

## 10 Gb/s 양방향 파장 분할 다중 방식 환형 광통신망

### 10 Gb/s Bidirectional WDM Ring Network

이상목, 김현덕, 신정훈, 임창규, 김성만, 이창희

한국과학기술원 전자전산학과 광네트워크 연구실

chl@ee.kaist.ac.kr

단방향 전송에 비해 양방향 전송은 노드사이를 연결하기 위한 평균 거리가 줄어들고, 망의 제한된 자원인 파장의 이용 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라, 동일한 방향으로 진행되는 광신호의 수가 줄어들어 4광파 혼합(four-wave mixing)이나 상호 위상 변조(cross phase modulation)와 같은 광섬유에서의 비선형 현상을 줄일 수 있다. 따라서, 이러한 양방향 환형망에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>(1)</sup>. 하지만, 양방향 전송에서는 다중 반사에 의해 발생하는 상대 강도 잡음(relative intensity noise)이 광신호의 품질을 열화시킨다. 그러므로, 양방향 광전송망에서는 상대 강도 잡음을 효율적으로 억제할 수 있는 구조로 설계되어야 한다.

본 논문에서는 2 개의 광섬유를 사용한 4 개의 노드로 구성된 양방향 환형 광통신망을 구현하고 이의 성능을 확인하였다. 그림 1 은 구현한 4 노드 양방향 환형 광통신망의 구성도이다. 이 환형망은 전송 속도가 10 Gb/s이고, 노드간의 거리는 80 km, 노드의 용량은 각 방향별로 4 개의 채널을 수용하여 총 80 Gb/s, 그리고 보호 절체 시간은 SONET 기준인 50 ms 이하로 설계하였다. 또한 양방향으로 진행되는 신호는 서로 파장을 교대로 배치하여 광섬유에서의 비선형 현상을 줄일 수 있도록 하였다.

양방향 환형 광통신망을 구현하기 위해서는 양방향 광 증폭기와 양방향 애드/드롭 광 증폭기(bidirectional add/drop amplifier : BADA)가 필수적이다. 그러나, 광섬유에서의 Rayleigh 역산란에 의해 발생하는 상대 강도 잡음에 의해 양방향 광 증폭기의 이득이 제한된다<sup>(2)</sup>. 사용된 양방향 광 증폭기에서는 시스템에서 발생하는 상대 강도 잡음을 줄이기 위해서 광 회전기와 파장 교대 결합기를 이용해서 구현한 비가역 필터를 사용하였다. 구현된 비가역 필터의 진행 방향별 Isolation은 20 dB이상이다. 구현된 비가역 필터를 사용했을 때, 일반적인 단일 모드 광섬유보다 Rayleigh 역산란 계수가 4 ~ 5 dB 이상 큰 분산 보상 광섬유를 사용하더라도 18.5 dB의 높은 이득에서 발생하는 상대 강도 잡음이 -49 dB로 작은 값을 나타내었다. 또한, 구현된 양방향 애드/드롭 광 증폭기모듈은 양방향으로 진행되는 신호가 이득단을 공유하고, 중간단 소자로서 광섬유에서 발생하는 색분산을 보상하기 위해서 사용하는 분산 보상 광섬유를 공유하기 때문에 색분산 보상 비용을 절감할 수 있다. 그림 2 에 구현된 양방향 애드/드롭 광 증폭기의 구성도를 나타내었다.

양방향 광 증폭기와 양방향 애드/드롭 광 증폭기를 사용하여 노드를 구현하고, 이를 이용하여 양방향 환형 광통신망을 구현하였다. 4 개의 노드로 구성된 양방향 환형 광통신망의 성능을 전송 실험을 통해 확인하였다. 4 개의 노드가 full-mesh로 연결이 되도록 파장을 할당하고, 또한 시스템의 성능을 확인하기 위해 추가적인 파장들을 할당하였다. 정상 상태에서 할당된 모든 파장들에 대해서 에러 없이 전송됨을 확인하였고, 최대 320 km 전송 후에도 수신기의 감도 페널티는 1 dB이내였다. 노드 1과 노드 2 사이의 전송 경로에 장애가 발생하게 되면 장애 지점과 가장 가까운 노드의 보호 절체용 광 스위치가 변환되어 보호 절체용 광섬유를 포함한 새로운 환형망이 형성된다. 보호 절체를 수행한 후에도 모든 할당된 파장들에 대해서 에러 없이 전송됨을 확인하였고, 최대 480 Km 전송 후에 수신기에서 발생하는 감도 페널티는 2 dB이내였다. 보호 절체 상태에서 전송 거리별로 대표적인 채널에서 측정된 BER을 그림 3

에 나타내었다. 노드 1과 노드 2 사이의 전송 경로에 장애가 발생한 경우에 환형망이 보호 절체되는 과정의 timing diagram을 그림 4 에 나타내었다. 전송 경로에 장애가 발생하면 약 17 ms 이내에 자기 치유가 수행됨을 확인하였다. 또한 전송 경로의 장애가 복구되면 3.5 ms 이내에 광통신망이 다시 정상 상태로 복구된다.

