

외부광잡음에 의한 실내외 가시광 무선통신 성능 변화 분석

준희원 양 세 훈*, 김 덕 래*, 정희원 김 현 승*, 손 용 환*, 한 상 국*^o

Performance Analysis of Indoor/Outdoor Visible Light Communication System Influenced by External Noise Light

Se-Hoon Yang*, Deok-Rae Kim* *Associate Members*,
Hyun-Seung Kim*, Yong-Hwan Son*, Sang-Kook Han*^o *Regular Members*

요 약

IM/DD 방식을 이용한 가시광 무선 통신의 성능 저하를 발생시키는 인공광과 태양광에 의한 잡음 레벨을 분석하였다. 통신 성능을 확인하기 위해 LED에 QPSK로 변조된 50ksymbol/sec의 신호를 2MHz의 부반송파에 전송하였으며 PD를 통해 수신된 신호의 EVM과 스펙트럼을 분석하였다. 또한 차광막을 이용하여 신호의 성능을 향상시켰으며 이를 통해 IM/DD방식으로 실외 가시광 통신이 가능함을 확인하였다.

Key Words : Visible Light Communication(VLC), LED, PD, IM/DD, 조도

ABSTRACT

We analyzed the noise effect from artificial light and sunlight on the signal performance in visible light communication systems based on Intensity Modulation/Direct Detection(IM/DD). System performance was experimentally demonstrated by transmitting 50ksymbol/s QPSK signals at 2MHz sub-carrier. And received signals were analyzed using EVM and RF spectrum. Finally, the system performance was improved by utilizing a visor and we confirm that the outdoor visible light communication was possible using IM/DD method.

I. 서 론

Light Emitting Diode(LED)는 기존의 조명 역할을 하던 형광등이나 백열전등에 비해 소모 전력이 적고, 수명이 길어 에너지 절감 효과가 높으며 수은을 사용하지 않아 친환경 조명으로 각광받고 있다. 뿐만 아니라 적색, 청색, 녹색 LED를 이용한 색채의 구현이 가능하여 감성조명으로써의 응용이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

이와 같은 LED 조명은 전기적 신호를 빛으로 변환하는 속도가 30~250ns 이하로 빠른 응답 속도를 가

지고 있어 가시광 통신에 유리하다^[1]. 이를 이용하여 실내, 외 환경에서 조명과 통신의 역할을 수행 하고자 하는 연구가 지속적으로 진행되고 있다^[2-4]. LED를 이용한 가시광 통신은 기존의 통신 수단과는 달리 빛을 사용하여 통신을 하기 때문에 주파수 허가에 대한 문제가 없으며 통신 경로를 직접 확인 가능하다는 점, 인체에 무해하다는 장점을 가지고 있다. 또한 전자파의 영향을 받게 되는 비행기 내부와 정밀 의료 장비가 사용되는 의료기관 등에서 역시 통신이 가능하게 하기 때문에 활용 범위가 매우 넓다.

지금까지의 LED를 이용한 실내 가시광 무선 통신

※ 본 연구는 방송통신위원회/한국방송통신전파진흥원 '방송통신기술개발사업' (No. 11911-01111)의 지원을 받아 수행됨

* 연세대학교 전기전자공학과 광대역전송네트웍 연구실(skhan@yonsei.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-08-353, 접수일자 : 2011년 8월 16일, 최종논문접수일자 : 2011년 11월 7일

은 광의 세기를 강약으로 변조하여 Photo Diode(PD)에서 직접 검출을 통해 신호를 확인하는 IM/DD 방식으로 연구가 진행되었다. Intensity Modulation / Direct Detection (IM/DD) 방식은 구현이 용이하며 간단하다는 장점을 가지기 때문에 가시광 통신에서 주로 사용되어 왔으며, 광원으로 LED만 존재하는 상황을 가정하여 모의실험 및 실험을 진행하고 있다^{2,3)}. 하지만 통신 환경에서는 태양광, 형광등 같은 다른 광원이 존재하며, 광의 세기를 검출하는 IM/DD 방식을 이용한 가시광 통신에서는 외부광을 고려해야 한다⁵⁾.

