

논문 2014-51-10-34

# Hopper type WDM을 이용한 단일모드 FBG(Fiber Bragg Grating)음향센서 트랜스듀서 개발연구

( A Study on The transducer of acoustic sensor to be Single-mode  
FBG using Hopper Type WDM be in the Making )

김 경 복\*

( Kyung Bok Kim<sup>©</sup> )

## 요 약

최근 국내에서 개발된 광섬유 격자소자(FBG: Fiber Bragg Grating)를 이용하여, 3종의 Hopper type WDM FBG Acoustic Transducer를 설계 및 제작 하였다. 제작된 3종류의 Hopper type WDM FBG Acoustic Transducer는 기존의 광섬유 센서가 지니고 있는 우수한 장점들을 지니고 있을 뿐만 아니라, sensor arm 구성이 간단하여 실용화에 큰 장점을 지니고 있다. 제작된 3종류의 Hopper type WDM FBG Acoustic Transducer 는 주파수 특성이 10 Hz~18 kHz 대역에서 음파 검출이 가능하였고, 트랜스듀서의 최적 공진 조건을 이용하여 최대 8.6 m 거리까지 신호 검출이 가능하였다. 특히, 기존의 음향 센서를 대신하여 전기적 잡음이 많고, 열악한 환경에서 저 주파수 신호 검출에 실용화를 기대할 수 있고, 센서 어레이(array)시스템 구성을 통하여 고감도 및 다중점 음파 검출 시스템으로 발전될 수 있다.

## Abstract

We have designed and made three kinds of FBG(Fiber Bragg Grating) Acoustic Transducer using Hopper type WDM on the use of recently developed FBG in Korea. The newly designed three kinds of FBG Acoustic Transducer using Hopper type WDM have an excellent merit of practical use with simple structure of sensors arm as well as the merit with existing fiber sensors. It was possible to detect sound waves in the range of 10 Hz to 18 kHz through the newly designed three kinds of FBG Acoustic Transducer and also, possible to detect its signal within the maximum range of 8.6 m by the use of most suitable resonance condition of the transducer. Especially, we can expect the utilization of low-frequency signal detection instead of existing acoustic sensor in the environment of electric noise and inferior condition. Furthermore, they can be developed as the high-sensibility and multi-point signal detection system through the sensor array system.

**Keywords:** acoustic wave optical fiber sensor, microphone FBG transducer, low-frequency signal detection, FBG sensor, microphone sensor array system, hopper type WDM ,

---

\* 정회원, 경북대학교 컴퓨터정보과  
(Kyungbuk University, Computer Science)

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

접수일자: 2014년05월13일, 수정일자: 2014년09월01일, 게재확정: 2014년09월26일

## I. 서 론

1970년 미국의 코닝글라스사에서 세계최초로 광섬유가 개발된 이래 통신분야에 지대한 공헌을 한 광섬유가 1976년 Kinsley와 Davies 에 의해 처음으로 광섬유와 관련된 전기적 위상변위효과가 발표된 이후 광섬유를 이용한 센서연구가 활발히 진행되어 왔다<sup>[1]</sup>. 그러나 단순한 광섬유센서는 대체적으로 신호대 잡음지수가 낮으며, 지향성 등 특정 지점을 측정하기 위해서는 광섬유를 절단하여 별도의 코팅을 한다거나, 특수처리 된 광섬유를 센서 암(sensor arm)으로 사용하는 문제가 있었다. 1984년 영국의 southampton대학의 D.N.Payne그룹에서<sup>[2-3]</sup> 처음으로 희토류금속(Nd, Er등)을 첨가한 광섬유가 개발된 이래 특정파장(1.06 $\mu$ m, 1.55 $\mu$ m)에서 자유롭게 광 증폭을 할 수 있으므로 광섬유센서에서 신호대 잡음비가 높게 개선할 수 있었고, 여러 지점의 물리량 등을 동시에 측정할 수 있는 광섬유 센서의 시분할, 파장분할 시스템연구에 많은 진전이 이루어졌다. 1989년 G.Meltz등에 의해 자외선 레이저를 광섬유 측면에 조사하여 광섬유의 특정부위에 원하는 파장에 대하여 반사 특성을 보이는 브래그 격자(Bragg Grating)를 새길 수 있는 광섬유가 개발되면서 광섬유센서는 새로운 차원의 연구레벨로 도약하게 되었다.<sup>[4-5]</sup> 본 연구에서는 국내 최초로 Hopper type WDM을 이용한 3종류의 음파 탐지 트랜스듀서를 설계 및 제작하여 공기 중에서 음파 신호검출실험을 통하여, 제작된 3종류의 트랜스듀서의 주파수 응답특성을 분석하였다. 음파는 설계 된, 광 신호 변환기를 사용하여, 저주파수 영역인 30Hz~1kHz 대에서 기존의 마이크로폰보다 우수한 음향 응답특성을 얻었다. 아울러 자체 개발된 Hopper type WDM<sup>[6]</sup>을 이용한 광 신호분지에서 고전적인 1X3 optical coupler 보다 응답특성 시스템구성 시, 약 7%~8%의 우수한 신호대 잡음비를 개선하였다.

