ETRI

2016
Electronics and
Telecommunications
Trends

# LPWA기반 광역 IoT기술 및 표준화

## Wide Range IoT Technology and Standardization based on LPWA

**김선영** (S.Y. Kim) 트래픽분산·공동사용연구실 초빙연구원
**박승근** (S.K. Park) 트래픽분산·공동사용연구실 실장
**최형도** (H.D. Choi) 전파기술연구부 부장

Ⅰ. 머리말
Ⅱ. IoT 요구사항과 서비스 활성화의 문제점
Ⅲ. 사물인터넷과 저전력광역 IoT
Ⅳ. LPWA기반 저전력 광역 IoT 기술 및 표준화 동향
Ⅴ. 저전력광역 IoT를 위한 솔루션 비교
Ⅵ. 문제점 및 대응방안
Ⅶ. 맺음말

* 본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. B0101-15-222, 모바일 빅뱅 시대의 주파수 효율 개선 핵심기술 개발).

사물인터넷(Internet of Things: IoT)이란 모든 사물이 인터넷에 연결되어 상호 간에 직접 통신하는, 향후 정보통신의 미래 인프라 및 서비스이다. 이것이 필요한 이유는 초연결 사회에 기반을 둔 삶의 질 향상과 생산성 향상에 있으며, 최종적으로는 국가 자체의 인프라, 더 나아가서는 인류를 위한 중추 신경계를 이루기 때문에 무엇보다 중요하다. IoT는 셀룰러 이동통신 기반의 IoT와 비셀룰러기반의 IoT로 대분되어 오다가 두 분야의 융합이 이루어지고 있다. 그러나 IoT는 현재 거품 최고조기에 있으며, 아직까지 주목할 만한 큰 수익모델이 없는 상태이다. 그 이유는 사물인터넷 서비스 활성화에 가장 걸림돌이 되어온 보안문제, 배터리수명, 통신거리, IoT 디바이스를 포함한 솔루션 가격 그리고 월정료 문제가 여전히 존재하기 때문이다. 최근 이들 문제 해결을 목적으로, 대량의 IoT 디바이스를 필요로 하는 새로운 사물인터넷 커넥티비티에 대한 재정의, 표준화 및 솔루션 개발이 핫이슈이다. 본고에서는 셀룰라 및 비셀룰라 IoT기반의 Low Power Wide Area(LPWA), 즉 저전력 광역 IoT에 대한 시장, 기술 및 솔루션 비교 그리고 표준화 동향을 다룬다. 또한, 비셀룰라기반 즉 비면허대역과 프리밴드 활용을 통한 기술적 및 정책적 대응전략을 살펴본다.

© 2016 한국전자통신연구원

## Ⅰ. 머리말

사물인터넷(Internet of Things: IoT)이란 모든 사물들이 인터넷에 연결되어 상호 간에 직접 통신하는, 향후 정보통신의 미래 인프라 및 서비스이다. 사물인터넷이 필요한 이유는 초연결 사회를 기반으로 한 삶의 질 향상과 생산성 향상에 있으나 궁극적으로는 국가 자체의 인프라, 더 나아가서는 인류와 지구를 위한 중추 신경계를 이루기 때문에 무엇보다 중요하다. 사물인터넷은 현재 거품 최고조기에 있으며 아직까지 주목할만한 큰 수익 모델이 없는 시작단계이다. 그러나 21세기 새로운 패러다임인 IoT의 향후 시장규모는 기존 셀룰러 이동통신 시장의 10배 이상이 되며, 급격히 성장해 갈 것으로 예측되고 있다[1][2].

특히 2020년경에 서비스를 목적으로 표준화가 진행중인 5G 이동통신 서비스의 세 분야 중 두 분야가 IoT이다. 센싱기반으로 $1km^2$ 당 백만개 이상 대량의 디바이스가 밀집되어 사용될 것으로 예측되는 Massive IoT(mIoT), 공장 자동화나 게임, 원격 조정 등과 같은 응용 분야에서는 실시간, 전송 신뢰도 그리고 지연특성이 중요하기 때문에 이런 응용 분야에 적용하기 위한 mission Critical-IoT(cIoT)가 포함되어 있을 정도로 IoT의 중요성이 부각되고 있다[3].

사물인터넷은 크게 셀룰러 이동통신 기반의 IoT와 비셀룰러 기반의 IoT로 대분된다. 전자의 경우는 배터리 수명, 모듈가격이 고가인 점, 셀룰러 모뎀의 고가 라이선스 문제로 인한 진입장벽 때문에 개발 회사의 저변이 다양하지 못한 점, 모뎀칩의 버전 변경에 따라 새롭게 구현해야 하므로 제품 수명이 짧은 점, 이동통신사업자의 개개 모듈별 비싼 월정료 때문에 활성화되지 못하고 있다. 마치 Radio Frequency Identification(RFID)의 태그의 경우처럼, 태그가격 때문에 배보다 배꼽이 커서, 특정 분야 서비스를 제외하고는 비즈니스가 활성화되지 못하는 경우와 유사하다. 후자도 센서를 기반으로 한 RFID/Ubiquitous Sensor Network(USN) 시절을 10여 년 겪어 오면서 모듈 가격문제, 배터리 수명문제, 통신거리 문제, 정책이나 개발회사의 거품문제 등으로 활성화되지 못하였다. 따라서 현재까지는 수직적인(vertical) 마켓에서, 응용분야 별로, 독립적으로, 느리게 발전되어 왔다.

그러나 최근 사물인터넷의 개념이 수평적으로 진화되고 확대되면서, 공통의 개방형 표준 플랫폼 활용을 기반으로 모든 응용 분야의 서비스를, 해당 플랫폼상에서 응용계층만 달리하여 구현함으로써, 서비스 구현에 필요한 디바이스, 게이트웨이, 클라우드 서버 및 분석 소프트웨어엔진을 비롯한 솔루션들을 상대적으로 훨씬 저가로 구축할 수 있으며, 상호 초연결(hyper-connected)되는 시너지를 활용하여 부가가치가 매우 큰 서비스의 구현이 가능해질 전망이다. 또한, 기존의 수직적 마켓이 수평적으로 융합되면서 사물인터넷의 범위가 크게 확대 및 재정의(redefining)되는 중이다. 더구나 모빌리티, 소셜, 클라우드 및 데이터 분석기술이 체화되어 사물인터넷의 모든 응용 분야에 활용되는 새로운 패러다임의 혁신을 가져올 것으로 예측되고 있다. 사물인터넷은 보는 관점에 따라 차이가 있긴 하지만, IoT, Internet of Everything(IoE), Online to Offline(O2O), Cyber to Physical System(CPS)으로 불리기도 한다. 따라서 응용분야에 따라 휴대폰, 태블릿, 자동차, 드론 등도 사물인터넷 디바이스의 하나로 간주되기도 한다. 미국의 경우 CPS 프레임워크를 공통기반으로 하는 다양한 스마트 IoT 챌린지 서비스를 스마트 아메리카라는 범 국가적 과제로 추진 중이다[4].

