The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)
Vol. 7, No. 1, pp.608-614, February 28, 2021. pISSN 2384-0358, eISSN 2384-0366

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2021.7.1.608
JCCT 2021-2-76

LoRaWAN 기반 공개형 블록체인 암호화폐 결제 시스템 설계를 위한 연구

A Study on the Design of LoRaWAN-based Public Blockchain Cryptocurrency Payment System

김민영*

Minyoung Kim*

요 약 현재 블록체인을 기반한 공개형 암호화폐(이하 암호화폐)는 각국의 경제정책으로 거래를 위한 통화로써 지위를 얻을 수 없지만, 일부 인터넷 사용자들의 각자 사정으로 인해 대체 통화 거래수단으로 사용되고 있다. 이런 추세로 근미래에는 이러한 암호화폐가 인터넷을 넘어 실생활에서도 사용될 수 있을 것으로 생각되지만, 현재 인터넷 네트워크 인프라가 빈약한 곳에서 암호화폐가 실생활에 사용하기 어려워 이에 대한 대비책 마련이 필요하다.
본 논문에서는 실생활에서도 암호화폐 사용을 활성화하려는 방법으로 무선 인터넷 네트워크 인프라를 저비용으로 쉽게 구축할 수 있는 LoRaWAN을 기반으로 한 암호화폐 결제 시스템을 설계하기 위한 기술적 방법을 LoRaWAN 표준을 근거로 제시한다.

주요어 : 공개형 암호화폐, LoRaWAN, 블록체인, 무선결제시스템

Abstract Currently, blockchain-based public cryptocurrency (hereinafter referred to as cryptocurrency) cannot acquire status as a currency for transaction due to the economic policies of each country, but it is used as an alternative currency transaction method due to individual circumstances of some Internet users. With this trend, it is predicted that such cryptocurrency can be used in real life beyond the Internet in the near future.
In this paper, a technical method for designing a cryptocurrency payment system based on LoRaWAN that can easily build a wireless Internet network infrastructure at low cost as a way to activate the use of cryptocurrency in real life is presented based on the LoRaWAN standard.

Key words : Public Cryptocurrency, LoRaWAN, Blockchain, Wireless Payment System

*동의대학교 ICT융복합연구소 조교수 (제1저자 및 교신저자)
접수일 : 2020년 12월 22일, 수정완료일: 2021년 1월 6일
게재확정일: 2021년 1월 15일

Received: December 22, 2020 / Revised: January 6, 2021
Accepted: January 15, 2021
*Corresponding Author: kmyco@deu.ac.kr
Research Institute of ICT Fusion and Convergence,
Dong-eui Univ., Korea

