

광통신 기술 개요

김 장 민

(서울시립대학교 전자공학과 교수)

1. 서 론

1960년에 Al_2O_3 중에 Cr^{3+} 를 첨가한 합성 루비(Ruby) 결정을 이용하여 처음으로 실증된 레이저[1]는 위상이 나란한 즉, 코히어런트(coherent)한 광을 발생하는 장치로서 출현 직후부터 많은 관심을 모았다. 한편 광통신은 레이저 광이 100THz 이상의 주파수를 가지고 있기 때문에, 이것을 이용하여 전송할 수 있는 정보량이 원리적으로는 매우 크다는 데에 착안되어 그 연구에 큰 기대를 가졌었다. 1960년대에는 통신용으로서 사용될 수 있는 레이저나 광의 변·복조법, 레이저 광을 장거리 전송하는 광선로 등에 관한 기초적인 연구가 행해졌다. 1966년에 Koa와 Hockman이 광재료의 불순물로 인한 많은 손실을 지적하고, 광섬유가 실용적인 통신선로가 될 수 있도록 손실을 줄일 수 있음을 제시하였다. 1970년 Corning의 Kapron과 Keck와 Maurer에 의해서 석영유리를 이용한 광섬유가 20dB/km의 손실을 가지도록 만들어 졌다. 20dB/km이하의 손실이라면 구리를 이용한 동축케이블 방식과 같은 정도의 중계기 간격인 2~3km가 얻어지리라 예상되었다.

그 후 광섬유의 제작법, 케이블화, 접속법, 측정법의 개발이 진전되어 현재는 0.2dB/km라는 극저손실치가 실현되고 있어[2] 과거 십 수년 사이에 손실이 세자리 이상 저하된 눈부신 발전을 보였다.

이러한 저손실 광섬유에 의해 단지 동축 케이블과 같은 정도의 성능에 머물지 않고 100~200km의 장거리에 걸쳐 무중계로 광의 전송이 가능하게 되어 광통신의 특징을 발휘할 수 있게 되었다. 또 하나의 커다란 진전은 전기신호를 광신호로 변화하는 반도체 광소자이다. 1962년에 GaAs의 pn접합에 저온에서 전류를 순방향으로 흘렸을 때에 유도 방출에 의한 발진을 일으킨다는 보고에 의해 소형으로서 직접 전류구동이 되는 독특한 특징을 갖는 반도체 레이저가 발표되었다. 그러나 반도체 레이저에서 생기는 발열에 의해 통신용의 필수조건인 연속발전 및 실온 동작에는 많은

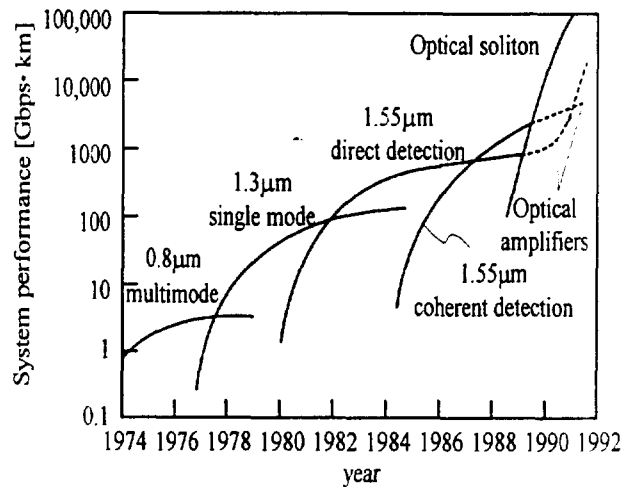


그림 1. 광통신 발달 과정

시간이 소요되었다. 흐르는 전류를 제한하는 스트라이프(stripe) 구조의 실현을 통해서 1970년에 실온 연속동작이 달성되었다[3]. 반도체 레이저와 같은 재료를 이용하여 전류 구동에 의해 인코히어런트(incoherent)한 광을 발생하는 발광다이오드도 역시 통신용의 광원으로서 연구가 진행되었다. 이 실온 연속 발전은 광섬유 저손실화와 거의 같은 시기에 이루어졌을 뿐 아니라 GaAs레이저의 발전파장은 당시의 광섬유가 최저 손실이 되는 파장과 일치하고 있었기 때문에 이들을 이용한 광통신 연구의 분위기가 세계적으로 무르익었다. 그이후 광통신은 많은 발전을 이룩하였으며, 그림 1은 광통신 발달 과정을 잘 나타내고 있다.

