

블록체인 기반 제조 공급망 추적 시스템 구현

이재호* · 남호기*

*인천대학교 산업경영공학과

A Implementation of Blockchain based Manufacturing Supply Chain Tracking System

Jae-Ho Lee* · Ho-Ki Nam**

*Department of Industrial and Management Engineering, Incheon National University

Abstract

Block Chain is a technology that records and shares distributed ledgers without a central authority, providing a decentralized platform for transparent transactions in the business and enhancing transparency and traceability in all transactions to ensure trust in the transaction. Despite initial doubts about this technology, it is committed to adopting, adapting and improving the technology in a wide range of industries, including finance, government, security, logistics, food, medical, legal, and real estate. This study examines this technology, its applicability and potential benefits to the manufacturing supply chain. A tracking system of manufacturing supply chain to visualize transparency and traceability is implemented, and the conditions for adopting the technology in the manufacturing supply chain and the issues to be addressed are discussed.

Keywords : Manufacturing Supply Chain, Block Chain, Ethereum, Solidity, Visibility, Traceability

1. 서론

오늘날 전 세계의 많은 제조업체들로부터 다양한 제품이 생산되고, 복잡한 유통 과정을 거쳐 전 세계의 소비자들에게 전달되어 진다. 제품이 최종 소비자에게 전달되기 전까지 언제, 어디서, 어떻게 생산되고, 제품의 수명주기 동안 어떠한 변화가 생겼는지에 대한 정보는 전혀 알려지지 않거나, 제한된 정보만이 알려진다.

공급망은 점차 복잡, 확장, 글로벌화 되고 있으며, 공급망 중 일부의 이벤트(사고, 문제, 이슈, 돌발 상황)로 인해 중요 요소나 서비스의 공급이 방해를 받게 되면 공급망을 따라 생산이나, 유통, 서비스가 중단될 수 있

다. 제조업체는 공급업체로부터 제공된 품질 인증서를 완전히 신뢰하지 않으며, 제품 수명주기 동안 제조업체와 공급업체 간의 갈등이 증가하고, 또한 품질에 대한 최종 결과는 제품에 인쇄된 인증 로고일 뿐이며, 소비자는 그 의미를 확인하거나 완전히 이해할 수 없어도 이 정보를 받아들일 수밖에 없다.

이러한 불확실성을 적절하게 대처하지 못함으로써 입게 되는 기업의 손실은 매우 치명적일 수 있다. 따라서 공급망상의 기업의 부서 내, 부서 간, 외부의 공급자 및 고객 까지 일련의 업무프로세스를 네트워크 및 정보 기술을 활용하여 공급망을 통합하여 가시성을 확보한 상태에서 의사결정을 함으로써 경쟁 우위를 점할 수 있을 것이다[2].

† This work was supported by Incheon National University (International Cooperative) Research Grant in 2017.

† Corresponding Author : Ho-Ki Nam, Industrial and Management Engineering, Incheon National University, 119, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, E-mail: ipics@inu.ac.kr

Received October 10, 2017; Revision Received November 11, 2017; Accepted December 01, 2017.

또한 제품에 대한 품질을 보증하기 위해 공급망 내에서 제품의 대한 상세한 정보를 투명하게 공개하기를 요구하는 기업이 증가하는 추세이다. 공급망 내에 문제가 생겼을 때 원인을 파악하거나 영향을 받은 모든 개체를 추적하여 효율적인 대응을 하려면 정교한 추적 시스템은 필수적이다.

공급망의 가시성은 주요 비즈니스 과제이며, 공급망을 자세히 알 수 있다면 투명성과 가시성을 높일 수 있고 흐름을 모델링 하여 운영, 위험 및 지속 가능성에 대한 분석이 가능하다. 전체 공급망의 투명성과 가시성을 확보하기 위하여 공급망의 각 행위자들의 정보를 통합관리하기 위한 제3의 중개기관이 필요할 수 있다. 민감하고 가치 있는 정보를 중개하기 위하여 상호작용하는 모든 행위자들의 신뢰를 받아야 하고, 정확한 데이터 수집과 정보를 효과적이고 안전하게 저장할 수 있는 기술적 능력이 필요하다.

