

논문 2016-53-11-1

Multi Carrier Generation Module을 이용한 10 GbE 광전송 시스템 설계

(Design of 10 GbE Optical Communication System Using
Multi Carrier Generation Module)

김 형 환*, 강 은 균**

(Hyung Hwan Kim and Eun Kyun Kang[©])

요 약

해외에서 수행된 연구를 참고하여 다중 캐리어 생성 모듈(MCGM)을 설계하였다. 다중 캐리어 생성 모듈(MCGM)을 이용하여 32개의 레이저 다이오드(LD)로 12.5 GHz 간격의 256개의 광 채널을 생성하고, 생성한 광 채널을 12.4Gbps로 변조 후 recirculating loop를 이용해 최대 1000km를 전송하여 생성한 광 채널의 성능을 확인 하였다. 실험 결과 LD에서 출력되는 광 채널의 파장에서 멀리 떨어진 채널은 노이즈 영향을 크게 받음을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we design to generate 12.5 GHz spaced 256 number of multi-carrier generation module using 32 laser diodes. We modulate the generated multi-carrier generation module by 12.4 Gbps, and confirm the performance of optical channels passing through recirculating loop up to 1000km distance. An experimental result shows that the carrier away from the laser diode is significantly influence by noise effect.

Keywords : Fiber optics communications, Fiber optics components, high power RF amplifier

I. 서 론

사물인터넷의 보급에 따라 다수의 가전제품에서 인터넷 접속이 가능하게 되었고, 인터넷을 통해 방송되는 영상의 해상도와 크기 또한 비약적으로 증가하였다. 이러한 변화는 대역폭소비와 인터넷 트래픽을 급격히 증가시키고, 이를 해결하기 위해 일부 지역에만 보급되던 광통신이 대도시(Metropolitan)로 확대되어 건물과 건

물, 혹은 가정집(fiber to the home)으로 점차 확대되어 보급되고 있다^[1].

하지만 초기 광통신 시스템을 구성하기 위해서는 많은 비용이 필요하며, 그중 광원 구성비용이 전체 비용에 큰 비중을 차지한다. 장거리 전송 특성이 유리한 SMF(single mode fiber) 광통신에서 사용되는 C-band (1530-1565nm) 레이저 다이오드(laser diode, LD)는 온 라인 마켓을 통해 500 \$ 선에 거래되고 있으며, 이러한 LD는 온도 변화에 따라 출력 광 파장이 변화하기 때문에 내부 서미스터를 통해 온도를 측정하여 펠티어(Peltie) 소자로 온도를 일정하게 유지시킨다. 또한 출력되는 intensity를 포토다이오드(photodiode)로 측정하여 출력 광원의 intensity가 일정하도록 컨트롤 하며, 이러한 LD를 사용하기 위해서는 정교한 드라이브 회로가 필요하며, 이러한 설비를 추가하면 광통신 설비의 초기

* 정회원, 광운대학교 전자공학과 (Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University)

** 정회원, 동양미래대학교 정보통신과 (Department of Information and Communication Engineering, Dongyang Mirae University)

[©] Corresponding Author (E-mail : kangok33@dongtang.ac.kr)

Received ; August 10, 2016 Revised ; October 13, 2016

Accepted ; October 18, 2016

구성비용은 더욱 증가되게 된다.

광통신 시스템에 사용되는 광원의 비용을 줄이기 위해 국내외에서 연구되고 있는 방법은, 예르븀 첨가 광섬유 증폭기(erbium-doped fiber amplifier, EDFA)에서 생성되는 자연 증폭 방출(amplified spontaneous emission, ASE)광원을 필터를 이용하여 파장 별로 나누어 광통신 시스템의 광원으로 사용하는 spectrum slice channel과 하나의 LD 파장을 되먹임 회로를 구성하여 다수의 채널을 생성하는 방법 등의 방법들이 연구되고 있다. 이러한 방식으로 생성한 광 채널은 광원에 많은 노이즈가 있기 때문에, 고속변조를 사용하는 시스템에 사용하기는 어려움이 있다.

