

논문 2013-50-12-35

# 단일모드 FBG(Fiber Bragg Grating)을 이용한 Hopper type WDM 개발과 저주파수 수중음향 센서연구 ( A Study on The low-frequency Hydrophone Using Single-mode FBG in the Hopper Type WDM be in the Making )

김 경 복\*

( Kyung Bok Kim<sup>Ⓢ</sup> )

## 요 약

광섬유 격자소자(FBG)를 이용한 광섬유 수중 음향센서는 기존의 광섬유 센서가 지니고 있는 우수한 장점들을 지니고 있을 뿐만 아니라, PZT 센서가 검출할 수 없는 저주파수(30Hz~300Hz)특성에서도 우수한 신호 감지효과를 지니고 있다. 실험에서 1 X3 광 커플러 보다, 최근 개발된 hopper lenz WDM을 사용하여, 최대 19KHz까지 고감도 음파신호를 검출하고, 우수한 신호 압축율과 초저주파수의 신호검출가능성을 보임에 따라, 정교한 신호해석과 군사용으로 사용될 수 있는 초저주파 신호 검출에 실용화를 기대 할 수 있으며, 센서 어레이(array)를 통하여 고감도 다중화로 발전될 수 있다.

## Abstract

The low- frequency hydrophone sensor, using the recently developed FBG has an excellent merits which the existing fiber-optic sensor has and also it has an excellent signal sensing effect in the environment of low-frequency(30Hz-300Hz), not to be detected by the PZT sensor. we have the detection of frequency 19KHz right signals when was using more Hopper lenz WDM than 1X3 optical coupler. furthermore, we can expect the utilization of low-frequency signal detection to be used for the military purpose and also it can be developed as the high-sensibility multiplexing through the sensor array system.

**Keywords :** hydrophone sensor, low-frequency signal detection ,FBG sensor,  
hydrophone sensor array system, hopper type WDM

## I. 서 론

광섬유 코어를 따라 진행하는 빛신호는 음향, 압력, 온도, 자기장, 변형 등에 의해 직접 변조 될 수 있기 때문에, 광섬유 그 자체가 변환기로써 사용될 수 있다.

개발된 광섬유 격자소자는 이러한 광섬유 센서가 가지는 일반적인 장점 외에도 10-12 m이하의 변형도 측정 가능한 고해상도를 가지고, 기존의 광섬유 센서암보다 크기가 월등히 작으므로, 실용화를 위한 센서부 구성과 다중화에 유리하다. 광섬유 격자소자를 이용한 음향센서는 최근 일본 국방연구소의 Nobuaki Takahashi (1)가 발표한 Non-interferometer방식의 음향센서를 연구하여 사용주파수 20KHz에서 우수한 응답특성을 얻은 바 있다.

\* 정희원, 경북대학교 컴퓨터정보과  
(kyungbok University, computer science)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: [kbkim@kbu.ac.kr](mailto:kbkim@kbu.ac.kr))

접수일자: 2013년9월29일, 수정완료일: 2013년11월22일

본 연구에서는 자체 제작된 광신호 변환기를 사용하고, 자체 개발된 Hopper type WDM 그림 5와 그림 6을 사용하여 기존의 optical coupler 보다, 초 저주파수 영역인 30Hz~300Hz에서 우수한 수중음향 응답특성을 얻었다.

### II. 수중 음향파 검출원리

빛이 진행하는 광섬유의 코어(Core)내에 주기적인 굴절율 변화가 새겨진 것으로 잘 알려진 광섬유 브래그 격자(Optical Bragg Grating)은 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 그냥 통과한다.<sup>[2]</sup>

$$\lambda_B = 2n_{eff} \Lambda_b \tag{1}$$

여기서,  $n_{eff}$ 는 광섬유 격자의 유효굴절율(Effective refractive index)이고,  $\Lambda_b$ 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 간격(Grating period)이다. 격자에서 반사되는 브래그 파장(Bragg wavelength)은 유효 굴절율과 격자간격의 함수이며, 광섬유 격자에 음향파로 인한 스트레인(strain), 온도 등이 가해질 경우 이들 값이 변화하여 브래그 파장이 달라진다.

