

# 전력 효율적인 통신을 위한 저전력 통신에 대한 조사

이 동 현\*, 장 건 희\*, 이 철\*, 이 윤 성\*, 이 충 현\*, 김 남 규\*, 조 성 래\*

## Investigation on Low Power Communication for Power-Efficient Communication

Donghyun Lee\*, Gunhee Jang\*, Cheol Lee\*, Yunseong Lee\*, Chunghyun Lee\*,  
Namkyu Kim\*, Sungrae Cho\*

요 약

본 연구에서는 추후에 Wi-Fi와 스몰셀을 활용한 전력 효율적인 IoT 네트워크를 구성하기 위해 LPWAN, LoRa와 같은 저전력 근거리 통신기술을 알아보고, LPWAN을 적용한 IoT 기기의 Cellular 통신 기법과 더불어 전력 효율적인 근거리 통신 기법에 대한 기술들을 분석한다.

**Key Words** : Internet of Things, Low Power Near Field Communication, BLE, ZigBee, LoRa

### ABSTRACT

In this paper, we will survey low-power local area communication technologies such as LPWAN and LoRa for power-efficient IoT network using Wi-Fi and Small Cell, and survey the Cellular communication techniques of IoT devices with LPWAN, as well as the power-efficient local area communication techniques.

### 1. 서 론

4차 산업혁명으로 인해, 사물인터넷(IoT) 기술이 급속도로 성장하고 있다. IoT 기술의 성장은 단순히 IoT 기술의 성장으로 끝나는 것이 아닌, 모든 분야에 접목되어 산업 전반적인 변화를 바탕으로 4차 산업혁명을 이끌고 있다. 이러한 IoT 기술의 지속적인 발전을 위하여 가트너(Gartner)는 IoT 실현을 위한 필요 핵심 기술로 저 전력 네트워킹 기술, 저 전력 프로세서 기술 등의 요소를 지목했다.

최근 IoT 기기가 증가함에 따라 상호 연결되는 장

치의 수가 늘어나며 IoT 기기들에 필요한 전력을 어떻게 해결해야 할지에 대해 많은 연구가 진행되고 있다. 대부분의 IoT장치는 소형화를 거치게 되는데, 그로 인하여 배터리 용량의 제약을 가지게 된다. 제한적인 배터리 용량은 결국 IoT 장치를 이용한 안정적인 서비스 제공에 어려움을 발생시킨다. 특히 대량의 IoT 장치를 이용하게 되므로 배터리 교체 등이 어렵다. IoT 장치의 전력소비에서 매우 큰 부분을 차지하고 있는 것이 통신이다. 통신에 소모되는 전력을 줄이는 것이 IoT 장치의 전력 소모를 줄일 수 있는 가장 큰 방법이다.

\* 본 연구는 한국 전력 공사의 2019년 선정 기초연구개발 과제(R19X001-41) 지원 및 중앙대학교 관리로 수행되었습니다.

※ 본 연구는 한국 전력 공사의 2019년 선정 기초연구개발 과제 연구비에 의해 지원되었음. (과제번호 : R19X001-41)

• First Author : Chung-Ang University Department of Computer Science and Engineering, dhlee@uclab.re.kr, 학생(석사), 학생회원

◦ Corresponding Author : Chung-Ang University Department of Computer Science and Engineering, srcho@cau.ac.kr, 정교수, 종신회원

\* Chung-Ang University Department of Computer Science and Engineering, nkim@uclab.re.kr, 학생(석사), 학생회원; chlee@uclab.re.kr, 학생(박사); yslee@uclab.re.kr, 학생(박사), 학생회원; ghjang@uclab.re.kr, 학생(석사), 학생회원; cleee@uclab.re.kr, 학생(박사), 학생회원

논문번호 : 202003-051-B-RN, Received March 9, 2020; Revised March 10, 2020; Accepted March 10, 2020

본 논문에서는 IoT 장치에 적용가능성이 있는 LPWAN이라고 하는 저 전력 광역 무선통신 기술에 대해 조사하고, 근거리 무선통신 기술들을 분석한다.

## II. LPWAN

본 장에서는 현재 상용화 되어 있는 LPWAN 기술 중 핵심이라고 할 수 있는 LoRa, NB-IoT, LTE-M 기술과 비교를 위해 분석되는 Sigfox 기술에 대한 조사를 진행한다. 핵심적으로는 LPWAN을 이용하여 망을 구성할 경우 기술 특성 상 독자적인 망으로 구성하기는 어렵다는 단점이 존재하였다. 이 때 각 기술들의 특징 및 정량적 비교 결과는 아래에서 각각 확인할 수 있다.

LoRa 기술과 Sigfox, NB-IoT 기술에 대한 수치적인 비교는 표 1에서 확인할 수 있다. 이 때 MCL은 Maximum Coupling Loss의 약자로, MCL을 초과하면 Device는 Out of coverage라고 할 수 있다. 표를 통해 확인할 수 있듯 NB-IoT가 가장 높은 MCL을 제공할 수 있으며, 또한 좋은 Channel Condition에서 높은 Data Rate를 보유할 수 있다.

