

## 해양 IT시스템용 적응형 모니터링 센서의 개발 및 성능 평가

(The Development and Performance Evaluation of Adaptive Monitoring sensor for the Marine IT System)

조정환\* · 노희정

(Jeong-Hwan Cho · Hee-Jung Roh)

### Abstract

This paper proposes the new adaptive gain control monitoring sensor for the marine IT system. The marine IT system sensors make it possible to conduct search missions, record climate changes, provide pollution control, study marine life, conduct survey missions, tactical surveillance, and predict natural disturbances in the ocean.

In this paper, the adaptive gain control circuit which changes its parameters according to the ambient noise situation for obtaining the precise location information of marine IT system sensor is developed and analyzed. The performance characteristics for ensuring the precise location information of marine system sensor is presented and analyzed. The theoretical and experimental studies have been carried out. The presented results from the above investigation show considerably excellent performance for the monitoring of the marine system.

Key Words : Marine IT Sensor, Marine Monitoring, Adaptive Gain Control, Underwater Sensor

### 1. 서 론

해양설비 및 해양자원에 대한 개발 및 관리의 중요성이 부각되면서 해양에서 연구 임무의 수행, 기후 변화의 기록, 오염의 제어, 해양생태의 연구, 탐사 임무 및 전술 감시의 수행, 자연 장애의 예측 등을 위한 해양 IT시스템에 대한 관심이 높아지고 있다[1].

이러한 해양 IT시스템에서 센서 네트워크 시스템을

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

본 연구에서는 해양 IT시스템의 적용을 위한 해양 모니터링 센서의 정밀 위치추정을 위하여 적응형 이득제어(AGC : Adaptive Gain Control) 회로를 개발하였다.

적응형 이득제어 회로는 배경소음이나 표적의 음향

\* Main author : Professor, Dept. of avionics, Kimpo university

Tel : 031-999-4142, Fax : 031-999-4775

E-mail : jhcho@kimpo.ac.kr

Received : 2015. 3. 24

Accepted : 2015. 4. 23

신호가 과도하게 발생하여 해양센서 신호처리 회로에 입력되는 음향 신호가 포화될 경우 음향 신호의 크기를 제어하여 표적신호의 정확한 위치성능을 지원하는 기능이고 이는 잡음이 심한 낮은 수심의 연안수역에서 우수한 탐지능력을 제공하는데 중요한 기능을 수행한다.

또한 해양 센서네트워크는 노드의 가격이 고가이고 설치가 용이하지 않기 때문에 네트워크의 내구성과 신뢰성을 높일 수 있는 구조로 설계되어야 한다[3].

따라서 악조건의 해양환경에서 주변잡음 적응형 모니터링 센서의 높은 신뢰성을 확립하기 위하여 모니터링 센서를 시험할 수 있는 시험장치를 설계하여 제작하였고 이를 활용하여 해양 IT시스템용 모니터링 센서의 성능 평가시스템을 제시하고 분석하였다.

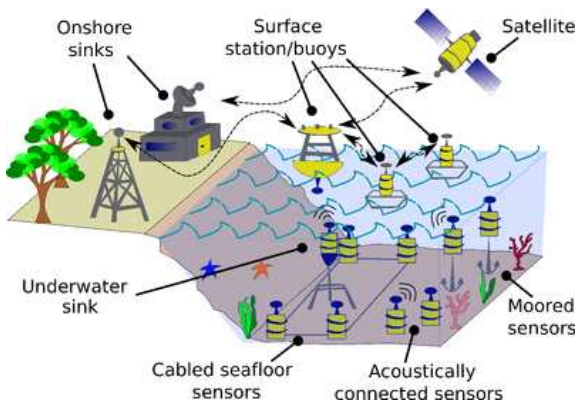


그림 1. 해양 IT 모니터링 시스템의 구조  
Fig. 1. Architecture of marine IT monitoring system

## 2. 적응형 해양 모니터링 센서의 특성 분석 및 개발

### 2.1 해양 모니터링 센서의 원리

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

이때 해양 모니터링 센서는 그림 2와 같이 구성되고 수중의 음파를 감지하여 음파가 발생된 음원의 방향을 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].

