

## 음향도플러유향유속계를 이용한 꽁치어군의 유영속도 측정

이경훈\* · 이대재<sup>1</sup> · 김형석<sup>1</sup> · 박성욱

국립수산과학원 시스템공학과, <sup>1</sup>부경대학교 해양생산시스템관리학부

### Swimming speed measurement of Pacific saury (*Cololabis saira*) using Acoustic Doppler Current Profiler

Kyoung-Hoon LEE\*, Dae-Jae LEE<sup>1</sup>, Hyung-Seok KIM<sup>1</sup> and Seong-Wook PARK

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

<sup>1</sup>Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

This study was performed to estimate the swimming velocity of Pacific saury (*Cololabis saira*) migrated offshore Funka Bay of Hokkaido using an acoustic Doppler current profiler (OceanSurveyor, RDI, 153.6kHz) established in T/S Ushio-maru of Hokkaido University, in September 27, 2003. The ADCP's doppler shift revealed as the raw data that the maximum swimming velocity was measured 163.0cm/s, and its horizontal swimming speed and direction were  $72.4 \pm 24.1$  cm/s,  $160.1^\circ \pm 22.3^\circ$  while the surrounding current speed and direction were  $19.6 \pm 8.4$ cm/s,  $328.1^\circ \pm 45.3^\circ$ . To calculate the actual swimming speed of Pacific saury in each bins, comparisons for each stratified bins must be made between the mean surrounding current velocity vectors, measured for each stratified bin, and its mean swimming velocity vectors, assumed by reference (threshold  $> -70$ dB) and 5dB margin among four beams of ADCP. As a result, the actual averaged swimming velocity was 88.6cm/s and the averaged 3-D swimming velocity was 91.3cm/s using the 3-D velocity vector, respectively.

Keywords: Acoustic Doppler Current Profiler, Pacific saury, swimming speed, 3-D velocity vector

#### 서 론

대부분의 조사선 박이나 조업선에서는 조사해역 및 어장에서 의 해양환경정보를 필요로 하는데, 특히 유속장 정보는 어구의 운용이나 안전조

업에 관한 다양한 정보를 제공하기 때문에 다양한 전자기기의 발달에 따라 음향도플러방식을 이용한 유향유속계 (Acoustic Doppler Current Profilers : ADCPs, 이하 ADCP)가 현재 많이 사용

\*Corresponding author: khlee71@nfrdi.go.kr, Tel:82-51-720-2571, Fax:82-51-720-2586

되어지고 있다. 이 시스템은 3개 혹은 4개의 초음파를 발생시켜 바닷속에 유영능력이 없이 부유하는 산란체로부터 수신되는 일정수심의 적분층에 대한 도플러변이량으로부터 조사해역에 있어서의 유속장을 측정하는 방식이다. 현재에는 전 수층에 대한 정보를 얻을 수 있는 다층식 ADCP가 개발되어, 수심별 유속장의 측정이 가능해졌으며 다양한 분야에 응용되고 있다.

한편, 전 세계적으로 사용되고 있는 ADCP는 어류의 유영속도를 측정하기 위해 설계되지 않았으므로, 조사해역의 어군에 의한 유속장에 측정오차가 발생한다. 이러한 측정오차를 줄이기 위하여 4개 빔의 에코강도간의 최대차에 의해 결정되어지는 음향산란강도를 이용한 고기의 유영 속도에 의해 발생하는 측정오차를 제거하는 알고리즘 (fish rejection algorithm)이 내장되어 있다 (Holliday, 1974 ; Deines, 1999). 또한, 바닷속에서는 부유산란체뿐만 아니라, 유영능력이 있는 어류를 비롯한 다양한 생물들이 존재하고 있으므로 어군과 같은 음향산란체의 도플러변이량도 ADCP를 적용하여 측정하여 대상어군의 유영속도 측정이 가능하게 되었다. 따라서, 최근 소나를 이용한 중층어족을 대상으로 어군의 행동패턴 및 정량분석에 대한 연구가 진행되고 있으며, ADCP를 이용하여 유영하는 어군의 자연상태에 있어서의 이동속도에 관한 연구가 행해졌다 (Demer et al., 2000; Zedel et al., 2003).