2. 광전송 구성 요소

여기에서는 먼저 광전송 구성요소인 광섬유, 광송신기, 광수신기, 광증폭기 등에 대해서 알아보고, 그 구성요소 대한

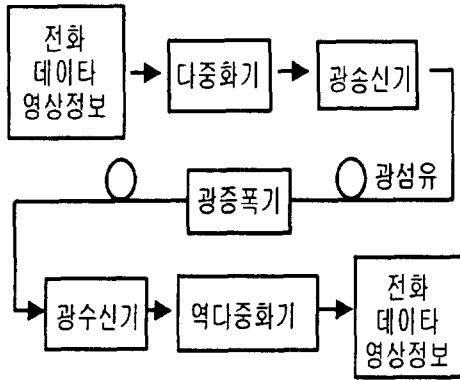


그림 2. 광통신 블럭다이어그램

국내의 기술 현황에 대해 살펴보기로 하겠다.

광전송은 그림 2와 같이 광섬유, 광송신기, 광수신기, 광증폭기 등으로 구성되어진다. 여기에서 그들의 각각의 특성에 대해서 알아보도록 하겠다.

2.1. 광섬유

광섬유의 기본 구조는 그림 3에서와 같이 빛이 통과해 전파되는 코어(core)와 코어를 둘러싸고 외부에 빛이 밖으로 나가지 못하게 하는 클래딩(cladding)으로 구성되며, 클래딩은 코어보다 굴절율이 약간 낮은 유리로 구성되고, 그 바깥에 표면 손상을 막기 위해 피복을 입힌다.

광섬유는 코어의 굴절율 분포에 따라 분류할 수 있으며, 굴절율이 일정한 step-index 광섬유와 중심으로 갈수록 굴절율이 서서히 증가하는 graded-index 광섬유가 있다. 모드의 수에 따라 단일모드 광섬유와 다중모드 광섬유로 나눌 수 있으며 다중모드의 경우 모드간의 분산으로 인해 단일모드 광섬유보다 대역폭이 작은 반면에 제조하기 쉽고 설치가 편리하기 때문에, 광통신 시스템 초기에 많이 사용되었다. 그러나 더욱 큰 정보 전달 용량에 대한 필요성이 증가하여 현재는 대부분이 단일모드 광섬유를 채택하고 있다. 광통신 시스템의 설계에 있어서 중요한 영향을 미치는 광섬유의 특성은 손실과 분산이다. 그림 4는 광섬유의 손실 특성을 보여주고 있으며, 광통신에 사용되는 파장이 0.85 μ m, 1.3 μ m, 1.55 μ m 근방인 것은 손실과 밀접한 관련이 있다.

