

기본연구 | 24-09

# 디지털 경제 활성화를 위한 실물자산토큰(Real World Asset)시장의 탈중앙화 금융 알고리즘 적용 가능성 연구

김 찬

2024. 12





기본연구 | 24-09

# 디지털 경제 활성화를 위한 실물자산토큰(Real World Asset)시장의 탈중앙화 금융 알고리즘 적용 가능성 연구

김 찬

2024. 12

## 서 언

디지털 전환이 가속화됨에 따라 경제 및 금융 전 분야에서 혁신의 물결이 일고 있습니다. 하지만 전통 금융시스템은 신뢰성, 실시간 거래, 글로벌 연결성, 보안 등에서 한계를 드러내며 보다 투명하고 효율적인 금융 생태계 구축의 필요성이 대두되고 있습니다. 이러한 시대적 요구에 부응하여, 블록체인 기술은 금융 시스템의 새로운 대안으로 주목받고 있습니다.

이에 본 연구는 블록체인 기술을 기반으로 한 금융 시장의 미래를 심도 있게 탐구하기 위해, 블록체인을 기반으로 한 실물자산토큰 시장의 현황을 분석합니다. 또한, 현재 주로 가상자산에 대해 적용되고 있는 탈중앙화 금융 알고리즘을 분석하여, 향후 이러한 알고리즘이 실물자산 시장까지 확장될 수 있는 가능성을 다각적으로 분석하였습니다.

본 연구는 정보통신정책연구원의 김찬 부연구위원이 총괄책임을 맡아 수행하였습니다. 본 연구를 시작으로 건전한 블록체인 기반 금융 생태계의 구축에 대한 논의가 폭넓고 활발하게 진행될 수 있기를 기원합니다.

2024년 12월

정보통신정책연구원

원장 직무대행 김 정 언



# 목 차

서 언 .....	1
요약문 .....	7
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>11</b>
제 1 절 연구의 배경 및 목적 .....	11
제 2 절 보고서의 내용 및 구성 .....	13
<b>제 2 장 RWA 시장 현황 .....</b>	<b>14</b>
제 1 절 토큰화된 권리, RWA .....	14
1. 소유권과 공적 장부 .....	14
2. 소유권 거래시장 활성화를 위한 과제 .....	16
제 2 절 RWA의 종류와 현황 .....	20
1. 사모대출(Private Credit) .....	20
2. 미국 국채(US Treasuries) .....	22
3. 원자재(Commodity) .....	25
4. 부동산(Real Estate) .....	26
5. 지식재산권(Intellectual Properties, IP) .....	27
<b>제 3 장 탈중앙화 금융의 종류 .....</b>	<b>29</b>
1. 불투명성 .....	29
2. 중개자 의존성 .....	29

3. 제한된 접근 .....	30
<b>제 1 절 탈중앙화 거래소 .....</b>	<b>31</b>
1. 탈중앙화 거래소의 특징 .....	31
2. 탈중앙화 거래소의 역사 .....	32
3. 기타 탈중앙화 거래소 관련 프로토콜 .....	37
<b>제 2 절 탈중앙화 대출 .....</b>	<b>39</b>
1. 탈중앙화 대출의 특징 .....	39
2. 탈중앙화 대출의 역사 .....	40
3. 기타 탈중앙화 대출 관련 사건 .....	42
<b>제 4 장 탈중앙화 금융 알고리즘 분석 .....</b>	<b>44</b>
<b>제 1 절 탈중앙화 거래 알고리즘 분석 .....</b>	<b>44</b>
1. CPMM의 작동원리 .....	44
2. CPMM의 수익성 분석 .....	46
<b>제 2 절 탈중앙화 거래소와 오더북 기반 거래소의 비교 .....</b>	<b>52</b>
1. 상장(Listing) .....	52
2. 유동성 공급 .....	53
<b>제 3 절 탈중앙화 대출 알고리즘 분석 .....</b>	<b>56</b>
1. 대출금리 결정 알고리즘 .....	56
2. 예금금리 결정 알고리즘 .....	58
3. 담보 청산 매커니즘 .....	59
4. 탈중앙화 대출의 사용 사례 .....	61
<b>제 5 장 탈중앙화 금융 성과 분석 .....</b>	<b>62</b>
<b>제 1 절 탈중앙화 거래 알고리즘 성과 분석 .....</b>	<b>62</b>
1. 탈중앙화 거래소 데이터의 이해 .....	62

2. CPMM 실질 수익률의 추정 .....	65
3. CLMM 실제 수익률의 추정 .....	67
제 2 절 탈중앙화 예금대출 알고리즘 성과 분석 .....	70
1. 탈중앙화 예금·대출 데이터의 이해 .....	70
2. 탈중앙화 예금·대출 데이터의 분석 .....	72
3. 국내 은행 예금·대출 서비스와의 비교 .....	75
제 3 절 탈중앙화 금융 알고리즘의 RWA 시장 적용 가능성 .....	77
1. AMM 알고리즘의 RWA 시장 적용 가능성 .....	77
2. 대출 알고리즘의 RWA 시장 적용 가능성 및 예시 .....	80
<b>참고문헌</b> .....	<b>82</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>85</b>

## 그림 목 차

[그림 1 - 1] RWA 시장 성장 추이 .....	11
[그림 4 - 1] 보유 대비 손실(Loss-Versus-Holding) .....	49
[그림 4 - 2] 탈중앙화 대출 알고리즘의 이자율과 활용률의 관계 .....	57
[그림 5 - 1] Uniswap 유동성 풀 목록 .....	63
[그림 5 - 2] Uniswap의 거래자 인터페이스 .....	64
[그림 5 - 3] Uniswap V2의 유동성 공급자 누적 수익률 .....	67
[그림 5 - 4] ETH/USDC 유동성 풀별 추정 누적수익률 비교 .....	69
[그림 5 - 5] Aave V3의 예금·대출 현황 대시보드 .....	70
[그림 5 - 6] Aave에 예치된 ETH의 대출 현황 .....	71
[그림 5 - 7] 유동성 풀 활용률 및 대출이자율 변화 .....	73
[그림 5 - 8] 유동성 풀 예금이자율 및 예대금리차 .....	73
[그림 5 - 9] 활용률, 대출이자율, 예대금리차의 관계 .....	74
[그림 5 - 10] 국내 은행 예대금리차 추이 .....	76
[그림 5 - 11] AMM 알고리즘 사용 시 거래대금과 거래비용의 관계 시장별 추정치 .....	78

# 요 약 문

## 1. 제 목

디지털 경제 활성화를 위한 실물자산토큰(Real World Asset) 시장의 탈중앙화 금융 알고리즘 적용 가능성 연구

## 2. 연구 목적 및 필요성

블록체인 기술을 현실 세계에 접목하려는 시도가 이루어지고 있다. 그중 대표적인 것이 RWA(Real World Asset)라고 불리는 실물자산의 토큰화이다. 이는 현실 자산에 대한 권리를 디지털 형태로 발행하여 블록체인상에서 거래 가능하게 만든 것이다. 발행자는 RWA를 통해 자산을 유동화하고, 더 넓은 투자자에게 다가갈 수 있다. 동시에, 투자자는 RWA를 통해 다양한 자산군에 대한 새로운 투자 기회를 가지며, 이에 기반하여 상관관계가 낮은 자산들을 조합하여 포트폴리오를 다양화하여 비체계적 위험<sup>1)</sup>을 분산할 수 있다. 시장의 관점에서 RWA를 통한 자산 유동화는 가격발견기능을 돕고, 자원의 효율적 배분에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 디지털 기술의 발전은 금융 서비스의 혁신을 촉진하였으나, 여전히 많은 부분에서 중앙집중화된 구조와 비효율성이 존재한다. 특히 전통적인 금융 시스템은 접근성, 투명성, 효율성 측면에서 한계를 보이므로, RWA를 통한 금융 시스템이 소기의 목적을 달성하기 위해서는 금융 시스템 자체에 대한 고민이 필요할 수 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 대안 중 하나로 블록체인과 스마트 컨트랙트

---

1) 특정 기업이나 자산이 고유하게 가지고 있는 위험

를 활용한 탈중앙화 금융(Decentralized Finance, DeFi)이 꼽힌다.

본 보고서는 다양한 RWA의 현황과 특성, 그리고 관련 규제에 대해 알아본다. 다음으로 탈중앙화 금융 알고리즘의 작동원리를 고찰하고, 이에 기반하여 알고리즘의 과거 성과를 분석한다. 마지막으로, 탈중앙화 금융 알고리즘의 RWA 시장 활용 가능성에 대해 분석하고, 시사점을 도출한다.

### 3. 연구의 구성 및 범위

탈중앙화 금융 및 RWA는 많은 국내 투자자들이 이용하고 있으나, 관련 규제, 정책 등에 대한 논의가 현재 진행형이다. 이러한 신기술에 대한 규제 및 과세 논의는 활발히 진행되고 있으나, 기술 그 자체에 대한 국내 연구는 많지 않은 것으로 판단된다. 본 연구는 현재 가장 널리 사용되는 탈중앙화 금융 알고리즘의 종류인 거래중개 알고리즘과 대출 알고리즘을 이론적으로 분석하고, 이를 기반으로 알고리즘의 효용성 및 안정성에 대해 분석하였다. 또한 대표적인 RWA의 사례와 이로부터 파생될 수 있는 우려 등을 다룬다.

본 연구는 3개의 주제로 구성된다. 첫째, 대표적인 RWA 프로젝트에 대해 카테고리별로 알아보고, 카테고리 내 차이점에 대해서 분석한다. 둘째, 탈중앙화 금융 알고리즘에 대해 이론적으로 분석한다. 마지막으로, 탈중앙화 금융 알고리즘의 작동 현황에 대해 데이터를 이용하여 분석하고, 이를 RWA 시장에 확장 적용했을 경우의 시사점을 도출한다.

### 4. 연구 내용 및 결과

#### 가. RWA 현황 정리

다양한 RWA 자산군이 존재하나 현재는 사모 대출, 미국 국채, 원자재, 부동산이 RWA 시장의 대부분을 구성한다. 각 카테고리의 대표적인 RWA 프로젝트들이

어떻게 규제를 충족 혹은 회피하며 운영되는지 알아본다. 현재는 거의 미미하나, 다양한 기업들이 진출 움직임을 보이는 지식재산권 관련 RWA에 대해서도 간략히 논의한다.

#### 나. 탈중앙화 금융 알고리즘의 작동원리 분석

탈중앙화 금융 알고리즘은 금융시장의 중개자(Middleman) 역할을 간단한 알고리즘으로 대체한다. 금융시장에서도 거래자산에 대한 수요와 공급이 만나는 지점에서 균형가격이 존재하나, 중개자가 이를 알기는 쉽지 않다. 본 연구는 탈중앙화 금융 알고리즘이 어떻게 실시간으로 가격을 책정하는지에 대해 분석하고, 관련 문헌들을 소개한다.

#### 다. 탈중앙화 금융 알고리즘 데이터 분석 및 RWA 시장에 대한 함의 도출

앞에서 분석한 탈중앙화 금융 알고리즘의 작동원리를 기반으로 실제 거래 및 대출 데이터를 분석하고, 이를 전통 금융시장과 비교한다. 마지막으로, RWA 시장이 확대될 경우, 유동성 및 비용효율성을 확보하는 과정에서 탈중앙화 금융 알고리즘이 사용될 경우의 효과에 대해 분석하였다. 그 결과, 특정 시장에서는 탈중앙화 금융 알고리즘이 기존 시장의 단점을 보완할 수 있을 것으로 보인다는 결론을 얻었다.

### 5. 기대효과

탈중앙화 금융 분야에서 우리나라는 신기술을 개발하기보다는 해외 기업의 기술을 활용하는 수준에 머물고 있는 것으로 평가된다. 이는 시장 규모나 기회 면에서 여타 선진국보다 작기 때문일 수도 있으나, 금융과 관련된 규제 문제 때문일 수도 있다.

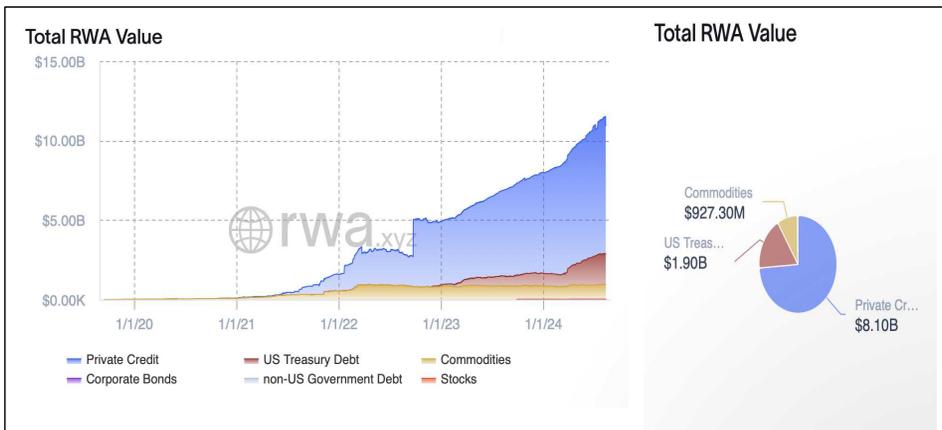
본 연구는 최근의 탈중앙화 금융 알고리즘 기술 및 RWA 동향을 정리하고 시사점과 향후 전망에 대해 제시하였다. 이는 앞으로도 진행될 다양한 자산의 토큰화를 통한 디지털 경제 활성화를 위한 논의에 참고가 되는 정책 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

RWA(Real World Asset)은 가상자산과 대비되는 개념으로, 부동산, 원자재, 탄소배출권, 지적재산권, 예술품, 채권, 화폐 등 유·무형의 실제 자산들을 블록체인상에서 거래할 수 있도록 디지털 토큰화한 것을 지칭한다. RWA는 실물자산을 토큰화한다는 점에서 증권형 토큰(Security Token, ST)과 유사하나, ST는 「자본시장법」 하 금융당국의 규제를 따라야 하는 증권을 토큰화한 것으로 RWA보다 그 범위가 좁다. 본 보고서에서는 RWA를 블록체인에 토큰화된 모든 현실 자산으로 정의하며, 이는 증권형 토큰을 포함한다.

[그림 1-1] RWA 시장 성장 추이



자료: <https://rwa.xyz>

RWA는 허가형(permissioned) 혹은 비허가형(permissionless) 블록체인에서 모두 운영될 수 있으나,<sup>2)</sup> 현재는 주로 비허가형 블록체인에 기반을 두고 있다. 2024년 8월 12일 기준, 스테이블 코인을 제외하면 비허가형 블록체인에서 확인되는 RWA의 시가총액은 131.5억 달러로<sup>3)</sup>, 그중 사모대출(Private Credit)이 92.5억 달러, 미국 국채(US Treasury Debt)가 23.6억 달러, 그리고 원자재(Commodities)가 11.1억 달러를 차지하고 있다. 즉 기존 시장에서도 이미 활발히 거래되던 금융, 원자재 등의 자산이 현재 RWA 시장에서 주로 거래되고 있음을 알 수 있다.

이는 여러 가지 요인에서 기인한다. 금융자산의 경우 기존의 금융시장에서 거래되던 자산들을 블록체인상으로 옮겨온 것이므로 관련 제도의 설계가 상대적으로 용이하며, 투자자들의 심리적 진입장벽이 낮다. 반면, 토근화된 부동산, 예술품, 지적재산권 등의 경우 제도적으로 넘어야 할 산이 많을 뿐 아니라, 상품이 규격화되어 있지 않아 가치평가가 용이하지 않고, 투자에 필요한 지식을 보유한 잠재적 투자자 수가 상대적으로 적어 거래에 대한 수요가 많지 않을 수 있다.

그러나 RWA 시장이 보여준 빠른 성장을 고려하면 머지않은 미래에 RWA 시장이 다양한 자산으로 확장될 가능성이 있다. 한국의 경우 부산디지털자산거래소(Busan Digital Asset Nexus, BDAN)가 글로벌 RWA 거래시장을 선점하는 것을 목표로, 민간기업인 아이티센을 중심으로 한 컨소시엄이 출범하였다.<sup>4)</sup> 해당 거래소는 2026년까지 지적재산권, 탄소배출권 등 다양한 RWA 및 가상자산 거래를 지원하는 종합 거래소를 계획하고 있다.

그러나 RWA 시장이 효율적으로 기능하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 수 있다. 거래되는 자산의 수가 증가할 경우 시장에서 소외되는 종목 또한 증가할 수 있는데, 이를 보완하기 위해서는 시장 활성화를 고려한 제도 정비가 필요할 수 있

2) 비허가형 블록체인은 퍼블릭(Public) 블록체인이라고도 불린다. 허가형 블록체인은 프라이빗 블록체인 컨소시엄 블록체인을 포함한다.

3) <https://rwa.xyz>.

4) <https://stock.mk.co.kr/news/view/429634>.

다. 경제학의 관점에서는 새로운 자산군에 대한 가격결정 이론, 정보 비대칭을 해소하기 위한 새로운 거래방식 등에 대한 연구, 소유권 제도에 대한 근본적인 고찰 등을 통해 시장 활성화에 기여할 수 있을 것이다.

또한 본 연구는 현재의 탈중앙화 금융(Decentralized Finance, DeFi) 알고리즘이 RWA 거래 및 관련 금융 서비스 제공에 기여할 수 있을지에 대해 탐구한다. 탈중앙화 금융은 블록체인을 기반으로 한 금융 생태계로, 기존의 금융기관(은행, 증권사 등)과 같은 중앙화된 중개자의 역할을 알고리즘으로 대체하여 교환, 대출 등 금융 서비스를 제공하는 시스템이며, 현재는 주로 가상자산에 대해 적용되고 있다. 탈중앙화 금융 알고리즘의 작동 현황을 조사하고, 이를 RWA 시장에 대해 확장 적용하기 위한 조건들, 그리고 확장 적용 가능한 예시에 대해 고찰한다.

## 제 2 절 보고서의 내용 및 구성

본 보고서는 다음과 같이 구성되어 있다. 제2장에서는 RWA 자산 종류별 현황에 대해 알아보고, 각 카테고리별 대표적인 프로젝트에 대해 분석한다. 제3장에서는 탈중앙화 금융 알고리즘의 종류와 그 역사에 대해 살펴본다. 제4장에서는 대표적인 탈중앙화 금융 알고리즘인 자동화된 시장 조성자(AMM)와 탈중앙화 대출 알고리즘의 작동원리에 대해 자세히 알아보고, 중앙화된 금융 시스템과 비교했을 때의 장단점에 대해 분석한다. 제5장에서는 데이터를 통해 기존 탈중앙화 금융 알고리즘의 작동 현황을 분석하고, 이에 기반하여 RWA 시장에 적용했을 경우 기존의 금융 시스템을 보완 및 개선할 수 있을지에 대해 살펴본다.

## 제 2 장 RWA 시장 현황

### 제 1 절 토큰화된 권리, RWA

#### 1. 소유권과 공적 장부

소유권은 특정 자산에 대해 법률이 부여한 배타적 권리로, 소유자가 자산을 사용, 수익, 처분할 수 있는 권리를 의미한다. 이는 경제 성장에 필수적인 유·무형 자산의 축적을 위한 인센티브를 제공하며, 시장참여자가 동태적으로 최적화된 의사결정을 하도록 돕는다.

그러나 소유권과 관련된 분쟁을 최소화하고 시스템이 원활히 작동하려면 제도적 기반이 필요하다. 예를 들어, 부동산은 등기부등본이라는 ‘공적 장부’를 통해 소유주, 저당권 등을 확인할 수 있으며, 등기부등본에 기재된 내용은 적법하게 존재하는 것으로 추정된다.<sup>5)</sup>

공적 장부는 소유권을 보호하고 확인할 수 있는 주요 수단으로, 그 존재 목적을 달성하기 위해서는 기록이 임의로 수정 또는 삭제될 수 없어야 하며, 신뢰할 수 있는 주체에 의해서만 작성 가능해야 한다. 예를 들어, 부동산 등기부등본은 원칙적으로 관할지역의 등기소에서만 기록이 가능하며, 매매계약서 등 관련 서류를 검토하여 권리관계의 변동 사항을 기록하므로 이러한 요건을 충족한다.

RWA는 토큰화를 통해 소유권 전체 혹은 일부(수익권, 사용권 등)를 위한 공적 장부를 블록체인에서 구현한 것으로 볼 수 있다. 블록체인에 기록된 내용은 임의

---

5) 이를 ‘권리추정력’이라고 한다. 그러나 대한민국에서는 등기부등본의 공신력이 인정되지 않음을 유의해야 한다. 이는 등기부에 잘못된 내용이 기재되어 있을 때 이를 신뢰하고 거래한 제3자를 법적으로 보호하지 않는다는 것을 의미한다. 이 경우 개인 간 소송을 통해 분쟁을 해결해야 한다.

로 수정할 수 없으므로 공적 장부의 첫 번째 요건인 불변성을 충족하며, 두 번째 요건인 신뢰성 또한 블록체인의 특성에 의해 보장될 수 있다. 예를 들어, 권리관계의 변동에 관한 절차적 검증은 블록체인의 스마트 콘트랙트(Smart Contract)<sup>6)</sup>를 이용하여 자동화할 수 있다. 이는(블록체인에 기반한 가상화폐 혹은 스테이블코인을 통한) 매매 대금의 지급과 같이, 권리변동에 대응하는 행위를 자동으로 확인 및 검증하여 관련 행정비용을 절감할 수 있는 장점도 있다.

