《特 輯》

초고속 정보통신망에서의 국간 전송기술

이 만 섭*, 이 병 기**
(*한국전자통신연구소, **서울대학교)

□차 례□

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 국간 전송망과 광대역 분배기술
Ⅲ. 10Gb/s급 광전송 시스템 기술
Ⅳ. 100Gb/s급 광전송 기술
Ⅴ. 결어

Ⅰ. 서 론

광통신 기술의 발전으로 대부분의 국내 기간 전송로는 이미 광케이블화 되어있으며, 고속 대용량 정보를 경제적으로 전송할 수 있게 됨에 따라, 음성통신에 주력해온 기존의 통신기술은 음성, 데이타 및 영상 등의 다양한 정보를 종합적으로 전달할 수 있는 초고속 광대역 종합정보통신망(BISDN)으로 발전되어가고 있다.

초고속 정보통신망에서는 다양화, 개인화, 복합화(multimedia), 인간화를 지향하는 사용자의 정보통신 서비스 요구를 충족시켜야 하며, 이를 위하여 음성, 저속데이타, 정지영상등 협대역 서비스 뿐만 아니라 고속 데이타, 고품질의 동영상과 같은 다양한 광대역 서비스를 경제적이고 효율적으로 수용, 처리할 수 있어야 한다.

기존의 음성급 서비스는 PCM 64 Kbps의 전송속도만을 제공해도 되지만 광대역 서비스를 제공하기 위하여서는 음성급 서비스의 약 2000배인 155 Mbps급의 서비스 용량을 제공해야 한다. 이와같은 서비스 용량은 수퍼 컴퓨터의 데이터 서비스등과 같은 특수한 서비스를 제외하곤 거의 모든 광대역 서비스를 일반 가입자에게 제공할 수 있다. 이를 전송속도 면에서 비교하면, 음성급 서비스를 위하여서도 국간중계용으로 수백 Mb/s급의 전송장치가 현재 사용하고 있으며, 기가(giga)급 광전송 시스템의 도입도 추진되고 있다.

서비스용량의 단순 비교만하더라도 수십Kb/s 서비스를 제공할 때와 155Mb/s급 서비스를 제공할 때 전송용량은 최소한 천배의 전송용량이 증가해야하므로 국가중계망에서는 수백 Gb/s에서 기가의 천배인 테라(tera)급 전송 장치가 필요하고 가입자계에서도 전송비용을 낮추기 위한 저렴한 기가급 전송 기술의 개발이 필요하다. 10Gbps급 STM-64 동기식 신호에는 155Mbps ATM(asynchronous transfer mode) 64회선을, 100G에서는 155Mbps 256회선을 수용할 수 있고, 채널 용량이 증가할수록 이에 비례하여 채널당 가격이 하락하기 때문에 광대역 서비스를 가입자에게 전송하기 위해서는 10Gb/s급 및 100Gb/s급 고속 전송장치의 개발뿐만 아니라 저가의 가입자용 광가입자망의 기술 개발이 필수적이다. 이러한 광기술의 가입자계 응용이 가능한 것은 광통신기술이 급격히 발전함에 따라 광통신을 위한 제반 비용이 충분히 저렴해졌기 때문이다. 이를테면 단일모드 광섬유의 가격이 1m당 10센트 미만이 되었고 광케이블화 되더라도 케이블의 심선수에 따라 조금씩은 다르지만 20~30센트 정도밖에 되지 않으며, 또 155Mb/s 속도를 광으로 보내고 받을 수 있는 단일모드 광송수신 모듈도 수십만개 정도의 대량수요가 있으면 '96~'97년경에는 50달러 이하로 공급될 수 있을 것으로 전망하고 있다. 또

한 수 Gb/s에 사용할 수 있는 광소자도 연간 30%~40% 가까운 하락세를 보이고 있다. 따라서 광케이블화에 의한 광가입자망 구축이 기술적으로 가능할 뿐 아니라 경제적으로도 우위에 설 전망이다.

초고속 정보통신망을 위한 가입자망 분야가 차후 별도의 주제로 다루어질 것으로 기대하고, 이 논문에서는 초고속 정보통신망의 기반이 되는 국간 전송망 기술에 국한시켜 그 핵심기술과 시스템 등을 기술하기로 하겠다. 먼저 국간전송망의 특징적 요소들을 검토하고 이를 위한 광대역분배기술에 관하여 살펴 본 후 10Gb/s급 및 100Gb/s급의 광전송기술과 관련 시스템에 관하여 차례로 검토하도록 하겠다.

Ⅱ. 국간 전송망과 광대역 분배기술

전송속도의 고속화 및 신뢰성, 경제성 측면에서 다른 전송매체에 비해 우수한 특성을 갖는 광통신기술과, 망구성의 융통성 및 망 OAM&P(Operations, Administration, Maintenance, and Provisioning)의 능력을 획기적으로 향상시키는 동기식 디지털 계위(SDH : Synchronous Digital Hierarchy) 표준의 다중 기술이 결합되어, 망 사용자, 망 제공자, 그리고 장치 생산자들에게 큰 이점을 가져다 주게 되었다. 즉 망 사용자에게는 품질 좋은 새로운 서비스가 경제적으로 신속하게 제공될 수 있게 되었고, 망 제공자에게는 융통성 있는 망구축 및 신호의 라우팅 관리를 통해 망의 신뢰성 제고와 OAM&P 비용 절감 효과를 주게 되었으며, 장치 생산자에게는 광전송 장치의 국제적 표준화로 장치간 호환성 확보는 물론 장치의 대량 생산의 길이 열리게 된 것이다.

SDH망은 일반적으로 구성상 가입자망과 국간 중계망으로 구분할 수 있으며, 전자의 경우는 가입자의 분포나 가입자의 규모, 그리고 제공되는 서비스의 종류에 바탕을 둔 서비스 의존망이고, 후자는 국간 전송 신호의 효율적인 OAM&P를 기본으로 하는 망이다. 국간 전송망은 다수의 교환국과 교환국 사이에 연결해야 할 중·대용량 트래픽들이 복잡하게 얽혀있는 기간 통신망으로서, 전송 트래픽을 효율적으로 처리하면서 동시에 서비스의 연속성을 유지할 수 있도록 즉, 망 OAM의 효율화에 기본을 두고 구성해야 한다. 그러나 점대점 간 전송에 바탕을 둔 기존 PDH(Plesiochronous Digital Hierarchy)기반 전송에서는 이런 능력을 구현하는데 있어서 여러가지 제한이 많았었다. 여기에 비해서 SDH 전송은 이러한 제한성의 극복은 물론이고, 나아가 소프트웨어에 의해 구동되는 (즉, 국간 중계신호들을 처리하는데 있어서 물리적, 논리적 관점에서 보다 효율적으로 전송 신호들을 라우팅하고 전송로의 장애로 인해서 서비스의 손실을 초래하는 경우에 이를 신속하고 경제적으로 복구할 수 있는) 망구성이 용이한다. 따라서 현재 여기에 바탕을 둔 망구조 및 OAM&P 능력에 대해서 세계적으로 많은 연구가 추진되고 있다. 본 절에서는 국간 전송망의 기능과 계층구조를 살펴보고, 이어서 국간전송망의 핵심요소인 분배기능과 분배시스템에 관해서 기술하도록 하겠다.

