

論文98-35S-8-2

# 고속 ATM망을 위한 파장 분할 광교환기 구조

## (Optical Switching Architectures using WDM for High-Speed ATM Networks)

蘇元鎬\*, 李靑勳\*, 金煥善\*\*, 金永川\*

(W.H.So, C.H.Lee, Y.S.Kim, and Y.C.Kim)

### 요 약

전광 통신망(All-Optical Network)은 근거리와 원거리 통신망을 위한 차세대 광대역 통신망이며 이를 위한 많은 광교환기들이 제안되고 있다. 특히 파장 분할 다중화 기법을 적용한 광교환기는 전광 통신망에서 B-ISDN 서비스를 위한 망의 투명성과 토폴로지 측면에서 많은 장점을 갖는다. 본 논문에서는 광링크 기반의 고속 ATM 망을 위한 두 종류의 녀아웃 광교환기 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 파장 분할 다중화 기법을 이용하여 전광 영역에서 동작할 수 있도록 하였으며, 구조-I과 구조-II로 명명하였다. 각 구조는 구성 소자 수 및 소자 종류에 의하여 다른 특성을 갖으며, 시스템의 성능과 복잡도도 많은 영향을 받는다. 제안된 두 종류의 광교환기 구조에 대한 해석적 분석과 시뮬레이션을 실시하였으며, 셀 손실률, 구성 소자의 복잡도, 요구되는 버퍼링 속도 관점에서 성능을 비교 분석하였다.

### Abstract

All-optical networks(AON) are emerging as the next generation broadband networks for wide-area and local-area networks. Many optical switch architectures are currently proposed to realize AON. Specially, optical switches using WDM have a lot of advantages in point of the optical transparency and network topology for B-ISDN services in AON. In this paper, two kinds of Knockout Optical Switching Architectures(KOSA) are proposed for high speed optical ATM networks. We use WDM technologies for them to operate in all-optical area and they are called Architecture-I, Architecture-II respectively. Each one represents different characteristics according to the number of components and the kind of components, which make KOSA have different performance and system complexity. In order to verify and to compare the performance, these architectures were analyzed and simulated in terms of cell loss ratio, system complexity and buffering speed.

### I. 서 론

광을 기반으로 하는 통신 기술은 크게 광전송과 광

교환 영역으로 분류할 수 있다. 광전송 영역에서는 광 필터, 광튜너, 단일 모드 광섬유 제작 기술 등의 발전으로 근거리 또는 원거리 통신망에 파장 분할 다중화 기법(Wavelength Division Multiplexing; WDM)을 적용함으로써 단일 링크에 고속의 다채널을 제공할 수 있는 광전송 기술이 실현 단계에 있다.<sup>[1-2]</sup> 이에 비하여 광교환 구현 기술은 아직 초보 단계에 머무르고 있다. 현재 제안되고 있는 ATM 광교환기는 교환 제어 신호 처리를 전기적으로 수행함으로써 입·출력 인

\* 正會員, 全北大學校 컴퓨터工學科

(Dept. of Computer Eng., Chonbuk Nat'l Univ.)

\*\* 正會員, 韓國電子通信研究所

(Electronics and Telecommunications Research Institute)

接受日字: 1998年3月21日, 수정완료일: 1998年6月27日

터페이스에서 광/전 변환에 의한 병목 현상이 발생한다. 특히 최근의 광전송 기술의 발전을 감안한다면 이와 같은 구조의 교환기는 머지않아 처리 용량의 한계가 예상된다. 따라서 광/전 변환에 의한 병목현상을 해결하기 위해서는 전광 영역에서 동작하는 광교환 방식의 도입이 필수적이며, 활발히 연구되고 있는 분야이다.<sup>[3,4]</sup> 이에 대한 최근 연구 동향은 우선적으로 광교환 방식에서 파장 분할 다중화 기법의 채택이다. 이 기법은 광/전 변환의 병목현상을 해결하고 망의 투명성을 보장할 수 있는 장점과 다른 다중화 기법에 비하여 광교환 시스템의 비용과 기능성, 성능 측면에서 좋은 결과를 보여줄 것으로 기대되고 있다.<sup>[3,4]</sup> 두번째는 대용량을 수용할 수 있을 뿐만 아니라 고속의 교환 처리도 가능한 구조에 대한 연구이다. 입·출력 트래픽이 교환부의 메모리를 공유하면서 소프트웨어적으로 교환을 수행하는 기존의 공유 메모리형 교환기는 메모리의 액세스 속도가 시스템의 성능을 제한하는 중요한 요소이다. 또한 다단형 교환기는 기본 교환 모듈을 사용하므로써 확장이 용이하고 병렬성을 제공하는 장점이 있지만 기본 교환 모듈간에 블러킹이 발생할 수 있으므로 경합을 해결하기 위한 버퍼가 요구되어 고속 교환 수행에 한계가 있다. 따라서 최근에는 시스템 내부의 넌-블러킹(Non-Blocking) 특성을 갖는 공간형 교환기가 다시 연구의 대상이 되고 있다. 이는 미래의 B-ISDN을 위해 ATM 교환기가 다양한 서비스 품질을 만족시킬 수 있도록 내부 블러킹을 효율적으로 해결하므로써 고속의 교환 처리가 가능해야 하기 때문이다.<sup>[5]</sup>

본 논문에서는 대표적인 공간형 교환기인 너아웃(Knockout) 교환기에 파장 분할 다중화 기법을 적용하여 전광 영역에서 동작할 수 있는 광교환기 구조를 제안하였다. 제안된 광교환기는 교환기내에서 넌-블러킹 특성을 가지며 출력 모듈에서는 너아웃 원칙에 따라 파장 변환기를 이용하여 파장 신호를 수신하고 각 신호를 광버퍼에 병렬적으로 저장하도록 하였다. 제안된 구조는 사용되는 소자와 구성 방법에 따라 구조-I 과 구조-II 두 종류이다. 이에 대한 성능 분석은 해석적 분석과 시뮬레이션을 이용하였다. 또한 주어진 입력 부하에 따라서 출력 포트를 담당하는 집중기의 파장 변화기 수는 교환기의 성능에 많은 영향을 미치므로 균형과 불균형 트래픽 상황에서 각각의 구조에 대한 성능을 비교 분석하였다.

