

광통신 기술

沈昌燮, 姜玟鎬, 李一恒

韓國電子通信研究所 通信情報技術研究團

I. 서론

광학기술(photonics)의 응용분야 중에서 현재 가장 연구활동이 활발하고 또 앞으로 우리 생활에 큰 영향을 줄 분야는 광통신 분야일 것이다. 광통신 기술은 기존의 통신기술과 광기술이 결합되어 커다란 기술혁신을 이룩한 대표적인 경우로서, 광통신기술은 현재에도 공중통신망의 일부인 전화국간 중계전송, 장거리 시외전송, 대륙간 해저통신 및 근거리 지역 통신망 등의 분야에 넓게 쓰이고 있을 뿐만 아니라, 향후도 래할 정보화사회의 하부구조가 될 것으로 예견되는 종합정보통신망(ISDN)의 구축에도 크게 기여할 것으로 판단된다.

이렇듯 중요성을 더해가는 광통신 기술도 그 역사는 불과 30여년에 지나지 않는다. 즉, 1960년초 최초의 레이저가 발명된 이후 이를 통신에 이용해 보고자 하는 노력이 세계 각국에서 여러 방향으로 진행되던 중, 1966년 영국의 Kao 박사가 유리섬유에 의한 광도파가 가능하다는 이론을 발표하자 광통신 연구는 광섬유 통신쪽으로 방향을 잡아 저손실 광섬유 제조 쪽으로 집중적인 연구가 진행되었다. 그후 1970년대에는 광통신 기술의 핵심인 저손실 광섬유 제조 기술과 반도체 레이저 및 광검출기 제조 기술이 미국, 일본을 중심으로 경쟁적으로 개발됨에 따라 광통신 실용화의 길을 열었다.

이후 80년대에는 이러한 새로운 광통신 기술과 기존의 PCM 기술을 결합한 광전송 시스템의 개발이 본격화 되었으며, 이와 함께 세계 각국에서 광 케이블 통신망을 본격적으로 구축함으로써 본격적인 광통신 시대를 열게 되었다.

이러한 광통신 기술은 초기에는 주로 공중통신망의 국간 광전송 시스템에만 주로 사용되었으나 점차 기술이 발전됨에 따라 대륙간을 연결하는 해저 케이블 분야와 가입자까지 광을 도입하는 광가입자망 및 사설 통신망 LAN(local area network) 등 여러분야로 활용이 확대되어 왔다. 또한 80년대 후반부터는 광통신 방식 자체에 대한 새로운 방안들이 제기되어 왔는데, 기존의 강도변조/직접검파 방식과 대별되는 새로운 광통신 방식인 코히런트 광통신 방식에 대한 연구가 진행되어 상당한 기술진보를 이룩하였다.

광통신의 기술진보는이 외에도 광신호를 직접 교환하는 광교환 기술, 광신호로 바로 증폭하는 광증폭기술 등 새로운 광통신 기술로 계속 이어지고 있다. 따라서 90년대에는 기존의 방식에 의한 고속 전송 시스템 보급 확대 및 광가입자 망의 보급도 계속 될 것이며, 새로운 광통신 방식에 대한 연구도 집중적으로 이루어질 것으로 예견된다. 이에 본 고에서는 이들을 분야별로 나누어 2장에서는 광통신의 발달과정과 광전송 기술의 현황 및 추세로 간략히 정리해보고, 3장에서는 최근 제기되고 있는 새로운 광통신 방식에 대한 연구 현황을 살펴보고자 한다.

II. 광통신 기술의 발달과정과 미래전망

1. 광통신 기술의 발달과정

광통신 기술에 대한 본격적인 연구는 1966년 영국의 Kao 박사팀이 통신용 유리섬유의 실현 가능성을 제시함으로써 시작되었다. 그 후 1970년 미국의 코닝사가 1Km당 전송 손실이 20dB인 광섬유를 최초로 제조하였고, 1976년에는 일본에서 파장 1,300nm에서 손실이

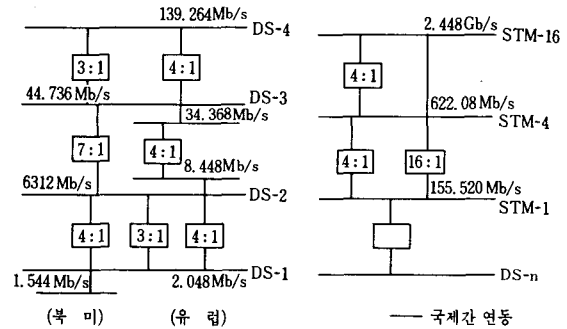
0.5dB/Km인 광섬유를 발표했으며, 1979년에 이르러서는 석영계 광섬유의 손실 이론 한계치에 가까운 0.2dB/Km (파장 1,550nm)인 광섬유의 제조가 가능하게 되었다.

저손실 광섬유의 개발과 더불어 광통신시스템을 구성하는데 필수적인 반도체 레이저 분야는 1970년 미국 AT & T사의 벨(Bell) 연구소에서 단파장 GaAlAs 레이저의 연속 발진에 성공한데 이어 1976년 미국과 일본 등지에서 장파장 InGaAsP/InP 레이저(발진 파장 1,300nm)를 개발했으며, 1980년대 초에는 1,300nm와 1,550nm 대역에서 사용 가능한 단일 중 모드 레이저(DFB-LD)가 개발됨에 따라 비약적인 발전이 이루어지게 되었다. 또한 광검출기는 1970년대 초에 단파장 Si 검출기가 개발되었으며, 광원과 광통신시스템의 개발이 장파장쪽으로 감에 따라 장파장 대역인 Ge 검출기가 개발되었으며, 최근에는 종래의 Ge 검출기보다 성능면에서 우수한 InGaAs 검출기가 상용화 되기에 이르렀다.

