

# IoT/M2M 응용 서비스 지원을 위한 IEEE 802.15.7m Optical Wireless Communication 표준화 현황

Md.Tanvir Hossan, 홍창현, Trang Nguyen, Nam Tuan Le, 장영민  
국민대학교

## 요약

IEEE 802.15.7 VLC(Visible Light Communication) 규격 이후에 카메라 기반 ISC(Image Sensor Communication) 관련 개정 필요성이 제기되어서 현재 IEEE 802.15.7m OWC(Optical Wireless Communication) TG가 표준화를 진행 중에 있다. 2016년 5월에 결정된 Baseline Document D0를 기반으로 LiFi(Light Fidelity), OCC(Optical Camera Communication) 및 LED-ID(LED Identification) 기술로 간단하게 분류하고 각 핵심 변조 기법을 소개한다. 5세대 이동통신과 함께 사용될 수 있는 다양한 IoT/ M2M 응용 서비스(LED, 디지털사이니지, 방송, 자동차 안전, 디스플레이 등)들이 포함되어 있다. 국내에서 혁신적인 비즈니스 모델 발굴과 국내 산/학/연/관이 협력하여 가시광, 적외선 및 자외선 분야에서 적극적인 연구개발이 있어야 할 것이다.

## I. 서론

기존의 3G 및 4G 기술에서 5G 및 6G로 무선통신 기술이 진화하고 있다. 5G, 사물인터넷(IoT)로 대변되는 무선 서비스 발달 및 진화에 따라 주파수 수요는 점차 광대역화 되고 있으며, 그에 따라 신규 광대역 주파수를 확보하고 공급하기 위한 논의가 활발히 진행 중이다. 하지만 저대역에서는 더 이상 광대역 주파수를 확보하는 것이 용이하지 않기 때문에, 향후에는 기존에 잘 활용되지 않았던 밀리미터파와 같은 고주파 대역의 이용 및 활용 방안에 대한 논의가 더욱 확대되고 있다. 5G에 들어서면 현재보다 현저하게 높은 통신 속도를 확보해야 하므로 이런 고주파수를 이용한 통신기술 확보는 선택이 아닌 필수가 됐다. 5G 백홀 및 IoT/M2M 서비스 용으로 현재의 RF(Radio Frequency) 주파수 대신에 가시광, 적외선 및 자외선 대역도 하나의 주파수 대역으로 활용하고자 IEEE 802, ITU-T, ISO, ITU-R 등에서 기술 표준화를 추진하고 있다. 다양한 IoT/

M2M 서비스로 인해 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있기에 5G 이동통신 및 그 이후에 울트라 스몰셀(ultra small cell)용으로 사용이 가능한 Visible Things(예, LED lighting, Digital Signage, LED panel 등) 기반의 광무선통신은 넓은 대역폭뿐만 아니라 유연성, 비용 효율성, 지속적인 연결성, 편리성, 향상된 효율성, 낮은 간섭, 낮은 전자기 방사 등에서 최선의 해결책을 제공하고 있다. 더구나 광무선통신 기반의 울트라 스몰셀은 5G 또는 6G 액세스 네트워크 또는 사물간 네트워크 후보들 중의 하나이다.

현재 광무선통신의 초기 버전인 IEEE 802.15.7-2011 가시광통신 규격은 공식적으로 2011년에 출판되었다[2]. 추가적인 규격 보완을 위해 2012년부터 2013년까지 IEEE 802.15 LED IG(Interest Group)이 만들어져 관심있는 기업과 연구기관으로부터 의견을 취합한 뒤에 2014년에는 IEEE 802.15 OCC SG(Study Group)이 만들어져 IEEE 802.15.7-2018을 위한 표준규격의 개정 목표들을 설정하였다. 2014년 12월에 IEEE 802의 승인을 받아 2015년 1월부터 IEEE 802.15.7 개정을 위한 TG(Task Group)인 IEEE 802.15.7r1 OWC TG으로 결정되어 추진되어 오다가 2016년 9월에 IEEE 802.15.7m TG로 공식 명칭이 변경되어 운영되고 있다. IG 및 SG를 거쳐 2015년 1월에

표 1. IEEE 802.15.7과 IEEE 802.15.7m의 기술적인 변화 이슈

항목	IEEE 802.15.7 VLC	IEEE 802.15.7m OWC
토폴로지	peer-to-peer, star, broadcast	peer-to-peer, star, broadcast, coordinated, Relaying, Heterogeneous RF & OWC
주소	Each device and coordinator has a unique 64-bit address	Each device, coordinator or relay node has a unique 64-bit address
채널 액세스	single VLC MAC frame structure.	VPAN uses four types of channel access mechanism, depending on the network configuration.
주파수 대역	Specify a standard for Visible light	Specify a standard for Visible light, Ultraviolet, and IR

