

전송기술의 발전 배경과 전망

金 在 根*, 李 秉 其**

韓國電子通信研究所 廣帶域通信網研究部*
서울大學校 電氣工學部**

I. 서 론

통신망을 구성하는 3대 기본요소는 단말, 전송 시스템, 교환기이다. 여기서 단말과 전송시스템이 없이는 통신이 불가능하며, 서비스 대상 및 서비스 영역의 확대를 위해서 교환기가 필수적으로 요구된다. 전기통신이 존재하는 첫번째 이유는 편리성에 있으며, 이를 위한 기본조건중의 하나는 서비스 영역과 서비스 사용자의 양적인 확대 추구이다. 초기 전기통신의 발전 또한 이러한 배경을 바탕으로 하고 있다. 보통 교환기는 서비스영역의 중심에 위치하고, 보다 멀리, 보다 많이 연결하고자 하는 전기통신의 요구는 독립된 서비스 영역을 갖는 교환기간의 상호 연결을 필요로 한다. 이와같은 교환기간 연결수와 트렁크양의 증가는 전송의 대용량화를 유도하고, 이러한 관계가 1980년대까지 전기통신망을 발전시켜 온 직접적인 원동력이다.

전송은 크게 교환기간의 국간 전송과, 단국 교환기와 가입자간의 가입자 전송으로 나눌 수 있다. 여기서 전송매체는 동선, 동축선, 마이크로웨이브, 도파관을 거쳐 현재의 광섬유까지 발전되어 왔다. 국간 전송로는 전기통신이 시작된 이래 거의 100여년 동안 동선을 통해 단일 채널을 제공하여 왔으나, 여러 트렁크를 묶어서 전송하기 위한 다중화 개념이 도입되면서 새로운 전송매체로의 전환이 가속화 하였다. 초기 다중화방식은 주파수분할 다중(FDM : Frequency Division Multiplexing) 위주였으나, 반도체소자 기술의 발전에 힘입어 PCM(Pulse Code Modulation) 다중화가 경제성을 갖기 시작하면서 부터 동축 전송기반의 FDM방식은 급속히 퇴조되었다. 이때가 1960년대 PCM방식이 전송로에 도입되던 때이다. 이후 1970년대 말부터는 광섬유 기반의 전송기술이 도입되면서 부터 또 한번의 기술적 도약기를 맞게 된다. 즉, 고속 PCM 다중화 기술과 광대역전송 능력을 갖는 광통신기술의 만남은, 기존 아날로그 교환에 PCM 기술을 접목한 디지털 전자교환과 함께 통합디지털망(IDN : Integrated Digital Network)의 시대를 열게 된다.

한편 가입자 전송로는 70년대 말까지만 하더라도

도 쌍동선 기반의 가입자 전용 회선구성이 전부였다. 그러던중 80년대 들어서는 국간 트렁크 전송로에 적용되던 PCM 기술이 교환기로 확산되고, 나아가 지리적으로 밀집된 가입자군들을 교환기까지 효율적으로 연결하기 위한 루프다중전송으로까지 파급되었다. 이에 따라 통신망설비 중 가장 큰 가격 점유 비중을 갖는 가입자 전송로에 디지털 기술이 적용되었고, 이러한 디지털화는 가입자 단까지 확대되어 폭증하는 다양한 디지털 정보 서비스들을 하나의 망을 통해 통신할 수 있도록 하는 종합정보통신망, 즉 ISDN(Integrated Services Digital Network)의 길목으로 들어서게 되었다.

1990년대 중반에 들어선 지금, 디지털 통신기술은 최전성기를 맞고 있다. 다가오는 21세기의 정보화 사회에 대비하기 위해서 전세계적으로, 그 기반이 되는 초고속 통신망을 구축하기 위한 연구가 매우 활발하다. 그리고 그 중심점에는 디지털 전송과 교환이 자리잡고 있다. 여기에 멀티미디어 응용 서비스도 가세하고 있다. 초고속 동기식 다중/광전송, 다양한 속도의 멀티미디어서비스 전달을 위한 ATM(Asynchronous Transfer Mode)통신, 그리고 통신망 관리와 서비스 관리를 위한 고도화된 컴퓨터/소프트웨어 기술까지, 디지털기술의 결정체들이 앞으로 광대역 ISDN 시대를 이끌어 갈 것으로 보인다. 그러나 전달정보의 양에 따라 디지털 통신기술은 어느 정도에서 한계에 이를 것으로 보이며, 이는 향후 완전광(all optical) 통신시대의 도래를 예측케 하는 배경이 되고 있다.

본고에서는 전송기술의 역사에 획기적인 전환점을 만들었던 PCM전송, 광전송, 동기식 전송기술 등의 도입 배경과 기술적 발전과정, 기술적 특징 등에 대해 기술하고, 향후 동기식 디지털 계위(SDH; Synchronous Digital Hierarchy)전송과 ATM, 그리고 완전광통신의 만남으로 이루어질 초고속 멀티미디어 전송시대에 대해 개관코자 한다.

II. 디지털 전송기술의 발달

PCM이론은 1930년대에 Shannon과 Nyquist

에 의해 발표되었으며, 1934년에 프랑스의 J.M.E. Boudot가 시분할 다중(TDM; Time Division Multiplexing)을 고안해 내고, 1937년에 프랑스의 A. H. Reeves가 PCM을 제창하므로써 그 바탕이 마련되었다. 그러나 그 당시에는 여러 기술적인 문제로 실용화 되지 못하다가 반도체기술의 발전에 힘입어, 1950년대 말에 음성의 디지털전송에 대한 타당성이 처음으로 입증되었다. 이에 따라 1962년에 오늘날 사용되는 디지털 다중전송의 기본이 되는, 1.544Mb/s 속도로 음성 24채널을 다중화한 T1반송시스템이 미국의 시카고 지역에 설치, 운용되면서 부터 디지털 통신시대로 접어들었다.

