수중 데이터 통신 시스템의 개발에 관한 연구 (I)
-에코 신호 전송 시스템-

신 현 옥
부경대학교 해양생산관리학과
(1999년 5월 28일 접수)

Development of Underwater Data Communication System (I)
-Echo Signal Transfer System-

Hyeon Ok SHIN
Pukyong National University
(Received May 28, 1999)

Abstract

This paper describes a Frequency Shift Keying (FSK) modulator and demodulator and the experimented underwater data communication equipment to transfer the analog echo signal in real-time from an underwater vehicle to the mother ship. The system consists of an echo signal transfer unit equipped to the vehicle and an ultrasonic receiver equipped on the ship. The former includes an ultrasonic transceiver unit of 180 *kHz* for echo detection and a continuous wave transmitter of 50 *kHz* with a FSK modulator for echo transmission to the ship. The latter includes an ultrasonic receiver of 50 *kHz* and the FSK demodulator. The results of experiment are as follows.

1. The characteristics of the FSK modulating and demodulating circuits designed with the use of C-MOS IC 4046 was good and confirmed its usefulness in underwater data communication system.

2. The prototype ultrasonic transceiver unit shows profitable driving power while the pulse duration was short less than 3 *msec*, but it was found that the driving power is not sufficient while the long pulse duration or continuous wave is used. The gain of the ultrasonic receiver was 80 *dB* and the receiving bandwidth 700 *Hz* (at −3 *dB* point).

3. It was found that the system designed by the author has some possibility to use in underwater echo transfer.

4. At the FSK modulator, the widths of voltage and frequency which represent linearity were 3.5 *V*, 1600 *Hz*, respectively, at the FSK demodulator 2.6 *V*, 700 *Hz*, respectively.

※ 이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 신진교수연구과제로 수행되었음.

서 론

수중의 구조물이나 생물의 관찰, 해저의 광물 자원 등을 탐사하는 데에는 수중 탐사 로봇이 많이 활용되고 있고, 수중 탐사 로봇 중에서 대표적인 것으로는 ROV (Remotely Operated Vehicle)나 AUV (Autonomous Underwater Vehicle)가 있다. ROV는 전력공급과 신호전송을 위한 케이블을 가지고 있으며, AUV는 케이블이 없기 때문에 모선으로부터 멀리 떨어진 곳을 순항할 수 있다. 이러한 수중 탐사 로봇에는 팔이 달려 있어 해저에 떨어진 장치를 회수하거나 해저 케이블 매설 등에 사용하는 것도 있지만, 저가형으로서 수중을 관찰하는 정도의 임무만을 수행하도록 만들어진 것이 많다.

ROV의 경우에는 관측자가 ROV의 비디오 카메라에서 촬영한 영상을 보면서 ROV의 진행방향이나 속도 등을 조정하기 때문에 ROV가 수중 장애물과 충돌하는 것은 막을 수 있다. 그러나, AUV의 경우에는 일반적으로 미리 설정하여 둔 time schedule에 따라 침강, 자료수집, 부상하는 과정을 수행하기 때문에 항로상의 장애물과의 충돌할 위험성을 안고 있으며, 이러한 위험 부담을 줄이기 위해서는 충돌 회피 장치를 AUV에 내장하던가 모선에서 실시간으로 AUV의 항로상의 장애물 유무를 파악하는 수단을 마련하는 것이 필요하다.

항로상의 장애물은 비디오 카메라나 초음파 장치를 이용하여 탐지할 수 있으나, 탐지한 신호를 실시간으로 모선에 전달하는 통신 매체로는 초음파가 유력하다.

이와 관련된 연구로서, Tuchiya *et al.* (1993)는 6447 *m*의 심도에서 잠수정이 촬영한 칼라 비디오 영상을 실시간으로 모선으로 전송하는 장치를 개발하여 현장 실험에서 성공한 바 있으며, 중심주파수가 20 *kHz*이고 대역폭이 8 *kHz*인 광대역 초음파 송수파기와 고속 데이터 전송에 적합한 4-DPSK (Differencial Phase Shift Keying) 변조방식을 사용하였다.

