

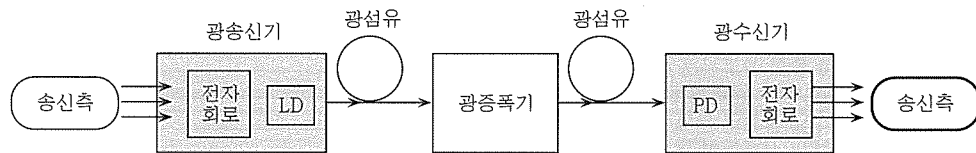
# 광증폭기 기술 개요 및 시장 전망

이재환 / ETRI정보조사분석팀 팀장 , 조성선 / ETRI정보조사분석팀 선임연구원

데이터 통신의 급격한 증가를 배경으로 대용량 통신이 가능한 광통신망 구축이 늘어나고 있다. 광통신망 구축을 위해서는 각종 시스템과 연동이 가능한 광통신 부품의 개발이 중요하고, 그 만큼 광통신 부품의 수요도 증가할 전망이다. 본 고에서는 주요 광통신 부품의 하나로 앞으로 큰 폭의 성장이 예상되고 있는 광증폭기에 대한 기술 개요와 시장 전망에 대해 살펴본다.

## 1. 서언

광통신 시스템에서 장거리 전송을 하는 경우, 광케이블 상의 광신호는 산란, 흡수 등에 따라 약 40~80km를 전송한다고 할 때 약 1/10~1/100로 감쇠함은 물론 분산에 의한 파형왜곡이 발생한다. 이와 같은 감쇠와 파형왜곡에 따른 전송품질의 열화를 보상하기 위해 광신호를 중간에 증폭하는 것이 증폭기이다(그림 1) 참조)



(그림 1) 광통신 시스템의 기본구성

이 때 사용하는 증폭기로는 광증계기와 광증폭기(optical amplifier)가 있는데, 광증계기는 기존부터 사용하던 것으로 광신호를 일단 전기신호로 변환(광-전 변환)하여 증폭하고, 이를 디지털 처리한 뒤 다시 광신호로 변환(전-광 변환)하는 재생 증계기(opto-electronic regeneration)이다. 이는 장치가 복잡하고 커서 통신의 고속화에 대응하려면 비용이 많이 소요되어 WDM(Wavelength Division Multiplexing)에 적용할 수 없다는 문제점이 있다.

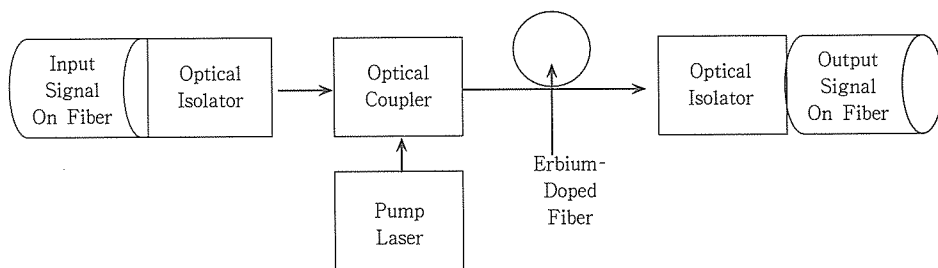
이에 반해 광증폭기는 광신호를 전기신호로 변환하지 않고 직접 증폭한다. 더욱이 광증폭기는 일련의 파장을 동시에 증폭할 수 있어 DWDM(Dense Wave Division Multiplexing)에 적합하다.

광증폭기는 통신 시스템에서의 위치에 따라 후치 증폭기, 선로 증폭기, 전치 증폭기로 구분되며, 증폭 원리에 따라 반도체 광증폭기(Semiconductor Optical Amplifier: SOA), 광섬유 증폭기로 구분된다. SOA는 소형이지만 이득이 작은 반면에, 광섬유 증폭기는 크기는 크지만 여기 출력을 높이면 높은 증폭도를 얻을 수 있어 고속, 대용량 통신에 적합하다. 광섬유 증폭기는 EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier), EDWA(Erbium-Doped Waveguide Amplifier), PDFFA (Praseodymium-Doped Fluoride Fiber Amplifier) 그리고 라만 증폭기(RAMAN amplifier) 등으로 구분된다. 이하에서는 증폭 원리에 따른 분류를 기준으로 각 광증폭기에 대해 간략히 살펴본다.

