Journal of KOSSE. (2023. 6) Vol. 19, No. 1 pp. 1-13
DOI: https://doi.org/10.14248/JKOSSE.2023.19.1.1
www.kosse.or.kr

ISSN (print) : 1738-480X
ISSN (online) : 2288-3592

국경 무정차 통과를 위한 블록체인 기반 국제 철도 통관 체계 상호운용방안 연구

김성빈[1], 원종운[2], 김희상[1], 김도훈[1]*
1) 경기대학교, 2) 한국철도기술연구원

A Study on the Interoperability of the International Customs Clearance System based on Blockchain for Railroad Non-Stop Passing System

Sung Been Kim[1], Jong Un Won[2], Hee Sang Kim[1], Do Hoon Kim[1]*
1) Kyonggi University, 2) Korea Railroad Research Institute

Abstract : Transportation of goods by rail in border areas requires considerable time, money, and human resources. Therefore, in this study, a blockchain-based non-stop passing system is proposed to solve this problem. In this study, each transit station and train are designated as one network node, and the corresponding node participates in the blockchain network to record and verify data. In the process, we will design a blockchain network using Docker and design a network interface. Without changing the data and information generated in the existing legacy clearance system, it is possible to configure a blockchain network to ensure the integrity and reliability of the data and to minimize the consumption of time and human resources. The railroad non-stop passing system aims to change the existing legacy system to a blockchain-based non-stop passing system.

Key Words : Blockchain, Non-Stop Passing, Docker, Integrity, Reliability

Received: October 18, 2022 / **Revised**: December 15, 2022 / **Accepted**: December 26, 2022
* 교신저자 : Do Hoon Kim / Kyonggi University / karmy01@kyonggi.ac.kr
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non- commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서 론

본 연구의 목적은 유라시아 철도[1]를 통한 국제 화물 열차 운행 시 국경 역에서의 효율적인 화물업무 처리 및 통과 업무 프로세스에 블록체인[2],[3]을 적용하는 방안에 관련된 연구이다. 본 연구는 철도 분야에서의 국경 무정차 통과에 대한 가능성을 분석하고 설계하였다. 본 연구를 통해서 '국경 무정차 통과'[4]를 위한 요구 기술을 분석하고 사양을 정의하기 위한 기본적인 프로세스를 설계하여 무정차 통과의 가능성을 파악하였다. '국경 무정차 통과'란, 서로 다른 나라 사이에 있는 국경 지역에서의 통관 절차를 간소화하여 무정차로 통관역을 통과하는 것을 의미한다. 해당 연구에서는 블록체인 기반의 무정차 통과에 대한 정의를 내리고, 기존 통관 절차와 무정차 통과 사이의 상호연동성을 바탕으로 프로세스를 설계할 수 있음을 파악하였다.

본 연구에서는 차세대 기술인 블록체인을 사용하여 무정차 통과 체계를 설계하고자 한다. 블록체인은 분산된 형태의 노드들로 구성되는 분산 원장 시스템으로, 모든 데이터를 각각의 노드가 가지고 있기 때문에 하나의 노드에서 오류가 발생하더라도 전체 데이터에는 문제가 발생하지 않고 시스템을 유지할 수 있다. 또한, 블록체인상에서 공유되는 데이터는 임의로 위변조할 수 없으므로 데이터에 대한 무결성을 보장할 수 있다.

기존의 체계의 문제점은 통과를 위해 걸리는 시간과 인적-물적 자원의 소모량이 크다는 것이다. 또한, 기존 통관 절차는 수기와 중앙 집중된 형태의 데이터베이스 기반 시스템을 활용한다. 하지만 이는 효율이 떨어질 수 있고, 시스템의 오류가 발생했을 경우 데이터 침해에 대한 위험성과 시스템 사용 연동성의 문제가 발생할 수 있다. 해당 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 블록체인 플랫폼을 활용하여 통관 절차를 간소화시키는 것을 제안한다. 기존의 철도 물류 통관 방법을 분석한 것을 토대로 통관 절차 고도화(자동화와 간소화)가 가능한 부분을 식별하여 무정차 통관이 가능한 연구를 수행한다. 블록체인 기반의 스마트컨트랙트[5]를 응용하여 통관 절차 고도화에 따른 가장 큰 기대 효과로는 문서와 각종 증명 사항들의 관계 기관 간의 정확한 정보 공유이다. 앞서 설명한 기대 효과를 충족하기 위해서는 통관을 위해 운송하는 컨테이너의 화물 목록, 화물의 운송 정보, 화물의 제원, 열차 제원 정보 등 관련된 정보를 블록체인 네트워크에 전파한다. 전파된 정보는 협의국 간에 실시간 공유를 통해서 통관에 대한 운용성을 향상시키고, 통관역의 및 최종 목적지에서 화물을 상하차[6]할 경우의 혼잡도를 낮출 수 있다.

논문 구성의 경우 2장은 현재 블록체인 기반의 물류와 통관 시스템에 대한 전반적인 정리를 진행한다. 해운 항만에서 블록체인의 도입과 국내에서 시범 운영 중인 블록체인 기반 통관 체계인 유니패스(Uni-Pass)[7]에 대한 내용, 도심 모빌리티 시뮬레이션 (SUMO: Simulation of Urban Mobility)[8] 라는 교통 트래픽 시뮬레이션 프로젝트와 관련하여 본 연구에서의 개선방안과 활용방안을 제안한다. 3장에서는 국경 무정차 통과 체계에 블록체인 기술을 도입하기 위한 프로세스 설계에 관한 연구를 진행하였다. 마지막으로 4장에서는 국경 무정차 통과 체계를 설계한 목적과 결과에 관해서 서술한 후, 향후 연구와 관련하여 해당 연구의 개선점과 발전 가능성에 대해서 논의하고자 한다.

2. 관련 연구

2.1 블록체인 기반의 기존 물류 체계

블록체인을 활용한 물류 체계로는 IBM에서 진행하는 사업이 존재한다. 해당 사업[9]은 '해운물류 컨소시엄'을 구성하여 블록체인과 무역을 결합하는 연구를 진행하고 있으며, 해당 과정에서 블록체인이 물류 체계에 도입되었을 경우 화물 이동과 무결성 및 신뢰성에 가시성을 높일 수 있다. 해당 연구 및 사업을 통해서 화물 및 물류의 거래 내역을 실시간으로 공유하고 확인하는 것이 가능해지므로 물류 공

급망에 대한 선하적과 운송에 대한 정보를 확인할 수 있다.

