

# Real Estate Asset NFT Tokenization and FT Asset Portfolio Management

Young-Gun Kim<sup>†</sup> · Seong-Whan Kim<sup>††</sup>

## ABSTRACT

Currently, NFTs have no dominant application except for the proof of ownership for digital content, and it also have small liquidity problem, which makes their price difficult to predict. Real estate usually has very high barriers to investment due to its high pricing. Real estate can be converted into NFTs and also divided into small value fungible tokens (FTs), and it can increase the the volume of the investor community due to more liquidity and better accessibility. In this document, we implement and design a system that allows ordinary users can invest on high priced real estate utilizing Black Litterman (BL) model-based Portfolio investment interface. To this end, we target a set of real estates pegged as collateral and issue NFT for the collateral using blockchain. We use oracle to get the current real estate information and to monitor varying real estate prices. After tokenizing real estate into NFTs, we divide the NFTs into easily accessible price FTs, thereby, we can lower prices and provide large liquidity with price volatility limited. In addition, we also implemented BL based asset portfolio interface for effective portfolio composition for investing in multiple of real estates with small investments. Using BL model, investors can fix the asset portfolio. We implemented the whole system using Solidity smart contracts on Flask web framework with public data portals as oracle interfaces.

Keywords : Non-Fungible Token, Fungible Token, BL Model

## 부동산 유동화 NFT와 FT 분할 거래 시스템 설계 및 구현

김 영 근<sup>†</sup> · 김 성 환<sup>††</sup>

### 요 약

대체 불가능 토큰 (NFT: non-fungible Token)은 분할할 수 없다는 고유한 특징을 가지고 있다. 현재 NFT는 디지털 콘텐츠에 대한 소유권 증명 이상의 용도가 명확하지 않고, 토큰의 유동성이 거의 없으며, 이로 인한 가격의 예측이 어렵다. 현실에서의 부동산은 대개 가격이 매우 높은 특징으로 인해 투자 진입장벽이 매우 높다. 현물 부동산을 NFT 화하고, FT (fungible token)으로 분할하면 유동성의 증가, 접근성의 증가에 따른 투자자 커뮤니티 볼륨의 증가를 기대할 수 있다. 본 논문은 일반 투자자들이 개별적으로 구매하기 어려운 현물 부동산을 대량의 FT로 분할하고 이를 Black Litterman 모델 기반의 Portfolio 투자 인터페이스를 통해 투자할 수 있는 시스템을 설계하고 구현하였다. 이를 위해, 현물 부동산을 담보로 폐기하고, 보안적으로 안전한 블록체인인 NFT로 발행한다. 상시 변경되는 부동산 가격을 모니터링하기 위한 오라클을 사용하여, 외부 부동산 정보를 블록체인에 반영할 수 있도록 하였다. 현물 부동산 가격을 그대로 유지하고 있는 NFT를 낮은 가격의 대량 FT로 분할함으로써, 큰 유동성을 제공하고 가격 변동성 제한을 두었다. 이를 통해, 높은 가격으로 인해 투자하기 어려웠던 일반 소액 투자자들이 쉽게 투자할 수 있도록 하였다. 또한 소액 투자로 여러 개의 복수 현물 부동산에 투자하기 위한 효과적인 포트폴리오 구성을 위한 자산 포트폴리오 인터페이스를 구현하였다. 이는 Black Litterman 모델을 활용하여, 다수의 현물 부동산 NFT에 대한 투자 비율을 최적화할 수 있는 목적을 가진다. 전체 시스템은 Solidity 언어로 작성한 smart contract, Flask 웹 프레임워크, 공공데이터포털의 "국토교통부\_아파트매매 실거래자료 Open API"를 활용하였다.

키워드 : Non-Fungible Token, Fungible Token, Black Litterman 모델

## 1. 서 론

블록체인 (blockchain)이란 데이터에 대한 비밀성과 보안성, 투명성을 제공하기 위한 분산 원장 기술이다 [1]. 초기 1세

대 블록체인인 비트코인에서 발전된 2세대 블록체인 중 하나인 이더리움은, 블록체인을 통해 스마트 계약(smart contract)이라는 프로그램 실행이 가능하고, 이를 이용하여 토큰 발행이 가능하다. 이더리움 스마트 계약을 통해, 저작권, 소유권 등의 권리를 표시하는 ERC-721 형식의 NFT (non-fungible token)로 발행 및 ERC-20 (fungible token) 형식의 가상자산 토큰화가 가능하다. NFT는 디지털 자산의 소유권 양도 확인, 로열티 지급 등에 관한 정보를 스마트 계약 형태로 블록체인에 직접 저장함으로써 발행이 되는 토큰으로서, 각 토큰은 모두 각자의 유일무이한 가치를 지녀 다른 토큰과 1:1 교환이 불가능하

<sup>†</sup> 준 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학과 박사과정

<sup>††</sup> 비 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수

Manuscript Received : January 10, 2023

First Revision : April 27, 2023

Second Revision : May 30, 2023

Accepted : June 24, 2023

\* Corresponding Author : Seong-Whan Kim (swkim7@uos.ac.kr)

다. 블록체인 기반의 NFT 발행을 통해, 위변조 불가 및 복제 불가능을 지원하게 된다. 소유권과 거래 내역을 증명할 수 있어서 실물 및 가상자산의 소유권 보증서나 디지털 원본 증명서로 활용될 수 있다 [2]. 부동산에서 블록체인이 대표적으로 활용되는 사례는 자산 유동화이다. 부동산을 유동화한 증권을 일반 투자자에게 발행 및 유통하는 서비스로 이러한 수익 증권은 블록체인 플랫폼에서 NFT 형태로 디지털 자산이 된다. 투자자는 부동산 신착회사에 의해 발행한 수익 증권에 투자하고, 이를 마켓플레이스에서 주식처럼 거래할 수 있다는 장점을 가지고 있다 [3]. 본 논문에서는 실제 세계의 개별 부동산 자산들을 NFT로 모델링하고, 개별 부동산 가격을 오라클을 사용하여 실제 가격을 가져온다. NFT 가상자산으로 모델링된 실제 부동산들은 소액 투자가 가능한 FT로 분할되고, 다양한 부동산을 분산 투자할 수 있도록 Black Litterman 모델 기반의 분산 포트폴리오를 가진 파생금융상품 시스템을 설계하고 구현하였다.

## 2. 관련 연구

블록체인 (blockchain)이란 다수의 거래 내역을 블록으로 구성하고, 여러 블록들을 해시를 이용하여 체인처럼 연결한 구조이다. 블록체인 기술을 이용하면 데이터의 위변조가 불가능에 가까워져, 은행 등과 같은 제3의 권위 있는 중개 기관이 없더라도 데이터 처리와 안전한 거래를 할 수 있다. 블록체인은 비트코인, 이더리움, 리플 등 가상자산의 핵심 기술이며, 가상자산뿐 아니라, 온라인 거래 내역 및 이력 관리가 필요한 처리에 활용할 수 있다. 예를 들어, 블록체인 기반으로 스마트 계약과 물류관리 시스템, 문서관리 시스템 또한 의료관련 시스템, 저작권관리 시스템, 신원 확인 시스템, 전자투표 시스템 등 다양한 곳에서 활용할 수 있다. 이더리움 블록체인에서는 ETH가 사용되고, DApp을 이용하여 다양한 분야에서 적용될 수 있는 토큰을 발행한다. 이때 발행된 이더리움 토큰은 이더리움 생태계에서 사용 가능하며 같은 플랫폼 내부의 토큰과 호환도 가능하다. 토큰은 Fig. 1과 같이, FT (fungible token) 과 NFT (non-fungible token)으로 구분한다.

대부분의 유틸리티 토큰의 경우 ERC-20 표준의 FT로 구성된다. ERC는 Ethereum Request for Comment의 약자로 이더

리움 네트워크의 개선안을 제안하는 의미의 EIPs (Ethereum Improvement Proposals)에서 관리하는 공식적인 프로토콜이다. ERC-20에서 정의된 토큰들은 동일한 단위의 다른 토큰들로 교환 대체될 수 있어서 fungible token으로 부른다. 예를 들어, 1ETH (이더리움)은 또 다른 ETH로 대체될 수 있다. ERC-20 토큰의 경우 결제와 탈중앙화 금융을 이용하기 위한 다양한 수단으로 사용된다. ERC-20은 이더리움과 호환성을 충족시키기 위한 프로그래밍 표준으로 스마트 계약기능을 포함한다. ERC-20 기준에 따라 DApp을 설계한 후 토큰을 발행하면, 중앙관리가 배제된 서비스로 다른 이더리움과 쉽게 교환할 수도 있고, 표준 이더리움 지갑 (Meta Mask, My Ether Wallet 등)에 전송을 자유롭게 할 수 있게 된다. 결국 이더리움 블록체인을 활용하는 토큰의 경우에는 ERC-20 기준을 맞춰야 한다. ERC-20 기반 토큰은 오미세고 (OMG), 펀디엑스 (NPXS), 비체인 (VEN) 등이 있다. 트론 (TRX), 이오스 (EOS) 등은 이더리움 기반 토큰으로 최초 생성되었으나, 자체 메인넷을 출시하여 독립적인 코인으로 재탄생했다.

