

# 블록체인 기반 철도 무정차 통관 프로세스 연구

김도훈\*, 김백현\*\*<sup>1</sup>, 전홍규\*\*\*, 원종운\*\*<sup>2</sup>

## A Study on the Blockchain based Non-Stop Railroad Logistics Customs Clearance Method

Dohoon Kim\*, Baekhyun Kim\*\*<sup>1</sup>, Hong-Kyu Jeon\*\*\*, and Jong-Un Won\*\*<sup>2</sup>

---

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

---

### 요 약

기존 철도무역에 있어 통관 과정과 관련 협의체 구성은 국가 간 협약의 형태로 국한되어 있다. 이는 다자간 이해관계에 따라 철도무역 프로세스를 개선하기 위한 규정/제도적 측면에서 매우 중요한 과정이라고 할 수 있다. 하지만, 수많은 철도물류를 신속하게 배송하기 위해서는 국가간 신뢰성이 보장된 무정차 통관체계가 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 이를 위해 블록체인 기술을 적용하되 기존의 통관체계와 상호운용 및 연동을 할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 또한, 기존 통관체계 기반으로 블록체인 네트워크를 오버레이(Overlay) 형태로 구성하고, 다양한 무정차 시나리오 및 대응절차를 제시한다. 결국 이러한 고신뢰 분산 네트워킹 기반의 국가간 무정차 통관체계는 철도무역에 있어 시간과 비용을 줄일 수 있는 매우 필요한 요소기술이라 할 수 있다.

### Abstract

In the current railway trade, the customs clearance process and the composition of related consultative bodies are limited to the form of agreements between countries. This is a very important process from a regulatory/institutional point of view to improve the rail trade process according to multilateral interests. However, a non-stop customs clearance system with guaranteed reliability between countries is required to quickly deliver numerous railroad logistics. Therefore, this paper intends to propose a method of interoperating and interlocking with the existing customs clearance system while applying blockchain technology to this purpose. In addition, based on the existing customs clearance system, the blockchain network is configured in an overlay form, and various non-stop scenarios and response procedures are presented. In the end, this non-stop customs clearance system between countries based on highly reliable distributed networking is a very necessary element technology to reduce time and cost in rail trade.

### Keywords

blockchain, railroad logistics, customs clearance method

- 
- \* 경기대학교 AI컴퓨터공학부 컴퓨터공학전공 교수  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6370-9744>  
\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원(\*\*<sup>2</sup> 교신저자)  
- ORCID<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0000-0001-6321-5226>  
- ORCID<sup>2</sup>: <https://orcid.org/0000-0002-4702-0960>  
\*\*\* 한국철도기술연구원 선임연구원  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6293-1906>
- Received: Nov. 01, 2021, Revised: Dec. 03, 2021, Accepted: Dec. 06, 2021  
· Corresponding Author: Jong-Un Won  
Principal Researcher, Korean Railroad Research Institute, Korea  
Tel.: +82-31-460-5213, Email: [juwon@krii.re.kr](mailto:juwon@krii.re.kr)

## I. 서론

과거 2013년 10월 동북아·유럽을 포괄하는 경제적 교역 확대와 북한의 직·간접적인 개방유도, 한반도의 긴장 완화를 통해 통일의 초석을 마련하기 위한 ‘유라시아 이니셔티브’ 구상[1]을 제안되었다. 이를 위해 부산-북한-러시아-중국-중앙아시아-유럽을 관통하는 '실�크로드 익스프레스'를 실현하고, 전력·가스·송유관 등 에너지 네트워크 구축 필요성을 역설했다. 다만, 북한의 개혁개방 거부에 따라 중국을 통한 시베리아 횡단철도진입을 통해 실�크로드 익스프레스(SRX) 구상[2]을 하였다. 특히, 철도운송 체계에 기반한 물류 즉, 국가간 무역을 위한 통관은 국가간 이해관계 또는 대륙내 지방자치구 간의 이해관계등 법/규정/제도 및 기술적으로 풀어야할 난제가 많다. 뿐만 아니라, 철도 운송이 기타 항공 및 항만 물류 운송체계 대비 고효율성을 보장하려면, 국가간 무정차 통관 개념이 반드시 필요하겠다.

그럼에도 불구하고 다양한 기술적 해결안이 요구되며, 이를 위한 국가 간 이해관계를 넘어서는 초연결 기술이 요구된다. 즉, 기술적 대안을 필두로 국가 간 이해관계를 재정립할 수 있도록 유도할 필요가 있겠다. 이를 위해서는 이미 국가별로 운영중인 다양한 물류 관리 시스템 및 통관시스템등과 연결할 수 있는 새로운 개념의 네트워크가 필요하다.

이를 위해 본 논문에서는 블록체인 기반의 철도 무정차 통관 프로세스를 제안하고자 한다. 블록체인은 2008년 10월 31일에 발행된 Satoshi Nakamoto의 논문[3]을 통해 암호화계에서 공동으로 사용하는 메일링 리스트로 Bitcoin에 대한 논문을 전송하면서 시작되었다. Satoshi Nakamoto는 이듬해인 2009년 1월 3일 블록체인 기술을 적용하여 Bitcoin 메인넷의 genesis block을 생성하였다. 이는 네트워크상에 존재하는 노드의 수가 기하급수적으로 증가하고 노드 간 통신 속도가 증가하면서 과거에는 불가능했던 P2P(Peer-to-Peer) 통신이 다소 자유로워졌다.

이를 위해 본 연구에서는 운송 중인 컨테이너 화물 목록, 해당 화물의 운송 현황 등 관련 정보를 블록체인을 이용해 철도 협의회 간에 실시간으로 신뢰성 높게 공유함으로써 국경 터미널 운영 효율을 높이고, 국내의 철도 시설 가용성에 대한 혼잡을 낮

추도록 기대할 수 있다. 운송할 화물 정보를 공유하면 화물열차에서 화물 상하차 시에 철도 터미널 혼잡을 줄일 수 있다.

즉, 본 논문에서는 유라시아 철도를 통한 국제화물 열차 운행 시 국경 역에서의 효율적인 화물업무 처리 및 통과 업무 프로세스에 블록체인을 적용하는 방안을 검토하여 새로운 무정차 통관을 지원하는 프로세스를 연구하고자 한다. 또한 기존의 철도 물류 통관 방법을 분석한 것을 토대로 간소화와 자동화 목적의 통관절차 고도화가 가능한 부분을 식별하여 블록체인 기반의 무정차 통관 체계와 관련 시나리오에 관해서 연구하였다.

