

主 題

100Gb/s급 WDM 광 전송 시스템

한국전자통신연구원 박 창 수, 김 홍 주, 고 제 수, 이 중 현
이 동 호, 유 태 환, 김 재 근, 최 문 기

차 례

- I. 서 론
- II. 시스템 개요
- III. 하드웨어 구현
- IV. 감시제어 구현
- V. 다채널 광전송 실험
- VI. 결 론

요 약

100Gb/s급 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 광전송시스템은 10Gb/s 신호 (STM-64) 를 최대 16채널까지 파장분할다중화하는 광전송시스템으로서 단국형 모드(TM: Terminal Mode)와 분기결합형 모드(ADM: Add-Drop Mode)를 고려한 통합형 구조로 설계, 구현되었다. 본 시스템은 10Gb/s 광신호를 실는 각각의 채널파장(채널파장간격: 1.6nm)에 최대 16개(파장영역: 1536.61 ~ 1560.61nm)까지 광채널 신호를 결합하여 하나의 광섬유로 전송하는 기능을 갖는다. 또한 광전달망 계층구간의 감시제어 기능과 시스템 운용관리 기능 및 사용자 터미널 접속 기능을 수행하는 감시제어 기능을 갖는다. 본 고에서는 개발 중인 100Gb/s급 WDM 광전송시스템의 시스템개요, 하드웨어 구현, 감시제어 구현, 다채널 광전송 실험 등에 관해서 기술한다.

1. 서론

1990년대 중반 이후 인터넷 서비스를 중심으로 정보화 사회의 급속한 진전이 이루어지고 있으며, 향후 영상 서비스 및 데이터베이스를 중심으로 하는 광대역 대용량 정보 통신 서비스의 수요가 급증할 것으로 예상된다. 선진 각국에서는 이에 대비하여 광대역 종합정보통신망(B-ISDN)의 구축을 계획하여 추진하고 있다.

시분할다중(Time Division Multiplexing, TDM) 기술을 이용하는 기존의 시분할 다중 광전송 기술은 디지털 신호의 특정속도 이하에서는 고속화에 따른 전송 용량의 확장 시 전송용량의 증가에 비해 가격 상승이 낮아 경제성 측면에서 유리한 점이 있었으나, 10Gb/s 이상의 전송 속도에서는 주변 전자 소자의 대역폭(20GHz 이하)의 한계로 경제적인 구현에 어려움이 있게 된다[1]. 즉, 시분할 광전송 기술은 향후 예측되는 정보 통신 서비스의 수요를

충족시키기에 이미 전송 능력의 한계를 보이고 있으며, 10Gb/s 이상은 기술적 한계에 근접하고 있어, 기존 방식의 단순한 확장만으로는 점점 지능화하고 고도화될 미래 전송망에서 필요로 하는 전송 용량을 확보하기 어렵게 된다.

반면, 파장분할다중 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) 광전송방식은 기존의 시분할다중 방식이 갖는 동기식 전송 기술의 한계를 보완할 수 있으며, 신호를 묶고 풀기 위한 구성 체계도 단순하고, 입력 광신호에 대한 신호 속도나 형태 등의 제한도 없어, 기존의 동기식 전송에 비해 전송 용량을 쉽게 확장할 수 있다는 장점을 갖고 있다[2][3].

현재까지 상용 광전송시스템으로는 2.5Gb/s급 SDH (Synchronous Digital Hierarchy) 광전송 장치가 각국에서 설치, 운용되고 있으며, 10Gb/s급 SDH 광전송 장치는 개발이 완료된 상태이다. 10Gb/s 급 광전송 기술은 기존의 SDH 방식 및 파장분할다중화 (2.5Gb/s x 4채널) 방식이 모두 개발되고 있으며, 특히 파장분할다중화 형태의 광다중 방식은 향후 2-3년 동안 20Gb/s, 40Gb/s, 80Gb/s 그리고 160Gb/s 급 용량을 갖는 광전송 시스템에 적용될것으로 예측된다[6][7].

본 고에서는 국내 처음으로 개발 중인 100Gb/s 급 WDM 광전송시스템의 시스템개요, 하드웨어 구현, 감시제어 구현, 다채널 광전송 실험 등에 관해서 기술한다.

2. 시스템 개요

2.1 시스템 적용

100Gb/s급 WDM 광전송시스템(이하 100Gb/s 시스템으로 명명)은 ITU-T의 광전달망 계층 표준안에 따라 광채널계층 (Optical Channel Layer), 광다

중계층 (Optical Multiplexer Section Layer), 광전송 계층 (Optical Transmission Section Layer)으로 분류되고 종속신호 접속부인 클라이언트계층이 포함될 수 있다[4]. 100Gb/s 시스템의 광채널계층은 STM-64 신호를 재처리 또는 생성 과정에 의한 변경 없이 그대로 전달되도록 하고 SDH 운용, 예비신호의 관계는 단지 종속신호로서 각각 100Gb/s 시스템에 수용되게 한다. 광다중계층은 광채널 할당, 광다중/역다중의 기능을 수행하고 광전송계층은 광다중신호를 증폭하여 광매체로 전송하는 기능을 수행한다. 감시 (supervision) 측면에서 감시채널은 분리채널 운용방식으로 각 계층별로 분리된 감시채널을 운용할 수 있도록 시스템 구조 및 하드웨어를 체계화하도록 한다. 생존성 (survivability) 측면은 WDM 링크 또는 노드 장애에 대비한 절체 방식으로 하부망 연결절체(SubNetwork Connection Protection, SNCP)를 고려한다. 즉, WDM 망을 운용망과 예비망으로 구성하고 운용망의 연결이 장애가 발생하거나 성능 저하요인이 발생했을 경우 운용망의 연결이 예비망의 연결로 대체되면서 하부망의 서비스가 지속될 수 있도록 절체가 수행되도록 한다[8]. 그리고, 시스템화 진행에 필수적인 부분으로서 ITU-T의 표준안이 미규정된 사항은 자체적으로 결정하여 설계에 반영하였으며, 향후 ITU-T의 표준안 확정시 시스템 구조의 추가 보완/변경이 용이하도록 최대한 고려하였다.

