

主題

# 광회선분배 기술

한국전자통신연구원 박 혁, 이 창 형, 김 봉 규, 김 광 준

차 례

- I. 서 론
- II. OXC의 필요성 및 개발 동향
- III. OXC의 분류
- IV. Transparent OXC의 구조 및 핵심 기술
- V. 광 네트워킹 모델
- VI. 광 네트워크 신호 방식 및 운용 알고리즘
- VII. 요 약

## I. 서 론

전송 기술 발전 과정에서 광섬유의 출현은 대용량의 장거리 전송장치를 가능하게 하는 새로운 기술 도약의 장을 마련하였다. WDM 전송 기술은 1980년대 말부터 등장한 EDFA 기술과 반도체 레이저를 위시한 광 부품 기술의 발전을 기반으로 1990년대 후반에 상용화되었으며 현재 한 가닥의 광섬유를 통하여 수 Tb/s의 정보를 전송할 수 있는 시스템이 등장하고 있다. 이러한 WDM 전송 기술의 발전은 폭발적으로 증가하고 있는 인터넷 수요를 충족시키는데 가장 중요한 몫을 담당하고 있다.

향후 광통신망은 고정된 선로를 통하여 전송하는 현재의 선형 혹은 환형의 망에서 발전하여 필요에 따라 동적으로 망을 재구성하는 전광통신망으로 진화하게 될 것으로 기대되고 있다. 이러한 전광통신망은 각 노드에서 회선을 재구성할 수 있는 OXC (Optical Cross-Connect)를 기반으로 하는 그물형 (mesh) 망으로 전개될 것으로 예측된다. OXC

는 입력 광신호를 목적지에 따른 출력 포트에 라우팅해주는 역할을 한다. 뿐만 아니라 입력 광신호의 손상이 심한 경우 중간에서 신호를 재생하여 주거나, 출력 포트에서 파장 간 충돌이 발생할 경우 어느 한 파장을 다른 파장으로 변환해 주는 기능을 포함하기도 한다. 또한, 사용자 계층과 광 계층 간의 종속 신호 접속 기능을 제공하며, 시스템과 선로의 감시 제어 및 광신호 연결 설정을 위한 시그널링 기능을 수행한다. 또한 망에 장애가 발생할 시에는 적절한 보호/복구 기능을 지원하기도 한다.

본 고에서는 우선 2장에서 전광통신망의 진화에 따른 OXC의 필요성 및 기능을 기술한다. 3장에서는 OXC의 분류를 살펴보고 4장에서는 OXC를 구성하기 위한 핵심 기술인 스위치 및 파장 변환 기술의 현황을 소개한다. 그리고 5장과 6장에서 광네트워킹 모델 및 운용에 대하여 소개하고 마지막으로 7장에서 요약한다.

## II. OXC의 필요성 및 개발 동향

### 1. 전광통신망의 진화 방향

초기의 WDM 광 전송 장치는 점대점 전송 장치의 형태로 등장하였다. 그러나 점대점 전송 장치를 사용하는 경우 전송 장치의 단말에서는 전송된 모든 정보를 광전 변환 후 전기적으로 처리하게 되므로 전송 용량이 증가함에 따라 전기적인 정보처리가 병목으로 작용할 뿐만 아니라 전기적인 정보처리를 위한 비용이 전송용량에 비례하여 상승하게 된다. 이에 반하여 노드에서 분기/결합되지 않는 광신호에 대해서는 전기 신호로 변환하지 않고 광신호 상태로 통과시키고 분기/결합할 부분만 광전변환 및 전광변환 하면 시스템의 비용을 크게 절감할 수 있다. 이러한 필요성에 따라 광학적인 분기/결합 방법의 필요성이 대두되어, 현재 고정 파장을 분기/결합 할 수 있는 OADM(Optical Add/Drop Multiplexer)을 기반으로 하는 선형(linear) 혹은 환형(ring) 망이 보급되고 있다.

현재 포설되고 있는 정적인 선형 혹은 환형 망들은 그물형 전광통신망으로 진화할 것으로 예측된다. 만약 현재의 선형 혹은 환형 망을 연결하여 전체 망을 구성할 경우 망 사업자의 입장에서 종단간 연결을 제공하기 위해서는 다수의 망을 관리하여야 하며 다수의 선형 혹은 환형 망을 설정해 주어야 한다. 이로 인하여 관리 비용이 증가하게 되며 또한 망 설정에 많은 시간이 필요하게 된다. 또한 환형 망은 선로 보호를 위하여 전체 자원 중 50% 를 사용하여야 하지만 그물형 망에서는 다양한 보호 방법을 채택할 수 있으며 자원을 공유함으로써 망의 자원을 더 효율적으로 사용할 수 있다. 또한 망을 업그레이드 하고자 하는 경우에도 다수의 환형 망을 연결하여 사용할 경우 다수의 관리 영역으로 분리되어 있는 각각의 망을 모두 업그레이드 해야 하지만 그물형 망의 경우에는 하나의 관리 영역에 있는 그물형 망을 업그레이드 하게

되므로 망의 변화에 더 유연하게 대처할 수 있다.

전광 통신망의 또 다른 진화 방향은 고정된 연결(permanent connection) 을 제공하던 망에서 자유롭게 재구성이 가능한 동적인 망으로의 진화이다. 과거 SONET/SDH로 구성된 링형 망에서는 새로운 연결을 추가로 설정하는데 수 주일의 시간이 걸렸다. 하지만 OXC를 포함하는 그물형 망에서는 사용자의 요구가 있을 경우 실시간으로 새로운 연결을 설정할 수 있다. 가까운 미래에는 사용자의 요구가 있을 경우 수 주일 또는 몇 달에 해당하는 일정 시간동안 연결을 제공하여 주는 반고정연결(soft permanent connection) 서비스가 일차적으로 사용될 것이며 그 후엔 트래픽의 흐름에 따라 자동으로 연결을 설정/해제하는 교환연결(switched connection) 서비스가 등장할 것으로 보인다.

### 2. OXC의 기능

이러한 전광통신망의 진화에는 광 투명성(optical transparency)을 유지하면서 광신호를 회선분배해 줄 수 있는 Transparent OXC 가 필수적이다. Transparent OXC는 입력되는 광신호를 전송 속도 및 형태(예 : SDH, ATM, GbE, etc.)에 관계 없이 연결해 주는 기능을 갖는다. 또한 OXC 는 신호 용량의 증가에 능동적으로 대처하기 위하여 설정된 전송로의 용량이 부족한 경우 추가적인 경로를 설정해 줄 수 있으며, 전송로의 절단 등과 같은 문제가 발생할 때 보호/복구 기능을 제공함으로써 신뢰성 높은 전달망을 구성할 수 있도록 해 준다.