수중 통신에 관한 국내의 연구 보고서는 거의 보이지 않았으나, 초음파를 이용한 에코 신호 전송과 부분적으로 관련 있는 것으로는 Shin *et al.* (1995)이 수중의 어군 혹은 물체를 탐지하기 위한 칼라 어군탐지기의 개발에 관하여 연구한 바 있고, Shin *et al.* (1997)은 수온, 염분 등의 해양의 물리적인 요소를 FSK 변조방식과 전파를 사용하여 해상에서 육상으로 전송하는 실험을 행하여 보고한 바 있다. 그리고, Shin and Lee (1997)는 자체 제작한 50 *kHz* 및 70 *kHz*의 초음파 송수신 보드를 사용하여 트롤 전개판의 전개 간격을 선박에서 실시간으로 측정할 수 있는 방안을 제시한 바 있다.

본 연구에서는 대부분 수입에 의존하는 수중 데이터 전송 시스템을 자체 개발하기 위한 일환으로 아날로그 에코 신호를 초음파에 실어 전송할 수 있는 장치를 시험 제작하여 보았고, 그 결과에 대하여 보고하고자 한다.

장치 및 방법

1. FSK 변조회로 및 복조회로 설계

FSK 변조 및 복조회로는 전용 C-MOS IC인 4046을 사용하여 구성하였고, 그 회로를 나타내면 Fig. 1과 같다. Fig. 1a는 FSK 변조회로이고, Fig. 1b는 FSK 복조회로이다.

Fig. 1에서 변조 주파수는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$f_{min}=\frac{1}{R_2(C_1+32pF)} \quad (1)$$

$$f_{max}=\frac{1}{R_1(C_1+32pF)}+f_{min} \quad (2)$$

식 (1), (2)의 $f_{min}(Hz)$과 $f_{max}(Hz)$는 각각 IC 4046의 VCOIN 단자에 공급되는 신호가 LOW일 때와 HIGH일 때 VCOUT 단자에서 출력되는 주파수이다. 변조회로에서 C1=3300 *pF*, R1=200 KΩ, 그리고 R2=10$k\Omega$의 가변저항으로 하였을 때, f_{min}과 f_{max}는 각각 49.6 *kHz*, 50.3 *kHz*로 설정할 수 있었다.

복조회로에서는 49.6 *kHz*와 50.3 *kHz*로 변조된 FSK 신호를 복조할 수 있도록 C1=2200 *pF*, R1=1 *M*Ω, R2=9.4 kΩ+2 $k\Omega$ 가변저항을 사용하였다. 이 회로에서 SIN 단자에 49.8 *kHz* 보다 낮은 주파수가 입력되면 DEMO 단자에서의 출력

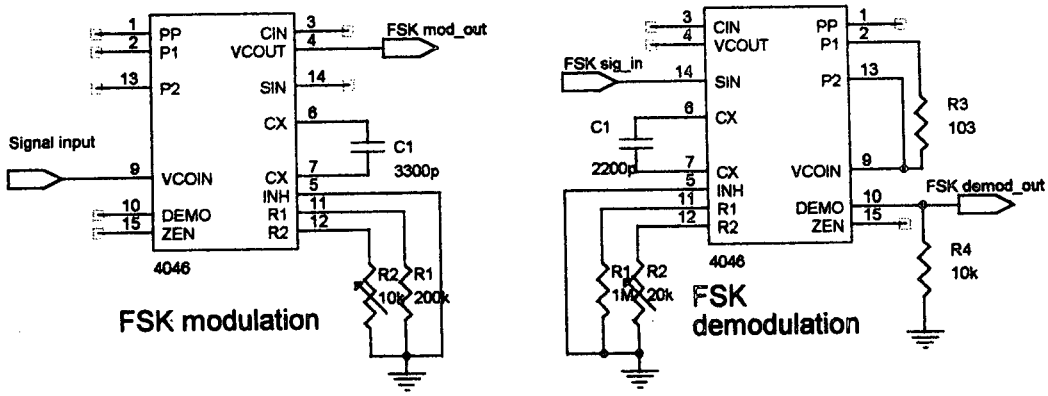

Fig. 1. Circuit diagrams of FSK modulator (a) and demodulator (b).