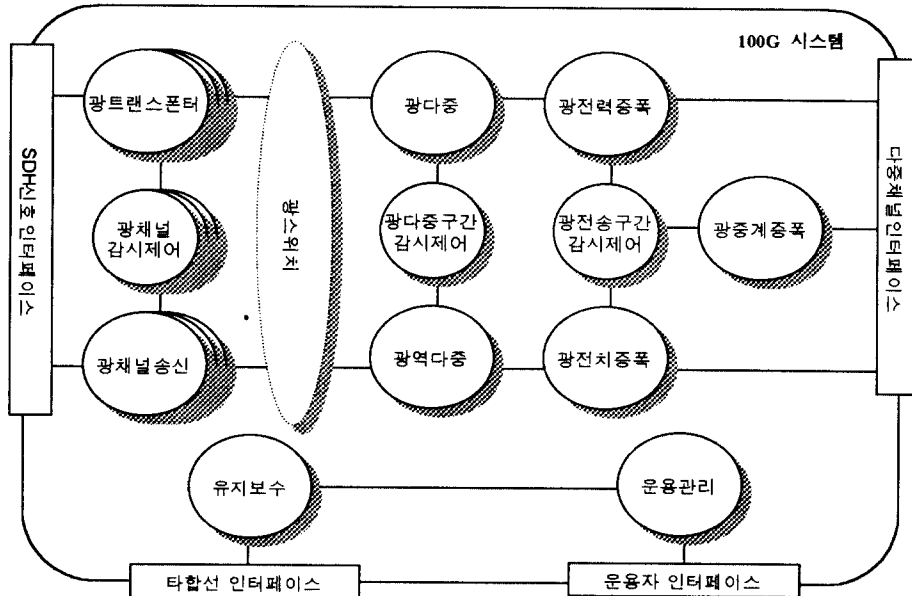
2.2 시스템 기능

100Gb/s 시스템은 STM-64 동기식 신호를 최대 16개까지 파장분할다중화하여 100Gb/s급(최대 160Gb/s)의 정보를 투명(transparent)하게 전송하는데, 이를 위하여 STM-64 트랜스폰더 기능, 광다중/역다중 기능, 다채널 광 증폭 기능, 광스위치 기능 그리고 감시제어 기능으로 각 계층간 감시제어 기능, 유지보수 및 운용관리 기능 등을 포함 한다. 100G 시스템의 기능 구성도는 (그림 1)과 같다.

100Gb/s 시스템은 장치의 기능에 따라 단국형 (Terminal Mode), 분기/결합형 (Add-Drop Mode)[9][10], 증계형 (Repeater Mode) 으로 분류하고, 모듈화된 기능 구조를 가지게 함으로써 단순히 해당기능 유니트를 실장 또는 제거함에 의해 용도변경이 용이하도록 설계되었다.

64 광신호를 광/전변환하여 전기적인 신호로 변환하는 기능을 수행하고, STM-64 다채널 광송신기 (TT-64)는 OR-64로 부터 수신된 STM-64의 전기적인 신호를 할당된 광 파장에 실어주는 파장 변환 기능을 수행한다. OR-64와 TT-64 기능을 합쳐서 STM-64 트랜스폰더 기능이라 명명한다.

(그림 1) 100Gb/s 시스템의 기능 구성



- 광다중/역다중화 기능

2.3 시스템 구조

100Gb/s 시스템의 구조는 STM-64 트랜스폰더 기능(일명 파장변환 기능으로도 명명함)과 광다중/역다중화 기능, 다채널 광증폭 기능을 가지고, 분기 결합 기능을 수용하기 위해 2 x 2 스위치부로 구성된 광스위치 기능의 추가 실장으로 구성된다. (그림 2)에 각 기능에 해당하는 유니트를 표시하였으며 기능에 따른 해당 유니트의 기본 기능은 아래와 같다.

- STM-64 트랜스폰더 기능

STM-64 광수신기(OR-64)는 10Gbps급의 STM-

광다중화기 (OMXU)는 8개에서 최대 16개의 각 각 서로 다른 파장의 광신호들을 AWG (Arrayed Waveguide Grating) 다중 소자를 이용하여 파장다중을 한다. 광 역다중화기 (ODXU)는 8개 또는 최대 16개의 서로 다른 파장으로 다중되어진 입력 광신호를 AWG 역다중 소자를 이용하여 각각 해당하는 파장의 광신호로 광 역다중한다.

- 다채널 광증폭 기능

다채널 광전력증폭기(MBAU)는 장거리 광신호 전송을 위하여 OMXU로 부터 입력되는 파장 다중된 광 신호를 증폭하는 유니트로서, 광신호를 증폭

한 후 광전송구간 감시채널 신호 (OTS-SV)를 다채널 증폭 구간 외부 파장을 이용하여 전달한다. 다채널 광전치증폭기(MPAU)는 장거리 광 전송선로를 통해 전달되면서 광전력 손실이 생긴 파장 다중된 광 신호의 광전력을 높이는 유니트로서 광증계구간 감시채널 신호를 추출한 후 수신된 다채널 광신호를 증폭한다.

다채널 광선로 증계기용 다채널광선로증폭기 (MLAU)는 파장 다중된 광신호의 전송거리를 확장시키기 위하여 광선로의 중간 위치에서 광 신호의 전력을 증폭시키는 기능을 갖는다. 입력되는 광 신호에서 삽입된 광전송구간 감시채널 신호는 증폭 전단에서 추출되며, 파장 다중된 광신호가 증폭된 후 새로운 광전송구간 감시채널 신호가 삽입된다.

