

## 가변 전광섬유 디지털 편광모드분산 보상기

이영욱, 김근영, 윤경모, 이용기, 송길호  
KT 기술연구소 광전송연구팀

### Variable All Fiber Digital Polarization Mode Dispersion Compensator

Young-Wuk Lee, Geun-Young Kim, Kyung-Mo Yoon, Yong-Gi Lee, Kil-Ho Song  
Optical Transmission Research Team, KT Technology Laboratory

**Abstract** - 의 DGD(Differential Group Delay)값을 가지는 여러 토막의 편광유지 광섬유를 이용하여 가변 1차 PMD 보상기를 구현하여 보았으며, 구현된 1차 편광모드분산 보상기를 10Gbps의 신호발생기에 적용하여 1차 편광모드분산 성능을 확인하여 보았다.

#### 1. 서 론

편광모드분산 (Polarization Mode Dispersion)은 10Gbps 이상의 고속 직접변조방식의 광전송에 있어 신호를 왜곡시켜 전송거리를 제약하는 가장 큰 원인 중의 하나이다. PMD는 색분산에 의하여 전송거리가 제약받을 시점에 있어 크게 문제되지 않던 물리량이었으나, DCF 등의 색분산 보상기술이 발전되고 전송속도가 고속화되어 광펄스의 폭이 좁아짐으로 인하여, 고속광전송시스템에 있어 신호의 왜곡을 일으키는 가장 중요한 문제로 부각되게 되었으며, 10Gbps 이상의 고속광전송 기술에 있어 필히 극복해야 할 문제로 남아있다. 그러나 PMD는 색분산과 달리 그 물리적 특성이 통계적이며, 광케이블 주위의 온도변화 및 광케이블의 장력변화 등의 환경변화에 의하여 계속 변화하는 특징이 있으며, 이러한 이유로 말미암아 그 보상기술의 구현이 매우 어려운 것이 현실이다. 본 논문에서는 각각 다른 DGD (Differential Group Delay)를 가지는 편광유지 광섬유 토막을 이용하여 가변전광섬유 1차 편광모드분산 보상기를 구현하여 보았으며, 구현된 1차 편광모드분산 보상기를 10Gbps의 신호발생기에 적용하여 1차 편광모드분산 성능을 확인하여 보았다. <참조하세요> 글씨크기 10 Point, 글씨체 신명 신명조.

#### 2. 본 론

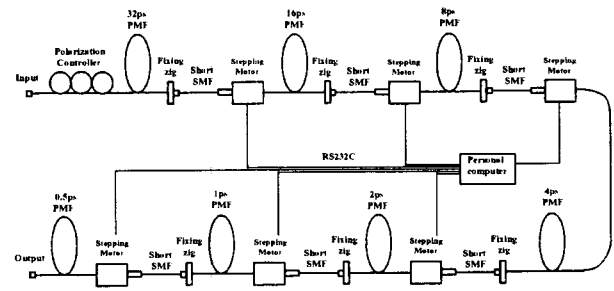
##### 2.1 PMD보상기의 원리 및 구조

PMD 보상기의 구조를 그림1에 도시하였다. PMD 보상기는 총 7토막의 타원코어 편광유지광섬유(Polarization Maintaining fiber)로 구성되며, 짧은 길이의 단일모드 광섬유가 편광유지 광섬유 사이에 용착접속되어 있는 형태이다. 편광유지 광섬유 토막의 최초 입력단에는 편광조정기가 설치되어, 입력 신호의 편광을 최초 편광유지 광섬유 토막의 고유편광모드로 변환할 수 있도록 되어있다. 편광유지 광섬유를 연결하고 있는 단일모드 광섬유의 길이는 약 20cm로서 PMD 값은 무시할 정도로 작다. 각

