

국사 광역화와 광코어 절감을 위한 파장분할다중 기반의 1기가급 수동 광가입자망 Reach Extender 효율 극대화 기술 개발

이규만¹, 권택원^{2*}

¹건양대학교 기업소프트웨어학부 교수, ²건양대학교 융합IT학과 교수

The Development of 1G-PON Reach Extender based on Wavelength Division Multiplexing for Reduction of Optical Core

Kyu-Man Lee¹, Taek-Won Kwon^{2*}

¹Professor, Department of Enterprise Software, Konyang University

²Professor, Department of Convergence Information Technology, Konyang University

요 약 인터넷을 비롯한 광대역 멀티미디어 수요가 폭발적으로 증가함에 따라 스마트폰, IPTV, VoIP, VOD, 클라우드 등의 새로운 서비스 등장으로 유발된 데이터 통신량의 폭주로 가입자망의 고도화가 통신 산업에서 가장 큰 이슈가 되고 있다. 본 연구에서는 파장분할다중방식(Wavelength Division Multiplexing, WDM) 수동형 광가입자망(Passive Optical Network, PON)의 국사 광역화와 광코어 절감을 위한 1기가급 Reach Extender(RE) 기술에 대한 개발을 시도하였다. 특히, 시장 경쟁력을 강화하기 위하여 광부품의 저가화와 소형화, 집적화, 소비 전력 폭주를 대처하기 위한 저전력화 등을 고려하였다. 또한, 기존 PON망에 RE 기술을 이용하여 전송 거리 확장 기술 개발 및 광선로의 용량 증가 기술 개발을 통한 신뢰성 기술, 원격관리 기술을 통합하여 일괄 시스템 개발을 완료하였다. 개발 시스템을 이용하여 기존 상용 1G PON 장비들과의 시스템 연동을 기반으로 개발 시스템을 이용한 국사 광역화와 광코어 절감을 이룬 것에 그 가치를 둘 수 있다. 본 연구를 기반으로 10G PON 기술 개발에 대한 연구를 진행 중이다.

주제어 : 수동형 광가입자, 파장분할다중방식, 광코어 절감, 국사 광역화, 중계 장치(Reach Extender)

Abstract As the demand for broadband multimedia including the Internet explosively increases, the advancement of the subscriber network is becoming the biggest issue in the telecommunication industry due to the surge of data traffic caused by the emergence of new services such as smart phone, IPTV, VoIP, VOD and cloud services. In this paper, we have developed WDM(Wavelength Division Multiplexing)-PON(passive optical network) based on the 1-Gigabit Reach Extender (RE) technique to reduce optical core. Particularly, in order to strengthen the market competitiveness, we considered low cost, miniaturization, integration technique, and low power of optical parts. In addition, we have developed a batch system by integrating all techniques for reliability, remote management through the development of transmission distance extension and development of capacity increase of optical line by using RE technology in existing PON network. Based on system interworking with existing commercial 1G PON devices, it can be worthy of achievement of wide nationalization and optical core reduction by using this developed system. Based on these results, we are studying development of 10G PON technology.

Key Words : PON(passive optical network), WDM(wavelength division multiplexing), Optical core reduction, Broadening national history, Reach Extender

*Corresponding Author : Taek-Won Kwon(twkwon@konyang.ac.kr)

Received May 27, 2019

Revised June 27, 2019

Accepted August 20, 2019

Published August 28, 2019

1. 서론

1.1 연구 필요성

각 가정에 초고속 인터넷 가입자의 수가 폭발적으로 증가하고, 단순한 인터넷 접속에서부터 고용량의 멀티미디어 데이터 서비스를 전달하는 서비스의 출현으로 사용자 계층에 따라서 다양한 대역폭의 수요가 발생한다. 현재는 수 백Mbps급의 가입자망을 수 기가 대역으로 확대하고 넓은 지역에 분포하고 있는 다양한 사용자의 요구에 따라 적절한 대역폭을 제공할 수 있는 가입자망 구축이 필요하다[1-3].

