Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 14, No. 10 pp. 5140-5147, 2013

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.10.5140

IPOW 서비스를 위한 광액세스망 구조 설계

이상화[1*]
[1]서원대학교 정보통신공학과

Structural Design of Optical Access Network for IPOW Service

Sang-Wha Lee[1*]
[1]**Department of Information & Communication, Seowon University**

요 약 본 논문에서는 IPOW(IP over WDM) 서비스를 위한 광가입자망의 구조설계에 관한 새로운 아이디어를 제공한다. IP 데이터를 중간계층을 거치지 않고 직접 WDM망을 통해 처리함으로써 보다 효율적으로 망을 구성할 수 있다. 파장단위로 하는 레이블 스위칭 방식을 기반으로 한 IPOW 광인터넷 기술을 이용하여 대용량 트래픽 전달 능력과 레이블 스위칭의 QoS 제공 기능을 네트워크 종단 사용자에게 직접적으로 제공한다. 또한 가입자 요구에 따라 액세스 밴드폭을 유동적으로 지원하는 AON(Active Optical Network) 형태의 광가입자망의 기능도 갖고 있다. 여기에서 제안한 IPOW 기반의 광액세스 네트워크는 시뮬레이션을 통하여 가입자망에 걸려 있는 끝단에서 BER(Bits Error Ratio) 특성을 분석하여 효율적인 광 가입자망의 설계 기준을 제시한다.

Abstract This paper presents a new idea of structural design of the optical access network for IPOW(IP over WDM) services. More efficient network can be constructed, because the IP packets are transmitted directly to the WDM without going through an intermediate layer of networks. The wavelength Routing is based on a label switching technology. The ability to transmission of high volume traffics and QoS capability of the optical label switching directly to the end user of the IPOW optical internet networks is provided. As in AON(Active Optical Network) flexible bandwidth on demand subscribers is allocated. By the Simulation of the proposed optical access networks to measure the BER(Bits Error Ratio) at the end of the nodes the network characteristics are analyzed. These results are based on the design of efficient optical network.

Key Words : Optical Access Network, ATM(Asynchronous Transfer Mode), IPOW(IP Over WDM), SDH(Synchronous Digital Hierarchy)

1. 서론

현재 인터넷을 통하여 보다 다양한 서비스 제공이 가속화 되고 있다. 이미 일반화되고 있는 각종 정보 제공뿐 아니라, 전화, 전자 상거래, 원격 진료, 원격 교육, 전자 도서관, 전자 박물관 등의 각종 서비스도 구체화 되고 있다. 따라서 인터넷의 수요는 앞으로도 지속적이고 기하급수적으로 증가될 것이고, 이는 산업 전반에 걸쳐 직접적인 큰 변화를 유발 시킬 것이다. 이와 같은 사실로 볼 때, 정보통신 인프라 구축이 향후 국가의 경쟁력을 크게 좌우 할 것임은 자명한 사실이다.

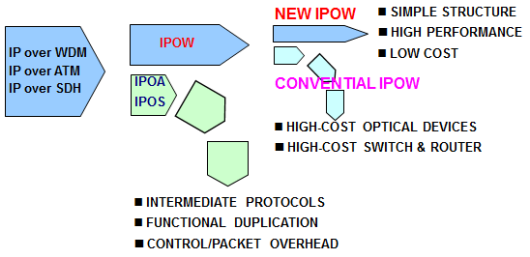
우리나라도 이에 대비하기 위해서 국민 개인당 정보통신 대역폭도 획기적으로 크게 그리고 신뢰성 있게 제공하기 위해서 인터넷 정보 보호 기술 및 QoS 기술 개발이 포함된 차세대 인터넷기술개발을 도모하고 있다.

차세대 인터넷 구현에 있어서, 정보보호 및 QoS 보장 등의 정보처리 기술도 중요하지만 향후 급증하는 정보를 처리할 수 있는 대용량 정보통신의 통로를 구성하는 인프라 구축도 중요하다. 밴드폭 확장을 위해 선택해야할 방식에 대해 언급하면, 차세대인터넷의 인프라 구축은 지금까지 크게 다음과 같은 세 가지 방식으로 연구가 이루어지고 있다[4].