본 논문은 5장으로 구성되어 있다. II장에서는 파장 분할 광교환 원리와 기존의 너아웃 교환기에 대하여 다루었다. III장에서는 제안된 두 종류의 WDM 너아웃 광교환기 구조를 제시하고, 이에 대한 해석적 분석을 실시하였다. IV장에서 제안된 두 종류의 너아웃 광교환기 구조에 대하여 균형 및 불균형 트래픽 상황에서 시뮬레이션을 실시하여 비교 분석하였으며, V장에서 결론을 맺었다.

## II. 파장 분할 광교환 원리와 너아웃 교환기

### 1. 파장 분할 광교환 원리

파장 분할 광교환 시스템은 광섬유가 제공하는 방대한 대역폭을 빛의 파장 분할 방식을 이용하여 다수의 채널을 제공하는 파장 분할 다중화 기법을 이용한다. 이 기법의 원리는 그림 1에 도시된 바와 같이 여러 개의 독립적인 트랜스미터와 리시버가 전자적 처리 장치의 최고 속도로 하나의 공유된 광섬유 링크를 동시에 액세스하여 광신호 정보를 전송하는 기술이다. 이때 각 파장은 하나의 독립된 전송 채널을 제공할 수 있다.

이와 같은 파장 분할 다중화 기법을 사용한 광교환 시스템은 광링크 교환과 함께 링크를 통해 들어온 다파장 채널간의 교환도 같이 이루어져야 한다. 이때 광링크간의 교환을 수행하는 광교환 시스템의 기본 기능은 광선로의 특정 파장을 통해 들어온 신호를 목적하는 광링크에 할당된 파장 신호로 변환하여 원하는 광링크로 출력되도록 하는 것이다. 링크내 파장간의 교환도 이와 같은 방법으로 수행된다.

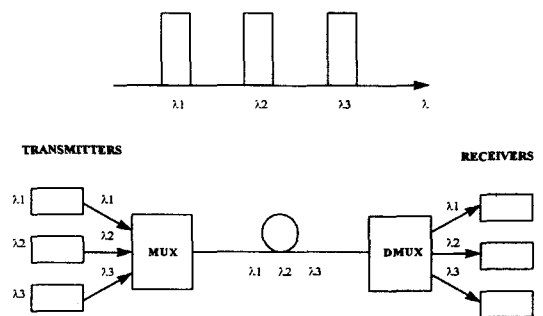


그림 1. 파장 분할 다중화 기법  
Fig. 1. Wavelength division multiplexing technology.

그림 2는 [7]에서 제시된 WDM망을 위한 광교환기의 개념도를 보인것이다. 광교환기의 구조는 그림에서 보는 바와 같이  $m$  개의 물리적 입·출력 링크를 갖고, 각 링크는  $n$  개의 다중화된 파장 채널을 제공하며 각 파장 데이터 신호의 전송을 위한 채널을 제공한다. 파장 분할 광교환을 위해 필요한 스위치 구성 요소는 다음과 같다.

첫째, 입력 링크에 연결된 파장 분할 역다중화기로부터 분리되어진 각 파장 채널을 원하는 출력 링크로 교환하기 위한 기본 교환 모듈(Basic Switch Module)부분이다. 각 스위치의 단은 원하는 링크로의 교환을 위해 파장 변환기(Wavelength Converter)를 사용한다. 기본 교환 모듈의 출력 부분에서 역다중화기를 사용하여 광신호를 목적하는 링크로 분배하므로 파장 변환기는 입력되는 광신호를 출력 링크를 나타내는 파장 신호로 튜닝해야한다. 또한 각 스위치 모듈에는 두 개 이상의 입력이 동시에 같은 출력 링크나 출력 파장을 요구하는 경우에 발생하는 경쟁을 해결하기 위해 광버퍼가 요구된다. 광버퍼의 위치 및 제어는 교환 특성에 따라 입력버퍼, 출력 버퍼 또는 입·출력 공용 버퍼 등으로 구성될 수 있으며 효율적인 전광 통신망의 구축을 위해서는 광 지연 루프를 활용하여 광/전 변환을 피할 수 있어야 한다.

둘째, 기본 교환 모듈을 운용하기 위한 제어기이다. 제어기는 입력단으로 들어오는 셀 헤더정보인 VPI/VCI를 해독하고 원하는 출력 링크로의 교환을 위한 제어 신호를 발생한다. 또한 제어기는 입력되는 셀의 헤더 정보를 이용하여 파장 변환을 위한 정보 버퍼에 저장할 위한 버퍼 입력 포인터 정보, 버퍼로부터의 출력을 위한 포인터 정보 등을 관리한다.

셋째, 입·출력 링크 사이의 균등한 트래픽 분배와 기본 교환 모듈 내에서의 출력 링크 경합 등을 효율적으로 제어하기 위한 버퍼 관리 메커니즘 부분이다. 버퍼 관리 메커니즘은 제어기의 제어 신호 구조의 복잡성에 영향을 미치게 되므로 요구되는 버퍼 운용 알고리즘은 제어 방법을 단순화시키면서도 교환망의 효율을 최대화시킬 수 있도록 설계되어야 한다.

