
디지털화폐의 활용 사례 탐구 : 고객 대상 발행 실험

김대곤, 김소연, 김필수

I. 개요 1

II. 금융결제원 가상환경 기술 실험 3

1. 금융결제원의 실험 배경 3
2. 가상환경 기술 실험 내용 5
3. 시스템 아키텍처 12

III. 실험 결과 16

1. 디지털화폐의 차별성 16
2. 처리 성능 18

IV. 향후 연구방향 21

1. 제도적 검토 21
2. 기술적 검토 23

V. 부록 25

1. SATP 25
2. Parallel Transaction Execution 29
3. 주요 화면 31
4. 용어 34
5. 참여기관 36
6. 참고문헌 37

〈 요 약 〉

한국은행은 2023년 10월부터 기관용 디지털화폐를 대상으로 「디지털화폐 활용성 테스트(프로젝트 ‘한강’)」를 추진하고 있다. 한국은행은 다수의 금융회사가 예금 토큰 등을 발행할 수 있는 통합 인프라로서 디지털화폐 시스템을 제시하였다.

미래 금융시장 인프라 구축 방안을 선제적으로 점검할 수 있는 가상 환경에서의 기술 실험에서 금융결제원은 고객 대상 신규 금융상품 발행 실험을 진행하였다. 본 실험에서 디지털화폐의 프로그래밍 가능성을 점검하였고, 새로운 형태의 금융상품을 고객 대상 청약 형태로 발행할 때 결제리스크를 최소화하는 방안을 마련하고자 하였다.

금융결제원은 9개 은행 및 한국은행 지속가능성장실과 함께 새로운 형태의 금융상품(2종)의 고객 대상 발행 실험을 성공적으로 완료하여 목표한 프로그래밍 기능의 효율적 구현 가능성을 확인하였다. 동 실험에서 주관기관 역할을 수행한 7개 은행은 총 6,139억 규모, 총 12개의 금융상품을 발행하였다. 이를 통해 디지털화폐의 차별성을 점검할 수 있었다.

앞으로는 가상환경 기술 실험에 사용된 기술의 실질적 활용을 위해서 금융상품의 토큰화에 대한 다면적인 제도적 연구가 선행되어야 한다. 또한, 토큰의 법적 지위와 효력을 명확히 정립하기 위한 금융투자업 관련 법규 및 규정 개정 등을 검토할 필요가 있다.

기술적 측면에서 스마트계약을 통해 고객의 자격 판단 등을 자동화하는 경우 일부 예외 처리가 필요할 수 있으므로 스마트계약을 활용한 자동화와 함께 사람의 후선작업을 통해 오류를 조정하거나 재처리하는 하이브리드 방식이 필요할 수 있다. 또한, Hyperledger Besu의 기존 순차적 처리 대비 최대 45%의 성능 개선을 보여준 병렬 처리 기능, Parallel Transaction Execution을 적용하여 성능 향상을 기대해 볼 수 있다. 마지막으로 SATP¹⁾는 자산 보유자가 직접 자산을 이전 요청하는 것이 원칙이지만, 필요시 금융기관이 자산 보유자의 자산을 이전 요청하는 기능을 추가하는 것도 고려해 볼 수 있을 것이다.

1) SATP(Secure Asset Transfer Protocol)는 두 게이트웨이 간 단방향으로 디지털 자산을 전송하기 위해 작동하는 표준 프로토콜을 의미한다.

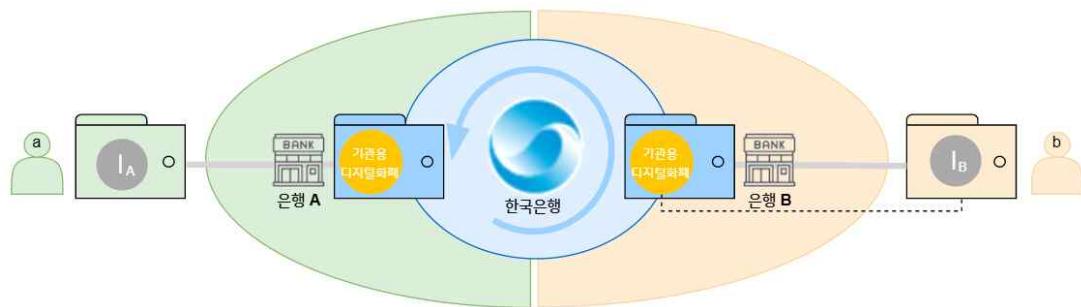
I. 개요

대한민국은 지급결제시스템이 매우 발달하여 계좌이체, 지로, 어음·수표, 지급카드 등 다양한 지급서비스가 상당한 규모로 이용되고 있다. 2024년 기준 금융결제원의 소액결제시스템을 통한 결제 규모²⁾는 일평균 4,405만 건, 106.4조 원에 달한다. 이처럼 방대한 지급결제시스템에 또 한 번의 혁신을 이룰 수 있는 커다란 도전이 시작되고 있다.

한국은행은 2021~2022년 일반 국민이 실생활에서 사용할 수 있는 범용 디지털화폐에 대한 파일럿 테스트³⁾를 실시하였다, 그리고 이미 범용 지급수단을 활발하게 사용하고 있는 국내 상황을 고려하여 2023년 10월부터는 기관용 디지털화폐⁴⁾를 대상으로 「디지털화폐 활용성 테스트(프로젝트 ‘한강’)」⁵⁾를 추진하고 있다.

한국은행은 다수의 금융회사가 예금 토큰 등을 발행할 수 있는 통합 인프라로서 디지털화폐 시스템을 <그림1>과 같이 제시하였다. 개인 간의 거래에는 은행이 발행하는 예금 토큰을 사용하고, 은행 간의 지급거래에는 한국은행이 발행하는 디지털화폐를 사용한다.

<그림 1> 디지털화폐 시스템



출처: 한국은행 보도자료 그림 재구성

2) 소액결제시스템은 기업 또는 개인을 대상으로 제공하는 결제 시스템으로 어음교환시스템, 지로시스템, 금융공동망(CD공동망, 타행환공동망, 전자금융공동망)등이 대표적이다. 결제 규모는 금융공동망 및 지로시스템의 경우 자금 이체 규모를, 어음교환시스템의 경우 교환 규모를 각각 의미한다.

3) 한국은행은 모의실험 연구(21.8월~22.6월) 및 금융기관과의 연계 실험(22.7월~12월)을 진행하였다.

4) 한국은행, A step toward new financial market infrastructure: Bank of Korea's initiative, 2023.10.

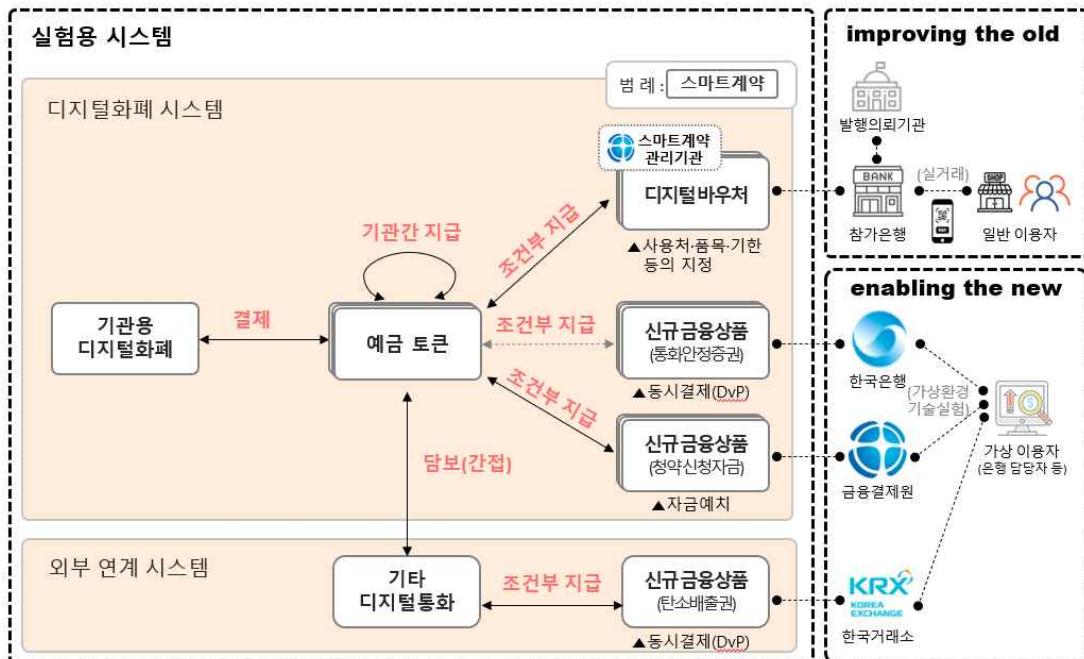
5) 한국은행 · 금융위원회 · 금융감독원 공동 보도자료, CBDC 활용성 테스트 추진 계획, 2023.10.

디지털화폐 활용성 테스트는 <그림 2>와 같이 2가지 종류의 테스트가 진행된다. ①전통적 지급서비스를 개선(improving the old)하여 일반 국민이 새로운 디지털화폐의 효용을 직접 체험할 수 있는 실거래 테스트와, ②미래 금융 시장 인프라 구축 방안을 선제적으로 점검(enabling the new)할 수 있는 가상환경 기술 실험이 포함된다.

실거래 테스트는 ‘25.4월~6월 중 일반 국민 10만 명을 대상으로 7개 은행⁶⁾이 예금 토큰을 발행하고, 예금 토큰의 이용자는 사용처⁷⁾에서 직접 물품 구매 등에 사용할 수 있다. 특히, 서울시, 대구시, 신라대학교의 지원금을 기반으로 예금 토큰에 디지털 바우처 기능을 부여하고, 지급조건 설정과 대금 지급을 자동화하는 프로그래밍 가능성(Programmability)에 대한 테스트가 포함된다. 가상환경 기술 실험은 한국은행의 금융기관 대상 디지털 통화안정증권 발행 실험, 한국거래소의 탄소배출권 등 새로운 형태의 자산 유통 실험과 금융결제원의 새로운 형태의 금융상품 청약 및 배정 실험의 3종 테스트가 각각 진행된다.

본 보고서에서는 금융결제원에서 진행한 가상환경 기술 실험에 집중하여 전통적 지급결제시스템과 명확히 차별화될 수 있고, 미래 금융시장 인프라의 비전을 제시할 수 있는 특별한 활용 사례를 소개하고자 한다.

<그림 2> 디지털화폐 활용성 테스트 구조도



6) 기업, 국민, 신한, 하나, 우리, 농협, 부산은행

7) 세븐일레븐(편의점), 이디아(커피숍), 하나로마트(대형몰), 교보문고(서점), 현대홈쇼핑(온라인몰), 모드하우스(디지털상품), 땡겨요(배달앱)

II. 금융결제원 가상환경 기술 실험

1. 금융결제원의 실험 배경

가. 금융결제원 소개

금융결제원은 자금결제와 정보유통을 원활하게 함으로써 건전한 금융거래의 유지 및 발전을 도모하고 금융회사 이용자의 편의를 제공하는 등 금융산업 발전에 기여할 목적으로 설립된 대한민국 지급결제 전문기관이다. 대한민국 5대 국가기간전산망의 하나인 금융전산망 구축을 위하여 1986년 6월, 비영리 사단법인으로 출범하여 2024년 기준으로 10개 사원은행, 13개 준사원은행, 129개 특별참가기관에 자금을 중개하고 정보를 중계하고 있다.

금융결제원은 2017년부터 분산원장 기술을 연구하였고 이를 금융산업에 적용하기 위한 다양한 기술 검증 및 실거래 서비스를 추진하였다. 2017년에는 금융권 주요 업무인 지급정산, 고객인증, 정보중계 등을 대상으로 블록체인 기술의 적용 가능성을 확인하였다. 2018년에는 외교부, 관세청, 국토부와 협업하여 정부 블록체인 시범사업을 추진하였고, 2019년에는 은행이 분산원장에 예금 기반의 토큰을 발행하고, 소액결제시스템과 실시간 연계하여 지급·결제하는 테스트를 진행한 바 있다. 2020년부터는 실거래 서비스로서 공무원 연금공단과 함께 자격 확인 서비스를 제공했으며, 2021년에는 분산원장 기반의 대규모 상용서비스인 금융 분산ID 서비스를 개시하였다. 16개 은행이 이용하고 있는 금융 분산ID 서비스는 현재까지도 은행 고객에 대한 신원인증 등에 사용되고 있다.

