

## 해양설비용 센서의 다중 신호처리 회로 개발 및 성능 분석

(The Development and Performance Analysis of Multiple Signal Processing Circuit for Marine Installation Sensor)

조정환\* · 고성원

(Jeong-Hwan Cho · Sung-Won Ko)

### Abstract

This paper proposes the new multiple signal processing monitoring sensor for the marine installation. The recent marine technology is focused on underwater sensors and underwater sensor networks in order to measure, monitor, surveillance of and control of underwater environments. For these marine applications to be available, however, the provision of precise location information using monitoring sensor is essential. In this paper, the multiple signal processing circuit for obtaining the precise location information of marine installation sensor is developed and analyzed.

The performance characteristics for obtaining the location information of marine installation sensor is analyzed. The theoretical and experimental studies have been carried out. The presented results from the above investigation show considerably excellent performance for the monitoring for the marine installation.

Key Words : Marine Sensor, Marine Monitoring, Multiple Signal Processing, Underwater Sensor

### 1. 서 론

최근 산업기술의 발전과 다양한 응용분야 중에서 해상 및 수중의 센서 네트워크 시스템에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 해양설비 및 해양자원에 대한 개발 및 관리의 중요성이 부각되면서 해양 플랜트, 환경 감

시, 자원 조사, 재난 방지, 해양 탐지 등을 위한 수중 센서 네트워크의 기술적 수요가 증가하고 있다[1].

특히 센서 네트워크 시스템을 해양 및 수중에 적용하는 해양 모니터링 네트워크 시스템의 핵심 장치인 해양 모니터링 센서는 수중음파 탐지용 하이드로폰을 이용하여 일정 수심에서 음향신호를 수신하여 신호의 세기와 함께 신호의 방향을 감지하는 기능을 수행한다. 따라서 이러한 적용에 있어서 해양설비용 모니터링 센서를 이용한 정확한 위치정보는 필수적이다[2].

본 연구에서는 해양설비용 모니터링 센서의 정밀 위치추정을 위하여 음향 및 방위각 정보를 이용한 다중 신호처리 회로를 개발하고 성능 특성을 분석한다.

\* 주저자 : 김포대학교 항공전기전자과 교수  
\* Main author : Professor, Dept. of avionics, Kimpo college  
Tel : 031-999-4142, Fax : 031-999-4775  
E-mail : jhcho@kimpo.ac.kr  
접수일자 : 2014년 9월 25일  
1차심사 : 2014년 9월 30일  
심사완료 : 2014년 10월 8일

또한 해양 센서네트워크는 지상에서의 센서 네트워크에 비해 노드의 가격이 고가이고 설치가 용이하지 않기 때문에 네트워크의 강건성과 신뢰성을 높일 수 있는 구조로 설계되어야 한다[3].

따라서 개발된 해양의 환경에서 모니터링 센서의 신뢰성을 평가하기 위하여 해양설비용 모니터링 센서를 시험할 수 있는 시험장치를 설계하여 제작하였고 이를 활용하여 해양 설비용 모니터링 센서의 성능 특성을 측정하고 분석하였다.

## 2. 다중 해양 모니터링 센서의 특성 분석 및 개발

### 2.1 해양 모니터링 센서의 원리

많은 센서 네트워크 시스템의 다양한 응용 중에서, 해양에서의 무선 정보전송과 네트워크 시스템은 그림 1과 같이 구성되어 있으며 미래 해양관측시스템과 센서네트워크 개발을 가능하게 하는 중요 기술 중의 하나이다[3].

