

論文99-36S-2-2

시분할-과장분할 방식이 혼합된 라우팅 구조를 가지는 대용량 광 ATM 스위치

(Large capacity Photonic ATM switch with mixed routing structure using TDM and WDM methods)

金光福*, 朴起吾*, 安祥皓*, 嚴震燮*

(Kwang Bok Kim, Ki O Park, Sang Ho Ahn, and Jinseob Eom)

요 약

본 논문에서는 시분할-과장분할 방식이 혼합된 라우팅 구조를 가지는 대용량 광 ATM 스위치 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 셀의 경로배정 과정에서 겪게되는 광 파워의 손실 및 시스템 구성시 요구되는 하드웨어를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 수동소자를 사용함으로써 전기적 제어부분의 복잡성을 피할 수 있다. 또한 제안된 스위치는 확장이 용이하도록 설계되어졌기 때문에 처리용량에 있어서 미래의 대용량 광 교환 시스템에 적합한 구조라고 할 수 있다.

Abstract

In this paper, large capacity Photonic ATM switch structure is proposed. It contains mixed routing structure using TDM and WDM methods. Through this structure, we can get not only required hardware reduction, and optical power loss reduction in cell routing procedure but also the less complexity of electrical control parts using passive device. Also, it is designed for ease to simplicity of extension in throughput, so it is suitable structure for large capacity Photonic ATM switching system of the future.

I. 서 론

가까운 미래의 통신망 서비스의 진화 방향은 영상신호를 중심으로 하는 광대역 통신 서비스가 주류를 이룰 것으로 예상된다. 여기에는 영상 전화, 영상 회의, CATV 분배, HDTV 등의 영상 서비스로부터 정밀 화면 전송, 고속 데이터 전송, 비디오 텍스 등의 다양

한 고속·광대역 서비스들이 관련된다. 이러한 서비스들을 수용하기 위해서는 B-ISDN의 구축이 필연적이며, 이는 광통신 시스템을 기반으로 구현되어질 수 있으므로 이를 위한 광전송기술, 광교환기술, 광소자기술, 광통신 방식 등의 관련 기술 개발이 중요한 관건이 된다. 특히 광교환 기술은 광의 형태로 전달된 정보를 전기신호로 변환하지 않고 광신호 형태 그대로 직접 교환이 이루어지게 함으로써 광 고유의 특성인 고속성과 병렬 처리 능력을 최대한 활용하는 차세대 교환 기술로 관심이 집중되어 왔다.

광교환의 핵심 기술은 크게 광스위치 구조를 연구하여 광교환 시스템을 개발하는 것과 이를 실현하기 위한 광교환 소자의 개발에 있다.^[1] 현재까지 제안된 광교환 방식은 스위치 내에서 광의 진행형태에 따라

* 正會員, 江原大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Kangwon National University)

※ 본 연구는 광주과학기술원 초고속광네트워크연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

接受日字:1998年1月12日, 수정완료일:1998年10月22日

도파로형 광교환 방식과 자유공간 광교환방식 그리고 혼합형 광교환방식으로 분류된다. 전기적 라우팅을 취하지 않는 광 ATM 시스템으로는 Bellcore에서 스타 커플러 형태의 셀 라우팅 방법을 처음으로 제안하였고, 그 외에 대부분 ATM 시스템의 제어는 전기적으로 해결하고 고속 광대역 스위칭은 광기술로 분담하는 형태의 시스템이 제안되고 있다. 이러한 시스템의 대표적인 예가 NEC의 광패킷 교환 시스템, NTT의 시간분할형 ULPHA^[2,3] 시스템, Hitachi의 공간 분할 스위치를 이용한 경우 등이 있으며, 최근 일본 NTT에서 파장분할형 FRONTIERNET 스위치 구조^[4]를 발표한 바 있다. 국내의 경우 ETRI를 비롯하여 대학 및 기타연구소에서 광교환 소자 및 스위치 구조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 스위치 구조면에서는 ETRI에서 4×4의 circuit 스위칭형태의 광 스위치 구조가 제안되어 이를 구현하였으며, 최근 WDM (Wavelength Division Multiplexing)과 TDM (Time Division Multiplexing) 방식이 혼합된 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치 구조^[5]가 제안된 바 있다. 본 논문에서는 시간분할과 파장분할 광교환 방식이 혼합된 새로운 라우팅 방법을 적용한 광 ATM 스위치 구조를 제안하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 제안된 시간·파장분할 혼합형 라우팅 구조를 가지는 광 ATM 스위치의 전체적인 구조를 보여주고, 각 부분의 동작을 분석하였다. III장에서는 스위칭되는 광 ATM 셀들의 충돌이 없는 조건하에서의 스위치 용량을 분석하였고, 파워 버저트를 통해 제안된 스위치의 라우팅 과정에서 손실되는 광파워와 스위치 구현에 필요한 하드웨어를 분석하였으며, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 제안된 광 스위치의 구조 및 동작원리

그림 1은 제안된 스위치의 전체 블럭도이다. 각 입력단을 입력링크라 하고 이의 입력신호들이 파장다중화되어 있다고 가정할 때, 채널을 역다중화시키는 역다중화기와 각 채널에 대한 경로배정을 위한 파장으로 1차 변환하여 셀들 간의 충돌을 막기 위해 압축시키고, 셀들을 시분할 다중화시키는 WDM-to-TDM 변환 모듈, WDM-to-TDM 변환 모듈과 TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈 사이의 하나로 통합된 경로배정기 I이 있다. 그리고 시분할 다중화와 파장다중

화된 신호를 역다중화하고 최종목적지로 경로 배정되기 위한 파장으로 변환시키는 TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈이 있으며, 스위치 출력단의 최종 목적지로 파장을 경로배정하기 위한 경로배정기 II, 압축된 셀을 원래의 신호로 역압축시키는 디코더, 스위치의 출력단이 국간 전송링크일 경우 요구되는 파장다중화기 등으로 이루어진 것을 특징으로 한다. 하나의 전화국에서 스위치와 연결되는 전체 입·출력 링크가 획일화된 WDM망이 되기는 쉽지 않을 것이며, 여러 가입자망과 직접 접속될 수도 있겠다. 이 경우 스위치의 하위 구조처럼 입력단과 출력단에 파장 역다중화기와 다중화기를 제거함으로써 각각의 가입자망과 직접 접속이 가능하게 할 수 있다. 본 스위치 구조는 TDM을 기초로 제안되었기 때문에 신호의 전송형태는 RZ 형태를 가정한다.

