

블록체인 기반 5G 특화망 주파수 할당 프로세스 연구

유원석*, 이원철**

A Study on the Blockchain based Frequency Allocation Process for Private 5G

Won-Seok Yoo*, Won-Cheol Lee**

요약 현행 5G 특화망 이용절차는 신청, 심사, 이용, 이용 점검의 단계를 거치며 주파수 할당 전 절차로 신청, 심사 단계, 주파수 할당 후 절차로 이용, 이용점검 단계로 구분할 수 있다. 5G 특화망 신청을 위해서는 여러 종류의 서류 제출이 필요하며, 서류 심사 과정과 5G 특화망 주파수 이용을 위한 무선국 검사로 인해 5G 특화망 신청 사업자가 실질적으로 특화망을 사용하기까지의 절차가 복잡하고, 상당한 시간이 소요된다. 본 논문에서는 현행 프로세스보다 신속하고, 간소화된 5G 특화망 주파수 할당을 위해 블록체인 플랫폼을 사용한 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 제안하였다. 블록체인 플랫폼과 NFT(Non-Fungible Token) 활용을 통해 주파수 할당 과정에서 필요한 데이터의 신뢰성과 무결성을 확보하였고, 주파수 이용 정보의 보안 유지와 신뢰 가능한 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 구축하였다. 또한 사람의 개입을 최소화하는 RPA 시스템을 적용하여 5G 특화망 할당 과정에서의 공정성을 확보하였다. 마지막으로 모의실험을 통하여 이더리움 블록체인 기반의 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 수행하였다.

Abstract The current Private 5G use procedure goes through the step of application examination, use and usage inspection, and can be divided in to application, examination step as a procedure before frequency allocation, and use, usage inspection step as a procedure after frequency allocation. Various types of documents are required to apply for a Private 5G, and due to the document screening process and radio station inspection for using Private 5G frequencies, the procedure for Private 5G applicants to use Private 5G is complicated and takes a considerable amount of time. In this paper, we proposed Frequency Allocation Process for Private 5G using a blockchain platform, which is fast and simplified than the current procedure. Through the use of a blockchain platform and NFT (Non-Fungible Token), reliability and integrity of the data required in the frequency allocation process were secured, and security of frequency usage information was maintained and a reliable Private 5G frequency allocation process was established. Also by applying the RPA system that minimizes human intervention, fairness was secured in the process of allocating Private 5G. Finally, the frequency allocation process of Private 5G based on the Ethereum blockchain was performed though a simulation.

Key Words : Blockchain, Frequency Allocation Process, NFT, Private 5G, RPA

This paper was partly supported by Institute for Information & communications Technology Promotion(IITP) grant funded by the Korea Government(MSIT)(No.2018-0-00943) and the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the Innovative Human Resource Development for Local Intellectualization support program(IITP-2022-RS-2022-00156360) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Planning & Evaluation) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) grant funded by the Korea Government(MOTIE)(P0017123, The Competency Development Program for Industry Specialist)

*Department of Institute of Cognitive Ratio Communication, Soongsil University

**Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Soongsil University

Received January 13, 2023

Revised January 18, 2023

Accepted January 31, 2023

1. 서론

최근 디지털 전환이 가속화하면서 특정한 분야에 관계없이 많은 사업자들이 5G 특화망을 주목하고 있다. 5G 특화망이란 이동통신사업자가 아닌 사업자가 건물, 공장 등의 특정 구역에 한하여 사용할 수 있는 5G 네트워크를 말하며, 스마트 빌딩, 스마트 팩토리를 운영하기 위해서는 필수불가결한 요소이다. 2021년 12월 최초 5G 특화망 할당 이후 총 9개의 사업자가 기간통신사업자로 등록하여 수요기업과 협력사, 방문객 등에게 특화망 설치지역 내에서 서비스를 제공할 수 있는 5G 특화망 주파수 할당을 받았고, 9개의 사업자가 수요기업 한정으로 서비스를 제공할 수 있는 5G 특화망 주파수 지정을 받았다^[1].



