

논문 2000-9-6-01

단일모드 광섬유 브래그 격자를 이용한 저주파수 대역의 음향 센서에 관한 연구

김경복, 곽계달

A study on the low-frequency of acoustic sensor using single mode FBG (Fiber Bragg Grating).

Kyung-Bok Kim and Kae-Dal Kwack

요 약

최근에 개발된 광섬유 브래그 격자소자(FBG)를 이용한 광섬유 음향센서는 기존의 광섬유 센서가 지니고 있는 우수한 장점들을 지니고 있을 뿐만 아니라, 저주파수(30Hz~300Hz)영역 특성에서도 우수한 신호 감지효과를 지니고 있으며 특히, 기존의 마이크로폰을 대신하여 전기적 잡음이 많은 환경에서 저주파 신호 검출에 실용화를 기대 할수 있고, 센서 어레이(array)시스템 구성을 통하여 고감도 및 다중화 시스템으로 발전될 수 있다.

Abstract

The low-frequency acoustic 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). Furthermore, we can expect the utilization of low-frequency signal detection instead of existing microphones in the environment of electric noise and also it can be developed as the high-sensibility multiplexing through the sensor array system.

1. 서 론

광섬유 코어를 따라 진행하는 빛신호는 음향, 압력, 온도, 자기장, 변형 등에 의해 직접 변조 될 수 있기 때문에, 광섬유 그 자체가 변환기로서 사용될 수 있다. 광섬유를 이용한 광학적 원리에 바탕을 둔 음향센서는 그 구성 방식이 간접계 방식과 비 간접계 방식으로 양립되어, 1980년대 초반부터 활발히 연구되어 왔다. 광섬유를 이용한 음파 검출센서는 1976년 Shajenko에 의해 연구된 내용으로 음파에 따라 가변 되는 가변거울을 사용하여 광을 이용한 음향센서를 처음 발표한 이

후, 1977년 Bucaro와 Cole등에 의해 광섬유를 이용한 간접계를 구성하여 음파를 해석하였다. 1980년 Spillman는 가변 광섬유(moving fiber)를 이용하여 음파에 의한 빛의 강약변화로 음파를 분석하고, 다중모드 광섬유를 이용한 음향센서를 발표 하였다. J.N.Fields와 J.H.Cole는 마이크로 벤딩을 이용한 음파 검출 센서를 발표하였다. 1981년 Tietjen에 의해 격자구조를 이용하여 음파에 의해 빛의 세기 변화로 음파를 분석하는 그레이팅 수중 음향센서가 발표된 이래, Bucaro와 P.Shajenko는 Mach-Zehnder 간접계 방법을 이용하여 주파수 40 Hz-400 kHz에 대하여 실험을 하였다. 그러나, 이들 센서의 상용화 과정에서 가장 큰 기술적 문제점으로 지적이 되어온 것은 센싱암(sensing arm)구성의 간편화,

한양대학교 전기·전자공학과 (Department of Electric Engineering, Hanyang Univ.)

<접수일자 : 2000년 6월 2일>

다중화, 시스템 어레이등을 나열 할 수 가 있다. 한편, 광섬유 격자소자를 이용한 음향센서는 1999년 일본 국방연구소의 Nobuaki Takahashi⁽¹⁾가 수중음향센서를 연구하여, 물속에서 사용주파수 5 kHz대에서 우수한 응답특성을 얻은바 있다. 최근에 개발된 광섬유 격자소자는 이러한 광섬유 센서가 가지는 일반적인 장점 외에도 10^{-12} m이하의 변형도 측정 가능한 고해상도를 가지고, 기존의 광섬유 센서보다 크기가 월등히 작으므로, 실용화를 위한 센서부 구성과 다중화에 유리하다. 광섬유 격자소자를 이용한 센서의 기본원리는 통상 온도, 스트레인, 또는 압력 등의 물리적인 힘이 센서부인 광섬유 격자소자에 유기될 때, 그 물리적인 힘에 대하여 인가한 광의 신호검출 메카니즘은 광섬유 격자소자에서 일어나는 반사 또는 투과 파장의 변화량을 측정하는데, 이 변화량은 광섬유 격자소자의 물리적인 길이 변화와 광섬유 자체의 광탄성 성(Photoelasticity)의 변화에 기인한다. 본 연구에서는 국내 연구기관에서 개발된 단일모드 균일한 주기성의 광섬유격자(FBG)를 이용하여 저주파수 대역의 FBG분리형 트랜스듀서를 설계 및 제작하여 공기 중에서 주파수 30 Hz~300 Hz대역까지 우수한 음파 검출 특성과 거리에 따른 감도성을 실험하여 국내 최초로 개발된 FBG 음파 탐지 트랜스듀서의 특성을 분석하였다.