광섬유, 광원 및 광검출기가 비약적으로 발전함에 따라 광통신 기술은 70년 후반부터 실험실내의 실험 수준을 벗어나 본격적인 시스템 개발에 착수하여 1980년대 초에는 32Mb/s급의 광통신시스템을 상용화 하기에 이르렀다. 이어 80년대에는 미국, 일본, 유럽 제국등 통신 선진국들은 고속 광전송 시스템 개발을 본격 추진하여 전송 시스템의 전송 용량을 1.7Gb/s(음성 24,000 회선용량)까지 올리는데 성공하였다. 즉, 미국은 '88년 1.7Gb/s 고속 전송시스템을, 일본은

'89년 1.6Gb/s 시스템 상용화에 착수하여 본격적으로 통신망에 확대 보급하고 있다. 그러나 이러한 초기의 광전송시스템들은 나라나 회사마다 전송속도나 신호 format이 다른 비동기식 전송방식을 채택하고 있다. 예를 들면 미국의 경우는 그림1(a)와 같이 북미식 계위에 따라 표 1과 같이 6.3Mb/s, 45Mb/s, 90Mb/s, 417Mb/s, 1.7Gb/s 등의 속도를 갖는 전송시스템을 개발 사용하고 있으나, 유럽 국가들은 유럽식 계위에 따라 8Mb/s, 34Mb/s, 140Mb/s, 565Mb/s의 다른 전송속도를 갖는 전송시스템을 개발 사용하고 있어 상호 호환성이 전혀 없는 실정이다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 새로운 동기식 전송 방식을 국제 표준방식으로 추진하는



(a) 비동기식 계위 (b) 동기식 계위

그림 1. CCITT에서 권고된 디지털 계위

표 1. 미국의 광통신 시스템 계위

시 스템	용 량	적 용	현 상 태
FT2	6.3Mb/s	특수 국간 및 가입자선 캐리어	특 수 용
FT3	45Mb/s	대도시내 및 도시간	서 비 스 중
FT3C	90Mb/s	대도시내 및 도시간	서 비 스 중
Fiber SLC	6.3Mb/s	가입자 선로	서 비 스 중
	45Mb/s		
SL	274Mb/s	대서양 횡단 장거리 해저 케이블 비디오 local access line	가 능 성 확 인 개 발 중
Video	90Mb/s		
FT4E	132Mb/s	대도시내 및 도시간	서 비 스 중
	144Mb/s		
FT-5 (AT & T) (Rockwell)	417Mb/s	대도시간	서 비 스 중
	565Mb/s		
FT-G (AT & T)	1.7Gb/s	대도시간	서 비 스 중

노력이 계속되고 있다. 이러한 광전송시스템은 동축 전송시스템에 비해 중계거리가 길고 대용량 전송이 가능하며, 경제적인 통신 서비스가 가능하기 때문에 전화 국간 중계 및 장거리 회선에 널리 쓰일 뿐 아니라 해저 광통신, 광가입자망 등에도 활용이 적극 추진되고 있다.

2. 국내 광통신 기술 발전 과정

국내의 광통신 기술 개발은 1970년대 부터 시작된 한국전자통신연구소의 광통신시스템 개발과 한국과학기술원의 광섬유 개발로 대별된다.

광통신시스템 분야는 1978년 부터 한국전자통신연구소에서 연구에 착수한 이래 1979년 다중모드 광섬유를 이용하는 672회선 용량(45Mb/s)의 단파장 시스템의 전송실험을 성공시켰으며, 1984년에는 단일모드 광섬유를 사용하는 1,334 회선 용량(90Mb/s)의 광전송 시스템과 1988년에 8,064회선 용량(565Mb/s)의 광전송 시스템을 각각 개발하기에 이르렀다. 45Mb/s 및 90Mb/s 시스템은 현재 국내 업체들에게 기술 전수되어 한국전기통신공사의 시내외 국간 중계용으로 사용하고 있으며, 565Mb/s 광통신 시스템도 국내의 관련 기업체에 기술 전수가 마무리 되면 상용화 될 것이다. 현재는 2Gb/s급 광전송 장치를 개발 중이며, 이와 더불어 사무실 또는 각 가정에 대량의 정보를 광섬유로 전송하는 FTTH(fiber-to-the-home) 기술과 광CATV 시스템 개발을 추진하고 있다.

광섬유분야는, 한국과학기술원에서 1979년 부터 광섬유 제조 연구를 계속하던 중, 한국전기통신공사의 광통신 초기 도입 계획에 따라 국내 기업체들이 경쟁적으로 외국의 광섬유 제조 기술을 도입하여 1984년 이후 부터는 국제수준에 이르는 광섬유 및 광케이블을 생산하여 언급한 국내의 광통신 시스템에 쓰여 오고

있다.

한편, 한국전기통신공사는 날로 증가해 가는 정보량에 대처하기 위하여 전국 기간망에 광케이블을 포설하였고, 90Mb/s 광단을 설치하여 장거리시외전송로 및 중간 중계 전송에 사용 중이며, 또한 제주-고흥간에 해저 광케이블을 포설하고 국제 해저 케이블망과 연결하여 1990년 부터 운영할 예정이다.

3. 90년대의 광통신 기술 전망

1) 개요

앞에서 살펴본 것처럼 60년대에 시작된 광통신 연구는 70년대의 준비 기간을 거쳐 80년대에는 본격적인 전송시스템 개발과 함께 광케이블 망이 구축되기 시작했으며, 다가오는 90년대에는 광통신망의 보급 확대와 함께 새로운 광통신 기술의 발전등으로 본격적인 광통신 시대로 접어들 것이 예측된다. 이러한 광통신 기술의 발전과정을 도표로 표시해 보면 표 2와 같다.

