

음선이론을 이용한 백령도 부근해역 다중빔 수심측량 자료의 수직·수평 오차 분석

유승기¹⁾, 주종민²⁾, 최지웅²⁾, 김영배³⁾, 정현³⁾, 김서철³⁾, 박성규¹⁾

¹⁾(주)환경과학기술, skyoo@kesti.co.kr

²⁾한양대학교 해양환경과학과 해양음향연구실

³⁾국립해양조사원

A precision analysis of Baengnyeongdo Multi-beam echosounder data using acoustic ray theory

Seungki You¹⁾, Jongmin Joo²⁾, Jeewoong Choi²⁾, Youngbae Kim³⁾, Hyun
Jung³⁾, Seocheol Kim³⁾, Sungkyeu Park¹⁾

¹⁾Korea Environmental Science & Technology Institute, Inc.(KESTI)

²⁾Dept. of Environmental Marine Sciences, Hanyang University,

³⁾Korea Hydrographic and Oceanographic Administration(KHOA)

요약 : 2009년 국립해양조사원은 백령도 부근 해역에 대해 바다로 1호에 장착된 Simrad EM3000 다중빔 음향측심기를 이용한 수심측량조사를 실시하였으며 정확한 음속보정을 위해 1일 7~10회 이상의 음속을 관측하였다. 백령도 주변해역은 계절에 따라 여러 이질 수괴(쿠로시오 난류, 황해 연안수 등)가 복잡하게 분포하여 여러 형태의 수온 전선이 형성되어 수층 음속 분포가 최대 10m/s 이상의 차이를 나타냈다. 또한 난수괴 유입으로 인해 수온약층의 깊이가 지역별로 다르게 분포 하였다. 이러한 음속의 국지적 변화는 다중빔을 이용한 수심측량 자료의 정확도를 저하시키는 요인으로 작용한다. 따라서 백령도 주변해역 수심측량 자료의 수평·수직 변화를 음선추적 이론을 이용하여 확인하였다.

주요어 : 다중빔 음향측심기, 음선이론, 해저지형, 음속 에러, 수심 정확도

Abstract : Bathymetry survey around the Baengnyeong-do was made by the Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA), using the Simrad EM3000 Multi-Beam EchoSounder (MBES) mounted at the hull of the R/V Badaro 1. Sound velocity were monitored with frequent sound velocity profiler(SVP) casts during the acoustic measurements. The depth distribution and fluctuation of thermocline varied locally owing to the effect of several current flows such as Kuroshio current and Yellow sea coastal waters. These uncertainties cause the falling-off in accuracy of MBES results. In this paper, the bathymetry results will be presented and their accuracy will be discussed along with comparisons to the time and spatial variations in sound velocity profile.

Keywords : multi-beam, acoustic ray theory, bathymetry, sound velocity errors, depth accuracy

1. 서론

한국의 남서해 및 동중국해 북부 해역은 계절에 따라 상층에는 대마난류 및 황해냉수, 중·저층에는 황해저층냉수, 연안수 등의 출현으로 인해 여러 형태의 수온전선 및 복잡한 해황을 형성한다(Yang et al., 1998). 이로 인해 시·공간적인 수온 분포가 다르게 나타나고 이런 현상은 다중빔을 이용한 수심 측량시 음속분포에 직접적으로 영향을 미쳐 자료 정확성에 대한 오차를 야기한다(Tonchia 1996). 최근 다중빔을 이용한 수심측량자료의 음속변화에 따른 수심정확도 분석 연구는 매우 중요하다. 특히 수위가 복잡한 해역이나 담수의 유입이 있는 연안부근에서는 그 오차 영향이 더욱 크게 나타남에 따라 단주기적인 음속 관측이 필요하다(Dinn et al. 1995).

