

음향광학 효과를 이용한 전광섬유 동적 파장가감기

All-fiber dynamic add-drop multiplexer based on acousto-optic interaction

박희수, 송광용, 윤석현*, 김병윤
 한국과학기술원 물리학과, *Novera Optics Inc.
 heesu@kaist.ac.kr

파장분할 다중화 광통신 선로 상에서, 특정 파장 채널을 임의로 선택하여 분리/첨가 할 수 있는 동적 파장가감기(wavelength-division dynamic optical add-drop multiplexer)는 광 네트워크의 효율을 높이는 데 핵심 소자라 할 수 있다. 지난 수년간 개발된 수많은 기술들 중에서, LiNbO₃ 광도파로 음향광학소자(acousto-optic tunable filter: AOTF)는 몇 가지의 특징적인 장점들을 보여줬는데, 예를 들면 넓은 영역의 파장 선택성, 짧은 스위칭 시간, 다중 채널 동작 가능성 등이다.⁽¹⁾ 또한, 기존 광 스위치와 수동형 광 필터들을 결합한 형태의 소자들과 달리, 동작 가능한 파장 채널이 고정되어있지 않은 유연한 구조라는 장점도 있다. 그러나, pig-tailing의 필요때문에 일정량의 삽입손실이 불가피하다는 단점도 가진다. 본 논문은 LiNbO₃ 소자가 갖는 장점들은 공유하면서, 광섬유 내의 음향광학 효과를 활용함으로써 더 작은 삽입 손실, 낮은 가격 등이 가능한 새로운 전광섬유 동적 파장가감기를 제안하고, 제작된 소자의 성능을 보여준다.

본 연구에서 제안한 동적 파장가감기는 모드분할 방향성 결합기(mode-selective coupler: MSC)⁽²⁾, 이중모드 광섬유에 부착된 음파 발생장치 등으로 그림 1과 같이 구성된다. 작동 원리는 다음과 같다. 먼저, 광섬유 AOTF에 전기 신호가 가해지지 않는 경우, Input 단자로 입사한 모든 광 신호는 아무런 변화 없이 Output 단자로 출력된다. 그런데 AOTF에 음파가 유도되면, 특정 파장 영역의 신호가 광섬유의 기본 모드인 LP₀₁ 모드로부터 첫 번째 고차 모드인 LP₁₁ 모드로 전환되고, 이렇게 모드 전환된 신호는 모드분할 방향성 결합기에 의해 별도의 단일모드 광섬유('Drop' 단자)로 스위칭 된다.⁽³⁾ 'Add'의 경우는 앞의 drop 과정의 역 과정이다. 이때, add/drop 파장은 인가하는 RF 주파수에 따라 변한다. 제안된 구조에서, 첫 번째 AOTF에서 완전히 모드 전환되지 않고 남은 신호는 두 번째 AOTF에 의해 다시 한 번

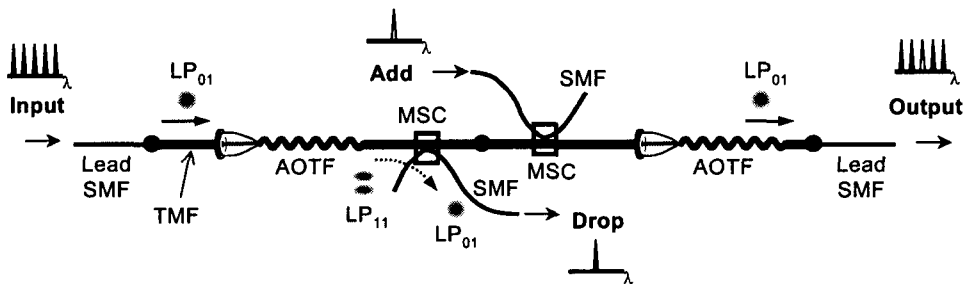


그림 1 동적 파장가감기의 구성도. AOTF, acousto-optic tunable filter; MSC, mode-selective coupler; SMF, single-mode fiber; TMF, two-mode fiber

소거되므로 일반적으로 한 개의 AOTF를 사용하는 구조⁽³⁾보다 중심 파장의 채널 누화(crosstalk)가 좀더 적은 장점이 있다.

