

논문 2025-1-4 <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2025.03.04>

Hyperledger Fabric 환경에서의 NFT와 DID 통합을 위한 이벤트 기반 접근 방식에 관한 연구

노창현*, 신동명*†

A Study on NFT and DID Integration Using Event Mechanism in Hyperledger Fabric

ChangHyun Roh*, Dong-Myung Shin*†

요 약

NFT는 디지털 자산의 소유권을 나타내는 데 효과적이지만, 자체적으로는 신원 인증 기능이 부족하다. 이러한 한계를 극복하기 위해 NFT와 DID의 통합이 블록체인 기술의 주요 발전 방향으로 대두되고 있다. 기업들은 블록체인 네트워크와 모듈식 아키텍처를 활용하여 디지털 자산 관리, 신원 확인, 의료 데이터 보안 등 다양한 산업 분야에서 NFT와 DID를 결합한 솔루션을 개발하고 있지만, 이러한 통합 과정에서 여러 기술적 과제가 제기되고 있다. 특히, 대규모 트랜잭션 처리 시 성능 저하, 다른 블록체인 네트워크와의 연동 어려움, 다양한 기술 스택으로 인한 개발 및 운영의 복잡성, 그리고 민감한 정보의 보호와 접근제어의 균형 유지가 중요한 과제로 지적되고 있다.

이를 해결하기 위해 본 논문에서는 대규모 트랜잭션 처리가 가능하고 정보보호와 접근제어가 가능한 Hyperledger Fabric 블록체인 환경에서 이벤트 기반 접근으로 운영을 단순하게 하는 방법을 연구하고자 한다. Fabric 환경에서 NFT와 DID의 통합은 더욱 안전하고 효율적인 디지털 자산 및 신원 관리 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract

NFTs effectively represent digital asset ownership but lack inherent identity authentication capabilities. To address this, integrating NFTs with DIDs has emerged as a key direction in blockchain technology development. While enterprises are leveraging blockchain networks to combine NFTs and DIDs across various sectors, this integration process faces several technical challenges. These challenges include performance issues during high-volume transactions, interoperability difficulties with other blockchain networks, development and operational complexities due to diverse technology stacks, and the need to balance information protection with access control.

This paper proposes to investigate an event-driven approach within the Hyperledger Fabric environment to address these issues. Fabric offers capabilities for large-scale transaction processing, information protection, and access control while potentially simplifying operations. The integration of NFTs and DIDs within Fabric is expected to enable more secure and efficient digital asset and identity management systems.

한글키워드 : 블록체인, 하이퍼레저 패브릭, 대체 불가능한 토큰, 분산 식별자

keywords : Blockchain, Hyperledger Fabric, Non-Fungible Token, Decentralized Identifier

* 엘에스웨어(주) 소프트웨어연구소 연구개발본부 접수일자: 2025.03.01. 심사완료: 2025.03.13.
† 교신저자: 신동명(email: roland@lsware.com) 게재확정: 2025.03.20.

1. 서론

1.1 연구 배경

블록체인 기술의 발전과 함께 Non-Fungible Token(NFT)과 Decentralized Identifier(DID)가 디지털 경제의 핵심 요소로 부상하고 있다. NFT는 디지털 자산의 고유성과 소유권을 나타내는데 효과적인 수단으로 인정받고 있으며, 예술, 게임, 부동산 등 다양한 분야에서 활용되고 있다 [1]. 한편, DID는 개인의 신원을 안전하게 관리하고 검증할 수 있는 혁신적인 방법을 제공한다.

그러나 NFT는 자체적으로 신원 인증 기능이 부족하다는 한계점을 가지고 있다[2]. 이는 디지털 자산의 소유권과 사용자의 신원을 연결하는데 있어 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 맥락에서 NFT와 DID의 통합은 블록체인 기술의 주요 발전 방향으로 주목받고 있다.

기업들은 이러한 NFT·DID 통합을 위해 그림 1처럼 블록체인을 활용하여 다양한 산업 분야에서 솔루션을 개발하고 있다. 그러나 이 과정에서 여러 기술적 과제가 제기되고 있다[3]. 특히 대규모 트랜잭션 처리 시 성능 저하, 다른 블록체인 네트워크와의 연동 어려움, 개발 및 운영의 복잡성, 그리고 정보보호와 접근제어의 균형 유지 등이 주요 문제로 지적되고 있다.

