

<논 문>

실험을 통한 소형 고감도 광섬유 하이드로폰의 감지성능 연구

Experimental Study on Signal Sensing of a High Sensitive Fiber Optic Hydrophone

김 정 석* · 윤 형 규** · 설 재 수**

Jeong Suk Kim, Hyung Gyu Yoon and Jae Soo Seo

(1999년 5월 27일 접수 : 1999년 9월 16일 심사완료)

Key Words : Fiber Optic Hydrophone(광섬유 하이드로폰), Sensitivity(감도), Mandrel(맨드릴), Sensitivity Measurement(감도실험)

ABSTRACT

In this study, a fiber optic air-backed mandrel hydrophone has been constructed and performance of acoustic signal detection has been measured. The hydrophone is based on a Mach-Zehnder interferometer with 35 m of sensing fiber. The sensitivity is measured up to -128 dB re rad/ μ Pa in a range from 1.4 kHz to 5 kHz. A system with this design of hydrophone may be applied to detect low frequency underwater acoustic signals.

1. 서 론

현재 압전 세라믹을 이용한 하이드로폰보다 월등한 수신감도를 나타내고, 수중에서 전기를 사용하지 않는 등 많은 장점을 가진 광섬유 하이드로폰에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 선진국에서는 1970년대부터 기초적인 연구를 수행하여 현재는 장거리 탐지용 센서 배열을 해저에 설치하여 운용하기 위한 연구가 이루어지고 있는데, 최근에 미국의 NRL에서는 TDM 및 WDM방식을 이용한 64채널의 하이드로폰 배열을 개발하여 해저에서 시험 운용에 성공하였다⁽¹⁾.

국내에서는 최근 광섬유 하이드로폰 배열 확장 및 운용을 위한 하이드로폰 제작 기술, 신호처리 기술 및 광소자 개발에 대한 연구가 수행되고 있는데, 운용 및 설치 목적에 따른 적절한 하이드로폰 설계 및

제작 기술이 요구되어지고 있다.

현재까지 광섬유를 이용한 여러 가지 방식의 센서가 발표되었는데, 가장 감도가 높고 시스템에 적용하는데 바람직한 형태는 간섭계형 센서이며 Fig. 1과 같은 Mach-Zehnder 간섭계가 그 한 예이다.

이러한 간섭계형 센서는 한 광원에서 나온 빛이 두 개의 광경로를 지나면서 한 쪽 경로는 탐지하려는 외부 물리량에 쉽게 영향을 받도록 하고, 나머지 한 쪽 광경로는 외부 물리량의 영향을 완전히 차단시킨 후 다시 두 경로를 지나온 빛을 간섭시키면, 외부 물리량에 의해 생긴 위상차로 인해 간섭을 할

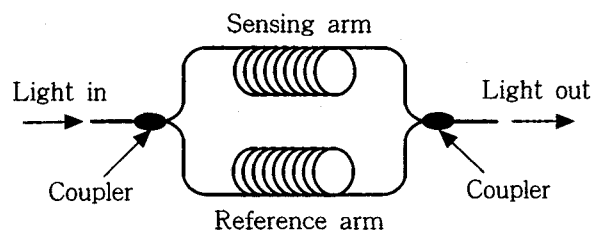


Fig. 1 Interferometric sensor

* 정회원, 국방과학연구소 수중음향센서연구실

** 국방과학연구소 수중음향센서연구실

때 세기가 변화하는데 이 변화를 측정하여 위상차를 알아내는 방식으로 감도가 뛰어난 반면 신호처리가 복잡하고 편광변화로 인한 신호소멸 등의 문제가 있다.

