

굽힘에 민감한 광섬유를 이용한 가변 광 감쇄기

준회원 이 동 호*, 정회원 권 광 희**, 송 재 원***, 박 재 희****

Variable Optical Fiber Attenuator Using Bending-Sensitive Fiber

Dong-ho Lee* Associate Member

Kwang-Hee Kwon**, Jae-Won Song***, Jae-hee Park**** Regular Members

요 약

광 통신망에 적용 가능한 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기를 굽힘에 민감한 특수 광섬유를 이용하여 제작하였다. 제작에 사용된 특수 광섬유는 내부코어 영역, 외부 코어 영역, 내부 코어 중심의 굴절률 하강영역 그리고 클래드 영역으로 나누어진 굴절률 분포를 가지도록 설계되었다. 이러한 구조의 특수 광섬유는 코어를 통해 진행하는 빛이 굽힘이나 압력 같은 외부의 기계적 작용에 민감하게 반응하여 코어 밖으로 빠져나가는 특성을 보인다. 이러한 특성을 이용하여 제작된 가변 광 감쇄기는 탄력 있는 고무로 만들어진 사각 링과 사각 링 안에 일정한 곡률 반경의 역수 값을 가지도록 고정된 특수 광섬유로 구성되며 제작된 가변 광 감쇄기의 특성은 1540~1560nm 의 광 파장 대역에서 약 -38dB 이상의 감쇄 특성을 보였고 1550nm의 파장에 대하여 곡률반경의 역수 범위 (0.33cm⁻¹~0.76cm⁻¹)에서 -88.4[dB·cm⁻¹] 의 감쇄 특성을 보였다. 본 논문의 실험에 따르면 광 에너지는 사각 링의 상층부에 가해진 기계적인 압력에 비례하여 감쇄하였고, 삽입손실은 0.68dB 이하였으며, 편광 손실은 0.5dB 이내, 반사손실은 -60dB 이하의 값을 보였다. 또한 본 논문에서 제작된 가변 광 감쇄기는 높은 재연성 및 간단한 구조와 낮은 제작비용 등의 장점을 가진다.

키워드 : FD-BPM, Variable optical attenuator, bending effect, optical fiber

ABSTRACT

A variable optical attenuator with a bending-sensitive fiber (BSF) that can be used in optical networks is developed. The proposed BSF consists of inner core, outer core, center dip and cladding. The proposed BSF is also very sensitive to mechanical perturbation, such as bending and pressure, making the light propagating in the BSF easily controlled and attenuated. The fabricated fiber-type variable optical attenuator using the proposed BSF (VOAFB) consisted of the BSF in a rectangular rubber ring with a fixed bend radius (BR) in a steady state. The variable optical attenuator using the proposed BSF (VOAFB) was able to attenuate the optical power by more than about -38dB with the gradient -88.4[dB·cm⁻¹] at (1540~1560nm) based on adjusting the mechanical pressure applied to the upper surface of the rectangular rubber ring with the bent BSF. According to the experimental results when using the proposed VOAFB, the optical power was easily controlled by adjusting mechanical pressure and produced an insertion loss of 0.68 dB, polarization loss of 0.5dB, and return loss of less than -60dB.

I. 서 론

광 도파로의 곡률 반경의 역수값이 임계치를 넘어 가면 도파되는 광 에너지가 도파로를 벗어나 산란

되는 굽힘 효과는 잘 알려진 이론이고 많은 사람들에 의해 해석되었다^[1-3]. 이러한 이론을 이용하여 편광기^[4]나 가변 광 감쇄기^[5] 같은 소자들이 개발되어져 왔다. 특히 가변 광 감쇄기는 광 채널 간의 간섭

* 경북대학교 공과대학 전자공학과 박사과정 (dhlee922@palgong.knu.ac.kr), ** 경북대학교 공과대학 전자공학과 박사
*** 경북대학교 공과대학 전자공학과 교수, **** 계명대학교 전자공학과 교수
논문번호 : #030447-1008, 접수일자 : 2003년 10월 8일