*Corresponding Author : Sang-Wha Lee(Seowon Univ.)
Tel: +82-10-4312-4567 email: swl@seowon.ac.kr
Received September 3, 2013 Revised (1st September 12, 2013, 2nd September 24, 2013) Accepted October 10, 2013

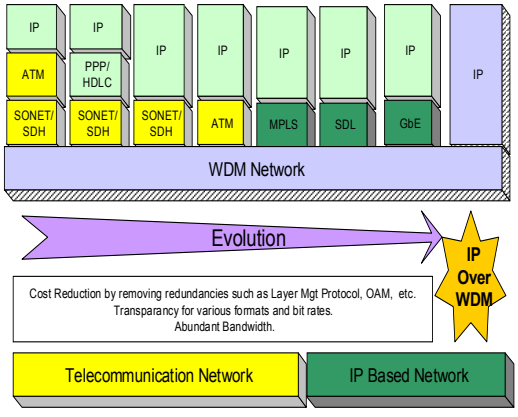
- IP over ATM over SDH over WDM
- IP over SDH over WDM
- IP over WDM (IPOW).

Fig. 1은 차세대인터넷 인프라구축을 위한 기본 방식에 대한 특징을 보여준다.



[Fig. 1] The basic method for Internet Infrastructure

IP(Internet Protocol) over ATM(Asynchronous Transfer Mode) over SDH(Synchronous Digital Hierarchy) over WDM(Wavelength Division Multiplexing) 방식은 ATM의 장점인 트래픽 제어기능을 유용하게 사용하여 멀티미디어 서비스를 ATM망과 IP망을 이용하여 제공하려는 배경에서 출발하였다. 하지만 IP를 WDM 망에 실어주기 위해서 ATM과 SDH 계층을 거쳐야 하므로 상당한 기능중복 및 패킷처리 오버헤드가 발생한다. IP over SDH (over WDM) 방식도 역시 SDH 계층을 거치게 되므로 기능중복이 발생하고 비싼 SDH 장비가 요구되므로 처리가격 증가 등의 비효율을 피할 수 없다. IP over WDM 방식은 SDH의 장점인 망의 유지, 보수 및 관리 기능을 IP 프로토콜과 WDM 망과의 인터페이스를 통하여 담당하게 함으로써, IP 데이터를 중간계층을 거치지 않고 직접 WDM 망을 통해 처리함으로써 보다 효율적으로 망을 구성하기 위해서 제안 되었다[8]. Fig. 2는 WDM망과의 정합 기술의 발전 방향을 나타낸다.



[Fig. 2] Technical development direction of WDM networks

IPOW 광 인터넷 인프라를 구축하기 위해서 현재 추구되고 있는 기존의 방법을 취할 경우, 일반적으로 광 삽입/추출(Optical Add/Drop), 광스위치(Optical Switch), 파장 변환기(Wavelength Converter), 그리고 광 회선분배(Optical Cross Connect) 등의 고가의 최첨단 기술이 요구되는 장비들을 필요로 한다. 또한, IP처리에 요구되는 패킷 단위 또는 이에 상응하는 정도의 granularity를 확보하기 위해서 백본 용 테라비트급 라우터가 도입되어야 한다. 이 백본 라우터는 처리 용량이 대용량이고 초고속이 되어야 하며, 방대한 주소정보체계를 갖추어야 하므로 슈퍼컴퓨터 급의 고성능 및 고 복잡도가 요구된다. 이러한 기존의 IPOW 광 인터넷 인프라 구축 방식은 최첨단 광장비에 의존하게 된다.

2. 초고속망에서의 대역폭 활용도

초고속 망 구조의 대역폭 활용도는 인캡슐레이션(encapsulation)을 비교하는 방법을 통하여 이루어지는데 이를 위하여 각각의 오버헤드를 계산하였다. 아래의 Table 1 ~ Table 5는 IP 패킷의 크기가 350 바이트일 경우에 각각의 망구조상에서 발생하는 오버헤드를 계산한 Table이고 Table 6은 서로 상이한 방식에 대한 오버헤드 백분율을 나타내는 Table이다.

[Table 1] Overhead calculation for IP over ATM over SDH

	Packet Length	Cumulative overhead
IP Packet	350	0%
LLC/SNAP	358	2%
AAL5	390	10%
ATM	431	19%
SDH	447	22%
1 STM1 provides 121 Mb/s capability		

[Table 2] Overhead calculation for IP over ATM over cell-based physical interface

	Packet Length	Cumulative overhead
IP Packet	350	0%
LLC/SNAP	358	2%
AAL5	390	10%
ATM	431	19%
OADM	432	19%
1 155Mb/s C.B provides 126 Mb/s capability		

[Table 3] Overhead calculation for IP over ATM over SDH

	Packet Length	Cumulative overhead
IP Packet	350	0%
PPP/HDLC	358	2%
SDH	371	6%
1 STM1 provides 146 Mb/s capability		