본 논문에서는 상대적으로 적은 노이즈의 광 채널을 생성 할 수 있는 다중캐리어생성모듈(multi carrier generation module, MCGM)을 구성하여 WDM-PON (wavelength division multiplexing - passive optical network) 시스템에^[2-3] 상향(upstream)방향으로 최대 전송거리를 확인 하였다. 이러한 다중캐리어생성모듈의 연구는 국내외에서 진행 중이며, 다른 연구에서 구성한 다중캐리어생성모듈은, 사용되는 광변조기가 다르기 때문에 광변조기의 특성에 따라 인가해주는 RF신호의 파워, 위상이 차이 나게 된다. 이러한 이유로 다중캐리어생성모듈을 구성하는 방식에 따라 생성되는 멀티 캐리어의 안정성은 크게 차이 나게 된다. 본 논문에서 구성한 다중캐리어생성모듈은 MZM(Mach-Zehnder intensity modulator)와 PM(phase modulator)의 직렬 구성과 I/Q(in-phase /quadrature modulator)의 구성으로, 하나의 다중캐리어생성모듈을 구성하게 된다.

II. 본 론

1. 모듈의 기본 구성

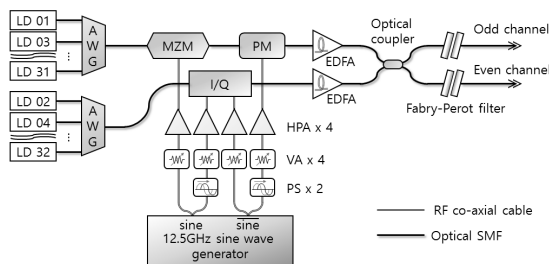


그림 1. 다중캐리어생성모듈 구성
Fig. 1. multi carrier generation module setup.

구성한 다중캐리어생성모듈의 전체적인 구성은 그림 1과 같으며, 구성한 다중캐리어생성모듈에서 멀티 캐리

어를 생성하는데 기본적인 광원이 필요하다. 이때 사용되는 광원은 만들어질 다중캐리어의 노이즈에 영향을 끼치기 때문에 궤환형 레이저 다이오드(distributed feedback - laser diode, DFB-LD)에서 생성된 광원을 입력하였다^[13]. 구성된 다중캐리어생성모듈에는 32개의 DFB-LD가 사용되며, DFB-LD는 홀수와 짝수 채널을 나누어 두개의 200-GHz 간격의 배열형도파로격자(arrayed waveguide grating, AWG)를 이용하여 커플링 된다^[4]. 모듈에 DFB-LD를 입력하여 생성된 광원을 다시 필터링하여 12.5-GHz 간격의 256개의 다중 캐리어가 생성된다.

2. 다중캐리어생성모듈에 사용된 변조기의 구조

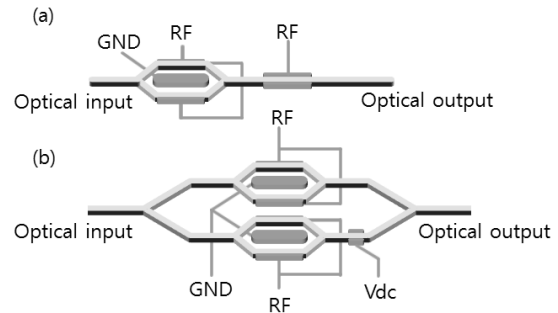


그림 2. 변조기 내부 구성도. (a) MZM, PM (b) I/Q
Fig. 2. Configure the internal modulator.

홀수는 MZM(Mach-Zehnder intensity modulator)와 PM(phase modulator)의 직렬 구성에 입력되고, 짝수는 I/Q(in-phase /quadrature modulator) 단일 구성에 입력된다. 구성된 회로에는 4개 DC Bias-T가 사용되며, 다중캐리어생성모듈에 사용된 변조기의 구조는 그림 2 같다.