측정을 목적으로 하는 외부의 물리량 중 음향을 측정하는 하이드로폰은 다양한 형태로 sensing arm을 구성할 수 있는데, 탄성체인 맨드릴에 광섬유를 권선해서 사용하는 형태가 가장 많이 사용된다 (2~4). 이 때, 맨드릴의 재질 및 형태, 권선된 광섬유의 길이가 감도에 가장 많은 영향을 미치게 된다. 현재 널리 사용되는 맨드릴은 내부에 공기가 충전되어 감도를 증가시키는 형태이며, 커플러 및 reference arm을 맨드릴 내부에 장착하기 위한 이중 실린더 구조가 이용되기도 한다. 또한, 일반 통신용 광섬유의 경우 굽힘 손실이 커서 직경 35 mm 이하의 맨드릴에 권선을 할 경우 입사 광량의 거의 전부가 손실되나, 센서용으로 개발된 광섬유를 사용할 경우

약 15 mm 직경의 맨드릴까지 사용이 가능하다.

본 연구에서는 polycarbonate 중공형 맨드릴을 이용하여 소형의 고감도 하이드로폰을 제작하고, 실험을 통해 음향감지 성능을 평가하였다.

2. 하이드로폰 제작 및 시스템 구성

광섬유 하이드로폰은 해저고정형, 예인형, 수직선 배열 등 다양한 형태로 적용될 수 있는데, 해상에서의 보다 나은 운용성을 위해 소형화가 필요하다. 그러나, 하이드로폰이 소형화 될수록 상대적으로 감도는 낮아지게 되고, 굽힘손실이 급격히 증가하게 되어 배열확장에 문제가 발생한다. 본 연구에서는 현재까지 국내에서 개발되어진 저손실 광섬유를 이용해 제작가능한 최소형의 하이드로폰을 설계하고, 맨드릴 재료의 적절한 선택을 통해 고감도 하이드로폰을