새로운 TG를 만든 주된 이유는 기존의 스마트 디바이스에서 사용 중인 카메라를 이용하는 것이기 때문이다. 즉 OCC 또는 ISC 기능을 위해 추가적인 H/W 변경없이 S/W추가 만으로 새로운 서비스 도입할 수 있기에 비즈니스 모델 입장에서 경제적으로 운영이 가능하다. <표 1>에서는 IEEE 802.15.7 VLC과 IEEE 802.15.7m OWC간의 주요한 기술의 비교 내용을 보여준다.

IEEE 802.15.7m OWC 표준은 WPAN(Wireless Personal Area Network)을 유지하기 위한 광무선통신 매체접근제어(MAC) 및 물리계층(PHY) 규격을 제공한다. 이 표준은 매체접근제어 및 물리계층의 서브 계층구조, 네트워크 토폴로지, 채널 액세스, 동기화, 색상 안정화, 가시성 및 디밍 지원, 매체접근제어 및 물리계층 프레임 형식, 연결-분리 등을 포함한다.

IEEE 802.15.7m 표준은 가시광 파장 외에도 적외선 및 자외선 파장을 수용한다. 그 외에도 다음과 같은 기능을 수용한다[2].

- OCC(이미지센서통신)은 확장 가능한 데이터 레이트, 위치 인식 및 메시지 전송 등 Flash, 디스플레이 및 이미지센서와 같은 기기를 이용하여 송신 및 수신 가능하다. MIMO 개념이 사용되기에 대체적으로 수백 kbps를 지원한다.
- LED-ID (저속 PD 통신)은 무선 다양한 종류의 LED 조명을 사용하는 ID 시스템이다. 대체적으로 수백 bps를 지원한다.
- LiFi (고속 PD 통신)는 조명을 이용하는 고속, 양방향, handover를 지원하는 이동 무선통신이다. 최대 10Gbps를 지원한다.

IEEE 802.15.7m OWC TG 공식 사이트에서는 OWC 정의 및 현재 상황, 일정 및 연락처 정보를 찾을 수 있다[2].

II장에서는 IEEE 802.15.7m 서비스인 IoT, 차량간 통신, 디지털사이니지와 관련된 기술적 고려사항에 대하여 기술한다. III장에서는 Baseline Document D0에 채택된 VPAN 기기 구조, 물리계층 작동모드, 매체접근제어 서브계층에 관한 기술적 제안을 다룬다. IV장에서는 표준화 일정 및 향후 계획을 소개하고, V장에서는 결론을 맺는다.

## II. IEEE 802.15.7M 표준의 기술 고려사항 및 IoT/M2M 서비스

### 1. 기술 고려사항

IEEE 802.15.7m의 기술적 고려사항 문서(TCD: Technical Consideration Document)[1]는 기고서 제출에 필요한 고려 사

표 2. 이미지센서통신 응용

	응용
1	Offline to Online Marketing/Public Information System
2	IoT (M2M/D2D/Internet of Light (IoL))
3	Location-Based Service (LBS) / Indoor Positioning
4	Vehicular Communication
5	Underwater Communication
6	Power Consumption Control
7	Vehicular Positioning
8	Seaside Communication
9	LED based Tag application

항을 제공한다. 즉 조금 느슨하지만 기술 요구사항과 비슷한 자료이다. 특히, 광무선통신을 위한 물리계층 및 매체접근제어 프로토콜의 개발에 초점을 맞추고 있다. 응용 프로그램 시나리오와 제안하는 구조 및 변조 구현을 위한 기본적인 요구사항이다. 광무선통신의 신호처리 및 수신기 구조는 이미지센서통신, 고속 PD 통신, 저속 PD 통신을 기초로 한다. 이미지센서통신 모드에서 기술적인 요구사항에는 송신기, 수신기, 캐리어 파장, 전송 모드, 디밍 제어, 광 및 기타 조명 시스템과 공존, MIMO 기술, 이미지센서 호환성, 낮은 오버헤드, 변조된 광 신호 식별, 데이터 프레임의 일관성, 점에 가까운 이미지 데이터 소스 시나리오 등이 있다.

이미지센서 통신의 응용프로그램 및 서비스는 <표 2>에서 보여준다. 이는 짧은 데이터 전송 ID 서비스, 유니캐스트 방송에서의 표시, 차량 통신 서비스, IoT/M2M 서비스를 포함한다.