나. 실험 배경

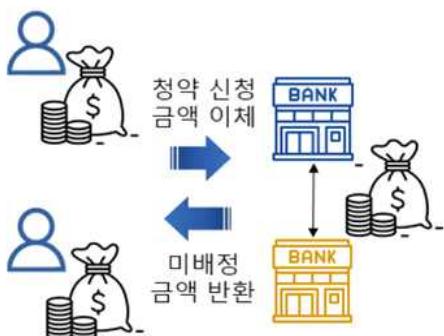
금융결제원은 전통적 기술 방식의 지급결제시스템을 다년간 안정적으로 운영해 온 전문성을 기반으로 현행 비즈니스에 분산원장 기술을 활용하는 다수의 사례를 점검한 바 있다. 하지만 현행 업무절차에 단순히 분산원장 기술을 적용하는 것만으로는 이용자로서 온전히 차별성을 경험하기에 부족하다고 판단하였다. 이에 현행 중앙집중식 원장과 차별화되어 분산원장 기술만이 가지는 핵심 가치에 대한 해답을 찾기 위해 두 가지 원칙을 정했다. 첫째, 현행 업무가 아닌 새로운 미래 비즈니스 환경을 실험 대상으로 정한다. 둘

째, 국제결제은행이 디지털화폐의 차별성으로 제시⁸⁾한 프로그래밍 가능성(Programmability)을 적극적으로 활용할 수 있는 사례 발굴을 목표로 정했다.

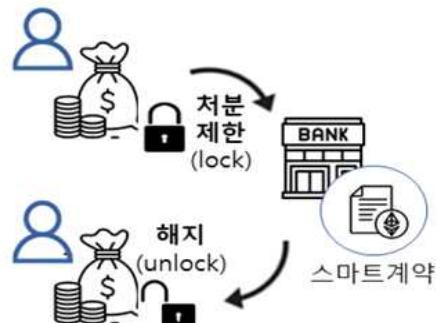
각 원칙에 따라 첫째, 은행 등이 토큰화된 채권을 일반인에게 공모 형태로 자유롭게 발행하는 미래 지급결제 환경을 상정하였다. 분산원장 기술이 바라보는 토큰화 경제는 토큰화된 자금뿐만 아니라 다양한 형태의 토큰화된 자산이 분산원장 상에서 존재해야 비로소 효용성이 발현될 수 있다. 즉, 자금과 자산이 동시에 완결되는 원자적 결제(atomic settlement)는 다양한 종류의 토큰화된 자산을 분산원장 상에 발행하는 것을 전제할 필요가 있다.

둘째, 금융상품의 청약과 배정 과정에서 결제리스크를 최소화하는 방안을 프로그래밍 기능을 통해 자동화할 필요가 있다. 현행 <그림 3>과 같이 발행 금융기관 등에 고객이 직접 청약 신청 자금을 이체하고, 미배정 물량에 상응하는 선이체 금액을 다시 반환받는 형태로 청약이 이뤄진다면 금융기관 간의 불필요한 자금 이체 규모가 커질 수 있다. 예컨대 2022년 1월 LG 에너지솔루션 공모주 청약에 총 114.1조 원의 자금이 몰렸지만, 배정 자금은 3.2조 원에 불과해 약 110.8조 원이 다시 고객에게 반환되었다. 과도한 자금 이체는 소액결제시스템의 불안정을 초래⁹⁾할 수 있으며, 자금이 증권사의 계좌로 이체되어 반환되는 구조이므로 해당 금액에 대한 이자는 고객 수취가 불가¹⁰⁾하다. 반면에 프로그래밍 기능을 활용하면 청약 신청 자금을 실제 이체하지 않더라도 배정 물량에 대한 안정적인 결제를 보장하며, 지급결제시스템의 안정성도 확보할 수 있다. 즉, <그림 4>와 같이 청약 신청 자금에 해당하는 예금 토큰을 처분 제한(lock)하고, 배정이 완료되면 처분 해지(unlock)한다. 프로그래밍 기능으로 배정량에 해당하는 금액만 증권사의 계좌로 이체하도록 함으로써 불필요한 자금 이체를 최소화할 수 있게 된다.

<그림 3> 청약 신청 자금 선이체 모델



<그림 4> 프로그래밍 기능 적용 모델



8) BIS, Blueprint for the future monetary system: improving the old, enabling the new, 2023.6.

9) 한국은행, 2024년 중 국내 지급결제동향 <참고 2>, 2025.3.

10) 2013년 11월, 감사원은 금융투자회사의 청약증거금에 대한 이자 미지급 관행을 지적한 바 있다.

2. 가상환경 기술 실험 내용

가. 참여기관

가상환경 기술 실험의 참여기관은 <표 1>과 같이 주관기관, 납입은행, 관리기관, 외부평가기관의 총 4개의 역할로 구성된다.

주관기관은 새로운 형태의 금융상품을 대상으로 공모 배정 및 금융상품 계좌 관리 등을 수행하며, 이번 실험에서 은행이 자행의 금융상품을 직접 발행하는 역할도 맡는다. 기업, 국민, 농협, 우리, 신한, 하나은행, 케이뱅크 총 7개 은행이 주관기관 역할을 담당한다.

납입은행은 자행의 예금 토큰을 보유한 가상의 청약고객으로 실험에 참여한다. 주관기관을 담당하는 7개 은행이 납입은행 역할을 겸하며, 부산은행, 아이엠뱅크가 추가로 납입은행 역할을 담당한다.

관리기관은 다수 참여기관의 프로그래밍 기능에 대한 상호연동성 보장 및 관련 기술·정책에 대한 표준 관리 등을 수행한다. 가상환경 기술 실험을 주관하는 금융결제원이 관리기관 역할을 담당하며, 스마트계약 프로그램 코드의 정적·동적 검사 및 관련 표준 관리 등을 수행한다. 아울러, 금융결제원은 동 실험에 필요한 시스템 구축을 담당한다.

동 실험에서 한국은행 지속가능성장실¹¹⁾은 외부평가기관 역할을 수행하였다. 지속가능성장실은 금융상품 관리체계의 적정성을 평가하고, 외부평가 결과를 검토하였다. 또한, 디지털 ESG 채권의 자금사용처와 디지털 SLB의 SPT 달성을 위한 외부 정보의 적합성을 검증하여 관리기관 시스템에 등록하였다. 이를 통해 지속가능성장실이 규제 준수와 위험 관리를 보장하고 금융상품 발행 과정의 투명성과 신뢰성을 강화하는 핵심 역할을 담당하였다.

<표 1> 역할별 담당 기관 및 수행 업무

역할	주관기관	납입은행	관리기관	외부평가기관
업무	금융상품 발행·배정·상환	금융상품 청약	프로그래밍 기능 관리	관리체계 평가 및 외부 정보 검증
담당	7개 은행	9개 은행	금융결제원	한국은행 지속가능성장실

11) 한국은행 지속가능성장실은 지속가능성장 이슈의 실물 및 금융 부문에 대한 경제적 영향 분석을 강화하고 기후변화 스트레스 테스트 모형을 구축함으로써 리스크 분석 능력을 제고해 중앙은행 차원의 체계적 대응에 기여하는 것을 목표로 2024년 신설된 한국은행 조직이다.

나. 대상 금융상품

금융결제원은 새로운 형태의 금융상품을 발행하고자 희망하는 은행을 모집하였다. 총 7개 은행¹²⁾의 참여 신청을 받아 주관기관 위킹그룹을 구성하고 실험에 필요한 대상 금융상품을 선정하였다.

실험 대상은 발행자가 은행이 되는 가상의 은행채를 전제로 하고, 프로그래밍 기능을 이용하여 금융상품 발행 및 관리에 수반되는 업무처리 절차를 효율화할 수 있는 금융상품을 우선 고려하기로 했다.

한편, 전 세계적으로 지속가능금융 활성화를 위한 다양한 방안들이 논의되고 있다.¹³⁾ 국내에서는 2023년 발표된 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획에 녹색 채권 등 민간기관의 녹색활동 지원, 지속가능연계채권(Sustainability-Linked Bond, 이하 SLB) 등 탄소중립·지속가능성 관련 금융상품 개발 활성화가 추진 과제로 포함되었다. 2024년 3월 환경부는 향후 5년간 총 30조 원 규모의 녹색 금융 자금 공급 계획을 발표하였고, 2024년 7월 공공기관 최초로 한국남동발전에서 SLB를 발행하는 등 ESG 채권과 SLB에 대한 관심이 높아지고 있다.

이러한 배경에서 주관기관 위킹그룹은 실험 대상 금융상품으로 <표 2>와 같이 디지털 ESG 채권과 디지털 SLB 2종을 선정하였다.

<표 2> ESG 채권과 SLB

ESG 채권은 환경(E), 사회(S), 지배구조(G) 개선과 같은 사회책임투자와 관련한 자금을 조달할 목적으로 발행되는 채권이며, SLB는 사전에 정의한 지속가능성과 목표의 달성을 여부에 따라 재무 및 구조적 특성이 달라지는 채권이다.

분류	디지털 ESG 채권	디지털 SLB
발행	ESG 관련 프로젝트가 있는 경우 발행	ESG 관련 프로젝트가 없어도 발행
자금사용처	ESG 관련 특정 사업 부문으로 한정	제약 없음
관리체계	관리체계 수립 필요	관리체계 수립 필요
구조변화	변화 없음	지속가능성과목표(SPT) 달성을 여부에 따라 채권 금리 등 변화
핵심요소	자금사용처 제한	지속가능성과목표(SPT) 설정 SPT 달성을 여부에 따른 인센티브

출처: 홍지연, 글로벌 지속가능연계채권(SLB) 시장 현황 및 국내 시사점, 자본시장연구원, 2022.9.

최순영, 지속가능연계채권의 국내 도입에 따른 기대와 과제, 자본시장연구원, 2023.1. 재구성

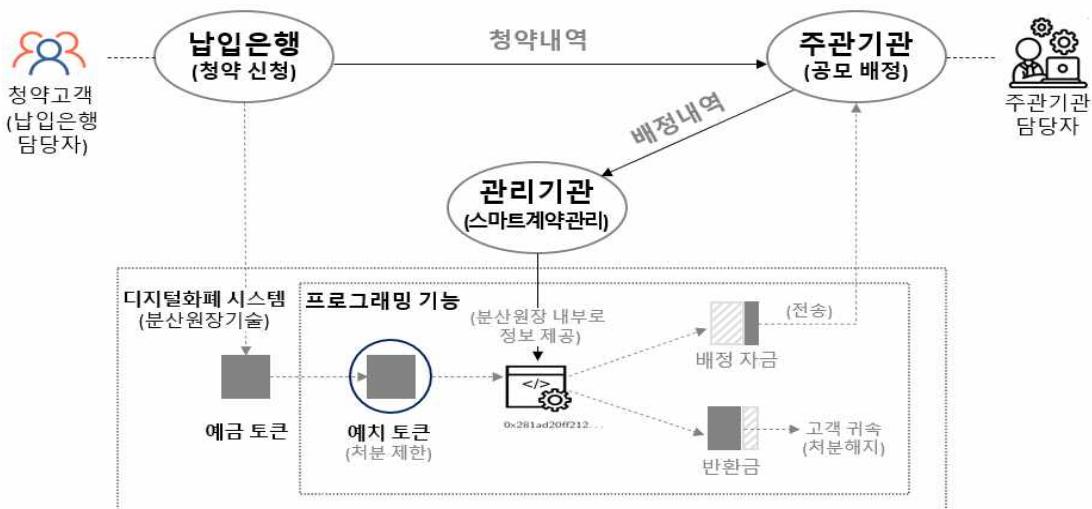
12) 기업 · 국민 · 농협 · 우리 · 신한 · 하나은행, 케이뱅크

13) 한국은행, BOK 이슈노트 토큰증권(Security Token Offering)을 통한 녹색채권 발행 사례 및 시사점, 2024.11.

