

논문 2015-52-11-16

# Hopper WDM을 이용한 FBG(Fiber Bragg Grating) 하이드로폰(Hydrophone)의 다중점신호검출 및 지향성 연구

( A Study on The Multi-point Signal and It's Directivity detection of  
FBG Hydrophone Using Hopper WDM be in The Making )

김 경 북\*

( Kyung Bok Kim<sup>©</sup> )

요 약

국내에서 개발된 단일모드 균일한 단주기형 광섬유 격자소자(FBG: Fiber Bragg Grating)를 이용하여, 수중에서 음파를 검출할 수 있는 FBG 일체형 Transducer를 설계 및 제작하였다. 이를 통하여 신호검출 시스템구성 시, 최근 제작된 Hopper WDM(특허번호 제10-1502954)을 이용하여 수중에서 다중점신호검출과 지향성 연구를 한 결과, 기존의 광섬유 센서가 지니고 있는 우수한 장점들을 모두 지니고 있을 뿐만 아니라, Sensor Arm 구성이 간단하여 실용화에 큰 장점을 지니고 있다. 제작된 FBG 일체형 트랜스듀서는 30 Hz~2.5KHz 범위에서 주파수 검출이 가능하고, 최적의 공진조건 주파수는 1.2KHz로 나타났다. 또한, 이를 이용한 수중에서 넓은 영역에 대한 다중점 신호 검출을 구현하기 위하여, WDM( Wavelength Division Multiplexing) 방법과 Passive band-pass filter system을 이용하여 FBG Hydrophone Arrays System을 구축하고, 2개의 FBG 일체형 Transducers에서 주파수 200Hz~1.3 KHz대까지 다중점 수중 음파 신호 검출을 성공 하였다. 아울러, 음원의 방향과 각도에 따라 검출된 신호의 세기가 변화되므로 음원의 물체에 대한 방향성 검출이 가능함으로써, 향후 FBG Hydrophone의 실용화 연구에 새로운 기틀을 마련하였다.

## Abstract

In the using of FBG(Fiber Bragg Grating) developed in home land, we designed and manufactured united FBG acoustic transducers the first in Korea. they are being applied to multi-point signal detection of FBG Hydrophone used Hopper WDM(national patent NO 10-1502954) in the underwater. On united FBG transducers manufactured, we made an demonstrated on respective frequency response peculiarities in the underwater and analyzed the special characters. As the experimental result on frequency response peculiarities, we made it possible underwater acoustic detection on united FBG acoustic transducers type to maximum 30Hz~2.5KHz. it's the optimum conditions of 1.2KHz frequency in detection. And for the purpose of realization on multi-point signal detection on wide scope in the underwater, in the using of WDM(Wavelength Division Multiplexing) method and passive band-pass filter system, established arrays system and succeeded in multi-point underwater acoustic signal detection to the frequency 200Hz~1.3KHz out of the two united type FBG transducers. Additionally, it would be possible directivity detection for the object of its source as the intensity of detection signal varies with the sound source's direction and angle. From now on we prepared a new moment on the practical use study on FBG hydrophone in the future.

**Keywords :** acoustic-wave optical fiber sensor, united FBG transducer, low-frequency signal detection, FBG Hydrophone, FBG Hydrophone array system, Hopper WDM/

\* 정회원, 경북대학교 컴퓨터정보과(임베디드S.W전공)  
(kyungbokUniversity, Embedd of computer science)

© Corresponding Author(E-mail: kbkim@kbu.ac.kr)

Received ; September 14, 2015 Revised ; October 29, 2015 Accepted ; November 1, 2015

## I. 서 론

최근에 광 신호 또는 광섬유를 이용하여 각종 물리량과 화학적 반응을 검출하는 센서들(온도, 압력, 음향, 회전량, 가속도, 레벨, 유량, 전류 및 전압, PH량, on-off 신호, strain-stress 등)의 개발이 활발히 진행 되면서, 이들 센서들의 실용화에 커다란 어려움 중의 하나가 시스템의 어레이를 꼽을 수 있다. 물론 경우에 따라서 측정 대상이 point sensing에 국한되어 센서 시스템이 구축되는 경우도 있으나, 신호 검출의 고감도성, 신호대 잡음비의 개선, 측정대상 영역의 확대와 다른 광통신 시스템과의 연계성, 지향성, 효율성 등을 고려하여 광섬유 센서 시스템의 어레이(Arrays)화 추세에 있다. 더욱이 수중 음파를 검출하는 광섬유 하이드로폰시스템에서는 그림 1과 같이 에레이화가 필연적 이다. 본 연구에서 사용된 FBG Hydrophone 은 기 개발된 FBG 일체형(1) 트랜스듀서이고, FBG 진동막을 직경10cm로 트랜스듀서의 몸체상단과 최대한 밀착시킨 후, 광 파장 분석기로 관찰하여, FBG 중심파장에 적정한 조건 값에 장력을 준 후, 몸체에 고정 하였다. 제작된 트랜스듀서는 그 크기가 직경 10cm, 높이 15cm의 원통형 이다. 수중에서 다중점신호검출과 지향성 실험에 사용된 2개의 FBG Hydrophone은 중심파장이 각각 1553nm과 1556.7nm이고, 실험에 사용된 주파수 대역은 30Hz~5KHz 이다. 본 연구에서는 이와 같은 조건을 기반으로 FBG Hydrophone에 최적의 다중점신호검출과 지향성패턴을 분석하였다.