해운 분야에서 블록체인을 도입하기 위해 다양한 노력을 하고 있다. 예를 들어 Maersk를 비롯한 다양한 대형 해운 선사에서는 블록체인을 도입하고 연구하는 현황을 확인할 수 있다. IBM사는 Maersk와 협력하여 이해 당사자 사이의 원활한 정보 교환을 위해서 블록체인 기술을 도입하였다. 해당 기업은 Hyperledger[10] 기반의 프라이빗 블록체인을 활용하여 블록체인이 해운 항만 분야에 도입되었을 때의 효과성과 실현 가능성을 검토하고 있다. 하지만 실제로 블록체인을 활용한 실제 거래를 진행하고 있는 시장은 매우 작으며 블록체인은 무결성과 신뢰성을 보장할 수 있는 금융거래[11]의 분야에서 주로 연구되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 금융 분야 이외에 통관 및 화물 운송의 분야에서 블록체인을 도입하기 위해 블록체인 기반의 무정차 통과 체계를 제안하였다.

2.2 블록체인 기반의 통관 시스템

블록체인을 활용한 통관 체계는 와인 및 수산물 시장에서 시범적으로 활용되고 있다.[12] 해당 시장에서 블록체인을 도입한 이유는 블록체인의 특성인 무결성과 투명성 및 신뢰성을 활용하여 수입 및 수출 과정에서 신뢰를 제공할 수 있기 때문이다. World Economic Forum[13] 등과 같은 곳에서는 블록체인을 활용한 물류 통관 및 무역 체계 등을 연구하고 있다. 또한 관세청에서 진행하는 통관 관련 블록체인 실증 시범사업에서도 블록체인을 활용한 물류 추적 시스템을 도입하고 있다. 수산물 시장의 경우 블록체인을 활용하여 수산물을 생산하고 선별 및 출하, 유통 과정까지 수산물 공급체인으로 연계되어 있다.

또한 다양한 농산물을 중심으로 와인을 생산할 수 있는 포도에 대한 숙성일 및 수확일 등의 유통과 관련된 정보 시스템을 활용하여 와인의 생산 과정을 추적할 수 있다.[14] 해당 체계는 와인병에 부착된 QR코드를 스캔하는 절차를 진행하여 와인의 생산과 관련된 정보를 확인할 수 있는 것이다. 해당 프로세스는 관세청에서 실시하는 유니패스와 연계할 경우, 수입 통관에 대한 정보로 확인할 수 있다.

블록체인은 프라이빗 블록체인과 퍼블릭 블록체인으로 나눌 수 있는데, 블록체인 기반 물류 체계와 통관 체계 모두 프라이빗 블록체인을 기반으로 구성된다. 프라이빗 블록체인은 허가된 사용자만 네트워크에 참여할 수 있으므로, 중요한 정보와 내부적으로 처리해야 하는 민감한 정보를 다룰 때 사용된다.[15] 따라서 본 연구에서도 무정차 통과 체계를 설계하기 위해서 이더리움 플랫폼[16]을 프라이빗하게 구성한다. 기존 이더리움 네트워크는 퍼블릭 블록체인으로 구성이 되어있지만, 해당 연구는 앞선 물류 체계와 통관 체계와 같이 민감하고 중요한 정보를 기록하기 때문에 프라이빗 블록체인 기반의 무정차 통과 프로세스를 설계하는 것이 바람직하다.

국내에서도 유니패스와 같이 블록체인을 활용한 통관 체계를 구축하려고 노력하고 있지만, 세계적으로 활용되기는 어렵다는 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 대한민국에 국한되는 것이 아니라, 세계적으로 블록체인 얼라이언스[17]를 구성하여 각 국가와 통관역, 열차 노드를 중심으로 블록체인 네트워크를 구현할 것을 제안한다. 기존 블록체인으로 구현한 농수산물 시장의 경우에는 생산 및 유통 과정을 추적한 방안을 응용하여, 본 연구에서는 화물의 이동 경로를 블록체인으로 추적하여 운송 과정의 무결성과 수출입 과정에서 위험 물품들에 대한 데이터의 영속성을 보장하는 것이 목표이다.

블록체인 얼라이언스를 구성할 경우, 기존 통관 체계에서 발생할 수 있는 화물 관련 데이터의 블랙홀의 문제점을 해결할 수 있다. 국경을 통과하여 수출을 진행할 경우, 해당 물류가 도달한 국가는 확인할 수 있지만, 해당 국내 블록체인 네트워크에는 기록하기 어렵고, 현재 유니패스는 대한민국에서만 사용하기 때문에 세계적으로 블록체인에 기록된 데이터에 대해서 무결성과 신뢰성을 주장하기가 어렵다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 무정차 통과 체계에서 블록체인을 활용하였다.

2.3 도심 모빌리티 시뮬레이션

도심 모빌리티 시뮬레이션 (SUMO: Simulation of Urban Mobility)[8]는 Eclipse 재단의 프로젝트로, 보행자와 차량 그리고 도로 등을 포함한 복합 트래픽 시뮬레이션 패키지이다. 주로 교통 시스템 연구소와 독일 항공 우주 센터에서 사용한다. SUMO는 차량과 도로 등을 구성하여 주어진 교통에 대한 네트워크를 구성하여 시뮬레이션을 진행하고, 실제 지도를 기반으로 트래픽 네트워크에 대한 정보를 트래킹할 수 있다. 기존 SUMO의 활용법은 새로운 교통 전략이 실제 상황에서 사용되기 전에 트래픽 분석을 통해 전략을 검증하는 것이다. SUMO는 디지털 트윈[18] 접근 방식을 통해서 차량의 자동 운전 기능의 개발 및 검증을 위한 도구로 활용되고 있다. 이외에 교통 예측, 신호등 평가, 차량의 이동 경로 선택 등과 같은 목적으로 설계된 프로젝트이다.

본 연구에서는 SUMO를 활용하여 실제 존재하는 철로를 모사하며, 시뮬레이션을 제공할 때 발생하는 데이터를 기반으로 철도 무정차 통과 체계 프로세스를 설계하였다. OpenStreetMap(OSM)[19]은 실제 지도를 기반으로 오픈소스 프로젝트로 진행되며, 2014년 1월까지 총 2억 개가 넘는 길과 37억 개가 넘는 GPS[20] 좌표 자료를 보유하여 건물 및 도로들의 좌표 및 거리 등을 제공하는 오픈소스이다. OSM을 통해서 철도 무정차 통과를 모사할 지역을 선택하여 철로에 대한 제한 속도, 경로 등의 정보와 통관역에 대한 GPS 정보를 받아올 수 있다. 본 연구에서는 해당 정보들을 활용하여 실제 무정차 통과를 진행하는 지역을 디지털 트윈의 형태와 비슷하게 묘사하는 방안을 제안하였다.