동기식 국가전송망의 망 OAM의 목표는 망의 융통성 및 망의 생존성 구현에 둘 수 있다. 망의 융통성이란 전송로의 신·증설을 억제할 수 있으며, 교환국간에 예상치 못한 트래픽의 변화를 수용하고, 가입자의 요구에 따라 새로운 서비스를 신속하고 경제적으로 제공하거나 전송로를 재구성하고 관리할 수 있는 능력을 의미한다. 또한 망의 생존성이란 전송로 절단등과 같은 링크 장애와 전화국내의 화재, 지진, 홍수, 장치 고장등으로 인한 망노드 장애로부터 망을 복구하는 능력을 의미한다. 망요소와 망구조의 실현을 이러한 운용관리 목표를 가능한한 소프트웨어의 제어에 의해 신속하고 효율적으로 처리할 수 있도록 하는 능력이 구비 되어야 한다. (그림 1)은 광대역 디지털 분배시스템(BDCS : Broad band Digital Cross-Connect System)을 사용한 국간동기식망을 예로 들어 이와같은 개념을 설명한 것이다.

망의 물리적 전송매체를 가능한한 초고속화시켜 여기에 많은 동기식신호인 VCn 경로가 포함되도록 구성하고, 이들 VCn들의 라우팅을 효과적으로 처리할 수 있는 다양한 망노드 기능을 적용하여 VCn의 생성, 종단, 연결점등을 제하면 광대역 VCn 망을 구축할 수 있게 된다. 이때 물리적 전송매체의 초고속화는 상위 SDH 신호의 한단계(One step) 다중화를 광전송과 결합시킴으로서 용이하게 확보할 수 있다.

SDH 망내에서 장애에 대한 망복구는 계층적 구조에 따라 체계적으로 이룰 수 있도록 SDH 망을 구축하는 것이 바람직하다. 이와 관련하여 국간전송망의 계층은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 지리적 계층(GL : Geographical Layer)
- 디지털 구간 계층(DSL : Digital Section Layer)
- 경로 계층(PL : Path Layer)
- 회선 계층 : (CL : Circuit Layer)

여기서 지리적 계층은 교환국간 케이블의 포설형

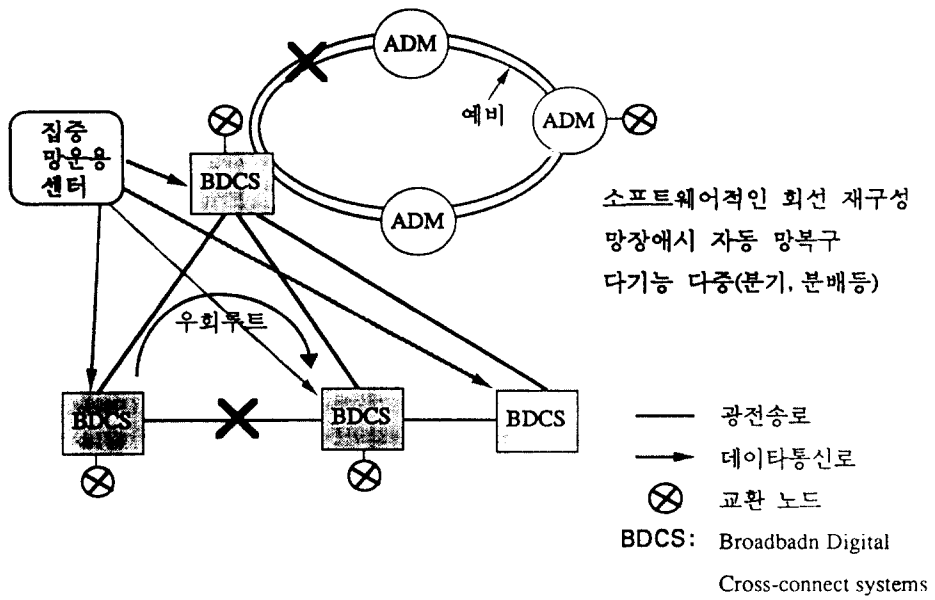
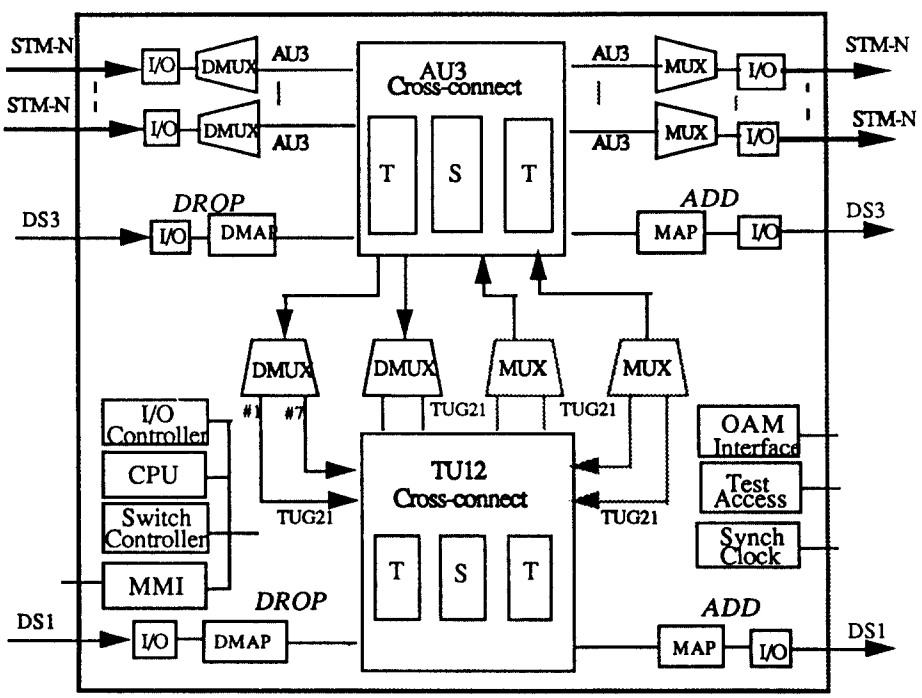


그림 1. 국간전송망에서의 융통성및 생존성 동작 구성 예



DMUX는 TU/AU Pointer Justification 포함
STM-N: Synchronous Transport Module - N, N=1(155M), 4(622M), 16(2.5G)
AU32: Administrative Unit 32(50M), TU12:Tributary Unit 12(2M)
I/O 용량 : 최대 10 STM-16급
분배 스위칭 용량 : 57666 x 576 x AU3, 5040 x 5040 x TU12

