

스테이블코인의 기술적 구조 및 동향 분석

강 창 훈*, 홍 원 기°

Analysis of Technical Structure and Trends of Stablecoins

Changhoon Kang*, James Won-Ki Hong°

요 약

블록체인 기술을 기반으로 한 스테이블코인은 디지털 자산의 변동성 문제를 해결하고, 탈중앙화 금융과 전통 금융을 연결하는 핵심 인프라로 자리 잡았다. 최근 스테이블코인은 활용 범위가 결제, 송금, 금융 상품 등으로 급격히 확대되고 있다. 그러나 기존 연구들은 주로 거시경제적 영향이나 통화 정책적 함의를 분석하는 데 편중되어 있어, 스테이블코인의 안정성과 신뢰성을 보장하는 기술적 실체에 대한 체계적인 분석은 부족한 실정이다. 본 논문은 스테이블코인을 복합적인 시스템으로 정의하고, 이를 기술적 관점에서 해부하기 위한 새로운 분석 프레임워크를 제안한다. 제안하는 프레임워크는 시스템의 정적 구조를 정의하는 4계층 아키텍처와 동적 운영 흐름을 설명하는 5단계 생애주기로 구성된다. 본 연구는 이 프레임워크를 적용하여 스테이블코인 시스템 전반에서 발생하는 핵심적인 기술적 트레이드오프를 분석하는 예시를 제공한다. 나아가 스테이블코인이 단순한 가치 저장 수단을 넘어, 국경 간 송금, B2B 결제에서의 활용, 원화 기반 모델을 통한 특화 산업의 발전, 그리고 AI 에이전트 기반의 머신 이코노미를 실현하는 프로그래밍 가능한 화폐로서의 잠재력을 설명한다.

Key Words : Stablecoin, Blockchain, Smart Contract, Digital Asset

ABSTRACT

Stablecoins based on blockchain technology have established themselves as a core infrastructure that resolves the volatility issues of digital assets and bridges decentralized finance (DeFi) with traditional finance. Recently, the utility of stablecoins has rapidly expanded across payments, remittances, and financial products. However, as existing studies have predominantly focused on macroeconomic impacts or monetary policy implications, there remains a lack of systematic analysis regarding the technical entities that guarantee the stability and reliability of stablecoins. This paper defines stablecoins as complex systems and proposes a new analytical framework to dissect them from a technical perspective. The proposed framework consists of a 4-Layer Architecture defining the system's static structure and a 5-Stage Lifecycle describing its dynamic operational flow. By applying this framework, this study provides examples of analyzing key technical trade-offs that occur throughout the stablecoin ecosystem. Furthermore, this paper explores the potential of stablecoins as a programmable currency that goes beyond a simple store of value. It discusses their applications in cross-border remittances and B2B payments, the advancement of specialized industries through KRW-based models, and the realization of the Machine Economy driven by AI agents.

※ 이 논문은 25년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터 경찰건강 스마트관리 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2022-PT000186)

♦ First Author : POSTECH, Department of Computer Science and Engineering, chkang@postech.ac.kr

° Corresponding Author : POSTECH, Department of Computer Science and Engineering, jwkhong@postech.ac.kr

논문번호 : KNOM2025-02-015, Received November 16, 2025; Revised December 3, 2025; Accepted December 17, 2025

I. 서론

최근 4차 산업혁명의 핵심 기술로 꼽히는 블록체인은 데이터의 무결성을 보장하는 분산 원장 기술로서, 중앙 관리자 없이도 참여자 간의 신뢰를 형성할 수 있는 혁신적인 기반을 제공한다. 이 기술을 바탕으로 등장한 비트코인 (Bitcoin) [1]이나 이더리움 (Ethereum) [2]과 같은 암호화폐는 국경과 시간의 제약 없는 자유로운 가치 이전을 가능하게 했으나, 극심한 가격 변동성으로 인해 실질적인 교환 수단이나 가치 저장 수단으로 활용되는 데에는 근본적인 한계가 있었다. 이러한 배경에서 등장한 스테이블코인 (Stablecoin)은 블록체인의 기술적 이점인 투명성과 보안성을 유지하면서도, 달러 (USD)와 같은 법정화폐 (Fiat Currency)에 가치를 연동하여 가격 안정성을 확보함으로써 디지털 자산과 전통 금융을 잇는 가교 역할을 수행하고 있다.

스테이블코인은 높은 변동성을 가진 디지털 자산 시장에서 가치 저장 및 교환의 매개체 역할을 수행하며, 오늘날 글로벌 금융 시스템의 핵심 인프라로 자리 잡았다. 2024년 기준 스테이블코인의 총 거래량은 27.6조 달러에 달하며 [3], 이는 비자 (Visa)와 마스터카드 (Mastercard)의 합산 처리량을 능가하는 경제적 규모이다. 초기에는 단순히 암호화폐 거래소 내의 기축 통화로 사용되었으나, 현재는 탈중앙화 금융 (DeFi) 생태계의 유동성 공급부터 국경 간 송금 및 결제에 이르기까지 그 활용 범위가 지속적으로 확대되고 있다.

그러나 이러한 양적 성장에도 불구하고, 스테이블코인의 실제 활용 실태를 살펴보면 대부분의 거래가 차익거래나 자금 이동 등 금융 자동화 활동에 편중되어 있다는 특징을 보인다. 이에 따라 스테이블코인에 대한 기존 연구들은 주로 거시경제적 영향이나 금융 안정성, 그리고 통화 정책적 함의에 집중되어 왔다. 반면, 실제 스테이블코인의 작동을 가능하게 하는 프로토콜 아키텍처, 스마트 컨트랙트의 구현 방식, 그리고 온체인 거버넌스 모델 등 기술적 근간에 대한 기술적 분석은 상대적으로 부족한 실정이다.

본 논문은 이러한 배경 하에, 스테이블코인의 기술적 구조와 최신 동향을 체계적으로 분석하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 스테이블코인의 기술적 메커니즘을 해부하는 새로운 분석 프레임워크를 제안한다. 이 프레임워크는 시스템을 L1: 인프라 (보

안/데이터), L2: 프로토콜 (발행/안정화), L3: 통합 (상호운용성), L4: 감독 및 거버넌스 (규제/감사)의 네 가지 핵심 계층으로 구분하며, 본 논문은 이 계층들이 설계, 발행 및 운영, 위험 관리, 규제 준수, 업그레이드라는 5단계 생애주기 전반에서 어떻게 유기적으로 상호작용하는지 기술적 관점에서 규명한다.