이 LOW로 되고, 50.2 *kHz* 보다 높은 주파수가 입력되면 HIGH가 출력되도록 하였다.

여기서 f_{min}과 f_{max}의 주파수를 50 *kHz*대로 한 것은 주변에서 초음파 송수파기를 구하기 쉬운 점과 비교적 주변잡음 (ambient noise)과 열잡음 (thermal noise)의 영향이 작다는 점을 고려하였기 때문이다. 그리고, 변조회로에서의 f_{min}과 f_{max}의 주파수를 49.6 *kHz* 및 50.3 *kHz*로 설정한 것은 실험에 사용한 초음파 송수파기 및 초음파 수신부의 대역폭을 고려하였기 때문이고, 또한 이 값은 FSK 복조회로에서의 복조 가능 주파수대를 50.0 ±0.2 *kHz*로 설정하였을 때에 가장 양호한 복조 파형이 얻어졌던 값이기도 하다.

2. 초음파 송수신부의 설계

Fig. 2는 초음파 송신부의 구성을 블록도로 나타낸 것이다.

Fig. 2에서, 초음파 송신부는 down 트리거신호에 의해 L-C 발진회로가 구동되어 50 *kHz*의 주파수가 발생되면, 초음파 송수파기를 충분히 구동시킬 수 있도록 전력증폭기에서 전력 증폭되어 임피던스 정합코일의 1차측에 인가된다. 정합코일은 초음파 송수파기의 임피던스와 전력증폭기의 출력 임피던스를 정합시켜 최대의 출력을 얻기 위한 것이다.

Fig. 3은 초음파 수신부의 구성을 블록도로 나타낸 것이다.

Fig. 3에서, 초음파 수신부는 초음파 송수파기

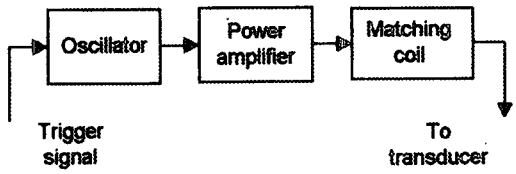

Fig. 2. Block diagram of ultrasonic transmitting part.

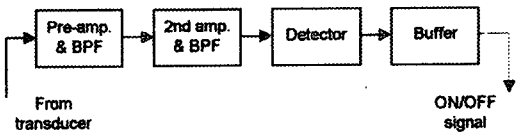

Fig. 3. Block diagram of ultrasonic receiving part.

로부터 입력되는 미약한 전기신호를 신호처리에 충분히 사용할 수 있을 정도로 키우기 위하여 초단 증폭기에서 증폭하고, 대역여파기 (Band Pass Filter ; BPF)에서 신호만을 통과시킨 다음 2단 증폭기에서 포화레벨까지 증폭시킨 후 검파기에서는 반송파를 제거한 ON/OFF 형식의 신호를 출력하도록 하였다. FSK 신호는 ON/OFF의 신호로 구성되는 특징이 있으므로 수신부를 이와 같이 포화레벨까지 증폭시키면 수신기의 이득을 높이면서 회로를 보다 간단하게 할 수 있기 때문이다.

3. 에코 신호 전송 장치의 구성

수조 (L100×W80×D60 *cm*)에서 에코 신호를 전송하기 위한 실험 장치의 구성을 블록도로 나타

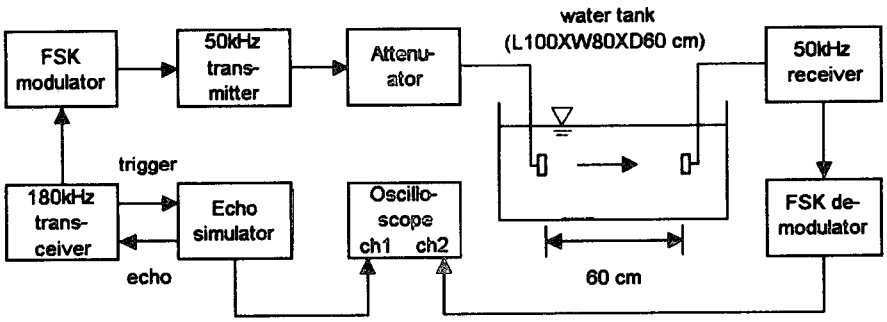

Fig. 4. Block diagram of a simulation system for underwater data transceiving.

