

광고환 방식의 종류 및 특성

元 容 俠

韓國電子通信研究所 光交換研究室

I. 서론

새로운 정보의 전송 매체로서 광섬유가 성공적으로 도입된 이후 많은 사람들은 광고환 분야에서도 유사한 성공을 거둘 수 있으리라 생각해 왔다. 또한, 미국, 일본 등 선진 각국은 21 세기초에 건설을 목표로 하는 광대역 종합정보 통신망(B-ISDN)의 핵심기술로서 광통신 및 광고환기술 개발에 박차를 가하고 있다. 광고환기술은 크게 두개의 방향으로 발전되어 가고 있다. 그 하나는 광고환소자의 기술이고 다른 하나는 광고환 시스템 구성기술이다. 이상의 두 기술은 전혀 다른 배경에서 시작되어 각기 별도로 발전되고 있지만, 다른 한편으로는 두 기술을 상호 통합하는 연구도 함께 이루어지고 있다. 세계적으로 1985년경부터 본격적으로 광고환기술이 개발되기 시작하여 많은 광고환 관련 Topical Meeting이 개최되고 있으며, 여기에서 발표되는 논문도 광소자와 시스템으로 나뉘어 비슷한 비중을 보이고 있다. 광고환소자 기술은 전기광학효과와 비선형 광학효과를 일으키는 LiNbO₃, 반도체, 폴리머 등의 물질의 개발과 이를 이용한 광 매트릭스 도파로 소자, 파장가변 소자 등의 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 주로 스위칭 속도를 증가시키고 손실 및 누화(crosstalk)를 최소화하는 방향으로 연구되고 있다. 광고환 시스템 구성기술은 소자기술에 상당한 영향을 받고 있지만 기존 전자식 교환 시스템의 개념을 부분적으로 도입하거나 관련된 광학소자의 특성을 최대한 살려 광학의 고유한 특성인 고속성 및 병렬성을 이용하는 방향으로 발전되어 가고 있다. 그러나, 결국, 경제성과 신뢰성이 있는 광소자의 개발이 광고환시스템 기술의

커다란 관건이 되고 있다. 광고환 방식에는 공간분할, 시간분할, 파장분할, 자유공간분할 등으로 특성화 되고 또한 두가지 이상의 교환방식이 혼합될 수도 있다. 따라서, 본 고에서는 이러한 각 광고환 방식의 특성을 시스템 연결방법 및 관련소자를 간략히 소개하는 형식으로 비교 분석해 보고자 한다.

II. 기본 스위칭 방식의 특성

1. 공간분할 스위칭 방식

1) 연결망의 기본구조

공간분할 스위칭망에서는 입력과 출력이 2차원의 공간상에서 실제적인 유도선(guided path)으로 연결되는 것이 특징이다. 연결망의 모양은 유도선의 구성방법에 따라 달라지게 되며, 스위칭망에서 새로이 연결망이 추가될 때는 또다른 물리적 공간이 필요하게 된다. 이제 기존 전자공학의 집적도 기술을 이용하여 대단위의 공간적 연결망의 구성도 가능하게 되었다. 연결망을 구성방법에 따라 분류해 보면 partial connection, full connection, rearrangeably nonblocking, wide-sense nonblocking, strictly nonblocking, redundant strictly nonblocking으로 구분되고 맨 처음 partial connection에서 마지막 redundant strictly nonblocking으로 이동할수록 통신의 충돌(contention) 가능성이 줄어든다. 이러한 연결구성 방법은 모두 지점 대 지점 통화 또는 방송형태의 교환망에의 적용이 가능하다. 이 중에서 partial connection은 가장 간단한 형태의 연결구성 방법으로 많은 제한점을 가지고 있으나, 대단위 연결구성망의 기본단위가 될 수 있으므로 많이 이용되고

있다. Partial connection은 각 입력점과 출력점이 모두 연결된 구조가 아니므로 임의의 입력점에서 특정의 출력점으로서의 연결이 불가능한 경우가 생긴다. 반면, full connection은 일단 모든 입력점과 출력점이 연결되어 있으므로 각 입력점에서 각 출력점에서의 통화가 가능하다. Shuffle, Crossover, Baseline, Banyan 등이 이 구조의 범주에 들어간다.¹ 그러나 이 구조에서도 이미 입출력간에 연결 path가 존재한다면 이후의 다른 연결 path의 blocking이 생길 수 있다. Rearrangeable non-blocking 연결구조는 이러한 문제를 해결하기 위해 고안된 구조이다. 즉, 이미 연결된 path를 적절히 재조정하면 이후의 다른 연결 path상의 blocking을 해소할 수 있다. 이 외에 wide-sense nonblocking 이나 strictly nonblocking 구조는 기존 path의 유무에 관계없이 항상 nonblocking을 보장한다. 더 나아가, redundant strictly nonblocking구조는 완벽한 nonblocking을 보장할 뿐만 아니라 몇개의 스위칭 소자가 고장이 났을때도 어느정도까지는 nonblocking을 보장할 수 있는 여유를 가지고 있다. 그러나, Rearrangeable nonblocking 구조가 wide-sense nonblocking이나 strictly nonblocking구조 보다는 스위칭 소자를 적게 사용하는 잇점이 있어 보다 많이 이용되고 있다.

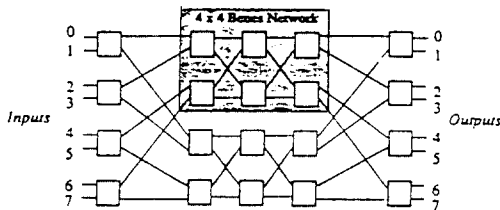
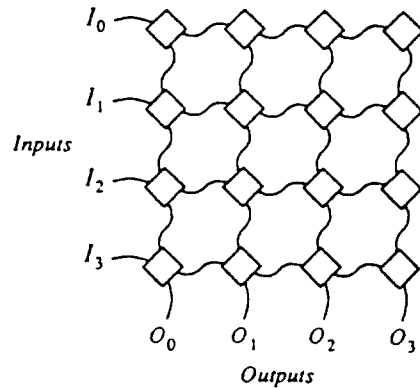


그림 1. 8×8 Benes 연결망(rearrangeable nonblocking network)

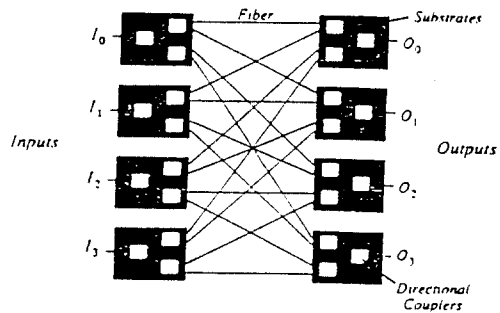
그림1은 8×8 rearrangeable Benes network을 나타내고 있다. 이것은 두개의 4×4 network를 연결하여 확장한 것이고, 반복해서 계속 확장해 나갈 수 있다. N×N Benes network는 $2\log_2(N)-1$ 개의 세로줄이 필요하고 각 세로줄에는 (N/2)개의 스위칭 소자가 필요하다. 실제적으로 64×64 crossbar (wide-sense non-blocking) network 인 경우 4096개의 2×2 스위칭 소자가 필요 하지만, Benes

network(rearrangeably nonblocking)에서는 오직 352개의 소자만을 필요로 하므로 rearrangeably nonblocking 구조가 훨씬 경제적임을 알 수 있다.