현상을 줄이거나 파장 분할 시스템에서 광 에너지의 레벨을 평탄화 시키고 광 에너지의 변동을 줄이기 위해 자주 사용 되어 진다⁵⁾. 따라서 MEMS (microelectromechanical systems) ⁶⁻⁷⁾, 고분자 화합물의 열 광학 계수⁸⁻¹⁰⁾, 떨어진 두 섬유간의 광 결합¹¹⁾, 도파로의 굽힘 효과¹²⁾등을 이용하여 여러 가지 형태의 가변 광 감쇄기가 연구되고 있다. 특히 이러한 가변 광 감쇄기 중에서 광섬유 형태의 가변 감쇄기는 쉬운 패키징, 낮은 비용, 낮은 삽입 손실, 그리고 신뢰할 수 있는 감쇄 등의 장점으로 인해 광 통신망에 적합하다고 여겨진다. 하지만 지금까지 개발된 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기는 제작시 광섬유의 지름을 용착을 통해 적절히 변경하는 공정이나 서로 다른 두개의 광섬유를 정렬 시키는 공정 또는 광섬유의 클래딩 영역에 추가적인 고분자 클래딩 영역을 첨가 시키는 것 같이 최적화하기 어려운 공정을 필요로 하고 있다. 따라서 이러한 공정을 피하기 위해 표준형 단일모드 광섬유 (SMF)의 국부적인 부분에 열을 가해 예리한 굽힘을 만든 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기가 보고 되어진다¹²⁾. 하지만 이러한 가변 광 감쇄기도 예리한 굽힘을 만들기 위해 광섬유의 1차 보호막을 제거하는 공정을 필요로 하고 작은 곡률 반경의 변화로 인해 생길 수 있는 광섬유의 손상을 막기 위해 추가적인 보호막의 생성이 필요하다. 하지만 도파 되어가는 광 에너지가 예리한 굽힘이 아니라 일반적인 큰 굽힘으로도 쉽게 도파로를 빠져 나갈 수 있다면 이러한 공정 자체도 필요 없는 간단한 구조의 광 섬유 형태의 가변 광 감쇄기를 제작할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 광섬유 자체에 가해진 곡률반경의 역수에 비례하여 도파되는 광 에너지가 감쇄하는 굽힘에 민감한 광섬유 (BSF : bending-sensitive fiber)를 개발하여 종래의 보호막을 제거하는 공정이 필요치 않는 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기를 제작하였다. 제작된 가변 광 감쇄기는 탄력성이 좋은 고무로 만든 사각 링과 링 안에 일정한 곡률 반경의 역수값을 가지도록 고정된 BSF로 이루어져 있다. 이때 사각 링의 외부에 압력이 가해지면 링 안에 고정된 BSF의 곡률 반경의 역수 값이 달라지고 따라서 BSF에 도파되는 광 에너지의 세기가 달라진다. 그러므로 제안한 가변 광 감쇄기는 사각 링의 상층부에 가해지는 압력을 조절함으로써 광 에너지의 세기를 조절할 수 있다.

II. 이 론

굽힘에 민감한 광섬유 만들기 위한 가장 일반적인 방법은 코어와 클래드의 굴절률 차이를 SMF의 굴절률보다 낮게 하는 방법이 있다. 하지만 굴절률 차이를 계속 낮게 했을 경우 기존의 SMF와의 접합시 굴절률 차이에 인한 반사의 영향이 증가한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 코어 굴절률이 낮은 광섬유보다 반사의 영향을 적게 하면서 굽힘에 대한 민감도는 증가시킨 특수 광섬유에 대한 연구를 진행 하였다. 그 결과 굽힘에 대한 민감도를 증가 시키기 위해 코어 바깥쪽에 코어의 굴절률 보다는 낮고 클래드 보다는 높은 굴절률 값을 가지는 외부코어 영역을 두어 굽힘에 민감한 BSF를 제안하였다. 제안된 BSF의 굴절률 분포 등가 모델은 그림 1과 같이 내부 코어 영역, 내부 코어의 굴절률 하강영역, 외부 코어 영역 그리고 클래드 영역으로 나누어진다. 가정하였으며 BSF의 특성을 해석하기 위해 굴절률 분포를 광섬유 제작 공정상 생길수 있는 여러 가지 요인을 고려하여 각각 변수로 설정하였다.