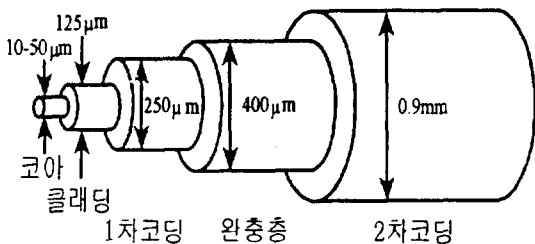


그림 3. 광섬유의 구조

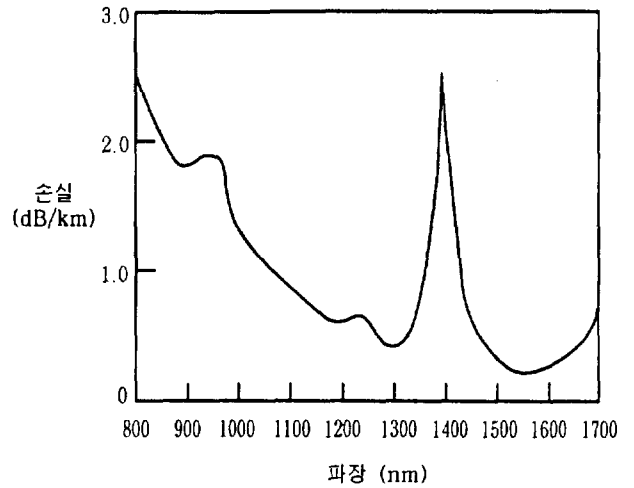


그림 4. 단일 모드 광섬유 손실 특성

0.85 μ m 파장에서는 손실이 세 파장 중에서 가장 크지만 광원과 광검출기의 개발이 가장 앞서서 시스템에 먼저 실용화되었다. 그 후 1.3 μ m의 광통신 시스템으로 옮겨졌고, 현재는 천이 분산 광섬유 또는 평탄분산 광섬유와 함께 1.55 μ m 파장에서의 광통신 시스템이 실용화되고 있으며 이것은 1.5 μ m 파장에서 광섬유의 손실이 가장 적기 때문에, 최저 손실 파장을 사용하여 중계 거리를 최대화할 수 있다[4].

2.2. 광송신기

광송신기는 그림 5 블럭도와 같이 형성되며, 광송신기의 주요 기능은 입력 로직 레벨 수용 기능, 광출력 변조 기능(LED, LD, 변조기), 광출력 안정화 및 발진 파장 안정화 기능, 레이저 보호 기능 등이다.

여기에서 광통신용 발광 소자는 발광파장이 광섬유의 저손실 영역에 일치해야 하며 효율이 높고 수명이 긴 것이 필수적인 조건이다. 광통신에 적합한 것으로는 레이저 다이오드(LD)를 들 수 있으며, 구조적인 면에서는 LD는 2중 헤테로 접합 구조가 요구된다. 그림 6은 DFD 레이저의 구조를 보여 주고 있다.

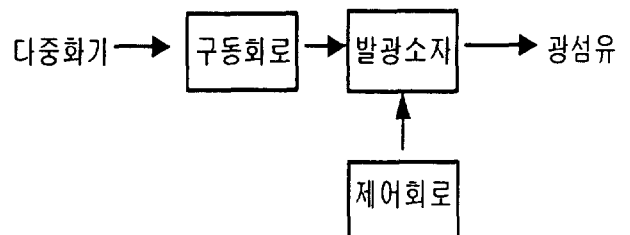


그림 5. 광송신기 블럭다이어그램

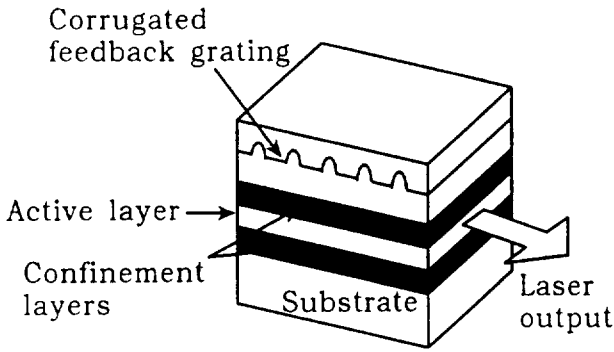


그림 6. DFB 레이저의 구조

2.2.1. 레이저 다이오드

레이저 다이오드는 유도 방출을 공진기를 이용하여 증폭하는 장치로서 발진 스펙트럼폭과 방사 각도가 좁고 변조 대역폭이 넓으며 주입 전류에 대한 광출력 특성에 threshold가 있어 전광 변화 효율이 높은 장점을 갖고 있다.

IM(Intensity Modulation)/DD (Direction Detection) 방식의 장거리 통신에서는 위의 특성으로 1Gbps 이하에서는 FP레이저를 1~10Gbps 까지는 DFB(Distributed Feedback) 레이저를 쓰게 되며, 최근에 565Mbps 시스템에서도 DFB 레이저를 사용하기도 한다.

2.2.2. 발광 다이오드(LED)

발광 다이오드는 전류를 흘려주어 주입된 전자와 정공이 pn 접합부에서 재결합하면서 자연 방출된 빛을 이용한 소자로서 광출력은 주입 전류에 비례한다. 발광 스펙트럼의 폭 및 방사 각도가 넓기 때문에 광섬유에 결합되는 광파워가 낮으며, 변조대역폭이 캐리어 수명에 의해 제한되어 보통 100MHz 정도로 레이저 다이오드에 비해서 좁으며, 발광 효율이 낮아 광출력이 작은 문제가 있다. 그러나 전반적으로 소자의 신뢰도가 높고 동작 특성이 온도 변화에 덜 민감한 장점이 있어 단거리 데이터 통신에 적합하다[5].

