

主題

광대역 서비스 수용을 위한 차세대 기간 전송망 구축기술

KT 김근영, 이용기, 송길호

차례

- I. 들어가며
- II. KT 기간 전송망 현황
- III. 차세대 기간 전송망 구축 기술
- IV. 맺음말

I. 서론

경쟁이 심화되고 있는 통신시장 환경에서 기간 통신사업자는 가입자계에서 빠르게 생성되는 다양한 종류의 광대역 서비스를 병목현상 없이 수용하기 위해서 유연하고 대용량화된 신뢰성 높은 기간 전송망을 구축하는 것이 필요하다.

먼저, 기간 전송망의 유연성은 정형화된 SDH 전송 계위에서 벗어나 기존의 망 구조를 그대로 유지하면서 다양한 대역폭을 갖는 신호를 효율적으로 수용할 수 있는 NG-SDH(Next Generation SDH) 기술에 의해 구현될 수 있다.

또한, 기간 전송망의 대용량화는 10G급 이상의 용량을 갖는 SDH 장치나 2.5G 또는 10G의 채널 속도를 갖는 수십 채널을 각각 파장이 다른 광반송파에 실어 광학적으로 다중화한 후 한 가닥의 광섬유를 이용하여 전송시키는 파장 분할 다중화 방식(Wavelength Division Multiplexing: WDM)을 적용함으로써 이룰 수 있다. 그리고, 기간 전송망의 높은 신뢰성은 단순히 대용량 전송 링크만을 제공

하는 WDM 전송로 상에 고속 신호에 대한 분배 접속 기능을 갖는 OXC(Optical Cross Connect)를 도입으로써 확보될 수 있다.

이와 같이 유연하고 대용량화된 신뢰성 높은 기간 전송망을 구축하는데 필요한 새로운 기술은 부분적으로 이미 적용되고 있거나 적용 검토 중에 있다. 일례로, NG-SDH기술 기반의 멀티 서비스 통합장치(Multi Service Provision Platform: MSPP)를 이용한 기간 전송망 구축이 일부 진행되고 있다. 비록 현시점에서는 적용될 징후가 보이지는 않지만 40G SDH 장치와 수 테라급의 용량을 갖는 WDM 장치가 상용화되고 있음을 고려하면 기간 전송망 대용량화를 위한 인프라는 이미 마련되어 있고 단지 적용시기에 대한 검토만 남아 있음을 짐작할 수 있다. 또한, 고속 회선 증가 추세와 사업 환경의 변화를 고려한 OXC의 탄력적인 적용을 위해 수 백 기가급의 용량을 갖는 OXC 도입 시기에 대한 검토가 진행 중이다.

본 고에서는 KT 기간 전송망 현황을 살펴보고 가입자계에서 발생하는 광대역 서비스를 효율적으로 수

용할 수 있는 기간 전송망 구축에 필요한 NG-SDH, 40G ETDM, CWDM, 테라급 DWDM, OXC, 차세대 광섬유 기술 개발동향에 대해서 알아본다.

II. KT 기간 전송망 현황

기간 전송망은 다양한 대역폭을 갖는 SDH와 WDM 전송로의 집합체이며 각 전송로는 전송장치로 구성된 노드 및 노드와 노드 사이를 연결하는 광케이블로 구성되어 있다. 개별적으로 구축된 전송로 내부는 다양한 크기와 용도를 갖는 회선이 수용되어 있으며, 한 전송망에서 시작한 회선은 구축된 전송로의 활용률을 최대한 높이기 위해 고속의 전송로로 집선된 후 두 개의 전송망이 교차하는 지점에 위치한 회선분배접속장치(Digital Cross Connect: DCS)를 통해 목적지 전송망으로 분배된 후 설정된 목적지의 노드 장치 내에서 끝나게 된다.

먼저, 기간 전송망은 망 구조의 단순화와 운용관리 효율을 높이기 위해 시내국간과 시외국간, 수용국과 집중국 등의 계층화된 구조로 구축되어 있고, 신뢰성과 안정성 확보를 위해 루트 이원화, 노드 이중화, 1+1 구조의 SDH 고속부 이중화, 광케이블 다원화 경로 포설 등의 원칙 하에 설계되고 있다. 그리고, 각 계층내의 망 구조는 다시 트래픽과 초기 투자비용을 고려하여 트래픽 증가율이 적은 구간은 경제적 망 구축이 가능한 환형망 형태로, 트래픽이 급증하는 구간은 초기 투자비용이 큰 단국형 형태로 구성된다.

전송장치 용량 측면에서 보면 2000년도까지는 2.5G 장치가 주력기종으로 SDH 전송망이 구축되었으나 ADSL 수요 증가에 따른 STM-1급 회선증가, 메트로 이더넷과 IP-VDSL 활성화로 GbE 회선수요 증가, 무선 통신 활성화로 무선 기지국에 대한 STM-1급 회선 공급수요 증가, 교환기 통합으로 인한 STM-1급 회선 증가 등으로 인해 10G 전송로가 회선 집중구간을 중심으로 구축되고 있다. WDM 장치는 1998년 이후부터 2.5G급 이상의 코넷 전송

로 구축에 주로 적용되고 있으며, 5대 도시간은 완전 그물망, 주변 인접도시는 2.5G급 SDH 환형망이 중복으로 설치된 구간을 중심으로 OADM 환형망, 시내 지역은 Metro WDM을 이용한 단국 및 환형망 구조로 구축되어 있다.

회선 측면에서는 PSTN과 T1/E1급, FT1급 이하의 저속 전용회선에서 STM-1급 이상의 고속 전용회선 위주로 서비스가 전환되고 있다. 최근 KT는 점진적으로 증가하는 기가급 이더넷 회선과 비록 산발적이지만 ESCON, Fiber Channel등 전산망 백업용 수요가 발생시 이를 수용하기 위해 dark 파이버, MSPP, 메트로 WDM을 이용한 전송로를 구축하고 있다. 특히 GbE에 대한 전송로 구축방안은 고객의 요구, 가용 코어 여부, 서비스 신뢰성확보 정도, 회선당 단가 등을 고려하여 적정 기술이 선택되고 있다.

