

## 4파 혼합 파장 변환기에서 CW 파워 조절을 통한 입력 신호 영역 확장

# Input Signal Power Range Extension by Optimal Control of CW Power in Four-Wave-Mixing Wavelength Converter

장원봉, 박경현\*, 박효훈\*\*

한국정보통신대학교 광연결 및 스위칭 연구실, \*한국전자통신연구원, \*\*한국정보통신대학교  
jwonbong@icu.ac.kr

Abstract: In four-wave-mixing wavelength converter, we investigated the performance through simulation by using VPI tool, changing the input signal power and CW power at 2.5Gb/s. Controlling optimal CW power to each input signal power, we extended the input signal power range to 20dB, which guarantees the minimum power penalty.

### 1. Introduction

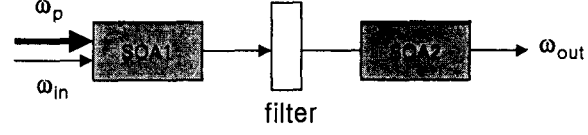
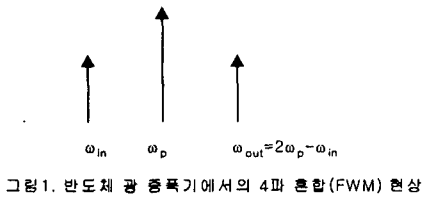
전광(All-Optical) 파장 변환은 앞으로 WDM(Wavelength-Division-Multiplexing) 광 네트워크와 광 스위치 시스템에 꼭 필요한 중요한 기능 중의 하나이다. 왜냐하면, WDM 광 네트워크나 광 스위치 시스템에서 사용되는 파장은 제한적이므로, 동일한 파장의 데이터가 들어올 때, 파장을 변환하여 줌으로써, 서로 충돌하는 것을 피하고, 네트워크의 flexibility와 capacity를 보장할 수 있기 때문이다. 이러한 이유로, 파장 변환기에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다. 처음에는 electro-optic 변환기가 제안이 되었으나, 복잡하고, 파워 소비가 커서, all-optic 파장 변환기로 관심을 집중하고 있다. 그 중에서도 반도체 소자를 이용하면, 크기가 작고, 집적화에 유리하며, 시스템에도 잘 적용될 수 있기 때문에, 반도체 소자 즉 반도체 광 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier:SOA)를 이용하는 구도들이 많이 연구되고 있다. SOA(semiconductor optical amplifier)에서의 XGM(cross gain modulation), XPM(cross phase modulation), FWM(four wave mixing) 현상 등을 이용한 연구들이 주를 이루고 있다. 이런 여러 현상 중에서 FWM 현상을 이용한 파장 변환기는 다른 구도와 비교하여 가질 수 있는 가장 큰 장점이 입력 신호에 대해서 transparency하다는 점이다<sup>(1)</sup>. 즉, FWM 파장 변환기는 변조방식(RZ,NRZ)이나 변조 종류(PM,FM,AM)에 영향을 받지 않는다. 그러나, FWM 파장 변환기에서는 출력단으로 나오는 두 신호의 혼합된 성분의 파워가 너무 작아서, 일반적으로 변환 효율이 떨어진다. 또한, 입력 신호와 펌프 신호의 파워에 따라 디바이스 성능이 영향을 받을 수 있다.

본 논문에서는, 이러한 FWM 파장 변환기의 출력단에 SOA를 추가로 달아 변환 효율을 높이고, 들어오는 입력 신호에 따른 펌프 파워의 power penalty를 시뮬레이션을 통해 분석하여, 최적의 상태가 되도록 조절함으로써, 입력신호의 영역이 20dB이상 확장될 수 있음을 보였다.

### 2. 이론 및 시뮬레이션

입력진동수  $\omega_{in}$ 을 가진 입력 신호와 더 큰 파워를 가지고 펌프진동수  $\omega_p$ 를 갖는 펌프 신호가 똑같은 편광 상태를 지닌 상태에서, 함께 반도체 광 증폭기(SOA)를 지나가게 되면, 반도체 광 증폭기에서의 자극 방출 때문에, 진동수 차이  $\Delta\omega = \omega_p - \omega_{in}$ 에 의한 비팅 현상이 결과적으로 carrier density pulsation(CDP)을 일으키게 한다. SOA에서의 이득과 굴절률은 운반자 밀도에 의존하므로, CDP로 인하여, 펌프 파의 변조와 주파수  $\omega_{out} = 2$

$\omega_p \pm \omega_{in}$ 에서의 측 대역의 발생을 가져오게 된다.<sup>(1)</sup>(그림1) 이렇게 만들어진 주파수  $\omega_{out}$ 을 갖는 새롭게 만들어진 파는 입력 신호의 위상 공액 복사에 해당하는 것으로, 파장(주파수)이 변환된 신호가 됨을 의미한다.