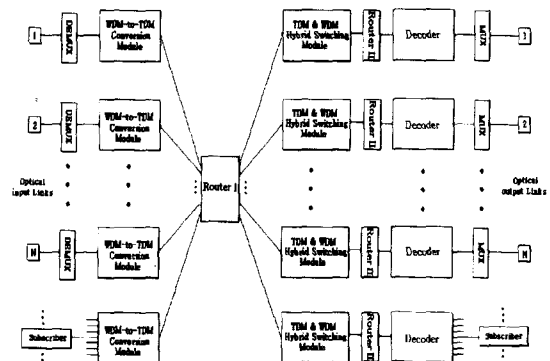


그림 1. 제안된 스위치의 블럭도

Fig. 1. Block diagram of the proposed switch.

1. WDM-to-TDM 변환 모듈

그림 2는 WDM-to-TDM 변환 모듈을 구현하기 위한 구성도의 실 예를 보인 것이다. 각 입력링크로 입력되는 파장다중화된 광셀들은 역다중화기를 통해 역다중화된다. 본 구조에서는 역다중화 기능을 수행하기 위해 $(1 \times n)$ AWG (Arrayed-Waveguide-Grating)^[6,7] 에로 들었다. 만약 입력단이 국간 전송 링크가 아니라 가입자인 경우에는 역다중화기가 사용되지 않고 각 가입자가 WDM-to-TDM 변환 모듈로 직접 접속되게 된다. 역다중화된 n개의 서로 다른 채널들은 가변파장변환기(Tunable Wavelength Converter I)에 의해 목적지로 경로 배정되기 위한 파장으로 변환된다. 경로 배정을 위한 파장 변환 알고리즘은 2절의 경로배정기 I에서 설명하기로 한다.

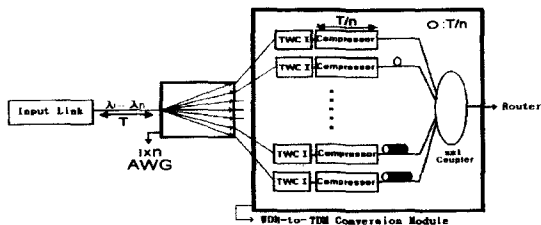


그림 2. WDM-to-TDM 변환 모듈의 구현 예
Fig. 2. Realized case of WDM-to-TDM Conversion Module.

최대 n개의 셀중 목적링크가 같은 경우가 발생할 수 있고 또 최악의 경우 모든 셀이 하나의 목적링크로 가고자 할 때 가변파장변환기 I에 의해 동일한 파장으로 변환되기 때문에 경로배정기로 입력되는 과정에서 셀들 간의 충돌이 발생하게 된다. 이런 경우를 방지하기 위하여 각 셀들은 하나의 셀 주기(T)에 모든 채널(n)이 시분할 다중화될 수 있도록 압축기를 사용하여 (T/n)로 압축시킨다. 압축된 셀들은 각각 T/n 만큼의 지연시간 차이를 가지는 파이버 지연선을 통과하여 커플러에 의해 결합된다. 결국 동시에 입력된 파장다중화된 n개의 셀들은 위의 과정을 모두 겪은 후에 WDM-to-TDM 변환 모듈을 통해 하나의 셀 주기 T 안에 시분할다중화되어 파장경로배정기로 입력되게 된다. 이렇게 함으로써 FRONTIERNET 스위치와는 달리 경로배정과정에서의 요구되는 파장수를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 가변파장 LD의 가변 속도, 좁은 주파수 할당에 따른 인접 채널간의 신호 누화 및 FWM(Four Wave Mixing)등의 비선형 효과 또한 줄일 수 있다. 또한 기 제안된 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치 구조에서 파장 경로배정기 I과 셀 코더(Cell Coder)의 수를 현격히 줄일 수 있게 된다. 그림 3은 WDM-to-TDM 변환 모듈에서 이루어지는 동작과정을 타이밍도로 보인 것이다.

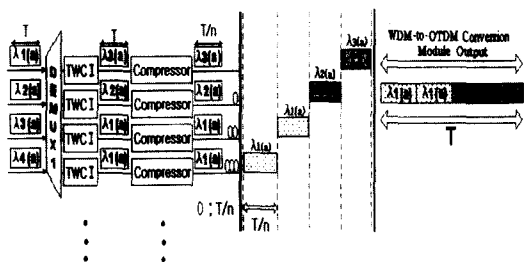


그림 3. WDM-to-TDM 변환 모듈에서의 타이밍도
Fig. 3. Timing diagram of WDM-to-TDM Conversion Module.

