

Blockchain Applications in Construction

Bum-Soo Kim*, Seong-Jin Kim*, Do-Young Kim*

*Senior Researcher, Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT), Goyang-Si, Korea

*Senior Researcher, Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT), Goyang-Si, Korea

*Postdoctoral Researcher, Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT), Goyang-Si, Korea

[Abstract]

Construction is one of the oldest fields of providing human living comfort. However, despite the continuous development not only in IT but also in other fields, productivity degradation due to low automation is still serious. In particular, the use of the 4th industrial revolution technologies in construction is just beginning. Blockchain, which is one of the 4th industrial revolution technologies, is a type of a distributed database that is used to replicate, share, and synchronize data spread across different geographical locations, such as multiple sites, countries, or organizations. In this paper, we introduce the block chain and analyze use cases according to seven themes in construction. As a result of the analysis, it is expected to increase the understanding of blockchain in construction and provide usefulness for the development of various services in the future.

▶ **Key words:** Blockchain, Construction, BIM, Distributed ledger, Smart contracts

[요 약]

건설은 인간에게 생활의 편안함을 제공하는 가장 오래된 분야 중 하나이다. 그러나, 현재 IT 분야뿐만 아니라 다른 분야의 지속적인 발전에도 불구하고 여전히 낮은 자동화로 인한 생산성 저하가 심각한 수준이다. 특히 건설 분야에서 4차 산업혁명 기술의 활용은 이제 막 시작한 단계이다. 블록체인은 4차 산업혁명 기술 중 하나로서, 여러 장소, 국가 또는 조직과 같은 다양한 지리적 위치에 분산된 데이터를 복제, 공유 및 동기화하는 데 사용되는 일종의 분산 데이터베이스이다. 본 논문에서는 블록체인을 소개하고 이를 활용한 건설 분야의 사례를 일곱 가지 주제별로 문헌 분석한다. 분석 결과, 건설 분야에서 블록체인 기술의 이해도를 높이고 향후 다양한 서비스 개발에 유용성을 제공할 것으로 기대된다.

▶ **주제어:** 블록체인, 건설, BIM, 분산 원장, 스마트 계약

-
- First Author: Bum-Soo Kim, Corresponding Author: Bum-Soo Kim
 - *Bum-Soo Kim (bsk@kict.re.kr), Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT)
 - *Seong-Jin Kim (sjkim72@kict.re.kr), Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT)
 - *Do-Young Kim (doyoungkim0123@kict.re.kr), Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT)
 - Received: 2022. 12. 08, Revised: 2022. 12. 26, Accepted: 2022. 12. 30.

I. Introduction

블록체인(blockchain)은 여러 학문을 바탕으로 나타났다. 이러한 범 학문적인 특성 때문에 블록체인의 정의는 관점에 따라 매우 다양하다. 예를 들어, 인문학이나 철학의 관점에서는 권력으로부터의 탈중앙화를 추구해서 합의와 거버넌스에 좀 더 집중하고, 경제학의 관점에서는 행동적 요소와 심리적 요소를 강조하는 등 보상 구조에 초점이 맞춰있다. 컴퓨터 분야에서도 암호학의 관점에서 보면 블록체인은 '데이터의 임의 수정이 불가능한 시스템'이라고 정의할 수 있으며, 다른 관점에서는 '관리할 데이터를 블록이라는 단위로 다루는 분산 데이터 저장 기술'이라고 하며 '상태(state)와 프로그램을 저장하고 구동하는 분산 플랫폼'이라고 정의하기도 한다[1].

'블록체인'은 2008년 Satoshi Nakamoto에 의해 작성된 논문[2]에서 '블록의 체인(chain of blocks)'이라는 용어에서 유래되었다. Nakamoto는 통화 발행이나 거래에 대한 지불 및 검증을 위해 중앙 통제에 의존하지 않고 '비트코인' 시스템을 구현하였다. 이는 전 세계적으로 10분마다 '투표'를 수행하기 위해, 분산 연산 시스템(즉, 작업 증명 알고리즘)을 사용함으로써 분산 네트워크가 각 거래 상태에 대해 합의(consensus)에 이를 수 있도록 했다. 이러한 과정 덕분에 단일 통화 단위가 두 번 결재되어 발생하는 이중지불 문제를 손쉽게 해결하였다.

