THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2017 Feb.; 28(2), 113～119.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2017.28.2.113
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

국내 RFID/USN 주파수 대역의 Duty Cycle 기술기준 하에서 LoRa 기기의 성능 분석

Performance Analysis of a LoRa Device on Duty Cycle Local Regulation of Korean RFID/USN Frequency Band

윤 현 구 · 엄 중 선* · 장 병 준**

Hyungoo Yoon · Jungsun Um* · Byung-Jun Jang**

요 약

본 논문에서는 국내 RFID/USN 주파수 대역의 Duty Cycle 기술기준 하에서 광역 IoT 망의 하나인 LoRa 기기의 성능 분석 결과를 제시하고, LoRa 기술의 활성화를 위해 기술기준 개정이 필요함을 제안한다. 무선기기는 국가별로 전파법 및 무선설비규칙을 준수하여야 하므로 나라별로 기술기준이 다를 경우 그 성능에 차이가 있을 수 있다. 따라서 향후 IoT 기술의 발전을 위해서는 국내 기술기준에 따른 LoRa 기술의 성능의 한계를 아는 것은 매우 중요하다. 분석 결과, 국내 RFID/USN 주파수 대역의 Duty cycle 기술기준인 0.4초 이내로 데이터 송신을 마치도록 한 규정에 따라 단일 LoRa 기기의 성능이 크게 제한됨을 알 수 있었다. 이에 따라 LoRa IoT 망의 활성화를 위해서는 EU와 유사하도록 국내 Duty Cycle 기술기준을 개정할 필요가 있다고 판단된다.

Abstract

In this paper, we have shown the performance analysis results of the LoRa low power wide area network under duty cycle local regulation in Korean RFID/USN frequency band. Especially, we analyzed uplink throughput and data transmission time of a single LoRa end device. From the analysis results, duty cycle regulation, in which a data transmission should be ended within 0.4 second, limits the performance of LoRa network. Therefore, it is necessary to revise Korea's duty cycle regulation referencing EU regulation in order to assess LoRa network in Korea.

Key words: Spectrum Sharing, Frequency Interference, Unlicensed Band, Frequency Hopping, Duty Cycle, Listen-Before-Talk

Ⅰ. 서 론

최근 LoRa, SigFox, Weightless, LTE-M, NB-IoT 등 저전력 무선통신기술을 이용하여 수 km의 통신반경을 갖는 광역 IoT 망에 대한 연구가 활발하다. 예를 들어 국내 이동통신사업자인 SKT에서는 LoRa 망을 기반으로 IoT 서

「이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. B0717-16-0059, Free Band 및 비면허대역 활성화를 위한 상호공존 기술 및 분석 툴 개발).」

명지전문대학 컴퓨터전자과(Department of Computer & Electronic Engineering, Myongji College)

*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunication Research Institute)

**국민대학교 전자공학부(Department of Electronic Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received December 30, 2016 ; Revised January 25, 2017 ; Accepted February 16, 2017. (ID No. 20161230-132)

· Corresponding Author: Byung-Jun Jang (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

표 1. 917~923.5 MHz RFID/USN 대역 공동사용조건[7]
Table 1. Coexistence regulation for RFID/USN band[7].

구분			수동 RFID	USN	개정 전 (2008)
공동사용조건	FH	채널 점유	연속 0.4초 이내		좌동
		호핑 채널	6	16	좌동
	LBT		송신전 5 ms 이상 −65 dBm 송신 4초 이내 휴지 50 ms초 이상		좌동
	Duty cycle (DC)		2 % (20초 이내에 송신 0.4초 이하)	10 mW 2 %, 10~25 mW 1 %, 25 mW 초과 0.5 % 이내(0.4초 이내 송신 종료)	개정전 RFID와 USN 동일

비스를 구축 중이며, KT와 LGU+에서는 LTE-M 및 NB-IoT를 이용한 IoT 서비스를 준비 중에 있다. 이러한 광역 IoT 망은 고속망을 지향했던 기존 무선통신과는 달리 우수한 전력효율과 넓은 커버리지를 특징으로 한다. 광역 IoT 망은 일반적으로 데이터 속도는 수백 bps 이하로 낮은 대신 수 km 이상의 넓은 커버리지를 필요로 하는 서비스에 사용된다[1]~[3].

