

블록체인을 활용한 공급망 관리 방안

인천대동북아물류대학원 송상화 원장

■ 블록체인 기반 공급망 관리 시스템 도입 필요성

글로벌 경제의 핵심 인프라인 공급망은 전례 없는 변혁기를 맞이하고 있으며, 리스크를 완화하고 지속 가능한 공급망 운영을 지원하기 위한 공급망 관리 기법 필요성이 증대되고 있다. 팬데믹, 지정학적 갈등, 보호무역 정책, 기후 변화로 인한 자연재해의 빈발 등은 전통적 형태의 공급망 관리 체계가 더 이상 지속 가능하지 않음을 보여주고 있는 것이다.

※ Relx의 2025년 SCM 설문조사에서 응답자들은 수요 변동성 (52%), 지정학적 리스크 (47%), 실시간 가시성 부족 (43%)을 공급망 리스크로 지목, 전체 응답자의 60%는 공급망을 근본적으로 재구조화하고 있다고 답변했다.¹⁾

이러한 위기 속에서 블록체인 기술은 데이터 가시성을 확보하고 보다 지능적인 의사결정이 가능하도록 공급망 관리를 혁신하기 위한 대안으로 주목받고 있다.

※ 중국은 2020년부터 핵심 인프라로 블록체인을 지목하고 Conflux Network와 블록체인 기반 글로벌 무역 플랫폼 테스트 했으며,²⁾ EU는 CSDDD 규정 준수 여부를 확인하기 위한 블록체인 기술 도입 추진했다.³⁾

공급망 관리의 어려움을 구체적으로 살펴보면, 다수의 참여자로 구성된 복잡한 생태계로서 정보 투명성 부족, 규제 다양성, 지속가능성 요구, 수요 예측 어려움 등 다면적 과제에 봉착하였다. 글로벌 공급망은 원자재 공급업체, 부품 제조업체, 조립 공장,

물류 서비스 제공업체, 유통업체 등 다양한 참여자들이 여러 단계에서 상호작용을 하는 거대한 생태계를 형성하고 있다.

※ IBM 분석에 따르면, 하나의 컨테이너가 출발지에서 목적지까지 운송되는 과정에서 30개 이상의 이해관계자가 참여하여 200개 이상의 서류 교환한다.⁴⁾

공급망의 각 참여자는 직접 거래하는 파트너에 대한 정보만 보유하고 있을 뿐, 전체 공급망에 대한 통합적인 시야를 갖지 못해 ‘채찍 효과(Bullwhip Effect)’가 빈번히 발생하고 있다.

※ 채찍효과: 하위 공급망에서 발생한 작은 문제가 연쇄적으로 확대되어 전체 공급망에 심각한 차질을 초래하는 현상이다.

지역별 경제 블록의 형성과 각국의 상이한 관세 및 무역 정책은 공급망 설계의 복잡도를 기하급수적으로 증가시키고 있으며, 규제 준수를 위한 컴플라이언스 비용 역시 급증하여 기업에 부담으로 작용하고 있다. ESG 경영과 지속가능성에 대한 사회적 압력이 증가하면서 투명한 공급망 관리의 필요성은 더 강조될 것으로 예상된다.

또한, 신제품 출시 주기가 급격히 단축되고 고객 수요가 다변화되면서, 정확한 수요 예측이 점점 더 어려워지고 있다. 치열한 시장 경쟁은 이러한 불확실성을 더욱 가중할 것으로 예상된다.

이와 같이 여러 기업이 복잡하게 얽혀있는 공급망 구조 특성상 전통적인 형태의 정보 공유 시스템 활용이 어려운 점을 고려하여 분산형 데이터 공유 및 관리에 특화된 블록체인 기반 공급망 거래 시스템에 관한 관심이 증가하고 있다.

블록체인 기술은 다수의 기업이 참여하여 기업 내 및 기업 간 거래를 관리할 수 있는 혁신적인 분산형 데이터 관리 플랫폼이다.

블록체인은 데이터와 디지털 자산의 소유권을 사용자에게 돌려주고, 중개자 없이 자동으로 거래, 정산, 거버넌스가 이루어지는 방식이다. 공개 프로토콜 위에서 누구나 서비스(디앱)를 만들고 확장할 수 있는 환경을 제공하여 다양한 공급망 참여자들이 자유롭게 공급망 관리 솔루션을 개발하고 통합하는 기반을 제공한다.