우선 90년대 통신망의 핵심이 될 종합정보통신망(ISDN)은 그 초기 단계인 협대역 ISDN에서 CATV/HDTV 등 영상정보와 고속 데이터 서비스 까지 포함하는 광대역 ISDN으로의 전환을 추구하게 될 것이다. 한편, 광섬유와 광소자를 중심으로 한 부품기술은 80년대까지를 광섬유와 DFB-LD 등 개별소자의 연구단계였다면 90년에는 전자 소자와 광소자를 한 칩에 집적시키는 광전집적회로(OEIC)와 광집적회로(photonic IC) 등 집적회로 기술이 추가 될 것이다. 이 부분에 대해서는 광재료 및 광소자 분야에서 자세히 다룰 것이다.

광전송 기술은 현재까지는 2Gb/s급 수준의 광전송 시스템들이 일부 선진국에서 상용화된 상태이나 90년대에 기술개발이 지속되면 약 10Gb/s급 시스템들이 상용화될 것이며, 코히어런트 광통신이나 광증폭기를

표 2. 광통신 기술의 발전과정

분야 \ 년도	'60	'70	'80	'90	2000
통신망	PSTN	IDN	ISDN	BISDN	All Optical Network
광기술	광도파이론	광섬유 반도체레이저	DFB 레이저	OEIC	광 IC
전송기술	PCM 전송	비동기 광전송	동기식 광전송		광가입자전용 Coherent 광전송
교환기술	기계식	Analog	Digital	광대역패킷	광교환

이용한 광전송 시스템들도 일부 상용화가 가능할 것이다. 또 통신망 동기 기술이 발전하게 되어 전송방식도 기존의 비동기식 전송에서 SONET과 같은 동기식 전송으로 전환이 이루어질 것으로 예상된다. 또한 성숙된 광통신 기술을 이용하는 해저 광통신시스템들이 90년대에 다량으로 전세계 해저면에 포설될 것이며, 광통신 제품의 가격 하락과 B-ISDN의 보편화를 통해 광가입자망의 보급도 활발해질 것으로 예상된다.

또한 90년대에는 코히어런트 광통신 기술이 성숙되어 일부 분야에서는 실용화가 추진될 것이며, 광증폭기 분야나 솔리톤(soliton) 전송 분야도 많은 기술 진전이 이루어질 것이다. 또 교환 기술면에서도 광기술의 중요성이 증대될 것이다. 즉 미래의 광대역 ISDN에서 엄청난 양의 광대역 신호의 분배 및 교환 수요를 감당하려면 궁극적으로 광전송 기술에 상응하는 광교환 기술이 필연적으로 대두될 것이다. 따라서 이러한 주요한 흐름들을 하나씩 살펴보기로 한다.

2) 동기식 전송 기술

90년대에 예상되는 광통신 기술의 커다란 변화 중의 하나가 동기식 광전송망의 확립일 것이다. 현재 우리가 사용중인 광전송 장치는 비동기식 전송 방식을 사용하고 있으며 각 제조자마다 규격을 달리 하고 있어서, 전송 속도, 전송 프레임 구조, 광신호 특성, 감시 체계 등이 서로 다른 독립 인터페이스를 갖고 있어 제품 상호간에 호환성이 없으며 효율적인 통신망 구축도 어려운 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 1986년부터 미국 벨 연구소, 벨 코아등을 중심으로 새로운 동기식 전송 방법이 제기되었으며 이러한 제안들은 CCITT나 미국 T1 위원회 등의 국제 표준화 기구에서 집중 검토되었다. 이러한 검토를 거쳐 1988년 CCITT는 155Mb/s를 표준 전송 속도로 하는 동기식 NNI(network node interface) 표준안을 권고하였다.

이 권고안에 따르면 여러 소유자나 제조자의 광전송 터미널 사이의 상호 호환성을 제공하도록 할 뿐 아니라 여러 기능을 갖는 광전송망 구성이 가능하게 함으로써 광선로, 다중화기, 터미널, 분배 시스템(DCS) 사이의 직접적인 정합을 허용할 수 있도록 하였다. 더불어, 동기식 디지털 신호 속도가 기본 신호 모듈인 STM-1(155Mb/s)의 정수배인 계층군으로 하고, 경제적으로 구성할 수 있도록 간단한 동기식 바이트 삽입 다중의 기술을 이용하도록 하였다. 또한, 이를 국제적인 전송 표준안이 되도록 권장하고, 가상 컨테이너 개념을 이용하여 유럽식과 북미식의 디지털 다중화 계위 신호를 수용함으로써 이들 사이의 불일치성을 해

결하였다. 그외 광신호 형태, 광전력 수준, 광파장, 그리고 운용 및 유지보수에 관한 표준안도 권고되고 있다.

동기식 디지털 다중화 계위로는 그림 1(b)와 같이 STM-1, STM-4 및 STM-16이 CCITT에서 권고된 상태이며, 세계 각국은 이에 따른 동기식 전송장치 개발을 적극 추진하고 있다. 따라서 90년대에는 세계적으로 통용이 가능한 표준화된 전송 시스템들이 속속 개발되어 전송망에 설치될 것이며 이를 통해 범 세계적으로 표준화되고 보다 효율적인 통신망이 구성될 수 있을 것이다.