2. 경로배정기 I

그림 4는 4개의 입·출력 링크에 대해 AWG를 이용한 경로배정기이다. 채널의 경로배정을 위한 알고리즘을 살펴보면 경로배정기 I에서 입력단을 i, 출력단을 j, 입·출력단의 수를 N이라 할 때, 입력단 i에서 출력단 j로 가는 경로를 배정받을 수 있는 파장은 $((i+j-2) \bmod N) + 1$ 이라는 관계식에 의해 결정된 파장을 가지는 셀이다. 예를 들어 입·출력단의 수가 4이고, 입력단 3으로 들어온 셀이 출력단 1로 스위칭되고자 할 때에는 위에서 언급한 관계식에 의해 $((3+1-2) \bmod 4) + 1 = 3$ 즉, λ_3 의 파장을 가져야 한다. 만약 입력단 1에서 같은 출력단 1로 스위칭되고자 할 때에는 $((1+1-2) \bmod 4) + 1 = 1$ 즉 λ_1 의 파장을 가지는 셀만이 첫 번째 출력단으로 스위칭된다.

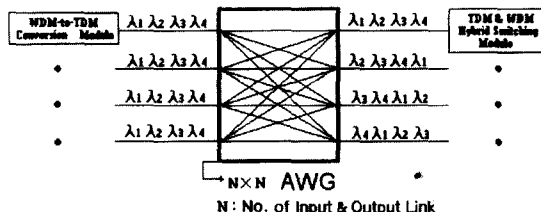


그림 4. AWG를 이용한 경로배정기 I
Fig. 4. Wavelength Router I using AWG.

WDM-to-TDM 변환 모듈에 의해 시분할 다중화된 각 입력단의 셀들은 AWG를 통과한 후 동일목적지로 향하는 셀끼리 같은 타임슬롯 내에서 파장다중화된 형태가 된다. 이 파장다중화와 시간다중화가 동시에 이루어진 셀들은 목적 출력링크의 TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈로 입력된다. 파장분할 방식만을 사용할 경우 입력링크의 서로다른 셀들이 동일 출력단으로 가고자 할 때 충돌이 없는 경로배정을 위해서는 서로 다른 파장을 할당해야 하지만, 본 구조에서는 셀을 압축시킴으로써 경로배정을 위해 요구되는 파장수가 1/n 만큼 적어지는 이점이 있으며, 경로배정기 이후에 주파수 선택기(Frequency Selector)를 사용하지 않아도 된다. 또한 수동 소자를 사용함으로써 SOA(Semiconductor Optical Amplifier) 게이트 소자^[8]나 광 스위치를 이용한 채널 경로 배정방식^[9]에 비해 요구되는 하드웨어 및 제어 알고리즘이 간소화될 수 있다.

3. TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈

그림 5는 TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈을

구현하기 위한 구성도이다. TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈에서는 WDM-to-TDM 변환 모듈에서처럼 먼저 (1×n) AWG로 파장 여다중화를 시킨다. 각각의 여다중화된 셀들은 최종목적지로 경로 배정되기 위한 파장으로 변환되게 되는데 고속의 ATM 셀인 경우, 예를 들어 전송링크에서의 전송속도(T)가 10 Gbps인 10개의 채널(n)이 다중화 되어 있는 경우, WDM-to-TDM 변환 모듈에서 (T/n)으로 압축되기 때문에 압축된 ATM셀의 속도는 100 Gbps가 된다. 현재의 기술수준으로는 100 Gbps의 속도로 파장을 변조하기가 어려우므로 현재의 기술로서 변조 가능한 속도로 만들어주어야 한다. 구현을 위한 한 방안으로는 가변파장변환기 앞단에 비트와 비트 간의 간격을 늘리기 위한 셀 역압축기를 두어 원래의 전송속도인 T로 역압축시킨다. 그러나 T주기 안에는 T/n로 압축된 n개의 셀이 있을 수 있으므로 하나의 압축된 셀이 역압축이 이루어지는 동안 뒤이어 오는 셀과 충돌하게 되는 현상을 막기 위해 TDM 버퍼를 두어 T주기마다 한 셀씩 셀 역압축기로 출력시킨다. 또 다른 구현 예로는 TOAD^[10]나 NOLM^[11] 등과 같은 시분할 여다중화기를 사용하여 광변조기의 유효 동작속도까지 여다중화시켜 파장변환을 시키는 방법이 있을 수 있겠다. 만약 스위치에 입력되는 각 채널의 전송속도가 수 백 Mbps ~ 수 Gbps 이거나 다중화된 채널의 수가 적을 경우 위의 방법들을 사용하지 않아도 된다. 최근 발표된 연구 결과에 의하면, 94 GHz의 동작속도를 가지는 광외부 변조기^[12]가 제안되었으며, 광 주파수 변환기의 경우 RZ 전송 형태에 대해 SOA에서의 XPM(Cross Phase Modulation)을 이용할 경우 100 Gbps^[13]가 가능한 것으로 보고되고 있다. 위의 문제는 비단 제안구조뿐만 아니라 다단 구조의 ULPHA나 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치에 동일하게 작용하는 요소이다.

가변파장변환기 II에 의해 파장 변환된 동일 시간슬롯 내의 최고 n개의 셀들을 고려할 때, 이 n개의 셀이 동일 목적지로 가고자 한다면 경로 배정기 I의 AWG 동작원리처럼 서로 다른 파장을 할당하여 경로 배정기 II로 입력시키면 된다. 결국 TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈을 통해 경로 배정기 II에서 출력되는 셀은 경로 배정기 I의 출력처럼 파장분할다중화된 형태가 된다. 경로배정을 위한 알고리즘은 상술한 바와 같으며, 가변파장변환기 II는 WDM-to-TDM

변환 모듈의 가변파장변환기 I의 가변 파장범위와 동일한 것을 사용하여도 무방하다.

TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈은 FRON-TIERNET이나 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치와 가장 큰 차이를 보이는 부분으로써, 두 구조는 경로 배정기 I 앞단에서 경로 배정을 위해 OFDM, WDM 방식을 사용함으로써 하드웨어의 수가 급수적으로 증가한다. 전자의 경우 주파수 선택기(FS)와 주파수 변환기(Frequency Converter)가 각각 N^2 , 커플러가 $2 \cdot N^2$ 가 요구된다. 후자의 경우 라우터 I 앞단까지는 전자와 동일하나 셀 코더를 두어 WDM과 TDM을 혼합한 ULPHA 구조를 따르고 있다. 하드웨어의 경우 하나의 셀코더가 DEMUX(1개)와 TWC (N개) 압축기(N개), 커플러(1개)로 구성되어 있으며 전체적으로 N^2 개의 셀코더가 필요하게 된다.

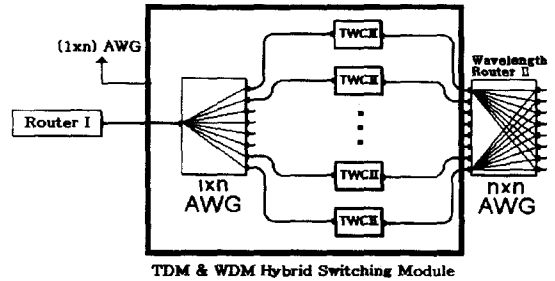


그림 5. TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈의 구현 예
Fig. 5. Realized case of TDM & WDM Hybrid Switching Module.

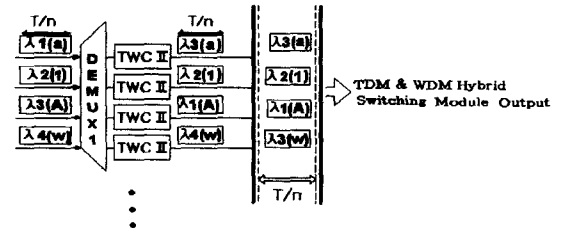


그림 6. TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈에서의 타이밍도
Fig. 6. Timing diagram of TDM & WDM Hybrid Switching Module.

그림 6은 상술한 TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈에서의 동작원리를 타이밍도로 보인 것이다.

4. 경로배정기 II & 셀 디코더

TDM & WDM 혼합형 스위칭 모듈에서 출력된 시분할 다중화된 셀은 경로배정기 II에 의해 파장별로

역다중화된다. 이때 사용되어지는 디바이스는 $(n \times n)$ AWG이다. 그림 7은 Router II와 셀 디코더 구현을 위한 예를 보인 것이다. 경로배정과정에서 충돌을 막기 위해 T/n 으로 압축되었던 셀은 원래의 주기 T 로 역압축되는데, 이때 병목현상을 막기 위해 WDM 버퍼를 둔다. 만약 스위치의 출력단이 전기적 계위와 집적 접속된다면 광/전 변환되고 최종목적지가 아니라 다음 전송 링크로 전송되어야 한다면 커플러를 사용하여 n 개의 채널을 다중화시켜 원래의 파장다중화된 형태로 전송할 수 있다. 이 경우 스위치의 각 출력단에는 고정 파장 변환기를 삽입해야 한다.

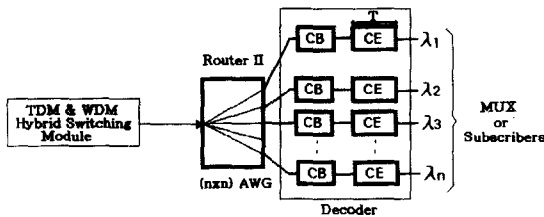


그림 7. 경로배정기 II와 셀 디코더의 구현 예
Fig. 7. Realized case of Router II and cell decoder.

5. 가변파장변환기 I (TWC I)

그림 8에 보인 것은 커플러, 광전 변환기와 주파수 가변 LD, 외부 변조기, 전기적 버퍼를 사용한 가변파장변환기 I의 구현예이다. 교환기가 설치된 전화국과 다른 전화국 및 관할 구역내의 부 노드, 가입자 등과의 상호 연결시 전송거리의 차이 등으로 인해 교환기에 입력되는 셀들의 동기가 일치하지 않을 경우가 생기게 되고 이것은 교환과정에서 셀들간의 충돌을 피할 수 없게 된다. 전체 네트워크에 걸쳐 동기를 맞추기란 어려우므로 본 구조에서는 광전 변환된 각 입력 광 ATM 셀을 전기적 버퍼를 두어 중심 클럭에 의해 출력을 제어함으로써 전체 ATM 셀의 동기를 맞출 수 있다. 이때 버퍼의 깊이는 깊지 않아도 되며, 2×2 광스위치와 지연선, 2×1 커플러로 이루어진 가변 지연선 구조^[14]를 이용하여 셀들간의 동기를 맞추는 것은 하드웨어 구현시 비용이 많이 들고 제어의 어려움이 있다.

광 ATM 셀의 어드레스를 해석하여 경로 배정을 위한 출력 파장을 결정하고, LD의 출력 펄스열은 분산선이 광섬유를 통해 펄스폭을 좁게하여 외부 변조기로 입력시키고, 외부 변조기는 전기적 버퍼에 저장된 데이터 신호로 제어함으로써 원래의 신호를 복제하게

된다.

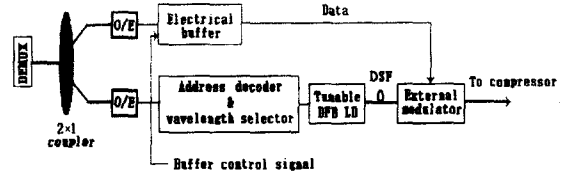


그림 8. 가변파장변환기 I의 구현 예
Fig. 8. Realized case of TWC I.