3. 고출력 RF 증폭기의 구성

다중캐리어생성모듈 내부의 변조기에 입력되는 RF 신호는 정현파 생성기(12.5 GHz sine wave generator)에서 생성된 신호를^[14] 고출력 RF 증폭기(high power RF amplifier, HPA)를 이용하여 증폭하여 입력된다. 입력되는 RF 신호의 파워는 39.5 dBm이며, 사용된 고출력 RF 증폭기는 3개의 증폭기로 구성되어 있다. 정현파 생성기에서 생성된 RF신호의 파워는 17 dBm이며, 사영된 고출력 RF 증폭기를 구성하는 증폭기 순서는 다음과 같다. 첫 번째 증폭기는 HMC965LP5E로 구성되어 있으며 32 dBm까지 증폭하며, 이후 두 번째 증폭기인 TIM1112-4로 입력된다. 두 번째 증폭기에서는 36.5

dBm까지 RF 신호를 증폭하며, 이를 세 번째 증폭기에 입력하여 39.5dbm의 출력을 얻을 수 있다^[7]. 세 번째 증폭기는 TIM112-8로 구성하였다. 구성된 RF 증폭기와 다중캐리어생성모듈의 모습은 그림 3과 같이 같다.

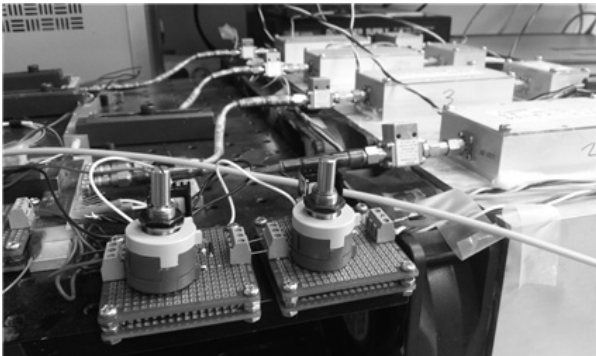


그림 3. 구성된 고출력 RF 증폭기와 다중캐리어생성모듈 광변조기

Fig. 3. high power RF amplifier setup and optical modulator used in the MCGM.

4. 생성된 캐리어의 채널간 intensity차이

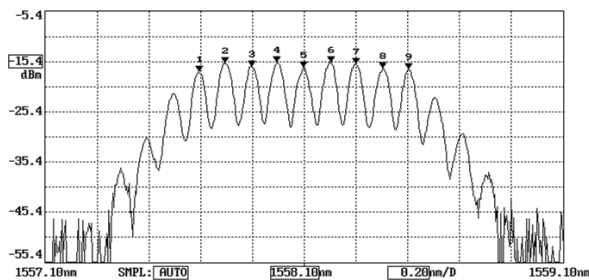


그림 4. I/Q 변조기로 구성한 다중 캐리어 생성기
Fig. 4. generated multi carriers using I/Q modulator.

그림 4는 다중캐리어생성모듈 내부의 I/Q modulator에서 생성되는 멀티캐리어를 광 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer, OSA)를 이용하여 확인한 것이다. 다중캐리어생성모듈에서 생성되는 멀티 캐리어의 채널간 intensity차이는 1 dB 이하이며, 채널간 intensity를 균일하게 유지하기 위해서는 환경적 요소를 안정적이게 유지시켜 주어야만 한다. 대표적인 환경적 요소는 coaxial cable과 광변조기의 온도 변화나, 모듈에 진동이 발생하여 변화하는 임피던스가 있다. 변화한 임피던스는 입력되는 RF 신호의 위상과 파워를 변화시켜 생성되는 멀티 캐리어의 채널간 intensity를 변하게 만든다. 이러한 요소는 구성된 다중캐리어생성모듈에 큰 영향을 끼치며, 이러한 변화를 즉각적으로 수정하기 위해서 고

출력 RF 증폭기로 입력되는 RF신호에는 가변 감쇠기(variable attenuator, VA)와 위상 시프터(phase shifter, PS)를 사용하여 수정한다. 고출력 RF 증폭기에서 출력된 신호는 이동하는 거리를 최소화 하여 진동과 열 변화를 최소화 하였다^[8].