ERC-721 표준으로 정의된 NFT는 디지털 자산의 소유권을 보장하기 위해 사용하며, 고유한 값을 토큰마다 가지고 있어 다른 토큰으로의 대체가 불가능한 특성을 가지고 있다. NFT로 활용될 수 있는 대표적인 예로는 미술품, 게임 아이템, 한정판 상품, 스포츠 경기 장면, 디지털 예술품 등이 있다. NFT는 해시라고 하는 고유값을 가지고 있어 디지털 자산의 소유권을 보장받을 수 있다. ERC-721은 소유권 증서 (ownership)라고 알려진 NFT의 표준안이다. ERC-721 (non-fungible token) 표준으로 발행되는 토큰은 대체 불가능하여 각각의 가치를 갖고 있다. 즉 디지털화된 자산의 문제점인 복제된 자산을 무한정으로 발행하여 발행한 만큼 가치가 감소하는 문제를 해결하기 위해, 디지털 자산의 고유성 (uniqueness)을 보장하도록 설계한다. ERC-721은 토큰 자체보다 게임에 주로 사용된다. 대표적인 예로는 크립토키티 (crypto kitties)가 있다. 크립토키티는 가상의 펫인 고양이 캐릭터를 수집하고 사고파는 게임으로 여기에 나오는 고양이들은 제각각의 다른 생김새와 특징을 가지고 있어 보유자에게는 세상에서 단 하나밖에 없는 고양이가 되어 희소성을 충분히 느끼게 해주는 게임이다. ERC-721을 활용한 NFT는 가상자산에 유일성과 희소성이란 가치를 부여할 수 있기 때문에 최근 부동산, 디지털 예술품, 게임 아이템 거래, 온라인 스포츠 분야 등을 중심으로 그 관심이 급격히 높아지고 있다 [4].

가상자산 (crypto-currency)은 암호화라는 뜻을 가진 crypto와 화폐, 통화라는 뜻을 가진 currency의 합성어로, 분산 장부에서 공개키 암호화 기술을 적용하여 자산을 안전하게 전송하는 기능과 해시 함수를 이용해 쉽게 자산의 소유권을 증명하는 디지털 자산이다. 가상자산은 원래 지급수단으로 고안된 것이지만, 그 자체가 액면가가 없고 투자의 목적이 되어 시장의 수급에 따라 형성되는 가격으로 거래소를 통하여 거래되어 소득 또는 손실이 발생한다. 이러한 점에서 볼 때 가상자산은 재화성을 함께 가지고 있는 특수한 지급수단이라 할 수

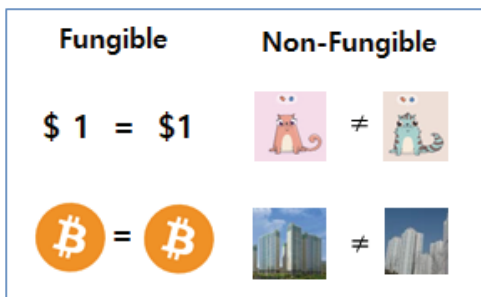


Fig. 1. Examples of NFTs and FTs

Table 1. Types of Major Virtual Assets

platform coin	security token	utility token	governance token
Cryptocurrency used on the platform	Receiving dividends and rights to participate in profit distribution	Protocol tokens, access tokens, loyalty tokens, community tokens	Participating in voting on the future development of the project
Ethereum, Cardano, Tron, Luniverse, Klaytn	BBRIC	OmiseGO, Augur, Steem, Status	COMP, Bora

있다. 대표적인 자산 형태는 Table 1과 같이 분류할 수 있다.

(1) 플랫폼 토큰 (platform coin): 플랫폼 코인이란 토큰에서 사용하는 다양한 기능들을 모아서 플랫폼에 사용되는 서비스에 제공하는 가상자산이다. 플랫폼 위에 DApp을 만들어 다양한 서비스에서 사용할 수 있다. 대표적인 플랫폼 코인에는 이더리움, 클레이튼, 카르다노, 트론, 이오스 등이 있다. (2) 증권형 토큰 (security token): 증권형 토큰이란 주식, 부동산, 채권 등 실물자산을 블록체인 기반의 가상자산에 패키징 (코인의 가치를 법정화폐의 가치에 고정시켜 두는 것)한 디지털 자산을 말한다. 일반적으로 주식과 비슷한 개념이다. 사용자는 보유한 증권형 토큰의 양에 따라 토큰 발행사의 이윤 일부를 배당금의 형태로 받거나 경영권 일부를 보유할 수 있다. 국내 증권형 토큰의 첫 사례는 세종텔레콤의 비브릭 (BBRIC)이다. (3) 유틸리티 토큰: 유틸리티 토큰 (utility token)은 플랫폼 내에서 특정 서비스 또는 기능을 이용할 수 있도록 하는 암호화폐로서 특정 블록체인상의 스마트 계약으로 생성·관리되는 가상자산을 의미한다. 보통 플랫폼 코인 위에서 동작하는 DApp 방식으로 개발한다. (4) 거버넌스 토큰: 거버넌스 토큰이란 가상자산의 한 종류로, 블록체인 생태계에서 투표에 사용되는 용도로 쓰이고 있다. 탈중앙화로 운영되는 디파이의 특성상 사용자들은 거버넌스 토큰을 이용하여 시스템 운영방안이나 개선안 등에 의사를 표시한다.

DeFi란 탈중앙화 금융 (decentralized finance)의 약자로 금융상품, 금융서비스가 중개 기관 (intermediary) 없이 탈 중앙화된 개방 시스템에서 제공되는 것을 의미한다. 주로 가상자산을 담보로 걸고 일정 금액을 대출받을 수도 있고 또는 다른 담보를 제공하고 가상자산을 대출받는 방식으로 작동한다. 디파이 (DeFi)는 블록체인 기반으로 되어있는 금융 도구로, 디지털 자산을 생성하고 발행하는 프레임워크와 오픈소스 프로토콜을 전제로 하여 검열에 대한 저항, 금융서비스의 접근성을 향상하는 것과 같은 이점을 제공하도록 설계되었다. 대표적인 DeFi 분류는 다음과 같다. (1) Credit/Lending: DeFi Lending 서비스에서는 신원 확인 절차를 걸친 후 가상자산 담보를 통해 간단한 대출 서비스 이용이 가능하다. 담보대출 서

비스는 서비스 운영 주체가 대출을 해줄 때 담보를 받고 해주는 형식인 Capital Pool 모델과 특정 운영 주체 없이 해주자 하는 사람과 대출받고자 하는 사람을 연결해주는 형식인 P2P 모델이 존재한다. (ex) MakerDAO, Compound, Aave 등. (2) Decentralized Exchange (탈중앙화 거래소): 중앙화된 가상자산 거래소는 상장 수수료, 거래소 해킹, 입출금 통제 등의 문제점이 존재했다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 거래소 인터페이스만 제공하고 그 외의 부분에 대해서는 블록체인을 활용하는 탈중앙화 거래소가 등장했다. (ex) UNISWAP, Binance DEX 등. (3) Tokenization (토큰화): 블록체인 비즈니스를 위한 서비스 및 재화 등을 교환수단의 용도로 가상자산을 발행하던 과거 달리 현물 자산과 법정화폐를 네트워크상에서 거래 가능한 토큰으로 변환하는 경우들이 늘어나면서 이를 대신해주는 서비스들이 나타났다. (ex) Set Protocol (프로토콜 설정), wBTC 등.

블록체인 네트워크와 스마트 계약은 외부 네트워크의 데이터와 직접적으로 연결하여 데이터를 가져올 수 없다. 따라서 블록체인 네트워크는 인터넷 연결이 되지 않는 컴퓨터와 비슷하다고 볼 수 있다. 스마트 계약의 가장 큰 문제점 중 하나는 블록체인 외부에서 나타나는 현상에 대한 정보를 수집할 수 없다는 것이다. 예를 들어, 보험이 있다. 가령 A가 자동차 보험을 가입하였는데 자동차 사고를 당했다면, 블록체인에 데이터를 입력하고 실행하지 않는 이상 블록체인의 스마트 계약은 작동하지 않기 때문에 데이터를 블록체인에 입력하는 작업이 필요하다. 블록체인 네트워크와 스마트 계약이 보다 활성화되기 위해서는 다양한 외부 네트워크와 연결되는 것이 필수적이다. Fig. 2의 오라클은 블록체인 네트워크와 외부 네트워크 즉, on-chain과 off-chain을 연결하는 역할을 하는 미들웨어 인프라를 의미한다. 오라클의 종류에는 인바운드와 아웃바운드 오라클, 중앙 집중식 및 분산형 오라클이 있다. 인바운드 및 아웃바운드 오라클은 보다 일반적인 유형의 블록체인 오라클이다. 인바운드 오라클은 실제 정보를 스마트 계약에 제공하지만 아웃바운드 오라클은 그 반대이다. 데이터를 블록체인으로 가져오고 싶다면 인바운드 오라클이 이용되고, 온체인 데이터를 오프체인으로 가져오려면 아웃바운드 오라클이 필요하다. 중앙 집중식 및 분산형 오라클이 있다. 중앙 집중식 오라클은 정보를 제공하기 위해 단일 엔티티만 구현하는 반면, 분산형 오라클은 데이터를 관리하기 위해 여러 개의 분산

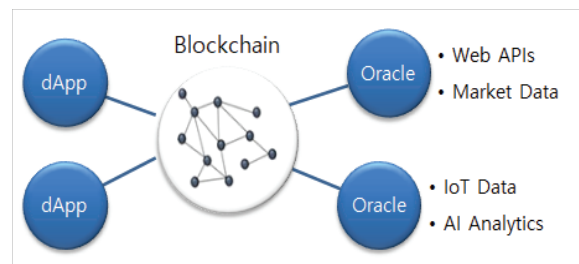


Fig. 2. Oracle Network

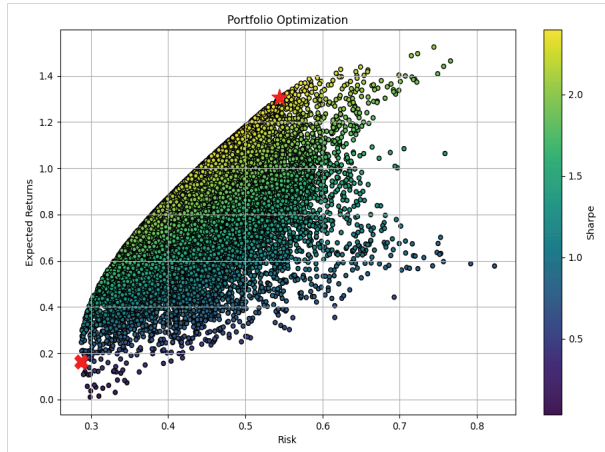


Fig. 3. Market Portfolio Theory and Optimal Portfolio

된 노드가 포함된 네트워크를 사용한다. 중앙 집중식 오라클은 데이터 공급자가 악용되면 데이터가 쉽게 조작될 수 있으므로 공격에 취약하다. 반대로 탈중앙화된 오라클을 해킹하려면 수백에서 수천 개의 노드가 동시에 다운되어야 하므로 분산된 오라클을 훨씬 더 안전하게 만든다.

