

AI 활용 검증을 이용한 블록체인 기반 전기차 충전 및 탄소 배출권 관리 시스템 설계

이민선¹, 이재민², 전태수³, 김동성*

국립금오공과대학교 {IT융복합공학과^{1,2,*}, 컴퓨터소프트웨어공학과³}

{20170798¹, ljmpaul², taesoo.jun³, dskim*}@kumoh.ac.kr

Design of a Blockchain-Enabled EV Charging and Carbon Credit Management System with AI-Driven Verification

Min-Seon Lee¹, Jae-Min Lee², Tae-Soo Jun³ and Dong-Seong Kim*

Kumoh National Institute of Technology,

Dept. of {IT Convergence^{1,2,*}, Computer Software³} Eng.

요약

전 세계적으로 탄소 중립 목표 달성을 위해 탄소배출권 거래제가 도입되었으며, 민간 부문에서의 탄소 감축 인증과 실적에 대한 수요가 증가함에 따라 자발적 탄소 시장이 급속히 성장하고 있다. 그러나 자발적 탄소시장에서 실질적인 탄소 감축 효과없이 발급된 탄소배출권이 그린워싱 도구로 사용되는 문제가 발생하고 있다. 이에 따라 블록체인과 인공지능(AI) 기술을 활용하여 탄소 거래의 신뢰성과 투명성을 개선하려는 연구가 진행되고 있지만, 데이터의 무결성 및 이중 거래 문제 등과 같은 한계점이 존재한다. 본 논문에서는 전기자동차의 충전 데이터를 블록체인에 저장하여 탄소 배출권을 발급하고, 이를 Convolutional Neural Network(CNN) 기반의 AI 알고리즘을 통해 검증하여 탄소배출권의 투명성과 신뢰성을 강화하는 통합 시스템을 제안한다.

I. 서론

국제사회는 기후변화에 대응하기 위해 1997년 교토의정서를 기반으로 온실가스 배출량을 감축하고자 탄소배출권 거래제도를 도입하였다. 탄소배출권 시장은 규제시장과 자발적 시장으로 구분되며, 그 중 자발적 시장은 규제시장과 달리 정부나 규제기관의 감독이 없고 자발적인 탄소 감축 사업으로 신규 크레딧을 생성하여 거래가 가능하다. 자발적 탄소시장은 2021년 20억 달러 규모에서 2030년까지 50~300억 달러로 성장할 잠재력이 있는 시장이지만, 최근 자발적 탄소 거래 시장의 신뢰성이 급격히 하락하고 있다. 비영리 단체 Corporate Accountability의 연구에 따르면, 탄소 표준 기관 베라(Verra)가 인증한 탄소 배출권 상위 50개 프로젝트 중 94%가 온실가스 감축에 실질적으로 기여하지 않는 것으로 나타났다. 이는 많은 기업들이 구매한 탄소 크레딧이 실제 탄소 배출 상쇄 효과가 없는 '그린워싱' 도구로 사용된다는 비판을 받고 있다. 이러한 상황에서 자발적 탄소배출권 시장에서의 신뢰성 문제가 더욱 커지고 있으며, 이를 해결하기 위해 탄소 배출권 거래에서 데이터의 정확성, 신뢰성, 일관성 및 투명성의 중요성이 커지고 있다[1]. 최근 블록체인과 인공지능(AI) 기술을 활용하여 이러한 문제점을 해결하려는 여러 연구가 진행되고 있으나[2,3], 각 단계별로 신뢰성을 확보하는 것만으로는 전체 시스템의 신뢰성을 보장하기에 부족하다. 따라서 통합적이고 일관된 시스템이 요구된다. 특히, 화석연료에 의한 온실가스 배출량 중 약 25.7%는 수송부문에서 발생하며, 그 중 개인 차량이 도시교통에서 배출되는 온실가스의 절반을 차지하고 있다. 이는 휘발유와 디젤과 같은 석유 기반 연료의 사용이 온실가스 배출에 크게 기여하고 있음을 보여준다. 이를 해결하기 위해 전기자동차로의 전환이 중요한 대안으로 떠오르고 있다.

본 연구는 이러한 배경 하에, 블록체인 기술을 활용하여 전기자동차의 충전 데이터를 분산 원장에 안전하게 저장하고, Convolutional Neural Network(CNN) 기반의 인공지능(AI) 기반의 검증 알고리즘을 도입하여

저장된 데이터의 무결성과 위변조 여부를 실시간으로 분석하는 시스템을 설계하고자 한다. 이 시스템은 전기자동차의 충전량을 탄소배출권으로 전환하여 탄소 배출권 거래의 투명성을 높이고, CNN을 활용한 AI 검증을 통해 데이터의 위변조를 방지하는데 중점을 두고 있다. 이를 통해 자발적 탄소 거래 시장에서 발생하는 문제점을 해결하고, 보다 신뢰할 수 있는 탄소 배출권 관리 시스템을 구축하는 것을 목표로 한다. 또한 본 연구는 각 단계별 신뢰성 보장함과 동시에 전체 시스템의 일관된 신뢰성을 확보하여 기존 연구의 한계를 극복하고자 한다.

