

AHP를 이용한 블록체인 철도분야 적용 우선도에 대한 연구

Study on the Priority of Blockchain Adoption to Railway System through AHP Method

한수민(Sumin Han)*, 원종운(Jongwon Won)**, 장태우(Tai-Woo Chang)***, 이 석(Seok Lee)****

초 록

2007년에 제안된 블록체인은 곧이어 실제 서비스에 적용되기 시작하였다. 철도 시스템은 철도 건설 및 철도 서비스로 대표되는 분야에 관련된 다양한 분야를 포괄하고 있는데, 분야의 특성상 공공성이 강한 철도 시스템의 경우, 블록체인을 적용하여 많은 이점을 얻을 수 있을 것으로 기대되고 있다. 그러나 시간과 자원의 제약이 있어 이들 모두에 블록체인을 바로 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 이들 중에서 블록체인을 적용할 서비스나 기능을 도출하고, 우선 적용할 대상을 선정하기 위한 연구가 필요하다. 블록체인 우선 적용 대상 선정에는 다양한 평가 기준이 존재하므로, 체계적인 고려가 필요하다. 본 연구에서는 AHP를 적용하여 평가기준에 대한 가중치 산출 및 적용 대상에 대한 체계적인 평가를 시도하였다. 본 연구의 결과를 통하여 차세대 철도 시스템 로드맵 작성에 도움이 될 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Blockchain was proposed in 2007 and began to be applied to actual services soon afterward. The railway system covers railroad construction and railway services. Because of the public characteristics of the railway system, it is expected that significant advantages can be obtained through the introduction of blockchain. Many benefits can be gained by applying the blockchain to them, but it is impossible to apply the blockchain to every part immediately due to the limitations of time and resources. Therefore, it is necessary to derive services or functions to which the blockchain will be applied and to select the part of them first. Since there are various evaluation criteria to derive the priority of blockchain adoption, systematic consideration is required. In this study, AHP was applied to calculate weights for evaluation criteria and systematical evaluation. Through the results of this study, it is expected that it is possible to build a roadmap for a next-generation railway system.

키워드 : 블록체인, 철도 시스템, 철도 서비스, 철도 건설, AHP

Blockchain, Railway System, Railway Service, Railroad Construction, AHP

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

* First Author, Ph.D Course, Department of Industrial Engineering, Seoul National University
(hans8501@snu.ac.kr)

** Corresponding-Author, Principal Researcher, Korean Railroad Research Institute(juwon@krri.re.kr)

*** Co-Author, Professor, Department of Industrial & Management Engineering, Kyonggi University
(keenbee@kgu.ac.kr)

**** Co-Author, Principal Researcher, Korean Railroad Research Institute(slee@krri.re.kr)

Received: 2020-10-06, Review completed: 2020-11-03, Accepted: 2020-11-10

1. 서 론

블록체인은 2008년에 기본 이론이 제시되고, 2009년에 도입된 비트코인에서 실제 구현되어 실현될 수 있다는 사실이 입증되었다. 블록체인은 관리 대상 데이터를 ‘블록’이라고 하는 소규모 데이터로 나누어 P2P 방식을 기반으로 생성된 체인 형태로 저장하는 기술로서, 분산 데이터 저장 환경에 저장하여 임의로 수정할 수 없고 누구나 변경의 결과를 열람할 수 있는 분산컴퓨팅 기술 기반의 데이터 원장 관리 기술이다. 이는 근본적으로 분산 데이터 저장기술의 한 형태로, 지속적으로 변경되는 데이터를 모든 참여 노드에 기록하는 과정을 통하여 데이터의 손상에 대비하고, 체인 형태의 변경 리스크를 적용하여 임의의 데이터 수정은 체인 링크를 유지하지 못하도록 하여 분산 노드의 운영자에 의한 임의 조작이 불가능하도록 고안되었다.

초기의 블록체인 활용은 비트코인의 영향으로 인해 주로 암호화폐 분야에 집중되어 왔으나, 프라이빗 체인(Private chain)과 다양한 상황을 인지하고 조건에 따라서 작업을 수행하게 하는 스마트 계약(Smart contract), 노드의 권한을 다양하게 설정하는 형태의 네트워크 등 초기의 비트코인 네트워크의 한계를 넘은 다양한 형태의 블록체인이 등장하고 있다.

다수의 참여자가 동시에 데이터를 관리하는 블록체인의 구조적인 특성상 블록체인으로 관리되는 데이터는 위조 및 변조를 방지할 수 있는 보안성, 데이터를 저장하고 있는 하드웨어의 일부가 물리적인 고장 등으로 사용할 수 없어도 사용이 가능하다는 안전성, 참여자 전부가 데이터를 확인할 수 있다는 점에서 오는 투

명성을 가지게 된다. 이러한 블록체인의 특성으로 인하여 다양한 산업에서 블록체인의 응용이 시도되고 있다.

이 중에서도 철도 시스템에 블록체인을 적용하여 철도 시스템의 투명성, 보안성, 안전성을 높이기 위한 시도는 전 세계적으로 이루어지고 있으며, 한국 역시 이 흐름에서 예외는 아니다. 공공성이 높은 철도는 대중교통에서 중요한 역할을 수행하는 이동 수단으로서, 장거리 이동에서는 비행기나 선박에 비해서 높은 비중으로 이용되고 있는 대중교통 수단이며, 시내의 단거리 이동에서도 무시 못 할 비중을 차지하고 있기 때문이다[2].

