

# 광전송 장치 개발

이 만 섭, 박 창 수, 최 준 균

(한국전자통신연구소)

□ 차 례 □

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| I. 서론               | IV. 광대역 액세스 장치(B-NT) |
| II. 10Gbps 광전송장치    | V. 향후계획              |
| III. 100Gbps급 광전송장치 | VI. 결어               |

## I. 서 론

정보화 사회의 급속한 진전은 고품질의 동화상을 비롯하여 넓은 대역폭과 다양한 형태의 서비스를 필요로 하며, 이러한 서비스를 가입자에게 제공하기 위한 B-ISDN 구축은 전송기술 측면에서 다음과 같은 두가지 기능의 실현을 전제로 한다. 첫째는 국간전송 기능의 확장으로 넓은 대역폭을 갖는 신호를 다수의 가입자에게 동시에 전달하여 줄 수 있는 대용량 전송 능력의 확보와 둘째는 형태가 다양한 서비스를 망과 가입자사이에 쉽게 묶어 풀어줄 수 있는 기능의 구현이다.

광전송시스템 측면에서 볼 때 기존의 음성급 서비스는 PCM 64kbps 신호로 제공가능하지만 B-ISDN에서 요구하는 서비스를 제공하기 위해서는 음성급의 약 2000배에 해당되는 155Mbps급 서비스 용량이 필요하며, 이를 다수(수천 이상)의 가입자에게 제공하기 위해 요구되는 전송용량은 국간중계시 수백 Gb/s에서 수 테라비트(terabit = 10<sup>3</sup> Gbps)급의 전송시스템이 필요하다. 또한 가입자계의 경우 다양한 형태의 서비스 신호를 전송망에 접속 처리하여 줄 수 있는 접속장치가 필요하며, 동시에 전송비용을 낮추기 위한 저렴한 기가급 전송기술이 요구된다.

국내의 경우 B-ISDN에서 요구하는 전송용량 확보를 위해 국간전송로에 사용될 목적으로 10Gbps급,

100Gbps급 광전송장치를 연구개발중에 있으며, 광대역 액세스장치로서 B-NT(broadband-network termination)를 개발중에 있다. 10Gbps(STM-64급) 광전송 장치는 동기식 전송방식을 바탕으로 64개의 STM-1(155Mbps) 신호를 수용할 수 있는 시스템이며, 100Gbps급 광전송장치는 광소자 및 전자소자의 주파수 특성한계(20Gb/s 이하)때문에 기존의 시분할 다중방식과는 다른 광주파수다중방식을 바탕으로 하여 구성되며 10개의 STM-64 신호를 수용할 수 있다. B-NT는 UNI(user network interface) 측에 STM-1급의 16S<sub>B</sub> 및 4T<sub>B</sub>를 접속할 수 있는 시스템으로 가입자 분포형태에 따라 집중형 B-NT(CANS: centralized access network system)와 분산형 B-NT(DANS: distributed access network system)로 개발되고 있다.

각 장치는 현재 개발중이거나 개발완료 단계에 있는 장치로서 개발과정에서 변경될 소지가 있으므로 본 고에서는 장치구성과 시스템 특성 및 관련기술 그리고 향후계획에 대해 언급하고 구체적인 구현 방법에 대해서는 차후에 기술할 기회를 갖고자 한다.

## II. 10Gbps 광전송장치

개발중인 10Gbps 광전송장치에 대해 시스템 구조, 광수송신기 및 다중 및 역다중부로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

가. 시스템 구조

10Gbps 광전송장치는 STM-64 신호를 광섬유 케이블을 통하여 전송하는 동기식 다중 전송장치로 종속 신호로서 STM-1, STM-4 및 STM-16 광신호를 접속한다. STM-1 및 STM-4를 접속하는 경우 수용단위는 STM-16 용량으로 하며, 분기 결합기능의 실장형태에 따라 단국과 선형 ADM(add-drop multiplexing)으로 구분된다. 장치의 주요 특성은 <표 1>과 같으며, 전송 거리가 긴 경우(40km 이상) 송신측에서 외부변조기와 광전력증폭기를, 그리고 수신측에서 광신지증폭기를 각각 사용하게 된다. 중계기로 종래의 3R(regenerating, retiming, and reshaping) 방식 대신 구조가 간단한 광증폭기를 사용하며, 이 방법으로 중계기 간격을 120km까지 연장할 수 있다.

(그림 1)은 선형구조형태를 갖는 10Gbps급 광전송장치 구성도를 보인 것으로 단국 서브시스템, 애드/드롭 다중 서브시스템, 광중계기 서브시스템, 감시 제어 서브시스템 및 망 관리 서브시스템 등으로 구성된다. 단국 서브시스템은 64개의 STM-1(또는 16개의 STM-4나 4개의 STM-16) 신호를 받아 STM-64(9.95328 Gb/s)로 다중시킨 후 광섬유를 통해 전송하는 기능을 가지며, 애드/드롭 다중 서브시스템에서는 타방향

표 1. 10Gbps 광전송장치의 주요 특성

항 목	특 성
전송신호	STM 64(9.95Gb/s)
종속신호	STM-1, STM-4 및 STM 16
구성형태	단국, 선형 ADM
사용 파장(STM 64)	1530-1560nm
종속신호 접속부 사용파장	1550/1310nm
광증폭기	전송 거리에 따라 사용
중계기	광증폭기 사용

으로 나가고 들어오는 신호를 종속신호단위로 분기 또는 결합한 후 다시 광중계기를 거쳐 상대방으로 전송한다. 광단국에 대한 운용관리는 TMN(telecommunication management network)을 통해 운용관리 서브시스템에 의해 수행된다.

나. 광송수신기

10Gb/s 전기신호로 반도체 레이저를 직접변조하는 경우 반송사 변동변화에 따른 처평현상때문에 발진 선폭이 넓어지는데, 이를 일반적인 단일모드 광섬유

