

主 題

광 교환 시스템 기술

ETRI 김 해 근

차 례

- I. 광 교환 개요
- II. 광 교환 계층 모델
- III. 광 교환 기술 동향
- IV. WDM 기반 광 패킷 교환 시스템의 예
- V. 결론

I. 광 교환 개요

다양한 B-ISDN 서비스들이 요구되는 21세기의 정보화 사회에서는 방대한 통신 대역폭의 수요를 충족시키기 위해, 최소 수십~수백 Gbps 급의 에지(edge) 교환기와 수 Tbps 급의 코아(core) 교환기가 필연적으로 등장해야 함을 알 수 있다. 또한 미래의 대역폭 수요 증가 추이는 현재 예측하는 통신량 외에도 어느 순간 새로운 형태의 서비스의 출현 등으로 인해 기하급수적으로 증가될 수도 있는 불확실성을 다분히 내포하고 있다. 따라서 앞으로 요구되는 교환기는 수십 Gbps 이하의 소용량 교환기, 수십 Gbps ~ 수Tbps 사이의 대용량 교환기, 수 ~ 수십 Tbps의 초대용량 교환기에 이르기까지 다양한 용량으로 쉽게 확장될 수 있는 구조가 매우 유리하다. 즉, 다양한 시장의 요구와 투자에 대한 경쟁력을 확보하기 위하여 교환기는 같은 구조를 유지하면서도 용량 증감에 융통성 있게 대처할 수 있는 것이 매우 중요하다. 최근 많은 연구가 되고 있는 광 ATM 및 패킷 교환기는 이러한 요구 조

건을 만족시킬 수 있는 차세대 기술로 인정 받고 있으며, 그 가능성을 검증하기 위하여 많은 연구가 국가적으로 진행되고 있다.

현재 40 Gbps 급의 소형 전자식 ATM 교환기 기술은 연구 개발 단계를 지나 일반 가입자를 대상으로 실제 서비스를 시작하는 단계에 있으며, 관련된 각종 IC 칩들도 상용화 단계에 이르고 있다. 그러나 수 Tbps 이상의 초대용량 교환기술을 확보하기 위한 연구는 현재 초보 단계이며 대략 다음 두 가지의 방향으로 진전되고 있다.

첫째로 전자 기술과 광 기술의 혼합에 의한 시스템 개발 방향이다. 이는 지속적인 전자 소자의 집적 능력 향상과 고속화 연구를 통하여 수십 ~ 수백 Gbps 급의 전자교환기를 개발하고, 다단의 전자 ATM 교환기들을 광 연결 기술 또는 단순한 광 스위칭 모듈을 도입하여 연결하여 줌으로써 교환용량을 증가 시키는 방법이다. 이 경우 헤더처리와 같은 복잡한 신호처리는 전기적으로 수행하기 때문에 광 스위칭 모듈의 기능은 상대적으로 단순화 되어 고속 광신호의 패킷 단위 라우팅만을 수행한

다.

수 Tbps 이상의 초대용량 교환기를 얻기 위한 또 다른 방법은 최근에 활발한 연구가 되고 있는 WDM 기반의 완전광 교환기 연구이다. 현재 개발되고 있는 완전광 교환기는 수 Gbps 이상의 고속 광신호가 광/전 변환 없이 광 투명성을 유지하면서 교환되는 기술에 기반을 두고 있다. 그러나 전자식 방식과는 달리 광으로 논리 소자를 구현하기는 매우 어렵다. 그러므로 광 교환기 내의 모든 제어 과정이 완전광으로 처리되는 것은 아니며, 입력 광신호의 헤더 정보 등을 판독하고, 광 스위치, 광 버퍼 등의 핵심 광 모듈들을 제어하는 부분에는 전기적 신호처리 과정이 이용된다. 따라서 라우팅 정보를 갖고 있는 광 ATM 패킷의 헤더는 데이터 셀(payload) 보다 낮은 속도로 코딩 되거나 낮은 비트율의 WDM 헤더 등으로 변환되어 전기적 신호처리를 용이하게 하여야 한다. 이러한 WDM 기반의 완전광 교환기는 OTDM 기술을 쉽게 접목시킬 수 있기 때문에 교환용량 증가가 용이하여 미래의 불확실한 수요에 대비하는데 보다 높은 융통성을 갖게한다. 뿐만 아니라, 빠르게 수요가 늘고 있는 여러 가지 서비스에 대한 제공 능력을 지속적으로 유지할 수 있게 되므로, 궁극적으로는 완전 광 교환기에 의한 망 형상의 통일과 간결화가 이루어지게 될 것이다.