5. 생성된 캐리어의 증폭과 필터링

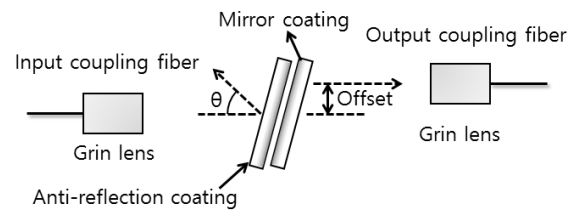


그림 5. 파브리-페로 필터 구성
Fig. 5. Fabry-Perot filter setup.

입력 광원의 intensity는 생성된 멀티캐리어의 수만큼 분배되기 때문에 에르븀 첨가 광섬유 증폭기(erbium-doped fiber amplifier, EDFA)로 멀티캐리어를 증폭한다. 이때 12.5-GHz간격으로 홀수 짝수채널이 나뉘지기 전이기 때문에, 증폭된 멀티캐리어를 광 커플러(optical coupler)에 입력하여 결합(coupling)한다. 결합된 멀티캐리어는 2개의 25-GHz 간격 필터링이 가능한 파브리-페로(Fabry-Perot, FP) 여과기(filter)를 사용하여 25-GHz 간격의 홀수 채널과 짝수 채널을 분리하였다^[9]. 사용된 파브리-페로 여과기의 구성은 그림 5와 같다. 파브리-페로 여과기는 offset과 각도를 변경하여 필터링 간격과 예리함을 변화 할 수 있다.

이와 같이 홀수와 짝수 채널을 분리하는 이유는 생성되는 멀티캐리어 모두 변조하여 전송하면 멀티캐리어의 수만큼의 변조기가 필요하기 때문에 홀수와 짝수 채널을 나누어 각기 변조하여 멀티캐리어의 채널간 간섭과 optical dispersion효과를 확인하였다.

III. 실험

1. 12.4 Gbps 변조

생성된 멀티캐리어를 장거리 전송하기 위해서 그림 6과 같이 구성하였다. 다중캐리어생성모듈에서 생성된 멀티캐리어는 파브리-페로 여과기를 통해 홀수 채널 짝수 채널이 서로 분리되고, 채널분리 과정의 손실(loss)을 보정하기 위하여 EDFA 증폭 후 광섬유편광조절기(polarization controller, PC)를 통해 편광을 조절하였다.

