

차세대 광 인터넷을 위한 광 버스트 스위칭 기술

소원호*, 노선식*, 김영천*, 강민호**

전북대학교 컴퓨터공학과*, 한국정보통신대학교 광인터넷연구센터**

서 론

최근 인터넷 사용의 폭발적인 증가로 데이터 트래픽은 매 6개월마다 2배씩 증가되고 있으며 이러한 경향은 더욱 가속화될 전망이다. 세계의 인터넷 트래픽은 전화를 통한 음성 정보량을 상회하고 있으며, 현재의 추세로 볼 때 영상 및 데이터 전송 등의 증가로 2010년대에는 현재의 100배 이상으로 증가될 전망이다. 따라서 차세대 인터넷은 폭주하는 인터넷 트래픽을 값싸고 높은 품질로 제공할 수 있어야 한다. 최근 이러한 통신망 환경 변화에 대응하기 위하여 DWDM 기술과 광 송수신기, 광 증폭기 등의 광소자 기술을 이용한 광 인터넷(Optical Internet) 구성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁵⁾.

광 인터넷은 OIF(Optical Internetworking Forum)의 정의에 의하면, 스위칭과 라우터가 통합된 광학적 인터페이스를 가지고 광섬유 또는 광 네트워크 요소들로 직접 연결되어 구성되는 데이터 전송용 네트워크 기반구조라고 정의하고 있다. 그러나 현실적으로 대부분의 코어 망에서는 IP 트래픽에 대한 처리가 SONET/SDH 기반의 점 대 점 DWDM 전송 시스템을 통한 네트워크에 의하여 이루어지고 있고, 또한 일부의 가입자망 또는 에지 네트워크에서는 ATM 계층으로의 변환 과정을 통하여 처리되고 있다. 이러한 IP over ATM over SONET over WDM이나 IP over SONET over WDM 등의 다중 계층 구조는 계층간에 서로 다른 종류의 망 운영, 관리, 그리고 망간 상호 작용 기능을 요구하게 되

므로, 매우 큰 트래픽에 대해서 자체 적응력이 느릴 수 밖에 없고 비용 면에서도 효율적이지 못하다. 따라서 IP 패킷을 중심으로 한 IP over WDM 방식의 광 인터넷의 발전은 필연적이라고 할 수 있다. 그러나 현존하는 SONET/SDH, ATM 표준안을 수용하면서도 망의 확장성, QoS의 보장, 트래픽 엔지니어링, 그리고 대역폭과 채널 등의 자원을 유연하게 활용하여 고속 통신의 저 비용 실현을 위해서는 MPLS(Multiprotocol Label Switching) 또는 G-MPLS(General-MPLS) 기술을 이용한 IP 계층의 보완이 요구된다^{6,7)}.

IETF의 MPLS W/G에서 레이블(label) 스위칭 기술의 표준화로 진행하고 있는 MPLS 기술의 주된 목적은 전통적인 IP 라우터에서 수행되는 패킷 단위의 재조립과 포워딩, 가장 긴 네트워크 루트 정합과 같은 IP 계층(Layer 3)의 프로세싱 오버헤드를 최소화하는데 있다. 또한 IP 트래픽을 이용한 다양한 서비스의 요구 조건을 충족시키고 효과적으로 망 자원을 활용하기 위하여 CR-LDP(Constraint-based Routing Label Distribution Protocol), RSVP(Resource Reservation Protocol)를 이용한 트래픽 엔지니어링 기능과 ATM 계층에서 제공하던 QoS 보장 기능 등이 MPLS 기술에 추가되고 있다. 하지만 WDM 기술을 이용한 전송 기술의 발전에 비해 MPLS 방식의 교환 기술은 아직도 전자적으로 수행되고 있어서 교환 노드에서 수행되는 광전변환(O/E/O conversion)은 트래픽 처리에 심각한 병목현상을 초래한다. 따라서 교환 노드에서 광전변환 없이 데이터 교환을 수행하여

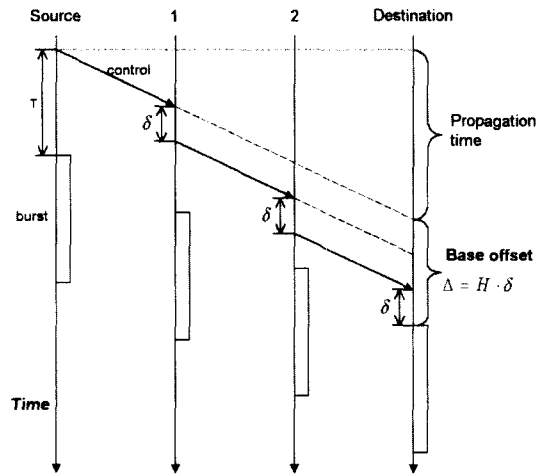
전광(全光)영역에서 망의 투명성을 제공하고 고속의 MPLS 기술을 적용할 수 있는 광 교환 방식에 대한 연구가 활발히 추진되고 있다^[8,9,12].

본고에서는 폭발적으로 증가하는 IP 트래픽을 효과적으로 수용하고 IP 전송망 구축비용을 획기적으로 절감할 수 있는 대안이 필요한 시점에서 IP over WDM 기반의 광 버스트 스위칭(Optical Burst Switching ; OBS) 기술에 대하여 간단히 기술하고, MPLS 기술을 이용하여 다양한 서비스의 요구 조건과 트래픽 엔지니어링 기능을 제공하는 광 인터넷 구조를 제시한다. 또한 광 인터넷을 위한 OBS 노드의 기능 모델과 다양한 OBS의 기반 기술을 설명하고 관련 연구를 언급하였다.

II. 광 버스트 스위칭

1. 기본 개념

일반적으로 정의되고 있는 광 버스트 스위칭의 특징을 보면, 먼저 OBS의 교환 단위는 광 회선 교환 방식(Optical Circuit Switching ; OCS)와 광 패킷 교환 방식(Optical Packet Switching ; OPS)의 중간에 해당하는 가변 길이의 버스트(burst)를 기본 단위로 이용한다. 둘째, 데이터 버스트와 제어 패킷은 서로 분리된 파장 채널을 통하여 전송된다. 일반적으로 버스트를 위한 파장 채널은 DCG(Data Channel Group)라 하고 제어 패킷을 위한 파장 채널은 CCG(Control Channel Group)라 한다. 셋째, 전송 채널에 대한 자원 예약은 OCS방식과 같은 Two-Way 예약 방식이 아닌 One-Way 예약 방식을 사용한다. 따라서 제어 패킷이 선행하면서 후행하는 버스트에 대한 전송 자원(대역폭)을 예약한다. 넷째, 버스트의 길이는 가변이며 비동기적으로 버스트를 처리한다. 다섯째, OBS 방식의 노드는 일반적으로 광 버퍼를 사용하지 않는다. 이와 같은 특징을 갖는 광 버스트 스위칭의 기본 운용 방식을 <그림 1>에 보였다.