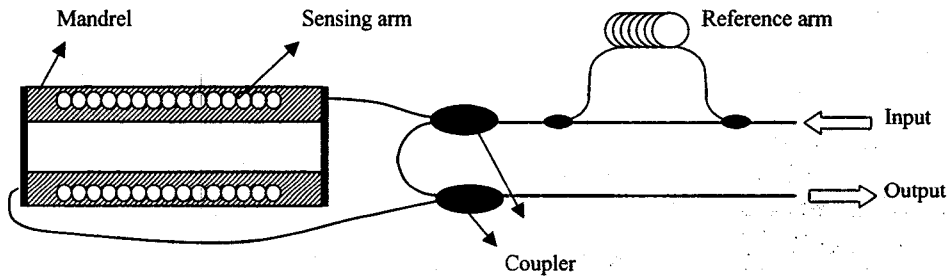


Fig. 2 Schematic of the hydrophone

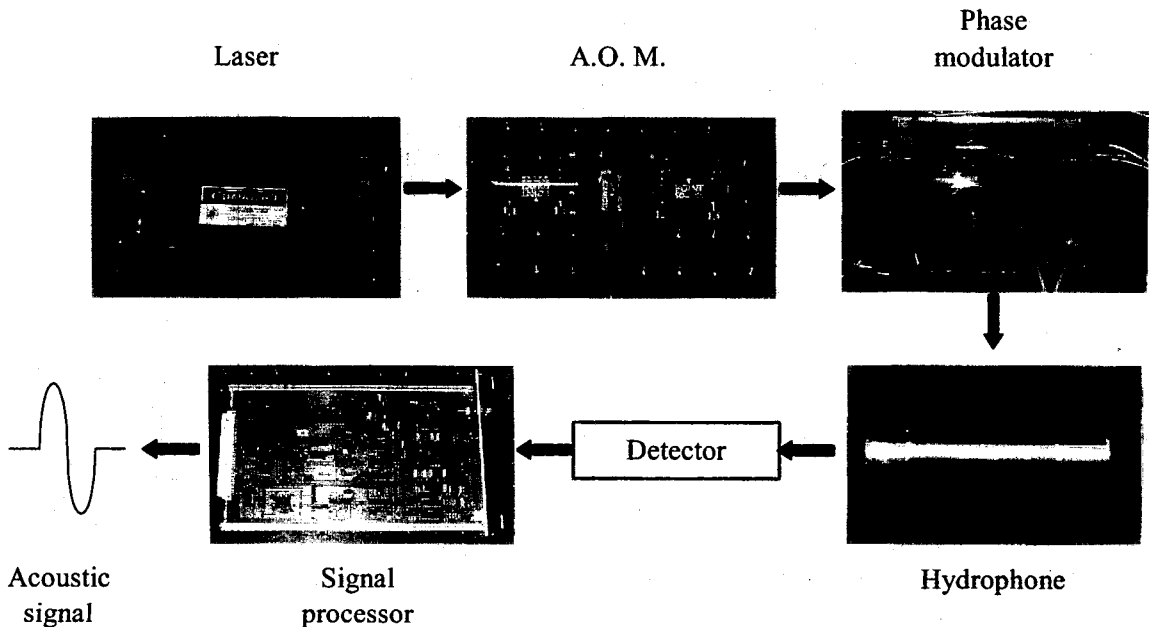


Fig. 3 Fiber optic hydrophone system

Table 1 Designed values of the mandrel

Dimension	Designed value
Gage length	100 mm
Diameter	28 mm
Thickness	1 mm

제작하고자 하였다.

Table 1은 하이드로폰 구조에 대한 제원을 나타내고 있다. Sensing arm은 polycarbonate 맨드릴에 35 m를 권선하였고, 맨드릴과의 접착 및 광섬유 보호를 위해 폴리우레탄으로 몰딩하였다. 광섬유는 국내에서 생산된 저손실 광섬유를 사용하였고, 전체 감지부의 구성은 Fig. 2와 같이 커플러 및 reference arm이 맨드릴 외부에 있는 불평형 Mach-Zehnder 간섭계를 이루고 있다.

Fig. 2와 같은 광섬유 하이드로폰의 음향 감지 성능을 확인하기 위해서는 광원, 음향-광 변조기, 광검출기, 신호처리부 등의 구성요소를 포함하는 전체 광섬유 하이드로폰 시스템을 구성해야 하고, 센서부와 보상간섭계 및 신호처리부와의 상관관계를 명확히 이해해야 한다⁽⁵⁾. Fig. 3은 광섬유 하이드로폰 전체 시스템을 나타내고 있는데, 광원에서 발생된 빛은 음향-광 변조기에서 펄스 형태로 바뀌게 되고, 선편광된 후 sensing arm과의 광로차를 보상하여 펄스간의 간섭을 일으키게 하는 보상간섭계를 지나 방향성 커플러를 통해 sensing arm으로 입력된다. 광검출기에서는 3개의 간섭펄스가 검출되는데 이 중 가운데 펄스가 센서에 의한 간섭신호이다. 이 간섭신호는 신호처리부를 거쳐 측정된 음향신호로 바뀌게 된다.

3. 감도실험 및 결과

광섬유 하이드로폰의 음향 감지성능을 보기 위해 제작된 광섬유 하이드로폰을 보상간섭계 및 신호처리부와 연동하여 음향수조에서 실험하였다. Fig. 4는 본 감도실험 방법의 개략도를 나타낸다.

음파발생기는 반사파의 영향을 없애기 위하여 신호 주파수를 펄스로 진폭변조하여 사용하고 음향수조는 정재파(standing wave)를 제거하기 위하여 약간 찌그러진 형상이고, 크기는 18 m × 10 m × 10 m이다. 음원으로는 flextensional형의 저주파 음원기(1500 Hz GRP flextensional transducer)를 사용하

