

논문 2011-48SC-5-1

LED조명을 이용한 수중환경에서의 VLC 연구

(A Study on a Visible Light Communication using LED in Under-water Environment)

정 희 석*, 양 연 모*, 허 경 무**

(Hui-Sok Jung, Yeon-Mo Yang, and Kyung Moo Huh)

요 약

LED(Light Emitting Diode) 소자는 현대 기술의 발달로 형광등이나 전구보다 수명이 길고 전력소모가 작으며 제어가 쉽다는 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 LED 소자를 이용한 조명이 많이 사용되고 있다. 최근 LED 소자의 고속응답특성을 이용한 통신기법인 가시광통신(Visible Light Communication, 이하 VLC)이 주목받기 시작하였다. VLC의 경우 전파를 사용하지 않아 주파수 할당이 필요가 없으며, 데이터전송에 ISM(Industrial Scientific Medical band)과 같은 간섭 또한 존재하지 않는다. 그렇기 때문에 VLC에 관한 연구 결과가 많이 나오고 있다. 본 논문에서는 기존의 LED 조명을 사용한 VLC와 수중환경에서의 VLC에 대한 survey를 진행하고 활용방법을 살펴보았다.

Abstract

LED(Light Emitting Diode) components have advantages of longer lifetime, lower power consumption and easy-to-control, compare to normal lamp and fluorescent light, according to the development of recent technologies. Thus, lots of illuminations which utilize LED components could be used. Recently, Visible Light Communication(VLC) which is a part of communication technologies, utilizing high speed response characteristic of LED components, started receiving public attention. In case of VLC, there is no need of frequency allocation due to no use of radio, but also no interference exists during data transmission, much different in ISM(Industrial Scientific Medical band). This is the reason why a lot of research results about VLC are becoming issued. In this paper, a survey of feasibility for using VLC utilizing an original LED illumination for underwater applications has been done and a primitive possibility of its application has been examined.

Keywords : Visible Light Communication(VLC), Light Emitting Diode(LED), Wireless Personal Networks(WPANs), Underwater Visible Light Communication(UVLC), Under Water Acoustic Sensor Networks(UWASNs)

I. 서 론

현대 사회에서 전기가 쓰이게 되면서 조명 산업이 거

대하게 발전하였다. 조명이 없는 세상은 이제 상상도 할 수 없을 정도로 보급화가 되었다. 이러한 조명은 주로 어두운 환경을 더 밝게 하기 위한 용도로 사용되어 왔으며 다른 용도로서는 거의 사용되어오지 않았다.

대표적인 조명으로서 꾸준히 자리를 지켰던 백열등, 형광등과는 달리 LED(Light Emitting Diode) 조명은 초기에 기존 단순 표시등 정도의 용도로 사용되어 왔다. LED는 p-type과 n-type의 반도체 물질을 결합(Junction)하여 순방향 바이어스(Forward Bias)를 가해 주었을 때 발광하는 소자이다. 하지만 LED기술의 발달로 LED조명은 현재 실생활에서 사용하고 있는 백

* 정희원, 금오공과대학교
(School of Electronic Engineering, Kumoh National Inst. of Tech.)

** 정희원, 단국대학교 전자공학과
(Dankook University. Dept. of electronics eng.)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0021215)

접수일자: 2011년4월22일, 수정완료일: 2011년8월5일

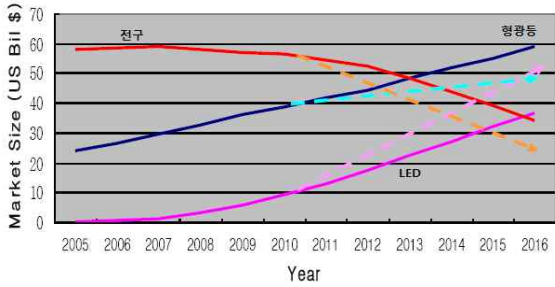


그림 1. 전 세계 조명 소스 시장 전망^[1]
 Fig. 1. World forecast by Light Source^[1].

색전구와 형광등보다 긴 20,000~25,000 시간의 수명을 가지며, 응답속도가 빠르고 납과 수은이 없고, 최대 80%까지 에너지를 적게 소비하는 장점을 가지게 되었다. 이와 같이 LED 조명은 기존 광원들이 갖는 한계를 뛰어넘는 많은 장점들과 향후 모든 광원들을 대체할 가능성까지 가지게 되었다. 또한, LED 조명은 색온도와 밝기를 소비자의 요구에 따른 감성적인 제어가 가능하다는 매우 매력적인 면까지 가지고 있다.