논문의 구성으로는 2장은 블록체인 기반의 무정차 통관 구현 가능성 분석을 위한 기존의 철도 물류 통관 프로세스에 대한 전반적인 정리 내용이다. 현존하는 각 국제철도 내의 협력 사례와 블록체인 기반 화물 운송 및 정보 시스템의 기존 R&D 현황을 서술하였다. 3장에는 블록체인 기술 적용이 된 무정차 통관 방법을 체계 정리와 환경 구성의 예시로 증명하였으며, 세부적인 무정차통관 시나리오를 제시하여 예외가 발생할 때의 경우를 정리하였다. 마지막 4장은 본 무정차 통관 과정을 블록체인에 적용하는 연구의 목적을 정리하고, 향후 연구에 대해서 논의하고자 한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 배경지식

블록체인 기술을 철도 무정차 통관 프로세스에 응용 가능한 이유는 분산 컴퓨팅 기술을 기반으로 한 P2P 방식의 네트워크 구성으로 데이터들이 chain 형태로 연결되어, 분산 데이터 저장 환경인 block에 발견된 날짜와 previous block에 대한 정보를 포함한 관리 대상 데이터를 저장하기 때문이다. 블록체인은 다수의 거래내역을 묶어 block을 구성하고, hash를 이용하여 여러 block들을 chain처럼 연결한 뒤, 다수의 노드가 복사하여 분산 저장하는 알고리즘이기 때문에 무정차 통관에서 가장 중요한 실시간 정보 공유에 유리하다[4].

블록체인을 적극적으로 활용하기 위해 이미 여러 분야에서 적용 연구가 진행되고 있다. 악의적인 사용자에 의하여 중앙 서버가 공격당하며 데이터 보존과 공유에서의 무결성 문제가 발생하는 것을 해소하기 위한 블록체인 기반의 계약 체결에 관한 연구가 존재한다[5]. 이 제안 연구 사례는 앞으로 다양한 산업에 적용할 수 있는 가능성을 제시하였다. 이르면 수년 이내에 금융[6][7], IoT, 보안[8], 물류 등의 산업 전반에 적용되는 기술로 끊임없는 연구와 시험이 이루어지고 있고 현재 연구 내용인 무정차 통관 과정에 대한 방법이 존재하지 않았다.

## 2.2 대륙철도 관련 국제철도 운송 협정 분석

기존의 대륙철도 협력기구는 크게 4가지 지역으로 나뉜다. 지역별 협력기구 중 동유럽 및 아시아 국가들의 기구는 국제철도협력기구(OSJD)이며, 서유럽 국가들은 국제철도운송정부간기구(OTIF)에 소속된다. 기타 코카서스 지역 중앙아시아 국가들은 트레세카(TRACEJA), 그리고 서유럽 국제철도운송협회(CIT), 시베리아횡단철도운송협의회(CCT) 등이 존재한다.

국제철도협력기구(OSJD)의 역할은 러시아, 중국, 북한 등 동유럽과 중앙아시아 29개국 및 40개 철도 회사의 철도협력기구로서, 유럽·아시아 대륙철도운행과 관련된 국제철도화물운송협약(SMGS)을 관장한다. 또한 국제운송표준 원칙을 결정하면서, 선로 배분권 및 수익배분 등을 결정 사항들을 관장·결정하는 실무조직이다[9][10].

국제철도운송정부간기구(OTIF)는 간단하고 효과적인 도구를 사용하여 국제철도 운송을 촉진, 개선하여 국제철도 운송을 전담하는 정부 간 기구이다. 기구는 국제철도 운송에 관한 협약(COTIF), 응용 프로그램 확장 및 개발과 통일된 법적 제도 마련, 기술적인 호환성과 조화되는 시스템을 구상하며 국경 통과에 대한 장벽 제거 노력을 위해 50개 회원국에 철도 부문 협력 프레임워크를 제공한다[11]-[14]. 이에 따라 OTIF는 각 회원국이 철도 시장의 조직 및 접근과 관련된 문제를 다루는 방법을 선택할 수 있도록 한다. 따라서 OTIF는 세 대륙 간의 서로 다른 철도 시스템 간에 국제 운송을 유연한 규제를 통해

조직할 수 있게 한다. 이는 특히 OTIF와 OSJD가 2003년에 서명한 공통 입장에 기초하여 수행되는 조화작업이라는 것이 존재한다. 이후 2011년 EU가 COTIF에 가입한 이후 OTIF는 유럽연합 회원국과 비회원국을 연결하는 역할을 강화했다. 즉, OTIF는 유럽연합 회원국의 여부를 떠나 각 회원국 간 규정의 일관성을 보장한다.

코카서스 지역을 포함한 기타 지역에서의 운송 협정은 EU의 발의로 벨기에 브뤼셀에 1993년 착수된 유럽-중앙아시아 간 동서축 교통협력 프로그램으로 트레세카(TRACECA)[15]와 서유럽국제철도운송협회(CIT)[16], 시베리아횡단철도운송협의회(CCT) 등이 있다. 여러 운송 협정 중에서 트레세카[14]는 유럽-흑해-카프카스-카스피해-중앙아시아로 연결되는 도로, 철도, 항공노선을 포함하는 국제 운송을 개발하고자 설립하였다. 유럽 연합과 더불어 동유럽, 카프카스와 중앙아시아 지역의 13개 회원국을 보유하고 있다. 트레세카는 육로, 철도, 항공, 항만, 송유 5개의 분야를 주로 다루나, 수송뿐만 아니라 경제적인 유대를 강화하는 것 역시 목표로 삼고 있다.

또한 서유럽국제철도운송협회(CIT)는 1902년 출범한 국제적인 여객 및 화물 운송 서비스를 운영하는 28개국 200개 이상의 철도 기업과 운송회사들의 연합이다[16]. 이 외에도 시베리아횡단철도운송협의회(CCT)는 1997년 출범하여 존속기간에 제약이 없는 국제 비영리 협회이고 시베리아 횡단 노선(TSR)으로 운송 및 외국 무역화물을 유치한다는 특징이 있다[17].

## 2.3 기존의 철도 통관시스템

수출입신고서류와 관련된 국제규범으로는 <세관 절차의 간소화 및 조화에 관한 국제협약 개정 의정서> (개정 교토협약) 이 있다[18]. 1973년 5월 교토에서 <세관 절차의 간소화 및 조화에 관한 국제협약> (교토협약)이 채택되었다. 이후 1999년 6월 세관 절차 간소화에 대한 국제규범의 강화, 교토협약의 구속력 강화, 현대의 발달한 정보기술을 반영할 필요 등으로 개정, 2006년 2월부터 구속력을 가지게 되었다. 2021년 5월 12일 기준으로 한국 포함 128개국이 협약에 서명하였다. 개정 교토협약의 주요 내

용은 통관절차의 간소화, 신속화, 국제표준화를 비롯하여 관세의 감면, 최혜국대우, 정보기술의 이용 등이 있다. 물품 신고서 및 부속서류의 표준화 및 간소화를 통해 세관이 최소한의 신고사항을 요구하게 하며 전자적인 수단으로 세관 신고 및 자료 제출이 가능하도록 하고 있다. 해당 협약에 따라 세계 관세기구에서는 세관 신고항목을 구축하는 작업을 진행하고 있다.