그림 1. 이음 5G(5G 특화망) 서비스 이용 절차
Fig. 1. Procedures for using e-Um 5G(Private 5G) service

현재 5G 특화망은 그림 1과 같이 주파수 신청에서부터 이용점검에 이르기까지의 복잡한 절차를 거치게 되어있다. 이러한 절차는 크게 4단계로 구분할 수 있으며, 신청, 심사, 이용, 이용점검 단계가 이에 해당한다^[2]. 여기서 신청, 심사 단계는 5G 특화망 주파수 할당 전 단계이며, 이용, 이용점검은 할당 이후 단계이다. 특히 5G 특화망 주파수 할당 전 신청 과정에서 기간통신 사업 등록 신청서, 사업계획서, 주파수 할당 신청서(5G 특화망 서비스 제공 동의서, 서약서), 주파수 이용 계획서(할당신청법인의

명세, 과거 4개년 주요 재무수치) 등 약 10가지 종류의 서류 제출이 필요하며^[3], 심사 단계에서는 8가지 항목에 대한 전문가 심사가 진행된다^[3]. 할당 이후에도 이용을 위한 무선국 준공/정기 검사 과정에서 전담 기관이 직접 참여하는 현장 실사 및 공동사용 조정 등의 번거로운 절차를 필수적으로 거치게 된다^[2].

본 논문에서는 급속도로 늘어나고 있는 5G 특화망 주파수 수요를 해결하기 위하여 보다 신속하고도 간소화된 RPA(Robot Process Automation) 기반 5G 특화망 할당 프로세스를 위한 블록체인 플랫폼을 제안한다. 제안하는 블록체인 플랫폼은 스마트 컨트랙트를 사용하여 앞에서 설명한 4단계 이용절차에 포함된 광범위하고 반복적인 업무를 자동화할 수 있다. 또한 5G 특화망은 군 통신 등 공공분야를 비롯한 다양한 종류의 사업자가 참여하므로 보안 유지가 필수적이다. 이에 본 논문은 군, 위성, 통신 등 사업자 간의 주파수 이용 정보에 대한 보안 유지 및 상호 신뢰 가능한 블록체인 플랫폼 기반의 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 제시하였다. 이외에도 블록체인을 활용함으로써 이용절차 전반에 걸쳐 요구되는 데이터의 신뢰성과 무결성을 확보할 수 있다.

본 논문의 2장에서는 블록체인 플랫폼을 통해 활용 가능한 스마트 컨트랙트와 NFT(Non-Fungible Token), DAPP, IPFS에 대해 소개하였으며, 3장에서는 블록체인 기반 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 제안하고 현행 동일 프로세스와의 이용절차를 비교한다. 4장에서는 Geth(Go-ethereum) 프로그램과 Mist Browser 프로그램을 사용해 스마트 컨트랙트를 활용하여 5G 특화망 주파수를 할당하는 모의실험 결과를 나타내었다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

2. 블록체인의 요소 및 부가적 기능

블록체인은 분산 데이터베이스 플랫폼의 형태로 구성되어 임의적인 조작 및 변조가 어려우며, 기존의 서버와 클라이언트의 연결 방식과는 다르게 클라이언트와 클라이언트 간의 분산 네트워크 형식으로

연결되어 운용되는 플랫폼이다^[4]. 블록체인 네트워크에 참여하기 위해서는 해쉬값(지갑 주소)으로 이루어진 블록체인의 지갑을 보유하고 있어야 하며, 노드(node)의 역할을 수행하게 된다. 거래를 수행하기 위해서는 거래의 발생, 채굴, 거래 정보 검증의 단계를 거쳐야 거래가 완료된다.

2.1 스마트 컨트랙트(Smart Contract)

스마트 컨트랙트는 이더리움의 창시자 비탈릭 부테린(Vitalik Buterin)이 이더리움 블록체인에 도입하고 구현한 개념으로 서면 상에서 이루어지는 계약을 블록체인 플랫폼 상에서 코드화하여 특정 조건이 충족되면 계약이 실행되도록 설계된 시스템이다^[5]. 스마트 컨트랙트를 활용하여 중개인 없이 금융 거래, 부동산 계약 등 다양한 형태의 계약을 체결하고 이행할 수 있으며, 블록체인 네트워크에 참여하는 노드는 누구나 스마트 컨트랙트를 배포하고 검증할 수 있고, 코드의 실행이 자동으로 이루어지고 계약의 위반조가 불가능하다는 특징을 가진다. 본 논문에서는 이러한 스마트 컨트랙트를 활용한 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 제안하였다.