## II. 광섬유 증폭기

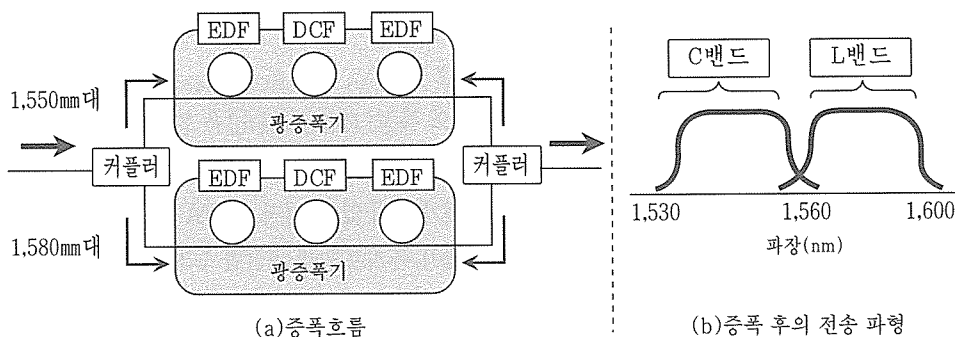
### 1. EDFA

EDFA의 기능은 광송신기와 광수신기 사이의 중간 단계에서 광신호를 증폭하는 것이다. 이를 통해 광-전 변환(optical-electrical conversion)이 없이도 광 전송 거리를 크게 확장할 수 있다.



(그림 2) Single-Stage EDFA의 블록도

EDFA의 동작은 기술적으로 복잡하다. 먼저, 1,550 nm의 입력 광 신호(input light signal)가 증폭기에 입력된다. 이 신호는 단일 파장(single wavelength) 또는 다파장(many wavelengths, 즉 WDM 신호) 정보를 전송할 수 있다. 이후 이 광 신호는 아이솔레이터를 통과하는데, 이 때 아이솔레이터는 광 신호가 반사에 의해 입력단으로 되돌아가 전송효율이 떨어지는 것을 막아주는 역할을 한다. 다음에 커플러를 통해 입력신호와 펌프(pump)로부터의 신호가 결합되어 EDF (Erbium-Doped Fiber)의 루프에 주입된다. 여기서부터 좀 더 복잡해진다. 펌프는 대개 980nm 또는 1,480nm에서 운용되는 레이저이다. 980nm 펌프는 최대 출력보다는 저잡음이 중요한 경우에 사용된다. 역으로 1,480nm 펌프는 저잡음보다 고효율이 중요한 경우에 사용된다. 섬유의 에르븀 이온이 980nm 또는 1,480nm의 펌프 광자(photon)를 흡수하면, 전자는 더 높은 에너지 수준으로 여기된다. 곧 이어 전자는 조금 낮은 메타-안정 여기상태(meta-stable excited state)로 감쇠한다. 전자가 여기상태에서 그라운드 상태(ground state)로 감쇠할 때 광(light)이 방출된다. 즉, 전자가 보다 낮은 메타-안정 여기 상태에서 그라운드 상태로 감쇠하면서 1,550nm 대역 광이 방출되는 것이다. 편리하게도, 이러한 상황은 입력신호로부터 나온 광자와 반응할 때 일어난다. 마지막으로, 증폭된 신호는 다른 아이솔레이터를 통과한 뒤 출력단으로 보내진다. 참고로 (그림 3)에 EDFA의 증폭 흐름과 증폭 후의 전송 파형을 나타내었다.



