

LabVIEW를 이용한 광섬유에서 극초단 펄스 전파의 수치해석

황대석^{*} · 이호근^{**} · 이영우^{*}

^{*}목원대학교 · ^{**}(주)한백전자

Numerical Analysis of Ultrashort Pulse Propagation in Optical Fiber using by LabVIEW

Daeseok Hwang^{*} · Ho-Guen Lee^{**} · Young-Woo Lee^{*}

^{*}Mokwon University · ^{**}Hanback Electronics Co. Ltd

E-mail : ywlee@mokwon.ac.kr

요 약

LabVIEW를 사용하여 광섬유에서의 극초단 펄스 전파의 특성에 관한 연구를 수행하였다. 수치해석을 위해 1550nm의 극초단 광원을 Silica재질의 광섬유에 도파시키고 Split Step Fourier 방법을 이용하여 전파특성을 계산하였다.

키워드

Ultrashort Pulse, Optical Fiber, Shortpulse Propagation Characteristics

표 1 D-WDM의 개발 상황

년도	Bit Rate / Ch (Gb/s)	채널수	전송 거리 (km)	중복 간격 (km)	신 호 종류
1996	20	3	10000	50	soliton
1996	5	20	9000	45	NRZ
1997	5	32	9300	45	NRZ& Soliton
1998	10	64	500	100	NRZ
1999	10	64	7200	50	Chirped RZ
1999	10	34	6380	50	RZ

1. 서 론

현대 사회는 음성, 문자, 동영상등의 다양한 매체에 의한 정보의 교환을 하고 있다. 이에 따라 대용량의 정보를 고속으로 처리할 수 있는 수 광통신 산업은 1980년대부터 급속히 성장하고 있다.

초기의 광통신은 다중 모드 광섬유에 0.8 μ m영역의 LED를 사용하여 전송하였다. 높은 손실(>5dB/km)을 갖는 0.8 μ m 대역 파장 및 저출력의 LED 사용으로 인하여 약 1~10km이내마다 증계기를 설치하였다. 이후 단일 모드 광섬유가 다중 모드 광섬유를 대체하였으며 실리카 재질의 광섬유에서 최소 분산을 갖는 1.3 μ m대역 파장으로 변화하였다. 최근에는 통신 산업의 거대화에 맞춰 EDFA(Erbium - Doped Fiber Amplifier), WDM(Wavelength Division Multiplexing)등 대용량의 정보를 빠르게 송수신하기 위한 기술들이 개발되고 발전중에 있다. 특히 WDM 기술은 광통신에서 전송용량을 비약적으로 상승시키는 데 기여하고 있다. 표 1에 D-WDM의 개발 상황을 보인다[1-6].

본 논문에서는 초고속 통신을 위해 1550nm 대역에서 극초단 펄스의 전파특성 및 비선형성의 분석을 위해 LabVIEW를 이용한 수치해석을 수행하였다.

II. 이론 해석

단일 모드 광섬유에서 광의 전파식은 맥스웰 방정식으로부터 유도할 수 있다.

$$\nabla^2 E - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = -\mu_0 \frac{\partial^2 P(E)}{\partial t^2} \quad (1)$$

식 (1)이 +z 방향으로 전파되고 x방향으로 편광 되어 있을때식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z} A(z,t) = & -\frac{\alpha}{2} A(z,t) \\ & + j \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} A(z,t) \\ & + \frac{\beta_3}{6} \frac{\partial^3}{\partial t^3} A(z,t) \\ & - j\gamma |A(z,t)|^2 A(z,t) \\ & + j\gamma T_R \frac{\partial}{\partial t} |A(z,t)|^2 A(z,t) \\ & - \frac{\gamma}{\omega_0} \frac{\partial}{\partial t} |A(z,t)|^2 A(z,t) \end{aligned} \quad (2)$$

$A(z,t)$: 시간에 대해 변화하는 전장

z : 전파 거리

$t = t' - z/\nu_g$: (t' :물리 시간, ν_g :중심 파장에
서의 그룹 속도)

