



# LoRa 네트워크의 전송거리 개선에 관한 연구

이동한\*<sup>1</sup>, 이완재\*<sup>2</sup>, 박화세\*\*<sup>2</sup>, 고대식\*\*\*<sup>3</sup>

## A Study on the Improved Transmission Distance of the LoRa Network

Dong-Han Lee\*<sup>1</sup>, Wan-Jae Lee\*<sup>2</sup>, Hwa-Se Park\*\*<sup>2</sup>, and Dae-Sik Ko\*\*\*<sup>3</sup>

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업(2017063A00\_1719-AB01)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

### 요 약

본 논문에서는 LoRa 네트워크의 전송거리에 영향을 미치는 요소를 분석하고 LoRa 네트워크의 전송거리 개선기법을 연구 분석하였다. 이를 위하여, 전파손실 모델인 Hata모델과 LoRa 네트워크의 전송거리에 영향을 미치는 송신출력, 확산계수, 그리고 안테나 높이를 분석하였으며 하타모델에서 중소도시 및 교외지역에 대한 시뮬레이션을 통하여 송신출력과 안테나의 높이에 따른 수신감도를 시뮬레이션 하였다. 본 논문에서는 제안된 시스템에 대한 성능을 검증하기 위하여, 구현된 LoRa 단말기, 중계기 그리고 게이트웨이를 가지고 테스트 환경을 구축하고 장비의 성능을 검증하였다. 실험결과, 확산계수의 크기에 따라 수신감도가 좋아지게 되며 데이터의 전송 거리가 개선되는 것을 알 수 있었다.

### Abstract

In this paper, we analyze the factors affecting the transmission distance of the LoRa network and analyze and improve the transmission distance improvement technique of the LoRa network. For this purpose, we analyzed the transmission power, spreading factor, and antenna height, which affect the propagation loss model, Hata model, and the transmission distance of the LoRa network. Through the simulation of the small model city and suburban area, receiver sensitivity is simulated. In this paper, to verify the performance of the proposed system, we constructed a test environment with the implemented LoRa device, AP and gateway, and verified the performance of the equipment. Experimental results show that the receiver sensitivity improves according to the magnitude of the spreading factor and the data transmission distance is improved

### Keywords

hata model, IoT network design, LPWA, LoRa, forest IoT network

\* 목원대학교 IT공학과 박사과정  
- ORCID<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-7930-2815>  
- ORCID<sup>2</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-1030-1726>

\*\* 대림대학교 전자통신과  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1426-0009>

\*\*\* 목원대학교 전자공학과 교수(교신저자)  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6232-476X>

• Received: Jan. 04, 2019, Revised: Feb. 27, 2019, Accepted: Mar. 02, 2019

• Corresponding Author: Dae-Sik Ko  
Dept. of Electronic Engineering, Mokwon University, 88 Doanbuk-ro, Seo-gu, Daejeon, Korea.  
Tel.: +82-42-829-7652, Email: [kds@mokwon.ac.kr](mailto:kds@mokwon.ac.kr)

### 1. 서 론

LoRa(Long Range Low Power)는 2015년 초에 결성된 IBM, Semtech, Actility, Microchip 등을 멤버로 구성된 LoRa 얼라이언스에서 2015년 6월 16일에 발표한 LoRaWAN R1.0 개방형 표준이다[1].

IEEE 802.15.4g기반의 표준이며 비동기식 저전력 원거리 통신망이다. LoRa를 이용한 사물인터넷 시나리오는 현재 사용되고 있는 CDMA/LTE 모뎀 방식의 사물인터넷 시나리오와 유사한 목적으로 활용될 수 있으나, 접근성이 훨씬 더 수월한 편이다.

LoRa를 이용하는 방식과 CDMA/LTE 모뎀을 이용하는 방식은 공통적으로 네트워크 환경이 용이한 실내 보다는 네트워크가 구축되어 있지 않은 야외나 네트워크 구축이 힘든 실내 환경에 활용될 때 많은 장점을 제공한다. LoRa는 낮은 사용료와 초기 구축비가 저렴한 장점이 있다. 게이트웨이와 네트워크 서버는 표준 IP를 통하여 연결되고 단말기는 하나 이상의 게이트웨이와 LoRa 또는 주파수 편이 변조(FSK, Frequency Shift Keying)통신을 이용한다.[2][3].