[Table 4] Overhead calculation for IP over SDL directly over WDM

	Packet Length	Cumulative overhead
IP Packet	350	0%
PPP	352	1%
SDL	360	3%
1 STM1 provides 151 Mb/s capability		

[Table 5] Overhead calculation for Gigabit Ethernet

	Packet Length	Cumulative overhead
IP Packet	350	0%
GbE	388	10%
Line Code	485	28%
1 GbE link provides 902 Mb/s capacity		

[Table 6] Link capacity and overhead percentage about variety Encapsulation methods

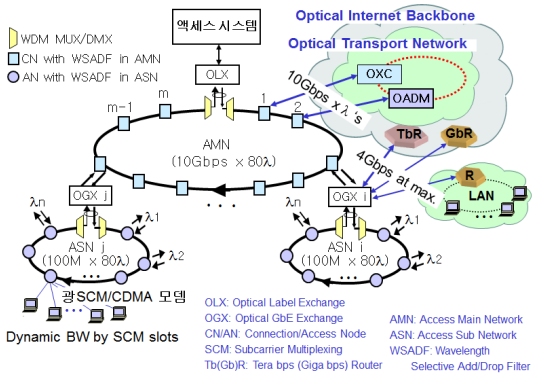
Encapsulation/Framing	Overhead	Link capacity Mb/s	Comments
IP/ATM/SDH	22%	1944	STM-16
IP/ATM/Cell-Based	19%	2011	STM-16
IP/PPP/SDH	6%	2338	STM-16
IP/SDL	3%	2411	STM-16
IP/GbE	28%	902	1.25Gbs

3. 광 레이블을 이용한 가입자망 설계

데이터 트래픽 폭주 현상이 시간에 따라 지역적으로 이동하는 인터넷 트래픽의 특징을 수용하고, 가입자에게 수백 Mbps에서 수십 Gbps의 대역폭을 필요에 따라 동적으로 제공할 수 있는 광가입자망 기술이 절실하게 요구되고 있다. 따라서 테라비트급 이상의 트래픽 처리를 위한 데이터 처리 중심의 광가입자망 설계를 제안하게 되었다. 이를 위하여 우선 DWDM 기술을 활용하여 대용량 전달기능을 위주로 하는 전송 백본을 개선시키고, 이어서 확장된 가입자의 액세스 대역폭을 수용하고 가입자 정보를 다단계 스위칭/라우팅을 거치지 않고 한 홉(One Hop) 처리하여 전송 백본과 곧 바로 연동할 수 있는 시스템을 구축할 수 있다.

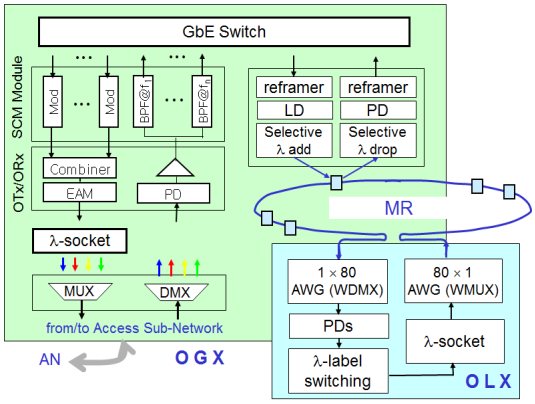
본 논문에서는 현재 국내외적으로 추구되고 있는 것과는 획기적으로 다른 방식으로, 파장단위로 레이블 스위칭 방식을 기반으로 한 IPOW 광 인터넷 기술을 제안한다. 제안된 구조들은 획기적인 광 정보 식별자(λ -tag) 방식의 사용과 트래픽 처리 부하를 광적-전자적으로 적절히 기능 분담시킴으로써 위에서 언급한 고가의 광 장비 및 테라비트급 라우팅 장비가 요구되지 않는 구조적 단순함을 갖고 있다. 제안된 방안은 IPOW기술 자체가 갖고 있는 성능 및 가격 경쟁력 위에, 기존의 방식과는 다른 IPOW실현 방식을 취함으로써 추가적인 성능 및 가격 경쟁력을 갖는다.

이 방식은 가입자트래픽의 단순한 수동적 집중/분배 기능을 위주로 하는 PON(Passive Optical Network)방식과는 달리, 가입자 사이를 능동적으로 상호 연결하며, 가입자 요구에 따라 액세스 밴드폭을 유동적으로 지원하는 AON(Active Optical Network) 형태의 광가입자망이다. Fig.3은 본 논문에서 제안하는 광 정보 식별자를 이용한 광 레이블 액세스 네트워크의 구조도를 보여준다.