2.3. 광수신기

광수신기는 그림 7의 블록도와 같이 형성되며, 광수신기의 주요 기능은 광신호의 전기 신호로의 변환 기능, 수신 감도를 결정하는 저잡음 광대역 증폭 기능, Dynamic range 확보 기능, 지터 특성을 결정하는 클럭 추정 기능, 데이터 재생 기능 등이다.

수광 소자는 발광 소자와는 반대로 수신기안에서 광신호를 검출하여 다시 전기 신호로 변환하는 소자로서, 다음과 같은 특성이 요구되어 진다.

- 광으로부터 전기에로의 변환효율이 높아야한다. 즉 입사광자 수에 대한 생성 캐리어의 수의 비율인 양자효율이 좋아야한다.

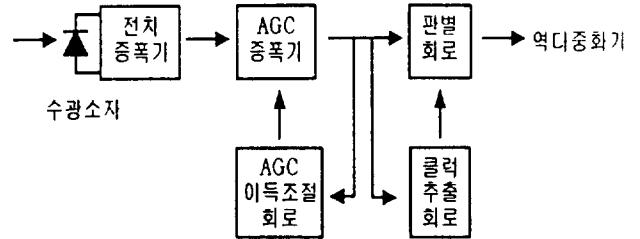


그림 7. 광수신기 블록다이아그램

- 고속의 응답 특성을 가지고 변조 신호 주파수에 충분히 대응할 수 있는 주파수 대역을 가져야 한다.
- 수광 소자에서 암전류와 같은 새로이 부가되는 잡음이 적어야 한다.

수광 소자는 포토 다이오드와 포토 트랜지스터가 있으며, 포토 다이오드에는 pin 포토 다이오드와 APD(Avalanche Photodiode)가 있다. 0.85μm대에는 Si이 사용되고 있으며 1μm 이상의 영역에서는 Ge이 가장 널리 사용되고 있다.

2.3.1. pin 포토 다이오드

pin 포토 다이오드는 광흡수영역이 길어서 80%이상의 양자효율을 얻을 수 있으며, 애벌런치 포토 다이오드에 비해서 제작이 용이하고 가격이 싸며 동작 전압이 낮고 암전류에 의한 신호대 잡음비의 열화가 적다는 장점이 있다.

2.3.2. APD

APD는 눈사태 광검파기라고도 불리며, pn접합에 높은 역방향 전압을 인가하면 어느 전압에서 역방향 전류가 급격히 증가하는데 이를 눈사태항복(avalanche breakdown)이라고 하는데 광 캐리어가 이 높은 전계내에서 가속되어 눈사태 현상에 의해 증폭되도록 한 구조의 포토 다이오드가 APD이다. APD는 높은 전계에서 동작시키는 소자이기 때문에 사용되는 결정재료는 고품질이어야 한다. 눈사태 현상에서는 캐리어의 충돌전리가 랜덤하게 일어나기 때문에 발생하는 캐리어의 수, 즉 전류가 동요하기 때문에 발생하는 잡음이 수반된다. 따라서, 수신감도가 높은 장점이 있으나 동작전압이 높고 동작 특성이 온도 및 바이어스 전압에 민감한 단점이 있다.