광섬유 격자소자 센서에 외부 압력이 가해졌을 때 그림 1과 같은 원리로 동작한다.<sup>[2]</sup>

$\Delta P$  음압변화에 따른, 센서의 파장 쉬프트  $\Delta\lambda_{BP}$ 는 다

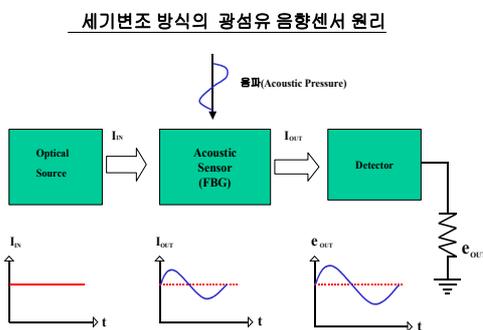


그림 1. 음향파 인가시 동작원리  
Fig 1. Using acoustic of movement principle.

음과 같이 주어진다.<sup>(3),(4)</sup>

$$\frac{\Delta\lambda_{BP}}{\lambda_B} = \frac{\Delta(n\Lambda)}{n\Lambda} = \left( \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial\Lambda}{\partial P} + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial P} \right) \Delta P \tag{2}$$

식(2)에서 첫번째 항은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{1}{\Lambda} \frac{\partial\Lambda}{\partial P} = - \frac{(1-2\nu)}{E} \tag{3}$$

여기에서 E는 광섬유의 영율이고, 두번째 항은

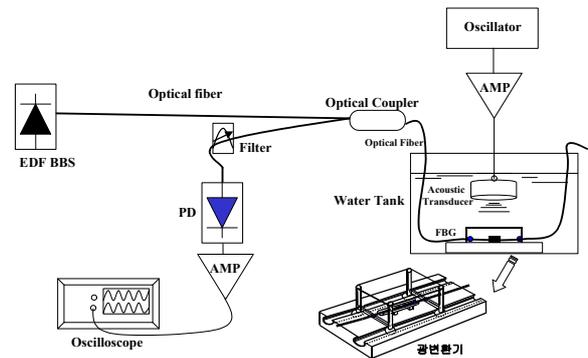
$$\frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial P} = \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11}) \tag{4}$$

로 주어지며, 식(3)과 식(4)를 식(2)에 대입하면 음압에 따른 격자소자의 파장변화에 대한 결과를 식(5)와같이 얻어진다.<sup>[3-4]</sup>

$$\Delta\lambda_{BP} = \lambda_B \left[ - \frac{(1-2\nu)}{E} + \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11}) \right] \Delta P \tag{5}$$

### III. 실험시스템구축 및 실험

그림 2는 optical coupler를 사용하여 세기변조방식의 광섬유격자소자를 이용한 저주파수용 수중음향센서 실험개요도이다. 그림 2와 같이 고안제작 된, 광신호변화



[그림2] 세기변조방식 FBG 수중음향센서 실험도

그림 2. optical coupler를 사용한 세기변조방식의 수중 음파검출 시스템 개요도

Fig. 2. The system block diagram of hydrophone signal-detection using optical coupler to be intensity modulation method.

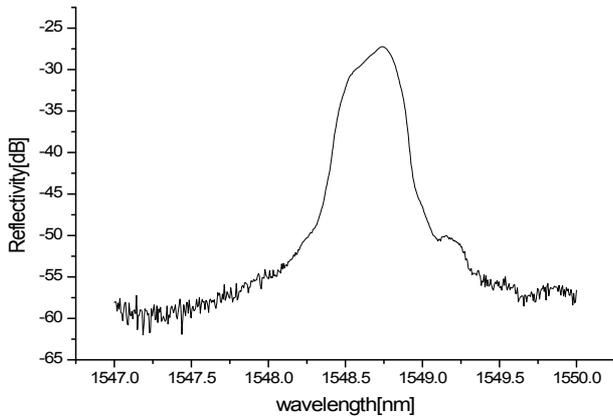
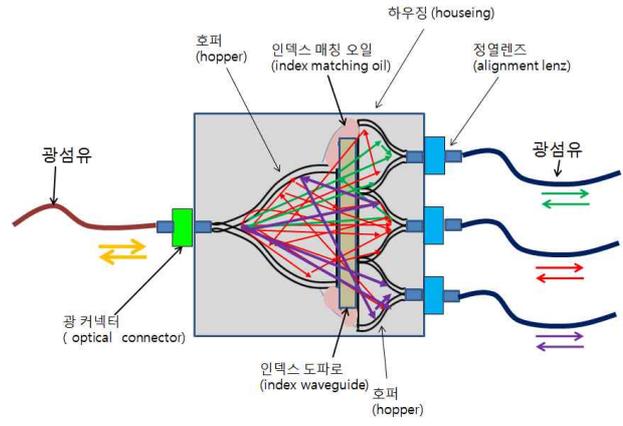