## 2.4 기존 화물 운송 및 정보 시스템 분석

기존의 화물 운송 분야에서는 화물의 90%는 해상 운송을 통해 운송된다. 이 과정에 화물을 수송하는 해운사, 화물을 맡기는 화주, 이를 받아 하역하는 항만 등 수많은 주체가 있다. 해상운송 화물의 인도·인수 체결 시 현재는 상대적으로 투명성이 취약한 것으로 평가받는다. 화물의 분실이나 파손이 발생할 때 책임 소재를 따져야 하는데, 이 과정에서 확인이 쉽지 않다. 또 거래 과정에 디지털화되는 과정에서 해킹이나 조작에 대한 우려도 있다. 대부분 해상운송이 국제 거래라는 점도 문제를 복잡하게 만드는 원인이다. 이러한 문제의식에서 출발한 것이 바로 블록체인을 활용한 해결안이다.

국내에서 유사한 연구가 수행된 사례로는 블록체인 기반의 물품 반출입 관리[19]가 있다. 다수의 노드 간에 P2P 방식을 이용하여 이전 단일 서버 구성에서의 무결성 문제를 해결하였다. 산업계에서는 머스크와 IBM은 블록체인을 활용하여 컨테이너 추적에 활용할 계획이다. 컨테이너가 이동하는 과정상에 존재하는 모든 주체에 분산형 거래 장부를 설치하여, 컨테이너의 이동 경로를 실시간으로 추적하는 개념인데, 과거에는 수작업과 문서를 통해 이를 수행했지만, 블록체인 기술을 활용하면 낮은 비용으로 왜곡 없이 컨테이너별 실시간 경로 및 과거 이동 경로를 파악할 수 있게 된다[19].

### III. 블록체인 기반 자동화 통관 프로세스

#### 3.1 블록체인 기반 철도화물 자동화 통관 프로세스 방법론 도출

기존의 국제철도화물 프로세스에 블록체인 기술을 적용한다면 향후 다양한 이해 관계자(관계 기관)들이 참여 가능한 블록체인 생태계가 구성된다면, 블록체인 기술 도입과 생태계 구축 및 참여는 지속 가능한 기업의 생존/확장 전략으로써 필수 고려사항이 될 수 있다. 하지만 블록체인 네트워크 간의 연결, 퍼블릭 블록체인 생태계와 상호운용 등을 고려하지 않은 단기적 관점에서의 블록체인 기술 도입은 향후 블록체인의 효과와 확정성에 대해 폭넓게 고려해야 한다. 블록체인의 부상으로 인한 환경의 변화에 대비하기 위해서 전략적인 관점으로 ① 블록체인 방향성 수립, ②단위업무 개선, ③핵심 서비스 적용 시작, ④전면 검토 및 확대의 순서로 단계적 접근을 시행해야 한다.

블록체인에 대한 기술적 개념과 산업적 활용 가능성 등에 대해서도 회원국의 정책 의사결정자뿐만 아니라 기업들에게도 이해를 제고시킬 필요가 있다. 블록체인 기술 도입은 새로운 고도화 시도이므로 규제 미비에 따른 기업들의 불확실성을 최소화하여야 한다.

또한 블록체인을 신속한 통관절차(무정차통관)에 적용한다면 국제화물 통관의 수출입 과정에는 회원국뿐만 아니라 수출업자, 수입업자, 보험사, 금융사 등 다양한 기업과 중개기관들이 다양한 역할을 수행하고 있다. 블록체인 기술은 수출입 프로세스상의 다양한 파트너들을 연결하고, 네트워크 내부의 모든 거래 기록을 변경 불가능한 형태로 공유할 수 있게 한다. 무역 관련 서류를 처리하는 최대 비용은 수출업자와 수입업자 간의 계약서부터 신용장(L/C, Letter of Credit) 등 다양한 문서를 작성하고, 관련된 파트너들에게 정보를 전달하고 있다. 그러나 블록체인이 도입되면, 모든 정보가 컨소시엄 내에서 공유가 가능해지고, 스마트컨트랙트가 이루어질 수 있게 되면서 블록체인 기반 무정차 통관 환경으로 고도화할 수 있다.

원장 공유 기술을 정확한 정보 공유에 활용함으로써 현대 시대의 운송정보 파이프라인 구축과 페이퍼리스(Paperless) 국제철도화물 무역을 고도화하기 위해 블록체인 플랫폼을 구축해야 한다. 표 1은 기존 네트워크를 블록체인 기반 네트워크를 적용하였을 때의 체계 모델링이다.

표 1. 자동화통관 체계 모델링  
Table 1. Non-stop railroad logistics customs clearance model

Existing network	Blockchain overlay network
International railroad cooperation agency	Blockchain network
Member states	Terminal node
Shared data	Block
Agreement	Smart contract

협력기구 상의 회원국은 블록체인에 참여하는 각 비즈니스 주체별 또는 당국별 전자문서교환 양식의 표준화를 실현할 수 있다. 블록체인 기술이 국제철도화물에 적용될 경우, 공급사슬의 가시성과 투명성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 전 물류과정의 회원국 간에 실시간으로 정보를 공유함으로써 물류 효율성 및 안정성이 혁신적으로 개선된다.

기존의 시스템에서 블록체인 기술을 적용할 때에는 세 가지 요구사항을 충족하여야 한다. 첫째, 탈중앙화이다. 기존의 국제철도 협력기구는 각자의 얼라이언스로 나뉘어 있으므로 이해관계에 따라 통합하거나 각자 다르게 구현하여야 하며 필수적인 정보 공유가 신속하게 이루어져야 한다. 두 번째로는 다수결 합의 구조를 적용하여야 한다. 기존 협력기구 내부에서 제정된 규정과 규칙을 블록체인화 하여야 한다. 그리고 상호운용성도 보장이 되어야 한다. 각 협력국 간의 이익 구조를 가져가면서 혜택을 분배할 수 있으며, 추가로 국가 간 갈등문제가 해결된다고 하면 통합이 되도록 염두에 두어야 한다.

### 3.2 블록체인 기반 철도화물 자동화 통관 체계

무정차 통관을 적용한다고 하면 컨소시엄 블록체인 (Hyperledger Fabric)을 사용하여 모듈형 블록체인 아키텍처에서 엔터프라이즈급 네트워크 보안, 확장성, 기밀성 및 성능을 제공하는 분산원장 기술(DLT)을 응용하여야 한다. 따라서 Hyperledger Fabric 블록체인 사용 시에 다음 다섯 가지의 특징이 있다.

- 회원국 관리의 이점: 권한이 부여된 네트워크를 활성화하기 위해 사용자 ID를 관리하고 네트워크의 모든 회원국을 인증하는 멤버 자격 서비스를

제공하여야 한다. 액세스 제어 목록은 특정 네트워크 작업의 승인을 통해 추가 권한 계층을 제공하는 데 사용된다. Hyperledger Fabric 네트워크에 대한 한 가지 사실은 회원국이 서로를 알고 있지만, 그들의 행위는 알 수 없다.