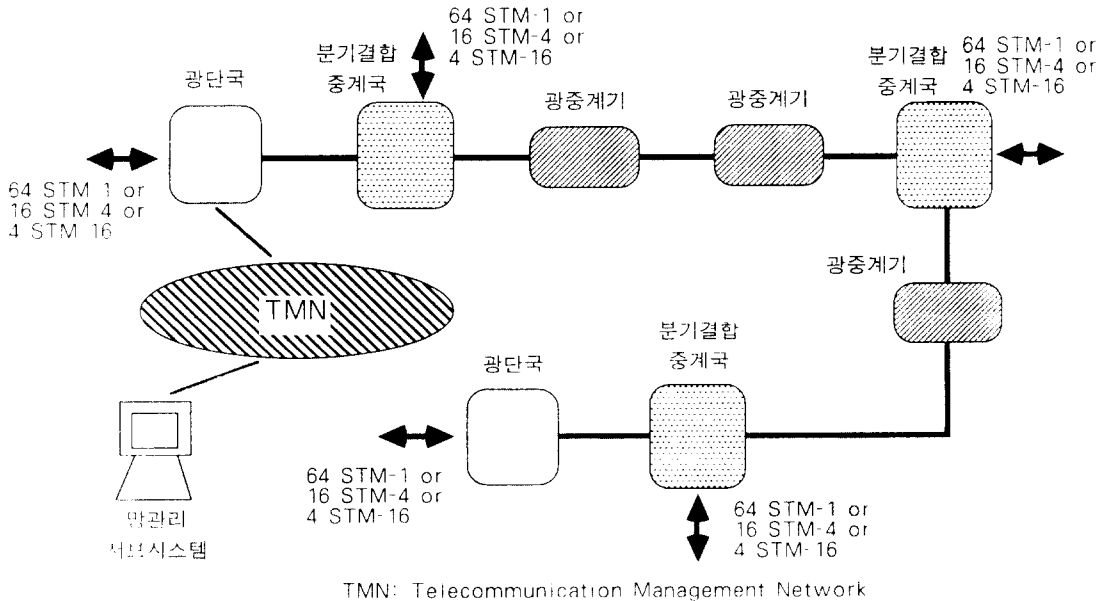


그림 1. 선형구조형태의 10Gbps 광전송장치 구성도

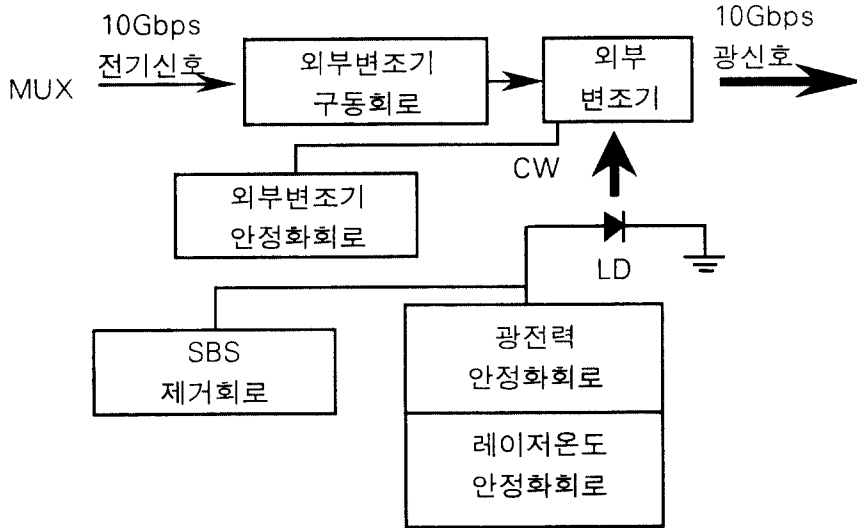


그림 2. 외부변조방식에 의한 10Gbps 광송신기 구성도

(분산 계수 :  $D = 17\text{ps/nm/km}$ )를 통해 전송하면 색분산에 의한 전송 패널티가 커지게 된다. 예를 들면, 10Gbps 신호 자체에 의한 대역폭만을 고려한 이상적인 경우에도 60km 전송시 2dB 패널티를 갖는다. 따라서 전송거리를 증가시키기 위해 변조시 초래되는 처핑을 조절하여 색분산을 보상해 주는 방법과 영(zero) 분산 파장이 1,550nm 근방인 분산전이광섬유(DSF : dispersion shifted fiber)를 사용하는 방법이 있을 수 있다.

처핑에 의한 발진선폭 확대를 방지하기 위해서는 외부변조기를 이용하여 송신광원을 변조하는 방식이 있다. 즉, 반도체 레이저는 dc 상태로 안정하게 발진시키고 광신호의 변조는  $\text{LiNbO}_3$  Mach-Zehnder(LN-MZ) 간섭계형 변조기나 화합물반도체흡수형(EA : electro-absorption) 변조기를 이용하는 방식이다. 외부변조기를 사용하면 주파수 및 위상변조기가 거의 없이 광세기만 변조할 수 있으므로 레이저의 발진선폭을 좁은 상태로 유지시킬 수 있다.

외부변조방식에 의한 광송신기는 (그림 2)와 같이 DFB-LD(distributed feedback-laser diode) 모듈, LN-MZ 간섭계형 외부변조기, 구동증폭기, 외부변조기 제어부, LD 모듈 안정화를 위한 제어부, 그리고 경보발생부로 구성된다. 외부변조기를 사용하는 경우 환경변화로 인한 외부변조기의 열화를 보상해주기 위한 제어기능이 추가로 필요하다. 제어부 구현은 수 kHz의 정현파 dithering 신호를 외부변조기 바이어스 입력단

에 인가하여, 오차(error)신호를 lock-in 증폭기를 사용하여 검출한 후 그 차에 해당되는 offset 신호를 외부변조기의 바이어스 입력단에 중첩시키는 방법으로 가능하다. 또한 LD 모듈 제어부에는 신호전송시 발생하는 SBS(stimulated Brillouine scattering)에 의한 잡음을 제거하기 위하여 LD에 약간의 변조전류를 가하여 발진선폭을 수백 MHz로 넓혀주는 기능을 포함한다.

선형채널부는 광신호를 전기신호로 변환하는 광검출기와 광대역증폭기로 구성되며, 광검출기는 대부분 InGaAs 반도체를 사용하여 제작하며, 형태로는 PIN(P-type Intrinsic N-type)형 검출기와 APD(avalanche photodiode)형 검출기가 있다. PIN형 검출기의 대역폭은 10Gb/s 신호를 검출하기에 충분하나 PIN 자체가 갖고 있는 열잡음특성에 기인하여 수신감도가 결정되므로 APD형 검출기를 사용하는 경우보다 수신감도가 수 dB 떨어진다. 실제로 최근 개발된 PIN 광검출기 경우 대역폭이 15GHz 이상이며, 상용화된 광대역증폭기로 40dB 이상의 이득을 얻을 수 있다.

APD형 검출기는 높게 걸어진 바이어스 전압에 의해 전사와 정공이 증폭(avalanche)되는 기능이 있으므로 PIN형에 비해 상대적으로 높은 광전류를 얻을 수 있다. APD형 검출기를 수신기에 사용하는 경우 산탄잡음(shot noise)과 전자 및 정공의 증배로 인한 잡음에 의해 수신감도가 결정되며, 이러한 잡음은 양자역학적 잡음한계에 가까운 값으로 PIN형에 비해 높은

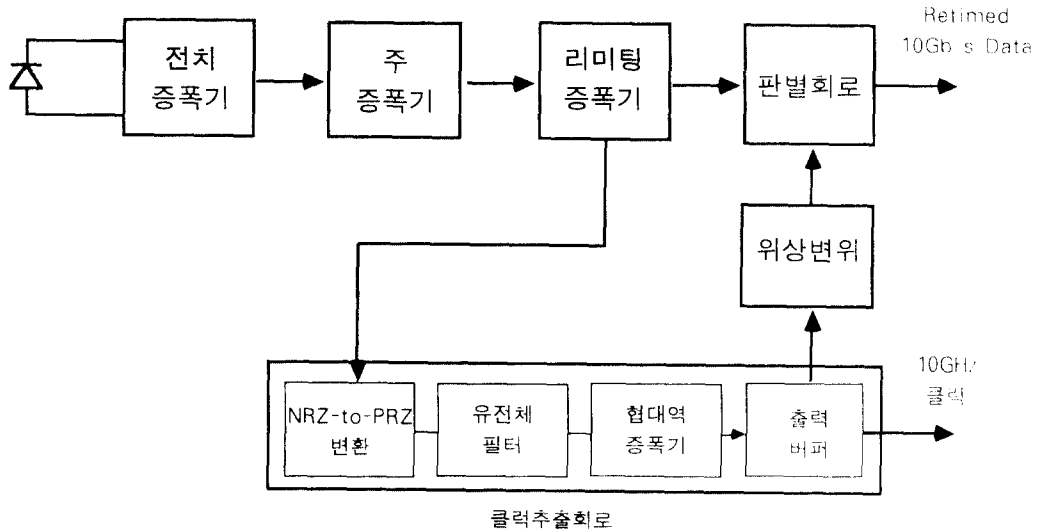


그림 3. 10Gbps 광수신기 구성도

수신감도를 얻을 수 있다. 10Gb/s 신호 전송에 관한 실험 예로는 PIN형 검출기와 APD형 검출기를 사용하여 각각 -19.8dBm과 -23dBm의 수신감도가 보고되었으며, APD 경우 10Gb/s 광링크에 사용되기 위해서는 이득과 대역폭을 곱한 값이 100GHz 이상 되어야 한다.

협대역증폭기로 사용되는 전치 및 주증폭기의 대역폭은 수 kHz에서 7GHz 정도 이어야 하며, 전치증폭기 경우 수신감도를 높이기 위해 잡음지수(noise figure)가 낮아야 한다.

클럭재생회로는 기존의 광전송장치에서 사용된 SAW (saw filter)를 사용하기 힘들므로 유전체 공진기 등을 이용한 투과폭이 좁은 협대역통과필터를 사용한다. 현재 개발되고 있는 클럭추출회로는 유전체공진기를 협대역필터로 사용하여 구현하며, 클럭추출 및 데이터 재생회로로 구성된다.

유전체공진기는 높은 유전상수를 갖는 세라믹물질을 사용하여 마이크로웨이브 공진기능을 유발시키며, 일반적으로 링모양이나 원통형으로 구성되고 2-50GHz 대역에서 필터나 발진기로 많이 사용된다. 10Gbps용으로는 깨끗한 클럭추출을 위해 Q 값이 높은 협대역필터가 필요하며, 10Gbps용 유전체 공진기의 특성에 관한 요구사항은 다음과 같다.

- 중심주파수 : 10GHz
- Q(quality factor) : 700-100

- 삽입손실 : < 3dB
- 온도보상

여기서 유전체 자체의 온도의존도로 인해 보상기능이 요구되며, 정확한 필터링을 위해 튜닝 기능이 요구된다. 협대역증폭기는 필터링한 후 존재하는 spurious mode를 제거함과 동시에 클럭신호를 증폭시켜 주기 위해 사용된다. 판별회로는 입력데이터를 주어진 클럭의 양방향 친이신호에 맞추어 판별하는 기능을 가지며, 최적 판별을 위해 클럭신호의 열려진 부분으로 정렬되어야 한다. 또한 위상과 신호크기에 대해 판별마진을 갖도록 본 장치에는 상용화된 master-slave flip/flop을 사용하였다.

#### 다. 다중 및 역다중부

10Gbps 광전송시스템의 역다중부는 다중부 흐름의 역방향이므로 다중부에 관해서만 설명하기로 한다.

