

# 시간다중 공간분할 광교환 시스템

원 용 협, 최 지 연, 추 광 옥, 김 병 훈, 김 기 흥, 홍 현 하  
한국전자통신연구소 광교환연구실  
대전광역시 유성구 가정동 161

광의 초고속성의 본질을 이용한 시간다중 공간분할 광교환 시스템이 처음으로 구현되었다. 단순한 공간분할 광교환방식에 비해 뛰어난 확장성과 간단한 하드웨어로 화상 및 음성신호의 지점대 지점간의 교환 및 멀티 캐스팅의 서비스가 가능하다. 스위칭 시간, 수용 가입자 수, 동기문제, 손실과 광출력의 분배, 광압축 등을 통하여 본 시스템의 특성을 분석해 본다.

## I. 서론

21세기에 도래할 정보화 시대에는 개인화, 지능화, 복합화로 향한 여러 가지 멀티미디어 서비스가 홍수처럼 쏟아져 나올 것으로 기대된다. 광대역 종합정보 통신망(B-ISDN)은 이러한 초고속, 광대역의 다양한 통신서비스를 제공하는 훌륭한 매체가 될 수 있다. 최근 ETRI 교환기술연구단의 연구분석 보고자료<sup>[1]</sup>에 의하면 차세대(향후 10~15년 후)에 구현될 B-ISDN에서의 스위칭 노드는 Local Switch로써 port 속도 40Gbps의 256 port; Transit Switch로써는 port 속도 160Gbps의 32 port 정도를 예상함으로 통신서비스의 발전에 의한 교환 노드의 스루풋을 수 Tbps 이상이 될 것으로 보고하고 있다.

현재 활발히 연구되고 있는 전자식 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 교환 시스템의 경우, LSI 스위칭 속도의 한계 및 배선망의 한계 등으로 인하여 노드당 수 백 Gbps 스루풋을 목표로 하고 있으며, 이는 현재의 고속 전자 소자들인 GaAs IC등의 적극적인 사용과 고도의 시스템 레벨 패키징 기술을 적용하여야 하며, 일부 실용화 단계에까지 이른 것이 사실이다. 그러나, 향후의 수 Tbps급의 스위칭 노드의 스루풋을 보장하기에는 상당한 어려움이 예상되며, 결국 이러한 전기적 병목으로 인한 제한적 성능만을 제공할 것으로 보인다.

본 고에서는 이상의 고속 및 대용량을 향한 향후 통신망의 교환 노드로써 광의 고유 특성이라고 할 수 있는 병렬성, 고속성 및 무잡음성을 이용하여 차세대 ATM 광교환기 및 초고속 망에서의 크로스 커넥터의 핵심기술이라고 할 수 있는 시간다중 공간분할 광교환기에 대해 논하고자 한다. 시간다중 공간분할 광교환 시스템은 현재 그 성숙도를 인정받는

광도파로 스위치 소자(LiNbO<sub>3</sub>)를 (1) 공간분할 스위치로 이용하고, 또 이 소자와 광 버퍼 메모리로서의 수동 광섬유 지연선을 함께 사용한 (2) 시간분할 스위치를 동시에 적용함으로써 향후의 소자 개발 양상에 유연하게 대처할 수 있는 핵심 광교환 시스템이다. 시간분할 광교환 개념의 적용은 아직까지 공간분할이나 파장분할 교환 방식에 비해 기술적인 난제를 많이 안고 있기는 하나, B-ISDN의 통신망은 기본적으로 SDH(Synchronous Digital Hierarchy)를 가정한 ATM 셀의 신호처리를 요구하게 될 것이 분명한 사실이고, 이를 향한 기반 기술의 도전은 이제 눈앞에 다가온 실정이다. 따라서 이들의 핵심 요소 기술의 모사 및 정확한 파라메타 예측은 필연적이라 할 수 있다. 본 고의 제 II 절에서는 시간다중 공간분할 광교환 시스템의 구성과 핵심 요소 기술에 관해 간략한 소개를 하였고, 제 III 절은 이들 요소 기술의 모사 및 간단한 실험 결과를 통해 그 가능성을 예측하고, 끝으로 제 IV 절에서 결론을 맺고자 한다.

## II. 시스템 구성

이 장에서는 시간분할 공간다중 광교환 시스템의 구성과 하드웨어에 관해 기술하고, 아울러 기본적인 라우팅 원리 및 핵심 요소 기술에 관해서도 기술하고자 한다.

### II-1. 스위치 네트워크 구조

광교환 방식 중에서 시간분할 광교환 방식은 하드웨어 구현의 어려움 때문에 광교환 기술 전개의 예측 과정에서 다른 방식에 비해 늦게 등장할 것으

로 보인다. 이는 장거리 통신용에 그 초점이 맞추어져 있는 현재의 광전송기술등이 광교환 기술에 적용되기에는 매우 큰 차이점을 안고 있으며, 이러한 기반에서 개발되어온 광 소자 역시 매우 다양한 구조와 규격을 갖고 있기 때문이다. 그러나 시간분할 광교환 방식은 기존의 전기적 TDX( Time Division Exchanging ) 시스템과 같은 개념을 갖고 있어 기존 네트워크와 좋은 호환성을 유지할 것으로 보인다. 하드웨어적으로 광메모리, 광 다중화기, 광압축/역압축기 등이 필요하며, 광의 고속성을 이용하기 때문에 초단 펄스 신호의 동기를 조정하는 것이 매우 어려운 기술이다.

