특 집

광 인터넷을 위한 광 라우터 기술

이 해 정, 정 태 근, 소 원 호, 김 영 천

전북대학교 컴퓨터공학과

I. 서 론

최근 인터넷 사용자의 폭발적 증가 추세로 인하여 통신망의 인터넷 트래픽은 매년 4~10배의 속도로 증가하고 있으며, 사용자들은 새로운 서비스 즉, 고속 데이터 서비스, 전자 상거래, 가상 교육 및 실시간 멀티미디어 서비스와 같은 다양한 서비스를 요구하고 있다. 이러한 통신망 환경의 변화는 광대역의 전송 용량과 서비스의 특성에 따른 다양한 QoS(Quality of Serivce)를 효과적으로 보장할 수 있는 광 인터넷에 관한 연구 개발을 촉진시키고 있다[1,2].

OIF(Optical Intertworking Forum)에서 정의하는 광 인터넷은 "스위치와 라우터가 통합된 광학적 인터페이스를 가지고 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기반의 광섬유 또는 광 네트워크 요소들로 직접 연결되어 구성되는 데이터 전송용 네트워크 기반구조"라고 정의하고 있다. 그러나, 현재의 인터넷은 WDM 전송 계층 위에 ATM(Asynchronous Transfer Mode)과 SONET(Synchronous Optical NETwork) 계층을 둔 다계층 구조를 이용하여 IP 트래픽을 수용하는 구조이다. 이러한 구조는 계층간의 망 운영 및 관리와 계층간 상호 작용에 대한 기능 정의가 요구되어 망의 확장성이나 경제적 측면에서 비효율적이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 ATM 트래픽 엔지니어링 및 QoS 제공 기능과 SONET의 일부 망 복구 기능을 IP 계층이 제공하고, 광대역 전송 및 광 계층의 망 보호 기능을 제공하는 WDM 계층을 하부에 둔 IP over WDM(IP/WDM)이 광 인터넷의 기본 구조로 자리잡아 가고 있다[3].

IP/WDM 기반의 광 인터넷을 위한 중간 노드의 요구 조건은 패킷 헤더 정보의 고속 처리와 광전변환 없는 대용량 데이터의 교환 및 투명한 전송이다. 이를 위해서 최근 IP 패킷의 고속 처리와 트래픽 엔지니어링을 제공하는 MPLS(Multi-Protocol Label Switching) 기술이 도입되고 있다. 또한, MPLS를 확장한 GMPLS(Generalized-MPLS) 기술이 광 통신망의 IP 계층에 도입되고 있다. 반면에 WDM 계층은 정적인 RWA (Routing and Wavelength Assignment)또는 동적인 RWA를 기반한 광패스(lightpaht)를 제공하고, 단순한 제어 방식으로 동작되는 광 회선 교환 (Optical Circuit Switching ; OCS) 방식을 이용한다. 하지만 이 방식은 IP 트래픽의 버스트 특성과 비 대칭성을 고려할 때, 채널 자원의 비효율성이 증가하여 채널 이용률이 감소하는 문제점을 갖는다. 이것은 IP 패킷 또는 정해진 단위 크기의 데이터 프레임을 수신하여 광전변환 없이 광 영역에서 포워딩할 수 있는 광 라우팅 기능이 제공되지 않기 때문이다. 따라서 빠른 속도로 발전하고 있는 광소자 및 기본 광 교환모듈 기술과 OCS 방식을 대처할 수 있는 OBS(Optical Burst Switching)나 OPS(Optical Packet Switching) 방식을 GMPLS 기술과 효과적으로 융합시킬 수 있는 광 라우터 기술에 대한 연구는 현 단계에서 매우 중요하다.

본 고에서는 광 인터넷을 위한 기반 기술로서 WDM 방식에 의한 광전송 기술과 광 영역에서 IP 패킷 교환이 가능한 광 라우터 기술을 소개한

다. 2장은 광 인터넷을 위한 기반 기술을 소개하고 광 라우터의 요구사항 및 관련 잇슈를 다룬다. 3장은 광 라우터의 기본 구성소자와 광 모듈을 알아보고, 이를 적용하여 제시된 다양한 광 라우터 구조의 특징을 비교한다. 4장에서는 광 라우터에 대한 최근 동향 및 개발 현황을 살펴보았다.

II. 광 인터넷 기술

광 인터넷에서 인터넷 트래픽은 높은 대역폭, 트래픽 엔지니어링, QoS의 보장, 높은 신뢰도 및 신속한 망 고장 복구 기능, VPN(Virtual Private Network) 및 효율적인 망 관리 기능이 요구된다. 이러한 요구사항들 중 패킷의 대용량 전송은 WDM 기술로 가능하게 되었다. 그러나 패킷의 고속 포워딩 및 고속 스위칭을 위해서는 새로운 광 라우터 구조가 제시되어야 하며, 차등화 서비스와 에러 복구 기능을 가능하게 하기 위해서는 GMPLS와 같은 인터넷 프로토콜 기술이 효과적으로 광 라우터에 적용되어야 한다. 이를 수용하기 위한 기술을 광전송 기술, 인터넷 프로토콜 기술, 그리고 광 라우터 기술로 분류하고 관련 연구와 잇슈를 기술한다.

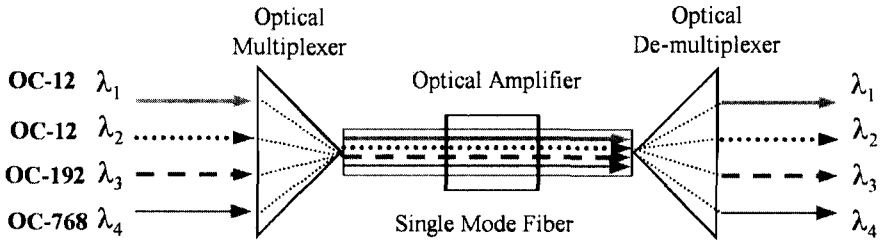
1. 광전송 기술

현재 광 인터넷의 실현을 위한 가장 적합한 광전송 기술은 〈그림 1〉과 같이 전송 속도에 관계없이 여러 채널을 각각 다른 파장으로 제공할 수 있는 WDM 방식이다. 초기의 WDM 기술은 1310 nm 파장영역을 200 GHz 파장 간격으로 분리하여 4~8개 정도의 채널을 다중화하였다. 하지만 최소한 수십 Tbps의 전송 속도를 요구하는 광 인터넷의 실현에는 다중화의 한계가 있는 WDM 기술은 적합하지 않다. 이에 비해 EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) 기술을 활용한 DWDM(Dense WDM) 방식은 파장 간격을 25 GHz, 12.5 GHz, 그리고 최소 1 GHz까지 분리하여 채널 개수를 증가시킬 수 있는 것으로 보고된다. 따라서 광 인터넷 실현을 위해서는 수천 개 이상의 채널을 제공한 DWDM 기술을 활용해야 하며, 조기 실현을 위한 광 링크, 광소자 및 전송장비 등의 관련연구가 복합적으로 요구된다.