일본 홋카이도 분카만 연안해역에는 계절적으로 겨울부터 여름까지 저온저염분의 오야시오 한류가, 여름부터 가을까지는 고온고염분의 쓰가루 난류가 영향을 받고 있으므로 계절적으로 다양한 중층성 어군들이 내유하고 있다. 특히, 꽁치 (Pacific Saury, *Cololabis saira*)는 봄에 북향이동을 시작하여 여름기간동안 오야시오해역의 접이장에서 분포하다가 가을 중순이나 말경에 일본 동북연안에 남하하는 동안 어획되며, 남하하는 어군의 소형어군이 분카만 지역에 내유하여 가을에 소량어획되고 있다.

본 연구에서는, 일본 홋카이도대학 실습선 T/S Ushio-maru의 선저에 설치되어 있는 광대역 ADCP (OceanSurveyor, 153.6 kHz)를 이용하여 꽁치어군의 수평 유영속도 및 유영방향을 측정하였으며, 저장된 3차원 속도성분벡터를 이용하여 어군의 유영자세각을 추정하였다.

## 재료 및 방법

### 조사해역 및 표본조사

본 연구는 2003년 9월 홋카이도 분카만 만외부 (Fig. 1)에 분포하는 음향산란층을 주 대상으로 ADCP를 이용한 음향자료를 저장하고, 음향산란층에 분포하는 동물플랑크톤의 생물분포

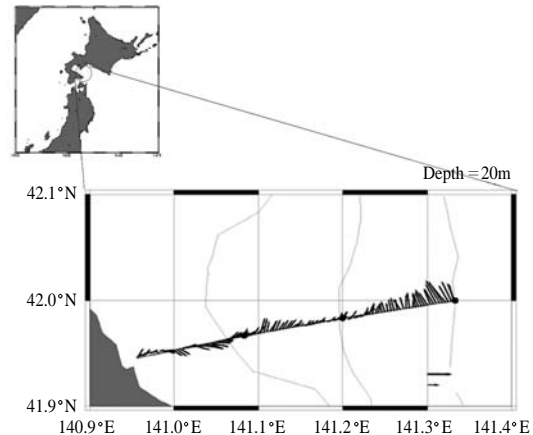


Fig. 1. 1 min-averaged current information at the depth of 20m measured by shipboard ADCP installed on T/S Ushio-maru in offshore Funka bay.

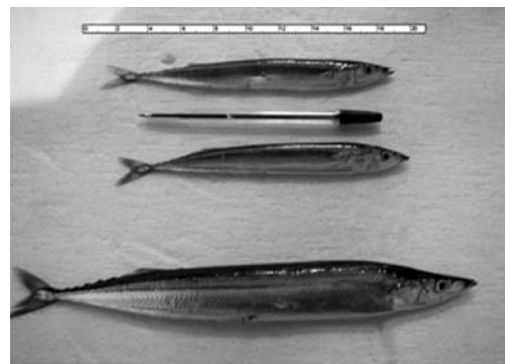


Fig. 2. The example picture of Pacific saury (*Cololabis saira*) caught by Framed Midwater Trawl net sampling.

특성을 파악하기 위하여 Framed Midwater Trawl (2m×2m)을 이용하여 3 - 4knots의 속도로 예망하는 과정에서 분카만 인근해역에 내유한 소량의 뽕치 (11마리)가 어획되었다. 어획된 뽕치는 평균체장 21.9cm로, 어획표본과 각 개체에 대한 체장의 측정치를 Fig. 2와 같이 나타내었다. 표본채집이 완료된 후, 뽕치어군의 유영속도를 측정하기 위하여 주변해역에 조사선박을 드리프트한 상태에서 음향자료를 수집하였다.

### 어군속도 측정 알고리즘

Fish rejection 알고리즘은 데이터 수록시의 시스템 파일을 제어하는 것으로 가능하다. 또한, raw 데이터로부터 1분이나 2분 간격으로 ensemble처리한 경우에 percent good의 값에 따라서 결정되어지는데, 평균 처리하는 과정에서 일반적으로 적용되는 ADCP의 역치 레벨보다 4개의 빔에서 탐지하는 레벨이 초과할 경우에는 그 적분층은 제거되며, 총 측정된 데이터에 대한 평균화에 사용된 데이터를 나타내는 percent good의 값을 보면, 어류에 의한 에코신호의 유무를 파악할 수 있다. 따라서, 총 데이터에서 평균되지 않는 raw 데이터를 사용하면, 어류에 의한 속도를 역으로 추정하는 것이 가능하다고 생각하다. 제작회사인 RDI사는 평균에 사용하는 각 빔에 대한 에코강도를 비교해서 CF command 파일에서 지정한 역치값보다 큰 경우의 데이터는 평균화시키지 않도록 설정되어 있다.