PCM통신이 불과 20여년만에 전기통신을 지배하게 된 이유는 신호의 디지털화로 인한 단점보다는 장점이 훨씬 많기 때문으로 해석할 수 있다. 첫 번째 장점으로 신호 다중화의 용이성을 들 수 있다. 당시에 주로 사용되던 FDM은 케이블 절약이라는 경제적인 잇점은 얻을 수 있었지만, 디지털화 비용까지를 포함한 PCM기본의 TDM 장치보다 고가였으며, 이는 고속 다중화로 갈수록 더 심했었다. 더구나 아날로그 방식은 전송거리에 따라 잡음, 왜곡, 누화, 간섭등에 매우 약한 반면에, TDM은 디지털적으로 신호를 재생하여 전송할 수 있기 때문에 통신품질을 획기적으로 개선할 수 있다. 또 통신망내에서 통신채널들을 제어할 정보는 기본적으로 디지털 형태이기 때문에 디지털 전송/교환과 친화성이 크며, 따라서 제어 정보를 전달하고 인식하여 처리하는데 용이하다. 반면에 아날로그 통신에서는 이들을 보내고, 추출해서 처리하는 것에 대한 특별한 고려가 필요하다. 또한 디지털화는 전송과 교환의 통합을 용이하게 하므로써 통신망의 경제성및 신뢰도를 크게 개선시킬 수 있다. 디지털방식의 도입 초기에는 전송분야에만 적용되던 PCM 기술이, 반도체기술의 발전으로 전송로의 대폭적인 가격 절감과 운용 유지보수 측면의 획기적인 진전에 따라 교환기분야에도 이의 적용이 가속화되었다. 그러나 초기에는 전송과 교환이 서로 상대방 영역에 영향을 주지 않는 범위내에서 각각 독자적으로 적용되어 왔으나 디지털 전송과 디지털 교환이라는 PCM의 친화성과 두 장치간의 유사한 기

능/역할 때문에 상호 공유 기술이 늘어나고, 이에 따라 이들이 서로 통합되는 형태로까지 발전되어 왔다. 그 대표적인 예로, 기존 PCM 단국장치 기능이 교환기의 유니트로 실장되고, 교환기의 스위칭 기능이 전송장치의 교차연결(cross-connect) 또는 분기결합(add-drop) 기능에 적용되는 경우를 들 수 있다. 이밖의 디지털화 장점으로는, 메시지(정보)와의 친화성, 통신채널 성능감시의 용이성, 정보보호의 용이성등을 들 수 있다. 한편 이와 같은 장점에도 불구하고 아날로그 신호를 디지털화 함으로서 점유 주파수대역의 큰 증가(예 : 음성 4KHz대역이 64Kb/s로 증가), 아날로그-디지털 변환기능의 요구, 송.수신간 또는 전체 디지털 통신장치에서 시간(클럭)동기의 요구등 여러 가지 단점들도 있다. 그러나 이러한 단점들은 신호처리 기술과 반도체 기술의 발전에 따라 거의 해결된 상태이다.

이와 같은 PCM 다중 통신방식은 지속적인 발전을 거듭하여 다중도를 크게 증가시켜 왔으며, 이에 따라 1차군, 2차군, 3차군등의 다중화계위가, 국내 장치간 호환성은 물론 국제간 연결성을 확보하기 위해서, 국제통신연합(ITU-T, 당시 CCITT)에 의해 국제적으로 표준화되었다. 이는 80년대 말까지 전세계의 디지털전송로를 지배했던 비동기식 디지털계위(PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy)이며, 유럽방식, 북미방식, 일본방식등 3가지 방식으로 권고되었다. 또한 이종계위를 적용하는 국가간에 상호 연결을 위해서 별도의 국제연동계위를 권고하고 있다. 이는 유럽방식의 기본신호인 2.048Mb/s(DS1)를 기준으로하여, DS2(6.312Mb/s)와 DS3(44.736Mb/s)는 북미방식을 따르고, DS4(139.264Mb/s)는 다시 유럽방식을 따르는 혼성계위를 갖는다. 이와 같은 PDH신호의 다중화구조는 단순히 대용량 디지털전송을 실현하는데 적합한 구조를 갖는다. 즉, 각각의 디지털 다중화장치들이 자신의 DS_n 신호를 만드는 클럭으로서 자체 발전기(클럭의 정확도는 일정범위 이내)를 사용한다는 가정으로부터 출발한다. 따라서 이들을 고속신호로 다중화하기 위해서는 입력 디지털신호간의 속도차를 보상하기 위한 동기화

(이를 비트채우기 동기라 함)와 이를 제어하기 위한 복잡한 과정이 필요하다. 이는 신호 다중화계위마다 요구되며, 따라서 PDH에서의 신호다중화는 반드시 계층적인 다중화/역다중화 과정을 밟아야 한다. 이는 계층이 상승될 때마다 가격상승 요인으로 나타나게 되며, 전송망의 고도화를 위해서 요구되는, 고속신호상에 존재하는 저속신호의 적접인식, 충분한 오버헤드의 확보, 망의 초고속화 등에 커다란 장애가 되어왔다.

PDH계위의 이러한 한계성은 1980년대 들어 디지털 교환과 전송의 만남으로 전체 통신망에 대한 망동기가 확산되면서 부각되기 시작했다. 결국, 80년대 중반에 이르러 미국의 Bell 통신 연구소를 중심으로 동기식 다중화에 대한 연구가 결실을 맺기 시작하였고, 여기에 광통신의 경제성이 크게 향상됨에 따라 광전송 기반의 동기식 디지털 계위(SDH) 및 동기식 다중방식이 새로운 디지털 전송시대를 열고 있다. 이는 기존 음성 PCM 위주의 비동기식 전송에서 다양한 멀티미디어 위주의 초고속 동기식 전송으로의 전환을 의미한다.