내면 Fig. 4와 같다. 수조의 중앙을 기준으로 하여 좌측 부분은 AUV나 잠수정 등에 설치될 부분이고, 우측 부분은 모선에 설치될 부분이다.

Fig. 4에서, 180 *kHz* 송신부에서는 일정한 간격으로 초음파 펄스 (진폭 120 $V_{p\text{-}p}$, 펄스 폭 1.2 *msec*)를 발생시키면, 이 펄스가 에코 시뮬레이터를 트리거시켜 에코 시뮬레이터에서 미약한 180 *kHz*의 아날로그 에코신호가 출력되도록 한다. 180 *kHz* 수신부에서 증폭되고 검파된 에코신호는 HIGH와 LOW로 파형이 정형된 다음 FSK 변조기에 입력되어 49.7 *kHz* (LOW 일 때)와 50.2 *kHz* (HIGH 일 때)의 주파수로 FSK 변조된다. FSK 변조파는 50 *kHz*의 송신부에서 전력 증폭되어 100 $V_{p\text{-}p}$ 진폭의 연속파에 실려 송신된다.

모선에 설치되는 50 *kHz* 수신기에서는 전압감쇠기를 통하여 120 *dB* 감쇠된 미약한 FSK 변조신호를 TTL 레벨까지 증폭한 다음 FSK 복조기에 신호를 공급한다. FSK 복조기에서는 입력된 변조신호의 주파수가 49.7 *kHz*이면 LOW를, 50.2 *kHz*이면 HIGH 신호를 출력한다. 이 신호를 처리하여 퍼스널 컴퓨터 등의 화면에 나타내면, 해중을 유영하고 있는 AUV나 잠수정의 전방에 장애물이 있는지의 여부를 모선에서 알 수 있게 된다.

결과 및 고찰

1. FSK 변조 및 복조 파형 비교

앞서 Fig. 1에서 언급한 변조회로 및 복조회로의 성능을 확인하기 위하여 함수발생기에서 만든 1 *kHz*, TTL 레벨의 구형파를 FSK 변조기에 입력

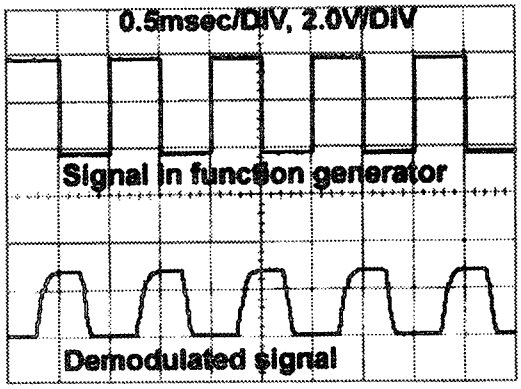

Fig. 5. Comparision of wave forms inputed onto the FSK modulator (upper part) and demodulated signal (lower part) of it.

시키고, 이 변조기에서 변조된 신호를 FSK 복조기에서 복조한 파형을 함수발생기에서 만든 파형과 비교한 결과는 Fig. 5와 같이 양호하였다.

2. 초음파 송수신부의 제작

제작한 초음파 송신부는 초음파 펄스 폭을 3 *msec*이내로 하였을 경우에는 송신 펄스 전압이 500 $V_{p\text{-}p}$를 유지할 수 있었으나, 연속으로 송신하였을 경우에는 70 $V_{p\text{-}p}$이하로 떨어졌다. 에코 탐지용으로 사용하거나 수중 통신 거리가 비교적 짧아도 되는 경우에는 시험 제작한 송신부를 사용할 수 있을 것으로 판단되나, 보다 먼 거리, 예를 들어, 전송 거리를 500~1000 *m* 정도 확보하려면 연속적인 전송을 할 경우에도 초음파 송수파기의 양단에 인가되는 전압이 100 $V_{p\text{-}p}$정도를 유지할 수 있도록 송신부의 구동력을 더욱 증가시켜야 할 필요가 있었다.

한편, 수신부의 최대 이득은 80 *dB*이었으며, 수신대역폭은 −3 *dB*점에서 700 *Hz*이었다.

