

광교환기의 연구 동향

池 尹 圭

韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

I. 서 론

손실과 분광이 적은 광케이블은 한 지점과 다른 지점을 연결하는 광대역 통신에 성공적으로 사용되어 왔음은 널리 알려진 사실이다. 이 광케이블은 대륙 내의 광대역 장거리통신과 해저 광케이블 시스템에 널리 사용되고 있을 뿐만 아니라 local area network (LAN)에도 침투되고 있으며 앞으로는 가입자의 가정에 까지도 사용될 계획이다. 이와같이 광이 한 지점과 다른 지점사이의 광대역 통신에 매우 성공적으로 사용되고 있는데 반하여 광을 이용한 processing은 아직도 원시적인 단계에 있다고 할 수 있겠다.

그러나 광은 전자가 지니지 않은 독특한 특성이 있어 이 특성을 이용하면 매우 효과적인 시스템을 만들 수 있을 것으로 예측된다. 그 특성중의 하나가 광은 자유공간을 지나갈 수 있으므로 자유공간을 이용한 parallel processing이 가능하다는 점이다. 이러한 특성은 processing의 throughput을 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 2차원 평면의 image processing에 매우 효과적인 것이라는 자명한 사실을 내포하고 있다. 또 다른 장점은 광의 carrier frequency가 매우 높아 wavelength division multiplexing (WDM)에 유리하다는 점이다. Carrier frequency가 높으므로 매우 많은 channel을 WDM시킬 수 있다. 더구나 asynchronous transfer mode (ATM)가 표준화됨에 따라 ATM이 지니고 있는 정보중 교환기가 필요로 하는 정보의 각 bit들을 WDM하여 보내면 이 정보들을 동시에 processing할 수 있으므로 자유공간에서의 parallel processing과 같은 효과를 얻을 수 있다. 따라서 processing time을 최소화시킬 뿐 아니라 throughput도 증가시킬 수 있다. 또 하나의 장점은 광은

sub-picosecond의 매우 short pulse를 만들 수 있다는 것이다. 이 short pulse들은 매우 높은 bit rate로 time division multiplexing (TDM)이 가능하므로 이 특성을 이용한 processing도 생각할 수 있다.

지금까지의 광통신의 발달로 인하여 high capacity로 전송된 정보는 demultiplex 되어 교환기에서 교환된 후 다시 high capacity로 multiplex되어 전송되는 hybrid system 형태로 사용되고 있다. 광교환이 관심을 두어야 할 부분은 역시 이 high capacity data 들이 결집하는 곳으로서 실제로 미국의 AT&T Bell 연구소는 이곳에 관심을 두어 optical digital cross-connect system (ODCS)을 prototype으로 개발하기 위하여 노력하고 있다. 광교환이 앞으로 중요한 역할을 할 것으로 예상되는 또 하나의 곳은 broadband integrated service digital network (B-ISDN) 교환기 부분이다. B-ISDN은 데이터나 음성 뿐만 아니라 영상까지 포함하므로 각 가입자당 150Mb/s 정도의 매우 높은 data rate를 요구한다. 앞으로 이 B-ISDN이 보편화되면 상당히 높은 throughput이 요구되는 교환기가 필요하므로 광교환기가 사용 가능성이 있는 부분이 아닌가 예측된다. 본 고에서는 앞에서 서술한 광이 갖는 독특한 특성들을 이용한 광교환기의 연구 동향에 관하여 살펴보고자 한다.

II. Optical Digital Cross-connect System

Optical digital cross-connect system (ODCS)은 LiNbO_3 나 InP를 사용한 directional coupler 들을 이용해서도 제작 가능할 것이다. 그러나 LiNbO_3 를 이용한 ODCS는 상당히 큰 면적을 요구하므로 실용화 가능성에는 상당한 의문이 제기되고 있다. 미국의 AT&T Bell 연구소의 경우는 ODCS의 실현을 위해