그러나 사물인터넷 서비스의 활성화를 위해서는 선결되어야 할 문제가 산재해 있다. 국가 경쟁력을 상징하는 인프라가 IoT라는 공통 개방형 플랫폼 위에 공공 서비스, 생활밀착형 서비스, 산업용 서비스 등 많은 스마트 서비스가 구축되기 때문에, 한 번 잘못되면 피해가 상상

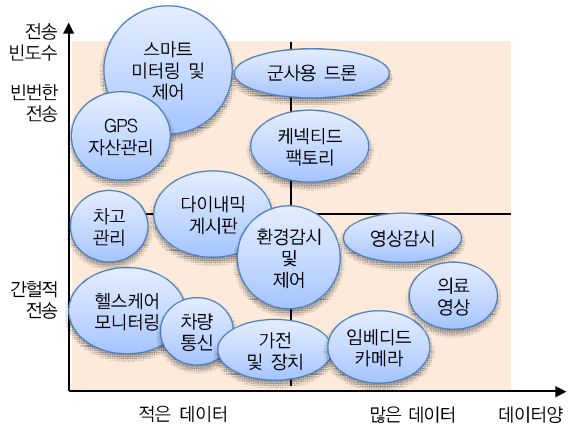
을 초월할 만큼 크다. 따라서 보안문제는 가장 먼저 선결되고, 지속적으로 병행하여 대응해야 할 이슈이다. 또한 우리나라의 경우는 수직적 마켓이 수평적으로 융합되면서 나타나는 이해관계 충돌이나 법제도 문제 해결도 서비스 전개를 위해 무시할 수 없는 큰 걸림돌이다. 또한 국가 인프라 수준까지 가기 위한 표준화 프레임워크에 기초한 체계적인 개방형 공통 플랫폼의 구축도 숙제이다. 이들을 제외한다면 현재까지 IoT 활성화의 가장 걸림돌은 배터리 수명문제, 통신거리, 솔루션 가격과 월정료 등을 들 수 있다.

본고에서는 최근 새롭게 이슈가 되고 있는 저전력, 광역 IoT에 대해 다룬다. 먼저 사물인터넷 요구사항과 IoT 서비스 활성화의 문제점을 살펴본다. 그다음 사물인터넷과 광역 IoT의 관계를 살펴보고, Low Power Wide Area(LPWA)기반 광역 IoT 기술 표준화 동향 및 관련 후보기술 그리고 관련된 프로토콜을 검토하고, 광역 IoT를 위한 솔루션 비교, 문제점 및 검토, 대응방안에 대해서 생각해 본다. 또한, 비셀룰러방식 중 비면허 대역과 용도자유대역(Free Band)에 관련된 활성화 방안을 검토해 본다.

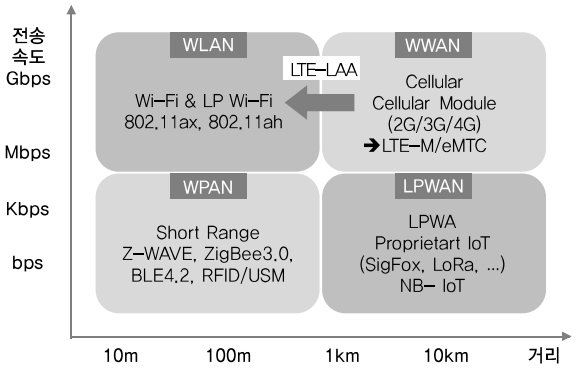
## II. IoT 요구사항과 서비스 활성화 문제점

IoT의 요구사항은 암호화, 저전력소모, 통신거리, 가격 및 서비스 전개 비용 등을 들 수 있다. 이들은 사물인터넷 활성화의 근본적인 문제인데, 최근 몇 년 사이에 오픈소스 하드웨어의 진화, SoC 플랫폼 기반의 칩 가격 하락, 다양한 센서의 지능화, 무선 커넥티비티(Wireless Connectivity) 기능의 향상 등으로 급속도로 해결되어 오고 있다. 또한, 초연결 사물인터넷 시대에 필요한 디바이스 수는 2020년 250억개(연결되어야 할 전체 사물의 2~3% 수준)정도로 예측되어, 시장 규모도 매우 커서, 차세대 먹거리의 주요 토픽으로 부상하고 있다.

(그림 1)은 사물인터넷의 대표 응용 서비스별 전송 빈도수와 전송 데이터양의 관계를 나타낸다. 예로써 영상 모니터링 분야의 경우는 전송 데이터양이 많고, 전송빈도수는 중간이지만, 스마트 미터링 분야는 전송 빈도수는 많으나 한번에 전송할 데이터양은 매우 적다. 이처럼 사물인터넷은 수많은 응용분야별로 파편화되어 있고, 각 응용분야별로 서비스특성이 다르기 때문에, 서비스 특성에 맞는 최적화 및 적합한 사물인터넷의 무선 커넥티비티의 선정이 중요하다.




(그림 1) IoT의 응용분야별 전송빈도수와 데이터양




(그림 2) IoT의 무선 커넥티비티

(그림 2)는 IoT의 무선 커넥티비티를 나타낸다. 응용분야에 따라 다양한 모든 커넥티비티가 사용되고 있다. 예를들면 커넥티드 카와 같은 실시간, 광역 응용분야에는 셀룰러 기반의 솔루션이, 홈, 오디오, 비디오와 관련된 응용분야에는 Wireless Local Area Network(WLAN), Wireless Personal Area Network(WPAN)이 적합하며,

스마트 시티, 스마트 미터링과 같은 분야에는 LPWA와 같은 솔루션이 적합하다. 리테일 분야 등과 같은 멀티 서비스 환경에서는 융복합적 커넥티비티 솔루션이 필요하다.

최근 LPWAN 분야가 향후 커넥티비티 수요가 가장 많을 것으로 예측되고 있다. LPWAN을 위한 새로운 저전력 광역 IoT에 대한 기술개발 및 표준화에 관심이 고조되고 있다. 즉 초창기에 수행되어 오던 셀룰러방식의 모뎀·모듈에 의한 서비스는 가격 및 솔루션에 대한 라이선스 문제 등으로 진입장벽이 높고, 개개 디바이스별로 월정료가 고가여서(만원~수 천원/월), 이들 걸림돌로 인하여 진정한 사물인터넷 서비스로의 확장이 불가능했다. 게다가 모듈은 셀룰러방식 이동통신의 음성이나 멀티미디어 전송을 목적으로 최적화 설계되었기 때문에, 사물인터넷 용으로 사용하기에는 부적합하다. 또한, 전력 소모가 상대적으로 커서, 상시 전원을 인가하는 응용분야를 제외하고는 배터리 수명이 짧아서, 전시용 반짝 서비스 외에는 서비스를 지속하기가 어려웠다. 다른 한 축으로는 RFID/USN이라는 센서네트워크를 기반으로 한 서비스가 있었는데, 유비쿼터스란 마케팅용어를 기반으로, 주로 WPAN기반의 홈과 같은 근거리통신 위주의 기술개발 및 서비스가 진행됐었다. 이 경우도 셀룰러 경우 대비하여 각 모듈은 상대적으로 저렴하기는 하지만, 서비스 활성화 관점에서는, 솔루션 비용이 여전히 고가이고 또한 IoT 디바이스들의 전력소모가 가장 큰 문제였다.

