수영만 인공어초 해역에서 소너에 의한 어군의 유영행동 추적

이대재*

부경대학교 해양생산시스템관리학부

Acoustic Tracking of Fish Movements in an Artificial Reef Area Using a Split-beam Echo Sounder, Side-scan and Imaging Sonars at Suyeong Man, Busan, Korea

Dae-Jae Lee*

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

The movement patterns of fish aggregations swimming freely near artificial reefs on August 24, 2006, at Suyeong Man, Busan, Korea, were acoustically investigated and analyzed. Acoustic surveys were conducted using a 70kHz split-beam echo sounder, 330 kHz side-scan sonar and a 310 kHz imaging sonar. Algorithms for tracking the movement of fish aggregations swimming in response to artificial reefs were developed. The travel direction and the swimming speed for two aggregations of fish were estimated from the trajectory orientations of echo responses recorded by the imaging sonar. The first group was floating just above the reef structure, while remaining in the midwater column, and the second group was swimming through and around artificial reefs near the seabed. The mean swimming speed was estimated to be 0.40 m/s for the midwater fish aggregation and 0.17 m/s for the bottom aggregation close to artificial reefs. These results suggest that the swimming behavior of fish aggregations passing close to artificial reefs near the seabed displayed a slower moving pattern than fish floating just above the reef structure in the midwater column.

Key words: Artificial reefs, Acoustic tracking, Split-beam echo sounder, Side-scan sonar, Imaging sonar

서 론

현재 우리나라에서는 연안해역에 시설된 각종 인공어초에 대한 실태를 정량적으로 평가, 분석하기 위해 시설해역에 잠수부, 수중 CCTV 카메라 등을 투입하여 어초의 시설상태를 직접 관찰하거나, 또는 side scan sonar나 multi-beam sonar 등을 활용하여 어초의 존재위치, 분포형태, 매몰 및 유실상태 등을 조사하는 방법이 널리 이용되고 있다(NFRDI, 2006; NFRDI, 2007). 또한, 이들 인공 어초에 대한 자원조성효과는 각종 어구를 사용하여 어초의 음영구역 및 그 주변에 서식하는 어업생물을 직접 샘플링하거나 수중 CCTV 카메라 등을 이용하여 어초주변에 서식하는 어업생물을 수중 관찰하는 방법 등이 주로 이용되고 있다(Lee, 2011). 일반적으로 수중 카메라나 잠수부에 의한 수중관찰은 패류의 먹이 생물이 되는 해조류의 부착상태 및 어류의 은신처가 되는 해중림의 형성여부 등을 직접 파악할 수 있어 어류가 어초 내부

의 음영공간에 군집, 서식하는 습성특성을 파악하는 데 매우 유효한 수단이 된다(BOBP, 1994). 특히, 인공어초가 시설된 어장을 대상으로 자원조성효과를 조사할 때, 원래 어초가 투하된 위치와 실제 존재하는 위치가 서로 다른 경우가 많고, 또한, 침하 및 매몰된 어초가 다수 발견되고 있는 바, 향후 인공어초 시설해역의 적지선정에 대한 체계적 연구가 절실히 요구되고 있다. 또한, 인공어초의 구조물은 그 자체로서 음영구역, 해수의 유동효과, 도피영역을 제공하기 때문에 어초 내부 및 그 주위에 서식, 분포하는 대부분의 어류는 어초에 대하여 어떤 정위행동을 나타낸다.

본 연구에서는 이와 같은 어류의 행동습성에 주목하여 부산광역시에서 조성한 어초어장 중에서 주로 부산 남구해역에 시설된 어초를 대상으로 side scan sonar, imaging sonar 및 split beam echo sounder 등을 사용하여 인공어초 주변에 분포하는 저층 및 중층 어군에 대한 유영행동패턴을 정량적으로 조사, 분석하였다.

Article history;

Received 4 February 2013; Revised 3 June 2013; Accepted 11 June 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5889 Fax: +82. 51. 629. 5885

E-mail address: daejael@pknu.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(3) 273-281, June 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0273>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science. All rights reserved

Fig. 1. Locations of artificial reefs (●) installed at Suyeong Man, Busan, and an artificial reef site (a, 35° 06.656' N, 129° 08.492' E) surveyed in this study.

재료 및 방법

본 연구의 조사해역은 부산광역시가 1989년에 수심 약 25 m의 남구 연안 해역에 콘크리트제 사각형어초를 집중 시설한 수역으로서, 시설 당시 이 해역에 투하된 어초의 배치도 및 조사 대상 어초의 위치는 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 a 수역에 투하된 사각어초의 크기는 L2 m × W2 m × H2 m이고, 그 투하된어초의 수는 100개로서, 시설 당시의 어초 높이는 약 2.3 m이었다 (NFRDI, 2006; NFRDI, 2007). 본 연구에서는 Fig. 1의 a 수역에서 소형 어선(해운호, 6톤)을 임대하여 어초 주위에 근접하여 유영하는 어군과 어초 상층부에서 유영하는 어군을 대상으로 side scan sonar, imaging sonar 및 split beam echo sounder로부터의 각종 정보를 note book PC에 실시간으로 동시에 수록하고, 이들 정보를 상호 연관시켜 어군의 유영행동패턴을 정량적으로 분석, 고찰하였다.