광역 IoT 망 중에서 최근 관심이 집중되는 기술로 LoRa 기술이 있다. LoRa 기술의 가장 큰 특징은 UHF(Ultra High Frequency) 대역의 비면허 주파수를 사용하는 비표준기술이란 것이다. 비면허 주파수 대역이 국가마다 다를 뿐만 아니라, 타 무선기기와의 공동사용을 위해 주파수 호핑(Frequency Hopping: FH), 송신 전 신호감지(Listen Before Talk: LBT) 및 Duty Cycle(DC) 중 하나를 사용해야 한다. 또한, 비표준 기술이므로 3GPP나 IEEE 등 표준단체에서 제정한 무선통신 기술에 비해 관련 자료나 발표된 연구 결과가 매우 적다. 현재까지 나와 있는 LoRa 문헌을 살펴보면 LoRa 기술을 응용한 서비스 사례, 통신반경 등의 실험결과 및 일부 성능분석 결과 정도만이 발표되어 있다[4]~[6]. 예를 들어 참고문헌 [4]에서는 868 MHz 대역에서의 LoRa 기술의 커버리지를, 참고문헌 [6]에서는 EU 기술기준인 Duty Cycle(DC) 하에서 LoRa 기술의 성능분석 결과만을 제시하고 있을 뿐이다. 아직까지 국내 전파법 및 무선설비규칙 하에서 LoRa 성능을 체계적으로 분석한 연구는 발표된 바 없다.

무선기기는 국가별로 전파법 및 무선설비규칙을 준수하여야 하므로 나라별로 기술기준이 다를 경우, 그 성능에 차이가 있을 수 있다. 따라서 국내 기술기준에 따른 LoRa 기술의 성능의 한계를 아는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 국내 917~923.5 MHz의 RFID/USN 대역에서의 DC 기술기준을 근거로 LoRa 망의 이론적인 최대 성능을 분석하고자 한다. 또한 LoRa 망의 활용을 높이기 위한 국내 DC 기술기준의 문제점 및 개선 방안을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 국내 RFID/USN 대역 및 LoRa 기술

2-1 국내 RFID/USN 주파수 대역과 공동사용 조건

국내에서 917~923.5 MHz의 비면허 대역은 RFID/USN 기기가 사용하는 주파수 대역으로, 공동사용조건을 만족하는 무선기기는 주파수 면허 필요 없이 사용될 수 있는 주파수 대역이다. 국내에서 이 주파수 대역을 사용하는 대표적인 무선기기로는 RFID 기기, Z-wave 기기, LoRa 기기 등이 있으며, 그 외의 무선기기도 표 1의 공동사용 기술기준을 만족할 경우, 사용할 수 있다[7].

현재 이 대역을 사용하고 있는 RFID 기기, Z-wave 기기, LoRa 기기의 경우, 그림 1과 같이 상호간의 간섭을 피하기 위하여 주파수 채널을 가급적 분리하여 사용하고 있다. 먼저, 917~923.5 MHz 앞쪽인 채널 2, 5, 8, 11, 14, 17번은 4 W EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)의 고정형 RFID 리더가 사용하고, 뒤쪽인 채널 20번 이후에서 Z-