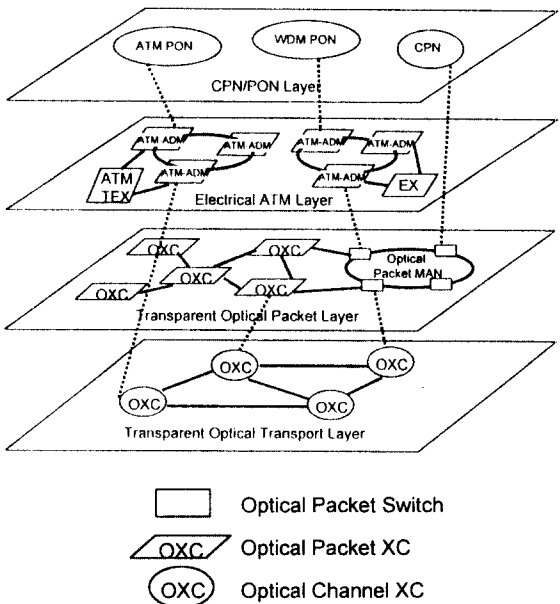
II 장에서 현재 선진 각국을 중심으로 논의되고 있는 광 교환 계층 모델에 대한 간단한 소개에 이어, III 장에서는 국내외 광 교환 기술 전반에 대한 연구개발 동향을 알아 보고, IV 장에서는 이제까지 연구 발표된 WDM 기반의 광 패킷 교환 시스템의 기본 기능, 방송-선택 방식 및 파장 라우팅 방식을 특징으로 한 광 스위치 구조와 장단점을 살펴봄, V장에서 결론을 맺는다.

II. 광 교환 계층 모델

광 교환 망에서 고려될 수 있는 계층 모델은 여러 가지로 다양하게 검토될 수 있지만, 우선적으로

생각되어야 할 것은 망의 증장기적인 진화에 대한 시나리오이다. 현재의 광 소자 및 광 시스템 기술은 초보적인 수준이지만 앞으로 이들이 발전하여 수 Tbps 급의 광 교환 시스템을 확보하게 될 것이다. 따라서 광 교환 기반 기술의 단계적인 발전과 더불어 해당 기술이 쉽고 효율적으로 기존 교환 시스템 및 망에 적용되어 갈 수 있는 계층구조를 가질 것으로 전망된다. 이와 같은 관점에서 증장기적으로 예측되는 계층구조는 그림1과 같이 전기적 ATM 계층, 광 ATM(또는 packet) 계층, 광 크로스-커넥트(OXC) 계층 등으로 구성될 것으로 생각할 수 있으며, 각 계층에 대한 기능은 다음과 같이 요약된다.

먼저 전기적 ATM 계층은 SDH 및 셀 기반 ATM 프로토콜 중단 기능을 수행하며, 이미 표준화되어 있는 ATM 규격에 따라 VC와 VP에 대하여 연결형(connection oriented) 서비스 및 비연결형(connectionless) 서비스를 제공한다. 광 ATM 계층은 기존의 ATM 셀에 라우팅 헤더를 첨가하여 기본적인 광 ATM 셀이 생성되며 셀 기반에서만 등



작한다. 스위칭 중에는 데이터 셀에 대한 전기적인 변환은 없으며 ATM 셀 데이터는 광학적인 투명성을 유지하므로 광 신호의 초고속성으로부터 대용량의 ATM 교환 시스템을 구성할 수 있다. 광 패킷 계층에서는 기존의 ATM 셀이나 광 ATM 셀들을 여러 개 다중한 후 라우팅 헤더를 첨가하여 하나의 기본 셀이 생성되며, 헤더 변환은 일어나지 않는다. 셀에 대한 광 투명성이 보장되어야 하고 라우팅, 셀/비트 동기, 셀 가드 타임 등을 지원할 수 있도록 라우팅 헤더가 설계되어야 한다. OXC 계층은 WDM 기반의 완전 광 전달망의 실현을 목적으로 하며, 광 신호 채널에 대한 투명성을 보장하고 채널간 상호 연결 기능을 수행한다.

III. 광 교환 기술 동향

현재의 소용량 ATM 교환기는 CMOS, BiCMOS, bipolar IC 등과 같은 전자 기술에 기반을 두고 있으며 집적 기술의 지속적인 발달에 따라 앞으로 수백 Gbps 급의 교환기 개발도 가능할 것으로 보인다. 그러나 용량의 확장성, 구현의 용이성, 가격 경쟁력 측면에서 수백 Gbps 급 대용량 교환기의 경우에도 교환기 내부에 광 연결 (optical interconnection) 기술과 Multichip Modules (MCM) 과 같은 고 집적 패키징 기술을 함께 접목시키는 것이 유리한 것으로 인식되고 있다[1]. 수 Tbps 급 이상의 광교환 시스템 기술을 확보하기 위한 광/전 혼합형 ATM 스위칭 기술, 광 ATM/패킷 교환 기술, 광 크로스-커넥터 (OXC) 기술 등에 대한 미국, 유럽, 일본 등 주요 선진국의 기술 동향 및 연구 결과는 다음과 같다.

1. 미국

미국의 경우 WDM을 기반으로 하는 optical network의 구축에 비중을 두어 Rainbow II에서는 32 개의 슈퍼 컴퓨터를 end-user로 하여 각 노드당 1 Gbit/s의 전송 속도로 MAN을 구축하여 테스트

중이며, AON의 2단계 사업인 MONET에서는 WDM 기반 OXC 기술을 이용하여 WAN 거리에 대하여 전광 통신망을 구축하기 위한 연구를 수행 중에 있고, 각 노드에서의 교환은 전기적 ATM 스위칭을 기반으로 하고 있다. 또한 최근 Princeton 대학을 중심으로 TOAD를 이용한 초고속 완전광 광 패킷 스위치에 관한 연구가 이루어져, 100 Gbit/s 속도에서 광 제어 기술에 의한 패킷 교환을 성공시켜 OTDM 방식의 Tbit/s 급 광교환기에 대한 가능성을 입증하였다[2].