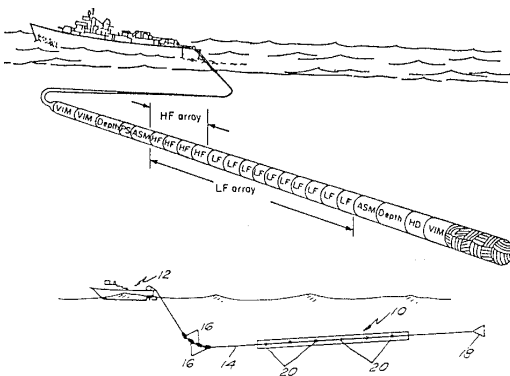


그림 1. 구축함에 설치된 끈형태 모양의 하이드로폰  
Fig. 1. The towed-line Fiber-optic Hydrophone Array in the destroyer.

## II. FBG 일체형 Hydrophone 신호검출원리

빛이 진행하는 광섬유의 코어(Core)내에 주기적인 굴절률 변화가 새겨진 것으로 잘 알려진 광섬유 브래그 격자(Optical Bragg Grating)는 광폭 스펙트럼이 (Broadband Spectrum) 광섬유의 격자소자로 통과될 때, 외부에서 가해진 음압으로 인하여 브래그 조건(Bragg condition)이 발생되며, 이때 결정된 파장 성분이 광섬유 격자부위에서 반사되며, 나머지 파장 성분은 그림 2와 같이 그냥 통과한다.<sup>[2]</sup>

$$\lambda_B = 2n_{eff} \Lambda_b \quad (1)$$

격자에서 반사되는 브래그 파장 (Bragg wavelength)은 유효 굴절률과 격자 간격의 함수이며 광섬유 격자에 온도나 스트레인 등의 외부 물리량을 가할 경우 이들 값이 변하여 브래그 파장은 달라진다.

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B [(1 - \rho_e) \Delta \epsilon + (\alpha + \xi) \Delta T] = K_\epsilon \Delta \epsilon + K_T \Delta T \quad (2)$$

세기변조방식의 FBG Hydrophone은 그 측정량이 브래그 반사파장의 변화량이기 때문에 수중음파에 의한 세기 변조양의 변화 값을 측정하기에 간편하고 명확하다. 따라서 격자소자의 파장변화에 대한 세기변조방식의 FBG Hydrophone의 신호검출 원리는 식(3)와같이 얻어진다.<sup>[3~4]</sup>

$$\Delta \lambda_{BP} = \lambda_B \left[ -\frac{(1-2\nu)}{E} + \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11}) \right] \Delta P \quad (3)$$

### ■ 광섬유 브래그 격자의 형태와 동작특성

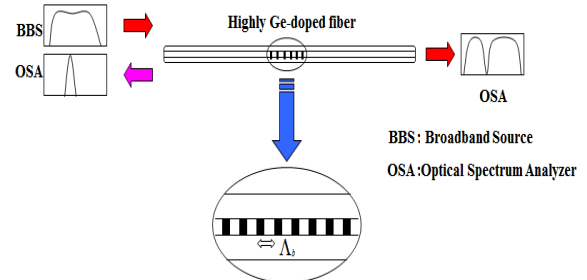


그림 2. 광섬유 브래그 격자 의 원리  
Fig. 2. The principle of Fiber Bragg Grating(FBG).

