

파장다중통신(WDM)

저자 : 후지우라 가쓰오 · 일본 NTT포토닉스연구소, 기획담당 총괄담당
과장
역자 : 이경희 · TTA 차세대이동통신(IMT-2000)프로젝트그룹(P001) 간사
전파연구소 전파자원연구과 공업연구사
출처 : ITU저널/일본 2000. 1월호

1. 머리말

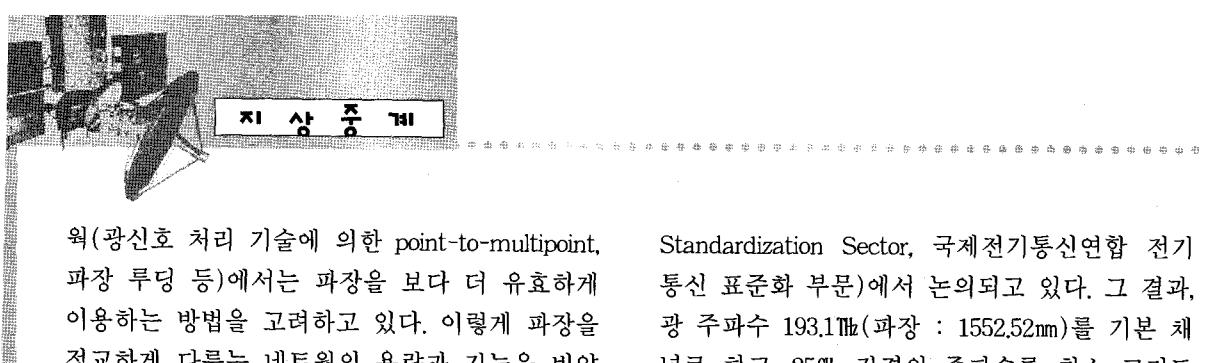
최근 인터넷의 보급으로 통신세계에 커다란 패러다임 변동이 생겨서, 통신용량 수요가 격변하고 있다. 예를 들어 시스템 제작자의 조사에 의하면, 북미에서 백본 네트워크의 전송용량이 1996년에는 1.2Tbit/s였으나, '99년 중에는 21.7 Tbit/s로 증가하였고, 2001년에는 99.8Tbit/s에 이를 것으로 예상되고 있다. 이러한 통신수요는 이제 전화에 의한 것이 아니라 데이터 통신에 의한 것이다. 이후, 통신의 개인화, 멀티미디어화가 더욱 더 진행되면, 필요한 시스템 전송용량은 비약적으로 계속 증가하여, 테라비트를 넘는 통신 시스템이 불가피하게 된다.

이들 수요를 만족시키는 기술로서, 급속하게 개발되어 실용화되고 있는 시스템인 파장다중통신(WDM : Wavelength Division Multiplexing) 시스템이 있다. 이 방식은 종래에는 적극적으로 이용되지 않았던 빛의 파장축을 이용하는 것으로서, 파장제어 소자(device)로 구성되어 있는 전송장치를 끝단에 도입하여 효과적으로 기존의 광섬유를 대용량화 할 수 있다. 점점 더 경쟁이 치열해지고 있는 통신세계에서 이기고 살아남기 위해서, 최소의 설비투자로 최대 전송용량을 실현할 수 있는 WDM이 매력적일 수 밖에 없으며, 실제로 급속하게 실용시스템이 도입되고 있다. 그 성장을 시장의 측면에서 본

다면, 1998년의 WDM 시장은 11억 달러, 2005년에는 86억 달러에 이를 것으로 보이고 기술 개혁과 시장 도입이 가까워지고 있음으로 보아서, 통신의 대용량화가 단순한 기술개발 우선이 아니라, 실제시장의 요구에 근거한 것임을 알 수 있다.