다. 가상환경 구성

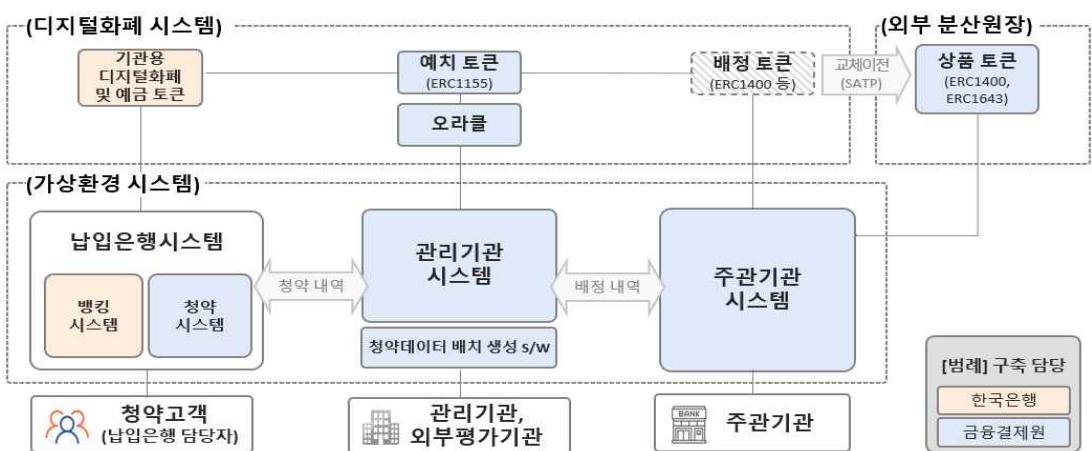
가상환경 기술 실험은 참여기관이 금융결제원이 제공하는 실험용 웹페이지에 접속하고, 각 참여기관에게 할당한 시나리오에 따라 가상의 업무를 처리하는 방식으로 실시되었다. 가상환경은 <그림 5>와 같이 주관기관, 납입은행, 관리기관(외부평가기관 포함)의 3개 시스템과 분산원장 상의 프로그래밍 기능으로 구분된다.

<그림 5> 가상환경 구성도



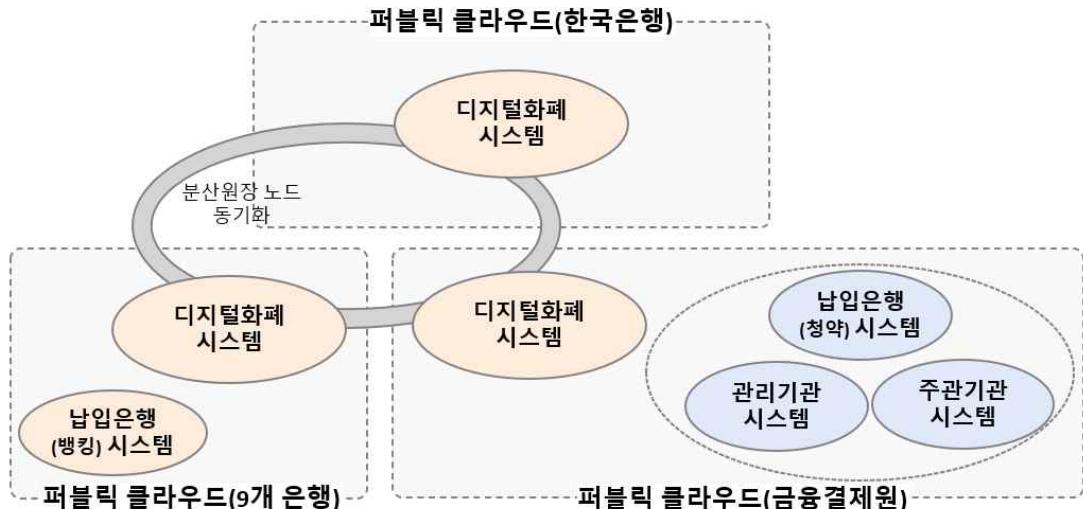
가상환경 기술 실험은 <그림 6>과 같이 한국은행의 디지털화폐 시스템과 연계되어 진행되었다. 청약 자금의 지급과 반환 과정에서는 디지털화폐 시스템에 발행된 예금 토큰을 이용하고, 은행 간 지급에는 기관용 디지털화폐가 전송되도록 구성하였다.

<그림 6> 디지털화폐 시스템과 가상환경 시스템 간의 연계



동 실험을 위한 시스템은 각 참여기관이 관리하는 퍼블릭 클라우드상에 각각 구성되었다. 디지털화폐 시스템은 한국은행이 구축하여 9개 은행과 금융결제원에 분산 구성하였고, 금융결제원은 가상환경 시스템을 구축하여 디지털화폐 시스템과 연계되도록 하였다.

〈그림 7〉 전체 시스템 구성



동 실험에 핵심이 되는 프로그래밍 기능은 이더리움 표준 스마트계약을 이용하여 <표 3> 같이 토큰 형태로 구성하였다. 기관용 디지털화폐와 예금 토큰은 한국은행의 디지털화폐 시스템에 발행된 토큰을 사용하였으며, 동 실험을 위해서 예금 토큰을 처분 제한하는 예치 토큰과 배정 내역을 관리하기 위한 배정 토큰, 상품의 주요 특징을 저장하는 상품 토큰을 추가 개발하였다. 아울러, 주관기관이 발행한 금융상품을 은행별 분산원장으로 이전될 필요가 있는 경우, 배정 토큰을 폐기하고 외부 분산원장에 배정 토큰과 동일 내역의 상품 토큰을 발행하는 방식으로 가상환경을 구성하였다.

〈표 3〉 토큰별 역할

종류	역할	발행 위치
기관용 디지털화폐	은행 간의 지급결제	디지털화폐 시스템
예금 토큰	청약증거금 이체	
예치 토큰	예금 토큰 처분 제한(고객의 주금납입능력 입증)	
배정 토큰	배정 내역 관리	
상품 토큰	만기일, 금리 등 상품의 주요 특징 저장	외부 분산원장

라. 실험 시나리오

이번 실험은 다수 은행이 참여하며 한국은행의 디지털화폐 시스템을 이용하여 은행 간의 지급결제가 가능한 환경이 전제된다. 따라서 모든 은행의 고객은 타행으로 자유롭게 송금이 가능하며, 주관기관이 금융상품을 발행하면 고객은 거래하는 납입은행과 무관하게 전체 주관기관의 금융상품에 청약할 수 있도록 하였다. 세부적인 실험 시나리오는 <그림 8>과 같이 순차적으로 처리된다.

<그림 8> 금융결제원 주관 가상환경 기술 실험 시나리오



① 상품발행

주관기관 별로 1~2종의 금융상품을 발행한다. 주관기관 담당자는 주관기관 시스템에 접속하여 Digital ESG 채권¹⁴⁾ 또는 Digital SLB¹⁵⁾를 발행할 수 있다. 주관기관 시스템은 관리기관 시스템으로 상품 정보를 전송한다.

② 외부평가

외부평가기관은 관리기관 시스템에 접속하여 각 상품 관리체계의 적합 여부를 평가한다. 관리기관 시스템은 관리체계 적합 판정을 받은 상품만을 납입은행 청약시스템으로 전송한다.

③ 청약

청약일이 도래하면 고객은 납입은행 청약시스템에 접속하여 상품을 조회할 수 있으며, 희망 배정량을 설정하여 청약을 진행한다. 고객은 청약 신청을 하기 위해 납입은행 청약시스템에서 전자지갑을 발급받은 후 청약증거금액 이상의 예금 토큰을 보유하고 있어야 한다.

청약 신청이 완료되면 고객의 전자지갑에서 청약증거금만큼의 예금 토큰이

14) Digital ESG 채권을 발행하기 위해서는 발행금액, 청약시작·종료일, 발행일, 상환일, 이자지급 관련 사항, 관리체계, 납입은행, 배정방법, 자금사용계획 등을 확정하여 발행한다.

15) Digital SLB를 발행하기 위해서는 발행금액, 청약시작·종료일, 발행일, 상환일, 이자지급 관련 사항, 관리체계, 납입은행, 배정방법, 지속가능성과목표(SPT), SPT 달성여부 평가일, 인센티브 유형 등을 확정하여 발행한다.

예치 토큰에 처분 제한(lock)된다. 납입은행 청약시스템은 청약 신청 내역을 관리기관 시스템에 전송하고, 관리기관 시스템은 청약 신청 내역을 주관기관 시스템에 전송한다. 주관기관 시스템은 고객의 청약 신청 내역을 등록한다.

④ 배정/반환

청약 마감일이 도래하면 자동으로 청약이 종료되며, 배정일에 배정 및 반환 절차가 진행된다. 주관기관 시스템은 사전에 정해진 배정 방법에 따라 금융 상품 청약 배정을 시행한 후 배정 내역을 관리기관 시스템에 전송한다. 관리기관 시스템은 디지털화폐 시스템의 오라클 스마트계약에 청약 배정 내역을 전달한다. 오라클 스마트계약은 예치 토큰에 처분 제한(lock)되어 있던 고객의 청약증거금을 처분 해지(unlock)하고, 주식 대금에 해당하는 예금 토큰을 주관기관의 전자지갑으로 전송한다. 그리고 고객의 전자지갑에는 배정 사실을 증명하는 배정 토큰이 발행된다. 이후 SATP를 통해 주관기관 분산원장 시스템에 상품의 정보를 담은 상품 토큰이 발행되고, 고객 전자지갑에 발행된 배정 토큰은 폐기된다.

⑤ 외부정보등록

금융상품의 모집 자금은 운용 과정에서도 프로그래밍 기능을 통해 효율화 될 수 있다. 예컨대 ESG 채권의 경우, 관리체계에서 사전 지정한 적격 프로젝트에만 자금을 사용할 수 있다. 주관기관은 이러한 적격 프로젝트의 전자지갑주소를 시스템에 등록하면 여타 전자지갑으로의 이체가 차단되므로 자금의 부정사용이 방지될 수 있다. SLB의 경우, 관리체계에서 사전 목표한 지속가능성장목표(이하, SPT)를 달성하지 못한다면 발행자에게 패널티가 부과될 수 있다. 만약 변동금리부채권으로 SLB를 발행하여 SPT를 달성하지 못했다면, 프로그래밍 기능을 통해 채권금리를 1단계 상향(step-up) 조정하도록 자동화할 수 있다.

이러한 프로그래밍 기능을 이용하려면 주관기관 담당자가 외부 정보를 시스템에 등록하여야 한다. 즉, Digital ESG 채권의 경우 자금사용처 검증을 위해 채권 발행 목적에 부합하는 자금사용처의 전자지갑 주소를 등록해야 한다. Digital SLB의 경우 SPT 달성을 여부에 따른 인센티브 자동 산출을 위해 SPT 달성을 여부를 등록하여야 한다¹⁶⁾.

16) 가상환경 기술 실험인 만큼 N일 후의 목표달성여부를 임의로 가정하여 실험을 진행하였다.

⑥ 외부정보승인

외부평가기관은 관리기관 시스템에 접속하여 주관기관이 등록한 외부 정보의 적정성을 평가하고, 관리기관 시스템은 해당 결과를 주관기관 시스템에 전송한다.

Digital ESG 채권의 경우 외부평가기관은 등록된 전자지갑 주소가 채권 발행 목적에 부합하는 자금사용처의 전자지갑 주소인지를 확인한 후 이를 승인한다. 관리기관 시스템은 디지털화폐 시스템의 오라클 스마트계약을 통해 ESG 채권 스마트계약에 자금사용처를 전달하여 화이트리스트로 등록한다. 또한 해당 자금사용처를 주관기관 시스템에 전송하고, 주관기관 시스템은 주관 기관 분산원장 시스템의 상품 토큰을 수정한다. 납입은행 청약시스템은 ESG 채권 상품 토큰을 참고하여 등록된 전자지갑주소에만 자금을 이체할 수 있게 된다.