FTTH(Fiber-to-the-Home) 가입자망은 광섬유를 각 가정까지 직접 연결하여 다양하고 고도화된 융합서비스를 개인별 사용 대역폭을 쉽게 수용할 수 있는 방안이다. 그러나, FTTH를 구현하기 위해서는 일반 가정에 광케이블이 하나씩 할당되고 또 전화선 수만큼 광케이블이 CO(Central Office) 단자함에 설치되어야 하는데 이는 막대한 비용이 들기도 한다. 그래서 현재의 통신 네트워크는 1:N 통신을 위해서 데이터의 다중화(multiplexing) 또는 역다중화(demultiplexing)를 사용한다[4,5].

PON(Passive Optical Network) 기술은 광 분배 네트워크를 수동소자만으로 구성하고 트리 형태의 구조를 채용하여 FTTH 구축에 있어서 가장 현실적인 대안이며 설치 및 유지보수가 편리하여 광가입자망으로 널리 사용되고 있다[6]. PON 기술은 고속의 데이터 서비스를 가입자에게 제공하기 위한 기술로써, 광 회선 종단장치(OLT, Optical Line Terminal) 기술, 광망 종단장치(ONU, Optical Network Unit) 기술, 가입자망 링크 및 운용관리 기술 등을 포함한다. 대표적인 PON 기술로는 EPON(Ethernet PON), 10G EPON, GPON(Gigabit capable PON), XG-PON(10G capable PON) 기술이 있다[7,8].

EPON, GPON과 같은 TDMA (Time Division Multiple Access)-PON 방식은 전체 대역폭을 한 개 PON에 연결되기 때문에 분기하는 수에 비례하여 속도가 감소되지만 할당된 시간 동안 해당 대역 전체를 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 다양한 종류의 멀티미디어 서비스 및 4K VOD 서비스, 지상파의 UHD 서비스 등으로 인하여 Giga 인터넷 서비스를 제공하기 위해서는 더 많은 PON 장비와 광섬유들이 요구된다. 시간 도메인 방식의 TDMA 방식 대신 가입자별로 별도의 파장을 사용하는 WDM(Wavelength Division Multiplexing)-PON 방식이 새롭게 제안되고 상용화되고 있다[9].

2장에서는 WDM-PON 핵심 표준화 기술에 대해서 알아보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기존 PON 기술위에 Reach Extender 기술을 활용하여 최대 8배 이상의 용량 증설을 위한 하드웨어 구현 기술을 설명한다. 4장에서는 제안한 기술의 성능 평가에 대해서 설명하고 5장 결론에서는 제안한 방식을 활용하여 향후 10기가급 PON RE 상용화 기술 개발에 대해서 제안하고자 한다.

2. WDM vs PON 기술 특징

2.1 수동광네트워크 (Passive Optical Network, PON) 기술의 특징

PON은 네트워크의 양 끝 단말을 제외하고는 수동소자만으로 구성되어 있는 액세스 네트워크를 의미한다. 장거리 국간망에서는 각종 중계 노드 장치 중앙기지국(Control Office, CO)에 위치하기 때문에 전력 공급이 용이하여 관리가 수월하다는 장점이 있지만, 천 만명 이상의 가입자를 갖는 광대역 액세스 네트워크를 고려하면 전력공급과 관리 측면에서 불리하다. 기존의 home-run 네트워크는 한 가닥의 광섬유를 한 명의 가입자에게 P2P(peer-to-peer) 연결을 사용하였기 때문에 대규모 가입자를 수용하기에는 경제적으로 부적합했던 기술이었다. 이 단점을 해결하기 위하여 하나의 광섬유를 이용하여 32 가입자 이상을 수용할 수 있는 PON 기술이 개발되었고, 광케이블 비용이 기존 Home-run 방식대비 매우 우수하다[10].

2.2 WDM-PON vs TDM-PON 기술 비교

TDM 방식은 이미 널리 알려진 시간분할방식으로 CO에서 전체 가입자에게 신호를 전송하면 가입자 장치(Optical Network Terminal, ONT)에서 자신의 전송된 신호만을 선택해서 수신한다. 반대로 가입자가 CO로 전송하는 신호는 시간분할다중접속 방식으로 신호를 다중화하여 처리한다[11].