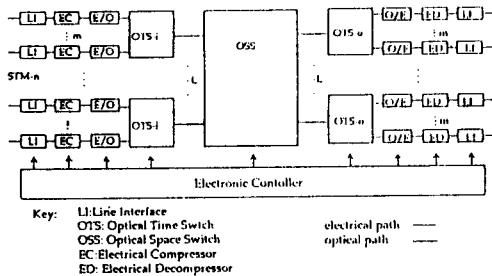


그림 1 TST 광스위칭 구조

그림 1은 시간 스위칭과 공간 스위칭을 혼합한 TST 광 스위칭 구조를 보여준다. 이 구조에서 LI( Line Interface ) 블록은 가입자에서 오는 각종 전송 등급이 다른 신호를 모아 STM-n 급( 예를 들어 155Mbps ) NRZ로 변환하여 주고 시스템 클럭에 맞추어 동기가 이루어지게 된다. 다음의 신호압축( EC : Electrical Compressor )블록에서는 비트 단위의 NRZ 데이터를 n 비트씩 모아 초단 펄스로 압축한다. 광 신호의 시분할 다중 교환에서의 신호처리는 비트 단위보다 n 개의 비트가 결합된 기본적인 광비트들의 묶음(이하 '셀'이라 칭함)단위로 함으로써 스위칭 시간의 확보, 동기의 조정 등이 용이해진다. 이렇게 압축된 신호는 E/O 블록에서 전기/광 변환하고, 후에 OTS( Optical Time Switch ) 블록에서 시간 다중화 및 셀 단위( 타임 슬롯단위 ) 교환이 이루어진다. 즉 OTS 블록에서는 광 셀들의 시간다중화와 시간 슬롯 교환이 동시에 이루어진다. OSS( Optical Space Switch ) 블록은 시간적으로 다중화된 OTS의 출력을 다시 공간적으로 교환한다. 이렇게 OSS 블록을 거친 신호는 다시 OTS 블록을 거쳐 해당 가입자로 라우팅 된다. 이때 각 블록의 스위칭은 전체 라우팅 컨트롤러에 의해 제어된다. 이

상과 같이 시간교환( T-switching )과 공간교환( S-switching )이 하나의 광교환 시스템으로 구현되기는 본 광교환 시스템이 처음이다. 이 시스템 구조에서 신호 압축 블록을 전기적 신호 압축 방법에서 광학적 신호 압축 방법으로 구현하면 전기적 압축의 한계 속도를 넘는 수 Tbps 이상의 스펙트럼 제공할 것이다. 이러한 광신호 압축을 구현한 예가 많이 있지만 최근에 본 그룹에서 최소한의 하드웨어로 간단하게 구현할 수 있는 광신호 압축방법이 발표된 바 있다<sup>[2]</sup>. 그러나 본 시스템에서는 광 출력의 감쇄, 동기 등의 어려움으로 현재는 광압축 방법대신 전기적 압축 방법을 사용하고 있다. 그림 2는 시간다중 광

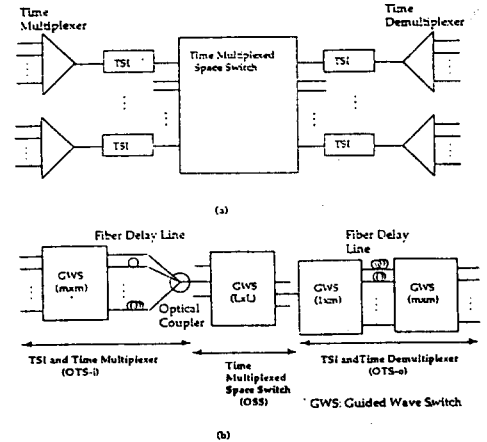


그림 2 시간다중 공간분할 광교환 시스템 구현방식

간분할 광교환 시스템 구현 방식으로 재래식 방식( 그림 2a ) 과 새로운 시간다중 공간분할 방식( 그림 2b )의 차이를 보여준다. 그림 2b에서 OTS-i 블록은 광 도파로 스위치와 광섬유 지연선 소자 그리고 광 커플러로 구성되어 있다. 이러한 간단한 하드웨어로써 기존 구조에서의 TSI( Time Slot Interchanger )와 광 다중화의 역할을 동시에 수행한다. 각 광섬유 지연선은 각각 지연길이를 달리하여 하나의 시간축상에 여러 채널로부터의 셀 단위 광신호들을 다중화하기 위한 타임슬롯을 할당한다. OSS 블록에서 도파로 스위치는 단순한 공간 스위치의 역할이 아니라, 시간 다중화된 신호를 공간적으로 정해진 시간슬롯단위로 스위칭 해야하는 TMS( Time-Multiplexed Space Switch )로써 동작한다.

그러므로 OSS를 구성하는 단위 스위칭소자의 스위칭 시간은 시스템의 규격을 결정하는 변수가 된다. 이와 같이 각 가입자로부터의 입력데이터들은 정해진 다양한 경로를 통하여 원하는 가입자로의 통화가 이루어진다. 즉 가입자별 교환에 있어 circuit switch로써의 기능을 수행하게된다. 여기서 그림 2a와 그림 2b는 그 역할별로 부분적으로 서로 대응됨을 볼 수 있다.