II. 광섬유 격자센서의 원리

Germanosilicate 광섬유 측면에 파장이 248nm 근처의 자외선 레이저를 이용하여 간섭무늬를 형성하면, 광섬유 코어의 굴절율은 간섭무늬의 에너지 분포에 따라 주기적으로 변화한다. 빛이 진행하는 광섬유의 코어 내에 주기적인 굴절을 변화가 새겨진 것으로 잘 알려진 브래그 격자의 역할을 하게되며, 그림 1과 같이 광폭 스펙트럼을 광섬유에 입사시킬 때, [식1]과 같은 브래그 조건에 의해서 결성된 파장성분이 광섬유 격자부위에서 반사되며, 나머지는 그냥 통과된다.

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

여기서, n_{eff} 는 광섬유격자의 유효 굴절을 이고, Λ_b 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 간격이다. 따라서 격자에서 반사되는 브래그 파장은 유효 굴절율과 격자

간격의 함수이며, 광섬유 격자에 온도나, 스트레인등의 외부 물리량을 가할 경우, 이들 값이 변하여 브래그 파장 조건이 달라진다.

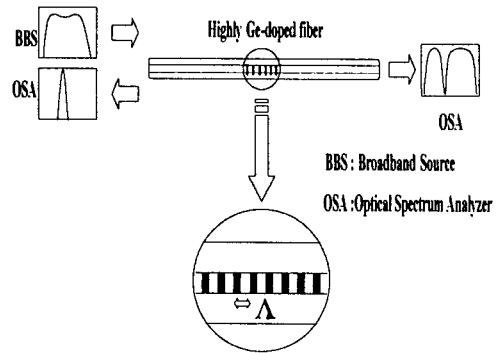


그림 1. 광섬유 브래그 격자의 형태와 동작 특성도
Fig. 1. The shape and operation characteristics of the optical fiber Bragg grating.

이때 변화하는 브래그 파장의 변화를 정밀하게 측정한다면, 광섬유격자에 가해진 미지의 물리량(온도, 스트레인, 음파, 압력등)을 [식2]를 통하여 역으로 계산할 수 있으며, 이것이 광섬유 격자가 센서로서 사용될 수 있는 기본 원리인 것이다.

$$\begin{aligned} \Delta \lambda_B &= \lambda_B [(\alpha + \xi) \Delta T + (1 - P_e) \Delta \epsilon] \\ &= K_T \Delta T + K_e \Delta \epsilon \quad \text{-----(2)} \end{aligned}$$

여기서, P_e 는 광탄성 상수 (photo-elastic constant) 이고, 이는 [식3]과 같이 나타낸다.

$$P_e = \left(\frac{n^2}{2} \right) [P_{12} - \nu (P_{11} - P_{12})] \quad \text{-----(3)}$$

[식2]에서 α 는 광섬유의 온도에 따른 열팽창계수이고, ξ 는 온도에 의한 광섬유의 굴절을 변화를 나타내는 열광학 계수로서 실리카의 경우 α 는 $0.5 \mu\text{m}$ 이고, ξ 는 $8.3 \mu\text{m}$ 정도의 값을 가지므로 온도에 의한 브래그 파장의 변화는 대부분 굴절을 변화에 기인한다. P_{11}, P_{12} 는 스트레인 광학텐서(strain-optic tensor)의 성분이고, n 은 광섬유 코어의 굴절율이며, ν 는 푸아송 비(Poisson's ratio)이다.

광탄성 상수 P_e 는 germanosilicate glass의 경우 대략 0.22의 값을 가진다. 광섬유 격자에 유기된 온도, 압

력, 스트레인등 외부의 물리량에 대한 브래그 파장의 변화는 대체로 선형성을 지니고 있고, 기존의 광섬유 센서 암에서 검출 가능한 감도보다 우수하고, 시스템의 구성방법에 따라 다중화 신호처리가 가능하며, 상용화 시 센서 암의 크기가 간단해질 수 있다는 장점과 센서의 어레이화가 간단하여, 기존의 광섬유 센서에서 광섬유 격자를 이용한 센서 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 이와같은 [식2]의 이론을 사용하여 공기 중에서 음파를 최대도 포집할 수 있는 진동막을 이용하여, $\Delta \epsilon$ 의 값을 저주파수대역의 음파에 따라 주기적으로 가변 될 수 있는 FBG 트랜스듀서를 설계하고, 실험을 통하여 트랜스듀서의 특성을 분석하여, 이론적인 내용과 비교 분석함으로써 FBG 음향 트랜스듀서 설계 기술을 확립하였다.

