

고차 비선형 효과를 고려한 전광 스위치에서

펄스의 전파 특성 해석

Analysis of higher-order nonlinear effect in all optical switch

권지숙*, 윤기홍
 경북대학교 전자공학과
 eucalys@kebi.com

최근 데이터 통신의 발달과 정보량의 급격한 증가로 인해 초고속, 대용량의 전송시스템인 광통신에 대한 관심이 증대되고 있다. 광통신 시스템에서 전광 스위치는 초고속 신호처리를 가능하게 하는 역할을 한다. 그에 따라 여러 가지 광 스위치 기법에 대한 연구가 진행되어 왔고, 그 중 복굴절 광섬유에 극초단 펄스를 전파하는 광 스위치는⁽¹⁾ 광섬유 내에서 발생하는 비선형 효과를 이용하는 기법이다. 복굴절 광섬유를 이용한 광 스위치 방식은 크게 위상 이동 스위치(phase-shift switch)와 시간 이동 스위치(time-shift switch)로 분류될 수 있다. 위상 이동 스위치는 서로 다른 편광 상태를 가지는 신호 펄스와 스위칭 펄스가 충돌할 때 신호 펄스의 위상이 변화하는 원리를 이용해서 구현된다. 이에 반해 시간 이동 스위치는 신호 펄스와 스위칭 펄스가 동시에 전파될 때 발생하는 펄스 사이의 Dragging 현상⁽²⁾을 통해 전파 시간이 지연되는 것을 이용하는 기법이다.

본 연구에서는 복굴절 광섬유에 펄스 폭이 좁은 극초단 광펄스가 입력될 때의 전파 특성을 해석하였다. 통신 시스템에서 펄스의 폭이 좁아질수록 신호 전송률이 증가하는 장점이 있지만, 라만 효과⁽³⁾와 같은 고차 비선형 현상의 영향을 무시할 수 없게 된다. 이와 같은 비선형 효과는 초기 펄스 폭, 광섬유의 복굴절을 그리고 두 펄스의 초기 시간 간격과 같은 여러 가지 입력 파라미터에 의해 달라지게 된다. 따라서 입력 파라미터의 변화에 의해 펄스의 전파 특성도 달라지게 된다.

일반적으로 복굴절 광섬유를 이용한 광 스위치에서 펄스의 전파는 Coupled Nonlinear Schrödinger Equation에 의해 표현된다. 그러나 펄스 폭이 좁은 극초단 광펄스를 사용할 경우, 고차 비선형 현상인 라만 효과를 고려해야 하므로 다음과 같이 수정된 형태로 나타낼 수 있다.

$$i\left(\frac{\partial u}{\partial \xi} + \delta \frac{\partial u}{\partial \tau}\right) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} + (|u|^2 + \frac{2}{3}|v|^2)u - (r_1 u \frac{\partial |u|^2}{\partial \tau} + r_2 u \frac{\partial |v|^2}{\partial \tau} + r_3 v \frac{\partial (uv^*)}{\partial \tau}) = 0$$

$$i\left(\frac{\partial v}{\partial \xi} - \delta \frac{\partial v}{\partial \tau}\right) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial \tau^2} + (|v|^2 + \frac{2}{3}|u|^2)v - (r_1 v \frac{\partial |v|^2}{\partial \tau} + r_2 v \frac{\partial |u|^2}{\partial \tau} + r_3 u \frac{\partial (vu^*)}{\partial \tau}) = 0$$

여기서 u 와 v 는 각각 서로 편광이 직교하는 두 펄스의 포락선을 나타낸다.

위상 이동 스위치에서 편광이 직교하는 두 펄스가 충돌한 후에, SPM(Self-Phase Modulation)과 XPM(Cross-Phase Modulation)의 영향으로 인한 위상 이동이 일어나게 된다. 두 펄스의 상호 작용이 일어나는 동안 XPM에 의해 발생된 chirp는 펄스의 전체 주파수를 이동시킨다.⁽⁴⁾ 따라서 두 펄스 사이에 상호 라만 산란(Cross Raman Scattering)이 발생하게 되어 주파수가 높은 펄스로부터 주파수가 낮은 펄스로 라만 펌핑이 일어나게 된다. 이와 같은 위상 이동 스위치에서 펄스의 전파 특성이 그림 1에 나타나 있다.