실외 환경의 경우 이미지 센서 및 영상처리 과정을 이용하여 Intelligent Transportation Systems (ITS) 등에 적용하려는 연구가 진행하고 있다⁴⁾. 이미지 센서 이용 시, 장거리 통신이 가능하나 전송 가능한 데이터의 양이 적고, 추가적인 영상처리 과정이 요구된다는 단점을 가진다.

따라서 본 논문에서는 송신단의 실내 가시광 무선 통신에서 LED이외에 인공광과 자연광이 동시에 존재하는 환경에서의 무선 통신 가능성 및 성능과 실외에서 직접 검출 방법을 사용하여 태양광 유무에 따른 전송 성능을 실험적으로 분석 하고자 한다.

II. 실험 내용 및 결과

IM/DD 방식은 외부 광원 성분이 필터링 되지 않을 경우 수신단에서 잡음 성분으로 작용하게 된다. 이러한 외부 광원에 의한 잡음 성분은 SNR (Signal-to-Noise Ratio)을 감소시키며 특히 큰 세기를 가지는 태양광의 경우 PD를 포화 시켜 신호 성분의 검출을 어렵게 하기 때문에 이에 대한 분석과 보전이 필요하다. 따라서 실험을 통해 문제점을 확인하고 LED이외의 인공광 성분과 태양광을 차단하였을 때 나타나는 성능 변화에 대해 확인하였다.

2.1 실험 환경

환경 변화에 따른 신호의 성능 분석을 하기 위해 서로 다른 2 x 2 LED를 사용하여 2MHz의 부반송파에 Quadrature Phase-Shift Keying(QPSK)로 변조된 50ksps의 동일한 신호를 전송하였으며 이를 PD를 통해 직접 검출의 형태로 수신 후 Trans-impedance Amplifier (TIA) 를 이용하여 증폭, 검출하였다. LED 이외의 광원이 존재하지 않는 암실 조건, 형광등만 존재하는 실내조명 조건, 태양광에 의한 채광 조건과 실외로 구분하여 진행하였다. 외부 광원 차단에 따른 성능 변화를 확인하기 위해 PD에 가로 및 세로 5cm, 높

이 7cm의 차광막을 사용하여 동일한 조건에서 실험을 반복하였다. 실험 환경을 요약하면 그림 1과 같다.

신호를 변조하는 과정에서 QPSK 방식을 사용한 이유는 신호의 형태에 관계없이 균등한 조도를 유지하기 위함이다. 일반적으로 사용되는 크기 변조 방식(AM)이 아닌 위상 변조 방식(PM)을 선택하여 신호의 형태에 관계없이 일정한 조도를 유지하여 조명으로써의 역할을 정상적으로 수행할 수 있도록 하였다.

먼저 신호 성분을 확인하기에 앞서 PD에서 수신되는 잡음 레벨을 확인하기 위해 서로 다른 환경에서 잡음 성분의 크기를 측정하였다. PD에서 수신된 잡음 성분을 RF spectrum analyzer를 통해 1~10MHz의 대역에서 resolution bandwidth를 10KHz 설정하여 확인하였다.

그림 2는 환경 변화에 따른 잡음 레벨을 나타낸다. 암실과 조도가 낮은 실내 공간에서는 PD에서 발생하는 잡음 성분이 -75dBm에서 -85dBm사이에서 분포하는 것을 확인할 수 있다. 태양광이 존재하는 경우 10MHz까지의 대역에서 10dB에서 20dB까지 잡음 성분이 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 실내 채광조건에서 차광막을 사용하는 경우 그림 2의 (b)와 같이 낮은 주파수 영역에서 -30dBm 까지 잡음 성분이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 4klux 이상의 높은 조도에서는 포화 현상에 의해 신호 검출이 불가능하기 때문에 태양광 성분의 차단을 위해 차광막이 필요하며, 포화 시 발생하는 잡음 레벨은 유사하게 나타나는 것을 확인하였다.