Plimpton et al. (1997)이 제안한 fish rejection 알고리즘은 해양환경 파라메타의 측면에서 고려되어진 것이다. 즉, 4개의 빔 중에서 한 빔 이상의 에코강도의 값이 크다면, 유향유속데이터에 어군에 의한 유속성분이 포함되어지므로 그 적분층의 유속성분은 평균화에 사용되지 않으며, 에코강도는 바로 그 적분층의 바로 밑의 데이터가 선택되어진다. 그리고, 어군의 이동속도를 추정하기 위해서는, ADCP의 빔 내에 어군의 체적 후방산란강도의 뚜렷한 에코신호가 존재할 경

우에 추정이 가능하다. 4 빔으로 구성되어 있는 ADCP의 경우, raw 데이터는 최소 3빔에, 평균한 데이터를 이용하여 해석할 경우에는 4빔에 어군의 에코신호로 추정되어야 한다 (Demer et al., 2002). 따라서, ADCP에 적용되어 있는 fish rejection 알고리즘은 ADCP 각 빔에서 어군에 의해 산란되어 수신되는 각 적분층의 에코강도가 매우 크거나, 각 4빔에서 수신한 에코강도의 차이가 있는 상대적으로 차이가 큰 경우에 유속 벡터 성분에 어군에 속도오차가 포함된 것으로 판단하여 그 적분층의 유속성분을 제외하게 된다. 그러나, 이러한 fish rejection 알고리즘의 기능을 해제하는 것에 의해 전체 빔에 동시 탐지된 넓은 공간분포를 가지는 대상 어군의 유영속도를 추정할 수 있다.

### 적분층에 대한 체적 후방산란강도 계산

조사에 사용한 선저부착형 ADCP은 훗카이도 대학 실습선에 탑재되어 있는 광대역 ADCP에서 주파수는 153.6kHz이며, 4개의 빔으로 구성되고 있고 수직방향에 대한 빔의 경사각은 30°이다. 펄스 간격은 1초, 적분층의 두께는 4m, 평균 시간은 30초로서 데이터를 저장하였으며, 조사기간동안 저장한 에코강도 (echo intensity)는 각 빔마다 수십벌 적분층의 평균 에코강도를 표시하는데, 다음 식을 이용해서 체적 후방산란강도 (Volume Backscattering Strength, dBre1m<sup>-3</sup>, SV)로 계산하였다 (Deines, 1999).

$$SV = C + 10 \log_{10} ((T_x + 273.16)R^2) - L_{DBM} - P_{DBW} + 2\alpha r + K_C (E - E_r) \quad (1)$$

여기서,  $C$ 은 기중 고유상수이며,  $-143.5$ dB을 적용하였다.  $T_x$ 는 트랜스듀서의 내부온도 (°C),  $R$ 는 적분층에 대한 경사거리 (m),  $L_{DBM}$ 은 펄스 길이 (m),  $P_{DBW}$ 는 송신출력,  $\alpha$ 는 흡수계수 (0.053 at 15.4°C, 33.8PSU, 153.6 kHz to 50 m depth),  $E_r$ 는 노이즈레벨 (counts)이다.

ADCP 음향자료는 뽕치어군의 유영속도를 측

Table 1. Command settings to configure the broadband ADCP

WS400	Depth cell size ; set to 4m
WF400	Blank after transmit ; set to 4m
WN120	Number of depth cells ; set to 120
WP00001	Pings per ensemble ; set to 1
WM1	Water profiling mode ; set to 1
WA255	False - target threshold maximum ; disabled with setting of 255
TP000100	Time between ping groups ; set to 1s
EP0000	Pitch (tilt 1) ; set to 0.000deg.
ER0000	Pitch (tilt 2) ; set to 0.000deg.
EZ1020001	Sensor source
BE5000	Bottom tracking error velocity maximum ; set to 5m/s
BA20	Bottom tracking evaluation amplitude minimum ; set to 20 counts
BC200	Bottom tracking correlation magnitude minimum ; set to 200 counts
BP001	Bottom tracking pings per ensemble ; set to 1
BX5000	Bottom tracking maximum tracking depth ; set to 500m

정하기 위하여, Demer et al. (2000)가 제시한 것과 같이 fish rejection 알고리즘을 제거하여 Table 1과 같이 저장하였다. 여기서, 펄스주기를 1초로 하고 적분층은 4m 간격으로 음향자료를 수록하였다. ADCP에 의해 수록된 에코강도의 자료(counts)는 Deines (1999)가 제시한 식 (1)을 적용하여 평균 체적후방산란강도 (Mean Volume Backscattering Strength, dB re 1m<sup>-1</sup>)를 계산하였다.

