

## 主 題

## 전송 기술의 과거, 현재, 미래

한국정보통신대학원대학교 부교수 이 만 섭

## 차 례

- I. 개요
- II. 유선 전송 기술의 태동
- III. 동축 케이블 전송의 도입
- IV. 디지털 전송 방식의 도래

- V. 광통신의 도입 및 발전
- VI. 전송 기술의 미래와 전망
- VII. 결어

## 1. 개요

전송(transmission)이란 한 지점으로부터 다른 하나 이상의 지점으로 신호를 운반해 주는 기능을 총칭하는 것으로서 일반적으로 전송 시스템은 송신장치, 수신장치, 그리고 그들 사이의 매체(media)와 중간장치로서 구성된다.

초기의 전송은 주파수를 매개체로 이용하여 신호를 보내는 것을 의미하는 것으로서 반송기술이라 불리었다. A. G. Bell이 1876년 3월에 자석 전화기를 발명하여 3km 거리 통화에 성공하여 최초의 전화국을 개설한 후 1881년에 뉴욕과 시카고 사이의 장거리 전화를 개통하였다. 그 후 사용자가 많아짐에 따라 하나의 회선에 동시에 여러 음성 회선을 보내는 방식을 시도하므로써 다중반송이라는 개념이 도입되게 되었다. 다중반송은 반송회선을 중첩함(다중화)으로써 다중화한 회선 만큼의 동시 통화가 가능해져 통신의 효율을 높일 수 있는 것인데, 사용하는 선의 종류에 따라 나선에 설치하면 나선 반송이고, 케이블인 경우에는 케이블 반송, 동

축에 사용한 것은 동축 반송이라 불리어 졌다. 이러한 나선 반송과 케이블 반송이 초기의 소규모 가입자 및 시내용 단거리 전송의 핵을 이루어 사용되었다.

동축케이블 방식은 1929년 특허가 획득되고, 1934년 A. Schelknoff등에 의해 동축케이블이 초다중전송에 적합한 전송 매체임이 발표된 이후, 1941년 세계최초의 동축 케이블방식으로서 L1방식(단거리 480회선, 장거리 600회선)이 실용화되었고, 2차 세계대전 이후에 본격적인 개발과 실용화가 이루어져 1980년대 초에 전화 10,800채널을 전송할 수 있는 60MHz동축케이블 전송방식도 완성되었고 해서 동축케이블 방식으로도 사용되었다

PCM (Pulse Code Modulation)은 1937년에 제창되어 1948년에 미국에서 최초로 실험용 PCM장치가 설계 제작되었는데, 당시 능동소자로서는 단지 전자관 뿐이었고, 또 여러 가지 기술적인 문제로 실용화에 이르지 못하는 못하였다. PCM실용화에 결정적인 역할을 하게 된 것은 트랜지스터의 발명에 이어진 반도체 기술의 진보였다. PCM은

FDM(Frequency Division Multiplexing) 방식보다도 경제성이나 전송품질 면에서 월등하고, 또한 FDM방식으로는 사용할 수 없었던 열악한 상태의 시내 외 케이블에서도 사용 가능하는 강점이 있었다. 그 결과 1962년 미국 시카고지역에서 처음으로 PCM방식을 이용한 시스템이 공중통신에 이용된 이래 디지털 통신 시대의 도래를 가져오게 한 계기가 된 것이다.

광통신은 1960년대 루비레이저의 발명을 계기로 연구되기 시작하였으나 본격적으로 연구된 것은 1966년에 영국 Kao와 Hockham이 광섬유를 이용한 장거리 통신의 가능성을 제시한 이후 부터이다. 그 후 1970년 미국의 코닝(Coming) 사가 1km당 전송 손실이 20dB인 광섬유를 최초로 제조하였고, 1976년에는 일본에서 파장  $1.3\mu\text{m}$ 에서  $0.5\text{dB/km}$  손실의 광섬유가 발표되었으며, 다시 1979년에 석영계 광섬유의 손실이 이론한계에 가까운 파장  $1.55\mu\text{m}$ 에서  $0.2\text{dB/km}$  손실의 단일모드 광섬유의 제조가 가능하게 되었다. PCM 기술과 함께 광통신은 비약적인 발전이 이루어져 1988년도에 최초로 해저 광통신 시스템 설치되었고, 1990년대 후반에 10Gbps 광전송 시스템과 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 광전송 시스템의 통신망에 사용되었고, 실험실 수준에서는 수 Tbps의 초고속 광전송 시연이 발표되었다. 이러한 광통신 기술은 현재 세계 각국에서 통신망의 기간 전송 기술로 사용되고 있으며 현재의 통신망의 발전은 광통신 기술의 발전과 궤를 같이 한다고 해도 과언이 아닐 정도이다.

이 글에서는 이와 같은 유선 전송기술의 발달과정 및 배경에 대하여 기술하고, 현재에 사용되는 전송기술의 현황 등에 대하여 기술한 후, 마지막으로 향후 통신망에서 사용될 전송기술을 전망하고자 한다.

## 2. 유선 전송 기술의 태동

초기의 전송 역사는 나선선로에서 시작되었다. 나선선로는 전신의 발명에서 전화의 극히 초기에

이르기까지 1가닥의 도선을 즉 단선식의 가공선로가 이용되어 졌지만, 그 후 선로의 손실과 유도를 감소시키기 위해서 2가닥의 가공나선을 사용하게 되었다. 1가닥의 선로에 복수의 신호를 전송해서 경제적인 통신을 행하는 시험은 19세기 말부터 있었으나, 진공관의 발명과 더불어, 진공관에 의한 증폭 기술, 안정된 고주파의 연속발전과 변조가 가능하게 되고 또 필터의 제조기술이 정착된 1920년대 중반 이후에야 복수의 신호를 주파수가 다른 반송파로 변조하여 한 가닥의 선로에 동시에 보내는 다중반송전화가 실용화되었다. 당시의 나선 반송방식은 1918년 세계최초로 미국에서 실용화된 이래 주로 단거리, 시내용으로 사용되다가 나선로가 케이블화 되고, 또한 무장하 케이블 방식 등이 실용화되면서 급속히 후퇴되었다. 우리나라에서도 나선반송 방식을 사용하였는데 1통화로 방식으로 OP방식과 3통화로 방식으로 K-3C, O-3방식, 그리고 12통화로 방식으로 미국에서 개발된 45A형과, 일본에서 개발된 O-12방식, TO-12E방식, C-120S형 방식 등이 있는데, 나선반송 방식은 비교적 회선수가 적은 경우 케이블 선로를 설치하는 것보다 시설이 용이하고 경제적이라는 이유 때문에 케이블 선로가 나온 뒤에도 많이 사용되었지만 전화 수요가 급증하고 회선 수요가 대폭적으로 증가하게 된 1970년대 후반에 케이블 반송방식 또는 PCM 시설로 대체되었다.

나선반송 방식은 가공나선의 손실이 적다는 이점이 있었으나 선로의 제작에 25배에 가까운 재료가 더 들고 가입자 수가 증가함에 따라 다수의 선로를 병설할 필요가 생길 경우 1가닥의 전주에 수용할 수 없다는 단점이 있다. 그러므로 2가닥의 절연 도선들을 꼬아서 합친 선로를 만들어 그 외부를 피복하여 다수의 도선을 수용하는 케이블이 고안되었다. 최초에는 테이بل 절연체로서 고무가 쓰여졌으나, 그 후 보다 손실이 적은 종이를 절연체로 쓴 케이블이 만들어 졌다. 이러한 지절연 케이블은 감쇠도 비교적 적고 용적도 작으므로 1900년

경부터 널리 쓰여졌다. 균일선로에서 선로의 감쇠량 극소조건은  $RC = LG$ 이지만, 실제의 선로에서는  $RC > LG$ 가 보통이다. 따라서  $L$ 을 증가시켜 위의 조건에 맞도록 하는 것을 장하(loading)라고 하는데, 1900년에 미국의 M. I. Pupin이 발표한 장하 코일(loaded coil)은 음성대역의 선로의 손실을 감소하는 방법으로서 유리하여 장하 코일을 사용한 가공나선이 원거리 전송에 이용되어 졌으며, 나아가 장하 케이블(loading cable)도 개발되어 FDM반송방식이 발달하기 이전인 1930년대에는 이러한 장하 케이블이 폭 넓게 사용되었고 우리나라도 1960년대까지도 장하 케이블을 사용하였다. 그러나 장하 선로는 장하 코일에 의한 저역 필터 특성이 나타나 음성 대역 근처에서만 사용 가능한 것으로서 고주파 영역에서는 사용할 수 없는 것이다. 이를 해결하는 방법으로 1932년에 제안된 무장하 케이블(unloaded cable)방식은 장하 코일을 사용하지 않는 대신 케이블과 중계기를 사용하여 장거리 전송을 가능케 하는 것이다. 이 무장하 케이블은 주파수 360kHz 정도까지 이용할 수 있으므로 다중 채널 수가 18채널 이상까지 높아져 마이크로 웨이브와 동축케이블 방식이 보급되기 이전인 1930~50년대에 걸쳐 장거리 전송의 주역으로 활약하였다.

무장하 케이블을 이용한 반송은 0.9mm 지절연의 무장하 케이블 왕복 2조를 사용하여 12~60kHz의 대역에 12 CH(중계간격 27km)을 갖는 K1 무장하 케이블방식이 미국에서 1938년 발표되었고, 다시 1943년에는 이것을 개량한 K2방식이 실용화되었다. 한편 유럽에서는 차단 주파수를 높게 한 경장하 케이블에 적합한 방식이 성행하였다. 1936년에 독일에서는 무장하 케이블에 음성 1CH, 반송 9CH을 중첩한 U방식을 발표하고, 이어서 1~24kHz를 근거리 30 ~ 60kHz를 장거리에 전송하는 15CH의 U방식을 발표하였으며, 영국에서는 1936년에 경장하 케이블에 음성 1CH, 반송 3CH을 둔 반송전화방식과 무장하 케이블 2조를 이용하여 12kHz이상의 주파수 대역에 반송 12CH을 둔 반송전화방식을 실용

화하였는데, 이것은 미국의 K방식과 같은 것으로서 후에 국제규격의 하나로 채택되었다.

