DBpia

論文 97-22-2-9

기포설된 광케이블을 사용한 2.5 Gbps×8채널, 123 km 전송을 통해 살펴본 초고속 광선로의 조건

正會員 박 영 일*, 강 용 훈*, 김 익 상*, 채 창 준*

The Requirements of High-Speed Optical Fiber Studied with 2.5 Gbps×8 channel, 123 km Transmission using Ready-Deployed Optical Cable

Youngil Park*, Yong Hoon Kang*, Ik Sang Kim*, Chang Joon Chae* *Regular Members*

요 약

대전지역에 이미 포설된 123 km의 광케이블을 사용하여 2.5 Gbps×8 채널의 파장분할다중화된 광신호를 전송하였다. 비트오율 10^{-10}을 기준으로 할 때 무에러 전송을 하였지만 채널에 따라 수신감도의 차이가 존재하고, 일부 채널에 대해선 광파워의 증가에 따라 비트오율곡선이 눕는 현상이 발견되었다. 본 논문에서는 이의 원인이 광케이블의 반사면에 의한 것임을 설명하고, 여러개의 반사면이 초고속전송에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

ABSTRACT

A 2.5 Gbps×8 channel WDM signal was transmitted using ready-deployed 123 km optical cable around Daejon area. An error free transmission was achieved with 10^{-10} criterion, but the receiver sensitivity varied depending on channel, and some channel showed BER floor. The reason was found to be in reflection points, and the effects of multiple reflections on the ultra high bit transmission was analyzed in this paper.

Ⅰ. 서 론

Gbps급 이상의 초고속, 장거리전송을 위한 전송장치는 그 구성에 있어서 저속, 단거리전송의 경우에 비해 여러가지의 제한조건이 따르게 된다. 레이저 다이오드(LD)의 선폭, 광신호의 처핑, 신호의 세기에 의한 비선형현상등이 그 대표적인 예가 될 수 있다[1]. 한편, 광선로에 의해서도 초고속화, 광다중화등에 제한이 발생할 수 있는데 이는 송수신장치외의 문제로서 이미 포설되어 있는 광선로의 특성을 잘 살펴보고 이

*한국통신 전송기술연구소
Transmission Technology Research Laboratory, Korea Telecom
論文番號:97018-0113
接受日字:1997年 1月 13日

www.dbpia.co.kr

를 적극 활용하는 것이 경제적일 것이다. 본 논문에서는 수 년내 상용화될 가능성이 큰 초고속 파장분할 다중화 전송의 시내외 국간에서의 적용가능성을 시험하기 위해 이미 포설 및 운용되고 있는 대전지역의 광선로를 사용하여 링크를 구성하고 송수신장치 및 선로를 시험하고 문제점을 분석하였다. 또한 그 결과를 토대로 초고속 통신을 위한 광선로의 구비조건을 제시하였다.

Ⅱ. 선로의 구성 및 시험결과

초고속 파장분할다중화 전송의 국간에서의 적용가능성을 시험하기 위해 대전지역에서 이미 포설, 운용되고 있는 선로를 선택하여 링크를 구성하였다[2]. 선로는 그림 1과 같이 유성전화국과 신탄진전화국 사이의 17.2 km 구간을 3차례 왕복시키고 이를 다시 북대전전화국과 실험실로 연결하는 총 123 km의 광케이블로 구성하였다.

