

# FSK와 ASK 조합형 수중 초음파 통신 알고리즘 개발

## A Development of Ultrasonic Communication Algorithm Using the Combination of FSK and ASK

김 영 진, 허 경 무\*  
(Young Jin Kim and Kyung Moo Huh)

**Abstract :** To secure resources, submarine environment should be firstly explored. On that occasion, the withdrawal of the instrument is important and the submarine ultrasonic wave should be stably identified regardless submarine environment and passive factor. In the existing control methods, the control informations, received from an observation instrument, are identified used by hardware and repeatedly compared with standard information. Hereupon, a marine observation instrument remote control system using the combination of FSK and ASK that was improved its controllability and movability was presented in this paper. Likewise, the logicity of communication algorithm were ascertained by experiments.

**Keywords :** remote control system, ultrasonic, marine instrument, FSK, ASK

### I 서론

해저에 분포되어 있는 광물자원 및 해저지형을 탐사하고 개발하기 위하여 해양장비를 수중에서 운용하는 경우 탐사 정보를 전송하거나 관측 장비를 원격으로 제어하기 위해서 수중초음파 통신기술은 중요한 수단이 되고 있다[1,2]. 수중 초음파를 이용하여 정보를 전송하는 경우 또한 전달손실이 [3-5] 발생하여 통신을 수행하는데 상당한 어려움이 있다. 그리고 기존 적용중인 수중원격제어시스템은[6] ASK 변조 방식을 사용하여 음원인식을 위한 비교기준을 높게 설정하면 거리의 증가로 수신 신호의 감쇄가 심한 경우 무신호 조건으로 판단하고, 너무 낮게 설정하면 노이즈 성분에 의한 동작오류가 증가하는 요인으로 작용하고 있다. 이러한 문제점을 기존 시스템에서는 동일 신호를 18회 이상 연속 송출, 검출하는 알고리즘을 사용하고 있으나, 다양한 형태의 외란성 노이즈가 영향을 미치는 해양 환경에서 동작오류를 저감 시키는데 별다른 기여를 하고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 FSK (Frequency-Shift Keying)와 ASK (Amplitude-Shift Keying) 조합형 디지털 변조기를 설계하여 FSK의 장점인 Fading 영향 및 외란 요소에 의한 영향이 적고, FSK로 조합된 신호의 길이를 변경하여 단속하는 방법으로 많은 정보를 전송할 수 있는 FSK와 ASK 조합형 수중초음파 통신 알고리즘을 제안 하였으며, 기 개발된 수중 초음파 신호인식 알고리즘을[7] 접목하였다. 제안하는 수중 초음파통신 알고리즘의 효율성을 실험을 통하여 확인 하였다.

### II FSK와 ASK 조합형 수중초음파통신 송신알고리즘

#### 1. 조합형 정보신호 생성 과정

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 5. 3., 채택확정 : 2006. 6. 7.

김영진 : 단국대학교 전자컴퓨터공학과(yjk574@empal.com)

허경무 : 단국대학교 전자공학과(huhkm@dku.edu)

※ 이 연구는 2005학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

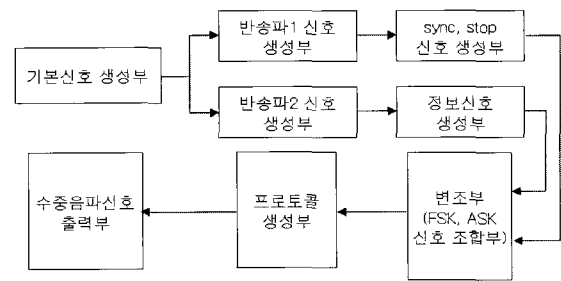


그림 1. FSK와 ASK 조합형 신호 흐름도.

Fig. 1. Block diagram of using the combination of FSK and ASK.

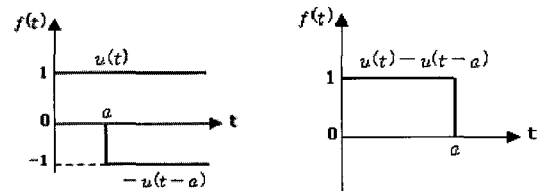


그림 2. 단위펄스함수.

Fig. 2. Unit step(pulse) function.

조합형 정보신호의 생성과정은 그림 1과 같은 흐름도로 나타낼 수 있으며 각 블록에 대한 구성은 다음과 같다.