이와 같이 다양한 전송전화방식의 발전에 대응해서 유럽에서는 회선 상호 접속의 필요성으로 인해 각국에 공통된 규격을 설정하고자 하는 것이 제안되어, 반송방식 1통화로의 유효 전송주파수 대역을 300 ~ 3,400Hz로 하고, 12통화로 기초군의 주파수 대역은 12 ~ 60kHz로 하는 내용이 CCIR(International Radio-communications Consultative Committee)에서 정해졌다.

일본에서는 1937년에 3CH의 무장하 케이블 방식을 개통하였고, 1941년에는 7, 11, 15, 19, 23, 27kHz를 반송파로 하고 그의 하부 측대파를 이용한 6CH의 F-6방식이 개발되었으며, 1952년에는 기초군의 반송파 배치를 4kHz의 배수로 변경하여 개량한 S-18방식이 완성되었다. 1954년에는 방식설계 및 기기실장 등 모든 면에서 국제 규격을 채용한 일본 최초의 무장하 케이블 방식인 F-24방식도 개발되었다.

국내 케이블 반송의 사용은 1937년 부산 ~ 서울 ~ 신의주간 6회선 용량의 F-6케이블 반송을 시설하여 사용한 것이 최초이며, 이 시설은 광복 후 부산에서 일본 방면을 절단하고 서울과 부산간의 간선로로 사용되었다. 그 후 1963년 서울 ~ 부산간에 같은 해 1월에 12회선 방식인 T-12A-TR로 바꾸어 준공하였다. 이때에 종래의 60km간격인 중계소 사이에 20km간격으로 새로운 무인 중계기 2대를 도입하여 12통화로 방식으로 복구했으며, 전송로로는 1.4mm형 종이 절연 반송방식 케이블을 매설하여 사용하였다. 이후 대도시와 인근 도시간의 자동 즉시화에 따라 많은 수의 시외회선이 필요해짐에 따라 경제적이고 품질이 좋은 단거리 반송전화방식인 12채널 C-12케이블 반송방식이 1967년 서울 인천간에 도입되었다. 이 때 사용된 케이블은 0.65mm PEF(Polyethylene Foamed) 시외케이블과 0.9mm종이절연 케이블, 0.9mm PEF시외케이블 등이 사용되었는데 0.9mm PEF시외케이블의 표준 중계거리는 12km정도이었다.

### 3. 동축 케이블 전송의 도입

동축케이블(coaxial cable)방식은 1934년 독일의 A. Schelkoff가 동축 전송로 이론을 바탕으로 Espenschied와 M.E. Strieby가 동축 전송로에 의한 광대역 전송방식을 발표했던 것에서 시작한다. 동축케이블은 평형대선로에 비해서 높은 주파수에서도 감쇠가 적고, 누화도 거의 없어 다중신호의 전송에 적합한 전송매체로서 연구가 진행되었다. 1941년 세계최초의 동축케이블 방식으로서 단거리 480회선, 장거리 600회선의 L1방식이 실용화 되었으나, 본격적인 개발과 실용화가 시작된 것은 제2차 세계대전 후이다. 그 후 1980년대 초 전화 10,800채널을 전송할 수 있는 600MHz동축케이블 전송방식도 완성되었는데, 동축케이블 방식이 4MHz의 P-4M방식에서 시작되어 12MHz방식, 60MHz방식으로까지 빠르게 확장되어 간 것에서 유추할 수 있듯이, 동축케이블 방식의 출현 이후의 반송기술의 발전은 트랜지스터의 사용과 초다중화, 고품질화, 고신뢰도화의 집결로 요약된다.

이러한 동축 케이블을 이용한 전송 개발을 살펴보면 미국은 1936년 0.3인치의 동축케이블을 이용하여 중계간격 10마일, 통화로 수 200, 전송대역 60 ~ 1,020KHz의 실험이 성공했고, 이어서 뉴욕 ~ 필라델피아 간 150km에서 내외경 1.8/6.9mm의 동축케이블에 의해 240통화로(60~1,020KHz)의 현장 실험이 이루어졌다. 1941년에는 L1방식이 상용화되었고, 이어서 L1방식의 개량이 이루어져 통화로 수도 600 CH가 되었으며 동시에 잔류 측파대 방식에 의한 TV전송도 가능하게 되었다. 1953년에는 L3방식이 뉴욕 ~ 필라델피아 간에서 상용화되어, 이후 미국의 장거리 간선으로 사용되었다. 그 후 트랜지스터를 사용한 중계기가 개발되었으며, 1965년에는 이것을 이용한 L4방식의 현장시험이 시행되어 1967년에 상용화되었다. 1970 ~ 1972년에 걸쳐 L5방식 (60MHz)의 현장시험이 행하여진 후 1974년에 상용화되었다.

영국은 1936년초 런던 ~ 버밍검 간에 0.45인치

직경의 동축 2조를 포설하여 전송대역 2.5MHz의 TV 전송실험을 한 후 1938년에는 동구간에서 전송대역 500~2,100kHz방식의 40CH의 전송장치가 미국보다도 약 3년 정도 빠르게 실용화되었다. 이것은 통화로 간격 5kHz의 8CH(60~100kHz)를 5개로 묶어서 기초 초군화한 것이다. 1952년에는 ITU(International Telecommunication Union) 표준의 960CH 4MHz 방식을, 12MHz방식은 1971년에 상용화하였고, 60MHz방식은 1973년부터 현장시험을 시작하였다.

그밖에 독일, 프랑스, 일본등에서도 다양한 장치가 개발되어 사용되었다. 이중 프랑스에서 세심 동축케이블이 1960년대에 개발되어, 1962년에 ITU에서 채택되었다. 이후 프랑스 이외의 영국, 이탈리아에서도 트랜지스터를 채택한 4MHz, 6MHz의 세심 동축케이블이 개발되었다. 세계적으로 12 MHz 방식은 1973년에 상용화되었고, 60 MHz방식은 1974년에 현장시험이 개시되어 1976년에 상용화되었다. 이 60 MHz방식은 시스템 당 전화 10,800CH 또는 4 MHz 텔레비전 9 CH의 전송이 가능한 대용량 방식이다.

해저통신에도 동축케이블이 응용되었는데 해저 동축케이블 방식은 1930년대부터 검토가 시작되어 최초로 중계기가 사용된 것은 1943년에 영국 우정성이 기존 해저케이블에 진공관 증폭기를 삽입시켜 48회선을 개통한 것이 그 효시라고 말할 수 있다. 이후 양질의 절연체인 폴리에틸렌이 개발되어 미국에서는 1950년에 플로리다주와 쿠바의 하바나 간 170km에 24회선을 개통하는데 성공하였다. 1956년에는 미국에서 제조된 케이블로 영국과 캐나다를 잇는 TAT-1(Trans Atlantic-1)이, 1964년에는 하와이 ~ 괌 ~ 일본을 잇는 TCP-1 (Trans Pacific-1)이 완성되었다.

이러한 동축 케이블 전송 방식의 주요 연혁을 요약한 것이 <표-1>에 나타나 있다.

〈표-1〉 동축 케이블 시스템 주요 발전 연표

년도	내용	케이블 (내/외경)	채널	주파수 (kHz)	국가
1934	동축 방송 10 마일 실험	0.3inch	200	60~1,020	미국
1935-6	TV 전송시험	5/18mm		“	미국
1936	150km 뉴욕-필라델피아 현장 시험	1.8/6.9inch	240	60~1,020	미국
1936	2.5MHz TV 런던-버밍엄 전송시험				영국
1938	전화 회선 실용화	0.45inch	40	500~2,100	영국
1941	L1 방식 초기 실용화	4~8 조*	600	2.8MHz	미국
1943	해저동축 방송		48		영국
1950	해저동축 방송(프로리다-하바나)		24		미국
1952	ITU-T 표준 4MHz 방식 상용화	8-12 조	960	4MHz	영국
1953	L3 방식 상용화(뉴욕-필라델피아)	세심	1,860	8MHz	미국
1956	TAT-1 개통				미국
1960	세심 동축케이블 개발				프랑스
1964	TPC-1 개통				미국
1967	L4 방식 상용화	12-20 조	3,600	17.5MHz	미국
1971	12M 상용화		900	12MHz	영국
1972	60M 상용화(독일개발, 스웨덴사용)		3,600	60MHz	영국
1993	60MHz 상용(동경-나고야-오사카)		10,800	60MHz	일본
1974	L5 방식 상용화	12-22 조	10,800	57.5MHz	미국

\* 미국은 손실을 줄이기 위하여 0.375inch 동축케이블을 사용하고 다심으로 구성

\* 미국은 손실을 줄이기 위하여 0.375inch 동축케이블을 사용하고 다심으로 구성

앞에서 서술한 바와 같이 각국에서 개발된 동축 케이블 시스템의 특성과 규격이 각각이다. 따라서 국제간의 통신의 상호접속 등의 필요성이 제기 되어 이에 대한 표준화가 ITU-T(ITU Telecommunication)에서 주파수 분할다중(FDM)에 대한 표준이 이루어 졌다. 아날로그 다중전송방식에서는 전송매체(주로 동선케이블)의 손실이 주파수의 제공근에 비례하므로 전송대역을 가급적 좁

게 하기 위해 반송파를 억압한 4kHz 대역의 단측파대(SSB : Single Side Band) 다중 방식을 기본으로 하고 있다. ITU-T 권고의 FDM 다중화 신호 계위(hierarchy)에서는 0.3~3.4 kHz의 음성전송대역, 12회선을 60~108kHz 대역에 걸쳐 쌓은 묶음이 기초군이며, 또 이것을 5개 묶은 것이 기초초군(SG: Super Group)이다. 이와 같은 형태로 구성이 되는 다중화 계위는 〈표 - 2〉와 같다. 미국에서는 이와는 달리 기초주군(MG: Master Group)으로 564~3,084 kHz의 3,600회선을, 그리고 기초저군다중(JGM: Jumbo Group Multiplex)으로서는

3,252~60,556 kHz의 10,800회선을 채택하고 있다. 미국에서 사용하고 있는 FDM 다중화 계위는 <표-3> 과 같다.