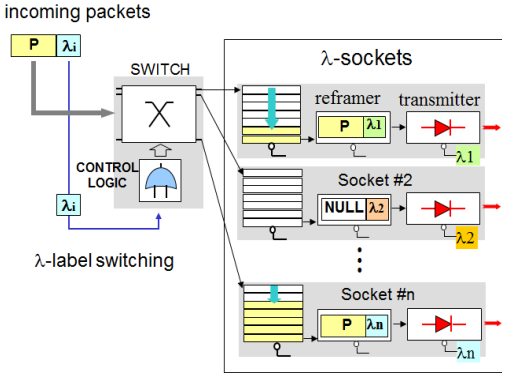


[Fig. 3] Optical label access network with OLX, OGX, and optical modem

제안된 네트워크는 백본에서 메인 링과 연결되어 있고 메인 링의 각 노드는 또 다른 서브 링과 연결되어 있는 구조이다. 광 인터넷 백본에서 OXC 또는 OADM을 통해서 OLX로 도달하게 되면 광 파장 식별자를 통한 레이블 스위칭이 이루어지고 어떤 한 노드의 서브 링에 붙어있는 OGX에 도달하게 된다. Fig. 4는 이러한 OLX와 OGX의 기능적 구조를 나타낸다. Fig. 5는 패킷 파장을 교환하여 패킷을 라우팅 하는 람다 레이블 스위칭을 보여준다.

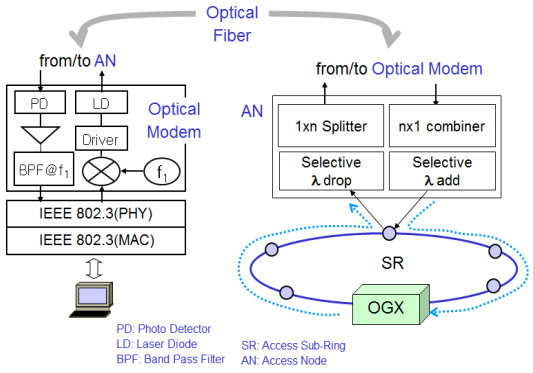


[Fig. 4] Functional structure of OGX and OLX

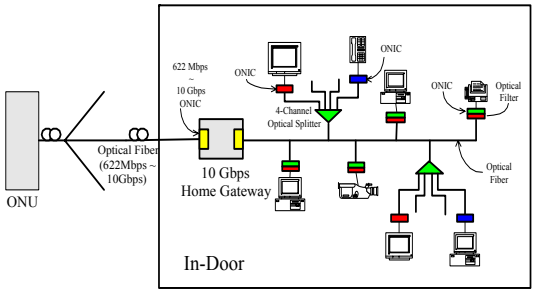


[Fig. 5] Packet routing through Lambda label switching

OGX에 도달한 데이터는 서브 링에 있는 노드의 파이버(fiber)로 정합되어 있는 광모뎀을 찾아서 광전 변환을 하게 된다. Fig. 6은 광모뎀의 기능적인 구조를 나타낸다.



[Fig. 6] Functional Structure of optical modem



[Fig. 7] ONU(Optical Network Unit), home gateway and equipped devices with ONIC(Optical Network Interface Card)

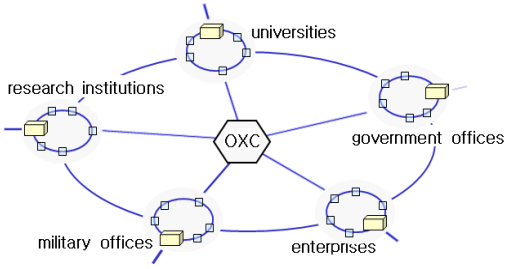
광 정보 식별자를 이용한 레이블 스위칭 기술을 바탕으로 한 광가입자망 개발에 필요한 요소기술들은 다음과 같다.

- λ -tag 광 프레임 헤더처리 기술:
  λ -tag IPOW 프로토콜 개발 및 10Gbps 광 프레임 헤더처리기 개발
- λ -tag 광 패킷 라우팅 기술:
  40Gbps급 λ -tag 광 패킷 라우터 개발
- 비동기 광 패킷 송수신 기술:
  155 Mbps ~ 10 Gbps 비동기 광 패킷 송수신기 개발
- DWDM 정합 기술:
  40 Gbps급 λ -tag 광 패킷 정합장치 개발
- DWDM 광 신호 선별 기술:
  DWDM(10 GHz×128 채널) 광 신호 삽입/추출 장치 개발
- DWDM 광 신호 부반송파 변복조 기술:
  128 채널 DWDM 광 신호 부반송파 변복조기 개발