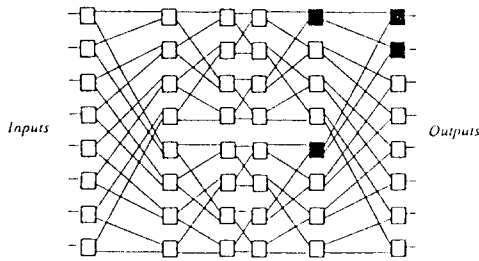
2) 광도파로 공간분할 스위칭 시스템의 주요 파라메타 대부분의 공간분할 스위칭 구조는 2×2 광도파로형 방향성 결합기를 이용하여 구성된다. 이러한 구조에서 시스템의 성능을 크게 좌우하는 파라메타로서 손실, 누화, 사용된 결합기의 갯수 등을 생각할 수 있다. 비교대상이 되는 연결구조로서, 방향성 결합기를 이용한 crossbar구조(그림2(a)), Router/Selector 구조(그림2(b)), Benes구조(그림2(c))들을 들 수 있고, 이 구조들은 차례대로 wide-sense nonblocking, full connection, rearrangeable nonblocking 구조의 연결망에 속한다.



(a) 방향성 결합기를 사용한 4×4 crossbar 구조

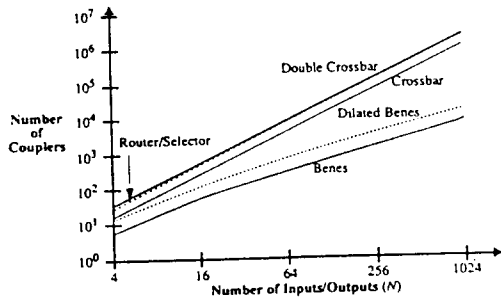


(b) 4×4 Router/Selector 스위치 구조

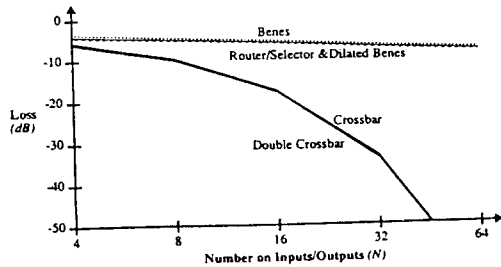


(c) 8×8 dilated Benes 연결망

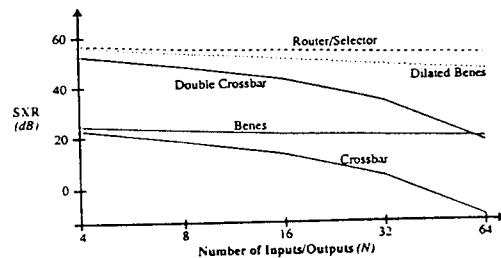
그림 2. 시스템 파라메타 비교를 위한 스위칭 시스템



(a) 각 구조별 사용된 결합기의 수



(b) 각 구조별 손실특성



(c) 각 구조별 신호 대 누화비(SXR) 특성

그림 3. 공간분할 스위칭 시스템 구조에서의 주요 파라메타 비교

그림3(a)는 각 연결구조 내에서 사용된 결합기의 수를 비교한 것이다. Benes Type을 갖는 Rear-rangeable nonblocking 구조가 다른 구조에 비해 사용되는 결합기의 수가 가장 적으므로 가장 경제적인임을 알 수 있다. 그림3(b)는 각 구조별 손실을 비교한 것으로써 하나의 결합기의 손실을 -0.5dB , 광섬유/도파로 접속손실 -1.0dB 를 가정한 것이다. 시스템내의 총 손실은 대체로 광섬유와 도파로 사이의 접속손실과 방향성 결합기 및 그것에 연결되는 도파로에서 생기는 손실의 관계식에 의해 구해질 수 있고, 이 그림에서 crossbar구조를 제외한 다른 구조에서는 사용된 결합기의 수의 증가에 따른 손실의 변화가 거의 없는 반면 crossbar구조는 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이것은 crossbar구조에서의 손실은 결합기의 수에 선형적으로 비례하는 반면, 그 외의 구조에서의 손실은 사용된 결합기의 수의 \log_2 에 비례하기 때문이다. 따라서 대규모의 연결망을 구성하기 위해서는 결합기의 수가 \log_2 에 비례하는 구조를 택하든지, 아니면 광신호의 증폭이나 재생특성을 부가한 구조를 선택해야 할 것이다. ² 마지막으로, 그림3(c)에서는 신호대 누화비(SXR)를 결합기의 수의 증가에 따라 각 구조별로 비교 하였다. 여기서 하나의 결합기당 손실 및 누화를 각각 -0.5dB , -30dB 로 가정한다. 이 그림에서 crossbar와 double crossbar는 같은 모양의 곡선을 갖지만 double crossbar가 crossbar보다 30dB정도 균일하게 개선된 값을 보여주고 있다. Benes구조와 Dilated Benes구조 사이에서도 비슷한 경향을 보이고 있다. 결국, 32×32 이상의 스위치 어레이에서는 누화문제를 개선하기 위해 스위치 어레이 중간정도에 신호재생기 등의 누화방지 소자를 부착하여야 할 것으로 보인다. 그러나 광증폭기는 누화를 개선하는데 별 효과가 없다. 이상에서 살펴본 바와같이 교환 시스템을 구성하기위한 적절한 공간분할 스위치 구조를 선택하기 위해서는 사용되는 방향성 결합기의 수, 손실, 누화 등이 잘 고려되어야 할 것이다. 이 밖에 부가적으로 고려해야 할 사항으로써 스위치 내부의 전극설계, 임피던스, 폴라리제이션 등이 있고, 또한 온도, 습도 등도 시스템 설계에 함께 고려되어야 할 사항이다.