2. 유럽

유럽은 RACE 및 후속 사업인 ACTS를 중심으로 다른 지역보다 광교환 기술에 대한 기초 및 응용 연구가 가장 활발히 추진되고 있다. 주요 연구 결과로서는 프랑스 Alcatel의 10 Gbit/s 링크 속도 16x16 WDM 광 패킷 스위치 연구 시제품, WDM/SDM 기반의 40 Gbit/s 용량의 파장 변환형 OXC 연구 시제품이 이미 발표되었고(현재는 640 Gbit/s 시스템에 대한 feasibility 확인중), WAN 상에서 WDM 기반의 광 교환 및 OXC를 이용하여 광 투명성이 유지되는 전광 통신망의 구축을 최종 연구 목표로 하고 있다.

3. 일본

일본은 NTT를 중심으로 대용량 ATM 교환기에 대한 optical interconnection 및 광 ATM 교환기에 대한 연구가 진행 중에 있다. 주요 연구 결과로서는 10 Gbit/s 링크 속도 640 Gbit/s 스위칭 용량의 AWG를 이용한 3 stage interconnection, 2.5 Gbit/s 속도 8파장 16x16 크기의 320 Gbit/s 용량 OXC, WDM 기반의 40 Gbit/s 용량의 광 ATM 스위치 연구시제품(현재는 320 Gbit/s 시스템 연구 중) 등을 발표하였고, 궁극적으로 WDM 기반 20 Gbit/s 용량의 optical LAN 기술과 광 패킷/OXC 등을 이용한 60 Tbit/s 용량의 하이퍼 미디어 완전광 정보

교환망 구현을 목표로 하고 있다[3].

4. 국내

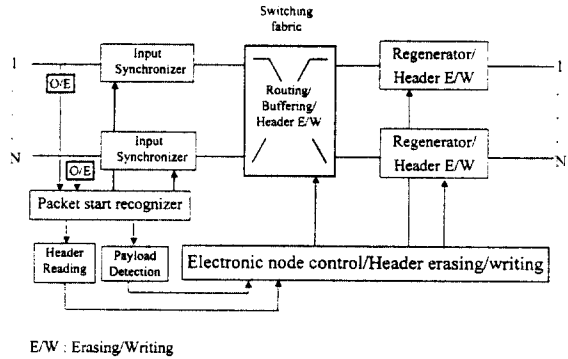
국내의 경우에는 1996년도부터 한국전자통신연구원에서 WDM 방식을 이용한 광 ATM 교환기의 핵심 모듈인 광 버퍼, 가변 파장변환기, 셀 동기, 파장필터, 셀 헤더 변환 등의 요소 기술에 대한 시제품을 연구 발표하였고, 한편으로는 수십 Gbps 속도 광 신호에 대한 OTDM 기반 완전광 패킷 스위칭을 위하여 광 제어 헤더 처리 기술, 광 제어 동기 신호 검출, 광 신호 고속 다중 및 역다중에 대한 기초 연구를 수행하고 있다. 그리고 광교환 시스템의 핵심 소자인 반도체 광 공간 스위치 및 파장필터, 폴리머 기반의 공간 스위치, 파장 다중 및 역다중 소자, 가변 파장 필터 등의 핵심 소자에 대한 연구 시제품도 연구 발표하였다. 그리고 1997년도부터 KT 가입자망 연구소에서는 WDM과 OTDM 방식을 혼합한 수 Tbps 용량의 광 교환기에 대한 기초 연구를 진행 중에 있다. 국내의 OXC에 대한 연구는 한국전자통신연구원과 한국과학기술원에서 주도적으로 수행 중이며 4 파장의 4x4 시스템 시현을 1차적인 목표로 하고 있다.

IV. WDM 기반 광 패킷 교환 시스템의 예

1. 전자제어 광 패킷 교환기 구조

광 교환기의 기본 구조 및 현재 세계적으로 가장 활발하게 연구되고 있는 유럽 ACTS-KEOPS 및 일본 NTT-FRONTIERNET의 광 패킷 교환기 구조와 동작 원리에 대하여 알아본다. 현재 논의되고 있는 주요 광 교환기들은 전기적 제어를 기본으로 하지만 광 데이터에 대해서는 광/전 변환이 없는 광 투명성을 가정하고 있다. 그림2에 전기 제어 광 교환기의 개략적인 구조를 기능 블록별로 나타내었다.

그림2. 전기제어 기반 광패킷 스위치의 기능별 구성도



시스템은 전체적으로 전기/광 변환에 의해 광 패킷의 시작을 인지하는 광패킷 인식기(packet start recognizer), 각 링크에서 입력되는 광 패킷들의 동기를 맞추기 위한 광 동기 제어부(synchronizer), 라우팅과 비퍼링 등을 수행하는 스위칭부(switching fabric), 라우팅된 광 패킷들의 효율적인 노드(node)-네트워크(network) 정합을 위한 광패킷 재생부 (optical packet regenerator) 등으로 구성된다.