LoRa는 장거리 저전력 무선 플랫폼으로서 920Mhz 대역의 주파수를 사용하는 무선통신 기술이다. 단순한 접속 절차로 대량의 단말기 수용이 쉬우며, 단말기가 복수의 기지국에 접속 가능하여 최적의 경로로 네트워크에서 단말기로 데이터 전송이 가능하다, 단말기와 기지국 간의 연결 단순화로 구

축비용이 저렴하며, 신호 간섭에 강하고 최적의 주파수 활용도를 제공한다.

표 1은 국내에서 사용하는 LoRa 주파수별 대역폭과 출력이다.

표 1. 국내에서 사용되는 LoRa주파수

Table 1. LoRa frequency of Korea

Center freq. (MHz)	bandwidth (kHz)	Max. EIRP power(dBm)	
		device(dBm)	gateway(dBm)
920.9	125	10	23
921.1	125	10	23
921.3	125	10	23
921.5	125	10	23
921.7	125	10	23
921.9	125	10	23
922.1	125	14	23
922.3	125	14	23
922.5	125	14	23
922.7	125	14	23
922.9	125	14	23
923.1	125	14	23
923.3	125	14	23

그림 1은 LoRa기반의 기본적인 네트워크 구조를 보여주고 있다. 구성은 LoRa 단말기, 단말기의 데이터를 수신할 수 있는 LoRa 게이트웨이, LoRa 서버로 구성되어 진다. 단말은 센서 데이터를 암호화/복호화 기능을 수행하고, 게이트웨이는 단말기에서 수신된 데이터를 원격지에 있는 서버에 데이터를 전송하는 역할을 한다[4].

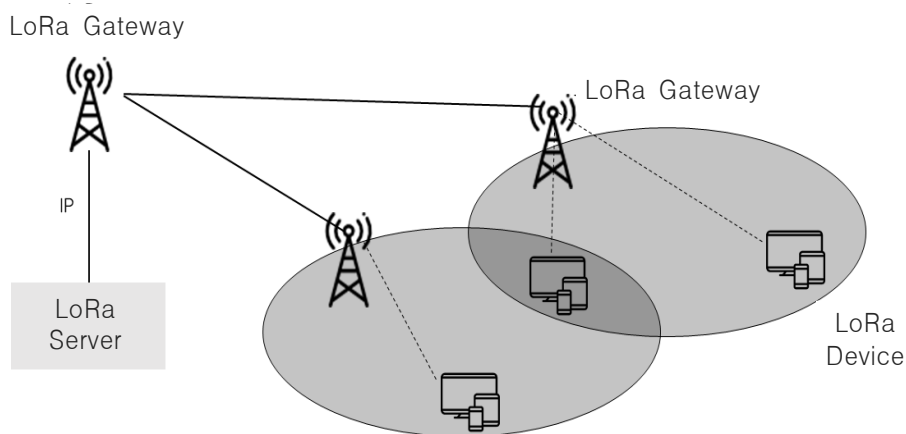


그림 1. LoRa 동작방식  
Fig. 1. LoRa operation type

## II. LoRa 네트워크의 전송거리 성능개선

LoRa 단말기의 전송거리 및 전송속도는 LoRa 단말기에 적용되는 확산계수에 따라 달라지게 된다. 표 2는 우리나라에서 상용화되고 있는 저전력 IoT LoRa 단말기에 대한 확산계수와 수신감도에 대한 상관관계를 보여주고 있다.

표 2. LoRa의 확산계수에 따른 수신감도  
Table 2. Receive sensitivity according to diffusion coefficient of LoRa

spread factor	Bps	receiving sensitivity
7	5469	-123
8	3125	-126
9	1758	-129
10	977	-132
11	537	-133
12	293	-136

### 2.1 하타(Hata)모델을 이용한 전파손실 분석

하타모델이란 오쿠무라(Okumura) 모델의 측정값을 수치해석이 쉽도록 수식화한 모델이며 다음 3가지 사항을 가정하였다. 첫째, 송수신 안테나 이득은 0dB인 등방형 안테나 사이의 전파손실을 계산하고, 둘째, 지형은 평탄하게 가정하며, 셋째, 도심지역의 전파경로 손실을 기본으로 하고 다른 지역에 대한 보정을 하도록 하였다. 도심지역의 정의는 건물의 평균 높이는 15m이며 주파수 범위는 150~1500MHz 인 경우를 기준으로 정의하여 모델링하였으며 그 이상의 주파수는 COST231 하타모델을 사용한다. 도심지역 및 교외 지역에서의 전파손실 예측모델은 하타모델을 이용하여 전파손실을 계산한다.