#### 유속장 측정 및 유영속도 추정

본 실험에서 사용한 광대역 ADCP의 측정정도는 다음 식과 같이 계산할 수 있으며, 측정정도는 송신주파수 및 적분층의 두께, 평균값으로 연산한 ping수와 관련이 있다(RDI, 1996).

$$\frac{1.5V_a \left[ \frac{(R^2 - 1) 2 C \cos \theta}{f_0 D N} \right]^{1/2}}{\pi} \quad (2)$$

여기서,  $f_0$ 는 송신주파수,  $D$ 는 적분층 두께,  $N$ 은 평균 ping수,  $V_a$ 는 속도오차,  $R$ 는 송수파 신호의 상관도,  $C$ 은 음속성분,  $\theta$ 은 연직방향에서의 빔경사각도이다. 본 실험으로 사용한 광대역 ADCP의 경우, 적분층의 두께를 4m, 음속을 1,507m/s,  $V_a$ 를 33cm/s,  $R$ 를 0.5로 하면, 측정정도는 약 1.8cm/s가 된다.

해류의 수평유속을 측정시, 유영능력이 있는 해양생물에 의해 유속장 편차가 생기므로, 주변

해역의 실제 유속장을 추정하기 위해서, 일출 후 음향산란층이 하향이동한 해서 수심 80m 부근에 분포할 때의 유속장을 검토하였다. 또한, 띄어군위의 이동 속도추정은 띄어가 주로 분포되는 표층부터 수심 50m까지의 적분층에 대한 SV가 -70 dB 이상의 에코강도를 대상으로 하였다. 또한, 이 자료는 30초 간격으로 평균한 동서속도 성분 ( $V_{EW}$ )과 남북속도성분 ( $V_{NS}$ )을 이용해서 평균 수평유속장을 계산하였다. 여기서, (+)값은 북쪽과 동쪽, (-)값은 서쪽과 남쪽 방향의 벡터를 나타낸다.

$$\bar{V}_{EW} = \frac{\sum_{n=1}^N V_{EWn}}{N}, \quad \bar{V}_{NS} = \frac{\sum_{n=1}^N V_{NSn}}{N} \quad (3)$$

$$\bar{V}_H = \sqrt{\bar{V}_{EW}^2 + \bar{V}_{NS}^2} \quad (4)$$

또한, 주변해역의 평균유속장에 대한 어군의 평균 수평유영속도( $\bar{V}_{Hf}$ )를 다음 식에 의해 계산할 수 있다. 여기서, 아랫첨자  $f$ 는 어군을,  $w$ 은 주변해역의 수평유속장을 나타낸 것이다.

$$\bar{V}_{Hf} = \sqrt{(\bar{V}_{EWf} - \bar{V}_{EWw})^2 + (\bar{V}_{NSf} - \bar{V}_{NSw})^2} \quad (5)$$

여기서, ADCP는 수평속도성분 ( $V_H$ )과 함께 연직속도성분 ( $V_V$ )이 측정 가능하므로, 어군의 3차원 유영속도성분 ( $V_{3D}$ )을 추정할 수 있다. 즉, 아래 식에 의해 띄어군위의 3차원 유영속도를 측

정할 수 있으며 연직유영방향 등 3차원 속도 측정에 의해 유영자세각( $\phi_{3D}$ )의 추정이 가능하다.

$$V_{3D} = \sqrt{V_{Hf}^2 + V_{Vf}^2} \quad (6)$$

$$\phi_{3D} = \begin{cases} \tan^{-1}(V_{Vf}/V_{Hf}) & (V_{Vf} \geq 0 \text{ and } V_{Hf} \geq 0) \\ \tan^{-1}(V_{Hf}/V_{Vf}) - 90^\circ & (V_{Vf} < 0 \text{ and } V_{Hf} < 0) \\ -(\tan^{-1}(V_{Hf}/V_{Vf}) + 90^\circ) & (V_{Vf} < 0 \text{ and } V_{Hf} < 0) \\ -(\tan^{-1}(V_{Vf}/V_{Hf})) & (V_{Vf} \geq 0 \text{ and } V_{Hf} < 0) \end{cases} \quad (7)$$

### 결과 및 고찰

본 조사에서 정점별 조사선박을 표류시킨 상태에서 30초 간격으로 평균한 데이터를 평균체적후방산란강도 (Mean Volume Backscattering Strength, MVBS) 및 유속장을 에코그램으로 나타내었다(Fig. 3).