1980년 일본과 285km 600회선이 개통된 것이 최초 이고 이 때 사용한 CS-36M-DR 방식은 최대 2700 음성회선을 1500km를 전송할 수 있는 시스템이었으며 케이블은 28.1mm 및 25.4mm 동축케이블을

<표-2> FDM 다중화 신호 계위표

군	약 호	구 성	통화로수 (CH)	주파수대역(kHz)
기초군	G		12	60-108
기초초군	SG	G × 5	60	312-552
기초주군	MG	SG × 5	300	812-2,044
기초초주군	SMG	MG × 3	900	8,516-12,388
기초거군	JG	SMG × 4	3,600	42,612-59,684

우리나라에서 동축 반송은 1967년 5월 서울 ~ 수원간 8T-42p 세심 동축 케이블 포설공사가 시작되어 1969년2월11일에 P-4M방식 80회선 동축 반송을 개통한 것이 우리나라 동축케이블 통신방식의 효시였다. 그 후 서울 ~ 부산간 동축케이블 공사가 7년 8개월 만에 완공되어 1975년 2월7일 개통된 이래 동축 시설은 1980년대 중반까지 매년 세심 동축케이블과 표준 동축케이블을 이용한 2,700회선 용량의 SP-12M방식과 10,800회선용량의 C-60M방식을 대량 공급하여 중심국 이상 장거리 기간 통신망의 근간으로서 마이크로웨이브 통신방식과 함께 기간통신망의 2원화를 이루게 되었다. 그 후 통신방식의 추세가 아날로그 방식에서 디지털화로 진전되면서 진주 ~ 순천간을 마지막으로 사실상 동축케이블의 신설은 끝나게 된다. 동축 시설은 1987년 최대 8만 천 회선 용량이 설치되어 사용되다가 차츰 감소하게 된다 그리고 해저 동축 시설로서는

사용하였으며 중계거리는 4~5.8km 이었다. 우리나라에서 사용한 동축 반송 장치의 특성은 아래 <표-4> 와 같다

4. 디지털 전송 방식의 도래

가 PCM 방식의 태동

1930년에는 디지털 방식의 초기 형태인 펄스진폭 변조(PAM : Pulse Amplitude Modulation) 및 펄스폭 변조(PWM : Pulse Width Modulation)에 의한 24회선 다중반송 방식이 개발되었으나 실용화까지는 이르지 못하였다. 곧 이어 1937년에는 새로운 통신방식인 펄스부호변조(PCM : Pulse Code Modulation) 이론이 A. H. Reeves에 의해 발표되었고, 2차대전이 끝난 직후인 1948년에는 미국에서 최초로 실험용 PCM장치가 설계 제작되었는데, 당시 능동소자로서는 오로지 진공관 뿐이었고 또, 부호화에 사용된 부호관도 여러 가지 실험상의 문제점을 가지고 있었기 때문에 실용화에 이르지 못하

<표-4> 우리나라에서 사용한 동축 반송 장치의 특성

방 식	회 선 수	신 호 구 성	주파수대역(kHz)
N1,N2	12	1BG	36-132 172-268
N3	24	2BG	36-132 172-268
L1	600	1MG	60-108
L3	1,860	3MG+1SG	312-8,284
L4	3,600	6MG	564 ~ 17,548
L5	10,800	18MG	3,124~60,566
L5E	13,200	18MG	3,252~64,844

〈표 5〉 PCM 복미방식과 유럽방식의 비교

구 분		북미방식	유럽방식
전송특성	전송속도	1.544Mbps±50ppm	2.048Mbps±50ppm
	선로부호	AMI B8ZS	HDB3
프레임특성	타임 슬롯(통화로 수)	24(24)	32(30)
	프레임 당 비트 수(bit)	24 × 8+1=193	32 × 8=256
	멀티 프레임 수(주기)	12(1.5ms)	16(20 ms)
	프레임 동기방식	분산형	집중형
통화로 특성	표본화 주파수(주기)	8kHz(12 μs)	8kHz(12 μs)
	부호화 비트 수(bit)	7 5/6	8
	압신 법칙	μ-law(μ=255) 15 절선 근사	A-law(A=87.6) 13 절선 근사
신호특성	신호 방식	In-slot 방식(6,12 번째 프레임의 8 번 비트)	Out-of-slot 방식(16 번 채널)
	신호용 비트 수	1.333Kbps	2Kbps

였다.

PCM실용화에 결정적인 역할을 하게 된 것은 트랜지스터의 발명에 이어진 반도체 기술의 진보였다. 이 당시는 자동전화의 보급에 따라 근거리 반송회선에 대한 수요가 급증하고 또한 국간 케이블의 신설이나 증설에도 어려움이 많아 선로의 다중사용이 불가피하게 된 상황이었었는데, PCM이라는 획기적인 통신방식의 탄생으로서 디지털 방식에 의한 신호 다중화라고 하는 전기통신 역사상 하나의 커다란 진보가 이룩된 것이었다.

물론 FDM방식의 근거리 반송방식의 있기는 하였으나 경제성이나 전송 품질면에서 PCM방식에 비할 바가 못되었고 또한, FDM방식으로는 사용할 수 없었던 열악한 상태의 시내 외 케이블에서도 PCM방식은 능히 동작한다는 강점이 있었다. 그 결과 1962년 미국 시카고 지역에서 처음으로 PCM방식을 이용한 T1(telephone set 1)시스템이 개발되어 공중통신에 이용되었고 일본에서도 1965년에 PCM-24방식이 개발되어 실용화 되었으며 유럽에서는 1970년대 들어 유럽 방식 즉, 상용화됨으로써 그 동안 아날로그 방식에만 의존하던 전기통신의 막이 서서히 내려지고 PCM이라는 디지털 방식이 본궤도에 오르는 계기가 되었다. 이어 ITU-T

에서는 1976년에 유럽방식과 북미방식을 각각 G.773과 G.732로 권고하였다. 이들에 대한 내용이 〈표 5〉에 나타나 있다.

우리나라의 PCM 도입에 대하여 기술하면 FDM 반송방식은 장치 가격의 약 40%가 통화로(300-3400Hz)의 결합과 분리를 위한 통화로 밴드패스 필터(Bandpass Filter)가 차지하고 있었던 바 경제성 측면에서 10-20km 범위 내에 분포되어 있는 집중국~단국간에 적용할 수가 없었다. 이에 비하여 PCM 방식은 시분할 다중(TDM : Time Division Multiplexing)방식을 채용한 것으로서 잡음과 누화에 강하여 FDM방식을 사용할 수 없었던 기존의 케이블도 전송매체로서 이용할 수 있었으며, 또한 복잡한 필터를 필요로 하지 않아 장치 가격이 저렴해진다는 특징과 기존 음성케이블을 그대로 이용하여 급증하는 국간 중계수요를 어느 정도 감당할 수가 있는 방법이었다. 이러한 이유로 인해 북미방식의 PCM장치를 도입키로 하고, 1970년부터 대일 청구권자금에 의한 PCM-24방식 도입을 추진하여 1972년 11월 30일 서울 동대문~노량진 전화국간에서 24회선을 최초 개통하였다. PCM-24반송은 음성 24회선을 다중 전송하는 4선식 반송방식으로서 중계기간 거리는 1.8km, 전송속도는 1.554Mbps이며,

전송선로로는 고주파 전송특성이 좋은 0.65mm 스크린케이블이 주로 사용되었다. 1979년3월 체신부(현 정통부)는 1980년부터 3년간에 걸쳐 약 60만 회선의 PCM회선을 증설하기로 하고, 국제입찰로 완제품을 도입하기로 하여 1981년에 서울 공능~전농 전화국간에서의 DE-4 PCM 48회선을 시험 설치하였고, 이어서 1982년부터 본격도입을 시작하여 국산화 개발된 KD-4 PCM과 병행 시설되다가 1984년 이후에 도입이 중단되었고 이후는 국내에서 개발된 KD-4 PCM 이 본격적으로 설치되어 사용되기 시작하였다.

#### 나. 비동기식 다중 기술 및 다중화 계위

PCM 전송 기술이 만개가 되면서 경제적으로 통신의 수요를 충족시키기 위해 회선의 효율을 높이기 위한 디지털 다중화의 필요성이 대두되어 개발되기 시작하였다. 이에 따라 아래에서 설명될 각 계위에 따른 다중화장치가 개발되어 동축 케이블 시스템 혹은 마이크로웨이브 시스템과 후에 기술될 광통신 시스템에 사용되었다. 그리고 디지털 계위는 아니지만 대용량 디지털 전송을 위하여 일본에서는 5,760회선의 PCM-400M방식이 개발되었고, 미국에서는 4,032회선의 T4M (274.176Mbps)이, 캐나다에서는 4,032회선의 LD-4방식이, 유럽에서는 565Mbps 동축 케이블을 이용한 전송 시스템도 개발되었다.

한편 디지털 전송망에서는 디지털 전송장치 간의 상호 호환성을 유지하며, 국제간 연동 시 추가 변환 기능 없이 상호접속을 가능하게 하기 위해서는 통일된 디지털 계위 설정이 필요하다. 초기의 디지털 다중화 방식은 동기식 다중화에 필요한 클럭의 안정도를 얻을 수 없었고, 또 관련 기술들의 미숙으로 비동기식(plesiochronous) 방식에 의한 다중화가 80년대 말까지 주로 사용하게 되었다. 일본을 제외한 세계 여러 나라에서 채택하였던 비동기식 디지털 계위(PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy)는 ITU-T에서 권고하는 북미방식과 유럽방식 중 하나를 채택하여 적용하고 있으며, 서로

다른 계위를 적용하는 국가들간의 디지털 접속을 위해서 국제간 연동 계위를 적용하여 사용하였고 있다. 물론 일본의 디지털 다중화 계위도 북미식의 아류로 볼 수 있다.

#### 1) 북미방식 계위

북미방식 디지털 계위는 음성 24채널을 기본으로 하여 1.544Mbps(24CH) ~ 6.312Mbps(96CH) ~ 44.736Mbps(672CH)로 3차군까지 정의되어 있으며, 또한 북미방식의 변형인 1.544Mbps ~ 6.312Mbps ~ 32.964Mbps ~ 97.728Mbps의 계위가 일본 망에 적용되고 있다. 한편 ITU-T에서는 북미방식의 4차군 계위 이상에 대한 표준화는 새로운 동기식 디지털 계위를 따르기로 합의하였으므로 더 이상의 비동기식 고차군 계위에 대한 표준화는 중단된 상태이다.

