

상호 편광 변조 현상에 기반한 음계수를 가지는 광 마이크로파 노치 필터

A photonic microwave notch filter with negative coefficient based on cross polarization modulation

오충근, 김태영, 백승현, 박창수*
광주과학기술원 정보통신공학과
*csp@gist.ac.kr

광 마이크로파 필터는 높은 고주파 대역신호를 광 영역에서 처리하기 때문에 전자파 장애로부터 벗어날 수 있고 넓은 대역폭과 적은 손실을 가지기 때문에 많은 관심을 얻고 있다. 지금까지 단일 광원을 사용하여 incoherent 광 마이크로파 필터를 구현하는 많은 방법들이 제안되었다⁽¹⁾. 이 필터들은 간단한 구조를 가지며 외부 환경 변화에도 거의 영향을 받지 않고 안정된 주파수 응답을 가진다. 하지만 필터의 각 계수 사이의 시간 지연이 광원의 coherence 길이보다 더 길어야 하기 때문에 free spectral range (FSR)가 제한된다. 최근 높은 복굴절 값을 가지는 광섬유(Hi-Bi fiber)를 이용하여 광원의 coherence 간섭 문제를 없앤 incoherent 필터가 제안되었다⁽²⁾. 그러나 incoherent 필터의 주파수 응답은 각 계수간의 파워의 합으로 결정되기 때문에 항상 양계수만을 가지게 된다. 이로 인해 다양한 전달 함수를 얻을 수 없고, 기저대역에 공진이 나타나게 된다.

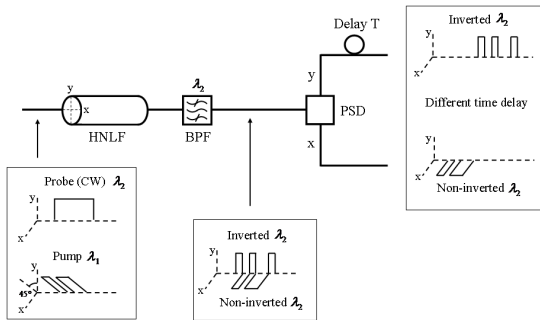
본 논문에서는 높은 비선형 값을 가지는 광섬유(HNLF)에서 상호 편광 변조 현상에 기반한 광 마이크로파 노치 필터를 제안한다. 상호 편광 변조에 의해 동시에 얻은 양계수와 음계수는 서로 직교의 관계에 있기 때문에 광원의 coherence 길이에 관계없이 큰 FSR을 얻을 수 있고 음계수의 구현으로 기저대역의 공진도 제거할 수 있다.

그림1은 제안한 필터의 기본 동작 원리를 보여준다. pump 광과 probe 광이 45°의 편광 상태 차를 갖고 HNLF에 입사할 때, pump 광의 세기가 어느 이상이 되면 probe 광의 편광 상태는 HNLF 내에 pump 광에 의한 복굴절 때문에 90° 회전을 하게 된다. 즉, pump 광의 온/오프 상태에 따라 probe 광의 편광 상태는 x축과 y축을 스위치한다⁽³⁾. 결과적으로, pump 광에 실린 신호의 반전/비반전된 신호가 probe 광에 복제되며, 이 때 두 신호는 하나의 광원에 직교하는 편광 상태로 동시에 존재한다. 두 신호를 편광 선택 소자를 이용하여 분리하면 반전, 비반전된 신호를 동시에 얻을 수 있으며, 필터의 음계수와 양계수로 사용된다. 이를 통해 얻어진 두 신호 중 하나에 광 시간지연을 주고 재결합하여 광 수신기로 검출하면 주파수 영역에서 일정한 간격의 FSR을 갖는 노치 필터특성을 얻을 수 있으며, 두 계수의 편광 상태가 직교하기 때문에 광원의 coherence 길이에 무관한 안정적인 주파수 응답을 가질 수 있다.