2.2 NFT(Non-Fungible Token)

NFT(Non-Fungible Token)는 ERC-721(Ethereum Request for Comment)이라는 표준안으로 채택된 블록체인 네트워크에서 발행되는 토큰의 표준 중 하나이다^[6]. 일반적으로 블록체인에서 토큰으로 활용하는 기술 표준인 ERC-20은 해당 토큰을 보유한 사람과 다른 사람이 보유한 토큰이 동일한 가치와 의미를 가진다. 반면 ERC-721은 ERC-20과는 다르게 대체불가능한 특징을 가지고 있으며, ERC-20과는 다르게 일반적인 거래에 사용되는 토큰이 아닌 게임 아이템, 예술 작품 등의 특정한 목적으로 주로 쓰이는 토큰이다. 본 논문에서는 NFT를 특허망 라이선스를 발급하는 목적으로 활용하였다.

2.3 DAPP(Decentralized Application)

DAPP(Decentralized APP)이란 탈중앙화 애플리케이션의 약자로 블록체인 플랫폼 기반으로 동작하는 애플리케이션이다. DAPP은 그림 2와 같이 스마트 컨트랙트가 동작하는 Back-end와 HTML, CSS, Javascript가 동작하는 Front-end로 구성되며, Back-end와 Front-end는 Web3.js 라이브러리에 의해 연동된다. 일반적인 애플리케이션과 비교할 때 Front-end는 유저들이 직접 접하고 사용하는 GUI(Graphical User Interface)이며, Back-end는

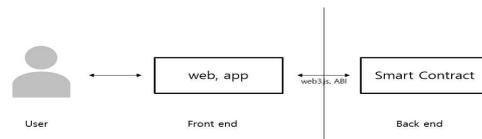


그림 2. DAPP의 구조
Fig. 2. Structure of DAPP

데이터를 처리하는 서버 역할이다. 본 논문에서는 DAPP을 활용하여 모의실험을 진행하였다.

2.3 IPFS(InterPlanetary File System)

IPFS(InterPlanetary File System)란 분산형 파일 시스템에 데이터를 저장하고 인터넷에 공유하기 위한 프로토콜이다^[7]. NFT를 발행하기 위해서는 원본 디지털 콘텐츠(ex. 사진, 그림 등), 생성자 정보 등이 필요한데 해당 정보들은 블록체인이 아닌 외부 저장매체에 저장한다. 이때 일반적으로 활용되는 것이 IPFS이며, NFT의 소유권만 블록체인에 저장된다. 표1은 HTTP 프로토콜과 IPFS 프로토콜의 차이에 대해 설명한다.

표 1 HTTP 프로토콜과 IPFS 프로토콜 비교
Table 1. Comparison between HTTP and IPFS

HTTP	IPFS
Centralized Storage	Decentralized Storage
Load the server address where the data is stored	Data is loaded by requesting an encrypted hash value
Unable to load data in the event of a server issue	Data can be loaded even if there is a problem with a specific network
Temporary traffic issues may occur	No traffic problem
Requires a central server and incurs costs	No central server required, distributed and stored on the IPFS network
Industry standardized	The industry is not standardized, but the base is expanding
Access is supported under all conditions	Access via HTTP, or connect after self-setup

3. 제안하는 프로세스

블록체인은 분산 데이터베이스 플랫폼의 형태로 본 논문에서는 그림3과 같이 블록체인 플랫폼을 활용하여 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 스마트 컨트랙트로 처리하였으며, 특히 사람의 개입을 최소화한 RPA 시스템을 적용해 기존의 5G

특화망 주파수 할당에서 필요한 수동적인 절차 중 많은 부분을 자동화하여 보다 능동적으로 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 운용할 수 있도록 했다^[8]. 추가적으로 블록체인 플랫폼을 활용함으로써 여러 사업자 간의 주파수 이용 정보에 대한 보안 유지 및 상호 신뢰 가능한 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 설계하였다. 마지막으로 NFT를 활용하여 5G 특화망 라이선스 위변조 문제를 방지하였다.