3) 해저 광통신 시스템

해저 광통신 시스템은 동축 시스템에 비해 가격이 저렴하고 전송 용량이 크며, 해중 분기 장치를 이용하여 두 개 이상의 지역으로 분기가 가능한 점등 많은 장점이 기대되기 때문에 광통신 기술 개발 초기부터 이 부분에 대한 연구가 집중되었으나 해저 광케이블이 가지는 특수성 때문에 연구 개발 기간이 오래 걸려, 1988년에서야 처음으로 대서양 횡단 해저 케이블이 설치될 수 있었다. 이러한 해저 광통신 기술은 이제 어느 정도 기술이 성숙되었으므로 90년대에는 여러 나라 또는 여러 구간에 설치될 것으로 예상된다. 표 3은 현재 설치되었거나 90년대 설치 예정인 해저 광통신 시스템의 세부 내역이다. 표에서 보듯이 90년대 초반에는 5대양 각 지역에 해저 케이블이 포설될 예정이며 이것이 완성될 경우 위성 통신망과 해저 광케이블 망이 상호 보완을 이루는 고도화된 국제 통신망이 구축될 것이다.

4) 광 가입자망 기술

가입자망이란 전화국에서 일반 전화 가입자 까지의 구간을 말하여, 단거리, 저통화량의 특징을 가지고 있다. 그러나, 사회가 발전함에 따라 가입자가 현재 전화, 저속 데이터 서비스외에 영상 서비스(ATV, HDTV, 영상전화등)와 고속 데이터 서비스를 요구함에 따라 기존의 동선 방식으로서 사용자의 요구에 부응하기 힘들게 되었다. 그러나 광통신 기술이 급격히 발전함에 따라 저손실, 광대역의 특성을 가지는 광섬유를 이용하여 광통신 시스템이 가입자망에의 운용이 가능하게 되었다. 광통신 기술의 가입자망 응용은 광통신 시스템을 미래의 통신 환경하에서, 기존의 전송 매질 및 전송 방식에 비해 얼마나 경제적으로 구성할 수 있는가에 달려 있다. 현재는 광섬유, 광소자(광원, 수광소자, 광결합기, WDM 등)의 광 부품 가격이 고가이며, 포설 및 접속 비용이 다른 전송 매질에 비

표 3. 세계의 주요 해저 광통신 시스템

이 름	구 간	용 량	중 계 기 수	완료시기
TAT-8	New Jersey-UK-France	560Mb/s	125×50Km	1988. 11
TAT-9	NJ-Canada-UK-France-Spain	1.12Gb/s	미정	1991. 12
EMOS-1	Sicily (Italy)-Greece-Turkey -Israel	560Mb/s	미정	1990. 12
MAT-2	Sicily-Mallorca-Spain	560Mb/s	미정	1992. 봄
P-TAT-1	NL-Bermuda-UK-Ireland	1.2Gb/s	138×50Km	1989. 7
P-TAT-2	구간미정	>1.2Gb/s	미정	1992
NORTH PACIFIC	Seattle-Alaska-Japan	840Mb/s	~255×50Km	1990. 12
HAW-4/ TPC-3	San Francisco-Hawaii-Guam- Japan	560Mb/s	~49×50Km	1989. 봄
GPT	Guam-Philippines-Taiwan	140Mb/s	미정	1989. 가을
HJK	Hong Kong-Japan-Korea	280Mb/s	미정	1991
TASMAN-2	New Zealand-Australia	미정	미정	1991
TPC-4	Japan-U.S.	미정	미정	1995
미정	New Zealand-U.S.	미정	미정	1995
미정	Australia-Asia	미정	미정	1995

해 비싸서 본격적인 보급은 이루어지고 있지 않으나, 제조 기술의 발전과 대량생산으로 비용이 하락하고 있으므로 가까운 장래에 경제성을 가지리라 예상된다.

광 가입자망의 전송 방식은 아날로그와 디지털 방식으로 대별되며, 이는 영상 신호의 전송 방식에 따라 크게 좌우된다. 아날로그 방식은 간단하고, 경제적인 시스템을 구성할 수 있는 반면 장차 구축될 것으로 예상되는 ISDN망을 고려하면 전체망의 디지털화에 큰 장애 요소가 된다. 반면에 디지털 방식은 디지털 전송 기술 및 반도체 집적 기술의 발전으로 경제성이 급격히 향상되고 있으며 양질의 서비스를 제공할 수 있고 전체망의 디지털화 실현에 적합한 방식으로 선진 각국의 광가입자 시스템도 보다 고속의 디지털 시스템으로 발전되어 가고 있다. 한 예로 서독 HHI는 1.12Gb/s의 전송량을 가입자에게 제공하는 시스템을 소개하고 있다. 또한 코히어런트 전송 방식을 응용하여 다채널의 서비스를 제공할 수 있는 시스템도 소개되고 있으나 아직까지는 많은 기술적 문제를 안고 있는 실정이다.

또 사용 광섬유는 시스템이 초고속 디지털 시스템의 진화를 고려하여 단일 모드 광섬유를 사용하려는 방향으로 나아가고 있다. 단일 모드 광섬유는 충분한 대역

폭을 가지므로 장래에 새로운 광섬유의 포설이 필요없게 된다. 그러나, 단일 모드 광섬유를 가입자망에 보다 경제적으로 사용하기 위해서는 양방향 전송시 WDM 방식등을 이용해서 광섬유의 사용량을 줄이는 것 등을 고려해야 한다.

이와 관련하여 일본이나 유럽의 각 나라는 지속적으로 여러 형태의 광가입자 시범망을 구성, 운용하고 있으며 일부는 상용화를 추진하고 있다. 따라서 90년대에는 광소자나 광섬유의 가격이 좀더 하락할 것이고 B-ISDN 가입자가 증가하면서 광가입자의 수요는 증가할 것이다. 또 광가입자의 수요의 증가는 가격의 하락을, 가격의 하락은 또 다른 수요를 창출하는 상승효과를 통해 광 가입자망의 보급이 크게 확대될 것으로 예상된다.