3. 블록체인 기반 철도 무정차 통과 체계

3.1 국경 무정차 통과를 위한 요구사항 분석

본 연구를 통해서 무정차 통과에 필요한 기술 및 데이터 중심으로 요구사항을 도출하였다. 국경 지역에서 무정차 통과를 진행하기 위해서는 다양한 기술이 필요하다. 본 연구에서는 블록체인을 활용하여 무정차 통과를 진행하기 때문에, 각 통관역은 블록체인 네트워크에 참여하는 각각의 노드가 된다. 따라서 블록체인 네트워크에 노드로 참여하기 위해서는 인터넷 환경이 제대로 갖추어져야 한다. 예를 들어, 서로 다른 국가 간의 통신을 진행하기 위해서는 로밍[21]의 과정을 거쳐야 하는데, 이러한 과정에서 프로토콜의 문제는 없는지, 속도 및 대역폭은 적절한지 판단하는 과정이다.

또한, 통관과 관련된 데이터를 열차에서 각 통관역 노드로 전송하기 위해서는 안전한 사설망 및 VPN[22] 등의 환경이 필요하다. 만약 안전한 네트워크를 통해서 데이터를 전달했다고 하더라도, 만약 통관역에 사회공학적 공격 기법[23]으로 악의적인 공격자가 존재할 때 데이터에 대한 신뢰성과 무결성을 보장할 수 없을 것이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 데이터의 무결성을 보장할 수 있도록 Hash(해시)함수[24]를 활용하고자 한다. 본 연구에서 이러한 요구사항들이 어떻게 필요하고 활용될 수 있는지 도출하는 과정을 진행하였다.

또한, 기존의 국경 통관 체계와 무정차 통과 사이의 상호운용성을 분석하여, 무정차 통과 체계가 기존 통관 체계와 함께 사용될 수 있는 방안을 제안하였다. 기존의 통관 체계는 수기와 별도의 프로그램으로 진행되었고, 통관 절차에 걸리는 시간이 상당했다.[25] 하지만, 블록체인 기반 무정차 통과 절차를 고안하기 위해서 이러한 기존 통관 체계와 상호연동될 수 있는 부분을 파악하고 분석한다. 블록체인 기술을 사용하여 기존 통관 체계의 문제점을 해결하고, 보완할 수 있는 프로세스를 정의하기 위한 절차이다. 즉, 블록체인은 무결성, 신뢰성, 보안성, 추적 가능성 등을 보장할 수 있으므로 기존 통관 체계에서 발생할 수 있는 사회공학적 공격 기법[26] 및 DDoS[27], 데이터 침해[28] 등의 다양한 공격 및 문제점을 해결할 수 있다.

블록체인 네트워크상에서 대륙철도의 선하적을

<Table 1> Derivation of customs clearance system requirements

구성 분야	사용자(개선) 요구사항	기술적 솔루션 요구사항
기존 통관 체계 분야	국제 화물 열차 통관 시간 단축	통관 데이터 검증을 통한 통관 절차 간소화
	인적-물적 자원의 최소화	블록체인 기반의 통관 네트워크 체계 구성
무정차 통과 체계 분야	선적화물과 선적 서류 사이의 무결성 검증	해시 함수를 활용한 선적 서류의 무결성 검증
	화물칸 적재함 개방 여부 판단 절차 수립	IoT 및 AI를 적재함 개방 및 화물 손상 여부 확인
국제 철도 통합 컨소시엄 분야	통관 운용 및 관제 체계의 탈중앙화	블록체인의 분산 원장을 활용한 탈중앙화 보장
	통관 절차 및 데이터의 상호운용성	오버레이로 구성된 블록체인 네트워크 구성
	기존 국가 간 협력체계의 의사결정 및 합의 개선	블록체인 합의 알고리즘을 통한 통합 합의 체계 구성
열차 및 통과역 노드 분야	각 열차의 이동 경로 및 상태 확인	Grafana 대시보드를 활용한 실시간 관제 체계 구성
	각 열차 및 통과역 노드의 합의 참여	블록체인 네트워크의 참여 노드로 구성
네트워크 분야	데이터 전송을 위한 통신 프로토콜 선정	국제 통합 GSM-R 통신 프로토콜 활용

효율적이고 편리하게 진행하기 위해서 화물 이동 정보의 신뢰성 및 무결성을 분석한다. 화물이 열차 및 화차를 통해서 이동하는 과정에서 무정차 통과를 진행하기 때문에, 화차에 적재되어있는 화물 정보 및 제원, 수량, 무게 등 각종 데이터 및 정보가 무결해야 한다. 이러한 데이터 무결성을 보장하기 위해서 블록체인 기술을 활용할 수 있는지를 분석하고 프로세스를 설계한다. 블록체인은 해시 함수 기반의 트랜잭션과 블록을 생성하기 때문에, 최초 선적 과정에서 서류의 해시값을 계산하고, 열차 및 화물이 통관역을 통과할 때 전파된 서류의 해시값을 비교하여 무결성을 증명할 수 있다. 해당 무결성 검증 프로세스의 설계를 통해 국경 지역에서 무정차 통과를 진행할 때, 화물 정보의 무결성 및 신뢰성을 보장할 수 있으며, 목적지에 도착하였을 경우 이러한 무결성과 신뢰성을 바탕으로 하적을 진행할 수 있다.

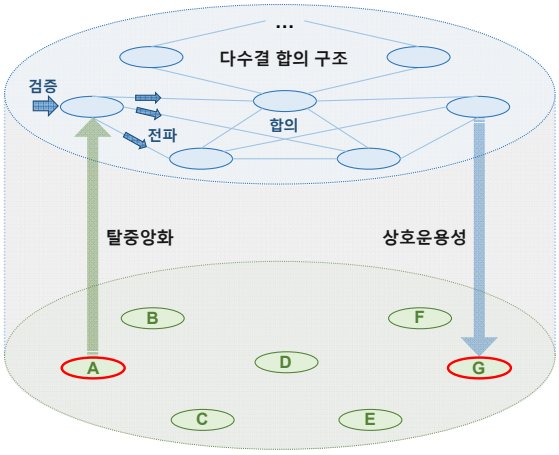
마지막으로 국경 무정차 통과로 인해서 통관 절차를 간소화시킬 수 있는 기술을 제시한다. 앞서 도출하고 분석한 결과를 바탕으로 블록체인 기반 무정차 통과 체계를 설계하여, 기존 통관 절차에서 1일 이상 걸리는 시간을 대폭 단축할 수 있도록 통관 절차를 간소화하는 방안을 설계하였다. 즉, 본 연구를 통해서 인적 자원이 직접 화물을 검사하는 것이 아니라, 화물칸의 적재함이 개방되지 않았다는 것만 보장된다면, 블록체인 네트워크에 전파된 트랜잭션 데이터를 기반으로 무정차 통과를 진행할 수 있음을 보장한다. 표 1에 따르면 기존 통관 체계와 무정차 통과 체계를 상호 운용하기 위한 개선 요구사항과 기술 요구사항을 분류해 놓았다. 본 논문에서는 해당 표를 중심으로 무정차 통과 체계를 기존 통관 체계와 상호 운용할 수 있는 방안을 제안한다.

