

IoT환경에서 LoRa모듈의 장시간 사용을 위한 전류소모량 개선방안

구성완¹ · 류대우^{2*}¹광운대학교 전자융합공학과 박사과정^{2*}뉴티씨 대표이사

Current consumption improvement proposal for long-term use of LoRa module in IoT environment

Sung-Wan Koo¹ · Dae-Woo Ryu^{2*}¹Graduate Student, Department of Electronics Convergence Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 01897, Korea^{2*}CEO, NEWTC Co., Ltd., Seoul, 06694, Korea

[요 약]

LoRa모듈은 최대 16km까지 데이터 통신이 가능한 소출력을 사용하는 모듈이다. LoRa 모듈이 사용되는 타겟 장치는 주로 IoT(Internet of Things) 단말이나 센서 단말 등이며, 최소 2~3 년 동안의 배터리 사용이 필요하다. 따라서, LoRa모듈에서 사용하는 전류소모량을 개선하여 최소화시켜야 한다. LoRa 모듈로 데이터를 송수신시에는 높은 클럭을 사용하더라도, 가장 많은 시간을 점유하는 슬립모드에서 MCU가 가장 낮은 클럭을 사용하도록 변경 후에 슬립모드로 들어가도록 하여야 한다. 그리고, 사용하지 않는 핀들은 데이터시트에서 추천하는 방법으로 풀업 또는 풀다운 처리해주어야 하며 이렇게 하면 전류 소모량이 최소화된다.

본 논문에서 우리는 상용 LoRa모듈의 전류소모량을 측정하였고, 그것이 최적화되지 않았음을 살펴보고, 그 이유를 살펴보고, 전류소모량을 최소화시킨 LoRa모듈의 신규 개발의 필요성을 설명하고, 그 개선방향을 제시하였다.

[Abstract]

LoRa module is a module that uses a small power that can communicate data up to 16km. The target device in which the LoRa module is used is mainly an Internet of Things (IoT) terminal or a sensor terminal, and requires battery use for at least 2-3 years. Therefore, the current consumption used in the LoRa module should be improved and minimized. When transmitting/receiving data to/from the LoRa module, even if a high clock is used, the MCU should be changed to use the lowest clock in the sleep mode, which occupies the most time, and then enter the sleep mode. In addition, unused pins should be pulled up or pulled down in the method recommended in the data sheet to minimize current consumption.

In this paper, we measured the current consumption of a commercial LoRa module, found that it was not optimized, looked into the reason, explained the need for new development of a LoRa module that minimized the current consumption, and suggested the direction of improvement.

색인어 : 사물인터넷, 로라, 센서, 배터리 소모, 슬립 모드**Keyword** : IoT, LoRa, Sensor, Battery consumption, Sleep mode<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2022.23.7.1307>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 05 May 2022; Revised 08 June 2022

Accepted 23 June 2022

***Corresponding Author; Dae-Woo Ryu**

Tel: +82-2-704-4773

E-mail: davidryu@newtc.co.kr

I. 서론

스마트 팜이나 스마트팩토리용 솔루션용으로 ISM밴드의 특정 소 출력 장거리 통신모듈(오픈필드 최대16 km)로 LoRa 통신모듈이 소개되어 있으며, 국내 S사는 LoRa통신망을 이미 상용화하였다[1]. 또한, LoRa모듈의 가격이나 요금제가 매우 저렴해지고 있다[2].

이미 상용화되어 판매중인 LoRa모듈들이 넘쳐나지만, 실제로는 측정해보면 전류소모량이 너무 많아서 배터리를 사용하는 제품에는 적용하기 어렵다. 따라서, 전류소모량이 개선된 LoRa모듈의 제작을 통하여 성능 개선이 필요하다. LoRa모듈이 사용될 타겟장치들을 살펴보면, 주로 IoT단말 장치나 센서 등이라서 우선작업을 하기에는 인건비나 인테리어, 작업의 양 등을 감당하기 어려워서, 무선단말기 형태로 가득 충전된 배터리를 사용하여 2년~3년씩 장기간 사용하는 경우에 활용된다.

