

멀티빔 음향 측심기에서 하드웨어 오류 보정을 위한 소프트웨어 개발에 관한 연구

(The Research on the Software Development for the Hardware Error Correction of
MBES (Mutlibeam Echo Sounder))

이지은*, 오영석*

(Lee Ji Eun and Oh Young Suk)

요약

해양 관측 및 조사 장비는 국가적 해양영토 확장 및 영향력 강화와 자원선점에 필수적임에도 불구하고, 국내 개발보다는 해외 도입에 의존적이었다. 이중 멀티빔 음향 측심기는 해저면 지형, 퇴적분포 정보, 수중물체 탐색을 위해 개발된 장비로써 국내에는 기개발 된 제품이 아직 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 멀티빔 음향 측심기를 발전된 국내 센서 기술을 바탕으로 개발하여 해양 음향 측심 기기의 국산화를 시도한다. 특히 하드웨어에서 발생할 수 있는 오류를 정정하여 소프트웨어에서 이의 보정을 확인하였다.

■ 중심어 : 멀티빔음향측심기 ; 소나시스템 구조

Abstract

Although the ocean observation and exploration equipment is necessary for the oceanographical observation and strengthening influence of the nation and the resource preemption, it depended on the overseas adoption rather than the domestic development. The MBESs were developed for seabed topography, sedimentary distribution information and underwater objects exploration, but there is no domestic production. So in this research we try the localization of the marine acoustic sounder. Especially about correcting the error occurred on the hardware, we confirmed it on software.

■ keywords : MBES ; Sonar System Architecture

I. 서론

국내의 대학, 연구기관 등에서 사용하고 있는 해양관측, 조사장비는 거의 해외에서 개발된 제품을 수입하여 사용하고 있으며, 장비수리 및 유지보수 등에 필요한 부품이나 기술 개발을 해외 개발 회사에 의존해왔다. 해양 조사장비는 국가적 해양영토 확장 및 영향력 강화와 자원선점을 위하여 선진국들이 독점해온 분야로서 해외 선진국들의 연구개발 및 제품 생산은 활발한 반면 국내의 제품개발 및 상용화 사례가 없었다. 또한 과거 수중음향센서 설계 및 제작 기술은 모두 국외 기술을 활용하였으나, 현재 국내의 수중음향센서 설계 및 제작 기

술은 선진국 수준에 도달한 상태이므로 국내 기술을 이용한 해양 조사장비 개발이 가능한 상황이다.

따라서 측정 또는 모니터링 데이터를 이용하여 해저면의 지형, 퇴적분포 정보, 해저 측량 및 수중 물체 탐색에 있어 넓은 해역을 짧은 시간 내에 할 수 있는 해양 음향 측심 기기의 국산화를 시도하고자 한다.

이중에서 멀티빔 음향측심기 (MBES, Multi Beam Echo Sounder)는 해저면 지형, 퇴적분포 정보, 수중물체 탐색을 위해 개발된 장비로써, 부채꼴 모양으로 여러 빔을 송신함으로써 넓은 해역을 짧은 시간 내에 조사한다. 멀티빔 기술을 이용함으로써 해저지형 및 수중 물체를 3차원적으로 상세히 표현

* 정회원, (주)소나테크

이 논문은 2016년도 정부(국토해양부)의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임

접수일자 : 2016년 02월 22일

수정일자 : 2016년 03월 23일

게재확정일 : 2016년 03월 27일

교신저자 : 오영석, e-mail : dolphin@sonartech.com

할 수 있다[1].

고해상도 멀티빔 음향측심기는 1950년대 후반에 군사적 목적으로 처음으로 대두된 이후 미국의 General Instrument (지금의 L3 Communication의 소속사인 SeaBeam Instrument), 독일의 Krupp Atlas (지금의 Atlas Hydrographic), Nlac Nautik (지금의 L3 Communication의 소속사), 노르웨이의 Simrad (지금의 KONGSBERG Maritime), 그리고 덴마크의 RESON 등의 회사들은 큰 배에 실을 수 있는 고해상도 멀티빔 음향측심기를 개발하였고, 시간이 갈수록 그 크기를 줄이면서 작은 보트에 장착할 수 있는 고해상도 멀티빔 음향측심기를 개발하였다[2].