실제로 WLAN, WPAN 표준에 있는 프로토콜 스택을 표준에 준하여 전부를 다 구현하여 통신을 하는 경우, 상시 전원을 연결하는 서비스를 제외하고는, 어느 표준 방식도 배터리 기반으로는 서비스를 오래 지속할 수 있는 기술이 없었다. 따라서 디바이스 사용시간 연장을 위해, 프로토콜 부분을 표준을 따르지 않고 수정하거나 생략하여 구현하는 방법도 사용됐었다. 그러다가 ALL-IP 네트워크 기반의 Long Term Evolution(LTE)방식의 등장과 사물인터넷에 적합한 새로운 프로토콜 등의 개발로 인하여, 인터넷기반으로 서로 다른 통신방식 상호 간의 연동이 가능해지자 Wi-Fi 기반의 영상 모니터링, 또는 근거리에서는 WPAN기반의 전송으로 IoT 서비스를 위한 정보전송을 수행하고, 원거리전송 필요시는 게이트웨이를 통하여 셀룰러 망으로 전송하는 방법 등으로 진화되었다.

그러나 개선된 방식에서도 아직 서비스 솔루션 구축 및 월정료가 고가이기 때문에, 센싱된 정보를 근거리통신 방법으로 수집하여 최종적으로 전송하는 경우에만 셀룰러 모듈을 사용하는 것이 적합한 방법이었다. 그러던 중에 기존의 셀룰러 기반 IoT와 비셀룰러 기반 RFID/USN 기반의 IoT 두 분야가 합쳐져서, 매년 새로운 개념으로 IoT의 범위가 확장되어 왔다.

궁극적으로 20세기 ICT에서 21세기 사물인터넷·ICT 융합 세상으로 패러다임이 진화되고 있다는 것은 주지의 사실이다. 그러나 현재 사물인터넷이란 단어는 거품 최고조기에 있는 마케팅 용어처럼 들리는 것도 사실이다. 세계적인 혁신기업인 구글이나 애플의 행보가 사물인터넷을 위한 교두보 구축 및 생태계 기술개발이기 때문에, 덩달아서 많은 회사가 새로운 돌파구를 위해 사물인터넷을 외치고 있다. 또한, 사업자들도 기존 이동통신 수익의 포화로 인하여, 새로운 패러다임의 사물인터넷 생태계 구축을 위해 활발히 노력 중이다.

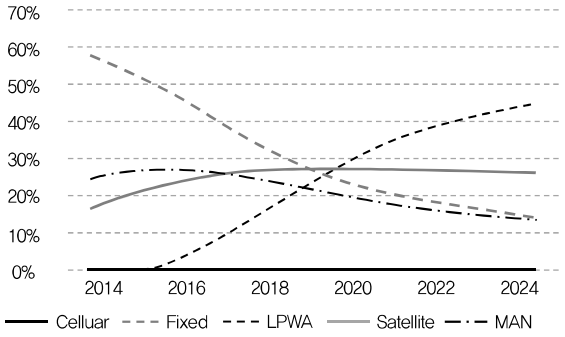
지금까지의 대부분 사물인터넷 서비스의 걸림돌이 전력소모, 통신거리, 월정료 등임을 인지하여, 이들 문제를 해결하기 위한 기술개발 및 표준화가 진행되고 있다. 즉 저전력 광역 통신(최대 40km)이 가능하여, 상대적으로 설치해야 할 인프라 수를 대폭 축소하여 솔루션 구축 비용의 절감이 가능하며, 월정료가 아닌 1년에 디 바이스 당 1달러 정도의 비용으로 저렴하게 사물인터넷 서비스 제공이 가능한 솔루션에 대한 기술개발 및 표준화이다. 이 분야가 (그림 2)의 사사분면에 있는 LPWA로서 본고에서는 여기에 역점을 둔다.

## Ⅲ. 사물인터넷과 저전력 광역 IoT

### 1. 사물인터넷과 저전력 광역 IoT

이동통신사의 발표에 의하면 이동통신 가입자의 증가 포화로 인하여, 설비투자 및 운영 비용의 상당한 증가에도 불구하고 수익증가도 포화상태에 이르러 고민이 깊어가고 있다[5]-[7]. 이에 대한 해결방법으로 IoT에 기초한 신규 서비스의 창출로, 점차 수익이 증대되는 고무적인 현상에 기대를 걸고 있다. 또한, 현재 전 세계 이동통신 사업자의 셀룰러 모듈 기반의 IoT 사업도 그동안의 문제점을 개선하여, 개선된 새로운 방식 표준화, 개발자용 클라우드 플랫폼의 개방, LTE 모뎀 가격의 인하, 새로운 데이터 요금제 출시, 사업자인증 기간 단축 등으로 서비스 가속화의 노력이 진행 중이며 일부 사업자의 경우는 전년 대비 두 자릿수 사업성장을 기록하고 있다.

그러나 셀룰러에 기초한 무선 커넥티비티 보다 비셀룰러 특히 LPWA에 기초한 무선 커넥티비티 증가가 가장 커질 전망이다. (그림 3)은 IoT를 위한 무선 커넥티비티 연결에 대한 예측을 나타낸다. 2019년 경부터 LPWA 즉 광역 IoT에 의한 커넥티비티가 셀룰러 IoT에 의한 연결보다 많아지며, 점차적으로 증가하여 2024년경 상대적으로 가장 지배적인 커넥티비티 수단이 될 것으로 추정된다. 따라서 대량의 IoT 디바이스 연결에 대한 커넥티비티의 재정의(redefining), 표준화, 그리고 활용방안에 대한 검토가 필요하다. 또한, 사업자가 많은 비용을 들여 투자해 놓은 기존 셀룰러 시스템의 활용 및 연계를 통하여, 시너지를 낼 수 있는 방법에 대한 문제가 심도 있게 다루어지고 있다. (그림 1)에 나타낸 사물인터넷의 수많은 응용 분야의 커넥티비티 중에서 저전력 광역 커넥티비티 즉 LPWA가 가장 많이 필요하며 이 같은 대량의 IoT를 위한 새로운 표준이 필요한 것으로 전망되고 있다. LPWA의 대표적인 응용 분야로는 환경과 산업분야, 스마트 미터링, 농업, 트래킹, 스마트 시티, 스마트 빌딩, 스마트 홈 등을 들 수 있다.




(그림 3) IoT를 위한 무선 커넥티비티 예측

〈출처〉: Machina Research, "Wide Area M2M Connections by Technology," 2015.