3.2 철도 무정차 통과 절차 제안

현재 국제 철도는 다양한 협정과 조직을 기반으로 움직인다. 따라서 이러한 협정과 조직의 의사 결정 방법을 응용하여 하나의 통합된 블록체인 기반 국제 철도 통합 컨소시엄을 제안한다. 국제 철도 통합 컨소시엄은 하나의 블록체인 네트워크에 통관에 및 화물 협정에 참여하는 국가들이 모두 참여하여 하나의 컨소시엄을 구성하게 된다. 해당 컨소시엄은 서로 다른 국가들 사이의 이해관계를 하나의 합의 알고리즘(의사 결정 방법)을 사용하여 통합된 형태로 구성될 수 있다.

예를 들어, 그림 1에서 A 국가와 G 국가의 국경을 통과하는 국제화물 열차가 있다고 가정한다. 해당 열차는 서로 다른 국가 사이의 국경을 통과하기

때문에 두 국가 사이의 통관 관련 이해관계를 만족해야 하고, G 국가에서 A 국가로 국경을 통과하는 경우, A 국가의 통관을 담당하는 역사에서 통관 절차를 진행한다. 이때, 통합된 의사 결정 방법을 활용하여 더욱 빠른 통관 절차를 진행할 수 있는 컨소시엄을 제안하는 것이다. 해당 컨소시엄은 블록체인 기반으로 구성되기 때문에 하나의 의사 결정 방법에 따라서 통관 절차를 진행할 수 있다. 즉, 서로 다른 국가의 통관 절차를 하나로 통합하기 때문에 통관에 걸리는 시간을 줄일 수 있고, 인적 자원을 사용하지 않기 위해서 통관과 관련된 서류는 네트워크를 통해 열차에서 A 국가 통관역으로 전달한다. 해당 과정에서 통관 서류에 관련된 무결성과 신뢰성을 블록체인 기반으로 검사하게 되고, 문제가 없을 때 무정차 통과를 진행할 수 있다.

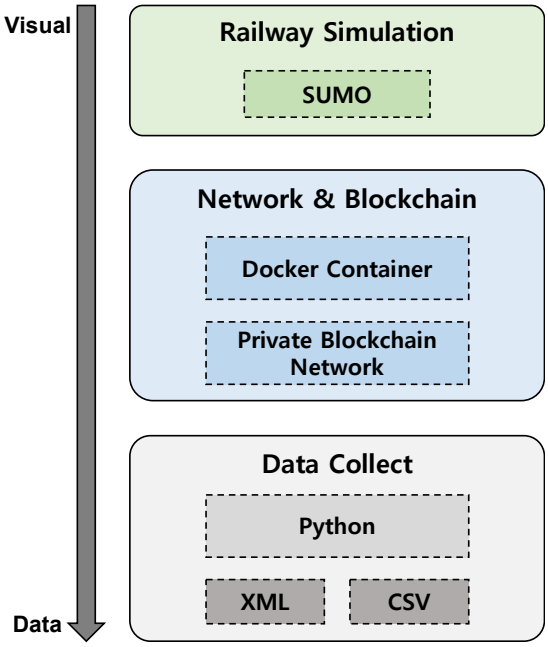


[Figure 1] International Railroad Integration Alliance

해당 과정에서는 블록체인의 특성인 탈중앙화, 다수결 합의 구조, 상호운용성을 활용할 수 있다. 먼저 탈중앙화는 중앙화된 서버가 존재하지 않는 환경에서 네트워크 및 서버가 구성되기 때문에 P2P 기반으로 데이터를 송수신하게 된다. 그 결과, 서로 다른 국가들 사이에서 하나의 중앙화된 서버를 관리할 국가를 따로 선정하지 않아도 되고 서버가 공격받고 데이터를 조작하는 등의 일이 발생할 수 없다. 따라서 데이터의 무결성을 보장할 수 있으며 어떠한 국가도 데이터의 무결성에 대한 책임을 질 필요가 없다.

3.3 통과 절차 네트워크 컴포넌트

각 통관역과 열차는 하나의 머신(Machine)으로 구성된다. 즉, 통관역과 열차에 존재하는 PC가 통관역 및 열차 노드로 구성된다. 또한, 해당 노드에서는 네트워크 인터페이스를 통해서 통과와 관련된 데이터와 서류를 전송한다. 열차 노드 A에서 통관역 노드 B로 통과 관련 데이터를 전달하게 되면, 통관역 노드 B는 해당 데이터의 무결성과 신뢰성을 검증한 후, 블록체인 네트워크에 전파하기 위해서 블록체인 노드(머신 내부의 go-ethereum[29]으로 구성된 블록체인 노드)로 명령을 전달한다. 따라서 통관 데이터의 직접적인 검증을 담당하는 노드가 해당 통관역 노드이다. 통관역 노드의 네트워크 인터페이스는 기존에 사용하는 통신 프로토콜을 사용할 수 있다.



[Figure 2] Network component for Non-Stop Passing

예를 들어 철도 도메인에서 활용하는 GSM-R 및 LTE-R을 사용할 수 있는 것이다.[30] 해당 통신 프로토콜은 철도 분야에서 통신을 위해 사용하는 프로토콜이다. GSM-R은 전 세계적으로 활용되고 있으며, 속도를 보완하기 위해 나온 LTE-R은 국내에

서 개발된 LTE 기반 철도 통신 프로토콜이다. 해당 프로토콜을 사용하여 열차에서 통관 관련 데이터를 전달받고, 이를 검증하는 절차를 거친다. 또한, 머신 내부에 존재하는 블록체인 노드와 통신하기 위해서는 해당 블록체인 노드가 구동되는 포트를 통해서 명령 및 데이터를 전달한다.

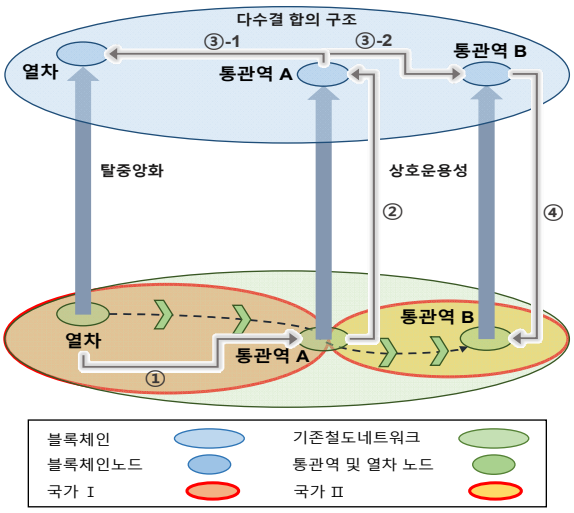
열차 노드의 경우 해당 머신에서 통관역 노드로 통관 및 통과와 관련된 데이터를 전달하게 된다. 전달하는 과정에서 사용되는 네트워크 인터페이스 및 통신 프로토콜은 위의 통관역 노드와 동일하다. 위에서 설명한 각 노드의 구성을 시뮬레이션하기 위한 환경은 그림 2와 같다. 열차의 이동은 SUMO (Simulation of Urban Mobility)로 구성이 되며, 블록체인 노드는 머신 내부의 도커로 구성된다.