그물망 모드를 사용하여 시스템의 복잡성을 없애면서도 LoRa의 방송(Broadcasting)을 사용한 통신에서 데이터 재전송이나 일정시간 내에 전송하였던 데이터는 재전송하지 않는 등 게이트웨이를 이용하여 노드를 이용한 라우팅 등의 기법을 사용하거나, 멀티홉의 라우팅에서는 자신의 레벨이나 노드번호를 미리 할당받고 있어서, 자신의 레벨의 신호가 수신되면 자동 삭제하거나 전송하지 않는 개념을 사용하여 데이터를 중복패킷으로 재전송하지 않도록 하여 망에서 데이터가 계속 돌아다니지 않게 만드는 등 망을 효율적으로 사용하고 있다.

이외에도 최적화된 데이터 구조, 전송주기도 고려하여 에너지 절약 및 효율성과 데이터 전송량과의 상관관계도 시스템을 설계하여야 하며, 안테나와의 임피던스 매칭[3], 안테나의 선택, 모듈에서의 낮은 노이즈를 위한 PCB (Printed Circuit Board) 설계기법[4][5], 부품이나 라인의 배치방법[5] 등도 에너지 효율에 매우 중요한 요소가 된다.

본 논문에서는 현재 상용화되어 시중에 판매되고 있는 LoRa모듈들 중 일부 모델을 샘플로 구매하여, 현재 LoRa 모듈들의 전류소모량을 분석하고, 다른 MCU(Micro Controller Unit)들의 전류소모량을 분석하였다.

또한, RENESAS RL78/G14로 LoRa모듈을 신규로 제작할 경우, 전류소모량이 개선되는 정도를 예측 및 분석하였다. 전류소모량 예측을 위해 본 연구에서는 IoT에서의 LoRa모듈의 활용, 사용 LoRa모듈의 활용 및 전류소모량, LoRa모듈의 CPU(Central Processing Unit)별 전류소모량, LoRa모듈 개발시 송신모드별 전류소모량 비교, LoRa 모듈 개발 시 전류소모량 예측, LoRa모듈의 초저전력 소비기술, LoRa모듈의 전송거리에 따른 고찰을 살펴본다.

LoRa의 이름은 Long Range로부터 이름이 지어졌다.[6] 사물인터넷(IoT)은 스마트보드, 센서, 액츄에이터, 인터넷의 통합을 가능하게 한다. 최근에는 여러 가지 유·무선전송기술을 사용하여 정보를 공유하고, 이는 각종 프로토콜, 유·무선 규격, 무선주파수 분배 등을 사용하여 클라우드 서버 등에 데이터를 공유하고, 이는 IoT를 이용하는 최종 단말인 PC(Personal Computer)나 스마트폰 등으로 확장하여, 스마트 공장, 스마트 팜, 날씨 모니터링, 빌딩자동화 등의 서비스나 응용을 제공한다[6].

2025년 말까지 전 세계적으로 750억 개의 스마트 IoT장치가 연결될 것으로 예상되고 있는데, 이 때 IoT장치들의 상호간 연결 및 에너지 효율성을 재고하는 문제는 무엇보다도 중요한 이슈가 되고 있다[7].

또한, 기존의 유선통신 인프라에서 무선통신 인프라로의 전환은 더 쉽게 더 많은 장치와 응용 프로그램이 연결될 수 있도록 해서 기존에 제공하지 못하던 다양한 서비스 등을 제공할 수 있게 되었다. 이러한 무선통신의 역할은 IoT장치의 성공적인 보급에 매우 중요한 역할을 한다.

센서 노드에서의 무선통신의 역할은 유선설치비용, 유선설치의 번거로움 등을 해결하여, 저렴한 비용으로 훨씬 빠르게 설치할 수 있도록 해주었는데 이는 매우 빠르게 일상 속으로 센서 노드가 보급될 수 있을 것이다.

적은 메시지 전송이 필요한 저비용 및 적은 전류소모량을 지원하는 통신모듈인 SigFox, NB-IoT, 그리고 LoRa 모듈의 수요는 빠르게 증가하고 있으며 향후 넓은 시장 확대가 예상된다. 특히, 스마트 팜이나 스마트 공장 등에서의 LoRa의 활용은 근거리, 중장거리 모두에서 활용이 가능해 응용 가능성이 매우 높으며, 전류소모량이 매우 적은 즉, 에너지 효율성이 높은 LoRa모듈을 제작하여 활용하게 되면, 전체 산업계에 끼칠 수 있는 영향력이 매우 크다.