### III. Fiber-optics Hydrophone Arrays

#### 1) Arrays and Packaging Techniques.

수중음파를 탐지하는 기존의 트랜스듀서 (piezoelectricity, magnetostriction)는 그 모양이 plane 또는 cylindrical arrays 형태가 주류를 이루고 있으나, 광학적 원리에 바탕을 둔 광섬유 하이드로폰의 형태는 그림 1(미국특허)처럼 빗줄을 길게 늘어뜨린 형태로 하여, 선박에 끌고 다닐 수 있도록 설계 된다. 광섬유 하이드로폰을 구성하는데 있어서 또 하나의 어려움이 야전 적용에 대한 실용화와 야전성이다. 초기 bulk optic 간접계 방법으로 구성된 하이드로폰의 경우, 커다란 He-Ne gas lasers와 bulk optical components, beam splitters 등의 사용으로 인하여, 각 소자간의 광학적인 정렬에 대한 어려움과 광 출력의 결합 손실과 잡음이 발생하여 야전성에 부합되지 못하였다. 이와같은 부분적인 문제점 개선과 신호대 잡음비 향상을 위하여 광원은 반도체 레이저를 사용하고, 광 경로에 사용되는 모든 광학적 구성 요소를 광섬유로 대체하는 “All fiber-optics hydrophone” 방법으로 최근까지 발전되어 왔다. 그러나 “All fiber-optics hydrophone”의 어레이 시스템을 구성하는데 있어서, 검출 신호에 대한 높은 감도성을 얻기 위한 수단으로서 센서암 부분을 다양한 방법의 광섬유 감지코일로 구성되어야 한다, 즉, 고무부트(rubber boot)와 같이 별도의 외부충격 보호 층을 필요로 하고, 한 개의 sensor packaging시스템에 필요한 광원, 검출기, 광학적 빔 경로계, 광학적 수동소자, 전기적 신호 처리부를 기계적 보호와 수중에서 방수를 위한, 탐지부 packaging에 부피가 큰 단단한 금속관을 사용하여야 하며, 각 sensor packaging시스템 각각에 대한 전원 공급도 이루어져야 한다. 반면, FBG 하이드로폰의 경우, 수중 음파를 포집하는 센서암 부분이 간단하고, 광섬유 감지 코일부분이 필요 없다. 또한 sensor packaging시스템 각각에 대한 전원 공급이 필요 없으며, 주 신호를 기반으로 하는 광섬유에 그림 3과 같이 기 개발된 Hopper WDM(5)(특허번호 10-1502954)을 이용하여 광섬유에 끈 모양의 직렬과 병렬 형태를 혼합하여 부착하고, 선상에서 중앙 집중식 방법으로 신호처리를 실행할 수 가 있다.

#### 2) Multiplexing Techniques.

위험 지역, 열악한 환경 등에서 정보를 분산 검출할 수 있는 것은 센서 시스템에서 매우 중요한 것으로 인식 되어 왔다. 이와 같은 다중화 기술에 대하여 광섬유 센서 시스템에서는 시간적, 공간적, 파장 및 주파수, coherence domain multiplexing등의 기술이 적용되어 왔다.

그 중에서도 광신호의 장점을 최대한 이용하여 다양한 시스템 구성 방법을 활용한 파장 분할방식 (WDM: Wavelength Division Multiplexing)이 꾸준히 연구되어 왔다. 본 연구에서는 신호분지능력과 광 신호 효율이 기존의 광섬유커플러보다 성능이 향상된 Hopper WDM을 이용하여 FBG Hydrophone Arrays 신호검출에 적용하는 기법을 도입하였다. 한편, 광섬유 격자(FBG)를 이용한 센서 시스템의 최대 장점은 한 가닥의 신호 전송용 광섬유를 따라 광원의 스펙트럼을 재사용할 수 있는 기술에 의거하여 그림 3과 같이 센서의 수량을 여러 번의 배수 형태로 다양화 시킬 수 있어서 많은 수의 광섬유 격자 센서를 부착함으로써 광범위한 영역에 걸쳐서 검출대상으로부터 응답을 얻을 수 있는 어레이 시스템 형태로 발전되어왔다. 즉, 광섬유 격자(FBG)를 이용한 광섬유 센서 시스템에서는 time and wavelength division multiplexing과 같은 다양한 방법의 spatial domain multiplexing 기술을 사용함으로써, 탐지부를 분산시킬 수 있는 광섬유 센서의 수를 크게 증대시킬 수 가 있다. 그림 4는 다양한 형태로 결합 구성된

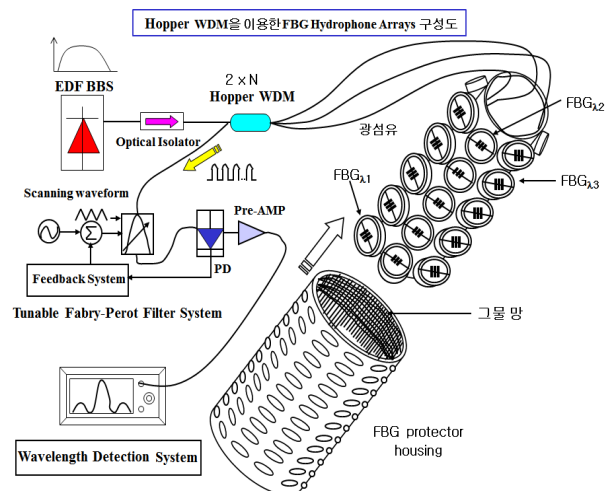


그림 3. Hopper WDM을 이용한 FBG Hydrophone Arrays  
Fig. 3. The FBG Hydrophone Arrays using Hopper WDM.