한편, 국내에서는 90년대 중반에 국내에 도입될 종합유선방송을 대비하여, 1989년 부터 한국전자통신연구소에서는 가입자까지 광케이블을 설치하여 CATV, FM 방송, 데이터등을 전송할 수 있는 광 CATV 시스템을 개발하고 있다. 이것이 개발될 경우 국내에서도 광 가입자망 구축이 가능해 질 것이고, 이를 통해 B-ISDN으로의 진화도 추구할 수 있을 것이다.

III. 새로운 광통신 기술의 연구동향

1. 코히런트 광통신

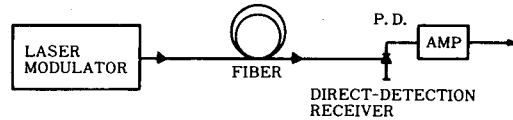
기존의 광통신 방식에서는 광파의 높은 주파수(~200THz)를 캐리어로 사용하기는 하나 넓은 주파수 대역폭을 정보전달에 충분히 활용하지 못하였다. 즉, 기존의 광통신 방식은 광원을 입력신호에 따라 단순히 점멸시킴으로써 송수신하는 강도변조/직접검파방식으로서(그림2(a) 참조) 광파의 위상에 정보를 실지 못하는 방식인 것이다. 반면에 코히런트 광통신 방식은 광파의 파동성을 정보전달에 충분히 활용함으로써 높은 수신감도와 큰 주파수 선택도의 장점을 가진다. 따라서, 잠재적으로 Tera-bits/s 급의 막대한 전송용량(throughput)을 가질 수 있으며 광파의 넓은 주파수 대역을 매우 세밀히 충분히 활용할 수 있으므로 궁극적인 광통신 기술로 인식되고 있다.^[8]

코히런트 광통신 방식의 기본원리는 그림2(b)와 같다. 즉, 송신부에서는 매우 좁은 주파수 선택도를 갖는 광원으로부터의 빛, 즉 캐리어 광파를 입력신호에 따라 진폭변조(ASK), 주파수변조(FSK), 또는 위상변조(PSK)하여 송신한다. 광섬유를 따라 전달 변조된 광신호는, 수신부에서 캐리어 광파와 근접한 발광 주파수를 갖는 별도의 국부발진 광원(local oscillator) 으로부터의 빛과 헤테로다인 합성되어, 광검출기에 의해 전기적 신호로 바뀌어진다. 따라서 광검출기로부터의 전기적 출력은 캐리어광파와 국부광파와의 차 주파수 성분인 IF(intermediate frequency) 대역의 신호로서 나타나게 된다. 한편 국부 발진광원을 캐리어 광파와 꼭 같은 주파수의 광원을 사용할 수도 있는데, 이는 호모다인으로서 헤테로다인에 비해 몇가지 중요한 장점이 있으나 기술적으로는 복잡해지는 문제점이 있다.

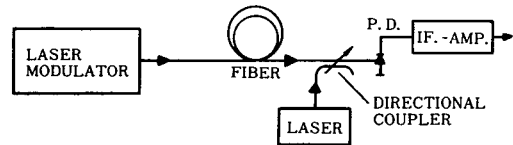
이러한 코히런트 광통신에서 통신품질에 가장 큰 영

향을 주는 요인은 광원의 위상잡음이다. 위상잡음은 주파수 선평과 관련되는데, 이를 코히런트 광통신이 가능한 정도로 줄이기 위해서는 광원으로 쓰이는 LD의 주파수 선평이 전송속도(bit rate)의 $10^{-1} \sim 10^{-4}$ 배 이하로 작아야 한다. 광원의 주파수 선평 요구치를 비롯한 여러가지 변/복조 방식의 특성들을 표 4에 나타내었다.^[9] 일반적으로, 고속전송 시스템에서는 상대적으로 광원의 주파수 선평이 넓은 것이 허용된다. 기존의 DFB나 DBR 구조의 LD는 주파수 선평이 수~수십 MHz로서 LD의 외부에 특별한 광학장치를 부착하지 않더라도 ASK나 FSK 시스템에 적용이 가능하다. 그러나, PSK(또는 DPSK)의 경우에는 더 좁은 선평이 요구되므로 기존의 LD에 외부 광학장치를 부가하여 공진기의 길이를 늘이는 방식으로 LD의 주파수 선평을 축소하여 사용하고 있다.

이러한 코히런트 방식은 그 특성상 기존의 IM/DD 방식보다 수신감도를 10~15dB 증가시키는 것이 가능



(a) 강도변조/직접검파 방식



(b) 코히런트 검파방식

그림 2. 강도변조/직접검파 방식과 코히런트 검파방식

표 4. 각 변조/복조 방식간 비교

변조방식	광 변조기	광 복 조	IF 대역복조	상대적 수신감도	LD 주파수선평/ 전송속도	IF 대역폭/ 전송속도
ASK	외부변조기	헤테로다인	envelope	0dB	$\sim 10^{-1}$	~ 2
		호모다인	.	3dB	$\sim 10^{-4}$	~ 1
FSK	직 접 변 조	헤테로다인	dual-filter envelope	3dB	$\sim 10^{-1}$	4~10
			differential	$\sim 4 \sim 6$ dB	$\sim 10^{-2} \sim 10^{-3}$	~ 2
PSK	외부변조기	헤테로다인	differential	~ 6 dB	$\sim 10^{-3}$	~ 2
		호모다인	.	9dB	$\sim 10^{-4}$	~ 1

하고, 또한 국부 발진기의 주파수를 변화시킴으로써 많은 채널의 정보를 수용시킬 수 있어서 광 FDM이 가능하다.

이러한 코히런트 방식에 의한 다중채널 전송 시스템 기술은 현재까지 FSK 변조로 400Mb/s × 16 채널 정도가 시험된 바 있으며 채널수의 증대는 방식상 큰 문제가 되지 않는다.