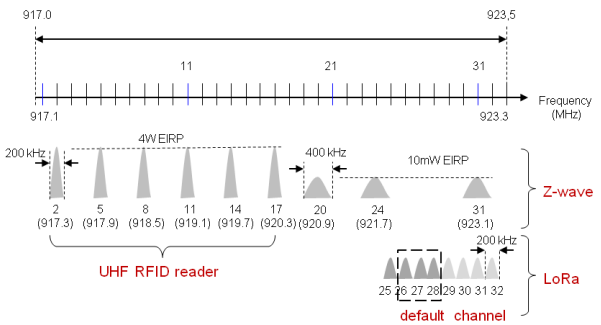

그림 1. 국내 RFID/USN 대역과 채널 할당
Fig. 1. Korean RFID/USN frequency band and channel assignment.

wave와 LoRa가 사용된다. Z-Wave는 덴마크 회사인 Zen-sys와 Z-Wave 얼라이언스에서 개발한 소출력 IoT 기술로서 국내의 경우 RFID/USN 주파수대역 내에서 20, 24, 31번 채널을 사용한다. 채널 대역폭은 100 kbps를 보내기 위해 400 kHz 대역폭을 사용하며, GFSK 방식의 모뎀을 사용한다[8].

LoRa의 경우, 실외서비스가 대부분이므로 Z-wave와의 직접적인 간섭을 피할 수 있을 뿐만 아니라, 대역확산 기법으로 간섭에 강인하다. 하지만 필수 채널은 Z-wave와 겹치지 않는 26, 27, 28번을 사용하는 것을 권장하고 있다. 25번 채널은 BS에서 단말로 ACK 신호를 보내기 위해 저속채널로만 사용된다. 채널 출력은 ED의 경우 25 mW까지, BS는 최대 200 mW까지 송신할 수 있도록 하고 있다[9].

2-2 LoRa 기술 개요

LoRa 망의 기본적인 구성은 그림 2와 같다. LoRa 망은 이동통신과 유사하게 단말(ED: End Device)과 기지국(BS: Base Station)으로 구성된다. 기지국은 IP(Internet Protocol) 프로토콜을 통해 응용프로그램이 수행되는 네트워크 서버에 연결된다. 단말끼리 서로 연결되는 Zigbee 등 기존의 무선센서네트워크와는 달리 LoRa IoT 망에서는 전력효율을 높이기 위해 ED는 BS에만 연결되는 스타망(Star topology)을 구성하게 되며, ED끼리 직접 통신은 불가능하다. 보통 BS에서 ED로의 순방향 트래픽이 ED에서 BS로의 역방향 트래픽보다 많은 이동통신망과는 달리 LoRa 망은 IoT 서비스 특성 상 역방향 트래픽이 많은 것이 특징이다[2].

기술적으로 LoRa 기술은 두 개의 특징을 갖는다. 먼저 주파수가 선형적으로 증가 또는 감소하는 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기반의 LoRa 변조방식을 사용한다. 이를 통해 대역 내 간섭, 다중경로 페이딩, 도플러 효과에 강인한 물리계층 특성을 가질 뿐만 아니라, 150 dB 정도의 링크 버짓을 가지므로 작은 출력으로도 수 km의 통신 반경을 갖는다. CSS는 6가지의 대역확산 인자(SF: Spreading Factor)인 SF12에서 SF7까지를 사용하여, 서로 다른 전송속도를 갖는 데이터를 동시에 송신할 수 있다. 가장 저속인 경우 DR0라 불리며, SF12를 사용하고, 데이터속도는

그림 2. LoRa IoT 망의 기본 구성
Fig. 2. Configuration of LoRa IoT network.

250 bps이다.

