

지리정보시스템을 활용한 제주도 북촌의 인공어초해역에서 어류 분포와 어초와의 관계

강명희 · Rina Fajaryanti¹ · 정봉규 · 윤은아² · 민은비³ · 이경훈⁴ · 오우석³ ·
박근창³ · 신영재⁵ · 최용석⁵ · 이병호⁵ · 황두진^{4*}

경상대학교 해양경찰시스템학과/해양산업연구소 교수, ¹경상대학교 해양생산공학과 학생, ²전남대학교
해양기술학부 강사, ³전남대학교 수산과학과 학생, ⁴전남대학교 해양기술학부 교수,
⁵한국수산자원관리공단 자원조성실 연구원

Fishes distribution and their connection to artificial reefs off Bukchon, Jeju Island using geographic information system

Myounghee KANG, Rina FAJARYANTI¹, Bongkyu JUNG, Eun-A YOON², Eunbi MIN³, Kyoungsoon LEE⁴,
Woo-Seok OH³, Geunchang PARK³, Young-Jae SHIN⁵, Yong-Suk CHOI⁵, Byung-Ho YI⁵ and Doojin HWANG^{4*}

*Professor, Department of Maritime Police and Production System/Institute of Marine Industry,
Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea*

¹*Student, Department of Engineering for Marine Production, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea*

²*Lecturer, School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

³*Student, Division of Fisheries Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

⁴*Professor, School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

⁵*Researcher, Resource Enhancement Division, Korea Fisheries Resources Agency, Busan 46041, Korea*

Various artificial reefs provide the fish habitat and nursery, and contribute the improvement of fisheries productivity. The evaluation methods of fishery resources in the artificial reefs have been done by fishing, scuba diving, underwater camera, and scientific echo sounder/sonar. There are a number of studies using echosounders on the quantitative and qualitative evaluations of artificial reefs in various seas around the world. This study focused on the spatial distribution of fishes around artificial reefs and the influential area of reefs off Bukchon, Jeju Island. Not only acoustic data but also various properties of artificial reefs were used in the geographic information system to extract relevant results. As a result, the major material of reefs on this study site was concrete and the number of reefs with that material was the most. The volume of reefs consisted of steel only and steel with riprap was considerably large compared to other reefs. The average NASC in the vertical distribution of fishes in artificial reefs was 31.6 m²/nm² in April, and that was 61.3 m²/nm² in June. The distance between the fish school and their nearest reef in June morning had a wide range from 750 to 3250 m. On the basis of the influence ray of artificial reefs, it had a tendency of NASC to decrease with distance from the reef in the June morning. It is a preliminary study to present the geospatial analysis example to understand a better way of comprehensive artificial reef environments.

Keywords : Artificial reefs, Echosounder, Geographic information system, Jeju

*Corresponding Author: djhwang@jnu.ac.kr, Tel: +82-61-659-7126, Fax: +82-61-659-7129

서론

세계 여러 해역에 조성된 인공어초는 수산자원의 서식지 형성, 어족생물의 산란, 개체수 및 다양성의 회복, 어장의 생산성 향상, 해양환경 보호 및 회복, 그리고 교육과 관광 등에 기여하고 있다(London Convention and Protocol/UNEP, 2009). 우리나라는 1998년부터 2006년까지 바다목장 사업을 추진하면서 인공어초를 시범적인 단계로 시설하여 그 기술과 경험이 축적되었으며, 2020년까지 전국에 50개소의 바다목장을 설비할 계획을 가지고 있다. 인공어초를 조성하기 위하여 거대한 자본이 투입되고 있는데, 이에 대한 어업자원조성 효과에 대한 직접적인 조사와 평가가 필요한 실정이다. 최근 인공어초 주변에서 서식하는 수산자원의 평가 방법은 어구, 잠수, 수중 카메라, 수중 음향 등의 방법으로 이루어지고 있으며, 이 가운데 어구 조사는 수산자원의 종조성을 명확하게 규명할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 많은 조사 정점에 따른 조사 시간이 많이 소요되기 때문에 전체 해역에 대한 수산자원의 분포 특성을 파악하여 현존량을 추정하는 것은 한계가 있다(Lee, 2011; Lee, 2013; Park et al., 2013). 잠수 및 수중카메라 조사는 수심의 한계와 탁도 등의 환경 요소뿐만 아니라 어류에 접근하면 회피본능을 자극시키기 때문에 정량적인 데이터를 얻기 어렵다. 이러한 어려움을 해결하기 위한 방안 중 하나로 수중 음향을 이용한 방법은 수심 탁도, 어류의 도피 행동에 보다 우호적이며, 또한 짧은 시간동안 광범위한 해역의 전 수층에 대한 정보를 획득할 수 있기 때문에 수산 선진국에서 수산자원을 평가하는 도구, 특히 인공어초에 관한 연구 분야에 활발하게 이용되고 있다(Fabi and Sala, 2002; Boswell et al., 2010; Kang et al., 2011).