이와 관련하여 미국, 일본 등지에서는 최근 각종 현 장시험이 진행중에 있으며, 이와같은 코히런트 다중 채널 전송기술은 현재 기초연구 단계에서 실용화 연구 단계로 이행되는 추세에 있다.

그러나, 이 분야 연구의 실용화 성공 여부는 주파수가 변되는 국부발진 광원과 광도파로, 수신회로 등이 단일 칩내에 집적된 집적 코히런트 광수신기의 개발여부에 달려 있다고 할 수 있겠다.

2. 광 교환

미래의 광대역 ISDN에서의 전송기술로서 광전송 기술이 핵심이 될 것은 의심의 여지가 없으며, 이에 따라 가입자의 단말기로부터 교환기를 거쳐 타 가입자에 이르는 광섬유를 통해 영상정보, 고속 데이터 등 대용량의 정보가 흐를 것이 예상된다.

따라서, 엄청난 양의 광대역 신호의 분배 및 교환 수요를 감당하려면 날로 발전하는 광전송 기술에 상응하는 광교환(photonic switching) 기술이 필요하게 될 것이다.

재래의 전자식 교환방식에 의하면 광섬유를 타고 들어온 광신호를 전기신호로 변환하여 교환한 후 다시 광신호로 바꾸어 전송하여야 한다. 즉, 광/전 및 전/광 변환 과정을 거치므로 처리 속도에 한계가 있는데, 디지털 교환 소자의 처리 속도는 CMOS 소자의 경우에 100~200Mb/s, GaAs 소자의 경우 1~2Gb/s가 한

계인 것으로 알려져 있다. 또한 전기적 신호 처리에서는 대부분 시간영역에서 지결처리에 의존하므로 병렬 처리에 의한 동시적 대용량 신호처리 기술이 적용될 여지가 매우 작다. 이러한 관점에서 볼 때 광교환 기술은 빛이 가지는 고유한 특성, 즉, 고속처리와 병렬 처리의 가능성을 동시에 활용할 수 있는 매력적인 방법이 될 수 있다.

광교환의 개념을 분류하여 편의상 좁은 의미의 광교환(optical switching)과 광전교환(optoelectronic switching)으로 나누어 볼 수 있다. 우선, 광전교환은 광신호를 받아 전기적신호로 변환하여 교환을 한다. 어느 의미에서는 광접속(optical interface)과 고속 전자교환회로가 집적화된 기술이라 할 수 있는데 그림 3에 예를 나타내었다.^[10] 그림 3의 예에서는 일단 광신호를 PIN/FET 수신모듈에서 신호처리한 후 다시 InGaAsP/InP-LD 모듈로 광송신하게 된다.

또한, 코히런트/헤테로다인 광 송수신 방식을 주파수 분할 방식에 도입하면 광의 넓은 주파수 대역을 충분히 활용하여 대용량 교환이 가능하다. 이는 opto-electronic switching의 진보된 형태로서 광전집적회로(OEIC) 기술과 결합시키면 매우 실용적인 광교환 기술이 될 수 있을 것으로 전망된다.^[11]

한편 optical switching은 광의 형태로 전달된 정보를 전기신호로 변환함이 없이 광의 상태로 직접 교환하는 것이다. 이 방식에서는 전자제어/광교환과, 제어까지도 광에 의한 광제어/광교환, 즉, all-optical switching이 있다. All-optical switching에서 매질과 광과의 상호작용을 고려하여 소재를 적절히 선택하면 femto 초급의 초고속 스위칭이 가능할 것으로 예상된다.^[12]

이와 같은 광교환 기술의 전망을 예측한 도표를 그림 4에 나타내었다.^[13] 음성이나 데이터 등의 저속 신

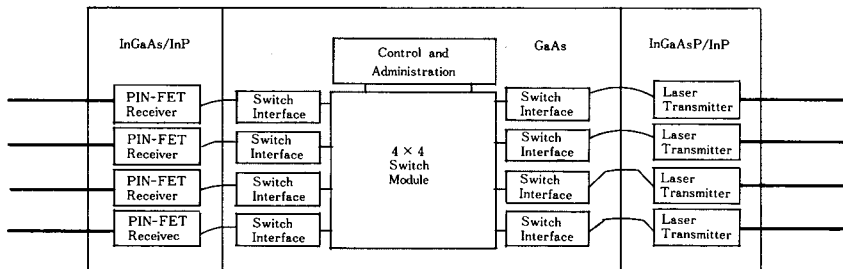


그림 3. Opto-electronic switching 시스템/모듈

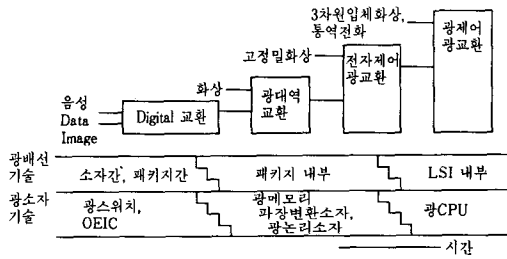


그림 4. 광 교환 기술의 발전 전망

호의 경우에는 현재 상용화 되어 있는 전자식 디지털 교환 방식으로 충분하다. 그리고 영상정보가 포함되는 경우의 광대역 신호 교환을 위해서는, 패키지 교환의 광대역 교환 방식이 현재 많은 연구가 진행되고 있어서 압축된 HDTV 신호까지도 수용 가능할 것으로 전망된다. 더 나아가서 그 이상의 고속 데이터 경우에는 전자식 교환방식에만 의존하는 데는 다소 무리가 있을 것으로 보이며, 전자제어에 의한 광교환이 다음 세대의 교환 기술로서 자리를 잡을 것이다. 또한 정보량이 더욱 커지게 되면 궁극적인 교환 방식으로 광제어/광교환 방식으로까지 발전할 것이다.