본 논문에서 사용하는 주파수의 범위는 923MHz 대역의 LoRa대역을 사용함으로 하타모델을 이용하여 전파 손실을 계산하면 된다. 하타모델을 적용한 전파손실을 보면 대도시, 중소도시 및 교외 지역으로 구분하여 전파 손실에 대한 보정 알고리즘을 제안하였다. 하타모델에서 제안하는 전파손실은 다음과 같은 식으로 구성된다[5]-[11].

$$L(dB) = 69.55dB + 26.16\log_{10}(f) - 23.82\log_{10}(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}d \quad (1)$$

여기서  $f$ 는 LoRa 주파수,  $h_b$ 는 LoRa 중계기 안테나의 높이,  $h_m$ 은 LoRa 단말기 안테나의 높이,  $d$ 는 적용 가능한 거리를 말하며  $a(h_m)$ 은 송수신 시스템이 적용되는 지역에 대한 단말기에 적용될 안테나 높이에 대한 보정인자를 말한다. 식 (2)는 도심 지역 중 대도시에 대한 이동형 단말기 안테나 보정을 위한 적용 모델을 보여주고 있다.

$$a(h_m) = 3.2(\log_{10}11.7 \times h_m) - 4.97 \quad (2)$$

식 (3)은 도심지역중 중소도시 및 교외지역에 대한 이동형 단말기 안테나 보정을 위한 적용 모델을 보여주고 있다.

$$a(h_m) = (1.11\log_{10}(f) - 0.7)h_b - (1.56\log_{10}f - 0.8) \quad (3)$$

본 논문에서는 산림지역 등 교외지역의 적용을 위하여, 하타모델중 “중소도시 및 교외지역에 대한 안테나 보정 모델” 즉 식 (1)과 (3)을 이용하였다. [11]. 수신감도는 송신출력(장비출력-안테나의 이득) - 전파손실을 말한다. 전파손실은 식 (1)에 의해서 구할 수 있으며 교외 지역에 대한 단말기 안테나 높이에 대한 보정은 식 (3)에서 구할 수 있다.

표 3은 하타모델을 통해 교외 지역에 대한 전파의 수신 감도를 거리에 따라 계산한 것으로서 주파수 925MHz, 중계기 안테나의 높이 2m, 단말기의 높이 1m, 송신 출력 10dB(안테나 이득 0dBi)인 조건에서 거리를 변경하면서 수신감도를 구한 것이다.

표 3에서 수신감도가 -122.7dBm이며 수신감도에 대응하는 전송 거리를 보면 500m까지 전송할 수 있는 것을 알 수 있다. 표 2에서 보면 확산계수가 7인 경우 수신감도가 -123dBm을 가지는 것을 알 수 있으며 이에 대응하는 시뮬레이션 결과이다.

또한 표 2에서 확산계수가 12인 경우에 수신감도가 -136dBm을 가지는 것을 알 수 있으며 이에 대응하는 시뮬레이션 결과를 보면 표 3에서 수신감도가 -135.78dBm이며 수신감도에 대응하는 전송 거리

를 보면 1Km까지 전송이 가능하다는 것을 알 수 있다.

표 3. 교외지역 거리에 따른 수신 감도  
Table 3. Sensitivity by distance's variation of suburban

distance (m)	transmission power (device output+ antenna gain)	transmission loss (dBm)	receiving sensitivity (dBm)
500	10	132.27	-122.27
600	10	135.82	-125.82
700	10	138.83	-128.83
800	10	141.43	-131.43
900	10	143.73	-133.73
1000	10	145.78	-135.78
1100	10	147.64	-137.64
1200	10	149.34	-139.34
1300	10	150.90	-140.90
1400	10	152.34	-142.34
1500	10	153.69	-143.69
2000	10	159.30	-149.30

## 2.2 전송거리 개선을 위한 LoRa 설계

중소 및 교외지역을 고려하는 이동형 단말기에 대한 최대 전송 거리는 중계기를 설치한다고 하더라도 최소 1,000m 이상 전송이 가능하도록 설계되어야 한다.