파장 분할 광교환 시스템은 기본적으로 위와 같은 모듈과 제어 신호를 사용하여 임의의 광선로를 통해 입력된 파장 신호를 원하는 출력 링크의 파장 신호로 변환, 전송하는 광교환 기능을 수행하게 된다.

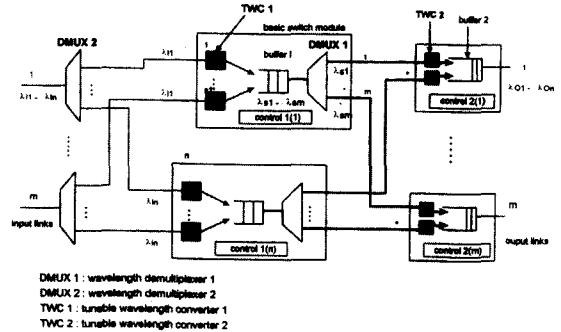


그림 2. WDM망을 위한 광교환기의 개념도  
 Fig. 2. An optical switch architecture for WDM networks.

2. 전기적 너아웃 교환기

본 논문에서 제시한 광교환기는 공간형 교환기의 넌-블러킹 특성을 갖기 위해서 그림 3과 같은 기존의 너아웃 교환기 구조를 이용하였다.

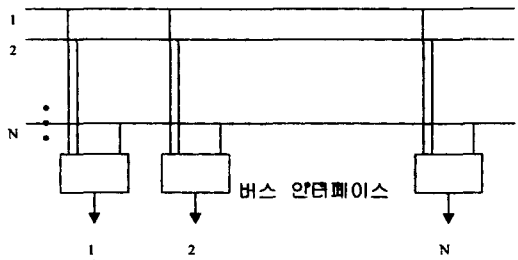


그림 3. 너아웃 교환기 구조  
 Fig. 3. Knockout switch architecture.

이와 같은 너아웃 교환기는  $N$ 개의 방송 버스로 구성되고, 입력 포트를 통하여 들어온 셀은 방송 버스를 통해 모든 버스 인터페이스로 전달된다. 버스 인터페이스에서는 해당 출력 포트에 출력될 셀만을 선택하여 출력 버퍼에 저장한다. 이때 모든 입력 포트에서 셀이 입력되는 경우 최대  $N$ 개의 셀이 이 출력 포트의 버스 인터페이스로 입력되는데, 인터페이스를 구성하는 셀 필터(Cell Filter)에서 각 셀의 출력 포트 주소를 검사하여 해당 포트에 출력될 셀만을 선택하게 된다. 이때 최대  $L$ 개의 셀만을 선택하는 집중기에 의해서 교환기의 성능이 좌우된다. 일반적으로 집중기가 선택하는 셀 수  $L$ 의 크기가 커질 수록 셀 손실 확률이 줄어드는 반면에 버스 인터페이스, 특히 집중기와 스위치의 구조가 복잡해진다. 교환기로 입력되는 셀의

트래픽이 균등 분포인 상황에서  $L$ 이 8일 때 셀 손실율은  $10^{-6}$  이하가 된다.<sup>[6]</sup>

### III. 파장 분할 녀아웃 광교환기 구조

#### 1. 녀아웃 광교환기 구조-I

제안된 광교환기 구조-I은 그림 4와 같다. 이 시스템의 교환 용량이  $N \times N$ 이고 각 입력  $I_x$ 와 출력  $O_y$ 에 대하여  $(I_j, O_k) = (\lambda_j, \lambda_k)$   $j, k = 1, 2, \dots, N$  로 고정 파장이 할당되고 각 출력에 대해서 최대  $L$ 개의 셀을 선택할 수 있는 집중기로 구성 되면, 구조-I은  $K(N, L)$ 로 표기할 수 있다. 이 시스템의 입력 인터페이스 모듈(Input Interface Module; IIM)은 입력되는 ATM 셀을 수신하여 지정된 파장으로 튜닝하며 전기적인 녀아웃 경합 제어기를 위한 또하나의 광신호를 발생한다. 파장 분할 교환부는 기존의 녀아웃 교환기의 방송기능을 갖도록 성형 결합기(Star Coupler; SC)를 이용한다. 주소 필터링 기능을 가지는 집중기는 녀아웃 원칙에 의하여 다중화된 파장 신호 중 특정 파장 신호만을 선택할 수 있는 튜닝 광소자로 구성된다. 또한 선택된 광신호는 공간 스위치에 의하여 광지연 버퍼에 저장된다. 구조-I은 출력 버퍼형의 교환기 구조이므로 광지연선을 이용한 광지연 버퍼는 FIFO방식에 의하여 운용된다. 출력 인터페이스 모듈(Output Interface Module; OIM)은 광버퍼에서 광데이터를 받아서 새로운 ATM 셀 헤더 정보와 함께 전송하는 기능을 수행한다.

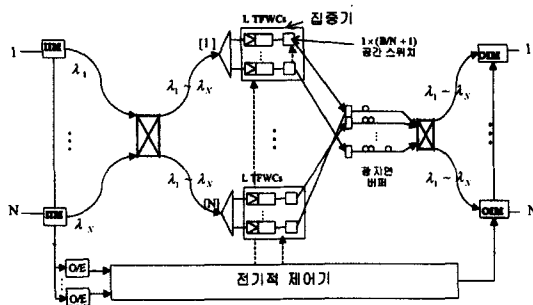


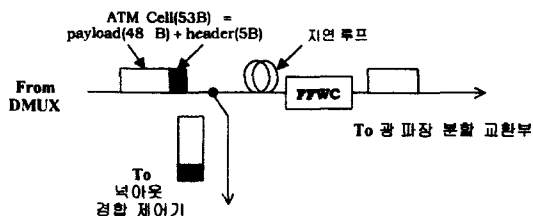
그림 4. 제안된 광교환기 구조-I  
Fig. 4. The proposed optical switch, Architecture-I.