## II-2. 하드웨어 구성

전기적 신호 압축 블록은 GaAs FET IC나 실리콘 ECL 논리 IC등을 사용하여 저속( 예를 들어  $V_f = 155\text{Mbps}$  )의 입력 데이터를 직렬에서 병렬로 그리고 병렬에서 고속의 직렬( 예를 들어  $V_s = 2.5\text{Gbps}$  ) 데이터 스트림으로 변환하는 회로로 구성한다. 이렇게 고속의 압축된 데이터 스트림은 바로 Mach-Zhender 광변조기의 구동 입력으로 사용된다. 이러한 고속의 전기적 신호를 압축하는 일은 현재의 기술로 3Gbps 이상의 하드웨어 구현에 상당히 어려운 난제가 있다. 예를 들어 안정한 전원 접지를 구현하기 위한 PCB 레이아웃 설계등 전기적 잡음을 최소화하는 다양한 기술이 요구된다. E/O 블록은 CW( Continuous Wave ) 레이저 다이오드와 외부 광변조기인 Mach-Zhender 광변조기로 구성된다. 레이저 다이오드는 온도 조절장치와 출력 자동제어장치등이 부착되어 있다. 이때 Mach-Zhender변조기의 구동신호는 압축된 셀 데이터들과 동기를 위해 추가 삽입된 헤더가 포함되어 있다. 이 구동신호의 전압 레벨은 ECL 레벨로써 변조기를 구동할 전압으로 증폭하기 위하여, 신호를 GaAs 디지털 레벨 변환기에 의해 증폭된 전압 레벨(5~6V)로 변환 구동한다. 이렇게 하여 압축율 C( 단,  $C = V_s/V_f$  )로 압축된 전기신호의 광출력은 신호의 길이가 줄어들어 따라 시간축상 빈 공간과 데이터를 포함하는 셀 영역으로 구분되어 데이터의 형태는  $n/V_f \text{ sec}$  주기로  $n/V_s \text{ sec}$  의 길이를 갖는 셀들의 셀 스트림 형태로 출력될 것이다. 이 셀 단위의 광신호들은 OTS 블록에서 하나의 셀을 담고 있는 타임 슬롯끼리 서로 교환된다.

그림 2b에서 보는 바와 같이 OTS 블록은 OTS-i( 입력측 ) 과 OTS-o( 출력측 )로 나누어져 있다. OTS-i 블록은  $m \times m$  도파로 스위치와  $m:1$  광섬유 커플러로 구성되고 그 사이에 광섬유 지연선들이 연결되어 있다. 광섬유 지연선의 단위 지연시간,  $td$ 는 광신호의 셀 길이와 스위칭 가드타임( guard time )의 합으로 결정된다. 결국 이것은 하나

의 타임슬롯 길이가 된다. 이때  $m$  개의 가입자로부터 입력될 각 채널의 셀들은 시간축상 각 빈 공간을 차지하기 위해 다양한 지연선(  $td$ 의 정수 배에 해당 )들을 지나, 결국 하나의 광섬유 커플러로 통합 출력되어 시간 다중화를 이룬다. 한편 OSS 블록은 간단히  $L \times L$  공간 도파로 스위치 하나로 구성되어 다중화된 광 셀들을 타임 슬롯 길이의 시간 단위로 공간분할 교환된다. 또한 OTS-o 블록은  $1 \times m$  도파로 스위치와  $m \times m$  도파로 스위치 그리고 그 사이에 연결된 광섬유 지연선으로 구성된다. 이 광섬유 지연선들은 OTS-i 블록과 동일한 모양이나, 지연선의 배치 순서는 OTS-i 블록과 역순으로 되어 있다. 여기서  $1 \times m$  스위치는 시간축상의 셀 스트림을 시간 역다중화하는데 필요하며, 각 지연선들은 셀들의 시간축상의 일치를 유지하기 위해 필요하게 된다. 그 뒤의  $m \times m$  도파로 스위치는 non-blocking 교환을 보장하기 위해 출력 셀을 공간적으로 재배치하는 역할을 한다. 마지막으로 OTS-o 블록에서 나오는 광출력 셀들은 O/E 블록에서 전기적 셀 신호로 변환된다. 이 블록에는 리미팅 증폭기와 신호레벨 편회회로 및 동기 검출회로 등이 포함되어 있다. 신호의 전기적 역압축 블록은 입력측의 압축 블록의 역순의 구조를 이루고 있다. 시간 다중화된 채널의 수가  $m$ 이고 공간 스위치의 채널 수가  $L$  이면 시스템의 총 교환 채널 수는  $(L \times m)$  이 된다.

본 시스템 구조에서는 다음과 같이 3 가지의 도파로 스위치가 사용된다.  $L \times L$  스위치 하나,  $m \times m$  스위치  $2 \times L$  개, 그리고  $1 \times m$  스위치  $L$  개로써  $(m \times L) \times (L \times m)$  규모의 네트워크가 형성된다. 가장 간단한 경우  $L = 2, m = 2$  이면, 네트워크는  $4 \times 4$  스위치 규모를 갖게 된다.  $4 \times 4$  스위칭 시스템에는  $2 \times 2$  스위치와  $1 \times 2$  스위치를 포함하여 7개의 도파로 스위치가 필요하다. 그러나 시간다중을 배제한 순수한 공간 스위치로 네트워크를 구성할 경우 훨씬 많은 수의 도파로 스위치가 필요하게 된다. 예를 들어 dilated Benes 네트워크로  $4 \times 4$  스위치 규모를 이루려면 14 개의  $2 \times 2$  스위치가 필요하게 되고 스위치 규모가 커질수록 도파로 스위치 개수의 차가 커진다.