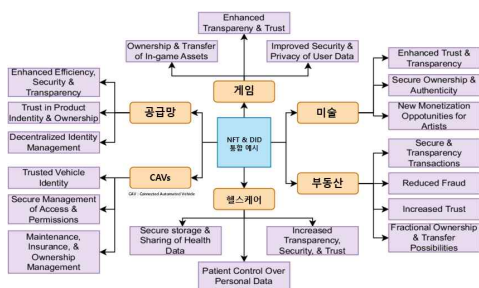


그림 1. NFT·DID 통합 예시

Fig 1. NFT·DID integration Use cases

이러한 기술적 과제들을 해결하지 않으면 NFT와 DID의 통합이 제공할 수 있는 잠재적 이점을 충분히 실현하기 어려울 것이다. 따라서 이들 문제에 대한 효과적인 해결책을 모색하는 것이 시급하다. 특히 확장성, 상호운용성, 보안성을 동시에 확보할 방안을 연구하고 개발하는 것이 블록체인 기술의 지속적인 발전과 실용화를 위해 필수적이다.

1.2 연구 목적 및 범위

본 연구의 주요 목적은 NFT와 DID의 효과적인 통합을 위한 방안을 제시하는 것이다. 특히, Hyperledger Fabric 블록체인 환경에서 이벤트 기반 접근 방식을 통해 이러한 통합을 실현하고, 앞서 언급한 기술적 과제들을 해결하고자 한다.

구체적인 연구 목표는 다음과 같다.

1. NFT와 DID 통합의 필요성과 현재의 기술적 한계점을 분석한다.
2. Hyperledger Fabric의 특성을 활용하여 대규모 트랜잭션 처리, 정보보호, 접근제어 등의 문제를 해결하는 방식을 제시한다.
3. 기존 NFT 마켓플레이스와 본 연구에서 제안하는 방식을 다음 세 가지 측면에서 비교 분석한다:
 - 사용자 인증: 기존 NFT 시장의 다중 인증 및 신원 검증과 DID 기반 인증 방식의 차이점을 비교한다.
 - NFT 발행: 기존의 NFT 발행(minting) 프로세스에서의 스마트컨트랙트와 토큰 메타데이터 검증 방식의 차이점을 비교한다.
 - NFT 거래: 기존 마켓플레이스의 거래 방식과 이벤트 기반 접근 방식을 통한 NFT 거래 프로세스의 차이를 분석한다.

제안된 방식의 이점과 잠재적 한계점을 평가하고, 향후 연구 방향을 제시한다.

본 연구는 NFT와 DID의 통합에 초점을 맞추고 있으며, 특히 Hyperledger Fabric 환경에서의 구현 가능성에 중점을 둔다. 이를 통해 더욱 안전하고 효율적인 디지털 자산 및 신원 관리 시스템의 구축 방안을 모색하고자 한다.

2. 배경지식

2.1 NFT(Non-Fungible Token)

NFT(Non-Fungible Token)는 블록체인 기술을 기반으로 한 고유한 디지털 자산을 나타내는 토큰이다[4]. NFT의 주요 특징으로는 고유성, 불변성, 소유권 증명, 분할 불가능성이 있다. 각 NFT는 고유한 식별자를 가지고 있어 서로 대체할 수 없으며, 블록체인에 기록된 NFT 정보는 무단으로 변경할 수 없다. 또한 NFT는 디지털 자산의 소유권을 명확히 증명할 수 있고, 일반적으로 나눌 수 없는 단일 단위로 존재한다.

NFT 마켓플레이스는 그림 2와 같이 NFT를 거래할 수 있는 온라인 플랫폼이다. 이 플랫폼은 사용자가 NFT를 발견하고, 구매하고, 판매하고, 교환할 수 있는 공간을 제공한다[5]. NFT 마켓플레이스의 주요 기능은 다음과 같다.

- 사용자 등록 및 디지털 지갑 설정: 사용자는 계정을 만들고 NFT 거래를 위한 디지털 지갑을 연결해야 함
- NFT 생성 및 관리: 창작자들은 직접 디지털 자산을 NFT로 발행할 수 있음
- 거래 기능: 사용자들은 고정가격 판매나 경매 방식으로 NFT를 사고팔 수 있음
- 검색 및 필터링: 사용자들이 원하는 NFT를 쉽게 찾을 수 있도록 다양한 검색 옵션을 제공해야 함

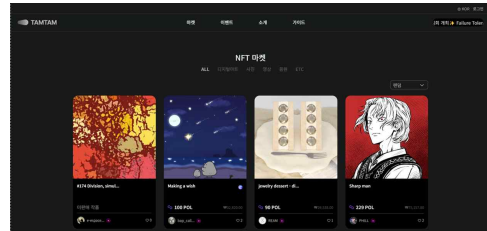


그림 2. NFT 마켓플레이스
Fig 2. NFT Marketplace

NFT 마켓플레이스는 중앙화된 방식과 탈중앙화된 방식으로 운영될 수 있다. 중앙화된 마켓플레이스는 플랫폼 운영자가 거래를 관리하는 반면, 탈중앙화 마켓은 블록체인 기술을 활용하여 P2P 거래를 가능하게 한다. 이러한 마켓은 NFT 생태계에서 중요한 역할을 하며, 디지털 자산의 가치 창출과 거래를 촉진하고 있다.