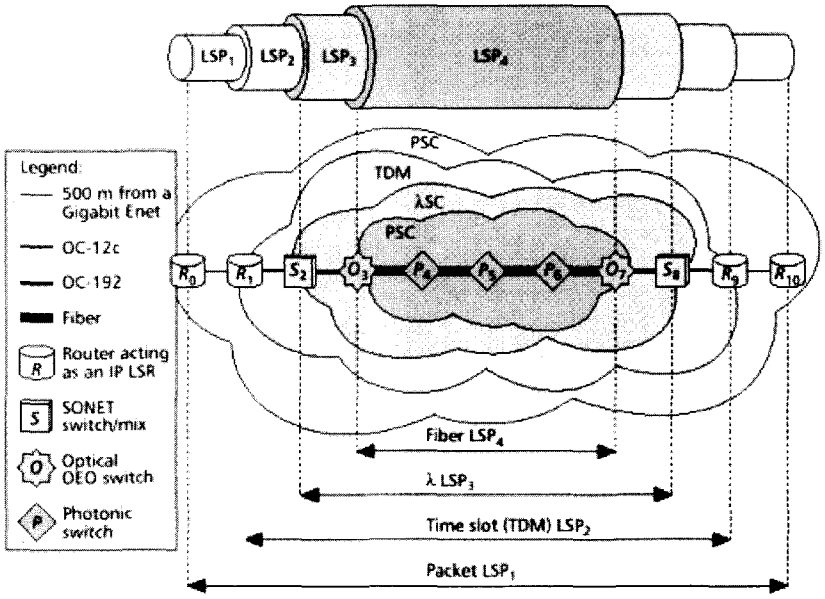
2. 광 인터넷 프로토콜 기술

광 인터넷 트래픽은 인터넷 화상회의 및 인터넷 방송 등의 실시간 서비스와 전자상거래 및 VPN 등과 같은 QoS를 보장하는 차별화된 서비스를 요구하고 있다. 그러나 현재의 인터넷망은 DWDM 전송 기술을 이용하여 고속 전송은 가능하나 트래픽 제어 기능이 매우 취약하여 QoS를 보장할 수 없는 최선의 서비스만을 제공하고 있다. 인터넷 트래픽의 QoS를 보장하고 차등화 서비스를 제공하기 위해서는 RSVP(Resource Reservation Protocol)와 같은 자원예약 프로토콜이 없이는 QoS를 보장할 수 없다. 하지만 RSVP의 경우 확장성의 제한 때문에 코아 망에 적용하기 어려우며 광 라우터의 용량이 Tbps로 상승할 경우 지원이 불가능한 상태에 이른다.

이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 레이블



〈그림 1〉 DWDM 기술



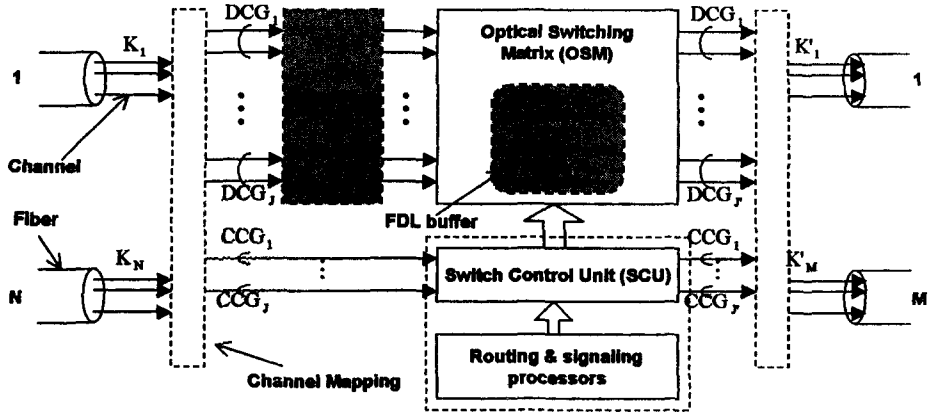
〈그림 2〉 LSP 계층화 개념

을 이용하여 패킷 교환을 수행하는 MPLS가 출현하게 되었고 트래픽 엔지니어링, 에러복구 및 링크보호 기능이 가능하여 망의 고 신뢰도 및 신속한 복구 기능을 제공할 수 있게 되었다. 그러나, MPLS 역시 패킷 스위칭에 적용하기 위해 만들어진 프로토콜이어서 다양한 스위치의 종류에 적용하기 위해서는 MPLS의 제어 부분의 확장이 필요하다. GMPLS는 MPLS의 패킷 스위칭뿐만 아니라 TDM(Time Division Multiplexing), Lambda, Optical 스위칭 영역까지 지원이 가능한 개념이다. GMPLS는 〈그림 2〉와 같이 LSP(Label Switched Path) 계층화 개념을 도입하여 MPLS와 광 네트워크 사이의 자원 제한성으로 발생하는 문제를 해결할 수 있도록 하기 위해 IS-IS(Intermediate System to Intermediate System), OSPF(Open Shortest Path First), RSVP, CR-LDP(Constraint-based Routing Label Distribution Protocol) 프로토콜을 확장 수용하고 있으며, 아울러 제어 평면과 데이터 평면의 분리를 통하여 링크의 연결 기능과 장애 제어 기능 등의 강화를 목적으로 새로운 LMP(Link Management Protocol) 개념을 도입한 프로토콜이다[4,5].