<그림 1> 광 버스트 스위칭 기술

<그림 1>에서 보여주듯이 송신측(source)에서 전송해야 할 버스트가 발생했을 경우, 이 데이터 버스트를 바로 전송하는 것이 아니고 제어 정보, 즉 송수신 주소, offset 시간, 파장 정보, 요구 대역폭, 그리고 QoS 정보 등을 담은 제어 패킷(Burst Control Packet ; BCP)을 먼저 보내어 이후에 전송될 데이터 버스트에 대한 채널을 예약한다. 이때 제어 패킷에 대응하는 데이터 버스트는 일정한 offset 시간 동안 전기적인 버퍼에 저장되어 대기한 후 전송된다. <그림 1>에서 알 수 있듯이 offset 시간 T 의 값은 두 가지 요인 즉, 송신측과 수신측 사이의 BCP가 거쳐야 할 중간 노드 수 H 와 각 중간 노드에서의 BCP를 처리하는 시간이 모두 동일하다고 가정할 때, 처리시간 δ 에 의해 결정되며, $T \geq H \times \delta$ 를 만족해야 된다. <그림 1>에서 T 는 $T=3 \times \delta$ 로 결정되며 제어 패킷이 첫 번째 중간 노드에 도착했을 때, 버스트와 시간 간격은 T 이며 노드에서 처리되어 다음 노드로 전송될 때는 δ 만큼 감소되어 전송된다. 따라서 다음 노드로부터 ACK응답 없이 제어 패킷인 BCP가 버스트 보다 먼저 다음 노드로 전송되기 때문에 고속의 채널 예약이 가능하다. 또한 각 중간 노드가 제어 패킷을 처리하는 동안 데이터 저장을 위해 버퍼를 사용하지 않기 때문에 데이터 버스트는 광 계층에서 광전변환

〈표 1〉 광 교환 기술의 비교

광교환 방식	대역 이용	지연	구현 난이도	제어단위
OCS	Poor	High	Low	Coarse
OPS	High	Low	High	Fine
OBS	Moderate	Low	Medium	Moderate

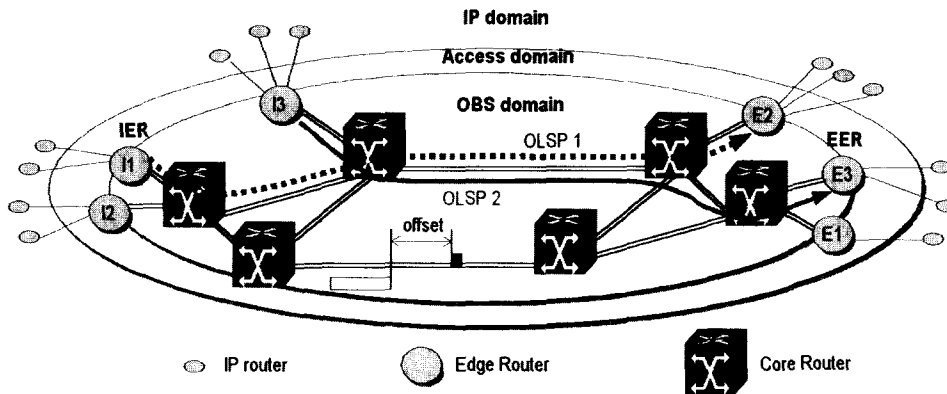
없이 cut-through 방식으로 데이터의 투명성을 유지하면서 전송된다.

〈표 1〉에서 이러한 OBS방식을 OCS 그리고 OPS 방식과 비교하였다.

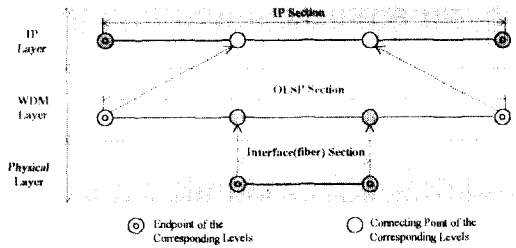
〈표 1〉로부터 알 수 있는 것은 OPS를 이용한 미래의 광 인터넷이 폭증하는 IP 트래픽과 다양한 서비스를 효과적으로 수용하기에 가장 적합하다고 할 수 있다. 하지만 작은 패킷을 사용하여 발생하는 프로세싱 오버헤드와 고비용을 요구하는 동기화 장비, 광 지연선(Fiber Delay Loop; FDL)을 이용한 광 버퍼 등의 광 기술이 아직 성숙되지 못하였기 때문에 OPS 기술을 곧바로 광 인터넷에 적용하기에는 현실적으로 불가능하다. 따라서 현재의 광전송 속도와 전기적인 교환 처리 속도를 감안한다면, 데이터는 광 영역에서 전송하고 제어 패킷은 전기적인 영역에서 처리하는 OBS 방식이 광 인터넷을 구성하는데 비용과 구현의 복잡성 측면에서 현실적인 대안으로 사료된다.