시간 이동 스위치에서는 복굴절률에 의한 Walk-off 현상과 XPM에 의해 발생하는 펄스의 중심 주파수 이동이 반대 방향으로 작용하기 때문에 두 펄스 사이에 자기 포획 현상이 일어난다. 그에 따른 라만 산란의 영향으로 라만 펌핑이 일어나게 되며, SRS(Self Raman Scattering)와 XRS의 효과로 인해 시간 지연이 더 커지게 된다. 그림 2는 시간 이동 스위치에서 펄스의 전파를 나타낸다.

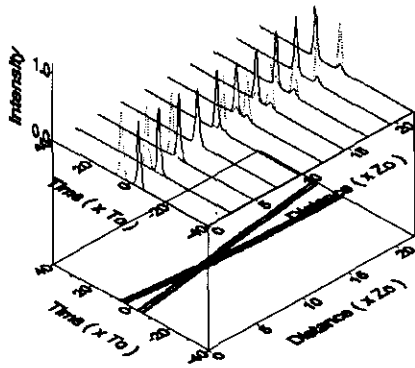


그림 1. 위상 이동 스위치에서 펄스의 전파

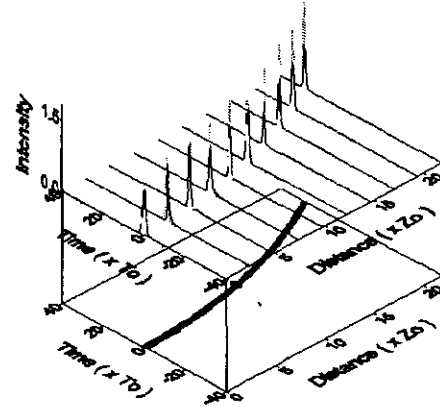


그림 2. 시간 이동 스위치에서 펄스의 전파

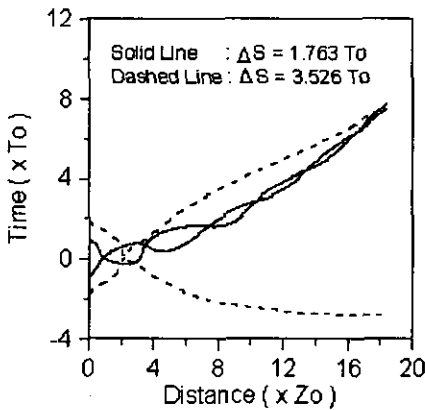


그림 3. 초기 시간 간격의 변화에 따른 전파 특성

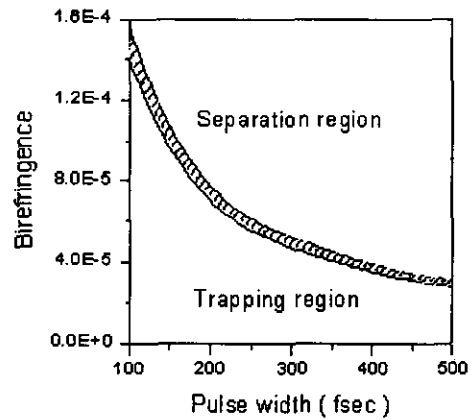


그림 4. 펄스폭의 변화에 따라 이용가능한 복굴절률

그림 3은 위상 이동 스위치에서 두 펄스의 초기 시간 간격인 Δs 가 변화함에 따라 달라지는 전파 형태를 나타낸다. 그림 4는 펄스의 폭이 변화할 때 시간 이동 스위치로 사용이 가능한 복굴절률의 영역을 나타내고 있다. 분리 영역에서는 복굴절률에 의한 Walk-off 현상이 크게 작용하기 때문에 충분한 시간 이동을 얻을 수 없게 되고, 포획 영역에서는 두 펄스 사이의 비선형 효과가 크게 작용하기 때문에 시간 이동 스위치로 사용할 수 있게 된다.

참고 문헌

[1] C. J. Chen, P. K. A. Wai, C. R. Menyuk, Optics Letters 15, 477 (1990)
 [2] C. J. Chen, C. R. Menyuk, M. N. Islam, R. H. Stolen, Optics Letters 16, 1647 (1991)
 [3] R. H. Stolen, J. P. Gordon, W. J. Tomlinson, H. A. Haus, J. Opt. Soc. Am. B 1159 (1989)
 [4] F. M. Mitschke, L. F. Mollenauer, Optics Letters 11, 659 (1986)