10Gbps 광전송시스템의 다중부에서 처리하는 기능은 대략 다음과 같다.

- STM-i(i = 1, 4, 16) 종속신호 정합
- STM-1 단위의 신호 경로 제어
- AU 포인트 처리
- STM-64 신호에 대한 SOH 처리
- 종속신호를 10Gbps로 다중화/역다중화
- 위 1~5의 모든 역과정

이러한 기능을 수행하는 다중화기는 다시 다중화

부, 분기결합부, 종속신호정합부로 나누어 구성된다.

10Gbps 광전송시스템은 기본적으로 2.5Gbps 광전송시스템과 동일한 SDH 표준안을 채택하고 있으므로 논리적인 구조는 동일하나 수용하는 종속신호 종류와 내부신호 처리속도가 다르다. 내부신호처리 속도는 국내의 CMOS ASIC 기술수준과 국내에서 개발 중인 BDCS(광대역회선분배시스템) 시스템용 ASIC을 활용하기 위해 77.76Mbps를 기본으로 채택하였다. 고속다중화부와 분기결합부간에는 총 128개의 77.76Mbps 신호가 접속되며, 이를 논리적으로 128:1 다중하여 10Gbps의 고속다중신호를 생성하거나 그 역과정을 수행한다. 실제 구현시 신호의 고속성으로 인하여 병렬처리가 불가피하며, 78M, 612M, 10G 신호처리부로 분리하여 개발한다.

분기결합부는 STM-64 시스템의 적용망형태(단국, 선형 ADM)에 따라 별도의 M/B 수정없이 종속신호의 자유로운 분기결합이 가능하도록 해주는 부분이다. 분기결합부에서 처리하는 신호의 최소단위는 STM-1이며, 신호의 형태는 다음과 같이 4가지 종류로 구분할 수 있다.

- ADD 신호 : 종속신호 정합부 → 고속다중화부
- DROP 신호 : 고속역다중화부 → 종속신호처리부
- Through 신호 : 고속역다중화부 → 고속다중화부
- Loopback 신호 → BLS/2 loopback

분기결합부에 접속되는 신호용량은 최대 60Gbps로 하나의 유니트로 STM-64 시스템에서 요구되는 분기/결합기능을 모두 처리할 수 없기 때문에 하나의 유니트당 2.5Gbps의 신호용량을 처리하도록 설계되었다.

**라. 광증폭기**

광증폭기는 사용목적에 따라 전력증폭기와 전치증폭기로 나눈다.

광전력증폭의 경우 ASE 잡음의 영향이 수신감도에 거의 무관하며, 제작이 간단하고 감시제어의 용이한 점 등으로 보편적으로 사용하고 있다. 10Gbps 장치에서 요구하는 특성은 <표 2>와 같다. 내부의 광학적 모듈 구성을 위해 최적화된 에르븀 광섬유를 양방향에서 여기시키는 구조를 갖고 있으며, 여기광원으로 980nm 반도체 레이저와 1480nm 반도체 레이저 모두 사용가능하다. 기능적 측면에서 볼 때 광증폭기는 자동광이득조절기능, 입력신호손실경보기능, 자동광출력차단기능 및 감시/경보신호발생기능을 갖는다. 자동광이득조절은 여기용 레이저 중 순방향 여기용으로 사용되는 레이저의 여기 광출력은 일정하게 고정시켜 놓고 역방향 여기용 레이저의 여기광 출력을 조절하여 실현하였다. 또한 입력신호손실이 발생하였을 때 광전력증폭기는 신호광이 출력되지 않고 이 보다 세기가 낮게 증폭된 자연광출력만 출력된다. 이 경우 경보출력과 함께 자동출력조절기능에 의해 여기용 레이저 바이어스가 증가되는 것을 억제시켜 준다. 자동광출력차단기능은 차단신호명령이 입력되면 두 여기용 레이저의 출력을 모두 차단시켜 준다. 감시/경보신호발생기능으로 설정온도초과경보, 저출력경보, 고바이어스전류경보 등을 갖고 있다.

광전치증폭기는 광전송시스템의 수신기 앞에서 신호광을 증폭하여 수신기의 수신감도를 개선하며, APD나 PIN만을 이용할 경우 10Gbps에서 지금까지 보고

표 2. 광전력증폭기 요구사항(성능측면)

항 목	내 용	비 고
출력	최소 12dBm	
	최대 15dBm	
입력신호레벨	최소 -5dBm	
	최대 0dBm	
입력파장범위	1,530-1,560nm	
동작온도범위	0-50℃	주위온도
광출력의 편광의존성	0.5dB 이하	자동광이득조절회로 동작시
광출력의 온도의존성	1dB 이하	자동광이득조절회로 동작시
광출력의 입력과장 의존성	1dB 이하	자동광이득조절회로 동작시

된 수신감도는 -27dBm과 -20dBm(BER = 10<sup>-12</sup>)이나, 광증폭기를 이용하여 광신호를 증폭하면, 열잡음에 의한 한계를 극복하여 광전치증폭기 전단에서의 수신감도가 개선된다. 광전치증폭기의 이득이 어느수준 이상일 때 광전치증폭기 전단에서의 수신감도는 광전치증폭기의 잡음지수에 의해 결정된다. 광증폭기의 잡음지수에 영향을 주는 요소로는 입력결합손실, spontaneous emission factor, 광학필터의 대역폭, 편광 의존손실 등이 있는데, 이득에 의한 잡음지수를 최소로 하도록 광전치증폭기를 설계 하여야 한다. 10Gbps에서 지금까지 보고된 최고의 수신감도는 -38.4dBm이다.(back-to-back, 입력단 손실 포함, 2<sup>15</sup>-1 PRBS, BER = 10<sup>-9</sup>).

(그림 4)는 광전치증폭기 모듈기능 블록도로서 제어부 구성은 앞에서 언급한 바와 같이 초기시작시 필요한 cold start 기능과 투과파장안정화를 위한 dither 회로로 구성된다. 출력단의 필터는 신호광 이외의 증폭된 자연방출광 성분을 제거하여 spontaneous-spontaneous beat 잡음을 최소로 하는 역할을 갖는다. 광이득부는 아이솔레이터를 사이에 두고 두단으로 구성되며, 중간에는 여기시킨 구조로 하였다.

### Ⅲ. 100Gbps급 광전송장치

100Gbps급 광전송장치는 기존의 전송장치로 부터 나온 광출력을 종속신호로 하여 광주파수 다중방식으로 전송용량을 늘리는 초대용량 전송장치로 관련 기술은 Tera bps 전송을 위한 기반기술에 해당된다. 장치별로는 점대점 전송기능, 광주파수 다중 및 억나중기능, OAM 기능 및 다채널 광증폭기능을 가지며, 여기서는 장치 개발과 관련된 광전송기술과 장치구성에 따른 개요 및 시스템 구성에 대해 기술하고자 한다.

광주파수 다중시스템 구현에 필요한 관련기술은 <표 3>과 같다. 이밖에도 동기화를 위한 절대기준광주파수 발생기술과 비선형효과로 인한 전송거리 감소를 극복하기 위한 기술도 요구된다.

100Gbps 광전송장치 구성은 (그림 5)와 같이 송신부, 다중부, 억나중부 및 수신부로 구성되며, 광동기 신호 발생장치와 보조기능으로 광ADM(add-drop multiplexing) 기능 및 OAM(operation administration & maintenance) 기능을 갖는다. 시스템구성을 위한 요구사항은 <표 4>와 같다. 절대기준광주파수와 채널간격 설정은 현재 ITU에서 논의 중에 있으므로 추후 다시

표 3. 광주파수 다중화를 위한 관련 기술

항 목	주요기술
광원	- 광주파수 세어기술 - 광주파수 안정화 기술 - 광주파수 간격 안정화 기술
다중/억나중	- 현대역 필터/커플러 설계 - 중심주파수 안정화 기술 - 주파수 간격 안정화 기술
광섬유	- 광섬유 비선형 효과에 의한 crosstalk

표 4. 100Gbps 장치의 주요 특성

항 목	내 용	비 고
채널광장범위	1540-1560nm	
광원선폭	<100MHz	CW
중심주파수 변위폭	<15MHz	
채널주파수간격	100GHz	삼정
채널당 송신출력	<1mW	비선형효과
채널간 간섭	<20dB	
동작온도범위	0-50℃	

검토할 예정이다.

