

## 1. 광 연결 모듈 기술 개요

2003년 3월, 서버, 라우터, 스위치 및 크로스 커넥트 시스템 간 데이터 통신용으로 엄지 손가락 크기의 세계 최고 수준인 채널당 10Gbits/sec의 12채널 광 연결 모듈이 Picolight Inc.와 IBM에 의하여 개발되었다. 이 기술은 대용량 시스템의 병목 현상을 해결해 줄 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한, DARPA(미) 주관으로 IBM, Agilent, MIT 등이 공동으로 2003년 6월부터 광테라버스 시스템 개발에 본격 착수하였으며, Optochip 및 Optocard 개발, 패키징 및 집적화, 테스트베드 구축하여 2007년에 시스템 시험을 종료할 예정으로 고속, 대용량 광 연결 기술을 개발하고 있다. 이와 같이, 광 연결 모듈은 고속 대용량의 광신호를 병렬로 전달하는데 사용되며, 전기적 접속의 병목현

을 하기 위해서는 폴리머 광도파로에 의한 방법을, 100m 정도의 광 연결을 하기 위해서는 리본 광섬유에 의한 방법을 이용한다. 자유공간 접속방법은 자유공간에서 고속으로 신호의 손실없이 3차원적인 연결을 달성할 수 있는 이점이 있으나, 광경로 정렬과 패키징에 어려움이 있어 저가격화에 불리하며, 더욱이 crosstalk 없이 수십 cm 이상 연결하는 데는 어려운 점이 있다. 이러한 이유로 평판의 보드 상에서 연결되는 CPU 간 연결에 주로 이용되며, 수십 cm 이상의 거리에서의 box 간 백플레인 연결에는 불리한 방법이다. 평판유리를 통한 연결방법은 보드 상에서 평판으로 배열할 수 있고, 데이터 연결 채널의 집적도를 높일 수 있는 장점이 있으나, 수십 cm 이상 링크하기에는 손실이 크고 유리판 두께의 비균일성에 의해 점대점 연결에서 필요한 정밀도를 만족하기가 힘든 문제가 있다. 이 방법은

# 특집 ─ 광 연결(Optical Interconnection)

## 광 연결 모듈 기술

노병섭\*, 정명영\*\*

상을 해결할 수 있는 현실적인 대안 기술의 하나이다. 고속 광 연결 모듈은 한 PCB 위에 VCSEL 광원, 폴리머 광도파로 및 다채널 광커넥터와 전기회로 부분인 VCSEL/PD 구동회로가 서로 연결되는 구조로 구성되어 있는 것이 일반적이다. 광 연결 송신 모듈은 물리계층의 전기신호가 다중화 된 고속의 데이터를 구동회로를 통하여 광신호로 변환하여 원하는 장소로 전송한다. 광 연결 수신 모듈은 병렬로 입력되는 광신호를 전기신호로 변환한 다음 증폭, 재생 및 역다중화하여 물리계층으로 다시 보내어진다.

칩간, 보드간 및 시스템간 광 연결 기술은 광모듈의 광원(VCSEL 등)과 수광소자 사이를 접속 또는 연결시키는 기술로서 자유공간, 평판 유리, 폴리머 광도파로 및 리본 광섬유 등을 이용한 네 가지 방법이 주로 연구되고 있다. 일반적으로, 수 cm 정도의 광 연결을 하기 위해서는 자유공간 및 평판 유리에 의한 방법을, 수십 cm 정도의 광 연결