#### 2) 유럽 방식 계위

유럽방식 계위는 음성 30채널을 기본으로 하여 2.048Mbps(30CH) ~ 8.448Mbps(120CH) ~ 34.368Mbps(480CH) ~ 139.264Mbps(1,920CH)로 4차군까지 정의되어 있는 상태이다. 한단계 상승할 때마다 수용채널 수가 4배씩 증가되나, 다중과정에서 비동기된 입력신호들 간의 속도차를 보상하기 위해서 여분의 비트가 필요하기 때문에 계위의 비트속도는 정수배로 증가하지 않는다. 유럽방식 디지털 계위의 장점은 전송시스템 구성 시 논리회로의 효율성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 교환기와의 접속을 용이하게 실현시킬 수 있고, DS1 신호가 CCC(Clear Channel Capacity) 요구를 만족하며, DS4신호의 기본속도 139.264Mbps는 전송매체로 동축, 마이크로웨이브, 그리고 광통신 등을 모두 이용할 수 있다는 점 등이다. 북미식과 마찬가지로 ITU-T에서는 유럽방식 5차군 계위 이상에 대한 표준화는 새로운 동기식 디지털 계위를 따르기로 합의하고 더 이상의 비동기식 계위에 대한 연구는 중단된 상태이다.

#### 3) 국제간 연동 계위

국제간 연동계위는 이중 디지털 계위를 이용하고 있는 디지털 망간의 국제적 연동을 위해 ITU-



T 권고 G.802에 정의된 계위로서, 각 계위에서의 기본 비트 속도는 2,048Mbps(30CH) ~ 6,312Mbps(90CH) ~ 44,736Mbps(630CH) ~ 139,264Mbps(1,890CH)를 기본으로 설정되어 있다. 따라서 종래에는 유럽 및 북미방식의 디지털 계위가 각각 독립적으로 구성되어 운용되었으나, 이러한 연동 계위를 이용하여 이중 디지털 계위 신호간의 국제간 상호접속이 실현되고 있다.

#### 4) 국내 디지털 계위

우리나라의 디지털 계위는 1970년대 초에 일본으로부터 PCM-24방식의 단국장치와 선로 중계기를 도입하면서 이미 북미방식의 1차군이 사용되었고, 이후 1975년에 192회선 용량의 11GHz PCM 마이크로웨이브 시스템 개발에 6,312 Mbps 2차군 다중화 장치를 개발하여 사용함으로써 다중화 계위의 역사가 시작되었으며, 한두 번 유럽방식에 대한 검토가 진행되기는 하였으나 그 당시로서는 유럽방식이 장치가 고가이면서 아직 확실하게 완성된 방식이 아니었고, 또 이미 도입된 북미방식의 시설 교체도 문제가 되어 본격적인 방식 전환은 추진되지 못하였다. 따라서 우리나라는 북미식 방식을 디지털 계위로 채택하여 사용하여 왔다. 1986년 상반기에 국내의 디지털 다중화 계위의 전송속도의 4차군을 139,264Mbps로 추가 확정하였다. 4차군을 139,264Mbps로 추가로 채택한 이유는 ITU-T의 북미방식에서 4차군 이상을 권고하지 않지만 유럽방식 다중화 계위와 북미방식 다중화 계위의 혼합 접속을 북미방식의 44,736Mbps에서 유럽방식의 139,264Mbps로 권고한 것을 기초로 한 것이다.

그 후 우리나라의 국제간 통신시설이 유럽방식으로 사용되고 있었고, 또 ISDN개념이 도입되면서 DS-1의 64Kbps 전송기능 문제가 나타나게 되자 1989년 7월 24일 정통부 고시 제 60호로 디지털 기본 계위 신호를 1,544Mbps대신에 2,048Mbps신호를 도입하기로 결정하여 2,048Mbps ~ 6,132Mbps ~ 44,736Mbps ~ 139,264Mbps로 비동기식 디지털 계위가 확정되어 사용되어 왔다.

#### 다. 동기식 다중화 기술 및 계위의 태동

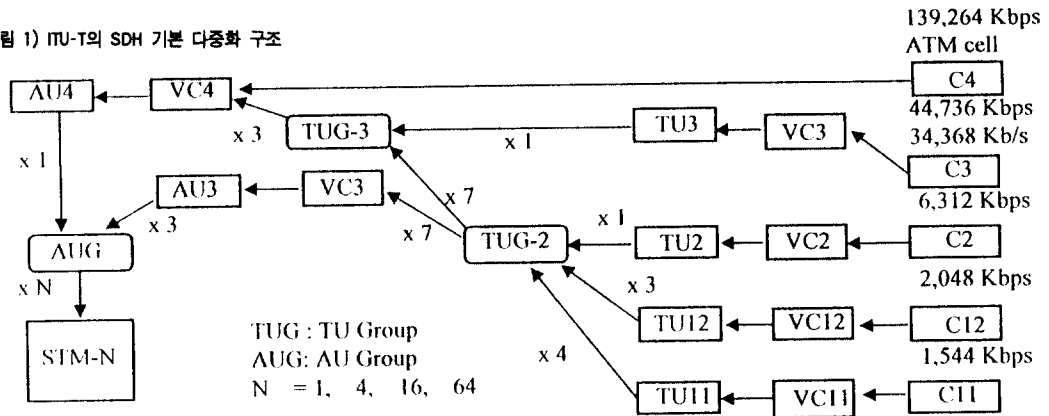
기존에 주로 이용되어 왔던 북미의 1,544Mbps와 유럽의 2,048Mbps 신호를 바탕으로 하는 비동기식 전송 체계는 단단계 다중화 구조를 갖고 있어 전송 속도를 증가 시키기가 용이하지 않았고, 전송망의 현대화와 직결되는 OAM(Operations, Administration & Maintenance) 자동화, 전송망의 소프트웨어 구동 네트워크 실현 등의 측면에 많은 제약이 있었다. 따라서 비동기식 전송 방식의 제 문제들을 해결하고, 전송장비에 컴퓨터 및 소프트웨어 기술을 보다 적극적으로 활용할 수 있는 동기식 디지털 계위(SDH: Synchronous Digital Hierarchy)의 광전송망 개념이 등장하였고, 이와 관련된 기술로 ITU-T에서 1986년부터 ISDN 국간 전송능력에 적합한 새로운 동기식 계위에 대한 연구를 추진하여, 1988년 11월 북미방식의 디지털 계위 중 3차군, 유럽방식의 디지털 계위 중 4차군 신호까지 수용 가능한 새로운 SDH 및 관련 다중 인터페이스 구조를 1988년 국제 표준화하였고(G.707~G.709), 그 후 일부 추가적인 표준화가(G.781~G.784, G.957~G.958) 이루어짐으로써 범세계적으로 적용되고 있다.

SDH의 기본레벨 전송 속도는 155,520Mbps이며, 고차군 계위의 속도는 기본 레벨 속도의 4 정수배로서 155,520Mbps ~ 622,080Mbps ~ 2,488,320Mbps ~ 9,953,280Mbps로 표준화가 설정되어 있는데, 동기식 다중기술을 이용하면 기존 비동기식 계위 신호 및 ISDN서비스(B, H0, H1, H2, H4) 신호를 통합 수용할 수 있을 뿐만 아니라 1단계 다중, 회선의 분기, 결합, 분배기능 등을 용이하게 실현시킬 수 있다. 이와 같은 동기식 기본 다중화 구조에 대한 그림이 (그림 -1)에 나타나 있다.

#### 1) 동기식 기술의 응용

SDH 전송 방식은 크게 2가지의 신호 전달 형태를 수용한다. 이에는 가상 컨테이너인 VC11, VC12

(그림 1) ITU-T의 SDH 기본 다중화 구조



그리고 VC3를 통한 기존의 PDH 방식의 T1, E1 그리고 DS3급 신호 수용과 향후 멀티미디어 서비스의 기반을 제공하는 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 셀(Cell)의 VC4를 통한 전송이 해당된다. 여기서 SDH 전송의 기본 프레임인 STM(Synchronous Transfer Mode)은 125us 주기의 정방형 바이트 단위 프레임에 미리 정의된 채널이나 타임 슬롯을 할당하는 시분할 다중방식에 기본을 두며, ATM은 53 옥테트(octet; 8 비트)의 고정된 길이로 이루어진 셀 단위로 전달하는 패킷 다중방식에 기본을 두는 전달 형태이다.

비동기식 디지털 계위를 기본으로 하는 전송망은 점대점 간의 전송에 바탕을 둔 비동기식 다중 전송 장치들로 구현되었다. 또한 비동기식 전송망은 전송 신호간의 네트워킹이 분배가(MDF: Main Distribution Frame) 상에서 운용자의 수작업에 의해 수행되거나 디지털 회선 분배 시스템 (DCS: Digital Cross-connect System)을 이용하는데, 이는 비동기식 다중 방식의 특성에 기인한 다중 신호의 역다중 그리고 다시 다중 처리가 됨에 따라 전송용량이 증가될수록 망 효율이 저하되며 망운용 관리도 급속히 복잡하게 된다. 따라서 이 같은 문제점을 해결하고 전송망 관리 능력의 향상을 위하여 동기식 전송망의 도입이 선진국을 중심으로 이루어지고 있다. 물론 이러한 동기식 전송망은 고속 신호 전송을 위하여 광통신 기술과의 결합이 필수적이다. 동기식 전송망 구축은 지리적으로 점대점

형태를 유지하는 구간에 SDH 단국이 먼저 도입되고, 전송 용량이 상대적으로 적은 링형 구간에 ADM(Add-Drop Multiplexer) 장치가 도입 운용되고 있다. 그러나 점차적으로 동일 국사 내에 SDH 단국 또는 SHR(Self-Healing Ring) ADM형 장치가 증가됨에 따라 자연스럽게 SDH 단국간 또는 SHR간의 연동에 의한 유연하며 다이나믹한 망 구성이 요구된다. 이와 같은 망연동과 효율적 전송 자원 관리 기능을 제공하는 망 노드 장치로서 광대역 회선 분배시스템 (BDCS: Broadband DCS)이 있고, 이 BDCS는 통신망 사업자의 특성에 따른 유연성 생존망을 구성 하게 한다.

따라서 SDH는 기존 PDH망에서 SDH망으로 그리고 ATM 기본의 B-ISDN으로의 점진적이며 경제적인 진화에 있어 중추적 역할을 할 것으로 예상되고 있다.