분배 접속망의 형태를 살펴보면, 음성과 저속 전용회선 서비스에 적합한 narrow band급(DS-0)급 스위칭이 가능한 N-DCS, wideband급(DS-1)급 스위칭이 가능한 W-DCS, broadband 밴드(DS-3)급 스위칭이 가능한 B-DCS 장치를 이용하여 계층화된 구조로 이루어져 있다. 현재 운용중인 DCS는 최대 STM-4급의 입출력 인터페이스를 갖고 있으므로 WDM 전송로 접속을 위해서는 인터페이스용 SDH 장치가 필요하고, 스위칭 용량이 적어 회선 증설시 추가적인 시스템 설치에 따른 상면적 소모와 DCS간 불필요한 내부 고속 연동회선, DS-3급 비동기 인터페이스, 저속 스위칭 단위 등의 고속의 신규 서비스 수용에 부적합한 문제를 갖고 있다. 따라서, VC-4급 이상의 스위칭 용량을 갖고 GbE등 고속 신호를 바로 접속할 수 있는 수백 기가급의 대용량 고밀도 회선분배접속 장치인 OEO OXC와 시기적으로 이르지만 파장단위를 하나의 스위칭 계위로 볼 수 있는 전광 OXC에 대한 검토가 이루어지고 있다.

기간 전송망의 주 전송매질로는 단일모드 광섬유(SMF)가 이용되고 있으며 가입자 서비스 전송대역

의 광대역화로 가입자 구간까지 광케이블이 공급되고 있다. 급속한 인터넷 보급과 함께 공급된 dark 파이버 방식의 GbE 전송로 때문에 특정 구간에서는 광코어 부족 현상이 있었으나, 전반적으로 전송장치의 대용량화, SDH와 WDM의 고속 전송로를 활용한 GbE 전송로 구축 등으로 광코어 수요는 점차 둔화되고 있다. 또한, 전송로 고속화에 따른 광선로 품질확보를 위해 현 SMF의 규격 강화와 더불어 차세대 광섬유에 대한 요구가 증가하고 있다.

Ⅲ. 차세대 기간 전송망 구축 기술

앞 절에서 언급한 바와 같이 KT의 기간 전송망은 음성위주의 저속급 회선에 대해 최적의 서비스가 제공될 수 있도록 구축되어 왔다. 그러므로, 현재 기간 전송망은 급증하는 데이터 기반의 고속 회선 전송에 필요한 망의 유연성, 트래픽 양의 증가에 따른 대용량화, 신뢰성 등이 부족함을 알 수 있다. 따라서, 기간 전송망에서 갖추어야 이러한 요구사항을 해결할 수 있는 차세대 기간 전송망 구축 기술로 KT가 고려하고 있는 기술은 NG-SDH 기술, 40 ETDM, CWDM, 테라급 DWDM, OXC, 차세대 광섬유 기

술이 있다.

1. NG_SDH 기술

기존의 정형화된 SONET/SDH 계위는 음성 위주의 망 구축에는 적합하지만 트래픽의 대역폭이 가변적인 고속 데이터 회선을 수용하기에는 부적합하다. 따라서, 기존의 SONET/SDH 프레임 구조를 그대로 이용하되 다양한 속도를 갖는 데이터 회선을 효율적으로 집선할 수 있고, 서비스 도중 대역폭 가변이 가능하며 클라이언트 신호 종류와 무관하게 표준화된 매핑 절차를 사용하여 망의 유연성과 효율을 증대시킬 수 있는 가상연접기술(Virtual Concatenation: VC)[1], LCAS(Link Capacity Adjustment Scheme)[2], GFP(Generic Framing Procedure)[3]의 NG_SDH 기술이 표준화되고 있고 이를 이용한 MSPP 장치가 상용화되고 있다.

가. Virtual Concatenation (VC)

가상연접(VC)은 기존의 획일적인 연결방식(contiguous concatenation)을 완화시켜 Fast

표 1. contiguous 연결 방식 대비 가상연접 방식의 대역폭 활용을 비교

SDH				
서비스/ Bit rate	without concatenation	contiguous 연접	VC-12 가상연접	VC-3/4 가상연접
Ethernet/ 10 Mbit/s	VC-3 20%		VC-12-5v 92%	
ATM/ 25 Mbit/s	VC-3 50%		VC-12-12v 96%	
Fast Ethernet/ 100 Mbit/s	VC-4 67%		VC-12-46v 100%	VC-3-2v 100%
ESCON/ 200 Mbit/s	수용못함	VC-4-4c 33%	수용못함	VC-3-4v 100%
Gigabit Ethernet/	수용못함	VC-4-16c 42%	수용못함	VC-4-7v 95%

Ethernet, 기가비트 이더넷, ESCON, FICON 등 다양한 대역폭을 갖는 신호를 수용하기 위해 새로이 표준화된 연결방식이다. Contiguous 연결방식에서는 가상 컨테이너의 크기가 VC-11, VC-12, VC-2, VC-3, VC-4, VC-4-Xc(X=4,16,64,256)로 제한되어 IP 데이터를 수용하기에는 대역폭 낭비가 심하고 경로의 크기를 재설정하기 위해서는 절체 후 grooming을 다시 해야 되므로 서비스 도중에 대역폭을 가변하는 것이 불가능하다. 반면, 가상연접은 가상 컨테이너의 크기를 VC-11-Xv(X=2, ..., 28), VC-12-Xv(X=2, ..., 21), VC-2-Xv(X=2, ..., 21), VC-3-Xv(X=2, ..., 256), VC-4-Xv(X=2, ..., 256)로 세분화함으로써 다양한 크기를 갖는 IP 데이터를 대역폭 낭비 없이 SONET/SDH 프레임에 수용할 수 있다. Contiguous 연결 방식 대비 가상연접 방식의 대역폭 활용률을 표 1에 나타내었다.

contiguous 연결은 연결된 프레임이 네트워크 내에서 한 덩어리로 스위칭 되거나 분기결합 되지만, 가상연접은 경로 overhead내 H4, K4 바이트를 이용하여 프레임간에 상호관계를 정함으로써 각 프레임은 네트워크를 통해 독립적으로 움직이고, 단지 경로

가 끝나는 노드에서만 가상연접 기능을 처리할 수 있으면 된다. 즉, 기존 SDH 망을 그대로 유지하고 경로가 끝나는 노드에만 가상연접 기능을 갖는 SDH 장치를 설치함으로써 망을 upgrade시킬 수 있는 장점이 있다.