#### 가. 동기장치

국간전송망을 위한 광전송장치는 상대장치와 호환성을 가져야 하며, 따라서 SDH 또는 SONET와 같은 재개화된 구성을 가져야 한다. 다만, 광주파수 다중방식에 의한 전송장치는 현재까지의 TDM 방식에 의한 장치구성과는 다르므로 새로운 재개화된 장치 구성이 필요하다. 이러한 점에서 두가지 측면에서 다음과 같은 절대기준 광주파수의 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 한다. 즉, 다중에 관계되는 임의의 특정채널을 기준신호에 일치시킴으로써 다른 채널들의 위치가 정의될 수 있는 동기화 개념이 필요하다. 이는 광add-drop 기능이나 타 시스템과의 신호 우회(routing)시 중요한 의미를 갖는다.

절대기준광주파수를 발생시키는 방법으로는 여러가지가 있을 수 있다. 즉 Krypton 개스를 이용하여 opto-galvanic 방법으로 발생시키거나 또는 HCN이나

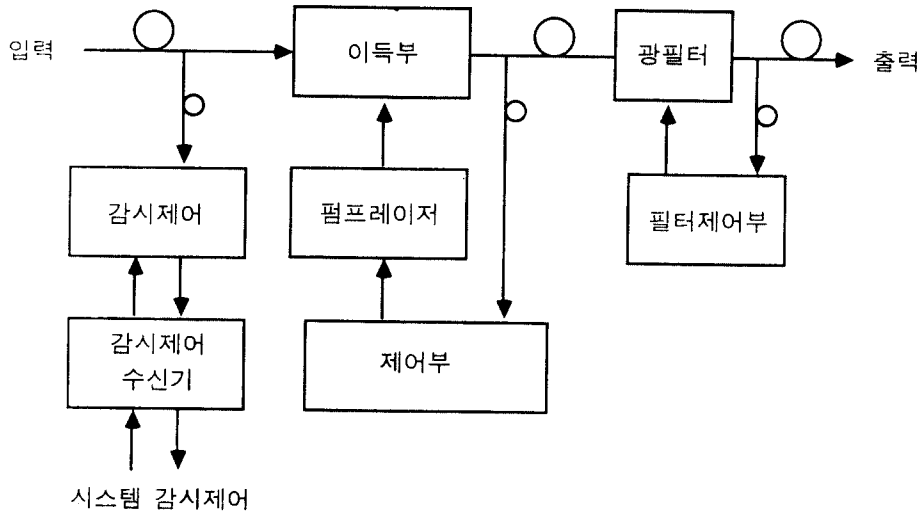


그림 4. 광전송 증폭기 모듈 기능 블록도

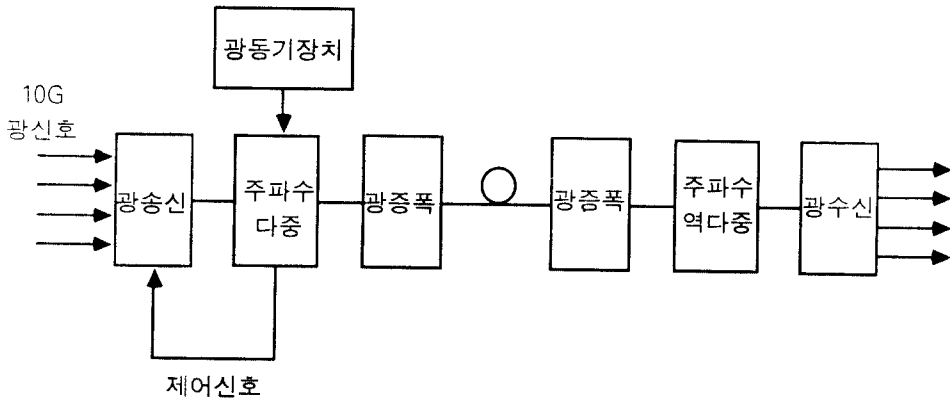


그림 5. 100Gbps 광전송 장치 구성도

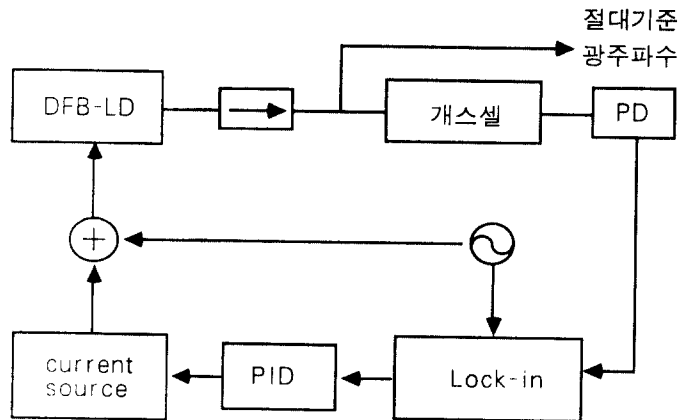


그림 6. 절대기준 광주파수 발생을 위한 블록 구성도

$13_{C_2H_2}$ 를 이용하여 분자 또는 원자 개스의 빛에 대한 흡수현상을 이용하는 방식이 있을 수 있다. 현재 ITU에서는 광과장/주파수 다중장치의 채널 표준화를 위해 이문제가 현안과제로 다루어지고 있으나, 본 장치에서는 분산천이광섬유의 영분산 값(1,550nm)에 가까운 과장(1,549nm)을 보이는  $13_{C_2H_2}$ 를 선정하였다. (그림 6)은 이러한 방법으로 구현 가능한 광동기장치 구성도로 대략 0.5~16MHz 정도의 안정도를 얻을 수 있다. 그러나 이 부분은 앞으로 논란의 여지를 갖고 있어 추후 표준화 방향에 따라 달라질 것으로 본다.

나. 송수신부

100Gbps급 전송장치의 송신부는 (그림 7)과 같이 구성된다. 다채널 전송을 위한 송신부는 신호변조에 광원의 중심과장을 이동시켜줄 수 있어야 한다. 다채널 광원으로는 1,550nm에서 동작하는 DFB-LD를 사용하며, 보드에 실장되기 전에 주어진 채널주파수 슬롯과 거의 일치하는 중심과장을 갖는 레이저가 선정된다. 각 레이저는 광주파수 다중화되기 전에 온도와 바이어스전류를 조정하여 개발안정화된다. 100Gbps 장치에 사용된 DFB-LD의 경우 전류변화에 대한 과장(또는 주파수)변위는 대략 -330MHz/mA 정도이나, 반도체 레이저의 경우 최대 변화시킬 수 있는 과장범위는 대략 10-15nm 이므로 바이어스 전류만으로 중

심과장을 정해진 채널 과장으로 이동시키는 것이 가능하다.

광신호 변조는 직접변조 방식과 외부변조 방식 둘 다 가능하다. 채널다중을 위해 레이저의 중심과장의 제이가 불가피하므로 신호변조와 독립적으로 다룰 수 있는 외부변조방식이 적합하다. 외부변조 방식은 레이저에 dc 바이어스 전류를 인가하여 일정한 과장(또는 주파수)을 갖는 빛을 발생시키고 이 빛을 외부 변조기에 통과시켜 외부로부터 길어준 신호전압에 의해 변조시키는 방법으로 최근 InP를 이용한 M-Z (Mach Zehnder)형이나 E-A(Electro-absorption)형 변조기를 DFB-LD와 함께 집적화시킨 광원모듈이 단일 칩으로 개발되고 있어 광주파수 송신용으로 사용될 전망이다.

광전송에 사용되는 외부변조기에 대한 기본적인 요구사항은 고주파 대역폭, 낮은 동작 전압, 소광비(extinction ratio), 낮은 삽입손실과 낮은 처핑을 들 수 있다. 최근 개발된 외부변조기는 2내지 4V의 전압으로 10-25dB 소광비를 얻을 수 있으며 10-40GHz의 고속변조에 적합하고, ±5nm 내에서 동작 과장에 무관한 변조 특성을 보이고 있어 10Gb/s용 변조기로 사용 가능하다.

수신부는 기존의 동기식 전송장치에서 사용되는 직접검출(direct detection)방식으로 구현된다.