- 감시제어 기능

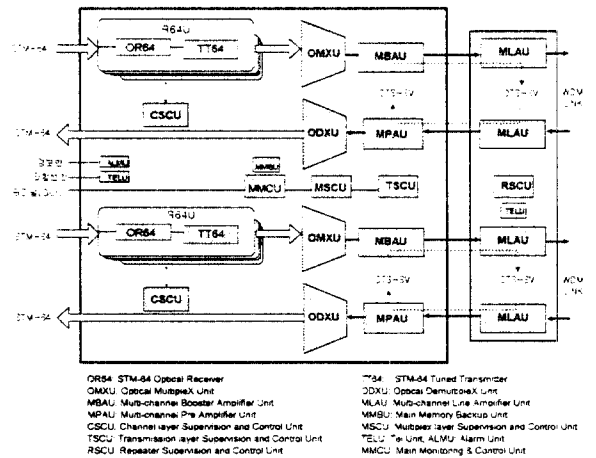
100Gb/s 시스템의 계층 구조에 따른 감시제어 프로세서 구성은 광채널 감시제어기(CSCU), 광다중 감시제어기 (MSCU), 광증폭 감시제어기 (TSCU) 와 광증계 감시제어기(RSCU)로 각각 분류 실장하고 이들 계층별 프로세서를 총괄 제어하는 중앙 감시제어기(MMCU)를 실장/구성한다. 광채널 감시제어기는 OR-64와 TT-64의 제어 및 상태정보를 수집하는 프로세서이다. OR-64 유니트의 STM-64 광신호 손실을 검출하고, TT-64 유니트의 광 모듈의 온도 및 전류를 제어하며, 광 모듈 주변 회로로부터 출력 광전력, 전류, 온도상태 및 고온도, 고전류, 고 광출력, 파장이탈 경보 정보를 수집한다. 광다중 감시제어기는 OMXU/ODXU 그리고 OSWU의 제어 및 상태 정보를 수집하는 프로세서이다. AWG의 온도 안정화 제어 및 입출력 광전력, 전류, 온도 상태 정보를 수집하고, 고 온도, 저 광입출력 경보정보를 수집한다. 광증폭 감시제어기와 광증계 감시제어기는 각각 MBAU/MPAU 와 MLAU의 제어 및 상태 정보를 수집하는 프로

세서이다. 광모듈의 ON/OFF 제어, 광증계감시채널의 오버헤드 제어, 광입출력, 전류, 온도 상태 정보를 수집하고, 고 광입출력, 저 광전력 경보정보를 수집한다. 또한 광전송구간 감시채널 신호를 생성하여 전달하며, 추출된 광전송구간 감시채널 신호를 분석, 처리한다. 중앙 감시제어기는 각 프로세서 보드간의 프로세서간 통신을 중재하며, 장치 운영자의 제어 및 상태 보고를 위한 사용자그래픽접속 (GUI)을 제공하며 시스템의 전반적인 상태 정보의 수집 및 제어를 담당한다.

- 기타 기능

중요 운용정보를 저장하는 MMBU, 타합선 접속을 위한 TELU, 그리고 경보반 접속을 위한 ALMU를 실장/구성한다.

(그림 2) 100Gb/s 시스템 구조



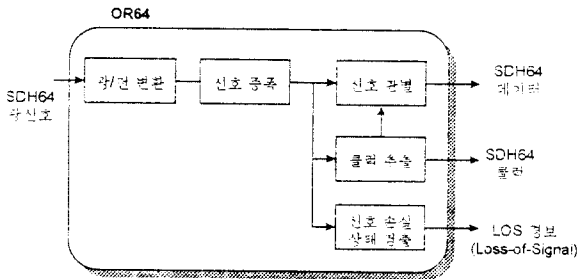
3. 하드웨어 구현

3.1 STM-64 광수신 기능 (OR64)

STM-64 트랜스폰더에서 전반부의 O/E 변환부를 구성하는 것으로서 OR64의 기능 구조는 (그림 3)에 도시되어 있다. 광신호를 전기 신호로 변환하는 O/E 변환 기능, 변환된 광신호를 신호처리

충분한 크기로 증폭하는 증폭 기능, 증폭된 신호에서 클럭 신호를 추출하는 기능, 추출된 클럭을 기준으로 증폭된 신호를 판별하는 기능, 광신호 손실 상태를 검출하는 기능 등 5개의 기능을 갖는다. 입력은 STM-64 광신호이고 출력은 전기 신호로서, STM-64 데이터, STM-64 클럭, 신호 손실 경보(Loss-of-Signal, LOS) 등이다. 수신 감도는 -13dBm으로서 송신기의 eye-pattern, 소광비 등이 허용 범위 내에서 최악인 경우에 해당하고, 일반적인 동작 상태에서는 2~4 dB의 수신 감도 마진을 유지해야 한다. 광경로 상의 분산, ISI(Inter Symbol Interference) 등에 의한 수신 감도의 감소를 나타내는 경로 손실은 10Gb/s 광링크의 분산 효과를 고려하여 2dB이하로 규정하였다. 이때, 광신호-대-잡음비는 25 dB 이상이어야 한다. 제작된 OR64 유니트로 부터 측정된 평균 수신 감도는 -18dBm으로서 이론적 예측치 -17.8dBm과 거의 일치하고 있고, 이 값은 규격 값인 -13 dBm에 비교하여 약 5dB 적은 것으로 충분한 수신 감도 마진을 확보하고 있다.

(그림 3) STM-64 광수신기(OR64) 기능 블록도



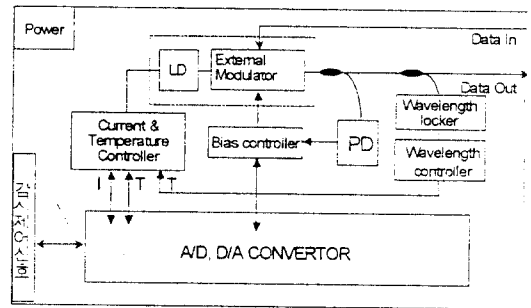
3.2 STM-64다채널 광송신 기능 (TT64)

다채널 광송신기에서 광원의 파장은 시스템에서 정해진 채널로 최대한 안정화되어야 한다. 광원 파장의 미세한 변화는 파장 선택 특성이 있는 광다중/역다중 소자를 통과할 때 광세기의 변화를 유발하고, 광세기의 변화는 광증폭기의 잡음 특성에 영향을 주어 결국 광신호대잡음비(Optical Signal to

Noise Ratio, OSNR)를 저하시키는 요인이 된다. ITU-T의 권고에 따르면 채널별 출력 광원의 파장은 1552.52nm를 기준 파장으로 하고 채널간격이 1.6nm 인 경우 각 채널 파장의 안정도는 $\pm 0.32\text{nm}$ 이내가 되도록 권고하고 있다.

본 시스템에서는 LD의 동작온도를 조정하여 파장을 안정화하였고, 주입전류를 변화하여 광출력을 안정화하였다. 이를 위해 파장 잠금기를 이용하여 파장 변화를 검출하고, 검출된 신호를 이용하여 LD에 부착된 TEC(Thermo-Electric Cooler)의 동작 전류를 조정하는 파장 안정화 회로를 구성하였다. LD의 출력 광세기를 안정화하기 위해서는 DFB-LD 모듈에 내장된 모니터용 PD의 출력을 이용하여 자동 광출력 조절기(Automatic Power Control, APC)를 구성하여 LD의 주입전류를 조정하도록 하였다.