해리 마코위츠 (1952)의 현대 포트폴리오 이론 (modern portfolio theory, MPT)에 따르면, Fig. 3과 같이 투자자의 투자 결정 과정에서 위험과 수익은 평균과 분산을 가지고 나타낼 수 있다고 한다 [5]. MPT에 따르면, 자산을 분산시켜 포트폴리오를 구성한다면 자산 서로 간의 상관계수가 1이 아닌 이상에는 분산투자를 하지 않는 것보다 분산투자를 하는 것이 위험을 감소시킬 수 있다는 것을 증명하였다. 포트폴리오의 기대수익률과 위험은 평균과 분산의 개념으로 정의되기 때문에 N 개의 위험자산으로 구성된 수많은 투자조합을 가진 포트폴리오들은 다음과 같이 위험과 수익으로 구성된 2차원 평면상에서 점들로 표시될 수 있다. 이러한 포트폴리오 중에서 지배원리 (dominance principle)에 의해 구성된 포트폴리오를 연결한 선을 효율적 프런티어 (efficient frontier)라고 한다. 지배원리란 포트폴리오 관리에 있어서 기대수익률을 동일하게 가지고 있는 포트폴리오 중에서 가장 최소의 위험을 가지고 있는 포트폴리오를, 또는 위험을 동일하게 가지고 있는 포트폴리오 중에서 최대의 기대수익률을 가지는 포트폴리오를 선택하는 원리를 말한다.

효율적 프런티어를 기준으로 아래쪽 영역에 나타나 있는 투자 가능한 포트폴리오 조합을 투자 기회 집합 (investment opportunity set)이라 한다. 무위험이자율로 대출이 가능할 경우 무위험 자산과 시장 포트폴리오로 구성된 자본 배분선 (CML, capital market line)이라 한다. 이것은 또한 새로운 효율적 프런티어가 된다. 따라서 투자자가 최적의 포트폴리오를 선택할 때 자본시장선 위에 놓여있는 포트폴리오를 선택하는 것이 가장 합리적이다. 아래 그림에서 효용이 같은 두 재화의 조합을 나타내는 투자자의 무차별곡선과 자본 시장 선의 접점이 바로 새로운 효율적 프런티어에 속해있는

포트폴리오이면서 동시에 투자자의 효용을 가장 극대화할 수 있는 최적의 포트폴리오이다.

현대 포트폴리오 이론을 바탕으로 평균 분산 모형 (mean variance model)이 만들어졌으며 평균 분산 모형은 과거 수익률 데이터를 이용하여 우선 기대수익률과 위험을 구하고 나서 목표 기대수익률 수준 하에 위험이 최소화되거나 목표 위험 수준 하에 기대수익률이 최대화되는 투자 중에서 최적 포트폴리오를 선택하는 모형이다 [6]. MVO의 목적함수는 기대수익률을 최대화하게 되고, 위험 회피 성향은 수익과 위험 간의 균형점을 잡는 데 주로 사용된다. 위험을 회피하는 성향이 클수록, 투자자는 위험 쪽에 더 많은 패널티를 주게 되고, 최적화의 결과는 더욱더 보수적인 포트폴리오를 가지게 된다. MVO (mean variance Optimization, 평균-분산 최적화 기법)는 샤프 비율이 가장 높게 달성할 수 있는 포트폴리오를 구축하는 것이다. 샤프 비율은 위험 1단위당 무위험수익률 대비 초과수익률을 나타내는 것으로 대표적인 위험 보상 비율이다 [7]. MVO의 계산을 위해서는 각 자산의 변동성과 기대수익률 그리고 자산 간의 공분산을 계산하여 이들의 변동성은 최소화하고 기대수익률은 최대화하는 가중치를 계산해야 하고 이때 효율적 프런티어 (efficient frontier)를 찾을 수 있다. 효율적 프런티어는 포트폴리오 리스크가 최대일 때 포트폴리오 수익률을 최대로 하는 포트폴리오를 뜻한다.

Black-Litterman Model은 시장에 형성된 market portfolio가 가장 합리적이라고 가정하고, 투자자의 시장 전망 견해를 반영하여 균형 기대수익률 (implied equilibrium return)을 구한다. Fig. 4와 같이, 평균 분산 모형과 다르게, Black Litterman 모형은 시장 포트폴리오 (market portfolio)에서 균형 기대수익률을 도출하여 평균 분산 모형의 입력 변수로부터 불안정성을 극복하고 있다. 즉, Markowitz의 평균 분산 모형에서는 각 자산의 기대수익률 자료를 과거 수익률의 평균값을 이용하여 계산하는 반면 Black Litterman 모형에서

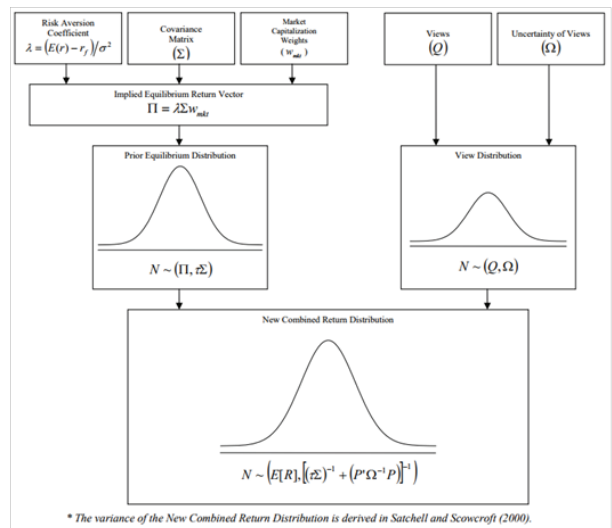


Fig. 4. Deriving the New Combined Return Vector

는 각 자산들의 균형 기대수익률을 시장 포트폴리오로부터 추정하고 있다. 시장 포트폴리오는 주식시장의 균형상태에서 모든 구성 종목의 시가총액 비율로 구성된 포트폴리오로서 위험자산 포트폴리오 가운데 가장 효율적인 포트폴리오 (efficient portfolio)라고 할 수 있다. 블랙-리터만 모형은 시장 포트폴리오의 투자 비중을 가지고 역으로 균형 기대수익률을 계산하고 여기에 투자자의 시장 전망을 반영하여 결국 평균-분산 모형에 투입할 블랙리터만 기대수익률을 도출하는 것이다[8].

블록체인 활용 사례 중에서 2가지 사례를 다음과 같이 분석하였다. (1) 카사코리아는 금융위원회가 지정한 혁신금융서비스 업체 중 하나이다. 누구나 소액으로 쉽게 투자한 부동산에 대한 수익과 권리를 디지털 증권화로 만들어 모바일 앱 상에서 아주 쉽게 거래할 수 있도록 구축하고 운영하고 있다. Fig. 5와 같이, 주요 사업 대상인 부동산은 수도권과 서울에 있는 1천억 원 이하의 중소형 사업용 건물이며, 부동산을 담보로 하여 발행된 디지털 자산 유동화증권 (DABS)을 최소 5,000원 단위로 모바일 앱 상에서 실시간으로 매매할 수 있다. 거래자들은 모바일 앱에서 신원인증을 하고 비대면으로 계좌를 개설해야 한다. 카사코리아는 DABS (디지털 유동화증권) 유통 플랫폼을 운영함에 있어 신뢰성과 안정성을 강화하는 시스템을 도입하였다. 외부 상장 심사위가 자산의 안정성 평가를 하도록 하였는데, 구체적으로 카사 플랫폼에서 상장되는 상업용 부동산의 가치는 한국토지신탁, 한국자산신탁, 코람코 자산 신탁 등이 1차적으로 선정과 평가를 한다. 이후 부동산 관련 법률, 회계, 자산운용사의 대표급들로 구성된 외부 상장 심사위원회에 의해 자산 안전성을 추가적으로 검토한 뒤 상장을 권고한다. 마지막으로 카사 측에서 최종 결정을 거쳐 주식 발행신고서가 발행되는 식으로 체계를 구축하였다.



Fig. 5. Kasa Korea



Fig. 6. Land in the Sandbox

(2) 샌드박스는 이더리움 블록체인에서 플레이어가 게임 경험을 구축하고 소유 및 수익화를 할 수 있는 가상 세계이다. 샌드박스라는 가상현실 세계에서 사용자는 토지를 구매하고 게임, 스테이킹 등 다양한 활동을 할 수 있으며, 또 다른 사용자에게 소유한 토지를 판매할 수도 있다. LAND는 플레이어가 대화형 경험을 구축하기 위해 구매하는 샌드박스 메타버스의 디지털 부동산이다. LAND를 소유하면 소유한 LAND에 게임 및 자산으로 채울 수 있다. 각 LAND는 이더리움 블록체인 (ERC-721)에 의해 생성된 고유한 토큰으로 만들어진다. LAND는 샌드박스 메타버스의 진원지라고 할 수 있고 이를 통해 게임을 플레이하고 만들고, 토큰을 획득하고, 콘테스트를 주최하는 등 많은 일을 할 수 있다.