III. 광통신기술의 발전

빛에 의한 통신의 역사는 고대 그리스 시대의 거울을 이용한 의사 전달과 고대 중국의 봉화로 부터 시작되었다고 볼 수 있으나 이들은 인간의 수작업에 의한 것으로 시간과 거리가 매우 제한적이었다. 따라서 광통신의 시조는 유럽 해군들 사이에 램프를 이용, 모르스부호로 의사를 전달한 것으로 볼 수 있으며, 본격적인 광통신은 1960년에 Maiman이 레이저를 개발하면서 시작되었다. 이는 1961년의 HeNe 가스레이저, 1962년의 GaAs반도체 레이저의 단계를 거쳐 1970년에 비로써 광통신에 이용가능한 GaAlAs반도체 레이저가 개발되고, 영국의 C. Kao와 G. Hockman의 저손실 광섬유 이론이 미국에서 증명되면서 광통신 연구가 본 궤도에 오르게 되었다. 저손실 광섬유를 이용한 초기의 광통신은 850nm파장이 이용되었다. 공중 통신망에

적용되기 위해서는 무엇보다도 경제성 성취가 최대 문제였다. 이를 위해서 저 손실 광섬유 제조기술과 장파장대 반도체레이저 기술연구가 본격적으로 시작되고, 동시에 통신시스템에의 응용 연구도 활발하게 이루어지게 되었다. 이 결과로서, 1976년에 1300nm대 GaAlAs반도체 레이저와 0.5dB/Km의 저손실 광섬유 개발이 이루어지고, Bell연구소에 의해 PDH계위의 DS1과 DS3급 광전송시스템에 처음 적용되었다. 이후 1980년에는 1500nm파장대의 GaInAsP 반도체 레이저와 0.2dB/km의 극 저손실 광섬유가 개발되었으며, 일본에서 400Km급 대용량 전송망에 적용되었다. 이는 1988년에 석영계 섬유에의 최저 손실 파장대인 1550nm 파장대의 레이저 개발로 이어져 공중통신망에 적용되고 있다.

한편 1989년에 기존의 실리콘 섬유에 어븀이온(erbium ion)을 도핑한 광증폭기(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier)가 일본에서 개발되어 기존의 광증계거리를 획기적으로 개선하였다. 또한 전송 용량의 초대용량화 요구에 따라, 광파를 주파수/위상 변조시켜 전송하기 위한 광코히런트 전송과 솔리톤 전송기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 코히런트 전송기술은 기존의 강도 변조(IM) 방식에 비해 10~20dB의 수신 강도를 개선할 수 있기 때문에 무중계 거리를 크게 개선할 수 있으나 광원의 안정성과 고정밀 필터기술에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 또한 솔리톤 전송기술은 대용량 장거리 통신의 가장 큰 걸림돌이 되는 광펄스의 왜곡을 줄일 수 있는 기술로서, 시간폭이 수 피코초인 단파장 파를 매질의 비선형 특성과 분산 특성이 상호 보상 작용하도록 하여 파형의 왜곡 없이 전송할 수 있는 기술이다. 이 기술 또한 광섬유 자체의 광손실 때문에 장거리망 적용을 위해서는 광증폭기를 사용해야 하고, 광섬유 자체에 고유하게 존재하는 왜곡 특성 때문에 궁극적으로는 무중계 솔리톤 전송이 요구되고 있다.

이와 같은 광 통신기술의 발전 배경에는 전송로 구성시에 요구되는 전송용량, 고품질, 경제성등에 있어서 기존의 쌍동선, 동축선, 또는 마이크로웨이브등에 비해 많은 잇점을 갖기 때문이다. 즉, 전송

용량 측면에서는 수 Gb/s로부터 수백 Tb/s급까지 극초 대용량 전송이 가능하여 향후 도래할 광대역 멀티미디어 시대의 전송기술로 발전 가능성이 충분하다. 또한 전기신호와는 달리 간섭, 왜곡, 잡음등의 전자기 장애에 의한 신호의 열화 현상이 없기 때문에 높은 전송 품질을 얻을 수 있다. 그리고 기존 전송매체에 비해서 무중계 전송거리가 매우 길고, 더구나 현재의 40Km정도가 향후에는 수천 Km까지 확대될 수 있을 것으로 전망되기 때문에 전송로의 경제성 측면에서 가장 유리한 위치를 점하고 있다.

이와 같은 광통신의 기본 원리를 보면, 전송정보를 광전송에 적절한 형태로 전기적으로 변조하고, 광원을 이용하여 전기를 빛으로 변환한 후에 광섬유를 통해 전송한다. 이 신호가 수신기에 입력되는 광신호는 광검파기에 의해 빛을 전기신호로 변환하고, 이 신호를 일정 크기의 펄스로 증폭/여파하므로써 원신호로 재생하게 된다. 이때 광원으로는 발광 다이오드(LED)와 레이저 다이오드(LD)가 있다. 전자는 주로 400Mb/s 이하의 근거리 전송에 이용되고, 후자는 LED보다 선폭이 짧고 출력이 높기 때문에 고속의 장거리 전송로에 적용된다.