### 3. OXC 개발 동향

OXC가 장차 전개될 전광통신망의 핵심 요소라는 점 때문에 Nortel사, Lucent사, Alcatel사, Calient사 등의 광통신 장비 회사들이 OXC를 개발하고 있다. Nortel사는 OFC2000에서 대용량 3D MEMS 스

위치를 개발했다고 발표하였던 X-ros사를 합병하였으며 OPTera Connect 라는 Cross-connect 제품 계열에 PX 라는 상품명으로 개발을 진행하고 있다. Lucent사는 Lambda Router라는 상품명으로 OXC를 개발하고 있으며 2000년에 Global Crossing 사의 New York 과 England 사이의 망에서 성공적으로 시험을 마쳤다고 발표하였다. Alcatel사는 Cross Light 라는 상품명으로, 그리고 Calient 사는 DiamondWave라는 상품명으로 4000 포트까지 확장이 가능한 OXC 제품을 개발하고 있다.

### III. OXC의 분류

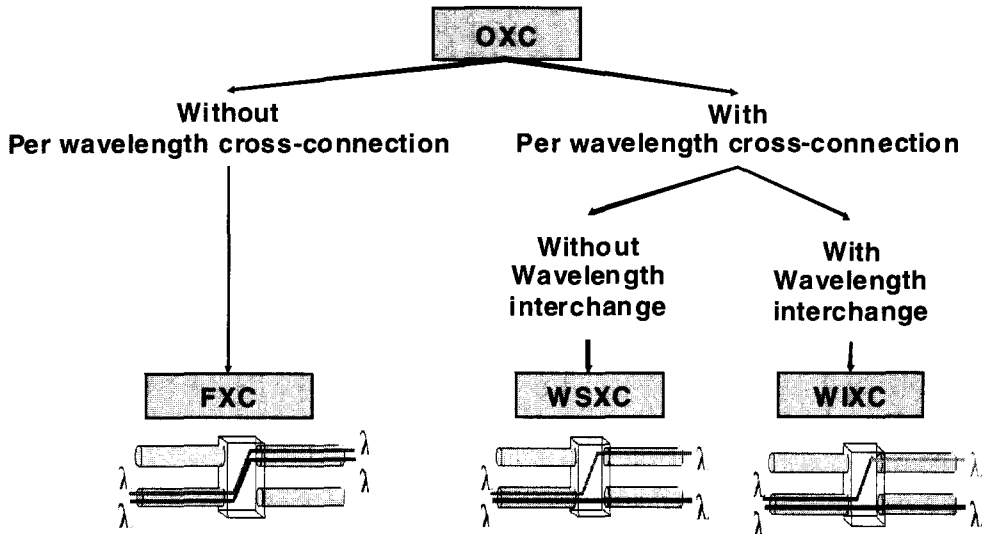
OXC는 분기/결합 기능의 유무, 파장 변환 기능의 유무, 스위치의 형태 등 다양한 기준으로 분류할 수

있다. 본 고에서는 Telcordia의 “Optical Cross-Connect Generic Requirement” (Telcordia GR-3009-Core, [1])를 따라 그림 1과 같이 파장 단위의 회선분배 기능 및 파장 변환기능을 기준으로 분류하여 설명하였다.

#### 1. FXC (Fiber Cross-Connect)

FXC는 단순히 광섬유 (optical fiber) 단위로 스위칭이 이루어지는 구조로서 원격 조정이 가능한 광섬유 분배함과 유사한 기능을 할 수 있다. FXC는 파장 채널 단위의 분기/결합 및 광감시 채널(optical supervisory channel, OSC) 처리를 지원하지 않는다.

#### 2. WSXC (Wavelength Selective Cross-Connect)



**FXC : Fiber Cross-Connect**  
**WSXC : Wave length Selective Cross-Connect**  
**WIXC : Wavelength Interchanging Cross-Connect**

그림 1. OXC의 분류

WSXC는 파장 채널 별 회선 분배 기능이 있는 OXC중 파장 변환 기능이 없는 OXC를 지칭한다. WSXC는 파장 다중화된 입력 광신호를 역다중화한 후 공간 스위치를 사용하여 파장 별로 회선 분배를 수행한다. 따라서 WSXC는 파장 채널 단위의 분기/결합이 가능하다. 분기/결합 기능이 있는 OXC에서는 클라이언트로부터 오는 광신호의 특성을 전광통신 망 내부에서 사용하는 광신호 특성에 맞추기 위한 정합 기능이 요구될 수 있다. WSXC에는 각 입력 선로의 OSC를 받아보고 출력 선로들의 OSC를 생성하여 주는 기능이 필요하다. WSXC에는 파장 변환 기능이 없으므로 입력 광 채널들의 고유 파장은 그대로 유지된다. 따라서 WSXC를 사용하여 구현한 망에서는 출발지부터 목적지까지 같은 파장을 가지도록 경로를 설정해 주어야 한다. WSXC는 같은 파장의 광신호만을 묶어서 스위칭하는 lambda-plane 스위치로 구현할 수 있다.

WIXC는 WSXC의 각 신호 경로에 파장 변환 기능을 추가한 것이다. WIXC에 입력되는 광신호는 먼저 파장 역다중화된 후 공간 스위치에 의하여 회선 분배된다. 이 광신호는 파장 변환기에 의하여 파장 변환된 후 파장 다중화되어 출력된다. OXC는 다수의 입력 링크를 가지므로 같은 파장을 가지는 광신호 채널이 링크 수만큼 존재할 수 있으며 이 중 두 개 이상이 같은 출력 링크로 라우팅 되는 경우 회선 경쟁 (contention) 문제가 발생하게 된다. 이 때 각 출력 광선로마다 특정 파장별로 하나의 신호만 받아들일 수 있기 때문에, 다른 파장이 사용되지 않고 있어도 회선 경쟁을 피할 수 없는 경우가 있다. 회선 경쟁에 의하여 블록킹이 발생할 경우 출력하고자 하는 링크에서 사용하지 않는 파장으로 파장을 변환해 주면 망의 가용도를 높일 수 있다.