본 논문에서는 확산계수를 7로 하여, 송·수신안테나의 높이와 단말기 송신출력의 변화를 이용하여 1,000m 이상 전송이 가능한 IoT망을 설계하려고 한다. 확산계수를 7로 하는 이유는 응답시간이 가장 빠르며 전송할 수 있는 데이터의 양이 가장 많으며 이 기준을 통과하면 확산계수를 크게 가지고 가더라도 모든 데이터 전송이 가능하며, 수신감도가 안 좋은 경우 확산계수를 조절하여 송·수신할 수 있도록 하기 위한 것이다.

또한 일반적으로 중소 및 교외지역에서 요구하는 IoT 센싱정보는 간헐적으로 요구되는 정보와 실시간으로 요구되는 정보로 나눌 수 있다. 간헐적으로 요구되는 정보는 고정형 단말기를 통하여 전송하고, 장거리 전송이 가능하여야 하며, 배터리는 오랜 시간 사용이 가능하여야 하며, 장치의 가격도 저렴하여야 한다. 실시간으로 데이터를 전송하는 경우에는 이동형 단말기를 통하여 전송하고, 장거리 전송이 가능하여야 하며, 배터리는 오랜 시간 사용이 가능

하여야 한다.

본 논문에서는 단말기의 출력과 중계기 안테나의 높이를 변경하면서 시뮬레이션 하여 적합한 조건을 찾았다. 먼저, 이동형 단말기 출력 10dBm, 중계기 안테나 3m 환경에서 이동형 단말기의 경우 사용자가 휴대하고 다니는 장치이므로 보정 파라미터 중 하나인 단말기 안테나의 높이는 1m, 단말기의 안테나의 이득은 0dBi로 고정하고 송신기의 출력을 10dBm으로 고정한 후 LoRa 중계기 안테나 높이를 3m로 하여 식 (1)과 식 (3)을 이용하여 하타모델에 대한 시뮬레이션을 하면 표 4와 같다. 표 4는 주파수 925MHz, 중계기 안테나의 높이 3m, 단말기의 높이 1m, 송신 출력 10dB 인 조건에서 거리를 변경하면서 수신감도를 구한 것이다.

표 4의 시뮬레이션 결과를 보면 표 2에서 LoRa 스펙의 확산계수가 7일 때 수신감도는 -123dBm이므로 하타모델에 대한 시뮬레이션 결과를 LoRa 스펙에 맞춰보면 수신감도 -123dBm일 때 600m를 전송할 수 있다는 것을 알 수 있다.

마찬가지로 이동형 단말기 출력 14.98dBm, 중계기 안테나 5m 환경에서 시뮬레이션 결과, LoRa 스펙의 확산계수가 7일 때 수신감도는 -123dBm이므로 하타모델에 대한 시뮬레이션 결과를 LoRa 스펙에 맞춰보면 수신감도 -123dBm일 때 1,000m를 전송할 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 4. 단말기 출력 10dBm, 중계기 안테나 3m 결과  
Table 4. Sensitivity by variation of device output and antenna height

distance (m)	transmission power (device output+ antenna gain)	transmission loss (dBm)	receiving sensitivity (dBm)
500	10	129.67	-119.67
600	10	133.23	-123.23
700	10	136.23	-126.23
800	10	138.84	-128.84
900	10	141.13	-131.13
1000	10	143.19	-133.19
1100	10	145.05	-135.05
1200	10	146.74	-136.74
1300	10	148.31	-138.31
1400	10	149.75	-139.75
1500	10	151.70	-141.70
2000	10	156.71	-146.71

또한 확산계수 가 12일 때 수신감도는 -136dBm 이므로 2,000m 전송할 수 있음을 알 수 있다. 상기 실험결과에서 이동형 단말기에 대한 송신출력은 약 14.98dBm으로 하고 중계기(LoRa AP)의 안테나의 높이를 5m로 하는 경우가 교외지역을 위한 LoRa망에 적합한 설계 파라미터라고 할 수 있다.

