

## 어군탐지기를 이용한 인공어초 주변의 어군량 추정

황두진\* · 박주삼<sup>1</sup> · 이유원<sup>2</sup>

여수대학교 수산해양대학, <sup>1</sup>여수대학교 수산과학연구소, <sup>2</sup>부경대학교 수산과학대학

### Estimation of Fish School Abundance by Using an Echo Sounder in an Artificial Reef Area

Doo Jin HWANG\*, Ju Sam PARK<sup>1</sup> and Yoo Won LEE<sup>2</sup>

College of Fisheries and Ocean Science, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

<sup>1</sup>The Fisheries Science Institute, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

<sup>2</sup>College of Fisheries Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The hydro-acoustic method is widely used for estimating biomass and distribution of fisheries resources along the coast and in the ocean. High costs and time are necessary to construct systems for this method and to initially educate specialists. It has been used in fisheries of advanced nations like Japan and Norway, because it is more efficient than other methods. In order to research the behavior of fish around an artificial reef using an echo sounder, volume backscattering strength (SV) and fish per cubic meter (FPCM) of darkbanded rockfish around the model artificial reef in a water tank were measured. Moreover, behavior of fish was observed in an adjacent artificial reef, which was constructed at Tongyeong marine ranching area. Following that, an acoustics survey was conducted at Mirukdo around the Tongyeong marine ranching area, in order to understand the spatial distribution and strength of fisheries resources. Very high patches of fish were found in a wide area around the artificial reef. It is thought that an approaching fish school around the artificial reef can be measured accurately by using an echo sounder of high resolution. Moreover, use of other monitoring methods like of diving or ROV simultaneous with an echo sounder is required in order to grasp the species and ecology of fish inhabiting the area around the artificial reef.

Key words: Marine ranching area, Artificial reef, Acoustic survey, Volume backscattering strength, Fish per cubic meter

#### 서론

인공어초 주변에 군집된 어업생물의 종류나 생태습성을 파악하기 위한 방법은 전통적으로 어획, 잠수 및 카메라와 어군탐지기 등을 탑재한 원격무인잠수정 (ROV)에 의한 방법이 이용되어 왔다. 그러나, 이러한 방법은 해양환경이나 어류의 개체를 구별하기 어렵기 때문에 제약을 받고 있다 (Fabi and Sala, 2002). 예를 들면, 잠수에 의한 관찰은 해수의 투명도가 3 m 이상에서 급격하게 떨어져 (Demartini et al., 1989) 잠수 깊이나 시간에 많은 제약을 받아 연속적으로 정량적인 데이터를 얻기가 어렵다. ROV에 의한 계측은 정점에서의 연속적인 조사가 가능하며 어종판별도 용이하나, 프로펠러에 의한 소음 등으로 어업생물의 도피행동을 유발시켜 자연상태에서 생태습성을 파악하는 것이 쉽지 않고, 어류의 위치나 자세 등 3차원적인 정보를 얻을 수 없기 때문에 어체장, 어군밀도, 유영속도 등을 구하는 것이 곤란하다 (Akamatsu et al., 2003). 또한, 인공어초와 같은 해양구조물의 내부 및 아래에 서식하는 어업생물은 음향조사에서 탐지될 가능성이 매우 적기 때문에 분포강도가 낮게 나타나 어군량의 과소평가 또는 더나가 어군량 추정 자체가 어렵게 된다 (Fabi and Sala, 2002).

이러한 결점을 보완하기 위하여 최근 인공어초 주변에 어군

탐지기를 고정하여 어초에 군집하는 어류의 개체 조사를 실시하고 있다. Akamatsu et al. (2003)은 고해상도의 디지털카메라와 소형어군탐지기를 수심 60-100 m에 투하되어 있는 고층어초에 고정 설치하여 어체장, 어업생물의 분포밀도 등을 계측하였고, Fabi and Sala (2002)는 12 m의 수심에 설치되어 있는 인공어초군에 복수의 어군탐지기를 고정 설치하여 어업생물의 일주운동과 분포밀도를 계측하였다. 또한, Thorne et al. (1989)는 하나의 진동자를 인공어초의 내부에 진동면이 수면을 향하도록 고정 설치하고, 다른 하나의 진동자를 인공어초에서 약 100 m 떨어진 소형보트에 진동면이 해저를 향하도록 설치하여, 인공어초 주변에서의 어업생물의 행동 및 분포밀도를 계측하였다.