표 1. LoRa, Sigfox, NB-IoT 기술의 성능 수치 비교  
Table 1. Comparison of performance figures for LoRa, Sigfox and NB-IoT technologies

	LoRa		Sigfox		NB-IoT release 13		GPRS	
	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
Spectrum [MHz]	863-870	863-870	868.1-868.3	869.425-869.625	832-862	791-821	890-915	935-960
Tx power [dBm]	14	14-27	14	27	23	37	33	37
Modulation	Chirp spread spectrum		DBPSK	GFSK	GMSK	SC-FDMA	GMSK	GMSK
Bandwidth [kHz]	125	125	0.1	0.6	180	180	200	200
Max payload [bytes]	51	51	12	8	128	85	22	22
Scheduling	Uplink initiated (class A)		Uplink initiated		Network scheduled		Network scheduled	
MCL [dB]	154	152	158	161	164	164	144	152

### 2.1 LoRa

LoRa는 비 면허 주파수 대역을 사용하며, 125-500kHz 대역을 사용한다. 면허 대역을 사용하는 NB-IoT, LTE-M에 비해 가격적인 측면에서 강점을 가질 수 있다는 특징을 가지고 있으며, IoT Device가 최소 10년의 배터리 수명을 보장받을 수 있다는 장점을 가지고 있다<sup>11</sup>.

LoRa는 Chirp Spread Spectrum (CSS) modulation 이라는 SSM 변형을 기반으로 하며, 인코딩 된 정보에 따라 주파수가 증가 혹은 감소하는 광대역 주파수 변조 정현파 신호인 Chirp를 기반으로 한다. 이를 통해 기본 신호를 더 높은 주파수로 인코딩하여 전력 소비를 감소할 수 있고 전자기 간섭에 대한 내성을 향상시

킬 수 있다.

CSS기법은 특히 소비 전력이 낮고, 주위 잡음과 간섭 신호의 영향을 줄일 수 있으며 Multi-Path Fading과 도플러 효과에도 강하다고 알려져 있다.

일반적으로 IoT 네트워크의 Uplink 통신의 양이 Downlink의 통신양을 초과하기 때문에, 에너지 제한 센서를 위한 LoRa 네트워크 프로토콜의 최적화가 개선된다. 또한 IP를 이용하여 간단하게 망을 구성할 수 있다는 장점을 지니지만, 비동기 통신 프로토콜을 사용하기 때문에 일정 수준의 Latency를 보장할 수 없어 높은 수준의 QoS를 달성할 수 없으며, LoRa 사용자들을 위한 전용 BS와 Gateway 등의 설치가 필요하다는 단점을 지니고 있다<sup>21</sup>.

표 2에서는 LoRa WAN과 Wi-Fi, BLE와의 비교를 진행하고 있다. 이들과 비교하였을 때 LoRa는 일, 달 단위가 아닌 년 단위의 배터리 수명을 지니기 때문에 낮은 비용을 통해 IoT 네트워크에 더 적절하게 사용될 수 있다<sup>8)</sup>.

LoRa 통신 모듈을 활용할 경우 각종 센서들이 있는 End node와 Gateway의 중간자 역할을 할 수 있으며, Gateway형태의 LoRa 모듈의 경우 이더넷을 활용하여 네트워크 서버나 Application 서버 단으로 연결할 수 있다.

표 2. LoRa 기술과 Wi-Fi, BLE 기술의 비교  
Table 2. Comparison of LoRa technology with Wi-Fi and BLE technology

	Local Area Network Short Range Communication	Low Power Wide Area (LPWAN) Internet of Things	Cellular Network Traditional M2M
Advantage	Well established Standards in building	Low power consumption Low cost Positioning	Existing coverage High data rate
Weakness	Battery Live Provisioning Network cost & Dependencies	High data rate Emerging Standards	Autonomy Total cost of Ownership
Type	Bluetooth, Wi-Fi	LoRa	3G+, 4G

### 2.2 NB-IoT

NB-IoT는 기존의 LTE 혹은 3G 네트워크의 통신 망을 그대로 사용할 수 있다는 장점을 지니지만, 기존의 LTR망에서의 BS를 eNB로 업그레이드하여 사용해야 한다는 특징을 가지고 있다. 면허 대역의 주파수를 사용하며, LTE와 같은 통신망을 사용할 수 있기에 같은 주파수 대역을 사용한다는 특징을 지니고 있다.

기존의 LTE 기술에 비해서도 뛰어난 성능을 보이며 약 10초미만의 Latency를 보장하며 고수준의 QoS를 제공할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

LTE의 많은 특성을 제거하여 Device cost, Battery Consumption 등을 줄일 수 있었으며, IoT Device로

하여금 약 5~10년의 배터리 수명을 보장받을 수 있도록 할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

NB-IoT는 In-band, Guard band, Stand-alone의 3가지 운용 모드를 지원하며 동일한 요구사항이 적용된다. In-band 모드의 경우 LTE 대역 내의 자원 중 일부를 NB-IoT에 할당하여 운용되는 방식이며, Guard band 모드의 경우 LTE의 보호 주파수 대역을 활용하여 NB-IoT의 캐리어는 LTE의 가장자리 부반송파에 가깝게 배치된다는 특징을 지니고 있다. Stand-alone 모드는 Global System for Mobile Communications (GSM) 대역 내의 일부 캐리어를 별도로 할당하여 운용된다는 특징을 지니고 있다.

