



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

NFT<sup>TM</sup>: NFT 거래 모니터링을  
위한 인터랙티브 시각화 도구

2023 년 2 월

서울대학교 대학원

컴퓨터공학부

안수빈

# NFT™: NFT 거래 모니터링을 위한 인터랙티브 시각화 도구

지도 교수 서진욱

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함  
2022년 11월

서울대학교 대학원  
컴퓨터공학부  
안수빈

안수빈의 공학석사 학위논문을 인준함  
2023년 1월

위원장           신영길           (인)

부위원장           서진욱           (인)

위원           이영기           (인)

# 초 록

블록체인 기반 디지털 자산 중 하나인 NFT(Non-Fungible Token) 생태계는 최근 몇 년간 기하급수적인 성장을 보였다. 그러나 NFT를 포함한 블록체인 생태계는 참여자에 대한 별도의 제한이 없어 여러 왜곡된 정보가 많이 발생하며, 이로 인해 다수의 소비자가 피해를 입는다. 이러한 왜곡된 정보로 인한 피해를 미연에 방지하기 위해서 소비자가 쉽게 정보를 필터링하여 관찰할 수 있는 도구가 필요하다. 본 논문은 사전 인터뷰를 통해 디자인 요구사항을 도출하고, 이를 통해 블록체인에 기록된 정보를 바탕으로 NFT 거래 패턴 탐색 작업을 지원하는 인터랙티브 시각화 도구 NFT<sup>TM</sup>을 제안한다. NFT<sup>TM</sup>은 주소 간 서브그래프, 거래 플랫폼 등의 필터링을 제공하여 사용자의 다양한 거래 패턴 검색을 지원한다. 사례연구를 통해 NFT<sup>TM</sup> 사용자가 자전거래와 같은 잠재적인 문제를 더 쉽게 식별할 수 있음을 보였다.

**주요어** : NFT, 블록체인, 그래프 분석, 시각화 시스템  
**학 번** : 2021-22865

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 배경지식 .....	3
제 1 절 블록체인 기술과 종류.....	3
제 2 절 이더리움 데이터 요소.....	5
제 3 절 스마트 컨트랙트와 NFT.....	6
제 3 장 관련 연구 .....	10
제 1 절 NFT 자전거래 .....	10
제 2 절 블록체인 탈중앙화 지표 .....	13
제 4 장 Formative Study.....	14
제 1 절 디자인 목표 도출 .....	14
제 2 절 디자인 요구사항 .....	16
제 5 장 NFT™ 시스템.....	17
제 1 절 데이터 전처리 .....	17
제 2 절 시스템 인터페이스 디자인 .....	21
제 6 장 사례 연구 .....	26
제 7 장 논의.....	27
제 1 절 NFT™의 효용성과 한계점 .....	27
제 2 절 향후 연구 계획 .....	29
제 8 장 결론.....	32
참고문헌 .....	33
Abstract.....	38

# List of Figures

Figure 2.1 이더스캔(Etherscan) 홈페이지. 이더리움 네트워크의 블록 정보, 트랜잭션 정보, 개별 주소 정보를 확인할 수 있다. ....	6
Figure 5.1 NFT™ 시각화 인터페이스는 조건 선택을 위한 필터링 모듈과 NFT 프로젝트 관찰을 3 개의 뷰를 제공한다. 사용자는 필터링을 기반으로 (A) 전체 거래 내역을 관찰하고, (B) NFT 의 건전성에 대한 지표를 확인할 수 있다. 또한 전체 거래 내역에 대한 정보를 (C)의 차트를 통해 확인할 수 있다. 전체 거래 내역에서 특정 노드/링크에 mousehover 시, (C) Tx History 에서 거래 내역을 확인할 수 있다.....	21
Figure 5.2 거래 내역 시각화에서 특정 노드나 간선에 mousehover 시 관련 거래 내역을 확인할 수 있다.....	23
Figure 5.3 거래 내역 시각화에서 플랫폼에 따라 색상 인코딩을 한 뷰. 사용자는 플랫폼에 따른 패턴을 확인할 수 있다 .....	24
Figure 7.1 트랜잭션 해시값 0x7b662974ed7655d0b22a223be7261ca1a8af4e90180b9faf82afb4afed204d5e 에 해당하는 트랜잭션 상세 내역. 탈중앙화 금융 서비스 dYdX 에서 대출과 상환이 이뤄지며 해당 과정에서 NFT 거래가 이뤄진 것을 확인할 수 있다.....	28
Figure 7.2 NFT 프로젝트 Clone X 예시. 해당 프로젝트 메타데이터에 여러 속성(Properties)이 기록된 것을 확인할 수 있다. 해당 사진에서 속성은 Clothing, DNA, Eye Color, Facial Feature, Hair, Jewelry 가 있다. ....	31

# List of Tables

Table 2.1 ERC-721:Non-Fungible Tokens Standard 인터페이스 코드 일부.....	8
Table 3.1 NFT 자전 거래 유형. -는 판매, ~는 단순 전달을 의미한다.....	11
Table 5.1 API를 통해 가져와 전처리한 DB 컬럼 정보.....	18
Table 5.2 NFT™에서 탐지하는 자전거래 유형.....	19
Table 5.3 네트워크 시각화에 사용한 노드와 간선 데이터 포맷.....	20

# 제 1 장 서 론

2012년 비트코인[1]을 시작으로 지난 10년간 블록체인 기술의 급속한 발전은 연구계와 산업계에 큰 관심을 불러일으켰다. 블록체인은 P2P 네트워크를 통해 관리되는 분산 데이터베이스의 한 형태로 모든 거래 및 디지털 이벤트 기록을 저장하는 기술을 통칭한다. 해당 기록은 시스템 참여자의 합의 알고리즘에 따라 기록되고 검증되어 정보의 신뢰성과 보안성을 보장한다. 또한 블록체인에 기록되는 정보는 중앙화 주체를 배제하여 실시간 거래 내용을 확인할 수 있어 정보의 비대칭 문제를 해결한다. 이런 블록체인의 장점을 바탕으로 프로그램이 가능한 스마트 컨트랙트가 이더리움[2]에서 구현되며 다양한 분야에서 블록체인 기술이 도입되어 다양한 생태계가 이뤄졌다.

NFT(Non-Fungible Token, 대체 불가능 토큰)는 최근 각광받고 있는 블록체인 기술의 사용 사례이다. NFT[27]는 스마트 컨트랙트를 사용하여 디지털 자산을 기록 및 생성하는 기술로 다양한 IP와 결합하여 여러 가치 창출을 하고 있다. 다만 다양한 퍼블릭 블록체인의 확산과 함께 비허가성으로 인해 블록체인 생태계에는 금융 사기, 해킹 등 다양한 기술적/사회적 취약점이 존재한다.[3] 이런 취약점을 해결하고 블록체인 기술의 확장을 위해 사용자의 이해를 돕기 위해 체인 및 탈중앙화 어플리케이션 및 프로토콜 건전성, 사용자 간 네트워크 시각화, 사이버 범죄 추적 등 다양한 부분에서 시각적 분석 방법이 제안되고 연구[4]되고 있다. NFT 생태계가 발전해가며 NFT 자체에서 발생할 수 있는 취약점도

연구[17, 18, 19, 20, 21]되고 있다. 최근 대표적인 취약점 중 하나로 NFT 자전거래 문제가 여러 방면[22, 23, 24]으로 연구되고 있다. 자전거래는 수요 정보를 왜곡시켜 소비자 및 투자자에게 피해를 줄 수 있으며 이에 대한 정보 정제는 건전한 시장을 위해 필수적이다.