일반적으로 어군탐지기를 이용한 음향조사는 조사선박에 장비를 장착한 후에 일정한 조사선을 따라 항주하며 데이터를 수집하고, 후처리하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이 방법은 단시간에 넓은 수역에서 어업생물의 밀도 등을 정량적으로 얻을 수 있는 장점이 있으나, 어업생물의 종류를 판별하는 것이 어렵고, 어느 한 시기만의 현상을 나타내는 단점이 있다. 따라서, 연안역의 일정한 해역이나 해양구조물과 같이 고정된 시설물에 서식하는 어업생물의 분포 및 밀도 추정은 어군탐지기를 관측해역에 고정 설치하여 연속적으로 관측하는 것이 효율성 및 자료의 신뢰도 측면에서 이점이 있다 (Stanley and

\*Corresponding author: djhwang@yosu.ac.kr

Wilson, 1996). 즉, 어군탐지기를 해지면 혹은 해수 중의 부이에 설치하거나 혹은 해양구조물에 어군탐지기를 수평, 수직으로 배열하여 일정한 주기로 어군탐지기를 작동시켜 공간 및 수직적인 음향자료를 수집, 분석하는 것이다.

본 연구는 인공어초 주변에서 어업생물의 분포 및 밀도를 효율적으로 탐지할 수 있는 방법을 고안하여 우선 모형인공어초를 설치한 수조와 바다목장해역에 설치된 인공어초 부근에서 어군의 행동생태를 조사하였다. 또한, 바다목장해역에서 음향을 이용한 어업생물의 주요 분포 위치와 분포 밀도를 조사하여 인공어초의 효과에 대해서도 검토하였다.

**재료 및 방법**

**수조에서의 실험장치 및 방법**

인공어초 부근에서 어업생물의 행동생태를 알아보기 위한 기초실험은 해수전용 수조 (L5×D5×H5 m)에서 실시하였으며, 실험모식도는 Fig. 1과 같다. 플라스틱 파이프를 이용하여 L1×D1×H1 m로 제작한 모형인공어초 주변에서 어류의 분포 및 밀도를 계측하기 위하여 모형인공어초의 정면에 듀얼빔 방식 계량어군탐지기 (DT-5000, BioSonics)의 진동자를 수평 방향으로 설치하였다. 또한, 어류의 행동생태를 3차원적으로 모니터링하기 위하여 진동자와 평행하게 진동자의 빔폭에 영향을 주지 않는 위치와 모형인공어초의 측방향에 수중카메라를 설치하였다. 모형인공어초는 진동자의 맞은편 빔 내에 진동자와의 거리를 최대한 멀리하여 수조벽의 정중앙에 2층, 양쪽에 단층으로 하여 설치하였다.

실험 어종은 전장이 대략 15-25 cm, 체중이 대략 200-300 g의 볼락 (*Sebastes inermis*)을 인근 양식장에서 구입하여 저장

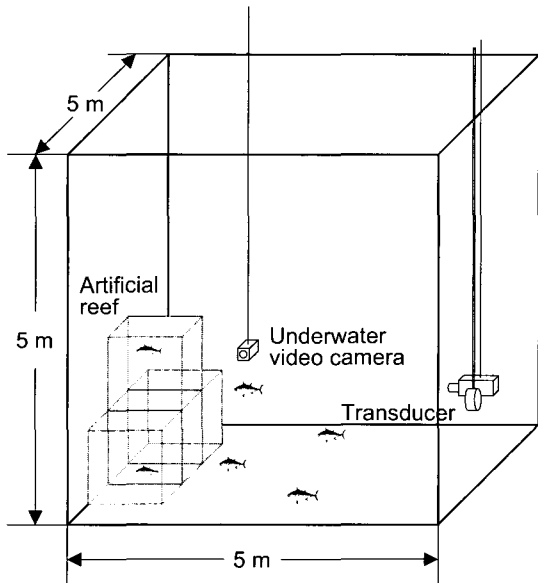


Fig. 1. Schematic diagram of an experimental set-up by using echo sounder and underwater video camera system in the water tank.