수 cm 이내의 칩간 연결에는 유용하나 수십 cm 이상의 백플레인 연결에서는 적합하지 않다. 폴리머 광도파로 접속 방법은 수십 cm까지의 칩간, 보드간의 연결에 적합하고, 특히 제작비가 저렴하여 광접속 모듈을 실용화하기에 유리하다. 그러나 기판의 표면으로 방출되는 VCSEL 어레이와 표면으로 수광하는 PD 어레이 사이에 2차원적 연결을 실현하기가 어렵다. 리본 광섬유 접속방법은 비교적 수십 cm에서 수백 m의 먼거리까지 적은 손실로 점대점 연결을 유지할 수 있는 장점이 있다. 따라서 수십 cm 이상 떨어진 보드-보드 사이, box-box 사이, 또는 시스템-시스템 사이의 광 연결에 유리하다. 수 cm 이내에 떨어진 CPU 칩간 연결에는 광섬유 연결방법은 적합하지 않다. 리본 광섬유 광접속 모듈의 광섬유 결합방식에도 VCSEL/PD를 45° 반사경이 있는 리본 광섬유에 직접 결합시키는 방식과 VCSEL/PD는 45° 반사경이 있는 폴리머 광도파로에

\* 한국광기술원 광통신패키징팀  
\*\* 부산대학교 나노과학기술학부



결합시키고 폴리머 도파로는 MT 광커넥터와 연결시키는 방식, VCSEL/PD를 수직으로 폴리머 도파로에 직접 결합시키고 폴리머 도파로는 MT 광커넥터와 연결시키는 방식 및 플라스틱 패키지에 수동정렬로 고정시킨 VCSEL/PD를 어댑터를 이용하여 수직 한 리본 광섬유에 직접 결합시키는 방식 등이 있다.

광 연결 기술은 전기신호와 비교하여 손실 문제가 거의 발생하지 않아 대용량의 정보를 처리할 수 있으며, EMI에 의한 영향도 없으며, 스큐, 반사, 혼선 등에 대한 측정수단을 사용하지 않고도 10Gbps 이상의 전송속도를 구현할 수 있다. 데이터 통신 대역폭의 급격하고 지속적인 증가는 광통신 네트워크의 수요를 크게 증가시켜, OXC, WDM 전송플랫폼 뿐만 아니라 많은 네트워크 장비들의 짧은 거리에서의 상호 연결이 요구되며, 이와 같은 높은 데이터 전송률에서는 광 연결이 필수적이다. 대용량 병렬 컴퓨터와 같은 차세대 정보 시스템 및 1Tb/s급 ATM 스위칭 시스템 내에서 이루어지고 있는 보드간 및 백플레인간 전기적인 접속은 한계에 직면해 있다. 이에 따라, 금속 케이블을 광섬유 케이블로 대체한 광 연결 기술이 전기적인 접속 기술에서 나타나고 있는 한계를 극복하기 위한 현실적으로 가장 좋은 대안으로 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 광 연결은 물리적으로 광트랜시버와 광섬유의 연결로 이루어진다. 중장거리 전송을 위한 광트랜시버의 성능 및 가격은 짧은 거리 전송에 요구되는 성능에 비하여 과잉 설계되어 전체망의 경제성에 상당한 영향을 주므로, 라우터, DWDM 시스템, ADM 시스템 및 OXC 시스템 등의 단거리 연결에는 광 연결 모듈이 필수적으로 소요된다. 이에 대응하여 OIF와 ITU-T에서 광인터페이스를 표준화하고 있으며, 현재 10Gbps 표준작성을 완료하였고 40Gbps 표준 작성을 진행 중에 있다.

칩간 광 접속, 즉 PCB 기판 상에서 광신호를 통해 칩으로 데이터를 전송할 때 가장 중요한 요소는 전송속도이다. 전자적 연결 방식에서 가능한 수준보다 훨씬 빠른 속도로 데이터를 전송할 수 있어야 한다. 현재 이러한 문제는 광전송 기술에서 구현이 가능하며, 앞으로는 부품 비용의 감소, 실장비용 절감, 장비크기의 축소 등의 문제가 새로운 과제로 부각되고 있다. 이러한 해결 방법으로는 광 신호의 전송경로로 광섬유, 광도파로 등을 PCB 기판 내에 embedding시킨 광 백플레인이 있다. 이러한 광 백플레인은 전송경로에 따라 1, 2, 3 세대로 구분하는데 현