그러나 블록체인이 실물자산에 대한 공적 장부 역할을 수행하려면, 토큰화된 자산에 대응하는 실제 자산이 존재한다는 것이 보장되어야 하며, 동시에 시장 참여자에게 해당 자산의 존재가 주지의 사실이어야 하는데, 이는 주로 중앙화된 주체의 신뢰성을 빌려와 달성하게 된다. 예를 들어, 담보형 스테이블코인은 중앙화된 발행사가 실제 법정화폐 또는 이와 유사한 자산<sup>7)</sup>으로 충분한 준비금을 보유하며, 해당 발행사는 감사(audit)를 통해 이를 입증한다. 예를 들어, 현재 스테이블코인 중 가장 시가총액이 큰 USDT(USD Tether)는 버진아일랜드와 홍콩에 기반을 둔 Tether Limited 사가 발행한다. 그러나 Tether 사의 준비금에 대한 의혹이 지속적으로 제기되어 왔으며, 실제로도 준비금 부족이 일부 존재했던 것으로 드러나<sup>8)</sup> 미국 관리당국에 1,850만 달러의 벌금을 납부하기도 했다. 현재는 제3자를 통해 정기적으로 담보를 증명(attestation)하는 등 안전성 및 투명성을 개선하고 있는 것으로 알려져 있다.

블록체인을 활용한 공적 장부의 지위는 법률로서 확립될 수 있다. 현재 토큰증권 제도화를 위한 「자본시장법」과 「전자증권법」 개정안이 2024년 10월 25일 재발의되었는데, 이는 분산원장 기술에 공적 장부의 지위를 부여하는 근거가 될 수 있다. 해당 법안은 토큰증권의 법적 근거를 마련하고, 발행인 계좌관리기관과 장

6) 블록체인상에서 자동으로 실행되는 계약을 의미함. 계약 조건이 미리 프로그래밍되어, 조건이 충족되면 사람이 개입하지 않아도 계약 내용이 자동으로 실행됨.

7) 유동성이 높은 동시에 가치가 안정적이고, 추가적인 수익을 기대할 수 있는 미국 단기 국채 등이 이에 해당한다.

8) <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210224011400072>.

외거래증개업자 신설 등을 통해 시장 성장과 투자자를 보호하는 목적을 가지고 있다.<sup>9)</sup>

## 2. 소유권 거래시장 활성화를 위한 과제

블록체인을 이용한 RWA는 소유권 거래 시장의 효율성을 제고하고, 자산 유동화를 통해 추가적인 경제적 가치를 창출할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 그러나 이 시장의 활성화를 위해서는 극복해야 할 여러 문제가 있다.

먼저, 레몬마켓의 문제이다. 레몬마켓은 미국의 경제학자 조지 애컬로프가 제시한 개념으로, 정보의 비대칭성으로 인해 저품질의 상품이 주로 거래되는 시장을 의미한다. 판매자는 상품의 품질을 잘 알기 때문에 고품질 상품은 높은 가격을 받으려 하는 반면, 구매자는 품질을 구분하기 힘들기 때문에 고품질 상품에도 시장에 있을 것으로 기대되는 전체 제품의 평균 가격만을 지불하려 한다. 이 경우 고품질의 상품은 제값을 받을 수 없으므로 매물로 거의 나오지 않고, 저품질의 상품만 거래되는 결과를 낳는다.

이러한 레몬마켓 문제를 완화하기 위해서는 구매자가 상품에 대한 정보를 충분히 획득할 수 있도록 하는 장치가 필요하다. 예를 들어, 주식시장의 상장절차는 레몬 기업들을 걸러내고, 공모가를 통해 자산의 적정 시장 가격을 제시하는 역할을 한다. 부동산시장의 경우, 감정평가를 받거나 공시지가 및 KB시세 등을 통해 시장참여자가 공정 가격에 대한 정보를 일부 얻을 수 있다.

RWA는 지금까지는 거래되지 않던 다양한 자산의 거래를 지원할 것으로 예상된다. 이는 누군가에게는 새로운 기회일 수 있으나, 일반투자자와 기존 자산 소유자 간 높은 정보 비대칭성이 문제가 될 수 있다. 이는 특히 시장 초기에 큰 문제가 될 수 있기에 레몬마켓을 방지하기 위한 여러 제도가 선행되어야 한다. 동시에 새로운 자산들의 가치평가 방법론에 대한 연구도 함께 진행되어야 할 것이다.

---

9) <https://m.etnews.com/20241105000185>.

다음으로, 시장에서 거래 가능한 RWA가 증가할 경우, 필연적으로 시장의 관심에서 소외되는 자산이 증가하는 문제가 있다. 이는 시장의 가격발견기능을 약화하고, 자산의 환금성을 낮춘다.

저유동성을 해소하는 방법은 여러 가지가 있다. 예를 들어, 주식시장에서는 유동성이 부족한 상장종목에 대해 유동성 공급자(혹은 시장조성자) 제도를 운영한다. 유동성 공급자 계약을 맺은 증권사는 상장법인으로부터 일정 수수료를 지급받으며, 그 대가로 매수·매도 호가를 지속해서 제시해야 한다. 이는 유동성 위협으로 인해 거래를 꺼리던 투자자들의 관심을 불러올 수 있다.

그러나 유동성 공급자 제도와 관련하여 불법 공매도, 고빈도 매매를 이용한 시장 가격 조작 등과 관련한 문제가 지속해서 제기되고 있다. 이에 따라, 증권사들의 입장에서는 과징금 등의 규제 리스크를 지고 유동성 공급자로 참여하는 것이 부담스러울 수 있다.<sup>10)</sup> 더군다나 가상자산 시장에서는 현재 시장조성행위가 금지되어 있는 것을 고려할 때,<sup>11)</sup> 기존의 시장조성자 제도를 현재 RWA 시장에 적용하기는 쉽지 않아 보인다.

이에 대한 대안으로, 탈중앙화 금융의 자동화된 시장조성자(Automated Market Makers, AMMs)가 고려될 수 있다. 이는 단순한 알고리즘에 따라 호가를 지속적으로 제시하므로 시장가격조작 문제에서 상대적으로 자유롭다.<sup>12)</sup> 그러나 해당 알고리즘의 수익구조, 혹은 기존의 유동성 공급자 제도와 비교했을 때 비용효율성 등 추가적인 연구가 필요하다.<sup>13)</sup>

10) [https://www.g-enews.com/article/Securities/2023/09/2023091516050312862a735e27af\\_1](https://www.g-enews.com/article/Securities/2023/09/2023091516050312862a735e27af_1).

11) <https://www.news1.kr/finance/general-finance/5259120>.

12) 해당 알고리즘 또한 시장조작 문제에서 완전히 자유로운 것은 아니다. 탈중앙화 거래소는 시장조작행위 등에 대한 감시가 덜하므로 이용자들이 펌프 앤 덤프(Pump and Dump) 공격에 노출되기 쉽다. 또한 일시적으로 높은 수익률을 보장하는 방식으로 다른 가상자산 보유자들을 유동성 공급자로 참여시킨 다음, 그들을 대상으로 보유자산을 청산하는 러그풀(Rug pull) 공격 또한 빈번히 발생한다.

13) 알고리즘에 대한 분석은 본 보고서의 2장부터 5장에서 다룬다.

마지막으로, 소유권 제도 자체가 내포한 문제에 대한 고민도 필요하다. Posner et al.(2018)은 사유재산제도가 특정 자산에 대해 '독점적'인 권한을 부여함으로써 인해 비효율이 발생할 수 있다고 보았다. 개발 예정지인 땅에 대해 매우 높은 보상을 요구하는 소위 '부동산 알박기'는 소유권의 이러한 특성을 활용해서 자원의 효율적 배분을 방해하는 대표적인 예이다. 이러한 소유권 제도의 부작용을 완화하기 위한 방안으로 Posner et al.(2018)은 하버거 텍스(Harberger Tax)라고 불리는 공공 경매 방식을 통한 해결책을 제안한다. 이는 스스로 평가한 가격(Self-assessed value)에 기반하여 재산세를 부과하는 시스템으로, 해당 가격을 다른 사람이 지불할 경우 소유권이 즉시 이전된다. 자산의 소유자가 자산을 실제 가치보다 높게 평가할 경우 소유주는 높은 세금을 비용으로 지출해야 한다. 반대로 가치를 너무 낮게 평가할 경우 헐값으로 소유권을 빼앗길 우려가 있다. 이로 인해 소유주는 스스로 적절한 가격을 제시할 유인이 있다.

하버거 텍스를 실제 시장에 적용하기 위해서는 기존의 소유권 및 재산권 제도와 충돌 여부에 대한 법적 검토가 필요하다. 또한 실제 실행에 수반되는 행정비용도 만만치 않을 것으로 예상된다. 그러나 블록체인 기반 시스템에서는 스마트 계약을 이용해 행정절차를 자동화할 수 있으므로 이러한 단점을 극복하고, 정보 비대칭을 완화하는 메커니즘으로 활용해 봄 직하다. 이더리움의 창시자인 비탈릭 부테린(Vitalik Buterin) 또한 하버거 텍스를 활용한 블록체인 리소스 할당을 제안한 적이 있다.<sup>14)</sup> 하버거 텍스가 아니더라도, 블록체인은 정보 비대칭에서 비롯되는 시장의 부작용들을 완화하기 위해 이론적으로 제안되어 오던 각종 메커니즘을 구현하기 적합한 플랫폼일 수 있다.

요약하자면, 블록체인 기술을 활용한 RWA는 실물자산의 소유권을 디지털화하여 유동성을 증가시키고, 거래의 효율성을 개선하는 등 다양한 경제적 이점을 제공할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 그러나 새로운 자산에 대한 권리를 토큰화하기 위해서는 법적·제도적 준비와 더불어, 레몬마켓 문제, 유동성 부족, 시장조작

14) <https://www.bitget.com/news/detail/12560604208159>.

리스크 등의 실질적 과제에 대한 해결책과 더불어 소유권 제도에 대한 근본적인 고민이 필요하다.

## 제 2 절 RWA의 종류와 현황

2024년 11월 기준, 스테이블 코인을 제외하면 퍼블릭 블록체인에 등록된 RWA는 사모대출(Private Credit)이 93.5억 달러, 미국 국채(US Treasury Debt)가 25억 달러, 원자재(Commodities)가 10.9억 달러를 차지하고 있다.<sup>15)</sup> 이번 절에서는 RWA의 유형별 대표적인 프로젝트에 대해 알아본다.

### 1. 사모대출(Private Credit)

사모대출은 2024년 11월 기준, RWA 시장에서 가장 큰 규모를 차지하는 분야로, 활성대출 기준 2022년 1월 초 약 10억 달러에서, 2024년 11월 93.5억 달러로 3년간 약 835% 성장하였다. 그중 Figure가 88억 달러, Maple Finance가 2.9억 달러, TrueFi가 1,800만 달러를 차지한다. 각 프로젝트의 특징은 다음과 같으며, 각 프로젝트의 백서(White Paper)를 참고하였다.

#### 가. Figure

2018년에 설립된 Figure는 블록체인 기술을 이용해 대출 프로세스를 간소화하고 효율화하는 것을 목표로 한다. 주로 주택담보대출(Home Equity Line of Credit, HELOC)을 취급하는데, 2024년 11월까지 총 102억 달러가량의 대출을 처리하였으며 88억 달러 규모의 활성대출(Active Loans)이 있다.<sup>16)</sup> 해당 대출은 eNote라고 불리는 디지털 약속어음을 기반으로 관리되는데, 이는 실물 자산을 디지털 자산으로 전환함으로써 거래와 유통의 효율화에 기여한다. Figure는 현재 잔액 기준 RWA 사모대출 부문 1위를 기록하고 있다.

Figure는 많은 활성 유저 수를 보이는 이더리움이나 솔라나가 아닌, 금융 서비

---

15) 해당 데이터의 출처는 rwa.xyz로, 2024년 10월 31일 당시 부동산(Real Estate) 관련 RWA 데이터는 제공되지 않고 있다.

16) 주택담보대출의 특성상 대출기간이 길어 총 대출금액 대비 현재 활성 대출금액의 비중이 높다.

스 제공에 최적화된 프로비넌스(Provenance) 네트워크에 기반하고 있다. 이 네트워크는 비용 효율성과 금융 특화 디자인을 강점으로 하여, 대출 실행부터 증권화까지 다양한 금융 활동을 지원한다.

고객들은 Figure 웹사이트를 통해 100% 온라인으로 주택담보대출을 받을 수 있으며, 대출 시 요구하는 서류들을 제공하면 자동 가치평가 모델(Automated Valuation Model)을 통해 현장 감정 없이 몇 분 안에 승인 여부를 알 수 있다.

#### 나. Maple Finance

Maple Finance는 2021년에 설립된 블록체인 기반의 기관 대출 플랫폼으로, 초기에는 무담보 대출을 중심으로 운영되었으며, 이 과정에서 풀 델리게이트(Pool Delegate)가 핵심 역할을 담당하였다. 풀 델리게이트는 Maple Finance팀에 의해 선정된 기관투자자 혹은 전문 투자회사로, 대출 풀 관리, 차입자 신용 평가, 대출 조건 설정, 승인 여부 결정 등 대출 프로세스 전반을 책임지고 수수료를 받는다.

그 대신, 풀 델리게이트가 되기 위해서는 일정 금액의 퍼스트 로스(First-Loss) 자본을 스테이킹하여 부실 대출에 대한 손실을 우선적으로 부담해야 하며, 이는 풀 델리게이트의 도덕적 해이를 일부 방지하는 역할을 한다. 이러한 구조를 통해 Maple Finance는 전통 금융권의 심사 프로세스를 블록체인상에 디지털화했다는 의미가 있다.

그러나 2022년 12월 파트너사인 Orthogonal Trading이 재무 상태를 허위로 보고하여 약 3,600만 달러의 대출을 상환하지 못하는 사건이 발생하였다. Maple Finance는 이를 계기로 리스크 관리와 대출 심사 절차를 강화하였으며, 최근에는 신용대출이 아닌, Web3 기업을 대상으로 한 가상자산 담보대출로 사업모델을 전환하고 있다. 2024년 11월까지 23.5억 달러가량의 총대출을 처리하였으며, 현재 활성대출은 3억 달러가량이다.

#### 다. TrueFi

TrueFi는 2020년 설립된 탈중앙화 금융 플랫폼으로, 기관 대상 무담보 대출을 중심으로 운영되며 블록체인 기술을 활용한 대출 프로세스의 효율성과 투명성 증

진을 목표로 한다.

해당 플랫폼의 핵심 요소 중 하나는 포트폴리오 매니저(Portfolio Manager, PM)이다. 이는 Maple Finance팀에 의해 선정되는 풀 델리게이트와 비슷한 역할을 하지만, TrueFi의 거버넌스 토큰인 TRU 토큰홀더들에 의해 탈중앙화된 방식으로 선정된다는 차이가 있다. PM은 TrueFi 앱을 통해 자신의 볼트(Vault)를 생성할 수 있으며, 해당 볼트의 수수료, 포트폴리오 규모, 만기일, 대출기간 등 여러 조건을 설정한다. 투자자는 유동성 풀과 유사한 방식으로 펀드에 자금을 제공하거나 인출할 수 있다.

최종적인 대출 승인은 스테이킹된 TRU의 투표를 통해 결정되며, 채무불이행이 발생할 경우 사용자 보안 자산 펀드가 우선적으로 투자자 손실 보상에 사용된다. 만약 해당 기금이 충분하지 않을 경우 투표에 참여한 TRU 토큰이 최대 10%까지 청산되어 대출자의 손실을 부분적으로 보전하게 된다. 위의 두 단계로도 손실을 완전히 보상하지 못할 경우, 남은 손실은 예금자가 부담하며, 영국령 버진아일랜드에 등록된 TrueFi Foundation이 채무불이행 차용자에 대한 법적 절차를 진행한다.

2024년 11월까지 17억 달러 규모의 총대출을 처리하였으며, 활성대출은 1,800만 달러가량이다.

## 2. 미국 국채(US Treasuries)<sup>17)</sup>

2023년 1월 초 RWA 시장에서 토큰화된 미국 국채는 1.1억 달러에 불과했으나 2024년 11월 기준 미국 국채 RWA 시장의 규모는 약 23.2억 달러로 2년간 약 2,100% 성장하였다. 현재 BlackRock의 BUIDL(BlackRock USD Institutional

---

17) rwa.xyz의 An Allocator's Guide to Tokenized Treasuries 및 아래의 Gate.io 아티클을 재구성하여 작성됨. <https://www.gate.io/learn/articles/an-overview-of-black-rocks-buidl-tokenized-fund-experiment-structure-progress-and-challenges/4530>.

Digital Liquidity Fund)가 5.1억 달러, Ondofinance의 USDY(US Dollar Yield)가 4.5억 달러, Franklin Templeton의 FOBXX(Franklin Onchain U.S. Government Money Fund)가 4억 달러 등으로 지배적인 사업자가 없이 각축전을 벌이고 있다. 각 프로젝트의 특징은 아래와 같다.

#### 가. BUIDL

BUIDL는 세계 최대 자산관리사인 BlackRock에서 출시한 사모펀드로, ‘기관투자자’만을 대상으로 2024년 3월 출시되었다. 미국 단기국채, 환매조건부채권(Repurchase Agreement), 현금, 당일 환매 계약 등 현금과 유사한 자산에 투자한다. BUIDL는 이더리움 블록체인상에서 ERC-20 토큰 형태로 발행되어 소유권 이전 내역이 온체인에 투명하게 공개된다.

BUIDL 토큰의 최초 구매는 Securitize<sup>18)</sup> 회사를 통해서 가능하며, 토큰의 이전은 화이트리스트(whitelist) 주소 간에만 가능하다. 이는 BUIDL가 증권으로 취급됨에 따라 AML(Anti-Money Laundering), KYC(Know Your Customer) 등 관련 규제를 준수해야 하기 때문이다.

BUIDL 토큰은 블록체인 기반 결제(settlement) 시스템의 장점을 활용해 즉시 환매 가능한 구조로 설계되었다. Circle 사는 1억 달러 규모의 USDC 유동성 풀을 마련해 두었으며, 이를 통해 환매시 USDC로 지급된다. Circle을 통해 환매된 BUIDL 토큰은 종종 Securitize를 통해 다시 달러로 교환되고, 해당 달러에 기반해 새로운 USDC가 발행되어 다시 유동성 풀을 채우는 것을 온체인 데이터를 통해 확인할 수 있다.<sup>19)</sup>

#### 나. FOBXX

FOBXX는 Franklin Templeton에 의해 2021년 출시된 미국 최초의 토큰화된 국고채 펀드로, BUIDL가 등장하기 전까지 가장 큰 규모의 토큰화된 국채 펀드였

18) 2017년에 설립되었으며, 디지털 증권 발행을 주업무로 한다. <https://securitize.io/>.

19) 온체인 거래 기록은 다음의 주소에서 확인할 수 있다.

<https://etherscan.io/token/0x7712c34205737192402172409a8f7ccef8aa2aec>.

다. 총자산의 대부분을 미국 국채(U.S. Treasuries), 연방주택대출은행(Federal Home Loan Bank) 발행증권, 연방농업신용은행(Federal Farm Credit Bank) 발행증권 등에 투자한다. 이 펀드의 소유권은 BENJI라는 이름의 토큰으로 표시되며, Stellar와 Polygon 등 여러 블록체인에 기록된다.

그러나 BUIDL와는 달리, FOBXX는 소유권 기록을 개인(Private) 데이터베이스에도 저장하며, 해당 기록이 블록체인 기록보다 우선권을 갖는다. 또한 FOBXX의 거래는 Franklin의 법인 Benji Investment를 통해서만 가능하며, 거래 결과는 중앙화된 시스템에 의해서 관리된다. 이 방식은 기존 금융 시스템을 활용할 수 있으므로 규제 준수에 용이하나, 블록체인을 이용한 토큰화의 장점을 충분히 활용하지 못하는 단점이 있다.

2024년 4월 이후에는 BENJI를 보유하고 있는 기관투자자들을 대상으로 피어투 피어(Peer-to-Peer) 거래가 가능해졌으며,<sup>20)</sup> BENJI를 지원하는 블록체인도 계속 확장되고 있다.

#### 다. USDY

USDY는 OndoFinance에 의해 발행된 토큰으로, 단기 미국 국채, 은행 예금 등 거의 현금과 가까운 자산에 투자하여 그 수익을 토큰 소유자에게 돌려준다. 2024년 11월 기준 연환산 수익률은 약 4.9%이다. 민팅(Minting) 및 환매(Redemption) 과정에서는 KYC/AML을 요구하나, 2차 거래 시장에서는 이를 요구하지 않는 특징을 가진다. 따라서 스테이블코인과 유사하게 불특정 다수를 대상으로 유통될 수 있으며, 탈중앙화 금융에도 사용될 수 있다.

그러나 CFTC에 의해 상품(Commodity)으로 분류된 스테이블코인과 달리, 미국의 하위 테스트(Howey Test)<sup>21)</sup>를 적용할 경우 USDY는 증권(Security)으로 분

---

20) <https://www.dlnews.com/articles/markets/franlin-templeton-upgrades-benji-tokens-for-some-investors/>.

21) 하위 테스트는 금전투자, 공동사업, 이익에 대한 합리적 기대, 그리고 제3자의 노력에 의한 이익 발생이라는 네 가지 조건을 모두 충족할 경우 증권으로 판단한다.