라. 가입자 전송 기술의 광대역화 및 재조명

통신망에서 가입자 망의 비중이 70% 정도를 차지하고 있으며 이 중 동선 가입자 선로가 대부분이다 따라서 최근에 다양한 서비스 즉 음성, 데이터, 그리고 비디오 서비스의 출현에 따라 이를 수용하기 위하여 기존에 이미 깔려진 동선을 최대한 이용하기 위한 방안이 모색되어 왔음은 물론이다. 하지만 고속의 서비스를 효율적으로 제공하기 위하여는 가입자 망의 변화가 불가피하게 되었으며, 이들을 수용하기 위한 기존의 가입자 선로, 동축케

이블, 광선로, 무선 등을 혼용한 여러 가지 망 형태가 서비스와 밀접한 관계를 맺으며 출현하고 있다. 최근의 이러한 가입자 망 구조의 변화 및 발전은 가깝게는 2000년대에 멀티미디어 서비스를 효율적으로 수용할 수 있는 가입자 망으로의 진화 과정으로 볼 수 있다. 따라서 여기서는 현재 구축되고 있는 동선을 이용한 가입자망 전송 기술에 대하여 살펴보고자 한다.

동선을 이용하여 현재 구현되고 있는 가입자망의 형태로는 xDSL과 FTTC(Fiber-To-The-Curb) 등이 있다. 이 중에서 FTTC는 광전송 기술과의 결합으로 구현이 되는 것이므로 광전송 기술을 다루는 장에서 논의하고자 한다.

xDSL은 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line), HDSL(High-bit-rate Digital Subscriber Line), RADSL(Rate Adaptive Digital Subscriber Line), VDSL(Very-high-speed Digital Subscriber Line)를 총칭한다. ADSL은 기존의 전화 회선에 비대칭 모뎀 기술을 적용함으로써 동시에 전화, 고속의 단방향 디지털 데이터 및 저속의 양방향 디지털 데이터를 전송할 수 있는 것으로서 0.5 mm 동선에서 1.544Mbps에서는 5.4Km, 2.048Mbps에서는 4.8Km, 6.312Mbps에서는 3.6Km정도가 하향 전송 거리가 된다. 현재에 ADSL를 이용하여 1.5Mbps MPEG-1(Moving Picture Experts Group 1)의 비디오 데이터를 전송하는 소규모의 시험 서비스가 운영되고 있다.

HDSL은 동선상에서 T1/E1을 전송하는데 사용하던 전송 기술을 향상시킨 변조 기술로서 Full Duplex 기능, 적응 선로등화기(Adaptive Line Equalization)와 2B1Q 변조 기술을 통합한 것으로서, T1/E1에 비해 대역폭이 80 KHz ~ 240 KHz로 감소되고 전송 거리는 T1속도에서 4.5 Km, E1속도에서 4.2 Km 정도를 얻을 수 있는 기술이다.

RADSL은 다른 xDSL모뎀들이 고정된 전송 속도만을 유지하는데 반하여, RADSL 모뎀은 전화선의 전송 품질과 길이에 따라서 자동적으로 속도를 조정하여 가능한 최고의 속도로 전송한다. 그리

고 한 개의 기존 전화선으로 고속의 데이터 통신과 전화 통화를 동시에 할 수 있는 장점이 있지만 기존의 전화선이 갖는 전송 특성으로 인하여 최대 전송 속도와 최대 전송 거리의 제한이 있다. RADSL에서 예상되는 최대 전송 속도는 9Mbps이고, 최대 전송 거리는 5.4 Km 정도이다.

VDSL은 ADSL보다 전송 거리가 짧은 구간에서 고속의 데이터를 비대칭 전송하는 변조 기술이지만, 아직까지 표준화되지 않은 상태이고 또 하향 전송 속도만 검토되고 있다. VDSL은 몇 가지 초기 제품은 개발되어 있지만, 아직까지 VDSL에서 전화 선로 특성, RFI(Radio Frequency Interference) 방출과 감도, 상향 다중화 프로토콜 등과 같은 여러 가지 사항이 확인되지 않은 상태이다.

이러한 xDSL 전송 방식은 초기에 수Km 이내의 가입자에게 수Mbps급 서비스를 제공해주기 위한 기술로서 충분하므로 당분간은 xDSL이 FTTC와 혼재하여 사용될 것이다. 그러나 2000년 이후의 서비스는 최소 수십 Mbps 이상의 전송 용량을 요구할 것이므로, 이때는 xDSL 단독이 아닌 FTTC 형태로 제공되거나 FTTH(Fiber-To-The-Home) 방식으로 대체될 것으로 예상된다.

## 5. 광통신의 도입 및 발전

### 가. 광통신의 시작

광통신은 1960년대 미국 휴즈항공사의 Maiman에 의한 루비레이저의 발명을 계기로 본격적으로 연구되기 시작하였다. 당초는 공간전파나 광빔가이드를 전송매체로 하는 연구가 주류를 이루었으나, 1966년에 영국 Kao, Hockham이 광섬유를 이용한 장거리 통신의 가능성을 제시함으로써 시작되었다. 그 후 1970년 미국의 코닝(Corning)사가 1km당 전송손실이 20dB인 광섬유를 최초로 제조하였고, 1976년에는 일본에서 0.5dB/km(파장 1.3 $\mu$ m)의 광섬유를 발표하였으며, 다시 1979년에 석영계 광섬유의 손실이 이론한계에 가까운 0.2dB/km(파장 1.55 $\mu$ m)의 단일모드 광섬유의 제조가 가능하게 되

었다. 이와 같은 광섬유의 개발 연혁은 <표 - 6>과 같다

저손실 광섬유의 개발과 더불어 광통신 시스템 구성에 필수적인 반도체 레이저는 1970년 벨연구소에서 단파장 GaAlAs 레이저의 연속 발전에 성공한데 이어 1976년 미국과 일본등에서 장파장 GaAlAsP/InP 레이저를(파장 1300nm) 개발 하였으며, 1980년대 초에 1300nm와 1550nm에서 동작하는 단일 종모드 레이저가 개발됨에 따라 광통신 분야의 비약적인 발전이 이루어지게 되었다

<표-6> 광섬유 개발 연혁

연 도	내 용
1951	의류용 유리섬유 발명
1964	일본 동북대, GI형 섬유의 제안
1966	STL, 전송용 광섬유(1,000dB/km)의 가능성 시사
1968	일본, GI형 섬유(200dB/km)개발
1970	코닝, 저손실(20dB/km)광섬유의 개발
1973	벨연, 저손실(1dB/km)광섬유제조법(MCVD) 발명
1974	일본, MCVD 제조기술 발명
1976	NTT, 스미토모전선, 극저손실(0.5dB/km) 광섬유 (계단형, 1.2 μm)개발
1977	NTT, 섬유연속제조법(VAD) 발명
1979	NTT, 극저손실(0.5dB/km) 광섬유(단일모드 형, 1.55 μm)개발
1985	코닝, 스미토모 전선, 1.55 μm 영본산 섬유개발

나. 국간 응용 광전송 시스템

광전송 기술의 발달은 크게 4세대로 나누어 생각할 수 있고 이러한 분류는 장거리 전송 뿐만 아니라 가입자 전송기술에도 적용이 되는 것이다. 광전송 기술의 1세대는 850nm의 단파장에 다중모드 광섬유를 사용한 것으로 요약할 수 있다. 1세대의 광전송 기술은 광섬유, 광원 및 광검출기의 비약적인 발전으로 짧은 기간동안에 실험실 수준을 벗어나 1980년에 이미 32Mbps 급 광전송 시스템이 일본에서 상용화되었고, 10Km 중계거리를 갖는 820nm 단파장 다중모드 45Mbps급 광전송 시스템이 미국에서 1983년 1월에 통신망에 도입되어 서비스를 시작하였다. 이러한 광전송 시스템들은 동축케이블 시스템에 비하여 무중계 거리가 비약적으로 크게 되므로 중계기 설치가 줄어들어 이에 따른 신뢰성 향상과 유지보수 등에서 매우 유리하므로 각광을 받기 시작하였다. 2 세대의 광전송 기술은 광섬유의 손실이 1dB/km 이하가 되는 1300nm 장파장 영역에서 광전송을 이용하는 것으

로서 1300nm 근방에서 동작하는 레이저 다이오드와 광 검출기의 개발에 힘입어 시스템 개발이 촉진되었다. 2세대 초기에는 다중모드 광섬유를 이용한 광통신 시스템 개발이 추진되어 90Mbps, 135Mbps 광전송 시스템이 개발되었고, 1980년에는 1300nm 대역의 단일모드 광섬유를 사용하여 30km 무중계 거리의 140Mbps 광전송 기술이 가능하여 전화국 사이의 맨홀에 설치되는 중계기가 필요 없게 되었다. 1981년에는 실험실에서 2Gbps를 단일모드 광섬유를 사용하여 44km 전송을 성공한 사례가

보고되었다. 따라서 단일 모드 광섬유를 사용한 수백 Mbps 급의 광전송 시스템이 개발이 본격적으로 추진되어 1983년도에 단일모드 140Mbps 광전송 시스템과 400Mbps 광전송 시스템이, 1989년도에는 1.6Gbps 광전송 시스템이 일본의 통신망에 도입되었다. 미국에서도 1987년 중계거리 50km가 가능한 1.7Gbps 광전송 시스템이 상용화 되어 1989년에 본격적으로 통신망에 사용되었다. 3세대의 광통신 시스템은 광섬유에서 손실이 최소가 되는 1550nm 대역을 사용하는 시스템으로서 1550nm에서 손실이 최소가 되지만 색분산이 많아 고속 전송에는 응용하기가 쉽지가 않았다. 그러나 분산 천이 광섬유(DSF : Dispersion Compensated Fiber)가 개발되고 레이저 다이오드의 종모드 스펙트럼 특성이 개선됨으로써 시스템이 본격적으로 개발되기 시작하였다. 그리고 1988년 동기식 다중 계위도 표준화가 이루어짐으로써 1990년에 동기식 계위를 채택한 2.5Gbps 광전송 시스템이 상용화 되었고, 미국에서 1992년부터 통신망에 도입되기 시작하였다. 그러

므로 현재의 고속 광전송 시스템은 국제적으로 표준화된 동기식 디지털 계위와 광대역 광통신 기술과의 결합으로 가능해진 것이다.