### III. 실험 및 고찰

#### 3.1 실험시스템의 구성

본 논문에서는 제안된 시스템에 대한 성능을 검증하기 위하여, 구현된 LoRa 단말기, AP 그리고 게이트웨이를 가지고 테스트 환경을 구축하고 장비의 성능을 검증하였다. 실험은 LoRa 단말기와 LoRa 중계기 간 산림지역에 대한 전파전송을 위한 패킷의 사이즈 및 확산계수를 변화시키면서 단말기와 LoRa 중계기의 응답속도를 측정하였으며 패킷 사이즈를 32 bytes 고정하여 확산계수의 변화에 따른 전송거리 측정하였다. 실험시스템의 구성은 그림 2와 같다.

#### 3.2 실험결과 및 고찰

그림 3은 LoRa의 기본 스펙만을 적용하여, 이동형 단말기와 LoRa 중계기에 대하여 확산계수를 변

경하면서 전송 거리를 측정하는 시스템 구성이다. 이때 이동형 단말기의 송신출력은 10dBm, LoRa 중계 장치의 수신 안테나의 높이는 2m, 송신하는 패킷의 데이터 사이즈는 32 bytes로 설정하고 테스트 하였다.

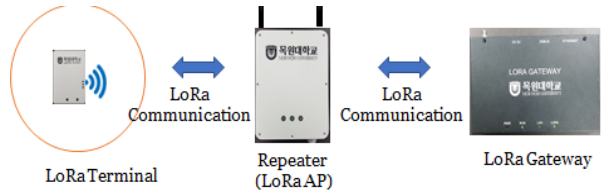


그림 2. 실험 시스템의 구성  
Fig. 2. Experimental system

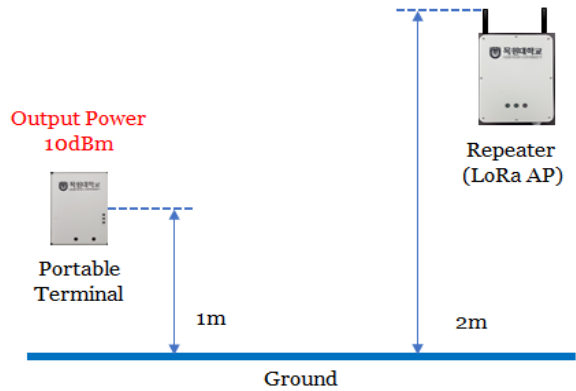


그림 3. 전송거리 측정시스템(단말기 출력 10dBm, 수신안테나 2m 환경)  
Fig. 3. Experimental system for transmission distance

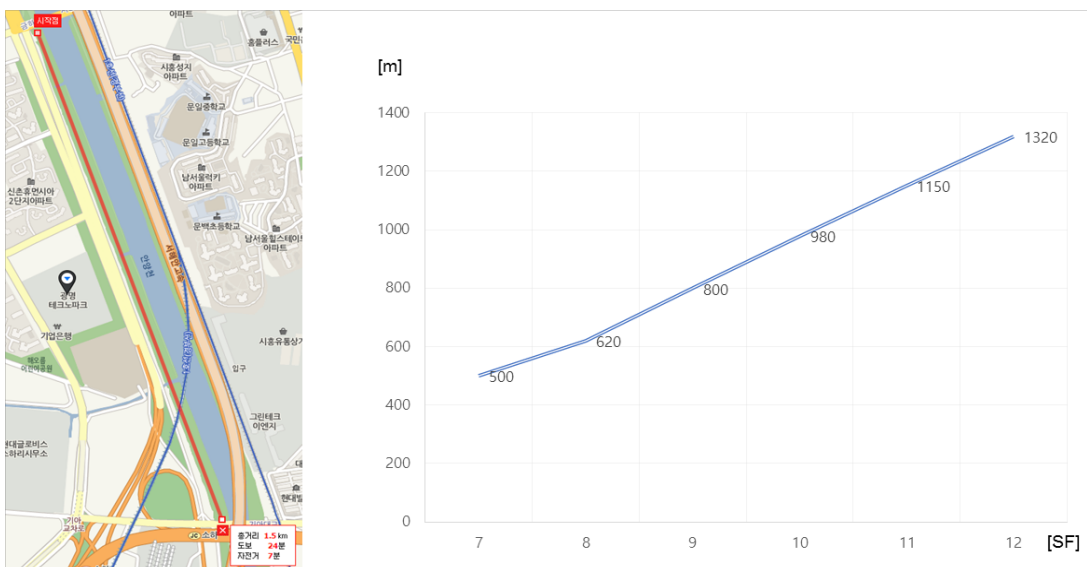


그림 4. 확산계수(SF) 변화에 따른 전송거리  
Fig. 4. Transmission distance by spread factor's variation