수조에서 적응시킨 후 사용하였다. 볼락을 방류하기 전에 배경잡음과 반사강도 분포밀도를 알고있는 황동제 고정구 (copper sphere)를 이용하여 측정시스템의 송수신 감도를 측정하였다. 그 후 볼락을 10마리, 20마리, 40마리, 100마리씩 증가시켜 가면서 볼락의 밀도변화에 따른 체적후방산란강도 (volume backscattering strength: SV)와 평균분포밀도 (fish per cubic meter: FPCM)를 계측하였다. 특히, 모형인공어초 주변에서 볼락의 주야간 생태습성 변화를 관찰하기 위하여 100마리에 대해서 24시간 연속 계측을 실시하였다.

계측시스템 (Fig. 2)은 SV와 FPCM을 계측하기 위한 음향계측부와 어업생물의 행동을 모니터링하기 위한 화상계측부로 구분하였다. 음향계측부에는 200 kHz 듀얼빔 방식 진동자 (DT4-200-06-01, BioSonics), 송수신기 및 지시기, 신호처리기 (notebook computer, IBM), GPS (GP-50, FURUNO)로 구성하였으며, 송수신부에서 GPS 데이터 및 SV, FPCM 등의 데이터를 RS-232C 인터페이스를 통하여 연속적으로 컴퓨터 하드디스크에 수록하였다. 수조에서 수록한 데이터는 오프라인으로 실험실에서 재생하여 에코데이터 분석 소프트웨어 (echoview 3.00, SonarData)를 이용하여 처리하였다. 화상계측부는 수중 카메라, 모니터, 비디오 카세트레코더로 구성하였다. 음향데이터는 녹화된 영상과 비교하여 분석하였다.

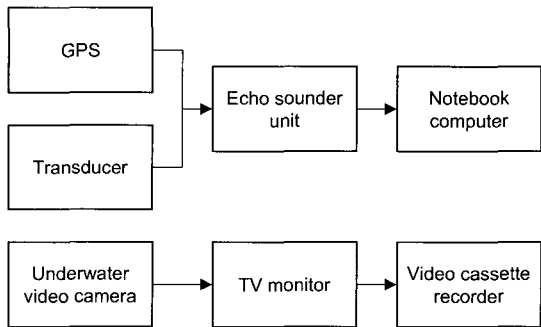


Fig. 2. Block diagram of the system used in the experiment.

어군의 에코에 대해 거리향을 보정하여 출력한 전압 (E)는

$$E^2 = K^2 s_v$$

$$K^2 = (K_T G_T)^2 \psi \left( \frac{c\tau}{2} \right)$$

$$s_v = n T_s$$

$$K_T = PMG$$

가 된다 (Furusawa et al., 1993). 여기서 K는 군체 에코의 계수, s<sub>v</sub>는 체적후방산란강도의 선형치, K<sub>T</sub>는 송파음압 (P), 수파감도 (M), 증폭기의 이득 (G)에 의해 정해지는 송수신계수, G<sub>T</sub>는 20 log r의 TVG (time varied gain) 보정계수, ψ는 등가지향각, c는 음속, τ는 펄스폭, n은 어군의 분포밀도, T<sub>s</sub>는 TS (target strength)의 선형치이다. 따라서 T<sub>s</sub>를 알고 있다면, E를 계측하여 K를 보정함으로써 어군의 분포밀도 n을 구할 수 있다. (1)식으로부터 어군 에코전압 E에 수직방향 및 수평방향에

대한 평균치리를 하여 평균체적후방산란강도  $\langle s_v \rangle$ 를 구하면,

$$\langle s_v \rangle = \frac{1}{K^2} \frac{1}{r_w} \int_r^{r+r_w} \left( \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E^2 \right) dr$$

이 된다. 여기서, 집합평균 횡수는  $m$ , 적분층은  $r$ 에서  $r+r_w$ 로 하였으며, 이때 어군탐지기에 사용된 파라미터값은 Table 1과 같다.