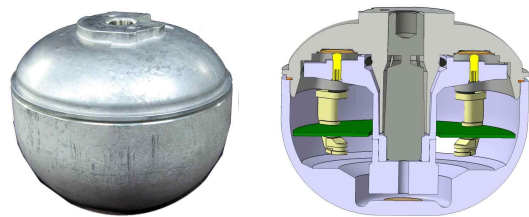


그림 2. 해양 모니터링 센서의 내외부 구조  
Fig. 2. Internal and external structure of marine monitoring sensor

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

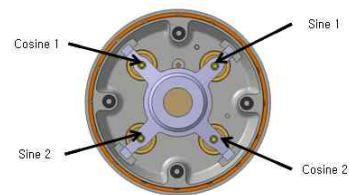


그림 3. 방향성 센서의 배치도  
Fig. 3. Profile of directional sensor

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 그림 4와 같이 동작하며 음원의 도래각  $\theta$ 는 아래의 식 (1)로 산출하게 된다[5].

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

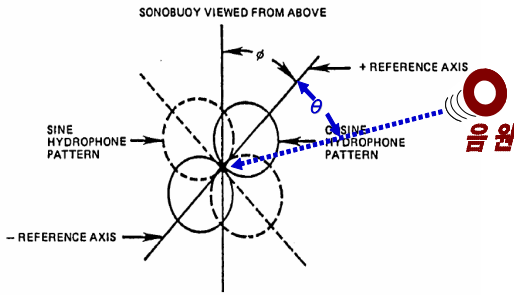


그림 4. 방향성 센서의 음원 측정  
Fig. 4. Measurement of sound source to directional sensor

## 2.2 적응형 해양 모니터링 센서의 설계와 동작 특성

해양 IT시스템용 모니터링 센서가 수중의 음향과 음원의 방위를 감지하게 되면 하이드로폰 내에 있는 다중 신호처리 회로(LEU : Lower Electronic Unit)에서 이 신호를 다중화 시켜 하이드로폰의 연결선을 따라 상부전송부(UEU : Upper Electronic Unit)로 전송한다. 부표에 연결된 상부전송부는 내부에 있는 방위와 음향정보를 FM 변조 시켜 부표 내에 위치한 안테나를 통하여 항공기로 전송하게 된다. 항공기의 수신기에서는 전송된 신호를 수신하고 이를 역다중화하여 방위와 음향 정보를 획득하게 된다.

## 2.3 적응형 해양모니터링 센서의 동작특성

해양 IT시스템용 모니터링 센서의 적응형 신호처리 회로는 방향성 센서와 전방향성 센서로부터 발생한 신호를 그림5와 같이 증폭하고 다중화시켜 해수면에 위치한 신호 송출부로 송신하는 역할을 수행한다. 15kHz와 7.5kHz는 각각 위상기준주파수 및 기준 주파

수로서 파일럿 주파수(pilot frequency)의 기능을 수행한다. 세부적인 기능을 살펴보면 아래와 같다.

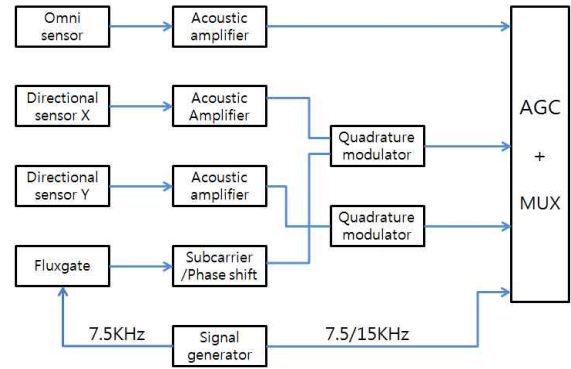


그림 5. 다중 신호처리 회로의 구성도  
Fig. 5. Block diagram of multiple processing circuit

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° 앞세워서 cos채널의 부반송파로 사용하고, 다시 위상을 90° 앞세워서 sin 채널의 부반송파로 사용하여 평형변조한다.