본 연구의 가장 큰 동기는 일반 소비자가 NFT 거래 패턴을 모니터링할 수 있는 도구의 부재이다. 본질적으로 블록체인은 P2P 간 거래 내역을 기록하며 이로 인해 그래프 시각화로 거래를 모니터링하려는 연구[5, 6]가 많았다. NFT 거래는 거래기록이 공개되고 이산적인 특징을 가지고 있어, 기타 코인/토큰에 비해 접근할 수 있는 정보가 많고 분석이 용이하지만 여전히 초기 단계이다. 본 연구에서는 앞서 논의된 다양한 자전거래 패턴과 네트워크 시각화를 통합한 NFT 패턴 탐색 시스템인 NFT™을 제안한다. 더불어 NFT™ 시각화 도구를 활용하여 NFT 거래 내에서 실제 자전거래를 발견 및 분석하는 사례 연구를 진행함으로써 시스템의 효용성을 확인했다. 본 논문의 주요 기여는 다음과 같다.

1. Formative Study 를 통한 NFT 거래 모니터링과 관련된 수요와 목적 도출
2. NFT 거래 기록을 전방면으로 살펴볼 수 있는 인터랙티브 시각적 분석 도구인 NFT™ 개발
3. 사례연구를 통한 NFT™ 프로젝트 거래 패턴 관찰 효용성 확인

## 제 2 장 배 경 지 식

### 제 1 절 블록체인 기술과 종류

#### 2-1-1. 블록체인

블록체인(Blockchain)은 데이터를 일정 주기로 블록에 저장하여 데이터를 체인 형식으로 연결하는 블록암호 기술[25]을 사용한다. 블록으로 저장된 데이터는 시간순으로 순차적인 연결성을 띤다. 기존에 개인 간의 거래(P2P) 내역은 중앙화 서버에서 저장되었다면, 블록체인은 블록 생성 참여자가 모두 같은 거래 내역을 공유하고 검증하는 분산 원장(distributed ledger) 방식으로 저장한다. 이를 통해 블록체인은 중앙화 주체 없이 거래에 대한 위조 및 변조를 방지할 수 있다. 분산 원장에 대한 검증은 각 블록체인에서 사용하는 합의 알고리즘을 통해 진행된다. 합의 알고리즘은 신뢰가 없는 블록 생성 참여자(노드) 간의 데이터를 검증하기 위한 방법으로, 대표적으로 비트코인이 사용하는 작업 증명(Proof-of-Work, PoW)[1]과 이더리움이 사용하는 지분 증명(Proof-of-Stake)[2]이 있다.

#### 2-1-2 블록체인 종류

블록체인은 사용 주체와 블록 생성 권한에 따라 크게 3 가지로 분류할 수 있다. [30]

- 퍼블릭 블록체인(Public Blockchain): 완전 분산화된 형태의 네트워크로 유지 및 관리의 합의과정 참여에 따로 허가가 필요하지 않다. 불특정

다수가 참여하며 이 과정에서 데이터 검증을 유도하기 위해 암호화폐를 사용한다. 대표적으로 비트코인, 이더리움 등이 있다.

- **프라이빗 블록체인(Private Blockchain):** 사전에 정해진 구성원만 참여 가능한 폐쇄형 블록체인 네트워크를 의미한다. 한 기관이 네트워크에 대한 통제 권한을 가지고 있다. 하이퍼레저 페브릭 등을 사용하여 프라이빗 네트워크를 구축할 수 있다.
- **컨소시엄 블록체인(Consortium Blockchain):** 퍼블릭 블록체인과 프라이빗 블록체인의 중간 형태로 특정 목적을 공유하는 기업과 단체가 하나의 컨소시엄을 구성하여 진행되는 블록체인이다.

본 연구에서는 참여에 허가가 없어 모니터링이 필요한 퍼블릭 블록체인이자 NFT 사용자와 거래량이 가장 많은 이더리움 네트워크 데이터의 NFT 데이터를 사용한다. 이더리움 네트워크는 바이낸스 스마트 체인(BSC), 폴리곤(Polygon), 클레이튼(Klaytn) 등 블록체인 네트워크와 데이터 구조가 유사하여 향후 연구를 확장할 수 있다.

## 제 2 절 이더리움 데이터 요소

이더리움 내의 거래 및 전자서명을 위해 어카운트(account)가 필요하고, 이 때 거래를 트랜잭션(transaction) 이라 한다. 블록체인의 거래 내역 분산원장에는 신원 인증이 필요하며, 이를 위해 공개키 암호화(Public key cryptography, PKC) 알고리즘[25]을 사용한다. 어카운트에는 해당 정보에 대한 공개키를 가지고 있으며, 이 공개키의 16 진수 해시값(Keccak-256)에서 맨 뒤 40 자리를 주소(address)[2] 로 사용한다. 사용자 수준에서는 어카운트는 암호자산에 대한 소유 여부를 확인할 수 있는 디지털 지갑 역할을 한다. 블록체인에서는 주소와 주소의 거래내역을 모두 볼 수 있어, 이를 통해 추가적인 자산을 줄 수 있다. 특정 주소를 대상으로 자산을 무료로 주는 행위를 에어드랍(airdrop)이라 한다.

어카운트는 외부 소유 어카운트(EOA, Extenally Owned Account)와 컨트랙트 어카운트(CA, Contract Address)가 있다. EOA 는 어카운트 소유자가 개인키를 관리하며 개인키를 사용하여 전자서명된 트랜잭션을 생성하고 실행할 수 있다. CA 는 스마트 컨트랙트에 할당되는 어카운트로 특정 조건이 만족되면 자동적으로 트랜잭션을 생성한다. 다만 직접 새로운 트랜잭션을 실행시킬 수 없으며 다른 EOA 나 CA 를 통해서만 실행된다. 즉, 한 번의 서명으로는 (1)EOA→EOA (2)EOA→CAN\*N, (3)EOA→CA\*N→EOA 의 형태의 거래가 가능하다. 이러한 연산의 특성으로 블록체인 내에서는 복잡한 트랜잭션이 이뤄진다. 예시로 대출, 차익거래, 대출금상환의 연속적인 연산을 한 번의 전자 서명으로 가능하다.

각 주소와 거래 내역은 이더스캔(Etherscan)<sup>①</sup> 등 원본 데이터를 제공하는 서비스를 사용할 수 있다.

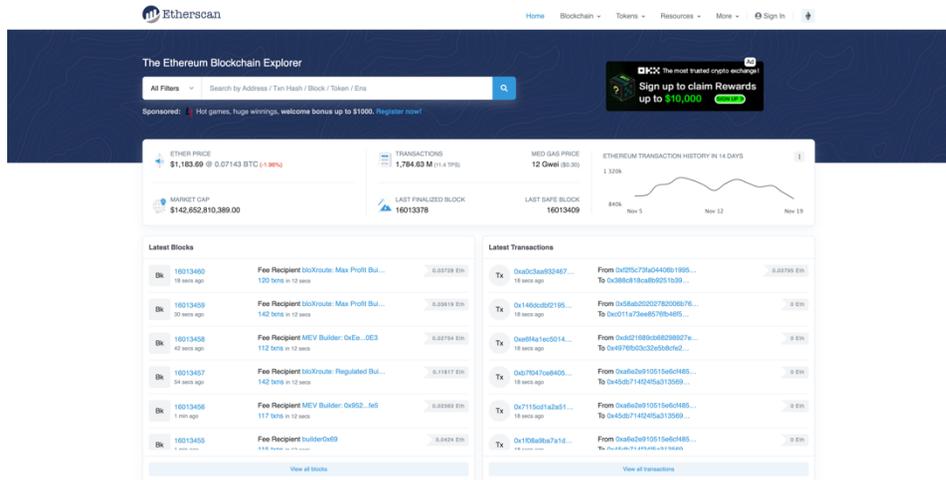


Figure 2.1 이더스캔(Etherscan) 홈페이지. 이더리움 네트워크의 블록 정보, 트랜잭션 정보, 개별 주소 정보를 확인할 수 있다.

## 제 3 절 스마트 컨트랙트와 NFT

### 2-3-1. 스마트 컨트랙트

스마트 컨트랙트(Smart Contract)는 계약을 프로그래밍으로 구현하여 조건이 충족되면 다른 중계자 없이 자동으로 계약이 성사되는 시스템으로, Szabo[26]에 의해 처음 소개되었으며 이더리움에서 본격적으로 구현되었다.[2] 스마트 컨트랙트에서는 로그를 기록하기 위해 이벤트를 발생시킬 수 있으며 해당 이벤트는 블록체인의 블록에 기록된다.