6. 광셀 압축기 및 역압축기

광셀 압축기와 역압축기는 ULPHA 스위치에서 그 구조가 제안된 바 있다. 1992년에 발표된 압축기의 경우 1×2 스위치, 2개의 광섬유 지연선, 2×1 결합기로 구성된 PIC(Pulse-Interval Compressor)의 연속된 연결 형태를 취하고 있으며, 이후 1996년에는 2×2 결합기와 파이버 지연선, 광 게이트 스위치를 사용한 구조가 제안되었다. 두 경우 모두 전방 진행형이며, 전자의 경우 셀의 크기가 클수록 구현을 위한 하드웨어가 많으며, 첫 PIC의 스위치 동작시 부하가 많은 단점이 있다. 후자의 경우 게이트 소자의 동작이 상당히 엄격할 것이 요구된다. 역압축기의 경우 92년 발표된 압축기 구조와 동일한 구조를 취하고 있으나 지연선의 위치를 반대로 함으로써 역압축을 수행한다.

그림 9에 보인 것은 새로이 제안하는 압축기 구조로서 압축 및 역압축시 캐환 알고리즘을 적용하여 구현을 위한 하드웨어를 줄인 구조^[15]이다. 물론 이것은 이상적인 경우를 가정한 것으로 실제 시스템 적용시 캐환루프에 광파워 보상을 위한 SOA와 산탄잡음(ASE)의 제거를 위한 필터의 삽입을 요한다. 입력되는 셀의 주기가 T 이고 압축된 펄스열의 간격이 Δt 이면, 지연선의 길이는 $(T - \Delta t)$ 이며, 압축기 첫단에서는 최대 $T \geq \Delta t \cdot n$ 인 n 개의 압축된 셀이 출력된다. 최초 입력된 셀의 첫 비트는 커플러 이후의 스위칭 수단에 의해 캐환 루프로 보내지고, 이 비트는 $(T - \Delta t)$ 의 지연을 경험한 뒤 뒤이어 오는 비트의 앞단에 Δt 간격으로 서게 된다. 입력되는 ATM 셀이 512 비트인 경우 제안된 구조 3 단으로 압축이 가능하다. 즉, 압축기의 첫단에서는 8비트의 소규모 압축셀을, 두 번째 단에서는 64비트의 압축된 셀이, 마지막 단을 통과한 후 512 비트가 모두 압축되게 된다. ULPHA에서 제안된 92년형인 경우 512비트를 압축하기 위해 PIC 아홉단이 요구된다. 역압축의 경우 제안된 구조와 동

일 구조에서 지연선의 위치를 역순으로 배열함으로써 가능해진다. 이 구조 또한 ULPHA의 역압축기에 비해 구현을 위한 하드웨어가 감소한다는 이점이 있다. 그림에 보인 예는 커플러와 광 스위치로 구현한 것이지만 커플러 이전의 케환 루프와 스위치 위치에 광 게이트 소자를 사용하여서도 구현이 가능하다. 그림 10에 보인 것은 압축기 세단을 연결하여 512 비트인 ATM 셀의 압축 과정을 각 단별로 보인 것이다. 역압축기는 압축기와 동작 알고리즘은 동일하며 지연선의 위치를 반전시킨 구조이다.

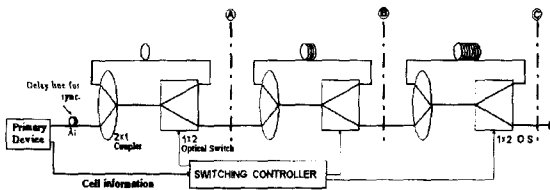


그림 9. 광셀 압축기
Fig. 9. Optical Cell Compressor.

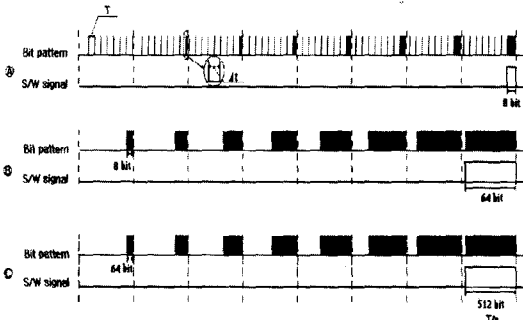


그림 10. 압축 타이밍도
Fig. 10. Timing diagram of Cell Compression.

III. 시스템 성능 분석

본 절에서는 제안된 스위칭 시스템의 성능분석을 위해 처리용량을 계산하였고, 파워 버지트를 통해 스위치로 입력되는 신호가 라우팅 과정에서 겪게되는 손실을 다른 스위치 구조들과 비교하였다. 마지막으로 구현을 위한 하드웨어를 비교함으로써 제안된 구조가 여러 가지 측면에서 효율적인 구조임을 제시하였다.

1. 처리용량

그림 11은 입력 링크의 각 채널 전송속도가 10Gb/s인 경우 파장과 링크 수가 증가함에 따른 제안된 스위치의 처리 용량을 보인 것이다. FRON-

TIERNET, ULPHA 스위치의 경우 다단 연결시 제안된 구조와 동일한 처리용량을 가질 수 있다. 그러나, FRONTIERNET 스위치는 스위치 용량이 증가되면 전기적인 제어 부분이 상당히 복잡할 뿐만 아니라 라우팅을 위해 요구되는 파장의 수가 급수적으로 증가하며 그에 따른 하드웨어가 부수적으로 증가하게 된다. ULPHA 스위치의 경우는 그 구조상 라우팅과정에서 커플러를 사용하여 모든 출력단에 입력되는 모든 셀들의 파워가 분배되므로 입력링크 증가시 출력단에서의 셀 선택에 있어 상당한 무리가 따른다. 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치의 경우 역시 처리용량은 제안된 스위치와 동일하지만 입력단(N) 및 채널수(n)가 증가할수록 출력링크의 셀코더 수가 급수적으로 증가할 뿐만 아니라, 라우터 II에서 ULPHA 스위치의 방식을 사용하고 있으므로 ULPHA 스위치와 동일한 문제점이 있어 두 구조 모두 시분할 교환 방식이 가지는 한계를 노출할 수밖에 없다. 그러므로 세 구조 모두 처리용량의 확장에 무리가 따른다. 반면 제안된 구조는 위의 세가지 단점을 보완함으로써 그 처리용량의 확장에 유리한 구조를 띈다.

