

광섬유의 크래딩 모드수에 따른 유효굴절률 측정

Effective Index Measurements of Fiber Cladding Modes Using Long-Period Fiber Grating Pairs

김영재, 홍인기, 정영주, 한원택, 백운출, 이병하
광주과학기술원 정보통신공학과
leebh@kjist.ac.kr

광섬유 격자는 WDM 광시스템의 필터뿐만 아니라 센서로도 많은 연구가 되고 있다. 이 경우 필수적인 것이 유효굴절률에 대한 해석이다. 유효굴절률은 광섬유의 코어와 클래딩의 굴절률과 반지름에 따른 수치해석을 통해서도 구할 수 있다. 수치해석과정에서 필수적인 것이 파장에 따른 굴절률을 계산할 수 있는 Sellmeier식이다⁽¹⁾. 본 연구에서는 광섬유격자 쌍을 이용하여 광섬유의 유효굴절률을 클래딩 모드수에 따라 측정할 수 있는 새로운 방법을 제시한다.

광섬유격자 쌍을 이용한 투과 스펙트럼은 다음의 식으로부터 구할 수 있다⁽²⁾.

$$T_p = T_s^2 + \alpha^2 R_s^2 - 2TR \cos(\Psi) \quad (1)$$

T_s 와 R_s 은 각각 단일 광섬유격자를 지난 광섬유의 코어 모드와 클래딩 모드의 세기이며 α 는 클래딩 모드의 손실을 나타낸다. 광섬유격자 쌍을 지난 후에 생기는 두 모드간의 위상차 Ψ 는 다음과 같다.

$$\Psi \cong (\beta_{co} - \beta_{cl})L = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n_{eff}(\lambda)L, \quad (2)$$

$$\Delta n_{eff}(\lambda) = n_{eff}^{co} - n_{eff}^{cl}. \quad (3)$$

여기서 L 은 광섬유격자 중심간의 거리, β 는 코어와 클래딩의 전파상수, λ 는 파장, Δn_{eff} 는 코어 모드와 클래딩 모드간의 유효 굴절률의 차이이다. 식(2)의 위상차는 파장의 함수이므로 식(1)에 의해서 광섬유격자 쌍의 투과 스펙트럼은 주기적인 간섭무늬를 갖게되는데, 이때 최저 투과 피크는 그 위상차가

$$\Psi = 2\pi p, \quad (4)$$

일 때 주어진다. 간섭무늬의 오더 p 는 정수이며 간섭무늬 피크의 파장을 λ_p 라 하면 식(5)와 같이 된다.

$$p = \frac{\Delta n_{eff}(\lambda_p)}{\lambda_p} L, \quad (5)$$

이때 λ_p 가 광섬유 격자의 공명조건, 식(6)을 만족시키는 파장에 충분히 근접하여 있다면 아래와 같다.

$$\lambda_p \cong \Delta n_{eff}(\lambda_p) \Lambda, \quad (6)$$

$$p = L/\Lambda, \quad (7)$$

Λ 는 광섬유 격자의 주기를 나타낸다. 광섬유격자 쌍 중심파장에서의 $n_{eff}(\lambda_p)$ 를 통해 인접파장, λ_{p+q} 에서의 유효굴절률의 차이를 식(8)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta n_{eff}(\lambda_{p+q}) = \left(\frac{1}{\Lambda} + \frac{q}{L} \right) \lambda_{p+q}. \quad (8)$$

여기서 정수 q 는 간섭무늬의 각 최저 투과 피크가 stop-band 중앙에 위치한 피크로부터 몇 번째 떨어져 있는지를 나타낸다.