**바다목장 해역에서 음향 관측**

현재까지 통영 미루도 부근을 중심으로 바다목장해역에 시설된 인공어초의 분포 위치는 Fig. 3과 같으며 (MOMAF, 2003), 어군탐지기를 이용하여 바다목장해역에 설치된 인공어초 상부의 한 고정점에서 어군의 행동상태 조사와 바다목장해역에서 어업생물의 주요 분포 위치와 분포 밀도를 조사하여 인공어초의 효과를 검토하였다.

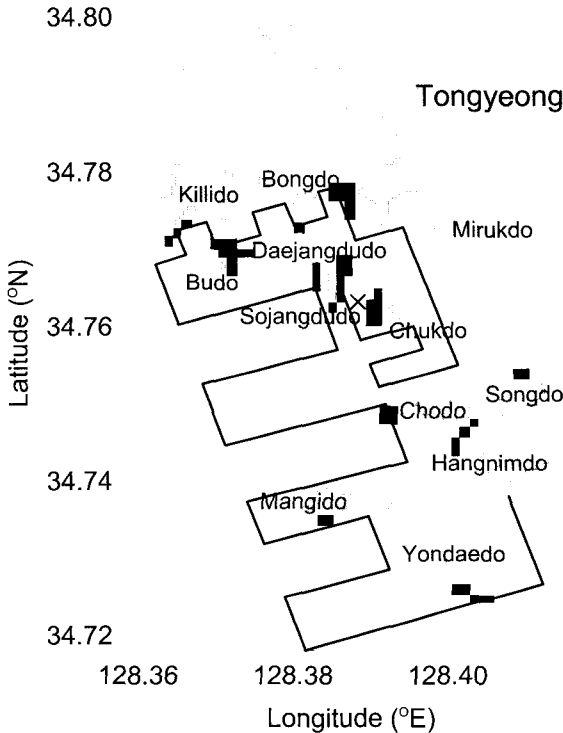


Fig. 3. Survey line and location of artificial reefs at the Tongyeong marine ranching area.

계측시스템은 Fig. 2의 음향계측부만을 이용하였으며, 수집한 데이터는 에코데이터 분석 소프트웨어 (echoview 3.00, SonarData)을 이용하여 처리하였다. 이 때, 어군탐지기에 설정한 파라미터 값은 펄스반복주기 (pulse rate)를 1 pps로 설정한 것 이외에는 Table 1과 같다.

인공어초에서 어군의 행동상태 조사에는 소장두도와 측도 사이에 위치한 어초 (34°45.792'N, 128°23.306'E)를 사용하였으며, 조사선박이 조류에 떠밀리지 않도록 닻으로 고정하고 어군탐지기의 진동면이 해저를 향하도록 하여 일몰 전후에

Table 1. System parameters of the quantitative echo sounder (DT-5000) used in the experiment

Items	Parameters
Beam type	dual beam
Frequency (kHz)	200
Source level (dB)	224.3
Receive sensitivity (dB)	-54.4
TVG	20 log r
Beam pattern factor (sr)	0.001163
Beam width (deg)	6.5 × 14.5
Pulse rate (pps)	0.5
Pulse width (ms)	0.4
Absorption coefficient (dB/m)	0.004528
Salinity (psu)	29.4
Water temperature (°C)	24
Threshold (dB)	-70
Noise floor (dB)	-143.3

실시하였다.

바다목장에서 어업생물의 주요 분포 위치 및 분포 밀도는 인공어초의 설치해역 거의 전체를 탐지할 수 있도록 미리 설정한 조사정선 (survey line)을 따라 하계 (2003년 6월)에 어군탐지기를 이용하여 조사하였다. 어군탐지기의 진동자는 조사선박의 중앙 현측에 지지대를 이용하여 수심 1 m 되는 곳에 고정하였다. 조사선박의 선속은 사용 주파수가 고주파이고 진동자의 수심이 얇아 해수와 진동면이 마찰에 의해 발생하는 공기방울의 영향이 있을 수 있으므로 이를 최소화하기 위하여 6-8 knot로 일정하게 유지하였다. 또한, 조사선박에 의한 진동 및 전원잡음을 제거하기 위하여 조사선박과 분리된 자체 전원 (배터리)을 이용하여 데이터를 수집하였다.

