ISSN 1225-827X (Print)
ISSN 2287-4623 (Online)
J Kor Soc Fish Technol, 50 (4), 551－555, 2014
http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.4.551

FISHERIES TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr
〈Original Article〉

교정구에 의한 음향 도플러유향유속계의 평균 체적후방산란강도 검토

양용수 · 이경훈[1*] · 이대재[2] · 이동길
국립수산과학원 시스템공학과, [1]전남대학교 해양기술학부, [2]부경대학교 해양생산시스템관리학부

Verification of mean volume backscattering strength from acoustic doppler current profiler by using calibrated sphere method

Yong-Su YANG, Kyounghoon LEE[1*], Dae-Jae LEE[2] and Dong-Gil LEE

Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea
[1]Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea
[2]Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

ADCPs have been widely used to estimate the dynamic characteristics and biomass of sound scattering layers (SSLs), and swimming speed of fish schools for analyzing SSLs spatial distribution and/or various behavior patterns. This result showed that the verification of the mean volume backscattering strength (MVBS or averaged SV, dB) acquired by the ADCP would be necessary for a quantitative analysis on the spatial distribution and the biomass estimation of the SSLs or fish school when ADCP is used for estimating their biomass. In addition, the calibrated sphere method was used to verify values of each MVBS obtained from 4 beams of ADCP (153.6 kHz) on the base of 3 frequencies (38, 120, 200 kHz) of Scientific echo sounder's split beam system. Then, the measured SV values were compared and analyzed in its Target Strength (TS, dB) values estimated by a theoretical acoustic scattering model.

Keywords: ADCP, MVBS, Calibrated sphere method, SSLs, Acoustic scattering model

서 론

ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)를 이용하여 음향산란층에 널리 분포하고 있는 동물플랑크톤의 특정지역에 대한 분포밀도와 행동특성에 관한 연구 (Flagg and Smith, 1989; Roe and Griffiths, 1993)는 최근 10년간 남극을 중심으로 크릴과 같은 동물플랑크톤을 대상으로 연구가 진행되었으며, 현재 특정 해양생물의 자원량 추정에 일반적으로 사용되고 있는 다중주파수로 구성되어 있는 과학어군탐지기 (이하 과학어탐)와의 MVBS 측정값을 비교해 볼 때, 상관관계를 가진다 (Griffiths and Diaz, 1996; Lee et al., 2008).

그러나, 음향을 이용한 자원량의 추정에 있어서는 트랜스듀서의 감도에 따른 교정이 중요한 변수이기 때문에, 조사에 앞서 교정 (calibration)을 행하는 것은 중요한 과정이 아닐 수 없다. ADCP의 경우에 있어서, 해저설치형과 같은 이동식 ADCP는 음향수조에서 후방산란

*Corresponding author: khlee71@jnu.ac.kr, Tel: 82-61-659-7124, Fax: 82-61-659-7129

강도의 교정을 행할 수 있으나, 선저설치형 ADCP는 제작 회사에서 검토한 후방산란강도의 교정값을 사용하기 때문에 트랜스듀서의 주기적인 교정을 수행하기 어렵다. 또한, 트랜스듀서의 빔 방사 각도가 20－30도 경사각으로 유향유속을 측정하고, 단일 빔 방식으로 다층식 유속장을 측정할 수 있는 기기의 특성으로 인하여 단일 개체의 후방산란강도의 측정이 불가능하다. 그러나, ADCP는 조사해역에 대한 각 적분층에 대한 평균체적후방산란강도의 측정에 의해, 특정어군이나 동물플랑크톤의 밀도를 추정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서, ADCP를 이용하여 대상 산란체에 대한 분포밀도를 교정함에 있어서 일반적으로 적용하는 교정구를 이용한 검증은 아직까지 확인되지 않았기 때문에, 본 연구에서는, 스틸 교정구를 이용하여 교정된 3개 주파수 (38, 120, 200 kHz)의 split beam 트랜스듀서로 구성된 과학어탐에 대한 후방산란강도를 이론모델에 의해 검증하고, RDI사의 ADCP를 이용하여 측정된 에코강도 (counts)를 평균체적후방산란강도 (mean volume back-scattering strength, dB)로 계산하여 과학어탐의 MVBS 값과 비교하였다. 또한, ADCP의 4개 빔에 있어서 MVBS 값에 영향을 주는 노이즈레벨 (background noise level)값의 변화에 따른 추정값을 비교, 고찰하였다.