Ⅰ. 서 론

2009년 Bitcoin[1]으로 시작한 블록체인 기반 공개형 암호화폐(이하 암호화폐)는 미국 Investopedia社[2]에 따르면 현재 2,000개 이상이 존재하는 것으로 확인된다. 각국의 경제정책으로 암호화폐들은 거래를 위한 통화로써 지위를 얻을 수 없지만, 일부 인터넷 사용자들의 개개별 사정으로 인해 대체 통화 거래수단으로 사용되고 있다. 이러한 사정에도 많은 인터넷 사용자들이 대체 통화거래 수단으로 암호화폐를 왜 사용하는지 주목해야 한다. 예를 들어 기존 통화거래 시스템을 통해 대한민국에서 타 국가의 예금계좌로 현금을 송금할 경우, 많은 기관을 거쳐 환전이 이루어지고 그에 맞는 수수료가 부과되어 타 국가에서 받는 은행 계좌로 오는 현금은 많이 줄어든다. 하지만 암호화폐는 단순히 해당 시스템에서 송금되어 최초 수수료는 시스템에서 부과되고, 이후 암호화폐 환전소를 통해 생기는 환전소 이용 수수료만 부과되기 때문에 기존 통화거래 시스템의 송금보단 훨씬 절감된 수수료로 이용할 수 있다. 이런 효과를 본 사례는 WFP가 난민캠프에서 사용한 Building Blocks[3]가 대표적이다. 이런 암호화폐의 이점은 근 미래에 통화거래 수단 중 하나로 자리매김할 것으로 예상한다. 만약 근 미래에 각국의 경제정책 중 암호화폐 부분이 완화되어 거래수단으로 사용할 경우 이를 활성화할 수 있는 수단이나 방법이 사전에 마련되어야 한다고 생각한다. 앞에서 언급된 상황에서 암호화폐를 기반으로 여러 통화 거래가 활성화하기 위해 우리가 지금 사용하는 우리나라 신용카드 시스템을 살펴보아야 한다. 우리나라에서는 신용카드로 카드 결제 단말기가 있으면 장소와 시간에 구애받지 않고 결제할 수 있다. 이런 점은 현재 우리나라 사람들이 신용카드를 통한 결제를 선호하는 이유 중의 하나이다. 이렇게 될 수 있었던 것은 인터넷을 사용할 수 있는 유무선 네트워크 인프라가 구축되어 있기 때문이다. 하지만 해당 인프라가 잘 갖추지 못한 타 국가에서 신용카드로 결제가 안 되는 경우가 있다. 인터넷 기반 암호화폐도 기술적 측면에서 위와 같은 이유로 이런 인프라가 잘 갖추지 않은 곳에서는 사용되기 힘들 것이다. 만약 이런 인프라를 손쉽게 구축할 수 있는 시스템이 있다면 암호화폐도 실생활에서 사용 가능하여 대중적인 결제수단으로 변모할 수 있다고 생각한다. 본 논문에서는 암호화폐 사용을 활성화하려는 방법으로 무선 인터넷 네트워크 인프라를 저비용으로 쉽게 구축할 수 있는 LoRaWAN[4]을 기반으로 한 암호화폐 결제 시스템을 설계하기 위한 기술적 방법을 제시한다. 본 논문에서 제시할 시스템의 구성요소와 최종 구성요소 간 통신 프로토콜을 설계하기 위한 내용을 LoRaWAN[4] 표준안들을 바탕으로 제시한다. 본 논문은 한국멀티미디어학회의 MITA 2020[5]에 게재된 학술대회 논문 내용을 기반으로 한 확장된 연구 내용을 바탕으로 작성되었으며, 추가로 한국정보통신학회 2020년도 추계종합학술대회 논문집 제24권 제2호[6]와 ISAAC 2020의 AACL 16[7]에 게재된 학술대회 논문의 일부 연구 내용도 포함하였다.

Ⅱ. 시스템 구성 및 각 구성요소

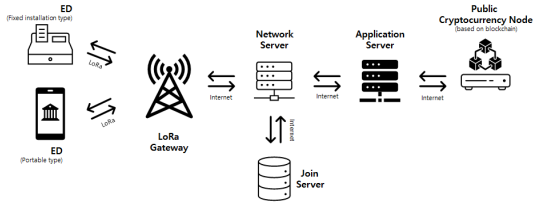

그림 1. 본 논문의 시스템 구성도
Figure 1. The system configuration diagram of this paper

본 논문에서 제시하는 설계 시스템(이하 '시스템')에서는 총 4가지의 구성요소를 가진다(그림 1). 이 구성요소 간 네트워크 구성은 LoRaWAN에서 제시한 네트워크 참조 기본 모델의 구조(Network Reference Model)와 같은 구조를 따른다[4].

1. End-Device(이하 ED)

어떤 사용자가 상점에서 한 물품을 구매하고 암호화폐로 결제하기 위해 그 사용자의 암호화폐의 지갑 정보를 불러와 구매할 물품의 가격을 지급해야 하는 과정을 거쳐야 한다. 본 논문에서는 ED(End-Device)는 이 역할을 담당하여 진행한다. 여기서 ED는 소유자와 거래 대상자 간 거래할 암호화폐를 선택 후 각 지갑에 보유한 통화(코인)를 거래하는 트랜잭션 데이터(JSON)를 생성하고, 해당 데이터를 AP에게 전달하고 확인하는 역할을 담당한다. 이때 ED는 LoRa 통신 모듈을 이용해 해당 데이터를 먼저 인접한 위치에 있는 GW에 송신하