그림과 같이 음향산란층이 분포하고 있는 표층에서 수심 50m까지 강한 에코강도의 반응을 나타내고 있으며, 23:00를 전후로 뽕치어군의 반응이 보여지고 있다. 유속장의 분포에 있어서는,

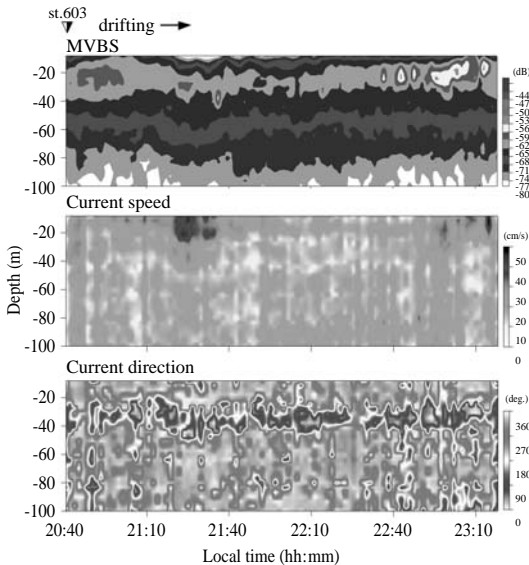
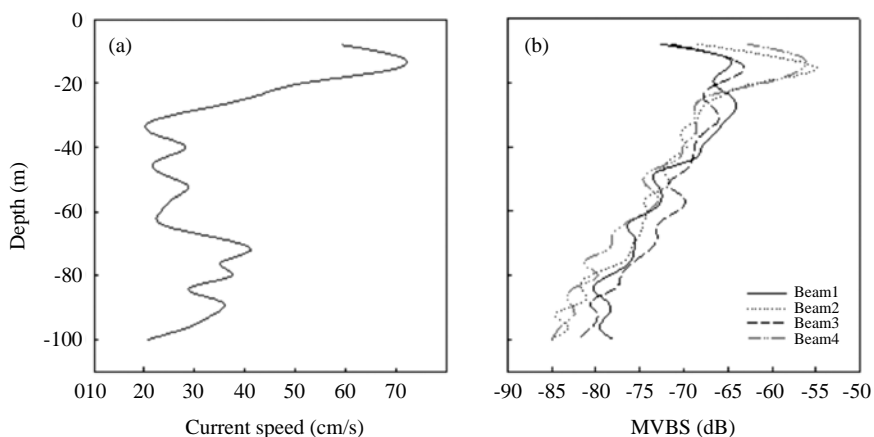


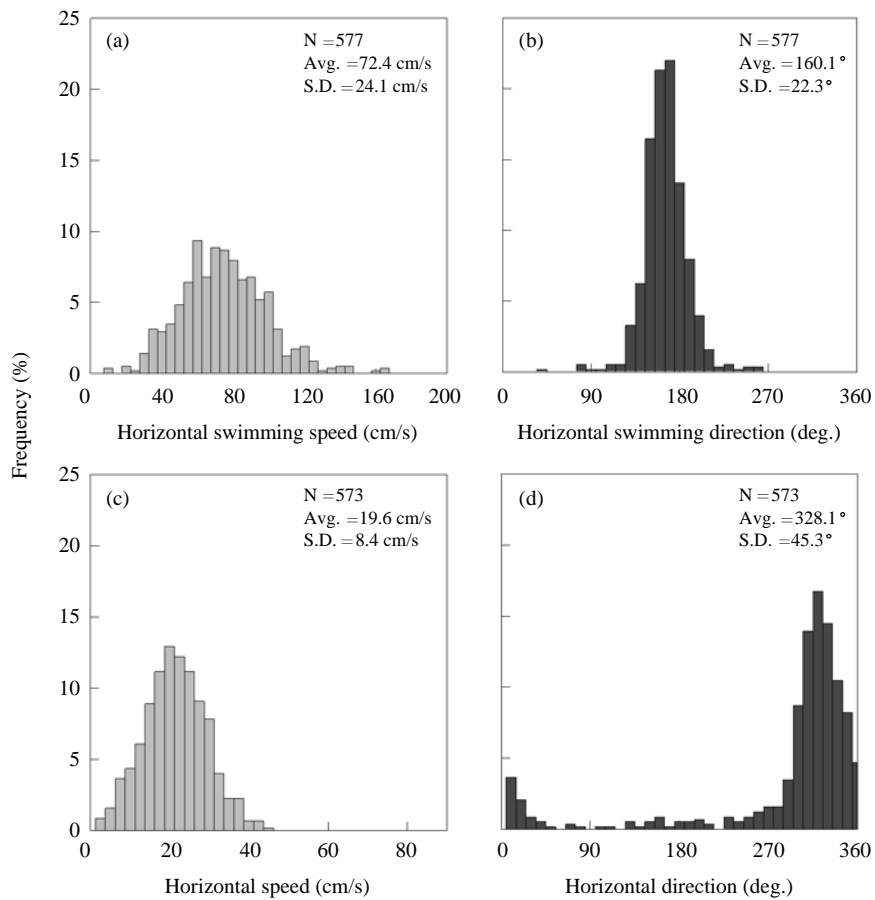
Fig. 3. Vertical distributions of the averaged SV, horizontal current speed and current direction measured by shipboard ADCP after net sampling. The averaged SV was derived for 30 seconds.

