

한국통신 연구개발본부의 광통신관련 연구내용 소개

정 준 · 채 창준 · 한권훈*

한국통신 연구개발본부 전송기술연구소, *선로기술연구소

1. 개요

한국통신 연구개발본부는 산하에 7개의 전문연구소 - 통신망 연구소, 교환기술연구소, 전송기술연구소, 선로기술연구소, 무선통신연구소, 멀티미디어연구소, 통신경제연구소를 두고 초고속 정보통신망 구축 및 새로운 통신 서비스 제공을 위하여 연구개발의 기획에서 부터, 성과의 평가, 활용 및 지적재산권 관리에 이르기 까지를 총괄적으로 책임지며 한국통신의 사업에 기여하고 있다. 이들 연구소 중 광통신과 직접적으로 관련된 연구개발은 주로 전송기술연구소, 선로기술연구소, 그리고 교환기술연구소에서 각각 분야별로 나누어 수행하고 있다.

2. 연구소별 광통신 연구 현황

2.1 전송기술연구소

전송기술연구소는 초고속 정보통신 기반구조의 조기 실현을 기본 목표로 하고, 이의 하부구조인 광가입자망의 기반 구축과 수십 Gbps급 기간 광전송 시스템의 구축에 필요한 연구개발을 담당하고 있다.

경제적인 광가입자망의 구축을 위해서는 최적의 구축모델 및 진화전략을 수립하여야 하는데, 이를 위하여 전송기술연구소에서는 대용량 업무용 가입자를 대상으로 하는 Fiber-To-The-Office(FTTO) 망 구축 모델을 개발한 바 있으며, CATV와 Video On Demand(VOD) 등의 광대역 서비스를 제공하기 위해 집단/일반 주거지역 가입자를 대상으로 한 Fiber-To-The-Curb(FTTC), Fiber-To-The-Home(FTTH) 광가입자망 구축 모델을 개발할 예정이다. 또한 각 단계별로 광가입자 전송시스템을 개발하고 있는데, 1단계로 전화국과 대형건물을 광케이블로 연결하는 전송시스템인 FLC-A를 개발하여 95년부터 광대역 서비스를 제공하고 있다. 또한 ADM 기능과 ISDN 접속기능을 추가한 FLC-B 시스템 개발을 완료하여 서비스를 제공할 예정이며, 현재 수요밀집지역까지 광케이블을 도입하기 위한 FLC-C 시스템을 97년까지 개발할 계획이다.

한편, 기간전송망 구현을 위한 초고속 광전송 기술에 대한 연구개발도 수행하기 위하여 최근 최신 설비를 두루 갖춘 광통신실험실 구축을 완료하고 본격적인 연구를 개시하였다. 현재 실험실에는 8에서 16채널, 채널 당 2.5 Gbps의 파장분할다중화(WDM) 전송을 실현할 수 있는 테스트 베드가 있고, 이를 바탕으로 WDM 전송 및 네트워크, 더 나아가서는 전광통신망 구현을 위한 연구가 진행 중에 있다. 이러한 연구개발 결과를 바탕으로, 전국의 주요 도시를 초고속으로 연결하는 기간 통신망에 적합한 전송망 모델을 제시할 예정이다. 97년에는 광시분할다중화(OTDM) 전송, 차세대 고속 광가입자 전송계 구현 등의 연구도 시작하여 기초기술 분야로도 연구 범위를 확대해 갈 예정이다. 이러한 연구들을 위하여 올해 연구소 내 전 광통신연구실을 신설하였다. 96년도에 광통신 기초연구와 관련하여 수행한 연구 중 몇가지를 뒤에 조금 더 자세히 소개하였다.

2.2 선로기술연구소

선로기술연구소의 중요한 임무 중의 하나는 통신선로 광케이블화 사업에 있어 기술적 측면의 총체적 해결책을 제공하는 데 있다. 이를 위하여 다심 광케이블 설계기술, 광접속기술, 광케이블 포설기술, 광가입자망 운용보전기술, 광가입자망 용품 기술 등 통신선로 매체의 개발 및 이의 표준화에 대한 연구를 비롯하여 전화국사에서부터 가입자에 이르는 가입자구간의 광통신화를 위한 소요 기술들을 연구개발하고 있다. 이 기술들은 FTTO, FTTC 및 FTTH를 실현하고 궁극적으로는 광대역 종합 정보통신망의 구현에 이바지함을 목표로 하고 있다.

최근에는 이러한 분야의 실질적인 연구수행을 위하여 적극적인 투자를 하여 광섬유의 모재제조 설비부터, 광섬유 인출설비, 여러 가지 광특성 평가장비까지를 두루 갖춘 광섬유 연구용 실험실을 구축하였다. 이 설비들을 이용하여 특수광섬유(광증폭광섬유, 분산천이광섬유, 분산보상광섬유), 광수동부품(광섬유형 광커플러 등) 등 여러 가지 광섬유 관련 차세대 기술 개발을 진행하고 있으며, 97년에는 광신호의 분기, 결합, 필터

링, 분산보상 등을 효율적으로 처리하기 위한 평면도파로형 광 회로 및 광섬유 격자에 대한 연구개발을 시작할 예정이다.

2.3 교환기술연구소

교환기술연구소에서는 올해 차세대교환연구실 산하에 광교환연구팀을 신설하고 광교환에 대한 연구를 시작할 예정이다. 최근 광전송 시스템이 전송 용량면에서 급격한 발전을 거듭한 반면, 전송된 광신호를 전기신호로 변환하여 처리하는 현재의 전자적 교환 시스템은 전자회로의 속도제한과 병렬처리의 어려움 등으로 총 교환 용량을 높이는데 한계가 있어, 광대역 통합 서비스 시스템 구현을 위한 초고속 통신망의 실현에 제한요인이 될 것으로 예상된다. 이를 극복하기 위하여 교환 기능도 photonics로 대체하는 광교환의 필요성이 한편으로 대두되고 있다는 점이 본 연구를 시작하게된 배경이다. 그러나, 광전송과는 달리 광교환 기술의 개발은 세계적으로도 아직 초보적인 단계로 그 가능성만을 여러 각도에서 연구하고 있는 상태이다.

광교환이 어려운 점은, 일반적으로 photonics는 정보를 전달하는 매체로서는 현존하는 모든 기술 중 가장 이상적인 기술인 반면, 교환의 주된 기능인 정보를 처리하는 수단으로서는 기술적인 이유에서 뿐만 아니라 물리적인 이유로도 electronics에 못 미친다는데 있다. 따라서 광교환기를 구현하는데 있어서, 단지 electronics의 binary digital logic기능을 plug-in 개념으로 photonics로 대체한다는 접근 방식으로는 광교환이 가져올 이득은 거의 없어 보인다.