나아가 본 연구는 이러한 기술적 아키텍처가 실제 스테이블코인 활용의 성패를 결정짓는 핵심 변수임을 제안한다. 국경 간 송금이나 B2B 결제와 같이 이미 알려진 활용 사례들조차, 블록체인 네트워크의 확장성이나 상호운용성 표준과 같은 구체적인 기술적 요건이 충족되지 않을 경우 실효성을 갖기 어렵다. 특히, 이러한 기술적 완성도는 최근 많은 관심이 집중되고 있는 머신 이코노미, 즉 AI 에이전트 기반의 자율 결제 환경에서 더욱 중요해진다. 본 논문은 스테이블코인이 단순한 가치 저장 수단을 넘어, 수많은 온오프라인 활용처에서 프로그래밍 가능한 금융 인프라로서 기능할 수 있음을 설명한다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 제2장에서는 연구 배경과 관련 연구를 기술한다. 제3장에서는 본 연구의 핵심 분석 프레임워크를 제안하고 제4장에서 이 프레임워크를 적용하여 시스템의 신뢰성, 확장성, 규제 준수 관점에서 발생하는 기술적 트레이드오프를 일부 분석한다. 제5장에서는 스테이블코인의 실질적 활용 방안을 논의하고, 마지막으로 제6장에서 결론을 맺는다.

II. 연구 배경 및 관련 연구

2.1. 연구 배경

스테이블코인이라는 개념이 최근에 갑자기 등장한 것은 아니다. 2014년 테더 (Tether, USDT) [4]의 등장을 시작으로, 암호화폐 시장의 높은 변동성을 회피하기 위한 온체인 기축통화로서 지난 10여년간 꾸준히 존재해 왔다. 초기 스테이블코인은 주로 중앙화된 암호화폐 거래소 내에서 법정화폐 입출금의 불편함을 해소하거나, 트레이딩을 위한 유동성 공급 수단으로 활용되는 등 그 역할이 제한적이었다.

그러나 최근 2~3년 사이 스테이블코인은 단순한 거래소용 칩을 넘어 글로벌 금융 결제망의 핵심 인프라로 급부상하고 있다. 이러한 변화의 기폭제로는

미국의 정책적 기조 변화를 꼽을 수 있다. 트럼프 행정부의 출범과 함께 디지털 자산에 대한 규제 명확성 확보와 친화적인 산업 육성 정책이 예고되면서, 달러 패권을 디지털 영역으로 확장하려는 미국의 전략적 움직임이 가시화되었다. 이는 페이팔(PayPal) [5], 스트라이프(Stripe) [6]와 같은 글로벌 핀테크 거대 기업들이 자체 스테이블코인을 발행하거나 결제 수단으로 도입하게 만드는 촉매제가 되었으며, 전통 금융 기관들이 블록체인 기반의 결제 및 정산 시스템에 진입하는 진입 장벽을 낮추는 결과를 낳았다.

이에 발맞추어 전 세계적으로 스테이블코인 도입 경쟁이 가속화되고 있다. 유럽, 싱가포르, 일본 등 주요 금융 선진국들은 자국 통화 기반의 스테이블코인 발행을 위한 법적 기틀을 마련하고 있으며, 국내에서도 토큰 증권(STO) [7]과 연계된 디지털 화폐 논의가 활발히 진행 중이다. 결과적으로 스테이블코인은 이제 틈새시장의 실험적 도구가 아니라, 국가 간 무역 결제, 송금, 그리고 기업 간(B2B) 정산에 활용되는 실질적인 금융 상품으로 진화하고 있다.

2.2. 글로벌 규제 환경 및 국가별 도입 현황

스테이블코인의 시장 영향력이 확대됨에 따라, 전 세계 주요국은 금융 안정성과 사용자 보호를 위한 법적 프레임워크를 마련하고 있다. 각국의 규제는 기술적 요구사항(상환 주기, 준비금 구성 등)과 거버넌스 모델(발행 주체 제한)에 직접적인 영향을 미치며, 이는 스테이블코인 아키텍처 설계 시 반드시 고려해야 할 제약 조건으로 작용한다. 주요국의 규제 현황은 다음과 같다.

- 1) 미국: 미국은 달러 패권 유지를 목적으로 가장 적극적인 입법 활동을 펼치고 있다. 2025년 7월 서명된 GENIUS Act (Governing the Emission of Nationally Issued Utility Stablecoins Act) [8]는 연방 차원의 명확한 법적 지위를 확립하였다. 해당 법안은 알고리즘 기반 스테이블코인을 금지하며, 발행 자격을 은행의 자회사 또는 연방/주 정부의 승인을 받은 비은행 기관으로 제한한다. 특히 빅테크 기업의 시장 독점을 방지하기 위해 기술 기업의 발행에는 스테이블코인 인증 심의 위원회(SCRC)의 만장일치 승인을 요구하는 등 높은 진입 장벽을 설정하고 있다.
- 2) 유럽연합(EU): EU는 2024년부터 포괄적 암

호자산 규제법인 MiCA (Markets in Crypto Assets) [9]를 시행 중이다. MiCA는 스테이블코인을 단일 통화와 연동된 전자화폐 토큰(EMT)과 자산 바스켓에 연동된 자산준거 토큰(ART)으로 명확히 분류한다. 기술적 요구사항으로는 발행사가 EU 내에 법인을 설립해야 하며, 발행량과 1:1로 매칭되는 현금성 준비금을 보유하고 이에 대한 정기적인 보고를 의무화하고 있다.

- 3) 일본: 일본은 2023년 개정 자금결제법(Payment Services Act) [10]을 통해 세계 최초로 스테이블코인 발행을 합법화하였다. 발행 주체는 은행, 신탁회사, 자금이체업자로 엄격히 제한되며, 발행자, 중개자, 사용자 간의 책임 구조를 법적으로 명확히 규정하였다. 알고리즘 스테이블코인은 별도의 암호자산 규제를 적용받는다.
- 4) 홍콩: 홍콩통화청(HKMA)은 2024년 스테이블코인에 대한 규제 프레임워크를 확정하고 2026년부터 라이선스 제도를 의무화할 예정이다. [11] 발행사는 홍콩 내 법인을 설립해야 하며, 정기적인 준비금 감사와 대중 공시가 필수적이다. 홍콩 역시 알고리즘 기반 스테이블코인의 발행을 금지하고 있다.
- 5) 싱가포르: 싱가포르 통화청(MAS)은 2024년 하반기부터 싱가포르 달러(SGD) 또는 G10 통화와 연동된 스테이블코인에 대한 규제를 시행하였다. [12] 핵심적인 기술적 요구사항은 발행사가 5영업일 이내에 액면가로 상환(Par-value redemption) 할 수 있는 유동성을 확보해야 한다는 점이다. 준비금은 현금 또는 단기 국채로 100% 구성되어야 한다.
- 6) 베트남: 베트남은 2026년 발효 예정인 디지털 기술 산업법(Law on Digital Technology Industry) [13]을 통해 가상자산을 법제화할 예정이다. 현재는 결제 수단으로 금지되어 있으나, 2026년부터 다낭 등 특정 지역에서 샌드박스 프로그램을 통해 스테이블코인 결제 시범 사업을 추진하는 등 제도권 도입을 모색하고 있다.
- 7) 대한민국: 한국은 2024년 가상자산 이용자 보호법 [14]을 시행하였으나, 스테이블코인에 대한 직접적인 규제는 아직 입법 논의 단계이다. 현재 국회에는 디지털자산기본법 [15]을 비롯하여 금융 안정성, 산업 진흥 등 다양한