며, AP가 해당 트랜잭션 데이터를 처리하면 발생하는 결과 데이터를 해당 ED와 인접한 GW를 통해 전송한 데이터를 확인한다. 이때 ED는 AS가 전송하는 응답 메시지를 대기하는 시간이 설정되며, 이 시간에 맞춰서 AS로부터 해당 응답 메시지를 받지 못하면 재전송한다. 본 논문에서 제시하는 응답 대기시간(Receive Delay time)은 5초 이내이며, 이에 따른 재전송 횟수는 3회 이하로 제시한다. 하지만, GW에 설치된 Back-hule의 전송속도에 따라 ED의 이 두 가지 사항이 바꿔서 설정할 수 있다.

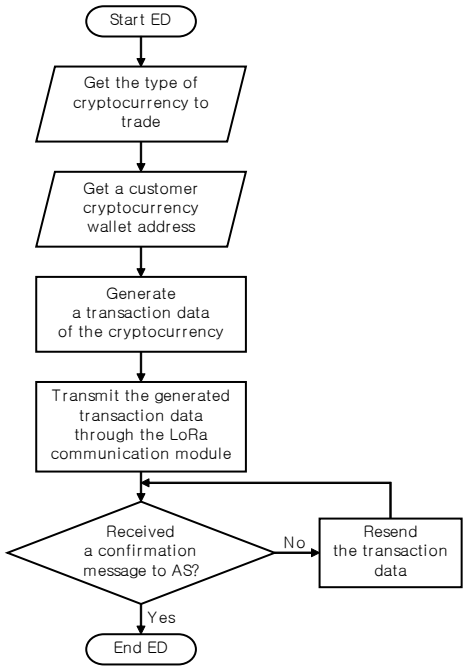

그림 2. ED의 기능 순서도
Figure 2. ED function flowchart

(그림 2)는 ED가 위에서 언급된 내용을 흐름도로 표현한 것이다. (그림 1)과 같이 진행되려면 ED는 사전에 ED 소유자의 각 암호화폐 지갑 주소를 저장되어 있어야 한다. (그림 2)에 언급된 트랜잭션 데이터는 ED에서 각 암호화폐의 트랜잭션 프로토콜에 맞추어 데이터를 삽입해 자체적으로 생성하도록 설계되는데, 이는 AS의 과부하를 막기 위해 암호화폐의 블록체인 네트워크에 속한 인접 노드로 단순 전송 처리만 할 하기 위해서이다.

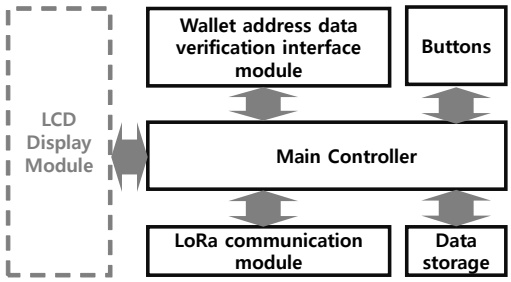

그림 3. ED의 하드웨어 구성도
Figure 3. ED hardware configuration diagram

(그림 3)은 ED의 하드웨어 구성도이다. 여기서 ED는 거래 대상의 암호화폐 주소를 알기 위한 인터페이스 모듈(Wallet address data verification interface module)이 있다. 보통 암호화폐 지갑을 발행할 때 복잡한 주소를 QR코드로 변환하여 함께 제공한다. 해당 인터페이스는 QR코드를 인식할 수 있는 카메라가 기본적으로 구성된다. Main Controller는 구현할 때 용도에 따라 선택할 수 있다. 만약 휴대용으로 사용할 경우 배터리로 장시간 이용하기 위해 MCU(Micro Controller Unit)를 선택할 수 있으며, 실내에 설치해서 사용할 경우 Display Module을 통해 사용자에게 그래픽 인터페이스를 제공할 때에는 임베디드 운영체제가 실행될 수 있는 AP(Application Processor)를 선택하여 개발될 수 있다. LoRa communication module은 LoRa 표준에서 채택된 Semtech社의 SX127X LoRa Transceiver chip[9]이 내장되어 있으며, 해당 칩은 국가별로 할당된 LoRaWAN 표준에서 언급된 주파수 대역[10]에 따라 해당 칩의 시리즈 중 하나를 선택한다.

