
하이퍼레저를 사용한 부동산 거래 블록체인

Realestate Trading Blockchain using Hyperledger

김한호

아주대 지식정보공학과

요약문

4차 산업혁명이 다양한 기술 중 하나인 블록체인 기술은 다양한 양태로 발현되고 있다. 블록체인도 공개 블록체인과 허가된 블록체인 기술들 새로운 시도를 통해 시장에 진입을 위해 노력하고 있다. 부동산 시장에서 블록체인 기술을 적용하여 변화하는 역동성을 불러 넣을 수 있다면 정보 불균등한 시장에서 새로운 이득이 생길 것이다. 부동산 블록체인에 거래에 블록체인기술 적용을 통해서 효율성을 추구 할 수 있는 시스템 구상했다. 블록체인 기술을 적용하기 전에 다양한 기술에 관해 살펴보고 알맞은 블록체인을 선택하는 과정도 서술했다. 블록체인기술을 적용하는 설계와 구현을 해보았다. 디지털 전환을 위한 관점도 생각해보았다.

키워드

Realestate Trading, Smart contract, Private Blockchain, Permissioned Blockchain, Hyperledger Fabric, Transaction Efficient, Concurrency Programming, Digital Initiatives

서론

부동산은 우리나라 가계자산의 70% 이상을 차지하고 있어, 부동산 거래의 위험성을 낮추고 효율성과 투명성을 높일 수 있도록 관련제도를 선진화하는 것은 국가경제 성장과 국민생산 안정에 필수적이다.[1] 높아지는 주택가격과 가계자산의 비중 때문에 각종 규제와 더불어 정보 불균등이라는 역설적인 상황이 지속되었다.

새로운 기술이 도입되면 기존 질서가 무너진다. 부동산거래 시장에서 신기술 도입을 통해 부동산을 거래하게 되면 시장 효율성이 높아질 것이다. 직접 만나서 문서와 법적 참관인이 있어야지 성립되는 부동산 거래는 대면거래로 인식된다. 부동산 매물을 온라인으로 확인을 하더라도 거래할 때에는 부동산공인 중개사 사무실로 가서 서류를 만든다.

부동산 거래는 다른 사람이 존재하는 거래라고 볼 수 있다. 거래를 할 때 상대방이 있다는 것이 확실해야 거래하게 된다. 하지만 이러한 상황은 경험에 의한 것이다. 1980년 까지도 주식거래는 객장에서 했다. 접수원에게 사려는 주식과 수량을 쓰고 거래를 통해서 거래가 체결이 되면 결과를 받는 것이 거래성립 과정이었다. 월 말이 되면 은행에서 번호표를 뽑고 세금을 은행원에게

납부했다. 현재도 예전 방식으로 거래가 가능하다. 그러나 인터넷을 통한 납부가 일상화 되어 있다. 일처리가 가능하다면 사람의 관성은 변한다.

4차 산업혁명과 포스트코로나 시대를 맞이하여 비대면기술(untact technology)이 전분야로 확산될 것으로 예측되고 있다. 블록체인 기술은 금융, 유통, 헬스케어, 제조업 등 여러 산업에서 새로운 가치를 창출하고 있다. 그러나 기존 부동산 거래는 미래의 기술에 대한 변화를 받아들일 수 있는 기반이 없다. 부동산 거래의 여러 문제를 해결하기 위해 새로운 기술을 적용하여 부동산 거래에서 문제점을 해결할 수 있을 것이라고 판단하고, 공개형 블록체인의 낮은 처리량 문제를 해결하기 위한 대안으로 하이퍼레저라는 허가형 블록체인을 통해 부동산거래 시스템을 구성하는 연구를 진행하였다.

관련연구

프라이빗 블록체인을 타 분야에 접목하는 연구는 다양하게 진행되고 있다. “Hyperledger를 활용한 참여형 국방인사 투표시스템 설계 및 구현”[2], *Privacy and Ledger Size Analysis for Healthcare Blockchain*[3], *Power Trading Blockchain using Hyperledger Fabric*[4], 블록체인을 활용한 암호방지 예매 시스템 설계 및 구현[5], Hyperledger Fabric 블록체인 오픈소스를 이용한 무역 견적 및 계약 시스템[6], 블록체인 기술을 적용한 기록관리 모델 구축 방법 연구[7], *Improving Telecom Industry Processes Using Ordered Transactions in Hyperledger Fabric*[8], *The Design and Implementation of Trade Finance Application based on Hyperledger Fabric Permissioned Blockchain Platform*[9], *A Time Bank System Design on Basis of Hyperledger Fabric Blockchain*[10], *Design and Implementation on Hyperledger-Based Emission Trading System*[11]