LoRa모듈을 이용한 단말에서는 센서 등을 이용하여 정보를 수집한 후 클라우드 서버 등에 데이터를 제공한다. 이를 사용이 허가된 사용자에게 제한하여 공유하기 위하여 보안코드나 암호화 등을 사용하여 데이터로의 접근을 안전하게 보호한다.

또한, 각 국가나 지역에 따른 인터넷 속도차이가 있는데 어디서나 사용이 가능하고 사람과 장치 사이의 상호통신이 가능하게 하기 위하여 많은 변환장치들의 개발 및 설치가 필요하다. 이를 통해 산업분야에서 매우 중요한 여러 가지 작업들을 가능하게 해 주는데, 이 때 LoRa모듈은 제어용 IoT에 적합한 다양한 네트워크 환경과 목적에 부합 되는 개발 환경을 제공한다.

2-2 상용 LoRa모듈의 활용 및 전류소모량

LoRa모듈은 다음과 같은 곳에서 활용이 가능하다. 우선, ① 전력검침, 수도검침, 가스검침, 음식물쓰레기 사용자별 무게검침 등 정부정책에 의한 검침망, ② GPS(Global Positioning System)와 함께 사용하는 주기적인 개인의 위

II. LoRa모듈의 스펙

2-1 IoT에서의 LoRa의 활용

치보고용(놀이동산 등에서 유아나 어린이의 위치파악용, 회사에서 RSSI(Received Signal Strength Indication)값을 이용한 개인의 위치 파악용, ③ 가정에서의 IoT장치들의 상태 보고/명령을 위한 인터넷 연결, ④ 임대용 다세대 주택(아파트/콘도/오피스텔/호텔/모텔) 등에서 출입문의 중앙에서의 자동관리와 임대료 미지급시 중앙관리실에서의 잠금장치, ⑤ 공공 쓰레기통의 가득 찬 정도를 파악하여 스마트한 쓰레기 수거, ⑥ 가로등의 한 원격지 장소에서의 온오프 제어, ⑦ 원격지에서의 센서의 감지(가스누출감지, 방범창 감지), ⑧ 중환자나 노인 등의 갑작스런 위험한 상황의 감지 및 신고, ⑨ 드론 제어 시 제어용 통신모듈, ⑩ 선박 등의 연안에서의 비상 데이터통신용 및 선박의 위치 송신용 등이 있다.

본 연구에서 테스트 한 A사와 B사의 모듈은 송신(Tx)시 RFOP(Radio Frequency Output Power)를 +7 dBm 기준으로 방사하는 특정 소출력 용으로 제작되었다.

LoRa모듈의 소모전류를 측정하기 위하여, 그림1과 같이 구성하였으며, PC에서 GPIB(General Purpose Interface Bus) 인터페이스로 최소 10 nA가 측정이 가능한 키슬리(Keithley) DMM 2000 멀티미터로 측정하였다.

표 1은 A사, B사 두 회사의 모듈의 스펙과 전류 소모량을 측정한 내용으로, A사와 B사의 LoRa모듈은 전류 소모량이 스펙과 측정치가 일치하지 않는 것을 볼 수 있다.

실험한 결과, 슬립모드에서 스펙과 측정치가 서로 차이가 있음을 알 수 있었다. 즉, A사의 경우 슬립모드에서 CPU로 CortexM MCU를 사용하고 있으며, HSI (High Speed Synchronous Serial Interface) clock source를 16 MHz로 놓고 f_{HCLK}를 32 MHz로 설정한 후에 슬립모드로 동작하면 표2의 슬립모드에서 보는 것과 같이 CPU가 상대적으로 큰 전류인 2.3 mA를 소모하게 된다.

하지만, f_{HCLK}를 32.768 kHz로 설정한 후에 슬립모드로 동작하면 최대 82 µA만 소모하게 되어 전류소모량을 최소화할 수 있다. 또한, 사용하지 않는 핀들의 경우 낮은 소모전류량으로 사용하기 위해서 데이터시트를 참조하여 반드시 풀업이나 풀다운 등의 처리를 해야 한다.