위치기반서비스(LBS) 시나리오에서 단말기의 위치는 컴퓨터 비전 및 통신 기술을 조합하여 추정할 수 있다.

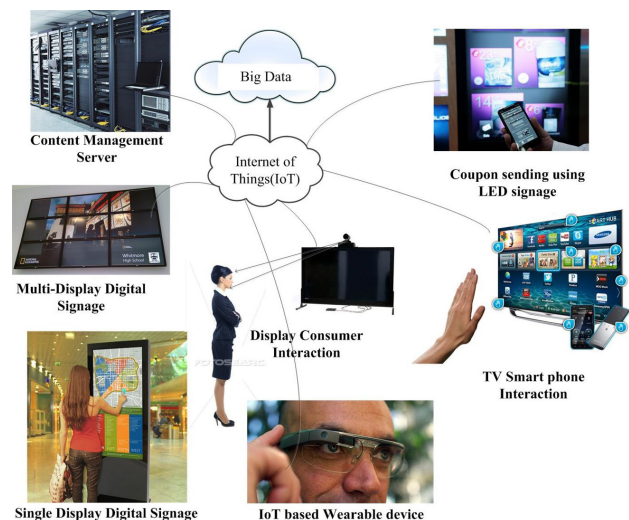


그림 1. IoT 응용

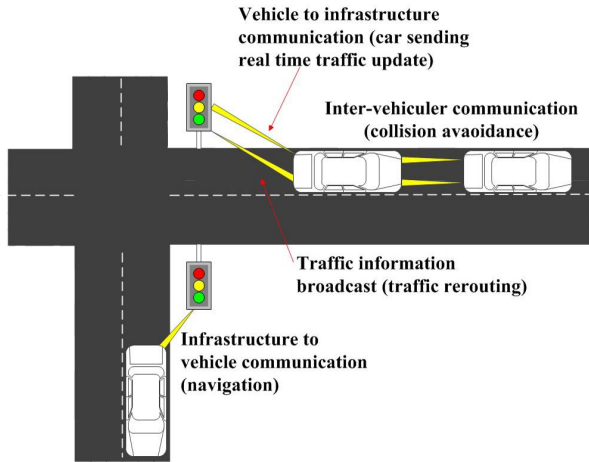


그림 2. 광무선통신을 이용하는 차량간 통신 응용

IoT는 객체 식별, 데이터 캡처 및 지능형 정보처리를 아무 장소에서 아무나 연결하기 위해 설계된 인터넷 같은 구조를 의미한다[7][8]. 이런 지능형 식별, 포지셔닝, 트랙킹, 모니터링 및 관리 시스템은 다양한 분야[9]의 응용프로그램에 적용되었고, 이는 <그림 1>에서 보여준다.

<그림 2>에서 차량간 통신은 광무선통신의 기술을 이용하여 교통을 관리할 수 있으며, 교통사고 및 교통 혼잡을 완화한다. 여기서 차량은 새로운 컴퓨팅, 통신, 감지 기능, 사용자 인터페이스를 가지고 있어야 한다. 이러한 응용은 교통 안전과 효율을 향상할 뿐만 아니라 운전자 및 승객을 위해 기존 서비스와 통합하거나 새로운 서비스를 제공할 것이다.

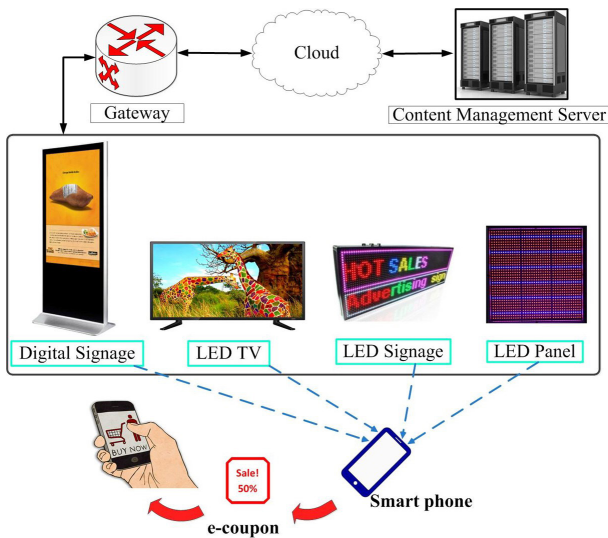


그림 3. 디지털사이니지 서비스 구조

디지털 통신 및 디스플레이 시스템의 급속한 발전과 함께 디지털사이니지는 주된 광고 및 방송 매체로 부상하고 있다[6]. 디지털사이니지의 거대한 시장 보급률은 공항, 기차역, 쇼핑몰 등과 같은 많은 공공장소에서 볼 수 있다[5]. 디지털사이니지 시스템은 일반적으로 디스플레이 기기와 다른 콘텐츠 요구 사항을 수용할 수 있어야 하며 다양한 지리적 위치에서 서로 다른 특성과 서비스를 제공해야 한다. <그림 3>은 디지털사이니지 관련 서비스 구조이다.

