

論文97-34D-5-7

# 시분할 하이브리드 WDM 광스위치 구조

## (Time-division Hybrid WDM Photonic Switch Architecture)

金起泰\*, 嚴震燮\*, 金佑燦\*\*, 申瑞容\*\*, 鄭洪植\*\*\*

(Kitae Kim, Jinseob Eom, Woochan Kim, Seoyong Shin, and Hongsick Jung)

### 요 약

광대역 종합 정보통신망(B-ISDN)을 위한 광교환 시스템에서 요구되어지는 것은 무엇보다도 Tbit/s 이상의 throughput을 충족시키는 문제라고 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 스위치 구조는 파장분할을 이용하는 집적화된 여러개의 주파수 라우터와 시분할을 위한 셀코더 및 성형결합기를 접목시킴으로써 대용량에 적합한 구조를 제시하고 있다. 또한 지금까지 제안되었던 다른 구조들과의 비교·분석을 통해서, 제안된 스위치 구조 및 성능의 우수함을 보였다.

### Abstract

Photonic switching systems with throughput above Tbit/s are required to transport vast amounts of information for the coming B-ISDN. In this paper, we proposed a new time-division hybrid WDM photonic switch architecture, the proposed basic switch module has simple configuration consisted of frequency routers for wavelength division and cell coders and star couplers for time division. Through the comparison with other systems in field of switching capacity, hardware complexity and cost effect of implementation, we proved that the proposed system is suitable for large-capacity photonic switching system.

### I. 서 론

현재 진행되고 있는 통신망의 추세는 한마디로 광대역 종합 정보통신망(B-ISDN)의 구현을 위한 응용 기술의 발전으로 표현되어 질 수 있다. 멀티미디어 서비스가 일반화되면 각 스위칭 노드들의 부담은 증가하게

되는데, 이러한 문제점의 해결책으로 제시되고 있는 응용 기술중의 하나가 바로 광교환 기술이다. 즉 가까운 미래에 구현될 광대역 종합 정보통신망에서는 단순히 데이터나 음성신호 전달뿐만 아니라 영상 정보를 포함하는 멀티미디어 서비스가 일반화되면서 수백 Mb/s급 이상의 비디오 통신망이 기존의 전화망을 대체할 전망이다. 이때 비디오 통신망에서의 각 스위칭 노드들은 고속의 교환 처리 용량을 필요로 하므로 광대역 종합 정보통신망 실현의 전제조건으로 수십 Tb/s에서 수백 Tb/s 이상의 처리용량을 지닌 광교환기의 개발은 필수적이다. 광 고유의 특성인 고속성과 병렬 처리 능력을 최대한 활용하는 광교환 기술은 기존의 전자교환기술의 한계를 극복할 수 있으며 수십 Tb/s급 이상의 대용량 정보 교환을 가능하게 할 것이며, 이는 방대한 양의 정보를 전송할 수 있는 광전송 시스템들과 함께 앞으로 광대역 종합정보통신망에서 중요한 역할을 수행할 것이다.

\* 正會員, 江原大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng. Kangwon National University)

\*\* 正會員, 明知大學校 情報通信工學科

(Dept. of Data & Communication Eng. MyoungJi University)

\*\*\* 正會員, 弘益大學校 電子電算機工學科

(Dept. of Electronics & Electronic Computer Eng. HongIk University)

接受日字:1997年1月17日, 수정완료일:1997年5月2日

광교환 시스템의 핵심 기술은 크게 광교환기 구조를 연구하여 광교환 시스템을 개발하는 것과 이를 실현하기 위한 광교환 소자의 개발에 있다. 광교환기 구조 연구, 나아가서는 광교환 시스템 전반에 대한 연구를 수행함에 있어서 광교환용 소자 및 부품에 관한 연구가 병행되어야 하는데, 이는 현실적으로 구현 가능한 광교환 시스템이 광소자 및 부품 기술에 전적으로 의존하기 때문이다.

본 논문에서는 광교환 방식중에서 파장분할과 시간분할이 접목된 수십 Tbit/s 이상의 throughput 용량을 가지는 새로운 광교환기 구조를 제안하고 있다. 제안된 광교환기 구조는 파장분할을 위한 집적화된 여러 개의 주파수 라우터<sup>[11]</sup>와 시분할을 위한 셀코더를 접목시킴으로써 대용량에 적합한 구조를 가지고 있으며, 간단한 알고리즘을 이용하는 버퍼 구조를 사용함으로써 하드웨어의 부피를 감소시킨다는 장점을 가지고 있다. 또한 본 논문에서는 스위칭 용량과 광손실 측면, 그리고 실제 각 광교환기 구조를 구현하는데 있어서 요구되는 하드웨어 측면<sup>[12]</sup> 등을 기준에 제안되었던 다른 광교환기 구조들과 비교·분석함으로써 제안된 광교환기 구조의 장점을 제시하고 있다.

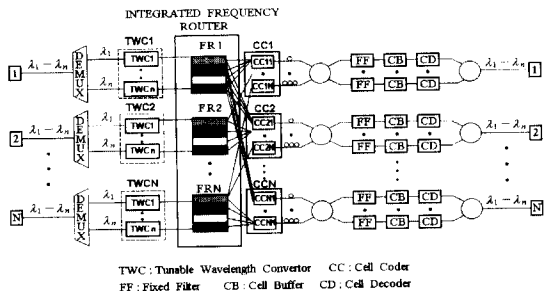


그림 1. 제안된 새로운 구조의 광교환기  
Fig. 1. Block diagram of proposed TDM with WDM hybrid photonic switch.