수신된 음향 자료는 표층 부근에서 발생하는 캐비테이션 잡음, 공기방울 잡음과 중층에서의 전원 잡음, 저층에 설치된 해양구조물의 신호 등 모든 잡음을 에코그램에서 제거하여 어류에 의한 신호만을 추출하였다.

**결 과**

**수조에 설치된 모형인공어초에서 어군의 행동**

실험 기간 중 불락을 10마리, 20마리, 40마리 증가시켜 가며 방류하여 30분씩 계측을 하였다. 불락은 어군탐지기의 빔측에서 벗어난 수조내의 그늘진 부분에서 거의 움직이지 않는 경우가 많았으며, 간헐적으로 빔측에 들어오는 개체를 관찰할 수 있었다. 따라서, 수조에서 불락의 방류미수에 따른 체적후방산란강도와 단위체적당 평균분포밀도의 계산은 제외하였다.

Fig. 4은 불락 100마리에 대해 24시간 연속 계측하여 시간변화에 따른 체적후방산란강도 (SV)와 단위체적당 평균분포밀도 (FPCM)를 나타내었다. 가로축은 시간으로 아침 10:00부터 다음날 아침 10:00까지 계측하였으며, 이날 일몰시간은 19:23, 일출시간은 05:46이었다. 수집된 데이터는 적분주기 30분, 적분폭 전층의 적분으로 처리하였다. 전층의 적분폭은 표층에서 어초 내부를 제외한 최초로 반사된 어초까지의 층을 이용하였

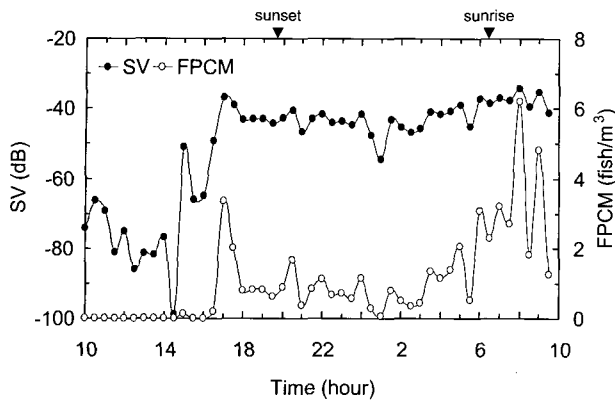


Fig. 4. Volume backscattering strength (SV) and fish per cubic meter (FPCM) of darkbanded rockfish (*Sebastes inermis*) as a function of time in the water tank.

다. FPCM의 계산에 이용한 TS값은 -42.2 dB의 가정치를 이용하였다. 일몰 2시간 전까지는 볼락이 수조바닥, 수조벽 및 어초내의 그늘진 곳에 은폐하여 어군탐지기로는 관측되지 않았으나, 일몰 2시간 전부터 조도가 약해짐에 따라 어군이 약간 부상하면서 활동 범위도 넓어졌으며 이후 어군탐지기에 연속적으로 관측되었다. 일출 2시간 전부터는 어군의 행동이 조금 더 활발해졌으며 이날은 강한 비가 내려 수조 전체가 그늘이 드리워져 있었기 때문에 그늘을 찾아 은폐하는 경향은 보이지는 않았다.

어군탐지기의 에코그램의 분석과 함께 모형인공어초의 정면과 측면에 설치한 카메라로부터의 비디오 영상도 관찰하였다 (Fig. 5). 주간에는 볼락은 주로 수조바닥, 수조벽 및 어초내의 그늘진 곳에 은폐하여 있었으나, 일몰 2시간 전부터는 약간 부상하면서 활동 범위도 넓어졌음을 관찰할 수 있었다. 일몰 5분전부터 조도가 극히 미약하여 수조내의 모니터링을 중단하였으며, 다음날 일출 50분 후 모니터링을 다시 실시한 결과 어군의 행동은 더욱 활동적이었다.