### III. Baseline Document D0에 채택된 기술

#### 1. 구조

IEEE 802.15.7m 구조에서 각 계층의 상위 계층은 서비스를 제공하고, 계층 간의 인터페이스는 논리적 링크를 정의하는 역할을 한다. 물리계층은 낮은 레벨의 제어 매커니즘과 조명 송수신기를 포함하며, 매체접근제어의 하위계층은 모든 유형의 전송을 위한 물리적 채널의 액세스를 제공한다.

<그림 4>에서 상위 계층은 네트워크 계층 및 응용 프로그램 계층으로 구성된다. 논리적 링크 제어(LLC) 계층은 서비스 특정 집중 서브계층(SSCS)를 통해 매체접근제어 계층에 액세스할 수 있다. 장치 관리 개체(DME)는 물리계층 및 매체접근제어의 디머와 함께 물리계층 관리 개체(PLME) 및 매체접근제어 링크 관리체계(MLME)를 통해 인터페이스를 돕는다. 물리계층 인터페이스에서 광학 서비스 액세스 포인트(SAP)로 바꾸며 단일 또는 다중 광원, 광검출기 및 이미지센서로 구성된 광학 미

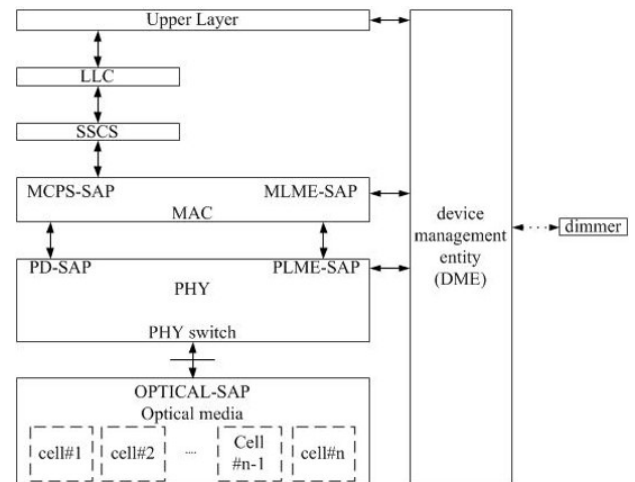


그림 4. VPAN 기기 구조

디어에 연결한다. 장치 관리 매체는 물리계층에서 광원 소스, 광검출기 및 이미지센서 선택을 위한 물리계층 관리 객체를 사용하여 바꿀 수 있다[4].

## 2. 물리계층 작동 모드

기존의 IEEE 802.15.7 가시광 표준은 OOK(On Off Keying), VPPM(가변펄스위치변조), CSK(색상변조)를 기반으로 한다. 데이터 레이트 성능 및 광원 구조 때문에 세가지 물리계층 형식으로 제공한다. OOK 및 VPPM은 물리계층 I과 물리계층 II에서 작동한다. 물리계층 I과 물리계층 II에서의 데이터 레이트는 11.67kbps에서 226.6kbps과 1.25Mbps에서 96Mbps이다. 물리계층 I과 물리계층 II에서 모두 단일 광원 소스에서 동작한다. 색상변조 방식은 물리계층 III에서 정의된다. 물리계층 III에서 동작은 12Mbps에서 96Mbps이며, 다른 색상 대역을 사용하는 다중 광원에서 동작한다.

IEEE 802.15.7m OWC에서는 이미지센서통신, 저속 PD통신 및 고속 PD통신을 위한 세가지 이상의 물리계층에서 고려된다. 송신기는 장치의 구조를 기반으로 분류된다. 물리계층 IV 및 물리계층 V는 별도(단일)의 소스 또는 표면소스를 사용하는 장치를 위해 존재한다. 물리계층 VI는 2D 스크린 소스를 위해 사용된다. 물리계층 IV에서 UFSOOK(Under Sampled Frequency Shift On-Off Keying) 변조의 데이터 레이트는 카메라 프레임 레이트의 반이다. Twinkle VPPM의 데이터 레이트는 750bps, 3kbps, 4 kbps이다. 물리계층 IV에서 코드 되지 않은 다른 변조방법을 사용하는 경우는 심볼레이트 속도와 동일하다. 반면 물리계층 V의 RS-FSK 변조의 데이터 레이트는 사용자에게 따라 결정되고 가변할 수 있다. 또한 PWM/PPM 변조 기법에 대한 데이터 레이트는 16 kbps이다.

