《主 題》

광교환 기술 전망

李 用 卓
(한국전자통신연구소 화합물반도체연구부)

■차 례■

Ⅰ. 광대역 통신의 출현과 교환기술의 발전추세
Ⅱ. 광교환 방식
Ⅲ. 광교환 소자기술의 현황
Ⅳ. 광교환 기술의 시스템 응용전망

Ⅰ. 광대역 통신의 출현과 교환기술의 발전추세

오늘날 정보통신 서비스의 개념이 종래의 두지점간의 단순한 음성신호 전달에서 데이타 및 영상정보를 포함한 멀티미디어 통신 및 비대칭형 통신, 다지점간 통신등 다양한 서비스 형태를 제공할 수 있는 소위, B-ISDN(Broad-band Integrated Services Digital Network)이라고 불리는 광대역 종합정보 통신망으로 진화하고 있다. 이러한 B-ISDN의 구축은 통신이용자 측면에서의 다양한 서비스 요구와 통신사업자 측면에서의 사업영역의 확대 및 기존 통신망의 효율적 운용이라는 상호 이해관계에 의해 추진력 을 부여받고 있지만, 국가 전체적인 경제수준과 관련기술의 확보없이는 실현이 불가능하다.

70년대에 본격 개발되기 시작한 광통신 기술은 광섬유의 저손실, 광대역 특성에 의해 국간중계망에서의 전송거리, 용량 및 전송품질을 향상시켜 결국 전송단가를 획기적으로 떨어뜨리는 결과를 만들었다. 전송기술이 광기술의 도입에 의해 비약적인 발전계기를 마련했다면, 통신의 양대 골격인 교환기술은 그동안 반도체기술의 발전에 힘입어 크로스바 교환기에서 전자교환기로 이행하면서 교환용량을 크게 확대시켰으며, 컴퓨터 기술 및 소프트웨어 기술의 발달로 다양한 통신서비스를 교환기 자체에서 제공할 수 있게 되는 등 지속적인 발전을 이룩해 왔다. 광대역통신의 수요는 우리나라의 경우, 한국 통신의 가입자용 광케이블 보급 장기계획에 의하면 2000년까지 전체가입자선로의 10%, 2015년까지 90% 이상이 광선로로 대체 될 전망이며, 이를 통해 광대역통신 서비스를 본격 개시하다면, 현재 전화가입자수인 1000만 가입자를 기준으로 보더라도, 국간전송망 및 교환망에서의 소요용량(throughput)이 2000년에는 수백Gbps, 2015년에는 수 Tbps에 이를 것으로 예상된다. 이러한 규모는 현재 상용중인 TDX-10의 교환용량이 4Gbps 정도라는 점을 상기한다면 얼마나 엄청난 규모라는 것을 쉽게 알 수 있다.

B-ISDN용 교환기는 세계적으로 ATM(Asynchronous Transfer Mode)을 기본방식으로 채택하는 추세이며, 이를 위한 고속집적회로가 개발되고 있지만, 앞에서 언급한 수백 Gbps혹은 수 Tbps에 이르는 대용량의 신호처리에는 한계가 있다. (그림 1)에 전자소자가 갖는 한계점과 이것을 광기술에 의해 단계적으로 어떻게 극복할 수 있는가를 도시하였다.

컴퓨터, 교환기등 디지탈 신호처리장치의 신호처리능력을 향상시키는 방법으로는 병렬처리구조를 사용하거나, 소프트웨어 능력에 의존하기도 하지만 이와 아울러 소자의 스위칭 속도를 빠르게하는 것이 가장 기본적인 접근방법이다. 교환기 내부의 전자회로

가 VLSI화 됨에 따라 소자속도의 궁극적인 한계는 트랜지스터의 스위칭속도와 소자간 배선에 따른 RC 시간지연에 의해 결정된다. 또 IC 간의 신호전달에도 시간지연이 필연적이므로 스위칭속도를 향상시키기 위해서는 소자의 크기를 작게하고, 집적도를 높여주는 것 뿐만이 아니라, IC간의 배선에 의한 시간지연을 단축하는 것이 매우 중요해지게 된다. 현재 반도체소자의 속도는(그림 2)에서 보는 바와 같이 실리콘에서의 속도한계를 GaAs에 의해 상당히 극복해가고 있다. 그러나 집적도 및 소자의 신뢰성, 가격측면을 고려하면 155 Mbps급 신호처리는 CMOS로, 622 Mbps급은 BiCMOS가 유력하며 2.5Gbps급에서는 GaAs ME-