녀아웃 경합 제어기는 전기적 제어기이며 IIM에서 전송되어 온 셀 헤더정보를 이용하여 교환기의 제어 신호를 발생한다.

#### 1) 입·출력 인터페이스 모듈

입력 인터페이스 모듈은 소규모망이나 호스트 시스템이 광교환기 입력 포트와 연결될 때 이들간에 인터페이스로서의 기능을 수행한다. 또한 WDM망에서 다중화된 광신호가 입력될 수 있으며, 이때 파장 역다중화기(Demultiplexer; DMUX)를 거쳐 특정 파장만을 수용하는 인터페이스로도 운용될 수 있다.

그림 5는 입력 인터페이스 모듈의 기능을 보이고 있다. 제어기로 전송되는 파장 신호는 광제어기의 구현이 현실적으로 불가능하므로 광/전 변환되어 전기적인 제어기에서 사용된다. 지연 루프는 파장 분할 교환부로 입력되는 셀을 지연시키기 위한 것으로써 교환된 광신호 데이터와 제어기에서 발생하는 제어 신호간의 동기를 맞추기 위한 것이다. 만약 지연 루프의 지연 시간을  $T_D$ , 제어기에서 셀의 헤더 정보를 이용하여 파장 분할 교환부의 제어 신호를 발생하는데 걸리는 시간을  $T_c$ 라 하면  $T_D$ 는  $T_c$ 보다 크거나 같아야 한다.



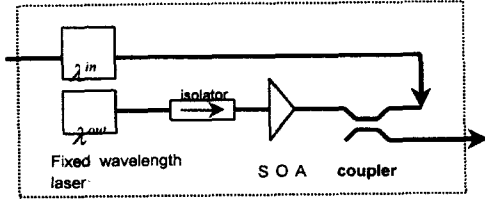
FFWC : Fixed -input Fixed -output Wavelength Converter

그림 5. 입력 인터페이스 모듈의 기능  
Fig. 5. Functions of input interface module.

$K(N, L)$ 은 각 입력에 고정된 파장이 할당되어 있으므로 인터페이스 모듈은 파장 신호를 수신하여 교환부에서 처리될 고정 파장 신호를 전송하는 광소자 FFWC(Fixed-input Fixed-output Wavelength Converter)로 구성된다. 그림 6은 광소자 FFWC의 구조이다.  $\lambda_{in}$ 은 이 입력 포트에 할당된 파장으로 필터링을 하며  $\lambda_{out}$ 은 할당된 파장으로 튜닝하여 전송한다. SOA(Semiconductor Optical Amplifier)는 전송될 광신호를 증폭하는 역할을 한다.

출력 인터페이스 모듈은 그림 7에서 처럼 교환 처리가 끝나고 버퍼에 저장된 광신호 데이터가 단위 슬롯내에 하나씩 출력 모듈로 입력될 때 이 신호를 받아서 전송한다. 이때 통신망에서 이용될 새로운 헤더 정보를 첨가시킨다. 새로운 헤더 정보는 ATM 셀 헤더

에 새롭게 할당된 VPI/VCI이다. 출력 인터페이스 모듈에서도 입력 인터페이스 모듈과 같이 고정된 파장이 각 출력 포트에 할당되어 있다. 따라서  $\lambda_{in}$ 은 물리적 공유 버퍼에서 출력되는 다중화된 광신호 중 출력 포트에 할당된 파장만을 필터링하여  $\lambda_{out}$ 은  $\lambda_{in}$ 과 같은 파장을 전송하므로 광/전 변환없이 교환 기능을 수행하게 된다.



FFWC : Fixed-input Fixed-output Wavelength Converter

그림 6. FFWC의 구조  
Fig. 6. Structure of FFWC.

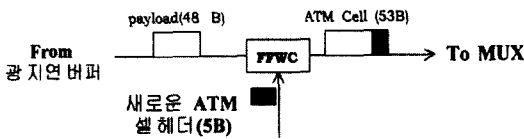
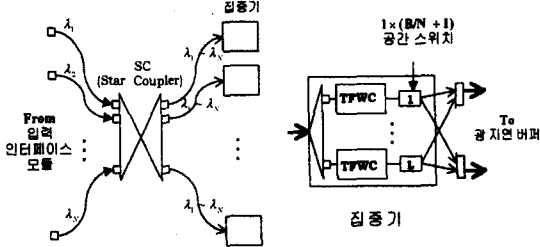


그림 7. 출력 인터페이스 모듈의 기능  
Fig. 7. Functions of output interface module.

2) 파장 분할 교환부

제안된 광교환기  $K(N, L)$ 에서 실제적인 교환이 수행되는 부분은 파장 분할 교환부이다. 그림 8에서 보는 바와 같이 IIM에서 입력된 각각의 광신호를 모든 출력 포트에 방송하기 위하여 SC를 이용하며 각 출력 포트에 전송된 다파장 중에서 특정 파장들만을 선택하기 위하여 집중기를 사용한다.

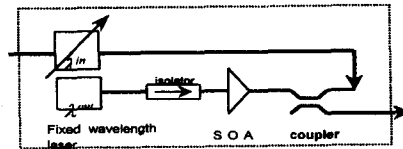


TFWC : Tunable -input Fixed -output Wavelength Converter

그림 8. 파장 분할 교환부의 구조  
Fig. 8. Switching fabric using WDM.