이러한 3세대의 광전송 기술은 장거리 전송 시에 60~70km 마다 증계기를 설치하여 광을 전기적 신호로 바꾸어 증폭하고 다시 광신호로 바꾸어 보내는 단점을 가지고 있다. 따라서 4세대의 광전송 기술은 증계기에서 광전신호의 변환이 없이 전송이 가능한 광증폭기를 사용하거나 채널의 용량을 늘리기 위하여 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 방식을 사용하는 것을 말한다. 미국의 경우 이미 사용하고 있는 2.5Gbps 광전송 시스템의 용량을 증대하기 위하여 WDM 방식을 사용하고 있으며 최근에는 최대 40Gbps 용량의 WDM 광전송 시스템을 개발하여 사용하고 있다. 그리고 미국의 2위의 장거리 회사인 MCI도 기 설치된 10Gbps TDM 시스템에 향후 이를 바탕으로 WDM 시스템으로 용량을 증대 시킬 계획을 수립하고 있다.

국내에서도 1978년부터 6.3Mbps 광전송 기술의 연구개발을 시작하여 1982년 45Mbps 광전송 시스템의 현장시험을 거쳐 1986년도에 증계거리가 30km인 장파장 90Mbps 광전송 시스템의 상용화가 이루어졌다. 그 후 국내 기술진이 개발한 565Mbps 광전송 시스템이 1991년도에 도입되었고, 2.5Gbps 광전송 시스템은 1992년도에 도로공사가 최초로 국내에 도입한 이래 한국통신이 외국에서 개발된 2.5Gbps 광전송 시스템을 1994년도에, 국내에서 개발된 제품을 1996년도부터 도입하여 약 11,800km 이상의 전국 도시구간에 설치된 광케이블을 이용하여 사용 중에 있다. 10Gbps 광전송 시스템도 1998년도에 상용시험 예정이어서 광통신에 관한 한 상당히 앞서 있는 셈이다.

#### 다. 해저 광케이블 시스템

해저 광케이블 분야는 전송 거리가 매우 길어 광통신 기술의 활용이 가장 효과적인 분야로서, 광통신 기술 개발 초기부터 활용 연구가 지속적으로 추

진되어왔다. 해저 케이블 시스템은 케이블과 증계기가 수천 m 혹은 수만 m의 심해 바닥에 영구히 포설되므로, 사고가 발생할 경우에 수리가 매우 힘들어 시스템의 신뢰성이 생명이다. 또한 증계기들을 동작시키기 위한 전원 공급도 문제가 된다. 이러한 신뢰성 확보의 노력을 거쳐 최초의 해저 광케이블 시스템이 대서양을 가로지르며 1988년에 완공되었다. 이를 TAT-8(Trans Atlantic Telephone System)이라 부르며, 그 이후로 각국에서 다투어 해저 광케이블을 설치하여 운영 중에 있는데 현재 운영되고 있는 해저 광통신 시스템 중에서 대서양 횡단 TAT-12/13과 태평양 횡단 TPC-5(Trans Pacific Cable-5)는 광증폭기를 증계기로 채용한 시스템으로 전송속도는 5Gbps이고 용량은 10Gbps이다. 그리고 SEA-ME-WE-3는 유럽, 아랍, 동남아시아를 연결하는 WDM 기술을 최초로 사용하는 것으로서 최대 8채널의 WDM이 가능하고 채널 당 전송속도는 2.5Gbps로서 1998년 하반기에 개통될 예정이다.

최근 한국통신은 이러한 국제공동의 해저 케이블 사업에 적극 참여하고 있는데, 1990년HJK(홍콩-일본-한국연결) 개통 이래 1995년도의 RJK(소련-일본-한국연결)과 CK(한국-중국) 개통 사용은 물론 1997년 2월에 한국, 일본, 대만, 홍콩, 필리핀, 싱가포르, 인도네시아, 말레이시아, 태국을 연결하는 APCN(Asia Pacific Cable Network) 망을 개통하여 사용하고 있고, 또 지중해, 인도양, 극동지역을 연결하는 FLAG(Fiber optic Link Around the Globe)와 SEA-ME-WE-3 사업에도 참여하여 국제통신망 확충에 노력하고 있다. 국내용으로는 제주-고흥 간에 280Mbps속도의 해저 케이블을 설치 운용하고 있으며, 삼척-울릉도를 연결하는 140Mbps속도의 해저 케이블도 설치되었다.

이와 같은 광전송 시스템의 국내외 개발과 도입의 연혁을 정리하면 아래 <표-7>과 같다.

#### 다. 광 가입자 망

광통신 기술은 광대역의 매력으로 인하여 광통신이 도입되기 시작한 직후부터 가입자 계의 동축

〈표-7〉 광전송 시스템의 국내외 개발 및 도입 연혁

년도	내용 (국외)	내용 (국내)
1976	NTT 32Mbps 광전송 실험(350nm)	
1976	BT 8Mbps, 140Mbps 전송실험	
1977	AT&T 1.5Mbps, 45Mbps 전송 실험	ETRI 6.3Mbps 광전송 실험
1978	NTT 100Mbps 전송실험(장파장)	ETRI 45Mbps 광전송 실험(광화문-중앙)
1978	캐나다 가입자망 전송 시험(전화, 데이터, TV)	
1979	NTT 400Mbps 전송실험(장파장)	금성전기 1.5Mbps 광전송 장치 개발
1979	NTT 6Mbps, 32Mbps, 100Mbps 해저 무중계 전송실험(장파장)	
1979	NTT 가입자망 전송 시험(디지털, 영상, 0.8 $\mu$ m ~1.3 $\mu$ m, WDM)	
1980		ETRI video 광전송 실험
1981	NTT, 32Mbps, 100Mbps 공중망 도입 개시	ETRI 45Mbps 현장 실험(구로-시흥-안양, 12km)
1981	아르헨티나, 34Mbps, 140Mbps 도입	
1982	NTT 400Mbps 해저 광전송 현장 실험(장파장)	
1982	KDD 280Mbps 해저 광전송 현장 실험(장파장)	
1983	AT&T 45Mbps(FT-3) 통신망 도입	
1983	NTT 400Mbps 공중망 도입	KT 45Mbps 상용시험 및 도입(구로-간석, 35km)
1983	AT&T 90Mbps(FT-3c) 통신망 도입(983kn)	
1984	미국 LA 하계 올림픽 운용	
1984		한전 6.3Mbps 도입(인천화력-부평변전소)
1985	AT&T 432Mbps(FT-4) 통신망 도입(장파장)	ETRI 45/90Mbps 현장 실험(장파장, 17km) KT FT-3C(90Mbps), 135Mbps 통신망 도입 KT 90Mbps 국내개발 광전송시스템 도입
1986		
1987	1.7Gbps 광전송시스템 상용화	
1988	TAT-8 대서양 해저 광케이블 시스템 부설 (280Mbps)	ETRI 565Mbps 광전송시스템 개발
1989	AT&T 1.7Gbps 광전송시스템 통신망 도입	
1989	일본 1.6Gbps 광전송시스템 통신망 도입	
1989	1550nm 광증폭기 상용화	
1991		KT 565Mbps 광전송시스템 통신망 도입
1992	AT&T 동기식 2.5Gbps 광전송시스템 도입	도로공사 2.5Gbps 광전송시스템 도입
1994		KT 2.5Gbps 광전송시스템 도입
1995	TAT-12 대서양 해저 광케이블 시스템 부설 (5Gbps)	
1995	일본 10Gbps 광전송시스템 통신망 도입	
1995	MCI 10Gbps 광전송시스템 통신망 도입	
1996	AT&T 2.5Gbps 4WDM 시스템 통신망 도입	KT 국내개발 2.5Gbps 광전송시스템 도입

케이블을 대신하여 영상 전송을 보내기 위한 시도가 있었다. 동축 CATV에서 영상을 동축 케이블로 전송하기 위하여는 최소 수백 미터 마다 중계기를 설치해야 하지만 광통신을 이용하면 가입자까지 중계기를 거의 사용하지 않고 보낼 수 있고, 또 VOD(Video-On-Demand) 서비스를 쉽게 제공해줄 수 있기 때문이다. 1978년 일본에서 Hi-Ovis 프로젝트로 아날로그 영상과 전화를 포함하는 POTS 서비스를 광을 통하여 가정에 전송하는 것이 최초의 시도이었다. 그 후 광통신 기술의 영상 전송을 위한 응용은 주로 CATV 망 응용에 비중을 두어 추진되었다.

광통신 기술이 발전하여 광케이블 가격과 광소자 가격이 떨어지기 시작함에 따라 광통신 기술의 가입자 영역에서 통신 응용에 대한 관심이 1980년대 하반기부터 집중되기 시작하였다. 이러한 결과로 광 기술을 응용하는 FITL(Fiber in the Loop)이 본격적으로 추진되었다. 초기에 FITL은 CATV 서비스를 포함하지 않는 통신서비스 전용으로 시스템이 많이 개발되었는데 이것은 통신 서비스만으로도 경제성이 가능하기 때문이기도 하지만 당시 미국, 일본과 같은 일부 국가에서는 통신서비스 영역과 CATV 서비스 영역간 상호접근이 법으로 규제가 되었기 때문이었다. 그 후 세계적으로 사업자 간의 서비스 규제가 완화되는 추세에 따라 FITL에 CATV 서비스가 포함되었으며, 현재 구현되고 있는 광 가입자 망의 형태로는 FTTO(Fiber-To-The-Office) 과 FTTC, FTTH, HFC(광·동축 복합망: Hybrid Fiber/Coax) 등이 있다.

FTTO혹은 FTTZ(Fiber-To-The-Zone)은 수백 회선의 수요가 있는 대형 빌딩이나 아파트 단지에 통신 서비스를 경제적으로 제공해 주기 위해 개발된 대용량 디지털 가입자 선로로서 대형빌딩 혹은 가입자가 밀집되어 있는 RT(Remote Terminal)까지는 디지털 방식의 광전송 선로를 이용하고 RT에서 가입자까지는 기존의 설치되어 있는 동선을 이용 POTS는 기존과 같이 아날로그 방식으로

제공하며 그밖에 데이터 서비스, T 1급 서비스 등을 제공해 주는 기능이 있지만 보통은 CATV 서비스는 제공되지 않는다.