2.4. 광증폭 기술

광증폭 기술은 기존의 중계 장치에서 광선로를 전기 신호로 변환하고 신호의 전기적 증폭 및 재생 과정을 거쳐 다시 광신호로 변환하여 송신하는 번거로움을 해소시키기 위해 광 신호를 전기적 신호로 변환하지 않고 순수하게 광신호를 증폭하므로 시스템이 간단해지고 시스템의 신뢰도와 경제성을 높인다. 또한 이 방식은 전송 속도가 광변조 방식에 무관하게 증폭할 수 있어서 파장 분할 다중화

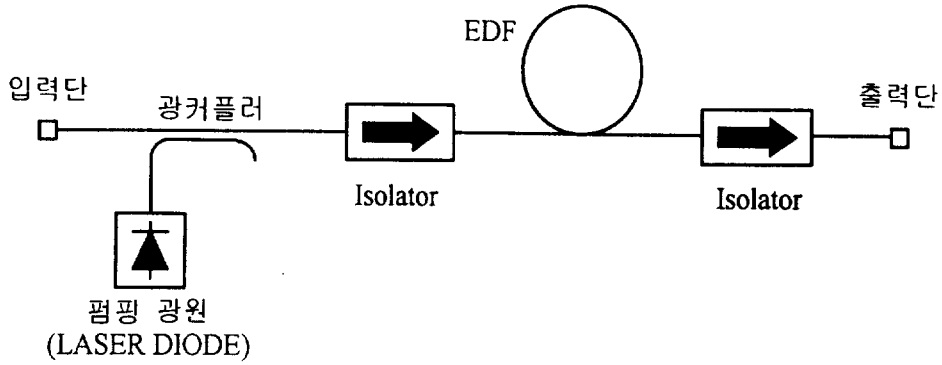


그림 8. 광섬유 증폭기(EDFA)

: Wavelength Division Multiplexing)에서의 채널 수의 제한에 대처할 수 있는 장점이 있다.

광증폭기에는 회도류 첨가 섬유 증폭기(EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier)와 반도체 레이저 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier)가 있다.

2.4.1. 반도체 광증폭기

반도체 광증폭기는 광섬유증폭기에 비해서 크기가 작고, 파워 소모가 작으며 집적회로와 양립하는 구조를 가질 수 있다는 장점이 있으나 이득이 짧은 기간 내에 회복됨으로 인해 포화 영역에서 신호가 왜곡되는 단점이 있다.

2.4.2. 광섬유 증폭기(EDFA)

광섬유 증폭기는 그림 8과 같이 구성되어지며, 광섬유 코어에 회도류 원소를 첨가하여 광섬유의 좋은 도파로 특성을 이용한 것으로, 1960년대 초부터 Snitzer등이 유리 레이저와 증폭기를 구현시켰으며 1970년초에 Stone와 Burrus에 의해 다시 시도되기도 했다. 광섬유 증폭기는 다음과 같은 장점이 있다.

- 광섬유와 기본적으로 같기 때문에 결합 손실이 작다.
- 이득이 편광에 무관하며 강도 변조시에도 채널간의 누화(crosstalk)가 적다.
- 넓은 증폭 대역폭을 가진다.
- 반도체 레이저로 여기가 가능하다.

그러나, 무중계 전송 거리가 증가하면서 기존의 시스템에서는 상대적으로 중요하지 않았던 색분산과 비선형성에 의한 신호의 왜곡에 대한 중요성이 부각되고 있는데, EDFA는 선형 증폭기이기 때문에 신호를 재생시키지 않고 단순히 증폭시키므로 여러 증폭단을 거칠 경우 신호의 왜곡이 누적되어 지는 단점이 있다. 또한 증폭 파장대역이 비교적 고정되어 있고, 이득 곡선이 평탄하지 않다[6].

3. 광통신망의 구성

광통신망은 기존의 협대역 서비스 위에 덧붙여 광대역

통신 서비스를 제공하기 위해서 필요로 되어지는 광통신 매체로 구성되어지는 통신망이라 할 수 있다. 여기서 먼저 기존의 통신망인 회선 교환망, 패킷 교환망, 그리고 회선 교환망과 패킷 교환망을 통합한 ISDN의 구성에 대해서 살펴본 후에, 고속 패킷 통신 및 영상 통신 서비스에 관련된 다중 매체 통신 서비스까지 통합적으로 제공하는 광대역 ISDN (B-ISDN)에 대해서 기술하기로 하겠다.

