음향조사기법을 이용한 수산자원 관리수면의 어류분포 및 인공어초지역의 어군위집조사

김현영 · 황보규^{1*} · 이유원² · 신현옥² · 권정노³ · 이경훈

국립수산과학원 시스템공학과, ¹부경대학교 해양산업개발연구소,
²부경대학교 해양생산시스템관리학부, ³국립수산과학원 자원관리과

Hydro-acoustic survey on fish distribution and aggregated fish at artificial reefs in marine ranching area

Hyun-Young KIM, Bo-Kyu HWANG^{1*}, Yoo-Won LEE², Hyeon-Ok SHIN²,
Jung-No KWON and Kyung-hoon LEE

*Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute,
Busan 619-705, Korea*

¹*Research Center for Ocean Industry Development, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

²*Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

³*Marine Environmental Management team, National Fisheries Research & Development Institute,
Busan 619-705, Korea*

Hydro-acoustic survey was carried out to estimate a fish distribution at marine ranching area and aggregated fish schools at artificial reef area in Oeyeondo, Korea. The survey system was set up with DGPS system, scientific echo sounder (EK60, Simrad Co.), and ECDIS (Mecys. Co. LTD). A track survey and a random survey was respectively applied to the marine ranching area (474.4ha) and to the artificial reef area (within a radius of 300m). As the result, fish distribution and MVBS values in marine ranching area showed that created fisheries resources didn't come to be abundant yet as to appear fish distribution in all of the area. In the artificial reef area, it was, however, able to detect many fish school signals on the top of and around artificial reefs and to confirm the luring effect of artificial reefs.

Keywords: Artificial reefs, Marine ranching area, Luring characteristics, Acoustic survey

*Corresponding author: bokyuhwang@naver.com, Tel: 82-51-629-5893, Fax: 82-51-629-5886

서 론

UN해양법협약으로 200해리 경제수역 선포됨에 따라, 우리나라는 해외어장 축소로 인한 수산물 생산량 감소와 수산물 수입 자유화, 남획에 따른 수산자원의 감소, 연안환경오염의 증가, 어업인구 감소에 따른 연근해어업의 경쟁력 저하로 연근해 수산업은 날이 갈수록 어려워지고 있다. 이와 같은 어려움 극복하기 위해서, 연근해 자원을 효율적으로 관리하고 이용해야 할 뿐만 아니라, 연근해의 생산력 증대를 도모할 필요가 있다. 이에 정부는 지난 1970년대부터 인공어초, 인조 해조장, 해중림 등을 부설하여 인위적인 수산 동식물의 서식공간을 조성하고, 해역별 특성에 맞는 수산생물을 방류하여 연안해역의 수산 자원량을 증대시키는 동시에 해양환경을 조사하면서 지속 가능한 어업과 수산물을 공급하는 바다목장화 사업을 펼치고 있다. 바다목장화 사업은 해양생물자원의 지속 가능한 이용을 위해 바다의 자원을 회복시키고 증진시키는 국가전략사업으로, 전국 연안 5개소에 시범 바다목장을 조성하고, 중·장기적으로는 전 연안을 바다목장화하기 위하여 추진 중에 있다.

충청남도 보령시 외연도 부근해역은 연안 수산자원을 회복하고 어업인의 소득증대를 위해 2010년 1월에 수산자원 관리수면으로 지정된 지역으로 지난 2007년부터 2009년까지 인공어초 시설, 종묘방류 등 30억이 투입되었다. 바다목장의 효과적인 추진을 위해서는 수산자원 관리수면의 어류자원을 조사하고 평가해 나갈 필요가 있는데, 이를 위해서는 서식종에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 또한, 인공어초와 같은 부설물을 통하여 해역의 자원을 회복시키기 위해서는 인공어초 부설에 따른 효과를 조사할 필요가 있다.