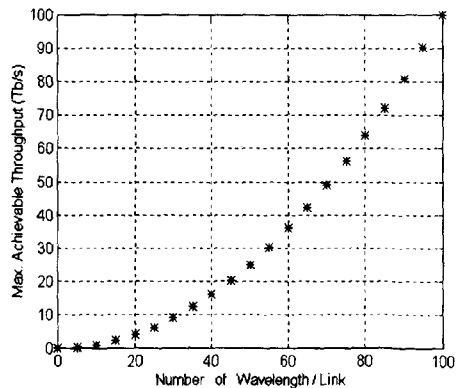


그림 11. 파장 수와 링크 수에 따른 제안된 스위치의 처리 용량

Fig. 11. Throughput of the proposed switch as the number of wavelength and link.

2. 파워 버지트

통상 스위치에 사용되는 기본 모듈들은 수동 및 능동 소자를 함께 사용하고 있으며 특히 가변 파장 변환기^[16]와 같은 경우 반도체 광증폭기를 사용하므로 이득을 얻는 경우가 있다. 앞서 언급한 기존의 스위치 구조는 제안된 구조처럼 셀을 경로 배정하고 선택하는 과정에서 수동소자를 사용하고 있기 때문에 광파워의

손실이 대부분 이 과정에서 일어난다. 그 외에 FRONTIERNT의 경우 주파수 변환기에 가변파장 LD가 내장되어 있고, FDM 버퍼의 경우 광 게이트 소자와 루프에 삽입된 광증폭기 등이 있어 객관적인 파워 버지트를 수행하기는 어렵다. ULPHA와 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치의 경우 셀 코더에 광 게이트 소자가 사용되고 TDM 버퍼의 경우 게이트 소자^[17]와 1×2 광 스위치를 이용하는 구조가 있으므로 이 또한 선택 여하에 따라 자체 이득을 얻을 수 있으므로 본 절에서는 각 스위치별 라우팅 과정 I, II에서 손실되는 광파워를 알아본다. 비교 분석시 하나의 전송링크에 최대 10개의 채널이 다중화되었고, 입·출력단이 10×10인 단단 스위치 구조를 가정하며, 모든 스위치의 WDM 라우터로는 16×16 AWG(삽입 손실 8dB)를 사용하는 것으로 동일시한다.

각 스위치별 라우팅을 위해 요구되는 하드웨어를 살펴보면, FRONTIERNET의 경우 주파수 변환기 I과 II 사이에 1차 라우팅을 위해 AWG, 1×N 스플리터, 주파수 선택기가, 2차 라우팅을 위해 주파수 변환기 II와 FDM 버퍼 사이에 커플러와 AWG가 사용된다. ULPHA^[2]의 경우 1차 라우팅을 위해 압축기 이후 2×1 커플러, 성형결합기 2개, 파장역다중화기가, 2차 라우팅을 위해 파장 변환기와 TDM 버퍼 사이에 2×1 커플러, 게이트 스위치, Y×Y Reverse Banyan networks, 2×1 커플러, Y×1 커플러, 1×N 스플리터가 사용된다. Banyan networks의 경우 커플러와 스위칭 수단으로 구성되어지며, 역시 스위칭 수단으로 광 스위치와 게이트 소자가 사용될 수 있으므로 2차 라우팅시 파워 버지트는 Banyan networks 이후로 한다. 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치의 경우 TWC I 이후 FR(Frequency Router) I으로 AWG와 셀코더의 TWC II 앞단에 DEMUX가 요구된다. 2차 라우팅을 위해서 셀 압축기와 TDM 버퍼 사이에 2개의 성형 결합기, 고정필터가 사용된다. 제안된 구조의 경우 1차 라우팅을 위해 성형결합기, 2개의 AWG가, 2차 라우팅을 위해 성형결합기와 AWG가 사용된다.

각 스위치별 파워 버지트를 수행하기 위해 1차 라우팅의 경우 TWC I이나 셀 압축기의 출력 광파워를 0dB라 하고, 편이상 TWC II의 입력 광파워를 고려한다. 2차 라우팅의 경우 TWC II의 출력을 0dB, TDM 또는 FDM 버퍼의 입력 광파워를 고려하며, ULPHA의 경우 Banyan networks의 출력을 0dB로

한다. 각 스위치의 파워 버지트는 다음과 같이 계산되며, M은 시스템 마진(6 dB)으로 한다. P_{input} 은 위에 정의된 각 라우팅 시작점의 입력 파워라 하고 각 라우팅의 최종 출력 파워를 각각 P_{R1} , P_{R2} 로 한다. 라우팅 과정에서 각 디바이스별 손실을 P_{device} 명으로 정의할 때 각 스위치별 라우팅 과정에서의 파워 버지트는 다음과 같다.