3. 광 라우터 기술

광 인터넷은 인터넷 사용자의 증가로 IP 트래픽이 폭증하여 100 Tbps 이상의 대역을 요구하게 될 것이며, 전자상거래 및 VPN 등과 같이 QoS를 요구하는 서비스를 수용할 수 있어야 한다. 그러나 현재 사용되고 있는 광 라우터에서 패킷 교환은 광 영역에서 전송된 패킷을 전기적인 영역으로 변환하여 스위칭을 실시하고 다시 광 영역으로 변환하여 출력 측에 전송하는 광전변환 라우터로 패킷 스위칭 속도가 전송망의 속도를 지원하지 못하고 있다. 또한, 최선의 서비스(Best-effort)만을 제공함으로써 사용자가 요구하는 QoS를 만족시키지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 이러한 요구사항을 충족시키기 위해서는 광 영역에서 패킷 포워딩이 가능한 광 패킷 스위칭 라우터가 설계되어야 할 것이다. 현재 광 패킷 스위칭 라우터를 설계하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으나 최종적인 구조적 설계를 위해서는 더 많은 시간이 요구된다.

본 고에서는 광전변환 없이 패킷 포워딩이 가



〈그림 3〉 일반적인 광 라우터의 구조

능한 광 패킷 스위칭 라우터를 광 라우터로 정의하며 광 인터넷에서 필요로 하는 다양한 요구사항을 만족시키는 광 라우터를 설계하기 위해 포함되어야 하는 기능을 다음과 같이 정리할 수 있다[1,2,6].

- 광전변환 없이 광 영역에서 고속 스위칭
- IP 패킷 단위의 스위칭
- 트래픽 엔지니어링 지원 및 QoS 보장이 가능한 고속 IP 포워딩
- 높은 신뢰도 및 신속한 망 에러 복구

〈그림 3〉은 광 영역에서 패킷 교환을 위한 광 라우터의 일반적인 구조이다.

광 라우터는 입력 인터페이스와 스위칭 매트릭스 및 출력 인터페이스의 기능 블록으로 분류할 수 있으며 패킷 헤더 정보를 이용하여 각 기능 블록을 제어하는 제어 블록으로 구성된다.

입력 인터페이스에서는 입력되는 패킷에 대해 광 신호의 증폭과 패킷의 헤더를 분석하며 패킷의 정렬을 수행한다. FDL은 입력 인터페이스와 스위칭 매트릭스 사이에서 사용되며 패킷의 헤더 정보를 분석하여 스위칭 매트릭스가 스위치를 구성할 시간을 제공한다. 스위칭 매트릭스는 패킷을 목적지 포트로 스위칭하는 기능과 패킷 충돌 문제를 해결한다. 출력 인터페이스는 패킷 헤더 정보의 수정 및 광 신호의 증폭 기능을 담당한다[2,7].

III. 광 라우터의 핵심 기술 및 구조

1. 광소자 및 기본 광 교환 모듈

광 영역에서 패킷 스위칭을 실시하는 광 라우터는 OXC(Optical Cross Connect), ADS(Add-Drop Switch) 및 OADM(Optical Add-Drop Multiplexer) 등과 같은 광 교환 모듈로 구성된다. 이러한 광 교환 모듈은 광소자들의 조합에 의해 동작한다. 광 교환 모듈을 구성하는 광소자로는 가변 레이저, 가변 필터, 파장 변환기 및 광 증폭기 등이 있다.

가변 레이저(Tunable Laser)

가변 레이저는 제어신호에 따라 새로운 파장을 생성하는 광소자로 파장 생성 방법에 따라 Mechanical, Acousto-optical, Electro-optical 및 Injection current tuning 등으로 분류할 수 있다. 가변 레이저의 특징은 튜닝 영역과 튜닝 속도에 의해 결정된다. 최근 Acousto-optic 기술의 발전으로 비교적 넓은 튜닝 영역과 고속의 튜닝 속도를 갖는 소자의 개발이 가능해졌다.

가변 필터(Tunable Filter)

WDM 망의 광신호에서 특정한 파장만을 선택적으로 수신할 수 있는 소자로서 동작 방법에 따라 〈표 2〉와 같이 구분할 수 있다.

〈표 1〉 가변 레이저 분류

종 류	튜닝 범위	튜닝 시간
Mechanically tuned lasers	Full range of laser(10-20 nm)	100-500 ms
Injection current tuned lasers	4 nm	0.5-10 ns
Acousto-optically and electro-optically tuned lasers	Full range of laser(10-20 nm)	Tens of s

〈표 2〉 가변 필터 분류

종 류	튜닝 범위	튜닝 시간
Fabry-Perot	500 nm	1-10 ms
Acousto-optic	250 nm	10 μs
AWG tunable filter	40 nm	10 ms
Liguid crystal Fbry-Perot	30 nm	0.5-10 μs
Fiber Bragg grating	10 nm	1-10 ms

파장 변환기(Wavelength Converter)

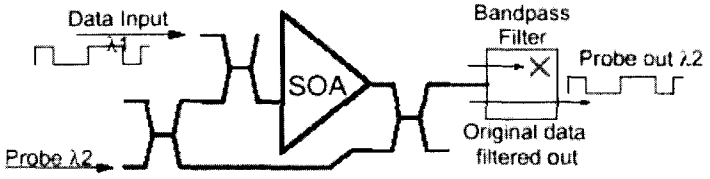
입력되는 파장을 다른 파장으로 변환하여 주는 소자로서 망에서 사용자들이 증가함에 따라서 광 라우터 내에서 사용 가능한 파장이 제한됨으로 발생하는 파장간의 충돌현상을 해결하는데 사용된다. 파장 변환 방법에 따라 XGM(Cross-gain modulation), XPM(Cross-phase modulation), FWM(Four wave mixing) 및 DFG(Difference frequency generation) 방법으로 분류할 수 있다. 〈그림 4〉는 XPM 방법에 의한 파장변환을 보여주고 있다.