그러나 이러한 유형의 제3의 중개기관은 데이터의 소유권한을 이용해 데이터의 오용 또는 변질되거나, 전체 시스템이 해킹이나 장애에 취약하게 되어 위험에 노출될 가능성이 있다. 지난 수십 년 동안의 다양한 사건들은 고비용의 보안 방식으로든 완벽하게 안전을 보장할 수 없음을 보여주었고, 네트워크의 잠재적 위험에 노출되어 있다. 블록체인이 등장하기 전까지 중개기관(중앙 집중식 시스템)은 공급망 및 서비스의 투명성을 제어하기 위한 가장 일반적인 접근 방식이었다.

본 연구에서는 제3의 중개기관에 의존하지 않고, 블록체인의 분산원장 기술을 이용하여 공급망의 투명성과 추적성을 가시화하기 위한 방법을 연구하고, 블록체인 웹 기반 어플리케이션인 제조 공급망 추적 시스템을 구현해 본다. 구현한 시스템은 물리적인 개체를 '로트'로 식별하였고, 로트 생성 및 기록과 로트의 흐름을 데이터 시각화를 이용하여 추적 할 수 있도록 설계 및 구현하였으며, 서비스 활용 가능성을 제시해 보고자 한다.

2. 블록체인

블록체인이란 디지털 가상화폐인 비트코인(Bitcoin)에서 처음 활용된 기술이다. 네트워크에 연결된 노드가 중앙 시스템에 의존하지 않고 모든 거래(Transaction) 장부가 네트워크 참가자들에게 공개되고 참가자의 컴퓨터에서 데이터 기록과 검증할 수 있도록 설계된 P2P 네트워크 기반 디지털 거래 장부, 보안 기술, 분산 원장 기술이라 불리기도 한다. 블록은 참여자들의 거래 데이터가 기록되는 장부이고, 블록들은 시간의 흐

름에 따라 순차적으로 연결된 구조를 가지게 된다. 이론적으로 정보의 위, 변조가 불가능하다고 알려져 있으며, 내구성, 투명성, 불변성, 무결성 등 효율성이 높으며, 거래에 수반되는 시간과 비용을 줄임으로써 다양한 형태의 거래관계를 혁신할 수 있는 기반 기술로 평가되어 금융권을 시작으로 물류, 유통, 제조 등 다양한 산업 분야로 확산되고 있다.

블록체인 기술을 처음 고안한 사람은 2008년 익명의 개발자인 사토시 나카모토의 'Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System' 이라는 논문에서 'P2P 네트워크를 이용해 이중 지불을 막는다' 라고 설명했다[1]. 제3자가 거래를 보증하지 않아도 거래 당사자끼리 가치를 교환할 수 있다는 것이고, 2009년 1월 가상화폐인 비트코인을 개발해 구현함으로써 논문을 직접 증명해 보였다.

P2P의 노드 간의 거래에서 데이터를 신뢰할 수 없다는 근본적인 문제를 P2P기술, 공개키 암호, 합의 알고리즘, 해시 함수 등의 기술을 종합하여 데이터의 무결성 및 신뢰성을 보장함으로써 중앙 시스템의 개입 없이도 신용이 필요한 서비스를 구현할 수 있다는 가능성을 열었다.

또한 클라우드의 발전으로 중앙 집중식으로 향하고 있던 시스템 개발의 기술이 블록체인을 통해 다시 분산 시스템으로 발전 될 것으로 예상된다[3].

2.1 블록체인의 이점

블록체인 기술은 본질적으로 구조적 아키텍처의 의미에서 몇 가지 핵심 기술 이점을 제공한다.

① 내구성 : 분산 네트워크는 중앙 집중식 시스템과 달리 단일 장애 지점(single point of failure, SPOF: 시스템 구성 요소 중에서 어느 하나라도 동작하지 않으면 전체 시스템이 중단되는 현상)을 제거한다. 노드 간의 이러한 위험 분산은 중앙 집중식 시스템보다 블록체인의 내구성을 훨씬 높이며, 악의적인 접근을 차단하는데 적합하다.