한편, 지리정보시스템(Geographic information system: GIS)은 여러 속성을 가지고 있는 다양한 형식의 데이터 간에 위치정보를 중심으로 데이터간의 속성을 지도, 도표 및 그림의 형태로 표현한다. 즉, 다양한 데이터를 통합하기도 하고 공간 위치를 분석하여 여러 정보를 레이아웃화하여 시각화 및 정량적인 분석이 가능한 시스템이다. 지리정보시스템의 활용은 거의 모든 연구 분야에 걸쳐 폭넓게 적용되고 있으며, 해양 및 수산 분야에도 활발하게 적용되고 있다(Kang et al., 2011; 2012; Punzo et al., 2015).

이 연구는 제주도 북촌 앞바다에 조성된 인공어초 해역에서 과학어군탐지기, CTD (Conductivity, temperature, depth probe), 인공어초 자료를 GIS에 사용하여 인공어초 해역에서의 어류의 분포 및 인공어초와의 관계를 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

현장조사

제주도 북촌 앞바다에 조성된 인공어초 해역에서 transect line 음향 조사를 실시하였다(Fig. 1). 2018년 4월 12일 오후(13:50~15:34)와 늦은 오후(16:09~17:25), 당해 6월 9일 아침(05:55~07:22)과 오전(07:50~09:32)에 각각 음향 조사를 수행하였다. 동일한 transect line 음향 조사를 하루에 2회 실시한 이유는 어류의 주야 변동을 관찰하고자 하였으나, 조사 여건상 낮과 밤을 대표하는 시간대를 선별하지 못하였다. 조사해역 면적은 6.51 km²이었으며 transect 라인의 총 길이는 18.4 km이었다. 38 kHz 과학어군탐지기(Simrad, EK60, 이하 과학어탐)를 사용하여 음향데이터를 수집하였다. 조사선의 현수측에 고정 장치를 장착하여 과학어탐의 송수파기를 수면 아래 1.5 m에 고정시켰다. 펄스폭은 512 μ s로 설정하였으며 위치 정보(위도와 경도)는 GPS 수신기를 통하여 음향자료와 함께 기록하였다. 조사해역의 해양환경

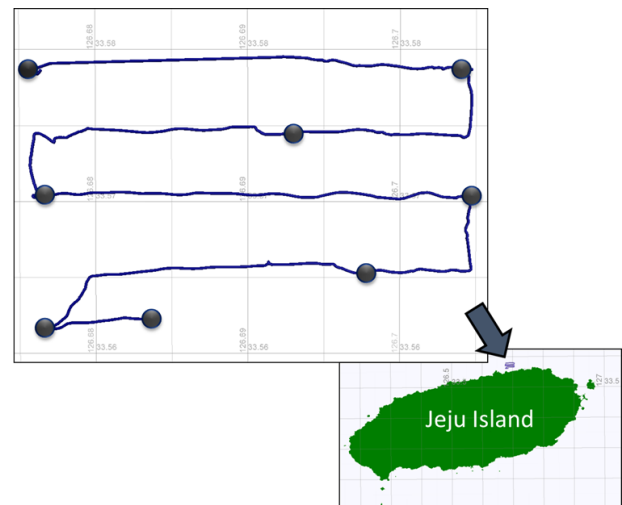


Table 1. The property of artificial reefs installed in off Bukchon, Jeju Island

Reef type	Total reef number	Reef size	Reef volume (m ³)	Reef material
Stone combined	1	13.2×13.2×8.2 m	1429	Steel + riprap
Sea forest	2	8.0×12.0×1.65 m	158	Steel + riprap
Three layers	2	12.0×12.0×10.7 m	1541	Steel
Hexagon	2	11.55×11.55×7.0 m	934	Steel
Octagon	3	14.0×14.0×6.0 m	1176	Steel
Fan shape	27	3.0×3.0×3.5 m	32	Concrete+oyster shell
Maze	33	2.25×2.25×2.2 m	11	Concrete
Tent	49	3.0×3.0×2.1 m	19	Steel + concrete
Triangle	53	3.1×3.1×2.9 m	28	Concrete
Cross	58	2.2×3.0×1.8 m	12	Concrete
House	61	2.4×3.5×1.38 m	12	Steel + riprap
Tunnel	62	2.5×2.1×2.1 m	11	Concrete
Turtle	80	N/A	N/A	N/A
Cross sea forest	131	3.0×3.0×0.5 m	5	Concrete
Horn triangle	1402	1.4×1.3×1.5 m	3	Concrete
Rectangle	2500	2.0×2.0×2.0 m	8	Concrete

