

## 소너 화상을 이용한 어군량 추정에 관한 연구

이유원<sup>†</sup>

부경대학교

### A Study on the Estimation of Fish School Abundance Using Sonar Image

Yoo-Won LEE<sup>†</sup>

Pukyong National University

#### Abstract

The quantification of fish school abundance was carried out by using luminance of pixel on scanning sonar image, and compared with the indices of fish school abundance e.g. school number, school area and weighted school area. The survey was carried out in Funka Bay off southern Hokkaido, Japan using research vessel Ushio-Maru during December 1999. A 180-degree scanning sonar with a frequency of 164kHz was used.

The school number was counted both left and right 40-degree radial lines from the center of own vessel mark on a scanning image. The school area was measured approximately as an ellipse from the school length and width. The weighted school area was calculated by multiplying school area and average value of inner pixel luminance. A quantification of pixel luminance was also measured to integrate squared pixel luminance value on these lines.

Fish school and school bottom were discriminated by the produced sonar echogram using pixel luminance value on these lines. The relationships between the quantified luminance value and other abundance indices such as school area and weighted school area revealed a good correlation. Therefore, the quantified luminance is a useful method in estimating fish school abundance in the acoustic survey using sonar.

Key words : Scanning sonar(스캐닝 소너), Sonar image(소너 화상), Quantification(정량화), luminance(휘도), Sonar echogram(소너 에코그램)

#### 서 론

수산자원의 현존량을 추정함에 있어, 계량어군탐지기(이하, 계량어탐이라 한다)를 이용한 음향 자원량 조사는 넓은 수역을 단시간에 조사 가능한 효율적인 방법으로서 확립되어 있다.

한편 우리 나라에서 TAC(Total Allowable Catch)에 의한 어업자원 관리는 1999년 7개 어종에 대하

여 시범적으로 실시되기 시작하여 현재 9개 어종으로 확대 시행되고 있으며, 앞으로 그 시행 범위는 더욱 확대될 전망이다. 더욱이 그 대상어종으로서의 꽁치 등의 표층어종이 예상되어짐으로서 이들 어종에 대한 자원량 조사의 필요성이 높아지고 있다. 그렇지만, 계량어탐은 수직 빔을 이용하므로 표층의 탐지범위가 좁고, 어군의 선체도피행동이나 표층 데드존(Dead Zone)이 존재한다. 그 때문에 표층을 광범위

<sup>†</sup> Corresponding author : yoowons@yahoo.co.kr

하게 탐지 가능한 소너를 이용한 자원량 추정법의 개발이 요구되고 있다.

소너를 이용한 어군량 추정에 관한 연구로서 McClendon<sup>1)</sup>은 echo 계수법에 의해 다량어 어군의 시간대별 발견 어군 수를 조사하였고, Hewitt *et al.*<sup>2)</sup>는 소너 화면상에 출현한 어군의 면적을 누적하여 누적된 어군면적을 어군량 변환계수를 이용하여 어군량을 추정하는 방법을 정립하고, 어군의 기하학적 파라미터를 이용한 어군량 추정법의 가능성을 시사하였다<sup>2-5)</sup>.

소너를 이용한 어군량 추정법에서 echo 계수법은 어군 계수에 개인차가 생기고 규모가 상이한 단체어군의 조사에서는 추정량에 큰 오차가 생길 우려가 있다. 한편 어군의 기하학적 파라미터를 이용하는 방법은 기하학적 파라미터를 측정할 수 있는 일정 크기의 어군에 한하여 적용 가능하며, 측정치를 어군량으로 변환하기 위해서는 어군량 변환계수를 구하지 않으면 안 된다.

따라서 본 연구에서는 자동화가 용이하고 어군의 분포상태 여부에 관계없이 어군량을 측정할 수 있는 에코적분법을 소너에 적용하기 위하여 소너 화상의 픽셀 휘도를 정량화하여 에코적분법의 어군량 지표로서 구하고, 이 측정치를 어군계수법이나 면적측정법의 정량화법에 의해 구해진 어군량 지표와 비교, 분석함으로써 소너에 있어서 에코적분법을 이용한 어군량 정량화의 가능성을 고찰하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험방법

음향조사는 1999년 12월, 북해도 噴火湾에서 북해도대학 수산학부 연구조사선 Ushio-Marun(G/T 128 ton)을 이용하였다.