### 3. 부동산 유동화 NFT와 FT 분할 거래 설계

본 논문에서는 높은 가격의 아파트를 패키징 (코인의 가치를 법정화폐의 가치에 고정시켜 두는 것)하여 보안적으로 안전한 블록체인인 NFT로 발행하고 높은 가격의 NFT를 분할하여 많은 유동성과 투자자들이 진입하도록 FT로 만들어 그동안 높은 가격으로 투자를 할 수 없던 투자자에게 보다 쉽게 투자할 수 있도록 설계하였다. 또한 투자자들이 보다 효과적인 포트폴리오 구성을 할 수 있도록 Black Litterman을 이용하였다.

전체적인 흐름은 Fig. 7과 같다. 클라이언트에서 web3 라이브러리를 이용하여 Smart Contract와 연동하여 이더리움 네트워크와 통신한다. web3.js는 자바스크립트 라이브러리로 이더리움과 상호 작용하는데 이용된다. 일반적으로 디앱 (dapps)에서 스마트 계약의 상호 작용, 거래 전송, 블록 데이터 읽기 등 다양한 이벤트를 지원한다. ERC-721을 이용하여 부동산 자산을 NFT로 생성한다. 생성된 NFT를 스마트 계약을 통해 금고에 저장하고 (lock) ERC-20을 이용하여 FT를 생성한다. 생성된 FT를 구매자가 각각 구매하여 매매를 할 수

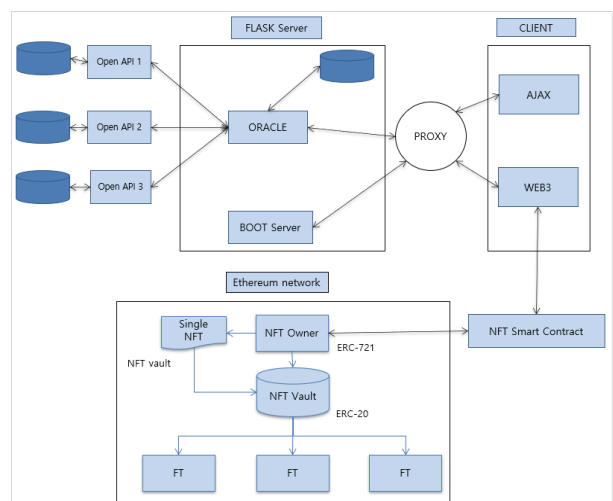


Fig. 7. System Configuration of NFT Exchange

있도록 한다. 예로 부동산 자산 ABC가 있다고 할 때 NFT nABC (ERC-721)로 모델링하고 NFT 한개로 생성된 nABC를 NFT Vault에 저장 (lock) 하고, nABC를 각각의 지정한 개수의 FT fABC (ERC-20)들로 분할한다.

### 3.1 부동산 자산 실시간 반영 오라클 설계

Smart Contract 내부에서는 부동산 가격을 존재하지 않아 가져올 수 없으므로 외부 데이터를 가져오기 위하여 오라클 (Open API)를 활용하였다. 오라클을 활용하기 위해서 웹서버인 Flask를 이용하였다. Flask는 파이썬 기반의 웹 서버로 사용자의 요청이 들어올 때마다 HTML 코드를 동적으로 만들어낸다. Flask Server에서 오라클을 활용하여 부동산 자산의 가격을 가져오고, BOOT Server를 이용하여 구매자가 NFT를 구매할 경우 Black Litterman을 이용하여 효과적인 포트폴리오 구성을 할 수 있도록 도움을 준다. Fig. 8과 같이, 해당 부동산 자산의 가격을 실시간으로 가져오기 위해서 공공데이터포털의 “국토교통부\_아파트매매 실거래자료 Open API”를 활용하여 해당 지역의 부동산 자산 가격을 실시간으로 가져와서 그 값을 적용한다. 예를 들어 위의 1절에서 자산을 NFT 로 모델링 한 nABC의 가격을 Open API를 활용하여 실시간으로 평균 가격을 가져와 반영한다. 이때 파라미터로는 주소 정보와 연월 정보가 필요하다.

### 3.2 부동산 자산 NFT 생성 및 FT 분할 설계

ERC-721을 이용하여 부동산 자산을 NFT로 생성한다. 생성시킨 NFT를 금고에 저장하고 ERC-20을 이용하여 저장된 NFT를 가지고 FT를 생성한다. 예를 들어 부동산 자산 ABC가 있다고 하면 자산을 NFT인 nABC (ERC-721)로 모델링 한다. 하나의 NFT로 생성된 nABC를 NFT 금고에 저장 (lock)을 하고, nABC를 지정한 개수의 FT인 fABC (ERC-20)들로 분할한다. 전체 시나리오 시퀀스는 Fig. 9와 같이 동작한다.

### 3.3 Black-Litterman 모델 기반 유동화 자산거래 설계

NFT 평가 메뉴에서 자산 가격 조회, Black-Litterman 평가

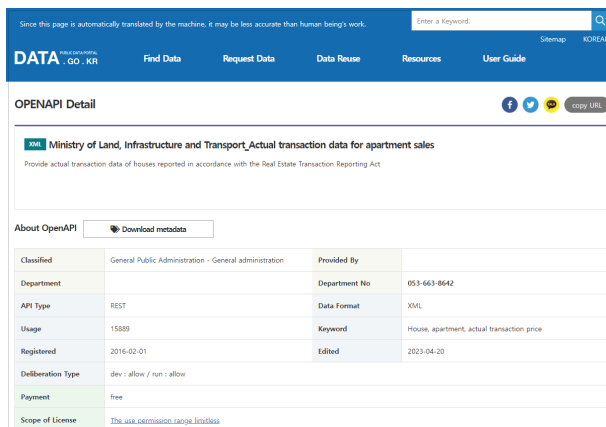


Fig. 8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Apartment Sales Actual Transaction Data

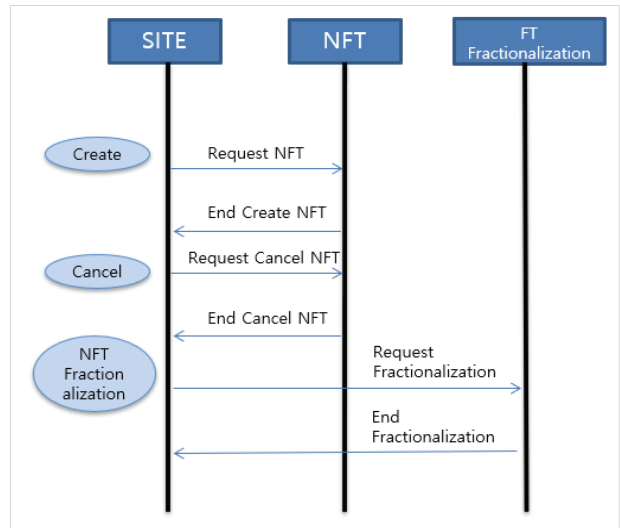


Fig. 9. Sequence Diagram of Real Estate Assets into NFTs and FTs

를 이용하여 내가 보유하고 있는 NFT를 평가해서 현재 보유하고 있는 나의 자산이 합리적인지를 알 수 있다. Fig. 10과 같이, 서울 주요구 (종로구, 중구, 용산구, 강남구, 송파구, 성동구, 광진구, 동대문구)의 아파트 매매가격을 가지고 Black Litterman의 이론을 적용하여 전문가 의견에 기대수익률을 넣고 “BL계산” 버튼을 누르면 2003년부터 2022년까지의 데이터를 가지고, 전체 아파트 가격의 평균 가격을 비교하여 주요 부동산에 대한 평균/분산 가중치와 균형 기대수익률과 시장 전망이 최적화가 되는 BL 가중치의 결과가 나온다. 이때 조건은 1. 광진구의 수익률 예상 5.25이고, 2. 종로구보다 중구가 0.25 높을 것, 3. 용산구가 강남구보다 0.02 높고, 송파구가 성동구보다 0.2 높다고 가정하였다.