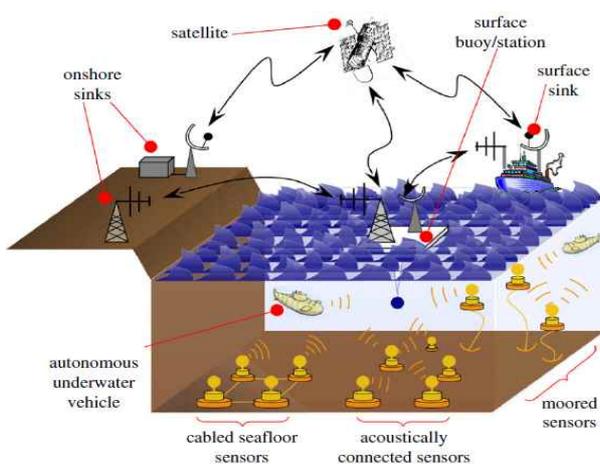


그림 1. 해양 센서 네트워크시스템  
Fig. 1. Marine sensor network system

이때 해양 모니터링 센서는 그림 2와 같이 구성되고 수중의 음파를 감지하여 음파가 발생된 음원의 방위를 감지하는 기법으로 DIFAR((Direction Finding and Ranging) 하이드로폰이라고도 한다. 구조는 입력되는

음향에 대하여 방향성을 가지도록 제작한 방향성 센서(directional sensor)와 입력되는 음향에 대하여 모든 방향에서 동일한 특성을 가지는 전방향성 센서(omni-directional sensor)로 구성되어 있다[4].

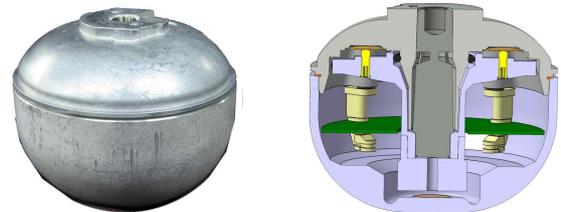


그림 2. 해양 모니터링 센서의 내외부 구조  
Fig. 2. Internal and external structure of marine monitoring sensor

방향성 센서는 상부 캡에 위치하며 압전 세라믹 소자로부터 발생한 진압을 이용하여 하이드로폰에 전달된 음향의 음원을 탐지하는 기능을 수행하게 된다. 압전 세라믹 소자로 이루어진 방향성 센서의 배치도는 그림 3에 나타나 있다.

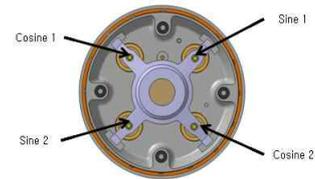


그림 3. 방향성 센서의 배치도  
Fig. 3. Profile of directional sensor

방향성 센서는 압전 세라믹 소자 4개로 구성되어 있으며 그중 마주 보고 있는 2개의 센서를 합쳐서 각각 “cosine센서”와 “sine센서”로 구분한다. 하이드로폰이 수중에 전개되어 위치하면 하이드로폰의 cosine 센서는 자북(magnetic north)과  $\theta$ 만큼의 각도를 유지하게 되는데 이 각도는 하이드로폰 내의 기관에 조립된 플럭스게이트(fluxgate) 센서가 감지하게 된다.

수중에서 안정된 하이드로폰에 음향이 전달되면 방향성 센서의 진동자 구조에 의하여 그 음원의 도래각도  $\theta$ 의 크기에 따라 cosine센서와 sine센서의 변위에 차이가 발생하게 된다. 즉 그림 4에서  $\theta$ 가 0°일 때는

cosine센서의 변위가 최대로 발생하고 sine센서의 변위는 이론적으로 발생하지 않게 된다.  $\theta$ 가  $45^\circ$ 일 경우에는 cosine센서와 sine센서의 변위가 동일하게 발생되고,  $\theta$ 가  $90^\circ$ 일 때는 sine센서의 변위가 최대로 발생하고 cosine센서의 변위는 이론적으로 발생하지 않게 된다. 이러한 특성을 이용하여 음원의 도래각  $\theta$ 는 아래의 식 (1)로 산출하게 된다[5].