5G 특화망 주파수 할당 프로세스의 설계에 있어 스마트 컨트랙트의 사용은 반드시 필요하며, 5G 특화망 주파수 할당 프로세스에 참여하는 모든 기관 간의 거래와 검증은 스마트 컨트랙트에 의해서만 이루어진다^[5].

5G 특화망 주파수 할당을 위해 5G 특화망 주파수 할당 프로세스에 참여하는 기관들은 이더리움 기반 블록체인 네트워크에 참여해야 하며, 각 기관의 구성 요소와 역할은 표2와 같이 나타낸다, 또한 제안하는 프로세스의 동작 과정은 그림4에서 설명하는 처리 과정도의 순서에 따라 동작한다.

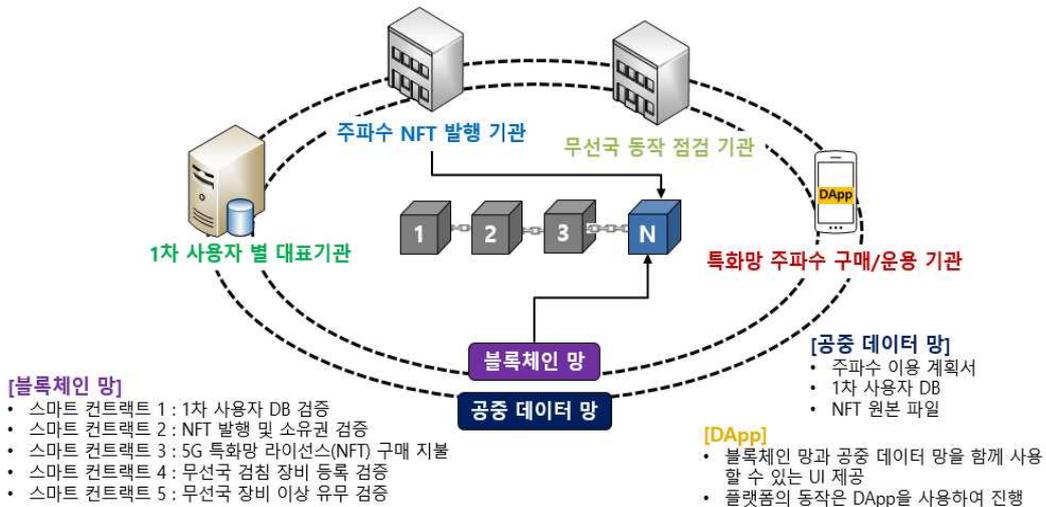


그림 3. 블록체인 기반 5G 특화망 주파수 할당 프로세스
Fig. 3. Blockchain based frequency allocation process for Private 5G

표 2. 5G 특화망 주파수 할당 프로세스의 구성요소 및 역할
Table 2. Components and roles of the frequency allocation process for Private 5G

Node	Role
Private 5G Frequency buy/employ Institution	Buy : Private 5G license(NFT)
	Preparation of frequency usage plan for use Private 5G
Frequency NFT minting Institution	Private 5G license(NFT) Minting and ownership transfer management
	Primary user's DB storage
	Interference analysis, Generate Radio Environment Map
Primary user representative Institution	Periodic update of base station utilization information

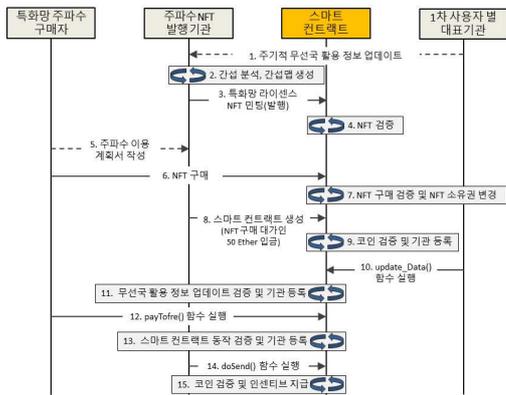


그림 4. RPA 시나리오 처리과정도
Fig. 4. Algorithm of frequency allocation process for Private 5G