WIXC와 같이 전체 채널에 파장 변환기를 장착할 경우 일반적으로 블록킹 확률을 줄일 수 있으나 전체 채널 수만큼 파장변환기가 장착되어야 하므로 전체 장비 가격이 상승하게 된다. WSXC/WIXC hybrid는 WIXC와 달리 전체 채널에 파장변환기를

### 3. WIXC (Wavelength Interchanging Cross-Connect) 및 WSXC/WIXC hybrid

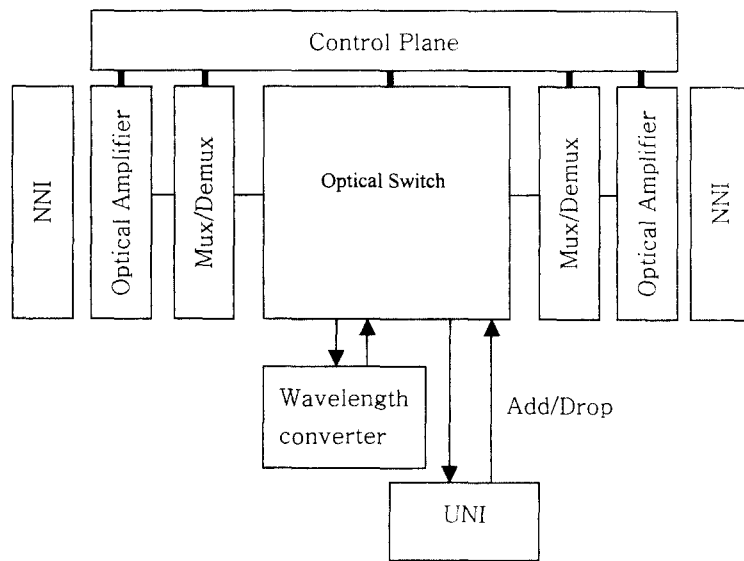


그림 2. OXC의 기능 구조

사용하지 않고 파장 변환기를 공유하는 형태의 OXC를 지칭하며 장비 가격면에서 WIXC에 비하여 유리하다. WSXC/WIXC hybrid는 한 노드에서의 블록킹 확률은 WIXC 보다 크지만 망의 형태 및 라우팅 알고리즘에 따라 소수의 파장변환기만으로도 WIXC로 이루어진 망과 유사한 성능을 보일 수 있다.

#### IV. Transparent OXC의 구조 및 핵심 기술

OXC는 전송을 담당하는 장비이면서 동시에 라우팅을 수행하는 네트워크 장비이다. 이러한 특성으로 인하여 OXC에는 기존의 점대점 전송 시스템과는 다른 기능들이 필요하다. 이 장에서는 OXC의 개념적인 구조에 대하여 설명하고 OXC 구현에 있어서 중요한 기능인 광스위치 및 파장변환기에 대하여 설명한다.

##### 1. OXC의 기능 구조

그림 2에 OXC의 기능 구조를 나타내었다. OXC는 크게 광학적인 경로를 설정해 주는 하드웨어 부분과 주로 소프트웨어로 이루어지는 제어계층으로 구분할 수 있다. 입력되는 파장 다중화된 광신호는 파장역다중화기에 의하여 역다중화되어 광스위치로 입력된다. 회선 경합이 발생하지 않는 경우 광스witch는 입력되는 광신호를 투명하게 출력 포트에 연결해 준다. 한편 회선경합이 발생하는 경우 파장변환기 모듈로 광신호를 연결하여 파장변환을 수행한 후 지정된 출력 포트에 연결해 준다. 만약 입력 및 출력 광신호의 세기가 약할 경우 이를 보상하기 위하여 광증폭기를 포함할 수 있다. 손실이 적은 경로이거나 OXC에서의 손실이 적은 경우 광증폭기를 사용하지 않을 수 있으며 입출력 중의 한 쪽만 사용할 수 있다.

그림 2에서 Mux/Demux는 각각 파장다중화기/파장역다중화기를 지칭한다. 파장역다중화기는 링크로부터 입력된 파장 다중화된 광신호를 파장 채널 별로 분리하는 기능을 가진다. 각각의 역다중화된 광신호는 광스위치의 포트에 입력된다. 파장다중화기는 광스위치에 의하여 스위칭된 파장 채널을 다중화하여 링크로 출력하는 기능을 가진다. 파장다중화기 및 파장역다중화기는 각각 OXC에 연결된 링크의 수만큼 장착되며 역다중화기와 다중화기 사이에는 가변광감쇄기를 둘 수 있다. 가변광감쇄기는 스위치의 경로 손실차 및 Mux/Demux 소자의 불완전성에 의한 경로 손실차 등을 보상하여 광증폭기 입력부분에서 각 채널의 광세기를 일정하게 유지하는 역할을 한다.

##### 2. 스위치 fabric module

광 스위치는 OXC의 핵심 요소로서 다수의 입력 및 출력 포트를 가지는 공간스위치로서 임의의 입력 포트에 입력된 광신호를 출력 포트에 연결해 줄 수 있는 기능을 가진다. 이 공간 스위치는 포트간의 연결 설정 시 이미 설정되어 있는 다른 연결을 방해하지 않아야 한다. OXC의 필요성은 광섬유를 이용한 광 전송 장치가 본격적으로 개발되기 이전에 이미 예견된 바 있으나 구현이 늦어지고 있는 큰 이유로 적절한 대용량 광 스위치의 부재를 들 수 있다. 이러한 대용량 광스witch를 구성하기 위하여 MEMS (Micro ElectroMechanical System), bubble, 열광학 스위치 등과 같은 다양한 기술들이 사용되고 있다.

##### 가. MEMS 기술 기반의 스위치

MEMS 기술을 사용하여 공간적인 움직임이 가능한 미소 거울을 소자에 구성하여 광 경로를 제어하는 기술이다. 이 기술은 크게 2D MEMS 스위치와 3D MEMS 스위치로 구분된다.

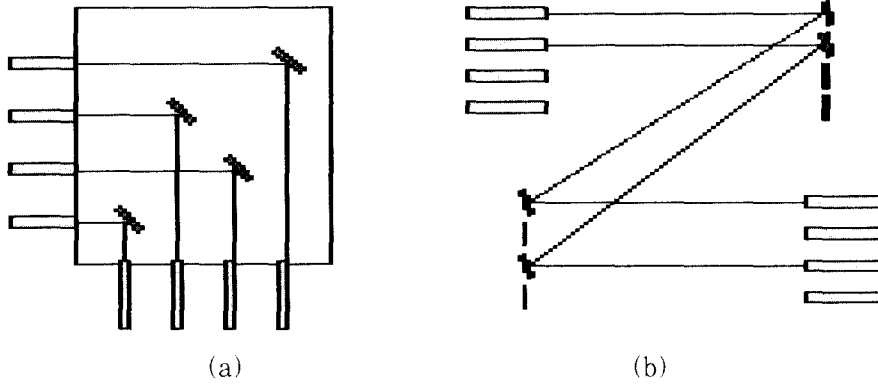


그림 3. MEMS 기술 기반 스위치의 개념도 (a) 2D MEMS 스위치 (b) 3D MEMS 스위치

**(1) 2D MEMS 스위치**

2D MEMS 스위치는 그림 3의 (a)와 같이 2차원 평면 위에 입/출력 광섬유와 미소 거울을 배치한 구조로 되어 있다. 특정 입력 포트와 출력 포트의 교차점에 있는 거울을 세워서 빛을 반사시켜 두 포트간의 연결을 설정한다. 모든 광경로가 2차원 평면 위에 있으므로 이를 2D MEMS 스위치라고 부른다. 이 방식에서는 거울이 On/Off 의 두 위치에만 있도록 제어하면 된다. 그러나 이 방식은 모든 입/출력의 교차점에 거울을 제작해야 하므로 입/출력 포트 수의 제곱에 비례하여 필요한 거울의 수가 늘어나게 되는 단점이 있다. 또한 입/출력 포트 수가 늘어나면 입/출력 포트간의 거리도 따라서 증가하게 되어 손실이 증가하게 된다. 이 방식을 사용하여 구성할 수 있는