2. OBS 기반의 광 인터넷 구조

〈그림 2〉는 이러한 OBS 방식으로 운용되는 하나의 광 인터넷 네트워크 모델이다. 이 모델은 전기적인 영역의 IP 도메인과 광영역의 OBS 도메인 그리고 IP 트래픽을 광 영역에 수용하기 위한 Access 도메인으로 구성된다. IP 도메인에서는 IP 패킷을 포워딩(forwarding)하는 전기적인 IP 라우터로 구성된다. 이에 반하여 Access 도메인과 OBS 도메인은 IETF(Internet Engineering Task Force)에서 표준화를 수행한 MPLS를 기반으로 운용된다. 따라서 〈그림 1〉의 광 인터넷 구조에서 OBS 기술을 이용하는 노드는 IER(Ingress Edge Router), EER(Egress Edge Router) 기능의 에지 라우터와 코어 라우터로 구성된다. 또한 각 에지 노드간에는 MPLS 기술을 이용하여 OLSP(Optical Label Switched Path)를 설정하고 OBS의 기본 교환 단위인 버스트를 전송한다. 따라서 버스트의 제어 패킷인 BCP에는 OLSP를 위한 레이블(label) 정보가 기본적인 제어 정보와 같이 전송된다. 여기서 OLSP는 OSPF(Open Shortest Path First) 또는 IS-IS(Intermediate System to Intermediate System)와 같은 라우팅 프로토콜과 RSVP(Resource Reservation Protocol) 또는 LDP(Label Distribution Protocol)와 같은 신호 프로토콜에 의해서 형성되는 단방향의 전송 경로이며 그림에서 〈I1, E2〉와 〈I3, E3〉간



〈그림 2〉 MPLS를 이용한 OBS 기반의 광 인터넷 구조



〈그림 3〉 IP와 OLSP 연결 관계

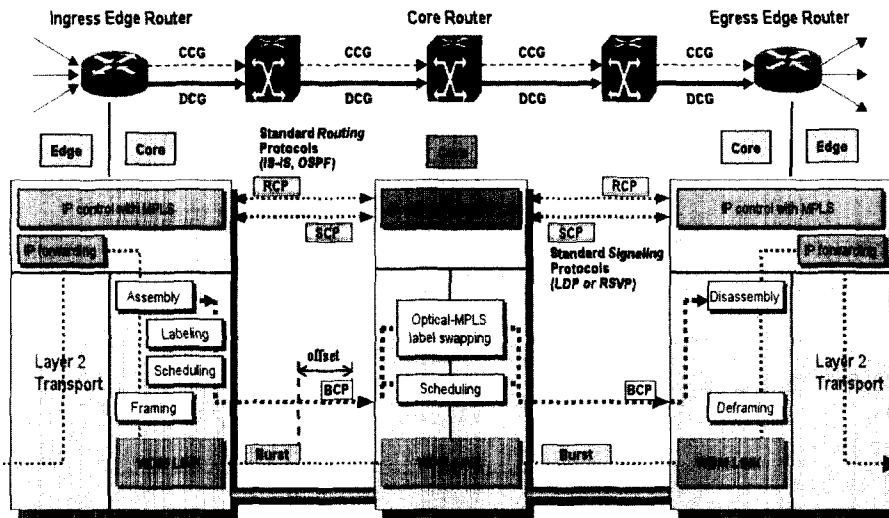
에 형성된 OLSP 1과 OLSP 2가 예가 된다.
 〈그림 3〉은 OBS 기반 광 인터넷에서 형성되는 OLSP 연결과 IP 연결과의 관계를 나타낸다. IP 라우터를 종단점으로 하는 IP 연결은 IER과 EER 간에 형성되는 OLSP에 의해서 형성되며 OLSP는 물리 계층의 광섬유의 연결로 구성된다. 따라서 같은 OLSP를 거치는 IP 패킷은 IP 라우터의 종단간 주소 정보에 의해서 구분되며 같은 광섬유를 경유하는 OLSP는 레이블 정보에 의해서 구분된다.

III. 광 버스트 스위칭 핵심 기술

지수적으로 증가하는 IP 트래픽과 다양한 서비

스를 효과적으로 수용하는 차세대 광 인터넷을 위해서는 WDM 다중화 기술을 이용하는 광 버스트 스위칭 방식과 망을 효과적으로 운용, 관리할 수 있는 MPLS 기술을 효과적으로 융합해야 한다. 〈그림 4〉는 이를 위한 OBS 기반의 프로토콜 스택을 나타낸다^[11].

〈그림 4〉에서 프로토콜 스택은 상위 계층으로 IP 계층을 두고 하위 계층으로는 광 계층인 WDM 링크 계층을 두고 있다. 또한 이 두 계층사이에는 OBS 기술을 기반으로 요구되는 중간 계층이 형성된다. 여기서 MPLS를 기반으로 운용되는 IP 제어 계층은 IS-IS와 OSPF를 위한 라우팅 프로토콜과 LDP 또는 RSVP를 위한 신호 프로토콜을 위하여 RCP(Routing Control Packet)와 SCP(Signaling Control Packet)를 각각 이용한다. 이때 RCP와 SCP는 OBS가 기본적으로 제어 채널과 데이터 채널을 분리하여 사용하기 때문에 CCG를 통하여 전송된다. 또한 데이터 버스트 전송을 위한 제어 패킷인 BCP도 CCG를 이용하여 전송된다. DCG로 전송되는 버스트는 에지 라우터에서 생성되며 중간 코어 라우터에서 광전 변환없이 전송된다. 이때 중간 계층에서는 OBS를 위한 중요 기술이 요구된다. 먼저 IER에서는 IP 패킷으로 버스트를 생성(assem-