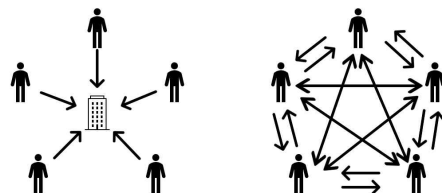
I. 하이퍼레저 패브릭

블록체인이 무엇인가에 대해서 알아보면 허가형 블록체인이 생기게 된 필연적 흐름을 알 수 있다. 분산원장기술은 개념은 있었으나, 현실에는 나타나지 않았다. 인터넷에 올라온 나카모토 사토시의 “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”[12]로 블록체인에 관한 이해할 수 있다.

허가되지 않은 참여자 사이에 거래를 위한 신뢰형성을 위한 기술을 제시함으로써 블록체인 기술의 초석을 마련하였다. 분산화된 컴퓨팅을 제공하는 참여자에게 보상으로 제공되는 것이 비트코인이다. 블록체인이라는 기술을 형성하는 자원 참여자에게 제공하는 보상이 가상화폐 비트코인이다.

현재 인터넷의 중앙집중형 아키텍처는 중앙 DB서버의 데이터가 쉽게 수정, 변조, 유실 될 수 있어서 신뢰성 확보가 불가하다.[13] 블록체인에 탈중앙화 특징이 필수 불가결하다. 중앙서버에 데이터들이 집중되어 처리되기 때문에 데이터 보안성이 취약해지게 된다.

블록체인 기술을 적용하게 되면 분산되어 있는 정보를 통해서 정보를 주는 장소는 불특정하고 알 수 없지만 보안 취약점이 생기는 원인을 차단할 수 있다. 대규모 데이터 공격(DOS, DDOS 등)을 통해 공격 장소가 특정되지 않기 때문이다.



[그림 1] 중앙집중형과 블록체인 차이점

여러 장소에 저장을 하기 때문에 정보 손실에 관해 내성이 생긴다. 다양한 장소에 동일한 정보를 남기면, 한 정보가 소실되어도 다른 정보를 통해 소실된 정보를 복원가능하다. 외부침입

공격에 의한 정보 변복조나 침입에 의한 정보손실 대해 보안 높일 수 있다.

공개 블록체인은 비트코인(Bitcoin), 이더리움(Ethereum), 스텔라루멘(Stellarlumen), 이오스(EOS) 등으로 암호화폐 거래 사이트를 방문하면 그 다양한 종류를 확인할 수 있다.[14] 허가된 블록체인은 하이퍼레저(Hyperledger), R3 코다(R3 Corda) 두 가지 블록체인이 사용가능하다.

공개형 블록체인 기술 같은 경우에는 언제나 변화가능 하다는 것을 장점으로 내세우고 있다. 관점은 하나로 볼 수 있는 것이 아니고 입장 일단이 있다. 거래의 문제와 확장성 문제가 발생할 때 생기는 네트워크 포크를 통해서 블록체인이 변화된다. 변화가 생기면 앞에 있었던 거래는 새로운 변화로 따라갈 것인지 아니면 기존에 있었던 상황에 남아있었을 것인지 결정한다. 이더리움(Ethereum)에서 최근에 있었던 뮈어 빙하코드 업그레이드는 2020년 1월에 있었다.[15] 변화가 많다는 것은 기존 거래가 가지고 있는 거래 완결성을 확보가 힘들다. 시스템이 구축이 기초가 변화한다는 가정 아래 시스템을 개발해야한다.

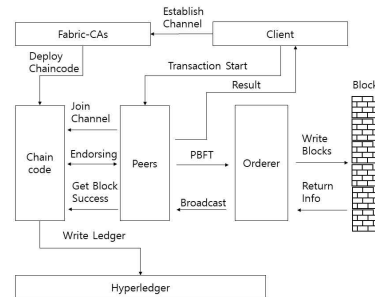
허가형 블록체인과 같은 경우에는 하이퍼레저(Hyperledger)와 R3 코다(R3 Corda)가 대표적으로 볼 수 있다. 엄밀하게 정의한다면 R3 코다(R3 Corda)같은 경우에는 블록체인의 범주에 들어가는 것은 어렵다. 블록체인 기술이 가지고 있는 기술 중 분산원장 기술을 이용하여 금융회계 등의 데이터 프라이버시에 초점을 맞추고 있는 기술이다.[16] 여기서 데이터 프라이버시란 데이터가 노출되는 것 자체에 관한 것이 아니라 거래 감사가 가능할 것을 의미한다.