기존의 암호화폐는 블록체인 기술의 이용보다는 하나의 수단으로써 사용되었다. 현재 블록체인은 비트코인과 같은 암호화폐보다 블록체인의 장점인 보안성과 투명성을 활용하는 방식으로 발전하고 있다. 즉, 데이터 위조 변조 방지에 초점을 맞춘 서비스들이 나타나고 있다. 블록체인 기술이 가장 먼저 도입된 금융 분야의 경우 결제, 보험, 예금인출, 대출, 자산관리, 자본 조달 등의 기능에 접목되어 금융 혁신을 꾀하고 있다. 이러한 금융분야의 블록체인의 확산 외에도 물류·유통·제조 분야, 사회·문화 분야 등에서 적용되고 있다[3].

특히 건설 분야에서는 자산관리, 건설관리, BIM 정보처리, 에너지, 물거래, 폐기물 등 데이터의 신뢰성이 중요한 영역은 물론 온라인 마켓과 결제, 공유 경제, 유통 등 다양한 과정에서 블록체인 응용 서비스가 빠르게 개발되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 블록체인 기술이 건설산업에서 어떻게 적용이 되고 있고 어떤 응용 서비스가 개발되어 사용되고 있는지 혁신 사례들에 대해 알아보려고 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 블록체인의 개념과 여러 분야에서 블록체인을 활용한 연구들을 설명한

다. 제3장에서는 건설 분야 중에서도 일곱 가지 세부 주제별로 대표적 블록체인의 활용 사례를 소개한다. 마지막으로, 제4장에서는 결론을 맺고 향후 연구 내용을 제시한다.

II. Preliminaries

블록체인은 계속 길어지는 안전한 공유 기록 보관 시스템으로 이해할 수 있으며, 각 데이터 사용자는 기록의 사본을 보유하며, 기록을 업데이트하려면 거래에 참여한 모든 당사자가 업데이트에 동의해야 한다. 즉, 피어투피어(P2P, peer-to-peer) 분산 원장으로, 암호화로 보호되며, 추가만 허용하고, 변경 불가능하며 피어(peer) 간의 합의 또는 동의를 통해서만 업데이트할 수 있는 특징이 있다[3].

블록체인의 가장 중요한 속성은 합의를 통해서만 업데이트할 수 있다는 것이다. 직거래(disintermediation) 개념에 따라 블록체인에서는 데이터베이스를 담당하는 권력 기관이 없는 탈중앙화 합의 메커니즘을 사용한다. 블록체인에 대한 모든 업데이트는 블록체인 프로토콜에 의해 정의된 엄격한 기준을 따라 유효성 검사를 거치며, 네트워크상의 모든 참여 피어/노드가 합의에 도달한 후에만 업데이트가 블록체인에 추가된다.

블록체인은 인터넷의 상위에서 실행되는 분산 P2P 네트워크 계층으로 생각할 수 있다. Fig. 1은 네트워크 관점에서 바라본 블록체인 구조도이다. 그림을 보면, 블록체인 계층에는 트랜잭션, 블록, 합의 메커니즘, 상태 머신(state machine), 블록체인 스마트 계약을 포함한다.

블록(block)은 선택된 트랜잭션들을 함께 묶어 논리적으로 구성한 것을 의미한다. 트랜잭션(transaction)은 이벤트에 해당하는 레코드이다. 예를 들어, 보내는 사람의 계좌에서 받는 사람의 계좌로 돈을 보내는 이벤트를 기록한 것이 트랜잭션이다. 블록의 크기는 사용 중인 블록체인의 유형과 설계에 따라 다르다. 블록 중 기원 블록(genesis block)이라는 것은 블록체인의 최초 블록으로 블록체인이 처음 시작될 때 하드 코딩된다.

블록은 크게 블록 헤더(block header)와 블록 본문(block body)을 이룬다. 블록 헤더는 이전 블록에 대한 포인터, 타임스탬프, 논스(nonce), 머클 루트(Merkle root)로 각각 구성한다. 논스는 생성되어 한 번만 사용되는 수, 리플레이 공격에 대한 보호(replay protection), 인증, 암호화를 제공하는 데 필요한 수많은 암호화 연산에서 광범위하게 사용한다. 논스는 블록체인에서 PoW 합의 알고리즘[4]에 사용, 트랜잭션 리플레이 공격에 대한 보호에도 사용한다.