교환기 각 링크에 입력되는 패킷들은 서로 다른 광 경로를 거쳐 오기 때문에 일반적으로 서로간의 위상이 맞지 않다. 따라서 입력되는 패킷들의 시작점을 정확하게 인지하여 서로간의 동기를 맞추는 작업이 가장 먼저 수행되며, 동시에 각 패킷 헤더에 쓰인 주소가 읽혀서 중앙 전기 제어 장치에 입력된다. 스위칭부는 일반적으로 WDM (또는

FDM) 기반하에서 설계되며 패킷 라우팅 및 버퍼링 기능을 수행한다. 그러나 경우에 따라서 헤더 지우기(header erasing)와 쓰기(header writing) 작업도 병행한다. 라우팅된 패킷들은 광소자에 의한 신호 처리 과정, 반도체 또는 광섬유 증폭기 사용으로 인한 ASE (amplified spontaneous emission) 잡음증대 등으로 인하여 파형 왜곡, 누화(crosstalk), SNR (signal-to-noise ratio) 저하 등이 발생하며, 또한 서로 다른 스위칭 경로에 기인하는 광 신호 크기의 불균일성, WDM 방식 라우팅으로 인한 동일 출력포트에서의 파장의 다양성 등이 생기게 된다. 따라서 노드와 망간의 효율적인 정합을 위하여 출력단 정합이 필요하며 이를 위해 광 패킷 재생기가 사용된다. 또한 이러한 광 패킷 재생기에는 시스템의 구조에 따라서 헤더를 지우고 쓰는 기능이 추가 될 수도 있다.

2. 방송-선택 방식 광 패킷 스위치

가. 출력 버퍼형 광 스위치: ACTS-KEOPS [4 - 7]

유럽의 KEOPS 프로젝트에서 제안된 광 패킷 교환기는 ATM 셀 뿐만 아니라 일반적인 패킷 데이터도 스위칭 시킬 수 있는 넓은 의미의 광 패킷 교환을 가정하고 있다. 설계된 시스템의 주요 개념은 크게 다음의 세가지로 나눌 수 있다. 첫째 광 신호는 전/광 변환 없이 투명하게 라우팅되며 여기에 필요한 제어는 전기적으로 수행한다. 둘째 광 패킷은 연속적이면서 고정된 길이의 타임 슬롯(1.646 (sec) 안에서 정의되기 때문에 패킷 주기는 약 600 Kpps 정도이다. 셋째 광 패킷의 헤더를 전기적 신호처리가 용이한 저속(622 Mbps)으로 구성하고, 페이로드는 다양한 속도 (100Mbps ~ 10Gbps) 의 광 패킷을 수용할 수 있게 함으로써 헤더와 페이로드의 비트 속도가 서로 다른 multiple-bit-rate 특성을 갖는다 [8,9]. 따라서 전기적 제어를 이용하여 비교적 구현 가능성이 높은 전체적인 구조에, 광 패킷 형태는 추후 LAN (local

area network) 및 MAN (metropolitan area network) 등에서 예상되는 다양한 비트 속도의 서비스들을 쉽게 수용할 수 있게 하였다. 또한 고정된 길이의 타임 슬롯 내에 정의된 연속적인 광 패킷 신호를 가정하기 때문에 버스트한 광 패킷 신호에서 나타날 수 있는 문제점들을 최소화 시키고 있다.

■ 스위치 구조

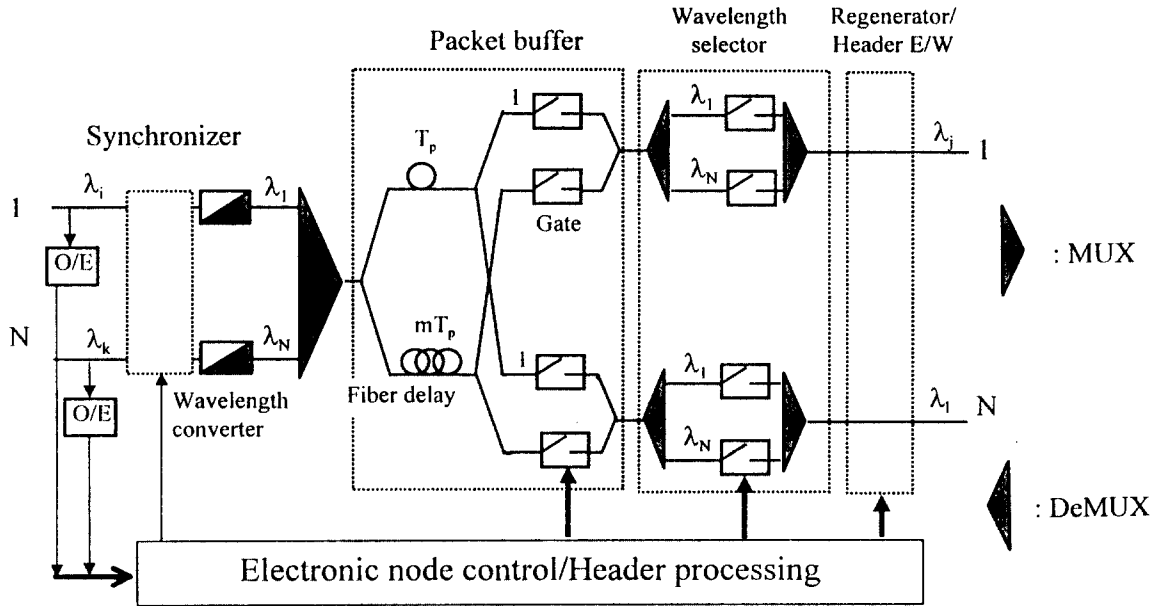
그림3에 Alcatel Telecom.과 Alcatel Alsthom을 중심으로 연구되고 있는 광 스위칭부의 구조를 나타내었다. 제안된 NxN 매트릭스(matrix) 스위치는 각 입력 포트 별로 파장을 할당하는 입력 파장 인코딩(encoding) 모듈, 패킷 버퍼 모듈, 헤더 정보의 최종 목적지에 따른 파장 선택 모듈의 3개의 주요 부분으로 구성되어 있다. 파장 인코딩 모듈은 N개의 완전광 파장 변환기로 구성되어 있으며, 각 링크에 입력되는 모든 광 패킷은 입력 포트에 따라서 할당된 하나의 파장으로 변환되어 자신의 입력 포트를 나타내게 된다. 파장 변환된 각 입력 패킷은 성형 결합기(star coupler)에서 다중화되어 1/N의 광 손실을 갖고 광 지연선 버퍼로 입력된다. 버퍼의 구조는 출력 버퍼이며, 광 패킷 길이의 정수배인 m 개의 광 지연선과 각 버퍼 출력을 입력으로 하는 N 개의 mx1 공간 스위치로 구성된다. 패킷 버퍼의 광 게이트는 입력 트래픽 조건에 따라서 셀 충돌(contention)을 방지하기 위하여 적당한 입력광 지연선을 선택하여 특정 타임 슬롯의 광 패킷을 선택하게 된다. 파장 선택기는 최종적으로 각 헤더에 포함된 라우팅 정보를 기반으로 광 게이트를 제어하여 하나의 타임 슬롯에 하나의 광패킷을 출력한다.