Photonics를 교환 시스템에 효율적으로 사용하기 위해서는 photonics가 갖는 고유의 물리적 장점, 즉 광대역 전송이 용이하다는 점과 상호 작용이 없어 대용량 병렬 처리가 가능하다는 점 등을 활용하여야 한다. 일반적으로 교환 시스템 내부의 기능을 두 단계로 나누어 볼 수 있는데, 하나는 입력 신호를 목표하는 곳까지 보내기 위한 경로를 설정하는 제어기능과 설정된 경로를 따라서 정보를 전달하는 전송기능이다. 따라서 photonics로는 교환시스템 내의 전송기능만을 대체하고, 특수한 경우에 한하여만 약간의 제어 기능을 돕도록 하는 것이 합리적인 방법이며, 실제로도 최근 실험적으로 구현되고 있는 소규모의 광교환 시스템은 전광(all optical) 시스템이 아닌 이러한 전자제어형 광교환 시스템이다. 또한, 일반적으로 교환방식과 전송 데이터의 다중화 방식이 서로 밀접한 관계에 있으므로, 광통신망에 있어서도 광교환이 가장 효율적으로 이루어 질 수 있도록 다중화 방식을 선택 또는 새롭게 고안하는 것도 요구되고 있는 상태이다.

3. 전송기술연구소 전광통신연구실의 최근의 연구내용 소개

3.1 현장 선로를 이용한 2.5 Gbps × 8채널 WDM 전송^{1), 2)}

본 연구는 수 년내 상용화될 가능성이 큰 초고속 파장분할다중화(WDM) 전송방식의 현장적용 가능성을 시험하기 위하여 이미 포설 및 운용되고 있는 광선로를 사용하여 네트워크를 구성하고, 송수신장치 및 선로를 시험하고 문제점을 분석하는 것이 목적이었다. Gbps급 이상의 초고속, 장거리전송을 위해서는 전송장치의 구성에 있어서 저속, 단거리전송의 경우에 비해 여러가지의 제한조건이 따르게 된다. 광원의 선폭, 광신호의 처핑, 신호의 세기에 의한 비선형현상 등에 의한 제한은 잘 알려져 있다. 한편, 광선로에 의한 현실적인 요인에 의해서도 초고속화, 광다중화등에 제한이 발생할 수 있는데 이미 포설되어 있는 광선로를 활용하기 위해서는 이의 특성을 잘 살펴보는 것이 필요하리라 하겠다.

선로의 구성 및 시험결과

선로는 대전지역 유성전화국과 신탄진전화국 사이의 17.2 km 구간을 3차례 왕복시키고 이를 다시 북대전전화국과 실험실로 연결하는 총 123 km의 링네트워크로 구성하였다. 이렇게 구성된 이유는 송수신장치를 한 곳에 뚫으로써 여러의 측정을 용이하게 하기 위해서이다. OTDR 측정결과를 보인 그림 1에서 가장 앞부분이 전송연구소의 실험실에 해당되고 그 이후 반사 피크가 보이는 곳들이 순서대로 북대전, 유성, 신탄진 전화국이다. 반사 피크는 여러개의 광분배함을 거치는중 만나는 광 커넥터의 반사면 때문에 발생했다. 또한 그림의 경사면은 광손실을 의미하는데 구간에 따라 직선에서 벗어나 구불구불한 것은 일정 거리마다 광섬유 core가 splicing 될 때 반사계수가 정확히 일치하지 않아서 나타나는 현상이다. 경사정도를 살펴보면 선로손실은 실험실~유성전화국 구간이 약 0.22 dB/km, 유성~신탄진전화국 구간이 약 0.45 dB/km 임을 알 수 있다. 광분배함의 손실까지를 고려한다면 유성~신탄진 구간의 왕복 34.4 km에 약 19 dB 가량의 손실이 있기 때문에, 이를 보상해 주기 위해 이 구간을 한 번 왕복 후마다 신탄진전화국에서 광증폭기를 이용 광신호를 증폭하였다. 한편, 매 증폭기의 다음 단에는 ASE 제거용 필터를 두어 1532 nm의 파장에 존재하는 증폭기의 ASE 피크를 제거함으로써 신호의 증폭효율을 높였다. 여기에서 보듯이 123 km 전체 선로의 광손실은 82.7 dB에 해당하며 이는 실험실에서 현재 상용으로 구할 수 있는 단일모

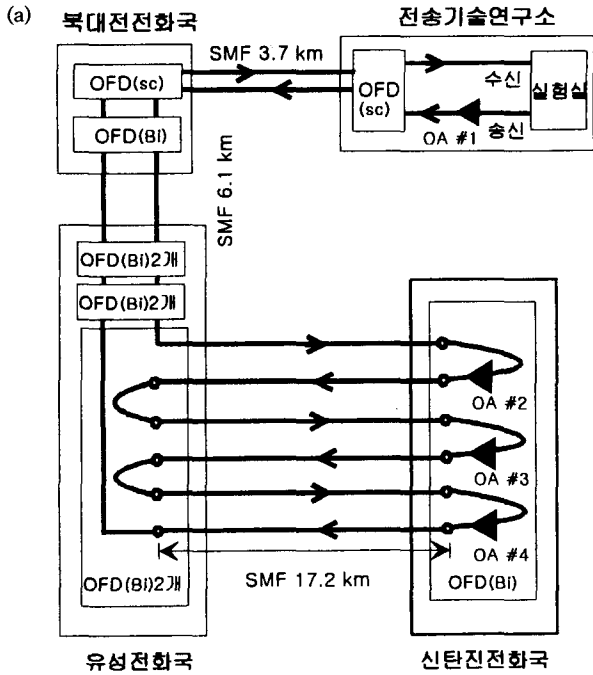


그림 1. 2.5 Gbps×8채널, 123 km 전송시험 선로구성 및 손실 측정 결과.

드 광섬유로 같은 거리를 구성했을 경우에 비해 3배 이상이나 되는 큰 손실이다. 그 차이는 광분배합의 커넥터와 선로손실에서 비롯된 것이다.

전체 전송시스템의 구성도는 그림 2에 보였다. 송신부는 ITU-T의 제안(G.mcs)에 따라 1548.51~1559.79 nm의 파장영역에서 200 GHz(약 1.6 nm) 간격의 DFB LD를 사용하여 채널당 2.5 Gbps의 신호를 전송하였다. 8개의 채널은 편이상 동시에 변조되었으나 이들의 상관관계를 없애기 위해 광전력증폭기의 앞단에 10 km의 광섬유를 두었다. 한편 수신측에서 한 개의 채널을 선택하는 데에는 밴드폭이 0.5 nm인 가변광필터를 사용하였다.