자료를 수집하기 위하여 Fig. 1과 같은 정점에서 CTD 센서를 이용하여 수온 및 염분 등의 자료를 수록하였다. 인공어초 자료 즉, 인공어초 종류, 설치된 수심, 형태, 체적 및 수를 정리하여 표로 나타내었다(Table 1). Table 1에는 포함하지 않았으나, 모든 인공어초는 위도와 경도의 위치 정보를 가지고 있어 이를 토대로 분석하였다.

데이터 분석

음향데이터 분석은 Echoview (ver. 9, Echoview Software Pty. Ltd, 호주)을 사용하였으며, 지리적 정보를 토대로 결과를 도출하고 가시화하기 위하여 Eonfusion (ver. 2.3.1, Echoview Software Pty. Ltd, 호주)과 ArcGIS (ver. 10.3, ESRI, 미국)를 사용하였고, 그래프 등은 Excel (2010, Microsoft, 미국)을 사용하여 작성하였다. 보다 구체적으로는, 인공어초 해역에 분포하는 전체적인 어류의 수직분포를 파악하기 위하여 음향 생물량(NASC, Nautical Area Scattering Coefficient, 해리면적당 산란계수, m²/nm²)을 5 m 수심별로 추출하여 분석하였다. 어류의 수평분포 및 인공어초 영향권을 조사하기 위하여 음향데이터를 전체수심에 수평적으로 100 m를 구분하는 구역(cell)을 만들어 그 구역의 평균 NASC를 추출하여 사용하였다. 또한, 인공어초와 탐지된 어군사이의 가장 가까운 거리를 조사하기 위하여 먼

저 어군을 탐지하였다. 6월 음향 데이터에만 밀집한 어군이 다수 관찰되어 Echoview의 여러 연산자(Bitmap, Region bitmap, Mask, Dilation filter 3x3, Line bitmap, And)를 사용하여 어군을 정도 높게 탐지하였다(Echoview, 2019). 탐지된 어군과 가장 가까운 거리에 위치하는 인공어초의 거리는 Eonfusion을 사용하여 계산하고 그 중 최근접 거리를 산출하였다. 즉, 모든 어군과 모든 인공어초의 거리를 계산하여 가장 짧은 거리를 구하는 방식이다. 어군과 인공어초의 거리는 식 (1)을 이용하여 구하였다.

$$\text{Distance} = ((X_f - X_r)^2 + (Y_f - Y_r)^2 + (Z_f - Z_r)^2)^{1/2} \quad (1)$$

여기서, X_f , Y_f , Z_f 는 어군의 좌표, X_r , Y_r , Z_r 는 인공어초의 좌표를 의미한다.

한편, 연안 생태계의 관리 및 평가 연구에서 버퍼링(buffering) 도구를 사용하여 특정 해양 생물이 활동하는 영역(영향력 있는 영역)을 나타내었다(Wu, 1997). 특히 인공어초 해역에서 어초로 부터 어류밀도가 눈에 띄게 감소하는 거리를 “인공어초 영향권”이라고 정의할 수 있으며 인공어초의 영향력을 평가하기 위하여 사용할 수 있다. 이 영향권은 인공어초로 부터 50, 100, 150, 200 m의 각각 영역 내에서의 NASC을 구하고 ArcGIS

의 버퍼링 기능을 사용하여 구하였다. 이 연구에 사용한 버퍼링은 측지 버퍼로 지구의 실제 모양을 토대로 측지오이드 면을 이용하여 계산하였다.

결과 및 고찰

인공어초의 지리정보를 토대로 어초의 다양한 속성(부피, 숫자, 재질)과 함께 탐지된 어군과 에코그램 커튼을 가시화하였다(Fig. 2). 인공어초는 구로 표시하였고, 구의 색깔은 어초 재질, 구의 크기는 어초 부피, 반투명 원은 어초의 숫자를 반영한 것이다(Fig. 2a). 인공어초는 콘크리트로 형성된 어초가 거의 대부분을 차지하였고 그 숫자도 많은 것을 알 수 있다. 철제만으로 이루어진 어초와 철제와 사석으로 만들어진 어초의 체적이 다른 재질의 어초보다 상당히 큰 것을 알 수 있다. 인공어초의 숫자로 표현한 반투명한 원과 6월 오전에 탐지된 어군을 구로 표현하였다(Fig. 2b). 여기서 구는 탐지된 어군을

의미하고, 구의 색깔은 체적후방산란강도(Sv, dB re m^2/m^3)을 의미한다. 어군이 보다 연안 쪽, 특히 연안으로부터 두 번째 transect line에 큰 어군이 관찰되었다. 그림의 예시로는 인공어초와 어군을 다양한 각도에서 보기 어려우나, 프로그램(Eonfusion)에서 자유자재로 각도 및 확대 기능을 변화를 주어 인공어초와 어군의 관계를 수월하게 파악할 수 있다.