$N=16, 32, 64$ 일 때 셀 손실을 10⁻⁹ 이하로 줄이기 위해서는 각각 15, 11, 9 개 정도의 광 지연선(queue)이 필요하다. 제안된 방송-선택 방식 구조의 주요한 장점 중의 하나는 동시에 서로 다른 출력 포트에서 동일한 파장을 선택할 수 있기 때문에

multi-casting 능력을 가지고 있는 점이며, 이는 미래 정보통신 서비스를 위해 매우 유리하다.

킷 재생기는 한 개의 SOA-XGM(semi-conductor optical amplifier - cross-gain modulation), SOA-MZI(semi-conductor optical amplifier - Mach-

그림3. 방송-선택 형태의 광패킷 교환기 구조 (ACTS-KEOPS)

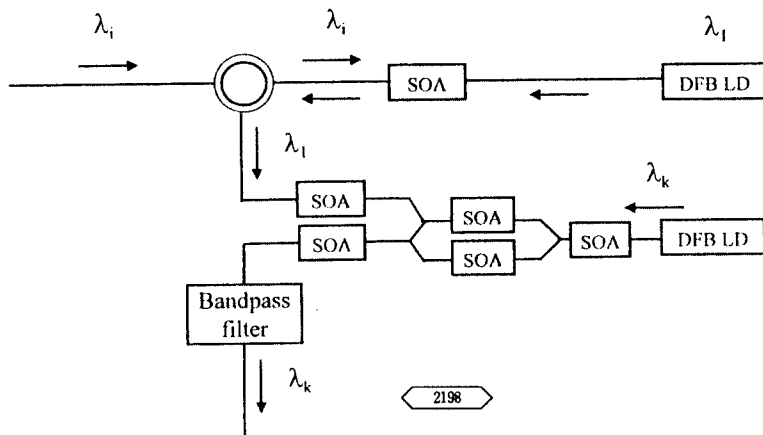


■ 출력 정합부[7]

광 패킷은 라우팅 과정에서 파형 왜곡, ER, SNR 등이 저하되며, 또한 연속적인 광 패킷들 사이에 광 세기의 불 균일성, 파장의 차이 등이 유기되므로 다음 노드로의 전송을 위해서는 노드-네트워크 접속을 가능하게 하는 광 패킷 신호 재생 기능을 갖는 부분이 필요하게 된다. 그림 4에 제안된 광 패

Zehnder interferometer) 로 구성되어 있으며, 기능적으로 비트 레이트에 무관하게 동작하면서 파형 재생(re-shaping) 및 증폭 기능(re-amplification) 을 갖는 2-R 형태의 광 패킷 재생기이다. 첫번째 SOA-XGM 파장변환기는 입력광의 파워 불균일성을 ER의 불균일성으로 변환 시키며 헤더를 제거하는 기능도 한다. 두번째 SOA-MZI 는 ER을 향상시키는 기능을 하며 헤더정보를 추가 할 수 있다.

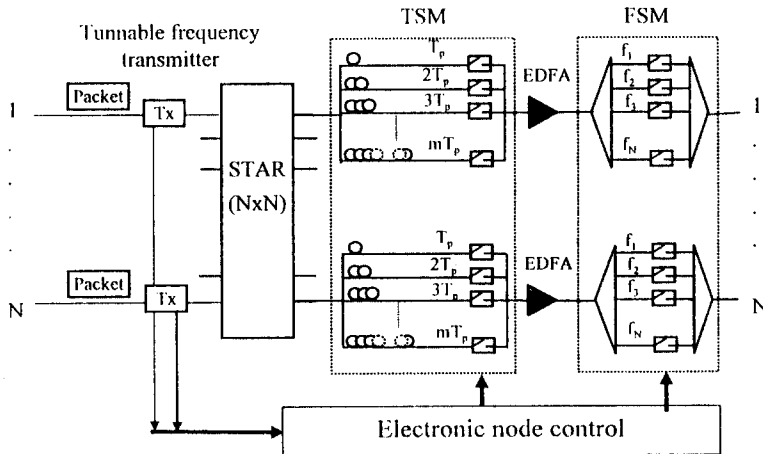
그림 4. 2-R 형태의 완전광 재생기



나. 출력 버퍼형 광 스위치: FRONTIERNET-B [10,11]