또한 광검파기로는 직접검파기와 코히런트 수신검파기가 있다. 전자는 입사 광신호를 전기신호로 직접 변환하여 전기적으로 증폭하는 형태이고, 후자는 광검파기의 비선형 특성을 이용하여 국부광원에 의해 입력 광신호를 새로운 주파수대로 증폭하여 원신호를 복원하는 방식이다. 이때 입력광과 국부광원의 주파수가 동일한 경우를 호모다인, 다른 경우를 헤테로다인 검파라 한다. 이러한 광검파기로 사용되는 광 다이오드로는 PIN 다이오드와 APD가 있다.

이와 같은 광통신 기술은 기존 통신망에서 대용량 전송시스템에 널리 적용되어 오고 있으며, 앞으로도 통신망의 주역으로서 지속적인 발전이 예상된다. 특히 지금까지는 교환국간의 대용량 전송에 치중했던 광전송기술이 1980년 말부터는 가입자 전송로까지 확대되고 있으며, 조만간에 일반 가입자 댁내까지 침투(FTTH: Fiber To The Home)

될 것이다. 이는 전/광변환없이 단대단간 광채널 정보의 투명성을 갖는, 통신의 완전 광화 실현을 예상보다는 빨리 우리 앞에 다가서는 계기를 만들어 줄 것이다.

IV. 동기식전송과 ATM전송의 등장

II절에서 언급하였듯이 1980년대까지는 PDH에 기반을 둔 비동기식 다중전송이 디지털 전송망의 주류였다. 그러나 이 방식은 매 다중화 단계마다 정위치 맞춤 방식의 비트 채워넣기가 필요하고, 따라서 신호다중 구조상 여러 제한적 요소가 존재한다는 것을 지적한 바 있다. 이에 따라 연구되기 시작한 것이 동기식 다중방식이다. 이는 1980년대 중반부터 본격적으로 연구되어 1988년도에 국제적으로 표준화되고, 1990년대 들어 기존의 PDH 전송로를 상당 부분까지 대체해 나가고 있다. 그러면 이와 같은 SDH기반의 동기식 전송이란 어떤 구조와 특징을 가지며, 앞으로 어떻게 전개되어 나갈 것인가에 대해 살펴보기로 한다.

국제적 단일표준으로 정해진 SDH는, 기본 신호 속도가 155.520Mb/s이고, 기본 수송구조는 STM-1(Synchronous Transport Module-1)이며, 622.080Mb/s(STM-4), 2.48832Gb/s(STM-16), 9.95328Gb/s(STM-64)의 다중계위로 구성된다. 여기서 STM-N의 구조는 125s마다 반복되는 9행*270(N)열의 정방형 구조($9*270*8*N$ Kb/s = 155.52Mb/s*N)를 가지며, 여기서 행의 수는 기존의 모든 DS_n신호들을 SDH신호로 수용할 수 있도록 하기 위한 최대공약수로 설정되었다. STM-N은 9행*9(N)열의 오버헤드(이는 구간 오버헤드라 함)와 유료부하공간(Payload)으로 구성된다. 여기서 후자에는 기존 PDH 신호들을 수용할 수 있는 다양한 용량의 9행을 기본으로 규격화된 가상상자(VC_n: Virtual Container-n, n은 DS_n의 n과 매칭됨) 들로 채워지거나, 유료 부하공간 용량의 특정 서비스채널 또는 ATM셀들이 채워지기도 한다. 또한 각 VC_n에는 해당 VC_n의 단대단간 통

신 경로상의 OAM(Operation Administration and Maintenance)용 오버헤드(이를 경로 오버헤드라 함)와 유료부하공간으로 구성된다. 여기서 동기식 다중화는 저속 STM-M신호들을 바이트 단위로 교차 다중화해서 고속 STM-N으로 형성한다. 따라서 임의의 M값 신호로부터 한단계 다중을 통해 임의의 N값 신호를 형성할 수 있다. 물론 이 과정에서 구간 오버헤드의 교정이 필요하며, 이와 관련된 세부 내용은 참고문헌^{[1],[2]}를 참조하기 바란다.

그러면 이와 같은 다중구조를 갖는 동기식전송의 특징은 무엇인가에 대해 살펴본다. 먼저 VC_n신호를 전송단위로 하는 논리망의 구성이 가능하여 전송신호의 점대다지점 전송이 가능하다. 이는 전송망이 대용량화되고 복잡하게 전개됨에 따라 망운용관리가 한층 어려워지게 되는 상황에서 소프트웨어로 구동되는 자동화된 망관리를 가능하게 한다. 이러한 특징은 동기식 다중구조상, VC_n내에 이의 관리에 필요한 경로 오버헤드를 확보하고 있고, 고속 신호상에서 유료 부하공간 내에 들어있는 임의의 저속 신호에 대한 가시성을 갖기 때문에 얻어진다. 즉, 기존의 PDH신호는 비트 스테어링의 존재 때문에, 고속 신호상에서 임의의 저속신호를 인식해 내기 위해서는 단계적인 역다중화를 수행해야만 한다. 이는 전송로 중계구간에서 고속 신호내에 있는 임의의 저속신호의 추출및 삽입을 매우 복잡하게 만들며, 따라서 PDH신호 전송로는 점대점간 신호 반송역할만을 가질 수 밖에 없었다. 다시 말해서 PDH기본 전송망은 점대점 반송 기본의 완전 그물망 구성을 가질 수 밖에 없었다. 여기에 비해서 SDH전송망은 VC_n이라는 크기가 규격화된 여러 상자들을 차곡차곡 쌓아가는 방법으로 다중화하기 때문에 고속 신호상에서 임의의 저속신호에 대한 직접적인 접근이 가능하며, 따라서 VC_n단위의 교차연결 또는 분기결합기능을 보다 쉽게 이룰 수 있다.