인공어초 해역에서 분포하는 어류의 전체 수직 분포는 Fig. 3에 나타내었다. 4월 전체 평균 NASC는 $31.6 \text{ m}^2/\text{nm}^2$ 이고, 6월 전체 평균 NASC는 $61.3 \text{ m}^2/\text{nm}^2$ 이었다. 4월보다 6월에 높은 값을 보였다. 4월 오후(평균 NASC $22.8 \text{ m}^2/\text{nm}^2$) 보다 늦은 오후(평균 NASC $39.7 \text{ m}^2/\text{nm}^2$)가 더 높은 NASC를 보였으며 특히 30 m에 가장 높은 값($149 \text{ m}^2/\text{nm}^2$)을 나타내었다. 6월 오전(평균 NASC $65.1 \text{ m}^2/\text{nm}^2$)이 아침(평균 NASC $57.539.7 \text{ m}^2/\text{nm}^2$)보다 높은 NASC를 보였으며 특히 25~30 m에

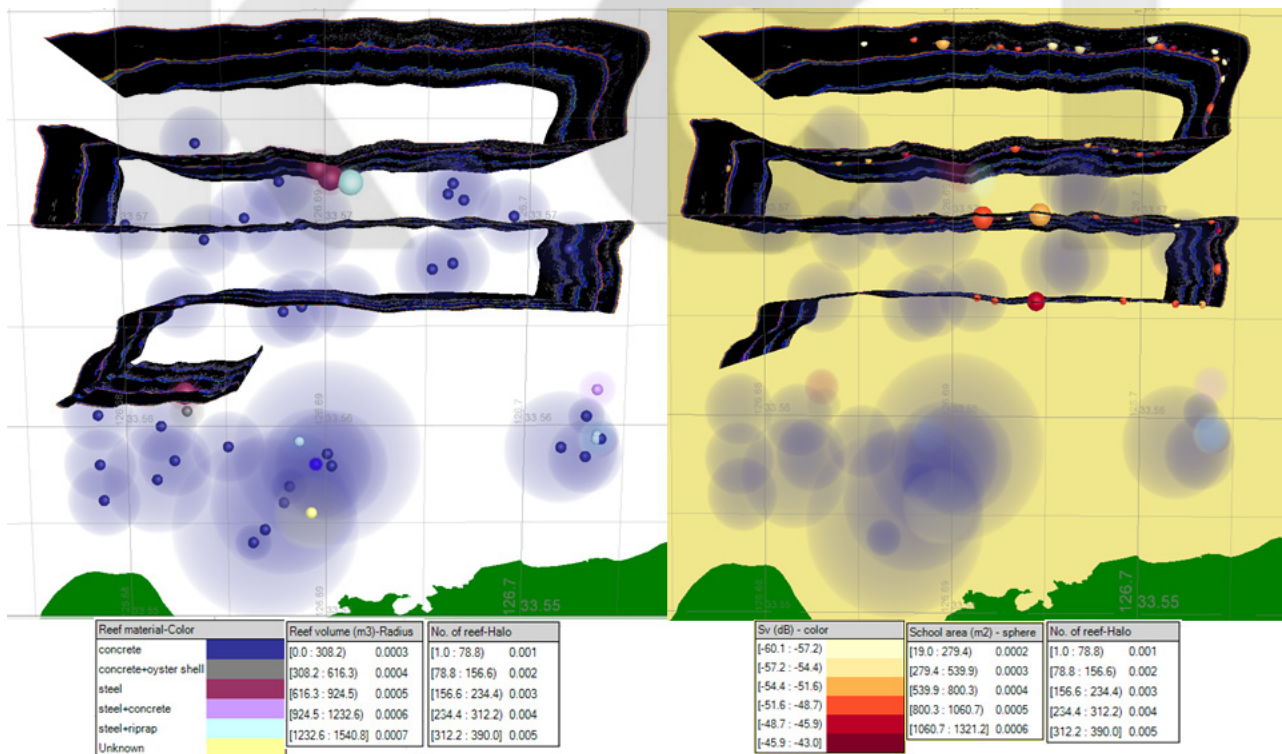


Fig. 2. Artificial reefs with the echogram curtain (a) and reefs and fish schools with the echogram curtain (b). The sphere size is the reef volume and the sphere color means the reef material (a). The sphere color is the Sv of fish school detected and the sphere size means the fish school area (b). The halo (semi-transparent circle) indicates the number of reef installed. The black layer is the echogram curtain (a and b).