류될 가능성이 높아 보인다. 일반적인 스테이블코인은 예치금을 국채, 우량회사채, 예금, 금 등에 투자하여 수익을 올리며, 그 수익은 스테이블코인 발행사에 귀속된다. 반면 USDY는 국채, 예금이자 등으로부터 얻은 수익을 토큰 소유자에게 배당한다. 이는 토큰 소유자에게 유리하게 작용할 수 있으나, 동시에 ‘이익에 대해 합리적으로 기대’할 수 있으므로, 증권성을 띠는 것으로 판단될 가능성이 있다. 증권의 경우 SEC의 감독 대상이 되어 상품에 비해 더 강한 규제를 적용받는데, 현재 USDY는 미국 외 투자자만을 서비스 제공 대상으로 명시하여 해당 규제 리스크를 회피하고 있는 것으로 보인다.<sup>22)</sup>

### 3. 원자재(Commodity)

2024년 11월 기준, RWA 원자재 시장의 규모는 10억 달러를 약간 넘는 정도이다. 원자재는 금, 은, 원유 등 다양한 상품을 포괄하나, RWA 시장에서는 금을 취급하는 토큰이 대부분이다. 금 RWA 시장에서는 Pax Gold(PAXG)와 Tether Gold(XAUT)가 각각 5억 달러의 규모로 시장을 양분하고 있다. 그다음으로 큰 RWA 시장의 규모는 160만 달러로 미미한 수준이다.

PAXG는 뉴욕주 금융서비스부(Department of Financial Service)의 규제를 받는 Paxos Trust에서 발행한 것으로, 금 1온스 가격과 1:1로 연동되어 있으며 실물 금은 런던금시장협회(London Bullion Market Association) 인증 금고에 보관되어 있다. 매월 감사를 통해 금 보유량을 공개하여 신뢰성을 확보하며, PAXG 소유자가 원할 경우 실물 골드바로 교환도 가능하나 KYC 절차를 요구하며, 최소 수량 조건(430PAXG 이상)이 있다.

XAUT는 Tether 사가 발행한 것으로, 마찬가지로 금 1온스의 가격과 1:1로 연동되어 있으며, 금 실물은 스위스의 금고에 보관되어 있는 것으로 알려져 있다.

---

22) 이 경우 Reg S 조항에 의해 미국의 증권 관련 규제를 준수하지 않으면서도 국제 자본 조달이 가능하다. OndoFinance는 미국 외에도 영국, 캐나다, 북한, 시리아, 이란, 쿠바 등의 거주하는 사람에게는 USDY 관련 서비스를 제공하지 않는다고 명시하고 있다.

그러나 매월 감사(Audit)를 받는 Paxos Trust와는 달리, Tether 사는 증명(Attestation)이라는 비교적 느슨한 절차만 거치고 있어, 그 신뢰성에 의문을 제기하는 목소리도 있다.<sup>23)</sup>

#### 4. 부동산(Real Estate)

2024년 11월 기준, 가장 규모가 큰 부동산 RWA는 RealT로 약 1억 2천만 달러가 예치되어 있다.<sup>24)</sup> RealT에 대한 정보는 다음과 같다.

##### 가. RealT

RealT는 블록체인 기반의 부동산 토큰화 플랫폼으로, 이더리움 블록체인상에서 부동산 소유권을 디지털 자산인 RealToken 형태로 발행해 판매한다. 각 부동산은 별도의 유한책임회사(LLC)가 소유하며, RealToken은 해당 유한책임회사의 소유권을 나타낸다. 이를 통해 투자자들은 최소 50 달러의 소액부터 부동산에 분산 투자할 수 있으며, 보유한 토큰 수에 비례하여 매주 임대 수익을 배당받는다. 부동산 관리는 RealT 측에서 지정한 제3자 부동산 관리회사에서 맡는다.

투자자들이 RealToken을 구매하기 위해서는 거래되는 부동산마다 별도의 화이트리스트 등록이 필요하다. 이는 초기 구매뿐 아니라 2차 시장에서의 거래도 마찬가지이며, 화이트리스트에 등록되지 않은 월렛과의 거래는 실행되지 않는다.

RealToken을 매각하는 방법은 두 가지가 있다. RealT에서 개발한 YAM 플랫폼에서 투자자 간 스마트 계약을 활용해 거래하거나, 부동산 감정평가에 기반한 공정시장가치로 RealT 측에 환매를 요청하는 것이다. 후자의 경우, 주간 환매 가능 금액에 제한이 있으며, 완료까지 10영업일가량 소요될 수 있다.

---

23) <https://cointelegraph.com/news/tether-transparency-business-structure-118b-ftx-concern>.

24) DefiLlama.com 기준.

## 5. 지식재산권(Intellectual Properties, IP)

현재 거래되고 있는 지식재산권 기반 RWA는 없으나, 뮤직카우에서는 이와 유사한 음악수익증권의 조각 거래를 지원하고 있다.<sup>25)</sup> 음악수익증권은 음악 저작권이나 저작권접권에서 발생하는 저작권료 수익을 기반으로 발행되는 금융상품으로, 음악 저작권이라는 비유동성 자산을 유동화하여 투자자가 소유하거나 거래할 수 있게 만든다. 박윤석 외(2024)에 따르면, 2023년 저작권료 추정 징수액을 활용하여 추정한 국내 거래가능 음악수익증권 시장 가치 규모는 약 15조~22조 원이다. 음악수익증권의 투자자는 저작권료를 정기적으로 분배받을 권리와 함께 시세차익을 기대할 수 있고, 창작자들은 창작자금을 조달할 수 있다. 뮤직카우는 음악수익증권 조각투자에 블록체인 기술을 접목한 토큰증권 서비스를 준비 중인 것으로 알려져 있다.<sup>26)</sup> 음악수익증권의 사례와 유사한 이슈는 여러 RWA에서 재현될 가능성이 높으며, 그 중 증권성에 대한 판단이 중요할 수 있다.<sup>27)</sup>

그 외, 지식재산권과 관련되어 현재 진행 중인 프로젝트로 Story Protocol이 있다.<sup>28)</sup> Story Protocol은 지식재산권 등 복잡한 데이터 구조를 다룰 수 있게 설계된 Layer-1 블록체인으로, 블록체인을 활용하여 지적재산권의 소유권과 사용내역을 투명하고 변경 불가능한 방식으로 기록하는 것을 목표로 한다. 이는 협업 환경에서 크레딧 부여와 수익 분배를 투명하게 만들고, 스마트 계약을 통해 계약의 이행을 자동화할 수 있으며, 토큰화를 통해 소유권을 분할할 수도 있다.

그러나 저작권에서 파생된 수익권만을 다루는 뮤직카우와는 달리, Story Protocol의 백서(Whitepaper)에서는 지식재산권 토큰화 범위에 사용권(Licensing)

25) 뮤직카우와 관련된 내용은 한국지식재산연구원에서 2024년에 발간한 『음악수익증권 도입에 따른 경제적 효과 분석』 보고서와 아래의 뉴스를 참고하였다.

<https://slownews.kr/97538>.

26) <https://marketin.edaily.co.kr/News/Read?newsId=02725686638953864>

27) 백세희(2022. 4. 29), “콘텐츠 조각투자와 법률이슈: 증권성을 중심으로”, 《법률신문》.

28) Story Protocol과 관련된 내용은 아래의 링크에서 요약 발췌하였음.

<https://medium.com/kysenpool/unveiling-story-protocol-0f4c2787a57c>.

까지 포함한다. 아직 Story Protocol에서 사용권이 어떠한 방식으로 정의되고 유통되는지에 대해 알려진 것은 없으나, 성격이 다른 수많은 지식재산권들을 규격화하는 것은 쉽지 않을 것으로 예상된다.

한국의 경우 국가 지식재산 거래 플랫폼인 IP-Market<sup>29)</sup>을 통해 특허, 실용신안, 디자인, 상표 등 지식재산 등을 거래할 수 있으나, 원활한 거래 및 관련 금융 서비스를 제공받기 위해서는 특허청이 지정한 평가기관의 가치평가가 필요하다. 이와 비슷한 역할을 하는 주체가 지식재산권 RWA 시장에도 필요할 수 있다.

---

29) <https://ipmarket.or.kr/>.

## 제 3 장 탈중앙화 금융의 종류

현재 우리가 주로 이용하는 금융 시스템에서는 증권사와 거래소를 거쳐 금융 거래가 이루어지고, 은행이 차입과 대출(borrowing and lending)을 주관한다. 이러한 기관들의 의사결정 및 운영은 중앙 집중적이다. 그러나 지난 몇 년간 가상자산 시장에서는 ‘탈중앙화 금융’이라는 새로운 금융 모델이 등장했다. 이 모델에서는 중앙화된 조직이 아닌, 스마트 계약(smart contract)<sup>30)</sup>에 의해 통제되는 공통 원장(common ledger)을 이용해 금융 서비스가 실행된다.

탈중앙화 금융과 비교했을 때, 중앙화된 금융 시스템은 다음과 같은 대표적인 단점이 있다.

### 1. 불투명성

중앙화된 금융 시스템에서는 거래 기록과 운영이 비공개적으로 관리되기에 일반 사용자는 금융기관의 내부 운영, 수수료 구조, 리스크 관리 등에 대한 정보를 얻기 어렵다. 이러한 불투명성은 부정행위, 비효율성, 부적절한 자금 운영의 가능성을 높인다.

### 2. 중개자 의존성

사용자들은 중개자(은행, 결제 네트워크)들의 신뢰성과 운영 능력에 크게 의존하며, 문제가 발생하면 사용자가 대응하기 어렵다. 예를 들어, 국제 송금과 같은 경우 여러 중간 과정과 복잡한 승인 절차로 인해 처리 속도가 느리고, 높은 수수

---

30) 스마트 계약은 블록체인 기술을 기반으로, 계약 조건이 충족될 경우 자동으로 실행되는 계약을 의미한다. 블록체인의 투명성, 위조 불가능성을 기반으로 하므로, 제대로 작성된 계약이라면 불이행의 위험을 걱정하지 않아도 된다.

료가 발생한다.

### 3. 제한된 접근

정부의 규제나 금융기관의 내부 정책에 따라 계좌 동결, 거래 차단, 금융 서비스 거부 등이 가능해 사용자의 재산권에 제약을 가할 수 있다. 또한 글로벌 금융 접근성이 제한적이며, 저개발국가에서는 금융 서비스가 부족하거나 아예 없는 경우도 있다.

탈중앙화 금융은 중앙화된 통제, 제한된 접근, 비효율, 비호환성, 불투명성 등 기존의 금융이 가지는 문제점들을 극복할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

이번 장에서는 탈중앙화 금융의 대표적인 사례인 탈중앙화 거래소와 대여·대출 프로토콜에 대해 알아본다.

## 제 1 절 탈중앙화 거래소

### 1. 탈중앙화 거래소의 특징

가상자산 거래소는 탈중앙화와 중앙화 거래소로 나눌 수 있다. 2024년 7월 기준, 탈중앙화 거래소의 현물 거래대금은 중앙화 거래소의 약 14%에 이르며, 이는 약 1,549억 달러에 해당한다. 2020년 여름 ‘디파이 썸머’ 이후 가상자산 현물 거래시장에서 탈중앙화 거래소가 차지하는 거래대금 비중이 폭발적으로 증가하다가, 2022년 후반기부터 2023년 전반기의 ‘크립토 윈터’에는 잠시 주춤하였으나, 그 이후 거래량을 회복하며 전체 시장에서 차지하는 거래대금이 증가하는 추세이다.

탈중앙화 거래소와 중앙화 거래소를 구분 짓는 가장 근본적인 차이 중 하나는 거래소에 자산의 통제권을 넘기는지 여부, 즉 ‘자산의 수탁’이다. 가상자산 시장에서 중앙화된 거래소를 이용하기 위해서는 해당 거래소의 월렛(wallet)<sup>31)</sup>에 자산을 입금해야 하며, 거래소는 해당 월렛에 입금된 자산에 대한 통제권을 가진다. 이러한 통제권을 바탕으로 거래소는 미리 정해진 규칙에 따라 거래를 완결시키고 그 결과를 개인 투자자의 잔고에 반영하며, 개인 투자자는 해당 잔고에 기반하여 출금 및 송금을 요청할 수 있다.

이 과정은 거래소에 대한 전적인 신뢰를 바탕으로 한다. 거래소가 내 자산을 해킹으로부터 안전하게 보관하며, 공정하게 거래를 처리하고, 내가 넘겨준 통제권을 남용하지 않을 것이며, 내가 필요할 때 출금에 응할 것이라는 믿음이 바로 그것이다. 그러나 가상자산 거래시장에서 이러한 믿음은 지속적인 도전을 받아왔다. 2014년 일본의 마운트곡스 해킹 사건, 2016년 비트파이넥스 해킹 사건, 2019년 바이낸스 해킹 사건 등 100억 달러가 넘는 규모의 해킹 피해가 지속적으로 발생해 왔다. 이뿐 아니라 거래소의 부정행위로 인한 사건들도 있다. 2022년 전 세계

31) 월렛은 가상자산을 관리하는 디지털 지갑을 의미한다. 월렛은 사용자의 개인 키와 공개 키를 저장하고, 이를 통해 가상자산의 송금과 수신을 관리할 수 있다.

에서 두 번째로 큰 거래소였던 FTX 거래소의 선행매매(frontrunning)<sup>32)</sup> 및 고객 자산을 이용한 부정거래<sup>33)</sup>, 그리고 이로 인한 파산 등이 이에 해당한다. 즉 앞에서 언급한 전통 금융의 문제점인 **증양화된 통제와 불투명성 문제**가 다시 불거진 것이다.

가상자산은 증양화된 기존의 금융 시스템에서 탈피하는 것을 목적으로 출발하였으나, 역설적으로 거래 과정에서 증양화된 시스템에 의존하고 있었으며, 이러한 상황을 근본적으로 해결하기 위해서는 거래 과정 자체를 탈증양화할 필요가 있었다. 이 과정에서 탈증양화 거래소는 자산의 통제권이 온전히 소유자의 손에서 벗어나지 않으면서 동시에 거래를 효율적으로 완결할 수 있는 대안으로 떠올랐다.

탈증양화 거래소는 현재 탈증양화 금융 생태계에서 핵심적인 역할을 하는 분야 중 하나로, 탈증양화 거래소에서 거래된 자산의 가격은 각종 스마트 계약의 조건으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 탈증양화 대출 프로토콜에서 담보로 제공된 자산의 가치를 평가하여 청산 여부를 결정하거나, 탈증양화 금융 기반 파생상품의 가격 인덱스 등으로 사용 가능하다.<sup>34)</sup>

## 2. 탈증양화 거래소의 역사

1세대 탈증양화 거래소는 거래 과정의 일부를 오프체인(블록체인의 외부)에 위탁하고 있었기 때문에 완전한 의미의 탈증양화 거래소는 아니었다. 2017년 당시 가장 거래대금이 많았던 탈증양화 거래소인 IDEX를 이용하기 위해서는 개인 월렛에서 거래소와 연관된 스마트 계약에 자금을 예치한 뒤, 이를 이용해서 오프체

32) <https://decrypt.co/114622/alameda-research-frontrunning-ftx-token-listings>.

33) <https://www.coindesk.com/policy/2022/11/10/ftx-violated-its-own-terms-of-service-and-misused-user-funds-lawyers-say/>.

34) 즉 블록체인의 외부에 위탁하지 않고 오라클 문제를 일부 해결할 수 있다. 그러나 탈증양화 거래소의 자산가격을 조작함으로써 수익을 얻는 것을 방지하기 위해, 실제로는 탈증양화 거래소뿐 아니라 증양화 거래소의 가격까지 함께 사용하는 경우가 많다.

인에서 작동하는 오더북(orderbook) 시스템에 주문을 제출하고, 해당 주문이 체결되면 온체인상에서 자산의 이동이 발생했다.<sup>35)</sup> 즉 오더북에 주문을 넣을 당시에는 가스비(gas fee)가 발생하지 않았으나, 스마트 계약에 자금을 예치할 때, 거래의 결과 자산이 교환될 때, 그리고 스마트 계약에 예치된 자금을 되찾을 때는 블록체인을 이용하므로 가스비가 발생했다. 완전히 탈중앙화된 거래소를 구현하지 않았던 이유는, 오더북 시스템을 퍼블릭 블록체인상에 구현할 경우 체결이 불확실한 지점이 주문을 제출할 때에도 블록체인에 정보를 기록하기 위한 가스비를 지불해야 하기 때문인 것으로 보인다.<sup>36)</sup> 미국 주식시장에서 약 98%의 주문이 체결되지 않고 취소되는 것을 고려할 때<sup>37)</sup> 용량이 제한되고, 속도가 느리며, 가스비가 상대적으로 비싼 이더리움 네트워크는 오더북 방식의 거래소를 구현하기에는 부적합했다.

완전한 탈중앙화 거래 시스템 구현은 자동화된 시장조성자(Automated Market Maker, AMM) 알고리즘의 등장과 함께 시작되었다. AMM은 블록체인 리소스의 사용을 줄이면서도 거래를 증개할 수 있어, 이더리움에서도 완전한 탈중앙화 거래소의 구현이 가능했다. AMM을 처음으로 도입한 거래소는 2017년에 시작한 Bancor였으나, 이를 시장에 성공적으로 안착시킨 것은 Uniswap이다. Uniswap은 2018년 설립된 탈중앙화 거래소로, Uniswap V2(Version 2)에서 거래를 지원하는 토큰의 종류를 확장하고, 이용자 편의성을 개선하며 2020년부터 폭발적으로 성장하였다. 2022년 5월 Uniswap은 가격책정 알고리즘에 변화를 준 V3를 내놓으며<sup>38)</sup> 오늘날까지도 가장 많은 거래대금을 소화하는 탈중앙화 거래소

35) 초기의 거래 방식은 <https://www.youtube.com/watch?v=Lmkk8jsZDY>에서 확인할 수 있다.

36) 현재의 오더북 기반 탈중앙화 거래소들도 거의 IDEX와 비슷한 방식으로 구현되어 있다. 즉 완전한 탈중앙화는 아니다.

37) O'Hara, Maureen(2015), "High frequency market microstructure." *Journal of Financial Economics* 참고. 고빈도 거래자가 적은 시장은 주문 취소 빈도가 이보다 낮을 수 있다.

38) Uniswap V3의 가격책정 알고리즘은 Concentrated Liquidity Market Maker

로 자리매김하고 있다.

AMM은 유동성 풀(Liquidity Pool)과 가격책정 알고리즘(Pricing Algorithms)으로 구성되어 있다. 오더북 기반 거래소에서는 오더북에 유동성을 추가하는 메이커(Maker) 주문과 시장에 이미 존재하는 유동성을 사용하는 테이커(Taker) 주문이 대응하여 체결되며, 이 때 거래자(Traders)는 자신이 원하는 주문 방식을 선택할 수 있다. 반면 AMM 기반 거래소에서 거래자는 테이커 주문만이 가능하고, 유동성 풀은 메이커 주문만이 가능하다. 유동성 풀은 교환을 위한 코인 혹은 토큰을 저장해두는 곳으로, 저장된 자산은 미리 정해진 스마트 계약에 따라 운용되며, 운용수익은 유동성 풀에 자산을 예치한 유동성 공급자(Liquidity Provider, LP)에게 기여도에 따라 분배된다. 예를 들어, 이더(Ether, ETH)<sup>39)</sup>와 USDC<sup>40)</sup>가 저장된 유동성 풀을 이용하면 거래자는 이더를 USDC로, 혹은 USDC를 이더로 교환할 수 있다. 이러한 거래를 ‘스왑(Swap)’이라고 부른다. 이때의 교환 비율(혹은 가격)은 유동성 풀에 예치된 자산의 상대적 수량(혹은 희소성)에 따라 가격책정 알고리즘이 결정한다. 예상되는 교환비율은 거래자가 교환에 동의하기 전에 확인할 수 있는데, 거래자가 동의할 경우에만 거래가 이루어진다. 해당 교환 비율은 알고리즘이 책정한 가격에 더해 일정 비율의 거래수수료와 가스비를 포함한다. 이때 거래수수료는 유동성 풀의 수익원이 되고, 가스비는 블록체인의 검증자(Validator)에게 수수료로 지불된다. 자세한 AMM의 작동원리는 4장에서 다룬다.

2020년 Uniswap의 성공은 새로운 경쟁자를 불러왔다. 퍼블릭 블록체인에 기반한 탈중앙화 금융의 특성상 거래소의 코드와 그 작동원리가 투명하게 공개되었

---

(CLMM)로, 기존의 Constant Product Market Maker(CPMM)와 비교했을 때 반드시 우월하다고 말할 수는 없다. 이에 대한 논의는 4장에서 다룬다.

39) 이더는 이더리움 네트워크의 네이티브 코인이다. Uniswap V2의 경우에는 표준토큰 규격인 ERC-20을 따른 토큰만 거래 가능한데, 이더는 이에 해당하지 않으므로 거래가 불가능하다. 그 대신 이더와 1:1로 변환 가능한 wETH(wrapped ETH)라는 토큰을 만들어서 거래한다. 본문에서는 편의를 위해 이더라고 표기한다.

40) USDC는 Circle과 Coinbase가 설립한 컨소시엄인 Centre에서 발행 및 관리하는 스테이블코인이다.

고, 곧 Uniswap의 코드를 포크(Forking)한 Sushiswap이 나타났다.<sup>41)</sup> 해당 거래소는 2020년 9월 Chief Nomi라는 익명의 인물에 의해 설립되었는데, 유동성 공급자에게 SUSHI라는 거버넌스 토큰<sup>42)</sup>을 추가로 지급함으로써 Uniswap으로부터 많은 부분의 유동성을 빼앗아 오는 것에 성공했다. 이를 뱀파이어 어택(Vampire Attack)이라고 한다.