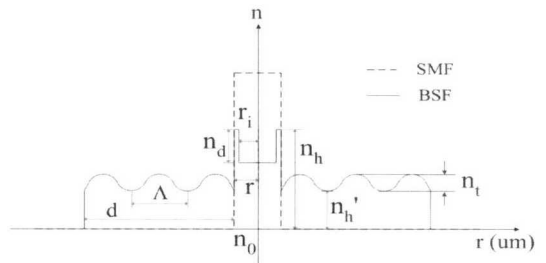


그림 1. BSF의 굴절률 분포 구조

그림 1에 나타난 변수는 각각 내부 코어와 클래드 사이의 굴절률 차: $n_h = 0.0035$, 외부 코어와 클래드 사이의 굴절률 차: $n_h' = 0.0015$, 클래드의 굴절률: $n_0 = 1.4560$, 외부 코어 반지름과 내부 코어 반지름의 차: $d = 15\mu m$, 외부 코어 골의 폭: $\Lambda = 3.75\mu m$, 내부 코어의 반지름: $r = 5\mu m$, 굴절률 하강영역의 반지름: $r_i = 1\mu m$ 그리고 외부 코어의 골의 두께: $n_t = 0.0005$ 로 정하였다. 이러한 굴절률 구조를 가지는 BSF는 주어진 경계조건과 파동 방정식을 이용하여 해를 구하기가 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 BSF의 특성을 분석하기 위해 여러 가지 수치해석 방법중에서 광 소자의 해석에 많이 쓰이고 있는 3차원 유한 차분 빔 전파기법(3D FD-BPM)을 이용하였다 [13-14]. BSF의 모드와 굽힘에 대한 광에너지 감쇄 특성을 3차원 유한 차분 빔 전파기법(3D FD-BPM)을 사용하여 그림 2와 같이 해석영역을 유한 영역

으로 차분 하였고 해석영역 범위는 $x=125\mu\text{m}$, $y=350\mu\text{m}$, $z=3000\mu\text{m}$ 로 두었으며 각 축의 차분 격자의 최대 크기는 $\Delta x = 0.5\mu\text{m}$, $\Delta y = 0.5\mu\text{m}$ 그리고 $\Delta z = 0.5\mu\text{m}$ 로 하였다. 또한 해석시 계산영역의 제한으로 인한 계산영역 경계면에서의 반사를 줄이기 위해 완전흡수체(PML:perfect mached layer)를 두었다. BSF 자체에 가한 굽힘에 의한 광에너지 감쇄 특성을 밝혀내기 위해 광섬유의 굽혀진 모양을 가우시안 함수 형태라 가정하였고 $f(z) = a_0 e^{-\left(\frac{z-z_0}{w}\right)^2}$ 의 관계식을 이용하여 등가화 하였다. 여기서 z_0 는 최대 굽힘 지점이며, a_0 는 BSF에 가해지는 최대 굽힘의 높이, w 는 가우시안 함수의 폭을 나타내는데 3차원 유한 차분 빔 전파기법(3D FD-BPM) 해석시 요구되는 수직 입사조건을 만족하기 위해 $w=450\mu\text{m}$ 로 두었다.

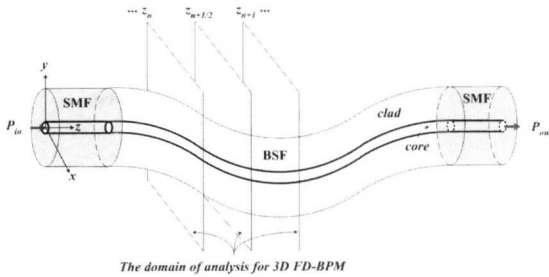
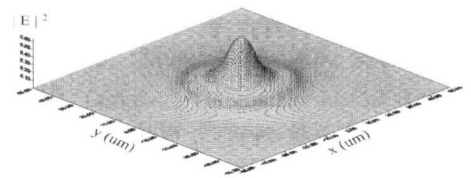
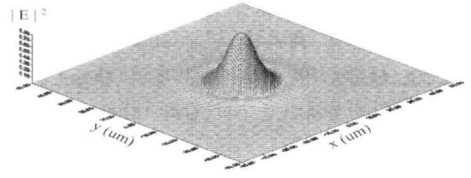


그림 2. 굽힘에 의한 광섬유의 전산 모의 구조

최대 진행 거리 $z=3000\mu\text{m}$ 를 진행시킨 이후 최대 굽힘의 크기를 각각 $a_0=0$ 와 $a_0=8\mu\text{m}$ 로 두었을 경우 굽힘의 최대지점과 출력단에서의 BSF의 필드 분포를 구했고 그림 3에서와 같이 나타내었다. 굽힘이 가해지면 내부 코어의 광 에너지가 쉽게 외부 코어와 결합한뒤 클래드로 빠져나감을 알 수 있다. 또한 그림 4에서 굽힘을 가한 BSF의 출력 단면에서 유한차분 빔 전파기법(3D FD-BPM)을 이용한 필드 분포와 실제 제작한 BSF의 실험 측정치를 서로 비교하였다. 유한 차분 빔 전파 기법 사용시 변수는 각각 $r=5\mu\text{m}$, $(nh=0.0035, nh'=0.41nh, nd=0.41nh, n0=1.4560, ri=0.7r, d=3r, \Lambda=0.25d)$ 로 선택 하였다.