(그림 4) STM-64 다채널 광송신기(TT64) 기능 블록도



(그림 4)는 구성된 STM-64 다채널 광송신기(TT64)의 기능블럭을 나타낸다. 파장잠금기의 출력은 CTC (Current & Temperature Controller)의 온도 조정 입력단으로 연결되어 전술한 파장 안정화 회로를 구성하고 있다. 광세기 안정화 회로는 CTC 블럭 내부의 APC에 의해 LD의 주입전류를 조정한다. STM-64전기신호를 광신호로 변환하는 기능을 갖는 외부변조기(External Modulator)에서는 동작온도에 무관하게 최적의 바이어스 전압을

유지하기 위해 제어회로를 구성하였다. 구현된 TT64 유닛을 상온에서 동작하였을 때 측정된 파장 및 광출력 안정도는 0.002nm, 0.1dB 이내로서 매우 안정되게 동작하고 있음을 확인하였다.

3.3 광다중/역다중 기능 (OMXU/ODXU)

100Gb/s 시스템의 광다중부는 트랜스폰더 출력단의 광신호(TT64출력)들을 광다중화하여 하나의 광섬유로 전송하는 기능을 수행하고, 역다중부는 다중화된 광신호를 파장별로 분리하는 기능을 한다. 이러한 광다중/역다중 기능을 구현하는 데에는 현재 상용화된 광다중/역다중 소자의 삽입손실, 그리고 채널간의 삽입 손실차 등이 주요 문제가 된다[5]. 본 시스템에서는 삽입 손실이 비교적 적은 광다중화용 배열도파로(Arrayed Wave Guide, AWG) 소자를 사용하여 광다중/역다중부를 구현하였다.

사용된 AWG는 1.6nm 간격으로 16채널을 수용할 수 있고, 채널 파장은 $-1.4\text{GHz}/^\circ\text{C}$ 의 온도 안정성을 갖고 있다. 그러나, 넓은 동작 온도 범위에서 AWG의 출력스펙트럼을 일정하게 유지하기 위해서 온도 제어 기능이 필요하다. 본 다중/역다중부에는 0.5°C 이내로 동작 온도를 안정화시킬 수 있는 자체제어 회로로 구성된 온도 제어부를 내장하고 있으며, 외부 감시 제어 신호에 의해서도 동작 온도가 설정 및 제어되도록 구현하였다.

3.4 다채널 광증폭 기능

광증폭기를 사용하는 광링크에서 근본적인 광전송 품질을 결정하는 OSNR은 광증폭기 출력에 비례하고 광증폭기의 수, 광증폭기 이득에 반비례하여 변화한다. 따라서, 주어진 총 전송거리(혹은 총 선로손실)에서 OSNR을 최대로 하기 위해서는 광증폭기 이득과 광증폭기 수를 같은 크기로 하고, 광출력을 최대로 유지하여야 한다. 이때 경제성, 기

존의 광선로 설치 환경, 향후 확장성 등도 충분히 고려해야 한다. 다채널 증폭기에서는 입력 채널 수의 변동 혹은 채널 간 입력 광세기 차이로 채널의 이득, 출력 광세기가 변동하고, 몇개의 증폭기를 거치는 동안 그 효과는 더욱 크게 나타난다. 따라서, 다채널 광증폭기는 이러한 변동에도 모든 채널의 이득과, 출력을 일정하게 유지하는 기술이 요구된다.

본 시스템에서는 에르븀 첨가 광섬유(Erbium doped fiber, EDF)의 밀도반전 특성을 이용하여 평탄이득 광증폭기 모듈을 설계 및 제작하였으며, 약 5dB의 입력 광세기의 변화(채널당 $-20\text{dBm} \sim -15\text{dBm}$)에 대하여, 출력 광세기의 변화가 $\pm 1\text{dB}$ 이내, 채널간 출력 광세기 차이가 1dB 이내로 안정된 광증폭기를 제작하였다.

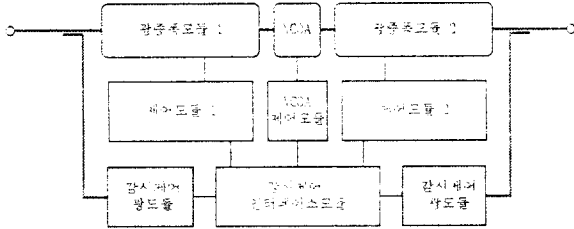
가. 다채널 광증폭기 모듈

에르븀 첨가 광섬유 증폭기(Erbium doped fiber amplifier, EDFA)는 밀도반전(population inversion)이 크면 상대적으로 단파장 쪽의 이득이 커지게 되고, 밀도반전이 작으면 장파장 쪽의 이득이 커진다. 이러한 밀도반전 특성을 이용하여, 광증폭모듈을 2단으로 구성하고, 각단의 이득 스펙트럼이 요구되는 파장 대역내에서 서로 다른 값의 기울기를 갖도록 설계하였다.

제작된 다채널 광증폭기 모듈(optical fiber amplifier module, OFAM)의 구성은 (그림 5)와 같으며, 감시제어 광신호의 분리결합 및 전송을 하기 위한 감시제어 광모듈이 추가되어 있다. 제 1단 광증폭모듈에서는 입력 신호광의 일부를 측정하여, 입력 광세기의 변동에 비례하여 여기광세기를 조절하므로써, 입력 광세기의 변화에도 증폭이득이 일정한 값으로 유지되도록 하였다. 제 2단 광증폭모듈은 전압조절 광감쇠기(Voltage Controlled Optical Attenuator, VCOA)모듈에 의해 입력 광세

기가 항상 일정하게 조절되므로 고정이득이 유지된다. 또한 제 2단 광증폭모듈의 밀도반전은 제 1단 출력의 이득 스펙트럼을 보상하여 최종 출력의 이득평탄도를 유지할 수 있도록 최적화된다.

