

2020년
ICT국제표준 마에스트로
주요이슈 분석서

[IEEE 802.15 네트워크 표준화]

한국정보통신기술협회

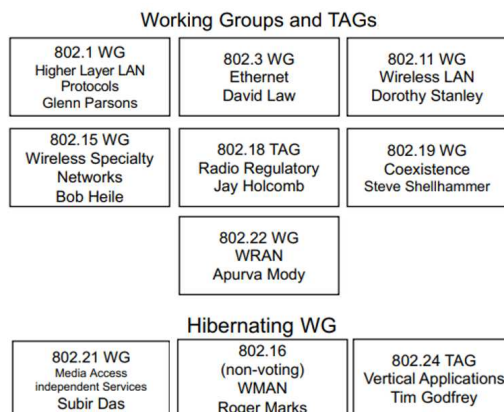
표준 마에스트로 주요이슈 분석서

[IEEE 802.15 네트워크 표준화]

1. 개요

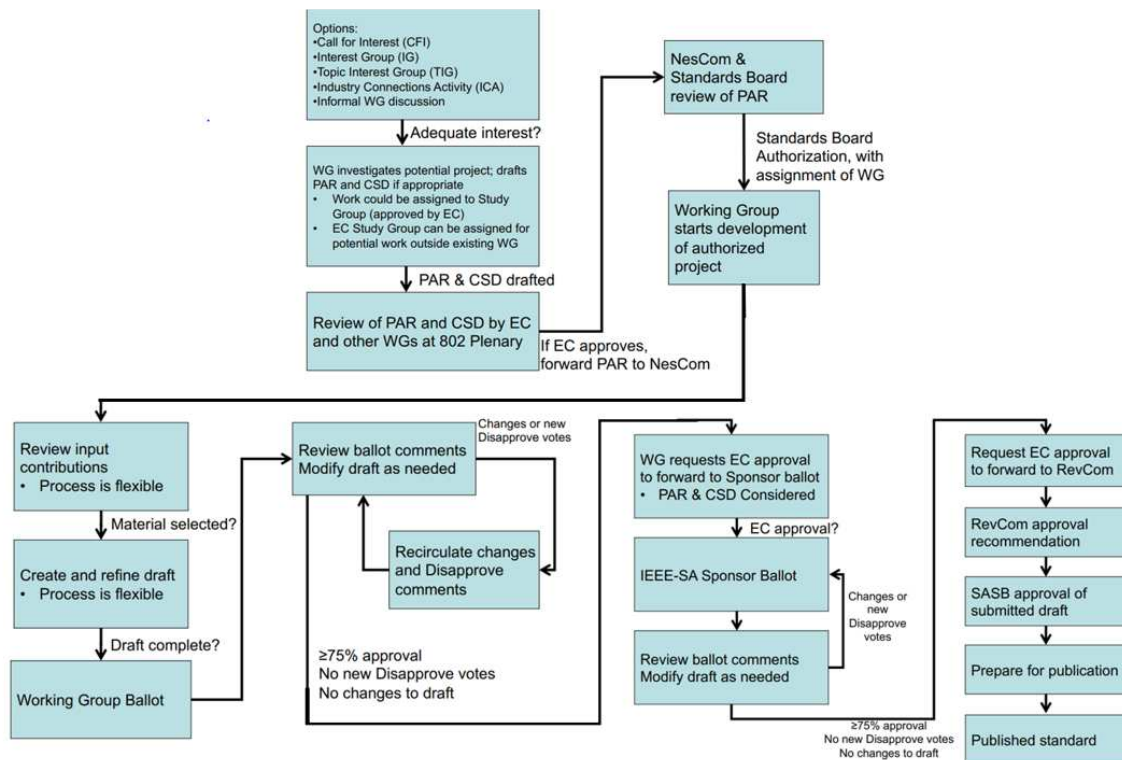
1.1 IEEE802 표준기구 및 표준화 개요

- IEEE802는 전기전자기술자협회(IEEE: Institute Electrical and Electronics Engineers) 산하에서 근거리통신망(LAN)과 도시권통신망(MAN)의 물리계층 및 데이터링크계층을 관할하는 표준 위원회(LAN/MAN Standards Committee: LMSC)임
- ▷ IEEE802 LMSC는 IEEE Computer Society의 Sponsorship과 IEEE 표준협회(IEEE Standards Association: IEEE-SA)의 표준화 절차에 따라 운영되며, 현재 5개의 WG(Working Group)과 2개의 TAG(Technical Advisory Group)가 운용됨
 - ▶ 현재 표준 활동을 유지하고 있는 WG과 TAG
 - 802.1 WG Higher Layer LAN Protocols
 - 802.3 WG Ethernet
 - 802.11 WG Wireless LAN working group
 - 802.15 WG Wireless Specialty Network
 - 802.18 TAG Radio Regulatory
 - 802.19 WG Wireless Coexistence
 - 802.24 TAG Vertical Application
 - ▶ WG16 WMAN(Wireless Metropolitan Area Network), WG21 MIS(Media Access Independent Service), WG22 WRAN(Wireless Regional Area Network) 표준그룹은 현재 표준 활동을 멈춘 휴지 상태의 WG임



< IEEE802 LAN/MAN 표준 위원회 산하 WG/TAG 및 의장 >

- IEEE 802의 각 WG에서는 TIG/IG(Topic Interest Group/Interest Group)을 구성하여 신규 기술 주제의 표준화 필요성을 논의하고, SG(Study Group)을 구성하여 표준화 과제 제안 문서를 작성하고, TG(Task Group)을 구성하여 승인된 표준화 과제의 표준안을 작성하는 작업을 수행함
- ▷ IEEE 802 LMSC 표준화 절차는 IEEE 802 집행위원회(EC: Executive Committee)의 승인을 거쳐 IEEE-SA에 표준화 과제 제안
- ▷ IEEE-SA에서 표준화 과제 승인되면 WG 내에서 표준안을 작성하고, 작성된 표준안에 대한 WG 서면투표(WG LB-Ballot)를 여러 차례의 거 합의된 표준안 완성
- ▷ 완성된 표준안을 IEEE 802 집행위원회의 승인을 거쳐 IEEE-SA 스폰서 투표(Sponsor Ballot 혹은 SA-Ballot)를 통해 최종 표준안 완성
- ▷ 승인된 최종 표준안은 표준안 제정/개정 승인 및 발간을 담당하는 IEEE-SA에 제출되어 표준 문서로 발간됨

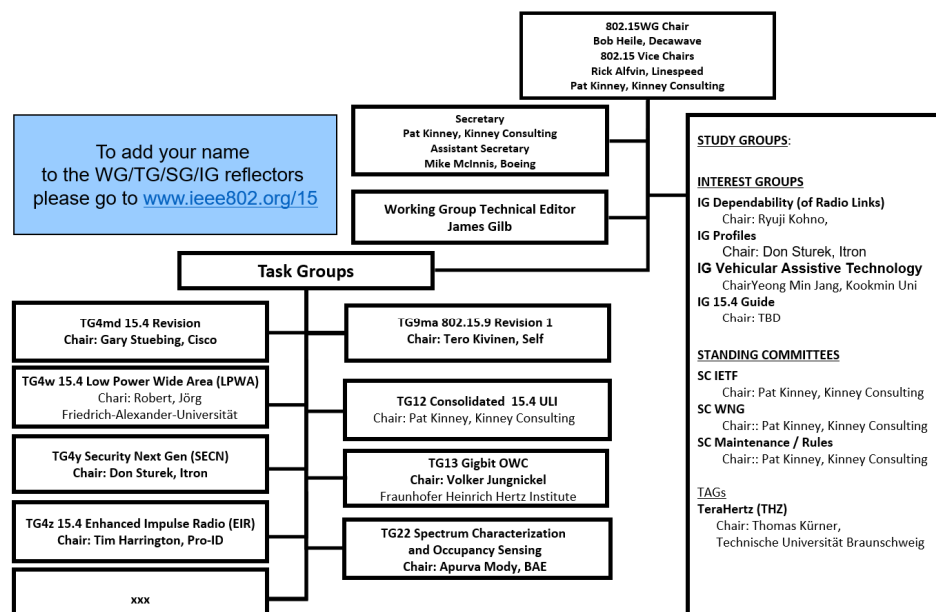


< IEEE802 LAN/MAN 표준 위원회 표준 개발 절차 >

- IEEE 802.15 LMSC 회원은 아래와 같이 회의 참석 및 서면 투표 응답에 따라 투표권이 부여되고 유지됨
- ▷ 회의 참석은 전체 총회 4회 중 2회 이상 참석하여야하고, 한 번의 임시회의 참석은 총회 참석으로 대신할 수 있음(모든 회의는 75% 이상 참석해야 출석 인정)
- ▷ 회원들은 WG 서신 투표에 참가해야 하며, 만약 3개의 서신 투표 중 2개의 투표에 참여하지 않으면 투표권을 상실함