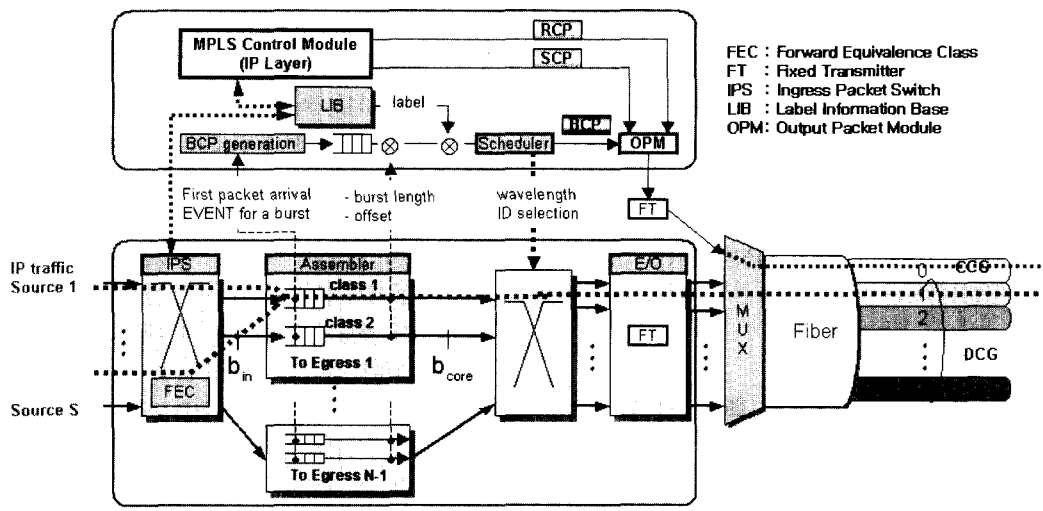
〈그림 4〉 OBS기반의 프로토콜 스택

bly)하며 생성된 버스트는 WDM 프레임으로 전송하여야 한다. 이때 전송되는 버스트를 위하여 제어 패킷이 생성되는데 OLSP를 위한 레이블 정보를 포함하며 버스트를 위한 채널 스케줄링에 이용된다. 중간 코어 노드에서는 버스트 교환을 위한 레이블 교환(swapping)과 출력 파장 채널에 대한 버스트 스케줄링 기술이 요구된다. EER에 도착한 버스트는 전기적인 신호로 변환되며 버스트는 각 IP패킷으로 분리되어 전송된다.

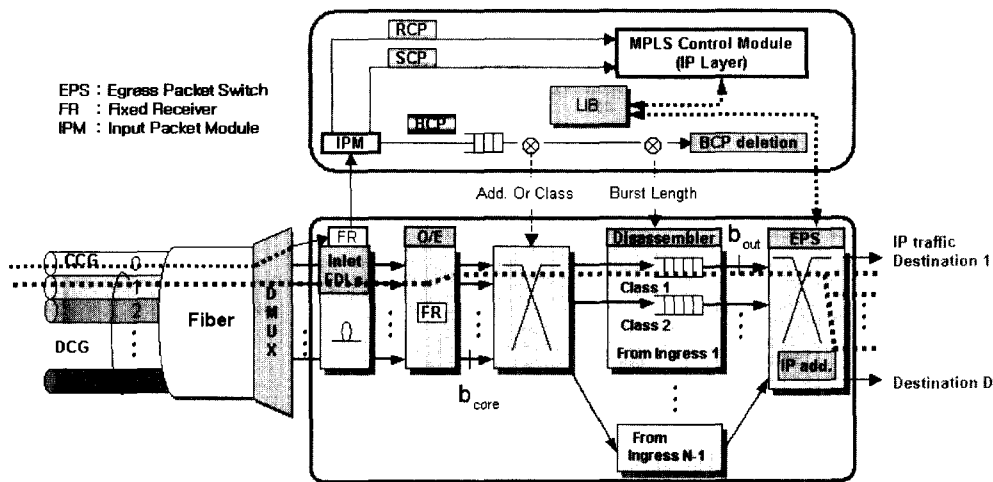
1. 에지 라우터 기술

OBS 기반의 광 인터넷 구조에서 액세스 도메인에 해당하는 에지 라우터는 기능적으로 IER과 EER로 분류된다. <그림 5>는 IER과 EER의 기능 구조를 나타낸다^[11].

먼저 <그림 5(a)>의 IER 구조는 RCP, SCP, 그리고 BCP와 같은 제어 패킷을 생성하고 처리하는 부분과 IP 패킷을 수용하여 OBS 백본에 전송하기 위한 부분으로 구성된다. MPLS 제어



(a) Ingress 에지 라우터 (IER) 구조



(b) Egress 에지 라우터 (EER) 구조

<그림 5> 에지 라우터 구조

모들은 기본적으로 라우팅 프로토콜과 신호 프로토콜을 위하여 RCP와 SCP를 생성하고 처리하며 이를 기반으로 LIB(Label Information Base)를 생성한다. IP 도메인에서 입력되는 IP 패킷은 IPS(Ingress Packet Switch)에서 FEC(Forward Equivalence Class)를 기준으로 적합한 클래스에 해당하는 버퍼에 저장되어 버스트로 생성된다. <그림 5(a)>에서는 수신지가 같은 EER로 전송되면서 2종류의 트래픽 클래스를 지원하는 경우이다. 따라서 OBS 기반의 광 인터넷이 N 개의 에지 라우터로 구성되는 경우에 각 에지 라우터는 $2(N-1)$ 개의 클래스 버퍼를 두어 버스트를 생성하며 각 버퍼는 하나의 OLSP에 전용된다. 이때 버퍼에 입력되는 패킷과 출력되는 버스트의 전송 속도는 입력 및 출력 버퍼인 b_m 과 b_{core} 에 의해서 결정된다.

버스트를 생성하는 동시에, BCP 생성기는 새로운 버스트에 대한 버스트 제어 패킷을 생성한다. 또한 BCP는 생성할 버스트의 크기와 적합한 offset 시간 정보를 포함하며 이를 기반으로 버스트에 대한 파장 채널을 예약한다. 생성된 버스트는 예약된 시간에 FT(Fixed Transmitter)를 통하여 광신호로 변환되어 WDM 채널을 통하여 전송된다. 또한 제어 패킷도 OPM(Output Packet Module)을 통하여 순서적으로 FT를 이용하여 CCG로 전송된다.

<그림 5(b)>는 OBS 백본망을 거쳐 수신지에 도착하는 버스트를 처리하는 에지 라우터 EER 구조이다. CCG로 입력되는 RCP, SCP, 그리고 BCP는 FR(Fixed Receiver)를 거쳐 전기적 신호로 변환되며 IPM(Input Packet Module)에서는 각각을 분류하여 처리될 수 있도록 한다. 또한 입력되는 버스트는 Inlet FDL(만일 base offset을 이용하는 OBS 방식이면 필요하지 않다)과 FR을 거쳐 전기적인 데이터 신호로 전환되고 버스트 분리를 위한 버퍼에 저장된다. 이때 EER의 버퍼는 IER과 마찬가지로 송신지 주소와 클래스를 기준으로 분류되어 관리된다. 따라서 같은 OLSP를 이용하여 전송된 버스트는 순서가 보장되고 버스트에 대한 트래픽 제어가 가

능하다. 마지막으로 버스트는 IP 패킷단위로 분리되어 EPS(Egress Packet Switch)를 통하여 IP 도메인의 IP 라우터에 전송된다.