특히 NB-IoT Downlink에서는 OFDMA 방식의 통신을 진행하여, 기본적으로는 시간 간격 다중화를 통해 신호가 전송된다. NB-IoT Device는 망에 접속하기 위해 셀의 시스템 정보를 획득하여야 하는데, 이를 위해 셀 탐색 과정을 통해 동기를 획득하여야 하고, 이를 통해 동기신호 (NPSS, NSSS)가 Downlink를 통해 전송된다.

NB-IoT 기술 또한 상대적으로 저렴한 가격에 저전력 기술을 통해 긴 수명을 보장할 수 있다는 점에서 IoT 네트워크에서 LoRa 기술과 직접적인 비교가 많이 수행된다. 두 기술에 대한 직접적인 수치 비교는 아래의 표 3에서 확인할 수 있다.

직접적인 비교를 진행하자면 LoRa 기술은 비면허 대역을 사용하지만 NB-IoT 기술은 면허 대역을 쓴다는 점에서 비교가 될 수 있다. 따라서 기본적으로 간

섭으로부터의 안정성을 따지자면 NB-IoT가 높은 평가를 받을 수 있으나, 누구나 사용할 수 있다는 점에서 LoRa 기술이 장점을 지니는 부분도 있다. 또한 표 3에서 확인할 수 있듯 기본적인 통신 품질의 경우 NB-IoT가 상대적으로 우위를 점하고 있다. 따라서 그림 1에서 확인할 수 있듯 대부분 다양한 접속 형태를 지니는 IoT 네트워크에서의 Use case를 구분하여 적합한 Case에 통신 방식을 적용하는 형태로 실제 적용을 진행한다<sup>6-7)</sup>.

### 2.3 LTE-M

LTE-M은 높은 Bandwidth를 바탕으로 높은 Data rate를 달성할 수 있다는 것이 특징이며, Application Layer로 연결하여 통신을 진행할 시 Sector 당 약 80k 대의 기기를 지원할 수 있다는 점에서 장점을 지니고 있다. 이는 NB-IoT보다 약 16배 이상의 Device를 지원할 수 있는 수치이다.

장애물이 많은 경우에 NB-IoT보다 Battery Consumption이 낮다는 장점을 가지며, 이를 통해 IoT Device가 최대 5년의 수명을 보장받을 수 있다는 특징을 가진다. 하지만 NB-IoT보다 Coverage가 낮다는 단점이 존재한다. 즉, LTE-M 기술 역시 LoRa 기술과 NB-IoT 기술과 직접적 연관성이 높기 때문에 표 3에서와 같이 성능 비교가 많이 이루어지고 있다.

특히 LTE-M의 경우 면허 대역 주파수를 사용함을 통해 통신 품질을 보장하면서, Release 12에서 정의된 저전력 모드인 PSM (Power Saving Mode) 기능을 추가하여 전력 소모를 줄일 수 있다는 특징을 지니고 있다.

NB-IoT와 동일하게 기존의 LTE 네트워크를 재사용하는 기술이기 때문에 별도의 망을 설치할 필요가 없다는 장점이 있으며 로밍을 통해 글로벌 확장이 가능하다는 특징을 지니고 있으나, 통신 모듈의 가격이 LoRa에 비해 상대적으로 비싸다는 점이 단점으로 남아있다.

표 4에서는 LTE-M의 성능 규격에 대해 확인할 수 있다. 각 특징과 그에 부합하는 통신 속도나 수명 등의 규격을 확인할 수 있으며, 이와 NB-IoT와의 직접적인 비교 또한 이루어지고 있다.

일반적으로는 NB-IoT에 비해 이동 적합성이 좋기 때문에 교통수단과 연계되고, 신속한 데이터 전송이 필요한 카드 결제 기기나 웨어러블 기기 등에 활용된다는 전망을 보이고 있다.

표 3. LoRa, NB-IoT 및 기타 기술들의 수치 비교  
Table 3. Comparison of LoRa, NB-IoT and other technologies

	SIGFOX	LoRa	clean slate	NB LTE-M Rel. 13	LTE-M Rel.12/13	EX-GSM Rel.13	5G
Range(outdoor) MCL	<13km 160db	<11km 157db	<15km 164db	<15km 164db	<11km 156db	<15km 164db	<15km 164db
Spectrum Bandwidth	Unlicensed 900MHz 100Hz	Unlicensed 900MHz <500kHz	Licensed 7-900MHz 200kHz or dedicated	Licensed 7-900MHz 200kHz or shared	Licensed 7-900MHz 1.4MHz or shared	Licensed 8-900MHz 2.4MHz or shared	Licensed 7-900MHz Shared
Data rate	<100kpbs	<10kpbs	<50kpbs	<150kpbs	<1Mbps	10kpbs	<1Mbps
Battery life	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years	>10 years
Availability	Today	Today	2016	2016	2016	2016	Beyond 2020