현실에서 WDM 시스템의 발전을 지탱해 온 것은 광부품 기술의 발전이다. WDM 시스템은 다음에 기술하는 것처럼, 하나의 광섬유에 8~64파 정도의 파장이 다른 광신호를 도입하는 기술이다. 이를 실현하는 데는 정밀한 파장제어가 가능한 반도체 레이저, 여러 파장을 합쳤다 분리하는 광분합분파기, 파장이 다중화되어 있는 광신호를 일괄적으로 증폭시키는 광섬유증폭기의 개발이 불가피하므로, 이제까지 길러온 광부품기술이 WDM 시스템에 이르러 단숨에 그 성과를 나타내었다. 이러한 광부품개발에는 WDM 시스템의 고밀도화(신호파장 간격의 압축에 의한 채널 수 증가)와, 한 파장당의 고속화(주로 2.5Gbit/s, 추가로 40Gbit/s)를 목표로 한 고성능화가 급선무이고, 각 기관에서는 WDM 시스템의 고기능화를 향한 작업들을 급속하게 진전시키고 있다.

이제까지 도입되어 있는 WDM 시스템은, 기본적으로 백본의 대용량화를 실현하는 point-to-point 시스템이고, 파장은 신호 다중화 수단으로서 이용되고 있다. 그러나 이후의 고성능 네트



워(광신호 처리 기술에 의한 point-to-multipoint, 파장 루딩 등)에서는 파장을 보다 더 유효하게 이용하는 방법을 고려하고 있다. 이렇게 파장을 정교하게 다루는 네트워크의 용량과 기능을 비약적으로 높인 차세대 네트워크를 「포토닉네트워크」(Photonics network)이라 부르며, 연구개발이 진행되고 있다.

본고에서는 빛의 파장을 이용한 WDM 시스템의 기본 구성과 기반이 되는 부품기술, 이후의 WDM 시스템의 활동, 표준화 현황에 대해 소개한다.

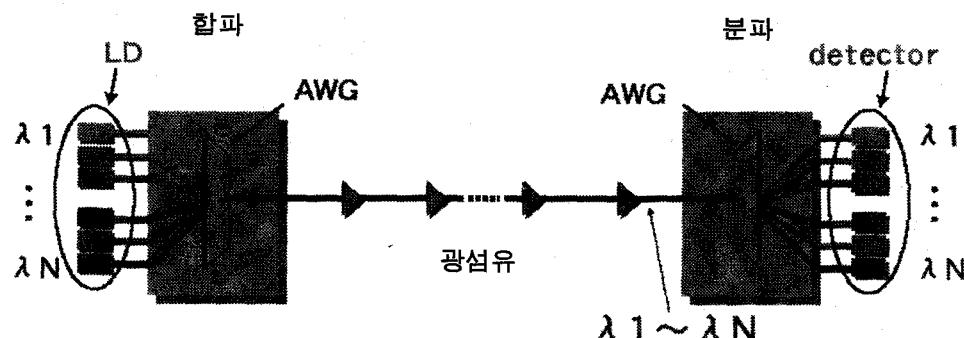
2. WDM 시스템과 그 요소 기술

[그림 1]에 point-to-point WDM 시스템의 구성을 나타내었다. Point-to-point에서 파장다중은 간단히 전송용량을 증가시키기 위한 것으로, 파장 수에 비례해서 전송용량이 증가할 수 있다. 파장다중을 실현하기 위해서 필요한 장치로는 그림에서 볼 수 있듯이, 반도체 레이저, 광합분파기, 광섬유증폭기가 있고, 그 외의 부품으로는 기존의 광부품을 이용할 수 있다.

WDM 시스템에서의 고밀도 파장 다중을 수행하고, 동시에 시스템간 호환성을 유지하기 위해서 광신호파장의 표준화가 이루어지고 있다. 신호파장 배치에 대해서는 ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication

Standardization Sector, 국제전기통신연합 전기통신 표준화 부문)에서 논의되고 있다. 그 결과, 광 주파수 193.1THz(파장 : 1552.52nm)를 기본 채널로 하고, 25GHz 간격의 주파수를 최소 그리드 단위로 한 파장배치가 제안되고 있다. 따라서, 신호광원에는 이들 파장군에 대응하는 정밀한 파장에서 안정되게 발신하는 반도체 레이저가 필요하고, 또 소정의 그리드로 설정되어 있기 때문에 기준 파장 광원 등도 필요하다. 현재는 통신에서 일반적인 분포귀환형 반도체 레이저(DFB laser : Distributed Feedback Laser)가 사용되고 있고, 소자를 구성하는 회절격자를 염밀하게 조정하고, 소자의 온도를 제어하는 것으로 광신호 파장을 그리드에 일치시키고 있다. 광신호는 발생시킨 그리드 파장의 연속광을 강도변조시킴으로써 디지털 신호를 중첩시키고 있다. 이 강도 변조에는 종래 LN 외부변조기가 사용되어 왔으나, 최근에는 반도체의 전계흡수(電界吸收)형 광변조기가 개발되어, DFB 레이저를 하나로 집적화한 변조기 집적형 DFB 레이저가 주류를 이루고 있다. WDM 시스템에서는 다중화하는 파장마다 광원이 필요하기 때문에 가격이 싸고, compact한 광원이 필요하므로, 기존의 LN 외부변조기와 DFB 레이저를 합친 것과 비교해보면 변조기집적형 DFB 레이저가 더 우세하다.

각 파장의 광원을 하나의 섬유에 입사시키기 위해서 모든 파장을 합쳐야 하고, 역으로 전송



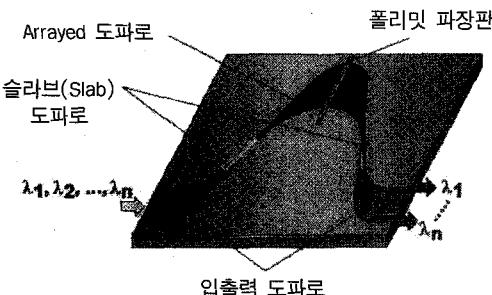
[그림 1] 파장다중통신 시스템(Point-to-Point)의 개요

후에 섬유로부터 출사된 광다중신호를 파장별로 분파해야 한다. 초기 WDM에서는 파장간격 200GHz 정도로 4~8 채널 정도를 다중화 하였으나, 최근에는 100GHz에 16~40 채널이 일반적이며, 50GHz 간격, 25GHz 간격으로 하는 시스템도 제안되고 있다. 이 때문에 고밀도 파장다중 신호를 정밀하고 손실이 적게 합하고 분리하는 것이 요구되어 왔고, 또한 가격이 저렴해야 한다는 요소도 중요시 되고 있다. 현재 WDM 시스템에서 이용되고 있는 합분파기는 유전체다층막(誘電體多層膜) 필터, 파이버 블록 그레이팅(FBG, Fiber Block Grating), FBG와 광 coupler를 조합한 기술, array 도파로 격자형 합분파기(Arrayed Waveguide Grating : AWG), 회절격자(回折格子) 등이 있다. 이 중에서 AWG는 실리콘 기판 위에 형성된 석영 유리 층에, LSI 기술을 이용하여 광도파로를 형성하는 기술(PLC : Planar Lightwave Circuit)에 의해 제작된 합분파기가 있는데, 그 구조와 모듈 외형은 [그림 2]와 [그림 3]에 나타낸 것과 같다. 구조는 길이가 다른 복수의 채널 도파로, 입출력도파로(導波路)와 2개의 slope 도파로로 구성되어 있다. 작동원리는 회절격자와 같지만, 정밀한 도파로 설계에 따라 고밀도 신호를 정밀하게 합하고 분리할 수 있으며, 투과파장 대역 등의 제어가 가능하고, LSI 기술로 제작되어 저렴화가 가능하기 때문에, 현재 가장 성공하고 있는 합분파기이다. 손실과 가격의 관점에서, 사용하는 채