α : 광섬유 손실계수(1/km)

β_2 : 이차 전파 상수(ps^2/km)

β_3 : 삼차 전파 상수 (ps^3/km)

γ : 비선형 계수 $2\pi n_2/\lambda_0 A_{eff}$

n_2 : 비선형용 계수

A_{eff} : 광섬유 유효 코어 직경

λ_0 : 중심 파장

ω_0 : 중심 각 주파수

T_R : 라만 이득 기울기($\sim 5fs$)

식 (2)는 펄스폭 50fs, 스펙트럼 폭 20THz까지 응용 가능한 '일반화된 비선형 솔리딩거 방정식'이다. 첫 번째 항부터 각각 1)선형 감쇠, 2) 이차 분산, 3) 삼차 분산, 4) Kerr effect, 5) Stimulated Raman Scattering (SRS), 6) Self-steepening effect 이다. 만약 펄스 폭이 1ps이상일 경우 삼차 분산 항까지 무시가 가능하여 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{i}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} - \frac{\alpha}{2} A + i\gamma |A|^2 A \quad (3)$$

일반적으로 비선형 솔리딩거 방정식은 비선형성과 분산 효과를 동시에 풀 수 없다. 이러한 비선형 솔리딩거 방정식을 풀기 위해 split-step fourier 방법을 적용한다.

Split-step fourier 방법을 적용하기 위해 선형 연산자(\hat{L})와 비선형 연산자(\hat{N})를 도입하여 식 (4) 와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial A(z,t)}{\partial z} = (\hat{L} + \hat{N})A(z,t) \quad (4)$$

$$\hat{L} = -\frac{\alpha}{2} - \frac{j}{2} \beta_2 \frac{\partial^2}{\partial t^2}$$

$$\hat{N} = j\gamma |A(z,t)|^2$$

이때 펄스가 z 에서 $z + \Delta z$ 로 전파될 때 식 (4)는 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$A(z + \Delta z, t) = \exp(\Delta z (\hat{L} + \hat{N}))A(z, t) \quad (5)$$

식(5)와 같이 나뉘어진 split-step fourier 방법은 연산자가 각각 계산 되어지는 것으로 가정한다.

$$A(z + \Delta z, t) \approx \exp(\Delta z \hat{L}) \exp(\Delta z \hat{N}) A(z, t) \quad (6)$$

Split-step fourier 방법은 Δz 의 크기가 정확도를 좌우하게 되고, 보통 Δz 는 비선형 효과 이하의 최대 위상 변화($\Phi_{max} = \gamma |A_p|^2 \Delta z$) 값으로 선택한다. 일반적으로 Φ_{max} 가 0.05 rad 이하일때 split-step fourier 방법은 대부분의 광통신 시스템에 있어 좋은 결과를 주는 것으로 보고되어 있다. 또 Δz 는 시뮬레이션 시간에 큰 영향을 주게 된다. 시뮬레이션 시간을 줄이기 위해 일반적인 split-step fourier 방법을 symmetrized split-step 방법을 다시 적용하면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} A(z + \Delta z, t) \approx & \exp\left(\frac{\Delta z}{2} \hat{L}\right) \\ & \exp\left(\int_z^{z+\Delta z} \hat{N}(z') dz'\right) \\ & \exp\left(\frac{\Delta z}{2} \hat{L}\right) A(z, t) \end{aligned} \quad (7)$$

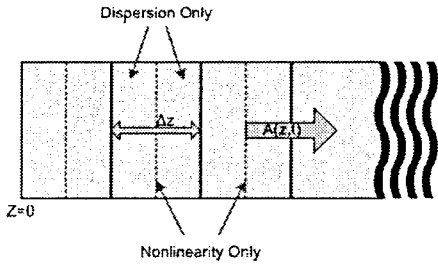


그림 1 Fiber 내에서 광 펄스 전파의 Symmetrized split-step fourier method 모델

실제적으로 식 (6)이 전파 간격 Δz 마다 뭉쳐서 나오는것에 비해 식 (7)은 Δz 에 대해 적분하여 z 에 더 의존적인 비선형성에 대해 더 유용하게 된다.