기술의 발전 및 부품의 가격이 감소함에 따라 고해상도 멀티빔 음향측심기의 판매량은 상당히 증가했고, 기존의 무거운 시스템과 달리 더 작고 휴대가 가능한 고해상도 멀티빔 음향측심기들이 개발되면서 작은 선박에도 장착이 가능하게 되었음. Teledyne 사의 모션센서의 개발 기술의 발전으로 작은 수로 조사 회사가 싱글빔 음향측심기에서 멀티빔 음향측심기로 변화하는데 기여하고 있다[3,4].

멀티빔 음향측심기는 해외 주요 업체에서 전세계 시장 독점 보급을 하며, 장비수급이 불안정한 편이다. 국내 멀티빔 소나 기술을 이용한 국외 수준 이상의 고해상도 멀티빔 음향측심기 개발이 필요하다.

II. 본 론

1. 멀티빔 음향측심기의 구성

멀티빔 음향측심기는 수직 방향으로 부채꼴 모양의 빔을 송신하여 반사되어 돌아오는 신호를 수신하여 수심 측정한다. 멀티빔 소나는 멀티빔을 사용하여 수중을 영상화 하는데, 멀티 송신하는 빔은 배의 좌우 방향으로 폭이 넓고, 전후방향(배의 진행방향)으로 좁은 선형 형태이다. 120° 내외의 Swath (한 번

에 측정할 수 있는 좌우 빔 범위) 폭을 가지며, 수평·수직 방향으로 약 1°의 해상도 분해능을 가진다. 빔 정보가 가로축 정보가 되고, 소나의 진행방향의 정보가 세로축이 되며, 소나에서 발사한 음파의 시간에 대한 거리는 깊이가 되어 3차원 영상을 형성한다.

반면 사이드 스캔 소나는 소나의 진행방향의 정보가 세로축이 되며, 소나에서 발사한 음파의 시간에 대한 거리는 가로축이 되어 2차원 영상을 형성한다. 그림 2-a와 그림 2-b는 사이드 스캔 소나와 멀티빔 소나 영상의 차이를 보여준다.

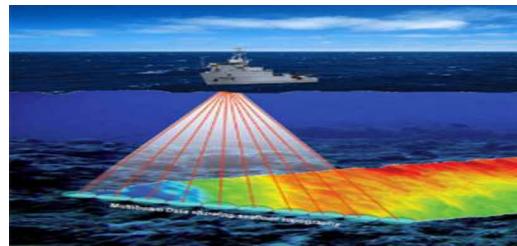
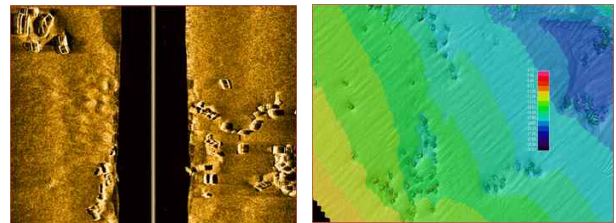


그림 1. 멀티빔 음향측심기 시스템 모식도



(a)

(b)

그림 2. (a) 사이드 스캔 소나 영상 (b) 멀티빔 소나 영상

멀티빔 음향측심기는 음파를 받아들여 전기적인 신호로 변환하는 음향센서부와 센서로부터 들어온 신호를 분석 가능한 신호로 가공하는 하드웨어부와 가공된 신호를 유저가 해석 가능한 GUI로 보여주는 소프트웨어부로 구성된다.