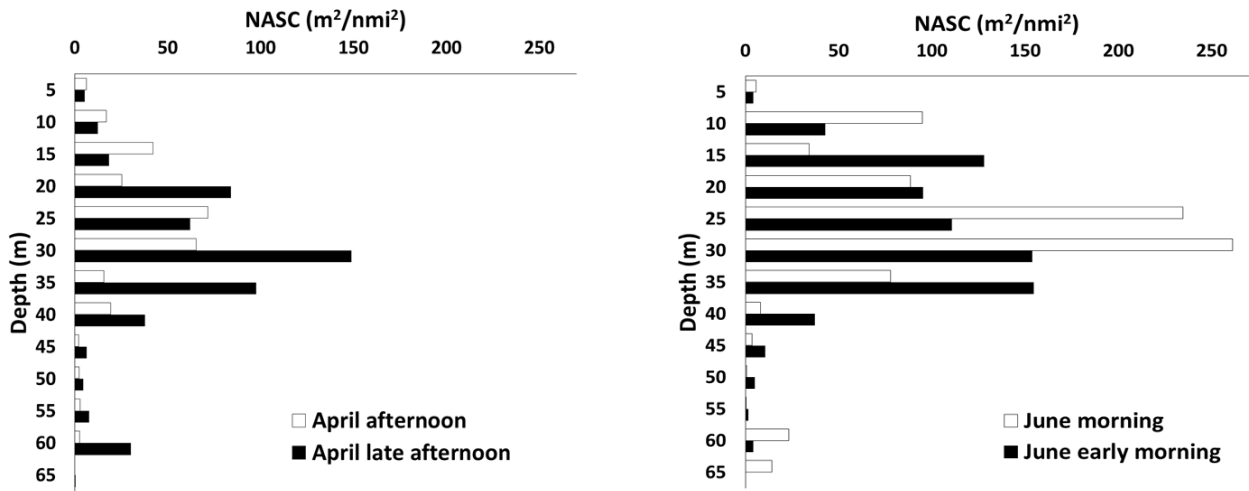


Fig. 3. Vertical distribution of acoustic biomass namely NASC (Nautical Area Scattering Coefficient).

높은 값(234.6~261.2 m^2/nmi^2)을 나타내었다. 6월 아침에는 15~35 m 수심 대에 대체적으로 값이 높게 관찰되었다. 4월 12일 북촌 앞바다의 일몰시간은 19:02이며, 6월 9일 일출시간은 05:23이었다(Timeanddate, 2019). 4월 오후와 늦은 오후의 시간이 일몰 전 시간이라 그 변화는 크지 않을 것으로 생각한다. 6월 아침과 오전은 일출시간 이후이지만, 아침(07:50)에서 오전(09:32)으로 갈수록 전체적으로 어류의 분포가 퍼져 있으며, 보다 얕은 수심과 중간 수심 대에서 다양하게 변화하는 것을 알

수 있다. 추후에 이 인공어초 해역을 대상으로 사계절 그리고 계절별 낮과 밤(일몰 및 일출 시간을 고려)의 데이터를 수록하여 어류의 계절별과 주야 변화를 조사하고자 한다.

6월 아침에 탐지된 어군과 가장 가까운 어초와의 거리는 750~3250 m까지의 넓은 범위를 차지하였다(Fig. 4). 750~1000 m와 1251~2000 m에는 5%와 15%를 차지하였고, 약 2250 m에서 가장 높은 빈도인 9%를 차지하였다. 어군을 형성한 6월 아침 데이터만을 사용하였으나, 어군과 인공어초사이의 최단 거리는 어업자원 조성의 관점에서의 인공어초를 평가할 때 유용하게 사용할 수 있을 것이다. 예를 들어 어군으로부터 어느 정도 범위 내에 있는 인공어초가 어군 구집 효과가 있는지 등의 평가 연구를 할 수 있다.