ULPHA 스위치는 1차 라우팅시 $P_{R1}=P_{input}-P_{2 \times ISC}-P_{N \times ISC}-P_{N \times NSC}-P_{1 \times 2 NDEMUX}-M = 0dB-10 \cdot \log 2dB-10 \cdot \log 10dB-10 \cdot \log (10 \times 10)dB-9dB-6dB = -48dB$, 2차 라우팅시 $P_{R2}=P_{input}-P_{2 \times ISC}-P_{Y \times ISC}-P_{1 \times NSC}-M = 0dB-10 \cdot \log 2dB-10 \cdot \log 10dB-10 \cdot \log 10dB-6dB = -29 dB$ 의 광파워 손실이 있다. FRONTIERNET 스위치의 경우 1차시 $P_{R1}=P_{input}-P_{16 \times 16AWG}-P_{1 \times NSC}-P_{FS}-M = 0 dB -8dB-10 \cdot \log 10dB-4dB-6dB = -28 dB$, 2차시 $P_{R2}=P_{input}-P_{N \times ISC}-P_{16 \times 16AWG}-M = 0dB-10 \cdot \log 10dB-8dB-6dB = -24 dB$, 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치는 1차시 $P_{R1}=P_{input}-P_{16 \times 16AWG}-P_{1 \times NDEMUX}-M=0dB-8dB-8dB-6dB = -22 dB$, 2차시 $P_{R2}=P_{input}-P_{N \times ISC}-P_{N \times NSC}-P_{FF}-M = 0dB-10 \cdot \log 10dB-10 \cdot \log (10 \times 10)dB-4dB-6dB = -40 dB$ 의 손실을 겪게 된다. 제안 구조인 경우 1차 라우팅시 $P_{R1}=P_{input}-P_{N \times ISC}-P_{16 \times 16AWG}-P_{1 \times NAWG}-M = 0dB-10 \cdot \log 10dB-8dB-8 dB-6dB = -32 dB$, 2차 라우팅시 $P_{R2}=P_{input}-P_{N \times ISC}-P_{16 \times 16AWG}-M = 0dB-10 \cdot \log 10dB-8dB-6 dB = -24 dB$ 의 손실이 있다. 계산과정에서 N, Y=10으로 하였고, AWG는 PIRI 제품을 모델로 하였다. 필터의 경우 상용화된 가변필터를 모델로 하였으나 FRONTIERNET의 경우 라우팅을 위해 OFDM 방식을 사용하므로 모델로 사용한 필터보다 더 좁은 대역폭을 요한다. 파워 버지트 수행 결과 라우팅을 과정에서 손실되는 광파워가 ULPHA나 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치 보다 적음을 알 수 있다.

3. 하드웨어 비교

표 1은 입력 링크와 출력 링크 수를 각각 N으로 하고 각 링크는 n개의 파장으로 다중화되었다고 할 때 FRONTIERNET, ULPHA, 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치와 제안된 스위치 구조(그림 12)를 실제 구현하는데 있어서 하드웨어적으로 필요한 각 부

분별 광소자 및 기능 모듈들을 비교한 것이다. 비교에서 알 수 있듯이 제안구조는 동일 처리용량을 가지는 타 스위치들에 비해 파장변환기의 수요가 현격히 감소함을 알 수 있다. ULPHA의 경우 $M \times Y$ 버퍼 네트워크가 단일 기능 모듈로는 구현을 위해 가장 많은 하드웨어를 요하는 부분이다. FRONTINERNET의 경우 FDM 버퍼를 구현하기 위한 하드웨어는 WDM 버퍼를 구현하기 위한 것보다 더 많이 요구되며, 시분할 하이브리드 WDM 광 스위치의 경우 셀 압축기의 요구가 상대적으로 많아진다는 단점이 있다. 이 세가지의 주목할만한 하드웨어의 수가 증가한다는 것은 곧 스위치를 제어하기 위한 전기적 제어부분의 복잡성을 수반하게 된다.

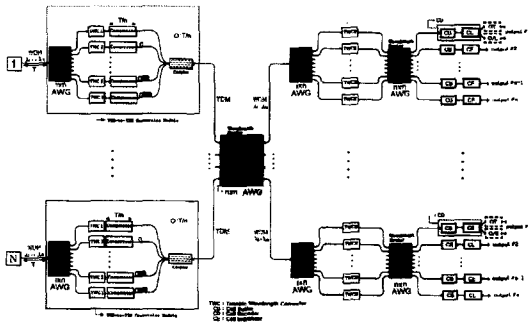


그림 12. 제안된 광 ATM 스위치 구조의 구현 예
Fig. 12. Realization case of the proposed Optical ATM Switch.

표 1. 하드웨어 비교
Table 1. Hardware comparison.

구분	ULPHA	FRONTINERNET	시분할 하이브리드 WDM 광 스위치	제안구조
Wavelength Converter	$n \times N, 2n \times N$	$n \times N, n \times N \times N$	$n \times N, n \times N \times N$	$2n \times N$
Compressor	$n \times N$	None	$n \times N \times N$	$n \times N$
$n \times 1$ coupler	$3N$	$2n \times N$	$N \times N$	$2N$
$N \times N$ coupler	1	None	None	None
W-DEMUX	$2N$	N	$N \times N$	$3N$
$M \times Y$ Buffer routing network	N	None	None	None
Decompressor	$n \times N$	None	$n \times N$	$n \times N$
Delay line	Need	Need	Need	Need
$N \times N$ AWG	None	$2N$	N	1
Frequency Selector	None	$n \times N \times N$	$n \times N$	None
TDM buffer	$n \times N$	None	$n \times N$	None
WDM buffer	None	None	None	$n \times N$
FDM buffer	None	$n \times N$	None	None

IV. 결론

본 논문에서는 새로운 라우팅 방식의 광 스위치 구조를 제안하였으며, 각 기능별 모듈에 대한 개념과 구현 예를 살펴보고, 대표적인 세가지 구조의 스위치와 비교 분석하였다. 시스템 성능 분석 결과 시분할 다중화방식 만으로는 대용량으로의 확장에 어려움이 있고, 파장 분할 다중화방식 만으로도 대용량으로의 확장시 라우팅을 위한 파장 수와 구현을 위한 하드웨어의 수가 급수적으로 증가하는 단점이 있으나, 제안된 시분할 파장분할 라우팅 방식을 이용한 구조는 전체적인 스위칭 시스템의 효율 측면에서 하드웨어적으로 유리한 구조를 가지고 있다. 이것은 곧 스위치의 전기적 제어부분의 효율증가와 연관되어진다.