WDM/TDM 방법의 FBG 하이드로폰 다중화 방법으로 제안된 그림이다.<sup>[6]</sup>

### 3) Demodulation Techniques.

FBG 하이드로폰 어레이 시스템에서 트랜스듀서로부터 검출된 신호를 복조하는 기법은 여러 가지 방법이 있다.

즉, 분광 분석기를 이용하면 간단히 광섬유 격자 신호를 분석할 수 있으나, 응답 속도가 느리고 장비가 고가이므로 실용화 단계에 이용되기에는 그 한계가 있다. 또한, 복조기로 마하-젠더 간섭계(MZI: Mach-Zehnder Interferometer)를 이용한 광섬유 격자 파장변이 측정법이 사용되고 있다<sup>[7]</sup>. 그러나 이 방법은 온도 변화에 대한 간섭 신호의 위상 이동을 보상하기 위하여 반드시 보상 격자가 필요 하다. 따라서 세기 변조 방식의 FBG 하이드로폰에 적용할 수 있는 복조 기술에는 현재까지 연구되고 있는 방법으로 그림 5와 같이 active band-pass filter 시스템과 passive band-pass filter 시스템으로 나누어 크게 두 가지 유형으로 연구되고 있다.<sup>[8]</sup> 수중에서 FBG 센서에 음파를 인가할 때, 중심파장이 가해진 음파에 대하여 선형적으로 변화되며 수중 음파를 광범위하게 검출하기 위하여 많은 수의 센서가 요구 된다. 대표적인 active band-pass filter로 사용되는 Fabry-Perot 필터는 그 시스템 구성이 간단하고, 비교적 편리하게 중심파장이 다른 여러 개의 센서에서 음파신호를 동시에 복조할 수 있으므로, 멀티플렉싱에 효

과적으로 적용할 수 있다. 필터를 통과하는 빛의 파장에 대한 세기는 식 4와 같다.<sup>[9]</sup>

$$I(\lambda) = \frac{I_1 / I_{IN}}{1 + \left( \frac{2F}{\pi} \sin \frac{2\pi n l_c}{\lambda} \right)^2} \quad (4)$$

여기서,  $I$ 는 빛의 세기,  $F$ 는 finesse,  $n$ 은 캐비티 index,  $l_c$ 는 캐비티 길이이다. 식 4는 airy function으로서  $\text{Sin}(2\pi n l_c / \lambda)$ 가 0 일 때, 최대 값을 갖는 주기함수이다. 즉,  $\frac{2\pi n l_c}{\lambda} = N\pi$  ( $N$ 은 정수)일 때, 빛의 세기는 최대가 되며, 이때 파장은 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{2n l_c}{N} \text{ 이 되고, 여기서, 주파수와 파장의 관계}$$

$$\text{식 } f = \frac{C}{\lambda} \text{ (} f \text{는 주파수, } C \text{는 광속도, } \lambda \text{는 파장)}$$

를 대입하여 정리하며, 식5와 같이 빛의 세기가 최대인 주파수를 구할 수 있다.

$$f = N \frac{C}{2n l_c} \quad (5)$$

식 5에 의하면, 최대 값을 가지는 주파수는 필터의 간극이 일정할 때, 동일한 간격으로 분포된다. Fabry-Perot 필터 통과 신호의 profile에서 FSR(free spectral range)은 근접한 두 peak사이의 영역으로서

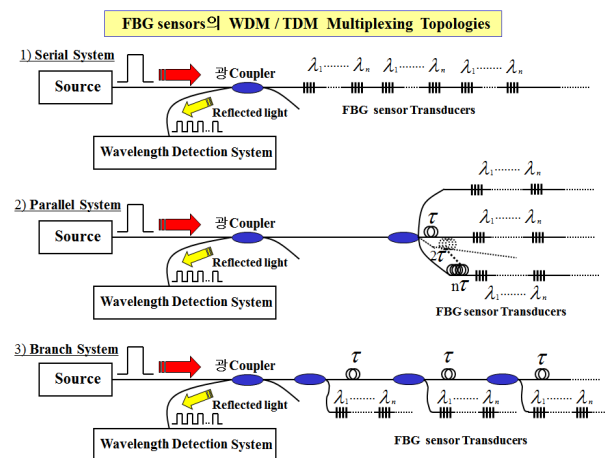


그림 4. FBG 센서들의 Time and Wavelength Division Multiplexing Techniques

Fig. 4. Time and Wavelength Division Multiplexing Techniques of FBG Sensors.