목적은 둔 여러 법안들이 발의되어 논의 중이다. 한국은행은 자본 유출과 통화 정책 약화를 우려하여 기업이 아닌 은행 중심의 발행 모델을 선호하는 등 신중한 입장을 취하고 있다.

주요국들의 스테이블코인 규제 현황과 주요 기술적 제약사항을 비교하면 아래 표 1과 같다.

표 1 주요국 스테이블코인 규제 프레임워크 비교
Table 1. Comparison of Stablecoin Regulatory Frameworks in Major Countries

국가/지역	관련 법안	발행 주체 요건
미국	GENIUS Act (2025)	은행 자회사, 인가 비은행 기관
EU	MiCA (2024)	EU 내 설립 법인
일본	자금결제법 (2023)	은행, 신탁회사, 자금이체업자
홍콩	HKMA 프레임워크 (2024)	홍콩 내 법인 (라이선스 필요)
싱가포르	MAS 규제안 (2024)	MAS 인가 발행사
베트남	디지털 기술 산업법 (2026 예정)	(샌드박스 참여 기업)
대한민국	(관련 법안 논의 중)	(은행 vs. 민간 기업 논의 중)

이와 같이 각국은 자국의 금융 환경에 맞춰 상이한 규제를 적용하고 있다. 따라서 글로벌 호환성을 갖춘 스테이블코인 아키텍처를 설계하기 위해서는 이러한 규제적 파편화를 기술적으로 수용할 수 있는 유연한 구조가 필수적이다.

2.3. 관련 연구

스테이블코인에 관한 기존 학술 연구는 대부분 경제학적 분석이나 금융 정책적 관점에 집중되어 있다. 선행 연구들은 주로 스테이블코인의 가격 유지 메커니즘이 거시경제 지표에 미치는 영향, 통화 정책의 유효성 위협, 그리고 뱅크런 시나리오에서의 시스템 리스크 분석 등을 다루었다 [16-23]. 특히 테라-루나 (Terra-Luna) [24] 사태 이후에는 알고리즘 기반 스테이블코인의 실패 원인을 게임 이론이나 금융 기술적으로 분석한 연구들이 다수 발표되

었다.

반면, 스테이블코인의 실체를 기술적 관점에서 분석한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 기존의 기술적 연구들은 주로 스마트 컨트랙트의 취약점 탐지나 블록체인 네트워크의 성능 측정과 같은 단편적인 요소 기술에 국한되어 있으며, 스테이블코인 시스템 전체를 아우르는 프로토콜 아키텍처, 오프체인 자산과 온체인 토큰 간의 동기화 메커니즘, 규제 준수를 위한 기술적 제어 구조 등을 통합적으로 분석한 시도는 찾아보기 어렵다. 기술적 구성요소 하나의 차이더라도 스테이블코인 시스템에서는 안정성, 효율성 등이 크게 달라질 수 있게 때문에 이를 통합적으로 관리하는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 경제학적 논의에 편중된 기존 연구의 한계를 넘어, 법정화폐 기반 스테이블코인을 하나의 거대한 소프트웨어 아키텍처로 정의하고, 그 내부의 기술적 구조와 설계 결정사항을 체계적으로 분석함으로써 이러한 연구 공백을 메우고자 한다.

III. 스테이블코인의 기술적 분석

본 장에서는 스테이블코인의 기술적 정의와 시장 현황을 살펴보고, 이들의 복잡한 작동 원리를 기술적으로 해부하기 위한 새로운 분석 프레임워크를 제안한다.

3.1. 스테이블코인의 정의 및 시장 현황

3.1.1. 정의 및 핵심 기술 요소

스테이블코인은 암호화폐의 본질적인 문제인 높은 가격 변동성을 해결하기 위해 고안된 디지털 자산으로, 법정화폐나 금과 같은 안정적인 기준 자산에 가치를 연동하도록 설계되었다. 스테이블코인은 가치를 유지하는 담보에 따라 크게 세 가지 유형으로 분류된다.

- 1) 법정화폐 기반 (Fiat-backed): 미국 달러와 같은 법정화폐를 1:1 비율로 준비금으로 보유하여 가치를 보증하는 방식이다. USDT (Tether)와 USDC (Circle) [25]가 대표적이며, 가장 직관적이고 안정적이나 발행 주체에 대한 신뢰가 필요하다.
- 2) 암호화폐 기반 (Crypto-backed): 이더리움 (ETH) 등 변동성 있는 암호화폐를 담보로 맡기고 스마트 컨트랙트를 통해 스테이블코인을 발행하는 방식이다. 담보 가치 하락에 대비해

일반적으로 초과 담보를 설정하며, DAI (MakerDAO) [26]가 대표적인 사례다.

- 3) 알고리즘 기반 (Algorithmic): 별도의 담보 자산 없이, 알고리즘이 시장 수요에 따라 토큰 공급량을 자동으로 조절하여 가격을 유지하는 방식이다. 탈중앙화된 구조를 지향하나, 테라루나 (Terra-Luna) 사태에서 보듯 신뢰 붕괴 시 죽음의 소용돌이 (Death Spiral)로 인해 가치가 급락할 위험이 있다.

스테이블코인은 데이터 저장을 담당하는 블록체인 네트워크 위에서 발행 및 소각 로직을 수행하는 스마트 컨트랙트를 통해 토큰의 형태로 발행된다. 이러한 스테이블코인 토큰의 소유권, 전송 정보가 블록체인에 기록되는 방식으로 동작하는 것이다. 동일한 스테이블코인이더라도 다양한 종류의 블록체인 상에서 동시에 발행하여 운영되는 경우가 대부분이다.