철도 시스템은 서로 다른 기능을 수행하는 다양한 세부 시스템으로 구성되어 있으므로, 동시에 모든 시스템에 블록체인을 적용하는 것은 개발력과 예산의 제약 때문에 불가능하다. 따라서 철도 시스템의 다양한 세부 시스템 중에서 어느 부분에 블록체인을 먼저 적용할지의 선택에 대한 고려가 필요하며, 도입의 난이도, 효용 및 예상 비용과 같은 다양한 요소가 고려사항에 포함된다.

본 연구에서는 세부 시스템 중 어떤 부분에 블록체인을 우선 적용할지에 대한 의사결정을 위해, AHP(Analytic hierarchy process)를 적용하여 의사결정 과정의 다양한 요소를 고려하고, 이를 통하여 블록체인을 우선 적용해야 할 세부 시스템을 선정하였다. AHP는 다양한 평가 기준이 존재하며 평가 기준의 정량화가 힘든 의사결정 상황에 주로 적용되는 평가 기법으로서, 본 연구의 주제와 같이 정성적인 평가가 주로 이루어지는 상황에서 적합하다는 장점을 가지고 있는 점을 고려하여 본 논문에서 적용되었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 기존 연구와 철도 분야의 블록체인 적용사례를 다룬다. 제 3장에서는 철도의 세부 시스템 및 블록체인 적용 가능성에 대해서 설명하고, 제 4장에서는 AHP 적용을 위한 설문조사의 상세에 대해서 논한다. 제 5장에서 실제 조사결과를 분석하고, 제 6장에서 결론을 제시한다.

2. 선행 연구 및 적용사례

2.1 선행 연구

블록체인에 대한 연구는 금융 외에도 다양한 분야에서 수행되고 있으며, 철도 시스템에 블록체인을 접목하기 위한 연구는 티켓팅이나 세관업무, 모니터링 및 통제 시스템 중심으로 수행되고 물류 시스템 개념에서 적용되고 있다.

Naser는 철도분야에서의 잠재적 블록체인 응용분야에 대한 연구를 수행하였으며, 공급망 전체 매핑, 내부 회계 프로세스 자동화, 기계와 물체 간 계약 및 신호 관리, 여객정보 시스템, 티켓팅, 상품배달 관리 등에 대해서 적용이 가능하다는 분석을 제시하였다[15].

Preece and Easton[17]은 철도산업에서 블록체인 기술을 활용할 수 있는 분야에 대해 연구했는데, 디지털 티켓팅을 통해 티켓의 유효성을 검증하는 시스템, 유지보수에서의 스마트 계약 시스템을 대표적인 분야로 제시하였다. 이들은 블록체인의 장점으로 데이터 상호운용성을 제시하였고, 분산형 스토리지가 기존의 방법에 비해 우위에 선 장점에 대해 분석하였다. 이들이 수행한 블록체인 기술을 활용한 디지털 티켓팅 플랫폼에 대한 연구는 IBM의 하이퍼렛저 플랫폼

에 기반을 두어 설계하였으며, 이 과정에서 사용자의 경험 및 기존의 디지털 티켓과의 조화 등 다양한 고려사항을 논의하는 모습을 보여주었다[19].

Kuperberg et al.[11]은 블록체인 기반 분산형 철도 제어와 프로토타입 구현에 대한 연구를 수행하였다. 이들은 기술적 분권화를 바탕으로 다중 노드에 기반을 둔 전체 시스템 아키텍처를 제시하였고, 실제 훈련 시설에서 프로토타입을 구현하여 제시한 개념이 실제로 구현 가능함을 보였다. 또한 제시한 프로토타입을 통해 특정 경로의 티켓 예약 등과 같은 분야에서 스마트 계약을 수행할 수 있음을 보였다.

Sturmanis et al.[20]은 철도 세관 절차에서의 블록체인 적용에 대한 연구를 수행하였으며, 경제적인 효과 및 실무자들의 반응에 대해 연구하여 현실적인 적용 가능성에 대한 분석을 제시하였다. 4가지 방법의 블록체인 적용 방법을 대상으로 하여, 이들의 도입을 위한 전환비용 및 실제 거래 시에 필요한 거래비용의 측면에서 분석을 수행하였다. 그리고 실무자의 반응을 분석하고, 변화에 대한 이들의 저항 및 신기술에 대한 선호도에 대해서 분석하였다.

Muniandi[14]는 블록체인에 기반을 둔 철도 경합 관리 시스템에 대해 연구하였다. 이들은 기존 철도 시스템 관리에서 존재하는 철도 시스템 할당 문제를 블록체인, 가상연결(Virtual Coupling), 무선폐색센터(Radio Block Center), 열차가 보내오는 상태 신호, 열차자동운전장치 제어 알고리즘, 5G를 사용한 train to track, track to track 방법의 조합으로 풀이하는 시스템을 제시하였으며, 이들의 효용을 시뮬레이션 실험을 통하여 검증하였다.

Zhang et al.[23]은 컨소시엄 블록체인과 무선 센서네트워크를 기반으로 한 고속철도 환경 모니

터링 시스템을 제안했는데, 시스템의 신원인증 문제를 해결하기 위해 블록체인을 도입하는 방법을 제시하였다.

Hua et al.[7]은 고중량 화물을 나르는 철도(heavy haul rail) 시스템의 인공지능 제어 도입 시 데이터 부족의 난점을 해결하기 위하여 분산 머신러닝인 연방학습(Federal Learning) 프레임워크를 제시하였고, 스마트 계약을 사용하여 분산 머신러닝 간의 협력을 구현하였다. 또한 사용자의 개인정보 보호를 위해 블록체인 기반 연방학습 프레임워크를 제시하였다.