## II-3. 광압축/역압축 기술

광압축/역압축기술은 셀 단위의 광 시간다중 시스템에서 가입자선 입력에서의 최초의 전->광 데이터 변환 장치이자 마지막 광->전 출력 처리 장치이다. 즉 SDH의 입력데이터들의 처리를 어떻게 하여

야 광교환기내에서 보다 많은 양의 데이터를 다중화할 수 있는가와 서비스될 데이터의 품질을 올릴 것인가가 결정된다. 광원에서 나오는 초단 광펄스 사이의 간격이 광압축기에서 압축되는데, 압축정도에 따라 단위 프레임당 시간다중화의 셀의 수가 결정된다. 본 연구에서 새롭게 제안된 광압축기의 구조가 그림 3에 나타나 있다. 저속의 광펄스 스트림의

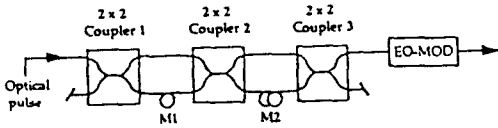


그림 3 새로 제안된 광압축기 구조

간격이 압축되어 매우 높은 속도의 광 셀 신호로 변환된다. 광압축기를 구성하기 위해서는  $k$  쌍의 광섬유 지연선,  $(k + 1)$  개의  $2 \times 2$  광섬유 커플러 그리고 하나의 전기 광학 변조기가 필요하고 이러한 구성으로  $2^k$ -비트 신호 압축이 가능하다.

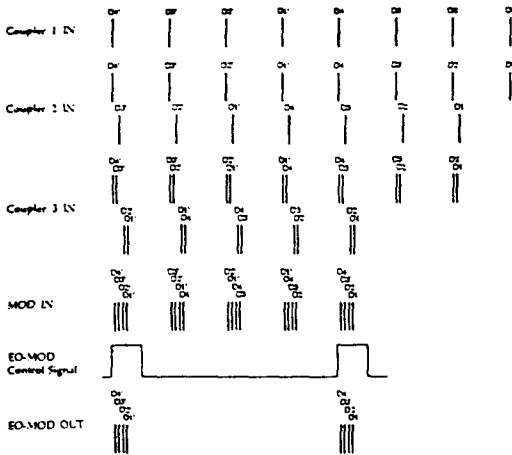


그림 4 새로운 광압축기의 단계별 타임 다이어그램

그림 4는 새로운 광압축기의 단계별 타임 다이어그램을 나타내고 있고 신호압축 과정을 보여준다. 이 그림은 4-비트 광신호를 압축하는 경우를 보여준다. 광원으로부터 나오는 초단 광펄스는 3개의  $2 \times 2$  광 커플러와 2 쌍의 광 지연선을 통과한다. 첫째

광 커플러에서 하나의 입력 펄스가 두개로 나누어지고 바로 다음에 이어지는 광섬유 지연선 쌍의 한쪽 가지에서 상대적인 시간 지연을 갖는다. 이 시간지연의 길이에 의해 광압축정도가 결정된다. 가령 16배의 광압축이 필요하다면 그림 3에서 광섬유 지연선 M1은 입력 데이터 비트율의 역수인 15/16 주기만큼 상대 시간 지연을 얻을 수 있도록 설계되어야 한다. 두번째 커플러에서는 두 펄스를 입력 데이터 비트율의 역수의 1/16 주기와 같은 시간 간격으로 재결합한다. 결국 두번째 커플러 출력은 2-비트의 압축된 펄스 스트림이 된다. 다음의 광섬유 지연선은 처음의 지연선의 2배의 시간 지연을 갖고 있어 입력 데이터의 역수의 30/16 주기에 해당하는 시간 지연을 준다. 따라서 세번째 커플러 출력은 4-비트 압축된 광펄스 스트림이 형성된다. 결국 광변조기 입력 단에는 압축된 원래의 4-비트 신호가 전달되고 그 중에서 원래 신호만 변조기에 의해 통과된다. 만일 8-비트씩 압축된 셀을 생성하고 싶으면 추가적인 광 지연선과 광 커플러를 그림 3의 구조에 연결하면 될 것이다. 이러한 새로운 광압축기의 장점은 기존에 제안되었던 방법<sup>[3]</sup>과 달리 오직 한개만의 능동소자( 광변조기 )가 요구되고 나머지는 모두 수동소자만으로 이루어져 있기 때문에 압축되는 데이터의 길이에는 관계없이 압축기를 구성하는 하드웨어를 아주 간단하게 구성할 수 있다는 장점이 있다. 그러므로 신호의 길이와 속도가 증가함에 따라 이 압축기의 장점은 상대적으로 증가한다. 압축할 비트들의 개수  $n$ 이 많아지면 신호는 거처야 할 커플러들의 개수가 늘어남에 따라 누적되는 광출력 손실을 무시할 수 없을 것이다. 이러한 손실은 광변조기 대신 광 증폭기로서 같은 역할을 대신한다면 보상될 수 있을 것이다<sup>[4]</sup>.

## II-4. 스위치 네트워크제어

앞에서 언급한 바와 같이 OTS 블록과 OSS 블록은 입력 광신호가 지정된 출력으로 교환되도록 총체적으로 제어되어야 한다. 이는 OSS와 OTS를 위한 라우팅용 look-up 표를 필요로 한다. 이 look-up 표를 만들기 위해서 셀들의 공간적, 시간적 위치에 대한 관계를 행렬식으로 표현하였다. 그림 5의 행렬식들은 본 광스위치에서의 셀의 위치들과 행렬 요소들과의 사상 관계를 보이고 있다. 이러한 행렬 표현법은 셀의 라우팅시 그 경로를 알아 낼 수 있는 좋은 방법이다. 그림에서 보인 대로 OTS 블록은 이 행렬 내의 각 열들이 서로 독립적으로 열 내에서 행간 교환을 할 수 있다. 또한 OSS 블록은 각 행들이 서로

용 2 x 2 스위치 1개로 구성되므로 펄스파형 생성기의 병렬 출력 포트의 개수는 총 7개가 된다.