송수신단에서 본 광스펙트럼과 eye diagram을 그림 3과 그림 4에 각각 보였다. 위쪽에 있는 송신단의 신호에 비해 아래쪽의 수신단 신호의 eye가 좀 더 닫혀있는 것을 볼 수 있다. 또한, 각 채널의 비트오율(BER)을 측정한 결과는 그림 5와 같다.

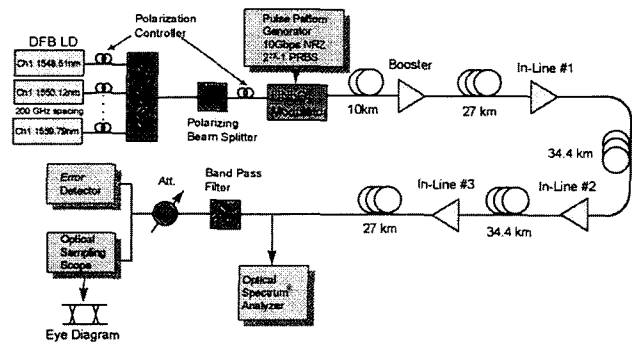


그림 2. 8채널 WDM 전송시험 전체 구성도.

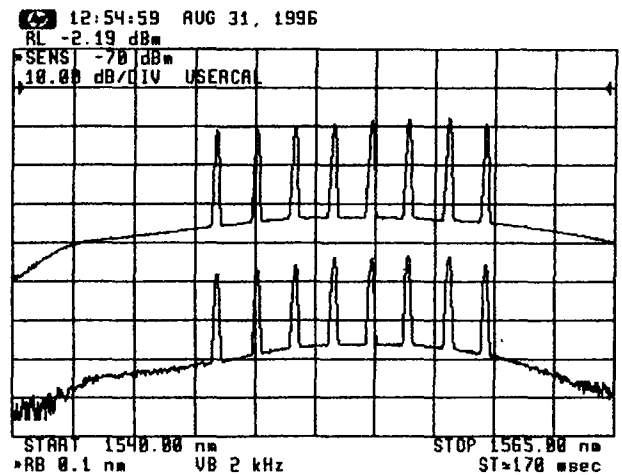


그림 3. 송신단 및 수신단에서의 스펙트럼.

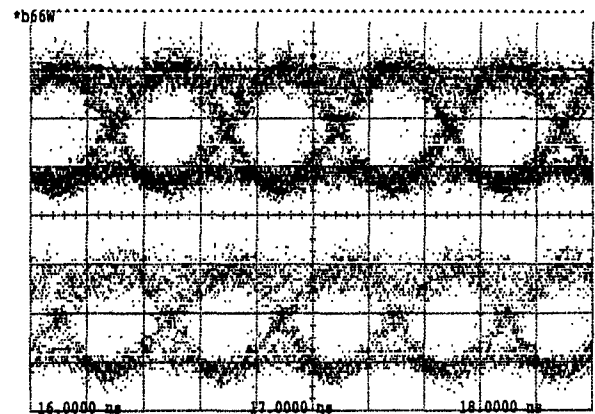


그림 4. 송신단 및 수신단에서의 Eye Diagram.

여기에서 보는 바와 같이 각 채널들은 입력광파워의 크기를 증가함에 따라 무에러전송(비트오율 10^{-10} 기준)이 가능하였다. 그러나 back-to-back으로 직접 측정된 비트오율곡선과 비교할 때 채널에 따라서는 최대 2.5 dB까지의 파워 페널티를 보이고 있으며 시간에 따른 수신 파워의 흔들림이 관측되었다. 그 주요 원인은 전송 선로에 위치한 반사면들, 특히 각 전화국마다 여러 단계로 거치는 광분배기에 사용된 Biconic 커넥터의 높은

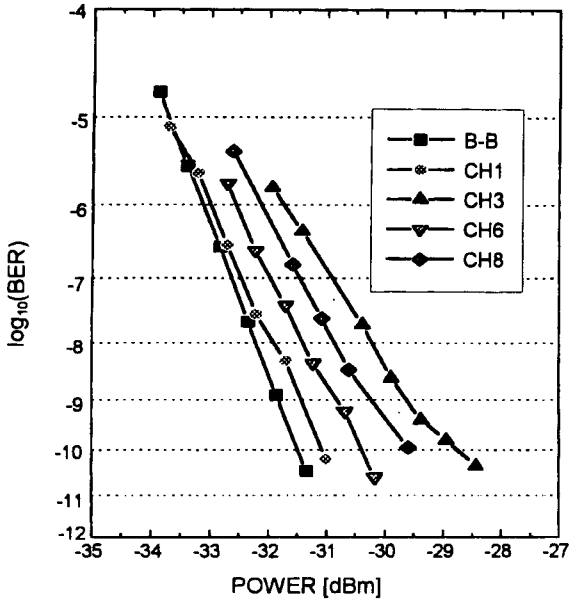


그림 5. 123 km 전송 후 각 채널의 BER.

반사(평균 -15 dB)에 의하여 광원(laser diode, LD)의 위상잡음이 강도잡음으로 변환되기 때문인 것으로 해석된다.

반사면이 전송에 미치는 영향 분석

광선로에는 여러 가지 종류의 반사면이 존재하여 반사손실을 발생시킨다. Splicing이나 커넥터 등에서의 굴절을 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.

$$I(t) = \left| e^{j(\omega_0 t + \phi(t))} + \text{Re} e^{j(\omega_0 t + \phi(t - \tau))} \right|^2 \quad (1)$$

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

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

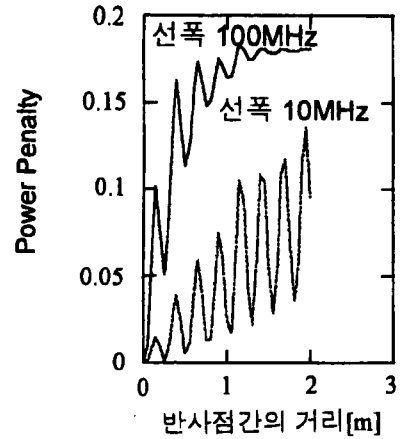


그림 6. 2.5 Gbps 전송시 전송로상에 2개의 반사면이 존재할 때 반사면간의 거리 및 선폭에 따른 파워 페널티의 함수.

가 된다.

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

한편, 일정 주파수대역을 갖는 수신기에 나타나는 강도잡음 및 이에 의한 파워 페널티는 각각 식(3), (4)와 같다.