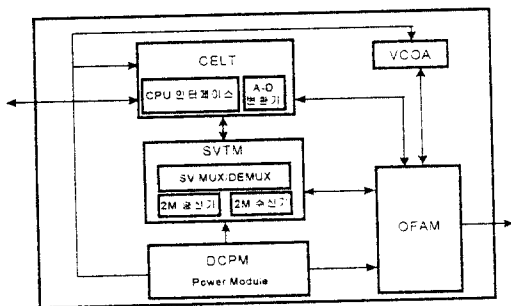
(그림 5) 다채널 광증폭기 모듈(OFAM) 구성도



나. 다채널 광증폭기 유니트(MBAU/MPAU/MLAU)

광증폭기 유니트는 크게 광신호를 증폭하는 광증폭기 모듈(OFAM), 광증폭기 간의 감시제어 광신호를 전송하는 감시제어 광송수신모듈(Supervisory Channel Optical Transceiver Module, SVTM), CPU 인터페이스부 및 AD변환기 등을 포함하는 전자회로부(control electronics, CELT) 및 직류전원 모듈(D.C. Power Module, DCPM) 등으로 구성된다. 설계된 유니트의 구성은 (그림 6)과 같으며 MBAU, MLAU 및 MPAU에서 공용으로 사용할 수 있도록 설계하였다.

(그림 6) 다채널 광증폭기 기능 블럭도



감시제어 및 상태감시를 위한 SVTM은 2.048Mb/s 광송신기, 2.048Mb/s 광수신기, 2.048Mb/s MUX, 2.048Mb/s DEMUX 및

FPGA(field programmable gate array)등으로 구성되어 있다. 감시제어용 광송신기는 1310nm 파장의 광원을 사용하였다. 광송수신간 링크 마진은 30 ~ 38dB로서 광섬유의 손실을 0.5dB로 가정할 경우 60km 이상의 중계거리 전송이 가능하다. 다만, 광증폭기 입력단에서의 손실은 잡음지수에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 WDM 커플러의 삽입손실을 최대한 줄이는 것이 필요하며, 여기서는 0.5dB 이하로 규정하였고, 채널분리도는 30dB 이상이 되도록 구성하였다.

4. 감시제어 구현

4.1 감시제어 기능

100Gb/s시스템에서의 감시제어 기능은 시스템 내에서 발생하는 장애, 경보, 성능 등과 관련된 각종 요소들을 관리하고, 또한 운전자 제어 환경을 제공하여 시스템의 운용 및 관리를 효율적으로 수행하게 한다. 100Gb/s 시스템의 감시제어는 크게 계층 구간 감시제어 기능과 시스템 운용 관리 기능(Wdm system Oam Management, WOM)으로 나누어지며, 계층 구간 감시제어 기능은 광 전송 계층 구간(OTS), 광 다중 계층 구간(OMS)과 광 채널 계층 구간(OCH) 등 3개 계층 구간으로 분류되고, 시스템 운용 관리 기능은 계층 구간 감시제어 기능에서 수집된 정보를 시스템 차원에서 통합 관리하는 기능과 사용자 접속기능으로 분류된다. 그리고 시스템의 유지보수 신호 체계는 SDH 경보 체계를 일부 도입하여 운용함으로써 효과적인 감시 체계를 구축하고, 이들 유지보수 신호 전달은 각 계층의 감시채널을 통해 이루어진다.

가. 계층 구간 감시제어 기능

계층 구간 감시제어 기능은 각 계층별로 장애, 경보, 성능 정보 등을 수집 처리하여 시스템 운용 관리 기능에 보고하고, 운영자의 제어 명령의 수행

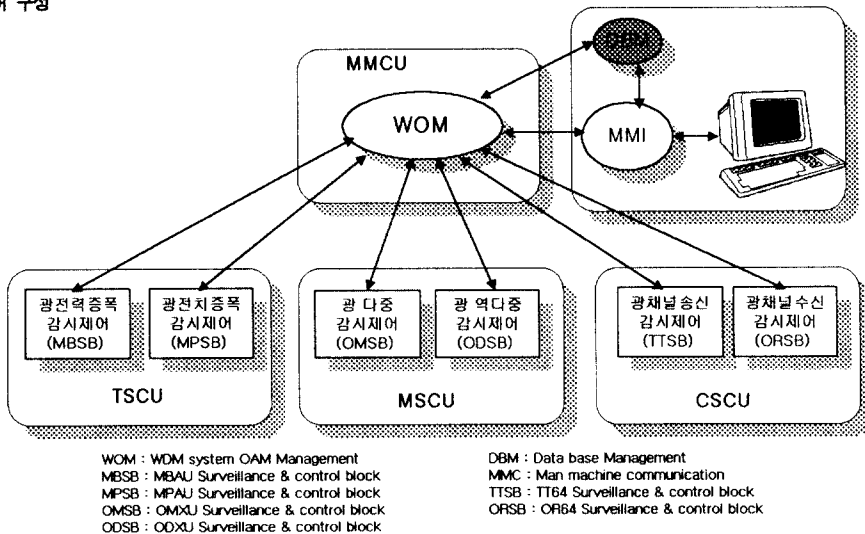
을 주 기능으로 하고 있다. 광 전송구간 감시제어 기능은 광 전력 증폭부와 광 전치 증폭부의 감시제어 기능으로 나누어지며, 광 다중구간 감시제어 기능은 광 다중부와 광 역다중부의 감시제어 기능으로 나누어진다. 또한 광 채널구간 감시제어 기능은 광 채널 송신부와 수신부로 이루어져 있다.

나. 시스템 운용 관리 기능

시스템 운용 관리 기능은 시스템 차원에서의 운용 및 유지 보수 정보를 총괄 관리하며, 장치 레벨의 제어 명령을 수행한다. 또한 시스템 운용 관리 기능은 시스템의 각종 운용 데이터의 보관과 백업을 제공하는 DBM기능과 운용자와의 원활한 운용 접속 기능을 제공하기 위한 MMC기능 등과 접속되어 있다.

4.2 감시제어 구성

(그림7) 감시제어 구성



(그림 7)은 100Gb/s 시스템 감시제어의 구성을 보여준다. 시스템 전체의 OAM&P를 위한 WOM 기능은 최상위 프로세서인 MMCU에서 운용하고, 이의 저장 관리용 DBM 기능과 운용자 접속을 위