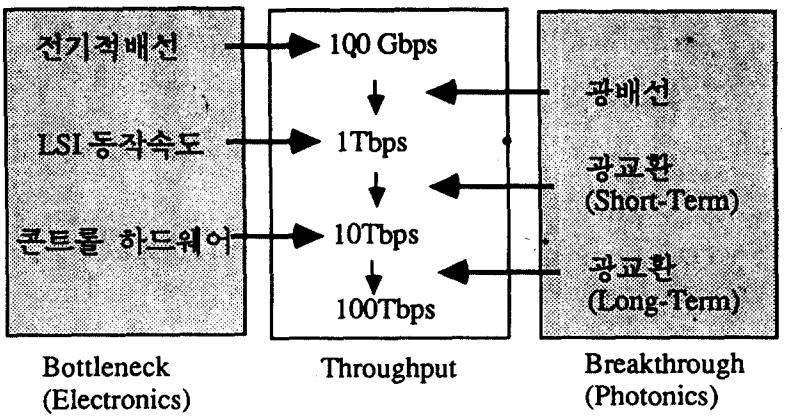


그림 1. 전자교환의 한계와 광기술의 역할

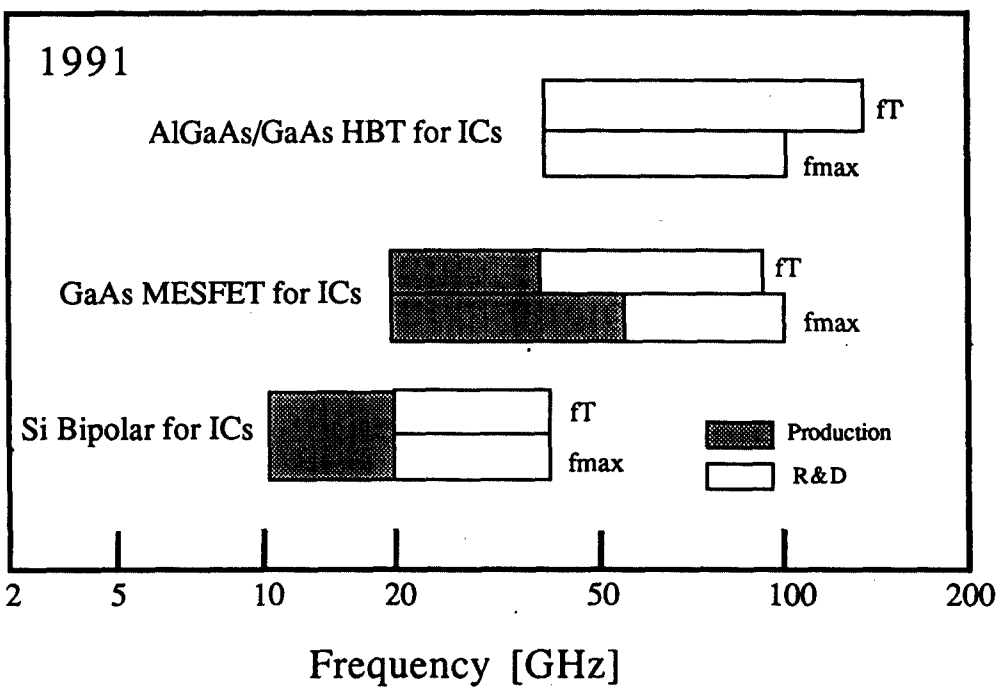


그림 2. 고속 반도체소자의 기 술현황

SFET이 될 가능성이 클 것으로 생각되고 있다.

이에 비하면 본격적인 대용량 광교환은 아직도 "가능성"을 이야기하는 단계이다. 광교환이 갖는 본질적인 장점은 광소자가 갖는 고속스위칭 특성과 전송속도 및 사용파장에 무관하게 라우팅(routing)이 가능한 점, 3차원 공간상에서의 광배선 및 병렬처리가 가능하다는 점 등이다. 따라서 광/전, 전/광 변환에 따른 전자소자의 속도한계를 뛰어 넘을수 있고, 다양한 다중화방식에 의해 교환용량을 획기적으로 증가시킬 수 있다는 점이 광교환의 큰 매력으로 부각되고 있다. 반면에 극복해야 할 문제점으로는 광의 분기 및 접속에 따른 손실과 누화의 보상문제, 광의 편광상태에 따른 소자특성 제어 문제, 광교환소자의 크기 및 집적화의 한계, 광신호의 제어가 전기신호에 비해 쉽지 않다는 점 등이 지적되고 있다. 이러한 광교환기술을 구현하려면 아직도 많은 기술적인 문제점들을 해결해야 하고, 반도체소자기술도 계속 발전하고 있어 실용시기가 아직은 불투명하지만 광교환은 전자교환기술의 한계를 극복할 수 있는 유일한 대안으로 주목받고 있다.

Ⅱ. 광교환 방식

이제까지 알려진 광교환방식은 다중화 방법에 따라 크게 공간분할, 시분할, 파장분할 방식으로 나뉘어진다. (그림 3)은 광교환 방식별로 개념 및 기술적특징을 나타낸 것이다. 시분할방식은 개념적으로는 기존의 시분할 전자교환에서와 동일하며, 전기신호를 광신호가 대신한다는 차이가 있을 뿐이다. 공간분할방식은 기존의 cross-point 스위치의 개념과 유사하나, 광교환에서는 입력신호의 bit-rate에 transparent한 큰 특징을 지니고 있다. 광교환의 가장 특징적인 방식으로는 파장(또는 주파수) 분할방식을 들수 있는데, 이것은 광이 갖는 비간섭 특성을 이용한 것으로 서로다

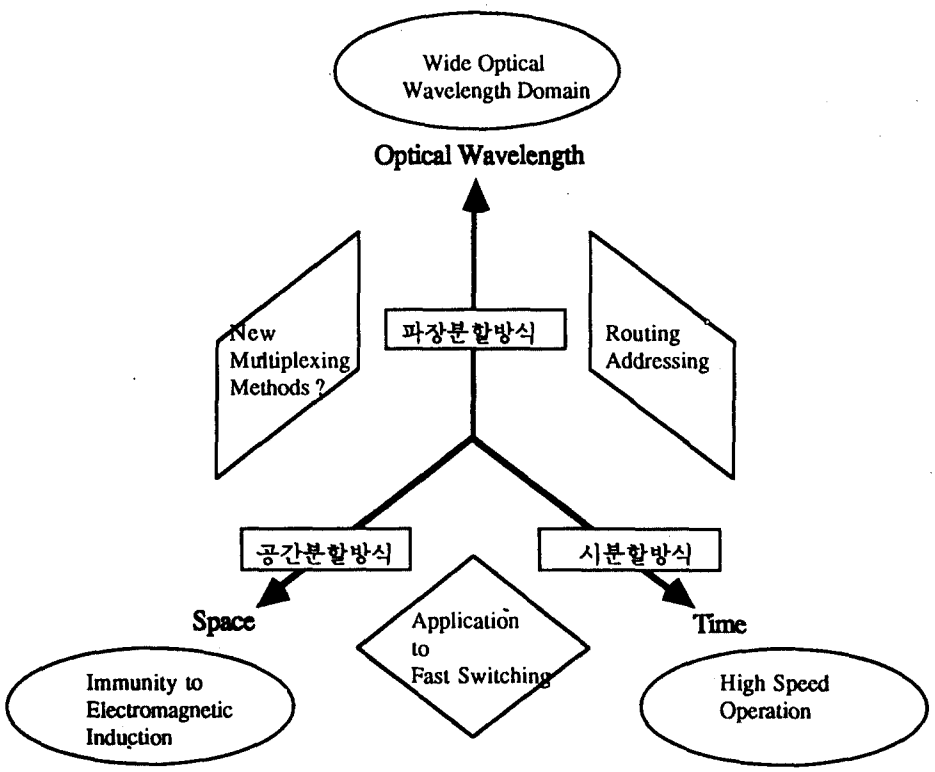
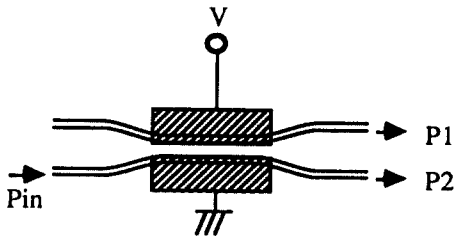