1) 버스트 생성

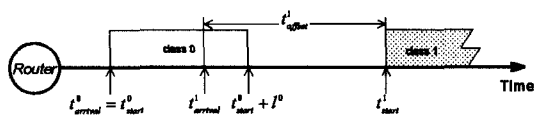
IER에서 요구되는 중요 OBS 기술로는 버스트 생성 기술이다. 일반적으로 IP 트래픽은 self-similarity와 버스트성, 그리고 연결간의 트래픽 양이 비대칭성이기 때문에 OBS방식의 망 관점에서는 입력되는 IP 트래픽의 양을 예측하기 어렵다. 하지만, 이와 같은 특성을 고려하지 않고 버스트를 생성할 경우에는 높은 버스트 손실과 낮은 채널의 이용률을 갖는다^[10]. 따라서 에지 라우터에서 버스트를 생성할 때는 이러한 특성을 고려하여 데이터 버스트의 최대 크기 및 최소 크기를 결정하여야 하며, QoS에 따른 버스트 생성 주기에 대한 연구도 필요하다.

2) Offset 시간 결정

OBS는 파장 채널을 제어 채널(CCG)과 데이터 채널(DCG)로 분리하여 운용하고 버스트 제어 패킷과 데이터 버스트간에 offset 시간을 둬으로써 동기화를 해결하기 위한 고가의 동기화기가 요구되지 않는 장점이 있다. 이때 이용되는 offset 시간은 크게 고정 시간 부분(constant time part)과 가변 시간으로 설정되는 부분(variable time part)으로 구성된다. 고정 시간 부분은 다시 base offset과 extra offset으로 분류되는데 base offset 시간은 2.1절에서 살펴본 $H \cdot \delta$ 로 결정되며 버스트가 전송될 때 기본적으로 포함되는 offset 시간이다^[9].

OBS기반의 광 인터넷은 OBS를 이용하여 서비스의 차별화와 서비스의 요구 QoS를 효과적으로 지원할 수 있어야 하는데, 이때 extra offset이 이용될 수 있다. Extra offset 시간을 이용하는 기존에 제시된 서비스 차별화 방식을 <그림 6>에 나타내었다.

기본적으로 버스트 데이터를 상위 클래스(class 1)와 하위 클래스(class 0)로 분류하며 상위 클래스의 버스트에 긴 extra offset t_{offset}^1



〈그림 6〉 Offset 시간에 의한 서비스 차별화

시간을 base offset에 추가하는 방식이다. 이 방식에서 추가되는 extra offset 시간은 하위 클래스의 최대 버스트 크기보다 긴 시간 $t_{offset} > l_{mix}^0$ 으로 설정함으로써 상위 클래스는 데이터 채널에 대한 경쟁에서 하위 클래스의 영향을 거의 받지 않는다. 따라서 OBS 기반의 광 인터넷은 상위 클래스의 서비스가 효과적으로 분리되는 CoS (Class of Service) 기능을 제공할 수 있는 장점이 있다. 하지만 이 방식은 평균 버스트 길이 L_{avg} 보다 3~5배 정도 긴 extra offset 시간을 추가로 사용하고, extra offset 시간 결정 시에 파장 개수와 트래픽 부하가 고려되지 않기 때문에 상위 클래스 버스트는 전송되기 전에 추가로 지연을 겪게 되며, 입력부하가 낮은 경우에도 긴 extra offset 시간이 설정되는 단점이 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 망 자원과 입력 부하 등을 고려하여 상위 클래스 서비스의 요구 QoS를 만족시킬 수 있는 extra offset 시간 결정에 관한 연구가 필요하다. 또한 가변 길이의 offset 시간 설정은 두 개의 서로 다른 버스트 연결, 즉 같은 전송 링크를 공유하는 OLSP 간에 고정 offset 시간으로 발생하는 동기화 문제를 해결하는데 적용될 수 있다^[8].

3) 레이블 할당

에지 라우터간에 형성되는 OLSP는 기본적으로 control-driven 방식으로 설정되는데 이것은 사용자 데이터, 즉 버스트가 생성되어 도착하기 전에 레이블이 이미 LIB에 할당되어 있음을 의미한다. 이때 형성되는 LIB는 FEC에 의해서 분류되는 IP 패킷에 대응된다. 따라서 같은 클래스에 해당하는 IP 패킷이 모여서 버스트를 형성하기 때문에 FEC는 버스트 클래스의 결정과 OLSP의 선택에 깊은 관계가 있다. IETF의 MPLS

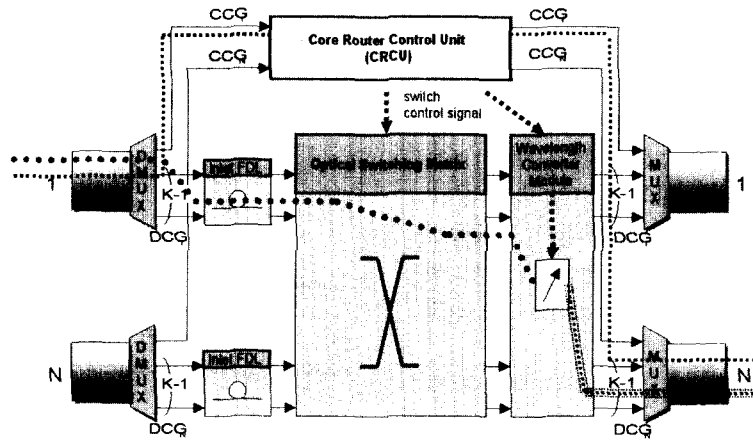
W/G는 FEC를 서브 네트워크, QoS 요구 사항, IP 멀티캐스팅 그룹, 그리고 VPN (Virtual Private Network) ID 등을 고려하여 결정한다. 따라서 OBS 기반의 광 인터넷에서도 이러한 기준을 OBS 기술이 어느 정도 수용할 수 있는가에 따라서 에지 라우터에서 생성되는 버스트의 레이블이 결정될 것이다.

2. 코어 라우터 기술

OBS 광 교환 방식은 제어 패킷인 BCP이 버스트보다 먼저 전송되기 때문에 버스트가 코어 라우터에 도착했을 때는 이미 버스트를 위한 출력 파장 채널이 설정되어 있어야 한다. 따라서 코어 라우터는 제어 패킷을 위한 전기적인 제어부와 광전변환이 없이 데이터 버스트의 투명한 교환이 수행되는 광 교환부로 구성된다. 〈그림 7〉은 코어 라우터 구조의 한 예이다^[11].