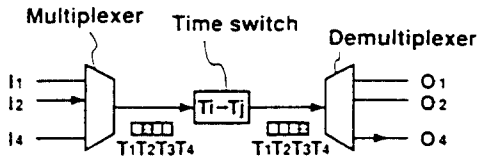
2. 시간분할 스위칭 방식

공간분할 방식은 초기의 광교환 시스템에서 상당히 기대되었던 방식이었고 아직도 소용량 광교환 시스

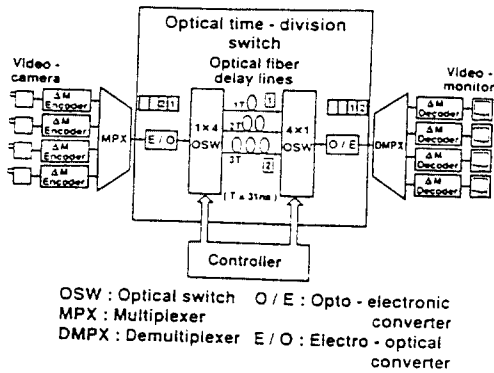
템에서는 현실성이 있지만, 대용량으로 확장 될수록 급격히 증가되는 광cross points와 광섬유 입출력을 감당해 내기에는 한계가 있다. 시간분할 스위칭과 파장분할 스위칭이 이러한 문제점을 해결할 수 있는 좋은 해결책이 되리라 본다. 또한 이러한 방식들은 광의 고유한 장점인 고속성과 병렬성을 이용할수 있을 뿐만 아니라, 시간분할 및 파장분할 광전송 시스템과도 호환성을 갖는다. 이 장에서는 시간분할 방식을 간략히 소개하고, 파장분할 방식은 다음 장에서 다루고자 한다.

그림4(a)는 기본적인 시간분할 스위칭의 개념도를 나타낸것이다. 입력신호 열(stream)은 다중화기(multiplexer)에서 시간적으로 다중화되어 시간 스위치(time switch)에 입력된다. 이때 시간 스위치에서는 다중화 되어온 각 입력신호들을 시간 상에서 서로 교환하여(time slot interchanging) 역다중화기(demultiplexer)에 보낸다. 이러한 다중화 및 상호 교환된 신호열은 역다중화기에서 다시 각각의 출력선으로 나누어 내보내어 지므로써, 결국 입출력간에 시간분할 스위칭이 완성된다.

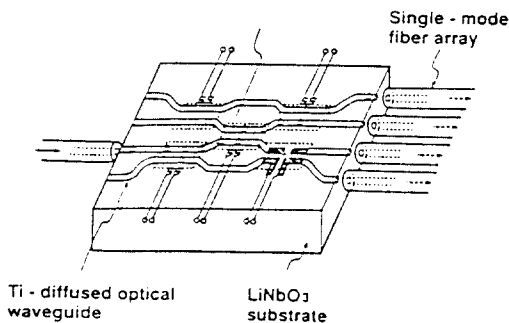
광학 시간스위치를 구성하기 위해서는 고속 광메모리 및 입출력 게이트가 필요하다. 광메모리로는 광섬유 지연선이 많이 이용되고 있고, 광쌍안정 메모리소자도 여러가지 형태로 개발되어 왔다. 고속 입출력 게이트로는 전광 스위치(electro-optic switch)나 레이저 다이오드 등이 사용된다. 그림4(b)는 1983년 세계최초의 시간다중 광스위칭 실험도의 개략도이며 광섬유 지연선과 방향성 결합기 스위치를 사용하고 있다. 카메라로 부터 들어오는 신호는 부호화기(encoder)를 통해 8Mb/s의 디지털 펄스열로 변환되고, 이어서 이러한 4개의 펄스열은 다시 다중화기를 통하여 32Mb/s로 다중화되어 E/O 변환기를 거쳐 광신호로 바뀌게 된다. 시간 다중화된 32Mb/s 광신호는 1×4 광 매트릭스 스위치에서 비트단위로 교환된 후 3개의 다른 광섬유 지연선 중의 하나에 입력된다. 예를들어 채널1과 채널2를 시간교환 하는 경우에는, 1×4 광스위치 내에서 E/O변환기의 출력이 채널1인 시간에는 1×T 광섬유 지연선에 연결되고, 채널2인 시간에는 1×3T 광섬유 지연선에 연결된다. 이러한 각각의 신호들은 4×1 광스위치에서 다시 교환되어 O/E 변환기에 연결된다. 이때 역으로 채널1시간 영역에서는 1×3T 광섬유 지연선이 연결되고, 채널2시간 영역에서는 1×T 광섬유 지연선이 연결되므로써 O/E 변환기의 출력은 새로운 신호배열로 다중화되어 역다중화기(demultiplexer)로 들어가고 다시 각각의 해당 decoder에 출력된다. 이 실험에 사용된 방향성 결합기 매트릭스 형태의 전기광학 스위치는 그림4(c)에 나타나 있다. 5개의 방향성 매트릭스 스위치와 연결된 도파로는 LiNbO3칩위에서 Zn확산 공정법으로 제작 된다. 하나의 광입력신호는 4개의 입력 도파로 포트 중에서 어느 하나의 포트에 입력되고 이때 각 광결합기의 출력은 해당 전극에 가해진 전압에 따라 X 또는 Y 값을 갖는다. 이것은 각 광결



(a) 기본 개념도



(b) 광섬유 지연선을 이용한 광 시간분할 스위칭 시스템



(c) 방향성 결합기 매트릭스 광 스위치

그림 4. 시간분할 스위칭

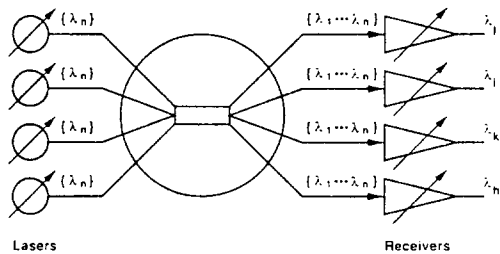
합기의 상태가 인가된 전압에 따라 cross state 또는 bar state로 변환되어 광의 경로가 달라지기 때문이다.

수 기가비트이상의 대용량 시간분할 광교환 시스템을 실현하기 위해서는, 우선 초고속의 광신호를 저장할 수 있는 광메모리가 있어야 하고, 광학적으로 스위치 제어가 가능해야 하며, 비트나 프레임의 동기회로가 가능하고 또한 광 다중화기 및 광 역다중화기가 필요할 것이다. 결국, 대용량 스위칭 시스템에서의 중요한 관건은 고속 이면서 완전히 광으로 제어가 가능한 기능소자가 실현되어야 한다는 것이다.