철도차량이나 자산의 관리를 위한 기술 적용도 연구되고 있다. Abbas et al.[1]은 철도차량 유지관리를 담당하는 이해관계자들의 신뢰를 높이기 위해 블록체인을 도입하기 위한 방안을 다뤘는데, 블록체인을 통하여 유지보수 이력을 기록·관리하고, 관리자의 승인을 얻도록 하는 시스템에 대해서 논하였다. McMahon et al.[13]은 철도산업 내 자산관리에서의 블록체인 적용에 대해서 연구하였다. 이들은 다양한 국가에서 철도 자산관리에 블록체인을 적용한 사례에 대해 조사·분석하였다.

물류 분야에서 블록체인 기술을 도입·적용하는 연구도 다수 수행되고 있다. Kim and Shin[23]은 콜드체인에서 스마트계약을 이용한 서비스 품질 측정 방안에 대해 연구하였다.

Koh et al.[10]은 교통·물류 패러다임을 알리는 핵심 개념과 방법에 대해 분석하고, 블록체인을 도입하여 Cross-border 관리, 신뢰, 표준화, 거버넌스 및 운영, 비즈니스 모델 등 다양한 측면에서 혁신을 수행할 수 있음을 제시하였다.

Hofman and Brewster[6]는 모빌리티와 물류를 위한 블록체인 기술 가능성 탐구에 대해 연구하였다. 항구에서 컨테이너를 내려 철도로

옮기는 과정에서의 스마트 계약 시스템과 물류 행정 문서의 관리 및 공유를 위한 블록체인을 제시하였으며, 이러한 시스템을 적용할 때 발생할 수 있는 이점을 유럽의 물류 시스템을 배경으로 하여 분석하였다.

Belul[2]는 국제무역 분야에서 블록체인 기술을 활용할 수 있는 잠재적 장점에 대해 연구했는데, 물류관리 부분의 투명성 증대와 이로 인한 다양한 이점에 대해서 논하였다. 전체 무역 과정 중 수출입 계약의 블록체인 적용에 대해 집중 분석하여, 금융문서의 실시간 검증과 증계를 위해 불필요한 과정의 제거 가능성 및 거래 위험성과 비용의 감소에 대해서 논하였다.

블록체인 기술의 적용을 위한 의사결정 연구도 진행되고 있다. 이중엽은 블록체인 활성화를 위한 기술 검토 및 적용 가이드라인 연구를 수행하여 블록체인 적용처 선정 시 필요한 평가지표 선정에 AHP를 적용하였으며, 델파이를 활용하여 블록체인 서비스의 효용을 평가하였다[12]. Orji et al.[16]은 화물물류산업에서의 블록체인 기술 채택에 영향을 미치는 요인의 기술, 조직, 환경을 고려하고 ANP(Analytic Network Process)를 적용한 우선순위를 고려하였다.

이와 같이 기존 물류시스템에 블록체인을 적용하기 위한 다양한 연구가 존재했으나, 철도 시스템 전체를 조망하여 이들에게 블록체인을 적용하기 위한 평가치 및 이점을 비교하고, 우선도를 검증하기 위한 연구는 드문 실정이다.

2.2 철도 분야의 블록체인 도입 사례

전 세계적으로 다양한 형태의 블록체인 시스템의 도입이 지속적으로 시도되고 있으며, 이는 철도 분야에서도 마찬가지이다.

영국에서는 여행 데이터의 수집을 통한 심층적 분석을 시도하기 위하여, 철도 여행 데이터의 공유 및 행동의 변화에 따른 블록체인 기반 보상 시스템을 도입하였다. 이를 통해 추후 블록체인 기반 솔루션을 이용하여 철도 시스템을 전면 교체하기 위한 사전 연구를 수행 중이다. 미국에서도 철도 화주와 철도사 간의 계약을 위한 블록체인 플랫폼을 도입하였으며, 선하증권의 정보 교환, 스마트 계약을 통한 화물 운송비용 및 수리비용의 처리 등의 업무를 블록체인을 통해 처리하는 것을 시도하고 있다[13].

독일의 경우, Deutsche Bahn(DB) AG 및 DB Systel GmbH에서 분산화를 기반으로 한 철도 제어용 블록체인 기반 프로토타입의 구현 결과를 제시하였으며, 스마트 계약을 기반으로 열차가 가능한 경로를 결정하고, 직접 예약이 가능하게 되었으며, 블록체인을 통해 통제 알고리즘을 훈련시키는 것이 가능하게 되었다. 또한, 여행 산업 전체에 적용 가능한 여행 산업 운영 생태계의 토근화를 시범 추진하고 있으며, 여행 범주 내의 다양한 부분을 블록체인을 통해 하나로 체계화하는 작업을 시도 중이다[22].

스위스 연방 철도청(SBB)은 블록체인 기반의 신원 확인 시스템을 개발하여 각종 철도 관련 건설 현장 인력의 출입 및 내부 이동 관리에 이용하고 있으며[4], 비트코인을 적용한 탑승권 판매를 허용하고 있다[22]. 러시아 철도청(RZD) 역시 블록체인을 이용한 탑승권 판매 시스템의 구축 및 할인 시스템의 투명도 개선을 시도하고 있으며, 블록체인을 통한 철도 시스템의 탄소 배출량 관리, 화물의 추적과 승객의 이동 추적 등의 적용도 시도하고 있다[5, 21]. 태국

국유철도(SRT)에서도 블록체인을 통한 티켓팅 및 고객정보 관리를 시도하고 있고, 중국은 선전 메트로, 중국 산업은행 등에서 블록체인 적용을 통한 철도 수송 화물의 관리를 시도하고 있다[13].