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \quad (1)$$

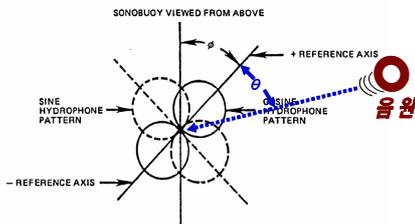


그림 4. 방향성 센서의 음원 측정  
Fig. 4. Measurement of sound source to directional sensor

### 2.2 다중 해양 모니터링 센서의 설계

해양설비용 모니터링 센서는 일정 수심에서 저주파 5~2,400Hz의 음향신호를 수신하여 신호의 세기와 신호의 방향을 감지하는 센서이다. 수중음향센서용 음향 및 방위 다중 신호처리 회로는 압전소자 재질의 센서에서 출력된 1개의 전방향성(omni-directional) 음향신호와 2개의 방향성(directional) 음향신호 및 나침반의 역할을 하는 플럭스게이트(fluxgate magnetometer)의 출력신호를 다중화(multiplex)시켜 음향센서의 외부로 송출하는 역할하도록 설계하였다.

해양설비용 모니터링 센서가 수중의 음향과 음원의 방위를 감지하게 되면 하이드로폰 내에 있는 다중 신호처리 회로(LEU : Lower Electronic Unit)에서 이 신호를 다중화(MUX)시켜 하이드로폰의 연결선을 따라 상부전송부(UEU : Upper Electronic Unit)로 전송한다. 부표(Float Bag)에 연결된 상부전송부는 내부에 있는 방위와 음향정보를 FM 변조시켜 부표 내에 위

치한 안테나를 통하여 항공기로 전송하게 된다. 항공기의 수신기에서는 전송된 신호를 수신하고 이를 역다중화(Demultiplexing)하여 방위와 음향 정보를 획득하게 된다.

### 2.3 다중 해양모니터링 센서의 동작특성

해양설비용 모니터링 센서의 다중 신호처리 회로는 방향성 센서와 전방향성 센서로 부터 발생한 신호를 그림 5와 같이 증폭하고 다중화시켜 해수면에 위치한 신호 송출부로 송신하는 역할을 수행한다. 15kHz와 7.5kHz는 각각 위상기준주파수 및 기준 주파수로서 파일럿 주파수(pilot frequency)의 기능을 수행한다. 세부적인 기능을 살펴보면 아래와 같다.

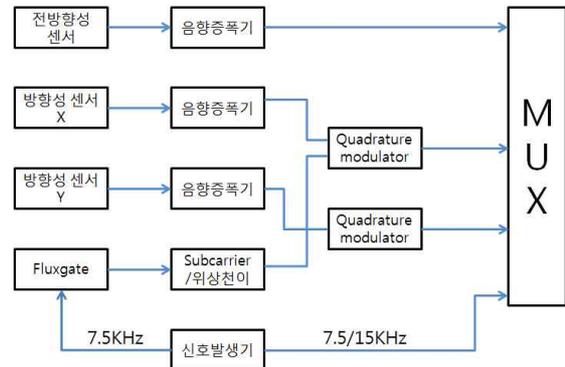


그림 5. 다중 신호처리 회로의 구성도  
Fig. 5. Block diagram of multiple processing circuit

음향 증폭부는 5Hz~2.4kHz 대역의 신호를 회로의 omni, cosine, sine 채널의 각 증폭기에서 신호를 증폭하며, 변조부는 자기를 탐지하는 플럭스게이트를 거쳐 생성된 15kHz 신호는 위상을  $90^\circ$  앞세워서 cos채널의 부반송파(sub carrier)로 사용하고, 다시 위상을  $90^\circ$  앞세워서 sin채널의 부반송파(sub carrier)로 사용하여 평행변조한다.