본 논문에서는 2 개의 광섬유를 이용한 4-노드 양방향 환형 광통신망을 구현하고, 이의 성능을 확인하였다.

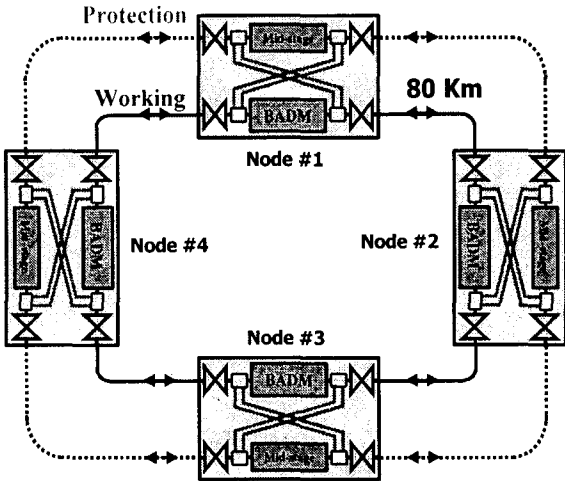


그림 1. 4-노드 양방향 환형 광통신망

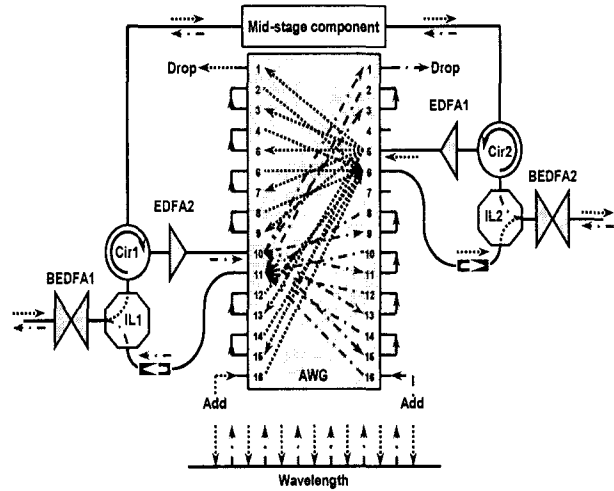


그림 2. 양방향 애드/드롭 광 증폭기

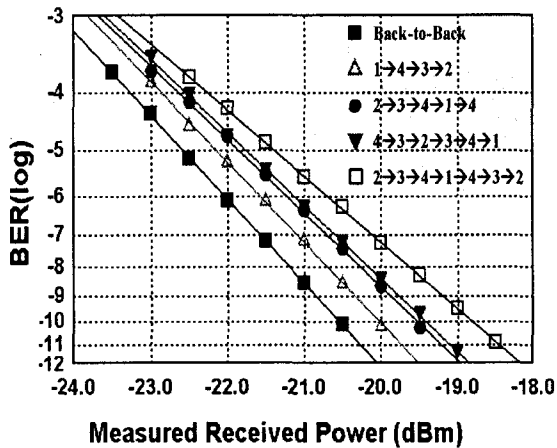


그림 3. 보호 절체 상태에서의 BER

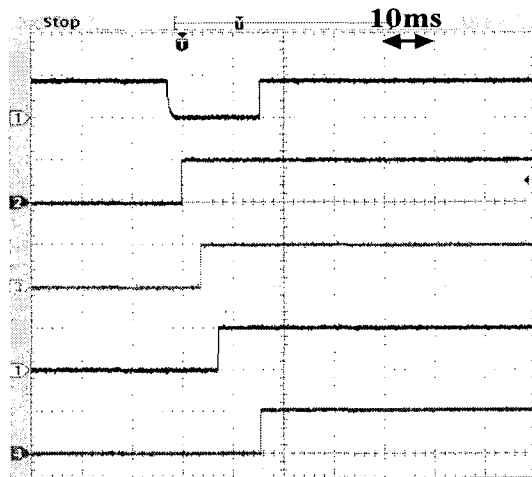


그림 4. 보호 절체시의 timing diagram

1. 김현덕, 신정훈, 이창희, "과장분할 다중방식 양방향 광통신망," Photonics Conference 2001, F2A1, p. 375-376, 2001.
2. J. L. Gimlett, M. Z. Iqbal, L. Curtis, N. K. Cheung, A. Righetti, F. Fontana, and G. Grasso, "Impact of multiple reflection noise in Gbit/s lightwave systems with optical fibre amplifiers," *Electron. Lett.*, vol. 25, no. 20, Set. 1989.