스위치는 최대 32×32 정도인 것으로 알려져 있다. 현재 이 형태의 스위치는 16×16 스위치가 상용화되어 있으며 32×32 크기의 스위치도 2002년 초반 경 상용화가 예정되어 있다.

**(2) 3D MEMS 스위치**

3D MEMS 스위치는 전체 스위치가 3차원적으로 구성되어 있다. 그림 3의 (b)는 이 스위치의 단면을 보여주고 있다. 실제의 스위치는 입력 포트가 그림에서 볼 수 있는 광섬유 1차원 배열이 적층된 2차원적인 배열로 되어 있다. 이 스위치는 입력 포트로부터 들어오는 광신호를 맞은 편에 있는 미소 거울을 조절하여 아래에 있는 미소 거울 중 출력 포트와 마주 보고 있는 거울로 향하도록 해준다. 아래의 미소 거울

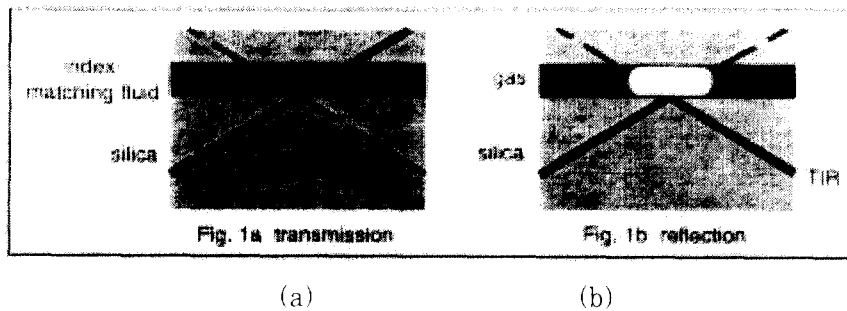


그림 4. Bubble 스위치의 동작 원리 (a) transmission (b) reflection

표 1. 여러 가지 파장변환기의 특성비교

방식	Bit Rate	특징	SNR	Polarization dependency	$\lambda_{in} = \lambda_{out}$	Structure
O/E/O converter	~40Gb/s	Reshaping, ER improve	High	Insensitive	Possible	Simple
Laser converter	~10Gb/s	ER improve, High chirp		Sensitive	Impossible	Simple
Coherent converter	>100Gb/s	Multi Channel conversion	High	Insensitive	Impossible	Complex
XGM converter	>40Gb/s	Low ER, inverted, chirped	High	Insensitive	Possible	Simple
XPM converter	>40Gb/s	ER improve.	High	Insensitive	Possible	Complex

SNR : Signal to Noise Ratio, ER : Extinction Ratio

은 광신호를 반사하여 출력 포트로 향하게 한다. 이 구조의 장점은 스위치의 크기가 커지더라도 필요한 미소 거울의 수가 스위치의 포트 수에 선형적으로 비례하며 미소 거울의 움직임 각을 크게 할 수 있으면 입/출력 포트 사이의 거리도 증가하지 않도록 제작할 수 있다는 점이다. 이러한 장점으로 인하여 3D MEMS 스위치는 대용량 스위치를 구성할 수 있는 가장 믿음직한 기술로 인식되어 왔다. 이러한 인식을 바탕으로 Nortel, Calient, Agere, Onix microsystem, OMM (Optical Micro Machines) 등의 회사들이 이 방식의 제품에 대한 연구를 수행하여 왔으나 최근 Onix microsystem사와 OMM사는 시장 변화를 이유로 3D MEMS 스위치 개발을 중단한다고 발표하였다. Agere사는 64×64 크기의 3D MEMS 방식의 광스위치를 상용화하였다고 발표하였다.

#### 나. Bubble 스위치

Agilent사에서 평면광도파로 기술과 Inkjet 기술을 결합하여 개발한 광스위치이다. 이 스위치는 그림 4와 같이 서로 교차하는 광도파로와 이 광도파로의 교차점에 있는 trench로 이루어져 있다. 그림 4의 (a)와 같이 이 trench가 도파로와 같은 굴절률

을 갖는 index matching fluid로 채워져 있으면 광도파로를 통과하는 광신호는 직진하게 된다. 그림 4의 (b)와 같이 교차점 부분을 가열하여 gas로 채운다면 trench부분의 굴절률이 낮아지게 되어 전반사를 일으킬 수 있다. 이러한 스위치를 crossbar 형태로 평면 광도파로 상에 배치하면 N(N 스위치를 제작할 수 있다. Agilent사는 이 기술을 이용하여 32×32 스위치를 제작하였다고 발표하였다.

#### 다. 열광학 스위치

열광학 스위치는 물질의 굴절률이 온도의 의존하는 특성을 이용하는 소자이다. 평면 광도파로 기술을 사용하여 Mach-Zehnder 간섭계를 구성한 후 한쪽 arm에 열을 가하여 그 arm의 유효 길이를 바꾸는 방법이 사용될 수 있다. 이 외에도 굴절률 변화를 이용하는 다양한 소자 설계가 가능하다. 현재 8×8 스위치가 상용화되어 있으며 16×16 스위치가 곧 상용화될 전망이다. 이 스위치는 단위 스위치의 수가 포트 수의 제곱에 비례하게 되며 스위치 포트 수가 많아질수록 손실 및 전력 소모도 커지므로 대용량 OXC에 적용될 가능성은 많지 않다.

### 3. 파장 변환 module

파장변환기가 OXC 시스템에 사용되어지기 위하여 데이터 전송속도 및 데이터 형태의 투명성과 망의 용도에 맞는 전송특성을 지녀야 한다. 따라서, 현재 개발중인 파장변환기는 저비용으로 얼마나 빠른 데이터 전송속도를 수용할 수 있는지, 얼마나 멀리 전송을 할 수 있는 지가 중요한 관건이 된다.