재료 및 방법

교정구를 이용한 후방산란강도의 측정

본 연구에 사용된 ADCP (RD-Instruments사, Ocean Surveyor, USA)의 데이터 처리는 마이크로소프트사의 윈도우 시스템에 기반을 두고 있으며, 선수방위 및 선속에 관한 정보는 자이로컴퍼스와 GPS에 연결된 외부 인터페이스를 통하여 원하는 시간 간격으로 퍼스널 컴퓨터에 바이너리코드로 입력된다. 또한, 입력된 저장 데이터는 광대역 ADCP용 후처리소프트웨어 (TrackView Ver.1.02C, Sea corp., Japan)를 이용해 ASCII 코드로 변환시켜 분석하였다.

ADCP의 방사 빔 방향에 대해 음 축 선상에 교정구를 위치하도록 하여 평균체적후방산란강도를 측정하기 위한 모식도를 Fig. 1과 같이 나타내었다.

여기서, ADCP는 선박에 설치되어 있는 수심 (2.8 m)과 탐지불가능과 영역 (4 m)을 포함하여 수심 8 m까지는 음향산란체의 측정이 불가능하고, 조사선박의 선폭에 대한 빔 경사각을 고려한 결과, 14 m 부근에 교정구를 내려 4개의 빔 축 상에 위치할 수 있도록 조정하였다 (Fig. 1 (a)). 한편, 선저설치형 ADCP의 경우, 4개 빔은 선수미방향에 대해 빔 3을 기준으로 하여 선수방향의 0도와 45도 방향으로 조정할 수 있으며, 이렇게 하여 4개 트랜스듀서의 배열이 가능하다. 그러나, 조사선박의 피칭과 롤링에 대한 유속장의 에러를 감소시키기 위해, 선수미방향의 45도 방향으로 설치하는 것이 일반적이다. 일본 홋카이도대학 실습선 (T/S Ushio-maru)의 경우, 트랜스듀서의 위치는 선수미방향에 대해 반시계 45도 방향으로 설치되어 있다 (Fig. 1 (b)).

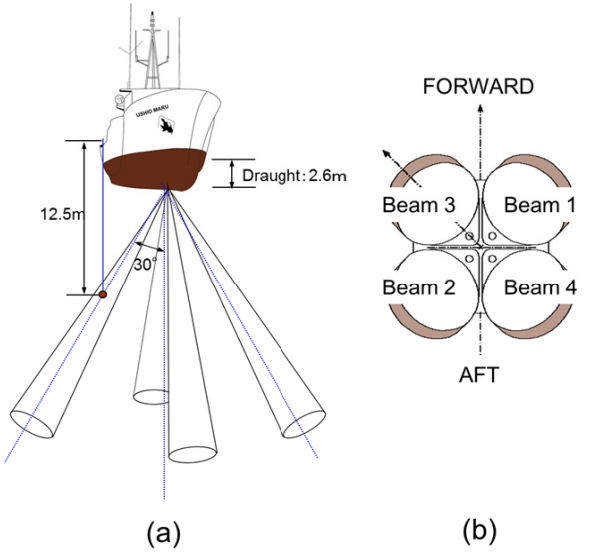

Fig. 1. Schematic of calibrated sphere be set from the Ushio-maru for validating MVBS estimated by ADCP (a) and its transducer configuration (b, RD-Instruments, 1998) is composed of misalignment angle of −45 degrees from ship centerline.

한편, 본 연구에서는 ADCP의 특정 빔을 선택하여, 빔 축에 교정구를 위치하도록 하여 측정한 에코강도 (Echo Intensity)를 측정하였다. 이 측정값은 2003년 4월에 교정된 과학어탐 (EK60, Simrad Kongsberg Maritime AS, Norway)의 3개 주파수에 대한 측정값과 음향산란 모델에 의한 계산값과 비교하였다. 싱글 빔으로 구성되어 있는 ADCP의 특성에 대한 신뢰도는 split beam방식의 EK시스템으로부터 얻은 교정구 위치에 대한 위상차로 보정된 값과 보정되지 않는 상태의 데이터를 비교하여 검증하였다.

평균체적후방산란강도의 계산

본 실험에서 사용된 교정구는 스틸구 (직경 63.5 mm)를 이용하였다. 그러나, ADCP는 부유산란체의 에코강도를 이용하여 해류의 이동속도를 측정하기 위한 계측장비로서, 특정 산란체의 반사강도 (target strength)를 측정할 수 없다. 이에 교정되어진 과학어탐의 3개 주파수에 대한 교정구의 음향산란이론모델을 이용하여 각 주파수에 대한 반사강도의 이론값과 측정값을 Fig. 2와 같이 나타내었다.

