정 보 보 호 학 회 지
제 34 권 제1호, 2024. 2

블록체인 기반 NFT 서비스 효율적 운영 방안 연구

김 희 상*, 김 도 훈**

요 약

블록체인 기반 NFT(Non-Fungible Token)는 자산 디지털화 및 소유권을 위한 독특한 기회를 제공하면서 디지털 경제를 변화시키는 원동력으로 등장했다. 블록체인 생태계 내에서 NFT의 급속한 출현은 디지털 자산 관리 및 소유권에 있어 중요한 발전을 의미한다. 본 연구는 기술 혁신, 시장 역학 및 규제 프레임워크의 역할을 강조하면서 블록체인 기반 NFT 서비스의 운영 전략을 검토하였다. 본 연구는 기술과 시장 역학의 교차점을 강조하면서 이더리움 블록체인에서 NFT의 기술적 토대, 확장성과 상호 운용성의 과제, 다양한 시장 관행의 의미를 연구한다. 디지털 경제에서 기능을 향상하는 것에 중점을 두고 NFT 표준화, 확장성 및 사용자 참여의 과제와 기회를 조사하여 다양한 시장 애플리케이션에 맞게 NFT 플랫폼을 최적화하는 데 대한 통찰력을 제공하는 것을 목표로 한다.

Ⅰ. 서 론

NFT(Non-Fungible Tokens)의 출현은 블록체인 생태계 내에서 자산 소유권과 가치 교환의 패러다임을 재정의하면서 디지털 경제의 획기적인 발전을 의미한다[1]. 상호 교환 불가능한 속성으로 구별되는 이러한 고유한 디지털 자산은 상당한 관심과 투자를 받아 디지털 영역에서 가치가 인식되고 거래되는 방식을 재편했다. 본질적으로 NFT는 블록체인 기술 이전의 디지털 영역에서는 근본적으로 얻을 수 없는 속성인 디지털 희소성, 고유성 및 소유권 증명을 나타내는 암호화 자산이다. 각 NFT는 NFT 개발 및 거래를 위한 주요 플랫폼인 블록체인(일반적으로 Ethereum)[2,3]의 고유한 개체이다. 이더리움의 스마트 계약 기능은 NFT 생성 및 관리에 중요한 역할을 하며, 각 토큰의 고유한 속성을 인코딩할 수 있는 프로그래밍 가능하고 안전한 환경을 제공한다[4]. NFT의 독특한 판매 절차는 예술과 음악부터 가상 부동산에 이르기까지 디지털 자산에 대한 확실한 소유권을 부여하는 능력에 있다. 이 기능은 아티스트와 수집가의 관심을 사로잡았을 뿐만 아니라 디지털 콘텐츠 수익화, 게임 및 가상 경험에 새로운 길을 열었다. NFT는 물리적 자산의 유형 가치와 이전에 디지털 창작물의 무형 가치 사이의 격차를 해소하여 다재다능하고 수익성이 높은 새로운 자산 클래스를 제시하였다. 그러나 NFT의 확산은 주로 블록체인 네트워크 내 확장성과 상호 운용성과 같은 운영 문제를 야기한다. 이더리움은 이 분야를 개척하고 있지만 높은 거래량을 처리하는 데 한계가 있어 네트워크 정체와 거래 수수료 증가로 이어진다. 이 시나리오는 NFT 마켓플레이스에서 증가하는 수요와 거래 처리량을 수용할 수 있는 효율적인 운영 전략의 필요성을 강조하는 사유가 된다. 부가적으로 NFT 환경에는 규제 복잡성과 보안 문제도 존재한다. 블록체인의 분산된 특성은 투명성과 보안을 제공하는 동시에 특히 국경 간 거래 및 다양한 법적 프레임워크의 맥락에서 규제 문제를 제기한다. 특히 스마트 계약 취약성 및 자산 보관과 관련된 보안 문제로 인해 NFT 거래의 신뢰와 무결성을 보장하기 위한 강력한 운영 프로토콜이 더욱 요구된다.