Side scan sonar에 의한 인공어초 조사

본 연구에서 사용한 side scan sonar (sportscan, Imagenex, USA)의 작동 주파수는 330 kHz이고, towing body의 양측에 부착된 송·수파기의 -3 dB 점에 대한 수평 및 수직 지향각은 각각 1.8°, 60°이었다. 이들 좌현 및 우현측의 side scan 송·수파기의 수면에 대한 경사각은 약 20°이다. side scan sonar에서 발사되는 송신펄스신호의 폭은 100 μs 이고, towing body의 예상 수심 및 예상속력은 각각 약 5 m 및 약 2 knot 이었다. 현장에서는 note book PC에 설치된 WIN881SS window program을 이용하여 RS-232C serial interface를 통해 115.2 kbps로써 side scan sonar를 제어하면서 초음파의 송신 및 수신 파라미터 설정, echogram 표시, data 수록 및 재생 등을 행하였는데, 이 때, 조사선의 위치정보는 DGPS에서 출력되는 \$GPGLL, \$GPGGA의 NMEA0183 sentence를 side scan의 RS-232C port에 입력하여 echogram과 동시에 수록하였다. 후일 이들 split beam echo sounder와 imaging sonar 영상정보를 동시에 재생하여 유

영행동 등을 분석, 고찰하였다.

Split beam echo sounder에 의한 어군의 분포 및 음향산란강도 측정

조사대상 어초 주변에서 유영하는 어군의 분포패턴 및 현장 TS (target strength) 측정은 split beam echo sounder (ES60, Simrad, Norway)를 사용하여 수행하였다. 현장 조사는 Fig. 2에서와 같이 송·수파기를 조사선의 좌현 현측 깊이 약 1 m의 수심에 고정한 후, 조사선의 속력을 약 2 knot로 유지하면서 수행하였고, 동시에 echogram은 외장 harddisk에 실시간으로 수록하였다. 본 실험에 사용한 70 kHz split beam 송·수파기(ES 70-11, SIMRAD, Norway)의 -3 dB에 대한 빔 폭은 11°이고, 펄스 폭은 0.25 ms이다. 시스템의 교정은 직경 32.1 mm의 표준구(copper sphere, TS= -39.1 dB)를 사용하여 행하였다. 또한, 현장에서는 note book PC에 설치된 ES60 window program를 이용하여 USB interface를 통해 GPT 시스템을 제어하면서 초음파의 송신 및 수신 파라미터 설정, echogram 표시, data 수록 및 재생 등을 행하였고, 위치정보는 DGPS에서 출력되는 NMEA0183 sentence를 이용하여 echogram과 함께 표시하였다. 인공어초 주변수역에 있어서 어군의 분포특성 및 분포밀도의 추정에는 ES60 split beam echo sounder로부터 출력되는 echo 신호를 연속적으로 수록한 후, 후일 실험실에서 echoview software (ver.3.3, Sonardata, Australia)를 이용하여 후방체적산란강도(volume backscattering strength, 이하 SV라 함)를 산출하였다.

Imaging sonar에 의한 어군의 유영행동 추적

본 연구에서 사용한 imaging sonar (881A, Imagenex, USA)의 작동 주파수는 310 kHz이고, sonar head에 부착되어 있는 송·수파기의 -3 dB 점에 대한 수평 및 수직 지향각은 각각 4°, 40°이었다. 실험은 탐지거리 50 m, sonar beam의 sector 탐색범위 180°의 송신모드로 하여 수행하였다. 이 때, 초음파 빔이 수면하 180°의 sector를 선회하는 매 step 당의 각도는 2.4°/step (fastest mode)이고, 그 선회속도는 약 0.1 s/step이었다. Sonar head에 수신되는 echo 신호의 echogram은 1회의 송신 펄스에 대하여 각 500개의 echo data로서 구성되고, 그 이득은 25 dB로 설정하여 echo 신호를 수록하였다. Imaging sonar에서 발사되는 송신펄스신호의 폭은 300 μs, 흡수감쇠계수는 0.15 dB/m로 설정하였고, 어군행동의 추적은 조사선의 기관을 정지시킨 상태에서 sonar head를 수면하 약 2 m에 고정시킨 후 수행하였다. 현장에서는 note book PC에 설치된 WIN881A window program을 이용하여 RS-232C serial interface를 통해 side scan sonar head를 115.2 kbps로써 제어하면서 수행하였다. 또한, imaging sonar 시스템은 대형트럭 차량용 battery (DC 12 V, DF120R) 2개를 직렬로 연결하여 얻은 DC 24 V의 전원을 이용하여 구동하였다.