지난 몇년에 걸쳐 prototype으로 symmetric self electro-optic effect device(S-SEED)^[1]를 이용하여 자유공간에서의 parallel processing이 가능한 시스템을 개발하고 있다. 이 시스템은 S-SEED가 logical function을 할 수 있으므로 ATM 교환기로의 발전이 가능할 뿐더러 후에 optical computer의 기초기술이 될 수 있다는 점에서 매우 중요하다 하겠다. 이 시스템의 구조는 그림 1에 나타나 있듯이 multistage interconnection network(MIN)이다.^[2] 입력 optical image가 optical interconnection network을 지난 후 beam combiner에서 spot array generator로 부터 얻어진 clock들과 결합된다. 이렇게 결합된 신호는 optical logic devices array에서 processing 되어 그 결과가 output image로 나타난다.

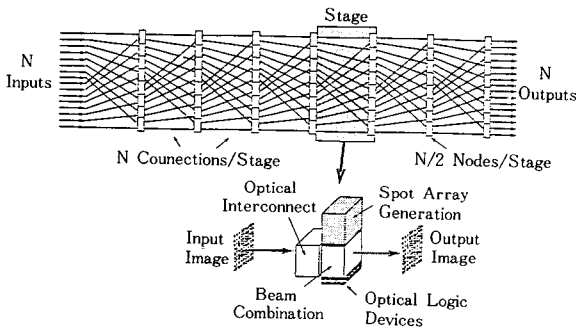
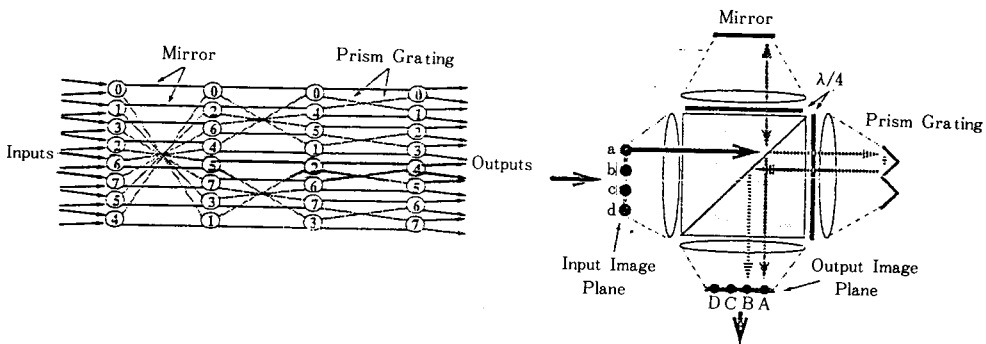


그림 1. Free space 광교환 fabric

입력 optical image는 surface emitting laser diode array로 부터 얻어질 수 있겠다.^[3] 이렇게 얻어진 input image는 perfect shuffle interconnection 방법으로 다음 단으로 연결되는데 이와 동등한 기능을 갖는 crossover interconnection network의 구현이 쉬우므로 그림 2에 보여진 바와 같이 crossover interconnection 방법으로 다음단으로 연결된다.

이때 input image의 각 pixel에는 polarization이 서로 다른 두개의 입력이 들어온다고 가정한다. 이 가정은 하나의 입력 image와 polarization이 다른 또 하나의 image가 결합되어 함께 들어옴을 의미한다. 그림 2에 표시된 crossover interconnection network은 3차원으로 전개가 가능하므로 그림 2(b)에 표시된 optics를 이용하여 쉽게 구현될 수 있다. Crossover interconnection network의 구현을 위한 optics는 polarizing beamsplitter(PBS), quarter wave plates, prism grating과 lens들로 구성되어 있다. Polarization이 서로 다른 두개의 input image들 중 하나는 PBS에서 반사되어 quarter-wave plate와 mirror를 지나 polarization이 바뀐 후 output image의 같은 점에 연결되고 또 하나의 image는 polarization이 다르므로 PBS를 통과한 후 quarter-wave plate와 prism grating을 거쳐 위치가 변한 다른 점에 투사됨으로 crossover interconnection이 이루어진다.