II장에서는 제안된 광교환기의 전체적인 구조에 대한 간단한 설명과 제안된 구조의 핵심 부분인 주파수 라우터, 셀코더, 셀버퍼의 각 부분별 동작특성을 나타내었고, III장에서는 제안된 구조와 다른 구조와의 스위칭 용량, 광손실, 하드웨어 구성을 비교하였다. IV장에서는 앞장에서 설명하고 있는 내용을 토대로 제안된 구조의 핵심기술 및 전송 시스템과의 연동 가능성 등 여러 가지 측면에서 제안된 구조의 향후 전망에 관해 언급하고 있다<sup>[3] [4] [15]</sup>.

## II. 제안된 광스위치의 구조

그림 1은 제안된 광교환기의 전체적인 구조를 보여준다. 먼저 각각 다른 파장으로 다중화된 입력 셀들은 역다중화기를 걸쳐 파장별로 분리되고, 분리된 셀들은 외부변조기를 사용하는 파장변환기에 의해 원하는 목적지 그룹의 파장으로 변환된다. 이때 입력되는 광셀들은 먼저 전기적인 셀로 바뀌고, 그것의 헤더는 원하는 목적지 그룹(그림 1의 출력부분 I~N중의 하나)의 어드레스를 얻기 위해 분석된다. 분석된 정보에 의해 가변레이저를 제어함으로써 목적지에 해당되는 파장대의 CW 빛이 방출되고, 외부변조기에 의해 전기적인 데이터 셀의 비트 패턴을 가지는 광 셀들이 특정 파장 즉, 원하는 목적지 그룹에 해당하는 1차 파장을 가지고 전송된다. 파장변환을 수행하는 방법으로 DBR레이저의 이득포화 특성을 이용하는 방법, Y-레이저의 injection locking 방법, 반도체 광증폭기(SOA)의 비선형 특성을 이용하는 방법 등, 여러 방식이 소개되고 있는데 본 논문에서는 가장 간단한 방식인 광신호를 검출해서 다시 원하는 파장의 빛으로 출력시키는 방법에 대해 고려하고 있다. 파장변환기로서 외부변조기뿐만 아니라 광증폭 특성에 의해 신호가 증폭되고 입력 신호의 파워와 파장에 덜 민감한 반도체 광증폭기도 고려될 수 있다.

주파수 라우터로는 분배기와 고정된 필터의 기능을 동시에 수행하는 arrayed-waveguide grating multiplexer<sup>[6]</sup>를 사용한다. 주파수 라우터들(FR1~FRN)에 의해 셀 충돌 없이 해당 목적지 그룹으로 라우팅된 각 셀들은 셀코더에 의해 역다중화의 과정을 걸치고 2차 파장 즉 최종 목적지(목적지 그룹내의 n개의 최종 목적지)에 해당하는 파장으로 변환된다. 그 다음에 스위칭 되고자하는 최종 목적지 파장을 가진 셀들의 충돌을 막고자 각 셀들은 압축되고 시간지연을 통한 시분할을 얻기 위해 성형결합기로 보내진다. 이때 셀코더에서는 하드웨어와 광 손실이 상당히 개선된 구조의 광압축기<sup>[7]</sup>를 사용하여 입·출력 링크의 셀들 속력보다 빠른 속도로 셀들을 처리함으로써 셀 손실이나 셀 지연을 방지하고 입·출력간의 트래픽을 유지시켜준다.

시분할된 각 셀들은 스타커플러를 통해 최종 가입자수에 해당하는 만큼 분배되고 고정된 필터에 의해 특정 파장을 가지는 셀들이 선택되어진다. 선택된 각 셀들은 셀버퍼와 셀디코더를 통해 원래 신호로 복구된다.

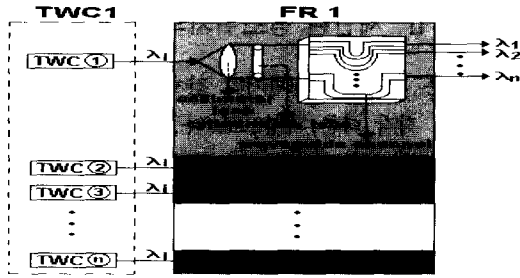


그림 2. Frequency Router의 구조  
Fig. 2. Structure of a Frequency Router.

최근의 DFB 레이저 기술의 발전은 고밀도 파장분할 광통신 시스템을 가능케 하고 있지만 해결해야 할 문제점중의 하나는 이렇게 밀도 있게 채워진 신호들을 다중화하고 역다중화하는 방법이다. 특히 새로 제안된 스위치 구조는 파장 수에 비례하여 스위치 용량이 크게 증가하므로 많은 파장을 다중화하고 역다중화할 수 있는 고밀도 파장기술을 고려하여야 한다. 입력단의 수가 N이고, 각 입력단에 사용되는 파장의 수가 n일 경우  $N(1+N+n)$ 개의 다중화·역다중화기가 요구되는데 그림 2는 이런 다중화·역다중화의 문제점에 대한 해결방안으로 제안되고 있는 arrayed-waveguide grating 형태의 주파수 라우터 구조를 보여주고 있다. 같은 굴곡 반경과 다른 채널 길이를 가지는 waveguide grating은 높은 파장분해능을 제공하며, 실제  $1.3 \mu\text{m}$  대의 파장에서 1nm 또는 이보다 좀 더 작은 파장 분해능을 가지는 것으로 보고되고 있다. 주파수 라우터에서는 위에서 언급한 arrayed-waveguide grating을 이용함으로써 분배기와 고정된 필터 기능을 동시에 수행하는 다중화·역다중화기를 구성한다. 이러한 구조는 Nn개의 주파수 라우터를 하나로 집적화 시키는데 유리하다.