제안된 네트워크는 수평적 또는 수직적 방향으로 자체 망의 용량을 쉽게 증가 시킬 수 있는 구조적 특성을 갖는다. 이러한 특징에 의해서 단위 망을 메쉬 형태 또는 그물 형태로 연결하여 인터넷의 고유한 특징인 융통성 있는 통신로 구성을 유지할 수 있다. 그리고 외부 망과의 연동성에 대해서는, 네트워크의 체계적 구조(hierarchical ring structure) 특성에 의해서 각 단계(level) 마다 외부 망과 연동할 수 있도록 되어있다. 그리고 제안된 망의 백본(main ring) 전체가 불통될 최악의 경우에도 자체 망 내의 가입자들은 외부 망과의 연동에 의해 간접연결이 가능하므로 통신 속도는 저하되지만 연결성은 확보된다.

이 네트워크는 우선 대용량 정보통신이 우선적으로 필요한 집단의 구성을 위한 망 설계에 적용할 수 있다. 즉,

각각의 집단은 본 논문에서 제안한 OLX의 메인링 부분에 해당하고 그 밑에 OGX의 링을 구성하여 가입자들을 수용하면 각 집단을 위한 고유한 망이 구축된다.

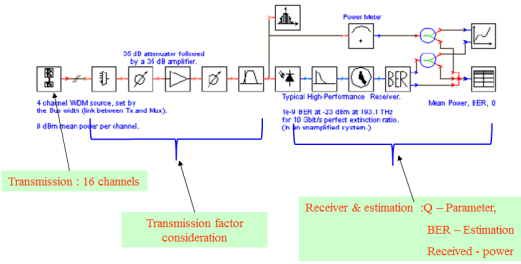


[Fig. 8] Group network structure with OXC

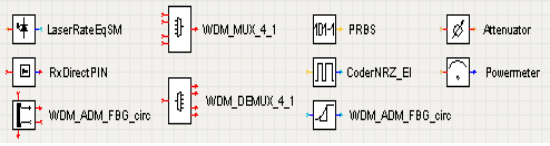
Fig. 8에 보이는 바와 같이 이 초고속 집단망은 통신량의 대부분이 내부통신이 차지하는 특성을 갖도록 설계되며, 집단 간의 또는 외부 망과의 통신을 위해서 집단통신망들은 서로 연동된다. 여기서 집단 망간의 연동은 초고속 대용량 트래픽에 대한 광 파장 단위의 분배에 의해서 이루어지므로, 광신호의 광전변환 없이 광파장단위의 스위칭을 하는 광 회선분배 시스템이 요구된다. 예를 들면 집단 망을 위한1.6 Tera bps 광 인터넷 네트워크를 구축하면 이 단위 집단망은 16,000 가입자에게 100 Mega bps 씩을 제공할 수 있다.

4. OGX에서의 광전송 시뮬레이션 실험

본 논문에서 제안하는 광 액세스 네트워크의 OGX에 물려있는 가입자 노드(AN:Access Node)의 개수에 따라서 그리고 거리에 따른 BER(Bits Error Ratio) 특성을 알아보기 위해 VPI(Virtual Photonics Inc.)에서 제공하는 광전송에 따른 분석을 시도하는 시뮬레이터인 Transmissionmaker_WDM을 사용하였다. VPI에서 제공하는 Transportmaker는 WDM 망에서 각 노드간의 총 파장수 및 트래픽 요구에 대한 경제성, 효율성 등을 분석하는 목적에 부합하고, Cablemaker는 CATV방식의 기술 특성을 검증하는 시뮬레이터이다. Transmissionmaker_WDM은 망 전송 시스템을 구성하고 사용할 파장의 특성, 각종 비선형 특성 및 실제 물리적인 거리를 고려한 전송 특성의 관찰을 목적으로 사용한다. 그러므로 Transmissionmaker_WDM은 각 광전송 모듈을 해당 망의 특성을 고려하여 선택하고 물리적인 광 특성 및 전송 거리를 반영하여 실제 전송시 중요한 전송 파라미터에 대한 특성 값의 분석에 부합한다. 따라서 본 논문에서는 VPItransmissionmaker_WDM을 사용하여 망의 최상단 OLX(Optical Label Exchange)와 최하단의 사용자 모뎀(User Modem)이 각각의 종단점이 된다. 각 종단점은 각기 메인 링(Main Ring) 과 하단 서브 링 (Sub Ring)에 속해 있고, 전체적인 신호 전달 방식은 유사하다. 실험은 서브 링 망 내의 가입자 노드의 개수가 5, 10, 15, 30개로 증가하고, 가입자 노드 간의 물리적인 거리도 100m, 600m, 1.2Km, 2.4Km로 증가할 경우, OGX에서부터 물리적으로 가장 먼 거리에 위치한 최종 단 가입자 노드에서의 BER 특성(BER 대비 Received Power plot)을 파악하였다. Fig. 9는 가입자 노드가 5개인 경우의 시뮬레이션을 위하여 모델링한 전송망의 예를 보여준다. Fig. 10은 시뮬레이션에서 사용한 모듈들을 보여준다.