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

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

식(2)에 의하면 간섭계의 τ 가 LD의 coherence 길이보다 짧은 경우엔 τ 에 따라 진동하며 점증하는 함수가 되고, 긴 경우엔 두 개의 optical field가 incoherent 하게 더해져서 LD의 강도잡음에 관계없는 일정크기에 포화된다. 강도잡음의 크기는 전송에 사용하는 LD의 선폭과 반사면의 거리, 갯수등의 함수이다.

그림 6은 2.5 Gbps 전송시 전송로상에 2개의 반사면이 존재할 때 반사면간의 거리 및 선폭에 따른 파워 페널티의 함수를 나타낸 것이다. 이 때의 반사계수는 Biconic 커넥터와 비슷한 $R=0.02$ 로 가정하였다. 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 주파수대역이 넓은 고속전송의 경우에 더 많은 강도잡음을 발생시킴을 말해준다. 따라서 반사면의 존재는 저속전송의 경우 문제점이 되지

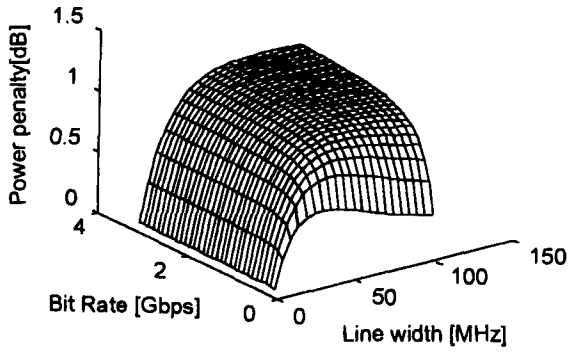


그림 7. 반사점 갯수 4, 반사율 0.02, 반사점간 거리 1 m일 때의 선폭과 전송속도에 대한 파워 페널티.

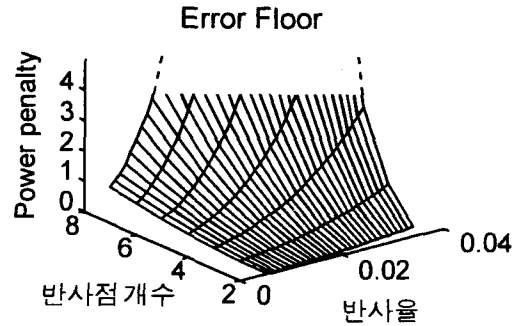


그림 8. 2.5 Gbps의 전송시 반사면간의 거리를 1 m로 가정할 때 반사점의 갯수, 반사율등에 대한 파워 페널티의 관계.

않다가도 전송속도를 높여갈수록 문제점으로 작용한다. 한편 반사면의 갯수가 증가하면 각 반사면들은 서로의 조합으로 간섭계 역할을 하게 되므로 간섭계에 의한 잡음의 영향 또한 조합의 배수로 증가한다.

그림 7에서는 반사점 갯수 4, 반사율 0.02, 반사점간 거리 1m일 때의 선폭과 전송속도에 대한 파워 페널티를 보인다. 155 Mbps의 전송속도에서는 광원의 선폭에 관계없이 1 dB 이내의 파워 페널티만을 나타내는 것으로 보아서 낮은 속도에서는 반사손실에 의한 영향이 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 622 Mbps 이상에서는 반사손실이 1.5 dB에 이르고 있다. 수 Gbps 이상에서는 포화되는 것은 RIN의 크기가 주파수가 높아짐에 따라 작아지기 때문이다.

그림 8은 2.5 Gbps의 전송시 반사면간의 거리를 1 m로 가정할 때 반사점의 갯수, 반사율등에 대한 파워 페널티의 관계를 나타내고 있다. 여기에선 반사율이 커질수록 또한 반사면의 갯수가 증가할수록 파워 페널티가 커짐을 보인다. 반사율이 커지면 파워 페널티뿐만 아니라 식(1)에서 알 수 있듯이 신호크기 자체의 흔들림도 커진다. 이상과 같이 선로의 반사면은 초고속전송에 커다란 장애가 됨을 알 수 있다. 본 연구에서 시행한 전송 시험의 경우 발생한 파워 페널티는 이와 같은 이유로 인해 발생하였다. 채널간 파워 페널티의 차이는 사용한 DFB LD의 선폭차이(10~70 MHz)에서 주로 기인한 것이다.

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 정도이며 index

matching gel을 커넥터에 가해주었을 경우에도 항상정도가 수 dB 이내임을 볼 때, 코어가 Biconic 커넥터 페룰의 끝부분까지 연결되지 않아서 air gap을 형성하고 있는 걸로 보인다. 최근엔 커넥터의 삽입손실, 반사손실에 대한 표준이 많이 강화되어서 96년 이후 한국통신의 설비엔 Biconic 커넥터 대신 SC 커넥터가 사용되고 있다. 전송용 LD의 안정화를 위해서는 SC 중에서도 끝면이 경사진 SC/APC가 요구된다. 또한 효율적인 장거리전송을 위해서는 선로의 손실특성도 좋아져야할 필요가 있다. 앞의 현장실험에서는 123 km 선로의 손실이 82.7 dB에 달했으며, 이는 실험실 수치의 3배에 달하고 있다. 광신호의 손실은 광증폭기로 해결할 수 있다. 그러나 손실이 커질수록 증폭기의 간격은 줄어들고 개수는 늘어나기 때문에, 중계기의 광증폭기로의 대체효과를 절감시키는 요인이 되고 ASE 잡음이 커지며 광증폭기의 위치선정의 자유도를 떨어뜨린다. 큰 손실의 원인으로서 1.5 dB에 해당하는 Biconic 커넥터의 삽입손실과 유성~신탄전전화국 구간의 선로손실등을 들 수 있었다. 이들 요인을 없애기 위해서는 삽입손실이 적은 커넥터의 사용, 적합한 품질의 선로를 주의하여 포설하는 등의 방안을 필요로 한다. 참고로 한국통신에서는 91년 이후로 케이블 손실 0.25 dB/km, Splice 손실 0.14 dB를 규정하고 있다.