- 국가 정보 보호 및 기밀 유지 가능: 기밀 트랜잭션이 필요한 회원국에 허가된 네트워크를 제공하여야 한다. 비공개 채널은 제한된 메시지전달 경로로서 네트워크 구성원의 특정 하위 집합에 대해 개인 정보 및 기밀성을 제공하는 데 사용할 수 있다. 채널 정보를 비롯한 모든 데이터는 해당 채널에 대한 액세스 권한이 명시적으로 부여되지 않은 회원에게는 보이지 않으며 액세스할 수 없다.
- 효율적인 처리 가능: 노드 유형별(수입/수출국)로 네트워크 역할을 할당한다. 네트워크에 동시성과 병렬성을 제공하기 위해 트랜잭션 실행은 트랜잭션 순서와 커밋(Commit)으로 구분된다. 트랜잭션을 순서화하기 전에 실행되면 각 회원국 피어 노드가 동시에 여러 트랜잭션을 처리할 수 있다. 이러한 동시 실행은 각 피어의 처리 효율성을 높이고 오더링 서비스에 대한 트랜잭션 전달을 가속한다. 병렬 처리를 가능하게 하는 것 외에도, 업무 분장은 트랜잭션 실행 및 원장 유지 보수 요구에서 노드 오더링을 부담하지 않기 때문에 피어 노드는 컨센서스 작업 부하에서 자유로워진다. 하나의 프로세스는 다른 노드의 검증과 독립적으로 실행된다.
- 체인코드 기능 응용: 체인코드(Chain code) 응용 프로그램은 채널에서 특정 유형의 트랜잭션에 의해 호출되는 코드이다. 전체 채널에 대한 작동 매개 변수를 정의하는 체인코드로 구별된다. 라이프 사이클 및 구성 시스템 체인코드는 채널에 대한 규칙을 정의한다.
- 모듈식 디자인: Hyperledger Fabric은 네트워크 설계자에게 기능 선택을 제공하는 모듈식 아키텍처를 구현한다. 예를 들어 ID, 오더링 및 암호화를 위한 특정 알고리즘을 모든 Hyperledger Fabric 네트워크에 연결할 수 있다. 그 결과 모든 철도 통관 또는 오프체인 상의 물류 데이터를 불러올 수 있어 상호운용이 가능하다.

무정차통관 체계는 Hyperledger Fabric 기반에서 기존의 통관시스템 위에 오버레이로 구축된다. 무정차통관 체계(그림 1)를 활용하여 통관 과정을 시나리오로 구성한다. 그림 1의 무정차통관 체계는 기존의 통합 물류 시스템(A)과 통관 시스템(D)의 정보를 기반으로 블록체인상에 기록하여 보존하여야 하는 과정이 필요하다. 보존된 기록 정보는 블록 단위로 체인 형태로 연결된다. 블록체인 네트워크는 블록체인 시스템(F)에서 블록체인 노드에 서비스가 되는 영역과 오프체인 데이터까지 포함한다. 블록체인 거버넌스는 블록체인 노드(C), 블록체인 온체인 네트워크(F), 기존의 오프체인 네트워크로 구성된다.

블록체인 거버넌스는 블록체인 내에서 의사결정에 참여하여 중요한 사항을 집단으로 결정하는 체계이다. 그리고 무정차통관을 위해서는 기반 데이터(물류, 통관, 민간 등)의 융합으로 증명하여야 하므로 타 시스템 연계가 필요한 부분은 블록체인 오버레이 네트워크의 파이프라인에서 처리한다.

통합 물류 시스템(A)은 물류의 이동에 따른 관계 기관 간의 송/수신 내역에 대한 조회, 물류 서비스

요청을 수행하는 시스템이다. 송신 내역 조회를 하며 물류의 선적지에서 목적지가 정해졌을 때 해당 물품이 송신되었다는 내역을 조회한다. 수신 내역 조회로 중간지대와 목적지에서 물류가 수신이 완료된 내역을 조회한다. 물류 현황 조회를 물류의 현재 이동 현황에 대한 데이터를 조회하며 물류 서비스 요청을 하여 물류 서비스가 요청되는 사항은 기존의 요청 프로세스가 있다면 다르지 않게 운영하며 각 철도사와 수입/수출상이 처리한다.

관리 시스템(B)는 관리 시스템은 기존 네트워크 운용을 고려하여 현존 시스템을 사용한다. 회원국 관리: 기존 네트워크를 사용하여 협정 내의 회원국을 관리하는 시스템을 포괄한다. 각 국제철도 화물 운송 협정 별로 관리하며, 협정 기구 간의 관리까지 영역을 넓힐 수 있다. 필요하다면 발급받은 API 키를 각 관계 기관에서 간편하게 이용한다면 안전하게 블록체인 데이터를 재가공할 수 있도록 한다. 블록체인 데이터 중 무정차 통관 관련 데이터는 국가 연구기관 혹은 철도 물류 운송 기관별로 빅데이터 가공이 가능하다.