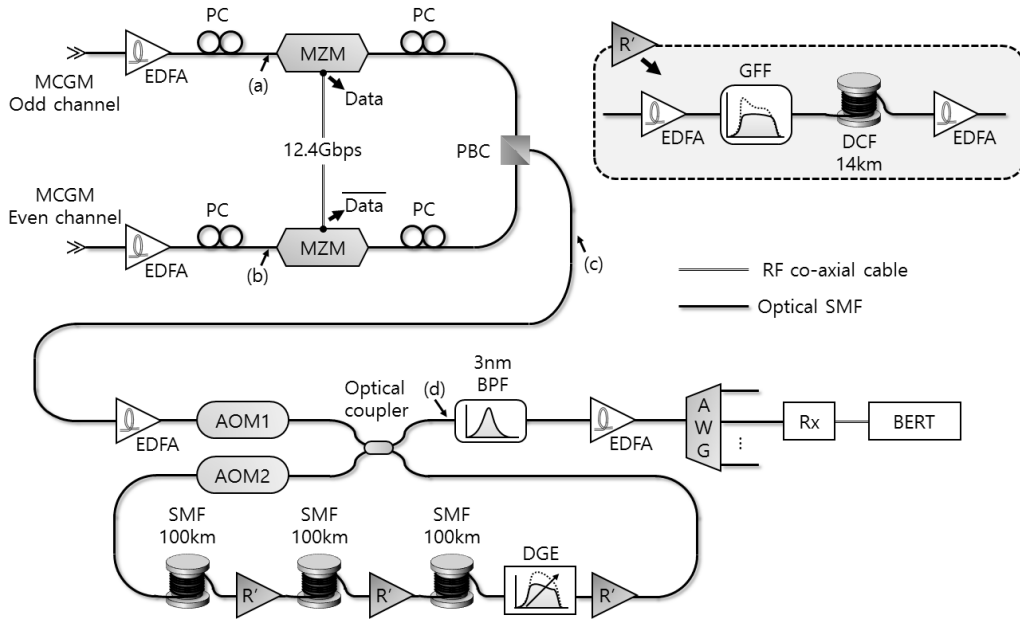


그림 6. 다중캐리어생성모듈을 이용한 전송 구성.
Fig. 6. Transmission setup of multi carrier generation module.

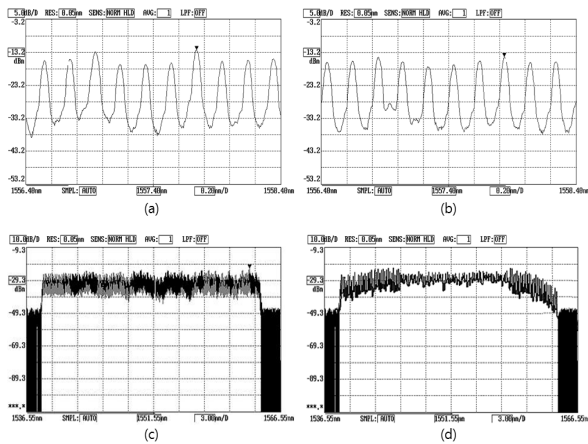


그림 7. 광 스펙트럼 분석기를 통해 확인한 광 스펙트럼.
(a) 다중캐리어생성모듈 홀수 채널, (b) 다중캐리어생성모듈 짝수 채널, (c) 전송전의 256 채널, (d) 1000km 전송후의 256채널
Fig. 7. Optical spectrum in each point identified in OSA.

편광이 조절된 채널은 광변조기로 입력되어 변조된다. 변조기로 입력되는 채널의 모습은 그림 7 와 같으며, 그림 7에서의 a, b, c, d의 위치는 그림 6에 표시되어 있다. 입력되는 홀수 채널은 그림 7 (a) 짝수 채널은 그림 7 (b)과 같다. 이는 광 스펙트럼 분석기(optical spectrum analyzer, OSA)를 이용하여 측정 하였으며, 광변조기로 변조되는 신호는 12.4Gbps이다^[11]. 광변조기로 변조된 광 채널을 광섬유편광조절기로 서로 수직한 방향으로

편광을 조절하여 PBC(polarization beam combiner, PBC)에 입력된다. PBC에서 편광이 수직으로 결합된 광 신호를 EDFA로 증폭 후 순환루프(Recirculating loop)로 입력된다. 순환루프에 입력되는 광 채널의 모습은 그림 7 (c)과 같다.

2. 순환 루프를 이용한 장거리 전송

실험에서 사용된 순환루프는 그림 8과 같이 구성되었으며, 음향 광학 변조기(acousto-optic modulator, AOM)를 통해 순환루프로 입력되는 광 신호와 출력되는 광 신호를 PPG(pulse pattern generator)의 동기신호에 맞추어 광원을 원하는 횟수만큼 광 신호를 순환시킬 수 있다^[12]. 이는 빛이 광섬유를 통과할 때 속도가 일정하기 때문에 전송하는 광섬유의 길이와 비례하는 시간을 입력하면 원하는 만큼을 순환 시키는 것이 가능하다.