Digital SLB의 경우 외부평가기관은 등록된 SPT 결과를 검증한 후 이를 승인한다. 관리기관 시스템은 디지털화폐 시스템의 오라클 스마트계약을 통해 SLB 스마트계약에 SPT 달성 여부를 등록한다. 또한 SPT 달성 여부를 주관 기관에 전송하고, 주관기관 시스템은 주관기관 분산원장 시스템의 상품 토큰을 수정한다. 납입은행 청약시스템은 SLB 상품 토큰을 참고하여 고객에게 SPT 달성 여부에 따른 인센티브를 지급할 수 있게 된다.

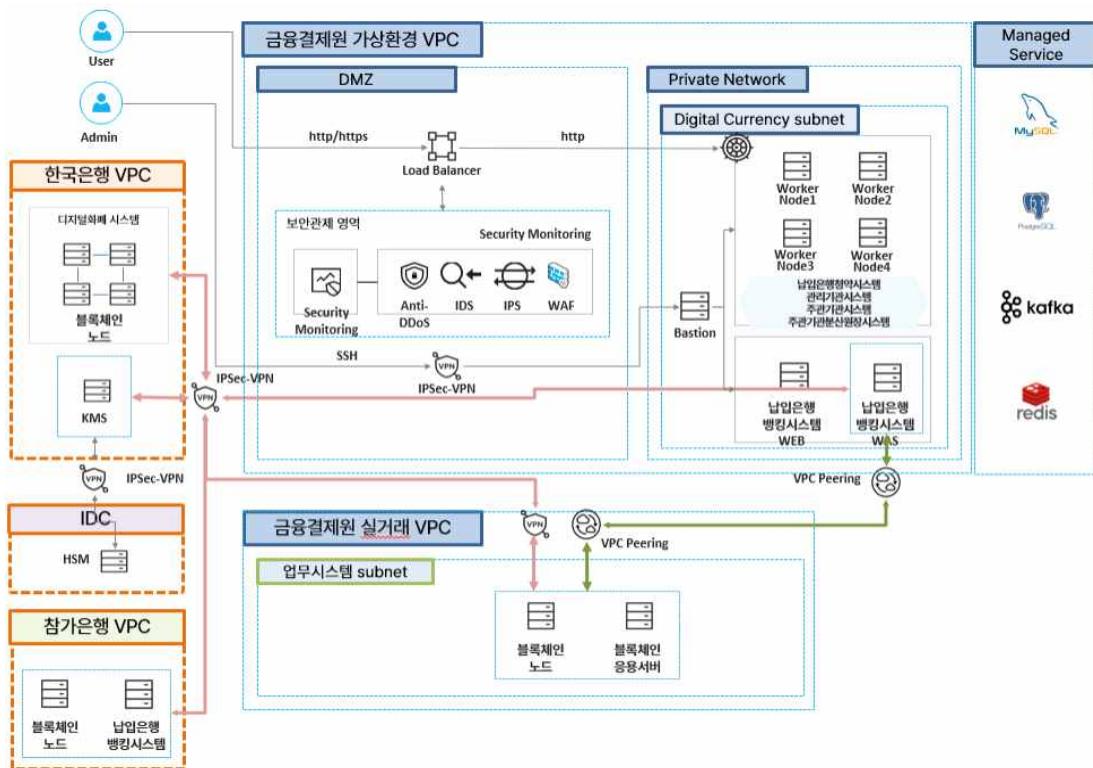
⑦ 채권상환

채권 상환일이 도래하면 주관기관 시스템은 주관기관 분산원장 시스템에 배포된 상품 토큰을 폐기하고, 금융상품 상환 내역을 관리기관 시스템에 전송한다. 관리기관 시스템은 상환 내역을 납입은행 청약시스템에 전송한다. 납입은행 청약시스템은 고객에게 원금과 이자를 지급한다. 이와 같이 채권상환에 따라 원금과 이자를 고객에게 돌려주는 모든 과정이 자동화된다.

3. 시스템 아키텍처

가상환경 시스템은 금융결제원이 운영하는 사설 클라우드에서 초기 구축하고 이후 퍼블릭 클라우드로 이전되었다. 이종 클라우드 시스템 간의 이전이 필요하므로 프로그램 구성이 용이하도록 Kubernetes 기술을 이용했다. 가상환경 시스템은 <그림 9>와 같이 Bastion 서버를 구성하는 방식으로 외부 접속에 대한 접근제어를 하고, 실험에 필요한 필수 포트만을 개방했다. 또한 참여기관 간에는 IPsec VPN을 이용하여 통신했다. Kubernetes, Kafka, Redis, PostgreSQL, MySQL 등의 시스템 소프트웨어는 퍼블릭 클라우드에서 제공하는 관리형 서비스를 사용하여 가상환경 시스템을 구성했다.

<그림 9> 금융결제원 주관 가상환경 시스템 아키텍처

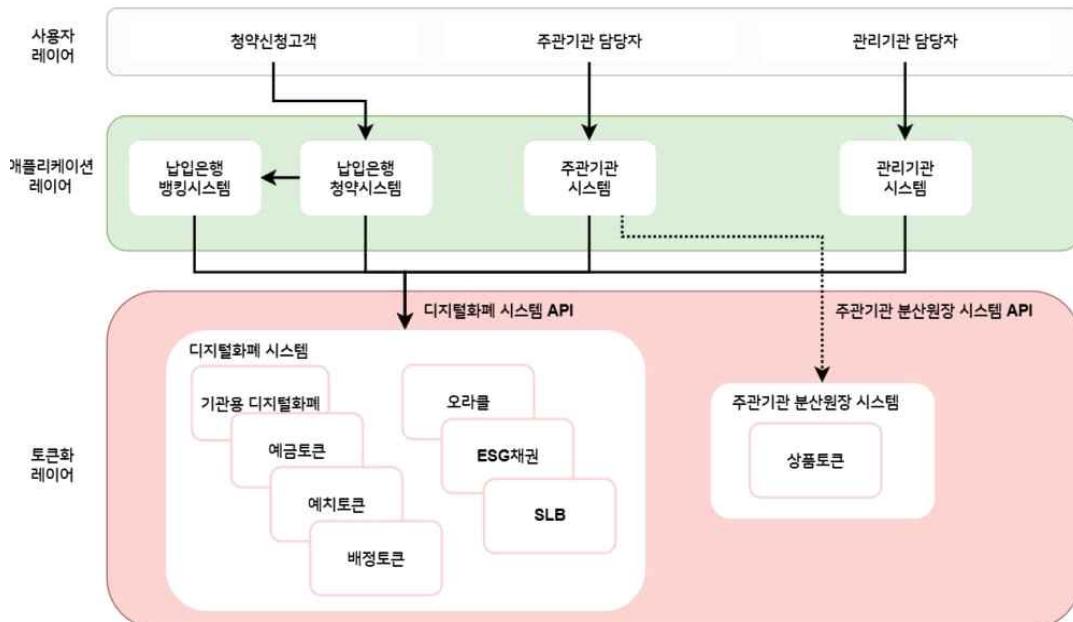


가상환경 시스템은 <표 4>와 같은 시스템 사양으로 퍼블릭 클라우드 상에 구축하였으며, 시스템 구조는 <그림 10>과 같이 사용자 레이어, 애플리케이션 레이어, 토큰화 레이어 총 3개의 레이어로 구분된다.

<표 4> 금융결제원 주관 가상환경 시스템 사양

내용	수량	CPU (vCore)	Memory (GB)	용도
Hyperledger Besu Member Node	2	16	32	디지털화폐 시스템
Kubernetes Worker Node	4	32	64	납입은행 청약 시스템, 주관기관 시스템, 관리기관 시스템 등
WEB/WAS	2	8	24	납입은행 뱅킹시스템
Bastion	1	2	4	기타 S/W
MySQL	1	8	16	
PostgreSQL	1	16	64	
Redis	1	-	12.8	
Kafka	4	8	32	

<그림 10> 금융결제원 주관 가상환경 시스템 구조

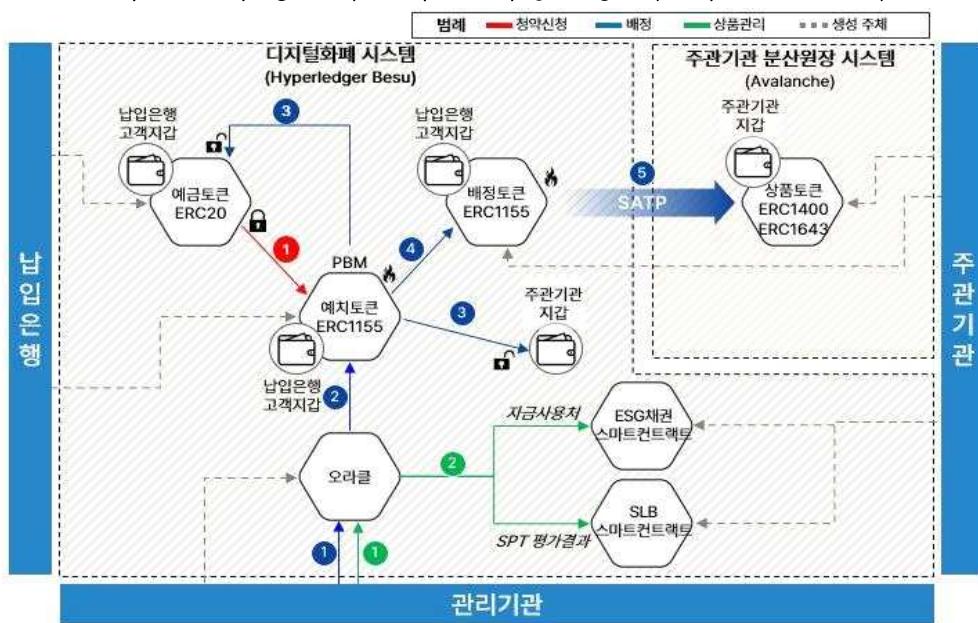


사용자 레이어는 가상환경 기술 실험에 참여하여 업무를 수행하는 3개의 사용자를 나타낸다. 먼저 청약신청고객은 금융상품에 청약하는 사용자다. 주관기관 담당자는 금융상품을 발행하는 사용자다. 관리기관 담당자는 금융상품을 평가하고 스마트계약을 관리하는 사용자다.

애플리케이션 레이어는 사용자 요청에 따라 업무 로직을 처리하기 위해 디지털화폐 시스템 API와 주관기관 분산원장 시스템 API를 호출하는 4개의 시스템을 포함한다. 먼저 납입은행 청약시스템은 청약신청고객의 금융상품 청약 요청을 처리한다. 납입은행 뱅킹시스템은 납입은행 청약시스템의 요청에 따라 디지털화폐 시스템에 존재하는 청약신청고객의 예금 토큰을 이전한다. 주관기관 시스템은 주관기관 담당자의 금융상품 발행 요청에 따라 디지털화폐 시스템에 ESG 채권 스마트계약, SLB 스마트계약을 발행한다. 주관기관 시스템은 청약이 완료되면 금융상품 배정내역에 따라 주관기관 분산원장 시스템에 상품 토큰을 발행한다. 관리기관 시스템은 디지털화폐 시스템에 금융상품 평가 결과와 금융상품 배정내역을 전달한다.

토큰화 레이어는 애플리케이션 요청에 따라 토큰 등을 발행하고 관리하는 시스템으로 구성된다. 먼저 디지털화폐 시스템에서 기관용 디지털화폐, 예금 토큰, 상품 토큰, 배정 토큰, 오라클 스마트계약, ESG 채권 스마트계약, SLB 스마트계약이 발행되고 관리된다. 주관기관 분산원장 시스템에서는 상품 토큰이 발행되고 관리된다. 각각의 토큰은 주관기관, 납입은행, 관리기관의 요청에 따라 <그림 11>과 같이 상태가 전이된다.