## II. 세기변조방식의 광섬유격자센서의 원리

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 파장성분은 그냥 통과한다.<sup>[7]</sup>

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

여기서,  $n_{eff}$ 는 광섬유 격자의 유효굴절률(Effective refractive index)이고,  $\Lambda_b$ 는 광섬유 코어에 새겨진 격자의 간격(Grating period)이다. 따라서 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. 브래그 파장의 변화를 정밀하게 측정한다면 광섬유 격자에 가해진 미지의 물리량 (온도, 스트레인)을 식 (2)를 통하여 역으로 계산할 수 있으며, 이것이 광섬유 격자가 센서로 사용될 수 있는 기본 원리이다.

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

$K_\epsilon$  : strain coefficient,

$K_T$  : thermal coefficient

$$\rho_e = \frac{n^2}{2} [\rho_{12} - \nu(\rho_{11} + \rho_{12})]$$

$\rho_{11}, \rho_{12}$  : strain-optic tensor,

$\nu$  : Poisson's ratio.

광섬유 세기변조방식의 브래그격자센서는 그 측정량이 브래그 반사파장의 변화량이기 때문에 음파에 의한 세기 변조양의 변화 값을 측정하기에 간편하고 명확하다.

또한 브래그 반사파장이 서로 다른 광섬유 격자들은 서로 영향을 받지 않으므로 하나의 광섬유를 이용한 다중점 측정이 가능하다. 한편, 음파에 의한 세기변조방식의 브래그격자센서 응답과 최소검출 압력을 산출하기 위하여 표준화된 변조지수변화량은  $\Delta\epsilon$  (normalized modulation index)은 다음과 같다.

$$\Delta\epsilon = W / W_0 P \quad (3)$$

여기서, W는 총 출력 광 파워,  $W_0$  에서 유기된 변화량이고, P는 공기 중에 전파된 음압이다. 이는 다시 브래그 격자 광섬유자체 전송특성과 기계적인 장치 트랜스듀서의 특성에 따라 식(3)은 식(4)와 같이 정의된다.

$$\Delta\varepsilon = (dT/dX) (dX/dP) \tag{4}$$

본 연구에서 설계 및 제작되어 사용된 세기변조 방식의 광섬유 격자소자 센서의 음압 감도(S)를 결정짓는 최종 함수의 결과는 식(5)로 유도할 수 있다.<sup>(5),(8)</sup>

$$\begin{aligned} \therefore S &= (K_T \Delta T + K_\varepsilon \Delta \varepsilon) \\ & \left( \lambda_B \left[ -\frac{(1-2\nu)}{E} + \frac{n^2}{2E} (1-2\nu)(2\rho_{12} + \rho_{11}) \right] \Delta P \right) \\ & (A \cdot C_m) \end{aligned} \tag{5}$$

### III. 트랜스듀서 설계 및 제작

식(4)에서 (dX/dP)항은 트랜스듀서의 기계적인 특성으로 나타나는 기계적 변조지수 항으로 트랜스듀서의 기계적 파라미터(mechanical parameter)이다.