나. LCAS(Link Capacity Adjustment Scheme)

LCAS는 가상 연결된 채널의 대역폭 조절, 해지, 설정을 운용자가 EMS(Element Management System)를 통해 서비스에 영향을 주지 않고 동적으로 제어하는 망관리 프로토콜의 일종이다. 가상연접된 그룹(VC-n-Xv)내의 임의의 한 개의 VC-n의 손상으로 인한 연결된 그룹 전체가 수신측에서 제거되는 것을 방지하고, 데이터 트래픽의 특성상 주 단위 또는 일단위로 사용자와 계약한 대역폭을 가변하거나 해지 또는 설정할 필요가 있을 때, 기존 SDH 장치의 링 복구 방법 외에 사용자와의 약정에 따라 등급을 나누어 장애발생시 보호 링의 타임슬롯 수를 즉 가상 연결된 회선의 수를 다르게 줌으로써 서비스의 신뢰성을 다르게 가져갈 필요가 있을 때 LCAS

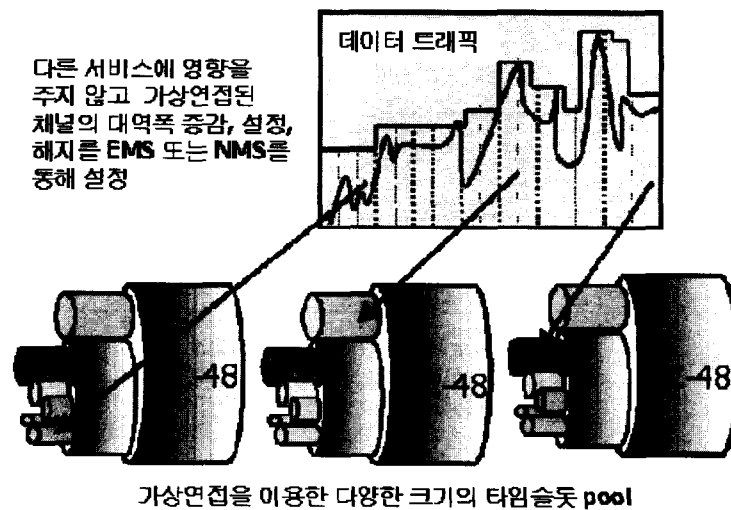


그림 1. LCAS 기능을 활용한 회선의 대역폭 증감

기능이 필요하다.

LCAS 기능을 활용하면 대역폭 증감, 설정, 해지 외에 EoS(Ethernet Over SONET) 신호에 대해 장애 또는 성능저하 발생시 이에 해당하는 가상 연결된 회선의 수를 감소시키고 장애 해제시 회선 수를 원래 상태로 복구하여 별도의 장애복구 기능을 제공할 수 있으므로 광선로의 효율을 극대화할 수 있다.

다. GFP(Generic Framing Procedure)

이더넷 신호의 QoS를 링크계층에서 보장할 수 있는 방법으로는 MAC 계층에서 RPR을 도입하거나, 이더넷을 SONET/SDH 프레임에 수용하는 방법(EoS)이 있다. EoS를 구현하는 방법으로는 이더넷 프레임의 프리앰블 바이트를 제거하고 HDLC 프레임 절차와 유사한 방법으로 프레임의 시작과 끝을 나타내는 플래그 바이트를 첨가하여 프레임화 한 다음 SONET/SDH 프레임에 매핑하는 LAPS(Link Access Procedure-SONET) 방법과 새로이 표준화되고 있는 GFP방식이 있다.

GFP는 가변 길이를 갖는 클라이언트 신호를

SONET/SDH 프레임에 매핑할 수 있는 링크 프로토콜이다. GFP 프레임은 4바이트의 코어 헤드와 8~64k 바이트 크기를 갖는 페이로드 영역으로 구성된다. 코어 헤드 4바이트 중 두 바이트는 페이로드에 대한 길이 정보를 갖고 있는 PLI(PDU Length Indicator) 필드이고, 나머지 두 바이트는 PLI에 대한 에러 체크와 교정을 담당하는 cHEC(core Header Error Control) 필드로 이루어져있다. 페이로드 영역은 데이터가 매핑 되는 영역 외에 페이로드가 제어신호인지 사용자 데이터인지를 나타내는 PTI(Payload Type Identifiers), GFP에 매핑된 데이터가 이더넷, GbE, FICON, ESCON, Fiber channel, 또는 PPP인지를 나타내는 PI(Payload Identifiers)등의 데이터 링크 관리에 필요한 4~64바이트의 가변 길이를 갖는 페이로드 헤드로 구성된다. GFP는 페이로드에 클라이언트 신호가 매핑되는 방식에 따라 IP/PPP/HDLC 또는 10/100M 이더넷의 프리앰블이나 플래그 바이트를 제거한 나머지를 GFP 페이로드 내에 한번에 매핑시키는 Frame Mapped 방식과, 8B/10B 코딩된

	LAPS (Link Access Procedure SDH)	GFP (Generic Framing procedure)
구현 방식		
차이점 (프레임요소)	Flag 바이트	길이정보 바이트 + HEC 기능
Client 신호	Ethernet MAC	Ethernet MAC, IP/PPP, GbE, ESCON, Fiber Channel
Idle 프레임	7E 바이트	제어 프레임
특징	바이트 스택핑 (7E → 7D)	QoS 지원

그림 2. EoS 구현 방법 비교

Fiber channel, ESCON, FICON, GbE를 특정 블록 코드(64B/65B)로 다시 매핑한 후 주기적이고 고정된 길이의 GFP 프레임에 매핑시키는 Transparent 매핑방식으로 구분된다.

HDLC나 LAPS와 GFP의 가장 큰 차이점은 프레임을 인식하는 방식으로 전자는 특정한 플래그 바이트를 첨가하므로 페이로드의 모든 바이트를 읽고 플래그 바이트와 동일할 경우는 바이트 서터핑 과정을 거쳐야 되므로 속도가 높아질 경우는 구현이 어려워 QoS 보장이 어렵다는 단점이 있고, 후자의 경우는 프레임의 길이 정보를 갖는 바이트를 삽입하므로 속도와 무관하게 다양한 크기의 클라이언트 신호를 수용할 수 있다는 장점이 있다.