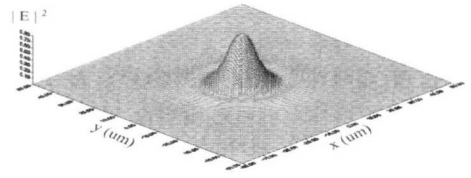


(a) 굽힘의 최대 지점

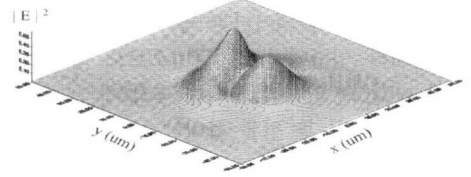


(b) 출력단

3-1. 굽힘을 주지 않았을 때($a_0=0\mu\text{m}$)



(a) 굽힘의 최대 지점



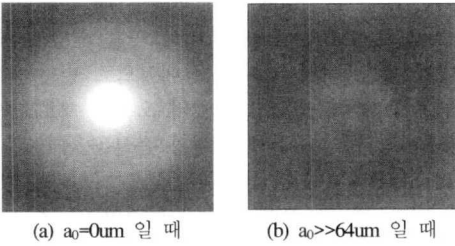
(b) 출력단

3-2. 굽힘을 주었을 때($a_0=8\mu\text{m}$)

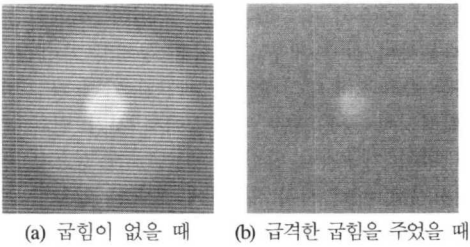
그림 3. 모드 프로 파일

유한 차분 빔 전파기법을 사용하여 구한 모드 분포는 굽힘을 주지 않았을 때 굴절률 하강 영역과 외부 코어 영역이 환의 형태로 내부 코어영역과 구분되는 것을 보여 주는데 이는 실제 실험 측정치와 동일한 특성을 나타내 주고 있다. 또한 굽힘을 주었을 때 유한 차분 빔 전파기법을 사용하여 구한 모드 분포를 살펴보면 내부코어에 있던 대부분의 광 에너지가 도파되지 않고 클래드 층으로 빠져 나가는데 이 역시 실제 제작한 BSF에 급격한 굽힘을

주어 측정된 실험치와 마찬가지로 동일한 경향을 나타낸다.



4-1. 3D FD-BPM 결과



4-2 실제 제작된 BSF의 출력단면

그림 4. BSF의 출력단에서의 필드 분포

그림 5에서는 3D FD-BPM을 사용하여 SMF와 0.63배의 SMF 코어 굴절률을 가지는 광섬유 및 본 논문에서 제안한 굴절률 구조를 가지는 BSF의 굽힘에 대한 광 에너지 감쇄특성을 서로 비교하여 나타내었다. 굽힘 높이가 52um 일때 0.63배의 SMF 코어 굴절률을 가지는 광섬유는 SMF 광에너지 감쇄량 보다 2.67배, BSF는 5배의 광 에너지 감쇄량을 나타내고 있다. 그림 5의 전산모의 결과를 바탕으로 볼 때 본 논문에서 제안한 BSF는 코어의 굴절률만 낮춘 광섬유 보다 굽힘에 민감한 광에너지 감쇄 현상을 나타내는 것을 알 수 있다. 전산모의에 의한 그림 5의 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안한 BSF의 구조는 기존의 코어 굴절률만 낮춘 광섬유 보다 SMF와 결합시 감쇄량을 더욱 크게 할 수 있음을 알 수 있었으며 또한 두 광섬유의 접합시 생기는 반사의 영향을 코어의 굴절률만 낮춘 광섬유의 반사 영향보다 적게 하면서 동일한 굽힘에 대한 민감도를 구현할 수 있었다. 즉 본 논문에서 제안한 BSF 구조는 동일한 굴절률을 가지는 코어에 대하여 2차 외부 코어를 가해 줌으로 인해 굽힘에

의한 민감도를 증가시키는 성질을 가지고 있음을 전산모의 및 제작에 의한 실험으로 확인할 수 있었다.

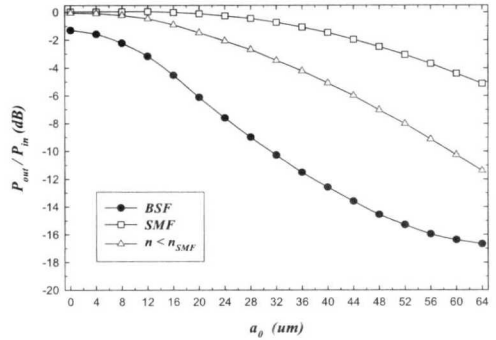


그림 5. 굽힘의 높이에 변화에 따른 광에너지 감쇄 특성

III. 소자 제작 및 실험

본 논문에서 다루고 있는 BSF의 측정된 굴절률 분포는 그림 6과 같다.