(그림 3) EDFA의 증폭 흐름과 증폭 후의 전송 파형



### 2. EDWA

EDWA는 EDFA와 거의 비슷하게 동작한다. 그러나 EDWA는 입력신호와 펌프에너지를 직접 커플링하여 EDF 루프에 주입하는 대신, 간접 커플링하여 에르븀 첨가 도파관(Erbium-Doped Waveguide: EDW)에 주입한다. 광섬유를 도파관에 결합(splice)하는 것은 불가능하므로, 커플링은 자유공간(free space)에서 이루어진다. EDF 루프와 비교할 때, 도파관은 더 짧고, 더 강하며, 에르븀 집중도가 더 높다. 다른 조건이 모두 동일하다면, EDWA의 양품률(良品率)은 EDFA보다 높다. 왜냐하면, 광서브컴포넌트의 수동 연결이 더 적기 때문이다. 따라서 일반적으로 EDWA는 EDFA보다 저렴한데, 대개 EDFA 가격의 절반 수준이다. 그러나, EDWA가 EDFA를 대체할 것으로 보이지 않는다. 왜냐하면, 일반적으로 EDWA의 증폭 신호가 강하지 않기 때문이다. EDWA는 강한 증폭보다는 저렴한 가격이 매우 중요한 요소가 되는 MAN(Metropolitan Area Network)에 접속된 가정에 보급될 가능성이 있다.

### 3. PDFFA

PDFFA는 현재 보급 정도가 미미한 상태이다. PDFFA는 폭 넓게 보급되고 있는 EDFA가 증폭할 수 없는 1,310nm 대역의 신호를 증폭할 수 있다. PDFFA의 기능은 기본적으로 EDFA와 유사하다. 다만, EDF 대신에 지르코늄 플루오르화물(zirconium fluoride)이나 hafnium 플루오르화물(hafnium fluoride)이 첨가된 섬유가 사용되며 1,020nm 대역 펌프 레이저가 사용된다. 1,310nm의 신호를 증폭할 수 있다는 장점에도 불구하고 비싼 비용, 고출력 펌프레이저를 필요로 한다는 단점으로 인하여 PDFFA의 폭 넓은 보급은 어려울 것으로 보이며, 앞으로 PDFFA에 비해 완성도가 높고 장점이 더 많은 라만 증폭기의 채택이 늘어날 전망이다.

### 4. TDFA

EDFA의 등장으로 광학적으로 신호를 증폭할 수 있는 광 네트워크를 실현할 수 있게 되었다. 그러나 EDFA가 오늘날 사용되고 있는 모든 파장 대역에서 사용할 수 있는 것은 아니다. 특히 C밴드보다 파장이 짧은 S밴드 대역에서는 EDFA를 이용할 수 없다.2)

따라서 EDFA와 같은 정도의 저렴한 비용으로 S밴드에서 광을 증폭할 수 있는 방법이 연구되고 있는데, 여기에는 라만 광증폭기와 반도체 광증폭기(이들에 대해서는 후술 참조), 그리고 TDFA(Thulium-Doped Fiber Amplifier) 등이 있다.

TDFA의 동작원리는 EDFA와 유사하다. TDFA와 EDFA의 차이점은 사용하는 광섬유와 첨가하는 불순물의 종류, 여기 레이저의 배치 등이다.

TDFA는 증폭 과정에서 이득을 만들어 내는 매체로 플루오르화물 또는 MCS(Multi-Component Silicate) 광섬유를 이용하며, 2개의 여기 레이저를 사용한다. 이러한 조건 하에서 고농도의 툴륨(Thulium, Tm)을 함유한 광섬유에 여기 광을 입사하면 중심파장 1,460nm 부근의 이득이 발생한다. 이득 +20dB에서의 대역폭은 35nm에 가깝다.

TDFA의 폭 넓은 보급과 제품화에는 여러 가지 해결해야 할 과제가 남아 있다. 먼저, TDFA가 사용하는 광섬유는 EDFA가 사용하는 석영계 광섬유에 비해 파손되기 쉽기 때문에 제조, 배치, 유지보수에 세심한 주의가 필요하며, 석영계 광섬유 등과 같은 정도의 신뢰성을 확보하기 위해서는 현재 일반적인 방법을 개선하는 등 상당한 변화가 요구된다.