이처럼, 제어하기 수월한 조명이 등장하자 이를 이용하여 통신을 하는 것, 즉, VLC(Visible Light Communication)에 대한 적용 가능성이 WPAN (Wireless Personal Area Network) 및 UWASN (Underwater Acoustic Sensor Network) 분야에서 점차 구체화되었다.

VLC는 가시광선을 이용하는 차세대 통신 기술로서, 송신부에서는 발광 다이오드(LED - 전기 에너지를 빛 에너지로 변환)로 사람은 초당 200번 이상 깜박이면 눈으로 인식하지 못한다는 것을 이용하여 가시광선을 눈이 인식하지 못하는 속도로 점멸시켜 정보를 보내며, 수신부에서는 이를 감지하기 위해 광 다이오드(Photo Detector, 빛 에너지를 전기에너지로 변환, 이하 PD)를 사용한다^[2-3]. 이와 관련하여 그림1은 전 세계 조명 소스 관련 시장에 대한 전망을 보여 주고 있다.

VLC의 장점은 기존 RF(Radio Frequency) 기반 무선 통신과 비교하여 무엇보다도 조명과 통신을 동시에 할 수 있는 조명통신이라는 점이다. 조명이 형광등에서 LED를 이용한 조명으로 바뀌고 있기 때문에 상대적으로 가격대비 성능이 우수한 인프라가 구축이 쉬워지고 LED의 소자 값이 지속적으로 하락하고 있기 때문에 투자 비용절감의 효과가 있다. 특히, 빛은 주파수 간섭이 없어 전자기 간섭이 엄격히 금지된 병원 및 비행기 기내의 근거리 통신에 적용할 수 있는 장점이 있다.

또한, 빛의 특성 중 LOS(Line Of Sight)이 있어, 물리적으로 차단되면 정보가 실외로 새어나갈 염려가 없기 때문에 무선 LAN에 비해 보안 안전성이 높으며, 여러 대의 컴퓨터를 동시에 사용해도 전력이 큰 규모로 감쇄하지 않는다^[4]. 뿐만 아니라, 빛의 점멸로 통신을 하여 전파로 하는 통신의 주파수 대역을 고려하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다. 따라서 더 이상 여유가 없는 통신 주파수 대역에서 가시광 대역을 사용하면 주파수 대역 할당에 새로운 장을 마련할 것이다.

LED조명은 최근에 수중에서도 사용되기 시작하였다. 수중환경 연구를 위해 사진이나 영상을 촬영하거나, 수중 다이버 등 레이저용으로도 사용하고 있으며 수중에서의 LED조명의 활용분야는 점차 넓어지고 있다.

현재 지상에서의 VLC는 모바일 단말기간의 통신, WPAN, ITS(Intelligent Transport System), Home Network, 박물관 등 전시장에서의 전시정보 전송, 전자파 간섭이 엄격히 금지된 병원 및 항공기 등의 분야에서 왕성한 연구 활동을 통해 기반이 완성되어가고 있으나, 통신환경이 열악한 수중에서의 연구는 비교적 부족한 편이다. 본 논문의 본론에서는 VLC Process와 수중에서의 통신채널과 필요성 및 활용 예를 조사하고 결론에서는 조사한 내용을 토대로 결론을 짓고 향후 연구 방향을 제시하였다.

II. 본 론

1. VLC Process

VLC는 통신 매체가 가시광 이라는 것을 제외하면 기존의 통신 프로세스와 비슷하다. 하지만 통신 매체를 인위적으로 생성할 필요 없이 조명을 이용한다는 점에서 비용절감 효과가 존재하며, 조명에 대한 정보를 알지 못하는 한 단순한 조명으로 생각하게 되어 자연스럽게 안전성이 증대된다는 장점이 있다.

통신에 필요한 3요소는 송신부, 채널, 수신부이며, 이를 세세하게 구분하면 MODEM(MODulation & DEModulation) 및 CODEC(COder & DECoder)의 개념

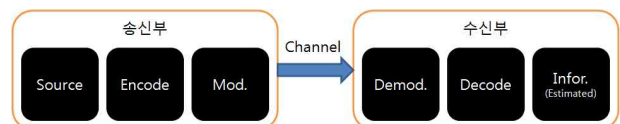


그림 2. VLC에서 대표적인 통신 과정
 Fig. 2. A typical communication process for VLC.