그러나 Sushiswap이 확보한 유동성은 오래 유지되지 못했다. 설립자였던 Chief Nomi는 보유하고 있던 SUSHI 토큰을 시장에 덤핑했고, 그 결과 가격이 50% 이상 급락했다. 추후 Chief Nomi는 해당 덤핑에 대해 사과하고 이로 인한 수익 중 일부를 반환하였으나, 이미 프로젝트에 대한 신뢰가 심각하게 훼손되었고, 대부분의 유동성은 Uniswap으로 되돌아왔다. 해당 덤핑이 Sushiswap의 개발자금을 마련하기 위한 목적이었다는 해명은 이용자들을 설득하기에 충분하지 않았던 것으로 보인다. 그 이후, Uniswap은 SUSHI와 유사한 UNI라는 자체 거버넌스 토큰을 발행하였고, 탈중앙화된 거버넌스를 강화하기 위해 이를 유동성 공급자들에게 분배하거나, Uniswap 플랫폼에서 거래한 사용자들을 대상으로 에어 드랍하였다.

강력한 경쟁자였던 Sushiswap이 몰락이후, Uniswap은 각자의 강점을 가진 AMM 기반 탈중앙화 거래소들과 경쟁해 왔다. 대표적인 거래소와 그 특징은 다음과 같다.

2020년 9월에 출시한 Pancakeswap은 이더리움에 비해 가스비가 낮은 바이낸스 스마트 체인(BSC)에서 운영된다. 또한 일드 파밍(Yield-Farming)<sup>43)</sup>을 통해 유

41) Uniswap V2는 GPL(General Public License)로 제공되어 자유롭게 포크할 수 있었으나, Uniswap V3부터는 BSL 1.1(Business Souce License 1.1)로 라이선스가 설정되어 있어 비상업적 목적에 한해서만 오픈소스로 사용이 가능하다. 해당 라이선스의 경우, 2025년 4월부터 GPL로 전환되어 상업적 목적으로도 이용이 가능하다.

42) 특정 프로젝트의 의사결정과정에 참여할 수 있는 권한을 부여하는 토큰이다. 예를 들어 스마트 계약 업그레이드, 수수료 구조 변경, 새로운 기능의 추가 등 프로젝트의 중요한 결정에 투표할 권리를 갖는다. 프로젝트 수익 중 일부를 배당처럼 나누어 받는 경우도 있다.

동성 공급자에게 거버넌스 토큰인 CAKE를 제공한다. Pancakeswap은 CAKE의 가치를 유지하기 위해 거래수수료의 일부를 적립하여 시장에서 CAKE 토큰을 구매한 다음 소각(Burn)한다. 이는 주식시장의 이익소각과 유사하다.

2020년 1월에 출시한 **Curve**는 상대적인 가치가 거의 변하지 않는 자산의 거래 증개에 최적화된 가격책정 알고리즘을 가지고 있으며, 이를 이용해 Uniswap과는 다른 시장을 공략했다. 예를 들어, 달러 기반 스테이블코인(Stablecoin) 간의 상대적인 가치는 스테이블코인의 지급준비금 부족 등과 같이 극단적인 사건이 발생하지 않는 한 1:1로 거의 고정되어 있다. Curve의 Constant Sum Market Maker(CSMM) 알고리즘은 유동성 풀 내에서 스테이블코인 간 상대적 희소성이 지나치게 쏠리지 않는 한 1:1의 교환비율에 유동성을 집중하여 스테이블코인 간의 거래에 자본효율성을 높였다.

2020년 3월에 출시한 **Balancer**는 하나의 유동성 풀 안에 최대 8종류의 토큰을 담을 수 있는 Geometric Mean Market Maker(GMMM) 알고리즘을 사용하는데, 이는 자본효율성 증대 및 거래자의 수수료 절약에 도움을 줄 수 있다. 예를 들어, ETH를 USDT<sup>44)</sup>로 교환하고 싶다고 가정하자. Uniswap의 유동성 풀에는 각각 한 쌍의 자산만 들어갈 수 있다. 만약 ETH/USDC 풀과 USDC/USDT 풀은 존재하나, ETH/USDT 풀은 존재하지 않을 경우, ETH → USDC → USDT 순서로 두 단계를 거쳐 교환해야 하며, 두 번의 거래수수료가 발생한다. 반면 Balancer에서는 3개의 토큰이 하나의 유동성 풀에 들어갈 수 있어서 수수료를 한 번만 지불하면 된다. 그러나 줄어든 수수료를 보충할 만큼 더 많은 거래량을 끌어들이지 못한다면 유동성 풀의 이익이 감소할 것이고, 유동성 공급자는 더 높은 수익을 주

43) 일드파밍은 가상자산을 예치하여 수익을 창출하는 다양한 방식을 일컫는다. 여기서는 유동성 공급자가 유동성 풀에 자산을 제공할 경우 LP(Liquidity Provider) 토큰을 받게 되는데, 이를 'Farms'라는 스마트 계약에 예치하여 추가적인 소득을 올릴 수 있다. 일드 파밍은 유동성 풀에 자금을 장기간 묶어놓기 위한 장치로, 일드 파밍의 재원 또한 거래수수료에서 온다.

44) 미국 달러에 연동된 Tether 사가 발행한다. Tether 사는 홍콩에 본사를 두고 있으며, 버진아일랜드에 법인이 등록되어 있다.

는 유동성 풀을 찾아 이탈할 수 있다. 결과적으로, 자본의 효율성은 높일 수 있으나, 거래자의 행태에 따라 자본 수익률이 감소하고, 자본이 이탈하여 전체 수익은 더 낮을 가능성도 존재한다.

### 3. 기타 탈중앙화 거래소 관련 프로토콜

수많은 유동성 풀은 각기 다른 거래가격을 제안한다. 이때 탈중앙화 거래소 통합 플랫폼(DEX aggregator)을 이용하여 더 나은 가격을 제시하는 유동성 풀 및 거래 경로를 찾을 수 있다. 예를 들어, 대량의 주문을 하나의 유동성 풀에서 처리할 경우, 해당 유동성 풀이 제시하는 가격에 큰 영향을 주므로 높은 거래비용을 지불해야 한다. 반면, DEX aggregator를 이용하여 주문하면 최적화 알고리즘을 거쳐 여러 개의 유동성 풀로 주문이 나누어 전달된다. 이는 가장 좋은 가격을 제시하는 유동성 풀을 찾을 뿐 아니라 주문으로 인한 가격영향(Price Impact)까지 고려하므로 거래자는 거래비용을 절감할 수 있다. 1inch, ParaSwap, Jupyter 등의 프로토콜이 이에 속한다.

탈중앙화 거래소 통합 플랫폼은 자체 알고리즘을 통해 최적의 주문을 찾는 반면, 경매를 통해 최적의 가격을 찾는 방법도 있다. UniswapX는 Intent-Based Market과 경매 시스템을 결합하였는데, 여기서는 거래자가 구매 또는 판매할 자산의 종류, 수량, 목표가격을 제출하면, 해당 정보가 잠재적인 솔버(Solver) 혹은 유동성 공급자에게 공개된다.<sup>45)</sup> 이때 거래자에게 가장 유리한 가격을 제시한 주체와 거래를 체결시키고, 소액의 수수료를 지급한다. 탈중앙화 거래소 통합 플랫폼은 자체 알고리즘의 업데이트를 통해 최적의 가격을 찾는 반면, 경매를 통한 방법에서는 솔버 혹은 유동성 공급자들이 경쟁적인 가격을 제시하도록 유도함으로써 최적의 가격을 찾아 나가는 차이점이 있다.

45) 솔버는 탈중앙화 거래 플랫폼 간 최적의 거래 조건을 찾아주는 역할을 하고, 유동성 공급자는 스스로 보유한 자산을 이용해서 경매에 참여한다. 유동성을 공급한다는 의미에서 유동성 풀의 유동성 공급자와 유사하나, 더 능동적으로 거래 과정에 개입한다.

이 외에도, 거래비용을 낮추고 거래속도를 높이기 위해 Layer-2 솔루션 위에서 구축된 탈중앙화 거래소, 오더북 기반으로 오프체인에 구축된 탈중앙화 거래소, 혹은 오더북과 AMM이 혼합된 하이브리드 거래소도 존재한다. 이러한 것들은 위에서 서술한 거래소들과 그 작동원리 면에서 거의 유사하다.

## 제 2 절 탈중앙화 대출

### 1. 탈중앙화 대출의 특징

현재의 중앙화된 은행 시스템은 여러 가지 문제를 내포하고 있다. 전 세계적으로 보았을 때 은행 계좌나 금융 서비스에 접근하지 못하는 사람들이 많고(**제한된 접근**), 과점화된 은행시장에서 소비자가 지불하는 비용이 높다(**비효율성**).<sup>46)</sup> 이뿐 아니라 고객은 예치된 자산이 어떻게 운용되는지 알기 힘들고, 때에 따라서는 내부 통제 문제로 직원들의 횡령 등이 발생하기도 한다(**중앙화된 통제, 불투명성**). 가상자산 시장에서 예금·대출 서비스를 제공하던 중앙화된 플랫폼도 이런 위험에서 자유롭지 못했다. **Celsius Network**는 2022년 6월 시장의 극단적인 변동성을 이기지 못하고 모든 고객자산의 인출을 중단했고, 2022년 7월 챗터 11 파산을 신청했다.

탈중앙화 대출(Lending)은 퍼블릭 블록체인상에서 구현되어 제한된 접근 문제가 없고, 운영 방식이 투명하게 공개되며, 포크가 쉬우므로 시장에 항상 잠재적인 경쟁압력이 존재한다. 따라서 위에 언급된 현재 은행 시스템의 문제 중 일부를 극복할 가능성을 가지고 있다.

은행은 예금을 통해 자본을 조달하고, 조달된 자본을 바탕으로 대출을 시행한다. 은행은 기준금리, 시장금리, 은행 간 경쟁, 신용 리스크 등을 고려하여 예금금리와 대출금리를 정하며, 이 두 금리의 차인 예대금리차는 오늘날 은행의 수익에서 가장 큰 부분을 차지하고 있다.<sup>47)</sup>

오늘날의 탈중앙화 알고리즘 대출은 은행의 예대금리차 수익 모델에 기반하고

46) 그러나 경쟁의 제한이 반드시 나쁜 것만은 아닐 수 있다. 정부 입장에서는 소수 사업자를 규제하는 것이 더 용이할 뿐더러, 경쟁도가 커질수록 은행 부도 확률이 높아질 수 있다. 이는 금융안정성에 영향을 미친다. 한국은행(2016), 『은행산업의 경쟁도 현황 및 금융안정에 미치는 영향』 참고.

47) 《매일경제》(2023. 2. 19), “국내 은행들 이자장사로 90% 벌어... 외국과 비교해보니”, <https://www.mk.co.kr/news/economy/10650843>.

있으나, 은행과는 구분되는 몇 가지 차이점이 존재한다. 첫째, 거의 담보대출만 이루어진다.<sup>48)49)</sup> 신용대출은 신용평가에 기반하는데, 현재 탈중앙화 금융 시스템이 가지는 반익명성(Pseudonymity)과 신용 시스템은 안정적으로 공존하기 힘들어 보인다. 둘째, 법정화폐 기반 스테이블코인뿐 아니라 각종 가상자산까지 예금(예치) 및 대출이 가능하다. 이를 활용하면 다양한 투자 전략을 구사할 수 있다.<sup>50)</sup> 마지막으로, 예금금리와 대출금리는 수요와 공급에 기반한 간단한 알고리즘에 의해 정해지며, 실시간으로 변화한다.

## 2. 탈중앙화 대출의 역사

최초의 탈중앙화 대출은 2017년에 ETHlend에 의해 시작되었다. 이는 P2P 대출 플랫폼으로, 홈페이지에 대출 조건에 대한 게시글을 올려 상대방을 찾으면, 스마트 계약을 이용하여 대출을 실행할 수 있었다.<sup>51)</sup> ETHlend는 2020년 Aave로 리브랜딩하여 P2P에서 유동성 풀 기반의 대출 모델로 변경하였다.

2017년 말 시작한 MakerDAO는 가상자산을 담보로 DAI를 대출받을 수 있었으며, 초기에는 ETH만이 담보로 사용 가능했다. DAI는 가상자산 담보형 스테이블코인으로, 1DAI=1달러로 페깅(pegging)되어 있다.<sup>52)</sup> DAI의 가치는 초과담보(over-collateralization)를 통해 뒷받침되며, 만약 담보가치가 하락하여 최소요

48) TrueFi, Maple Finance와 같은 탈중앙화 대출 플랫폼은 신용기반 대출이 가능한 경우도 있다. 그러나 이는 주로 기관투자자와 같은 신뢰할 수 있는 차입자에게 한정되기에, 탈중앙화 금융시장에서 신용대출은 현재까지는 그 규모가 비교적 작다.

49) 예외적으로, 하나의 블록 안에서 대출과 상환을 완료하는 플래시론(Flash loan)의 경우 무담보대출이 가능하다.

50) 예를 들어, 이더를 담보로 맡기고 스테이블코인을 대출한 후 대출한 스테이블코인으로 다시 이더를 구매하면 차입자는 이더에 대해 레버리지 포지션을 갖는 효과가 있다. 혹은 스테이블코인을 담보로 이더를 대출한 후, 다시 스테이블코인으로 스왑하면 이더에 숏포지션을 갖는 효과가 있다.

51) 자세한 이용 방법은 <https://www.youtube.com/watch?v=Pi-Qva6Fg3I> 참고.

52) 스테이블코인의 종류에 대해서는 추후 논의한다.

구수준 이하로 하락 시 자동으로 청산경매(Liquidation Auction)가 실행된다. 청산경매가 시작될 경우에는 담보의 13%가 페널티로 부과되므로 청산이 시작되기 전에 대출을 상환하거나, 추가 담보를 납입하여 청산경매를 가능한 한 피할 유인이 있다.

MakerDAO는 그 이름에서 알 수 있듯이 DAO(Decentralized Autonomous Organization)에 기반하여 운영된다. DAI의 대출수수료<sup>53)</sup>는 MakerDAO의 거버넌스 토큰인 메이커(Maker, MKR) 토큰 혹은 DAI로 납부해야 하며, 해당 수수료율은 MKR 보유자들의 투표에 의해 결정된다. 2019년 담보자산의 종류를 확장하는 업그레이드를 시행하여 현재는 ETH 외에도 다양한 ERC-20 토큰을 담보로 DAI를 대출받을 수 있다.

2018년 설립된 Compound는 알고리즘이 예금·대출 금리를 결정하는 최초의 탈중앙화 대출 프로토콜로, 앞에서 서술한 AMM과 작동원리가 유사하다.<sup>54)</sup> 여기서의 예금·대출 알고리즘도 유동성 풀과 가격(이자율) 책정 알고리즘으로 구성되어 있는데, 유동성 풀에 예치된 총 자산 대비 대출된 자산의 비율이 높을수록 이자율이 증가한다. 초기에는 ETH, BAT, ZRX 등 몇 가지 자산만 예치/대출이 가능하였으나 2019년 DAI, USDC 등의 스테이블코인까지 확장하였고, 2020년에는 자체 거버넌스 토큰인 COMP를 발행하며 탈중앙화 거버넌스를 구축하였다.

2020년 여름은 ‘디파이 썸머’로 불리며 관련 프로젝트와 플랫폼이 급격한 인기를 끌었다. MakerDAO, Compound, ETHLend에서 리브랜딩된 Aave가 이 시기에 급격히 성장한 대표적인 플랫폼이다. Aave는 Compound와 비슷한 알고리즘 기반 대출 프로토콜을 채택함과 더불어 플래시론(Flash Loan)과 신용위임(Credit Delegation) 등 새로운 기능을 더함으로써 시장점유율을 확대해 나갔다.

플래시론은 담보 없이 대출을 받을 수 있는 기능으로, 단일 트랜잭션(transaction)

53) 여기서는 안정화 수수료(Stability Fee)로 불린다.

54) Saengchote, Kanis(2023), “Decentralized lending and its users: Insights from Compound,” *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*.

내에서 대출과 상환이 동시에 이루어져야 한다. 이는 블록체인의 원자성(Atomicity)으로 인해 가능하다. 원자성이란, 블록체인에서 트랜잭션의 모든 작업이 성공적으로 완료되거나, 아니면 전혀 실행되지 않는다는 원칙을 의미한다. 즉 플래시론을 통해 대출을 받고, 이를 이용해 탈중앙화 거래소 간 차익거래를 수행한 뒤, 대출을 상환하는 행위를 하나의 블록 안에서 실행할 수 있으며, 이 중 하나의 거래라도 실패하면 전체 트랜잭션이 무효화된다. 플래시론을 이용한 거래에 성공할 경우 수수료만 지불하고 큰 금액의 차익거래를 시행할 수 있다. 이는 탈중앙화 금융의 효율성 및 가격발견기능을 높이는 순기능도 있으나, 가격 오라클 공격과 같이 스마트 계약의 취약점을 노린 공격을 최소한의 자본으로 시행할 수 있도록 하여 여러 문제를 일으키기도 했다.

마지막으로, 신용위임은 플랫폼에 예치된 자신의 담보를 다른 사람이 담보로 삼아 대출할 수 있도록 하는 기능이다. 즉 타인의 대출에 대해 보증을 서는 것으로, 담보대출의 변형된 형태이다.

### 3. 기타 탈중앙화 대출 관련 사건

2021년에 가장 뜨거운 관심을 받았던 탈중앙화 금융 프로젝트 중 하나는 테라(Terra)로, 알고리즘 스테이블코인 UST를 중심으로 전 세계에서 사용할 수 있는 블록체인 기반 결제 시스템을 포함한 탈중앙화 금융 생태계를 구축하는 것을 목표로 했다. 그러나 UST의 가치를 유지하기 위해서는 해당 스테이블코인에 대한 지속적인 수요가 필요했고, 수요를 유지하기 위해 사용된 방법 중 하나가 탈중앙화 예치/대출 프로토콜인 앵커(Anchor)였다.

앵커는 UST를 예치할 경우 연간 약 20%의 이자를 지급했다. 해당 이자율은 UST의 대출이자율보다 높았기 때문에, 이를 지급하기 위해서는 테라의 개발사인 테라폼랩스에서 지급하는 보조금에 의존할 수밖에 없었다. 그러나 보조금이 고갈되어가며 해당 시스템의 지속가능성에 대한 의문이 제기되었고, 이는 UST에 대한 신뢰를 떨어뜨렸다. 2022년 5월 결과적으로 UST의 가치를 유지하던 알고리즘이

붕괴하였고 그 가치는 결국 0에 수렴하였다. 그러나 이 사건 자체가 탈중앙화 금융 시스템 자체의 본질적인 결함을 의미하지는 않으며, 오히려 안정적인 탈중앙화 금융 알고리즘 설계의 중요성을 강조하는 사례라고 볼 수 있다.

현재의 탈중앙화 금융 플랫폼들은 이더리움을 넘어 폴리곤(Polygon), 아발란체(Avalanche) 등의 블록체인까지 그 영역을 확장하였다. 2024년 8월 기준, TVL(Total Value Locked)이 가장 높은 탈중앙화 예치·대출 플랫폼은 Aave(11.46B), JustLend(5.53B), Spark(2.56B), Compound(1.87B) 순이다. JustLend는 Tron 블록체인 기반의 탈중앙화 예치/대출 플랫폼이고, Spark는 MakerDAO와 관련된 플랫폼이다.

## 제 4 장 탈중앙화 금융 알고리즘 분석

본 장에서는 탈중앙화 거래소와 탈중앙화 대출 플랫폼에서 사용하는 가격책정 알고리즘에 대해 분석한다. 탈중앙화 거래소에서 사용되는 AMM 알고리즘은 여러 종류가 있는데, 그중 가장 많이 쓰이는 Constant Product Market Maker (CPMM)에 대해서 분석하고, 이에 기반하여 Concentrated Liquidity Market Maker(CLMM) 및 기타 다른 알고리즘에 대해 살펴본다.

탈중앙화 대출 플랫폼에서 사용되는 알고리즘들은 탈중앙화 거래소보다 서로의 유사성이 높다. 따라서 Aave에서 사용하는 알고리즘을 중심으로 분석하고, 각 플랫폼 알고리즘의 차이를 간략히 살펴본다.

### 제 1 절 탈중앙화 거래 알고리즘 분석

AMM 기반 탈중앙화 거래소는 거래가 원활하도록 돕는 중개자(Middleman)를 이용하는 것이다. 예를 들어, 중고차 딜러와 같은 중개자는 차량의 구매·판매 가격을 책정한다. 마찬가지로, AMM은 유동성 풀이 자산을 구매·판매하는 가격을 책정한다. 이번 절에서는 AMM이 어떻게 해당 가격을 책정하는지에 대해 자세히 알아본다.

#### 1. CPMM의 작동원리

AMM은 유동성 풀 내 자산의 상대적인 희소성에 기반하여 교환비율(혹은 가격)을 책정한다. 이때 상대적 희소성은 여러 방법으로 정의될 수 있다. ETH와 USDC가 각각  $E$ 와  $D$ 만큼 예치된 유동성 풀에 대해서, CPMM 알고리즘이 작동하는 원리는 다음과 같다.