이 시스템에서 또하나의 중요한 요소는 spot array generation이다. 이것은 하나의 고출력 laser source로부터 각 S-SEED 소자에게 optical clock을 제공해주는 역할을 하는 부분이다. 여기서 bias 대신에



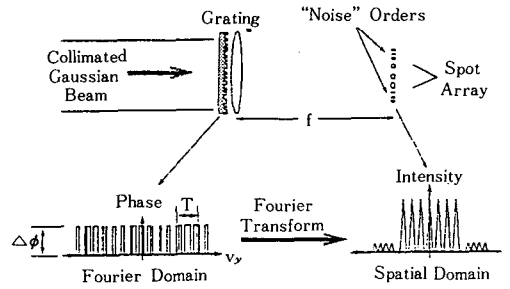
(a) Crossover network topology

(b) Crossover network implementation

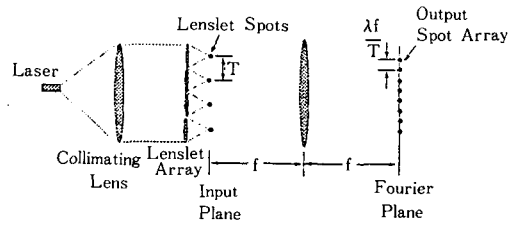
그림 2. Crossover interconnection network

clock을 공급해주는 이유는 optical signal 이 각 stage 를 지날때 S-SEED 소자들에서 갖는 손실을 보상해 주는 일종의 time sequential gain을 얻기 위함이다. Time sequential gain이란 그림 3에 표시된 바와 같이 clock laser의 power를 줄여서 loop가 작아지게 하여 적은 신호로 switching을 한 후 다시 clock laser의 power를 증가시켜 data를 읽음으로써 큰 출력을 얻을 수 있는 방법이다. 이를 위해서는 data의 속도보다 빠른 laser clock이 필요하므로 high speed, high power laser가 요구된다. 이와같은 laser로부터 spot array를 얻는 방법은 그림 4에 나타나 있다. 균일한 이차 평면의 spot array를 얻기 위해서는 여러가지 방법이 사용될 수 있는데 그 한 예로는 binary phase grating (BPG)을 이용하는 방법이 되겠다. 이 grating은 두께가 다르게 반복적인 패턴을 유리에 etching 함으로써 얻을 수 있고 이 grating을 그림 4(a)에 보여진 바와 같이 laser source에서 오는 plane wave로 비추어 줌으로써 초점 평면에 2-D array를 얻을 수 있다. 또 하나의 방법은 그림 4(b)와 같이 collimated source를 lenslet array에 비추는 후 optical Fourier transform을 수행하여 매우 촘촘하고 균일한 spot들을 초점 평면에 얻는 방법이다.

이와같이 하여 생성된 spot array와 input image들은 그림 5와 같은 beam combiner에서 결합되어 S-SEED array에서 processing 된다. Beam combiner 역시 crossover connector와 비슷한 구조로서 PBS, quarter-wave plate 및 그림 5(b)에 표시된 바와 같은 mask로 이루어져 있다. 입력은 역시 polarization 이 서로 다른 두개의 신호가 각 pixel 마다 들어오며 이