SC를 거친 광신호는 각 물리적인 링크마다 최대

$\lambda_1 \sim \lambda_N$ 인 광신호로 구성되며 각 출력 포트의 집중기로 전송된다. 출력 포트의 집중기에서는  $\lambda_1 \sim \lambda_N$ 의 파장 중에서 벗어나는 경합 제어기의 제어신호에 의해서 선택된 파장만을 버퍼에 저장한다. 이때 광버퍼가 수용할 수 있는 용량이  $B$ 라면 광버퍼는  $B/N+1$ 개의 지연선으로 구성되고, 집중기의 공간 스위치는  $1 \times (B/N+1)$ 의 처리 능력을 갖는다. 집중기의 TFWC (Tunable-input Fixed-output Wavelength Converter)는 그림 9와 같은 구조이며, 제어 신호에 의해서 선택된 파장만을 튜닝하여 필터링을 수행하여 출력 포트에 할당된 파장으로 광신호를 전송한다. 또한 TFWC는 SC에서 감소된 각 파장의 파워 레벨을 증폭시키는 기능도 가진다. 여기에서 TFWC의 수  $L$ 은 제안된 광교환기의 성능에 영향을 미친다.



TFWC : Tunable-input Fixed-output Wavelength Converter

그림 9. TFWC의 구조  
Fig. 9. Structure of TFWC.

3) 광버퍼

그림 10은 제안된 광교환기의 출력 버퍼를 나타낸다. 하나의 광지연선은 파장간에 간섭이 없기 때문에 서로 다른 파장을 모두 수용할 수 있으므로 각각의 광지연선은 모든 출력 포트에 대하여 독립적인 버퍼 기능을 가진다.

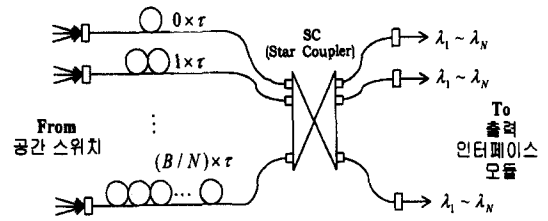


그림 10. 제안된 광교환기의 출력 버퍼  
Fig. 10. Output-buffer of the proposed optical switches.

$t$ 을 단위 슬롯 시간(셀 전송 시간) 또는 광신호가 지연 없이 교환되는 시간으로 가정하면, 그림 10에서 첫번째 지연선은 버퍼 경합에 이진 광신호가 교환기에 입력된 시간  $t$ 와  $t+1$ 내에 전송되는 패스를 의미한다.

즉 어떤 ATM 셀이 이 패스를 거쳤다면 이 셀은 교환기내에서 버퍼의 지연없이 WDM 망으로 전송되었다는 것을 의미한다. 출력 버퍼 경합 과정에서 진 나머지 광신호들은 다음 지연선에 순서적으로 선택되어 FIFO방식으로 저장된다.

광교환기 구조-I은 전술한 바와 같이 집중기의 파장 변환기의 수  $L$ 에 의해서 시스템의 성능이 영향을 받는다. 이에 대한 성능을 분석하기 위하여 먼저 입력 부하가  $\rho$ 이고 균형 트래픽 상황에 대하여 고려하였다. 이때 특정 출력 포트로 셀이 향할 확률은 식(1)과 같다.

$$P(k) = \binom{N}{k} \left(\frac{\rho}{N}\right)^k \left(1 - \frac{\rho}{N}\right)^{N-k} \quad (1)$$

따라서 셀 손실율은 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$CLP = \frac{1}{\rho} \left( \sum_{k=L+1}^N (k-L)P(k) \right) \quad (2)$$

또한 제시된  $K(N, L)$ 의 구성 소자 수 측면에서  $L$ 개의 TFWC를 각 집중기에서 사용하므로 시스템 전체적으로는  $N \cdot L$ 개의 TFWC를 요구하게 된다. 따라서 요구되는 셀 손실율을 줄이기 위해서는 모든 집중기에서 구성 소자 TFWC의 수를 증가시켜야 한다.

### 2. 넥아웃 광교환기 구조-II

그림 11에 각 출력 포트에 대해서는  $L_D$ 개의 TFWC로 구성된 전용 집중기를 사용하고, 셀 손실률 향상을 위해 공유 집중기를 갖는 넥아웃 광교환기 구조-II  $K(N, L_D, S)$ 를 제시하였다.

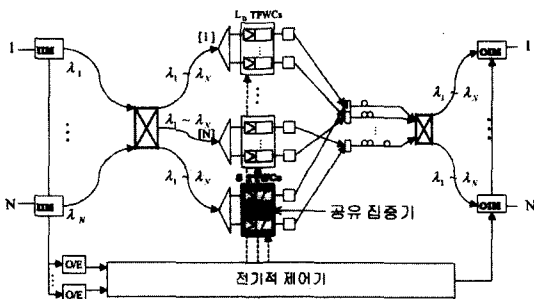


그림 11. 제안된 넥아웃 광교환기 구조-II  
Fig. 11. The proposed optical switch, Architecture-II.

공유 집중기 모듈은 TTWC (Tunable-input Tunable-output Wavelength Converter)를 가지르

로써 특정 전용 집중화기에 트래픽이 몰릴 경우 유용성 있게 사용될 수 있다. 따라서 광 소자의 효율적인 사용 및 셀 손실율을 줄일 수 있다. 파장 변환기 TTWC를 그림 12에 제시하였다.

