

장주기 광섬유격자의 기하광학적 해석

Graphical Understanding of Long-Period Fiber Gratings

이병하

광주과학기술원 정보통신공학과

leebh@kjist.ac.kr

장주기 광섬유격자는 최근 급속한 발전을 하고 있는 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 시스템에 이득평탄화 필터 및 다중 채널 필터 등으로 활발히 연구되고 있다^(1,2). 장주기격자는 광섬유 코어를 따라 진행되는 모드를 다수의 크래드 모드로 결합시키는 소자로서 그 응용이 다양할 뿐만 아니라 광섬유 내의 모드결합 현상을 이해하는데도 좋은 예를 제공하고 있다. 본 연구에서는 광섬유에서의 모드결합을 단순한 기하광학적 방법으로 간단히 해석하는 방법을 제시한다.

그림 1에서와 같이 광섬유의 코아 모드는 코아와 크래딩 경계면에서 전반사를 하면서 각도 θ 로 진행되는 빔으로 표현될 수 있다⁽³⁾. 같은 방식으로 크래딩과 코팅을 제거한 크래딩과 그 외곽과의 경계면에서 전반사하면서 각도 ϕ 로 진행되는 빔(LP_{0l} 또는 HE_{1l} mode의 경우)을 생각할 수 있는데 이를 크래드 모드라 한다. 일반적으로 코아 모드와 크래드 모드는 정상적인 광섬유 내에서는 서로 결합하지 않는다. 코아 모드는 전반사로 인하여 크래드 영역으로 진행할 수 없고 (evanescent field는 예외), 크래드 모드의 빔은 코아 내로 진입을 할 수는 있지만 코아에 구속 (confine)되지 못한다. 이는 그림 1(b)로 표현한 Snell's law로 잘 설명이 되는데 각도 θ 로 진입한 코아 모드는 진행각도 ϕ 의 크래드 모드로 코아-크래딩 경계면에서 굴절할 수 없다.

그러나, 광섬유 코아 내에 장주기격자를 새겨 주면 격자를 만난 코아 모드 빔의 일부분은 회절에 의하여 코아 내에서 각도 θ' 로 꺾이게 되는데, 경계면에서 굴절된 빔이 크래드 모드의 진행각도 ϕ 와 일치하면 크래드 모드로 결합이 일어나게 된다. 역으로 크래딩에서 코아로 각도 ϕ 로 진입한 빔은 코아 내에서 각도 θ' 로 굴절되어 전반사 조건을 만족하지 못하고 다시 크래딩으로 빠져 나가지만 격자가 있으면 코아 내에서 각도 θ 로 회절되어 코아 모드로 결합할 수 있게된다.

이를 모멘텀 보존의 법칙으로 해석하면 그림 2와 같다. 코아 모드의 모멘텀 벡터 k_{core}^p 가 격자 모멘텀 K 에 의하여 k_{core}^p 으로 그 크기는 같고 방향만 바뀌게 된다. 이 방향이 바뀐 코아 빔이 크래딩을 만나면 그림 1(b)에서와 같이 Snell's law에 의하여 r-방향 성분은 줄어들지만 z-방향 성분의 크기가 같은 k_{clad}^p 로 굴절되는데 이 벡터가 크래드 모드의 모멘텀 벡터와 일치할 때 모드결합이 일어난다. 즉 격자에 의한 회절로 인하여

$$k_{core}^p + K = k_{core}^p \tag{1}$$

코아 빔의 진행각도가 바뀌고, 코아-크래딩 경계면의 굴절에 의하여

$$d_{clad}^p \cdot i = d_{core}^p \cdot i = \vec{e}_z \cdot d_{core}^p + K \cdot i \tag{2}$$

모드 결합 조건이 결정되는데, 이를 z-방향 성분만 다시 쓰면

$$\beta_{clad} = \beta_{core} - K_z \tag{3}$$

가 된다. 일반적으로 사용되는 K 대신 K_z 이 사용되어야함을 알 수 있다.

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

1. A.M. Vengsarkar, J.R. Pedrazzani, J.B. Judkins, and P.J. Lemaire "Long-period fiber-grating-based gain equalizer," Opt. Lett., 21(5), pp. 336-338 (1996).
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).
3. B.H. Lee, Y. Liu, S.B. Lee, S.S. Choi, and J.N. Jang, "Displacement of the resonant peaks of a long-period fiber grating induced by a change of ambient refractive index," Opt. Lett., 22(23), pp. 1769-1771 (1997).