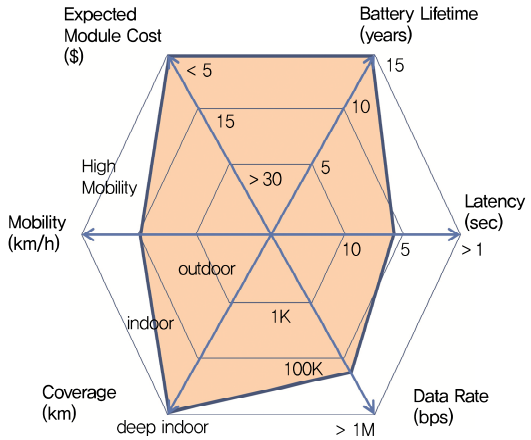
IoT 시장은 수익면에서는 아직 셀룰러 기반의 수익 대비 1/3 수준이지만, 2023년에 34B 달러로 예측(Analysis Mason, 2014)되고 있고 급속히 증대될 것으로 예측되고 있다. 또한, 현재의 셀룰러 용 모듈은 음성과 멀티미디어 위주로 최적화 설계되었기 때문에, 대량의 사물인터넷을 대상으로 하는 mIoT에는 적합하지 않다. 따라서 여기에 적합한 새로운 기술과 표준이 필요하다.

〈표 1〉은 광역 IoT망에 대한 요구사항과 특성을 나타낸다[8][9].

광역 IoT 통신은 통신거리 최대 40km, 배터리 수명 10년 이상, 데이터처리율(Throughtput) 수 kbps이하, 가격 2달러 이하, 1년 사용료 1달러 이하, 소요 기지국 수는 수 천개 디바이스 당 하나 그리고 빌딩 내, 지하에

〈표 1〉 광역 IoT 망 요구사항과 특성[8][9]

| 특 성 | LPWAN 을 위한 목표치 |
|---|---|
| 통신거리(Long Range) | 5~40km(개활지) |
| 초 저전력 | 배터리수명 10년 이상 |
| 데이터 처리율 | 응용분야별로 다르나 보통 수 kbps 이하, |
| 무선 칩셋 가격 | $2 이하 특성 |
| 개별 가입 사용료 | $1/년 이하 |
| 전송지연 | 대부분 응용이 지연에 무관 |
| 서비스 반경을 위한 소요 기지국 수 | 수천 디바이스 당 하나 |
| 서비스 지역 및 침투 | 빌딩 내, 지하, 외곽지역 |



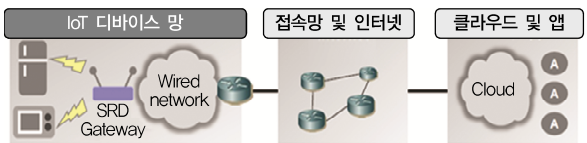

(그림 4) LPWA 망 요구사항 및 특성[10]

침투성이 좋고 외곽지역까지 광역으로 통신이 잘 되는 시스템을 필요로 한다.

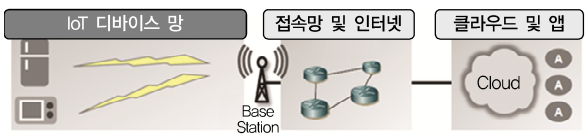
(그림 4)는 LPWA망 Key Performance Index(KPI) 요구사항을 나타낸다. 기존 셀룰러 이동통신 대비 요구사항이 근본적으로 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 광역 IoT에서는 기존 이동통신에서 중요시되는 전력소모, 칩셋가격, RF 가격, 협대역 필요성 등의 문제가 이미 장점으로 보유하고 있는 특성이기 때문에, 나머지 요구사항인 통신거리, 서비스권역 및 음영지역의 통신이 상대적으로 중요함을 알 수 있다.

## 2. 광역 IoT망 구성도 및 특성

(그림 5)는 LPWA 망 구성도를 나타낸다. IoT 단말, IoT 기지국(게이트웨이), 인터넷, 그리고 클라우드 서버

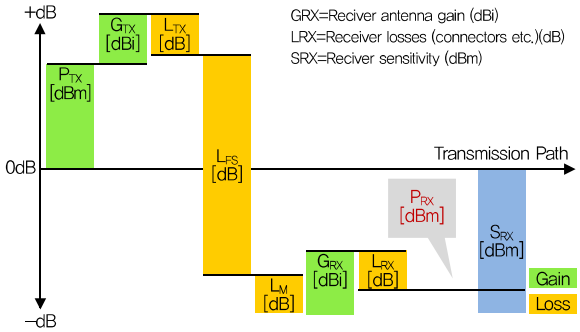



(a) SRD 커넥티비티




(b)LPWA 커넥티비티

(그림 5) IoT디바이스를 위한 LPWA 망 구성도[8]




(그림 6) LPWA 링크버짓[8]

로 구성된다. 기존 ZigBee와 같은 근거리 디바이스(Short Range Device)로는 게이트웨이 및 장거리 백홀이 필요하고, 이것이 IoT 사업자의 관할영역에 해당되지 않는 단점이 있는 반면에, LPWA의 경우는 필드에 있는 각 IoT 디바이스를 직접 연결할 수 있으며 기지국 하나에 수 천개의 IoT 디바이스를 연결할 수 있어서 비용을 절약할 수 있는 장점이 있다.

(그림 6)은 LPWA 디바이스의 링크 버짓을 나타낸다. 대분분의 통신과 마찬가지로 링크버짓은 전송 채널을 통한 이득과 손실을 계산하여 수신 전력을 산출할 수 있다[8].

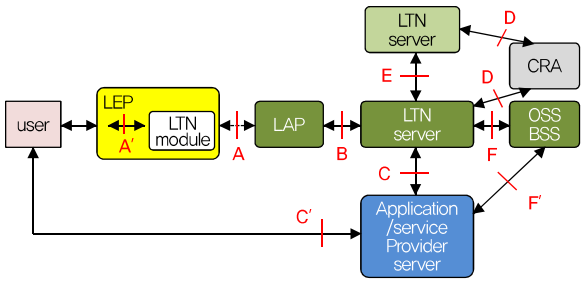
$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} - L_{TX} - L_{FS} - L_M + G_{RX} - L_{RX} \quad (1)$$

여기서, $P_{RX}$는 수신전력(dBm), $P_{TX}$는 IoT 디바이스의 송신전력(dBm), $G_{TX}$는 IoT 디바이스의 안테나 이득(dBi), $L_{TX}$는 IoT 디바이스의 손실(dB), $L_{FS}$는 자유공간의 손실(dB), $L_M$은 멀티패스 손실(dB), $G_{RX}$는 수신 안테나 이득(dB), $L_{RX}$는 수신감도(dBm)이다. LPWA의 경우는 −140dBm 정도로 매우 좋은 수신 감도를 가진다.