그림 3은 입·출력 수가 4일 때를 기준으로 하여 하나의 입력그룹(그림 1의 입력부분 ①~④중의 하나)에서의 TWC와 주파수 라우터의 동작을 나타낸 것이다. 한 링크내에서 입력단을 i, 출력단을 j, 입·출력단의 수를 N이라고 할 때 주파수 라우터 전단에 있는 각 TWC에서는 먼저 각 셀들의 어드레스를 확인한 후  $((i + j - 2) \bmod N) + 1$ 이라는 관계식에 의해 각 셀들의 파장을 결정하며, 파장이 결정된 셀들은 주파수 라우터를 통해 반대편에 위치한 파이버 어레이 부분에 집광됨으로써 파장에 해당되는 고정된 경로로 스위칭된다. 표 1에서는 각각의 경우에 해당되는 파장의 라우

팅을 보여주고 있다. 예를들어 입력단 2로 들어온 셀이 출력단 1로 스위칭되고자 할 때에는 위에서 언급된 관계식에 의해  $((2+1-2) \bmod 4) + 1 = 2$  즉,  $\lambda_2$ 의 파장을 할당받고  $\lambda_2$ 가 가지는 고정된 경로인 출력단 1로 스위칭된다. 서로 다른 입력단으로부터 여러 개의 셀이 동시에 같은 단으로 스위칭될 경우도 위와 같은 라우팅 알고리즘에 의해 각 셀들은 서로 다른 파장을 가지므로 셀코너내에서 셀들간의 충돌을 막을 수 있다.

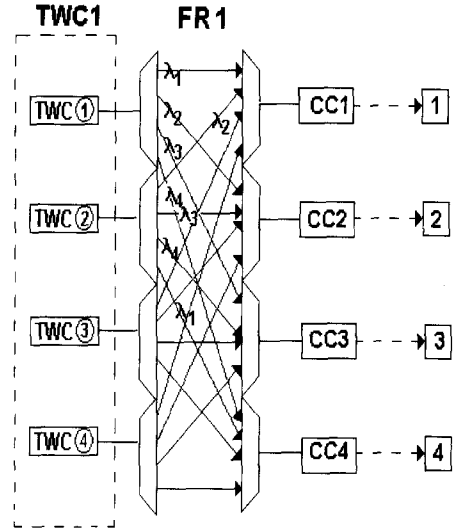


그림 3. FR의 동작원리  
Fig. 3. Operation principle of FR.

표 1. TWC의 주파수 라우팅 표  
Table 1. Frequency Routing of TWC.

input group	output group	$\lambda_i$	input group	output group	$\lambda_i$
①	1	$\lambda_1$	③	1	$\lambda_3$
①	2	$\lambda_2$	③	2	$\lambda_4$
①	3	$\lambda_3$	③	3	$\lambda_1$
①	4	$\lambda_4$	③	4	$\lambda_2$
②	1	$\lambda_2$	④	1	$\lambda_4$
②	2	$\lambda_3$	④	2	$\lambda_1$
②	3	$\lambda_4$	④	3	$\lambda_2$
②	4	$\lambda_1$	④	4	$\lambda_3$

그림 4는 셀코더의 구조를 보여준다. FR1로부터 FRN까지 각각의 FR을 통해 셀코더로 입력된 셀주기 T의 셀들은 서로 다른 파장을 가지고 있으므로 역다중화기에 의해 파장별로 역다중화된다. 파장별로 분리된 셀들은 다시 TWC에 의해 목적지 그룹내의 최종 목적지에 할당된 파장으로 변환된다. 그리고 광압축기에 의해 T/L만큼 압축되고, 압축된 셀들은 성형결합기 1에 보내지기 전에 T/L의 정수배에 해당하는 만큼의 광섬유 지연을 통과하게된다. 여기서 L은 한 셀의 비트수를 나타낸다. 그리고 압축된 셀들이 성형결합기 2에 입력되기 전 다른 셀코더로부터 오는 셀들과의 충돌을 막기 위해 광섬유를 이용하여 다시 한번 시간지연되고, 성형결합기 2에 의해 시분할 다중화되어, 성형결합기 2의 각 출력으로 분배된다. 이때 성형결합기 2의 각 출력은 동일 목적지 그룹으로 향하는 모든 셀들을 포함하고 있다. 이 출력은 각 최종 목적지에 할당된 파장만을 통과시키는 필터로 보내진다. 필터에서 선택된 셀들은 목적지 그룹내의 해당 최종 목적지에 보내진 셀들로서 셀버퍼로 보내지고, 셀디코더에 의해 원래 신호로의 복구가 이루어진다.

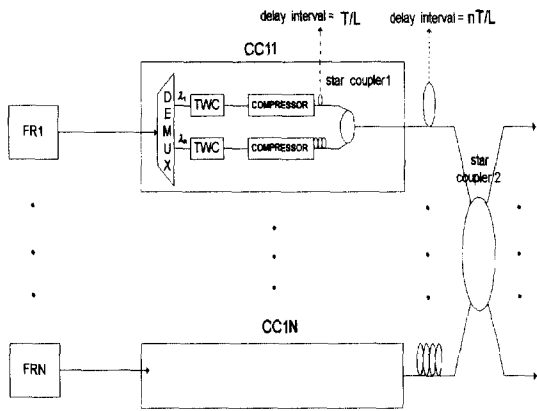


그림 4. Cell Coder의 구성  
Fig. 4. Configuration of the Cell Coder.