<Table 2> Data related to Non-Stop passing provided by SUMO

데이터	설명
열차의 좌표	무정차 통과를 진행하는 열차의 위도, 경도
통과역의 좌표	무정차 통과를 위해 존재하는 통과역의 위도, 경도
열차의 속도	통관역으로 진행하는 열차의 이동 속도
열차의 경로	열차가 이동하는 경로
열량의 개수	열차가 보유한 열량의 개수
이동 시간	열차가 현재까지 이동한 총시간

SUMO는 OpenStreetMap 기반의 실제 지도를 맵핑하여 열차의 이동을 시뮬레이션할 수 있다. 해당 시뮬레이션을 통해 국경 지역 중 한 곳을 선택하여 해당 지역의 무정차 통과 절차를 표현한다. 본 연구에서는 SUMO를 활용하여 무정차 통과 절차를 모사하며, SUMO에서 제공할 수 있는 데이터를 기반으로 무정차 통과에 대한 데이터를 생성하며 검증하는 과정을 묘사한다. SUMO에서는 표 2와 같은 데이터를 파싱할 수 있으며 해당 데이터를 검증하여 무정차 통과 체계를 시뮬레이션하였다. SUMO에서 확보할 수 있는 데이터는 이외에도 다양하게 존재하지만, 무정차 통과 절차를 진행하면서 활용할 수 있고 필요한 데이터를 중점적으로 파악하고 활용하고자 한다.

향후 연구에서 다른 데이터가 필요할 경우 IoT 센서[31]를 활용하여 별도의 데이터를 수집하는 것을 목표로 한다. 또한 각 도커 컨테이너[32]가 프라이빗 블록체인 네트워크를 구현하고, 무정차 통과와 관련된 결과를 수집하기 위해서 XML과 CSV 형태로 구성할 수 있다. 그림 2에 따르면 마지막 데이터의 수집 단계는 본 연구에서는 진행하지 않지만, 향후 연구로 지속될 경우, 데이터의 수집이 XML과 CSV의 형태로 응용될 수 있음을 설명하는 그림이다.



[Figure 3] Validation of Non-Stop passing network component

각 노드의 구성과 통신 체계의 타당성을 검증하기 위해서 무정차 통과 네트워크의 구성은 그림 3과 같다. 무정차 통과를 위한 네트워크 컴포넌트를 구성하기 위해서는 그림 3과 같은 형식으로 구성이 되어야 한다. 크게 기존의 철도 네트워크와 블록체인 네트워크로 구성되어 있고, 각 네트워크 안에는 블록체인 노드와 통관역 노드로 구성된다. 아래의 기존철도 네트워크에서 위의 블록체인 네트워크의 노드는 물리적으로 동일한 노드를 의미한다. 즉, 통관역 및 열차에 존재하는 물리적인 머신(Machine)을 의미하는 것이다. 이러한 머신에서 위의 그림과 같

<Table 3> Procedure of Non-Stop passing network processing

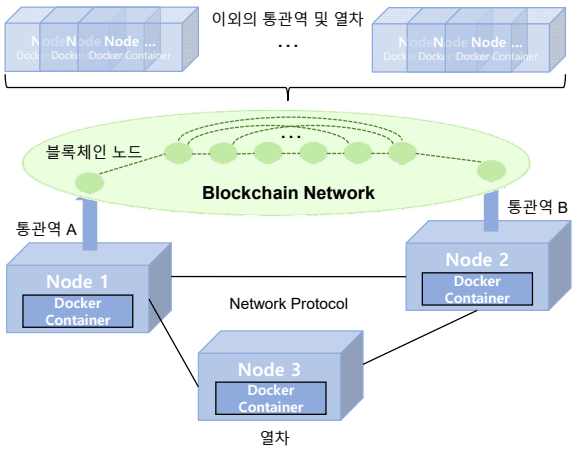
순서	순서별 처리 과정
①	열차에서 통관역 A로 무정차 통과 관련 데이터를 전송한다. 해당 과정에서 꼭 필요한 데이터를 전달하고, 전달받은 통과역 A에서 해당 데이터를 검증한다.
②	통관역 A에 활성화되어있는 블록체인 노드는 열차에서 전달받은 데이터를 블록체인 네트워크에 전파하기 위해 Hash(해시) 과정을 거친다. 또한, 열차의 통과 여부와 데이터의 해시값을 블록체인 네트워크에 전파한다.
③-1	열차 노드는 통과 가능 여부를 전달받고 통과 및 정차를 수행한다.
③-2	통관역 B에 활성화된 블록체인 노드는 통관역 A에서 전파한 트랜잭션을 수집하고 해당 데이터를 저장한다.
④	통관역 B에 활성화된 블록체인 노드에서 수집한 트랜잭션 내용을 바탕으로 해당 열차의 현재까지 통과 진행 여부를 확인한다. 해당 통과 진행 여부는 추후 설명할 네트워크 관제 대시보드를 활용한다.

이 각각의 노드로 나누어지는 이유는 각 노드의 역할이 다르기 때문이다. 먼저 블록체인 노드는 블록체인 네트워크에 트랜잭션(거래내역)을 전파하고, 블록을 생성 및 공유하는 역할을 수행한다. 또한 통관역 노드는 통신 프로토콜을 사용하여 통관과 관련된 서류 및 데이터를 열차에서 통과하고자 하는 통관역으로 전달하는 역할을 수행한다. 해당 과정을 순서대로 설명하자면 표 3과 같다.

표 3의 과정을 살펴보면 열차에서 통관역 A로 통신 프로토콜을 통해서 통관 관련 데이터를 전달하고, 이를 전달받은 통관역 A는 해당 데이터를 검증한 후 블록체인 네트워크에 해당 열차의 무정차 통과 여부를 트랜잭션의 형태로 생성하여 전달한다. 전달된 트랜잭션은 다른 블록체인 노드로 전달되고 이를 검증한 후 하나의 블록으로 생성한다. 생성된 블록은 서로 다른 노드에게 재전파 되어 해당 열차의 무정차 통과가 정상적으로 진행되었다는 결과를 알린다. 해당 결과를 확인할 수 있는 네트워크 관제 대시보드는 각 통관역 노드에서 확인할 수 있다.