FTTC 기반 가입자망은 가입자까지 모두 디지털 전송방식을 따르며, 액세스 노드(FTTO의 CT와 같음)로부터 가입자 인근에 설치되는ONU(Optical Network Unit)까지는 광선로가 연결되고, ONU로부터 가입자까지의 최종 가입자 인입선은 비차폐 꼬임선으로 설치되는 경우가 대부분인데 현재까지 거론된 영상과 통신을 제공하는 전송망으로는 설치 비용이 가장 저렴한 것으로 평가되고 있다. 현재 xDSL 기술에 의해 서비스 속도가 6Mbps 까지 확장되어 상당 기간 동안 경제성 있는 가입자 서비스를 제공할 것으로 예상된다. ONU로부터 가입자까지 보다 고속의 디지털 서비스를 제공하는 경우는 ADSL보다 VDSL 모뎀을 사용하며 VDSL을 이용한 전송 거리는 300 m ~ 1.5 Km정도 이고 전송 속도는 13 ~ 52Mbps정도를 보낼 수 있다. FTTC 기반 가입자망은 가입자에게 전화 서비스, 협대역 서비스 및 광대역 서비스를 모두 제공할 수 있다.

HFC형태의 가입자망은 중심지역까지 광케이블을 통하여 아날로그 신호로 전송하고, 여기에 다시 동축케이블에 의한 나무 가지 구조(Tree and Branch)가 보편적으로 사용되었다. 나무 가지 망 구조는 헤드엔드에서 다중의 가입자들에게 TV 채널을 분배하는 분배형 서비스에 대해 케이블 분배 장치를 가장 경제적으로 사용할 수 있는 구조이다. HFC 망을 이용하여 양방향 통합 서비스를 제공하기 위해서는 물리 계층의 RF 신호 변복조, MAC(Media Access Control) 프로토콜, 응용 서비스 별 RF스펙트럼 할당, HFC 망의 주요 요소 간의 인터페이스 등에 대한 표준이 지원되어야 한다. 그러나 현재 다양하게 나와있는 케이블 모뎀들은 상호 동작성에 대한 별다른 고려 없이 개발되어 HFC 망의 호환성을 제한하고 있는 상태이다. 따라서 늦게나마 최근 들어 케이블 모뎀에 대한 표준화 활동이 활발하게 진행되고 있다. HFC 액세스

망에 대한 표준화는 업계 포럼(MCNS DOCSIS)과 IEEE P802.14 그룹이 주도하고 있으며, DAVIC, ATM 포럼 등에서도 같이 추진하고 있다.

FTTH로 가입자 망을 포설하는데 있어 비록 광케이블이 동축케이블보다 가격이 낮아졌으나, 전체 포설 비용으로는 아직도 FTTC, HFC 보다 높은 편이다. 그러나, 포설 후 선로 유지 보수 비용을 고려한 운용비용까지 고려하고 향후 제공될 수십 Mbps 급 이상의 서비스를 감안한다면 FTTH의 가입자 망이 유리하다. 그리고 가입자별 액세스 비용을 줄이기 위한 수단으로 TDMA(Time Division Multiple Access), CDMA(Code Division Multiple Access), WDM, Optical FDM(Frequency Division Multiplexing) 등 다양한 기술들이 연구 또는 시험되고 있다.

가입자 망에서 제공되는 광대역 서비스의 대표적인 것들이 현재 CATV 및 VOD서비스이며, 이를 위한 가입자 망 구성은 각 나라별로 각국의 서비스 발전 배경 및 특성, 초기 설치 비용, 지리적인 제한 사항에 따라 특색 있는 형태로 발전되고 있다. 유럽의 경우는 PON(Passive Optical Network) 구조의 가입자 망을 선호하는 추세이며 미국은 기존 동축CATV망을 이용하는 HFC 또는 FTTC 구조가 일반적인 형태이다. 그러나 일본의 경우는 인구가 밀집되어 있고, 아직 가입자 망에 대한 초기 투자가 없었던 점이 FTTH로의 가입자 망 전개 전략을 쉽게 선택할 수 있었던 것으로 보인다. 일본의 통신업자인 NTT에서는 FTTZ단계를 거쳐 2010년까지 전국 가입자망을 FTTH로 구현할 예정이다. 향후 미국에서도 가입자 망의 최종 목표로는 FTTH가 될 것이라는 인식을 같이 하고 있지만 HFC나 FTTC는 FTTH형태로의 가입자 망 진화에 있어 중간 단계로 보고 있다.

우리나라의 경우 한국 통신의 주도로 FTTO, FTTC, FTTH의 단계적인 광가입자 망의 개발, 적용이 추진되고 있다. FTTO의 155Mbps 점대점 전송 기능의 FLC-A(Fiber Loop Carrier-A) 시스템이 1994년 말 개발되었고, ADM 과 부가적인 종속신

호 접속 기능이 추가된 FLC-B(Fiber Loop Carrier-Building)가 1995년도에 개발되어 1996년 말 현재 약 750개 FTTO 가입자 루프에 운용되고 있다. 또한 FTTC 구현을 위해 FLC-C(Fiber Loop Carrier-Curb)가 현재 개발되고 있는데 최종 가입자 인입선에는 ADSL, HDSL 등의 기술이 적용되고, 공중전화망과 ATM 망에 모두 접속할 수 있는 기능이 구현될 예정이다.

#### 라. 광전달망의 태동

WDM 혹은 OTDM(Optical Time Division Multiplexing) 등 대용량 광전송 시스템에서는 각 노드에서의 신호처리 용량이 급격히 증가하기 때문에 기존의 방법대로 광/전변환, 전기적 신호처리, 전/광변환의 과정을 거치는 시스템 구현이 어렵고 또, 이러한 광전 변환은 통신망을 경제적으로 구축하는데 걸림돌이 된다. 따라서 광전 변환 없이 광신호 영역에서 광신호의 전송, 교환, 교차연결 및 분기 결합이 가능한 광전달망이라는 새로운 개념의 전송망이 세계적으로 연구 시험되고 있다.

OTDM 방식을 기초로 한 광전달망은 OTDM이 초단 펄스의 생성, 클럭 추출, 등 해결되어야 할 기술적인 문제가 있어 현재로서는 고려되고 있지 않기 때문에 WDM 방식을 기반으로 연구 개발되고 있다. WDM 기술에 근거한 광전달망은 전송망 노드의 단순화 이외에도 직접적인 광신호 처리로 인하여 종속 신호의 속도, 아날로그 혹은 디지털을 구분하지 않는 신호 형태, 디지털 신호의 프레임 형태 등에 구애 받지 않는 전송이 가능한 소위 정보의 투명성(transparency)이 보장되는 중요한 특징을 갖는다. 이는 다양한 신호 특성을 갖는 이중 신호를 쉽게 수용할 수 있어 경제성 있고 융통성 있는 망 구조의 구성을 가능하게 하는 것이다.

광전달망의 핵심 기술은 광전달망 구조 연구, OXC(Optical Cross-Connect)의 구현, 망 제어 및 관리 방법 등으로 요약된다. 광전달망 구조로는 망을 계층적으로 분리하여 계층 내에서 사용되는 파장과 계층간에서 사용하는 파장들을 서로 다르게 하



여 파장 재활용을 할 수 있도록 하는 것이 일반적인 추세이고, 이러한 구성에서 경우에 따라서는 광/전 변환도 배제하지 않고 있다. 파장 재활용 구조에서는 광신호 파장을 변환할 수 있는 소자가 핵심 기술로 인식되어 이에 대한 많은 연구가 수행되고 있다.

유럽, 미국, 일본 등에서는 이러한 광전달망에 대한 연구를 위해 각자 독자적인 형태의 시험망을 구축하여 시험을 진행하고 있다. 유럽은 RACE 연구 일환으로 MWTN(Multi-Wavelength Transport Network)을 진행하여 12x12 채널 광 회선분배기(OXC)를 개발하였고, 이어서 1995년도에 시작한 ACTS 활동으로 6 개의 광전달망에 관련 연구를 계속 진행하고 있다. 이중 대표적인 것으로 범 유럽을 덮을 수 있는 1997년에 시험 개통한 OPEN(Optical Pan-European Network)과 1998년에

시험 개통 예정인 PHOTON(Pan-European Photonic Transport Overlay Network)이 있다. 이러한 유럽 광전달망은 노드 수는 20 정도로 비교적 작지만 지리적으로 직경이 약 3000km 이상이 되고 다국적의 광통신 환경을 고려해야 하는 넓은 지역을 포함하고 있다. 미국은 AONC(All-Optical Networking Consortium), ONTC/NTONC(Optical Networking Technology Consortium/National Transparent Optical Network Consortium) 등 학계, 연구소, 회사의 공동 연구 협의체를 통하여 광전달망의 기본 구조, 파장 할당/재활용 방법 및 그에 따른 망 확장성 등에 대한 연구를 DARPA(Defense Advanced Research Project Agency)의 지원으로 진행하였다. 이어서 통신사업자들을 중심으로 MONET(Multi-wavelength Optical Networking)이라는 새로운 연구 협의회가

〈표 - 8〉 외국의 광전달망 테스트베드 구축 현황

테스트베드	사용파장(nm)	전송 속도	Span	광링크 수
MWTN	1548-1560 (4 채널, 4nm 간격)	STM-4/STM-16	130 km	4 (+ 4 add/drop channels)
NTT	1548-1555 (8 채널, 1nm 간격)	STM-16	330 km	16
MONET	1549.3-1560.6 (8 채널, 1.6nm 간격)	STM-16(OC-48), FM 영상	2,290km	-
NTONC/ ONTC	1546-1558 (4/8 채널, 2/4nm 간격)	OC-48(STM-16) /analog(SCM)	280 km	2
OPEN	1536.61-1560.61 (5 채널, 400GHz 간격)	STM-16	516 km(덴마크-노르웨이) 377km(프랑스-벨기에)	-
PHOTON	1536.61-1560.61 (8 채널, 2/400GHz)	STM-16/64	531 km(독일-오스트리아)	-

구성되어 DARPA의 지원으로 광전달망 개념을 적용한 교환기와 장거리 통신망 구조, 운용 및 제어 시스템 개발, 주요 핵심 소자 및 OXC, 단말장치 등의 요소 기술 개발, 시험망 구축 등을 목표로 하는 본격적인 상용화 수준의 연구를 진행하고 있다. 일본의 NTT에서는 WP(Wavelength Path) 방식에 근거한 OPXC(Optical Path Cross-Connect)의 실현 가능성을 시험하였다. 국내에서도 광전달망에 대한 연구가 1996년부터 ETRI에서 진행되고 있다. 주요 연구 목표는 4파장 다중된 4개의 광섬유를 서로 교차 연결하는 16 x16 채널 OXC의 실험 모델을 구현하고 실험실에서 그 기능을 시험하는 것이다. 이상의 각국의 대표적인 광전달망 시험 망 구축 현황을 정리하면 아래 <표 -8>과 같다.