파장변환기의 종류는 크게 광전변환(O/E/O, opto-electronic conversion)을 이용한 파장변환기와 전광(all-optical) 파장변환기의 두 가지로 분류된다. 광전변환기는 현재 상용화 기술에 가장 가까운 기술이며, 전광 파장변환기는 초고속 데이터를 처리하는 차세대 광 통신망을 위한 기술로 각광을 받고 있다. 한편, 전광 파장변환기는 레이저 파장변환기(laser converter), 코히런트 파장변환기(coherent converter), 광게이트 파장변환기 등으로 분류할 수 있다[2-6]. 각 파장변환기의 특성은 표 1과 같다.

#### 가. 광전변환기(O/E/O, opto-electronic converter)

광전변환을 이용한 파장변환기는 입력되는 빛을 광 검출기(photo-detector)를 이용하여 검출된 전기신호를 광 변조기에 인가하여 광신호에 데이터를 인가함으로써 파장변환이 이루어진다. 이때 입력파장의 동작영역은 광 검출기 동작영역과 일치하고, 출력파장은 광 변조기에 입력되는 광의 파장과 일치하기 때문에 광전변환기의 파장 및 편광을 포함한 입출력의 조건은 다른 파장변환기에 비하여 매우 우수하다. 또한, 광 검출기와 광 변조기 사이에 3R(reamplification, reshaping, retiming) 재생기를 추가함으로써 파장변환기의 중요한 특성인 소광비(extinction ratio) 및 SNR(signal to noise ratio) 특성을 입력 조건보다 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 이 기술은 다른 기술에 비하여 구조적으로 간단한 형태로서 현재 상용화 기술에 가장 근접한 기술이며, 40Gb/s 정도의 속도를 갖는 데이터를 변환할 수 있

다. 이 방법은 구조는 간단하나 부피가 크고 가격이 비싼 단점을 가지고 있다.

#### 나. 레이저 변환기(Laser Converter)

레이저를 이용한 파장변환기는 단일 컴포넌트로 파장변환이 가능한 구조로써 현재까지 제안된 방법 중에서 가장 간단한 구조를 갖고 있다. 레이저의 외부에서 입력되는 빛이 없을 때에는 레이저가 정상적으로 작동하여 출력이 되고, 빛이 입력이 될 때에는 레이저 이득매질에서 이득포화(gain saturation)가 일어나서 레이저의 발진을 억제하는 원리를 이용한 것이다. 따라서 이 변환기는 아주 간단한 구조와 출력 소광비가 크다는 장점이 있다. 그러나 편광의존성이 높고 처핑(chirping) 값이 크며 반전(inverted) 데이터가 출력된다는 단점을 갖고 있다. 현재까지 발표된 데이터의 속도는 10Gb/s이며, OXC 시스템에의 응용 가능성이 매우 낮다.

#### 다. 코히런트 파장변환기

코히런트 파장변환기는 비선형성을 지닌 물질에 두개의 빛을 입사시켜 광파혼합(wave mixing)을 일으켜 파장을 변환하는 방식이다. 이 방식에는 FWM(four wave mixing)과 DFG(difference frequency generation) 특성을 이용하는 방법이 있다. FWM을 이용한 파장변환기의 출력파장은 probe 빛의 파장의 2배와 신호 빛의 파장의 차이이고, DFG의 출력파장은 probe 빛의 파장과 신호 빛의 파장의 차이이다. 이 방식은 현재까지 연구되어지고 있는 파장변환기 중에서 가장 속도가 빠른(100 Gb/s 이상) 장점 외에 낮은 편광의존성, 높은 SNR 및 여러 채널을 동시에 파장변환을 할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 또한, 파장변환기의 위치와 probe 빛의 파장을 조절하여 분산보상이 가능하다는 장점도 가지고 있다. 그러나, 낮은 변환효율로 인하여 여러 개의 파장변환기를 연결하기가 어렵고, 출력파장이 신호와 probe 빛의 파장에 의존하기 때문에 변환기



의 구조가 복잡해지는 경향이 있다.

#### 라. 광 게이트(gate) 변환기

광 게이트 파장변환기는 광학적인 게이트를 이용하여 파장을 변환하는 방식이며, XGM(cross gain modulation), XPM(cross phase modulation), XAM(cross absorption modulation), EIT(electromagnetically induced transparency) 등을 이용한 방식들이 있다. XGM을 이용한 파장변환기는 간단한 구조 및 편광의존성이 없는 장점이 있다. 그러나 신호 반전, 낮은 소광비, 처핑 등의 단점을 지니고 있다. 현재 약 40 Gb/s의 데이터를 파장변환 할 수 있는 기술이 발표되었다. XPM을 이용한 파장변환기는 주로 간섭계를 이용하며, 소광비, power penalty, SNR등의 특성이 우수하여 여러 개의 파장변환기를 연결하는데 문제가 없는 기술이기 때문에 현재까지 개발되고 있는 전광파장변환기 기술 중 가장 각광 받고 있는 기술이다. 그러나 아직까지 입력세기 조건(input dynamic range)이 나쁘고 복잡한 구조로 가격이 비싸다는 단점을 지니고 있다.

최근 XAM, EIT 등을 이용한 우수한 특성의 파장변환 기술이 발표되고 있으나, 아직까지 뚜렷한 결과가 가지적으로 나타나지 않고 있다. 따라서, 현재까지는 OXC에는 광전변환기와 XPM을 이용한 파장변환기가 응용이 될 가능성이 가장 높다.

## V. 광 네트워킹 모델

광 네트워킹 모델에 대해서는 전문가들 사이에서도 상당한 이견이 존재하고 있다(8,9). 특히 기존 전화 통신 사업자로 대표되는 ITU-T와 인터넷 통신 사업자로 대표되는 IETF의 광 네트워킹 모델 간에 두드러진 차이를 볼 수 있다(7,10). ITU-T에서는 클라이언트/서버에 기반한 오버레이(overlay) 모델을 지지하는 반면 IETF에서는 GMPLS(Generalized

Multi-Protocol Label Switching)에 기반한 피어(peer) 모델을 강조하고 있다. 이 장에서는 두 모델의 특징을 살펴보고 각각의 장단점을 살펴보기로 한다.