III. FBG 음향 트랜스듀서 설계

1). 설계이론

FBG 음향 트랜스듀서를 설계하는데 있어서, 주요 고려사항은 신호에서 유기 되는 음압이 센서 암의 역할을 하고 있는 광섬유 브래그 격자(길이 1cm)부위에서 음압에 의한 새로운 브래그 파장 조건이 최적으로 재결정 되어야 한다.

이때, 음압의 전달 수단은 진동막과 같은 기계적인 장치를 통하여 [식2]의 $\Delta \epsilon$ 값을 최적화하여야 한다. 이를 위하여 먼저 브래그 파장의 변화를 이론적으로 분석되어야 한다. 세기변조방식의 광섬유 격자소자 센서에 외부 압력이 가해졌을 때, ΔP 음압 변화에 따른, 센서의 파장 쉬프트 $\Delta \lambda_{BP}$ 는 [식4]과 같이 주어진다.⁽²⁾

$$\frac{\Delta \lambda_{BP}}{\lambda_B} = \frac{\Delta(n\Lambda)}{n\Lambda} = \left(-\frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial P} + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial P} \right) \Delta P \quad \text{----(4)}$$

음파가 매질을 통해 광섬유 격자소자에 전달될 때, 주기적인 압력의 변화는 그것에 대응되는 매질의 굴절율과 크기를 변화시킨다. 비 간섭계 센서 구성방식에서는 이러한 변화가 광섬유 격자소자를 통해서 진행되는

빛의 파장변화와 빛의 세기 변위로 나타난다.⁽³⁾이것을 광-음향 효과라 하며, 그 변화량의 정도는 매질에 따라 다르나, 통상 광-음향 효과는 광섬유 격자소자의 물리적인 길이 변화와 도파 되는 광의 굴절을 변화에 비교할 때, 그 효과는 미미한 것으로 알려져 있다. 따라서, 음파가 인가될 때, 광섬유 격자소자의 물리적인 길이 변화와 굴절율의 변화관계식은 통상 [식5]와 [식6]로 나타내어진다.

$$\frac{\Delta L}{L} = -\frac{(1-2\nu)P}{E} \quad \text{----(5)}$$

$$\frac{\Delta n}{n} = \frac{n^2 P}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} - \rho_{11}) \quad \text{----(6)}$$

여기서 E는 광섬유 영율이고, 광섬유 격자소자의 길이 변화는 곧, 광섬유코어에 새겨진 격자의 간격 변화와 같을 때, $\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta \Lambda}{\Lambda}$ 이고, 평균화된 격자의 간격과 압력관계 계수는 [식7]과 같고, 이는 [식4]에서 첫 번째 항은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial P} = -\frac{(1-2\nu)}{E} \quad \text{----(7)}$$

[식4]의 두 번째 항은 [식8]과 같이 나타난다.

$$\frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial P} = \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11}) \quad \text{----(8)}$$

로 주어지며, [식7]과 [식8]를 [식4]에 대입하면, 음압에 따른 격자소자의 파장변화에 대한 최종결과를 [식9]와 같이 얻어진다.

$$\Delta \lambda_{BP} = \lambda_B \left[-\frac{(1-2\nu)}{E} + \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11}) \right] \Delta P \quad \text{----(7)}$$

[식9]에서 나타난 바와 같이 음압에 의한 브래그 파장의 변화는 광섬유의 영율과, 푸아송 비, 광섬유의 굴절율, 스트레인 광학 텐서의 합수 값이 관계되나, 이들의 광학적인 효과는 극히 미미한 것으로 알려져 있다. 따라서, 센서의 효율성을 고려할 때, 음압의 효과를 무한정 크게하여 브래그 파장의 변화를 극대화할 수는 없기 때문에, 외부 음압의 작용에 대한 효율적인 센서 응답을 이끌어 내기 위해서는 기계적인 작용을 접촉시킨다. 따라서, 음압에 의한 압력전달이 광섬유의 탄성

성으로 유기되어, 브래그 파장의 조건을 변화할 수 있도록, 세기 변조 방법의 센서 시스템에서는 광섬유 격자소자의 센싱 압에 대하여 별도의 설계가 필요하게 된다. 본 연구에서는 이를 실현하기 위하여 광섬유격자가 수직으로 유기된 음압을 P.E 진동막이 상·하 수직 진동운동으로 변환되어 광섬유격자에 종 축 방향으로 스트레인이 가해짐에 따라 새로운 브래그 파장조건이 재 결정되도록 설계하였다.