통신 성능을 향상시키기 위해 약 300lux에서 많은 잡음 성분이 발생하는 기저 대역을 피하고 회로의 응답 속도를 고려하여 2MHz를 부반송파로 사용하였으며 송신신호의 세기와 거리에 따른 성능 변화를 확인하였다. 먼저 신호를 전송하기 위해 사용된 LED module의 전송 거리에 따른 조도 분포를 확인하면 그림 3 과 같다. 조명의 세기가 송신 거리의 제곱에 반비례하는 형태로 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따라 신호의 세기 역시 감소한다. 따라서 전송 거

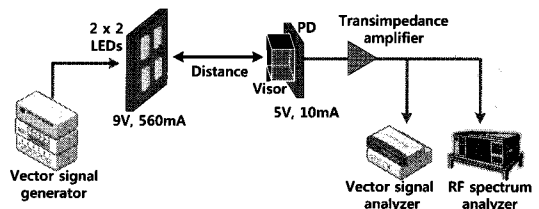


그림 1. 실험 구성도
Fig 1. Experimental setup

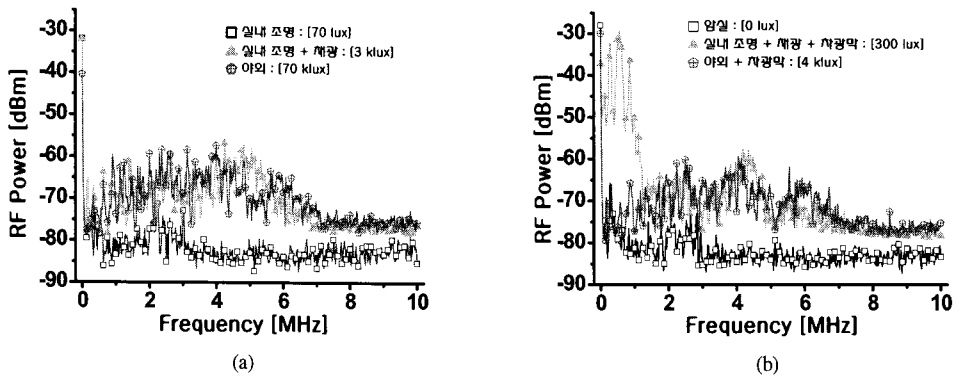


그림 2. 실험 환경에 따른 Noise level; (a) 차광막이 없는 경우 (b) 차광막이 있는 경우
Fig 2. Noise level by experimental environment; (a) without visor (b) with visor

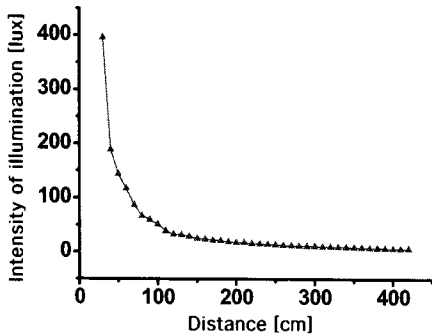


그림 3. 거리 변화에 따른 조도의 변화
Fig 3. The variation of illumination intensity by transmission distance

리가 증가할수록 수신되는 신호의 성능은 저하되며 이를 Vector Signal Analyzer (VSA)를 통해 확인하였다. 일반적인 무선 통신의 경우 Error Vector

Magnitude(EVM)가 33% 이하인 경우 통신이 가능하므로 수신된 신호의 EVM 값을 통해 통신 거리 및 환경에 따른 성능변화를 확인하였으며, 송신 신호 세기에 따른 비선형성을 확인하였다.^[6]

2.2 결과 및 분석

차광막이 존재하지 않는 경우, 태양광이 존재하는 실외에서는 EVM이 60% 이상의 값을 나타내어 통신이 불가능함을 확인하였다. 실내조명과 태양광에 의한 3klux의 조도를 가지는 경우, 수신된 신호의 성능과 스펙트럼은 그림 4와 같다.