<그림 11> 금융결제원 주관 가상환경 시스템 토큰 전이도



가상환경 시스템에 적용된 ERC 표준은 <표 5>와 같다. 한국은행의 디지털화폐 시스템에서 예금 토큰은 ERC-20 형식으로 구현되었다.

고객이 청약 신청을 하면 납입은행은 ①예치 토큰 스마트계약을 이용하여 예금 토큰을 처분 제한(lock) 한다. 예치 토큰은 ERC-1155 형식으로 구현되며 목적기반화폐(PBM)¹⁷⁾ 표준을 준용한다.

관리기관이 오라클 스마트계약에 배정 내역을 주입하면 ②오라클 스마트계약은 예치 토큰에 처분 제한된 예금 토큰을 처분 해제(unlock)한다. 예치 토큰에 의해 처분 해제된 자금 중에서 ③반환금은 납입은행 고객지갑으로 이전하고, 배정 자금은 주관기관 지갑으로 이전한다.

④주관기관은 별도의 분산원장 시스템으로 배정 토큰을 이전한다. 이 경우 배정 토큰은 금융상품 관리가 용이하도록 상품 토큰으로 전환된다. 상품 토큰은 ERC-1400 및 ERC-1643 형식으로 구현된다.

<표 5> 가상환경 시스템에 적용된 ERC 표준

표준명	설계	적용 토큰
ERC-20	동일한 종류의 토큰끼리 서로 교환이 가능한(대체가능한) 표준을 말하며 발행, 이전 등이 가능한 인터페이스	예금 토큰
ERC-1155	멀티 토큰의 표준으로 여러 종류의 토큰을 관리할 수 있는 표준을 말하며 여러 토큰을 한 번에 처리할 수 있어 가스 비용을 절감할 수 있는 인터페이스	예치 토큰 및 배정 토큰
ERC-1400	증권을 토큰화하려는 목적으로 만들어졌으며 특정한 조건에 맞는 토큰 이동을 제한할 수 있는 기능을 제공하는 인터페이스	상품 토큰
ERC-1643	증권형 토큰에 관련된 문서를 관리하기 위한 기능을 제공하는 인터페이스	

디지털화폐 시스템은 Hyperledger Besu를 사용했으며, 주관기관 분산원장 시스템은 Avalanche를 사용하여 이기종 분산원장 시스템 간의 자산 이전에 대한 실험을 진행하였다. 자산 이전을 위해 종점 사이의 안전한 채널을 만드는 SATP 표준을 이용하였다. 아울러, 이기종 분산원장 시스템별로 고객과 금융기관의 전자지갑을 각각 생성하고, 디지털화폐 시스템의 배정 토큰을 소각하여 주관기관 분산원장 시스템에 상품 토큰을 발행하는 방식으로 실험이 이뤄졌다.

17) MAS, Purpose Bound Money(PBM) Technical Whitepaper, 2023.6

III. 실험 결과

1. 디지털화폐의 차별성

금융결제원은 9개 은행 및 한국은행 지속가능성장실과 함께 새로운 형태의 금융상품(2종)의 고객 대상 발행 실험을 성공적으로 완료하였다. 동 실험에서 주관기관 역할을 수행한 7개 은행은 총 6,139억 규모의 12개 금융상품을 발행하였다. 이를 통해 당초 목표한 프로그래밍 기능의 효율적 구현 가능성을 포함하여 디지털화폐의 차별성을 4가지 측면에서 점검할 수 있었다.

첫째, 예금 토큰의 처분 제한(lock)과 처분 해지(unlock) 기능을 활용하여 불필요한 자금 이체를 최소화할 수 있었다. 현행 고객 대상 발행 방식은 청약 신청 자금 선이체 모델이다. 금융상품에 청약 신청을 하려는 고객은 ① 청약 금액의 50%에 해당하는 청약증거금을 발행 금융기관에 이체하고(T일), ② 배정이 완료되면(T+2일) 미배정 물량에 상응하는 청약증거금을 다시 반환받고 있다. 해당 방식에서는 금융기관 간 불필요한 자금 이체가 발생한다. 하지만 이번 실험에서는 프로그래밍 기능을 통해 불필요한 자금 이체를 최소화할 수 있었다. 예를 들어, 10억 원의 자금을 모집하는 데에는 정확히 10억 원의 자금만 이전되고, 초과 청약증거금은 프로그래밍 기능에 의해 즉시 반환되므로 결제리스크 감축이 가능해지며, 실시간(T일)으로 배정이 완결된다. 특히, 청약 경쟁률이 높아질수록 결제리스크 감축 효과는 더욱 증가한다.

둘째, ESG 채권의 자금 사용처 제한 및 성과목표(SPT) 달성 여부에 따른 SLB의 금리 변동 등을 자동화하였다. 여타의 채권과 달리 ESG 채권은 조달된 자금의 사용처에 대한 외부 기관의 사후 검증이 필요하며, SLB는 지속가능성과 목표 달성을 여부에 따라 적용 금리를 변경하는 절차가 필요하다. 이번 실험에서는 Digital ESG 채권 스마트계약에는 등록된 자금사용처에만 자금을 전송할 수 있는 기능을 개발하고, Digital SLB 스마트계약에는 지속가능성과 목표 달성을 입력하면 금리를 자동으로 산출하는 기능을 추가하였다. 이를 통해 상품관리에 수반되는 복잡한 후선업무를 프로그래밍 기능을 통해 효율화할 수 있었다.

셋째, 한국은행의 디지털화폐 시스템 외의 외부 분산원장 시스템을 연계하였다. 디지털화폐 시스템은 Hyperledger Besu로 구현되었으며, 외부 분산원장 시스템은 Avalanche를 사용하였다. 디지털화폐 시스템 상의 예금 토큰과 배정 토큰 간에는 실시간 증권대금동시결제(DvP, Delivery versus Payment)가 이뤄지며, 이와 동시에 상품 토큰은 외부 분산원장 시스템에 실시간 발행된다.

이를 통해 다양한 분산원장 기술 간에 상호연동성을 보장하며 안전하게 자산을 이동시킬 수 있는 핵심 기술 경험을 확보할 수 있었다.

넷째, 다수 은행이 공동으로 금융상품을 발행, 청약, 배정, 상환하는 비즈니스 모델을 대상으로 분산원장 기술을 적용하여 모든 업무절차가 정상적으로 동작함을 확인하였다. 고객은 거래 은행과 무관하게 하나의 전자지갑으로 전체 은행의 금융상품을 청약 및 보유할 수 있었으며, 주관기관은 자행뿐 아니라 전체 은행 고객을 대상으로 ESG 채권이나 SLB 발행 및 자금조달이 용이해 진다. 이번 실험을 통해 은행권은 미래 토큰경제의 비즈니스 방향을 선제적으로 조망해 볼 수 있었으며, 새로운 형태의 금융상품에 대한 신뢰성과 안정성을 확보할 수 있는 기술적 기반을 경험해 보는 기회가 되었다.

2. 처리 성능

분산원장 기술을 적용하여 업무 처리를 하는데 발생하는 부하를 확인하고자 청약과 배정이 1건에서부터 최대 1,000건까지 소요되는 시간을 각각 측정하였다. 청약 테스트는 예치 토큰을 발행하고 청약증거금만큼 예금 토큰을 처분 제한하는 일련의 과정을 포함한다. 배정 테스트는 처분 제한된 예금 토큰을 처분 해제하고 배정된 수량에 해당하는 대금을 주관사의 전자지갑에 이체 및 미배정 수량에 해당하는 예금 토큰은 고객의 전자지갑으로 이체하며, 동시에 배정 토큰을 발행 및 소각하고 상품 토큰을 발행하는 일련의 절차를 포함한다.

성능을 측정해보니 배정 처리가 청약 처리 보다 더 많은 시간이 소요되었으며, 1,000건의 처리 시 배정이 청약보다 약 26분이 더 소요되었다.

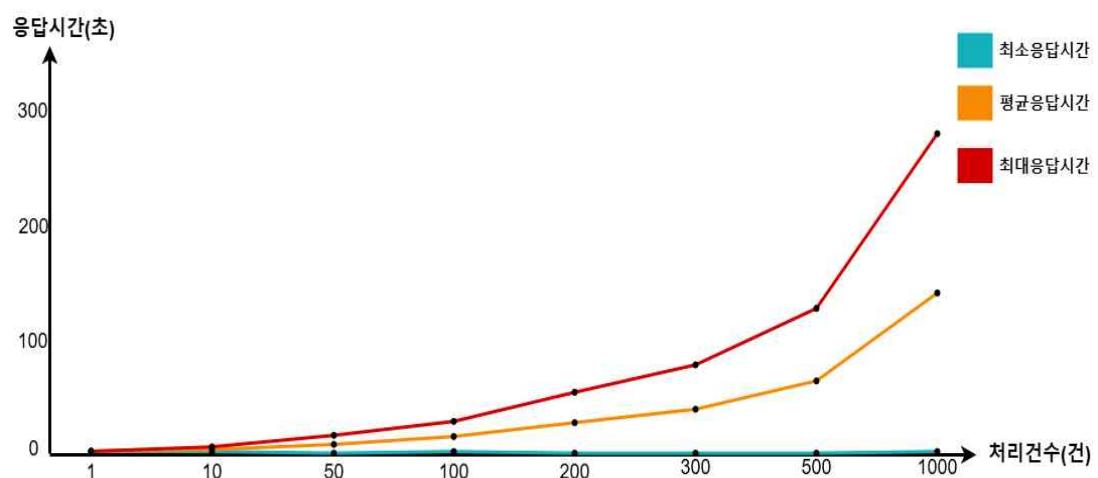
타행 상품 청약 1건을 처리하는 데 1.40초가 소요되었고, 타행 상품 청약 1,000건을 처리하는데 최소 2.90초, 평균 138.52초, 최대 274.80초가 소요되었다.

〈표 6〉 타행 상품 청약 결과

(단위: 초)

	1건	10건	50건	100건	200건	300건	500건	1,000건
최소 응답시간	1.40	2.80	1.40	2.90	1.40	1.40	1.40	2.90
평균 응답시간	1.40	4.47	8.92	15.67	27.53	39.00	63.28	138.52
최대 응답시간	1.40	6.80	16.70	28.60	53.50	77.00	125.30	274.80

〈그림12〉 타행 청약 처리 속도



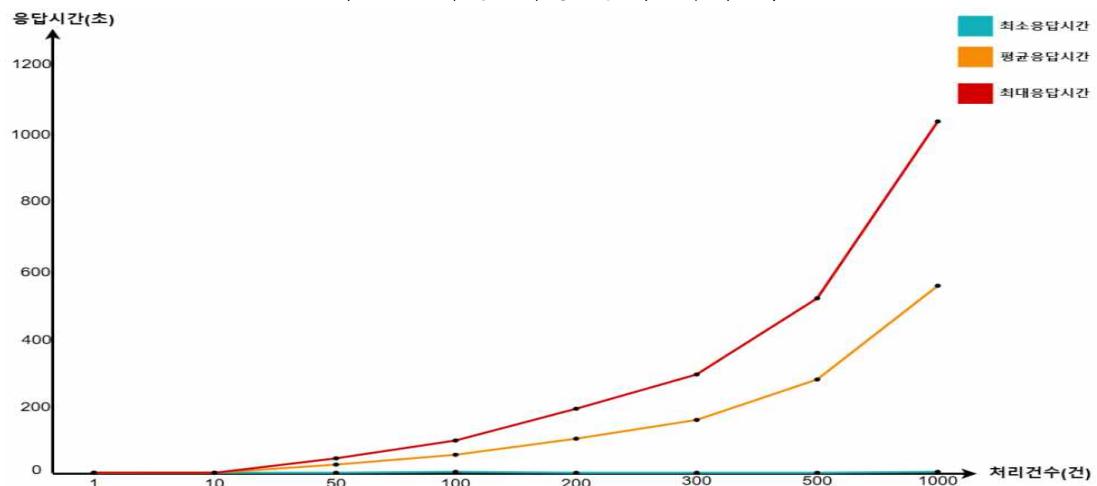
타행 배정 1건을 등록 처리하는 데 2.80초가 소요되었고 타행 배정 1,000건을 등록 처리하는 데 최소 69.50초, 평균 549.32초, 최대 1,029.50초가 소요되었다.