WDM 방식은 광섬유를 통해서 여러 파장의 광신호가 전달되는 방식이다. 개별 파장은 가입자와 1:1로 맵핑된 후, 32개의 다중화된 광 전송신호가 ONT에게 전달된다. 각 ONT는 다중화된 신호에서 자신의 신호만 분리하여 신호처리 후 사용된다. Table 1은 WDM과 PON 기술을 비교하였다[12].

Table 1. The comparisons of WDM-PON vs PON.

	WDM-PON	PON
Bandwidth Extension	Easy	Difficult
Secutiry	Easy	Difficult
Line Monitor	Easy	Difficult
Service Transparency	Easy	Difficult
Expansion	Easy	Not recomment due to slow network
ONT Malfunction Impact	No	Impact overall system
Technology Maturity	Need cost down	Mature

2.3 기존 PON 서비스 망 구조 개선의 필요성

현재 국내 초고속 인터넷 서비스 가입자 수는 약 2100만명 수준인 것으로 분석되고 있으며[12], 각 개인 및 가정에 최대 1Gbps 서비스를 제공하기 위해서 PON 방식을 가장 많이 활용하고 있다. Fig. 1은 국사에서 가정까지 연결되는 PON 서비스를 나타낸다. 지역 가까운 전화국사의 OLT(Optical Line Terminal)에서 아파트의 RN(Remote Node)를 거쳐서 각 가정의 ONT(Optical Network Unit)까지 광 케이블로 연결되어 있음을 보여준다[13].

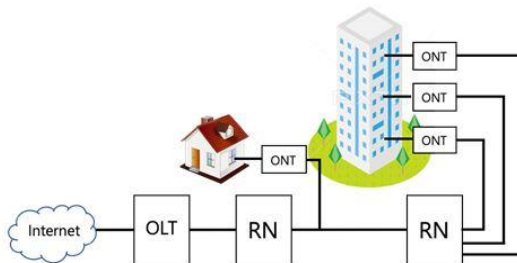


Fig. 1. The conventional PON service.

Fig. 2에서 기존 PON 서비스망은 OLT 1대당 80개의 광케이블이 RN과 1:1 구조로 연결되어 있고, 1개의 RN에서는 최대 64개의 ONT 수용이 가능하다. 결과적으로 OLT 한 대당 최대 5120명 가입자 수용이 최대이다. 통신사에서는 광케이블 절감 및 용량 증대, 전송거리의 확대와 지역 국사 축소 방안에 대한 필요성이 증대하고 있다.

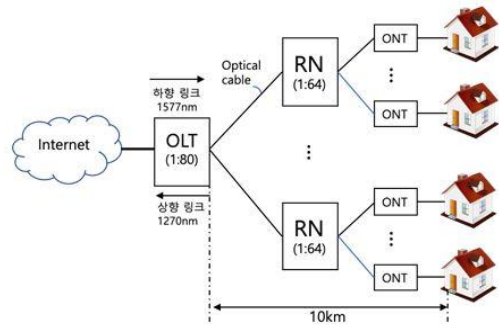


Fig. 2. The conventional PON architecture.

3. WDM Reach Extender를 이용한 전송거리 확장 시스템 개발 및 구현

3.1 멀티채널 WDM 다중화를 이용한 PON Reach Extender 기술

Fig. 3은 기존 PON 장치에서 사용되는 모든 장치간의 파장을 나타낸다. OLT에서 나오는 한 개의 광케이블에서 하향링크에는 1577nm, 상향링크에는 1270nm의 파장이 사용된다. 그리고 OLT와 1:1로 연결되어 있는 RN에서 ONT까지 동일 파장이 사용되고 있다[14].

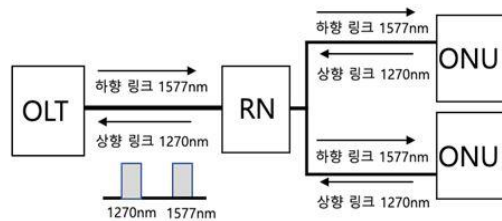


Fig. 3. The wavelength of the each optical cable in the up-link and down-link.