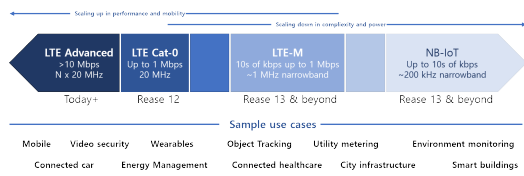


그림 1. NB-IoT 기술의 Use case 형태 분석  
Fig. 1. Use case form analysis of NB-IoT technology

표 4. LTE-M 성능 규격  
Table 4. LTE-M performance specification

	LTE-M			
	Cat-1	Cat-2	Cat-M	NB-IoT
Standardization	3GPP Rel.8	3GPP Rel.12	3GPP Rel.13 (2016 1Q)	3GPP Rel.13 (2016 2Q)
Bandwidth	10 MHz	20 MHz	1.4 MHz	200 KHz
Speed	DL ~ 10 Mbps UL ~ 5 Mbps	~ 1 Mbps	~ 1 Mbps	~ 100 Kbps
Max UE Tx Power	23 dBm	23 dBm	20 dBm	23 dBm
Battery life	-	~ 10 years	~ 10 years	~ 10 years
Features	-	Half duplex (375 Kbps) PSM	Lower power eDRX	Narrower BW Extended coverage

2.4 Sigfox

Sigfox의 경우 비 면허 대역의 ISM 주파수를 사용하며, 나라에 따라 각기 다른 주파수 대역을 사용하고 있다 (868MHz - 유럽, 915MHz - 북아메리카, 433MHz - 아시아).

장치들은 Base Station과 binary phase-shift keying (BPSK) 변조를 사용, 100Hz의 ultra-narrow band를 이용하여 통신한다. 이 때 Ultra-narrow band를 사용함으로써, Sigfox는 주파수 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있다. 또한, 이를 통하여 노이즈를 줄이고, 에너지 소모를 매우 줄일 수 있다.

추가적으로 최대 처리량을 100bps로 제한함으로써, 안테나 설계비용을 크게 줄일 수 있게 되었다.

Sigfox는 처음에는 상향 링크 통신만을 지원하였으나, 최근에는 양방향 통신을 지원하게 되었다. 하지만 하향상향 링크에 이어서만 발생할 수 있다. Sigfox는 통신에 있어서 제한들이 많이 존재하는데, 상향 링크를 통한 메시지는 하루에 140개로 제한된다. 또한, 각 메시지의 길이는 최대 12바이트를 넘을 수 없다. 하향 링크에 있어서 메시지는 하루에 4개로 제한된다. 하향 링크는 상향 링크의 뒤에만 발생할 수 있으므로 모든 상향 메시지에 있어서 ACK가 발생하지 않음을 뜻한다. 또한, 하향 메시지의 길이는 최대 8바이트이다.

ACK를 항상 지원하지 않으므로 상향 통신의 안정성은 전송 복제 방식과, 시간/주파수 다양성을 통하여 보장함. 각 장치들은 메시지를 여러 번, 각기 다른 주파수 채널을 통하여 전송하게 된다 (기본적으로 3번).

이러한 방식을 위하여 유럽의 경우 868.180MHz~868.220MHz 사이의 대역폭은 400개의 100Hz 직교 채널들로 나뉜다. BS는 모든 채널로부터 메시지를 동시에 수신할 수 있으며, 장치들은 임의로 주파수 채널을 선택하여 메시지를 전송한다. 이러한 단순한 방식을 통하여 장치들은 통신비용을 줄일 수 있다는 장점을 지닌다.

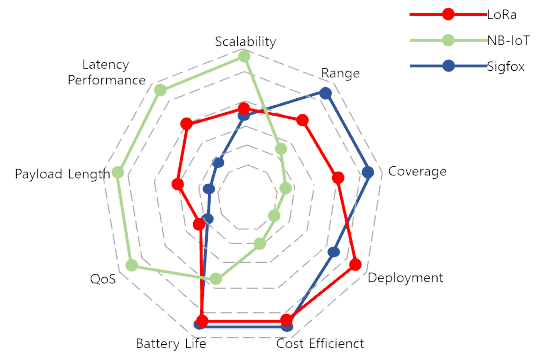


그림 2. Sigfox와 LoRa, NB-IoT 기술의 성능 비교 그래프  
Fig. 2. Performance Comparison Graphs of Sigfox and LoRa and NB-IoT Technologies

그림 2에서는 이러한 Sigfox 기술의 성능적인 분석을 LoRa 및 NB-IoT기술과의 비교를 통해 진행한다. 상대적으로 LoRa 기술에 가깝다고 볼 수 있으며 배치와의 처리량에서의 단점을 지니기는 하지만 통신 거리에서 큰 장점을 지닐 수 있다.