동기식 다중의 또다른 특징으로는 VC_n신호 프레임의 동기를 위해서 포인터 지시 개념을 도입하고 있다는 것이다. 이는 2가지의 중요한 의미를 가진다. 첫번째로, 프레임 동기를 위한 전송지연 및

동기 메모리 양을 최소화할 수 있다는 것이다. 보통 다중화 단계에서 각 채널들을 인식/구분하기 위해서는, 각 디지털 신호들을 버퍼 메모리에 일시적으로 저장하여 서로 다른 지연으로 들어오는 각 신호 프레임들의 시작위치를 해독하는 방법을 쓰고 있다. 이는 신호의 고속화에 비례하여 막대한 양의 메모리(최소한 2프레임 용량)를 필요로 하고, 정보가 메모리에 축적되는 시간만큼의 신호지연을 유발한다. 여기에 비해서 동기식 다중에서는, 입력신호들은 도달 즉시 상위 고속신호의 유효부하공간에 직접 맵핑시키고 프레임의 시작 위치(주소)를 포인터로 지시 하는 방법을 취하고 있다. 다음으로, 서로 다른 속도를 갖는 STM-N신호간에 VCn신호들이 정합될 때 발생하는 속도차를 포인터 지시 방법에 의해 보상하므로써 동기식 전송방식이지만 전송장치가 기존 클럭을 손실하였거나 비동기 전송망 환경에서도 전송 품질의 저하 없이 운용될수 있도록 하고 있다는 점이다. 기존의 PDH다중에서는 비트단위 정위치 마춤방식을 적용하는 것에 비해서 여기서는 바이트 단위의 정/부위치 마춤 방식을 적용하며, 이는 포인터 지시값(주소)을 1바이트 간격으로 변경하므로써 수행된다. 이러한 포인터조정 방식은 해당 경로상의 단대단 구간이 완전 동기된 상태라 하더라도 전송 과정에서의 잡음, 온도, 간섭 등으로 인해 발생하는 지터나 원더로 인한 신호의 지연현상(위상차)을 보상할 수 있기 때문에 더욱 유용하다.

이와 같이 VCn개념과 포인터동기 개념의 다중은 고속 다중신호 구조상에서 어느 신호가 어디에 위치하는가를 곧바로 알수 있게 해준다. 따라서 특정 신호를 삽입/추출하거나, 교차연결하는 것을 쉽게 할 수 있고, 저속신호로 부터 고속신호로의 다중도 한단계로 성취할 수 있다. 또한 동기식 다중구조내에는 체계화된 형태의 풍부한 오버헤드를 확보하고 있기 때문에 SDH망의 원격 집중운용 또는 분산운용, 중계구간/다중구간/전송경로등으로 체계화된 OAM의 운영, 그리고 VCn신호 단위의 고유 인식자(ID) 부여로 전송네트워킹을 용이하게 하는 등, 망의 자동화/지능화를 위한 여러 조건들을 구비하고 있다.

또한 동기식 다중구조에는 다음에 소개하는 바와 같이 향후 통신망의 지향목표인 B-ISDN의 ATM정보를 제한없이 수용할 수 있도록 하므로써 기존 PDH전송망으로부터 동기식 전달모드(STM : Synchronous Transfer Mode) 기본의 SDH망으로, 다시 ATM기본의 SDH망으로의 점진적인 진화가 가능한 모든 고려조건들을 만족하고 있다. 따라서 SDH망은 기존 STM망과 새로운 ATM망간의 가교 역할을 담당하면서 전송망의 초고속화, 광대역화, 멀티미디어 통합화, 그리고 지능화를 향한 발전의 중심축을 이루고 있다.

그러면 STM기본의 디지털 전송망으로 부터 ATM 기본의 B-ISDN으로 어떻게 발전되어 갈 것인가에 대해 살펴보자. 여기에는 2단계의 접근이 가능할 것이다. 첫 단계에서는 기존 디지털 신호(여기에는 PDH와 SDH포함)의 형성 단계에서 프레임상의 정보 영역에 ATM셀을 맵핑하여 기존 중계전송로를 그대로 활용하는 방법이다. 2번째 단계로서는 기존망의 기반설비와는 독립하여 전송로상에 ATM셀 만으로 전송하는 방식으로서, 기존 전기적중계전송로 대신에 EDFA와 같은 전광 중계전송로가 구축될 경우에 보다 유용한 방식이다. 현재는 SDH를 기반으로 STM-1또는 STM-4상의 유효부하공간에 ATM셀을 맵핑하는, B-ISDN의 가입자-망간 접면(UNI)과 망노드 접면(NNI)을 정의하여 이용하고 있다. 이외에 ATM 포럼과 같은 ATM통신 장비에 대한 사실 표준화 단체에서는, 다양한 매체와 속도를 지원할수 있는 ATM단말의 존재 가능성을 위해서 기존 DS1및 DS3신호를 이용하거나 완전 ATM셀 전송 기반의 100Mb/s급 TAXI(Transparent Asymmetric Transmit / Receive Interface), 26M/52M/155Mbps급 비차폐 쌍선로(UTP : Unshielded Twisted Pair) 전송 인터페이스등을 이용할 수 있도록 표준화하고 있다. 따라서 여기에 맞는 여러 ATM 통신장비및 단말들이 개발되어 주로 사설망에 적용되고 있으나 조만간에 공중망으로 확대 적용될 것이다.