<sup>①</sup> <https://etherscan.io/>

블록체인의 종류에 따라 다양한 프로그래밍 언어를 사용할 수 있으며 대표적으로는 Solidity, Rust 등을 사용한다.

각 블록체인 생태계는 특정 기능과 역할을 하는 표준을 커뮤니티 단위에서 논의한다. 이더리움은 EIP(Ethereum Improvement Proposal)<sup>②</sup>를 통해 표준을 제안하며 선정한다. 이 중에서 자산 등의 애플리케이션 수준의 표준은 ERC(Ethereum Request for Comment)에서 논의되고 있으며 대표적으로는 “ERC-20: Token Standard”, “ERC-721: Non-Fungible Token Standard”가 있다. 이러한 표준들은 다양한 자산 형태와 서비스를 구현할 수 있다. 예를 들어 이더리움 네트워크에서는 이더(Ether)를 기초통화로 사용하나, ERC-20 표준 인터페이스를 사용하여 새로운 통화를 만들 수 있다. ERC-20 토큰의 예시로는 체인링크(LINK), 디센트럴랜드(MANA) 등이 있다. ERC-20 토큰은 각 주소별로 토큰의 양(amount)을 기록하여 소수점 단위의 토큰을 전달할 수 있다.

### 2-3-2. ERC-721 과 ERC-1155

값이 같으면 같은 가치를 지니는 화폐와 다르게 집, 차 등 자산은 양이 같더라도 구분되는 특징이 있다. 블록체인에서는 이러한 이산적으로 구별되는 자산에 대해 대체 불가능 자산(Non-Fungible Token, NFT)이라 하여 다양한 방식으로 정의하고 있다. 이더리움 네트워크에서는 ERC-721 표준과 ERC-1155 표준 인터페이스를 사용하여 NFT 를 구현한다. 대표적으로 ERC-721 인터페이스는 전송(transferFrom), 전송 승인

---

<sup>②</sup> <https://eips.ethereum.org/>

기능(approve), 소유자 확인(ownerOf), 소유자 별 개수 확인(balanceOf) 함수를 사용하여 NFT 에 필요한 기본적인 기능을 정의한다. 해당 함수를 사용하면 이벤트(Transfer, Approval, ApprovalForAll)를 발생시켜 블록체인 네트워크에 거래 기록을 남긴다. 해당 표준의 확장으로 각 토큰에는 메타데이터(이미지 URL, 이미지 관련 특성 등)를 기록할 수 있다. 기록된 이벤트를 통해 사용자는 거래 내역에 대해 더 많은 정보를 얻을 수 있다. 다음은 표준 인터페이스 예시 코드[28]이다.

```
pragma solidity ^0.4.20;

interface ERC721{
    event Transfer(address indexed _from, address indexed _to, uint256
indexed _tokenId);
    event Approval(address indexed _owner, address indexed _approved, uint256
indexed _tokenId);
    event ApprovalForAll(address indexed _owner, address indexed _operator,
bool _approved);

    function balanceOf(address _owner) external view returns (uint256);
    function ownerOf(uint256 _tokenId) external view returns (address);

    function safeTransferFrom(address _from, address _to, uint256 _tokenId,
bytes data) external payable;
    function safeTransferFrom(address _from, address _to, uint256 _tokenId)
external payable;
    function transferFrom(address _from, address _to, uint256 _tokenId)
external payable;

    function approve(address _approved, uint256 _tokenId) external payable;
    function setApprovalForAll(address _operator, bool _approved) external;
    function getApproved(uint256 _tokenId) external view returns (address);
    function isApprovedForAll(address _owner, address _operator) external
view returns (bool);
}
```

Table2.1. ERC-721:Non-Fungible Tokens Standard 인터페이스 코드 일부

### 2-3-3. NFT 전송 유형

NFT 에서 할 수 있는 연산[16]은 다양하다. 본 연구에서는 NFT 가 실제로 이동하는 트랜잭션을 목적에 따라 크게 4 가지 연산으로 구분한다.

- **민팅(Minting)**: NFT 발행 컨트랙트에서 첫 전달을 의미한다. 이 때는  $0 \times 0000 \dots 0$  주소에서 오는 것으로 기록된다.
- **낙찰(Bid Won)**: 구매자가 가격 제시를 하거나 경매를 통해 구매한 것을 의미한다.
- **판매/구매(Buy/Sell)**: NFT 거래 플랫폼을 통해 거래한 것을 의미한다.
- **전송(Transfer)**: 직접적으로 EOA 에서 EOA 로 보낸 경우를 의미한다.

## 제 3 장 관련 연구

### 제 1 절 NFT 자전거래

NFT 거래에 있어 다양한 사회적, 기술적 취약점[참고 문헌]이 있으며, 대표적인 문제로 자전거래(Wash Trading)가 있다. 자전거래는 거래자가 자산을 판매하고 거의 같은 시점에 다시 해당 자산을 구매하는 거래 행위를 의미한다. 가격과 거래 활동을 조작하기에 현 증권시장에서 자전거래는 불법이지만, 불특정 다수가 참여하는 암호화폐 자산에서는 이를 막을 수 있는 규제가 없는 상태다. 여러 연구 및 레포트[22, 23, 24]에 따르면 블록체인 내 자전거래는 다음과 같은 목적이 내포된다.

1. **수요 왜곡:** NFT 거래 플랫폼은 NFT 거래금액, 거래량 등을 바탕으로 소비자에게 주요 트렌드 NFT 정보를 제공한다. 이를 악용하여 자전거래를 통해 거래금액, 거래량을 늘린 후, 소비자가 왜곡된 정보를 바탕으로 NFT 를 구매하도록 유도하는 것이다. 프로젝트 운영진 또는 해당 NFT 를 통해 이득일 취하는 제 3 자를 통해 진행된다.
2. **거래를 통한 보상 취득:** Rarible, LooksRare, X2Y2, Blur 등 NFT 거래 플랫폼은 사용자의 거래를 유도하기 위해 거래 보상으로 플랫폼 관련 ERC-20 토큰을 제공한다. 일부 플랫폼은 거래 금액과 비례하여 토큰을 보상으로 주며, 악의적인 사용자는 비이상적으로 많은 거래를 통해 해당 보상을 취득한다.

3. 자금 세탁: 해킹 등 불법으로 취득한 자산을 NFT 거래 반복을 통해 자산의 출처를 은폐하여 결과적으로 “깨끗한” 자산을 얻을 수 있다.

또한 자전거래는 거래 형태가 일반적인 거래와 3 가지 차이점이 있다.

1. 충분한 가상자산을 가진 메인 지갑과 다른 서브지갑으로 구성
2. 거래는 짧은 주기로 거래가 반복
3. 최저 금액보다 매우 높은 금액으로 거래

자전거래의 경우 다음과 같은 패턴[24]이 존재한다.

거래 유형	거래 패턴
Wash Trading 101	A-B, B-A
First seller buys it back	A-B B~C C-A
First buyer buys it back	A-B B~C C-B
Best selling creator	A-B B~A A-C
The tornado	A-?-A

Table3.1 NFT 자전 거래 유형. -는 판매(sale), ~는 단순 전달(transfer)을 의미한다.

반복적인 자전거래는 SCC(Strongly Connected Component)등을 사용하는 시도[27]가 있었으나, 반복적인 거래 패턴으로 폐구간 패턴[22]이 일반적이다. NFT 거래 정보 분석 서비스를 제공하는 NFT GO<sup>③④</sup>에 따르면 자전거래 폐구간 사이클은 4 개 이하로 구성된 사이클이 대다수 차지하고 있다. 본 연구에서는 우선적으로 4 개 이하로 구성된 서브그래프(Motif, 모티프)를 탐지하는 것을 우선으로 한다.