한국에서는 우정 및 물류산업 등 다양한 분야에서 블록체인 적용을 위한 시도가 이루어지고 있다[9, 17]. 철도 분야에서는 철도차량 제작사의 감리 과정의 데이터 및 이력 관리를 위한 형식승인제도의 관리나 철도를 통해서 운송되는 위험물의 이동이력 및 관리이력을 블록체인을 통해 수행하고자 하는 시도가 존재한다.

본 연구는 철도 분야에서 블록체인의 효율적인 적용을 위해 철도 시스템을 구성하는 상세 시스템 중 어느 부분에 블록체인을 적용하는 것이 나은지에 대한 연구를 수행하여, 기존의 물류 및 철도 시스템에 블록체인을 적용하기 위한 연구의 미비한 점을 보완하였다. 이 과정에서 기존의 철도 분야 블록체인 적용 사례를 참고하였으며, 이를 철도의 블록체인 적용 가능 분야를 도출하는 데에 참고하였다.

3. 철도의 블록체인 적용 분야

철도 산업의 생태계는 다양한 이해관계자가 참여하는 복잡한 구조로서, 운용 과정에서 참여자 간의 협력과 거래 및 작업의 경과가 관리되어야 한다. 따라서 철도 시스템 관리 업무 역시 다양한 세부 시스템이 활용되며, 이들 세부 시스템 각각에 블록체인의 적용이 가능할 것으로 예상된다. 철도 세부 시스템은 크게 철도 서비스 분야와 철도 건설 및 제작 분야로 나눌 수 있다.

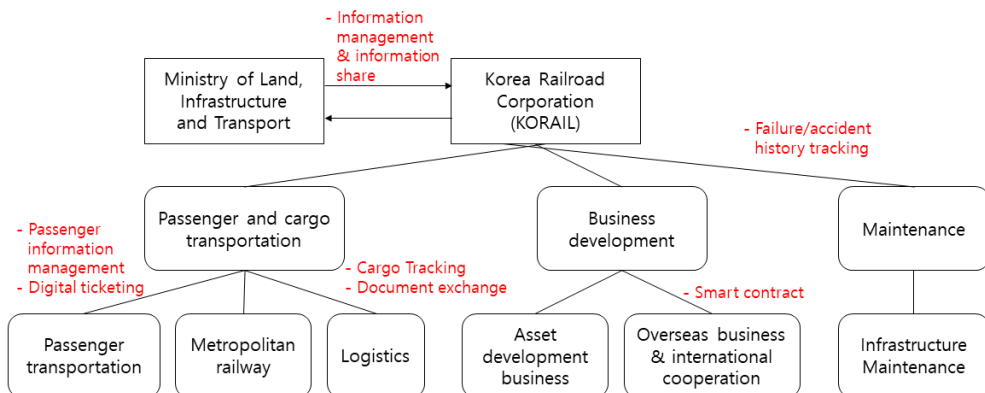
3.1 철도 서비스 적용 분야

철도 서비스는 여객 사업, 광역철도 사업, 물류사업 및 부대 서비스 사업 등을 모두 배경으로 하여, 철도 탑승권의 판매, 철도 시스템의 운영과 이를 지원하는 서비스를 제공하는 분야이다. 해당 분야에서의 블록체인 적용 가능 기능을 정리하면 <Figure 1>과 같다. 각 분야가 목표로 하는 것은 철도 서비스의 원활한 제공이며 관련 조직 역시 그에 맞추어 필요하므로, 철도공사의 조직도와 유사한 형태를 띤다.

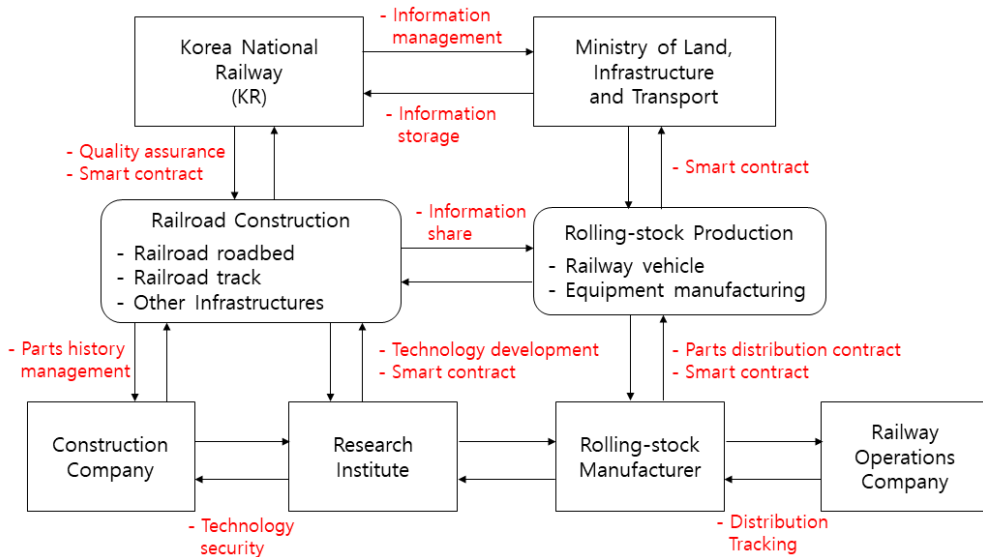
철도 서비스 분야는 불특정 다수의 고객을 대면하며 다양한 돌발 요소가 존재하는 현실에서, 철도 운행을 정시에 수행하고 돌발 상황에 대처하는 활동을 모두 포함하므로 관리에 큰 어려움이 존재한다. 이 분야에서는 탑승권 판매, 화물운송 관리 및 시설·차량 유지보수 부문에 적용이 가능할 것으로 기대된다. 이를 통해 혼란한 철도 시스템의 운용 과정에서 발생하는 다양한 정보를 신뢰성 있게 관리할 수 있고, 철도시스템의 투명성 확보 및 확보된 정보를 통한 새로운 서비스 및 관리 기법의 창출 등이 가능해질 것으로 기대된다.