블록체인은 분산원장에 기록된 거래 이력을 통해 추적과 검증을 용이하게 하고, 스마트컨트랙트를 통해 사전에 정의된 조건이 충족되면 결제, 정산 등을 자동으로 실행하여 공급망 관리에서 계약 이행의 자동화와 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

블록체인 기술 도입 사례와 이슈 사항

블록체인 기술의 공급망 관리 적용은 여러 글로벌 기업을 통해 가능성을 확인하였으며, 확산을 위한 시도가 이어지고 있다.

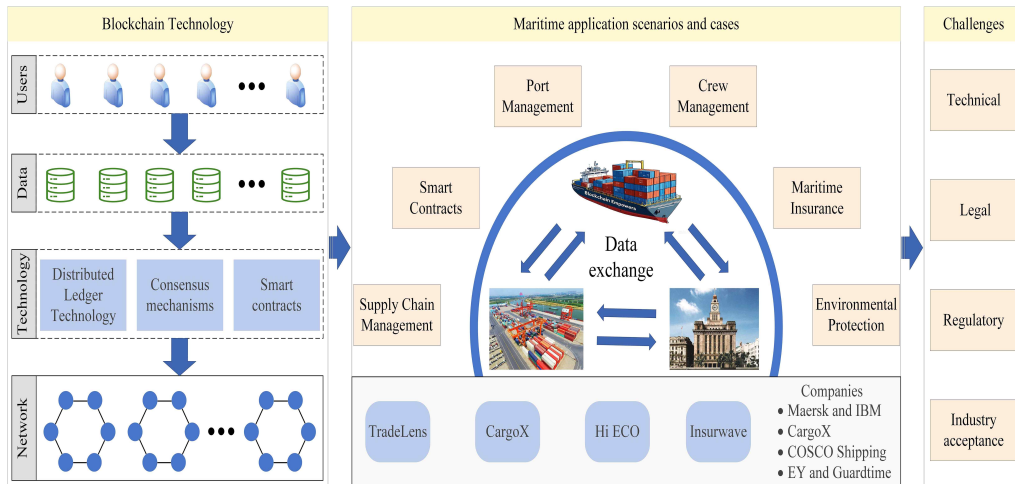
유통 산업의 경우 원산지에서 판매까지 전체 물류 흐름을 추적하는 이력 관리 시스템을 중심으로 블록체인 시범사업이 활발히 진행되었다. 월마트, 까르푸, JD 등 대규모 공급망을 운영하는 글로벌 유통 기업들은 원산지 추적을 위한 식품 이력 추적 시스템에 블록체인 도입을 테스트하였다.

※ 중국의 월마트 차이나, JD.com 등은 블록체인 기반 식품 이력 추적 시스템을 구축하였고,⁵⁾ 프랑스 까르푸(Carrefour)는 2022년 유럽 최초로 유통망에 식품 이력 추적을 위한 블록체인을 도입하였다.⁶⁾

국제물류 산업은 선사, 포워더, 관세청 등 다양한 참여자들이 정보를 공유하는 특성상 블록체인을 활용한 컨테이너 운송 정보 공유 시스템 구축에 노력하고 있다. 국제 물류의 흐름을 살펴보면 다수의 기업이 컨테이너 등 화물 운송에 관여하며 세관 등 정부

기관, 화주 기업 등과 정보를 공유에 따라 국제 물류의 전체 프로세스에서 관리되는 문서들을 블록체인을 통해 효율적으로 공유하려는 노력이 활발하다.

|| 해상운송 산업에서의 블록체인 활용 구조 ||



※ IBM과 Maersk는 TradeLens라는 합작 벤처를 설립하고, 컨테이너 운송에서의 물류 프로세스 구축을 위해 블록체인을 도입했다. (2023년 사업 정리)

※ DCSA (Digital Container Shipping Association), GSBN (Global Shipping Business Network) 등 컨테이너 선사들이 주축이 되어 산업 표준 블록체인 시스템 표준 제정을 위한 생태계 구축에 노력하고 있다.

