

광 통신

김 상 국*

(*한국과학기술연구원 응용물리연구실)

요 약

광통신 기술은 지난 25년간 비약적인 발전을 하여 이미 세계적으로 2.5Gb/s 시스템의 실용화, 해저 광케이블 포설 등이 이루어졌으며 고속 광변조 기술, 광중복 기술, 광 FDM 기술 등 핵심 기술의 개발에 따라 10Gb/s 이상의 초고속 광통신 시스템의 실용화가 가시화 되고 있으며, 또한 차세대 정보통신 서비스인 B-ISDN 서비스의 응용을 가능하게 하고 있다.

1. 서 론

빛은 주파수가 수백 THz나 되어 마이크로웨이브에 비해 수만배 이상의 정보 전송능력을 가지고 있다. 이러한 빛을 통신에 이용하려는 연구는 1970년대 도파로로서 광섬유를 활용할 수 있다고 알려진 이후 저손실 광섬유를 이용한 광통신 기술의 실용화로 발전되었다. 지난 25년간 광섬유 제조 기술의 발전과 광원으로서의 반도체 레이저 및 광검출기의 제작에 필요한 각종 반도체 제조 기술의 비약적 발전으로 이미 세계적으로 수천만 km 이상의 광섬유가 포설되어 각종 통신망에서 사용되고 있으며, 대서양과 태평양을 횡단하는 대륙간 해저 케이블 통신 시스템에서도 광섬유가 사용되고 있다. 그

리고, 최근 미국 및 일본에서는 32,000명 이상의 가입자가 동시에 통화할 수 있는 2.5Gb/s 광통신 시스템을 실용화 하였으며, 이와 함께 10Gb/s 이상의 광통신 시스템에 대한 실용화 연구도 계속하고 있다[1]. 또한 단순히 광을 전송 매체로서만 이용하려는 기술 개발과 더불어 coherent 광통신, 광 switching 등과 같이 광파 자체를 제어하여 광통신의 정보 전송 용량을 획기적으로 증가시킬 수 있는 광파기술 개발도 활발히 진행되고 있다[2].

우리나라에서도 이미 70년대 말부터 광통신에 대한 연구를 착수하였으며, 이미 주요 국간 통신망에 광섬유를 포설하여 500Mb/s급 광통신 시스템을 사용하고 있다. 그리고, 2.5 Gb/s급 광통신 시스

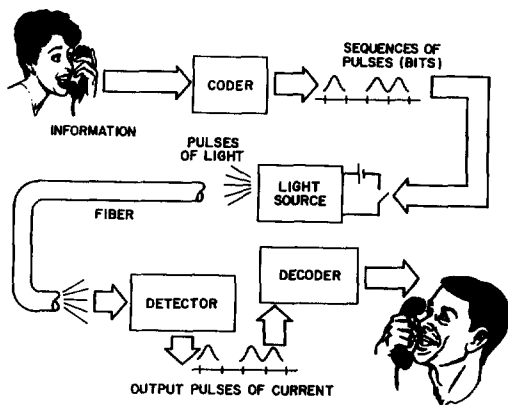


그림 1. 광통신 시스템의 개략도

템도 93년 까지 개발이 완료될 예정이며, 93년 부터는 B-ISBN의 구현을 위하여 10Gb/s급 이상의 광통신 시스템도 개발할 계획이다.

이에 본 논문에서는 우선 지난 25년간 개발된 광통신 기술 및 이에 필요한 각종 광기술의 발달에 대해 설명을 하였으며, 기존의 2.5Gb/s 광통신 시스템 이후의 초고속 광통신 시스템 실현을 위한 고속 광신호 변조 기술, 광증폭 기술, 광주파수 다중화 기술 등 차세대 주요 광통신 기술 및 이에 필요한 핵심 광소자 기술에 대한 최근의 연구 동향을 소개하였다.