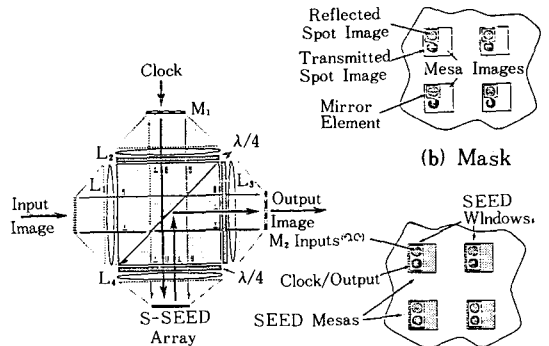


(a) Spot array generation using binary phase gratings



(b) Spot array generation using lenslet arrays

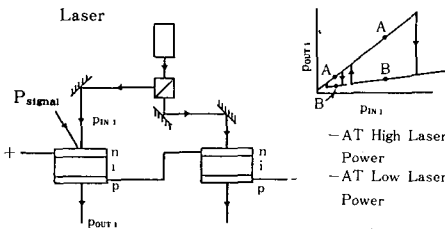
그림 4. Spot array generation 방법



(a) Beam combiner

(c) S-SEED Array

그림 5. Beam combiner



Time Sequential Gain

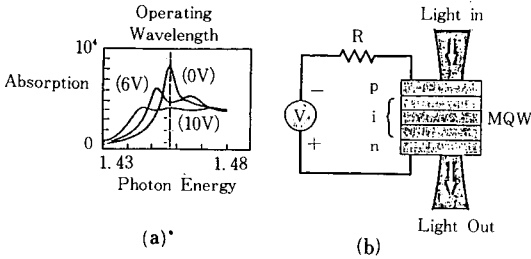
1. Reduce Laser Power-Loop Shrinks But Retains State A
2. Apply Small Signal Power-Change State A-B
3. Increase Laser Power-Read State B* at High Power

그림 3. Time sequential gain

중 하나의 신호는 PBS에서 반사되고 나머지 하나의 신호는 통과된 뒤 각각 quarter-wave plate를 지나 mask의 반사점에서 반사되어 polarization이 바뀐 후 S-SEED array에서 processing된다. Optical clock은 mask 1의 통과점을 지나 S-SEED의 clock spot에 투사되며 processing이 끝난 결과가 output mask의 통

과점을 통과하여 output image로 나타난다.

SEED 소자는 그림 6(a)에 보여진 바와같이 absorption이 소자에 인가된 전압의 크기에 따라 달라지는 특성을 이용한 것으로 SEED 소자에 그림 6(b)와 같이 역전압을 가해서 광을 투사하면 photocurrent가 증가하고 photocurrent가 증가하면 저항에 걸리는 전압이 커지므로 SEED 소자 자체에 걸리는 전압은 작아져서 absorption이 증가하는 이른바 positive feedback 현상이 일어나므로 optical bistability를 얻는 소자이다. 그림 6(b) 회로의 저항 대신에 또 하나의 SEED 소자를 연결한 것이 S-SEED로서 그림 6(b)에 비해 여러 가지 장점을 지니고 있다.^[1] 실제로 시스템에 이용 가능한 32×64 S-SEED array가 이미 제작되었다.^[4] 지금까지 설명한 free-space digital optics를 이용함으로써 새로운 구조의 high throughput 광교환기를 구성할 수 있고 실제로 이와같은 광교환기가 머지않아 AT&T Bell 연구소로부터 제작될 것으로 믿어진다.



Positive Feedback:
 • Increasing Photocurrent Gives Increasing Absorption
 • Increasing Absorption Gives Increasing Photocurrent

그림 6. SEED 소자

Ⅲ. ATM 광교환기

ATM cell은 5 octet의 header와 48 octet의 payload로 구성되어 있어 5 octet의 header로부터 routing에 필요한 정보를 얻어 교환에 사용한다. ATM 광교환기들은 대부분이 interconnection fabric과 buffer로 구성되어 있어 위치에 따라 input-buffer switch, cross-point buffer switch 또는 output buffer switch로 분류되는데 control logic이 단순하고 traffic characteristics가 좋다는 점에서 output buffer switch가 사용될 가능성이 크다 하겠다. ATM 광교환기에 관한 연구는 아직 초기단계를 벗어나지 않고 있어 일본과 유럽 선진국들은 그들 나름대로의 중요한

architecture를 제시하고 있는 단계이다. 그러나 앞에서 제시한 바와같이 광이 가질 수 있는 장점들을 잘 이용함으로써 매우 효과적인 ATM교환기 설계가 가능할 것으로 여겨지며 또한 광소자들의 급속한 발전에 힘입어 머지않아 그 구현도 가능해지리라 믿어진다. 이 장에서는 선진국들이 제시하고 있는 ATM 광교환기의 구조에 관하여 서술하고자 한다.