2. 40G ETDM(Electronic Time Division Multiplexing) 기술

채널속도 40Gbps를 갖는 ETDM신호는 그림 3와 같이 40G SDH, 40G 인터페이스를 갖는 OEO OXC, 40G POS 인터페이스를 갖는 라우터 및 WDM에 대한 종속신호로 사용될 수 있다. 40G

SDH 장치는 기존 2.5G, 10G 장치와 용량적인 차이를 제외한 나머지 망 구축방법, 운용 관리방식 등은 동일하다. 국사내 부족한 상면적을 확보하고 장치 대용량화에 따른 효율적인 망관리를 위해 40G SDH 장치는 STM-1/4/16/64급의 종속신호를 집선하고 각각에 대해 완전분기가 가능해야 된다. 즉, 한 개의 랙에서 256개의 STM-1 신호를 분기할 수 있도록 고밀도화된 인터페이스를 갖고 있어야 된다. ITU-T의 G.691, G.693, G.707, G.709와 OIF에서는 채널속도 40G를 갖는 SONET/SDH 시스템 또는 라우터 인터페이스 개발에 필요한 광학적/전기적 특성에 관한 표준화를 진행하고 있다. 특히, G.693은 인터라 오피스에 적용될 수 있는 40G 인터페이스에 관한 규격을, OIF는 40G 신호를 하나의 광코어를 이용하거나 또는 여러 개의 광코어로 나누어 단거리 전송할 수 있는 VSR(Very Short Reach)-5 인터페이스에 대한 규격을 제정하고 있다. 루슨트에서는 40G SDH 장치와 40G 인터페이스를 갖는 OEO OXC를 사용화 하고 있지만 전반적으로 40G 수요 미흡, 고가의 소자 가격, PMD 보상과 같은 해결해야 될 기술적인 문제 등으로 인해 상용화가 늦어지고




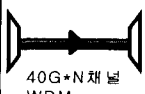
	적용범위	신호형태	신호속도	요소기술	표준화	상용화
 (40G SDH)	40G SDH 장치의 고속부 저속신호 집선기능	SONET/SDH	저속부: STM-1/4/16/64, GbE, 10GbE 고속부: STM-256	송수신 기술 분산보상 (PMD 보상)	ITU-T G.691 G.693 G.959	Lucent
 (O-E-O OXC)	O-E-O OXC 인터페이스 회선분배기능	SONET/SDH	인터페이스 종류: STM-1/4/16/64/256, GbE, 10GbE 스위칭단위: VC-4, (STS-1)	송수신 기술 (분산보상)	ITU-T G.691 G.693 G.959	Lucent
 POS(router/switch)	라우터/스위치 인터페이스 대용량 데이터 신호를 고속의 SDH신호로 프레임	Packet over Sonet(POS)	저속부: IP 고속부: STM-256C	프레임 기술	OIF VSR-5	없음
 40G*N채널 WDM	40G*N채널 WDM의 종속신호	SONET/SDH Packet over Sonet(POS)	종속: STM-256/256C 고속: 40G*N	송수신 기술 분산보상 PMD 보상 증폭기술 에리정정기술	G.692	Lucent

그림 3. 40G ETDM 적용 영역

있는 추세이다.

3. CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)

CWDM은 저가의 광소자를 사용하여 GbE, CATV, FTTH-PON, ESCON, Fiber channel 등의 서비스를 프로토콜에 투명하게 수용하여 수 km에서 최대 20km 미만의 점대점 망 구축에 적용될 수 있는 WDM 기술이다. 장치 가격을 낮추기 위해 광증폭기는 사용하지 않고 TEC (Thermal Electric Cooler)가 없는 uncooled 레이저를 CWDM 광원으로 사용하고 외부환경 변화에 영향을 크게 받지 않도록 특성을 완화시킨 파장다중화 필터를 사용한다. 반도체 레이저의 온도에 따른 파장변이가 0.1~0.08nm/°C이므로 옥외지역에 설치된 CATV나 WDM-PON용 ONU의 경우 온도가 0°C~50°C까지 변화하면 25°C에 광원의 파장을 고정시키는 것에 비해 4.5~5nm 정도의 파장변이 발생한다. 따라서, CWDM에 사용되는 필터는 넓은 투과 대역폭을 가져야 되며 이는 필터의 FOM (Figure of Merit, 투과대역 대비 skirt 대역의

비)을 낮추어 제조 가격을 떨어지게 하는 역할을 한다. CWDM 광원으로는 전송거리와 사용 광섬유에 따라 다르게 선택될 수 있지만 1310nm 또는 1550nm 대역의 uncooled DFB, uncooled FP, 850nm 대역의 VCSEL이 사용될 수 있고 변조방식은 직접변조 방식이 사용된다.

CWDM에 있어 광원의 파장 선택은 장치의 가격과 직접 관련되어 있으므로 매우 중요하다. ITU-T에 제한된 파장은 1260nm~1625nm 대역에서 20nm~25nm 간격으로 최대 16 파장 사용을 권고하고 있다. IEEE 802.3ae에 10GbE에 적용될 CWDM 파장으로 O 밴드 내 1275.7nm 파장에서 1349.2nm까지 25.5nm 간격으로 4채널 사용이 제한된 바 있다. CWDM 광링크 구성과 각 밴드별 사용 가능한 파장을 그림 4에 나타내었다. 기존 SMF가 1380nm 대역에서 갖고 있는 0.6dB/km 정도의 water peak 손실을 0.35dB/km 이하로 낮춘 코닝의 SMF-28 또는 루슨트의 Allwave와 같은 LWPF(Low Water Peak Fiber) 광섬유를 사용하면 E 밴드(1380~1460nm) 대역도 사용 가능하다. KT의 경우 시내외 및 모자국간에 메트로 이더넷 수용과, IP-xDSL 수용 노드국과 집중노드간에