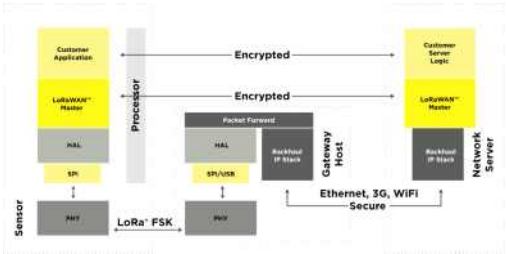

그림 4. LoRaWAN Gateway Back haul 원리[7]
Figure 4. The Backhaul Principle of LoRaWAN Gateway [7]

2. LoRa Gateway(이하 GW)

본 시스템의 ED가 만든 거래 데이터를 AP로 전송하기 위해 제일 먼저 전송하는 곳이 GW이다. 이때 ED와 GW간 통신은 LoRa 방식으로 이루어진다. 각 GW는 LoRa 통신으로 ED에게 부터 받은 트랜잭션 데이터를 인터넷 프로토콜로 변환하는 Backhaul 작업이 이루어진다(그림 4). 이 과정을 거친 다음 GW에 연결된 인터넷 네트워크를 통해서 NS로 해당 데이터를 전송한다. 본 시스템에서는 LoRaWAN Gateway 전용 통신 모듈을 사용한다. 이 모듈은 LoRaWAN Gateway 역할을 담당하는 Semtech社의 SX1301[11] 칩과 RF(Radio frequency) 기반인 LoRa 통신 데이터를 SX1301에서 수신하기 위해 연결되어 사용되는 SX125X[12] 시리즈 칩이 내장되어 있다. 또한, 이 모듈은 임베디드 시스템과 SPI(Serial Peripheral Interface)를 이용해 연결된다. 고성능의 MCU에서도 GW 구현이 가능하지만 여러 채널에서 오는 데이터를 실시간으로 신속하게 송·수신하기 위한 고성능 장비가 기본으로 필요하므로 본 논문에서는 AP가 내장된 임베디드 시스템을 사용한다[11-12]. 본 시스템의 GW는 Raspberry Pi[13]를 기반으로 SX1301 칩이 내장된 통신 모듈과 SPI로 연결하여 하드웨어 구축이 가능하며, Semtech社에서 제공하는 'LoRa Gateway project'[14]을 기반으로 Raspberry Pi용 GW 소프트웨어가 구현할 수 있다.

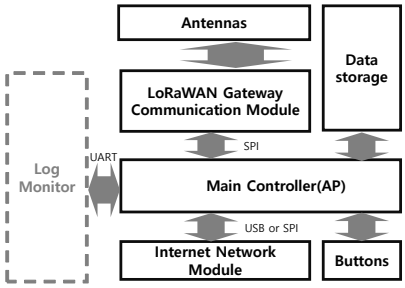

그림 5. GW의 하드웨어 구성도
Figure 5. GW hardware configuration diagram

(그림 5)는 본 시스템의 GW의 하드웨어 구성도를 나타내고 있다. 본 GW는 반드시 데이터를 Backhaul 하여 NS로 전달하기 위해 인터넷과 연결 가능한 네트워크 통신망이 연결되어 있어야 한다. 본 시스템에서는 유지비용과 데이터 오류 손실률을 최소화하기 위해 유선 통신망을 권장하지만, GW가 설치되는 지역에 맞춰 무선통신망(마이크로파, 위성, 사설 이동통신 등)으로 연결될 수 있다. 본 시스템의 GW는 (그림 6)과 같이 여러 곳에 설치하여 운영해야 한다. 이때 ED가 LoRa 통신을 사용해 무지향성으로 인해 여러 GW로 전송되어 추후 NS에서 중복 데이터 처리를 줄이는 방법과 지역 특성에 따라 GW가 설치될 경우 음영지역이 발생되지 않으려는 방법이 담긴 GW 설치 계획이 추가로 필요하다[5-7].