### III. 실험 및 결과

#### III-1. 초단 광펄스 생성 및 광압축 실험

그림 1의 EC부의 기능은 전기적인 NRZ 입력을 OTS나 OSS등의 스위칭 매트릭스내에서 시간 다중화도를 높이며 도파로스위치의 스위칭 타임을 위한 가드 타임( guard time )을 제공하기 위하여, 높은 비트율의 셀을 생성하게 되는데, 현재로서는 3Gbps 이하의 속도로 압축함으로써 전기적인 방법이 가능할 것이다. 그러나 향후의 보다 높은 비트율을 얻기 위해서 이러한 전기적 압축 방법보다는 광압축 방법을 고려하여야 하므로 이의 가능성을 타진하고자 초단 광펄스의 생성 및 광압축실험을 행하였다.

실험을 위해 2 x 2 수동 광 커플러 3개와 수동 광섬유 지연선 2개로 이루어진 2-stage 광섬유 Mach-Zhender를 구성하고, 초단 펄스 생성용 LD 및 구동 회로 입력단, 그리고 출력된 후의 광 데이터를 추출하기 위한 펄스 형성기와 Mach-Zhender 변조기로 실험 장치를 구성하였다. 그림 6은 초단 광펄스의

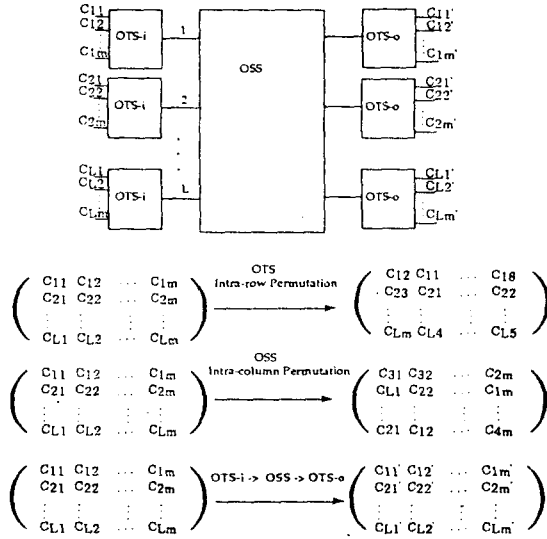


그림 5 광스위치에서의 셀의 위치와 행렬요소들과의 사상관계

독립적으로 행 내에서의 열간 교환을 할 수 있다. OTS 나 OSS 는 일종의 행렬 연산자로서 라우팅 경로가 결정되면 (호설정 혹은 세션 설정) 그때의 상태 값을 다음 다음 호설정이 있을 때까지 유지한다. 즉 OTS 나 OSS의 연산 작용이 호의 변화가 없을 동안은 일정한 값을 유지한다. 그러나 이것이 OTS 나 OSS의 해당 도파로 스위치의 광학적 상태 (2 x 2 도파로 스위치인 경우 bar 혹은 cross등)를 유지하는 것은 아니다. 예를 들어 OSS의 연산작용이 한 열의 '1' 행과 '2'행을 교환하고 다음열의 연산작용이 '2' 행과 '1'행을 교환하는 것이라면 OSS 용 도파로 스위치( 예를 들어 2 x 2 광 도파로 스위치의 경우 )는 cross 와 bar 상태를 매 셀마다 반복하는 상태이다.

일단 하나의 경로가 결정되면 우선 그 해당 연산을 얻고 그 연산에 해당하는 펄스 파형들을 각 도파로 스위치들에 인가하므로써 원하는 광학적 경로를 얻어낸다. 이를 위해 병렬 펄스파형 생성기가 필요하게 되는데, 광신호와의 정확한 동기를 유지하기 위하여 고속 ECL IC와 타이밍 스크류를 고려한 임피던스 인쇄회로기판을 사용하여야 한다. 가령 4.x 4의 본 광교환 시스템 구조의 경우, OTS-i용 2 x 2 스위치 2개, OTS-o용 2 x 2 스위치 4개, 그리고 OSS

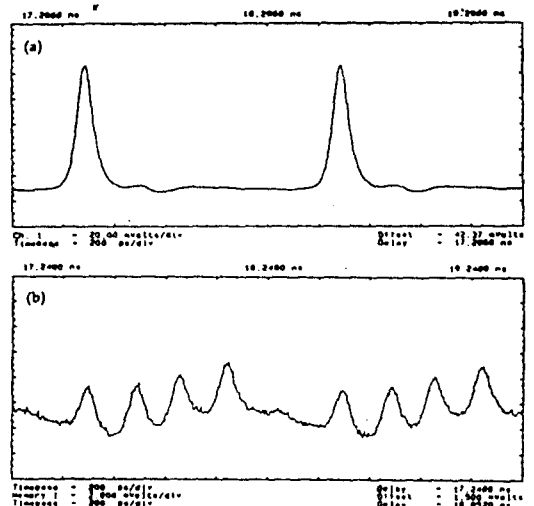


그림 6 초단 광펄스의 생성과 생성된 펄스를 4비트 단위 압축된 셀

생성과 이렇게 생성된 초단 펄스를 4-비트 단위로 6Gbps의 속도로 압축한 결과이다. 초단 광펄스의 생

원용협, 최지연, 추광욱, 김병훈, 김기홍, 홍현하

성을 위해 gain switching 을 이용하여 FP-LD(1.3um)를 1GHz 주기의 80ps펄스 폭을 얻었다. 본 실험에서는 실험 당시에 원래의 압축된 신호만을 Mach-Zhender 변조기로 추출하는 과정은 생략되었다.