## 4. 부동산 유동화 NFT와 분할 거래 구현

본 논문에서는 ERC-721을 이용하여 부동산 자산을 NFT를 생성하고 생성된 NFT를 금고에 저장하고 저장된 NFT를 ERC-20을 이용하여 FT를 생성한다. 그리고, 생성된 FT를 구매자가 구매하여 각 각의 금액으로 시스템에서 매매를 할 수

3. Black-Litterman evaluation of major real estate in Seoul (inputs are weighted)

Main Real Estate	Mean/variance weight	BL weight	Market Cap. weight	Expert opinion	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.5389548797	62.6561575684	16.2	16.2	46.4561575684
Jung-gu	-214.4183791668	63.0429239731	16.3	16.3	46.7429239731
Yongsan-gu	46.5840980886	23.4487965263	2.2	2.2	21.2487965263
Gangnam-gu	73.0704409879	-6.0443083129	2.3	2.3	-8.3443083129
Songpa-gu	73.0805554242	118.2796142456	29.9	29.9	88.3796142456
Seongdong-gu	-224.7068288392	8.9665329149	3	3	5.9665329149
Gwanjin-gu	-304.0935466167	-110.3125807212	7.7	7.7	-118.0125807212
Dongdaemun-gu	116.9447052422	-60.0371361943	22.4	22.4	-82.4371361943
Sum				99	

Fig. 10. Black-Litterman Assessment

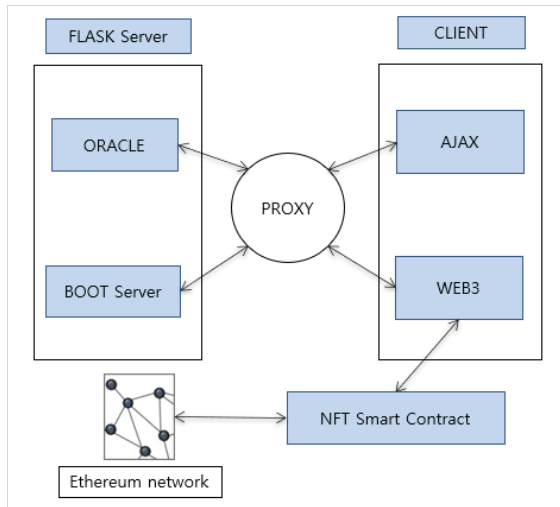


Fig. 11. System Structure of NFT Exchange

있도록 하였다. 본 논문에서는 이러한 시스템을 구축하기 위해 Fig. 11과 같이, 다양한 기술을 이용하였다. 이더리움 네트워크에서 Smart Contract를 개발하기 위한 Solidity IDE (integrated development environment)와 파이썬을 활용하기 위해 Flask 서버를 이용하였고, Flask Server에서는 오라클과 Black Litterman을 개발하였다. 또한 클라이언트에서는 web3.js를 이용하여 Solidity로 개발된 Smart Contract를 호출하였다. 이러한 시스템을 구축하기 위해 이더리움 네트워크에서 Smart Contract를 개발하기 위한 Solidity IDE (integrated development environment)의 일종인 Remix에서 Smart Contract를 개발하였다. Flask 서버는 파이썬을 활용하기 위해 설치하였다. Flask는 사용자의 요청이 들어올 때 동적으로 HTML 코드를 만드는 파이썬 기반의 웹 서버이다. Flask는 Python을 사용하며 프레임워크를 간결하게 유지하고 확장할 수 있도록 만들었다. Flask는 앱의 신속한 프로토타이핑을 가능하게 하고 소규모 애플리케이션에서 매우 효율적으로 작동한다.

본 논문의 Flask Server에서는 부동산 자산의 가격을 오라클을 활용하여 가져오고 또한 구매자가 NFT를 구매할 때 BOOT Server로 Black Litterman을 이용하여 효과적인 포트폴리오 구성을 할 수 있도록 도움을 준다. 또한 클라이언트에서는 web3.js를 이용하여 Solidity로 개발된 Smart Contract를 호출하였다. Fig. 12의 web3.js는 모든 자료와 정보들이 분산화, 분권화된 차세대 네트워크 구조를 가지고, 서버가 없이 구동되는 혁신적인 인터넷 분산형 웹이다. 자바스크립트 (javascript) 기반으로 구동되며 DApp이나 서비스를 구현하기에 매우 유용하며, 내부적으로 HTTP, IPC를 통해서 JSON-RPC API를 호출하도록 구현되어있다. 원래 DApp을 만드는 것은 컴퓨팅 자원, 외부 데이터, 통화, 파일 스토리지, 결제 등 애플리케이션을 구성하기 위한 몇 가지 요소가 있어야 하지만, web3.js를 이용하면 최소한의 컴퓨팅 자원과 파일 스토리지만으로 DApp을 개발할 수 있다. 이더리움 네트워크는 여러 개의 노드로 구성되어 있고, 각 노드는 각각 블록체인의 복사

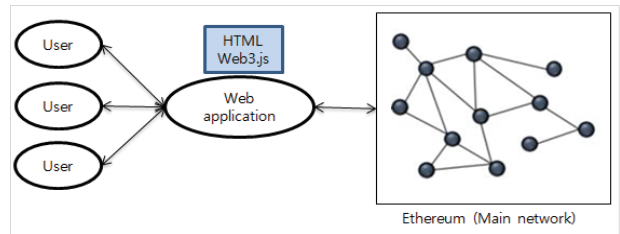


Fig. 12. web3.js Architecture

본을 가지고 있다. 이더리움 노드들의 소통은 JSON-RPC로만 할 수 있기 때문에 web3.js로 개발자들이 쉽게 개발할 수 있도록 자바스크립트 인터페이스로 상호작용할 수 있도록 도와주는 역할을 한다.

본 논문에서는 이더리움 테스트 (Ethereum Test Platform) 목적으로 로컬 PC에 설치해서 사용하는 테스트 넷인 가나슈 (ganache)를 이용했다(Fig. 13). 보통은 이더리움 네트워크에 Geth, Parity 등을 이용해서 블록을 모두 동기화 시키고 실제 이더리움 네트워크에 접속해서 진행한다. 하지만 블록을 동기화 시키는 데만 해도 하루 이상 소요되고, 블록을 채굴하기까지 기다려야 되는 등 개발 중에 불편한 점이 많다. 그래서 개발 중에는 가나슈와 같은 가상 혹은 프라이빗 네트워크 상에서 스마트 계약을 구동해 보고 메인넷에 올라가게 된다. 가나슈는 로컬에서 작동하므로 스마트 계약을 쉽게 배포, 테스트할 수 있다. 이더리움 테스트 시에 메인넷에서 하면 비용이나 시간이 오래 걸리므로 메타마스크의 Ropsten 테스트 넷이나 가나슈 (ganache)를 로컬에 설치하여 이용한다.

본 논문에서 구현한 시스템의 전체 사양은 Table 2와 같다. 윈도우에서 Python을 이용하기 위해 Anaconda 3.5 버전을 이용하였다. 분할 NFT를 매매하는 프로그램인 Smart Contract 내부에서는 solidity 0.8.7을 이용하였고, NFT마켓, 상세 화면 등에서 Smart Contract를 호출하기 위해서는 web3.js를 활용하였다. WAS (web application server)는 Flask를 사용하여 부동산 가격을 가져오기 위한 Open API 기반 오라클을 활용하였고 Black Litterman 모델을 적용하여 효과적인 포트폴리오를 구성하도록 하였다.

ACCOUNTS	BLOCKS	TRANSACTIONS	CONTRACTS	EVENTS	LOGS								
ANONYMOUS	cluster	universe	example	denial	answer	ginger	intact	ginger	measure	method	bone	genre	HD PATH: 0x4c/56/09/8/account_index
ADDRESS	0x7D4fa982718ff36ff3A59E2e8F808F9A6Dbc3FC3	BALANCE	46.53 ETH	TX COUNT	223	INDEX	0						
ADDRESS	0xfF8A8FAF3512a4Ab7Fd518AECcF80731281cFE87	BALANCE	59.57 ETH	TX COUNT	19	INDEX	1						
ADDRESS	0x87032A87d5414bAF2C6A60cf24719d6B93a7C80C	BALANCE	99.94 ETH	TX COUNT	5	INDEX	2						
ADDRESS	0x11247b364ea5F7c1fE17Aa5089aa0D6b4E92182	BALANCE	100.00 ETH	TX COUNT	0	INDEX	3						
ADDRESS	0xF63EC5853092266d2F778C81a241CBC84403a60	BALANCE	50.00 ETH	TX COUNT	1	INDEX	4						
ADDRESS	0x1aC04C8F3D2da7278552de96660FB6aced481Cad	BALANCE	100.00 ETH	TX COUNT	0	INDEX	5						
ADDRESS	0xd2f59A7701A7020910ddae18BF22656CF3bE04D	BALANCE	100.00 ETH	TX COUNT	0	INDEX	6						

Fig. 13. Ethereum Testnet Ganache

Table 2. System Specifications

OS	Windows 10 Pro 64bit
CPU	AMD Ryzen 5 4600H
Memory	24 GB
Language	Python
WAS	Flask
Smart Contract	solidity 0.8.7
Solidity IDE	Remix
Open API	Open data portal
Virtual Environment	Anaconda

본 논문에서 구현된 시스템 전체 시스템은 다음 Fig. 14와 같다. 디앱에서 메타마스크 지갑을 연결하고 web3.js를 이용하여 이더리움 네트워크에 접속하여 Smart Contract를 호출하여 NFT를 생성하고, FT로 분할하고, 거래를 실행한다. 또한 Python을 실행할 수 있는 Flask를 이용하여 개발하였다. 사용자의 웹브라우저에서 Javascript를 이용하여 Flask를 호출하였고, 호출된 Flask에서 Python을 이용하여 Open API로 서울 주요구의 아파트 값을 가져와서 화면에 보여준다. 마찬가지로 웹브라우저에서 호출된 API를 Python을 이용하여 Black Litterman 프로그램을 실행하는 WAS로도 이용하였다.