이러한 온체인 토큰과 오프체인 준비금을 비교하는 예치금 증명 시스템 (Proof-of-Reserves) 역시 스테이블코인 관련 논의에 항상 고려되는 핵심요소이다. 발행자가 스테이블코인을 다시 준비 자산으로 교환해줄 수 있는 준비금을 발행된 가치 이상으로 갖고 있는지 항상 확인이 필요하며, 현재까지 대부분 회계 법인을 통한 외부 감사로 이 과정이 진행되고 있다. 최근 ChainLink [27]에서는 이 회사가 가진 오라클 기술을 통해 준비금 정보를 온체인 상으로 보내 연동하는 서비스를 공개하기도 했다.

3.1.2. 스테이블코인 시장 점유율

스테이블코인 시장은 담보 유형에 따라 다양하게 분류되나, 현재 시장은 법정화폐 기반 스테이블코인이 압도적인 우위를 점하고 있다. 법정화폐 기반 모델은 현재 전체 스테이블코인 시장 점유율의 90% 이상을 차지한다. 2025년 2월 기준, 법정화폐 기반 스테이블코인의 총 공급량은 약 2,250억 달러에 달하며, 이는 시장의 표준 모델로 자리 잡았음을 시사한다. [28]

특히, 이러한 법정화폐 기반 스테이블코인 중에서도 미국 달러 (USD)에 가치가 고정된 스테이블코인의 비중은 절대적이다. 시가총액 기준으로 전체 시장의 99% 이상이 미국 달러에 페킹되어 있으며, 전체 시장 가치인 약 2,000억 달러 중 95% 이상이 달러를 앵커 (Anchor)로 삼고 있다. [29] 이는 스테이블코인이 사실상 달러의 온체인 확장 역할을 수행하고 있음을 보여준다.

법정화폐 기반 스테이블코인 시장은 테더 (Tether)의 USDT와 서클 (Circle)의 USDC라는 두 가지 거대 프로젝트에 의해 주도되고 있다. 2025년 2월 기준, 두 코인의 합산 점유율은 약 88.5%에 이른다. USDT는 2014년 출시 이후 시장을 선점해왔으며, 2025년 5월 기준 유통량이 1,500억 달러를 초과하는 등 약 64%의 점유율로 시장 1위를 유지하고 있다. 가장 풍부한 유동성을 바탕으로 주로 암호화폐 거래소의 기축 통화로 활용된다. USDC는 약 24.5%의 점유율을 차지하며, 정기적인 준비금 증명 공시와 규제 당국의 감시 하에 투명성을 강조하는 전략을 취한다. 이러한 특성 덕분에 탈중앙화 금융 (DeFi) 프로토콜이나 기업 간 결제 (B2B) 등 신뢰가 중요한 비즈니스 영역에서 선호된다.

이러한 통계는 스테이블코인 생태계가 다양한 블록체인 (이더리움, 트론, 솔라나 등) 위에서 발행되지만, 그 가치 안정성의 근간은 중앙화된 달러 준비금과 소수의 발행사에 집중되어 있다는 구조적 중앙화를 명확히 보여준다.

3.2. 제안하는 계층형 분석 프레임워크

기존 연구들은 스테이블코인을 단순히 경제적 가치가 고정된 토큰으로만 취급하는 경향이 있었다. 그러나 기술적 관점에서 스테이블코인은 블록체인 인프라, 스마트 컨트랙트 로직, 외부 시스템 연동, 그리고 거버넌스 프로세스가 복합적으로 상호작용하는 거대 소프트웨어 시스템이다. 따라서 본 논문은 스테이블코인의 기술적 실체를 명확히 규명하기 위해 스테이블코인 생애주기별 계층형 분석 프레임워크를 제안한다. (그림 1)

이 프레임워크는 시스템의 정적 구조를 정의하는 4계층 아키텍처와 동적 운영 흐름을 설명하는 5단계 생애주기 모델로 구성되며, 이 둘의 상호작용을 통해 스테이블코인 시스템의 복잡성을 체계적으로 분석한다.

3.2.1. 4계층 아키텍처

스테이블코인 시스템의 기술 스택은 기능적 역할과 추상화 수준에 따라 다음과 같이 네 개의 논리적 계층으로 구분된다.

- 1) L1 - 인프라 레이어 (Infrastructure Layer): 시스템의 최하단에 위치하며, 트랜잭션의 최종 확정 (Finality), 데이터 가용성 (Data Availability), 그리고 보안 합의 (Consensus)를 담당하는 기반 블록체인 네트워크 계층이

다. 이더리움 (Ethereum), 솔라나 (Solana) 등 메인넷의 선택은 스테이블코인의 확장성 (Scalability), 탈중앙성 (Decentralization), 보안성 (Security)이라는 블록체인 트릴레마 속

간의 흐름에 따라 설계, 운영, 위기 대응, 규제 준수, 그리고 진화의 과정을 거친다. 본 연구는 이를 다음과 같이 5단계의 생애주기 (Lifecycle)로 정의하고 각 단계별 기술적 특성을 분석한다.

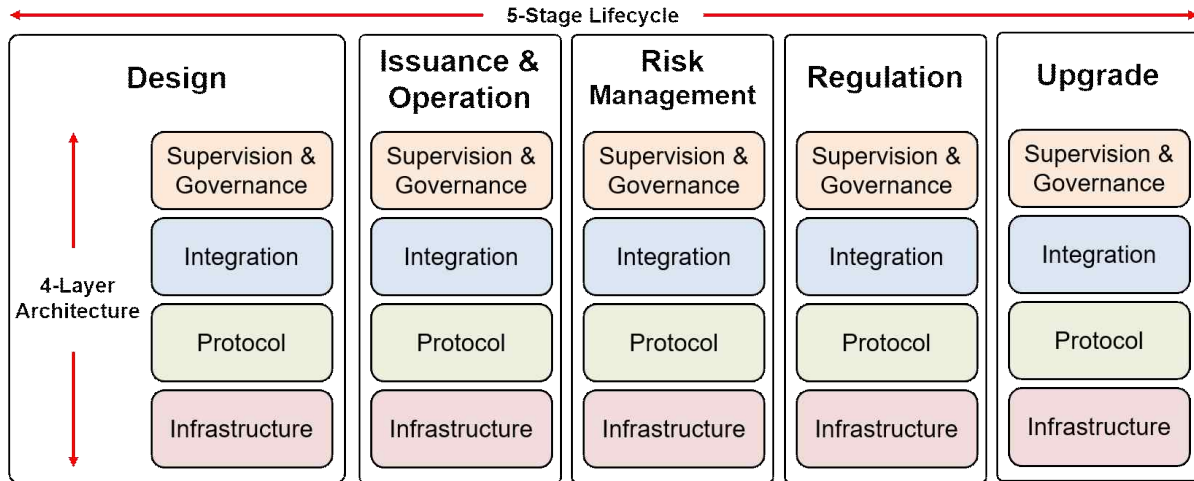


그림 1. 스테이블코인 생애주기별 계층형 분석 프레임워크
Fig. 1. A Layered Analytical Framework Across the Stablecoin Lifecycle

성을 결정짓는다.

