

가우시안 펄스의 칩핑에 의한 편광모드분산의 변화

Change of Polarization Mode Dispersion Due to Chirping of a Gaussian Pulse

윤일용, 이병호
 서울대학교 전기·컴퓨터공학부
 byoungho@snu.ac.kr

1. 서론

편광모드분산(polarization mode dispersion: PMD)은 광통신 속도가 10Gbps 이상으로 증가함에 따라 중요한 문제중의 하나로 부각되고 있다⁽¹⁾. 편광모드분산은 펄스가 전송시스템을 통과할 때 그 편광상태에 따라 속도가 달라져서 속도가 다른 두 펄스의 중첩에 의해 펄스폭이 넓어지는 현상이다. 이때 편광의존손실(polarization-dependent loss: PDL)이 전송시스템에 존재하게 되면 이러한 현상은 더욱 복잡해지게 된다. 본 논문에서는 가우시안 펄스의 chirp과 PMD, PDL사이의 상관관계에 대해서 이론적으로 고찰하였고 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다.

2. 이론

펄스의 시간상에서의 평균위치는 다음과 같이 정의될 수 있다⁽²⁾.

$$\langle t \rangle = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{out}^*(t) t \Psi_{out}(t) dt}{\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{out}^*(t) \Psi_{out}(t) dt} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} H^*(\omega) F^*(\omega) i [H(\omega) F(\omega)]' d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega) F(\omega)|^2 d\omega} \quad (1)$$

이때 Ψ 는 펄스를 나타내는 시간에 대한 함수이고 H 는 전송시스템의 전달함수, F 는 펄스의 푸리에 변환을 의미한다. 식 (1)을 사용하여 $\Psi(t) = \exp[-(1 + iC)(t/T_0)^2/2]$ 로 나타나는 chirped Gaussian 펄스에 대한 시간 영역에서의 지연시간(delay)을 얻을 수 있다.

$$\frac{-\int_{-\infty}^{\infty} H_m^2(\omega) \exp[-T_0^2 \omega^2/(1 + C^2)] \phi_H' d\omega - C \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-T_0^2 \omega^2/(1 + C^2)] H_m^2 [\ln H_m(\omega)]' d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega) F(\omega)|^2 d\omega} \quad (2)$$

이때 C 는 chirp parameter이고 $H_m(\omega)$ 와 ϕ_H 는 각각 전달함수의 크기성분과 위상성분을 나타낸다. 이 식에서 각각의 주파수 성분들은 각 주파수들이 겪는 일반적인 그룹 지연인 ϕ_H' 과 chirp에 의해 생긴 추가 지연인 $C[\ln H_m(\omega)]'$ 을 출력 펄스의 전체 에너지에 대한 그 주파수 성분의 비율만큼 전체 펄스의 지연에 기여하게 된다. 만약 편광된 광파에 대한 주파수 응답의 크기를 $H_m(\omega)$ 로 생각한다면 비슷한 논의를 편광된 펄스를 포함하는 일반적인 식으로 확장할 수가 있다.

3. 결과 및 토의

위의 이론에서 펄스의 편광상태에 따라 주파수응답이 달라져서 chirp에 의해 생긴 딜레이가 변할 수 있으며 이것이 곧 PMD 현상을 의미하게 된다는 것을 알 수 있다. 이론을 검증해보기 위해서 시간 영역에서의 PMD를

계산하였다. 이때 Lu 등에 의해 제안된 방법⁽³⁾을 사용하였다. 여기서 두 개의 PMD 요소를 결합시킨 구조를 고려하였으며 첫 번째 요소는 PMD만, 두 번째 요소는 PDL만 가지고 있다고 가정하고 각각 PMD_1 , PDL_2 라고 나타내었다. 그림 1 (a)는 PMD가 chirp parameter에 의해 증가하는 현상을 보여주고 있다. chirp에 의한 딜레이를 설명한 위의 이론을 사용해서 이러한 PMD 증가를 해석할 수가 있다. 그림 1 (b)에서는 실제 펄스의 모양을 나타내었다. 여기에서 실제로 chirp에 의해 딜레이가 발생했음을 알 수 있고 이것이 PMD에 미치는 영향에 대해 알 수가 있다.