실험에 사용된 광섬유격자 쌍은 FIBERCORE사의 B과 Ge이 첨가된 광섬유에 $550\ \mu\text{m}$ 의 주기를 갖는 amplitude 마스크를 이용하여 KrF Excimer 레이저를 조사하여 만들었다. 격자의 길이는 15mm, 격자 간의 길이는 200mm였다. 조사시간과 파워는 각각 45초와 164mJ이었다. 식(6)의 공명조건을 만족시키는 stop-band는 $1.3\ \mu\text{m}$ 부터 $1.6\ \mu\text{m}$ 까지 네개였으며, 그림 1에는 $1.5\ \mu\text{m}$ 영역에서 나타난 stop-band의 간섭무늬를 나타냈다. 실험결과를 식(8)에 대입하여 유효굴절률을 구하였고, 이를 그림 2에 나타내었다. 유효굴절률의 기울기를 비교하기 위하여 단일 광섬유 격자를 160mJ의 파워로 주기를 $300\ \mu\text{m}$ 부터 $700\ \mu\text{m}$ 까지 바꾸어가며 5분 동안 조사하여 만들었다. 그림 2에 단일 광섬유 격자를 형성한 뒤 측정된 유효굴절률차와 광섬유격자 쌍을 이용하여 측정된 유효굴절률차를 같이 나타냈으며, 모드별 기울기가 변함을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해서 광섬유격자 쌍을 이용한 클래딩 모드의 오더에 따른 유효굴절률차를 구하는 방법을 제시하였다. 단일 광섬유격자를 이용하면 공명조건을 만족시키는 파장에서만 유효굴절률 차를 구할수 있으나 광섬유격자 쌍을 이용하면 주변파장에서도 구할수 있는 장점이 있다. 또한 클래딩 모드의 유효굴절률을 제거시킨다면 코어모드의 유효굴절률만 얻을수 있으며, 또한 코어모드의 색분산 (chromatic dispersion)도 측정 할 수 있을것이다. 클래딩 모드의 효과를 제거하기 위하여 index matching oil을 이용한 실험과 수치해석방법을 동시에 연구중에 있다.

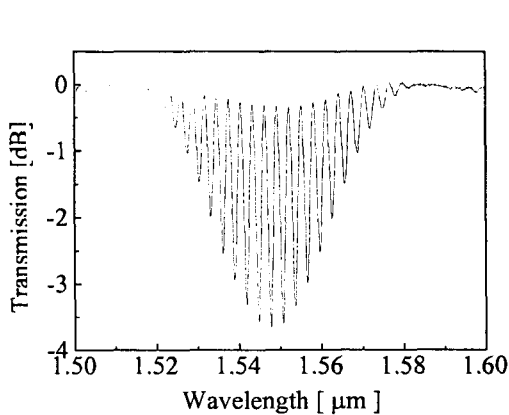


그림 1 광섬유격자 쌍의 투과 스펙트럼 중 4번째 stop band의 투과 스펙트럼

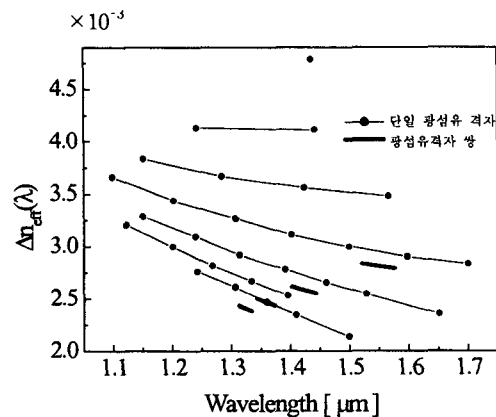


그림 2 유효굴절률 차와 파장과의 관계

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 UFON의 ERC, 과학기술부 중점국가연구개발사업, BK-21사업의 일부 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. G. Gosh, "Sellmeier coefficients and dispersion thermo-optic coefficients for some optical glasses", Applied Optics, 36(7), pp. 1540-1546 (1997).
2. B. H. Lee and J. Nishii, "Dependence of fringe spacing on the grating separation in a long-period fiber grating pair", Applied Optics, 30(25), pp. 3450-3459 (1999).