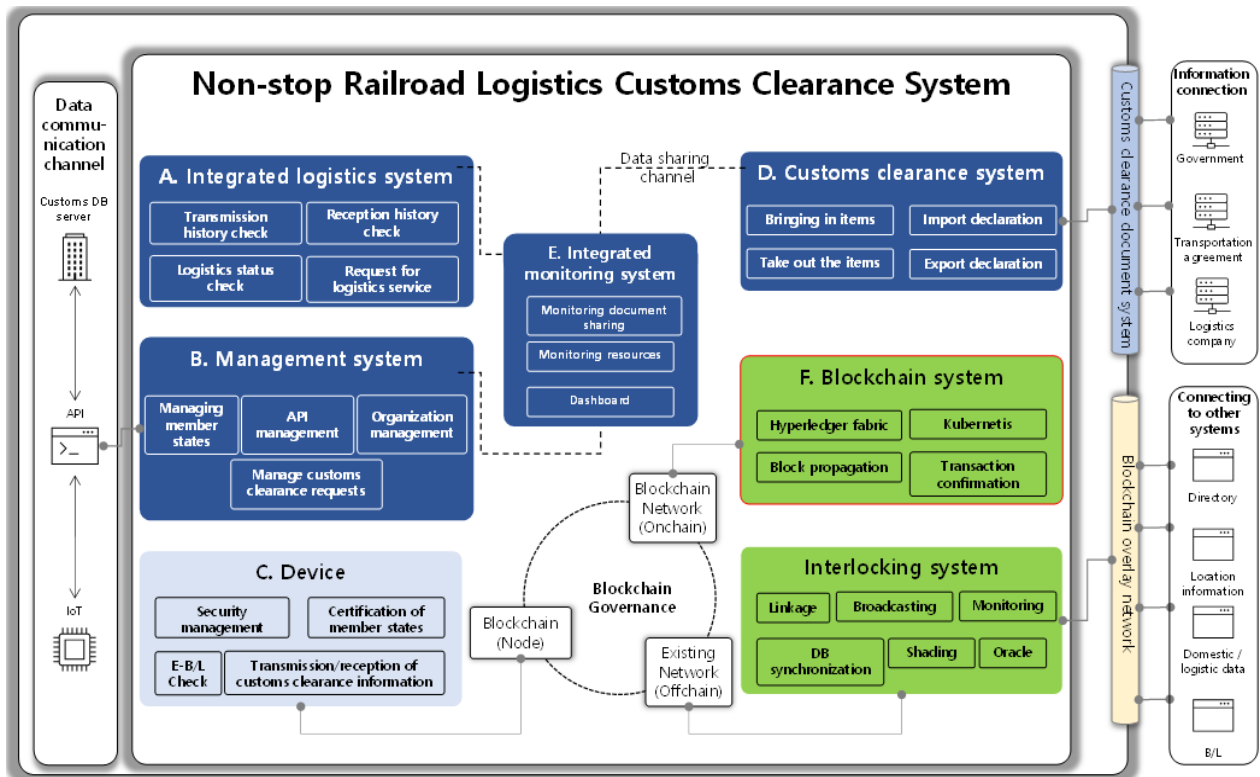


그림 1. 무정차통관 체계 구성도(안)  
Fig. 1. Non-stop railroad logistics customs clearance systems

관리 시스템 상의 기관 관리 기능을 통하여 관계 기관에서 각각의 목적에 맞게 사용 가능한 관리 시스템 솔루션이다. 통관 요청 관리는 통관시스템과 연동된 통관 요청에 대한 관리 시스템이다.

단말기(C)는 통관 국의 철도 물류 세관에서 사용하는 단말기이다. 종단 간 단말기는 기본적으로 통신 기능과 블록체인 노드로 참여할 수 있도록 한다. 보안 관리 기능을 통하여 통관 예정 물류에 대한 스마트 IoT 센서의 결괏값을 통하여 문제 이상 여부를 관리할 수 있다. 회원국 인증 기능도 포함하여 매 단말기에는 종단 간 암호화 된 기기 저장 인증서를 통하여 통신 기기 자체의 블록체인 노드 인증을 수행한다. 페이퍼리스 통관에서 통칭하는 E-B/L을 열람하며 통관 정보 송/수신 시스템이 있어야 한다. 이 기능은 과거 및 현재 물류의 전체 통관 기록 정보를 지역 문제없이 송/수신하는 부분이다.

통관 시스템(D)은 세관에서 관리 중인 통관시스템을 포함하여 무정차 통관시스템에 활용한다. 통관시스템을 활용하는 것은 기존의 시스템에서 수정을 가하는 것이 아닌 데이터만 활용한다. 무정차 통관시에 물품 반입에 대한 데이터가 실시간으로 공유되어야 하며 물품 반입과 동시에 이전 세관에서의 통관 정보 및 스마트 IoT 센서 데이터와 E-B/L의 대조로 수입 신고가 동시에 일어난다. 물품 반출 시에는 물류 상의 이상이 없을 시에 실시간 반출을 통하여 다음 통관으로 이어진다. 이후 수출 신고를 통하여 해당 세관에서의 통관이 성공했음을 블록에 기록하여 블록체인상의 회원국의 단말기에 전파한다.

통합 모니터링 시스템(E)은 기존 시스템을 통합 모니터링하는 체계를 구성하면 실시간 데이터 공유에 대한 흐름을 볼 수 있으며, 이상 현상 감지가 편리하다. 문서 공유 모니터링으로 통합 물류 시스템, 통관시스템에서 공유된 데이터를 모니터링하여 데이터 공유 시의 장애 여부를 관찰할 수 있다. 리소스 모니터링으로 단말기(터미널 노드)에 대한 리소스 모니터링을 수행한다. 각 통관 지역의 문제 상황을 조기에 파악하여 해결할 수 있다(화차 정보, 외관 상태, 개폐 상태 등 표시). 최종적으로는 대시보드 형태로 데이터 흐름에 대한 시각화된 형식(예: 비정형 데이터, 빅데이터)으로 가공한다. 또한, 블록체인 네트워크상의 원장(블록) 기록에 대한 문제점

을 파악할 수 있다.

블록체인 시스템(F)은 기존의 통합 물류 시스템 및 통관시스템은 그대로 활용하며 필요한 데이터만 온체인에서 블록에 저장하며 체인 형태로 오버레이 구성한다. 이때 사용하는 프레임워크는 Hyperledger Fabric이며, 합의 알고리즘은 Hyperledger Fabric에서 지원하는 것으로 채택한다. Hyperledger Fabric : Hyperledger Fabric을 이용해 공급망 프로세스를 완전히 디지털화하고 무정차 통관 프로젝트를 진행한다. 전 세계를 철도로 이동하는 수많은 컨테이너 관련 데이터를 더 효과적으로 관리, 추적하고 궁극적으로 거래 업체 간 정보 공유를 더 안전하고 투명하게 만드는 것이 목적이다. 컨테이너에 대한 트래픽이 많으면, 쿠버네티스(Kubernetes)는 네트워크 트래픽을 로드밸런싱하고 배포하여 배포가 안정적으로 이루어질 수 있다.

또한 쿠버네티스는 실패한 컨테이너를 다시 시작하고, 컨테이너를 교체하며, '사용자 정의 상태 검사'에 응답하지 않는 컨테이너를 죽이고, 서비스 준비가 끝날 때까지 그러한 과정을 클라이언트에 보여 주지 않는다. 블록 전파는 브로드캐스팅(Broadcasting) 방식이며 특정 호스트가 전송한 데이터가 네트워크에 연결된 모든 호스트에 전달된다. 브로드캐스팅 방식은 네트워크의 모든 호스트를 하나의 전송 매체로 연결하므로, 중개 기능을 수행하는 교환 호스트가 필요 없다. 네트워크의 모든 호스트가 하나의 전송 매체를 공유하므로 임의의 송신 호스트에서 보낸 데이터가 네트워크의 모든 호스트에 전달된다.

이후의 과정은 블록체인상에서 이뤄지는 거래 내역은 참여자들이 모두 기록하고 관리하는 거래 컨셉이다. 우선 하나의 거래가 블록체인 네트워크로 브로드캐스팅되면, 검증인(Validator)은 이 거래를 검증하는 작업을 수행한다. 이와 함께 하나의 블록이 생성되며 기존의 블록에 연결된다.

### 3.3 블록체인 기반 철도화물 자동화 통관 체계 구성

Hyperledger Fabric의 스마트컨트랙트는 체인코드로 작성되며 해당 응용 프로그램이 원장과 상호 작용해야 할 때 블록체인 외부의 응용 프로그램에 의

해 호출된다. Hyperledger Fabric은 네트워크를 시작한 사람이 참가자들 사이에 존재하는 관계를 가장 잘 나타내는 컨센서스 메커니즘을 선택할 수 있도록 설계되었다. 프라이버시와 마찬가지로 다양한 요구사항이 있다. 관계에서 고도로 구조화된 네트워크에서 Peer-to-peer 네트워크로 전환한다.