그림 2. BDCS 기본 구조도

태 및 교환국사내 장치배열등과 관련된 것이며, 디지털 구간 계층은 케이블상의 선로 채널과 국사내 노드 즉, 전송망 요소등을 포함한다. 회선 계층은 주로 교환기에서의 호처리를 통해 설정되며 이는 64k b/s급 전화서비스를 포함해서 각종 서비스를 나르는 층으로서 경로 계층을 통해 전달된다. 구간 계층의 광섬유 절단등과 같은 채널장애는 구간계층상의 전송 중단과 직결되며 동시에 경로계층 상에 존재하는 트래픽 즉, PDH 신호 또는 VCn 신호 경로 계층의 손실을 주게된다. 이러한 채널 장애는 루트 전환(Route Diversity)을 통해서 복구하거나 경로 계층 상에서 해당 신호에 대한 논리적 경로를 재구성하므로서 복구할 수 있다. 또한 이를 회선 계층 상에서 복구시키기 위해서 교환용량의 사용 크기를 제한하거나 또는 장애노드 주위에 트래픽을 동적 라우팅시키는 방법을 사용할 수 있다.

한편 전송 서비스의 연속성 유지를 위해서는 지리적 계층에서는 구조적 전환(Structural Diversity)구성을 통해 장애루트를 대체할 수 있도록 구조를 구성하고, 디지털 구간계층에서는 링크의 1+1 루트 전환(Route Diversity) 구성을, 경로 계층에서는 PDH 신호

표 1. BDCS 제원

항 목			내 용
시스템 구 성		분배부	분배부용 랙 1개
		분기부	분기부용 랙 N개(분배부 국간 접속신호 수 +N<14)
분배부	기구물	랙	2200(높이) x 750(가로) x 550(세로)mm
		셀프	450(높이) x 600(가로) x 340(세로)mm
	분배부 동기신호 접속		2488.320Mb/s + 20ppm(G.957)(국간용) 622.080Mb/s + 20ppm(G.957)(국내 및 국간용) *(622.080Mb/s 국내용 접속은 분배랙과 분기 랙 간의 접속시 사용)
	국간 신호 용량		최대 11개의 광링크(2.5Gb/s 및 622Mb/s 신호 혼용 가능)
	분배 처리 용량		최대 576 x 576 AU3 교환 최대 5040 x 5040 TU12 교환
	주요 기능		AU3/IU12 단위 분배 기능, 방송 기능, 접속기능, 그루밍 기능 BLS(양방향 선로 절체교환)기능, 시험 액세스 기능, 전송망 레벨 장애복구 기능
	보호절체	장치	IOH : 1 + 1(IOH : 2.5G 국간신호 접속 보드) IOL(NNI-4) : 1 + 1(IOL : 622M 국간 신호 접속 보드) SWH : 1 + 1(SWH : AU3 단위 스위치 보드) TSM : 16 : 4(TSM : VC3신호 다중용 보드) SWL : 1 + 1(SWL : TU12단위 스위치 보드) MTG/TDH : 1 + 1(MTG/TDH : 장치의 동기클럭 공급 보드)
		스팬	STM-16(2.5G) 광링크 : 1 + 1 STM-4(622M) 광링크 : 1 + 1
		망	자기복구링(Self Healing Ring) 자기복구 메쉬(Self Healing Mesh)
분기부	기구물	랙	2200(높이) x 750(가로) x 550(세로)mm
		셀프	450(높이) x 600(가로) x 340(세로)mm
	분기부 접속신호		44.736Mb/s 2.048Mb/s 1.544Mb/s

또는 VCn 신호경로 단위의 복구 기능등을 제공하는 링형 구성을 하는것이 바람직하다. 이때 하위계층에서의 장애가 상위계층의 운영에 영향을 주지 않도록 할 수 있다면 상위계층 차원의 망복구기능은 필요하지 않게된다.

망 구성의 융통성 및 망의 생존을 위해 가장 중요한 구성 요소는 분배기능이다. 분배기능은 다수개의 양방향 SDH 신호들을 종단하여 고속 SDH 신호 프레임상의 저속신호 경로들을 고속 SDH 신호 프레임상에 상호 재배열 시킬 수 있는 경로 재구성 기능이 그 주기능이 되며, VCn 신호경로에 대한 특정 시간슬롯을 다른 고속신호상의 시간슬롯으로 옮기도록 절체 교환 하는 시간슬롯 교환(TSI : Time Slot Interchange)을 통해서 전송신호의 점대 다중점 구성을 가능하게 한다. 이 기능은 임의 디지털 구간 장애로 인해 손실된 신호 경로들을 망차원에서 보호 루트로 경로 절체 하므로서 망의 생존성은 유지할 수 있으나, 예비 신호 경로를 위한 용량을 설정하고, 예비 루트의 결정을 위한 루팅 알고리즘을 설정하는등, 절체제어의 어려움이 있고, 분기결합에 비해서 훨씬 큰 설치비용이 든다는 단점이 있다. 그러나 분배기능은 논리적 채널경로들을 서비스의 종류, 서비스의 특성, 목적지, 망종류에 따라 분류하는 채널 그루밍(grooming) 기능을 갖고, 방송기능, 중계선 시험접속 기능, 집선다중 기능 등을 이용하여 중계선 트래픽들을 효과적으로 조절, 재구성할 수 있는 장점을 갖는다. 참고로, 분배기능은 비불통성(non-blocking)과, 비실시간성(non-realtiming), 그리고 연결 설정시간이 길다는 점이 회선 교환기능과 크게 다른점이다.

이와 같이 망의 생존성 차원에서 보면, 디지털 구간 계층, 경로계층, 회선계층등 상위계층에 의해 처리할 수록 복잡한 망차원의 복구를 요구하기 때문에 그 라우팅 제어가 어려워진다. 따라서 전송로상의 장애시 가능한한 디지털 구간 계층에서 보호루트를 구성하여 실시간으로 복구하는 것이 바람직하다. 그러나 이 방식 또한 지리적, 물리적으로 비경제적이거나 설치상 어려움이 있기 때문에, 이를 고려하여 논리적 경로계층 절체개념을 일부 도입하고 소프트웨어적인 처리를 부가하므로서 보다 효율적인 보호망구성을 하는 것이 바람직하다.

(그림 2)는 한국전자통신연구소에 개발중에 있는 광대역 디지털 분배시스템(BDCS)의 기본구조를 보인 것이다. 이 BDCS의 제원은 〈표 1〉에 열거한 것과 같다.