세기변조방식의 광섬유격자 음파 센서에 있어서 포집되는 음파의 압력전달 멀티플라이어(pressure of trans-multipliers)가 그 시스템에서 탐지 가능한 최소 압력신호로 나타난다. 통상 세기변조방식의 광섬유격자 음파 센서에 있어서 사용되는 압력전달 멀티플라이어는 피스톤 또는 진동판막등과 같은 음파 연결기(acoustic coupler)이다. 만약, 음파가 적용되는 음파면적을 A라 하면, 식(4)의 기계적 파라미터항은 식(5)와 같다. 식(6)에서 Cm은 mechanical compliance 이다.

$$\Delta\varepsilon = (dT/dX) (A \cdot C_m) \tag{6}$$

따라서 Cm은 트랜스듀서 설계 시, 신율, 기계적 stress, 미끄럼지수 등을 고려한 설계가 잘되어야 됨을 알 수 있다. 세기 변조 방식의 광섬유 격자소자 센서에 외부 압력이 가해졌을 때, 그림(1)과 같은 원리로 동작

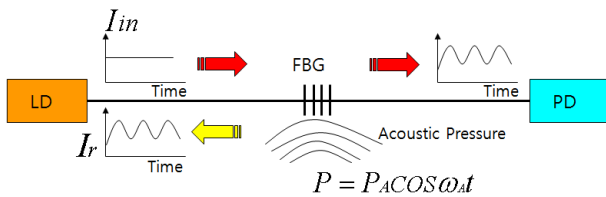


그림 1. 세기변조방식의 음파 검출 원리  
Fig. 1. The principle of detected acoustic wave signal using intensity modulation method.

한다.

미지의 음파 신호를 최종적인, 전기적 신호로 나타내기 위하여, 우선 음파가 광신호로 최적 검출이 되어야 한다. 이를 실현하기 위하여 식(5)에서 나타난 바와 같이, 광학적인 요인보다, 기계적인 요인이 신호의 응답에 커다란 영향을 미친다는 사실이 이론적으로 분석되었다.

따라서, 음파 신호의 최적 검출 방법으로 인가된 주파수 변화에 따른 음압 작용이 Diaphragm을 통하여 진동으로 전달되고, 이 진동하는 운동량이 광섬유 격자소자의 스트레인으로 작용하여 음파의 진폭 변화에 따라, 브래그 격자의 주기변화로 나타내도록 3가지 트랜스듀서를 설계하였다. 이와 같은 원리로 이용되는 모든 광섬유 격자 센서의 파장 이동은 0.05 nm에서 0.3 nm의 대역폭으로 충분히 응용 된다.

#### a) FBG 분리형.

FBG 분리형 트랜스듀서의 동작모형을 보면, 베이스 밴드 신호인 음파가 인가되었을 때, 음파의 진폭변화에 따라 음압이 광 변환기의 diaphragm에 인가되어, 진동 운동으로 전환된다. 이때 FRP로 된 몸체와 연결된 두 개의 수평홈으로 이루어진 가이드(guide)를 따라, 금속 볼 또는 마이크로 톨러로 결합된 diaphragm의 네 축이 직선 수평 운동으로 전환하도록 설계 및 제작 되었다. 그림 2는 세기변조방식 음파 검출센서에 사용된 FBG 분리형 트랜스듀서 모양이다.

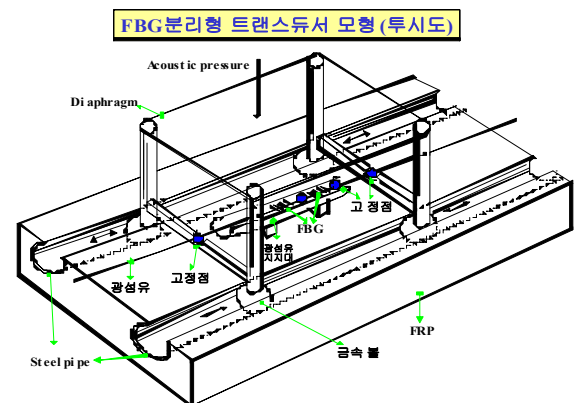


그림 2. FBG 분리형 트랜스듀서  
Fig. 2. The transducer of separated FBG.

b) FBG 일체형.

식(5)에서 제3항의  $(A \cdot C_m)$ 값, 즉, A는 음압이 유기되는 diaphragm의 실질적인 면적이므로 설계된 트랜스듀서에서는 고정적인 값을 지닌다.  $C_m$  값은 다시 식(7)과 같은 센서의 기계적 허용성 (mechanical compliance)으로 표현할 수가 있다.