광 증폭기(Optical Amplifier)

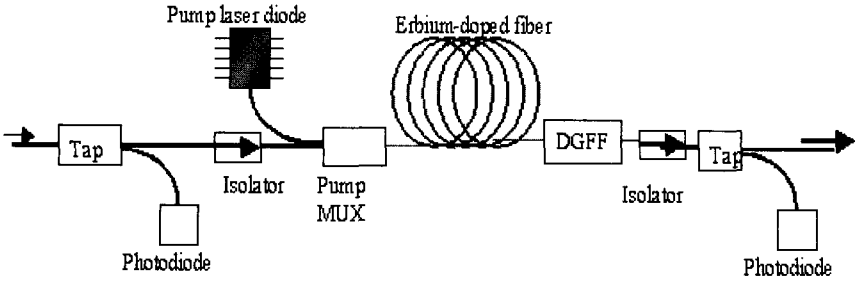
광 증폭기는 광 신호를 전기적인 신호로 변환하지 않고 직접 광 영역에서 신호를 증폭하는 장치로 방법에 따라 EDFA, PDFA(Praseodymium Doped Fiber Amplifier), Raman Amplifier 및 SOA(Semiconductors Optical Amplifier)로 구분할 수 있다. EDFA는 1550 nm 파장에서 30 dB 이상 광신호의 증폭이 가능하고 20 dBm까지의 고출력에 대하여도 이득 포화가 일어나지 않으며, 광 신호에 대한 증폭 대역폭도 수백 GHz 이상 되는 등 우수한 특성을 갖으며 EDFA의 구조는 〈그림 5〉와 같다.

OXC

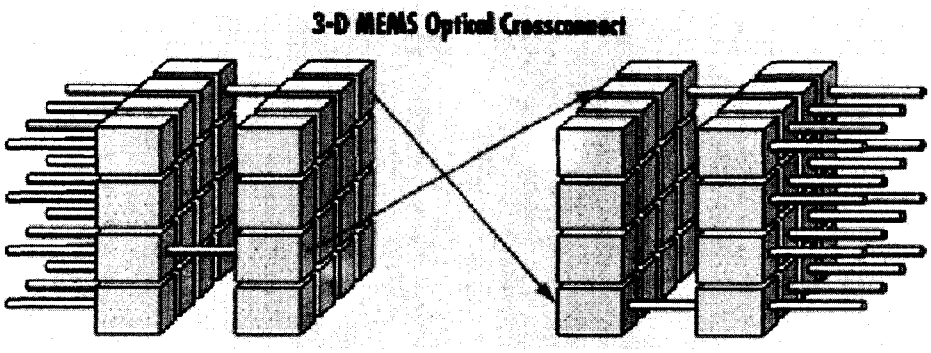
OXC는 광신호의 스위칭 기능을 수행한다. 현재 개발되고 있는 대부분의 OXC는 MEMS(Micro-Electro-Mechanical-System)을 기반으로 개발되고 있다. MEMS를 사용한 OXC는 확장성, 낮은 광 손실, 빠른 스위칭 시간, 적은 누화, 분극효과, 적은 전력 소비 및 파장과 전송 속도에 무관하게 광신호의 스위칭이 가능한 장점을 갖는다. MEMS는 전혀 충돌이 없는 스위치 내부 구



〈그림 4〉 XPM 방식의 파장변환



〈그림 5〉 EDFA의 구조



〈그림 6〉 3D MEMS를 이용한 OXC 구조

조를 가지며 내부의 거울 배치 형태에 따라 2D 스위치와 3D 스위치로 구분할 수 있다.

ADS

OXC에서 광 신호의 삽입/분기를 위한 스위치로 하나의 채널을 삽입/분기하는 단일 채널 삽입/분기 스위치와 여러 개의 채널을 삽입/분기하는 다중 채널 삽입/분기 스위치로 구분할 수 있다. 단일 채널 삽입/분기 스위치의 경우 FBG (Fiber Bragg Grating)와 삽입/분기할 수 있는 포트로 구성되어 있다. 다중 채널 삽입/분기는 MEMS를 이용하며 동시에 여러 개의 파장을 삽입/분기할 수 있다.

OADM

OADM은 파장 단위로 새로운 신호를 삽입하거나 분기할 수 있는 광 교환 모듈이며 고정 OADM과 동적 OADM으로 구분할 수 있다. 고정 OADM은 고정된 파장에 대해서만 광신호를 삽입/분기할 수 있는 OADM으로 파장의 선택은 스위치 설계 시 결정된다. 그러나, 동적 OADM은 사용자가 파장을 선택하여 삽입/분기할 수 있는 스위칭 기능을 제공하여 망에서 데이터의 흐름이나 망 자원을 동적으로 제어할 수 있는 기능과 망 오류에 대하여 능동적으로 대처할 수 있도록 한다.

2. 광 라우터 구조

1) 입·출력 인터페이스

광 라우터에서 입력 인터페이스은 광 증폭기, DMUX, FDL, 파장변환기 및 동기화기로 구성된다. 입력되는 IP 패킷은 필요할 경우 광 증폭을 선행하며 스위치 매트릭스에서 패킷 교환을 위해 패킷에서 헤더를 분리한다. IP 패킷에서 헤더 정보는 광전변환을 통해 추출되며 패킷에서 헤더 및 데이터의 위치 인식과 헤더 정보의 재생를 위한 기능을 수행한다. 또한, 헤더 정보 분리

는 스위칭 매트릭스에서 패킷을 교환하기 전에 패킷을 정렬시키는 동기화 과정을 위해 필요하다. 입력 인터페이스에서 패킷의 동기화는 전송 라인에서 발생한 패킷의 지터를 보상하기 위해 수행되며 일정시간 동안 FDL을 이용하여 패킷을 지연시킨다.

출력 인터페이스는 광 증폭기, 동기화기, 광신호 재생기 및 MUX로 구성된다. 스위칭 매트릭스를 통과한 패킷들이 출력 포트를 이용하여 다음 노드로 패킷을 전송할 수 있도록 헤더의 재생과 데이타의 증폭, 헤더 정보의 수정 및 동기화 기능을 수행한다. 출력 인터페이스에서 패킷에 대한 동기화는 스위칭 매트릭스 내부에서의 지연을 보상하기 위해 수행된다.