머클 루트는 머클 트리에 있는 모든 노드의 해시값이며, 머클 트리는 대용량 데이터 구조의 유효성을 안전하고 효율적으로 검증하는 데 널리 사용한다. 블록체인에서 머클 트리는 보통 트랜잭션을 효율적으로 검증하는 데 쓰인다. 머클 루트만 확인하면 모든 트랜잭션을 하나씩 확인하지 않고도 머클 트리에 있는 모든 트랜잭션이 올바른지 확인할 수 있다. 블록 본문은 생성된 트랜잭션들을 포함하고 있다.



Fig. 2. The general structure of blockchain.

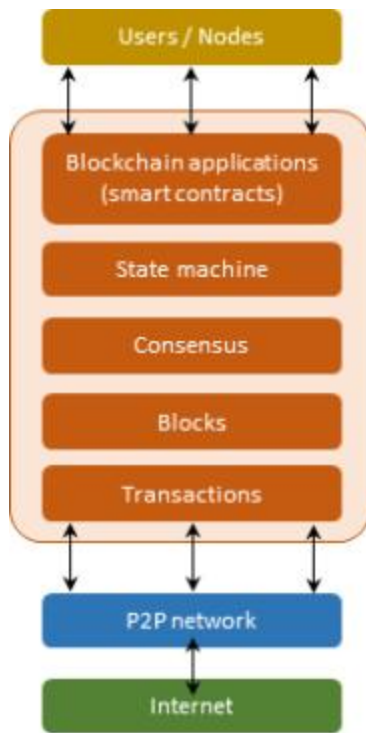


Fig. 1. Blockchain from the viewpoint of network structure.

Fig. 2는 블록체인의 일반적인 구조이다. 블록체인이 일반적으로 축적되는 과정은 다음과 같다.

- (1) 노드가 먼저 개인 키를 생성한 다음 이 개인 키로 디지털 서명해 트랜잭션을 시작
- (2) 트랜잭션은 가십 프로토콜(Gossip protocol)이라고도 불리는 플러딩 프로토콜(flooding protocol)을 따라 미리 설정된 기준에 따라 트랜잭션의 유효성을 검증하는 피어들에 전파(범람)됨
- (3) 트랜잭션이 유효하다고 검증되고 나면, 블록에 포함되어 네트워크상에 전파됨
- (4) 새로 생성된 블록은 이제 원장의 일부가 된 것이고, 그다음 블록은 자신을 이 블록에 다시 암호화해 링크(해시 포인터)함
- (5) 새로운 블록이 생성될 때마다 트랜잭션이 재승인됨. 트랜잭션 자체는 (3) 과정에서 종료되고, (4), (5) 과정은 필수가 아님

블록체인은 농업[5, 6], SDN(software defined network)[7], 비즈니스 애플리케이션[8], 스마트시티[9], 스마트 그리드[10, 11], 분산 파일 시스템[12], 우주 산업[13] 및 COVID-19[14] 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 보다 구체적인 연구 내용을 살펴보면, Bermeo et al.[5]는 블록체인 기반 농업 연구를 진행하여 식품 공급망의 문제를 해결하였다. Ferrag et al.[6]은 IoT 기반 농업의 개인 정보 보호 문제를 다루었다. Alharbi[7]은 블록체인 기술이 SDN 아키텍처에 통합되어 기밀성, 무결성, 보안을 제공하는 방법을 설명했다.

Konstantinidis et al.[8]은 비즈니스 분야에서 블록체인 기술의 다양한 응용에 대해 논의했다. Xie et al.[9]는 블록체인 기술과 관련된 스마트시티즌, 스마트헬스케어, 스마트교통, 공급관리 등 스마트시티 서비스에 대한 문헌 조사를 하였다.

다음으로, 두 문헌 조사 [10, 11]에서는 블록체인 기술을 기반으로 에너지 거래 프로세스, 효율적인 발전 및 배전 전략, 설비의 시스템 유지 및 진단, 보안 및 스마트 그리드 도메인의 개인 정보 보호 등 다양한 사용 사례 및 개념 모델에 대해 논의를 하였다. Huang et al.[12]는 2개의 대표적인 분산 파일 시스템인 IPFS(Inter-Planetary File System) 및 Swarm에 대한 원리를 소개하고 블록체인 기반 분산 파일 시스템의 구조 및 최신 연구 및 활용 시나리오 등 블록체인 기반 솔루션 및 분산 파일시스템을 통합적으로 소개하였다.

