

압력이 인가되는 지점에만 광섬유 장주기 격자가 형성되는 광섬유 소자 제작 및 특성 분석

이남권[†] · 송재원

경북대학교 전자전기컴퓨터학부
Ⓣ 702-701 대구광역시 북구 산격3동 1370번지

박재희

계명대학교 전자공학과
Ⓣ 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000번지

(2004년 12월 3일 받음, 2005년 5월 2일 수정본 받음)

압력이 인가되는 지점에만 장주기 광섬유 격자가 형성되는 광섬유 소자를 제작하였고, 제작된 소자의 특성을 조사하였다. 제작된 소자는 720 μm 주기의 격자가 윗면에 형성되어 있는 60 cm 길이의 금속막대와 고무덮개로 구성되어 있으며, 압력이 인가될 때에 압력이 인가된 지점에만 장주기 광섬유 격자가 형성되었고 인가된 지점에 관계없이 동일한 투과특성을 가지는 장주기 광섬유 격자들이 형성되었다. 그리고 제작된 소자의 특성측정을 통하여 무게를 측정할 수 있는 광섬유 로드(Load)센서로 사용 가능성을 보여 주었다.

주제어 : Long period grating, Load sensor.

I. 서 론

광섬유의 입사 방향으로 진행하는 코어모드와 반대 방향의 코어모드간의 결합을 이용한 격자주기 수백 nm인 단주기 광섬유 격자와 같은 방향으로 진행하는 코어모드와 클래딩 모드간의 결합을 이용한 격자주기 수백 μm인 장주기 격자에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^[1] 장주기 광섬유 격자는 반사 및 삽입 손실이 적고, 제거 파장대역의 폭이 수십 nm로 넓은 편이며 레이저의 대역제거필터,^[2] 모드 변환기,^[3] 어븀 첨가 광섬유 증폭기의 이득 평탄화용 필터^[4-6] 및 광섬유 센서^[7,8] 등에 응용되고 있다. 대부분의 장주기 광섬유 격자는 자외선 노출을 이용하여 광섬유 코어에 주기적인 굴절률 변화를 유도하여 제작되고 있다. 자외선 노출을 이용한 제작 방법은 제작 시 고도의 기술이 요구될 뿐만 아니라 고가의 장비와 장시간의 제작과정이 필요하다. 이와 같은 단점들로 인하여 자외선 노출을 이용한 기존의 장주기 광섬유 격자 제작 방법을 대체할 수 있는 아크 방전을 이용한 미세 구부림 현상을 이용한 방법,^[9] CO₂ laser를 이용한 방법,^[10] 광섬유 클래딩의 식각을 통한 제작 방법^[11] 등이 발표되었다. 하지만 이러한 장주기 광섬유 격자 제조 방법들은 자외선 노출을 이용한 제작 방법과 마찬가지로 격자를 제작하고 난 이후에는 투과 특성을 제어하기가 힘들다. 최근 들어 제작이 간단하고 격자의 제거 및 재형성이 가능한 실리콘 V홈을 이용하여 광섬유에 주기적인 압력을 가하는 방법,^[12,13] 분리된 코일 히터를 이용한 방법^[14] 등이 발표되었다. 앞서 소개한 기존 제작 방법을 통한 장주기 광섬유 격자는 격자의 형성

위치가 고정되어 있고, 전체 길이도 대략 수 센티미터로 짧은 편이어서 광섬유 센서로 응용할 경우 넓은 범위에서 특성 측정을 해야 하거나 감지 위치가 일정하지 않을 경우 센서 응용이 불가능하다. 장주기 광섬유 격자를 사용하여 넓은 범위를 감지하기 위해서는 여러 개의 장주기 광섬유 격자를 중복해서 사용하여야 하며, 많은 장주기 광섬유 격자를 사용하더라도 이동물체의 무게측정 등과 같이 측정위치가 일정하지 않는 환경에서는 정밀 측정이 매우 어렵다. 이는 장주기 광섬유 격자의 크기가 작기 때문에 격자가 형성된 부분에 정확하게 압력이 인가되는 것이 불가능하기 때문이다.