주파수 NFT 발행 기관은 국가 기관으로 하여 5G 특화망 주파수 라이선스에 대한 신뢰성을 확보하며, 특화망 주파수 구매자/운용자는 제안하는 프로세스를 통해 그림 5와 표 3에서 설명하는 현행 5G 특화망 주파수 할당 과정의 번거로운 절차를 거치지 않고 보다 신속하고 편리하게 5G 특화망 주파수를 할당 받아 운용할 수 있다.
본 논문에서는 5G 특화망 주파수 할당 프로세

표 3. 현행, 제안 5G 특화망 이용 프로세스 비교
Table 3. Comparison of the current procedure and the proposed process

Type	Current	Proposed
Application for allocation	1. Submit documents directly to the Ministry of Science and ICT	1. Submission of documents through DApp and verification of submission through blockchain platform
Review	1. Review through the review committee 2. Analysis through the National Radio Research Agency (RRA)	1. Automated review through smart contract 2. Analysis through Frequency NFT minting Institution
Utilization	1. Application for permission to establish a radio station to Central Radio Management Service(CRMS) and submission of documents	1. After the first radio station equipment inspection, automatic measurement of abnormality through radio station check equipment
Management	1. Submission of related documents after installation of radio stations 2. Disclosure of DB for adjustment	1. Inspection through radio station equipment status recorded in blockchain 2. Disclosure of DB through blockchain network



그림 5. 현행, 제안 5G 특화망 이용 프로세스
Fig. 5. Current and proposed process

스에서 스마트 컨트랙트를 사용하기 위해 Solidity 언어로 코딩하였으며, 표4, 표5와 같이 사용자 정의 함수를 생성하여 프로세스의 동작을 관리하였다.

표4, 표5에서 정의한 사용자 정의 함수는 각기 다른 스마트 컨트랙트에서 동작한다. 표4는 주파수 NFT 발행 기관의 NFT 발행을 위한 스마트 컨트랙트에서 사용되는 사용자 정의 함수를 나타내며, 표5는 5G 특화망 할당 신청 단계에서 특화망 주파수 구매자/운용자, 주파수 NFT 발행 기관, 1차 사용자 별 대표기관이 사용하는 함수를 나타낸다.

특화망 주파수 구매자/운용자, 주파수 NFT 발행 기관, 1차 사용자 별 대표기관의 주요 기능들은 독립적으로 동작하고, 스마트 컨트랙트는 사용자 정의 함수가 실행될 경우만 수행되며, 사용자 정의 함수가 실행되지 않는 경우에는 대기상태로 유지된다.

표 4. 스마트 컨트랙트의 함수 종류 및 기능(NFT 발행)
Table 4. Function types and functions of smart contract(NFT Minting)

Function	Type	Role
create()	Minting	Private 5G license(NFT) minting
transferFrom()	Change ownership	Change ownership of Private 5G license(NFT)

표 5. 스마트 컨트랙트의 함수 종류 및 기능
(5G 특화망 할당 신청)

Table 5. Function types and functions of smart contract
(Application for Private 5G allocation)

Function	Type	Role
Pri_5G()	Create new smart contract	Create Private 5G allocation application smart contract
update_Data()	Update base station utilization data	Periodic update of primary user's base station utilization information
payTofre()	Behavior of smart contract	Check smart contract working without any problem
doSend()	Coin reward	Frequency allocation fee paid to Frequency NFT minting Institution

4. 모의실험

4.1 모의실험 환경 구축

본 논문에서 제안한 5G 특화망 주파수 할당 프로세스에서 블록체인 플랫폼 사용을 위해 그림6 과 같이 특화망 주파수 구매/운용 기관, 주파수 NFT 발행기관, 1차 사용자 별 대표기관으로 구분하여 모

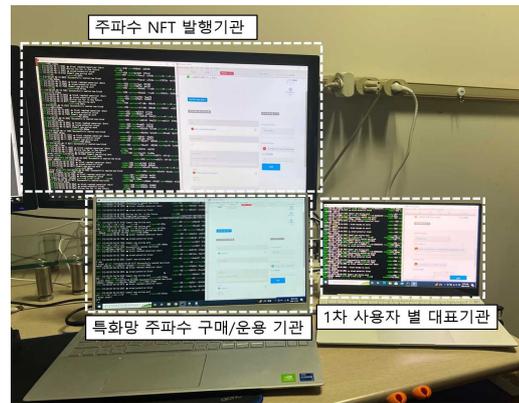


그림 6. 5G 특화망 주파수 할당 프로세스 동작을 위한 모의실험 환경

Fig. 6. Simulation environment for frequency allocation process for Private 5G

의실험을 진행하였다.

