

블록체인을 활용한 국가연구개발사업 연구지원시스템 개선 방안 연구⁺

(A Study on the Improvement of Research Support
System for National R&D Projects Using Blockchain)

이 동 환¹⁾, 박 승 욱²⁾
(Donghwan Lee and Seungwook Park)

요 약 본 연구는 국가 R&D 관리의 효율성을 개선하여 행정 부담을 최소화하고, 연구자·서비스 중심으로의 투명한 연구환경을 조성하기 위하여, 국가연구개발사업 연구지원시스템에 컨소시엄 블록체인을 데이터베이스로 활용하는 방안을 제시하였다. 구체적으로 데이터를 특성에 따라 분류하여, 첫째, 무결성과 투명성이 요구되는 데이터는 블록체인에 저장하는 방안, 둘째, 기밀성과 수정 및 삭제가 요구되는 데이터는 데이터베이스에 저장하는 방안, 셋째, 기밀성·무결성·투명성이 동시에 요구되는 데이터는 원본은 데이터베이스에 저장하고, 해당 데이터의 해시값은 블록체인에 별도로 저장하는 방안을 제안하였다. 블록체인 연구지원시스템을 활용하면 시스템의 안정적인 운영과 연구관리 전문기관 간 신속한 정보 공유가 가능하며, 행정 업무 부담 완화, 프로세스의 투명성 제고, 정보의 비대칭성 해소, 데이터 무결성·가용성·기밀성 확보 등의 효과를 창출할 수 있다.

핵심주제어: 블록체인, 국가연구개발사업, 연구지원시스템, 컨소시엄 블록체인, 데이터베이스, 클라우드

Abstract This study proposed to adopt consortium blockchain for the database in the research support system of national R&D projects in order to increase efficiency, to reduce administrative burden, and to promote transparent research environment focusing on servicing researchers. Specifically, storage methods were classified according to data characteristics. First, data that requires integrity and transparency is stored in the blockchain, Second, confidentiality and data that require modification and deletion are stored in the database, Third, data that requires confidentiality, integrity, and transparency at the same time stores the original in the database, and the hash value of the data is separately stored in the blockchain. If research support system adopts blockchain, it is possible to operate the system stably, to share quick exchange of information between research institutes, to reduce administrative burden, to improve transparency of process, to resolve asymmetry of information, and to secure integrity, confidentiality, and availability of data.

Keywords: Blockchain, National R&D projects, Research support system, Consortium blockchain, Database, Cloud service

* Corresponding Author: separk6112@inha.ac.kr

+ 이 논문은 인하대학교의 연구비 지원에 의해 연구되었음

. Manuscript received March 14, 2023 / revised March 28,

2023 / accepted March 29, 2023

1) 인하대학교 산업보안거버넌스전공, 제1저자

2) 인하대학교 경영학과, 교신저자

1. 서론

블록체인은 4차 산업혁명의 핵심기술 중 하나로 2008년 사토시 나카모토의 비트코인 논문에서 처음 언급되었으며(Satoshi, 2008), 현재 금융, 유통·물류, 공공 서비스 등 다양한 분야에서 활용 방안을 모색하고 있다. 미래 핵심기술로 평가받는 블록체인 기술은 블록 내 저장된 정보의 진위 및 위변조 여부의 검증이 가능하고, 특정 기록을 임의로 조작하거나 삭제하는 행위가 불가능하며, 투명한 감사 추적이 가능하다는 특징을 가지고 있다(Lee and Kim, 2019). 이러한 관점에서 블록체인 기술은 데이터를 저장·관리·공유하는 R&D 관리 환경에서 활용하기 적합한 기술로 판단할 수 있다.

한편, 우리나라는 2020년 기준 OECD 국가 중 R&D 투자 비중 증가 1위, GDP 대비 R&D 투자 규모 2위라는 세계 수준의 R&D 투자에도 불구하고, 저조한 질적 성과로 투자와 성과 간 괴리가 발생하고 있다(Lee, 2020). 이는 현재 연구관리 전문기관 간 R&D 지원 운영에 있어 정보 공유 제한, 협업 및 유기적 연계 미흡, 정보화 격차 심화 현상이 발생하고 있기 때문이며, 기관별 상이한 규정·절차·시스템 운영으로 인해 연구자의 행정적 부담 또한 지속적으로 증가하고 있다(Hwang, 2020). 이러한 연구행정의 비효율성은 연구현장 혼란, 자료 중복 제출, 서비스 격차 등의 문제를 유발하며, 국가연구개발혁신체계 고도화 측면에서 방해 요인으로 작용할 수 있다. R&D 투자 성과를 높이기 위해서는 연구개발에 대한 양적인 지원 규모 확대와 우수한 연구인력 확보뿐만 아니라 연구자가 연구에 몰입할 수 있는 연구환경의 조성도 중요하다(Son, 2013). 그러나 기존의 선행연구를 살펴보면, 주로 저작권 보호와 성과관리 등 단일적인 측면에서의 연구가 이루어졌으며 블록체인과 같은 신기술을 활용하여 시스템을 개선하는 연구는 매우 부족하였다.

따라서 본 연구는 연구자 중심의 연구환경을 조성하고 행정 부담을 완화하기 위해 블록체인이 지닌 특성을 활용하여 국가연구개발사업 지원시스템을 개선하고자 한다. 이에 국가연구개발사업의 고도화를 위하여 블록체인이 기여할 수 있는 분야를 파악하고, 블록체인 기반 연구지원시스템의 구축 방안을 모색하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 연구개발사업 및 연구지원시스템

국가연구개발사업이란 중앙행정기관이 법령에 근거하여 연구개발과제를 특정하여 그 연구개발비의 전부 또는 일부를 출연하거나 공공기금 등으로 지원하는 과학기술 분야의 연구개발사업을 말한다(Article 1, paragraph 1 of the Regulations on the Management of National Research and Development Projects, 2020). 또한 국가적인 경제사회 문제를 해결하기 위해, 정부가 특정한 목표를 설정하고 연구개발 자원을 정책적으로 결집하여 과학기술과 관련된 연구개발 활동을 수행하는 사업으로 정의하기도 한다(You, 2003).

연구지원시스템은 국가연구개발과제별 행정업무를 지원하고 산출된 정보들을 수집·처리·분석·저장하는 정보시스템이자 R&D 전주기를 관리하는 시스템을 총칭한다. 연구관리 전문기관에서는 연구지원시스템으로 국가연구개발사업의 수행을 지원하며, 연구지원시스템은 유형에 따라 다음의 Table 1과 같이 과제지원시스템, 연구자정보시스템, 연구비관리시스템으로 구분된다.

Table 1 Classification of Research Support System

Classification	Content
Task Support System	A system that supports the entire work of government R&D projects (business planning, public announcement, reception, evaluation, selection, agreement, settlement, etc.) by specialized research management institutions and R&D institutions.
Researcher Information System	Information system that registers and manages researchers, research history, evaluation committee members, and information on performing institutions participating in government E&D by specialized research management institutions.
Research Fund Management System	A management system that supports the payment, execution, and settlement of government R&D research funds by specialized research management institutions and R&D institutions.