〈표 7〉 타행 배정 등록 결과

(단위: 초)

	1건	10건	50건	100건	200건	300건	500건	1,000건
최소 응답시간	2.80	2.70	9.10	13.20	14.60	23.90	38.30	69.50
평균 응답시간	2.80	2.70	26.78	55.42	102.42	157.23	275.57	549.32
최대 응답시간	2.80	2.70	45.00	97.10	189.90	290.20	512.80	1,029.50

〈그림13〉 타행 배정 등록 처리 속도



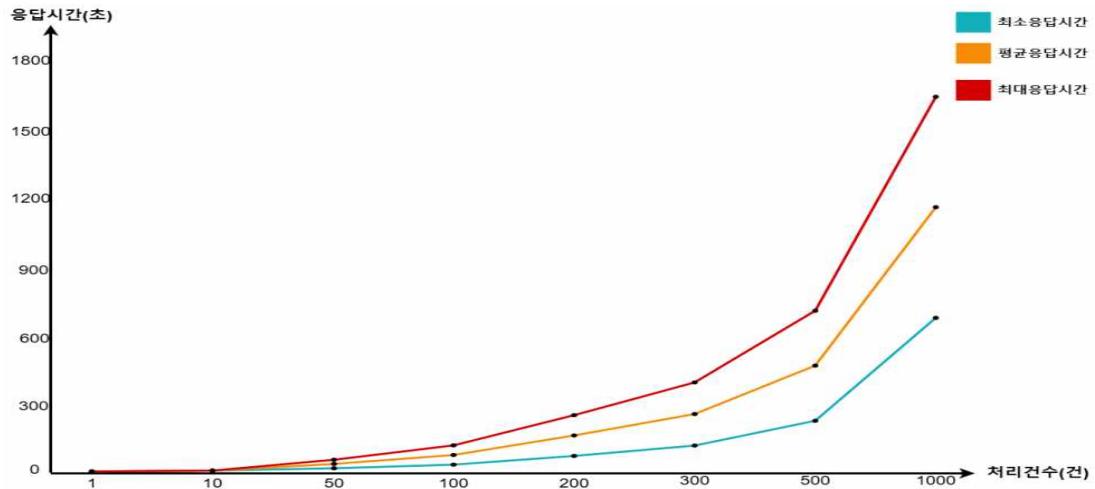
타행 배정 1건을 실행 처리하는 데 8.40초가 소요되었다. 타행 배정 1,000건을 실행 처리하는 데 최소 676.40초, 평균 1,157.83초, 최대 1,637.90초가 소요되었다.

〈표 8〉 타행 배정 처리 결과

(단위: 초)

	1건	10건	50건	100건	200건	300건	500건	1,000건
최소 응답시간	8.40	11.90	22.10	37.90	75.80	120.90	228.80	676.40
평균 응답시간	8.40	11.90	41.02	79.93	164.80	258.10	468.67	1,157.83
최대 응답시간	8.40	11.90	59.20	121.70	253.10	395.6	707.50	1,637.90

〈그림14〉 타행 배정 실행 처리 속도



최대 성능은 분산원장 시스템 구성과 밀접하게 관련된다. 이번 실험에서 한국은행 디지털화폐 시스템에는 6,000만 가스 제한이 설정되어 있고 새로운 블록이 생성되는 평균 시간 간격인 블록 타임은 2초로 설정되어 있다. 단일 배정 건을 처리하는데 약 40만 가스가 필요하며, 타행 이체 스마트계약 처리 비용은 약 5만 가스가 필요하다. 따라서 현재 시스템을 이용한 최대 성능은 초당 130건이며, 5,850만 가스¹⁸⁾로 산출되었다.

18) (단일 배정 처리 비용 + 타행 이체 스마트계약 호출 비용) * 2초당 배정 건수 = (40만 + 5만) 가스 * 130건

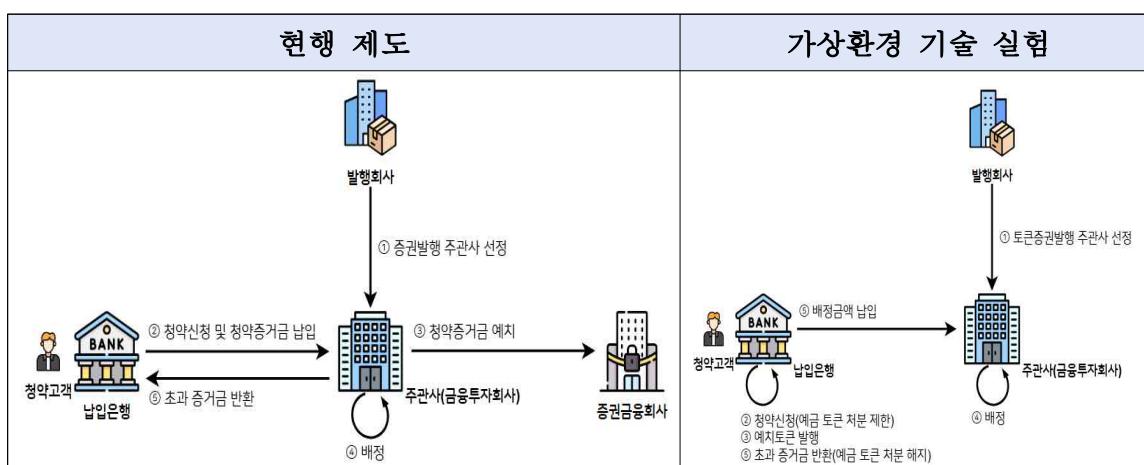
IV. 향후 연구방향

1. 제도적 검토

전 세계적으로 금융시장의 토큰화에 대한 다양한 시도가 진행되고 있다. 일본은 2023년 12월 25일부터 오사카디지털거래소(ODX)를 통해 증권형 토큰의 발행 및 유통을 시작하였다. 영국은 금융시장인프라 샌드박스(FMI Sandbox) 제도를 도입하였는데, 그 첫 번째 사례로 분산원장 기술을 사용하여 유가증권을 발행 및 거래할 수 있도록 허용하는 디지털 증권 샌드박스(Digital Securities Sandbox)가 출범하였다. 홍콩 또한 Project Ensemble 샌드박스를 도입하여, 디지털화폐와 예금 토큰 등을 활용한 토큰화된 자산의 결제를 테스트하고 있다. 싱가포르는 Project Guardian의 일환으로 싱가포르 국채(SGS) 및 일본 국채(JGB)의 상호거래에서 싱가포르 달러 예금 토큰을 일본 엔화 예금 토큰 거래에 사용하는 프로젝트를 진행하였다.

세계적인 흐름에 발맞추어 은행권도 이번 실험을 통해 금융시장 토큰화에 관한 선행 기술을 점검하였다. 다만, 스마트계약을 통해 자금 이체 과정을 효율화하고 결제리스크를 감축하는 기술 부문에 집중한 실험이다 보니 현행 제도 및 관행과는 차이가 존재하는데, 이와 관련된 내용을 청약, 배정, 납입 절차 중심으로 살펴보고자 한다.¹⁹⁾

〈표 9〉 현행 제도와 가상환경 기술 실험 비교



19) 공모주 청약 및 배정 절차는 일반적으로 다음 단계를 거친다: 사전 준비 → 신고서 제출 → IR → 수요 예측 → 공모가 확정 → 기관 배정 → 청약 · 배정 · 납입 → 상장 순이나, 본 실험에서는 청약 · 배정 · 납입 과정을 중심으로 진행됨.

가. 토큰 증권

금융위원회는 발행 형태와 무관하게 해당 상품이 증권의 성격을 가지고 있다면, 증권에 해당하는 것으로 보고 있다. 발행 형태는 실물 증권, 전자 증권, 토큰 증권으로 구분하는데, 전자증권은 중앙집중식 계좌부에 기재하는 형태이고 토큰 증권은 분산원장에 기재하는 형태이다. 현행 자본시장법 체계에서는 증권의 발행 형태로 실물 증권과 전자 증권만을 허용하고 있다. 2023년 2월, 금융위원회에서 「토큰 증권 발행 유통규율체계 정비방안」을 발표한 이후 비정형적 증권²⁰⁾은 샌드박스로 규제 특례를 적용받아 토큰 증권 형태로 발행되어 서비스가 이루어지고 있다. 금융위는 2025년 2월, 제도화를 위한 자본시장법 개정안을 예고하였다. 다만, 이번 실험에서 선정된 새로운 형태의 금융상품은 정형 증권에 해당하므로 토큰 형태의 발행은 제한된다. 본 기술의 실질적 활용을 위해서는 향후 금융상품의 토큰화에 대한 다면적인 제도적 연구가 선행되어야 한다.

나. 청약증거금 납입

청약증거금은 고객이 주식 구매 의사 확약 및 주금 납입 능력 보증을 위해 청약 주관기관에 납입하는 계약금으로 소유권은 여전히 고객에게 귀속된다고 보는 시각이 많다. 이번 실험에서는 예금 토큰을 이용하여 청약증거금을 이체하는 것이 아닌, 해당 금액만큼을 처분 제한(lock)하고 예치 토큰을 발행한다. 이는 구매 의사 확약, 주금 납입 능력 보증, 고객의 소유권 보호 측면에서 기존 제도의 취지와 부합하는 것으로 볼 수 있다. 다만, 현행법상으로도 스마트계약의 내용이 청약증거금의 예치로 해석될 수 있는지에 대한 법률 검토가 필요할 것이다. 또한 본 기술의 실질적 활용을 위해서는 예치 토큰의 법적 지위와 효력을 명확히 정립하기 위한 금융투자업 관련 법규 및 규정 등을 검토할 필요가 있다.

20) 중앙집중적으로 전자 등록 및 관리되고, 기존 전자증권이 부적합한 증권

2. 기술적 검토

가. 하이브리드 방식의 업무 처리

금융상품 청약은 고객의 자격 미달, 시스템 오류, 데이터 불일치 등의 다양한 원인으로 청약 배정이 실패할 수 있다. 그런데 실패한 원인이 자격 문제나 법적 제한 등의 이유로 자동으로 처리되기 어려운 경우일 수 있다. 따라서 사람의 후선작업을 통해 오류를 조정하거나 재처리가 필요할 수 있다. 즉, 스마트계약을 활용한 자동화와 후선작업을 병행하는 하이브리드 방식의 업무 처리를 생각해 볼 수 있다. 예컨대 성공한 청약은 유지하고 실패한 청약은 스마트계약과 사람의 개입으로 재배정을 하는 것이다. 이를 통해 시스템 자동화는 유지하면서 예외 경우는 별도 관리할 수 있다.

나. 거래 병렬 처리

Hyperledger Besu는 순차적으로 거래를 처리하고 있어 거래 처리 속도가 느린다. 거래 처리 속도를 빠르게 하려고 Hyperledger Besu는 병렬로 거래를 처리하는 Parallel Transaction Execution 기능을 실험하고 있다. Hyperledger Besu 자체 실험에서 최대 45%의 성능 개선 결과를 보여준 Parallel Transaction Execution을 적용하여 거래를 병렬로 처리함으로써 성능 향상을 기대할 수 있다.

다. 대리인의 자산 이전을 위한 SATP 개선

IETF에서 표준화 중인 SATP는 자산 보유자가 직접 자산을 이전 요청하는 것이 원칙이지만, 본 가상환경 기술 실험과 같은 서비스에서는 금융기관이 자산 보유자의 자산을 이전 요청할 수 있다. 그러므로 SATP 표준안에 금융기관이 자산 보유자들의 자산을 이전할 수 있는 내용도 추가하는 것을 고려해 볼 수 있다.