본 논문에서는 압력이 인가되는 지점에만 장주기 광섬유 격자가 형성되는 광섬유 소자를 제작하고 소자의 광 투과 특성을 측정, 분석 하였다. 그리고 제작된 소자가 무게를 측정할 수 있는 광섬유 로드(Load)센서로 사용될 수 있음을 보여 주었다.

II. 동작 원리 및 소자 제작

장주기 광섬유 격자는 격자 주기가 대략 수백 μm이고 위상정합 조건을 만족하는 파장대역의 입사 방향 코어모드와 입사 방향 클래딩 모드들과 모드결합이 발생하게 되고 결합된 클래딩 모드는 클래딩 외부의 물질에 흡수되거나 산란되어 사라지게 된다. 그래서 장주기 광섬유 격자는 특정 파장대역을 제거하는 대역 제거 필터의 특성을 나타낸다. 장주기 광섬유 격자의 위상정합 조건은 다음과 같다.

$$\lambda_m = (n_{core} - n_{clad})\Lambda \quad (1)$$

[†] E-mail: light792@ee.knu.ac.kr

여기서 λ_m 는 위상정합 조건을 만족하는 공진 파장이고, Λ 는 장주기 광섬유 격자의 주기, n_{core} 와 n_{clad}^m 는 각각 코어모드와 m-th 클래딩 모드의 유효 굴절률을 나타낸다. 그림 1은 압력이 인가되는 지점에만 장주기 광섬유 격자를 형성하는 광섬유 소자의 개략도이다. 광섬유 소자는 표면의 주기적인 원형 홈을 가지고 있는 긴 길이의 금속막대, 금속막대를 감싸는 고무덮개, 및 일반 광통신용 단일 모드 광섬유로 구성되어 있다. 광섬유 소자를 제작하기 위해 제일 먼저 길이가 긴 금속 막대의 표면에 기계 가공법인 와이어 커팅 기법을 이용하여 주기적인 원형 홈을 형성시켰다. 와이어 커팅 기법은 매우 가는 금속 와이어에 강한 전류를 흘려주며 금속을 가공하는 정밀 기계 가공법으로, 기존의 실리콘 식각 기법을 이용하여 V홈을 제작하는 것에 비해 훨씬 간단하게 긴 길이의 주기적인 홈을 제작하는 것이 용이하다. 표면에 주기적인 홈을 형성시킨 후에 원형 홈 위에 단일 모드 광섬유를 놓고 특정지역에 인가된 압력만 광섬유와 금속표면에 있는 원형 홈에 전달하는 고무덮개로 소자 상단을 감싸서 광섬유 소자 제작을 완료하였다. 소자 상단에 압력이 인가되면 압력이 인가된 특정한 지역에 있는 광섬유만 주기적인 압력이 발생하여 장주기 광섬유 격자가 형성되고, 인가된 압력이 제거되면 형성되었던 광섬유 장주기 격자도 제거 되어 원래의 단일모드 광섬유의 투과 특성을 보여주게 된다. 제작된 광섬유 소자는 광섬유 통신 파장인 1550 μm 대역에서 위상정합 조건을 만족시키기 위해 720 μm 주기의 원형 홈이 금속표면에 형성되어 있고 전체 길이는 60 cm 이다.

III. 실험 및 결과

압력이 인가되는 지역에만 광섬유 장주기 격자가 형성되는 광섬유 소자의 특성을 조사하기위해 그림 2에 있는 실험 장치를 사용하였다. 실험 장치는 넓은 파장의 백색 광원, 제작된 광섬유 소자 및 광 스펙트럼 분석기로 구성되어 있다. 광

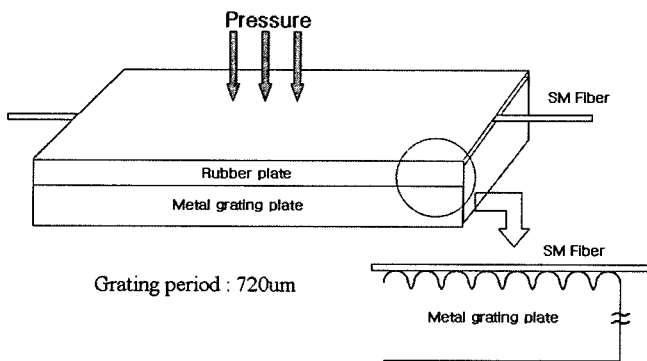


그림 1. 광섬유 소자의 개략도.