또한 포함이 된다. 통신 프로세스에 대한 개요는 다음 그림 2과 같다.

그림 2에서 송신부는 전송할 정보 즉, 정보원(Source), 부호화(Encode), 그리고 변조(Modulation, Mod.)의 단계로 이루어져 있으며, 경우에 따라 부호화와 변조 과정이 없을 수도 있다.

Source는 LED 광원을 이용한다. LED 광원의 특징은 다른 조명(백열등, 형광등)에 비해 매우 높은 데이터 전송률을 지니고 있고, 제어도 훨씬 수월하다. 또한, LED 중 삼색등은 빛의 3요소인 적색(Red), 녹색(Green), 청색(Blue)로 구성된 것으로 빛의 3요소를 합치면 백색(White)가 된다는 것을 이용한 조명이다. 삼색은 서로 다른 파장을 가지므로 필터로 삼색 파장을 각각 분할하여 세 종류의 정보를 동시에 송수신 할 수도 있다. Source 형태는 아날로그와 디지털이 존재하며(대부분 디지털의 형태이다. 아날로그 통신보다는 디지털 통신이 수신부 프로세스에서 구현이 수월해진다.), 이를 필요성에 따라 아날로그 변조 혹은 디지털 변조 처리를 한다. 아날로그 변조에는 AM(Amplitude Modulation), FM(Frequency Modulation), PM(Phase Modulation) 등이 있으며, 디지털 변조에는 ASK(Amplitude Shift Keying), FSK(Frequency Shift Keying), PSK(Phase Shift Keying), QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 등이 있다. 일례로 하나의 통신을 가정해보면, Source는 디지털이고, 이를 통신 채널에서 유입될 잡음에 강한 형태로 변조를 하게 된다. 진폭보다는 주파수가 잡음에 대해 더 강하며, 따라서 ASK보다 FSK가 더 적합한 변조형태가 될 것이다.

송신부로 전송된 정보는 통신 채널을 통해 수신부에 도달하게 되는데, 통신 채널을 통하는 과정에서 다양한 잡음에 의해 송신 신호가 변형된다. 마지막으로 수신부에서는 도달한 송신 신호를 적절한 필터링을 거쳐 복조 및 복호를 수행하여 원 신호의 추정 값을 만들어낸다.

VLC에서는 송신부에서 신호의 전송이 안테나가 아닌 LED로 이루어지며, 수신부에서는 PD를 통해 이를 감지하는 방식으로 통신이 진행된다.

일반적으로 VLC통신의 경우 PTP(Point-to-Point)방식의 통신이 된다. 따라서 VLC 환경은 지역 의존성(location-dependent)이 상당히 강하다. 조명 인프라가 아무리 거대하다고 해도, 범용 조명이 장거리 시야 확보를 위해 사용 되는 경우는 많지 않다. 따라서 PTP

VLC의 환경은 방 내부와 같이 소규모이며 비교적 단거리여야 한다. 이는 우리가 고려한 수중환경 채널에서도 마찬가지로 적용되는 사항이다^[5].

2. 수중 채널

수중 채널은 지상의 일반적인 채널에 비해 통신에 영향을 주는 요소가 많다. 대표적인 수중 통신은 음파를 매개로 하여 이루어지는데, 바닷물 내의 염분 정도(Salinity), 수심(Depth), 온도(Temperature)에 따라서 정보 전송 시간과 응답 등이 다르다^[1]. 뿐만 아니라, 음파 통신에 있어 감쇄와 잡음(Attenuation and noise), 다중경로 전파(Multi-path propagation), 시간 변이성(Time variability), 그리고 도플러 효과(Doppler effect) 등에 의해 정보 송수신이 어려워진다^[6~7]. 이를 보완하기 위해 멀티호핑(Multi-hopping : 여러 hop들을 두어 에너지 감쇄 방지)법과 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing : 데이터를 다수의 캐리어로 분할하고 캐리어를 동기시켜 변조하는 조건을 기본으로, 직교함수계를 사용하여 캐리어간의 간격을 최소화 한다. 다중경로에 의한 지연 시간 확산에 대한 대처 능력이 우수) 디자인, Water-filling(전체 비트 수를 최대화하여 데이터 속도를 향상 시키는 방법이며, 시변 채널에서 주어진 파워를 최대화) 등 더 나은 환경의 수중 통신을 위한 개선 방안들이 개발되어 왔고, 현재까지도 개발 중이다^[8~9].