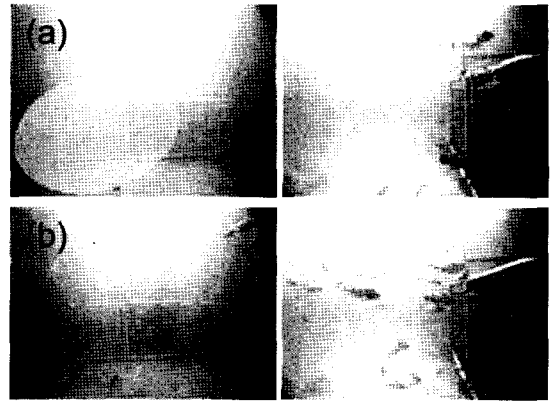


Fig. 5. Photograph showing the behavior of fish at front (left) and side (right) of artificial reef for 4:14:00 p.m. (a) and 5:04:00 p.m. (b)

음향계측부로부터의 계속한 SV와 FPCM, 화상계측부로부터의 어류행동 모니터링 데이터에서 볼락은 대략적으로 일출물 2시간 전부터 활동을 개시하는 것으로 추정할 수 있었다.

바다목장 해역에 설치된 인공어초에서 어군의 행동

Fig. 6는 통영의 바다목장해역에 설치된 인공어초 위에서 시간변화에 따른 어군행동의 결과를 나타낸 에코그램이다. 계측 초기에 인공어초 위에 고정되었던 선박은 조류에 떠밀려 완벽하게 어초 위에서 조사는 하지 못하였으나 어군의 습성을 관찰할 수 있었다. Fig. 6에서 수심은 22 m이며, 계측 초기의 반사강도로부터 인공어초의 높이는 약 10 m 정도이었으며, 2001년도에 축도 부근에 설치한 L14×D14×H10 m의 이단 강제어초로 추정할 수 있었다 (MOMAF, 2003). 관찰은 17:00부터 19:50까지 약 3시간에 걸쳐 실시하였으며, 일몰시간은 18:58이었다. 어군은 일몰 2시간 전부터 부상하기 시작하였으며, 일몰 30분전부터 어초에서 분리되는 것을 알 수 있었다.

인공어초 주변의 자원분포

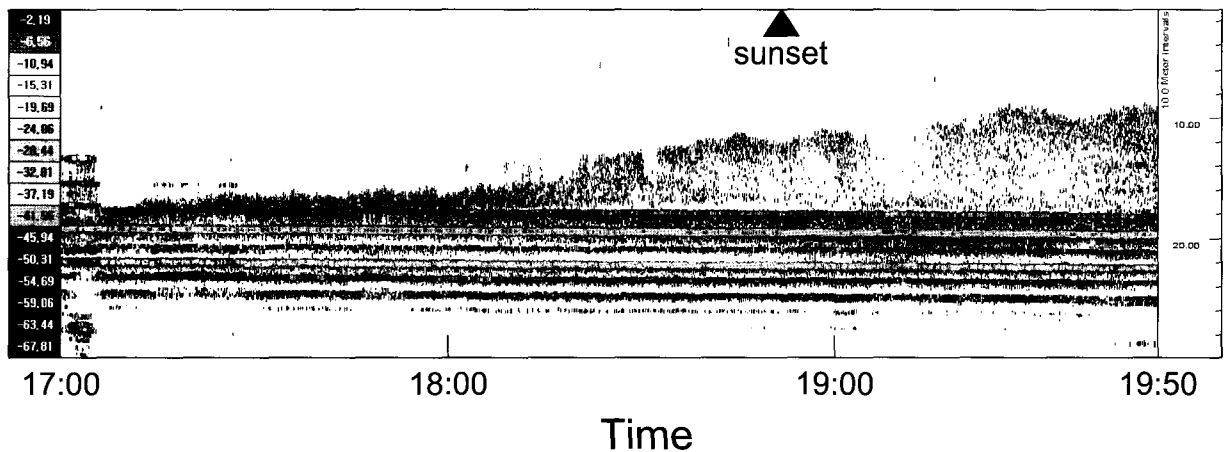


Fig. 6. Behavior pattern of fish school in the adjacent artificial reef constructed at the Tongyeong marine ranching area.