각의 편광유지광섬유 토막의 한쪽 접속부는 지그에 고정되어 있으며, 다른 쪽 접속부는 DC 스테핑 모터의 축에 고정되어 있어 DC 스테핑 모우터가 회전함에 따라 편광유지 광섬유 토막의 복굴절 축이 인접한 편광유지 광섬유 토막의 복굴절 축에 대하여 회전하도록 되어있다. 만약 이들 편광유지광섬유토막들의 복굴절 축이 정렬되어 있으면, 최초 편광유지광섬유 토막의 느린 축으로부터 출사된 광신호는 인접한 편광유지 광섬유의 느린 축으로 입사되며, DC 스테핑 모우터를 회전시켜 후단의 편광유지 광섬유의 복굴절 축을 회전시켜 줌으로써, 최초 편광유지광섬유 토막의 느린 축으로부터 출사된 광신호를 인접한 편광유지 광섬유의 빠른 축으로 입사시킬 수 있다. 이 때 스테핑 모우터의 회전각은 단일모드 광섬유의 비틀림에 의하여 발생하는 원형복굴절 때문에 97도가 되어야 한다.

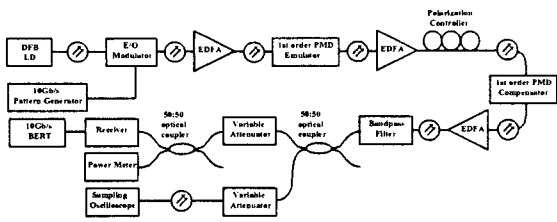
편광유지광섬유토막의 길이는 각 토막의 DGD값이  $2^n \tau_{min}$ 의 급수값이 되도록 하였으며, 이 때  $\tau_{min}$ 은 가장 짧은 길이의 편광유지광섬유 토막의 DGD값,  $n=0,1,2,3,\dots,N-1$ 의 자연수로서, 여기서 N은 편광유지 광섬유토막의 수이다. 편광유지광섬유토막의 복굴절축을 97도 회전시켜주는 것은 각각의 편광유지 광섬유의 DGD의 덧셈 및 뺄셈에 해당되므로, 이러한 구조는 전체 편광유지광섬유토막의 DGD를 더한 것 보다 작은 값을 가지는 임의의 정수 DGD를 발생시킬 수 있다.

제작된 PMD 보상기의 최소 DGD값과 DGD생성 분해능은 각각 0.5ps, 1ps이며, 생성가능한 최대 DGD 값은 60.5ps였다. 보상기 내의 SC 스테핑 모우터는 RS232C를 통하여 컴퓨터와 연결되어, 임의의 DGD값을 입력하면, 보상기는 해당DGD값을 발생시키도록 되어있다.



(그림 1) 디지털 PMD 보상기의 구조

2.2 PMD 보상기 성능 실험



(그림2) 10Gb/s시스템에서의 1차 PMD 보상을 위한 실험구성도

제작된 PMD 보상기의 성능평가를 위하여 그림2와 같이 실험장치를 구성하였다. DFB 레이저에서 출사된 1550nm의 빛은 고속전광변조기를 거쳐 10Gbps의 223-1 NRZ PRBS 신호로 변조된 후, 광증폭기, 1차 PMD 에뮬레이터, 광증폭기, 편광조절기, 그리고 PMD 보상기를 차례로 거치게 된다. PMD 보상기 출력단에서의 광신호는 전치증폭기로 증폭된 후 3dB 광케플러를 거쳐 나뉘어진 후 가변 광감쇠기를 거친 후, 수신기와 광파워미터에 입사된다. 파워패널티와 아이 다이어그램을 측정하기 위하여 BER 측정기와 샘플링 오실로스코프가 사용되었으며, PMD 에뮬레이터와 보상기의 광손실을 보상하기 위하여 3대의 광증폭기가 사용되었다.