그림 3. 광교환 방식의 특징

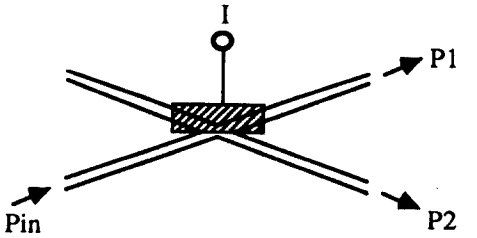
른 파장에 각기 다른 신호를 실어 다중화하는 것이다. 이와같이 다양한 다중화방식은 이들 방식의 조합, 예를 들면 공간-시간 다중화(SDM-TDM), 또는 공간-시간-파장 다중화(WDM-TDM-WDM)등을 통해 교환용량의 증대와 망구성의 융통성을 부여할 것으로 기대되고 있다.

공간분할방식은 광의 도파경로를 바꾸어 주므로서 스위칭하는 방법(coupler type)과 광의 경로에서 내부전반사를 유도하여 스위칭하는 방법(total internal reflector type)이 있다. 커플러형 스위치로는 광섬유를 이용해 기계적으로 광로를 접속, 단락시켜 스위칭 해주는 방법도 있으나, 현재 가장 대표적인 것이 $LiNbO_3$와 같은 유전체 광학재료에 의한 전기-광학효과 소자이다.

커플러형 스위치의 기본원리는 (그림 4)에서 보는 바와 같이 인접해 있는 두개의 도파로의 한쪽에 전압을 걸어 전계효과에 의한 굴절율 변화를 일으켜 주므로써, 입력된 광의 경로를 "by-pass" 또는 "exchange" 시켜준다. 공간분할방식의 처리능력을 향상시키기 위해서는 스위치 매트릭스 입출력 규모가 커져야 하고, 트래픽컨트롤을 위한 라우팅 알고리즘이 중요해진다. 커플러형 도파로 스위치의 단점은 전기-광학효과에 의한 광의 간섭길이가 길어 대규모 집적화에 한계가 있다는 것이며, 삽입손실과 분기에 따른 약화된 광신호의 보상, 누화의 보상을 위해 적절한 광증폭 과정을 포함해야 분기에 따른 약화된 광신호의 보상, 누화의 보상을 위해 적절한 광증폭 과정을 포함해야 실용화가 될 수 있을 것으로 보인다. 반면에 전반사형 도파로 스위치는 파장 및 편광상태에 관계없이 스위칭이 가능하고, 소자크기를 작게 할 수 있는 반면 스위칭 속도가 상대적으로 느린편이다.



(a)커플러형 광도파로 스위치



(b)내부전반사형 광도파로 스위치

그림 4. 광도파로 스위치의 기본 원리

공간분할 광스위칭 소자로는 $LiNbO_3$ 매트릭스 스위치와 glass(SiO_2 / Si) 스위치와 같은 유전체 재료를 사용하는 경우와, Ⅲ-Ⅴ 반도체를 이용한 도파로형 스위치가 대표적인데, 현재 $LiNbO_3$를 이용한 매트릭스 스위치가 가장 일찍부터 개발되어 왔지만, 소재의 장기적인 안정성과 집적화의 측면에 있어서 유리한 Ⅲ-Ⅴ 반도체 재료를 이용한 광스위치가 큰 기대를 모으고 있다.

시분할 광교환방식은 입력된 광신호를 광메모리를 이용하여 시간적으로 순서를 바꾸어 출력시키는 것에 의해 교환을 이루는 것으로, 현재의 시분할 전자교환 방식과 같은 원리이다. (그림 5)는 이러한 시분할 광교환의 기본원리를 나타내는데, 시분할 광교환 시스템을 실현하기 위해서는 고속 광메모리, 시간 다중화기(time multiplexer)와 역다중화기(demultiplexer)가 필요하며 이와 함께 비트(bit), 또는 프레임(frame)의 엄격한 동기화(synchronization)가 요구된다. 시분할 광교환방식에 있어서 핵심소자는 광메모리로, 광섬유 지연선과 쌍안정성 반도체 레이저가 주로 연구되고 있다. 최근에는 SEED(Self Electro-optic Effect Device)소자등 2차원 집적이 가능한 평면구조 광쌍안정 메모리 연구가 활발해 지고 있으나, 광쌍안정메모리에 의한 시분할 광교환 방식은 신호를 bit-by-bit로 입출력해야 하므로, 셀 단위 스위칭에는 대용량 광버퍼메모리가 없이는 불가능하다. 반면에 광섬유지연선(fiber delay line)은 bit-rate에 trans-parent 하고, 장치가 매우 간단하여 초고속신호의 셀 단위 스위칭에 매우 유리하나 부피가 커서 대규모 교환시스템을 구성하는 데에는 제약이 따른다.