두 번째 특징으로는 에너지 효율을 극대화하면서도 안정적인 네트워크 프로토콜을 갖는다. Lora 규격에 따르면 3가지 형태(A형, B형 및 C형)의 ED가 있다. 이 중 A형은 필수(default)이고, B형과 C형은 선택(option)이다. 필수인 A형의 경우, 그림 3과 같이 ED는 Aloha 방식으로 랜덤하게 패킷을 BS로 송신(상향링크)한 후 두 개의 수신 윈도우(RX1과 RX2) 구간에서 BS로부터 확인(ACK) 신호를 받는다. RX1은 송신채널과 동일한 주파수채널 및 SF를 사용하게 되는데, 이 윈도우 시간 안에 신호를 받지 못할 경우, 별도의 채널인 RX2를 통해 신호를 받는다. 보통 상향링크 데이터를 보낸 ED는 보통 1초인 RECEIVE_DELAY1 시간을 기다린 후 RX1 윈도우 동안 BS의 ACK 신호를 받는다. ACK 신호를 성공적으로 신호를 수신한 경우, ED는 RX2 윈도우를 무시한다. ED가 RX1 윈도우에서 신호를 받지 못할 경우, 보통 2초인 RECEIVE_DELAY2 시간을 기다린 후 RX2 윈도우 동안 BS의 ACK 신호를 수신한다. 이 시간에도 ACK 신호를 받지 못한 ED는 데이터 실패로 판정하여 재전송하게 된다. RX2 윈도우 동안 ED는 별도의 주파수 채널에서 가장 느린 속도인 DR0를 사용한다.

LoRa IoT 망이 이런 특성을 갖는 것은 기본적으로 공간상에 널리 퍼져 있는 LoRa ED로부터의 송신되는 산발적

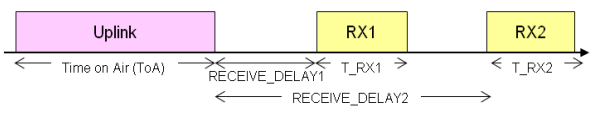

그림 3. LoRa A형 ED 기기의 상향 데이터 전송 과정
Fig. 3. Uplink transmission procedure of LoRa class A end device.

인 데이터를 LoRa BS가 수집하는 목적으로 고안된 기술이기 때문이다. 따라서 LoRa가 처음 개발된 EU에서는 데이터 접속이 자주 이루어지지 않는다는 기본적인 가정하에 DC 기술기준을 근거로 LoRa 망이 설계되었다.

Ⅲ. LoRa 시간 성능 분석

LoRa 기술이 개발된 유럽에서의 DC 기술기준과 국내 RFID/USN 대역의 DC 기술기준은 다르다. EU의 DC 규정은 단순히 전체 시간 중 패킷 송신시간의 비율 만을 규정하고, 하나의 패킷의 점유시간의 최대치는 규정하지 않는데 반해, 국내의 경우 전체 시간 중 패킷 송신시간의 비율과 하나의 패킷의 점유시간 모두를 규정하고 있다. 즉, 표 1에서와 같이 개정된 DC 규정에서도 채널점유시간이 0.4초 이내로 유지되어야 하므로, 이 시간을 초과하는 채널은 사용할 수 없게 되는 문제점이 발생한다. 이에 본 장에서는 국내 DC 기술기준을 적용할 경우, LoRa 기기의 성능에 문제가 없는지를 분석하고자 한다.

LoRa 패킷의 구성은 그림 4와 같다[9]~[11]. 기본적으로 동기정보(Synchronization Word: SW)를 갖는 프리앰블(Preamble), 물리계층 헤더(Physical header: PHDR), 헤더용 추가 CRC(PHDR_CRC), 물리계층 페이로드(Payload) 및 페이로드 CRC 체크썸으로 구성된다. PHDR과 PHDR_ CRC, Payload CRC는 설정에 따라 없을 수도 있으니, 프리앰블과 페이로드는 필수로 포함되어야 한다.

LoRa가 사용하는 DC 기술기준의 준수 여부는 패킷 전송시간에 의해 결정된다. 먼저 하나의 심볼이 차지하는 시간(T_{sym})은 대역확산과 채널대역폭(BW: BandWidth)의 함수로 식 (1)과 같이 주어진다.

$$T_{sym} = \frac{2^{SF}}{BW} \tag{1}$$

식 (1)에 의하면 하나의 심볼이 차지하는 시간은 대역확산을 많이 할수록 길어지게 된다. 즉, SF가 클수록 길어진다. 이제 모든 물리계층 패킷에 공통적으로 존재하는 프리앰블의 시간은 식 (2)와 같다.