<sup>③</sup> <https://nftgo.io/>

<sup>④</sup> NFT Wash Trading Report: Eliminating The "Noise" in the Market ([https://nftgo.mirror.xyz/aWZMuptrKAPDG9Ya\\_Ztqnae\\_EDVeIwTJDqiuJCu-Le8](https://nftgo.mirror.xyz/aWZMuptrKAPDG9Ya_Ztqnae_EDVeIwTJDqiuJCu-Le8))

자전거거래로 인해 특정 프로젝트나 NFT 거래 플랫폼에 피해가 가는 경우, 스마트 컨트랙트 상에서 특정 주소를 막는 것은 가능하다. 예시로 스테이블코인으로 알려진 USDT는 해킹 자산 등을 규제하기 위해 특정 주소를 차단하는 함수<sup>⑤</sup>가 존재한다. 이와 같은 방식으로 스마트 컨트랙트 소유주는 자전거래에 대한 탐색을 통해 사전에 정의한 함수로 특정 주소를 차단 가능하다. 다만 현재는 자전거래에 대한 모니터링을 할 수 있는 도구가 부재하여 이더스캔 등을 사용하여 직접 하나씩 관찰하는 방법으로 진행되고 있다.

블록체인 내 통화 거래[11, 12, 13, 14]나 NFT 거래를 그래프 시각화[4, 21]를 통해 분석하려는 시도는 점점 많아지고 있다. 다만 NFT 자전거래 등의 이상거래 패턴에 대해 인터랙티브하게 유형별로 탐색할 수 있는 도구는 따로 존재하지 않는다. 본 연구는 이런 자전 거래 내역에 대해 인터랙티브하게 관찰할 수 있는 시스템을 디자인하였다.

---

<sup>⑤</sup><https://etherscan.io/token/0xdac17f958d2ee523a2206206994597c13d831ec7>

## 제 2 절 블록체인 탈중앙화 지표

블록체인의 핵심 이념 탈중앙화 측정에는 다양한 지표[19]가 사용된다.

**지니 계수(Gini Coefficient)** 지니계수는 경제적 불평등의 척도로 사용되어 부의 분배 등을 측정할 때 사용한다. 블록체인에서는 탈중앙화를 측정하기 위해 채굴자 간의 채굴력 분배의 불평등을 나타내는 데 사용될 수 있으며, NFT에서는 소유자의 개수로 분배의 불균형을 확인하기 위해 사용될 수 있다. 지니계수는 0 과 1 사이의 범위를 가진다.

**샤넌 엔트로피(Shanon Entropy)** 샤넌 엔트로피는 확률 분포 집단에서 정보량을 측정하기 위해 사용하는 지표로 정보 엔트로피라고도 불린다. 값이 클수록 불확실성이 크다고 해석할 수 있다.

**나카모토 계수(Nakamoto Coefficient)** 나카모토 계수는 블록체인의 탈중앙화를 측정하기 위해 제안된 지표다. 나카모토 계수는 블록체인 시스템을 손상시키기 위한 전체 채굴력의 51%를 모으기 위한 최소 엔티티수로 정의된다. NFT 커뮤니티에서는 NFT 1 개당 투표권을 가지고 전체 커뮤니티의 행동을 결정하는 DAO(Decentralization Autonomous Organizatin)<sup>6)</sup> 조직이 있다. 이런 조직의 투표 분산화를 측정하기 위해 나카모토 계수를 사용할 수 있다. 프로젝트 별 비교를 위해 나카모토 계수/전체 개수로 정규화 할 수 있다.

---

<sup>6)</sup> 예시로 Doodles, Nouns DAO 등의 NFT 프로젝트가 있다.

## 제 4 장 Formative Study

본 시스템에 앞서 NFT 거래 및 관련하여 사전 인터뷰를 진행했다. NFT 구매 프로세스를 알고 블록체인 생태계에 대한 이해가 풍부한 전문가를 선출하기 위해 다음과 같은 기준으로 선출하였다.

- NFT 구매 경험 존재
- NFT 외 DeFi 등 탈중앙화 어플리케이션 사용 경험 존재
- NFT 블록체인 정보 분석 서비스 사용 경험 존재

위 기준에 따라 인터뷰는 2022년 8월부터 10월까지 3개월간(월별 1회) 관련 업계 종사자 6명(투자 업계 종사자 2, NFT 프로젝트 기획자 2, 개인 투자자 2)을 대상으로 진행되었다. 각 인터뷰는 반-구조화(semi-structured)된 질문으로 개별로 30분-60분 진행되었다. 질문은 다음과 같은 포인트를 기준으로 진행되었다.

- NFT 구매를 할 때 어떤 정보를 사용하는가?
- NFT 구매에서 정보를 수집하는 방법은 무엇인가?
- NFT 구매에 있어 가장 우려되는 상황은 무엇인가?

### 제 1 절 디자인 목표 도출

인터뷰를 바탕으로 NFT 구매자, NFT 투자자, NFT 제작자에게 공동적으로 필요한 태스크를 3가지를 추출할 수 있었다. 추출된 태스크는 다음과 같다.

- T1: NFT 프로젝트에 대한 전체적인 정보 습득. NFT와 관련된 통계 값을 확인하고자 한다. 총 NFT 홀더 수, 홀더 별 개수의 분포, 나카모토 계수 등 NFT의 수요 및 건전성과 관련된 인사이트를 얻고자 한다. “NFT가 소수의 홀더에게 치중되어 있을 경우 이는 유동성의 부족으로 이어질 수 있다. NFT 분포가 어느정도 탈중앙화 되었는지 확인할 수 있는 지표가 있으면 좋겠다.”
- T2: 거래 패턴 확인. NFT 거래 플랫폼에서 제공하는 정보가 왜곡되지 않았다는 사실을 시각적으로 확인하고자 하는 수요가 많았다. 기존에 표 형식으로 거래 정보를 제공하는 이더스캔, NFT 거래 플랫폼에서는 2가지 어려움-(1)자전거 거래 계좌에서 다른 거래가 함께 이뤄지는 경우 자전거 거래 여부의 확인이 어려움 (2) 계좌가 2개 이상 연관되어 있을 때는 표 형식으로 확인이 어려움-을 확인할 수 있었다. “연결된 계좌끼리 묶어서 확인하고 싶다.”
- T3. 탐색 및 비교. 의심되는 패턴을 구체적으로 살피고, 이를 제외한 전체 거래에 대한 통계 정보를 새로 얻어 건전한 거래 정보만 별도로 검증하고자 한다. “자전거 거래 내역을 제외할 수 있다면 그 다음에는 실거래량, 실거래 금액에 대한 정보만 볼 수 있어도 유용할 것 같다” “어느 시점부터 자전거 거래가 시작되는지 궁금하다. 과거의 자전거 거래 현재도 적용되는지 궁금하다.”, “NFT 소유자의 유형을 구분할 수 있으면 좋겠다.”

## 제 2 절 디자인 요구사항 (Design Requirements)

앞서 사전 인터뷰에서 얻은 인사이트와 사용자의 피드백을 통해 3 가지 디자인 목표를 설정하였다.

- R1: 전체 거래 프로세스에 대한 오버뷰. 각 주소는 여러 개의 NFT 를 거래하며, 다수와 거래한다. 사용자가 복잡한 네트워크에서 서브 네트워크 패턴을 확인할 수 있도록 전체 거래 프로세스에 대한 오버뷰와 이해에 필요한 메타 정보를 제공한다. (T1, T2)
- R2: 사용자 친화적인 다양한 필터링. NFT 건전성 및 구매에 필요한 정보는 사용자마다 다양하다. 다만 대부분 사용자는 직접적인 쿼리가 어렵기에 이를 지원하고자 쉬운 파라미터 선택을 통해 NFT 프로젝트, 기간, 모티프 선택 등 다양한 필터링을 제공한다. (T2, T3)
- R3: 비교 정보 제공. 자전거래 등 이상 거래를 시각적으로 강조하여 전체 프로세스 내에서 이뤄지는 자전거래를 확인할 수 있어야 한다. 또한 비거래와 정상거래 간의 통계 정보 비교를 제공한다. (T2, T3)

## 제 5 장 NFT™ 시스템

프로그래밍에 익숙하지 않은 사용자가 효과적으로 NFT 거래 분석을 수행하기 위한 시각화 시스템인 NFT™을 제안한다. 이번 장에는 데이터를 불러와 자전거래를 탐지하고, 이를 인터랙티브 시각화 시스템에 적용한 방법에 대해 설명한다.