물리계층에서는 라인 코딩, 에러 검출 및 에러 정정을 위한 채널코드도 정의한다. 야외 응용프로그램에서는 장거리 또는 경로 손실에 영향을 주는 광노이즈인 임의의 조명 또는 낮 시간의 햇빛으로 인한 잠재적인 간섭때문에 리드솔로몬(RS) 및 컨볼루션 코드를 제안한다. 물리계층 종류에 대한 분류는 <표 3>에서 볼 수 있다[4].

IEEE 802.15.7m의 고속 PD 통신을 위한 다른 두 개의 물리계층이 있다. 하나는 Fraunhofer사의 고대역폭 물리계층이고 다른 하나는 PureLiFi사의 저대역폭 물리계층이다. Fraunhofer의 고대역폭 물리계층을 소개하면 OFDM, 적응식 전송, MIMO 및 코디네이트된 무선 네트워크 다중 액세스 포인트(APs)가 있다. 구체적 요구 사항인 향상된 견고성과 낮은 대기 시간을 지원하며, 시나리오의 예로는 산업용 무선, 차량 및 백홀 시나리오가 있다. 이는 양방향 연속 패킷 기반의 광무선통

표 3. 광무선통신 변조 기술 분류.

PHY	Description	Contribution
I	802.15.7 PHY operating modes, Data rate: 11.67 kbps ~ 266.6 kbps	1. OOK 2. VPPM
II	Data rate: 1.25 Mbps ~ 96 Mbps	1. VPPM 2. OOK
III	802.15.7 PHY operating modes, Data rate: 12 Mbps ~ 96 Mbps	CSK
IV	802.15.7 PHY operating modes *Data rate : 15bps ~ 4kbps	1. UFSOOK 2. Twinkle VPPM 3. S2-PSK 4. S2+DMS-PSK 5. Offset-VPWM
V	802.15.7 PHY operating modes *Data rate : 90bps ~ 8kbps	1. Packet PWM/PPM 2. Compatible M-FSK 3. C-OOK 4. RS-FSK
VI	*Data rate: 40bps ~ 64 kbps	1. 2D-sequential color code 2. VTASC 3. Invisible data-embedded display Tx Schemes 4. Invisible code
VII	New PHY operating modes for high-rate PD Communications: Discrete (or single) source, Data rate: 1.5 Mbps ~ 10,281 Gbps	DC-biased DMT
VIII	New PHY operating modes for high-rate PD Communications: Surface Source (Data rate: 0.75 Mbps ~ 108 Mbps)	1. DC-Biased Optical -OFDM 2. enhanced Unipolar-OFDM 3. Reverse Polarity Optical-OFDM 4. Asymmetrically Clipped Optical -OFDM

\* PHY IV에서 PHY VI까지의 데이터 레이트는 구현에 의존함.

신을 지원한다. 데이터 레이트는 1.5 Mbps에서 10,281 Gbps이다. 물리계층은 적응적 OFDM 파형을 일부 확장자를 가진 링크 방향 모두에 사용한다. 파형은 항상 음수가 아닌 실수 값을 가진다. 바이어스가 첨가되고(필요한 경우) 디지털 도메인에서 구현된다. 옵션으로 단일 캐리어 또는 유니폴라 변조는 전력효율 개선과 디밍을 지원한다[4].

대조적으로 PureLiFi의 방식은 적응식 OFDM 개념의 저대역폭 물리계층 사양을 채택한다. 파형의 적응 조절, 캐리어 맵핑, 정교한 신호 처리 및 디밍 기술과 같은 향상된 전송속도 및 효율성을 위한 단일 캐리어 프리코딩, 유니폴라 변조가 있다. PureLiFi의 저대역폭 물리계층에 위치한 데이터 레이트는 0.75 Mbps에서 108 Mbps이다. 응용 프로그램은 적응적 비트, 에너



표 4. Fraunhofer 와 PureLiFi 물리계층 비교[4]