극초단 펄스의 전파특성 및 비선형성의 수치해석을 위해 LabVIEW를 이용하여 Symmetrized split-step fourier 방법을 적용하였다. 그림 2에 시뮬레이션 순서도를 보인다.

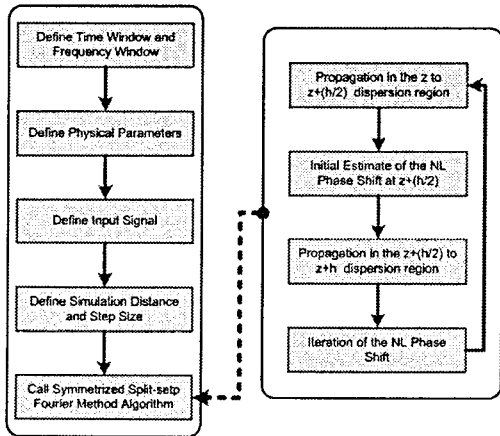


그림 2 Symmetrized split-step fourier method 시뮬레이션 순서도

프로그래밍의 편의를 위해 정의부분과 symmetrized split-step fourier 부분을 나눠 함수 형태로 호출하게 되어있다. 그림 3은 LabVIEW로 작성된 Symmetrized split-step fourier method 시뮬레이션의 결과 화면이다.

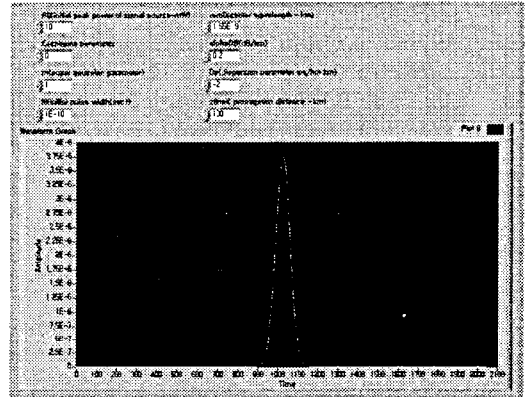


그림 3 Symmetrized split-step fourier method 시뮬레이션 결과 화면

III. 결 론

극초단 펄스의 전파특성 및 비선형성의 수치해석을 위해 LabVIEW를 이용하여 Symmetrized split-step fourier 방법을 적용하였다. 광 섬유에 입사된 극초단광의 비선형 효과 및 펄스의 분산을 시뮬레이션 결과 확인할 수 있었다.

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] M. Nagazawa, S. Suzuki, H. Kubota, E. Yamada, "60Gbit/s(20Gbit/s×3 unequally spaced channels) soliton transmission over 10,000km using in-line synchronous modulation and optical filtering", Electronics Letters, vol.32, pp.1986-1688, 1996
- [2] N. S. Bergano, C. R. Davidson, "Wavelength division multiplexing in longhaul transmission systems", IEEE Journal of Lightwave Technology, vol. 14, no. 6, pp. 1299-1308, 1996
- [3] N. S. Bergano, et al., "Long-haul WDM transmission using optimum channel modulation : A 160Gb/s (32×5 Gb/s) 9,300km demonstration", Proceedings of Optical Fiber Communications Conferences, Paper PD-21, 1997
- [4] A. K. Srivastava, et al., " L-Band

64×10Gb/s DWDM Transmission over 500km DSF with 50GHz Channel Spacing ", ECOC'98, pp. 73-75, 1998

[5] N. S. Bergano, et al., "640 Gb/s Transmission of sixty-four 10Gb/s WDM channel over 7200km with 0.33(bits/s)/Hz spectral efficiency", Proceedings of Optical Fiber Communications Conferences, Paper PD-2, 1999

[6] G. Varella, et al., "340Gb/s(34×10Gb/s, 50GHz Spacing DWDM) straight line transmission over 6380km with full system implementation assessment", Proceedings of Optical Fiber Communications Conferences, Paper PD-18, 1999