원에서 나온 빛은 단일모드 광섬유에 입사된다. 단일모드 광섬유에 입사된 빛은 광섬유 소자를 통과하여 광 스펙트럼 분석기로 간다. 광섬유 소자에 압력이 인가되지 않으며 광섬유에 입사한 모든 빛은 광 스펙트럼 분석기까지 도달하고 광섬유 소자에 압력을 인가하면 압력이 인가된 지점에 장주기 격자가 형성되어 위상정합 조건을 만족시키는 파장의 빛은 클래딩 외부의 물질에 흡수되거나 산란되어 사라지고 나머지 빛만 통과하여 스펙트럼 분석기까지 도달한다. 그래서 압력이 광섬유 소자에 인가되었을 때 위상정합 조건을 만족하는 파장대역이 제거된 대역 제거 필터의 특성을 광 스펙트럼에서 나타낸다.

그림 3은 제작된 소자 위에 가해주는 무게에 따른 광 투과 스펙트럼을 보여준다. 광섬유 격자 주기는 720 μm 이고, 실제 무게가 가해지는 부분은 대략 7 cm 이었다. 그림에서와 같이 가해주는 무게가 커짐에 따라 광 감쇠 정도가 증가하는 투과 특성을 보여준다. 이러한 특성은 제작된 소자가 광섬유 무게 센서로 적용 가능하다는 것을 보여준다. 소자 위에 가해주는 무게가 커질수록 광섬유에 가해지는 압력이 증가하게 되고, 이에 따라 코어모드와 클래딩 모드 간에 더욱 강한 모드 결합이 발생하게 되어 더 많은 광이 클래딩 모드와 결합하게 된다.

그림 4는 소자 위에 무게가 가해지는 폭에 따른 광 투과 스펙트럼이다. 무게가 가해지는 폭을 2 cm, 4 cm, 7 cm로 변화시켜 가며 투과 스펙트럼을 측정하였다. 무게가 가해지는 폭이 증가함에 따라 제거되는 파장대역의 3 dB 대역폭이 감소하는 특성을 보여주고 있는데, 무게가 가해지는 폭에 따른

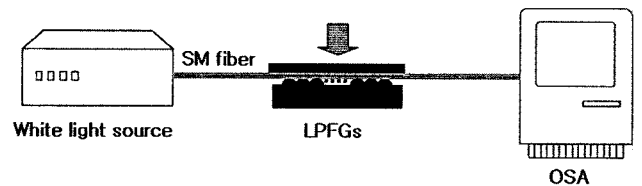


그림 2. 실험 장치.

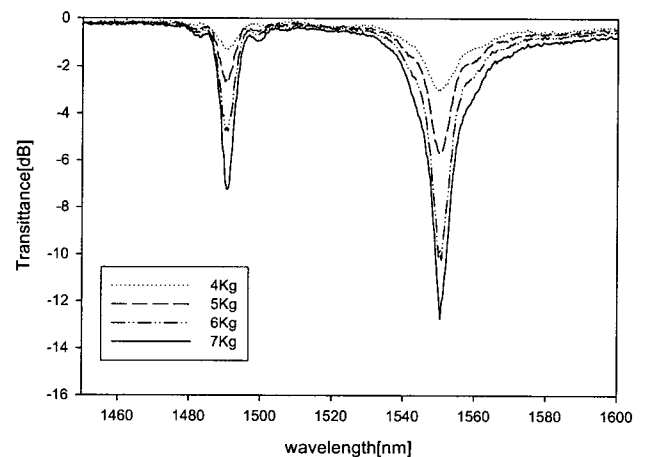


그림 3. 소자위에 가해진 무게에 따른 투과 스펙트럼.