Fig. 4의 PON RE 장치는 OLT 광케이블의 출력에서 나오는 상향링크 1270nm의 파장은 COT(Central Office Terminal)에서 매우 정교한 광소자를 사용하여 1470nm, 1490nm, 1510nm, 1530nm, 1550nm, 1570nm, 1590nm, 1610nm 로 8개 파장으로 변환하여 Continuous-WDM 방식으로 전송한다. 하향링크 1577nm의 파장은 1270nm, 1290nm, 1310nm, 1330nm, 1350nm, 1370nm, 1390nm, 1410nm 파장으로 변환된다. 이 과정을 거치게 되면 광 신호가 전기신호로 변환되기 때문에 신호의 거리를 다시 증폭하여 재

송신 가능함으로 도달거리가 최대 50km 까지 늘어날 수 있다. 상하향 링크에 사용되는 8개의 파장분할방식은 FPGA에서 디지털 신호 처리 복원 기법을 적용하여 완벽하게 타이밍 복원된다[14].

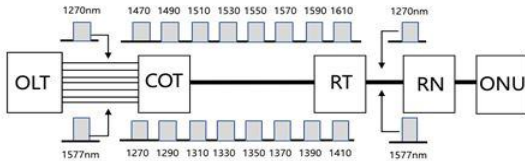


Fig. 4. The proposed WDM technology in COT and RT.

3.2 1G Ethernet-PON Reach Extender 하드웨어 시스템 개발 및 구현

기존의 Ethernet PON 시스템인 OLT와 ONT 사이에 COT과 RT가 추가되어 8배의 용량 확장과 50km의 전송거리를 보장하는 설계이다. Fig. 5는 1G Ethernet PON Reach Extender 시스템 설계를 나타내며, 다음과 같은 사항이 고려되었다[15].

- 기존 OLT와 ONT간의 거리는 20km 이하로 구성
- 50km 확장시 OLT에서 latency 재 설정이 필요함
- OLT와 COT간은 continuous mode로 셋팅이 필요함
- COT는 PON과 WDM의 인터페이스 변환 역할
- RT는 인터페이스 변환 및 retiming, BCDR 역할 등이 필요함
- COT와 RT의 관리 범위에 대한 정의가 필요함
- 광분기는 광가입자 개념과 혼용 될 수 있음

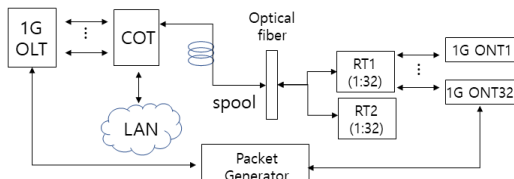


Fig. 5. The overall system diagram of 1G-Ethernet PON Reach Extender.

3.2.1 COT 상세 블록 설계 및 구현

COT의 역할을 ONU PON 광모듈과 WDM 광모듈이 1:1로 인터페이스하고 간이 망 관리 프로토콜(Simple Network Management Protocol, SNMP)과 보드 관리를 담당하는 프로세서는 I2C로 전체 광모듈을 관리한

다. Fig. 6은 COT블록의 상세 블록을 나타낸다. ONU PON 광모듈, 파장별 WDM 광모듈, SNMP 및 보드 관리를 위한 AT91SAM7X256 칩과 광모듈의 I2C 인터페이스 스위칭을 위한 PCA9548칩, 외부 USB 및 이더넷 인터페이스로 구성되고, 보드 1매당 4파장의 WDM을 수용한다. Fig. 7은 Fig. 6의 COT 상세 블록도를 기반으로 개발한 COT 하드웨어 모듈이다.

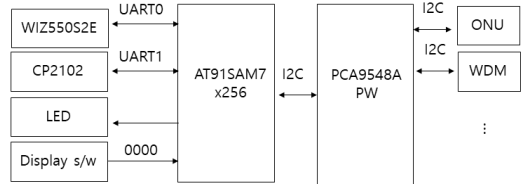


Fig. 6. The detail block diagram of COT in the proposed 1G-Ethernet PON Reach Extender.