# Ⅳ. LPWA기반의 저전력 광역 IoT기술 및 표준화

## 1. 비면허대역 광역 IoT 기술 및 표준화

(그림 7)은 ETSI의 Low Throughput Network(LTN) 망 구조 및 인터페이스 정의를 나타낸다. 2014년 9월에 완료되었으며, LTN 001 유스케이스, LTN 002 기능구



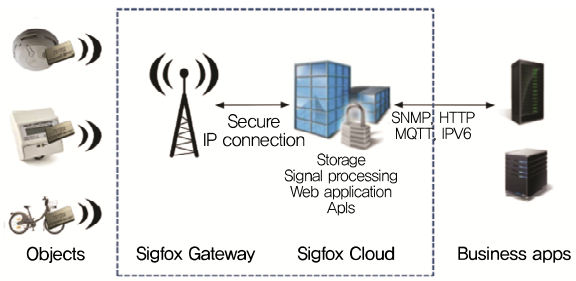

(그림 7) LTN 망 및 인터페이스[11]

* LTN End Point(LEP)
* LTN Access Point(LAP)
* Operation Support System(OSS)
* Business Support System(BSS)
* Central Registration Authority(CRA)

조, LTN 003 프로토콜 및 인터페이스 표준이 있다. 이 표준에는 크게 대역확산에 의한 협대역 펄스에 의한 Ultra Narrow Band(UNB) 표준과 Direct Sequence Spread Spectrum(DSSS) 표준이 있다. SigFox와 LoRa의 멤버가 의장과 부의장을 맡아서 작성된 표준으로서 이들 표준에 준하여 작성된 대표적인 표준은 2014년 9월에 완성된 UNB기반의 SigFox라는 전용(propriety) 표준과 IEEE 802.15.4g기반의 DSSS방식으로 LoRa Alliance에서 2015년 06에 완성된 개방형 LoRa 표준이 있다.

그 외 weightless, OnRamp, NWave, ThinkWorks 표준 등 다수가 있다. 그중에서 최근 가장 주목을 받고 있는 SigFox와 LoRa 시스템에 대해 살펴본다.

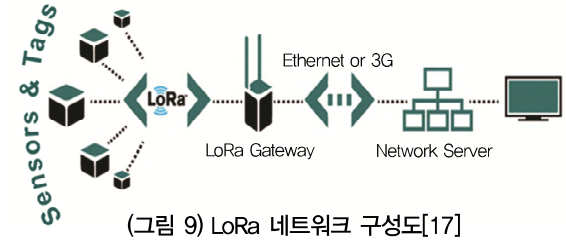
(그림 8)은 SigFox 네트워크 구성도를 나타낸다. 단말노드(사물, Object)는 센싱된 데이터를 ISM 밴드(유럽



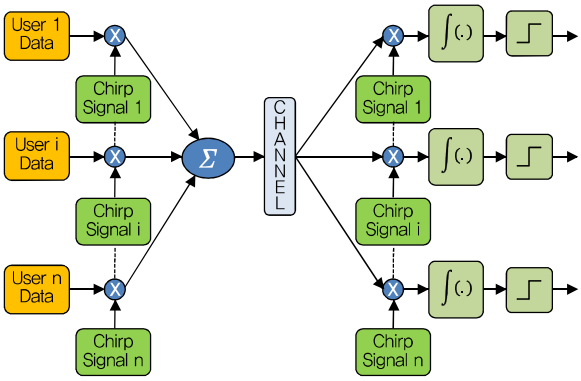

(그림 8) SigFox 네트워크 구성도[13]

868/미국 915MHz) 주파수를 사용하여 게이트웨이(기지국)로 전송하며, 게이트웨이는 수 천개의 단말노드로부터 수신된 데이터를 서버로 전송한다. 이때 저전력 소모 전송을 위하여 동기나 시그널링 교환이 필요 없는 ALOHA기반으로 전송한다. ALOHA의 단점인 충돌방지를 위해, 할당 주파수 대역폭 200KHz를 대역폭 160Hz의 소채널로 나누면 1,250개 소채널이 구성되는데, 랜덤으로 임의의 소채널을 3개 선택하여, 3번 반복 전송한다. 랜덤 채널 선택에 의해 전송 주파수가 달라지게 되므로 일종의 주파수 호핑과 충돌방지 역할을 하게 된다. 상향 MAC-PDU전송 포맷은 헤더(4Bytes), 시퀀스카운터(12비트), 식별자(40비트), 데이터(0~32bytes), 인증(128비트), FCS(16비트)의 형태로 D-BPSK형태로 변조되어 전송된다. 수신측에서는 수신 가능한 여러 기지국이 수신하게 되며, 임의의 기지국에서 충돌이 발생하더라도, 다른 기지국에서는 수신하기 때문에 기지국 수신 다이버시티의 효과를 갖는다. 순방향 전송의 경우에는 단말노드가 데이터를 송신 후, 일정시간지연(defined time lag) 후에 한다. 이 경우 데이터를 전송할 기지국은 코어망 서버에서 결정하여 전송한다. 하향 MAC-PDU전송 포맷은 헤더(53비트), BCH(15,11) 채널코딩 ECC(32비트), 데이터(0~32Bytes), 인증(128비트), FCS(8비트)형태로 전송된다. 전송된 데이터는 단말노드에서 수신하게 된다. 이때 수신확인이 필요한 경우 순방향은 응용단 서버에서 취급하며 단말노드의 경우 수신확인요청 플래그(acknowledge request flag)를 1로 설정하여 송신한다. 인증관련하여서는 AES 128 알고리즘으로 하며, 상향링크는 메시지 필드에서, 하향링크는 서버에서 수행한다[12][13].

LoRa는 2015년 초에 결성된 IBM, Semtech, Actility, Microchip 등을 멤버로 구성된 LoRa 얼라이언스에 2015년 6월 16일에 발표한 LoRaWAN R1.0개방형 표준이다. IEEE 802.15.4g기반의 표준이며 비동기식 저




(그림 9) LoRa 네트워크 구성도[17]

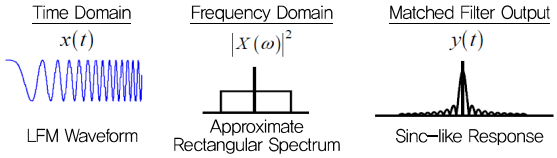



(그림10) 일반적인 CSS 송수신 블럭도

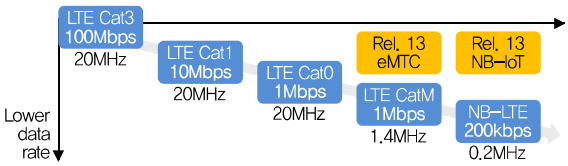
전력 원거리 통신망이다. 네트워크 구조는 (그림 9)와 같으며 수 천개의 단말이 하나의 게이트웨이에 연결되고, 이를 통하여 이더넷이나 이동통신망에 연결되어 데이터가 분석, 활용되는 구조로 되어있다.

LoRa 시스템의 통신에는 대역확산 방식 DSSS을 사용하며, 기존의 PN코드를 사용하는 대역확산 방식과의 차이점은 (그림 10)과 같이 송신 시에 chirp 펄스신호로 확산하고, 수신 시에도 같은 chirp 펄스신호를 사용하여 원래 신호를 찾는 원리인데, chirp 펄스신호의 우수한 상관관계특성을 이용하여 수신하며, 또한 주파수 옵셋에 대한 허용치가 상대적으로 완화된 것, 포락선이 일정한 변조방식(constant envelop modulation)이므로 저가, 저전력, PA 효율이 높은 장점이 있고, 수신기 구조가 간단한 것이 특징이다.

