합적으로 발생하지만 그 중 생물학적 요인 중 해조류를 섭식하는 성게 등 조식자에 의한 강한 초식압이 중요한 요인으로 주목 받고 있다[1].

우리나라 갯녹음 지역은 2004년 7,000ha에서 2012년 16,000ha로 증가하였으며, 해마다 1,200ha씩 증가하고 있다.

제주도, 경북, 울산 등 갯녹음 현상이 심화되고 있으며, 그에 따른 해양환경변화로 해양생물 뿐만 아니라 수산업관련 종사자들 또한 피해를 겪고 있다[3]. 독도해역은 대마난류와 북한한류가 교차되며 동해연안과 연결되어 있지 않고 심해로 고립된 환경이다. 대마난류와 북한한류가 교차하므로 환경변동성이 크고 서식환경이 다양하며, 외부환경에 큰 영향을 받는다. 2010년대 이후 갯녹음 현상의 생물학적 중요 요인으로 주목 받는 성게 종류인 등근 성게(*Strongylocentrotus nudus*)가 고밀도로 서식하는 특이 현상이 관찰되었으며, 최근 해양수산자원관리공단은 독도의 암반해역 중 갯녹음 지역이 28%로 보고하였다[3]. 성게는 갯녹음 현상을 촉진하는 생물로 알려져 있어 독도 주변 해역을 주기적으로 관찰하면서 성게의 서식밀도를 파악하고자 하였다.

독도해역의 정밀한 갯녹음 현상을 연구하기 위해서는 많은 요인들과 환경을 분석하며 복합적인 연구가 필요하다. 이러한 다학제적인 갯녹음 현상 연구에 앞서 독도해역의 등근성게가 높은 밀도로 분포하는 현상을 확인하고 기록하기 위해 실시간 카메라를 이용하여 독도연안의 등근성게의 서식밀도

를 분석하고자 하였다.

2. 조사 및 분석 방법

독도연안의 등근성계는 2021년부터 2022년 8월까지 이상변식현상이 관찰되는 준계 및 하계를 중점적으로 조사를 진행하였으며, 조사시기 기상 상황에 따라 조사를 하지 못한 정점이 있었다. 2012년에는 3월에는 가제바위 뚝여 삼형제굴바위 인근만 조사하였으며. 기상상황에 따라 조사 정점을 이동하였다. 조사정점은 가제바위, 독립문바위, 뚝여, 삼형제굴바위, 해녀바위, 흑돔굴 인근 6정점을 중심으로 잡아 수중 CCTV를 이용하여 등근성계를 촬영조사하였다(그림 1, 표 1). 이 정점들의 해저면은 주로 암반으로 이루어져있으나 암석시대 혹은 모래에 암석이 분포되어 있는 바닥이었다.