② 투명성 : 블록체인을 이용하면 거래를 기록하는 중앙에 원장(데이터베이스)를 만들 필요가 없다. 블록체인의 동일한 복사본이 네트워크의 각 노드에 의해 유지 관리되므로 거래 기록을 실시간으로 검증할 수 있다. 이러한 수준의 투명성으로 인해 네트워크 활동 및 운영이 눈에 잘 띄게 되어 신뢰도가 높아진다.

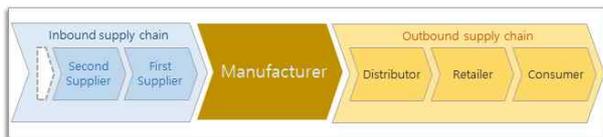
③ 불변성 : 분산된 공용 블록체인에 저장된 데이터는 다른 노드의 유효성 검사 및 변화의 추적 가능성으로

로 인해 사실상 변경 불가능하다. 이를 통해 사용자에게 데이터 체인이 변경되지 않고 정확하다는 높은 신뢰감을 준다.

④ 무결성 : 분산 오픈 소스 프로토콜은 본질적으로 작성된 코드로 정확하게 실행된다. 사용자는 프로토콜에 설명된 작업이 사람의 개입 없이도 정확하고 시간에 맞춰 실행된다는 것을 확신할 수 있다.

3. 블록체인 기술을 이용한 제조 공급망

공급망(Supply Chain)이란, 물품의 재료부터 시작해서, 여러 생산자가 생산 과정에서 물품을 완성하고, 유통망을 통해 소비자에게 넘어가는 전 과정을 의미한다 [Figure 1]. 여러 참여자들이 상호 협력해야 하는 기업 환경에서 공급망 관리는 매우 중요한데, 이는 제품의 생산을 위해 여러 생산자들의 협력이 필요한 경우에, 제품의 개별 공정에 대한 이력(트랜잭션 데이터)들을 생산자간에 투명하게 공유하는 과정이 필요하다. 다시 말해, 공급망은 중간 생산물들에 대한 다자간 서비스의 순서적인 실행이며, 서비스 체이닝 개념을 적용하여 보다 생산적이고 효율적인 성능을 발휘하도록 할 수 있다[4].



[Figure 1] Generic Supply Chain Flow

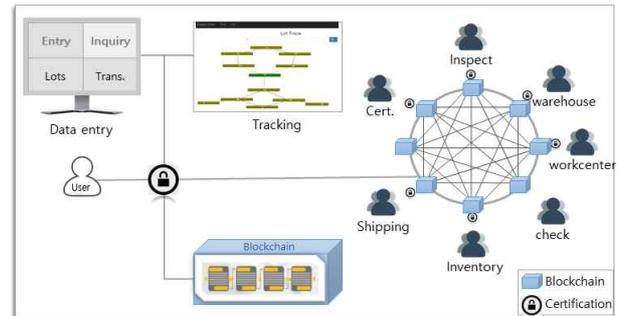
일반적으로 사들의 참여하는 기업의 거래 정보는 각각의 시스템에서 관리되고, 제한된 시스템 접근, 부분적인 데이터 공개 등으로 대형 공급망 시스템에서는 모든 거래를 통합적으로 추적하기가 매우 어렵다. 따라서 투명성 수준이 낮기 때문에 공급망의 거래는 시스템 참여자간 신뢰를 바탕으로 한다.

블록체인 기술은 데이터의 불변성, 분산 저장 및 인증된 사용자 접근을 통하여 제조 공급망 내에서 투명성 및 추적성 문제를 잠재적으로 개선 할 수 있다. 제조 공급망 내에서 각 개체의 수명주기 동안 주요 정보를 수집, 저장 및 관리하기 위해 블록체인 기술을 사용하는 분산 시스템이 본 연구에서 제안된다..

제안된 시스템은 제조 공급망에서 물리적인 제품(원재료, 가공품, 반제품, 완제품 등)을 로트로 식별하고, 거래의 기록을 블록체인 네트워크에 저장 및 공유하고, 로트의 흐름을 시각화 하여 추적하는 방법에 대해 다음에서 설명한다.