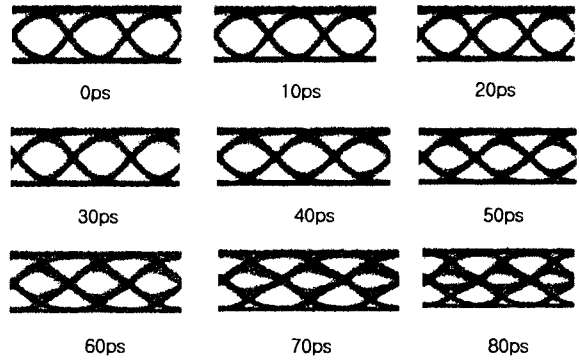
실험에 사용된 PMD 에뮬레이터는 1차 PMD 에뮬레이터로서 벌크 옵틱과 광케플러로 구성된 마하젠더 간섭계 형태로서 자체 제작되었다. PMD 에뮬레이터는 주위의 온도변화에 따른 편광의 흔들림을 방지하기 위하여 두껍게 제작한 폴리우레탄 박스에 넣어 실험하였다.

PMD 보상기의 성능평가를 위한 실험은 우선, PMD보상기를 제거한 후, PMD 에뮬레이터를 이용하여 1ps에서 60ps까지 1차 PMD를 인가하며, 아이패턴의 일그러짐과 시스템 파워패널티를 측정하였으며, 이후 60ps의 1차 PMD를 인가한 상황에서 PMD 보상기를 삽입하여 0.5ps로부터 60.5ps의 보상 PMD를 인가하며, 아이패턴의 변화와 파워패널티를 측정하였다.

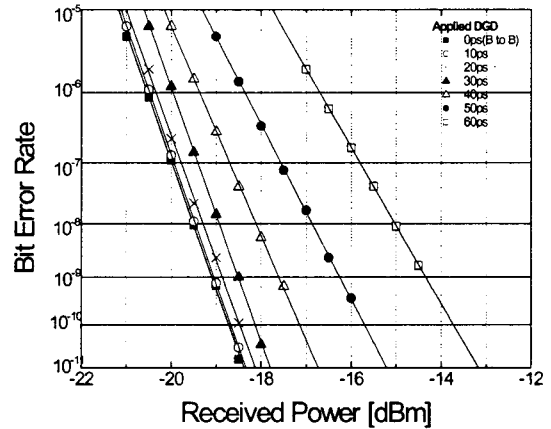
2.2 결과

그림3은 0ps부터 60ps까지 10ps 단위로 1차 PMD를 인가하였을 때의 아이패턴의 변화를 보여주고 있다. 30ps의 PMD를 인가하였을 때부터 아이패턴이 왜곡되는 것을 볼 수 있다. 그림4와 그림5는 위의 경우에 대하여 각각 BER을 측정하고 결과와 이로부터 파워패널티를 계산한 경과를 나타내고 있다. 약 30ps의 PMD가 인가된 때부터 급격히 증가하는 파워패널티를 관찰 할 수 있다.

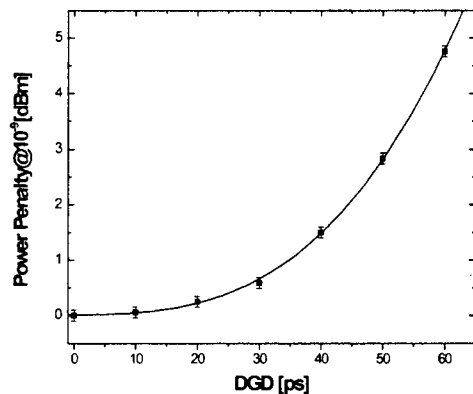
60ps의 PMD를 인가한 후 0.5ps로부터 60.5ps까지 10ps 간격으로 보상한 경우의 아이패턴의 변화와 BER 그리고 파워패널티를 측정하고 결과를 그림6, 그림7, 그리고 그림8에 나타내었다. PMD의 보상에 따라 왜곡이 점차 없어지는 아이패턴과 줄어드는 시스템 파워패널티를 관찰할 수 있다.