초음파 송신부는 회로를 간단하게 하면서 R-C 발진보다는 온도특성이 좋은 L−C 발진방식으로 송신 주파수를 결정하도록 하였고, 수신부는 코일의 L값과 콘덴서의 용량으로 수신주파수를 조정할 수 있도록 하였으며, 송신부와 수신부는 모두 50～200 *kHz*에서 적절한 주파수로 조정하여 사용할 수 있도록 설계하였다.

3. 에코 신호 전송 실험

Fig. 6은 Fig. 4에서 나타낸 바와 같이 구성한 장치를 사용하여 변조에 사용한 에코 시뮬레이터의 신호와 그 신호를 복조한 결과를 비교한 것이다.

Fig. 6에서, 상부의 파형은 에코 시뮬레이터 내부의 D/A 변환기의 출력 신호 파형이고, 하부의 파형은 에코 시뮬레이터에서 출력되는 미약한 180 *kHz*의 에코 신호가 초음파 수신기 (180 *kHz*), FSK 변조기, 에코 전송용 초음파 송신기 (50 *kHz*), 전압감쇠기 및 초음파 송파기를 통하여 수조내의 물 속으로 방사되고, 이 신호가 초음파 수파기 및 수신기 (50 *kHz*)를 거쳐 최종적으로 FSK 복조기에서 복조된 것이다. 전압감쇠기는 수조 내에서의 다중반사를 피하기 위하여 에코 전송용 초음파 송신기의 출력을 낮출 목적으로 사용하였으며, 에코 신호의 송신과 수신에 사용한 50 *kHz* 지향성 송수파기는 소형 어군탐지기에서 흔히 사용되고 있는 싱글 빔 송수파기이고, 빔 폭은 43°(−3 *dB*)였다. 이와 같은 파형을 모선에서 관찰하면 수중 이동체의 전방 몇 *m*에 장애물이 있는지를 알 수 있어 모선에서 원격으로 수중 이동체가 장애물과 충돌하지 않도록 회피조작하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 장애물의 크고 작음은 복조된 에코 신호 파형의 폭을 보아 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

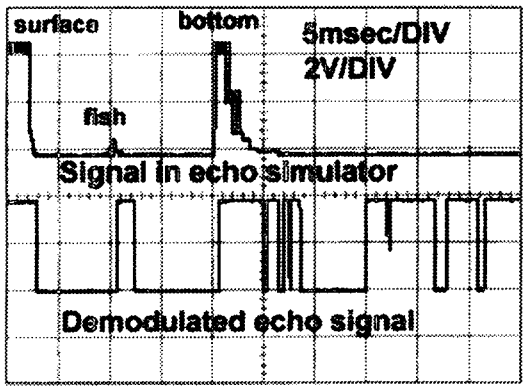

Fig. 6. Comparision of wave forms generated in echo simulator (upper part) and demodulated signal of it via the prototype echo transfer system.

이 실험을 통하여 시험 제작한 시스템을 조금만 더 개선하면 수중에서의 에코 신호 전송용으로 사용할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

앞으로 연구하여야 할 과제는 이번에 설계 제작한 회로를 수밀 케이스에 넣어 현장 실험하는 것이며, 아울러 디지털 신호의 전송에 대한 실험도 병행하여 볼 생각이다. 그리고, 만약, 모선에서 수중 이동체의 전방에 있는 장애물로부터 반사된 신호전압의 크기를 알고자 할 때에는 FM변조방식 등을 고려해야 할 것으로 사료된다.

4. FSK 변조회로의 V−F 특성

Fig. 7은 Fig. 1a에 나타낸 FSK 변조회로를 사용하여 측정한 V−F 특성이다. C−MOS IC 4046에 인가한 전원 전압은 5 *V*였고, 4046의 9번 핀 (VCOIN)에 인가한 입력전압을 0～5 *V*로 변화시키면서 4번 핀 (VCOUT)에서 출력되는 주파수를 측정한 것이다.