1.2 IEEE 802.15 WPAN 표준기구 개요

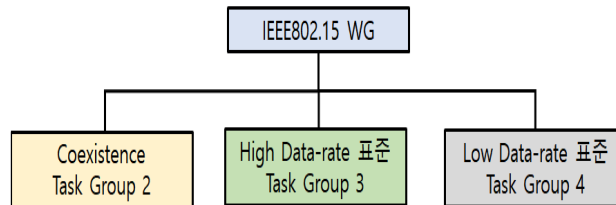
- 1999년 3월 움직이거나 정지 상태에서 사방으로 10m 이내의 사람들 활동 공간인 좁은 영역에서 무선 접속 표준기술을 개발하기 위한 WG15 WPAN(Wireless Personal Area Networks) 표준그룹이 결성됨
 - ▷ 1994년부터 스웨덴의 Ericsson에서는 RS-232 통신 케이블을 무선으로 대체하기 위한 연구가 시작되었으며, 이를 바탕으로 1998년 IBM, 노키아, 도시바, 인텔, 에릭슨 등이 힘을 합쳐 Bluetooth SIG(Special Interest Group)를 결성함
 - ▷ 1998년 3월 IEEE802.11 WLAN(Wireless Local Area Network) 표준화 그룹에서 저전력 소모와 복잡하고 낮은 POS(Personal Operation Space) 영역에서 무선 접속을 제공할 수 있는 새로운 기술의 필요성이 제기됨
 - ▷ 1999년 3월 Bluetooth 물리(PHY) 계층과 데이터 링크(Data Link) 계층 표준화를 목적으로 IEEE802.11 WLAN 표준그룹에서 분리하여 IEEE 802.15 WPAN 표준그룹을 결성함
- IEEE802.15 WSN 조직 구성도 및 운용
 - ▷ WG15는 TG(Task Group), SG(Study Group), IG(Interest Group)로 구성됨
 - ▶ 최근까지 WG15 의장을 맡아오던 Bob Heile 의장의 갑작스러운 사망으로 부의장이었던 Pat Kinney가 의장직을 승계함
 - ▷ IEEE802.15 WSN 표준 절차, 회원 자격, 투표권 부여 및 유지, 회의 개최 등의 WG 운영 절차는 상위 기관인 IEEE802 LMSC 규칙을 준용한 IEEE 802.15 운용 매뉴얼에 따름



< IEEE802.15 WSN 조직과 임원 >

1.3 IEEE 802.15 WPAN 표준화 동향

- WLAN과 Bluetooth의 도입으로 다양한 분야의 응용 사례가 가능하리라 여겨졌으나 많은 네트워크 공학자들은 이 두 가지 기술을 적용하기에는 적합하지 않은 많은 응용 사례가 있음을 알게 되었고, IEEE802.15 WPAN 표준그룹은 Low Data-Rate와 High Data-Rate WPAN TG(Task Group)로 분리하여 표준화가 진행됨



< 초기 IEEE802.15 WPAN 표준 그룹 >

- ▷ ZigBee 개발자들의 제안으로 아주 낮은 전력 소모와 가격으로 산업용, 가정용, 의학용 어플리케이션을 목표로 Low Rate WPAN 표준 개발을 위한 TG4를 결성함
 - ▶ 2001년 IEEE802.15 WPAN 표준 그룹에서는 ZigBee 개발자들의 제안으로 아주 낮은 전력 소모와 가격으로 산업용, 가정용, 의학용 어플리케이션을 목표로 Low Rate WPAN 표준 제정을 위한 IEEE802.15.4 표준 그룹을 조직 함
 - 1998년부터 WLAN과 Bluetooth 기술보다 더 저가이면서, 배터리를 탑재하고도 1~2년 정도 사용할 수 있는 저전력이며, 다수의 노드들 간의 self-organizing기능을 갖춘 ZigBee 기술 개발이 시작됨
 - 2002년 ZigBee 상위 계층 표준 개발을 위해 ZigBee Alliance가 설립되었고, 2003년 IEEE802.15.4에서 완성된 PHY 와 MAC을 기반으로 그 상위에 네트워크 구조, 라우팅, 시큐리티 등을 추가하여 2004년 첫 번째 표준 규격의 ZigBee 1.0(ZigBee-2004)이 승인 됨
 - ▶ TG4 Low Data-rate WPAN 표준 그룹은 특별한 응용 서비스를 지원하기 위한 많은 TG들이 결성되어 현재까지 WG15에서 가장 표준 규격 제정과 개정 작업 활동이 활발하게 진행됨

표준 그룹	표준 내용
IEEE802.15.4	수개월에서 수년의 배터리 수명을 가진 저속 WPAN(ZigBee PHY & MAC)
IEEE802.15.4a	통신 및 고정밀 거리/위치 측정 기능을 제공하기 위한 대체 PHY(IR-UWB)
IEEE802.15.4b	IEEE802.15.4-2003 표준의 개선 및 명확화
IEEE802.15.4c	IEEE802.15.4-2006/802.15.4a-1997에서 중국 규제 변경사항을 해결하기 위한 PHY 수정
IEEE802.15.4d	일본에서 새로운 주파수 할당 (950~956MHz)을 지원하는 PHY/MAC
IEEE802.15.4e	산업 시장 및 호환성을 더 잘 지원하기 위해 802.15.4-2006에 대한 MAC 수정
IEEE802.15.4f	능동형 RFID 및 센서 애플리케이션을 위한 저비용, 저 에너지 소비 및 안정적인 통신

< 초기 IEEE802.15.4 Low Data-rate WPAN TG 표준화 >

- ▷ 최대 1Mbps의 전송률과 세 개의 음성 채널로 매우 제한된 데이터 전송을 지원하는 블루투스2.0의 취약점을 극복하고 멀티미디어 전송이 가능한 기기들 간의 애드혹 형태의 연결을 지원하기 위한 High Data-rate WPAN 표준 개발을 위한 TG3 표준그룹을 결성함
 - ▶ 2003년 IEEE802.15.3 High Data-rate WPAN 표준이 완료되었으나 초광대역(Ultra Wideband) 무선 기술이 차세대 신기술로 급부상되면서 상용화가 되지 못하였고, UWB 초고속 무선통신 표준 추진을 위한 IEEE802.15.3a 표준 그룹이 구성됨
 - IEEE802.15.3a UWB 표준은 DS-UWB방식과 MB-OFDM UWB 방식이 경쟁하다 회의 참석자의 75% 이상의 찬성을 받아야 하는 down-selection 투표 규정을 양 진영 모두 통과하지 못하고 아무런 타협 없이 5년이라는 시간만 낭비하고 2006년 각자 시장을 통한 독자 표준을 추진하게 됨
 - UWB 기술은 한치의 양보 없는 표준 경쟁으로 표류하면서 양쪽 진영 모두 시장 진입 시기를 놓치고 개발된 기술이 사장되는 최악의 상황을 맞이했고, 이 사건 이후 IEEE802.15 표준 제정 절차에 Down-Selection 제도가 사라지고 복수의 표준을 선택하는 표준화 양상으로 변화됨
 - ▶ IEEE802.15.3 High Data-rate WPAN을 지원하기 위해 매체접근제어 계층을 개정하기 위한 TG3b 표준그룹과 mm파를 이용하여 초고속 UWB 통신기술의 대체할 수 있는 초고속 WPAN 무선통신 개발을 위한 TG3c 표준그룹이 결성됨
 - 초고속 WPAN 표준이 완료 되었으나 WLAN 기술의 급성장으로 현재 WG15에서 High Data-rate WPAN 표준 추진은 사람들의 관심을 받지 못하는 상황으로 변함

표준 그룹	표준 내용
IEEE802.15.3	20Mbps 이상의 전송속도를 목표로한 High Data-Rate WPAN
IEEE802.15.3a	UWB 기술을 이용한 초고속 무선통신(600Mbps) (Down Selection 실패로 Withdraw됨)
IEEE802.15.3b	IEEE802.15.3 MAC의 구현 및 상호운용성 개선을 위한 MAC 개선
IEEE802.15.3c	mm파 대역을 이용한 IEEE802.15.3 대체 PHY