Topic	Fraunhofer High-bandwidth PHY	PureLiFi Low-bandwidth PHY
Modulation	DC-biased DMT	1. DC-Biased Optical -OFDM 2. enhanced Unipolar-OFDM 3. Reverse Polarity Optical-OFDM 4. Asymmetrically Clipped Optical -OFDM
FEC	Low-density parity-checked code (LDPC)	Convolution coding (131, 171)
Code rate	1/2, 2/3, 5/6, 16/18, 20/21	1/2, 2/3, 3/4
Bandwidth	10 MHz ~ 1 GHz	5 MHz ~ 40 MHz
Optical Clock rate	25 MHz ~ 2 GHz	10 MHz ~ 80 MHz

지 로딩 기술 및 적응적 MIMO기술을 지원한다. 서로 다른 광의 광 파장과 빛 편광을 이용하여 통신 용량으로 활용할 수 있다[4]. Fraunhofer의 고대역폭 물리계층과 PureLiFi의 저대역폭 물리계층의 차이는 <표 4>에서 확인할 수 있다.

이미지센서통신, 저속 PD 통신, 고속 PD통신을 위하여 다른

표 5. 물리계층 모드 / TxS [10]

		Discrete (or single) source	Surface source	2-Dimensional / Screen
	PHY I	x	x	
	PHY II	x	x	
	PHY III	x	x	
PHY IV	UFSOOK	x	x	
	Twinkle VPPM	x	x	
	S2-PSK	x	x	
	S2+DMS-PSK	x	x	
	Offset-VPWM	x	x	
PHY V	RS-FSK		x	
	Compatible M-FSK		x	
	C-OOK		x	
	Packet PPM/PWM		x	
PHY VI	2D-sequential color code			x
	VTASC			x
	Invisible code			x
	Invisible Data embedded display Tx Schemes			x
PHY VII	Fraunhofer High-bandwidth PHY	x	x	
	PureLiFi Low-bandwidth PHY	x	x	

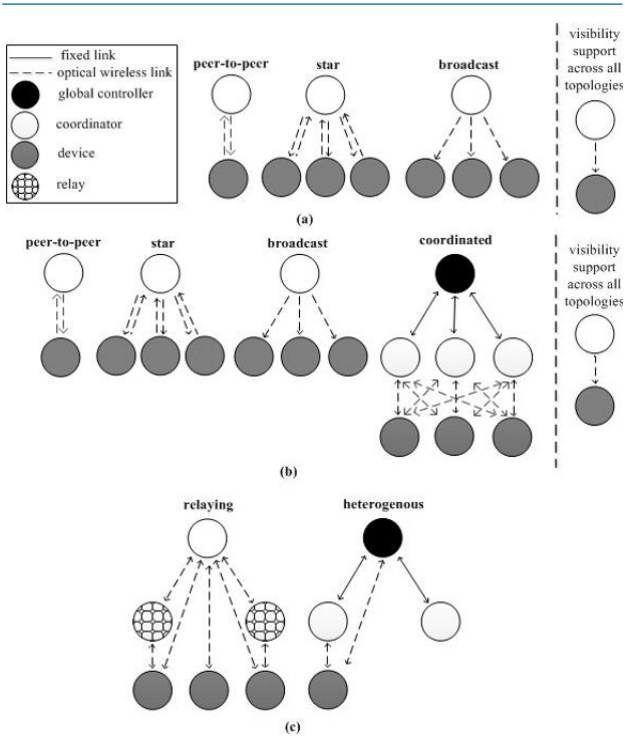
표 6. 물리계층모드 / RXs [10]

		Photodiode		Image sensor		
		Monochrome	Color	Global shutter	Rolling shutter	High-speed / ROI
	PHY I	x	x			
	PHY II	x	x			
	PHY III		x			
PHY IV	UFSOOK	x		x	x	x
	Twinkle VPPM	x		x	x	x
	S2-PSK	x		x	x	x
	S2+DMS-PSK	x		x	x	x
	Offset-VPWM	x			x	
PHY V	RS-FSK	x			x	x
	Compatible M-FSK	x	x		x	x
	C-OOK	x	x		x	x
	Packet PPM/PWM	x	x		x	x
PHY VI	2D-sequential color code			x		x
	VTASC			x	x	x
	Invisible code			x	x	x
	Invisible Data embedded display Tx Schemes			x	x	x
PHY VII	Fraunhofer High-bandwidth PHY	x	x			
	PureLiFi Low-bandwidth PHY	x	x			

물리계층 모드 분류에 대하여 기술하였다. 위와 같은 분류는 표준화에 참여그룹인 Panasonic에 의해 소개되었다. <표 5>와 <표 6>은 Hideki[10]가 발표한 것을 기반으로 수정한 다른 종류의 광원 및 카메라에서 변조방식의 비교를 보여준다.