1. WDM을 이용한 ATM 광교환기

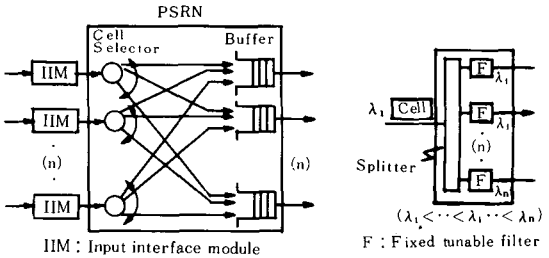
WDM을 이용한 교환방법은 앞에서 서술한 free-space digital optics를 이용한 방법과 더불어 광교환의 중요한 요소가 된다. 이 WDM을 아용한 광교환기의 구조는 여러 연구소에서 제안되고 있는데 그 중 몇가지만 소개하고자 한다.

일본의 Fujitsu 연구소에서 제안된 방법은 그림7에 그려진 바와 같다.^[5] n×n photonic self-routing node (PSRN)는 cell selector와 optical buffer memory로 구성되어 있다. Input interface module(IIM)에서는 ATM cell의 header에 있는 virtual channel identifier (VCI)에서 얻은 정보로부터 원하는 출구에 해당하는 wavelength로 바꾸어 주는 역할을 한다. 이 wavelength에 실린 정보는 cell selector의 fixed tunable filter를 통하여 원하는 출구에만 송신된다. 여러개의 입력들이 동시에 같은 출구로 송신될 필요가 있을때 생기는 conflict를 해결하기 위해 그림 7(c)와 같은 optical buffer memory를 지닌다. 동시에 들어오는 여러개의 입력중 하나만을 제외한 나머지는 optical buffer memory에 저장된 후 FIFO의 원칙에 의해 출력된다. 이 optical buffer memory는 optical fiber delay line을 쓸 수도 있으며 이때 fiber의 길이는 ATM 하나의 cell 길이에 해당되며 WDM을 이용하여 하나의 optical fiber delay line에 여러 cell을 저장하는 효과도 얻을 수 있다. 각 ATM cell의 목적지가 서로 달라 각 cell마다 각각의 목적지에 해당하는 wavelength가 할당되어야 하므로 매우 빠른 속도로 동작하는 wavelength conversion laser가 필요하다. 이와 같은 방법으로 구성된 PSRN은 multi-stage interconnection이 가능하며 그 결과 매우 높은 throughput을 얻는 시스템을 얻을 수 있다. Multi-stage interconnection을 했을 경우 이 시스템으로부터 얻을 수 있는 throughput과 wavelength conversion laser의 필요한 tuning range 및 필요한 wavelength의 수들이 도표 1에 나타나 있다.

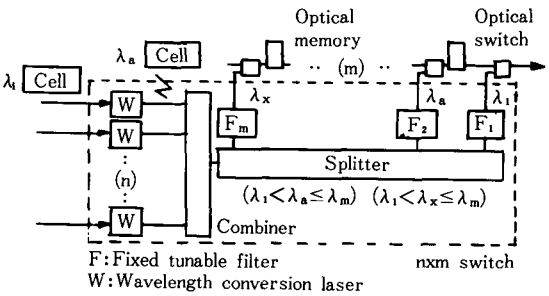
일본의 KDD 연구소는^[6] WDM과 bistable direc-

표 1. System parameter

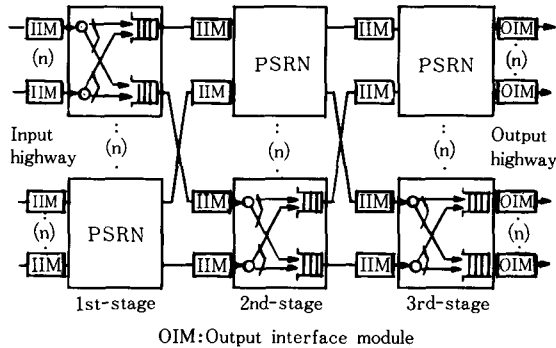
Item	1st step	2nd step
Switch size of PSRN	8×8	16×16
Highway speed	1.2 Gbps	2.4 Gbps
Number of stages	3	5
Number of lines	64	4,096
Switching time (Lc=60 byte)	4 ns	2ns
Number of wavelengths (Cell-loss rate:10 ⁻¹⁰ traffic load:0.8)	50	50
Tuning range (X=25 dB, a=20 dB/Å)	12 Å	28 Å
Throughput	61 Gbps	7.8 Tbps