그림 4. LoRa 상향 패킷의 일반적인 구조
Fig. 4. LoRa uplink packet structure.

$$T_{preamble} = T_{sym}(NP + 4.25) \tag{2}$$

여기서 *NP*는 프리앰블 심볼의 수(= 8 bit)를 의미한다. 다음으로 페이로드의 시간은 아래 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} T_{packet} &= T_{PHDR} + T_{PHDR_CRC} + T_{PHYpayload} + T_{CRC} \\ &= T_{sym}\left(8 + \max\left(\text{œil}\left[\frac{8PL - 4SF + 28 + 16 - 20H}{4(SF - 2DE)}\right](CR+4), 0\right)\right) \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 *PL*은 물리계층 페이로드의 크기(bytes), *H*는 PHDR이 있을 경우 1, 없을 경우는 0이며, *DE*는 기준 주파수의 변화에 대해 강인하도록 하기 위한 오버헤드로 DR0와 DR1에서는 필수로 사용되는 저속최적화 기능으로 있는 경우 1, 없으면 0이 된다. *H*는 하향링크에서는 1, 상향링크에서는 0이다. 마지막으로 *CR*은 코드율(code rate)로 1에서 4까지 변하는 데 *CR*이 1인 경우 4/5 코드율을 의미한다. 이제 물리계층 패킷의 전송시간 *ToA*(Time on Air)는 다음과 같다.

$$ToA = T_{preamble} + T_{packet} \tag{4}$$

Payload의 크기는 MAC 패킷의 크기에 의해 좌우되며, LoRa 규격 및 식 (4)에 따라 상향링크 패킷 크기 및 SF에 따란 전송시간은 그림 5와 같다. 그림 5에서 대역폭은 125 kHz, CR=4/5를 가정하였고, 그림에서 점선은 400 msec를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, Paylod의 크기가 클수록, SF가 클수록 전송시간은 길어지게 된다. SF에 따라 최대 전송시간의 차이가 큰 이유는 전송거리를 늘리기 위해 SF를 늘려야 하는데, 이에 따라 2의 SF 제곱만큼 시간이 길어지기 때문이다. 예를 들어 상향링크로 Payload를 송신할 때 SF가 12, 대역폭이 125 kHz인 경우 2 byte의 패킷은 0.83초, 59 byte의 킨 패킷은 2.63초의 시간이 걸리게 된다.

그림 5를 확장하여 단일 LoRa 기기가 물리계층 및 응용계층에서의 데이터 전송 성능인 Throughput, 즉 초당 전송할 수 있는 비트의 갯수(bit/s)를 계산할 수 있다. 그림 3과 같이 하나의 ED가 상향링크로 EU LoRa 기준에서 제

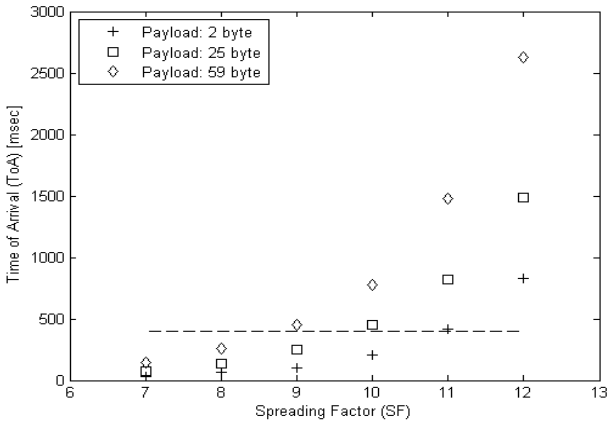

그림 5. SF 및 패킷 크기에 따른 LoRa ToA
Fig. 5. LoRa Time of arrival(ToA) with respect to spreading factor(SF) and packet size.