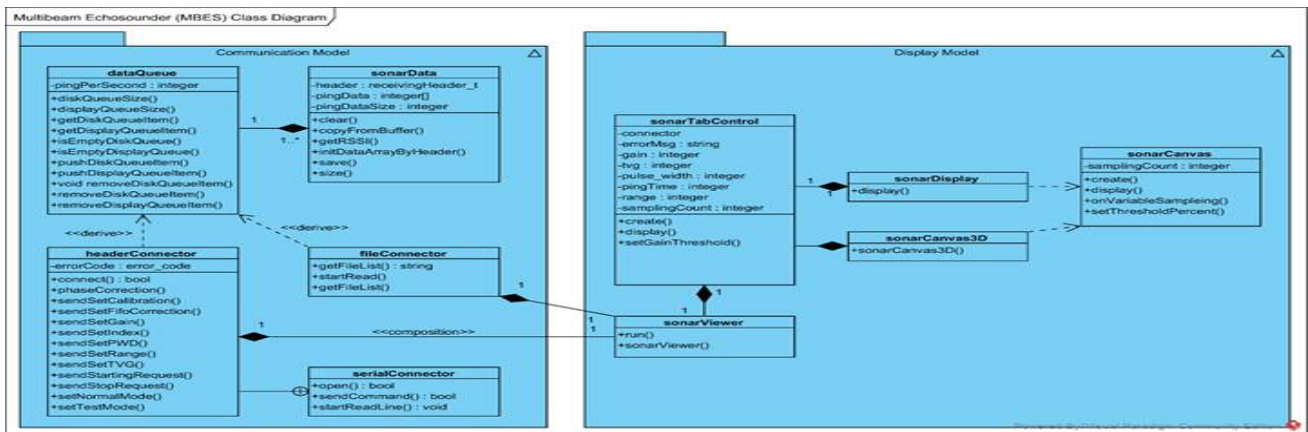


그림 3 Software Class Diagram

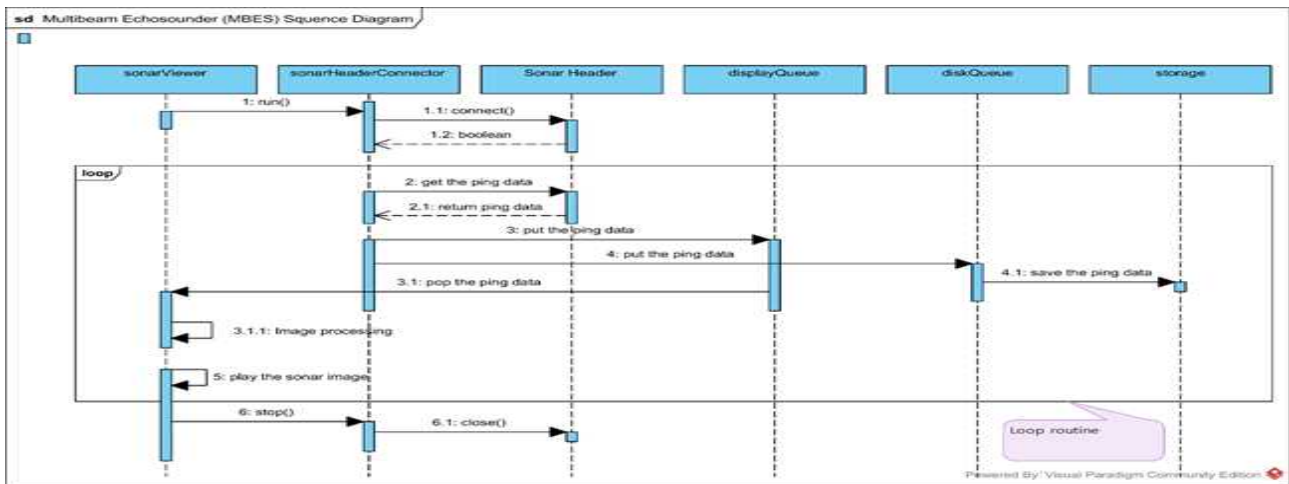
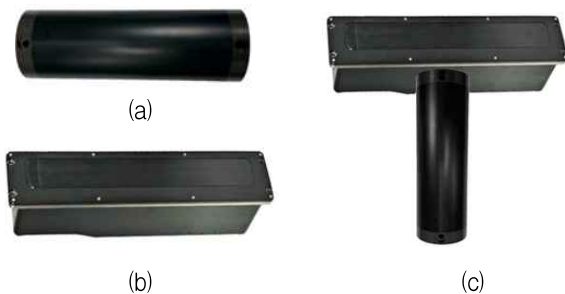


그림 4 Software Sequence Diagram

그림 5. (a)455kHz 프로젝터 (b) 128채널 수신기
(c)프로젝터와 수신기의 배치

멀티빔 음향 측심기의 개발은 음향센서 개발, 하드웨어 개발, 소프트웨어 개발로 구분될 수 있다. 음향센서 개발에서는 150kHz 프로젝터와 128채널 수신기의 시제품을 개발하였다. 프로젝터는 등 방향이고, 수신기는 각 배열 센서당 16채널로 구성되어 8개의 배열센서로 이루어진다. 프로젝터와 수신기는 T형으로 배치된다.