3.2 파장분할다중화 네트워크를 위한 EDFA의 자동 이득 조절^{3, 4)}

파장분할다중화(WDM) 네트워크의 구성에서 어븀첨가 광증폭기(EDFA)는 시스템의 핵심요소로 각 단계마다 몇 개씩 사용된다. 그러나 패킷 스위치 시스템 또는 광가입자망과 같이 여러 채널이 불규칙하게 켜지고 꺼지는 경우에는 이득의 상호포화로 인해 남은 채널의 광출력에 과도현상이 발생하고 이득이 변동하여 전송 오류가 순간적으로 많아지는 문제가 발생한다. 이를 해결하려면 입력광의 크기에 따라 이득이 변화하는 정도

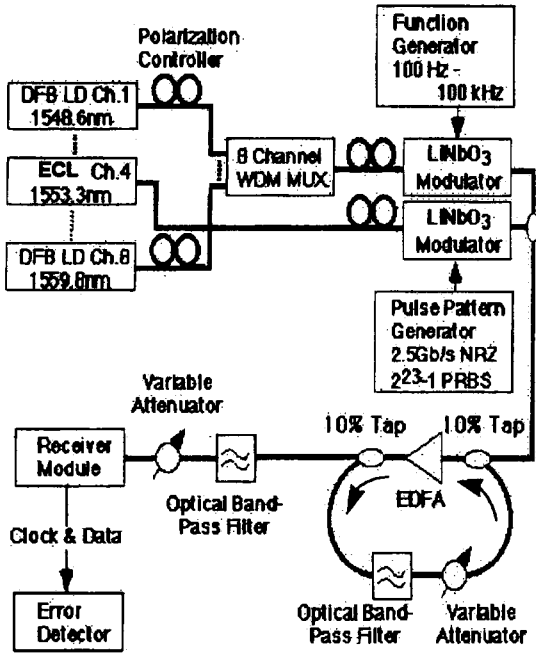


그림 9. 자동 이득조정 실험 구성도.

를 최소화하여 일정한 광출력이 유지되도록 시스템을 설계하여야 한다. 따라서 EDFA의 이득을 일정하게 유지하는 자동이득조정(AGC: Automatic Gain Control) 기법이나 광출력을 일정하게 유지하는 자동출력조정(APC: Automatic Power Control) 기법이 많이 연구되고 있다. 특히 광출력의 일부를 귀환하여 이득을 고정시키는 방법은 몇가지 간단한 수동소자만을 이용하여 전광(All Optical) 귀환 루프를 구성하여 자동이득조정이 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 광귀환 루프를 이용하여 이득이 고정된 EDFA를 세가지 귀환 파장에 대해 구성하고 이의 특성을 분석하기 위해 신호 입력광의 세기에 따른 이득의 변화, 잡음지수, 이득 상호포화에 의한 신호광의 동특성 등을 측정하였다. 귀환 파장은 EDFA의 첫번째 이득 최대점인 1532 nm와 8채널 신호 대역에서 떨어진 1565 nm, 신호대역 중 1번 채널보다 앞쪽의 1543 nm의 세가지 파장을 선택하였다. 실험 구성은 그림 9와 같으며 1548.6 nm에서 1559.8 nm까지 1.6 nm 간격의 2.5 Gbps 8 채널 WDM 시스템을 구성하고 다른 7 채널의 신호가 100 Hz로 변동할 때 신호 채널의 동특성을 측정한 결과를 그림 10에 표시하였다.

이와같은 이득조정 방법의 문제점은 귀환 루프에서 출력광이 귀환되면서 레이저 동작이 발생하며, 귀환 루프의 길이에 따라 결정되는 relaxation oscillation의 주파수와 비슷한 주파수의 입력광 변동이 있을때 수신광 세기에 변동이 심하게 나타나며 이에 따른 power penalty가 발생한다는 점이다. 이를 1532 nm, 1565 nm의 두가지 귀환 파장의 경우에 대해 측정한다.

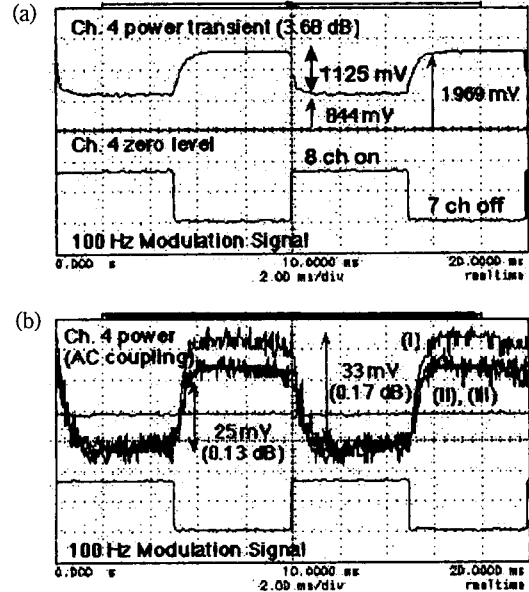


그림 10. 이득의 상호포화에 따른 광출력의 변동: (a) 광귀환이 없을 때; (b) 광귀환시(확대도).

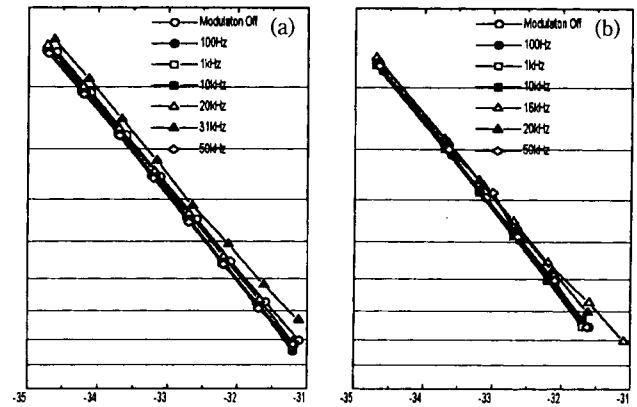


그림 11. Relaxation oscillation에 따른 2.5 Gbps 전송시의 BER 그래프; (a) 1532 nm 귀환; (b) 1565 nm 귀환.

BER을 그림 11에 표시하였는데, 두 경우 모두 10^{-9} BER에서의 power penalty가 약 0.4 dB로 작음을 확인하였다. 한편, 여러단의 EDFA를 사용하면 입력광의 변동에 따른 광신호의 변화가 더 빠른 시간 간격에서 더 심하게 일어나는데, 이와 관련된 연구가 현재 진행 중이다.