파장분할 광교환방식은 일정한 파장으로 입력된 광신호를 다른 파장으로 변환시키는 것에 의해 교환을 이루는 것으로, 각 회선의 전송속도와 무관하게 교환을 수행할 수 있고, 회선교환을 위한 스위칭 동작이 반드시 고속으로 이루어질 필요가 없다는 점과 광의

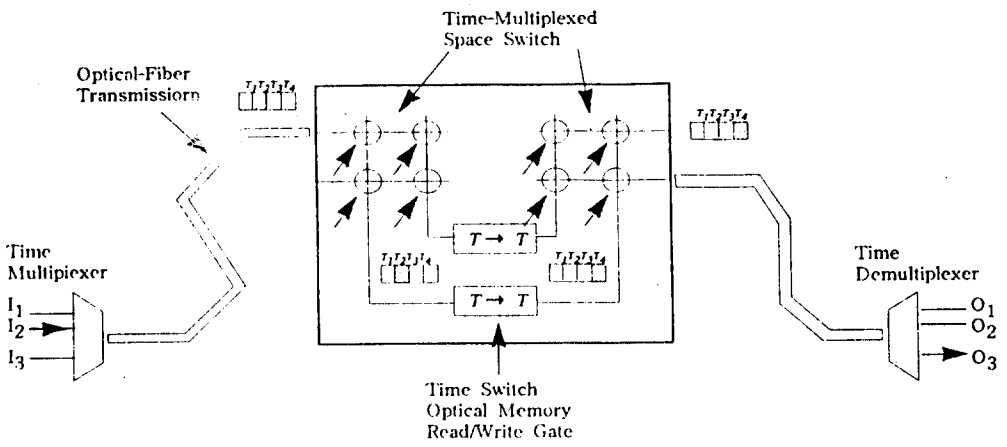


그림 5. 시분할 광교환의 기본 원리

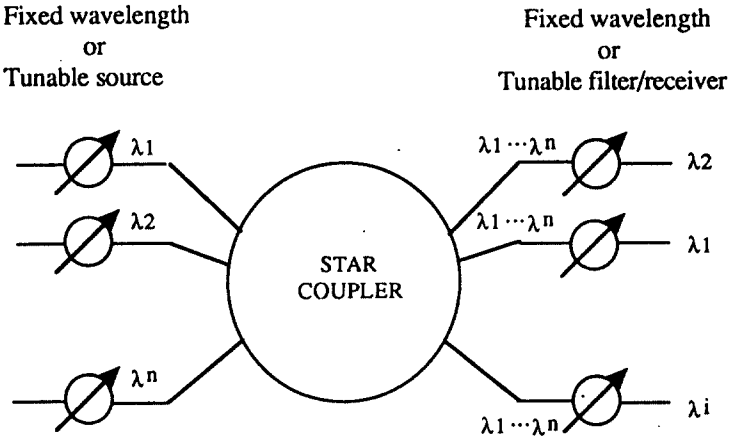


그림 6. 파장분할 광교환 방식의 기본원리

병렬성을 충분히 활용할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있으므로, 망차원의 대규모 광대역교환 시스템을 실현하는데 있어 유력한 방식으로 주목되고 있다. 파장분할 방식에서 교환 가능한 회선용량은 파장다중화의 수에의해 결정되며, 파장다중화의 수는 채널간 파장간격, 변조가능한 파장범위에 의해 결정된다. (그림 6)은 파장분할방식의 기본 개념도이다. 그림에서 보는 바와 같이 파장분할 광교환에서 가장 핵심이되는 광소자는 파장변환기와 가변파장필터 등이다. 광전변환과정을 거치지 않는 파장변환소자는 아직 초기연구단계이며, 가변파장필터의 대표적인 것으로는 Fabry-Perot 에탈론 필터와 코히런트 광검출에 의한 파장가변 DFB LD(Distributed Feed Back Laser Diode)필터 등이 있다.

파장분할 광교환방식에 코히런트 광수신 기술을 도입하면 수신감도 향상뿐 아니라 회선간 선택도(selectivity)를 크게 증가시킬 수 있으므로 회선용량을 대폭적으로 증가시킬 수 있는데 1000회선 이상의 회선교환이 가능한 것으로 보고되고 있다. 이러한 파장분할 광교환방식은 광파장다중 전송 및 코히런트 광전송기술의 발전과 보조를 같이 할 것으로 예상되며, 전송이 파장다중방식으로 진화하면 교환에도 결국 파

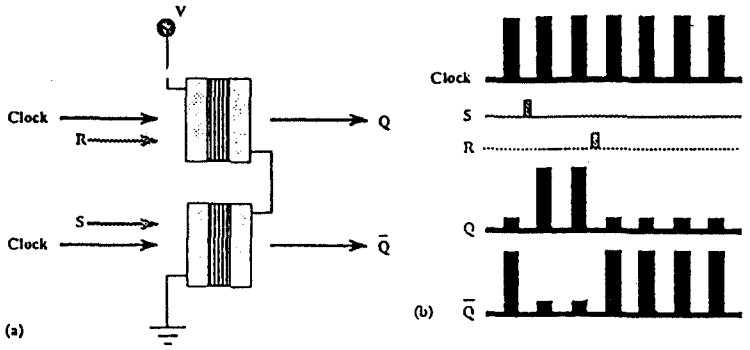


그림 7. S-SEED 소자의 동작원리(S-R latch)

장다중 방식의 도입이 유리해질 것으로 생각된다. 광교환방식에서 공간, 시간, 파장영역은 서로 독립적인 다중화 방식을 제공하므로, 이들을 혼합 사용하는 하이브리드 방식에 의해 회선용량을 크게 증대시킬 수 있어 많은 연구가 진행되고 있다. 예를들어 파장/시간분할 하이브리드 광교환방식에 있어 파장 다중화수를 n, 공간 다중화수를 m이라 하면 전체 다중화 수는 n x m이 된다.