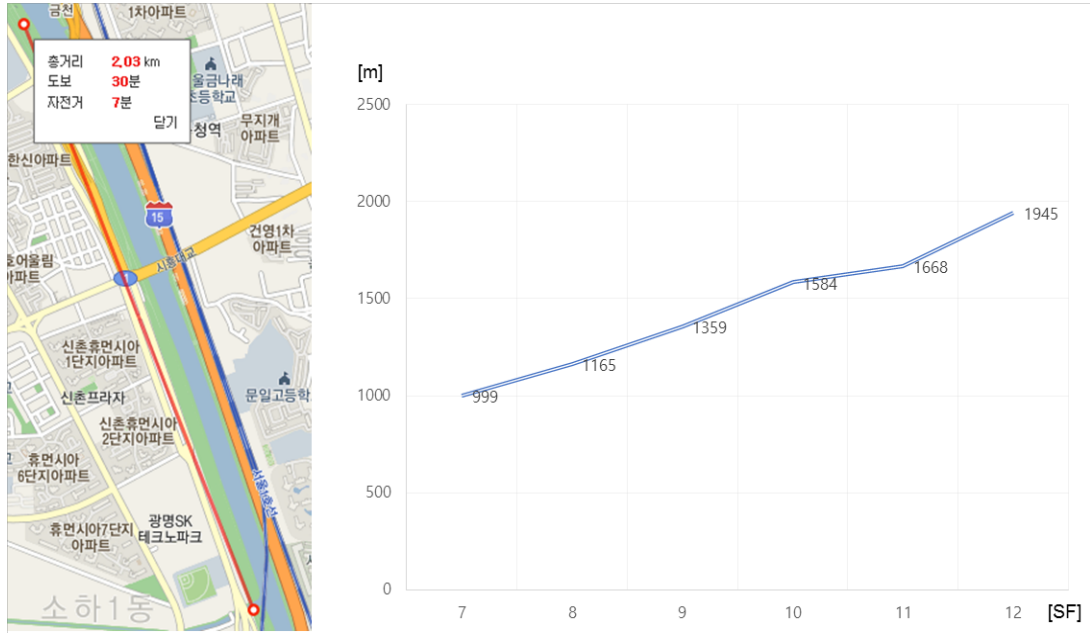


그림 5. 보정인자 적용 후 확산계수 변화에 따른 전송거리  
 Fig. 5. Transmission distance by spread factor's variation after correction

그림 4는 도보로 이동하면서 데이터가 송신이 안 되는 경우 확산계수를 변경하면서 전송 거리를 측정 한 결과이다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 확산계수가 7인 경우 전송 거리가 500m이며 확산계수가 12인 경우 전송 거리가 1,300m임을 알 수 가 있다. 또한 확산계수의 크기에 따라 수신감도(Receiver Sensitivity)가 좋아지게 되며 데이터의 전송 거리가 개선된다는 것을 알 수 있다. 위의 시험 장소가 도심지역의 하천변이므로 단말기에 대한 안테나 높이에 대한 보정을 하타모델로 비교하여 보면, “도심지역의 중소도시 및 교외지역”을 적용한다. 하타모델의 시뮬레이션 값 표 2를 비교하여 보면 LoRa를 이용하여 데이터를 송수신 하는 경우 확산계수가 7인 경우에 수신 감도가 -123dB까지 데이터 송수신이 가능하다. 실험결과를 보면 확산계수가 7일 때 전송된 거리가 500m가 전송됨을 알 수 있다. 확산계수가 12일 때 LoRa 스펙을 보면 수신 레벨이 -136dB이며 하타모델에 따른 수신 레벨에 따른 거리를 계산하여 보면 1Km를 전송함을 알 수 있다.

실험에서는 확산계수가 12인 경우 1,300m까지 데이터가 전송되었다. 따라서 하타모델을 “중소 도심지 또는 교외 지역”으로 모델링하여 시뮬레이션 된

결과와 실험을 통한 결과가 거의 유사한 결과를 가짐을 알 수 있다.

그림 5는 개발된 이동형 단말기와 중계기를 활용하여 실험한 것으로서 단말기의 송신 출력은 10dBm에서 14.59dBm으로 출력을 높였으며 중계기의 수신기의 안테나의 높이는 2m에서 5m로 보정하여 실험을 진행하였다.