그림 3. 광섬유격자소자 파장특성  
Fig. 3. The wavelength characteristic of FBG.



양방향 Hopper type - WDM

그림 5. Hopper type WDM 동작원리도  
Fig. 5. Hopper type WDM of movement principle.

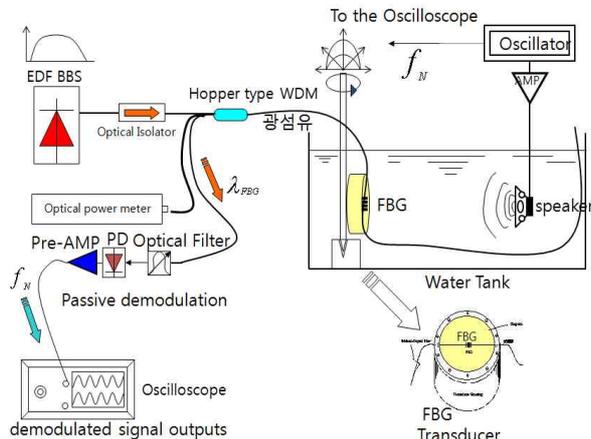


그림 4. Hopper type WDM 을 사용한 세기변 조방식의 수중음파검출 시스템 개요도  
Fig. 4. The system block diagram of hydrophone signal-detection using Hopper type WDM to be intensity modulation method.

기를 통하여 외부에서 인가된 저주파수를 광섬유격자소자에 가했을 때, 인가된 베이스밴드 신호가 광섬유격자소자에 전달되어 수중음향파를 검출하게 된다.

사용된 광섬유는 단일모드광섬유이고, 사용된 광섬유격자의 중심파장은 1548.7nm이다.

음원은 방수처리 된 수중 스피커(1Hz~20kHz)를 사용하고, Oscillator를 통하여 30Hz~300Hz까지를 가변하여 인가하였다. 수중음향파에 진동이 전달되도록, 별도 제작 된 Diaphragm센서부와음원으로 사용된 스피커간의 최적의 공진조건이 일어난, 주파수 특성대는 약 80Hz ~90Hz사이로 실험결과가 나타났다. 실험에 사용된 수조는 가로, 세로, 높이가 2m×1m×1.5m이다. 그림 4는 개발된 Hopper type WDM<sup>[5]</sup>을 사용한 동일조건



그림 6. 제작된 Hopper type WDM  
Fig. 6. Hopper type WDM be in the making.

세기변조방식의 수중음파검출 시스템 개요도이고, 그림 5는 Hopper type WDM의 원리를 나타낸 그림이고, 그림 6은 제작된 Hopper type WDM 이다.<sup>[5]</sup>

#### IV. 결과고찰

설치된 실험 시스템 구축은 세기변조방식의 FBG 수중음향파 검출을 위한 구성 시스템이다. 그림4 광원은 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier)BBS(Broad Band Source)를 사용하고, 검출기는 포토다이오드를 사용하였다. 음향파에 의하여 변조된 특정 광 신호를 받기 위하여 narrow band filter를 검출기 앞단에 위치시켰고, 본 연구에 개발된 Hopper type WDM, 그림6과 일반적인 광섬유 1X3 coupler를 사용하여 신호를 교대