하드웨어는 DSP 보드, Top 보드, Receiver 보드, Base 보드, Power/Transmit 보드로 구성된다. DSP 보드는 실시간으로 빔을 형성하고 신호처리 데이터를 PC로 전송하며 자동 위상/크기 보정을 수행한다.

Top 보드는 128채널 데이터 취합하고 병렬 데이터를 처리한다. Receiver 보드는 채널별로 신호를 수신하여 증폭하고 필터링한다. Base 보드는 128 채널에서 사진증폭 및 보드간 커넥션을 수행한다.

하드웨어 모듈에서는 수신시 Quadrature 샘플링을 수행한다. 이는 중심주파수의 1/4간격으로 두 번 샘플링하여 사인신호와 코

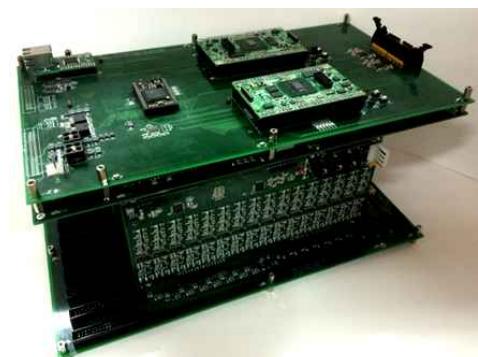


그림 6. 하드웨어 신호처리부 (DSP 보드, Top 보드, Receiver 보드, Base 보드, Power/Transmit 보드)

사인 신호를 찾는 방식으로 빠르고 간결한 샘플링 모듈을 구성한다.

수신 빔포밍에서는 수신된 신호를 FFT 하여 128개의 주파수를 찾고 각각의 주파수에서 값이 최대가 되는 수신각을 찾아 각 채널로 매핑하였다. 그림 7은 수신 빔포밍의 과정을 도식화한 그림이다. 표 1은 128채널의 빔각의 계산값이다.

소프트웨어에서는 하드웨어로부터 신호를 수신하여 데이터를 분석해 소나 데이터를 추출한다. 또한 추출된 데이터를 가공하여 모니터로 전송하고 시각화한다. 사용자 컨트롤 입력받아 하드웨어를 조정하거나, 시각화 방식을 변경한다. 그림 3은 소프트웨어 클래스 다이어그램으로 소프트웨어 함수 모듈들을 보여준다. 그림 4는 소프트웨어 시퀀스 다이어그램으로 함수들의 수행 절차를 보여준다.

2. 하드웨어 오류정정을 위한 소프트웨어 개발 결과

수신된 신호는 신호의 특성과는 별도로 하드웨어 자체의 온도나 물리적인 요소로부터 왜곡과 변형이 발생한다. 이런 왜곡은 신호의 위상이나 크기의 변형을 초래하는데 특정의 신호를 보내 수신기를 거쳐 왜곡이 발생했을 때 변형된 값을 얻고 보상에 보정을 수행한다.