[그림 1] 독도연안 성계분포 조사 정점도

[표 1] 독도연안 성계 서식밀도 조사 정점 정보

연도	정점	지역	조사시기	관측시작	관측종료	수심 (m)	관찰면적 (m ²)
2021년	3_1	가제바위	2021.03.15	08:38	08:46	10-15 m	1,757
	3_2	뚝여	2021.03.15	08:29	08:34	25-30 m	830
	3_3	삼형제굴바위	2021.03.15	08:50	08:57	10-15 m	2,046
	5_1	가제바위	2021.05.15	10:45	10:50	25-30 m	1,290
	5_2	독립문바위	2021.05.15	11:51	11:57	20-30 m	159
	5_3	뚝여	2021.05.15	11:01	11:04	10-20 m	484
	5_4	삼형제굴바위	2021.05.15	12:01	12:08	5-10 m	1,073
	5_5	해녀바위	2021.05.15	11:40	11:48	15-30 m	729
	5_6	흑돔굴	2021.05.15	11:20	11:30	10-20 m	275
	7_1	가제바위	2021.07.27	10:49	10:55	15-20 m	481
	7_2	독립문바위	2021.07.27	10:30	10:36	20-30 m	456
	7_3	뚝여	2021.07.27	10:59	11:05	15-20 m	873
	7_4	삼형제굴바위	2021.07.27	10:40	10:46	5-10 m	293
	7_5	해녀바위	2021.07.27	10:20	10:26	15-03 m	619
	7_6	흑돔굴	2021.07.27	10:12	10:18	10-20 m	275
	10_1	독립문바위	2021.10.25	15:27	15:37	25-30 m	564
	10_2	뚝여	2021.10.25	16:12	16:22	20-30 m	418
	10_3	삼형제굴바위	2021.10.25	15:57	16:06	10-20 m	557
10_4	전자바위(등도 뒤편)	2021.10.25	15:39	15:50	5-10 m	408	
10_5	해녀바위	2021.10.25	15:12	15:23	15-30 m	478	
10_6	흑돔굴	2021.10.25	14:59	15:08	10-20 m	530	
2022년	3_1	가제바위	2022.03.10	12:42	12:51	10-15 m	273
	3_2	독립문바위	2022.03.10	13:13	13:23	20-30 m	738
	3_3	뚝여	2022.03.10	12:26	12:38	25-30 m	389
	3_4	삼형제굴바위	2022.03.10	12:58	13:08	10-15 m	618
	3_5	해녀바위	2022.03.10	12:09	12:22	15-30 m	738
	3_6	흑돔굴	2022.03.10	13:27	13:37	10-20 m	682
	8_1	가제바위	2022.08.05	11:27	11:37	15-20 m	641
	8_2	독립문바위	2022.08.05	10:59	11:09	20-30 m	616
	8_3	뚝여	2022.08.05	11:42	11:52	15-20 m	1,223
	8_4	삼형제굴바위	2022.08.05	11:13	11:23	5-10 m	801
	8_5	해녀바위	2022.08.05	10:45	10:56	15-30 m	824
	8_6	흑돔굴	2022.08.05	10:32	10:42	10-20 m	870

조사에 사용된 카메라는 ㈜포항해양시스템연구소에서 개발한 수심 300 m급 실시간 관측용 4채널 수중카메라를 활용하였다(그림 2). 한 대의 카메라는 바닥을 촬영하여 성계의 개체수와 해조류 등을 확인하고 녹화할 수 있다. 나머지 3대의 카메라는 주변을 촬영하여 화면을 보여 CCTV 주변에 바위 같은 방해물이 있는지 확인이 가능하여 걸리지 않고 원활하게 촬영, 녹화를 할 수 있다.



[그림 2] 현장 조사에 사용된 실시간 4ch Multi-CCTV

조사 방법은 각 정점에 도착하여 선상에서 CCTV를 해저 바닥과 성계가 식별가능할 정도까지 내려 바닥상태에 따라

5-10분간 녹화를 했다. 이때, 조류의 흘러감에 따라 선박이 이동하는데 그 상태로 녹화를 진행하였으며, 조사가 진행되는 동안에는 GARMIN 회사의 GPSMAP 64s를 이용하여 이동 좌표를 기록했다.

저장된 동영상은 5초간격으로 캡처한 후, 식별이 가능하고 사진들이 겹쳐지는 부분이 없게 선별하여 분석을 진행하였다. 카메라 특징상 화면의 양옆 가장자리는 초점이 맞지않고 굴곡이 생겨 분석에 사용하지 않았다(그림3). 분석에 사용한 부분은 CCTV의 프레임이 화면에 보이는 가운데 부분만을 이용하였으며, 캡처된 사진을 100 등분을 한 가상의 방형구를 이용하여 관찰면적, 성계의 개체수, 해조류 피도 등 분석을 진행하였다.