그러므로 광 영역에서 패킷의 교환이 가능하도록 하기 위해서는 입력된 광신호의 정확한 재생, 패킷에서 데이터와 헤더의 분리, 스위칭을 위한 패킷 정렬 동기화 및 출력 포트를 결정하기 위한 헤더 정보처리에 대한 해결 방안이 제시되어야 한다.

동기화

광 라우터에서 동기화 기능은 노드 사이에서 패킷 전송을 할 때 발생하는 전송거리와 온도 변화에 따른 지연 발생을 보상하기 위해 필요하며, 라우터 내부에서 발생하는 스위치 구성 시간 및 충돌 해결을 위한 지연 발생을 위해 요구된다. 패킷의 동기화는 광 영역에서 패킷을 데이터와 헤더 부분으로 구분하는 방법 및 패킷 포맷 설정 부분이 먼저 선행되어야 한다. 패킷에서 헤더 정보가 분리되면 입력 인터페이스에서는 FDL과 제어유닛을 이용하여 동기를 맞춘다. 출력 인터페이스에서는 가변 파장 변환기와 FDL을 이용하여 동기를 맞추게 된다.

광 인터넷망의 구조는 교환 방법에 따라 동기 방식과 비동기 방식으로 분류할 수 있다. 동기 방식은 패킷이 고정 길이를 가지고 일정한 타임 슬롯에 맞추어 정렬되며 패킷 교환을 수행하기 위해서 스위칭 매트릭스 앞단에서 동기화 과정이 필요하다. 그러나 비동기 방식에서는 가변 길이의 패킷을 가지며 스위칭 매트릭스에서 패킷을 교환하기 위한 동기화 과정이 필요 없다.

광 라우터의 스위칭 매트릭스에서 두개 이상의 패킷이 같은 파장을 이용하여 동일한 출력 포트를 요구할 경우 패킷이 충돌하는 문제가 발생한다. 비동기 방식의 경우 패킷이 도착할 때마다 패킷 교환을 수행하므로 동기 방식에 비해 많은 충돌이 발생한다. 그러나 비동기 방식의 경우 가변 크기의 패킷을 사용하기 때문에 입·출력 인터페이스에서 고정 크기의 패킷을 구성하기 위해 패킷의 분할과 재결합을 위한 과정을 수행하는 동기 방식보다 구조가 간단하다. 따라서 광 인터넷 트래픽의 경우 버스트한 특성을 감안한다면 동기 방식보다는 비동기 방식이 고려되어야 할 것으로 본다.

헤더 처리와 재생

광 라우터의 입·출력 인터페이스에서 해결되어야 할 문제 중의 하나가 패킷의 헤더 처리를 광 전송속도로 처리하는 문제이다. 일반적으로 패킷의 헤더 처리는 입력 인터페이스에서 광전변환을 통해 전기적인 영역에서 처리하고 데이터는 광 영역에서 처리하고 있다. 그러나 전기적인 영역에서의 패킷의 헤더처리는 스위칭 매트릭스에서 병목현상을 초래하므로 광 전송속도에 맞출 수 있는 패킷의 헤더 처리과정이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되고 있으며 직렬 헤더 처리, SCM(SubCarrier Multiplexing) 헤더 처리 및 다중 파장 비트 병렬 헤더 처리 방법 등이 제시되고 있다[1].

광 라우터의 궁극적인 목표는 광 전송속도로 패킷의 헤더 정보를 분석하여 패킷 교환이 가능할 수 있는 헤더 처리 방안을 연구하는 것이며, 헤더 정보 분석을 위한 적절한 패킷 포맷과 패킷 길이에 대한 내용도 연계되어 연구되어야 할 것이다. 또한 입력 인터페이스에 입력된 패킷들은 전송과정에서 발생된 광신호의 변형을 원래의 신호로 복구하기 위한 재생과정이 필요하다. 그리고 출력 인터페이스에서는 패킷이 광 버퍼와 스위치 매트릭스 내부를 통과하면서 광신호의 변형

이 이루어지므로 광신호를 재구성하거나 패킷의 헤더 정보를 재구성할 경우가 발생되기 때문에 광신호 재생문제도 중요한 연구 과제이다. 현재 제안되고 있는 광신호 재생을 위한 대부분의 기술은 빠른 재생 속도를 제공하고 있는 MZI(Mach-Zehnder interferometer)을 기반으로 하는 SOA 구조에 기본을 두고 있다.

2) 스위칭 매트릭스

스위칭 매트릭스는 패킷 헤더에 포함된 정보를 기반으로 출력 포트를 결정한다. 이때 두개 이상의 패킷이 같은 파장을 이용하여 동일한 출력 포트를 요구할 경우 발생하는 패킷의 충돌을 해결해야 한다. 이러한 충돌을 해결하기 위하여 기존의 전기적인 영역에서는 메모리를 이용한 버퍼의 store-and-forward 방법을 이용한다. 충돌이 발생한 패킷을 버퍼에 저장하였다가 일정 시간이 경과하고 난 후 스위칭 매트릭스의 출력 포트가 사용 가능하면 버퍼에서 패킷을 읽어와 전송하는 방법이다. 그러나 광 인터넷의 경우에는 광전송 속도에 비해 IP 패킷의 정보를 전기적인 메모리에 쓰고/읽고 하는 액세스 시간이 너무 길기 때문에 전기적인 메모리는 광 영역에서 사용할 수 없다. 그러므로 광 영역에서 동작하는 버퍼가 요구되지만 현재의 기술 수준으로는 실용화가 불가능하므로 이를 보완할 방법이 제시되어야 한다.

현재 제안되고 있는 충돌 해결 방안으로는 FDL을 이용한 버퍼링, 파장 변환기를 사용하는 파장변환 방법 및 패킷을 대체 경로로 전송하는 우회 경로 방법이 있다. 이러한 해결 방안을 기반으로 광 영역에서 패킷 교환이 가능한 많은 스위칭 매트릭스 구조가 연구되고 있다[1,2,7].

스위칭 매트릭스 충돌 해결

광 라우터에서는 스위칭 매트릭스에서의 충돌을 해결하기 위한 방법으로 버퍼링, 파장 변환 및 우회경로를 이용할 수 있다.