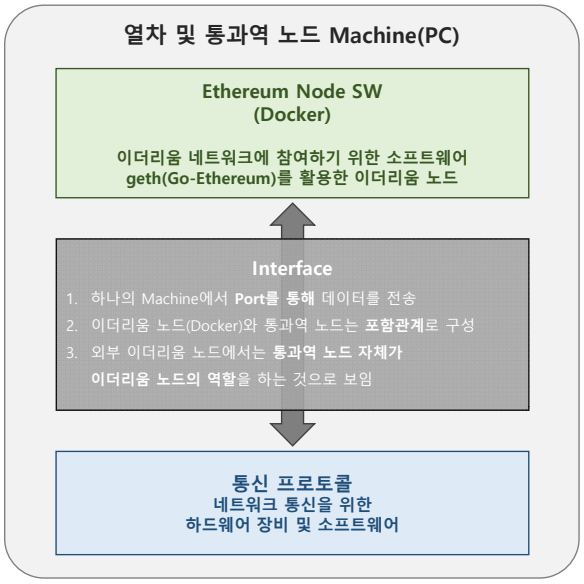
3.4 블록체인 네트워크 토폴로지

그림 4에서는 각 통관역 및 열차의 네트워크가 어떻게 구성되는지 확인할 수 있다. 각 통관역 및 열차는 하나의 머신으로 구성이 되어있으며, 해당 머신 내부에 구현된 블록체인 노드를 통해서 블록체인 네트워크에 접근할 수 있다. 즉, 블록체인 네트워크에 접근하기 위한 블록체인 노드는 도커 컨테이너의 형태로 구성이 되어있으며, 해당 도커 컨테이너 내부에서 동작하는 go-ethereum 엔진에 의해서 하나의 블록체인 노드가 되는 것이다.



[Figure 4] Ethereum private network design

블록체인 네트워크는 프라이빗하게 구성이 되어있기 때문에 아무나 접근하지 못하도록 접근통제를 할 수 있다. 따라서 통관역 노드와 열차 노드에 구현된 블록체인 노드 이외에 다른 노드가 접근하는 것을 방지할 수 있는 것이다. 이렇게 하나의 블록체인 네트워크로 구성이 되기 때문에 각 국가에 존재



[Figure 5] Interface of passing station and blockchain node

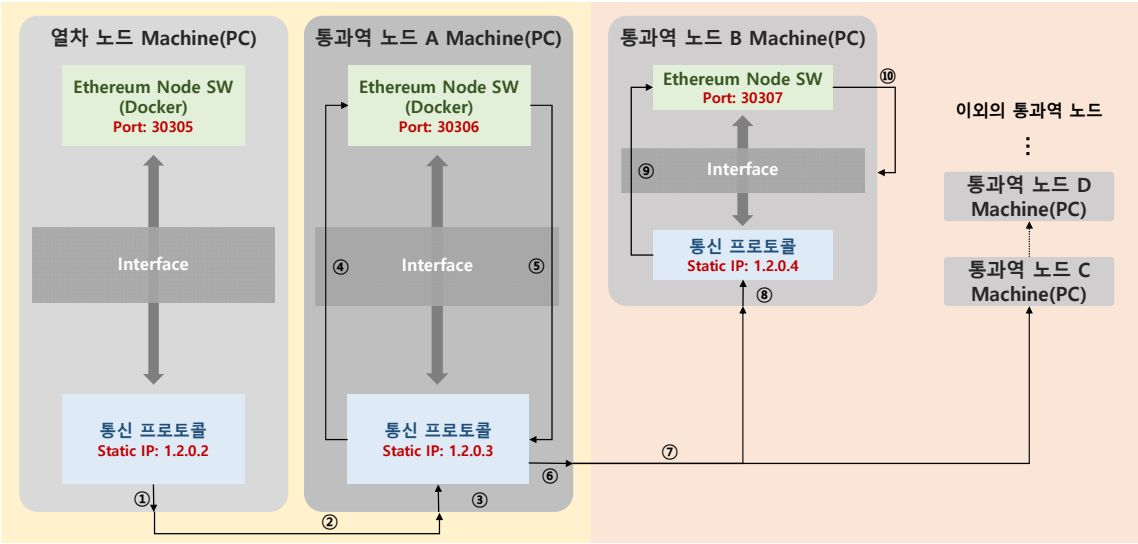
하는 통관역과 화물을 운반하는 열차는 블록체인 네트워크의 합의 알고리즘(의사 결정 방식)에 따라서 무정차 통과 절차를 진행할 수 있는 것이다.

3.5 무정차 통과 네트워크 인터페이스

각 블록체인 노드의 인터페이스를 설계한다. 블록체인 노드는 물리적인 열차 및 통과역 노드 머신(Machine)에 도커(Docker)의 형태로 구성되기 때문에 기존 통신 프로토콜과 연동할 수 있는 인터페이스가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 실제 열차 및 통과역 노드를 구현하면서 필요한 인터페이스를 설계하고자 한다. 물리적인 머신은 열차 및 통과역에 존재하는 PC를 의미한다. 해당 PC는 고유의 고정 IP를 보유하고 있어서 통신 프로토콜을 사용하는 것에 문제가 없다. 따라서 기존의 통신 프로토콜을 기반으로 블록체인 노드들이 어떻게 블록체인 네트워크를 구성할 수 있고, 트랜잭션을 전파하고 블록을 생성하는지 설계할 수 있다.

그림 5에서 해당 머신에 실행된 도커 컨테이너로 geth를 사용하여 블록체인 네트워크에 접근할 수 있는데, 따라서 IP는 머신의 고유한 고정 IP, 포트는 도커를 생성할 때 머신과 연동한 포트 번호를 사용한다. 머신(열차 및 통과역 노드)과 이더리움 노드가 데이터를 주고받을 수 있는 인터페이스 환경은 포트 번호로 구성이 된다. 해당 포트 번호로 머신은 이더리움 노드(도커)에 데이터를 전달하고 해당 데이터를 받은 이더리움 노드는 데이터를 기반으로 트랜잭션을 생성하여 블록체인 네트워크에 전파한다. 이와 같은 과정은 geth 설치로 인한 머신의 문제를 최소화하는 방법이다.