$$C_m \approx G \frac{\Lambda_d^3}{Ed^4} \frac{1}{t_d} \quad (7)$$

여기서, 상수 G는 광섬유에 부하가 적용될 때, 또는 적용 안될 때, 기인하는 상수 값이고, E는 영율(Young's modulus)이며, d는 광섬유 직경,  $t_d$ 는 diaphragm의 두께이고,  $\Lambda_d$ 는 음압이 Diaphragm에 유기되어 떨림 현상이 일어날 때, 떨림 진폭이다. 식(7)에서 G값은 상수 값이고, E값과 d는 그 효과가 미미하고,  $t_d$ 는 통상 수 $\mu$ m 크기이므로 커다란 영향을 주지 않는다. 결국  $C_m$  값에 절대적인 영향을 미칠 수 있는 요인은  $\Lambda_d$ 값, 즉, 유기된 음압에 의한 diaphragm의 떨림 진폭에 의하여 트랜스듀서의 특성이 결정됨을 알 수 있다. 따라서 FBG 일체형 트랜스듀서에서는 유기된 음압에 의하여 diaphragm의 떨림이 기본 진동임을 고려하고, 두 장의 diaphragm 사이에 열 접합용 용매제를 첨가하였다. FBG를 그 사이에 정렬 위치시킨 후, 공기가 주입되지 않도록 heating하여, FBG와 diaphragm이 한 몸체를 이룬다. 몸체가 된 센싱부가 마치 북처럼, 주변이 균일한 일정 장력으로 고정되도록 설계 및 제작 하였다. 그림3은 세기변조방식 음파 검출센서에 사용된 FBG 일체형 트랜스듀서 모양이다.

고 주파수 감지 형 FBG 트랜스듀서 구조도

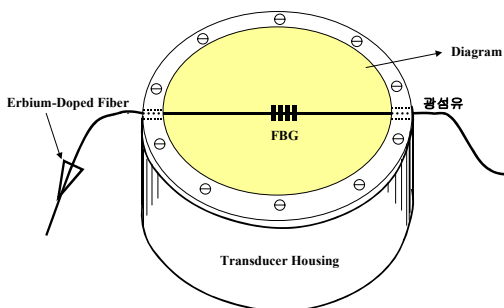


그림 3. FBG 일체형 트랜스듀서  
Fig. 3. The transducer of unitted FBG.

c) 공기주입 FBG 일체형.

트랜스듀서의 주파수 응답특성을 향상시키고, 더 나아가서 초 고주파형(수십MHz대 이상) 트랜스듀서의 핵심 설계기술을 확보하기 위하여, 제작된 FBG 일체형의 트랜스듀서를 음파포집방식으로 개선하여 변형 제작하였다. 트랜스듀서 진동막의 직경과 두께를 조절하고, 진동막 상단에 음파를 포집할 수 있는 트랜스듀서의 귀(the ear of transducer)를 부착하고, 몸체 안에는 공기가 채워진다. 일체형 FBG와 진동막의 안쪽은 폐쇄된 공기층(즉, 일정한 압력유지)과 경계면을 이루고, 밖은 대기층과 경계면을 이루도록 제작하였다. 또한, 진동막과 몸체 고정 시 텐션(tension)의 강도를 조절 하였다. 이렇게 하여 제작된 트랜스듀서는 그 크기가 직경 7 cm, 높이 15 cm의 원통형 모양으로 그림 4와 같다.

공기주입 FBG일체형 트랜스듀서 구조도

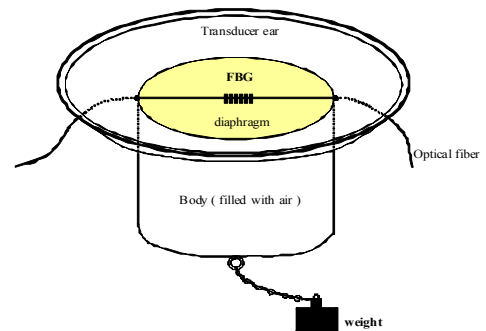


그림 4. 공기 주입된 FBG 일체형 트랜스듀서  
Fig. 4. The transducer of unitted FBG in air filled

IV. 신호검출 및 실험시스템구축

Hopper type WDM을 이용하여, 제작된 3종류의 트랜스듀서를 이용한 세기변조 방식의 광섬유 격자소자 음파 검출 센서시스템의 가용 주파수 신호검출을 위한 실험장치 구성은 그림 5와 같다<sup>[9]</sup>.

그림 5의 설치된 실험 시스템 구축은 세기변조방식의 FBG 음파 검출을 위한 구성 시스템이다. 광원은 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier)BBS(Broad Band Source)를 사용하고, 검출기는 포토다이오드를 사용하였다.