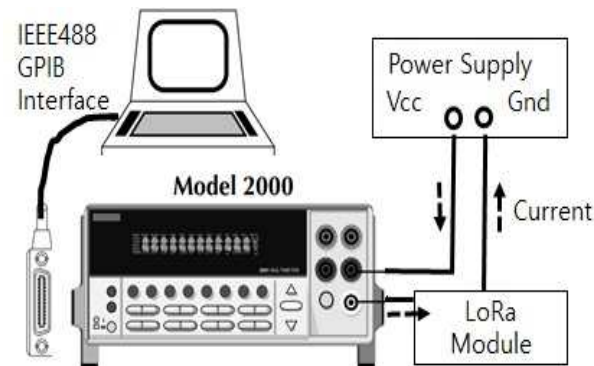


그림 1. LoRa모듈의 전류 측정 방법
Fig. 1. How to measure current of LoRa module

표 1. 상용 LoRa모듈의 전류 측정치

Table 1. Current measurement value of commercial LoRa modules

	Sample of A company	Sample of B company
Mode	Spec. / Measurement	Spec. / Measurement
Listen (Normal)	11 mA / 20 mA	10 mA / 12.3 mA
Sleep	1.3 µA / 5 mA	2~4 µA / 11.5 mA
TX	36 mA / 50 mA	30~40 mA / 27~33 mA

만약, 사용하지 않는 핀에 대한 처리를 하지 않으면 전류 소모량이 크게 늘어나게 되므로, 반드시 데이터시트를 참조하여 적절히 처리해야 한다. 또한, 주변 회로들도 저전력 설계가 필요하다.

또한, B사의 경우는 매뉴얼에는 슬립모드가 지원되는 것으로 나오는데, 실제로 테스트해보면 전류소모량이 슬립모드를 거의 지원하지 않았고, 스펙과는 전혀 다른 결과가 나왔다.

III. LoRa의 기술

3-1 LoRa모듈의 CPU별 전류소모량 비교

시중에서 판매중인 LoRa모듈의 펌웨어를 위에서 설명한 대로 수정하여 만들 경우와 RL78/G14 MCU를 사용하여 모듈을 제작했을 경우 표2, 표3에서와 같이 이론적인 전류소모량을 예측 분석하였다. 결과적으로, RL78/G14로 제작하는 것이 전류 소모량 면에서 효율적임을 알 수 있다.

슬립모드에서는 MCU교체만으로도 RL78/G14로 LoRa 모듈을 개발하면 전류 소모량이 STM32L대비 최소 182배~최대 5111배가 절약된다.

즉, 슬립모드에서는 표 2처럼 기존의 STM32L로 개발된 제품은 82 µA~2.3 mA가 소모되지만, 표 3처럼 RL78/G14로 개발될 제품은 0.44 µA만 소모된다.

표 2. STM32L로 구성된 경우의, LoRa모듈의 예상 전류소모량

Table 2. Estimated current consumption of LoRa module when configured with STM32L

Mode	STM32L (MCU)	Semtech (RF)	Total
Listen(Normal)	9.6 mA	10.8 mA	20.4 mA
Sleep	80 µA~2.3 mA	0.2 µA	82 µA~2.3 mA
TX	9.6 mA	20 mA	29.6 mA

표 3. RL78/G14로 구성할 경우, LoRa모듈의 예상 전류소모량
Table 3. Estimated current consumption of LoRa module when configured with RL78/G14

Mode	RL78/G14 (MCU)	Semtech (RF)	Total
Listen (normal)	1.3 mA	10.8 mA	12.1 mA
Sleep	0.24 μ A	0.2 μ A	0.44 μ A
TX	1.3 mA	20 mA	21.3 mA

3-2 LoRa모듈 개발시 송신모드별 전류소모량 비교

표 1의 상용 모듈의 전류측정치와 표 4의 RL78/G14로 새로 개발할 모듈의 추정 슬립모드의 전류소모량을 비교하면 회사별로 A사의 경우 99.991 %~ 99.987 %, B사의 경우 99.996 %~99.994 % 감소가 예상됨을 알 수 있다. 또한, 송신(TX)모드의 전류소모량은 회사별로 A사의 모듈 대비 58.76 %, B사의 모듈 대비 23.63 % ~ 37.52 % 각각 줄일 수 있다.