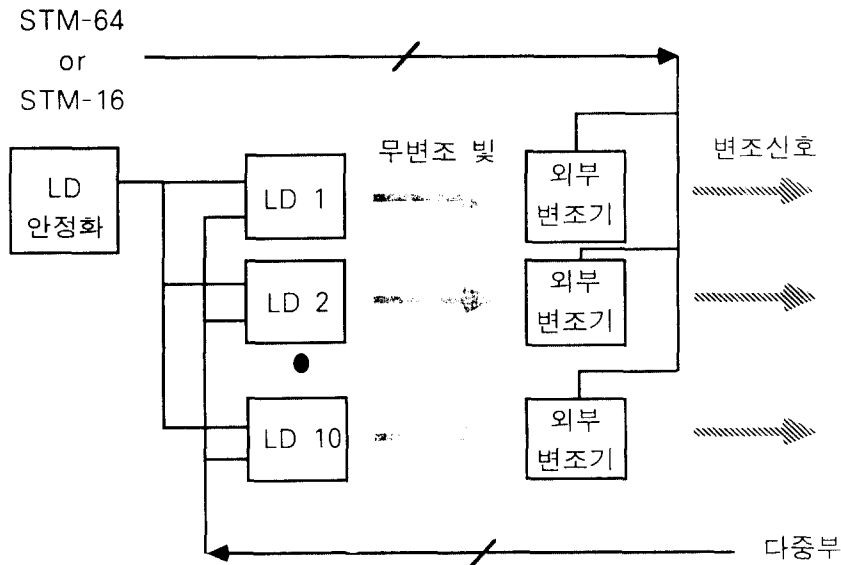


그림 7. 100Gbps 광송신기 구성도



다. 다중 및 역다중부

100Gbps 장치는 광주파수 다중방식을 택하고 있으며, 다중 및 역다중부 구성은 채널간격이 등간격이나 비등간격이냐에 따라 달라질 수 있다. 비등간격으로 채널을 설정하는 경우 4광파 혼합효과로 인한 잡음을 배제할 수 있어 시스템 구성이 단순해지는 장점이 있으나, 표준화 차원에서 볼 때 타 장치와의 접속시 문제가 된다. 현재 100Gbps 장치는 등간격 채널을 고려하고 있으며 상용하는 다중부 구성도는 (그림 8)과 같이 결합부, 주파수슬롯발생부, 로킹시스템 등으로 구성된다. 결합부는 광섬유 커플러를 사용하며, 주파수슬롯발생기는 광섬유필터의 공진특성을 이용하며, 안정된 주파수슬롯 발생을 위해 광섬유필터의 안정화는 필요하다. 일반적으로 광섬유필터를 안정화시키기 위해 사용되는 방법으로 공진기를 절대기준광주파수에 로킹시키는 방법이 있다. 로킹시스템은 각 광원의 중심주파수를 할당된 주파수슬롯에 일치시키기 위한 기능을 갖고 있다.

주파수슬롯(또는 채널간격, 여기서는 공진기의 공진주파수간의 차 = free spectral range)의 설정은 인가되는 신호가 차지하는 주파수 대역과 채널 분리를 위해 역다중부에서 사용되는 필터의 분해 능력을 고려하여 결정된다. 역다중부에 단일 파브리-페로(Fabry-

Perot) 필터를 사용하는 경우에 채널간격은  $f_c \geq 6.4B$  ( $f_c$ 는 채널간격, B는 비트율)이어야 하며, vernier tandem 방식으로 사용되는 경우  $f_c \geq 3.0B$ 가 요구된다. 다채널 전송에 따르는 crosstalk를 고려하여 본 장치에서는 채널 간격을 대략 신호가 차지하는 대역폭의 10배인 100GHz로 잡았다.

정해진 간격으로 설정된 다중부의 채널은 타 장치와의 호환성 문제로 서로 일치된 주파수 값을 가져야 하며, 따라서 각 장치의 특정 채널 주파수는 광동기장치에서 발생하는 절대기준광주파수와 일치되어야 한다. 동기화된 채널들은 역다중부에서 채널 중심 파장에 맞추어 미리 조정되어 있는 광필터에 의해 선별 추적되므로 각 노드에 사용되는 역다중부 구성을 동일하게 할 수 있을 뿐만 아니라, 동기화하는 과정에서 채널의 주파수는 절대기준주파수의 안정도(10MHz 이하)내에 유지되므로 동시에 안정도가 높은 채널슬롯을 얻을 수 있다.

다채널 광원의 중심파장을 기준공진기에서 발생한 주파수슬롯에 정렬시키기 위한 로킹시스템은 dithering에 의한 오차신호 검출방법을 사용하여 구현시켰다. 현재 이러한 기술을 사용하여 광원의 중심파장의 변동을 정해진 주파수 슬롯에 30MHz 내로 유지시킬 수 있다.

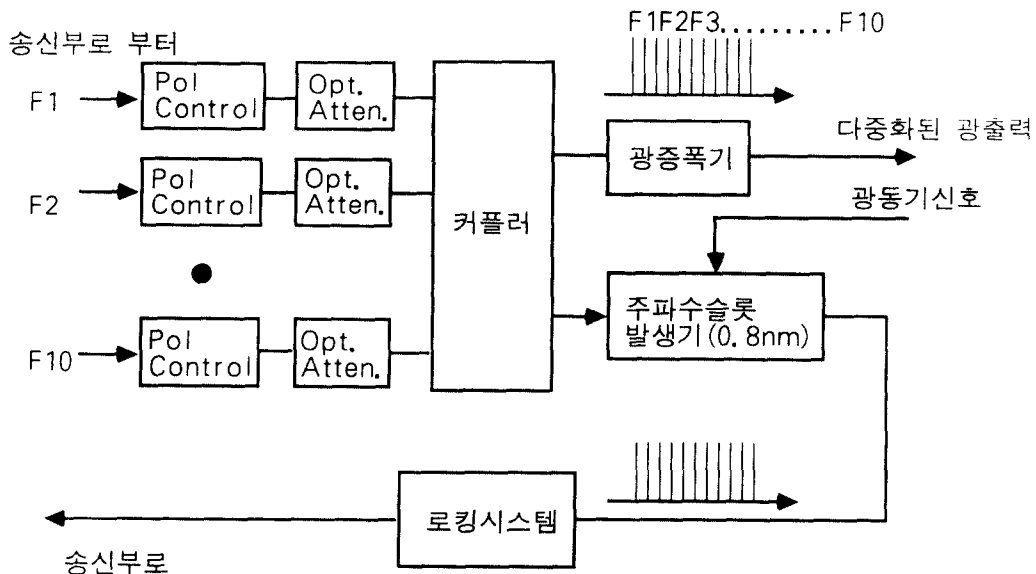


그림 8. 100Gbps 다중부 구성도

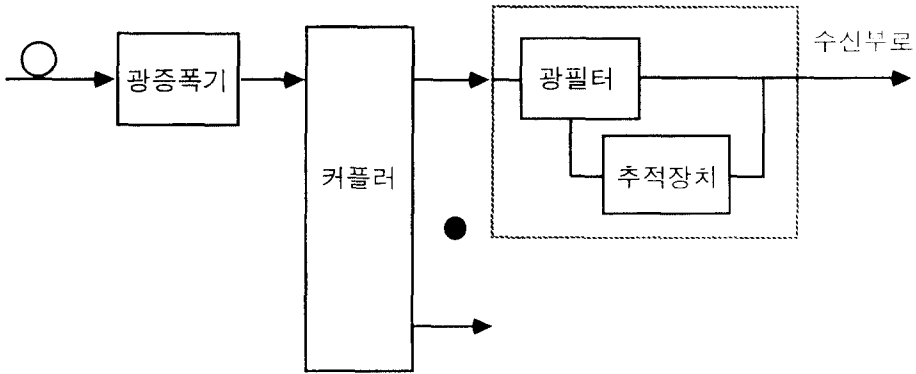


그림 9. 100Gbps WDM 수신부 구성도

역다중부의 중요한 역할은 다중화되어 들어온 채널의 분리 및 추출에 있으며, 이는 필터의 분해능과 안정성에 의해 크게 좌우된다. 현재 100Gbps급 장치에서는 광섬유필터를 사용하여 구현하고 있으며, 그 구성은 (그림 9)와 같다. 채널분리를 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 crosstalk 없이 원하는 채널을 적절히 분리하기 위해서는 고분해능

의 필터가 요구된다. 필터의 분해능을 높이기 위한 방법으로 2개의 필터를 vernier로 연결하여 사용하여, 대략 3000 정도의 피네스를 얻을 수 있으나, 2개의 필터를 동시에 변화시키야 하는 작동상의 어려움이 있다. 세부적인 튜닝은 PZT(piezo-electric transducer)를 이용하여 얻어진다. 파브리-페로 필터의 3dB 대역폭  $f_{3dB}$ :  $f_{3dB} = ESR/F$  (여기서 ESR은 공진기의 길이에 의해  $c/(2nL)$ 로 결정된다. 여기서 L은 공진기 길이, n은 매질의 굴절률)로 부터 얻어지므로 필터 선정시 전체 채널이 차지하는 대역폭을 고려하여 필터의 ESR은 이 값보다 커야하며,  $f_{3dB}$ 는 신호가 차지하는 대역폭 B