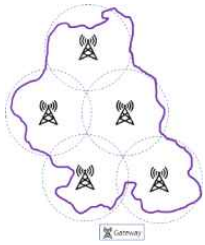

그림 6. GW 설치 예시 배치도[6]
Figure 6. GW installation example map[6]

3. Network Server(이하 NS)

본 시스템의 NS는 GW로 받은 데이터를 Application Server로 전달하는 역할을 담당한다. 이때 ED와 NS가 통신하기 위해서는 먼저 Join Server에서 인증받아야 한다. 추후 Application Server에서 오는 응답 메시지를 ED로 전송하는 역할도 담당한다. 이런 기능들을 수행하기 위해 본 시스템의 NS는 LoRaWAN 표준[4]에서 제시하는 기능들을 준수하여 설계된다. 이에 대한 주요 내용은 아래와 같다.

- Application Server로 데이터를 보낼 때 응용 계층 Payload 이외의 모든 LoRaWAN 계층 데이터(계층별 Header 데이터)를 제거 후 Application Server와 연결된 통신에 맞는 MAC 프로토콜에 맞추어 추가해서 보냄
- Uplink 에서 응용 계층 Payload를 해당 응용 계층 서버로 전달(위 항목과 동일 내용)
- NS는 ED의 주소 확인 후 임시 보관(추후 Application Server에서 송신하는 응답 데이터를 ED로 보내야 하기 때문)
- Frame 확인 인증 및 보낸 횟수 카운팅 실시
- ED로 Acknowledgement 메시지 전송
- ED의 RF 신호 세기 조사 후 나중에 전송할 때 최적 데이터 전송률 적용
- ED에서 오는 모든 LoRaWAN MAC 계층에 대한 응답
- 모든 Application Server에서 LoRAWAN 네트워크에 연결되어 ED로 들어오는 Down link Payload를 Queuing 시킴
- ED와 Join Server간의 Join-Request 및 Join- Accept 메시지 전달

4. Join Server(이하 JS)

본 논문에서 ED는 LoRaWAN 표준[4]과 동일하게 JS에서 인증되어야 Uplink 에서 GW와 NS를 거쳐 Application Server에 데이터를 전송할 수 있다. 반대의 경우인 Down link에서도 마찬가지다. LoRaWAN 표준[4]에 따르면 JS에서는 OTA (Over-the-Air)용 ED 인증 프로세스를 관리하는 역할을 담당한다. 각 JS는 고유의 JoinEUI 값을 보유하고 있어, 추후 NS에서 ED의 Join-request 메시지의 JoinEUI 필드의 값을 확인하고 해당 JS에 연결된다. 그리고 JS에서는 Uplink Join-request frame을 처리하고, Down link Join-accept frame을 생성하는데 필요한 정보를 포함해야 하는데 이때 Network 및 Application 계층의 Session key를 생성한다. 추후 ED의 Network session key를 이용해 NS와 통신하고 Application session key를 이용해 응용 계층의 프로그램과 통신이 이루어진다.