그림 2는 Hyperledger Fabric을 사용하여 그림 1 무정차통관 체계를 시스템으로 구성한 내용이다.

- 본 논문에서 제시하는 Hyperledger Fabric 기반 시스템에서는 자체적으로 인증기관(Fabric CA)을 생성하고 운영할 수 있는 기능을 제공한다. 운영 환경에서는 보안 통신을 위해 TLS 기반의 CA를 구성하고 생성한다. CA는 각 노드별 인증서뿐만 아니라 각 Organizational Units의 구성 단계에 사용하는 MSP(Managed Service Provider)를 관리한다. Org의 관리자 인증서와 Org 및 하위 피어들의 MSP 정보들을 생성한다. 협력국이 추가될 경우에도 이 CA를 통해 인증서를 생성한다.
- 방화벽에 대한 부분은, Hyperledger Fabric 노드 간 통신, 그리고 외부에 SDK를 두고 이를 이용하여 방화벽 내부의 패브릭 노드와 통신을 하고자 하는 경우 등 방화벽은 전체 시스템 설계 과정에서 고려하여야 한다.

- 쿠버네티스를 이용하면 네트워크를 더욱 효율적으로 구성할 수 있다. 시스템의 구성에 앞서 업무 유즈케이스(Usecase)와 관련 법규 등을 고려한 디자인이 선행되어야 하며 Hyperledger Fabric에서는 운영환경에서는 쿠버네티스를 함께 적용한다.
- 제안하는 시스템에서는 3개 이상의 홀수 개 노드를 구성하여야 한다. 운영환경에서는 최소 5개에서 7개의 오더러 노드(Orderer node)를 분산하여 구성하는 것이 좋다. CA는 피어의 10분의 1 정도의 리소스를 할당한다. 특히 MSP, 원장, 체인코드 등의 데이터가 컨테이너 내부 파일 시스템이 아닌 클라우드 혹은 별도의 안전한 서버의 Persistent Volume에 분산 저장 관리될 수 있어야 한다. 컨테이너에 장애 또는 삭제가 일어날 경우를 방지해야 한다.

### 3.4 블록체인 기반 철도화물 자동화 통관 프로세스

그림 2와 3은 본 논문에서 제시하는 3.2 블록체인 기반 철도화물 자동화 통관 체계를 토대로 실제 통관 상황을 수행하기 위한 전체적인 시나리오를 구성하였다.

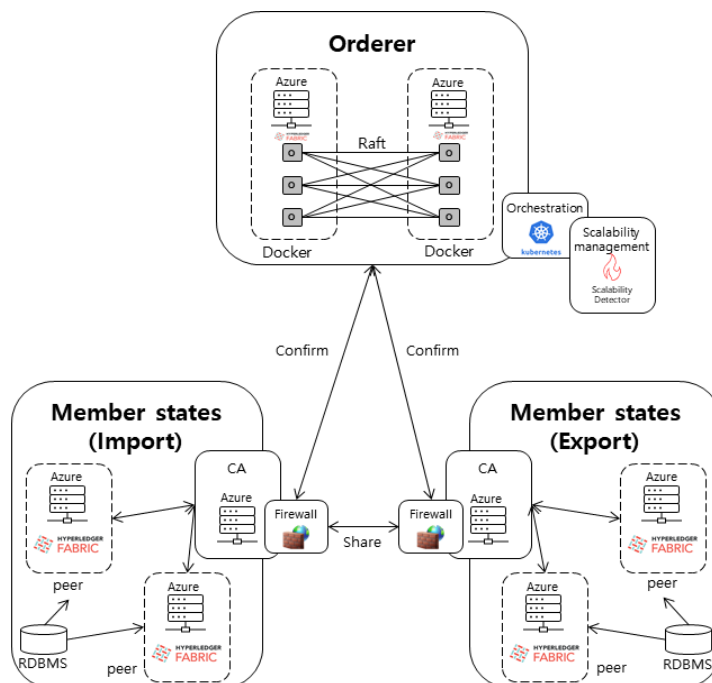


그림 2. 블록체인 시스템 구성  
Fig. 2. Configuration of blockchain system



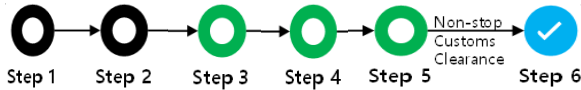


그림 3. 무정차통관 순서 시나리오  
Fig. 3. Scenarios of non-stop railroad logistics customs clearance

그림 2의 무정차 통관 시나리오는 6가지 Step으로 나누어져 있다. 먼저 Step 1 무역 계약 체결 단계에서는 수출상과 수입상의 철도 물류 이동 무역 계약이 스마트컨트랙트를 통해 체결되며 무역 협정 회원국의 세관에 통관 예정 정보가 전송된다. Step 2 E-B/L 전파 단계는 무역 계약 정보가 철도사에 B/L이 작성되어 전송되면, E-B/L로 변환되어 블록체인 네트워크 블록에 기록이 된다. 이 블록은 철도 물류/통관 관계 기관에 공유된다. 이어서 Step 3 통관 정보 수신 단계인 이전 통과역의 통관 성공 여부를 현재 통관역에서 수신하는 절차가 끝나면 Step 4 IoT 화물 검수 과정으로 넘어가게 된다. 이 Step에서는 운행 과정 중에 E-B/L과 IoT 센서 대조를 통하여 통관역 통과 전에 화물 검수를 자동화한다. 마지막으로 Step 5 최종 검증 단계에서는 통관역에서 화물 검수 데이터와 최종적으로 데이터 교차 검증 후에 이상이 없을 시에 무정차 통관을 수행하여 Step 6 무정차 통관이 완료된다.

그림 3은 그림 2의 무정차 통관 시나리오에서 정상적으로 데이터 수신에 불가능한 경우에 대하여

예외처리가 포함되었다.

한편, 그림 4에서의 시나리오는 Step 3 이후의 특정 경우에 무정차 통관이 불가능하거나 실패하였을 때 예외적으로 진행되는 과정이다. 먼저 Step 1 무역 계약 체결이 체결되며 수출상과 수입상의 무역 계약이 체결되어 전파되는 과정이 끝나고 나면 Step 2 E-B/L 전파 단계에서 E-B/L이 기록된 블록이 철도 물류/통관 관계 기관에 공유되는 과정까지는 그림 2와 같다. 이후 분기점이 되는 Step 3 통관 정보 수신 단계에서 이전에 통과한 역의 통관 성공 여부를 현재 통관 역에서 수신 실패할 경우 간격을 두고 재수신을 요청한다. 이 재수신 과정에서 통관 데이터를 수신하면 Step 4로 정상 진행한다. 하지만 통관 데이터 수신 불가능할 경우 Step 3-2 실제 통관을 진행한다.