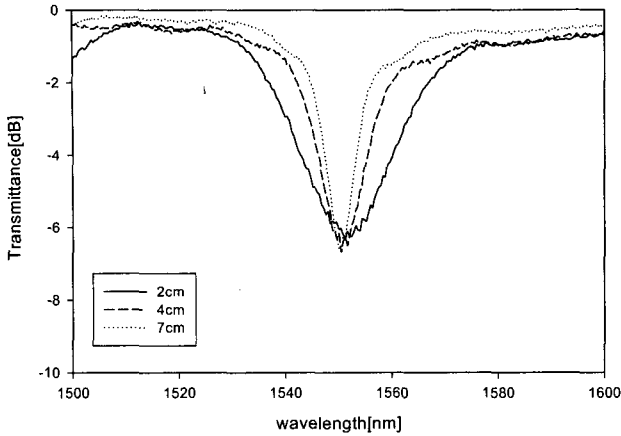


그림 4. 소자 위에 무게가 가해지는 폭에 따른 투과 스펙트럼.

3 dB 대역폭은 각각 21.4 nm, 12 nm, 7.8 nm이었다. 실제 무게가 가해지는 곳에만 장주기 광섬유 격자가 형성되므로 무게가 가해지는 폭이 증가함에 따라 형성되는 장주기 광섬유 격자의 길이도 증가하며 이에 반해 제거 대역폭은 감소하고 있다. 이는 격자 길이와 제거 대역폭이 반비례하는 기존의 연구 결과와 같은 특성을 보여주고 있다.^[2] 이러한 특성으로 볼 때 제작된 소자의 투과 스펙트럼을 분석하면 실제 무게가 가해지는 폭도 측정 가능하다.

그림 5는 제작된 소자 전체 길이 중 무게를 가해주는 위치에 따른 광 투과 스펙트럼이다. 전체 소자 길이 60 cm 중 입사방향의 소자 시작점을 기준으로 15 cm, 30 cm, 45 cm 지점에서 각각 무게를 가하여 투과 스펙트럼을 측정하였다. 무게를 가해준 폭은 7 cm 이었고, 각각 동일한 무게를 가하여 특성을 측정하였다. 그림에서와 같이 무게를 가해주는 위치와는 무관하게 거의 동일한 투과특성을 보여주고 있다. 즉, 소자 위의 어느 지점이라도 가해주는 무게가 동일하다면 같은 투과 특성을 보여주므로, 이동물체의 무게 측정 등과 같이 무게가 가해지는 위치가 일정하지 않는 환경에서도 정확한 무게 측정이 가능하다.

그림 6은 15 cm 와 45 cm 두 곳에 동시에 무게를 가하였

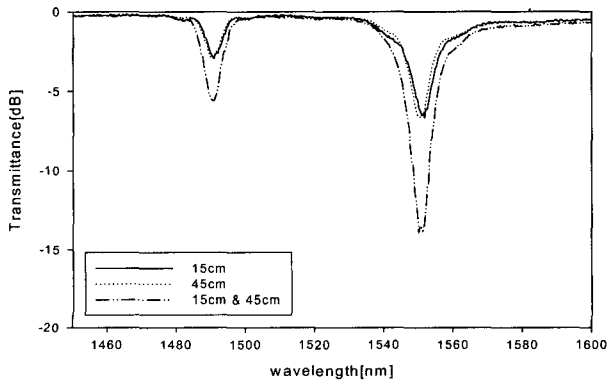


그림 6. 두 지점에 동시에 무게를 가하였을 때의 투과 스펙트럼.

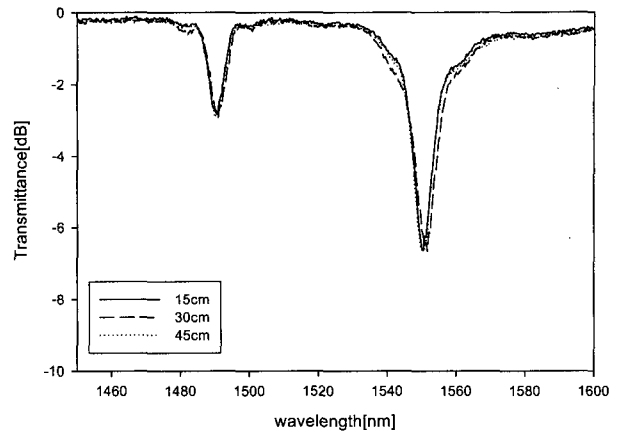


그림 5. 무게를 가해주는 위치에 따른 투과 스펙트럼 (전체소자길이 : 60cm).