한편, 현장에서 조사선의 현측에 설치된 imaging sonar head에서 발사된 부채꼴 모양의 수평 빔에 의해 탐지된 어군 echo 영상, 좌표변환 및 신호처리 모식도는 Fig. 3과 같다. Fig. 3(a)의 imaging sonar 영상으로부터 어군의 이동궤적, 유영방향 및 유영속도 등을 정량적으로 추정하기 위한 영상 추적 알고리즘은 다음과 같다.

어군 영상의 중심좌표 추출

Fig. 3의 sonar 화면상에 표시되는 어군영상의 이동궤적을 실시간으로 추적하기 위해서는 먼저 어군 echo 신호에 대한 음향 산란의 중심좌표를 추출하여야 한다(Del Rio Vera et al., 2009; Tracey et al., 1996; Shuangzi et al., 2008). 그러나, 대부분의 경우, 어군의 군집특성이 시간에 따라 큰 변화를 나타내어 영상의 패턴 변화가 매우 불규칙한 관계로 본 연구에서는 Fig. 3(b)에서와 같이 극 좌표로 표시되는 영상 데이터 $S(r, \theta)$ 를 직각좌표의 영상 데이터 $S(i, j)$ 로 일단 변환 한 후, 이 x, y pixel좌표에 echo 진폭의 가중치를 부여하고, (1)식과 (2)식으로부터 어군 echo 신호의 중심좌표를 추출하였다.

$$X_j^i = \frac{\sum_{i=\alpha}^{\beta} (x_i \cdot s_i)}{\sum_{i=\alpha}^{\beta} s_i}, \quad M = \delta - \gamma \text{ --- (1)}$$

$$Y_i^j = \frac{\sum_{j=\gamma}^{\delta} (y_j \cdot s_j)}{\sum_{j=\gamma}^{\delta} s_j}, \quad N = \beta - \alpha \text{ --- (2)}$$

Fig. 2. Schematic diagram of the equipments for acquisition, storage, processing and analysis of acoustic data recorded on board the survey vessel.

Fig. 3. Schematic diagram showing the algorithm for tracking the movement of fish aggregation developed in this study. (a) sonar image in 180° sector mode, (b) polar to Cartesian image transform, (c) tracking of movement and creation of superimposed image.

여기서, x_i , s_i 는 각각 x축 방향에 대한 i번째 pixel의 좌표와 echo 진폭, y_j , s_j 는 각각 y축 방향에 대한 j번째 pixel의 좌표와 echo 진폭, α , β 는 각각 x축 방향에 대한 range gate의 시작점과 종료점의 pixel 번호, γ , δ 는 각각 y축 방향에 대한 range gate의 시작점과 종료점의 pixel 번호, N과 M은 각각 x축과 y축 방향에 대한 range gate의 pixel 수이다.

순간 유영속도의 추정

어군 echo 신호의 산란중심의 좌표가 검출되면, 이 어군 echo 신호의 좌표를 바탕으로 (3)식에 의해 어군의 유영속도를 추정할 수 있다.

$$V_i = \frac{\sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2}}{\Delta t} \text{ --- (3)}$$

여기서, V_i 는 i번째 어군 echo 신호의 이동속도, 좌표 X_i , Y_i 는 각각 i번째 어군 echo 신호의 x, y 좌표, 좌표 X_{i+1} , Y_{i+1} 는 각각 i+1 번째 어군 echo 신호의 x, y 좌표, Δt 는 i번째와 i+1 번째 어군 echo 신호의 시간 간격이다.

어군의 유영궤적 추적

본 연구에서는 (1)식과 (2)식을 이용하여 어군 echo 신호의 산란중심좌표를 먼저 추출한 후, 각각의 직각 좌표로 변환한 어군 영상 데이터 $S_k(i, j)$ 를 (4)식 및 Fig. 3(c)에서와 같이 서로 중첩시켜 합성 echo 신호 $E(i, j)$ 를 생성하고, 이들 중첩된 어군 echo 신호로부터 산출되는 산란중심의 위치 변화로부터 유영궤적을

$$E(i, j) = \sum_{j=\gamma}^{\delta} \sum_{i=\alpha}^{\beta} \{S_1(i, j) + S_2(i, j) + \dots + S_z(i, j)\} = \sum_{j=\gamma}^{\delta} \sum_{i=\alpha}^{\beta} \sum_{k=1}^z S_k(i, j) \text{ --- (4)}$$

추적하였다.