또한, 무정차 통과 체계 내부에서 통관 및 통과와



[Figure 6] Clearance data transmission and validation interface

관련된 데이터를 전송하는 인터페이스를 설계한다. 해당 인터페이스를 설계하는 이유는 다음과 같다. 첫 번째로 열차 및 통과역 노드와 블록체인(이더리움) 노드는 하나의 머신 내부에서 구현이 된다, 따라서 머신의 통신 프로토콜을 사용하여 블록체인 노드 또한 외부 블록체인 노드와 연결하고 트랜잭션 및 블록을 전파하고 생성할 수 있어야 한다. 두 번째로 통관 및 통과와 관련된 데이터는 열차 머신이 전달하고 통관 및 통과역 머신이 받아서 검증하는 절차를 거치기 때문에 해당 데이터를 블록체인 네트워크에 전파하기 위해서는 블록체인 노드와 열차 및 통과역 노드의 연동이 필요하다. 해당 인터페이스 연동은 그림 5에서 설계한 인터페이스를 활용한다.

통관 데이터 전송 인터페이스는 열차 및 통과역 노드와 블록체인 노드가 모두 동일한 통신 프로토콜을 활용하여 데이터를 및 트랜잭션을 전파하는 과정을 설명한다. 해당 프로세스는 모든 열차 및 통과역 노드가 동일하게 사용해야 하는 흐름을 가진다. 따라서 무정차 통과 체계를 사용하기 위해서는 해당 프로세스를 동일하게 구현해야 하고, 서로 호환될 수 있는 통신 프로토콜을 사용해야 한다.

그림 6은 통관 데이터를 전송하고 검증하는 일련의 과정의 프로세스 인터페이스를 구조화한 것이다. 해당 그림을 살펴보면 열차 및 통과역 노드가 모두 동일한 컴포넌트를 지닌 것을 확인할 수 있다. 또한 각 노드의 IP와 포트 번호를 확인할 수 있는데, 그림 5에서 표현한 부분을 실제 적용하였을 때 이와 같은 형태로 구성된다. 그림 6의 프로세스를 진행하기 위해서는 각 단계가 필요하다.

표 4는 그림을 1번부터 10번까지 흐름을 설명한 것이다. 1번부터 3번까지는 열차 노드에서 통과 및 통관과 관련된 데이터를 통과역에 전송하는 과정이다. 4번부터 6번까지는 해당 데이터를 전달받은 머신이 데이터를 검증하고 블록체인 네트워크에 트랜잭션을 전송하기 위해서 트랜잭션을 생성하는 과정이다. 7번은 통과역 A가 생성한 통과 트랜잭션을 다른 통과역 노드에게 전파하는 과정이다. 8번부터 10번은 전달받은 트랜잭션을 다른 통과역 노드들이 검증하는 과정을 설명하였다.

이와 같은 과정을 거치면 각 열차 및 통과역 노

〈Table 4〉 Procedure of data transmission and validation interface

순서	순서별 처리 과정
①	열차 노드 Machine에서 통과 데이터를 네트워크 모듈을 통해 통과역 노드로 전송할 준비 (전송할 데이터 선택)
②	열차 노드 Machine의 네트워크 모듈을 통해 통과역 노드로 데이터를 전송 (LTE-R || GSM-R 등 사용할 수 있는 통신 프로토콜 사용)
③	통과역 노드 Machine으로 전송된 통과 데이터를 네트워크 모듈을 통해 전달받음
④	전달받은 데이터를 검증 및 Hash(해시) 과정을 거친 후, Machine 내부의 이더리움 노드로 전송
⑤	이더리움 노드에서는 해당 데이터를 블록체인 네트워크에 전파 (무정차 통과 블록체인 네트워크)
⑥	이더리움 네트워크에 전파를 하기 위해 이더리움 노드가 설치된 Machine의 네트워크 모듈을 통해 외부 이더리움 노드로 트랜잭션 전파하기 위해 IP 와 포트 번호를 탐색
⑦	외부 이더리움 노드의 IP 와 포트 번호를 확인 후, 해당 노드로 트랜잭션 전파
⑧	외부 이더리움 노드는 해당 노드를 포함하고 있는 Machine의 네트워크 모듈의 IP를 사용하여 트랜잭션 데이터 전파받음
⑨	외부 통과역 노드 Machine은 네트워크 모듈을 통해 전달받은 트랜잭션을 포트 번호를 통해 내부 이더리움 노드에 전송
⑩	또 다른 외부 노드에게 트랜잭션을 전파하기 위해 네트워크 모듈을 통해 트랜잭션 전파

드는 무정차 통과와 관련된 일련의 프로세스를 모두 수행한 것으로 판단한다. 무정차 통과는 목적지까지 도달하기 위해서 여러 통과역을 거치는 과정이기 때문에 1~9번의 과정을 반복적으로 진행하며 출발지부터 목적지까지 열차가 이동한다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 '블록체인 기반의 국경 무정차 통과'를 위한 요구사항을 분석하고 무정차 통과 체계를 설계하였다. 현재 블록체인을 활용한 화물 운송 체계는 존재하지만, 철도라는 도매인에 블록체인을 도입하여 무정차 통과 체계를 설계한 연구는 존재하지 않는다. 따라서 해당 연구를 통해서 철도 국경 무정차 통과 체계를 제안하며 철도 화물을 블록체인 기반의 통관 체계라는 새로운 방향으로 이끌어 나갈 수 있을 것이다. 블록체인 기반의 무역 협정 얼라이언스를 구축하여 서로 다른 국가와 협정이 지닌 이해관계의 차이를 줄이고 블록체인이 제공하는 무결성과 신뢰성을 보장할 수 있다. 해당 특성들을 활용하기 위해서 본 연구에서는 통과역과 열차를 각각 하나의 노드 set로 구성하여 블록체인 네트워크를 구성하였으며, 그 결과 모든 참여 노드가 무정차 통과와 관련된 정보를 수집할 수 있었다.

열차는 통과와 관련된 정보를 통과역에 전송하고 통과역은 이를 수신하여 데이터가 무결하고 신뢰성이 있는지 기존 데이터와 비교 검증하였다. 통과역 노드는 검증이 완료된 데이터와 통과 여부를 블록체인 네트워크에 전파함과 동시에 열차 노드에게도 전송하여 블록체인 네트워크의 특성을 사용하였다. 통과 가능 여부를 전달받은 열차는 해당 명령을 수행하고, 다른 통과역 노드는 블록체인 네트워크에 전파된 통과 관련 트랜잭션에 대한 검증 절차를 진행하고 블록을 생성한다. 이렇게 생성된 트랜잭션과 블록은 블록체인 네트워크에 기록되고 모든 참여 노드가 공유한다. 즉, 국경 무정차 통과 절차에 참여하는 모든 통과역과 열차 노드는 해당 블록체인 네트워크의 데이터를 확인하고 검증할 수 있는 것이다. 따라서 무정차 통과와 관련된 데이터의 위변조가 발생할 경우 모든 통과역 노드와 열차 노드는 위변조 여부를 파악할 수 있으며 빠른 대처가 가능하다.