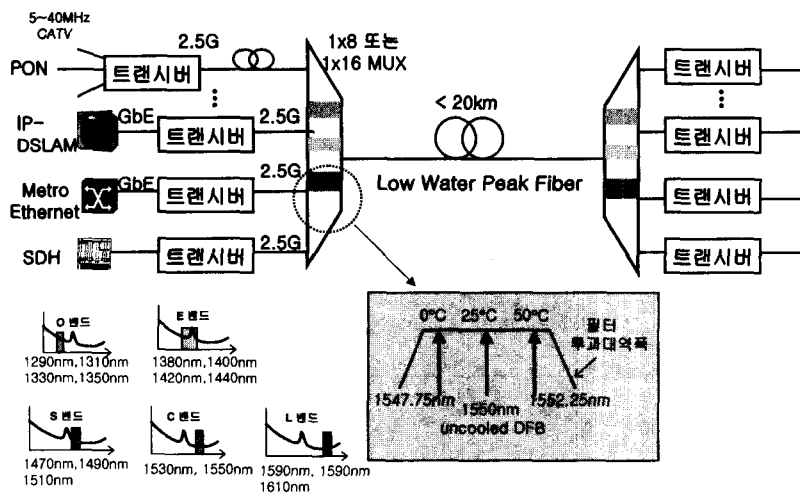


그림 4. CWDM 광 링크 구성도

멀티 레벨의 변조 방식이다. Optical duobinary 포맷은 3 레벨로 코딩을 하지만 변조된 광신호는 위상이 부호화된 것을 제외하고는 기존의 이진 신호와 동일하므로 NRZ 수신기를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다. Optical SSB는 강도 변조된 광신호 스펙트럼의 한쪽 대역만을 이용하여 전송하므로 WDM의 채널간격을 좁게 가져갈 수 있고, 분산 효과를 억제할 수 있지만 송신기를 구현하는데 어려움이 있다. PoDM 방식은 두 수직한 편광을 갖는 광신호가 서로 간섭을 하지 않는 특성을 이용하여 채널간격을 좁게 유지하여 가장 쉽게 스펙트럼 효율을 증가시킬 수 있는 방법이지만 편광상태를 일정하게 유지해야 되므로 실제 필드에 적용하기는 어려운 기술이다.

나. 라만 증폭기술

40G 전송에 필요한 OSNR을 얻기 위해서는 입력광신호의 세기를 증가시켜야 되지만, 비선형에 의한 신호 왜곡으로 인해 입력 광신호 세기 증가에는 한계가 있다. 따라서, 장거리 40G 전송을 위해서는 라만 증폭기술을 이용하여 OSNR에 영향을 미치는 잡음지수를 낮추어 필요한 OSNR 마진을 확보할 필요가 있다.

광증폭 매개체로 어븀도핑된 광섬유를 사용하는 EDFA와 달리 광선로 자체를 이득 매질로 사용하는 라만 증폭은 빛이 분자진동에 의해 산란되는 유도 라만 산란 현상을 이용한 것으로 펌프 파장에서 약 12~13THz(100nm) 떨어진 곳에 최대 이득을 나타낸다. 라만 증폭기는 다른 광대역 증폭기에 비해 펌핑 광원의 파장 선택만으로 10THz 이상의 넓고 유연성 있는 이득 대역폭을 얻는 것이 가능하고, 낮은 잡음지수 제공에 따른 OSNR 마진 확보를 통해 전송거리를 증가시키거나, 전송속도를 증가시키는 것을 가능하게 한다.

넓은 대역에 걸쳐 평탄한 높은 이득을 갖는 라만 증폭기를 구현하기 위해서는 고효율 펌프광원의 선

택, 광증폭 매개체 선택, 펌핑 방법 등이 중요하다. 라만 이득은 근본적으로 비선형 현상이므로 광증폭 매개체인 광섬유의 유효단면적이 작을수록 펌핑 효율이 증가하여 이득이 커지지만, 원래 신호와 동일한 파장을 갖고 동일한 방향으로 진행되는 이중 레일리 후방 산란도 광섬유 코어의 크기가 작을수록 크게 일어나므로 라만 증폭이득과 광섬유 코어 크기 사이에는 trade-off가 있다. 차세대 광섬유인 G.655_B 타입의 경우 기존 G.652 광섬유인 SMF에 비해 작은 코어를 갖고 있으므로 라만 증폭에 유리하지만, 현재 필드에 포설된 광섬유가 대부분 SMF이므로 분산보상 목적으로 사용되는 분산보상 광섬유를 라만 이득 매개체로 사용하는 연구가 진행중이다.

다. FEC(Forward Error Correction) 기술

WDM 전송에 적용된 FEC는 redundancy 비트를 두어 전송시 발생하는 에러를 교정하는 오류정정부호 방식으로 초장거리 전송에 따른 광신호대 잡음비 저하, 분산 및 비선형 현상으로 인한 신호의 왜곡현상을 수용할 수 있는 BER 마진을 확보하는 방법으로 해저 전송시스템에서는 오래 전부터 사용되는 방식이다. SONET/SDH 시스템이 성능 감시를 위해 사용하는 BIP-8 에러 모니터링 방법은(B1, B2 바이트) 전송된 신호의 실제 비트 에러율을 운영자에게 보여 주는 반면, FEC는 감지된 에러율 이외에 FEC 기능이 적용된 후 정정된 에러율을 보여 줌으로써 전송된 신호에 실제 얼마만큼의 성능저하가 발생했는지 알 수 있게 해준다. FEC 코딩 방법으로는 전송신호의 프레임 내에 사용하지 않은 비트를 에러 감지와 정정을 위해 이용함으로써 원래 신호와 동일한 bit rate를 갖는 in band FEC(weak FEC)와 원래 신호 이외에 6%~23% 정도의 redundancy를 두어 bit rate를 확장시키는 out of band FEC(strong FEC)의 두 가지 방법이 있다.

Out of band FEC를 사용할 경우 redun-

dancy 비트 첨가로 인한 전송속도 증가(신호 대역폭 증가)에 따른 수신기의 대역폭 증가가 필요하다. 수신기의 대역폭 증가는 잡음의 증가로 인한 전기신호대 잡음비(Q)의 저하를 가져온다.

현재 상용 시스템 및 ITU-T G.975에서는 오류 정정 부호 방식으로 약 7%의 redundancy 비트를 사용하는 Reed Soloman(255,239) 코딩 방법을 권고하고 있지만, 일부 시스템 밴드들은 SONET/SDH 오버헤드의 사용하지 않는 비트를 활용할 수 있는 BCH 코딩 방법을 고려하고 있으며, 또한 높은 코딩 이득을 얻기 위해 여러 가지 코딩 방법을 연결시키는 방법도 연구되고 있다.