3.3 파장분할 분기결합장치 연구^[5, 6]

파장분할 다중화(wavelength-division multiplexed, WDM) 전송방식을 시분할 다중화 방식과 비교할 때 갖는 여러 가지 장점 중의 하나가 신호의 분기결합(add/drop)을 파장이 다른 채널들을 수동소자로서 분리하거나 결합함으로써 비교적 용이하게 수행할 수 있다는 점이다. 이러한 WDM용 분기결합장

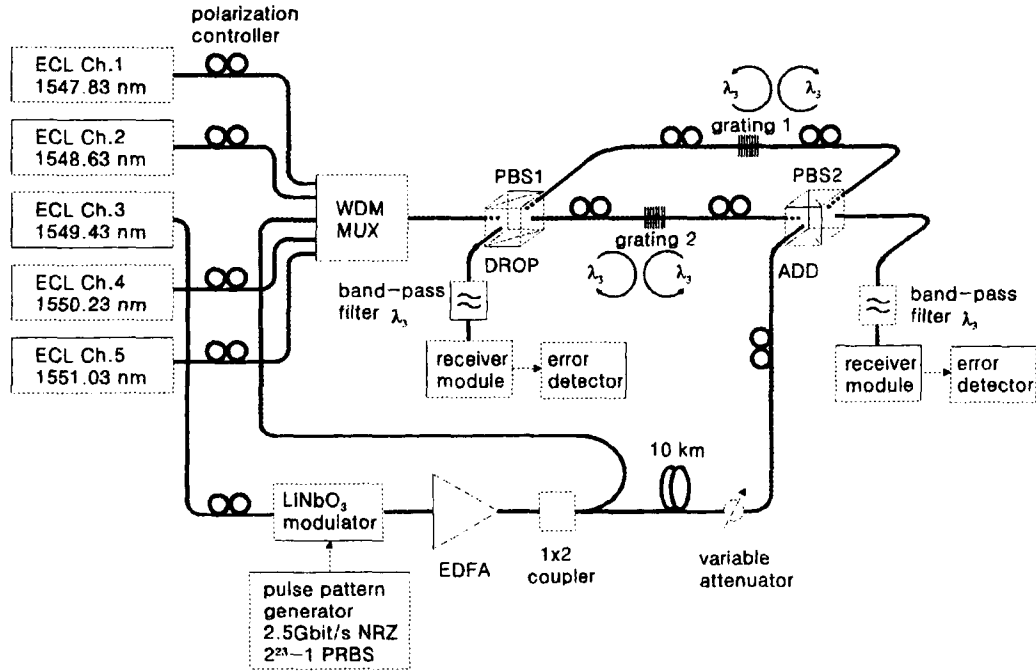


그림 12. 파장분할 분기결합장치 실험 구성도.

치에 대한 연구가 지난 수년간 활발하게 이루어 지며 arrayed waveguide grating을 이용한 방법, 광섬유 격자와 optical circulator를 이용한 방법, 그리고 Mach-Zehnder 간섭계와 광섬유 격자로 구성하는 방법 등이 발표되었다. 본 연구실에서도 이에 대한 연구를 수행하고 있는데, 최근 한국과학기술원에서 학술용역으로 수행한 과제에서 광섬유 격자와 편광 분리기 (polarization beam splitter, PBS)를 사용한 새로운 형태의 파장분할 분기결합장치가 제안된 바 있다. 이 분기결합장치를 한국과학기술원에서 제작하고 본 연구실에서는 제작된 분기결합장치를 WDM 전송시스템에 적용하여 그 성능을 평가하였다.

그림 12에서와 같이 WDM 전송시스템은 파장 간격이 0.8 nm인 5개의 채널로 구성하였다. Input-output 과 add-drop 간의 신호 누설에 의한 power penalty를 측정하기 위하여 5개 채널 중 가운데 위치한 3번 채널을 2.5 Gbps로 변조한 후 둘로 나누어 하나는 input port로 넣고, 다른 하나는 10 km의 광섬유를 전파시킴으로써 근사적으로 input port 신호와 상관관계가 없는 신호를 만들어 add port에 연결하였다. 각 단에서의 스펙트럼은 그림 13에서 보는 바와 같다. Drop port에서의 BER 특성은 add port에 동일 파장의 신호 유무에 관계없이 거의 같았으나, 그림 14에서와 같이 output port에서는 input port에 같은 파장의 신호가 있을때 약 1 dB의 power penalty가 측정되었다. 또한 전체적으로 drop된 신호의 BER보다 add된 신호의 BER이 약 2.5 dB 정도의 power penalty를 보이고 있는데, 이는 분

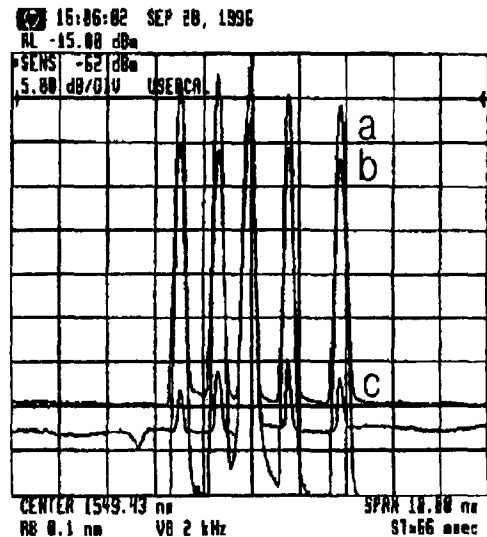


그림 13. 각 port에서의 스펙트럼: (a) Input port에서의 스펙트럼; (b) Output port에서의 스펙트럼; (c) Drop port에서의 스펙트럼.

기결합장치 후단의 두 arm의 길이 차이가 신호 한 bit가 차지하는 길이에 비해 무시할 만큼 작지 않은데 기인하는 것으로 추정된다. 이 분기결합장치는 원리적으로는 입력편광상태에 무관한 특성을 갖으나, 실제로는 3-4 dB 정도의 차이를 보였다. 이는 두 arm의 광섬유 격자의 반사율과 splice 손실 등에서 차이가 있기 때문인 것으로 생각되며, 앞으로 개선할 점이다. 이러한 편광의존성을 제외한 stability는 매우 양호하였으며, 현재 성능을 개선한 분기결합장치를 구성 중에 있다.

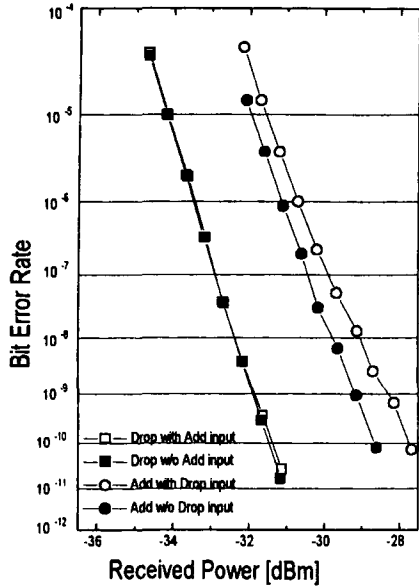


그림 14. 2.5 Gbps 전송속도에서의 측정된 BER.

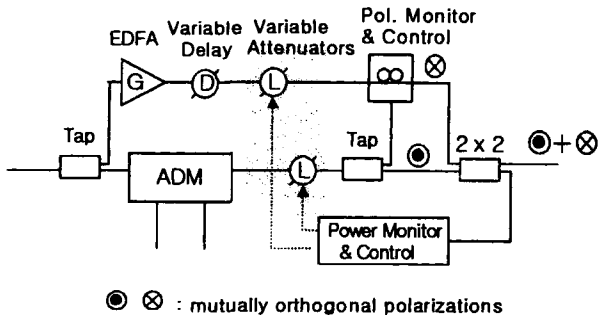


그림 15. 제안된 회선 절체장치 구성도.