여기서, i, j 는 x, y 축에 대한 i 번째와 j 번째 pixel 좌표, $S_k(i, j)$ 는 imaging sonar에 의해 k 번째로 탐지된 어군 echo 영상, z 는 중첩된 어군 echo 영상의 수이다.

해저 echo 신호의 제거

인공어초 부근의 해저에 근접하여 분포하는 어군의 유영행동 패턴을 추적하기 위해서는 먼저 해저 echo 신호로부터 어군 echo 신호를 식별하여 분리할 필요가 있다. 이 때문에 본 연구에서는 (5)식을 이용하여 해저 부근의 $[r_1, r_2]$ 수심 구간에 어군이 존재하지 않을 때 수록한 평균 echo 신호를 기준 echo 신호 $E_r(i, j)$ 로 하고, 이 기준 echo 신호와 어군이 존재할 때의 탐지한 echo 신호 $E(i, j)$ 의 차이를 산출한 후, 그 echo 진폭의 차이가 미리 설정한 해저의 역치레벨 S_t 보다 작게 될 때, 이들 차 신호를 sonar 화면상에 표시하는 방법으로 해저 echo 신호를 소거하고, 이로부터 해저에 밀착, 분포하는 어군의 영상신호를 분리, 추출하였다.

$$[|E(i, j) - E_r(i, j)|] \frac{r_2}{r_1} < S_t \text{ --- (5)}$$

어획조사

본 연구에서는 어초 부근에서 음향학적으로 탐지한 어업생물의 어종조성을 파악하기 위해 용호 및 민락 어촌계 어민들이 조사대상 어초부근에서 어획한 어업생물을 선박에 직접 승선하여 분석, 고찰하였다.

결과 및 고찰

어군의 분포 및 유영행동 추적

어업생물이 인공어초를 지속적인 서식공간으로 활용할 때, 그

Fig. 4. Side-scan video images for artificial reefs recorded at the survey site of the location of Fig. 1(a) on August 24, 2006. The image was recorded at a range of 90 m with a gain of 20 dB.

어초는 자원조성의 기능을 발휘하고 있다고 평가할 수 있지만, 어류가 어느 정도 체류하는가에 대한 활용도를 평가하는 데에는 많은 어려움이 있다(Trevorrow, 2001). 본 연구에서는 인공어초 해역에 내유하여 어초 구조물 주위를 유영하는 어군의 유영행동습성을 정량적으로 평가하기 위한 방법의 하나로 side scan sonar와 split beam echo sounder의 정보를 상호 관련시켜 어군 행동을 모니터링하였는데, 그 결과의 일례는 Fig. 4 및 Fig. 5와 같다. Fig. 4는 인공어초에 내유하는 어군의 유영행동 패턴을 조사하기에 앞서 먼저 side scan sonar를 사용하여 미리 설정된 연구대상 인공어초 구조물을 정밀 탐색한 결과이다. 또한, Fig. 5는 Fig. 4의 어초 주변에 부이(maker buoy)를 설치하고, 이 부이 주위를 표류하거나 항주하면서 인공어초에 어군이 내유할 때, ES60 split beam echo sounder를 사용하여 모니터링 한 결과이다. 즉, Fig. 4는 2006년 8월 24일 오전 10시 43분에 조사정점 $35^{\circ} 06.656' N$, $129^{\circ} 08.492' E$ 부근을 항주하면서 수록한 side scan sonar의 해저기록 영상이고, Fig. 5는 Fig. 4에서 탐지한 인공어초에 내유하는 어군에 대한 ES 60 split beam echo sounder의 echogram이다. Fig. 4의 side scan sonar 기록은 탐지거리와 수신이득을 각각 90 m, 20 dB로 설정한 후, 송·수파기를 2.5 knot로 예항하면서 수록한 것이다. 또한, Fig. 5의 echogram은 조사선이 Fig. 1과 Fig. 4에 나타난 인공어초 a의 바로 상층부 해면상을 10시 45분 (a)과 15시 30분 (b)에 속력 약

Fig. 5. Echograms of split-beam echo sounder recorded at the artificial reef site of the location of Fig. 1(a) on 24 August, 2006. (a) with a midwater fish aggregation hovering just above artificial reefs at 10:54. (b) with bottom fish aggregations swimming through and around artificial reefs at 15:30.

2.5 knot로 각각 항주하면서 수록한 것이다. 여기서 어군 echo 신호를 서로 다른 시간대에 수록한 이유는 본 연구를 계획할 당시에는 인공어초에 내유하여 체류하는 어군의 군집패턴을 여러 형태로 구분하여 이들 각각의 체류 패턴에 따른 유영행동을 연구할 예정이었다. 그러나, 실제에는 조업어선의 접근에 따른 실험상황의 변화와 내유어군의 체류지속시간, 기타 해황에 따른 선체의 동요 등에 기인하여 본 연구에서는 Fig. 5의 a와 b에서와 같이 두 개의 군집 패턴, 즉 인공어초 바로 상부에 체류하면서 유영하는 어군과 인공어초에 매우 근접하여 유영하는 어군에 대해서만 정량적인 음향 데이터를 수집할 수 있었기 때문이다.