본 논문을 통하여 NFT 서비스를 최적화하기 위한 전략적 솔루션을 제안하는 것을 목표로 이러한 측면에 대한 포괄적인 탐구에 착수할 수 있다. 본 연구에서는 스마트 계약 기반의 기술적 운영 방안을 탐구하고, 시장 및 규제 동향을 평가함으로써 블록체인 기반 NFT 서비스의 효율적인 운영을 위한 실행 가능한 통찰력과 프레임워크를 제공하려고 노력하는 것이다. 이를 통해 우리는 디지털 경제의 중추적 구성 요소로서 NFT의 지속 가능한 성장과 주류 기술로의 수용에 기여하는

* 경기대학교 컴퓨터과학과 (박사과정, skewed@kyonggi.ac.kr)
** 경기대학교 AI컴퓨터공학부 (조교수, karmy01@kyonggi.ac.kr)

것을 목표로 한다.

Ⅱ. 관련 연구

Nadini[5]의 연구에서는 NFT 시장 동향, 거래 네트워크 및 다양한 범주의 가격 분포를 연구하였다. NFT의 다양한 가격 및 판매 빈도에 대한 통찰력을 보여주며 시장 역학을 이해하는 데 필수적인 데이터를 제공하였다. 본 연구를 수행하며 NFT 운영의 경제적 측면과 시장 동향이 전략 계획에 미치는 영향을 참조하였다. Taherdoost[1]의 포괄적인 검토에서는 기관 환경에서의 고유성과 잠재력에 초점을 맞춰 NFT의 개발 및 적용 추세를 정리하였다. 이는 NFT의 진화하는 환경과 운영 과제를 이해하기 위해 연구와 연계될 수 있는 격차와 향후 연구 영역을 식별할 수 있다. 또 다른 연구[6]는 블록체인 및 스마트 계약의 발전, 문제 및 향후 방향을 비판적으로 검토하였다. 스마트 계약 개발에서 논의된 과제와 솔루션은 특히 보안과 효율성을 위해 NFT 서비스를 최적화하는 맥락에서 해당 관련 연구는 NFT 및 블록체인 기술의 기술적 측면을 제시하여 관련 소프트웨어 애플리케이션 및 데이터 저장 방법에 대한 명확한 이해를 제공하였다. 이를 활용하여 NFT 서비스 최적화를 위한 연구에서 제안된 운영 과제를 정할 수 있었다. Vardhan[7]는 NFT의 고유하고 양도 가능한 특성과 최근 금융 시장에서의 인기를 살펴보았다. 이는 NFT의 재정적 영향과 성장 궤적을 이해하는 데 사용될 수 있으며 연구에서 효율적인 운영 전략 개발을 돕는다.

이러한 연구를 비교하고 대조함으로써 NFT 서비스의 효과적인 운영 전략을 수립하는 데 중요한 NFT의 현재 상태, 시장 역학, 기술적 과제 및 잠재적인 미래 개발에 대한 균형 잡힌 이해를 구축할 수 있었다.

Ⅲ. NFT 서비스 효율적 운영 방안

본 논문의 주요 아이디어는 블록체인 기반 NFT(Non-Fungible Token) 서비스를 위한 효율적인 운영 전략을 개발하는 데 중점을 두고 있다.

우리가 제시하는 표 1에는 NFT의 기술적 복잡성, NFT가 운영되는 블록체인 인프라, 기능 및 시장 효율성을 최적화하기 위한 전략에 대한 포괄적인 과제 분류가 포함된다.