다음으로 Torky et al.[13]은 우주 산업에서 블록체인 기술을 채택하기 위한 개념 탐구, 블록체인 기반 인공위성 네트워크, 블록체인 기반 위성 시스템에 대한 체계적인 논의를 하였다. 최근에는 가장 시의적절한 연구로 Nguyen et al.[14]에 의해 블록체인과 AI 기술을 사용하여 코로나 바이러스(COVID-19)에 대한 감염자 추적 및 시민의 개인 정보 보호, 공급망 관리 및 기타 추적 서비스 등의 연구가 진행되었다.

III. Blockchain applications in construction

본 장에서는 건설 분야에서 블록체인을 활용한 사례 중심으로 살펴보고 그 시사점을 도출하고자 한다.

1. Asset management

모든 국가의 정부는 여러 가지 다양한 단지를 포함한 공공시설 및 도로, 철도, 터널 등과 같은 기반 시설에 대한 관리 책임이 있다. 민간 부문 소유인 대형 복합 건물이나 적용되었던 자산 관리는 이제 공공의 대부분 조직에서도 그 중요성을 인식하고 있다[15]. 영국 표준 기관에서 발표한 PAS 55-1[16]에서는 자산 관리를 조직의 목적을 위해 생애주기 동안 자산 및 관련 성과, 위험 및 지출을 최적으로 지속가능하게 관리하는 체계적이고 조정된 활동 및 체계로 정의한다.

이를 위해서는 구축된 자산과 관련된 모든 필수 데이터는 자산 생애주기의 모든 단계에서 추적되어야 한다. 그러나, 건설 프로젝트는 서로 다른 지리적 위치에 분산되어 있는 관련된 회사가 상당히 많고 공급망 프로세스가 복잡하므로 각 단계에서 제대로 된 자산 데이터를 수집하는 것이 어렵다[17].

블록체인은 P2P 네트워크에서 다른 조직에서 가져온 구성원의 모든 데이터를 손실되지 않도록 보호하고 단일 블록체인 네트워크 구축이 가능하게 한다. 따라서, 블록체인 기반 건설 자산관리 시스템은 자산 생애주기 전반에 걸쳐 필요한 모든 데이터에 액세스할 수 있으며 문제를 최소화하면서 더 나은 자산 생애주기를 제공한다[18].

2. Construction management

건설 프로젝트에는 많은 관련 작업자와 조직이 참여한다. 프로젝트의 복잡성은 전문가 및 조직 간의 문제로 인한 정보의 단편화로 이어진다. 이는 정보의 신뢰, 공유 및 프로세스 관리와 관련된 문제로 건설 사업 관리의 어려움을 초래하게 된다[19].

블록체인 기술은 이러한 정보의 신뢰, 불변성, 정확성, 보안 및 투명성을 가능하게 하여 건설 사업 관리 문제를 해결할 수 있다. 예를 들어, 건설사업에서 건설 도면은 여러 단계에서 수정될 수 있으며 모든 작업자들에게 이를 알릴 수 있어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Hewavitharana et al.[20]은 스마트계약이 가능한 블록체인 시스템을 제안하여 각 당사자에게 업데이트된 최신 건축/구조/서비스 도면 정보를 제공하는 플랫폼을 제안하였다.

3. BIM management

BIM(building information modelling)은 건설 작업자가 건설 프로젝트를 다차원 디지털 모델로 시뮬레이션하고 프로젝트 설계부터 유지관리까지 일관된 흐름으로 다양한 이점을 제공하기 위해 사용하는 프로세스이다[21]. 원료 수송과 조달·납품 등 건설사업 과정에서 발생하는 건설 공급망(construction supply chain)은 이러한 BIM과 별도로 취급되며, 이는 BIM를 통한 건설사업을 진행할지라도 최종 건설 품질에 영향을 미친다. 따라서, 건설 공급망과 BIM과의 통합은 설계, 시공 후 유지관리 단계까지 건설 프로세스 활동 및 데이터를 개선하는 데 필요하다[22, 23].