2. 광통신 기술의 발달

광섬유를 이용한 광통신 시스템은 기본적으로 그림 1에서 보는 것 처럼 전자신호로 바뀐 음성정보를 광신호로 바꾸는 송신부, 광신호를 수신자에게 까지 전송하는 전송로인 광섬유, 그리고 전송된 광신호를 다시 전자신호로 바꾸고 이를 다시 음성신호로 바꾸는 수신부로 구성된다. 송신부에서의 발광소자로는 출력이 크며 전류로 신호 변조가 가능한 반도체 레이저가 주로 사용된다. 그리고 수신부에서의 수광소자로는 PIN구조의 photodiode 또는 APD등이 사용된다. APD는 수신 감도가 좋기 때문에 장거리 통신 시스템에서 많이 사용되고 있으나 PIN에 비하여 만들기가 어려운 단점이 있다. 한편 광섬유는 주로 직경 125 μ m의 실리카계 유리를 사용하고 있다. 광섬유는 이미 1970년대 초에 손실이 20dB/km인 저손실 광섬유가 개발되었으며, 그 후 꾸준한 연구결과 현재는 가장 광손실이 적은 광파장 영역인 1550nm 영역에서 0.16dB/km인 극저손실 광섬유의 제작이 가능하게 되었다.

광통신 시스템의 발달은 표 1에서 보는 것과 같이 제 1세대인 1970년대의 초창기 광통신 시스템은 800nm대의 파장을 갖는 AlGaAs/GaAs DH 구조의 반도체 레이저, Si 수광소자, 그리고 광도파로의 직경이 50 μ m 이상되는 multimode 광섬유를 사용하여 수십 Mb/s 전송이 가능한 시스템이었다. 그러나, 1300nm에서 동작하는 InGaAsP/InP 반도체 레이저의 개발과 함께 1980년대 부터 사용하기 시작한 제 2세대 광통신 시스템에서는 광섬유의 광손실이 0.4dB/km이하인 1300nm대의 광파장을 이

표 1. 광통신 기술의 발전 단계

| 구 분 | 광파장 | 사용광섬유 | 반도체 레이저 |
|-------------|--------|-------------|--------------------------|
| 제 1세대 광통신기술 | 800nm | multi-mode | GaAlAs LD FP type |
| 제 2세대 광통신기술 | 1300nm | single-mode | InGaAsP LD FP/DFB/MQWDFB |
| 제 3세대 광통신기술 | 1550nm | single-mode | InGaAsP LD DFB/MQWDFB |

용하였으며, 광섬유도 도파로의 직경이 수 μ m인 single-mode 광섬유를 사용하였다. 이러한 시스템에서는 광도파로에서의 모드 간의 분산을 제거할 수 있어 증계기 사이의 전송거리를 40km 이상 크게 늘릴 수 있으며, 또한 전송 속도도 수백 Mb/s 이상이 가능하다. 이때 수광소자로는 InGaAs PIN 다이오드, 또는 APD가 사용된다.

기본적으로 광통신 시스템은 디지털 64Kb/s의 음성신호를 시분할 하여 구성하였기 때문에 초창기에는 1.5Mb/s, 6.3Mb/s 등으로 발전되었으며 최근에는 SONET 구조의 동기식 전송 방식에 의해 622Mb/s (SC-12), 그리고 2488.32Mb/s (SC-48) 등으로 발전되고 있다.

한쌍의 광섬유로 3만 channel 이상 동시 통화가 가능한 2.5Gb/s 시스템에서는 발광소자로 일반적인 Fabry-Perot 형 반도체 레이저 구조 대신 단일 모드 동작이 가능하여 광파장 폭을 1nm 이하로 줄일수 있는 DFB 구조의 반도체 레이저를 사용한다. 그리고 최근에는 광신호를 고속 변조하여도 파장의 폭이 늘어나는 것을 억제할 수 있는 multi-quantum-well(MQW) 구조를 사용, 10Gb/s 광신호도 80km 까지 무중계 전송할 수 있다는 것을 보여주었다[3].

