

다중빔 음향측심기 수심 정확도 개선 Improvement of Multi-beam Echo Sounder's Depth Accuracy

최철웅¹⁾ · 김연수²⁾ · 서용철³⁾

Choi, Chul Eung · Kim, Youn Soo · Suh, Yong Cheol

Abstract

Multi-beam echo sounder is more precise and efficient than single beam echo sounder relatively because it is able to survey a wide area with 3 times or 4 times swath width as much as the depth of water using multi-beam echo sounder. It is sure to be needed to control supplementary equipment accurately, however, because the principle of creation and measurement of the beam is elaborate and influenced a great deal by vessel's motion.

We analyzed using visual and statistical methods in both sections of the depth of water where were the places of the center of the beam and $\pm 45^\circ$ angles from the central beam to improve the precise of Multi-beam echo sounder in this study. In result, it was required to control supplementary equipment because of errors from the vibration of an inertia governor and misalignment of extra units. Therefore, we reduced the vibration from the vessel's engine by sticking rubbers to the inertia governor and measured the offset values of extra units accurately, converted them to the values of horizontal position and lined up. In result, the precise in sounding the depth at the place of $\pm 45^\circ$ from the center of the beam was improved from the level of the 1st order to the special order in a hydrographic survey of the IHO S44 standards and a phenomenon of ripple patterns in the overlapped area by misalignment was decreased remarkably.

Keywords : Multi-beam echo sounder, Vibration error, Misalignment, The order in a hydrographic survey

요 지

다중빔 음향측심기는 수심의 3~4배되는 주사 폭으로 넓은 지역을 동시에 측량하므로 자료의 정밀도와 작업효율성이 단빔 음향측심기보다 상대적으로 높다. 그러나 빔의 생성 및 계속 원리가 정교하여 탐사선의 움직임에 영향을 많이 받기 때문에 부가장치의 정확한 조정 작업이 필수적으로 요구된다.

본 연구에서는 다중빔 음향측심기의 정확도 향상을 목적으로 평탄 해저지형에서 빔의 중앙과 $\pm 45^\circ$ 의 빔각을 이루는 지역의 수심단면을 가시·통계적으로 분석한 결과, 관성센서의 진동과 부가장치의 오정렬에 의한 오차가 발생하여 부가장치에 대한 조정이 필요하였다. 따라서 방진재를 관성센서에 부착하여 선체로부터 받는 진동을 저감시키고, 선체 자세요소와 부가장치의 오프셋 값을 정밀 제측하여 수평자세요소 값으로 변환·정렬시켰다. 그 결과, $\pm 45^\circ$ 빔각 지역의 수심 정확도는 IHO S44의 1등급 수로측량 수준에서 특등급 수로측량 수준으로 향상되었으며, 오정렬에 의한 중첩구역의 물결무늬 현상도 현저히 감소하였다.

핵심용어 : 다중빔 음향측심기, 진동오차, 오정렬, 수로측량 등급기준

1. 서 론

수면 위의 탐사체가 음파를 발사하여 고정밀 수심을 획득하기는 어렵다. 다중빔 음향측심기(Multibeam echo

sounder : MBES)는 연속적으로 운동하는 해면 혹은 수중에서 음파를 이용하여 수심과 후방산란자료 등을 계속하는 고정밀 수심측량장비이다. 또한 자이로, 모션센서, sonar head, GPS 등의 다양한 부가장치들이 통합·운영되

1) 정희원 · 부경대학교 위성정보과학과 조교수(E-mail:cuchoi@pknu.ac.kr)
2) 연결저자 · 정희원 · 국립해양조사원 남해해양조사사무소(E-mail:yskim@nori.go.kr)
3) 정희원 · 부경대학교 위성정보과학과 전임강사(E-mail:suh@pknu.ac.kr)

는 복잡한 첨단 측량장비이다. 기존의 단빔 음향측심기는 음파의 순간 시야각(IFOV)이 크고 오차범위가 넓으며, 관성항법장치 없이 탐사선의 직하방(Nadir) 수심만을 관측하였다. 그러나 다중빔 음향측심기는 미 측심대역 없이 수심의 3~4배 주사 폭으로 넓은 지역을 동시에 측량하기 때문에 자료의 정확도와 작업효율성이 단빔 음향측심기보다 상대적으로 높다(국립해양조사원, 2001 ; 일본수로협회, 2002).