2). 센서응답.

광섬유 격자센서의 센서 압에 음압의 유기를 극대화하기 위하여, 기계적인 수단으로 광섬유 격자부위에 물리적인 탄성성과 광탄성 성을 가함으로서, 브래그 파장조건이 재 결정되어, 브래그 격자 부위에서 가해진 물리량인 음압에 의한 주기적인 굴절을 변화를 야기 시켜야 한다. 이때, 광학 센서 응답을 산출하기 위하여 표준화된 변조지수(M)은 다음과 같이 정의된다. 즉, [식10]과 같이 브래그 파장(λ_B)와 음압(P)에 의해서 변화된 브래그 파장의 변화량($\Delta \lambda_B$)의 비로 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B P} \quad \text{----(10)}$$

이 변조지수 M은 광섬유 격자센서의 특성을 결정짓는데, 필요한 압력감도(pressure sensitivity : S)와 최소 검출 압력 산출과 밀접한 관계를 가지고 있다. 이때, 변조지수 M은 다음과 같이 다시 쓸 수가 있다.⁽⁴⁾

$$M = \left(\frac{dT}{dX} \right) \left(-\frac{dX}{dP} \right) \quad \text{----(11)}$$

[식 11]에서 T는 광섬유 전송계수이고, X는 광 변환기의 변위 이다. [식11]은 기계적인 구조에 의한 세기 변조방식에서 광섬유 격자 센서의 응답특성에 상당한 영향을 주기 때문에 비록 수식은 간단하지만, 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 이와 같은 간단한 수식은 두 가지 파라메타의 변조 지수로 구성되어 있는데 즉, 외부로부터 음압이 유기 되었을 때, 광섬유 격자소자의 브래그 파장에 새로운 파장 결정 조건을 광학적으로 영향을 주는 광학적인 파라메타 $\left(\frac{dT}{dX} \right)$ 항과 기계적인 장치로 구성된 트랜스듀서의 설계특성에 관계되는 기계적인 파라메타 $\left(-\frac{dX}{dP} \right)$ 항이 있다. 여기서, 센서응답에

관계되는 전체 압력감도(S)는 음압이 인가되었을 때, 광섬유 격자소자 브래그 파장의 광학적인 변화량 ($\Delta \lambda_{BP}$)과 변조지수(M)의 곱으로 나타내어진다.

$$S = \Delta \lambda_{BP} \cdot M \quad \text{----(12)}$$

여기에 [식2]와 [식11]을 대입하여 정리하면 [식13]을 유도 할 수 가있다.

$$S = (K_T \Delta T + K_\epsilon \Delta \epsilon) \left(\frac{dT}{dX} \right) \left(-\frac{dX}{dP} \right) \quad \text{----(13)}$$

[식13]은 다시 변조지수의 항을 광학적인 파라메타와 기계적인 파라메타로 나누어 표시할 수 있는데, 광학적인 파라메타는 결국 음압에 따른 광섬유 격자소자의 광학적인 변화에 대한 결과이므로 [식9]에 기인한다. 그리고, 기계적인 파라메타는 음압이 전달되는 진동막의 물리적인 크기(A)와 음압과 같은 외력을 받았을 때, 물질의 탄성력과 기계적인 결합계수로 나타내는 센서의 기계적 허용성(mechanical compliance : C_m)에 대한 곱으로 표현될 수 있다. 다시[식13]을 [식9]와 기계적인 파라메타 $\left(-\frac{dX}{dP} \right) = A \cdot C_m$ 을 대입하여 정리하면, 본 연구에서 설계 및 제작되어 사용된 세기변조 방식의 광섬유 격자소자 센서의 음압 감도를 결정짓는 최종 함수의 결과 식을 유도 할 수 있다.[식14]

$$S = (K_T \Delta T + K_\epsilon \Delta \epsilon) \left[\lambda_B \left\{ -\frac{(1-2\nu)}{E} + \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11}) \right\} \right] \Delta P (A \cdot C_m) \quad \text{----(14)}$$

[식14]의 최종 결과 식에서 본 센서의 특성을 다음과 같이 분석할 수 있다.