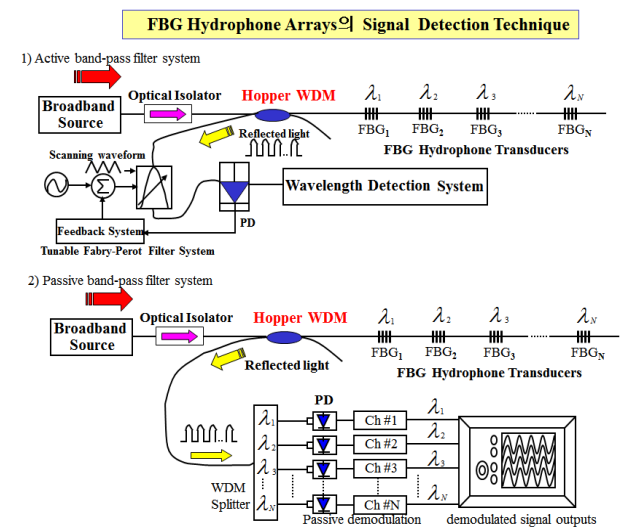


그림 5. FBG Hydrophone Arrays의 신호검출기술 구성도

Fig. 5. The block diagram of signal detection technique in the FBG Hydrophone Arrays.

주파수영역에서는  $\frac{C}{2nl_c}$  로 일정하다. 필터로 작동하기 위해서는 매우 좁은 passband를 가져야 하며, 이것은 두 미러(mirror)의 반사율에 의하여 결정된다. 광범위한 영역과 다중점 측정을 위한, FBG 하이드로폰 어레이 시스템을 구현하기 위해서는 여러 파장을 가진 FBG 센서가 필요하므로 Fabry-Perot 필터는 여러 광섬유 격자 파장을 스캐닝 하는 방법으로 그림 5와 같이 사용된다.

IV. 실험시스템구축 및 신호검출

1) 다중점 신호 검출

구축된 실험 시스템은 국내에서 제작된 광섬유격자(FBG)를 사용하였고, 기 제작된 FBG 일체형 트랜스듀서<sup>[9]</sup> 특성과 광신호분지를 위하여 기 제작된 Hopper WDM<sup>[5]</sup>을 이용하여, 광범위한 영역에 걸쳐서 다중점 측정이 가능하도록 시도하기 위한 선행 연구로서, 2개의 FBG 트랜스듀서를 수조에 설치하였다. 전체시스템 구축은 세기변조 방식의 FBG hydrophone sensor 시스템으로 그림 6과 같이 구성 하였다. FBG 일체형 트랜스듀서는 외부에서 인가된 주파수를 광섬유 격자소자에 인가했을 때, 인가된 베이스 밴드 신호가 FBG 일체형 진동막에 전달되어, 수중 음파를 검출하도록 설계 되었다.

실험에 사용된 2개의 FBG 트랜스듀서는 동일 특성

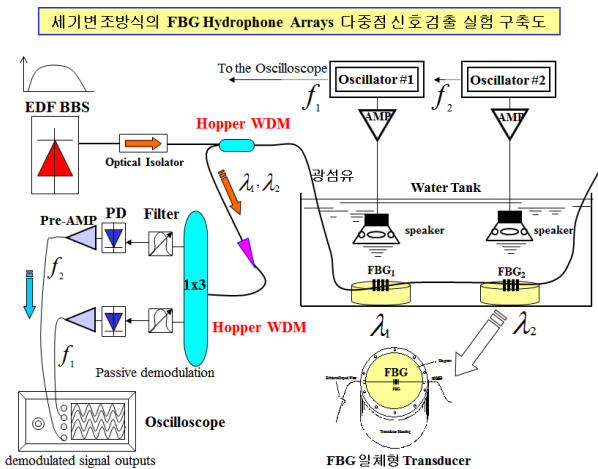


그림 6. FBG Hydrophone의 다중점 신호검출 시스템  
Fig. 6. The system of multi-point signal detection in the FBG Hydrophone.

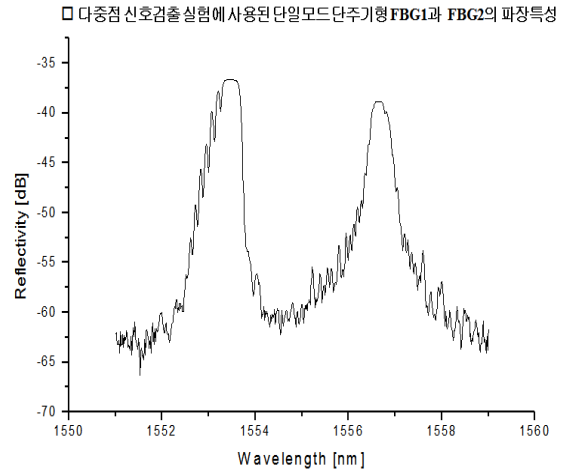
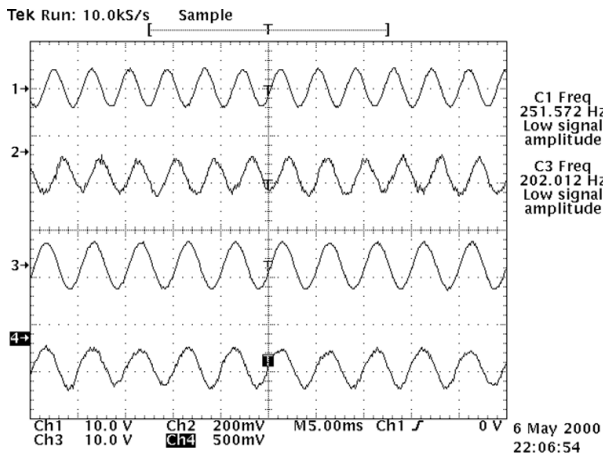


그림 7. 다중점 신호검출에 사용된 단일모드 균일한 단주기형 FBG(1) & FBG(2) 파장특성  
Fig. 7. The wavelength characteristic of single mode uniform short period FBG(1) & FBG(2) used in multi-point signal detection.

