

# 수중 관측 및 탐사장비 원격분리 시스템의 개발

## A Separator system for underwater observing instrument

김영진\*, 정한철\*, 허경무\*, 조영준\*\*

(Young Jin Kim, Han Cheol Jeong, Kyung Moo Huh, Young June Cho)

**Abstract** - In order to successfully exploit underwater resources, the first step would be a marine environmental research and exploration on the seafloor. Traditionally one sets up a long-term underwater experimental unit on the seafloor and retrieves the unit later after a certain period time. Essential to these applications is the reliable teleoperation and telemetering of the unit. In our proposed ultrasonic-wave remote control system and an underwater sound recognition algorithm that can identify the sound signal without the influence of disturbances due to underwater environmental changes. The proposed method provides a means suitable for units which require low power dissipation and long-time underwater operation. We demonstrate its ability of securing stability and fast sound recognition through experimental methods.

**Key Words** : underwater ultrasonic-wave, remote control system, sound recognition algorithm

### 1. 서론

해양자원을 효과적으로 관리하고 연구하기 위해서 수중초음파 통신기술은 매우 중요한 수단이다. 해저환경에서 장기간 관측 및 탐사를 위해서는 계측장비를 해저에 위치시키고 일정기간이 경과한 후 이를 회수하는 방법이 사용되며, 이를 위하여 수중관측 및 탐사장비 원격분리 시스템이 사용된다 [1][2]. 이러한 방식에 있어서 가장 중요한 점은 측정 장비 회수를 위한 신뢰성인데 여러 환경잡음 등 외란 환경요소에 영향을 받지 않는 안정적인 수중초음파 신호인식 및 원격제어 동작을 필요로 한다. 그래서 기존의 제어 방법[3]은 초음파 신호와 기준 정보 신호를 하드웨어적인 방법으로 비교하며 이 과정을 수차례 반복하여 획득한 초음파 신호를 제어 정보로 활용하고 있다. 이는 탐사 및 관측 장비 회수를 위한 제어장치와 같은 신뢰성이 중요시되는 시스템에서는 제어안정성 및 효율성이 떨어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 해양환경 변화에 의한 영향 및 전파 지연요소에 의한 노이즈 성분을 제거하여 필요주파수 성분을 추출하고 이를 제어정보로 활용하며, 응답에러제어를 통하여 제어 신뢰성을 향상시킨 초음파 통신을 이용한 수중관측 및 탐사장비 원격이탈 시스템을 제안하고자 한다. 그리고 수중 초음파 통신을 이용하여 외란요소에 영향을 받지 않고 안정적으로 음파 신호를 인식할 수 있는 수중초음파 신호인식 알고리즘을 접목하였다. 제안하는 시스템의 효율성을 실험을 통하여 확인하였다

### 2. 초음파 원격 제어시스템

초음파 원격제어시스템은 해상에서 탐사 및 관측 장비 회수를 위한 수중초음파 신호를 발생시켜 해저로 송신하는 송신부와, 데이터 수집을 위한 탐사 및 계측장비 등과 함께 해저면에 위치시키는 수신부로 구성되어 있다[4].

#### 著者 紹介

- \* 金 營 振 : 檀國大學校 電子컴퓨터學部 博士課程
- \* 丁 漢 徹 : 檀國大學校 電子컴퓨터學部 碩士課程
- \* 許 慶 茂 : 檀國大學校 電子컴퓨터學部 教授, 工博
- \*\* 曹 永 準 : 韓國生産技術研究院 本部長, 工博

송신기에서는 해저로 송신하는데 필요한 정보를 생성, 이를 단순하는 방법으로 변조시켜 송신신호를 생성하고, 트로이달 코일로 증폭한 다음 트랜스듀서를 통하여 초음파 신호를 송신한다. 수신기에서는 동일한 장치인 트랜스듀서를 통하여 초음파 신호를 수신한다. 수신된 신호는 증폭되고 필터링된 후 주파수 별로 구분되어 디지털변환을 거쳐 마이컴으로 입력된다. 이후 해석된 신호를 마이컴에 저장되어 있는 기준정보와 비교한 뒤 응답신호를 생성하고 초음파 신호로 변환하여 송신기로 송출하며 동시에 이탈 동작을 수행한다.