광 버퍼링은 스위칭 매트릭스의 앞단과 뒤단에 FDL을 추가하는 광 지연 방법으로 패킷의 충돌을 해결한다. 그렇지만 패킷을 버퍼링하기 위해 FDL을 통과시킬 경우 광 신호의 감쇠가 발생하며, 이를 보상하기 위해서는 광 증폭이나 광 신호 재생 과정을 거쳐야한다. 광 증폭의 경우 노이즈가 추가되며 신호 재생 과정의 경우 고가의 비용이 든다는 문제점을 갖는다.

파장 변환기를 이용하는 충돌 해결 방법은 충돌이 발생한 패킷에 대해 파장 변환기를 이용하여 사용 가능한 다른 파장을 할당하여 충돌을 해결하는 방식이다. 이 방법은 패킷에 추가적인 지연없이 충돌을 해결할 수 있는 효율적인 방식이지만 고속의 가변 파장 변환기가 요구된다는 단점을 갖는다.

우회 경로를 이용하는 방법은 충돌이 발생한 패킷들에 대하여 그 중 하나는 처음 요구한 출력 포트로 전송하고 나머지 패킷들에 대해서는 사용 가능한 다른 출력포트를 이용하여 패킷을 전송함으로써 충돌을 해결하는 방식이다. 이 방법은 버퍼를 사용하지 않지만 스위칭 매트릭스에서 우회 경로 설정을 위한 추가적인 경로 설정 과정이 필요하고 우회된 패킷들이 목적지에 도착하는데 많은 지연이 발생하여 패킷의 순서가 보장되지 않는 문제가 발생할 수 있다. 또한 우회 경로의 사용으로 망의 부하가 증가하므로 망의 부하가 적을 경우에는 효과적이지만 망의 부하가 높을 경우에는 현저한 성능 저하를 보인다.

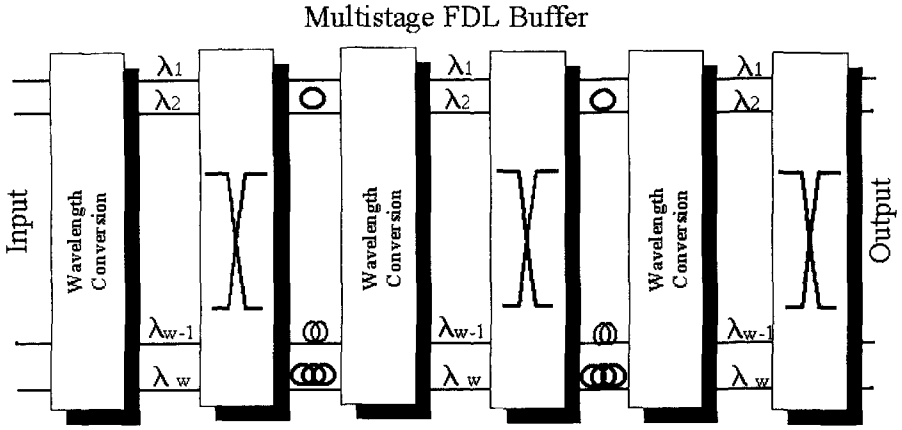
제시된 세 종류의 패킷 충돌 해결 방법은 각각 장단점을 갖기 때문에 어느 한가지 방법만을 이용하여 충돌을 회피하기보다는 망의 상태에 따라 세 가지 방법을 적절히 혼합하여 충돌을 해결하는 방법이 더 효율적일 것으로 사료된다.

3) 스위칭 매트릭스 구조

일반적으로 광 라우터의 스위칭 매트릭스 구조는 구성 방법에 따라 공간 스위칭, 방송-선택 스위칭 및 파장 라우팅 스위치 매트릭스로 분류할 수 있다.

공간 스위칭 매트릭스

공간 스위칭 매트릭스는 스위치 매트릭스에 입력되는 입력 신호를 출력 포트로 스위치하는 구



〈그림 7〉 DAVID 패킷 스위칭 매트릭스 구조

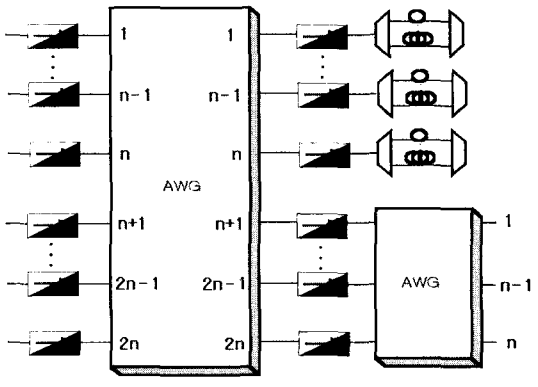
조이며 SOA 기술을 이용한 구현 방법이 가장 적절한 방법으로 보여진다. 또한 공간 스위칭 매트릭스는 방송-선택 매트릭스와 파장 라우팅 매트릭스를 구성하는 중요한 요소이다. 그러나 공간 스위칭 매트릭스 구조의 경우 입력 포트와 출력 포트의 수를 증가할 때마다 광소자인 SOA가 증가하는 단점을 갖는다[7].

〈그림 7〉은 공간 스위칭 매트릭스에 해당하는 DAVID 스위치 구조이며 파장 변환기와 FDL을 사용하여 패킷 충돌 문제를 해결한다. 스위칭 매트릭스 내부에서 사용하는 파장의 개수 W는 스위칭 매트릭스 외부에서 사용하는 파장의 개수 M보다 작거나 같으며 패킷의 버퍼링은 m개의 FDL을 이용하여 k단계를 직렬로 연결한 구조이다. 스위치 매트릭스에 있는 FDL를 통과하는 패킷들은 파장 변환기를 통하여 공간 스위치와 연결된다. 이와같은 스위치 구조의 특징은 출력 단계 i에 있는 모든 패킷이 다음 단계의 $i+1$로 입력될 수 있다. 각 단계는 각각 다른 지연을 가지고 단계 k에서 지연 i는 im^{k-1}이다. 출력 단계에서는 파장과 FDL에 따라 적절한 출력포트를 결정하고 IP 패킷을 전송한다. DAVID 스위치 구조는 가변 길이의 패킷을 처리할 수 있는 비동기 방식이다.