자기 탐지부는 자북(magnetic north) 대비 회로의 기준축이 이루는 시계방향 각도를 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.

적응이득제어(AGC)기능은 배경소음이나 표적의 음향신호가 과도하게 발생하여 다중 신호처리 회로에 입력되는 음향 신호가 포화될 경우 음향 신호의 크기를 줄여줌으로써 표적신호의 안전한 포착을 지원하는 기능이다. 잡음이 심한 낮은 수심의 연안수역에서 우수한 탐지능력을 제공하는 중요한 기능을 수행한다.

AGC기능의 작동은 폴 반송파의 요구조건에 따라 과신호가 30초 이상 지속적으로 입력 시 신호출력 레벨을 6dB 감소시켜 FM 신호의 포화를 방지하고 있다. 이후에 레벨 회복상태가 30초 이상 유지되면 신호출력 레벨을 원상으로 회복시킨다.

AGC 기능 구현에 대한 규격 정의의 배경을 살펴보면 DIFAR 하이드로폰에 1μPa 기준 122±3dB, 100Hz의 음압 레벨에 상응하는 신호를 인가할 때 VHF 반송파의 변조에 대한 요구조건은 아래와 같다.

- Omni Channel : 최대주파수 편이 = ± 25kHz
- Directional Channel : 최대응답 축방향 인가
- 최대주파수편이 = ± 40kHz
- Phase Pilot : 최대주파수 편이 = ± 7.5kHz
- Frequency Pilot : 최대주파수 편이 = ± 7.5kHz
- VHF 반송파 최대편이가 ± 75kHz에 해당되는 레벨보다 15dB 높은 레벨을 하이드로폰에 인가해도 반송파주파수의 최대편이는 105kHz를 초과하지 않아야 한다.

여기서 두 개의 Pilot 신호에 의한 반송파 주파수 편이 15kHz를 고려한다면 100Hz, 122dB ref 1μPa의 순수 음향신호에 의해 발생하는 주파수편이는 75 - 15 = 60kHz가 되며, 최대반송파 주파수 편이의 한계는 105 - 15 = 90kHz까지가 되므로 선형적으로 포착이 가능한 최대 음향신호는 122 + 3.5 = 125.5dB가 된다.

즉 해양 모니터링 센서가 수중에서 음향신호를 검출할 수 있는 범위는 기본적으로 수중에서의 주변잡음 수준(Ambient Noise Floor)보다는 큰 레벨의 신호로부터 신호처리과정에서 포화현상이 일어나기 직전 신호레벨까지의 범위에서 안정적으로 신호추출이 가능하게 된다.

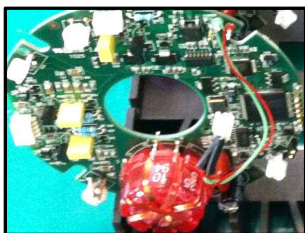


그림 6. 적응이득제어 신호처리 회로부  
Fig. 6. Signal processing unit for adaptive gain control

이러한 과정을 통하여 수중의 음파를 감지하여 음파가 발생된 음원의 거리와 방위를 감지하는

DIFAR 방식의 고감도 고성능의 다중 해양 모니터링 센서를 개발하였고, 그림 6은 적응이득제어 신호처리부의 회로기판이다. 이때 Military Specification for AN/SSQ-53D Sonobuoy, MIL-S-81487E(AS)[6]에 따른 최종 성능목표는 표 1과 같다.