건설공급망은 일반적으로 일회성 프로젝트를 수행하기 위해 일시적으로 모여 사업을 진행하기 때문에 데이터의 투명성에 문제가 발생할 여지가 있다. 따라서, 건설공급망과 BIM과의 통합을 위해 건설공급망 운영에 블록체인을 활용하면 투명성 문제를 극복하고 더 나은 건설 프로젝트의 생애주기 전반에 걸친 통합을 구축할 수 있다. 이와 관련하여 기술 스타트업인 BIMCHAIN[24]은 BIM과 블록체인을 통합하여 프로젝트 작업자의 디지털 서명으로 유효성 검사를 통한 공유 문서 처리 플랫폼을 구축하였다. 또한, 개발한 스마트 계약 지원 플랫폼을 구축하여 일관성 증명, 게시 및 승인 과정이 강화된 블록체인 기반의 자동 과금을 지원하고 BIM 모델을 검증하였다[25].

4. Building maintenance system

건물의 운영 단계에서 예방 유지 보수 및 계획된 유지 보수는 안전과 거주자 만족도에서 중요한 역할을 한다. 자동화된 블록체인 지원 시스템[26]에서는 건물의 유지관리 절차를 모니터링이 가능하다. 또한, 유지 보수 요청, 조달 프로세스, 제품 배송, 결제 등 스마트 계약을 통해 쉽고 정확하게 관리 할 수 있다.

블록체인을 통해 제공되는 투명성으로 인해 입주자 및 기타 모든 당사자는 작업 시작부터 완료까지 유지보수 요청 상태를 알 수 있다. 이를 통해 유지 관리 관리자는 주어진 시간에 누가 건물 구성 요소를 어떤 비용으로 공급하고 설치했는지 확인할 수 있다.

5. Energy management

분산 원장 기술은 개별 생산자와 소비자 간에 로컬 그리드 수준에서 에너지를 거래하는 데 사용할 수 있다[27]. 태양광 패널 및 기타 녹색 에너지원 등 에너지 생성을 위해 에너지 생산자와 소비자가 투명성, 추적성 등 여러 가지 이점을 위해 블록체인을 사용하여 에너지를 모으고 교환한다.

Power Ledger[28]은 전 세계 커뮤니티에 최첨단 블록체인 에너지 기반 솔루션을 제공한다. 현재 파워릿저(Power Ledger)는 태국에서 재생에너지 사업을 수행하는 선도 기업인 BCPG와 함께 태국 방콕의 T77 도시 구역에서 세계 최초 P2P(Peer-to-Peer) 재생에너지 거래 시범 사업을 진행하고 있다[29]. Power Ledger는 18m 거점에 걸쳐 블록체인 기술을 활용하여 참가자 간의 에너지 거래를 모니터링하는 동시에 P2P 거래를 지원하고 궁극적으로 개별 참가자의 거래 상태를 평가한다.

6. Water trading

물 거래는 일반적으로 투명성 문제 때문에 자체 프로세스와 규칙을 가지고 통제하는 정부 기관에 의해 사용자가 수요와 공급에 따라 수자원을 사고 팔 수 있도록 관리한다.[30]. 블록체인 기반 물 거래는 중개자를 제외한 물 공급자와 구매자를 직접 연결하고 스마트 계약 기반 거래를 제공한다. 미국 수처리 기술 제공업체인 OriginClear[31]은 스마트 계약 및 암호화폐를 사용하여 수처리에서 투명성과 효율성을 창출하는 것을 목표로 하는 WaterChain이라는 블록체인 프로토콜을 개발하였다[32].

Pee et al.[32]은 프라이빗 블록체인 기반의 스마트 계약을 활용하여 경량 P2P 물 거래 시스템을 제안하였다. 모든 물 거래는 소비자에게 물 공급 시 판매업자에게 실시간으로 지불을 보장하는 스마트 계약에 의해 결정된다. 물 흐름 센서에 의한 스마트 계약 및 측정은 참여 노드에 의한 분산 방식의 디지털 서명, 해싱 및 합의를 통해 불변성과 투명성을 보장한다.

7. Waste management

건설업에서 발생하는 폐기물은 환경에 직접적인 악영향을 미치는 세계적인 문제로 인식되고 있다[33]. 따라서, 적절한 폐기물 관리가 중요해졌으며, 건설 및 철거 폐기물의 정확한 산정은 폐기물 관리 시스템을 구현하는 데 중요한 요소 중 하나이다[34]. 건설 및 철거 폐기물은 현재 필요악으로 취급되고 있지만 본질적으로 건설 과정의 부산물이다. 이러한 폐기물은 필요에 따라 때로는 거래되고 재활용된다. França et al.[35]에서는 이더리움 블록체인 기술을 활용하여 고품 폐기물을 자원으로 처리하는 폐기물 관리 시스템을 개발하였다. 또한, Ratnasabapathy et al. [46]에서는 모니터링 및 추적을 위해 스마트 기술을 활용하여 정확한 폐기물 추정 및 관리 관행을 개선하는 솔루션을 제공한다[36].