3.2 철도 건설·차량 제작 적용 분야

철도 건설 분야는 크게 선로 건설과 철도 운영을 위한 부대시설의 건설을 수행하는 분야이며, 철도차량 제작 분야는 차량의 제작과 관련 설비와 장치의 생산을 담당하는 분야이다. 다양한 시설물과 철도차량의 건설과 관리를 수행하므로 다수 기업과의 협력이 필수적으로, 이로 인하여 해당 분야의 관리에 큰 어려움이 있는 상황이다. 예를 들면 국가철도공단의 경우 협력사 사업관리시스템으로 약 1,600개 철도건설 현장의 품질관리, 안전관리, 공정관리, 계약관리 등의 업무를 지원하는 시스템을 운영하고 있다. 해당 시스템에 블록체인을 적용하여 스마트 계약 기술을 적용한다면, 이전에 비해 효율적이고 안전하게 계약을 자동화할 수 있을 것으로 예상된다. 이를 통하여 차량 주요 장치의 상태정보를 실시간으로 제공하여 고장/사고 이력을 추적 관리하는 것도 가능할 것이다. 이와 같이 복잡한 철도 건설 및 차량 제작 분야에서의 블록체인 적용 가능 분야를 정리하면 <Figure 2>와 같은 형태로 정리할 수 있다.



<Figure 1> Blockchain Adoption in the Railway Service



〈Figure 2〉 Blockchain Adoption in Railroad Construction and Infrastructure

4. AHP 및 조사 방법

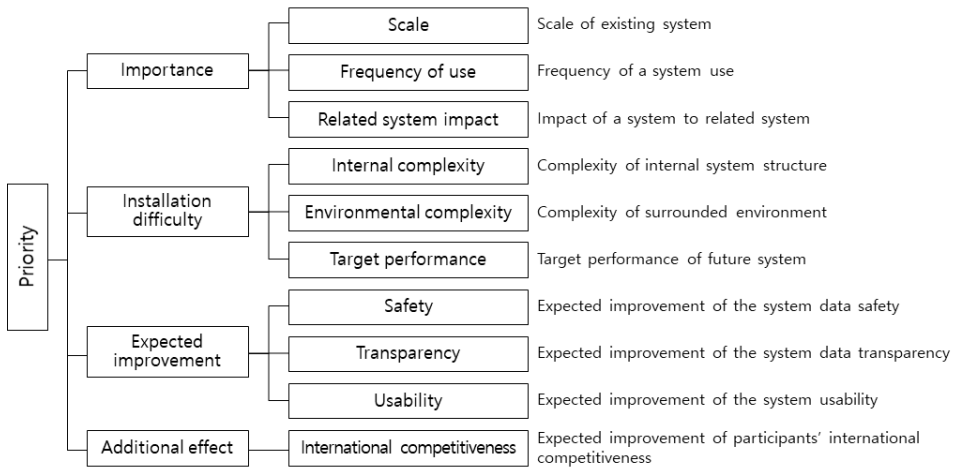
AHP방법론은 다수의 대안 중 하나를 정해야 하는 의사결정이 계층적 구조를 가진 다양한 평가기준에 기반을 두어 이루어지는 경우 사용가능한 의사결정 기법으로서, 평가 기준 및 대안에 대한 쌍대비교 결과를 분석하여 각 평가 기준 및 대안의 가중치를 분석하고, 쌍대비교 간의 일관성 계산을 통해 의사결정의 신뢰도를 계산하는 방법이다.

본 연구에서는 <Figure 3>과 같은 형태로 평가 기준의 계층구조를 작성하였다. 도입 우선도를 결정하는 평가 기준으로 크게 대상 세부 시스템의 전체 철도 시스템에서 얼마나 중요한 위치를 차지하고 있는지를 평가하는 시스템의 중요성, 해당 시스템에 블록체인을 도입하는 것이 얼마나 어려운지를 평가하는 도입 난이도, 블록체인 도입 시의 대상 시스템이 얻을 수 있는 다양한 효과에 대해서 평가하는 예

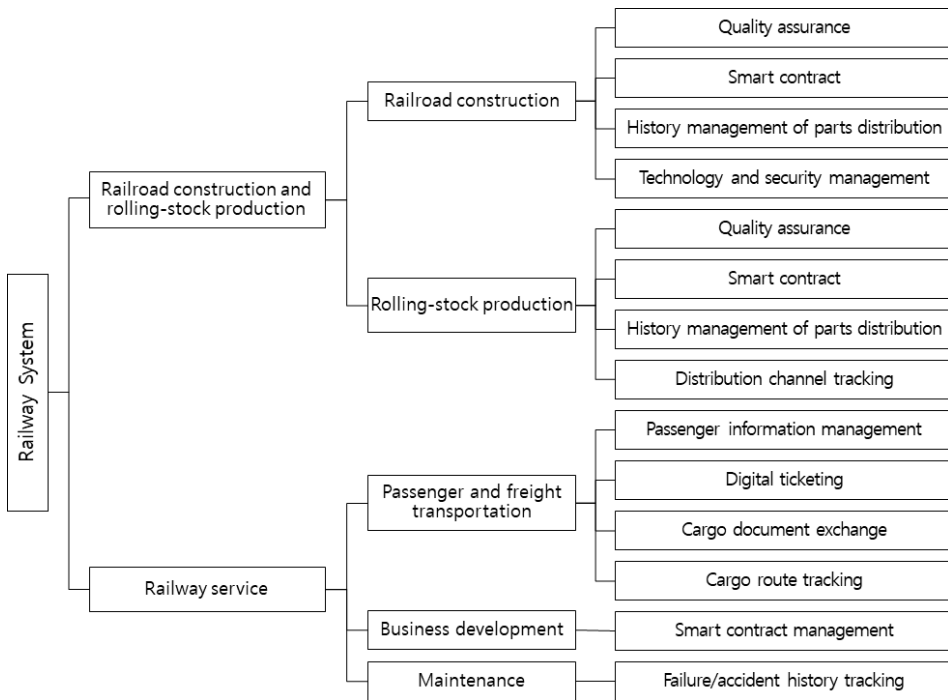
상 효용 및 기타 부가 효과로 나누어 구성하였다. 그리고 각 세부 분야의 하위 평가 기준을 추가하여 구성하였다.