음파에 의하여 변조된 특정 광 신호를 받기 위하여 narrow band filter를 검출기 앞단에 위치시켰고, 그림6

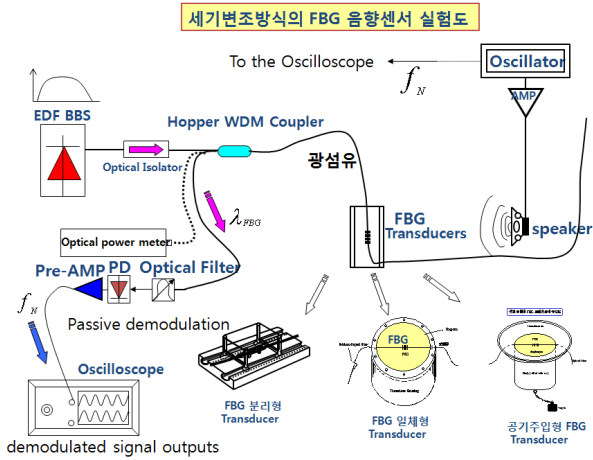


그림 5. 세기변조 방식의 FBG 음향센서 실험 장치도  
 Fig. 5. The system block diagram of detected acoustic wave signal using FBG of intensity modulation method.

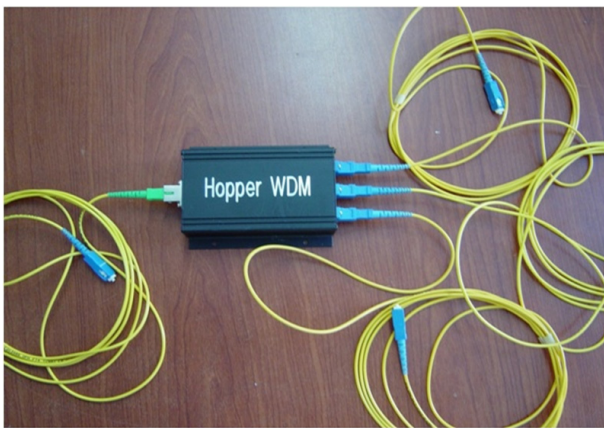


그림 6. 광 코드 연결 상태인 제작된 Hopper type WDM  
 Fig. 6. Hopper type WDM with optical fiber cord be in the making.

과 같이 본 연구에 개발된 Hopper type WDM 과 일반적인 광섬유 1X3 coupler를 사용하여 신호를 교대로 받아 분석하였다. 검출기는 PIN 포토 다이오드를 사용하였다. 신호 전송용 광섬유는 단일모드 광섬유 이고, 음파의 세기와 검출 신호의 감도성을 측정하기 위하여 검출된 신호단에 광세기를 측정할 수 있는 광 파워 메타를 부착하였다. 음파에 의하여 변조된 특정 파장의 광 신호를 받고, broad band 광원으로부터 입사된 다원화된 파장으로부터, 광섬유 격자의 고정된 파장만을 통과시키기 위한 창으로 페브리- 페롯(Fabry -Perot)passive band pass filter를 검출기 앞단에 위치시켰다. 이는 광섬유 격자의 스트레인에 의한 파장이동(0.05 nm ~ 0.3 nm)을 감지하기 위한 모니터링 효과이다. 음원

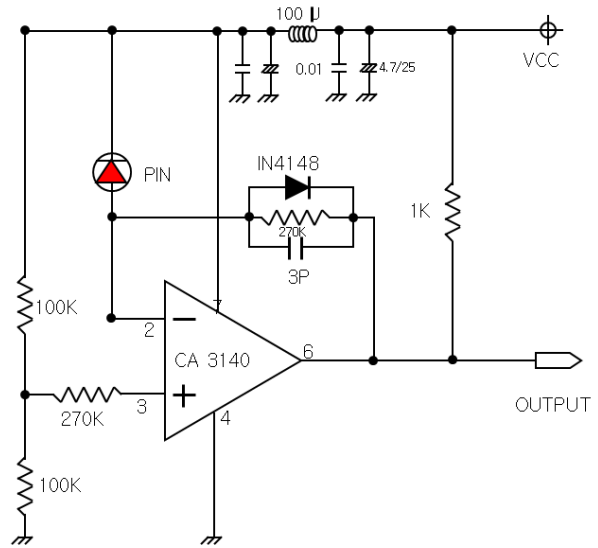


그림 7. 제작된 pre-amp와 수광소자의 회로도  
 Fig. 7. The circuit of pre-amp and PIN diode in the making.