송신 신호의 세기가 동일할 때, 전송 거리가 증가함에 따라 신호의 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있으며 RF spectrum 상으로도, 잡음 성분은 큰 차이가 없으나 2MHz의 수신된 신호 크기가 -51.65dBm에서 -63.33dBm까지 감소하는 것을 확인할 수 있다.

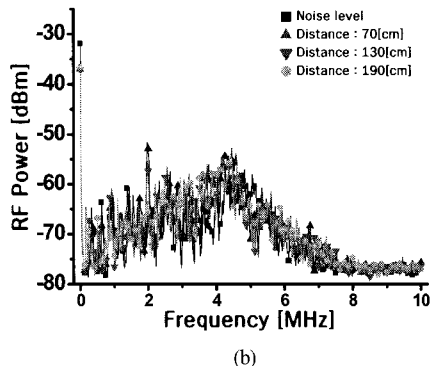
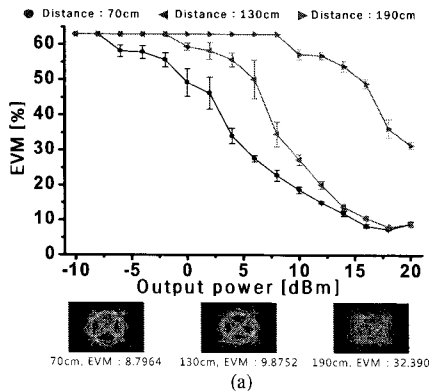


그림 4. 실내조명과 태양광에 의해 3klux의 조도를 가지는 경우 (a) 전송 거리 및 송신 신호의 세기에 따른 성능 변화 (b) 16dBm의 신호를 전송한 경우 거리에 따른 수신 RF spectrum
Fig 4. Intensity of illumination is 3klux by artificial and natural light (a) signal performance according to distance and output power (b) Received RF spectra when output power was 16dBm

실내조명 성분만 존재하는 경우, LED를 이용한 가시광 통신 성능을 그림 5를 통해 확인하면 다음과 같다. 태양광에 의해 조도가 증가한 경우와 비교 할 때, 잡음 성분이 10dBm에서 20dBm 가량 감소한 것을 확인할 수 있으며, 동일한 세기로 신호를 전송하였을 때 송신 거리가 증가함을 알 수 있다. 뿐만 아니라 거리가 190cm에서 400cm로 증가했음에도 불구하고 수신된 신호의 세기가 -58.78dBm으로 더 큰 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 PD에서 수신할 수 있는 광량이 제한되며, 높은 조도에서는 포화됨을알 수 있다. 따라서 신호 이외의 성분을 차단할 경우 통신 성능 개선이 가능하다.

따라서 높은 조도를 가지는 실외 조건과 실내조명 및 태양광 조건의 경우 수신단에 차광막을 설치하여 통신 성능을 향상 시킬 수 있음을 알 수 있다. 실내조

명만 있는 경우에서는 차광막 설치에 따른 성능 변화가 거의 없는 것을 확인하였으며, 실외 환경과 실내조명 및 태양광 조건의 경우 차광막을 사용하여 성능이 개선됨을 그림 6와 그림 7을 통하여 확인하였다.

차광막을 설치하지 않은 실외에서는 근거리에서도 통신이 불가능 했으나, 그림 6에서와 같이 차광막 설치를 통해 약 80cm 정도의 거리에서 20dBm의 신호를 전송하였으며 29.168%의 EVM을 확보하여 통신이 가능함을 확인하였다. 전송 거리를 증가시키기 위해서는 외부 광원 성분을 차단하고 신호 성분을 증가시키면 되므로 차광막 이외에 추가적인 필터와 신호 성분의 집광을 통해 실외에서 1m 이상의 거리에서 통신이 가능할 것으로 예상된다.