라. 분산관리 기술

채널속도가 고속화 될 경우 분산에 대해 시스템이 갖는 분산 허용치는 급격히 감소하므로 전송시 반드시 색분산에 대한 보상이 필요하다. 흔히 사용되는 분산보상광섬유는 여러 파장을 동시에 보상할 수 있는 장점은 있지만, 광선로가 갖는 분산기울기를 정확히 보상하지 못하므로 수십~수백 채널이 여러 단의 DCF를 거칠 경우 최종 수신단에서 채널별로 겪는 분산값이 달라지므로 망을 정확히 설계하기 위해서는 분산기울기에 대한 보상도 필요하다.

편광모드분산과 달리 채널 당 속도가 증가할 경우

색분산에 의한 영향을 줄이기 위해 단순히 광섬유의 분산값을 매우 낮게 가져가는 것은 어렵다. 왜냐하면 전송속도가 증가됨에 따라 광수신기는 더욱 높은 OSNR을 요구하고 그에 따라 광선로에 입력되는 광신호의 세기는 더욱 커져야 되므로 광선로가 갖는 분산값이 작으면 FWM(Four Wave Mixing), XPM과 같은 비선형에 의한 전송성능 저하가 나타날 수 있기 때문이다. 따라서, 초고속 대용량 전송을 하기 위해 광선로는 적절한 분산값을 가져야 하고 그에 따른 분산보상과 분산기울기 보상, 즉 분산관리가 반드시 필요하게 된다.

분산관리 방법의 기본 원리는 비선형에 의한 신호 왜곡을 줄이기 위해 스펙간의 로컬 분산은 크게 하고, 전송로의 총 분산값은 줄여 분산에 의한 페널티를 감소시키는 것이다. 흔히 사용되는 방법으로는 광선로와 반대의 분산값을 갖는 분산보상광섬유를 주기적으로 사용하는 방법과, 광선로 자체를 서로 다른 유효 단면적과 반대의 분산값을 갖는 광섬유를 사용하여 하이브리드 형태로 만드는 방법이 있다. 초고속 대용량 WDM 장치가 설치된 선로의 일부 구간이 지장이전이나 새로운 광케이블로 대개체될 경우, OXC의 도입으로 파장단위 회선분배나 절체가 이루어져 광경로가 유동적으로 변할 경우, 채널 속도가 40Gbit/s 이상으로 고속화되어 온도에 따른 광섬유

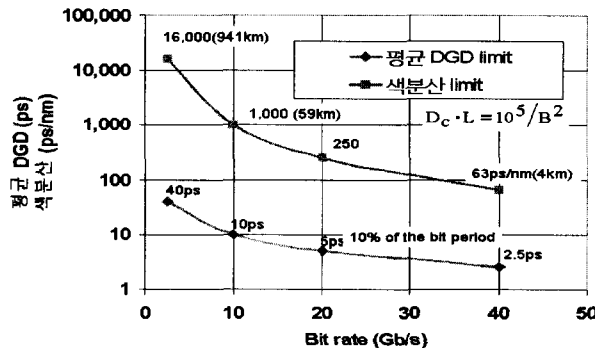


그림 6. 전송속도별 색분산과 편광모드 분산 허용치

의 미세한 분산값 변화가 시스템의 허용 분산값에 영향을 주는 경우 채널 단위의 분산관리가 필요하며 이를 위해서는 가변 분산보상법이 필요하다

5. OXC(Optical Cross Connect) 기술

전송 및 데이터 장치의 대용량화에 따라 고속 인터페이스와 고속화된 스위칭 계위를 갖는 광회선분배 접속장치(OXC)가 상용화되고 있다. OXC는 스위칭 모듈의 구현 방식에 따라 광신호를 전기적인 신호로 변환한 후 VC-4급 이상의 SONET/SDH 계위로 스위칭할 수 있는 즉 기존의 DCS와 기능적인 측면에서는 유사하지만 용량측면에서 차이점을 갖는 OEO OXC와 광신호를 파이버 단위 또는 파장 채널 단위로 스위칭할 수 있는 즉 동적인 광분기결합장치(dynamic OADM)와 유사한 기능을 갖는 OOO OXC가 있다. OEO OXC 스위치는 타임슬롯을 제어하기 위해 기존의 DCS에 사용된 TSI(Time Slot Interchange) 방식의 스위치를 사용하며, OOO OXC는 광경로를 제어하기 위해 MEMS스위치, bubble 스위치, thermo-optic 스위치 등이 사용된다.

OEO OXC는 VC-4급 이상의 단위의 스위칭과 grooming을 통해 STM-1, STM-4와 같은 저속 신호를 STM-16, STM-64, STM-256의 고속 신호로 집선함으로써 분배접속 장치에 대한 인터페이스를 위한 SDH 장치를 제거할 수 있는 장점이 있다. 반면, OOO OXC는 회선 집선은 안되지만 파장 단위로 스위칭 하므로 입력 광신호의 전송속도나 변조 포맷에 무관하게 파장 채널에 대한 경로설정을 할 수 있는 장점이 있다.

OEO OXC는 SDH 프레임을 갖는 STM-1/4/16/64/256 및 POS 신호를 수용할 경우 스위칭에 문제가 없으나 GbE 회선을 수용할 경우 내부 스위칭이 SDH 프레임의 타임슬롯 단위로 스위칭 되므로 EoS로 변환과정을 거쳐야 된다. 이 과정에서 분배

속된 신호가 다른 밴드의 분기결합 장치에서 분기될 수 있도록 즉, 타 밴드 장치간 연동성을 보장하기 위해서는 GFP와 같은 표준화된 EoS 변환방법을 사용해야 된다.

OOO OXC 구조는 입력포트의 광신호를 역다중화한 후 분산, PMD, 광증폭기 잡음 등으로 왜곡된 신호를 재생하거나 파장간의 충돌을 방지하는 방법으로 트랜스폰더를 사용하여 3R 또는 2R을 수행하는 Opaque한 구조와 파장변환기를 사용하여 전광학적(all optic)으로 신호를 재생하는 Transparent한 구조로 나눌 수 있다. Opaque한 구조는 전송속도나 신호의 포맷에 투명하지 못하다는 단점이 있지만 가장 쉽게 상용화할 수 있는 장점을 갖고 있다. 반면 Transparent한 구조의 OXC는 궁극적인 전광전달망 구축을 위해 반드시 필요하지만 현 기술로는 전광학적으로 3R된 깨끗한 신호를 재생하는 것이 불가능하므로 링크의 신호왜곡이 다음 단계 누적될 수 있는 단점이 있다. 또한 같은 파이버 링크 안에 수용된 여러 파장 채널들의 상이한 광경로로 인해 발생하는 광증폭기 내에서 채널간 이득 불균형, PMD 불균형 등을 해결하기 위해 동적인 이득 평탄화(Dynamic Gain Equalizer)기술, 가변 PMD 보상기술과 더불어 회선 경로 설정시 안정된 전송품질을 보장할 수 있는 최적화된 광경로를 선택할 수 있는 광링크 설계 기술이 필요하다.