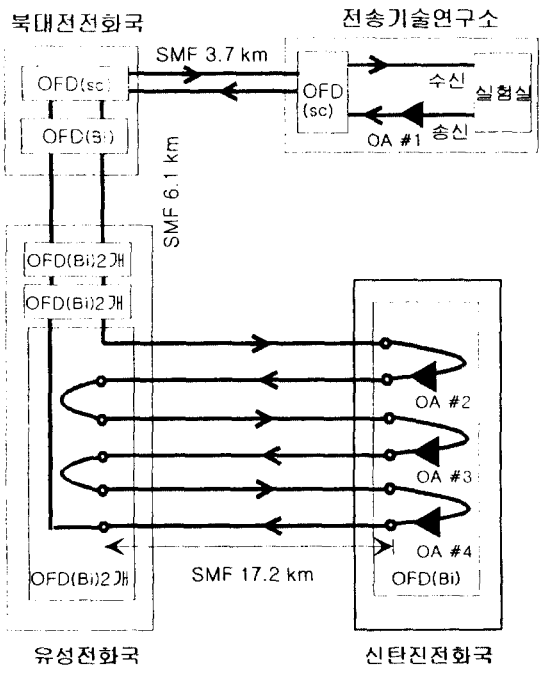


그림 1. 2.5 Gbps×8 채널×123 km 전송시험 선로구성도
OA : Optical amplifier
OFD : Optical fiber distributor(광분배함)
SC : SC 커넥터 Bi : Biconic

이렇게 구성한 이유는 송수신장치를 한 곳에 둠으로써 에러의 측정을 용이하게 하기 위해서이다. 구성한 전송계의 특성을 살펴보기 위하여 OTDR(Optical Time Domain Reflectometer)을 사용해 측정한 결과를 그림 2에 보였다.

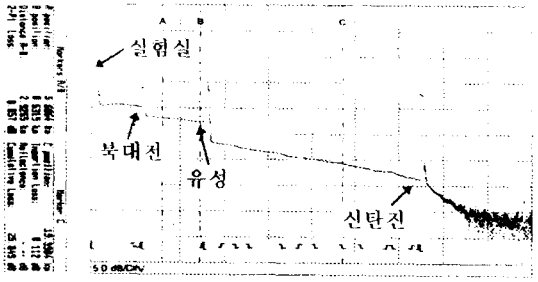


그림 2. OTDR로 본 선로의 특성

그림의 가장 앞부분이 전송연구소의 실험실에 해당되고 그 이후 반사 피크가 보이는 곳들이 순서대로 북대전, 유성, 신탄진 전화국이다. 반사 피크는 여러 개의 광분배함을 거치는중 만나는 광커넥터의 반사면 때문에 발생했다. 또한 그림의 경사면은 광손실을 의미하는데 구간에 따라 직선에서 벗어나 약간 구불구불한 것은 일정 거리마다 광섬유 코어가 splicing 될 때 반사계수가 정확히 일치하지 않아서 나타나는 현상이다. 이런 현상은 특히 유성~신탄진전화국 구간에서 많이 보이는데 이 구간은 저속전송을 위해 설치된 시험용구간으로서 단위거리당 선로손실에 있어서도 최근에 포설된 실험실~유성전화국 구간에 비해 2배 정도를 보이고 있다. 광분배함의 손실까지를 고려한다면 유성~신탄진 구간의 왕복 34.4 km에 약 19 dB 가량의 손실이 있기 때문에, 이를 보상해주기 위해 이 구간을 한 번 왕복 후마다 신탄진전화국에서 광증폭기를 이용하여 광신호를 증폭하였다. 또한 실험실에서 전송을 시작할 때는 출력이 가장 큰 광전력증폭기를 사용하였다. 한편, 매 증폭기의 출력단에는 ASE 제거용 필터를 두어 1532 nm의 파장에 존재하는 증폭기의 ASE 피크를 제거함으로써 신호의 증폭효율을 높였다. 채널 5를 선택하여 본 전체 선로의 광파워 배치는 그림 3과 같다.

www.dbpia.co.kr

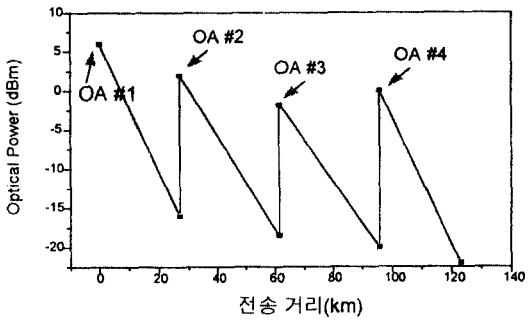


그림 3. 전체 선로의 광파워 배치도

8개 채널이 전송된 것을 고려하면 각 단 증폭기의 이득은 광증폭기의 이득특성곡선에서 얻은 값과 거의 일치하였다. 여기에서 보듯이 123 km 전체 선로의 광손실은 82.7 dB에 해당하며 이는 실험실에서 광섬유 spool을 이용하여 같은 거리를 구성했을 경우에 비해 3배 이상의 손실이다. 그 차이는 광분배함의 커넥터와 선로손실에서 비롯한 것이다. 송수신 장치의 구성은 그림 4와 같다.