자기 탐지부는 자북(magnetic north) 대비 회로의 기준축이 이루는 시계방향 각도(fluxgate-compass)를 cosine채널, sine 채널의 변조용 부반송파 15kHz의 위상에 반영시켜 전송하며, 다중화부는 omni, cosine,

sine 신호 및 자기탐지 신호, 위상기준 신호(15kHz), 주파수 기준신호(7.5kHz)를 단일채널로 전송하기 위하여 합성한다.

이러한 과정을 통하여 수중의 음파를 감지하여 음파가 발생된 음원의 거리와 방위를 감지하는 DIFAR 방식의 고감도 고성능의 다중 해양 모니터링 센서를 개발하였고, 그림 6은 multiple 신호처리부의 회로기판이다. Military Specification for AN/SSQ-53D Sonobuoy, MIL-S-81487E(AS)[6]에 따른 최종 성능 목표는 아래와 같다.



그림 6. 다중 신호처리 회로부  
Fig. 6. Multiple signal processing unit

### 2.3.1 이득

해양 모니터링 센서에 100Hz에서 122±3dB re 1-μPa의 음향신호 인가 시 출력되는 해당 레벨 값을 음향신호발생기로 신호처리 회로의 cosine 채널과 sine 채널, omni 채널에 인가한다. cosine 채널과 sine 채널, omni 채널의 수신신호세기를 측정하여 요구성능의 적합성을 평가한다.

### 2.3.2 위상

수중음향 센서에 100Hz에서 122±3dB re 1-μPa의 음향신호 인가 시 출력되는 해당 레벨 및 omni 기준 방향성 채널의 위상차 값에 해당하는 신호를 신호처리 회로의 cosine 채널과 sine 채널, omni 채널 인가한다. cosine 채널과 sine 채널, omni 채널의 수신위상을 측정하여 요구성능의 적합성을 평가한다.

### 2.3.3 방위 정확도

신호처리 회로의 omni, sine, cosine 채널에 수중탐지 센서의 100Hz에서 출력되는 신호 레벨을 인가하여

방위지시 각도를 확인 평가한다.

## 3. 다중 해양 모니터링 센서의 성능시험 결과

개발된 해양설비용 모니터링 센서의 성능시험을 위하여 해양 모니터링 센서 시험장치를 참고문헌 [6]이 제시하는 신뢰성 시험사양을 만족하도록 그림 8과 같이 시험용 지그를 제작하고 그림 9와 같이 시험장치를 구성하여 참고문헌 [7]의 교정계수(Calibration Factor) 조건을 만족하는 정확도를 확인하고 특성을 시험하였다. 음향 및 방위 정보의 다중 해양 모니터링 센서의 성능 평가를 수행 하였다. 시험결과 개발품이 표 2, 표 3, 표 4와 같이 목표성능을 만족함을 최종적으로 확인하였다.

표 1. 해양설비용 모니터링 센서의 성능 기준  
Table 1. Performance standards of monitoring sensor for the marine installation

평가항목	단위	성능 기준
이득	dB	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Cosine 채널과 Sine 채널 이득편차 : ±1dB 이내</li> <li>◦ 방향성 채널과 Omni 채널 이득편차 : ±5dB 이내</li> </ul>
위상	Degree	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Cosine 채널과 Sine 채널 위상편차 : ±15° 이내</li> <li>◦ 방향성 채널과 Omni 채널 위상편차 : ±20° 이내</li> </ul>
방위 정확도	Degree	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 회전각도가 90°도 변동 시 방위 측정 오차 : ±10° 이내</li> </ul>