2.2 DID(Decentralized Identifier)

DID(Decentralized Identifier)는 W3C에서 정의한 새로운 형태의 식별자로, 검증 가능하고 탈중앙화된 디지털 신원을 위해 설계되었다[6]. DID의 주요 특징은 탈중앙화, 자기 주권 신원, 검증 가능성, 상호운용성, 지속성 등이다. DID는 중앙 기관의 개입 없이 개인이나 조직이 자신의 디지털 신원을 생성하고 관리할 수 있게 해준다.

DID의 구조는 그림 3처럼 'did:method:method-specific-id' 형태를 가지며, DID 문서에는 공개 키, 인증 방법, 서비스 엔드포인트 등 DID 주체에 대한 메타데이터가 포함된다[7].

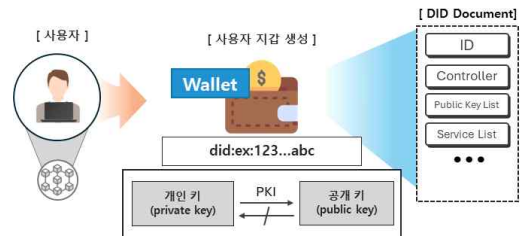


그림 3. DID 개념도
Fig 3. DID Concept Diagram

DID의 활용 분야는 디지털 신원 관리, 접근 제어, 데이터 프라이버시 보호, 전자 서명, 탈중앙화 금융(DeFi) 등 다양하다. 현재 서비스 중인 주요 DID 솔루션으로는 다음과 같은 것들이 있다 [8][9].

1. Sovrin: 자기 주권 신원을 제공하는 글로벌 공공 유틸리티로, W3C 표준을 따르는 상호 운용 가능한 분산형 식별자와 검증 가능한 자격 증명을 지원한다. 정부 서비스 신원 확인, 국경 간 금융 거래 규정 준수, 분산형 의료 신원 관리 등에 활용된다.
2. uPort: 자기 주권 신원을 생성하고 개인 정보를 안전하게 관리할 수 있는 플랫폼이다. 사용자가 분산 애플리케이션과 상호 작용하면서 데이터 제어권을 유지할 수 있게 해준다. 주요 특징으로는 신원 이식성, 데이터 프라이버시, 블록체인 통합 등이 있으며, 분산 투표 시스템, 전자상거래 플랫폼의 신원 확인, 교육 자격 증명 관리 등에 사용된다.

이러한 DID 솔루션들은 개인 정보 보호와 데이터 주권을 강화하면서 디지털 신원 관리의 미래를 선도하고 있다. 향후 DID 기술은 더욱 발전하여 국가 간 신원 확인, 금융 서비스 접근, 의료 정보 관리 등 다양한 분야에서 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

2.3 Hyperledger Fabric

Hyperledger Fabric은 기업용 블록체인 솔루션을 위한 오픈소스 프레임워크이다[10]. 주요 특징으로는 허가형 네트워크, 모듈식 아키텍처, 스마트컨트랙트 지원, 확장성이 있다. 참여자의 신원이 확인된 비공개 네트워크를 구성할 수 있으며, 다양한 구성 요소를 플러그인 방식으로 사용

할 수 있다. 또한 체인코드라 불리는 스마트컨트랙트를 실행할 수 있고, 채널 기능을 통해 네트워크 트래픽과 데이터 프라이버시를 관리할 수 있다[11].

이러한 기술들은 디지털 경제에서 중요한 역할을 하고 있으며, 특히 NFT와 DID의 통합은 디지털 자산의 소유권과 신원 관리에 혁신을 가져올 것으로 기대된다. Hyperledger Fabric은 이러한 기술들을 기업 환경에 적용하는 데 있어 중요한 플랫폼으로 자리잡고 있다.

3. 관련 연구

3.1 Public 블록체인의 한계점

Public 블록체인은 표 1처럼 Private 블록체인에 비해 여러 가지 한계점을 가지고 있다. 첫째로, 많은 사용자가 트랜잭션을 처리할 때 네트워크가 혼잡해지고, 처리 비용이 급등하는 현상이 발생하며, 분산 거버넌스 모델은 합의 방식에 관한 결정 시 분열을 초래할 수 있다. 예를 들어, 이더리움의 해킹 사건 이후 하드 포크가 발생하여 이더리움 클래식이 생겨나기도 했다.