< 초기 IEEE802.15.3 Low Data-rate WPAN TG 표준화 >

- 사물인터넷 기술이 부각되는 4차 산업혁명 시대에 접어들면서 IEEE 802.15 무선 개인 통신망 (WPAN) 표준 그룹은 전원 공급이 어렵거나 배터리의 교체가 힘든 환경에서 통신 커버리지가 넓고 저전력 특성을 갖는 LPWA(Low Power wide Area) 개념의 무선통신과 특정한 응용 서비스에 특화된 TG4 Low Data-rate WPAN 중심으로 표준화가 활발하게 진행됨
 - ▷ 2010년 이후 스마트 그리드가 부각 되면서 전기, 수도, 가스와 같은 유틸리티의 사용량을 원격으로 검침하는 AMI 구축을 목표로 통신거리 1km 이상을 보장하는 IEEE802.15.4g SUN(Smart Utility Network) 표준이 시작 되면서 10m 내외의 짧은 거리를 목표로 했던 WPAN 개념에서 벗어나게 됨

M2M/IoT 요구 사항과 부합하는 통신 기술 부재		
<ul style="list-style-type: none"> - ZigBee PHY/MAC 문제점 검토 <ul style="list-style-type: none"> : 통신거리 및 전송속도의 한계 : 장애물/간섭에 의한 통신품질 저하 : 음영지역 발생 : 저전력화의 어려움 		<ul style="list-style-type: none"> - 저전력 광역 WPAN 기술 요구 사항 <ul style="list-style-type: none"> : 1Km 이상의 통신거리 : 음영지역에서 신뢰성 있는 통신 : 저전력화 : 최소 인프라

< LPWA 개념 도입 >

- ▶ 2014년 LPWA(Low Power Wide Area) 개념이 도입된 IEEE802.15.4g SUN 표준 완료 이후 열악한 사물인터넷 환경에서 고신뢰 전송이 가능하고 넓은 커버리지와 우수한 회절성/투과성을 보장하는 IEEE802.15.4k LECIM (Low Energy Critical Infrastructure Monitoring), IEEE802.15.4m TVWS WPAN 표준들이 제정되면서 Working Group 15의 명칭을 WPAN에서 새로운 명칭으로 WSN(wireless Speciality network)로 변경하자는 요구가 나타나기 시작함



< 저전력 광역 WPAN의 출현 >

- ▶ IEEE802.15.4g SUN 물리 계층 표준은 Wi-SUN PHY로 정의되어 스마트 그리드, 스마트 시티 등 다양한 응용 서비스에 적용되면서 시장의 요구사항 반영을 위해 지역별 사용 주파수 및 전송속도 추가 작업을 TG4u, TG4v, TG4x 표준그룹을 통해 지속적으로 개정되었으며, 최근 배포된 개정표준 IEEE802.15.4-2020에 통합되어 반영됨
- ▶ 최근 일본 주파수 대역에 중점을 두고 IEEE802.15.4-2020 SUN 표준에서 SUN FSK 변조 및 채널 매개 변수에 대한 데이터 속도 확장하기 위해 일본을 중심으로 TG4aa를 결성하고 표준화를 시작함
- ▷ LPWA 개념이 도입된 SUN, LECIM, TVWS 표준들과 병행하여 사물인터넷의 다양한 응용 서비스에 최적화된 Low Data-rate WPAN 표준이 꾸준히 개발됨
 - ▶ 철도 통신과 제어 기능에 적합한 RCC(Rail Communication and Control)
 - ▶ 저속 및 고속 UWB 임펄스 라디오 802.15.4 기능에 대한 개선 목적의 EIR(Entrenchment Impulse Radio)
 - ▶ 기존의 IEEE 802.15.4 표준에 무선 자원 상황을 측정하는 기능을 추가

표준 그룹	표준 내용
IEEE802.15.4g	전기, 수도, 가스와 같은 유틸리티의 메터링 서비스에 적합한 스마트 유틸리티 네트워크(Smart Network Network)
IEEE802.15.4h	Corrigendum 1
IEEE802.15.4j	의료 대역 개정
IEEE802.15.4k	저전력으로 재해, 재난 감시 등에 활용 가능한 LECIM(Low Energy Critical Infrastructure Monitoring)
IEEE802.15.4m	TV 방송 용도로 할당된 주파수에 대해 시공간적으로 비어 있는 영역을 사용하여 사물인터넷에 적합한 무선통신(TVWS WPAN)
IEEE802.15.n	중국의 174-216 MHz, 407-425 MHz, 608-630MHz 대역을 의료 목적의 무선 통신으로 사용 가능하도록 표준 기술을 정의
IEEE802.15.4p	철도 통신과 제어 기능에 적합한 RCC(Rail Communication and Control)
IEEE802.15.4q	기존의 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 전력 소모를 극도로 줄인 새로운 물리 계층 기술의 추가(Ultra Low Power)
IEEE802.15.4r	기존의 IEEE 802.15.4 표준에 대상과의 거리 측정기술을 추가 (Distance Measurement Technique)
IEEE802.15.4s	기존의 IEEE 802.15.4 표준에 무선 자원 상황을 측정하는 기능을 추가 (Spectrum Resource Usage in WPAN)
IEEE802.15.4t	새로운 물리 계층을 지원하는 데 필요한 MAC (Medium Access Control) 계층에 대한 수정 사항을 정의
IEEE802.15.4u	인도에서 865-867MHz 대역을 사용할 수 있는 SUN PHY 계층을 정의
IEEE802.15.4v	IEEE Std 802.15.4-2015 SUN PHY에 대한 변경 사항을 정의 (4g, 4k, 4m PHY에 나열된 채널 매개변수 변경)
IEEE802.15.4w	IEEE Std 802.15.4-2015 SUN PHY에 대한 변경 사항을 정의
IEEE802.15.4x	IEEE802.15.4g SUN 표준 개정(Field Area network) (Higher data-rate & Long range 모드 지원))
IEEE802.15.4z	저속 및 고속 UWB 임펄스 라디오 802.15.4 기능에 대한 개선 사항을 탐색하고 개발(Enhancement Impulse Radio)

< IEEE802.15.4 Low Data-rate WSN 표준화 TG >

- IEEE802.15 표준그룹에서는 RF 대신 Optical을 사용하는 VLC(Visual Light Communication) 및 OCC(Optical Camera Communication)에 대한 표준도 다루고 있으며, Mesh Network, Layer 2 Routing, Security 등 데이터 링크 계층에 관련된 표준도 제정함

표준 그룹	표준 내용
IEEE802.15.5	WPAN Mesh Network
IEEE802.15.6	Wireless Body Area network
IEEE802.15.7	IEEE802.15.3 MAC의 구현 및 상호운용성 개선을 위한 MAC 개선
IEEE802.15.8	Peer Aware Communication
IEEE802.15.9	Key Management protocol
IEEE802.15.10	Layer 2 Routing

< IEEE802.15 WSN 표준화 TG >

- 최근 새롭게 부상하는 사물인터넷(IoT)을 위한 무선 네트워킹을 다루는 개방형 합의 (Open Consensus) 표준 개발에 초점을 두고 WG 명칭을 WPAN에서 WSN(Wireless Specialty Networks)으로 변경 함

- ▶ IEEE802.15.4g(SUN), IEEE802.15.4k(LECOM), IEEE802.15.4m(TVWS) 표준에서 통신 커버리지가 수십 Km로 확장됨으로 WPAN 개념과 상이점 발생
- ▶ 표준그룹 휴지 상태였던 IEEE902.16 Broadband Wireless Access 표준그룹이 IEEE802.15 표준그룹에서 TG16t를 결성하고 표준화 재개
- ▶ 현재 WG15는 WPAN은 여전히 포함되어 있지만 다른 많은 유형도 포함하고 있어 WSN 명칭이 WG 범위 및 활동에 더 부합됨

1.4 현재 IEEE802.15 표준그룹의 WSN 표준화 현황

- 현재 IEEE802.15 표준그룹은 7개의 Task Group, 1개의 Interest Group, 4개의 Standing Committee가 운영되고 있음

TG4_{cor} Task Group 4Cor 15.4 2020 Revision 1	TG4_y Task Group SECN Security Next Generation	TG4_{aa} Task Group JRE Japanese Rate Extension	SG7_a Study Group OCC High Data Rate
TG9_{ma} Task Group 9ma 15.9 REV1	TG13 Task Group MG OWC Multi Gigabit/sec Optical Wireless Communication	TG16_t Task Group 16t Licensed Narrowband	SC_{maint} Standing Committee MAINT Maintenance Group
SC_{ietf} Standing Committee IETF IETF Liaison	SC_{wng} Standing Committee WNG Wireless Next Generation	SC_{THz} Standing Committee THz TeraHertz	IG_{dep} Interest Group DEP Enhanced Dependability