### 1. 오버레이 모델

오버레이 모델은 클라이언트/서버 개념에 기반한 모델이다. 대표적인 예로는 IP over ATM을 들 수 있다. 이 모델에서는 서비스 사용자와 제공자 사이가 철저하게 분리되어 있다. 클라이언트는 원하는 상대방 클라이언트의 주소와 필요 대역폭 및 서비스 품질과 같은 원하는 연결 서비스의 특징에 대한 정보만을 서버에 요청할 뿐, 해당 서비스의 구현 방법은 전적으로 서비스 제공자인 광 네트워크 장비(Optical Network Element, ONE) 측에 달려 있다. 즉, 광 네트워크의 운용 정보나 망 구성 정보, 그리고 라우팅 정보 등은 광 네트워크의 내부에서만 주고 받을 뿐 사용자 계층으로 전파되지 않는다. 이 모델은 클라이언트와 무관한 독립적인 광 네트워크를 구축할 수 있기 때문에 구현이 쉬우며 각 계층이 서로 독립적인 기술 발전을 추구할 수 있다는 장점이 있다. 반면 IP over ATM의 경우에서도 볼 수 있듯이 서로 독립된 두 계층을 연동할 경우 양 계층간에 일치하지 않는 정책으로 인해 전체 네트워크의 효율이 떨어질 수 있다는 단점이 있다. 또한 두 계층이 독자적인 제어 망을 구축해야 하기 때문에 네트워크의 특정 기능이 불필요하게 중복될 수 있다는 단점이 있다.

### 2. 피어 모델

피어 모델은 광 네트워크 장비와 라우터 등의 기존 장비를 대등한 위치 관계(peer relation)로 정의한 모델이다. 즉, 광 네트워크 계층과 기존의 상위 계층을 별도의 계층으로 다루지 않고 하나의 제어 평면으로 통합하여 관리함으로써 네트워크의 효율성을 극대

화하자는 데 목적을 두고 있다. 이러한 통합은 주소 방식의 단일화, 라우팅 정보 및 라우팅 알고리즘의 단일화, 시그널링 방식의 단일화 등을 모두 포함하고 있다.

이 모델을 적용하여 만일 성공적인 통합이 이루어질 경우 전체 네트워크의 제어 방식이 단일화됨으로써 광 네트워크에만 별도로 적용되는 제어 평면을 따로 디자인할 필요가 없다는 장점이 있다. 또한, 트래픽 엔지니어링 등을 용이하게 함으로써 망의 효율성을 극대화할 수도 있다. 이 모델의 시초는 IETF 진영에서 주장한 MPLS(Multi-Protocol Lambda Switching)에서 발견할 수 있는데, 이는 광 네트워크의 채널 단위인 파장(lambda)을 MPLS(Multi-Protocol Label Switching)의 label 개념으로 처리함으로써 새로운 제어 망을 디자인할 필요 없이 기존의 MPLS를 수정하여 사용하자는 데에서 출발한 것이다(10). 현재 IETF에서는 여기서 한 단계 나아가 GMPLS라는 개념으로 발전시킴으로써 피어 모델을 지향하고 있는데 이는 기존의 MPLS를 확장하여 IP 네트워크와 광 네트워크를 통합한 하나의 제어 평면을 구성하려는 것이다. IETF에서는 현재 기존에 사용되던 라우팅 프로토콜인 OSPF(Open Shortest Path First)나 RSVP(Resource reSerVation Protocol)를 광 네트워크에 맞게 확장시키는 작업을 하고 있다.

피어 모델의 단점은 오버레이 모델에 비해 구현이 어렵다는 데 있다. 서로 다른 이질적인 망을 하나의 제어 평면으로 통합하려면 그 과정에서 여러 문제가 야기될 수 있는데 이에 대한 연구가 쉽지 않기 때문에 기대했던 효과를 얻을 수 있을 지에 대해 의문이 존재한다. 또한 이 모델은 MPLS를 사용하는 IP 네트워크와의 통합만을 염두에 두고 있기 때문에 IP 이외의 다른 사용자 계층이 광 네트워크와 접속하고자 할 경우 부적절하다는 문제점이 있다.

오버레이 모델과 피어 모델은 상호 대조적인 면이 있는 것이 사실이지만 그렇다고 해서 상호 배척 관계에 있는 것은 아니다. 오히려 두 모델을 실제적으로 구현하는 일련의 표준화 과정에는 공통적인 요소가 더 많다. 현재 OIF(Optical Internetworking Forum)에서 표준화 작업을 하고 있는 UNI 1.0(User Network Interface 1.0)을 살펴보면 기본적으로 오버레이 모델을 사용하고 있지만 시그널링에 사용되는 신호 표준은 MPLS에서 사용되는 LDP(Label Distribution Protocol)나 RSVP를 UNI 신호에 적합하도록 수정하여 사용하고 있다. 또한, 새롭게 표준화가 시작된 NNI(Network Network Interface)에서는 GMPLS를 바탕으로 표준화 작업에 임하고 있다. ITU-T G.ASON에서도 오버레이 모델에서 피어 모델로의 진화 가능성을 더 이상 배제하고 있지 않다. 이와 같은 점으로 미루

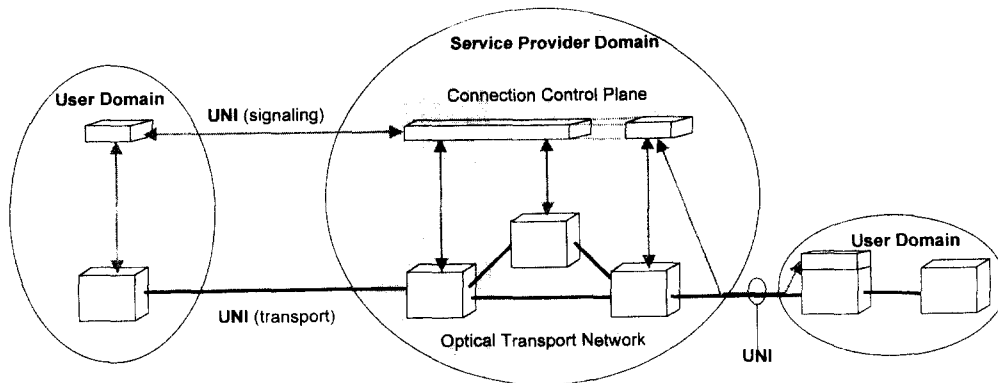


그림 5. OIF UNI

어 볼 때 두 모델은 상호 간에 수용 또는 타협할 점이 많다고 볼 수 있다.

## VI. 광 네트워크 신호 방식 및 운용 알고리즘

광 네트워크에서는 경로 설정을 위한 신호 방식을 정의해야 할 필요가 있다. 여기에서는 시그널링 네트워크의 구성 방식 및 필요한 프로토콜을 OIF UNI 1.0을 중심으로 살펴 본다. 그리고 네트워크를 운용하는데 필요한 여러 가지 운용 알고리즘 중에서 라우팅 알고리즘과 보호/복구 알고리즘에 대하여 기술한다.