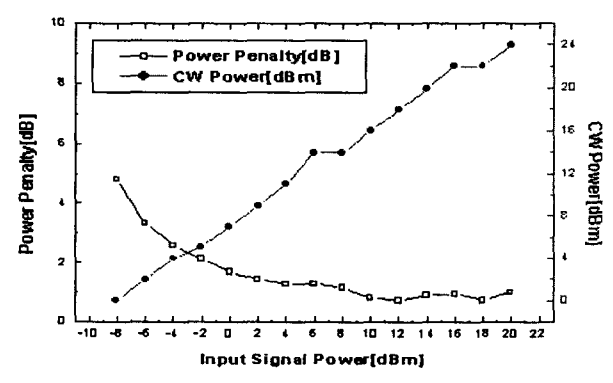
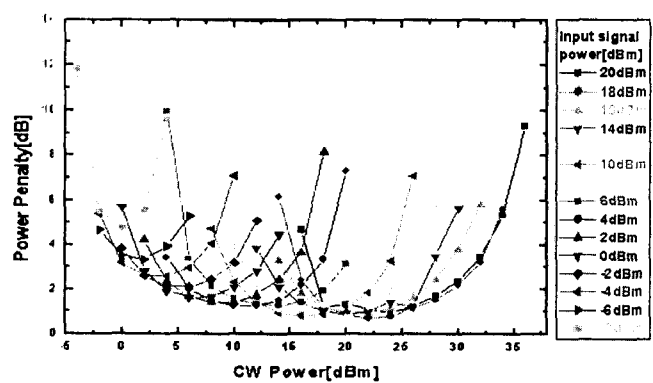


입력 신호와 펌프 파워, 즉 CW 파워와의 최적의 관계를 측정하기 위한 FWM 파장 변환기의 구조는 그림2에 간단히 보였다. VPI 시뮬레이션 툴을 사용하여, 일반적인 FWM 파장 변환기에서, 입력 신호를 변화시키면서 CW 파워의 관계를 시뮬레이션 해 보았다<sup>(2)</sup>. 입력 신호의 진동수  $\omega_{in}$ 은 193.0THz(1554.4nm), CW 파워의 진동수  $\omega_p$ 는 193.1THz(1553.6nm)이고, 따라서 변환되는 신호의 진동수  $\omega_{out}$ 은 193.2THz(1552.80nm)가 된다. 입력 신호는 2.5Gb/s의 비트율에서, NRZ 방식으로, PRBS  $2^{23}-1$ 의 길이에 해당하는 신호이다. 입력 신호와 CW 파워는 variable attenuator로 변화시킬 수 있다. 입력 신호를 -8dBm부터 20dBm까지 2dB씩 증가시키면서, CW를 변화시키면서, 수신되는 파워를 측정하여  $10^{-9}$ 에 해당하는 비트 에러율을 측정할 수 있었다.

3. 시뮬레이션 결과 및 결론

그림3은 각각의 입력 신호(-8dBm~20dBm)에 대한 CW 파워 대 Power Penalty에 관한 그래프이다. 이 그래프를 통하여, 각각의 입력 신호에 대한, 가장 좋은 성능을 보장하는 CW 파워 상태를 찾아낼 수 있다. 입력 신호(-8dBm~20dBm)에 대한, CW 파워의 최소 Power Penalty는 각각 4.802, 3.332, 2.58, 2.115, 1.686, 1.428, 1.278, 1.283, 1.164, 0.814, 0.728, 0.901, 0.946, 0.729, 0.996(dB)가 되고, 최소 Power Penalty를 보장하는 최적의 CW 파워를 조절하여 줌으로써, 4파 혼합 파장 변환기에서 입력 신호의 영역이 확장될 수 있음을 그림4를 통하여 알 수 있다.

본 논문에서는, 4파 혼합 파장 변환기에서의 입력 신호와 CW 파워와의 관계를 시뮬레이션을 통하여 알아보았다. 가장 좋은 성능을 보장하도록 하기 위해서, 최소의 Power Penalty에 해당하는 CW를 조절하여 줌으로써, 입력 신호의 영역을 20dB이상 확장할 수 있음을 보였다.



1. Yi Dong, et al. "Bit-Error-Rate Performance Dependence on Pump and Signal Power of the Wavelength Converter Based on FWM in Semiconductor Optical Amplifiers", IEEE, 1557-1560 (2000).
2. Sang-Ook Choi, et al. "Power Penalty Reduction by the optimal control of the CW power in a Cross-Phase Modulation Wavelength Converter", COIN, 384-386 (2002).