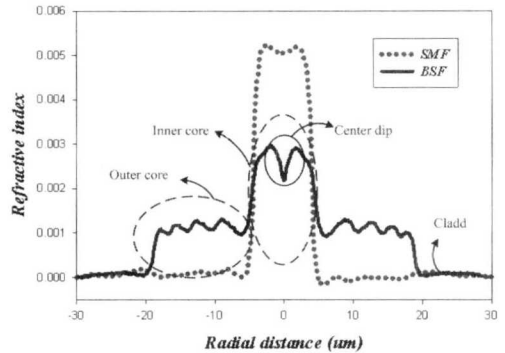


그림 6. 굽힘에 민감한 BSF의 굴절률 분포

이때 측정은 굴절된 근접장을 이용하여 굴절률 분포를 측정하는 광섬유 분석기 (NR-9200)를 이용하였다. 측정된 BSF의 굴절률 분포를 일반적인 단일 모드 광섬유와 비교 하여 살펴보면 크게 4부분의 영역으로 나누어진다. 먼저 SMF의 코어 굴절률보다 낮은 내부 코어 영역, 내부 코어 중심부의 굴절률 하강 영역, 내부 코어의 굴절률값 보다 낮고 클래드의 굴절률값 보다 높은 외부 코어 영역 그리고 클래드 영역으로 나누어진다. 이러한 굴절률 분포를 가지는 BSF는 SMF와 결합하였을 때 삽입 손실은 약 0.68dB 였고 반사 손실은 -60dB 보다 낮게 나타났다. 이러한 구조를 가지는 BSF의 곡률 반경의 역수

에 대한 광 에너지 감쇄 특성을 측정하기 위해 광원은 어븀 첨가 광섬유 증폭기의 증폭된 자발 방출(ASE: Amplitude spontaneous emission)을 이용하였고 광 검출기는 광 스펙트럼 분석기를 사용하였다. 측정에 사용한 어븀 첨가 광섬유 증폭기는 1480nm의 펄핑 광원을 사용한 10m길이의 어븀 첨가 광섬유로 구성하였고 광 검출기로 사용되는 광 스펙트럼 분석기는 파장 대역을 1540nm ~ 1560nm 로 정하였고 해상도를 0.2nm로 조정하였다. 따라서 굽힘이 가해진 BSF로 입사된 ASE 광원과 광 스펙트럼 분석기를 통해 곡률 반경의 역수에 대한 광 에너지 감쇄와 편광 의존성을 측정하였고 실험 결과를 SMF와 비교하여 그림 7에 나타내었다.

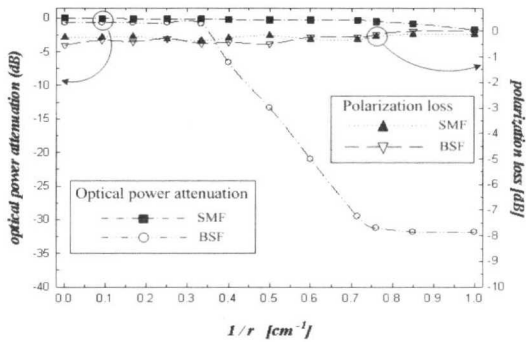


그림 7. 1550 nm에서의 곡률 반경의 역수에 따른 감쇄 손실 및 편광 손실

여기서 측정에 사용된 BSF의 전체 길이는 BSF 자체 특성을 측정하기 위해 굽힘영역 이후의 영역까지 포함하여 1m로 정하였다. BSF에 가해지는 최대 굽힘 지점은 곡률 반경을 반지름으로 하는 반원의 형태로 가정하였고 굽힘이 가해지는 영역의 길이는 해당 원둘레 길이의 절반으로 등가화 하였다. 그리고 굽힘이 가해진 이후의 진행길이에 따른 광 에너지 감쇄가 일어나지 않도록 충분히 큰 곡률 반경을 주어 더 이상 추가적인 광에너지 감쇄가 일어나지 않도록 조정하였다. 그림 7의 좌측 세로 축에 따르면 BSF의 광 에너지는 곡률 반경의 역수 값이 0.33cm^{-1} 을 지나면서 감쇄하기 시작하고 감쇄 기울기는 광섬유에 가해진 곡률 반경의 역수에 비례하였다. 특히 광의 파장이 1550nm 일 때 최대 광 에너지의 감쇄 값은 BSF의 곡률 반경의 역수값이 0.76cm^{-1} 일 때 -32dB 이었으며 곡률 반경의 역수값이 0.33cm^{-1} 에서 0.76cm^{-1} 사이로 변할 때 곡률 반경의 역수가 증가함에 따라 광 에너지의 감쇄도 증가하였다. 이와 비교