표층에 빠른 유속의 측정치와 수심 30 - 50m 부근의 유향은 주변의 유속장과 다른 분포를 나타내는 것으로 볼 때, 어군의 이동에 따른 유속장의 편차가 발생한 것으로 판단된다. 에코그램상의 어군의 반응이라고 판단되는 시간대의 수심에 대한 각 유속 측정치와 네 빔에 대한 MVBS 값을 Fig. 4에 나타내었다. 30초간 평균한 데이터로부터 어군의 이동속도로 추정되는 최대 수평유영속도는 61.2cm/s였으며, 이 때의 4개의 빔에 대한 MVBS 값은 각각 -65.3dB, -59.7dB, -65.3dB, -56.7dB였다. Demer et al. (2000)은 특정어군이 최소 3개의 음향 빔에서 수신되는 에코강도의 역치레벨이 5dB보다 작은 범위의 적분층에 대한 속도성분을 어군의 실제 유영속도로 판단하였다.

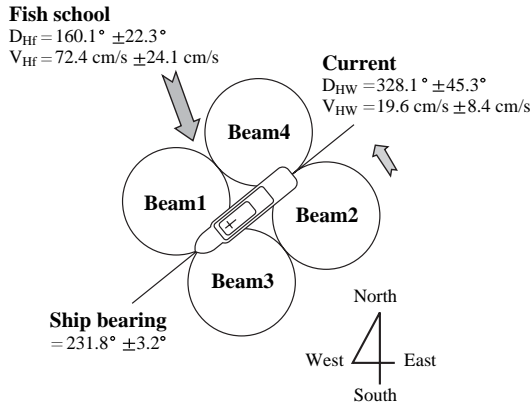
본 연구에서는 측정정도를 높이기 위해서, 4개의 빔간에 측정된 MVBS 값을 비교하였는데, 최대 8.6dB 차이가 나므로, 어군의 실제 유영속도에 대한 추정치로 보기에는 편차가 포함되어 있다. 또한, 대규모의 어군의 경우와는 달리, 분산되어 유영하는 패턴을 고려해 볼 때, 30초간의 평균에 의한 것은 유영속도 측정치의 오차를 일으킬 수 있다. 따라서, 평균화를 시키지 않은 1초 간격으로 약 40분간 측정 데이터를 이용하여 각 빔에 대한 MVBS 및 4빔의 평균화된 MVBS 값을 이용하여, 뽕치어군에 대한 4 빔간의 상대역치 값은 5dB을 초과하지 않는 에코신호를 추출하고 역치레벨 (-70dB) 이상의 적분층을 어군으로 판단하여, 뽕치어군의 유영속도를 추정하였으며, 뽕치어군의 유영속도 및 유영방향의 추정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그 결과, 뽕치어군의 평균 수평유영속도 ( $H_f$ )는 72.4cm/s이며, 평균 수평유영방향 ( $H_f$ )은 160.1° ( $E_w f = 24.58$  cm/s;  $N_s f = -68.08$  cm/s)였다. 여기서, 뽕치어군의 유영속도를 측정할 때, 드리프트층의 조사선 수방향에 대한 뽕치어군이 분포하고 있는 수심층에 대한 평균 이동방향과 평균 유향을 Fig. 6에 나타내었다.