사용한 소너는 조사선에 장착된 180°형 스캐닝 소너(KCH-1827, Kaijo Co.)로 송신주는 164kHz, 송신 빔 폭은 180°×8°, 수신 빔 폭은 8°×8°이다. 소너 빔은 선수방향을 향하여 부각을 10°, 탐지범위를 400m로 하고, TVG는 10logR, 펄스 폭을 15ms로 설정했다.

조사는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 만의 입구를 9kont로 항주하며 음향 데이터를 수록하였다. 항주 중 소너 화면에는 echo 전압에 따라 16색으로 구분된 어군이 PPI 표시된다. 이것을 비디오 스캔 컨버터 유니트(XVGA-1V, Micomsoft Co.)를 통하여 NTSC비디오 신호로 변환 후, 비디오테이프 레코더로 녹화하여 해석에 이용하였다.

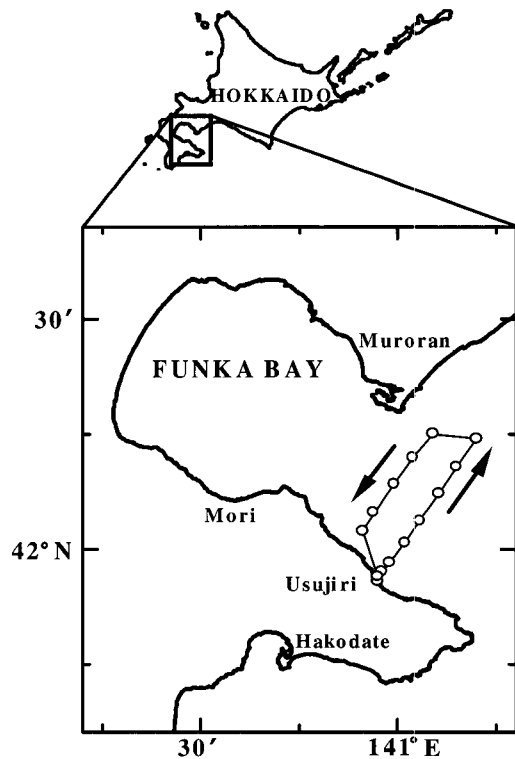


Fig. 1. Location of survey area.

### 2. 해석방법

비디오테이프에 수록된 소너 영상은 다기능 범용 화상해석 소프트웨어(Cosmos32, Library Inc. Co.)를 이용하여 8비트 흑백화상으로 컴퓨터에 읽어 들여 1프레임/초의 정지화상으로 변환했다. 이들 정지화상은 화상상에 표시되어 있는 컬러바를 이용하여 색과 휘도값이 선형이 되도록 보정하여 6단계의 흑백화상으로 변환했다. 화상변환 전후의 화상 및 컬러바에 있어서 휘도값은 Fig. 2와 같다.

그 후, 시간축 화상 생성 소프트웨어(Time-im32, Library Inc. Co.)를 이용하여 소너 화상상의 자선위치를 중심으로 한 좌우 각각 40° 방향의 방사선상을 통과하는 어군을 육안으로 계수하고, 어군의 수  $N_f$ 를 얻었다.

계수한 어군에 대하여 어군의 기하학적 중심위치가 40° 방사선상을 통과할 때의 어군의 방위방향의 길이  $CW'$  및 거리방향의 길이  $LW'$ 를 측정하고, 식 (1)과 (2)를 이용하여 방위분해능과 거리분해능으로 기인하는 오차를 보정하였다<sup>(1-8)</sup>.

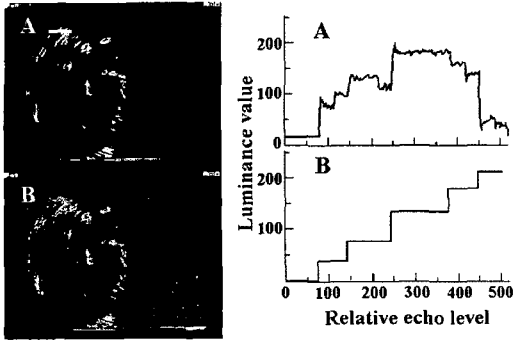


Fig. 2. Sonar image and luminance value on color bar.  
A: Before, B: After image transformation.

$$CW = CW' - \Delta CW \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$= CW' - \left( 2R \tan \frac{\phi}{2} \right)$$

$$LW = LW' - \Delta LW \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$= LW' - \left( \frac{c\tau}{2} \right)$$