표 4. RL78/G14로 구성할 경우, LoRa모듈의 송신시 추정 전류소모량

Table 4. Estimated transmitting current consumption of LoRa module when configured with RL78/G14

Mode	TX RFOP= +7 dBm	TX RFOP= +13 dBm	TX RFOP= +17 dBm	TX RFOP= +20 dBm
Listen (normal)	11.42 mA	11.42 mA	11.42 mA	11.42 mA
Sleep	0.45~0.65 μ A	0.45~0.65 μ A	0.45~0.65 μ A	0.45~0.65 μ A
TX	20.62 mA	29.62 mA	87.62 mA	120.62 mA

대부분의 시간을 슬립모드에 있는 LoRa모듈의 특성상, 전체적인 전류소모량은 슬립모드 전류소모량에 매우 의존 하게 되기 때문에, 이 예측은 전체 전류량을 줄이는 데, 매우 중요한 변수가 된다.

3-3 LoRa 모듈 개발시 전류소모량 예측

이번 평가의 기술적 기준은 모드별 전류소모량 기준으로 각 회사별 모듈의 데이터시트와 LoRa용 RF칩의 제조사인 SEMTECH사의 SX1261 데이터시트의 모드별 전류소모량과 르네사스사와 ST사의 MCU 데이터시트의 모드별 전류 소모량을 참조하여 평가하였다.

LoRa통신은 커뮤니케이션(Communication)이 아니라 브로드캐스팅(Broadcasting)을 기반으로 한다. 여기서, 커뮤니케이션은 신호가 확실히 도달할 것이라고 생각하고 통신을 하는 것이고, 브로드 캐스팅이라는 것은 불특정 다수에게 데이터를 송수신하는 것을 말한다.

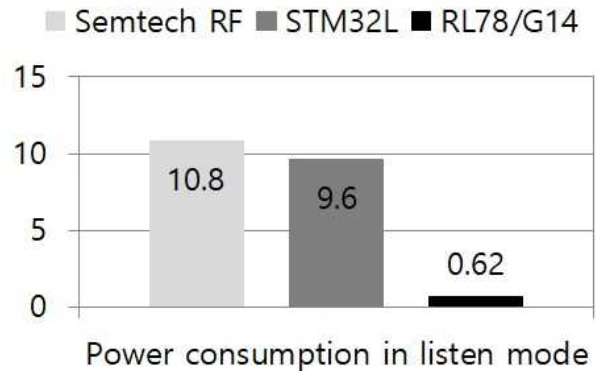


그림 2. 관련된 칩들의 Listen mode에서의 전류소모량
Fig. 2. Current consumption of related chips in listen mode

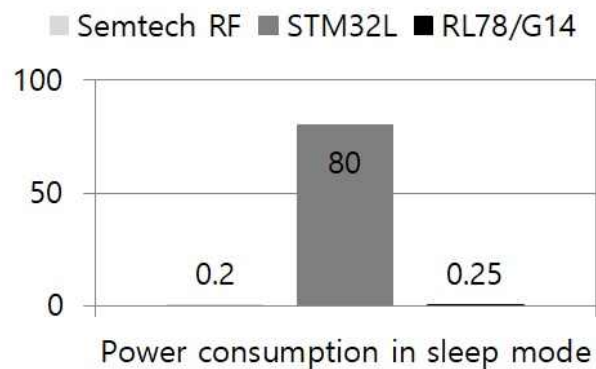


그림 3. 관련된 칩들의 sleep mode에서의 전류소모량
Fig. 3. Current consumption of related chips in sleep mode

특정 수신자가 수신해야할 경우 그 수신자가 수신하였음을 확인하는 절차가 필요하거나, 특정수신자만 수신 하여야 하는 경우 보안도 매우 중요하다.

LoRa모듈에서 사용한 칩들의 전류소모량을 그림으로 비교하였는데, 그림 2는 Listen 모드에서의 칩별 전류소모량의 비교이며, 그림 3은 슬립모드에서의 비교이다.

표 5와 표 6을 참조하면 STM32L을 이용하여 제작 시 최적화할 경우의 전류소모량을 예측할 수 있으며, 표 5와 표 7을 참조하면 RL78/G14를 이용하여 신규로 제작하였을 경우의 최적화된 전류 소모량을 예측할 수 있다.