- 2) L2 - 프로토콜 레이어 (Protocol Layer): 스테이블코인의 핵심 비즈니스 로직이 구현되는 스마트 컨트랙트 계층이다. 담보 자산의 정의, 토큰의 발행 (Minting) 및 소각 (Burning) 메커니즘, 가격 안정화 모듈 (PSM), 그리고 청산 엔진 (Liquidation Engine) 등 가치 유지를 위한 핵심 알고리즘이 이곳에 존재한다.
- 3) L3 - 통합 레이어 (Integration Layer): 서로 다른 블록체인 네트워크 간의 자산 이동 등의 상호운용성 (Interoperability)을 보장하는 계층이다. 크로스체인 브릿지 (Cross-chain Bridges), 래핑된 자산 (Wrapped Assets) 표준, 그리고 체인 간 메시징 프로토콜이 포함되며, 유동성 파편화 문제를 해결하는 역할을 수행한다.
- 4) L4 - 감독 및 거버넌스 레이어 (Supervision & Governance Layer): 기술적 시스템과 현실 세계의 규제 요구사항을 연결하는 최상위 계층이다. 준비금 증명 그리고 비상 상황 시 프로토콜을 제어하는 거버넌스 (DAO 또는 중앙화된 관리자) 모듈이 포함된다.

3.2.2. 5단계 생애주기 모델

스테이블코인 시스템은 정지된 상태가 아니라, 시

- 1) 설계 (Design): 시스템의 방향성을 결정하는 초기 단계로, 향후 수정하기 어려운 핵심 아키텍처가 확정된다. L1에서는 퍼블릭 대 프라이빗 체인 선택과 합의 알고리즘에 따른 보안 모델이 정의되며 이에 따라 거래 처리 속도, 송금 수수료 등이 결정된다. L2에서는 담보 유형 (법정화폐, 암호화폐, 알고리즘)과 가격 유지 메커니즘이 설계되고, L3에서는 멀티체인 확장 전략이, L4에서는 규제 준수 요건을 반영한 거버넌스 모델이 수립된다.
- 2) 발행 및 운영 (Issuance & Operation): 시스템이 실제 가동되어 사용자와 상호작용하는 단계이다. L2의 스마트 컨트랙트를 통해 사용자의 담보 예치에 따른 토큰 발행과 소각이 실행되며, L1 인프라는 트랜잭션 처리와 노드 운영을 담당한다. L3에서는 브릿지를 통한 체인 간 유동성 라우팅이 일어나며, L4에서는 자동화된 감사 로그 생성과 같은 일상적인 감독 활동이 수행된다.
- 3) 위험 관리 (Risk Management): 시장 변동성 확대, 해킹 시도, 디페깅 (De-pegging) 등 시스템 위협에 대응하는 단계이다. L2의 청산 엔진이 가동되어 부실 담보를 정리하고 페깅을 유지하며, L1에서는 DDoS 공격 방어 및 노드 복구가 이루어진다. L3에서는 브릿지 해

킹 등 보안사고 시 자산 이동을 차단하는 비상조치가, L4에서는 위기 대응 거버넌스 투표 및 감독 기관 통보 절차가 실행된다.

- 4) 규제 준수 (Compliance): 외부 규제 기관의 요구사항을 기술적으로 이행하는 단계이다. L4 레이어가 주도적으로 작동하며, 실시간 준비금 증명 데이터 생성, 자금세탁방지를 위한 특정 주소 동결, 그리고 규제 리포팅을 위한 감사 데이터 추출이 수행된다. L1과 L2는 이러한 규제 조치가 위변조 불가능하게 기록되도록 데이터 무결성을 보장하는 역할을 한다.
- 5) 업그레이드 (Upgrade): 기술 발전과 시장, 규제의 변화에 맞춰 시스템을 진화시키는 단계이다. L2 스마트 컨트랙트의 로직 개선이나 새로운 담보 자산 추가, L1 네트워크의 하드 포크 (Hard Fork) 대응, L3의 새로운 크로스체인 표준 도입 등이 포함된다. L4에서는 변경된 규제 환경에 맞춰 거버넌스 정책과 규칙 셋 (Rule Set)을 갱신한다.

본 논문은 이어지는 장에서 이 4계층 아키텍처와 5단계 생애주기가 교차하는 지점에서 발생하는 핵심적인 설계 결정사항과 기술적 트레이드오프를 분석한다.

IV. 프레임워크 기반 분석

앞서 제안한 4계층 아키텍처와 5단계 생애주기 모델을 교차 분석하면, 스테이블코인 시스템이 해결해야 할 기술적 문제들이 드러난다. 본 장에서는 시스템의 성패를 좌우하는 가장 결정적인 세 가지 기술적 요소인 신뢰성, 확장성, 그리고 규제 준수를 중심으로 핵심 설계 결정사항과 기술적 트레이드오프를 분석한다.

4.1. 신뢰성: 담보 모델과 준비금 증명

스테이블코인의 가장 본질적인 요구사항은 가격 안정성이나, 이를 구현하는 과정에서 자본 효율성과 신뢰성 사이의 상충 관계가 발생한다. L2 프로토콜 레이어의 설계 단계에서 발행사는 담보 모델을 결정해야 하는데, 법정화폐 담보 모델은 1:1 페깅의 신뢰도가 가장 높다는 장점이 있으나 오프체인 은행에 대한 신뢰 비용이 발생한다는 한계가 있다. 반면 암호화폐 담보 모델은 온체인 투명성을 보장하지만, 담보 가치 변동에 따른 청산 리스크를 방지하기 위해 과도한 초과 담보를 요구하여 자본 효율성

이 떨어진다. (L2 - 설계, 발행 및 운영)

또한 운영 및 규제 준수 단계에서는 실시간 투명성 확보가 핵심 과제로 대두된다. 전통적인 월간 회계 감사는 데이터의 시차로 인해 급변하는 시장 상황에서 완전한 신뢰를 보장하기 어렵다. 이에 대한 기술적 해법으로 도입되고 있는 준비금 증명 기술은 오라클을 통해 오프체인 은행 계좌의 잔고를 실시간으로 온체인에 중계하고, 스마트 컨트랙트가 온체인 발행량이 오프체인 준비금보다 작거나 같다는 조건을 매 트랜잭션마다 검증하도록 강제한다. 이는 사후 감사 중심의 신뢰 모델을 실시간 기술적 검증 모델로 전환시키는 핵심적인 진보이다. (L4 - 발행 및 운영, 규제 준수)