첫째항은 광섬유 격자의 온도와 스트레인의 변화량 ($\Delta T, \Delta \epsilon$)에 관계되는 함수로 되어 있다. 여기서 K_T, K_ϵ 는 온도와 스트레인에 관계되는 선형계수 이다. 비 간섭계 방식의 세기 변조 방법의 광섬유 센서 시스템에서는 온도변수가 주는 영향은 극히 미약하므로 무시할 수 있으나, 스트레인 변수는 광섬유 격자의 브래그 격자 조건을 변화시키는 중요한 요인으로 작용한다. 둘째항은 변조지수에서 광학적인 파라메타에 관계되는 함수로서 함수에서 나타나고 있는, 각각의 변수들이 광섬유 격자에 영향을 주는 정도의 값이 미미한 것으로 알려져 있어, 음압에 의한 영향력이 거의 무시

할 수 있는 항이다. 세제항은 변조지수에서 기계적인 파라메타에 관계되는 함수로서 외부에서 인가되는 음압에 대하여 광섬유 격자에 새로운 브래그 조건을 결성할 수 있는 항으로, 세기 변조 방식의 광섬유 센서에서 기계적인 설계방법에 따라, 센서의 응답 특성이 좌우되고, 센서의 음압 감도를 극대화할 수 있는 중요한 항이다. 따라서 세제항에 관계되는 광 변환기의 설계가 본 센서의 특성을 결정짓는 요인으로 나타남을 알 수 있다. 따라서 본 연구를 위한 FBG 음향 트랜스듀서의 기본설계 원리는 [식14]의 분석에서 나타난 바와 같이, 음압에 의해서 광섬유 격자에 주기적인 굴절을 변화를 일으키고, 브래그 파장 변화를 야기시키기 위하여, 공기 매질을 통한 미지의 음파가 진동막을 통하여 진동으로 전달되고, 이 진동하는 운동량이 광섬유 격자소자의 스트레인으로 작용하여 음파의 진폭 변화에 따라, 브래그 격자의 주기변화로 나타내도록 설계하였다. 이와 같은 원리로 설계된 FBG 트랜스듀서의 모형도는 그림 2와 같다. 이 트랜스듀서의 동작모형을 보면, 베이스 밴드 신호인 음파가 인가되었을 때, 음파의 진폭변화에 따라 음압이 트랜스듀서의 진동막에 부딪쳐서, 진동운동으로 전환된다. 이때, FRP로 된 몸체와 연결된 두 개의 수평 홈으로 이루어진 가이드(guide)를 따라, 금속 볼 또는 마이크로 롤러로 결합된 진동막의 네 축이 직선 수평 운동으로 전환된다. 여기서 몸체의 가이드와 금속 볼의 마찰계수를 최소화하도록, 광 변환기 설계 및 제작 시에 세심한 배려를 하여야 한다.

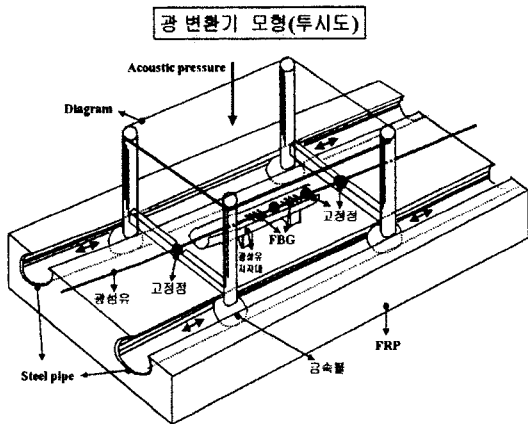


그림 2. 제작된 광-음향 변환기 구조도
Fig. 2. The designed structure of acoustics-optic convertor.

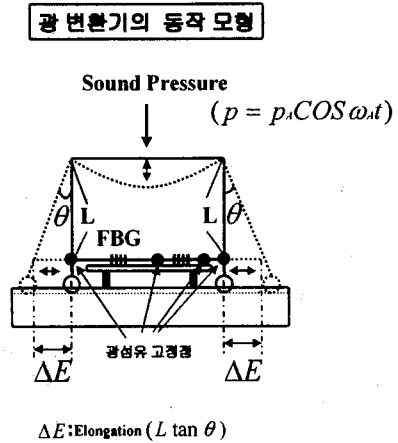


그림 3. 광-음향 변환기의 동작 구조도
Fig. 3. The operated structure of acoustics-optic convertor.