조사해역에서의 어류 수평분포는 Fig. 5에 나타내었다. 4월 오후에서 늦은 오후로 가면서 연안에서 가장 먼 transect line에 높은 NASC가 관찰되었다. 연안으로부터 두 번째에 위치한 transect line 즉, 인공어초가 조성되어 있는 곳에 비교적 높은 NASC가 보였다. 6월의 오전과 아침 둘 다 조사해역 전반에 걸쳐서 균등한 분포를 보였다. 6월도 두 번째 transect line에 높은 NASC값이 관찰되었다. 6월은 조사해역의 왼쪽보다 오른쪽 해역에 더 높은 NASC가 보인다. 연안에서 가장 가까운 첫 번째

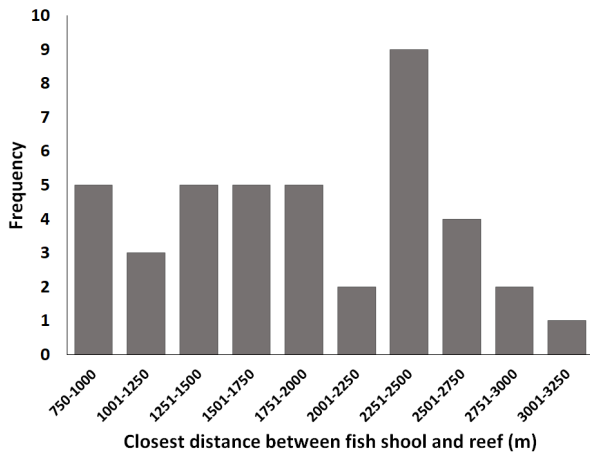


Fig. 4. The closest distance between fish school detected and reef.

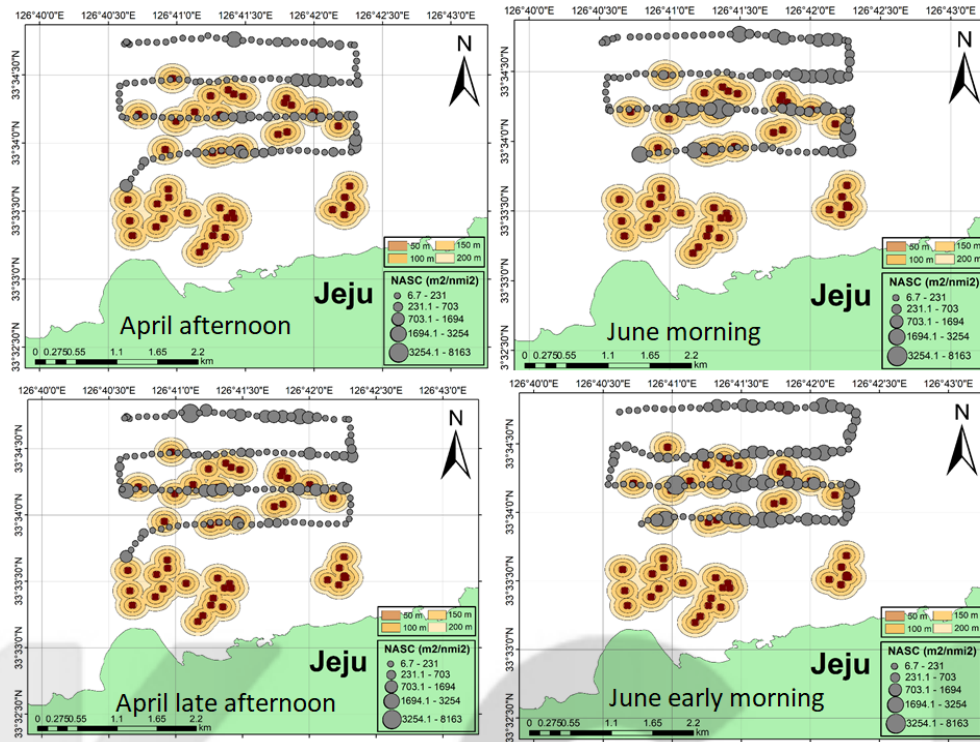


Fig. 5. The influential area of the artificial reef. The gray circle represents acoustic biomass (NASC, Nautical Area Scattering Coefficient) and multiple layered circles mean the influential areas.

transect line의 수심은 약 20 m이다. transect line 조사를 수행할 때 연안 가까이 어초가 조성되어 있으나 수심이 얇고 해황이 좋지 않으며 암초가 많아 현장 조사를 수행하기 어려웠다. 한편, 2018년 6월에 부유식 어군탐지기를 설계 및 제작하여 장비를 시험하였다. 이 부유식 어군탐지기는 송수신부, 모니터, GPS, 진동자, 전원부로 구