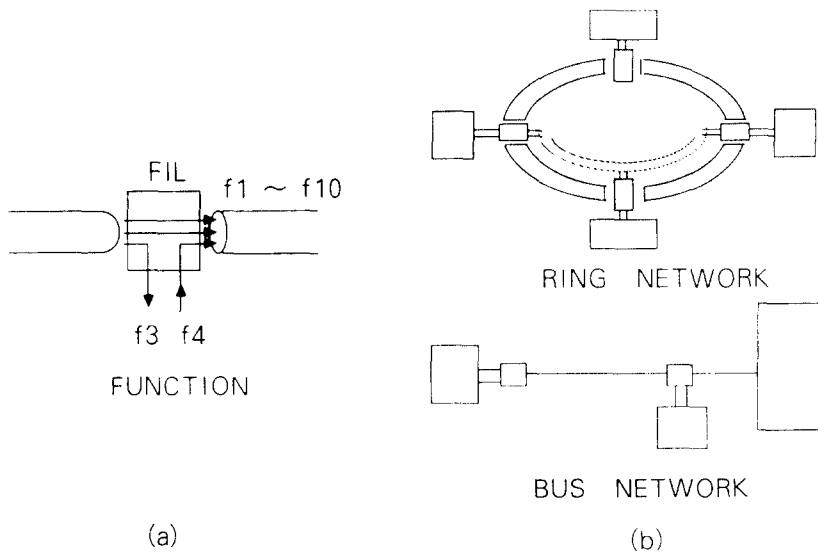


그림 10. a) 광ADM 기본 기능  
b) 링 또는 버스형 광ADM 구성

에 의해 결정되므로 채널 분리에 필요한 필터의 F를 결정할 수 있다. 송신광 주파수와 필터의 최대 투과 주파수의 drift 때문에 고밀도 광다중시스템에서는 정확한 광채널 추적과 선별기능이 요구된다.

100Gbps 장치의 분기결합기능 구현은 동기식 전송 시스템에 비해 광주파수를 자유로이 할당 및 추출할 수 있다는 점에서 쉽게 ADM 기능을 구현할 수 있다. (그림 10a)는 채널 삽입 및 추출에 대한 기본 기능을 보인 것으로 입력 광신호로부터 원하는 채널  $f_3$ 를 분리하여 내보내며, 동시에 다른 노드로부터 들어 오는 채널  $f_4$ 를 삽입시켜 상대 노드로 전송한다. 실제로 망에서는 (그림 10b)의 링 또는 버스형태로 운용되며 그 기능은 같다. 여기에 광스위칭 기능이 추가되는 경우 OXC(optical cross-connect) 시스템으로 전환이 가능하며, 서로 다른 망을 점진적으로 통합할 수 있다.

#### 사. 다채널 광증폭 기능

광주파수 다중시스템에서 사용되는 광증폭은 다채널을 동시에 균등한 이득으로 증폭시킬 수 있는 기능을 가져야 한다. 광증폭기로는 SOA와 EDFA(Erbium-doped fiber Amplifier)가 있으며, SOA는 OEIC(opto-electronic integrated circuits)화와 소형화가 가능하다는 이점이 있으나, 신호 왜곡을 초래하고 특히 다채널 전송시 증폭기 자체내의 4광파 혼합효과에 의해 crosstalk을 발생시킨다. 따라서 1,530-1,560nm 영역에서 다채널 전송을 위한 전력 및 증계증폭기로서 EDFA가 SOA보다 더 적합하다.

다채널 전송시 사용되는 광증폭기의 또 다른 주요 특성으로 균등한 대역 이득을 들 수 있는데, EDFA는 SOA에 비해 비교적 평탄한 대역 특성을 갖고 있고 특히 EDFA 내에 삽입된 광필터를 적절히 설계하여 저잡음 및 고출력과 함께 평탄한 이득 특성을 얻을 수 있으므로 다채널 전송에 유리하다.

그러나, 출력레벨, 온도 등에 대한 주의 깊은 조절 기능이 없는 한 시스템에서 요구되는 넓은 범위의 대역폭에 걸친 평탄한 이득 특성을 얻기 힘들므로 정밀한 제어 기능이 추가되어야 한다.

EDFA를 사용하는 다채널 전송시 증폭 특성에 제한을 주는 요인은 이득 포화화 및 crosstalk이며, EDFA가 이득 포화 영역에서 동작될 때 이득 불균형 현상이 초래된다. 즉, 3준위계로 동작하는 EDFA에서 바닥상태(ground state) 흡수 파장이 단파장쪽에서 더 높아 이득 피크치가 장파장쪽으로 이동하기 때문에 발생

되며, 이 현상을 피하기 위해 입력신호의 크기를 낮추어 이득 포화 아래에서 동작시켜야 한다.

## IV. 광대역 액세스 장치(B-NT)

광대역 액세스망은 대내장치에서 단국교환기까지 연결하기 위한 망을 말하며, 광전송 및 분배기술과 더불어 새로운 액세스망 개념으로 대두되고 있다. 광대역 가입자망의 성공적인 전개를 위해서는 virtual path를 비롯한 선로개념과 망 및 신호계층 개념외에 서비스 계층과 경제적 측면에서의 가격대성능비가 문제가 된다.

이를 해결하기 위한 방법으로 첫째로 전송매체, 서비스 등급 및 정보형태에 따른 여러가지 서비스를 통합하고, 둘째로 일대일 연결기능외에 일대다중 연결기능과 분산 연결기능을 포함한 연결형태를 지원하고, 셋째로 가입자 정보단말기의 고기능화와 고성능화를 지원하는 지능형 단말서비스 기능 등이 서비스 차원에서 제공되어야 한다.

본 절에서는 B-ISDN의 전개에 있어 광대역 액세스망에서 요구되는 여러가지 연결형태의 제공을 위해 예측될 수 있는 서비스 특성과 망의 기능적 요구사항을 먼저 기술한 후 B-NT 장치 개발 현황에 대해 언급하기로 한다.

#### 가. 광대역 액세스망 서비스 및 기능 요구사항

향후에 나타날 광대역서비스는 단순한 일대일 연결 서비스외에 정보공급자가 제공하는 정보검색 및 분배서비스가 크게 늘어날 것으로 예측된다. 이러한 경우 다중연결서비스와 다자간 통화서비스가 크게 증가할 것이며, 방송 분배서비스 또한 급격히 증가할 것으로 예측한다. 이와 같이 다중연결 서비스가 이루어질 때 실제로 요구되는 정보량과 전송대역폭은 소스(source)의 정보량 및 대역폭의 수배-수십배가 요구된다. 또한 분배서비스의 경우는 요구하는 수만큼의 전송대역이 요구되기 때문에 실제 소스 정보량보다 매우 많은 전송대역폭을 필요로 하게 된다. 이러한 경우 분배서비스를 위한 액세스망 구성 및 서비스 요구사항은 일대일 서비스의 경우와 다르게 된다. 다중 및 분배서비스를 위한 전송선로상의 손실 및 지연특성의 경우 가장 중요한 변수인 CDV(cell delay variance)가 더욱 크게 될 것이다. 또한 다중 및 다자간 연결로 인한 소스 트래픽의 burstness가 연결 경로 수만큼 증

가하게 되어 액세스망의 설계시 일반적인 일대일 연결서비스보다 엄격한 지연 및 손실 요구사항을 갖게 될 것이다.

이러한 다중 및 다자간 연결 및 분배서비스를 위한 액세스망의 기능적 요구사항을 보면 이는 망 운영사 요구사항과 신호 및 운영 요구사항 그리고 프로토콜 요구사항으로 구분할 수 있다. 광대역 액세스망의 전체적인 기능적 요구사항을 분석하기 위해 액세스망의 일반적인 요구사항을 보면 다음과 같다.

- Multi-party/multi-point 다중연결과 멀티미디어 서비스를 포함하는 다양한 연결형태의 수용
- 광전송 및 분배시스템을 포함하는 망 구성요소의 가격 최적화
- 망 구성형태와 무관한 다중액세스 프로토콜의 수용
- 다양한 형태의 태내장치에 대한 portability 제공
- 빠른 응답시간 및 고속처리 능력을 갖는 시스템 성능
- 리소스(resource)의 공유
- 효과적인 대역 관리 및 트래픽 제어
- 사용자에 의한 망제어 및 관리 능력 제어
- 신뢰도 및 가용도

망 운용자 입장에서 광대역 액세스망은 효율적으로 운영관리될 수 있도록 설계되어야 한다. 이를 위해 먼저 망운영자의 입장에서 볼 때 태내장치의 특성은 단말 서비스 기능, 통신프로토콜, 신호 및 OAM 기능으로 분류될 수 있다. 또한 서비스 요구사항은 대역폭, QOS(quality of service) 등급, 손실, 지연 및 지연 변수, 우선 등급 및 연결모드 등에 의해 표현될 수 있다. 이러한 망 운용자의 서비스 요구사항을 정리하면 다음과 같다.