하여 SMF는 곡률 반경의 역수 값이 0.72cm^{-1} 보다 클 때 광 에너지가 감쇄하기 시작하였으며 곡률 반경의 역수값이 1cm^{-1} 일때 -3dB의 광 에너지 감쇄를 보였다. 이는 BSF의 -32dB 값과 비교할 때 -29dB의 차이가 나므로 SMF는 BSF에 비해 곡률 반경의 역수에 대한 광 에너지 감쇄가 상대적으로 미약하다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 2의 오른쪽 세로축에서는 곡률반경의 역수에 대한 편광 손실을 나타내는데 BSF가 SMF와 비슷한 편광 의존성을 가진다는 것을 알 수 있다. 따라서 BSF는 곡률 반경의 역수에 따라 광 에너지를 감쇄시킬 수 있고 편광 손실도 기존의 SMF와 비슷한 특성을 보이므로 광 통신망에서 자주 사용되고 성능이 우수한 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기로의 사용이 적합함을 알 수 있다. 이러한 BSF를 사용하여 실제 제작된 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기를 그림 8에 나타내었다. 제안된 가변 광 감쇄기는 탄력성이 높은 고무로 만들어진 사각 링과 외부적인 힘이 가해지지 않았을 때 정해진 값으로 광을 감쇄시키기 위해 사각 링 안에 포함된 일정한 곡률 반경의 역수값을 가지는 BSF로 구성된다. 사각 링은 탄력성 있는 고무로 인해 외부적인 압력이 사라질 때 압력에 의하여 변형된 구조를 원래의 사각 링의 형태로 되돌린다. 이때 사각 링에 가해진 외부 압력이 사라지면 고무의 탄력성으로 인해 사각 링 안에 포함된 BSF의 곡률 반경의 역수 값도 신속하게 원래의 형태로 되돌아오는데 높은 재연성을 위하여 사각 링 안에 고정된 BSF의 곡률 반경의 역수 값을 1cm^{-1} 로 정하였고 곡률 반경의 중심을 사각 링 상층부에 위치한 돌기에 고정하였다.

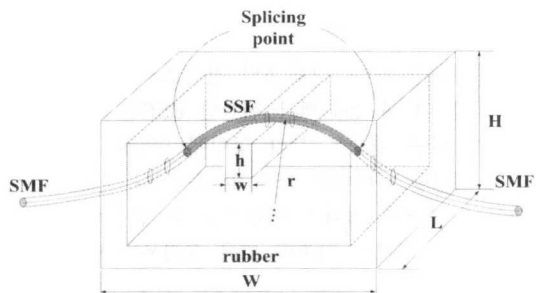


그림 8. 제작된 가변 광 감쇄기의 구조

제작된 가변 광 감쇄기의 구성 성분들의 특성 값은 $W=25\text{mm}$, $L=10\text{mm}$, $H=30\text{mm}$, $w=2\text{mm}$ 그리고 $h=2\text{mm}$ 이다. 이때 r은 BSF에 가해진 초기 곡률 반경을 나타내며 굽힘이 가해지는 BSF의 길이는 사각

링 안에 충분히 포함되는 길이인 30mm로 두었다. 제작된 가변 광 감쇄기의 동작을 그림 9에 나타 내었다.

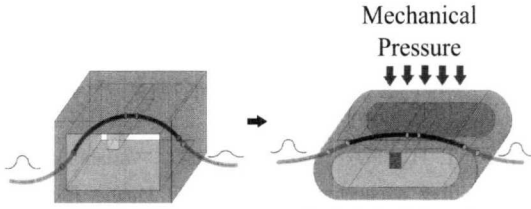


그림 9. 제작된 가변 광 감쇄기의 압력에 의한 동작

가변 광 감쇄기의 상층부에 기계적인 외부 압력이 가해지면 사각 링의 높이가 낮아지면서 폭이 넓어지는데 이때 사각 링의 내부에 고정되어 있는 BSF의 곡률 반경의 역수 값도 변화를 하게 된다. 즉 압력을 가하면 가할수록 BSF의 곡률 반경도 점점 증가하게 되고 광 감쇄는 곡률 반경의 역수에 비례하므로 광 에너지가 증가한다. 따라서 사각 링에 가해진 압력에 따라 광 에너지를 조절할 수 있다. 실험 결과 기계적인 압력으로 사각 링 안에 고정되어 있는 BSF의 곡률 반경의 역수 값을 조절할 수 있었고 그 결과 최대 -38dB까지 광 에너지를 감쇄시킬 수 있었다. 그림 10에서 제안된 가변 광 감쇄기는 상층부에 가해진 압력에 의해 아주 쉽게 광 에너지를 조절할 수 있으며 편광 의존 손실을 나타 내는 TE 모드와 TM 모드 사이의 광 에너지 차이 값도 0.5dB를 넘지 않는다는 것을 보여준다.