다중빔 음향측심기는 1960년대부터 미국에서 개발되어, 1990년대에 우리나라 공공기관 및 연구소에 도입되었고, 2000년대에 민간부문에서도 도입되어 운영중이다. 최근, 다중빔 음향측심기는 해양탐사, 수심측량에 가장 중요한 장비로 인식되고 있다. 선진 해양국에서는 다중빔 음향측심기의 자료 수집 및 분석, 활용에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 특히 다중빔 후방산란음압분석(Clarke 등, 2001), 오차원인분석(Clarke, 2004) 등에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 국내에서도 다중빔 음향측심기 관련분야의 활성화를 위해 2004년도에 다중빔 측량 품셈을 제정하였으며 측량기준 제정을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 해양공간정보 시스템구축사업의 일환으로 해양측량 자료처리 및 효율적인 관리방안에 관한 연구(국립해양조사원, 2001), 다중빔 음향소해탐사시스템 자료의 오차분석 및 처리기술에 관한 연구(박, 2004)등이 있으나, 다중빔 음향측심기 정확도 개선을 위한 관성센서문제, 외곽빔 정확도 저하문제 등에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다중빔 음향측심기의 정확도 향상 및 개선을 위하여, 국내에서 가장 많이 운용하고 있는 Kongsberg Simrad사의 EM3000과 해양조사선 남해로호(22톤)로 다중빔 음향측심기의 최종 결과 값에 영향을 줄 수 있는 관성센서의 진동, 부가장치의 오정렬 등에 의한

오차를 가시·통계분석으로 검토하였다. 또한 국제수로기구(International Hydrographic Organization : IHO)의 수로측량 등급기준에 따라 $\pm 45^\circ$ 빔각 지역의 등급수준을 검토하였다. 선박진동에 노출된 부가장치의 오작동 방지를 위하여 관성센서에 방진고무를 부착하여 진동을 감쇠시키고, 설치허용한계를 초과한 상가대의 선체 자세요소와 부가장치의 오프셋 측정값을 수평 자세요소 값으로 변환하고 정렬시켜 다중빔 음향측심기에 적용하였다. 그 결과 개선전과 유사한 기상조건 하에서 측정된 $\pm 45^\circ$ 빔각 지역의 수심 정확도는 IHO 수로측량 1등급 수준에서 특등급 수준으로 향상되었으며, 오정렬에 의한 중첩구역의 물결무늬 현상도 감소된 양호한 측량결과를 얻을 수 있었다.

2. 선체 좌표체계

다중빔 음향측심기에서 사용하는 선체의 기본좌표체계는 그림 1과 같이 카테시안 오른손 좌표체계(Cartesian right-handed coordinate system)를 적용한 3축 좌표(X, Y, Z)이다. 선체는 임의의 원점(RP)을 중심으로 3차원 회전운동을 하게 된다(Kongsberg Simrad, 1999 ; SeaBeam, 2000).

그림 2와 같이 다중빔 음향측심기 좌표체계와 부가장치간의 위치관계를 고려한 임의의 시간에 측정된 빔의 3차원 위치는 다음과 같이 표현된다(국립해양조사원, 2001 ; 박요섭, 2004).

$$D_i = RP(t) + P^{-1} \left(\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} \right) + T \quad (1)$$