LoRa 시스템의 경우는 chirp신호를 하나만 사용하고, 디바이스의 식별은 MAC의 해당 필드로 구분한다. 이때 chirp 펄스신호 $x(t) = \cos(\pi\beta t^2/\tau), 0 \le t \le \tau$는 (그림 11)과 같이 시간에 따라 주파수가 변하는 일




(그림 11) Chirp 신호의 특성[18]




(그림 12) 3GPP의 광역 IoT(NB-IoT) 표준화[25]

종의 선형 FM방식의 파형이며, 주파수 영역에서는 $\beta\tau$가 클수록(100이상) 스펙트럼이 구형파($|X(w)|^2$)에 가까워진다. 수신측에서는 chirp 펄스의 우수한 상관관계 특성(y(t))을 사용하여 원래 신호를 수신하게 되는 원리이다.

이때 확산 대역폭을 가변시켜서 사용하도록 설계되어 있다. 변조 전송속도를 Rb라 하면, Rb = SF*(rate code/($2^{SF}$/BW)로 주어지며, 여기서 SF는 확산인자(spreading factor)로서 7부터 12의 값을 가지며, BW는 변조 대역폭을 나타낸다. 또한, 전송채널의 성능 향상을 위하여 가변 채널 부호화를 사용하기 때문에, rate code = 4/(4+CR)로 하며 부호화율 CR은 1부터 4의 값을 가진다. MAC은 ALOHA 타입으로 양방향 통신이 가능한 클래스 A, 동기비콘에 근거한 정해진 시간에 수신이 가능한 클래스 B, 송신 시를 제외하고는 수신 윈도우가 열려있는 클래스 C로 나뉘며, 각 경우에 따라 전송포맷이 다르다. 보안에는 AES 128 암호화를 사용한다[15]-[18].

또한, IEEE802.11에서는 'Integrated Long Range Low Power(LRLP) Operation for IoT'라는 이름으로 표준화가 진행 중이다. 그러나 이 경우는 목적과 명칭은 유사하지만, 통신거리를 500여 미터를 대상으로 하고 있는 것이 차이점이다[19]. 또한, Wi-Fi 얼라이언스에서는 Wi-Fi HaLow라는 802.11ah 표준을 확장하여

1GHz 이하의 비면허 대역에서 장거리(약 1km), 저전력 통신(longer range, lower power connectivity)을 목적으로 표준화가 진행 중이다. 전송속도는 150Kbps~18Mbps 정도를 목표로 하고 있으며, 릴레이를 활용하여 통신거리를 더 확장할 수 있다. 상용화되는 2018년경 현존 2.4GHz, 5GHz를 포함하는 3중모드 제품이 출시될 것으로 전망된다. 여기서도 많은 IoT 응용 분야에 사용될 것을 목표로 하고 있다[20].

### 2. 셀룰러기반 광역 IoT 기술 및 표준화

셀룰러 기반의 광역 IoT 기술에 대한 표준은 3GPP의 LTE-M 표준의 진화로부터 살펴볼 수 있다. Rel.8 SA1 TR 22.868을 필두로, M2M/IoT를 위한 LTE 표준의 개발은 Rel. 12에서 가격과 전력 소모에 역점을 두어 개발되었고, Rel. 13에서는 LTE-M이 2015년 9월 Radio Access Network(RAN) 69차 미팅에서 WI로 선정되어(RP-151621) 통신거리와 저가 구현에 맞춘 표준화가 진행 중이다. Rel. 13에서의 목표는 두 가지이다. 대역폭 200KHz 기반의 협대역(narrowband) Narrow Band IoT(NB-IoT)와 1.4MHz 대역의 LTE-M 표준 개발이다. 두 표준 모두 전송속도를 유연하게 가변으로 조정할 수 있다[21]-[23].

NB-IoT는 GSM EDGE Radio Access Network (GERAN)에서 하웨이/Nuel(허웨이가 인수) 및 퀄컴 주도로 진행돼 오던 표준이 상향링크는 하웨이/Neul의 UL M2M, 하향링크는 퀄컴의 DL OFDM으로 단일 통합된 NB-Cellular IoT(CIoT)표준(초기에는 Clean-state IoT로 불림)이 GERAN에서 진행돼다가, 최근 표준화 창구가 3GPP RAN으로 통합되어, RAN 69차 회의에서 NB-IoT라는 이름의 표준에 통합되어 WI로 진행되게 되었다. 여기에서 NB-CIoT, NB-LTE가 포함되어 논의될 전망이다. NB-IoT는 3개의 동작모드를 지원하는데 기존 GSM을 대치하는 단독 동작(stand-alone operation), LTE 캐리어의 보호대역 내의 미사용 RB들을 이용하는 보호대역 동작(guard band operation), 보통 LTE캐리어 내의 RB들을 이용하는 대역 내 동작(in-band operation)의 3가지 모드로 동작되어야 하며 2016년 3월 표준화될 예정이다. RAN1에서는 PHY에 대한 채널매핑, 절차, 측정, 단말기 능력 규정, RAN2에서는 프로토콜에 대한 구조, MAC, RLP, PDCP, RRC 프로토콜 및 단말기 능력 규정, RAN3에서는 S1인터페이스의 변경부분을, RAN4에서는 단독 동작, 보호대역 내 동작, LTE대역 내 동작의 3가지 동작을 위한 단말과 기지국의 송수신, RRM에 대한 요구사항 및 성능 요구사항을 표준화할 예정이다. 시장을 분산시키지 않는 단일 표준 또는 통합표준을 향한 노력이 중요 사안으로 되어있다[24]-[26].

본고의 논의 범위는 아니지만 Rel. 13에서 기존 LTE-eMTC(1.4MHz 대역폭)의 진화에 대한 표준화도 병행으로 진행되고 있는 중이다.

NB-IoT의 경우, 기존 LTE의 장점인 망 안정화, 로밍 등의 차별화를 활용하면서 가격 및 성능 등의 조건을 LoRa, SigFox와 경쟁할 수준에 맞춘다면 셀룰러 솔루션을 더 선호할 가능성도 배제하기 어렵다.

같은 맥락으로 GSM Association(GSMA)에는 Mobile IoT Initiative라는 LPWA의 초기 표준을 2016년 초에 완성하고자 하는 단체가 2015년 8월 21에 결성되었다. 목표는 LTE-M 진화, GSM 진화, 새로운 표준(Clean-Slate) 기술 등이다. 최근 NB-IoT 포럼으로 명칭 변경되었다.

## V. 저전력 광역 IoT를 위한 솔루션 비교

〈표 2〉는 LPWA를 위한 솔루션 비교를 나타낸다.