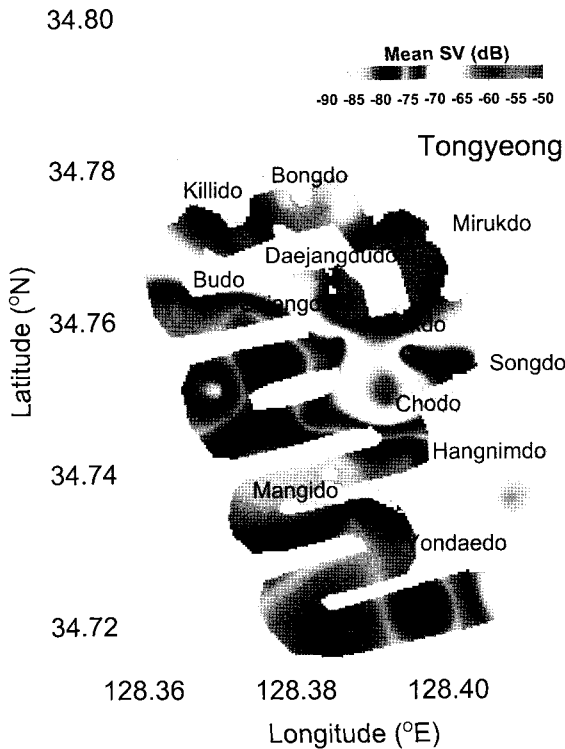


Fig. 7. Horizontal distribution of the volume backscattering strength (SV) during the summer survey at the Tongyeong marine ranching area.

Fig. 7은 조사정선을 따라 얻어진 에코 데이터를 조사위치 (GPS의 경도와 위도)에 따라 작도한 어군의 체적후방산란강도 (SV)의 수평분포도이다. 조사선박은 정밀하게 조사정선을 따라 항주 할 수 없었지만 대체로 처음 계획하였던 조사정선과 일치하였다. Fig. 7에서 추출된 에코그램은 적분주기를 5마일, 적분폭을 표층 3 m에서 저층까지로 하여 SV를 구하였다.

고밀도 어군은 곤리도의 남쪽 수역과 대장두도, 소장두도, 축도의 주변 수역, 저도의 서쪽 수역, 연대도의 동쪽 수역에 분포하고 있었다. 특히, 곤리도 남쪽, 대장두도, 소장두도, 축도의 주변수역은 대단히 높은 밀도로 어군이 분포하고 있었으며, 그 때, SV는 -65 dB - -55 dB로 나타났다. 저밀도 어군은 만지도의 북서 수역으로 외해의 영향을 가장 많이 받는 곳에서 관측되었다. 고밀도 어군이 분포한 수역에는 어초가 집중적으로 부설되어 있었으며, 저밀도 어군이 분포한 수역에는 어초가 부설되지 않아 어업생물들은 어초에 큰 반응을 보이는 것으로 판단된다.

**고 찰**

인공어초 주변에서 어군의 행동으로 어업생물의 행동상태에 인공어초의 효과가 크다는 것을 확인할 수 있었으며, 인공어초에서 어군의 생태습성과 어군량을 파악하는데 어군탐지기에 의한 조사가 효율적인 방법임을 판단할 수 있었다. 그러

나, 어군의 양을 정량적으로 계측하기에는 아직 많은 문제점이 있다.