2009년 국립해양조사원은 국가해양기본도 조사를 위해 백령도 부근해역에 대한 다중빔 수심측량을 3월부터 현재까지 수행하고 있다. 관측구역의 월별 수온분석 결과 시·공간적 차이가 발생함을 확인하였고 이러한 현상은 수심측량에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 음선 이론을 기반으로 백령도 부근해역의 실제 음속 분포 환경에서 나타날 수 있는 다중빔 수심측량 자료의 정확도를 분석하였다.

2. 조사 방법 및 지역 특성

국립해양조사원은 우리나라 관할해역에 대한 국가해양기본도 조사 계획을 수립하여 1996년 동해를 시작으로 한반도 주변해역 전체에 대한 해양조사를 연차적으로 실시 중에 있다. 2009년에는 백령도 부근해역 해저지형 조사를 위해 바다로 1호에 탑재된 Simrad EM 3000 다중빔 음향측심기 장비를 이용하여 15,000km의 수심측량을 실시하였다(Fig. 1). 수심측량을 수행하기 위해 음속도 측정기를 이용하여 1일 평균 7~10회 이상 관측한 음속을 현장에서 실시간으로 적용하였다.



Fig. 1. The multi-beam survey area

3. 조사 지역 음속 자료 분석

백령도 부근해역은 연안에 인접한 지역으로 서해고유수, 쿠로시오 난류 등에 의한 영향으로 계절에 따른 수괴의 변동이 심하게 나타난다. 이로 인해 여러 형태의 수온 전선이 생성되고 지역적으로 음파전달에 영향을 주는 수온, 염분 등이 시·공간적으로 매우 다르게 분포한다. 이는 위성 SST(Sea Surface Temperature) 영상을 통해 확인할 수 있으며 수온분포 변화가 하계로 지남에 따라 크게 나타남을 확인할 수 있다(Fig. 2).

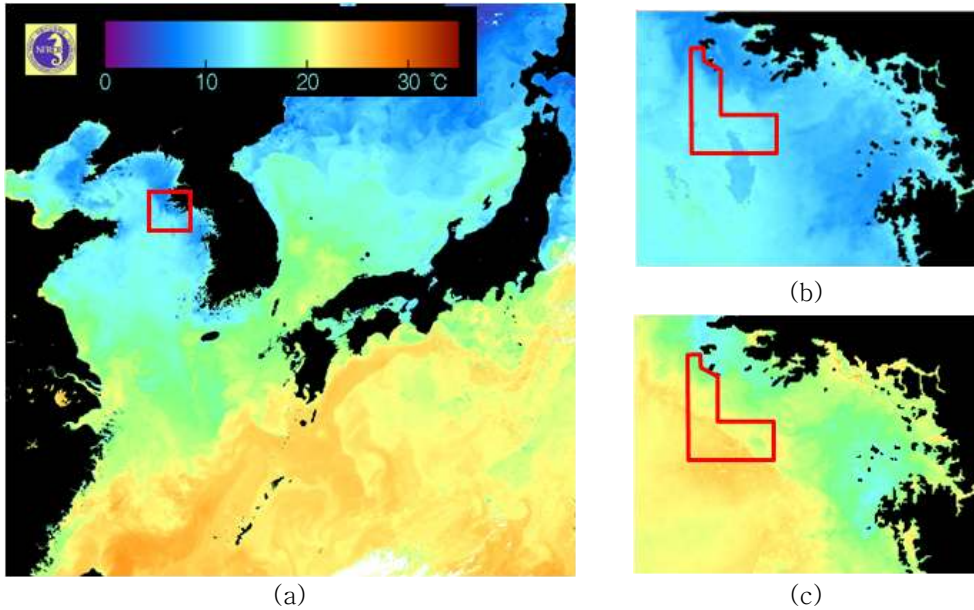


Fig. 2. SST Satellite image example :