제안된 파장가감기의 파장 가변 영역은 일반적으로 수십 nm 이상의 충분히 넓은 값을 갖는다.⁽²⁾ 그리고, add/drop이 일어나는 파장 선포는 이중모드 광섬유의 디자인 파라미터들과 음향광학 작용이 일어나는 부분의 길이에 따라 결정되는데, 통신 시스템에 효과적으로 응용되려면 이 선포는 가능한 좁아야 한다. 충분한 효율을 유지하면서 좁은 선포의 AOTF를 만들기 위해서, LP₁₁ 모드가 거의 cut-off 근처인 이중모드 광섬유를 제작하는 것이 가장 좋다.^(4, 5)

LP₁₁ 모드 cut-off 근처의 타원형 코어 광섬유(NA 0.20, 코어 직경 8 μ m \times 5 μ m, 클래딩 직경 88 μ m)를 이용하여 제안한 동적 파장가감기를 제작했다. 두 MSC 사이의 이중모드 광섬유 접합 부분에서 LP₀₁ 모드만이 전달되고 원치 않는 모드 결합이 일어나지 않도록, 접합부의 양쪽에는 모드 소거기(mode stripper)를 둔다. 소자의 출력 스펙트럼은 그림 2에 나타내었다. 이때 가해진 RF 주파수는 6.8 MHz 이며, RF 주파수의 변화에 따라 중심파장은 -0.11 nm/kHz 만큼 선형적으로 이동한다. Add/drop 파장의 선포는 약 2 nm이며, 각각 65%, 37%의 효율을 갖는다. 입력 편광에 따른 중심 파장변화는 1 nm이다. Input 단자로부터 Output 단자로의 출력에서, 배경 삽입손실은 약 1 dB로써 주로 광섬유들 간의 접합 손실에 의한 것이고, 중심 파장의 소거율(extinction ratio)은 30 dB이다. 제작된 소자의 스위칭 시간, 즉 on/off 시의 전이 시간(transient time)은 약 40 μ s이다. 이 값은 음파가 AOTF를 지나가는데 걸리는 시간에 해당하며,⁽³⁾ 여러 가지 스위칭 기술들 중 비교적 빠른 값이다.

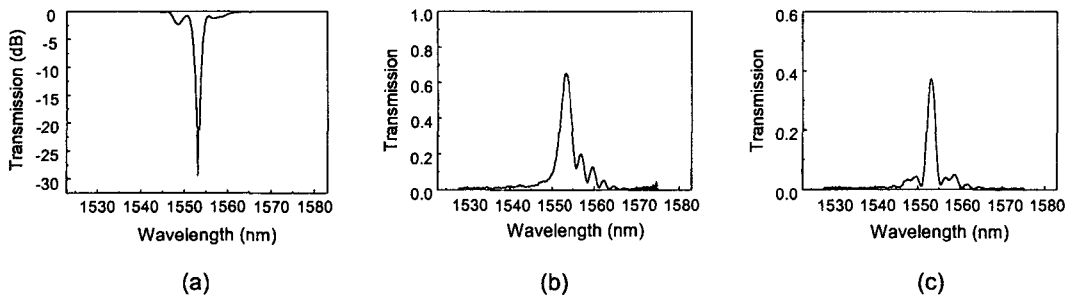


그림 2 제작된 동적 파장가감기의 출력 스펙트럼. (a) Input \rightarrow Output , (b) Input \rightarrow Drop , (c) Add \rightarrow Output.

1. P. E. Green, *Fiber Optic Networks*, Englewood Cliff; Prentice Hall, 1993.
2. K. Y. Song, I. K. Hwang, S. H. Yun, and B. Y. Kim, "High performance fused-type mode-selective coupler using elliptical core two-mode fiber at 1550 nm," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 14, pp. 501-503, 2002.
3. H. S. Park, K. Y. Song, S. H. Yun, and B. Y. Kim, "All-fiber wavelength-tunable acousto-optic switch," in *Optical Fiber Communication Conf.*, 2001, paper WJ4.
4. D. Ostling and H. E. Engan, "Narrow-band acousto-optic tunable filtering in a two-mode fiber," *Opt. Lett.*, vol. 20, pp. 1247-1249, 1995.
5. S. H. Yun, I. K. Hwang, and B. Y. Kim, "All-fiber tunable filter and laser based on two-mode fiber," *Opt. Lett.*, vol. 21, pp. 27-29, 1996.