4.2. 확장성: 멀티체인 전략과 브리지 리스크

스테이블코인 발행사는 발행한 스테이블코인이 널리 사용되어 수요가 증가하고 더 많이 발행할수록 쌓인 준비금 운용을 통해 높은 수익을 얻을 수 있다. 이 때문에 다양한 블록체인 상에서 높은 활용도를 통해 많이 사용되도록 하는 것은 필연적인 도전과제이다. 하지만 수많은 블록체인들 중 특히 초기에 어떤 체인 상에서의 발행과 활용에 집중할지 선택하는 것은 스테이블코인의 성공 여부를 결정하는 중요한 전략이 된다. 블록체인 네트워크마다 다양한 측면의 장단점이 있고 이에 따른 핵심 애플리케이션들이 다르기 때문에 스테이블코인 프로젝트가 추구하는 목적에 따라 적절한 체인을 선택해야 한다. 예를 들어, 이더리움과 같이 탈중앙화 및 보안성이 검증된 네트워크는 높은 신뢰성과 규제 친화성을 제공하지만, 느린 거래 처리 속도와 높은 수수료 측면에서 단점이 있다. 반면 솔라나와 같은 고성능 네트워크는 높은 TPS와 낮은 비용이라는 장점을 가지나, 검증 노드 구성의 상대적 중앙화 리스크가 존재한다. 따라서 스테이블코인 발행사는 대상 시장이 기관 간 대규모 정산인지 소매 결제 중심인지에 따라 인프라 레이어 선택이 달라질 수 있다. (L1 - 설계)

운영 단계에서 크로스체인 상호운용성 전략 역시 중요한 설계 변수이다. 둘 이상의 블록체인에서 동시에 발행 또는 유통하고자 할 때 이를 어떻게 기술적으로 구현할 것인지에 관한 전략을 의미한다. 래핑 (Wrapped) 자산 방식은 소스 체인에서 자산을 락업하고 목적 체인에서 대응 토큰을 발행하는 Lock&Mint 구조로 구현이 용이하고 초기에 유동성을 빠르게 조성할 수 있으나, 브리지 스마트컨트랙

트, 검증자 등 특정 컴포넌트에 의존하기 때문에 단일 실패점으로 이어질 수 있으며 과거 해킹 사례의 주요 공격 대상이 되었다. 반면 CCTP와 같은 네이티브 Burn&Mint 방식은 소스 체인에서 자산을 소각하고 목적 체인에서 동일한 양을 발행하는 구조로, 체인 간 유동성을 통합하고 자산 파편화를 해소하며 자본 효율성과 보안성이 높다는 평가를 받는다. 최근 기술적 흐름은 보안성과 규제 대응, 유동성 일원화를 중시하며 네이티브 방식 채택이 확대되는 방향으로 이동하고 있다. (L3 - 발행 및 운영, 위험 관리)

4.3. 규제 준수: 통제 메커니즘

L4 감독 레이어의 규제 준수 단계는 블록체인의 핵심 이념인 검열 저항성과 가장 극명하게 충돌하는 지점이다. 미국 GENIUS Act나 EU MiCA와 같은 규제 프레임워크를 준수하기 위해 법정화폐 기반 스테이블코인은 스마트 컨트랙트 내에 블랙리스트 및 자산 동결 함수를 필수적으로 포함해야 한다. 이는 발행사가 특정 주소의 자산 이동을 원천 차단하거나 강제로 소각할 수 있는 권한을 부여하는 것으로, 탈중앙화된 네트워크 위에서 고도로 중앙화된 통제를 가능케 한다. (L2, L4 - 규제 준수)

이러한 백도어 기능은 규제 당국의 요구사항을 충족시키지만, 사용자 입장에서 자산 동결 리스크라는 새로운 위협이 된다. 이를 완화하기 위해 최근에는 다중 서명 관리자 기능을 도입하거나, 자산 동결의 조건과 절차를 스마트 컨트랙트에 명시하여 자의적인 권한 행사를 방지하는 프로그래밍 가능한 거버넌스 모델이 연구되고 있다. 결국 스테이블코인의 아키텍처는 기술적 탈중앙성과 법적 규제 준수 사이에서 최적의 균형점을 찾아가는 과정에 있다.

V. 스테이블코인의 활용 방안

앞서 제안한 기술적 아키텍처와 생애주기 모델은 결국 스테이블코인이 실물 경제와 디지털 경제 내에서 실질적인 효용을 창출하기 위한 기반이다. 본 장에서는 스테이블코인이 현재 글로벌 금융 시장에서 활용될 수 있는 일반적인 사례를 분석하고, 나아가 원화 (KRW) 기반 스테이블코인이 도입될 경우의 특화된 활용 시나리오와 미래 머신 이코노미 환경에서의 역할을 제안한다.

5.1. 글로벌 금융 인프라로서의 일반적 활용

스테이블코인의 가장 본질적인 활용 가치는 블록체인의 효율성과 법정화폐의 안정성을 결합하여 전통 금융 시스템의 비효율성을 해소하는 데 있다. 첫째, 국경 간 결제 및 송금 분야에서의 혁신이다. 기존 SWIFT망을 통한 해외 송금은 중계 은행을 거치며 2~5일의 시간과 높은 수수료가 소요되나, 스테이블코인은 24시간 연중무휴로 즉각적인 정산이 가능하며 수수료를 획기적으로 절감시킨다. 이는 비자와 같은 전통 결제 기업이 스테이블코인을 정산 통화로 채택하여 은행 간 정산 프로세스를 효율화하는 사례로 증명되고 있다.

둘째, 탈중앙화 금융 생태계와 전통 금융의 연결 고리 역할이다. 스테이블코인은 높은 변동성을 가진 암호화폐 시장에서 신뢰할 수 있는 교환 매개이자 가치 저장 수단으로 기능하며, 거래소 유동성의 60% 이상을 책임지는 기축 통화 역할을 수행한다. 또한 최근에는 미국 단기 국채와 같은 실물 자산 (RWA)을 담보로 하여 보유자에게 직접 이자 수익을 제공하는 수익형 스테이블코인이 등장함에 따라, 온체인 자본이 전통 자산 시장으로 유입되는 핵심 경로로 자리 잡고 있다.

셋째, 경제적 불안정성에 대한 헤지 수단이다. 베네수엘라나 아르헨티나와 같이 자국 통화의 변동성이 극심한 고인플레이션 국가에서 스테이블코인은 누구나 접근 가능한 디지털 달러로서 기능하며 자산 가치를 보존하는 역할을 한다. 이는 인터넷 연결만으로 금융 서비스에 접근할 수 있게 하여 금융 포용성을 확대하는 사회적 효용을 창출한다.