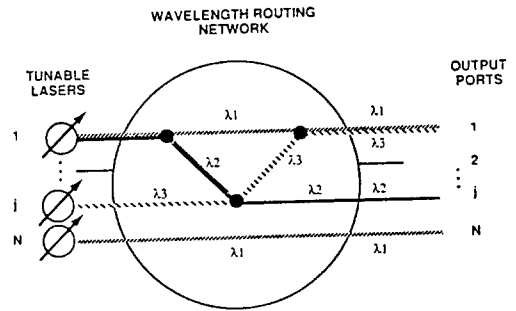
3. 파장분할 스위칭 방식

1) 파장분할 스위칭 기술

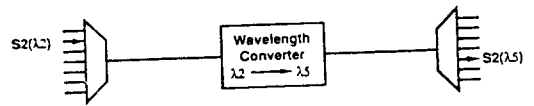
파장분할 스위칭 방식은 시간분할 방식에 비해 다음과 같은 두가지 장점이 있다. 첫째, 각 파장채널 사이의 스위칭이 전송속도에 무관하게 이루어 질 수 있다는 것과, 다음으로, 스위칭 제어회로에서 고속으로 동작시킬 필요가 없어진다는 것이다. 반면, 시간분할 방식에서는 시간상에서 광대역으로 다중화된 신호를 스위칭 하기 위해서 스위칭망에서 뿐만 아니라 스위칭 제어회로에서 초고속의 동작속도가 요구된다. 예를들어, 150 Mb/s신호의 32채널을 시간다중화하면 동작속도는 4.8 Gb/s까지 증가하게 된다. 그러나 파장분할 스위칭망에서는 수 밀리 또는 마이크로초 정도의 매우 낮은 속도를 갖는 종래의 전자회로를 충분히 활용할 수 있다. 더우기, 파장분할 스위칭 시스템은 파장분할다중(WDM) 전송 시스템과도 우수한 호환성을 가질 수 있는 장점이 있다.



(a) 방송형태의 스타형 광 스위칭 구조



(b) 파장 라우팅 연결구조



(c) 파장변환 스위칭 구조

그림 5. 파장분할 스위칭

파장분할 스위칭 방식에는 대체로 파장방송(broadcasting) 방식, 파장 라우팅 방식, 파장변환 방식 등이 있다. 그림5에서는 이러한 방식별 도형을 나타내고 있다. 우선, 파장분할 스위칭에서 가장 많이 사용되고 있는것 중의 하나가 그림5(a)의 스타형 연결구조로써, 이것은 파장방송 방식에 속한다.¹⁾ 스타구조의 입력은 여러개의 파장가변 레이저 다이오드 또는 각기 다른 파장으로 고정된 레이저 다이오드로 구성되어 있어 모든 파장의 신호가 스타형 결합기에서 결합되어 모든 출력점으로 방송된다. 이때, 각각의 출력점에서는 모든 파장의 신호를 포함하고 있으므로 각 파장가변 필터를 이용하여 필요한 특정파장의 신호만을 검출하여 광섬유로 실어 보낸다. 그림5(b)는 파장 라우팅형 연결구조로서 신호가 임의의 한 입력의 점에서 임의의 출력으로 연결 하고자 할때 파장과 입력점을 라우팅 도구로 사용하여 연결선을 결정하게 된다. 이때, N개의 입력과 N개의 출력으로 구성된 시스템에서 모든 입력과 모든 출력이 완전하게 연결 되려면 N² 개의 다른 파장이 필요하게 된다. 그러나, 서로 연결충돌이 발생하지 않도록 하는 범위에서 동일 파장을 재사용 할 수 있게 라우팅을 구성하면 오직 N개의 파장으로 충분하게 된다. 그림5(b)

에서 s_1 이 입력1과 출력1을 연결할 뿐만 아니라 입력N과 출력N을 연결 하는데 동시에 사용된다. 또한 s_2 는 입력1과 출력 j 를 연결하고, s_3 는 s_2 를 교차하여 s_1 과 만나 출력1로 나간다. 어떤 출력에서도 다른 입력점에서 오는 두개의 신호인 경우에 같은 파장을 갖는 경우가 없다. 이것은 출력점에서 파장 필터나 파장 역다중화기로서 여러가지 입력신호들이 분리될 수 있기 때문이다. 이상의 스타형태나 파장 라우팅 방식에서는 특정 파장으로 출력 어드레스가 결정되기 때문에 결국 가능한 파장의 수에 따라 독립된 파장 어드레스 또는 독립된 연결선의 수가 결정된다. 따라서, 이러한 방식에서는 패킷 스위칭이나 대단위 교환망 응용에서 많은 수의 파장이 필요하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해, 하나의 파장에서 다른 파장으로 변환 함으로써 광배선망을 유효적절하게 조절할 수 있다. 그림5(c)는 이러한 파장변환 스위칭의 개념도를 나타낸 것이다. 이것은 타임슬롯을 파장으로 대체한것 외에는 시간분할 스위치와 대동소이하다. 파장변환을 하기위한 구조는 여러가지가 있지만, 이 중에서 가장 간단한 방법은 입력된 특정파장의 신호를 검출하여 다른 제2의 파장에서 동작하는 레이저를 변조시키는 것이다.⁶ 이때, 제2의 파장으로 스위칭하기 위하여 파장가변 레이저 다이오드를 사용함으로써 임의의 제1의 파장에서 제2의 어떤 파장으로도 스위칭이 가능하게 할 수 있다. 파장변환을 위한 두번째 방법은 광검출과 파장가변 레이저 동작을 하나의 소자내에 결합시킨 광 쌍안정(bistable)특성을 갖는 레이저 다이오드를 이용하는 것이다.⁷ 입력된 광신호는 레이저를 트리깅하여 다른 파장의 레이저영역에서 동작할 수 있도록 하며, 이때 파장가변의 범위는 수 나노미터(nanometer)이내이다. 또 다른 파장변환 방법으로서, 주파수 변조된 광신호를 Mach-Zehnder 간섭계에서 광세기 변조된(intensity-modulated) 광신호로 변환한 뒤, 다시 이것을 다른 주파수에서 발진하는 분포피환(DFB: distributed feedback) 레이저 다이오드로 주입 시키는 방법이 있다.⁸ 이때, 주입된 광세기 변조신호는 레이저 발진에서 주파수 이동을 야기시키고 결국 주파수 변조의 효과를 얻게된다.