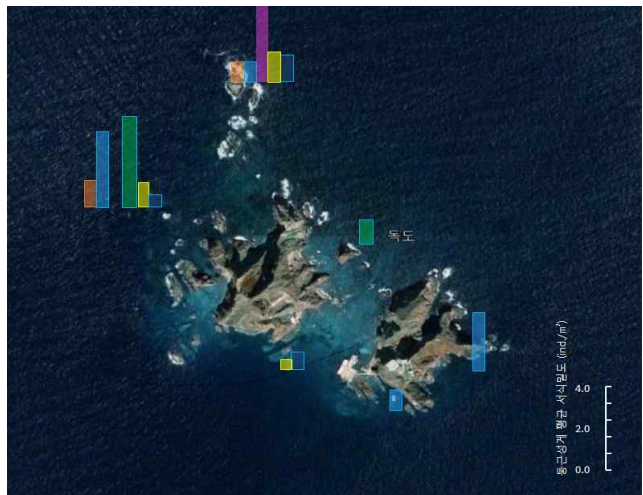
[그림 3] 2022년 8월 가제바위 인근 성계분포 조사 사진

3. 결과 및 고찰

2021년부터 CCTV를 이용한 등근성계의 서식밀도를 관찰한 결과 2021년에는 0.57 ± 0.99 개체/ m^2 의 서식밀도를 보였으며, 2022년에는 0.56 ± 0.66 개체/ m^2 의 결과가 나왔다. 등근성계의 서식밀도가 가장 높은 시기는 2021년 10월 뚝여 인근 정점에서 4 개체/ m^2 이상이였으며, 성계를 발견하지 못하는 정점도 있었다. 2021과 2022년의 분석 결과 가제바위와 뚝여 인근의 정점 등근성계의 서식밀도가 높게 나왔으며, 다른 정점은 보다 낮은 서식밀도를 보였다. 2021년 10월 뚝여 인근 정점에서 4 개체/ m^2 이상의 서식밀도를 보였으나 2022년에는 가제바위 인근 정점에서 최대 1.77 개체/ m^2 의 서식밀도를 보였다. 또한 삼형제굴바위, 해너바위 등 성계를 발견하지 못하는 정점이 있다. 그러나 삼형제굴바위 인근 정점의 경우 항상 50%이상의 해조류 피도를 보였지만 2021년 10월 해조류의 피도가 급격히 낮아지고 같은시기 다른 정점과 비교했을 때, 등근성계의 서식밀도가 높아지는 것을 볼 수 있었다.

[표 2] 성계 조사 평균 서식밀도와 해조류 피도

연도	정점	지역	관찰면적 (m^2)	성계 개체수 (ind.)	평균 서식밀도 (ind./ m^2)	해조류 피도(%)
2021년	3_1	가제바위	1766.66	923	0.63	19.46
	3_2	뚝여	829.78	624	0.63	4.79
	3_3	삼형제굴바위	2046.69	0	0.00	66.12
	6_1	가제바위	1290.24	628	0.49	8.61
	6_2	독립문바위	169.11	291	1.83	2.66
	6_3	뚝여	484.20	819	1.69	18.42
	6_4	삼형제굴바위	1073.00	0	0.00	99.98
	6_5	해너바위	729.16	346	0.48	9.06
	6_6	죽등굴	274.69	0	0.00	29.43
	7_1	가제바위	481.39	876	1.82	19.96
	7_2	독립문바위	466.03	6	0.01	28.61
	7_3	뚝여	873.20	21	0.02	12.92
	7_4	삼형제굴바위	292.93	0	0.00	70.16
	7_5	해너바위	618.62	0	0.00	20.16
	7_6	죽등굴	274.69	3	0.01	19.26
	10_1	독립문바위	664.46	0	0.00	36.60
10_2	뚝여	417.61	1711	4.10	12.93	
10_3	삼형제굴바위	666.60	266	0.46	9.22	
10_4	전차바위(중도 뒤편)	407.66	0	0.00	38.76	
10_5	해너바위	478.16	0	0.00	42.60	
10_6	죽등굴	629.66	0	0.00	96.08	
2022년	3_1	가제바위	272.82	484	1.77	29.60
	3_2	독립문바위	736.29	7	0.01	71.34
	3_3	뚝여	388.96	660	1.44	32.79
	3_4	삼형제굴바위	618.06	0	0.00	90.81
	3_5	해너바위	737.90	0	0.00	87.19
	3_6	죽등굴	681.79	263	0.37	83.97
	8_1	가제바위	641.26	961	1.48	22.61
	8_2	독립문바위	616.13	0	0.00	46.24
	8_3	뚝여	1223.06	866	0.70	26.08
	8_4	삼형제굴바위	801.17	0	0.00	94.23
8_5	해너바위	824.06	0	0.00	86.28	
8_6	죽등굴	869.84	866	0.98	89.24	