그림 5는 시간축 상에서 살펴보았을 때 셀코더에서 압축과 지연을 통해 일어나는 입력 셀들의 변화를 보여주고 있다. 제안된 스위치 구조의 두드러진 특징중의 하나는 각 전송라인에서 사용하는 파장의 수가 증가함에 따라 그에 비례하여 스위치 용량이 증가한다는 것이다. 하지만 제안된 스위치 구조는 셀코더의 광압축기 압축률에 의해 영향을 받는 동작 특성에 의해 스위치의 용량 제한을 받는다. 즉 다음과 같은 조건 n(사용되

는 파장의 개수)×N(입력단의 개수)≤L(셀의 비트 수:bit-length)이 만족되어야 한다. 만약 n×N의 값이 L보다 크게되면 그 순간부터는 충돌을 막기 위해 압축되었던 셀들이 성형결합기 2내에서 시분할되는 과정에서 셀들간의 충돌이 발생하게 된다.

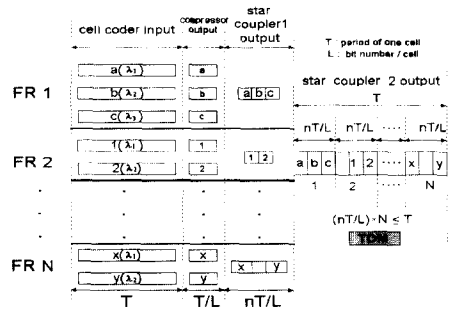


그림 5. Cell Coder의 동작  
Fig. 5. Operation of Cell Coder.

이를 좀더 자세히 살펴보면 입력되는 한 셀의 주기가 T이고, bit-length가 L인 경우, 본 논문에서 고려된 압축기를 사용할 경우 압축기를 지나 압축된 각 셀들의 주기는 T/L이 된다. 첫번째 성형결합기 1에서는 T/L로 압축된 셀들의 충돌 방지를 위해 성형결합기 1의 각 입력선에 T/L씩 차이가 나는 광섬유 지연선을 갖는다. 첫 번째 성형결합기 1을 통해 출력되는 전체 셀들이 차지하는 시간지연은 파장수 n에 비례하여 n×(T/L)이 된다. 이러한 성형결합기 1의 출력들이 각 FR단으로부터 nT/L만큼씩 차이가 나는 광섬유 지연선들을 통하여 성형결합기 2로 들어오므로 두 번째 성형결합기를 통해 출력되는 전체 셀들의 시간지연은 T가 된다. 이때 파이버의 시간지연을 통해 다중화된 셀들의 전체 시간지연은 셀 손실을 막기 위해 압축되기 전 셀의 주기 T를 넘어서는 안된다. 따라서 (n×N×T)/L≤T라는 조건이 만족되어야한다. L=2<sup>9</sup>=512bit인 경우 파장수와 입력링크의 수를 곱한 값 n×N은 bit length인 512보다 작거나 최소한 같아야 한다. 스위치의 용량을 제한하는 이러한 요소들은 지금까지 제안되었던 다른 스위치 구조들도 마찬가지로 포함하고 있는 문제점들이다. 이러한 문제점들을 해결하고자 할 때는 상대적으로 전기적인 제어가 복잡해지고 하드웨어의 부피가 증가하지만 ULPHA의 1/2 frequency divider [8]를 이용하거나, 새로운 방식의 광압축 기술을 개발하여야 한다.

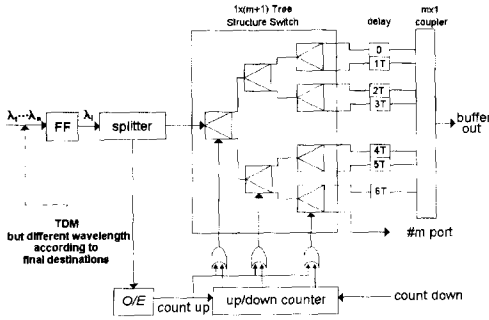


그림 6. 셀 버퍼의 구성  
Fig. 6. Configuration of the Cell Buffer.

그림 6은 셀버퍼의 구조를 보여주고 있다. 성형결합기 2에서 분배된 후 필터를 통과하여 버퍼로 들어온 선택된 셀들은 먼저 분배기에 의해 두 부분으로 분리된다. 한 부분은 데이터를 간직한 채  $1 \times (m+1)$  스위치단을 지나 최종 목적지에 도착하고 이때 다른 한 부분은 단지 평균 광파위를 감지하여 up/down 카운터를 제어함으로써  $1 \times (m+1)$  스위치단을 동작시킨다. 즉 압축된 입력 셀들은 셀버퍼에서 up/down 카운터로 제어되는  $1 \times (m+1)$  스위치단에 의해 매 주기 T마다 셀버퍼로부터 출력된다. 예를 들어 초기에 up/down 카운터는 000으로 세팅되어 있는 경우  $1 \times (m+1)$  스위치단의 각 단자는 윗 부분으로 닫혀(close)있다. 그리고 이 상태에서 셀버퍼로 셀이 입력되면 분배기의 한쪽 출력은  $1 \times (m+1)$  스위치단의 000 경로를 지나 아무런 지연 없이 다음단으로 출력된다. 분배기의 다른 한쪽은 평균 광파위를 감지하여 up/down 카운터 값을 001로 세팅시킨다. 연속적으로 다음 셀이 입력된 경우 데이터를 실은 셀은  $1 \times (m+1)$  스위치단의 001 경로후 delay 1T을 지나 먼저 입력되었던 셀과는 T 만큼의 지연을 가지고 충돌없이 다음단으로 출력된다. 그리고 up/down 카운터 값은 증가하여 002로 세팅되므로 다음에 입력되는 셀은 세팅되어 있는 up/down 카운터의 값이 지정하는 경로를 통과함으로써 셀들간의 간격을 일정한 주기 T로 유지시킬 수 있다. 또한 이때 up/down 카운터에서는 셀들의 불필요한 지연을 막기 위해 주기 T가 지날 때마다 자동적으로 up/down 카운터의 값을 감소시킨다. 한 주기 T내에서 연속적으로 세 개의 셀이 셀버퍼로 입력된 후 일정시간 동안 셀이 입력되지 않았다가 다음 주기 T내에서 다시 셀이 입력되는 경우, 첫 번째 셀은 delay 0T, 두 번째 셀은 delay 1T,