(a) in May (b) survey area in May (c) survey area in June

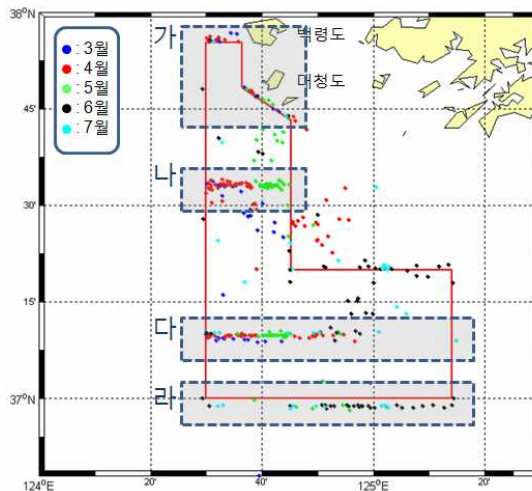


Fig. 3. SVP observed point

2009년 국가해양기본도 백령도 부근해역 해저지형 측량 수행을 위한 음속은 시간별, 지역별로 관측하였다(Fig. 3). 측량구역 내에서 음속의 변화는 표층에서 수심 약 20m 부근까지 크게 변화됨을 확인할 수 있으며 시간에 따라 표층 음속이 1472 ~ 1533 m/s로 최대 60m/s의 차이를 확인할 수 있었다(Fig. 4(a)).

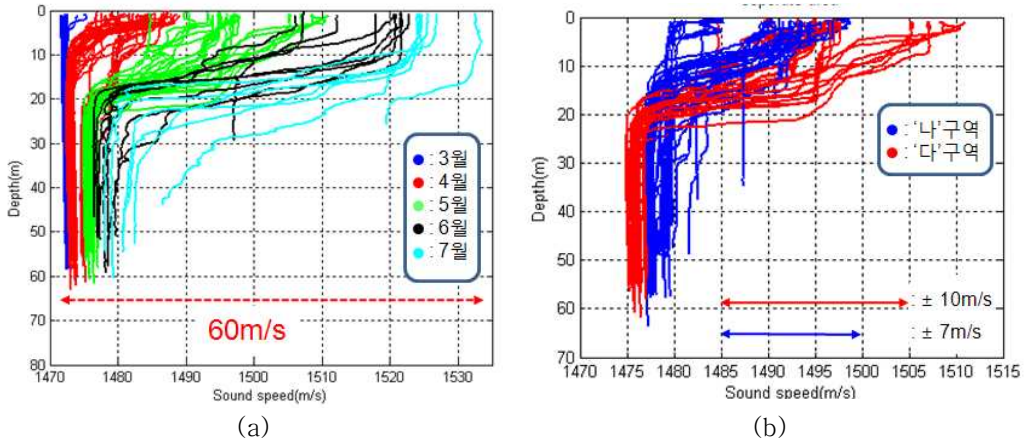


Fig. 4. A classification of SVP : (a) by month (b) by area in May

본 논문에서는 수심측량시 음속 변화에 따른 수심값의 변화를 확인하기 위해 3~5월 중 평균적인 변화를 나타내는 5월의 음속자료를 선택하였다. 5월의 음속관측은 측량 구역의 중심 지역에서 수행되었으며(Fig. 3) 수온전선에 인접함을 알 수 있다. 이를 통해 지역별 음속 자료를 나와 다 2개 구역에 대해 추출하여 각 지역에 따른 음속 분포 및 변화정도를 확인하였다. 나 지역의 음속은 10m 수심에서 약 ±7m/s의 변화됨을 확인할 수 있으며 다 지역은 10m 수심에서 약 ±10m/s의 변화됨을 확인할 수 있다. 또한 나 지역에 비해 다 지역이 상대적으로 고온의 빠른 음속층이 존재함을 알 수 있다(Fig. 4(b)). 이는 다 지역에 비해 나 지역이 상대적으로 북쪽에 위치해 있으며 연안에 인접함에 따라 난류에 대한 영향이 적고 연안수의 영향이 큰 것으로 예상된다.