3.1. 통신망의 구성

통신망은 각종 통신 서비스로부터 비롯된 정보 또는 메시지를 전달하도록 만들어진 장치 및 설비들이 상호 연결되어 있는 시스템으로, 넓은 지역에 분포되어 있는 다수의 사용자들에게 통신 서비스를 제공할 때 필요하게 된다. 통신망의 구성 성분들은 가입자 장치, 전송 설비 및 교환 시스템으로 구분할 수 있으며, 가입자 장치는 가입자와 통신망간에 정보 및 제어 신호를 송수신 하는 장치이며, 전송 설비는 가입자 사이에 정보를 전달하기 위한 통신로를 제공하며, 구리선, 도파관, 광섬유 등의 전송 매체와 증폭, 재생, 변환 기능의 전자 장치로 구성되어 진다. 그리고 교환 시스템은 전송 설비를 상호 연결시켜 주고 통신망 내 트래픽의 통로를 조절한다.

통신망은 크게 기간망과 가입자망으로 구분할 수 있으며, 기간망은 교환국간을 연결하는 망이고, 가입자망은 교환국과 가입자를 연결하는 망이다. 기간망에서는 전송 선로는 국간 선로(trunk)라고 하며, 국간 선로를 연결하는 교환은 국간 교환(IE : Inter-Exchange)이라고 한다. 가입자망에서는 전송 선로를 가입자 선로(subscriber-loop)라고 하고, 가입자 선로를 수용하는 교환을 지역 교환(LE : Local Exchange)이라 한다. 또한 통신망은 교환 방식에 따라서 회선 교환망과 패킷 교환망으로 구분된다.

3.1.1. 회선 교환망

회선 교환망은 발신 단말로부터의 접속 정보(다이얼 숫자 등)로부터 교환기가 착신 단말까지의 회선을 설정한 후 통

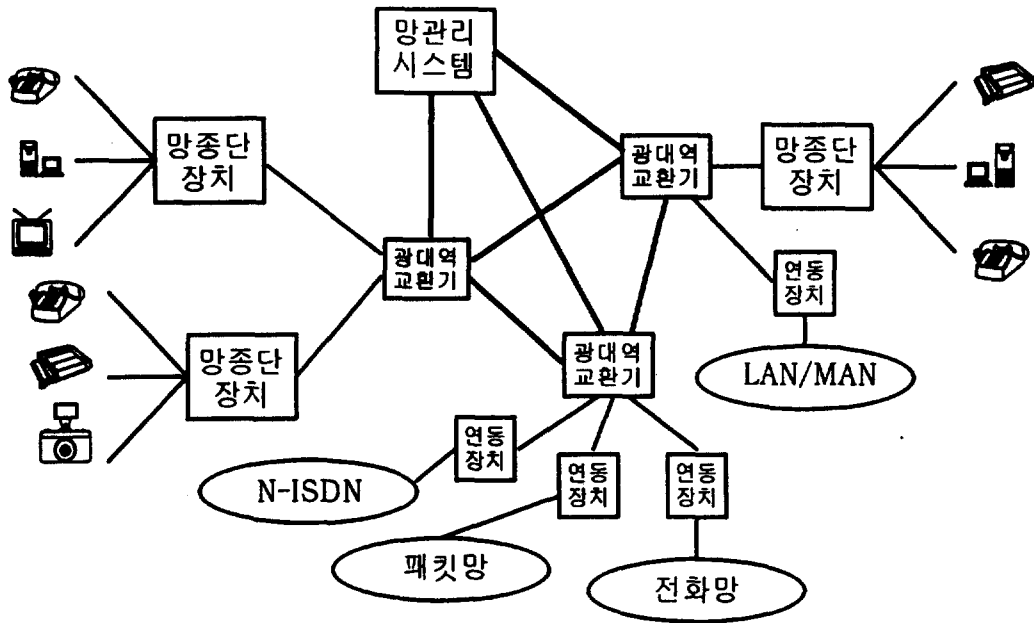


그림 9. 광통신망의 구성

신 정보를 송수신하는 통신방식을 취하는 교환망을 말하며, 공중 교환 전화망(PSTN : Public-Switched Telephone Network)은 회선 교환망이다.

하게 해주는 등의 장점을 갖고 있다.