인공어초 부설지역의 어류조사에는 삼중자망을 이용한 어획조사 (Lee and Kang, 1994) 가 주로 이용되고 있는데, 보령 소규모 바다목장 해역과 같이 수 년에 걸쳐 다수의 인공어초가 부설된

해역의 경우, 자망을 설치하는 데에 많은 어려움이 있다. 또한, 인공어초의 효과에 대한 조사에 대표적으로 실시되는 과학잠수 촬영조사 (Choi, 2008; Oh et al., 2010)와 같은 광학적인 기법은 위집된 어종을 직접 촬영하므로써 어종을 바로 확인할 수 있는 장점이 있으나, 수중시계에 큰 영향을 받게 되고, 조사수심에 한계를 가진다. 특히, 우리나라 서해안과 같이 수중시계가 매우 짧은 해역에서는 많은 제약이 따르기 때문에, 이러한 점을 극복하기 위하여 기존의 조사기법과 함께 음향시스템을 이용한 어초 주변의 어군량 추정기법 연구 (Hwang et al., 2004)가 수행되었으며, 화상시스템과 음향시스템을 접목한 전용 시스템의 개발 (Akamatsu et al., 2002) 도 이루어지고 있다.

본 연구에서는 계량어군탐지기를 이용하여 현재 수산자원 관리수면 해역에 조성된 어류자원의 수준을 평가하기 위하여 어류분포를 추정함과 동시에, 인공어초가 집중적으로 부설된 위치에서 어군의 분포를 추정하여 인공어초에 대한 위집특성을 조사하고 분석하였다.

재료 및 방법

어류분포조사 및 인공어초에 대한 어군위집조사 해역은 Fig. 1과 같다. 조사는 2010년 10월 28일에 실시하였으며, 조사해역은 충남 보령시

Fig. 1. Survey area in Oeyeondo, Korea. Dash-dot line indicates marine ranching area, solid line is survey track, ▼ is the intensive survey position for artificial reefs and ◎ is the catch position with gill-net.

Table 1. Size of artificial reefs built at survey position in Oeyeeondo, Korea

Type	Size (L × W × H)
Cylindrical two stage type	11 × 11 × 13.2m
Jumbo type steel	12 × 12 × 9m
Large size type steel	12 × 12 × 8m
Jumbo type	6.8 × 5.0 × 5.97m
Ployconic type	9 × 12 × 5.5m

Table 2. Specification and parameters of scientific echosounder to survey fish schools around artificial reefs

Items	Specification
Beam type / Frequency	Split / 38kHz
Beam width(- 3dB)	12°
Pulse length	256μsec
Ping rate	Maximum
Transmitted power	1000W

외연도 소규모 바다목장 해역으로 총 면적은 474.4ha이며, 수산자원 관리수면 내의 어류분포를 조사하기 위하여 조사해역 내에 동서 방향으로 총 5개의 조사정선을 설정하였다 (Simmonds and Maclellan, 2005). 그리고, 인공어초에 대한 어군위집조사는 수산자원 관리수면 내에서 지난 2007년부터 2009년까지 인공어초가 시설된 지점에서 실시하였는데, 부설되어 있는 인공어초는 원통2단 강제어초, 잠보형 강제어초, 폴리콘 어초 등이다 (Table 1).

음향조사시스템은 측위시스템 (DSPR - 1400, Samyung ENC Co., Ltd.)과 계량어군탐지기 (EK60, Simrad Co.) 및 ECDIS (MECys Co., Ltd.)로 구성하였다 (Table 2). 주파수 38kHz의 송수파기를 Fig. 2와 같이 우현 중앙부 수면으로부터 1.0m 아래에 설치하고, 그 상부에 측위센서를 설치하였으며, 조사정선을 따라 5 - 6knots로 항주하여 음향신호를 수신하였다. 음향자료로부터 관리수면에 서식하는 정착성 어류분포를 추정하기 위하여 해저부터 5m 층에 대해서만 분석하였다.

또한, 인공어초 부설지점에 분포하고 있는 어류를 조사하기 위하여, ECDIS 상에서 인공어초가 집중적으로 설치된 지점을 중심으로 직경 300m의 원형조사영역을 설정하고, 선박이 조사

Fig. 2. Installation of instruments to survey fish distribution in marine ranching area and aggregated fish schools at artificial reef area. **Fig. 3. Track of random survey to estimate fish schools at artificial reef area.**

영역 내에서 벗어나지 않도록 확인하면서 음향신호를 수신하였다 (Fig. 3). 이 때, 선속은 3 - 4knots이었으며, 조사일의 파고는 0.5m이하로 매우 잔잔하였다.