표 5. Sigfox 기술의 Cost 분석  
Table 5. Cost Analysis of Sigfox Technology

	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
Sigfox	Free	>4000€/base station	<2€
LoRa	Free	>100€/gateway > 1000€/base station	3-5€
NB-IoT	>500€ / MHz	>15,000€/base station	>20€

또한 표 5에서는 Sigfox 기술의 cost 분석을 통해 다른 기술과의 비교를 진행했다. 비 면허 대역을 사용하

표 6. LoRa와 NB-IoT 기술 비교  
Table 6. Comparison of LoRa and NB-IoT technologies

Parameters	LoRa	NB-IoT
Spectrum	Unlicensed	Licensed LTE bandwidth
Modulation	CSS	QPSK
Bandwidth	500-125 kHz	180 kHz
Peak data rate	290 bps - 50 kbps(DL/UL)	DL:234.7kbps UL:204.8kbps
Link budget	154 dB	150 dB
Max. #	Unlimited	Unlimited
Duplex operation	-	Half duplex
Power efficiency	Very High	Medium high
Mobility	Better than NB-IoT	No connected mobility (only idle mode reselection)
Connection density	Utilized with NB-IoT	1500 km <sup>2</sup>
Energy efficiency	>10 years battery life of devices	>10 years battery life of devices
Spectrum efficiency	Chirp SS CDMA better than FSK	standalone, in-band, guard band operation
Area traffic capacity	Depends on gateway type	40 devices per household, ~55k devices per cell Low
Interference immunity	Very high	Low
Peak current	32 mA	120-300 mA
Sleep current	1 µA	5 µA
Standardization	De-facto Standard	3GPP Rel.13 (planned)

기 때문에 이러한 점에서는 장점을 지니지만, 배치에서 Cost가 다른 기술들에 비해 크게 불리하다는 점을 알 수 있다.

표 6은 LoRa 기술과 NB-IoT 기술의 수치적인 비교를 담고 있으며, 본 연구 진행시 주의 깊게 고려할 사항은 Data Rate와 Power/Energy Efficiency 수치이다.

두 기술의 경우 Energy Efficiency에서는 큰 차이를 보이고 있지는 않으나, Data rate를 고려하면서 비교 가능한 Power Efficiency에서는 LoRa가 근소한 우위를 보이고 있다는 것을 확인할 수 있다.

NB-IoT는 먼허 대역 스펙트럼을 사용하고, 동기식 통신 프로토콜을 사용하기 때문에 QoS에 Optimal하다는 특징을 지니지만 License 비용이 상당하다는 특징을 가지고 있기 때문에 사용에 제약이 있다. 이에 반해 LoRa망은 높은 QoS를 요구하지 않으며, 간섭과 다중경로, Fading을 핸들링할 수 있다는 특징을 가진다.

### III. 근거리 무선 통신 기술




본 장에서는 IoT 기반 전력 효율적인 근거리 통신 기법의 대표적인 기술이라고 할 수 있는 BLE와 Wi-Fi 기술 및 ZigBee 기술에 대한 조사를 진행한다.

#### 3.1 BLE

BLE는 Bluetooth Low Energy의 약자로 Bluetooth 4.0이후의 버전들은 BLE라 불리기도 한다. 이 때 BLE가 등장하면서 Bluetooth Device는 아래의 표 7와같이 3가지로 분류되었다.

BLE기술은 일반적으로 Advertise와 Connection이라는 방법으로 통신을 진행한다. Advertise Mode의

표 7. BLE의 분류  
Table 7. Classification of BLEs

 Bluetooth SMART	 Bluetooth SMART READY	 Bluetooth
Bluetooth low energy (Bluetooth Smart)	Dual mode Bluetooth (Bluetooth Smart Ready)	Classic Bluetooth
Connect low power applications to a smart phone or tablet	Bluetooth connection across any end point (Bluetooth low energy or classic); Enables bridge between Bluetooth low energy (Bluetooth Smart) and classic	Bluetooth connection with high data rate (up to 3Mbps)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custom profiles, allows any application</li> <li>- Multiyear on Coin Cell Battery</li> <li>- Less than 200kbps data rate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Supports new and old phones (BT and BLE)</li> <li>- Up to 3Mbps data rate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A2DP Profile to stream music from phones</li> <li>- Up to 3Mbps data rate</li> </ul>
Sensor devices sending small bits of data, using very little energy	Devices that connect with both	Wireless devices streaming rich content like video and audio

경우 Non-connectable Advertising Packet을 전송하여 Observer들이 이를 수신하도록 하며, 한 번에 여러 대의 장치들과 통신할 수 있는 유일한 방법이라고 할 수 있으나 보안에 취약하다는 단점이 있다. Connection Mode의 경우 일대일 방식으로 데이터 교환을 진행하며, Channel hopping 규칙을 정해놓고 통신이 진행되기 때문에 안전한 통신을 진행할 수 있다. 이 때 Central 장치는 다른 장치와 Connection을 맺기 위해 Advertising Signal을 주기적으로 스캔하다가, 적절한 장치와 연결을 요청한다. 이후 timing을 설정한 후 주기적 데이터 교환을 주도하게 된다. 또한 Peripheral 장치의 경우 Connection을 맺기 위해 Advertising Signal을 주기적으로 보내게 되는데, 이를 Central 장치가 수신하여 Connection이 진행되는 방식이다.