파장 라우팅 매트릭스

파장 라우팅 매트릭스는 입력 포트에서 입력되는 패킷을 출력 포트의 파장에 할당하며, 스위칭은 할당된 파장에 따라 수행된다. 파장 라우팅 매트릭스는 버퍼 위치에 따라 출력 버퍼를 가지는 파장 라우팅 매트릭스와 입력 버퍼를 가지는 파장 라우팅 매트릭스로 분류될 수 있다. 〈그림 8〉은 WASPNET(WAvelength Switched Packet NETwork) 프로젝트에서 개발된 입력 버퍼를 가지는 파장 스위칭 매트릭스의 구조를 보여주고 있다[8].

WASPNET 구조에서는 가변 파장변환기, AWG 및 FDL을 사용하여 패킷의 충돌 문제를 해결하고 있다. 이 구조는 2N×2N AWG, N×N AWG, 4N 파장 변환기 및 FDL로 구성되어 있다. 파장 라우팅 매트릭스에 입력된 패킷은 가



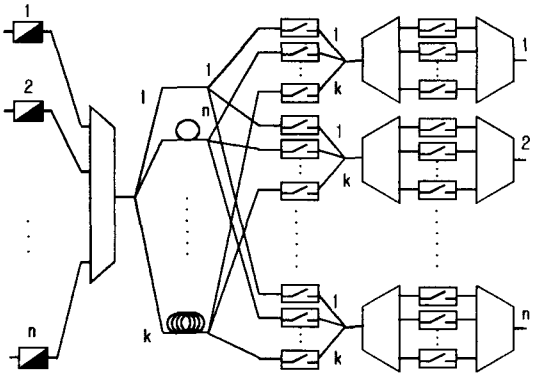
〈그림 8〉 WASPNET 스위치 매트릭스 구조

변 파장 변환기에 의해 파장이 결정된다. 2N×2N AWG는 파장 스위칭 기능을 수행하고 파장을 출력 포트로 전송한다. 파장은 파장 변환기를 통해 N×N AWG로 입력되어 스위칭 과정을 거친 후 다음 노드로 전송된다. 만약 버퍼링 과정이 필요한 경우에는 파장 변환기, 디멀티플렉서와 FDL, 및 멀티플렉서 과정을 거쳐 2N×2N AWG으로 다시 입력된다. 그러므로 파장 라우팅 매트릭스 구조에서 2N×2N AWG는 충돌 해결을 위해 사용되고 있으며 N×N AWG는 패킷을 전송하기 위한 공간 스위칭 기능을 수행한다. 그러나 이 구조의 경우 입력과 출력 포트에서는 하나의 파장만을 사용할 수 있으므로 한 순간에 하나의 패킷만을 전송할 수 있으며, 스위치 매트릭스가 확장될 경우에는 가변 파장 변환기가 많이 요구되는 단점을 가지고 있다.

방송-선택 매트릭스

방송-선택 매트릭스는 WDM 망에서 일반적으로 사용하는 스위칭 매트릭스 구조이며, 현재 진행되고 있는 많은 프로젝트는 이 구조를 기반으로 연구되고 있다[9]. 방송-선택 매트릭스는 파장 라우팅 매트릭스와는 달리 다수의 가변 파장 변환기를 요구하지 않으며, 패킷의 방송 및 멀티캐스트가 가능하다는 장점을 갖는다.

〈그림 9〉는 KEOPS(KEys to Otical Packet Switching) 프로젝트에서 구현된 방송-선택 스위치 매트릭스 구조이며 패킷 암호화, 버퍼링 및 파장 선택 기능으로 구성된다.



〈그림 9〉 KEOPS 스위칭 매트릭스 구조

패킷 암호화 기능은 N개의 파장 변환기로 구성되며 입력된 패킷은 파장 변환기에서 고정 파장을 할당하여 동일한 시간에 도착하는 모든 패킷들을 다중화한다. 다중화된 패킷들은 버퍼링을 수행하는 K개의 FDL에 모두 복사하여 전송하고 SOA 게이트의 공간 스위칭을 이용하여 파장 선택기로 이동한다. 파장 선택 기능은 N개의 파장 선택기로 구성되고 전송된 K개의 패킷에서 제어신호에 따라 패킷을 추출하고 출력 포트에 전송한다.

Ⅳ. 연구 동향 및 개발 현황

광 인터넷에서 광전변환없이 패킷을 교환하기 위한 광 패킷 교환 기술이 제시되었지만 완전한 광 영역에서의 패킷 교환을 위해서는 현실적으로 기술적인 제약 사항들이 산재해 있다. 그러므로 이러한 제약 사항을 극복하기 위한 중간 단계로 헤더 정보는 전기적 영역에서 처리하고 데이터 버스트는 광 영역에서 처리하는 OBS 방식을 이용한 패킷 교환 방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

OBS 방식은 버스트와 버스트 제어 패킷의 전송을 위한 WDM 채널을 따로 관리하며 버스트에 대한 채널을 할당하기 위하여 그 버스트에 해당하는 버스트 제어 패킷를 선행시켜 미리 처리하는 방식이다. OBS는 버스트에 대한 버퍼링이 요구되지 않아 광 패킷 교환에서 문제가 되고 있는 광 버퍼 문제를 해결하고 있다. 하지만 버스트에 대한 동기화와 충돌에 대한 해결 과제가 여전히 남아 있다.