여기서, D_i 는 지구중심좌표계상의 개별 빔(beam) 벡터,

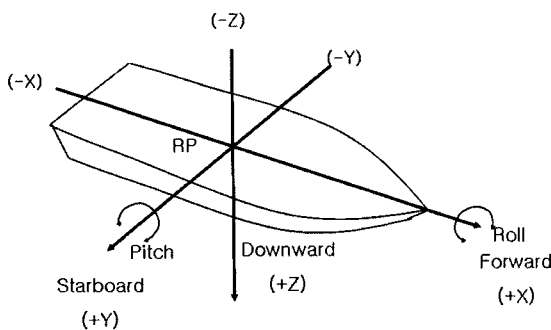


그림 1. 선박의 회전요소 및 좌표체계

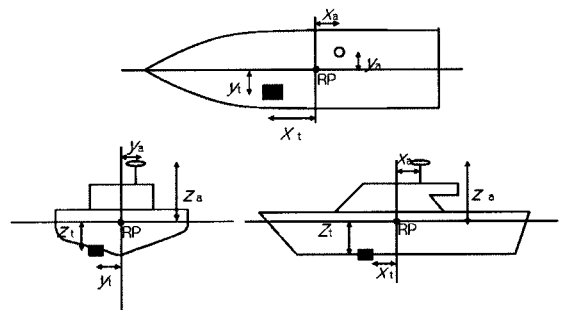


그림 2. GPS 안테나와 sonar head의 장착 위치 오프셋 구성도

T 는 측위 시각이면 오차와 선박의 운동에 의한 좌표변위, $RP(i)$ 는 임의 시간에 GPS 안테나로부터 얻은 평면직각좌표계상의 좌표이다. 단, $\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix}$ 는 sonar head와 RP점과의 상대적 위치이며 sonar head를 RP점으로 하면 $\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ 이다. 여기서 x_i, y_i, z_i 는 sonar head와 RP점과의 offset 값이다.

3. 실제에

3.1 부가장치 진동방지

다중빔 음향측심기는 자이로, 모션센서, sonar head, GPS 등의 고가의 부가장치로 구성된 종합 측량장비이다. 그러나 남해로호는 진동으로 인하여 각종 장비가 정지 혹은 오작동하는 경우가 많았다. 그러므로 본 연구에서는 그림 3과 같이 다중빔 음향측심기 프로세싱 장치와 모션센서에 진동방지 작업을 실시하였다.

모션센서는 진동가속도(30dB이하(mm/sec²)), 진폭(0.2mm

이하), 진동수(7~300Hz) 이내로(TSS사, 2004) 유지될 수 있는 Geltec사의 B-1을 사용하여 공진폭 15~17dB, 진동수 약 70Hz로, 프로세싱 장치는 Geltec사의 MN-5를 사용하여 공진폭 13~14dB, 진동수 약 16Hz로 표 1과 같이 유지될 수 있도록 하였다(Geltec사, 2004).

그림 3은 모션센서와 프로세싱 장치의 방진에 사용된 방진재 및 설치완료 후의 모습이다. 또한, 금회에는 선체를 상가(上架)하였을 때, 모션센서의 자세조정나사를 자체 제작하여 하가(下架)후 정지상태에서 볼, 피치 값을 각각 0°로 조정할 수 있도록 하였다.

3.2 볼, 피치, 자이로 오프셋 조정

다중빔 음향측심기는 부가장치의 정확한 설치를 전제로 한다. Simrad사의 EM3000 설치관련 기술서적에서는 각종 부가장치 설치 허용범위를 표 2와 같이 정의하고 있다(Kongsberg Simrad사, 1999).

표 2의 설치기준에 따라 각종 부가장치를 설치하려면, 선박 및 부가장치의 입체공간상 좌표가 필요하다. 그러므로 2004년 3월 16일에 그림 4와 같이 남해로호를 부산광역시

표 1. 모션센서(M.S)와 프로세싱 장치(MBPU)에 사용한 방진재 및 규격

구분	무게	방진재명	적정하중	공진점	진폭	사용 가능 주파수
M.S.	10kg	B-1	4~15kg	49~23Hz	15~17(dB)	4kg:70Hz 이상, 15kg:35Hz 이상
MBPU.	10kg	MN-5	14~22kg	11~10Hz	14~13(dB)	16Hz 이상



그림 3. 모션센서 방진(좌), 프로세싱 장치 방진(중앙), 자세조정나사 제작(우)

시 영도구 조선소에 상가한 후, 토탈스테이션(Geodimeter 3602 DR(정확도 : 2", 2 ± 2ppm)(지오시스템사, 2004))을 이용하여 선체홀수선, GPS, sonar head, 모션센서에 대해 정밀 3차원 측량을 실시하였다. 3월 17일~20일에 모션센서 중심선 측정 및 좌대(座臺) 제작 후, 재설치를 하였다. 3월 20일, 남해로호를 하가하였다.