### III-2. 광 도파로 스위치의 스위칭 시간 측정

시간다중 공간분할 광교환기의 신호 구조는 한 가입자로부터 나온 몇 개의 광 비트들을 하나의 시간 슬롯 내에 압축하고 이 압축된 셀을 시간다중 공간분할 스위칭할 수 있도록 되어 있다. 이때 가입자로부터 입력된 Vf bps NRZ 데이터는 1/Vs sec의 광 펄스 폭에 반복 주기 1/Vf sec, duty cycle Vf/Vs인 광신호로 전광 변환후, 타임 슬롯내의 수용 가능한 비트만큼 압축(압축율=C)된 데이터들이 EC부 출력단에 나온다. 이때 압축된 셀의 시간 길이는 n/(Vs\*C) sec가된다. 이후에 각각의 서로 다른 가입자들( m 가입자 )로부터의 셀들이 OTS에서 m:1 시간분할 다중/역다중화되고 OSS에서 공간 스위칭이 일어나게된다. 이때 압축된 셀들이 서로 중복되지 않으며, 도파로 스위치의 스위칭 타임을 피할 수 있는 최소의 조건은 m\*(셀의 길이)<(1/Vf)\*n 이어야 한다. 따라서 OSS나 OTS의 기본 소자로써 스위칭 시간( reconfiguration time of wave-guide switch), ts sec를 갖는 도파로 스위치를 사용할 경우 셀의 길이는 가드 타임으로써의 ts sec을 추가해야할 것이며 그 값은 n/(Vs\*C)+ts와 같고 다음과 같은 식이 성립된다<sup>[5]</sup>.

$$\frac{n/Vf}{n/(C*Vs)+ts} > m \quad (\text{식 1})$$

( 식 1 )에서( 단, n > 1; Vf/Vs < C < 1: C=1 인 경우는 NRZ의 경우며, C=Vf/Vs 인 경우는 압축이 되지 않은 경우임 ) 한번에 압축되는 비트 수인 n을 증가시키면 수용가능한 가입자 수 m이 증가한다. 그러나 m은 결국 스위칭 소자의 스위칭 시간인 ts에 의해 제한되므로 시스템 특성에 따라 m과 ts가 적절히 조정되어야한다. 여기서 C는 입력 NRZ 비트 길이에 대한 초단 펄스의 RZ 길이의 duty cycle에 해당하며 극초단파 펄스 생성기술에 의해 결정된다.

본 실험에서 사용된 스위치 소자는 2x2 LiNbO3 도파로 광스위치 소자로써 스위칭 전압은 ( 0 ~ 3.6V; DC 인가 전압은 각각 -2.3V, -4.0V이다. 그림 7은 광 도파로 스위치의 전기 구동입력을 구형파로 하였을 때 CW 광입력에 대한 출력 광 파형을 디지털

탈 샘플링 오실로스코프로 측정한 결과이다. 신호의

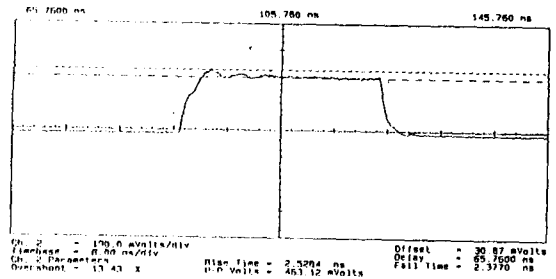


그림 7 도파로 광스위치의 구형파 응답속도

상승/하강시간은 각각 2.53ns, 2.38ns 이다. 이 측정 결과를 이용하면 n=8, Vf=155Mbps, Vs=2.5Gbps인 시스템의 경우 (식 1)로부터 m < 8.5를 얻으므로 하나의 OTS 블록은 포트 속도 155 Mbps 8개 입력을 가능하게 함을 알 수 있다.

이 측정치는 실제 가능한 가입자의 수를 결정하는 중요한 변수가 된다. 그러므로 이 값을 향상시키기 위해서는 단위 2 x 2 도파로 스위치의 전극이 Traveling-wave(TW) 형태로 바뀌는 것이 바람직하나, 단위 스위치소자로써 2 x 2 이상의 도파로 스위치의 전체 전극을 TW 형태로 바꾸는 것과 각 도파로의 전극간의 신호 전달시 위상차를 고려한 전극 설계 및 공정 기술은 아직까지는 어려운 실정이다.

### III-3. 광증폭 및 power budget

일반적으로 광 TST 스위칭 구조는 가입자로부터의 광 데이터들이 광 시분할 다중화되어 있음을 전제로 한다. 이렇게 다중화된 광신호들은 광 시간슬롯 변환기에 의해 시간슬롯 교환되고 이들이 다시 공간 교환, 그리고 재차 시간슬롯 변환하여 non-blocking 교환을 이루게 한다( 그림 2a ). 이렇게 함으로써 많은 양의 가입자들이 교환될 수 있도록, 광 시간슬롯 변환기, 광 공간분할 스위치로 구성되어 있다. 그러나 가입자와 가입자간의 단순한 교환( 회선 교환 )만을 목적으로 할 경우 기존의 방법( 그림 2a )과 같이 가입자들로부터의 병렬 데이터를 시간 다중화하여 직렬 변환하고 이를 다시 시간슬롯 변환하는 것보다, 가입자들로부터의 병렬데이터들을 직렬변환시 미리 시간슬롯을 할당함으로써 직렬변환하는 방법( 그림 2b )이 광경로 상 광세기의 감소를 줄일 수 있을 것이다. 다시 말해 가입자로부터

터의 광 데이터들에 필요 없는 광 감쇄요소를 추가할 이유는 없을 것이다. 그림 2b는 본 부서에서 자체 제안한 구조로써 회선교환 스위치로써의 TST 광교환 구조이다.