다음으로 ATM 통신은 무엇이고, 이의 특성은 어떤 것인가에 대해 간단히 살펴보자. B-ISDN은

다양한 속도의 멀티미디어서비스들을 단일 또는 복합적으로 다루는 망이다. 따라서 이들을 기존 STM기본의 회선교환방식으로 처리한다면, 시간슬롯을 속도에 따라 유연하게 할당하면서 스위칭을 복수속도로 처리해야 한다. 또한 이들을 패킷교환방식으로 처리한다면, 고속의 세분화된 정보를 소프트웨어만으로 처리해야하는 부담이 있다. 따라서 양쪽의 결점을 보완하여 나온 개념이 ATM이다. 이는 헤더(5바이트)와 유료부하공간(48바이트) 등53바이트로 구성된다. ATM전송은 전송정보의 유·무에 관계없이 ATM 셀을 연속해서 보내고, 셀의 유료부하공간에는 정보를 실어서 보내거나 빈 셀로 보내므로서 통계적다중이라는 전송효율 개선 효과를 얻고 있다. 여기서 ATM셀의 헤더내에는 해당 셀의 행선지를 알리는 VPI(가상경로 인식자)와 VCI(가상 채널 인식자)를 포함한다. 여기서 가상경로(VP: Virtual Path)는 임의 용량으로 설정되고, 2.5Gb/s 또는 10Gb/s와 같은 초대용량의 물리적전송로상에는 여러 대역을 갖는 VP들로 채워진다. VP는 대역관리자로서 송·수신처간의 트래픽이 어느 용량인가를 나타내는 파이프와 같은 역할을 하며, 통신망의 유지, 관리, 증설에 중요한 개념이다. 또한 가상 회선(VC: Virtual Channel)은 기존 STM망에서의 회선과 유사한 개념이나 기존망이 주로 64Kb/s의 고정속도를 갖는데 비해서 속도가 가변적이라는 점이 다르다. 지금까지의 STM방식은 두 단말간에 회선이 설정되면, 전달정보의 유·무와는 무관하게 해당 통신로가 일정 용량으로 항상 점유되는 형태이고, ATM방식의VC는 정보가 있을 때에만 전달하는 형태이다. 다시말해서 기존망에서의 회선은 물리적으로 설정되는 반면에 VC는 논리적으로 설정된다는 것이다. 여기서 VC는 정보량이 수십 Kb/s로부터 수백 Mb/s까지 다양하고, 시간에 따라 가변한다는 가정하에 처리하기 때문에, 이들의 트래픽 양을 통계적으로 예측하기는 힘들다. 따라서 VC를 바탕으로 하는 망계획은 향후 나타날 여러 멀티미디어 서비스들에 대한 트래픽의 특성들이 고려되어야 하기 때문에 현재로서는 불확실한 이들의 특성을 파악하기 위해서 다양한 트래픽 시뮬레이션 및 시험운용이

요구된다. 따라서 초기 단계에서의 B-ISDN전송로는 이러한 불확실한 트래픽의 특성들을 모두 수용할 수 있도록 물리적인 전달파이프를 가능한 크게 설계하는 것이 바람직하다. 또한 전달망의 신뢰도 향상을 위해서 ATM전송망의 장에서 VP상의 셀 경로 재배정과 셀의 버퍼메모리 축적 지연시간을 이용하여 무순단 절체를 실현할 수 있다.

한편 기존 중계전송망에서 단국 교환기간의 트래픽 연결은 트래픽용량이 클 경우에는 직접 전송로를 구성하지만, 용량이 작을 경우에는 단국교환기간의 중계로상에 있는 중계교환기(Toll/Tandem EX)를 통해서 연결한다. 그러나 ATM 전송망에서는 교환국간 트래픽양을 임의의 용량으로 가변 설정할 수 있기 때문에 교환국간을 그물망으로 연결하여 교환기간에 회선을 직접 설정할 수 있다. 따라서 중계전송망이 훨씬 단순해질 수 있다. 또한 기존 전송망의 회선 사용율은 회선증가와 회선증설 설치시기 간의 상관관계 때문에 상당히 낮게 운용되고 있으며, 이들을 고속으로 다중화할 때마다 사용율은 더욱 내려간다. 이에 비해서 ATM 전송망은 물리적으로 확보된 파이프 용량까지 직접 ATM 셀들을 다중화함으로써 망의 경제성을 추구할 수 있게 된다. 동시에 서비스의 종류나 속도에 무관한 망이 될 것이다.

결과적으로 볼 때, SDH 기본의 동기식전송은 기존 단일 서비스 기본의 STM-PDH망으로 부터 각종 멀티미디어 통합전송 기본의 ATM-SDH망으로 진화되는 과도단계에서, 기존 전화망의 대용량, 고품질, 지능화 요구를 만족하면서 향후에 도래할 복수속도 서비스들을 처리하고, 망구성을 단순화하는 가교 역할을 담당하게 될 것이다. 또한 ATM전송망은 유연성 높은 전송경로 대역의 관리, 전송망 구성의 단순화, 전송품질과 신뢰도의 제고라는 목표를 향해 현재의 SDH전송망으로 부터 계속 발전해 나갈 것으로 보인다.

V. ATM과 완전광전송망의 만남

앞에서 설명한 바와 같이, B-ISDN의 기본 전달

모드인 ATM은 교환국간 전송로보다는 가입자 서비스 및 가입자의 분포특성에 의존적인 가입자 접속망과 ATM교환기에 유용한 방식이다. 다시 말해서 ATM방식이 도입되었을 때 가장 충격이 큰 분야는 전달 정보의 형태에 민감하게 적용되어야 하는 교환 노드와 각종 서비스들을 통합 접속해야 하는 접속망 노드이며, 국간 전송의 경우에는 정보 전달형태가 STM이든, ATM이든 간에 큰 영향을 받지 않는다는 의미이다. 여기서는, 전송망 노드의 측면에서 전자적인 처리가 요구되는 ATM과, 전자적인 처리없이 광신호 단위로 다중화, 교차연결, 분기결합을 실현하는 완전광전송망과의 만남은 어떻게 시작해서 어떻게 발전되어 갈 것인가, 그리고 이러한 완전광통신망을 실현하기 위해서 어떤 기술들이 필요하며 이들에 대한 발전 전망은 어떤 것인가에 대해 간단히 살펴보자.