먼저 금융기관이 자산 보유자를 대리하여 자산 이전을 요청할 수 있도록 명시적으로 권한을 위임하는 이전 권한 위임을 지원해야 한다. 안전한 이전 권한을 위임하기 위해서는 복수의 서명이 필요한 다중 서명, 특정 기간만 자산을 이전할 수 있는 시간 잠금 등의 권한 정책을 추가할 수 있다. 또한 자산을 이전하기 전에 금융기관에 소유권의 증명, 수탁의 증명을 요구하는 단계를

설계하여 금융기관이 법적인 권한 내에서 자산을 이전하는지 확인할 수 있다. 그리고 모든 인증 단계 및 자산 이전을 기록하고 이를 검증할 수 있어야 한다. 자산 보유자는 로그 등을 통해 금융기관이 개시한 자산의 이전을 감사할 수 있어야 한다.

V. 부록

1. SATP

SATP는 두 게이트웨이 간 단방향으로 디지털 자산을 전송하기 위해 작동하는 표준 프로토콜을 의미한다. SATP를 활용하여 자산을 이동할 때는 총 4단계를 거친다.

〈표 10〉 SATP 단계

단계	이름	주요 내용
0단계	전송 전 검증과 컨텍스트 설정 (Pre-transfer Verification and Context Establishment)	게이트웨이 간 자산 전송을 위한 컨텍스트를 설정하고 매개변수를 협상하는 단계
1단계	전송 요청 및 승인 (Transfer Initiation and Commencement)	게이트웨이 간 자산 전송에 필요한 매개변수가 전달되고 수신자 게이트웨이에서 전달된 매개변수가 설정되는 단계
2단계	자산 처분 제한 주장과 수락 (Asset Lock Assertion and Receipt)	설정된 규칙에 따라 송신자 게이트웨이에서 수신자 게이트웨이로 자산이 전송되는 단계
3단계	확정 준비 및 확정 (Commitment Preparation and Finalization)	수신자 게이트웨이가 자산을 수락하고 확인하는 단계

가. 0단계 - 전송 전 검증과 컨텍스트 설정

다음 단계를 거쳐 자산 전송을 위한 컨텍스트를 설정한다.

먼저 애플리케이션 레벨에서 자산 전송을 고유하게 식별하기 위해 Context ID와 Session ID²¹⁾를 생성한다. 그리고 송신자가 전송하고자 하는 자산을 법적으로 소유했고 전자지갑에 충분한 자산이 있는지 확인한다.

게이트웨이 간 자산의 종점(endpoint), 합의 프로토콜(commitment flows), 메시지 타임아웃 시간, 서명 알고리즘(ECDSA), 평균 처분 제한 기간 등의 매개변수에 대해 협상한다.

21) 하나의 단방향 전송을 다루는 두 게이트웨이 간의 세션을 나타내는 유일한 식별자이다. Context ID로부터 유래될 수 있는데 SATP 실행에서 여러 개의 Session ID가 있을 수 있다.

나. 1단계 - 전송 요청 및 승인

- (1.1) 송신자 게이트웨이는 수신자 게이트웨이에 0단계에서 합의한 매개변수(교환 정보)를 전달한다.
- (1.2) 수신자 게이트웨이는 송신자 게이트웨이에 서명한 제안 수락 메시지를 전달한다. 만약 송신자 게이트웨이가 보낸 매개변수(교환 정보)를 받지 않기로 했다면, 수신자 게이트웨이는 중지 메시지를 전달한다.
- (1.3) 송신자 게이트웨이는 수신자 게이트웨이에 자산 전송을 시작한다는 신호를 전달한다.
- (1.4) 수신자 게이트웨이는 송신자 게이트웨이에 개시 확인 메시지를 전달한다.

다. 2단계 - 자산 처분 제한 주장과 수락

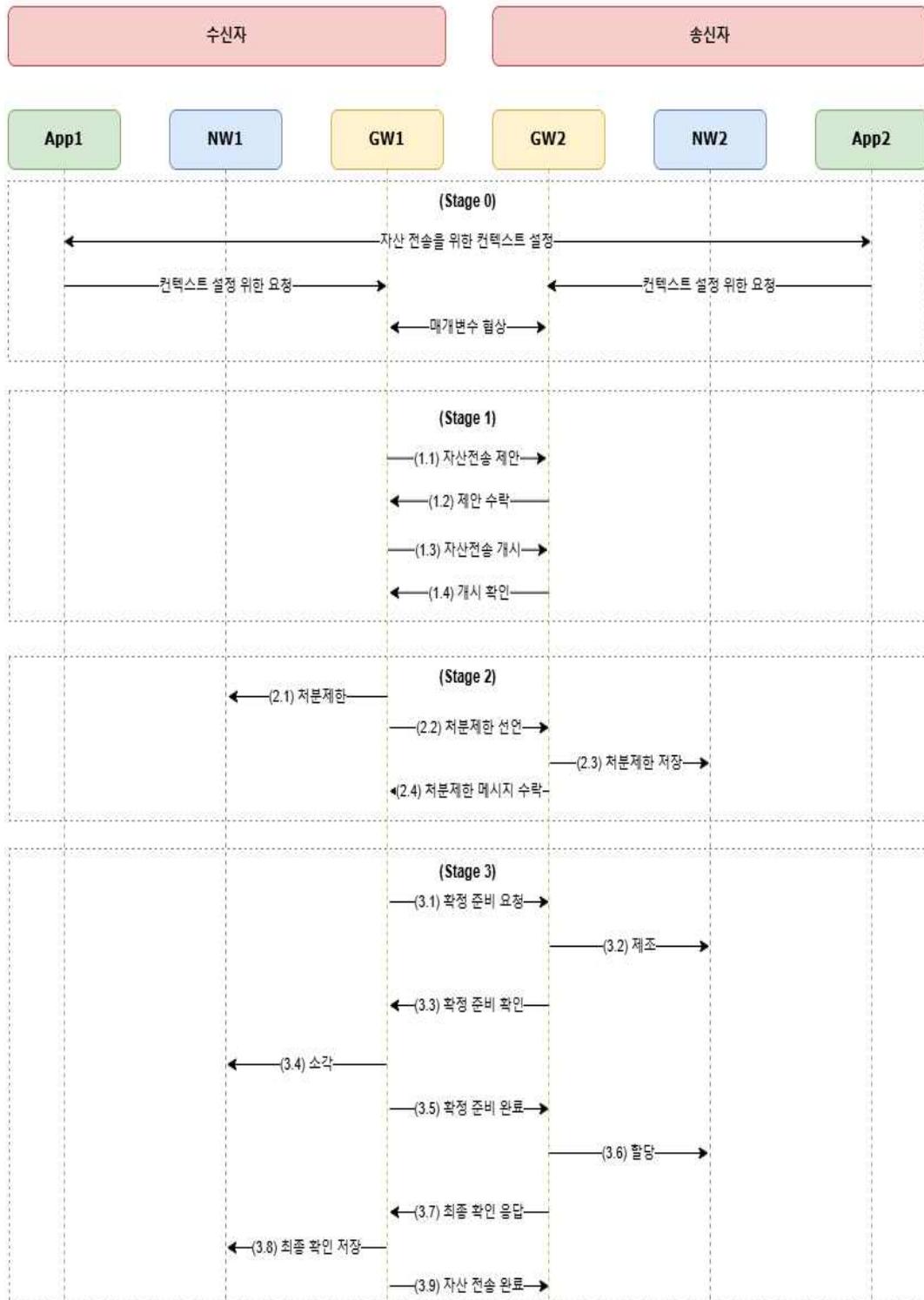
- (2.1) 송신자 게이트웨이는 송신자 자산을 처분 제한하거나 에스크로 설정한다. 이를 통해 자산의 처분 제한이 완료되거나 해지될 때까지 다른 거래들이 자산의 상태를 변경하는 것을 예방한다.
- (2.2) 송신자 게이트웨이는 자산의 처분 제한 상태를 나타내는 주장(assertion)을 공개키 쌍으로 서명하여 전송한다. 서명한 처분 제한 주장의 목적은 두 네트워크에서 자산 상태의 불일치가 발생할 경우를 대비하기 위한 목적이다.
- (2.3) 수신자 게이트웨이는 처분 제한 주장 메시지의 복사본을 저장하고 수신자 네트워크에 있는 다른 구성원들에게 통지한다.
- (2.4) 수신자 게이트웨이가 송신자 게이트웨이의 서명된 주장을 받아들이면, 수신자 게이트웨이는 이전의 처분 제한 주장 메시지의 해시값을 포함하는 수락(receipt) 메시지로 응답한다.

라. 3단계 - 확정 준비 및 확정

- (3.1) 송신자 게이트웨이는 수신자 게이트웨이에 전송 확정을 준비하도록 지시한다.
- (3.2) 수신자 게이트웨이는 소유자로서 송신자 게이트웨이가 요청한 것과 동일한 자산을 제조한다.
- (3.3) 수신자 게이트웨이는 송신자 게이트웨이에 확정 준비하였다는 메시지를 전달한다.

- (3.4) 송신자 게이트웨이는 처분 제한한 자산을 소각한다.
- (3.5) 송신자 게이트웨이는 수신자 게이트웨이에 처분 제한한 자산을 소각했다는 메시지를 전달한다.
- (3.6) 수신자 게이트웨이는 제조된 자산을 수신자에게 할당한다.
- (3.7) 수신자 게이트웨이는 송신자 게이트웨이에 수신자에게 자산을 할당했다는 메시지를 전달한다.
- (3.8) 송신자 게이트웨이는 서명된 수락 메시지를 저장하고 송신자 네트워크에 있는 다른 구성원들에게 통지한다.
- (3.9) 송신자 게이트웨이는 수신자 게이트웨이와의 자산 전송 세션을 닫는다

〈그림15〉 SATP 흐름도



2. Parallel Transaction Execution

Parallel Transaction Execution은 CPU 코어를 최대한 활용하여 여러 트랜잭션을 동시에 처리하는 Hyperledger Besu의 기능이다. 다만, Hyperledger Besu에서 실험적 기능으로 제공하고 있어 아직 공식적인 사용은 권장되지 않는다. 본 기능을 통해 트랜잭션이 빠르게 실행되기에 거래 처리 속도가 증가한다. 하지만 동일한 상태를 변경하는 트랜잭션이 동시에 실행되면 충돌이 발생할 수 있다. 또한, 스마트계약을 설계할 때 병렬 처리를 고려하여 설계해야 병렬 처리의 이점을 얻을 수 있다. 실험적 기능이므로 --Xbonsai-parallel-tx-processing-enabled 옵션을 통해 Parallel Transaction Execution 기능을 활성화할 수 있다.

전체 상태를 저장하는 대신 블록 간의 상태 변경 사항만을 저장하는 Bonsai Tries 데이터 저장 형식을 사용해야 한다. 이는 데이터를 트리 형태로 저장하는 Trie 구조를 사용하여 데이터를 구성하는 것을 말한다. 모든 트랜잭션이 서로 충돌 없이 동시에 실행될 수 있다고 낙관적으로 가정하는 낙관적 접근(optimistic approach) 방식으로 트랜잭션을 처리한다.

백그라운드에서 블록 내의 모든 트랜잭션을 먼저 병렬로 처리하고 순차적 처리도 동시에 진행한다. 백그라운드 병렬 실행 완료 여부를 확인하고 충돌 감지 검사를 수행한다. 이때, 충돌이 감지되지 않으면 백그라운드에서 생성된 상태 수정 사항을 직접 적용한다. 충돌이 감지되면 백그라운드 캐시를 활용해 트랜잭션을 재실행한다. 미완료 트랜잭션은 순차적으로 처리한다.

Bonsai Tries의 Accumulator를 이용해 트랜잭션 간 충돌을 감지하는데 먼저 트랜잭션이 접근한 주소 및 슬롯²²⁾을 추적한다. 블록 수준에서 접근한 주소 목록과 비교하여 충돌 여부를 판단한다. 트랜잭션이 이전에 실행되었고 다른 트랜잭션이 변경한 데이터에 접근할 때는 트랜잭션을 다시 실행하여 정합성을 유지한다. 다만, 변경되지 않은 account는 충돌 검사에서 제외한다. 변경된 상태만을 추적하기에 불필요한 충돌 감지를 방지하고 충돌 감지 전략을 단순화하여 처리 속도가 향상된다. Hyperledger Besu에서 자체적으로 실험해 보니 병렬 처리 속도가 순차 처리 속도보다 최대 45% 개선된 성능 결과를 보여줬다. 실행 환경은 Azure VMs D8as v5(8vCPUs, 32GB memory)이고 합의 클라이언트는 Teku, Nimbus이다. 합의 클라이언트별 자세한 테스트 결과는 다음과 같다.