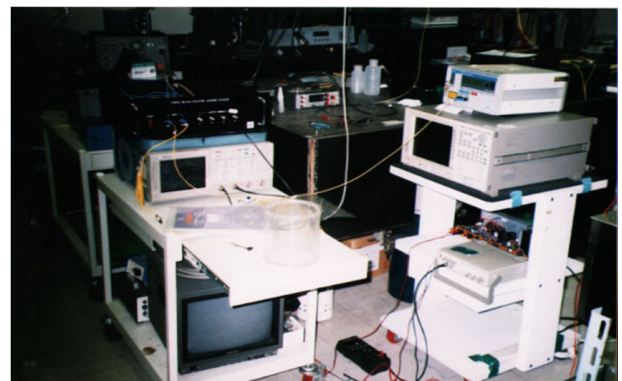


그림 8. 구성된 음파 신호검출 시스템  
 Fig. 8. The system of detected acoustic wave signal in the making.

은 일반적으로 사용되는 스피커(사용주파수범위: 1 Hz ~ 20 kHz)를 사용하였으며, oscillator를 통하여 싸인파 주파수를 30 Hz ~ 20 kHz범위에서 가변시켜 인가하였다. 광섬유 격자소자에서 최종 검출된 음파 신호는 그림6과 같이 본 연구에 개발된 Hopper type WDM 과 일반적인 광섬유 1X3 coupler를 사용하여 신호를 교대로 받아 비교 분석하였다. 각 각 분지된 광 신호는 수광소자와 pre-amp를 통하여, oscilloscope로 신호를 받아 최종 처리하였다. 제작된 pre-amp와 수광소자의 회로도는 그림 7과 같고, 그림 8은 구성된 측정 장치이다.



## V. 결과고찰

설계 및 제작된 세 개의 FBG 트랜스듀서( FBG 분리형, FBG 일체형, 공기주입 FBG 일체형)의 특성을 고찰하기 위하여, 먼저 공기 중에서 각각의 트랜스듀서가 가청 주파수 범위에 따른 음파응답특성 실험을 행하고, 또한 최적의 지향성 특성 조건을 얻기 위하여 거리와 방향에 대한 신호 검출특성 실험을 실행하였다. 음원을 통하여 인가된 주파수는 오실레이터에서 30 Hz부터 20 kHz까지 단계적으로 가변시켰다.

### a) FBG 분리형 트랜스듀서.

실험결과 FBG 분리형 트랜스듀서의 경우, 공기 중에서 검출 가능한 음파의 주파수 대역은 10 Hz~ 430 Hz 범위의 저 주파수대역의 신호 검출이 가능한 트랜스듀서로서, 비교적 저주파수 대역의 조건에서 전기적 잡음이 심한 환경에서 음파 검출 센서나, 마이크로폰으로 활용할 수 있으며, 제작된 트랜스듀서의 최대 공진 조건은 인가된 입력 주파수가 49 Hz일 때로 나타났다.

음원의 주파수가 49 Hz일 때, 제작된 트랜스듀서의 기계적인 공진 조건과 diaphragm의 유연성과 거의 실시간 복원력을 관찰할 수가 있었다. 이때, 광 파워 메타에 검출된 신호의 광 파워 세기도 11.8mW로 나타났다. 진동막의 복원력이 실 시간대와 거의 유사한 관계로 신호의 위상지연 현상도 크게 나타나지 않음을 확인할 수

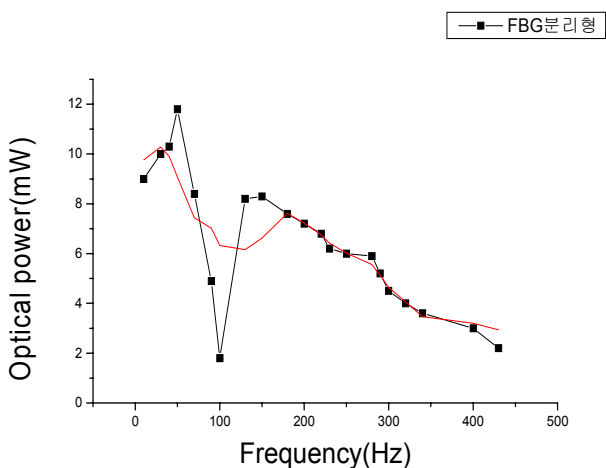


그림 9. 최근 개발된 Hopper type WDM을 사용한 FBG 분리형 트랜스듀서의 음파 검출 신호 특성표  
Fig. 9. The acoustic wave signal characteristic of seperated FBG. transducer using Hopper type WDM be in the making recently.