- Multi-party/multi-point 다중 연결과 멀티미디어 채널의 제공
- 우선 등급 및 QOS 레벨 제공
- 연결형 및 비연결형 모드 지원
- 일대다 및 분산 서비스의 지원
- SDH에 근거한 고속 디지털 통신선로의 제공
- 광전송 선로의 공유
- 지리적으로 분산된 가입자를 위한 지역적인 영역의 수용
- 액세스의 공평성 유지
- 신뢰도 및 오류상태의 격리
- 확장성 및 호환성

### OAM의 편리성

#### 지리한 설치 및 유지비용

이러한 망운용 요구사항을 수용하기 위한 액세스망의 관리기능은 다음 4가지 기능으로 정리되는데 가상 연결경로 개설을 위한 VPI(virtual path identifier)/VCI(virtual channel identifier) 관리기능, 다중 및 다자간 연결을 포함한 end-to-end 연결 경로 제어기능, signalling과 CAC(connection admission control)을 포함한 대역관리기능 및 UPC(usage parameter control)/NPC(network parameter control) 및 CC(congestion control)를 포함하는 트래픽 관리기능이다.

마지막으로 지금까지의 광대역 액세스망의 도입 및 전환계획을 수립하기 위해 주요하게 고려되었던 문제점을 살펴보면, 첫째로 현재까지 분산된 가입자들을 수용하기 위한 광선로 가격이 고가라는 사실과, 둘째로 아직까지 경제적으로 가입자들에 대한 효과적인 광분배기술이 안정화되지 않았으며, 셋째로 액세스 서비스 목표와 서비스 구조가 너무 다양하고 신규서비스 형태가 지속적으로 변화할 것이라는 사실이다. 이러한 문제점들에 대한 분석을 토대로 광대역 액세스망의 도입 및 전환계획이 수립되고 있으나 아직 기술적 측면에서 미진한 것으로 보이며, 각국의 경우 이러한 문제점을 해결하고 향후의 액세스 기술을 확립하기 위해 일정한 지역에 테스트 베드를 운영 시험하고 있다.

### 나. 광대역 액세스 장치 개발

앞서 언급한 요구사항을 바탕으로 B-NT 시스템은 집중형 B-NT 시스템과 분산형 B-NT 시스템으로 구분하여 개발되고 있으며, 집중형 B-NT 시스템은 가입자 태내 장비로 가입자 측으로 STM-1급 16회선을 수용하며, 망측으로 4회선을 제공한다. 이는 4대 1 셀 다중화/역다중화 기능을 제공하고 UNI ATM 프로토콜과 광대역 신호 프로토콜을 제공하여 가입자 단말장치에서 가상 채널의 일대일 연결기능을 제공한다. 분산형 B-NT 시스템은 지리적으로 분산된 가입자를 수용하기 위한 시스템으로 가입자측으로 16회선을 제공하며, 최대 64회선까지 확장할 수 있다. 이는 분산매체 변환 기능을 제공하며, UNI ATM 프로토콜과 광대역 신호 프로토콜을 제공하며, 가입자 단말장치에 가상 채널의 일대일 연결기능 뿐만아니라 일대다중 연결기능을 제공한다.

먼저 집중형 B-NT 시스템의 주요기능을 보면 STM 1

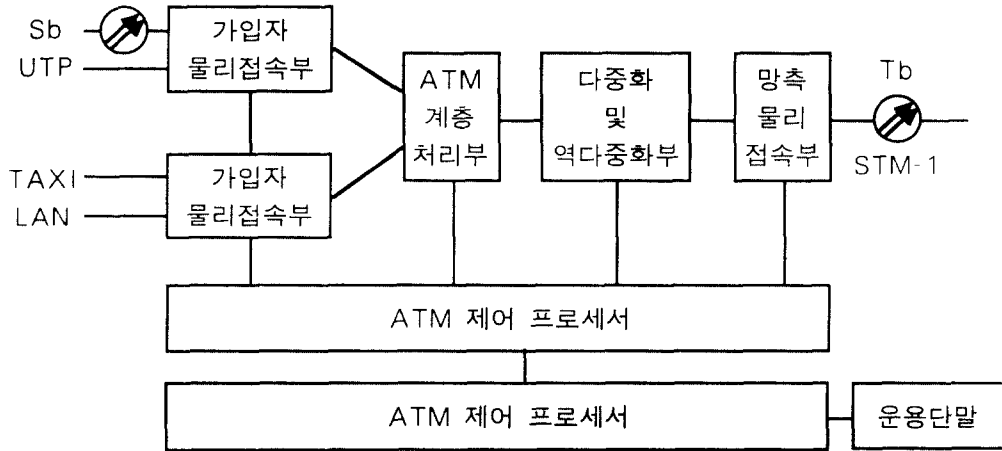


그림 11. 집중형 B-NT 시스템의 기능모델

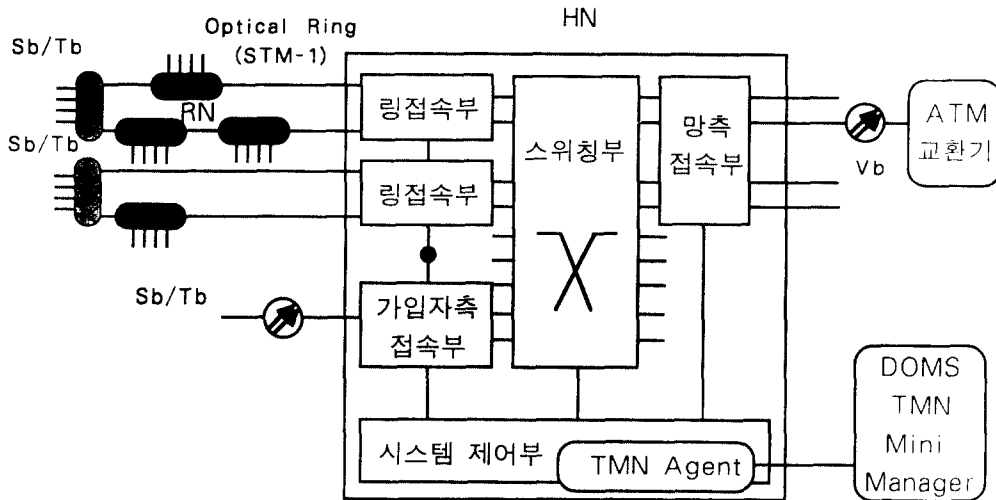


그림 12. 분산형 B-NT 시스템 구조

급(155.52Mb/s) 광선로를 사용하여 최대 16회선의 가입자 선로를 제공할 것이며, 접속기준으로 국제표준의  $S_b$  및  $T_b$  접속을 따르며, 4대1 다중 및 역다중 기능을 갖는다. 집중형 B-NT 시스템의 기능모델을 보면(그림 11)과 같다. 주요 특징을 보면 다음과 같다.

- 155.52Mbps STM-1급  $S_b/T_b$  뿐 아니라 UTP (unshield twisted pair), 100Mbps TAXI 등의 다양한 가입자 인터페이스 수용

- 4:1 셀 다중화 및 역다중화 기능
- 경제적인 시스템 구성
- 공중망 및 사설망에서 ATM 접속기능 제공

집중형 B-NT 시스템의 구성은 8가지 형태의 보드로 모두 32장의 보드로 구성되며, 4:1 집선능력 뿐만 아니라 16x16 로컬 스위칭 능력이 있다.

다음으로 분산형 B-NT 시스템(DANS)으로 집중형 B-NT 시스템의 ATM 프로토콜 기능외에 분산형

성을 위한 ATM 레벨의 링 절체 기술과 8x8 ATM 스위칭 ASIC이 개발되었다. 분산형 B-NT시스템의 주요 특징을 보면 다음과 같다.

- 집중/분산(최대 40Km)된 가입자 수용
- 노드/링크 장애에 대비한 SHR(self healing ring) 능력
- ATM 셀의 add/drop(RN : ring node) 및 로컬 스위칭(HN : head node)능력
- HN 당 최대 64개의 S<sub>B</sub>/T<sub>B</sub>포트 수용능력
- TMN 기본의 개발형 망 운용관리 능력

분산형 B-NT시스템의 구조를 보면 (그림 12)와 같이 헤드노드(head node)와 여러개의 링노드(ring node)로 구성된다. 헤드노드는 8x8 스위칭 능력을 가지며 공중망 교환기와 연결된다. 링노드는 분산형 가입자에 접속이 용이하도록 각 링노드마다 4회선의 가입자를 집선하며 헤드노드와 링 형태로 연결된다. 분산형 B-NT 시스템의 운영관리는 DOMS(distributed operation management system)이라는 운영관리 시스템을 사용하며 이는 TMN(telecommunication management network)의 manager기능과 헤드노드의 TMN agent기능을 통하여 운용된다.