당사자간 거래라고 볼 수 있는 부동산 거래에 적합한 블록체인에 관해 어떤 블록체인 더 적합할지 고민을 했다. 공개블록체인은 거래의 완결성 확보가 힘들다는 생각을 하여 제외했다. R3 코다는 블록체인기술은 사용하지 않고 분산원장의 기술만을 사용하기 때문에 연구에 적합하지 않다고 판단을 하였다. 허가형 블록체인 기술을 사용하는 하이퍼레저 패브릭을 통해 연구를

진행하기는 것이 적합하다고 판단하여 연구를 진행하기로 했다.

블록체인 기술은 특징과 그에 따른 장점이 있다. 위의 정보 손실에 회복력은 정보 보안에 이점을 준다. 중앙집중화가 아닌 탈중앙화 또한 정보를 보호하는데 뛰어나다. 공개형 블록체인 기술은 비식별의 다수의 인원이 시스템을 구성한다. 블록체인에서 담고 있는 정보는 암호화되어 공개된다. 블록체인에 담겨있는 원장정보는 체인에 묶여서 지우고 수정하는 과정이 어렵다. 한번 올라간 블록체인 정보는 체인확립시간 후 확정된다. 확정된 정보는 삭제하는 것은 불가능하다. 정보 수정만 가능하다.

산업에서 다양한 요구와 여러 상황에 대처하기 위한 유연성(Flexibility)있는 블록체인 기술이 필요했다. 하이퍼레저(Hyperledger)는 허가형 블록체인중 하나이다. 주로 비즈니스 소프트웨어를 개발하기 위한 플랫폼이다. 하이퍼레저 패브릭(Hyperledger Fabric 이하 하이퍼레저)에서는 소프트웨어를 작동하기 위한 스마트 콘트랙트(Smart Contract)를 체인코드(Chaincode)라고 부른다.



[그림 2] 하이퍼레저 이벤트처리[17]

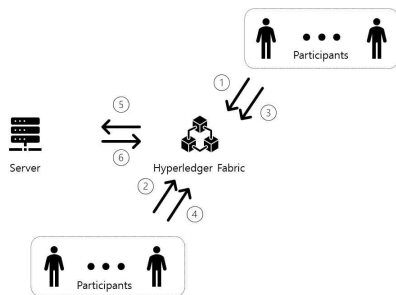
공개형 블록체인 기술은 조직의 기밀과 정보를 온라인에 올리는 것과 같았다. 모든 영업정보를 노출할 수 없는 산업을 위한 블록체인 기술의 필요성이 대두했다. 다양한 요청과 요구에 의해 다변화된 응답을 할 수 있는 기술이 필요했다. 하이퍼레저 패브릭은 리눅스 재단에서 하이퍼레저 엠브렐라 전략에서 나온 프로젝트다. 멤버형 서비스 프로바이더(Membership Service Provider, MSP) 신원증명 방식을 사용한다.

II. 부동산거래 하이퍼레저 적용

표 1 부동산거래행위

| 거래대상 | 구입자 | 판매자 | 득실 |
|------|-----|-----|----|
| 부동산 | 얻다 | 주다 | 0 |
| 돈 | 주다 | 얻다 | 0 |

부동산 거래는 증여, 매매, 교환, 임대차 4가지로 구분된다. 부동산 거래는 당사자에 의한 직접매매, 중개업자에 의한 중개 매매, 부동산 개발업자에 의한 분양, 또는 경매가 있다. 부동산 개발업자에 의한 거래는 처음에만 이루어진다. 대다수의 부동산 거래는 거래 당사자 혹은 중개업자에 의해 이루어진다. 시장참여자가 참여하는 대부분 거래가 중개업자를 통해서 성사된다.



[그림 3] 어플리케이션 시나리오

위에 다양한 참여자와 복잡한 거래 과정을 추상화하여 설계했다. 부동산거래 시스템 시나리오 오는 그림 3에 나오는 거래를 가정한다. 부동산 거래자는 참여자로 제한했다. 참여자로 한 가지 분류로 설계한 이유는 다양한 참여자가 부동산 거래 따른 행위 양태만 다르고 행위(Act)시 누가 했었는지 기록만 남아도 충분할 것으로 판단했다. 시나리오는 밑에 과정리스트와 같다.

