

광섬유를 이용한 음파 탐지기의 제작

83521

유희준, 이경목, 황준암
한국과학기술원 전기및 전자공학과

Fiber-Optic Sensor for Acoustic Waves

ABSTRACT

Through intensity modulation induced by micro-bending of an optical fiber, a sensor detects the pressure and frequency of acoustic wave has been implemented.

Axial slots on the cylinder surface with a period of 5.5 mm induce efficient microbending of the fiber, and a rubber sleeve covering the fiber enhances the pressure on the fiber.

Compared with a conventional hydrophone, it has a low minimum detectable pressure and can detect acoustic wave in 100 Hz - 2 KHz range.

I. 서 론

광섬유는 굴절율이 큰 코어 (core) 과 이보다 굴절율이 작은 클래딩 (cladding) 으로 구성되어 있으며 대부분의 빛은 코어를 통해 전달된다. 외부의 영향에 의해 광섬유 축이 수 mm 이하의 주기를 가지고 구불 구불하게 된 것을 마이크로벤딩 (micro-bending) 이라 하며 이때 광섬유 내를 도파하는 모드와 부사모드 간에 결합이 발생하여 상당량의 빛이 코어로 부터 클래딩으로 빠져 나간다 [1].

특히 이러한 현상은 단일모드 광섬유 보다는 다중모드 광섬유에서 쉽게 발생하므로 [2] 본 실험에서는 다중모드 광섬유를 사용하였다. 트랜스듀서

(transducer) 출력에서 클래딩 모드를 제거하여 광다이오드로 검출하면 출력전압이 마이크로벤딩에 의한 모드결합 정도에 비례하고, 모드결합은 외부압력에 비례하므로 결국 외부의 음파와 출력전압사이의 일정한 관계가 성립한다.

이러한 원리를 이용하여 기정주파수 내역의 수증음파를 측정하는 트랜스듀서를 제작하였으며 II 절에서는 제작에 필요한 최적 조건을 이론적으로 구해보고 이를 실제로 구현하는 방법을, III 절에서는 실험결과를 설명하여 IV 절에 결론 및 이러한 센서의 전망을 논하고자 한다.

II. 본 론

1. 이 론

레이저로 부터 광섬유로 들어가는 광출력을 q 라 하고 L_0 를 전달계수라 두면 광검출기에서의 광출력은 qL_0 이다. 외부에서 압력 Δp 가 인가 되면 전달계수는 Δq 만큼 변화하므로 광검출기 전류는 [3]

$$i_s = n \frac{eL_0}{h\nu} \left(\frac{\Delta q}{\Delta p} \right) \Delta p \quad (1)$$

으로 표시되며 h 는 플랑크 상수, ν 는 전파모드의 주파수이며 n 는 광검출기의 양자효율이다. 여기서

$$\frac{\Delta q}{\Delta p} = \left(\frac{\Delta q}{\Delta x} \right) \left(\frac{\Delta x}{\Delta p} \right) \quad (2)$$

로 나타낼 수 있으며 Δx 는 마이크로벤딩에 의한

광섬유 외벽의 진폭변위를 나타낸다. 이 식에서 $\Delta q/\Delta x$ 는 광섬유 자체의 마이크로벤딩 손실 특성과 관계하며 $\Delta x/\Delta p$ 는 트랜스듀서의 설계변 특성과 관계한다.

광섬유의 축을 따른 마이크로벤딩의 주기를 Λ 라 하고 광섬유 축방향의 전파상수를 K 및 K' 이라 두면 [4]

$$K-K' = \pm \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (3)$$

이 성립하는 K 와 K' 모드간에 결합이 발생한다고 알려져 있다. 또한 언덕형 (graded) 다중 모드 광섬유 내의 전파상수 K 값은 마스웰 방정식을 WKB 방법으로 풀면 [5]

$$K^2 = n_1^2 k_0^2 \left[1 - \frac{2\sqrt{2\Delta}}{n_1 k_0 a} (2M+N+1) \right] \quad (4)$$

가 되며 여기서 Δ 는 상대 굴절율차, n_1 은 코어의 굴절율이며 a 는 코어반경이고 M 과 N 은 각각 법선방향과 방위각 방향의 모드 번호이다. 모드 번호차가 1인 두모드의 전파상수의 차는

$$K-K' = \frac{\sqrt{2\Delta}}{a} \quad (5)$$

가 되어 (3) 과 비교하면

$$\Lambda = \sqrt{\frac{2}{\Delta}} \pi a \quad (6)$$

을 얻는다.

여기에 $a = 50 \mu\text{m}$, $\Delta = 0.0077$ 을 대입하면 $\Lambda = 2.53 \text{ mm}$ 가 된다. 하지만 탄성을 고려하여 보면 변형 Δx 는 [6]

$$\frac{\Delta x}{\Delta p} = \frac{L^3}{48EI} \quad (7)$$

의 관계가 있으며 대체로 Λ^3 에 비례한다. (3) 식에서는 Λ 가 작을수록 멀리 떨어진 모드간에 결합이 발생한다는 것을 말해주고 있으나 (7) 식에서는 Λ 가 클수록 변형이 크다는 것을 뜻하는데 $\Delta q/\Delta p$ 는 이 두효과의 곱으로 나타낸다. [7]

$$\left| \frac{\Delta q}{\Delta x} \right| \approx \exp(-0.57\Lambda) \quad (8)$$

의 식을 실험적으로 얻을 수 있으며 (그림 1)

$$\frac{\Delta q}{\Delta p} = \left| \frac{\Delta q}{\Delta x} \right| \left| \frac{\Delta x}{\Delta p} \right| \approx \Lambda^3 \exp(-0.57\Lambda). \quad (9)$$

Λ 에 대한 미분을 영으로 하는 Λ 는 5.26 mm 가 된다. 본 실험에서는 이러한 점들을 고려하여 $\Lambda = 5.5 \text{ mm}$ 로 정하고 부수적으로 2.75 mm 주기를 주도록 설계하였다.