을 지니고 있으며 단일모드 균일한 단주기형 광섬유격자이다. FBG 트랜스듀서의 중심파장이 그림 7과 같이 각각 1553nm(FBG1)와 1556.7nm(FBG2)이다. 다중점신호검출 실험동작은 그림 6과 같이 FBG Hydrophone Arrays를 한 가닥의 주 신호 전송 광섬유에 길게 늘어뜨린 끈 형으로 구성된 직렬시스템 방법을 도입하였고, 광원은 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier) BBS(Broad Band Source)를 사용 하였다. 검출기는 Photo diode를 사용하였으며 수중 음원은 방수 처리된 스피커(사용 주파수범위:1Hz~20KHz)를 사용 하였고, 오실레이터를 통한 사인과 주파수를 10 Hz~5 KHz범위에서 주파수가변하여 인가하였다.

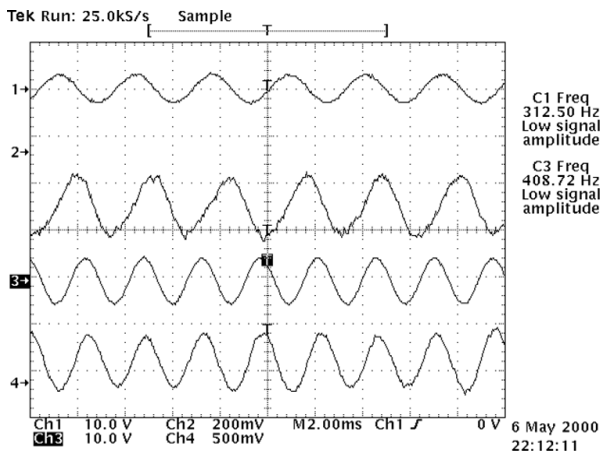
실험에 사용된 수조는 무향관이 설치안 된 유리 수조로서, 그 크기는 가로, 세로, 높이가 약 2m×1m×1.5m이다. FBG 트랜스듀서에서 최종 검출된 음파 신호는 Hopper WDM을 통과한 후, passive band-pass filter를 지나 수광소자와 pre-amp를 거쳐서 오실로스코프로 최종 신호처리 하였다. 이는 전형적인 광섬유센서 세기변조 방법의 신호처리 기법인 것이다. 실험결과 설계된 FBG<sub>1</sub> 트랜스듀서와 FBG<sub>2</sub> 트랜스듀서를 통하여, 수중 음파 주파수 200 Hz대부터 1.3 KHz대 까지 파장분할 방법을 사용하여, 신호의 다중점 검출이 가능하였다. 따라서 그림 3과 같이 고안된 FBG 트랜스듀서의 수를 늘리면, 광범위한 영역에 걸쳐, 검출 대상에 대한 동일



□ 주파수 251Hz, 202Hz대에서 검출된 신호 파형 (채널1:음원1에서 인가된 기준신호, 채널2:FBG(1)검출신호, 채널3:음원2에서 인가된 기준신호, 채널4:FBG(2)검출신호)

그림 8. 주파수 251Hz, 202Hz 에서 검출된 FBG(1) & FBG(2) Hydrophone의 다중점 신호파형

Fig. 8. The multi-point signal characteristic detected FBG(1) & FBG(2) Hydrophone in the 251Hz and 202Hz frequency.



□ 주파수 312Hz, 408Hz대에서 검출된 신호 파형 (채널1:음원1에서 인가된 기준신호, 채널2:FBG(1)검출신호, 채널3:음원2에서 인가된 기준신호, 채널4:FBG(2)검출신호)

그림 9. 주파수 312Hz, 408Hz 에서 검출된 FBG(1) & FBG(2) Hydrophone의 다중점 신호파형

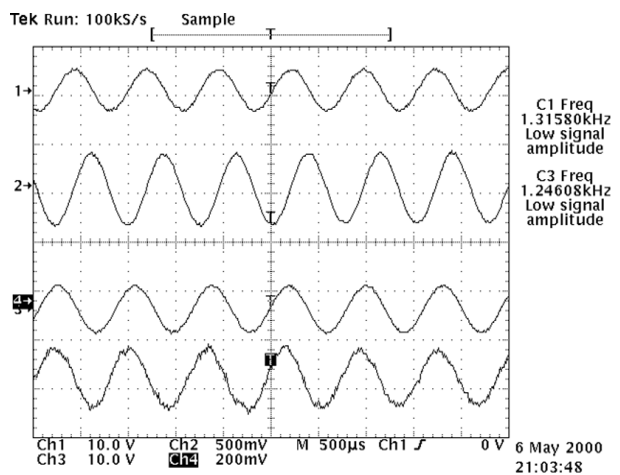
Fig. 9. The multi-point signal characteristic detected FBG(1) & FBG(2) Hydrophone in the 312Hz and 408Hz frequency.