여기서  $\Delta CW$ 는 어군의 방위방향 길이에 포함되어 있는 오차,  $CW'$ 는 겉보기의 어군의 방위방향 길이,  $CW$ 는 수평 빔 폭에 의한 오차를 보정한 어군의 방위방향 길이,  $R$ 는 자선으로부터 어군중심까지의 거리,  $\phi$ 는 소나의 수평 빔 폭이다. 또  $\Delta LW$ 는 어군의 거리방향 길이에 포함되어 있는 오차,  $LW'$ 는 겉보기의 어군의 거리방향 길이,  $LW$ 는 펄스 폭에 의한 오차를 보정한 어군의 거리방향 길이,  $c$ 는 수중 음속,  $\tau$ 는 펄스 폭이다.

보정한 어군의 방위방향의 길이  $CW$ 와 거리방향의 길이  $LW$ 를 이용하여 어군의 형상을 타원에 근사시켜 (3)식에 의해 어군면적  $S_F$ 를 구했다<sup>3, 5)</sup>.

$$S_F = \frac{\pi}{4} CW \cdot LW \quad \dots\dots\dots (3)$$

가중치 어군면적  $S_{wF}$ 는 어군면적을 측정했을 때의 어군 내의 픽셀 휘도의 평균치  $w$ 와 어군면적  $S_F$ 와의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$S_{wF} = S_F \cdot w \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$= \frac{\pi}{4} CW \cdot LW \cdot w$$

시간축 화상 생성 소프트웨어를 이용하여 Fig. 3과 같이, 소나 화상상의 자선위치를 중심으로 한 좌우 40° 방향의 방사선상의 픽셀 휘도  $V$ 를 구하고, 각 픽셀의 휘도를 2승하고, 방사거리 30~300m까지 적분한 것을 에코에너지  $E$ 로 간주했다.

$$E \propto \int V^2 dV \quad \dots\dots\dots (5)$$

여기서,  $E$ 는 계량어탐의 에코 적분치에 상당한 값으로 생각할 수 있다.

이렇게 구한 좌우 각각 40° 방향의 방사선상의 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 를 이용한 어군량 지표와 어군의 수  $N_F$ , 어군면적  $S_F$  및 가중치 어군면적  $S_{wF}$ 를 이용한 어군량 지표를 비교하기 위하여, 각 어군량 지표의 조사거리 0.5NM마다의 값을 각 지표의 합계로 기준화(%)하여 상관을 조사했다. 이때, 각 지표의 값이 0으로 되는 구간은 해석으로부터 제외시켰다.

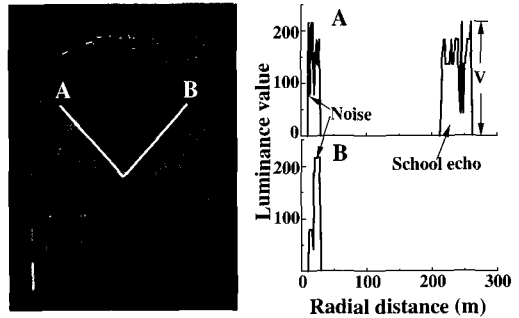


Fig. 3. Extraction of luminance value from the scanning sonar image using image processing.  
A: Appearance of fish school,  
B: No appearance of fish school.

### 결과 및 고찰

#### 1. 소나 화상의 픽셀 휘도에 의한 소나 에코그램

자선을 중심으로 한 우현 40° 방향 선상의 픽셀 휘도  $V$ 를 이용하여 작성한 에코그램은 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 어군 및 해저가 재현되어 있는 것을 확인할 수 있다. 에코그램상의 어군형상이 왼쪽 위로 올라가 있는 것은 어군과 자선과의 상대거리가 근접 중에 있는 것을 나타낸다. 이 에코그램을 바탕으로 해면 및 해저반사의 영향을 포함하지 않는 방사거리 30~300m의 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 를 어군량의 지표로 했다.

#### 2. 어군량 지표의 비교

에코 적분치와 비교하기 위하여 이용한 어군량 지표는, 육안으로 계수한 어군의 수  $N_F$ , 어군의 규모를 나타내는 어군면적  $S_F$ , 어군에코의 강도를 고려한 어군면적인 가중치 어군면적  $S_{wF}$ 으로서, 실험에서 얻어진 이들 지표의 결과는 Fig. 5와 같다.

