

# 매우 짧은 펄스를 사용한 40Gb/s 광전송의 성능과 광섬유의 색분산과의 상관관계

## The effect of fiber chromatic dispersion on 40-Gb/s optical transmission using very short pulses

박상규

한양대학교 전자전기공학부

sanggyu@ieee.org

최근에 매우 짧은 펄스를 이용한 RZ 포맷의 고속 광전송이 소개되었다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 이 포맷이 40Gb/s 전송에 유효하다는 것이 보여졌으며<sup>(1)</sup>, 또한 실험을 통하여 이 포맷이 광섬유에서의 SPM에 저항성을 갖는다는 것이 보여졌다<sup>(2)</sup>. 이 후 몇 편의 논문을 통하여 160Gb/s, 300km(3x100km)전송<sup>(3)</sup>, 40Gb/s, 720km(6x120km)전송<sup>(4)</sup> 등이 보고되었다. 이 새로운 포맷에서는 짧은 펄스를 사용하므로 광신호가 고유의 정보량이 요구하는 최소한의 것보다 넓은 대역폭을 차지하게 되며 이는 광섬유의 분산과 상호작용을 하여 광전송중 광섬유의 비선형성에 의한 신호의 왜곡을 줄이는 역할을 하게 된다. 이렇게 되면 우리는 고속전송에서 요구되는 높은 신호대잡음비를 만족시킬 수 있는 높은 출력의 광신호를 사용할 수 있게 된다. 본 연구에서는 짧은 펄스를 이용한 전송에서 매우 중요한 역할을 하는 광섬유의 색분산과 전송시스템의 성능과의 상관관계를 체계적으로 조사하였다.

본 연구에서는 split-step Fourier transform 방법을 이용한 시뮬레이터가 사용되었다. 본 연구에서 연구된 1000km 길이의 전송선로는 10개의 100km 길이의 광섬유 스펠들로 구성되었으며, 광섬유의 색분산을 0.5ps/nm/km에서 16ps/nm/km까지 변화시켜가며 시뮬레이션이 반복되었다. 색분산보상은 매 100km 스펠

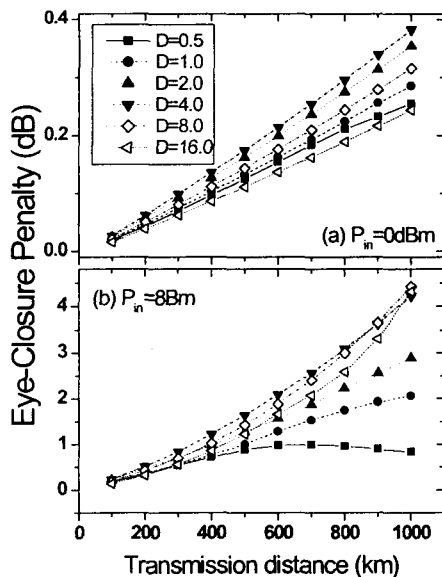


그림 1 Eye-closure penalty vs. 전송거리

의 끝에서 시행되었다. 본 연구에서는 비선형성을 갖지 않는 색분산보상소자가 가정되었으며 광증폭기의 잡음이나 광섬유의 고차 색분산은 고려되지 않았다. 광신호들은 길이가 2048인 PRBS 로 코딩되었는데, 신호를 구성하는 펄스들은 길이가 3ps(FWHM)인 secant-hyperbolic 모양으로 만들어졌다. 광수신기에서는 160GHz 폭을 갖는 광필터와 34GHz폭을 갖는 베이스밴드 필터가 사용되었다. 본 연구에서는 eye-closure penalty를 시스템의 성능을 평가하기 위하여 사용하였다.