[Fig. 9] Simulation example

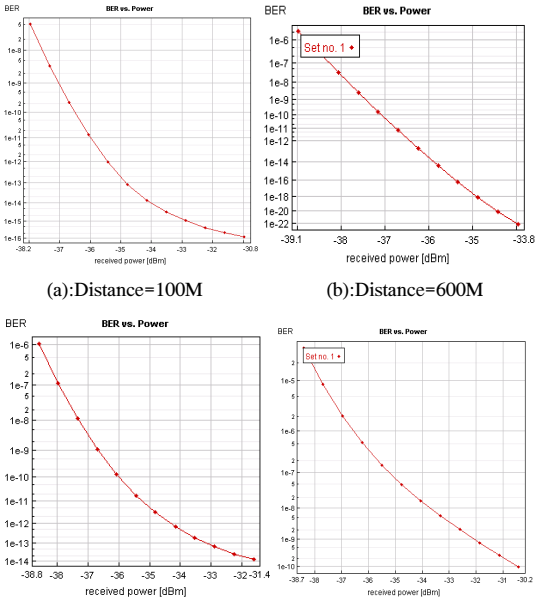


[Fig. 10] Simulation modules

시뮬레이션 실험에서 사용한 기본 파라미터 세팅 값은 다음과 같다.

- LaserRateEqSM : PowerNorm = 1e-3 W
- BiasToThreshold = 1.1
- ModuleToThreshold = 0.9
- Centerfrequencydefault : 195.9 THz
- AN's centerfrequency : 195.9THz - i * ChannelSpacing, i= 1,2,3,4
- ChannelSpacing : 100e9
- BitrateDefault : 1.55e8 = 155Mbps
- SamplerateDefault : 8*1.55e8
- Timewindow : 16/ 1.55e8
- Attenuator's loss : 20dB
- Mux/Demux's insertion loss : 3 dB

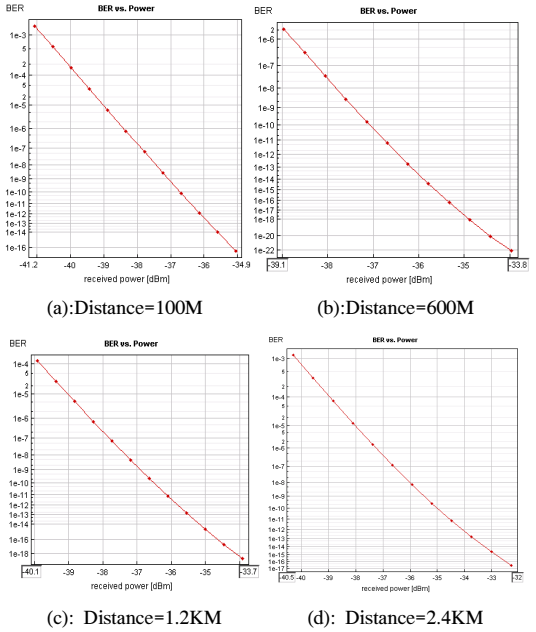
- WDM_ADM_FBCcirc: FBG rejection = 30, circinsertionloss = 1 dB
- FBG Bandwidth = 40e9



(a):Distance=100M (b):Distance=600M

(c): Distance=1.2KM (d): Distance=2.4KM

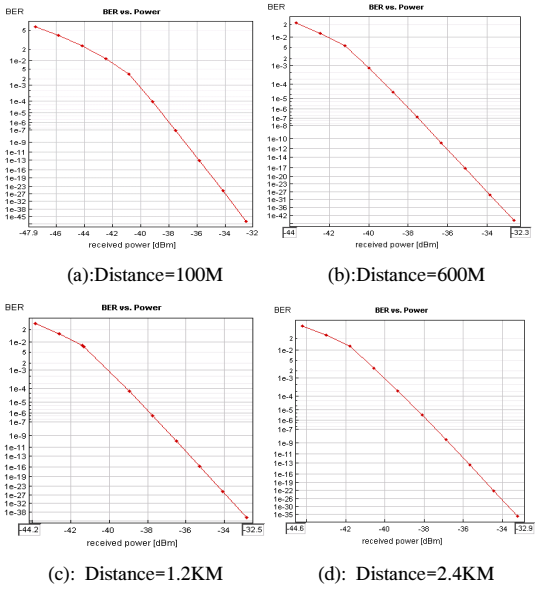
[Fig. 11] BER characteristics in case of 5 access nodes