또한 광 인터넷을 위한 트래픽 엔지니어링, QoS 및 에러 복구 기능을 광 라우터가 제공하기 위해서는 제어평면에서 자원예약 프로토콜의 수정이 요구된다. MPLS는 레이블을 사용하여 LSP를 설정하고 패킷을 전송하는 방법으로 광 라우터에서 고속 포워딩을 가능하게 하며 트래픽 엔

〈표 3〉 광 라우터의 특성 비교

구분 \ 종류	KEPOS	WASPNET	DAVIS
스위칭 방식	- 방송-선택	- 파장 라우팅	- 공간 스위칭
패킷 크기	- 고정 크기	- 고정 크기	- 가변 길이
망의 구조	- 동기	- 동기	- 비동기
구성요소	- 파장 변환기 - 멀티플렉서 - 디멀티플렉서 - FDL, SOA	- 파장 변환기 - 멀티플렉서 - 디멀티플렉서 - AWGM	- 공간 스위치 - 파장 변환기 - FDL - SOA
장단점	- 방송 및 멀티 전송이 가능 - 소수 가변 파장 변환기 사용	- 높은 이용률 제공 - 작은 버퍼 사용 - 다수의 가변 파장 변환기 필요	- QoS 제공 - 다양한 패킷 길이 사용 - 동시에 각 입력에서 다수 개의 패킷 처리 가능 - 확장시 SOA 수 증가

지니어링 및 에러 복구 기능을 지원하고 있다. GMPLS는 MPLS의 개념을 확장하여 MPLS와 광 인터넷 사이의 자원 제한으로 발생하는 문제를 해결할 수 있도록 RSVP(Resource ReSerVation Protocol)와 CR-LDP(Constraint-based Routing Label Distribution Protocol)를 확장하고 LMP(Link Management Protocol) 개념을 도입한 프로토콜이다. 그러므로 광 인터넷에서는 완전 광 패킷 스위칭을 도입하기 위한 중간 단계로 GMPLS를 기반으로 하는 OBS 방식에 대한 연구가 진행 중이다.

광 라우터가 광 영역에서 패킷 교환을 위해 요구되는 스위칭 시간은 수 ns를 필요로 한다. 그러나 MEMS 기술을 이용한 스위치는 ms 단위의 스위칭 시간을 제공하기 때문에 광 라우터의 스위칭 매트릭스에 적용하기에는 부적합하다. 현재 이러한 문제를 해결하는 대안으로 $LiNbO_3$ 및 SOA를 기반으로 하는 스위칭 소자의 개발과 초고속 가변 레이저, 파장 변환기 및 AWG를 사용한 광 패킷 스위칭 매트릭스를 구성하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

현재 광 패킷 스위치 설계를 위한 많은 연구가 진행 중이며 ATOMS(ATM Optical Switching), KEOPS, WASPNET, FLAMINGO 및 DAVID 프로젝트가 있다. 각 프로젝트에서 개발하고 있는 광 라우터의 특성은 〈표 3〉과 같다.

V. 결 론

본 고에서는 광 인터넷을 위한 기반 기술로서 광전송 기술과 인터넷 프로토콜 기술을 언급하고 광 영역에서 고속으로 데이터 교환이 가능한 광 라우터 기술을 소개하였다. 특히 광 라우터 기술은 광 인터넷 실현을 위한 핵심 기술로서 광전변환 없는 고속 IP 데이터의 교환 및 트래픽 엔지니어링과 QoS 지원 기능을 갖을 수 있도록 WDM 광전송 기술과 상위 프로토콜 기술이 효과적으로 융합되어야 한다. 뿐만아니라 망 고장에 대한 신속한 복구로 망 장애로 인한 영향을 최소화할 수 있어야 한다. 이를 위해 현재 개발되고 있는 광 라우터의 광소자 및 광 모듈을 소개하고 특징을 기술하였으며 데이터 교환을 위한 공간, 파장 라우팅 및 방송-선택 스위칭 매트릭스 구조를 살펴보았다. KEPOS, WASPNET, 그리고 DAVIS 연구 프로젝트에서는 이러한 스위칭 매트릭스 구조를 제시하고 있지만 광 논리 소자 및 광 버퍼

기술의 미성숙으로 인하여 대용량의 데이터 수용과 고속 라우팅에 한계를 보이고 있다. 따라서 헤더 정보를 데이터와 분리하여 전기적 영역에서 먼저 처리하고 데이터는 광전변환 없이 교환할 수 있도록 하는 OBS 기술과 광 영역에서 레이블을 고속으로 처리하는 데이터 포워딩 기술이 향후 주요 연구 대상이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 광인터넷연구센터(ERC) 프로젝트 및 ETRI의 지원으로 수행되고 있습니다.

참 고 문 헌

[1] S. Yao, S. J. B. Yoo, B. Mukherjee, "All-Optical Packet Switching for Metropolitan Area Networks : Opportunities and Challenges," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 39, No. 3. pp.142-148, 2001

[2] T. S. EL-Bawab and J. D. Shin, "Optical Packet Switching in Core Networks : Between Vision and Reality," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 40, No. 9. pp.60-65, 2002.

[3] "User Network Interface(UNI) 1.0 Signaling Specification," *OIF Contribution*. 125.7, December 2001.

[4] "General Multi-Protocol Label Switching(GMPLS) Architecture," http://search.ietf.org/internrt-drafts/draft-ietf-ccamp-gmpls-architecture-02.txt, work in progress, March 2002.

[5] N. Ghani, "Lambda-labeling: A Framework for IP-over-WDM using MPLS," *Optical Networks Magazine*, pp.45-58, April 2000.

[6] B. Rajagopalan, et al, "IP over Optical Networks : A Framework," draft-ietf-ip-framework-01.txt, work in progress, February 2002.

[7] E. Siren, "Optical Packet Switching," *Master's thesis*, Helsinki Univ, Finland, March 26, 2002.

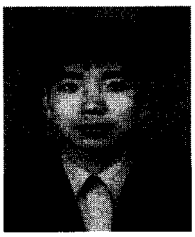
[8] D. K. Hunter et al., "WASPNET : A Wavelength Switched Packet Network," *IEEE Communication Magazine*, vol 37, No. 3, pp.120-129, 1999.

[9] C. Guilluemot et al., "Transparent Optical Packet Switching : The European ACTS KEOPS Project Reseach Approach," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 16, No. 12, December 1998, pp.2117-2134.

저 자 소 개

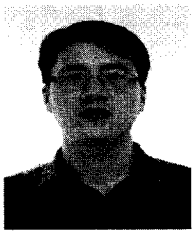
李 海 正

1991년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 공학사, 1994년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 공학석사, 1994년~현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정, 〈주관심 분야 : WDM 기반 광교환 및 광통신 프로토콜 설계, 광 인터넷 프로토콜〉



鄭 泰 根

2002년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 공학사, 2002년~현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정, 〈주관심 분야 : WDM 기반 광교환 및 광통신 프로토콜 설계, 광 인터넷 프로토콜〉



蘇 元 鎬

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

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