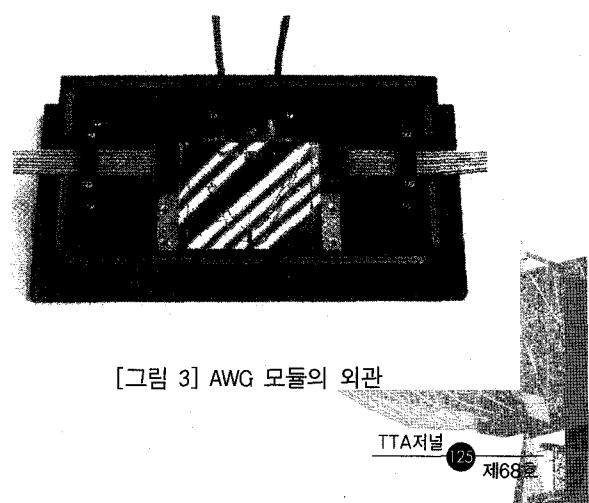
널 수에 따라 유전체다층막 필터 등도 유망한 후보로 고려되고 있으며, 다음에 기술하는 것처럼, WDM 시스템의 다양화에 따라 시스템 사양에 적절하게 합분파기를 선택할 수 있을 것으로 예상되고 있다.

WDM 시스템의 이용 가능한 파장 대역을 결정하는 중요한 장치가 광섬유 증폭기이다. 이 광섬유 증폭기는 통신시스템을 혁신시킨 광장치로서, WDM 시스템에서는 여러 파장을 한꺼번에 증폭시킬 수 있는 중요한 부품이다. 보통 WDM 시스템에서 사용되는 광대역은 C밴드(1530-1570nm)와 L밴드(1570-1610nm)이다. 이것은 Er첨가 광섬유증폭기(EDFA : Er-Doped Fiber Amplifier)의 증폭 파장 대역에 결정되어 있다. WDM 시스템에 있어서 광섬유 증폭기에 요구되는 특성은, 주로 가능한 한 넓은 대역을 이용하기 위한 광대역성, 증폭된 각 신호의 출력이 거의 같도록 하기 위한 이득의 평탄성이 있다. 이들을 실현시키는 기술에는 대역 별로 조정된 증폭기를 하이브리드화 하는 방법, 이득등가기를 이용하는 방법, 신규재료를 이용하여 증폭이득 자체를 광대역화 하는 방법 등이 있다. 현재는 기존의 EDFA와 이득등가기를 사용하여, 최대한의 대역을 이용하고 있는 상황이지만, 대역 확대를 위해 광섬유 증폭기의 발전이 착실하게 진행되어, 텔라이트라고 하는 유리를 이용한 광섬유증폭기 호 80nm 이상의 대역을 실현하고, EDFA와 라만 증폭기를 합쳐서 100