#### 2.1 초음파 원격 제어시스템 송신부

##### 2.1.1 송, 수신부 초음파 통신 프로토콜의 구조

수중 초음파 통신을 위하여 구성된 프로토콜의 구조는 그림1과 같이 총 8개의 블록으로 sync 정보, header 정보, 4자리의 ID 정보, action 정보 그리고 parity 정보로 구성되어 있다. sync 신호는 한가지 주파수로 구성되어 있으나 다른 신호는 데이터 신호와 정지신호의 조합으로 구성되어 있으며, 각 신호는 0.8초 간격으로 구분된다.

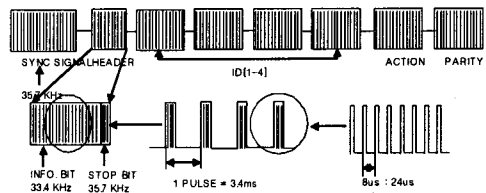


그림 1 송수신기 프로토콜의 구조  
Fig 1. structure of protocol

##### 2.1.2 초음파 신호의 생성과 송신

초음파 신호의 생성은 25% duty(8+24us)의 구형파를 3KHz의 간격으로 pulse형태 {On(0.8ms), Off(2.6ms)}로 단속하여 사용하고 있으며, 이렇게 구성된 펄스의 개수에 따라서 8진법으로 데이터를 변환한다. 그리고 입력된 정보 길이만큼의 active high 신호를 발생하여 이 구간 동안에 3kHz의 단속 펄스와 조합하여 송신정보로 변조하며, 이 신호성분은 트로이달코일(troidal coil)을 통하여 증폭되고 트랜스듀서를 거

처 50% 듀티의 초음파 신호로 변환되어 해저에 위치한 수신기로 전송된다[5][6]. 초음파 신호는 해저 환경 변화에 따른 외란 요소에 의해서 신호의 일부가 손실될 수 있는데, 8진 변환 및 손실보정 알고리즘을 이용하여 외란의 영향을 효과적으로 줄일 수 있었다. 또한 과전류로 인한 과도한 온도상승의 억제를 위하여 트랜스듀서를 구동하는 파워 FET의 전류를 센트저항을 사용하여 전압 성분으로 변환하고 이를 파워 FET의 게이트 전압을 제어하는 트랜지스터의 바이어스로 사용하여 파워 FET의 게이트 전압을 단속하는 방법으로 과전류 성분을 차단하여 과도한 온도상승을 방지시켰다[7][8].

## 2.2 초음파 원격제어시스템 수신부

### 2.2.1 초음파 신호 1차 증폭 및 필터링

초음파 원격제어시스템 수신부에서는 수신된 수중초음파 신호가 수십  $\mu\text{V}$  정도의 미약한 신호이므로 능동소자를 이용하여 증폭한다. 그리고 정확한 정보 전달을 위해서 3개의 주파수를 사용하는데, 각각의 주파수 성분은 LC 직렬 공진회로를 콘덴서 결합방식으로 구성한 대역통과 필터를 사용하여 필요한 신호 성분을 추출하고 노이즈 성분은 제거시켰다.

### 2.2.2 초음파 신호 2차 증폭

필터링 단을 통과한 신호는 상, 하측의 중간 주파수에 해당하는 신호 성분의 감쇄가 심하여 전달 특성이 낮게 나타나는데, 통과된 주파수 성분 전체를 반전증폭기를 사용하여 약 47배 증폭 ( $A_v = -R_F/R_R$ )하고, 재차 비반전 증폭하여 약 32.3배의 이득 ( $A_v = 1 + R_F/R_R$ )을 얻는다. 결과적으로 증폭 단을 통하여 수 mV 정도의 음파 신호로 증폭된다[9]. 이렇게 증폭된 신호를 LC 직렬 공진 회로를 이용하여 중간주파수 성분의 신호를 추가로 추출하여 결과적으로 3개의 공진점을 갖는 대역통과 필터를 구현하여 원하는 초음파 신호 성분을 추출하였다.

### 2.2.3 주파수 선택부

초음파 원격제어시스템은 3개의 주파수를 사용하고 있으며 각 주파수간의 차이가 적어 이 신호를 정확히 구분할 수 있는 알고리즘이 요구되며, RLC 병렬 공진 회로에서 공진시 임피던스가 최대가 되는 특성을 트랜지스터의 바이어스로 사용하여 원하는 주파수의 신호 성분만을 추출하였다.