NTT 에서 제안한 구조로 광 패킷 형태는 ATM 을 기반으로 하고 있으며, 스위치 구조는 출력 버퍼 형태를 사용하고 있다. 광 패킷은 전기/광 변환 없이 투명하게 라우팅 되고, 제어는 역시 전기적으로 수행된다. 그러나 광 패킷의 형태에 대한 구체적인 제안이나 연구는 발표되지 않았고, 동기 및 출력 정합부 등에 대한 연구도 발표되지 않았다. 그림5에 제안된 스위치의 구조를 나타내었다. 제안된 스위치는 입력 광 패킷의 헤더 및 페이로드를 광/전 변환에 의하여 전기적 신호로 변환한 후 헤더정보를 판독하며 각 입력 포트에 지정된 하나의 파장으로 다시 전/광 변환된다. 이때 헤더 쓰기까지 수행된다. ACT-KEOPS와는 달리 페이로드 정보까지 전기적으로 변환된 후 다시 광으로 재생된다. TSM(time-slot selector) 모듈은 하나의 출력 포트로 다수의 패킷이 동시에 나오려는 문제 해결(contention resolution)을 위한 것으로 광 지연선을 이용하여 슬롯(time-slot)을 복사하는 기능을 한다. FSM (frequency or wavelength-selector-module) 은 최종적으로 헤더에 포함된 라우팅 정보를 기반으로 광 게이트를 제어하고 각 타임 슬롯에 하나의 광 패킷을 출력한다.

그림5. 방송-선택 방식의 광 ATM 스위치 구조 (FRONTIERNET)



TSM : Time-slot Selection Module

FSM : Frequency channel Selection Module

3. 파장 라우팅 방식 광 패킷 스위치

가. 공통 버퍼형 광 스위치: ACTS-KEOPS [12,13]

KEOPS 프로젝트에서 France Telecom이 제안한 스위치이며 그 구조는 그림 6에 있다. 방송-선택 방식의 스위치와 마찬가지로 헤더의 속도는 버스트한 조건에서도 비교적 쉽게 전기적으로 처리할 수 있는 622 Mbps 이며, 페이로드는 약 100Mbps ~10Gbps 의 가변 비트 속도를 가정한다. 시스템 내에서 비트 단위의 동기추출은 시스템의 스위칭 (파장변환) 및 버퍼링 등의 과정에서 금방 손실되어 버리기 때문에 패킷의 가드시간(guard time)을 적절히 설정하여 스위치 내에서는 수 nsec 정도의 coarse 동기만 수행한다. 또한 서로 다른 비트 속도인 헤더와 페이로드 사이의 연관을 가능한 높이기 위하여 전체 패킷의 길이는 수 nsec 이내의 허용치 안에서 일정하게 만든다. 스위치는 3단의 non-blocking Clos 구조이며, 다음의 두 가지를 염두에 두고 설계 되었다. 1) 스위치 출력단에서 라우팅된 광 패킷들의 충돌을 최소화하며, 2) S/N 비를 높이기 위하여 입출력 포트 수가 증가 하더라도 입력 신호는 항상 최소(2번)의 파장변환 만으로 원하는 목적지로 스위칭 될 수 있게 한다.

그림 6. 파장 라우팅 방식의 광 패킷 교환기 구조 (ACT-KEOPS)

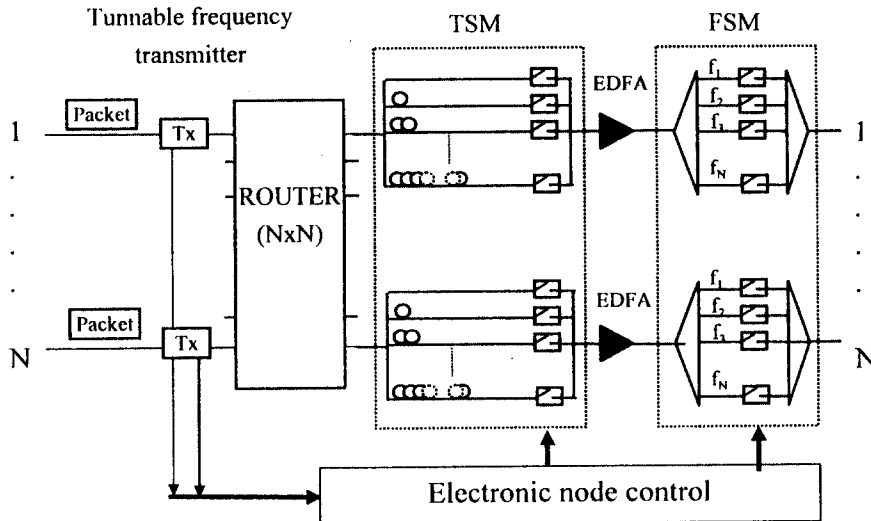
제안된 스위치는 평균적으로 $N \times m$ 개의 패킷을 시간적 공간적으로 동시에 스위칭 할 수 있는 구조이다. 즉, N 개의 입력 링크를 통해 들어오는 각 링크별로 m 개씩의 연속적인 패킷을 스위치 내에서 동시에 시간적 공간적으로 스위칭 한다. 일반적으로 $N \times N$ strictly non-blocking Clos 스위치의 첫번째 단은 N 개의 $m \times r$ ($r > 2m - 1$) 스위치로 구성되고, 두번째 단은 r 개의 $N \times N$ 스위치, 세번째 단은 N 개의 $r \times m$ 스위치로 구성된다. 그림 3-5 에서 각 입력 링크에 연결되어 있는 광섬유의 평균 패킷 지연 길이는 공간적으로는 m 개의 입력 포트에 해당된다. 이러한 평균 패킷 지연길이는 출력단에서의 패킷 충돌 확률과 관계되어 결정되며, 또한 입출력 포트 수에 따라 달라지게 된다. 0.8 포아송 트래픽 (poission traffic) 과 출력단에서 10⁻⁹ 이하의 셀 손실을 가정할 때 입출력 포트 수 N 이 16, 32, 64 인 경우 평균 패킷 지연길이 m 은 각각 8, 6, 5 로 계산되며, 총지연선의 수(queue)는 15x16, 11x32, 9x64 이다. 공통버퍼의 총 버퍼 크기를 B 는 $B = N(m - 1)$ 이 된다. 두번째 단은 N 개의 입력단에서 순차적으로 입력되는 패킷들을 파장변환을 통하여 N