〔표 1〕 NFT 서비스의 효율적 운영 과제

과제 측면	주요 초점	설명
블록체인 인프라	이더리움과 대체 플랫폼	확장성, 거래 효율성 및 생태계 지원을 위한 Ethereum의 인프라 및 대체 플랫폼을 평가.
스마트 계약 최적화	보안 및 효율성	개발 모범 사례, 테스트 및 공식 검증 방법을 통해 보안 및 가스 효율성 중점.
상호 운용성과 크로스체인	원활한 자산 이전	블록체인 전체에서 NFT 속성을 유지하기 위해 크로스체인 프로토콜을 구현하여 표준화된 메타데이터를 보장.
시장 효율성	유동성 및 가격	효율적인 NFT 거래 및 시장 유동성을 위한 DEX, AMM 및 가치 평가 전략을 분석.
규제 준수	법적 기준 및 소비자 보호	AML/KYC 준수, 법적 표준 준수 문제를 해결하고 소비자 투명성을 강화.
환경 고려 사항	블록체인 운영의 지속 가능성	지속 가능한 NFT 운영을 위해 에너지 효율적인 합의 메커니즘과 탄소 상쇄 계획을 채택.

3.1. NFT를 위한 블록체인 인프라

이더리움은 강력한 스마트 계약 기능으로 인해 NFT의 기본 블록체인으로 남아 있지만 다른 블록체인 플랫폼을 탐색하는 것이 중요하다. Binance Smart Chain, Flow by Dapper Labs 및 Tezos와 같은 플랫폼은 낮은 거래 비용 및 에너지 효율적인 합의 메커니즘과 같은 다양한 기능을 제공하기도 한다. 이러한 플랫폼에서 NFT 서비스를 구현하려면 특히 확장성, 트랜잭션 속도 및 생태계 지원 측면에서 각각의 강점과 한계에 대한 자세한 이해가 필요하다. 이더리움 2.0이 지분 증명(PoS) 합의 메커니즘으로 전환하는 것은 확장성을 크게 개선하고 에너지 소비를 줄이는 것을 목표로 하였다. 그리고 Optimistic Rollups 및 ZK-Rollups와 같은 레이어 2 확장 솔루션도 중추적인 역할을 한다. 이러한 솔루션은 메인 이더리움 체인 외부의 거래를 처리하여 혼잡과 수수료를 줄인다. 이러한 솔루션을 구현하려면 이를 기존 NFT 플랫폼에 통합하여 플랫폼의 인프라 및 스마트 계약과 호환되도록 해야 한다.

NFT 시장이 확장됨에 따라 다양한 블록체인 플랫폼에서 상호 작용할 수 있는 NFT 기능이 점점 더 중요해지고 있다. 여기에는 NFT가 다양한 블록체인에서 고유한 속성과 가치를 유지할 수 있도록 하는 크로스

체인 프로토콜의 구현이 포함된다. 이러한 프로토콜을 개발하려면 NFT의 원활한 통합과 전송을 보장하기 위해 다양한 블록체인 아키텍처와 합의 메커니즘에 대한 심층적인 이해가 필요하다.

블록체인의 분산형 특성은 고유한 보안 이점을 제공하지만 NFT 플랫폼은 추가 보안 조치도 구현해야 한다. 스마트 계약에 대한 정기적인 보안 감사, 취약점 모니터링, 보안 위반 시 안전 장치 구현이 포함된다. 또한 NFT의 저장 및 보관을 고려하면 분산 식별자(DID)와 같은 솔루션은 보안 및 소유권 확인 프로세스를 향상시킬 수 있다.

3.2. 스마트 계약 최적화

스마트 계약 최적화의 주요 관심사 중 하나는 거래와 관련된 가스 비용을 최소화하는 것이다. 이를 달성하기 위한 전략에는 계산 복잡성을 줄이기 위한 스마트 계약 논리 최적화, 상태 변경 및 저장 작업 최소화, 효율적인 데이터 구조 사용이 포함된다. 개발자는 루프와 조건문을 신중하게 구현하여 불필요한 계산을 피할 수 있다. 기능을 손상시키지 않고 계약 논리를 단순화하면 계약 실행에 필요한 가스를 크게 줄일 수 있다.