전체 과정은 첫 번째로 (1) 네트워크 설정과 Smart Contract Compile/배포로 시작한다. (1-1) 테스트 네트워크 구동을 위한 Ganache (테스트 네트워크 역할, Account 계정 생성, Ethereum Token 생성)를 시작하고, (1-2) Smart Contract를 Remix에서 Compile하고, Compile 된 Smart Contract를 테스트 네트워크로 migration 하는 과정이다. 두 번째 과정은 NFT 관리 인터페이스 프로그램을 실행하는 것으로, (2-1) Flask에서 서버 프로그램을 실행하면 web3.js를 통해서 (http://localhost:5000), NFT를 생성하고, 생성된 NFT를 FT로 분할하고, 조회 및 매매하는 기능을 실행할 수 있다. web3.js에 설정된 테스트 네트워크

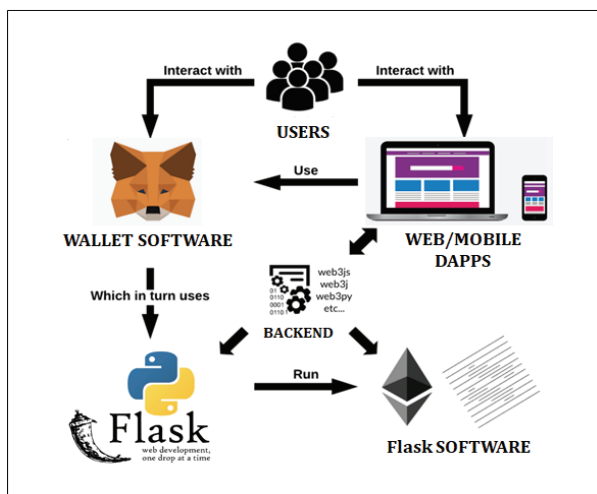


Fig. 14. Overall Implementation System Structure

http://localhost:8545를 통해, Ganache의 Smart Contract를 실행하게 된다. (2-2) Flask의 Python을 실행하는 기능을 이용하여 Open API를 호출하고, Black-Litterman을 실행하게 된다. 세 번째 과정은 Metamask로 NFT를 받고 보내는 상대방 역할을 실행한다. (3-1) Metamask를 웹브라우저 (Chrome)의 확장프로그램에 설치하고, metamask의 테스트 네트워크를 localhost:8545로 설정하면, Ganache의 Smart Contract를 실행하게 된다. (3-2) 서버 세팅이 끝이 나고 http://127.0.0.1:5000/index.html 초기화면에 접속하여 진행한다.

4.1 부동산 자산 실시간 반영 오라클 적용

현재 서울 주요구 (종로구, 중구, 용산구, 강남구, 송파구, 성동구, 광진구, 동대문구)의 아파트 매매가격을 조회하기 위해 Open API 기반 오라클을 활용한다. 아파트 매매 자료조회 버튼 클릭 시 지역코드와 계약 월 (기간)을 이용하여 해당 지역의 아파트 매매 신고자료 정보를 조회한다.

4.2 부동산 자산 NFT 생성 및 FT 분할

NFT 발행을 위해서 (1)에서 우선 이미지를 추가하고 오픈 API를 이용하여 NFT와 FT를 발행하고, (2)에서는 발행되어 판매되고 있는 NFT를 조회한다. 생성된 NFT에 대해 상세한 내용은 (3)에서 확인할 수 있고, 여기에서 구매한 NFT를 (4)에서 확인을 할 수 있고 FT 매매를 할 수 있다. 그리고 (5)에서는 내가 구매한 NFT 상세정보를 확인할 수 있다. (1) NFT 발행: 발행자가 자신의 이름과 NFT를 발행할 이미지를 선택하고 자신이 발행하고자 하는 부동산 자산의 가격을 가져와서 분할하고자 하는 분할 개수를 선택하고 선택된 개수에 발행가격이 자동으로 생성되어 NFT와 분할된 FT가 발행되도록 하였다. (2) NFT 마켓: Fig. 15의 화면은 현재 판매되고 있는 NFT 리스트를 나타낸다.

본 화면에서는 토큰 ID와 발행자명, 아파트 이미지, 판매 개수 등을 알 수 있고, 상세보기 버튼을 클릭하여 상세화면으로 이동할 수 있다. (3) NFT 마켓 상세보기 (판매 등록): 현재 판매되고 있는 NFT의 발행자명, 아파트 이미지, 판매 개수 등을 알 수 있고, 구매하기 버튼을 클릭하여 구매할 수 있다.

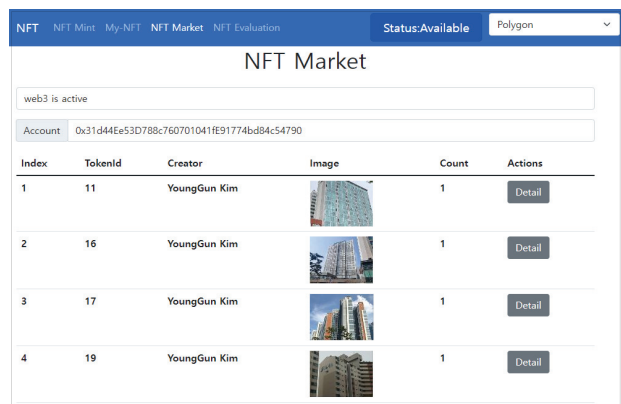


Fig. 15. NFT Market and Detailed View



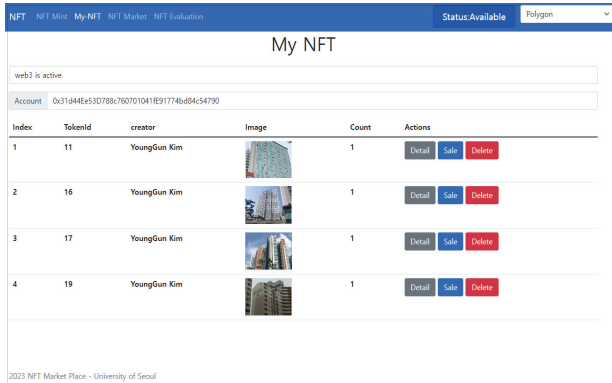


Fig. 16. NFT Market and Detailed View

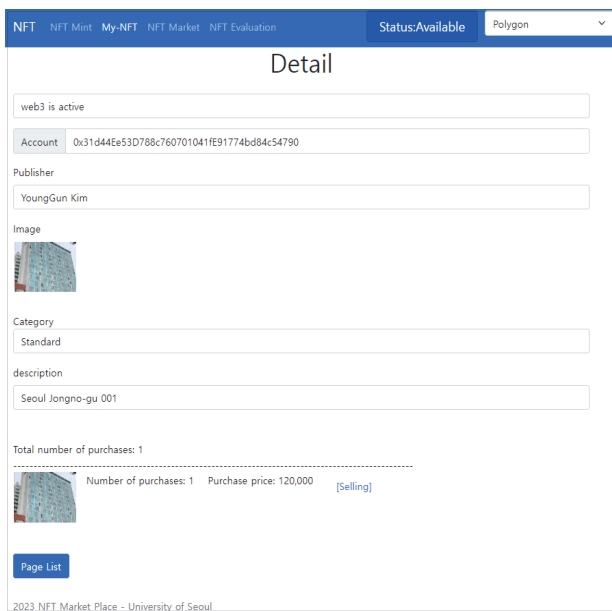


Fig. 17. NFT Market and Detailed View

(4) My NFT: Fig. 16의 화면은 현재 구매한 NFT 리스트를 나타낸다. 본 화면에서는 토큰 ID와 발행자명, 아파트 이미지, 보유 개수 등을 알 수 있고, 상세보기 버튼을 클릭하여 상세화면으로 이동할 수 있다. (5) My-NFT 상세보기 (판매 등록): Fig. 17의 화면은 현재 구매한 NFT의 상세화면이다. 발행자명, 아파트 이미지, 판매 개수 등을 알 수 있고, 판매하기 버튼을 클릭하여 판매할 수 있다.

NFT 관리 (Fig. 18의 화면)에서는 현재 서울 주요구 (종로구, 중구, 용산구, 강남구, 송파구, 성동구, 광진구, 동대문구)의 아파트 매매가격을 조회하고 Black Litterman의 이론을 적용하여 의견에 기대수익률을 넣고 계산을 하게 되면 균형 기대수익률과 시장 전망이 최적화가 되는 값을 도출할 수 있도록 도움을 준다. (1) 가상자산 가격 조회 (오라클): OPEN API를 이용하여 해당 아파트의 가격과 기타정보를 조회하고 나타낸다. (2) Black-Litterman 을 적용하여 변경 개수와 총액 비중을 넣어 가장 합리적인 포트폴리오를 조회한다.

2. Asset Price Search

Seoul Jongno-gu :: 2020-01 :: Search

no	Dong	Apartment name	Price	Year	Month
1	Phil	Shindonga Bluea Gwanghwamun Dream	100,000	2020	1
2	Sajik-dong	Gwanghwamun Space Head (Building 106)	162,000	2020	1
3	Naesu-dong	Sejong-ro Daewoo	88,000	2020	1
4	Naesu-dong	King's Manor	130,000	2020	1
5	Naesu-dong	Gyeonghuijung Park Palace	149,000	2020	1
6	Inui-dong	Hyosung Jewelry City	52,000	2020	1
7	Inui-dong	Hyosung Jewelry City	69,000	2020	1
8	Inui-dong	Hyosung Jewelry City	72,000	2020	1
9	Inui-dong	Hyosung Jewelry City	84,800	2020	1
10	Hyoje-dong	Forest Hill City	25,000	2020	1
Average Price			93,180		

3. Black-Litterman evaluation of major real estate in Seoul (inputs are weighted)

Main Real Estate	Mean/variance weight	BL weight	Market Cap weight	Expert opinion	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.5389548797	62.6561575684	16.2	16.2	46.4561575684
Jung-gu	-214.4183791668	63.0429239731	16.3	16.3	46.7429239731
Yongsan-gu	46.5840980886	23.4487965263	2.2	2.2	21.2487965263
Gangnam-gu	73.0704409879	-6.0443083129	2.3	2.3	-8.3443083129
Songpa-gu	73.0805554242	118.2796142456	29.9	29.9	88.3796142456
Seongdong-gu	-224.7068288392	8.9665329149	3	3	5.9665329149
Gwangjin-gu	-304.0935466167	-110.3125807212	7.7	7.7	-118.0125807212
Dongdaemun-gu	116.9447052422	-60.0371361943	22.4	22.4	-82.4371361943
Sum				99	

Fig. 18. (a) NFT Management (Asset Price Search), (b) NFT Management (Black-Litterman Eval.)