나와 다 지역은 수심 약 60m의 평평한 지형을 나타내고 있으며 이 지역에서의 음속변동에 따른 수심관측값의 오차를 확인하기 위해 다음 두가지 상황에 대한 수심 변화를 모의하였다.

- case ① 유사 시간대 지역의 음속값을 이용한 수평·수직 오차 분석
- case ② 5월 나와 다 지역의 음속변화에 따른 수평·수직 오차 분석

4. 음선 이론을 이용한 수직 수평 정확도 분석

음속은 해양에서 시·공간적으로 변하며 그 음선 또한 직선으로 진행하지 않고 음원에서 전파되어 나감에 따라 굴절된다. 그 기본적인 관련성은 음속도가 다른 층들 사이에서 나타나는 굴절 각도와 관련이 있는 스넬의 법칙(Snell 's Law)에서 주어진다.

스넬의 법칙(Snell 's Law)은 입사광선, 굴절 광선 및 경계면에 내린 수선은 모두 같은 평면 내에 존재한다는 가정하에 다음 두 가지의 법칙을 가진다.

- 두 매질에 대하여 입사각이 어떠한 값을 갖더라도 입사각과 굴절각의 Sin 값의 비 ($\sin \theta 1 / \sin \theta 2$)는 항상 일정하다.

- 매질 1에 대한 매질 2의 비를 굴절률이라 하고 이 값은 일정한 상수로 정의 된다.

$$\text{Snell' Law : } \frac{\text{Sin}\theta_1}{\text{Sin}\theta_2} = C \quad (1)$$

(Sin θ 1 : 입사각, Sin θ 2 : 굴절각)

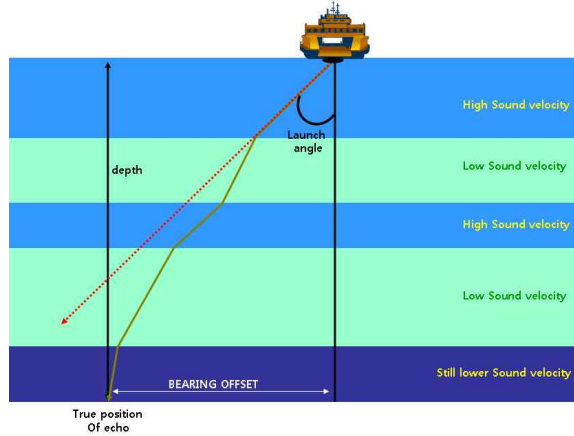


Fig. 5. A scheme of ray tracing for multi-beam survey

스넬의 법칙을 이용하여 백령도 부근해역의 5월 음속 자료를 이용한 음선추적을 통해 다 음과 같이 수직·수평 오차를 확인하였다. 또한 모의를 통해 얻은 수직·수평 오차는 IHO S-44규정의 등급별 오차 허용범위(Table 1.)와 비교하여 정확도를 분석 하였다.

$$\text{수심의오차한계치} = \pm \sqrt{a^2 + (b*d)^2} \quad (2)$$

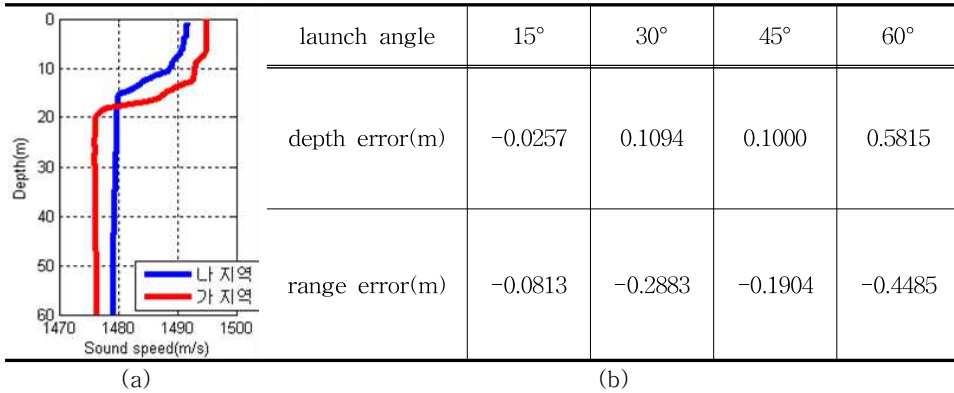
Table 1. Minimum Standards for Hydrographic Surveys(IHO S-44)