구성한 순환루프구조는 100 km의 3개의 SMF로 구성되어 있으며, 100 km를 통과한 광 신호는 R'에 입력된다. R'에 입력된 광 신호는 EDFA를 통하여 증폭되며, 증폭된 광 신호는 파장별 증폭률을 보정하는 GFF (gain-flattening filter, GFF)를 사용하여 광 채널들의 intensity를 보정한다. 이후 장거리의 광섬유를 통과하여 분산되어 있는 광 신호의 채널을 분산 보정 광섬유 (dispersion compensating fiber, DCF)를 통해 보정된 다시 EDFA를 이용하여 증폭한다^[10].

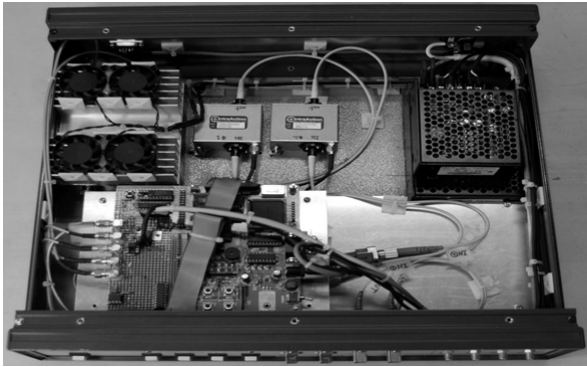


그림 8. 순환루프 구성
Fig. 8. recirculating loop setup.

순환루프는 100km SMF와 R'을 두 번 통과 후, 100km SMF(single mode fiber, SMF)를 통과 하여 DGE(dynamic gain equalizer, DGE)를 최종적으로 광 신호의 채널을 보정 후 R'로 입력되게 된다. 이러한 순환루프 한번을 끝내면 300km를 전송한 것과 같다^[2]. 순환루프를 이용해 장거리 전송을 마친 광 채널은 3nm BPF(band pass filter, BPF)와 AWG를 이용해 채널을 여과한다.

표 1. 각각의 거리에서 측정된 BER
Table1. Measured BER in each distance.

거리 파장	100 km	300 km	600 km	1000 km
1549.7 nm	2.30E-06	8.60E-04	6.70E-03	3.20E-02
1549.8 nm	1.50E-06	6.50E-04	1.70E-03	2.30E-02
1549.9 nm	3.40E-06	9.40E-04	4.80E-03	-

표 1은 대표 채널을 여과 후 BER(bit error rate, BER)을 측정된 것이다. LD에서 출력되는 기반 광원과 같은 파장인 1549.8 nm에서 멀어질수록 BER이 나빠짐을 확인 하였다.

IV. 결 론

MZM(Mach-Zehnder intensity modulator), PM(phase modulator), I/Q(in-phase/quadrature modulator)를 이용하여 멀티 캐리어 생성 모듈을 구성하였다. 이후 모듈에 32개의 DFB-LD광원을 입력하여 12.5-GHz 간격의 256개의 멀티 캐리어 생성을 성공 하였다.

생성된 광 채널은 순환 루프를 이용하여 1000km까지 전송하는데 성공 하였다. 전송결과 생성된 멀티 캐리어는 궤환형 레이저 다이오드(distributed feedback - laser

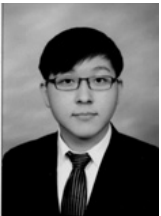
diode, DFB-LD)에서 출력되는 광원의 파장과 멀어질수록 노이즈의 영향을 받음을 알 수 있었다. 실험 결과 생성한 멀티캐리어는 도시와 도시를 연결하는 광 네트워크를 구성하는데 사용 할 수 있으며, 구성된 멀티 캐리어 생성 모듈과 광원은 하나의 시스템으로 제작 하여 광 네트워크를 구성하는 설비비용을 획기적으로 줄일 수 있다.