실험 구성도는 그림2와 같다. 200 kHz의 선폭을 가지는 TLS를 사용하여 pump 광과 probe 광의 중심파장을 1550 nm와 1545nm를 각각 가지도록 하였다. Pump 광은 EOM에 의해 변조되어 EDFA를 통해 20 dBm까지 증폭이 되었고, probe 광은 12 dBm까지 증폭되었다. 상호 편광 변조를 위해 편광조절기, PC1 과 PC3, 를 조절하여 두 광의 편광 상태차를 45°가 되도록 하였다. 두 광은 3-dB 커플러를 통해 합쳐진 후 HNLF에 입사되었으며, HNLF의 비선형 값과 길이는 각각 $\gamma = 10.4(W \cdot km)^{-1}$ 과

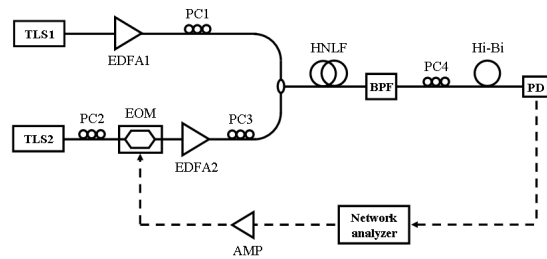
1.5-km 이었다. HNLF 출력에 0.2 nm의 3-dB 대역폭을 갖는 대역통과필터를 사용하여 probe 광만을 선택하였다. 상호 편광 변조에 의해 발생한 반전, 비반전 신호에 필터구현을 위한 광 경로차를 주기 위해 Hi-Bi fiber(beat length=4.1mm, 길이=200m)를 사용하였다. PC4를 사용하여 반전된 신호를 Hi-Bi 광섬유의 slow 축에, 비반전된 신호를 fast 축에 맞추면 복굴절에 의해 약 252 ps의 시간지연을 가지게 된다. 두 신호를 광수신기에서 검출한 후, 네트워크 분석기를 통해 필터 특성을 분석하였다.

그림 3은 pump광에 10Gbps로 '10111100'의 신호 패턴을 변조하였을 때 Hi-Bi 광섬유 후 선형 편광기를 사용하여 오실로스코프로 측정한 비반전, 반전 신호이다. 측정된 두 신호는 대략 252 ps의 시간차를 가지며 완전한 대칭 형태를 이루었다. 그림4는 주파수를 40 MHz-15 GHz까지 변화시켰을 때 얻은 필터의 주파수 응답이다. 예상한 것처럼 252 ps의 시간지연에 해당하는 3.97GHz의 FSR을 얻었으며 두 계수 사이의 편광 직교성 때문에 광원의 coherence 간섭없이 안정적인 노치 필터 특성을 얻을 수 있었다. 또한 구현된 음계수로 인해서 기저대역의 공진현상도 제거할 수 있었다.



HNLF: high nonlinear fiber, BPF: bandpass filter, PSD: polarization selective device

그림1. 제안한 광 노치필터의 동작 원리도



TLS: tunable laser source, EDFA: erbium-doped fiber amplifier, PC: polarization controller, EOM: electrooptic modulator, Hi-Bi: high birefringence fiber, PD: photodetector, AMP: electrical amplifier

그림2. 실험 구성도

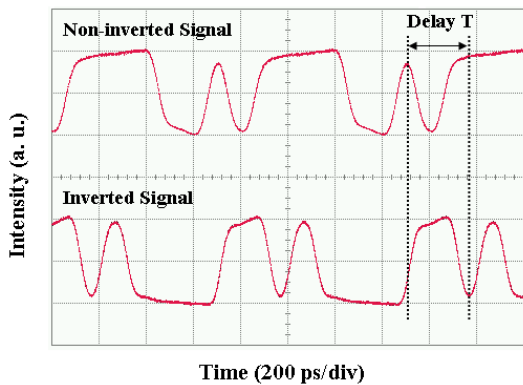


그림3. Hi-Bi 후 측정된 반전, 비반전 신호.

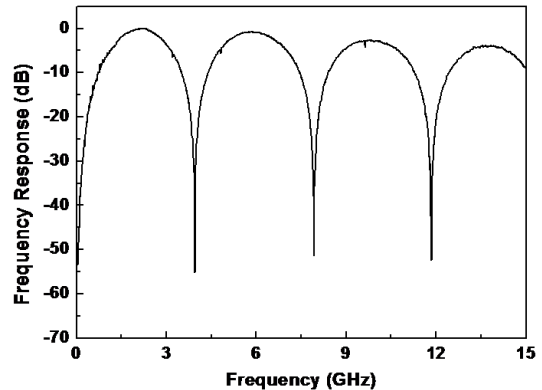


그림4. 측정된 주파수 응답곡선.

본 논문은 정보통신부 IT기초기술연구지원사업 No. B1220-0501-0108 에 의해 지원되었습니다.

References

1. J. Capmany, et. al, *J. Lightw. Technol.*, vol. 23, pp. 702-723 (2005).
2. W. Zhang, et al, *Electron. Lett.*, vol. 25, pp. 2133-2134. (1999).
3. G. P. Agrawal, *Nonlinear fiber optics*, 3rd ed. (2001).