(a) Photonic self-routing node (PSRN) (b) Cell selector switch



(c) Optical buffer memory



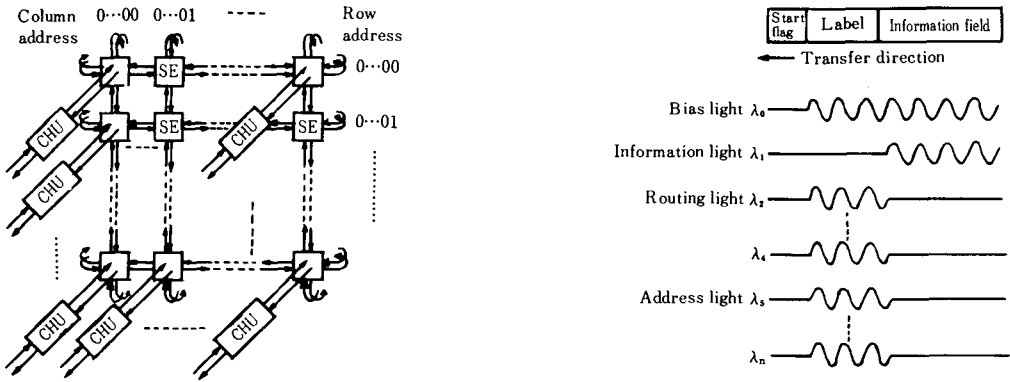
(d) 3-stage photonic ATM switching network

그림 7. Photonic self-routing node의 구조

tional coupler를 이용하여 그림 8에 보여진 바와 같은 self-routing switching network를 제안하였다. 이 구조는 그림 8(a)에 보여진 바와같이 2차평면으로 이루어진 lattice type이며 switch element(SE)와 cell handling unit(CHU)로 구성되어 있다. SE는 기본적으로 그림 8(b)에 보여진 바와 같은 bistable directional coupler를 사용하고 있으며 ATM cell의 label에

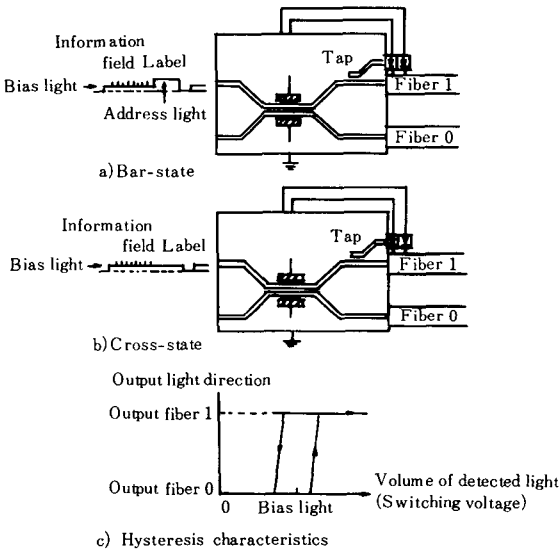
있는 row address와 column address를 읽어 이 address가 SE의 address와 일치할 때 directional coupler를 bar state로 바꾸어준다. 물론 이때 bias light도 입력되어야 한다. 이 bar state는 bias light가 없어질때 까지 계속되므로 광이 전혀 입력되지 않는 start flag를 head 앞에 부착시켜 교환소자를 reset 시켜 address가 일치할 때까지 cross state가 유지되도록 한다. ATM cell의 각 bit들은 그림 8(c)에서 보여진 바와 같이 WDM 되어 있으므로 processing 시간을 최소화 할 수 있어 cell synchronization이 network의 입구에서만 행하여지면 되게끔 설계할 수 있는 장점들이 있다. 이것은 그림 8(d)에 그려진 SE에서 address bit들이 WDM 되어 동시에 분석되므로 일종의 parallel processing이 됨을 의미한다. 이 구조의 또 하나의 장점은 한 SE와 다른 SE를 연결하는 여러 개의 route가 존재하므로 신뢰도가 매우 높다는 점이다.