Ⅲ. 10Gb/s급 광전송 시스템 기술

초고속정보통신망의 기간 전송망으로 초기에 요구되는 광전송시스템들이 2.5Gb/s 광전송 시스템이나 10Gb/s 광전송시스템이 될 것으로 예상된다. 이러한 시스템들은 BDCS 시스템과 어울려져 융통성과 생존성이 있는 국간 전송을 수행하는 주요한 구성 요소가 될 것이다. 이러한 10Gb/s급 광전송기술은 고속변조가 가능한 반도체 레이저 및 외부변조기가 개발 되고 또, 고속 광검출기가 개발되면서 활기를 띠기 시작하였다. 특히 처핑(Chirping)이 적은 동적단일모드 반도체 레이저, 특수 광섬유를 이용한 광섬유증폭기, 펄스 분산현상을 줄여주는 분산천이 광섬유, 마이크로파 대역의 주파수 특성을 갖는 광전소자 등이 개발됨에 따라 10Gb/s 광전송 장치의 실용화가 앞당겨지게 되었다. 따라서 본 절에서는 이러한 2.5Gb/s 광전송 시스템과 10Gb/s 광전송 시스템 기술에 대하여 기술하고자 한다.

가. 2.5Gb/s 광전송 시스템

STM-16 2.5Gb/s SDH 광전송 장장치는 전화회선 32,256가입자의 용량을 가지는 대용량 광전송 시스템이다. 이는 48개의 DS3(45Mb/s)신호를 수용할 수 있으며, 16개의 STM-1(155Mb/s)신호를 수용할 수 있는 용량이다. 〈표 2〉는 전자통신연구소에서 개발한 STM-16 2.5Gb/s SDH 광전송시스템의 제원을 나타낸 것이다. 2.5Gb/s 광전송 시스템은 단국장치, 중계장치, ADM(분기/결합 다중화)국장치로 구성되어 있다. ADM 국장치를 사용자가 그목적에 맞추어 선형, 환형(Ring), 허브(Hub)형으로 구성하여 사용할 수 있다. 여기서 선형이란 고속부 즉 2.5Gb/s 송수신부가 상류(West)와 하류(East)측 시스템이 별개로 존재하고 종속부 즉 DS3정합, STM-1, STM-4 정합부가 최대 48xDS3 용량을 가지는 시스템을 의미한다. 그리고 환형이란 선형 ADM장치의 단국과 단국을 서로 맞물려 연결하여 루프를 형성한 형태를 말한다. 이때 루프내 모든 종속부의 최대 용량은 48xDS3 이상을 넘지 못한다. 허브형이란 데이타의 슬립이 없이 2.5Gb/s 광신호를 받아서 STM-1이나 STM-4 신호를 추출하여 종속부쪽으로 재전송이 가능한 형태를 말한다. 종속신호의 접속 기능으로 DS3 신호를 AU32신호로 변환해주는 기능과 STM-1/STM-4 신호를 AU32신호로 변환해 주는 기능으로 각각 구성할 수 있다.

표 2. 2.5Gbps 광전송 시스템 제원

항 목		내 용	
전송용량		PCM음성급 32,256회선(DS3 48회 선용량)	
절체비	종속신호	DS3	1+1
		STM M 또는 ATM	1+1
	선로신호	1+1	
전송망 소요기능		단국, 중계기, ADM	
종속신호		48xDS3, 16xSTM-1, 4xSTM-4m, 16xATM	
광정합		광송신 출력	-3dBm 이상(DFB LD)
		광수신감도	-30dBm 이하(InGaAs APD)
		운용파장	1.31um, 1.55um
감시제어 외부접속		TMN	

이때 종속신호를 처리하는 저속모듈은 622Mb/s 단위로 4개의 그룹이 있고 그룹별로 감시 제어및 절체를 수행하는 제어장치가 있으며, 각 그룹별로 DS3와 STM1을 혼합하여 운용할 수 있도록 설계되어 있다. 다시 AU32 혹은 AU4신호를 포인터처리하고 신호의 위치를 지정한 후 SOHP(구간 오버헤드 프로세서)를 이용하여 구간오버헤드를 삽입하고 바이트 교직다중의 STM-16 형태의 프레임을 만든다. 이렇게하여 만들어진 신호는 단순 바트교중다중화를 하는 고속다중화기를 거쳐 2.5Gb/s속도의 신호가 만들어진다. 이 신호로 광전변환기인 광송신기를 통하여 대국으로 전송된다. 한편 ADM국장치에서는 크로스포인트 스위치가 내장되어 있어서 고속부에서 분리된 AU32나 AU4신호를 저속부로 분기/결합시킬 것인가 그렇지 않으면 그냥 중계를 시킬 것인가를 사용자가 변경 제어할 수 있다. 그리고 TMN(통신관리망)과 접속하고 운용센터의 OS(운용시스템)와 연결하여 2.5Gb/s 시스템을 원격제어 할 수 있도록 망접속 기능을 제공한다. 이때 STEM-16 선형 ADM에서의 분기/결합할 수 있는 최대 용량은 2.5Gb/s의 절반에 해당되는 DS3 신호 24개와, STM-1 신호 8개씩이다.

나. 10Gb/s 광전송 시스템

10Gb/s 광전송시스템은 현재 개발중에 있는 시스템이므로 본 소절에서는 10Gb/s 광전송시스템에서 해결해야할 핵심 기술인 광링크와 시스템 구성 및 요구사항에 관해서만 살펴보기로 하겠다.

광통신시스템의 핵심인 광 링크는 송신기, 전송로인 광섬유, 그리고 수신기로 구성된다. (그림 3)은 반도체 레이저를 원하는 전송속도의 전기신호로 직접 변조하여 전기신호를 광신호로 변환하고 이를 광섬유를 통해서 전송한 다음 직접 검출하여 광신호를 전기신호로 변환하는 광링크의 구성도이다. 이러한 직접변조 방식의 광링크는 기존의 90Mb/s, 155Mb/s, 565Mb/s, 2.5Gb/s 등의 시스템에서 사용하는 방식으로 다른 방식에 비해서 간단하고 저렴하게 광링크를 구현할 수 있으며, 그 신뢰성도 많은 실험을 통해서 이미 확인된 바 있다. 그리고 10Gb/s 이상의 전송실험도 실험실 수준에서는 이미 성공되고 있지만 10Gb/s급 이상의 광링크가 실용화되기 위해서는 다음과 같은 기술적인 문제들을 해결되어야 한다.