5. Application Server(이하 AS)

본 시스템의 AS는 실제 ED에서 발생해서 보내진 암호화폐 트랜잭션 데이터를 ED로부터 받아 해당 암호화폐의 인접 노드로 해당 트랜잭션 데이터를 송신하고, 처리 결과를 해당 노드로부터 받아 Down link를 통해 ED로 응답 메시지로 보내는 역할을 담당한다. 본 논문의 AS는 LoRaWAN 표준[4]의 내용을 준수하여 설계와 구현된다. (그림 7)은 본 시스템의 AS에서 NS로 받은 ED의 메시지(트랜잭션 데이터)를 받아 처리하는 과정을 보여준다. (그림 8)은 ED에서 보낸 트랜잭션이 Bitcoin 또는 Ethereum이면 트랜잭션 데이터가 처리되는 과정을 보여준다. Bitcoin과 Ethereum 트랜잭션 데이터 같은 경우 JSON(JavaScript Object Notation)을 기반으로 생성되며, 이들은 각 JSON RPC API를 제공한다[15-16]. 본 시스템의 AS는 각 암호화폐에서 제공하는 API를 이용해 각 암호화폐 트랜잭션 데이터를 블록체인 네트워크의 인접 노드와 송·수신할 수 있도록 설계 및 구현한다. 본 시스템은 ED와 AS간 데이터를 교류하기 위한 전용 프로토콜이 설계되어 구현되며 이 내용은 다음 장에 자세히 설명한다.

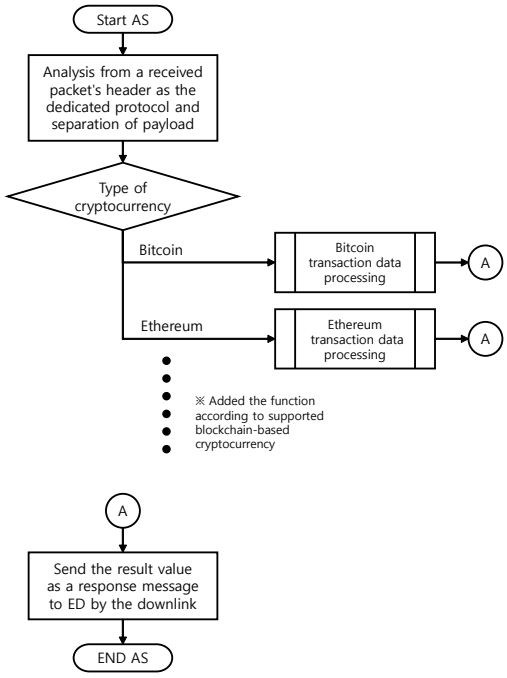

그림 7. AS에서 NS에서 온 ED메시지 처리 흐름도
Figure 7. Flowchart of processing ED messages from NS from AS

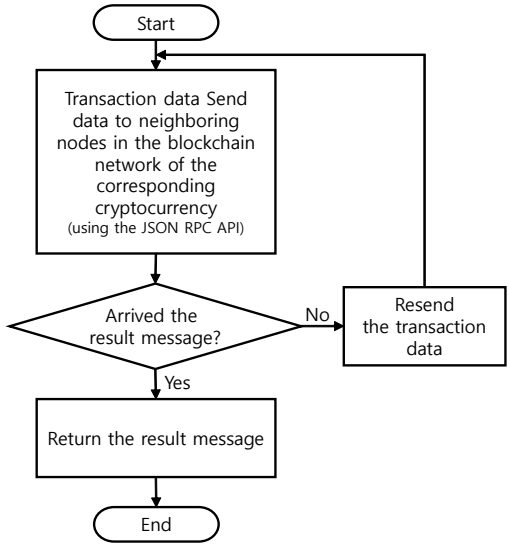

그림 8. AS의 암호 화폐 데이터 처리 흐름도
Figure 8. Flowchart of AS's cryptocurrency data processing

6. 종합 관리 기능(이하 TM)

본 시스템에서 TM은 앞에서 언급된 구성요소들을 시스템의 기능을 사용할 수 있도록 등록 및 관리를 담당한다. TM에서는 본 시스템에 등록된 각 구성요소를 원격으로 관리(환경설정)와 모니터링을 할 수 있다. 추가로 원격지에서 시스템 운영 상황을 확인할 수 있도록 Web 기반 TM 소프트웨어도 제공한다. 본 시스템은 처음 본 시스템을 사용하는 사용자들이 자신의 ED를 JS에 등록할 수 있는 Web site를 제공한다. 본 시스템의 관리자가 해당 Web site에서 사용자가 신청한 ED를 승인 또는 거부를 할 수 있다.