있었다. 최대 검출 가능한 주파수 대역은 약 430 Hz 이다. 그림 9는 FBG 분리형 트랜스듀서의 주파수특성에 따른 검출신호의세기 특성을 나타낸 표이다.

### b) FBG 일체형 트랜스듀서.

FBG 일체형 트랜스듀서의 경우, 10 Hz~ 2.5 kHz범위의 주파수 검출이 가능한 트랜스듀서로서, 최적 공진 조건은 주파수가 약 850 Hz~1.28 kHz대까지에서 최적 조건이 발생하였고, 이때, 광 파워 메타에 검출된 신호의 광 파워 세기도 11.6mW~9.6mW로 나타났다. 최대 검출 가능한 주파수는 2.5 kHz이고, FBG 일체형의 경우, 현재 범용 응용 가능한 주파수대역의 센서로서 사용 가능하며, 이 트랜스듀서의 기계적인 파라메타의 개선과 FBG의 주기조절 및 광학적인 Dimension변화를 개선하면, 더 높은 주파수 대역에서도 응용 가능할 수 있다. 그림 10은 FBG 일체형 트랜스듀서의 주파수특성에 따른 검출신호의 세기 특성표 이다.

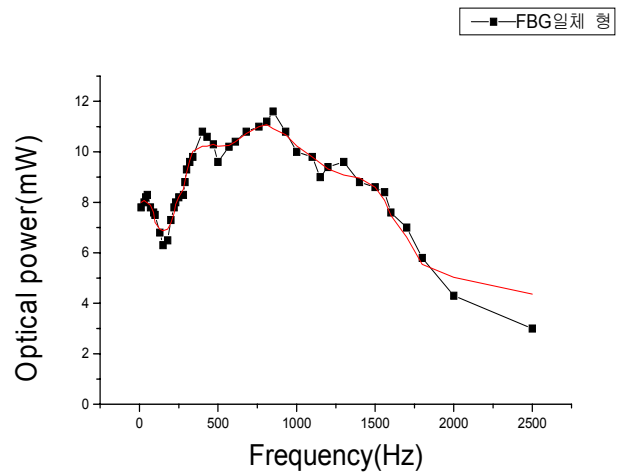


그림 10. 최근 개발된 Hopper type WDM을 사용한 FBG 일체형 트랜스듀서의 음파 검출 신호 특성표  
Fig. 10. The acoustic wave signal characteristic of unitted FBG. transducer using Hopper type WDM be in the making recently.

### c) 공기주입 FBG 일체형 트랜스듀서.

FBG 일체형 트랜스듀서에서 기계적인 파라메타의 개선, 특히 진동막의 변경과 고정 시, 장력 조정이 공기 주입형 FBG 일체형의 경우 최대 검출 가능한 주파수 대역을 최대 가청음의 주파수 범위까지 확대할 수 있었다. 최적 검출 주파수 대역은 12~15 kHz 이고, 이때,

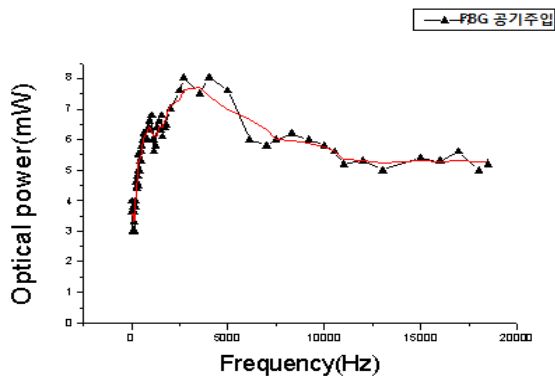


그림 11. 최근 개발된 Hopper type WDM을 사용한 FBG 공기 주입된 일체형 트랜스듀서의 음파 검출 신호 특성표

Fig. 11. The acoustic wave signal characteristic of unitted FBG in air filled transducer using Hopper type WDM be in the making recently.

광 파워 메타에 검출된 신호의 광 파워 세기도 8.2mW~9.2mW로 나타났다. 최대 검출 가능한 주파수 대역은 약 18 kHz 이다. 그림 11은 FBG 일체형 트랜스듀서의 주파수특성에 따른 검출신호의 세기 특성표 이다.