#### 2. 기본신호 생성

수중초음파 정보전송용 신호를 생성하기 위하여 2개의 함수  $u(t)$ 와  $-u(t-a)$ 를 합성하여 그림 2, (1)과 같은 단위 펄스 함수(unit pulse function)를 생성하였다.

$$f(t) = u(t) - u(t-a) \tag{1}$$

$$f(t) = \sum_{n=0}^1 u[t-2nT] - u[t-(2n+1)T] \tag{2}$$

이와 같이 생성된 (1) 신호를 2회 반복하여 그림 3, (2) 같은 형태의 듀티비가 50%이고 주기(T)를 갖는 기본 디지털 신호를 생성하였다.

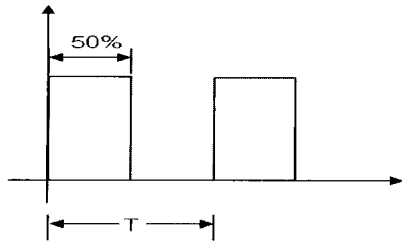


그림 3. 기본 신호 생성.  
Fig. 3. Generation of basic signal.

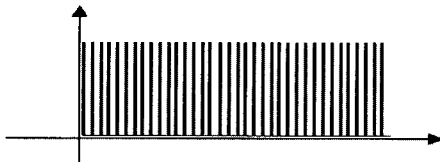


그림 4. 반송파 1 신호 생성.  
Fig. 4. Generation of carrier signal 1.

3. 반송파 신호 생성

이 시스템에서는 다중경로 페이딩에 의한 영향이 적은 FSK 변조방식을 적용하기 위하여 2개의 반송파를 사용하고 있으며, 첫 번째 반송파는 (2)의 기본 신호의 주기 T를 28 $\mu$ s, 듀티비를 25%로 하고, n회 반복하여 (3), 그림 4와 같은 반송파 1 신호를 생성한다. 이 신호는 송수신간 동기를 위한 동기신호와 정보 신호의 끝을 구분하기 위한 stop 신호로 사용된다. 여기서  $T_{SYNC}$ 는 동기신호의 주기이다. 반송파 2 신호는 (2)의 기본 신호의 주기 T를 32 $\mu$ s, 듀티비를 25%로 단속하고, n회 반복하여 생성하며, ID, action 등의 정보신호를 생성하기 위하여 사용된다.

$$f_{SYNC}(t) = \sum_n u[t - 2nT_{SYNC}] - u[t - (2n + 0.5)T_{SYNC}] \quad (3)$$

4. 동기 신호 생성

전 단계에서 생성된 두개의 반송파는 전송되는 정보의 내용에 따라 각각 다른 주기와 duty 비를 가지는 신호로 변조 과정을 거친다. 첫 번째 동기신호의 피변조파를 생성하기 위하여 그림 5와 같은 2.5[sec] 길이의 신호를 생성한다. 이 신호를 앞서 생성된 반송파 1에 변조시켜 피변조파 1 신호를 생성하였다.

5. 정보신호 생성부

두 번째로 헤더(header), ID(Identification)등의 정보 신호를 생성하기 위하여 정보전송의 기본신호인 펄스신호를 생성한다. 기본 펄스신호는 duty비 30%(on 0.8ms, off 2.6ms)로 생성되며 이를 반송파 2에 변조시켜 (4), 그림 6과 같은 형태의 피변조파 2 신호를 생성하였다.

$$f(t) = \sum_n u[t - 2nT_{SIG2}] - u[t - (2n + 0.6)T_{SIG2}] \quad (4)$$

이 신호를 다시 정보 신호의 길이에 따라 피변조파 2를 단속하여 그림 7과 같은 피변조파 3의 신호를 생성하였다.

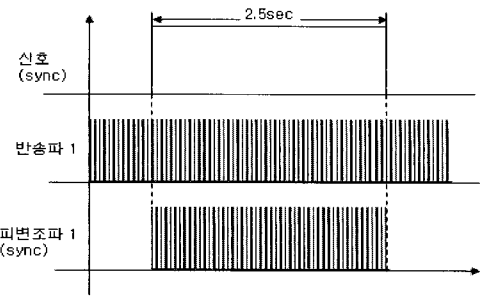


그림 5. 동기신호 생성.  
Fig. 5. Generation of noise signal.