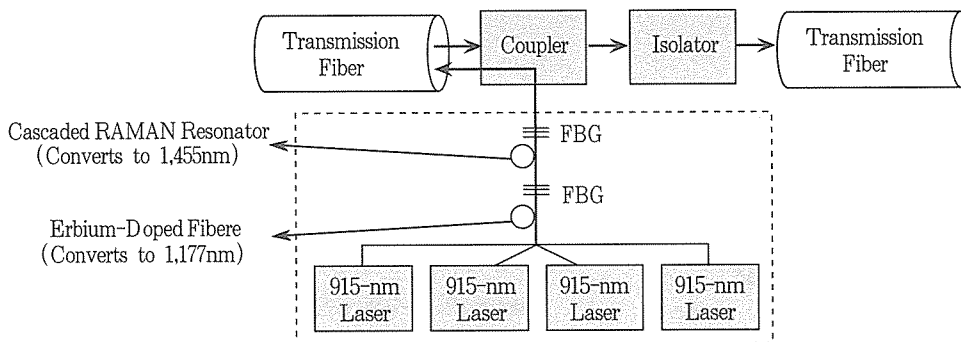
TDFA는 네트워크에 사용하는 광섬유와 구성이 다른 광섬유를 사용하기 때문에 네트워크에 연결하기가 어렵다는 점도 문제점이다. 용해접착 방법을 이용할 수 없기 때문에 신뢰성이 낮고 손실이 큰 기계적 접착을 이용하는데, 그 결과 하나

의 접속부 당 0.3dB가 넘는 손실이 발생한다(융해접착의 경우 손실은 0.05dB이하이다). 이 외에 광섬유에 희귀한 재료를 사용함으로써 부품의 단가가 높다는 점도 문제이다. 재료과학과 제조 프로세스에 혁신적인 전기가 마련되지 않는 한 신뢰성과 비용문제는 TDFA의 보급을 제한하는 요소로 작용하게 될 전망이다.

### 5. 라만 증폭기

EDFA와 EDWA와 같이 라만 증폭기도 광섬유 증폭기이다. 하지만 라만 증폭기가 전술한 두 증폭기와 가지는 유일한 유사점은 광섬유에 에너지를 펌핑하여 신호를 증폭한다는 점 뿐이다. EDFA와 EDWA는 증폭기 내의 개별 영역에서 증폭이 이루어지지만, 라만 증폭기는 전송 섬유(transmission fiber) 자체 내에서 신호 증폭이 이루어진다.

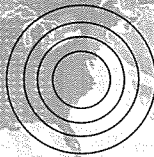
동작 과정을 간단히 살펴보면 다음과 같다. 높은 파워를 갖는 라만 펌프는 에너지를 역방향, 즉 전송원(transmission source) 방향으로 향하게 한다((그림 4) 참조). 펌프광원(pump light)은 “분산 라만 증폭”이라는 프로세스를 통해, 전송 섬유 자체의 진동모드와 결합하며, 펌프 파장이 신호파장보다 적당히 짧을 때 신호를 증폭한다. 라만 펌프는 1,550nm 대역에서의 전송을 위해 1,455nm 대역의 파장을 갖는 고출력(high-power) 신호를 방출해야 한다.