앞서 설명한 일곱 가지 사례를 요약하면 아래 Table 1과 같다. 건설 분야는 하나의 프로젝트를 진행하는데 장기간에 걸쳐 수많은 참여 기업과 인력들이 수시로 변경이 된다는 특징이 있다. 이러한 특징은 관리 측면에서 상당히 어려움을 줄 수 있는 문제이지만 반면에 블록체인을 적용하여 블록체인의 장점을 극대화할 수 있는 좋은 사례라 점에서 시사하는 바가 크다.

물론 실제 건설 분야에 블록체인을 적용하기까지는 해결해야 할 많은 문제점들이 있다. 특히, 건설 사업에서 블록체인을 적용하기 위해서는 건설사업의 정보화가 필수적이다. 즉, 건설 생애주기에서 발생하는 모든 정보들이 오프라인이 아니라 온라인 상에서 공유가 가능해야 하며 이러한 정보들은 모두 디지털화되어 있어야 한다. 또한, 건설 정보 특성상 그 용량이 대단히 크므로 대용량 정보를 효과적으로 처리할 수 있는 블록체인 기술에 관한 많은 연구가 지속될 필요성이 있다.

Table 1. Summary of blockchain use cases in construction

Category	Description
Asset management	Tracking all essential data and information related to an asset at every stage of the asset lifecycle
Construction management	Resolving the fragmentation of information caused by problems between experts and organizations
BIM management	Improving the construction process activities and the data for facilities management during the design, operation and post-construction stages by integrating of the construction supply chain with BIM
Building maintenance system	managing maintenance requests, procurement process, delivery of products, payments through smart contract easily and accurately
Energy management	Trading energy at the local grid level between individual producers and consumers using distributed ledger technologies
Water trading	Creating transparency and efficiency in the water treatment with the usage of smart contracts and cryptocurrency
Waste management	Improving the accurate waste estimation and management practices towards achieving sustainability in construction projects

IV. Conclusions

본 연구는 건설 분야에서 블록체인 기술을 활용한 사례들을 살펴보고 시사점을 도출하였다. 위 사례에서 살펴본 바와 같이 블록체인은 자산관리, 건설관리, BIM 정보처리, 에너지, 물 거래, 폐기물 등 데이터의 신뢰성이 중요한 정보의 정확성, 투명성, 보안성, 안전성을 위한 목적으로 다양한 건설 분야에 활용되고 있다. 블록체인을 활용함으로써 건설 분야의 특징이라고 할 수 있는 임시적이고 다수의 기관이 함께 함으로 발생할 수 있는 정보의 중복성 및 부정확성 등의 문제를 해결하는데 들어가는 비용을 절감할 수 있으며, 정보의 보안성 및 투명성을 제공함으로써 특정이해관계자들의 불공정 행동을 막는 역할을 할 수 있다. 또한, 이러한 서비스를 통해 모든 작업자가 혜택을 받을 수 있는 건설 분야의 비즈니스 모델 설계가 가능하여 블록체인 기반의 새로운 건설 서비스 및 비즈니스 모델의 가능성을 보여주고 있다.

블록체인은 건설 프로세스를 바꿀 엄청난 잠재력을 가진 기술이다. 건설 및 건설 환경을 위해 블록체인의 활용 서비스들을 탐색하는 것은 무엇보다 중요해 보인다. 또한, 세계화 및 디지털화는 건설 산업이 디지털화 프로세스를 발전시켜 산업을 보다 효과적이고 효율적으로 만들도록 촉구하고 있다. 따라서, 향후 연구로는 건설 생애주기에서 발생하는 정보들의 디지털화 연구와 대용량 데이터를 효과적으로 처리할 수 있는 블록체인 연구가 필요하겠다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Grant 21CTAP-C164355-01).