송신용 광원으로는 ITU-T의 제안(G.mcs)에 따라 1548.51~1559.79 nm의 파장영역에서 200 GHz (약 1.6 nm) 간격을 갖는 8개의 DFB LD를 사용하였으며 채널당 2.5 Gbps의 NRZ 신호를 전송하였다. 신호의 변조에는 처핑을 줄이기 위해 외부변조기를 사용하였으며, 변조기의 양쪽 암(arm)에 변조신호를 가함으로써 처핑상수를 조절할 수 있도록 하였다. 사용된 $LiNbO_3$ 변조기는 편광의존성이 있기 때문에 편광제어기 및 편광분해기를 사용해 변조기 출력 소광비를 최대로 하는 선형편광으로 입력 편광을 맞추었다. 8개의 채널은 동시에 변조되어서 광증폭기를 포화시킬 수 있기 때문에 이들의 상관관계를 없애기 위해 광전력증폭기의 앞단에 10 km의 광섬유를 두었다. 한편 수신측에서 한 개의 채널을 선택하는 데에는 밴드폭이 0.5 nm인 가변광필터를 사용하였다. 그림 5는 광 스펙트럼 분석기를 이용하여 송수신단에서 본 광 스펙트럼으로서 약 4 dB 가량의 광신호대잡음비의 저하를 볼 수 있는데 이는 광증폭기를 지날 때마다 누

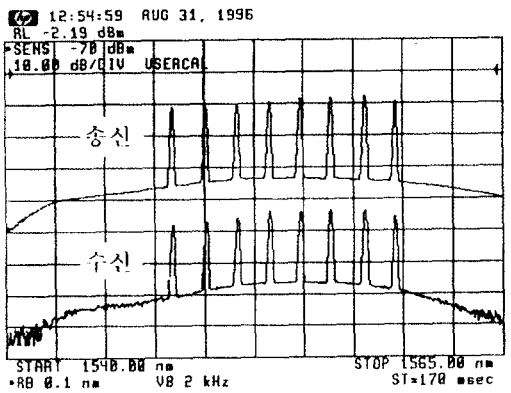


그림 5. 송수신단의 광스펙트럼

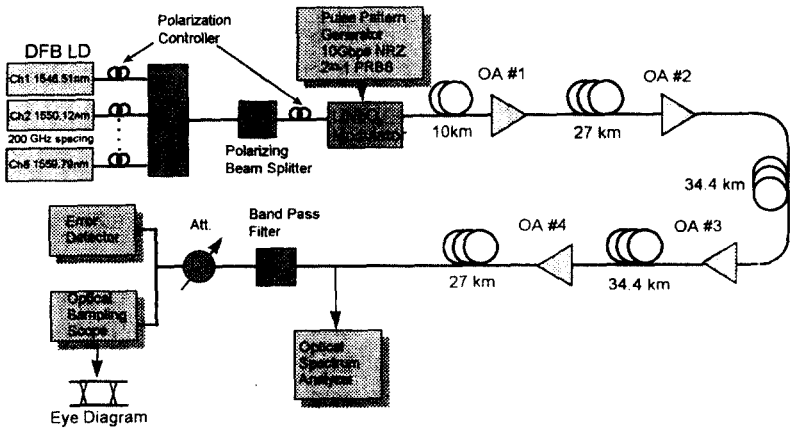


그림 4. 전송장치의 구성도

www.dbpia.co.kr

적되는 ASE에 의한 것이다[3]. 이는 광증폭기의 noise figure, 이득등의 함수로서 증폭기 사이의 거리에도 의존하는 값이다. 그러나 여기에서의 수신단의 광신호대잡음비는 시스템의 성능에 거의 영향을 주지 않을 정도이다.