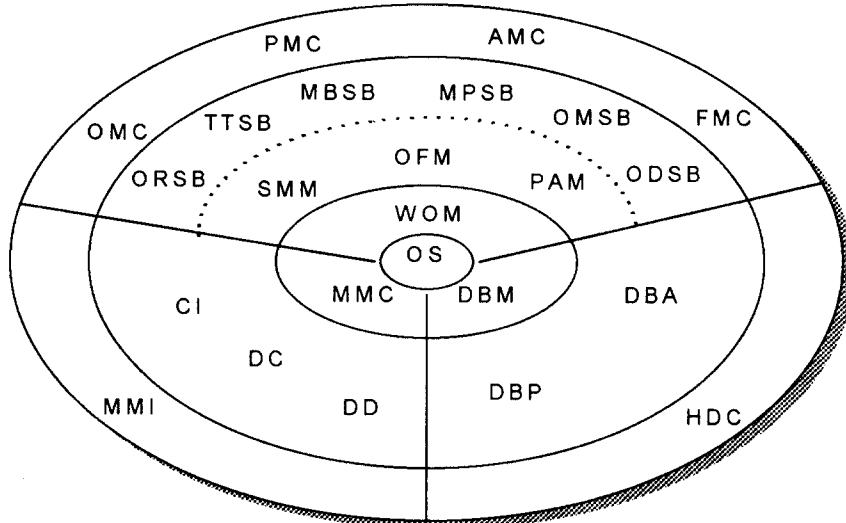
한 MMC기능 등과 접속된다. 또한 각 계층 구간별 감시제어 기능은 TSCU, MSCU, CSCU에서 동작하여 각 기능별 감시제어 기능을 수행한다. 여기서 WOM과 MMC 및 계층 구간 감시제어 기능과는 별도 정의된 메시지 규격에 의한 메시지 통신에 의해서 유지보수 정보가 교환되도록 실현되었다.

4.3 감시제어 소프트웨어 구성

감시제어 소프트웨어는 (그림 8)에서와 같이 크게 3개 레벨로 구성되어 있다. 즉, 플랫폼용과 MMCU에 실장되는 OS(VRTX)를 중심으로 관리 레벨을 두었으며, 이와 같은 레벨의 각 소프트웨어 블럭은 동일한 우선 순위에 의거 동작하도록 하고, 이 블럭을 중심으로 각 처리 레벨의 프로그램들이 수행되도록 구성되어 있다. 그리고 제어 레벨의 프로그램들은 하드웨어와의 직접적인 접속을 통한 감시제어 기능을 수행하고 각 프로그램 모듈의 운용 체계와의 접속을 결합 시키는 방법을 취하여 실

시간 운용 체계의 기능을 효과적으로 이용하도록 한다. 또한 해당 기능부를 감시 제어하는 블럭들은 각각 OMC, PMC, AMC, FMC기능들을 수행하며, WOM의 집중관리를 받도록 되어 있다.

(그림 8) 감시제어 소프트웨어 구성



- | | |
|--|-----------------------------|
| SMM : System Maintenance Management | CI : Command Interpretation |
| OFM : Operation/Fault Management | DC : Data Conversion |
| PAM : Performance/Alarm Management | DD : Data Distribution |
| OMC : Operation Monitoring and Control | DBP : Database processing |
| PMC : Performance Monitoring and Control | DBA : Database Analysis |
| AMC : Alarm Monitoring and Control | HDC : Hard Disk Control |
| FMC : Fault Monitoring and Control | MMI : Man Machine Interface |

4.4 유지보수 신호 체계

100Gb/s 시스템에서의 유지보수 신호 체계는 SDH에서 정의하고 있는 개념을 이용하였으며, 시스템 내의 신호 감시제어와 유지보수를 효과적으로 처리하기 위하여 유지보수 신호와 상향 및 하향 방향별 유지보수 신호 흐름 체계를 규정하고, 감시(supervisory) 채널을 유지보수 신호의 전달 매체로 이용하였다.

유지보수 신호는 100Gb/s 시스템에서 정의하고 있는 OTS, OMS, OCH 각 계층별로 광 신호에 대한 LOS(Loss Of Signal), AIS(Alarm Indication Signal), RDI(Remote Defect Indication), BIP(Bit Interleaved Parity) 오류검사(error check) 기능 등이 있다. 상향 방향에 대한 유지보수 신호 흐름의 기본적인 사항은 각 계층 구간에서의 광 신호나 데이터가 손실되었을 때 상향 방향으로 AIS를 삽입

하여 대국에 알려주게 하는 것이며, 하향 방향에 대한 유지보수 신호 흐름 체계는 각 계층에 대한 LOS, AIS, RDI 등을 적용시켜 LOS와 AIS 검출하였을 때 상향 방향으로의 RDI를 삽입하고, 그리고 BIP 에러 검출시 대국에 대한 경보 신호를 삽입하는 기능을 수행한다.

4.5 감시 채널 운용

100Gb/s 시스템에 적용되는 감시채널은 유지보수 신호와 타합선(order wire) 및 데이터통신채널 등의 오버헤드 운용을 위하여 계층별로 각각 적용하였으며, 해당 계층에서 해당되는 감시채널을 삽입 및 추출하게 된다. OTS 계층에 적용되는 감시채널은 OTS 계층에서 형성 및 종단시키기 위하여 EDFA의 광증폭 범위 외의 파장을 이용하게 되고, OMS 계층에 적용되는 감시채널은 OTS 계층에서 증폭되고 OMS계층에서 신호의 형성 및 종단을 위해 광증폭 범위 내의 단일파장을 적용하고, OCH

계층에 적용되는 감시채널은 별도의 파장을 사용하지 않는 방법으로 운용될 수 있도록 하였다.

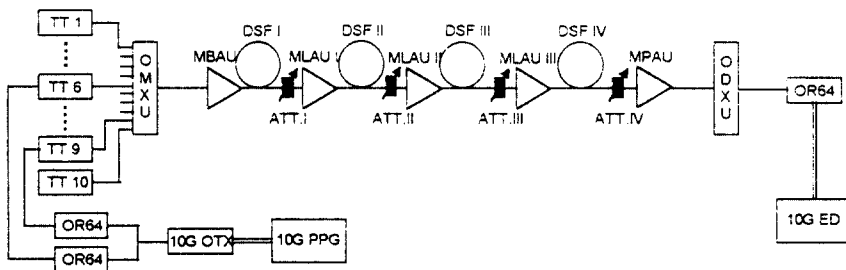
은 1,544.53 ~ 1,558.98 nm)인 광섬유를 사용하였다.