또한 Step 4 IoT 화물 검수 과정에서 통관역 전에 IoT 센서로 해당 물류에 대한 검수가 실패 할 경우에는 먼저 통합 모니터링 시스템을 통해 H/W 리소스의 상태를 확인한다(Step 4-1 리소스 모니터링). 그리고 검수가 실패한 요인에 따라서 case 별로 재검수를 수행한다(Step 4-2 IoT 센서 재검수). 그럼에도 불구하고 Step 4의 루프에서 장애가 해결 되지 않을 시 실제 통관을 진행한다(Step 4-3 실제 통관). 결국에 Step 5 기존의 통관 프로세스를 진행하는 과정이다.

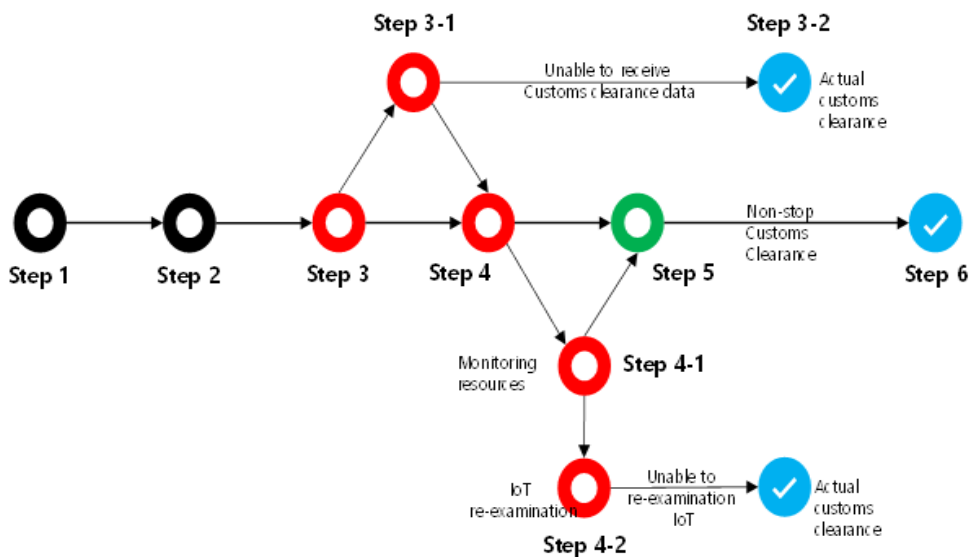


그림 4. 장애 발생 시의 예외처리가 포함된 무정차통관 순서 시나리오  
Fig. 4. Non-stop railroad logistics customs clearance scenarios with failure exception handling

### 3.5 블록체인 기반 철도화물 자동화 통관 제안 프로세스 평가 기준

블록체인 활용이 배제되는 이유 중 하나인 확장성은 네트워크 사용자 수의 증대에 유연하게 대응할 수 있는 정도이다. 블록체인에서의 확장성 문제라 함은 자원(마이닝 노드, 코어 수) 증가에 따라 트랜잭션의 처리속도(TPS)가 증가하지 않는 문제를 말한다.

때문에 각국이 연결된 형태의 분산 처리 업무의 진행 상황에 따라 증가하는 노드의 크기와 늘어나는 원장 크기를 잘 관리할 수 있어 확장성을 유지하기 위하여서는 표 2와 같이 블록생성 시간, 블록 최종확정에 걸리는 시간, 그리고 Transaction 양등을 측정하게 된다.

#### IV. 결론 및 향후 과제

물류 운송체계에 있어 블록체인 활용 시도는 초기 단계이다. 특히 철도 물류 운송 절차에는 블록체인 기술을 적용한 사례가 드물지만, 스마트컨트랙트로 프로세스가 자동화될 시에는 신용장 자동개설 및 서류 자동화(보험가입, 통관서류, 매입서류, 대금 청구등)가 가능하다. 이런 스마트컨트랙트를 기반으로 무정차 통관이라는 편리하고 빠른 페이퍼리스 무역 통관이 가능하다. 동일한 무역정보를 동시에 다수의 유관 기관에서 필요시에 열람이 가능하다. 즉, 절차가 단순해지고 수수료 등 부가비용을 줄일 수 있으며, 관련 서류도 더욱 안전하게 보관할 수 있다. 유사 연구 사례로 대한민국 정부의 민관 합동

해운물류 블록체인 컨소시엄의 시범 사업이 이미 시행되고 있는 것에서 확인 가능한 블록체인 기반의 물류 환경이 구축되면, 수출 통관 서류 절차가 간소화되며 정보의 신뢰성과 정확성 확보가 가능해진다.

따라서 본 연구는 블록체인 기술을 철도 물류 통관 적용에 관한 세부적인 연구에 앞서 기초적인 연구이다. 본 논문은 기존의 국제철도 협력기구, 국제철도화물 운송 협정에서 블록체인 도입 가능성을 제시한다. 블록체인이 물류 시스템에 적용 혹은 연구 중인 사례와 동향에 대한 분석으로 국제철도 통관업무에 무정차통관 체계로의 적용 방향성을 제안하였다. 블록체인 원천기술 연구 및 개발, 표준 프레임워크 개발을 비롯하여 기존의 국제철도 협력기구의 회원 중심 조직을 블록체인상에서 관리하는 방법 등의 고도화 연구를 기대할 수 있다.

Hyperledger Fabric 기반 기술을 이용해 철도로 운송되는 무역거래와 선적, 그리고 운송 과정에 필요한 수많은 서류와 승인정보를 관리 및 처리함으로써 시간과 비용을 크게 줄이는 것을 목표로 한다. 기존에는 세관, 운송업체, 수입업체, 정부에 이르기까지 운송 참여자 간 거래가 발생하는데, 수작업을 통해 공유되는 경우에는 오류가 빈번하다.

글로벌 컨소시엄의 궁극적인 목적은 운송정보 파이프라인 구축과 페이퍼리스 무역을 실현하기 위해 블록체인 플랫폼 구축하는 것이다. 이를 통해 화물 운송 절차가 단순화되고 투명성이 제고될 수 있다. 특히 간소화되고 개선된 공급망을 통해 다양한 우발적 상황들에 예측이 가능해지며, 불필요한 재고도 줄일 수 있게 될 것이다.

표 2. 제안 프로세스 평가 기준

Table 2. Evaluation criteria of proposed process

Sample definition and measurement method		
Key performance indicators	Sample definition	Measurement method (standard, environment, calculation of result, etc.)
Block creation time	The minimum waiting time for processing and storing based on transaction	Transaction time, Average waiting time = block creation time / 2
Final confirmation time	Waiting time to confirm the completion of transactions in the major fork	Final confirmation time = N (reliability) * block creation time
Transaction	Transaction processing speed	TPS = Number of transactions in the last block / block creation time

블록체인 플랫폼의 도입으로 해운 기업이 기존보다 훨씬 더 적은 비용으로, 빠르게 자사 관련된 모든 화물의 이동 경로를 실시간으로 추적할 수 있으며 상품생산자, 포워드, 수화인, 관세청 등 모든 이해 관계자들이 화물의 흐름을 한눈에 파악하고 위변조 없는 운송거래 환경을 실현할 수 있다.