특히, Fig. 4에 수록된 인공어초는 부산시가 1989년도에 $35^{\circ} 06.617' N$, $129^{\circ} 08.541' E$ 위치의 $12.05 m \times 31.30 m$ 해역에 사각형 인공어초 100개를 집중적으로 투하하여 조성한 높이 약 2.3 m의 시설이다. Fig. 4에는 이 인공어초 구조물의 입체적인 형상패턴을 보다 상세하게 분석하기 위해 정밀 side scan sonar (S-150, (주)씨스캔, 한국)을 사용하여 400 kHz의 주파수에서 수록한 해저기록영상도 함께 나타내었는데, 이 시스템에서 사용한 송·수파기의 -3 dB 점에 대한 수평 및 수직 지향각은 각각 0.5° , 50° 이었다. 이 인공어초 시설해역의 저질은 mud shells 이었고, Fig. 4의 정밀 side scan sonar 영상기록에서 사각 어초 구조물의 산적 형태가 매우 선명하게 나타나고 있는 상황으로 보아 이 어초시설은 비교적 잘 유지되고 있는 것으로 판단된다. 특히, Fig. 4의 인공어초는 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 다른 인공어초 시설과 다수의 자연초가 인근에 존재하는 관계로 이들 어초 구조물과 서로 연계되어 하나의 광범위한 서식공간이 구성되어 있기 때문에 많은 어족생물이 군집, 서식하고 있는 것으로 판단된다. 이 때문에 본 연구에서는 본 조사에 앞서 사전 음향조사를 통해 이 인공어초를 연구대상 어초로 선정하였다. Fig. 5에는 서로 다른 형상의 두 개 어군이 존재하는데, 첫째는 Fig. 5(a)에서와 같이 인공어초 바로 상부의 중층에 군집하여 배회하는 유형이다. 이 echogram은 Fig. 4의 side scan 조사 직후인 10시 54분에 수록한 결과로서, 그 평균 SV값은 -37.9dB이었다. 둘째는 Fig. 5(b)에서와 같이 서로 분리된 상태로 인공어초 바로 주변에 군집하여 그 구조물 주위를 배회하는 어군유형이다. 이 echogram은 15시 30분에 같은 위치에서 수록한 것으로서 그 평균 SV값은 -54.0 dB이었다.

조사 당시 이 어초 주변에서는 저층 유자망, 연승, 외줄낚시 등을 행하는 어선이 분포하고 있었다. 여기서는 Fig. 5의 인공어초 바로 상부에서 배회하는 중층 어군과 인공어초에 인접하여 유영하는 저층 어군을 대상으로 imaging sonar를 사용하여 이들 어군의 echo 신호를 일정시간 간격으로 수록한 후, 이들 영상의 이동궤적을 해석하여 유영 방향 및 속도를 추정하였다. 이를 위해 먼저 조사선을 부이에 고정시킨 상태에서 Fig. 4와 Fig. 5에서와 같이 인공어초 구조물의 상층부를 유영하는 어군을 대상으로 side scan sonar와 ES60 split beam echo sounder를 사용하여 어군을 모니터링 함과 동시에 현측에 설치한 imaging

Fig. 6. Nine sequential echo traces of the imaging sonar for the fish aggregation hovering just above artificial reefs while remaining in the midwater column of the survey site of Fig. 5(a) that artificial reefs were installed. The time interval between each successive image was 11 seconds.

sonar를 구동하여 어군의 이동 궤적을 추적하였는데, 그 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6은 imaging sonar를 180° sector scanning mode로 설정한 후, Fig. 5(a)의 중층 어군의 echo 신호를 11초 간격으로 연속적으로 수록한 sonar 영상이다. 즉, 조사선의 현측 수면하 약 2.0 m 깊이에 설치한 imaging sonar의 송·수파기에서 발사되는 부채꼴의 송신 빔이 우측에서 좌측으로, 또한 좌측에서 우측으로 0.1 초마다 2.4° 씩 scanning하면서 어군을 탐색한 결과이다. 또한, Fig. 6의 소너 영상 화면은 조사선의 좌우 정형의 수층에 분포하는 어군에 대한 기록 영상으로서, 이 단면에 수직인 방향이 선수미선 방향이다.