2016년에 공개된 후 2017년도 초에 정식으로 출시된 블루투스 5의 경우 1.0Mbps와 10m정도의 최대 속도/거리를 선택적으로 전송거리와 속도를 서로 간의 Trade-Off 형태로 가져감으로 유연한 통신을 제공할 수 있게 되었다.

BLE의 경우 아래 그림 3과 같이 약 10~20mW 정도의 에너지 소모를 가지며, 이는 1W이상의 에너지 소모를 지니는 Wi-Fi기술에 비해 현저히 낮은 전력 소모를 지닌다는 것을 알 수 있다.

BLE를 이용하는 경우 저 전력 네트워킹을 통해 IoT Device의 에너지 소모를 현저히 줄일 수 있다는 장점을 지니지만, 통신거리가 최대 10m정도의 수준으로 짧아서, 이는 초기 망 구성 복잡도를 높이는 요인이 된다.

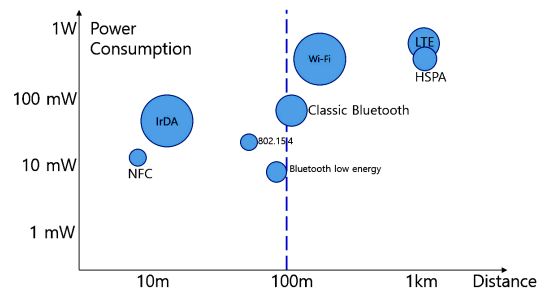


그림 3. 단거리 무선 기술의 전력 소모, 거리 및 데이터 전송률  
Fig. 3. Power consumption, distance and data transfer rates for short-range wireless technology

#### 3.2 Wi-Fi

Wi-Fi 기술의 경우 위의 그림4에서 알 수 있듯 자체적으로 전력 효율적인 기술은 아니다. 높은 데이터



속도와 낮은 대기시간으로 인해 통신의 품질에 있어서는 모바일 통신에 있어 큰 장점을 지니고 있지만, 전력 소비가 높기 때문에 IoT 네트워크에 있어서는 높은 빈도로 사용되지 못하고 있다.

일반적으로는 2.4GHz UHF 대역과 5GHz SHF 대역을 사용하며, 일반적으로 암호로 보호되어 있지만 대역 내에 위치하고 있는 어떠한 장치도 접근할 수 있게끔 개방할 수 있다는 특징을 지니고 있다.

표 8에서는 주요 Wi-Fi 표준 규격 별 주파수 대역 현황을 확인할 수 있다. 규격에 따라 최대 전송거리와 최대 전송속도가 서로 크게 다르다는 것을 알 수 있으며, 이는 각각 다루고 있는 주파수 대역이 크게 상이하기 때문일 수 있다. 특히 Wi-Fi 기술은 802.11ag, 802.11ad, 802.11ac 등등 수많은 표준들이 존재하는데 이에 대해 간단히 살펴보자면 아래와 같다.

802.11ah의 경우 보통 Wi-Fi HaLow라고 불리는데, 에너지 소비율을 낮춰 장거리 통신에서의 에너지 효율을 높이고자 한 기술이다. 이 덕분에 블루투스의 대체 기술로도 주목받고 있다.

802.11ad의 경우 일반적으로 가정에서 사용되는 무선 라우터에 적용되어 있으며, MIMO 방식을 이용하여 에러를 낮추고 속도를 높일 수 있도록 설계되었다.

현재는 802.11ax라고 표기되는 Wi-Fi 6이 상용화되고 있으며, 이는 최대 10Gbps의 속도를 지원할 수 있고 더 넓은 Coverage와 낮은 Latency를 구현할 수 있다는 특징을 지니고 있다.

표 8. 주요 Wi-Fi 표준 규격별 주파수 대역 현황  
Table 8. Current status of frequency band by major Wi-Fi standard specification

Representative Standard	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ad	IEEE 802.11af	IEEE 802.11ah
Frequency band	2.4GHz	5GHz	60GHz	TVWS	Sub-GHz
Standard Progression Phase	Formal Standard	Draft5.0	Formal Standard	Draft3.0	Spec. creating framework
Frequency Usage Status	2.4~2.4835GHz	indoor:5.15~5.25GHz outdoor:5.25~5.35GHz 5.47~5.85GHz 5.725~5.825GHz	US, KR, Canada:57~64GHz EU:57~66GHz Japan:59~66GHz	54~72MHz 76~88MHz 174~216MHz 470~698MHz	US:902~928MHz KR:917.5~923.5 EU:863~868 Japan:916.5~927.5MHz
Maximum Transmission Distance(Nominal)	30m	30m	10m	1km	1km
Other wireless devices frequency sharing	-	Radar(US)	-	TV, PMSE	Radar(US)
Maximum Transmission Speed	600Mbps	6.933Gbps	6.7Gbps	384Mbps	346.6Mbps

### 3.3 ZigBee

ZigBee 기술의 경우 무선 연결이 필요한 소규모 프로젝트를 위해 설계되었으며 저 전력으로 낮은 데이터양을 보유한 개인 영역 네트워크를 구성하는데 많이 사용되고 있다. 이는 IoT 네트워크에도 충분히 최

적화 되어있다는 특징을 지니지만, Coverage 영역이 짧고 장치 확장성에 있어 문제가 존재한다는 특징 또한 지니고 있다.