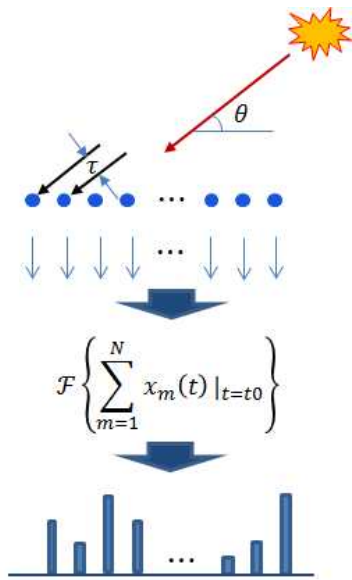


그림 7. 수신빔포밍 계산 과정

표 1. 채널별 중심각

채널	각도	87	-41.01	109	-18.21	3	1.79	25	22.02	47	45.93
66	-79.86	88	-39.84	110	-17.27	4	2.69	26	22.98	48	47.25
67	-75.64	89	-38.68	111	-16.33	5	3.58	27	23.97	49	48.59
68	-72.39	90	-37.54	112	-15.4	6	4.48	28	24.95	50	49.96
69	-69.64	91	-36.42	113	-14.48	7	5.38	29	25.94	51	51.38
70	-67.2	92	-35.32	114	-13.55	8	6.28	30	26.94	52	52.83
71	-64.99	93	-34.23	115	-12.64	9	7.18	31	27.95	53	54.34
72	-62.95	94	-33.15	116	-11.72	10	8.08	32	28.97	54	55.91
73	-61.04	95	-32.09	117	-10.81	11	8.99	33	30	55	57.54
74	-59.25	96	-31.04	118	-9.9	12	9.9	34	31.04	56	59.25
75	-57.54	97	-30	119	-8.99	13	10.81	35	32.09	57	61.04
76	-55.91	98	-28.97	120	-8.08	14	11.72	36	33.15	58	62.95
77	-54.34	99	-27.95	121	-7.18	15	12.64	37	34.23	59	64.99
78	-52.83	100	-26.94	122	-6.28	16	13.55	38	35.32	60	67.2
79	-51.38	101	-25.94	123	-5.38	17	14.48	39	36.42	61	69.64
80	-49.96	102	-24.95	124	-4.48	18	15.4	40	37.54	62	72.39
81	-48.59	103	-23.97	125	-3.58	19	16.33	41	38.68	63	75.64
82	-47.25	104	-22.99	126	-2.69	20	17.27	42	39.84	64	79.86
83	-45.95	105	-22.02	127	-1.79	21	18.21	43	41.01	65	90
84	-44.68	106	-21.06	128	-0.9	22	19.16	44	42.21		
85	-43.43	107	-20.11	1	0.23	20.11	45	43.43			
86	-42.21	108	-19.16	2	0.9	24	21.06	46	44.68		

수신된 사인, 코사인 신호로부터 수식 (1),(2)를 거쳐 위상과 크기 정보를 얻어내고, 수식 (3),(4),(5)를 거쳐 위상 및 크기 보정된

신호를 얻는다. 이 보정된 신호를 FFT한 결과의 크기 값이 결과 신호의 크기이다. 소나 정보를 시각적으로 파악하기 위해서 이 신호를 도시하여 확인한다.

$$A = \sqrt{(A \cos(2\pi fct + \theta))^2 + (A \sin(2\pi fct + \theta))^2} \quad (1)$$

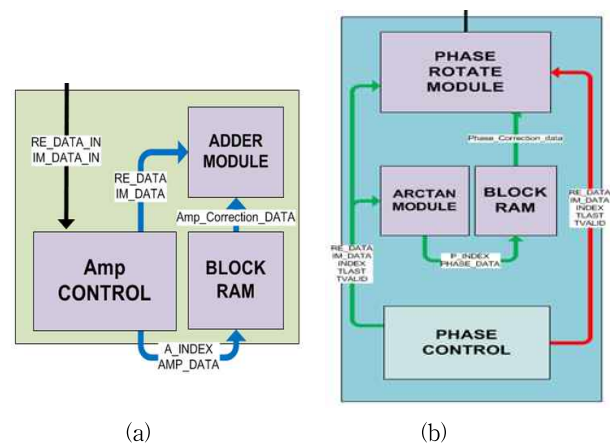
$$2\pi fct + \theta = \text{atan}\left(\frac{A \sin(2\pi fct + \theta)}{A \cos(2\pi fct + \theta)}\right) \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} \cos(2\pi fct) \\ \sin(2\pi fct) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(2\pi fct + \theta) \\ \sin(2\pi fct + \theta) \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\cos(2\pi fct + \theta) = A \cos(2\pi fct + \theta) / A \quad (4)$$

$$\sin(2\pi fct + \theta) = A \sin(2\pi fct + \theta) / A \quad (5)$$

그림 8은 DSP보드에서 오류 정정에 대한 블록다이어그램이다. 그림 8-a는 크기 보정을 그림 8-b는 위상 보정과정을 나타낸다.



(a)

(b)

그림 8. 오류 정정 블록 다이어그램 (a) 크기 정정 (b) 위상 정정

그림 9는 센서로부터 송수신을 거친 신호가 하드웨어 및 소프트웨어를 거쳐 모니터로 도시된 결과이다. 그림 9-a는 왜곡의 보상 전, 그림 9-b는 왜곡의 보상후의 결과이다. 수신빔이 중심각에서 포커싱이 형성되었다. 보상전에는 중심 채널 이외에 다른 채널에서도 잡음 성분이 존재하나, 보상후에는 중심 채널에 신호가 집중됨을 볼 수 있다.