실내조명 및 태양광이 존재하는 경우, 20dBm의 신호를 전송할 때 32.390%의 EVM을 확보하여 190cm

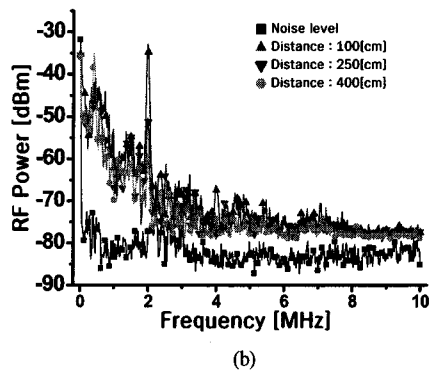
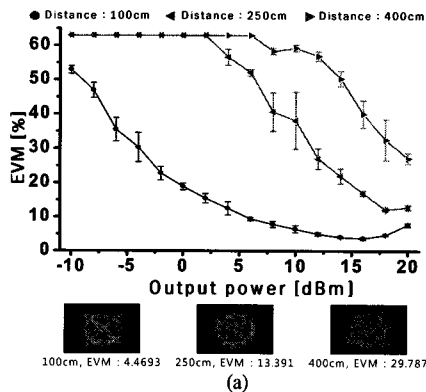


그림 5. 실내조명에 의해 70lux의 조도를 가지는 경우 (a) 전송 거리 및 송신 신호의 세기에 따른 성능 변화 (b) 16dBm의 신호를 전송한 경우 거리에 따른 수신 RF spectrum
Fig 5. Intensity of illumination is 70lux by artificial light (a) signal performance according to distance and output power (b) Received RF spectra when output power was 16dBm

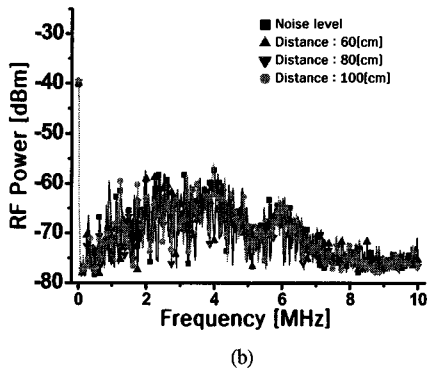
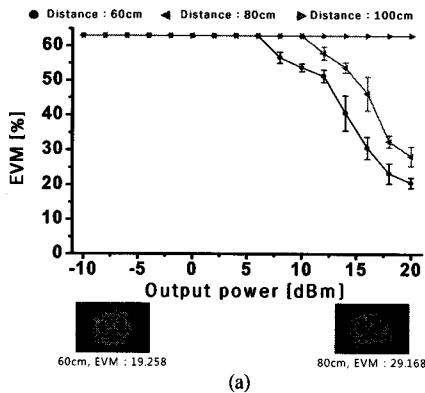


그림 6. 실외에서 차광막에 의해 4klux의 조도를 가지는 경우 (a) 전송 거리 및 송신 신호의 세기에 따른 성능 변화 (b) 16dBm의 신호를 전송한 경우 거리에 따른 수신 RF spectrum
Fig 6. Intensity of illumination is 4klux by natural light with visor (a) signal performance according to distance and output power (b) Received RF spectra when output power was 16dBm