### 3. 매체접근제어 하위계층

2011년 발표된 IEEE 802.15.7 가시광통신 토폴로지는 <그림 5(a)>에서 볼 수 있다. IEEE 802.15.7 가시광통신 VPAN 표준화는 다양한 응용을 위해 네 가지의 토폴로지를 지원한다. 즉 peer-to-peer, star, broadcast, coordinated 토폴로지가 지원된다. IEEE 802.15.7m OWC 관련 토폴로지를 <그림 5(b)>에서 확인할 수 있다. 그리고 <그림 5(c)>에서 IEEE 802.15.7m OWC 관련한 릴레이 및 이기종 네트워크와 같은 고급 네트워크 기능을 지원한다.



(a) IEEE 802.15.7 (b) IEEE 802.15.7m (c) IEEE 802.15.7m 고압네트워크 기능[4]

그림 5. 매체접근제어 토폴로지

기기가 코디네이터 또는 중계 노드와 결합될 때는 16 비트 주소에 할당된다.

각 장치, 코디네이터 또는 중계 노드는 고유의 64 비트 주소를 가진다. 통신을 위한 개인 네트워크의 코디네이터, 중계 노드 또는 글로벌 컨트롤러에 의해 관리된 주소가 사용되도록 한다. 제어된 토폴로지는 고정된 네트워크 각 좌표 및 감독하는 링크 글로벌 컨트롤러가 있다. 이들 외에도 방송토폴로지는 네트워크의 일부가 없이 작동한다. IEEE 802.15.7m 기기는 중계(중계동작은 장치와 코디네이터 사이에서 동작) 네트워크 기능을 작동할 수 있다. 또한 무선통신 및 광무선통신의 이기종(광학 링크는 단방향 또는 양방향) 네트워크 기능을 가지고 있다.

현재 매체접근제어 프레임의 형식에 대한 논의는 계속되고 있다. 다수의 물리계층 동작모드를 지원하기 위한 매체접근제어 프레임에 대한 합병 논의는 2016년 11월 회의에서 논의될 예정이다. 현재까지 제안된 이미지센서통신 및 저속 PD통신 매체접근제어 프레임은 간단하고 기존의 IEEE 802.15.7 규격에 호환이 가능하지만, LiFi 분과 위원회에서 제안한 변경된 매체접근제어의 프레임 구조는 추가적으로 많은 논의가 필요하다.

## IV. 중요 일정 및 향후 계획

IEEE 802.15.7m의 최종 표준 문서를 제정하기 위한 기고서 일정 및 Baseline Document에 관련된 코멘트에 대한 일정과 내용은 <그림 6>과 같다.

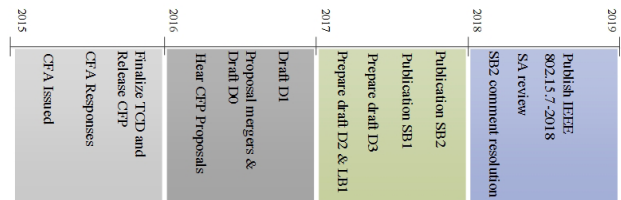


그림 6. IEEE 802.15.7m 표준화 일정 요약

OCC 관련 Baseline document D0는 13개의 기고서로 구성되어 있다. 각 기관별로 제안된 기고서는 타 기관의 기술 내용과 기술이 비슷할 경우에는 합병되거나 필요 시에는 위원회의 투표를 통해 기술 후보 중에서 선택이 이루어질 예정이다. 송신기의 조명 분류에 따라 세 개의 물리계층 모드가 있다.

2016년 9월 말까지 IEEE 802.15.7m 표준화 그룹은 첫 코멘트에 대한 답변을 완료한 상태이고, 다음 D1을 위한 코멘트 및 답변을 준비 중이다. 다음 버전인 D2를 위한 기관들간에 제안서 Merger 작업과 코멘트를 2017년 1월 초까지 진행될 예정이다. 그 후 표준화 그룹 위원회는 4번에 걸쳐 수정할 예정이며, Draft가 준비가 되면 Letter Ballot 1에 대한 코멘트 및 답변은 2017년 2월 또는 3월로 예정하고 있다[3]. 최종적인 표준화 규격 완료는 2018년 중순으로 예상되며 규격명은 IEEE 802.15.7-2018이 될 것이다.