재 공존하여 발전하고 있다. 제1세대 광백플레인은 광섬유를 사용하여 motherboard와 daughtercard와 링크시키는 시스템을 말하며, 제2세대는 광섬유를 고분자 필름에 결합한 flexfoil을 이용한 시스템을 말한다. 제3세대 광백플레인은 광섬유 또는 광도파로를 PCB 기판내에 내장한 embedding 시스템으로 전기적 신호를 광신호로 변환하여 전송하는 hybrid 시스템으로 가장 많은 연구가 진행되고 있으며, 향후 대부분의 시장을 제3세대 기술이 점유할 것으로 예상된다.

광 연결 기술은 수~수백 m 거리의 시스템간의 데이터 전송, 수십 cm~수 m 거리의 시스템내 백플랜(backplane) 간 데이터 버스 전송, 수십 cm 거리의 시스템 내 보드간 연결, 보드상에서 수~수십 cm 거리의 칩간 광 연결 등에 광범위하게 응용되고 있다. 전송거리가 매우 짧은 보드상의 칩간 광 연결에서 광 연결 매개체는 자유공간 연결(free space interconnection), 실리카 또는 플라스틱 광섬유(silica or plastic optical fiber), 또는 평판 폴리머 광도파로(planar polymeric waveguide) 등이 이용될 수 있다. 한편, 고집적 저비용으로 신뢰성 있는 광 연결 기술을 해결하기 위해서는 전기적 신호를 변환하여 광신호를 송수신할 수 있는 광송수신 모듈 구조의 선택에 따라 크게 좌우된다.

광 연결 모듈은 초고속 대용량 신호전송 및 처리가 필요한 광인터넷 서비스, FTTH용 대용량 네트워크, 대용량 컴퓨터, 컴퓨터 서버 및 컴퓨터 주변 기기 등 컴퓨터 산업, 데이터 통신용 교환기 및 라우터 등 고속 데이터 통신 산업, 이동통신 시스템 및 기지국 등 고속 이동통신 산업, 광교환, Metro/Access 광전송 장비 등 대용량 정보전송, 비행기 버스 시스템 등 항공우주통신, 자동차내 LAN 등 (MOST, IDB 1394) 수송 시스템 정보화, 디스플레이, 정보가전 및 정보기기 등의 저전력, 대용량 연결 등의 핵심 원천기술로서, 2010년 약 수백 억불의 세계시장 창출이 예상되므로, 기술개발 및 표준화를 통한 기술선점을 위하여 본 자료에서는 현재 상용화를 추구하는 광 PCB 등의 광 연결 모듈의 기술 현황을 분석하고자 한다.

## 2. 광 연결 모듈 발전 동향

광 연결 기술의 발전 동향은 그림 1에서 나타나듯 광 연결을 이루는 거리가 지속적으로 짧아지고 있다. 현재는

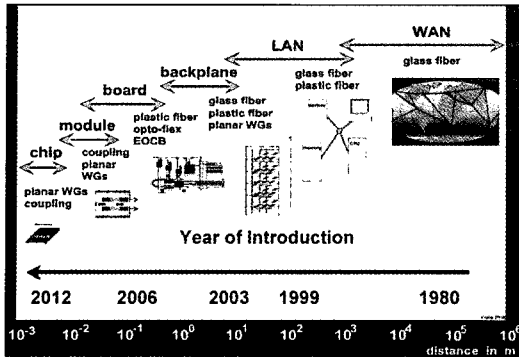


그림 1. Optical interconnection loadmap<sup>(1)</sup>.

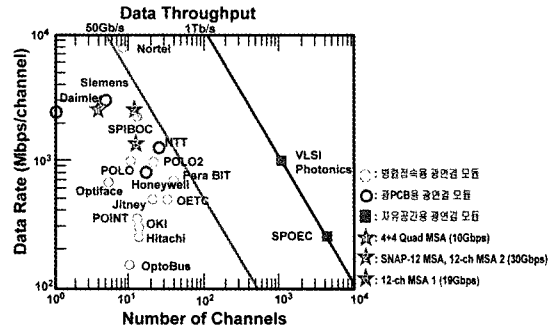


그림 2. 광 연결 모듈 생산업체의 개발 동향.