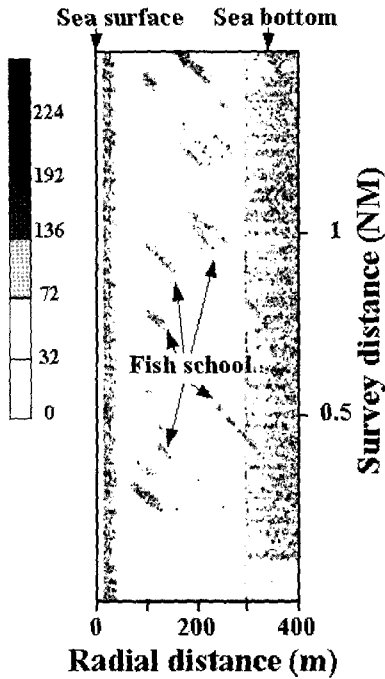


Fig. 4. Echogram produced by pixel luminance values of scanning sonar images.

Fig. 5A는 육안으로 계수한 좌우현의 어군의 출현수를 나타내었다. 세로축의 위쪽은 좌현을, 아래쪽은 우현을 나타낸다. 계수한 어군은 좌현이 78, 우현이 97어군이였다.

Fig. 5B는 출현한 어군의 면적을 나타내었다. 좌현의 어군면적 범위는 1~2,898 $m^2$ , 그 평균은 174 $m^2$ , 표준편차는 404 $m^2$ 이었으며, 우현의 어군면적 범위는 2~1,492 $m^2$ , 그 평균은 167 $m^2$ , 표준편차는 260 $m^2$ 이었다. 대부분 어군면적 200 $m^2$  이하의 어군이었고, 어군면적 1000 $m^2$  이상의 대형어군은 가끔씩 출현하였다.

Fig. 5C는 어군면적의 누적을 나타내었는데, 총면적은 좌현에서 9,898 $m^2$ , 우현에서 12,025 $m^2$ 이었다. 어군면적 누적치는 많이 출현한 소형어군보다 오히려 드물게 출현하는 대형어군에 의하여 크게 영향을 받았고, 조사거리 10NM 이내에서 누적치의 증가가 현저하였고, 그 이후에는 둔화되었다.

Fig. 5D는 각 어군의 평균 픽셀 휘도를 나타내었다. 좌현의 어군에 있어서 평균 픽셀 휘도의 범위는 126~148, 평균은 136, 표준편차는 5이었다. 한편 우현의 어군에 있어서 평균 픽셀 휘도의 범위는 116~144, 평균은 134, 표준편차는

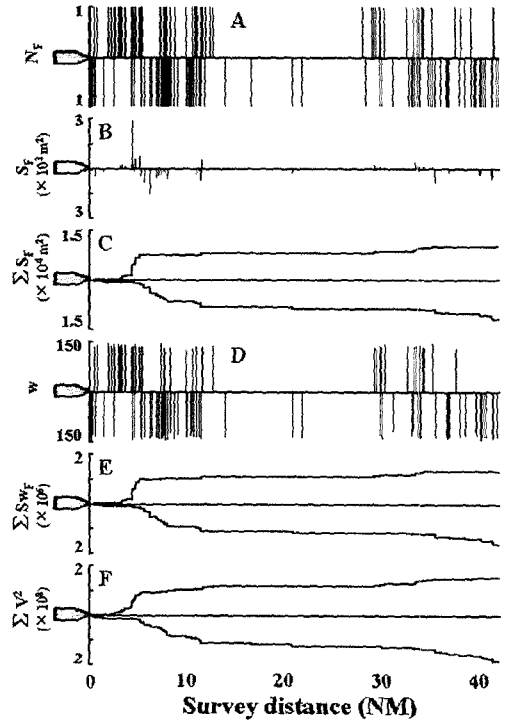


Fig. 5. Indices of fish school abundance estimation using horizontal sonar.

A: School count ( $N_F$ ), B: School area ( $S_F$ ), C: Cumulative school area ( $\Sigma S_F$ ), D: Average of luminance value ( $w$ ), E: Cumulative weighted school area ( $\Sigma S_F w_F$ ), F: Cumulative integration of squared pixel luminance value ( $\Sigma I^2$ ).