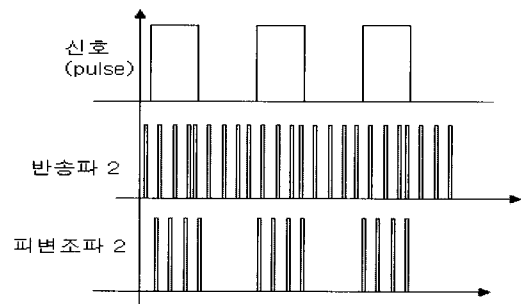


그림 6. 피변조파 2 신호 생성.  
Fig. 6. Generation of modulated signal 2.

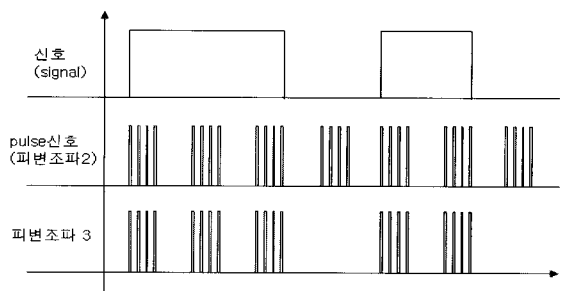


그림 7. 피변조파 3 신호 생성.  
Fig. 7. Generation of modulated signal 3.

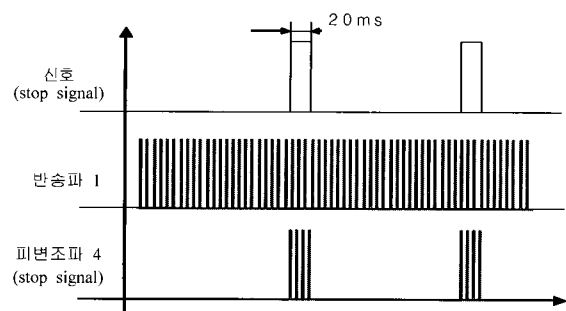


그림 8. Stop 신호 생성.  
Fig. 8. Generation of stop signal.

6. stop 신호 생성

정보신호를 구분하기 위한 stop 신호는 반송파 1을 20ms 길이로 단속하여 그림 8과 같이 생성하였다.

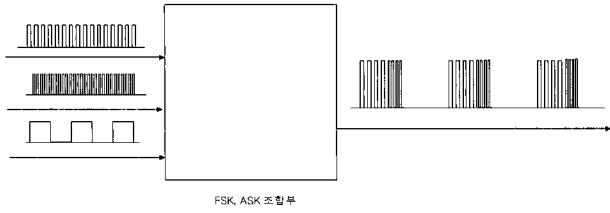


그림 9. FSK와 ASK 조합 신호 생성.

Fig. 9. Generating the signal of combination of FSK and ASK.

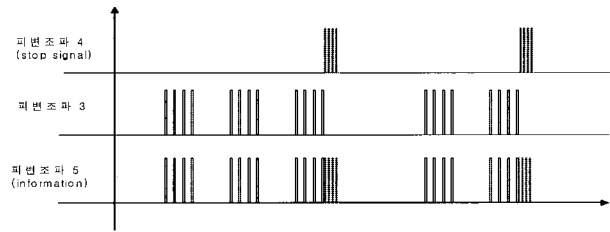


그림 10. FSK와 ASK의 조합형 변조 신호.

Fig. 10. Modulated signal of combination FSK and ASK.

7. FSK와 ASK 조합형 신호 생성

마지막으로 피변조파 3과 피변조파 4를 조합하여 정보신호의 한 블록을 나타내는 피변조파 5를 생성한다. 피변조파 5 신호는 서로 다른 두개의 주파수를 조합하는 변조방식인 FSK 방식을 적용하여 생성하였다. 설계된 FSK와 ASK의 조합형 변조방식은 그림 9와 같이 주파수가 다른 두개의 신호를 FSK 방식으로 결합하고, 다시 진폭을 조정하여 정보 신호로 변조하는 ASK 방식을 적용하여 정보의 길이와 간격을 상이하게 단속하는 방법으로 피변조파 5를 생성하였다. 이 신호를 증폭하고 트랜스듀서(transducer)를 이용하여 수중음파로 변환하여 수신장치로 정보신호를 송출하였다. 그림 10은 stop 신호와 정보신호를 FSK와 ASK 조합형으로 변조한 결과이며, 이렇게 생성된 신호가 정보전송을 위한 통신 프로토콜 1개의 block 정보가 된다[8].