**Fig. 4.** Depth distribution of measured horizontal speed (a), and MVBS (b) calculated from echo intensity in 30 sec-averaged value which is measured using ADCP 153.6 kHz for fish school distributed in sound scattering layer.



**Fig. 5.** Histograms for fish moving speed (a) and direction (b) estimated on the basis of MVBS thresholds ( $> -70\text{dB}$ ) and fish-to-background thresholds of 5dB, and surrounding horizontal current speed (c) and direction (d).



**Fig. 6. Schematic drawing of average  $\pm$  standard deviation (Avg.  $\pm$  S.D.) of the orientation of shipboard ADCP, and fish school's horizontal swimming direction ( $D_{HF}$ ) and speed ( $V_{HF}$ ), and background horizontal current field.**

조사 정점 603에 있어서의 평균 유속장 ( $\bar{\theta}_{HW} = 328.1^\circ$ ,  $\bar{V}_{HW} = 19.6 \text{ cm/s}$ )에 대해서 어군의 이동은 해류의 흐름과 거의 반대방향인 남동 방향으로 이동하고 있다. 여기서, 평균 수평 유속장에 대한 어군의 실제 평균 수평이동속도 ( $\bar{V}_{HF}$ )는 식 (5)의 벡터 계산에 의해  $88.6 \text{ cm/s}$ 로 추정 가능하다.

여기서, ADCP를 이용하여 측정된 쾡치어군의 이동특성은 가을 중순경에 오야시오 해역으로부터 남하하기 시작하는 어군이 홋카이도 동남연안을 따라 분카만 부근을 경유하여 일본 동북연안으로 이동하는 것으로 추정된다. 그리고 Fig. 4의 4빔에 대한 MVBS의 측정치에 있어서, 빔 1과 3, 빔 2와 4의 측정치가 유사한 것으로도 조사선의 선수미방향에 대하여 수직인 방향으로 어군이 이동하는 것과 동일하다는 것을 알 수 있다.

ADCP는 수평속도 성분과 함께 연직속도 성분 ( $\bar{V}_v$ )을 측정할 수 있다. 또한 어군에 대한 3차원 유영속도의 추정이 가능하며, 수평속도 성분과 연직속도 성분의 조합에 의해 유영하는 어군의 유영자세각 특성을 추정할 수 있다 (Demer et al., 2000). 따라서, 식 (6)를 이용하여 쾡치어군의 3

차원 유영속도를 추정 하였으며, 식 (7)에 의해 유영자세각 분포를 추정 하였다. 그 결과, 쾡치어군의 3차원 평균유영속도는  $91.3 \text{ cm/s}$ 이며, 어군의 유영자세각은 어군으로 추정되는 적분층의 3차원 벡터속도 성분을 계산한 결과,  $N (16.2^\circ \pm 12.4^\circ, \text{Avg. } \pm \text{S.D.})$ 로 추정 되었다. 본 실험에서 3차원 벡터 속도 성분에 의한 평균 유영속도 및 평균 유영자세각은 야간에 측정된 것으로서, 주광성이 있는 쾡치어군이 선박의 불빛 자극에 의해 이동하는 어군의 유영속도 및 유영자세각 특성에 크게 영향을 준 것으로 판단된다. 그리고, 해양환경에 있어서 수온은 고기의 유영능력에 영향을 주는 요소이다 (Dickson et al., 2002). 본 실험에서 유영속도를 측정된 해역에 있어서의 어군 분포 수심 구간 (표층 - 35m)의 수온 분포는  $14.1 - 17.6^\circ \text{C}$ 로서, 일본 동북연안에 있어서 쾡치의 어기중 (9 - 11월)의 최적수온대 ( $15 - 18^\circ \text{C}$ )와 비교하면, 추정된 쾡치어군의 유영속도는 최적수온대에 있어서의 유영속도 값으로 판단된다.

