

단일모드 FBG(fiber bragg grating)을 이용한 저주파수 수중음향 센서

김경복, 김성순, 광계달*, 이상배, 최상삼**
 경북대학교 전자계산과 *한양대학교 전자공학과,**KIST 광기술센터
 kbkim@kyungbok.ac.kr

[요약]

최근에 개발된 광섬유 격자소자(FBG)를 이용한 광섬유 수중 음향센서는 기존의 광섬유 센서가 지니고 있는 우수한 장점들을 지니고 있을 뿐만 아니라, PZT센서가 검출할수 없는 저주파수(30Hz~300Hz)특성에서도 우수한 신호 감지효과를 지니고 있으며, 특히 군사용으로 사용될 수 있는 저주파 신호 검출에 실용화를 기대 할수 있으며, 센서 어레이(array)를 통하여 고감도 다중화로 발전될 수 있다.

I. 서론

광섬유 코어를 따라 진행하는 빛신호는 음향, 압력, 온도, 자기장, 변형등에 의해 직접 변조 될 수 있기 때문에, 광섬유 그 자체가 변환기로서 사용될수 있다. 최근에 개발된 광섬유 격자소자는 이러한 광섬유 센서가 가지는 일반적인 장점외에도 10^{-12} m이하의 변형도 측정 가능한 고해상도를 가지고, 기존의 광섬유 센서보다 크기가 월등히 작으므로, 실용화를 위한 센서부 구성과 다중화에 유리하다. 광섬유 격자소자를 이용한 음향센서는 최근 일본 국방연구소의 Nobuaki Takahashi⁽¹⁾가 발표한 Non-interferometer 방식의 음향센서를 연구하여 사용주파수 20KHz에서 우수한 응답특성을 얻은바 있다. 본연구에서는 자체 제작된 광신호 변환기를 사용하여 저주파수 영역인 30Hz~300Hz에서 우수한 수중음향 응답특성을 얻었다.

II. 수중 음향과 검출원리

빛이 진행하는 광섬유의 코아(Core)내에 주기적인 굴절율 변화가 새겨진 것으로 잘알려진 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 파장성분은 그냥 통과한다.

$$\lambda_B = 2 \eta_{eff} \Lambda_b \text{ -----(1)}$$

여기서, η_{eff} 는 광섬유 격자의 유효굴절율(Effective refractive index)이고, Λ_b 는광섬유 코아에 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 이들값이 변화 하여 브래그 파장이 달라 진다. 광섬유 격자소자 센서에 외부 압력이 가해졌을 때 [그림1]과 같은 원리로 동작한다. ΔP 음압변화에 따른, 센서의 파장 쉬프트 $\Delta \lambda_{BP}$ 는 다음과 같이 주어진다.

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

식(2)에서 첫 번째항은 다음과 같이 주어진다.

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

여기에서 E는 광섬유의 영율이고, 두 번째항은

$\frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial P} = \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11})$ ----- (4) 로 주어지며, 식(3)과 (4)를 식(2)에 대입하면 음압에 따른 격자소자의 파장변화에 대한 결과를 식(5)와같이 얻어진다.

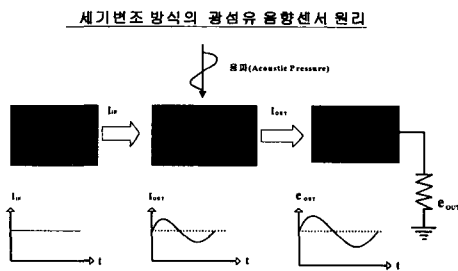
$$\Delta\lambda_{BP} = \lambda_B \left[-\frac{(1-2\nu)}{E} + \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11}) \right] \Delta P$$
 ----- (5)

III. 실험시스템구축 및 결과고찰

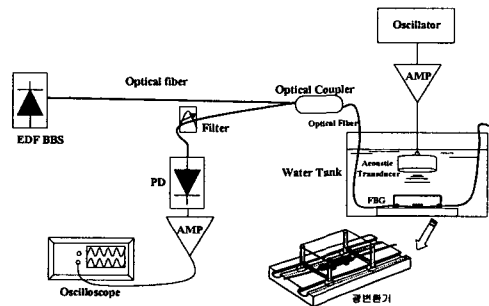
[그림2]는 세기변조방식의 광섬유격자소자를 이용한 저주파수용 수중음향센서 실험개요도이다. [그림2]와같이 고안제작된, 광신호변화기를 통하여 외부에서 인가된 저주파수를 광섬유격자소자에 가했을 때, 인가된 베이스밴드 신호가 광섬유격자소자에 전달되어 수중음향파를 검출하게 된다. 사용된 광섬유는 단일모드 광섬유이고, 사용된 광섬유격자의 중심파장은 1548.7nm이다. [그림3] 음원은 방수처리된 수중 스피커(1Hz~20kHz)를 사용하고, Oscillator를 통하여 30Hz~300Hz 까지를 가변하여 인가하였다. 수중음향파에 진동이 전달되도록, 별도 제작된 Diaphragm 센서부와 음원으로 사용된 스피커 간의 최적의 공진조건이 일어난, 주파수 특성대는 약 80Hz ~90Hz 사이로 실험결과가 나타났다. [그림4] 실험에 사용된 수조는 가로, 세로, 높이가 2m×1m×1.5m이다.

IV. 참고문헌.

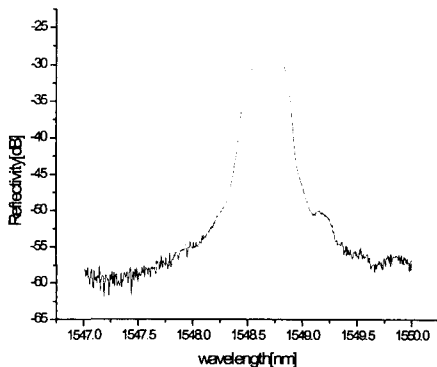
(1) Takahashi "Underwater Acoustic Sensor using Optical Fiber Bragg Grating as Detecting element" Jpn.J.Appl.Phys.Vol 38,(1999).



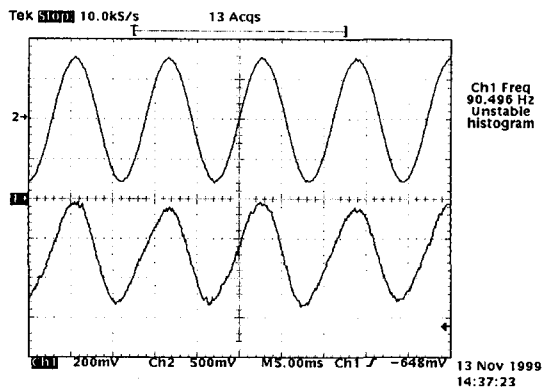
[그림 1] 음향파 인가시 동작원리



[그림 2] 세기변조방식 FBG 수중음향센서 실험도



[그림3] 광섬유 격자소자 파장특성



[그림4] 주파수 90Hz대에서 광섬유격자센서 검출 신호 특성(채널1), 입력 신호 파형(채널2)