표 5. Semtech RF 칩의 전류 소모 이상치

Table 5. Ideal current consumption of Semtech RF chip

symbol	Description	Typical	Unit
IDDSL	Sleep mode	0.2	μ A
IDDR	Listen mode	10.8	mA
IDDT	TX mode with impedance matching	20	mA

표 6. STM32L MCU의 전류 소모 이상치

Table 6. Ideal current consumption of STM32L MCU

Parameter	FHCLK	Typical	Unit
Run	32 MHz	1.52	mA
Sleep minimum	32.768 kHz	0.53	μA
Sleep maximum	32 MHz	1.3	mA

표 7. RL78/G14 MCU의 전류 소모 이상치

Table 7. Ideal current consumption of RL78/G14 MCU

Parameter	FHOCO	Typical	Unit
Run	8 MHz	1.3	mA
Sleep minimum	32.768 kHz	0.24	μA
Sleep maximum	32 MHz	0.26	mA

표5와 표7을 합치면 표3의 RL78/G14로 구성할 경우의 LoRa모듈의 예상 전류소모량을 볼 수 있다.

표6과 표7을 비교하면, LoRa의 RF(Radio Frequency)칩인 Semtech사의 칩은 공통으로 사용하고, STM32L을 RL78/G14로 교체하는 것만으로도 슬립모드에서 59.3%의 전류소모량이 줄어들게 된다.

A사와 B사의 상용 LoRa모듈의 경우 FHCLK을 32MHz에서 슬립모드로 가고 있는데, 이 경우와 RL78/G14로 구성할 경우의 비교는 슬립모드에서 99.98%의 전류소모량이 줄어들게 된다.

대부분의 LoRa모듈은 슬립모드 상태에 있기 때문에 슬립모드에서의 전류소모량이 중요하다. 즉, 절전시의 전류소모량은 매우 중요한 변수가 되는데, 본 논문에서 기존의 상용 모듈들에서 측정된 전류소모량과 새롭게 개발할 모듈의 전류소모량을 비교하면 99.9%이상 줄어들게 될 것이다. 따라서, 본 논문에서 제시한 방법으로 LoRa모듈을 새롭게 개발할 경우, 배터리를 오래 사용할 수 있게 된다.

3-4 LoRa의 초저전력 소비기술

LoRa™는 장거리를 낮은 전류소모량으로 데이터 전송을 위한 애플리케이션을 위한 무선 변조이다[8]. 배터리로 동작하는 IoT기기를 사용한 사업에서는 초저전류를 소모하도록 하는 기술이 필요하다. 이를 위하여 그물망(mesh) 구조의 토폴로지나 별(star)모양의 토폴로지 등을 사용하게 되는데, 이중 별모양의 토폴로지는 기지국과 직접 통신하며 귀중한 에너지를 다른 장치로부터의 데이터를 수신하는데 사용하지 않으므로, 단말에서 매우 유용하다.

다수의 IoT기기로 구성하게 될 때에는 기지국들 간의 통신 토폴로지가 복잡하게 된다. 그리고 기지국들 간의 에너지 소비량이나 복잡도가 높아지게 되는 단점이 있다. 그물망(Mesh)을 사용하면 에너지 소비량을 줄일 수 있다. 따라서, LoRa 네트워크를 멀티 홉으로 구성하여 기존의 통신 거리를

확장하는 방법이 제안되었다[9]. 또한, 데이터 충돌비율을 줄이기 위하여 새로운 멀티접근 방법과 네트워크 범위를 향상시키기 위한 그물망에 관한 방법도 제안되었다[10].

마이크로컨트롤러에서는 슬립모드에서도 일정시간마다 Wake up되어 데이터 수신을 체크할 수 있으며, 이 Wake up 되는 주기를 조정하면 에너지 소비량을 최소화시킬 수 있다. wake up 모드에서 데이터 수신 체크와 수신된 데이터를 매우 짧은 시간에 처리하여 다른 모듈들에 전송할 것인지를 확인하고 처리하거나, 스스로 수신하여 사용할 데이터라면 직접 수신하여 사용하는 처리를 할 수 있다.

또한, 대부분의 마이크로컨트롤러는 복수의 클럭소스를 사용하는데, 그림 4에서와 같이 상용 LoRa모듈은 높은 클럭소스 상태에서 바로 슬립모드로 들어가고 있어서 전류소모량이 큰데 반하여, 그림 5에서와 같이 슬립모드로 동작하기 전에 이 중에서 가장 낮은 클럭소스를 선택하고 슬립모드로 동작하게 되면 슬립모드에서의 전류소모량이 매우 적어진다. 이를 이용하여, LoRa 모듈의 개발에도 적용하게 되면 매우 적은 전류를 사용하는 새로운 LoRa모듈의 개발이 가능하게 된다.