### 3. 적응형 해양 모니터링 센서의 성능 평가

개발된 해양 IT 시스템용 적응형 모니터링 센서의 성능시험을 위하여 참고문헌 [6]이 제시하는 성능시험 사양을 만족하도록 그림 7과 같이 구성하였고, 그림 8과 같이 시험장치를 사용하여 참고문헌 [7]의 교정계수 조건을 만족하는 정확도를 확인하고 특성을 시험하였다. 그림 9는 이때의 동적 특성을 시험하는 장면이다. 해양 모니터링 센서의 음향 및 방위 정보에 대한 성능 평가를 표 1의 요구조건에 따라 수행 하였고 시험결과 개발품이 표 2, 표 3, 표 4, 표 5와 같이 목표성능을 만족함을 최종적으로 확인하였다.

표 1. 해양 IT시스템용 모니터링 센서의 성능 기준  
Table 1. Performance standards of monitoring sensor for the marine IT system

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>
AGC 기능	dB	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ AGC ON(이득 6dB 감소)</li> <li>◦ AGC OFF(이득 원상회복)</li> </ul>

(본 기준은 SESD, Code93, Lakehurst, NJ 08733(6)에서 발췌)

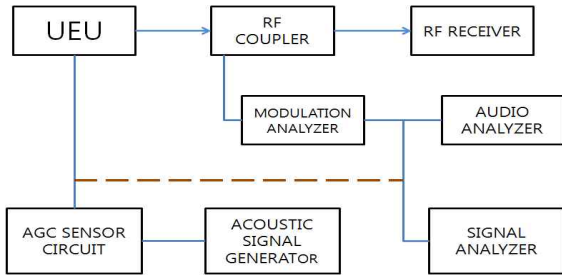


그림 7. 성능 시험 구성도  
Fig. 7. Block diagram of performance test



그림 8. 시험장치  
Fig. 8. Test equipment

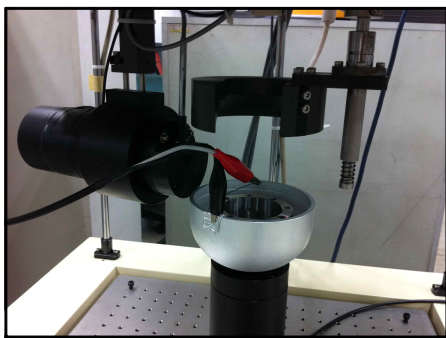


그림 9. 동적특성의 측정  
Fig. 9. Test of of Dynamic Characteristics

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

구분	#1	#2	#3	#4	#5	기준
cosine 채널과	50Hz	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5
	100Hz	0.2	0.3	0.2	0.5	0.6
sine 채널	200Hz	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
	350Hz	0.2	0.4	0.2	0.3	0.5
						이득 편차 ± 1dB 이내

구분	#1	#2	#3	#4	#5	기준
	600Hz	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3
	1kHz	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3
	2kHz	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4
방향성 채널과 omni 채널	50Hz	0.6	1.2	0.6	2.7	3.2
	100Hz	1.0	0.9	1.0	3.1	2.3
	200Hz	1.1	1.1	1.1	3.4	2.5
	350Hz	0.8	1.3	0.8	3.5	2.9
	600Hz	0.4	1.8	0.4	2.8	3.3
	1kHz	0.5	1.5	0.5	2.5	3.5
	2kHz	0.7	0.8	0.7	2.9	3.7
						이득 편차 ± 5dB 이내