분산형 B-NT 시스템에서는 효과적인 소프트웨어

개발을 위하여 virtual target 상에서 실제 환경에 가까운 소프트웨어 개발환경을 구축하였으며, 최신 object-orient기법을 사용하여 개발 중에 있다. 이는 하드웨어의 개발과 병행하여 소프트웨어 시험이 가능하므로 개발 기간이 단축된다.

한편 분산형 B-NT에 적용된 8x8 스위치 노드의 구조를 보면 (그림 13)과 같이 주요 특징은 다음과 같다.

형태 : fully Interconnected output스위치

처리능력 : 1.2Gbps

동작특성 : 마이트 단위 처리, 최대 50MHz구동

셀 형태 : 56바이트(3바이트 라우팅 태그 사용)

집중형 B-NT시스템은 4회선 형태로 개발하면서 TAXI 모드나 UTP 모드 같은 다양한 물리매체를 접속하는 기능과 국내 B-ISDN 접속 규격에 따른 일대 다중 연결 능력을 추가할 예정이다. 또한 시스템의 운영 관리가 원격지에서 집중관리가 가능하도록 SNMP (simple network management protocol)를 기본으로 한 망관리 기능을 갖게 될 것이다. 다음으로 분산형 B-NT 시스템은 self healing ring 능력을 갖는 분산형 망구성을 하게 될 것이다. 망 운영관리는 TMN을 통하여 집중 운영이 가능한 형태로 개발될 것이다.

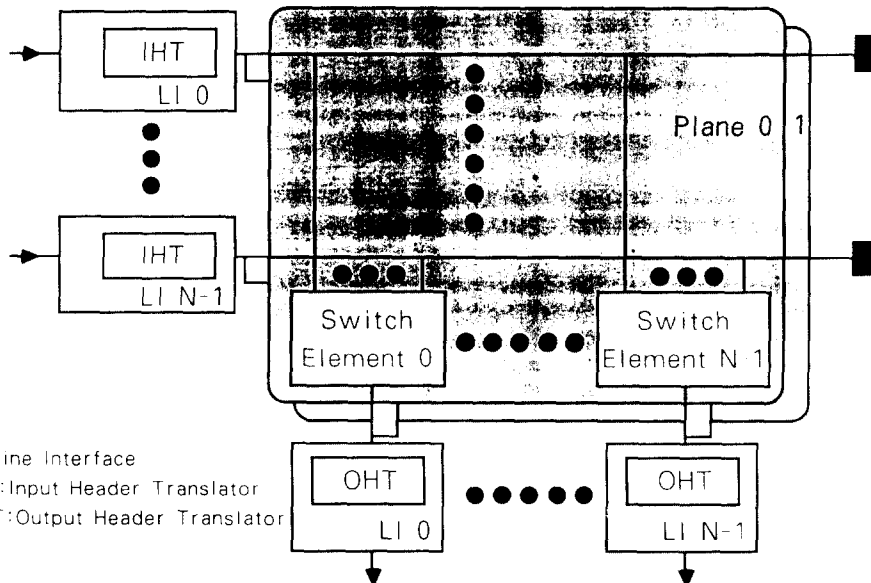


그림 13. 분산형 B-NT 내장된 8x8 스위치 노드 구조

## V. 향후계획

10Gbps 장치는 현재 다중 및 역다중부의 ASIC화가 진행중에 있으며, 광송수신기와 광증폭기로 구성된 링크실험에서 10Gb/s 신호를 전송함으로써 장거리 전송 가능성을 보였다. 1996년말에 선형 ADM 구성을 갖는 장치가 개발될 예정이다. 100Gbps급 전송장치는 1996년까지 광주파수 다중전송에 관한 핵심기술을 개발한 후 1997년에 2.5Gb/s-4채널 전송실험을 실시할 계획으로 있고, 1997년부터 본격적으로 100Gbps급 장치개발에 들어가 2001에 완료할 예정이다. B-NT 시스템은 1994년에 개발된 집중형 B-NT 1차 시작품의 기능을 확장시켜 TAXI 보드나 UTP 보드 같은 다양한 물리매체를 접속하는 기능과 국내 B-ISDN 접속 규격에 따른 일대다중 연결능력을 추가로 갖는 2차 시작품을 1995년에 개발완료할 예정이다. 또한 시스템의 운용관리가 원격지에서 집중관리할 수 있도록 SNMP(simple network management protocol)를 기본으로 한 망관리 기능을 갖게 될 것이다. 분산형 B-NT 시스템은 1995년에 1차 시작품을 완료하고 개발확인 시험을 받을 예정이며, 특히 self healing ring 능력을 갖는 분산형 망구성을 하게 될 것이다. 망 운영관리는 TMN을 통하여 집중 운영이 가능한 형태로 개발될 것이다.

현재 국내 B-ISDN 프로젝트에서는 개발된 시스템을 사용하여 서울과 대전간을 잇는 테스트베드를 구축하여 시험 운영을 할 계획을 갖고 있다. 국간전송로에는 2.5Gbps 전송장치가 우선 사용될 계획이며, 1996년말에 개발완료되는 10Gbps 전송장치로 대체되어 점차 증가하는 서비스 수용능력에 대비할 것이며, 국내 B-ISDN 망 구축이 완료되는 시점인 2001년에는 거의 모든 일반가정에서 요구하는 전송용량을 처리하기 위해 100Gbps 전송장치가 주요 구간에서 사용될 전망이다. 광대역 가입자 액세스장치는 개발완료된 CANS 1차 시작품이 '95년 4월중까지 설치완료될 것이다. 2단계 NTB가 구축되는 10월경에 국내 10여개 이상의 대학과 연구소를 잇는 테스트 베드가 구축될 예정이며, 이는 초고속선도망으로 발전되어 자연스럽게 국내 B-ISDN 망 구축으로 이어질 것이다.

## VI. 결 어

국내 B-ISDN 망에서 요구되는 전송장치에 대해 국

간전송과 가입자전송으로 나누어 장치 특성과 요구사항 그리고 향후 고려사항에 대해 살펴보았다. 10Gbps 장치 경우 외부변조 필요성과 전송거리를 높이기 위해 수신감도를 높일 수 있는 시스템 구성과 광증폭기의 설계 및 시스템 응용성을 다루었고, 그 결과 분산천이광섬유를 이용하여 외부변조방식으로 10Gb/s 신호를 전송함으로써 장거리 전송의 가능성을 보였다. 다중 및 역다중분야에서는 현재 설계단계를 지나 ASIC화가 진행중에 있다. 100Gbps 장치는 광주파수 안정화, 절대기준광주파수 개념을 비롯하여 다채널 광주파수 다중화와 관련된 핵심개발기술에 전념하고 있으며 특히 국내 표준화가 안되어 있는 다채널 전송과 관련된 표준화 방향에 대해 연구하고 있다. 광대역 액세스망의 구축을 위해서 서비스 측면의 특성과 액세스망의 기능적 요구사항을 살펴보았으며, 개발중인 집중형 B-NT시스템(CANS)와 분산형 B-NT시스템(DANS)의 개발현황을 소개하였다.

## 참 고 문 헌

1. B. Glance et al., "Densely spaced FDM coherent star network with optical signals confined to equally spaced frequencies," *J. Lightwave Technol.*, vol. 6, pp. 1170-1181, 1988.
2. N. Takachio et al., "10Gb/s-10th optical FDM transmission experiment over 300km using in-line optical fiber amplifiers and dispersion-shifted fiber," in *Proc. ECOC'93*, pp. 1-4, 1993.
3. S. Sudo et al., "Frequency Stabilization of 1.55 $\mu$ m DFB Laser Diode Using Vibrational-Rotational Absorption of  $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$  Molecules," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 1, no. 11, pp. 392-394, 1989.



이 만 섭

최 준 균

- 1982년 2월 : 서울대학교 전자공학과(학사)
- 1983년 8월 : 한국과학기술원(석사)
- 1988년 2월 : 한국과학기술원(박사)
- 1986년 6월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 근무  
통신망구조연구실(선임연구원)

- 1952년 12월 25일생
- 부산대학교 전자공학과 졸업(학사)
- 부산대학원 전자공학과 졸업(석사)
- 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 졸업(박사)
- 한국전자통신연구소 선임연구원, 광가입자연구실장  
영상통신연구실장
- 현재 광대역전송연구부부장(책임연구원)
- 45Mb/s, 90Mb/s, 565Mb/s 광전송시스템 개발
- 데이터 다중장치 개발
- 광CATV 시스템 개발
- 10G, 100G, BDOS(광대역회선분배시스템) 개발중

박 창 수

- 1955년 1월 1일생
- 1979년 2월 : 한양대학교 전자공학과(학사)
- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과(석사)
- 1987년 1월 ~ 1990년 12월 : 미국 Texas A&M University(Ph.D)
- 1982년 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 책임연구원 광  
대역전송연구부 광통신연구실장