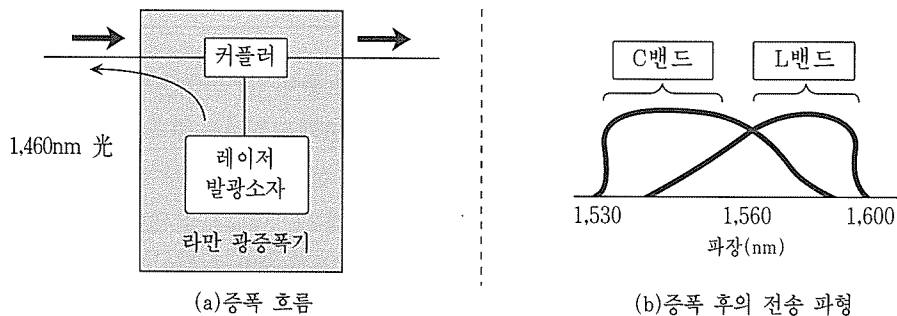
(그림 4) 라만 증폭기의 블록도

EDFA와 비교할 때 라만 증폭기는 광원을 전송 섬유 내에서 직접 증폭한다는 점 외에도 중요한 장점 몇 가지를 더 갖고 있다. 그 중 가장 두드러진 장점은 1,100~1,700nm의 광범위한 파장 대역에 걸쳐 광 증폭이 가능하다는 점이다. 특히, 라만 증폭기는 EDFA가 못하는 1,310nm 대역의 광을 증폭시킬 수 있다. 1,310nm 대역의 송/수신기가 1,550nm 대역의 그것보다 훨씬 저렴하다는 점을 감안하면 이는 매우 중요한 것이다. 비록 라만 증폭기 자체는 EDFA보다 비싸지만 전체 시스템 비용 측면에서는 더 저렴하다.

EDFA와 비교해서 라만 증폭기의 또 다른 장점으로 100km가 넘는 장거리 전송이 가능하다는 점이다(EDFA의 전송 거리는 40~80km 정도이다). 이와 같이 장거리 전송이 가능하도록 증폭해야 하므로 라만 증폭기의 펌프 부분은 EDFA보다 훨씬 더 복잡하다. (그림 4)에서 보는 바와 같이 라만 증폭기는 복수 개의 915nm 레이저 다이오드에서 에너지를 모아 1,455nm의 광원을 생성한다. 이 신호는 EDF를 통해 1,177nm 파장으로 변환되고, 다시 공진기(cascaded Raman resonator)를 통과하면서 1,455nm 광원으로 변환된다. 공진기는 두 개의 FBG(Fiber Bragg Grating) 사이에 끼워져 있는데, FBG는 특정 파장의 광원만을 통과시키는 섬유로 만들어진 선택 필터(selective filter)이다.



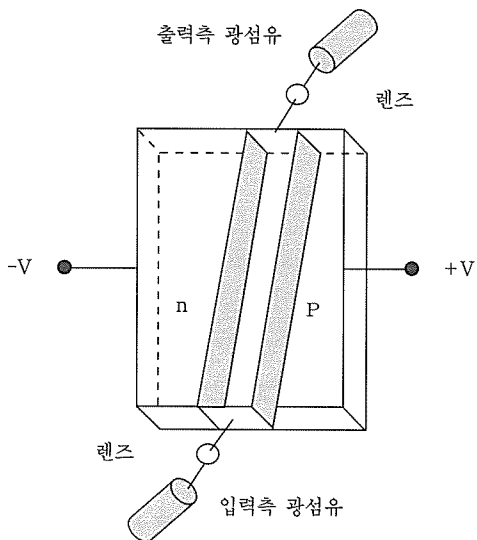
라만 증폭기가 반드시 EDFA를 대체하지는 않을 전망이다. 오히려 라만 증폭기는 EDFA가 신호를 증폭시킬 수 없는 1,310nm 대역에서 사용할 수 있으며, 또한 EDFA와 같이 사용되는 경우가 많다. 특히, 라만 증폭기는 EDFA와 결합되어 입출력 신호 모두를 증폭하는 하이브리드 증폭기(hybrid amplifier)를 구성하기도 한다.



(그림 5) 라만 증폭기의 증폭 흐름과 증폭 후의 전송 파형

### III. 반도체 광증폭기

(그림 6)에 반도체 광증폭기의 구조를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 근본적으로 반도체 레이저와 같은 형태의 이중 이종접합 구조(double hetero-structure)를 가지고 있는 SOA는 광섬유 광증폭기와는 달리 여기 레이저가 필요 없



(그림 6) 반도체 광증폭기의 구조모형도

이 도파로의 양측에 전계(電界)를 인가(印加)함으로써 이를 통해 광신호를 증폭하도록 되어 있다. 전계가 인가되면 광자(photon)의 흡수와 유도 방출(stimulated emission)이 일어나는데, 광자가 흡수되면 전자-정공(hole) 쌍이 생기고, 반대로 전자-정공 쌍이 결합되면 광자의 유도방출이 일어난다. 광신호를 증폭하기 위해서는 광자의 유도방출이 흡수를 상회해야 한다.