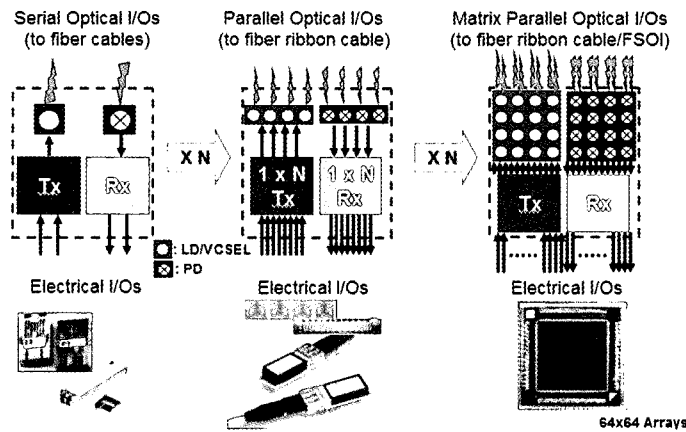


그림 3. 병렬 광접속 모듈의 채널 확장성의 개념도.

fiber ribbon를 이용한 병렬 접속형 광 연결 모듈을 이용한 backplane 수준의 광 연결은 이미 이용되고 있으며, 2012년 이후에는 보드간(inter-boards), 칩간(inter-chips) 및 칩내(intra-chip) 광 연결이 이루어질 것으로 예상된다. 따라서, 그에 따른 광 연결 모듈에 대한 개발 동향은 현재 채널당 1.25Gbps와 2.5Gbps가 대부분을 차지하고 있으나, 향후 채널당 10Gbps가 주를 차지할 것으로 예상되며, 전송용량의 증가에 따른 광 연결 모듈의 구조는 그림 2에서처럼 광원 및 수광소자의 성능 향상보다는 채널수의 증가로 이어질 예정이다.

그림 3에서 나타내듯이 병렬 접속형 광모듈에서 큰 장점으로 부각되고 있는 부분은 VCSEL을 이용한 다채널 및 2차원적 채널의 확대가 용이하여 정보 및 데이터 전송용량 및 증대 요구에 신속히 대처할 수 있다. 따라서, 병렬 광접속 모듈 기술은 선진 각국에서 국가적인 지원 아래 산업체 및 연구기관들이 컨소시엄을 형성하여 공동연구를 수행하였으며, 대표적인 것으로는 미국의 POLO, POINT,

일본의 ParaBIT, 독일의 PAROLI, 영국의 STAR 프로젝트 등이 있다. 광 접속 광송수신 모듈 및 패키징 분야의 연구를 하고 있는 주요기관으로는 HP, GE, NTT, Siemens 등이 있다. 각국에서 수행되었거나 수행중인 주요 연구내용은 저가 제조를 위한 평면 및 일괄제조공정을 이용한 플라스틱 VCSEL Array 패키징 기술, VCSEL과 고분자 광도파로 접속 기술, 저소비전력 모듈 기술, 다채널 광커넥터를 이용한 패키징 기술 등이 있다. 광접속 모듈에서 요구되는 데이터 전송속도는 수 Gbps 정도이기 때문에 수십 Gbps 급의 전자소자 보다는 비교적 경제성이 있는 소자를 사용하는 것이 바람직하다.