공간분할 방식의 광교환이 1차원 배열을 갖는 입출력 광신호를 평면적인 2차원 공간상에서의 광신호의 교환이 이루어지도록 하는데 반하여, 자유공간 광교환은 2차원으로 배열된 입출력 광신호를 3차원 자유공간상에서 교환이 이루어지도록 하는 것으로, 광이 갖는 비간섭특징을 이용하는 방식이라고 할 수 있다. (그림 7)은 3차원 광교환을 위한 대표적인 소자인 S-SEED(Symetric SEED)의 동작원리를 나타낸다. AT&T Bell 연구소에서는 최근 32×32S-SEED)를 이용하여 55.7 Kbps 신호를 32회선 교환시범한 결과를 발표한 바 있다. 이러한 자유공간 광교환방식이 통신시스팀에 적용되기 위해서는 스위칭속도의 향상, S/N비 향상등 아직도 많은 노력이 더 필요하지만 대규모 회선교환을 가능케 하는 새로운 방식으로 주목받고 있으며, 광교환뿐 아니라 광컴퓨팅 등에서의 응용이 기대되고 있다.

Ⅲ. 광교환 소자기술의 현황

(표1)에 교환방식에 따른 주요 광기능 소자들을 분류하고 현재의 기술수준을 나타내었다.

$LiNbO_3$ 매트릭스 광스위치는 Benes형 16×16 스위치가 보고된 것중 가장 큰 규모이다. InP, GaAs와 같은 Ⅲ-Ⅴ족 반도체 스위치는 현재 4×4규모의 매트릭스 스위치가 개발되고 있다. 교환용량을 크게하기 위해서는 스위치의 집적도를 크게하고 스위칭속도를 증가시켜야 하는데, $LiNbO_3$의 경우 광결합을 일으키기 위한 도파로길이×전압 값이 90mmV로, 대규모 집적화가 어려워 현재의 16×16 스위치 규모가 실용화 한계인 것으로 보인다. InP및 GaAs인 경우는 크기를 $LiNbO_3$에 비해 1/3 정도로 줄일 수 있으며, 반도체 광증폭기를 함께 집적할 수 있어 고집적화가 가능할 것으로 기대되나, 자연 광방출에 의한 잡음의 증가가 해결해야 할 가장 큰 문제로 지적되고 있다. 스위칭속도 측면에서 보면 $LiNbO_3$ 가 단위 광스위치에서는 10GHz정도까지 스위칭이 가능하여 가장 우수한 특성을 보이고 있으나, 스위치 규모가 커지면 수십 volt의 높은 구동전압을 요구하게 되고, 스위칭 속도를 크게 감소시키는 단점을 지닌다. GaAs, InP등은 현재 커플러형인 경우 1-2GHz 수준의 스위칭 속도를 보이고 있으나, 구동전압 감소 및 집적도 향상을 위하여 초격자구조를 사용하는 방법 등이 연구되고 있다.

한편 전류주입에 의한 굴절율 변화를 이용하는 내부 전반사형인 경우 스위칭 속도는 약 200MHz로 느리지만 광도파로 모드, 편광방향, 파장 등에 덜 민감하므로 다른 다중화 방식과의 혼합사용시 유리한 장점을 지니고 있다. 이외에도 게이트 스위치가 연구되어 왔는데, InP 증폭기를 이용한 4×4 스위치가 보고되고 있다. 반도체 증폭기를 이용한 게이트 스위치는 자체적으로 증폭기능이 있어 고집적시에도 신호가

표1. 광교환 방식별 핵심광소자의 기술현황 및 향후 전망

방 식	핵 심 광 소 자	현 재 기 술 수 준	향 후 방 향
공간분할 (SD)	○ 광도파로스위치 -$LiNbO_3$ 스위치 -반도체 도파로 ○ 광게이트 스위치	 -16×16 Benes -GaAs, 4×4, 수백 MHz -InP, 4×4, DL amp, 수백 MHz	 -집적도의 향상 및 광증폭 소자의 집적 -반도체스위치의 속도향상
시 분 할 (TD)	○ 광메모리 -광쌍안정 LD	 -150 psec 상승, 하강시간	 -스위칭 속도향상 -어레이화 -저전력화
파장분할 (WD)	○ 파장안정레이저 ○ 파장가변레이저 ○ 파장가변 필터 ○ 파장변환레이저 ○ 광다중화/역다중화기	-<1MHz 선폭(DFB-LD) -6nm(DBR-LD) -40nm(광섬유링레이저) -10GHz 투과선폭, 40nm 가변 (F-P 필터) -3nm, ~Gbps(DBR-LD) -8×8 광도파로 커플러(SiO_2/Si)	-절대파장 안정화, 선폭축소 (<수KHz) -연속가변 및 가변 범위 확대 -LD파장변환범위 확장 (>THz) 및 선폭축소
자유공간 (FSD)	○ 2차원 광논리 게이트 어레이 ○ 2차원 LD 어레이	-32×32 S-SEED 스위칭속도 : 수백 MHz 스위칭에너지 : 2.5pJ contrast : 5 : 1 -2차원 표면발광 LD I_{th}<2mA	-contrast 개선 -스위칭속도개선
공 통	○ 광증폭기 -광섬유증폭기 -반도체증폭기	 -이득~30dB -이득~20dB	 -파장대역확장 -잡음제거 및 편광의존성 해소

약화되지 않는 장점이 있다.

시분할 광교환방식에 가장 중요한 소자는 광메모리로, 현재는 광쌍안정소자가 주로 연구되고 있다. 광쌍안정소자에는 광전궤환에 의한 하이브리드 형태의 것들도 있으나, 크기 및 속도의 제약때문에 광쌍안정 레이저 다이오드, SEED 소자및 광쌍안정 반도체에탈론 등이 개발되고 있다. 현재 광쌍안정 레이저다이오드를 이용한 광교환기 시제품이 시험되고 있는데 스위칭속도는 5GHz 수준이다.