이득, 중심파장, 이득의 대역폭 등 SOA의 특성은 반도체 재료의 종류와 구조에 따라 다른데, 광통신용으로는 대개 InP, InGaAs, InGaAsP등이 주목되고 있다.

SOA가 광섬유 증폭기에 대해 가지는 장점 중 가장 중요한 점은 매우 작으며, 제조가 훨씬 더 쉽다는 점이다. 하지만 현재 SOA를 장거리 DWDM 전송에 응용하는 데에는 많은 문제점이 있다. 그러한 용도에는 광증폭기의 입출력 특성이 비선형성인데 따른 폐해가 현저하다. 장거리 전송에는 광증폭기를 직렬로 접속하여 사용하기 때문에 신호가 증폭기를 많이 통과할수록 비선형성의 영향이 강조된다.

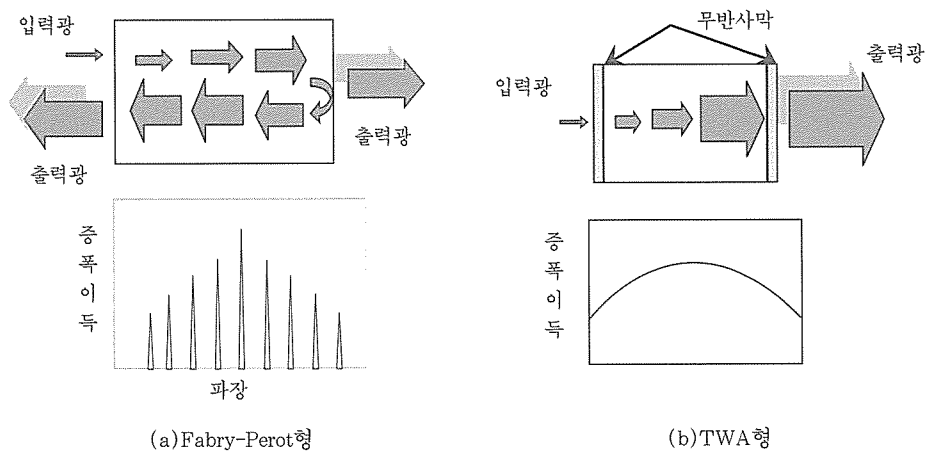
SOA는 전송속도가 빨라 다중화된 신호의 처리에도 기술적인 문제가 있다. SOA는 광 입력부터 출력까지의 시간이 짧다.

이 특성이 데이터 전송 속도가 빠른 DWDM 신호를 증폭하면 많은 문제를 일으킨다. 현재 SOA는 데이터 전송 속도 10Gbps이하의 신호에 효과적으로 사용된다. 그 이상의 속도에서는 이득이 포화상태가 된다.

SOA의 고속 응답은 도파로에 있는 신호 전체에도 영향을 주는데, 그 결과 채널간/심볼간 간섭이 일어나 8~10dB 정도의 커다란 잡음도 발생한다.

이 외에도 광섬유와 SOA의 형상(形狀) 차이로 인한 다른 전파 모드를 어떻게 취급해야 하는지 하는 문제도 있다. 도파로와 광섬유의 접속부 위치를 기계적으로 맞추어야 하는데, 이 때 접속부에서 손실이 발생한다. 또한, 각각의 접속부에서 약 3dB 정도의 잡음이 발생하여 가뜩이나 많은 잡음을 한층 증가시키게 된다.