NFT 거래의 가치와 취소 불가능성을 고려할 때 코드 레벨의 보안 유지는 스마트 계약 개발에서 가장 중요하다. 처음부터 보안 중심 사고방식을 채택하고 위협 모델링 및 코드 감사와 같은 관행을 통합하는 것이 중요하다. 취약점을 탐지하기 위해 정적 및 동적 분석 도구를 활용하고 단위 테스트 및 테스트넷을 포함한 철저한 테스트를 수행하는 것이 요구된다. 외부 감사 및 버그 포상금 프로그램에 참여하면 광범위한 개발자 커뮤니티의 전문 지식과 관점을 활용하여 보안을 더욱 강화할 수 있다. 추가적으로 NFT 공간에서 변화하는 요구 사항과 새로운 표준에 적응하려면 업그레이드 가능성을 염두에 두고 스마트 계약을 구축하는 것이 필수적이다. 프록시 계약과 위임자 호출 패턴을 사용하면 주소를 변경하지 않고도 계약 동작을 수정할 수 있을 것이다. 계약이 더 작고 재사용 가능하며 상호 교환 가능한 모듈로 구성되는 모듈식 설계 원칙은 업데이트 및 유지 관리를 더 쉽게 만들 수 있다. 이 접근 방식은 전체 시스템에 영향을 주지 않고 문제를 격리하고 해결하는 데도 도움이 된다.

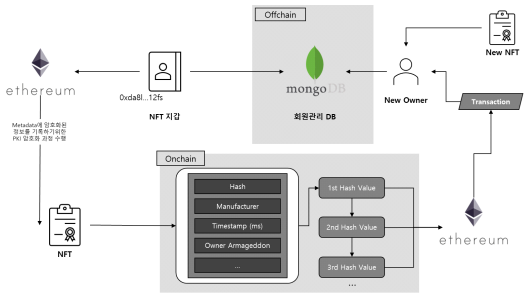
형식적 검증을 구현하려면 수학적 방법을 사용하여 스마트 계약 코드의 정확성을 증명해야 하는 방식을 적용하여야 할 것이다. 이 프로세스를 통해 계약 논리가 사양을 충족하고 특정 유형의 오류가 없는지 확인할 수 있다. 복잡하기는 하지만 공식적인 검증은 계약 신뢰성에 대한 높은 수준의 보증을 제공하며 특히 고가치 NFT 거래에 중요하다.

스마트 계약에서 데이터 처리 최적화에는 높은 비용으로 인한 온체인 저장 최소화와 같은 전략[그림 1]이 포함된다.

대규모 데이터 세트에는 IPFS(InterPlanetary File System)와 같은 오프체인 스토리지 솔루션을 사용하고, 필수 데이터나 해시만 온체인에 저장하는 것이 효과적일 수 있다. 저장 및 검색 비용을 최소화하기 위해 스마트 계약 내에서 데이터를 구조화하고 데이터 인코딩 및 압축 기술을 고려하는 것도 효율성을 위해 중요하다.

NFT에 대한 스마트 계약은 명확하고 유익한 오류 처리를 통해 설계되어야 한다. 여기에는 오류 방지 메커니즘 구현과 트랜잭션 실패 시 계약이 부작용 없이 안전한 상태로 되돌아가도록 보장하는 것이 포함된다. 사용자에게 이해하기 쉬운 오류 메시지와 지침을 제공하면 플랫폼에 대한 사용자 경험과 신뢰를 높일 수 있다. NFT 스마트 계약이 이더리움 생태계의 다른 계약 및 표준과 상호 운용 가능하도록 보장하는 것이 중요하다. 여기에는 NFT용 ERC-721 및 ERC-1155와 같은 확립된 표준을 준수하고 일반적인 지갑 인터페이스, 마켓플레이스 및 기타 분산형 애플리케이션과의 호환성을 보장하는 것이 포함된다.