개의 출력포트로 으로 라우팅한다. 세번째 단에서 하나의 출력으로 나가는 패킷들이 서로 다른 입력 링크에서 입사하는 경우는 타임 슬롯의 순서 정렬이 필요 없으며, 동일한 링크에서 입사하는 경우는 이미 첫번째 단에서 정렬되었기 때문에 시간축 상의 정렬이 필요 없다. 따라서 수동 파장 역다중기만으로 구성이 가능하다. 제안된 $N \times N$ 스위치에서 총 파장변환기의 수는 첫번째 단에서 N 개의 $1 \times r$ 파장변환기와 두번째 단에서 r 개의 $1 \times N$ 파장변환기가 사용되므로 총 파장변환기의 수는 $N + r$ 개이다. 따라서 $N = 16, 32, 64$ 인 경우 평균타임슬롯 수 m 이 8, 6, 5 이므로 총 파장변환기 수는 각각 31, 43, 73 개가 된다.

다. 출력 버퍼형 광 스위치: FRONTIER-R [14]

그림 3-6 에 NTT 에서 수행되고 있는 파장 라우팅 방식의 광 ATM 스위치를 나타내었다. 이 구조는 주파수 라우팅 방식의 광 ATM 스위치로 가변 주파수 변환기, 주파수 라우터 (여기서는 AWG 주파수 라우터 이용), FDM출력 버퍼로 구성되어 있다. 스위치로 입력되는 패킷은 광/전 변환을 통해 전기 신호의 패킷으로 변환되고, 전기적 방식에 의해 헤더 검출을 한 후, 그 헤더 값에 따라 LD 와 광 스위치로 구성된 가변 주파수 변환기의 주파

[그림 7] 파장 라우팅 방식의 광 ATM 교환기 구조 (FRONTIERNET)



수가 선정되고, 전기/광 변환에 의해 다시 광패킷을 출력한다. 패킷이 어떤 한 주파수로 정해지면 주파수 라우터에 의해 그 주파수에 해당하는 출력 단으로 전달되어 스위칭 된다. 서로 다른 다수의 입력 포트에서 동시에 동일한 출력포트로 라우팅 될 때 각각의 패킷들은 서로 다른 주파수로 변환되기 때문에 패킷의 충돌은 없다. 그러나 다수의 주파수로 한 타임 슬롯 내에서 다중화되기 때문에 이를 시간축 상에서 순차적으로 풀기 위하여 FDM 출력 버퍼를 사용한다. 방송-선택 방식과 비교하여 광손실이 적은 장점이 있으나 multi-casting 기능이 없으며, 파장 라우터의 광 특성때문에 확장성 및 수십 Gbps 급의 고속 링크에서의 동작이 제한되는 단점이 있다.

V. 결론

향후 정보 통신 서비스의 대역폭 증가 추이는 현 재로서는 예측할 수 없는 불확실성을 내포하고 있으므로, 교환기는 수십 Gbps 의 용량에서 부터 수 Tbps 용량까지 필요에 따라 쉽게 용량 확장이 가능하도록 개방된 구조를 가져야 하며, 최근 선진국을 중심으로 활발히 연구 발표되고 있는 광 ATM 및 패킷 교환 기술은 이러한 요구 조건을 충족시킬 원천 기술로 부각되고 있다.

광 패킷 교환기에서 스위치 제어와 같은 기능은 전기적 제어를 기본으로 하며, 교환 노드는 광 패킷 신호에 대한 광 투명성 유지를 위하여 헤더 변환, 광 동기, 셀 라우팅, 광 버퍼, 광 패킷 재생 등의 기본 기능을 처리해야 한다. 광 스위치 fabric은 현재 WDM 기반 기술이 주류를 이루고 있으며, 스위치 입출력 단에 대한 파장 가변 기능의 보유 여부에 따라 '방송-선택' 방식과 '파장 라우팅' 방식으로 분류된다. 방송-선택 방식은 멀티 캐스트 서비스 제공에 알맞은 방식이지만, 고속의 패킷 선택을 위하여 고속의 광 게이트 소자와 파장 필터를 필요로 한다. 파장 라우팅 방식은 각 파장이 하나의 수신 단에 대응되므로 멀티 캐스트 서비스에는

부적합하다. 광 패킷 교환기에서 버퍼 구조는 대부분 광 섬유 지연선을 이용한 출력 버퍼형이며, 버퍼 크기를 최소로 하기 위하여 공동 버퍼를 채택한 시스템도 일부 제안되고 있다.