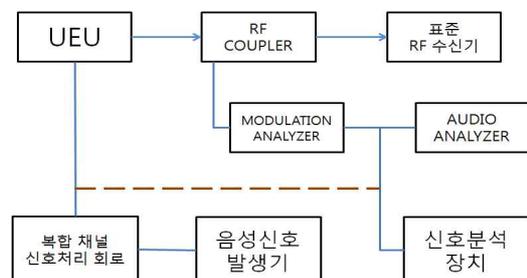


그림 7. 성능 시험 구성도  
Fig. 7. Block diagram of performance test

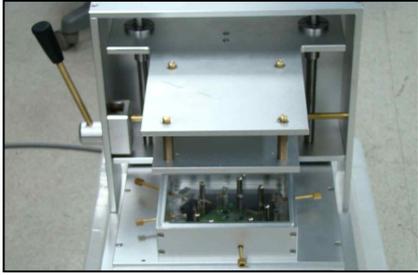


그림 8. 시험용 지그  
Fig. 8. Test jig



그림 9. 시험장치  
Fig. 9. test equipment

표 2. 이득 성능 시험결과  
Table 2. Test result of gain performance

구 분	#1	#2	#3	#4	#5	기준	
cosine 채널과 sine 채널	50Hz	0.3	0.2	0.5	0.4	0.4	이득편차 $\pm 1\text{dB}$ 이내
	100Hz	0.2	0.3	0.6	0.5	0.3	
	200Hz	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2	
	350Hz	0.1	0.4	0.5	0.3	0.2	
	600Hz	0.2	0.4	0.3	0.3	0.1	
	1kHz	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2	
	2kHz	0.4	0.1	0.4	0.2	0.1	
방향성 채널과 omni 채널	50Hz	0.6	1.2	3.2	2.7	3.3	이득편차 $\pm 5\text{dB}$ 이내
	100Hz	1.0	0.9	2.3	3.1	3.8	
	200Hz	1.1	1.1	2.5	3.4	4.1	
	350Hz	0.9	1.3	2.9	3.5	4.2	
	600Hz	0.3	1.8	3.3	2.8	3.7	
	1kHz	0.5	1.5	3.5	2.5	3.5	
	2kHz	0.7	0.8	3.7	2.9	3.3	

표 3. 위상 성능 시험결과  
Table 3. Test result of phase performance

구 분	#1	#2	#3	#4	#5	기준	
cosine 채널과 sine 채널	50Hz	2.5	3.3	4.7	3.5	5.2	이득편차 $\pm 15^\circ$ 이내
	100Hz	2.1	2.1	2.3	2.3	3.8	
	200Hz	3.0	3.1	0.8	3.5	2.9	
	350Hz	4.7	1.5	1.2	0.8	3.5	
	600Hz	5.2	4.5	1.9	1.9	2.4	
	1kHz	7.8	3.7	3.4	5.4	2.7	
	2kHz	9.3	5.4	4.8	8.3	3.6	
방향성 채널과 omni 채널	50Hz	6.2	4.8	5.9	7.3	9.8	이득편차 $\pm 20^\circ$ 이내
	100Hz	6.9	3.8	5.3	9.6	8.3	
	200Hz	8.1	1.7	6.5	13.5	12.5	
	350Hz	15.2	4.6	8.7	12.3	6.4	
	600Hz	18.0	8.7	7.9	9.8	6.3	
	1kHz	17.5	7.8	11.3	5.8	8.1	
	2kHz	15.6	12.8	9.1	7.7	7.5	

표 4. 방위 정확도 시험결과  
Table 4. test result of direction accuracy

기 준	#1	#2	#3	#4	#5	오차 범위
45°	41°	51°	40°	43°	42°	$\pm 10^\circ$ 이내
135°	137°	140°	132°	141°	139°	
225°	221°	229°	227°	232°	229°	
315°	309°	319°	321°	317°	318°	

그림 10은 이러한 시험과정에서 나타난 전방향성 센서의 동적 특성을 나타내고 있으며, 그림 11은 방향성 센서의 동적 특성을 나타내고 있다.