REFERENCES

- [1] Lam, Cedric F. "Fiber to the Home: Getting Beyond 10 Gb/s," Optics and Photonics News., Vol. 27.3, pp. 22-29, 2016.
- [2] Yamada, E., et al. "106 channel× 10 Gbit/s, 640 km DWDM transmission with 25 GHz spacing with supercontinuum multi-carrier source," Electronics Letters., Vol. 37.25, pp. 1, 2001.
- [3] Takara, Hidehiko. "Multiple optical carrier generation from a supercontinuum source," Optics and Photonics News., Vol. 13.3, pp. 48-51, 2002.
- [4] Manandhar, Dipen, et al. "25-GHz spaced spectrum-sliced WDM PON using 50-GHz AWGs," IEEE Photonics Technology Letters., Vol 27.13, pp. 1383-1386, 2015.
- [5] Li, Xinying, and Jianjun Yu. "W-band RoF transmission based on optical multi-carrier generation by cascading one directly-modulated DFB laser and one phase modulator," Optics Communications., Vol 345, pp. 80-85, 2015.
- [6] Fujiwara, Masamichi, et al. "Optical carrier supply module using flattened optical multicarrier generation based on sinusoidal amplitude and phase hybrid modulation," Journal of lightwave technology., Vol 21.11, pp. 2705-2714, 2003.
- [7] Cripps, Steve C. "RF power amplifiers for wireless communications," Artech House., 1999.
- [8] Healy, Tadhg, et al. "Multi-wavelength source using low drive-voltage amplitude modulators for optical communications," Optics express., Vol 15.6, pp. 2981-2986, 2007.
- [9] Batsuren, Budsuren, et al. "Optical VSB filtering of 12.5-GHz spaced 64×12.4 Gb/s WDM channels using a pair of Fabry-Perot filters," Journal of the Optical Society of Korea., Vol. 17.1, pp. 63-67, 2013.
- [10] Eggleton, Benjamin J., et al. "Electrically tunable power efficient dispersion compensating fiber Bragg grating," IEEE Photonics Technology Letters., Vol 11.7, pp. 854-856, 1999.
- [11] Seung-Jun Yang, Jaewoong Yeon, Hanho Lee.

- “High-Performance Low-Complexity Iterative BCH Decoder Architecture for 100 Gb/s Optical Communications,” Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 50(7), pp. 140-148, 2013.7.
- [12] Chae-Dong Lee, Woo-Seop Shin, Chan Gon Jo, Suk-Chan Kim. “Design and Implementation of the Integrated Communication System based on The Optical Network for The Naval Ship,” Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea-TC, Vol. 47(8), pp. 91-98, 2010.8.
- [13] Kyung Hyun Park, Jung Kee Lee, Jung Hee Hahn, Ho Sung Cho, Dong Hoon Jang, Chul Soon Park “Effects of the external optical feedback on the DFB-LD modules for 2.5 Gbps optical communication system,” Journal of the Korea institute of telematics and electronics-A, Vol. 33(7), pp. 1199-1212, 1996.
- [14] Sang-Heung Lee, Jin-Yeong Kang, ANDg-Ryeol Ryu. “Design of Multiplexer and Demultiplexer for Optical Communication System,” The Institute of Electronics Engineers of Korea - IE, Vol. 38(4), pp. 14-20, 2001.

 저 자 소 개



김 형 환(정회원)
 2011년 평생교육진흥원 전자공학과
 학사 졸업.
 2017년 광운대학교 전자공학과 박사
 졸업예정.
 <주관심분야: 광통신, 컴퓨터, 신호
 처리, 바이오>



강 은 균(정회원)
 1993년 호서대학교 제어계측공학과
 학사 졸업.
 1998년 광운대학교 전자공학과 석
 사 졸업.
 2013년 광운대학교 전자공학과 박
 사 졸업.
 2016년 동양미래대학 정보통신과 조교수
 <주관심분야: 무선통신, 컴퓨터, 신호처리>