3차원 정밀측량 결과는 표 3과 같다. 그러나 상가대에

안치된 선박은 완전 수평상태로 상가되지 않는다. 그러므로 홀수선(12개 관측점)의 최적면을 최소자승법으로 계산하였다. 그 결과 X축, Y축과 Z축 회전각은 각각 1.2345°, 1.4310°, 1.6848°였고, 수정 후 Z축 표준편차 값은 ± 1.67cm로 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 각 축의 회전각은 1.23°~1.68°로 미미하지만 장비 오프셋 좌표 값은 표 4와 같이 8~25cm로 큰 차이를 보였다. 그러나 표 3의 위

표 2. 장비별 오프셋 허용 한계표

구분		sonar head	모션센서(M.S)	자이로	GPS	홀수선
위치	수직	± 2cm	± 10cm		± 2cm	± 2cm
	수평	± 5cm	± 5cm		± 5cm	
각	방향각	± 0.25°	± 0.5°(S.H.와M.S의 편차량)	± 0.25°		
	롤각	± 0.25°	± 0.05°			
	피치 각	± 0.25°	± 0.05~0.25°			

표 3. 장비정렬을 위한 선박측량표(단위:m)

구분		자세요소 수정전			자세요소 수정후		
		x	y	z	X	Y	Z
중양 구조물	중양1	89.098	111.352	14.091	92.656	108.913	9.436
	중양2	92.242	111.367	12.922	95.769	108.809	8.191
	중양3	76.988	111.050	12.343	80.503	108.936	7.991
	중양4	80.251	111.055	12.761	83.774	108.852	8.329
Sonar head	선수	88.719	112.457	8.855	92.179	109.916	4.188
	선미	88.422	112.454	8.839	91.882	109.921	4.179
	우현	88.573	112.306	8.841	92.029	109.769	4.181
	센터	88.567	112.448	8.848	92.027	109.911	4.185
	좌현	88.561	112.588	8.850	92.025	110.051	4.184
GPS	GPS	86.389	111.064	15.997	89.989	108.747	11.414
선박 홀수선	우현선미1	77.176	109.140	9.401	80.561	106.959	5.088
	우현선미2	80.360	108.991	9.459	83.740	106.715	5.072
	우현중간1	84.016	108.950	9.572	87.395	106.567	5.097
	우현중간2	87.485	109.138	9.646	90.868	106.653	5.082
	우현선수1	91.720	110.005	9.788	95.129	107.395	5.102
	우현선수2	95.253	111.457	9.908	98.706	108.743	5.104
	좌현선미1	77.122	112.885	9.506	80.620	110.705	5.111
	좌현선미2	81.208	113.248	9.624	84.716	110.948	5.122
	좌현중간1	85.434	113.405	9.703	88.946	110.980	5.094
	좌현중간2	88.286	113.321	9.749	91.794	110.811	5.073
	좌현선수1	89.657	113.145	9.772	93.160	110.595	5.066
	좌현선수2	95.218	111.630	9.904	98.676	108.917	5.097
	모션센서	M.S.	89.675	111.359	9.219	93.111	108.798

표 4. 장비별 오프셋 계산값(단, M.S.:모션센서, S.H.:sonar head, 단위:m)

구분	자세요소 수정전			자세요소 수정후			입력오차값		
	dx	dy	dz	dX	dY	dZ	dx-dX	dy-dY	dz-dZ
GPS↔M.S	-3.286	0.295	-6.778	-3.123	0.051	-6.861	0.163	0.245	0.083
S.H.↔M.S.	-1.108	-1.089	0.371	-1.084	-1.113	0.368	0.024	0.024	0.003
GPS↔S.H.	-2.178	-1.384	7.149	-2.039	-1.164	7.229	-0.139	-0.220	-0.080

표 5. 장비별 오프셋 입력값(단, *는 검보정값)

구분	sonar head		모션센서	자이로	GPS	흡수선
	위치	X	-1.084m	0		-3.123m
Y		-1.113m	0		0.051m	
수직		0.368m	0		-6.861m	
각	방향각	0.970°		-2.600**		
	롤각	1.845°	-0.995**			
	피치각	1.653°	-1.203**			



그림 4. 남해로호 상가대(上架臺) 설치전경(좌)과 sonar head (우)

치정확도와 비교하여 보면 허용범위를 초과하므로, 자세요소를 수평으로 변환한 후 sonar head와 GPS의 입력 값을 표 5와 같이 산정해야 한다. 모션센서와 자이로의 오프셋의 검보정 값은 다중빔 음향측심기 제작업체에서 제공하는 검보정 절차에 따라 산정한 값이다(Hammack 등, 1998, Kongsberg Simrad사, 1999 ; USACE, 2002).