2) 파장변환 광소자

파장채널의 수를 늘리기 위해서는 가변 가능한 파장의 범위를 늘릴 뿐만 아니라 각 파장사이의 간격을 최소한으로 좁혀야 한다. 각 채널 사이의 간격은 수

신단이나 파장선택 스위치단에서의 특정파장을 선택할때(filtering) 문제되는 신호의 누화(crosstalk)에 의해 제한된다. 따라서, 레이저와 필터의 특성 모두에 의해 파장의 가능한 가변범위가 결정된다. 이러한 특성을 나타내기 위한 방법으로 다음 세가지 경우가 있을 수 있다. 첫째, 고정된 파장의 레이저와 필터의 경우를 볼 수 있다. 이 경우에는, 각 레이저와 필터는 하나의 파장 만 송수신 할 수 있으므로 많은 수의 파장을 스위칭 하기 위해서는 그만큼 많은 수의 레이저와 필터의 수가 필요하다. 따라서, 스위칭 가능한 파장의 수는 각각 특정파장을 내는 레이저가 필요할 수 만큼 구성된 어레이의 크기에 따라 달라진다. 또한, 레이저 어레이에서 가능한 파장의 폭은 레이저의 구성물질의 방출 스펙트럼에 의해 결정된다. 가령, $1.55\mu\text{m}$ 에서 동작하도록 설계된 양자우물레이저(quantum well laser) 구조에서 250nm까지 큰 값의 파장폭을 가질 수 있다.¹⁰ 고정된 파장의 필터도 일반적으로 매우 큰 파장범위를 수용할 수 있도록 설계될 수 있다. 두번째로, 파장 가변 레이저와 파장고정 수신기의 조합인 경우가 있다. 이 경우에는 레이저의 파장가변의 성능(tunability)이 최대 관심사이며 가변속도와 가변범위 사이에는 trade-off 가 존재한다. 표1은 파장가변 레이저의 기술현황을 요약한 것이다. 레이저의 종류는 대체로 4가지로 분류되는데, (1)grating을 이용한 외부공진기형 레이저, (2)음향광학(acoustic-optic)효과나 전기광학(electro-optic)효과 필터를 이용한 외부공진기형 레이저, (3) multisection 반도체 레이저 공진기, 그리고 (4)광 집적화된(PIC) 파장가변 레이저 어레이가 있다.⁹ 이 중에서 grating을 이용한 외부공진기형 레이저는 grating을 기계적으로 회전하면서 공진을 조정해야 하기 때문에 파장가변 범위가 제일 넓은 반면, 속도가 매우 느리다.^{10 11} 음향광학효과의 파장가변 레이저¹²는 반도체의 자연방출 스펙트럼의 넓은 파장 가변범위를 가지고 있는 반면, 전기광학효과의 파장가변 레이저¹³는 매우 좁은 범위를 가지고 있다. 그러나, 속도에 있어서는 음향광학효과의 파장가변 레이저가 음향파의 전송속도의 한계 때문에 약 $10\mu\text{s}$ 정도로 느린 반면, 전기광학효과의 파장가변 레이저는 ns(10^{-9} s)의 RC 시간상수에 해당하는 빠른 속도를 갖는다. 그 밖에 multisection 반도체 파장가변소자^{9 11}에서 전기광학효과의 파장가변 레이저 정도의 특성이 보고되고 있으나 아직 균일한 이득특성을 얻지 못

표 1. 파장가변 레이저의 기술현황

Configuration	Tuning Method	Tuning Range	Tuning Speed
Grating tuned external cavity laser	Mechanical	242 nm (d)	s
		200 nm (d)	s
		160 nm (c)	s
		154 nm (qc)	s
		105 nm (d)	s
		82 nm (c)	s
		55 nm (c)	s
Acousto-optical tunable laser	Electronic	70 nm (d)	10 μ s
		140 nm (d)	10 μ s
Electro-optical tunable laser	Electronic	7 nm (d)	~ns
Twin-guide tunable laser (TTG)	Electronic	7.1 nm (c)	~5 ns
Two-section DFB	Electronic	3.3 nm (c)	~5 ns
Three-section DFB	Electronic	2 nm (c)	?
Three-section DBR	Electronic	8-13 nm (qc)	10-20 ns
		4.4 nm (c) max	
PIC two-section tunable three-laser array with amp and combiner	Electronic	21 nm (d)	—

(c) Continuous tuning.

(d) Discontinuous Tuning.

(qc) Quasicontinuous Tuning.

표 2. 복수파장(Multiwavelength)의 레이저 어레이의 현황

Configuration	Number of Wavelengths	Wavelength Spacing
MW linear array	20	1-2 nm
MW PIC linear array with amplifier/combiner	4	2.5 nm
MW PIC linear array with modulators on each channel	4	0.5 nm
MW linear array	4	10-15 nm
	4	3 nm
MW surface emitting two-dimensional laser array	16	0.9 nm
	140	0.3 nm

표 3. 과장가변 필터의 특성

Technology	Tuning Range (nm)	Bandwidth (nm)	Number of Channels	Loss (dB)	Tuning Speed
Passive:					
Fabry-Perot etalon	50	<0.01	100s	5	μs
Fiber Fabry-Perot	50	<0.01	100s	5	ms
Mach-Zehnder	4.5	0.04	128	7	ms
Liquid crystal Fabry-Perot	50	0.2	50	7	ms
Polarization Conversion:					
Electro-optic TE/TM	16	0.6	≈10	5	ns?
Acousto-optic TE/TM	400	1	100s	5	10 μs
Active Semiconductor Amplifier:					
DFB	0.4-0.5	0.1-0.2	2-3	0	1 ns
Three-section DFB	0.6	0.025	8	0	ns

하고 있다. 레이저와 필터를 조합한 마지막의 경우로서, 고정파장의 레이저를 사용하고 과장가변인 필터를 결합한 경우를 볼 수 있다. 이 경우에서 가능한 채널의 수는 레이저의 방출범위(emission range)와 필터의 과장선택의 해상도에 따라 달라지며, 필터의 tuning 속도, 범위 및 해상도 사이에는 서로 trade-off 가 존재한다. 과장다중을 위한 광원으로서 제작기 다른 고정된 파장을 내는 레이저를 어레이 형태로 구성한 예와 과장가변 필터¹⁵⁾의 특성이 표2와 표3에 각각 요약되어 있다.

4. 자유공간분할 스위칭 방식

자유공간(free space) 광기술은 공간 대역폭을 확장하기 위한 광교환 시스템이나 또는 기존의 전자식 배선방식의 한계를 극복하기 위한 광배선(optical interconnection)에 응용될 수 있다. 이 방식은 공간분할 방식의 일종으로 분류될 수 있으나 공간분할

방식처럼 광도파로나 광섬유와 같은 유도된 경로를 통하여 스위칭이 되는것이 아니라 자유공간에서 빔의 형태로 임의의 방향으로 경로의 스위칭이 가능하다. 따라서 2차원적인 광배선 뿐만 아니라 3차원적 광배선도 가능 하므로 공간적 활용대역이 훨씬 넓어진다. 또한, 이것은 다단계 배선망(MIN: Multistage Interconnection Network)의 구현을 용이하게 함으로써 기존의 대역폭의 상한선을 무한히 증가시킬 수 있다. 공간분할방식의 시스템에서 주로 애널로그 소자를 사용하는 반면, 자유공간 방식에서는 일반적으로 디지털 스위칭 소자를 사용한다. 따라서 자유공

간 스위칭을 이용한 대용량 디지털 시스템에서의 설계방식이 공간분할 스위칭 방식 등의 애널로그 시스템과는 상당히 다르다는 것을 내포하고 있다. 예를 들어, 디지털 시스템에서는 각 게이트마다 신호를 재생하기 때문에 앞서 다루었던 공간분할방식 시스템에서의 누화비, 손실 등은 디지털 네트워크 설계에서 별로 중요하지 않을 수 있다. 또한, 공간분할방식에서 다루었던 2차원 배열의 연결망구조는 자유공간의 3차원 배열의 연결망구조로 변환될 수 있다.