한편 최근에는 광섬유에서 광손실이 가장 적은 1.55 μ m 파장 영역에서 동작하는 광통신 시스템이 제 3세대 광통신 시스템으로서 실용화 되었다. 1.55 μ m에서의 광통신 기술은 광통신 시스템에서의 증계기 간격을 기존의 제 2세대 광통신 시스템 보다 두배 이상 증가 시킬수 있는 장점을 가지고 있어 해저 광케이블 같은 초장거리 광통신 시스템에 응용되고 있으며, 또한 최근 개발된 1.55 μ m 파장에서 광증폭

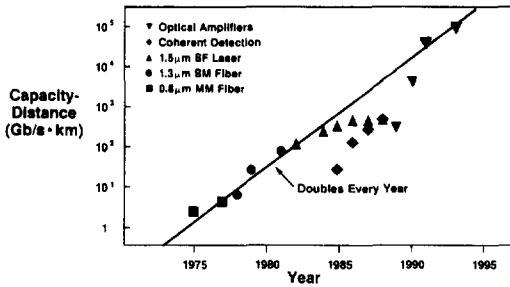


그림 2. 광통신 기술의 발전 추세

이 가능한 EDFA 기술과 함께 현재까지 광손실에 의해 생기는 문제점 때문에 개발이 지연되고 있는 각종 새로운 종류의 광통신 시스템의 개발을 가능하게 할 것이다.

그림 2는 광통신 기술의 발달을 전송 속도와 전송 거리의 곱으로 표시한 광신호 전송 능력으로 나타낸 것으로 1970년대 초에 1Gb/s·km 수준의 제 1세대 광통신 시스템이 실용화 된 이후 매년 2배 이상의 성능이 개선되고 있으며 1993년초에는 광증폭 기술을 이용하여 그 용량이 90,000Gb/s·km 까지 이르게 되었음을 보여주고 있다.

초장거리 광통신 기술이 필요한 대륙간 해저 광케이블은 1988년 처음으로 대서양에 포설된 이후 그 동안 그림 3에서 보는 것과 같이 전세계적으로

포설되고 있다[4]. 처음 포설된 해저 광케이블은 1.3μm 영역에서 동작하는 280Mb/s 시스템을 사용하였으나, 1991년 이후 포설된 시스템에서는 1.55 μm 영역에서 540Mb/s로 동작하는 제 3세대 광통신 시스템을 사용하고 있다. 또한 이 시스템에서는 기존의 광섬유와는 달리 1.55 μm에서 분산 효과를 가장 적게한 분산천이 광섬유를 사용하여 증계기간의 간격을 130km 이상 되게 하였다. 그리고 1995년 부터 포설되는 해저 케이블에는 최근 개발된 EDFA 기술을 도입한 5Gb/s급 광통신 시스템을 사용할 계획이다.

또한 현재까지는 전화국 사이에만 설치되어 있는 광섬유를 최종 사용자에게 까지 연결하여 가입자가 직접 광통신에 의한 대용량 정보를 이용할 수 있는 Fiber-in-the-Loop 기술도 최근 활발히 연구되고 있는 분야이다[5]. 이러한 기술에 의한 정보 서비스는 가입자가 음성 정보 뿐만 아니라 고품질 화상 정보, 컴퓨터 데이터, 오디오 신호 등도 직접 이용할 수 있기 때문에 앞으로 정보화 사회의 진전에 따라 크게 발전하리라 기대된다. 여기에 필요한 광기술은 장거리 통신에 필요한 광기술과는 달리 800nm 또는 1300nm의 제 1세대 또는 제 2세대 광기술이 많이 사용될 것으로 예상되고 있어 장거리 광통신 기술에 비하여 기술적 어려운 점은 없으나, 부