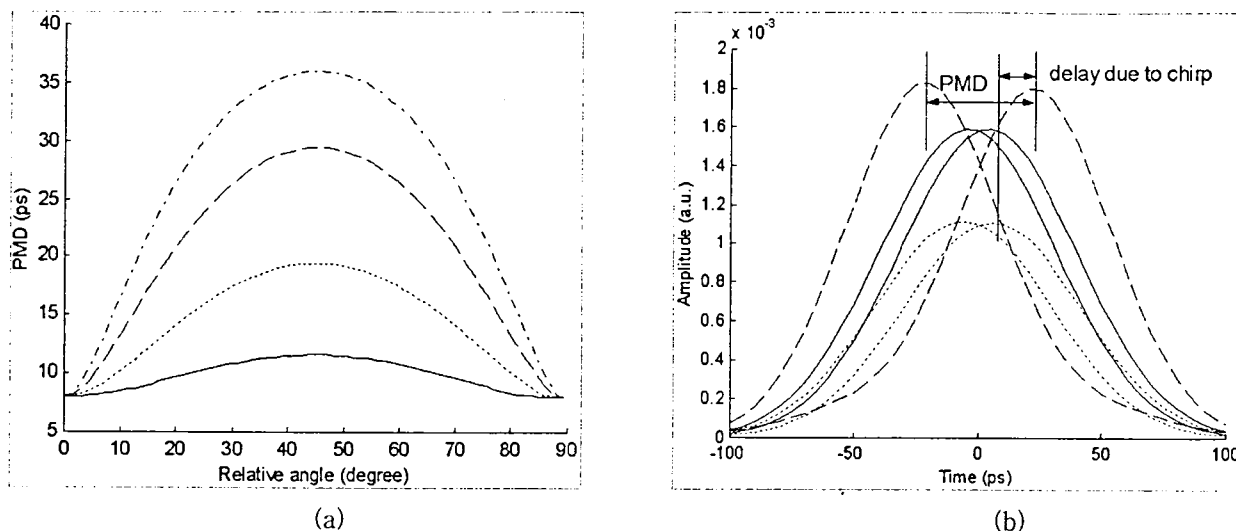


그림 1. (a) Chirp에 의한 PMD변화. $PMD_1=8$ ps, $PDL_2=8$ dB. 실선: $C=0$, 점선: $C=2$, 파선: $C=4$, 일점쇄선: $C=7$. (b) 최대지연과 최소지연을 갖는 펄스의 모양. 펄스폭=50 ps. $PMD_1=8$ ps. 실선: $PDL_2=0$ dB, $C=0$, 점선: $PDL_2=8$ dB, $C=0$, 파선: $PDL_2=8$ dB, $C=7$.

4. 결론

본 논문에서 chirp과 편광된 광파에 대한 주파수응답 사이의 상호작용에 의해 추가적인 딜레이가 발생하고 이것에 의해 PMD가 증가할 수 있음을 보였다. 이것은 일반적으로 PMD를 측정할 때 사용되는 Jones matrix eigenanalysis 방법⁽⁴⁾이 전송시스템의 전달함수의 위상 미분 정보만을 고려하므로 위의 현상을 설명할 수 없기 때문에 중요한 결과라 할 수 있다.

5. 참고문헌

- [1] B. Huttner, C. Geiser, and N. Gisin, "Polarization-induced distortions in optical fiber networks with polarization-mode dispersion and polarization-dependent losses," *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electron*, vol. 6, no. 2, pp. 317-329, 2000.
- [2] C. D. Poole and C. R. Giles, "Polarization-dependent pulse compression and broadening due to polarization dispersion in dispersion-shifted fiber," *Opt. Lett.*, vol. 13, pp. 155-157, 1988.
- [3] P. Lu, L. Chen, and X. Bao, "Polarization mode dispersion and polarization dependent loss for a pulse in single-mode fibers," *J. of Lightwave Technol.*, vol. 19, no. 6, pp. 856-860, 2001.
- [4] B. L. Heffner, "Automated measurement of polarization mode dispersion using Jones matrix eigenanalysis," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, no. 9, pp. 1066-1069, 1992.