5. 다채널 광전송 실험

5.1 다채널 광링크의 설계

다채널 광링크에서 전송거리 및 전송용량을 제한하는 요인으로서는 색분산, 비선형 현상, OSNR 등을 들 수 있다. 사용하는 광섬유의 종류에 따라 전송거리를 제한하는 주요 요인이 다를 수 있는데, 분산천이 광섬유를 사용하는 경우에는 색분산 영향은 작으나, 비선형 현상인 4광파 혼합이 크게 발생하여 전송 특성을 제한한다. 기존의 단일모드 광섬유를 사용하면 색분산이 주요 전송 제한 요인이 되며, 특히 다채널 신호 각각을 동시에 최적 분산 보상하는 것이 필요하다. 광증폭기 잡음에 의해 결정되는 OSNR은 사용되는 광증폭기 수가 증가함에 따라 점진적으로 나빠진다. 본 시스템의 광링크는 기존의 단일모드 광섬유와 분산 천이 광섬유를 이용한 광링크에 적용 가능하나 본고에서는 분

(그림 9) 다채널 광전송실험을 위한 광링크 구성도



산 천이 광섬유를 이용한 전송실험 결과를 기술한다.

분산천이 광섬유를 사용하는 다채널 광링크에서는 4광파 혼합에 의한 영향을 최소화 시키기 위해 각 채널 간의 간격을 1.6nm로 하였으며, 영분산 파장이 전송 대역 밖인 1,560 ~ 1,565 nm (전송대역

증폭기와 증폭기 사이의 광경로 손실은 18dB로 설계하여 광선로 증폭기의 입력 레벨은 채널 당 -18dBm, 출력 레벨은 채널 당 0dBm이 되도록 하였다. 광섬유 손실계수 0.28dB/km를 적용할 경우 증폭기와 증폭기 사이의 증계 거리는 약 60km가 된다. 따라서 총 240km의 전송을 위해서는 광전력 증폭기, 세 개의 광선로 증폭기 및 광전치 증폭기가 필요하다. 광전치 증폭기의 입력 광세기는 채널 당 -18dBm이며, 출력은 채널 당 +5dBm으로 광전력 증폭기나 광선로 증폭기 경우에 비해 고출력이다. OSNR은 광전치 증폭기의 출력단에서 25dB 이상 얻는 것을 최소 기준치로 설정하고, 상기한 광링크 조건에서 광증폭기의 잡음지수가 5.5dB 이하인 경우 이론적인 OSNR은 27.9dB로서 최소 기준치 이상의 확보가 가능하다.

10Gb/s x 10채널의 전송실험을 위한 광링크는 (그림 9)과 같다. 송신기(10G OTX)는 펄스 패턴

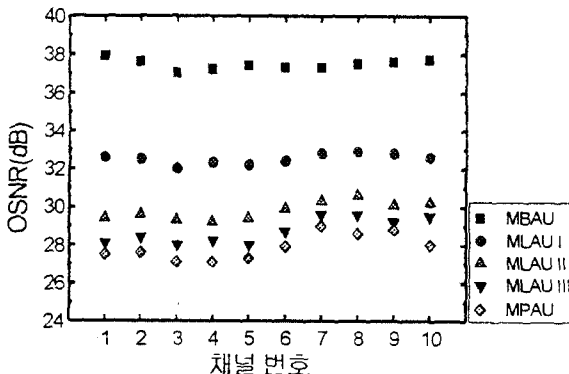
발생기로 부터 출력되는 10Gb/s NRZ(PRBS 2²³-1) 신호에 의해 구동되며, 출력 신호는 트랜스폰더 수신기인 OR64로 입력된다. 따라서 OR64에서 새로이 재생된 전기적 신호에 의해 두개의 송신기를 구동하도록 하였으며, 4광파 혼합 효과에 의한 크로스토크가 가장 클 것으로 예상되는 6번(TT6)과 9번(TT9) 채널을 변조하였다. TT64 유니트의 출력

은 OMXU를 거쳐 10:1로 다중화 된 후 MBAU로 입력된다. MBAU의 입력은 채널 당 -15dBm이며, 출력은 채널 당 0dBm이다. MBAU에서 증폭된 신호는 60km의 DSF I으로 입력된다. MLAU 입력 단에는 광 감쇠기를 사용하여 입력세기가 채널 당 -18dBm이 되도록 조절하였다. MLAU의 출력은 채널 당 0dBm이며, 광섬유를 전송하는 동안에 발생하는 손실을 주기적으로 보상해 준다. 사용된 광섬유는 평균 영분산 파장이 1,561.8nm, 색분산 기울기는 +0.06ps/nm².km인 분산천이 광섬유이다. 분산천이 광섬유 240km를 전송한 후 10채널의 신호들은 MPAU에 의해 채널 당 +5dBm으로 증폭된다. MPAU 출력은 ODXU로 입력되어 각 채널 별로 분리된 후에 OR64로 입력된다. OR64의 입력 광세기는 채널 당 -8dBm이며, 재생된 데이터와 클럭신호를 검출하여 비트 오류를 측정하도록 되어 있다.

5.2 전송실험 결과

(그림 10)은 광학적 신호대잡음비 특성이다. 240km를 전송한 후 MPAU의 출력단에서 측정된 신호의 최소 광학적 신호대잡음비는 약 27dB로서 요구사항을 충분히 만족시켰다. 그렇지만 전송대역 내에서 광학적 신호대잡음비의 차이는 약 2dB로 증가하는 것을 볼 수 있다.

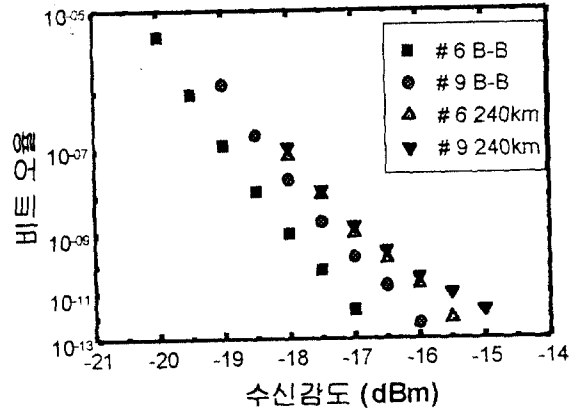
(그림10) 신호의 광학적 신호대 잡음비 특성



분산천이 광섬유 240km를 전송한 후 수신기

(OR64) 입력 세기를 변화시켜 가면서 측정된 비트 오류는 (그림 11)과 같다. 광섬유를 사용하지 않은 경우의 수신감도는 비트 오류 10⁻¹² 에서 -17~-16.5dBm 이었으나, 분산천이 광섬유 240km를 전송한 경우에는 -15dBm으로 나빠졌다. 전송 후 나타난 약 2dB의 수신감도 열화는 주로 신호의 광학적 신호대 잡음비의 열화에 기인하는 것으로 보인다.