세 번째 셀은 delay 2T를 통과하고 up/down 카운터는 003의 값으로 세팅 있는데 이런 경우 up/down 카운터의 값을 줄여주지 않으면 다음 주기의 첫 번째 셀은 003으로 세팅되어 있는 카운터 값에 의해 불필요한 지연인 delay T를 더 가지게 된다(실체는 2T 지연이 필요). 그리고 셀 버퍼에서 계속해서 연속적으로 들어오는 셀을 처리해야할 경우는 버퍼의 갯수 즉 #m port를 충분히 크게 해줌으로써 셀들의 손실을 줄여줄 수 있다.

입력되는 셀 수를 i, 버퍼의 갯수를 m이라 할 경우 셀버퍼의 동작은 아래와 같은 세가지 모드로 설명될 수 있다.

1) 모드 1 ( $i \leq m$ 인 경우) : 입력되는 셀의 갯수가 버퍼의 갯수보다 작은 경우로서 up/down 카운터는 정상 동작을 통해  $1 \times (m+1)$  스위치단을 제어함으로써 연속적으로 입력되는 셀들이 일정한  $(i-1) \times T$ 의 지연시간을 갖도록 하며, 일정시간(주기T)이 지난 뒤에는 자동적으로 카운터의 값을 줄여준다.

2) 모드 2 ( $i > m$ 인 경우) : 오버플로우가 발생한 경우이므로 카운터 값은 증가하지 않고 셀은 m단자로 스위칭됨으로써 버려지게 된다. 오버플로우는 충분히 큰 스위치단을 사용함으로써 매우 작게 유지될 수 있다.

셀버퍼를 통과한 셀들은 셀 디코더를 통해 압축되었던 데이터 셀들이 원래의 셀 형태로 변환되고, 변환된 각 셀들은 최종 목적지의 파장을 가지고 최종 목적지로 전송됨으로써 입력단에서 출력단으로의 완전한 스위칭 동작이 수행되게된다.

### III. 제안된 스위칭 구조 비교 · 분석

무엇보다도 새로 제안된 스위치 구조에서의 가장 두드러진 특징중의 하나는 시분할과 파장분할의 장점을 최대한 활용함으로써 얻을 수 있는 스위치용량 증가앞에서 지적된 광압축에 의한 용량의 제한요소가 해결되었다는 가정하에)에 있다.

예를 들어 한 전송라인의 데이터 전송율  $V=10\text{Gb/s}$ , 사용되는 파장의 수  $n=10$ , 입 · 출력단(목적지그룹)의 수  $N=10$ 일 경우 전체 스위치 용량  $C=10\text{G} \times 10 \times 10=1\text{Tb/s}$ 이 된다. 같은 조건하에서 사용되는 파장의 수  $n$ 이 20으로 증가할 경우 스위치의 용량  $C=10\text{G} \times 20 \times 10=2\text{Tb/s}$ 이 된다. 파장수에 비례하여 스위치의

용량이 크게 증가함을 알 수 있다. 그림 7은 데이터 전송률(각 링크의 라인 전송속도=2.5Gb/s)과 입·출력단의 수(링크수)가 고정된 상태에서 파장의 수가 증가함에 따른 스위치 용량의 변화를 보여주고 있다. 물론 앞에서 언급했던 바와 같이 셀코더의 동작 특성에 의해 스위치의 용량이 제한되지만, 셀코더에서 광압축기를 이종으로 사용하거나 광압축과 관련된 소자 기술의 발전은 이러한 문제점들을 충분히 해결할 수 있으리라 본다.

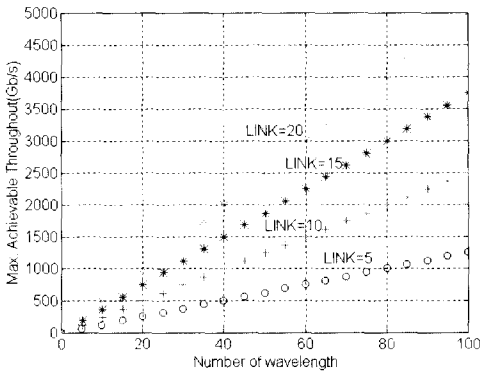


그림 7. 제안된 구조의 스위치 용량  
Fig. 7. Throughput of the proposed switch.