현재 광교환기의 연구개발 수준은 정보처리 속도가 512 Mb/s 정도로, TV나 HDTV 신호를 교환할 수 있는 실험 시스템이 일본에서 시도된 바 있다.^[14]

초기에는 국간용 혹은 분배 스위치용인 공간분할 방식을 중심으로 LiNbO₃ 광스위치를 사용하는 방식이 주종을 이루었다. 그러나 최근에는 monolithic 집적화하고 교환 유닛의 부피를 축소시키기 위해 InP나 GaAs 소재를 사용하고자 하는 경향을 보이고 있다.^[15]

또한 세계적인 추세로서 ATM을 기본으로 하는 교환기술이 많이 연구되고 있으므로 광교환에서도 이에 적용할 수 있는 각종 기능, 동기 및 제어기능 등의 광기능이 가능한 소자 기술의 연구개발 노력이 이루어지고 있다.

이 밖에도 연구의 큰 흐름을 살펴보면, 우선 공간분할/시분할의 한계(특히 회선 용량면에서)를 주파수 분할 방식으로 극복하고자 하는 움직임이 있으며, 광전 집적회로(OEIC) 기술과 코히런트 광통신 기술이 발전함에 따라 상당히 밝은 전망을 보이고 있다.

또 다른 주목할 만한 경향은 자유공간(free space)에서의 광배선(optical interconnection)을 통하여 병렬적인 광교환을 하고자 하는 것이다. 이것이 실현되

면 수 cm 정도의 작은 규모로써 10×10 정도의 대용량의 동시 교환이 가능할 것이다. 구체적인 광배선의 방식으로서는 여러가지가 제안되고 있으며, 현재 체적 홀로그래프를 이용하는 방식이 많은 주목을 받고 있다.

앞으로의 전망을 보면 당분간은 광교환 기술이 전자 교환기술을 보완하는 형태로 발전할 것이며, 광기술과 전자기술간의 적절한 균형점을 찾는 문제가 쟁점으로 등장할 것이다. 그러나 소재 및 소자기술에서 기술적인 돌파구가 찾아진다면 광교환 분야가 비약적인 발전을 할 수 있는 잠재력을 지니고 있으며, 그렇게 되면 2000년대에는 광교환기술이 통신망 뿐만 아니라 광계산(optical computing) 분야의 핵심 기술로서도 자리잡게 될 것이다.

3. 완전 광통신

완전 광통신(all-optical communication)이란 문자 그대로 통신망에서 광이 발생하여 서비스 단말에 이르기까지 광/전, 전/광 변환을 거치지 않고 광의 상태로써만 전송, 중계, 신호처리 되는 것을 의미한다. 더 나아가서 전기적 제어에 의하지 않고 광으로서 제어하는 것까지 포함할 수 있다. 이 분야는 전반적으로 기술이 아직 기초 연구단계에 머물러 있으나, 최근 완전 광통신을 지향하는 연구의 성과가 부분적으로 나타나고 있어서 몇가지를 소개하고자 한다.

그 중에서 직접 광증폭(direct optical amplification) 기술은 최근에 급격히 발전하여 관심을 끌고 있는 분야이다. 즉, 재래의 광통신 증계장치에서는 광신호를 전기신호로 변환하고 신호의 리타이밍(re-timing), 전기적 증폭 및 신호재생 과정을 거쳐서 다시 광신호로 변환하여 송신하게 된다. 이에 비하여 직접 광증폭 방식은 광/광 증폭하여 복잡한 증계기를 간단히 대체할 수 있으므로 대단한 경제적 효과를 가져올 수 있다. 이 방식은 전송 속도에 거의 무관하게 증폭할 수 있고, 파장영역에서 다중화할 경우에 여러 채널을 하나의 광증폭기로써 독립적으로 증폭할 수 있는 장점이 있다. 이러한 광증폭 기술은 궁극적으로 완전 광통신 시스템을 구현하는데 중요한 일익을 담당할 것으로 전망된다.

광통신에 활용이 기대되는 광증폭 방식은 반도체 레이저 증폭과 광섬유 증폭방식이 있다.^[17]

반도체 레이저 증폭기는 대역폭이 넓고(>30nm), 소자의 응용이 다양할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이득의 편광 의존성, 증폭기 단면의 잔류 반사율로 인한 이득의 리플(ripple), 강도 변조시 누화(crosstalk)

가 있는 등의 단점이 있다.

Ertium이 첨가된 광섬유를 이용한 증폭방식은 기본적으로 전송용 광섬유와의 결합손실이 작은 장점이 있다. 특히, 반도체 레이저 증폭기와 비교할 때 매우 중요한 장점으로서 이득이 편광에 무관하고 강도 변조시에도 채널간의 누화가 적은 점을 지적할 수 있다.^[18]

따라서 전송 시스템으로 국한할 때의 광증폭 방식으로서의 광섬유 증폭방식이 유력시 되고 있다. 반면에 광섬유 증폭기의 단점으로는 증폭파장 대역이 비교적 고정되고 이득곡선의 모양이 평탄하지 않으며, 포화 광출력이 낮은 점 등이다. Erbium 광섬유 증폭기의 펌프 파장대역으로서의 980nm 파장의 반도체 레이저가 아직 개발단계에 있는 반면에 1,480nm는 기존 기술에 의해 제작이 가능한 장점이 있다.