는 6이었다. 양현에 출현한 어군의 평균 픽셀 휘도에 큰 차이는 발견되지 않았다.

Fig. 5E는 어군의 평균 휘도와 어군면적의 곱의 누적을 나타내었다. 좌현에서  $1.34 \times 10^6$ , 우현에서  $1.63 \times 10^6$ 으로 나타났다.

Fig. 5F는 좌우현 각각 40° 방향의 픽셀 휘도의 2승 적분치의 누적을 나타내었다. 그 결과 좌현에서  $1.51 \times 10^8$ , 우현에서  $1.85 \times 10^8$ 으로 나타났다.

또한 각 어군량 지표의 0.5NM마다의 평균 및 표준편차와 조사선(survey line)에서의 어군량 밀도  $\rho_a$ 를 Table 1에 나타내었다. 그런데 각 지표의 표준편차는 단위가 상이하므로 각 지표의 평균으로 기준화한 변동계수 CV를 구하여 변동성을 조사하였다. 또 밀도  $\rho_a$ 는 각 지표의 합계치를 소너 탐지체적으로 나눈 것이며 해면 1 $m^2$  면적 아래의

Table 1. Statistics of fish school abundance indices. The data are shown in mean, standard deviation (SD), coefficient of variation (CV) and area density( $\rho_a$ )

Items	Port side				Starboard side			
	ESDU			$\rho_a$ (each unit*/ $m^2$ )	ESDU			$\rho_a$ (each unit/ $m^2$ )
	Mean	SD	CV		Mean	SD	CV	
$N_F$	0.93	1.44	1.55	$4.24 \times 10^{-5}$	1.15	1.65	1.43	$4.28 \times 10^{-5}$
$S_F$	117.83	449.68	3.82	$5.39 \times 10^{-3}$	143.16	327.62	2.29	$6.54 \times 10^{-3}$
$SW_F$	$1.60 \times 10^4$	$6.13 \times 10^4$	3.83	$7.31 \times 10^{-1}$	$1.94 \times 10^4$	$4.46 \times 10^4$	2.30	$8.87 \times 10^{-1}$
$E$	$1.80 \times 10^6$	$4.45 \times 10^6$	2.47	82.46	$2.20 \times 10^6$	$3.72 \times 10^6$	1.69	100.54

\*  $N_F$ : Number of school,  $S_F$ : School area( $m^2$ ),  
 $SW_F$ : Weighted school area( $Vm^2$ ),  $E$ : Luminance square integration( $V^2$ ).

수주에 있어서 어군량 밀도이다. Table 1에서 변동 계수 CV를 비교하면, 변동은 좌우현 모두 가중치 어군면적  $SW_F$ , 어군면적  $S_F$ , 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ , 어군의 수  $N_F$ 의 순으로 크게 나타났다.

어군량 지표의 비교에서 소너 화상으로부터 얻어진 데이터만을 사용하여 어군량 지표의 절대값을 파악하는 것은 불가능하며, 각 지표의 상대적인 비교를 행했다. 비교한 어군량 지표는 소너 화상의 자선을 중심으로 하는 좌우 40° 방향의 방사선상의 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 와 그 외 3개의 지표이다.

각 어군량 지표에 대하여, 조사거리 0.5NM마다의 값을 각 지표의 합계로 기준화하여 비교한 것은 Fig. 6과 같다. 그림 중에 점선은 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 와 어군의 수  $N_F$ 와의 회귀직선을 나타내고, 실선은 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 와 어군면적  $S_F$  및 가중치 어군면적  $SW_F$ 와의 회귀직선을 나타낸다.

그림을 보면, 어군면적  $S_F$  지표는, 양현 모두 가중치 어군면적  $SW_F$ 의 지표와 거의 같은 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 각 지표간의 관계에서, 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 와 각 지표간에는 일정한 관계가 있음을 알 수 있었다. 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 와 어군의 수  $N_F$ 는  $N_F = 1.67 \sim 1.96E^{0.37 \sim 0.44}$  이었고, 어군면적  $S_F$  및 가중치 어군면적  $SW_F$ 는  $S_F$  or  $SW_F = 0.30 \sim 0.31E^{1.44 \sim 1.62}$  이었다.