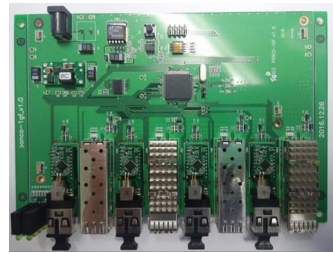


Fig. 7. The hardware implementation of COT based on the Fig. 6.

3.2.2 RT 상세 블록 설계 및 구현

Fig. 8은 RT의 상세 블록도를 나타낸다. 패킷 재조립 및 타이밍을 맞춰주는 Field Programmable Gate Array (FPGA)를 사용하며 COT를 위하여 유사한 칩 구성으로 설계되었다. RT 1개당 2파장의 WDM을 수용할 수 있게 설계하였다. Fig. 9는 Fig. 8을 기반으로 RT 모듈의 하드웨어를 직접 개발하여 구현한 것이다.

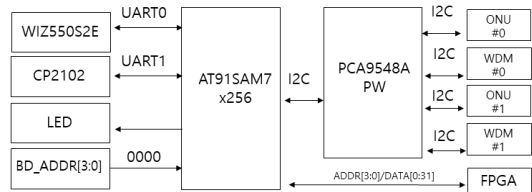


Fig. 8. The detail block diagram of RT in the proposed 1G-Ethernet PON Reach Extender.

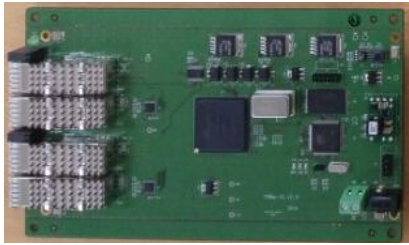


Fig. 9. The hardware implementation of RT based on the Fig. 8.

3.3 1G Ethernet-PON COT/RT 운영을 위한 소프트웨어 시스템 개발 및 구현

Fig. 10은 전체 COT/RT 운영에 대한 서버 구조 설계를 나타낸다. 전체 서버 구조는 크게 관제서버, Web서버로 구성되어 있다. 관제서버는 COT/RT에 대한 상태정보 및 알람정보, 포트정보에 대한 제어를 주 목적으로 하며 Web서버를 통해서 운영된다.

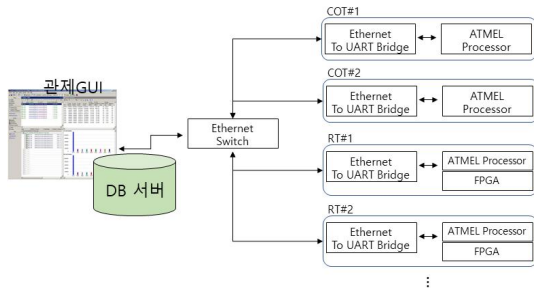


Fig. 10. The overall software architecture for COR/RT operation.

COT/RT 하드웨어로부터 상태정보, 포트 정보를 수신하기 위하여 TCP/IP 인터페이스를 이용하여 데이터를 수신하고 사전 정의된 메시지를 데이터베이스에 저장한다.

4. 연동 시험 환경 구축과 성능 테스트

4.1 시스템 연동 시험환경 구축

1G Ethernet PON 시스템 연동 시험환경 구축을 위해서 1G OLT 설계 및 제작을 진행하였다. Fig. 11은 개발 시스템의 연동시험을 위하여 구축한 1G Ethernet PON의 개념도이다. 이를 바탕으로 Fig. 12와 같이 하드웨어로 전체 연동 시험환경을 구축하였다.

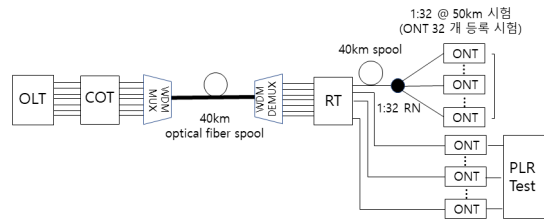


Fig. 11. The test environment blockdiagram for 1G Ethernet PON.