성되어 있으며 송수신부는 어탐기(NF560, 삼영이엔씨, 한국)를 사용하였으며 주파수는 50과 200 kHz 2주파수로 72시간 연속적으로 음향자료를 수집할 수 있는 전원(배터리)부로 구성하였다. 2018년 6월 8일에서 9일까지 부산 기장 앞바다에서 장비 시험을 완료한 상태이며 음향데이터는 분석 중에 있다. 이 부유식 어군탐지기를 제주도 북촌 연안 가까운 수심이 얇은 곳에 설치하여 transect line 조사에서 수집할 수 없었던 위치에서 음향자료를 수록할 계획이다. 이 부유식 어군탐지기는 정해진 장소에 설치하여 시간의 경과에 따라 음향자료를 수집할 수 있으므로 시간별 즉 24시간 동안의 어류 분포 변화 등을 관찰할 수 있는 장점을 가진다. 부유식 어군탐지기를 사용하여 이 연구에서 수록하지 못한 인공어초 해역에서 음향데이터를 수집하여 이 연구 결과를 보완할 예정이다.

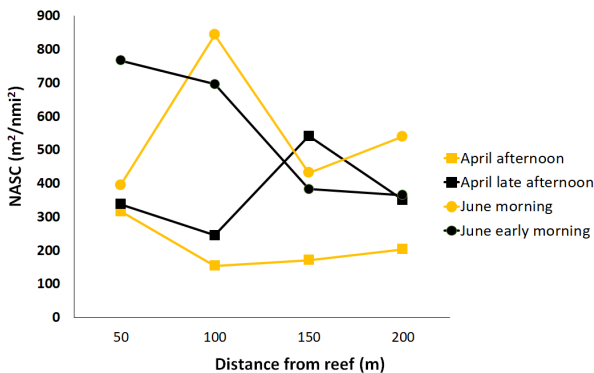


Fig. 6. The NASC (Nautical Area Scattering Coefficient) inside influential area such as 50, 100, 150, 200 m diameter.

4월에서는 인공어초 영향권, 즉 인공어초로부터 100 m에서 가장 낮은 NASC를 보이다가 4월 오후는 150 m에서는 542.3 m²/nm²로 높아져서 200 m에서 351.6

m^2/nm^2 으로 떨어지는데 반해 4월 늦은 오후는 171.7와 204.4 m^2/nm^2 로 소폭으로 높아지는 경향을 보인다. 6월 오전은 50에서 100 m까지 395.4에서 844.5 m^2/nm^2 로 대폭 높아지다가 150 m에서는 432.1 m^2/nm^2 로 떨어지다가 200 m에서 약간 높아지는 것을 알 수 있다. 6월 아침은 50~200 m로 갈수록 767.2~365.9 m^2/nm^2 로 점차적으로 낮아지는 경향을 보였다. 일본 시모노세키 앞바다에 조성된 인공어초 해역에서 음향밀도(Sv)가 어초로부터 거리가 멀수록 낮아지는 연도(2008)도 있었고, 거리와 상관없이 보이는 연도(2001)도 있었다(Kang et al., 2012). 미국 루지애나 그랜드 섬 주변에 석유와 가스 플랫폼이 인공어초로서 역할을 하는데, 이곳에서 어초로부터 1000 m까지 음향밀도가 점차로 감소하는 경향을 보였다. 인공어초 해역에서 시간별 NASC를 관찰하여 일몰과 일출을 기점으로 큰 변동이 있음을 보였다(Yoon et al., 2014). 인공어초 해역과 그 주변해역에서 어류의 분포 밀도를 조사할 때 계절별 시간별 요소가 고려되어야 보다 정확한 결과를 도출할 수 있을 것이다. 이번 연구는 4월(봄)과 6월(여름)에 수집한 데이터를 사용하였는데 가을과 겨울의 데이터를 추가하여 인공어초 주변의 어류 분포와 해양환경과의 관계 등을 살펴보고자 한다.

마지막으로 4월과 6월에 각각 수집한 해양 환경 데이터 중 수온을 역거리가중법 이용하여 보간하였다. 4월에 수온의 최저, 평균 및 최고값은 각각 15.4, 15.5, 16.1°C 이었고, 6월에 수온의 최저, 평균 및 최고값은 각각 15.3, 18.6, 20.7°C이었다. 이번 연구에서는 보간한 수온만을 살펴보았으나, 추후 보간한 수온과 어군 및 보다 높은 NASC를 가지는 구역과의 관계를 조사하여, 계절별 어류가 선호하는 수온 범위를 파악하고자 한다.