따라서, 조사선의 정형 방향으로는 지향각이 좁은 수평빔(지향각 4°)이, 선수미선 방향으로는 지향각이 넓은 수직빔(지향각 40°)이 발사되면서 좌·우측으로 scanning되고 있는 상황이다. Fig. 6에서 어군이 조사선의 우현측으로 내유하여[Fig. 6(a)] 점차 좌현측으로 이동해 가는 유영패턴을 나타내고 있는데, 최종적으로는 Fig. 6(i)의 단계를 거쳐 imaging sonar의 송·수신 빔 밖으로 이탈해 가고 있음을 알 수 있다. 이 때, 어군이 송·수신 빔 영역내부로 진입해서부터 이탈할 때까지, 즉, a에서 i까지 99초 동안에 어군의 순간적인 기록 영상에는 많은 변화가 나타나고 있다. 따라서, 이들 영상의 위치 및 운동 벡터 성분을 검출하여 이동궤적, 이동방향 및 속력 등을 검출하여야만 인공어초에 내유한 어군이 어초 구조물에 체류하면서 활동하는 시공간 패턴, 즉 어족생물의 어초 활용도를 파악할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 ARPA (automatic radar plotting aids) radar에서 영상의 이동 상태를 추적하여 표적의 동적인 거동을 평가하는 물

Fig. 7. Image transformation from polar to Cartesian coordinates of the imaging sonar images for the fish aggregation hovering just above the artificial reef structure.

표추적기법(Lee, 2009)을 도입하여 어군영상을 추적하였는데, 그 결과는 Fig. 7 및 Fig. 8과 같다. 일반적으로 radar나 sonar 영상은 PPI (plan position indicator) 스크린 화면상에 극좌표로 표시되기 때문에 이들 시스템에서 모니터링하고자 하는 표적 영상의 이동궤적을 추적하여 그 표적의 운동벡터를 정량적으로 구하고자 할 때에는 극 좌표 영상을 직각 좌표 영상으로 변환하여 처리하는 것이 편리하다.

이 때문에 본 연구에서도 Fig. 6의 imaging sonar의 극좌표 영상을 직각좌표로 변환하여 어군의 이동궤적을 추적하였는데, 그 일례는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에 나타난 a, b, c, d의 직각 좌표 영상은 Fig. 6의 b, d, e, g의 극 좌표 영상을 직각 좌표로 변환하여 나타난 결과이다. Fig. 7의 직각 좌표 영상에서는 해저의 영상이 마치 손톱 모양의 패턴으로 나타나고 있는 데, 이것

Fig. 8. Movement trajectory and the echo centers of fish aggregations extracted from Cartesian coordinates of imaging sonar images of Fig. 7.

Fig. 9. Swimming speed and direction measured by analyzing nine sequential echo traces for the fish aggregation hovering just above artificial reefs structure while remaining in the midwater column of Fig. 6.

은 sonar 송·수파기의 스캐닝에 따른 slant 거리의 변화에 기인하는 현상이다. 한편, Fig. 7의 a, b, c, d에서 탐지되고 있는 어군의 영상을 하나의 직각좌표의 화면상에 서로 중첩시켜 나타낸 결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 7과 Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 어군은 우측측으로부터 소너 빔 영역으로 진입한 후, 해저와 거의 평행한 패턴으로 좌현 측을 향해 a에서 d의 궤적을 따라 이동해 가고 있다. Fig. 8에서 a, b, c, d의 위치는 Fig. 7의 a, b, c, d의 소너 화면상에 나타나는 어군의 산란중심의 위치를 추출하여 나타낸 것이다. Fig. 8에서 어군의 유영 궤적이 해저와 같이 손톱 모양의 패턴으로 나타나고 있지만, 실제에는 수면과 거의 평행하게 수심 약 9.5 m 수층을 좌측에서 우측으로 이동해 가는 어군이다.

한편, Fig. 8에 나타난 어군의 중첩된 이동궤적과 Fig. 7의 각 순간에 대한 어군의 탐지영상을 서로 비교하여 볼 때, Fig. 7의 순간적인 탐지영상의 time sequence로부터는 어군의 운동벡터를 정확하게 파악하는 것이 매우 어렵다. 그러나, Fig. 8에서와 같이 각 어군 영상의 산란 중심을 먼저 추출한 후, 이들을 중첩시킨 영상에 각 순간에 대한 산란중심위치를 표시하여 평가하면, 어군의 이동궤적은 물론 이동방향 및 이동속도를 매우 정확하게 추정할 수 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 개발한 이와 같은 추적 알고리즘을 이용하여 Fig. 6의 화면상에 나타난 어군의 유영(이동) 속도를 추정한 결과는 Fig. 9와 같다. Fig. 9에서 중첩 어군이 인공어초 바로 상부의 조사선 우측으로 진입하여 imaging sonar 빔 영역을 이탈할 때까지의 어군영상을 추적한 결과, 이 어군의 유영속도는 0.40 m/s이었다. Fig. 8에서 어군의 이동속도는 어군이 sonar 빔 영역에 진입한 후, 0.08 m/s에서 1.02 m/s의 범위내에서 변동하고 있다. 이 현상은 Fig. 5(a)에서 알 수 있는 바와 같이 추적대상 어군이 존재하는 수층에는 다른 생물들도 다수 분포하고, 이로 인해 매우 미약한 echo 신호가 수신되고 있기 때문에 추적 어군이 이 수층에서 섭이활동을 하고 있는 것으로 판단된다.