< 현재 표준화 진행중인 IEEE802,15 WSN 표준그룹 >

- TG4y(SECN), TG 9ma(IEEE15.9 Revision 1), TG 13 Multi-Giga bit/s Optical Wireless Communication 표준 그룹은 SA-Ballot 단계임

▷ IEEE802.15.4y(SECN: Security Next Generation) 현황

- ▶ 암호 제품군/인증 방법 레지스트리 및 알고리즘이 추가된 AES-256-CCM를 포함하는 IEEE Std 802.15.4에 대한 보안 확장
- ▶ 2020년 9월 Letter Ballot #179을 통과하여 CRC에서 Teleconference를 통해 Comment resolution을 마치고 현재 WG 재회람 Letter Ballot #181 진행중

▷ IEEE802.15.13(Multi Gbit/sec Optical Wireless Communication) 현황

- ▶ 10,000nm ~ 190nm의 광 파장을 사용하여 최대 10Gbit/s의 속도로 엔드 포인트 중 최대 200m 범위의 무제한 사이트 라인을 보장하는 PHY 개발

- ▶ 2020년 4월 LB 174을 통해 PAR 제목을 Multi-Gigabit per Second Optical Wireless Communications (OWC) with Ranges up to 200meters에서 Multi-Gigabit per Second Optical Wireless Communications (OWC), with Ranges up to 200 meters, for both stationary and mobile devices으로 변경
- ▶ 현재 4차 WG 재회람 Letter Ballot #181 진행 중
- ▷ TG9ma(15.9 REV1) 현황
 - ▶ IEEE 규격 802.15.9-2016과의 호환성을 유지하며 세션 키 생성 (128비트 및 256비트 키 길이), 브로드캐스트/멀티캐스트 키 생성 및/또는 전송, 보안 알고리즘 민첩성 문제를 해결하기 위한 보안 키 관리 확장
 - ▶ 2020년 9월 표준안 완성, SA-Ballot 요청, CRG 구성 완료
- TG4cor(IEEE802.15.4-2020 Revision), IEEE802.15.16t(Licensed Narrowband), TG4aa(Japanese Rate Extension), IEEE802.15.7a(Optical Camera Communication High Data-rate) 표준 그룹은 2020년에 신설된 TG로 PAR & CSD 승인 단계임
 - ▷ TG4cor(IEEE802.15.4-2020 Revision 1) 현황
 - ▶ 최근 배포된 IEEE802.15.4-2020 개정 표준 문서에 수 많은 오류, 불일치, 수정이 필요한 모호함이 발견되어 표준 개정을 목적으로 TG를 구성함
 - ▶ 2020년 9월에 Interim 회의에서 비대면 원격회의로 첫 번째 TG 회의를 시작하였고, 현재 IEEE802.15.4-2020에서 발견된 오류에 대한 제안서를 받고 있음
 - ▷ IEEE802.15.16t(Licensed Narrowband) 현황
 - ▶ IEEE 802.16-2017 Broad Wireless Access 표준을 협대역 채널을 사용하여 사물인터넷을 지원하는 표준으로 개정 목적으로 2020년 1월 TG16t로 승인
 - ▶ 현재 PAR & CSD 준비와 함께 SRD(Standard Requirement Document) 작성을 진행하고 있으며, 관련 기고서를 요청하고 있음
 - ▷ IEEE802.15.4aa(Japanese Rate Extension) 현황
 - ▶ 일본 주파수 중심으로 IEEE802.15.4-2020 SUN FSK 표준에서 High Data-rate 모드 추가
 - ▶ 아직 NesCom 승인 전이나 WG Letter Ballot을 통과하여 2020년 9월부터 TG 역할 수행함
 - ▶ 10월 24일 제안서 접수 완료함
 - ▷ IEEE802.15.7a(Optical Camera Communication High Data-rate) 현황
 - ▶ IEEE802.15.7-2018 OWC 표준에서 OCC High Data-rate 모드 추가 목적으로 2020 9월에 TG로 승인됨

- ▶ 현재 Call for Application 기고서 요청 중
- 최근 코로나-19로 인한 비대면 회의 진행의 어려움으로 IG(Interest Group)와 SC(Standing Committee) 표준그룹의 활동은 거의 정지되어 있는 상황임
 - ▷ IG DEP(Enhanced Dependability) 현황
 - ▶ 2013년 3월 신뢰할 수 있는 무선 BAN(body Area Network) 목표로 Interest Group 구성하여 인간, 자동차 및 로봇에 대한 새로운 WBAN 표준 보다 기존 IEEE802.15.6의 개정에 집중
 - ▶ 2019년 11월 Use case, Technical requirement 검토 이후 코로나-19로 회의 중단 상태
 - ▷ Standing Committees 현황
 - SC WNG(Wireless Next Generation)는 새로운 기술 소개를 요청할 때 운용되는 임시 표준 그룹(새로운 기술은 발표를 통해 IG 또는 SC를 구성)
 - SC MAIN(Maintenance Group)은 기존 표준으로 요청된 변경사항 또는 운영 매뉴얼을 통해 요청된 변경사항으로 요청에 의해 운용되는 임시 표준 그룹
 - SC THz(Terahertz): 275와 3000GHz 사이의 THz 주파수 대역에서 작동하는 THz 통신 및 관련 네트워크 애플리케이션에 관련된 기술을 검토하는 표준 그룹으로 현재 Technical Advisory Group (TAG)으로 표준 제정은 하지 않음
 - SC IETF(IETF Liason)은 IETF 표준에 관련된 기술을 검토하기 위해 요청에 의해 운용되는 임시 표준그룹

2 IEEE802.15 WSN 주요 표준 이슈 분석

1.1 TG4 Low Data-rate WSN 표준화 이슈 및 전망

○ IEEE802.15 TG4 표준그룹 개요

- ▷ IEEE 802.15 TG4는 센서네트워크 구축을 위해 수개월에서 수년 사이의 배터리 수명과 매우 낮은 복잡성을 가진 낮은 데이터 전송 속도 솔루션을 개발하기 위해 2000년 12월에 결성된 WG15 하위 표준 그룹임
 - ▶ 비면허 국제 주파수 대역으로 운용
 - ▶ 잠재적인 애플리케이션으로는 센서, 인터랙티브 완구, 스마트 배지, 리모컨, 홈 오토메이션 등
- ▷ IEEE802.15 TG4는 ZigBee 기술을 위한 물리(PHY) 계층과 매체 접근 제어(MAC) 계층을 정의한 IEEE Std 802.15.4-2003을 첫 번째 표준 문서로 발표하였고, 이후로 개별 TG에서 제정한 표준들을 통합한 개정표준 IEEE Std 802.15.4-20011, IEEE Std 802.15.4-2006, IEEE Std 802.15.4-20011, IEEE Std 802.15.4-20015, IEEE802.15.4-2020을 배포함
 - ▶ IEEE Std 802.15.4-2003은 단순하고 효과적인 매체 접근 제어(MAC) 계층으로 서로 다른 주파수 대역에서 작동하는 두 개의 선택적 물리적 계층(PHY)을 정의
 - ▶ IEEE Std 802.15.4-2006 표준은 2개의 물리(PHY) 계층 옵션을 추가하였고 매체 접근 제어(MAC) 계층은 이전 버전과의 호환성을 유지했지만, 개정안은 다음을 포함한 다양한 MAC 개선사항과 버전 번호가 증가된 MAC 프레임을 추가함
 - 데이터 타임스탬프 메커니즘을 통한 공유 타임베이스 지원
 - 신호 스케줄링 지원
 - 비콘 지원 PAN(Personal Area Network)에서 브로드캐스트 메시지 동기화
 - MAC 계층 보안 향상
 - ▶ IEEE Std 802.15.4-2011 표준은 2006년 개정 이후 승인된 3개 개정 내용을 포함하였고 범위 조정을 지원하는 MAC 기능과 함께 4가지 물리(PHY) 계층 옵션이 추가됨
 - 각 PHY가 별도의 조항을 갖도록 표준의 구성을 변경함
 - MAC 조항이 기능 설명, 인터페이스 사양 및 보안 사양으로 분할됨
 - ▶ IEEE Std 802.15.4-2015 표준은 6개의 PHY 수정사항과 1개의 MAC 수정사항, 코리젠다 및 명확화 등이며 개정으로 추가된 특징은 다음과 같음
 - 이전 버전과의 호환성을 유지하는 향상된 프레임 형식
 - 정보 요소(IE)
 - 채널 민첩성