과제지원시스템은 국가연구개발 사업 및 과제 지원업무 관리와 이력 정보를 수집·처리 및 저장하는 정보시스템으로, 연구과제의 기획, 공고, 접수, 선정평가, 협약체결, 평가, 성과관리, 사후관리 등 R&D 과제의 전주기 업무를 지원하는 시스템이며, 연구자정보시스템은 국가연구개발 사업에 참여하는 연구자, 평가위원, 수행기관의 정보 및 업적을 등록하고 관리하는 정보시스템이다(Kwak et al., 2022). 연구비관리시스템은 대학, 출연 연구소, 기업 등 연구기관으로 지급하는 국가연구개발사업 연구개발비의 지급, 집행, 정산 등의 정보를 수집·처리 및 관리하는 정보시스템이다.

기존의 연구지원시스템은 연구개발과제 관리의 공통기준이 존재함에도, 연구관리 전문기관과 소관부처에 따라 상이하게 운영되었다. 과학기술정보통신부에 따르면 2021년 기준, 19개 부처 산하 20개의 연구관리 전문기관은 과제지원시스템 20개, 연구자정보시스템 22개, 연구비관리시스템 17개, 총 59개의 연구지원시스템을 운영하였다. 그 결과, 연구자·연구개발기관이 다수의 연구개발과제를 수행하기 위해서 연구주관부처의 연구지원시스템 각각을 숙지해야 하며, 연구자 정보 등 공통으로 사용 가능한 정보 또한 주관부처마다 새롭게 입력·제출을 해야 하는 번거로움이 존재하였다. 이처럼 각 기관에서 상이하게 운영되는 연구지원시스템은 정보의 원활한 공유를 저해하며, 연구과제의 진행사항, 연구 이력 등 관련 정보를 통합하여 관리하기 어렵게 만든다(Yeon et al., 2014). 따라서 기존의 시스템은 사업 관리의 업무 부담, 불투명한 프로세스, 과제 중복 수행, 데이터 무결성 침해 등의 문제점을 지니고 있으며(Park, 2017), 이를 요약하면 Table 2와 같다.

Table 2 Problems with the existing system

Problem	Content
burden of work	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Duplicate entry and submission of commonly available data for each institution's research support system
No transparency	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Failure to disclose appropriate information and procedural transparency about execution, task execution process, and outcome ▪ The evaluation method and reason for selection are unclear because the evaluation and selection process is not transparent.
Information asymmetry	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Those who participated in the planning task know the information in advance, so it is advantageous to be selected as they can prepare in advance. ▪ Task selection and selection are closed to very limited people, which may cause fairness issues
Information not shared and lack of adequate control by the central authority	<ul style="list-style-type: none"> ▪ The assignment received was not announced, resulting in unnecessary assignment duplication. ▪ Various ministries manage and supervise sporadically, and implement similar planning tasks in duplicate. ▪ Lack of control tower to efficiently manage task progress and R&D budgets
Not guaranteed integrity and irreversibility	<ul style="list-style-type: none"> ▪ There is a possibility that data such as examination evaluation information and research fund management details entered into the system may be arbitrarily changed.

다음 절에서는 블록체인이 위에서 언급한 문제 해결에 적합한 기술인지를 확인하기 위하여 개념과 특징을 분석하였다. 특히 블록체인이 첫째, 행정 업무 부담을 완화하고, 둘째, 과제 진행 상황, 절차 등을 공개하여 프로세스의 투명성을 확보하고, 셋째, 정보의 비대칭성을 해소하여 공정성을 제고하고, 넷째, 정보를 자유롭게 공유하면서도 적절하게 통제하고, 다섯째, 데이터 위변조를 방지하기 위한 무결성 및 비가역성을 보장할 수 있는지 확인하였다.

2.2 블록체인

블록체인은 2008년에 사토시 나카모토가 발표한 'Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System' 논문에서 처음 소개되었다. 비트코인은 암호화 기술과 P2P 분산 네트워크 기반의 타임스탬프 서버를 이용하여 이중지불 문제를 해결하고, 제 3의 신용기관 없이 개인과 개인 간의 직접적인 거래를 지원을 가능하게 한다(Satoshi, 2008). 비트코인이 구현한 전자화폐 시스템의 핵심은 분산과 공개로, 시스템의 모든 사용자들에게 P2P 네트워크를 통해 장부를 공개하고 분산시키면 모든 거래는 하나의 공개 장부에 기록되고 사용자 모두에게 분산되어 저장된다(Kim, 2018). 즉, 블록체인은 데이터 분산 처리 기술로서, 네트워크에 참여하는 모든 사용자가 거래 내역 등의 데이터를 분산·저장할 수 있게 하는 기술이다.

블록체인은 Fig. 1과 같이 시간의 흐름에 따라 블록이 순차적으로 연결된 구조이며, 정해진 시간마다 발생한 거래 내역과 직전 블록의 정보를 암호화하여 새로운 블록을 생성한다. 이러한 특성으로 '공공 거래장부' 또는 '분산 원장'으로도 불리며, 생성된 새로운 블록은 이전 블록의 해시값 정보를 통해 연결된다. 블록이 생성될 때마다 이전 블록에 있는 거래의 정당성을 검증하고 연결하기 때문에 임의로 블록에 저장된 정보를 수정하려면 수정하고자 하는 블록 이전 블록의 모든 내용을 수정해야 한다. 그러므로 데이터의 위·변

조는 불가능하며, 블록의 연결이 길어질수록 정보의 신뢰성이 증가한다는 특징을 갖고 있다.

기존의 전통적인 거래방식은 중앙 집중형으로서 하나의 신뢰할 수 있는 기관과 개인이 거래하였다(Jeong et al., 2019). 이러한 방식은 거래의 처리 속도가 빠르고 통제가 용이하다는 장점이 있지만, 하나의 구성 요소가 동작하지 않으면 시스템 전체가 중단되는 SPOF(Single Point of Failure) 문제, 시스템을 악의적으로 공격해 해당 시스템의 리소스를 부족하게 하여 가용성을 위협하는 DDoS(Distributed Denial of Service) 공격 등에 취약하다는 단점을 가지고 있다. 반면, 블록체인은 중앙기관과 같은 중개인 없이 네트워크상 익명으로 개인 간 거래가 직접 이루어지는 탈중앙화의 성격을 가진다. 또한 블록체인 기술은 Table 3과 같은 특징을 가지고 있으며, 거래 정보는 블록 내에 기록되고 네트워크에 참여하는 모든 노드는 해당 블록을 확인할 수 있어서, 기존 방식보다 신뢰성과 투명성을 확보할 수 있다. 참여자 모두 거래 장부를 소유하기에 서비스의 일부가 작동하지 않거나 악의적인 해킹이 발생하여도 나머지 블록체인 운영에는 문제가 없으므로 SPOF 문제, 가용성 위협 등으로부터도 안전하다. 따라서 블록체인은 기존 연구지원시스템이 지닌 전통적인 데이터 거래방식의 문제점을 개선할 수 있는 기술로 판단되며, 블록체인을 연구지원시스템에 활용하기에 앞서 블록체인 구성 요소의 특징을 분석하였다.