먼저 ATM과 완전광전송망의 만남은 국간전송로로 부터 시작하여 가입자 접속망으로 확대되어 갈 것으로 전망된다. 완전광전송망은 기본적으로 입력 광신호를 광/전변환없이 출력 광신호로 만드는 방식이다. ATM교환기는 ATM셀의 경로배정을 통해 동일 행선지의 VP묶음 형태로 광신호를 출력하고, 전송로상에서는 이들 광신호 단위로 전송로를 배정한다. 따라서 교환기에 의해 ATM 셀들이 전기적으로 처리되고, 이때 출력 광신호에 포함된 각 VP묶음들이 중계 전송로상에서 ATM셀단위경로를 재배정할 필요가 없는 경우에는, 광신호분배기 또는 광다중화기, 광분기결합기를 통해 광신호단위의 네트워크를 갖는 완전광 국간전송망을 구축할 수 있을 것이다. 또한 현재 기초연구 단계에 있는 광정보처리 기능이 실용화되면 현재의 전기적인 ATM 정보 처리가 광신호처리로 대체되고, 디지털로부터 다시 아날로그로의 회귀는 물론 지금으로서는 상상도 어려운 새로운 통신방식이 나올 수도 있을 것이다.

한편 광섬유를 기본으로 하는 광가입자계는 크게 교환기와 각 가입자 단말간을 1:1로 연결하는 단일 스타, 교환국에서 가입자군까지를 다중반송로로 구성하여 하나의 광전송로를 다수의 가입자가 공유토록 하는 이중 스타형으로 나눌 수 있다. 이중 스타형은 다시 분기점에서 광/전 변환을 통해

각 가입자들의 신호를 분리하여 처리하는 능동형과, 광 스타 카플러를 이용하여 광신호를 수동적으로 분기, 결합하는 수동형으로 나눌 수 있다. 여기서 단일 스타형은 새로운 서비스의 추가가 용이하나 비용이 많이 든다는 단점이 있으며, 능동형 이중스타형은 다중반송로로서 광섬유를 이용하지만 분기점에서 각 가입자단까지는 동선, 동축선, 또는 광섬유 등 다양한 전송매체 적용이 가능하다는 장점을 갖는다. 또한 수동형 이중 스타형은 능동형에 비해 간단하고 경제적인 반면에 각 개인의 비밀 보장성이 떨어지며, CATV와 같은 분배형서비스에 적합하다. 양방향 전송대역이 비대칭형으로 상향 채널은 여러 가입자가 하나의 채널을 다중접속하여 이용해야 하고, 상/하향 신호를 위한 케이블은 1심 또는 2심 전송으로 구성할 수 있다. 이는 앞으로 주문형비디오 분배서비스 위주로 성장할 일반 주거형 가입자들을 위한 가장 지배적인 접속망 구성이 될 것으로 보인다. 따라서 가입자계의 광섬유화 구성은 1차적으로 상업지역을 대상으로 하는 능동형 이중 스타 내지는 단일 스타형이 실현될 것이며, 다음으로 일반 가입자를 대상으로 하는 수동형 이중 스타가 지배적인 구성이 될 것이다. 광섬유를 기반으로 하는 이러한 접속망을 초보적인 완전광접속망으로 볼 수 있으며, 가입자 당 사용대역의 증가와 가입자 단말의 광섬유 직접 접속이 이루어질 경우에 가입자 전송계의 경제성 성취를 위해서 완전광 국간전송망과 같은 구성도 가능하게 될 것이다. 즉, 모든 전송계의 완전 광전송망이 실현될 것이다. 그러나 단말대 단말간 완전 광통신망의 구성은, 기존 디지털 전송과 아날로그 교환기시대에 단대단간 디지털연결이 불가능했던 것과 같이, 교환 노드에서 광/전변환이 없는 광정보처리가 선행되지 않는 한 실현될 수 없다.

이러한 완전광전송망의 구성에 필요한 기술로는, 초고속 초장거리 전송기술, 광다중화기술등이 있다. 먼저 초고속 광중계 전송기술은 고속화, 무중계 장거리전송을 목표로 한다. 기존에 주로 적용되던 강도변조방식에서의 회로구성은 간단한 편이나 전송속도는 20~30Gb/s속도로 제한된다. 따라서 보다 고속전송을 위해서는 ASK/PSK/FSK방식

을 사용하는 코히런트전송기술이 필요하다. 이는 기존 강도변조 방식에 비해서 송·수신기가 복잡하고, 발광소자의 스펙트럼 선폭이 좁아야 하는 등 매우 엄격한 조건을 요구한다. 또한 수신측의 복조 방식으로는 호모다인 검파방식과 헤테로다인 검파방식이 있으며, 전자는 높은 수신감도를 얻을 수 있는 반면에 신호동기회로는 복잡하다. 따라서 일단 구현이 용이한 후자에 대한 연구가 보다 진전되어 있는 상황이다. 이러한 코히런트 전송기술의 실용화는 작은 선폭과 안정된 주파수를 갖는 광송·수신기 이외에도 광전직접회로등 소자기술이 걸림돌이 되고 있다. 그리고 장거리 무중계전송을 위해서 EDFA에 대한 연구가 코히런트 변복조방식과 함께 연구되고 있으며, 최근들어 EDFA기술의 진전으로 고감도의 광수신성능을 실현하고 있다는 점이 코히런트전송기술의 실용화에 긍정적인 요소이다. 코히런트 방식보다 보다 초고속·초장거리 전송을 실현할 수 있는 솔리톤 전송기술에 대한 연구도 활성화된 상태이다. 솔리톤 전송기술은 미래 광통신의 가장 연구핵심이 되는 전송속도와 전송거리를 획기적으로 개선할 수 있는 선도적인 기술이다. 이는 이론적으로는 광파 왜곡이 없기 때문에 중계기없이 초장거리 전송을 실현할 수 있지만, 실제적으로는 광섬유 자체의 고유한 특성 때문에 EDFA기술에 의해 무중계거리를 개선해야할 것이며, 따라서 이의 실용화는 저잡음, 고성능의 EDFA 개발에 의존할 것이다. 솔리톤 전송기술은 현재의 기술진전으로 보아 2000년 이전에 실용화될 것으로 예상된다.