Fig. 10. Nine sequential echo traces of the imaging sonar for the fish aggregation swimming through and around the artificial reef structure while remaining near the seabed of the survey site of Fig. 5(b) that artificial reefs were installed. The time interval between each successive image was 11 seconds.

한편, Fig. 4와 Fig. 5에서는 어초 구조물에 매우 밀착하여 유영하는 저층 어군을 대상으로 side scan sonar와 ES60 split beam echo sounder를 사용하여 내수 어군을 모니터링하면서 현측에 설치한 imaging sonar를 구동하여 어군의 운동 궤적을 추적하였는데, 그 결과는 Fig. 10과 같다. Fig. 10에서는 어군이 해저에 밀착하여 분포하고 있는 관계로 해저의 형상패턴을 먼저 검출하고, 이 해저형상 패턴과 탐지영상 패턴을 서로 비교 분석하여 해저 echo 신호를 먼저 소거한 후, 어군 echo 신호만을 추출하는 신호처리방법을 개발하여 적용하였다. 이를 위해 본 연구에서는 저층에 어군이 내유하지 않는 상황에서 수록한 해저영상신호를 바탕으로 기준 해저형상 패턴을 작성한 후, 이 기준패턴과 탐지영상의 차 영상을 산출하여 어군의 영상신호를 추출하였는데 그 결과는 Fig. 11과 같다. 또한, Fig. 11에서 해저를 소거한 어군신호를 대상으로 그 산란중심을 추출하고, 이들 산란중심의 이동궤적으로부터 저층어군의 유영속도를 추정하는 결과는 Fig. 12와 같다. 먼저 Fig. 11은 Fig. 10의 imaging sonar의 극좌표 영상을 직각좌표로 변환하여 나타낸 결과인데, Fig. 11에 나타난 a, b, c, d의 소너 영상은 Fig. 10의 b, d, e, g의 극좌표 영상을 직각좌표로 변환한 것이다. Fig. 11의 상부에 나타난 직각좌표영상에는 Fig. 10의 해저 영상이 마치 손톱 모양의 패턴으로 나타나고, 그 해저영상 바로 위에는 어군 echo 영상이 밀착되어 나타나고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 개발한 해저 소거 알고리즘을 적용하여 Fig. 8의 상부에 나타난 sonar 영상으로부터 해저 echo 신호를 제거한 후, 어군 echo 신호만을 추출하여 나타낸 결과는 Fig. 11의 하부 그림과 같다.

Fig. 10과 Fig. 11에서 알 수 있는 바와 같이 인공어초 부근에

Fig. 11. Image transformation from polar to Cartesian coordinates of the imaging sonar images for the fish aggregation swimming through and around the reef structure while remaining near the seabed. Upper : without seabed signal rejection, Lower : with seabed signal rejection.

분포하는 저층의 어군은 우현측으로부터 소너 빔의 영역 내로 내유한 후, 해저에 근접하여 좌현측으로 이동해 가고 있다. Fig. 12에서 인공어초에 인접하여 저층에 분포하면서 조사선의 우현측으로 진입하여 imaging sonar 빔 영역의 좌현측으로 이탈해 가는 어군영상을 추적한 결과, 이 어군의 유영속도는 0.17 m/s 이었다. Fig. 12에서 어군의 이동속도는 어군이 sonar 빔 영역에 진입하여 0.09 m/s에서 0.28 m/s의 범위내에서 변동하였고, 인공어초 부근의 저층에 분포하는 어군의 이동속도는 어초 구조물 상부에 분포하는 중층어군의 이동속도보다 매우 느린 운동패턴을 나타내었다. 이 현상은 중층어군의 경우, 주위환경에 매우 민감한 유영패턴을 나타낸 반면, 저층 어군은 어초 구조물의 환경조건에 적응하여 안정적인 유영패턴을 나타내고 있는 결과라고 판단된다.