이와 더불어, 수산자원 관리수면 내에서 음향에 탐지되는 어류의 종조성을 파악하고자 시험 어획조사를 실시하였다. 관리수면 내에는 인공어초 부설로 인하여 어구의 운용이나 설치에 제한이 있었기 때문에, 망폭 50m, 망고 2m인 삼중자망 (내망 Knot NY Td210 3합사 망목 60mm, 외망 Knot NY Td210 9합사 망목 360mm) 5폭을 이용하여, 관리수면과 가까운 위치에서 어획조사를 실시하였다 (Fig. 1). 삼중자망을 이용한 어획

조사는 음향조사를 실시한 날에 동시에 실시하였으며 투망 후 만 하루가 지난 다음 양망하였다. 이후 수집한 음향자료와 함께 관리수면의 어군분포 및 종구성을 추정하고, 이와 더불어 인공어초가 부설된 지역의 인공어초 부설형태와 어초주변에 체류하고 있는 어군의 분포양상을 추정하였다.

결과 및 고찰

음향시스템으로 추정한 보령시 외연도의 수산자원 관리수면에서의 정착성 어류의 지리적 분포는 Fig. 4와 같다. Fig. 4의 값은 음향지표인 평균체적산란강도 (Mean Volume Backscattering Strength, MVBS)를 나타내며, 이 값은 어류의 평균분포밀도의 상대적인 대소를 의미한다. 일반적으로 정착성 어류는 섬 가까이의 비교적 얕은 암반지대에서 많이 발견되는데, 본 조사에서는 외연도나 황견도 및 대청도 주변의 암반지역과 가까운 곳에서 어류의 분포가 높게 나타나지는 않았으며, 황견도 북쪽으로 -60dB - -50dB로 다소의 어군 분포가 탐지되었다. 그리고, 본 해역의 중심부 해역에서도 대부분 -65dB 이하로 어군분포가 낮게 나타났는데, 이러한 원인은 시험조사 해역의 해저는 평탄한 지형을 이루고 있으며, 조사해역을 중심으로는 3개 이상의 섬들로 둘러져 있어 지형적인 영향으로 다소 강한 조류가 형성되어 어류들이 수중 공간에 장시간 체

류하기 어렵게 된다. 이 때문에 어류는 자기 몸을 지지하거나 의지할 은신처를 찾게 되는데, 저층성 어류는 해저면 바닥에 붙거나 이외의 어류는 주변 섬 가까이에 있는 돌출 암초나 인공어초가 형성된 쪽으로 이동한 것으로 판단된다. 본 조사에 앞서 실시한 6월의 주·야간 조사에서도 유사한 결과가 나타나, 현 시점에서는 수산자원 관리수면의 해역 전체에서 어군신호가 자주 탐지될 정도의 어류자원의 조성효과를 나타내지는 않는 것으로 판단된다.

3중자망 어획조사를 통하여 얻은 수산자원 관리수면의 종조성을 Fig. 5에 나타내었다. 어획결과 총 어획된 종수는 11종이었고, 개체수는 67마리이었으며, 이 중 쥐노래미와 조피볼락이 각각 22.4% 삼세기가 7.5%를 차지하였고 이 외에 도다리, 망둥어, 광어 순이었다. 이외에도 회유성 어종으로 삼치가 22.4%를 차지하였으며, 많은 양의 멸치가 어획되었으나 그물로부터의 어획물 처리가 불가능하여 분류하지 못하였다. 이것은 어획조사를 실시했던 시기에는 외연도 관리수면 내로 멸치어군이 내유하고, 이 먹이생물을 따라서 삼치어군이 함께 내유하였기 때문으로 판단된다.

인공어초 부설해역에서 실시한 어군위집조사에서 나타난 Echogram의 일례를 Fig. 6에 나타내었다. 어초에 위집된 어군을 조사에서 사용한 주파수 38kHz는 지향각이 약 12°로 비교적 넓은

Fig. 4. Spatial distribution of demersal fish from hydro-acoustic survey at marine ranching area in Oeyeondo on October 2010.

Fig. 5. Species caught with gill net on October 2010 at marine ranching area in Oeyeondo, Korea.