먼저 TS 등의 정량적 평가에 대한 문제로 인한 어군탐지기의 설치방향 문제를 생각할 수 있다. 어초내의 어군량 등을 추정하기 위해서는 어군탐지기의 진동자를 수평방향으로 설치하는 것이 바람직하나, 어군의 수평방향 TS는 자세변화에 따른 변화가 크기 때문에 정량적으로 어군량을 추정하기 어렵다 (Furusawa, 1995). 따라서, 어업생물의 TS 등 어종별 생태습성에 관한 기초연구가 병행되어 연구되어야 하며, 콘크리트 블록어초나 조립식 어초, 타이어 어초나 폐업 어선 어초 등 각 어초의 특성에 맞는 모니터링 시스템의 개발이 요구된다.

다음은 어초 부근만을 집중적으로 관측할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다. 탐지범위, 탐지거리, 수명 등을 종합적으로 고려하여 시스템을 고도화할 수 있을 것이다.

마지막으로 인공어초 내에서 서식하거나 거의 어초 주변에 붙어서 서식하는 어업생물에 대해서는 어군탐지기만을 이용하는 경우 어종판별이 곤란하므로 시·광학적 방법과 같은 별도의 모니터링 방법과 병행하는 하이브리드 모니터링 시스템의 개발에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

바다목장 해역에서 어업생물 자원의 분포 위치 및 분포 밀도 등을 파악하는데 어군탐지기의 기술이 중요한 분야로 활용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나, 어업생물의 종류나 생태습성을 파악하기 위해서는 어군탐지기에 의한 조사와 동시에 샘플링기구에 의한 직접적인 채집이 이루어져야 할 것이며, 같은 해역의 생태학적 환경요소로서 동식물 플랑크톤의 분포 특성도 파악할 필요성이 있을 것이다.

본 연구에서는 조사선박의 규모가 작고, 장비의 지원이 어려워 200 kHz 단일주파수만을 사용하여 데이터를 수집하였다. 일반적으로 어군탐지기는 38 kHz, 120 kHz, 200 kHz 등 다주파수를 이용하여 데이터를 수집할 경우, 대상생물의 크기에 따라 주파수특성을 가지고 있다. 예를 들면 어류의 경우는 38 kHz에서 잘 반사되어 나타나고, 동물 플랑크톤의 경우는 120 kHz나 200 kHz의 주파수에서 잘 반사되어 나타난다. 이러한 물리적 특성을 고려한 어군탐지기 조사가 선행되어야 한다고 생각한다. 또한, 계량어군탐지기에 의한 음향조사와 더불어 잠수 및 ROV를 이용한 시·광학적 조사방법을 병행하여, 같은 해역에서의 어업생물 자원의 분포를 정량적으로 파악할 필요가 있을 것이다.

**사 사**

본 연구는 해양수산부 “통영 바다목장화 개발 연구 용역 사업” 과제의 연구비로 수행되었다.

**참 고 문 헌**

Akamatsu, T., H. Takahashi and A. Matsuda. 2003. A monitoring system for the aggregated fish group by an acoustic-visual combined method. Scientist, 4,

- 18-26. (in Japanese)
- Demartini, E.E., D.A. Roberts and T.W. Anderson. 1989. Contrasting patterns of fish density and abundance at an artificial rock reef and a cobble-bottom kelp forest. *Bull. Mar. Sci.*, 44, 881-892.
- 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.
- Furusawa, M. 1995. Acoustic technique for fisheries resources surveys: Measurement methods and quantitative echo sounders. *J. Mar. Acoust. Soc. Japan*, 22, 14-23. (in Japanese)
- Furusawa, M., Y. Takao, K. Sawada, T. Okubo and K. Yamatani. 1993. Versatile echo sounding system using dual beam. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 967-980.
- MOMAF. 2003. Studies on development of marine ranching program in Tongyeong, Korea, pp. 526-583. (in Korean)
- Stanley, D.R. and C.A. Wilson. 1996. Abundance of fishes associated with a petroleum platform as measured with dual-beam hydroacoustics. *ICES J. Mar. Sci.*, 53, 473-475.
- Thorne, R.E., J.B. Hedgepeth and J. Campos. 1989. Hydroacoustic observations of fish abundance and behavior around an artificial reef in Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.*, 44, 1058-1064.

---

2004년 4월 2일 접수  
2004년 6월 23일 수리