- 과정 1: 부동산을 판매하려는 참여자는 하이퍼레저 패브릭의 체인코드를 이용하여 매매하려는 부동산을 레저(Ledger)에 담아 거래시스템에 트랜잭션(Transaction)한다..
- 과정 2: 부동산을 구매하려는 참여자는 부동산거래 시스템에 접근하여 알맞은 부동산을 검색한 후 부동산 구매를 요청한다.

- 과정 3: 부동산을 판매하려는 참여자의 부동산 권리를 넘기게 되면서 동시에 판매하려는 가격의 토큰을 얻게 된다.
- 과정 4: 부동산을 구매하려는 참여자는 부동산 권리를 얻게 되면서 동시에 구매하려는 가격의 토큰을 감소하게 된다.
- 과정 5: 위의 과정이 정상적으로 일어나게 된다면 레저는 에러 없는 거래로 판단하게 되고 토큰의 지불에 따른 거래 저장과 부동산 권리를 정상거래로 판단하고 기록한다.
- 과정 6: 나머지 참여하는 조직(Organization)에도 정상거래에 따른 레저의 갱신이 전파되고 거래가 마무리 된다.

위의 시나리오는 다음과 같은 가정을 전제했다. 디지털 상호분산원장은 공인된 제 3자 없이도 블록체인 기술을 통해 신뢰성이 확보 가능하다.[18]

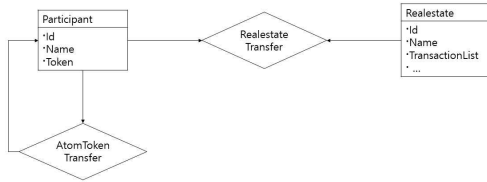
부동산 거래 행위는 두 거래 당사자에 의해 성립된다. 위 표1에서와 같이 양 거래인에 의해서 한 측은 부동산을 얻고 돈을 주며, 부동산 판매자는 부동산을 가지고 있었던 소유권 혹은 권리를 넘기고 금전적 이득 혹은 그에 준하는 댓가를 얻는다. 부동산을 산 사람은 부동산에 관한 권리를 득하고 자금을 상응하는 것을 지불함으로 거래가 성립된다.

단순화 한다면 주고받는 연속이라고 할 수 있다. 복잡한 거래라고 하더라도 단순한 거래의 반복이라고 볼 수 있다. 금전과 물품, 상품, 용역 등의 다른 종류의 거래도 있지만 은행계좌 송금과 같은 금전 하나의 거래도 있을 수 있다. 일방향 거래라고 할지라도 빠져나가는 송금인과 받는 수금인에서는 돈이 빠져나가고, 돈이 들어오는 두 가지 과정으로 나눌 수 있다.

부동산이 가지고 있는 정보가 돈이 들어오고 나가는 정보의 연속인 동시에 계속되는 거래 속에서 그 만한 가치가 있다는 것을 증명하는 것이다. 거래를 연속하여 저장할 수 있는 거래 누락을 하지 않으면서도 새롭게 쌓여갈 거래 정보를 가지고 갈 수 있는 형태를 생각하여 설계를 고려해야한다는 판단을 할 수 있었다.

부동산의 정보를 기록하고 있는 등기부등본에서 가장 많은 부분을 차지하는 것은 거래가

이루어진 내역이다. 기존 정보를 구조화하고 간결하게 필요한 것만 들어갈 수 있도록 설계의 중요도를 정했다.



[그림 4] 레저 구조(Ledger Structure)

거래를 하는 레저(Ledger)의 구조는 위 그림 4와 같다. 거래 참여자는 부동산을 거래한다. 거래에 따른 토큰(Token)을 이체시킨다.

IV. 적용된 시스템 평가

복잡한 서류와 도장이 없으면 거래가 되지 않는 부동산 거래 시장에서 디지털 시스템의 이점을 통해서 간단한 정의를 통해서 무리 없이 시스템이 구성할 수 있다는 것을 확인했다. 후에 다수의 거래를 하게 되는 상황에서도 구현되어 있는 시스템을 통해서 구현을 동일한 구현을 이어갈 수 있다.