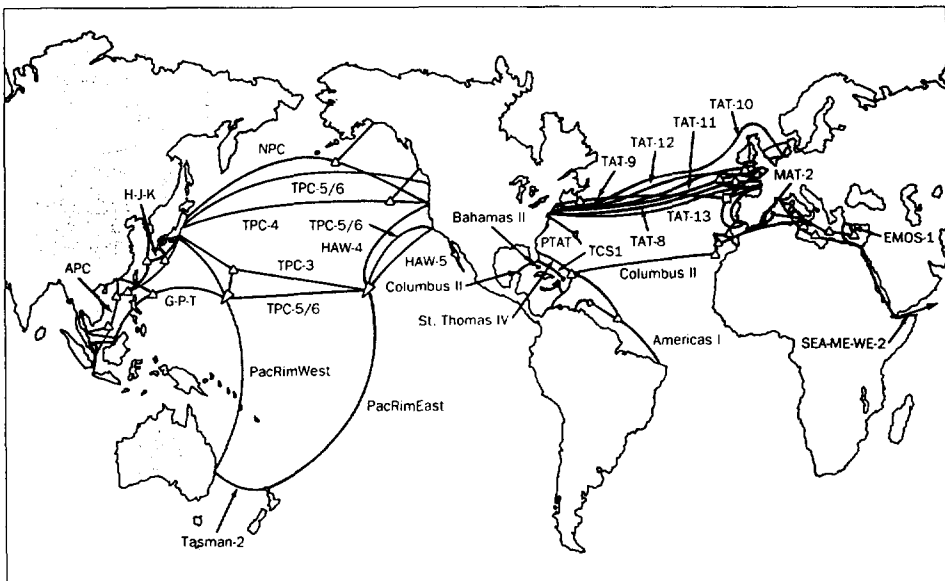


그림 3. 세계적 해저 광케이블 포설 현황

품 및 설치에 필요한 비용이 많이 들어 기존의 통신 기술보다 가격 경쟁력이 떨어지는 것이 실용화에 큰 장애가 되고 있다.

3. 차세대 주요 광통신 기술

정보화 사회가 진전함에 따라 정보의 수요 증가는 기존의 광통신시스템보다 더 전송 용량이 큰 광통신 시스템 개발을 요구하고 있다. 이러한 요구에 따라 기존의 2.5Gb/s급 광통신 기술을 10Gb/s급 이상으로 발전 시키기 위해서는 기존의 광통신 시스템에서는 볼 수 없었던 새로운 광기술의 도입이 필요하다. 이러한 새로운 광기술로서 고속 광신호 변조를 위한 고속 변조 기술, 광신호를 직접 증폭하는 광증폭 기술, 여러 파장의 광신호를 동시에 전송하여 전송 정보량을 획기적으로 증가시킬 수 있는 광주파수 다중화 기술등이 최근 활발히 연구되고 있다.

3.1 고속 광신호 변조 기술

광신호를 변조시키기 위하여 반도체 레이저를 전류의 흐름으로 변조시키게 되면 전류의 흐름에 따라 반도체 레이저 내부의 광굴절율이 변화하게 되고 그 결과 반도체 레이저의 발진 파장의 스펙트럼이 넓어지는 chirping 현상이 나타난다. 이러한 현상은 반도체 레이저를 10Gb/s 이상으로 고속 변조시킬 경우 광신호의 전송 거리를 크게 줄이는 문제점을 발생 시킨다. 이렇기 때문에 10Gb/s 이상의 고속 광통신을 위해서 반도체 레이저를 고속으로 직접변조하기 보다는 chirping에 의한 문제가 적은 외부 변조기를 사용하는 것이 유리하다[6]. 10Gb/s 이상의 광신호를 변조할 수 있는 고속 변조기로서 초기에는 lithium niobate를 사용하여 Mach-Zehnder (MZ) 간섭계 형태의 집적 광학 위상 변조기가 개발되었다. 그러나 이러한 광변조기는 물질 자체의 불안정성에서 발생하는 문제점 때문에 실용적인 시스템에서의 사용이 의문시되고 있으며, 지금은 주로 반도체 레이저와 같은 물질인 InP와 같은 III-V족 반도체를 이용한 집적광학 흡수 변조기 또는 위상 변조기를 사용하고 있다.