#### 4.3 Black-Litterman 모델 기반의 유동화 자산 거래

NFT를 발행하는 화면에서는 발행자가 자신의 이름과 NFT를 발행할 이미지를 선택하고 자신이 발행하고자 하는 부동산 자산의 가격을 가져와서 분할하고자 하는 분할 개수를 선택하고 선택된 개수에 발행가격이 자동으로 생성되어 NFT와 분할된 FT가 발행되도록 하였다. NFT 판매리스트 화면에서는 토큰 ID와 발행자명, 아파트 이미지, 판매 개수 등을 알 수 있고, 상세보기 버튼을 클릭하여 상세화면으로 이동할 수 있다. NFT의 상세화면에서는 발행자명, 아파트 이미지, 판매 개수 등을 알 수 있고, 구매하기 버튼을 클릭하여 구매할 수 있다. MyNFT 리스트 화면에서는 토큰 ID와 발행자명, 아파트 이미지, 보유 개수 등을 알 수 있다. NFT 관리 화면에서는 현재 서울 주요구 (종로구, 중구, 용산구, 강남구, 송파구, 성동구, 광진구, 동대문구)의 아파트 매매가격을 조회하고 Black Litterman의 이론을 적용하여 의견에 기대수익률을 넣고 계산을 하게 되면 균형 기대수익률과 시장 전망이 최적화가 되는 값을 도출할 수 있도록 도움을 준다. Fig. 19는 본 논문에서 실제 구현한 결과를 나타낸다. 서울 주요구 (종로구, 중구, 용산구, 강남구, 송파구, 성동구, 광진구, 동대문구)의 아파트를 대상으로 구현하였고 전체 아파트 가격의 평균 가격을 비교하여 BL Model을 구현하였다. 조건은 1. 광진구의 수익률 예상 5.25이고, 2. 종로구보다 중구가 0.25 높을 것, 3. 용산구가 강남구보다 0.02 높고, 송파구가 성동구보다 0.2 높다고 가정하였다.

2022	Mean/variance weight	BL weight	Market Cap weight	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.538955	154.757987	16.2	138.557987
Jung-gu	-214.418379	-103.258812	16.3	-119.558812
Yongsan-gu	46.584098	5.292759	2.2	3.092759
Gangnam-gu	73.070441	1.837896	2.3	-0.462104
Songpa-gu	73.080555	49.185901	29.9	19.285901
Seongdong-gu	-224.706829	2.947109	3	-0.052891
Gwangjin-gu	-304.093547	-46.257655	7.7	-53.957655
Dongdaemun-gu	116.944705	35.494815	22.4	13.094815
2021	Mean/variance weight	BL weight	Market Cap weight	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	482.261821	165.448228	16.2	149.248228
Jung-gu	-152.899374	-112.567081	16.3	-128.867081
Yongsan-gu	45.578818	5.241484	2.2	3.041484
Gangnam-gu	53.661146	2.080521	2.3	-0.219479
Songpa-gu	55.339835	50.312493	29.9	20.412493
Seongdong-gu	-195.732606	3.2195	3	0.2195
Gwangjin-gu	-258.24004	-50.182459	7.7	-57.882459
Dongdaemun-gu	70.030401	36.447314	22.4	14.047314
2020	Mean/variance weight	BL weight	Market Cap weight	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	385.873553	187.104957	16.2	170.904957
Jung-gu	-53.37677	-131.714485	16.3	-148.014485
Yongsan-gu	57.887738	5.19158	2.2	2.99158
Gangnam-gu	22.668502	2.47787	2.3	0.17787
Songpa-gu	-31.382968	52.401305	29.9	22.501305
Seongdong-gu	-94.801608	3.670896	3	0.670896
Gwangjin-gu	-148.438612	-57.30894	7.7	-65.00894
Dongdaemun-gu	-38.429835	38.176818	22.4	15.776818
2019	Mean/variance weight	BL weight	Market Cap weight	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	493.581775	153.01447	16.2	136.81447
Jung-gu	-74.242989	-102.879262	16.3	-119.179262
Yongsan-gu	75.652055	4.928704	2.2	2.728704
Gangnam-gu	47.527876	2.013094	2.3	-0.286906
Songpa-gu	-34.319917	47.659327	29.9	17.759327
Seongdong-gu	-151.279927	3.09293	3	0.09293
Gwangjin-gu	-229.324	-42.38399	7.7	-50.08399
Dongdaemun-gu	-27.594873	34.554728	22.4	12.154728
2018	Mean/variance weight	BL weight	Market Cap weight	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	658.842831	124.551203	16.2	108.351203
Jung-gu	-92.635165	-79.900594	16.3	-96.200594
Yongsan-gu	118.071116	4.150945	2.2	1.950945
Gangnam-gu	76.834381	2.031447	2.3	-0.268553
Songpa-gu	-86.01438	42.207003	29.9	12.307003
Seongdong-gu	-195.801098	2.993152	3	-0.006848
Gwangjin-gu	-336.139636	-26.807729	7.7	-34.507729
Dongdaemun-gu	-43.158048	30.774573	22.4	8.374573
2017	Mean/variance weight	BL weight	Market Cap weight	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	1349.203723	113.35249	16.2	97.15249
Jung-gu	-333.884722	-71.414561	16.3	-87.714561
Yongsan-gu	238.230481	3.536347	2.2	1.336347
Gangnam-gu	81.593135	2.270443	2.3	-0.029557
Songpa-gu	-103.92548	39.280366	29.9	9.380366
Seongdong-gu	-338.99917	3.173722	3	0.173722
Gwangjin-gu	-800.480552	-19.103717	7.7	-26.803717
Dongdaemun-gu	8.262586	28.904911	22.4	6.504911

Fig. 19. Implementation of BL Model (Y2017-2022)

Fig. 20은 가중치를 다르게 한 BL Model 구현 결과를 나타내었다. 아래 “예제1”에서는 전문가 가중치를 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16으로 하여 BL Model을 구현하였으며, “예제2”에서는 전문가 가중치를 16, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15로 하여 BL Model을 구현하였다. 이렇게 하여 모두 6개의 예제를 만들었으며, 결과는 다음과 같이 평균/분산 가중치는 같지만 BL 가중치 값이 각각 달라지므로 BL Model과 전문가가는 차이가 있다.

4.4 기존 연구와 본 연구의 차별점

일반적으로 부동산은 매우 고액의 투자치이며 주식처럼 분할매수가 가능하지 않아서 매수 타이밍을 잡는 데 상당히 어려운 투자 대상이었다. 주식의 경우 가격이 너무 낮아졌다고 판단이 될 때 분할매수를 진행할 수 있으나, 고액의 부동산은

Ex1	Mean/variance weight	BL weight	Expert opinion	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.538955	143.840102	9	134.840102
Jung-gu	-214.418379	-114.223875	10	-124.223875
Yongsan-gu	46.584098	17.435156	11	6.435156
Gangnam-gu	73.070441	18.416067	12	6.416067
Songpa-gu	73.080555	20.552654	13	7.552654
Seongdong-gu	-224.706829	21.533565	14	7.533565
Gwangjin-gu	-304.093547	-32.49365	15	-47.49365
Dongdaemun-gu	116.944705	24.939981	16	8.939981
Ex2	Mean/variance weight	BL weight	Expert opinion	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.538955	153.548878	16	137.548878
Jung-gu	-214.418379	-113.933187	9	-122.933187
Yongsan-gu	46.584098	16.804824	10	6.804824
Gangnam-gu	73.070441	16.472357	11	5.472357
Songpa-gu	73.080555	19.974079	12	7.974079
Seongdong-gu	-224.706829	19.641612	13	6.641612
Gwangjin-gu	-304.093547	-36.277978	14	-50.277978
Dongdaemun-gu	116.944705	23.769415	15	8.769415
Ex3	Mean/variance weight	BL weight	Expert opinion	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.538955	157.311176	15	142.311176
Jung-gu	-214.418379	-107.219708	16	-123.219708
Yongsan-gu	46.584098	16.175372	9	7.175372
Gangnam-gu	73.070441	14.525851	10	4.525851
Songpa-gu	73.080555	19.407079	11	8.407079
Seongdong-gu	-224.706829	17.755759	12	5.755759
Gwangjin-gu	-304.093547	-40.579283	13	-53.579283
Dongdaemun-gu	116.944705	22.621954	14	8.621954
Ex4	Mean/variance weight	BL weight	Expert opinion	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.538955	163.604023	14	149.604023
Jung-gu	-214.418379	-115.764738	15	-130.764738
Yongsan-gu	46.584098	24.663936	16	8.663936
Gangnam-gu	73.070441	16.576927	9	7.576927
Songpa-gu	73.080555	14.766053	10	4.766053
Seongdong-gu	-224.706829	19.876188	11	8.876188
Gwangjin-gu	-304.093547	-45.167485	12	-57.167485
Dongdaemun-gu	116.944705	21.445197	13	8.445197
Ex5	Mean/variance weight	BL weight	Expert opinion	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.538955	160.896049	13	147.896049
Jung-gu	-214.418379	-117.667624	14	-131.667624
Yongsan-gu	46.584098	23.618906	15	8.618906
Gangnam-gu	73.070441	26.01373	16	10.01373
Songpa-gu	73.080555	14.01259	9	5.01259
Seongdong-gu	-224.706829	16.407413	10	6.407413
Gwangjin-gu	-304.093547	-42.493698	11	-53.493698
Dongdaemun-gu	116.944705	19.212633	12	7.212633
Ex6	Mean/variance weight	BL weight	Expert opinion	BL Market Cap Diff
Jongno-gu	533.538955	161.869723	12	149.869723
Jung-gu	-214.418379	-122.440968	13	-135.440968
Yongsan-gu	46.584098	21.639581	14	7.639581
Gangnam-gu	73.070441	24.097775	15	9.097775
Songpa-gu	73.080555	24.793881	16	8.793881
Seongdong-gu	-224.706829	14.634874	9	5.634874
Gwangjin-gu	-304.093547	-41.943518	10	-51.943518
Dongdaemun-gu	116.944705	17.348652	11	6.348652