수 Tbps 급 대용량 교환기술을 확보하기 위한 다른 방안으로 전자 소자의 집적 능력과 광 신호에 의한 상호 연결 특성을 상호 보완적으로 활용하려는 전자/광 혼합방식 교환 기술이 있으며, 광 교환 기술에 대한 선진 각국의 연구 개발 동향을 고려해 볼 때, 중단기적으로는 전자/광 혼합방식 교환 기술이 적용된 전자 ATM 계층과 WDM 기반의 OXC 계층으로 이루어진 교환 망의 출현이 전망되며, 장기적으로는 WDM 기반 광 ATM (혹은 패킷) 교환 계층이 추가될 것으로 예측된다.

참고문헌

- [1] B. Bostica, P. Gambini, L. Licciardi, "The role of electronics and photonics in the architectural evolution of switching systems," XVI World Telecom Congress Proceedings, p.565, 1997.
- [2] J. P. Sokoloff, P. R. Prucnal, I. Glesk, and M. Kane, "A terahertz optical asymmetric multiplexer (TOAD)," IEEE Photon. Tech. Lett., vol.5, no.7, p.787, 1993.
- [3] K. Habara, T. Matsunger, A. Misawa, Y. Yamada, M. Tsukada, T. Okugawa, K. Sasayama, K. Yukimatsu, "Large-capacity frequency-divisor-multiplexed photonic ATM switches," XVI World Telecom Congress Proceedings, p.493, 1997.
- [4] D. Chiaroni*, C. Chauzat, D. De Bouard, M. Sotom, "Sizeability analysis of a high-speed photonic packet switching architecture," ECOC'95, paper We.P.47, Brussels, Belgium, September, 1995.
- [5] F. Masetti, M. Sotom, D. De Bouard, D. Chiaroni, P. Parmentier, F. Callegati, G. Corazza, C. Raffaelli, "Design and performance of a broadcast-and-select photonic switching architecture," ECOC'96, paper We.P.25, Oslo, Norway, September, 1996.

[6] D. Chiaroni, D. de Bauard, C. Chauzat, J.C. Jacquinet, D. Bayart, P. Bousselet, M. Bachmann, and M. Sotom, "A 160 Gbit/s throughput photonic switch for fast packet switching systems," PIS'97, paper PWB3-1/37-PWB3-4/40, Stockholm, Sweden, April, 1997.

[7] D. Chiaroni, D. de Bouard, C. Chauzat, J.C. Jacquinet, M. Bachmann, C. Janz, D. Leclerc and M. Sotom, "An all-optical regenerative interface for the cascadeability of photonic packet-switching node," PIS'97, paper PWC2-1/54-PWC2-4/57, Stockholm, Sweden, April, 1997.

[8] R.M.Fortenberry, A.J. Lowery, W.L. Ha, and R.S. Tucker, "Photonic packet switch using semiconductor optical amplifier gates," Electron. Lett., 27, 1305 (1991)

[9] R.M.Fortenberry, Y. Cai, and R.S. Tucker, "Optically transparent node for a multiple-bit-rate photonic packet-switched local area network," OFC/IOOC '93, paper TuE4, San Jose, USA, 1993.

[10] A.Misawa, M. Tsukada, Y. Yamada, K. Sasayama, K. Habara, T. Matsunaga, K. Yukimatsu "40 Gbp broadcast-and-select photonic ATM switch prototype with FDM output buffers,"

ECOC'96, paper ThD.1.2, Oslo, Norway, September, 1996.

[11] A.Misawa, K. Sasayama, T. Matsunaga, "Fast frequency selector for four-channel frequency-division-multiplexed 10-Gbit/s optical packet," ECOC'95, paper Th.L.2.5, Brussels, Belgium, September, 1995.

[12] C. Guillemot, F.Clerot, S.Loualiche, J.C.Simon, M. Dontenwille, J. Kervarec, M. Henry, "A two-stage transparent packet switch architecture based on wavelength conversion," ECOC'95, paper We.P.40, Brussels, Belgium, September, 1995.

[13] J. Kervarec, C. Guillemot, M. Henry, M. Kandouci, J. C. Simon, and P. Gravey, "Optical packet wavelength routing switch demonstrator : architecture and synchronization issues," PIS'97, paper PFB2-1/184-PFB2-4/187, Stockholm, Sweden, April, 1997.

[14] K. Habara, Y. Yamada, A. Misawa, K. Sasayama, M. Tsukada, T. Matsunaga, and K. Yukimatsu, "Demonstration of frequency-routing type photonic ATM switch(Frintiernet) prototype," ECOC'96, paper WeP.25, Oslo, Norway, September, 1996.



김 해 군

- 1977년 2월 경북대학교 전자공학과(학사)
- 1982년 8월 연세대학교 전자공학과(석사)
- 1994년 8월 미국 University of South Florida
전기공학과(박사)
- 1980년 8월 ~ 현재 한국전자통신연구원 광교환연구실장