그림 6은 송수신단에서 본 채널 6의 아이 다이어그램이다. 위쪽에 있는 송신단의 신호에 비해 아래쪽의 수신단 신호의 eye가 좀 더 닫혀있는 것을 볼 수 있다.

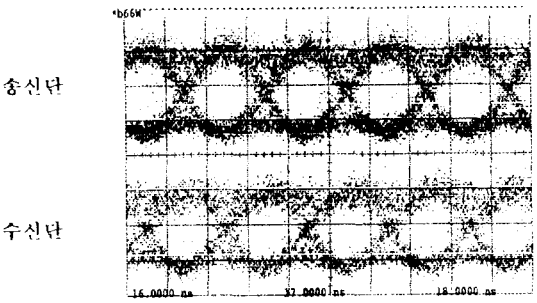


그림 6. 송수신단의 아이 다이어그램(채널 6)

한편 각 채널의 수신 광파워의 세기를 가변광감쇠기를 이용하여 변화시켜가며 비트오율을 측정한 결과는 그림 7과 같다.

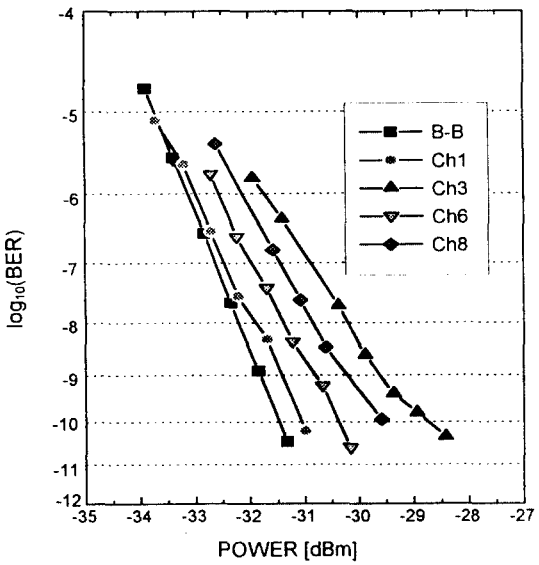


그림 7. 123 km 전송후 각 채널의 비트오율

여기에서 보는 바와 같이 각 채널들은 수신 광파워의 크기가 증가함에 따라 무에러전송(비트오율 10^{-10} 기준)이 가능하였다. 그러나 송신단(Back-to-Back)에서 직접 측정한 비트오율곡선과 비교할 때 채널에 따라서는 최대 2.5 dB 까지의 파워 페널티를 보이고 있으며 시간에 따른 수신 파워의 흔들림이 관측되었다. 이러한 현상들의 주요 원인은 전송 선로상에 존재하는 반사면들, 특히 각 전화국마다 여러 단계로 거치는 광분배기에 사용된 Biconic 커넥터의 높은 반사(평균 −15 dB)에 의한 LD 위상잡음의 강도잡음으로의 변화 때문으로 해석되었다.

Ⅲ. 반사면이 전송에 미치는 영향

광선로에는 여러 종류의 반사면이 존재하여 반사손실을 발생시킨다. Splicing이나 커넥터 등에서의 굴절율 변화로 인해 광파워가 반사되어 돌아오는 경우가 그 대표적인 예라 할 수 있다. 이러한 반사면들은 광전송 시스템에 여러 가지로 악영향을 미치는데 그 중 하나는 광송신모듈에 피드백 되어서 LD의 동작을 불안하게 만드는 경우이다. 즉, 매우 작은양도 일단 LD에 입사되면 LD의 선폭이 변하며, 광원의 강도잡음을 증가시킨다. 따라서, 일반적으로 송신용 LD에는 광아이솔레이터를 부착함으로써 이러한 문제를 해결한다. 그러나 반사면이 여러개 존재하는 경우, 반사된 광파워가 LD에 도달하지 않는다 할지라도 이들 반사면 사이에서 강도잡음을 일으켜 시스템에 나쁜 영향을 줄 수 있다. 2개의 반사면에 의해 형성되는 Fabry-Perot 간섭계를 지나 수신되는 광의 강도는 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I(t) = |e^{j(\omega_0 t + \phi(t))} + Re^{j(\omega_0(t-\tau) + \phi(t-\tau))}|^2$$