여기서 현재의 광소자로써 8 x 8 와 2 x 2 LiNbO3 도파로 광스위치와 8:1, 2:1 광섬유 커플러를 각 시스템의 광 감쇄요소로 설정하고, 교환 선용량 64 x 64 로 정할 경우 기존의 방법은 총 감쇄량이 -83 dB인 반면 본 TST의 경우는 -55 dB로서 무려 18dB의 이득을 얻게 됨을 알 수 있다<sup>[6]</sup>. 따라서 본 구조의 광교환 시스템은 power budget 상 상당한 장점이 있음을 알 수 있다. 여기서 각각의 감쇄 요소별 손실치는 다음의 값을 이용하였다.

감쇄 요소 항목	손실치	가정
2 x 2 스위치	L22 = -5dB	
8 x 8 스위치	L88 = -11dB	
8 x 1 스위치	L81	< L88
8 : 1 커플러	Lsc81	> -11dB

(표 1) 감쇄요소별 손실치

이와 같이 광교환기의 감쇄가 필연적인 상황에서는 광증폭기의 사용이 불가피하다. 본 실험에서 반도체 광증폭기( SOA ; 1300nm )를 사용하였다. 사용된 위치는 SOA의 출력 이득 포화특성과 같은 이득특성에 따라 적절한 위치를 선정해야 한다. 사용된 SOA는 내부 isolator가 탑재되어 있고, 온도 제어 보상회로를 가지고 있다. 전형적인 이득 값은 10dB( 현재 15dB 상향 조정중)이고 3dB 이득 포화를 갖는 출력은 6dBm인 traveling wave 형의 SOA이다. 그림 8은 입력파형에 대한 출력파형을 시간축상에서와 스펙트럼 상에서 비교한 결과이다. 한 단의 SOA와 광 필터를 포함한 총 이득은 약 6dB였다. 이 실험에서 SOA의 증폭자연방출(ASE : amplified spontaneous emission )에 의한 잡음을 없애기 위해 가변형 광필터가 사용되었다. 이를 고려하면 각 경로별 필요한 SOA 블록의 개수는 더욱 증가하게 될 것이므로 power budget의 향상은 광교환 시스템의 광감쇄 향상은 매우 중요한 요구 사항이다.

### III-4. 광시분할 다중화/역다중화

본 TST 광교환 시스템에서의 광시분할 다중화 및 역다중화는 광 데이터의 시분할 다중/역다중뿐만이 아니고, 데이터의 시간슬롯 교환까지의 역할을 의미한다. 본 실험에서 155Mbps 의 입력신호를 고속의 셀 속도로 변환하여 셀 단위의 시분할 다중 및

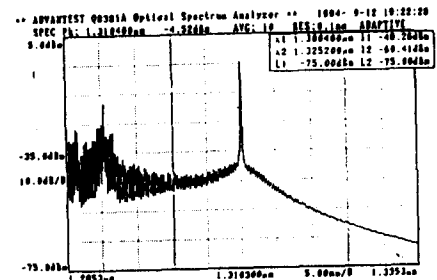
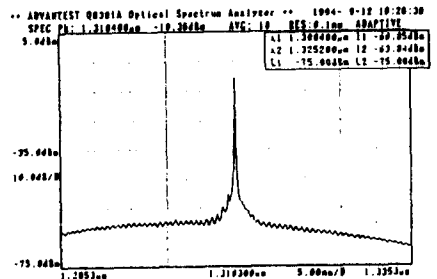
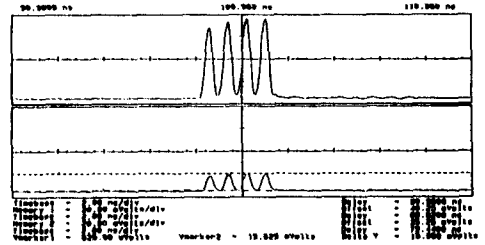


그림 8 SOA 광입출력 파형의 시간축과 스펙트럼상에서의 측정결과

역다중 한다. 그림 9는 51.2ns의 프레임에 2개의 셀이 다중화된 파형이 1:2 역다중 되는 과정을 보이고 있다. 다중화 입력 셀 스트림은 '10100101'과 '11010010'의 셀 반복(1)을 보이며, 다음은 1 X 2

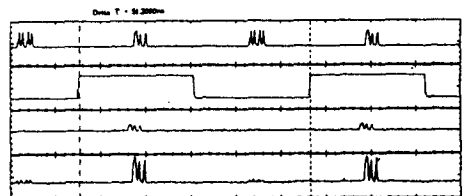


그림 9 광역압축 실험결과

OTS-0의 제어 신호 (2) 및 을 보이며, (3)은 출력

역다중 셀 스트림 '11010010'을 보인다. 또한 (4)는 신호의 확인을 위하여 SOA를 이용하여 출력을 증폭한 파형이다<sup>7)</sup>.

제어 신호와 광 셀들과의 동기를 위해서는 셀 단위 동기뿐만 아니고, 비트 단위 동기가 수신단에 유지되어야 하나, 광경로별 광섬유의 길이의 차이는 50ps/cm로 계산되어지는 정확도를 요구하게 되므로 사용될 셀내 비트율에 의해 그 타이밍 마진이 결정될 것이다.