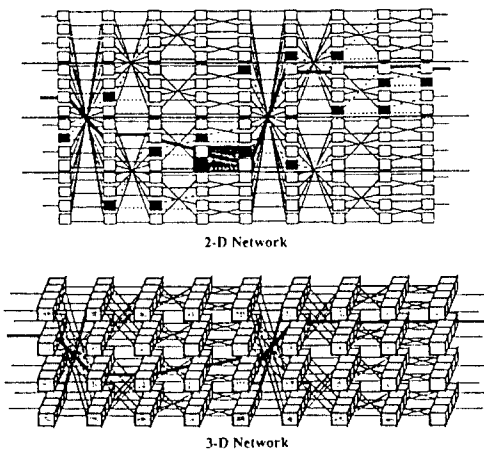


그림 6. EGS-crossover 배선망

그림6은 EGS-crossover (EGS: Extended Generalized Shuffle)의 2차원 배열이 3차원 배열로 변환된 모양을 보여준다. 이 연결망에서 사용될 수 있는 가장 단순한 형태의 디지털 노드는 2-Module이다. 이것은 enable 신호의 조건에 따라 노드에 입력된 정보가 다음 단으로 전달되기도 하고 차단되기도 하는 기능을 갖는다. 이러한 기능을 제공하는 소자로서 S-SEED(symetric self-electro-optic effect device) ¹⁰가 있다. 이 소자는 클럭신호(enable)의 유무에 따라 입력정보를 저장하기도 하고 다음 단으로 넘겨 주기도 한다. 그림7은 2-Module로 동작하는 S-SEED 소자를 나타낸다. 소자에 입력되는 신호는 서로 보상관계(set-reset)에 있는 두 입력신호와 클럭신호(enable)로 구성된다. S-SEED의 동작은 그림7(b)에서와 같이 두개의 입력신호의 비율에 따른 출력파워로 나타내어진다. 즉, enable신호인 클럭신호가 ON 상태이면 두 입력신호의 비에 따라 출력이 변화하고, 클럭신호가 OFF 상태이면 두 입력신호의 비에 관계없이 출력이 OFF 상태가 된다. 자세한 논리특성은 그림7(c)에 나타나 있다. 그림7에서는 S-SEED의 동작이 부과형으로 묘사 되었으나 실제로는 반사형이 이용가능성이 높다. S-SEED내의 각 입력에 해당되는 반사율이 보통 ON상에서 50%, OFF상태에서 15%정도이므로 출력신호의 명암비는 대략 3.2 정도가 된다. 그러나 이 소자의 명암비, 스위칭속도 등의 특성은 꾸준히 향상되고 있다. 그림6의 연결망에서 각 S-SEED에 입력되는 클럭신호의 유무에 따라 S-SEED의 blocking이 결정되므로 어떤 S-SEED가 클럭신호를 수신하도록 해야 하는지를 결정하기 위해서 SLM(spatial

light modulator)을 사용한다. 이 소자는 입력되는 광 클럭신호를 전기광학효과를 이용하여 전기적으로 제어하는 기능을 갖는다. 따라서, 대단위 2차원 배열의 광교환망(optical switching fabric)을 구성하기 위해서는 SLM과 S-SEED의 광학적 정렬(alignment)이 정밀하게 이루어져야 하고 2차원 광전집적회로(OEIC)가 구현 되어야 할 것이다. 최근에 자유공간의 광교환망의 핵심소자로서 소위 'smart pixel'이라 일컬어지고 있는 소자가 각광을 받고 있으며 광검출기로 구성된 입력부분과 변조기/마이크로 레이저로 구성된 출력부분이 함께 2차원으로 집적된 SLM소자의 기능을 나타낸다. 이 소자는 전자공학의 고도화된 전자회로 집적화 기술과 광학의 고속통신기능을 결합하여 보다 복잡한 광교환망 구현에 적용될 수 있다. 그림8은 smart pixel의 개념을 도시한 것으로서 단거리의 전기적 배선과 장거리의 광배선을 결합한 형태이다. 전자공학적 관점에서 보면 집적화된 전기적 회로에 광학 I/O가 첨가된 형태이고, 광학적 관점에서 보면 SLM의 pixel에 전기적 기능을 첨가한 형태를 나타낸다.

III. 혼합형 광교환 방식

이상의 각각의 교환방식은 목적과 상황에 따라 적절하게 선택되어야 할 것이지만, 실제적인 교환망을 구성할때는 각각 장단점이 존재하므로 두가지 이상의 방식을 혼합함으로써 단점을 해소하고 효율을 극대화할 수 있다. 첫째 예로서, 공간/과장분할 혼합형 광교환 방식이 있다. 순수한 공간분할 형태 만으로 대

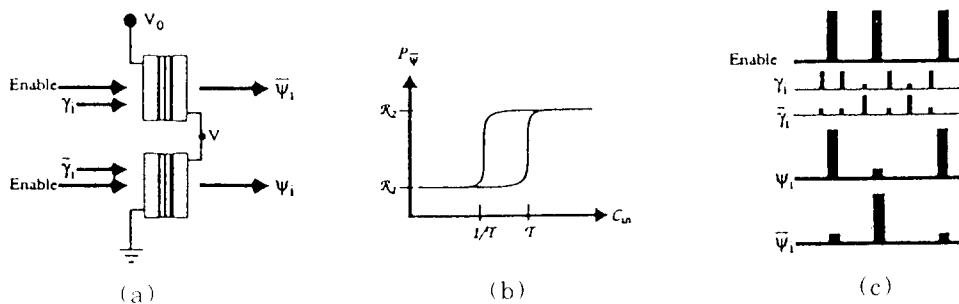


그림 7. 2-Module로 동작하는 S-SEAD 소자의 구조 및 특성

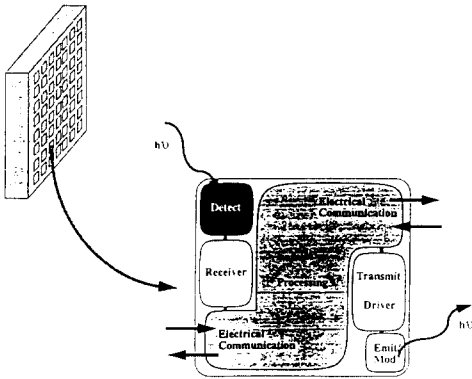


그림 8. 기본적인 smart pixel 특성을 나타내는 개념도

형 광고환망을 설계할때 많은 수의 교환소자가 필요하고 이에따른 링크단 수가 증가하게 되어 삽입손

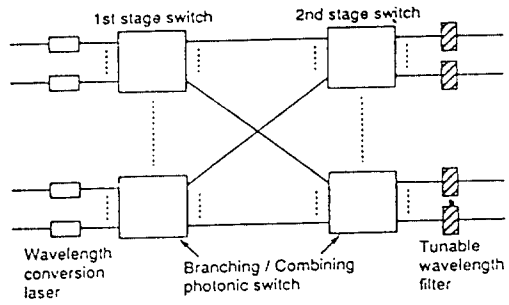


그림 9. 공간/파장분할 혼합형 광고환기

실과 누화의 문제가 심각할 때가 많다. 이러한 문제를 해결하기 위해 파장으로 다중화된 링크접속을 대체 할 수가 있다. 그림9는 다중화된 링크접속을 적용한 공간/파장 분할 혼합형 광고환기의 한 예를 보여