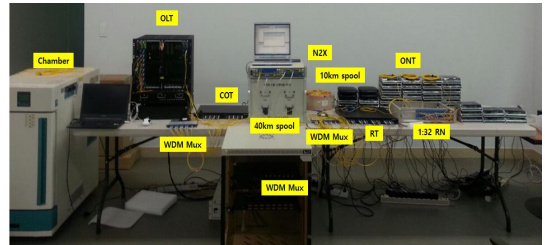


Fig. 12. The test environment for 1G Ethernet PON.

4.2 공인시험기관 테스트 결과

개발한 시스템의 성능을 평가하기 위하여 공인시험기관에서 성능테스트를 진행하였다[16]. Table 2는 개발 시스템의 성능 테스트의 요약을 나타낸다.

Table 2. The Performance Test Summary.

	Test Item	Test Result
Integration Test	1:32@50km Test	Pass
	Packet Loss Rate Test	Pass
	WDM Channel Test	Pass
Environmental test	Temp. & Humid. Test	Pass

항목별 세부 테스트 내용과 평가 기준, 테스트 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Detail quantitative evaluation test.

Test. 1	1:32 branch at 50km link
Test description	When PON Reach Extender is applied between OLT and ONU to construct 40km link with WDM technology in feeder section and 10km link and 1:32 branch splitter in ODN section, normal registration confirmation for 32 ONUs
Criteria	Whether normal registration of 32 ONTs
Result	Pass

Test. 2	Packet Loss Rate(PLR) test
Test description	When PON Reach Extender is applied between OLT and ONT, it is verified that the PLR is less than 10-10 when verifying with a packet analyzer at a transmission distance of 50 km
Criteria	PLR < 10-10
Result	Pass
Test. 3	WDM channel test
Test description	After configuring 8 WDM links between COT and RT in PON, ONT normal registration confirmation for each link
Criteria	Whether or not the ONTs of the RT 8 ports are normally registered
Result	Pass
Test. 4	Temperature and Humidity Test
Test description	COT and RT normal operation when applying 12-hour temperature cycle to COT and RT
Criteria	Packet error occurs at 50km transmission distance, PLR < 10-10
Result	Pass

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 WDM PON망의 국사 광역화와 광코어 질감을 위해서 기존 1G PON 방식에서 Reach Extender 기술을 활용하여 최대 8배까지 수용 가입자망을 늘리는 기술을 개발 완료하고 시험 테스트를 통과하였다.

고속 인터넷을 원하는 더 많은 가입자들의 수용을 위하여 광부품의 저가화, 소형화, 집적화등을 고려하였다. 또한, 기존 PON망에서 Reach Extender 기술을 집적하여 상향/하향링크별 각각 1개씩의 파장을 사용하는 대신 8개의 개별 파장으로 분리하여 이를 전기신호를 변환하여 다중화하는 방식을 구현하였다. 이를 통해서 신호의 복원 및 증폭이 가능하여 전송거리가 2배 이상 확장되고, 광선로의 용량이 8배 증가하게 되었다. 개발된 시스템의 성능과 기술의 신뢰성을 확보하기 위하여 공식 시험 테스트 베드를 구현하여 원격관리 기술 및 일괄 시스템 개발의 검증에 이루었다.

이 개발의 결과물으로써 50km 전송거리에서 32분기가 가능하고 8개의 WDM 채널 수용이 가능한 COT 및 RT 개발을 완료하였다. 기존 상용 1G EPON 장비들과의 시스템 연동 관리 소프트웨어를 개발하여 하드웨어 시스템과 통합하였다.

본 기술의 개발을 통하여 국사 광역화와 광 회선 질감을 통하여 효율적인 망 자원 구성 및 관리가 가능하도록 하였다. 또한, 가입자 회선 단가 절감을 통한 국내 FTTH

시장의 확대가 예상된다.