## V. 결론

미래에는 다양한 주파수 자원을 사용해야 하므로 OWC 기반의 초소규모 셀(Attocell) 개념을 도입하는 것도 필요하다. 광무선통신 기반의 울트라 스몰셀도 5세대 이후의 무선 액세스 네트워크의 후보 중에 하나이다. IoT 등의 다양한 응용을 가지고 있는 OWC 기술은 가시광 뿐만 아니라 적외선 및 자외선 대역도 사용할 것이다. 현재 IEEE 802.15.7m 표준화는 Draft D1 문서의 초안을 2016년 10월 말에 마무리할 계획이다. 최종 표준화는 2018년 5월 경에 완료될 계획이다. 국내 산/학/연/관이 합심하여 새로운 5G 이후의 M2M/IoT 서비스를 발굴하도록 해야 한다. 또한 이를 국제 표준화에 적극 반영하여

국내의 IPR을 확보하면 좋겠다. 또한 실제 상용화가 가능한 다양한 비즈니스 모델 발굴과 더불어 창의적이고 혁신적인 연구개발 모델이 정립되기를 기대해 본다.

## Acknowledgement

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0127-15-1025, Optical Wireless Communications (OWC) 표준화 개발)

## 참고 문헌

- [1] The 5th Revision of the IEEE P802.15.7m Short-Range Optical Wireless Communications Task Group Technical Considerations Document [Online]. Available: <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/15/15-15-0492-05-007a-technical-considerations-document.docx>
- [2] IEEE 802.15.7m official link: [http://www.ieee802.org/15/pub/IEEE%20802\\_15%20WPAN%2015\\_7%20Revision1%20Task%20Group.htm](http://www.ieee802.org/15/pub/IEEE%20802_15%20WPAN%2015_7%20Revision1%20Task%20Group.htm)
- [3] IEEE 802.15.7m milestones and schedule [Online]. Available: <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/15/15-15-0274-04-007a-suggested-15-7r1-milestones-and-schedule.pptx>
- [4] Draft D0 link: <https://mentor.ieee.org/802.15/dcn/15/15-16-0684-00-007a-lifi-sub-committee-s-response-to-comments-resolution-of-d0.docx>
- [5] Davies, N., Langheinrich, M., José, R., and Schmidt, A. 2012, Open Display Networks: A Communications Medium for the 21st Century. IEEE Computer, 45, 5 (Special Issue on Interactive Digital Signage), pp. 58-64, 2012.
- [6] J. Shaeffler, Digital Signage. Burlington, MA 01803, USA: Elsevier Inc., 2008.
- [7] I. Strategy and P. Unit, "ITU internet reports 2005: The internet of things," Geneva: International Telecommunication Union (ITU), 2005.
- [8] E. Welbourne, L. Battle, G. Cole, K. Gould, K. Rector, S. Raymer, "Building the Internet of Things Using RFID: The RFID Ecosystem Experience," Internet Computing, IEEE, vol. 13, pp. 48-55, 2009.
- [9] K. Ashton, "That 'Internet of Things' Thing," RFiD Journal, vol. 22, pp. 97-114, 2009.

## 약 력



Md. Tanvir Hossan

2013년 Khulna University of Engineering and Technology in Electrical and Electronic Engineering 졸업  
 2016년~현재 국민대학교 전자공학과 석사과정  
 관심분야: Optical Wireless Communication, Optical Camera Communications, Image Sensor Communications, Localization



홍 창 현

2015년 국민대학교 전자공학부 졸업  
 2015년~현재 국민대학교 전자공학과 석사과정  
 관심분야: Optical Wireless Communication, Image processing



Trang Nguyen

2013년 Hanoi University of Science and Technology 졸업  
 2015년 국민대학교 전자 공학과 석사  
 2015년~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정  
 관심분야: Optical Camera Communications (OCC), Localization, Digital Signage, and Augmented Reality services.



Nam-Taum Le

2005년 HaNoi University of Science and Technology 졸업  
 2011년 국민대학교 전자 공학과 석사  
 2014년 국민대학교 전자공학과 박사  
 2014년~현재 국민대학교 조교수  
 관심분야: Sensor Network, Visible Light Communication



장 영 민

1985년 경북대학교 전자공학부 학사  
 1997년 경북대학교 전자공학부 석사  
 1999년 Univ. of Massachusetts Computer Science 박사  
 2002년~현재 국민대학교 교수  
 2015년~현재 IEEE 802.15.7m OWC TG 의장  
 관심분야: OWC, WPAN, IoT, 5G Mobile communications