시된 최대 크기의 패킷을 전송한다고 가정하고, RX1 윈도우에서 BS로부터 ACK를 받는 경우와 RX2에서 ACK를 받는 경우를 가정하여 Throughput을 계산하면 표 2과 같다. 표 2에서 DR에 따른 물리계층 패킷의 크기 및 응용계층 패킷의 크기에 따라 3가지 시나리오 별 성능을 나타내었다. 처음의 'No RX slot'은 상향링크 데이터만 있을 때를 의미하며, 'ACK in RX1'은 상향링크 전송 후 첫 번째 RX1 윈도우에서 ACK 신호를 받았을 경우를 의미한다. 마지막의 'ACK in RX2'는 RX1 구간 동안 ACK를 받지 못해 RX2 구간동안 별도의 저속채널로 데이터를 수신할 경우의 LoRa 기술의 성능을 의미한다. LoRa의 경우, 시나리오 별로 전송속도의 변화가 매우 큼을 알 수 있다. 예를 들어 DR0 기준으로 RX2 윈도우에서 ACK를 받는 시나리오의 경우 초 당 70 bit 만을 보낼 수 있으며, 이 또한 1 %의 DC 규정을 적용하면 초당 0.7 bit 만을 보낼 뿐이다. 이 또한 다중 ED 노드에 의한 충돌 등을 감안하면 더욱 늦어질 수 있으므로 LoRa 망을 구성할 때 이러한 Throughput 성능을 고려하여 구성해야 한다.

Ⅳ. 국내 기술기준 개정 필요성

4-1 Duty Cycle 기준의 개정 필요성

미래창조과학부는 국내 IoT 산업의 활성화를 위하여 지속적으로 RFID/USN 기술 기준을 개정한 바 있다. 최근 2016년 들어 표 1과 같이 LoRa의 상용화를 위한 주파수 대역, 출력제한 규정을 개선한 바 있다. 하지만 아직까지 DC 규정이 EU와 달라 EU의 DC 기술기준을 근거로 만들어진 LoRa 규격을 국내에 바로 적용하기 어려운 문제가 있다. 특히, 국내 DC 규정에서 채널점유시간을 0.4초 이내로 유지되어야 하므로 이 시간을 초과하는 채널은 사용할 수 없게 되는 문제점이 발생한다. 이에 따라 그림 5에서 점선을 초과하는 범위의 패킷은 송신할 수 없다. 예를 들어 11 이상의 SF를 가질 경우, 아무리 작은 패킷도 국내 DC 규정을 초과하게 되므로 송신할 수 없게 된다.

이러한 문제점에 따라 현재 국내 LoRa 사업자는 LoRa 규격에 없는 LBT 기준을 사용하고 있다. 이렇게 되면 원래 규격에 없는 부가적인 하드웨어 비용이 들게 된다. 또

표 2. LoRa 단일노드의 최대 throughput 성능
Table 2. Maximum throughput analysis results of a LoRA node.

DR	PHY Octet[6]	App. Octet[6]	No RX slot			ACK in RX1			ACK in RX2		
			Uplink time [s]	PHY throughput [bps]	App throughput [bps]	Uplink+ACK time [s]	PHY throughput [bps]	App throughput [bps]	Uplink+ACK time [s]	PHY throughput [bps]	App throughput [bps]
0	64	51	2.7935	183.3	146.1	4.7847	107.0	85.27	5.7847	88.5	70.5
1	64	51	1.5606	328.1	261.4	3.1381	163.2	130.0	4.5518	112.5	89.6
2	64	51	0.6984	733.1	584.2	1.9462	263.1	209.6	3.6896	138.8	110.6
3	128	115	0.6769	1,512.9	1,359.2	1.8218	562.1	505.0	3.6681	279.2	250.8
4	255	242	0.7071	2,885.1	2,738.1	1.7793	1,146.5	1,088.1	3.6983	551.6	523.5
5	255	242	0.3996	5,104.9	4,844.7	1.4408	1,415.9	1,343.7	3.3908	601.6	570.9