### 제 1 절 데이터 전처리

#### 5-1-1. 데이터 불러오기

데이터는 NFT 관련 전처리된 데이터를 제공하는 Flipside Crypto API를 사용했다. API에서 SQL 쿼리를 통해 2가지 데이터-(1)NFT 거래 내역(ethereum.core.ez\_nft\_sales) (2)전체 NFT 트랜잭션(ethereum.core.ez\_nft\_transfers)-를 추출하였다. 두 데이터는 중복 데이터를 포함하고 있어 BLOCK\_TIMESTAMP, TX\_HASH, NFT\_TO\_ADDRESS, NFT\_FROM\_ADDRESS, TOKENID를 키로 사용하여 겹치는 데이터를 제거했다. 추출한 데이터의 컬럼 정보는 다음과 같다.

컬럼명	설명
<b>BLOCK_TIMESTAMP</b>	NFT 이벤트가 발생한 트랜잭션의 블록 시간
<b>TX_HASH</b>	트랜잭션 해시 값
<b>EVENT_TYPE</b>	NFT 전송과 관련된 이벤트 유형
<b>NFT_FROM_ADDRESS</b>	NFT 발신 주소
<b>NFT_TO_ADDRESS</b>	NFT 수신 주소
<b>TOKENID</b>	NFT 의 Token ID
<b>PRICE_USD</b>	거래 금액(\$)
<b>PLATFORM</b>	NFT 거래에 사용한 플랫폼

Table 5.1 API 를 통해 가져와 전처리한 DB 컬럼 정보

## 5-1-2. 자전거래 탐지

앞서 사전 연구의 통계에 기반하여 폐구간 자전거래의 대다수를 포함하는 2-Motif, 3-Motif, 4-Motif 유형을 우선적으로 탐지한다. 각 Motif에 해당하는 유형은 다음과 같다.

유형	거래 순서	거래 길이
2-Motif	A→B→A	2
3-Motif-A	A→B→C→A	3
3-Motif-B	A→B→C→B→A	4
3-Motif-C	A→B→A→C→A	4
4-Motif	A→B→C→D	3

Table 5.2 NFT™에서 탐지하는 자전거래 유형[24]

각 NFT의 TOKENID 전달 경로를 추적하여 사이클 여부를 판단한다. 각 NFT의 거래는 순차적, 이산적으로 동작하므로 시간 순 정렬을 통해 해당 사이클 형태를 판단할 수 있다. 사이클 판단은 크게 3가지 과정으로 진행된다.

1. 순차적 탐색을 통해 NFT의 TOKENID 별 그룹화
2. TOKENID 별 거래 내역을 시간순으로 정렬.
3. 정렬된 부분 집합에 대해 유형에 따라 전수조사를 통해 패턴 검출

전체 트랜잭션 수(T), 토큰 개수(N), 사이클의 길이(C)일 때, 각 사이클 길이에 따른 사이클 판별 알고리즘의 연산의 평균 시간복잡도는 TOKEN ID에 따른 그룹별 정렬과 사이클 체크(전수조사 사용)에 따라  $O(N+T\log T/N + TC)$ 이다.

### 5-1-3. 그래프 데이터 생성

네트워크 시각화를 탐지된 자전거래 의심 패턴 바탕으로 Directed Weighted Graph 를 구성한다. 노드는 발신자 주소(NFT\_FROM\_ADDRESS) 와 수신자 주소(NFT\_TO\_ADDRESS)에서 유일한 값을 추출한다. 각 노드는 연산의 용이성을 위해 1부터 총 개수 N 까지 인덱싱을 하여 사용한다.

노드에는 각 주소 별 NFT 개수를 저장한다. 간선은 발신자, 수신자, 거래 금액, 거래 횟수, 패턴 유형(일반 거래, 자전거래)를 기록한다.

최종적으로 간선과 노드는 다음 JSON 형태로 구성하여 사용한다.

```
{
  "nodes": [
    {
      "id": <INT>,
      "address": <STRING>,
      "balances": <INT>,
    },
    ...
  ],
  "links": [
    {
      "source": <STRING>,
      "target": <STRING>,
      "type": <STRING> // ex. "mint"
      "pattern": <STRING> // ex. "normal", "2-motif"
      "platform": <STRING> // ex. "opensea"
      "usd_amount": <FLOAT>,
      "total_txs": <INT>,
    }
    ...
  ]
}
```

Table 5.3 네트워크 시각화에 사용한 노드와 간선 데이터 포맷

## 제 2 절 시스템 인터페이스 디자인

4 장에서 얻은 디자인 요구사항에 따라 NFT™은 사용자가 효과적으로 NFT 거래 분석을 수행하기 위한 시각화 및 상호작용을 제공하도록 설계되었다.

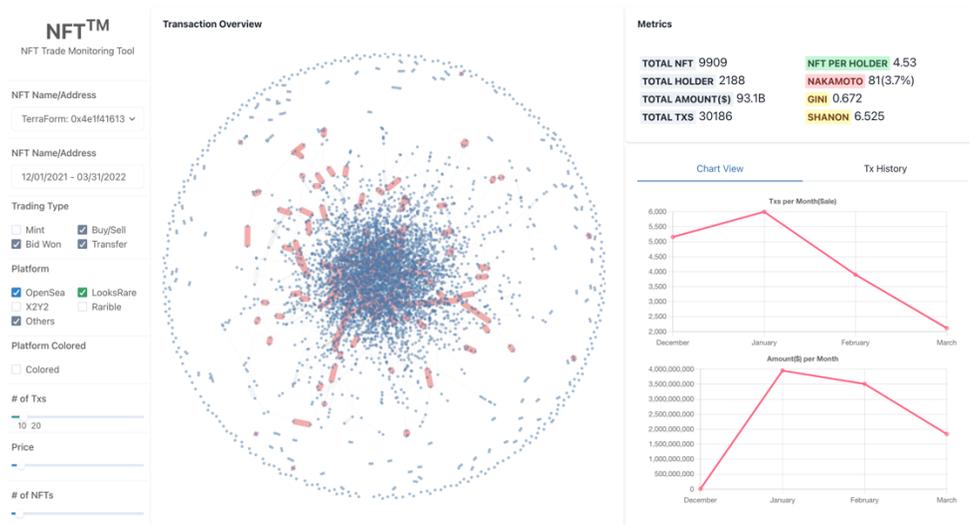


Figure 5.1 NFT™ 시각화 인터페이스는 조건 선택을 위한 필터링 모듈과 NFT 프로젝트 관찰을 3 개의 뷰를 제공한다. 사용자는 필터링을 기반으로 (A) 전체 거래 내역을 관찰하고, (B) NFT의 건전성에 대한 지표를 확인할 수 있다. 또한 전체 거래 내역에 대한 정보를 (C)의 차트를 통해 확인할 수 있다. 전체 거래 내역에서 특정 노드/링크에 mouseover 시, (C) Tx History에서 거래 내역을 확인할 수 있다.

### 5-2-1. 거래 정보 필터링

NFT 프로젝트 내 다양한 거래 패턴 탐색(R2, R3)을 돕기 위해 다양한 필터링 매개변수를 제공한다.