등기부 등본과 서류를 보아가서 그것을 디지털 방식으로 옮겨가는 디지털 전환(Digital Transformation)이 아니라 설계에서 출발하는 과정을 통해 복잡하게 나열되어있는 정보를 간단하게 정리할 수 있는 사례를 얻을 수 있었다.

표2 다른 시스템과의 비교

| 거래대상 | 보안성 | 효율성 | 거래 속도 |
|--------|-----|-----|-------|
| 중양집중형 | 낮다 | 높다 | 높다 |
| 공개블록체인 | 높다 | 낮다 | 낮다 |
| 하이퍼레저 | 높다 | 높다 | 높다 |

중양집중형 시스템은 중앙에 있는 시스템에 집중하여 분산되어 있는 정보를 모아 중앙 집중

III. 부동산거래 하이퍼레저 구현

[그림 4] 부동산거래 구조

| | |
|--------|--|
| (a) | |
| Struct | Participant |
| Key | Id |
| Value | { Id: UUID Name: 'participant_alice' Token: token_amount } |
| (b) | |
| Struct | AtomTokenTransfer |
| Key | Id |
| Value | { Id: UUID ParticipantId: participant_id TransferType: 'Deposit/Withdrawn' TokenAmount: token_amount } |
| (c) | |
| Struct | TransactionLedger |
| Key | Id |
| Value | { Id: UUID TransactionType: 'Deposit/Withdrawn' TransactionIds: [AtomTokenTransfer_ids...] TokenAmount: token_amount } |
| (d) | |
| Struct | Realestate |
| Key | Id |
| Value | { Id: UUID Name: realestate_name OwnerId: participant_id TransactionList: [TransactionLedger_ids...] IsTrading: 'True/False' TransactionPrice: realestate_price } |

위의 코드에서 중점적으로 고려한 것은 TransactionList 배열이다. 마지막에 저장되어 있는 배열의 요소가 소유자의 거래내역이다. 여러 거래가 누적이 되어도 단순화된 구조체로 거래요인을 저장한다.

원자 거래내역 구조체는 거래 참여자의 토큰을 소비하는지 얻는지 나타낸다. 테스트를 할 때에는 입금(Deposit) 또는 출금(Withdrawn)으로 구별하여 저장했다. 부동산 거래를 할 때 부동산 권리를 상실하면 출금(Withdrawn), 부동산 권리를 얻으면 입금(Deposit)으로 표시하여 체인 코드(Chaincode)에 동일한 구현을 고려했다.

거래내역, 복합적인 거래를 표현할 때 쓰이는 구조체이다. 참여자가 여러 참여자에게 토큰을 보낼 때의 다량이체 혹은 공동소유와 같은 상

황이 일어났을 때를 상정한다. 부동산 구조체에 저장함으로써 복잡한 거래내역이 저장되고 리스트번호만 부동산 구조체에 들어가 중복 저장이 없도록 설계했다.

[알고리즘 1] TransferToken

Algorithm 1 TransferToken

Input:

fromParticipantId: UUID of Participant
toParticipantId: UUID of Participant
tokenAmount: amount of token

Output:

nil;

1: Withdrawn Token fromParticipant
2: if fromParticipant.Token <= tokenAmount then
3: terminate transferToken
4: Deposit Token toParticipant
5: create TransferTokenLedger Withdrawn fromParticipant
6: create TransferTokenLedger Deposit toParticipant

토큰 이동에 관한 함수를 의사코드 통해 설명한다. 앞에 설계한 구조체를 가지고 토큰을 인출하고 토큰을 집어넣는 함수를 호출하면 토큰을 옮기려는 사람이 부족하면 함수가 종료된다. 만약 토큰을 옮길 수 있으면 토큰을 이체하려는 참여자에게 토큰을 옮긴다. 나머지 토큰을 인출하거나, 입금된 토큰은 각각 분절하여 장부를 생성한다.

부동산 알고리즘도 선언되어 있는 TransferToken을 호출한다. 연구에서는 진행되는 과정에 따라서 설명을 하고 있기 때문에 위의 알고리즘과 형식을 맞추어 작성하였다.