5.2. 원화 기반 스테이블코인의 특화 활용

현재 시장을 지배하는 달러 기반 스테이블코인과 달리, 원화 기반 스테이블코인은 한국의 산업적 특성과 결합하여 고유한 부가가치를 창출할 수 있다. 우선 도매 및 무역 금융의 효율화이다. 동대문이나 남대문 시장과 같은 대형 도매 시장에서 활동하는 외국인 상인들은 환전과 현금 처리의 불편함을 겪고 있다. 원화 스테이블코인은 이러한 B2B 거래에서 환전 비용 없는 실시간 정산을 가능케 하며, 수출입 기업 간의 무역 대금 결제 프로세스를 투명하고 신속하게 개선할 수 있다. 현재 이미 우리나라를 방문하는 외국인들이 전통 시장에서 스테이블코인을 통해 값을 지불하거나, 스테이블코인을 원화 현금으로 바꿀 수 있는 ATM이 설치되는 등의 실제 사례를 찾아볼 수 있다.

또한 K-콘텐츠 및 관광 산업과의 시너지 효과를

기대할 수 있다. 전 세계적으로 확산된 K-Pop 팬덤이나 웹툰 독자들은 국가별 결제 시스템의 장벽으로 인해 콘텐츠 구매나 굿즈 결제에 어려움을 겪는 경우가 많다. 원화 스테이블코인은 이러한 국경 간 소액 결제를 원활하게 지원하는 글로벌 결제 수단이 될 수 있다. 이미 해외의 일부 이커머스들은 스테이블코인을 통한 지불을 도입하고 있고, 관련 기업들의 인수합병과 빠른 성장이 진행되고 있다. 의료 관광 분야에서도 외국인 환자들이 성형외과나 피부과 시술 비용을 원화 스테이블코인으로 결제함으로써 환율 변동 위험을 줄이고, 세금 환급 절차를 스마트 컨트랙트로 자동화하여 투명성을 높이는 등 행정 비용을 절감할 수 있다.

5.3. 머신 이코노미와 AI 에이전트의 자율 결제

최근 AI 기술의 고도화로 인간의 개입 없이 기계 간 상호작용이 이루어지는 머신 이코노미가 부상함에 따라, 스테이블코인은 AI 에이전트를 위한 핵심적인 금융 인프라로 주목받고 있다. 기존의 신용카드나 은행 계좌 시스템은 신원 인증과 복잡한 승인 절차를 요구하므로, 자율적으로 판단하고 행동하는 AI 에이전트가 사용하기에는 기술적 장벽이 존재한다. 또한 AI가 수행하는 API 호출이나 데이터 구매와 같은 초소액 결제를 처리하기에는 기존 결제망의 수수료 구조가 비효율적이다.

스테이블코인은 이러한 한계를 극복하고 웹의 초기 비전이었던 HTTP 402 (Payment Required) 프로토콜 [30]을 실현할 수 있는 최적의 수단이다. 스테이블코인이 스마트 컨트랙트를 기반으로 발행되는 프로그래밍 가능한 디지털 화폐라는 특성 덕분에, AI 에이전트는 별도의 은행 방문 없이 자체적으로 지갑을 생성하여 스테이블코인을 보유할 수 있으며, 스마트 컨트랙트를 통해 사전 정의된 조건이 충족되면 즉시 자금을 전송하는 자율적인 경제 활동이 가능하다. 이는 향후 자율주행차의 충전 요금 자동 결제, AI 비서의 서비스 구독 관리, IoT 기기 간의 데이터 거래 등 기계가 주체가 되는 경제 생태계에서 스테이블코인이 기축 통화로서 필수적인 역할을 수행할 것임을 시사한다. 실제로 코인베이스 (Coinbase)와 클라우드플레어 (CloudFlare)는 협력을 통해 이를 실현할 수 있는 x402 표준을 발표하였고, 이를 활용한 거래 역시 점차 증가하고 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 스테이블코인의 기술적 구조와 동향에 대한 포괄적인 분석을 제공하였다. 이를 통해 스테이블코인이 단순한 암호화폐 토큰을 넘어 블록체인 인프라와 스마트 컨트랙트, 그리고 외부 규제 시스템이 결합된 복합적인 시스템임을 보였다. 기존의 경제학적 측면에만 머물러 있던 논의를 기술적 설계 관점으로 초점을 변경하여 4계층 아키텍처와 5단계 생애주기 모델을 포함하는 새로운 분석 프레임워크를 제안하였다.

나아가 본 논문은 이러한 기술적 기반 위에서 스테이블코인이 국경 간 송금과 B2B 결제의 효율성을 혁신할 뿐만 아니라, 원화 기반 모델을 통한 특화 산업의 발전, 그리고 AI 에이전트 기반의 머신 이코노미를 실현하는 프로그래밍 가능한 화폐로서의 잠재력을 설명하였다.

향후 연구에서는 본 논문에서 정립한 프레임워크를 심화 확장하여, 4계층 아키텍처와 5단계 생애주기가 교차하는 각 지점에서의 핵심 기술 동향과 현존하는 한계점에 대해 자세히 분석하고자 한다. 단순히 구조를 도식화하는 것을 넘어, 각 계층과 생애주기 단계가 맞물릴 때 발생하는 구체적인 기술적 요건을 식별하고, 이를 해결하기 위해 시도되고 있는 최신 기법들을 심도 있게 다룰 것이다. 아울러, 현재 글로벌 시장에서 널리 사용되고 있는 USDT, USDC, DAI 등 실제 스테이블코인 프로젝트들을 제안한 프레임워크를 통해 분석하는 실증적 연구를 진행할 계획이다. 또한, 대표적인 실패 사례로 꼽히는 테라-루나 사태의 UST 프로젝트 역시 본 프레임워크를 통한 모델링을 통해 프로젝트 내 산재하고 있던 위험성에 대해 분석을 진행할 예정이다. 주요 프로젝트들의 기술적 설계 결정과 운영 메커니즘을 본 프레임워크에 대입하여 비교 분석함으로써, 각 프로젝트의 기술적 특성을 명확히 규명하고 제안된 프레임워크가 실제 시스템을 진단하고 설계하는 데 있어 유효한 도구임을 보일 것이다.

References

- [1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," 2008.
<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [2] V. Buterin, "A next-generation smart contract and decentralized application platform," Ethereum White Paper, 2014.