### 1. 광 네트워크 신호 방식

광 경로를 동적으로 설정/유지/해제하기 위해서는 일련의 신호 체계가 필요하다. 먼저 광 전송 장비가 네트워크에 추가되었을 때 서로 다른 장비들과 인식하는 과정이 필요한데 이를 discovery라고 한다. Discovery는 크게 상호 시스템을 인식하는 neighbor discovery와 서로 간에 주고받을 수 있는 서비스를 확인하는 service discovery가 있다. 이 두 과정을 통해 광 네트워크의 장비와 사용자 간의 장비가 연결 설정 서비스를 위한 준비 작업을 하게 된다. 그림 5는 OIF UNI의 개념도인데 실제로 시그널링 채널과 데이터의 전송 채널 네트워크를 어떻게 구성되는가에 따라 여러 가지 배치가 가능하다. 예를 들어 시그널링 채널이 데이터의 전송 채널과 별도의 물리적인 경로를 따라 구성될 수도 있고, SONET/SDH의 오버헤드를 따라 같은 경로로 전달될 수도 있다. OIF UNI 1.0에는 이런 다양한 구성에 대한 기준 모델을 세 가지 정도 제시하고 있다.

인접 시스템에 대한 확인이 끝나면 UNI Abstract 메시지가 전달된다. 이 메시지는 크게 연

결 생성 요청(connection creation request), 연결 해제 요청(connection delete request), 연결 상태 확인(connection status inquiry)으로 구성된다. 각각의 메시지는 연결 요청에 대한 상세한 정보들을 주고 받을 수 있게 되어 있다. UNI 시그널링은 LDP나 RSVP를 UNI 시그널링에 적합하도록 표준화한 프로토콜을 사용한다.

### 2. 라우팅 및 파장 할당

광 네트워크의 라우팅에서는 기존 네트워크의 라우팅에서 찾아볼 수 없는 두 가지 제약 조건이 존재한다. 하나는 신호의 손상에 따른 전송 거리의 제약이고 다른 하나는 파장 변환이 가능하지 않음으로써 발생하는 제약이다.

전광 상태로 신호를 전송할 경우 전송 채널의 속도 및 실제 신호의 프레임 형식 등과 무관하게 어떠한 전기 신호도 광신호로 변환하여 전송할 수 있다. 하지만 전광 상태로 신호를 전송하고 중간 노드에서 광신호를 재생하지 않을 경우 광신호에 손상이 발생하게 되므로 이는 최대 전송 거리의 제약을 가져온다. 모든 신호가 노드마다 새롭게 재생되는 SONET과 같은 망에서는 어떤 신호가 여러 노드를 거쳐간다 할 지라도 신호의 손상을 고려할 필요가 없다. 따라서 라우팅 알고리즘은 각 링크마다 비어 있는 용량을 파악하는 것이 중요할 뿐 신호의 손상에 대해서는 전혀 고려할 필요가 없다. 반면 전광 네트워크에서의 라우팅은 이러한 제약 요소를 충분히 고려할 수 있어야 한다. 현재 IETF와 OIF를 비롯한 여러 기관에서 이러한 문제에 주목하고 있으며 이에 대한 해결 방법을 많이 강구하고 있다[11,12].

광신호의 라우팅에 대한 두 번째 문제는 파장 연속성 문제이다. 전광 네트워크에서는 광신호는 파장 단위로 라우팅되는데 이 때 경로의 중간 노드에서 신호의 파장을 변환하는 기능이 없을 경우 입력 링크와 출력 링크간에 파장이 동일해야 하는 파장 연속 조건

(wavelength continuity constraint)이 부가되어 망의 이용률을 떨어뜨릴 수 있다. 특히 파장 변환이 없는 경우 블록킹이 높아질 뿐만 아니라 라우팅 알고리즘의 확장성이 보장되지 않는다는 문제가 있다. 그러나 고가의 파장 변환기를 네트워크 내 모든 OXC에 전부 집어넣는 것은 비용 측면에서 바람직하지 않기 때문에 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

더불어 서로 다른 파장 변환 능력을 가진 OXC가 망에 혼재할 경우 라우팅 및 파장 할당 알고리즘이 더욱 복잡해지기 때문에 이로 인하여 망 전체의 운용 관리를 중앙 집중 제어 방식으로 가져가는 것이 좋을 지 분산 제어 방식으로 가져가는 것이 좋을 지에 대한 논란을 불러 일으키게 된다. 또한 GMPLS와 같이 상위 망의 라우팅 알고리즘과 통합하고자 할 경우 현재 IP 네트워크에서 사용되고 있는 OSPF(Open Shortest Path First)를 수정하는 데에도 엄청난 복잡도가 추가된다. 현재 ITU-T에서는 2002년 5월을 목표로 G.rtg와 같은 표준화 문서를 만들 예정이며 IETF에서도 여러 Working Group을 통하여 이러한 문제들을 검토하고 있다.

### 3. 보호 및 복구

광신호는 데이터 용량이 크기 때문에 장애가 발생할 경우 커다란 손실을 가져온다. 따라서 광 네트워크에서는 보호 및 복구가 매우 중요하다. SONET/SDH는 장애가 발생하였을 경우 50ms 내에 보호 절체(Protection Switching)를 할 수 있도록 설계되어 있다.

보호는 예비 경로를 사전에 비워 두었다가 운용 경로에 장애가 발생하면 실시간으로 해당 트래픽을 예비 경로로 전송하는 것을 의미한다. 반면 복구는 장애가 발생한 순간 실시간으로 네트워크 내 비어있는 용량을 검색하고 예비 경로를 구성하여 경로를 복원하는 방식이다. 복구를 위하여 망 내에 일정한 예비

용량을 확보해 두는 경우가 있으나 보호와 같이 운용 경로와 보호 경로가 사전에 일 대 일의 관계로 연결되는 경우는 없다.

광 전송 시스템은 주로 복구보다는 보호를 선호하여 왔는데 이는 다음과 같은 이유에 기인한다. 첫째, 과거 광 전송 시스템은 주로 음성과 같은 실시간 데이터를 전송하는데 사용되었기 때문에 신뢰성이 매우 높아야 했다. 또한 고속 전송을 담당하다 보니 장애를 복구하는 시간이 조금만 길어지거나 아예 장애 복구에 실패한 경우 엄청난 손실을 초래해야 했다. 둘째, 선형 구조나 환형 구조와 같은 간단한 네트워크를 주로 사용하였기 때문에 복잡한 복구 알고리즘보다는 BLSR (Bidirectional Line Switched Ring)이나 SPRING (Shared Protection Ring)과 같은 명확하고 간단한 보호 링 구조를 사용하는 것이 유리하였다.