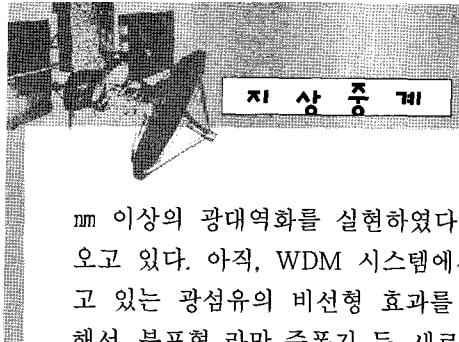
회로구조



[그림 2] 어레이 도파로격자형 합분파기(AWG)의 구성



[그림 3] AWG 모듈의 외관



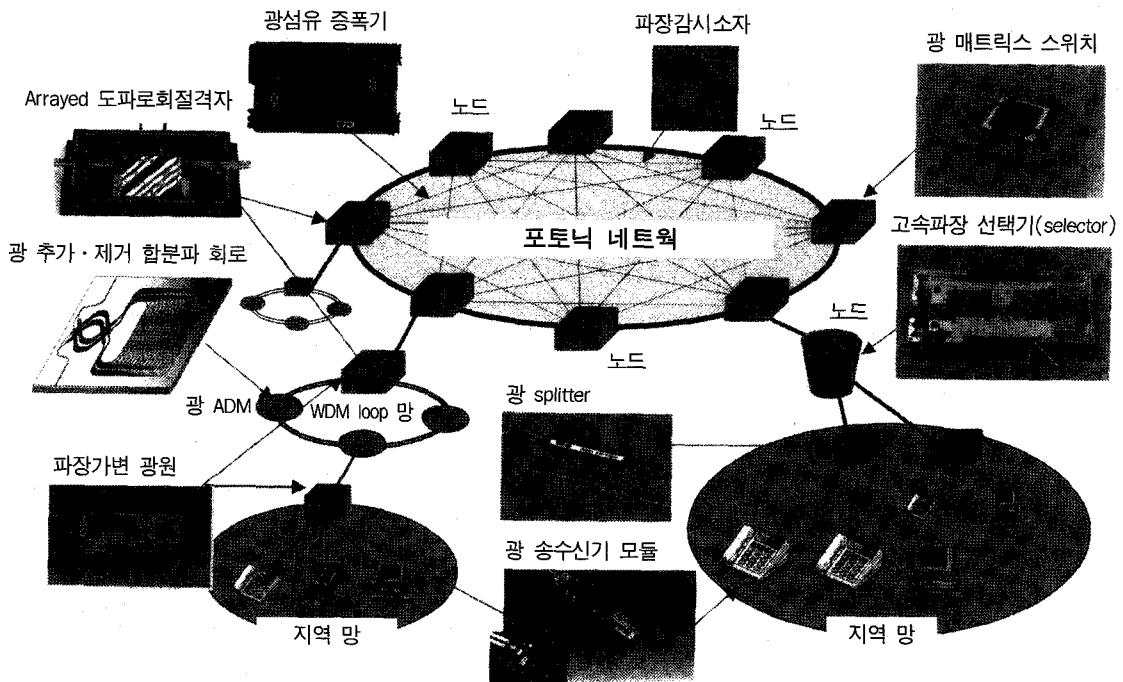
이상의 광대역화를 실현하였다는 보고도 나오고 있다. 아직, WDM 시스템에서 문제가 되고 있는 광섬유의 비선형 효과를 억제하기 위해서, 분포형 라만 증폭기 등, 새로운 장치의 개발도 진행되고 있다.

WDM 시스템을 이루고 있는 주요 광 장치이지만 광섬유에 대해서도 간단히 설명하고자 한다. 현 상황에서 WDM 시스템 성능의 제한요인이 되고 있는 것으로, 광섬유 내부에서의 비선형 효과가 있다. 광섬유에서는 작은 핵(core) 부분에 빛을 고밀도로 가두어 장거리를 전송하기 때문에, 비선형 효과가 문제가 된다. 보통의 광통신에 추가적으로, WDM 시스템 특유의 것으로 4광파혼합(FWM: Four Wave Mixing)과 상호위상변조(XPM: Cross Phase Modulation)가 있다. 이중 4광파혼합은 비선형 효과에 의해 신호광과, 인근의 스펙트럼 빛(합계 3파)이 상호작용하여 생긴 제4의 빛이 신호광에 간섭 짭음이 되는 현상으로서, WDM 시스템에서 중요

한 과제가 되어있다. 이 4광파혼합은 분산도 적고 즉, 신호광과 영분산파장(零分散波長)이 가까운 경우에 상호작용 길이가 길어지기 때문에 큰 효과를 발생시킨다. 따라서, 분산 shift 섬유(1550nm 근방에 영분산파장이 설정된 단일 모드 섬유)는 C 밴드에서 고밀도의 WDM 통신을 할 수 없다. 이 때문에 WDM 시스템에서 비선형 효과의 억압이 중요하고, 분산치를 제어한 섬유와 핵의 유효단면적을 크게 만든 섬유 등의 개발이 이루어져 도입되기 시작하였다.