그림 5는 부가장치인 모션센서와 자이로의 표준 작업 흐름도이다. 모션센서 회전은 sonar head와 모션센서의 방향각을 동일하게 하는 작업으로, Y축 방향으로 1mm(0.27°) 단위로 좌·우 회전하여 평탄지역에서 물결머리가 제거될 때까지 회전한다. 피치와 롤 정렬은 모션센서를 수평으로 맞추는 작업이다(TSS사, 2004). 피치 정렬은 암초 및 특이 지형을 측량 중심선을 따라 왕복 실측하고 피치 검보정 값(-1.203°)을 조정하여 정점을 일치시키는 작업이다. 롤 정렬은 평탄지역에서 실측한 후, 롤 검보정 값(-0.995°)을 조정하여 좌·우 수심을 일치시키는 작업이다. 자이로 정렬은 선박의 방향각과 자이로 방향각을 동일하게 하는 작업으로, 암초 및 특이 지형을 주사 폭의 외곽에 두고 실측한 후 컴퍼스 검보정 값(-2.6°)을 조정하여 정점을 일치시킨다. 검보정 측량을 통한 조정 값은 표 5와 같다(Kongsberg Simrad사, 1999 ; USACE, 2002).

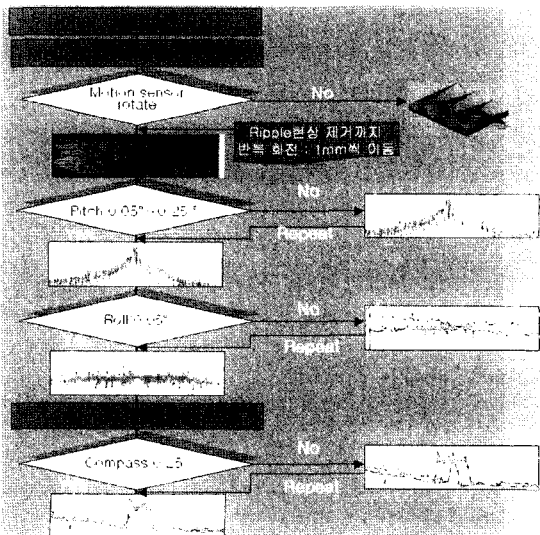


그림 5. 부가장치 정렬작업 흐름도

4. 비교·고찰

2003년 7월 31일(조정 전)과 2004년 6월 15일(조정 후),

육지도 인근 수역에서 현장실험을 실시하였다. 수심측량은 기상과 해황에 따라 많은 차이를 보이므로 기상 및 해황 조건이 상호 유사할 때, 비교·분석이 가능하다. 기상에 대한 평가는 본 연구수역에 가장 근접한 통영기상대의 기상 자료 값을 이용하였으며, 작업일의 기상상태는 표 6과 같이 거의 유사하였다(기상청, 2004).

해황에 대한 평가는 본 연구당시 기록된 모션센서의 물, 피치, 히브 통계 값을 이용하였다. 표준편차 값은 파고 값,

해황과 특히 직접적인 연관이 많다. 표 6과 같이 수정 전·후의 자세특성별 표준편차 값은 거의 유사하였다. 그러므로 기상 및 해황조건은 거의 유사한 것으로 사료되었다.

개선 전, 다중빔 음향측심기를 이용하여 평탄지에 대해 수심 측량한 결과는 그림 6과 같다. 평탄지이므로 중심부는 거의 평행하지만 외곽부에는 장비정렬 값 조정미비로 물결무늬가 발생하였다. 통계 분석한 결과 표 7과 같이 장비정렬 편차 값은 0.27m이고, 장비정렬 편차 값을 제거한

표 6. 2003년과 2004년 선박 자세특성(롤, 피치, 히브) 및 기상 통계표

구분	범위	최솟값	최댓값	평균		표준 편차	연월일	기온	날씨	풍속	강수량
		통계량	통계량	통계량	통계량	표준 오차					
물	2003	14.83	-6.37	8.46	0.966	0.079	2003.7.31	23.9°	맑음	1.2㎞	0.0mm
	2004	13.58	-6.54	7.04	0.155	0.076					
피치	2003	3.17	-3.25	-0.08	-1.598	0.015	2004.6.15	20.7°	맑음	1.3㎞	0.0mm
	2004	1.94	-2.84	-0.90	-1.849	0.104					
히브	2003	0.75	-0.30	0.45	0.093	0.003	2004.6.15	20.7°	맑음	1.3㎞	0.0mm
	2004	0.63	-0.31	0.32	-0.0433	0.002					