제조업의 경우 주요 글로벌 제조기업들이 부품 및 원자재 공급망 정보 추적을 위한 블록체인 시스템 테스트 중이다. 자연 재해, 국가 간 무역 전쟁 등 공급망 리스크가 증가하고, CSDDD 등 공급망 관련 규제가 강화되면서 공급망을 구성하는 기업에 대한 정보를 투명하게 관리해야 하는 상황이다. 블록체인은 거래 과정에 참여하는 기업 및 물류 흐름에 대한 정보를 투명하면서도 정확하게 관리하는 것이 가능하여 자동차 제조기업 등 글로벌 공급망을 운영하는 제조 산업에서 다수 시범 활용 사례가 등장하고 있다.

※ 독일 BMW는 “PartChain”이라는 블록체인 기반 시스템을 도입하여 2019년 전조등 부품 대상으로 다단계 공급망에서도 부품의 출처를 추적할 수 있음을 입증했다.⁷⁾

※ 프랑스 르노그룹은 IBM과 XCEED 블록체인 부품 정보 관리 시스템을 2021년 구축하였고, 독일 메르세데스-벤츠는 Circulor와 협력하여 온실가스 배출량 검증에 블록체인 활용한다.⁸⁾

이와 같이 블록체인은 유통, 국제물류, 제조업 등 다양한 분야에서 원산지 추적과 정보 공유를 위한 시범 사례로 테스트되어 왔지만, 본격적인 물류 및 공급망 관리 도입 사례는 여전히 제한적이다. 주요 이슈사항을 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

기업들은 정보 공유에 따른 보안 우려 및 경쟁 우위의 원천이 될 수 있는 정보를 공유하는 것에 대한 부담감이 여전히 존재하며, 블록체인의 투명성이 오히려 기업에는 위협으로 인식되기도 한다.

※ 블록체인에 올라가는 정보를 제한적으로 공유하여 문제를 해결하는 방향으로 운영되고 있으나, 여전히 거래 정보의 일정 부분이 노출되는 문제가 존재한다.

블록체인 시스템은 특성상 분산된 다수의 참여자를 필요로 하며, 시스템 유지에 필요한 비용이 예상보다 많이 소요되는 반면 시스템 도입에 따른 즉각적인 수익성 창출이 제한적이다.

※ 이더리움과 같은 퍼블릭 블록체인은 거래 기록에 따른 수수료가 발생하며, 프라이빗 블록체인으로 전환 시 자체 인프라 구축에 대규모 투자 불가피하다.

블록체인이 없더라도 기업들 간에는 기존의 EDI 시스템이나 API 연동을 통해 정보 공유가 이루어지고 있어 블록체인 도입에 따른 차별화 요소를 명확히 제시하기 어려운 측면이 있다.

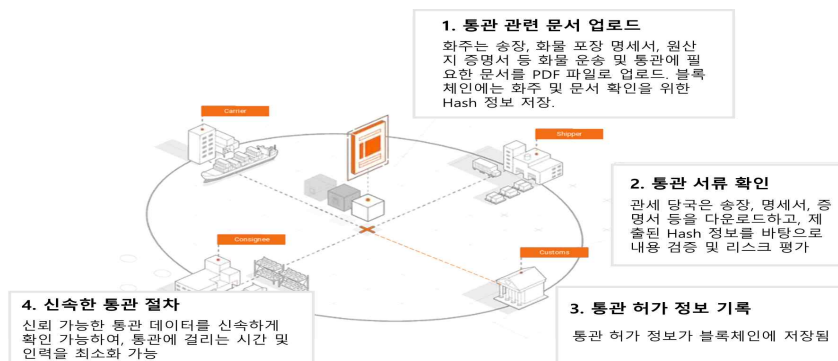
기존에도 공급망 데이터 표준화가 상당 부분 진행되어 GS1 표준, UN/EDIFACT, ANSI X12 등 국제 표준이 확립되어 있으며, 산업별로 특화된 표준으로 자동차 산업의 AIAG, 전자 산업의 RosettaNet, 유통 산업의 VICS 등 기업 간 데이터 교환이 일정 수준 가능한 상황이다. 반면 블록체인은 별도의 표준화 주체가 없어 다수의 블록체인이 경쟁하는 구조이기 때문에 블록체인 간 데이터 공유 호환성 등 표준화가 필요하다.

■ 블록체인 기술의 공급망 도입 기회 요인

최근 기술 및 사회 환경의 변화로 블록체인의 강점을 살려 투명한 정보 공유 및 탈중앙화된 서비스 구현에서 차별화가 가능한 요인들이 나타나고 있다.