- 확장된 슈퍼프레임 옵션
- 저에너지 메커니즘
- 데이터를 운반하고 보안을 유지할 수 있는 향상된 수신확인 프레임
- 우선순위 지정 채널 액세스
- 무선 주파수 식별(RFID), 스마트 유틸리티 네트워크(SUN), TWWS(TWWS) 운영, 저에너지 중요 인프라 모니터링(LECIM), 철도 통신 및 제어(RCC) 등 다양한 애플리케이션 요구를 지원하기 위한 다양한 새로운 PHY 변조, 코딩 및 밴드 옵션
- ▶ 2020년 5월 공표된 IEEE802.15.4-2020 표준은 2015년 개정 이후 승인된 6개 개정 내용을 포함하였고 2개의 PHY 수정안과 1개의 MAC 수정안이 추가됨.
 - 스마트 유틸리티 네트워크(SUN), 중국 의료 밴드(CMB), 3차 진폭 시프트 키잉(TASK), 레이트 스위치 가우시안 주파수 시프트 키잉(RS-GFSK) 등 다양한 애플리케이션 요구를 지원하기 위한 다양한 새로운 PHY 변조, 코딩 및 밴드 옵션
 - 2015년 개정 이후 개인의 요청으로 코리젠다와 명확화의 상당 부분이 수집되었고 주요 코리젠다 항목에는 주소 필드의 전송 순서가 변경되었음
 - 현재 개정 표준 문서에서 많은 오류가 발견되어 현재 TG4cor을 구성하여 수정 작업이 진행중임

○ IEEE802.15.4-2020 SUN-FSK 표준 개정 내용

- ▷ IEEE802.15.4-2015 표준에 정의된 물리계층과 매체접근제어계층 타이밍 파라미터에 사용되는 SUN FSK 심볼 구간에 대한 규정에 아래 표와 같이 주파수 대역을 추가하여 정리함

Frequency Band (MHz)	Symbol Period used for MAC and PHY timing parameter(us)	Frequency Band (MHz)	Symbol Period used for MAC and PHY timing parameter(us)
169.400 – 169.475	208+1/3	902-907.5 & 915-928	20
450-470	104+1/6	915-928	20
470-510	20	915-921	20
779-787	20	915-918	20
863-870	20	917-923.5	20
865-867	20	919-923	20
866-869	20	920-928	20
870-876	20	920.5-924.5	20
896-901	100	920-925	20
901-902	100	928-960	100
902-928	20	1427-1518	100
902-928(alternate)	20	2400-2483.5	20

< PHY/MAC 계층 Timing Parameter에 사용되는 SUN FSK Symbol Period >

▷ IEEE802.15.4-2020 SUN-FSK 표준에는 IEEE802.15.4u, IEEE802.15.4v, IEEE802.15.4x 표준그룹에서 추가된 주파수 대역과 운영 모드에 대한 변조방식과 채널 파라미터를 다음과 같이 새로이 정리함

- ▶ 169MHz, 450MHz, 470MHz, 779MHz, 863MHz, 896MHz, 901MHz, 915MHz, 928MHz, 1427MHz 대역에서 표준으로 정의된 물리계층 운영 모드에 대한 변조 및 채널 파라미터는 아래 표와 같음.
- 장치는 작동 모드 #1을 지원해야 하며 작동 모드 #2와 #3을 추가로 지원할 수 있다.
- 866 MHz 대역의 경우 장치는 작동 모드 #1과 #2를 지원해야 하며 추가로 작동 모드 #3을 지원할 수 있다.

Band Designation (MHz)	Parameter	Operating Mode #1	Operating Mode #2	Operating Mode #3
169	Data Rate(Kbps)	4.8	2.4	9.6
	Modulation	2-FSK	2-FSK	4-FSK
	Modulation Index	0.5	2.0	0.33
	Channel Spacing(KHz)	12.5	12.5	12.5
450	Data Rate(Kbps)	9.6	4.8	-
	Modulation	4-FSK	2-FSK	-
	Modulation Index	0.33	1.0	-
	Channel Spacing(KHz)	12.5	12.5	-
470	Data Rate(Kbps)	50	100	150
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	200	200
779	Data Rate(Kbps)	50	100	200
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	1.0	0.33
	Channel Spacing(KHz)	200	400	400
863	Data Rate(Kbps)	50	100	150
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	100	200	200
866	Data Rate(Kbps)	50	100	150
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	100	200	200
896	Data Rate(Kbps)	10	20	40
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	12.5	12.5	12.5
901	Data Rate(Kbps)	10	20	40
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	12.5	12.5	12.5
915	Data Rate(Kbps)	50	150	200
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK

	Modulation Index	1	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	400	400
917	Data Rate(Kbps)	50	150	200
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	400	400
928 ^b	Data Rate(Kbps)	10	20	40
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	25	25	25
1427 ^b	Data Rate(Kbps)	10	20	40
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	25	25	25
2450	Data Rate(Kbps)	50	150	200
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	400	400

a 표시된 데이터 전송률은 공기중 데이터 전송 속도(FEC 활성화 여부와 무관하게 공기중에서 전송되는 데이터 전송 속도)이다.

b 비연속적

- ▶ 867MHz, 870MHz, 915MHz-a, 915MHz-b, 915MHz-c, 915MHz-d, 915MHz-e, 919MHz, 920MHz에서 표준으로 정의된 물리계층 운영 모드에 대한 변조 및 채널 파라미터는 아래 표와 같음.
- 이러한 대역의 경우 장치는 작동 모드 #1과 #2를 모두 지원해야 하며 작동 모드 #3, #4 및 #5를 추가로 지원할 수 있다.

Band Designation (MHz)	Parameter	Operating Mode #1	Operating Mode #2	Operating Mode #3	Operating Mode #4	Operating Mode #5
867	Data Rate(Kbps)	50	100	150	200	300
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	100	200	200	400	400
870	Data Rate(Kbps)	50	100	150	-	-
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	-	-
	Modulation Index	0.5	0.5	0.5	-	-
	Channel Spacing(KHz)	100	200	200	-	-
915-a	Data Rate(Kbps)	50	100	150	200	300
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	100	200	200	400	400
915-b	Data Rate(Kbps)	50	100	150	200	300
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	200	200	400	400
915-c	Data Rate(Kbps)	50	100	150	200	300
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK

	Modulation Index	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	200	200	400	400
915-d	Data Rate(Kbps)	50	100	150	200	300
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	200	200	400	400
915-e	Data Rate(Kbps)	50	100	150	200	300
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	200	200	400	400
919	Data Rate(Kbps)	50	100	150	200	300
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	200	200	400	400
920	Data Rate(Kbps)	50	100	200	400	-
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	4-FSK	-
	Modulation Index	1.0	1.0	1.0	0.33	
	Channel Spacing(KHz)	200	400	600	600	
920-a	Data Rate(Kbps)	50	100	150	-	-
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	-	-
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5	-	-
	Channel Spacing(KHz)	200	200	200	-	-
920-b	Data Rate(Kbps)	50	100	150	200	300
	Modulation	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK	2-FSK
	Modulation Index	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
	Channel Spacing(KHz)	200	200	200	400	400

a 표시된 데이터 전송 속도는 공중 데이터 전송 속도(FEC 활성화 여부와 무관하게 공중에서 전송되는 데이터 전송 속도)이다.

b 200 kHz의 채널 분리가 사용된다. 채널 간격은 200 kHz 채널의 번들을 보여준다.

- ▶ 주파수 대역 470MHz, 780MHz, 863MHz, 866MHz, 867MHz, 870MHz, 915MHz, 915MHz-a, 915 MHz-b, 915 MHz-c, 915 MHz-d, 915 MHz-e, 917 MHz, 919 MHz, 920 MHz-a 및 920 MHz-b는 표에 명시된 운영 모드 #1a 및 #1b를 추가로 지원할 수 있음.