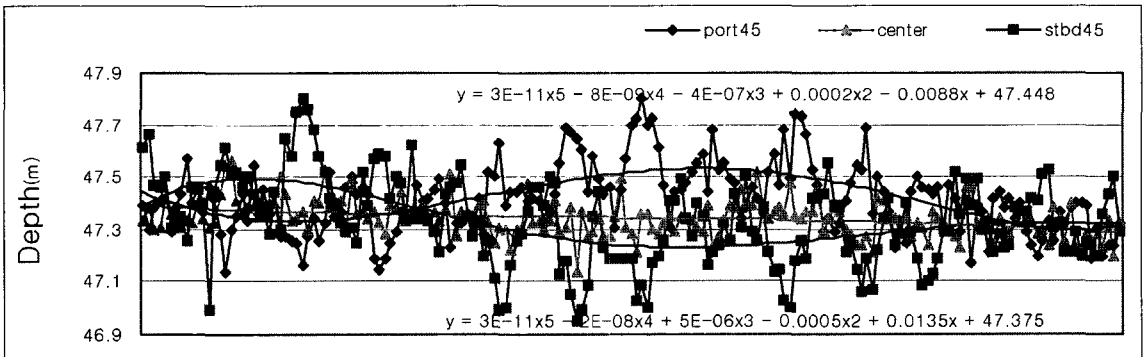


그림 6. 개선 전(2003. 7. 31) 중앙, ± 45°에서의 수심측량결과

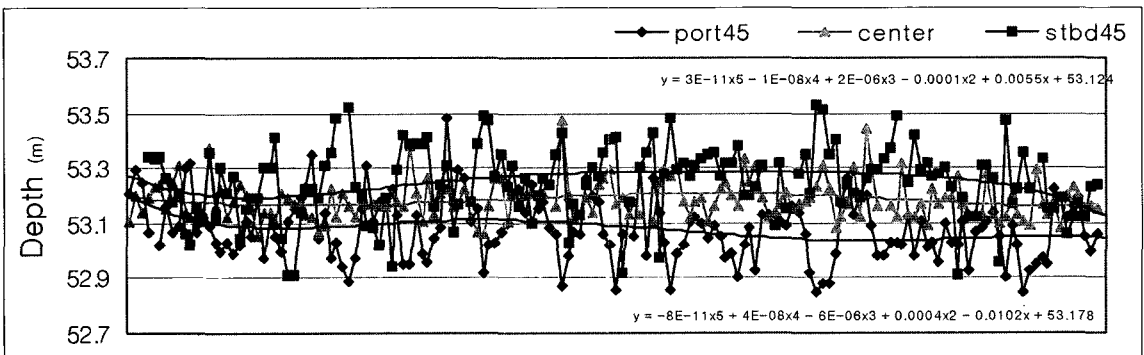


그림 7. 개선 후(2004. 6. 15) 중앙, ± 45°에서의 수심측량결과

표준편차 값은 0.26m이며 총오차량은 0.53m이었다.

개선 후, 선박 좌우방향 경사(4° 미만)지에서 다중침 음향측심기로 수심 측량한 결과는 그림 7과 같다. 평탄지이므로 중심부는 거의 평행하였고 외곽부에는 물결무늬가 감소하였다. 통계 분석한 결과 장비정렬 값 편차는 0.20m 이고, 장비정렬 편차 값을 제거한 표준편차 값은 0.20m이며 총오차량은 0.40m이었다.

개선 전·후의 측심오차를 표 7과 같이 분석하였다. 그 결과 개선 전의 중심부는 IHO 특등급 수심측량기준을 만족하였으며 ±45° 지역은 1등급 수심측량기준을 만족하였다. 개선 후는 중심부와 ±45° 모두 특등급 수심측량기준을 만족하였다(IHO, 1998). 즉, 유효사용범위가 향상되어 광역 수심측량이 가능하였다.

수심측량 결과, 유사한 기상 및 해양조건에서 측심오차

가 전반적으로 향상되었다. 그 원인은 크게 두 가지로 사료된다. 첫째, 부속장비의 정렬 정확도 향상이다. 물과 피치의 오차 량에 따른 해당수심별 오차 량을 분석하여 개선 전·후의 장비정렬 오차 량과 비교·분석한 결과, 표 8과 같다. 개선 전의 경우, 수심 47m에서 ±45°의 장비정렬오차가 ±0.27m이므로 롤, 피치 정렬 오차각은 ±0.33°인 것으로 사료되었으며, 이것은 표 2의 허용한계범위를 넘었다. 그러나 개선 후의 경우, 수심 53m에서 ±45°의 장비정렬오차가 ±0.20m이므로 롤, 피치 정렬 오차각은 ±0.22°인 것으로 사료되었으며, 이것은 표 2의 허용한계범위 내에 있었다.