어촌계 어선의 어획물 조사

조사당시 해당 어초 인근 해역에서는 용호 어촌계 어민들이 저층 자망, 쥐치 들망, 연승, 외줄낚시 등을 사용하여 조업을 하였는데, 그 어획물의 어종조성은 Fig. 13과 같다. 이들 어민들은 해당 인공어초 부근에 부이를 설치하고, 그 부이에 선박을 고정 한 후, 조업을 행하였는데, 주요 어획 어종은 Fig. 13에서 알 수 있는 바와 같이 조피볼락, 볼볼락, 돌돔, 쥐노래미, 갈치, 달강어 등이었다. 특히, 이 어초 주변에 부설한 들망에서는 말쥐치, 돌돔, 저층자망에서는 전어, 전갱이, 또한, 주낙에 의해서는 볼락류, 쥐노래미, 물가자미, 쌍둥가리 등이 어획되었다. 조사 당시 수영만의 조사해역에서는 어획강도가 비교적 낮은 연승, 외줄낚시, 문어단지와 같은 연안복합어업과 연안들망어업, 또한 어획강도가 비교적 높은 연안자망어업 등이 주로 행해지고 있었다. 이 해역에서는 인공어초를 서식지로 하는 정착성 어업생물이 주로 활어 상태로 어획되어 인근 활어시장을 통해 횡집으로

Fig. 12. Swimming speed and direction measured by analyzing nine sequential echo traces for the fish aggregation swimming through and around the artificial reef structure while remaining near the seabed of Fig. 10.

공급되는 관계로 그 어법 역시 활어를 주 어획대상으로 하는 연안복합어업과 연안들망어업 등이 널리 행해지고 있었지만, 저층 삼중유자망에 의한 조업 역시 인공어초 인근해역에서 널리 행해지고 있었다.

또한, 대부분의 어민들이 어초 주위에서 각종 어구를 사용하여 조업을 하고 있기 때문에 어초에 사용 어구가 걸리는 경우, 이들 어구를 폐기하는 사례가 많으므로 어초의 기능저하를 방지하고, 자원조성효과를 지속적으로 유지하기 위해서는 주기적으로 어초의 시설상태파악, 서식생물분포의 모니터링, 폐어망의 수거 등을 위한 수중관찰 및 음향학적 조사를 실시할 필요가 있다(Xie et al., 2005; Friedlander et al., 2007). 특히, 인공어초는 해저에 인공 구조물을 부설하여 각종 해조류 및 어업생물 등의 자연적인 먹이공급, 생육 및 은신처 등을 제공하여 각종 어패류의 서식환경을 조성한다는 점에서 연안자원의 지속적인 증강 및 보호에 큰 역할을 하고 있고, 또한, 어획강도가 높은 연안어업의 무분별한 조업을 간접적으로 제한 할 수 있는 방안의 하나로서 주목되고 있는바, 향후 이 사업의 지속적인 추진과 그 효과평가를 보다 과학적이고 정량적으로 수행하기 위한 연구기법의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

사 사

이 논문은 2011학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음(PS-2011-0366).

참고문헌

BOBP (The Bay of Bengal Programme). 1994. The effect of artificial reef installation on the biosocioeconomics of small-scale fisheries in Ranong Province. BOBP/WP/97, Nagaraj & CO, Madras, India, 17-100.

Fig. 13. Fishes caught by gill net, single line and long line by local fisherman near artificial reefs installed at the survey site of Fig. 1(a) on August 24, 2006.

- Del Rio Vera J, Coiras E, Gronen J and Evans B. 2009. Automatic target recognition in synthetic aperture sonar images based on geometrical feature extraction. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Article ID 109438, 1-9.
- Friedlander, AM and Monaco ME. 2007. Acoustic tracking of reef fishes to elucidate habitat utilization patterns and residence times inside and outside marine protected areas around the Island of St. John, USVI. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 63, Maryland, USA, 1-50.
- Lee DJ. 2009. Automatic identification of ARPA radar tracking vessels by CCTV camera system. J Kor Soc Fish Tech 45, 177-187.
- 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.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2006. Assessment on the effectiveness of artificial reefs installed in Busan coastal waters. Busan, Korea, 4-167.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2007. Assessment on the effectiveness of artificial reefs installed in Busan coastal waters. Busan, Korea, 7-184.
- Shuangzi S, Lihong Y, Yong Y and Xiaochao C. 2008. The features vector research on target recognition of airplane. Pro.

- of the 11th Joint Con. on Information sciences, Atlantis Press, Chanchun, China, 1-5.
- Tracey WS and Johnston SV. 1996. Monitoring fish movement patterns in a reservoir using horizontally scanning split-beam techniques. *ICES Journal of Marine Science* 33, 435-441.
- Trevorrow MV. 2001. An evaluation of a steerablesidescan sonar for surveys of near-surface fish. *Fisheries Research* 50, 221-234.
- Xie, Y, Gray AP, Martens FJ, Boffey JL and Cave JD. 2005. Use of dual-frequency identification sonar to verify split-beam estimates of salmon flux and to examine fish behavior in the Fraser river. *Pacific salmon commission technical report No. 16*, Vancouver, Canada, 12-22.