게다가, 모든 트랜잭션이 공개적으로 기록되어 프라이버시가 침해될 수 있다. 블록체인 주소가 가명으로 사용되지만, 분석을 통해 실제 신원과 연결될 수 있는 문제가 발생한다. 마지막으로 Public 블록체인 환경에서 주로 사용되는 Proof-of-Work(PoW) 등의 합의 알고리즘은 많은 에너지를 소모하여 환경에 부정적인 영향을 끼친다.

표 1. 공개형 및 폐쇄형 블록체인 비교
Table 1. Comparing Public and Private Blockchains

특징	Public	Private
접근성	공개적	제한적
확장성	낮은 처리속도	빠른 처리속도
프라이버시	공개적 문제	데이터 보안
거버넌스	분산 거버넌스	중앙화

표 2. NFT 마켓플레이스의 문제점
Table 2. Problems with NFT Marketplaces

특징	Opensea	Axie Infinity	Crypto Punks	Rarible	Superare	Foun Dation
신원검증	X	X	X	X	X	X
이중 인증 절차	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
메타데이터 검증	X	O	X	X	O	X
스마트컨트랙트 검증	X	N/A	N/A	X	N/A	N/A

3.2 NFT 마켓플레이스의 한계점

현재 NFT 마켓플레이스는 몇 가지 중요한 한계점을 가지고 있다[12].

첫째, 신원인증 기능이 부족하여 사용자의 실제 신원을 확인하기 어렵다. 이는 거래 신뢰성을 저하시키고 사기나 위조의 위험을 증가시킨다.

둘째, 저작권 보호 메커니즘이 미흡하여 디지털 자산의 무단 복제와 사용을 효과적으로 방지하기 어렵다. 이로 인해 창작자의 권리가 충분히 보호받지 못하고 있다.

셋째, 보안 위협에 취약하다. 해킹이나 사이버 공격으로 인한 자산 손실의 위험이 존재하며, 개인정보 유출의 가능성도 있다.

표 2와 같이 Public 블록체인 기반 탈중앙화 마켓은 신원검증, 메타데이터 검증, 스마트컨트랙트 검증 등 여러 한계점을 보이고 있으며, 이는 NFT 마켓플레이스의 신뢰성과 안정성을 저해하는 요인으로 작용하고 있다[13].

3.3 DID를 통한 보완 가능성

DID(Decentralized Identifier)는 NFT 마켓플레이스의 주요 한계점을 효과적으로 보완할 수 있는 잠재력을 가지고 있다[14]. 먼저, DID는 강력한 신원 인증 방식을 제공하여 사용자의 실제 신원을 안전하게 확인하고 관리할 수 있게 한다.

이를 통해 NFT 거래의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다. 또한, DID를 활용하여 창작자의 신원을 명확히 하고 이를 NFT와 연계함으로써 저

작권 보호를 강화할 수 있다. 이는 디지털 자산의 무단 복제와 사용을 방지하는 데 도움을 줄 수 있다. 보안 측면에서도 DID는 사용자가 자신의 신원 정보를 직접 통제할 수 있게 함으로써 개인정보보호와 데이터 주권을 강화한다[15].

이러한 DID의 특성들은 NFT 마켓플레이스의 보안을 향상시키고 해킹이나 사이버 공격의 위험을 줄이는 데 기여할 수 있다. 결과적으로, DID와 NFT의 통합은 더욱 안전하고 신뢰할 수 있는 디지털 자산 거래 환경을 조성할 수 있는 가능성을 제시한다.

3.4 NFT와 DID 통합 연구 동향

NFT와 DID 통합에 관한 연구는 다양한 분야에서 활발히 진행되고 있다. 디지털 신원 관리 분야에서는 NFT를 활용하여 DID를 표현하고 관리하는 방안이 연구되고 있으며, 이를 통해 개인의 디지털 신원을 더욱 안전하고 효율적으로 관리할 가능성이 제시되고 있다[16]. 의료 데이터 관리 영역에서는 NFT와 DID를 결합하여 환자의 의료 데이터를 안전하게 저장하고 공유하는 방법이 연구되고 있으며, 이는 개인의 의료 정보 주권을 강화하고 의료 서비스의 효율성을 높일 수 있는 잠재력을 보여주고 있다[17].