신뢰할 수 있는 정보가 부족해 세관 통관 시 높은 검사율에 따라 전체적인 운송 절차가 지연되고 이에 따라 높은 관리비용이 드는 등 여러 불편함이 있다. 무역업자, 운송업자, 세관 등 공급 망에 있어 모든 당사자를 무정차 통관 체계에 통합시키고, 화물 정보, 무역 서류, 세관 신고, 센서 관독 등을 실시간으로 기록해 모든 정보는 당사자가 안전하고 빠르게 공유할 수 있도록 설계한다.

추후 연구범위로는 본 제안 연구에 제시된 체계의 고부하, 확장성, 소요 비용, 리소스 사용 지표를 사용하는 실험하는 과정에 대하여 실험을 진행하며, 무정차 통관 시나리오 기반으로 검증을 수행한다. 뿐만 아니라, 광범위 시뮬레이션을 위해서 NS3 기반의 블록체인 네트워크를 모의할 계획이 있다. 이는 기본 네트워크 설계는 M&S에 기반할 생각이며, 실제 구현이 필요한 노드에 대해서는 가상머신 또는 도커(Docker) 기반의 실질 정보체계를 오픈소스 기반으로 구현하여 모의할 계획이다. 이를 통해서 가상의 네트워크와 실질 정보체계의 모의를 통해서 기초적인 네트워크 품질 테스트(QoS등), 정량결과(Jitter, Delay, PDR등) 및 실제 운용 개념을 정립할 예정이다.

## References

- [1] T. H. Kang, "Eurasia Initiative and East Sea Rim Maritime Community, Serial, Korea Institute for Maritime Strategy, Vol. 18, No. 2, pp. 144-176, Sep. 2015. <https://doi.org/10.22803/strategy21.2015.s37.144>.
- [2] H. B. Choi and S. B. Choi, "A Study on the Efficient Methods of Rail Transport Network under the Eurasia Initiative", Korea Trade Research Association, Vol. 41, No. 3, pp. 109-133, Jun. 2016.
- [3] Satoshi Nakamoto, "A peer-to-peer electronic cash system", [https://bitcoin.org/bitcoin.pdf\(2008\)](https://bitcoin.org/bitcoin.pdf(2008)), Aug. 2008.
- [4] Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen, and H. Wang, "An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends", In 2017 IEEE international congress on big data (Big Data congress). IEEE, Honolulu, HI, USA, pp. 557-564, Jun. 2017. <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>.
- [5] J. H. Jo, S. B. Yoo, S. M. Yoo, and A. S. Son, "Contract Platform in a Blockchain-based Decentralized Identity Environment", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 18, No. 12, pp. 131-139, Dec. 2020. <http://doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.12.131>.
- [6] G. Foroglou and A. Tsilidou, "Further applications of the blockchain", In 12th student conference on managerial science and technology, Athens, Greece, pp. 1-8, May 2015.
- [7] G. Peters, E. Panayi, and A. Chapelle, "Trends in cryptocurrencies and blockchain technologies: A monetary theory and regulation perspective", Journal of Financial Perspectives, Vol. 3, No. 3, pp. 92-113, Aug. 2015. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2646618>.
- [8] C. Noyes, "Bitav: Fast anti-malware by distributed blockchain consensus and feedforward scanning", arXiv preprint arXiv:1601.01405, Jan. 2016.
- [9] OSJD official website, <https://en.osjd.org/>. [accessed: Oct. 20, 2021]
- [10] OSJD official website, Members of the Ministers Conference- <https://en.osjd.org/en/9182>. [accessed: Oct. 20, 2021]
- [11] OTIF official website, About OTIF- [https://otif.org/en/?page\\_id=15](https://otif.org/en/?page_id=15). [accessed: Oct. 20, 2021]
- [12] OTIF official website, Mission- [https://otif.org/en/?page\\_id=3](https://otif.org/en/?page_id=3). [accessed: Oct. 20, 2021]
- [13] OTIF official website, Activities- [https://otif.org/en/?page\\_id=19](https://otif.org/en/?page_id=19). [accessed: Oct. 20, 2021]

- [14] OTIF official website, Members- [https://otif.org/en/?page\\_id=51](https://otif.org/en/?page_id=51). [accessed: Oct. 20, 2021]
- [15] TRACECA official website, Countries- <http://www.traceca-org.org/en/countries/>. [accessed: Oct. 20, 2021]
- [16] CIT official website, CIT Members- [https://www.cit-rail.org/secure-media/files/divers/members\\_2021-09-01.pdf?cid=254164](https://www.cit-rail.org/secure-media/files/divers/members_2021-09-01.pdf?cid=254164). [accessed: Oct. 20, 2021]
- [17] CCTT official website, <https://en.icctt.com/plenary-meetings>. [accessed: Oct. 20, 2021]
- [18] Development of Phased Rehabilitation and Modernization Plan for the year 2005, 2010 and 2020, Japan International Cooperation Agency, [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11661550\\_01.p](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11661550_01.p).
- [19] J. S. Kim, S. C. Kim, and N. J. Park, "Blockchain-based Product Carry-in/out Management Mechanism", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 19, No. 1, pp. 131-138, Jan. 2021. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2021.19.1.131>.

저자소개

김도훈 (Dohoon Kim)



2005년 : 고려대학교  
수학전공/컴퓨터학과 (이중전공)  
공학사  
2007년 : 고려대학교 컴퓨터학과  
(전산학) 공학석사  
2012년 : 고려대학교  
컴퓨터·전파통신학과 (컴퓨터학)

공학박사

2012년 ~ 2018년 : 국방과학연구소 선임연구원

2018년 ~ 현재 : 경기대학교 AI컴퓨터공학부

컴퓨터공학전공 교수

관심분야 : 사이버보안, 블록체인, 악성코드분석

김백현 (Baekhyun Kim)



1994년 : 인하대학교  
전자공학과(공학사)  
1996년 : 인하대학교 전자공학과  
(공학석사)  
2003년 2월 : 인하대학교  
전자공학과(공학박사)  
2003년 3월 ~ 현재 :

한국철도기술연구원 철도인공지능연구실 책임연구원  
관심분야 : 인공지능, 철도통신, 열차제어, 자율주행

전홍규 (Hong-Kyu Jeon)



2003년 : 서울대학교  
생물자원공학부(농업기계전공)  
공학사  
2009년 : 서울대학교  
기계항공공학부(석박사통합과정)  
공학석박사  
2010년 ~ 현재 : 한국철도기술

연구원, 철도인공지능연구실 선임연구원  
관심분야 : 철도기술, 열공학, 인공지능

원종운 (Jong-Un Won)



1996년 : 한국해양대학교  
제어계측공학과 공학사  
1998년 : 한국해양대학교 대학원  
제어계측공학과 공학석사  
2004년 : 경북대학교 대학원  
전자공학과 공학박사  
2005년 ~ 현재 : 한국철도기술

연구원 철도인공지능연구실 실장  
관심분야 : 영상처리, 블록체인, 인공지능