현재까지 광교환 시스템을 구현할 수 있는 안정적인 소자들의 개발이 부족한 상태이고 교환방식도 확실히 결정되지 않은 상태이다. 여러 형태의 광 스위치 구조들이 제안되고 있지만 관련 광교환 소자 기술의 성숙도, 기존 시스템과의 연동성 등 여러 가지 관점에서 살펴볼 때, 제안된 구조는 앞으로 전개될 대용량의 멀티미디어 서비스들을 수용하기에 적합할 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] J. E. Midwinter, "Potonic switching technology : component characteristics versus network requirements," *J. Lightwave Tech.*, vol. 6, no. 10, pp. 1512-1519, Oct. 1988.

[2] Wen De Zhong, Masato Tsukada, Kenichi Yukimatsu, Yoshihiro Shimazu, "Tera-hipas: A Modular and Expandable Terabit /second Hierarchically Multiplexing Photonic ATM Switch Architecture", *J. Lightwave Tech.*, vol. 12, no. 7, pp. 1307-1315, July, 1994.

[3] Masato Tsukada, Hidetoshi Nakano, "Ultrafast Photonic ATM (ULPHA) Switch and a Video Distribution Experiment", *J. Lightwave Tech.*, vol. 14, no. 10, pp. 2154-2161 October 1996.

[4] Kiji Sasayama, Yoshiaki Yamada Habara, Ken-ichi Yukimatsu, "FRONTINERNET:

- Frequency-Routing-Type Time-Division Interconnection Network”, *J. Lightwave Tech.*, vol. 15, no. 3, pp. 417-429, March 1997.
- [5] 김기태, 엄진섭, 김우찬, 신서용, 정홍식, “시분할 하이브리드 WDM 광스위치 구조”, *전 자 공 학 회 논문지 제34권 D편 제5호*, pp. 52-60, 1997. 5
- [6] Hiroshi Takahashi, Kazuhiro Oda, Hiroma Toba, Yasuyuki Inoue, “Transmission Characteristics of Arrayed Waveguide N \times N Wavelength Multiplexer”, *J. Lightwave Technology.*, vol. 13, no. 3, pp. 447-455 March 1995.
- [7] 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, pp. 87-88. 1990.
- [8] M. Gustavsson and L. Thylen, “Switch Matrix with Semiconductor Laser Amplifier Gate Switches: A Performance Analysis”, *PSA Proc. on Photonic Switching*, vol. 3, pp. 77-99, 1989.
- [9] M. Koga, Y. Hamazumi, A. Watanabe, S. Okamoto, H. Oba, K. I. Sato, M. Ojuno, S. Suzuki, “Design and Performance of an Optical Path Cross-Connect System Based on Wavelength Path Concept”, *J. Lightwave Tech.*, vol. 14, no. 6, pp. 1106-1119, June 1997.
- [10] J. P. Sokoloff, P. R. Prucnal, I. Gleckl, and M. Kane, “A Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer(TOAD)”, *Photonics Technology Letters*, vol. 5, no. 7, pp. 787-790, July 1993.
- [11] K. Uchiyama, T. Morioka, S. Kawanishi, H. Takara, and M. Saruwatari, “Signal-to-Noise Ratio Analysis of 100 Gb/s Demultiplexing Using Nonlinear Optical Loop Mirror”, *J. Lightwave Tech.*, vol. 15, no. 2, pp. 194-201, February 1997.
- [12] C. D. Watson and M. G. F. Wilson, “Proposal for a 94-GHz Phase-Reversal Optical Modulator Using a Loaded Transmission Line”, *Photonics Technology Letters*, vol. 9, no. 1, pp. 52-54, January 1997.
- [13] Jay Martin Wiesenfeld, “Wavelength Conversion”, *OFC'96 Technical Digest*, pp. 121-122.
- [14] M. Tsukada, Wen De Zhong, T. Matsunaga, M. Asobe and T. Oohara, “An Ultrafast Photonic ATM Switch Based on Bit-Interleave Multiplexing”, *J. Lightwave Tech.*, vol. 14, no. 9, pp. 1979-1996, September 1996.
- [15] 김광복, 박기오, 엄진섭, 이혁재, “새로운 알고리즘을 적용한 광셀 압축기 및 역압축기”, *COOC'98*, pp. 263-264, 1998
- [16] Terji Durhuus, Benny Mikkelsen, Carsten Joergensen, Soeren Lykke Danielsen, Kristian E. Stubkjaer, “All-Optical Wavelength Conversion by Semiconductor Optical Amplifiers”, *J. Lightwave Tech.*, vol. 14, no. 6, pp. 942-954 June 1996.
- [17] Akira Misawa, Tohru Matsunaga, “Optical Input Buffers for the HiPower Photonic ATM Switch-Analysis and Experiments”, *J. Lightwave Tech.*, vol. 14, no. 10, pp. 2173-2183, October 1996.

저 자 소 개



金光福(正會員)

1971년 11월 7일생. 1997년 2월 강원대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 ~ 현재 강원대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 광통신, 광교환, 파장 안정화



朴起暎(正會員)

1971년 4월 3일생. 1997년 2월 강원대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 ~ 현재 강원대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 광통신, 광교환, 광픽업

安祥皓(正會員)

1967년 10월 3일생. 1993년 2월 강원대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 강원대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 2월 ~ 현재 강원대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 광통신, 광교환, 광소자



嚴震燮(正會員)

1959년 2월 20일생. 1982년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1984년 2월 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1990년 12월 미국 Texas A&M University 전기공학과 졸업(공학박사). 1984 ~ 1985년 금성반도체(주) 연구원. 1985 ~ 1987년 한국통신 선임연구원. 1992년 ~ 현재 강원대학교 전자공학과 부교수. 주관심분야는 광통신, 광소자, 광교환