지식재산권 보호 측면에서는 NFT와 DID를 통합하여 디지털 콘텐츠의 저작권을 보호하고 관리하는 연구가 진행 중이다[18]. 이는 창작자의 권리를 보호하고 공정한 보상 체계를 구축하는

데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

메타버스 환경에서의 NFT와 DID 통합 연구도 주목받고 있다[19]. 특히 교육 분야에서 분산형 신원 관리 시스템의 적용 가능성이 탐구되고 있으며, 이는 디지털 학습 환경에서의 신원 확인과 자격 증명에 혁신을 가져올 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 개인 데이터 거래를 위한 블록체인의 기반 프레임워크에 대한 연구도 진행되고 있으며, 이는 NFT와 DID를 활용하여 개인 정보의 소유권과 거래의 투명성을 보장하는 방안을 제시하고 있다[20].

이러한 연구 동향은 NFT와 DID의 통합이 디지털 자산 관리, 신원 확인, 데이터 보호 등 다양한 분야에서 혁신을 가져올 수 있음을 시사한다. 그러나 이러한 통합 과정에서 프라이버시 보호, 확장성, 상호운용성 등의 과제를 해결해야 할 필요성도 제기되고 있다.

3.5 Hyperledger Fabric의 Event Mechanism

Hyperledger Fabric의 Event Mechanism은 블록체인의 네트워크에서 실시간으로 데이터를 처리하고 반응할 수 있는 기능을 제공한다[21]. 이 메커니즘은 네트워크 내에서 발생하는 중요한 사건이나 상태 변화를 감지하고, 이를 기반으로 다양한 애플리케이션의 동작을 제어한다.

Event Mechanism은 블록체인 이벤트, 체인코드 이벤트, SDK 및 클라이언트로 구성된다. 블록체인 이벤트는 블록 생성, 트랜잭션 실행, 체인코드 설치 등과 관련이 있으며, 네트워크의 상태

변화를 실시간으로 전달한다[22]. 체인코드 이벤트는 체인코드 내에서 발생하는 특정 상태 변화나 조건을 만족할 때 발생하며, 이는 체인코드의 로직에 따라 정의된다[23]. SDK를 통해 클라이언트 애플리케이션은 블록체인 이벤트를 수신하고 처리할 수 있어, 애플리케이션의 동작을 블록체인 상태와 동기화하는 데 필수적이다.

Event Mechanism은 이벤트가 발생하는 즉시 처리하여 빠른 의사결정과 실시간 분석을 가능하게 하며, 시스템이 이벤트에 즉각적으로 반응할 수 있어 사용자 경험을 개선하고 빠른 피드백을 제공한다. 또한, 시스템의 구성 요소들이 독립적으로 확장될 수 있도록 하여 높은 트래픽이나 복잡한 워크플로우를 효과적으로 처리할 수 있다. 새로운 기능이나 구성 요소를 추가하거나 수정할 때 기존 시스템에 영향을 주지 않아, 시스템의 유연성과 적응성을 높인다.

4. Hyperledger Fabric 환경에서의 NFT와 DID 통합 모델

4.1 NFT·DID 통합 모델 개요

제안하는 NFT·DID 통합 모델에서는 프라이버시가 보장되고, 대용량의 트랜잭션 처리가 빠르게 가능하며 안정적인 유지보수가 가능한 Hyperledger Fabric 플랫폼을 기반으로 한다.

NFT와 DID를 통합한다는 개념은 그림 4와 같이 NFT 발급 시 저장되는 메타데이터 등의 정보를 기반으로 DID를 함께 발급하고 사용한다.



그림 4. 제안 방식 개념도

Fig 4. Conceptual Diagram of Proposed Method



그림 5. 시스템 구성도

Fig 5. System configuration diagram

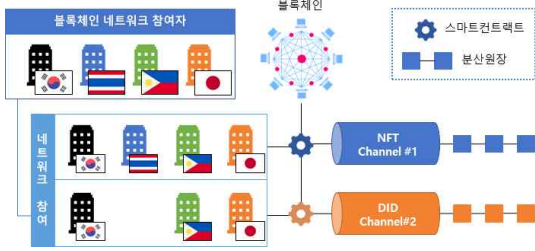


그림 6. NFT·DID 다중 채널 구성도

Fig 6. NFT·DID Multi-channel Diagram

그림 5처럼 음원, 영상, 웹툰, 그림 등 콘텐츠의 NFT 발행(Minting) 시 Event를 발생시켜 DID 스마트컨트랙트에서 Event Mechanism으로 이를 확인하고 같은 데이터로 DID를 생성하는 방식으로 구성한다.

DID와 NFT는 다른 데이터 구성을 가지기 때문에, 그림 6과 같이 NFT, DID별 채널을 구성하여 원장을 나누어 구성하였으며, 이는 트래픽을 분산하여 고속의 트랜잭션 처리가 가능하다.