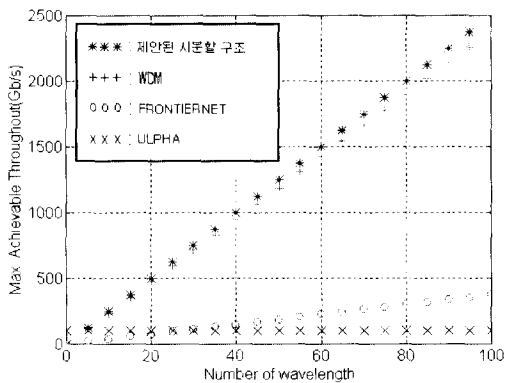


그림 8. 스위치 용량 비교  
Fig. 8. Comparison of the switching capacity.

그림 8은 각 링크의 라인 전송속도가 2.5Gb/s이고 입력단의 링크수가 10인 경우 파장이 증가함에 따라 제안된 시분할 하이브리드 WDM 구조와 다른 구조들과의 스위치의 용량 변화를 비교하고 있다. ULPHA 스위치<sup>[8]</sup>의 경우는 시간분할형 ATM 스위치로서 사용되는 파장수에 무관하다. 이 시스템의 모의실험 결과

현재 1Gb/s 입·출력을 갖는 80x80 스위치가 실현 가능하며, 이러한 스위치를 3단으로 연결할 경우 1Tb/s 이상의 스위치 용량이 가능한 것으로 보고되고 있지만 그럴 경우 하드웨어 부분이 상당히 증가될 뿐만 아니라 궁극적으로는 시분할 교환이 가지는 한계점을 극복할 수 없으리라 예상된다. FRONTIERNET 스위치<sup>[1]</sup>는 주파수 분할형 스위치로서 ULPHA 스위치보다는 스위치 용량이 증가되지만 전기적인 제어 부분이 상당히 복잡할 뿐만 아니라 셀 손실을 최대 줄이기 위해 그만큼 많은 버퍼 부분이 필요하므로 스위치 용량에 제한을 가져온다. 최근에 제안되고 있는 WDM 스위치<sup>[9]</sup>와 새로 제안된 스위치 구조는 다른 스위치 구조와는 달리 높은 스위치 용량을 가짐을 알 수 있다. 그러나 두 구조의 차이점은 그림 9에서와 같이 파워버지트 모의실험결과 요구되는 광증폭기의 수를 비교함으로써 알 수 있다.

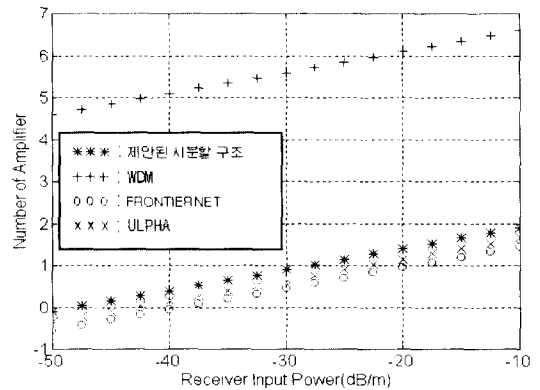


그림 9. 요구되는 광증폭기의 수  
Fig. 9. The number of required amplifier.

일정한 광파워를 가지고 스위치로 입력되는 셀들은 전체 스위칭 시스템의 각 소자들을 거치면서 광파워의 손실을 가져오는데, 이 손실이 출력단 검출기의 수신 감도를 벗어나서는 안된다. 이러한 이유 때문에 시스템을 구성하는데 있어서는 보통 파워 버지트를 통한 시스템 여유분을 계산하여 허락되는 광파워의 손실을 측정한다. 그리고 스위칭 시스템이 대용량일 경우는 그만큼 시스템의 크기가 확대되므로 광파워 손실 문제를 극복하기 위해 광증폭기의 사용을 필요로 한다. 파장변환을 수행하는 방법으로 지금까지 여러 방식이 소개되고 있는데, 제안된 스위치 구조에서는 가장 간단한 방식인 광신호를 검출해서 다시 원하는 파장의 빛으로

출력시키는 방법을 사용하고 있다. 이러한 방법을 사용할 경우 입력되는 셀들은 파장변환기를 통과할 때마다 다시 원래의 광파워를 유지하므로 제안된 스위치 구조에서의 광파워는 주로 셀코더의 파장변환기 이후부터 사용되는 성형결합기와 광압축기 그리고 셀버퍼의 1×(m+1) 스위치단에서 발생한다. 이 소자들의 입·출력에 광증폭기가 사용되고 역다중화기의 손실이 같다고 가정했을 때, 셀코더의 파장변환기에서 셀버퍼의 출력단까지의 파워 버지트는 다음과 같이 계산된다.

$$P_R = P_{INPUT} - P_{CC} - P_{SC} - P_{CB} - M + \alpha G_A$$

$$= P_{INPUT} - P_{COMPRESSOR} - P_{SC} - P_{CB} - M + \alpha G_A$$

( $P_R$  : 셀디코더에서 수신되는 광파워,  $P_{INPUT}$  : 스위치 입력단의 평균 광파워,  $P_{CC}$  : 셀코더에서 손실되는 광파워,  $P_{SC}$  : 성형결합기에서 손실되는 광파워,  $P_{CB}$  : 셀버퍼에서 손실되는 광파워,  $M$  : 각 소자들간의 연결에서 손실되는 광파워+시스템마진,  $\alpha$  : 광증폭기의 수,  $G_A$  : 광증폭기의 이득)