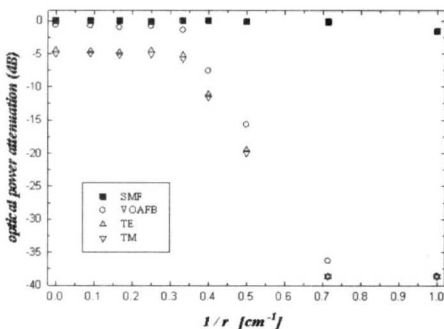


그림 10. 1550nm에서 가변 광 감쇄기의 곡률 반경의 역수에 대한 광 에너지의 감쇄

따라서 편광 의존성에 대한 실험을 통하여 제작된 가변 광 감쇄기의 편광 손실은 -0.5dB 이하였고 가변

광 감쇄기에 포함된 BSF 에서의 전파 손실은 없었다.

IV. 결론

본 논문에서는 광섬유에 가해지는 곡률 반경의 역수값에 따라 도파되는 광 에너지가 민감하게 감쇄하는 특수 광섬유 (BSF)를 이용하여 광 통신망에 효과적으로 사용할 수 있는 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기를 제작하였다. 가변 광 감쇄기 제작에 사용된 BSF는 광섬유의 코어 주위에 2차 코어를 두어 광섬유에 가해진 곡률 반경의 역수값에 따라 생겨나는 산란현상을 극대화 시켜 도파되는 광 에너지를 효과적으로 감쇄시킬 수 있었고 이러한 감쇄 특성을 이용하여 간단한 구조의 광 섬유 형태의 가변 광 감쇄기를 제작할 수 있었다. 제작된 가변 광 감쇄기는 제작시 소요되는 공정이 종전의 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기보다 간단하다. 제안된 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기는 광 에너지의 감쇄 량이 BSF의 곡률 반경의 역수에 비례하였고, 곡률 반경의 역수에 대한 광 에너지의 감쇄 비는 상용화 파장 대역에서 곡률 반경의 역수 범위가 (0.33cm⁻¹ ~ 0.76 cm⁻¹)일 때 -84.4[dB · cm⁻¹]이었다. 제안된 가변 광 감쇄기에 사용된 BSF는 광 에너지 감쇄에 대해 높은 재연성을 보였고 보호막이 제거되지 않음으로 인해 열적 변화에 의한 영향도 거의 받지 않았다. 이러한 BSF의 성질을 이용하여 제안되고 제작된 가변 광 감쇄기는 상용화 파장 대역에서 -38dB 이상의 범위에서 광 에너지를 효과적으로 조절할 수 있었고 반사손실은 -60dB 이하였으며 편광손실은 0.5dB 이하 이었다. 따라서 제안된 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기는 상용화된 광 통신망에 적용 가능하다고 여겨진다. 또한 제안된 가변 광 감쇄기는 기존의 가변 광 감쇄기와 비교할 때 낮은 제작 비용이 들며 광 에너지를 쉽게 기계적으로 조절할 수 있다. 또한 제안된 광섬유 형태의 가변 광 감쇄기에 사용된 탄력성이 높은 고무를 다른 탄성계수를 가지는 물질로 바꾼다면 아주 쉽고 효과적으로 감쇄기의 특성을 변화 시킬 수도 있다. 본 논문에서 제안된 가변 광 감쇄기는 압력에 의해 광 에너지를 조절하므로 아주 미약한 압력에도 민감하게 반응할 수 있는 압력센서로 사용할 수도 있고 BSF에 가해진 곡률 반경의 역수에 의한 도파되는 광 에너지의 변화는 여러 가지의 광센서 영역에서 다양한 적용이 가능 할 것라고 예측된다.

참고 문헌

[1] Yasuji Murakami and Haruhiko Tsuchiya, "Bending losses of coated single-mode optical fibers," *J. of Quantum Electronics*, Vol. QE-14, No. 7, pp. 495-501, 1978.