첫째 문제는 광자소자 및 전자소자의 스위칭 속도이다. 광자소자에는 반도체 레이저(LD)와 광검출기(PD)가 있으며, 반도체 레이저의 변조폭은 실험실에서는 20GHz이상이 이미 보고 되었으므로 LD의 변조대역폭은 문제가 되지 않으나 동특성은 문제이다. 광통신에 사용되는 광검출기로는 대부분 InGaAs 반도체를 이용하여 제작하고, 그 종류에는 PIN 검출기와 APD가 있다. 10Gb/s에서 PIN 검출기를 사용하여 수신감도 -19.8dBm, APD를 사용하여 -23dBm까지 얻은 결과가 보고되었다. 실제 APD를 10Gb/s 광링크에 사용하기 위해서는 이득과 대역폭을 곱한 값이 100GHz 정도인 것이 요구된다. 10Gpbs에 사용되는 송신측의 핵심 전자소자는 반도체 레이저 직접변조 방식을 이

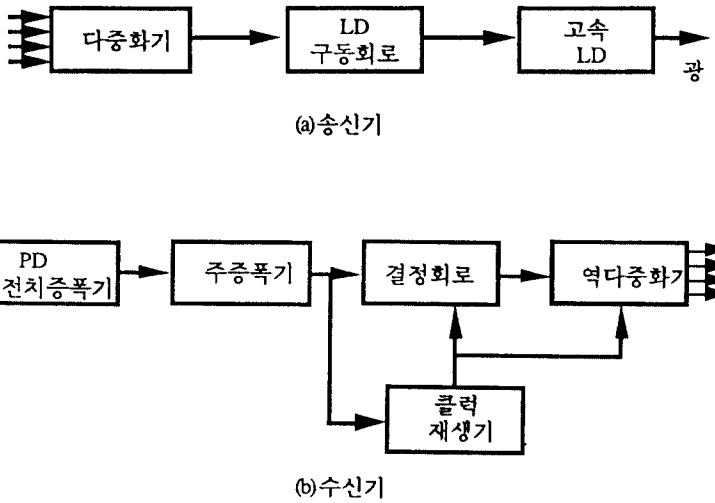


그림 3. 직접 변조 방식을 이용하는 광 링크

용하는 경우 송신단의 다중화기, 반도체 레이저 구동회로가 있고 또, 수신단에는 전치증폭기, 주증폭기, 제한증폭기, 클럭 재생회로, 결정회로, 역다중화기 등이 있다. 10Gb/s용으로는 이들의 스위칭 시간이 최소한 50ps 이하가 되어야 한다. 특히 송신단의 레이저 구동회로의 경우는 20mA-100mA 정도의 전류를 스위칭할 수 있는 고출력의 디지털 스위칭 소자가 필요하다. 그밖의 10Gb/s의 광링크에 사용하는 선형 증폭기인 전치증폭기 및 주증폭기는 증폭기의 대역폭이 수 KHz-7GHz 정도는 되어야 한다. 또 10Gb/s급 이상의 클럭재생회로에는 기존의 SAW(Surface Acoustic Wave) 필터를 사용하기가 어려우므로, 유전체 공진기등을 이용한 협대역 대역통과 필터를 사용하여야 한다.

둘째 문제는 광신호로 변환하는 반도체 레이저의 여러가지 특성중에서 광링크의 특성중 변조대역폭과 변조시에 생기는 처핑, 타이밍지터 등의 문제이다. 특히 처핑은 광섬유에서의 색분산과 결부되어 시스템의 성능을 현저히 저하시킨다. 직접변조 방식의 10 Gb/s 시스템에 반도체 레이저를 사용하기 위해서는 변조 대역폭이 7 GHz 이상이며, 변조시 처핑이 적고(-20 dB 발진선폭 0.5 nm 이하), 타이밍지터가 25 ps이 하인 특성이 필요하다. 반도체 레이저의 변조폭은 실험실에서는 20GHz이상이 이미 보고되었으므로 변조대역폭에 관한한 문제가 없다고 할 수 있지만 반도체 레이저의 직접변조시에 생기는 처핑, 타이밍지터 등이 10 Gb/s 광링크의 성능을 저하시키는 원인이 되고 있다.

셋째 문제는 광섬유의 감쇄 및 분산 특성이다. 앞에서 설명한 반도체 레이저의 직접 변조시에 생기는 처핑은 우리가 사용하는 단일모드 광섬유가 이상적인 전송로라면 아무런 문제가 되지않으나, 실제 광섬유를 진행하는 신호는 광섬유의 손실에 의해서 감쇄되고, 색분산에 의해서 왜곡된다. 이들 중 손실은 광증폭기로 보상 가능하므로 광링크의 특성에 영향을 미치는 광섬유의 특성은 광섬유의 색분산이 된다. 색분산의 영향은 전송파장이 1,550 nm(색분산이 1,310 nm 영역의 10배)로 이동하고, 전송속도가 증가하고, 전송거리가 길어지면서 그 영향이 더 심각해진다. 또한 앞서 설명한 반도체 레이저의 직접변조시 생기는 처핑에 의한 발진선폭의 증대는 색분산의 영향을 더욱 증대시킨다. 정상적인 광섬유(색분산 계수 = 17 ps/(nm.km))를 사용하면 10 Gb/s(처핑의 영향을 무시한 경우) 신호의 전송거리는 색분산에 의해서 60 km (2.5Gb/s는 480 km)로 제한된다. 그 위에 직접변조한 반도체 레이저의 처핑영향을 고려하면 전송거리는 10 km이하로 감소한다. 처핑에서 LD출력의 스펙트럼이 변조신호의 스펙트럼보다 3-10배 크다는 것을 고려하면, 이는 10 Gb/s급 이상의 광통신 시스템에서

는 색분산의 영향을 보상해주지 않으면 장거리 전송이 불가능하다는 것을 의미하게 된다. 색분산을 보상해주는 가장 근본적인 방법은 분산천이 광섬유를 사용하는 것이다. 1,550 nm 부근에서 색분산이 약 ±2ps/nm-km정도로 최소값을 갖는 분산천이 광섬유를 사용하는 것이다.

STM-64 10Gb/s SDH 광전송 장치장치는 전화회선 가입자의 용량이 약 13만에 달하는 대용량 광전송장치 시스템이다. 이것은 64개의 STM-1(155Mb/s) 신호를 수용할 수 있는 용량이고 종속신호로는 STM-1 (155.520Mb/s), STM-4(622.080Mb/s), STM-16(2488.320Mb/s) 등을 접속할 수 있다. 2.5Gb/s 시스템과는 다르게 10Gb/s 광전송시스템에서는 DS3 신호를 종속신호로 접속하지는 않는다. 10Gb/s 광전송시스템은 단국 서브시스템, 광중계기 서브시스템, 분기결합(ADM) 서브시스템 및 운용관리(TESOS) 서브시스템 등으로 구성된다. 그리고 중계기능으로는 기존의 광전송시스템에서 채택하고 있는 3R 중계기능 대신에 순수한 광신호를 증폭하여 중계하는 광중계기장치만을 사용한다. 분기결합 서브시스템은 2.5Gb/s 장치에서와 마찬가지로 사용자가 그 목적에 맞추어 선형, 환형, 허브형으로 구성하여 사용할 수 있다.