CPMM은 거래 전후, 유동성 풀 내 자산 수량의 곱이 일정하게(constant) 유지 되도록 교환비율을 정한다. 거래가 발생하기 전 자산의 수량이 다음의 수식을 충족한다고 하자. 이때  $L$ 은 유동성의 레벨을 뜻한다.

$$E \times D = L^2 \quad (1)$$

만약  $\Delta E$ 만큼의 ETH를 거래자가 구매할 경우 유동성 풀 내부의 ETH는  $\Delta E$ 만큼 감소한다. 거래수수료가 없다고 가정하면, 거래의 결과 두 자산 개수의 곱이 같아야 하므로 거래자가 지불해야 하는 USDC의 수량  $\Delta D$ 는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$(E - \Delta E) \times (D + \Delta D) = L^2 \quad (2)$$

이때 지급한 USDC를 얻은 ETH의 개수로 나눈 평균가격은  $\bar{P} = \frac{\Delta D}{\Delta E}$ 이며, 이는  $\bar{P} \in \left( \frac{D}{E}, \frac{D + \Delta D}{E - \Delta E} \right)$ 임을 증명할 수 있다. 또한  $\Delta E \rightarrow 0$ 일 때,  $\bar{P} \rightarrow P = \frac{D}{E}$ 로 수렴하며, 이때의  $P$ 를 한계가격(marginal price)이라고 정의한다. 해당 식은 알고리즘이 제시하는 가격이 유동성 풀 내 두 자산 간의 희소성의 비율에 의해 정의되며, 거래가격은 거래 전의 한계가격과 거래 후의 한계가격 사이에서 결정됨을 보여준다.  $D$ 와  $E$ 의 값에 따라  $P \in (0, \infty)$ 이 성립하므로, CPMM은 모든 가격 범위에 대해 유동성을 공급할 수 있다.

유동성 풀이 지속되기 위해서는 유동성공급자가 유동성을 예치하도록 수익을 지급해야 하며, 해당 수익의 근원은 거래자가 지불하는 거래수수료  $f$ 이다. 따라서 최종적으로 거래자가 지불하는 금액은  $\bar{P} \times (1 + f)$ 이 된다. Uniswap V2의 경우, 거래의 결과 발생한 수수료까지 유동성 풀로 재투자되므로, 거래 후 유동성 풀 내 자산 수량의 곱( $L$ )이 증가한다. 그러나 유동성 풀의 크기가 충분히 클 경우, 거래수수료로 인한 유동성 풀의 성장은 미미하여 단기적으로 복리의 효과를 무시할 수 있다. 따라서 단순화를 위해 수수료는 재투자되지 않는다고 가정한다.

유동성 공급자가 유동성 풀에 자산을 추가로 예치하려면 기존의 자산과 같은 비

율로 예치하고, 해당 유동성 풀에 대한 LP토큰(Liquidity Provider Token)을 받는다. LP토큰은 유동성 풀에 대한 지분과 같으며, 전체 발행된 LP토큰과 자신이 소유한 LP토큰의 개수를 비교하여 자신의 지분율을 알 수 있다. 추가로 예치한 자산을 각각  $E_1$ 과  $D_1$ 이라고 하면, 다음과 같은 수식이 성립한다.

$$\frac{D}{E} = \frac{D_1}{E_1}$$

이는 유동성  $L$ 을 다음과 같이 증가시킨다.

$$(E+E_1) \times (D+D_1) = (L+L_1)^2$$

해당 신규 예치가 유동성 풀에 기여하는 정도를 비율로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{E_1}{E+E_1} = \frac{D_1}{D+D_1} = \frac{L_1}{L+L_1}$$

이는 해당 유동성 풀에 대해 전체 발행된 LP토큰에 대비하여 신규 예치자가 가지고 있는 LP토큰의 비율, 즉 지분율을 의미한다.  $L_1$ 만큼의 LP토큰을 유동성 풀에 반환하면, 유동성 풀 전체 자산 중 위의 비율만큼을 돌려받을 수 있다.

마지막으로, (1)과 (2)를 이용하면 다음과 같은 관계를 얻는다.

$$\begin{aligned} D &= L\sqrt{P} \\ E &= \frac{L}{\sqrt{P}} \end{aligned} \tag{3}$$

## 2. CPMM의 수익성 분석<sup>55)</sup>

이 시스템이 지속되기 위해서는 자산을 단순 보유하는 것보다 유동성 풀에 자산을 예치하는 것의 기대수익률이 높아야 한다. 그렇지 않다면 유동성 공급자는 자산을 인출하여 가만히 가지고 있는 것이 낫기 때문이다. 기대수익률을 계산하기

55) 해당 내용은 Kim(2022)과 Milionis et al.(2024)의 내용을 요약, 재구성하였음.

위해서는 해당 유동성 풀의 수익과 손실에 대한 이해가 필요하다. 유동성 풀의 수익은 예치된 자산의 총가치와 거래수수료 수입으로 구성되어 있으나, 문제의 단순화를 위해 일단은 거래수수료가 없다고 가정한다.

가. 거래수수료가 없을 경우

예치된 자산의 총가치는 각 자산의 가격과 수량을 곱해서 구할 수 있다. ETH의 효율적인 달러 가격이  $P_E$ 라고 한다면<sup>56)</sup>, ETH와 USDC로 이루어진 유동성 풀의 달러 가치인  $K$ 는 다음과 같다.

$$P_E \cdot E + D \equiv K \quad (4)$$

만약 효율적인 가격이 한계가격보다 낮다면( $P_E < P$ ), 차익거래자는 ETH를 유동성 풀에 판매하여 수익( $P - P_E > 0$ )을 얻을 수 있으며, 해당 거래로 인해 유동성 풀 내의  $E(\rightarrow E')$ 가 증가하고,  $D(\rightarrow D')$ 가 감소한다. 그 결과, 유동성 풀 내부 ETH의 상대적인 희소성이 감소하여 한계가격이 하락하며, 결국 한계가격과 효율가격이 일치( $P_E = P$ )하게 된다. 반대로, 효율적인 가격이 한계가격보다 높을 경우에는 반대의 메커니즘으로 한계가격이 조정된다. 이는 차익거래자들로 인해 유동성 풀이 제시하는 가격이 효율적인 수준으로 수렴함을 보여준다.

새로운 정보가 시장에 도착함에 따라 효율가격은 계속 변화한다. 만약 효율가격이  $P_E \rightarrow P'_E$ 으로 변화하였고, 유동성 레벨  $L$ 은 고정되었다고 하자. 만약 유동성 풀이 거래에 참여하지 않았다면(Buy and Hold strategy, B&H 전략), 유동성 풀이 가지고 있는 자산의 구성비율은 변하지 않는다. 따라서 유동성 풀의 가치 변화는 다음과 같다.

$$P_E \cdot E + D \rightarrow P'_E \cdot E + D = L \sqrt{\frac{P'_E}{P_E}} + L \sqrt{P_E} \quad (5)$$

56) 효율적인 가격이란 시장의 모든 정보가 반영되어 있는 가격을 의미한다. 가상자산 시장에서는 파편화된 거래소들에서 관찰되는 가격에 대해 거래량 대비 가중평균을 취한 값으로 근사치를 구하는 경우가 많다.

균형에서 한계가격과 효율가격이 일치하므로 우변의 값은 (3)을 대입하여 얻을 수 있다. 비슷한 원리로, 만약 유동성 풀이 거래에 참여하였다면, 유동성 풀의 가치는 다음과 같이 변한다.

$$P_E \cdot E + D \rightarrow P'_E \cdot E + D = 2L\sqrt{P'_E} \quad (6)$$

(5)의 우변에서(6)의 우변을 뺀 값은 아래와 같다.

$$L\sqrt{P'_E} \left( \sqrt{\frac{P'_E}{P_E}} + \sqrt{\frac{P_E}{P'_E}} - 2 \right) \geq 0 \quad (7)$$

$P_E, P'_E > 0$ 이므로 부등호가 성립하며, 등호는  $P_E = P'_E$ 일 때 성립한다. 또한 괄호 안의 값은  $\frac{P'_E}{P_E}$ 의 값이 1에서 멀어질수록 더 커진다. 이는 효율가격이 더 많이 변할수록 유동성 풀의 상대적 손실이 커지는 경향이 있음을 의미한다. 즉 거래수수료가 없다면, 효율가격의 변화 방향에 관계없이 유동성 풀은 거래에 참여하지 않는 것이 더 낫다.

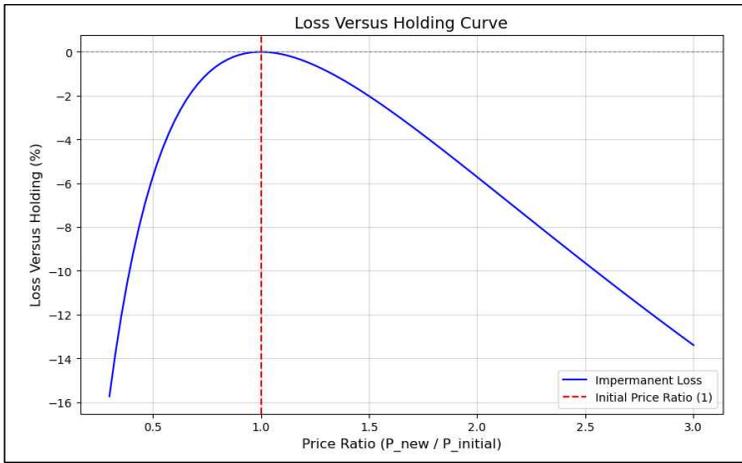
이는 유동성 풀의 작동원리에 기인한다. (3)에서 알 수 있듯이, ETH의 가격과 유동성 풀의 ETH 보유량은 역의 관계에 있다. 따라서 ETH의 보유량이 낮아진 상태에서 추가로 가치가 상승할 경우, 기회비용 측면에서 손실을 입고, 반대의 경우 ETH 보유량이 높아진 상태에서 그 가치가 추가로 하락하여 기회비용 측면에서 손실을 본다.<sup>57)</sup>

반면, (7)에서 볼 수 있듯이,  $P_E = P'_E$ 일 경우, 즉 가격이 원래 수준으로 회귀할 경우 유동성 풀에 예치하는 것과 B&H 전략 간의 포트폴리오 가치가 같아진다. 이러한 이유로, 유동성 풀의 자산 예치에서 오는 상대적인 손실은 비영구적 손실(Impermanent Loss)이라는 이름으로 많이 알려져있다. 그러나 자산의 가격이

57) ETH의 보유량이 늘어날수록 가격이 상승하는 형태의 AMM은 불가능할 것으로 생각된다. 다른 곳에서 ETH를 구입하여 유동성 풀에 계속 판매하여 무한정의 수익을 얻거나, 유동성 풀로부터 ETH를 계속 구입하여 저가에 매수하는 방식이 가능해지기 때문이다. 이는 유동성 풀의 손실이 된다.

원래 수준으로 회귀하지 않는 경우가 훨씬 많기 때문에, 이는 리스크의 과소평가를 유도하기 위한 마케팅적인 용어에 가깝다. 비영구적 손실이라는 용어의 대안으로, Milionis et al.(2024)은 보유 대비 손실(Loss-Versus-Holding, LVH)이라는 중립적인 용어를 사용하며, 본 보고서에서도 이를 사용한다. [그림 4-1]은 상대가격 변화에 따른 LVH를 보여준다.

[그림 4-1] 보유 대비 손실(Loss-Versus-Holding)



Kim(2022)은 효율가격이 기하브라운운동(Geometric Brownian Motion)<sup>58)</sup>을 따를 때,

$$E[\%LVH_{t,t+1}] \approx \int_t^{t+1} \frac{\sigma_s^2}{8} ds \quad (8)$$

임을 보였다. 좌변의 값은 t기의 자산 대비 LVH의 기댓값을 의미하며, 우변의 값은 [t,t+1]구간에서 순간 분산을 적분한 값이다. 이는 해당 구간의 평균적인 가격 변동성이 높다면 손실의 기댓값이 높음을 의미한다. 가격변동성이 높을 경우 특정

58)  $d \log P_{E,t} = \left( \mu - \frac{\sigma_t^2}{2} \right) dt + \sigma_t dW_t$ . 단순화를 위해서  $\mu = 0$ 을 가정하였다.

기간 동안 효율가격이 더 많이 변할 가능성이 높으며, 이는(7)에서도 드러나듯이, 더 많은 상대 손실로 이어진다.

#### 나. 거래수수료가 있을 경우

AMM에서 거래수수료는 스프레드(spread)와 비슷한 역할을 한다. 예를 들어, 알고리즘이 제안하는 한계가격이  $P$ 이고, 거래수수료가  $f$ 일 경우, 매수자는  $P(1+f)$ 에, 매도자는  $\frac{P}{(1+f)}$  ( $\approx P(1-f)$ )에 판매하게 된다.

거래수수료가 없을 경우에는 유동성 풀이 항상 손해를 보는 반면, 거래 수수료가 존재할 경우 유동성 풀이 이득을 볼 수도 있다. Kyle(1985), O'hara et al.(1995) 등 시장미시구조(Market Microstructure) 연구에서는 일반적으로 정보를 가진 정보기반 거래자(Informed Trader)와 그렇지 못한 노이즈 거래자(Noise Trader)로 거래자를 분류한다. 정보기반 거래자는 효율가격을 알고 거래하며, 차익거래자가 이에 속한다. 노이즈 거래자는 효율가격을 알지 못하거나, 잘못된 정보를 기반으로 거래하는 사람을 의미한다.

거래수수료가 있을 경우, 유동성 풀이 체결시킨 거래의 수익 여부는 거래 상대방이 어떤 유형의 거래자인지에 달려있다. 차익거래자는 유동성 풀과의 거래에서 항상 이득을 보며, 더 이상 유동성 풀과의 거래로 수익을 얻을 수 없을 때 거래를 멈춘다. 이는 수수료를 고려한 유동성 풀의 가격과 효율가격을 비교하여 거래 여부를 결정할 수 있기 때문이다. 반면, 노이즈 거래자는 스스로의 필요에 따라 랜덤하게 유동성 풀에 도착하며, 이때는 이미 차익거래자가 다녀간 이후일 확률이 높다. 따라서 노이즈 거래자는 유동성 풀을 상대로 거의 항상 손실을 보며, 이는 전체 거래 중 노이즈 거래자의 비율이 높을수록 유동성 풀의 수익이 높음을 의미한다.

장기적으로 보았을 때, 거래수수료가 LVH의 기댓값, 즉 유동성 풀의 자산가격 변동으로 인한 기대손실에 미치는 영향은 제한적이다. 정보기반 거래자가 차익거래로 인해 수익을 내지 못할 조건은  $P \in \left[ \frac{P_E}{1+f}, P_E(1+f) \right]$ 이므로, 균형에서는 결국

$P \approx P_E$ 가 성립하기 때문이다. 따라서 거래수수료에 관계 없이 유동성 풀의 자산가격 변동으로 인한 기대손실은 (8)을 그대로 사용할 수 있다.

반면 거래수수료는 노이즈 거래자의 거래 행태에 영향을 주어 거래수수료 수입을 변화시킨다. 거래수수료율이 너무 높을 경우, 노이즈 거래자라고 하더라도 다른 트레이딩 플랫폼을 찾아 떠나게 되어 거래대금이 크게 감소할 수 있다. 반면 거래수수료가 너무 낮을 경우, 거래대금이 늘어난다고 하더라도 거래대금과 수수료율을 곱한 거래수수료 수익은 감소할 수 있다. 따라서 유동성 풀의 수익을 극대화하기 위해서는 적절한 수수료율을 선택하는 것이 필요하다. 실제로 Kyber Network는 시장 상황에 따라 수수료율을 변화시키는 Dynamic Market Maker (DMM)를 선택하고 있으며, 리플렛저(XRPL)의 유동성 풀에서는 유동성 공급자간 투표를 통해 수수료율을 결정할 수 있다. 최적 수수료율을 구하는 문제는 Fritsch 외(2021)와 Evans 외(2021)에서도 다루고 있다.

종합하면, 거래수수료가 예치된 자산의 가치변화로 인한 상대손실(LVH)에 미치는 영향은 제한적이거나, 거래수수료 수입에는 영향을 미친다. LVH로 인한 손실을 보다 거래수수료로 인한 수익률이 높을 경우에는 유동성 풀이 이익을 볼 수 있으나, 반대의 경우 오히려 손실을 볼 수도 있다.

## 제 2 절 탈중앙화 거래소와 오더북 기반 거래소의 비교

### 1. 상장(Listing)

중앙화 거래소는 프로젝트의 목적 및 자세한 정보가 담긴 백서(Whitepaper), 토큰 경제학, 보안성, 탐구성, 프로젝트 로드맵, 법적 준수사항 등을 검토하여 특정 가상자산의 상장 여부를 결정한다. 현재 국내 중앙화 거래소에 상장된 가상자산은 중복상장을 제외하면 총 600종으로<sup>59)</sup>, 2024년 8월 기준 CoinMarketCap에 1만 3,000개가량의 가상자산이 등록된 것을 고려하면 국내에 상장된 가상자산의 비율이 높지 않음을 알 수 있다. 상장심사는 누구나 쉽게 발행할 수 있는 가상자산의 특성상 소비자 보호를 위해 필요한 절차이기도 하다.

거래소에 상장된다는 것은 해당 프로젝트가 어느 정도 믿을 만하다는 신호를 시장에 주는 역할도 하지만, 상장 관련 정보에 접근할 수 있는 사람이 이를 악용할 수 있다는 우려가 꾸준히 제기되어왔다. Félez-Viñas 외(2023)는 2018년부터 2023년까지 Coinbase에 상장된 252종의 가상자산에 대하여 상장 발표 직전·직후 가상자산의 수익률이 급등하는 현상을 보고하였고, 이를 이용하여 해당 가상자산을 선취매하는 것으로 의심되는 사례가 27~48%에 이른다고 추정하였다.

한국의 경우에도 관련 우려가 꾸준히 제기된 바 있으며, 이를 해소하기 위해 업비트 등의 가상자산사업자는 본인 및 가족의 가상자산거래를 제한하고 있다. 또한 가상자산거래, 상장 업무를 분리하여 이해 상충을 해소하는 방향으로 시장을 설계하려는 시도가 있다.<sup>60)</sup>

반면 AMM 기반 탈중앙화 거래소에서는 특별한 상장절차 없이 거래소가 요구하는 최소조건만 충족하면 누구나 유동성 풀을 만들어 거래를 시작할 수 있다.<sup>61)</sup>

59) <https://it.chosun.com/news/articleView.html?idxno=2023092117861>.

60) <https://www.mk.co.kr/news/economy/11040962>.

61) Uniswap과 같은 거래소는 일부 규제 위반 소지가 있는 자산에 대한 거래를 제한하기도 한다.

즉 중앙화된 거래소와는 달리, 거래되는 자산의 신뢰성에 대한 검증책임이 투자자에게 전적으로 전가되어 있다. 이러한 방식은 ICO(Initial Coin Offering) 진행 시 투자자들의 자산 처분 부담을 덜어 프로젝트의 자금 조달에 긍정적 효과를 미칠 수 있다. 또한 탈중앙화 거래소의 상장 자체는 시장에 아무런 시그널링 효과가 없으므로, 중앙화 거래소처럼 상장 전 선취매를 통한 이득을 취할 수 없다. 반면, 해당 거래를 감시하는 주체가 없으므로, 펌프 앤 덤프(Pump and Dump)<sup>62)</sup> 혹은 러그풀(Rug pull)<sup>63)</sup>과 같이 투자자들이 피해를 입는 경우가 빈번하게 발생하고 있으므로 주의가 필요하다.

## 2. 유동성 공급

오더북에 기반한 거래시스템이 작동하기 위해서 누군가는 지정가 주문을 통해 오더북을 채워야 하나, 시장의 관심에서 소외된 종목은 오더북의 호가가 얇아 자산의 매수·매도가 쉽지 않은 경우가 많다. 이를 극복하기 위해, 한국의 주식시장에서는 시장조성자 및 유동성 공급자 제도를 운영하고 있다. 시장조성자는 종목별로 한국거래소와 계약을 통해 해당 종목에 대해 의무 스프레드 이내로 최소 잔량을 항시 유지할 의무를 가지나, 증권거래세 및 수수료가 면제되는 혜택을 얻는다.

그러나 시장조성자와 관련된 잡음이 끊이지 않고 있다. 금융감독원은 2021년 9월 주식시장에서 시장조성자들이 반복적으로 호가를 정정 및 취소함으로써 시장을 교란했다는 명목으로 487억 원의 과징금을 부과하였다. 증권선물위원회의 의결 결과 해당 과징금 부과는 취소되었으나, 규제에 부담을 느껴 시장조성자 사업에서 손을 떼려는 증권사들의 움직임이 있다.<sup>64)</sup> 또한 시장조성자는 매수·매도 호

62) 가격을 인위적으로 부양한 후 투매하는 것을 의미하며, 주로 텔레그램을 통해 조직적으로 이루어진다. Li 외(2023)는 중앙화된 거래소에서 펌프 앤 덤프가 어떻게 이루어지는지 보고한다.

63) 양탄자를 잡아당겨 그 위에 있는 사람을 쓰러뜨리는 행위를 의미하나, 가상자산 시장에서는 개발자 및 프로젝트 관련자가 본인이 소유한 가상자산을 한순간에 매각하여 이익을 취하는 형태의 엑시트 스캠(exit scam)을 의미한다. Li 외(2023) 참고.

64) <https://www.fnnews.com/news/202309131839466806>.