파장분할광교환에서는 좁은 선폭을 갖는 파장안정레이저와 파장가변레이저, 파장가변필터, 파장변환기, 파장다중/역다중화소자 등을 필요로 한다. 파장안정레이저의 경우 현재 DFB LD에 의해 1MHz 이하의 선폭을 유지하는 수준이며, 절대파장 안정화를 위해 기체분자(메탄, 아르곤)의 흡수 스펙트럼을 이용하거나, ring oscillator 등의 간섭계를 이용한 광주파수 locking이 연구되고 있다. 이외에도 레이저 발진파장의 온도의존성 때문에 정밀한 온도제어와 구동회로가 중요한 관건으로 대두되어 이에 대한 연구가 병행되고 있다. 파장가변레이저로는 DBR(Distributed Bragg Reflector) LD, DFB LD와 광섬유 링 레이저(fiber ring laser)가 연구되어 왔다. 파장가변레이저에 있어서는 좁은 선폭을 유지하며 넓은 파장가변, 영역을 갖는 것이 중요한데, DBR LD의 경우 quasi CW로 6nm의 파장가변을, DFB LD의 경우에는 CW로 2nm의 파장가변을 할 수 있다. Er-doped 광섬유 링레이저의 경우에는 1.55μm 파장영역에서 45nm까지 파장가변영역을 나타내는 것으로 보고되고 있다. LD 증폭기를 이용한 능동형 파장가변필터의 경우 7.5GHz의 선폭을 가지며, 70GHz 변조범위를 갖는 것이 보고

되고 있으며, 30GHz의 투과선폭을 가지며 45nm 변조범위를 갖는 광섬유 F-P 에탈론 수동파장가변필터가 보고되고 있다. 수동파장필터의 경우 정밀한 온도제어에 의한 누화특성개선 및 회절격자구조 도입등이 연구되고 있다. 파장변 LD는 주입되는 전류에 의해 입력파장을 변환시키는 방법에 의해 400GHz의 파장변환범위를 갖는 DBR-LD가 보고되고 있다. 광다중화/역다중화기는 SiO_2/Si를 이용한 8×8 광도파로 커플러가 보고되고 있는데, 분기율의 균일화를 위한 thermooptic 조절이 가능하고, 광섬유와의 결합효율이 높은 평면광도파로 구조의 연구가 진행되고 있다.

자유공간분할 광교환의 구현을 위해서는 2차원의 논리 게이트어레이와 2차원의 레이저어레이가 필요하다. AT&T에서 발표된 32×32 S-SEED의 경우, 동작속도가 수백 MHz, contast비가 5 : 1 정도이고 스위칭에너지는 2.5 pJ 정도이다. 또한 양자샘(quantum well) 활성층과 다중 quarter-wave층 반사막을 사용한 수직형 공진기를 갖는 2차원 반도체레이저 어레이가 발표되고 있는데, 발진임계전류가 2 mA 이하이고, 변조속도는 5 Gbps까지 보고되고 있다. 자유공간 광교환 방식이 실용화되기 위해서는 2차원 소자기술 외에도 효과적인 광배선기술이 확보되어야만 한다.

대규모 광교환을 위한 하이브리드 모듈의 구성에는 광의 접속 및 분기에 따른 광신호의 약화를 보상해 주기위한 광증폭기를 필요로 한다. 광증폭기는 모든 교환방식에 공통적으로 필요한 소자로, 광섬유증폭기와 반도체레이저의 증폭기가 있다. Er-doped 광섬유증폭기는 이득이 30 dB 정도이고 잡음이 거의 없으며, 편광상태에 영향을 받지 않는등, 많은 장점을 가지고 있어 중계전송 시스템에서는 현재 실용화 단계에 와 있다. Er-doped 광섬유 증폭기의 동작파장범위가 1.55㎛ 대역으로 한정되어 있는데 비해 GaInAsP/InP 반도체레이저 증폭기는 1.0-1.6㎛의 넓은 파장대역에서 사용될 수 있지만 자연방출에 의한 잡음이 크고 광섬유와의 접속시 손실이 큰 단점이 있다. 반도체 증폭소자는 그밖에도 광논리 게이트, 게이트 스위치등 다양한 응용분야를 가지고 있어 최근 연구가 매우 활발한데, 잡음의 감소 및 편광의존성 극복을 위한 노력이 이루어지고 있다. 반면에 광섬유 증폭기는 펌핑광원의 안정화 및 증폭파장대역을 현재의 1.55㎛ 대역에서 1.3㎛ 대역까지 확장하려는 연구가 계속되고 있다.

Ⅳ. 광교환기술의 시스템 응용 전망

광교환은 광에 의해 신호가 전달되고 스위칭동작이 제어되는, 소위 전광(all-optical) 교환방식의 구현을 궁극적인 목표로 하고 있으나, 현실적으로 매우 어렵고, 전자제어 방식에 의한 광교환, 즉 신호의 전송매체는 광으로 하고 광신호의 제어는 전기적으로하는 방법이 실현될 가능성이 크다. B-ISDN에서는 155 Mbps 이상의 고속신호를 스위칭해야 하는데 이와 같은 고속신호처리를 위해서는 종래와 같이 bit-by-bit로 스위칭 하는대신 셀 단위로 스위칭하는 ATM 방법이 제안되고 있고, 향후 B-ISDN의 기본방식으로 권장되고 있는 추세임을 볼때 광교환은 결국 ATM 방식으로 구현될 전망이 크다. 광 ATM 교환은 광이 갖는 광대역특성을 최대한 살릴 수 있고 상대적으로 느린 속도로 스위칭해도 되는 반면 복잡한 라우팅과 셀간의 동기(synchronization) 제어 문제를 해결해야