II. 기존 연구의 문제점

기존 연구들은 블록체인과 AI 기술을 활용하여 탄소 배출권 거래 시스템의 신뢰성, 투명성, 그리고 데이터 보안성을 향상시키는 데 중점을 두고 있다. 블록체인은 데이터의 투명성과 불변성을 제공하고[4], 인공지능은 데이터 분석과 검증에 활용됨으로써 전체 시스템의 효율성을 높이는 데 기여하고 있으나 이러한 연구들은 여전히 몇 가지 한계점이 존재한다. 첫째, 블록체인 또는 AI 기술 중 하나에만 초점을 맞추어 기술의 일부분만을 활용하고 있으며, 이로 인해 전체 시스템의 일관된 신뢰성 확보에는 한계가 있다. 둘째, 데이터의 무결성과 이중 거래 문제가 충분히 해결되지 않고 있다. 기존 블록체인 기반 시스템들은 거래의 불변성을 강조하지만, 데이터 입력 과정에서 발생할 수 있는 실수나 조작 가능성에 대해서는 충분히 고려되지 않았다. 특히, 자발적 탄소 거래 시장에서는 여러 이해관계자가 참여하기 때문에, 데이터의 정확성과 이중 거래 방지가 매우 중요하다. 셋째, 실질적인 탄소 감축 효과 검증의 미흡이다. 많은 연구에서 탄소 배출권 거래의 이론적 장점만을 강조하고 실제 감축 효과를 입증하지 못하는 경우가 있다. 이로 인해 탄소 배출권이 그린워싱의 도구로 악용될 수 있는 가능성이 있으며, 이는 자발적 탄소 시장의 신뢰성을 저해하는 주된 요인 중 하나로 작용하고 있다.

이와 같이, 기존 연구들은 블록체인과 AI 기술의 잠재력을 충분히 발휘하지 못하고 있으며, 이러한 한계는 자발적 탄소 배출권 거래 시스템의 신뢰성과 효율성을 저해하는 주요 원인으로 지적될 수 있다. 본 연구는 이러한 문제들을 해결하기 위해 통합적이고 일관된 시스템을 제안하며, 블록체인과 AI 기술을 결합하여 전체 시스템의 신뢰성을 높이고, 자발적 탄소 거래 시장의 투명성과 효율성을 증진시키고자 한다.

III. 제안하는 시스템

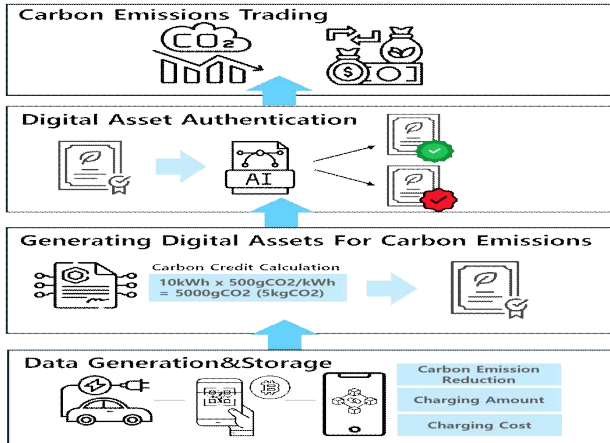


그림 1 제안하는 시스템 구조도

본 연구에서 제안하는 시스템은 그림 1와 같이 EV 충전 과정에서 발생하는 데이터를 실시간으로 수집하고, 이를 블록체인에 기록함으로써 데이터의 무결성과 불변성을 보장한다. 산출된 탄소 감축량에 따라 해당하는 탄소 배출권이 블록체인에 기록되고, 사용자에게 발급된다. 발급된 탄소 배출권은 블록체인 상에 고유한 디지털 자산으로 등록되며, 이후 거래 또는 인증 과정에서 활용될 수 있다. 블록체인에 기록된 모든 탄소 배출권 데이터는 CNN 기반의 AI 알고리즘을 통해 문서의 패턴을 분석하여 원본과 사본 간의 차이를 감지하고, 위변조 여부를 검증한다.