그러나 미래에 예상되는 광 네트워크는 그물 형태를 지향하고 있기 때문에 과거와 같은 보호 링 구조를 사용하는 데에는 한계가 있다. 또한 과거처럼 전기 신호 상태에서 보호 절체를 할 때에는 달리 광신호 상태에서 보호 절체를 하는 경우 기존의 보호 알고리즘은 변형되어야 사용할 수 있다. 현재 그물 형태에서 광 계층의 보호 및 복구가 많이 연구되고 있으며 지금까지의 연구 결과를 보면 이론상으로는 광신호 상태에서의 그물형 망 복구 등이 가능한 것으로 검토되고 있다. 하지만 실제 장비의 구현 및 다른 제품간의 상호 연동성 확보 문제는 여전히 큰 숙제로 남아 있다.

## Ⅶ. 요약

OXC는 정적인 점대점 광전송망에서 동적인 그물형 전광통신망으로 진화하기 위하여 망에 도입되어야 할 새로운 광네트워크 장비이다. OXC는 링크 단위의 스위칭을 하는 FXC, 파장 단위의 스위칭 기능이

있으나 파장 변환 기능이 없는 WSXC, 그리고 파장 변환 기능이 있는 WIXC로 구분할 수 있으며, 이들 간의 hybrid 도 가능하다.

OXC 하드웨어의 중심을 이루는 것은 광스위치이다. MEMS 기술, 열광학 효과를 이용한 광도파로 기술, 전반사를 이용하는 bubble 스위치 기술 등을 사용하여 개발이 진행되고 있다. 현재까지는 이 중 3D MEMS 기술이 대용량 스위치를 구성할 가능성이 있는 기술로 받아들여지고 있다. OXC를 구성하는데 있어서 또 다른 핵심적인 기술에는 파장변환 기술이 있다. 광전 파장변환기와 전광 파장변환기 방식이 현재 연구되고 있으며 초기에는 광전변환 방식이 OXC 시스템에 적용될 가능성이 높다. 전광 파장변환기의 시스템 적용을 위해서는 좀 더 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.

OXC를 사용하는 전광통신망에서 광스위치 기술 이상으로 많은 논란이 되는 것은 망의 운용 문제이다. 현재 가장 많이 언급되는 모델은 오버레이 모델과 피어 모델이다. 오버레이 모델은 클라이언트/서버 개념에 기반한 모델인 반면 피어 모델은 광 네트워크 장비와 기존 장비를 대등한 관계로 정의한 모델이다. 각각의 모델에 대해서는 표준화 단체에 따라 약간씩 다른 입장을 취하고 있지만 상호 간에 수용 또는 타협할 점이 많다고 볼 수 있다.

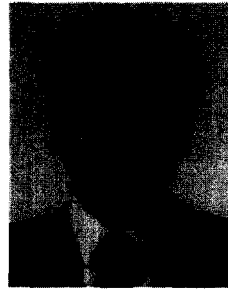
OXC를 포함하는 전광 통신망을 운용할 때에는 동적 연결 설정 및 해제를 위한 새로운 신호 방식이 필요하다. 이를 위하여 ITU-T 및 OIF에서 UNI와 NNI등의 인터페이스와 여기에 사용되는 신호 방식을 논의하고 있다. 그 외에도 전광 통신망 운용에 필요한 라우팅 및 파장할당 방법과 OXC를 이용한 그물형 망에서의 보호 및 복구에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

#### ※참고문헌

- [1] Telcordia, "Optical Cross-Connect Generic Requirement", Telcordia GR-3009-Core, Issue 2, Dec. 1999
- [2] K. E. Stubkjaer, et.al., "Wavelength converter technology", IEICE Trans. Commun., vol.E82-B, no.2, p390 (1999)
- [3] D. Nasset, et.al., "All-optical wavelength conversion using SOA nonlinearities", IEEE Commun. Magazine, p56 (1998. 12.)
- [4] J. M. H. Elmirghani, and H. T. Mufthah, "All-optical wavelength conversion: technologies and applications in DWDM networks", IEEE Commun. Magazine, p86 (2000. 5.)
- [5] T. Durhuus, et.al., "All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers", IEEE J. of Lightwave Tech., vol.14, no.6 p942 (1996)
- [6] H. Schmidt and R. J. Ram, "All-optical wavelength converter and switch based on electromagnetically induced transparency", Appl. Phys. Lett., vol.76, no.22, p3173 (2000)
- [7] ITU-T G.ason Draft v0.6, "Architecture for the Automatic Switched Optical Network" (ASON), Jul. 2001.
- [8] B. Rajagopalan, D. Pendarakis, D. Saha, R. S. Ramamoorthy and K. Bala, "IP over Optical Networks : Architectural Aspects," IEEE Communications Magazine, Sep. 2000.
- [9] O. Gerstel, "Optical Layer Signaling: How Much Is Really Needed?," IEEE Communications Magazine, Oct. 2000.
- [10] D. O. Awduche, Y. Rekhter, J. Drake and R. Coltun, "Multi-Protocol Lambda

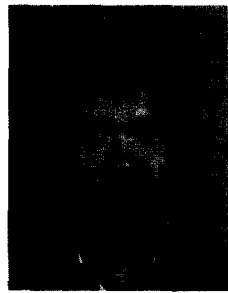
Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control With Optical Crossconnects", Internet Draft, Work in Progress, Apr. 2001.

- [11] M. Lazer and J. Strand, "Some Routing Constraints," OIF2000.109, May. 2000.
- [12] A. Chiu and J. Strand, "Wavelength Routing in All-Optical Networks," OIF2000.251, Nov. 2000.
- [13] ITU-T Draft Rec. G.798, "Characteristic of optical transport network hierarchy equipment function blocks," Jul. 1999.



**김 봉 규**

1989년 2월 : 한양대학교 물리학과 학사, 1992년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 석사, 1996년 8월 : 한국과학기술원 물리학과 박사, 1996년 12월 ~ 1999년 8월 : 한국과학기술연구원 광기술연구센터 박사후연수연구원, 1999년 9월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 광라우팅연구부 선임연구원, (관심분야) 광통신 시스템, 광계측 기술



**김 광 준**

1981년 2월: 서울대학교 물리학과 졸업, 1983년 2월: 서울대학교 물리학과 석사, 1993년 6월: Ohio State University 물리학과 박사, 1984년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 광라우팅 연구부 책임연구원, (관심분야) 광통신 시스템



**박 혁**

1986년 2월: 서울대학교 물리학과 학사, 1990년 2월: 서울대학교 물리학과 석사, 1995년 7월: 서울대학교 물리학과 박사, 1995년 7월 ~ 1996년 12월: 한국전자통신연구소 박사후연수연구원, 1997년 2월 ~ 현재: 한국전자통신연구원 선임연구원, (관심분야) 광통신 시스템



**이 창 형**

1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업, 2000년 8월 : 서울대학교 전기공학부 석사, 2000년 9월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 네트워크연구소 광라우팅연구부 연구원, (관심분야) 광 통신망(WDM)