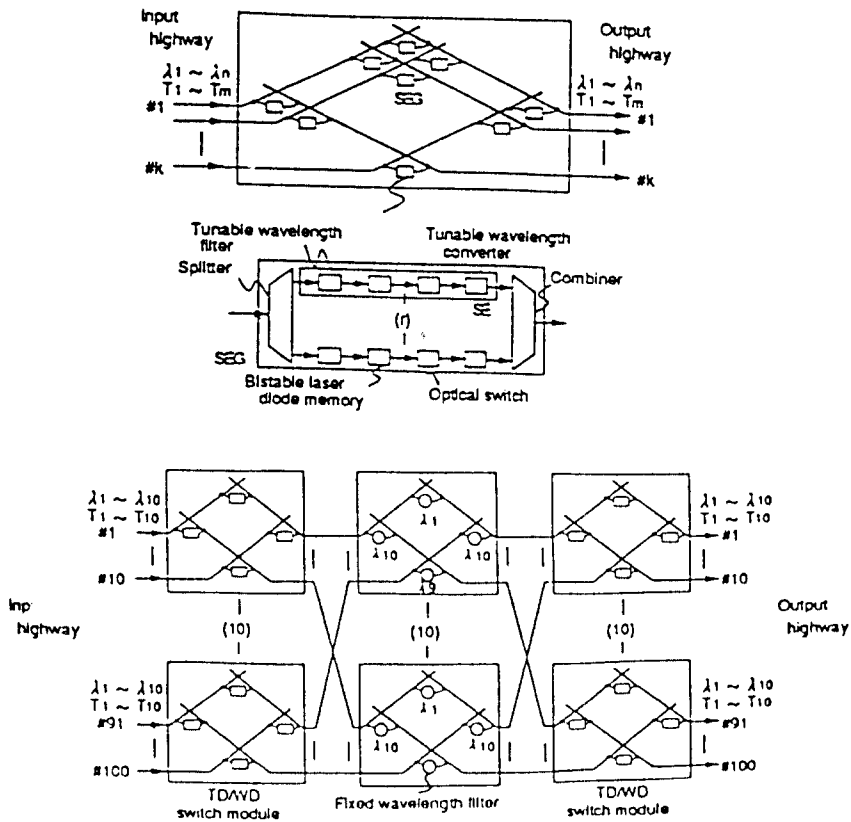


그림 10. 시간/파장분할 혼합형 광고환기

주고 있다.¹⁵ 이는 입력의 파장분기회로와 출력의 파장결합회로 사이에서 매트릭스형의 공간스위칭 기능을 가지며, 이러한 기능을 제공하는 각각의 광스위치 모듈사이에서 링크접속이 이루어진다. 파장변환 레이저는 각 입력에 부착되어 있고, 파장가변 필터는 각 출력에 부착되어 있다. 이 그림에서 처럼 연결망의 링크들이 여러 파장이 다중화된 신호를 운반하므로써 링크단 수와 교환소자의 수가 줄어든 간단한 구조의 교환망을 가능하게 한다. 또 다른 혼합형 스위칭 방식으로 시간분할과 파장분할 형태를 조합할 수 있다.¹⁶ 시간/파장분할 혼합형 스위치의 총 다중화의 정도는 각 스위칭방식의 다중화의 곱으로 나타나므로, 이 방법은 대용량의 다중화를 가능하게 하는 매우 유망한 방식으로 인정되고 있다. 예를들어, 시간분할 및 파장분할 스위치가 각각 8채널을 다중화할 수 있다면, 결국 64채널의 시간/파장분할 혼합형 스위치를 실현할 수가 있는 것이다. 그림10은 Fusitsu Lab.에서 제안된 시간/파장분할 혼합형 하이브리드 스위치의 예를 나타낸 것이다. 10개의 시간채널과 10개의 파장채널로 다중화되어 있는 10개의 입력모듈로 구성된 광교환망의 총 용량은 10,000 채널이 된다.

Ⅳ. 요약 및 결론


이상에서 광교환 시스템과 연결망을 구성하는 기본적인 방식을 살펴 보았다. 객관적으로 방식별 특성을 비교하는것은 약간 무리가 따르지만 그 장단점을 간단히 요약해 보기로 하자. 첫째, 공간분할 방식은 현재 가장 실현성이 높고 광대역의 특성을 직접적으로 이용할 수 있는 장점이 있으나, 대용량으로 nonblocking구조를 실현하기 위해서는 구조가 매우 복잡해지는 단점이 있다. Rearrangeable non-blocking구조는 하나의 좋은 해결책이 될 수 있다. 둘째, 시간분할 방식은 광의 가장 기본적인 속성인 고속처리 능력을 이용할 뿐만 아니라 다중화에 의한 하드웨어를 최소화할 수 있고 무엇보다도 기존 전송 시스템과의 정합이 용이하다는 장점이 있다. 반면, 단점으로는 광 타이밍 검출 및 위상동기의 어려움이 있고, 타임슬롯 인터체인지를 위한 광메모리의 실현이 매우 어렵다는 것이다. 셋째, 파장분할 방식은 광의 고유한 특성인 파장다중을 이용함으로써 저속도의