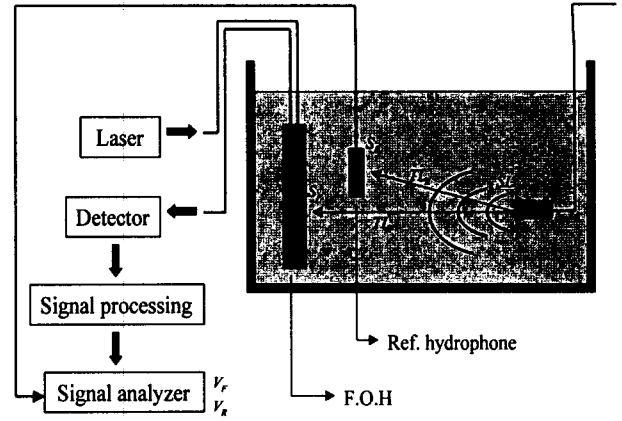
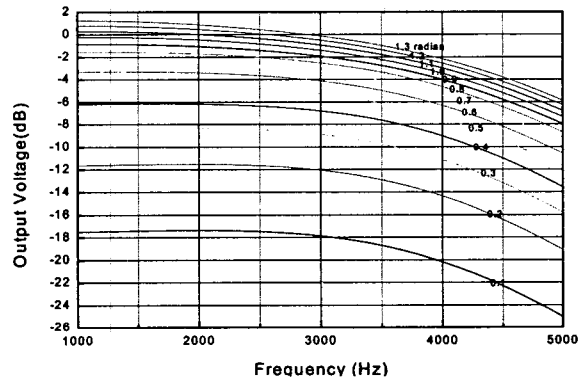
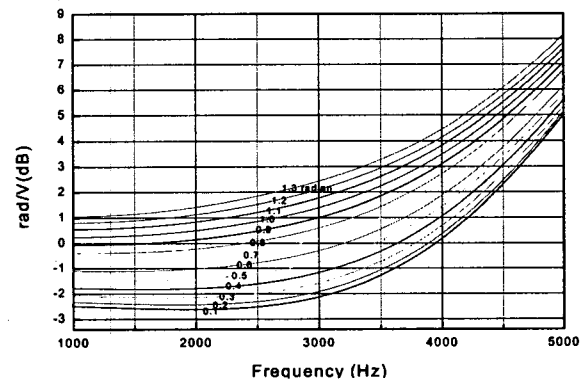


Fig. 4 Experimental set up of fiber optic hydrophone for sensitivity measurement



(a) The characteristic of phase change(rad) vs. Output voltage and frequency



(b) The transfer ratio of phase change to Output voltage(rad/V) vs. phase change(rad) and frequency

Fig. 5 Experimental results of the characteristic of signal processor

여, 기준 하이드로폰(H-23)과 광섬유 하이드로폰으로 수신되는 신호 가운데 반사파가 섞이지 않은 신호를 검출하도록 하였고, 수신감도는 신호처리 회로를 포함한 광섬유 하이드로폰의 단위 음압에 대한 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며 신호처리 회로의 주파수별 위상-전압 변환 특성을 보상하면 광섬유 하이드로폰만의 순수한 감도를 구할 수 있는데, 실험으로 구한 신호처리 회로의 위상-전압 변환특성은 Fig. 5와 같다.

$$S_F = (V_F - V_R) + (TL_F - TL_R) + S_R \quad (1)$$

S_F : Sensitivity(dB re V/μ Pa) of F.O.H.

V_F : Output voltage of F.O.H.

V_R : Output voltage of Ref. hydrophone

TL_F : Transmission loss of F.O.H.(function of distance)

TL_R : Transmission loss of Ref. hydrophone (function of distance)

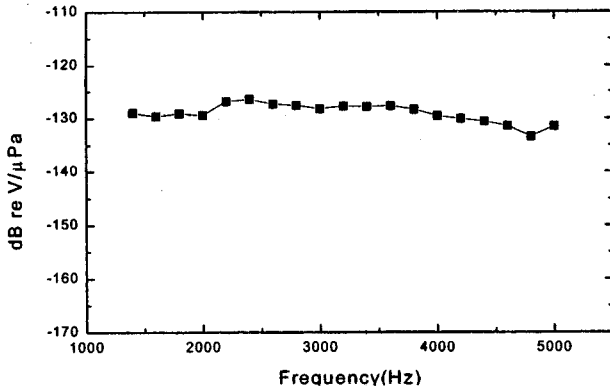


Fig. 6 Sensitivity experimental result(dB re V/μ Pa)

