

대용량 광통신을 위한 첨단 광통신소자 기술

Advanced optical communication device technologies for high-capacity optical communications

이 번

한국전자통신연구원 원천기술연구소

bunlee@etri.re.kr

저 손실 실리카 광섬유와 어븀첨가된 광섬유 증폭기 (EDFA) 기술의 등장으로 실리카 광섬유를 전송 매질로 한 광전송 시스템 용량을 이미 초당 수 테라비트 (Tb/s)급 이상의 데이터를 대륙 저편으로 전송할 수 있는 수준으로 올려 놓았다. 이러한 수준에 오르기 까지는 단일 모드 레이저 발진이 가능한 반도체 레이저와 고감도 광검출 소자, 다양한 능동 및 수동형 광소자들의 개발과 기술 축적도 같이 이루어져 왔기 때문에 가능하였다. 특히 지난 1996년 초에 일본과 미국 연구진들이 파장분할다중 (WDM) 기술을 이용하여 1 Tb/s 광전송 기술 시대를 열어가게 됨과 동시에 얼마 지나지 않아 이미 Tb/s 광전송 기술은 많은 연구기관들에 의해 쉽게 접근이 가능한 기술로 인식되는 시점에 와 있고, 그 동안 빠르게 발전해 오던 연구개발 추진력이 앞으로는 어느 방향으로 전개가 될지가 특히 이 분야의 연구자들의 많은 관심의 대상이 된다. 본 글에서는 현재 세계적으로 빠르게 발전하고 있는 광통신 기술의 연구개발 추세와 향후 발전 전망, 그리고 이에 필요한 광통신 소자 기술들에 대해서 논의해 보고자 한다.

점대점 광전송 시스템 기술은 이미 10 Tbps급 수준으로 발전하여 상대적으로 성숙단계에 접어들었다고 볼 수 있으며, 앞으로는 대용량 광통신 네트워크 구성 기술에 더 많은 노력이 기울어질 전망이다. [1] 기존의 채널당 낮은 비트레이트와 적은 수의 WDM 채널 광통신 운용에서는 기존의 전자식 교환기와 라우팅 기술로도 어느 정도 수용이 가능하다. 하지만 향후 전개될 테라비트급 광전송 시스템을 연결하는 대용량 네트워크 구성에서 기존의 전자식 방식으로는 다소 어려울 것으로 전망된다. 이에 따라 근래에 들어와 광신호 입출력 다중 (OADM) 신호처리 기술과 광 회선분배 (OXC) 기술, 광교환 기술, 광 네트워크 감시 및 보호 기술들에 연구가 활발히 진행되고 있으며 앞으로 전개될 주요 기술로 부각되고 있다. 특히 최근에 들어와 컴퓨터간의 정보가 활발히 일어나고 인터넷 트래픽의 급격한 증가로 WDM 광통신 기술을 이용한 인터넷 기술 (IP over WDM)에 대한 기술적인 중요성과 필요성도 증가하여 이 기술에 대한 연구 개발의 활동도 점차 열기를 더하고 있다.

광전송 기술은 이미 10 Tbps급 수준으로 발전하였으나, 아직 교환기 및 컴퓨터 프로세서의 정보처리 용량은 각각 수십~수백 기가비트급 및 수 기가비트급 이하 수준에 머물고 있다. 향후 고화질 영상 정보를 각 개인이 자유롭게 주고받기 위해서는 교환기 및 컴퓨터의 정보처리 기능이 병렬 방식으로 용량이 극대화되어야 할 필요가 있다. 예로써, 고화질 영상정보 서비스가 보편화되어 각 가입자들에게 155 Mb/s급 채널 용량을 제공하게 된다면, 이러한 정보 용량을 처리하는 데에 있어서 교환기 등에 필요한 정보처리 능력은 $155 \text{ Mb/s} \times 10\text{만 채널} = 15.5 \text{ Tb/s}$ 수준이 요구된다. 기존 전자식 신호처리에 필요한 전자 소자도 고속화 및 집적화 기술로 발전함에 따라 향후 대용량 정보처리 기술에 있어서 당분간 전자식 시스템의 비중도 여전히 중요하게 남을 것으로 전망되나, 근본적으로 광학 기술만이 가질 수 있는 파장 및 공간 등의 성질을 이용한 병렬 신호처리 특성과 더불어 전자식 제어 능력을 이용하는 광전

자(photonics) 기술이 향후 대용량 광전송 시스템과 연계된 광통신 네트워크용 신호처리에 큰 비중을 차지하게 될 전망이다. 속도 면에서는 완전광학적 신호처리 기술이 가장 빠른 기술로 전망이 되나, 복잡한 제어 기능이 요구되는 시스템 기술에서는 아직 전자식 제어 방식에 비해 여러 가지 해결해야 할 기술적인 문제들을 내재하고 있다.