AHP평가 수행 시에는 동일 계층에 위치한 평가 기준 간의 쌍대비교를 통하여 각 평가 기준 간의 가중치를 산출하여 의사결정 시 각 평가 기준이 동일 수준의 평가 기준과 비교할 때 얼마만큼의 중요도를 가지는지를 산출한다. 그리고 실제 의사결정 시에는 각 최하위 평가 기준 아래서의 대안 사이의 쌍대비교를 통하여 대안의 점수를 산출하고, 이를 가중합을 통하여 합산하여 최종 도입 우선도를 산출한다.

본 연구에서 논하고자 하는 블록체인 도입 시 고려해야 하는 대안에 대해서는 <Figure 4>와 같은 계층을 그리는 것이 가능하다. 정확한 비교를 위해서는 <Figure 4>의 모든 하위 시스템에 대한 쌍대비교를 수행해야 하지만, 쌍대비교의 특성상 대안의 숫자가 늘어날수록 비교 경우의 수도 기하급수적으로 늘어나, 일관적인



〈Figure 3〉 Hierarchy of Decision Criteria



〈Figure 4〉 Hierarchy of Sub-Systems in Railway System

비교를 수행하기 힘든 상황이 발생하기 쉽다. 이러한 문제점을 피하기 위해 본 연구는 최하위의 다양한 세부 시스템 중에서 중복되는 부

분이 많은 시스템을 통합하고, 우선도가 낮은 시스템은 제외하는 과정을 통해 <Table 1>의 4가지 대안을 선정하여 쌍대비교하였다.

〈Table 1〉 List of Subsystems for Priority Evaluation

Sub-system	Detail
S1. Contract management system	Contract management system with various external companies participating in railway construction, service provision, maintenance, etc.
S2. Quality assurance and parts history management system for rolling stocks and railroad infrastructures	History management of work and parts for quality assurance in railroad construction and maintenance stages
S3. Cargo route tracking	Cargo route tracking system for quality control of transportation services through railroad system
S4. Digital ticketing and passenger information management	Blockchainization of ticketing service for increased convenience and safety management of passengers using the railway system, and passenger location tracking and history management

“연구 우선도” 평가를 위한 평가 기준점 쌍대 비교 *

표의 각 행과 열의 항목에 대하여 “연구 우선도” 평가시의 중요도를 비교한 결과를 답변해 주시길 바랍니다.

	시스템의 중요도	도입 난이도	도입시 예상 효용	부가 효과
시스템의 중요도	-	(1)	(2)	(3)
도입 난이도	-	-	(4)	(5)
도입시 예상 효용	-	-	-	(6)
부가 효과	-	-	-	-

Mark only one oval per row.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(1)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
(2)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
(3)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
(4)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
(5)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
(6)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

〈Figure 5〉 Survey for AHP

이를 적용하여 <Figure 5>와 같은 설문지를 작성하였다. 9단계 리커트 척도를 통하여 설문하였으며, 철도 시스템 운영 및 구축 분야에서 다년간의 경험을 가진 전문가 및 현업 종사자들을 대상으로 하여 설문을 진행하였다. 설문

에 응한 전문가의 수는 총 20명이었다.

5. 설문 결과 및 분석

AHP 설문 결과, <Table 2>의 결과를 얻었다. 철도 차량 및 부대시설의 품질 검증 및 부품 유통이력 관리 시스템(S2)의 평균 순위가 가장 높았으며, 1위로 선정된 비율도 가장 높았다. 답변의 일관성 비교를 위하여 사용되는 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)은 비교 결과 행렬의 최대고유값을 사용하여 계산되는데, 1위로 선정한 사람들의 평균 CR값도 가장 작아 선택한 사람들이 가장 일관적으로 선택했다는 결과를 얻었다. 그 외에는 계약관리시스템(S1) 및 화물 유통경로 추적(S3)이 그 뒤를 이었으며, 이들의 CR값 역시 0.1보다 작아 답변에 충분한 일관성을 나타낸 것으로 평가된다.