블록체인 플랫폼을 사용하는 모든 참여자는 블록체인 네트워크에 참여해야 하므로 NFT 코딩 및 거래를 위한 Remix IDE, DApp의 역할을 수행하는 Mist Browser와 블록체인 네트워크 역할을 수행하는 Geth 프로그램을 이용하여 사설 이더리움 기반의 블록체인 네트워크를 구축하였고, 테스트 코인을 사용해 모의실험을 진행하였다.

4.1 5G 특화망 주파수 할당 프로세스의 동작

5G 특화망 주파수 할당 프로세스의 동작은 특화망 주파수 구매 기관에 의해 발생한다. 프로세스 동작 전반에 걸쳐 공중 데이터망을 통해 1차 사용자별 대표기관의 주기적 무선국 활용 정보 업데이트가 이

루어지며, 주파수 NFT 발행기관에서는 1차 사용자 별 대표기관으로부터 전달받은 데이터를 기반으로 간접 분석을 진행하여 특화망 라이선스 NFT를 발행한다. 특화망 주파수 구매 기관은 주파수 NFT 발행 기관에서 발행한 특화망 라이선스 NFT 중 특화망 주파수를 운용할 장소에 해당하는 NFT를 구매한다. 이때, NFT의 가격은 임의적으로 50 Ether로 설정하였으며, 구매가 이루어지면 그림 7과 같이 스마트 컨트랙트를 통해 NFT의 소유권이 특화망 주파수 구매 기관의 소유로 변경된다.

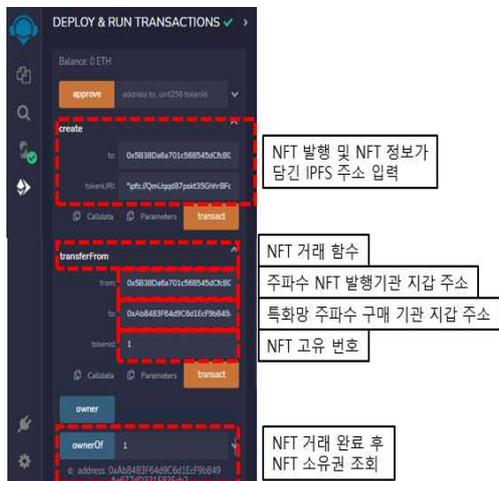


그림 7. NFT 발행 및 소유권 변경
Fig. 7. Minting of NFT and changing of ownership

그림 8은 Mist Browser를 이용한 스마트 컨트랙트의 생성 화면을 캡처한 그림이다.

주파수 NFT 발행기관은 특화망 주파수 구매 기관이 NFT 구매 대가로 지불한 코인인 50 Ether를 보유하는 스마트 컨트랙트를 생성한다. 스마트 컨트랙트가 생성되면 그림 9과 같이 Frist_Ins, Fre_NFT, Pri_Buyer, Data, Num paid라는 항목이 포함된 UI를 확인할 수 있다. 주파수 NFT 발행 기관이 스마트 컨트랙트를 생성함과 동시에 주파수 NFT 발행기관의 지갑 주소는 Fre_NFT라는 이름을 갖는 address 타입 변수로 지정된다. 이는 그림 4

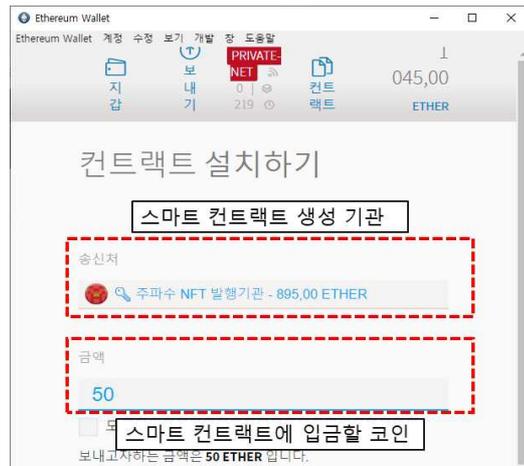


그림 8. 스마트 컨트랙트 생성
Fig. 8. Deploying Smart Contract

의 처리과정도에서 8번, 9번 과정에 해당한다.