ZigBee는 소형, 저 전력 신호를 이용해 개인 통신망을 구성하여 통신하기 위한 표준 기술이다. 이는 IEEE 802.15 표준을 기반으로 만들어졌다. 메시 네트워크 방식을 이용하여 여러 중간 노드를 거쳐 목적지까지 데이터를 전송함으로써, 저 전력임에도 불구하고 넓은 범위의 통신이 가능하다. ZigBee는 낮은 수준의 전송속도만 필요로 하면서, 긴 배터리 수명과 보안성을 요구하는 분야에서 사용된다. 주기적 또는 간헐적인 데이터 전송이나 센서 및 입력장치 등의 단순 신호 전달을 위한 데이터 전송에 가장 적합하다.

ZigBee 표준은 블루투스나 Wi-Fi와 같은 다른 WPAN 기술에 비해 상대적으로 더 단순하고 저렴한 기술을 목표로 만들어졌다. 보안에 있어서는 128비트 대칭키 암호화를 이용한 보안을 제공하여, 단순히 저 전력 뿐만 아니라 보안성에 있어서도 우수하다.

데이터 전송은 2.4GHz 채널에서 16채널, 915MHz에서 10채널, 그리고 868MHz에서 1채널로 모두 27개 중 한 개의 채널을 선택할 수 있다. 전송률은 최대 2.4GHz 대역에서 250Kbps까지 가능하다.

그림 4는 이러한 ZigBee 기술의 프로토콜 스택을 도식화한 것으로, 명세에 대해서도 확인할 수 있다.

ZigBee는 그림 5와 같이 기기의 성능에 따라 전기능기기(FFD), 축소기능기기(RFD)의 두 가지로 나눌 수 있다. FFD의 경우 코디네이터, 라우터, 그리고 중

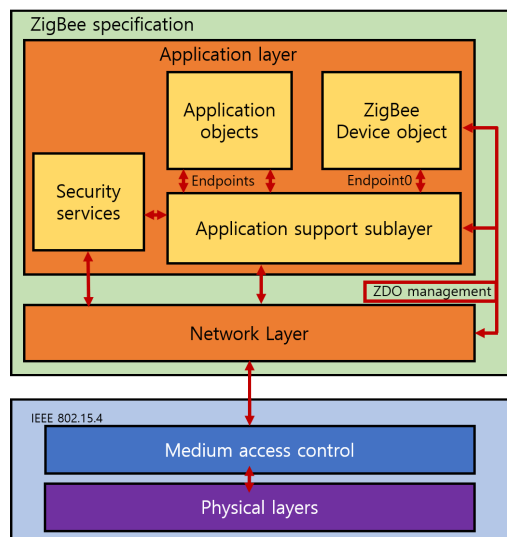


그림 4. ZigBee의 Protocol Stack  
Fig. 4. Protocol Stack of ZigBee

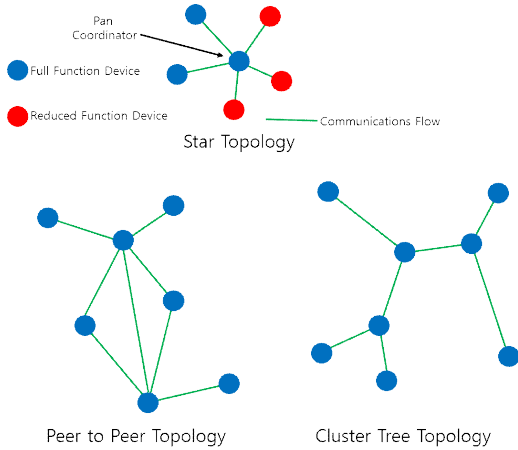


그림 5. ZigBee에서의 기기의 성능에 따른 역할 차이  
Fig. 5. Differences in roles according to device performance in ZigBee

표 9. ZigBee, Wi-Fi와 LPWAN 기술의 비교  
Table 9. ZigBee, Comparison of Wi-Fi and LPWAN Technologies

Technology	Communication distance	Maximum connection	Data rate
ZigBee	10~75 m	≤ 255	Maximum 171.2 kbps
WiFi	100 m	≤ 255	> 10 Mbps
LPWAN	3km to city scale	≤50,000(NB-IoT), ≤200,000(LoRa)	Adaptive from 0.1 kbps to 250 kb

단기 중에 어떤 기기라도 사용될 수 있어서, star형, peer to peer형, cluster-tree 네트워크 형태를 모두 지원한다.