추후 연구로는 본 연구에서 개발한 1G PON Reach Extender 시스템을 기반으로 10G PON Reach Extender 기술 개발을 목표로 한다.

REFERENCES

- [1] H. H. Lee, S. H. Cho, J. H. Lee, S. I. Myong, & S. S. Lee. (2012). Recent Trends on Technology and Standardization of Next-Generation Optical Access Networks. *2012 Electronics and Telecommunications Trends, 27(2)*, 89-98.
- [2] H. H. Lee, S. S. Lee & J. H. Lee. (2012). Recent Trends for Next Generation Optical Access Networks. *2012 Electronics and Telecommunications Trends, 27(3)*, 168-178.
- [3] IITP. (2018). Wired and wireless communication service subscription status, <https://www.iitp.kr>.
- [4] L. Kazovsky. (2011). *Broadband optical access networks: emerging technologies and optical-wireless convergence*. Hoboken : John Wiley & Sons
- [5] J. H. Park, G. Y. Kim, H. J. Park & J. H. Kim. (2008). FTTH Deployment Status & Strategy in Korea: GW-PON Based FTTH Field Trial and Reach Extension Strategy of FTTH in Korea. *In IEEE GLOBECOM 2008-2008 IEEE Global Telecommunications Conference*, (pp. 1-3). IEEE.
- [6] R. Róka. (2014). Analysis of Possible Exploitation for Long Reach Passive Optical Networks. *SIMULTECH 2014*, (pp. 195-202). IEEE.
- [7] D. Hood & E. Trojer. (2012). *Gigabit-capable passive optical networks*. John Wiley & Sons.
- [8] K. O. Kim, K. H. Doo, H. H. Lee, S. H. Kim, H. Park, J. Y. Oh & H. S. Chung. (2019). High Speed and Low Latency Passive Optical Network for 5G Wireless Systems. *Journal of Lightwave Technology, 37(12)*, 2873-2882.
- [9] F. An et al. (2013). SUCCESS-HPON : A Next-Generation Optical Access Architecture for Smooth Migration from TDM-PON to WDM-PON. *IEEE Communications Magazine, 43(11)*, S40-S47
- [10] M. E. Abdalla, S. M. Idrus & A. B. Mohammad. (2013). Hybrid TDM-WDM 10G-PON for high scalability next generation PON. *ICIEA 2013*, (pp. 1448-1450). IEEE.
- [11] Y. C. Chung. (2013). High-speed coherent WDM PON for next-generation access network. *ICTON 2013*, (pp. 1-4). IEEE.
- [12] J. D. Park, E. S. Jung, B. K. Kim, T. Y. Kim, J. J. Yoo, B. W. Kim & B. T. Kim. (2004). Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network Technology. *Electronics and Telecommunications Trends, 19(6)*,

43-54.

- [13] G. Kramer, B. Mukherjee & A. Maislos. (2008). *Ethernet Passive Optical Networks*. McGraw-Hill
- [14] K. KwangOk & C. HwanSeok, (2015). Performance analysis by burst overhead length in symmetric-rate 10G-EPON reach extender. *ICTC 2015*, (pp. 1163-1166). IEEE.
- [15] E. Karasan & E. Ayanoglu. (1998). *Performance of WDM transport networks*. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 16, 1081-1096.
- [16] ETRI. (2005). *ETRI Technical Evaluation Team MIC, FG-2005-03-18*.

이 규 만(Kyu-Man Lee)

장학원



- 2001년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (박사수료)
- 2001년 3월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 S.LSI 사업부 무선 모듈 개발팀
- 2015년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 창의 융합대학 기업소프트웨어학부 교수
- 관심분야 : 재난 및 무선 ICT 융합

· E-Mail : kmlee@konyang.ac.kr

권 택 원(Taek-Won Kwon)

장학원



- 2004년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학박사
- 2004년 2월 ~ 2015년 10월 : 삼성전자 S.LSI 사업부
- 2015년 11월 ~ 현재 : 건양대학교 창의 융합대학 융합IT학과 교수
- 관심분야 : 고집적회로설계

· E-Mail : twkwon@konyang.ac.kr