그림 1 은 여러 가지 색분산을 갖는 광섬유를 가정한 시뮬레이션에서 eye-closure penalty가 전송거리에 따라 변하는 것을 보여준다. 그림 1 (a)는 각광섬유스펠에서 사용된 신호의 세기가 0dBm 인 경우를 (b)는 신호의 세기가 8dBm 일 때이다. 예상대로 0dBm 의 경우에는 eye-closure penalty가 매우 천천히 증가하며 전송거리가 1000km에 이

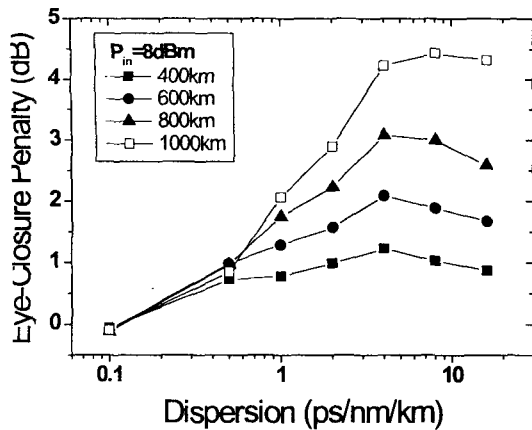


그림 2 Eye-closure penalty vs. 광섬유의 색분산

우리가 사용한 3ps 펄스들은 대역폭(FWHM)이 약 100GHz(0.8nm) 정도가 된다. 이 경우 길이가 100km 인 스패에서 각 펄스들은 약 1300ps, 즉 50bit 길이 정도로 퍼지게 된다. 이는 각 펄스가 주위의 50여 펄스와 서로 상호작용을 한다는 것을 의미하며, 이러한 상호작용의 증가가 높은 분산을 갖는 광섬유를 이용한 전송에서 높은 penalty를 얻는 원인이 된다. 한편, 그림 1 (b)를 자세히 보면 단순히 색분산의 증가와 penalty의 증가가 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 즉 전송거리가 300~800km 정도일 때 penalty는  $D=4\text{ps/nm/km}$  일 때 가장 크고, 분산이 그보다 클 때는 오히려 penalty가 감소하는 것을 알 수 있다. 이를 보여주는 것이 그림 2 인데, 분산이 아주 커지면 비선형성에 의한 신호의 왜곡이 광신호의 어느 부분에 쌓이는 것을 광섬유의 색분산이 방해하게 되어 penalty가 줄어든다. 이 경우에도 전송거리가 아주 길어지면 (예를 들어 1000km), 높은 색분산을 사용하는 경우의 이점이 사라지는 것을 볼 수 있다. 위의 결과를 단순히 생각하면 매우 높은 색분산과 낮은 색분산이 모두 유리한 것으로 보이나 사실은 그렇지 않다. 즉 현재 대부분의 광통신시스템 연구의 전제가 되고 있는 WDM 시스템에서는 매우 낮은 색분산의 광섬유를 사용하면 서로 다른 파장의 채널간의 상호작용이 커지게 돼서 시스템의 성능에 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 WDM을 고려하면 색분산이  $D=4\text{ps/nm/km}$ 보다 큰 경우만이 적합함을 알 수 있다.

본 연구에서는 광섬유의 색분산이 매우 짧은 펄스를 이용한 40Gb/s 광전송에 미치는 영향이 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 연구되었다. 광섬유의 색분산이  $D=4\text{ps/nm/km}$  정도인 경우에 eye-closure penalty가 가장 커지는 것을 발견하였으며, 비선형성이 주된 효과가 되는 구역에서 분산이 주된 효과가 되는 구역으로의 전이를 관측하였다.

1. D. Breuer and K. Petermann, Comparison of NRZ- and RZ-modulation format for 40-Gb/s TDM standard fiber systems, *IEEE Photon. Tech. Lett.*, 9, 398-400, 1997.
2. R.-J. Essiambre, B. Mikkelsen, and G. Raybon, Intra-channel cross-phase modulation and four-wave mixing in high-speed TDM systems, *Electron. Lett.*, 35, 576-578, 1999.
3. B. Mikkelsen, G. Raybon, R.-J. Essiambre, K. Dreyer, Y. Su, L. E. Nelson, J. E. Johnson, G. Shtengel, A. Bond, D. G. Moodie and A. D. Ellis, 160 Gbit/s single-channel transmission over 300 km nonzero-dispersion fiber with semiconductor based transmitter and demultiplexer, *Proc. ECOC '99*, PD2-3, 1999.
4. Sang-Gyu Park, A. H. Gnauck, J. M. Wiesenfeld, and L. D. Garrett, 40-Gb/s Transmission over multiple 120-km spans of conventional single-mode fiber using highly dispersed pulses, *IEEE Photon. Tech. Lett.*, 12, 1085-1087, 2000