Fig. 7을 보면, 입력전압을 0～1.5 *V*로 하였을 때에는 출력 주파수가 거의 동일하였고, 1.5～5.0 *V*에서는 입력전압이 증가함에 따라 출력 주파수

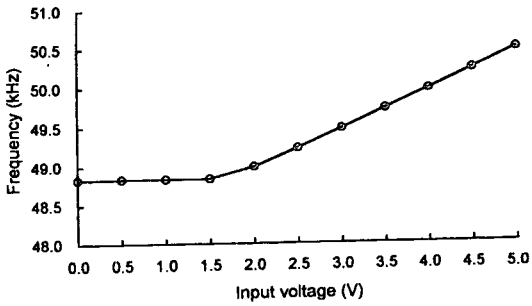

Fig. 7. V-F curve of the FSK modulator.

도 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 선형성을 나타낸 전압과 주파수의 폭은 각각 3.5 *V*, 1600 *Hz*였다. 이것으로부터 이 회로는 FSK 변조뿐 아니라 FM 변조용으로도 사용할 수 있음을 알 수 있다.

5. FSK 복조회로의 F-V 특성

Fig. 8은 Fig. 1b에 나타낸 FSK 복조회로를 사용하여 측정한 F-V 특성이다. 4046의 14번 핀(SIN)에 인가한 주파수를 49.5~50.5 *kHz* 범위에서 변화시키면서 10번 핀 (DEMO)에서 출력되는 전압을 측정한 것이다.

Fig. 8을 보면, 49.6~50.3 *kHz* 범위에서 주파수의 증가에 따라 출력 전압도 선형적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 선형성을 나타낸 주파수의 폭과 전압의 폭은 각각 700 *Hz*와 2.6 *V*였다. 이것으로부터 1000 *Hz* 정도의 대역폭을 갖는 일반적인 지향성 송수파기를 에코 전송용으로 사용할 수 있음을 알 수 있다.

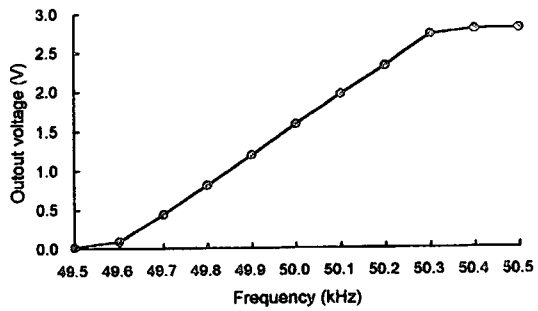

Fig. 8. F-*V* curve of the FSK demodulator.

요 약

이 논문은 FSK 변조기와 복조기, 그리고 실험에 사용한 수중 에코 전송장치에 대하여 기술하고 있다. 본 연구에서 개발한 시스템은 수중 이동체에 설치되는 에코 신호 전송 유니트와 모선에 설치되는 초음파 수신기로 구성되어 있다. 전자는 에코 신호를 탐지하기 위한 180 *kHz* 초음파 송수신부, 에코 신호를 변조하는 변조기, 모선으로 변조된 신호를 전송하는 데 사용하는 50 *kHz*의 연속파용 송신기로 구성되어 있다. 후자는 수중 이동체에서 송신한 변조신호를 수신하기 위한 초음파 수신기와 수신된 변조파로부터 에코 신호를 추출하기 위한 FSK 복조기로 구성된다. 이와 같은 장치를 사용하여 몇 가지의 실험을 수행하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1. C-MOS IC 4046을 사용하여 설계한 FSK 변조회로 및 복조회로는 그 특성이 양호하여 에코 전송 시스템에 사용할 수 있음이 확인되었다.

2. 시험 제작한 초음파 송신부는 펄스 폭이 좁은 에코 탐지용으로 사용하기에 알맞는 특성을 보였고, 연속적인 신호 혹은 펄스 폭이 넓은 신호의 송신에 사용하기 위해서는 송신 구동능력을 증가시킬 필요가 있었다. 초음파 수신부의 최대 이득은 80 *dB*, 수신대역폭은 700 *Hz* (-3 *dB*)였다.