주파수 신호의 센싱 점(sensing point)을 확대 할 수 있고, 신호 특성이 다른 주파수대의 음파를 동시 다발적으로 검출 가능함을 확인 하였다. 그림 8, 그림 9와 그림 10은 수중 음파 주파수 200 Hz대, 300 Hz대, 400 Hz 대와 1.2KHz, 1.3 KHz대에서 2개의 FBG 트랜스듀서들을 통하여 신호분리가 정확히 이루어진 다중점 신호검출에 대한 실험결과 파형이다.

## 2) FBG Hydrophone 지향성특성

설계된 FBG Hydrophone의 지향성에 대한 특성을 분석하기 위하여, 그림 11과 같이 한 개의 FBG 일체형 트랜스듀서에 축 회전 각도에 따라 가변이 가능하도록 회전축을 부착하고 음원의 주파수는 1.2 KHz로 고정된 상태로 음원을 통하여 음파를 발생 시켜 주었다.

음원과 FBG 트랜스듀서의 간격은 1m의 거리를 두었고 회전축 가변각도는 0. , 30. , 60. , 90. , 120. , 150. , 180. 간격을 두고 반복 측정 하였다. 이때, 사용된 FBG 일체형 트랜스듀서의 중심파장 특성은 약 1552.8



□ 주파수 1.3KHz, 1.2KHz대에서 검출된 신호 파형 (채널1:음원1에서 인가된 기준신호, 채널2:FBG(1)검출신호, 채널3:음원2에서 인가된 기준신호, 채널4:FBG(2)검출신호)

그림 10. 주파수 1.2KHz, 1.3KHz 에서 검출된 FBG(1) & FBG(2) Hydrophone의 다중점 신호파형

Fig. 10. The multi-point signal characteristic detected FBG(1) & FBG(2) Hydrophone in the 1.2KHz and 1.3KHz frequency.

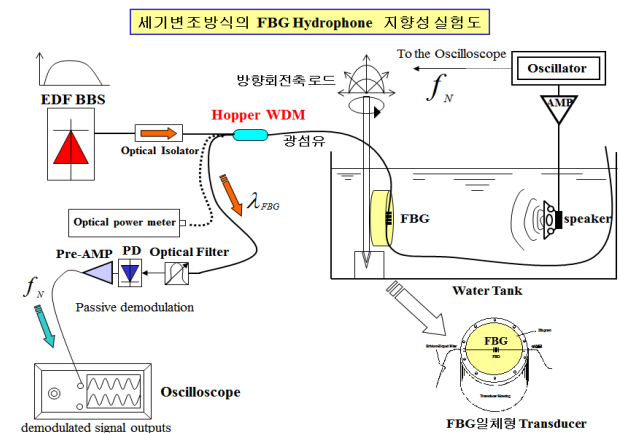
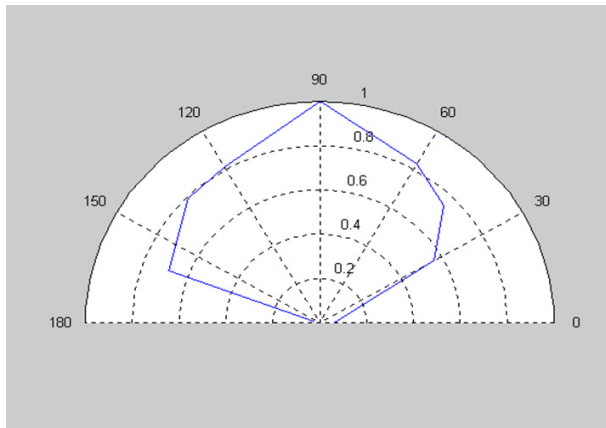


그림 11. FBG Hydrophone의 지향성 신호검출 시스템  
Fig. 11. The system of directivity signal detection in the FBG Hydrophone.



□ 트랜스듀서의 각도 변화에 따른 인가 주파수검출신호의 광 세기 특성표  
(인가 주파수(F)=1.2 KHz, Hydrophone : FBG 일체형 트랜스듀서)

그림 12. FBG Hydrophone의 지향성 검출신호

Fig. 12. The result of directivity signal detection in the FBG Hydrophone.

nm이고 FBG 일체형 트랜스듀서의 각도방향에 따른 검출 신호의 세기결과는 그림 12와 같은 특성을 얻었다.