미국의 Bellcore 역시 WDM을 이용한 star-track optical multicast switch fabric을 제안하였다.^[7] 이 구조는 그림 9에 그려진 바와 같이 packet transport를 위한 passive optical star network와 electronic control track으로 구성되어 있다. Optical fiber에서 들어온 packet은 입력 buffer memory에 저장되어 있다가 control token에 output의 address 등 필요한 정보를 기록한다. Output port에서는 control token을 읽어 자기 address를 확인한 후 packet을 송신하는 입력의 wavelength에 tuning 함으로써 교환이 이루어진다.



(a) Structure of 2-dimensional lattice type self-routing network

(c) Structure of cell and wavelength used



(b) Bistable directional coupler type of photonic switch

(d) Part of switch circuit in SE

그림 8. Lattice type ATM 광교환기

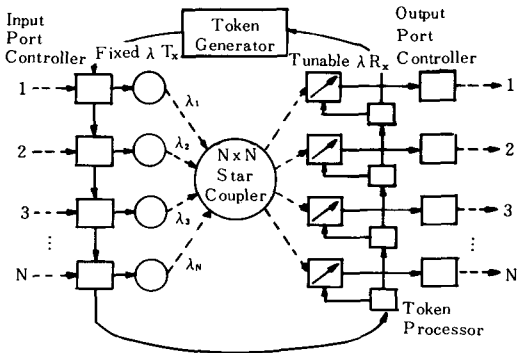
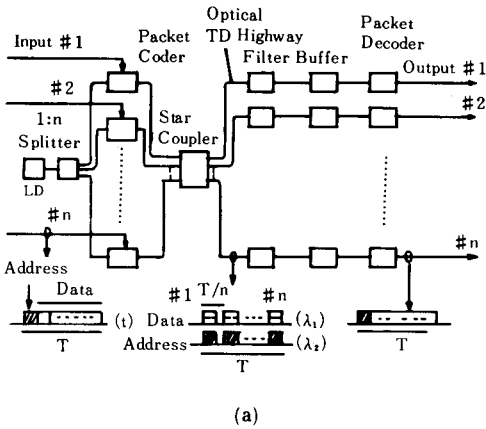


그림 9. Star-track 광교환 fabric

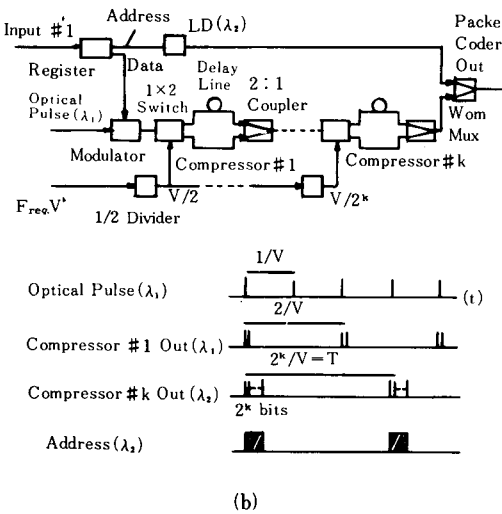
2. TDM을 이용한 ATM 광교환기

광신호의 또하나의 장점은 서론에서 서술한 바와 같이 subpicosecond의 short pulse를 만들어 낼 수 있다는 것이다. 이점을 이용한 광교환기의 구조는 일본의 NTT 연구소⁽⁸⁾의 경우를 생각할 수 있다. Ultrafast photonic ATM (ULPHA) 교환기라 불리는 이 교환기의 구조는 그림 10(a)에 나타나 있다.