현재 국내외에서 보드간 및 칩간 광 연결 방식으로 기존의 전기적 배선을 가지는 PCB에 광섬유나 광도파로를 PCB 기판상 내지 기판내에 적용한 시스템으로 전기적 신호를 광신호로 변환하여 신호나 데이터를 전송하는 하이브리드 시스템인 광 PCB를 이용한 광 연결 모듈을 활발히 개발 중이다. 그림 4에서 보듯이 현재 광 PCB를 이용한

2000년 1월 14일  
 2000년 1월 14일  
 2000년 1월 14일

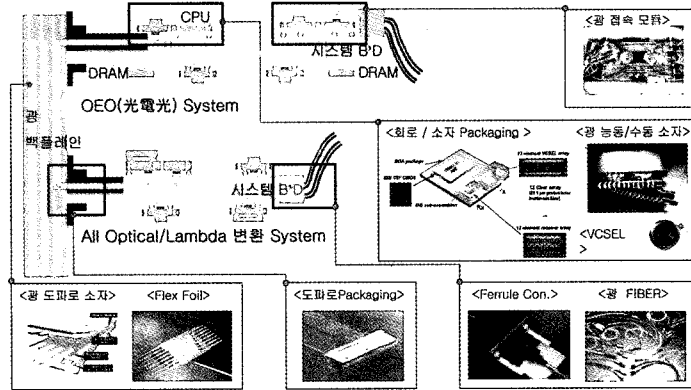


그림 4. 광 PCB를 이용한 보드간 및 칩간 광 연결 개념도<sup>(2)</sup>.

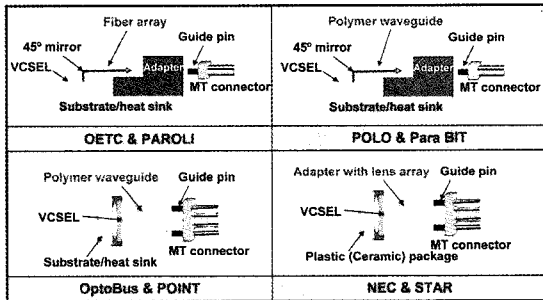


그림 5. 병렬광접속용 광 연결 모듈의 분류 개념도.

광 연결 모듈은 다양한 형태의 부품을 이용하여 활용된다. 현재 개발 그룹은 국외에서는 광 PCB 개발에 대한 연구가 북미, 유럽 및 일본 등이 대표적인 그룹으로 분류되며, 북미에서는 Honeywell, ChEEtah project(14개 연구기관), Optical Crosslink Inc., Dupont 등의 업체와 일부 대학에서 이루어지고 있으며, 유럽에서는 Siemens(C-Lab), Daimler Chrysler Research, PPC 등의 업체와 대학들이 참여하여 연구를 진행 중에 있으며, 일본에서는 NTT, Fujii-Xerox, Hitachi, NEC, SONY 등의 업체와 동해대학 등의 대학이 컨소시엄을 이루어 연구가 진행 중에 있다.

### 3. 광 연결 모듈 기술 분류

#### 3.1 병렬접속용 광 연결 모듈 기술

병렬접속용 광 연결 모듈의 기술 개발은 MSA 규격내에서 OSA(optical subassembly)의 형태에 따라 그림 5에서처럼 각 연구기관에 따라 달리하고 있다.

일본의 NTT에서는 1Tbps급 ATM 스위칭 시스템에 보드간 광접속용으로 ParaBIT를 제안하였다. ParaBIT-0이라 불리는 Front-end 모듈의 시제품은 총 전송용량이 28Gbps(700 Mbps, 40ch)이다. 그 이후 보다 높은 처리 용량, 저가격화 및 소형화 관점에서 새로운 버전의 ParaBIT-1을 개발하였으며, 이것은 총 전송용량이 60Gbps(1.25Gbps, 48ch) 개발 목표로 설정되었다. 일본의 NEC에서는 총 전송용량이 16Gbps(1Gbps, 2×8ch)인 2-D 광커넥터에 의해 Push-pull 접속이 가능한 플라스틱으로 사출 성형된 Receptacle형 모듈이기 때문에 제조원가의 저가격화를 실현시켰다. 독일의 Infineon에서는 총 전송용량이 30Gbps(2.5Gbps, 12ch)인 PAROLI 모듈을 개발하였으며 이 모듈은 채널당 데이터 전송속도가 2.5Gbps로써 위에서 언급한 타 회사의 모듈보다 2배 정도 큰 특징이 있다.