한 LBT를 사용하게 되면 다양한 SF를 갖는 여러 노드들이 동시에 패킷을 전송할 수 있는 LoRa 기술의 장점을 이용할 수 없어 LoRa 망의 확대될 경우 성능이 저하될 수 있다. 따라서 LoRa 기술의 활성화를 위해서는 DC 규정에 대한 개정이 필요하다고 사료된다[9].

현재 LoRa 규격에 표시된 물리계층 규격 중 Duty Cycle 기술기준을 수용하는 EU의 SRD 기준을 살펴보면 다음과 같다. LoRa 기술이 태동된 EU에서는 125 kHz를 기준으로 3개의 채널(868.1 MHz, 868.3 MHz, 868.5 MHz)을 사용하며, 1 % DC를 준수해야 한다. LoRa 규격에서는 이 기준을 만족하기 위하여 식 (5)를 사용한다. 즉, 하나의 ED가 ToA 시간 동안 데이터를 전송하였을 경우, 식 (5)에 의해 주어진 시간만큼 다음 데이터를 전송할 수 없도록 한다.

$$Toff_{band} = \frac{ToA}{DC_{band}} - ToA \tag{5}$$

예를 들어 0.5초 데이터를 전송할 경우, 1 % DC 규정인 경우 49.5초 동안은 다음 데이터를 전송할 수 없다. 이는 전체 시간 중 패킷 송신시간의 비율 만을 규정하는 것으로 긴 패킷이나 짧은 패킷이나 차별을 두지 않는다. 그 이유는 서비스마다 하나의 패킷 속에 포함될 데이터의 양이 다르고, SF에 따라 패킷의 길이가 가변되므로, 이를 고려한 것으로 보인다. 이를 근거로 본 논문에서는 국내 RFID/USN DC 기술기준에서 전체 시간 중 패킷 송신시간의 비율[%]만을 기준으로 정하고, 절대 시간에 대한 규정은 제거하는 것을 제안한다.

4-2 Duty Cycle 개정에 따른 예상 문제점 및 대책

본 절에서는 4-1절과 같이 DC 기준을 개정할 경우, 예상 문제점을 살펴보고자 한다. 이를 위해 먼저 DC 기준의 의미를 자세히 살펴볼 필요가 있다. DC 기준에서 패킷 송신시간 비율의 의미를 간섭측면에서 살펴보면 이는 타 무선기기에 주는 간섭의 정도를 의미한다[12]. 즉, DC 기준이 1 %라는 것은 DC 10 %에 비해 간섭의 양이 1/10로 작아짐을 의미한다.