을 때에 측정된 투과 스펙트럼이다. 한 곳에만 무게를 가하였을 때와 비교해서 2배의 광 감쇠가 발생하고 있는데, 이는 장주기 광섬유 격자에 의해 코어모드로 진행하던 광의 일부가 클래딩 모드로 결합되고 난 후, 클래딩 외부물질에 의해 흡수되어 제거되기 때문에 단순히 2개의 장주기 광섬유 격자가 직렬 연결된 구조이기 때문이다.

그림 7은 광섬유의 클래딩 외부물질을 제거한 상태에서 두 곳에 무게를 가하였을 때 측정된 투과 스펙트럼이다. 장주기 광섬유 격자 쌍에 의한 마하젠더 간섭계가 형성되어 손실 파장영역에서 간섭 현상이 나타나고 있다. 항상 그림에서와 같이 뚜렷한 간섭현상이 나타나지는 않는다. 두 곳에서 형성되는 장주기 광섬유 격자의 투과특성이 동일하고, 제거 대역의 깊이가 3 dB 일 때 뚜렷하게 나타난다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기계 가공법을 이용하여 길이가 긴 장주기 광섬유 격자 소자를 제작하였고, 기계 가공법인 와이어 커팅 기법을 이용하여 금속판 위에 주기적인 원형 홈을 제작하고, 제작된 원형 홈과 고무덮개 사이의 광섬유에 주기적인 압력을 가하여 장주기 광섬유 격자를 제작하였다. 전체 소자 길

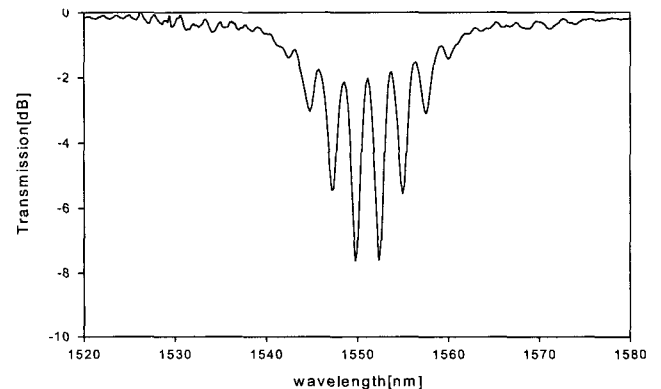


그림 7. 클래딩 외부 물질을 제거하였을 때 발생할 수 있는 간섭현상

이 60 cm에 격자주기 720 μm 인 소자를 제작하였다. 제작된 장주기 광섬유 격자 소자는 기계 가공법을 이용하므로 간단하게 제작 가능하고, 기존의 제작방법에 비해 길이가 긴 소자 제작이 용이하다. 제작된 소자는 인가되는 무게가 증가할수록 입사광의 감쇠 정도가 커지는 특성을 보였으며, 이러한 특성은 제작된 소자가 광섬유 무게 센서로 응용 가능성을 보여준다. 또한 무게가 인가되는 폭이 증가함에 따라 제거 대역의 3 dB 대역폭이 감소하는 특성을 나타내므로, 투과 스펙트럼을 분석하면 실제 무게가 가해지는 폭도 측정가능하다. 무게가 인가되는 지점에 관계없이 동일한 투과특성을 나타내므로 이동물체의 무게 측정 등과 같이 무게가 인가되는 위치가 일정하지 않는 환경에서도 정확한 무게 측정이 가능하다.