하지만 현재 실제로 적용하기까지 다양한 시행착오가 발생할 수 있고 실험과 연구를 진행해야 한다. 향후 연구에서 SUMO와 각 통과역 및 열차 노드를 실제 구현한 결과를 바탕으로, 실제 무정차 통과 체계를 적용하게 된다면 시간과 인적 자원의 소모를 감소시킬 수 있다는 정량적인 지표를 설정하여 실험 결과를 도출할 것이다. 실험의 정량적인 지표는 두 가지로 나눌 수 있다. 먼저 기존 통관 체계와 블록체인 기반 무정차 통과 체계에 대한 수행 시간 비교 실험과 블록체인 네트워크의 합의 알고리즘[33] 선정에 따른 무정차 통과 진행 속도를 비교하는 실험이다. 또한, IoT 기기와 인공지능[34][35]을 활용하여 화물칸 개방 여부 및 화물 제원의 변화 등을 추적하여 적재 컨테이너의 상태를 실시간으로 모니터링할 예정이다. 해당 결과를 바탕으로 실제 블록체인 무정차 통과 체계가 기존 통관 체계를 대체하며, 보다 성능이 뛰어날 수 있다는 결론에 도달할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(대륙철도 상호연결성 강화 기술 개발, PK2204A1)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. 송민근, & 여기태. (2017). 유라시아의 주요 철도노선과 중국 철도 네트워크의 특징 분석. Journal of Korean Navigation and Port Reserch, 41(3), 155-164. https://doi.org/10.5394/KINPR.2017.41.3.155
2. Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., and

Schiereck, D. (2017). Blockchain. Business & Information Systems Engineering, 59(3), 183-187.
3. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Decentralized Business Review, 21260.
4. 김도훈, 김백현, 전홍규, & 원종운. (2021). 블록체인 기반 철도 무정차 통관 프로세스 연구. 한국정보기술학회논문지, 19(12), 123-134. http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2021.19.12.123
5. Bogner, A., Chanson, M., and Meeuw, A. (2016, November). A decentralised sharing app running a smart contract on the ethereum blockchain. In Proceedings of the 6th International Conference on the Internet of Things (pp. 177-178).
6. 정승주 and 문진수. (2004). 물류경쟁력 강화를 위한 철도화물운송 활성화 전략. 연구총서, 12, 75-76.
7. 맹철규, & 이은재. (2018). 유니패스(UNI-PASS)를 통한 관세행정의 효율성 제고 및 경제효과 연구. 관세학회지,19(2),203-221.
8. Simulation of Urban MObility, https://sumo.dlr.de/docs/ [Accessed: Sep. 18, 2022]
9. Maersk official site, https://www.maersk.com/news/articles/2021/07/27/how-blockchain-technology-is-beefing-up [Accessed: Sep. 18, 2022]
10. Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., ... and Yellick, J. (2018, April). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. In Proceedings of the thirteenth EuroSys conference (pp. 1-15).
11. 김재성 and 임성철. (2017). 국제 무역거래에서 블록체인의 활용 가능성에 관한 연구. 무역상무연구, 75, 137-158.
12. 김종권 and 유광현. (2020). 수출입통관에서의 블록체인 기술 활용 증대 가능성에 관한 연구. 관세학회지, 21(4), 51-69.
13. Băhnăreanu, C. (2019). World economic forum 2019: globalization 4.0-A better version. Strategic Impact, (72+ 73), 79-82.
14. Biswas, K., Muthukkumarasamy, V., and Tan, W. L. (2017). Blockchain based wine supply chain traceability system. In Future Technologies Conference (FTC) 2017 (pp. 56-62). The Science and Information Organization.
15. Yang, R., Wakefield, R., Lyu, S., Jayasuriya, S., Han, F., Yi, X., ... and Chen, S. (2020). Public and private blockchain in construction business process and information integration. Automation in construction, 118, 103276.
16. Wood, G. (2014). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. Ethereum project yellow paper, 151(2014), 1-32.
17. DTT Alliance official site, https://docs.dttalliance.co.kr/ [Accessed: Sep. 19, 2022]
18. Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., and Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 29, 36-52.
19. Haklay, M., and Weber, P. (2008). Openstreetmap: User-generated street maps. IEEE Pervasive computing, 7(4), 12-18.
20. Bevis, M., Businger, S., Herring, T. A.,

Rocken, C., Anthes, R. A., and Ware, R. H. (1992). GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the global positioning system. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 97(D14), 15787-15801.

21. Sanyal, R. (2011, October). Challenges in interoperability and roaming between LTE-Legacy core for mobility management, routing, real time charging. In 2011 Technical Symposium at ITU Telecom World (ITU WT) (pp. 116-122). IEEE.
22. Zhang, Z., Zhang, Y. Q., Chu, X., and Li, B. (2004). An overview of virtual private network (VPN): IP VPN and optical VPN. Photonic network communications, 7(3), 213-225.
23. Salahdine, F., and Kaabouch, N. (2019). Social engineering attacks: A survey. Future Internet, 11(4), 89.
24. Merkle, R. C. (1990). A fast software one-way hash function. Journal of Cryptology, 3(1), 43-58.
25. 홍승린. (2013). 한국의 수출경쟁력과 물류통관에 관한 연구. 관세학회지, 14(4), 37-58.
26. Salahdine, F., & Kaabouch, N. (2019). Social engineering attacks: A survey. Future Internet, 11(4), 89.
27. Mirkovic, J., & Reiher, P. (2004). A taxonomy of DDoS attack and DDoS defense mechanisms. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 34(2), 39-53.
28. Cheng, L., Liu, F., and Yao, D. (2017). Enterprise data breach: causes, challenges, prevention, and future directions. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 7(5), e1211.
29. Go Ethereum official site, https://geth.ethereum.org/ [Accessed: Sep. 18, 2022]
30. He, R., Ai, B., Wang, G., Guan, K., Zhong, Z., Molisch, A. F., ... and Oestges, C. P. (2016). High-speed railway communications: From GSM-R to LTE-R. Ieee vehIcular technology magazIne, 11(3), 49-58.
31. Banafa, A. (2017). IoT and blockchain convergence: benefits and challenges. IEEE Internet of Things, 9.
32. Anderson, C. (2015). Docker [software engineering]. Ieee Software, 32(3), 102-c3.
33. Xiong, Huanliang, et al. "Research on Progress of Blockchain Consensus Algorithm: A Review on Recent Progress of Blockchain Consensus Algorithms." Future Internet 14.2 (2022): 47.
34. Atlam, Hany F., et al. "A Review of Blockchain in Internet of Things and AI." Big Data and Cognitive Computing 4.4 (2020): 28.
35. 임용택, 류양선 and 박창우. (2019). 플랜트 O&M을 위한 블록체인 기반 IoT Edge 장치의 적용에 관한 탐색적 연구. 시스템엔지니어링학술지,15(1), 34-42.