한편, SOA는 FPA(Fabry-Perot Amplifier)형과 TWA(Traveling Wave Amplifier)형으로 나누어 진다(그림 7 참조). FPA형은 주입 전류에 의해 높은 에너지 준위인 전도대에서의 밀도 반전이 이루어져, 낮은 에너지 준위인 가전자대로의 천이에 의해 유도 방출이 일어나고 공진기에 의해 증폭되는 과정을 가진다. 반면, TWA는 반도체 레이저의 양 단면에 무반사(Anti-Reflection: AR) 코팅을 하여 출사면에서의 반사를 억제하여 FPA에서 일어나는 공진현상을 억제한 구조로 되어 있다.



(그림 7) 반도체 광증폭기

SOA는 PDFFA나 라만 증폭기와 같이 1,310nm의 신호를 증폭할 수 있다. 또한 파장 변환기(wavelength converter)나 전 광스위치(all-optical switch)와 같은 다른 평면 광파 회로(planar lightwave circuits)3)의 서브 컴포넌트로 사용할 수도 있다.

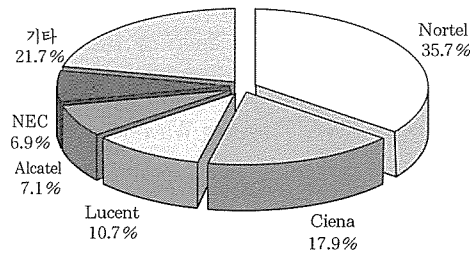
#### IV. 세계 광증폭기 시장 전망

후지키메라는 2000년도 세계 광증폭기 시장이 수량 베이스로 전년대비 52.2%가 증가한 8만 4,000대 규모의 시장을 형성한 것으로 분석하고 있다. 광증폭기 시장은 1998년경부터 북미를 중심으로 WDM 제품의 시장이 급속히 성장하고 있어



앞으로 커다란 성장이 기대되고 있는데, 후지키메라는 이 시장이 2001년에 12만 1,000대, 2003년에는 23만 5,000대 규모에 이르는 등 연평균 30% 가까운 성장률을 보일 것으로 전망하고 있다.

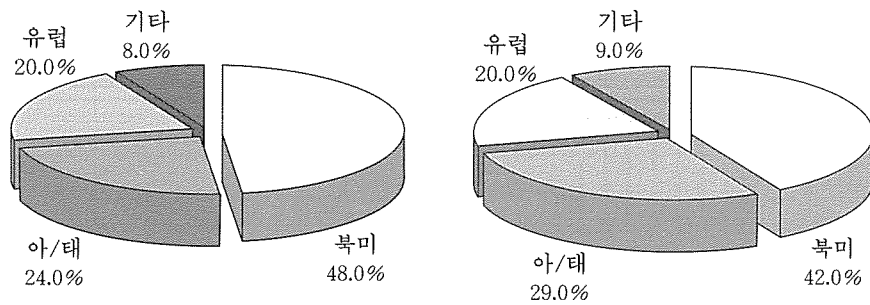
제조업체별로 보면, (그림 8)에 나타낸 바와 같이 Nortel, Ciena, Lucent, Alcatel, NEC 등 상위 5개 제조업체의 세계 시장 점유율이 80%에 육박할 정도로 과점 상태에 있다고 해도 과언이 아니다



<자료>: 2001 有望電子部品材料調査總覽, 富士キメラ總研, 2001

(그림 8) 제조업체별 세계 광증폭기 시장 점유 현황(2000년)

지역별로는 현재 북미를 중심으로 시장이 형성되고 있으나 앞으로 유럽, 아시아 시장의 성장이 기대되고 있다[6].



(2000년, 26.5억 달러)

(2005년, 34.2억 달러)

(그림 9) 지역별 광증폭기 시장 현황 및 전망

Electronicast에 따르면, 2000년에 26억 5,000만 달러를 형성한 이 시장에서 북미 지역의 점유율이 48%였으며, 일본을 포함한 아/태 지역이 24%, 유럽 20%, 기타 지역이 8%의 점유율을 보였다. 이와 같은 지역별 점유율은 2005년에는 북미 지역의 점유율이 42%로 약간 내려가고 아/태 지역이 29%로 소폭 증가하며, 유럽(20%)이나 기타(9%) 지역은 큰 변화를 보이지 않을 것이라는 것이 Electronicast의 전망이다. 참고로 Electronicast사는 2005년에 동 시장이 34억 2,000만 달러 규모로 성장할 것으로 예측하고 있다.