$$\cong 1 + 2R\cos[\omega_0\tau + \phi(t) - \phi(t-\tau)] \quad (1)$$

여기에서는 두 반사면의 계수 $R_1 = R_2 = R \ll 1$를 가정하였고, τ는 이 둘 사이의 광지연시간이며, $\phi(t)$는 LD의 위상잡음이다. 위의 식에서 $\phi(t) - \phi(t-\tau)$가 Gaussian PDF를 갖는다고 가정하면, 특정주파수 f에서의 간섭계에 의한 강도잡음 RIN(f)는 다음 식 (2)와 같은 함수가 된다[4].

www.dbpia.co.kr

$$RIN(f)=\frac{4R^2}{\pi}\left[\frac{\Delta\nu}{f^2+(\Delta\nu)^2}\right]$$
$$\times\{\sin^2(\omega_0\tau)\cdot[1+e^{-4\pi\Delta\nu\tau}-2e^{-2\pi\Delta\nu\tau}\cos(2\pi f\tau)]$$
$$+\cos^2(\omega_0\tau)[1-e^{-4\pi\Delta\nu\tau}-2e^{-2\pi\Delta\nu\tau}\frac{\Delta\nu}{f}$$
$$\cdot\sin(2\pi f\tau)]\} \quad (2)$$

여기에서 $\Delta\nu$는 LD의 3dB 선폭이며, ω_0는 광원의 중심주파수이다. 한편, 일정 주파수대역을 갖는 수신기에 나타나는 강도잡음 및 이에 의한 파워 페널티는 각각 식 (3), (4)와 같다[1].

$$r_i^2=\langle\Delta P_{in}^2\rangle/P_{in}=\int RIN(f)\,df \quad (3)$$

$$\Delta P=-10\log_{10}(1-r_i^2Q^2) \quad (4)$$

식 (4)의 Q는 전송신호의 SNR을 표현하는 Q factor이며 $Q=(I_1-I_0)/(\sigma_1+\sigma_0)$로 정의된다. 식 (2)에 의하면 RIN의 크기는 간섭계의 τ가 LD의 coherence 길이보다 짧은 경우($2\pi\Delta\nu\tau\ll1$)엔 τ에 따라 진동하며 점증하는 함수가 되고, 긴 경우($2\pi\Delta\nu\tau\gg1$)엔 두 개의 optical field가 incoherent 하게 더해져서 LD의 강도잡음은 τ에 관계없이 일정크기에 포화된다. 강도잡음의 크기는 전송에 사용하는 LD의 선폭과 반사면의 거리, 갯수등의 함수이다. 그림 8은 2.5 Gbps 전송시 전송로상에 2개의 반사면이 존재할 때 반사면간의 거리 및 선폭에 따른 파워 페널티의 함수를 나타낸 것이다[5].

이 때의 반사계수는 Biconic 커넥터와 비슷한 R = 0.02로 가정하였다. 반사면간의 거리가 LD의 coherence 길이보다 짧은 영역에서는 거리의 변화에 따라 파워 페널티가 흔들리다가 일정거리 이상에 이르면 포화되는 것을 볼 수 있다. 또한 선폭 100 MHz의 경우가 선폭 10 MHz의 경우보다 더 큰 값을 갖는다. 식 (3)은 반사면의 영향이 저속전송의 경우보다 주파수 대역이 넓은 고속전송의 경우에 더 많은 강도잡음을 발생시킴을 말해준다. 따라서 반사면의 존재는 저속전송의 경우 문제점이 되지 않다가도 전송속도를 높여갈수록 문제점으로 작용한다. 한편 일정거리 내에서 반사면의 갯수가 증가하면 각 반사면들은 서로의 조합으로 간섭계 역할을 하게 되므로 간섭계에 의한 잡음의 영향 또한 조합의 배수로 증가한다. 그림 9에서는 반사면 갯수 4, 반사율 0.02, 반사면간 거리 1m일 때의 선폭과 전송속도에 대한 파워 페널티를 보인다.