## VI. 결 론

국내에서 개발된 단일모드 균일한 단주기형 FBG 제조 공정기술을 이용하여, 공기 중에서 음파를 검출할 수 있는 Hopper type WDM 커플러를 이용한 FBG 음향 트랜스듀서 3종류를 국내 처음으로 설계 및 제작하였다.

제작된 3종류 트랜스듀서를 통하여, 기존의 광섬유 음향센서 실용화 과정에서 나타난, 핵심 문제점들, 즉 센서의 암(arm) 구성의 간편화, 다중점 음파 신호 검출 구현, 시스템 어레이의 편리성, 음파 응답 주파수특성 범위의 개선을 실현하였다. 제작된 3종류의 Hopper type WDM 커플러를 이용한 FBG 음향 트랜스듀서의 주파수 응답 신호특성 실험 결과 FBG 분리형 트랜스듀서의 경우, 공기중에서 검출 가능한 음파의 주파수 대역은 10 Hz~ 430 Hz범위의 저 주파수대역의 신호 검출이 가능한 트랜스듀서로서, 비교적 저주파수 대역 조건 전거적 잡음이 심한 환경에서 음파 검출 센서나, 마이크로폰으로 활용할 수 있다. 제작된 트랜스듀서의 최대 공진 조건은 인가된 입력 주파수가 49 Hz일 때로

나타났다.

FBG 일체형 트랜스듀서의 경우, 공기 중에서 10 Hz~ 2.5 kHz범위의 주파수 검출이 가능한 트랜스듀서로서, 최적 공진 조건은 주파수가 약 850 Hz~1.28 kHz대 까지에서 최적 조건이 발생하였다. 공기 주입형 FBG 일체형의 경우, 공기 중에서 검출 가능한 음파의 주파수 대역은 10 Hz~18 kHz이고, 최적 검출 주파수 대역은 12~15 kHz 이다.

또한, 국내처음으로 제작된 Hopper WDM coupler를 이용하여 시스템 구축 시, 기존의 1X3coupler 보다 신호대 잡음비 효율을 약 7%~8%향상시키는 효과를 나타냈다.

아울러, 음원의 방향과 각도에 따라 검출 신호의 세기가 변화되므로 음원의 물체에 대한 방향성 검출이 가능함으로서, 향후 FBG 마이크로폰의 실용화 연구에 새로운 기반 기술과 측정 기술을 확보하였다.

따라서 단일모드 균일한 단주기형(uniform shot period)광섬유 브래그 격자(FBG)소자를 이용한 음파 검출 센서는 사용 주파수 10 Hz~18 kHz에서 산업용 음파 검출 센서로 그 실용화를 기대할 수가 있다. 아울러 FBG 음향 트랜스듀서 제작과 실험을 통하여, FBG 트랜스듀서의 설계 이론을 정립하였고, 각 실험을 통하여 이들 특성을 각각 측정된 결과. 이는 정립된 설계 이론과 일치하며, 트랜스듀서의 설계 이론을 바탕으로 기계적인 파라메타와 FBG의 광학적 dimension(코어의 dimension, 마스크에 의한 격자주기의 조절, 진동막의 재질, 광 탄성성 등)의 개선을 이루면, 수백 kHz대역의 주파수 응답특성 개선도 가능한 기반 기술을 마련하였다.

## REFERENCES

- [1] J. A. Bucaro, J. H. Cole, J. Jarzynski, W.K. Burns, and T. G. Giallorenzi. "Optical Fiber Sensor Development" Physics of fiber optics, Vol2, Advances in Ceramics, Amer Ceramic SOC ,p493-514, 1981.
- [2] S. B. Poole, D. N. Payne, and M. E. Fermann, Electron .Lett, 21, P737, 1985.
- [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, S. B.L ee, S. W. Kwon,

- S. S. Choi, and 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] Takahashi “Underwater Acoustic Sensor using Optical Fiber Bragg Grating as Detecting element” Jpn.J.Appl.Phys.Vol 38, Dec 2009.
- [6] K.B.Kim San hack researches commissioned of government, “A study of Hopper type WDM be in the making” Report, May 2013.
- [7] Kersey, A. D., et al. “Fiber Grating Sensors” IEEE Journal of Lightwave Technology. Vol 15, P1442-1463. 1997.
- [8] Takahashi, Tetsumura, “Fiber Bragg Grating underwater acoustic sensor” OFS-13, SPIE Vol. 3746, April 2007.
- [9] K.B.Kim, Journal of the Electronics Engineers of Korea, Vol 50, No 12, December 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>