그림 3은 광 변환기의 동작모형을 나타낸 그림이다. 센서의 센싱 압이 되는 광섬유 격자 부위는 안전판 위에 프리텐션(free tension)상태로 위치 시키고, 진동막의 네축과 연결된 두 개의 보에 일정한 텐션을 주어 고정시킨다. 이때 고정시 광학 스펙트럼 분석기를 통하여 브래그 파장을 관찰하면서 일정한 텐션을 유지하여야 한다. 결국 트랜스듀서는 유기되는 음파의 진폭변화에 따라, 그림 3에서 나타난 바와 같이 진동막의 네 축과 몸체의 가이드접촉면 간의 신울 길이(ΔE)가 크고, 유연성을 가지고, 복원력이 실시간대로 이루어져야 한다. 이와 같은 원리를 이용하여 설계된 FBG 음향트랜스듀서의 진동막은 FRP로 이루어진 몸체가 가로 10cm, 세로 5cm이고, 가이드는 3R깊이의 반 홈이며, 금속 볼은 직경 2.7mm의 소형 볼이 길이 4cm의 지지대와 결합되어져 있다. 진동막은 P.E 재질로 가로8cm, 세로 4cm의 크기이다. 광섬유 격자는 단일모드의 균일한 격자로서 격자간의 간격은 $1\mu\text{m}$ 로 코어에 간섭무늬 마스크가 새겨져 있고, 총 길이는 약 1cm정도이다.

IV. 실험시스템구축 및 실험

1). 주파수 응답특성.

세기변조 방식의 광섬유 격자소자의 주파수 특성에 대한 음파 검출 센서 시스템의 실험 구성은 그림 4와 같다.⁽⁵⁾

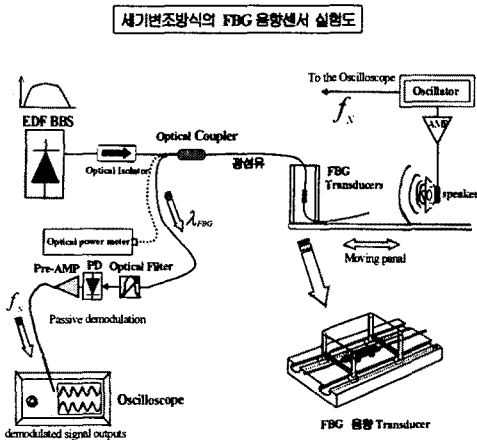


그림 4. 세기변조방식의 광섬유격자소자 음파 검출 센서 시스템도.

Fig. 4. Illustration of FBG acoustic detection sensor system by the intensity modulation method.

광원은 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier) BBS(Broad Band Source)를 사용하고, 검출기는 포토 다이오드를 사용하였다. 음파에 의하여 변조된 특징파장의 광신호를 받기 위하여 narrow band filter를 검출기 앞단에 위치시켰다. 광섬유 격자소자 센싱부는 진동막을 이용하여 별도로 고안 제작된, 광신호 변환기를 통하여 외부에서 인가된 저주파수를 광섬유 격자소자에 가했을 때, 인가된 베이스 밴드 신호가 광섬유 격자소자에 전달되어, 미지의 음파를 검출하도록 설계하였다.

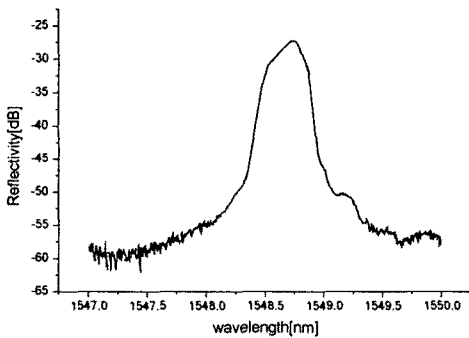


그림 5. 실험에 사용된 광섬유 격자의 파장특성.

Fig. 5. The character of FBG wave used in the test.

본 실험에 사용된 광섬유는 단일모드 광섬유이며,

광섬유격자의 중심파장은 1548.7nm이고[그림 5], 음원은 일반적으로 사용되는 스피커(사용주파수범위: 1 Hz~20 kHz)를 사용하였으며, 오실레이터를 통하여 싸인파 주파수를 30 Hz~300 Hz범위에서 가변 하여 인가하였다. 광섬유 격자소자에서 최종 검출된 음파 신호는 2×1coupler를 통과하여, 필터를 통과하고, 수광소자와 pre-amp를 통하여, 오실로스코프로 신호를 처리하였다.

2). 거리에 대한 감도특성.

제작된 저주파수의 FBG트랜스듀서의 공기 중에서 거리에 따른 음파감도 특성을 실험하기 위하여 구축한 장치는 그림 4와 같다. 제작된 FBG 트랜스듀서의 최대 검출 가능한 거리를 측정하기 위하여 실험장치와 같이, 음원을 고정시킨 상태에서 트랜스듀서의 몸체를 이동할 수 있도록 가변 판넬을 설치하였다. 측정거리는 50 cm단위의 간격으로 변화를 주었고, 음원과 트랜스듀서는 일직선상에서, 서로 마주보는 각으로 고정하여 음파가 최대로 유기 되도록 실험하였다.