4.2 NFT · DID 통합 발급 과정

NFT와 DID의 통합 발급 과정은 Hyperledger Fabric의 이벤트 메커니즘을 활용하여 실시간으로 상태 변화를 감지하고 반응하는 방식으로 진행된다. 먼저, NFT와 DID의 발급 요청이 들어오면, 체인코드 이벤트를 통해 해당 요청을 처리하는 체인코드를 실행한다. 이 체인코드는 NFT와 DID의 발급 조건을 확인하고, 조건이 충족되면 NFT와 DID를 생성하여 블록체인에 기록한다.

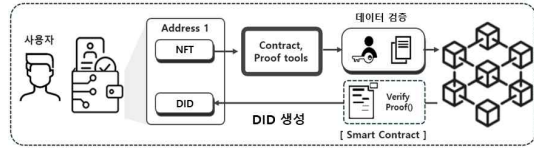


그림 7. NFT·DID 통합 발급 방식

Fig 7. NFT·DID Integrated Creation Method

NFT는 고유한 디지털 자산을 나타내며, DID는 사용자의 분산 식별자를 제공한다. 이러한 두 요소가 통합되면 그림 7처럼 사용자는 자신의 디지털 자산을 안전하게 관리하고, 이를 기반으로 다양한 서비스에 접근할 수 있다.

발급 과정에서 체인코드는 NFT와 DID의 생성을 위한 데이터를 검증하고, 이를 블록체인 네트워크에 전파하여 검증자들이 검증할 수 있도록 한다. 검증자들은 블록체인 네트워크의 노드들로, NFT와 DID의 유효성을 확인하고, 이를 블록에 포함시켜 블록체인에 기록한다.

이후, 블록체인 이벤트를 통해 NFT와 DID의 발급 상태를 실시간으로 전달하여, 관련된 애플리케이션이 이를 수신하고 처리할 수 있도록 한다. 예를 들어, 사용자가 특정 디지털 자산을 구매할 때, NFT와 DID의 발급 상태를 확인하여 해당 자산의 소유권을 안전하기 이전할 수 있다.

4.3 NFT · DID 통합 검증 과정

NFT와 DID의 통합 검증 과정은 그림 8처럼 사용자 지갑에서 통합된 VP 형식을 구성하여 NFT와 DID의 소유권이나 상태 변화를 검증할 때, 체인코드 이벤트를 통해 해당 데이터의 유효성을 확인한다. 체인코드는 블록체인에 기록된 NFT와 DID의 정보를 참조하여, 요청된 검증 조건을 충족하는지를 판단한다. 예를 들어, 사용자가 특정 서비스에 접근하려 할 때, DID를 통해 사용자의 신원과 권한을 검증하고, NFT를 통해 해당 디지털 자산의 소유권을 확인할 수 있다.

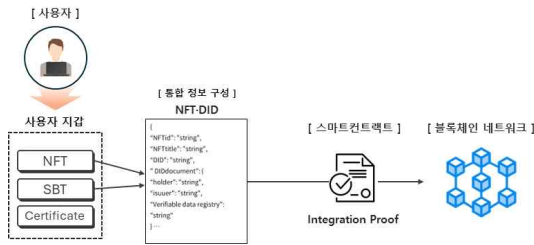


그림 8. NFT·DID 통합 검증 방식
Fig 8. NFT·DID Integrated Proof Method

검증 결과는 블록체인 이벤트를 통해 실시간으로 전달되어, 관련된 애플리케이션이 이를 수신하고 적절한 조치를 할 수 있도록 한다.

이러한 과정은 NFT와 DID의 신뢰성과 보안성을 높이고, 다양한 응용 분야에서 신뢰할 수 있는 디지털 자산 및 식별자 관리를 가능하게 한다. 예를 들어, 디지털 아트 시장에서는 NFT를 통해 작품의 소유권을 명확히 하고, DID를 통해 작가의 신원을 확인할 수 있다.

제안하는 통합 검증 과정은 디지털 자산의 가치를 보호하고, 사용자 간의 신뢰를 높이는 데 기여한다. 또한, Hyperledger Fabric의 이벤트 메커니즘을 활용하면, 이러한 검증 과정이 자동화되어 실시간으로 이루어지므로, 사용자 경험을 개선하고, 시스템의 효율성을 높일 수 있다.

5. 결론

Hyperledger Fabric의 이벤트 메커니즘을 활용한 NFT와 DID의 통합은 블록체인 기술의 활용 범위를 넓히고, 디지털 자산 및 식별자 관리의 신뢰성과 보안성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. NFT와 DID의 통합 발급 및 검증 과정은 이벤트 메커니즘을 통해 실시간으로 이루어지며, 이는 사용자 경험을 개선하고 시스템의 효율성을 높이는 데 기여할 것이다.