크게 전용(proprietary) 저전력광역 IoT와 셀룰러 기반의 저전력광역 IoT방식이 있으며, 각각의 솔루션들이

〈표 2〉 LPWA 방식별 비교

| 방식 / 항목 | 비셀룰라 기반 저전력광역 IoT | | 셀룰라 기반 저전력광역 IoT | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SigFox 솔루션 | LoRa 솔루션 | LTE-MTC (Cat 0) | LTE-eMTC (Cat-M) | NB-IoT | | 5G NB-IoT (mIOT,cIoT) |
| | | | | | NB-LTE | NB-CIoT | |
| 표준 | SigFox 자체 규격 | LoRa Alliance v1.0 개방형 표준 IEEE 802.15.4g기반 | 3GPP Rel. 12 | 3GPP Rel. 13~14 | 3GPP Rel. 13~14 | 3GPP Rel. 13~14 | 3GPP Rel. 15 & Beyond |
| 채널수신대역폭 | 200KHz | 500/250/125KHz | 1.4MHz | 1.4MHz | 0.2MHz | 0.2MHz | 0.2MHz~ |
| 최대 전송속도 (DL/UL) | UL:160,DL:600bps 140 메세지/일 | EU:250bps~50Kbps, US:980bps~21.9Kbps | 1Mbps/1Mbps | 1Mbps/1Mbps | 200Kbps/ 200Kbps | 10kbps | - |
| 다원접속 | C-UNB with FH | DSSS UL SF EU: 7~12 US: 7~10 | OFDMA/OFDMA | OFDMA | OFDMA/GMSK or SC-FDMA | OFDMA/ FDMA | NB-OFDMA, NB-NOMA |
| 변조방식 | UL: D-BPSK DL: GFSK | Chirp Spread Spectrum | QPSK/16QAM | QPSK/16QAM | QPSK/16QAM | GMSK | - |
| 듀플렉스 모드 | HFDD | HFDD | FDD/HFDD/TDD | HFDD/TDD | HFDD | HFDD | HFDD |
| Payload(Bytes)/ 프레임길이 | DL: 0~32, UL: 0~34/ | 255 | 수 백~수 천/ 1ms | 수 백~수 천/ 1ms | 수 백~수 천/ 1ms | 수 백~수 천/ 10ms | - |
| 단말송신전력 | 10uW~100mW | EU: 14dBm US: 20(typ)/30dBm | 23dBm | 20dBm | 23dBm | 23dBm | - |
| 사용대역(MHz) | ISM Bands (EU868/US902) | ISM Bands (EU:867~869MHz, US: 902~928MHz) | LTE대역 내 | LTE대역 내 | LTE대역 내, 보호대역, 전용대역 | 전용대역 | - |
| 가격/단말모뎀 복잡도 (Rel. 8, cat 4기준) | $5 | $5 | $9~13/40% | $3~4/20% | $2~3/15% | $2~3 | 〈$2~3 |
| 수신감도 (dBm) | DL: -129 UL: -139 | -111~-148, -140@150bps, -102@300kbps | -117 | -117 | 0.8485273 | - | - |
| 배터리 수명 2000mAh기준 | 7.5년 | 8.75년 | | 1.5년 | - | - | - |
| 가입사용료 | $1/년/개 | $1/년/개 | $2~9/월/개 | $2~9/월/개 | TBD | TBD | TBD |
| 통신거리 | 15km이하, 도심(3~10km), 시골(30~50km) | 도심 2~15km, 시골 30km | 2.5~5km | 2.5~5km | 2.5~5km | 2.5~5km | 2.5~5km |
| 표준완료 및 상용화 일정 | 2014 상용화 서비스 중 | 2015. 6 2015말 상용화 예정 | 2015. 3 상용화 | 2016. 3/ 2017년경 | 2016. 3 2017년경 | 2016. 3 2017년경 | 2019 2020년경 |

어떤 특징을 지니는지, 현재까지의 IoT 서비스의 단점 즉 배터리 수명, 통신거리, 모뎀 가격, 개별 사용료 등을 어떻게 극복하여 광대역 IoT에 활용할 수 있는지의 관점에서 살펴볼 필요가 있다. 3GPP 표준화에 제출된 문서를 근거로 하였으나 솔루션 제공회사의 일부 주관적인 의견이 포함된 것을 고려하여 객관적인 비교가 필요하다.

SigFox의 경우, 통신거리 15km, 배터리 수명 20년, 메시지 당 12바이트, 하루에 최대 140개 메시지 송신(듀티 싸이클 1%), 양방향 통신, 간단한 네트워크 인프라, 저 쓰루풋 무선망, UNB특허기반, -142dBm수신감도 기반의 망이라 주장된다. 에너지 효율에 역점을 둔 것이 특징이다. 연간 디바이스 당 사용료가 1유로~14유로이며, NTT DoCoMo, 텔레포니카, SKT, 삼성 등이 투자하였고 프랑스 오렌지 사업자가 이것으로 상용화하여 운용 중이며 미국으로 진출을 도모하고 있다.

SigFox 시스템을 지원하는 트랜시버는 TI C112x family, 실리콘 랩의 S1446x, AXSEM의 AX 8052F143에서 제공되며, MCU, 하드웨어 암호화 및 무선 커넥티비티는 아트멜의 ATA 8520 SoC 통합 칩에서 제공하고

있다[13][14].

LoRa는 배터리 수명 10년 이상, 통신거리가 도심지역에서 2~15km, 시골에서 30km, 지하에서 1~2km, 실내에서 2~3km, 대역폭 125KHz, 최대송신전력 14dBm이며 주파수 ISM 밴드(유럽 868/ 미국 915MHz)에서 동작하며, 마찬가지로 전송속도는 낮추며 수신감도가 최대(-138dBm)가 되도록 대역확산 방식으로 설계한 기술이다. 스타토폴로지, 전송속도 300bps, 게이트웨이 당 수만개 IoT디바이스 접속 가능한 것이 특징이다. Semtech SX1272~1279 RF 트랜시버, Microchip RN2483 등의 솔루션이 있다[18].

현재 단말 및 게이트웨이 솔루션 등이 상기의 얼라이언스 멤버를 통해 상용화되어 있고, 국내에서는 SKT가 이를 활용하여 사물인터넷을 활성화하려는 움직임이 있다[5]. 전용 NB-IoT의 경우, 우리나라에서는 한 채널이 200KHz로 규정되어 있으며, 활성화 방안의 일환으로 900MHz 대역(917~923.5MHz)의 소출력 IoT 출력 기준을 기존 최대 10mW에서 실내 공동사용을 위해 채널 26~32번을 최대 25mW, 실외고정, 점대다점 통신을 위해 채널 20~32번을 200mW로 상향하는 개정된 기술기준이 6월말 확정될 예정이다.