10Gb/s 광전송 시스템 기술적 해결사항을 고려하여 선형구조인 10Gb/s 광전송시스템의 구성을 예시하면

표 3. 10Gb/s 광전송 시스템의 광송수신 특성

전송속도		Gbit/s	9.95328		
중계거리		Km	25-40	55-80	80-100
송신기	파장	nm	1530-1560	1530-1560	1530-1560
	광출력	dBm	-2-2	12-15	12-15
수신기	수신감도	dBm	-21	-21	-27
	과부하	dBm	-9	-9	-9
송수신기 방식			직접변조 PIN 또는 APD	부스터 PIN 또는 APD	부스터, 광전치증폭기

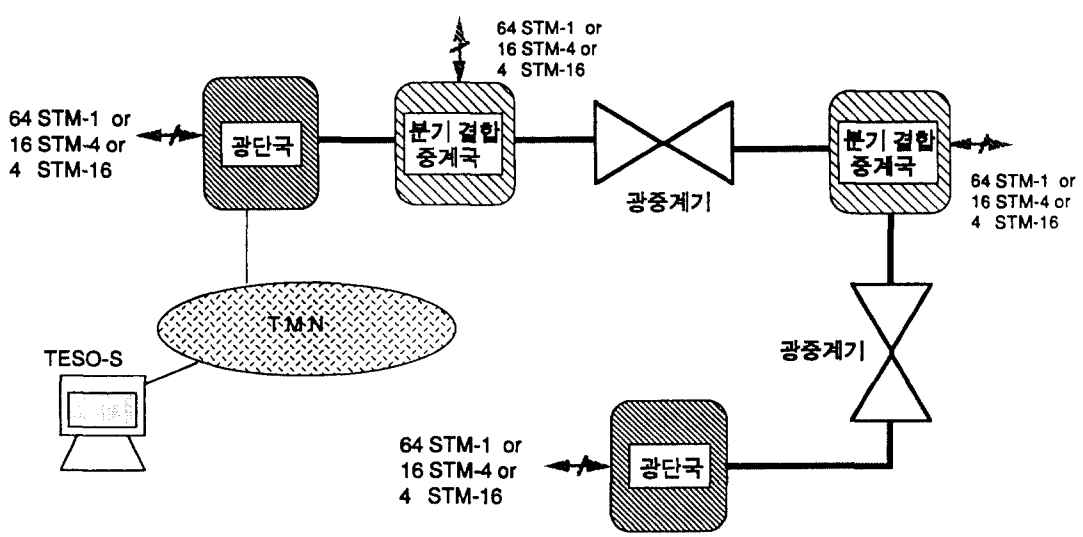


그림 4. 10G광전송 시스템 구성도예(선형구조)

(그림 4)와 같고, 이를 위한 광송신기 설계 특성을 요약하면 〈표 3〉과 같다. 〈표 3〉에서 광중계거리를 3구간으로 나눈 것은, LD를 직접 변조하면 처핑등에 의해 중계거리가 제한 되므로, 짧은 거리는 LD를 직접 변조를 이용하여 경제성 있게 구성할 수 있도록하고, 장거리의 중계거리가 필요한 경우는 광송신기의 간접변조와 광전력증폭기나 광전치 증폭기를 이용하여 중계거리를 선택할 수 있도록 고려하기 위한 것이다.

Ⅳ. 100Gb/s급 광전송기술

기존의 동기식 전송방식에서는 전기적 형태의 종속신호를 시분할 다중화하는 방법에 의해 전송용량을 늘려 왔으나, 신호 속도가 10Gb/s를 넘는 경우 광소자 및 전자소자의 주파수 특성 저하(20Gb/s 이하)로 인해 시스템 구현이 제한을 받게된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 선진국에서는 기본전송속도를 높이는 동시에 광파장을 다르게 사용하여 채널 수를 늘리는 연구가 시도되어 왔고, 특히 광섬유가 갖고 있는 넓은 대역폭(30THz 이상)을 활용하기 위한 방법으로 광주파수 다중(OFDM : Optical Frequency Division Multiplexing) 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

광주파수 다중 방식은 전기적인 영역에서의 사용되는 주파수 분할 다중 방식과 유사한 개념을 갖고 있다. 주파수 분할 다중방식에서 각 채널로 들어 오는 신호가 각기 할당된 주파수에 맞추어 다중화되듯이, 광주파수 다중방식은 각 채널로 부터 들어 오는 신호가 각기 다른 광주파수에 할당되어 다중화 된다. 이와 같이 광주파수 영역에서 다중화가 이루어지므로 각 채널로 들어오는 신호의 비트율은 광주파수 각각의 채널의 전송속도와 같게 되지만 다중화되는 광주파수가 증가함에 따라 전체 전송용량은 증가한다. 이와 같이 다중화되어 전송된 신호는 수신측에서 특정 광주파수를 분리, 추출할 수 있는 광필터에 의해 선별되며, 선별된 주파수에 실려있는 신호는 기존 형태의 수신부에 의해 판독된다.

점대점 전송을 목적으로 하는 100Gb/s급 시스템 구현은 WDM 방식으로도 가능하나, 시스템이 망에 적용되는 경우 타 시스템과의 호환성에 문제가 발생하고, WDM 방식으로는 다중화 용량의 확대가 제한이 있어 향후 용량 확장시 체계적인 확장이 불가능하다. 따라서 간단한 시스템 응용을 위해서는 수 nm 정도의 채널간격을 갖는 WDM 방식도 고려할 수 있으나 미래의 정보화 사회에 대비하기 위한 초대용량시스템 구성을 위해서는 가능한한 채널간 간격을 좁혀 광섬유의 대역폭을 최대한 활용하는 기술 개발이 필요하다.

광주파수 다중방법에 의한 시스템 구현은 서로 다른 파장에 대한 광선로의 개별 전파특성(선형동작 영역에서)에 의해 가능하며, 다중화 정도는 광원의 파장 범위와 채널 분리 능력에 의해 좌우된다. 최근 넓은 범위에 걸쳐 파장을 가변시킬 수 있는 파장가변 레이저의 개발과 함께 채널 간격을 1nm(1550nm에서 120GHz)이하로 다중시킬 수 있는 광주파수 다중 시스템이 가능하게 되었다. 이러한 시스템과 관련된 기술로는 좁은 주파수 간격을 고려한 개별 광원의 주파수 안정화, 채널간격 안정화, 고밀도 채널 분리기능 등과 같은 광신호처리기술이 요구되며, 이외에도 채널수 증가로 초래되는 광섬유 비선형 효과에 의한 잡음을 제거하기 위해 비선형 특성에 관한 연구도 필요하다. 또한 신호가 차지하는 대역폭을 줄일 수 있는 코히어런트(Coherent) 기술과 접목하여 다중 채널수를 늘림으로써 궁극적으로는 테라비트급 전송시스템 기술 개발이 가능하게 된다.