먼저, 블록체인에서 공유되는 정보를 최소화하고 별도의 저장 공간을 제공하거나, 디지털 패스पोर्ट를 통해 세부 내역은 공유하지 않는 기술적 변화가 나타나고 있다. TradeLens의 경우 민감한 화물 운송 관련 데이터를 블록체인에 직접 저장하지 않고 문서 확인에 필요한 Hash 정보만 저장함으로써 관련된 기업 및 기관 외에는 해당 정보를 파악할 수 없도록 구조 설계되어 있다.

TradeLens 블록체인의 데이터 공유 방식⁹⁾



디지털 패스포트와 같은 데이터 보안 방식이 도입될 경우 블록체인에 공유해야 할 데이터의 신뢰도와 신속한 처리는 가능하면서도 데이터 보안이 가능한 구조 달성 가능하다. 이러한 방식은 블록체인에 저장해야 하는 표준 데이터를 크게 늘리지 않으면서 동시에 다양한 데이터를 저장할 수 있는 데이터 공유 방식으로, 블록체인에서의 정보 공유에 대한 부담이 완화될 가능성이 있다.

스테이블 코인의 도입이 활발해지면서 블록체인과 스마트 계약을 통해 정보 추적에서 대금 정산, 거래 종료까지 지원하는 end-to-end 통합 시스템 구축이 가능해진 부분도 긍정적인 요인이다. 컨테이너 화물이 출발지를 떠날 때 스마트 계약이 활성화되고, GPS와 IoT 센서를 통해 위치와 상태가 실시간으로 블록체인에 기록되며, 최종 목적지에 도착하여 품질 검사를 통과하면 블록체인의 스마트 계약과 스테이블 코인을 통해 즉시 지급되는 시나리오가 가능한 것이다.

글로벌 무역에 활용되는 전통적인 SWIFT 송금은 2-5일이 소요되고 건당 높은 수수료가 발생하지만, 스테이블 코인을 활용하면 몇 분 내에 작은 수수료로 송금이 가능하여 개발도상국의 중소기업들에는 변화의 기회로 인식되고 있다. 스테이블 코인에 대한 규제 불확실성, 기술 표준의 부재, 기존 시스템과의 통합 문제 등이 주요 장애물이 남아있지만, 스테이블 코인과 스마트 계약의 결합은 블록체인의 새로운 기회이다.

ESG에 대한 사회적 요구로 기업 내부 및 외부의 거래 데이터에 대한 투명한 모니터링의 중요성이 급격히 증가하고 있으며, 블록체인은 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 가장 효과적인 기술로 주목받고 있다. 블록체인의 불변성과 투명성은 ESG 데이터의

신뢰성을 보장하는 핵심 메커니즘이 될 수 있으며, 특정 기업이 아닌 산업 표준 블록체인으로 효율적 데이터 추적이 가능해질 것으로 기대된다.

예를 들어, 기존의 탄소 회계 시스템은 각 기업이 자체적으로 보고한 데이터를 집계하는 방식으로 오류와 조작의 가능성 배제하기 어려운 한계가 있지만, 블록체인 방식은 변조 불가능한 형태로 영구 저장되어 투명성 보장에 효과적이다.

※ 독일 Adidas는 블록체인 기반 TrusTrace 공급망 추적 시스템을 2022년 도입해 원자재 단계까지 투명하게 추적하고, 이를 지속가능경영·ESG 공시 자료로 활용하고 있다.¹⁰⁾

※ 스웨덴 Volvo는 2024년 자동차 배터리에 대한 블록체인 기반 “Battery Passport”를 발급하여 원산지 증명, 사용 이력 확인에 기반한 중고 거래, 배터리 재활용 등 지원한다.¹¹⁾

ESG 보고와 검증 프로세스의 효율성도 크게 향상되어 블록체인에 실시간으로 기록된 데이터를 기반으로 감사인은 원본 데이터를 직접 확인할 수 있으며, 이를 통해 ESG 검증 시간이 단축될 가능성이 있다.