스마트 계약의 효율적인 리소스 관리에는 가스 및 블록 공간과 같은 Ethereum의 제한된 리소스 사용을 최적화하는 것이 포함된다. 이는 계약의 바이트코드 크기를 최적화하고 외부 호출 및 트랜잭션 수를 줄임으로써 달성할 수 있다. 권한 있는 사용자나 조건으로



〔그림 1〕 온-오프체인을 적용한 솔루션

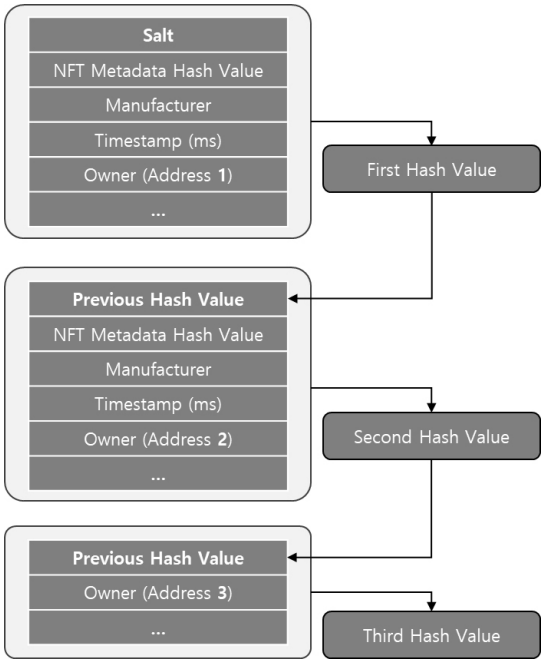
계약 기능을 제한하는 등 불필요한 실행과 리소스 낭비를 방지하는 메커니즘을 구현하는 것도 중요하다.

3.3. 상호 운용성 및 크로스체인 기능

NFT 맥락에서 상호 운용성이 보장되면 디지털 자산이 다양한 블록체인 플랫폼에서 원활하게 상호 작용하고 작동할 수 있다. 상호 운용성과 크로스체인 기능을 위한 구현 전략을 확장하려면 다음과 같은 몇 가지 주요 구성 요소가 필요하다. 다양한 블록체인에서 NFT를 전송하고 인식하려면 강력한 크로스체인 프로토콜을 구현하는 것이 필수적이다. 여기에는 중개자 없이 서로 다른 블록체인 간에 자산을 교환할 수 있는 아토믹 스왑과 같은 기술과 두 블록체인을 연결하여 자산과 정보를 전송하는 특수 브리지 프로토콜이 포함된다.

NFT 메타데이터가 플랫폼 전반에 걸쳐 표준화된 형식[그림 2]을 따르도록 보장하는 것 또한 상호 운용성을 위해 매우 중요하다.

표준화의 범위에는 소유권 기록, 출처, 자산 특성과 같은 속성을 포함하는 메타데이터에 대한 보편적인 표준을 개발하여 NFT가 플랫폼 전반에 걸쳐 속성과 가치를 유지하도록 보장하는 것이 포함된다.



〔그림 2〕 NFT 메타데이터 표준화

NFT 상호 운용성을 확장하려면 DeFi 프로토콜과 통합하여 대출 플랫폼에서 NFT를 담보로 사용하는 등 새로운 사용 사례를 활용하는 시나리오가 필요하다. 이를 위해서는 다양한 블록체인에서 다양한 DeFi 프로토콜과 상호 작용할 수 있는 표준화된 인터페이스와 스마트 계약의 개발이 수행되어야 한다. 크로스체인 상호 작용이 블록체인 네트워크의 확장성과 성능에 부정적인 영향을 미치지 않도록 하여야 한다. 오프체인 계산 및 상태 채널과 같은 솔루션을 구현하면 네트워크를 혼잡하게 하지 않고 복잡한 작업을 처리할 수 있다.