III. 시스템 전용 프로토콜

본 시스템에서는 암호화폐 거래를 LoRaWAN을 이용해 거래되기 위해 본 시스템에서 사용하는 전용 프로토콜이 설계 및 구현된다. 구체적으로 ED와 AS간 데이터 송·수신을 위한 전용 프로토콜이 본 시스템에서 설계 및 구현된다. 이는 LoRaWAN 표준[4]에서 제정한 내용 중 ED와 AS 간 통신 규격을 근거한다. 최종적으로 ED와 AS간 통신의 목적이므로 이 두 기기 간의 통신을 이루기 위한 전용 프로토콜이 설계 및 구현되어야 한다. 본 시스템의 전용 프로토콜은 JSON[16]을 기반으로 설계 및 구현되며, 빠른 전송속도를 보장하기 위해 전송 데이터 경량화를 초점을 두어 실제 사용되는 필드로 구하는 방법을 채택했다.

Cryptocurrency type	Payload

Cryptocurrency type value (Example)

0x10 : Bitcoin
0x11 : Bitcoin cash
0x12 : Bitcoin gold
0x20 : Ethereum
0x21 : Ethereum classic
0x30 : Ripple
0x31 : Monero
.....

그림 9. ED에서 AS로 데이터 송신 때 사용되는 전용 프로토콜 구조
Figure 9. The dedicated protocol structure used when transmitting data from ED to AS

(그림 9)는 본 논문에서 제시한 ED와 AS 사이에서 사용될 데이터 송·수신 프로토콜 중 ED에서 AS로 데이터를 보낼 때 사용되는 프로토콜 구조이다. 이 프로토콜은 ED에서 발생하는 암호화폐 트랜잭션 데이터를 AS로 전송할 때 사용된다. 해당 프로토콜을 크게 두 영역으로 구성된다. 먼저 'Cryptocurrency type' 필드는 ED에서 접수한 암호화폐 종류의 정보 데이터가 포함되며, (그림 9)에서 언급된 것처럼 해당 필드는 암호화폐마다 고유의 값을 부여한다. 해당 필드는 16진수 표기법으로 사용되며, 추후 새로운 암호화폐가 본 시스템에 추가될 경우 해당 필드의 데이터 값도 추가할 수 있다. 'Payload' 부분 같은 경우 해당 암호화폐의 트랜잭션 데이터를 그대로 사용한다. 암호화폐별로 가진 트랜잭션 데이터 프로토콜을 참고해 생성한다.

Result	Payload

Result value

0x0 : Fail
0x1 : Success

그림 10. AS에서 ED로 데이터 송신 때 사용되는 전용 프로토콜 구조
Figure 10. The dedicated protocol structure used when transmitting data from AS to ED

(그림 10)은 는 본 논문에서 제시한 ED와 AS 사이에서 사용될 데이터 송·수신 프로토콜 중 AS가 ED로 데이터를 보낼 때 사용되는 프로토콜 구조이다. 이 프로토콜은 AS가 ED에서 보낸 암호화폐 트랜잭션을 처리 후 결과를 해당 ED로 사용된다. 먼저 'Result' 필드에서는 ED가 보낸 암호화폐의 거래 성공 여부를 확인할 수 있는 데이터가 포함된다. (그림 10)에서 'Result' 필드에서 사용하는 값을 표현하는데, 이때 16진수로 데이터를 입력한다. 'Payload' 필드 같은 경우 암호화폐 거래에서 발생한 결과 데이터가 입력된다. 이 필드는 이후 ED에서 거래 결과를 상세하게 출력하기 위해 포함된다. 본 시스템에서는 ED → GW → NS의 LoRa 통신 모듈(HAL 영역)과 Back haul에서 진행되는 부분을 LoRaWAN 표준[4] 내용 그대로 반영하여 설계된다. 이는 (그림 4)에서 표현된 LoRaWAN 네트워크에서 해당 표준[4]에 따라 Sensor(본 논문에서는 ED가 해당)와

Network Server(본 논문에서는 NS가 해당) 간 통신에 사용되는 'LoRaWAN Master' 프로토콜 영역이 암호화되어 데이터 송·수신하며, 이런 패킷 데이터를 관리 및 라우팅할 수 있는 기법도 필수적으로 제공하기 때문에 별도로 설계 및 구현을 하지 않아도 판단하였기 때문이다[4, 7, 17].