이 연구는 NFT와 DID의 통합을 위한 이벤트

기반 접근 방식을 제안하고, 이를 Hyperledger Fabric에서 구현하는 방법을 탐구했다. 이러한 접근 방식은 다양한 응용 분야에서 신뢰할 수 있는 디지털 자산 및 식별자 관리를 가능하게 하며, 특히 디지털 아트, 게임, 그리고 데이터 보호와 같은 분야에서 유용하게 활용될 수 있다.

향후 연구에서는 NFT와 DID의 통합을 위한 이벤트 메커니즘의 확장성과 보안성을 더욱 강화하는 방안을 모색할 필요가 있다. 또한, 실제 사용 사례를 통해 이벤트 기반 접근 방식의 효과성을 검증하고, 이를 통해 블록체인 기술의 실용성을 높이는 데 중점을 둘 필요가 있다. 이를 통해 NFT와 DID의 통합이 더욱 널리 받아들여지고, 다양한 산업 분야에서 혁신적인 솔루션으로 자리 잡을 수 있을 것이다.

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00229451, 이종 플랫폼간 상호호환이 가능한 디지털휴먼(아바타) 연동 기술), 기여율 : 100%

참고 문헌

- [1] Pineda, M., Jabba, D., & Nieto-Bernal, W., "Blockchain Architectures for the Digital Economy: Trends and Opportunities," *Sustainability*, vol. 16, no. 1, p. 442, 2024. DOI : <https://doi.org/10.3390/su16010442>
- [2] Mendonça, A. G., "Blockchain Technology and Sports: The Impact of NFTs in the Sports Industry," Master's thesis, Universidade Catolica Portuguesa, Portugal, 2022. URL : <https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/38405/1/202964671.pdf>
- [3] Park S, Lee S, & Kim K, "Design and Development Study of a Trust-based

- Decentralized User Authentication System with Enhanced Data Preprocessing Functionality in a Metaverse Environment," *Journal of Information and Security*, vol. 23, no. 4, pp. 3 - 15, 2023. URL : <https://www.earticle.net/Article/A438385>
- [4] Sangsawang, T., "Investigating the Determinants of NFT Purchase Intention: An Integrated Model Combining the Theory of Planned Behavior and Technology Acceptance Model," *Journal of Current Research in Blockchain*, vol. 1, no. 3, pp. 214 - 241, 2024. DOI : <https://doi.org/10.47738/jcrb.v1i3.19>
- [5] Won, J. H., So, H. G., & Oh, H. J., "A Study on the Characteristics of Non-Fungible Token (NFT) and Application Plans from the Digital Records Perspective: Focused on Transferable Records," *The Korean Journal of Archival Studies*, no. 73, pp. 47-79, 2022. DOI : <https://doi.org/10.20923/kjas.2022.73.047>
- [6] Bistarelli, S., Micheli, F., & Santini, F., "A Survey on Decentralized Identifier Methods for Self Sovereign Identity," *ITASEC*, 2023. URL : <https://ceur-ws.org/Vol-3488/paper05.pdf>
- [7] Mazzocca, C., Acar, A., Uluagac, S., Montanari, R., Bellavista, P., & Conti, M., "A Survey on Decentralized Identifiers and Verifiable Credentials," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2025. DOI : <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.12726.92485>
- [8] N. Naik and P. Jenkins, "Sovrin Network for Decentralized Digital Identity: Analysing a Self-Sovereign Identity System Based on Distributed Ledger Technology," 2021 *IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*, Vienna, Austria, pp. 1 - 7, 2021. DOI: <https://10.1109/ISSE51541.2021.9582551>
- [9] Naik, N., & Jenkins, P., "UPort Open-Source Identity Management System: An Assessment of Self-Sovereign Identity and User-Centric Data Platform Built on Blockchain," *Proceedings of the IEEE ISSE 2020*, pp. 1 - 7, 2020. DOI : <https://10.1109/ISSE49799.2020.9272223>.
- [10] Androulaki, E., et al., "Hyperledger Fabric: A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains," *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, Article No. 30, pp. 1 - 15, 2018. DOI : <https://doi.org/10.1145/3190508.3190538>
- [11] Nikolić, S., Zdravković, N., Franc, I., & Arivazhagan, N., "A comparison on Hyperledger consensus mechanism security and computational efficiency," *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 3529, pp. 34 - 40, 2022. URL : https://ceur-ws.org/Vol-3529/short_5.pdf
- [12] Das, D., Bose, P., Ruaro, N., Kruegel, C., & Vigna, G., "Understanding Security Issues in the NFT Ecosystem," *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS '22)*, pp. 1 - 18, 2022. DOI : 10.1145/3548606.3559342
- [13] Das, D., et al. "Understanding security issues in the NFT ecosystem." *Proceedings of the 2022 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 2022. DOI : <https://doi.org/10.1145/3548606.3559342>
- [14] Kim, D., Hong, D., Roh, C., & Shin, D., "An Integrated Authentication Study of Digital Human Identity and Ownership Using SBT and NFT," *Journal of Software Assessment and Valuation*, vol. 20, no. 1, pp. 41 - 54, 2024. DOI : <http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2024.03.04>
- [15] Xu, X., Pautasso, C., Zhu, L., Lu, Q., & Weber, I., "A Pattern Collection for Blockchain-based Applications," *Proceedings of the 23rd European Conference on Pattern Languages of*