또한, 교정구가 위치하는 ADCP의 적분층과 비교하기 위하여, ADCP의 적분층 (2 m)과 동일하게 하여, 3개의 주파수에 대한 TS 이론값을 평균 체적후방산란강도 (averaged SV)로 식 (1)에 의해 계산한 후, 실측값과 비교하였다 (Miyanohana et al., 1983; Furusawa et al., 1995; Vagle et al., 1996).

$$SV = TS - 10\log\psi - 10\log(r^2 r_w) \quad (1)$$

여기서, TS 값은 이론 후방산란강도를 나타내며, ψ는 각 주파수에 대한 등가지향각 (스테라디안), r은 트랜스듀서에서 측정 교정구까지의 거리 (m), r_w는 교정구가 위치한 임의의 적분층을 나타낸다.

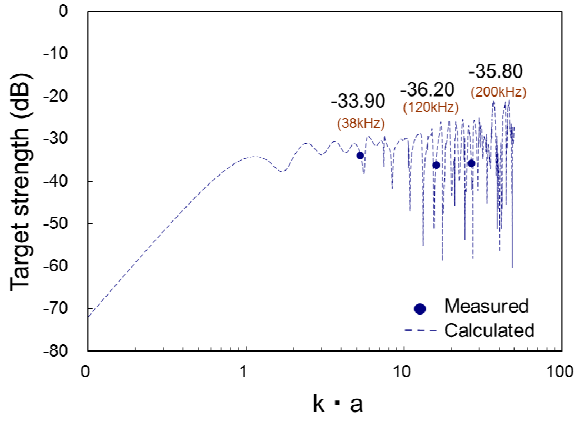

Fig. 2. Comparison of measured TS maximum values and theoretical values relative to each frequency for steel sphere (Dia.; 63.5mm).

한편, ADCP의 음향데이터는 소프트웨어 (VM-DAS, RD Instruments, USA)에 의해 ping rate를 1초 간격으로 측정한 에코강도를 수록하여 RD Instruments사의 기술보고서에 인용된 아래의 식 (2)를 이용하여 평균체적후방산란강도를 계산하였다 (Griffiths and Diaz, 1996; RD Instruments, 1998; Deines, 1999).

$$SV = 10\log_{10}\left\{\frac{4.47\times10^{-20}K_2K_S(T_X+273)(10^{K_C(E-E_r)/10}-1)R^2}{C_S P K_1 10^{-2\alpha R/10}}\right\} \quad (2)$$

여기서, 각각의 시스템 상수를 설정하고, 음속 (CS)과 흡수감쇄계수 (α)는 측정조사해역에서 CTD system (SBE-19 Plus, Sea-Bird, USA)로부터 측정되어진 해양환경 파라미터를 적용하여 계산할 수 있다 (Mackenzie, 1981).

또한, 측정된 에코강도 (E) 값은 각 적분층의 에코강도를 나타내며, 주변 노이즈레벨 (Er)은 각 4개 빔의 적분층에서 얻어진 에코강도 중에서 가장 작은 값을 선택하였는데, 이 값은 산란체에 의한 에코신호가 수신기에 들어오지 않는 것을 의미하는 것으로서, ADCP의 각 빔에서 수신된 에코강도를 MVBS 값으로 계산하는 중요한 변수이다.

결과 및 고찰

MVBS 이론값과 측정값의 비교

ADCP의 교정을 검토하기 전에, 과학어탐의 3개 주파수를 이용하여 측정한 스틸구의 반사강도의 측정 결과를 Fig. 3과 같이 나타내었다. 실험에 사용한 과학어탐은 split beam식 트랜스듀서이며, 스틸구 에코신호의 위상차에 의해 교정된 빔 패턴에 의해 보정되어진 측정값을 얻을 수 있다.

여기서, 교정구의 음향산란이론모델에 의한 반사강도 및 ADCP와 같은 동일한 적분층에 대한 체적후방산란강도를 계산한 결과와 ADCP의 특정 빔에 대한 최대 측정값을 비교한 것은 Table 1과 같다.

그 결과, 과학어탐에 있어서 위상차에 의해 교정된 최대 측정값은 각 주파수에 대하여 각각 5.1 dB (38 kHz), 5.3 dB (120 kHz), 6.4 dB (200 kHz)의 편차가 발생되었다. 또한, ADCP에서 측정한 경우, 음향산란이론모델에 의한 평균체적후방산란강도의 추정값 (-39.4 dB)과 최대 측정값 (-40.5 dB)을 비교한 결과, 약 1 dB의 적은 편차가 발생되었다.