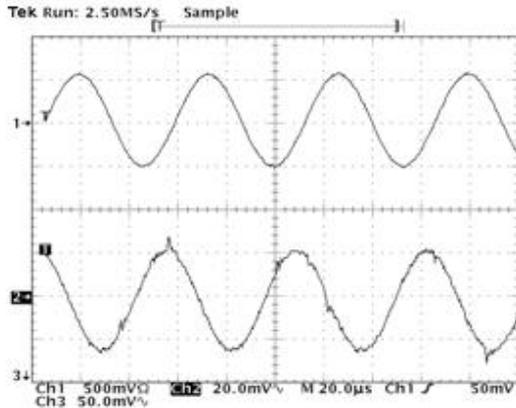


그림 7. 주파수 38Hz 영역에서 1X3 coupler를 사용하여 검출된 수중음파 신호파형  
 Fig. 7. The detected hydrophone signal waveform using 1X3 coupler in the 38Hz frequency.

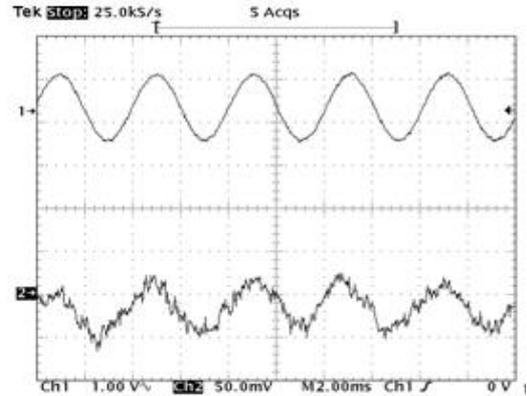


그림 9. 주파수 15KHz영역에서 1X3 coupler를 사용하여 검출된 신호  
 Fig. 9. The detected hydrophone signal waveform using 1X3 coupler in the 15KHz frequency.

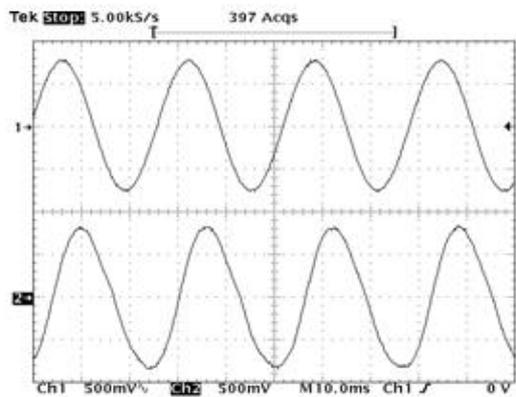


그림 8. 주파수가 38Hz 영역에서 개발된 Hopper type WDM을 사용하여 검출된 수중음파 신호  
 Fig. 8. The detected hydrophone signal waveform using Hopper type WDM in the 38Hz frequency.

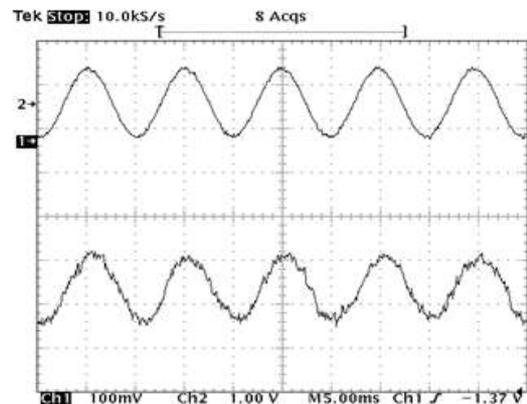


그림 10. 주파수 15KHz 영역에서 개발된 Hopper type WDM을 사용하여 검출된 수중음파 신호  
 Fig. 10. The detected hydrophone signal waveform using Hopper type WDM in the 15KHz frequency.

로 받아 분석하였다. 그림 7은 주파수 38Hz 영역에서 1X3 coupler를 사용하여 검출된 신호이다. 위쪽신호는 기준신호이고, 아래쪽 신호는 개발된 트랜스듀서에서 검출된 수중음파 신호이다.

그림 8은 역시 주파수가 38Hz 영역에서 개발된 Hopper type WDM을 사용하여 검출된 수중음파 신호이다. 위쪽신호는 기준신호이고, 아래쪽 신호는 개발된 트랜스듀서에서 검출된 수중음파 신호이다. 검출된 신호가 그림7과 비교할 때 노이즈가 없이 정교한 기준신호 형태로 검출되었다.