그림 3은 수중에서의 VLC를 나타낸 것이다. 수중에서도 해수면 및 해저면에 빛이 반사 될 수 있지만 감쇄가 많아 통신엔 큰 영향을 주지 않는다.

수중 VLC도 음파 통신과 마찬가지로 지상에서의 통신보다 환경이 열악한 편이다. 또한, 빛이라는 매개체의 특성에 대해서도 고려해야 하는데, 아래의 그림 5는 파장에 따른 빛의 흡수 정도와 수심의 관계를 나타낸 것이다.

그림 4에서 X축은 파장의 길이(Wave Length), Y축



그림 3. 수중에서의 VLC

Fig. 3. A typical VLC for Underwater networks.

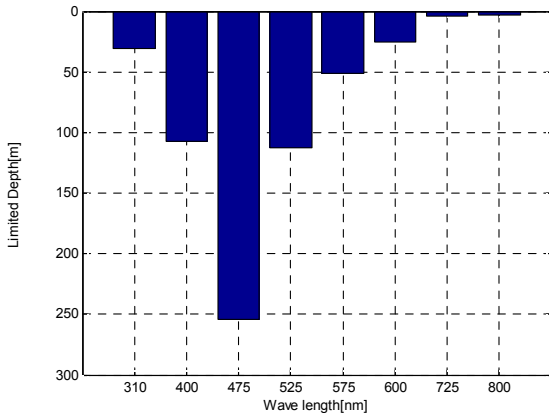


그림 4. 파장에 따라 흡수되는 빛의 한계 수심
Fig. 4. Penetration depth depending on wave.

은 수심을 나타낸 것이다. X축의 좌측부터 자외선(310nm), 보라(400nm), 파랑(475nm), 초록(525nm), 노랑(575nm), 주황(600nm), 빨강(725nm), 적외선(800nm) 순이다. 그림 4를 보면 수중에서는 수심에 따라 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑색 순서대로 빛이 흡수되며, 파랑색 보다 파장이 길게 되면 수심에 따라 흡수량이 많아지는 것을 볼 수 있다. 즉 지상과는 달리 VLC를 이용하여 파장(색)을 다중화 하여 신호를 보내는 것(FDM)에 대해 제약이 존재한다.

빛의 흡수와 더불어 빛의 산란 문제를 고려해야 하는데, 부유물과 플랑크톤이 많아져 물이 흐릴수록 빛의 산란은 더욱 심해지게 된다.

또한, 그림 5와 같이 빛을 집약시키면 정보 전송 가능 거리가 증가한다. 동일 거리에서 같은 Lumen의 백열등과 손전등을 비교해보면 손전등이 더 큰 수치의 조도(lux)를 가지게 된다. 이는 빛을 집약시키는 반사기(Reflector)의 사용 유무 차이에서 나타나는 결과이다^[10~11].

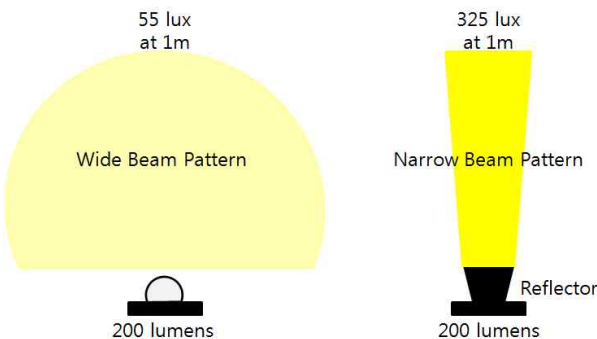


그림 5. 반사기 여부에 따른 조도(lux)
Fig. 5. Luminescence of different type of reflectors.

3. 수중 VLC(UVLC: Underwater Visible Light Communication)

UVLC는 기본적으로 VLC의 원리를 좇아가지만 앞에서 언급한 수중 채널의 특성인 바닷물 내의 염분 정도, 수심, 온도 등으로 인해 통신 환경이 다소 열악해진다. (그러나 수중 채널에서는 모든 통신 환경이 지상보다 열악하다.) 수중에서 통신 거리를 보장하기 위해서는 그림 5에 제시된 것과 같이 빛을 집중 시켜야 한다. UWASN(수중 음파 무선 센서 네트워크: Underwater Acoustic Sensor Network)에 접목시켜 멀티 호핑 방식을 사용하면 직접적인 통신 거리가 짧아도, 장거리 전송이 가능하다.