REFERENCES

- [1] S.-H. Park, U.-J. Jo, and G.-E. Son, Blockchain principles and implementation, Wikibooks, 2019(In Korean).
- [2] S. Nakamoto "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," 2008. Retrieved from <http://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [3] Y.-R. Suh, S.-H. Park, D.-J. Choi, and J.-W. Lee "Block chain security issues and the latest robust blockchain technology," Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 38, No. 7, pp. 14-18, July 2020(In Korean).
- [4] D. Yaga, P. Mell, N. Roby, and K. Scarfone, "Blockchain technology overview," National Institute of Standards and Technology Internal Report 8202, 2018.
- [5] O. Bermeo-Almeida, M. Cardenas-Rodriguez, T. Samaniego-Cobo, E. Ferruzola-Gómez, R. Cabezas-Cabezas, and W. Bazán-Vera, "Blockchain in agriculture: A systematic literature review," the International Conference on Technologies and Innovation, Springer, pp. 44-56, Oct. 2018. DOI: 10.1007/978-3-030-00940-3_4
- [6] M. A. Ferrag, L. Shu, X. Yang, A. Derhab, and L. Maglaras, "Security and privacy for green IoT based agriculture review blockchain solutions and challenges," IEEE Access Vol. 8, No. 1, pp. 32031 - 32053, Feb. 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973178
- [7] T. Alharbi, "Deployment of blockchain technology in software defined networks: A survey," IEEE Access Vol. 8, No. 1, pp. 9146-9156, Jan. 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2964751
- [8] I. Konstantinidis, G. Siaminos, C. Timplalexis, P. Zervas, V. Peristeras, and S. Decker, "Blockchain for business applications: A systematic literature review," the International Conference on Business Information Systems. Springer, pp. 384-399, July 2018. DOI:10.1007/978-3-319-93931-5_28
- [9] J. Xie, H. Tang, T. Huang, F. R. Yu, R. Xie, J. Liu, and Y. Liu, "A survey of blockchain technology applied to smart cities: Research issues and challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials Vol. 21, No. 3, pp. 2794-2830, Feb. 2019. DOI: 10.1109/COMST.2019.2899617
- [10] T. Alladi, V. Chamola, J. J.P.C. Rodrigues, and S. A. Kozlov, "Blockchain in smart grids: A review on different use cases," Sensors Vol. 19, No. 22, pp. 4862-4886, Nov. 2019.
- [11] A. Aderibole, A. Aljarwan, M. Habib U. Rehman, H. H. Zeineldin, T. Mezher, K. Salah, E. Damiani, and D. Svetinovic, "Blockchain technology for smart grids: Decentralized NIST conceptual model," IEEE Access, Vol. 8, No. 2, pp. 43177-43190, Feb. 2020. DOI: 10.1109/ ACCESS.2020.2977149
- [12] H. Huang, J. Lin, B. Zheng, Z. Zheng, and J. Bian, "When blockchain meets distributed file systems: An overview, challenges, and open issues," IEEE Access Vol. 8, No. 3, pp. 50574-50586, Mar. 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2979881
- [13] M. Torqy, T. Gaber, and A. E. Hassanien, "Blockchain in space industry: Challenges and solutions," arXiv preprint arXiv:2002.12878, Feb. 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2002.12878
- [14] D. Nguyen, M. Ding, P. N. Pathirana, and A. Seneviratne, "Blockchain and AI-based solutions to combat Coronavirus (COVID-19)-like epidemics: A survey," IEEE Access Vol. 9, No. 6, pp. 95730-95753, June 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3093633
- [15] P. Perera, S. Nanayakkara, and A. Perera, "Application of proper