V. 결론

단일모드 균일한 광섬유 격자소자를 이용하여 설계 및 제작된, 저주파수 음향 검출 센서는 공기 중에서 인가된 음파의 주파수 특성이 35Hz~46Hz대에서 입력신호와 동일한 파형, 위상 및 신호크기를 감지할 수 있어 [그림6], 제작된 센싱부의 광 변환기와 주파수 최적의 공진 조건이 나타났음을 알 수 있다.

이는 통상 해군에서 잠수함 감지를 목적으로 하는 군사용 저주파수 대역의 수중음향센서로 적용될 수 있는 가능성을 나타냈으며, 아울러, 주파수특성 개선을 위한 광섬유격자 음향센서의 설계 노하우를 제공하였다. 또한, 국내최초로 국산 단일모드 균일한 광섬유 격자소자를 이용한 FBG 음향센서 개발에 초석을 마련하였으며, 제작된 트랜스듀서는 저주파수의 특정신호 검출을 위한 point sensing 시스템으로 사용 될 수 있다. 실험결과 주파수 96Hz대 까지도 공기 중에서 양호한 음파 응답특성을 검출 할 수 있었으나[그림7], 주파수 346Hz대로 높아짐에 따라, 검출된 신호의 왜곡현상 심화와 신호의 크기 축소가 급격히 이루어지는데 [그림 8], 이는 최적 공진 주파수 대역에서 주파수가 점점 증대됨에 따라 진동막의 떨림 현상이 기계적으로 따라가

지 못하는 현상으로 풀이되며, 이를 개선하기 위하여 진동막의 원형고정과 텐션이 작용되어야 함으로 풀이된다.

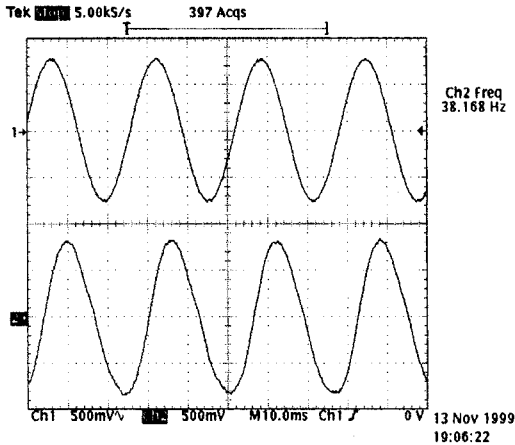


그림 6. 주파수 38 Hz대에서 검출된 음파 응답특성
(채널1은 입력신호, 채널2는 FBG 검출된 신호임)
Fig. 6. The character of the acoustic wave response detected in 38 Hz.
(ch1: input signal, ch2: The signal wave type detected in the FBG sensor.)

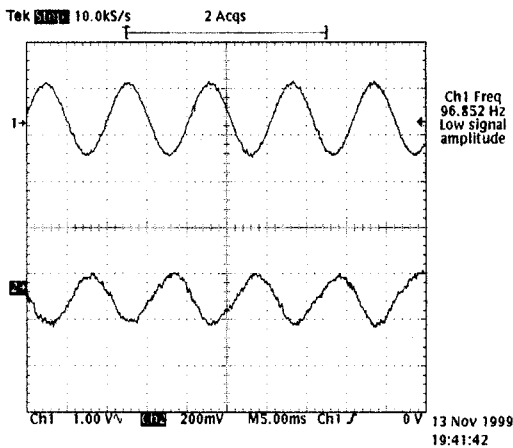


그림 7. 주파수 96 Hz대에서 검출된 음파 응답특성.
(채널1은 입력신호, 채널2는 FBG 검출된 신호임)
Fig. 7. The character of the acoustic wave response detected in 96 Hz.
(ch1: input signal, ch2: The signal wave type detected in the FBG sensor.)