반도체를 이용한 흡수 변조기로는 단순한 반도체 결정을 사용하여 전기장의 세기에 따라 반도체의

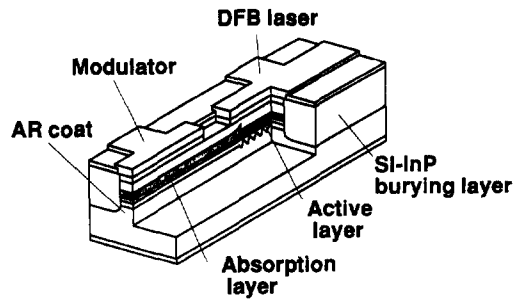


그림 4. 집적화 된 반도체 레이저와 광변조기의 예

파장에 따른 광흡수 밴드가 변화하는 Franz-Keldysh 효과를 이용하는 것과 MQW 구조를 이용하여 전기장의 세기에 따라 excitation peak의 위치가 변화하는 Quantum Confined Stark 효과를 이용하는 것이 있다. 그리고 반도체 위상변조기는 lithium niobate와 마찬가지로 반도체에서의 전기광학 효과를 이용하고 있다. 반도체 광변조기는 반도체 레이저와 같은 물질, 같은 공정으로 만들수 있기 때문에 그림 4에서 보는 것과 같이 Photonic IC로서 반도체 레이저와 집적화 시킬 수 있는 장점도 가지고 있다.

이러한 반도체 광변조기는 효율적인 광도파로 구조에 의해 5V이하의 동작 전압에서 10GHz 이상의 동작이 가능하며, 최근에는 3V 동작 전압으로 12GHz까지 변조할 수 있는 MZ 간섭계 형태의 MQW 구조의 반도체 위상 광변조기가 보고 되었다[7].

3.2 광증폭 기술

광섬유를 이용한 광통신은 그 전송 손실이 0.2 dB/km이하로 기존의 어떠한 전송 수단보다 우수하지만 수백 km 이상의 장거리 통신에 있어서는 어쩔 수 없이 신호의 재생이 필요하게 된다. 기존의 광신호 재생 기술로는 직접 광신호를 증폭 재생할 수 없기 때문에, 증폭된 광신호를 수광소자를 이용하여 전자 신호를 바꾼 후 이것을 기존의 전자 기술로 증폭, 재생하고, 이러한 전자 신호로 다시 광 소자를 구동하여 원하는 광신호를 재생하는 방법을 사용하고 있다.

그러나, 최근 광신호를 전자 신호로 바꾸지 않고 직접 증폭할 수 있는 erbium doped fiber amplifier (EDFA)가 개발되어 이러한 불편을 제거할 수

있게 되었다. EDFA는 광섬유의 광손실이 가장 적은 1550nm 광파장 영역에서 30dB 이상 광신호의 증폭이 가능하고 20dBm까지의 고출력에 대하여도 이득포화가 일어나지 않으며, 광신호에 대한 증폭 대역폭도 수백 GHz 이상 되는 등 우수한 특성을 가지고 있다.

이러한 장점 때문에 광전송로 중간에서 광손실에 의해 감소된 광신호를 증폭시키는 중계기 이외에도 송신단 앞에서 송신단의 파워를 증가시키는 파워증폭기, 그리고 수신단 앞에서 수신단의 감도를 크게 향상시키는 전치증폭기로서 사용할 수 있다[8]. 특히 10Gb/s 이상의 고속 통신의 있어서 외부 신호 변조기의 사용에 따른 광손실을 보상하기 위해 파워증폭기로서 EDFA가 필요하게 된다. 또한 수신단에서는 APD의 주파수 응답 특성 때문에 수신감도 특성이 나빠지게 되는 문제점을 EDFA와 PIN다이오드를 결합, 수신 감도를 향상시켜 해결할 수 있다. 최근 10Gb/s 광통신 시스템에서 EDFA를 파워증폭기와 전치증폭기로 사용하여 수신감도가 -36dBm까지 높아지는 것을 보여주었다[9].

EDFA 모듈은 그림 5에서 보는 것 처럼 기본적으로 Er 첨가 광섬유와 광 pumping을 위한 반도체 레이저로 구성된다. 그리고 신호광과 파장이 다른 pumping 광을 효과적으로 Er 첨가 광섬유에 주입시키기 위한 WDM coupler, 그리고 광신호 이외에 함께 증폭되는 각종 잡음을 제거하기 위한 faraday rotator를 이용한 광 isolator 등을 포함된다.