3.4. 규정 준수 및 소비자 보호

규제 환경을 탐색하고 소비자 보호를 보장하는 것은 NFT 플랫폼 구현의 마지막 중요한 구성 요소이다. 자금 세탁 방지(AML) 및 고객 파악(KYC) 요구 사항 등 디지털 자산과 관련된 기존 법률 및 규정을 준수하는 방법이 현재 사용되고 있다. 다양한 관할권의 규정에 적응할 수 있는 자동화된 규정 준수 도구를 구현하는 것이 핵심 전략이다. 향후에는 스마트 계약에 법적 준수 확인을 통합하면 관련 법률 준수를 자동화하고 보장하는 데 도움이 될 수 있다. 여기에는 자동화된 세금 계산, 저작권법 준수, 불법 활동 점검을 위한 메커니즘이 포함될 수 있다. NFT 거래의 위험에 대해 사용자에게 포괄적인 교육 리소스를 제공하는 것으로 소비자 보호에 매우 중요하다. 또한 플랫폼은 수수료, 거래 프로세스, 디지털 자산 소유자의 권리 측면에서 투명성을 보장해야 한다.

3.5. 환경 고려 사항 및 솔루션

지분 증명(PoS) 또는 위임 지분 증명(DPoS)과 같은 에너지 효율적인 합의 메커니즘을 활용하는 블록체인의 사용을 촉진하는 방안도 고려하여야 한다. 이러한 전환은 NFT 거래와 관련된 전반적인 탄소 배출량을 줄일 수 있기 때문이다. 서비스 플랫폼이 탄소 배출 균형을 맞추기 위해 환경 프로젝트에 투자하는 탄소 상쇄 프로그램을 구현하는 것은 최근의 새로운 전략이 될 수 있다. 재생 가능 에너지 프로젝트, 재삼림화 또는 기타 생태학적 계획이 포함될 수 있다. 결국 에너지 소비를 줄이기 위해 블록체인 운영 효율성을 향상시키

는 것이 중요하므로 근본적으로 코드 최적화, 트랜잭션 크기 감소, 보다 효율적인 데이터 스토리지 솔루션 구현이 필수적이다.

Ⅳ. 토 론

본 연구는 블록체인 기반 NFT 서비스에 대한 효율적인 운영 전략을 탐색하는 접근 방식이 포괄적이기는 하지만 추가 탐색이 필요한 몇 가지 한계와 영역이 있다. 블록체인 기술 자체의 급속한 발전 특성이 있다. 특히 이더리움이 이더리움 2.0으로 지속적으로 전환하고 롤업 및 ZK-롤업과 같은 레이어 2 솔루션이 출현하는 맥락에서 블록체인 환경은 유동적인 상태에 있다. 이러한 개발은 확장성과 거래 효율성의 상당한 개선을 약속하지만, NFT 운영에 대한 실질적인 구현과 장기적인 영향은 계속 진행 중인 연구 분야로 남아 있다. 이러한 새로운 기술의 통합은 특히 이전 버전과의 호환성을 보장하고 기존 NFT의 무결성을 유지하는 데 어려움을 겪는다. NFT를 둘러싼 규제 환경 또한 블록체인의 분산된 특성과 NFT 플랫폼의 글로벌 도달 범위는 복잡한 법적 문제를 야기한다. 때문에 다양한 관할권에 걸쳐 표준화된 규제 프레임워크가 부족하여 통일된 규정 준수 조치를 구현하는 것이 어렵다. 스마트 계약은 일정 수준의 자동화된 법률 준수를 제공하지만 특히 지적 재산권, 과세 및 AML/KYC 표준과 관련된 다양한 국제 법률 및 규정의 미묘한 차이를 완전히 캡슐화할 수는 없을 것이다. 보안 관점에서도, 블록체인은 안전한 거래를 위한 강력한 기반을 제공하지만 스마트 계약 취약점의 확산은 상당한 위험을 초래한다. 블록체인의 불변성은 핵심 기능이지만 일단 배포되면 스마트 계약 코드의 결함을 쉽게 수정할 수 없다는 의미이기도 하다. 이를 위해서는 블록체인 기술과 함께 지속적으로 발전하는 영역인 스마트 계약 개발 및 테스트에 높은 수준의 연구가 필요하다.