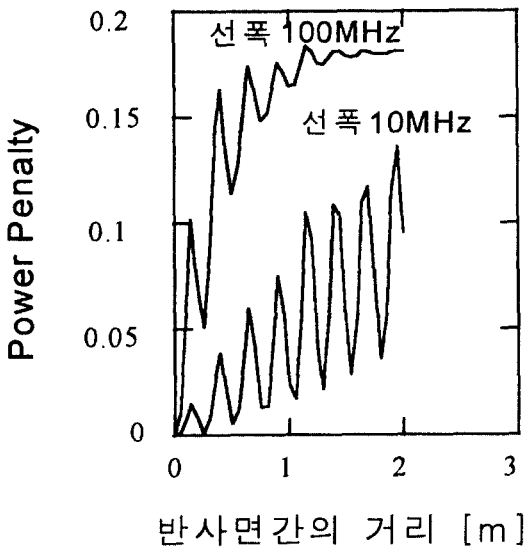


그림 8. 2.5 Gbps 전송시 선폭 및 반사거리에 따른 파워 페널티의 변화(R = 0.02, 2 개의 반사면)

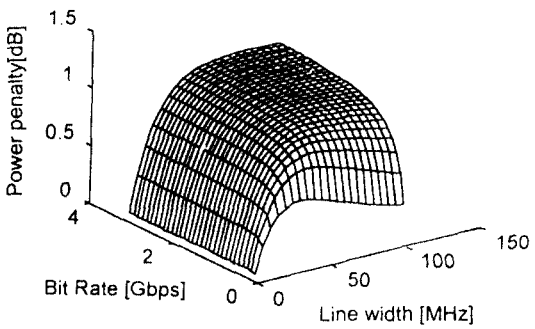


그림 9. 선폭과 전송속도에 대한 파워 페널티의 변화(반사면 개수 4, 반사율 0.02, 반사면간 거리 1m)

155 Mbps 이하의 전송속도에서는 광원의 선폭이 150 MHz 이하에 대해 1 dB 이내의 파워 페널티만을 나타내는 것으로 보아서 낮은 속도에서는 반사손실에 의한 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 이 속도에서

www.dbpia.co.kr

선폭의 증가에 따라 파워 페널티가 증가하다가 다시 감소하는 이유는 선폭이 일정값 이상이 됨에 따라 RIN의 크기가 다시 작아지기 때문이다. 즉 식 (2)에서 살펴보면 의 값이 증가하면 $f=\Delta\nu$를 분깃점으로 RIN(f) 의 크기는 다시 작아짐을 알 수 있다. 한편 622 Mbps 이상의 전송속도에서는 선폭이 클 경우 파워 페널티가 1.5 dB에 이르고 있다. 수 Gbps 이상의 전송속도에서 파워 페널티가 포화되는 것은 RIN의 크기가 주파수가 높아짐에 따라 작아지기 때문이다. 그림 10은 2.5 Gbps의 전송시 반사면간의 거리를 1 m로 가정할 때 반사면의 개수, 반사율등에 대한 파워 페널티의 관계를 나타내고 있다.

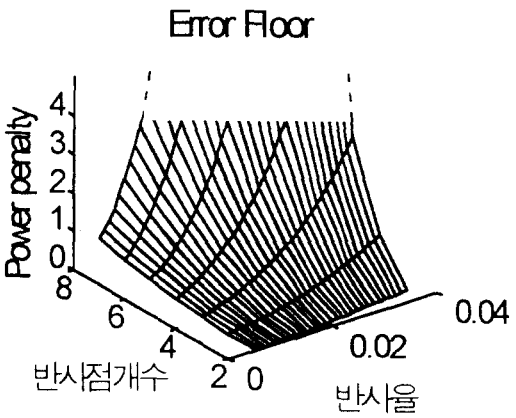


그림 10. 2.5 Gbps 전송시 반사율과 반사면 개수에 대한 파워 페널티의 변화(반사면 개수 4, 반사율 0.02, 반사면간 거리 1m)