Er 첨가 광섬유는 기존의 silica계 광섬유의 core 부분에 광증폭 특성이 있는 Er 이온을 첨가하여 제작하며, 광신호의 충분한 증폭을 위해서 수십 m가 필요하다. 그리고, pumping 용 반도체 레이저로는 기존의 통신용 반도체 레이저와는 달리 980nm 혹은 1480nm의 빛을 발광할 수 있는 반도체 레이저가 필요하다. 1480nm 반도체 레이저는 InGaAs 또는

InGaAsP/InP 로 만들며, 980nm 반도체 레이저는 InGaAs/GaAs Strained Quantum-Well 구조로 만든다. 일반적으로 증폭 효율, 잡음 등의 특성은 980nm 반도체 레이저를 사용하는 것이 더 좋으나 반도체 레이저 자체의 신뢰성 문제 때문에 아직은 1480nm 반도체 레이저가 많이 사용되고 있다.

최근 장거리 광통신 시스템 실험으로 EDFA를 파워증폭기와 전치증폭기로 사용하여 2.5Gb/s 신호를 중계기 없이 318km 전송 하였으며[10], 또한 274개의 EDFA를 사용하여 10Gb/s 신호를 9,000km 까지 전송하였다[11]. 이러한 장거리 광통신 시스템에의 응용 이외에도 EDFA 기술은 WDM 광통신 시스템에서 여러 파장의 광신호를 전자 신호로 바꾸지 않고 동시에 증폭하는 기술, 광 LAN 시스템에서 광분배에 의한 광손실을 보상하는 기술, 그리고 이론적으로 무한한 거리까지 광신호 전송이 가능한 soliton 통신 기술 등 많은 분야에서 응용이 가능하다.

3.3 광 주파수 다중화 기술

기존의 시분할 방식에 의한 광통신 기술은 전자 기술의 한계에 의해 수십 Gb/s 이상의 통신이 불가능하게 된다. 그러나 광주파수가 다른 여러 개의 반도체 레이저를 동시에 이용하게 되면 다중화가 가능하게 되어 이러한 한계를 쉽게 극복 할 수 있게 된다. 이러한 기술을 광 frequency-division-multiplexing (FDM) 기술이라고 한다. 예를 들어 대역폭이 12.5THz인 광섬유의 저손실 대역인 1.5 μ m - 1.6 μ m 파장 영역에서 광신호를 10GHz 간격으로 다중화 시키면 1,000 개 이상의 channel을 갖는 광 FDM 시스템을 만들 수 있다. 그리고, 각각의 channel이 10Gb/s로 운영되면 전체의 시스템은 10Tb/s의 광통신이 가능한 시스템이 된다. 이러한 Tb/s 통신의 가능성이 때문에 광 FDM에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 최근에는 가변 파장 반도체 레이저를 이용하여 156Mb/s 광신호 112channel과 622Mb/s 광신호 16channel의 128channel 광 FDM 시스템의 실험이 행하여졌다[12].

이러한 광 FDM 기술을 실용화하기 위해서는 원하는 파장의 광신호를 만들 수 있는 가변 파장 반도체 레이저 개발, 수십개 파장의 광신호를 동시에

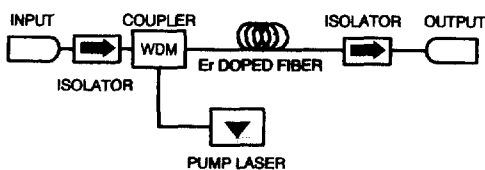


그림 5. EDFA module의 개략도

사용하기 위한 표준 광주파수를 갖는 광원의 개발 등 아직 많은 문제점들을 해결하여야 한다. 현재 파장 레이저로는 주로 기존의 DFB 또는 DBR 반도체 레이저 위에 3개의 전극을 만들고 여기에 독립적으로 전류를 인가하여 주는 반도체 레이저를 사용하고 있다. 그러나 이러한 반도체 레이저의 가변 파장 폭은 10nm밖에 안되는 단점이 있어 새로운 구조를 이용하여 가변 파장폭을 확대 시키려는 노력을 하고 있다[13].