현편 광다중화 기술로는 광 TDM 기술과 광 FDM기술이 있다. 광 TDM은 출력 광신호를 광변조기로 입사한 후 디지털 전기신호에 의해 표분화하고, 이 표분 광신호를 일정주기로 분할하여 분할신호들을 하나의 신호로 결합하는 다중방식이다. 이는 수십 Tb/s급 이상의 초고속 광전송 기술로 각광을 받고 있다. 광 FDM기술은, 200THz 이상의 높은 주파수를 갖는 빛을 이용하는 방식이다. 예를 들어 파장 대역이 1.5~1.6 μm 의 영역을 주파수 대역으로 바꾸면 12500GHz가 되며, 이를 5GHz간격으로 다중화 하면 2500파 정도를 광다중화할 수 있는 원리를 이용한다. 여기서 빛의 파

장 간격이 10nm(1000GHz)이상인 경우를 흔히 파장분할다중(WDM)이라고 한다. 코히런트 전송 방식은 약 10Ghz이하의 고밀도 주파수(또는 파장)다중 전송시에 효과적으로 적용할 수 있다. 그러나 이는 위상잡음, 유도산란, 색분산등에 의해 사용 채널수에 제약이 있기 때문에 고밀도 주파수 다중에는 한계가 있다.

결과적으로, 향후 대용량 장거리 광통신의 발전은 크게 솔리톤전송기반의 시분할다중방식과 코히런트전송기반의 주파수(파장)분할다중방식에 의해 주도될 것으로 보인다. 여기서 이러한 광전송에 가장 큰 걸림돌은 광섬유 전송시 발생하는 광펄스 왜곡이며, 이를 제거하는 것은 이론상 솔리톤전송에서 해결할 수 있을 것으로 보인다.

VI. 결 언

본 고에서는 전송기술이 지난 100년동안 발전해 온 배경과 전송기술사에 획기적인 전환점을 만든 대표적인 전송기술들의 특징, 그리고 앞으로 전개될 전송기술의 발전전망에 대해 매우 개략적으로 살펴보았다.

전송기술은 전기통신의 역사와 함께 해왔다고 볼 수 있으며, 전송기술이 전기통신의 발전을 선도해 왔다고 하는 것에 대해서는 의심의 여지가 없다. 지난 80년대까지 전송기술은 대용량전송의 실현에 초점을 맞추고 발전되어 왔으며, 여기에 가장 획기적인 전환점은 디지털 통신시대의 막을 열게 한 PCM기술과 대용량 장거리 전송의 길을 연 광통신기술의 실용화로 볼 수 있다. 즉, 아날로그방식의 동선전송과 FDM기반의 동축전송은 PCM다중전송의 등장으로 쇠퇴의 길로 들어섰으며 PCM전송은 광전송기술과의 결합으로 전송의 고속화, 고품질화를 실현하였다. 이후 90년대에 들어서는 광전송과 동기식다중, 그리고 ATM과의 결합으로 전송의 초고속화, 전송신호의 네트워킹, OAM의 지능화, 그리고 광대역 멀티미디어 통합등을 토대로 하여 다기능화와 고도화를 실현하고 있다. 앞으

로는, 초고속 초장거리전송에 토대를 두고, 중계전송로상에서 광신호단위의 네트워크를 실현하는 완전광 중계전송망을 거쳐, 가입자계의 광화와 FTTH의 실현을 통해 2010년을 전후하여 완전광 접속망으로 발전되어 갈 전망이다.

이러한 완전광전송망은 광정보처리 및 광고환과 결합하여 차세대 완전광 통신망을 실현하게 될 것이라 기대한다.

참 고 문 헌

[1] 김재근, 이호재, “국간전송에서의 동기식 전송기술 적용”, 전자공학회지 제20권 제4호,

1994. 4
 [2] 이병기, 강민호, 이종희, 광대역정보통신, 교학사, 1994
 [3] 이병기, “B-ISDN과 동기식 전송”, 전자공학회지 제20권 제4호, 1994. 4
 [4] 문병주, 광통신의 전개, 한국전자통신연구소. 1995
 [5] 이경준역, 초고속 정보통신망의 핵심 B-ISDN, Ohm사, 1995. 5
 [6] J.C.Bellamy, Digital Telephony, John Wiley & Sons, 1982
 [7] 김재근, 이병기, “초고속 통신망에서의 전송기술 개발 동향”, 한국통신학회지 제12권 제12호, 1995. 12

저 자 소 개



金 在 根

1980년 고려대학교 전자공학과 졸업
 1983년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업
 1990년 고려대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1979년 12월~현재 한국전자통신연구소, 광대역통신망연구부, 책임연구원

李 秉 基

1974년 서울대학교 전자공학과 졸업
 1978년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업
 1982년 University of California Los Angeles(공학박사)
 1974년~1979년 해군사관학교 교관, 전임강사
 1982년~1984년 Granger Associates연구원
 1984년~1986년 AT & T Bell Laboratories연구원
 1986년~현재 서울대학교 전자공학과 교수