III. FSK와 ASK 조합형 수중 초음파통신 수신 알고리즘

수신 장치는 그림 11과 같은 과정을 거쳐 송신 장치에서 전송한 FSK와 ASK 조합형 수중 초음파 신호를 인식한다. 송신장치의 트랜스듀서와 음파를 주고받을 수 있는 동일한 장치인 트랜스듀서를 통하여 초음파 신호를 수신한다. 수신된 신호는 트랜지스터와 op-amp.를 통하여 증폭되고 LC 공진회로를 콘덴서 결합방식으로 구성한 대역통과 회로에 의

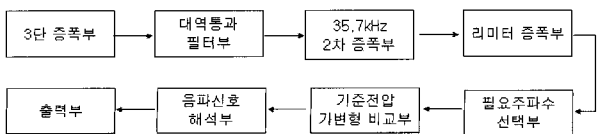


그림 11. FSK와 ASK 조합형 신호 인식.

Fig. 11. Block diagram of signal recognition using the combination FSK and ASK.

하여 필터링 된 후 검파 회로를 통하여 상이한 주파수 별로 구분되어지며 비교기를 이용하여 디지털 신호로 변환되어 음파 해석 알고리즘이 내재되어 있는 마이컴으로 입력된다. 디지털 변환된 신호를 분석하고 기준정보와 비교하여 이탈 및 응답 신호를 생성한다. 이탈신호는 하드웨어를 통하여 원격이탈동작을 수행하고, 응답신호는 초음파 신호로 변환하여 송신부로 응답신호로서 송출된다.

IV. 실험

1. 시스템의 구성

FSK와 ASK 조합형 수중 초음파 통신 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 그림 12와 같이 해상에서와 유사한 형태의 외란요소가 작용하는 수조를 준비하였으며 송신기의 역할을 대행하고 송신상태와 응답신호를 파형과 전압계 등 시각적으로 확인할 수 있는 평선컨트롤러와 시스템에 전압을 공급하는 DC12V 배터리, 송수신 겸용 트랜스듀서를 이용하여 송신부를 구성하였고 수신부는 음파의 수신 상태 및 전압, 전류의 소모량을 시각적으로 확인할 수 있는 평선시뮬레이터, DC18V 전원을 공급하는 배터리, 각 단계별 음파 수신 상태를 수치적, 시각적으로 확인할 수 있는 평선체커, 그리고 응답신호를 초음파신호로 변환하여 전송하는 트랜스듀서로 구성하였다. 평선컨트롤러에서 모드 전환 스위치를 이용하여 제어정보를 입력하면 트랜스듀서에서 음파신호가 발생하고, 평선체커를 통하여 수신된 초음파신호의 상태를 시각적이고 수치적인 데이터로 획득하는 방법으로 실험을 수행하였다.

2. 외란성 노이즈에 의한 영향평가

해양환경 변화로 인해 발생하는 외란성 노이즈에 의한 영향을 평가하기 위하여 실험을 수행 하였다. 기존의 시스템은 입력신호에 노이즈가 포함되면 진폭이 저감되어 출력되며 그림 13과 같이 하드웨어로 설정되어 있지 않은 상이

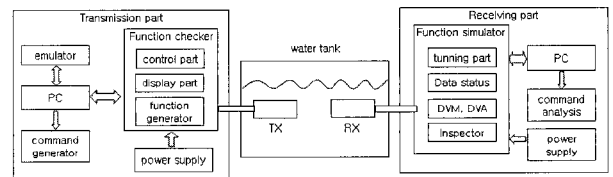


그림 12. 실험 장치 구성.

Fig. 12. Structure of experiment equipments.

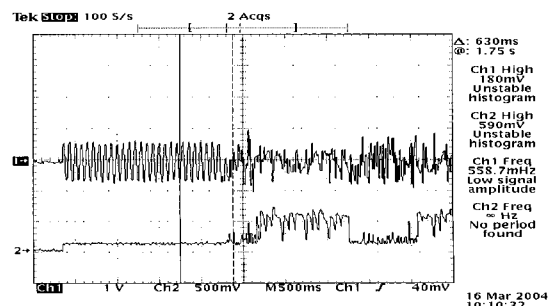


그림 13. 기존의 외란성 노이즈 영향 평가.