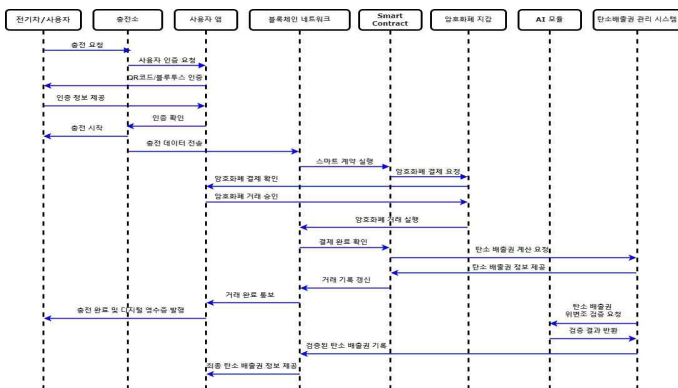


그림 2 제안하는 시스템 구조도

그림 2는 제안하는 시스템의 순서도를 나타낸다. 먼저, EV 사용자가 충전소에 도착하면, 사용자는 QR코드 스캔 또는 블루투스를 통해 인증을 진행한다. 충전소는 인증된 사용자의 정보를 확인한 후, 충전 프로세스를 시작한다. 충전이 시작되면 충전소는 충전량, 충전 비용, 예상 탄소 감축량 등의 데이터를 실시간으로 수집하여 사용자의 앱을 통해 블록체인 네트워크로 전송한다. 블록체인 네트워크에서는 스마트 계약이 실행되어, 수집된 충전 데이터를 기반으로 자동으로 암호화해 결제 요청을 발생시키고, 사용자의 암호화해 지갑에서 결제가 승인되면, 암호화해 거래가 완료되고, 해당 거래 기록이 블록체인에 갱신된다. 거래 완료 후, 블록체인에 저장된 데이터를 바탕으로 탄소배출권이 자동으로 생성된다. 생성된 탄소 배출권은 탄소배출권 관리 시스템에 기록되며, 이 과정에서 CNN 기반의 AI 모

듈이 작동하여 해당 탄소 배출권의 위변조 여부를 실시간으로 검증한다. 검증된 탄소배출권 정보가 사용자에게 제공되며, 충전이 완료된 후 디지털 영수증과 함께 최종 탄소배출권 정보가 전달된다. 최종적으로 사용자는 검증된 탄소배출권을 거래하거나, 공공기관에 제출하여 인증을 받을 수 있다. 제안된 시스템은 데이터의 정확성, 무결성, 그리고 투명성을 보장하며, 자발적 탄소 배출권 시장에서의 신뢰성 문제를 해결할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 자발적 탄소배출권 시장의 신뢰성 문제를 해결하기 위해 블록체인과 CNN 기반의 AI 기술을 결합한 탄소 배출권 통합 관리 시스템을 제안한다. 본 시스템은 전기자동차 충전 과정에서 발생하는 데이터를 블록체인에 저장하고, CNN 기반의 AI 검증 알고리즘을 통해 데이터의 위변조 여부를 분석함으로써, 탄소배출권 거래의 투명성과 신뢰성을 개선할 수 있다. 다음과 같은 방법으로 기존 연구들이 가진 한계점인 블록체인 또는 AI 기술 중 하나에만 초점을 맞춘 불완전한 신뢰성 확보 문제와 데이터의 무결성 및 이중 거래 방지의 미흡함을 극복하고, 실질적인 탄소 감축 효과를 검증하여 자발적 탄소 거래 시장의 신뢰성 저하 문제를 해결하고자 하였다.

하지만 본 연구에서 제안한 시스템을 이론적 모델과 프로토타입 설계를 기반으로 하고 있으며, 실제 환경에서의 구체적인 구현이 이루어지지 않았다. 향후 연구로는 제안된 시스템에서 활용된 CNN 기반 AI 알고리즘을 더욱 구체화하고 최적화하는 작업이 필요하다. 이를 위해 다양한 데이터셋을 활용한 학습과 검증을 통해 알고리즘의 정확도와 신뢰성을 향상시키고, 위변조 탐지의 민감도와 처리 속도를 최적화할 수 있는 방법에 관한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부재원(과학기술정보통신부 여대학원생 공학연구팀제 지원사업)으로 과학기술정보통신부와 한국여성과학 기술인육성재단의 지원을 받아 연구(WISET-2024-109호, 33.3%)이며, 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터(IITP-2024-RS-2024-00438430, 33.3%) 및 ICT혁신인재4.0 사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2024-00156394, 33.3%).

참 고 문 헌

- [1] D. Effah, B. Chunguang, F. Appiah, B. L. Y. Agbley and M. Quays on, "Carbon Emission Monitoring and Credit Trading: The Blockchain and IOT Approach", International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing, pp. 106-109, Dec. 2021
- [2] A. Meydani, H. Shahinzadeh, A. Ramezani, M. Moazzami, H. Nafisi and H. Askarian-Abyaneh, "State-of-the-Art Analysis of Blockchain-Based Industrial IoT (IIoT) for Smart Grids," International Conference on Technology and Energy Management (ICTEM), pp. 1-12, Feb. 2024
- [3] Z. Guan, X. Lu, N. Wang, J. Wu, X. Du and M. Guizani, "Towards secure and efficient energy trading in IIoT-enabled energy internet: A blockchain approach", Future Generation Computer Systems, vol. 110, pp. 685-695, Sep. 2020
- [4] N.S. Lee, J.M. Lee, T.S. Jun and D.S. Kim, "산업용 IoT를 위한 IPFS가 결합된 DDS 기반 블록체인 기법", 2024 KICS Winter Conference, pp. 1452-1453, Jan. 2024