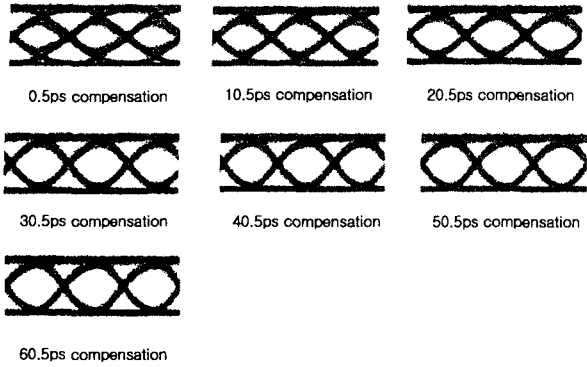
(그림3) PMD의 인가에 따른 아이패턴의 변화



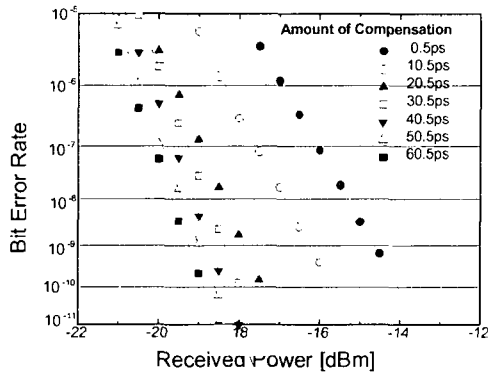
(그림4) PMD의 인가에 따른 BER



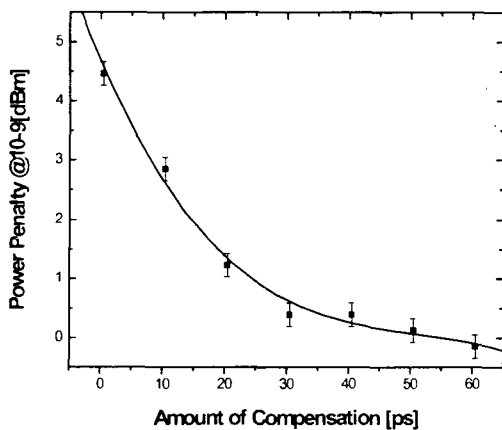
(그림4) PMD의 인가에 따른 시스템파워패널티



[그림6] PMD의 보상에 따른 아이패턴의 변화



[그림7] PMD의 보상에 따른 BER



[그림8] PMD의 보상에 따른 시스템파워페널티

### 3. 결 론

본 논문에서는 7개의 편광유지광섬유토막으로 이루어지는 가변 디지털 PMD 보상기를 제작하여 보았으며, 10Gbps 시스템에 적용하여 그 성능평가를 시행하여 보았다. PMD 보상기를 구성하는 편광유지 광섬유의 DGD는  $2^n \tau_{\min}$ 의 급수값이 되도록 하였으며, 이 때  $\tau_{\min}$ 은 가장 짧은 길이의 편광유지광섬유 토막의 DGD값,  $n=0,1,2,3,\dots,N-1$ 의 자연수로서, 여기서 N은 편광유지 광섬유토막의 수이다. 제작된 PMD 보상기를 10Gbps의 광전송 시스템에 적용하여 본 결과 불연속적이지만 만족할 만한 PMD 보상효과를 보임을 확인할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] F.Roy, C.Francia, F. Bruyere, and D.Pennicux, "A simple dynamic polarization mode dispersion compensator", *J. Light Technol.*, vol8, no.8, pp1162,1990
- [2] R.Noel, D. Sandel, M. Yoshida-Dierolf, S.Hinz, C. Glinger, C.Scheerer, A.Schopflin and G. Fischer, "polarization mode dispersion compensator at 20Gbps with fibre-based distributed equalizer", *Electron letter*, vol34, no.25, pp.2421,1998