- (1) NFT 컨트랙트 주소: 이더리움 NFT는 프로젝트 별로 컨트랙트 주소가 있다. 원하는 NFT 주소를 작성하면 해당 주소에 해당하는 프로젝트를 불러올 수 있다.
- (2) 기간 탐색(Range): NFT 프로젝트 거래 구간을 탐색할 수 있다. 시작날짜와 종료날짜를 지정할 수 있다.
- (3) NFT 거래 유형(Type): NFT 거래 유형 총 4가지-민팅, 구매/판매, 낙찰, 전송-에 대해 선택할 수 있다.
- (4) NFT 자전거래 유형(Wash Trading Type): 자전거래 서브그래프의 노드수에 따라 선택할 수 있다. 자전거래가 빈번하게 일어나는 2-motif, 3-motif, 4-motif를 검출한다.
- (5) 거래 플랫폼(Platform): NFT 거래 플랫폼에 따른 거래 내역 정보를 선택하여 포함할 수 있다. 이더리움 NFT 시장점유율을 99% 차지하는[각주] NFT 거래 플랫폼 OpenSea, LooksRare, X2Y2, Rarible를 선택할 수 있다. 선택에서 체크된 플랫폼은 네트워크 시각화에 포함된다.
- (7) 색 여부(Colored): 거래 플랫폼에 따른 거래 패턴을 확인할 수 있도록, (C)에서 선택한 플랫폼에 대해 색상 인코딩을 진행한다. 색은 각 플랫폼에서 제공하는 브랜드 색상(brand color)을 사용한다.
- (8) 거래 횟수/거래금액: 거래 수와 거래 금액은 범위로 필터링을 제공할 수 있다. 거래 금액은 해당 주(week)에 이뤄진 거래의 백분위값으로 선택 가능하다.

- (9) NFT 개수(Balances): NFT 개수에 따라 정점을 필터링할 수 있다.  
기준보다 개수가 적은 경우, 해당 주소에 따른 정점은 회색으로 처리한다.

### 5-2-2 거래 그래프 시각화

전체 내역 시각화는 각 주소 간의 거래 내역을 전체적으로 확인하며, 연결된 주소 간의 관계를 관찰하기 위해 인터랙티브 force-directed graph 를 사용했다.

사용자는 노드 및 간선에 마우스를 올려 해당 거래 및 노드에 대한 정보를 더 자세하게 탐색할 수 있다. 마우스를 올리거나 클릭하는 경우, 해당 노드와 연결된 다른 노드와 간선만 강조되고 다른 노드와 간선은 모두 투명한 회색으로 전환된다. 또한 시스템 인터페이스 우측 하단의 트랜잭션 기록 탭을 통해 관련 거래를 확인할 수 있다.

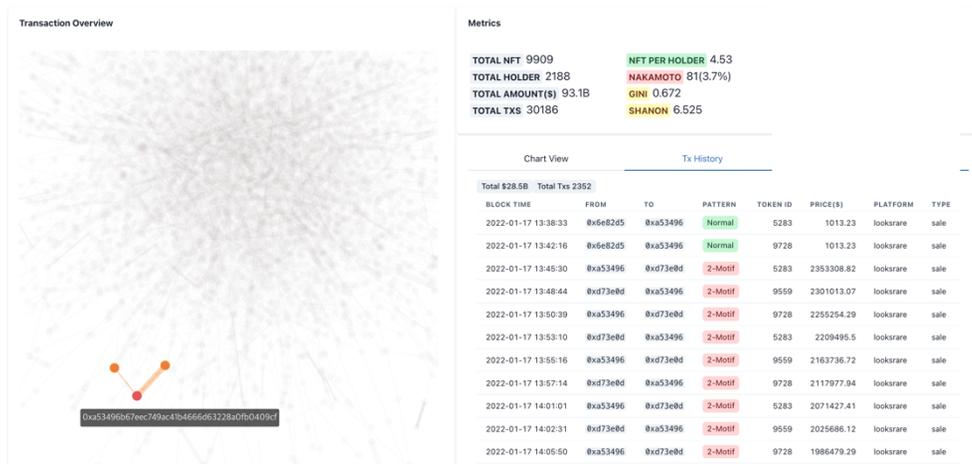


Figure 5.2 거래 내역 시각화에서 특정 노드나 간선에 mouseover 시 관련 거래 내역을 확인할 수 있다.

색 여부(Colored)를 선택하면 사용자는 플랫폼에 따라 다른 색의 간선을 확인할 수 있다. 각 간선 색은 플랫폼의 브랜드에서 제공하는 색상을 사용하여 사용자의 이해를 돕는다.

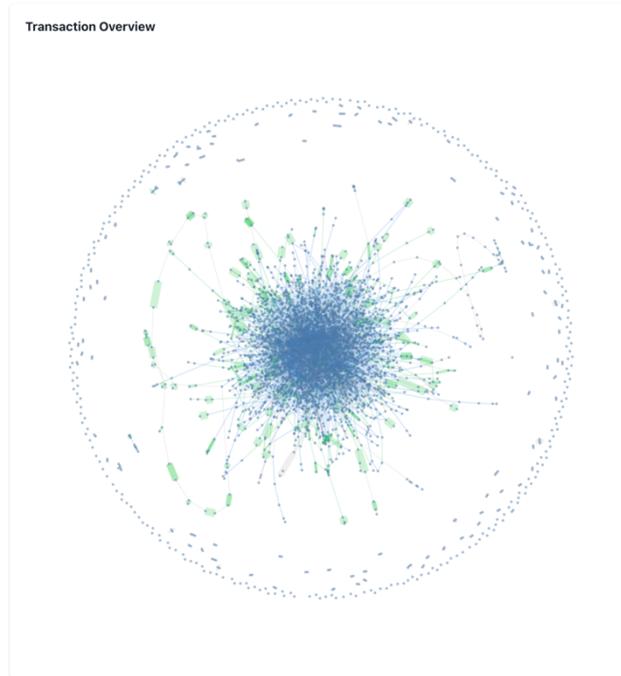


Figure5.3 거래 내역 시각화에서 플랫폼에 따라 색상 인코딩을 한 뷰. 사용자는 플랫폼에 따른 패턴을 확인할 수 있다.

### 5-2-3. NFT 건전성 지표

NFT 프로젝트는 전체적인 통계 지표 4가지와 건전성을 확인할 수 있는 지표 4가지를 제공한다. 전체 통계 지표는 (1)총 발행량(Total NFT) (2)총 보유자(Total Holder) (3)총 거래량(Total Amount) (4)총 거래횟수(Total Tx)이다. 건전성을 나타내는 지표는 (1)인당 NFT 보유 개수(NFT Per Holder) (2)나카모토 계수 (3)지니 계수 (4)샤넌 엔트로피를 사용하였다. 해당 지표는 기간 필터에 따라 정보가 갱신된다

#### 5-2-4. 거래 통계 차트 및 트랜잭션 기록

필터링 후 통계 및 세부 정보는 2 가지 방식으로 제공한다.

Chart View 필터링 된 정보에 따라 일별 거래량 정보를 차트로 제공한다.

거래액과 거래량에 대한 비교를 위해 선그래프를 사용하였으며, 거래액의 패턴을 발견하기 위해 산점도를 사용하였다.

Tx History 노드 또는 간선을 mouseover 시, 선택된 트랜잭션에 대해

테이블 형태로 세부 정보를 제공한다. 트랜잭션 정보는 블록 시간, NFT

송신자, NFT 수신자, 패턴 유형, 토큰 ID, 거래 금액, 거래 플랫폼을

포함한다. NFT 송신자와 수신자는 앞 6 자리만 제공하며 클릭 시

이더스캔으로 연결된다. 패턴 유형은 normal 과 이상패턴(예. 2-motif)을

색으로 구별하여 제공한다.