교환소자를 이용할 수 있고 파장 다중화에 의한 하드웨어의 최소화가 가능할 뿐만 아니라 기존 전송시스템의 WDM망과 접속이 용이하다는 장점이 있으나, 파장가변 레이저 및 파장가변 필터 등의 소자의 개발이 지연되어 시스템의 적용이 늦어지고 있다. 넷째, 자유공간 방식은 공간분할 방식의 일종으로 공간을 보다 효율적으로 사용함으로써 공간 대역폭을 늘릴 수 있는 혁신적인 방법으로 평가되고 있으나, 신뢰도가 높은 소자의 개발이 지연되고 있고 2차원 배열의 소자의 정밀한 광학정렬이 매우 어려울 뿐만 아니라 대용량의 교환망의 제어가 매우 복잡해지는 단점이 있다. 이상의 각 방식들은 각각 다른특성을 갖고 있지만 관련소자의 개발의 척도에 따라 향후 발전의 진도가 크게 좌우될 것임을 짐작할 수 있다. 물론, 위의 각 방식들은 개별적으로 사용되는것 보다 혼합하여 사용하는것이 훨씬 효과적일 것으로 평가된다. 그러나, 이 방법에서도 여러가지 방식을 혼합한 만큼 적용 가능한 소자의 구입의 어려움이 증가한다. 본고에서는 가장 기본적인 광교환방식의 서술에 그쳤지만, 결국 세계적인 추세로 보면 패킷형태의 광교환형태나 광 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 교환기의 실현을 목표로 연구되고 있으며 이러한 기본적인 광교환 방식들이 유효적절히 적용되고 있다. 광패킷 교환이나 광 ATM교환에서 다양한 서비스를 융통성있게 처리하기 위해서는 상당히 복잡한 셀처리 라우팅과 하드웨어가 필요하다. 현재의 기술현황은 이러한 복잡한 제어기술은 전기적으로 처리하고 고속 스위칭은 광학적으로 처리하는 Hypercuber 형태의 구조가 주류를 이루고 있으며, 이 후에는 완전광(All-optical) 형태의 ATM교환기가 가능해질 것으로 전망되고, 그 시기는 2000년대 초반에 도래할 것으로 보인다.

參考文獻

- [1] J.H.Patel, "Performance of Processor-Memory Interconnections for Multiprocessors," *IEEE Trans. Computers*, vol. 30, no.10, pp.771-780, Oct. 1989.
- [2] M.Fujiwara, et al, "Studies on Semiconductor Optical Amplifiers for

- Line Capacity Expansion in Photonic Space-Division Switching System." *J. of Lightwave Technology*, vol.9, no.2, pp.155-160, Feb. 1991.
- [3] H.Goto, K.Nagashima, S.Suzuki, M. Kondo, and Y.Ohta, "Optical Time-Division Digital Switching: An Experiment," Technical Digest *Topical Meeting on Optical Fiber Communication*, New Orleans, MJ6, 1983.
- [4] C.A.Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks: Principles and Applications," *IEEE J. of Selected Areas Communications*, vol. 8, pp.948-964, 1990.
- [5] N.Mehravari, "Performance and Protocol Improvements for Very High Speed Optical Fiber Local Area Networks Using a Passive Star Topology," *IEEE J. of Lightwave Technology*, vol.8, pp.520-530, 1990.
- [6] M.Fujiwara, N.Shimosaka, M.Nishio, S.Suzuki, S.Yamazaki, S.Murata, and K.Kaeda, "A Coherent Photonic Wavelength-Division Switching System for Broad-band Networks," *IEEE J. of Lightwave Technology*, vol.8, pp.416-422, 1990.
- [7] S.Yamakoshi, K.Kondo, M.Kuno, Y. Kotaki, and H.Imai, "An Optical-Wavelength Conversion Laser with Tunable Range of 31A," *Tech. Digest OFC'88*, New Orleans, PD10, 1988.
- [8] K.Inoue, "Wavelength Conversion for Frequency-Modulated Light Using Optical Modulation to Oscillation Frequency of a DFB Laser Diode." *IEEE J. of Lightwave Technology*, vol. 8, pp.906-911, 1990.
- [9] T.P.Lee, "Recent Advances in Long-Wavelength Semiconductor Lasers for Optical Fiber Communication," *IEEE Proc.*, vol.79, pp.253-276, Mar. 1991.
- [10] M.Notomi, O.Mitomi, Y.Yoshikuni, F. Kano, and Y.Tommori, "Broad- Band Tunable Two-Section Laser Diode with External Grating Feedback," *Photonics Technol. Lett.*, vol.2, pp.85-87, 1990.
- [11] M.Bagley, R.Wyatt, D.J.Elton, H.J. Wickes, P.C.Spurdens, C.P.Seltzer, D. M.Cooper, and W.J.Delvin, "242nm Continuous Tuning from a GRIN-SC-MQW-BH InGaAsP Laser in an Extended Cavity," *Electron. Lett.*, vol. 26, pp.267-269, 1990.
- [12] G.Coquin, K.W.Cheung, and M.M. Choy, "Single- and Multiple Wavelength Operation of Acousto-Optically Tuned Semiconductor Lasers at 1.3mm," *J of Quant. Electron.*, vo.25, pp. 1575-1579, 1989.
- [13] F.Heismann, R.C.Alferness, L.L.Buhl, G.Eisenstein, S.K.Korotky, J.J. Veselka, L.W.Stulz, and C.A.Burrus, "Narrow-Linewidth, Electro-Optically Tunable InGaAsP-Ti:LiNbO3 Extended Cavity Laser," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 51, pp.164-165, 1987.
- [14] M.Okai, S.Sakano, and N.Chinone, "Wide Range Continuous Tunable Double-Sectioned Distributed Feedback Lasers," presented at the 15th European Conf. on Optical Communication, Gothenburg, Sweden, 1989.
- [15] H.Kobrinski and K.W.Cheung, "Wavelength-tunable Optical Filters: Applications and Technologies," *IEEE Communications Magazine*, vol.27, pp. 53-63, Oct. 1989.
- [16] A.L.Lentine, et al., "Symmetric Self-Electro-Optic Effect Device: Optical Set-Reset Latch, Differential Logic Gate, and Differential Modulator/Detector," *IEEE J. of Quan. Electron.*, vol.25, no.8, pp.1928- 1936

- Aug. 1989.
- [17] M. Akiyama and M. Miyagi. "A Proposal of Space and Wavelength Division Composite Optical Switching System." *IEICE Technical Report*, OSW88-26, Feb. 1989.
- [18] S. Suzuki, M. Fusiwara, and S. Murata. "Photonic Wavelength-Division and Time-Division Hybrid Switching Networks for Large Line-Capacity Broadband Switching Systems." *Conf. Record GLOBECOM'88*, Hollywood, Florida, paper 29.2, 1988. 

筆者紹介



元 容 俠

1957年 3月 6日生

1978年 2月 울산공과대학 전자공학과(학사)

1981年 2月 서울대학교 전자공학과(석사)

1990年 8月 Cornell Univ. 전기공학과(박사)

1986年 1月 ~ 1990年 10月 Cornell Univ. Research Assistant.

1981年 12月 ~ 1985年 12月 한국전자통신연구소 광통신연구실.

1990年 10月 ~ 1992年 7月 한국전자통신연구소 기초기술연구부.

1992年 7月 ~ 현재 한국전자통신연구소 교환기술연구단 책임연구원,
광교환연구실, 실장.

주관심 분야 : Photonic Switching, Nonlinear Optical Devices, Quantum Well Structures, Optical Interconnection, Optical Computing.