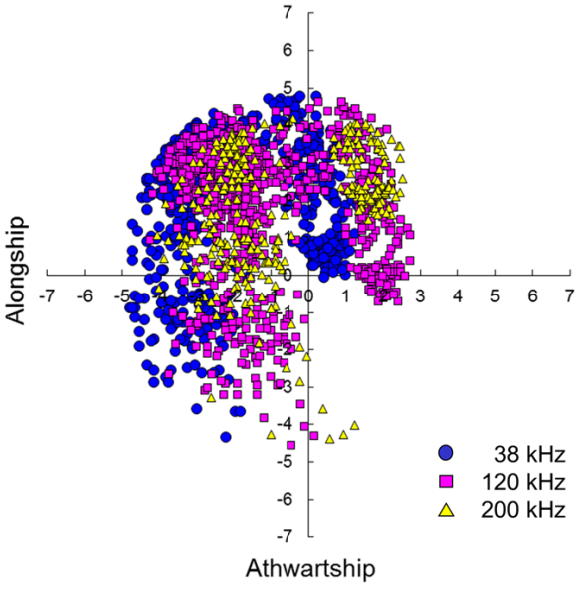

Fig. 3. Measured target locations relative to each frequency for steel sphere (Dia.: 63.5 mm).

Table 1. Theoretical and measured values for steel sphere using Scientific echo sounder and ADCP

Frequency (kHz)	Theoretical value		Measured value		
	Maximum TS	MVBS	Compensated Avg. TS	Uncompensated Avg. TS	MVBS
38	-33.9	-35.3	-35.5	-40.6	-35.7
120	-36.2	-39.6	-39.3	-44.6	-38.7
200	-35.8	-39.2	-39.2	-45.6	-39.3
153.6	-36.0	-39.4	-	-	-40.5

노이즈레벨에 의한 MVBS의 변화

ADCP의 평균체적후방산란강도에 있어서, 시스템 정수이외의 최대 주요한 변수로서, 주변 노이즈레벨 (*Er*)에 대한 설정이 필요하다. 본 실험에서 결정한 *Er* 값은 수심이 깊은 곳에서 측정된 에코강도 값과 전 수층 에코강도의 최소값으로 설정하는 두 가지 방법 중에서, 후자의 방법으로 설정하였으며, 설정된 4개 빔에 대한 각각의 노이즈레벨은 20, 18, 15, 15 dB이었다. Fig. 4는 4개 빔의 노이즈레벨 차이에 따른 평균체적후방산란강도의 값을 나타내는 것으로서, Er 값이 최대 20 counts인 빔 1과 빔 2 (18 counts)를 비교하면, MVBS값은 0.9 dB 편차가 발생되며, 빔 3과 4의 경우에는, 각각 2.2 dB의 차가 발생된다는 것을 알 수 있다. 따라서, ADCP의 4개 빔에 의해 측정된 평균 체적후방산란강도는 빔의 차이에 의해 최대 2.2 dB의 차가 발생되는 것을 알 수 있다.

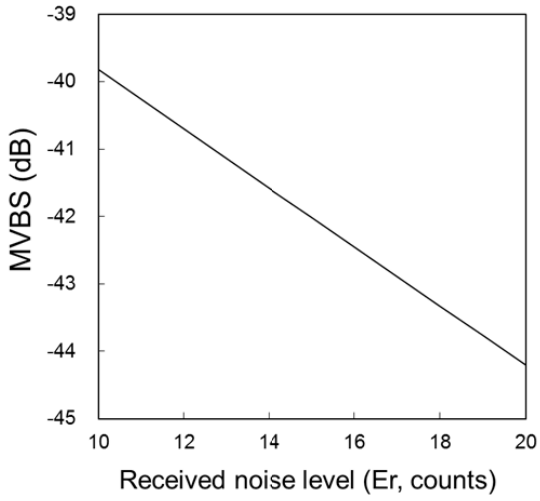

Fig. 4. Variation of MVBS values (dB) in relation to received noise level (counts).

음향도플러유향유속계의 MVBS값 활용 검토

ADCP는 각 음향 산란체가 상향이동이나 하향 이동할 때의 후방산란신호강도에 대한 최대치에 따라 음향산란층의 평균속도를 측정하기 위해 많은 연구자들에 의해 현재에도 많이 사용되어지고 있다. 또한, 평균 체적후방산란강도 (MVBS)를 계산하기 위한 계산식은 속도벡터를 측정하는 빔 4에 있어서 지수평균값으로 계산되어지고, 각 4개 빔에 있어서의 평균체적산란강도의 에코그램은 비록 노이즈를 많이 가지고 있으나 일정 경향을 나타낸다. 그러나, ADCP를 이용한 실제적인 자원량 추정에 관한 정량적인 방법에는 현재 몇 가지의 해결해야 할 문제점을 가지고 있다.