### 2.2.4 디지털 신호 변환부

선택된 주파수의 음파 신호 성분을 op-amp를 사용하여 입력 신호( $V_{in}$ )와 기준 전압( $V_{REF}$ )을 1차 비 반전 비교기와, 2차 반전 비교기로 나누어 비교하여 디지털 신호로 변환 한다. 1차 비반전 비교기의 기준 전압은 0.1V 이며, 2차 반전 비교기의 기준 전압은 0.365V이다. 1차 비교부에서는 입력 신호에 포함된 고조파 성분이 비교기 입력단의 스텔리시톨 특성에 의해서 노이즈 성분으로 나타나는데 2차 비교부에서 RC 적분회로를 사용하여 노이즈 성분을 제거하였다. 그러나 방전시상수에 의해 신호전압이 단조 증가하는 현상이 나타나 다이오드와 저항으로 조합된 방전 루트를 생성시켜 콘덴서의 방전전압  $V_c = V_0 e^{-t/\tau}$  성분을 0[V]로 만들어서 방전에 의한 영향을 제거하였다. 여기서 시상수  $\tau = R \cdot C[\text{sec}]$ 이다.

### 2.2.5 음파 신호 해석부

디지털화되어 마이컴에 입력된 초음파 신호를 해석하는 방법으로, 정보로 인식되는 high 구간의 시간을, 일정시간의

delay 함수를 반복하여 이 횟수를 카운트하는 방법으로 측정하였다. 이 경우 알고리즘의 반복 수행에 따른 누적오차가 발생하여 실제의 프로그램 반복 수행시간보다 지연되어 나타났다. 이는 마이컴의 타이머 기능을 이용하여 오버플로우되는 회수를 카운트하는 방법으로 지연요소를 제거하였다. 반사파를 고려하지 않고 알고리즘을 작성하면 이전 신호의 정지비트가 뒤이은 정보신호 구간에 수회 반복해서 영향을 주게 되는데 이는 정보 신호의 선단부를 인식하고 난 후 반사파가 영향을 미치는 시간(약 0.5sec) 동안은 데이터 구간의 길이를 측정하지 않고 대기하며, 반사파의 영향이 없는 구간부터 재차 측정하는 방법으로 반사파의 영향을 제거하였다. 음파 신호를 해석할 때는 송신알고리즘을 역 수행하는 방법으로, 정보의 길이를 측정하고 측정된 길이를 펄스 길이로 나누어서 펄스의 개수를 구하고, 이 개수를 8진수로 치환하여 음파 신호를 해석 하는데 사용하였다[10][11].

### 2.2.6 응답 신호 및 이탈 제어신호 발생부

출력신호는 트랜스듀서를 통해 응답신호만을 발생하는 형태와 응답신호와 이탈신호를 동시에 발생하는 형태로 구분된다. 해석된 결과로 출력신호의 형태가 선택되면 이에 따라 응답신호를 생성한다. 응답신호는 25us 주기의 신호를 20ms 길이의 펄스로 발생시키고 해석된 정보에 따라 휴지시간의 길이와 펄스의 개수를 상이하게 하여 응답신호의 유형을 구분한다. 이렇게 생성된 펄스는 파워FET와 트로이달 코일로 증폭되어 트랜스듀서를 통하여 초음파 신호로 출력되어 응답신호로 사용된다. 해석된 정보에 이탈신호가 포함되어 있으면 링크를 제거하고 부상하는 이탈모드를 수행한다.

## 2.3 전력 제어

원격제어시스템은 해저에서 장시간 운용되어야 하므로 연속적인 배터리 소모로 인해 탐사 및 관측장비의 회수가 불가능하게 되는 것을 방지하기 위하여 전력제어 알고리즘을 수행한다. 매 1초 간격으로 20ms 시간동안 수신부에 전원을 공급하여 sync 신호의 유무를 확인한다. sync 신호가 없을 경우는 sync 신호를 반복하여 검출하는 전력제어모드를 수행하고, sync 신호가 8ms 이상 지속되면 전력 제어 모드에서 탈출하여 정상적인 음파신호 해석모드로 전환된다. 그리고 현재의 배터리 상태를 체크하여 공급전원의 25% 이하가 되면 비상탈출모드로 동작하도록 하였다.