병렬광접속 광 연결 모듈 기술의 발전전망을 살펴보면 다음과 같다. Infineon, Mitel, Picolight, Gore, HP 등의 업체가 광접속 모듈에서 12채널, 2.5Gb/s급의 상용화를 발표하여, 고속·대용량 전송을 위한 채널당 전송속도는 2.5Gb/s 이상과 총 전송량은 50Gb/s 급 또는 그 이상을 목표로 연구 진행 중에 있으며, 채널당 전송속도의 상승으로 광 접속 모듈 패키징의 데이터 입출력 편의 구조가 SMD형에서 BGA 형으로 연구 진행 중에 있다. 고속, 고밀도화를 추구하는 방향으로 모든 표준화(10Gb/s Ethernet, 10Gb/s Infiniband, 9.6Gb/s OC-192) 및 연구개발이 진행중에 있으며, 초다채널, 고밀도 광섬유 접속을 위한 2D 광커넥터에 대한 연구가 진행되어 현재 2D 광커넥터의 상용화가 예상되고 있다.

## 광 연결 모듈 기술

### 3.2 광 PCB용 광 연결 모듈 기술

광섬유 또는 평판 폴리머 광도파로 등의 전송매체를 이용한 보드상에서의 칩간 광 연결 기술개발이 진행중인데, 이를 위해 근거리 광통신에 사용되고 있는 광전소자들을 바탕으로 칩간 광 연결에 적합한 광전소자들의 개발과 함께 이들을 PCB상에 집적할 수 있는 패키징 기술이 요구된다. 특히, 광전소자들의 패키징 기술은 광통신 모듈의 경우에는 허용정렬오차가 수  $\mu\text{m}$  이내로 매우 엄격한데 반해서, 일반 전기적 PCB 공정과 전기적 소자들의 실장 경우에는 수십~수백  $\mu\text{m}$  수준이다. 따라서, 광전소자들간의 광학적인 연결을 PCB상에서 이루기 위해서는 허용정렬오차가 가능한 크고 광접속 손실은 낮은 광 연결 구조의 개발과 능동 및 수동 광전소자가 PCB상에서 동작할 수 있도록 정렬오차가 낮은 집적 및 패키징 기술이 요구된다.

그림 6은 광 PCB를 이용한 광 연결 모듈을 기판상에 적층시켜 모듈간의 광 연결을 시현하는 개념도이다.

칩간 광 연결을 이루는 여러 가지 매개체 중에 현재는 다층 PCB 사이에 폴리머 광도파로가 적층된 광 PCB 구조를 채택하는 동향이다. 이러한 이유는 폴리머 광도파로가 기존의 PCB 제조공정을 이용하여 적층하기가 다른 전송매체에 비해 상대적으로 용이하기 때문이다. 하지만, 폴리머 광도파로의 성공적인 적층을 위해서는 일반적인 PCB 적층공정 조건인 180°C의 온도와 10kg/cm<sup>2</sup>의 압력에서 광학적 특성이 유지 될 뿐만 아니라, 열적·기계적으로 안정한 폴리머 물질의 개발도 요구된다. 이 때문에 일부 연구기관에서는 폴리머 광도파로 대신에 이미 제품화 되어 있는 폴리머 광섬유(POF) 리본을 사용하여 PCB 위로 연결하거나<sup>(4)</sup>, 실리카 광섬유 리본을 PCB내부에 적층한 칩간 광 연결 구조를 연구하고 있다<sup>(5)</sup>.