〈그림 7〉은 교환기내에 FDL을 이용한 광 버퍼를 이용하지 않는 $N \times N$ 코어 라우터 구조로서 하나의 광 링크에 K 개의 파장이 사용되며, 이때 제어 패킷을 위한 채널 (CCG)은 1개 그리고 버스트를 위한 데이터 채널 (DCG)은 $K-1$ 개를 사용하는 구조이다. 이 구조는 또한 Inlet FDL을 사용하는 광 교환기로서 버스트에 대한 전송 채널을 미리 예약하기 위해 선행하는 BCP와 버스트사이에 base offset 없이 운용될 수 있는 구조이다. 따라서 base offset을 사용하는 OBS 방식에서는 〈그림 7〉에서 볼 수 있는 Inlet FDL을 거치지 않고 데이터 버스트가 광 교환부로 바로 입력된다.

BCP는 전기적인 제어부 (Core Router Control Unit; CRCU)에서 제어 정보인 송수신지 주소 정보, 버스트 길이 정보, 입력 파장 정보, QoS 정보, 그리고 OLSP를 위한 레이블 정보 등을 고려하여 버스트에 대한 출력 채널을 예약할 것이며, 이러한 처리가 수행되는 시간 δ 가 〈그림 7〉의 Inlet FDL의 광섬유 길이와 base offset 시간을 결정할 것이다. 따라서 CRCU 구조와 성능에 따라서 OBS 방식의 광 교환 시스템의 성능이 결정된다. 이외에도 코어 라우터에



〈그림 7〉 코어 라우터 구조

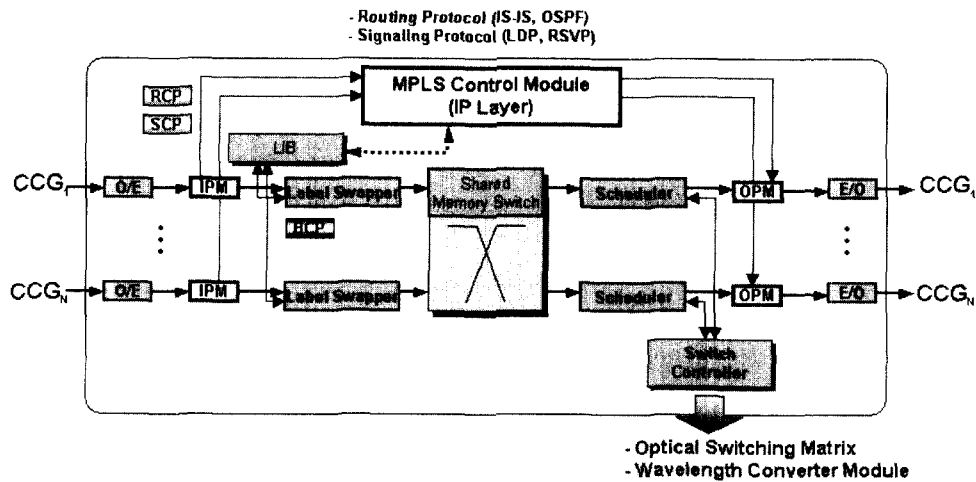
는 입력 버스트에 대한 스케줄링 방식과 버스트 간에 발생하는 충돌을 해결하기 위한 기법이 주요 연구 대상이다.

1) 코어 라우터 제어부

코어 라우터 제어부(CRCU)에서 처리하는 제어 패킷은 크게 MPLS를 위한 라우팅 제어 패킷(RCP)와 신호 제어 패킷(SCP), 그리고 버스트를 위한 제어 패킷(BCP)로 분류할 수 있으며 각 광 링크의 CCG는 코어 라우터의 제어부에 각각 연결된다. 〈그림 8〉에 제어 패킷 처리를 위

한 CRCU의 구조를 나타내었다.

먼저 RCP와 SCP는 O/E변환을 거쳐 전기 신호로 변환되고 IPM에 의해서 MPLS 제어 모듈로 전송되어 처리된다. 이 제어 패킷들은 MPLS의 OLSP 설정과 유지, 해제에 관련된 기능을 수행하는데 이용되며 인접 코어 라우터간에 주기적으로 정보를 주고받는다. 반면에 버스트를 위한 BCP는 전기 신호로 변화되면, 먼저 MPLS 제어 모듈에 의해서 결정된 LIB를 참조하여 출력 링크로 나갈 때 사용할 새로운 레이블과 입력 레이블을 교체(swapping)한다. 새로운



〈그림 8〉 코어 라우터 제어부 구조

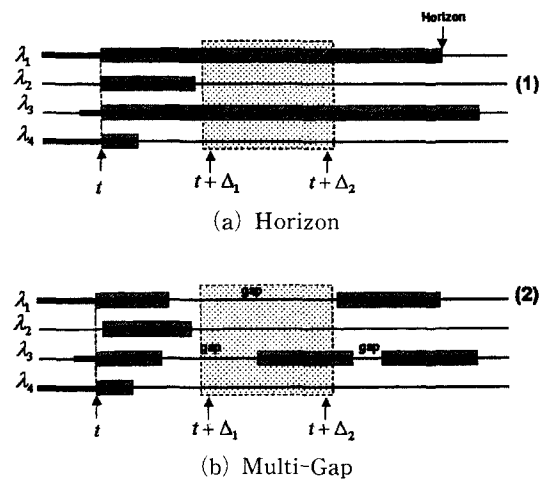
레이블을 갖은 BCP는 공유 메모리 스위치를 거쳐 스케줄러(scheduler)에 입력된다. 스케줄러는 offset 시간과 버스트의 길이를 고려하여 해당 출력 링크에서 파장 채널을 예약한다. 이때 예약된 결과는 버스트의 입력 포트와 출력 포트 간에 설정되는 광 교환부내의 패스와 출력 링크, 그리고 출력될 파장 정보이다. 따라서 스케줄러는 BCP에 대한 파장 정보를 갱신하고 예약된 결과를 교환 제어기(switch controller)에 전달한다.

OBS 방식으로 운용되는 광 인터넷은 코어 라우터의 CRCU의 처리 속도에 의해서 버스트의 길이와 base offset 등이 영향을 받게 된다. 따라서 CRCU는 단일 프로세스로 운용하는 구조나 각 링크마다 독립된 프로세스를 이용하는 분산 다중 프로세스로 구조로 구성할 수 있으며 처리 속도 향상을 위하여 파이프 라인(Pipe-Line) 기능을 포함할 수도 있다. 하지만 CRCU의 처리 속도는 구조에 의해서만 영향을 받는 것이 아니고 광 교환부의 교환 시간(switching time), 스케줄링 시간, 그리고 레이블 교환 시간 등에 의해서도 영향을 받기 때문에 이를 동시에 고려하여 CRCU가 설계되고 버스트 길이 등이 결정되어야 한다.