감사의 글

본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원을 통한 기초기술 연구지원사업(04-기초-014)의 연구 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 이상배, 최상삼 "광섬유 격자 소자 기술," *광학과 기술*, pp. 44-51, July. 1998.
- [2] A. M. Vengsarkar, P. J. Lemaire, J. B. Judkins, V. Bhatia, T. Erdogan, and J. E. Sipe, "Long-period fiber gratings as band-rejection filters," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, pp. 58-65, Jan. 1996.
- [3] D. Ostling and H. E. Engan, "Broadband spatial mode conversion by chirped fiber bending," *Opt. Lett.*, vol. 21, pp. 192-194, 1996.
- [4] P. F. Wysocki, J. B. Judkins, R. P. Espinodola, M. Andrejco, and A. M. Vengsarkar, "Broad-band erbium-doped fiber amplifier flattened beyond 40nm using long-period grating filter," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, pp. 1343-1345, Oct. 1997.
- [5] M. Harumoto, M. Shigehara, and H. Sukanuma, "Gain-flattening filter using long-period fiber gratings," *J. Lightwave Technol.*, vol. 20, pp. 1027-1033, June 2002.
- [6] Ik-Bu Sohn, Jang-Gi Baek, Nam-Kwon Lee, Hyung-Woo Kwon, and Jae-Won Song, "Gain flattened and improved EDFA using microbending long-period fibre gratings," *Electron. Lett.*, vol. 38, pp. 1324-1325, 2002.
- [7] V. Bhatia and A. M. Vengsarkar, "Optical fiber long-period grating sensors," *Opt. Lett.*, vol. 21, no. 9, pp. 692-694, May 1996.
- [8] C. Y. Lin, L. A. Wang, and G. W. Chern, "Corrugated long-period fiber gratings as strain, torsion, and bending sensors," *J. Lightwave Technol.*, vol. 19, pp. 1159-1168, Aug. 2001.
- [9] I. K. Hwang, S. H. Yun, and B. Y. Kim, "Long-period fiber gratings based on periodic microbends," *Opt. Lett.*, vol. 24, no. 18, pp. 1263-1265, 1999.
- [10] D. D. Davis, T. K. Gaylord, E. N. Glytsis and S. C. Mettler, "CO2 laser-induced long-period fibre gratings: Spectral characteristics, cladding modes and polarisation independence." *Electron. Lett.*, vol. 34, pp. 1416-1417, 1998.
- [11] C. Y. Lin and L. A. Wang, "Loss tunable long period fiber gratings made from etched corrugated structure," *Electron. Lett.*, vol. 35, pp. 1872-1873, 1999.
- [12] S. Savin, M. J. F. Digonnet, G. S. Kino, and H. J. Shaw, "Tunable mechanically induced long-period fiber gratings," *Opt. Lett.*, vol. 25, no. 10, pp. 710-712, 2000.
- [13] 함정우, 이종훈, 이경식, "기계적으로 유도된 장주기 광섬유격자의 제작 및 특성분석," *한국광학회지*, vol. 12, no. 6, pp. 485-488, 2001.
- [14] J. K. Bae, S. H. Kim, J. H. Kim, J. Bae, S. B. Lee, and J. M. Jeong, "Spectral shape tunable band-rejection filter using a long-period fiber grating with divided coil heaters," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 15, pp. 407-409, Mar. 2003.

Fabrication and Characteristics of the Fiber Device Based on Long-period Fiber Gratings at the Locations Under Applied Pressure

Nam kwon Lee[†] and Jae won Song

School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, KOREA

[†]*E-mail: light792@ee.knu.ac.kr*

Jae hee Park

Department of Electronics Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, KOREA

(Received December 3, 2004, Revised manuscript May 2, 2005)

An optical fiber device is fabricated that is formed LPFGs only where pressure is applied, and the characteristics of the device are investigated. The fabricated device is composed of a 60cm-long metallic rod, with long period gratings of 720 μ m on the upper side and a rubber cover. In this device, gratings are only formed when pressure was applied to a spot, to which pressure was applied, and the formed gratings had the same transmission property regardless of spot, to which pressure was applied. We measured the optical transmission property of the fabricated device and found its usability as an optical fiber load sensor to measure weight.

OCIS Codes : 060.2340, 060.2370.