## 6. 전송 기술의 미래와 전망

미래의 전송기술은 무선 분야를 제외하고는 광통신 기술의 발전과 맥을 같이할 것으로 보고 광통신 기술의 발전 전망을 예측하면 전송기술의 미래를 전망 할 수 있다.

광통신기술은 40Gbps TDM 전송실험 및 관련된 고속 전자 소자와 광소자 등의 개발 등이 활발히 전개되어 현재에도 이미 40Gbps급의 TDM 고속 전송이 가능하며 2000년대 초반에는 OTDM을 포함한 수백 Gbps급의 전송장치가 개발될 것으로 예상된다. WDM 전송 기술은 통신망에의 사업 적용에 이어 1996년도에 실험실에서 2Tbps WDM방식 광전송 실험 발표가 되었고, 1997년도에는 40Gbps 급 WDM 광전송시스템의 통신망에 사용과 더불어 수백기가 급 WDM 시스템 상용화가 수년 내에 실현될 전망이다. 따라서 광통신 기술은 초고속화, 광파장 다 채널화의 방향으로 발전하고 있고, 이와 관련한 기술로서 색분산 보상 기술, 고밀도 WDM 기술, EDFA 광증폭 기술, 반도체 광증폭기, WDM을 위한 광대역 광증폭 기술 등의 연구가 경쟁적으로 진행되고 있다. 또한 광전달망 구성을 위한 OXC, 광파장 변환, 망운용 및 감시제어 기술

등의 연구도 활발히 추진되고 있고, 초장거리 전송을 위하여 솔리톤 광전송 기술 등도 연구되고 있다.

한편, 미래의 가입자 망의 기술로 비동기식 전송 모드(ATM)전송기술과 WDM 기술들이 연구되고 있으며 이러한 기술들을 이용한 155Mbps APON(ATM PON), 2.5Gbps SuperPON, WDM PON 기술의 가입자 응용 등의 연구가 세계 각국에서 많이 수행되고 있다. 물론 전송 기술을 이용한 전송 채널 대역폭 확장과 병행하여 데이터 압축 등의 소요 대역폭 축소를 위한 연구도 활발하게 진행되고 있어 당분간 가입자망은 xDSL, FTTC, HFC, FTTH 가 혼재할 것으로 예상되지만 그러나 궁극적으로는 FTTH 가 가입자에게 서비스를 제한이 없이 제공할 수 있고, 광 기술이 비약적으로 발전하고 있기 때문에 2000년대 이후에 FTTH로 가입자 망이 구현될 것으로 전망된다.

그리고 미래의 전송 시스템은 시스템이 단독으로 사용하는 경우는 거의 없고 여러 다른 종류의 시스템과 어우러져 동작하게 되어 망의 하나의 구성 요소로 취급되어 종합적이고 유기적으로 사용될 것이다. 따라서 향후 미래의 전송 기술은 망을 떠나서 생각할 수 없을 것이다. 이 때는 시스템의 하드웨어 보다는 소프트웨어의 중요성이 더욱 부각될 것이다.

미래의 통신망에서 제공되는 서비스는 인간중심의 서비스인 IMPH 서비스가 제공될 것이고, 미래의 트래픽을 정확하게 예측하기는 어렵지만 영상이 제공이 되면 적어도 통신망의 트래픽은 기존의 전화 트래픽에 비하여 수십 배에서 수백 배 이상 증가한다고 예측하고 있다

그러므로, 향후 통신망은 최소한 수십 배 이상의 트래픽을 처리할 수 있는 망이 되어야 하며, 이러한 광통신 기술의 발전과 서비스 발전 추세 및 트래픽을 고려한 2010년경의 통신망의 발전 전망은 아래의 (그림-2)과 같다.

이와 같은 (그림 2)의 2010년 경의 통신망은 초간선과 간선망에서 전광 통신망 기술이 도입될 전

망이며 초간선 망은 수 Tbps 용량이 전송/회선 분배되고, 간선 망에서는 1Tbps 용량이 전송되고, 또 회선 분배, 교환되는 것을 전망 할 수 있다. 가입자망에는 수백Mbps 전송 용량이 제공될 것이며 xDSL, HFC, FTTC등이 FTTH 방식과 일부 혼재할 것으로 전망하지만 가입자망의 전광화는 계속 가속화 될 것이다.

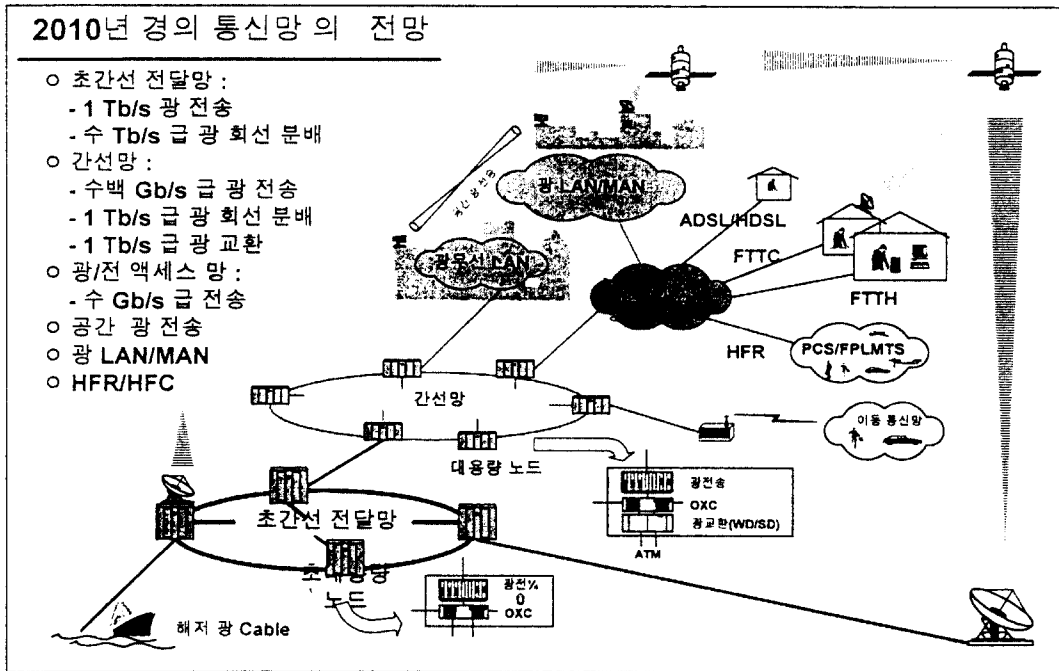
향후 전송 시스템은 독자적으로 사용되기보다는 망의 여러 요소 중 하나로 취급되어 유기적으로 사용될 것으로 전망된다 그리고 이와 같은 발전 추세는 더욱 가속이 되어서 수 십년 후에는 전기통신의 시대를 마감하고 빛으로 시작하여 빛으로 전달되고 처리되는 전광통신 시대를 도래하게 할 것으로 보인다.

## 7. 결어

[참고 문헌]

(1) AT&T, "Telecommunications Transmission

(그림 2) 2010년 경의 통신망의 발전 전망



- 초간선 전달망 :
  - 1 Tb/s 광 전송
  - 수 Tb/s 급 광 회선 분배
- 간선망 :
  - 수백 Gb/s 급 광 전송
  - 1 Tb/s 급 광 회선 분배
  - 1 Tb/s 급 광 교환
- 광/전 액세스 망 :
  - 수 Gb/s 급 전송
- 공간 광 전송
- 광 LAN/MAN
- HFR/HFC

이 글에서는 그 동안 전송에서 사용되고 도입된 기술들에 대하여 정리하였다. 기술된 내용은 전송 기술의 발전 순서에 따라 유선기술의 태동, 동축케이블의 전송, 디지털 전송 시대의 도래, 광통신 기술의 도입과 발전 등을 순서에 따라 요약하여 정리하였고, 또 향후 전송기술의 발전 전망에 대하여 기술하였다. 전송기술은 비교적 짧은 역사를 가지고 있지만 눈부신 발전을 거듭하여 현재의 통신 기술 발전의 중추적 역할을 해왔다고 판단한다.

Engineering", Volume 2-facilities, 1977

(2) 한국전자통신연구원, "한국전기통신 기술의 발전", 1992

(3) 손병태, "유선통신공학", 세진사, 1997

(4) 강민호 외, "전기통신 기술 개론", 한국전자통신연구소, 청문각 1989

(5) 정보통신연구관리단, "전광 통신망 기술 개발 기획", 최종연구보고서, 1997. 3.

(6) I. P. Kaminow 외 "Optical Fiber

Telecommunications IIIA", Academic Press, 1997

(7) G. P. Agrawal, "Fiber-optic Communication Systems", Second Edition, Wiley, 1997

(8) "정보통신 연감", 전자신문사, 1997

## 이 만 섭

- 1976 : 부산대학교 공과대학 전자공학과 졸업 (B.S.)
- 1978 : 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (M.S.)
- 1991 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (Ph. D.)
- 1979. 6. ~ 1997. 12. : 한국전자통신연구원 연구원,  
선임연구원, 책임연구원
- 1989.1. ~ 1993. 3. : 한국전자통신연구원  
광가입자연구실실장
- 1991.1. ~ 1992. 7. : 한국전자통신연구원  
영상통신연구실 실장 겸임
- 1993. 4. - 1997.6. : 한국전자통신연구원  
광대역전송연구부 부장
- 1998. 1. ~ 현재 : 한국정보통신대학원대학교 부교수  
(통신공학부장)