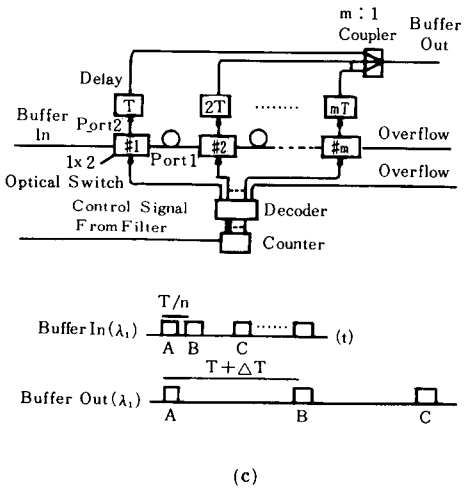
Short pulse를 생성하는 laser diode의 출력은 그림 10(b)에서 보여진 바와 같이 packet coder에서 packet data로 변조되고 compressor를 통해 bit rate가 입력



(a)



(b)



(c)

그림 10. Ultrafast photonic ATM 교환


의 수 n 배 만큼 증가된다. 느린 packet address 신호는 빠른 packet data와 WDM되어 star coupler에서 다른 입력에서 온 packet들과 TDM되어 각 출구로 분배된다. 각 출구의 filter들은 packet address를 분석하여 자기 address와 일치하는 packet 만을 골라 통과시키고 buffer에서는 그림 10(c)와 같이 각 packet에 적당한 delay를 주어 packet decoder가 다시 원래의 bit rate로 환원시키도록 해준다. 이 구조는 TDM을 통하여 동시에 여러개의 입력이 같은 출구로 연결되려하는 conflict를 해결하고 있다. 이 구조에서는 이 conflict가 그 출구에 높은 bit rate의 packet들이 계속하여 들어오는 효과로 나타나고 buffer에서 적당한 delay를 줌으로써 일종의 memory와 같은 역할을 하도록 구성된 점이 매우 특이하다 하겠다.

IV. 결 론

지금까지 소개한 바와 같이 광이 갖는 특성들인 free-space digital optics, WDM 또는 TDM을 이용하여 효과적인 광대역 광교환기들을 구성할 수가 있다. 이 교환기들은 주로 ODCS, ATM 광교환기 및 LAN 등에 사용가능하며 실제로 AT&T Bell 연구소에서는 머지 않아 free-space digital optics를 이용한 광교환기를 만들 것으로 믿어진다. 이러한 새로운 광기술들은 optics가 단지 전송에만 사용되는 한계를 넘어 signal processing을 수행하는 새로운 영역으로 진입함을 의미하며 이러한 기술의 발달은 optical computing을 수행하는데 필요한 기초적인 기술이 될 것이다.

參 考 文 獻

- [1] A.L. Lentine et al, "Symmetric self-electro-optic effect device: optical set-reset latch," *Applied Physics Letters*, vol. 52, pp. 1419-1421, April 25, 1988.
- [2] H.S. Hinton "Overview of free-space photonic switching," Topical Meeting on Photonic Switching, 12D-1, 1990.
- [3] J.L. Jewell et al, *Electron Lett.*, vol. 25, p. 1123, 1989.
- [4] L.M.F. Chirovsky et al, "Improving the performance of large arrays of symmetric self electro-optic effect devices," Topical Meeting on Photonic Switching, 14C-2, 1990.

- [5] S. Kuroyanagi et al, "Photonic ATM Switching Network," Topical Meeting on Photonic Switching, 14B-2, 1990.
- [6] N. Ogino et al, "Photonic lattice type self-routing switching network," Topical Meeting on Photonic Switching, 14B-6, 1990.
- [7] M. S. Goodman et al, "Multiwavelength technology, fast tunability, and new approaches to switching," Topical Meeting on Photonic Switching, 13D-2, 1990.
- [8] Y. Shimazu et al, "Ultrafast photonic packet switch with optical output buffer," Topical Meeting on Photonic Switching, 14B-1, 1990. 

筆者紹介



池 尹 圭

1951年 1月 30日生

1978年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)

1980年 2月 서울대학교 전자공학과 (석사)

1984年 5月 The University of Texas at Austin,
전자공학 (박사)

1984年~1989年 AT&T Bell Labs

1989年~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수