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

구분	#1	#2	#3	#4	#5	기준
cosine 채널과 sine 채널	50Hz	5.2	3.3	4.7	3.5	4.7
	100Hz	3.8	2.1	2.3	2.3	2.3
	200Hz	2.9	3.1	0.8	3.5	0.8
	350Hz	3.5	1.5	1.2	0.8	1.2
	600Hz	2.4	4.5	1.9	1.9	1.9
	1kHz	2.7	3.7	3.4	5.4	3.4
	2kHz	3.6	5.4	4.8	8.3	4.8
방향성 채널과 omni 채널	50Hz	9.8	4.8	5.9	7.3	5.9
	100Hz	8.3	3.8	5.3	9.6	5.3
	200Hz	12.5	1.7	6.5	13.5	6.5
	350Hz	6.4	4.6	8.7	12.3	8.7
	600Hz	6.3	8.7	7.9	9.8	7.9
	1kHz	8.1	7.8	11.3	5.8	11.3
	2kHz	7.5	12.8	9.1	7.7	9.1
						이득 편차 ± 15° 이내

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

기준	#1	#2	#3	#4	#5	오차 범위
45°	40°	51°	42	43°	42°	± 10° 이내
135°	132°	140°	132°	141°	139°	
225°	227°	229°	227°	232°	229°	
315°	321°	319°	320	317°	318°	



표 5. AGC 성능 시험결과  
Table 5. Test result of AGC performance

구 분	#1	#2	#3	#4	#5	기 준
AGC ON	충족	충족	충족	충족	충족	이득 6dB 감소
AGC OFF	충족	충족	충족	충족	충족	이득 원상 회복

그림 10은 이러한 시험과정에서 나타난 해양 IT 시스템용 적응형 모니터링 센서의 전방향성을 시험한 결과이다. 이때 수신감도는 192.5dBV/uPa이고 지향 특성은 0.2dB 편차를 나타내고 있다.

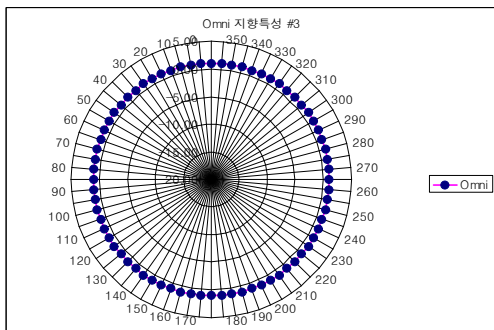


그림 10. 해양 모니터링 센서의 측정 결과  
Fig. 10. Test result of directional sensor

#### 4. 결 론

본 연구에서는 해양 플랫폼 및 수중 구조물의 해양 IT시스템에 적용하는 해양 모니터링 네트워크 시스템의 핵심 장치인 적응이득제어 해양 모니터링 센서를 개발하였다. 또한 악조건의 해양환경에서 주변잡음 적응형 모니터링 센서의 높은 신뢰성을 확립하기 위하여 시험장치를 개발하여 성능 시험을 수행하여 성능 기준을 만족하는 결과를 확인하였다.

따라서 본 연구의 결과로 해양 IT시스템용 모니터링 센서의 개발 및 시험평가 기술이 향상되는 계기가 될 것으로 판단되며, 향후에는 해양 모니터링 시스템에 적용되는 성능평가 기술을 더욱 향상시키고 이를 통하여 고성능의 해양 IT 시스템의 구현이 가능할 것으로 전망된다.

본 논문은 2015학년도 김포대학교 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### References

- [1] C. Peach and A. Yarali, "An Overview of Underwater Sensor Networks", The Ninth International Conference on Wireless and Mobile Communications, pp. 31-36, 2013.
- [2] Paolo Casari ↑., Michele Zorzi, "Protocol design issues in underwater acoustic networks", Computer Communications, Vol. 34, pp. 2013 -.2025, 2011.
- [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, ML-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 항공전자제어과 교수. 산업계측제어 기술사.



##### 노희정 (盧熙正)

1985년 아주대학교 전자공학 졸업. 1995년 서울시립대학교 졸업(석사). 2010년 인천시립대학교 졸업(박사). 1989~1998년 (주)한국통신기술 근무. 1998년~현재 김포대학교 컴퓨터네트워크과 교수.