2) 버스트 스케줄링

CRCU에서 수행되는 버스트 스케줄링은 출력 링크가 결정되면 해당 출력 링크에서 적절한 파장을 선택하고 버스트의 길이만큼 시간을 예약하는 것이다. OBS를 위한 효율적인 버스트 스케줄링을 위해서는 파장 변환기 사용에 의한 파장 채널의 공유, 파장 번호, 사용 가능한 파장 채널과 이미 할당된 버스트간의 빈 공간(gap)에 대한 관리 정보, 그리고 스케줄링 시간을 같이 고려해야 한다. <그림 9>에 일반적인 RFD(Reserve-a-Fixed-Duration) 방식을 기반으로 운용되는 두 가지 스케줄링 방식을 나타내었다^[2].

<그림 9>에서 (a)와 (b)는 버스트 크기만큼 채널을 할당하지만 할당된 버스트에 대한 정보를 스케줄러에서 어떻게 관리하는가에 의해서 두 방



<그림 9> Horizon과 Multi-Gap 버스트 스케줄링 방식의 비교

식을 구분하고 있다. 첫 번째 방식은 <그림 9(a)>에 도시된 Horizon 방식이다. 이 방식은 출력 파장 채널 λ_i 에 대해서 Horizon이란 한 개의 시간 변수 h_i 만을 이용하는 방식으로 채널 할당을 위한 가장 간단한 방식이다. 여기서 Horizon은 각 채널에서 가장 늦게 버스트가 예약된 시간 정보를 가리키기 때문에 <그림 9(a)>에서 새로 입력된 버스트는 λ_2 와 λ_4 에 채널을 예약 받을 수 있다. 그러나 일반적으로 새로운 버스트의 시작 시간 $t + \Delta_1$ 에 가장 근접한 Horizon을 선택하기 때문에 (1)로 표시된 파장 λ_2 에 버스트는 할당되지 않는다. 따라서 이 방식은 파장 개수만큼의 변수만을 고려하여 스케줄링을 수행하기 때문에 고속 처리가 가능하고 offset 시간이 작아서 gap이 발생될 수 없는 환경에서 우수한 성능을 보인다. 하지만 offset 시간의 크기가 버스트의 길이에 비해 상대적으로 크면 이전에 할당된 버스트간에 사용할 수 있는 파장 공간을 활용할 수 없어 채널의 이용률이 낮고 버스트의 손실도 증가하는 단점을 갖는다.

<그림 9(b)>는 gap 정보를 모두 관리하는 Multi-Gap(MG)방식이며 새로운 버스트에 대한 스케줄링을 할 때, 먼저 gap 정보를 이용하여 사용 가능한 파장 채널을 찾는 방식이다. 따라서

채널의 이용률이 증가되고 버스트의 손실도 그만큼 감소하게 되지만 모든 버스트와 gap 정보를 관리해야 하기 때문에 처리 속도가 증가되는 단점을 갖는다. <그림 9(b)>에서는 새로 도착하는 버스트를 λ_1 , λ_2 , 그리고 λ_3 에 할당할 수 있지만 채널의 이용률을 높이기 위해서 (2) 표시된 파장 λ_3 에 버스트를 할당한다.

이와 같이 버스트에 대한 스케줄링 방식은 채널의 이용률, 버스트 손실률에 대한 성능과 관리 데이터에 의한 처리 속도간에 trade-off 관계에 있다. 따라서 모든 정보를 관리하면서 관리 데이터를 효율적으로 관리, 운용할 수 있는 데이터 구조에 대한 연구와 채널 이용률과 버스트 손실률을 줄이면서 관리 데이터 수를 줄일 수 있는 방안이 연구되고 있다.

3) 버스트 충돌 해결

서로 다른 입력 시간으로 CRCU에 도착한 두 개의 BCP가 있고 이에 대한 버스트가 같은 시간대에 같은 파장을 이용하여 전송되는 경우를 가정해 보자. 이 경우에 버스트간에 충돌회피를 위한 조치를 취하지 않으면 하나는 반드시 손실된다. OBS에서의 충돌 해결 기법은 크게 파장 변환기를 이용하는 방법, 우회 경로를 이용하는 방법 (deflection), 그리고 광 버퍼를 이용하는 방법으로 분류된다¹⁰⁾. 첫째, 파장 변환기를 이용하는 방법은 기본적인 OBS 방식에서 이용하는 것으로 각 링크의 파장 개수만큼 파장 변환기를 사용하는 방식이다. 따라서 높은 채널 이용률과 버스트 손실률이 낮은 장점을 갖고 있지만 파장 변환기에 의한 OBS 라우터의 구성비용이 큰 부담이 된다. 이러한 비용을 줄이기 위해 제한적으로 파장 변환기를 사용하는 OBS 방식을 고려할 수 있다. 파장 채널에 대한 스케줄링과 성능 파라미터를 같이 고려한 필요한 파장 변환기의 개수의 결정이 중요하다.

둘째, 새로운 출력 링크로 버스트를 우회시키는 방식은 하드웨어의 추가 없이 간단하게 적용할 수 있는 방식이다¹¹⁾. 이때 base offset을 이용하는 OBS 방식에서는 우회 경로에 대한 추가

적인 offset 시간을 고려하여 초기에 offset 시간을 결정해야 하기 때문에 경로 설정에 대한 제한이 있을 수 있다. 또한 이 방식은 망에 트래픽이 상대적으로 적을 때 유용한 방법으로서 망의 부하가 증가하면 버스트 충돌에 의한 버스트의 우회가 더욱 증가하여 트래픽 폭증이 발생하는 단점을 갖는다.

마지막으로 광 영역에서 FDL을 이용한 광 버퍼 방식은 OBS 라우터의 입력 또는 출력단에 버퍼를 위치시켜 충돌된 버스트를 FDL의 기존 지연 시간(D)의 배수로 지연시키는 방식이다. 하지만 전기적인 RAM(Random Access Memory)을 이용한 랜덤 액세스 기술이 아직 광 영역에서는 개발이 되지 않았으며 FDL의 지연에 의한 버퍼 효과도 광 버퍼를 구성하는 광섬유 길이의 제한으로 아직은 적용이 어려운 실정이다.