(a):Distance=100M (b):Distance=600M

(c): Distance=1.2KM (d): Distance=2.4KM

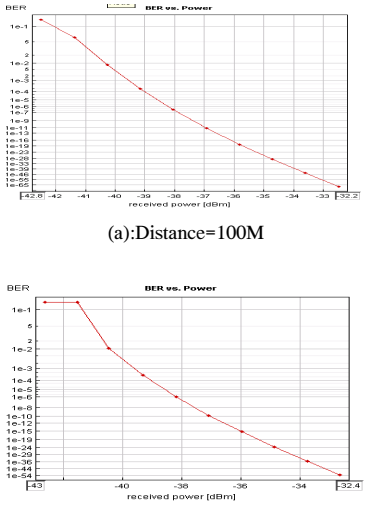
[Fig. 12] BER characteristics in case of 10 access nodes



(a):Distance=100M (b):Distance=600M

(c): Distance=1.2KM (d): Distance=2.4KM

[Fig. 13] BER characteristics in case of 15 access nodes



(a):Distance=100M

(b):Distance=600M

[Fig. 14] BER characteristics in case of 30 access nodes

실험에서 제안한 액세스망의 가입자 노드간의 거리는 전송 성능에 절대적인 영향이 있음을 보여준다. 특히 가입자노드가 30개인 경우는 물론이고 최소 15개 노드 이상으로 구성되는 전송망에 전체 BER이 거리에 거의 무관하게 포화되는 현상을 보여주었다. 이는 가입자망의 가입자 노드가 능동적인 기능을 갖추고 있다고 해도 실제적으로 물리적인 거리제한 때문에 가입자 망이 15개 이상의 노드로 구성되면 망의 최종 단에서 BER 특성상 실

제로 전송이 쉽지 않음을 의미한다. 결론적으로 15개 이상의 노드를 가진 가입자 망에서는 증폭기를 통해 전송 특성을 개선하여야 한다는 것을 의미한다. 이는 가입자 망의 노드 중 일부가 평균적인 가입자 노드 간의 거리에 비해 긴 거리를 두고 위치해 있다면 이 가입자 노드로 인해서 전체 망의 전송 효율을 떨어뜨리는 결정적인 요인이 될 수 있다. 따라서 망을 설계할 때에는 노드들의 물리적 제한 요소와 그에 따르는 노드간의 최대 허용 거리 및 망 구성의 경제성을 반드시 고려하여야한다. 망에서 실제 사용자가 획득할 수 있는 전송 특성을 파악하기 위해 가입자 노드의 하단에 광 분기 소자를 배치하여 시뮬레이션에서 나온 최대 거리 제한인 2.4km 상황에서 전송된 광 신호의 BER 특성을 분석하여 망 설계에 반영하여야 한다. 만약에 광 분기 소자의 물리적인 손실률이 적은 것을 사용하여 망을 구성하면 멀리 위치한 노드에서도 허용 가입자 수를 조금은 늘릴 수는 있을 것이다.

이와 같은 과정을 통해 추후 실제 가입자 망의 트래픽 요구량, 가입자 노드간의 물리적 거리 그리고 가입자 수를 반영한 정확한 시뮬레이션을 수행하여 이의 결과를 망 설계에 반영하면 효율적인 망을 구성할 수 있다.