※ Deloitte, EY, PwC, KPMG 등 회계법인들은 블록체인 기반 ESG 감사 (Audit) 서비스를 개발하여 ESG 데이터 검증 효율화에 노력하고 있다.¹²⁾

이러한 기술 변화와 더불어 AI의 발전이 블록체인의 확산에 긍정적 영향을 미칠 것으로 예상된다. 거대언어모델 기반 AI 기술의 급속한 발전으로 대규모 데이터 확보의 필요성이 증가하고 있으며, 블록체인은 공급망 내 다양한 데이터를 투명하고 효율적으로 관리하고 공유할 수 있는 메커니즘을 제공함으로써 AI 전환의 중요한 기반이 될 가능성이 있다.

AI 모델의 성능은 데이터의 품질과 양에 직접적으로 의존하며, 블록체인은 데이터의 출처와 무결성을 보장하면서 공급망 전체의 데이터를 실시간으로 확보함으로써 AI 학습에 필요한 신뢰할 수 있는 데이터 확보에 기여 가능하다. 특히, AI 에이전트 도입을 통해 기업 내 의사결정 지원 시스템이 AI 기반 시스템으로 전환될 경우 수요예측, 주문 발주, 납품 및 재고관리, 생산 및 판매에 이르는 공급망 의사결정 전체 과정이 블록체인 및 스마트 계약, 스테이블 코인과 결합하여 자동화될 가능성이 높다.

결론 및 시사점

스테이블 코인, ESG 정보 공시, 산업의 AI 전환은 블록체인 기술과 결합하여 물류 공급망의 모습을 근본적으로 변화할 것으로 기대되고 있다. 블록체인이 정보 공유에만 사용되는 것이 아니라, 스테이블코인, 스마트계약, AI와 결합하여 공급망 참여자 간 거래의 시작에서 실시간 데이터 모니터링, 대금 정산 및 거래 종료까지 전체 과정을 자동화하는 데 긍정적 역할을 할 수 있는 것이다.

공급망 관리를 위한 블록체인 시스템의 도입으로 고도화된 재고 및 발주 관리 시스템이 단순히 효율성을 높이는 것을 넘어, 기업의 경쟁력을 근본적으로 강화하고 인간은 단순 반복적인 발주 업무에서 벗어나 전략적 의사결정과 예외 상황 관리에 집중하는 형태로 고도화될 수 있다.

또한, 블록체인과 디지털 기술로 자동화된 거래 정산 시스템은 공급망 참여자 간 신뢰 관계를 근본적으로 재구축하여 투명하고 공정한 시스템을 통해 불균형을 완화하는 계기를 제공할 수 있다. 블록체인 기반 데이터 추적 및 증빙 시스템은 품질검사, 온도 센서 데이터, 검수 이미지 등에 대한 출처와 무결성이 블록체인에 고정되어, 분쟁 발생 시 즉시 증빙이 가능해지며, 분쟁 해결에 걸리는 시간과 비용을 획기적으로 감축할 수 있다.

장기적으로는 데이터 토큰 이코노미의 구축을 통해 각 기업이 블록체인에 제공하는 데이터의 품질, 실시간성, 희소성, 활용도에 따라 자동으로 가치가 매겨지고, 이에 상응하는 토큰으로 즉시 보상받아 데이터 공유가 가능해지는 단계로 발전할 수 있을 것으로 예상된다.

<참고 자료>

- 1) RELEX Study: 60% of Companies Overhauling Supply Chains as Tariff Uncertainty and Market Volatility Surge, relexsolutions.com
- 2) 중국 IT 대기업 다 모인 'BSN'...블록체인판 일대일로 만든다, 서울경제신문
- 3) From Complexity to Clarity: Blockchain's Impact on EU Supply Chain Compliance, datarella.com
- 4) IBM And Maersk Apply Blockchain To Container Shipping, Forbes
- 5) Blockchain in the food supply chain - What does the future look like?, Walmart Global Tech
- 6) Carrefour is the first retailer to use blockchain technology with its own-brand organic products, providing consumers with more transparency, Carrefour
- 7) BMW Group uses Blockchain to drive supply chain transparency, BMW
- 8) OEMs look to blockchain solutions for compliance and parts performance, just-auto.com
- 9) Digitizing Trade, Utilizing Digital Technology in the Field of Trade Facilitation Under the Current COVID-19 Pandemic and Beyond: Best-Practices Sharing Workshops
- 10) Adidas adopts blockchain solution TrusTrace for sustainable materials, Ledger Insights
- 11) Volvo's Battery Passport Traces the Supply Chain, IEEE Spectrum
- 12) Big 4 and innovation: investments in technology are growing, traent.com