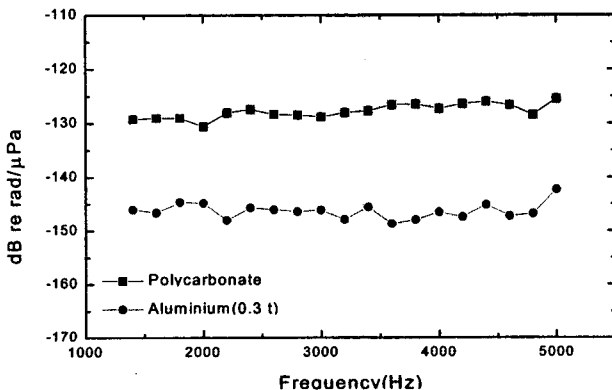


Fig. 7 Sensitivity characteristic of fiber optic hydrophone

S_R : Sensitivity of Ref. hydrophone(known value)

위에서 제시한 방법으로 본 연구에서 제작한 광섬유 하이드로폰의 감도를 Fig. 6과 같이 측정하였다.

Fig. 6의 결과는 신호처리부의 주파수 응답특성을 포함하고 있고, 단위 음압에 대한 전압으로 표현되므로, 광섬유 하이드로폰 감지부만의 감도를 평가하기 위해 Fig. 5와 같은 신호처리부의 주파수별 위상-전압 특성을 보상하고, 단위 음압에 대한 위상변화로 환산하여 감도를 계산하여, Al 맨드릴 광섬유 하이드로폰의 감도특성과 비교하여 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7에서 알 수 있듯이 35 m를 권선한 두께 1 mm의 polycarbonate 맨드릴 광섬유 하이드로폰의 평균감도는 약 -128 dB re rad/μ Pa이다. 이것은 같은 권선 길이의 두께 0.3 mm의 알루미늄 맨드릴 하이드로폰 보다 약 15 dB 높은 값으로서 상대적으로 고감도의 특성을 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 외경 28 mm의 polycarbonate 중공 원통형 맨드릴을 제작하여 35 m의 광섬유가 권선된 광섬유 하이드로폰을 제작한 후 Mach-Zehnder 간섭계를 구성하고, 적절한 광원 및 광소자들을 synthetic heterodyne 방식을 적용한 신호처리부와 연동하여 광섬유 하이드로폰 시스템을 구성하였다. 또 이 하이드로폰의 음향감지 성능을 평가하기 위해 1.4 kHz~5 kHz 대역에서 음향수조에서 감도실험을 수행하였다.

실험결과 박판 금속 맨드릴 하이드로폰의 음향감도 보다 월등히 우수한 -128 dB re rad/μ Pa의 감도특성을 얻을 수 있었다.

본 연구는 운용성을 고려한 고감도의 소형 하이드로폰을 제작하고 감지특성을 분석함으로써 실제 해저에 장착되어 원거리 탐지를 목적으로 하는 광섬유 하이드로폰 배열을 설계하기 위한 기초 연구로 의미가 있다 하겠다. 또한, 실제 제작된 polycarbonate 맨드릴 하이드로폰은 천해에서 수중음향 신호를 감지할 수 있는 광섬유 하이드로폰 시스템에 적용 가능할 것으로 생각된다.

한편, 운용성을 고려한 하이드로폰의 설계기술 발전을 위해서는 정수압을 고려한 감도실험 기술과 더불어 시뮬레이션 기법이 연구되어야 할 것이다.

참고 문헌

- (1) Kerkendall, C. K., Davis A. R., Dandridge, A. and Kersey, A.D., 1997, "64-Channel All-Optical Deployable Array", 1997 NRL Review, pp. 63~65
- (2) Nash, P. J. and Keen, J., 1990, "Design and Construction of Practical Optical Fiber Hydrophones", Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 12, Part 4, pp. 201~212
- (3) McDearmon, G. F., 1987, "Theoretical Analysis of a Push-Pull Fiber-Optic Hydrophone", IEEE Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-5, No. 5, pp. 647~652
- (4) 김정석, 윤형규, 설재수, 남성현, 1999, "중공 원통형 광섬유 하이드로폰의 감도해석", 한국소음진동공학회지, 제 9 권, 제 2 호, pp. 565~569
- (5) 남성현, 양창섭, 1997, "TDM 방식의 2채널 광섬유 하이드로폰 배열 특성 연구", 국방과학연구소 기술보고서(NWSD-517-971574)