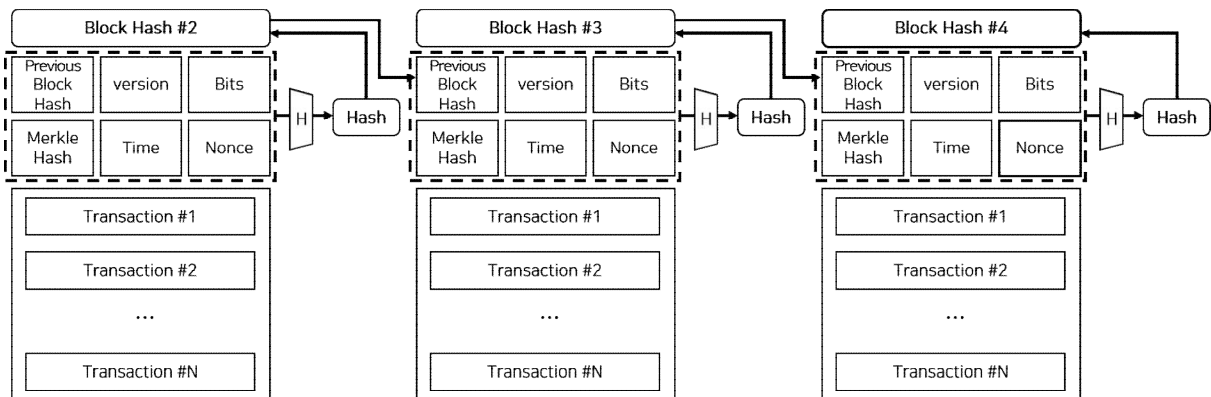


Fig. 1 Structure of Blockchain

Table 3 Characteristics of Blockchain Technology

Classification	Content
Security	It maintains high security because it costs more to execute illegal activities than benefits from illegal activities such as hacking, information leakage, or data forgery.
Transparency	Transaction records are transparently managed because all participants (nodes) have access to transaction records
Integrity	Hash algorithms are applied system-wide to ensure integrity so that the contents of the books cannot be falsified
Stability and Availability	Some system errors or performance degradation have minimal impact on the entire network and no single point of failure exists
Efficiency	Individual transactions in the blockchain can be recorded and managed in chronological order, and complex transactions can be tracked.
Immutability	If someone logs a transaction in a shared ledger, participants cannot manipulate the transaction
Anonymity	It does not require personal information and provides higher anonymity than existing payment methods such as bank accounts and credit cards.
Scalability	Easily deploy, connect, and expand with published sources
P2P	P2P transactions are possible without authorized third parties

2.2.1 블록체인 구성 요소

블록체인을 구성하고 있는 요소와 개념은 다음과 같다.

블록(Block)은 트랜잭션을 일정한 크기로 묶어 놓은 단위로 Fig. 2와 같이 크게 3개 영역으로 구성된다. 각 영역은 거래 내역인 트랜잭션이 저장되어 있는 바디, 트랜잭션에 대한 정보 요약 및 블록 관련 정보가 포함되어 있는 헤더, 블록을 하나의 값으로 표현한 대푯값으로서 수많은 블록 중 해당 블록을 식별하는 기준이 되는 블록해시로 이루어져 있다. 블록 구조에서 3개의 영역은 독립적으로 존재하는 것이 아니라, 바디의 모든 정보는 요약되어 헤더에 포함되고, 헤더의 모든 정보를 하나의 값으로 표현한 것이 블록해시이다.

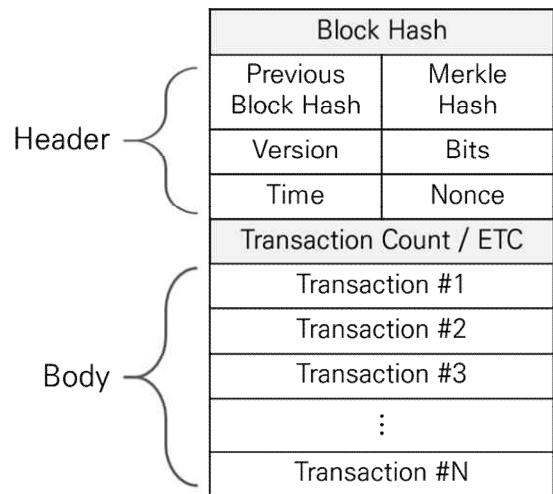


Fig. 2 Structure of Block

헤더(Header)는 소프트웨어나 프로토콜 등의 업그레이드 이력을 추적하기 위해 사용되는 버전, 각 블록이 연결되어 있는 구조임을 보여주는 이전 블록해시, 블록 바디 부분에 저장된 각 트랜잭션들을 쌍을 지어 해시값을 구하여 최종적으로 산출된 해시값인 머클루트, 해당 블록의 대략적인 생성 시간을 의미하는 타임, 블록 채굴과정에서 필요한 작업 증명의 목표 난이도를 의미하는 난이도, 블록체인에서 목표값 이하의 블록 해시를 찾기 위해 임시로 사용하는 숫자인 논스로 구성되어 있다.

해시(Hash)는 블록체인 기술의 핵심으로 블록체인 구조 및 작동 메커니즘에서 빈번하게 사용된다. 해시함수는 어떤 데이터를 입력하더라도 고정된 길이의 랜덤값이 출력되고, 입력값에 대해 어떤 값이 출력될지 예측할 수 없다. 또한 출력값으로 입력값을 유추할 수 없고, 입력값에 모음, 자음, 문장부호, 띄어쓰기 등 하나만 바뀌어도 완전히 다른 값이 출력된다는 특징을 가지고 있다.

트랜잭션(Transaction)은 어떤 기능이나 서비스를 구현하기 위해서 일련의 논리적인 기능을 수행하는 작업 단위로, 발신자와 수신자, 데이터 등의 정보를 포함하고 있다. 블록체인은 트랜잭션을 안전하게, 그리고 신뢰할 수 있는 방식으로 저장하는 것을 목적으로 만들어진 구조로, 블록체인 내 트랜잭션은 한 번 생성되면 수정할 수 없다. 또한 블록체인 네트워크상 모든 활동은 트랜잭션을 통해 이루어지며 트랜잭션이 수행되면 블록체인의 상태가 변환된다.

노드(Node)는 블록체인 네트워크에 참여한 모든 컴퓨터 또는 사용자를 의미하며, 블록체인 프로그램을 설치하고 네트워크에 참여하는 PC, 서버, 스마트폰 등 다양한 디바이스를 모두 포함한다. 블록체인에 기록되는 모든 데이터 및 원장은 블록체인 네트워크에 참여하는 각각의 노드들에 저장된다.