또한 광 FDM 시스템에서는 각각의 독립된 광원에서 발생한 여러 파장의 광신호를 한개의 광섬유에 효율적으로 입사시키기 위한 광 coupler, 그리고 수신부에서 각기 다른 파장의 신호를 filtering 하여 분리 시키는 광주파수 선택 filter 등의 핵심 부품 제작 기술이 필요하다. 이를 위해 Photonic Light Circuit (PLC) 기술이 많이 이용되고 있으며 최근에는 이러한 기술을 이용하여 64×64 star coupler 및 128channel filter가 제작되었다[14, 15]. PLC 기술은 광섬유 제조기술과 LSI 기술을 합하여 광섬유와 같은 성질의 유리 광도파로를 Si 또는 유리 기판 위에 평면으로 만들고, 여기에 원하는 광회로를 제작하는 복합적인 기술로 광통신에 필요한 각종 장치들을 집적화 하여 쉽게 만들 수 있으며 또한 대량 생산할 수도 있어 앞으로 그 응용이 크게 기대되고 있다.

4. 결 론

21 세기에 있어서 요구되는 막대한 정보 수요를 충족 시키기 위해서는 기존의 광통신 기술보다 더욱 고속화된 광통신 시스템의 개발이 필수적이다. 이를 위해 미국 및 일본 등의 선진국에서는 이미 2.5Gb/s 이상의 고속 광통신 기술의 개발을 위해 광변조 기술, 광증폭 기술, 광 FDM 기술 등 최첨단 광통신 기술의 개발에 많은 노력을 하고 있다. 그리고 현재의 광을 전송 매체로서만 이용하는 기술의 단계를 넘어 광파 자체를 광신호 처리에 이용하려는 기술 단계에 이르고 있다. 이러한 차세대 광통신 기술은 현재 실용화 된 음성 신호의 전송 이외에도 앞으로 화상 회의, HDTV 전송 등의 고화질 정보의 전송 뿐만 아니라 컴퓨터 정보, 오디오 신호도 동시이 서비스 받을 수 있는 B-ISDM

서비스를 가능케 하여 앞으로의 통신 기술 발달에 주요한 역할을 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] DeDuck, AT&T Tech. Jour., 14 (1992, Jan./Feb.).
- [2] S.Sadakuni, 電子情報通信學會誌, 75, 11, 1200 (1992).
- [3] Y.Miyamoto, et al., OFC'93, Tech. Dig. TuD2 (1993)
- [4] P.Runge, AT&T Tech. Jour., 31 (1992, Jan./Feb.).
- [5] P.Bohn, et al., AT&T Tech. Jour., 31 (1992, Jan./Feb.).
- [6] C.Rolland, et al., IEEE Light, Trans. Syst., 16 (1992, May).
- [7] H.Sano, et al., OFC'93, Tech. Dig., ThK 5 (1993)
- [8] J.Zyskind, et al., AT&T Tech. Jour., 53 (1992, Jan./Feb.).
- [9] A.H.Gnauck, et al., IEEE Photon. Tech. Lett., 4, 80 (1992).
- [10] Y.Park, et al., IEEE Photonis Tech. Lett., 4, 179 (1992)
- [11] H.Taga et al, OFC'93, Tech. Dig., PD1 (1993).
- [12] H.Toda et al, OFC'93, Tech. Dig., TuN2 (1993).
- [13] Y.Yoshikuni, et al., OFC'93, Tech. Dig., TuC2 (1992)
- [14] K.Okamoto, et al., OEC'92, Tech. Dig., 16B3-1 (1992).
- [15] M.Kawachi, OEC'92, Tech. Dig., 17C1-1 (1992)



김상국(金尙國)

1952년 12월 28일생, 1975년 서울대 공대 응용물리학과 졸업. 1987년 미국 Univ of Southern California 전기공학과 졸업(공학). 현재 한국 과학기술연구원 응용물리 연구실 책임연구원.