Parameters	Operating Mode #1a	Operating Mode #1b
Data Rate(Kb/s)	10	20
Modulation	2-FSK	2-FSK
Modulation Index	1.0	1.0
Channel Spacing(KHz)	50	100

▷ IEEE802.15.4-2020 SUN-FSK 표준에서 기본 물리계층으로 FSK-SUN을 사용하다가 필요에 따라 모드 전환 스위치 프레임을 전송하면 다른 물리계층으로 전환 가능한 선택적 사항을 계속 유지하고 추가된 운영모드에 대한 모드 필드 값을 정의함

- ▶ 2012년 IEEE802.15.4g SUN 표준은 3개의 FSK, OFDM, OQPSK 변조 방식의

SUN-FSK <ul style="list-style-type: none"> ▪ Oriented Low-Power ▪ Mandatory 50Kbps ▪ 4.8 ~ 400Kbps data-rate ▪ Optional Reliability Enhancing Features 	SUN-OFDM <ul style="list-style-type: none"> ▪ Oriented High Data-rate ▪ 4 Optional mode ▪ 50 ~ 800Kbps data-rate ▪ 200KHz~1.2MHz bandwidth 	SUN-OQPSK <ul style="list-style-type: none"> ▪ Oriented DSSS technology ▪ 2 spreading codes ▪ 6.25~500Kbps data-rate ▪ 200KHz~5MHz bandwidth
--	--	--

< IEEE802.15.4g SUN 물리계층 표준 >

물리계층을 지원하도록 정의함

- ▶ 모스 스위치 PHY의 형식은 아래와 같으며 Mode Switch를 1로 설정되면 모드 전환이 발생함을 나타냄

Bits: 0	1-2	3	4-10	11-14	15
Mode Switch	Mode Switch Parameter	New Mode FEC	New Mode	Checksum	Parity Check

< IEEE802.15.4g SUN-FSK 모드 스위치 PHY의 형식 >

- ▶ 모드 스위치 PHY의 New Mode 영역의 형식은 아래와 같으며 Modulation Scheme이 0으로 설정되면 SUN-FSK, 1로 설정되면 SUN-OFDM, 2로 설정되면 SUN-OQPSK로 동작함

Bits: 0	1-2	3-6
Page	Modulation Scheme	Mode

< 모드 스위치 PHY의 New Mode 영역의 형식 >

- 만일 Modulation Scheme이 SUN-FSK를 표시하는 1로 설정되면 아래 왼쪽 표에서 제시된 운영 모드를 사용함
- IEEE802.15.4-2020 SUN-FSK 표준에서는 추가된 Modulation Scheme에 대한 Mode 영역의 값을 아래 오른쪽 표와 같이 정의하고, 변조 방식이 FSK가 아닌 경우 Mode 영역은 전송 시 0으로 설정되어야 함

Bit	Description
0	SUN FSK operating mode #1
1	SUN FSK operating mode #2
2	SUN FSK operating mode #3
3	SUN FSK operating mode #4

< Mode 영역의 값 >

Mode Value	Mode description
0x0	SUN FSK operating mode #5
0x1	SUN FSK operating mode #1a
0x2	SUN FSK operating mode #1b
0x3-0xF	Reserved

< 추가 Mode 영역의 값 >

○ SUN-FSK 표준에 대한 High Data-rate 추가 작업 동향

- ▷ 일본 주파수 대역에 중점을 두고 IEEE802.15.4-2020 SUN FSK 표준에서 변조 및 채널 매개 변수에 대한 데이터 속도 확장을 추가하는 목적으로 TG4aa

JRE(Japanes Rate Extension)가 결성됨

- ▶ 동작 주파수 대역: 920-928MHz 일본 주파수 영역
- ▶ SUN FSK PHY High Data-Rate 확장.

▷ TG4aa JRE 표준화 동향

- ▶ 2020년 1월 IG JRE를 결성하고 4월 16일 원격 회의를 통해 첫 번째 회의가 열림
 - 현재 TG4aa JRE에 참여하는 회사는 Wi-SUN Alliance 회원사인 Lapis, Oki, Nissan System, Rohm, NICT 등이 주축이며, IEEE802.15.4g SUN 표준에 참여했던 Itron, Landis+Gyr, Cisco 등 많은 기업에서 관심을 가질 것으로 예상됨
- ▶ 코로나-19로 인해 매월 비대면 원격회의로 다양한 기술적인 발표와 활용 분야에 대한 논의를 가지며 PAR와 CSD를 준비함
 - 920-928MHz 일본 주파수 지역에 대한 지원을 초기 목표
 - 채널 계획, 송신 전력, 수신 감도, 변조 세부 정보(필터링/변조 지수/데이터 속도), RF 요구사항, 현지 규제 요건 준수 등을 검토함
- ▶ 2020년 7월 IEEE802.15 총회에서 PAR와 CSD를 제출하고 8월 30일까지 실시된 Letter Ballot 통과
 - IEEE 표준협회는 NesCom 승인을 요구하기 전에 최대 6개월 동안 프로젝트 작업을 허용함
 - IG JRE는 9월 Interim 회의부터 Task Group 역할을 시작함
- ▶ 2020년 10월 26일까지 제안서 제출을 받았으며 현재 LAPIS와 교토 대학에서 제안한 2가지 High Data-Rate 모드에 대한 제안서가 접수된 상태로 11월 총회에서 제안된 제안서 발표가 있을 예정임
 - 교토 대학에서는 전송 품질을 향상시키기 위하여 외부 LNA를 사용하는 구조로 채널 주파수 927MHz, 변조지수 0.4, 2-GFSK 변조를 사용하는 600kbps 전송속도의 PHY를 제안
 - Rapis에서는 채널간격 1000KHz, 변조지수 0.4, 2-FSK 변조 방식을 사용하는 600Kbps 전송속도의 PHY 제안
- ▶ 현재 TG4aa JRE 표준 그룹에서는 계속해서 기술 검토를 위한 기고서 제출을 요청하고 있음

1.2 TG7 광 무선 통신(Optical Wireless Communication) 표준화 이슈 및 전망

○ IEEE802.15.7-2018 OWC 표준 개요

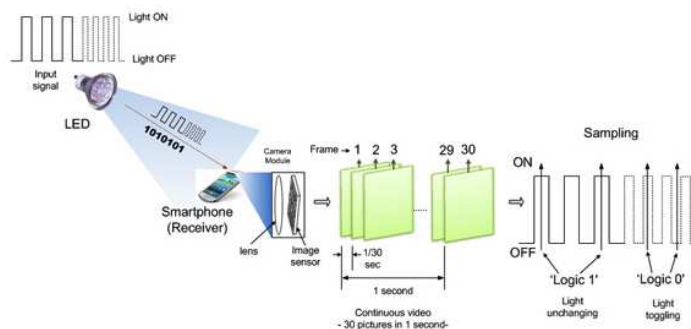
- ▷ IEEE 802.15.7 VLC(Visible Light Communication) 규격 이후에 카메라 기반 ISC(Image Sensor Communication)관련 개정 필요성이 제기되어서 IEEE 802.15.7m OWC(Optical Wireless Communication) 표준화가 진행됨
 - ▶ 광 무선통신의 초기 버전인 IEEE 802.15.7-2011 가시광통신 규격은 공식적으로 2011년에 발간 됨
 - ▶ 추가적인규격 보완을 위해 2012년부터 2013년까지 IEEE 802.15 LEDIG(Interest Group)이 만들어져 관심있는 기업과 연구기관으로부터 의견을 취합함
 - ▶ 2014년에 IEEE 802.15 OCC SG(Study Group)을 거쳐 2015년 1월부터 IEEE 802.15.7 개정을 위한 IEEE 802.15.7r1 OWC Task Group이 결성됨
 - ▶ IEEE 802.15.7r1 OWC 표준그룹은 Li-Fi 주장하던 그룹은 WG11로 이동하고 기존의 스마트 디바이스에서 사용 중인 카메라를 이용을 주장하는 OCC(Optical Camera Communication)을 주장하는 그룹은 2016년 9월에 IEEE 802.15.7m으로 표준 그룹 명칭이 변경하여 표준화를 진행함
 - ▶ 2018년 IEEE802.15.4m 표준 그룹은 표준화를 완료하고 IEEE802.15.7-2018 표준 문서를 발간함
- ▷ IEEE 802.15.7-2018 OWC 표준을 따르는 물리계층은 아래 5개 동작 모드중 적어도 하나를 구현해야 한다고 정의함
 - ▶ PHY III 모드를 구현하는 기기는 공존을 위해 PHY II 모드도 구현해야 함
 - ▶ 조광 상태에서 OOK를 사용한 변조는 보상 시간을 삽입하여 일정한 범위와 가변 데이터 속도를 제공하며, 조광 상태에서 VPPM을 사용한 변조는 펄스 폭을 조정하여 일정한 데이터 속도와 가변 범위를 제공함
 - ▶ PHY I는 짧은 프레임으로 실외용으로 설계된 만큼 리드솔로몬(RS), 콘볼루션 코딩(CC)과 결합 코딩을 지원하고 PHY II와 PHY III는 RS 코딩만 지원함
 - 또한 PHY I과 PHY II는 DC 밸런스, 시계 복구 및 감박임 완화를 제공하는 RLL 코드를 지원함
 - ▶ 다양한 어플리케이션에 대해 광범위한 종류의 광 송신기(LED)를 지원하기 위해 모든 PHY 타입에 대해 다중 광학 레이트가 제공함
 - ▶ 통신에 사용되는 광속도의 선택은 매체접근제어(MAC) 계층에서 기기 검색 중에 결정함
 - 매체접근제어(MAC) 계층은 광학 클럭 속도 선택 프로세스 동안 통신을 위한 광학 클럭 속도를 선택해야 함