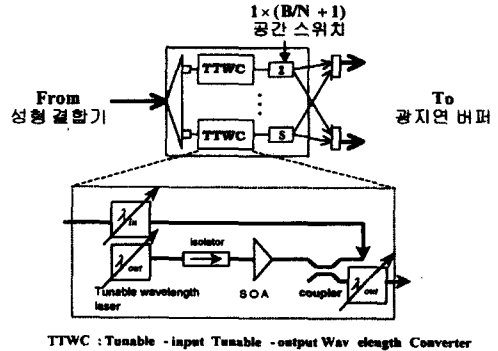


그림 12. 공유 집중기 모듈과 TTWC의 구조  
Fig. 12. Shared concentrator module and structure of TTWC.

구조-II  $K(N, L_D, S)$ 에 대한 해석적 분석은 복잡성을 줄이기 위하여 셀 손실율의 하한값을 구하여 이용하였다. 즉 셀 손실율의 하한값은  $S$ 개의 TTWC를 특정 출력 포트가 모두 사용하는 경우이므로 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$CLP_{MIN} = \frac{1}{\rho} \left( \sum_{k=L_D+S+1}^N (k-L_D-S)P(k) \right) \quad (3)$$

따라서 구조 II에서 공유되는 소자 TTWC의 수는 성능에 영향을 미치는 중요한 요소가 된다.

### IV. 성능 평가 및 분석

제안된 넥아웃 광교환기 구조-I과 구조-II에 대한 성능 평가는 구성 소자 및 버퍼링 속도 측면에서 기존의 전기적인 교환기와 비교하였다. 이에 대한 결과 데이터를 표 1에 보였다.

표 1에서 알 수 있는 것과 같이 기존의 출력 버퍼형 교환기는 교환 용량 만큼의 필터가 모든 출력 포트에서 필요하다. 반면에 제안된 구조-I은 WDM 기법과 넥아웃 원칙에 의하여 튜닝 필터링이 가능한 광소자를 제어하기 때문에 각 출력 포트는  $L(L < N)$ 개의 파장 변환기 TFWC로 구성할 수 있다. 따라서 전체적으로  $N \cdot L$ 개의 구성 소자가 필요하게 되어 더 적

은 소자로 구성이 가능함을 알 수 있다. 또한 제안된 구조-II는 각 출력 포트를 담당하는 집중기에  $L_D$ 개의 TFWC를 사용하고 공유되는 집중기를 위하여 튜닝 전송이 가능한  $S$  개의 TTWC 광소자를 사용하여 구성하였다. 따라서 공유되는 자원을 트래픽의 상황에 따라 효율적으로 사용할 수 있으며, 공유 되는 소자 수를 증가시키므로써 요구되는 셀 손실율을 만족시킬 수 있다. 결국 시스템의 구성 요소의 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 공유 집중기의 파장 변환기 TTWC의 수를 적절히 결정해야 한다. 이때 TTWC의 비용이 TFWC에 비하여 고가이므로 경제성도 고려되어야 하며, 방송 기능을 갖는 너아웃 교환기의 멀티캐스팅 (Multi-casting) 특성을 만족시키도록 결정되어야 한다. 결국 구조-II는 구조-I이 모든 출력 포트에서 소자 수를 증가시켜 성능을 향상시키는 것에 비하여 더 적은 소자 수로 구성이 가능한 장점은 있지만 경제성과 서비스 특성을 동시에 고려하여 소자의 수를 결정해야하는 어려움이 있다.

표 1. 구성 소자 및 버퍼링 속도 비교

Table 1. Comparison of components and buffering speed.

교환기 종류 \ 비교대상	집중기 구성 소자			버퍼링 속도
	TFWC	TTWC	주소필터	
출력 버퍼형	·	·	$N^2$	$\nu/N$
구조-I	$N \cdot L$	·	·	$\nu$
구조-II	$N \cdot L_D$	$S$	·	$\nu$

교환기에서 요구되는 버퍼링 속도는 교환기의 용량 증대 및 속도 향상에 많은 영향을 미치는 요소이다. 출력 버퍼형의 교환기는 특정 출력 버퍼에 저장될 셀 수가 단위 슬롯 시간내에 최대  $N$ 개인 경우 모든 셀을 같은 단위 슬롯 시간내에 버퍼에 저장할 수 있어야 한다. 따라서 교환기에 입력되는 셀의 속도를  $\nu$ 라 가정 하면 최대  $N$ 개의 셀을 저장하기 위해서는 하나의 셀 당  $\nu/N$  시간내에 각 셀을 버퍼에 저장할 수 있어야 한다. 따라서 각 출력 포트에 대해서 단일 출력 버퍼를 갖는 교환기는 고속의 저장 속도가 요구되므로 성능 향상에 한계가 있다. 그러나 WDM기법을 사용한 제안된 구조-I과 구조-II는 최대  $N$ 개의 셀을 단위 슬롯 시간내에 서로 다른 광지연선에 동시에 저장할 수 있어 단일 출력 광 지연 버퍼에서의 처리 속도는 입력 되는 셀의 속도  $\nu$ 와 같다.

제안된 광교환기  $K(N, L)$ 와  $K(N, L_D, S)$ 의 셀 손실율을 분석하기 위하여 해석적 분석과 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여 균형 및 불균형 트래픽 상황에 대하여 비교 평가하였다. 교환 용량이  $N \times N$ 인 시스템에서  $1/N$ 의 확률로 각각의 출력 포트에 셀이 향하는 균형 트래픽 상황에서 제안된 너아웃 광교환기 구조-I  $K(N, L)_{N=32, 64}$ 에 대한 분석과 시뮬레이션 결과는 그림 13과 같다. 이 구조-I은 입력 부하  $\rho=0.9$ ,  $L=8$ 인 경우에 셀 손실율  $10^{-6}$ 을 만족시킬 수 있으며, 이때 요구되는 광교환기의 파장 변환기 TFWC의 수는  $256(32 \times 8)$ 개이다. 또한 그림에서 알 수 있듯이 셀 손실율은 교환기의 용량  $N$ 보다는 집중기의 TFWC의 수에 더 민감하다. 따라서 기존의 너아웃 교환기가 주소 필터링을 위한 구성 요소를  $N^2$ 개 요구하는 것에 비해서 제시된 구조-I은 적은 소자 수로 유사한 성능을 보임을 알 수 있다.