## Ⅵ. 문제점 및 대응방안

수많은 IoT 솔루션들이 표준화가 완성되기도 전에 등장하고 있다. 사물인터넷의 취지에 맞는, 개방형 공통 플랫폼 위에 전체 응용 분야가 표준기반으로 확장되어, 파급효과가 크면서 인프라 자체가 국가의 경쟁력이 되기 때문에 프레임워크가 무엇보다 중요하다. 이 분야도 일시적인 데모가 아닌 서비스 생태계 구축의 관점에서 여러 제약사항 하에서 최적의 솔루션을 찾는 지혜가 필요하다. 과거의 행태처럼 사업자별, 벤더별로 솔루션을 다양하게 수입하여 설치하기 보다는 경쟁력 확보를 위한 전략이 필요하다. IoT 서비스 분야는 다양하다. 다양한 서비스 모두를 만족하는 솔루션은 없다. 따라서 기본 요구사항을 만족하면서 유연하게 파라미터를 설정할 수 있는 시스템 설계도 필요하다.

## Ⅶ. 맺음말

LPWA의 두 가지 표준 기술에 해당하는 셀룰러 기반의 NB-IoT기술과 비셀룰러 기반의 전용(Proprietry) IoT 기술 대해 살펴보았다. 비셀룰러 대역에서의 IoT기술 중 최근에 관심이 집중되고 있는 대표적인 전용 IoT 기술 SigFox와 LoRa에 대해 기술 및 표준화 동향을 살펴보았다. LPWA 등장배경은 사물인터넷의 대표 응용분야에서, 지금까지 사물인터넷이 활성화되지 않은 요인인 통신거리, 전력소모, 월정료, 인프라 설치 비용 등을 해결하는 솔루션에 대한 필요성이 증대되었기 때문이다. 이 기술은 기존 셀룰러 망과 연동되어 상호 간의 장점을 채택한 보완적 기술로도 활용될 수 있다. 또한, 시장원리에 의해 좌우되겠지만 가격 문제만 해결된다면 기존 LTE기반의 장점을 활용한 NB-IoT가 더 선호될 가능성도 생각해 보았다. 향후 5G 이동통신의 mIoT 및 cIoT에 적합한 솔루션 개발도 숙제이다.

국내의 경우 신산업 창출, K-ICT활성화에 활용하기 위하여 용도자유대역(free band) 즉 용도지정 되어있는 기존의 비면허 대역과는 차별화 된 주파수 대역의 공급 추진계획이 2015년 6월 25일 발표되었다. 이 같은 대역을 포함한 LPWA기술 즉 NB-IoT기술 및 전용 IoT기술 그리고 향후 표준화 될 5G mIoT, cIoT기술을 기반으로 한 기술기준, 간섭분석, 공존기술 분석, 주파수공동사용 기술 등에 대한 연구가 필요하며, 5G IoT 기술에 대한 IPR 확보차원의 검토도 필요하다. 또한, 사물인터넷 밀집지역의 디바이스라고 해도 동시에 송수신을 하는 경우의 비율은 상대적으로 작다. 이런 sparse 환경에서 전반적인 5G 셀룰러 이동통신 시스템과 연계되어 최적으로 동작하기 위한 사물인터넷 시스템 설계는 중요하다.

설계에 기반이 되는 압축센싱(compressive sensing) 등의 이론과 대량접속(massive access)을 위한 새로운 파형설계에 대한 심도 있는 연구도 수행되어야 할 필요가 있다. 또한, 사물인터넷의 표준화에도 3GPP 규격이 가장 많은 영향을 미칠 것으로 판단되기 때문에 이에 대한 동향 및 전략 검토도 병행되어야 한다.

## 약어 정리

| | |
|---|---|
| BSS | Business Support System |
| cIoT | mission Critical-IoT |
| CIoT | Cellular IoT |
| CPS | Cyber Physical System |
| CRA | Central Registration Authority |
| DSSS | Direct Sequence Spread Spectrum |
| ETSI | European Telecommunications Standard Institute |
| GERAN | GSM EDGE Radio Access Network |
| GSMA | GSM Association |
| IOE | Internet of Everything |
| IoT | Internet of Things |
| KPI | Key Performance Index |
| LAP | LTN Access Point |
| LEP | LTN End Point |
| LPWA | Low Power Wide Area |
| LRLP | Long Range Low Power |
| LTE | Long Term Evolution |
| LTE-U | Long Term Evolution |
| LTN | Low Throughput Network |
| mIoT | Massive IoT |
| NB-IoT | Narrow Band IoT |
| O2O | Online to Offline |
| OSS | Operation Support System |
| RAN | Radio Access Network |
| RFID | Radio Frequency IDentification |
| SI | Study Item |
| UNB | Ultra Narrow Band |
| USN | Ubiquitous Sensor Network |
| WI | Work Item |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| WPAN | Wireless Personal Area Network |

## 참고문헌


[1] Ericsson, "Mobility Report," Nov. 2015.

[2] www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1733-niot

[3] Cisco, "Visual Networking Index," 2015.

[4] D. Wollman, "CPS framework Overview," NIST, 2015. 10. 23.

[5] SKT, "IoT Infra 및 사업현황," 최신 IoT 기술 이슈 및 통신 3사 사업추진현황 워크숍, 한국전자파학회, 2015. 10. 16.

[6] KT, "IoT Device & Data Eco System," 최신 IoT 기술 이슈 및 통신 3사 사업추진현황 워크숍, 한국전자파학회, 2015. 10. 16.

[7] LGU+ , "LG유플러스의 IoT 사업현황," 최신 IoT 기술 이슈 및 통신 3사 사업추진현황 워크숍, 한국전자파학회, 2015. 10. 16.

[8] P.R. Egli, "LPWAN," 2015, INDIGO.com

[9] Linklabs, "Low Power, Wide Area Networks," 2015.

[10] GSMA, "Emerging Mobile IoT Technologies: Use Cases, Business and Security Requirements," ETSI M2M Workshop, Dec. 2015.

[11] ETSI, "LTN; Protocols & Interfaces," Sept. 2014.

[12] SigFox White Paper, "M2M and IoT Redefined Through Cost Effective and Energy Optimized Connectivity," 2015.

[13] www.sigfox.com

[14] SigFox, "The Technical Challenges of Future IoT Networks and Their Consequences on Modem's and SoC's Design," 2015.

[15] LoRa Alliance, "LoRaWAN Specification," Jan. 2015.

[16] Semtech, "LoRa FAQ," 2015.

[17] www.lora-alliance.org

[18] Semtech, "LoRa™ Modulation Basics," AN1200.22, May 2015.

[19] www.ieee802.org/11/Reports/lrlp-update.htm

[20] www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-halow

[21] 3GPP TSP RAN 69th, "New Work Item: NB-IoT," RP-151621, Sept. 2015.

[22] 3GPP TR45.820, "Cellular System Support for Ultra-Low Complexity and Low Throughput Internet of Things (CIoT)," Release 13, Aug. 2015.

[23] www.qualcomm.com/news/onq/2015/09/28/harmonizing-industry-narrowband-iot-specification

[24] Ericsson & NSN, "LTE Evolution for Cellular IoT," 2014.

[25] Nokia, "LTE-M – Optimizing LTE for the Internet of Things," May 2015.

[26] Huawei, "Narrowband cellular-IoT(NB-CIoT)," 3GPP TSG RAN 69th Meetings, RP-151550, Sept. 201