- asset management methodology and technology," *Int. J. Comput. Sci. Technol.* 5, pp. 33-41, Jan. 2014.
- [16] British Standards Institution, "PAS 55-1: 2008, part 1: specification for the optimized management of physical assets," British Standards Institution, 2008.
- [17] L.L. Butkovic, A.G. Kauric, and J. Mikulic, "Supply chain management in the construction industry-a literature review," *International OFEL Conference on Governance, Management and Entrepreneurship*, p. 798, Apr. 2016.
- [18] J. Wang, P. Wu, X. Wang, and W. Shou, "The outlook of blockchain technology for construction engineering management," *Frontiers Of Engineering Management*, Vol. 4 No. 1, pp. 67-75, Jan. 2017. DOI: 10.15302/J-FEM-2017006
- [19] M. Nawi, M. Nasrun, N.H. Baluch, and A.Y. Bahaudin, "Impact of fragmentation issue in construction industry: an overview," *MATEC Web of Conferences*, 15 EDP Sciences, p. 1009, Sept. 2014. DOI: 10.1051/mateconf/20141501009
- [20] T. Hewavitharana, S. Nanayakkara, and S. Perera, "Blockchain as a project management platform," Presented at the World Construction Symposium, Sri Lanka, 2019.
- [21] J. Fountain, S. Langar, "Building Information Modeling (BIM) outsourcing among general contractors," *Automat. Construct.*, Vol. 95, pp. 107-117, Nov. 2018. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.06.009
- [22] A. A. Hijazi, S. Perera, A. Alashwal, and R.N. Calheiros, "Blockchain adoption in construction supply chain: a review of studies across multiple sectors," the CIB World Building Congress, Hong Kong, 2019.
- [23] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, "Building information modeling (BIM) for existing buildings-Literature review and future needs," *Automat. Construct.*, Vol. 38, pp. 109-127, Mar. 2014. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023
- [24] BIMCHAIN, <https://bimchain.io/>.
- [25] B. Nguyen et al., "Blockchain and the built environment," Arup Group Limited, London, 2019.
- [26] S. Nanayakkara, S. Perera, H.M.N.D. Bandara, G.T. Weerasuriya, and J. Ayoub, "Blockchain technology and its potential for the construction industry," the AUBEA Conference, Australia, pp. 662-672, Nov. 2019.
- [27] E.B. Hamida, K.L. Brousmiche, H. Levard, and E. Thea, "Blockchain for enterprise: overview, opportunities and challenges," the Thirteenth International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2017), Nice, France, July 2017.
- [28] Power Ledger, <https://www.powerledger.io/>
- [29] P. Ledger, "Power ledger P2P platform goes across the meter with BCPG at T77 Precinct, Bangkok," Medium. <https://medium.com/power-ledger/power-ledgerp2p-platform-goes-across-the-meter-with-bcpg-at-t77-precinct-bangkok62df5aba3d0a>.
- [30] E. M. Dogo, A. F. Salami, N. I. Nwulu, and C. O. Aigbavboa, "Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System," *Artificial Intelligence in IoT (Transactions on Computational Science and Computational Intelligence)*, Springer, pp. 129-150, Feb. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-04110-6_7
- [31] OriginClear, <https://www.originclear.com/>
- [32] S.J. Pee, J.H. Nans, and J.W. Jans, "A simple block chain-based peer-to-peer water trading system leveraging smart contracts," the International Conference on Internet Computing (ICOMP), pp. 63-68, July 2018.
- [33] J. Won and J.C. Cheng, "Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization," *Automat. Construct.*, Vol. 79, pp. 3-18, July 2017. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.02.002
- [34] Y. Li, X. Zhang, G. Ding, and Z. Feng, "Developing a quantitative construction waste estimation model for building construction projects," *Resour. Conservat. Recycl.*, Vol. 106, pp. 9-20, Jan. 2016. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.11.001
- [35] A.S.L. França, J. Amato Neto, R.F. Gonçalves, and C.M.V.B. Almeida, "Proposing the use of blockchain to improve the solid waste management in small municipalities," *Journal of Cleaner Production*, Vol. 244, pp. 1-8, Jan. 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118529
- [36] S. Ratnasabapathy, S. Perera, A.M. Alashwal, and O. Lord, "Assessment of waste generation and diversion rates in residential construction projects in Australia," the CIB World Building Congress, Hong Kong, pp. 238-247, June 2019.

Authors



Bum-Soo Kim received his Ph. D. (2013) degrees in computer science from Kangwon National University. From 2013 to 2017, he was a postdoctoral researcher in KAIST (2013 and 2015), Kangwon National University (2014),

Korea University (2016-2017), and KICT (2017-2020). He is currently a senior researcher in Department of Future & Smart Construction Research from KICT. His research interests include time-series data mining, construction bigdata analysis, blockchain and AI.



Seong-Jin Kim received his B.S., M.S. degree in Industrial Engineering from Keimyung University, Korea in 1995 and 2001, respectively. He has been working in KICT since 2001. He is currently a Senior research-

er at KICT. He is in charge of development of Construction CALS Project. He is interested in Electronic Document, Blockchain and Construction Information System.



Do-Young Kim received the Ph.D. degrees in architectural planning from Sungkyunkwan University, Korea, in 2018. Research areas include BIM, generative design, and smart construction -based regulatory improvement.

Kim joined the Department of Architectural Planning at Sungkyunkwan University, Suwon, Korea, in 2010. She is currently a postdoctoral researcher in the Department of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering (KICT). She is interested in 3D scanning, AI, and IoT.