2. 트랜스듀서 (Transducer) 제작

트랜스듀서의 재료로는 가볍고 인장강도가 높은 두랄루민을 사용하였다. 직경 3.6 cm , 길이 6.4 cm 인 두랄루민 실린더에 축방향으로 2.6 cm 직경의 구멍을 뚫은 다음 실린더의 바깥 표면에 1 mm 나사를 뚫다 (그림 2). 따라서 6.4 cm 실린더에 대략 63 개의 나사홀이 뚫린다.

축과 평행하게 실린더 외부표면에 3.8 mm 폭을 갖는 길이방향의 홈을 1.7 mm 간격으로 파서 5.5 mm 의 주기를 갖도록 하였다. 나사 홀의 깊이가 길이방향 홈의 깊이보다 얇아서 그림 2에서 보는 바와 같이 광섬유가 길이방향의 홈에서 걸치도록 홈의 깊이를 조절하였다. 이렇게 준비된 실린더 위에 이중모드 광섬유를 감은 후 3.8 mm 폭의 광섬유 외벽 길이방향의 단단한 심을 걸쳐준 뒤 매우 얇은 고무로 전체를 싸조여 감싸준다 (그림 3).

III. 실험 및 결과

5 mW He-Ne 레이저를 광원으로 사용하였으며 KAIST 응용광학실에서 1981년에 제작한 언덕형 다중모드 광섬유를 사용하였다. 이 광섬유의 외경은 $120 \mu\text{m}$, 코어직경 $100 \mu\text{m}$, 클래딩 굴절율 1.45 , 코어 굴절율 1.46 이며 $\Delta = 0.0077$ 이다.

광검출기로는 LASER-METRICS 사의 모델 3117을 사용하였으며 전체 장비의 모양은 그림 4와 같다. 모드 제거기로는 부드러운 검은 천에 재질을 벗긴 광섬유를 놓고 글리세린을 도포하였다. 음원으로서는 15 W 출력의 스피커를 음파발전기로 구동시켰으며 음파를 밑에 많이 입사시키기 위해 알루미늄은 방지로 스피커를 간싸서 수면에 접촉시켰다. 광검출기의 직류 성분 출력이 150 mV 일때의 교류성

본 출력은 0.5 mV - 1.5 mV 이었으며 직류성분에 대한 교류성분 출력율을 보테 다이어그램으로 그려면 그림 5와 같다. 제작한 트랜스듀서가 입력은 정주파수를 따라가는 구간은 100-1430 Hz 이었다. 재래의 하이드로폰(hydrophone)과 비교하기 위해 B & K 사 제품 하이드로폰과 동일한 조건에서 실험한 결과 이 제품의 최소측정압력 100 dB re 1μPa 보다 더 낮은 압력에서도 출력 파형이 관찰되었다.

IV. 결 론

광섬유 마이크로벤딩을 이용한 수중음파 탐지기의 최적화를 위한 이론을 논했고 이에 따라 탐지기를 실제로 제작하였다. 비록 탐지기에 비해 탐지부분의 광섬유 길이가 길며 고무막을 사출하여 압력을 효율적으로 전하도록 한 것이 특징이나, 실험결과에서 600Hz 부근의 공변현상을 볼 수 있는데 이 원인은 구조의 구조에 따른 공명, 트랜스듀서의 구조에 따른 공명등으로 나누어 생각할 수 있으며 자세한 결과는 더 연구해 보아야 할 것이다. 이 탐지기의 응용은 가볍고 소형이므로 여러 개를 한 군으로 묶어서 TDM 통신방법으로 컴퓨터 처리를 하게 되면 원하는 정보를 정확하게 얻을 수 있겠다.

앞으로의 광섬유 탐지기의 시장은 넓으며 1997년까지는 1억8천만불 시장이 형성된다고 하므로 [8] 국내에서도 이 분야에 대한 구체적인 연구가 진행되어야 하겠다.

참 고 문 헌

[1] 강민호, 신상영, "광섬유 통신 개론", OHM사, 서울, p. 23, 1981.

[2] Alan G. Chynoweth, "The fiber light guide," Physics Today p. 28, May 1976.

[3] Amnon Yariv, Introduction to Optical Electronics, p. 255, 1971.

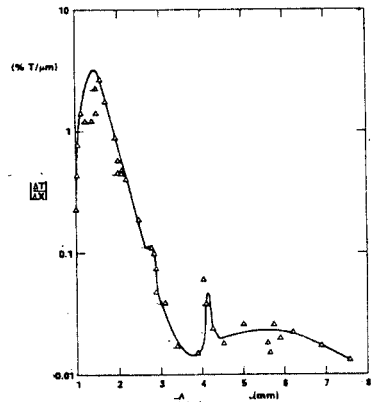
[4] N. Lagakos, et al "Multimode optical fiber displacement sensor," Applied Optics, vol. 20, no. 2, p. 167, Jan. 1981.

[5] D. Marcuse, Light Transmission Optics, p. 467, 1982.

[6] S.P. Timoshenko, Mechanics of Materials, p. 518, 1971.

[7] N. Lagakos, et al., "Microbend Fiber-optic sensor as extended hydrophone". IEEE J. of Q.E. vol. QE-18, no.10, p.1636, Oct. 1982.

[8] D.H. McMahon, et al., "Fiber-optic transducers," IEEE Spectrum, vol. 18, no. 12, pp. 24-29, Dec. 1981.



(그림 4)