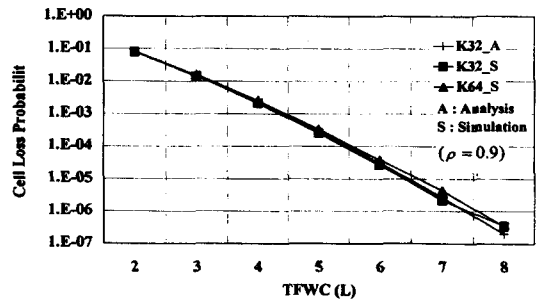


그림 13.  $K(N, L)$ 에 대한 셀 손실 특성  
Fig. 13. Cell loss characteristics of  $K(N, L)$ .

그림 14는 너아웃 광교환기 구조-II  $K(32, L_D, S)$ 의 셀 손실에 대한 분석과 시뮬레이션 결과이다. 그래프에서 해석적 분석값은 식(3)에서 고려한 조건, 즉 공유되는 파장 변환기의 수  $S$ 를 한 포트가 모두 사용하는 경우에 대한 분석이므로 시뮬레이션의 결과가  $CLP_{simulation} \geq CLP_{MIN}$ 을 만족하므로 시뮬레이터의 타당성을 입증할 수 있다.  $K(32, L)$ 과 비교할 때  $K(32, L_D, S)$ 는  $\rho=0.9$ 일 때 셀 손실율  $10^{-6}$ 을 만족시키기 위해서 각 출력 포트를 담당하는 집중기를 5개의 TFWC로 구성하고, 공유 집중기는 3개의 TTWC로 구성하여야 한다. 따라서 요구되는 소자는 160개의 TFWC, 3개의 TTWC이므로 전체 광소자의 수는  $163(32 \times 5 + 3)$ 이다. 따라서 구조-II는 다른 구조에 비하여 주어진 구성 요소를 효율적으로 이용할 수 있는 특징을 갖는다.

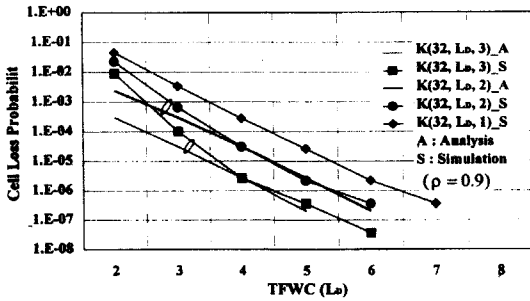


그림 14.  $K(32, L_D, S)$ 의 셀 손실 특성  
Fig. 14. Cell loss characteristics of  $K(32, L_D, S)$ .

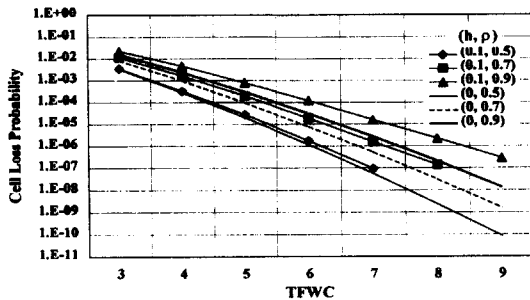


그림 15. 불균형 트래픽 상황에서  $K(32, L)$ 의 셀 손실 특성  
Fig. 15. Characteristics of  $K(32, L)$  under nonuniform traffic.

제안된 광교환기 구조에서 특정 출력 포트에 트래픽이 몰리는 불균형 트래픽(hot-spot traffic) 상황에서도 시뮬레이션을 통하여 교환기의 성능을 분석하였다. 불균형 트래픽의 정도는 hot-spot ratio  $h$ 에 따라 정해지며,  $h + (1-h)/N$ 의 확률로 특정 출력 포트에 트래픽이 몰리고 나머지 출력 포트는  $(1-h)/N$ 의 확률로 트래픽을 발생시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 15는  $h=0$ ,  $h=0.1$ 인 경우에 입력 부하의 변화에 따른  $K(N, L)$ 의 성능을 보이고 있다.

그림 15에서  $h=0$ 인 경우에는 해석적 분석에 의한 결과값이며,  $h=0.1$ 인 경우는 시뮬레이션에 의한 것이다. 이때  $\rho=0.9$ 인 경우에  $10^{-6}$ 의 셀 손실율을 만족시키기 위해서  $K(N, L)$ 에 필요한 광소자 수는  $h=0.1$ 일 때 288개,  $h=0$ 일 때 256개이다. 따라서 구조-I은 기존의 너아웃 교환기에 비해서 적은 구성 요소로 구성이 가능하다.

그림 16은 불균형한 트래픽 상황에서 TTWC의 수에 따른  $K(N, L_D, S)$ 에 대한 셀 손실율을 나타내었다.

그림에서 TTWC의 수가 증가함에 따라 셀 손실율이 감소되고 TTWC의 수가 8개,  $S$ 가 3일 때 구조-II가 셀 손실율  $10^{-6}$ 을 만족함을 알 수 있다. 따라서 구조-II는 불균형 트래픽 조건에서도 공유되는 파장 변환기의 수를 증가시키면 트래픽의 변화에 효과적으로 적용할 수 있는 특징을 갖는다. \*

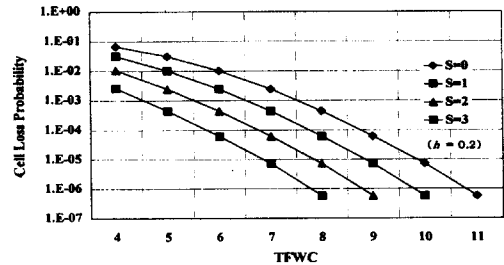


그림 16. TTWC의 수에 따른  $K(32, L_D, S)$ 의 셀 손실율  
Fig. 16. Cell loss ratio versus TTWC for  $K(32, L_D, S)$ .