트랜스듀서의 문제

음향도플러유속계는 조사해역에 있어서 주된 목적이 공간적인 해양물리학적인 요소를 연구하기 위한 장비이므로, 특정 생물체에 대한 자원평가의 목적을 위한 장비이므로 단일 빔 트랜스듀서로 구성되어 있다. 따라서, 현재 음향자원분야에서 널리 쓰이는 split beam방식 또는 dual beam 방식의 트랜스듀서 형식을 가지고 있지 않으므로 신뢰성 있는 교정방식에 의한 자원량 추정을 검토할 필요가 있다.

트랜스듀서의 빔의 방사각도에 의한 측면 TS의 검토

음향도플러유향유속계는 3개 혹은 4개의 빔을 사용하고 있으며, 송·수신 상의 신호 간섭을 피하기 위해, 트랜스듀서의 윈도우면에서 수직에 대해 20－30도의 각도를 가지고 있으므로, 유영하는 대상 생물체에 대한 빔 경사각에 있어서의 후방산란강도의 이론적인 검증과 실제측정이 고려되어져야만 한다. 이러한 것은 멀티빔과 같은 넓은 공간영역에 대한 현존량을 추정하는 경우도 유사한 경우로 판단되며, 대상 생물체에 대한 3차원 음향산란강도의 특성을 규명할 필요가 있다.

결 론

해양물리학분야에서 조사해역의 유속장 정보를 획득하기 위하여 많은 활용을 하고 있는 ADCP는 조사해역에 대한 각 적분층에 대한 평균체적후방산란강도의 측정에 의해, 특정어군이나 동물플랑크톤의 밀도를 추정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구는 4개의 빔으로 구성되어 있는 ADCP를 이용하여 특정 교정구에 대한 음향산란신호의 절대값을 검증하기 위한 시도로서, 특정 한 빔에 대한 측정값을 절대값으로 계산하여 교정된 된 과학어탐에 의한 절대값과 비교하여 신뢰성을 추정하였다. 그러나, 실제 4빔에 대한 음향산란신호의 절대치의 교정에 대한 검토는 이루어지지 않았으나, ADCP의 음향산란신호의 절대치로 나타내는 노이즈 카운터에 의한 각 빔의 특성에 대해 충분한 검토가 되었으며, ADCP의 교정에 의해 해양생물자원의 행동패턴뿐만 아니라, 자원량 추정도 충분히 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산시험연구사업(RP-2014-FE-023)으로 수행되었으며, 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

REFERENCES

Deines KL. 1999. Backscatter Estimation Using Broadband Acoustic Doppler Current Profiler. *Proceeding of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement, San Diego, USA*: 5 pp.

Flagg CN and Smith SL. 1989. On the use of the acoustic Doppler Current Profiler to measure zooplankton abundance. Deep Sea Res 36, 455-474 (DOI: 10.1016/0198-0149(89)90047-2).

Furusawa M, Miyanohana Y, Sawada K and Takao Y. 1995. Calibration Manual for Quantitative Echo sounders. Tech Rep NRIFE Fish Boat and Instr 15, 9-37.

Griffiths G and Diaz JI. 1996. Comparison of acoustic backscatter measurements from a ship-mounted Acoustic Doppler Current Profiler and an EK500 scientific echo-sounder. ICES J of Mar Sci 53, 487-491 (DOI: 10.1006/jmsc.1996.0070).

Lee K, Mukai T, Lee DJ and Iida K. 2008. Verification of mean volume backscattering strength obtained from acoustic Doppler current profiler by using sound scattering layer. Fish Sci 74, 221-229 (DOI: 10.1111/j.1444-2906.2008.01516.x).

Mackenzie KV. 1981. Nine-term equation for sound speed in the oceans. J Acoust Soc Am 70, 807-812 (DOI: 10.1121/1.386920).

Miyanohana Y, Ishii K and Furusawa M. 1983. Dorsal-aspect targer strength on five species of fish. Tech Rep NRIFE Fish Boat and Instr 4, 95-105.

RD Instruments. 1998. *Installation Guide for vessel mount ADCPs,* 36 pp.

Roe HSJ and Griffiths G. 1993. Biological information from an Acoustic Doppler Current Profiler. Mar Biol 115, 339-349 (DOI: 10.1007/bf00346352).

Vagle S, Foote KG, Trevorrow MV and Farmer DM. 1996. A Technique for Calibration of Monostatic Echosounder Systems. IEEE J of Oceanic Eng 21, 298-305 (DOI: 10.1109/48.508160).

2014. 10.14 Received
2014. 11.23 Revised
2014. 11.26 Accepted