2.2.2 블록체인 유형

블록체인은 네트워크 참여 관점에서 보면 노드의 승인 여부에 따라 비허가형(Permissionless) 블록체인과 허가형(Permissioned) 블록체인으로 분류할 수 있으며, 운영 관점에서 보면 Table 4와 같이 비허가형은 퍼블릭 블록체인(Public Blockchain), 허가형은 프라이빗 블록체인(Private Blockchain), 컨소시엄 블록체인(Consortium Blockchain)으로 구분할 수 있다 (Heo, 2020).

Table 4 Types of Blockchain

Type	Public Blockchain	Private Blockchain	Consortium Blockchain
Management entity	All Trading Participants	Central authority reserves all rights	Participants in the consortium
Governance	Once established, it is very difficult to change the rules	It is possible to easily change the rules according to the decision-making of the central institution	It is relatively easy to change the rules according to the agreement of the consortium participants
speed of the transaction	Difficult to scale networks and slow to trade	Network is very easy to scale and fast to trade	Easy to scale and fast to trade
Data Access	Anyone can access it	Only authorized users can access it	Only authorized users can access it
Distinguish ability	Anonymity	Identifiable	Identifiable
proof of transaction	Algorithms such as PoW and PoS determine the transaction certifier, and it is not known in advance who the transaction certifier is	Transaction certification is made by the central agency	The transaction certifier is known through authentication, and transaction verification and block creation are performed according to the previously agreed rules

자료: 블록체인 기술의 이해와 개발 현황 및 시사점(Kang, 2018)

그러나 퍼블릭 블록체인은 누구나 익명으로 참여할 수 있고, 별도의 접근권한이 존재하지 않아 기밀 정보 유지에 한계점이 존재한다(Syed et al., 2019). 프라이빗 블록체인 또한 중앙관리자에 의해 운영되는 블록체인이기 때문에 투명성이 낮을 수 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위하여 컨소시엄 블록체인이 등장하였으며, 허가된 기업이나 기관만이 참여 가능한 신뢰 네트워크를 기반으로 조직은 효율적인 합의 알고리즘을 사용해 트랜잭션의 처리속도를 극대화하고 무결성을 유지하며 정보를 공유할 수 있게 되었다(Zheng et al., 2021). 즉, 컨소시엄 블록체인은 퍼블릭 블록체인과 프라이빗 블록체인의 중간 형태로, 어떤 사용자에게는 블록체인의 전체 또는 일부를 보는 것만 허용하나 어떤 사용자에게는 새 블록을 추가할 수 있는 권한까지 부여하는 등 블록체인에서 사용자에게 할당되는 허가 수준을 달리할 수 있는 유형이다(Byun, 2018).

이상으로 블록체인은 기존 연구지원시스템 개선에 필요한 투명성·무결성·기밀성 제고, 정보 비대칭성 해소, 데이터 위변조 방지 등의 특징을 지닌 것으로 파악되었으며, 4장에서는 블록체인 활용 시 결정해야 하는 블록체인 유형, 합의 알고리즘 등을 설정하여 연구지원시스템에 블록체인을 활용하는 방안을 모색하고자 한다.

3. 연구결과

3.1 블록체인 활용 방안

현재 블록체인은 기존의 시스템과 구조를 유지 및 보완하는 방안과 비트코인처럼 중앙기관이 존재하지 않는 완전한 탈중앙화 기반의 서비스를 구현하는 방안으로 활용할 수 있다. 본 연구의 블록체인 사용 목적은 탈중앙화가 아닌 연구지원시스템 개선 및 효율성 제고이기 때문에, 기존의 시스템과 구조를 유지·보완하면서 블록체인 활용하는 방안을 모색하고자 하였다. 이에 블록체인 활용과 관련하여 결정해야 할 사항과 내용은 Table 5와 같다.

Table 5 Decision Requirements for Blockchain Utilization

Decision Requirement	Content
Utilization plan	<ul style="list-style-type: none"> Retain and supplement existing systems Decentralization
Blockchain type	<ul style="list-style-type: none"> Public Blockchain Private Blockchain Consortium Blockchain
Software Type	<ul style="list-style-type: none"> Self-development using open source Using Commercial Software
Data Storage method	<ul style="list-style-type: none"> On-premise method of building, maintaining, and managing the company's own servers Cloud approach that virtualizes and delivers the information resources
Node Configuration	<ul style="list-style-type: none"> Blockchain Participants
consensus algorithm	<ul style="list-style-type: none"> Proof of Work Proof of Stake Delegated Proof of Stake Byzantine Fault Tolerance Practical Byzantine Fault Tolerance

일반적인 데이터 처리의 흐름은 Fig. 3과 같으며, 웹서버는 웹브라우저가 CSS, html 등의 정적 웹페이지를 전달하거나 요청을 읽어 들여 WAS에게 전달한다. WAS는 조회, DB, 로직 처리 등의 동적 콘텐츠를 처리하며, 결과를 웹서버에 전달하고 다시 웹브라우저를 통해 웹페이지 결과를 노출한다.

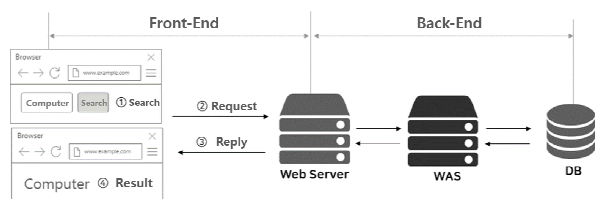


Fig. 3 Architecture of Web Services

해당 프로세스 전체에 블록체인을 적용하면 모든 데이터를 DB 대신 블록체인에 저장하는 것으로 구조가 변경되는데, 이 경우 시간 및 비용이 증가하는 문제 등이 발생할 수 있기에 모든

프로세스에 블록체인을 적용하는 대신 데이터별 특성을 분석하여 중앙시스템과 블록체인을 적절하게 혼합하여 설계하여야 한다.

이때 퍼블릭 블록체인을 활용하는 경우, 정보 공개 문제, 속도·확장성 문제, 통제성 문제 등이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 일반인을 노드로 참여시킬 필요가 없으며 기관이나 기업이 보유한 개인정보나 중요 데이터가 네트워크상으로 공유되면 안 되기 때문에 퍼블릭 블록체인은 적합하지 않다. 프라이빗 블록체인을 사용할 경우, 폐쇄적인 운영으로 각 기관과 데이터가 공유되지 않기 때문에 해당 블록체인을 도입할 당위성·필요성이 부족하며, 중앙 조직의 통제 하에 운영되는 노드들끼리 검증된 내용을 신뢰할 수 있는지에 대한 문제도 발생할 수 있다. 또한 프라이빗 블록체인에는 중앙 조직이 존재하기에 기존 중앙 집중 시스템과의 차별성이나 시스템의 성격을 구명하기 쉽지 않고 기존의 중앙시스템에서 이미 데이터 등을 폐쇄적으로 관리하고 담당하고 있기 때문에 기능 측면에서도 기존 시스템과 중복되는 부분이 많아져서 블록체인 도입 효과에 반해 오히려 자원이 낭비될 가능성이 발생한다. 한편, 컨소시엄 블록체인을 사용할 경우, 단일 기관에 의한 독단적 의사결정 및 운영의 문제를 컨소시엄 형태로 견제하며 균형을 유지할 수 있다. 컨소시엄 블록체인은 하나의 중앙조직이 존재하는 것이 아니라 공동의 목표를 지닌 다수의 여러 기관이 컨소시엄을 구성하여 공정성과 확장성을 보완한 형태이기에, 외부 기관이 참여할 수 있으며 해당 참여자는 블록체인을 관리하는 기관에서 지정할 수 있다. 특히 데이터를 공유하면서도 트랜잭션 별로 접근 권한 설정이 가능하여 투명성과 기밀성을 동시에 확보할 수 있으므로 내역을 공유할 정부부처, 감독기관, 연구 수행기관 등을 노드로 참여시켜 컨소시엄을 구축하면 업무 수행의 효율성을 증가시킬 수 있다. 따라서 본 연구는 Fig. 4와 같이 국가연구개발사업 연구지원시스템이 컨소시엄의 관리 및 통제 하에 중앙 데이터베이스와 블록체인이 함께 활용될 수 있도록 설계하였다.