반면, DC에서 최대송신시간 제한은 특정 채널을 지속적으로 점유할 경우, 순간적인 간섭확률이 높아짐을 의미한다. 패킷 송신시간 비율은 동일하지만 연속전송시간 제한이 없어진다는 의미는 평균적으로는 간섭을 줄 확률은 동일하지만, 특정 시간에 채널 점유시간이 길어지게 되어 그 시간대에 전송하려고 하는 타 기기에 미치는 순간적인 간섭 영향은 커지게 된다. 즉, 패킷 송신시간 비율이 동일하면 장기적으로 간섭의 정도는 같지만, 연속시간 제한이 없다면 단기간의 간섭 확률을 높일 수 있다. 따라서 기술기준 개정 시 단기 간섭 확률의 영향을 분석해야 한다. 단, LoRa 기술의 경우, 채널 점유시간이 길어진다는 의미는 주파수 확산이 많이 이루어진다는 의미이므로 간섭을 줄 확률 역시 작아지게 된다. 따라서 단순히 채널점유시간을 늘리는 것이 아니라, 주파수 확산이 되는 만큼 이를 상쇄하는 효과가 있을 수 있다. 따라서 실제 주파수 개정 전에 이러한 간섭분석 및 실험 등을 통한 정량적인 추가 분석이 필요하다고 판단된다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 국내 RFID/USN 주파수 대역 기술기준 하에서 광역 IoT 망의 하나인 LoRa 기술의 성능 분석 결과인 LoRa 패킷의 전송시간 및 시나리오에 따른 단일 LoRa 노드의 최대 Throughput 성능을 제시하였다. 분석 결과, 단일 노드에 의한 LoRa의 응용계층의 데이터 전송속도는 최소 70 bit/s에서 1.3 kbit/s 정도임을 확인하였다. 또한, 2016년 개정된 국내 RFID/USN 대역의 기술기준인 0.4초 이내로 데이터 송신을 마치도록 한 Duty Cycle 규정에 따라 LoRa 성능이 크게 제한됨을 확인하였다. 이에 따라 LoRa IoT 망의 활성화를 위해서는 EU 등 관련 사례를 참고하여 국내 기술기준 개정이 필요하다고 판단된다.

References

[1] 김기영, "장거리무선통신 IoT 네트워크 효율성 분석," 한국정보전자통신기술학회 논문지, 9(6), pp. 617-623, 2016년 12월.

[2] LoRa Alliance, LoRaWAN™ Specification, Jan. 2015.

[3] LTE-M - Optimizing LTE for the internet of things, Nokia Networks white paper.

[4] J. Petajajarvi, et al., "On the coverage of LPWANs: ran-

ge evaluation and channel attenuation model for LoRa technology", *14th International Conference on ITS Telecommunication*, pp. 55-59, 2015.

[5] N. Rathod et. al., "Performance analysis of wireless devices for a campus-wide IoT network", *International Workshop on wIreless Network Measurements and Experiments*, pp. 84-89, 2015.

[6] K. Mikhaylov et. al., "Analysis of capacity and scalability of the LoRa low power wide area network technology", *European Wireless 2015*, pp. 119-124, 2015.

[7] 미래부 무선설비규칙(미래부고시 제2016-52호), 2016년 6월.

[8] https://ko.wikipedia.org/wiki/Z-Wave

[9] SKT, 저전력 IoT LoRa 디바이스 기술 요구사항(LoRa-1.8), 2016년 7월.

[10] "SX1272/73 - 860 MHz to 1020 MHz low power long range transceiver", *Semtech Datasheet*, Jul. 2014.

[11] SX1272/3/6/7/8: LoRa Modem Designer's Guide", *Semtech Datasheet*, 2013.

[12] 이상준 외, "간섭부하 개념을 이용한 주파수 공동사용 기술의 성능비교 및 검증", 한국전자파학회논문지, 2017년 3월 출간 예정.

윤 현 구

1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2002년～2004년: (주)현대시스콤 선임연구원
2004년～현재: 명지전문대학 컴퓨터전자과 교수
[주 관심분야] 디지털 통신, 무선 자원 관리, MIMO 채널 모델링, RFID/USN

엄 중 선

2004년 2월: 성균관대학교 전기및전자통신공학부 (공학사)
2006년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
2017년 2월: 한국과학기술원 전기및전자공학부 (공학박사)
2006년 3월～현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
[주 관심분야] 디지털통신, 스펙트럼 공유 기술, 무선통신시스템 설계

장 병 준

1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1995년 3월～1999년 1월: LG전자(주)
1999년 1월～2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소
2003년 10월～2005년 8월: 정보통신연구진흥원
2013년 9월～2015년 8월: 미래창조과학부 민간전문가(CP)
2005년 9월～현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선통신시스템, 전파응용