결론

인공어초의 지리정보를 토대로 어초의 다양한 속성을 가시화하여, 인공어초는 콘크리트로 형성된 어초가 거의 대부분을 차지하였고 그 숫자도 많은 것을 알 수 있다. 철제만으로 이루어진 어초와 철제와 사석으로 만들어진 어초의 체적이 다른 재질의 어초보다 상당히 큰 것을 알 수 있다. 6월 오전에 탐지된 어군이 보다 연안 쪽 특히 연안으로 부터 두 번째 transect line에 큰 어군이 관찰되었다. 인공어초해역에서 어류 전체의 수직분포는

4월에서 평균 NASC는 31.6 m^2/nm^2 이고, 6월에서 평균 NASC는 61.3 m^2/nm^2 으로 4월보다 6월에 높은 값을 보였다. 6월 아침에 탐지된 어군과 가장 가까운 어초와의 거리는 750~3250 m까지의 넓은 범위를 차지하였다. 4월 오후에서 늦은 오후로 가면서 연안에서 가장 먼 transect line에 높은 NASC가 관찰되었다. 6월의 아침과 오전 둘 다 조사해역 전반에 걸쳐서 균등한 분포를 보였다. 6월도 두 번째 transect line에 높은 NASC값이 관찰되었다. 인공어초 영향권은 6월 아침에만 어초로부터 거리가 멀수록 NASC가 작아지는 경향을 보였다.

사사

이 성과는 2018년 연안바다목장 음향을 이용한 수산 자원량 추정조사의 일환으로 한국수산자원관리공단의 지원과 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2018R1A2B6005666)입니다.

References

- Boswell K, Wells RJD, Cowan JH and Wilson CA. 2010. Biomass, density, and size distributions of fishes associated with a large-scale artificial reef complex in the Gulf of Mexico. *Bull Mar Sci* 86(4), 879-889. (DOI:10.5343/bms.2010.1026).
- Echoview. 2019. Help file 9.0.18 for Echoview. Retrieved from <http://support.echoview.com/WebHelp/Echoview.htm>. Accessed 3 Jan 2019.
- Fabi G and Sala A. 2002. An assessment of biomass and diel activity of fish at an artificial reef (Adriatic Sea) using a stationary hydroacoustic technique. *ICES J Mar Sci* 59(2), 411-420. (DOI:10.1006/jmsc.2001.1173).
- Kang MH, Nakamura T and Hamano A. 2011. A methodology for acoustic and geospatial analysis of diverse artificial-reef datasets. *ICES J Mar Sci* 68(10), 2210-2221. (DOI:10.1093/icesjms/fsr141).
- Kang MH, Nakamura T and Hamano A. 2012. A new tool for visualizing multi-dimensional datasets: an example of fish schools around artificial reefs. *N Z J Mar Freshwater Res* 46, 179-190. (DOI:10.1080/00288330.2011.624525).
- Lee DJ. 2011. Performance characteristics of a multi-directional underwater CCTV camera system to use in the artificial

- reef survey. J Kor Soc Fish Tech 47, 146-152. (DOI: 10.3796/KSFT.2011.47.2.146).
- Lee DJ. 2013. Monitoring of fish aggregations responding to artificial reefs using a split-beam echo sounder, side-scan sonar, and an underwater CCTV camera system at Suyeong Man, Busan, Korea. Kor J Fish Aquat Sci 46, 266-272. (DOI:10.5657/KFAS.2013.0266).
- London Convention and Protocol/UNEP. 2009. London Convention and Protocol/UNEP Guidelines for the Placement of Artificial Reefs. London UK, 1-100.
- Park J, Jo HS, Im YJ, Cha BY, Kwon DH, Ryu DK and Hwang HJ. 2013. Species composition and community structure caught by shrimp beam trawl in the marine ranching ground of Taeam, Korea. J Kor Soc Fish Tech 49, 238-249. (DOI:10.3796/KSFT.2012.49.3.238).
- Punzo E, Malaspina S, Domenichetti F, Polidori P, Scarcella G and Fabi G. 2015. Fish detection around offshore artificial structures: preliminary results from hydroacoustics and fishing surveys. J Appl Ichthyol 31(S3), 48-59. (DOI: 10.1111/jai.12950).
- Timeanddate. 2019. Retrieved from <https://www.timeanddate.com/sun/south-korea/jeju?month=5&year=2019>. Accessed 20 Mar 2019.
- Wu H. 1997. Problem of buffer zone construction in GIS. J Wuhan Tech Univ Surv Map 22(4), 358-365.
- Yoon EA, Hwang DJ, Kim HS, Lee JS and Lee KS. 2014. Acoustic observation of the behavior of fish in an artificial reef. J Kor Soc Fish Tech 50(2), 124-130. (DOI:10.3796/ksft.2014.50.2.124).
-
2019. 04. 15 Received
 2019. 05. 20 Revised
 2019. 05. 23 Accepted

KCI