## 3. 실험 및 고찰

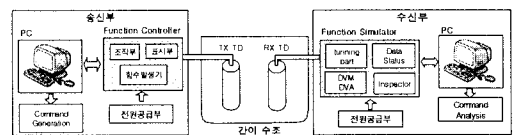


그림 2. 실험 장치 구성

Fig. 2. Structure of experiment equipments

원격분리시스템 실험장치 구성은 그림2와 같이 송신기의 역할을 대행하고 송신 상태와 응답신호등을 시각적으로 확인할 수 있는 평선컨트롤러와 시스템에 전압을 공급하는 DC 12V 배터리, 그리고 송수신 겸용 트랜스듀서를 이용하여 수신부를 구성하였으며, 수신부는 음파의 수신 상태 및 전압, 전류의 소모량을 시각적으로 확인할 수 있는 평선 시물레이

터, DC 18V 전원을 공급하는 배터리, 각 단계별 음파 수신 상태를 수치적으로 확인할 수 있는 평선 체크, 그리고 응답 신호를 초음파 신호로 변환하여 전송하는 트랜스듀서로 구성하였다. 평선 컨트롤러에서 모드 전환 스위치를 이용하여 제어정보를 입력하면 트랜스듀서에서 음파신호가 발생하고, 평선체크를 통하여 수신된 초음파 신호의 상태를 시각적이고 수치적인 데이터로 획득하는 방법으로 실험을 수행하였다.

### 3.1 제어시스템 동작특성 비교

수중환경에서 거리의 증가로 수중초음파 신호세력이 감쇠되면 외란에 의한 노이즈 성분이 제어시스템에 영향을 미치게 되는데 이의 영향을 평가하기 위하여 거리에 따른 제어시스템의 동작특성을 평가하였다. 기존 제어시스템에서는 그림 3과 같이 Noise가 포함되어있고 입력신호 주기( $T_i$ )와 기준 신호 주기( $T_c$ )의 차이 ( $T_c - T_i = \delta T$ )가 기준신호 주기의 범위내 ( $0 < \delta T < T_c$ )인 경우에는 배타적 논리합의 주기가  $2T_c$  ( $T_c / \delta T - 1$ ) 인 신호가 되어 펄스폭이 반복적으로 증가 및 감소하여 평균적으로 인가전압의 절반(약 2.5V)에 수렴하는 성질을 가지고 있어 기준전압(3.0V) 이하로 되어 신호의 추출이 곤란하여 제어시스템의 동작효율이 낮아지는 요인으로 작용하고 있다. 제안하는 시스템에서는 미약한 신호성분을 증폭하고 이를 8진 변환된 기준신호정보와 비교 및 손실된 정보를 복원하여 신호성분을 추출하므로 필요주파수 선택 성능을 향상시켜 거리에 따른 특성 변화를 줄여 표 1과 같이 원격이탈 제어시스템의 동작효율이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

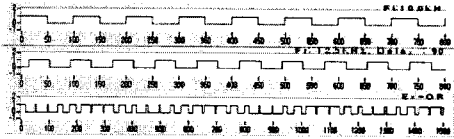


그림 3. F와 Fr가 다른 경우의 배타적 논리합  
Fig. 3. Exclusive-OR at different frequency

표 1. 거리에 따른 제어시스템의 동작특성

Table 1. characteristics of control system by distance

	SPEC				비교 기준	결과			
	거리 ( $\times 10$ )	수신 (mV)	증폭 (V)	출력 (비교기)		Noise 미포함	감쇄율 (%)	Noise 포함	감쇄율 (%)
기준	5	2.32	4.85	4.9	3.0V 이상	4.87	1	2.45	50
	10	1.64	4.59	4.6		4.53	8	2.48	49
	20	1.25	3.36	4.3		4.24	13	2.48	49
	30	0.81	2.27	4.0		3.96	19	2.46	50
	40	0.46	1.29	3.6		3.51	28	2.47	50
제안	5	0.08	0.22	3.2	160-170 펄스	3.12	36	2.40	51
	5	2.32	4.87	170		170	0	164	3.6
	10	1.64	3.44	169		168	1.2	163	4.2
	20	1.25	2.63	167		166	2.4	161	5.3
	30	0.81	1.70	166		165	2.9	160	5.9
40	0.46	0.97	165	163	4.1	157	7.7		
50	0.08	0.17	163	162	4.7	154	9.5		

### 3.2 수중초음파 통신특성 비교

해양환경의 변화로 매질 조건 등이 변화하여 수중초음파 통신에 미치는 영향을 평가하기위하여 통달거리 및 통신 성공률을 평가하였다. 기존의 시스템에서는 외란성 노이즈에 대한 영향을 하드웨어적인 필터링을 사용하여 제거되지 않은 노이즈성분이 신호입력에 영향을 주고 있다. 이는 EX-OR 수행 후 적분회로를 통과한 신호를 극한을 취하면 입력신호의 절반으로 수렴하여 기준전압보다 낮아지게 되고 이를 무신호

입력조건으로 판단하여 통신에러를 발생하고 재차 신호인식 알고리즘을 수행하는 방법을 사용하므로 외란성 노이즈 발생 시 통신성공률이 낮아지는 요인이 되고 있다. 제안하는 시스템에서는 외란성 노이즈에 의한 영향 제거 및 초음파 정보손실 보정 알고리즘을 적용하여 표 2와 같이 거리의 증가에 따른 영향을 줄일 수 있어 높은 통신 성공률을 나타냈다.