- ▶ Preamble은 TX가 선택하고 RX가 지원하는 클럭 속도로 전송되어야 함.
 - 프리앰블은 시간 영역 시퀀스로 변조, 채널 코딩 또는 라인 코딩이 없음
 - PHY 헤더는 선택한 클럭 속도에 대해 가장 낮은 데이터 속도로 전송되어야 함
 - 프리앰블, 헤더 및 페이로드 사이의 프레임은 통해 클럭 속도가 변경되지 않음

OCC MCS ID	Modulation	RLL	Opticl Clock rate (MHz)	FEC		Data rate
				Outer Code(RS)	Inner Code(CC)	
PHY I Operating Mode						
	OOK	Manchester	200	(15,7)	1/4	11.67
				(15,11)	1/3	24,44
				(15,11)	2/3	48.89
				15,11)	none	73.3
				none	none	100
	VPPM	4B6B	400	(15,2)	none	35.56
				(15,4)	none	71.11
				(15,7)	none	124.4
				none	none	266.6
PHY II Operating Mode						
	VPPM	4B6B	3.75	RS(64,32)		1.25
				RS(160,128)		2
			7.5	RS(64,32)		2.5
				RS(160,128)		4
				none		5
	OOK	8B10B	15	RS(64,32)		6
				RS(160,128)		9.6
			30	RS(64,32)		12
				RS(160,128)		19.2
			60	RS(64,32)		24
				RS(160,128)		38.4
			120	RS(64,32)		48
				RS(160,128)		76.8
				none		96
PHY III Operating Mode						
	4-CSK		12	RS(64,32)		12
	8=CSK			RS(64,32)		18
	4-CSK		24	RS(64,32)		24
	8-CSK			RS(64,32)		36
	16-CSK			RS(64,32)		48
	8-CSK			none		72
	16CSK			none		96
	PHY IV Operating Mode					
0	UFSOOK	NA	Multiple of frame rate	MIMO path dependent		10bps(60fps camera with 1/3 rate FEC)
1	Twinkle VPPM	NA	4x bit rate	RS(15,11)		4kbps
2	S2-PSK	Half-rate Code	10 Hz	Temporal error correction		5kbps
3	HS-PSK	Half rate Code for S2 PSK	10 kHz	RS(15,7)		22kbps
4	Offset VPWM	none	25 Hz	RS(15,2)/RS(15,4)/ None		18bps

PHY V Operating Mode					
5	RS-FSK	none	30Hz	XOR FEC	120 bps (16-FSK without FEC)
6	C-OOK	Manchester/4B6B	2.2kHz/4, 4kHz	Inner Hamming code, Optional outer RS(15,11)	400 bps (4.4kHz, 4B6B, no FEC)
7	CM-FSK	none	10Hz	Optional outer RS(15,11)	60 bps (64-FSK, no FEC)
8	MPM	none	12.5KHz	Temporal error correction	5.71 kHz
PHY IV, PHY V, and PHY VI operating modes					
9	A-QL	none	10Hz	Outer RS(15,11), Inner CC(1/4)	5.54 kbps (32x32 cells TX, CC(1/4) RS(15,11))
10	HA-QL	Half-rate code	10Hz	Outer RS(15,7), Inner CC(1/4)	140 bps
11	VTASC	none	30Hz	RS(64,32)/RS(160,128)/None	512 kbps (FEC None)
12	SS2DC	none	30Hz	RS(64,32)/RS(160,128)/None	368 kbps (FEC None)
13	IDE-MPFSK-Blend	none	30Hz	RS(64,32)/RS(160,128)/None	32 kbps (FEC None)
14	DE-Watermark	none	30Hz	RS(64,32)/RS(160,128)/None	256 kbps (FEC None)

- IEEE802.15.7-2018 OWC 표준에 개정을 통한 High Data-rate 카메라 통신 추가 추진
 - ▷ 고속 OCC 표준 개발을 목표로 최근 TG7a(OCC High Data Rate) 표준그룹을 결성함
 - ▶ 광학적투명한 매체에서 1000nm에서 190nm까지의 빛 파장을 이으로 용한 고율 광학카메라통신(OCC) 물리계층(PHY)
 - ▶ 최대 100Mbit/s까지 데이터 전송이 가능하며, 포인트 투 포인트 및 포인트 투 멀티포인트 통신을 위해 설계
 - ▶ 다양한 채널 조건에 적응하고 높은 이동성(최대 350km/h), 감박임 완화, 무선 주파수(RF) 공존 및 최대 200m의 통신 범위가 포함



< IEEE802.15.7a OCC 기술 개념 >

Source: Google Website

▷ IEEE802.15.7a 표준화 동향

- ▶ I2017년 1월 차량 통신을 위한 고속 OCC 목표로 Interest Group 구성
- ▶ 2020년 7월 WG15 총회에서 PAR & CSD NesCom 제출이 승인되었고 2020년 9월 비대면 원격회의로 TG7a 첫 번째 회의를 시작함
- ▶ 현재 Call for Application을 요청하고 있으며, 11월 총회 기간에 비대면 원격회의로 SRD 작성을 검토할 예정임

1.3 TG16t Licensed Narrowband 표준화 이슈 및 전망

○ IEEE802.16 광대역 무선 액세스(Broadband Wireless Access) 표준 작업그룹 동향

- ▶ IEEE 802.16 광대역 무선 액세스 표준 작업 그룹은 WMAN(wireless Metropolitan Area Network) 개발 및 구축을 지원하기 위한 표준과 권장 실용서 개발을 목표로 결성된 IEEE802 LAN/MAN 표준 위원회 산하 표준화 그룹임
- 2002년 가시거리(LOS) 통신환경에서 Point-to-Multipoint 구조로 10~66GHz대에서 32~134MHz의 데이터 전송 속도 지원하는 첫번째 IEEE802.16 표준을 공표함
- 2003년 2~11GHz 대역의 비 가시거리(NLOS) 환경에서 최대 75MHz의 데이터 전송 속도 지원하는 IEEE802.16a 표준이 공표되었고, 2004년 10월에 그 동안 제정되었던 802.16, 802.16a, 802.16c, 802.16d 표준을 통합하여 IEEE802.16-2004 통합 표준 문서로 개정됨
 - 주파수 대역 : 2~11 GHz 대역, (최대 전송속도 75Mbps)
 - 11 GHz 이하 : Licenced Band, 5 GHz 대역 : Non-Licenced Band
- 2005년 12월 IEEE 802.16-2004를 기본 규격으로 하고, 고속 전송기능을 가진 네트워크 인 MAN 기술에 이동성 지원을 위한 기술규격을 추가한 IEEE802.16e-2005를 공표함
 - 2 ~ 6 GHz(Licenced) 대역에서 최대 15MHz의 데이터 전송 속도 지원
 - 최대전송거리 범위가 2~5km정도, 전력소모 최소화 추구, 핸드오프 지원 등
 - 우리나라의 휴대인터넷(WiBro) 표준이 프로파일의 하나로 포함
- 이후 IEEE802.16-2009과 IEEE802.16-2012 통합 표준 문서를 거쳐 2018년 마지막 통합문서 IEEE802.16-2017를 공표함
 - IEEE802.16p-2011: 기계 간 애플리케이션 지원 개선을 위한 IEEE 규격 802.16 개정
 - IEEE802.16n-2013: 고신뢰성 네트워크를 위한 IEEE 규격 802.16 개정
 - IEEE802.16q-2015: 다중 계층 네트워크에 대한 IEEE 규격 802.16 개정

- IEEE802.16s-2017: 최대 1.25MHz 채널 대역폭에 대한 IEEE 규격 802.16 수정
- ▶ IEEE802.16 표준을 기반으로 하는 WiMax와 WiBro 산업이 수익성 있는 비즈니스 모델을 발굴하지 못해 대부분의 사업자들이 실패를 경험하게 되었고 IEEE802.16 광대역 무선 액세스 표준 그룹도 2018년 3월 IEEE802.16-2017 통합 표준 문서 발간 이후 모든 표준화 활동을 멈추고 작업그룹은 휴지 상태로 들어감
- 2020년 1월 IEEE802.15 WSN 표준 작업그룹에 Task Group 16t Linseed Barrowband 표준 그룹을 결성하였고, 현재 P802.16t-Fixed and Mobile Wireless Access in Narrowband Channels 이름으로 새로운 IEEE802.16 개정 표준 개발 작업을 시작함