[그림 4] 등근성계의 서식밀도

해조류의 피도를 비교해 보면 성계를 발견하지 못한 삼형제굴바위 인근 정점에서 계절에 따라 50%이상의 가장 높은 피도를 보여주었으며, 성계의 서식밀도가 가장 높은 가제바위 인근 정점에서 2021년부터 30%미만의 가장 낮은 피도를 확

인할 수 있었다(표 2). 해조류의 피도는 수온이 높아지면서 감소하는 경향을 보였는데, 독립문바위 인근 정점에서 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 정점마다 조사하는 수심이 다르고 자생하는 해조류의 종류가 달라서 이런 현상이 나타난 것이라 생각된다.

성게는 갯녹음 현상에서 중요한 요인으로 주목 받고 있는 종이다[1]. 따라서 갯녹음을 연구하고자 할 때, 성게에 관한 연구는 동반될 수 밖에 없다. 등근성게가 3 개체/m² 이상(약 210g)이 서식할 때 주변 해조류가 성게의 섭식에 의해 성장할 수 없다는 보고가 있다[4]. 본 연구결과를 보았을 때, 2021년 10월 뚝여 인근 정점에서 4.10 개체/m²의 서식밀도를 확인하여, 등근성게의 서식밀도가 또 다시 높아져 엽상형 해조류를 섭식하여 갯녹음 현상을 보다 촉진할 수 있을 것이라 생각 된다.

2010년 처음 독도연안에서 등근성게의 이상분포현상을 발견하고, 등근성게의 고밀도 서식현상은 해양환경에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 2020년 예비 모니터링을 시작으로 장기적으로 모니터링이 필요하다고 생각된다. CCTV를 이용한 모니터링은 스쿠버다이빙을 이용한 현장조사방법보다 넓은 면적을 빠르게 확인할 수 있으며, 수심의 제한이 없는 장점이 있으나 스쿠버다이빙 조사 방법보다는 정확도가 부족한 단점이 있다. 이에 보다 체계적인 모니터링 방법을 고안해야한다.

참고문헌

- [1] 이지현, 손용수, 윤종국, 안정미, 황학진, 김완기, & 이현진. “동해에 서식하는 등근성게 (*Strongylocentrotus nudus*) 의 먹이패턴연구”, 한국환경생태학회지, 제 31권 1호, pp 81-87, 2월, 2017년.
- [2] 정승욱, 전병희, 최창근. “제주 남부해역 조하대 하계 해조군집 및 갯녹음 특성”, 해양환경안전학회지, 제 25권 2호, pp. 212-219, 4월, 2019년.
- [3] 민원기, 우민수, 신진용, 김윤배. “독도 연안에 서식하는 등근성게의 분포 특성”, 한국산학기술학회 춘계 학술발표논문집, 2021년.
- [4] 유재원, 김효진, 이현정, 이창근, 김창수, 홍재상, 홍정표, 김동삼, “동해안 조식성 무척추동물과 해조류 간 상호작용”, 한국해양학회지, 제 12권 3호, pp. 125-132, 8월, 2007년