

편광 변조 현상의 tap doubling 기법으로 구현한 광 마이크로파 필터

Photonic Microwave Filter Using Tap Doubling Method Based on Polarization Modulation

오충근*, 김태영, 박창수

광주과학기술원 정보통신공학과

*sunstar@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 수행되어 온 다수의 광필터들은 tap 수만큼 파장을 사용하여 필터 구조를 단순화 시킬 수 있는 WDM 기술에 기반하고 있다⁽¹⁾. 하지만 이 방식들은 tap 수를 증가하여 높은 성능의 필터를 얻기 위해 매우 많은 파장(광원)이 필요하기 때문에 실제 구현에 있어 큰 가격적 부담을 가진다. 최근 이런 문제점을 개선하기 위해 다수의 파장들을 시간적으로 다중화하여서 tap 수를 증가시키는 방식이 제안되었다⁽²⁾. 그러나 이 방식은 각 파장의 coherence 간섭을 피하기 위해 전기적 영역에서 tap의 합성이 일어나기 때문에 정확한 전기적 신호선의 길이를 맞추어야 하고 대역폭이 제한되는 단점을 가진다. 본 논문에서는 파장 수의 증가 없이 광영역에서 tap수를 2배로 증가시킬 수 있는 광필터 구조를 제안하고 실험적으로 구현하였다.

그림 1은 tap doubling을 위한 편광 변조 현상을 나타낸다. Continuous-wave의 빛이 LiNbO₃ 크리스탈의 주축에 대해 45°의 각도로 선형 편광되어 입사되면 크리스탈에 가해진 전기적 신호의 세기에 따라 출력될 빛의 편광 상태는 크리스탈의 y축에 대해 ±45°로 스위치하게 된다⁽³⁾. 즉, 그림 1의 A축에서는 가해진 전기적 신호에 대해 반전된 광신호를, B축에 대해서는 비반전된 광신호를 얻게 되며 이 두 광신호는 필터의 음계수, 양계수로서 사용된다.

그림 2는 제안한 필터의 구조를 보여준다. 여러 개의 파장이 LiNbO₃ 크리스탈을 거치게 되면 앞서 설명한 것처럼 각 파장별로 서로 수직인 편광상태를 가지는 반전, 비반전 신호들이 생성된다. 이 신호들 사이에 필터구현을 위한 일정한 광시간 지연을 주기 위해서 우선 파장 의존형 광지연부를 거치게 된다. 이 파장 의존형 광지연은 chirped FBG나 일반 광섬유(SSMF)와 같이 색분산을 가지는 매체를 사용하여서 각 파장들 간에 2T_d의 시간 간격을 가지도록 할 수 있다. 그 후, 편광 의존형 광지연부를 진행하면서 각 파장들마다 가지고 있는 서로 수직한 두 편광 성분들 사이에 T_d의 시간 간격이 주어지게 된다. 이 편광 의존형 광지연부는 PBS를 사용하여 각 편광상태를 나누어 다른 광시간지연을 가지도록 하거나 high-birefringence 광섬유에 전송하여 구현할 수 있다. 따라서 최종적으로 모든 신호들 사이에 T_d의 일정한 시간지연이 주어지고 양계수와 음계수가 동시에 존재함으로써 대역통과필터의 특성을 가지게 되는 것이다.

제안된 구조의 필터를 구현하기 위한 실험 구성도는 그림 3과 같다. 서로 간에 30 nm의 파장 간격을 가지는 3개의 LD에서 나온 빔들은 편광조절기(PC₁₋₃)를 지나 45°의 선형 편광 상태를 가지고 LiNbO₃ 위상변조기에 입력된다. 편광변조된 빔들은 2.9 km의 광섬유로 진행하게 되어 각 파장사이에 1.48 ns

($2T_d = D \cdot \Delta\lambda \cdot L = 17 \text{ ps/nm/km} \cdot 30 \text{ nm} \cdot 2.9 \text{ km}$, D: 광섬유의 분산기울기, $\Delta\lambda$: 파장 간격, L: 광섬유의 길이)에 해당하는 시간지연을 가지게 된다. 그 후, 서로 직교하는 반전/비반전 신호는 PBS를 거쳐서 나누어져서 서로 다른 광경로를 거쳐 PBC를 통해 다시 재결합된다. OPD는 파장 의존 광시간지연의 절반이 되는 0.74 ns가 되도록 약 15 cm로 주었다. 최종적으로 광수신기에서 신호들을 검출한 뒤, 네트워크 분석기를 통해 필터 특성을 측정하였다.