근래에 들어와 광신호 입출력 다중화 (OADM) 기술에서는 파장 고정형 OADM이 일부 도입되는 수준이며, 가변형 OADM 기술에 대해서는 한창 연구개발이 이루어지고 있는 상황이다. OADM, OXC, 광교환 및 IP over WDM 등에 필요한 광소자 기술들은 일부 개발된 상황이나 전반적으로 이러한 광 시스템 성능이 기존의 전자식 방식의 시스템 성능보다 앞 설수 있는 수준으로 더 개발되어져야만 한다. 그 동안 광전송 시스템용 광소자로 LD 광원 및 광송신기, 광 검출기, 광신호 다중/역다중용 수동 소자, 광 증폭기 등과 같은 단일 광소자 위주로 발전해 왔으나, 앞으로 점점 광학적인 방법에 의한 대용량 병렬 신호처리 기술의 필요성에 의해 기능형 광 능동 소자에 대한 수요와 기존의 전자 소자들이 그러하듯 단일 광소자에서 집적형 광소자로 발전되어질 전망이다.

광전송 시스템용 광원 소자로 향후에도 당분간 직접 변조형의 2.5 Gb/s급 이하의 레이저 다이오드 (LD)들이 향후 가입자 및 도시형 광전송 시스템에 가장 많이 사용될 것으로 보이며, 고밀도 다채널 WDM을 위해 외부변조 LD와 나아가 어레이형 다채널 LD 들의 수요가 점점 많아질 전망이다. 광전송 시스템용 광증폭기는 현재 잘 개발되어 있는 EDFA의 C-밴드 영역인 약 30 nm 수준으로부터 다채널 대용량 WDM 광통신을 위해 70 nm, 100 nm 이상으로 궁극적으로는 1250~1650nm 영역 전체를 커버하는 광대역 광증폭기로 발전되어지고 있다. 아울러 채널당 비트레이트가 10 Gb/s급 이상인 광전송 시스템에서는 리피터 (repeater)간의 간격을 극대화하기 위해 색분산을 보상하는 기술로 분산 보상 광섬유 (DCF)가 가장 많이 실용화되어 있으나, 저 손실 및 다채널 능동형 제어가 가능한 분산 보상 기술에 대한 수요도 증대되고 있다. 아울러 40 Gb/s급 이상의 시스템에서는 편광 분산도 보상해 주는 기술이 요구되므로, 전송용 편광 특성이 낮은 광섬유와 더불어 편광분산 보상 기술에 대한 연구도 진행되고 있다.

광통신 시스템을 이용한 대용량 네트워크 구성에 있어서 향후 가변성이 있는 가변형 광신호 Add/Drop 구도를 시연하기 위해 관련 광 스위치 및 필터, 파장가변 레이저, 파장변환기, 파장 채널 선택기 등의 개별 소자와 연계 모듈 구도에 연구 노력이 이루어지고 있다. 향후 가입자계까지 광섬유 선로를 구축하게 되면 각 가입자까지 100 Mb/s급 이상의 광송수신기가 필요하게 되며, 여기에서 가장 중요한 부분은 소자의 저 가격화에 있다. 그러므로 기존의 155 Mb/s~2.5 Gb/s급 광송수신기도 소자의 저가격화와 성능 향상을 위해 새로운 소자 구도와 제작 공정을 도입한 광소자 기술로 발전되어질 전망이다. 아울러 가입자용 광분배기 등에 사용될 광 증폭기도 모듈당 1,000불 이하의 저가격화가 요구되고 있어 고출력 펄스 LD 및 관련 부품들도 저가격화가 가능한 기술로 개발되어질 전망이다. 특히 기존의 반도체 광소자에서 가장 가격 상승 요인이 높은 부분은 패키징 기술인 만큼, 이에 대한 대안으로 패키징 공정의 자동화 기술의 개발이나 한편으로는 양자구조의 다층 박막 구조로 된 표면방출형 광원 소자와 같은 새로운 소자 구조를 도입하는 방법 등에 대한 연구가 진행되고 있어 향후 이 분야의 발전도 전망된다.

결론적으로 광통신 기술은 기존의 절대점 광전송 시스템 기술에서 광 신호처리 기술이 요구되는 OADM, OXC, 광교환, 광 인터넷 기술 등을 융합하는 기술로 발전될 전망이고, 광통신 소자들도 단일 기능의 광소자에서 점점 복합화 및 집적화 기능 소자들로 발전하리라 기대된다. 물질에서의 빛과 전자의 관계는 밀접하게 연관되어 있는 만큼, 빛이 가지는 고주파수 특성 및 병렬 신호처리 기능과 전자 소자의 우수한 제어 기능을 가장 효과적으로 이용하는 기술이 앞으로 펼쳐질 차세대 정보 시대의 주요 기술로 등장하리라 전망된다.

[1] K. Fukuchi, et al., OFC 2001 Postdeadline paper 24