광증폭 기술과 아울러 완전 광통신을 지향하는 첨단 분야로서, soliton 전송기술이 있다. 이는 광섬유의 처분산파장 이상의 장파장 대역에서 강도가 높은 초단 펄스가 광섬유내로 전송될 때 광섬유의 분산(dispersion) 효과가 비선형 효과에 의해 상쇄됨으로써 초단펄스의 폭이 그대로 유지된 채 장거리 전송이 가능한 것을 기본 원리로 하고 있다. 따라서 광섬유 증폭기술과 광섬유내 soliton 효과에 의해 광섬유의 손실과 분산을 동시에 보사하여 줌으로써 초고속 신호의 초장거리 전송이 가능할 것이라는 것이 연구의 주된 방향이다. 이와 같은 방식이 실용화되기까지는 많은 난제가 놓여 있고 아직 지극히 기초 연구단계라 할 수 있으나 최근에 광증폭 방식과 soliton 방식의 결합으로써 실험실내에서 6,000Km 상당거리의 초단펄스 전송 실험이 행해진 바 있다.^[19]

IV. 요약 및 결론

위에서 살펴보았듯이 광통신기술은 90년대 통신기술에 매우 중요한 위치를 차지하게 될 것이다. 우선 광전송분야는 기존의 비동기식 전송방식에 의한 565Mb/s급이나 1.7Gb/s급 시스템들이 국간중계 및 해저통신 분야에 넓게 쓰일 전망이며, 아울러 90년대 후반에는 SONET과 같은 동기식 전송시스템의 보급이 확대될 것으로 예측된다. 아울러 B-ISDN망의 구축과 함께 광가입자망의 보급도 크게 증가할 것이다.


한편 새로운 통신방식으로서 코히런트 기술이 성숙되어 가고 있으며 선진국에서는 광 FDM 방식의 현장 시험이 진행되고 있어서 이 기술의 조기 상용화 여부는 앞으로 수년 내의 기술발전이 관건으로 될 것이다.

또한 광증폭 기술이 발전하고 있어 기존의 중계장치의 대체가 가능해질 것으로 보이며, 특히 해저 및 대륙횡단 시스템 등에서 활용이 기대된다. 광교환 기술도 광전송 기술에 상응하는 수준까지 발전하여 2000년대에 예상되는 광자시대를 준비하게 될 것이다.

국내의 경우, 1970년대 후반부터 광통신 연구를 지속적으로 추진하여 1989년말 국내기술에 의해 565Mb/s 광전송 시스템의 현장시험을 마치는 등, 어느정도 기술자립이 가능한 수준에 이르게 되었으며 국내 기업에서도 광섬유 케이블 및 광통신 장치의 양산이 이루어지고 있다. 그러나 부품기술 및 기본기술은 여전히 취약한 상태로서, 90년대에 더욱 가속화 될 국제적인 기술개발 경쟁에서 이기기 위해서는 앞에서 언급한 신기술 및 부품기술의 확보에 더욱 주력해야 할 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

- [1] 강민호, 신상영, "광섬유 통신개론", Ohm사, 1981.
- [2] 강민호, 심창섭, "광통신기술 현황 및 추세", 전자공학회지, vol. 15, p. 35, 1988.
- [3] 심창섭, "광통신 기술", 전자과학 5월호, p. 142, 1988.
- [4] 신상영, 손영성, "광통신기술 개요 및 전망", 한국통신학회지, vol. 6, no. 3, p. 10, 1989.
- [5] 박희갑, 이성은, 심창섭, "코히런트 광통신 기술의 현황과 전망", 주간기술동향논단 89-09, 한국전자통신연구소, 1989.
- [6] 박희갑, 이성은, 심창섭, "가입자용 코히런트 광 FDM 기술 고찰", 주간기술동향논단 89-36, 한국전자통신연구소, 1989.
- [7] 강민호, 이일향, "광 CATV 기술 개발 동향", 전자공학회지, 제16권 제6호, p. 73, 1989년 12월.
- [8] T. Okoshi, J. Lightwave Tech., vol. 5, p. 44, 1987.
- [9] K. Nosu and K. Iwashita, J. Lightwave Tech., vol. 5, p. 686, 1987.
- [10] W.A. Payne III, Proc. IOOC '89, paper 21A2-1, 1989.
- [11] M. Fujiwara, M. Sakaguchi, and S. Suzuki, Proc. IOOC '89, paper 21A2-2, 1989.
- [12] S. Friberg and P.W. Smith, IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-23, p. 2089, 1987.

- [13] T. Shimoe et al, IECEJ, SE87-81, p. 41, 1987.
- [14] T. Yasui and H. Goto, IEEE Comm. Magazine, vol. 25, p. 10, 1987.
- [15] H. Inoue, Proc. IOOC '89, paper 21A3-2, 1989.
- [16] N.A. Olsson, Proc. ECOC '89, vol. 2, paper MoB4-1, 1989.
- [17] P. Urquhart, IEE Proc. vol. 135, p. 385, 1988.
- [18] N. Edgawa et al, Proc. ECOC '89, paper PDA-8, 1989.
- [19] L.F. Mollenauer and K. Smith, Proc. ECOC '89, vol. 2, paper TuA5-1, 1989. 

筆者紹介



沈昌鏐

1952年 5月 6日生
 1975年 2月 서울대 응용물리학과(학사)
 1987年 3月 한남대 대학원 물리학과(석사)
 1988年 3月 한국과학기술원 전기및 전자공학과(박사)

1975年 3月~1982年 12月 국방과학연구소 광학연구실 선임연구원
 1983年 3月~현재 한국전자통신연구소 광통신 연구실장



姜 玟 鏐

1946年 7月 20日生
 1969年 2月 서울대학교 전기공학과(학사)
 1973年 5月 Univ. of MISSOURI-ROLLA 전기공학(석사)
 1977年 8月 Univ. of TEXAS at Austin 전자공학(박사)

1977年 7月~1978年 9月 BELL 연구소 연구원
 1979年 3月~1985年 8月 서울대 대학원 시간강사
 1985年 6月~1988年 3月 과학기술처 연구개발조정실 전자연구조정관
 1978年 9月~현재 한국전자통신연구소 광통신연구실장, 광전연구부장, 기초기술연구부장, 통신정보기술연구단장