그림 9 주파수가 15KHz영역에서 1X3 coupler를 사용하여 검출된 신호이다. 위쪽신호는 기준신호이고, 아래쪽 신호는 개발된 트랜스듀서에서 검출된 수중음파

신호이다.

그림 10은 역시 주파수가 15KHz 영역에서 개발된 Hopper type WDM을 사용하여 검출된 수중음파 신호이다. 위쪽신호는 기준신호이고, 아래쪽 신호는 개발된 트랜스듀서에서 검출된 수중음파 신호이다. 검출된 신호가 그림 9와 비교할 때 신호의 검출세기가 더 강하게 반응하고, 노이즈가 비교적 적어서, 기준신호처럼 복원하는데 문제가 없으며, 수중음파의 주파수영역을 분석할 수 있는 파형 형태로 검출되었다.

### V. 결 론

세기변조방식의 수중음파검출 시스템에 있어서 실험

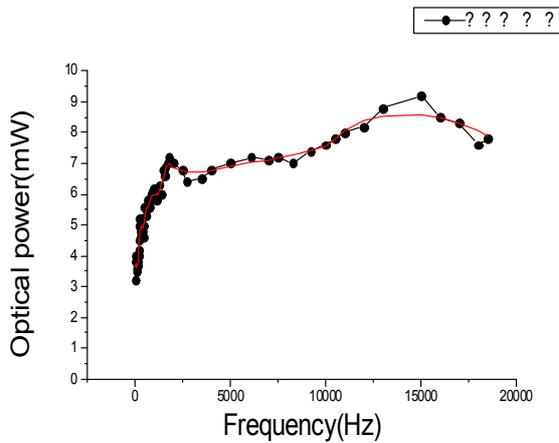


그림 11. 최근 개발된 Hopper type WDM을 사용한 수중 음파검출 센서의 신호 특성표  
Fig. 11. The signal characteristic of hydrophone sensor using Hopper type WDM be in the making recently.

결과 설계된 트랜스듀서의 최적공진조건은 수중에서 주파수 15KHz대에서 최적 신호검출이 나타났으며, 최대 검출 가능 주파수범위는 19KHz대 까지 가능 하였다. 검출된 신호를 분지 하는 합파 및 분파기로는 일반적인 광섬유 1X3 coupler보다, 최근 개발된 Hopper type WDM(5)를 사용한 세기변조방식의 수중음파센서 시스템에서 파장별 분지신호의 접속손실이 0.01dB이하로 낮아서, 1X3 optical coupler 보다 전송신호의 압축률이 우수하고, 광 분지간극 간, 고유파장의 흡수율이 빨라서 검출된 신호전송속도가 우수하였다. 따라서 1X3 optical coupler 보다 원거리 미세신호분석이 용이하며, 정교한 신호검출에 적합함으로 나타났다. 이는 향후 군사적 용도로 사용할 수 있는 가능성을 보여준 결과이다.

## REFERENCES

[1] Othonos kalli. Fiber Bragg Grating, Artech House P302-P303, 1999.  
[2] K.B.Kim, S.S.Kim, K. D.K, Kwack, S.B.Lee, OSK, 10th Anniversary and Annual Meeting, Feb 2000. "A study on the low-frequency FBG hydrophone using in single-mode optical fiber" P246-247. Feb 2000.  
[3] Takahashi, Tetsumura, "Fiber Bragg Grating

underwater acoustic sensor" OFS-13, SPIE Vol. 3746, April 2007.

- [4] Takahashi "Underwater Acoustic Sensor using Optical Fiber Bragg Grating as Detecting element" Jpn.J.Appl.Phys.Vol 38, Dec 2009.  
[5] K.B.Kim San hack researches commissioned of government, "A study of Hopper type WDM be in the making" Report, May 2013.

## 저 자 소 개



김 경 복(정회원)

1984년 광운대학교 전자공학과 학사 졸업.

1986년 연세대학교 전자공학과 석사 졸업.

1999년 한양대학교 전자공학과 박사 졸업.

1992년~현재 경북대학교 컴퓨터정보과 (임베디드S/W전공) 교수

<주관심분야 : 광통신, 광섬유센서, 광 신호처리, 광소자>