### III-5. 광신호 검출 및 동기

광신호 검출을 위해서, 수신단은 고속의 전기 증폭, 이진 데이터를 결정하는 임계 전압의 선정, 그리고 검출된 신호와 시스템간의 클럭 동기 및 역압축을 위한 바이트 동기가 필요하다. 고속의 전기 증폭은 몇 단의 직렬 증폭회로 및 신호 레벨 판별회로로써 라인-리시버용 ECL MSI를 사용한다. 본 광교환기의 시간 다중화 교환을 위해 NRZ 데이터 스트림이 하나의 셀이 n개의 비트로 구성된 셀 스트림으로의 변환이 필요함을 언급했었다. 광송신부에서의 데이터 압축은  $V_f$  bps( 예를 들어 155Mbps )의 NRZ 데이터를  $V_s$  bps( 예를 들어 1~3Gbps )의 높은 셀내의 속도를 갖는 셀 스트림으로 변환되어 스위칭 매트릭스에서의 라우팅을 거치게 된다. 그러나 이러한 burst type의 데이터는 역압축시 burst data( 여기서는 셀을 의미함 )의 동기 검출과 셀내 비트들의 비트 동기가 동시에 이루어져야한다. 이를 위해 입력 데이터에 셀 동기용 헤더를 부가한다. 즉 바이트 동기는 이러한 타이밍 헤더를 검출하여 셀 동기를 제공하고, 비트 동기는 고속의 PLL(Phase Locked Loop) 등의 적용을 요구한다.

## IV. 결론

2000년대의 정보화 시대에 요구될 개인화, 지능화, 복합화로 다양한 멀티미디어 서비스가 홍수처럼 쏟아져 나올 것으로 기대된다. 이러한 다양한 서비스의 요구는 앞으로도 계속 늘어나게 될 것이며, 이는 시스템 하드웨어로써의 교환망의 초고속화와 대용량화를 요구할 것이 분명하다. 이는 차세대 통신망인 광대역 종합정보 통신망(B-ISDN)에서 필수적인 망요소로 고성능의 교환기를 요구하게 될 것이다. 이를 위해 고속 전자회로의 한계성을 극복하고 광의 병렬성과 고속성 및 무잡음성을 적극 이용한 새로운 구조의 시간분할 공간다중 광스위치 구조를 제안하였다.

제안된 구조는 전기적으로는 회선 스위치의 기능을 수행하며, 기존의 TDX등과의 호환을 기대할 수 있고, 광소자들의 기능 및 용량 향상을 유연하게 적용할 수 있는 구조이다. 이는 시간분할교환 및 공간분할교환 개념이 각각 독립적 모듈로 구성됨으로 인한 구조적인 장점을 의미한다. 제안된 시간분할 공간다중 광교환 시스템의 구현시 몇 가지 고려하여야 할 선행적 연구분야로써 네트워크 구조, 하드웨어 구성, 광압축/역압축 기술, 그리고 네트워크 제어 등에 대해 고찰하였고, 이에 대한 각 분야별 핵심 기술의 추출 및 예측, 기초 실험을 실시하였다.

광시분할 다중 및 역다중에 있어서 광역다중 실험의 성공과 이에 관련한 네트워크 제어 방안이 수립됨에 따라 시스템의 구현 가능성을 얻게 되었다. 또한, 네트워크 구조에 관련된 하드웨어 구성 기술 측면에서, 본 시간분할 공간다중 광교환 시스템은 현재의 광소자 기술의 현황, 예를 들어 스위치의 선용량을 결정짓는 도파로 스위칭의 집적도나 가드 타이밍을 줄이기 위한 소자 스위칭 시간 등은 시스템의 총선용량등의 현실적인 병목 파라메타로 작용하게 되었다. 그러나 이러한 병목 파라메타들은 본 스위칭 시스템의 용량 확장에 선행적인 영향을 줄을 알았다. 다시 말해 금후의 급변하는 소자 자체의 개선이 본 시스템의 확장에 있어 매우 능동적인 대처를 제공할 것이다.

광교환기의 스루풋을 높이기 위한 다른 접근 방법으로 망으로부터의 데이터의 압축/역압축을 전기적 방법을 탈피한 새로운 방법을 제안하여 포트 당수 Gbps 이상의 높은 압축도를 확인하였다. 이는 향후 광전송용 초단펄스 생성기술의 발전시, 수동 소자들만의 사용으로 보다 높은 port 속도를 제공할 것으로 기대된다. 시간다중 공간분할 광교환 시스템의 셀 동기는 기본적으로 몇 개의 비트들의 묶음(셀)에 특수한 셀 동기 검출용 헤더를 사용하나, 셀단위의 burst한 광 데이터들의 비트 동기를 위해서는 현재 상용화된 광검출기와는 다른 새로운 광검출기의 연구를 필요로 한다.

## 참 고 문 헌

1. 오창환, 주성순, 김기홍, 박범, 전병천, 강병도, "21세기를 향한 교환기술의 연구개발 목표 및 전략-IMP와 교환기술-", 한국전자통신연구소, 제 2장 (1994).
2. S. Shin, K. Chu, and Y.-H. Won, " A novel optical compressor for cell-interleaved time-division multiplexing system ", Proc.



- EFOC&N '94, Heidelberg, pp.191-193 (1994).
3. Y. Shimazu, M. Tsukada, " Ultrafast photonic ATM switch with optical output buffers ", J. Lightwave Technol., vol 10, No. 2, pp. 265-272 (1992).
  4. 김기홍, 추광욱, 원용협, " 시간-공간-시간 분할형 광 스위치 ", 특허출원중, 출원번호 제 95-21673호 (1995).
  5. 김기홍, 김병훈, 홍현하, 원용협, " 시간분할 공간 광스위칭을 위한 타이밍 마진에 관한 연구", 제 2회 광자기술학술회의 논문집, pp. 51-52 (1993)
  6. 김기홍, 원용협, " 시간-공간-시간 분할형 광 스위치 ", 특허출원중, 출원번호 제 94-25477호 (1994).
  7. 김병훈, 추광욱, 김기홍, 원용협, "TST 광교환시스템 구현을 위한 시간축상에서의 광신호 교환 실험", 광자기술학술회의'94, 논문집, pp. 175-176 (1994).