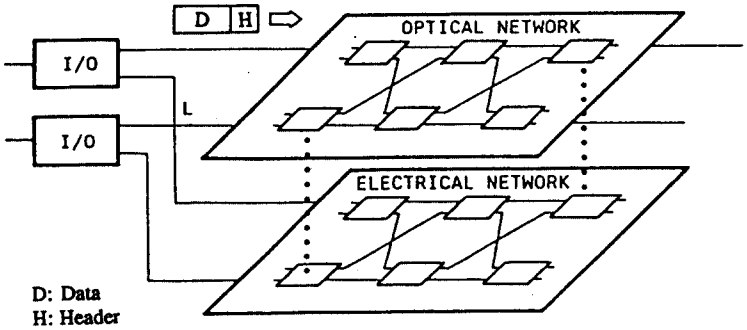


그림 8. 전자제어에 의한 광ATM 교환의 개념도

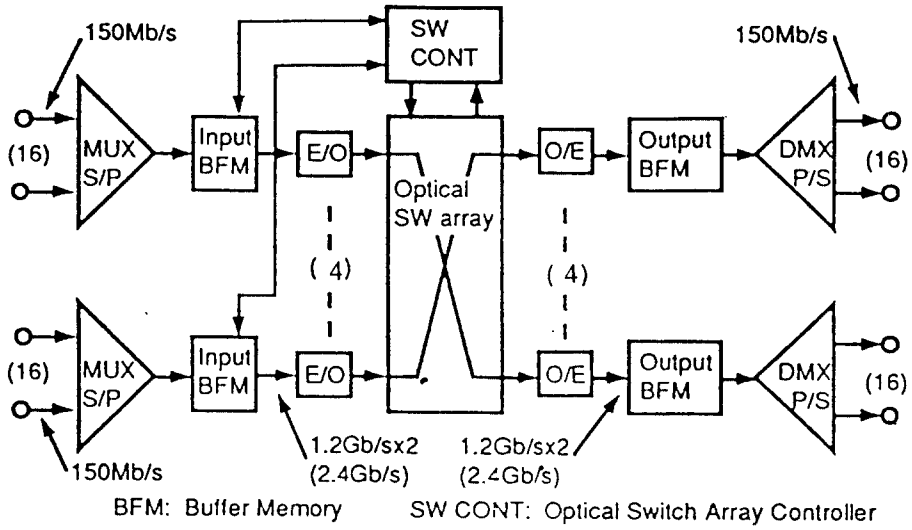


그림 9. 공간분할 스위치를 이용한 광ATM 교환기 예
(Hitachi, 1991, 참고문헌[23])

한다. (그림8)은 전자제어에 의한 광ATM교환의 개념을 나타내고 있는데, 이 경우는 공간분할 매트릭스 광스위치를 사용하는 경우이다. 광교환기술의 연구동향을 살펴보면, ATM 개념이 충분히 성숙되지 않은 초기단계에서는 광교환의 기본방식들의 시험 차원에서 STM(Synchronous Transfer Mode) 광교환에 관한 많은 연구사례들이 발표되었으나, 최근에는 차츰 광 ATM교환기에 관한 연구로 이행하는 추세에 있다.

광 ATM 교환은 공간분할방식, 시간분할방식, 파장분할방식이 모두 응용가능하며, 이들을 혼합한 하이브리드 방식도 검토되고 있다. 예로서, 일본의 Hitachi에서 시범한 광 ATM 교환기를 보면 (그림 9)에서 보는바와 같이 155 Mbps 신호를 8 : 1 시간다중하여 1.2 Gbps 신호를 만들고, 다시 이것을 2채널 파장다중하여 내부전반사형 4×4 InP 매트릭스 스위치를 통해 교환하므로서 결국 64×64 규모로 155 Mbps 신호를 처리하고 있다. 이 경우의 특징은 버퍼메모리를 포함한 제어부는 전자회로기술을 사용하여 수행하고 스위치 부분만을 최소규모(4×4)의 광매트릭스 스위치로 대체하는 것으로도 10 Gbps 수준의 상당히 큰 throughput을 처리할 수 있도록 한 점이다. 앞으로 반도체 매트릭스 스위치의 입출력 규모를 크게 할 여지가 많이 있고, 스위칭 속도도 이경우의 200 MHz보다 4-5배는 개선이 가능하여 100 Gbps 이상의 교환용량을 얻는 것도 그리 어렵지 않을 것으로 생각된다. 앞으로 광교환의 용량이 100 Gbps 이상이 되면 전자교환방식의 ATM 교환기에 대해서도 충분한 경쟁력을 가질 것으로 예상되고 있다.

광신호의 또하나의 장점은 매우 짧은 광펄스를 만들어 낼 수 있다는 것이다. 이 점을 이용한 광 ATM 교환기 시범의 예가 (그림 10)의 경우이다. 반도체레이저에서 생성되는 짧은 광펄스들은 패킷코더에서 데이타로 변조되고 압축된다. 이와 함께 느린 패킷 adress신호는 빠른 패킷 데이타와 파장다중화하여 스타 커플러에서 다른 입력 포트로부터 들어온 패킷들과 시간다중화되어 각 출구로 분배된다. 각 출구의 필터들은 패킷 adress를 분석하여 자기 adress와 일치하는 패킷만을 골라 통과시키고 버퍼에서는 각 패킷에 광섬유 지연선을 이용하여 적당한 시간지연을 주어 패킷 decoder가 다시 원래의 bit-rate로 환원되도록 해준다. 이 방법은 LD펄스폭에 따라 최대교환용량이 결정되는데, 현재수준 (~20 ps)으로 64×64 규모로 Gbps의 신호를 처리할 수 있을 것으로 예상된다. 이 구조는 광신호의 분기 및 접속점이 많아 손실이 매우 크다는 문제점을 안고 있어 광증폭소자의 사용이 필연적이다.