가를 동시에 제시해야 하므로 리스크 헤지(hedge)를 위해서는 공매도를 활용할 필요가 있는데, 공매도 금지기간에도 시장조성자에게는 공매도를 허가해야 하는지에 대한 논란이 있다.

한국의 가상자산 거래소에서는 2023년 12월부터 시장조성행위 자체가 금지되었다. 이는 시장조성행위 관련 규칙 정립이 되어 있지 않은 가상자산 시장에서 시장조성자가 유동성을 공급하는 순기능보다는 자전거래(wash trading)를 통한 거래량 부풀리기, 스푸핑(spoofing)<sup>65</sup> 등을 통한 가격조작에 치중하고 있다고 판단했기 때문인 것으로 보인다.<sup>66</sup>

시장조성자 이외에도, 메이커 오더에 대해서 수수료를 할인해 주거나, 리베이트를 줌으로써 호가창을 채우도록 유도하는 수수료 구조를 가진 거래소들도 있다. 메이커(Maker) 오더는 즉시 체결되지 않고 오더북에 남는 주문을 의미하며, 테이커(Taker) 오더는 오더북에 표시된 호가잔량을 소모하며 체결되는 주문을 의미한다.

반면 탈중앙화 거래소의 자동화된 시장조성자는 정해진 규칙대로만 거래를 집행하므로 시장조작행위의 우려에서 벗어날 수 있다. 또한 Hansen et al.(2024)에서 보여주듯이, 시간에 따른 유동성의 편차가 적어 안정적인 유동성 공급이 가능하다는 장점이 있다. Malinova et al.(2024)은 미국 주식시장의 거래 데이터를 이용하여 적절히 디자인된 AMM을 사용할 경우, 연간 수십억 달러의 거래비용을 절약할 수 있을 것으로 추정하였는데, 이러한 거래비용 절약 효과는 스톡캡 주식 등 비교적 관심에서 소외된 종목들에서 더욱 두드러지게 나타났다.

오더북과 AMM은 각각 그 장점이 있다. 현재 Raydium과 같은 하이브리드 거래소에서는 두 가지 거래 방식을 동시에 지원함으로써, 각각의 장점을 조화시키려는 시도를 하고 있다. 그러나 AMM의 유동성 풀과 오더북의 유동성 공급자가 경

65) 주문을 체결할 의도 없이 반복적으로 주문을 넣고, 취소하는 행위. 이를 통해 다른 트레이더들을 유인하여 가격을 원하는 방향으로 유도한다. <https://medium.com/hackernoon/meet-spoofy-how-a-single-entity-dominates-the-price-of-bitcoin-39c711d28eb4> 참고.

66) <https://www.fsc.go.kr/no010101/80479>.

쟁하게 되면 후자의 자율성이 압도적으로 높으므로, 유동성 풀은 주문경쟁에서 밀리게 될 가능성이 높다. 과연 둘 사이 공존이 가능한지, 공존이 가능하다면 어느 수준에서 균형이 형성될지, 그리고 하이브리드 거래소에서 형성된 균형에서 거래 비용은 오더북, 혹은 AMM의 그것보다 낮을 수 있는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

### 제 3 절 탈중앙화 대출 알고리즘 분석<sup>67)</sup>

탈중앙화 거래소의 알고리즘이 유동성 풀 내 자산의 상대적인 희소성에 기반하여 교환가격을 책정했다면, 탈중앙화 대출 이자율 결정 알고리즘은 수요(대출된 금액)와 공급(예금)에 기반하여 이자율을 결정한다. 이번 장에서는 현재 가장 TVL이 높은 탈중앙화 대출 프로토콜인 Aave의 알고리즘에 대해 자세히 알아본다. 다른 탈중앙화 대출 플랫폼의 이자율 책정 알고리즘도 작동원리 면에서 대동소이하다.

#### 1. 대출금리 결정 알고리즘

탈중앙화 대출 알고리즘은 이용률(Utilization Rate, U)을 기반으로 대출금리를 동적으로 조정한다. 이용률은 유동성 풀 내에서 사용가능한 자본에 대한 지표로, t시점의 이용률은 다음과 같이 정의된다.

$$U_t = \frac{\text{대출된 자산의 비율}}{\text{총 유동성}}$$

이때 대출금리  $R_t$ 는 다음과 같이 정해진다.

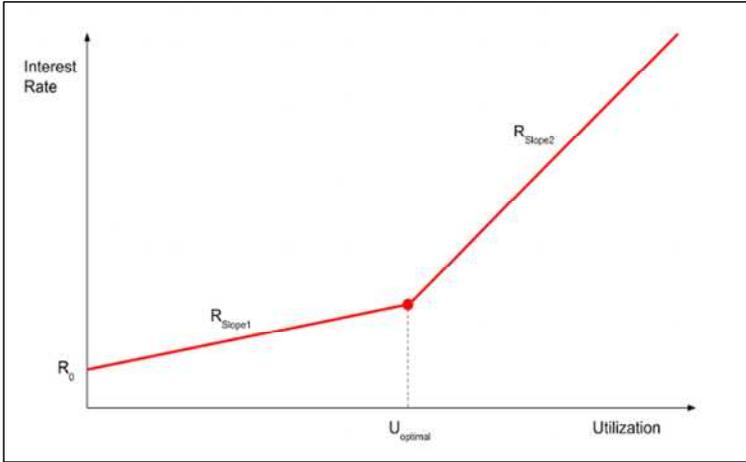
$$\begin{aligned} \text{if } U \leq U_{\text{optimal}} : \quad R_t &= R_0 + R_{\text{slope1}} \frac{U_t}{U_{\text{optimal}}} \\ \text{if } U > U_{\text{optimal}} : \quad R_t &= R_0 + R_{\text{slope1}} + \frac{U_t - U_{\text{optimal}}}{1 - U_{\text{optimal}}} R_{\text{slope2}} \end{aligned}$$

이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

---

67) 해당 장의 내용은 Aave V3의 Technical Paper에 기반함.

[그림 4-2] 탈중앙화 대출 알고리즘의 이자율과 활용률의 관계



자료: <https://governance.aave.com/>

여기서는 총 4개의 파라미터가 등장한다.  $U_{optimal}$ 은 최적 이용률 파라미터로, 이용률이 이보다 낮을 때는 이용률 증가에 따라 대출금리가 완만하게 증가하지만, 그 이후로는 대출금리가 빠르게 증가한다.  $R_0$ 은 최저 금리를 의미하며,  $R_{slope1}$ 은 이용률이 최적 이용률보다 낮을 때 금리가 증가하는 속도를,  $R_{slope2}$ 는 이용률이 최적 이용률보다 높을 때 금리가 증가하는 속도를 결정한다. 결과적으로, 이 모델에서 최고 이자율은  $R_0 + R_{slope1} + R_{slope2}$ 로 제한된다.<sup>68)</sup>

이러한 파라미터들은 Aave 토큰 보유자들의 투표를 통해서 결정되며, 각 자산마다 다른 파라미터가 설정될 수도 있다. 위의 모델은 변동금리를 계산하는 방법으로, 이미 대출받은 상황이라고 하더라도 자산의 실시간 이용률에 따라 적용받는 금리가 달라질 수 있다. 이를 피하려면 프리미엄을 지불하고 고정금리 대출을 받

68) 탈중앙화 거래소에서는 한계가격의 범위가 무한대이나, ( $P \in (0, \infty)$ ), 대출 프로토콜의 경우 이자율에 상한이 있다. 만약 이자율에 상한이 없을 경우, 이자율을 극단적으로 끌어올려 대출금을 급격히 늘려 담보를 청산시킬 수 있기 때문에 대출프로토콜의 경우에는 반드시 이자율에 상한이 필요하다. 자세한 담보 청산 메커니즘은 이 절의 마지막에서 다룬다.

는 선택지도 있다. 이때 고정금리를 산출하는 공식은 다음과 같다.

$$R_{s,0} = R_0 + R_{slope1}$$

$$\text{if } U \leq U_{optimal} : R_{s,t} = R_{s,0} + R_{s,slope1} \frac{U_t}{U_{optimal}}$$

$$\text{if } U > U_{optimal} : R_{s,t} = R_{s,0} + R_{s,slope1} + \frac{U_t - U_{optimal}}{1 - U_{optimal}} R_{s,slope2}$$

이는 변동금리 공식과 유사하나, 최저 이자율이 더 높고( $R_0 < R_0 + R_{slope1}$ ), 이용률  $U_t$ 가 증가함에 따라 이자율이 변하는 기울기가 다르다. 추가적으로, 만약 고정금리 대출의 비율이 너무 높을 경우 시장 상황의 변화에 따라 대출 프로토콜 자체가 불안정해질 가능성이 있으므로, 전체 대출 중 고정금리 대출의 비율이 일정 수준을 넘어설 경우 추가적인 가산금리를 부여하여 고정금리 대출을 간접적으로 통제하는 메커니즘이 있다. 전체 대출 대비 고정금리 대출의 비율( $SB_t$ )은 다음과 같이 계산된다.

$$SB_t = \frac{debt_{stable}}{debt_{stable} + debt_{variable}}$$

변동금리 및 고정금리의 파라미터들은 거버넌스 토큰을 가진 사람들의 투표에 의해서 결정되며, 자산별로 서로 다른 파라미터들이 선택될 수 있다.

## 2. 예금금리 결정 알고리즘

대출을 통해 발생한 수익은 유동성 풀에 기여한 정도에 따라 고르게 분배된다. 즉 모든 유동성공급자들의 수익률은 같으며, 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$r_t = (SB_t \cdot R_{s,t} + SV_t \cdot R_t) \times U_t \times (1 - Reserve\ Factor)$$

$SB_t$ 는 전체 대출 중 고정금리 대출비율을 나타내고,  $SV_t$ 는 전체 대출 중 변동금리 대출비율을 나타낸다. 즉 첫 번째 괄호 안의 식은 대출금리의 평균을 의미한

다. 이를 이용률  $U_i$ 와 곱하여 전체 자산 대비 수익률로 보정한다. 마지막으로 준비금 팩터(Reserve Factor)는 전체 수익 중 프로토콜의 준비금으로 보관되는 비율을 의미한다. 따라서 준비금(Reserve)으로 보관되는 비율을 제외한 부분이 수익으로서 예금자에게 분배된다.

준비금을 적립하는 목적은 여러 가지가 있다. 먼저, 긴급하게 유동성을 수혈할 때 쓰인다. 대출을 운영하는 과정에서 시장의 급격한 변동으로 인해 유동성이 부족해질 때, 프로토콜은 예치금 인출을 지연하거나 준비금에서 추가적인 유동성을 투입하는 등 시장안정화 조치를 사용할 수 있다. 다음으로, 담보 청산을 원활히 하기 위한 인센티브를 제공하기 위해 준비금이 사용된다. 마지막으로, 프로토콜 개발 및 유지보수를 위한 자금으로 사용될 수 있다.

유동성이 부족해질 확률, 담보가 청산될 확률 등은 대출받은 자산의 변동성 및 유동성에 따라 상이하므로 준비금 팩터는 자산마다 다르게 설정되어 있다. 이 또한 거버넌스 토큰을 가진 사용자들의 투표에 의해 결정된다.

2024년 8월 19일 기준, Aave V3의 WETH 유동성 풀의 파라미터는  $R_0 = 0$ ,  $R_{slope1} = 2.7\%$ ,  $R_{slope2} = 80\%$ ,  $U_{optimal} = 90\%$ 로 설정되어 있으며,  $U_i = 84.5\%$ 이다. 고정 금리 대출이 없다고 가정하면 앞에서 구한 공식에 따라 현재의 변동금리는 2.535%이며,  $Reserve\ Factor = 15\%$ 이므로 예치로 인한 기대 수익은 1.82%이다.

### 3. 담보 청산 매커니즘

담보청산 매커니즘은 금리결정 알고리즘과 더불어 담보기반 대출 시스템의 운영에 필요한 핵심적인 요소 중 하나이다. 담보청산절차는 담보의 상대적인 가치 하락하여 대출자가 빌린 자산의 가치보다 충분히 높지 않을 때 발동된다. 담보대출의 순서는 다음과 같다.

- 1) 자산을 담보로 맡긴 다음, 해당 담보의 LTV(Loan To Value)를 기반으로 최대 대출가능 금액을 확인한다.

- 2) LTV를 바탕으로 대출을 받고 나면, 프로토콜이 실시간으로 청산기준(Liquidation Threshold)을 확인하여 청산절차 돌입 여부를 결정한다. 청산기준을 판단하기 위해서는 담보와 대출자산의 가격을 파악할 수 있어야 하는데, 이를 위해 가격 오라클(Price Oracle)을 이용한다. 예를 들어, AAVE의 경우 체인링크(ChainLink)가 제공하는 자산의 가격을 사용한다.
- 3) 만약 청산절차에 돌입한다면, 자동으로 담보가치의 일정 비율이 청산 페널티(Liquidation Penalty)로 부과된다. 이는 청산이 일어나기 전에 대출을 상환하거나, 추가 담보를 납입할 유인을 제공하여 시스템의 안정성을 높인다.
- 4) 페널티 부과 후, 남은 자산들에 대하여 청산자가 해당 담보 자산의 일부를 인수하고, 대출자의 부채를 상환한다. 청산자는 누구나 될 수 있으며, 앞서 부과된 청산 페널티가 청산 보너스(Liquidation Bonus)로 청산자에게 지급된다. 이는 할인된 가격에 담보자산을 인수하는 것을 의미하며, 불특정 다수가 적극적으로 청산 과정에 개입할 유인을 제공한다.
- 5) 청산 후 남은 담보는 기존의 대출자에게 반환된다.

8월 19일 기준, ETH를 담보로 할 경우의 LTV, 청산기준, 청산 페널티는 각각 80.5%, 83%, 5%이다. 각 자산별로 LTV, 청산기준, 청산 페널티는 상이하며, 이 또한 거버넌스 토큰 소유자들의 투표를 통해 결정된다.

탈중앙화 거래소에서 누구나 유동성 풀을 만들 수 있었던 것과는 달리, 탈중앙화대출 프로토콜에서 담보 및 대출가능 자산은 거버넌스 토큰 소유자들의 투표를 통해서 결정된다. 이는 지나친 가격변동성으로 인해 잦은 청산을 방지할 뿐 아니라, 인위적으로 가격을 왜곡할 수 있을 만한 자산을 배제하기 위함이다. 만약 인위적으로 담보자산의 가격을 떨어뜨리거나, 혹은 대출자산의 가격을 상승시켜 청산을 유도할 수 있다면 청산 페널티에 의해 예금자들이 피해를 입을 뿐 아니라, 준비금이 소진되어 프로토콜의 존립 자체가 위협받을 수 있다.

그러나 이렇게 선별된 자산에 대해서도 해당 알고리즘 자체의 근본적인 리스크가 존재할 수 있다. Lehar et al.(2022)은 플래시론을 이용해 청산자가 청산된 자

산을 탈중앙화 거래소에 순간적으로 대량 매도하며 담보자산의 가격을 하락시킬 수 있음을 보였고, 하락된 담보의 가치가 추가 청산을 부르며 가격의 변동성을 심화할 수 있음을 보였다. 이는 프로그램 매매가 상용화된 후 찾아진 플래시 크래시(Flash Crash)에 탈중앙화 대출 프로토콜이 또 다른 원인이 될 수 있음을 의미한다. 블록체인에 기반한 탈중앙화 금융은 서비스 간 호환성을 높여주나, 이는 극단적인 상황에서 가격의 변동성을 증폭할 수도 있다.

#### 4. 탈중앙화 대출의 사용 사례

탈중앙화 대출을 이용하면 자신의 포지션을 레버리지하거나, 현물시장에서 공매도를 시행할 수 있다. Saengchote(2022)는 Compound와 관련된 온체인 데이터를 이용해서 탈중앙화 대출의 평균 지속기간이 31일가량으로 짧고, 레버리지된 일드 파밍(yield farming)을 위한 대출이 많음을 보였다.

Aave나 Compound에서는 비교적 가치가 안정적인 자산만을 취급하나, 훨씬 다양한 자산을 취급하는 대출 프로토콜도 있다. 현물과 선물시장이 둘 다 존재하는 자산의 경우 가격의 변동성이 극단적일 때 백위데이션<sup>69)</sup>이 나타나기도 한다. 이때 해당 탈중앙화 대출 프로토콜을 이용하여 현물을 공매도하고, 선물에 롱포지션을 구축하면 백위데이션이 해소될 경우 수익을 얻는다. 단, 이 경우 미국 주식 시장에서 게임스탑의 사례처럼 연간 공매도 대출이자율이 수백 퍼센트에 달하기도 하므로 백위데이션이 오래 지속될 경우 손실을 볼 수 있으므로 완전 무위험은 아니다.

---

69) 현물가격이 선물가격보다 높아지는 현상.

## 제 5 장 탈중앙화 금융 성과 분석

이번 장에서는 대표적인 탈중앙화 거래소 및 탈중앙화 예금·대출 프로토콜 이용 법과 자금을 예치할 경우 기대할 수 있는 실질 수익률을 알아본다. 이번 장의 분석은 Kaiko.com에서 제공하는 데이터를 사용하였다.

### 제 1 절 탈중앙화 거래 알고리즘 성과 분석

#### 1. 탈중앙화 거래소 데이터의 이해

[그림 5 - 1]은 2024년 11월 18일 탈중앙화 거래소 Uniswap의 예치자산가치 (TVL) 기준 상위 15개 유동성 풀이다. 그림에서 'Pool' 항목은 유동성 풀의 거래쌍을 나타내며, 거래쌍 옆의 v3는 유동성 풀이 기반하고 있는 Uniswap의 버전을, 그 옆의 0.01%, 0.05%, 0.3%는 해당 유동성 풀의 수수료를 나타낸다. 같은 거래쌍이라고 하더라도, 버전 혹은 수수료에 따라 유동성 풀이 분리되어 있음을 알 수 있다. 다음으로, 'TVL(Total Value Locked)'은 해당 유동성 풀에 예치된 자산의 총가치를 나타내며, 'APR(Annual Percentage Rate)'은 하루 동안 예치된 자산 대비 거래수수료 수익률을 연환산한 값이다. 예치된 자산의 가치는 계속 변하나, 아래의 공식을 사용하면 APR의 근사값을 얻을 수 있다.

$$APR \approx 1D \text{ vol} \times \text{거래수수료율} \div \text{TVL} * 365(\text{일}) * 100(\%)$$

가장 규모가 큰 USDC/ETH의 거래쌍을 보자. 그림의 첫 번째와 네 번째 유동성 풀은 거래수수료율을 제외하면 동일하므로, 두 유동성 풀의 APR 차이는 거래수수료에 의해서 온다. 거래수수료 0.05% 유동성 풀의 예치자산 대비 거래대금 (1D vol ÷ TVL)은 0.3% 유동성 풀의 그것에 비해 4배에 불과하다. 따라서 거래수수료 0.3% 유동성 풀이 더 높은 APR을 달성하고 있다.

[그림 5-1] Uniswap 유동성 풀 목록

Tokens Pools Transactions

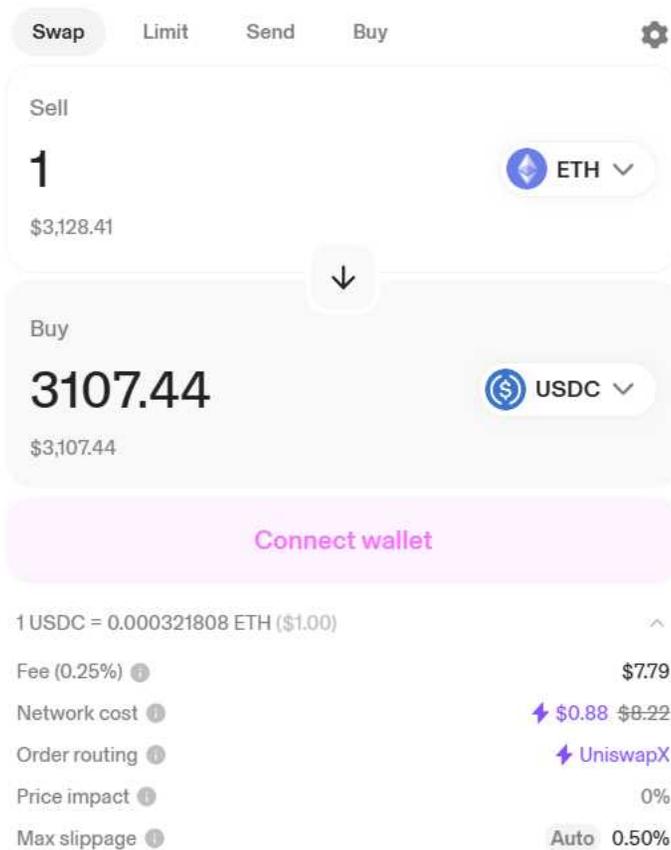
#	Pool	↓ TVL	APR	1D vol	30D vol	1D vol/TVL
1	USDC/ETH v3 0.05%	\$181.0M	19.64%	\$194.7M	\$7.3B	1.08
2	WBTC/ETH v3 0.3%	\$151.2M	5.115%	\$7.1M	\$304.7M	0.05
3	ETH/USDT v3 0.3%	\$118.5M	32.555%	\$35.2M	\$1.7B	0.30
4	USDC/ETH v3 0.3%	\$72.0M	28.318%	\$18.6M	\$1.1B	0.26
5	DAI/USDC v3 0.01%	\$69.5M	0.507%	\$9.7M	\$232.9M	0.14
6	ETH/USDT v3 0.05%	\$62.3M	21.135%	\$72.2M	\$2.1B	1.16
7	WBTC/ETH v3 0.05%	\$55.1M	3.71%	\$11.2M	\$1.7B	0.20
8	WBTC/USDT v3 0.3%	\$52.3M	8.641%	\$4.1M	\$343.6M	0.08
9	ETH/USDC v3 0.05%	\$52.0M	46.673%	\$132.9M	\$5.4B	2.56
10	WBTC/LBTC v3 0.05%	\$43.5M	0.722%	\$1.7M	\$47.0M	0.04
11	WBTC/ETH v3 0.05%	\$42.2M	17.719%	\$40.9M	\$1.5B	0.97
12	WBTC/cbBTC v3 0.05%	\$39.6M	1.369%	\$3.0M	\$189.9M	0.08
13	UNI/ETH v3 0.3%	\$35.7M	19.992%	\$6.5M	\$211.0M	0.18
14	USDC/USDT v3 0.01%	\$30.5M	2.646%	\$22.1M	\$1.9B	0.72
15	LINK/ETH v3 0.3%	\$30.5M	29.76%	\$8.3M	\$307.2M	0.27

예치자산가치 기준 상위 15개 유동성풀, 2024. 11. 19 기준

그렇다면, 거래자는 왜 왜 거래수수료가 더 비싼 유동성 풀을 상대로 거래하는 것일까? 이에 대한 답은 Uniswap의 작동원리를 보면 알 수 있다. [그림 5-2]는 Uniswap App의 거래자 인터페이스를 보여주며, 거래자가 1개의 ETH를 판매할 때 자동으로 거래 예상가격을 나타낸다. 화면이 캡처되었던 시점에서는 1ETH를 3,107.44USDC에 판매할 수 있었고, 이는 거래수수료(Fee) 및 블록체인 거래비용(Network cost)을 지불한 뒤 받을 수 있는 금액이다. Order routing은 어떠한 방식으로 해당 거래를 최적화하는지를 나타낸 것으로, Uniswap의 주문 최적화 알고리즘 중 하나인 Uniswap X를 사용하고 있다는 것을 알 수 있다. 즉 사용

자가 원하는 주문을 입력하면 알고리즘이 자동으로 최적의 거래 경로를 탐색해 주므로 어떠한 유동성 풀과 거래할지 고민할 필요가 없다. 즉 0.3% 거래수수료를 가진 유동성 풀과 거래하는 것이 최적이라고 알고리즘이 판단할 경우, 해당 유동성 풀과 거래가 발생한다.