그림4는 주파수를 300 kHz - 6 GHz까지 변화시켰을 때 얻은 필터의 주파수 응답이다. 예상한 것처럼 0.74 ns의 시간지연에 해당하는 1.35 GHz의 free spectral range를 얻었으며 한 파장 내 두 계수 사이의 편광 직교성 때문에 광원의 coherence 간섭없이 안정적으로 동작하였다. 또한 실제 광원을 3개만 사용한 실험 결과와 기존의 WDM 필터 구조를 가정하여 광원을 6개 사용하여 시뮬레이션 한 필터 응답이 완벽히 일치함으로써 필터의 tap doubling이 성공적으로 구현되었음을 확인할 수 있었다. 편광 변조 현상의 특성으로 인하여 양계수, 음계수가 동시에 존재하기 때문에 기저대역의 공진현상도 제거된 대역통과필터 특성이 얻어졌다.

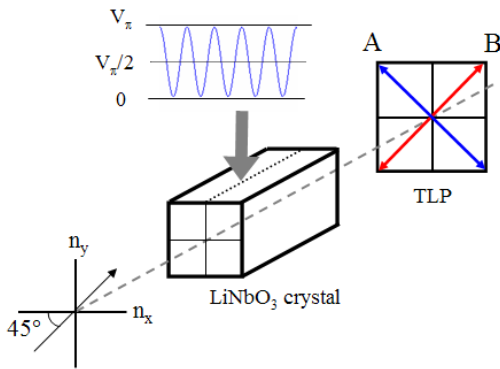


그림1. tap doubling을 위한 편광 변조 현상

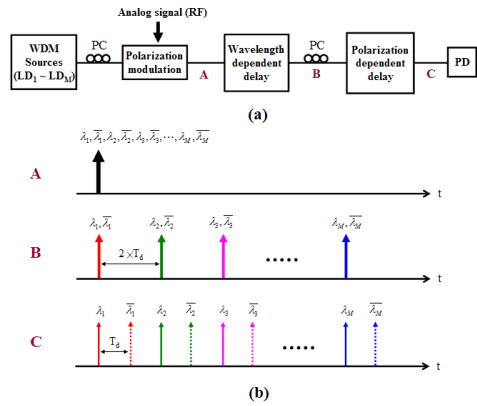
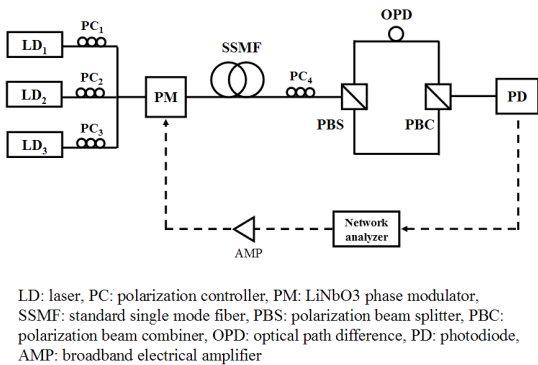


그림2. 제안한 광필터의 구조도



LD: laser, PC: polarization controller, PM: LiNbO3 phase modulator, SSMF: standard single mode fiber, PBS: polarization beam splitter, PBC: polarization beam combiner, OPD: optical path difference, PD: photodiode, AMP: broadband electrical amplifier

그림 3. 실험 구성도

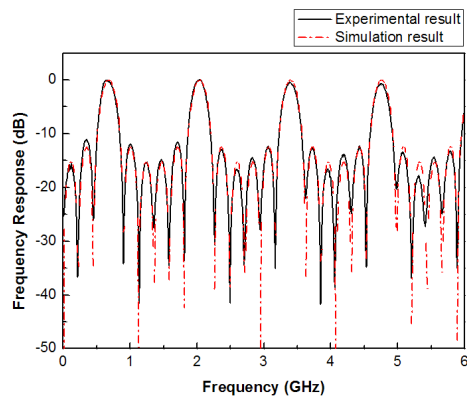


그림 4. 측정된 주파수 응답 곡선

본 논문은 정보통신부 IT정책개발지원사업 No. B1220-0601-0014 에 의해 지원되었습니다.

References

1. J. Capmany, et al, *J. Lightw. Technol.*, vol. 24, pp. 201-229 (2006).
2. B. Vidal, et al, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16, pp. 257-259, (2004).
3. E. Hu, et al, *Proc. OFC 2003*, Atlanta, GA, Paper FD2 (2003).