그리고 광주파수 다중방식에 의한 시스템 구성은 채널간 주파수 간격을 1nm 이하로 잡을 수 있어 광섬유의 활용대역폭 내에서 충분한 예비채널의 확보가 가능하며, 절대 기준주파수개념을 도입하여 모든 시스템을 광동기화하고 채널간격 및 채널 위치를 표준화함으로써 타 시스템과의 호환성을 높힐 수 있어 분배망 구조와 전광통신망에 사용될 수 있는 장점을 갖고 있다.

국내의 경우 한국전자통신연구소에서 100Gb/s급 광전송시스템에 관한 연구가 진행중에 있으며, 이 시스템에서는 10Gb/s 광신호를 10개 묶어 100Gb/s급의 전송용량을 실현하는 광주파수 다중방식을 근거로 하고 있다. 망에서 요구되는 100Gb/s급 시스템을 구현하기 위해서는 먼저 두가지 측면에서 절대기준신호의 도입이 필요하다. 첫째는 반도체 레이저로부터 나오는 불안정한 빛을 안정화시키기 위해 어떤 상위의 안정화된 빛에 로킹시키는 개념이 필요하며, 둘째로는 표준화 차원에서 시스템이 위치한 장소에 구애받지 않고 같은 주파수를 얻을 수 있어야 하며, 다중에 관계되는 임의의 채널을 기준신호에 일치시킴으로써 다른 채널들의 위치가 정의될 수 있는 동기화 개념이 필요하다. 이는 광 분기결합 기능이나 타 시스템과의 신호 우회 시 중요한 의미를 갖는다. (그림5)는 이와 같은 기능을 포함하는 100Gb/s급 전송시스

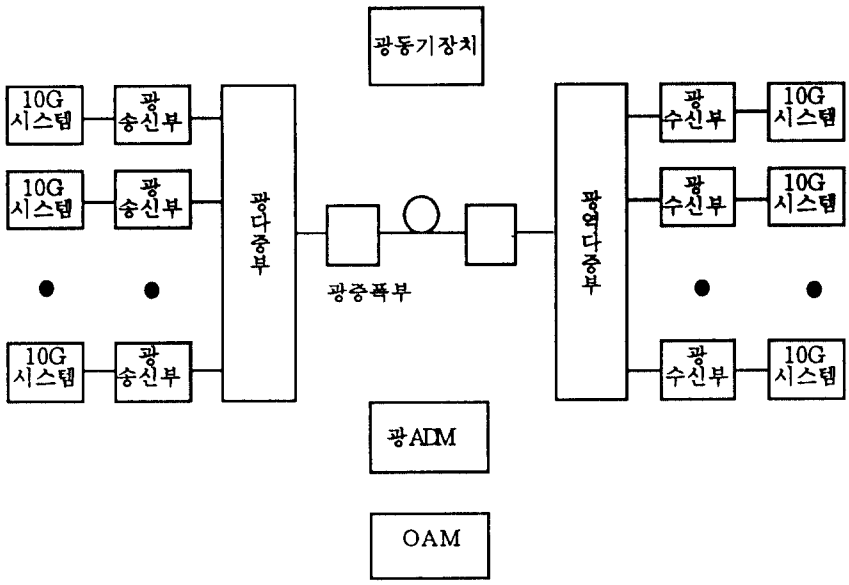


그림 5. 100Gb/s 광전송 구성도

템 구성도를 보인 것으로서 기본 구성은 송신부, 다중부, 역다중부 및 수신부로 구성되며, 광동기신호 발생장치와 보조기능으로 광 ADM 기능 및 OAM 기능을 갖는다.

절대기준주파수를 발생시키기 위해서는 광동기 기능이 필요로 하며 이러한 광동기 기능에서 절대기준주파수를 발생시키기 위한 기본 원리는 투과되는 빛에 대한 분자 또는 원자 개스의 분광특성을 이용한 광유기(opto-galvanic) 방법과 통과하는 빛에 대한 개스의 흡수선(absorption line)을 이용한 방법이 있으며, 흡수선을 이용하여 광원의 주파수를 안정화시키는 경우에는 대략 0.5~16MHz 정도의 안정도를 얻을 수 있다. 광통신시스템의 경우 분산천이 광섬유의 영분산 파장이 1550nm 근방임을 고려하면 $13C_2H_2$가 광동기신호 주파수로 적당하나 실제 시스템 구현시에는 여러 요인을 고려하여 결정해야 한다.

100Gb/s급 전송시스템 송신부의 기능은 신호를 빛에 실어 보내는데 있으며, 다채널 전송의 경우 신호에 의한 빛의 변조기능 외에 채널별로 각 광원의 중심파장(또는 중심주파수)을 변경시켜 주는 기능도 가져야 한다. 다채널 광원으로는 1550nm에서 동작하는 DFB-LD(Distributed Feedback-Laser Diode)를 사용하며, 설치되기 전에 주어진 채널 주파수와 거의 일치하는 중심파장을 갖는 LD가 선정된다.

채널 간격의 설정은 인가되는 신호가 차지하는 주파수 대역과 채널 분리를 위해 역다중부에서 사용되는 필터의 분해능력을 고려하여 결정된다. 이 때 신호가 차지하는 대역은 변조방식에 의해 달라진다. 채널 슬롯의 발생은 기준공진기를 이용하여 기준공진기가 갖는 공진주파수를 다중화에 필요한 주파수 슬롯으로 사용하는 방식이 널리 사용되고 있다. 따라서 채널 간 간격은 공진기가 갖는 FSR(free spectral range)에 의해 설정되며, 이는 공진기의 공진길이를 조정하여 변화시킬 수 있다. 정해진 간격으로 설정된 다중부의 채널은 타 시스템과의 호환성을 갖기 위해 서로 일치된 주파수 값을 가져야 하며, 이를 위해 각 시스템의 특정 채널 주파수는 광동기장치에서 발생되는 절대기준주파수와 일치되어야 한다. 동기화된 채널들은 역다중부에서 채널 중심 파장에 마주어 미리 설계되어 있는 광필터에 의해 선별 추적되므로 각 노드에 사용되는 역다중부 구성을 동일하게 할 수 있을 뿐만 아니라, 동기화하는 과정에서 채널의 주파수는 절대기준주파수의 안정도내에 유지되므로 안정된 채널 슬롯을 얻을 수 있다.

수신부는 광역다중화부와 전기적 영역에서의 광수신기로 구성이 된다. 역다중부의 중요한 역할은 다중화되어 들어온 채널의 분리 및 추출에 있으며, 이는 필터의 분해능과 안정성에 의해 크게 좌우된다. 100Gb/s

급 시스템에서 고려 중인 역다중부는 채널을 분리 추출하기 위해 사용되는 필터의 종류에 따라 달라질 수 있다. 채널 분리를 위한 분기시 신호 출력이 저하되는 것을 보상하기 위하여 광증폭기를 사용하여 신호를 증폭시켜 준다. 증폭된 신호는 채널 수 만큼 분기되며, 각각의 출력은 채널 분리를 위한 광필터에 입력된다. 채널이 대략 100GHz 간격으로 배열된 주파수 다중시스템의 경우 누화없이 원하는 채널을 적절히 분리하기 위해서는 고분해능의 필터가 요구되므로 광섬유필터나 도파로형 M-Z필터가 사용되고 있다.