그림 9. 스마트 컨트랙트 초기 화면
Fig. 9. Initial screen of Smart Contract

1차 사용자 별 대표기관은 공중 데이터망을 통해 주기적으로 1차 사용자의 무선국 활용 갱신 정보를 제공하고 NFT 발행기관은 DB 정보를 업데이트 한

다. 블록체인 상에서는 무선국 활용 정보가 업데이트된 사실을 확인하기 어려우므로 업데이트 될 때마다 update_Data 함수를 이용하여 First_Ins 라는 address 타입 변수에 1차 사용자별 대표기관의 지갑 주소를 등록하고, 무선국 활용 정보 갱신 유무를 표시할 수 있다. update_Data 함수가 정상적으로 작동하면 Data라는 이름으로 지정되어있는 bool 타입 변수가 YES 값을 반환한다. 그림 10은 이와 같은 프로세스를 Mist Browser를 통해서 실행했을 때 캡처한 화면이며, 그림 4의 처리과정도에서 10번과 11번 과정에 해당한다.

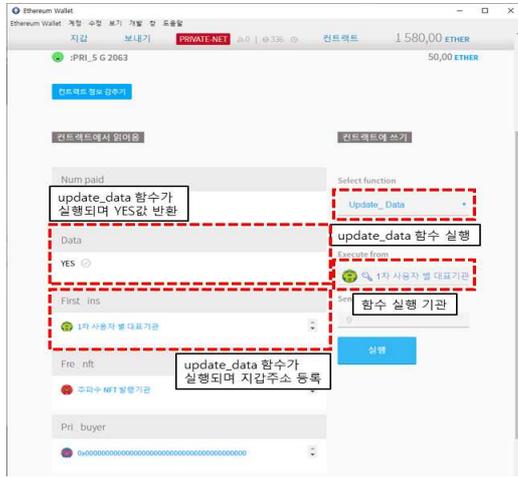


그림 10. Update_data() 함수 실행
Fig. 10. Execution of Update_data() function

특화망 주파수 구매기관은 payTofre 함수를 이용하여 Pri_buyer라는 address 타입 변수에 특화망 주파수 구매기관의 지갑 주소를 등록한다. 이와 동시에 그림 11과 같이 Num paid라는 uint 변수는 1로 변환되며, 이는 그림 6의 3개 기관이 참여해 정상적으로 스마트 컨트랙트 동작이 완료되었음을 의미한다. 또한 이는 그림 4의 처리과정도에서 12번, 13번 과정에 해당한다.

특화망 주파수 구매기관이 특화망 라이선스 NFT 구매를 위해 지불한 코인은 그림 4의 처리과정도에서 14번, 15번 과정에 따라 doSend() 함수를 사용하여 5G 특화망 주파수 할당대가로 주파수 NFT 발행기관



그림 11. payTofre() 함수 실행
Fig. 11. Execution of payTofre() function

에게 지급되며, 이 중 일부는 1차 사용자별 대표기관이 보다 정밀한 센싱 정보 제공시 인센티브 코인으로 지급되고 스마트 컨트랙트는 종료하게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 5G 특화망 주파수 할당 효율 향상이라는 문제에 대해 현행 프로세스보다 신속하고 절차를 간소화시킬 수 있으며, 블록체인 플랫폼 활용을 통해 보다 높은 보안 수준을 달성할 수 있는 5G 특화망 주파수 할당 프로세스를 제안하였다. 또한 5G 특화망 주파수 할당 프로세스에 동원되는 인력을 최소화시킬 수 있는 RPA 시스템을 적용해 5G 특화망 할당 과정에 소모되는 인력을 절감하고, 주파수 할당 과정에서의 공정성을 확보하였다. 마지막으로 NFT를 활용한 주파수 라이선스를 통해 5G 특화망 주파수 할당에 대한 신뢰성을 확보하였다. 향후 5G 특화망의 활용은 대기업뿐만이 아닌 중소기업으로도 확대되어 점진적으로 더 많은 수요가 있을 것으로 예측되고 있으며, 여러 산업 분야에서 융합적인 서비스를 제공하기 위해 활용될 것으로 예상된다. 또한