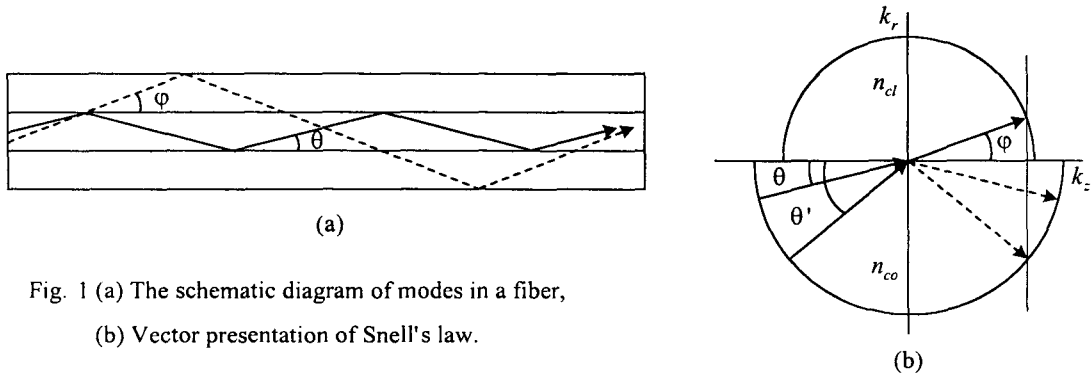


Fig. 1 (a) The schematic diagram of modes in a fiber,
(b) Vector presentation of Snell's law.

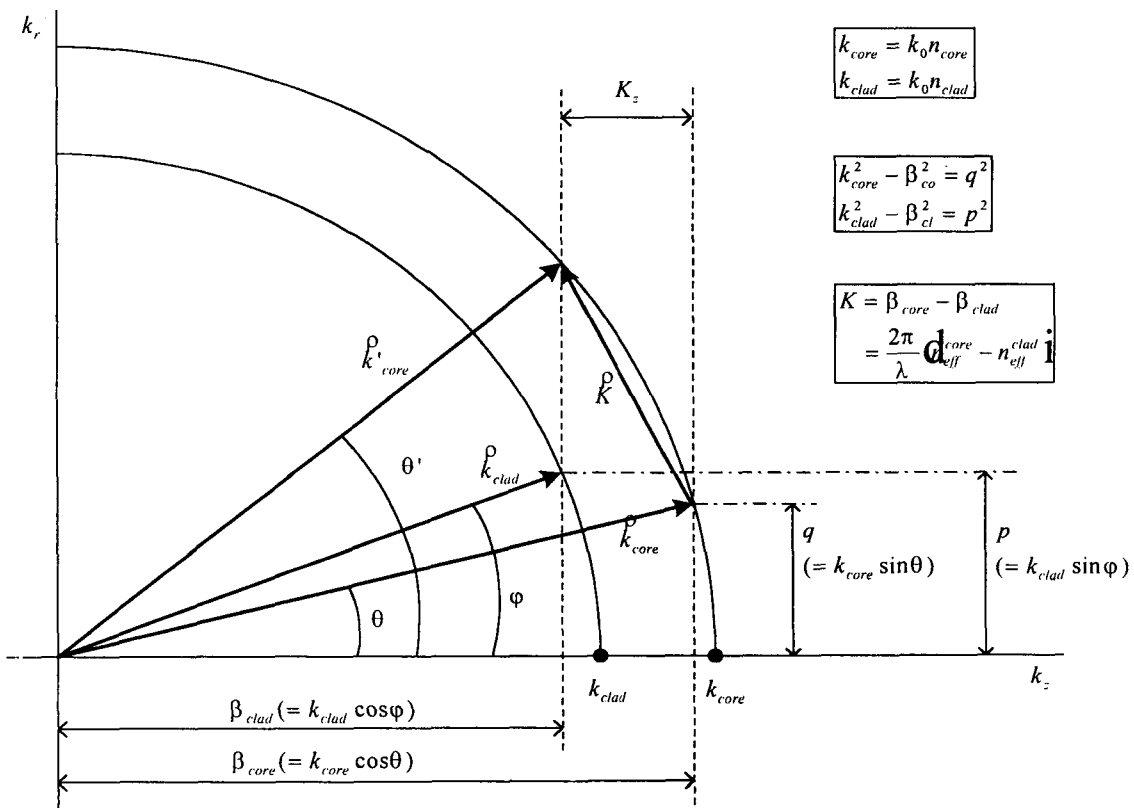


Fig. 2 Momentum presentation of mode coupling in a long - period fiber grating.