가장 가능성이 큰 구도인 광도파로가 적층된 광 PCB를 통한 칩간 광 연결은 독일의 Siemens<sup>(6)</sup> 및 일본의 NTT<sup>(7)</sup>

와 ASET, 미국의 Univ. of Texas<sup>(8)</sup> 등에서 주로 연구되고 있다. 하지만, 현재까지의 기술수준은 PCB내 적층된 광도파로의 도파특성을 측정하거나<sup>(7)</sup>, 유리기판에 형성된 광도파로에 미러면을 형성시키고 TO CAN으로 패키징된 VCSEL로 수직으로 광신호를 송신하여 반대편에서 반사되어 나오는 광신호를 large-core 광섬유로 수광하여 측정하고<sup>(6)</sup>, 폴리머 광도파로를 이용하여 회로를 구성한 후 적색레이저를 이용하여 광신호가 회로를 따라 도파된다는 것을 시험적으로 보이는 정도<sup>(6)</sup>에 머무르고 있다.

### 3.3 자유공간용 광 연결 모듈 기술

자유공간 광 연결 모듈 기술은 I/O 밀도를 상당히 높일 수 있는 2-D 광송수신이 용이하다는 장점에도 불구하고, 광소자들의 정렬이 매우 까다롭고 외부환경의 영향을 많이 받아 신뢰성이 부족하다는 단점 때문에 실용화의 가능성이 매우 적다. 그럼에도 불구하고, 초단거리용 광 연결 모듈을 이용한 광송수신의 장점 때문에 프리즘 및 렌즈 등을 이용하여 PCB위로 자유공간 광 연결이 시도된 바 있지만<sup>(9)</sup>, 이러한 시도들은 칩과 광 연결 매체간의 광 연결을 위한 connector 및 프리즘등과 같은 수동광소자들이 PCB 외부에 노출되어 있어, 공간적으로 비효율적일 뿐만 아니라, 배선밀도의 증가에 제한이 있고 PCB를 취급하는 하는 동안에 수동광소자들의 정렬이 틀어지거나 손상 받을 수 있는 등 여러 문제가 있어 실용 가능성이 매우 적다.

또한, 그림 7에서 보듯이, Intel 등에서 보드 양면에 CPU와 메모리를 집적하고 중간에 형성된 optical path를 통해 자유공간 광 연결도 시도되고 있는데<sup>(10)</sup>, 이 구조는 데이터 전송이 필요로 하는 칩들이 보드의 양면에 일치하게 집적되어야 하므로, 보드 설계시 큰 제한조건으로 작용하고 응용범위가 좁다는 단점이 있다.

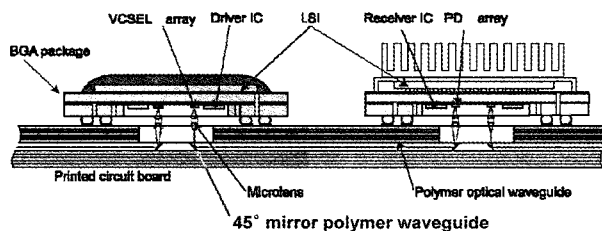


그림 6. 광 PCB를 이용한 칩간 광 연결을 시현하는 개념도<sup>(5)</sup>.

2003년 11월 30일  
 2003년 11월 30일  
 2003년 11월 30일

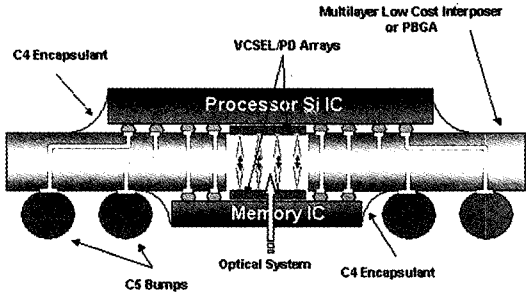


그림 7. INTEL의 CPU-Memory 자유공간 광 연결 구조<sup>(11)</sup>.

성과 및 저가격화가 이루어지지 않는다면, 파이버 리본타입의 병렬 광접속용 광모듈이 저가격 및 생산성에 있어서 유리한 위치에 놓일 것으로 분석된다.