3. 수중 VLC(UVLC: Underwater Visible Light Communication)

가. 수중 VLC의 필요성

기존 수중 통신 기술에 비해 수중 VLC는 다양한 장점을 가지고 있다. 케이블을 이용한 유선 통신의 경우 동선이 매우 제한되어 있고, 수중 탐사 시 케이블의 파손이나 케이블과의 접촉으로 인해 자연 환경이 망가질 수 있다. 무선 통신의 주요 매체인 음파 통신의 경우, 어떠한 소리가 발생하면 음속(1500m/s, 지상의 경우 340m/s이다.)이 너무 빠르기 때문에 소리의 시간차를 구분하기 애매하여 소리의 근원지를 찾기 힘들다. 또한, 바다 표면이나 해저 바닥에 의한 굴절 및 반사, 음파를 사용하는 수중 동물들에 의한 잡음 등에 의해 통신 프로세스가 심한 타격을 받을 수 있다. 그러나 VLC를 이용하면 무선이기 때문에 이동성이 좋고, 음파 체계와는 달리 음성 신호를 서로 구분할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 음파 시스템보다 전력 소모도 적을 뿐더러 수중-육지 간 통신도 가능하다.

나. OFDM을 이용한 수중 VLC 연구

그림 6은 현재 연구 중인 수중 환경에 적합한 OFDM Model이다. 수중 채널의 특성인 바닷물 내의 염분정도, 수심, 온도 등으로 인해 통신 환경이 열악하다. 이를 개선하기 위해 VLC 통신시 OFDM을 사용하면 보다 효율적인 통신이 가능하다. OFDM 특징에 따른 직교함수계를 사용하여 캐리어간의 간격을 최소로 하며, 이로 인해 멀티 캐리어가 되어도 단일 캐리어와 대등한 주파수 이용 효율을 확보할 수 있다. 또한 제시한

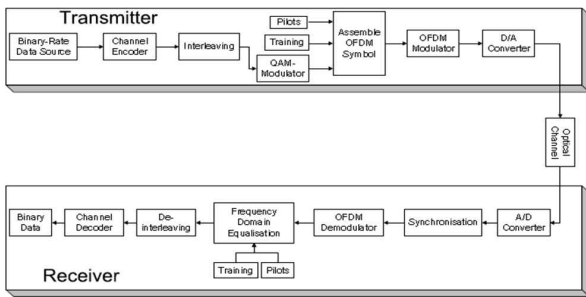


그림 6. OFDM Model for UWASNs
Fig. 6. 수중 환경 OFDM Model.

OFDM 방식은 하나의 정보를 여러 개의 반송파로 분할함으로써 전송시간은 길어지지만 에러 발생 시 특정 주파수만 영향을 받으므로 에러정정을 거치면 효과적으로 복원 될 수 있는 장점이 있다. 이를 이용하면 수중 VLC 환경에서 효율적인 동적 대역폭 활용이 기대된다.

다. 수중 VLC의 활용 예

수중 VLC가 유용한 경우가 해저 탐사를 하는 다이버이다. 수중 탐사 목적을 둔 다이버들이 심해로 이동했을 경우 불가피하게 조명이 필요하다. 이 조명을 이용해 VLC를 하게 되면, 다이버들간의 정보 교환도 가능할뿐더러, 자신의 위치도 확인시키고, 수면 위의 보트 등에 현재 상태 및 조사한 자료를 전송하거나 위급 상황을 알릴 수 있으며, 조명이 있기에 어두운 심해지역 탐사도 가능하게 된다.

등대의 경우 조도가 매우 밝은 조명을 사용하므로 수중-육지 투과과정에서의 경로 손실을 감안하더라도 VLC가 가능하다. 등대의 강한 빛을 이용해 파발과 유사한 원리로 통신을 할 수도 있다.

등대와 선박 간 또는 선박과 선박간의 통신에도 사용될 수 있다. 등대와 선박 간에 장애물 판별 뿐 아니라 다양한 정보를 전달할 수 있으며, 선박 간에도 통신을 할 수 있다.

또한, 수중 VLC를 UWASN에 접목시키는 것도 가능하다. UWASN은 기본적으로 멀티호핑 방식이므로, 굳이 통신에 필요한 전달 매체에 장거리 전송능력이 필요하지 않다.

III. 결 론

본 논문에서는 VLC 기술을 이용한 UWASN 환경에서 효율적인 통신 가능성에 대하여 살펴보았다. 결론적

아래와 같이 UWASN 환경에서 VLC 특징 및 주요 고려 요인을 정리하고자 한다.