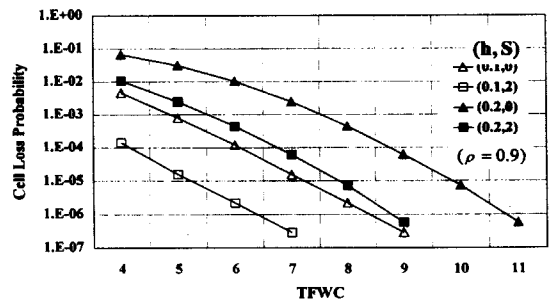


그림 17.  $h$ 에 따른  $K(32, L_D, S)$ 의 셀 손실율  
Fig. 17. Cell loss ratio versus  $h$  for  $K(32, L_D, S)$ .

그림 17은  $h$ 와 TTWC의 수  $S$ 가 교환기의 성능에 미치는 영향을 비교하여 나타낸 것이다. 같은  $h$ 값의 트래픽 상황에서 공유 집중기 수  $S$ 에 따라서 민감하게 시스템의 성능이 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 전광 영역에서 동작하도록 WDM 기법을 이용한 두 종류의 광교환기 구조를 제안하였다. 제안된 구조-I은 기존의 전기적 너아웃 교환기를 모델로 하여 전광영역에서 운용될 수 있도록 하였다. 이를 위해서 입·출력 포트에 독립된 파장을 할당하고 성형 결합기를 사용하여 모든 출력 포트에 다중화된 광신호



가 방송이 되도록 하였다. 또한 방송된 광신호 중 원하는 파장만을 필터링하여 교환할 수 있도록 파장 변환기 TFWC를 이용하였다. 따라서 구조-I은 전광 통신망을 구성하기 위한 교환 시스템으로서 광신호의 투명성을 유지시킬 수 있는 특성을 가진다. 구조-II는 구조-I에 경제성과 효율성을 고려한 구조이다. 즉, 구조-II는 모든 출력 포트를 지원할 수 있는 공유 집중기를 사용한다. 이때 공유되는 파장 변환기는 매 교환 주기마다 다른 출력 포트를 위한 광신호를 처리해야하므로 튜닝가능한 광소자 TTWC를 이용하였다.

성능 분석결과 제안된 광교환기 구조-I과 구조-II는 파장 분할 다중화 기법의 특성을 이용하므로써, 출력 버퍼링의 속도뿐만 아니라 광교환기 구성 소자 수 측면에서 기존의 이웃 교환 시스템에 비해 많은 장점을 갖는다. 특히 광교환기 구조-II는 다른 구조에 비해서 시스템의 광소자를 트래픽 상황에 따라 효율적으로 사용할 수 있는 장점을 갖는다. 하지만 구조-II는 멀티캐스팅을 지원하는 구조이므로 경제성만을 고려하여 공유 집중기의 소자 TTWC의 수를 증가시키고, 각 출력 포트를 담당하는 소자 TFWC의 수를 감소시킬 수는 없다. 따라서 요구되는 교환기의 성능과 사용되는 소자의 경제성을 고려하여 파장 변환기 소자의 수를 결정해야 한다.

참 고 문 헌

[1] B. Mukherjee, "WDM based Local Lightwave Networks Part II : Multi-Hop Systems," *IEEE Network*, July. 1992.

[2] C. A. Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks : Principles and Applications," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.* Vol.8 pp.947-964, Aug. 1990.

[3] Hisashi Kobayasi, Ivan P. Kaminow, "Duality Relationships Among "Space," "Time," and "Wavelength" in All-Optical Networks," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 14, No. 3, March 1996.

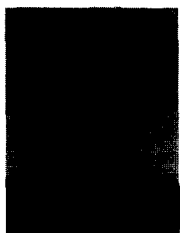
[4] Soeren Lykke Danielsen, Benny Mikkelsen, Carsten Joergensen, Terji Durhuus, and Kristian E.Stubkjaer, "WDM Packet Switch Architectures and Analysis of the Influence of Tunable Wavelength Converters on the Performance," *Journal on Lightwave Technology*, Vol. 15, No. 2, Feb. 1997.

[5] Tien-Shun Gary Yang, "ATM Switch Evolution and Performance Test," *IEEE International Conference on Communications*, pp485-490, June 23-27, 1996.

[6] KAI Y. ENG, "A Photonic Knockout Switch for High-Speed Packet Networks," *Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 6, No. 7, August 1988.

[7] Youngbok CHOI, Hideki TODE, Hiromi OKADA and Hiromasa IKEDA, "A Large Capacity Photonic ATM Switch Based on Wavelength Division Multiplexing Technology," *IEICE Trans. commun.*, Vol. E79-B, No. 4, April 1996.

저 자 소 개



蘇元鎬(正會員)  
1970년 2월 25일 생. 1996년 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학사). 1998년 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사). 현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중



李靑勳(正會員)  
1972년 10월 23일 생. 1995년 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학사). 1997년 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사). 현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중

金煥善(正會員) 第33卷 A編 第5號 參照  
현재 한국전자통신연구소 기술기획실장. 전북대학교 컴퓨터공학과 겸임부교수

金永川(正會員) 第32卷 A編 第9號 參照  
현재 전북대학교 컴퓨터공학과 교수