Transparent한 구조에 사용되는 파장변환기술로는 반도체 광증폭기의 이득 포화를 이용하는 XGM(Cross Gain Modulation), 간섭계형태로 구성된 SOA내의 위상차 변화를 이용하는 XPM(Cross Phase Modulation), 광증폭기의 3차 비선형 현상을 이용한 FWM (Four Wave Mixing), LiNbO3내의 이차비선형 현상을 이용한 DFG (Difference Frequency Generation) 방식이 있다.

광경로 설정에 필요한 시그널링과 라우팅은 OXC의 제어평면에서 이루어지며, 제어평면의 기능적 요

구사항은 ITU-T의 G.ASN, GMPLS기반의 제어 평면에 대한 표준화는 IETF, 광전달망과 외부 서비스망과의 연동을 위한 규격은 OIF에서 표준화가 진행 중이다.

6. 차세대 광섬유 기술

전송성능에 영향을 미치는 광섬유의 광학적 특성으로는 손실, 분산, PMD, 비선형성이 있지만 이중 손실은 광증폭기의 사용으로 제약조건이 되지 못하며 광섬유의 비선형성은 광섬유 코어의 크기에 의해 결정된다. 기본적으로 전송용량 증대에 따른 광섬유 요구사항은 분산비용을 최소화 하면서 비선형에 의한 신호의 왜곡을 줄이도록 적정한 값의 유효단면적과 분산값을 갖도록 광섬유를 설계하는 것이다.

전송용량을 증가시키기 위해 채널속도를 40Gbit/s로 고속화할 경우 PMD와 작은 분산 허용치로 인한 엄격한 분산보상조건과 분산기울기로 인한 채널간 분산보상에 대한 고려를, 광증폭기 대역폭을 확장시켜 신호의 전송대역을 넓힐 경우 분산기울기와 S 밴드 분산값에 대한 고려를, 채널간격 좁힘에 의한 전송용량 증가 방안은 비선형에 의한 고려를 특히 해야 된다.

분산, 분산기울기, 광섬유 코어는 서로 상충된 관계가 있어 어느 하나를 줄이면 다른 하나가 증가하므로 이들 사이에 최적화된 값을 찾는 것이 중요하다. 오늘날 상용화되고 있는 WDM 전송에 최적화된 ITU-T G.655 NZ_DSF B 타입의 광섬유는 광섬유 굴절률 분포를 변경하여 ~8ps/nm/km의 분산값, ~0.065ps/nm²/km 이하의 분산기울기, 60~70 μm² 유효단면적, 0.1ps/km^{1/2} 이하의 PMD 계수값을 갖는다. 상용화되고 있는 NZ_DSF는 Corning의 LEAF, 알카텔의 Teralight, Pureguide, 루슨트의 TrueWave_RS, LG의 Dreamlight, 삼성의 UltraPass등이 있다. 이외에 1380nm 대역의 OH기로 인한 손실을 0.35dB/km이하로 낮춘 루슨트의 Allwave, 코닝의 SMT-28등의 LWPF(Low Water Peak Fiber), 직접변조 방식 기반의 Metro WDM 장치를 이용한 저비용 메트로 기간 전송망 구축에 적합하도록 1550nm 대역에서 음의 분산값을 갖는 코닝의 MetroCore와 같은 광섬유도 출시되고 있다.

비록 NZ_DSF가 기존 G.652 SMF에 비해 우수한 전송품질을 보장하더라도 현재 상용화된 NZ_DSF의 가격이 SMF에 비해 1.5~2배 정도 비싸므로 NZ_DSF 사용으로 인한 분산보상 비용 절감과 광선로 가격 상승비용을 고려한 충분한 경제성 분

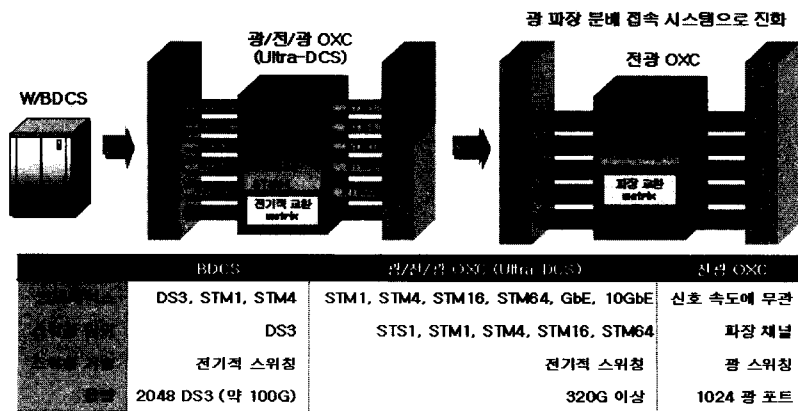


그림 7. 회선분배집속 장치 발전 추세

석이 필요하다. 이외에 특정구간만 NZ_DSFG가 있는 전송링크를 사용하여 전송로 설계시 문제점. 이 구간에 대한 양방향 OTDR 손실측정에 따른 경제적 시간적 손실을 고려해야 한다. 또한, NZ_DSFG는 C/L 밴드 WDM 전송에 최적화 되도록 만들어져 있으므로 CWDM 파장이 사용할 O, E, S 밴드에서는 기존 SMF 광섬유에 비해 전송품질이 떨어질 수 있다는 점도 고려되어야 한다.

IV. 맺음말

본 고에서는 KT 기간 전송망 현황과 광대역 데이터 트래픽 수용을 위한 유연하고 대용량화된 신뢰성 높은 기간 전송망 구축에 필요한 NG_SDH, 40G ETDM, 테라급 DWDM, OXC 및 차세대 광섬유 기술에 관한 기술동향을 살펴보았다. 기간 전송망의 유연성을 확보하기 위해서는 NG-SDH 기술이, 대용량화된 기간망 구축을 위해서는 40G ETDM, 테라급 DWDM 기술이, 기간 망의 신뢰성 확보를 위해서는 OXC 기술을 확보할 필요가 있다.