둘째, 모션센서의 방진을 통한 롤, 피치의 정확도 향상이다. 통상 조사측량 중, 엔진과 스크루의 회전수는 1500~1700RPM, 507~574RPM이다. 즉 엔진에 의한 진동주파

표 7. 개선 전·후 측심결과 통계분석표(단, *은 비교를 위하여 동일수심으로 변환한 값임, 단위 : m)

구분	수심 47m(개선 전:2003.7.31)			수심 53m(개선 후:2004.6.15)		
	표준편차	오프셋 오차	총 오차량	표준편차	오프셋 오차	총 오차량
Port45	0.22			0.22		
Stbd45	0.29			0.19		
Average(47)	0.26	0.27	0.53	*0.19	*0.18	*0.37
Average(53)	*0.28	*0.29	*0.57	0.20	0.20	0.40

IHO 등급기준 허용오차						
depth	특등	1등	2등, 3등	특등	1등	2등, 3등
47m	기준	0.43	0.79	1.47	0.43	0.79
	여유량	-0.09	0.26	0.95	0.06	0.42
53m	기준	0.47	0.85	1.58	0.47	0.85
	여유량	-0.10	0.28	1.01	0.07	0.45
만족율	82%	150%	280%	117%	213%	394%

표 8. 수심별 롤, 피치에 따른 측심오차량 계산표(단위 : m)

구분	빔번호	12, 116	13, 115	14, 114	15, 113	16, 112	
	롤각	46.80	45.90	45.00	44.10	43.20	
수심	47m(개선 전)	편차각 : ± 0.33°	± 0.29	± 0.28	± 0.27	± 0.26	± 0.25
	53m(개선 후)	편차각 : ± 0.22°	± 0.22	± 0.21	± 0.20	± 0.20	± 0.19

표 9. 선박 엔진 회전수에 따른 B-1 부재의 방진을 계산 값

엔진		스크루 회전수	최대변위 (kg/mm)	무게 (kg)	변위폭 (mm)	고유진동수 (RPM/Hz)	방진 효율	방진 역율	진동가속도(dB)
RPM	Hz								
1500	74.03	507	3.75	10.00	2.67	580.22/9.67	82%	18%	15.09
1600	78.96	540	3.75	10.00	2.67	580.22/9.67	85%	15%	16.40
1700	83.90	574	3.75	10.00	2.67	580.22/9.67	87%	13%	17.60

수가 74.03~83.90Hz, 25~28Hz로 발생하였다. 그러나 B-1부재를 사용하여 표 9과 같이 82~87% 정도 진동을 감쇠시켰으며, 진동가속도 15.09~17.06dB로 허용범위한 계 값(30dB) 내로 감쇠시킨 것으로 계산되었다. 그 결과, 장비정렬 편차 값을 제거한 표준편차 값이 0.26m에서 0.19m로 감소한 한 것으로 사료되었다.

5. 결 론

다중빔 음향측심기의 정확도 향상 연구결과 관성센서의 진동, 부가장치의 부정확한 오프셋 값 및 오정렬 등은 수심 정확도에 상당한 영향을 주는 것으로 사료되었다. 본 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 관성센서가 선박진동에 노출되어 이를 허용진동수 이내로 유지하기 위해 방진고무를 부착한 결과, 선박엔진과 스크루의 진동주파수가 82~87% 정도 감쇠되었으며, 측심오차량 표준편차 값이 0.26m에서 0.19m로 향상된 것으로 사료되었다.

둘째, 상가상태의 선체 자세요소와 부가장치의 오프셋 값을 수평상태 값으로 변환한 결과, 장비별 위치 및 오프셋 값이 설치허용한계 범위를 초과하였다. 그러므로 부가장치 정렬을 위해 수평 자세의 위치 값과 오프셋 값이 적용되어야 할 것으로 사료된다.