지향각을 가지고 있기 때문에 Multi-beam 시스템과 같이 어초의 세세한 형태를 구현하는 것은 불가능하다. 또한, 어군이 어초에 매우 근접하여 있을 때에는 어군의 음향신호를 어초와 분리하는 것은 어려우나, 본 조사에서는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 수심이 얇기 때문에 음향빔의 지향각의 영향이 작아서 그 형태를 비교적 뚜렷하게 관찰할 수 있었다. 왼쪽에 보이는 인공어초의 Echogram과 같이 인공어초의 골격형태로 인하여, 강한 층상 형태의 Echogram이 나타나기 때문에, 해저로부터의 높이와 형태로부터 어떤 종류의 어초임을 판단하는 것이 가능하였다.

인공어초 부근의 어군 위집특성조사를 통하여 추정된 해저지형 및 부설어초의 형태를 Fig. 7에 나타내었다. 계량어군탐지기로 추정한 조사해역의 수심은 약 22m-27m 정도이었으며, 북쪽이 높고 남쪽으로 갈수록 수심이 깊어지는 형태를 보였다. 또한, Fig. 3에 나타난 바와 같이 어초의 구조에 따른 Echogram의 층상형태 및 어초의 크기자료로부터 어초를 유추해보면, 조사해역에는 높이가 13.2m인 2단 원통형 강제어초가 2기, 9m인 점보형 강제어초가 1기, 8m인 대형강제어초가 3기, 약 6m급인 잠보형 또는 폴리콘 어초가 6기 등으로 추정되었다.

인공어초의 위치와 어초에 위집된 어군의 분포를 Fig. 8에 나타내었다. 어초부설위치에 대한 어류의 분포 위치를 보면 어류는 어초 상부 또는 어초 사이에서 채류 분포하는 것이 탐지되었으며, 어초가 부설된 지점을 중심으로 조사 범위

반경 300m 내에서도 어군에 의한 다양한 음향신호가 탐지되었다. 인공어초 주변은 Fig. 3에 나타난 조사정선 해역에 비해 상대적으로 더 많은 어군신호가 탐지되었으며, 주변부에서도 길고 강한 군형상을 한 대형의 어군이 탐지되었는데, 이것을 시험어획 결과로부터 추정해보면 멸치 어군이 형성되면서 멸치를 섭이 하려고 내유한 삼치와 같은 표층성 어종으로 인공어초의 상층에 일시적으로 체류하는 것으로 볼 수 있으며, 낮에는 어초내에 야간에는 밖에서 활동하는 쥐노래미, 조피볼락 삼세기 어종, 저층성 어종인 도다리, 망둥어, 광어 등의 어군이 어초주변을 둘러싸고 있는 형태로 보아 인공어초와 관련하여 체류하고 있는 것으로 판단된다. 이와 같이 인공어초 상부 또는 측면, 그리고 주변에서 다양한 어군신호가 탐지됨으로서 인공어초의 위집 효과에 대해서 확인이 가능하였다. 또한, 본 조사지역이 조류가 빠른 해역임을 감안하면 부설

Fig. 7. The shapes of sea bottom and artificial reefs estimated by scientific echo sounder.

Fig. 6. Example of echoes for fish schools around artificial reefs detected by scientific echo sounder.

된 어류용 어초에 대한 조류의 변화와 와류의 발생 등에 의해 많은 영양염류가 공급되어 어류 등의 먹이생물이 되고 있는 동물플랑크톤의 유집으로 멸치 등 소형어류가 좋아하는 요각류와 단각류가 어초주변에 많이 분포하게 되어 생물이 상호간에 포식자와 피포식자 관계가 있기 때문에 각각 섭이행동 및 도피행동에 의한 한 요인으로 볼 수 있다.