RFD 기기의 경우 ZigBee 종단기기로만 동작되며, star 망으로 제한되고 아주 간단한 기능만 구현되어 있어서 제한된 프로토콜 기능만을 지원한다.

이러한 기능의 분리를 통하여 구현 비용을 줄이고, 용도에 따라 필요한 기기만을 사용하여 전력 소모 또한 줄일 수 있다.

#### IV. 결론

IoT의 발전으로 인해 전력 효율적인 IoT전용 네트워크 구성은 이제 필수로 자리 잡고 있다. 하지만 아직도 많은 과제가 주어지고 있다. 저 전력 광역 무선통신과 근거리 무선통신을 활용하여 전력 소모를 줄인 IoT 네트워크망을 구성하고 IoT 장치와 휴대 단말의 지능적 통신을 통한 에너지 소비 절감방법이 필요할 것이다. 안정적으로 IoT장치를 제어하고 정보를 수집하는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 IoT 네트워크망에 사용가능한 저 전력 광역 무선통신 기술에 대해 조사하고, 근거리 무선통신 기술을 분석했다. 추후 연구에서는 IoT기기간의

통신뿐만 아니라 IoT 장치와 휴대단말, 기지국 간 전력효율적인 지능적 통신 방법을 개발하기 위해 선택적인 근거리 및 원거리 통신방법, 통신 경로를 지능적으로 선택할 수 있는 알고리즘을 개발할 것이다.

#### References

- [1] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1-7, Mar. 2019.
- [2] S.-K. Jung, H.-B. Lee, and W.-Y. Yeo, "NB-IoT operation modes and downlink resource allocation" in *Proc. Symp. KICS*, pp. 772-773, 2018.
- [3] Y. Song, J. Lin, M. Tang, and S. Dong, "An internet of energy things based on wireless LPWAN," *Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 460-466, Aug. 2017.
- [4] M. Lauridsen, I. Z. Kovacs, P. Mogensen, M. Sorensen, and S. Holst, "Coverage and capacity analysis of LTE-M and NB-IoT in a rural area," *2016 IEEE 84th VTC-Fall*, 2016.
- [5] G. Miao, N. Himayat, G. Y. Li, and S. Talwar, "Low-complexity energy-efficient scheduling for uplink OFDMA," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 60, no. 1, pp. 112-120, Jan. 2012.
- [6] R. S. Sinha, Y. Wei, and S. Hwang, "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT," *ICT Express*, vol. 3, no. 1, pp. 14-21, Mar. 2017.
- [7] W. Yiqiao, C. Jingjun, and H. Seunghoon, "IoT Survey on LoRa and NB-IoT," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 301-302, 2017.
- [8] E. D. Ayele, K. Das, N. Meratnia, and P. J. M. Havinga, "Leveraging BLE and LoRa in IoT networks for wildlife monitoring system (WMS)," *2018 IEEE 4th WF-IoT*, Feb. 2018.

이 등 현 (Donghyun Lee)



2020년 2월 : 동국대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업  
2020년 3월~현재 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
<관심분야> 통신공학, IoT, 5G, HetNet  
[ORCID:0000-0001-9117-5647]

이 충 현 (Chunghyun Lee)



2018년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 졸업  
2018년 3월~현재 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사/박사과정  
<관심분야> Smart Grid, Gamd Theory, Ubiquitous Computing  
[ORCID:0000-0002-0762-9771]

장 건 희 (Gunhee Jang)



2019년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 학사 졸업  
2019년 3월~현재 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
<관심분야> 무선통신, UAV Communication, IoT  
[ORCID:0000-0001-7671-8826]

김 남 규 (Namkyu Kim)



2019년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 졸업  
2019년 3월~현재 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사과정  
<관심분야> 유비쿼터스 컴퓨팅  
[ORCID:0000-0003-4244-0939]

이 철 (Cheol Lee)



2018년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 학사 졸업  
2020년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사  
2020년 3월~현재 : 중앙대학교 컴퓨터 공학과 박사과정

<관심분야> IoT, Energy Harvesting, Mobile Edge Computing, Ubiquitous Computing  
[ORCID:0000-0002-6778-268X]

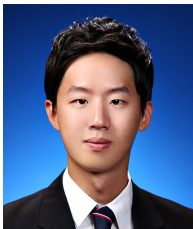
조 성 래 (Sungrae Cho)



1992년 2월 : 고려대학교 전자전산공학과 석사  
1994년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사  
2002년 12월 : 미국 조지아공대 전기및컴퓨터공학과 박사  
1994년 2월~1996년 8월 : 한국 전자통신연구원 연구원

2003년 1월~2003년 7월 : 미국 조지아서던대학교 컴퓨터공학과 조교수  
2006년 9월~현재 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수  
<관심분야> 무선네트워크, Ubiquitous Computing  
[ORCID:0000-0003-1879-688X]

이 윤 성 (Yunseong Lee)



2013년 2월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 졸업  
2015년 8월 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 석사  
2017년 3월~현재 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 무선 네트워크, Ubiquitous Computing, Smart Grid  
[ORCID:0000-0001-9245-2968]