목시로 계수한 어군 수  $N_F$ 는 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 와 0.67~0.77의 정의 상관관계를 보였으나, 일반적인 음향자원조사에서 계수법을 이용한 보고에는 그 대부분이 연어 등의 單體魚의 조사에 이용되었다<sup>11)</sup>. 또한 자원량 조사에서 자원량은 많은 소형어군보다 드물게 출현하는 대형어군에 의하여 크게 영향을 받는 것으로 보고되고 있으므로<sup>12)</sup>, 모든 어군을 동일하게 계수하는 계수법을 이용

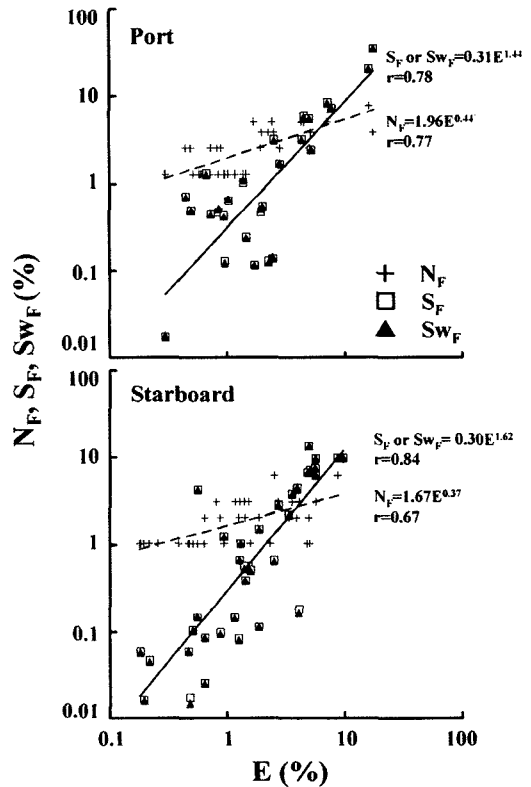


Fig. 6. Relationships between the quantified luminance value ( $E$ ) and school count ( $N_F$ ), school area ( $S_F$ ) and weighted school area ( $SW_F$ ).

한 어군량 추정은 큰 오차를 포함할 가능성이 있다.

한편 어획량  $P$ 와 어군면적  $S_f$  및 면적후방산란계수  $S_1$ 와 같은 어군량 지표간의 비교에서 Misund *et al.*<sup>3,5,9)</sup>는 북해 및 노르웨이 연안에서 청어, 스프래트(Sprat) 및 세이스(Saithe)어군을 대상으로 조사한 결과, 어군량  $P$ 는 어군면적  $S_f$ 의 1.15~1.76승에 비례하고, 그 때의 상관계수는 0.66~0.94이었다. 또한 이 보고서로부터 어군면적  $S_f$ 는 면적후방산란계수  $S_1$ 의 1.25~1.37승에 비례하였으나 상관계수는 0.42~0.90으로 분산이 다소 크게 나타났다. 한편 Niwa<sup>10)</sup>는 시뮬레이션 계산에 의하여 개체수  $n$ 은 어군면적  $S_f$ 의 0.85승에 비례한다고 보고하였다.

이와 같이 다른 해역 및 어종에 있어서도 어군량  $P$  또는 개체수  $n$ 와 어군면적  $S_f$  및 면적후방산란계수  $S_1$  사이에는 일정한 비례관계가 있는 것으로 생각되어진다. 따라서 본 실험에서의 어군면적  $S_f$ 와 픽셀 휘도의 2승 적분치  $E$ 와  $S_f = E^{1.11-1.62}$ 의 결과는, 북해의 청어와 스프래트 어군을 대상으로 하여 구한 어군면적  $S_f$ 와 면적후방산란계수  $S_1$ 와의 관계인  $S_f = S_1^{1.25-1.37}$ 과 유사한 결과가 얻어져, 휘도를 이용한 정량화법은 어군량을 바르게 정량화한 것으로 판단되어진다.

본 실험에서는 소너 회상을 컴퓨터에 읽어 들여, 회상의 휘도를 2승 적분하여 어군량을 정량화 하였다. 휘도를 이용하는 것으로부터 소너 회상상의 어군 영상을 정량화하고, 그것을 이용하여 작성한 에코그램으로부터 어군과 해저를 분명하게 식별하는 것이 가능하여 회상을 이용한 어군량의 정량화에 있어서 휘도는 유용한 정보라고 생각되었다. 또한 휘도를 2승 적분하여 얻어진 어군량 정보는 고기의 분포상태에 관계없이 측정이 가능하고, 어군량 정량화법으로서 유망하다고 생각되어진다.