실험결과, 이동형 단말기에 대한 송신출력은 약 14.98dBm으로 하고 중계기(LoRa AP)의 안테나의 높이를 5m로 하는 경우에 원하는 전송거리를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 LoRa의 전송거리 성능개선을 위하여 Hata 모델을 이용하여 이동형 단말기 안테나 높이와 단말기의 출력 그리고 중계기의 안테나 높이의 관계를 연구 분석하였다.

연구결과, 이동형 단말기의 경우 안테나 높이를 1m, 단말기의 출력을 14.98dBm, 중계기의 안테나 높이를 5m로 하여 하타모델을 적용하여 시뮬레이션한 경우가 중소도시 및 교외지역의 IoT망 설계를 위하여 제안한 조건에 가장 근접한 결과를 가짐을



알 수 있었다.

본 논문의 결과는 중소도시 및 교외지역과 유사한 산림휴양림 즉 상대적으로 낮은 산악지역에 위치하는 산림휴양림의 LoRa 기반의 IoT네트워크를 설계할 때 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

## References

- [1] Dong-Han Lee and Dae-Sik Ko, "A Study on the Design of IoT Network with Edge Computing for Forest Service", JKIIIT, Vol. 16, No. 10, pp. 101-109, Oct. 2018.
- [2] LoRa Alliance, "LoRaWAN Specification", Jan. 2015.
- [3] Semtech, "LoRa FAQ", 2015.
- [4] Semtech, "LoRa TM Modulation Basics", AN1200.22, May 2015.
- [5] Rec. ITU-R P.370-7, "VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30MHz to 1000MHz", 1995
- [6] <https://www.thefastmode.com/technology-solutions/8577-at-t-to-start-commercial-pilot-on-cat-m1-narrow-band-lte-iot-in-november>. [accessed : Oct. 11, 2018]
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Path\\_loss](https://en.wikipedia.org/wiki/Path_loss). [accessed : Oct. 11, 2018]
- [8] W. C. Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals", NY: John Wiley and Sons, pp. 61-65, 1993.
- [9] Rec. ITU-R P.1146, "The prediction of field strength for land mobile and terrestrial broadcasting services in the frequency range from 1 to 3GHz", 1995.
- [10] Bnhhwoe Koo, "Prediction Models for the Path Loss in Mobile Communications", ETTrends, Vol 11, No. 2, pp. 17-29, Jul. 1996.
- [11] Hata, "Empirical fomula for propagation loss in land mobile radio service", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 29, No. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.

## 저자소개

### 이 동 한 (Dong-Han Lee)



1998년 2월 : 배재대학교  
컴퓨터공학과 졸업(공학사)  
2013년 9월 : 목원대학교  
전자정보공학과 졸업(공학석사)  
2014년 1월 ~ 현재 : 목원대학교  
박사과정, (주)체리네트웍스 대표  
관심분야 : 이동통신, 네트워크,  
IoT, Edge Computing

### 이 완 재 (Wan-Jae Lee)



2008년 2월 : 국가평생교육진흥원  
자동차공학과(공학사)  
2010년 8월 : 충주대학교  
에너지시스템공학과(공학석사)  
2014년 9월 ~ 현재 : 목원대학교  
박사과정  
관심분야 : 차량통신, 이동통신,  
차량네트워크시스템

### 박 화 세 (Hwa-Se Park)



1987년 2월 : 경희대학교  
전자공학과(공학사)  
1989년 2월 : 경희대학교  
전자공학과(공학석사)  
2011년 2월 : 목원대학교  
IT공학과(공학박사)  
2019년 4월 현재 : 대림대학교

전자통신과 교수  
관심분야 : 통신 시스템 설계, DSP 및 신호처리,  
IoT시스템 설계, 차량통신, etc.

### 고 대 식 (Dae-Sik Ko)



1982년 2월 : 경희대학교 전자  
공학과 졸업(공학사)  
1991년 2월 : 경희대학교 전자  
공학과(공학박사)  
1994년 ~ 1995년 : UCSB Post-Doc  
2011년 1월 ~ 2012년 12월 :  
한국정보기술학회 회장

1989년 ~ 현재 : 목원대학교 전자공학과 교수  
관심분야 : ICT융합, 사물인터넷, 신호처리