## 5. 후기

본 글에서 발표된 자료 정리에 있어 전자통신연구원의 안승호 책임연구원, 조인귀 선임연구원과 한국정보통신대학교의 박효훈 교수의 도움에 감사드립니다.

## 4. 향후 전망

광 연결 모듈의 향후 발전 경향은 현재까지의 VCSEL 및 송수신 회로의 발전 속도와 칩 집적기술 등을 고려해 볼 때 최종 소비자 단계에서 요구되는 수준의 광 연결은 칩간 광 연결의 경우 5-10년 후, 칩내의 subsystem간 광 연결은 15년이상 더 소요될 것으로 예측되기도 한다.

광 연결 모듈의 기술 분야중에서 병렬 광접속용 광모듈, 광PCB용 광모듈, 자유공간용 광모듈은 응용분야에서 서로 경쟁관계 속에 놓여 있는 것으로 분석된다.

백플레인과 보드간의 광 연결 모듈 기술은 병렬 광접속용 광모듈과 광PCB용 광모듈이 경쟁관계에 있으며, 향후 5년 이내에는 광 PCB용 광모듈의 조립 및 패키징 문제로 병렬 광접속용 광모듈이 우세할 것으로 예상된다. 또한, 병렬 광접속용 광모듈의 경우, MSA 등 대량 생산에 대한 규격이 표준화되어 있는 등 생산성에서도 유리한 점이 많은 것으로 분석된다.

칩간 광 연결 모듈 기술은 병렬 광접속용 광모듈, 광PCB용 광모듈 및 자유공간용 광모듈이 경쟁관계에 있으며, 향후 3~4년 내에 광PCB에 대한 획기적인 기술개발

## 참고문헌

- (1) H. Schroder et al., "EOCB-hot embossed multimode polymer waveguides for PCB," Presentation on Opto/electrical materials, components & packaging, Nov. 3, 2001.
- (2) W. Y. Kim et al., "Development Trend of the upcoming PCBs," Private discussion, 2002.
- (3) Y. Ishii et al., Electron. Compon. Technol. Conf., 2003.
- (4) B. Wittmann et al., "POF-based Interconnects for intracomputer applications," IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 5, pp. 1243-1248, 1999.
- (5) G. De pestel et al., IEEE Trans. Comp. Pack. & Manufact. Tech., vol. 19, no.1, pp. 116-123, 1996.
- (6) F. Mederer et al., "3-Gb/s data transmission with GaAs VCSELs over PCB intergrated polymer waveguides," IEEE Photonics Tech. Lett., vol. 13, pp. 1032-1034, 2001.
- (7) Y. Ishii et al., "SMT-compatible-I/O chip packaging for chip-level optical interconnection," Electronic Comp. and Tech. Conf., 2001 pp. 890-899.
- (8) R. T. Chen, "Fully embedded board-level guided-wave optoelectronic interconnects," Proc. of IEEE, vol. 88, pp. 780-793, 2000.
- (9) D. V. Plant et al., "Design, implementation, and characterization of a 2D bi-directional free-space optical link," in Optics in Computing, Proc. SPIE, vol. 4089, pp. 530-538, 2000.
- (10) www.citr.ece.mcgill.ca/conf2001/Plant\_2001conf.pdf.
- (11) M. R. Chang, private communication, 2002, Korea.

## 약 력



### 정명영

1982 부산대학교 기계공학과 학사  
 1984 부산대학교 기계공학과 석사  
 2000 KAIST 기계공학과 공학박사  
 1983-2003 한국전자통신연구원 책임연구원  
 2003-현재 부산대학교 나노과학기술학부 조교수  
 E-mail : myjeong@pusan.ac.kr



### 노병섭

1994-2000 : KAIST, Ph.D  
 2000-2001 : KAIST, Post-Doctoral Scholar  
 2001-2003 : ICU, 연구교수  
 2003-현재 : 한국광기술원, 선임연구원  
 E-mail : kalparho@kopti.re.kr