Fig. 20. Implementation of BL Model with Different Expert Weights

그러한 거래가 불가능한 것이 현실이다. 하지만 조각 투자를 활용하면 부동산도 개인이 소액 투자가 가능하다. 그러나 현재 시스템들은 소유권을 신탁회사가 가지고 건물 자산 유동화 증권 (ABS)을 발행하는 방식이기 때문에 현재 실시간으로 건물 가격을 적용할 수 없다. 본 논문에서 제시한 방식은 실시간으로 공공데이터포털의 "국토교통부\_아파트매매 실거래자료 Open API"를 활용하여 현재 부동산 (아파트) 가격을 책정하기 때문에 등록 가격을 조작할 수 없도록 하였다. 그리고 이렇게 구매한 자산을 투자자가 효과적인 포트폴리오를 구성하는 것을 추가로 제공하여 소액 투자자들에게 손실 위험을 낮추도록 하였다. Table 3은 본 논문에서 적용한 플랫폼에 대한 설명이다. Table 4는 국내 메이저 분할 투자 플랫폼을 소개한다.

Table 3. The Platform of This Thesis

Category	Product	Platform	Description
Immovable Property	Apartment	Fractional NFT	Provide investment model through apartment investment and effective portfolio

Table 4. Korea Major Fractional Investment Platform

Category	Product	Platform	Description
Immovable Property	Building	KASA SOU Funble	Invest Metropolitan area building, and sell & share a profit and share leasing payments
Equity	Music Copyrights	Musicow	Korea first fractional trading platform connected to copyrights and buy & sell the rights to the profits generated from music copyrights
Real Property	Art	Art Together Art & Guide TESSA PIECE	Fractional Investment on Famous Arts, and sell by action, and share a profit
	Korean Cow	Bancow	Invest on Korean Cow
	Watch Wine Automobile	Treasure PIECE Twig Leopatra	Fractional Investment on Luxurious Watch, High price Wine and Automobiles

Table 5. Comparison with Traditional System

	Traditional System	Our System
Product	Building,	Apartment
Platform	KASA	Fractional NFT
Portfolio provided	No	Yes
Pricing with an oracle	No	Yes
Pricing agency	Company decision	Public Data through Oracle

KASA의 경우가 본 논문에서 구현한 내용과 가장 유사하지만, 본 논문에서는 금융공학을 적용하여 투자자에게 효과적인 투자 모델을 제공하여 차별점을 두었다. Table 5는 현재 가장 유사한 형태의 KASA 시스템과 본 논문의 시스템을 비교한 표이다. 가장 큰 차이점은 Portfolio provided의 제공을 KASA는 하지 않고 본 시스템에서는 제공한다는 점이다. KASA의 경우 가격 결정을 회사에서 감정평가에 따른 처리를 하여 사람의 의견이 추가되는 방식이지만 본 시스템은 오라클을 활용한 DeFi를 이용하여 수수료도 낮추고, 해킹이나 서비스 장애에 따른 손해를 줄일 수 있는 매우 큰 장점이 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 높은 가격의 아파트를 페깅 (코인의 가치를 법정화폐의 가치에 고정시켜 두는 것)하여 보안적으로 안전한 블록체인인 NFT로 발행하고 높은 가격의 NFT를 분할하여 많은 유동성과 투자자들이 진입하도록 FT로 만들고, Black Litterman 모델 기반의 자산 포트폴리오 인터페이스를 제공함으로써, 경험이 적은 소액 투자자들이 쉽게 투자할 수 있는 가상자산 투자 시스템을 설계하고 구현하였다. 외부의 부동산 가격 정보를 가져오기 위해, 국토교통부 아파트 가격 실거래 자료를 제공하는 오라클 (Open API)을 활용하였다. 개별 부동산은 ERC-721을 활용하여 NFT (non-fungible token, 대체 불가능 토큰)를 만들었으며, 생성된 NFT를 FT (fungible token, 대체 가능 토큰)로 나누어, 높은 유동성이 가능하게 하였다. 또한 투자자가 효과적인 포트폴리오를 구성하는 것을 돕기 위해 Black Litterman 모델을 인터페이스로 제공하였다. 백본 시스템 구현은 Flask 서버를 이용하여 Web Application Server를 구현하였고, Flask 서버를 통해 오라클 Open API를 호출하였다. 이더리움 네트워크에서 Smart Contract는 Solidity를 언어를 이용하여 Remix에서 개발하였고, 개발된 Smart Contract는 web3.js를 이용하여 호출하였다. 향후 연구에서는 본 논문에서 구현한 분할 NFT 구현 방식에 아파트 가격을 실제 판매 되는 가격과 연동되는 방식을 보다 더 연구 분석할 계획이다. 또한 Black-Litterman model 뿐만 아니라 다른 금융공학을 적용하여 소액 투자자에게 효과적인 투자 모델을 제공하기 위한 연구를 계속할 계획이다.

## References

- [1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," Whitepaper, 2008.
- [2] H. Kim, H.-J. Kwon, M.-S. Lim, "A study on the tradability and scalability of NFT -Focusing on linking with alternative exchanges-," *Journal of Payment and Settlement*, Vol.13, No.1, pp.257-272, 2021.
- [3] K. J. Jang, "A study on innovative financial services of business models using blockchain technology," *The e-Business Studies*, Vol.18, No.6, pp.113-130, 2017.
- [4] J. Lee and G.-S. Jo, "Understanding and utilizing the latest NFT technology," *Korea Institute of Information Technology Magazine*, Vol.19, No.1, pp.7-11, 2021.
- [5] M. Rubinstein, "Markowitz's" portfolio selection": A fifty-year retrospective," *The Journal of Finance*, Vol.57, No.3, pp.1041-1045, 2002.
- [6] G. D. Koo, C. G. Lee, and G. H. Seo, "A study of uses and operation performance of asset allocation system," *The Review of Business History (KABH)*, Vol.57, pp.247-270, 2011.

[7] W. F. Sharpe, "Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk," *The Journal of Finance*, Vol.19, No.3, pp.425-442, 1964.

[8] F. Black and R. Litterman, "Global asset allocation with equities, bonds, and currencies," *Fixed Income Research*, Vol.2, No.(15-28), pp.1-44, 1991.

[9] T. Idzorek, "A step-by-step guide to the Black-Litterman model: Incorporating user-specified confidence levels," In *Forecasting Expected Returns in the Financial Markets*, Academic Press, pp.17-38, 2007.

[10] I.-Y. Kim, J.-S. Park, and C.-H. Lee, "New consensus algorithm against 51% attack," *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, Korea Information Processing Society, 2018.

[11] D.-R. Kong and T.-C. Lin, "Alternative investments in the Fintech era: The risk and return of Non-Fungible Token (NFT)," Available at SSRN 3914085, 2021.

[12] H. Al-Breiki, M. H. U. Rehman, K. Salah, and D. Svetinovic, "Trustworthy blockchain oracles: review, comparison, and open research challenges," *IEEE Access*, Vol.8, No.2020, pp.85675-85685, 2020.

[13] A. Popescu, "Non-Fungible Tokens (NFT)-Innovation Beyond the Craze," *5th International Conference on Innovation in Business, Economics and Marketing Research*, 2021.

[14] L. van Haaften-Schick and A. Whitaker, "From the artist's contract to the blockchain ledger: New forms of artists' funding using NFTs, fractional equity, and resale royalties," *Journal of Cultural Economics*, Vol.46, No.2, pp. 287-315, 2022.

[15] S. M. H. Bamakan, , N. Nezhadsistani, O. Bodaghi, and Q. Qu, "A decentralized framework for patents and intellectual property as nft in blockchain networks," 2021.

[16] Y.-G. Kim and S.-H. Kim, "NFT tokenization of real estate and divisible FT trading with asset portfolio management," *Korean Information Processing Society Conference Proceedings*, Vol.29, No.2, pp.258-260, 2022.



김 영 근

<https://orcid.org/0000-0002-5508-7460>

e-mail : miso07@uos.ac.kr

2023년 서울시립대학교 컴퓨터과학과(석사)

2023년 ~ 현 재 서울시립대학교

컴퓨터과학과 박사과정

2023년 ~ 현 재 (주)퓨텍스소프트 컨설팅팀

수석컨설턴트

관심분야 : Block Chain & Artificial Intelligence



김 성 환

<https://orcid.org/0000-0001-7855-7667>

e-mail : swkim7@uos.ac.kr

1999년 한국과학기술원 전자전산학과(박사)

1996년 ~ 2000년 LG정보통신

이동통신연구소 선임연구원/팀장

2000년 ~ 2002년 Cisco Systems

(Senior SW Engineer)

2012년 ~ 2013년 University of Illinois, Urbana Champaign  
(visiting professor at computer science department)

2015년 ~ 2017년 문화체육관광부 R&D 담당 PD(program  
director)

2002년 ~ 현 재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수

관심분야 : Augmented Reality, Virtual Reality, Immersive

Media, Information Theory, Human Visual System