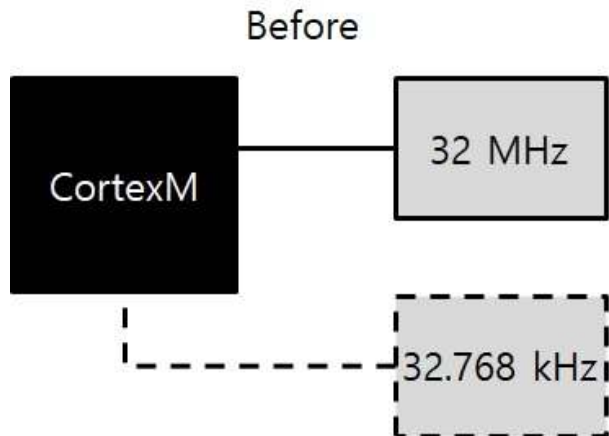


그림 4. 상용 LoRa모듈의 Sleep 클럭선택
Fig. 4. Sleep clock selection of commercial LoRa module

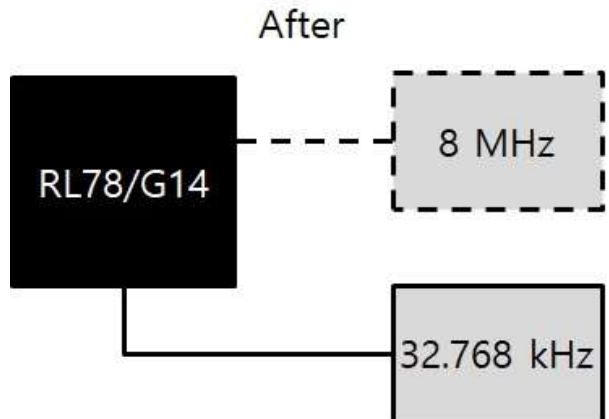


그림 5. RL78/G14를 이용한 LoRa모듈의 Sleep 클럭선택
Fig. 5. Sleep clock selection of LoRa module using RL78/G14

3-5 LoRa의 전송거리에 따른 고찰

무선통신은 유선통신과 달리 전송거리에 따라 전송 전력 소모량이 다르다. 즉, 전송하고자 하는 타겟 단말과의 거리가 매우 먼 경우 데이터 송신에 매우 많은 전력을 사용하며, 가까운 경우 데이터 송신에 적은 전력을 사용하게 된다. 따라서, 그물망 모드인 경우 장치들이 서로 가까이 위치하게 되므로, 각 단말들이 상대적으로 적은 전력을 소모하면서도 먼 거리에 있는 단말에 데이터를 송신할 수 있게 된다. 멀티 홉 통신 방식의 구현을 통한 통신성능에 대한 연구도 진행되었다 [11]. 이것은 네트워크 효율성을 크게 향상시킬 수 있는 다중 홉 프로토콜이다[12].

만약, 그물망 모드에서 전송함에도 불구하고 각 단말들의 거리가 멀어서 데이터가 도달하지 않는 경우, 이를 송신하는 단말이 ACK(Acknowledgement code)신호를 통하여 인식할 수 있는데, ACK신호가 들어오지 않을 경우, RFOP를 높은 이득을 가지도록 선택하여 점차 전송전력을 높이는 방법으로 송신하면서 ACK신호의 RSSI(Radio signal strength indicator)값을 수신하여 전송거리를 늘려갈 수 있다. 이를 통해서도 평상시 전력소모량을 절감할 수 있다.

또한, 일정한 주기마다 한 번씩 선택할 최소 RFOP값을 결정하기 위하여 모듈이 테스트 데이터를 송신하여 망 전송의 효율성을 재고하는 것도 전체 시스템의 전력소모량을 절감하는 한 가지 방법이 될 수 있다.

슬립모드를 사용하면 트랜시버를 대부분의 시간동안 꺼놓을 수 있으며, 송·수신을 위해서만 Wake up되게 된다.