광수신기는 검출방식에 따라 달라지며, 직접검출 방식인 경우 기존의 동기식 전송시스템에서 사용하는 수신부 구조를 사용할 수 있으나, 송신부에서 강도변조가 아닌 FSK 변조방식을 택하는 경우 대칭형 검출기가 필요하다. 광주파수 다중시스템의 수신부가 갖추어야 할 또 하나의 기능은 주파수 변환기능이며, 각기 다른 파장으로 분리된 채널을 10Gb/s 시스템이 받아 들일 수 있는 적절한 파장으로 변환시켜 주어야 한다. 최근 반도체 광증폭기(SOA)와 같은 주파수 변환용 소자가 개발되고 있으나 아직 성능에 미흡한 점이 있으며, 더우기 연동되어야 할 10Gb/s 시스템이 광주파수 다중방식에 의한 100Gb/s급 시스템과 멀리 떨어져 있는 경우에는 신호 왜곡 및 감쇠를 고려할 때 기존의 관중계기에서와 같은 3R 기능이 추가가 필요하다.

100Gb/s급 시스템을 점대점 전송 목적외에 망에 운용하는 경우 광 ADM기능이 요구되며, 기존의 동기식 전송 시스템에 비해 광주파수 다중시스템은 광주파수를 자유로이 할당 및 추출할 수 있다는 점에서 쉽게 ADM 기능을 구현할 수 있다. 실제로 망에서는 링 또는 버스형태로 운용되며 그 기능은 마찬가지 이다. 여기에 광스위칭 기능이 부가되는 경우 광분배(OXC) 시스템으로 전환이 가능하며, 서로 다른 망을 점진적으로 통합할 수 있다.

V. 결 어

본 논문에서는 초고속 정보통신망의 기반인 국간 전송에 소요되는 전송망 기술과 10Gb/s급 및 100Gb/s급 광전송 기술에 관하여 고찰하였다. 전송망 기술에서는 향후 통신망의 신뢰성 제고와 재해 방지 등을 위하여 융통성 및 생존성이 탁월한 SDH 동기식망의 구축을 필요함을 거론하였고, 광대역 분배기능의 중요성을 설명하였다. 장래에는 이들에 관련하여 하드웨어뿐만 아니라 망운용관리 등을 위한 소프트웨어 연구개발도 향후 중점적으로 연구되어야 하겠다.

광증폭 기술은 무중계거리를 넓히어 망유지관리를 용이하게할 뿐만아니라 전송속도 및 전송방식에 독립적인 전송망을 설치할 수 있게 하고 가입자망에서도 다양하게 응용할 수 있게 된다. 과거와는 달리 10Gb/s 시스템 개발에서는 광소자, 전자소자를 포함한 소자 개발도 함께 하여야하고, 전기적인 소자의 물리적 한계에 가까운 기술들도 이용하여 개발해야 한다. 또 이 시스템은 국내 개발도 선진국과 비슷한 시기에 추진이 되었기 때문에 '96년경 10Gb/s급 광전송 시스템개발이 완료되면, 이 분야의 기술 수준은 세계적 수준으로 부상하게 될 것이다.

100Gb/s급 광전송 기술의 개발은 10Gb/s급 광전송 시스템에 사용되는 시분할 다중화 방식이 아니 광파장 다중화 방식을 이용하여 전송용량을 대폭 증가 시키는 기술로서, 155Mb/s급의 광대역 서비스를 현재의 음성 서비스 비용수준에서 제공해 줄 수 있는 기반기술이 되게 된다. 또 광증폭 기술과 함께 향후, 완전광통신망을 구축하고 테라비트 전송을 가능하게하는 초석이 되게 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 한국전자통신연구소, 2.5 Gbps 광전송 시스템 개발, 연구보고서, 1993.
2. 한국전자통신연구소, 광대역회선분배(BDCS) 시스템 개발, 연구보고서, 1993.
3. 한국전자통신연구소, 10Gb/s SDH 광전송 시스템 개발, 연구보고서, 1993.
4. 한국전자통신연구소, 100Gb/s급 광다중방식 SDH 광전송 장치 개발, 연구보고서, 1993.
5. 이창희, 심창섭, "10 Gbps이상의 광통신 기술동향," 전자공학회지, 20, no. 1, pp. 62-80, 1993.
6. C. Rolland, L. E. Tarof, and A. Somani, "Multigigabit networks : The challenge," IEEE Lightwave Telecommunication Systems, pp. 16-26, May, 1992.
7. B. Glance et al., "Densely spaced FDM coherent star network with optical signals confined to equally spaced frequencies," J. Lightwave Technol., vol. 6, pp. 1170-1781, 1988.
8. N. Takachio et al., "10Gb/s-10ch optical FDM transmission experiment over 300km using in-line optical fiber amplifiers and dispersion-shifted fiber," in Proc.

ECOC'93, pp. 1-4, 1993.
9. N. A. Olsson and P. A. Anderkson, "Optical technique for beyond 10-Gbit systems," Digest of Optical Fiber Communication Conference, pp. 46-47 paper Tull, San Jose, CA, USA, Feb. 2-7, 1992.
10. R. Olshansky et al., "Subcarrier multiplexed Lightwave systems for broadband distribution," J. Lightwave Technol., vol.7, no.9, pp. 1329-1342, 1989.

이 만 섭

- 1954년 12월 25일생
- 부산대학교 전자공학과 졸(학사)
- 부산대학원 전자공학과 졸(석사)
- 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 졸(박사)
- 한국전자통신연구소 선임연구원, 광가입자연구실장 영상통신연구실장(겸직)
- 현재 광대역전송연구부장(책임연구원)
- 45Mb/s, 90Mb/s, 565Mb/2 광전송시스템 개발
- 데이타 다중장치 개발
- 광CATV 시스템 개발
- 10G, 100G, BDCS(광대역회선분배시스템 개발 중)

이 병 기

- 1951년 5월 12일생
- 1974년 2월 : 서울대학교 전자공학과(학사)
- 1978년 2월 : 경북대학교 전자공학과(석사)
- 1982년 9월 : 미국 University of California, Los Angeles (Ph.D)
- 1974년 ~ 1979년 : 해군사관학교 전자공학과 전임강사
- 1982년 ~ 1984년 : 미국 Granger Associates 연구원
- 1984년 ~ 1986년 : 미국 AT&T Bell Laboratories 연구원
- 1986년 ~ 현재 : 서울대학교 전자공학과 부교수