계량어군탐지기를 이용하여, 탐지된 어류자원량을 산출하기 위해서는 대상생물의 음향반사강도 (Target Strength, 이하 TS) 특성을 파악해야 하며, 다종이 혼재하여 서식할 경우 각 종에 대한 TS를 적용하여야 한다. 또한, 탐지된 어류들의 종별 제장조성자료도 필요하다. 본 연구에서는 수산자원 관리수면 내의 어류분포와 어초시설지역의 어류위집현상을 파악하기 위하여 실시하였기 때문에 부설지역 어류의 자원량은 추정하지 않았다. 또한, 인공어초에 위집된 어군은 인공어초 외부뿐만 아니라 내부에 많이 체류하기 때문에 이와 같은 지역에서 어류 자원량을 추정하기 위해서는 계류식 음향시스템을 설치하여, 장기간에 걸쳐 관찰할 필요가 있으며, 이러한 조사법은 인공어초를 주야로 왕래하는 어

류들의 생태습성까지 파악하는 것도 가능할 것이다 (Fabi and Sala, 2002). 또한, 최근 어류와 같은 수중생물계측분야에서도 활용하기 시작한 Multi-beam 방식의 음향시스템 (Trenkel et al., 2008)을 적용한다면, 어초의 부설형태뿐만 아니라 이와 관련한 더욱 정밀한 어군의 시공간적 분포형상을 추정할 수 있을 것이다.

현 단계에서 인공어초의 위집효과를 보다 정확하게 조사하기 위해서는 기존에 수행하고 있는 시험어획 및 잠수조사와 함께 음향기법 및 해양환경 측정기술 등과 같은 다양한 기법을 동시에 적용할 필요가 있으며, 이를 통하여 위집어류의 분포 및 이동행동을 파악하는 것이 인공어초를 통하여 조성된 자원의 정도를 파악하는데 매우 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

결 론

보령시 외연도 수산자원 관리수면 해역에 조성된 자원의 수준을 평가하기 위하여 계량어군탐지기를 이용하여 현재 어류의 분포를 추정함과 동시에, 인공어초가 집중적으로 부설된 위치에서 어군의 분포를 추정하여 인공어초에 대한 어군위집특성을 조사하였다. 음향조사시스템은

Fig. 8. Distribution of fish schools related to artificial reefs measured by hydro-acoustic survey.

측정시스템과 계량어군탐지기 및 ECDIS로 구성하였으며, 관리수면 전체에 대한 정선관측과 어초부설지역에 대한 집중조사를 실시하였다. 조사결과 어류분포는 수산자원 관리수면의 해역 전체에서 많은 어군신호가 탐지될 정도의 조성효과를 나타내지는 않았다. 그러나, 어초부설 해역에 대한 집중 조사에서는 어초 상부 또는 어초 사이에서 어군신호가 탐지되었으며, 어초 주변 (반경 300m) 의 범위에서도 상대적으로 강한 어군신호가 탐지되므로써 인공어초에 대한 위집효과를 확인하는 것이 가능하였다. 앞으로 여러가지 탐지기법을 동시에 적용하고, 장기적인 관측을 수행하므로서 인공어초에 위집되는 어류의 생태학적 특성뿐만 아니라 조성된 자원량을 정확하게 추정하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

이 연구는 국립수산물과학원 (수산자원회복을 위한 어업별 어획성능 정량화 연구, RP-2011-FE-006)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

Simmonds, E.J. and D.N. MacLennan, 2005. Fisheries acoustics second edition, Blackwell Science Ltd, Fish and Aquatic Resources Series 10. pp. 437.

- Akamatsu, T., H. Takahashi and A. Matsuda, 2002. A monitoring system for the aggregated fish group by an acoustic-visual combined method. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 68 (5), 747 – 748.
- Oh, T.Y., H.G. Cha, D.S. Chang, C.H. Hwang, Y.J. Nam, S.N. Kwak and M.H. Son, 2010. Seasonal variation na species composition of fishes communities in artificial unit at marine ranching area in the coastal waters off Jeju island, Korea. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 46 (2), 139 – 147.
- Lee, J.W. and Y.S. Kang, 1994. Variation of fish community and fish density on artificial reefs. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 27 (5), 535 – 538.
- Choi, C.G., 2008. Marine communities around artificial reefs located in Itaka, Shikoku, Japan. *J. Kor. Fish. Soc.* 41 (3), 208 – 214.
- Trenkel, V.M., V. Mazauric, and L. Berger, 2008. The new fisheries multibeam echosounder ME70: description and expected contribution to fisheries research. *ICES J. Mar. Sci.*, 65, 645?655.
- Fabi, G. and A. Sala, 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, 411 – 420.

2011년 4월 22일 접수

2011년 5월 19일 1차 수정

2009년 5월 19일 수리