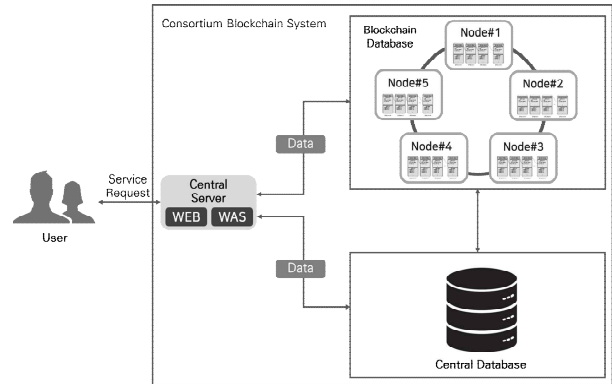


Fig. 4 Consortium Blockchain Application Model from Database Perspective

3.1.1 컨소시엄 블록체인 활용 유형

본 연구에서는 블록체인을 데이터베이스 관점에서 기존의 데이터베이스와 컨소시엄 블록체인을 적절하게 혼용하는 방식을 제시하였다. 대표적인 컨소시엄 블록체인으로는 리눅스재단이 주도하고 IBM 등이 참여하여 만든 하이퍼레저 패브릭(Hyperledger Fabric) 프로젝트가 있으며, 이는 공개적으로 액세스할 수 있게 설계되어 있어 누구나 무료로 자유롭게 확인, 수정, 배포할 수 있는 코드인 오픈 소스와 소프트웨어를 개발하는 기업에서 오픈소스를 고객의 요구사항에 맞게 상용화하여 판매하는 코드인 상용버전으로 분류된다(Park et al., 2021). 소프트웨어 개발·유지보수 전문 인력이 부족한 연구관리 전문기관에서는 요구사항에 맞춰 소프트웨어를 개발해 주고 유지보수도 관리해 주는 상용버전을 활용하는 것이 시스템 운영·관리에 유리하다.

한편, 데이터 저장 방식으로는 기관이 자체적으로 구축한 서버로 운영하는 온프레미스 방식보다, 서버와 스토리지 등과 같이 필요한 정보 자원을 가상화하여 언제 어디서나 필요할 때 데이터를 제공받을 수 있는 클라우드 방식을 활용하는 것이 적절하다. 클라우드는 인터넷상의 서버에 저장된 정보를 PC나 노트북, 스마트 기기 등과 같은 다양한 클라이언트에 내려받아 사용되는 IT 기반 서비스 기술을 말한다(Kim et al, 2013). 즉, 클라우드는 다양한 컴퓨터 자원 등을 사용자가 소유하고 있는 PC나 스마트폰 같은

하드웨어에 두지 않고, 인터넷을 통해 필요한 자원에만 접근할 수 있도록 한다(Sung, 2009). 사용자는 클라우드 시스템의 내부 구조를 알지 못하여도, 인터넷을 이용하여 클라우드에 저장한 자료와 서비스 업체에서 제공하는 다양한 컴퓨팅 자원을 사용할 수 있다. 또한 클라우드는 용량을 쉽게 확장할 수 있고 자동화된 데이터 백업 및 복구가 가능하며 중단 시간 위험이 제로에 가깝다는 등의 장점을 지닌다. 현재 행정안전부 국가정보자원관리원은 2021년 제1차 정보자원 통합사업을 시작으로 지능형 클라우드 서비스 전문기관으로의 전환을 본격적으로 추진하고 있기 때문에, 클라우드 기반의 컨소시엄 블록체인 서비스를 활용하는 것이 적합하다. 클라우드 기반 서비스를 사용하면 정보자원에 가상화가 적용되어 정보자원을 보다 효율적으로 공동활용할 수 있고 운영안정성과 통합관리를 강화할 수 있게 된다.

3.1.2 노드 및 합의 알고리즘 설정

블록체인의 초기 노드 구성원은 연구관리 전문기관, 연구관리 전문기관 조직 내 경영지원부서 및 감사부서, R&D사업 추진 정부부처, 연구수행 기관으로 설정한다. 컨소시엄 블록체인에서 각 노드 참여자들은 블록체인 소프트웨어를 설치하고 블록체인 관리 기관에서 노드를 허가하여 연결한다. 또한 Fig. 5와 같이 블록체인 네트워크에 직접 참여하지는 않지만 거래 인증 여부, 데이터 공유 등의 블록체인 관련 서비스를 이용하고자 하는 상황이 존재할 때, 3rd Party API(Application Programming Interface) 서버에서 제공하는 API를 통해 간접적인 방법으로 서비스를 이용할 수 있다. 클라이언트는 블록체인 헤더 및 데이터와 같은 어떠한 정보도 직접 저장하고 있지 않고 API 서버에서 제공하는 API를 통해서 본인 거래 인증 여부, 데이터 등을 확인할 수 있다. 따라서 연구과제가 바뀔 때마다 노드를 계속 만드는 것이 아니라 3rd Party API 클라이언트 기능을 활용하여 새로운 연구과제 수행기관들을 기존 노드에 연결하는 방식으로 진행하여 업무의 효율성을 증대할 수 있다. 또한 하이퍼페저 패브릭의 Channel 기능을

활용한다면, 참여자 중에서 그룹별로 기밀 정보가 필요할 때, 특정 정보를 허가된 그룹에만 공유하도록 설정할 수 있으므로 투명성과 기밀성을 모두 충족할 수 있다.