〈Table 2〉 Result of AHP

Sub-system	Average ranking	Standard deviation	Percentage of 1 st rank	Average CR
S1	2.475	1.13	25.0%	0.09
S2	2.2	1.16	40.0%	0.04
S3	2.725	1.06	20%	0.06
S4	2.6	1.10	15%	0.12

〈Table 3〉 Priority of Decision Criteria

Decision criteria	Detailed decision criteria	Average priority	Std. deviation
Importance	Scale	0.477	0.270
	Frequency of use	0.308	0.260
	Related system	0.215	0.248
		0.516	0.296
Installation difficulty	Internal complexity	0.606	0.329
	Environmental complexity	0.163	0.175
	Target performance	0.230	0.268
		0.178	0.176
Expected improvement	Safety	0.520	0.287
	Transparency	0.204	0.202
	Usability	0.276	0.250
		0.145	0.153
Additional effect	International competitiveness	0.161	0.189
		0.161	0.189

철도 차량 및 부대시설의 품질 검증 및 부품 유통이력 관리 시스템(S2)은 철도 서비스와 철도 건설 분야를 포괄하는 분야로서, 철도 시스템이 안전성과 신뢰성에 직결되는 분야이다. 철도 전문가 다수가 해당 분야에 블록체인을 적용하는 것이 우선이라고 답변하였으며, 이를 1위로 선정한 답변자들은 주로 시스템의 도입 시 예상 효용이 매우 크고 시스템의 중요성이 높으므로 해당 분야에 적용하는 것이 우선이라고 평가하였다. 반면 도입 난이도와 같은 부분에서는 대부분 낮은 점수를 주었다.

2, 3위로 선택된 항목의 경우는 블록체인의 적용 난이도에서는 좋은 점수를 얻었으나, 시스템의 중요성이나 예상 효용에 대해서는 조금 낮은 결과를 얻은 결과, S2에 비해서 낮은 우선도 결과를 얻은 것으로 보인다.

반면 가장 낮은 결과를 얻은 철도 티켓팅 및 승객의 이력 관리(S4)의 경우, 기존의 시스템이 원활히 운영되고 있는 점, 다양한 사용자가 다양한 플랫폼을 통하여 이용한다는 점 등에서

복잡도, 효용 등에서 일반적으로 낮은 평가를 받았지만, 국제 경쟁력 등에서는 더 좋은 평가를 받아 높은 평가를 준 경우도 존재하였다.

평가 기준에 대한 평가 결과는 <Table 3>과 같으며, 평가자 별로 다양한 결론을 내었다. 이는 평가자의 직업이나 조직에서의 위치, 맡은 업무 등에 영향을 받은 것으로 보인다. 시스템의 중요성 및 도입 난이도와 예상 효용이 모두 비슷한 평균치를 얻었으나, 결론은 모두 다양했다. 도입 난이도를 중요하게 여기는 경우, 성공적인 사례를 만드는 것의 중요성을 논하는 경우가 많았으며, 시스템의 중요성이나 예상 효용을 중요하게 여기는 경우, 도입 자체의 경제성이나 도입을 통한 파급 효과에 중점을 두고 해석한 것으로 생각할 수 있다.

시스템의 중요성 항목의 경우, 시스템의 사용 빈도와 연관 시스템에의 영향도가 각각 1순위와 2순위로 높은 가중치를 받았으며, 반면 시스템의 규모와 같은 경우는 상대적으로 낮은 평가를 받았다. 도입 난이도의 경우, 시스템의

내부 복잡도와 운영 환경의 복잡도가 차례대로 높은 가중치를 받았으며, 시스템의 목표 성능은 상대적으로 낮은 가중치를 받았다.

시스템의 중요성과 도입 난이도의 경우, 가중치의 표준 편차가 상대적으로 낮은 편으로서, 답변자의 의견이 도입 시의 예상 효용에 비해서 낮은 모습을 보였다. 도입 시 예상 효용의 경우, 안정성과 투명성이 높은 평가를 받았으나, 표준편차가 높은 것으로 보아 답변자 간의 의견이 갈리는 모습을 보였다.

6. 결 론

본 연구는 AHP 분석방법론으로 철도 시스템에서 블록체인을 우선 적용할 대상을 선정하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 철도 시스템의 다양한 세부 시스템에 대해서 정리하고, 상세한 시스템 중에서 우선 도입이 요구되는 4개 시스템을 골라 AHP를 적용하였다.

본 AHP의 분석 결과를 통하여 평가한 결과, 철도 시스템의 기반이 되는 철도 차량 및 부대 시설의 품질 검증 및 부품 검증 이력 부분에 적용이 가장 우선된다는 결과를 얻었으며, 주로 예상 효용과 시스템의 중요성 면에서 높은 평가를 받았다. 이어서 스마트 계약관리시스템 및 화물 유통경로 추적이 상대적으로 높은 평가를 받았다.

본 연구는 철도 시스템의 블록체인 적용 우선도를 정성적 평가를 통해 결정하였다. 정성적 평가에 집중한 이유는 세부 평가 기준의 정량화에 난점이 있었기 때문이다. 이후 연구에서는 이러한 한계점을 보완하기 위하여 정성적 평가에 정량적 평가를 추가하여 더욱 현실적인

평가를 수행하며, 평가 기준을 더욱 세부적으로 구성하여 정확한 평가를 수행할 예정이다.

References

- [1] Abbas, Y., Martinetti, A., Moerman, J. J., Hamberg, T., and van Dongen, L. A., "Do you have confidence in how your rolling stock has been maintained? A blockchain-led knowledge-sharing platform for building trust between stakeholders," *International Journal of Information Management*, Vol. 55. No. 102228, 2020.
- [2] Belu, M. G., "Application of blockchain in international trade: An overview," *Romanian Economic Journal*, Vol. 22, No. 71, pp. 2-15, 2019.
- [3] Bitcoin.com, "Switzerland's SBB Railway Offers Bitcoin at 1,000 Kiosks," <https://news.bitcoin.com/switzerlands-sbb-railway-bitcoin-kiosks/>, 2016.
- [4] Blockimmo, "Crypto Nation Switzerland: A Glimpse Into The Swiss Blockchain Ecosystem," <https://medium.com/blockimmo/crypto-nation-switzerland-a-glimpse-into-the-swiss-blockchain-ecosystem-8de03068e0a3>, 2018.
- [5] Coin Rivet, "Russian Railways to Track Passengers through Blockchain," <https://coinrivet.com/russian-railway-turns-to-blockchain-for-smart-contracts-and-ticket-sales/>, 2018.