The Strategis사의 분석은 Electronicast의 전망보다 낙관적인데, 동 사는 이 시장의 2000년도 북미 지역 시장 규모가 30억 달러를 상회하는 것으로 평가하고 있으며, 22%의 CAGR을 보이며 성장하여 2004년에는 70억 달러를 상회할 것으로 예측하고 있다.

이 외에 ABI는 2000년에 110만 달러 규모의 시장을 형성한 유럽의 반도체 광증폭기(SOA)시장이 2005년에는 1억 3,800만 달러에 이를 것으로 예측하고 있다.

한편, 이 시장의 주요 성장 요인으로는 WDM용 시장의 본격화, 해저 광전송 수요의 급증, 관련 부품의 개발과 기술 진전 등이 거론되고 있다.

## V. 맺음말

이상과 같이 광증폭기에 대한 간략한 기술 개요와 시장 전망 등에 대해 살펴보았다. 앞서 살펴본 바와 같이 광증폭기는 광섬유를 통한 장거리 전송에 따라 발생하는 출력저하를 보상하기 위해 광신호를 증폭하는 기기로 여러 종류의 광통신 부품 중에서 단가가 높고, 시장 성장성이 유망한 부품의 하나로 분석되고 있다. 한편, 국내 광 증폭기 제조업체로는 삼성코닝마이크로옵틱스(SCM), 머큐리 등이 있으며, 최근에는 기술력을 보유한 벤처업체가 시장에 참여하고 있으나 국내 수요는 아직까지 미흡한 것으로 평가되고 있다. 따라서 기업 측면에서는 수요가 적은 국내 시장보다는 세계 시장을 겨냥한 기술 개발과 마케팅 전략이 필요할 것으로 생각된다. 특히, 광 증폭기 제조에는 다양한 광통신부품들이 요구돼 해외업체의 경우 핵심부품인 아이솔레이터, 커플러, 이득평탄화용광필터(GFF) 등 대부분을 자체 확보하여 광증폭기 개발이 이뤄지고 있으나 국내의 경우 일부 부품을 제외하고는 수급이 원활치 않아 부품확보에 어려움이 있는 것으로 알려지고 있다. 국내업체가 해외 선진업체와의 기술적인 차이를 극복하고 세계시장 점유율을 높이기 위해서는 산/학/연 연계를 통한 핵심 기술 확보와 지속적인 정책적 지원이 필요할 것이다.

### <참고 문헌>

- [1] 電子部品年鑑 2001, 中日社, 2001. 2.
- [2] An Introduction to Optical Amplifier Technology, Gartner Group, December 25, 2000.
- [3] 光ネットワークの世紀へ, Nikkei Communications, 2000. 9. 4.
- [4] WDM傳送の新境地開く ラマン増幅器, Nikkei Electronics, 2001. 6. 18.
- [5] 조호성, 반도체 광증폭기의 기술현황, 주간기술동향 통권 833호, 한국전자통신연구원, 1998.
- [6] 2001 有望電子部品材料調査總覽, 富士キメラ總研, 2001. 1. 31.
- [7] <http://www.electronicast.com>

<자료제공 한국전자통신연구원 주간기술동향 1036호>

- 1) 여기(勵起): 전자가 적당한 자극을 받아 일정한 에너지를 흡수하여 보다 높은 에너지의 상태로 변화하는 것을 말함. 이러한 상태에 있는 전자를 여기된 전자라 함.
- 2) 일반적으로 1,530~1,562nm 대역을 C밴드라 하는데, 여기서 C란 conventional의 두문자이다. C밴드보다 파장이 긴 쪽을 long의 두문자를 써서 L밴드, 짧은 쪽을 short의 두문자를 써서 S밴드라 하며, 대개 L밴드는 1,570~1,602nm, S밴드는 1,400~1,500nm 전후의 대역이다.
- 3) 광자 집적 회로(photonic integrated circuits)라고도 함.