3.1.2. 패킷 교환망

패킷 교환망은 정보의 송수신을 패킷 교환 방식으로 실현하는 교환망을 말하며, 패킷 교환망의 특징은 망에 접속된 한 개의 회선상에서 동시에 여러 개의 단말간 통신이 가능하여 회선을 유효하게 이용할 수 있다는 것이다. 패킷 통신망에는 패킷 교환 공중 데이터 망(PSPND : Packet-Switched Public Data Network), 지역 통신망, 패킷 무선 통신망 등이 있다. 여기에서 지역 통신망은 국부 지역을 위한 소규모 사설 통신망으로서 사용되며, 대표적으로 LAN과 MAN이 있다.

3.2. 광통신망의 구성

B-ISDN에서는 광대역 서비스 데이터의 다양한 특성과 분포를 공통적으로 수용하기 위해서 광대역 통신망이 요구되므로 기존의 통신망으로는 그 구현이 불가능하며, 그림 9와 같이 통신망 전체를 광통신망으로 구성해야만 한다. 특히, 기존 가입자망은 동선으로 된 전화망으로, 전송속도가 낮고 손실이 커 광대역 서비스에 적합하지 못하며, 광대역 서비스와 기존 전화망을 분리할 경우에 추가 비용 부담이 커서 적합치 못하기 때문에 다양한 광대역 서비스 제공을 위한 광대역 고속 통합망의 실현을 위해서는 광 가입자망의 구축이 필수적이다.

3.1.3. ISDN

패킷 교환망은 회선 교환망과는 독립적으로 구축, 운용되고 있는 통신망으로 그 크기는 회선 교환망에 비해 작았다. 데이터 정보량이 팽창함에 따라서 그 수요가 크게 증대해감에 따라 각종 통신 서비스에 대한 수요를 전면적으로 해결해 줄 수 있는 해결책으로 ISDN(Integrated Services Digital Network)이 표준화되었다. ISDN은 기존의 회선 교환망과 패킷 교환망에 대한 공통 접속점을 제공하여, 음성뿐만 아니라 화상 및 데이터 서비스를 통합하여 제공할 수 있도록 하는 통합 서비스 디지털 통신망이다. 통신망 내에 각종 데이터베이스를 두고, 이를 모든 가입자와 서비스 제공자가 공동으로 사용할 수 있으며, ISDN은 각종 통신 처리, 정보 처리 기능을 제공할 수 있고, 통신망 운용 및 관리를 용이

기존의 ISDN은 회선을 위주로 협대역 서비스를 통합했었지만 B-ISDN에서는 패킷을 위주로 한 광대역 서비스의 통합이기 때문에 근본적으로 차이점이 있다. B-ISDN에서는 광대역 접속을 위해서 광대역 망종단장치(B-NT : Broadband Network Termination)가 사용되고, 사용자-망 접속(UNI : User-Network Interface)은 비동기식 전달모드(ATM : Asynchronous Transfer Mode)에 의거하며, 망-노드 접속(NNI : Network-Node Interface)은 동기식 전달모드(STM : Synchronous Transfer Mode)에 의거한다.

3.2.1. 동기식 전송망

동기식 광통신 시스템에 의한 망의 구성을 가능하게 하기 위하여, 1986년 CCITT는 광대역 ISDN의 망 노드 접면(NNI : Network Node Interface)을 위한 동기식 디지털 계

위의 표준화 작업에 착수하였으며, 1988년 SONET을 바탕으로 하여 150Mbps 급을 표준으로 하고, 유럽식 디지털 계위를 포함시켜서 동기식 디지털 계위(SDH : Synchronous Digital Hierarchy)를 표준화하였다[7]. 동기식 전송 방식이라 함은 이 SDH에 의거하여 전송하는 방식을 말하는 것이다. SDH는 155.520Mbps인 STM-1(Synchronous Transport Module level 1) 신호를 기본 전송 신호로 하며, 한 단계 다중이 가능하고, 상위 계층 신호에서 하위 계층 신호, 특히 DS0 신호로 쉽게 접근할 수 있고, 모든 데이터 처리를 바이트 단위로 할 수 있다. 이는 회선 분기 결합(ADM : Add/Drop Multiplexer), 디지털 교차 연결 시스템(DCS : Digital Cross-connect System) 등의 실현을 용이하게 한다. ADM과 DCS로 구성된 허브(hub)를 이용한 점 대 다중점 형태의 망을 구성할 수 있기 때문에 망 노드의 수를 줄이고 망의 구성을 간소화할 수 있어서 전송 비용의 절감은 물론 전송로 구성의 유연성을 기할 수 있다. 또한 OAM(operations, Administration, and Maintenance) 기능의 강화로 더욱 경제적인 망의 구성을 이룰 수 있다.