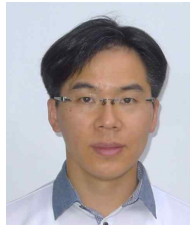
- Programs, Article No. 3, pp. 1-20, 2018. DOI : <https://10.1145/3282308.3282312>
- [16] Harris, C. G., "Challenges and Opportunities of Integrating Non-Fungible Tokens (NFTs) and Self-Sovereign AI (SSAI) in Blockchain-Based Metaverse Projects," 2024 9th International Conference on Big Data Analytics (ICBDA), Tokyo, Japan, pp. 288 - 296, 2024. DOI : [10.1109/ICBDA61153.2024.10607366](https://doi.org/10.1109/ICBDA61153.2024.10607366)
- [17] Al-Shammari, E. T., et al., "Secure Decentralized Electronic Health Records Sharing System Based on Blockchain and IPFS," Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, vol. 34, no. 8, pp. 5045 - 5058, 2022. URL : <https://ijisae.org/index.php/IJISAE/article/view/4486>
- [18] Spence, A. G., "NFTs and Intellectual Property: A New Frontier," Journal of Intellectual Property Law, vol. 29, no. 1, pp. 1 - 20, 2022. DOI : <http://dx.doi.org/10.54934/ijlcw.v2i3.65>
- [19] Prieto, J., et al., "Metaverse in Education: A Systematic Review," Educational Technology Research and Development, vol. 70, no. 3, pp. 761 - 784, 2022. DOI : <https://doi.org/10.1080/23311886.2023.2252656>
- [20] Zhang, Y., et al., "Blockchain-based Personal Data Trading Framework," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 18, no. 4, pp. 2139 - 2148, 2022. DOI : <https://10.1109/ICTC52510.2021.9621153>
- [21] Misra, S. C., et al., "Hyperledger Fabric: A Blockchain Platform for Enterprise," IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 69, no. 3, pp. 641 - 654, 2022. DOI : <https://10.1109/DSA.2019.00017>
- [22] Yang, J., Bi, H., Liang, Z., Zhou, H., & Yang, H., "A Survey on Blockchain: Architecture, Applications, Challenges, and Future Trends," 2020 International Conferences on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) and IEEE Congress on Cybermatics (Cybermatics), Rhodes, Greece, pp. 749 - 754, 2020. DOI: [10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData-Cybermatics50389.2020.00129](https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData-Cybermatics50389.2020.00129)
- [23] Mudabbir, K., Keshav, K., Rabimba, K., Lei, X., Zhimin, G., Lin, C., & Weidong, S., "An Event Driven Framework for Smart Contract Execution," ACM Proceedings, 2021. DOI : <https://doi.org/10.1145/3465480.3466924>

저 자 소 개



노창현(ChangHyun Roh)

2017.08 순천향대학교 소프트웨어공학과 졸업
2020.02 순천향대학교 컴퓨터학과 석사
2020.05-2022.02 에스지에이비엘씨(주)
컨설팅팀 사원
2022.03-현재 가천대학교 정보보호학과 박사과정
2022.12-현재 엘에스웨어(주) 소프트웨어연구소
연구개발본부 수석연구원
<주관심분야> 정보보호, CPS 보안, 블록체인,
DID, NFT, 저작권 기술, 메타버스, 디지털휴먼



신동명(Dong-Myung Shin)

2003.02 대전대학교 컴퓨터공학과 박사
2001-2006 한국정보보호진흥원
응용기술팀 선임연구원
2006-2014 한국저작권위원회
저작권기술팀 팀장
2014-2016 한국스마트그리드사업단
보안인증팀 팀장
2016-현재 엘에스웨어(주) 소프트웨어연구소
연구소장/상무이사
<주관심분야> 오픈소스 라이선스, 저작권기술,
시스템/네트워크보안, SW취약점분석·감정,
블록체인 기술, 메타버스