2. 채널수에 대한 멀티빔 소나 영상의 실험 결과

멀티빔 소나에서 해상도를 결정하는 요소는 중심주파수, 거리 해상도, 채널수이다. 중심주파수의 증가는 시간에 대한 거리의 해

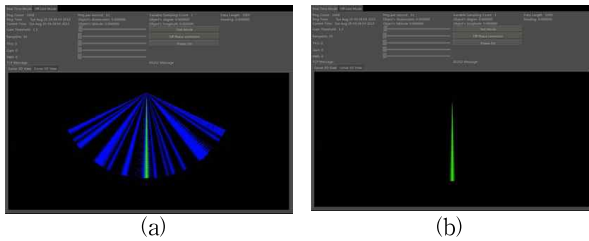


그림 10. 하드웨어로부터의 왜곡의 (a) 보상전 (b) 보상후

상력을 증가시키고, 거리해상도는 거리의 해상력의 범위를 조정하며, 채널 수는 최종 결과 영상의 가로축 해상도를 결정한다. 본 논문에서는 채널 수 변화에 따른 해상도의 변화를 분석한다. 그림은 64채널과 128채널로 수조를 찍은 영상이다. 같은 120° 의 각도 내에 64채널과 128채널이 배치되어, 한 채널당 64채널에서는 약 1.88° , 128채널에서는 약 0.94° 의 각을 가진다. 그림 11은 129채널 그림 12는 64채널에서 수조를 스캔한 영상이다. 수조의 벽면과 바닥의 해상도 변화를 확인할 수 있다.

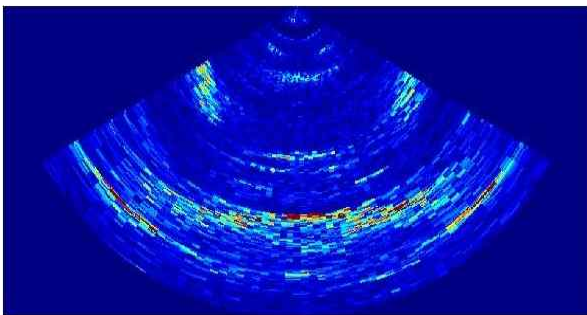


그림 6. 150kHz 송신센서, 64채널 수신센서에서 수조를 스캔한 영상

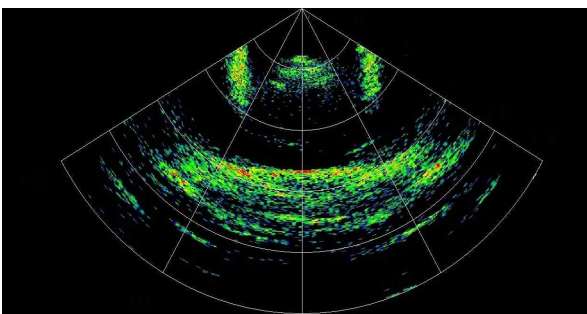


그림 6. 150kHz 송신센서, 128채널 수신센서에서 수조를 스캔한 영상

III. 결 론

본 논문에서는 멀티빔 소나 시스템을 위한 음향센서, 하드웨어,

소프트웨어 개발을 수행하였다. 특히 하드웨어 부분에서 Quadrature 샘플링 기법을 적용하였고, 수신빔에서 주파수 분석을 통한 채널 설정을 수행하였으며, 하드웨어의 물리적 특성으로 인한 왜곡의 보정을 수행하였다. 또한 멀티빔 소나 영상의 가로축 해상도를 결정하는 채널수 증가에 따른 영향을 실험을 통해 확인하였다. 수조를 스캔한 영상에서 해상도의 차이를 확인할 수 있었다. 멀티빔 소나 시스템의 개발로 해양관측, 조사 및 군사, 비군사적 용도에 적용되어 장비의 국산화를 실현시킬 수 있다.