IV. 결 론

최근 광 회선 교환과 광 패킷 교환의 장점만을 이용하여 IP over WDM 기반의 광 인터넷을 실현시킬 수 있는 기술로 제시되고 있는 광 버스트 스위칭 기술에 대하여 기술하였다. 이를 위해 OBS 방식의 기본 개념을 기반으로 MPLS 기술과 융합된 OBS 기반의 광 인터넷 구조를 기술하였으며, 이를 위한 에지 노드와 코어 노드의 구조와 이에 대한 주요 기반 기술을 다루었다. 에지 노드에서는 IP 트래픽의 특성과 버스트 트래픽의 QoS, 그리고 우선 순위 등이 고려되어 버스트 생성 기술, 버스트 길이 결정, 그리고 offset 시간 등이 결정되어야 한다. 또한 코어 노드에서는 출력 파장에 대한 공유와 관리 데이터, 그리고 레이블 정보를 기반으로 채널 이용률과 버스트의 손실률을 줄일 수 있는 버스트 스케줄링 기술과 버스트간의 충돌 해결 기법에 대한 연구가 선행되어야 한다. 또한 기존 IP 망에서 제공되는 멀티캐스팅 기술과 노드와 링크 고장에 의한 복구 기

술, 그리고 QoS 제공 및 망의 트래픽을 균등하게 유지할 수 있는 트래픽 엔지니어링 등에 대한 다양한 기술도 OBS에 대한 주요 연구 대상이다. 따라서 IP 서비스에 의한 통신망의 이용 증가와 사용자의 요구 사항, 그리고 서비스의 다양성 증대가 계속되는 시점에서 데이터 채널과 제어 채널의 분리를 기반으로 운용되는 WDM방식의 OBS 기술은 앞에서 언급된 기술의 발전에 힘입어 차세대 광 인터넷 구성에 중요한 광 교환 기술로 자리잡을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 광인터넷연구센터(ERC) 프로젝트의 지원으로 이루어졌으며, 원용협 교수와 유명식 교수의 도움에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] F. Callegati, H. C. Cankaya, Y. Xiong, M. Vandenhoute, "Design Issues of Optical IP Routers for Internet Backbone Application." *IEEE Communications Magazine*, Dec. 1999.
- [2] Jonathan S. Turner. "Terabit burst switching", *J. High Speed Networks*, pp. 3-16, 1998.
- [3] C. Qiao , M. Yoo, "Optical burst switching(OBS)-a new paradigm for an Optical Internet," *J. High Speed Network (JHSN)*, vol. 8, no. 1, pp. 69-84, 1999.
- [4] Dolzer. K. Gauger, C. Spath, J. Bodamer. S, "Evaluation of Reservation Mechanisms in Optical Burst Switching," *AEU International Journal of Electronics and Communications*, vol. 55, no. 1, 2001.
- [5] KOSEF ERC Proposal-An Optical Internet Research Center Establishment, ICU, March 2000.
- [6] Y. Xiong, M. Vandenhoute, H. C. Cankaya, "Control Architecture in Optical Burst-Switched WDM Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 10, Oct. 2000.
- [7] I. de Miguel, M. Duser, P. Bayvel, "Traffic Load Bounds for Optical Burst-Switched Networks with Dynamic Wavelength Allocation," *ONDM 2001*, vol. 1, Feb. 2001.
- [8] S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth, "Optical Burst Switching: A viable Solution for Terabit IP Backbone," *IEEE Network*, Nov/Dec. 2000.
- [9] C. Qiao, "Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration," *IEEE Communications Magazine* vol. 38, Issue : 9 , pp. 104 -114, Sept. 2000.
- [10] Xi Wang, Hiroyuki Morikawa, and Tomonori Aoyama, "A Deflection Routing Protocol for Optical Burst in WDM Networks," *Fifth Optoelectronics and Communication Conference (OECC 2000) Technical Digest*, July 2000.
- [11] Y. C. Kim, "Implementations of Optical Burst Switching," *3rd OIRC Workshop*, June 2001.
- [12] J. Choi. et. al. "MPLS Control plane architecture for optical burst switching", *OECC/IOOC 2001, Sydney, Australia, July, 2001*

저자 소개



蘇元鎬

1970년 2월 25일생, 1996년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 공학사, 1998년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 공학석사, 1998년~현재: 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정, <주관심 분야: WDM 기반 광교환 및 광통신 프로토콜 설계, 광 인터넷 프로토콜>



金永川

1956년 12월 10일생 1980년 2월 고려대학교 전자공학과 공학사, 1982년 2월 고려대학교 전자공학과 공학석사, 1987년 2월 고려대학교 전자공학과 공학박사, 1989년 8월 전자기술사, 1989년 8월~1990년 8월: Univ. of California, Irvine, Post-Doc., 1997년 1월~1998년 12월: 한국과학재단 한독기술협력위원회 위원, 1998년 1월~2000년 2월: Univ. of California, Davis, 연구교수, 1986년~현재: 전북대학교 전자정보공학부 교수, <주관심 분야: 광통신망 구조 및 프로토콜, 무선 통신 프로토콜>



魯善植

1970년 5월 28일생, 1993년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 공학사, 1995년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 공학석사, 1995년~현재: 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정, <주관심 분야: WDM 다중화, IP over WDM 망, 광교환 및 광통신 프로토콜 설계>



姜玟鎬

1946년 7월 20일생, 1969년 2월 서울대학교 전기공학과 공학사, 1973년 5월 Univ. of Missouri-Rolla, MSEE, 1977년 12월 Univ. of Texas at Austin, Ph.D., 1977년 8월~1978년 9월: At&T Bell lab, 1978년 9월~1990년 1월 한국전자통신연구원 광통신연구실장, 통신정보연구단장, 1985년 6월~1988년 3월: 과학기술부 전기전자 연구조정관(이사관 상당), 1990년 2월~1999년 8월 한국통신연구개발단장, 품질보증단장, 해외본부장(전무이사), 1999년~현재: 한국정보통신대학교 광인터넷연구센터 소장(교수), <주관심 분야: 광네트워크, 광인터넷 구조 및 프로토콜>