표 2. 수중 초음파 통신 성공률

Table 2. Communication success of ultrasonic wave

거리 ( $\times 10$ )	수신 (mV)	증폭 (V)	비교 기준	결과										성공률 (%)	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
기준	5	2.32	5.00	3.0V 이상	4.9	4.9	4.7	4.6	4.5	4.7	4.7	4.9	4.8	4.9	100
	10	1.64	4.59		4.6	4.5	4.4	4.6	4.5	4.7	4.5	4.4	4.7	4.6	100
	20	1.25	3.36		4.3	4.4	4.1	4.1	4.3	4.2	4.3	4.1	4.2	4.3	100
	30	0.81	2.27		4.0	4.0	3.9	3.8	3.9	4.1	4.0	2.9	3.8	3.9	90
	40	0.46	1.29		3.6	2.7	3.3	3.4	2.7	3.7	3.6	3.7	2.6	3.5	70
50	0.08	0.22	3.2	3.3	2.6	3.2	3.3	3.2	2.6	2.7	3.2	3.2	60		
제안	5	2.32	4.87	160-170 펄스	170	170	170	170	170	170	170	170	170	100	
	10	1.64	3.44		168	170	168	168	168	168	168	170	170	100	
	20	1.25	2.63		167	168	167	168	168	168	168	167	168	100	
	30	0.81	1.70		166	167	167	166	166	167	166	166	166	100	
	40	0.46	0.97		165	164	164	158	168	164	164	168	163	90	
50	0.08	0.17	163	163	161	153	162	166	163	161	167	158	80		

## 4 결론

본 논문에서는 수중초음파 통신을 이용한 해저환경의 탐사 및 관측장비 회수를 위한 수중초음파 원격제어장치와 해양의 환경변화에 따른 외란요소에 영향을 받지 않고 안정적으로 음파신호를 인식할 수 있는 수중음향 신호인식 알고리즘을 접목하였다. 하드웨어 및 제어알고리즘을 컴팩트하게 구성하고 실험을 통하여 해양환경에서 장시간 운영되어야 하는 시스템에 적합한 저소비 전력형으로서 신속하게 음원인식을 하면서도 외란환경 변화에 따른 주파수 선택성이 우수하고 시스템의 안정성을 유지할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 개발한 수중초음파 원격제어 시스템은 수중 관측 및 탐사장비 원격분리 시스템에 적합한 효율적인 시스템이라 할 수 있을 것이다.

\*\* 본 연구는 단국대 전자부품 검사자동화기술혁신센터 (TIC)와 공동으로 수행되었음.

## 참고 문헌

- [1] 김영진, 허경무, 우종식, 조영준, "Acoustic releaser 제어를 위한 강인한 수중음향신호 인식 알고리즘의 개발", 전자공학회지 제41권 3호 33~38 page, 2004
- [2] A. D. Waite. "Sonar for Practising Engineers", Ferranti Thomson sonar systems Ltd., UK 1996
- [3] 러시아 극동 해양연구소(IMTP), 대우중공업 주식회사, "초음파를 이용한 수중통신 시스템 개발", 1999
- [4] 진강욱, "수중통신과 지중통신", 전자공학회지 제5권 제4호, 1978.
- [5] 전자기술연구회, "알기쉬운초음파 응용", 도서출판 기문사, 1998
- [6] 이종락, "초음파와 그 사용법", 세화, 1997
- [7] M. H. Rashid, "Power Electronics", Principle-Hall International, Inc., 1988
- [8] A. P. Malvino, "Electronic Principles", 보성문화사, 1988.
- [9] 本茂, "OP Amp. 實戰技術", 圖書出版 세운
- [10] 오정원, "CCS-C 실전가이드", COMFILE, 2004
- [11] 신철호, "PIC 마이크로 컴퓨터", 성안당, 2003