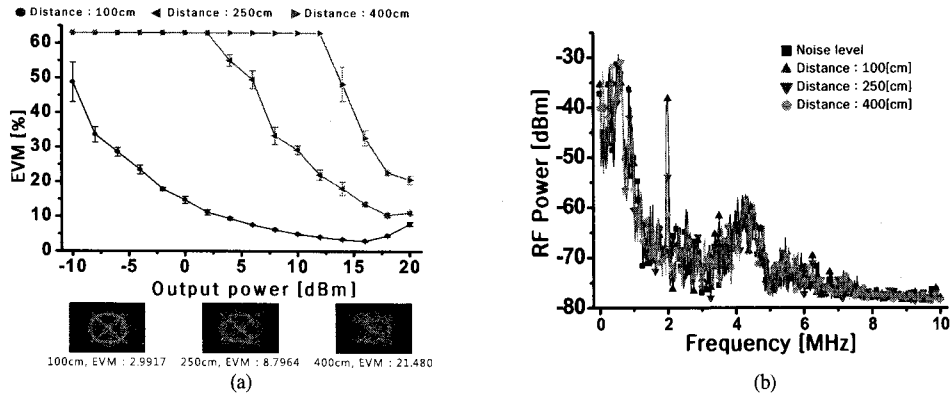


그림 7. 실내, 태양광 조건에서 차광막에 의해 300lux의 조도를 가지는 경우 (a) 전송 거리 및 송신 신호의 세기에 따른 성능 변화 (b) 16dBm의 신호를 전송한 경우 거리에 따른 수신 RF spectrum
 Fig 7. Intensity of illumination is 300lux by artificial and natural light with visor (a) signal performance according to distance and output power (b) Received RF spectra when output power was 16dBm

까지 통신이 가능함을 그림 4에서 확인하였으며, 차광막을 이용하여 인접 광원에서 발생하는 불필요한 신호 성분을 차단하는 경우 잡음 성분의 제거에 의해 4m까지 통신이 가능함을 검증하였다.

그림 7을 통해 알 수 있듯이 송신 신호 세기에 따른 성능 변화를 확인해 보면 16dBm 이상의 신호를 전송하는 경우, 근거리에서 성능이 열화되는 것을 확인할 수 있다. 이는 수신단의 TIA에서 신호의 왜곡이 발생하는 것을 의미한다. 상대적으로 원거리의 경우에는 전송 손실에 따른 신호의 세기가 감소하여 TIA의 선형 구간에서 동작하기 때문에 성능열화가 나타나지 않는다. 따라서 가장 양호한 통신 성능 확보가 가능한 16dBm에서 전송 거리에 따른 성능 변화를 확인하였으며 이를 그림 8에 나타내었다.

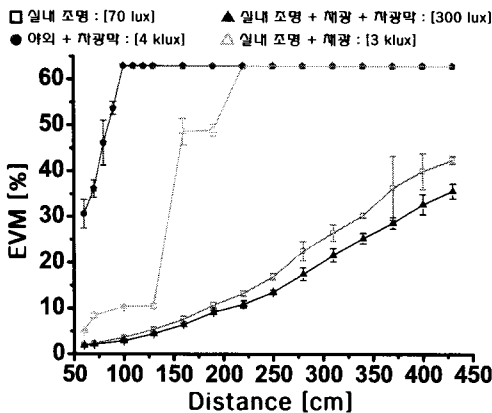


그림 8. 송신 신호의 세기가 16dBm인 경우, 전송 거리에 따른 신호 성능 변화
 Fig 8. The measured EVM values by the variation of transmission distance when output power was 16dBm

그림 8의 결과에서처럼 LED이외의 다른 조명 성분 또는 태양광 성분이 존재하는 경우 신호의 성능 저하가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 다른 광원에 의해 PD에서 잡음 성분이 발생하게 될 뿐만 아니라, PD의 포화 현상에 의해 상대적으로 검출 가능한 신호 성분의 크기가 감소함을 의미한다. 따라서 다른 광원으로부터 발생하는 조도 성분을 차단하고 집광을 통해 신호 성분을 증가 시킬 경우, 채광 조건뿐만 아니라 실외에서 역시 가시광 통신이 가능함을 확인하였다.

송신 신호 세기를 16dBm으로 설정하여 전송하는 경우 차광막의 유무에 따라 성능 변화가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며 상대적으로 높은 조도를 나타내더라도 차광막을 통해 외부로부터 입사되는 성분을 최대한 차단하는 것이 양호한 통신 성능을 확보하는데 유리하게 작용하는 것을 알 수 있다.