5. 결론

본 논문에는 IPOW에 기반 하여 광 파장을 정보를 이용해서 라우팅 하는 광 액세스 네트워크의 구조설계에 대한 새로운 방법을 제안하였다. 이 방법을 이용하면 사용자요구에 따른 대역폭을 할당할 수 있고 또한 파장정보를 이용하여 라우팅하기 때문에 가입자 정보를 다단계 스위칭/라우팅 과정을 거치지 않고 직접 전송 백본과 바로 연동할 수 있는 시스템 기술이기 때문에 고가의 전송 장비 등을 필요로 하지 않는다. 이러한 네트워크 구축을 위한 첫 단계로서 시뮬레이션을 통하여 가입자망의 노드 끝단에서 BER 특성을 분석하였는데 네트워크의 서브 링에 물려있는 노드간의 거리 제약이 있음을 확인할 수 있었다. 실제적인 네트워크 설계 시에는 이러한 사항을 충분히 고려하여야하고 가입자 수가 많은 경우에는 증폭기 등을 사용하여야한다. 광을 전송 매체로 사용하는 차세대 통신망의 설계에 있어서 상위 계층의 성능 지수는 망 전체의 효율성 및 경제적인 측면에 많은 영향을 미치게 된다. 또한 각 소자 및 시스템이 가지고 있는 각종 물리적 시스템의 성능 제한 요소도 물리계층의 전송 여부를 결정할 수 있는 중요한 고려 사항이기 때문에 다양한 기본적인 망 분석 자료가 필요하다. 이와 더불어 상위 계층의 다양한 프로토콜의 성능 및 파라미터의 검증도 전송망 자체에 대한 성능 및 신뢰도에 영향을 주기 때문에 이에 대한 내용도 망 설계 및 성능 평가에 있어 반드시 반영되어야 할 사항이다

References

[1] G. Li, and R. Simha, “On the Wavelength Assignment Problem in Multifiber WDM Star and Ring Networks”. IEEE Infocom, pp. 1771-1780, 3. 2000.
DOI: http://dx.doi.org/10.1109/INFCOM.2000.832577

[2] Ganesh C. Sankaran, Krishna M. Sivalingam, “ONU buffer reduction for power efficiency in Passive Optical Networks”. Optical Switching and Networking, Volume 10, Issue 4, pp.416-429, November 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.osn.2013.06.005

[3] Hui Cheng, Xingwei Wang, Shengxiang Yang, Min Huang, Jiannong Cao, “QoS multicast tree construction in IP/DWDM optical internet by bio-inspired algorithms”. Journal of Network and Computer Applications, Volume 33, Issue 4, pp. 512-522, July 2010.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2010.01.001

[4] Kristin Rauschenbach, Cesar Santivanez, “Convergence of IP and Optical Networking”, Optical Fiber Telecommunications (Sixth Edition), pp.709-746, 2013.

[5] Loukas Paraschis, “Advancements in Metro Regional and Core Transport Network Architectures for the Next-Generation Internet”, Optical Fiber Telecommunications (Sixth Edition), pp.793-817, 2013.

[6] M. Andrews and L. Zhang, “Wavelength assignment in optical networks with fixed fiber capacity”, 31th International Colloquium, ICALP, pp 134-145, 2004.

[7] Ning-Hai Bao, Le-Min Li, Hong-Fang Yu, Zhi-Zhong Zhang, Hong-Bin Luo, “Power-aware provisioning strategy with shared path protection in optical WDM networks”, Optical Fiber Technology, Volume 18, Issue 2, pp.81-87, March 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.yofte.2011.12.003

[8] Ramasamy Mariappan Jr., T. Ravi and R.S.D. Wahida Banu, “An Efficient Traffic Model for IP-over-WDM Networks with QoS Parameters”, The IUP Journal of Information Technology, Vol. VI, No. 3, pp. 31-42, September 2010

[9] Vincent W.S. Chan, “Novel Architectures for Streaming/ Routing in Optical Networks”, Optical Fiber Telecommunications (Sixth Edition), pp.819-852, 2013.

[10] Yongli Zhao, Xiaosong Yu, Yiming Yu, Jie Zhang, Lei

Wang, “Novel control plane framework and protocol extensions for Spectrum-Efficient Optical Transport Networks”, Optical Switching and Networking, Volume 10, Issue 3, pp.211-222, July 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.osn.2013.02.003

[11] Kim, Sun-Yeob, “An Analysis of Receiving Sensitivity of PIN Receiver for Optical Communication System”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Volume 12, Issue 5, pp.2272-2278, 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.5.2272

[12] Kwon, Yoon-Koo and Kim, Chang-Bong, “The Research on SMSR Yield Improvement of the Optical Transceiver Using Modulated DFB Laser”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Volume 12, Issue 5, pp.2285-2290, 2011.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.5.2285

이 상 화(Sang-Wha Lee) **[정회원]**

- 1994년 10월 : 도르트문트대학교 (컴퓨터공학석사)
- 1998년 11월 : 도르트문트대학교 (컴퓨터공학박사)
- 2000년 2월 ~ 2002년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2002년 9월 ~ 현재 : 서원대학교 정보통신공학과 교수
- 2008년 7월 ~ 2009년 6월 : 한국전자통신연구원 초빙연구원

<관심분야>
정보통신, 인공지능, 컴퓨터 네트워크, RFID/USN