현 단계의 기간 전송망 분야 사업 환경을 고려할 경우 각 기술의 적용시점을 다음과 같이 나눌 수 있다. 먼저, 메트로 이더넷과 IP-VDSL 서비스 증가로 수반되는 GbE 회선 수요를 효율적으로 수용할 수 있는 기간 전송망 구축에 가장 필요한 기술은 NG-SDH 기술과 OEO OXC 기술이다. 나머지 40G ETDM, 테라급 DWDM, OEO OXC, 차세대 광섬유 기술은 통신환경 변화와 기술적 발전 추이를 면밀히 검토한 후 단계적으로 기간망 구축에 적용하는 것이 바람직하다. 특히, 40G ETDM 기술과 테라급 DWDM 기술의 경우 많은 통신 사업자와 시스템 벤더들이 40G 시스템 출연 자체에 대해서는 의심을 하지 않지만, 그 시기와 적용범위에 대해서는 여전히 논란의 여지가 남아 있다. 그러나, 광케이블 소모량을 줄이고 광섬유가 제공하는 대역폭을 최대한 활용하여 고속 전송로를 구축할 수 있다는 측면에서

40G SDH 장치와 채널속도 40G WDM 장치를 이용한 테라급 기간 전송망 구축은 반드시 이루어질 것이므로 지속적인 검토를 통해 사용자 요구사항을 정립하는 것이 바람직하다.

또한, OXC 기술 중 OEO OXC는 SDH 장치 대개체 및 회선 집선화, 상면적 절감 등의 요인으로 시내외 집중구간 메쉬망 구축을 위해 현실점에서 사업화가 필요하며, OEO OXC는 SDH 장치의 전국적인 포설 이후 BDCS가 운용된 것처럼 WDM 기반의 망 구축이 전국단위로 충분히 성숙한 시기에 도입검토가 이루어져야 할 것이다.

광선로는 현재 다소 침체된 광전송 장치 시장의 추세를 반영하면 SMF 광섬유에 대한 규격강화를 통해 광전송장치 고도화에 대비를 하고, NZ_DSFG에 대해서는 지속적인 관심을 갖는 것이 바람직하다. 이와 더불어 기포설된 광선로에 대해 손실, 반사손실 외에 분산, 파장별 손실차, PMD 등의 광학적 특성에 대한 품질관리가 필요할 것으로 생각된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 본 고에서 언급한 기술을 모두 적용하여 기간 전송망을 구축하는 것은 시기적으로 이르지만 급변하는 통신시장 여건과 전광전달망 조기 구축을 고려한다면 이러한 기술과 기술 적용을 위한 제반사항에 대한 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] ITU-T Recommendation, G.709/Y.1331, "Interfaces for the optical transport network(OTN)"
- [2] ITU-T Recommendation, G.7042/Y.1305, "Link Capacity Adjustment Scheme for Virtual Concatenated Signals"
- [3] ITU-T Recommendation, G.7041/Y.1303, "Generic Framing Procedure"

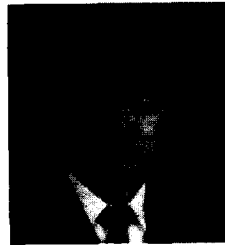
- [4] Fabrizio Forghieri, "RZ versus NRZ in nonlinear WDM system", IEEE Photon. Technol. Lett., vol.9, no. 7, pp. 1035, 1997.
- [5] Akihide Sano et al, "Performance Evaluation of Prechirped RZ and CS-RZ Formats in high speed transmission systems with dispersion management, J. Lightwave Technol., vol. 19, no. 12, pp. 1864, 2001.
- [6] Takashi Ono, "Characteristics of optical duobinary in Terabit/s capacity, high-spectral efficiency WDM systems", J. Lightwave Technol., vol. 16, no. 5, pp. 788, 1998.
- [7] Ken-ichi Kitayama, "Highly spectrum efficient OFDM/PDM wireless networks by using Optical SSB modulation", J. Lightwave Technol., vol. 16, no. 6, pp. 969, 1998.
- [8] Yamada, Y. et al., "2 Tbit/s over 9240km transmission experiment with 0.15nm channel spacing using VSB format", IEEE, Electron. Lett. Vol. 38, no. 7, pp. 328, 2002.
- [9] R. Noe et al, "Crosstalk detection schemes for polarization division multiplex transmission", J. Lightwave Technol., vol. 19, no. 10, pp. 1469, 2001.



김근영

1987년 3월~1994년 2월 경북대학교 자연과학대학 물리학과 학사, 1994~1996년 서울대학교 물리학과 석사, 1997년 1월~ 현재 KT 통신망연구소 광전송망연구팀 전임연구원.
(연구분야) 파장분할다중화 전송기술, 광네트워크

송기술, 광네트워크



이용기

1997년~1981년 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사:통신전공), 1981년~1985년 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학석사:통신전공), 1993년~1996년 일본 동북대학 공과대학 공학연구과(공학박사:전자공학), 1985년~현재 한국통신 통신망연구소 광전송망연구팀 전광기술 연구실장, (연구분야) 파장분할 광통신 및 디바이스 기술, 광 테스트 베드 구축기술, 광 인터넷 기술



송길호

1970년 3월~1974년 2월 서울대학교 공과대학 전자공학과 학사, 1974년 3월~1976년 2월 한국 과학기술원 전자공학과 석사, 1977년 9월~1982년 2월 한국과학기술원 전자공학과 박사, 1982년 1월~1989년 12월 금성전기(주) 연구소 개발부장, 1984년 11월~1985년 12월 M/A Com, Linkabit 사 객원 연구원, 1990년 1월~1991년 4월 금성전기(주) 연구소장, 1991년 9월 ~1994년 8월 한국통신 선로기술연구소 선로기술개발부장, 1994년 8월~1996년 1월 한국통신 시스템 개발센터 전송방식 연구팀장, 1996년 1월~1997년 12월 한국통신 전송기술연구소 가입자연구실장, 1998년 1월~1998년 12월 한국통신 연구 개발본부 기술조사팀장, 1999년 1월~1999년 6월 서울대 KT-MBA 과정 수료, 1999년 7월~현재 한국통신 통신망연구소 광전송망연구팀장