사용되는 파장의 수가  $n$ 이고, 입·출력단의 수가  $N$ 인  $N \times N$  스위치의 경우, 위에서 언급한 파워버지트는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$P_{INPUT} = 0\text{dBm}, P_{COMPRESSOR} = 10\log L = 10\log 2^9$$

$$= 27\text{dBm} (L\text{은 한 셀의 비트수}), P_{SC} = 10\log n, P_{CB} = 9\text{dBm인 } 1 \times 8 \text{ 트리 구조의 스위치로 가정, } M = 6\text{dB}, \alpha G_A = 20\text{ dB}$$

그러므로  $P_R$ 은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_R = 0 - 27 - 10\log n - 9 - 6 + 20\alpha$$

$$= 20\alpha - 10\log n - 42 \text{ [dBm]}$$

위에서 계산된 파워 버지트를 기준으로 하여 셀디코더에 수신 가능한 광파워에 대해 요구되는 광증폭기 수를 그림 9에서 보여주고 있다. 파워 버지트 측면에서 살펴볼 때 상대적으로 FRONTIERNET과 ULPHA가 적은 광손실을 갖는 것을 알 수 있다. WDM 구조와 새로 제안된 시분할 구조는 스위치 용량 측면에서는 같았지만, 파워 버지트를 통한 광손실을 살펴보았을 때 새로 제안된 스위치 구조의 광손실이 훨씬 적음을 알 수 있다. 그만큼 적은 수의 광증폭기를 요구하고 이는 실제 스위칭 시스템을 구현하는데 있어서 훨씬 유리한 점으로 작용한다. FRONTIERNET과 ULPHA

는 광손실 측면에서는 유리하지만 상대적으로 스위치 용량 측면에서 큰 제약이 따르므로 앞으로 전개될 대용량의 스위칭 시스템에는 부적합할 것으로 사료된다.

표 2. 하드웨어 비교

Table 2. The comparison of hardware complexity.

Hardware Comparison	ULPHA	FRONTIERNET	WDM구조	제안된 시분할 하이브리드 WDM구조
Electric Control	Need(moderate)	need(high)	Need(high)	Need(low)
Number of Multiplexer	N	N	N	N
Number of Demultiplexer	N	N	n·N	N(1+n·N)
Number of TWC	2xN개(fixed)	N·NM개(fixed)	2nN	nN(1·N)
Number of Fixed Filter	None	None	nN	nN
Compressor	Need	None	Need	Need
Number of Star Coupler	1 [NxN] N [mx1] 1 [1xN]	1 [NxN] NM [Mx1]	2Ln [Nx1] 2Ln [2x1]	NxN [nx1] N [NxN]
Fiber Delay	Need	Need	Need	Need
Number of Switch	N [1x(m+1)] NlogL [1x2]	N(N-1) [1x2]	2nN [1xL] 2nN [1x2]	nN [1x(m-1)]
Splitter	None	NN	2nN	nN
Limit	L>logN	n=버퍼 갯수-1	L≥nN	L≥nN

표 2는 지금까지 언급했던 스위치 구조들을 실제 구현하는데 있어서 하드웨어적으로 필요한 각 부분별 광소자들을 보여주고 있다. 광소자들을 실제 광학 시스템의 고속 신호 처리 기기로 사용하기 위해서는 각 소자간을 서로 접속, 연결시키는 문제, 각 소자의 패키지 문제 등을 고려하여야 하는데 무엇보다도 스위치를 통과하는 셀들은 연속적으로 처리되어야 하며, 인접한 광소자들을 지나면서 발생하는 광파워의 반사, 감쇄, 그리고 누화에 의한 손실을 고려하여야 한다. 그리고 간단한 구조를 사용하여 하드웨어의 부피를 최소화 할 수 있는 집적화 기술이 요구된다. 광시스템의 신뢰도, 성능, 접속 손실, 전체적인 비용 등은 실제로 광소자 집적화 기술에 의해 결정되고 있기 때문이다. 그러므로 스위칭 시스템의 효율과 용량을 증대시키기 위해서는 반드시 전체 시스템의 각 요소들을 집적화시킬 수 있는 기술을 필요로 한다. 특히 제안된 스위치 구조에서 arrayed-waveguide 형태의 주파수 라우터 부분, 셀

코더 부분, 그리고 셀버퍼의  $1 \times (m+1)$  스위치 부분은 다른 부분들보다 집적화 기술을 필요로 하는 부분이며, 이것은 바로 전체 스위칭 시스템의 효율과 직접 연결된다. 표 2에서 알 수 있듯이 새로 제안된 구조는 다른 구조와는 달리 전기적인 제어 부분이 매우 간단하여 그만큼 하드웨어의 부피를 줄일 수 있으며, 다른 구조에 비해 다소 수동 소자가 많이 사용되고 있으나 주로 수동 소자만을 이용한다는 점에서 집적화에 유리한 구조를 띠고 있다. 그리고 다른 구조들은 셀 손실을 줄이기 위해 입력되는 셀 수에 비례하여 많은 양의 하드웨어 부분을 필요로 하고 있지만 제안된 구조는 상대적으로 적은 양의 하드웨어를 필요로 한다. 그만큼 전체적인 스위칭 시스템의 효율 측면에서는 제안된 구조가 유리함을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

관련 광교환 소자기술의 성숙도, 기존 시스템과의 융통성 등 여러가지 관점에서 살펴 볼 때 앞으로 전개될 다양한 형태의 멀티미디어 고속 데이터 서비스들을 사용할 수 있기 위해서는 시분할과 파장분할의 장점이 결합된 시분할 하이브리드 WDM 광교환기 구조가 적합하다고 사료된다.