order	special	1a	1b	2
Maximum allowable THU 95% Confidence level	2 metre	5 metre + 5% of depth	5 metre + 5% of depth	0 metre + 10% of depth
(depth : 60 m)	2 metre	8 metre	8 metre	16 metre
Maximum allowable TVU 95% Confidence level	a=0.25 metre b=0.0075	a=0.5 metre b=0.013	a=0.5 metre b=0.013	a=1.0 metre b=0.023
(depth : 60 m)	0.515 metre	0.926 metre	0.926 metre	1.704 metre

Case ① 유사 시간대 지역의 음속값을 이용한 수평·수직 오차 분석

5월의 음속자료중 나와 다 지역을 대표할 수 있는 2개의 음속자료를 선택하여 수평·수직 값의 변화를 확인 하였다. 나지역 음속 관측 시간은 2009년 5월 13일 10시 57분으로 실제 음속으로 가정하고 다 지역의 음속관측 시간은 2009년 5월 13일 13시 15분으로 잘못 적용한 음속 자료로 가정하여 발생하는 오차값을 모의 하였다.

Table 2. Case ① : (a) sound speed profile (b) depth and range error

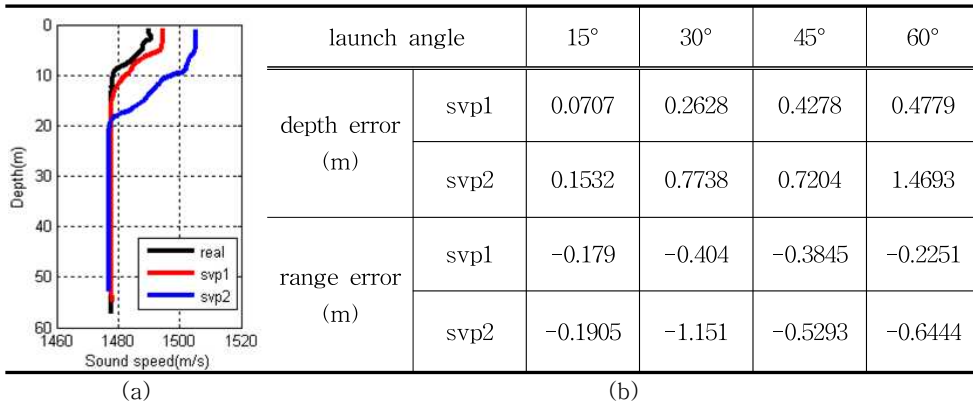


실제 음속관측 간격의 자료를 적용한 다중빔의 수직·수평오차는 빔 발사각에 따라 오차값이 커짐을 알 수 있다. 하지만 오차값이 발사각에 따라 크게 증가하지 않고 IHO에 규정된 허용 오차 범위 안에 포함됨을 확인 할 수 있다(Table 2.).

Case ② 5월 나와 다 지역의 음속변화에 따른 수평·수직 오차 분석

본 관측구역에서 5월의 음속자료중 평균변화량이라 판단되는 3개의 자료를 선택하여 음속변화에 따른 상대적인 수평· 수직 오차의 영향정도를 확인하였다. 3개의 자료는 표층부터 혼합층까지의 음속 변화에 따른 변화만을 확인하기 위해 혼합층으로 판단되는(수심 0~20m의 음속 변화량이 크고 20m이상 수심에서 음속변화량인 작은 자료) 자료를 선별하였다.