22) 트랜잭션이 상태를 변경할 때 접근하는 저장 공간

〈표 11〉 합의 클라이언트별 Parallel Transaction Execution 테스트 결과

항목	Teku	Nimbus
블록 처리 시간	25% 개선 (282ms → 207ms)	45% 개선 (282ms → 155ms)
트랜잭션 처리량	평균: 96Mgas/s, 최대: 250Mgas/s	
병렬 실행된 트랜잭션 비율	약 40%	
CPU 사용량	32% 개선 (251.68ms → 172.04ms)	

3. 주요 화면

참여기관이 업무 처리를 위해 접속한 실험용 시스템별 주요 화면은 아래와 같다.²³⁾

〈표 12〉 담당 역할별 시스템 및 주요 업무

구분	역할	주관기관	납입은행	외부평가기관
시스템		각 기관별 주관기관 시스템	각 기관별 납입은행 청약시스템	관리기관 시스템
주요 업무		금융상품 발행, 배정토큰 발행내역 조회 등	금융상품 청약, 전자지갑 조회 등	관리체계 평가, 외부 정보 승인 등

가. 주관기관 시스템

주관기관 담당자는 주관기관 시스템에 접속하여 금융상품(Digital ESG 채권 또는 Digital SLB) 발행, 외부평가기관 평가 내용 확인, 청약 현황 조회, 청약 결과 조회, 배정토큰 발행내역 조회, 상품토큰 발행내역 조회, 외부정보(자금 사용처 또는 SPT) 등록, 청산금 및 이자 조회 등을 수행하였다.

〈그림16〉 SLB 발행 화면 예시

23) 상품 정보, 청약 결과 등 세부 내용은 실제와 무관하므로 화면 구성만 예시로 참고하길 바란다.

<그림17> 배정토론 발행내역 조회 화면 예시

상품명	금융결제원SLB	발행일자	정상
표준코드	KFTCSLB12345	발행일	2024.09.26
발행금액(원)	100,000,000	배정토론 발행총액(원)	100,000,000
총 인원(명)	3	배정토론 수령(인원)	100,000

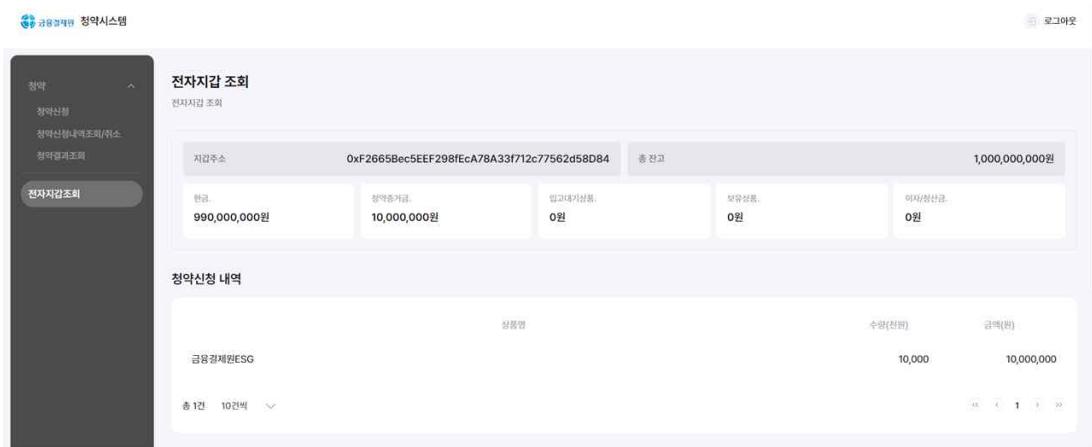
나. 납입은행 청약시스템

납입은행 담당자는 납입은행 청약시스템에 접속하여 청약신청 및 취소, 청약신청내역 조회, 청약 결과 조회, 전자지갑 조회, 청산금 및 이자 조회 등을 수행하였다.

<그림18> 청약신청 화면 예시

제공기관	금융결제원	제공종목	ESG채권	포인트율	여리자금
회사체	일반은행체	ESG채권	5%	1일 이표재	
신용등급	보통구분	발행일	2024.10.01	상환일	2024.10.02
AAA	무보증	발행금액	10,000,000	발행금액	10,000,000원

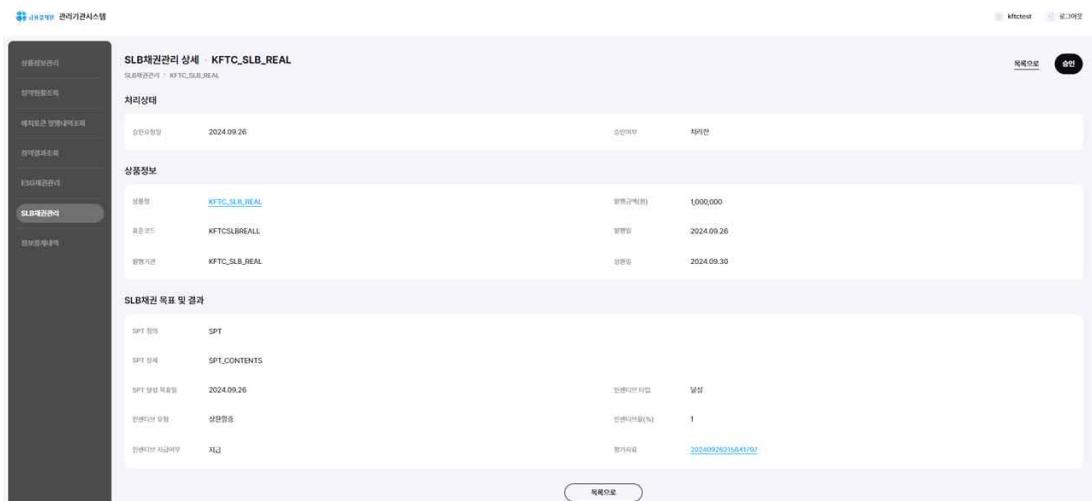
〈그림19〉 전자지갑 조회 화면 예시



다. 관리기관 시스템

외부평가기관 담당자는 관리기관 시스템에 접속하여 관리체계 평가 및 외부정보 승인 등을 수행하였다.

〈그림20〉 SLB의 외부정보 승인 화면 예시



4. 용어

- [1] Asset Network: 디지털 자산이 이용되는 네트워크나 시스템
- [2] Avalanche: 레이어1 오픈소스 블록체인 플랫폼
- [3] Blockchain: 분산원장 기술의 특정 유형 또는 하위 집합
- [4] Bonsai Tries: 새 노드의 동기화 시간과 기존 노드의 읽기 성능을 향상시키는 스토리지 구조
- [5] Digital Wallet: 디지털자산에 대한 접근을 지원하는 개인키를 저장하는 애플리케이션 또는 장치
- [6] Distributed Ledger Technology(DLT): 여러 개의 데이터 원장 또는 저장소가 공동으로 데이터를 기록하고 공유하는 방식으로서 동일한 원장 또는 데이터 기록이 있는 노드에 의해 집단으로 유지 및 제어되는 특성이 있는 기술
- [7] Delivery-versus-payment(DvP): 자산 인도와 대금 지급을 동시에 결제하는 메커니즘
- [8] Ethereum Request for Comment(ERC): 이더리움 네트워크상에서 새로운 기능이나 표준을 제안하고 논의하는 프로세스
- [9] Gateway: 안전한 자산 전송 프로토콜을 수행하는 하나의 네트워크나 시스템을 연결하는 서비스의 집합
- [10] Hyperledger Besu: 폐쇄형 블록체인 네트워크를 구성하는 오픈소스 이더리움 블록체인 플랫폼
- [11] IETF: Internet Engineering Task Force의 줄임말로 인터넷의 운영, 관리, 개발에 대해 협의하고 프로토콜과 구조적인 사안들을 분석하는 국제 인터넷 표준화 작업기구

- [12] Oracle: 스마트계약을 통해 블록체인에서 필요로 하는, 현실 세계의 데이터를 제공하는 역할
- [13] Programmability: 프로그래밍 가능한 플랫폼 및 기타 기술을 통해 작업을 프로그래밍하거나 자동화할 수 있는 기능
- [14] Secure Asset Transfer Protocol(SATP): 두 게이트웨이 간 단방향으로 디지털 자산을 전송하기 위해 작동하는 표준 프로토콜
- [15] Slot: 트랜잭션이 상태를 변경할 때 접근하는 저장 공간
- [16] Smart Contract: 계약조건을 실행하는 컴퓨터화 되어 있는 거래 프로토콜
- [17] Token: 암호화 기술을 사용하는 디지털 원장(분산원장)의 기록으로 표시되는 단위
- [18] Tokenisation: 분산원장 또는 블록체인상에 존재하는 코드 조각인 토큰을 생성하여 자산과 부채의 속성이나 상태, 거래 내역, 소유권 등의 정보를 기록하는 것
- [19] Tokenised Asset: 증권이나 부동산 같은 전통적인 자산을 토큰화한 것
- [20] Tokenised Deposit: 분산원장 플랫폼 위에 존재하는 상업은행 예금의 디지털 표현

5. 참여기관

[1] 한국은행 : 디지털화폐실, 지속가능성장실

[2] 참여은행 : 기업은행, 국민은행, NH농협은행, 우리은행, 신한은행, 하나은행, 케이뱅크, 아이엠뱅크, 부산은행

[3] 수행사 : SK주식회사, 페어스퀘어랩

6. 참고문헌

- [1] Avalanche, Avalanche Platform Whitepaper, 2020.6.
- [2] BIS, Blueprint for the future monetary system: improving the old, enabling the new, 2023.6.
- [3] Ethereum Foundation, Ethereum official website(<https://ethereum.org>)
- [4] Hyperledger Foundation, Hyperledger Besu official website(<https://besu.hyperledger.org>)
- [5] ICMA, Sustainability-Linked Bond Principles, 2023.6.
- [6] IETF, <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-satp-architecture-06>
- [7] IETF, <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-satp-core-08>
- [8] MAS, MAS Announces Green Finance and Capital Markets Initiatives to Strengthen Financial Cooperation With China, 2024.11.
- [9] MAS, Purpose Bound Money(PBM) Technical Whitepaper, 2023.6
- [10] 감사원, 금융소비자 보호 및 감독실태 감사결과보고서, 2013.11.
- [11] 김필규, ESG채권의 특성 분석과 활성화 방안, 자본시장연구원, 2021.5.
- [12] 관계부처 합동, 국가 탄소중립 · 녹색성장 기본계획(안), 2023.3.
- [13] 금융위원회, 토큰증권(Security Token) 발행유통 규율체계 정비방안, 2023.2.
- [14] 금융위원회, 기후위기 대응을 위한 금융지원 확대방안, 2024.3.

- [15] 금융위원회, 조각투자 샌드박스 제도화, ATS의 ETF 거래 허용 등을 위한 기본법 시행령규정 입법예고, 2025.2.
- [16] 한국거래소, ESG채권 홈페이지(<https://sribond.krx.co.kr>)
- [17] 한국남동발전, 공공기관 최초 지속가능연계채권 500억원 발행, 2024.7.
- [18] 한국은행, 2021년 지급수단 및 모바일금융서비스 이용행태 조사결과, 2022.5.13.
- [19] 한국은행, A step toward new financial market infrastructure: Bank of Korea's initiative, 2023.10.
- [20] 한국은행, 2024 지급결제보고서, 2025.4.
- [21] 한국은행, BOK 이슈노트 토큰증권(Security Token Offering)을 통한 녹색채권 발행 사례 및 시사점, 2024.11.
- [22] 환경부, 저탄소 체계로의 전환 가속화를 위한 녹색투자 확대방안, 2024.3.
- [23] 홍지연, 글로벌 지속가능연계채권(SLB) 시장 현황 및 국내 시사점, 자본 시장연구원, 2022.9.