3.1 개요

[Figure 2]는 블록체인 기반 제조 공급망 추적 시스템을 적용하기 위한 분산 시스템의 개요이다.



[Figure 2] Block Chain based Manufacturing Supply Chain Tracking Conceptual Diagram

제안된 접근방식은 로트의 제조 수명 주기 동안 주요 로트 정보를 수집, 저장 및 관리 하고, 변경에 대한 이력을 거래 정보로 기록하고 추적할 수 있다. 발생한 로트 및 거래는 안전한 거래 기록을 위하여 인증을 통해 블록체인 네트워크에 저장된다.

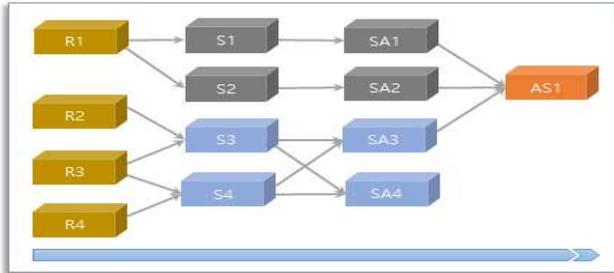
원장은 다수 로트의 링크를 가지고 있으며, 로트는 다수의 거래들로 구성되어 있는 블록체인이다. 로트 또는 거래는 삭제할 수 없으며, 로트의 변경은 거래를 통해서만 가능하다.

사용자는 인증을 통하여 원장에 접근할 수 있는 권한을 얻게 되며, 모든 거래 정보에는 사용자의 정보와 연결되는 링크를 가지게 된다. 사용자는 로트의 생성, 변경을 할 수 있는 권한을 부여 받게 되고, 사용자 인터페이스를 통해 블록체인 네트워크에 접근할 수 있다. 사용자의 유형에는 인증을 담당하는 인증담당, 검수, 출고, 작업자, 검사자, 재고담당, 출하담당 등으로 구분할 수 있다.

3.2 로트 정보

로트는 원재료 입고 시 부터 각 공정을 진행하면서 생성될 수 있으며, 주요 관리 속성들이 포함되거나 변경될 수 있다. 생성 또는 변경된 정보는 하나의 거래(Transaction)로 이루어지며 블록체인 네트워크를 통해 실시간 기록, 공유된다. 거래는 인증된 작업자에 의해서 가능하고, 데이터의 입력은 사용자 인터페이스 또는 API를 통해서 이루어 질 수 있고, 블록체인 네트워크를 통해서 실시간 처리가 가능하다.

로트의 속성은 식별번호, 설명, 생성일, 입고량, 소모량, 생산량, 구성 로트, 사용처 로트 등의 속성들과 거래 이력정보를 포함한다. 그 외 각 단계에서 발생하는 고유의 속성 값들은 추가항목에 텍스트 형식으로 포함할 수 있다.

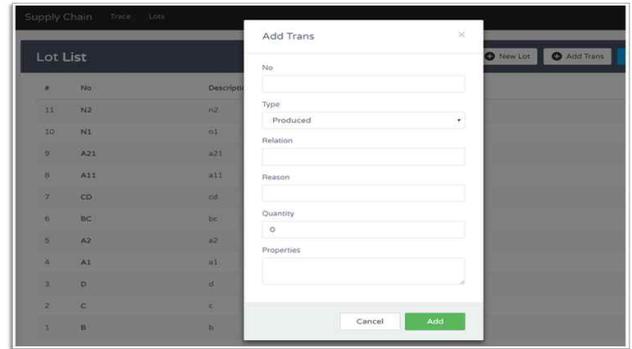


[Figure 3] Split and Merge Lots

[Figure 3]는 로트의 변화 과정을 보여주고 있으며, 각 단계를 거치면서 단일 로트가 다수의 로트로 수량이 분할되거나, 다수의 로트가 하나의 로트로 병합되어 새로운 로트가 생성될 수 있다. 이렇게 복잡한 과정을 거친 로트의 흐름은 추적 기능을 이용하여 시각화된 그래프 형태로 추적할 수 있다.