여기에선 반사율이 커질수록, 또한 반사면의 개수가 증가할수록 파워 페널티가 커짐을 보인다. $2\pi\Delta\nu\tau \ll 1$의 조건에서 반사율이 커지면 파워 페널티뿐 아니라 식 (1)에서 알 수 있듯이 신호크기 자체의 흔들림도 커진다. 이상과 같이 선로의 반사면은 초고속전송에 장애가 됨을 알 수 있다. 본 연구에서 시행한 전송시험 결과의 파워 페널티는 이와 같은 이유로 인해 발생하였다. 채널간 파워 페널티의 차이는 사용한 DFB LD의 선폭차이 (10~40 MHz)와 반사면이 이루는 간섭계의 동작점의 차이에서 주로 기인한 것이다. 즉 $2\pi\Delta\nu\tau \gg 1$의 경우엔 선폭에 비례하여 페널티가 증가하며, $2\pi\Delta\nu\tau \ll 1$의 경우엔 선폭뿐 아니라 반사면이 이루는 간섭계에서 각 채널의 파장차이로 인한 동작점의 변화로 인해 페널티가 다르게 나타난다. 본 시험의 경우 여러 유형의 간섭계가 공존하기 때문에 파워 페널티를 단순히 선폭의 함수로 표현하기 어렵지만 대체로 선폭이 커짐에 따라 페널티의 증가를 볼 수 있었다. Ch1, Ch3, Ch6, Ch8의 선폭은 delayed heterodyne 방법을 이용해 측정한 경우 각각 8.8 MHz, 39.5 MHz, 34.3 MHz, 33.6 MHz 이다.

Ⅳ. 초고속전송을 위한 광선로 조건

광커넥터는 종류에 따라 반사손실에 많은 차이가 있는데 단면이 PC 타입인 경우 30 dB 이상을 기준으로 정하고 있고 APC 타입인 경우 60 dB 이상을 기준으로 하고 있다. 그러나 광분배함에 주로 사용되었던 Biconic 커넥터의 경우엔 반사손실에 정해진 기준이 없고, 실제 측정을 하였을 때 10~20 dB 사이에서 많은 차이를 보이며 측정되었다. 이는 광선로의 코어가 직접 공기에 노출시의 15 dB 값과 비슷한 수치이며 index matching gel을 커넥터에 가해주었을 경우에도 향상정도가 수 dB 이내임을 볼 때, 코어가 Biconic 커넥터 페룰의 끝부분까지 연결되지 않아서 air gap을 형성하고 있는걸로 보인다. 최근엔 커넥터의 삽입손실, 반사손실에 대한 표준이 강화되어서 96년 이후 한국통신의 설비엔 Biconic 커넥터 대신 SC 커넥터가 사용되고 있다. 전송용 LD의 안정화를 위해서는 SC 중에서도 끝면이 경사진 SC/APC 가 요구된다. 또한 효율적인 장거리전송을 위해서는 선로의 손실특성도 좋아져야 할 필요가 있다. 광신호의 손실은 광증폭기로 해결할 수 있다. 그러나 손실이 커질수록 증폭기의 간격은 줄어들고 개수는 늘어나기 때문에, 중계기의 광증폭기로의 대체효과를 절감시키는 요인이 되고, 광증폭기에 의한 ASE 잡음이 커지며, 광증폭기를 설치할 위치선정의 자유도를 떨어뜨린다. 큰 손실의 원인으로서는 1.5 dB에 해당하는 Biconic 커넥터의 삽입손실과 유성~신탄진전화국 구간의 선로손실등을 들 수 있었다. 이들 요인을 없애기 위해서는 삽입손실이 적은 커넥터의 사용, 적합한 품질의 선로를 주의하여 포설하는 등의 방안을 필요로 한다. 한국통신에서는 91년 이후로 케이블 손실 0.25 dB/km, Splice 손실 0.14 dB를 규정하며, 96년 이후의 설비엔 SC 커넥터를 사용하여 이러한 점을 많이 개선하였다.