새로 제안된 광교환기 구조는 향후 전개될 WDM 광통신 시스템과의 연동에 가장 적합한 형태의 스위칭 구조를 가지고 있으며, 입력단 부분에 있는 역다중화기를 제거하고 입력되는 각 셀들을 파장 가변 변환기에 바로 접속시킬 수 있으므로 기존 시스템과의 연동에도 용이하다. 그리고 기존에 제안된 스위칭 시스템과는 달리 주로 passive 소자들을 이용한 간단한 구조를 사용함으로써 집적화에도 유리할 뿐만 아니라 복잡한 버퍼 부분의 문제를 해결하고 있다. 무엇보다도 파장의 수에 비례하여 스위칭 용량이 크게 증가되므로 앞으로 요구되는 대용량의 교환 시스템에 적합한 구조라는 장점이 있다. 대략 1Tb/s 정도의 스위칭 용량은 가능하리라 예상되며, 특히 광압축기술의 발전에 따라 용량이 더욱 증가될 수 있다고 볼 수 있다. 또한 앞으로 새로 제안된 구조의 핵심기술들인 grating waveguide 기술, 압축 기술, 파이버 지연(optical memory) 기술, 스타커플러 기술, 그리고 집적화 기술들의 발전은 제안된 광스위칭 시스템의 용량과 신뢰성을 크게 향상시킬 것이며, 가까운 미래에 광스위칭 시스템의 상용화에 큰

기여를 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] K. Sasayama, K. Habara, W. De Zhong and K. Yukimatsu, "Photonic ATM switch using frequency-routing-type time-division interconnection network", *Electron. Lett.*, 1993, 29, pp. 1778-1779.
- [2] J. E. Midwinter, "Photonic switching technology: component characteristics versus network requirements," *J. Lightwave Tech.*, vol. 6, no. 10, pp. 1512-1519, Oct. 1988.
- [3] Dave M. Spirit, Andrew D. Ellis, and Pete E. Barnsley, "Optical time division multiplexing: system and networks," *IEEE Communication Magazine*, December 1994.
- [4] Masahiko Fujiwara, Mitsuhiro Sakaguchi, "Line capacity expansion schemes in photonic switching," *IEEE LCS. Magazine*., May. 1990.
- [5] Masatoshi Saruwatori, "All optical signal processing in ultrahigh-speed optical transmission," *IEEE Communication Magazine*., September 1994.
- [6] H. Takahashi, S. Suzuki, K. Kato, I. Nishi, "Arrayed-waveguide grating for wavelength division multi/demultiplexer with nanometer resolution," *Electron. Lett.*, vol. 26., no. 2, 1990., p 87-88.
- [7] Seoyong Shin et al, *EFOC&N '94*, Heidelberg, Germany, June 1994, paper P16.
- [8] Yoshihiro Shimazu, Masato Tsukada, "Ultrafast photonic ATM switch with optical output buffer", *J. Lightwave Tech.*, vol. 11, 1992, pp. 265.
- [9] Youngbok CHOI, "A photonic ATM switch architecture for WDM optical networks", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E78-B, no. 9, 1995, pp. 1333.



— 저 자 소 개 —

金起泰(正會員)

1970년 2월 28일생. 1995년 2월 강원대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 강원대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 ~ 현재 대우통신 교환연구단 연구원. 주관심분야는 광소자, 광교환



嚴震燮(正會員)

1959년 2월 29일생. 1982년 2월 서울대학교 전자공학과(공학사). 1984년 2월 서울대학교 전자공학과(공학석사). 1984년 ~ 1985년 금성반도체(주)연구원. 1985년 ~ 1987년 한국통신 전임연구원. 1990년 12월 미국 Texas A&M 대학 전기공학과(공학박사). 1991년 ~ 1992년 한국통신 선임연구원. 1992년 ~ 현재 강원대학교 전자공학과 조교수. 주관심분야는 광통신 시스템, 광소자, 광교환



金佑燦(正會員)

1971년 7월 21일생. 1995년 2월 명지대학교 정보통신공학과(공학사). 1997년 2월 명지대학교 정보통신공학과(공학석사). 1997년 2월 ~ 현재 대우통신 종합연구소 광통신연구실. 주관심분야는 광스위치 구조, 전광 파장변환, 반도체 광증폭기

환, 반도체 광증폭기



申瑞容(正會員)

1963년 5월 3일생. 1987년 2월 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1989년 8월 Florida Inst. of Tech.(공학석사). 1992년 12월 미국 Texas A&M 대학 전기공학과(공학박사). 1993년 2월 ~ 1994년 8월 한국전자통신연구원 광교환연구실 선임연구원. 1994년 8월 ~ 현재 명지대학교 정보통신공학과 조교수. 주관심분야는 광통신 시스템, 광교환, 광신호 변환, 광다중화/역다중화, 반도체 광증폭기, 광픽업

鄭洪植(正會員)

1959년 6월 25일생. 1982년 2월 서강대학교 전자공학과(공학사). 1984년 2월 서강대학교 전자공학과(공학석사). 1989년 5월 미국 Texas A&M 대학 전기공학과(공학박사). 1989년 3월 ~ 1990년 2월 일본 신기술사업단(JRDC) 연구원. 1990년 3월 ~ 현재 홍익대학교 전자전산공학과 부교수. 주관심분야는 광전자, 광집적회로, 광통신 시스템