[2] Katsumi Morishita, Yasuyuki Kondoh, and Nobuaki Kumagai, "On the accuracy of scalar approximation technique in optical fiber analysis," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-28, No. 1, pp. 33-36, 1980.

[3] Alun J. Harris and Peter F. Castle, "Bend loss measurements on high numerical aperture single-mode fibers as a function of wavelength and bend radius," *J. of Lightwave Technology*, Vol. LT-4, No. 1, pp. 34-40, 1986.

[4] J. R. Simpson, R. H. Stolen, F. M. Sears, W. Pleibel, J. B. Macchesney, and R. E. Howard, "A single-polarization fiber," *J. of Lightwave Technology*, Vol. LT-1, No. 2, pp. 370-373, 1983.

[5] Sean M. Garner and Steve Caracci, "Variable optical attenuator for large-scale integration," *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 14, No. 11, pp.1560-1562, 2002.

[6] Joseph E. Ford, James A. Walker, Dennis S. Greywall, and Keith W. Goossen, "Micromechanical fiber-optic attenuator with 3 μ s response," *IEEE J. of Lightwave Technology*, Vol. 9, No. 9, pp.1663-1670, 1998.

[7] F. Chollet, M. de Labacherie, H. Fujita, "Electromechanically actuated evanescent optical switch and polarization independent attenuator," *IEEE MEMS 98. Proceedings*, pp.476-481, 1998.

[8] Tetsuya Mizumoto, Yoshiyuki Naito, "Waveguide-type optical attenuator," *IEEE J. of Lightwave Technology*, Vol. LT-3, No. 4, pp. 841-843, 1985.

[9] Sang-Shin Lee, Yong-Sung Jin, and Yung-Sung Son, "Variable optical attenuator based on a cutoff modulator with tapered waveguides in polymers," *IEEE J. of Lightwave Technology*, Vol. 17, No. 12, pp. 2556-2561, 1999.

[10] Val Morozov, Haining Fan, Louay Eldada, Long Yang, and Yuan Shi, "Fused fiber optic variable attenuator," *Optical Fiber Communication Conference*, Vol. 4, pp. 22-24, 2000.

[11] Mitsuo Takahashi, "Variable light attenuator of improved air-gap type with extremely low returning light," *IEEE Conference Proceedings*, pp. 947-950, 1994.

[12] T. Hashimoto and M.S. Yataki, "Variable optical fiber attenuators," *IEEE CLEO Pacific Rim*, pp. 1151-1152, 1999.

[13] W. P. Huang, C. L. Xu, W. Lui, and K. Yokoyana, "The perfectly matched layer (PML) boundary condition for the beam propagation method," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, pp. 649-651, May 1996.

[14] 권광희, 송재원, 이동호, "3차원 FD-BPM을 이용한 측면 연마된 광섬유와 완전 도체면 아래의 유전체 사이에서의 결합과 전파 특성의 해석," *한국통신학회지 제 28권 제 9A호*, pp. 754-762, 2003.

이 동 호(Dong-Ho Lee)

준회원



1997년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1999년 3월 : 경북대학교
전자공학과(공학석사)
2002년3월~현재:경북대학교
전자전기컴퓨터학부 박사과정

<관심분야> 광소자 및 통신 시스템, 광파 및 전자파 수치해석

권 광 희(Kwang-Hee Kwon)

정회원

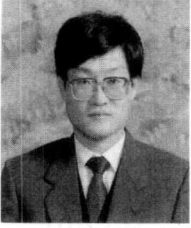


1995년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1997년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학석사)
2003년 2월 : 경북대학교
전자공학과(박사)

<관심분야> 광소자 및 통신 시스템, 광파 및 전자파 수치해석

송 재 원(Jae-Won Song)

정회원



1978년 2월 : 경북대학교

전자공학과(공학사)

1980년 2월 : 한국과학기술원

전기 및 전자공학과

(공학석사)

1984년 2월 : 한국과학기술원

전기 및 전자공학과

(공학박사)

1984년 8월~현재 : 현재 경북대학교

전자전기공학부 교수

<관심분야> 광소자 제작, 이드넷 네트워크 및 통신 시스템, 광파 및 전자파 수치해석

박 재 희(Jahee Park)

정회원



1984. 2. 경북대학교

전자공학과 (학사)

1992. 8. Texas A&M

전자공학과(석사)

1995. 8. Texas A&M

전자공학과(박사)

1984. 3. ~ 1990. 3

국방과학연구소

1995. 10 ~ 1997. 2. 삼성전기 주식회사

1997. 2 ~ 현재 계명대학교 전자공학과

<관심분야> 광통신 부품, 광센서, 광 신호처리