Fig. 13. Disturbance noise effect of existed system.

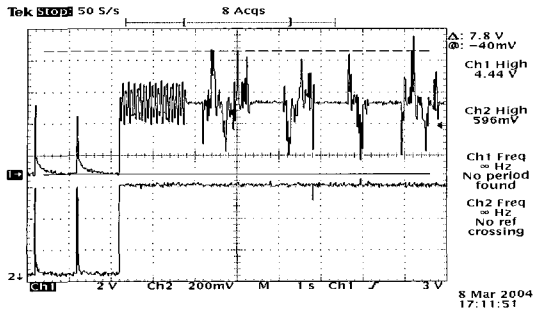


그림 14. 제안된 외란성 노이즈 영향 평가.

Fig. 14. Disturbance noise effect of proposed system.

한 주파수의 노이즈 성분은 제거되지 않고 제어입력에 영향을 미치고 있다.

그러나 제안하는 시스템은 그림 14와 같이 전반부에서는 수신 대기 모드로 전력제어모드를 정상적으로 수행하고 있으며 최초 신호인 동기신호가 입력되는 중 정보신호 판별 기준으로 사용하기 위해 기 매핑 되어 저장되어있는 정보(8진 정보)와 일치하는 정보가 도달하기 전에 노이즈 성분이 도달되면 그림 14의 아래 파형과 같이 정보신호로서 인식하지 않고 노이즈로 판단하고 무신호조건으로 처리하여 외란성 노이즈에 의한 영향이 제거된 결과를 보여주고 있다.

3. 수중 음향 신호의 진폭 변화에 따른 특성 평가

수중매질의 변화로 발생하는 수중 음향 신호의 진폭변화에 따른 영향을 평가하였다. 기존의 시스템은 입력신호에 노이즈가 미포함되면 입력신호가 증폭되어 기준전압(3.0V) 이상으로 출력되어 정상적인 신호로 인식하나, 노이즈가 포함된 신호는 기준신호와 배타적논리합(EX-OR) 결과를 적분하여 극한을 취하면 입력전압의 절반으로 수렴하는 성질이 있어 기준전압 이하로 출력되어 노이즈에 따른 영향이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 제안된 시스템은 입력신호의 진폭이 저감되어 증폭 후 충분한 레벨이 되지 않아도 동일한 신호를 서로 다른 공진회로에 입력하여 출력된 신호 중 하나는 비교기의 기준신호로 다른 하나는 입력신호로 사용하여 상대 비교하는 방법으로 1차적인 보안을 하였고, 비교기의 출력 신호의 펄스를 카운트하여 기준신호와 비교하여 5개 정도의 여분을 두어 음파신호가 수신 장치에 도달 중 한 두개의 펄스 신호가 소실되어도 인식이 가능하도록 2차적으로 보완하여 노이즈의 영향으로 진폭이 저감되어 동작오율이 증가되는 요인을 제거하였다.

4. 수중 음향 신호의 거리증가에 따른 동작오율 평가

표 1은 기존 시스템과 비교한 수중음향 신호의 거리증가에 따른 동작오율 평가 결과이다. 기존시스템은 전압레벨을 비교하여 정보신호를 검출하여 노이즈가 미 포함된 신호 성분은 정상적으로 검출되나, 노이즈가 포함된 신호를 배타적 논리합을 수행하고 이 신호를 적분을 취해서 극한을 취하면 입력신호의 절반으로 수렴하는 특성으로 비교기준 신호 이하의 전압레벨이 되어 무신호 조건으로 판단하게 되어 동작오율이 증가하는 요인으로 작용하고 있다. 제안하는 시스템에서는 FSK 변조방식을 적용하므로 거리증가에 따른 신호세력의 저감특성을 3단계신호증폭 및 필요주파수 성분

표 1. 수중음향신호의 거리에 따른 특성 평가.

Table 1. Characteristics of ultrasonic signal according to distance.