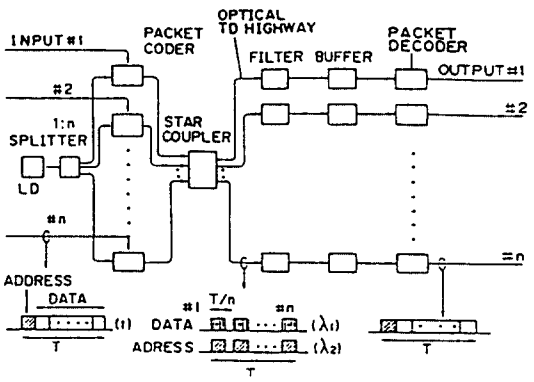


그림 10. 시분할 방식의 광ATM 교환기 구성예
(NTT, 1990, 참고문헌[24])

한편 광전송 분야에서 이미 100채널의 광파장 다중화 전송이 시범되고 있는 점을 고려하면, 광파장 다중화 채널수의 증가에 의한 교환용량의 획기적인 증대를 예상할 수 있다. 이 경우 광스위치는 넓은 파장대역에서 균일한 스위칭 특성을 지녀야 하므로 광파장 변화에 대해서 비교적 덜 민감한 내부전반사형, 혹은 LD 게이트 형의 스위치가 유력할 것으로 예상된다. 현재는 라우팅구조 및 파장변환방법에 따라 몇가지 방식들이 제안되고 있다. 광 ATM교환에서의 문제점은 광교환 방식의 선택, 라우팅과 셀동기 방법 등 구조상의 문제들도 쉽지는 않지만 이를 구현하기 위한 광소자기술의 확보가 관건이다.

지금까지의 광교환과 관련한 연구 동향을 종합하여 보면, 관련 광교환소자 기술의 성숙도, 시스템 구성의 융통성 등의 관점에서 공간분할방식의 광교환이 가장 먼저 실현될 수 있을 것으로 예상되며, 그 다음단계로 시분할 광교환 방식과 소규모의 파장분할 방식이 결합된 형태로 진화해 갈 것으로 예상된다. 한편 파장분할 광교환 방식은 대규모 광다중화 채널을 제공해 줄 수 있는 잠재력을 지니고 있지만 파장변환 소자, 파장가변필터 등, 관련 광소자의 개발이 어려워 본격적인 실용화까지는 시간이 필요할 것으로 보인다. 그러나 광전송 분야에서의 파장다중 전송 연구가 활발히 이루어지고 있는 점을 감안하면, 광전송 분야에서 파장다중 전송방식이 실용화되는 시점부터는 광교환에서도 본격적인 파장분할 광교환의 도입이 본격적으로 이루어질 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. "Thends in Photonic Science and Technology : Implications for Photonic Switching," P.W.E. Smith, Proceedings of the International Topical Meeting on Photonic Switching, Kobe, April (1990).
2. "Trends in Electronic Communication Switching Technologies," T. Aoki, Proceedings of the International Topical Meeting on Photonic Switching, Kobe, April (1990).
3. "광교환 기술의 발전동향," 이용탁, 한국통신학회, ISDN 교환망 기술세미나, 서울, 1990년 12월.
4. "Trends of Optical Switching," Y. Shimazu, 대한전자공학회, 광교환 Workshop, Nov. (1990).
5. "Guided-Wave Switching Devices," L. Thylen, Proceedings of ECOC(invited papers), Paris, France, 109(1991).
6. "Photonic Space-Division Switching System for Broadband Services," S. Suzuki, et al., Proc. of XIII International Switching Symposium, 153 (1990).
7. "An 8mm Length Nonblocking 4×4 Optical Switch Array," H. Inoue, et al., IEEE Jour. of Selected Areas in Comm. 6(7), 1262(1988).
8. "Silica-Based Singlemode Waveguides on Silicon and Their Application to Guided-Wave Optical Interferometers," N. Takato, et al., J. Lightwave Tech., 6 (6), 1003(1988).
9. S. Masuda, et al., OSA proc. on Photonic Switching, 286 (1989).
10. S. Suzuki, et al., IEEE Lightwave Technol., LT-4, 894 (1986).
11. H. Uenhara, et al., Solid State Device and Materials, Sendai, 553 (1990).
12. "시분할, 주파수 분할 광교환," 이용탁외, 대한전자공학회, 광교환 Workshop, Nov. (1990).
13. "Optical FDM Technologies for Future Lightwave Networks," K. Nosu and H. Toba, Proc. on Photonic Switching, Kobe, Japan, 250 (1990).
14. "Performance Consideration on High Capacity Optical FDM Networks," K. Nosu and H. Toba, Clobecom 88, 156 (1988).
15. "Multiwavelength Networks and New Approaches to Packet Switching," IEEE Comm. Mag, 25

(1989).
16. "Exploitation of the Wavelength Domain for Photonic Switching in the IBCN," J.M. Gabriagues and J.B. Jacob, Proc. of ECOC(invited papers), Paris, France, 59 (1991).
17. "Dense FDM Coherent Optical Switching System," B. Glance and O. Scaramucci, Proc. on Photonic Switching, Kobe, Japan, 266 (1990).
18. "Gigabit Operation of a Wavelength-Conversion Laser," K. Kondo, et al., Proc. on Photonic Switching, Kobe, Japan, 266 (1990).
19. "Architectural Considerations for Photonic Switching Networks," H.S. Hinton, Jour. of Selected Arears of Comm. 6, 1209 (1988).
20. "A 128×128-channel free-space optical switch using polarization multiplexing technique," K. Noguchi, et al., 17th European Conference of Opt. Comm. TuC3-2 (1991).
21. "Two-Dimensional Array Microlasers for Photonic Switching," J.L. Jewell, et al., Proc. on Photonic Switching, Kobe, Japan, 14 (1990).
22. "Photonic Parallel Memory," Matsuda, et al., Proc. on Photonic Switching, Kobe, Japan, 20 (1990).
23. "A New Timing Architecture for Optical ATM Switching Systems," Y. Takahashi and T. Amada, Proc. on Photonic Switching, Kobe, Japan, 304 (1990).
24. "Ultrafast Photonic Packet Switch with Optical Output Buffer," Y. Shimazu, et al., Proc. on Photonic Switching, Kobe, Japan, 292 (1990).

李 用 卓

• 1977년 서울대학교 응용물리학과, 학사
• 1979년 한국과학기술원 물리학과, 석사(광학)
• 1990년 한국과학기술원 물리학과, 박사(광전자학)
• 1979-현재. 한국전자통신연구소 근무, 책임연구원
광통신연구실, 광전자연구실장 역임.
현재 화합물반도체연구부 연구위원
• 1986년-1987 동경대학 전자공학과 객원연구원