3.2.2. ATM

B-ISDN에서는 좁은 대역에서 넓은 대역까지 다양한 서비스 채널을 수용해야 하는데, 규정된 채널속도에 맞추어 교환하는 회선 교환으로는 다양한 서비스 채널을 수용할 수 없으며, 실시간 처리가 요구되는 정보를 기존의 패킷방식으로 처리해서는 지연이 문제가 되기 때문에 두 가지 문제를 만족시킬 수 있는 ATM 방식이 필요로 한 것이다[13]. ATM은 패킷 교환을 기본으로 하여 회선 교환을 수용하는 방식이므로 서비스의 연결을 설정해 주어야 한다. 그 연결 방식으로 가상 채널을 설정하여 서비스의 정보를 전송하는데, 가상 채널이 설정되면 ATM셀에 연결 식별 번호가 부여되고, 연결이 해제되면 이 식별 번호도 해제된다. 연결 설정을 위해서는 서비스 신호와 다른 별도의 ATM셀을 전송한다. 이 가상 채널의 설정에 의하여 기존의 전화나 영상 회의 및 영상 전화와 같은 실시간성 서비스에서 문제가 되는 지연 문제를 해결할 수 있다.

3.2.3. 광 가입자망의 구축

광 가입자망의 구축은 각국의 기술 수준, 인구 밀도, 제공 서비스의 종류 등에 따라 다양한 형태를 가지며, 기존 망에서 광 가입자망으로 진화해 가기 위해서 선진국의 사례를 면밀히 검토한 후 전송능력을 효과적으로 향상 시켜나가야 한다.

광섬유의 설치 구간에 따라 광 가입자망의 구축 전략이 세워지며, 광섬유를 상업용 빌딩까지 설치하는 FTTO(Fiber TO The Office), 수요 밀집지역의 적당한 위치까지 설치하는 FTTC(Fiber TO The Curb), 각 가입자의 대내까지 설치하는 FTTH(Fiber TO The Home)가 그 구축 전략이다.

참 고 문 헌

- [1] T.H. Maiman et al., "Stimulated optical emission in fluorescent solids II. Spectroscopy and stimulated emission in ruby", Phys. Rev., vol. 123, No. 4, pp.1151-1157, Aug. 15, 1961.
- [2] T. Miya, Y. Terunuma, T. Hosaka and T. Miyashita, "An ultimate low-loss single-mode fiber at 1.55 μm ", Elect. Lett., vol. 15, No. 4, pp. 106-108, Feb 1979.
- [3] I. Hayashi, M.B. Parish, P.W. Foy and S. Sumski, "Junction lasers which operate continuously at room temperature", Appl. Phys. Lett., vol. 17, No.3, pp.109-111, Aug.1970.
- [4] 정석원, 김창민, " $\lambda=1.55\mu m$ 에서 극저분산을 갖는 사중-클래드 평탄분산 광섬유의 설계", 대한전자공학회지 제32권 A편, 제8호, pp. 140-152, 1995년 8월.
- [5] 최상삼, "광통신용 부품기술", 한국통신학회지, 제10권, 제2호, 1993년 2월호.
- [6] 심창섭, "2.5 Gbps, 10Gbps, 100Gbps급 고속 광전송 장치", 전자공학회지 제20권, 제4호, pp. 56-67, 1993년 4월호.
- [7] 이병기, 강민호, 이종희, 광대역 정보 통신, 제3장, 교학사, 1995.

저 자 소 개



김창민(金昌敏)

1950년 4월 10일생. 1975년 2월 서울대 전자공학과 졸업. 1982년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1989년 8월 U. of Florida Dept. of EE 졸업(공학박). 1983년 5월~현재 서울시립대학교 전자공학과/반도체공학과 부교수. 주관심 분야 : 도파/집적광학, 진행파전극/고속 광변조기, 저분산 광섬유, 광통신 시스템, FDM, FEM, BPM, SOR 등 수치해석.