## 결론

조사해역의 유속장을 측정하기 위한 용도의 ADCP는 산란체에 대한 주파수 변이량의 측정에 의해 유속장을 측정하고, 측정된 유속장의 정도 향상을 위해 평균화하여 연산 처리되어 유속장을 추정한다. 그러나, 4빔에 일정하게 분포하여 이동하고 있는 고밀도 어군에 의해 유속장의 편차는 발생할 수 있으므로, fish rejection 알고리즘에 의해 어군에 의한 유속장 오차를 제거할 수 있게 되었으나, 이 알고리즘을 적용하지 않는 경우에는 4빔에 일정하게 수신되는 주파수 변이량을 이용하여 서로 반대쪽의 두 빔에 의한 수평 성분과 수직 성분을 조합하면, 대상어군의 3차원 유영속도를 추정할 수 있다. 이것은 각 적분층에 대해서 4빔간의 절대역치레벨과 상대역치레벨에 의해 어군으로 추정되는 적분층에 대해 수평 이동성분과 연직속도성분의 벡터계산이 가능하

였다. 또한, 유영자세각 분포를 추정할 결과, 주광성이 있는 썩치어군의 경우, 야간에 측정되어 선박의 불빛에 의한 자극이 해수면 부근의 경우 크게 작용하여 유영속도가 다소 높게 추정되었고 측정된 유영자세각 분포는 상승 이동하는 것으로 나타났다. 향후 실험에 있어서 검증해야 할 사항으로, Demer et al. (2000)에 의해 제안된 어군의 이동속도를 추정시, 3개의 빔 이상 측정되는 값이 일정 어군에 대해 5dB 이상은 초과하지 않는 것으로 적용하였는데, ADCP의 수직면에 대해 30도 경사되어 방사하는 4 빔의 주사방향에 대한 대상생물의 이동방향 및 유영행동에 따른 자세각 분포에 따른 체적후방산란강도의 변화에 대한 검증이 필요하다고 생각된다. 또한, 일반적으로 소형 중층성 어종의 경우, 유영속도는 체장의 약 3배로 추정되는 것이 일반적인데, 썩치에 대한 자연상태에서의 유영속도는 지금까지 연구된 결과가 없었으므로 측정된 유영속도와 표본채집 데이터와의 신뢰성 높은 자료를 활용하여 썩치의 체장에 따른 유영속도를 추정하는 것이 필요하다. 그리고, 자연상태에서 측정된 어군의 이동속도를 이용하여 각 어체의 체장에 따른 유영속도를 검증함으로써, 일정해역에 내유하는 중층성 어군에 대한 종 판별이 가능하다고 판단된다. ADCP의 속도 측정의 특성상, 대상어종의 개체별 후방산란강도 (Target Strength)의 추정이 불가능하다는 결점은 체장에 대한 어류의 유영속도를 측정하여 어종 판별 정보로 활용이 가능하며, 밀도 추정에 있어서 개체에 대한 TS의 값에 큰 영향을 주는 변수, 유영자세각은 3차원 속도벡터 성분으로부터 유영자세각을 계산하여 추정할 수 있다. 따라서, 수산유용생물의 자원량 추정에 있어서도 ADCP의 활용 범위는 넓게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산과학원 (선망용 집어시스템 개발 RP - 2010 - FE - 005)의 지원에 의해 수행되었으며, 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- Deines, K.L., 1999. Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profilers. Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement, San Diego, pp. 5.
- Demer, D.A., M. Barange and A.J. Boyd, 2000. Measurements of three - dimensional fish school velocities with an acoustic Doppler current profiler. Fish. Res., 47, 201 - 214.
- Dickson, K.A., J.M. Donley, C. Sepulveda and L. Bhoopat, 2002. Effect of temperature on sustained swimming performance and swimming kinematics of the chub mackerel *Scomber japonicus*. J. of Exp. Bio., 205, 969 - 980.
- Holliday, D.V., 1974. Doppler structure in echoes from schools of pelagic fish. J. Acoust. Soc. Am., 55 (6), 1313 - 1322.
- Plimpton, P.E., P.H. Freitag and M.J. McPhaden, 1997. ADCP velocity errors from pelagic fish schooling around equatorial moorings. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 14, 1212 - 1223.
- RD Instruments, 1996a. Acoustic Doppler Current Profiler, Principles of Operation a Practical Primer. RD Instruments, San Diego, California, USA, 51pp.
- RD Instruments, 1996b. Field service technical paper 001 (FST - 001) Broadband ADCP advanced principles of operation 01 October 1996. RD Instruments, San Diego, California, USA, pp. 15.
- Zedel, L., T. Knutsen and R. Patro, 2003. Acoustic Doppler current profiler observations of herring movement. ICES J. Mar. Sci., 60, 846 - 859.

2010년 4월 1일 접수

2010년 4월 30일 1차 수정

2010년 5월 3일 수리