3. 시험 제작한 시스템을 수중에서의 에코 신호 전송용으로 사용할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

4. FSK 변조회로에서 선형성을 나타낸 전압과 주파수의 폭은 각각 3.5 *V*, 1600 *Hz*였고, FSK 복조회로에서 선형성을 나타낸 주파수의 폭과 전압의 폭은 각각 700 *Hz*, 2.6 *V*였다.

참고문헌

Tsuchiya, T., Amitani, Y. and Ochi, H.(1993) : Development of video pictures transmission system by digital acoustic signal and results of practical use, 日本海洋音響學會 講演論文集 (1993年 5月), 77-80.

Shin, H.I., An, Y.H and Shin, H.O.(1997) : A study on the telemetry system for the in habitant environments and distribution of fish- I - Sea temperature, salinity and disribution of fish-, Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 33(4), 321-333. (in Korean)

Shin, H.O. and Lee, C.W.(1997) : Development of trawl monitoring system (I)- Distance measuring system between trawl doors -, Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 33(3), 189-193. (in Korean)

Shin, H.O., Lee, D.J. Shin, H.I. Yoon, G.D. Kim, J.K.

and Kim, K.Y.(1995) : Development of the PC based color fish finder, Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 31(3), 247−255. (in Korean)

Motorola CMOS−Logic Data, Motorola Inc., 1991.

松井邦彦 (1996) : ディジタルPLL回路の實驗. トランジスタ技術, CQ出版社, 1996年4月, 348−354.

北太平洋 오징어류의 鉛直 및 水平分布, 한국어업기술학회지 35(2), 1999

정 오 표

p. 102 Abstract내 12번째줄	42° N	42N°
p. 102 Abstract내 13번째줄	Japanese	Tapanese
p. 105 왼쪽 첫 번째 그림	Korean name : 문어오징어 Common name : Boreopacific gonate squid Scientific name : *Gonatopsis borealis*	없음
p. 105 왼쪽 두 번째 그림	Korean name : 갈구리오징어 Common name : Boreal clubhook squid Scientific name : *Onychoteuthis borealijaponica*	없음
p. 105 오른쪽 첫 번째 그림	Korean name : 빨강오징어 Common name : Neon flying squid Scientific name : *Ommastrephes bartrami*	없음
p. 105 오른쪽 두 번째 그림	Korean name : 두줄무늬빨강오징어 Common name : Luminous flying squid Scientific name : *Symplectoteuthis luminosa*	없음
p. 105 Plate 1 설명	Plate 1. Squids caught by Korean squid hand jigging fishery in the North Pacific during 1987−1993.	Plate 1. Squids caught by Korean squid hand jigging fishery in the North Pacific.
p. 106 Table 1 설명	Table 1.Annual catch(number of individuals) of each squids caught in the North Pacific during 1987−1993	Table 1.Annual catch(number of individuals)
p. 106 Table 1내 Item중 4번째 줄	Total catch(number of individuals)	Total catch(number of individuols)
p. 106 수식 두 번째 줄	단, $f(0)=\sum_{i=1}^{n} f_i \times \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$	단, $f(0)=\sum_{i=1}^{n} f_i \times \frac{1}{\sigma}$
p. 106 수식 세 번째 줄 끝	$\bar{x}$: 평균수온	x : 평균수온
p. 110 Table 2. 설명 내 squids이름 왼쪽첫번째 줄	*Gonatopsis borealis*	Onychoteuthis borealijaponica
p. 110 Table 2. 설명 내 squids이름 왼쪽 두 번째 줄	*Onychoteuthis borealijaponica*	Onychoteuthis borealijaponica
p. 110 Table 2. 설명 내 squids이름 왼쪽 세 번째 줄	*Todarodes pacificus*	Onychoteuthis borealijaponica
p. 110 Table 2. 설명 내 squids이름 오른쪽 첫 번째 줄	*Ommastrephes bartrami*	Symplectoteuthis oualaniensis
p. 110 Table 2. 설명 내 squids이름 오른쪽 두 번째 줄	*Symplectoteuthis luminosa*	Symplectoteuthis oualaniensis
p. 110 Table 2. 설명 내 squids이름 오른쪽 세 번째 줄	*Symplectoteuthis oualaniensis*	Symplectoteuthis oualaniensis
p. 116 Table 2. 설명 내 squids이름 오른쪽 세 번째 줄	6종의 오징어 종류별 어획수층,	6종의 오징어를 대상으로 하여 분석한 오징어종류별 어획수층,