○ TG16t 결성과 Licensed Narrowband 표준화 시작

- ▷ 2019년 9월 EIRP 소속의 Tim Godfrey가 IEEE802.15 WNG(Wireless Next Generation) 발표를 통해 Licensed Narrowband 표준화를 주장함
 - ▶ 업계 이해관계자 그룹이 모여 IEEE 802.16-2017을 다음과 같이 개정할 수 있도록 지원함
 - 좁은 작동 채널에 대한 지원 제공
 - 불연속 협대역 스펙트럼의 누적
 - ▶ 이는 전력회사 및 기타 중요 인프라 산업이 이용할 수 있는 소규모 주파수 할당에서 운영을 다루기위해 필요함
 - 802.16s 개정안은 1.25MHz에서 100KHz 사이의 운용을 정의
 - 이 개정안은 5KHz 채널까지 운용을 규정할 것임.
- ▷ 2020년 1월 IEEE802.15 WSN 표준 작업그룹에 Task Group 16t를 구성하고 프로젝트 인가 요청서(Project Authorization Request: PAR)를 준비함
 - ▶ 프로젝트 명칭: Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment - Fixed and Mobile Wireless Access in Narrowband Channels
 - ▶ 이 표준은 다중 서비스를 제공하는 고정 및 모바일 지점간 광대역 무선 접속(BWA) 시스템의 매체 접속 제어 계층(MAC)과 물리 계층(PHY)을 포함한 무선 인터페이스를 명시함
 - 이 프로젝트는 채널 대역폭이 5kHz 이상 100kHz 미만인 면허 주파수에서 시간 분할 이중화(TDD) 작동을 지정함
 - 이 프로젝트는 새로운 물리(PHY) 계층을 지정하고, 물리(PHY) 계층을 지원하기 위해 필요에 따라 매체 접근 제어(MAC) 계층을 변경할 것임

- 개정안은 주파수 독립적이지만 2 GHz 미만의 주파수에 초점을 맞춤
 - 좁은 채널이 지원하는 범위와 데이터 속도는 감소된 채널 대역폭에 의해 확장되는 기본 표준의 범위와 비례함
 - 또한 이 프로젝트는 인접 채널과 비인접 채널에서의 통합 운영을 지원하기 위해 필요한 IEEE 규격 802.16을 개정함
- ▷ 현재 IEEE802.15.16t 시스템 요구사항 문서(System Requirement Document) 작성이 진행 중이며 다양한 기술적 요구사항을 검토중임
- ▶ 802.16-2017에 정의된 Point-to-Multipoint 모드와 리피터 기능성은 이 개정에서 유지되고 지원되며, 이러한 기능은 TDD와 FDD 주파수 모두에 사용함
 - ▶ 운용 주파수는 사설 네트워크에 사용할 수 있는 쌍체(Paired) 또는 비쌍체(Unpaired) 연속 면허 대역(예: AMTS, IVDS, 454 A2G, 700 MHz A-Block, RR 900 MHz, 1.4 GHz)과 PLMR(Private Land Mobile Radio) 대역(예: RR160 MHz)을 고려함
 - ▶ 채널 대역폭은 100kHz 이상의 작동은 이미 지원되므로 본 개정에서는 5kHz 이상 100kHz 미만 채널 대역폭에 대한 작동을 정의함
 - ▶ 현재 TDD 운용을 위한 Upload/Download 비율, 고정 장치의 이동성과 신뢰성을 위해 필요한 BS 간 핸드 오버, 단방향 지연 및 운영 처리량 등 다양한 기술적 요구사항들이 논의되고 있음
- ▷ 현재 코로나-19로 인하여 비대면 화상회의로 Use Case에 대한 발표와 논의가 활발하게 이루어지고 있으며 향후 표준화 계획은 아래와 같음

Milestone	Date
Task Group Start	January 2020
SRD Approval	Nov 2020
SDD Approval	May 2021
Informal TG review of draft	Sept 2021
Working Group Letter Ballot	Nov 2021
Working Group Recirculation Letter Ballot	Mar 2022
SA Ballot	Sept 2022
Forward to RevCom	March 2023

< IEEE802.15.16t 표준화 계획 >

3. 시사점 및 결론

- IEEE802.15 WSN (Wireless Specialty Networks) 표준그룹은 새로운 사물 인터넷 (IoT)을 위한 무선 네트워킹을 다루는 개방형 합의 표준 개발에 중점을 두어 이러한 장치가 서로 통신하고 상호 운용 할 수 있도록 노력함
 - ▷ 모바일 장치, 웨어러블 장치, 광 무선 통신 (OWC), 자율 주행 차 등 목표는 광범위한 시장 적용 가능성이 있음
 - ▷ 다른 유무선 네트워킹 솔루션과의 공존 및 상호 운용성 문제를 효과적으로 처리하는 표준, 권장 사례 또는 가이드를 제정함
- IEEE802 WG15는 초기에 High Data-rate와 Low Data-rate WPAN으로 양분되어 발전하였으나 최근 사물인터넷이 부각되면서 특정 서비스에 특화된 Low Data-rate WPAN 위주의 표준 개발이 주류를 이루고 있음
 - ▷ Wi-Fi와 이동통신의 급속한 발전으로 영상전송을 목표로 했던 High Data-rate WPAN 표준은 WG15 WSN 표준그룹에서는 거의 관심을 받지 못하고 있음
 - ▷ WG15 WSN 표준그룹에서는 데이터 센터의 고속 무선 상호 연결 및 재구성을 위해 THz RF 주파수 대역을 사용하는 표준이나 광무선통신(OWC)에 대한 글로벌 표준 개발과 같이 새로운 기술과 애플리케이션을 위한 인큐베이터가 되기 위해 노력함
- 최근까지 사용했던 TG4 Low Data-rate 표준그룹의 IEEE802.15.4-2015 표준은 2020년 5월 IEEE802.15.4-2020 개정 표준이 배포되었으나 현재 많은 오류 부분이 발견되어 수정 작업을 위한 TG4cor이 구성되어 개정 작업을 시작함
 - ▷ IEEE802.15.4-2020 개정표준은 TG4u, TG4v, TG4x 표준그룹에서 개정했던 SUN 표준의 운용 주파수 대역 및 데이터 전송속도 등을 수정 보완 사항을 통합하여 반영함
 - ▷ Wi-SUN Alliance를 중심으로 TG4aa JRE를 결성하여 SUN-FSK 표준에서 High Data-rate를 추가하기 위한 표준 활동이 시작됨
- 최근 IEEE802 LMSC에서 휴지중이었던 WG16 WMAN, WG22 WRAN 표준그룹이 IEEE802.15 표준그룹에서 TG16t와 TG22를 결성하여 표준화 활동을 다시 시작하고 있음
 - ▷ IEEE802.15.16t Licensed Narrowband 표준그룹에서는 WG16 Broadband Wireless Access 표준그룹에서 제정했던 IEEE802.16-2015 표준을 기반으로 사물인터넷 서비스를 목표로 주파수 면허대역을 사용하는 협대역 통신 표준 개발을 추진함
 - ▷ IEEE802.22 WRAN 표준그룹은 TV White Space와 관련된 표준을 IEEE802.15 표준그룹에서 TG22를 구성하여 표준화를 계속함

- WSN 기술의 다양화와 기술 상호간 연관성이 부족하여 기술 개발의 연속성도 떨어져 국내에서는 관련 핵심 원천기술 개발도 부족하여 미국, 일본, 중국 등에 비해 상대적으로 표준화 경쟁력이 약함
 - ▷ 우리나라 기업들이 사물인터넷 응용 서비스에서 두각을 나타내고 있으므로 정책적으로 대학과 연구소에서 원천기술을 확보할 수 있도록 지원하고, 산학연이 협력하여 표준화에 대응하는 체계 구축이 필요함
 - ▷ 장기적으로 4차 산업혁명 통신 인프라 기반의 새로운 서비스를 창출할 수 있는 WSN 기술을 도출하고 표준화를 선도하는 전략이 필요함

[참고 문헌]

- IEEE802 Newcomer Orientation: Welcom to IEEE802, IEEE802 ec-19-0098-00-00EC
- IEEE802.15 Web site Mentor, <https://mentor.ieee.org/802.15/documents>
- IEEE802.15.4-2020 Standrds Document
- IEEE802.15.7-2018 Standard Document