그러나 적분법을 소너에서 이용하기 위해서는 소너 교정(calibration)법, 어체의 반사강도(target strength) 결정법, 유파의 굴절 문제 등을 해결하지 않으면 안되므로 앞으로 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 요 약

소너를 이용한 어군량 조사에서 자동화가 용이하고 고기의 분포상태에 관계없이 측정이 가능한 에코 적분법에 관한 정량화법의 기초 연구로서, 소너 회상의 휘도를 2승 적분하여 어군량을 정량화하고 이 값을 다른 어군량 지표와 비교, 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 휘도를 이용하여 작성한 에코그램으로부터 어군과 해저를 분명하게 식별하는 것이 가능하여 회상을 이용한 어군량의 정량화에 있어서 휘도는 유용한 정보이다.
2. 소너 회상으로부터 계수법에 의하여 얻어진 어군의 수는 픽셀 휘도의 2승 적분치에 정의 상관을 나타내었으나, 어군의 계수법은 어군의 규모에 관계하지 않고 어군을 계수하기 때문에 오차가 클 것으로 판단되어 정량화법으로서는 좋은 방법이라 할 수 없다.
3. 면적측정법으로 계측된 어군면적은 픽셀 휘도의 2승 적분치에 비례하고 유의한 상관을 나타내었으므로, 어군량 지표로서 유용 가능하다고 판단된다.
4. 소너 회상의 휘도를 2승 적분하여 얻어진 어군량 정보는 고기의 분포상태에 관계없이 측정이 가능하여 어군량을 정량화하는 방법으로서 유용할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 1) McClendon, R. I. (1968) : Detection of fish schools by sonar (eastern tropical Pacific, July–November 1967), *Commer. Fish. Rev.* 30, 26–29.
- 2) Hewitt, R. P., Smith, P. E. and Brown, J. C. (1976) : Developments and use of sonar mapping for pelagic stock assessment in the California current, *Fish. Bull. US.* 74, 281–300.
- 3) Misund, O. A. (1993) : Abundance estimation of fish schools based on a relationship between school area and school biomass, *Aquat. Living Resour.* 6, 235–241.
- 4) Misund, O. A., Aglen, A., Hamre, J., Ona, E., Röttingen, I., Skagen, D. and Valdemarsen, J. W. (1996) : Improved mapping of schooling fish near the surface : comparison of abundance estimates obtained by sonar and echo integration, *ICES J. Mar. Sci.* 53, 383–388.
- 5) Misund, O. A., Aglen, A., Beltestad, A. K. and Dalen, J. (1992) : Relationships between the geometric dimensions and biomass of schools, *ICES J. Mar. Sci.* 49, 305–315.
- 6) Forbes, S. T. and Nakken, O. (1972) : *Manual*

- of methods for fisheries resource survey and appraisal, Part 2 : The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation, *FAO Man. Fish. Sci.* 5, 100-133.
- 7) Johannesson, K. A. and Losse, G. F. (1977) : Methodology of acoustic estimations of fish abundance in some UNDP/FAO resource survey project, *Rapp. P. - v. Réun. Cons. int. Explor. Mer.* 170, 296-318.
- 8) MacLennan, D. N. and Simmonds, E. J. (1992) : *Fisheries Acoustics*, CHAPMAN & HALL, 325.
- 9) Misund, O. A., Aglen, A. and Frønæs, E. (1995) : Mapping the shape, size, and density of fish schools by echo integration and a high-resolution sonar, *ICES J. Mar. Sci.* 52, 11-20.
- 10) 丹羽洋智 (1999) : 群れは雁行形態をどのように維持するか, 第9回数理生物学シンポジウム, 9.
- 11) Enzenhofer, H. J., Olsen, N. and Mulligan, T. J. (1998) : Fixed-location riverine hydro-acoustics as a method of enumerating migrating adult Pacific salmon - comparison of split-beam acoustics vs. visual counting. *Aquat. Living Resour.* 11, 61-74.
- 12) Simond, E. J., Williamson, N. J., Gerlotto, F. and Aglen, A (1992) : Acoustic survey design and analysis procedure - a comprehensive review of current practice, *ICES Coop. Res. Rep.* 187, 56-88.

---

2003년 2월 21일 접수

2003년 4월 16일 수리