3.3 거래 정보

로트의 흐름 중에 발생하는 정보(신규, 분할, 병합, 속성의 변경 등)는 거래를 발생시켜 기록할 수 있다. 하나의 로트는 다수의 거래를 발생시킬 수 있고, 로트의 수명 주기 동안 흐름에 대한 모든 과정은 로트의 이력 정보로 기록되어 지므로 실시간 검증과 투명성을 확보할 수 있다. 본 연구에서는 편의상 Adjusted(수량 조정), Transferred(수량 이동), Produced(생산) 등의 3가지 거래 유형으로 구분하였다. Adjusted는 로트의 수량을 조정할 수 있는 기능이고, Transferred는 자신의 수량을 소모시키고, 소모량만큼 상대 로트에 투입되는 기능이고, Produced는 로트의 생산량이 증가되는 기능을 한다. 거래 정보는 거래 유형, 거래 원인 및 이유, 설명, 수량, 상대 로트 등의 속성들로 구성된다.

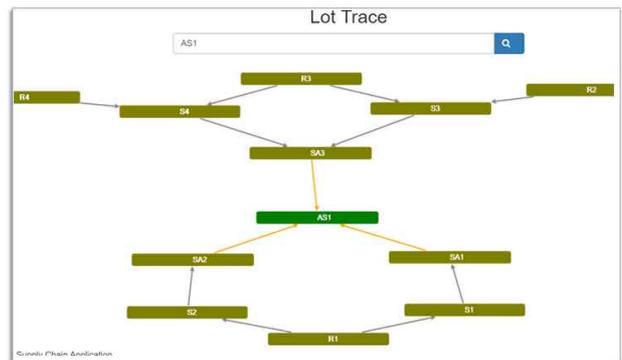


[Figure 4] Enter Transaction for Lot

거래 데이터의 입력은 사용자 인터페이스[Figure 4] 또는 API를 통해서 이루어 질 수 있고, 블록체인 네트워크를 통해서 실시간 처리가 가능하다.

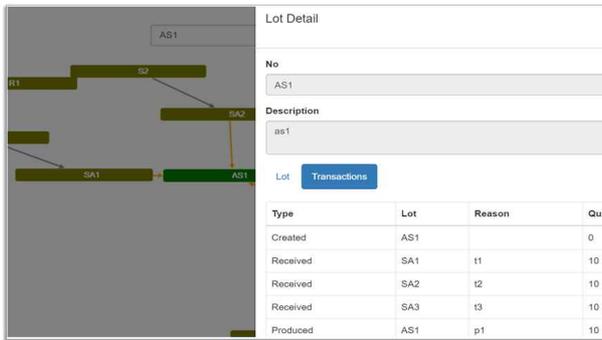
3.4 추적

추적기능은 로트의 흐름 및 로트의 정보, 거래의 이력을 상세히 조회할 수 있는 기능이다. [Figure 5]는 로트의 흐름을 시각화해서 보여주고 있으며, 푸른색은 추적의 대상이 되는 중심 로트를 표현한 것이며, 황색의 화살표는 1차 연관된 로트와의 관계 표시이다. 추적은 2가지 방법으로 표현할 수 있다. 추적의 대상이 되는 중심 로트가 어떤 로트들로 구성되어 있는지 확인할 수 있으며, 어떠한 로트들에 사용되어졌는지 확인할 수 있다.



[Figure 5] Flow of visualized lots

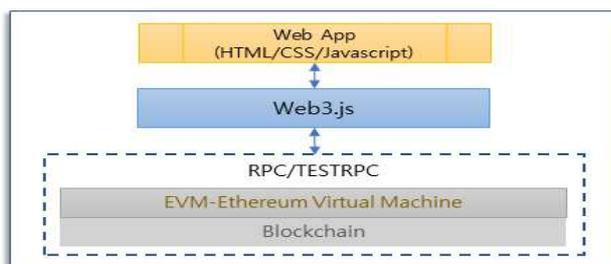
[Figure 6]은 [Figure 5]에 표현된 로트를 클릭했을 때, 해당 로트에 대한 상세 정보와 거래 이력을 조회할 수 있다.