## 제 6 장 사례 연구

사전 연구에서 TerraForms NFT<sup>⑦</sup>에 대해 2021년 12월 1일~2022년 3월 31일까지 거래를 바탕으로 사례 연구를 진행하였다. TerraForms NFT는 거래량이 많고 자전거래가 많은 것으로 알려진 프로젝트이다.<sup>⑧</sup>마켓 별 거래 [Figure 5.2]와 [Figure 5.3]와 같이 NFT의 자전거래의 군집에서 패턴을 발견했을 때, 중앙 군집에 대해서는 OpenSea(파란색)과 LooksRare(초록색)의 중첩이 있어 명확한 구분이 어렵다. 다만 간선의 두께에서 알 수 있듯 다수 거래가 발생하는 특정 두 주소 패턴은 LooksRare에서 이뤄지는 것을 확인할 수 있다. 자전거래 패턴 전체 거래 내에서 자전거래는 2-motif가 대부분인 것을 확인할 수 있다. Tx History에서 LooksRare를 통해 자전거래가 이뤄지는 것을 확인할 수 있으며, 첫 구매 가격(1013.23\$) 대비 매우 큰 금액(>2,000,000)으로 거래가 반복되는 것을 확인할 수 있다. 사용자 구분 force-graph는 노드의 연결에 따라 군집이 이뤄진다. [Figure 5.2]에서 중앙 군집 외에 희소한 노드를 확인할 수 있다. 3개 내외 주소와 거래가 이뤄졌으며, 최외각의 원 형태로 관찰되는 주소는 초기 민팅 이후 3개월 간 거래 내역이 없다는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 사용자의 유형을 수집가와 트레이더로 추측할 수 있다.

---

<sup>⑦</sup>

<https://looksrare.org/collections/0x4E1f41613c9084FdB9E34E11fAE9412427480e56?queryID=b4301d2a841c29b47bc781019c77405b>

<sup>⑧</sup> <https://cryptoslate.com/what-is-nft-wash-trading-examples-of-how-it-works/>

## 제 7 장 논 의

본 연구에서는 NFT 거래를 모니터링하기 위한 인터랙션 디자인을 하였고, 이를 바탕으로 동작하는 NFT™ 라는 시스템을 소개하였다. 사례 연구를 통해 NFT™ 의 효용을 검증하고 관찰하였다. 이번 장에서는 사례 연구를 통해 얻은 인사이트를 바탕으로 디자인 개선, 활용 방안, 발전 방향에 대해 설명한다.

### 제 1 절 NFT-TM 의 효용성과 한계점

#### 7-1-2. 효용성과 확장성

필터링과 그래프 시각화는 자전거래 현황에 대한 인사이트를 제공한다. 사례 연구를 통해 사용자는 거래플랫폼 등의 필터링 결과로 나온 그래프 시각화에서 자전거래 패턴에 대해 구분할 수 있었다. 다만 시각화 자체는 거래량과 거래액에 대한 정보를 충분하게 주지 못하기에 이에 대한 정보를 차트를 통해 제공하였다. 차트의 산점도를 통해 거래액과 거래량에 대한 정보를 더 자세하게 얻을 수 있었다.

거래 군집은 사용자 유형을 파악할 수 있다. 사례 연구를 통해 그래프 시각화에서 사용자의 유형 구분에 대한 약한 추론을 진행할 수 있었다.. 사용자의 SCC 크기, 사용자의 inflow 간선, outflow 간선 등의 정보를 추가하여 더 군집 유형에 대해 분석으로 확장할 수 있다.



대한 정점 선택을 쉽게 하고 군집을 더 다방면에서 살필 수 있는 3D Force Graph 로 확장할 수 있다.

**목적 파악.** 단순 NFT 거래만 포함해서는 자전거래의 목적을 파악하기 어렵다. 자전거래를 통해 서비스에서 발생하는 영향을 더 정확하게 측정하기 위해서는 자전거래를 통한 보상이 얼마나 자가거래 주소로 할당되는 지에 대한 추가적인 정보가 필요하다. 이에 대해 거래 플랫폼 별 토큰 배분 정보를 추가하는 방향을 제안한다.

## 제 2 절 향후 연구 계획

**데이터 수집.** 앞서 한계점에서 논의한 데이터 정합성 문제를 해결하기 위해 데이터 정합성 검증 로직 추가와 데이터 수집 프로세스를 구축하는 방향을 고려하고 있다. 본 연구에서 데이터는 Dune Analytics, Flipside Crypto 등 데이터 인텍싱 서비스에서 제공하는 데이터를 사용하고 있으나 이는 원본 데이터에서 로그를 재구성한 데이터이다. 블록체인 내 원본 데이터를 사용하여 전처리하는 파이프라인을 추가하면 EVM(Ethereum Virtual Machine)기반 블록체인(예. 클레이튼, 폴리곤, 옵티미즘, 아비트럼 등)에 대해서도 다양한 분석을 진행할 수 있다

**다양한 패턴의 이상 거래 탐지.** 해당 시스템은 단시간 내 이뤄지는 4-motif 까지 이상 거래 패턴을 탐지하고 있으나 그 외의 다양한 패턴을 지원하지 않는다. 이상 거래 탐지에는 적합한 방식이나 판매 전략 등 더 많은 용도를 위해서는 여러 패턴을 탐지할 필요가 있다. 이를 버튼 조합 패턴 생성 등 쉬운 쿼리를 제공하는 방식을 고려해볼 수 있다.

다양한 시각화 및 시각 요소를 통한 정보 제공. 본 연구에서 거래 네트워크의 각 노드는 단일 색상의 점을 사용하였다. 향후 연구에서는 각 노드에 대한 다양한 정보를 글리프 형태로 더 다양한 정보를 제공하고자 한다. 또한 더 많은 거래 정보를 제공하기 위해 다양한 시각화 방법론을 추가하고자 한다.

**메타데이터 활용.** 블록체인 데이터 상에 기록된 내용은 NFT의 거래 내역 정보가 주를 이룬다. 다만 수집형 NFT는 단순히 가격 외에도 다양한 정보가 존재한다. 예시로 희귀도(rarity)가 있으며, 이는 가격에 영향을 미치는 대표적인 요소이다.[29] 프로필 사진으로 사용하는 PFP(Profile Picture) NFT의 경우 랜덤 생성 알고리즘을 사용하고, 이에 대한 결과물로 아래 사진과 같이 특성(Properties)이 기록된다. NFT 커뮤니티에서는 이와 관련하여 희귀도 점수를 계산하여 사용한다. 이러한 특성 기반 희귀도 점수 등의 다양한 정보를 포함시켜 더 풍부한 패턴 분석이 이뤄질 수 있다

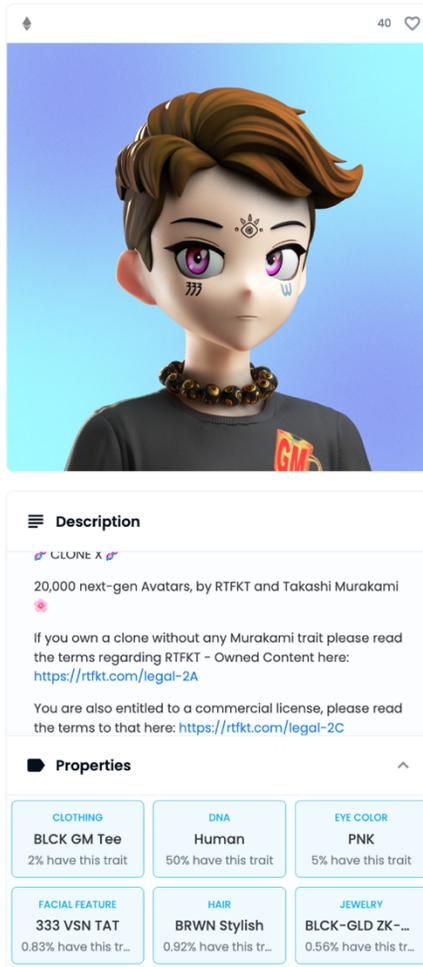


Figure 7.2 NFT 프로젝트 Clone X 예시. 해당 프로젝트 메타데이터에 여러 속성(Properties)이 기록되어 있다. 해당 사진에서 속성은 Clothing, DNA, Eye Color, Facial Feature, Hair, Jewelry 가 있다.