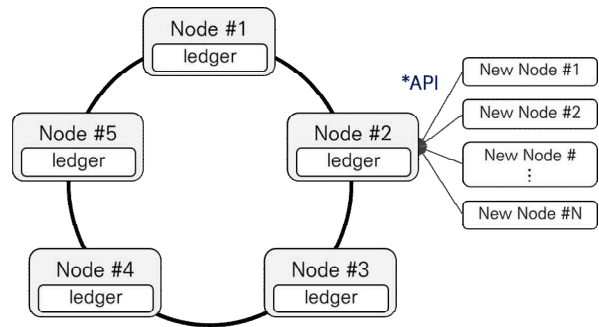


Fig. 5 Blockchain Node and Structure of API Connection Structure

한편, 기존 블록체인의 경우 네트워크에 참여하는 모든 참여자들이 동일한 데이터를 분산하여 저장하기 때문에, 통일된 의사결정을 내릴 수 있는 권위 있는 중앙이 존재하지 않는다(Lee and Kim, 2020). 이러한 환경에서는 노드 간 신뢰 관계가 부족하므로, 시스템의 무결성을 보장하면서 합리적이고 효율적인 의사결정을 내릴 수 있는 다양한 알고리즘이 개발되었다. 블록체인에서는 합의 알고리즘을 통해서 블록 간 정보 전달, 네트워크 형성 등의 상호작용이 가능하며(Choi and Youn, 2022), 개발된 합의 알고리즘은 크게 두 가지로, 대표자를 선정하여 합의하는 방식과 다수결로 합의하는 방식이 있다. 컨소시엄 블록체인에서는 주로 다수결 합의 방식인 BFT(Byzantine Fault Tolerance) 계열의 분산 합의 알고리즘을 사용하여 네트워크 분기를 허용하지 않고 합의를 이룬다. BFT 계열의 프로토콜은 단순히 고장 난 노드뿐만 아니라 악의적인 노드가 있어도 전체 시스템이 안정적으로 동작하도록 하는 프로토콜을 일컫는다(Yim et al., 2018). 이때 PBFT(Practical Byzantine Fault Tolerance)는 BFT계열 프로토콜 중 실용적으로 쓰일 수 있는 가장 대표적인 프로토콜로, BFT 알고리즘의 성능 문제와 비동기 네트워크

환경에서의 한계를 개선하여 네트워크 합의의 도출할 수 있는 신뢰성을 지닌다(Miguel and Barbara, 1999). Fig. 6은 PBFT 프로토콜의 동작을 나타내며, 여러 레플리카 중 의사결정의 리더인 프라이머리 노드는 입력된 명령이 순차적으로 수행될 수 있게 한다(Yim et al., 2018).

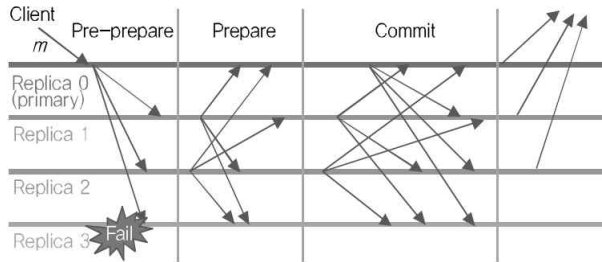


Fig. 6 PBFT Protocol Message Flowchart

자료: 블록체인과 합의 알고리즘(Yim et al, 2018)

본 연구에서 활용할 하이퍼레저 패브릭의 경우에도 주로 PBFT 합의 알고리즘을 사용하고 있기에, 해당 알고리즘을 블록체인 연구지원시스템의 기본 알고리즘으로 설정하였다.

3.1.3 데이터 저장 방안

데이터는 무결성이 요구되거나, 투명성이 요구되거나, 기밀성이 요구되기도 하며, 두 가지 이상의 특성이 같이 요구되기도 하는데, 투명성을 위하여 데이터를 공개해야 하지만, 개인정보나 기밀이 요구되는 데이터까지 모두 공개할 수는 없다는 문제점이 발생한다(Jang, 2021). 따라서 ‘투명성’, ‘기밀성’과 관련하여 크게 2가지 방법이 검토된다. 첫째는 참여 제한 및 읽기 통제가 가능한 블록체인을 활용하는 것이다. Hyperledger Fabric은 Channel 기능을 통해 참여자 내 데이터 공유 범위를 한정하여 투명성과 기밀성을 유지할 수 있다. 둘째는 블록체인을 다른 데이터베이스와 혼용하는 것이다. 모든 데이터를 확실히 블록체인에 저장하는 것이 아닌, 데이터의 특성을 분석하고 데이터 특성에 맞게 블록체인과 데이터베이스에 적절히 분류·저장하여 투명성과 기밀성을 유지할 수 있다. 보안 관점에서

데이터에 요구되는 특징을 무결성, 기밀성, 투명성으로 분류함에 따라 데이터별로 요구되는 특징을 분석하고, 각 특성에 맞게 저장 방식을 설정하여 다음의 Table 6과 같이 정리하였다.

Table 6 Data Storage Strategies

Required Data Characteristics	Block chain	DB	Both	Storage Strategies
Integrity	○			Blockchain
Confidentiality		○		DB
Transparency	○			Blockchain
Integrity+ Confidentiality			○	The source data to DB, hash values to Blockchain
Integrity+ Transparency	○			Blockchain
Confidentiality + Transparency			○	The source data to DB, hash values to Blockchain
Integrity+ Confidentiality+ Transparency			○	The source data to DB, hash values to Blockchain

따라서, 블록체인 환경에서 데이터를 저장하는 방안은 첫째, 데이터 중 무결성과 투명성이 요구되는 데이터는 블록체인에 저장, 둘째, 기밀성과 수정 및 삭제가 요구되는 데이터는 데이터베이스에 저장, 셋째, 기밀성, 무결성, 투명성이 동시에 요구되는 데이터는 원본을 데이터베이스에 저장하고 저장된 데이터의 해시값을 별도로 블록체인에 저장하는 방법으로 정리할 수 있다. 다음 Fig. 7은 블록체인 연구지원시스템을 적용한 기관에서 데이터를 저장하는 3가지 시나리오를 나타낸다.

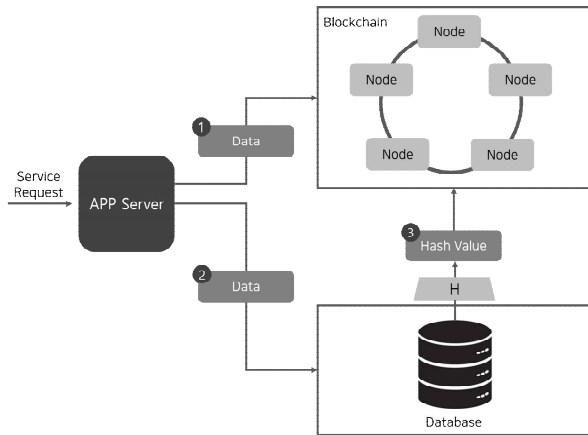


Fig. 7 Data Storage Scenarios

대용량의 데이터를 저장할 때에도 해시값을 이용할 수 있다. 대용량 문서 파일이 인터넷 전송 과정에서 수정되지 않았고, 무결성을 유지하고 있다는 것을 확인·검증한다고 하였을 때, 원본 파일과 한 줄씩 비교하여 검토하는 방식은 비효율적이다. 이에 문서를 전송하기 전 원본 파일의 해시값을 구하고, 전송이 완료된 문서의 해시값을 구한 뒤 각 해시값을 비교하여 해당 값이 일치하는지 확인을 통해 전송 과정에 수정이 없고 무결성을 유지한다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 대용량 데이터를 저장할 때에는, 데이터 원본은 데이터베이스에 저장하고, 해당 데이터를 해시함수로 암호화하여 해시값을 블록체인에 저장하면 비용적·시간적 부담을 줄일 수 있고, 해시값 비교를 통해서 위변조 여부를 쉽게 판별할 수 있다. Fig. 8은 대용량 데이터 무결성 검증 방안을 도식화한 것이다.