[Figure 6] Detailed Information and Transaction History of Lot

4. 시스템 구현

본 연구에서 구현한 제조 공급망 추적 시스템의 개발 및 테스트 환경은 윈도우즈 10에서 이루어졌으며, 블록체인 기반으로 이더리움 환경에서 테스트 네트워크(TESTRPC)를 구축하였다. Smart Contract는 Solidity 언어를 사용하였고, HTML/CSS/Javascript로 웹 어플리케이션을 작성하였다. 이더리움과의 통신은 Node.js기반의 Web3 API를 이용하여 코드를 실행하였다[Figure 7]. [Figure 8]은 Solidity 언어로 작성된 Contract의 일부 코드의 예이다.



[Figure 7] Ethereum Test (testrpc) Environment

```

mapping(address -> LotStruct) private lotStructs;
address[] private lotList;

function getLotCount() public constant returns(uint count) {
    return lotList.length;
}

function isLotAddress(address lotAddress) public constant returns(bool indeed) {
    if (lotList.length == 0) return false;
    return (lotList[lotStructs[lotAddress]].listPointer == lotAddress);
}

function isLotNo(bytes32 no) public constant returns(bool indeed) {
    if (lotList.length == 0) return false;
    for (uint i = 0; i < lotList.length; ++i) {
        if (lotStructs[lotList[i]].no == no) return true;
    }
    return false;
}

function getLotAtIndex(uint index) public constant returns(address lotAddress, bytes32 no) {
    return (lotList[index], lotStructs[lotList[index]].no);
}

function getLotAtAddress(address lotAddress) public constant returns(bytes32 no, uint index) {
    require(isLotAddress(lotAddress));
    return f
    
```

[Figure 8] Some code in Solidity Contract

5. 결론

본 연구는 블록체인을 기반으로 제조 공급망을 투명하게 추적할 수 있는 시스템을 제안하고 구현하였다. 블록체인 기반의 분산 데이터 시스템 설계를 통해 특정 데이터의 임의 변경이 불가능하다는 무결성 보장과, 동일한 데이터베이스 공유로 가용성을 제공하며, 이중 정보의 공유를 통한 기밀성을 확보하였다.

제안된 시스템은 로트의 생성부터 수명주기 동안의 변화과정을 시각화 시켜 상세히 추적할 수 있게 하였다. 설계, 제조 및 생산에 참여하는 조직은 로트의 흐름을 분석하여 더 나은 의사결정을 할 수 있다.

본 연구에서는 퍼블릭 블록체인을 기반으로 시스템을 구현하였지만, 퍼블릭 블록체인의 단점을 보완할 수 있는 컨소시엄 또는 프라이빗 블록체인으로의 적용을 검토해야 할 것으로 판단된다. 또한 인 바운드, 아웃 바운드[Figure 1]를 제외한 제조 공급망 범위로 연구를 제한하였으나, 글로벌 공급망까지 통합 확장하기 위해서는 기업 간 원장의 연결과 추가적인 속성(기업정보, 제품정보, 작업정보, 검사정보, 위치(위도, 경도) 정보, 운송정보, 물류정보, 바코드, QR코드 등)과 다양한 거래유형의 표준화가 필요하다.

6. References

- [1] S. Nakamoto.(2008), "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", Consulted, pp. 1-9.
- [2] Kim, E-J. and Kim, J-W.(2010), "An Empirical Study on Influence of SCM Integration Factors on Visibility and Business Performance", Korea Society of Industrial Information Systems.
- [3] Yang, Hyun.(2017), "Blockchain Structure and Theory", WikiBooks
- [4] Lee, J-S.(2010), "A Study on the EPCglobal Network Development for Improving the Visibility of SCM", Inha University

저 자 소 개

이 재 호



인천대학교 산업경영공학과 석사
현재 인천대학교 산업경영공학과
박사과정 중
관심분야 : 물류정보시스템, 기업
정보시스템, 제조실행시스템 등

남 호 기



Polytechnic Univ. 공학석사, 박사
현재 인천대학교 산업경영공학과
교수로 재직 중
관심분야 : ERP, SCM, 물류정보시
스템, 생산관리 등