1. UWASN에서 LED는 저가, 저전력 소자로, 전력 소비 효율이 좋고, 전송률이 뛰어나다.
2. UWASN에서 VLC 통신은 기본 조명과 데이터 통신을 동시에 수용 할 수 있는 장점이 있다.
3. VLC에는 채널 전송 시 인접 주파수 대역 간섭이 기존 육상 환경에서 널리 사용되는 전파 통신 비교하여 상대적으로 적고, 상용화된 LED와 PD를 효과적으로 이용하는 경우 가격대비 우수한 통신이 가능하다.
4. 수중 채널은 지상에 비해 통신 환경이 열악하나 근거리에서의 VLC통신은 실현 가능성이 매우 높다.
5. 수중에서 LED를 이용하여 VLC를 할 경우 빛을 집중시켜 Point-to-Point(PTP)방식의 근거리 통신이 효율적으로 판단된다.

현재 UWASN에서 LED를 이용한 VLC연구s는 시작 단계에 있으며, 효율적인 통신을 하기 위한 관련 기술 표준이나 수중에서의 통신을 위한 채널 MODEM 및 CODEC 방법, 통신 시 있을 외란 광 차단을 위한 Filtering등 향후에 해결되어야 할 선행 연구 과제로 남아있다.

참 고 문 헌

- [1] 손원국, “LED조명산업 발전현황과 전망”, “조명 전기설비학회지”, 제24권 제1호, 2010.
- [2] O'Brien, D.C. Zeng, L. Le-Minh, H. Faulkner, G. Walewski, J.W. Randel, S., “Visible light communications: Challenges and possibilities”, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on 2008, 1-5pages
- [3] Sylvester C.S. Lo, “Visible Light Communications”, Bio Electromagnetic Research Initiative, 2009.
- [4] 강태규, 김태완, 정명애, 손승원, “LED 조명과 가시광 무선통신의 융합 기술 동향 분석”, 전자통신 동향분석, 제 23권 제 5호, 1-8 pages, 2008.
- [5] Milica Stojanovic, James Preisig, “Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization”, IEEE Communications Magazine, 1-6 pages, 2009.
- [6] M. Stojanovic, “On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel”, Proc. of WUWNET, Los Angeles, CA, Sept. 2006.

[7] P. Qarabaqi and M. Stojanovic, "Statistical modeling of a shallow water acoustic communication channel", Proc. Underwater Acoustic Measurements Conference, Nafplion, Greece, June 2009.

[8] 전형원, 이수재, Le Tran Tien Khanh, 이홍노, "수중채널에서의 OFDM 시스템 디자인", 대한전자공학회 하계학술대회, 제33권, 1호, 1-4 pages, 2010.

[9] Clarence J. Funk, "Predicted System Performance of Improved Underwater Light Sources", Engineering in the Ocean Environment, Ocean 73 - IEEE International Conference on , 7-17 pages, 1973.

[10] Cyril Poissonnet, "LED Light Fixtures and Selection Criteria for Underwater Video Inspections", OCEANS 2009, MTS/IEEE Biloxi - Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges, 1-7 pages, 2009.

[11] Allen R. Waltz, "An Improved Light Source For Underwater Illumination", Engineering in the Ocean Environment, Ocean 73 - IEEE International Conference on, 4-6 pages, 1973.

— 저 자 소 개 —



정 희 석(정회원)
 2004년 동명정보대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
 2011년 현재 금오공과대학교 전자통신공학과 석사과정.

<주관심분야 : Localization, Multi Dimension Scaling(MDS), DSP, UWASN, >



양 연 모(정회원)
 1990년 KAIST 전기및전자공학과 학사
 2006년 GIST 메카트로닉스 공학 박사
 2006년~2008년 DGIST 선임연구원 (PL)

2008년~현재 금오공과대학교 전자공학부 교수
 <주관심분야 : EPONs, 센서네트워크, 임베디드 시스템, 네트워크 시뮬레이션>



허 경 무(정회원)
 1979년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업
 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업

1993년~현재 단국대학교 전자공학과 교수,
 단국대학교 전자부품 검사자동화 지역혁신센터 (RIC) 소장, 대한전자공학회 시스템및제어 소사이어티 회장,
 <주관심분야 : 시스템 제어, 머신 비전, 검사자동화, 로봇제어, 학습 제어>