III. 결론

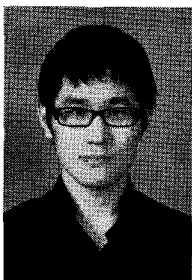
본 논문에서는 실내 조건에서 통신 광원인 LED만 존재하는 경우가 아닌 다른 인공광과 태양광이 존재하는 경우에 대한 실험을 진행하였으며, 그에 따른 잡음 성분을 분석하였다. 이를 통해 잡음 레벨이 낮은 2MHz에 부반송파를 이용하여 50ksps의 신호를 전송하여 통신이 가능함을 확인하였다. 또한 전송 성능 개선을 위해 수신단에 차광막을 사용하여 실외에서 통신이 가능하며, 실내 채광 조건에서 4m이상 통신이 가능함을 확인하였다. 본 논문의 결과로써 집광, 필터링 및 증폭 과정 등의 성능 개선을 통해 보다 넓은 분야에서 응용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 채근, "LED 응용 제품 개발 및 사례", *전력전자 학회지*, 14(3), pp. 36-40. 2009, Jun
- [2] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.50, No.1, pp.100-107, Feb. 2004.
- [3] R. Perez-Jimenez, J. Rufo, C. Quintana J. Rabadan and F.J. Lopez-Hernandez, "Visible Light Communication Systems for Passenger In-Flight Data Networking," *ICCE*, pp.445-446, Jan. 2011.
- [4] T. Hara, S. Iwasaki, T. Yendo, T. Fujii and M. Tanimoto, "A New Receiving System of Visible Light Communication for ITS," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium Istanbul, Turkey*, pp.474-479, June 13-15. 2007.
- [5] 전용일, 주무정, 박권철, "광대역 광무선 통신 기술 동향", *전자통신동향분석*, Vol.19, No.6 pp.13-23, 2004, Dec
- [6] Ramdane Chouitem, "EVM based AMC for an OFDM system," *Wireless Telecommunications Symposium*, April 21-23, 2010

양 세 훈 (Se-Hoon Yang)

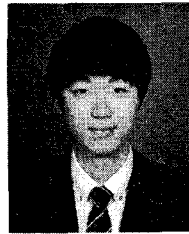
준회원



2010년 2월 연세대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)
 2010년 3월~현재 연세대학교 대학원 전기전자공학과 석·박사통합과정
 <관심분야> 가시광통신, 광통신, 광네트워크

김 덕 래 (Deok-Rae Kim)

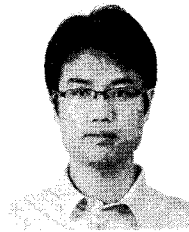
준회원



2011년 2월 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2011년 3월~현재 연세대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정
 <관심분야> 가시광통신, 광통신, 광통신네트워크

김 현 승 (Hyun-Seung Kim)

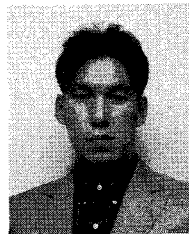
정회원



2007년 2월 연세대학교 전기전자공학과 졸업(공학사)
 2007년 3월~현재 연세대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정
 <관심분야> Radio over fiber, 가시광통신, optical OFDM, WDM-PON

손 용 환 (Yong-Hwan Son)

정회원



1999년 2월 호서대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2001년 2월 호서대학교 대학원 전자공과(공학석사)
 2008년 2월 호서대학교 대학원 전자공과(공학박사)
 2008년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 Post-Doc.

<관심분야> 가시광 무선통신, WDM 광통신, 집적광학

한 상 국 (Sang-Kook Han)

정회원



1986년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1988년 2월 University of Florida (공학석사)
 1994년 2월 University of Florida (공학박사)
 1996년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수

<관심분야> Optical communication device & system, Microwave Photonics, Optical access networks