5G 특화망 주파수 지정을 통해 공기업 및 군 산업 분야에서도 활용이 가능하므로 5G 특화망 주파수 활용을 위한 주파수 할당 효율 향상은 필수적이며, 기술적으로는 주파수 할당 관리를 위한 보다 지능화된 시스템 구축 및 실현방안이 요구된다. 본 논문에서는 주파수 할당 프로세스에 관해서만 다루고 있으나 향후 프로세스 내에서 요구되는 간섭분석 효율성 향상 및 적정 대역폭 분석과 주파수 이용 및 이행 점검 단계에서 필요한 무선국 준공 및 정기검사에 관해서도 블록체인을 활용한 추가적인 연구를 진행할 계획이다. 본 논문은 향후 5G 특화망 활용에 있어 높은 수준의 보안성, 공정성, 절차의 신속성 및 간소화에 크게 기여할 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] Ministry of Science and ICT, "Spread of e-Um 5G to universities and defense companies.", MSIT Press Release, December 2022

[2] Ministry of Science and ICT, Korea Communications Agency, "Private 5G Guideline", October 2021

[3] Ministry of Science and ICT, "Details such as frequency allocation application procedure and method" MSIT Administrative Rules, November 2022

[4] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system", 2008. Available: <http://www.bitcoin.org>

[5] V. Buterin, "A Next-generation Smart Contract and Decentralized Application Platform", Ethereum White Paper, 2014. Available: https://cryptorating.eu/whitepapers/Ethereum/Ethereum_white_paper.pdf

[6] William Entriken, Dieter Shirley, Jacob Evans, Nastassia Sachs, "EIP-721: Non-Fungible Token Standard", Ethereum Improvement Proposals, no. 721, January 2018. [Online serial]. Available: <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721>.

[7] Juan Benet, "IPFS - Content Addressed, Versioned, P2P File System (DRAFT 3)"

[8] Park, S.B.; Lee, W.C. "A Nonparametric SVM-Based REM Recapitulation Assisted by Voluntary Sensing Participants under Smart Contracts on Blockchain", *Sensors* 2020, 20, 3574.

저자약력

유 원 석 (Won-Seok Yoo)

[학생회원]



- 2023년 2월: 숭실대학교 글로벌 미래교육원 정보통신공학과 (공학사)
- 2020년 8월~현재: 숭실대학교 산학협력단 연구지원팀 연구원

〈관심분야〉 주파수 공동사용, 주파수 정책, 블록체인 등

이 원 철 (Won-Cheol Lee)

[정회원]



- 1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
- 1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 5월: 미국 Polytechnic Institute of New York University, Electrical Engineering (공학박사)
- 1995년 9월~현재: 숭실대학교 전자정보공학과 교수
- 2021년 2월~현재: 숭실대학교 연구산학부총장
- 2015년 1월~현재: 한국전자과학회 이사
- 2017년 3월~현재: 공공안전통신망 포럼 공공통신망생태계위원회 위원장
- 2020년 2월~2021년 12월: 과학기술정보통신부 ICT 규제샌드박스 실증특례 연구반 연구반장
- 2020년 9월~2020년 12월: 2021년도 ICT R&D 사업 전파·위성 분야 신규과제 발굴 기획위원회 위원
- 2018년 1월~2018년 9월: 과학기술정보통신부 CBRS 연구반 연구반장
- 2015년 1월~2018년 12월: TTA 표준화위원회 전파자원 프로젝트그룹(PG901) 부의장

〈관심분야〉 Cognitive Radio, TV White Space, 주파수 공동사용, 간섭분석, 디지털 필터설계 등