[알고리즘 2] TransferRealestate

Algorithm 2 TransferRealestate

Input:

fromParticipantId: UUID of Participant
toParticipantId: UUID of Participant
realestateld: trading of Realestate

Output:

nil;

1: get fromParticipant
2: get toParticipant
3: if realestate.isTrading == False then
4: terminate TransferRealestate
5: toParticipant.Token < realestate.Price then
6: terminate TransferRealestate
7: create TransferTokenLedger Withdrawn fromParticipant
8: create TransferTokenLedger Deposit toParticipant

함수에서는 권리를 이동하려는 참여자간의 거래를 모델링했다. 참여자의 정보를 가져온다. 부동산이 거래가 가능하지 않는다면 함수를 정지한다. 부동산을 사려는 참여자가 토큰이 적다면

거래를 중지한다. 부동산 거래가 완료되면 각각 토큰을 이동한 정보를 거래 장부에 기록한다.

단순한 설계를 하면은 무엇을 떨어내고 중요한 것인지 기준점을 잡는 것이 중요하다는 것을 경험할 수 있었다.

처리 시스템을 사용하여 업무를 처리한다. 보안성을 유지하기 위해 높은 비용이 들어가며 보안에 취약점 발생시 복구하기 위한 비용이 지출된다.

퍼블릭 블록체인 기술은 장부의 분산 및 기록의 비가역성으로 보안성 향상을 가져오지만 과도한 채굴비용 등의 비효율성도 수반한다.[19] 분산원장에 모든 기록이 업데이트 되어야 하기 때문에 거래속도 저하가 나타나게 된다.

하이퍼레저를 활용한 시스템 같은 경우에는 허용된 사용자만이 블록체인에 접근이 가능하기 때문에 보안성이 높다. 정보에 관한 교환도 모두 업데이트를 하는 공개블록체인과 다르기 때문에 효율성도 높다. 그에 따라 거래 속도도 높다.

공개 블록체인의 낮은 효율성과 중앙집중형 시스템의 낮은 보안성을 보완할 수 있는 시스템으로써 하이퍼레저를 사용한 시스템이 충분한 대안이 될 수 있다. 높은 시스템에 관한 이해와 각종 시스템에 설계와 구현에 따른 비용이 수반되지만 그에 따른 혜택도 따라 온다는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결론

현실 세계는 디지털이 처음이고 그것을 통해서 모든 다른 사회에 모든 것들이 영향을 받는다고 한다.[20] 현실은 기존에 있는 여러 분야를 소프트웨어 개발을 통해서 전환하는 방식의 연속성이 이어져가고 있다고 생각한다.

기술의 발전이 곧 인간의 지평의 발전이고 기존에 생각을 전환을 할 수 없다면 아무런 혜택 없이 반복적인 굴레에서 벗어나기 힘들지 않을까라는 생각이 들었다. 처음에는 부동산 등기부 등본과 다른 부동산 관련 책과 논문을 찾아보면서 이 상황을 어떻게 소프트웨어 개발을 통해서 비슷하게 모사할 수 있을지 고민했다.

시간이 지나면서 문서도 스캔해야 것인가 부동산에 관한 권리분석은 어떻게 하는 것인지 해맸다. 오히려 관련된 주변에 가치를 정리하고 표현되는 숫자와 문자 속에서 저장할 것은 무엇인지 제외할 것은 무엇인지 생각을 하고 구현을 하는 과정 속에서 긴 고민에 시간을 넘어서는 다른 속도를 느낄 수 있었다.

앞으로 진행되는 연구에서는 기존에 돈을 주고받는 기간 차이가 발생하는 문제가 있다는 생각이 들었다. 계약금 중도금 입주금과 같은 자금 이전에 관한 상황을 돈과 부동산이 동시적 프로그래밍(Concurrency Programming)으로 구현하여 프로그래밍 그 자체를 기준으로 역으로 부동산 시장에 영향을 줄 수 있는 구현을 계획하고 있다.

현실을 디지털로 전환하는 것이 아니라 정보를 프로그램 설계적 사고를 통해 발전하고 나감으로써 더 복잡한 체계를 간단하고 단순화된 시스템으로 나아갈 수 있는 디지털 선점(Digital Initiatives)에 관한 사고로 출발 기준점으로 삼아야 하는 것은 아닌가하는 생각을 할 수 있었다.