3. 백본에서 메트로폴리탄으로, 그리고 포토닉(Photonics) 네트워크 으로

지금까지 주로 point-to-point 에서의 WDM 시스템에 대하여 기술하였다. 그러나 통신시장의 수요는 다음과 같이 변화할 것으로 예상되



[그림 4] 포토닉 네트워크의 개요와 핵심 장치

고 있다. ① 백본으로의 WDM 시스템 도입, ② 메트로폴리탄 액세스 계로의 WDM 시스템 도입, ③ private 네트워크로의 WDM 시스템 도입, ④ 크로스 네트워크 등에 의한 네트워킹의 발전이다. 현재는 이미 ①의 상황이며, 2001년에는 백본의 대역이 넘칠 것으로 예측되고 있다. 이후는 대도시 지역으로의 WDM 시스템 도입이 급속히 진행될 것으로 생각되고 있다. 이것은 백본 대역의 여유가 있더라도, 트래픽이 좁은 지역에 집중되어 있는 도시지역에서는 사용자와 장거리를 연결하는 네트워크에 병목현상이 일어날 것으로 예측되기 때문이다. 이 예측에 대해서는 많은 기관에서 이미 대응하기 시작하였으며, WDM 시스템을 제공하고 있는 각 회사에서는 벌써 대도시용 WDM 시스템을 제공하기 시작하였다. 대도시용 WDM 시스템에는 그 경제성, 확장성 등이 중요하며, 백본에서 배양한 기술을 최대한 살려서 시스템 구성에 대해 연구하고 있다. 특히 대도시에서의 네트워킹이 중요시 되고 있고, 링크 구성을 적용하는 것에 의해 광섬유의 끊어짐 등에 대응할 수 있는 방안 연구, 노드의 광레이어에서 특정 파장을 추가/제거 할 수 있는 광추가/제거(add/drop) 기능에 대한 연구 등이 이루어지고 있다. 이를 대도시용 WDM 시스템도 핵(core), 액세스(access), 엔터프라이즈(enterprise) 등으로 불리며, 도시부분에서 기업으로 침투할 것으로 예상되고 있다.

차세대 네트워크로서, 한층 더 검토되고 있는 「포토닉 네트워크」이라 불리는 고성능 네트워크이다. [그림 4]에 포토닉 네트워크의 개요와 거기에 이용되고 있는 핵심 장치들을 표시하였다. 포토닉 네트워크에서는 이제까지 설명한 WDM 기술에, 전자회로의 속도에 의존하지 않는 광신호 처리 기술을 도입하고, 고성능에 확장성, 유연성을 실현하는 것이 가능해졌다. 예를 들어

통신 수요에 대응한 용량 증설이 가능하고, 각각의 파장다중 신호에 대응하여 광레이어에서 루트의 절환과 분기삽입이 이루어지기 위해 신호 종류와 포맷에 의존하지 않는 명쾌하고, 개방된 네트워크가 이루어졌다. 각국에서 포토닉 네트워크 기술의 확립을 목적으로 한 프로젝트가 진행되고 있고, 21세기의 본격적인 멀티미디어 시대를 담당할 네트워크 개발이 진행되고 있다.

4. 표준화 동향

광신호 광원 부분에서도 설명했지만, WDM 시스템에 관한 표준화는 ITU-T SG13, SG15, 그리고 IEC를 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 최근의 동향은 새로운 통신 파장 등 광대역화와 관련된 것이 권고되고 있다. 이것은 종래의 대역을 확대하고자 하는 활발한 연구개발의 결과이며, 특히 L밴드의 실용화가 가까워지고 있다. ITU-T의 이번 회기(1997-2000년) 중에 광대역화에 관한 새로운 보고서가 완성될 예정이다.

5. 후기

WDM 시스템은 통신수요의 폭발적인 확대에 대응하는 형태로 급속히 진행되고, 기존의 개념을 계속 변혁시키며 성장하고 있다. 파장을 단순히 광대역화의 하나의 축으로만 여기지 않고, 네트워크 기능으로서 파악하여 고기능화를 실현해 가고 있다. 그러나 빛의 특별한 광대역화는 아직 충분히 활용되고 있지 않으며, 빛을 충분히 활용하기 위해서는 우선 광장치를 시작으로 하는 기술의 비약적인 진보가 기대된다.