IV. 결 론

기존에 LoRa용으로 개발되어 상용화된 모듈의 경우 전력 소모량이 해당제품 매뉴얼의 스펙에는 매우 작은 것으로 되어 있지만, 실제로 측정하여 보면, 거의 슬립모드를 제대로 구현하지 않았고, 전력소모량도 큰 것으로 확인되었다. 따라서, 본 논문에서와 같이 RL78/G14시리즈로 개발할 경우, CortexM시리즈로 개발된 모듈보다도 스펙 상으로 더 적은 전력을 소모할 것으로 예상된다. 하지만, 같은 CortexM MCU로도 펌웨어만이라도 슬립모드로 들어가는 시퀀스를 프로그래밍으로 변경하여도 많은 전력소모량을 절감할 수 있으며, 배터리 효율을 증가시킬 수 있다.

따라서, RL78/G14와 같은 매우 낮은 소모전력을 사용하는 MCU를 사용하여 슬립모드를 안정적으로 지원하는 LoRa 모듈을 새롭게 개발하여야 한다.

본 논문에서 제안한 LoRa모듈을 개발할 경우, LoRa모듈이 에너지의 효율성을 향상시킬 수 있는 여러 가지 방법을 적용하여 매우 소모전력량을 가질 수 있도록 개발하여야 한다는 점과 특히 전 세계에서 훨씬 전력소모량이 적은 마이크로

컨트롤러의 하나인 RL78/G14를 이용하여 개발하게 되면 LoRa모듈의 전력소모량을 최소화시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] L. N. Yi, G. R. Lee, and H. W. Kim, "A Study on the LoRa systems," in *Proceeding of Symposium of Korean Institute of communications and Information Sciences, Cheju*, pp. 217-218, June 2017.
- [2] IT DongA. SK Telecom's IoT Strategy [Internet]. Available: <http://it.donga.com/24559/>
- [3] Henry W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems* U.S.A., JOHN WILEY & SONS, pp. 404, 1988.
- [4] Mark I. Montrose, *EMC AND THE PRINTED CIRCUIT BOARD*, NJ: IEEE Press Marketing, pp. 20, 1999.
- [5] Mark I. Montrose, *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance*, NJ: IEEE Press Marketing, pp. 15-45, 1999.
- [6] J. W. Ha, J. S. Bang, and E. K. Hong, "Comparison Study of IoT Supporting Technology," in *Proceeding of Symposium of Korean Institute of communications and Information Sciences, Cheju*, pp. 1162-1162, June 2016.
- [7] Yong-gook Bae, "Priority of government investment in the field of IoT study on setting," *Korea Institute of S&T Evaluation and Planning*, pp. 3-5, December 2017.
- [8] N. Sorin and A. Yegin, "LoRaWANTM 1.1 Specification," *LoRa Alliance Technical Committee*, Oct. 2017.
- [9] S. H. Jeon, and S. K. Kim, "A Design of Blockchain-based LoRa Multi-hop Network for Smart Grid," *Journal of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 25, no. 3, pp. 440-448, Mar. 2021. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.3.440>
- [10] H. Huh, and J. Y. Kim, "LoRa-based Mesh Network for IoT Applications," in *Proceeding of the IEEE 5th World Forum on Internet of Things*, Limerick, Ireland, pp. 524-527, April 2019. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2019.8767242>
- [11] W. Cho, "LoRa for LPWA network: overview and its performance enhancement technologies," *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 2, pp. 283-288, Mar. 2019. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2019.14.2.283>
- [12] C. H. Liao, G. Whu, D. Kuwabara, M. Suzuki, and H. Morikawa, "Multi-hop LoRa networks enabled by concurrent transmission," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 21430-21446, 2017. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2755858>



구성완(Sung-Wan Koo)

2010년 : 광운대학교 일반대학원 전자공학과 (공학석사)

2016년~현 재: LG유플러스 책임

※ 관심분야 : IoT시스템, LoRa, NB-IoT, 클라우드 등



류대우(Dae-Woo Ryu)

1999년 : 한양대학교 공과대학원 전자통신전자공학과 (공학석사)

1997년~2003년: LG전자 연구소

2005년~현 재: (주)뉴티씨 대표이사

※ 관심분야 : 노이즈 최소화 설계, 계측제어, IoT시스템, 인공지능, 마이크로프로세서 등