Ⅳ. 결 론

본 논문에서 제시한 설계 시스템은 인터넷 네트워크 인프라가 빈약한 곳에서도 인터넷에서만 사용 가능한 블록체인 기반 암호화폐를 실생활에 사용할 수 있도록 자체적으로 LoRaWAN 기반으로 한 전용 네트워크 인프라를 구축하고, 각 구성요소를 통해 사용자가 암호화폐를 결제할 수 있는 시스템 설계를 위한 연구 내용을 다루었다. LoRaWAN는 각 계층 간 통신을 대칭 키 암호화 방식 중 하나인 AES-128 방식을 채택하여 전송할 데이터를 암·복호화하여 송·수신하여 언제든지 도청이 가능한 무선통신의 보안영역의 문제점을 극복하고자 하였다. 하지만 차재상 교수[18]가 언급한 LoRaWAN의 네트워크 구성요소 간 발생하는 보안사고 사례를 염두에 두어 이를 위한 보안 기술을 본 논문의 시스템이 구현될 때 함께 포함할 수 있도록 이를 위한 연구가 추가로 이루어져야 한다.

References

[1] Bitcoin Project, Bitcoin. Retrieved from https://bitcoin.org/
[2] Investopedia(2020), The 10 Most Important Cryptocurrencies Other Than Bitcoin. Retrieved from https://www.investopedia.com/tech/most-important-cryptocurrencies-other-than-bitcoin/
[3] World Food Programme(2018), Building Blocks - Blockchain for Zero Hunger. Retrieved from https://innovation.wfp.org/project/building-blocks?_ga=2.224068379.1805514141.1601894141-1956030893.1601894141
[4] LoRa Alliance(2018), LoRaWAN Specification 1.0.3. Retrieved from https://lora-alliance.org/lorawan-for-developers/
[5] M. Kim, D. Choi, H. S. Lee and J. W. Jang, "Proposal for a Design of Payment System for Public Cryptocurrency include a Dedicated Network based on LoRaWAN," The 16th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications (MITA 2020), pp.125-126, Nov. 2020.
[6] M. Kim, D. Choi and J. W. Jang, "A Study for a Design of an Electronic Payment System Based on LPWA and Blockchain," The 2020 Fall conference proceeding book from the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 24, No. 2, Oct. 2020.
[7] M. Kim, D. Choi and J. W. Jang, "A study on the Design of a Private Blockchain Cryptocurrency System that Provides a Dedicated Payment Network based on LPWA," Advanced and Applied Convergence Letters 16(AACL 16), Vol. 16, Nov. 2020.
[8] Semtech, LoRa Transceivers. Retrieved from https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers
[9] LoRa Alliance(2018), LoRaWAN Regional Parameters 1.0.1. Retrieved from https://lora-alliance.org/lorawan-for-developers/
[10] LoRa Alliance(2018), What is the LoRaWAN Specification?. Retrieved from https://lora-alliance.org/about-lorawan
[11] Semtech, Semtech SX1301. Retrieved from https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-gateways/sx1301
[12] Semtech, LoRa Gateways. Retrieved from https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-gateways
[13] Raspberry Pi. Retrieved from https://www.raspberrypi.org/
[14] Semtech, LoRa Gateway project. Retrieved from https://github.com/Lora-net/lora_gateway/
[15] Bitcoin Project, Bitcoin Developer. Retrieved from https://developer.bitcoin.org/index.html
[16] Ecma International(2017). ECMA-404 : The JSON data interchange syntax. Retrieved from https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-404/
[17] Semtech(2015), LoRaWAN Network Server Demonstration: Gateway to Server Interface Definition 1.0. Retrieved from https://www.semtech.com/
[18] Y. Chung and J. Cha ,"A Study on IoT Security Technology using LoRa," The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 3, No. 4, pp.185-189, Nov. 2017.