(그림11) 비트 오류 특성



6. 결론

구현된 100Gb/s급 WDM 광전송시스템은 단국형과 분기결합형을 고려한 통합형 구조로 설계되었으며, 자체 통합 시험을 위해 두개의 랙 구조로 설계, 제작되었다. 셀프는 용량에 따른 증설과 용도에 따른 확장이 가능하도록 설계되어 하나의 셀프에 8채널의 트랜스폰더가 실장 가능 하도록 설계되어졌으며 16채널까지 확장 가능한 구조를 가지고 있다. 다채널 광 증폭부와 관련 감시 제어 기능은 최상 단의 셀프에 실장되며, 광 다중/역다중부와 관련 감시 제어 기능은 2번째 단에 실장되는 구조를 갖는다. 광채널부(트랜스폰더)와 관련 감시 제어 기능은 하단 두 셀프에 실장된다.

100Gb/s급 WDM 광전송시스템은 시스템 통합시험을 통해 그 기능들을 확인하였으며, 다채널 광전

송실험에서는 10Gb/s 채널 10개를 1.6nm 파장간격으로 파장분할다중화하여 분산천이광섬유로 240km 전송실험 결과 -15dBm의 수신레벨에서 비트 오류율 1×10^{-12} 을 얻을 수 있었으며, 본 100Gb/s 시스템의 운용레벨인 -8dBm의 수신레벨에서 무에러 전송이 가능하였다.

[감사의 글]

본 연구는 HAN/B-ISDN 사업의 일환으로 수행되었으며, 본 연구 수행에 참여한 ETRI 광대역전송연구부원께 감사드립니다.

[참고문헌]

- [1] ITU-T Recommendation G.691, Optical interfaces for single channel SDH systems with optical amplifiers, and STM-64 systems, Oct. 1996.
- [2] ITU-T Recommendation G.681, Functional characteristics of interoffice and long-haul line systems using optical amplifiers, including optical multiplexing, Oct. 1996.
- [3] ITU-T Recommendation G.692, Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers, Sep. 1997.
- [4] ITU-T Draft Recommendation G.872, Architecture of optical transport networks, June. 1998.
- [5] P. E. Green, Jr., "Optical Networking Update," IEEE J. on Sel. Areas Commun, Vol. 14, No. 5, pp.764-778, June, 1996.
- [6] F. Tillerot, M. J. Chawki, V. Tholey, D. Hoa, H. Dopont, and R. Auffret, "Use of WDM Technique in SDH Networks," Fiber and Integrated Optics, Vol. 15, PP.282-289, 1996.
- [7] Y. Tada, Y. Kogayashi, Y. Yamabayashi, S. Matsuoka, and K. Hagimoto, "OA & M Framework for Multiwavelength Photonic Transport

Networks," IEEE J. on Sel. Areas Commun., Vol. 14, No. 5, pp.914-922, June, 1996.

[8] H. Toba, K. Oda, K. Inoue, K. Nosu and T. Kitoh, "An Optical FDM-Based Self-Healing Ring Networks Employing Arrayed Waveguide Grating Filters and EDFA's with Level Equalizers," IEEE J. on Sel. Areas Commun., Vol. 14, No. 5, pp.800-812, June, 1996.

[9] L. Wuttisittikulkij and M. J. O' Mahony, "Multiwavelength Self-Healing Ring Transparent Networks," IEEE Globecom95, pp45-49, 1995.

[10] H. K. Kim, S. Y. Park, D. H. Lee and C. S. Park, "Design and Control of Gain-Flattened Erbium-Doped Fiber Amplifier for WDM Applications," ETRI Journal, pp. 28-36, Mar., 1998.

박 창 수

- 1979년 2월 : 한양대학교 전자공학과 공학사
- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1990년 12월 : 미국 Texas A&M University,
전기전자과 공학박사
- 1997년 - 현재 : 한국통신학회 광통신연구회장
- 1982년 - 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원,
광다중화팀장

관심분야

- Optical Network & System application
- Microwave Photonics application

고 제 수

- 1981년 2월 : 울산대학교 전자공학과 학사.
- 1983년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 석사.
- 1998년 3월 ~ 현재 : 한국정보통신대학원대학교
통신공학 박사과정.
- 1983년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원
광다중화팀 책임연구원.

관심분야

- WDM 광전송, 테라비트 전송, 및 광 CDMA

김 홍 주

- 1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 1992년 3월 - 현재 : 한국과학기술원 전기및 전자공학과
박사과정
- 1985년 1월 - 현재 : 한국전자통신연구원 광다중화팀
선임연구원.

관심분야

- 광대역 전송 시스템, 광대역 통신망

이 중 현

- 1981년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업 (공학사).
- 1983년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업
(공학석사).
- 1993년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업
(공학박사).
- 1991년 12월 전기통신 기술사
- 1993. 2 ~ 1995. 2 정보통신연구관리단(IITA)
파견 근무(통신기술 관리역)
- 1983년 3월 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
광전달망 팀장

관심분야:

- 통신망설계 및 전송시스템 설계(WDM, SDH), 전송망
복구 기술, 광 회선분배 시스템 기술, 초고속 광대역
광 전달망 기술

이 동 호

- 1981년 : 서강대학교 물리학과(학사)
- 1984년 : 서강대학교 대학원 물리학과 졸업(석사)
- 1984년- 현재 : 한국전자통신연구원 광링크기술팀
선임연구원

관심분야

- WDM 전송기술, 광증폭 기술 및 광섬유 소자 기술

김 재 근

본 특집 “국내 DML 전송기술 현황” 참조

유 태 환

- 1981. 2. 서울대학교 공과대학 원자핵 공학, 공학사
- 1983. 2. 한국과학기술원, 물리학과, 이학석사
- 1993. 8. Texas A&M Univ. 전자공학, 공학 박사
- 1983. 3. - 현재 : 한국전자통신연구원, 광링크기술팀
선임연구원

관심분야

- 광전송 장치, 초고속파 subsystem, 회로, 고속 전자소자

최 문 기

- 74년 : 서울대 응용수학과 학사
- 78년 : 한국과학기술원 산업공학과 석사
- 89년 : North Carolina State Univ.
Operations Research 박사
- 78년-현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
초고속정보통신연구부장
- 92년 : 전북대 전자공학과 겸임교수
- 93년 : 한국경영과학회 이사
- 94년 : ATM Korea Interest Group 의장
- 95년 : 한국통신학회 평의원