[그림 5-2] Uniswap의 거래자 인터페이스



이는 AMM의 작동원리에 기인한다. AMM은 유동성 풀이 가지고 있는 자산의 상대적인 비율에 기반하여 거래 가격을 책정한다. 과거 거래 이력에 따라 같은 자

산을 가진 유동성 풀도 자산의 상대적인 비율이 다를 수 있으며, 만약 해당 비율로부터 도출된 가격 차이가 0.25%(=0.3%-0.05%) 이상일 경우, 거래자는 높은 거래수수료의 유동성 풀과 거래하는 것이 오히려 이득일 수도 있다. 따라서 서로 다른 유동성 풀 간의 가격 차이가 0.25% 이상 되는 경우가 6배 이상 발생하지 않는다면, 거래수수료 0.05% 유동성 풀이 더 높은 소득을 올릴 수도 있다.

## 2. CPMM 실질 수익률의 추정

일반적인 은행 이자율과 비교해 보았을 때, [그림 5 - 1]의 APR은 매우 높은 수준으로 보인다. 그러나 해당 연이율은 유동성 풀 자체의 가치 변화를 고려하지 않은 것으로, 실질 수익률은 이보다 훨씬 낮다.

유동성 풀 자체의 가치 변화를 고려하여 실질 수익률을 구하는 것은 크게 두 가지 방법이 있다. 먼저, APR에서 기대 LVH(Loss-Versus-Holding)를 차감하여 구할 수 있다. 3장 1절에서 우리는 유동성 풀 자체의 가치 변화에 대한 추정치인 LVH의 기댓값이 다음과 같음을 보였다.

$$E[\%LVH_{t,t+1}] \approx \int_t^{t+1} \frac{\sigma_s^2}{8} ds$$

이는 적분된 변동성(Integrated Variance)을 8로 나눈 값이며, 적분된 변동성은 RV(Realized Variance)를 이용하여 추정할 수 있음이 알려져 있다.

$$RV_t = \sum_{i=1}^n r_{t_i}^2 \rightarrow \int_t^{t+1} \sigma_s^2 ds$$

여기서  $r_{t_i}$ 는 고빈도 데이터를 이용한 로그 수익률로, 통상적으로는 시장미시구조(Market Microstructure Noise)의 영향을 비교적 적게 받는 15분 로그 수익률을 많이 사용한다. 이를 이용하면, 해당 변동성 하 기대할 수 있었던 일간 수익률의 기댓값은

$$\text{Daily APR} - 365 \cdot RV_t/8$$

로 구할 수 있다.

그러나 AMM의 시장미시구조잡음은 기존의 오더북 기반 거래 시스템과는 다른 패턴을 보이며, 그 강도도 훨씬 크다. 이 경우 15분 로그 수익률을 이용한 RV도 편향될 수 있으며, 이 문제를 회피하기 위해서는 그보다 더 낮은 빈도의 데이터(예를 들면 1시간 로그 수익률)를 사용해야 한다. 이 경우 불편추정량을 얻을 수는 있으나, 고빈도 데이터를 효율적으로 사용하지 못하므로 추정치의 분산이 증가한다는 단점이 있다.

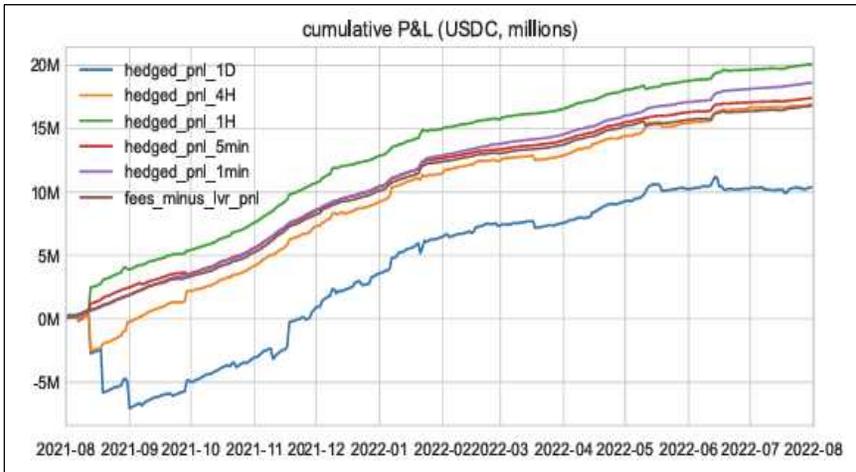
적분된 변동성의 불편추정치를 얻는 동시에 분산을 줄이는 방법도 있다. Barndorff-Nielsen et al.(2009)의 Realized Kernel(RK)은 시장 미시구조잡음을 포함한 가격은 결국 효율적 가격의 근처에서 관찰된다는 사실을 활용하여 시장미시구조잡음이 변동성 추정에 미치는 영향을 제거한다. 균형에서 효율적 가격은 자기공분산(Autocovariance)이 0이므로, 가격에서 관찰되는 자기공분산은 시장미시구조잡음에서 기인한 것으로 볼 수 있다. 그러나 이 방법은 가중평균의 가중치 함수에 대한 선택과 어느 정도 기간의 자기공분산을 더할 것인지에 영향을 받고, 그 최적 선택이 계속해서 달라지므로 계산이 복잡하다는 단점이 있다.

위의 내용을 종합하면, 고빈도데이터를 이용해 변동성을 추정할 경우 오더북 기반 중앙화 거래소의 데이터를 이용하여 RV를 계산하는 것이 간단하며 실용적이다. 그러나 만약 중앙화 거래소에 상장되어 있지 않은 자산의 변동성을 구하고자 한다면, RK를 사용할 수밖에 없다.

다른 방법으로는, 유동성 풀이 자신이 가지고 있는 자산과 같은 물량을 파생상품을 이용해 헤지한다고 가정할 경우 얻는 수익을 통해 유동성 풀의 실질수익률을 추정하는 방법도 있다. 이를 Loss-Versus-Rebalancing(LVR)이라고 하며, Milionis et al.(2024)은 LVH의 기댓값과 LVR이 일치함을 증명하였다. 해당 문헌에서 계산한 Uniswap V2의 ETH-USDC 유동성 풀의 누적 거래수익은 [그림 5-3]과 같다. [그림 5-3]의 hedged pnl 뒤에 붙은 숫자는 유동성 풀의 헤지포

지션리밸런싱 주기를 의미한다. 리밸런싱 주기가 짧을수록 더 안정적인 수익을 올리는 경향이 있으나, 실제 거래에서 잦은 리밸런싱이 높은 거래비용으로 이어지므로, 실제 성과는 차이날 수 있다. 2021년 8월부터 2022년 7월까지 1년 동안 해당 유동성 풀의 순수 누적수익은 약 150만 달러에서 200만 달러 사이로 추정되며, 수익을 유동성 풀의 가치로 나눈 수익률은 약 8~10% 정도로 나타났다.

[그림 5-3] Uniswap V2의 유동성 공급자 누적 수익률



자료: Milionis et al.(2024), Figure 5

### 3. CLMM 실제 수익률의 추정

현재 가장 많은 거래대금을 처리하고 있는 알고리즘은 Uniswap V3의 CLMM(Concentrated Liquidity Market Maker)이다. 유동성을 전체 가격 곡선에 균일하게 분배하는 CPMM과 달리, CLMM은 유동성 공급자가 특정 가격 범위에 유동성을 집중하여 공급하는 것을 허용한다. 이때 유동성은 선택한 범위 내에서만 거래에 사용되며, 가격이 범위를 벗어날 경우 유동성은 공급되지 않는다. 예를 들어, 유동성 공급자  $m$ 이 가격 범위  $(P_{m,a}, P_{m,b})$ 에서 유동성을 공급할 경우, CLMM 수익은 다음과 같다.

$$\left(E_m + \frac{L_m}{\sqrt{P_{m,b}}}\right) \cdot (D_m + L_m\sqrt{P_{m,a}}) = L_m^2$$

좌변의 각 항을 가상 준비금(virtual reserve)이라고 하며, 이는 사실  $E_m, D_m$  만  
 큼만 준비금을 보유하고 있음에도 불구하고,  $\left(E_m + \frac{L_m}{\sqrt{P_{m,b}}}\right), (D_m + L_m\sqrt{P_{m,a}})$  만큼의  
 준비금을 보유한 것처럼 더 높은 수준의 유동성을 공급하기 때문이다. 한계가격이  
 $P_{m,a}, P_{m,b}$ 에 도달할 경우, 유동성 공급자  $m$ 의 준비금은 각각의 경우  $D_m = 0,$   
 $E_m = 0$ 이 되는 것을 알 수 있다.

현재 가격이  $P$ 일 때, 해당 유동성 풀의 총 유동성  $L$ 은 개별 유동성의 합과 같  
 으며, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

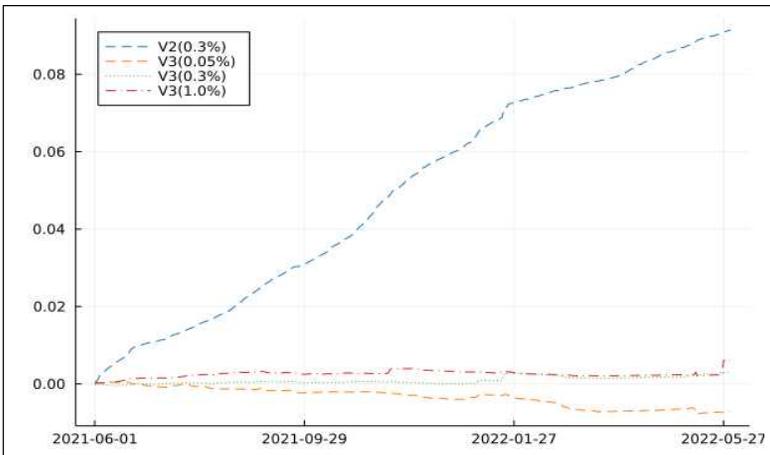
$$L = \sum_{i=1}^N L_i \cdot I_{\{P \in (P_{i,a}, P_{i,b})\}}$$

CLMM은 CPMM에서 유동성을 레버리지한 것과 같다. 따라서 CPMM과의 수  
 익률 비교를 위해서는 레버리지 비율이 같도록 설정할 필요가 있다. 이는 특정 거  
 래로부터 얻은 수수료를 거래 당시의 총 유동성  $L$ 에 해당하는 가상 준비금의 가  
 치로 나누어 거래 수익률을 구하여 달성할 수 있다.

[그림 5-4]는 Uniswap ETH-USDC 유동성 풀들의 수익률이다. 항상 유동성  
 을 공급하고 있는 수동적 유동성 공급자(Passive Liquidity Providers)를 가정하  
 였으며, 앞서 설명한 RK를 통한 변동성 추정치를 이용하였다. 흥미로운 것은,  
 Uniswap V3가 유동성 공급자가 시장상황에 더 유연하게 대응할 수 있는 알고리  
 즘임에도 불구하고 더 낮은 수익률을 보인다는 것이다. V3의 유동성 풀들은 수수  
 료 수준에 관계 없이 0에 가깝거나, 오히려 0보다 더 낮은 실질 수익률을 보였다.  
 이는 크게 두 가지 원인이 있는 것으로 추정된다. 먼저, V3의 CLMM은 V2의  
 CPMM보다 구조가 복잡해 사용 시 더 많은 이더리움 네트워크의 리소스를 사용  
 하게 된다. 이로 인해 거래자가 지불해야 하는 네트워크 사용료(gas fee)가 더 커  
 서, 소액 거래자의 경우 Uniswap V2를 이용할 유인이 더 크다. 다음으로, 블록

체인의 구조를 이용한 유동성 공급자 간의 프론트 러닝(Front-running)으로 인해 CLMM의 수동적 유동성 공급자들은 경쟁에서 불리한 위치에 놓인다.<sup>70)</sup> 이로 인해 CLMM이 더 효율적으로 유동성을 공급할 수 있음에도 이론적으로 균형에서 공급되는 유동성은 오히려 더 적을 수 있다.<sup>71)</sup>

[그림 5-4] ETH/USDC 유동성 풀별 추정 누적수익률 비교



70) 거래자로부터의 주문은 효율가격과 비교했을 때 유동성 공급자에게 유리할 수도, 불리할 수도 있다. 유동성 공급자에게 유리한 가격이 제출되었을 때만 다른 유동성 공급자들을 프론트 러닝하여 유동성을 공급하는 행위가 CLMM에서는 가능하다. 이는 특정 가격대에 유동성을 집중시킬 수 있기 때문이다. 이를 Just-In-Time Liquidity Attack이라고 한다.

71) Capponi et al.(2024).

## 제 2 절 탈중앙화 예금·대출 알고리즘 성과 분석

### 1. 탈중앙화 예금·대출 데이터의 이해

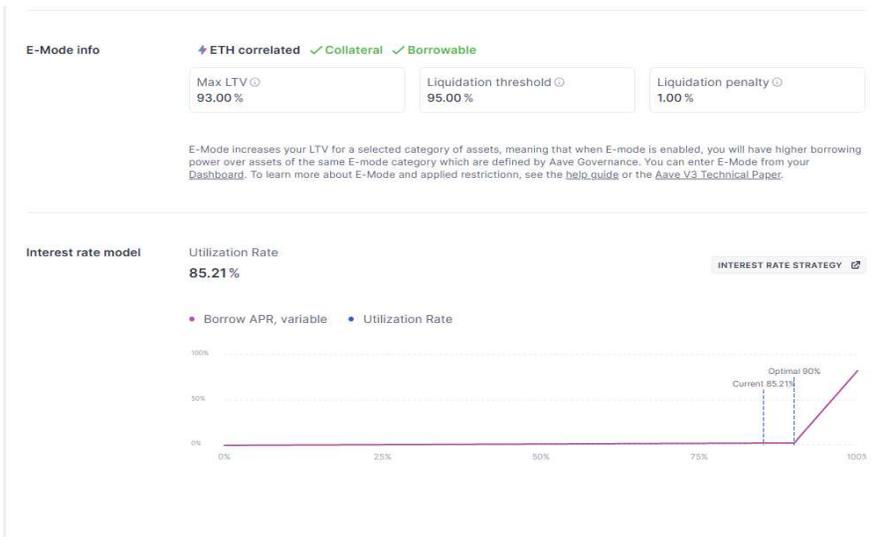
[그림 5-5]는 2024년 11월 20일 기준, 이더리움 블록체인에서 탈중앙화 대출 프로토콜 Aave V3의 예치자산가치(TVL) 기준 상위 11개의 유동성 풀을 보여준다. 그림에서 ‘Asset’ 항목은 예치된 자산의 종류를 의미하며, ‘Total Supplied’의 진한 글씨는 예치된 자산의 수량을, 아래의 작은 글씨는 예치된 자산의 달러환산가치를 의미한다. ‘Supply APY’는 자금을 예치할 경우 얻을 수 있는 현재 수익률을 의미하며, ‘Total borrowed’는 현재 대출된 자산을, ‘Borrow APY’는 자금 대출 시 적용되는 이자율을 의미한다. 4장에서 설명했듯이, 탈중앙화 대출 알고리즘이 ‘Borrow APY’와 ‘Supply APY’를 결정하며, 이는 자산활용률(Utilization)의 함수이다.

[그림 5-5] Aave V3의 예금·대출 현황 대시보드

Asset	Total supplied	Supply APY	Total borrowed	Borrow APY, variable	Details
Ethereum ETH	1.47M \$4.57B	1.88%	1.26M \$3.90B	2.59%	Details
Wrapped liquid staked E... wstETH	1.03M \$3.80B	<0.01%	22.30K \$82.13M	0.10%	Details
Wrapped BTC WBTC	39.72K \$3.65B	0.04% 0.45%	2.82K \$259.09M	0.63%	Details
Wrapped eETH weETH	1.04M \$3.40B	<0.01%	11.54K \$37.77M	1.27%	Details
Tether USDT	2.13B \$2.14B	8.78%	1.97B \$1.97B	10.64% 0.45%	Details
USD Coin USDC	1.79B \$1.79B	5.86%	1.65B \$1.65B	7.11%	Details
Coinbase Wrapped BTC cbBTC	8.85K \$814.70M	<0.01%	89.96 \$8.28M	0.09%	Details
Aave Token AAVE	1.21M \$194.49M	0%	—	—	Details
ChainLink LINK	12.69M \$183.70M	<0.01%	130.30K \$1.89M	0.16%	Details
USDS Stablecoin USDS	182.53M \$182.52M	2.90% 8.52%	87.39M \$87.38M	6.87%	Details
Dai Stablecoin DAI	161.98M \$161.97M	3.55%	142.91M \$142.91M	5.42%	Details

각 대출 프로토콜은 자산활용률 및 그 관계에 대하여 자세한 정보를 제공한다. 예를 들어, [그림 5-6]은 Aave V3에 예치된(Wrapped)ETH의 현황을 보여준다. E-Mode(Efficiency Mode)는 유사한 자산군 내에서만 작동하는데, 예를 들어 스테이블코인 간, 혹은 ETH 및 ETH와 유사한 자산<sup>72)</sup>에만 제한적으로 제공되며, 이 모드에서는 LTV(Loan-to-Value)를 높여 담보자산을 더 효율적으로 사용할 수 있다. 여기서의 담보는 예금한 ETH 또한 포함된다. Max LTV가 93%라는 뜻은, 1ETH를 담보로 맡길 경우, 0.93ETH에 해당하는 가치만큼 다른 자산을 대출받을 수 있다는 뜻이고, Liquidation Threshold가 95%라는 뜻은, 1ETH를 담보로 맡겼을 때 대출받은 자산의 가치가 0.95ETH를 초과할 경우 청산절차에 돌입한다는 뜻이다. 마지막으로 1%의 Liquidation Penalty가 의미하는 것은 담보가 청산절차에 돌입했을 때, 시장가 대비 1% 할인해서 판매한다는 뜻이다.

[그림 5-6] Aave에 예치된 ETH의 대출 현황



72) 예를 들어, ETH를 ERC-20으로 전환한 Wrapped ETH(WETH)가 있다.

## 2. 탈중앙화 예금·대출 데이터의 분석

[그림 5-6]에서 아래의 그림은 대출금리가 결정되는 방식을 보여준다. 대출금리는 활용률(Utilization Rate)의 함수로, 활용률은 유동성 풀에 예치된 금액 중 대출된 비율을 의미한다. ETH 유동성 풀의 경우 활용률 90% 초과 시 이자율이 급격히 상승하는데, 이는 활용률을 일정 비율 아래로 유지하여 원활한 출금이 가능하도록 하기 위함이다. 활용률이 100%에 가까워질 경우, 높은 수익을 기대하고 추가적인 예치금이 들어오거나, 높은 이자를 감당하지 못하는 일부 대출자가 상환함으로써 활용률이 낮아져 환매를 위한 여유자금을 확보할 수 있다.