## 제 8 장 결 론

본 연구에서는 NFT 거래와 관련된 이해 관계자의 사전 인터뷰 통해 NFT 패턴 관찰에 대한 수요를 도출했으며, 다양한 NFT 거래 패턴을 탐색할 수 있는 NFT<sup>TM</sup> 시스템을 제안했다. NFT<sup>TM</sup>은 사용자의 필요에 따라 다양한 조건으로 패턴을 탐색할 수 있는 시스템이다. 실제 NFT 거래를 관찰하여 자전거래 의심 패턴을 발견하는 등 NFT<sup>TM</sup>의 효용성을 입증하였다. 또한 사례 연구를 바탕으로 한계점과 해결책에 대한 논의 사항을 정리하였으며 최종적으로 본 연구의 발전 방향성에 대해 기술하였다.

## 참고 문헌

### Blockchain

- [1] Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, 2008
- [2] Vitalik Buterin. A next-generation smart contract and decentralized application platform. white paper, 2014
- [3] Qin Wang, Rujia Li, Qi Wang, Shiping Chen. Non-fungible token (NFT): Overview, evaluation, opportunities and challenges. arXiv preprint arXiv:2105.07447, 2021
- [4] Natkamon Tovanich, Nicolas Heulot, Jean-Daniel Fekete, Petra Isenberg. Visualization of blockchain data: a systematic review. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2019

### Blockchain Analysis

- [5] Deepa N, Quoc-Viet Pham, Dinh C. Nguyen, Sweta Bhattacharya, B. Prabadevi, Thippa Reddy Gadekallu, Praveen Kumar Reddy Maddikunta, Fang Fang, Pubudu N. Pathirana, Natarajan, et al. A survey on blockchain for big data: approaches, opportunities, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 2022
- [6] Timothy Tzen Vun, Ting Fong Ho, Hu Ng, Vik Tor Goh. Exploratory graph analysis of the network data of the Ethereum blockchain. *F1000Research*, 2021

- [7] Weili Chen, Tuo Zhang, Zhiguang Chen, Zibin Zheng, Yutong Lu, Traveling the token world: A graph analysis of ethereum erc20 token ecosystem. In: Proceedings of The Web Conference 2020. 2020
- [8] Zhiying Wu, Jieli Liu, Jiajing Wu, Zibin Zheng. Transaction Tracking on Blockchain Trading Systems using Personalized PageRank. arXiv preprint arXiv:2201.05757, 2022
- [9] Arijit Khan. Graph Analysis of the Ethereum Blockchain Data: A Survey of Datasets, Methods, and Future Work. In: 2022 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain). IEEE, 2022
- [10] Qianlan Bai, Chao Zhang, Yuedong Xu, Xiaowei Chen, Xin Wang. Evolution of Ethereum: A temporal graph perspective. In: 2020 IFIP Networking Conference (Networking). IEEE, 2020.
- [11] Aman Framewala, Sarvesh Harale, Shreya Khatal, Dhiren Patel, Yann Busnel. Blockchain Analysis Tool For Monitoring Coin Flow. BAT 2020 – Second International Workshop on Blockchain Applications and Theory, 2020
- [12] Petra Isenberg, Christoph Kinkeldey, Jean–Daniel Fekete. Visual Analytics for Monitoring and Exploration of Blockchain Data With a Focus on the Bitcoin Blockchain. HCI for Blockchain: A CHI 2018 workshop on Studying, Critiquing, Designing and Envisioning Distributed Ledger Technologies, 2018

[13] Benedikt Putz, Fabian Bohm Gunther Pernul. HyperSec: Visual Analytics for blockchain security monitoring. In: IFIP International Conference on ICT Systems Security and Privacy Protection. Springer, Cham, 2021

[14] Yujing Sun, Hao Xiong, Siu Ming Yiu, Kwok Yan Lam. BitAnalysis: A Visualization System for Bitcoin Wallet Investigation. IEEE Transactions on Big Data, 2022.

[15] Wei Cui, Cunnian Gao. WTEYE: On-chain wash trade detection and quantification for ERC20 cryptocurrencies. Blockchain: Research and Applications, 2022

## NFT

[16] Matthieu Nadini, Laura Alessandretti, Flavio Di Giacinto, Mauro Martino, Luca Maria Aiello, Andrea Baronchelli. Mapping the NFT revolution: market trends, trade networks, and visual features. Scientific reports, 2021

[17] Mayukh Mukhopadhyay, Kaushik Ghosh. Market Microstructure of Non Fungible Tokens. arXiv preprint arXiv:2112.03172, 2021.

[18] Prakhyat Khati. Measurement, Analysis, and Insight of NFTs Transaction Networks. 2022

[19] Dipanjan Das, Priyanka Bose, Nicola Ruaro, Christopher Kruegel, Giovanni Vigna. Understanding security Issues in the NFT Ecosystem. arXiv preprint arXiv:2111.08893, 2021

[20] Ruan, Xiangyu. Exploring Vulnerabilities and Anomalies in NFT Marketplaces. Diss. University of Guelph, 2022.

[21] S. Casale-Brunet, P. Ribeca, P. Doyle, M. Mattavelli. Networks of Ethereum non-fungible Tokens: a graph-based analysis of the ERC-721 ecosystem. In: 2021 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain). IEEE, 2021

### Wash Trading

[22] Sven Serneels. Detecting wash trading for non fungible tokens. Finance Research Letters, 2022

[23] Victor von Wachter, Johannes Rude Jensen, Ferdinand Regner, Omri Ross. NFT Wash Trading: Quantifying suspicious behaviour in NFT markets. arXiv preprint arXiv:2202.03866, 2022.

[24] Nargess Tahmasbi, Alexander Fuchsberger. Non-fungible Tokens- Exploring Suspicious Washtrader Communities in NFT Networks. ICIS 2022 Proceedings, 2022.

### Theory

[25] R.L. Rivest, A. Shamir, and L. Adleman. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. *Communications of the ACM*, 1978

[26] Nick Szabo. Smart contracts: building blocks for digital markets. *EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought*, (16), 1996

[27] Mihir Bellare, Joe Kilian, Phillip Rogaway. The security of cipher block chaining. In: *Annual International Cryptology Conference*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1994

ERC

[28] William Entriken, Dieter Shirley, Jacob Evans, Nastassia Sachs, EIP-721: Non-Fungible Token Standard, *Ethereum Improvement Proposals*, no. 721, January 2018

**Finding**

[29] Amin Mekacher, Alberto Bracci, Matthieu Nadini, Mauro Martino, Laura Alessandretti, Luca Maria Aiello, Andrea Baronchelli. Heterogeneous rarity patterns drive price dynamics in NFT collections. *Scientific reports*, 2022

[30] Muhammad Nasir Mumataz, Amir A. Khwaja, Adnan Nadeem, Hafiz Farooq Ahmad, Muhammad Khurram Khan, Moataz A. Hanif, Houbing Song, Majed Alshamari, Yue Cao. A survey on blockchain technology: evolution, architecture and security. *IEEE Access*, 2021

## Abstract

# NFT TM: Non-Fungible Token Trade Monitoring Interactive Visualization System

Subin An

Computer Science and Technology

The Graduate School

Seoul National University

The NFT (Non-Fungible Token) ecosystem, one of the blockchain-based digital assets, has experienced rapid growth in recent years. However, the lack of restrictions on participants in the blockchain ecosystem, including NFTs, can expose consumers to various vulnerabilities due to distorted information. In order to prevent damage caused by such distorted information, a tool is needed that allows consumers to easily filter and observe information related to NFT transactions. In this paper, we derive design requirements through preliminary interviews and propose an interactive visualization tool, NFT<sup>TM</sup>, that supports NFT transaction pattern search based on transactions recorded on the blockchain. NFT<sup>TM</sup> enables users to search for various transaction patterns by providing filtering of subgraphs between addresses, platforms, etc. In the case study, we show that NFT<sup>TM</sup> can be used to identify abnormal trades, including wash trading.

**Keywords :** NFT, Blockchain, Graph Analysis, Visualization System

**Student Number :** 2021-22865