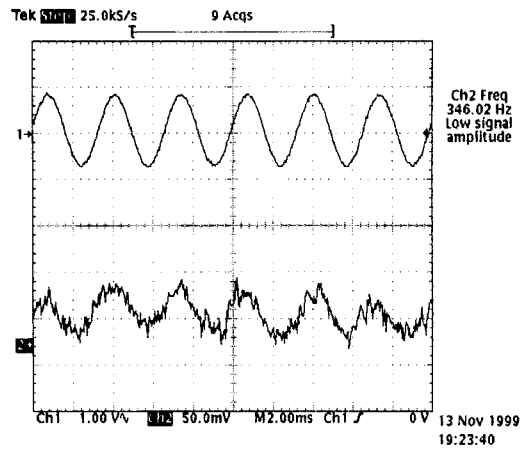


그림 9. 주파수 346Hz대에서 검출된 음파 응답특성.
(채널1은 입력신호, 채널2는 FBG 검출된 신호임)
Fig. 9. The character of the acoustic wave response detected in 346 Hz.
(ch1: input signal, ch2: The signal wave type detected in the FBG sensor.)

그림 9은 제작된 트랜스듀서의 주파수에 대한 응답 특성 표이다. 제작된 FBG 음향 트랜스듀서의 거리에 대한 감도성 실험 결과 최대 2.3m까지 음파 신호 검출이 가능하였으므로, 광섬유 센서가 지니고 있는 장점들(전기적 바이어스의 불필요성, 전자파 환경에서의 적용성, 방폭성 지역에서의 적용성등)이외에도, 검출거리가 1m내외인 기존의 탄소형 마이크로폰 보다 우수한 성능을 지니고 있다.

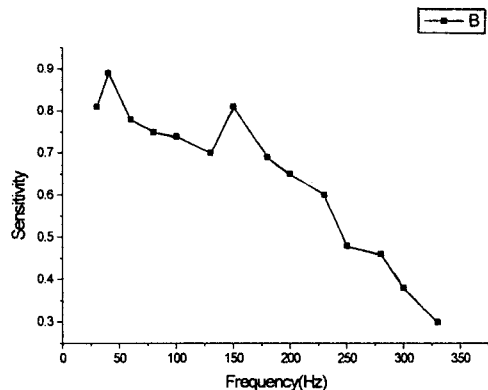


그림 9. 제작된 FBG 트랜스듀서의 주파수 응답 특성표
Fig. 9. Characteristic table of detection signal versus frequency of the FBG transducer.

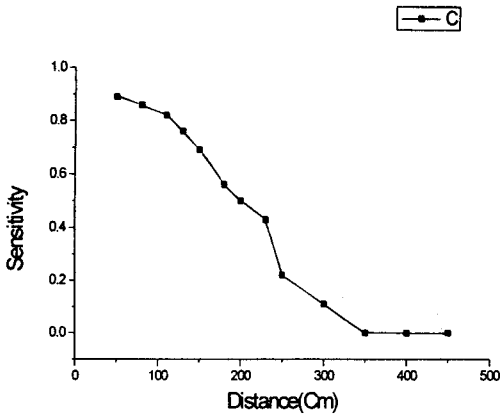


그림 10. 제작된 FBG 트랜스듀서의 거리에 따른 감도 특성표
 Fig. 10. Characteristic table of detection signal versus distance of the FBG transducer.

그림 10은 거리에 대한 신호 감도성 측정 결과표이다. 아울러 본 연구를 바탕으로 향후 개선된 광섬유 격자소자를 이용한 음파 검출 센서 설계가 가능하고, 멀티채널과 어레이 시스템구성과 같은 진보된 기술을 도입 적용하면, 주파수 동작범위를 수십kHz대까지 높일 수 있고, 다중점에서 고 신뢰성의 공기 중에서의 음향 또는 수중 음파 감지에도 적극 활용될 수 있는 초석을 마련하였다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 한국학술진흥재단 대학부설연구소 과제연구비에 의해서 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Takahashi, Tetsumura, "Underwater acoustic sensor using optical FiberBragg Grating as detecting element". Jpn.J.Appl.Phys.Vol 38, (1999).
- [2] Othonos kali. FiberBraggGrating, Artech House P302-P303 (1999).
- [3] Takahashi, Tetsumura, "Fiber Bragg Grating underwater acoustic sensor". OFS-13, SPIE Vol. 3746, P565-P568 (1999. April).
- [4] J.H.cole, N.Lagakos "Advances in fiber optic based acoustic sensors" SPIE Vol 326 Fiber Optic Technology '82 (1982)
- [5] 김경복, 김성순, 광계달, 이상배, 최상삼. 한국광학회 창립10주년기념동계학술발표회. "단일모드 FBG를 이용한 저주파수 수중 음향 센서" (2000, 2).

著 者 紹 介

金 景 福

『센서학회지 제9권 제4호』 논문2000-9-4-04, p.287참조
 현재 경북대학 전자계산과 부교수

郭 桂 達

『센서학회지 제9권 제4호』 논문2000-9-4-04, p.287참조
 현재 한양대학교 전기·전자공학부 교수