Ⅴ. 결 론

결론적으로, 본 연구는 블록체인 기반 NFT 서비스의 운영 전략에 대한 통찰력을 제공하는 동시에 앞으로 놓여 있는 역동적이고 다면적인 과제도 강조하였다. 블록체인 생태계, 규제 프레임워크, 보안 프로토콜, 소비자 보호 조치 및 환경 영향은 NFT의 지속 가능한 성장과 주류 채택을 보장하기 위해 지속적인 관심과 적응이 필요한 영역이다.

블록체인 기반 NFT 서비스에 대한 효율적인 운영 전략을 탐색하면 기술 혁신, 시장 역학 및 규제 문제의 복잡한 상호 작용이 드러난다. 우리는 NFT의 확장성과 기능을 향상시키는 데 있어서 고급 블록체인 인프라, 특히 이더리움의 진화하는 환경의 중추적인 역할을 강조하였다. NFT 생태계에서 스마트 계약의 중요한 역할을 인식하면서 보안과 효율성을 위해 스마트 계약을 최적화하는 데 중점을 두고 있다. 또한 원활한 NFT 거래를 보장하고 시장 접근성을 확대하기 위해 블록체인 플랫폼 간의 상호 운용성의 중요성을 강조하였다. 규제 준수와 소비자 보호를 다루는 것이 중요한 요소로 떠오르며, 혁신과 법적 표준 준수 사이의 균형이 필요하다. 더욱이, 블록체인 운영, 특히 에너지 집약적인 합의 메커니즘에 의존하는 운영이 환경에 미치는 영향은 NFT 부문에서 보다 지속 가능한 관행으로의 전환을 요구하였다.

결론적으로, NFT 영역은 엄청난 잠재력을 제공하지만, 지속적인 관심과 적응이 필요한 다면적인 과제도 제시하였다. NFT의 미래 궤적은 블록체인 기술의 지속적인 발전, 적극적인 규제 프레임워크, 지속 가능성 및 소비자 보호에 대한 노력에 달려 있다.

참 고 문 헌

[1] Taherdoost, Hamed. "Non-Fungible Tokens (NFT): A Systematic Review." Information 14.1 (2022): 26.

[2] Ante, Lennart. "The non-fungible token (NFT) market and its relationship with Bitcoin and Ethereum." FinTech 1.3 (2022): 216-224.

[3] Ante, Lennart. "Non-fungible token (NFT) markets on the Ethereum blockchain: Temporal development, cointegration and interrelations." Economics of Innovation and New Technology 32.8 (2023): 1216-1234.

[4] Solouki, Mohammadsadegh, and Seyed Mojtaba Hosseini Bamakan. "An in-depth insight at digital ownership through dynamic NFTs." Procedia Computer Science 214 (2022): 875-882.

[5] Nadini, Matthieu, et al. "Mapping the NFT revolution: market trends, trade networks, and visual

features." Scientific reports 11.1 (2021): 20902.
[6] Taherdoost, Hamed. "Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review." Information 14.2 (2023): 117.
[7] Vardhan Singh Rawat, Harsh, et al. "Rise of Blockchain-Based Non-fungible Tokens (NFTs): Overview, Trends, and Future Prospects." Machine Intelligence and Data Science Applications: Proceedings of MIDAS 2021 (2022): 1-10.

〈저자소개〉

김 희 상 (Heesang Kim)
2020년 2월 : 경기대학교 컴퓨터과학과 졸업
2022년 2월 : 경기대학교 컴퓨터과학과 석사
2022년 3월~현재 : 경기대학교 컴퓨터과학과 박사과정
<관심분야> 블록체인, 사이버보안

김 도 훈 (Dohoon Kim)
2005년 2월 : 고려대학교 수학전공/컴퓨터학과 (이중전공)
2007년 2월 : 고려대학교 컴퓨터 학과 (전공: 전산학) 석사
2012년 3월~현재 : 고려대학교 컴퓨터·전파통신학과(전공: 컴퓨터학) 박사
2018년 3월~현재 : 경기대학교 AI컴퓨터공학부 조교수
<관심분야> 네트워크보안, 사이버보안, 악성코드 분석, 블록체인