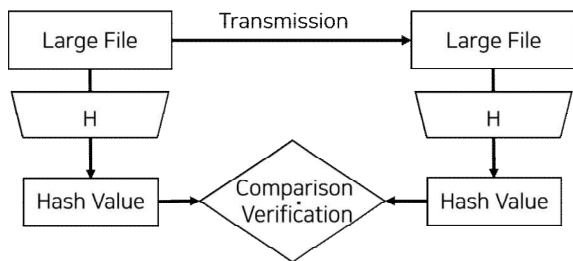


Fig. 8 Data Integrity Verification Using Hash

3.2 블록체인 활용의 도전과 이슈

블록체인과 같은 신기술은 기존법과 충돌할 수 있는 가능성이 존재한다. 국내 개인정보 보호법과 EU의 GDPR(General Data Protection Regulation)은 저장된 개인정보의 처리 목적을 달성했을 때는 바로 개인정보를 파기하도록 규정하고 있다. 한편, 블록체인은 한번 입력된 데이터는 삭제가 불가능하다는 비가역적 특성을 지니고 있기 때문에 해당 법에 위배될 수 있다.

그러나 최근 블록체인에 기록된 개인정보의 경우 삭제가 곤란하다는 점을 고려하여, 개인정보의 파기방법을 다양화하기 위한 목적으로 개인정보 보호법 시행령이 Table 7과 같이 개정되었다.

Table 7 Amendment of Enforcement Decree of the Personal Information Protection Act

Before the revision	After revision(current)
Article 16 (Methods of Destroying Personal Information) ① A personal information controller shall destroy personal information pursuant to Article 21 of the Act by any of the following methods: 1. Personal information in electronic files shall be permanently deleted so that it cannot be restored; 2. ... ② ...	Article 16 (Methods of Destroying Personal Information) ① A personal information controller shall destroy personal information pursuant to Article 21 of the Act by any of the following methods: 1. Personal information in electronic files shall be permanently deleted so that it cannot be restored; <u>However, if permanent deletion is remarkably difficult due to technical characteristics, measures shall be taken to prevent restoration by processing it with information falling under Article 58-2 of the Act.</u> 2. ... ② ...

개정된 개인정보 보호법 시행령 제16조에 표기된 제58조의2에 따르면, 시간·비용·기술 등을 합리적으로 고려할 때 다른 정보를 사용하여도 더 이상 개인을 알아볼 수 없는 정보에는 개인정보 보호가 적용되지 아니한다. 따라서 개인정보를 처음부터 익명 처리하여 블록체인에 기록하면, 블록체인에 기록된 개인정보 자체에 대해서는 개인정보 파기를 위해 추가적인 조치를 할 필요가 없게 되었다. 이러한 개정은 개인정보를 보호하면서도 블록체인과 같은 신기술 활용에 저해되는 규제를 어느 정도 개선하였다는 점에서 의의가 있으며, 연구지원 시스템에 블록체인 기술 적용 범위를 확장하기에 유리한 내용으로 파악된다. 구체적으로 개인정보를 암호화한 상태로 등록하는 Cipher Text 방법, 개인정보를 데이터베이스에 입력하고 블록체인에는 해당 정보와 연결할 수 있는 해시값 포인터만 저장하는 Off-Chain 방법 등 블록체인상에 개인정보 원본 그대로를 기록하지 않는 방안을 활용하면, 규제 환경 안에서 연구지원 시스템에 블록체인 기술을 적용할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 연구자 중심의 연구환경 조성, 연구행정의 효율성 제고, 부처 및 연구관리 전문기관 간 연구 정보의 칸막이를 해소하기 위하여 수행되었다. 이에 컨소시엄 블록체인을 데이터베이스로 활용하여 데이터 특성에 따라 분류하여 기존의 DB 시스템과 적절하게 혼용하는 방안을 제시하였고, 블록체인의 기술적 특성을 기존의 연구지원시스템에 적용하면 다수 참여자 간 데이터 공유를 통해 투명성을 제고하고, 연구 관련 데이터의 위변조와 손실을 방지하며, 정보의 비대칭성을 해소하는 등의 다양한 기능을 수행하는 것을 확인하였다.

이러한 블록체인 기술을 국가연구개발사업 연구지원시스템에 적용하면 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다. 첫째, 시스템의 안정적인 운영이 가능하다. 블록체인은 분산 시스템으로 하나의 구성 요소가 동작하지 않으면 시스템 전체가

중단되는 SPOF 문제, 시스템의 리소스를 부족하게 하여 사용하지 못하게 하는 DDoS 공격 등으로부터 안전하여 시스템 가동 상태를 안정적으로 운영·유지할 수 있다. 둘째, 절차의 투명성 및 공정성이 보장된다. 평가 과정, 결과, 연구 수행 과정이 투명하게 공개되기 때문에 정보의 비대칭성 해소를 공정성을 확보할 수 있고 관리·감독의 효율성을 제고할 수 있다. 셋째, 데이터의 무결성이 보장된다. 블록체인에 입력된 데이터는 절대 변경·삭제할 수 없으며, 원본과 일과 해시값 비교를 통해 위변조를 검증할 수 있기에 때문에 내부인 또는 인가받지 않은 외부인에 의한 데이터 조작을 방지할 수 있다. 넷째, 보안성 및 기밀성을 확보할 수 있다. 블록체인에 입력되는 연구노트, 연구보고서 등의 문서는 암호화된 데이터로 변환 후 저장되어 해킹이 불가능하므로 데이터 탈취로부터 안전하며, 인가된 노드에게만 자료를 공유할 수 있기에 때문에 기밀성을 확보할 수 있다. 마지막으로 법적 분쟁 증거로도 활용할 수 있다. 계약 내용 위변조, 연구과제 표절 및 유사보고서 제출, 연구비 부정 사용 등의 문제가 발생하였을 시, 기록 내역을 추적하여 법적 분쟁 과정에 신뢰성 있는 증거로 활용할 수 있다.

이와 더불어 블록체인은 기존 연구지원시스템의 프로세스도 개선할 것으로 기대된다. 첫째, 진도관리 측면에서는 R&D 수행 진도상황을 실시간 제공하여, 연구단계별로 연구자, 실무담당자의 실시간 소통 및 공유가 가능하다(Kwak et al., 2022). 둘째, 연구비 관리 측면에서는 연구수행 기관과 데이터베이스를 공유하여 연구비 사용자, 사용처, 시간, 금액 등을 포함한 연구비 관련 내역을 실시간으로 확인할 수 있기에, 연구비 부정사용, 횡령, 중복 수령 문제를 예방·관리할 수 있다. 마지막으로 성과 및 이력 관리 측면에서는 타 연구관리기관과 연구성과, 전문인력 정보 등을 공유하여 과제 중복을 예방하고, 연구자의 데이터 입력을 최소화하여 연구자 부담과 행정의 비효율성을 낮출 수 있다.