- <https://ethereum.org/en/whitepaper/>
- [3] S. Feingold, "Stablecoin surge: Reserve-backed cryptocurrencies are on the rise," World Economic Forum, Mar. 26, 2025. <https://www.weforum.org/stories/2025/03/stable-coins-cryptocurrency-on-rise-financial-systems/>
- [4] Tether Operations Limited, "Tether (USDT) Official Website," [Online]. Available: <https://tether.to>
- [5] PayPal Holdings, Inc., "PayPal USD (PYUSD): A U.S. dollar-denominated stablecoin," Product documentation, 2023. [Online]. Available: <https://www.paypal.com/>
- [6] Stripe, Inc., "Stripe Crypto and stablecoin payments," Product documentation, 2024. [Online]. Available: <https://stripe.com/>
- [7] Financial Services Commission (FSC), Republic of Korea, "Regulatory guidelines for security token offerings and tokenized securities," Policy Statement, Feb. 2023. [Online]. Available: <https://www.fsc.go.kr/>
- [8] 119th U.S. Congress, "S.394 – GENIUS Act of 2025," Public Law, 2025. [Online]. Available: <https://www.congress.gov/bill/119th-congress/senate-bill/394/text>
- [9] European Union, "Regulation (EU) 2023/1114 of the European Parliament and of the Council on Markets in Crypto-assets (MiCA)," Official Journal of the European Union, 2023; stablecoin rules effective June 2024. [Online]. Summarized at: <https://www.eba.europa.eu/>
- [10] Financial Services Agency (FSA), Japan, "Amendments to the Payment Services Act and related cabinet orders concerning stablecoins," 2023. [Online]. Available: <https://www.fsa.go.jp/>
- [11] Hong Kong Monetary Authority, "Stablecoins Ordinance and licensing and regulatory framework for stablecoins," first gazetted Dec. 2024. [Online]. Available: <https://www.hkma.gov.hk/>
- [12] Monetary Authority of Singapore, "MAS finalises stablecoin regulatory framework for single-currency stablecoins pegged to SGD or G10 currencies," Framework announced Aug. 2023. [Online]. Available: <https://www.mas.gov.sg/>
- [13] National Assembly of Vietnam, "Law on Digital Technology Industry," Law No. XX/2024/QH15. [Online]. Overview: <https://www.vietnam-briefing.com/>
- [14] National Assembly of the Republic of Korea, "Act on the Protection of Virtual Asset Users," Act No. 19564, Jul. 18, 2023. [Online]. Available: https://elaw.klri.re.kr/eng_mobile/viewer.do?hseq=63752&type=part&key=23
- [15] B. D. Min et al., "Basic Act on Digital Assets," Bill No. 2210736, 22nd National Assembly, Republic of Korea, Jun. 2025. [Online]. Available: https://watch.peoplepower21.org/index.php?mid=LawInfo&bill_no=2210736
- [16] D. Bullmann, J. Klemm, and A. Pinna, "In search for stability in crypto-assets: are stablecoins the solution?," ECB Occasional Paper, no. 230, 2019.
- [17] R. K. Lyons and G. Viswanath-Natraj, "What keeps stablecoins stable?," The Journal of Finance, vol. 78, no. 4, pp. 2091 – 2135, 2023.
- [18] D. W. Arner, R. Auer, and J. Frost, "Stablecoins: risks, potential and regulation," Bank for International Settlements (BIS) Working Papers, no. 905, 2020.
- [19] G. B. Gorton and J. Zhang, "Taming wildcat stablecoins," The University of Chicago Law Review, vol. 90, pp. 905 – 958, 2021.
- [20] B. Eichengreen, "From commodity to fiat and now to crypto: what does history tell us?," NBER Working Paper, no. w25426, 2019.
- [21] A. Klages-Mundt, D. Harz, L. Gudgeon, A. R. Minca, and W. J. Knottenbelt, "Stablecoins 2.0: Economic foundations and risk-based models," in Proceedings of the 2nd ACM Conference on Advances in Financial Technologies (AFT), 2020, pp. 59 – 79.
- [22] A. Briola, D. Vidal-Tomás, Y. Wang, and T. Aste, "Anatomy of a stablecoin's failure: The Terra-Luna case," Finance Research Letters, vol. 51, p. 103358, 2023.

- [23] I. Aldasoro, A. Cornelli, M. Ferrari Minesso, L. Gambacorta, and M. Habib, "Stablecoins, money market funds and monetary policy," BIS Bulletin, no. 87, 2024.
- [24] H. Liu, I. Makarov, and A. Schoar, "Anatomy of a run: The Terra Luna crash," NBER Working Paper, no. w31160, 2023.
- [25] Circle Internet Financial, "USD Coin (USDC)," [Online]. Available: <https://www.circle.com/en/usdc>
- [26] MakerDAO, "MakerDAO Official Website," [Online]. Available: <https://makerdao.com>
- [27] Chainlink, "Chainlink Official Website," [Online]. Available: <https://chain.link>
- [28] The Block, "Total Stablecoin Supply," The Block Data Dashboard, Feb. 2025. [Online]. Available: <https://www.theblock.co/data/decentralized-finance/stablecoins>
- [29] DefiLlama, "Stablecoin Pegs and Market Share Breakdown," DefiLlama Data Dashboard, Feb. 2025. [Online]. Available: <https://defillama.com/stablecoins>
- [30] R. Fielding, M. Nottingham, and J. Reschke, Eds., "HTTP Semantics," Internet Engineering Task Force (IETF), RFC 9110, Jun. 2022. [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9110.html#name-402-payment-required>

강 창 훈 (Changhoon Kang)



2019 포항공과대학교, 컴퓨터 공학과 학사
 2019 ~ 현재 포항공과대학교, 컴퓨터공학과 석박통합과정
 <관심분야> 블록체인, 암호화폐, 결제 시스템, 스테이블 코인, 에이전틱 AI

홍 원 기 (James Won-Ki Hong)



1983 Univ. of Western Ontario, BSc in Computer Science
 1985 Univ. of Western Ontario, MS in Computer Science
 1985 ~ 1986 Univ. of Western Ontario, Lecturer
 1986 ~ 1991 Univ. of Waterloo, PhD in Computer Science
 1991 ~ 1992 Univ. of Waterloo, Post-Doc Fellow
 1992 ~ 1995 Univ. of Western Ontario, 연구교수
 1995 ~ 현재 포항공과대학교, 컴퓨터공학과 교수
 2007 ~ 2011 포항공과대학교, 정보통신대학원장
 2007 ~ 2010 포항공과대학교, 정보통신연구소 연구소장
 2008 ~ 2010 포항공과대학교, 컴퓨터공학과 주임교수
 2008 ~ 2012 포항공과대학교, 정보전자융합공학부장
 2012 ~ 2014 KT 종합기술원, 원장
 <관심분야> 네트워크 및 시스템 관리, 생성형 AI, 블록체인 및 암호화폐