셋째, 부가장치 정렬로 검보정된 피치, 롤 오프셋 값을 적용시켜 평탄 해저지형에서 획득한 수심측정값을 Caris HIPS로 가시 분석한 결과, ± 45°빔각 지역에서 물결무늬가 현저히 감소하였으며, 중첩부의 수심도 거의 일치한 것으로 사료된다.

넷째, ± 45°빔각 지역에서 개선 전·후의 측심 값을 통계 분석한 결과, 개선 전 표준편차는 0.26m, 오프셋 오차는 0.27m, 총 오차량은 0.53m로 IHO 수로측량 1등급 수준이었으나, 개선 후 총오차량은 0.37m(0.19m, 0.18m)로 IHO 수로측량 특등급 수준으로 향상되었다. 즉 유효사용범위가 향상되어 광역수심측량이 가능한 것으로 사료되었다.

다섯째, ± 45°빔각 지역에서 개선 전 ± 0.27m의 장비정렬오차로 산출된 롤, 피치 정렬오차각은 ± 0.33°이다. 이는 장비설치 허용한계치 ± 0.25°를 초과한 것으로 나타났다. 개선 후 ± 0.20m의 장비정렬오차로 산출된 롤, 피치 정렬오차각은 ± 0.22°로 허용한계범위내로 향상되었다.

본 연구 결과 다중빔 음향측심기 정확도에 영향을 끼친 요인은 관성센서의 진동, 부가장치의 오정렬, 부정확한 오프셋값 적용 등으로 사료되었다. 또한 모션센서와 sonar

head를 정렬시키고 정확한 부가장치의 오프셋 값을 적용함으로써 중첩부 구역의 물결무늬 현상이 현저히 감소한 것으로 사료된다.

따라서 다중빔 음향측심기 수심 정확도가 향상되었으므로 그간 과다하게 소요되었던 자료 후처리 및 가공편집 과정을 단축할 수 있어 양질의 해저공간정보를 생산할 수 있으리라 기대된다. 향후 다중빔 음향측심기를 활용하여 수로측량, 해저지형탐사 등을 수행하는 경우, 해양조사선 거동특성의 파악이 필수적이라 생각되며, 자료 분석과 자료 활용 방안에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 국립해양조사원 (2001), 해양측량자료처리 및 효율적인 관리방안 연구 한국물류정보통신(주), pp. 6-41.
- 기상청 (2004), 기상통계, <http://www.kma.go.kr>
- 박요섭 (2004), 다중빔음향소해탐사시스템 자료의 오차분석 및 처리기술 연구, 박사학위논문, 인하대학교, pp. 36-112.
- 알엠에스 이엔지 (2004), 진동이론, <http://tmseng.co.kr/data/4-4-1.htm>
- 지오시스템사 (2004), Geodimeter 3602 DR 정밀도, <http://www.gepsys.co.kr/>
- Gellect사 (2004), Gel Bush 방진재 사양, 일본, http://www.geltec.co.jp/english/product/pro_02.htm
- IHO (1998), *IHO standards for hydrographic surveys, 4th edition, special publication No. 44*, International Hydrographic Bureau. Monaco.
- John E. Hughes Clarke, Mayer, L.A., Wells, D.E (2001), *Shallow-water imaging multibeam sonar*, Marine Geophysical Research, Vol. 18, pp. 607-627.
- John E. Hughes Clarke (2004), *The challenge of technology: Improving sea-floor mapping methodologies* [online], 미국, http://www.omg.umb.ca/AAAS/NB_Seafloor_Mapping.html
- James A Hammack, David H, Fabre, John E. Hughes Clarke, Barbara Reed (1998), *Hydrgraphic multibeam processing system (HMPS) swath alignment tool*, Proc. Canadian Hydrographic Conf, pp. 157-167.
- Kongsberg Simrad Inc (1999), *EM3000 operator manual*, Norway, pp. 133-136, 252-260, 351-352.
- TSS사 (2004), 모션센서 DMS05 설치사양, <http://www.vtss.com/pdf/dmsrange.pdf>
- USACE (2002), *Engineering and design hydrographic surveying*, EM1110-2-1003, Chapter11, pp. 3-4, 15-23.
- SeaBeam Instruments (2000), *Multibeam sonar theory of operation*, 미국, pp. 13-17.
- 日本水路協會 (2002), *水路測量, 第 1 卷*, 財團法人日本水路協會, 日本, pp. 167-168.

(접수일 2004. 12. 15, 심사일 2005. 3. 19, 심사완료일 2005. 3. 28)