www.dbpia.co.kr

V. 결 론

본 연구에서는 기포설된 123 km의 광케이블과 현장에서 직접 사용되는 광분배함, 광커넥터등을 사용하여 2.5 Gbps×8 채널의 파장분할다중화 전송을 시행해 봄으로써 중계기가 없는 초고속 국간정송의 적용가능성을 시험해 보았다. 그 결과 전송방식에 대한 문제점은 발견되지 않았고 비트오율 10^{-10}을 기준으로 할 때 무에러 전송을 할 수 있었다. 그러나 채널에 따라 최대 2.5 dB 까지의 파워 페널티가 관측되었는데 이의 원인은 광케이블의 반사면에 있음을 발견하였다. 또한 수치계산을 통해 여러개의 반사면이 초고속전송에 미치는 영향에 대해 분석하고 초고속 장거리전송을 위한 광통신망의 품질에 대해 언급하였다. 위의 연구를 통해 국간의 고속전송을 더욱 효과적으로 하기 위해서는 양호한 선로 손실특성과 반사율이 적은 커넥터의 사용이 필요함을 알 수 있었다.

참고의 글

본 연구에 사용된 광선로와 분배함은 155 Mbps 이하의 전송속도에서의 사용을 위해 설치된 것들로서 이러한 저속전송에서는 전혀 문제가 없으며, 한국통신에서는 96년 이후 Biconic 커넥터 대신 손실 및 반사특성이 양호한 SC 커넥터를 이용함을 밝힌다.

참 고 문 헌

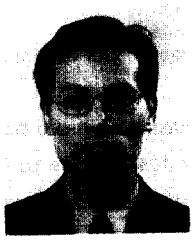
1. G. P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems" Wiley Press, 1993.
2. 박영일, 강용훈, 김익상, 채창준, "2.5 Gbps, 8채널 광다중화신호의 123km 전송 현장실험" '96 광자기술 학술회의, 강릉대학교, pp. 183-184, 1996.
3. G. R. Walker, N. G. Walker, R. C. Steele, M. J. Creaner, and M. C. Brain, "Erbium-doped fiber amplifier cascade for multichannel coherent optical transmission" Journal of Lightwave Technology, vol. 9, No. 2, pp. 182-193, 1991.
4. J. L. Gimlett and N. K. Cheung, "Effects of phase-to-intensity noise conversion by multiple reflections on gigabit-per-second DFB laser transmission systems" Journal of Lightwave Technology, vol. 7, No. 6, pp. 888-895, 1989.
5. 강용훈, 박영일, 김익상, 채창준, 이병호, "광통신 시스템 내에서의 다중 반사에 의한 Power Penalty 분석", '96 광자기술 학술회의, 강릉대학교, pp. 13-14, 1996.

박 영 일(Youngil Park) 정회원

1965년 3월 26일생
1987년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1989년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업(공학석사)
1995년 5월 : Texas A&M University 전기공학과 졸업(공학박사)
1995년 8월~현재 : 한국통신 전송기술연구소 선임연구원
※주관심분야 : WDM 전송장치, 광소자, 광센서

강 용 훈(Yong Hoon Kang) 정회원

1970년 6월 14일생
1992년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1994년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업(공학석사)
1996년 2월 : 서울대학교 전기공학과 박사과정수료
1996년 5월~12월 : 한국통신 전송기술연구소 연구보조
1997년 2월~현재 : 삼성전자 정보통신본부 전송연구그룹 전임연구원



김 익 상(Ik Sang Kim) 정회원

1960년 9월 8일생
1984년 2월 : 한양대학교 전자통신학과 졸업(공학사)
1986년 2월 : 한양대학교 전자통신학과 졸업(공학석사)
1987년 5월~1990년 6월 : 금성반도체(현 LG정보통신) 주임연구원
1995년 8월 : Texas A&M University 전기공학과 졸업(공학박사)
1995년 5월~현재 : 한국통신 전송기술연구소 선임연구원
※주관심분야 : 광섬유센서, 광통신

채 창 준(Chang Joon Chae) 정회원

한국통신학회논문지 제 21권 1호 참조

www.dbpia.co.kr