References

- [1] Albert E. Theberge Jr. and Norman Z. Cherkis. "A Note on Fifty Years of Multi-beam". *Hydro International*, 22 May 2013
- [2] Hammerstad, E. et al. "Advances in multibeam echo sounder technology," *OCEANS '93. Engineering in Harmony with Ocean. Proceedings*, I482 - I487 vol.1, Victoria, BC, Oct 1993
- [3] "Multibeam Sonar Theory of Operation", L-3 Communications SeaBeam Instruments, <https://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/MB-System/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>
- [4] DeKeyser, R.T. et al, "A comparison of acoustic imagery of sea floor features using a towed side scan sonar and a multibeam echo sounder", *OCEANS '02 MTS/IEEE*, 2060 - 2067 vol.4, FL, USA, Oct. 2002
- [5] Robert J. Urlick, "Principles of Underwater Sound," Peninsular Publishing, 1983
- [6] Albert W. Cox, "Sonar and Underwater Sound," Lexington Books, 1974
- [7] A. D. Waite, "Sonar For Practising Engineers," John Wiley & Sons, LTD, 2002
- [8] J. F. Denis; B. Ollivier, "A new generation deep water multibeam echo sounder," *OCEANS '94. 'Oceans Engineering for Today's Technology and Tomorrow's Preservation.' Proceedings*, pp. III/239 - III/243, vol.3, 13-16 Sep 1994, Brest
- [9] X. Lurton; S. Dugelay; J. M. Augustin, "Analysis of multibeam echo-sounder signals from the deep seafloor," *OCEANS '94. 'Oceans Engineering for Today's Technology and Tomorrow's Preservation.' Proceedings*, pp. III/213 - III/218, vol.3, 13-16 Sep 1994, Brest
- [10] 노정식, 최윤수, 윤하수, 이유정, "멀티빔(MBES)의 오차보정에 관한 연구", *한국공간정보학회지*, Vol.17 No.3, 2009
- [11] 이재원, 최혜원, 서동주, 홍정수, "멀티빔 에코사운더의

- Beam 특성에 따른 후방산란 영상처리", *한국측량학회 학술대회자료집*, Vol.2015 No.4, 2015.
- [12] 정철훈, 김진후, 김동휘, 김성보, "멀티빔 자료를 이용한 실체 소나 이미지 구현", *2006년도 한국마린엔지니어링학회 전기 학술대회 논문집*, pp.199-200, 2006
- [13] 이언호, 이세진, "수중 멀티빔 초음파 센서를 이용한 3차원 점 군 획득 및 표현방법의 개발", *한국정밀공학회, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집*, 2015.5, 474-475 (2 pages)
- [14] 이성진, "5세대 멀티빔 시스템 소개", *한국마린엔지니어링학회, 한국마린엔지니어링학회 학술대회 논문집*, 2009.6, 329-330 (2 pages)
- [15] 김성보, 김진후, 김동휘 김현도, "Matlab을 이용한 멀티빔 자료의 실체 소나 이미지 구현", *한국마린엔지니어링학회, 한국마린엔지니어링학회 학술대회 논문집*, 2007.6, 215-216 (2 pages)
- [16] 임준호, "대용량 멀티빔 데이터 처리 개선 모듈 및 활용", *한국마린엔지니어링학회, 한국마린엔지니어링학회 학술대회 논문집*, 2007.6, 253-254 (2 pages)
- [17] 노대훈, 박요섭, 김학일, "멀티빔 자료를 이용한 웹기반의 3차원 해저 지형 가시화", *대한원격탐사학회, 대한원격탐사학회 학술대회 논문집*, 2000.3, 166-171 (6 pages)

저 자 소 개



이 지 은 (정회원)

2004년 숭실대학교 정보통신전자공학과 학사.

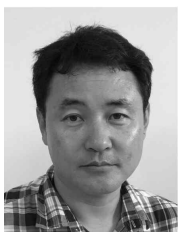
2007년 GE Ultrasound Korea 전임.

2012년 숭실대학교 정보통신공학과 석사.

2012년 숭실대학교 정보통신공학과 박사 수료.

2015년-현재. (주)소나테크 과장.

<주관심분야 : 수중영상신호처리, 소나 신호처리>



오 영 석 (정회원)

1998 한국해양대학교 제어계측공학과 석사.

2012 한국해양대학교 해양개발공학과 박사.

2001.05-현재 소나테크(주) 기업부설연구소 연구소장.

<주관심분야 : 빔포밍, FPGA 하드웨어>