[인용주]

- [1] 지대식, 손경환, 김승중, 전성제, 배유진 “부동산 거래 선진화를 위한 제도개선 방안 연구” 국토연 2012-43 p.3
- [2] 김기현, 신운섭, 김기형 "Hyperledger를 활용한 참여형 국방인사투표시스템 설계 및 구현" 2019년도 정보통신설비 학술대회(2019.08) pp.93-97
- [3] Hyowon Im, Ki-Hyung Kim, Jai-Hoon Kim "Privacy and Ledger Size Analysis for Healthcare Blockchain" 2020 International Conference on Information Networking(ICOIN) pp.825-829
- [4] Younhyun Kim, Ki-Hyung Kim, Jai-Hoon Kim "Power Trading Blockchain using Hyperledger 2020 International Conference on Information Networking(ICOIN) pp.821-824
- [5] 고동현 “블록체인을 활용한 압표방지 이메일 시스템 설계 및 구현 - 하이퍼레저를 중심으로” 숭실대학교 대학원 2019
- [6] 김민규, 오세준, 홍충선. "Hyperledger Fabric 블록체인 오픈소스를 이용한 무역 견적 및 계약 시스템" 한국정보과학회 학술발표논문집(2018) pp. 1913-1915.

- [7] 홍덕용 “블록체인 기술을 적용한 기록관리 모델 구축 방법 연구(A Study on the Application of Blockchain Technology to the Record Management Model)” 한국기록관리학회 한국기록관리학회지 제19 권 제3호, pp 223-245
- [8] Harris, Christopher "Improving Telecom Industry Processes Using Ordered Transactions in Hyperledger Fabric" 2019 IEEE Globecom Workstops (GC Wrkshops) 978-1-7281-0960-2
- [9] Ariffin, Nizamuddin, Ismail, Ahmad Zuhairi "The Design and Implementation of Trade Finance Application based on Hyperledger Fabric Permissioned Blockchain Platform" 2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent System(ISRITI) 978-1-7281-4520-4
- [10] Yu-Tse Lee, Jhan-jia Lin, Jane Yung-Jen Hsu, Ja-Ling Wu "A Time Bank System Design on the Basis of Hyperledger Fabric Blockchain" Future Internet, Vol 12, Iss 84, p 84 (2020)
- [11] Yuan, P., Xiong, X., Lei, L., Zheng, K. "Design and Implementation on Hyperledger-Based Emission Trading System" IEEE Access, IEEE. 7:6109-6116 2019
- [12] Satoshi Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", Bitcoin.org, 2009
- [13] 장수환, 김운배 “산업용 IoT 구축을 위한 하이퍼레저 패브릭 기반 분산형 포그 시스템에 관한 연구” 성균관 대학교 일반대학원 (2019) pp. 1.
- [14] 주식회사 빗썸코리아
“<https://www.bithumb.com/>”
- [15] william Foxley "이더리움, 새해 첫'뮤어 빙하' 하드포크 완료“
<http://www.coindesk.com/news/articleView.html?idxno=64224> 코인데스크 코리아 (2020.01.03.)
- [16] R3 “<https://r3.com/corda-platform/>”
- [17] Dongpo Zhang, Zhenyuan Zhang, Luan Chen, Shu Li, Qi Huang and Yihong Liu "Blockchain Technology Hyperledger Framework in the Internet Energy" IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 168(2018) 012043 pp.6
- [18] 이후빈 “부동산 유통화 수단으로 블록체인 기술의 활용가능성 연구” 국토연 WP 19-14 p.12
- [19] 남충현 (2018) “블록체인의 다변화: 채굴 없는 블록체인의 확산” 정보통신정책연구원 KISDI 18-01
- [20] Hendricks, Alice; McLaughlin, Misty (19 May 2016). "Becoming a Digital-First Organization". nten.org. NTEN: The Nonprofit

[참고문헌]

- 안드레아스 M. 안토노폴로스 “비트코인, 공개블록체인 프로그래밍”, 고려대학교 출판문화원 2018
- 안드레아스 M. 안토노폴로스 “마스터링 이더리움”, 제이펍 2019
- 시미즈 토모노리, 타마치 고코, 우에노하라 하야토, 사토우 타쿠요시, 사이토 신, 콘도 히토시, 하라야마 츠요시, 카사하라 아키히로, 이와사키 타츠야, 오가사와라 카즈유키 “하이퍼레저 패브릭 철저입문” 위키북스 2019
- 조문옥, 이진수, 조성완, 반장현 “하이퍼레저 패브릭 실전 프로젝트” 에이콘 2020
- 윤대근 “(하이퍼레저 패브릭으로 배우는) 블록체인“ 제이펍 2018
- 앨런 도노반, 브라이언 커니건 “(The)Go programming language” 에이콘 2016