이상으로 본 연구에서는 국가연구개발사업 연구지원시스템에 블록체인 기술을 활용하는 방안을 모색해 보았다. 블록체인은 투명성과 기밀성,

탈중화와 적절한 통제성, 비가역성과 수정 가능성 등의 상충관계를 지닌 기술이다. 따라서 블록체인을 활용할 때는 블록체인이 기존의 모든 프로세스를 혁신적으로 개선할 수 있는 기술은 아니라는 점을 분명히 인식해야 하며, 기존의 시스템을 분석하여 잘 작동되고 있는 부분은 그대로 유지하고 활용 목적과 기술 특성을 고려하여 개선이 필요한 부분에만 적절하게 활용해야 한다.

본 연구는 연구관리 전문기관의 데이터베이스 환경을 가정하고 블록체인 연구지원시스템을 구상하였기 때문에, 실제로 구현하여 적용하지 못하였다는 한계점을 갖는다. 차후 실제적으로 블록체인을 활용한 연구지원시스템을 개발하여 해당 모델의 성능을 검증하는 후속 연구를 수행할 필요가 있다. 블록체인은 점차 유연한 형태로 발전하여 기술의 적용 범위가 확대될 것으로 예상되며, 융합연구의 고도화를 위해서 기술적으로 실증하는 연구가 지속적으로 수행되어야 한다. 해당 기술을 활용한 국가 R&D 관리의 효율성 개선을 통해 행정 부담이 최소화되고, 운영자·기능 중심에서 연구자·서비스 중심으로의 투명한 연구환경이 조성되기를 기대한다.

References

- Article 1, paragraph 1 of the Regulations on the Management of National Research and Development Projects , 2020
- Byun, I. S. (2018). A Study on the Establishment of Blockchain-based Recruitment Information Provision System, Ministry of Employment and Labor.
- Choi, S. and Youn, D. (2022). Consideration factors in implementing blockchain technology-based DID platform using ANP methodology- From a two-sided market perspective - Journal of the Korea Industrial Information Systems Society, 27(4), 127-136.
- Heo, H. S. and Seo, D. Y. (2020). A Study on Scalable PBFT Consensus Algorithm based on Blockchain Cluster. The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, 20(2), 45 - 53. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.2.45>
- Hwang, B. (2020). A Study on the Improvement of Research Management System in 2020, Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning, Ministry of Science and ICT
- Jang, S. H. (2021). Bitcoin and Blockchain Bible, Wikibooks
- Jeong, J., Kim, J. and Lee, H. (2019). A Study on the Protection of Trade Secret by Using Blockchain: Focusing on Trade Secret Original Certification Service. Korean Journal of Industrial Security, 9(2), 277-299.
- Kang, S. J. (2018). Understanding and Development Status and Implications of Blockchain Technology, National IT Industry Promotion Agency
- Kim, E. (2018). A Study for the Innovativeness of Blockchain, The Journal of Society for e-Business Studies Vol.23, No.3, pp.173-187
- Kim, S., Lee, S. and Hwang, H. (2013). A study of factors affecting attitude towards using mobile cloud service, Journal of the Korea Industrial Information Systems Society, Vol. 18, No. 6, pp. 83-94
- Kwak, S. J., Park, J. H., Kang, B. S, Kim, D. G. and Oh, S. H. (2022). A Study on Research Support Service of the National R&D Full Cycle, Journal of the Korean Society for Library and Information Science, 56(1), 405-423, <https://doi.org/10.4275/KSLIS.2022.56.1.405>
- Lee, D. (2020). A Study on the Operation Plan and Standard Operation Procedure of the Integrated Research Support System of the Ministry of Science and Technology, Ministry of Science and ICT.
- Lee, G. and Kim, I. (2019). A Study on Application of Record Management System

- Block Chain Technology. The Korean Journal of Archival Studies, (60), 317 - 358. <https://doi.org/10.20923/KJAS.2019.60.317>
- Lee, M., and Kim, K. (2020). A Survey on Consensus Algorithm of Blockchain: Focusing on PoW, Korean Society of Computer Information, Vol. 28, No. 2, pp.567 - 570
- Miguel, C., and Barbara, L. (1999). Practical byzantine fault tolerance, in Proceedings of the Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation, vol.99, New Orleans, USA, pp. 173 - 186.
- Park, J. M. (2017). A Survey on RFP Participation in Planning Projects and Perception of Task Selection. BRIC.
- Park, J. S., EOM, S. and Lee, S. Y. (2021). An Open Source Response to Intellectual Property Disputes, Institute for Information & communication Technology Planning & evaluation, Weekly ICT Trends, v.2027, pp.17-31
- Satoshi, N. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- Son, C. G. (2013). A Study on the Moderating Effects of the R&D Fund Management System between National R&D Fund and Research Performance. Journal of the Korea Industrial Information Systems Research, 18(5), 107 - 117. <https://doi.org/10.9723/JKSIS.2013.18.5.107>
- Sung, B.Y. (2009). Cloud Computing Trends and Strategies of Domestic Companies, Korea Software Agency, SW Insight Policy Report, pp.6-25.
- Syed, T. A., Alzahrani, A., Jan, S., Siddiqui, M. S., Nadeem, A., and Alghamdi, T. (2019). A comparative analysis of blockchain architecture and its applications: Problems and recommendations". 7, 176838-176869.
- Yeon, S. M., Kim, M. S., Kim, J. S. and Lee, B. H. (2014). A Study on the Development of History Management System for Participation in National R&D Projects, Korea Technology Innovation Society, pp.565-574
- Yim, J. C., Yoo, H. K., Kwak, J. Y., and Kim, S. M. (2018). Blockchain and Consensus Algorithm. Electronics and Telecommunications Trends, 33(1), 45 - 56. <https://doi.org/10.22648/ETRI.2018.J.330105>
- You, B. (2003). A Study on the Construction of the Effective Management and Service of the National R&D Outcome Information. Journal of the Korean Society for Library and Information Science, 37(4), 223 - 240. <https://doi.org/10.4275/KSLIS.2003.37.4.223>
- Zheng, P., Xu, Q., Zheng, Z., Zhou, Z., Yan, Y., and Zhang, H. (2021). Meepo: Sharded Consortium Blockchain. In 2021 IEEE 37th International Conference on Data Engineering (ICDE). pp.1847-1852.



이 동 환 (Donghwan Lee)

- 정회원
- 인하대학교 경영학 학사
- 인하대학교 산업보안거버넌스 경영공학 석사
- 관심분야: 산업보안, 국가정보, 보안관리



박 승 욱 (Seungwook Park)

- 정회원
- 연세대학교 경영학 학사
- 오하이오주립대학교 경영학 석사
- 오하이오주립대학교 경영학 박사
- California State Univ. Fullerton 부교수
- (현재) 인하대학교 경영학과 교수
- 관심분야: 블록체인, 스마트팩토리, 디지털공급사슬, 비즈니스 모델링