Table 3. Case ② : (a) sound speed profile (b) depth and range error



선별한 3개의 음속자료는 혼합층의 음속이 점차적으로 증가하는 자료로서 변화에 따른 수심자료의 영향 정도를 확인할 수 있었다. 오차는 수직적으로 발사각에 따라 0.07 ~ 1.47m까지 크게 발생함을 알 수 있다. 따라서 백령도 부근 해역은 음속변화가 시·공간적으로 다르게 나타나며 잘못된 음속값 적용시 수심값에 많은 에러를 포함할 것이다.

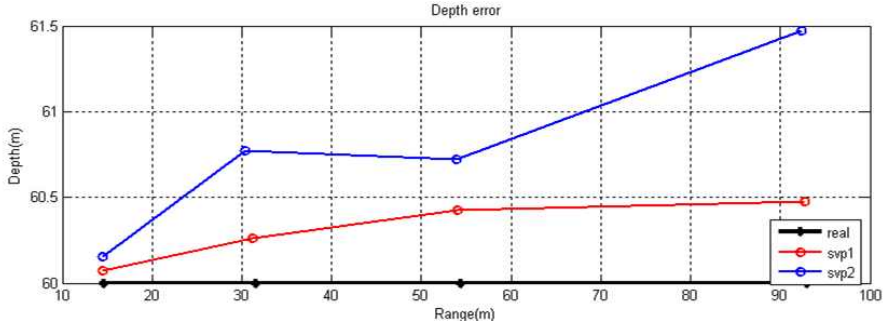


Fig. 6. display depth and range error by SVPs

5. 결론

본 논문에서는 백령도 부근해역 음속자료를 이용하여 음속 변화에 따른 다중빔 수심자료의 오차를 분석하였다. 백령도 부근해역은 시·공간적으로 음속변화가 다양하게 나타나는 지역임을 확인 할 수 있었다. 하지만 현재 Simrad EM 3000을 이용한 백령도 부근해역 해저지형 조사에 적용한 음속자료(1일 7~10회 이상 관측)의 변동성 내에서는 수평 오차가 0.02m에서 최대 0.5m 정도로 크게 발생하지 않음을 알 수 있다(Case 1). 하지만 백령도 부근해역과 같이 여러 수괴가 혼합되는 지역에서 음속관측을 단주기적으로 관측하지 않으면 Case 2와 같이 수심오차가 크게 발생 할 것이며 이는 충분히 현실적으로 고려될 수 있는 오차 범위이다.

특히 연안부근 해역은 육상의 민물 및 난수 유입(음속도 증가)에 따른 수심오차를 야기 할 수 있으므로 선박항해의 위험을 초래 할 수 있다. 따라서 외부 수괴의 영향이 많은 해역에서는 사전 정보를 확보하고 적절히 음속 관측을 실시하여 수심자료를 획득해야 한다.

감사의 글

본 연구는 2009년 국립해양조사원 “국가해양기본도 해저지형 자료처리 용역”의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 이 연구를 수행할 수 있도록 도와주신 국립해양조사원께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- D.F.Dinn, B.D.Libcarevuc and G.Costello, 1995, "The effect of sound velocity errors on multi-beam depth accuracy", Oceans'95 Vol 2, 1001-1010
- H. Tonchia, H. Bisquay, 1996, "The effect of sound velocity on wide swath multibeam system data", Oceans'96 vol 2, 969-974
- 양영진, 김상현, 노홍길, 1998, “한국 남서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온전선”, 한국수산학회지 31(5), 695-706
- 양영진, 김상현, 노홍길, 정동근, 1999, “한국 남서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 표층 수온전선과 선망어장과의 관계”, 한국수산학회지 32(5), 618-623
- 나정열, 한상규, 조규대, 1990, “한반도 근해의 해류와 해수 특성-남해연안수 확장과 수온변화”, 한국수산학회지 23(4), 267-279