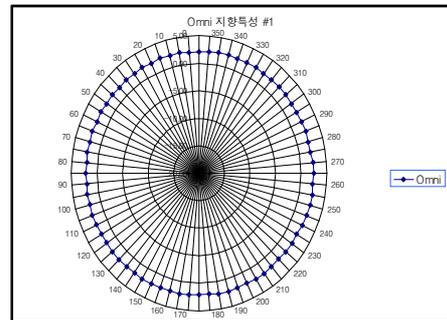


그림 10. 전방향성센서의 시험결과  
Fig. 10. Test result of omni-directional sensor

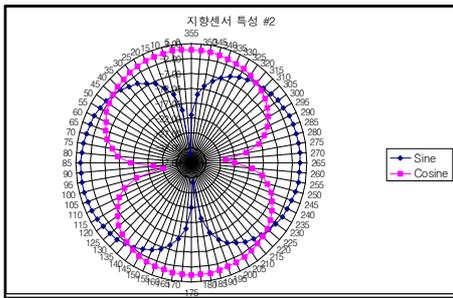


그림 11. 방향성 센서의 측정 결과  
Fig. 11. Test result of directional sensor

#### 4. 결 론

본 연구에서는 해양 및 수중에 적용하여 해양 플랫폼 및 수중 구조물과 같은 해양설비에 사용되는 해양 모니터링 네트워크 시스템의 핵심 장치인 다중 신호 처리 해양설비용 모니터링 센서를 개발하였고, 신뢰성 향상과 성능 평가를 위해 시험장치를 개발하여 Military Specification for AN/SSQ-53D Sonobuoy, MIL-S-81487E (AS) 의 평가방법에 의해 성능 시험을 수행하여 성능 기준을 만족하는 결과를 확인하였다.

따라서 본 연구의 결과로 해양 및 수산업 분야의 핵심장치인 해양설비용 모니터링 센서의 개발 및 시험 평가 기술이 향상되는 계기가 될 것으로 판단되며, 향후에는 해양설비용 모니터링 센서에 적용되는 전자부품의 개발기술을 확립하고 이를 통하여 고성능의 해양네트워크 시스템의 구현이 필요하다고 분석된다.

본 논문은 2014학년도 김포대학교 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### References

[1] S. Saxena, S. Mishra and M. Singh, "Clustering Based on Node Density in Heterogeneous Under-Water Sensor Network", I.J. Information Technology and Computer Science, pp49-55, July 2013.  
[2] M. Chitre, S. Shahabodeen and M. Stojanovic, "Underwater Acoustic Communications and Networking: Recent Advances and Future Challenges," Marine Technology Society Journal, vol. 42, No. 1, pp. 103-116, 2008.  
[3] J. Heidemann, M. Stojanovic and M. Zorzi, "Underwater

sensor networks: applications, dvances and challenges", Phil. Trans. R. Soc. A 2012 370, 158-175, 2012.  
[4] Dahir H. Dini and Danilo P. Mandic, "An Enhanced Bearing Estimation Technique for DIFAR Sonobuoy Underwater Target Tracking", IEEE Sensor Signal Processing for Defence (SSPD 2012), pp.25-27, sept. 2012.  
[5] J. Heidemann, Y. Li, A. Syed, J Wills and W. Ye, "Research Challenges and Applications for Underwater Sensor Networking", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC2006), April 3-6, 2006.  
[6] Military Specification for AN/SSQ-53D Sonobuoy, MIL-S-81487E(AS). Naval Air Engineering Center, Systems Engineering and Standardization Department (SESD), Code 93, Lakehurst, NJ 08733.  
[7] Brian H. Maranda, Calibration Factors for DIFAR Processing, Defence Research Establishment Atlantic, Nov. 2001.

#### ◇ 저자소개 ◇



##### 조정환(趙正煥)

1963년 12월 12일생. 1988년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1990년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2003년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 김포대학교 항공전기전자과 교수. 산업계측제어 기술사.



##### 고성원(高成元)

1960년 8월 6일생. 1983년 한양대학교 전자공학과 졸업. 1985년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2008년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 현재 김포대학교 인터넷정보과 교수.