- [6] Hofman, W. and Brewster, C., "The applicability of blockchain technology in the mobility and logistics domain," In *Towards User-Centric Transport in Europe*, Springer, Cham, pp. 185-201, 2019.
- [7] Hua, G., Zhu, L., Wu, J., Shen, C., Zhou, L., and Lin, Q., "Blockchain-Based Federal Learning for Intelligent Control in Heavy Haul Railway," *IEEE Access*, 2020.
- [8] Kim, C. H. and Shin, K. S., "A Study on the Measurement Method of Cold Chain Service Quality Using Smart Contract of Blockchain," *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol. 24, No. 3, pp. 1-18, 2019.
- [9] Kim, I. S. and Jin, Y. S., "The need to promote self-sovereignty identity business for postal business using blockchain," *Postal administration information*, Vol. 116, No. 1, pp. 37-61, 2019.
- [10] Koh, L., Dolgui, A., and Sarkis, J., "Blockchain in transport and logistics-paradigms and transition," *International Journal of Production Research*, Vol. 58, pp. 2054-2062, 2020.
- [11] Kuperberg, M., Kindler, D., and Jeschke, S., "Are Smart Contracts and Blockchains Suitable for Decentralized Railway Control?," *arXiv:1901.06236*, 2019.
- [12] Lee, J. Y., "A Study on the Evaluation Model for the Application of Blockchain Services," *Software Policy and Research Institute*, 2020.
- [13] McMahon, P., Zhang, T., and Dwight R., "Requirements for Big Data Adoption for Railway Asset Management," in *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 15543-15564, 2020.
- [14] Muniandi, G., "Blockchain-enabled virtual coupling of automatic train operation fitted mainline trains for railway traffic conflict control," *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 14, No. 6, pp. 611-619, 2020.
- [15] Naser, F., "Review: The potential use of blockchain technology in railway applications: an introduction of a mobility and speech recognition prototype," *2018 IEEE International Conference on Big Data(Big Data)*, Seattle, WA, USA, pp. 4516-4524, 2018.
- [16] Orji, I. J., Kusi-Sarpong, S., Huang, S., and Vazquez-Brust, D., "Evaluating the factors that influence blockchain adoption in the freight logistics industry," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 141, 102025, 2020.
- [17] Park, D. W. and Kang, M. Y., "Blockchain, logistics/distribution innovation, and digital trade," *Sanjung KPMG Issue Monitor*, Vol. 85, pp. 3-16, 2018.
- [18] Preece, J. D. and Easton, J. M., "A Review of Prospective Applications of Blockchain Technology in the Railway Industry," *Pre-print submitted to Int. J. Railw. Technol.*, pp. 1-22, 2019.
- [19] Preece, J. D. and Easton, J. M., "Blockchain Technology as a Mechanism for Digital Railway Ticketing," In *2019 IEEE Inter-*

- national Conference on Big Data, pp. 3599–3606, 2019.
- [20] Sturmanis, A., Hudenko, J., and Juruss, M., “The Application of Blockchain Technologies for Rail Transit Customs Procedures,” In International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Springer, Cham, pp. 260–267, 2019.
- [21] Sustain Europe, “The Russian Blockchain Revolution,” <https://www.sustaineurope.com/the-russian-blockchain-revolution-04042917.html>, 2016.
- [22] Unibright, “Unibright and Deutsche Bahn Vertrieb: Ecosystem Tokenization via Blockchain,” <https://medium.com/unibrightio/unibright-and-deutsche-bahn-vertrieb-ecosystem-tokenization-via-blockchain-d0cabb273d46>, 2018.
- [23] Zhang, L., Huang, Y., and Jiang, T., “High-speed Railway Environmental Monitoring Data Identity Authentication Scheme Based on Consortium Blockchain,” Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Blockchain Technology and Applications, pp. 7–13, 2019.

저 자 소 개



한수민

2010년

2010년~현재

관심분야

(E-mail: hans8501@snu.ac.kr)

서울대학교 산업공학과 (학사)

서울대학교 산업공학과 (박사과정)

블록체인, 스마트공장, 물류 시스템



원중운

1996년

1998년

2004년

2005년~현재

관심분야

(E-mail: juwon@krii.re.kr)

한국해양대학교 제어계측공학 (학사)

한국해양대학교 대학원 제어계측공학 (석사)

경북대학교 대학원 전자공학 (박사)

한국철도기술연구원 선임연구원/책임연구원

DA, SOA, IoT



장태우

1995년

1997년

2004년

2002년~2007년

2007년~현재

2017년~현재

관심분야

(E-mail: keenbee@kgu.ac.kr)

서울대학교 산업공학과 (학사)

서울대학교 산업공학과 (석사)

서울대학교 산업공학과 (박사)

한국전자통신연구원 연구원/선임연구원

경기대학교 산업경영공학과 교수

경기대학교 지능정보융합제조연구센터(GRRC) 센터장

스마트공장, 시스템분석, 물류/SCM



이 석

1995년

1997년

2002년

2003년~2005년

2005년~현재

관심분야

(E-mail: slee@krii.re.kr)

성균관대학교 산업공학과 (학사)

한국과학기술원 산업공학과 (석사)

한국과학기술원 산업공학과 (박사)

한국전자통신연구원 선임연구원

한국철도기술연구원 선임연구원/책임연구원

물류시스템 효율화, 물류표준화, 철도물류기술, IT융복합기술