## V. 결과고찰

본 연구에서는 국내에서 개발된 단일모드 균일한 단주기형 광섬유 격자를 이용하여, 수중에서 음파를 검출할 수 있는 FBG Hydrophone을 설계 및 제작하였다. 제작된 FBG 일체형 트랜스듀서를 통하여, 기존의 광섬유 하이드로폰의 실용화 과정에서 나타난, 핵심 문제들을 개선하기 위하여, 수중에서 트랜스듀서의 주파수 응답특성 실험과 시스템의 어레이화 구축을 위한 다중접신호검출 실험 및 지향성 연구를 수행 하였다. 실험결과 설계된 FBG(1) 트랜스듀서와 FBG(2) 트랜스듀서를 통하여, 수중에서 음향 주파수 200 Hz대 부터 1.3 KHz 대 까지 파장분할 방법을 사용하여 신호의 다중접 검출이 가능 하였으며 최적의 주파수검출 조건은 1.2 KHz로 나타났다.

따라서 1.2 KHz 대역의 FBG 트랜스듀서의 수를 늘리면 제시된 그림 3과 같이 광범위한 영역에 걸쳐서 검출 대상에 대한 동일 주파수 신호의 센싱 점(sensing point)을 확대 할 수 있으며 신호 특성이 다른 주파수대의 음파를 동시 다발적으로 검출 가능함을 확인 하였다. 아울러, 설계된 FBG 트랜스듀서는 음원의 각도 및 방향에 따라 검출된 신호의 응답특성이 차별화 되고, 검출신호가 광세기 비교 검출됨으로서 설계된 트랜스듀

서는 음원의 위치와 각도에 따른 신호의 지향성을 탐지할 수 있었다. 또한, 국내처음으로 제작되어 2015년3월 특허 획득된 Hopper WDM coupler를 이용하여 FBG Hydrophone Arrays 시스템 구축 시, 기존의 optical coupler 보다 접속 광 손실양이 적어서 신호대 잡음비 효율을 약 7.5% 향상시키는 개선효과가 나타났다. 최근 DMZ 지뢰폭발 도발사건으로 야기 된, 남북한 대치상황에서 북한의 비대칭 전력인 주력잠수함이 우리에게는 새로운 위협으로 부상하고 있는 시점에서 본 연구는 우리 군에게 북한의 대잠 전력강화 연구로 향후 제시될 수 있다.

## REFERENCES

- [1] K. B. Kim, "A Study on The low-frequency Hydrophone Using Single-mode FBG in the Hopper Type WDM be in the Making" Journal of the Electronics Engineers of Korea, Vol 50, No 12, P3225-P3229, December 2013.
- [2] Othonos kalli. Fiber Bragg Grating, Artech House P302-P303, 1999.
- [3] G. A. Ball and W. W. More, "Compression-tuned single-frequency Bragg-grating fiber laser," Opt. Lett, 19, p1979-1981, 1994.
- [4] S. C. Kang, S. Y. Kim, K. B. Kim, S. W. Kwon, S. S. Choi, and S. B. Lee Temperature-independent demodulation technique for fiber Bragg grating strain sensors using a tilted fiber Bragg grating" Conference on Lasers and Electro-Optics, San Francisco, CA, 1998.
- [5] K. B. Kim San hack researches commissioned of government, "A study of Hopper type WDM be in the making" Report, May 2013. (National Patent NO 10-1502954, March 2015)
- [6] Kersey, A.D., et al. "Fiber Grating Sensors" IEEE Journal of Lightwave Technology. Vol 15, P1442-P1463. 1997.
- [7] Kersey, A.D. "Interrogation and Multiplexing Techniques for Fiber Bragg Grating Strain-Sensors" Society of photo-optical Instrumentation Engineers, Distributed and Multiplexed Fiber-Optic Sensors III. Boston, Vol 2071, P30-P48. Sept 1993.
- [8] Berkoff, T.A., and A.D. Kersey, "Fiber Bragg Grating array system using a bandpass Wavelength division multiplexer and interferometric detection" IEEE Photonics

Technology Letters. Vol 8, P1522-P1524. 1997.

- [9] K. B. Kim, "A Study on The transducer of acoustic sensor to be Single-mode FBG using Hopper Type WDM be in the Making" Journal of the Electronics Engineers of Korea, Vol 51, No 10, P2390-P2397, October 2014.

---

저 자 소 개

---



김 경 복(정회원)

1986년 연세대학교 전자공학과  
석사 졸업.

1999년 한양대학교 전자공학과  
박사 졸업.

1986년~1992년 2월 LG전선  
연구소 광시스템실  
선임급연구원

1992년~현재 경북대학교 컴퓨터정보과  
(임베디드S/W전공) 교수

<주관심분야 : 광통신, 광섬유센서, 광 신호처리,  
광소자>