3.4 에러 발생이 없는 광선로 절체방식에 관한 연구^[7]

수 100Mb/s에서 수 Gb/s에 이르는 고속 광전송로는 자연재해나 사고로 인하여 회선이 끊어지지 않도록 예비회선 또는 우회회선을 마련하여 필요시 절체하도록 하므로써 높은 신뢰성을 확보하고 있다. 또, 중계기나 ADM장치의 고장 수리, 교체에 대비하여 예비선로를 병렬로 구성하고 필요시 이 회선으로 절체한다. 선로의 절체가 기계적으로 이루어지는 기존의 방법으로는 수 msec 동안, 광스위치를 사용하는 경우라도 수 μ sec 동안 많은 에러가 발생한다. 전송속도가 높아질수록 에러비트 수가 증가하기 때문에 전송로의 품질측면에서 볼 때 에러 없이 전송로를 절체할 수 있는 기술이 필요하다. 본 연구에서는 에러 발생이 없는 새로운 광선로 절체기술을 제안하고 간단한 실험을 통하여 그 타당성을 검토하였다.

본 논문에서 제안하는 방식은 그림 15와 같이 기계적 또는 광학적 스위치를 사용하지 않는다. 현용(working) 전송로는 tap, 전송장치, tap, 2x2 커플러로 구성되며, 예비(stand-by) 전

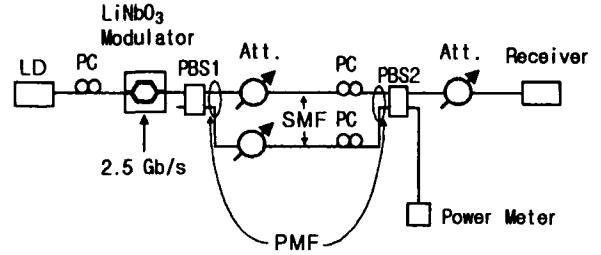


그림 16. 회선 절체장치 실험 구성도.

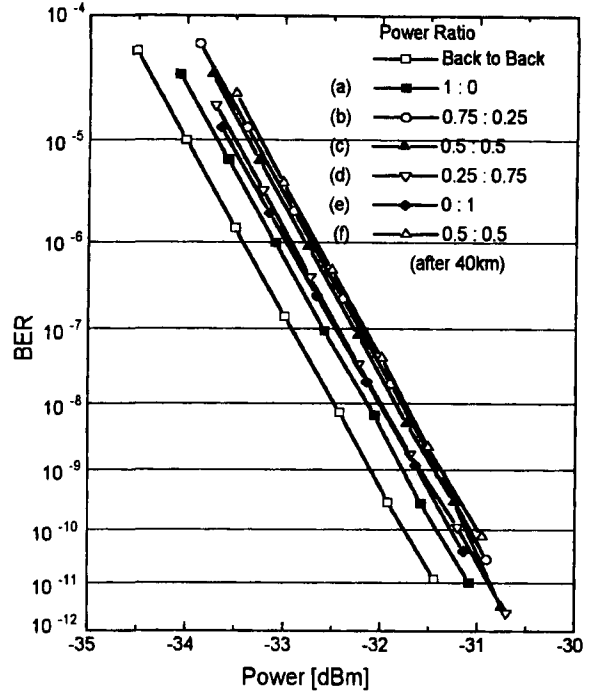


그림 17. 2.5 Gbps 전송시의 BER 그래프.

송로는 tap, EDFA, delay, 편광제어기로 구성된다. 편광제어기는 현용선로의 광파와 예비선로의 광파가 서로 직교하도록 하는 기능을 수행한다. 2x2 커플러는 이 두 광파의 세기를 결합하기 위한 것이다. 편광이 서로 직교하는 두 광파가 합하여지면 총 세기는 각 성분 광파세기의 선형합으로 표시되기 때문에 간섭에 의한 잡음이 발생하지 않는다. 두 감쇄기를 사용하여 두 광파의 세기의 합이 일정하게 유지되도록 하면서 현용선로의 세기는 줄이고 예비선로의 세기는 증가시키며, 종국에는 예비선로에만 광전력이 남도록 한다.

제안된 구조의 타당성을 검증하기 위해서 그림 16의 구조를 구성하고 2.5 Gbps 전송시의 BER을 측정하였다. Lithium Niobate Mach-Zehnder 외부변조기로 2.5 Gbps로 변조된 신호를 PBS1를 사용하여 편광이 서로 직교인 두 성분으로 나누고 PBS1과 PBS2로 이루어지는 Mach-Zehnder 간섭계의 두 암에 각각 입력시켰다. PBS2에서 합쳐질 때 두 성분이 서로 직교하

므로 간섭하여 합치는 것이 아니기 때문에 전송성능이 두 암 사이에 약간의 길이의 차이나 온도 등의 주변 환경에 민감하게 변하지 않는다. 그러나 두 암사이의 길이 차이가 커 두 신호의 타임슬롯이 어긋나게 되면 안되므로 두 암사이의 길이를 같게 조정해야 한다. 그림에서 두 arm의 각과 L2로 표시된 광감쇠기를 조정하여 두 암에 걸리는 성분의 광파워를 변화시켜 광파워비를 1:0, 0.75:0.25, 0.5:0.5, 0.25:0.75, 0:1로 변화시키며 각 경우의 BER을 측정하여 그림 17에 표시하였다. 각 경우 모두 파워의 합은 약 -15.23dBm으로 일정하며 수신기에서는 평균 -20dBm의 광출력이 수신되었다. 그림 17의 Back to Back으로 표시한 BER은 외부변조기 출력을 직접 수신기로 보낸 경우로 약 -12dBm이 수신되었다. 따라서 선로절체 구조를 삽입함에 따른 손실은 약 8 dB이며 이는 두 개의 PBS와 그 사이에 들어가는 광감쇠기와 편광조절기에 의한 것이다. PBS2에는 벌크 형태인 2x2 PBS를 사용하고 한쪽 출력에 광파워미터로 광출력을 측정하였으며 그 값은 -40dBm 이하로 광감쇠기를 조정하여도 두 암의 성분이 서로 직교한 상태로 유지됨을 확인하였다. 그리고 두 암에서 합해진 신호를 40 km 전송하여도 BER이 거의 악화되지 않음을 확인하였다. 이상의 결과로 볼 때 본 논문에서 제안한 방식은 어려없이 전송로를 절체할 수 있는 기술로 평가되며 차후에 자동적으로 광전력의 배분을 조정하는 연구를 수행할 예정이다.