SPEC				결과				
거리 (×10)	입력 (mV)	증폭 (V)	비교 기준	노이즈 미포함		노이즈 포함		
				입력	비교기 (V)	입력	출력 (V)	
기 준	5	2.32	4.85	3.0V 이상	4.83	4.62	2.45	0.01
	10	1.64	4.59		4.50	4.65	2.48	0.06
	20	1.25	3.36		4.21	4.66	2.48	0.03
	30	0.81	2.27		3.93	4.64	2.46	0.05
	40	0.46	1.29		3.54	4.68	2.47	0.03
제 안	5	0.08	0.22	160- 170 펄스	3.09	4.64	2.40	0.04
	5	2.32	4.87		170	4.66	164	4.63
	10	1.64	3.44		168	4.63	164	4.67
	20	1.25	2.63		166	4.63	162	4.63
	30	0.81	1.70		164	4.67	159	4.64
40	0.46	0.97	164	4.68	158	4.68		
50	0.08	0.17	163	4.64	153	4.61		

추출알고리즘을 통해서 보정하므로 외란성노이즈 성분 및 신호의 왜곡현상에 따른 영향이 적으며, 검출한 정보신호를 8진 변환한 기준정보와 비교하고, 송신정보에 포함된 오류 검출신호와 수신부에서 검출한 오류검출신호가 일치하는 경우에 한해서 수신정보로서 활용하므로 수중음향신호의 거리증가에 따른 동작오율의 영향이 적은 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 해양환경에서 발생하는 다양한 형태의 노이즈 및 거리증가로 신호세력이 저감되는 경우에도 정보 전송 효율이 높게 되고, 이렇게 생성된 정보신호를 길이와 간격을 변경하여 단속하는 방법으로 단위시간당 정보의 전송량을 증가시킬 수 있게 되어 기존적용중인 ASK 변조방식에 비해 상대적으로 전송효율이 높게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 FSK와 ASK 조합형 수중 초음파 통신 알고리즘을 제안 하였으며, 해저 환경의 변화에 따른 외란 요소에 영향을 받지 않고 안정적으로 음파 신호를 인식할 수 있는 수중 초음파 신호 인식 알고리즘을 접목하였다. 제안하는 시스템은 전달손실이 발생되어 진폭의 감쇄에 따른 영향이 적은 FSK로 변조된 신호를 단속하여 전송되는 정보의 양을 증대할 수 있는 FSK와 ASK 조합형 변조방식을 적용하였다. 기적용중인 ASK 변조방식에 비하여 외란성 노이즈에 의한 영향과 신호진폭의 감쇄에 따른 영향을 효과적으로 제거할 수 있어 동작효율을 증대시킬 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안하는 FSK와 ASK 조합형 수중 초음파 통신 알고리즘은 기존에 적용중인 해저 탐사 및 관측 장비 운용을 위한 원격제어시스템에 적용중인 수중초음파 통신 알고리즘과 비교하여 보다 효율적인 시스템이라고 할 수 있을 것이다. 향후 다중위치 및 원격통합제어 등 다양한 형태의 수중 운용 장비에 응용 가능하도록 개선하고, 영상 정보 등을 고속으로 전송하기 위해서는 단위 시간당 정보 전송량을 증대시킬 수 있는 알고리즘과 전송효율을 향상하는 방안 등이 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 진강욱, “수중통신과 지중통신,” 전자공학회지 제5권 제4호, 1978.
- [2] P. H. Milne, *Underwater Acoustic positioning systems* Gulf publishing company, 1983.
- [3] 전호경, “음파 원격 이탈기 국산화 개발 연구,” 한국해양연구소, 1991-1993.
- [4] 윤병우, 신윤기, 성광모, “등화기를 이용한 천해에서의 수중통신,” 한국음향학회지 제8권 제4호, pp. 13-22, 1989.
- [5] 이의형, 손윤준, 김기만, “하이드로폰 송신 어레이를 이용한 수중음향통신 시스템의 성능향상,” 한국음향학회지, 제21권 제7호, pp. 606-613, 2002.
- [6] 씨스캔, “초음파를 이용한 수중통신 시스템 개발,” 주식회사 씨스캔, 2000.
- [7] 김영진, 허경무, “Acoustic releaser 제어를 위한 강인한 수중음향신호 인식 알고리즘의 개발,” 전자공학회 논문지, 제41권 SC편 제3호, 2004, 5, pp. 33-38.
- [8] 박지현, 윤종락, 박규칠, “수중 음향 채널의 대역에 따른 BFSK/BPSK 전송 성능,” 한국해양 정보통신학회 논문지 제8권 제6호, pp. 1243-1249, 2001.

## 김 영 진

제어·자동화·시스템공학 논문지 제 11 권 제 9 호 참조.

## 허 경 무

제어·자동화·시스템공학 논문지 제 11 권 제 9 호 참조.