3.5 공유광원 및 원격변조방법을 이용한 광가입자 루프 시스템^[8]

고속 광가입자 전송링크를 성공적으로 구축하기 위해서는 경제성 및 신뢰성을 동시에 만족시킬수 있는 시스템의 개발이 중요한 과제이다. 고속 광전송링크에서는 광원의 안정성이 크게 요구되기 때문에, 전체 시스템에 대한 광원계통의 비용이 커지게 된다. 이에 대해, 광원의 안정적 운용과 가입자링크당 비용의 저가화를 달성할 수 있는 하나의 해결방안으로 공유광원 및 원격변조방법을 채택한 시스템을 제안하고 그 타당성을 검토하였다. 먼저 본시스템을 이용한 전화국으로부터 가입자측으로의 하향링크 혹은 역방향인 상향링크에 대한 각각 개별 전송에 있어서의 기술적 그리고 경제적 타당성은 실험적 고찰을 통해 확인하였다. 이를 바탕으로 상 하향전송을 동시에 구현하는 통합전송링크를 그림 18과 같이 제안하고, 본 구조의 전송성능을 상향 및 하향링크에 대한 개별 전송할때의 성능과 비교 분석함으로써 통합전송링크의 효율성을 고찰하였다. 먼저 상 하향전송에 이용된 공유광원의 구조를 살펴보면, 하향링크에 사용된 공유 laser 광원(Shared laser light source)은 laser로부터의 광신호를 부스터용 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier)로 증폭시키고 전력분배기로 적절히 분배한후 하향전송의 캐리어신호로 사용한다. 상향링크에 사용된 공유 EDFA 광원(Shared EDFA light source)은 무편광 광원을 얻기위해 전단 EDFA의 ASE(Amplified Spontaneous Emission) 광신호를 대역통과 필터(대역폭이 0.5nm인 필터를 한개 쓴 경우와 두개를 직렬로 쓴 경우, 그리고 대역폭이 1.0nm인 경우)로 잘라낸후, 후단 전력증폭기용 EDFA로 증폭시키고 전력분배기를 이용하여 분배시킨 후 상향전송의 캐리어신호로 사용한다. 본 구조에서는 전화국측과 가입자측의 상 하향신호를 합과/분과 하기 위해서 WDM(Wavelength Division Multiplexer)장치를 고려중이나 본 실험에서는 전화국측에 2:1 Splitter를, 가입자측에 가변 대역통과 필터를 이용하였다. 실험은 먼저 상향 혹은 하향

그림 18. 공유광원 및 원격변조방법을 이용한 광가입자 루프 시스템 구성도.

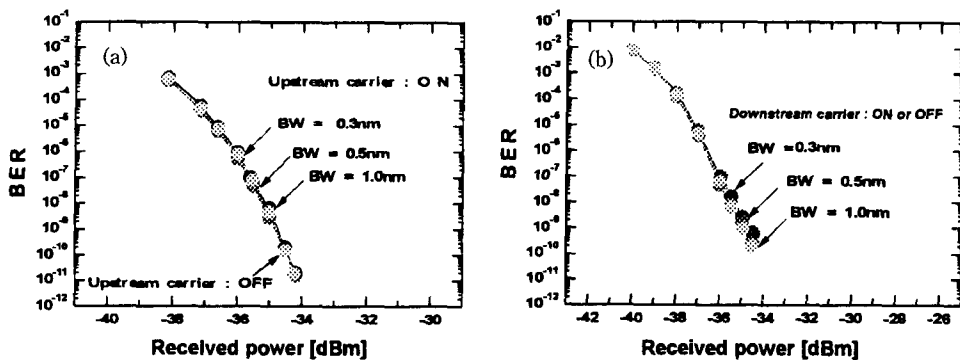


그림 19. 상향 및 하향 전송성능 측정결과. (a) 하향전송(2.5Gb/s) (b) 상향전송(155Mb/s)

의 단독전송할 때 성능을 측정 후, 상대방 전송캐리어를 동시에 보낼 때 상향 혹은 하향링크의 전송성능을 측정하였다. 송신단과 수신단 사이의 거리를 15km로 하고 하향 및 상향전송속도를 각각 2.5Gb/s 및 155Mb/s로 했을 경우, 수신전력에 대한 전송오율의 측정결과가 그림 19에 보인다. 결과로 부터 상 하향전송을 동시에 구현하는 통합전송링크의 전송능력은 상향 또는 하향링크에 대한 개별전송때의 전송능력과 거의 동일한 성능을 가짐을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 박영일, 강용훈, 김익상, 채창준, "2.5 Gbps, 8채널 광다중화신호의 123km 전송 현장실험" '96 광자기술학술회의, 자료집 p. 183, (강릉대학교, 1996).
2. 강용훈, 박영일, 김익상, 채창준, 이병호, "광통신 시스템 내에서의 다중 반사에 의한 power penalty 분석," '96 광자기술학술회의, 자료집 p. 13, (강릉대학교, 1996).
3. Joon Chung, Sang Yong Kim, and Chang-Joon Chae, "All optical gain-clamped EDFAs with different feedback wavelengths for use in multi-wavelength optical networks," *Electronics Letters*, vol. 32, pp. 2159-2161(1996).
4. Joon Chung, Sang Yong Kim, and Chang-Joon Chae, "Performances of all optical gain-clamped EDFAs with different feedback wavelengths for use in multi-wavelength optical networks," accepted for publication in *Optical Fiber Communication'97*, paper TuE5(1997).
5. Se Yoon Kim, Sang Bae Lee, Joon Chung, Sang Yong Kim, Ji Chae Jeong, and Sang Sam Choi, "Highly stable optical add/drop multiplexer using polarization beam splitters and fiber bragg gratings," accepted for publication in *Optical Fiber Communication'97*, paper ThJ3(1997).
6. 박일종, 김상용, 정 준, 채창준, 김세윤, 이상배, 최상삼, 이병호, 정지채, "파장분할다중화 전송시스템에서 광섬유 격자와 편광분리기를 이용한 파장분할 분기결합장치의 성능 평가," '96 광자기술학술회의, 자료집 p. 130, (강릉대학교, 1996).
7. 김상용, 강용훈, 정 준, 채창준, 이병호, "에러 발생이 없는 광선로 절체방식에 관한 연구," '96 광자기술학술회의, 자료집 p. 15, (강릉대학교, 1996).
8. Yong-Gi Lee, Yong-Hoon Kang, and Chang-Joon Chae, "Broadband optical subscriber loop system with shared light sources and remote modulation," accepted for publication in *The 8th International Workshop on Optical/Hybrid Access Networks*(1997).