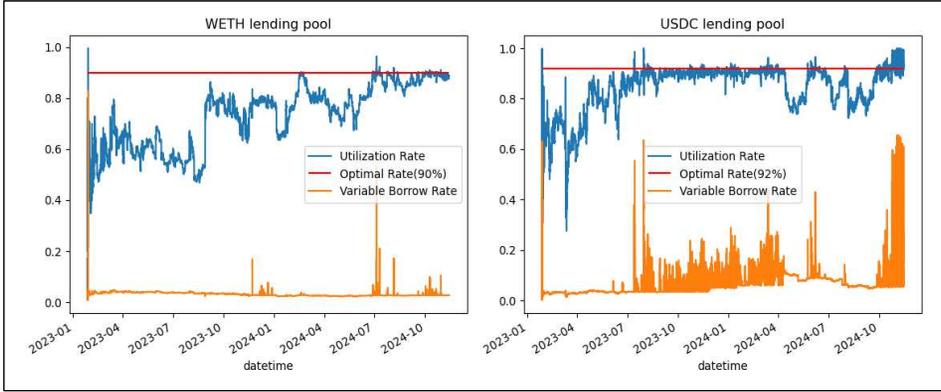
[그림 5-7]은 2023년 1월부터 2024년 11월까지 이더리움 블록체인에서 Aave V3의 ETH와 USDC 유동성 풀의 활용률과 대출금리의 추이를 나타낸다. ETH 유동성 풀의 활용률은 점진적으로 증가하는 추세이며, 변동금리 대출이자는 큰 변동이 없는 모습을 보인다. 반면, USDC 유동성 풀의 활용률은 2023년 7월 이미 최적 활용률 수준에 도달하였으며, 최적 활용률을 초과할 경우 이자율은 급격하게 상승하기 때문에 USDC 대출이자율은 ETH 유동성 풀에 비해 높은 변동성을 보인다. 2023년 11~12월경에는 ETH 유동성 풀의 활용률이 90%보다 아래임에도 불구하고 높은 수준의 이자율이 기록된 것을 보면, 과거에는 현재의 대출 함수와 파라미터가 달랐음을 알 수 있다.

USDC 대출이자율은 2023년 7월~2024년 4월, 그리고 2024년 10월 이후에 높은 수준을 보이는데, 이는 가상자산 시장의 상승기에 USDC와 같은 스테이블코인에 대한 대출수요가 높아지는 경향이 있기 때문이다.<sup>73)</sup> 가상자산의 가격 상승이 예상될 경우, 이더리움과 같은 가상자산을 담보로 스테이블코인을 대출받아 다른 가상자산을 구매하는 방식으로 레버리지를 일으켜 수익을 극대화할 수 있다.<sup>74)</sup>

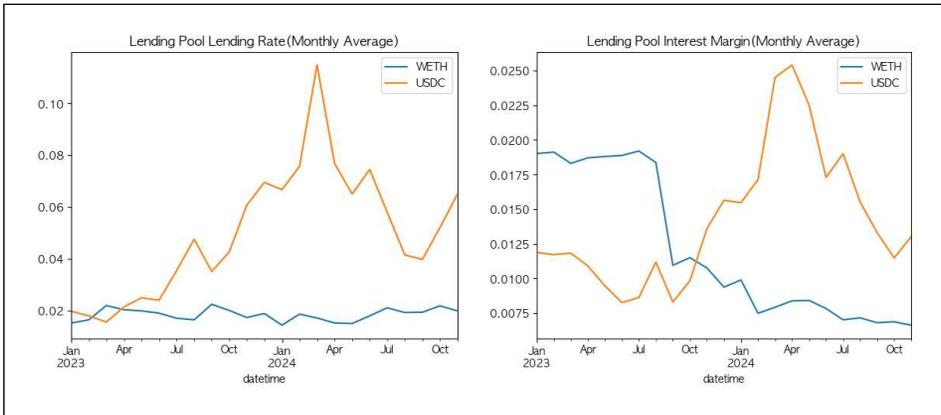
73) <https://www.hankyung.com/article/202311094696g>.

74) 가상자산 담보 스테이블코인 대출-스테이블코인으로 가상자산 구매를 반복하면 레버리지를 극대화할 수 있으며, 이를 루핑(Looping)이라고 한다. <https://www.dlnews.com/articles/defi/two-ethereum-defi-traders-made-120-million-million-looping/>.

[그림 5-7] 유동성 풀 활용률 및 대출이자율 변화



[그림 5-8] 유동성 풀 예금이자율 및 예대금리차

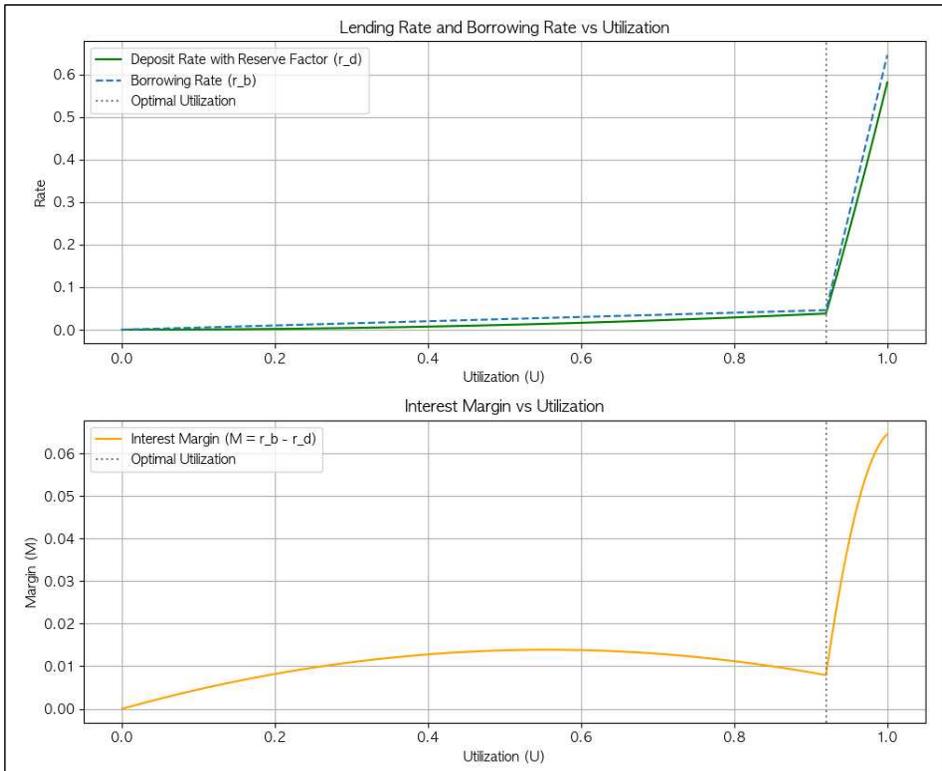


다음으로, [그림 5-8]은 각 유동성 풀의 월평균 예금이자율과 예대금리차를 보여준다. ETH의 경우, 2% 수준에서 예금이자율이 꾸준히 유지되는 반면, USDC의 경우 그 변동폭이 큰 것을 알 수 있다. 해당 기간에 USDC의 예금이자율은 연평균 약 5.1%로, 일반적인 자유입출금식 은행 예금 및 무위험 이자율보다 훨씬 높은 수준의 수익을 얻을 수 있었다.

유동성 풀 간 예대금리차는 서로 다른 방향으로 움직였는데, 이는 두 가지에서

기인했을 수 있다. 먼저, 대출함수 파라미터의 변화이다. Aave는 토큰 홀더들의 투표를 통해 대출함수의 파라미터를 변경할 수 있으며, 이는 예대금리차에 간접적으로 영향을 준다. 둘째로는 활용률 그 자체의 변화이다. [그림 5-9]는 활용률과 예대금리차의 관계를 보여주는데, 첫 번째 그래프의 대출함수는 현재의 USDC 유동성 풀과 같도록 설정하였으며, 이에 기반한 예대금리차는 두 번째 그래프에 나타나 있다. USDC 풀의 예대금리차는 활용률 90% 미만에서는 50% 근처에서 가장 높으나, 활용률이 90%를 초과할 경우 대출이자율 증가와 함께 예대금리차도 급격히 증가하는 경향을 보인다.

[그림 5-9] 활용률, 대출이자율, 예대금리차의 관계



### 3. 국내 은행 예금·대출 서비스와의 비교

탈중앙화 금융은 중개자를 알고리즘으로 대체하여 거래비용을 줄이는 것을 목표로 한다. 우리는 이러한 알고리즘이 해당 목표를 실제로 달성할 수 있는지 알아볼 필요가 있다. 이번에는 예대금리차에 집중해서 탈중앙화 금융과 국내 은행의 예금·대출 시장을 비교해 본다.

노유철 외(2022)는 2010년부터 2022년까지 국내 은행의 예대금리차를 분석하였다. 연구에 따르면 예대금리차는 금리가 오르는 시기, 변동금리 대출 혹은 저원가성 예금의 비중이 높아지거나, 은행의 대출시장 점유율이 높아질 경우 확대되는 경향이 있다. 반면, 대출 점유율이 특정 은행에 편중될 경우, 은행 간 경쟁이 촉발되어 예대금리차가 감소하는 경향도 나타난다. [그림 5-10]은 노유철 외(2022)에서 보고한 잔액기준 예대금리차를 보여주며, 2021년 이후 금리 상승기에 예대금리차가 함께 상승한 것을 볼 수 있다.

탈중앙화 금융대출 알고리즘에서도(활용률이 높은 경우) 금리와 예대금리차가 같은 방향으로 움직이는 현상이 나타난다. [그림 5-9]에서 이를 확인할 수 있는데, 이는 탈중앙화 금융대출 알고리즘이 실제 은행의 예대금리차 책정 방식과 유사한 면이 있음을 시사한다.

예대금리차는 은행 간의 경쟁 상황 및 은행의 운영비용을 반영한다. 2023년 1월부터 2024년 8월까지 USDC 풀의 평균 예대금리차는 약 1.43%로, 노유철 외(2022)에서 보고하는 평균 예대금리차보다 낮다. 이는 탈중앙화 금융 알고리즘이 인력에 기반한 기존의 대출 시스템보다 비용 효율적일 수 있음을 의미한다. 알고리즘 기반 금융은 단순 활용률에 따라 단순히 예대금리차가 결정되므로, 독과점으로 인한 마진이 적을 가능성도 있다.<sup>75)</sup>

다만, 노유철 외(2022)에서 다루는 은행 대출의 범위는 담보대출과 신용대출을

75) 탈중앙화 대출 프로토콜 간 경쟁 양상에 따라 투표를 통해 Reserve Factor 파라미터를 감소시켜 예대금리차가 줄어들 수도 있으나, 활용률에 의해 기계적으로 예대금리차가 조정되는 부분이 훨씬 크다.

모두 포함한다. 담보대출 금리가 일반적으로 더 낮다는 것을 고려하면, 담보대출만을 고려할 경우 예대금리차는 더 작을 수 있다. 하지만 은행 대출의 많은 부분이 주택담보대출 등 담보대출인 것을 감안할 때, 담보대출로만 한정하여 비교해도 여전히 탈중앙화 대출의 예대금리차가 더 작을 가능성이 크다.

그럼에도 불구하고 탈중앙화 금융은 프로토콜 자체의 취약점, 새로운 탈중앙화 금융 프로토콜과의 상호작용으로 인한 예상치 못한 부작용 등 알고리즘 기반 금융이 내포하는 위험성이 존재한다. 따라서 알고리즘 기반 금융의 기대수익, 효율성, 리스크 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

[그림 5-10] 국내 은행 예대금리차 추이

**잔액기준 예대금리차 추이<sup>1)</sup>**



주: 1) 예금은행 기준  
 자료: 한국은행

### 제 3 절 탈중앙화 금융 알고리즘의 RWA 시장 적용 가능성

#### 1. AMM 알고리즘의 RWA 시장 적용 가능성

앞서 AMM 기반 유동성 풀에 자산을 예치할 경우 알고리즘에 따라 서로 다른 기대수익을 얻을 수 있음을 논의하였다. 이는 추후 지속적인 관찰이 필요한 부분 이긴 하지만, 일부 알고리즘이 장기간 유의미한 양의 수익을 올린 것을 고려할 때, 해당 시스템은 일정 수준의 지속가능성을 갖춘 것으로 보인다.

다만, 이는 유동성 공급자의 관점에 초점을 맞춘 것이며, 거래자의 관점에서 추가적인 분석 또한 필요하다. Foley et al.(2024)은 AMM 기반 유동성 풀을 외환, 채권, 원자재, 주식 등 다양한 기존 자산의 거래에 적용할 경우 비용효율성을 분석한 바 있다. [그림 5 - 11]은 해당 연구결과를 요약한 것으로, 붉은 점선 아래에 있는 자산군은 AMM을 이용하는 것이 기존의 오더북 시스템을 이용하는 것보다 거래비용면에서 더 저렴할 수 있음을 나타낸다.

기본적으로, AMM의 거래비용이 저렴하려면 수수료가 낮으면서 유동성 풀의 규모가 커야 한다. 균형에서 이를 달성하려면, 유동성 공급자가 역선택으로 인해 부담하는 비용(LVH)이 낮고, 거래수수료로 인한 수입이 커야 하는데, 전자는 낮은 변동성에서, 후자는 큰 거래량에서 달성될 수 있다. 외환, 국채, 시가총액이 높은 주식 종목 등이 주로 이에 해당한다.

반면, [그림 5 - 11]에서 시가총액이 높은 종목과 국채는 오히려 기존의 오더북 방식의 거래비용이 더 낮으며, 오히려 거래대금이 낮고 변동성이 큰 시총이 낮은 종목, 회사채 등에서 AMM 방식의 거래비용이 낮다는 결론이 도출되었다. 이는 오더북 거래비용과의 “상대적” 비교로 인해 발생한 것으로, 시가총액이 낮은 종목 과 회사채의 경우, 기존 시장의 유동성이 부족함을 의미한다. Malinova et al. (2024) 또한 미국 주식 데이터를 활용한 연구에서 비슷한 결과를 얻었다. 이는 AMM이 거래대금이 적고, 스프레드가 큰 자산에서 더 효율적일 수 있음을 시사하

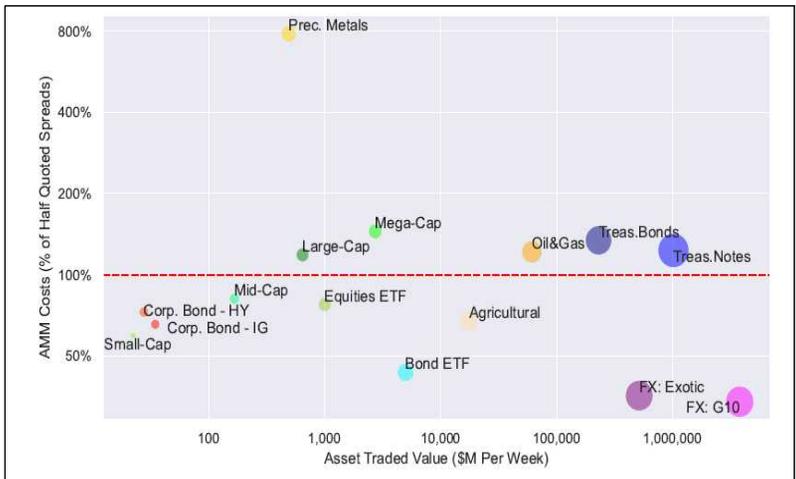
며, 대부분의 RWA 거래 시장이 이러한 특성을 만족할 가능성이 높다.

RWA를 통해 블록체인상에서 거래되는 자산이 늘어날수록, 시장의 관심에서 소외되어 유동성이 부족한 자산의 수 또한 필연적으로 늘어나게 된다. 위의 내용을 종합할 때, AMM은 RWA 거래시장의 효율성에 긍정적인 영향을 줄 가능성이 있다.

그러나 Malinova et al.(2024)과 Foley et al.(2024)의 결론은 여러 가지 제한적인 가정하에 도출된 것임을 이해해야 한다. 먼저, 그들의 결과는 균형에서 거래 비용을 최소화하는 최적화된 수수료를 기반으로 도출되었다. 최적화된 수수료는 노이즈 거래자의 비율, 시장변동성 등에 따라 달라지나 노이즈 거래자의 비율, 시장변동성 등을 사전적으로 알기는 어려우므로 실제와는 차이가 존재할 수 있다.

다음으로, 위의 연구들은 AMM 거래소만 존재하는 상황에서 결론을 도출하였으나, 현실에서는 여러 거래시스템이 경쟁하므로 논문들의 결론이 성립하지 않을 수 있다. 먼저, 하나의 종목이 여러 거래소에서 중복 상장되는 경우 유동성 공급 또한 나누어진다. 이는 유동성을 파편화 시켜 각 거래소의 거래비용을 높이는 효과

[그림 5-11] AMM 알고리즘 사용 시 거래대금과 거래비용의 관계 시장별 추정치



자료: Foley et al.(2024)

와 이용자를 확보하기 위한 거래소 간 수수료 경쟁을 통해 거래비용을 낮추는 효과가 동시에 존재할 수 있다.<sup>76)</sup>

오더북 기반 거래소에서는 유동성 파편화로 인한 부작용을 줄이기 위해, 거래소 간 호환성을 높일 수 있는 규칙이 도입되어 있다. 미국의 경우, 미국 증권거래위원회(SEC)의 규제에 따라 브로커들은 고객 주문을 NBBO(National Best Bid and Offer) 가격으로 체결해야 한다. 이는 유동성 파편화를 줄이는 동시에 수수료 경쟁을 유지하는 효과를 갖는다. 한국의 증권사도 이와 유사한 최선집행의무를 가지는데, 최근까지는 하나의 거래소만 존재하여 유명무실한 규제였으나 대체거래소인 넥스트레이드의 도입으로 인해 증권사들이 지켜야 하는 중요한 규제 중 하나가 되었다.<sup>77)</sup>

탈중앙화 거래소의 경우에도 최선집행의무를 실행해주는 DEX Aggregator 혹은 Auto Router라는 서비스가 있다. 이들은 다양한 유동성 풀의 가격을 비교하여 거래자가 최선의 가격을 선택할 수 있도록 도우며, 이는 각 유동성 풀의 경쟁 관계를 심화시켜 이론적으로는 거래수수료를 낮추는 효과가 발생할 수 있다.

그러나, 낮은 거래수수료가 거래자에게 항상 이로운 것은 아니다. 기존의 오더북 시스템에서는 거래수수료가 낮아질 경우 유동성 거래자의 수가 증가하여 유동성 공급자의 이득이 늘어날 가능성이 높다. 반면, 유동성 풀에서는 거래수수료가 유동성 공급자에게 귀속되므로, 거래수수료율이 낮아진 것을 보충할 만큼 거래대금이 증가하지 않는다면 유동성 공급자의 수익이 감소하여 유동성 공급자가 이탈하고, 유동성 풀의 크기가 감소하여 오히려 거래비용이 증가할 수 있다. 따라서, 실제 적용을 위해서는 유동성 풀 간 경쟁 효과에 대한 추가적인 연구가 필요하다.<sup>78)</sup>

76) Budish et al.(2024)에서는 거래소 간 경쟁의 결과, 거래수수료는 낮아질 수 있으나 더 빨리 거래할 수 있는 권한을 고빈도 거래자에게 판매하여 거래소가 줄어든 수입을 보충하여 사회 후생이 감소할 수 있음을 보인다.

77) <https://www.fsc.go.kr/no010101/82254>.

78) 위의 연구뿐 아니라 Lehar and Parlour(2024), Hasbrouck et al.(2023) 등 최적 유동성 풀의 크기, 최적 거래수수료 등을 연구한 최신 문헌에서도 유동성 풀의 경쟁 효과는 고려하지 않고 있다.

현재 RWA 거래시장은 발행 기업의 주도로 거래시스템이 설계되거나, 민간기업의 가상자산 거래소, 탈중앙화 거래소 등에서 거래가 이루어지고 있다.<sup>79)</sup> 그러나 우리나라의 경우, 블록체인 산업 육성 계획의 일환으로 부산시 차원에서 RWA 거래소의 설립을 지원하고 있으므로, 사업 구상 및 확장 단계에서 더욱 관심을 기울일 필요가 있다. 퍼블릭 블록체인의 RWA 거래소와 구별되는 차별점으로서, 선제적으로 RWA 거래를 위한 여러 알고리즘을 테스트하고, 운영 노하우를 쌓는 것도 또한 시장에서 경쟁력 확보를 위한 전략이 될 수 있다. 이때 본 절에서 언급한 내용을 주의하여 거래시스템을 설계해야 할 것이다.

## 2. 대출 알고리즘의 RWA 시장 적용 가능성 및 예시

담보대출에서는 자산을 대여해 준 주체가 가능한 한 손해를 보지 않는 것이 중요하다. 이를 위해서는 담보자산의 처분가치가 대여자자산의 가치보다 높아야 하며, 손실을 방지하기 위해 담보인정비율(LTV), 청산임계치(Liquidation Threshold) 등이 설정된다. 탈중앙화 대출 알고리즘에서 이러한 기준은 모두 담보자산과 대여자자산의 가격 오라클을 기반으로 한다.

법정통화, 금, 미국 국채 등은 자산이 규격화되어 있고, 시장 가격이 명확할 뿐 아니라 유동성도 풍부하므로, 관련 RWA가 담보자산으로 제공될 경우 높은 담보 인정비율 및 청산임계치를 적용받을 수 있을 것으로 예상된다. 반면 규격화되어 있지 않고, 시장의 유동성이 떨어지는 자산들, 예를 들면 부동산, 지적재산권 등에 기반한 RWA는 알고리즘이 그 청산가치를 예측하기 힘들다. 따라서 담보로 인정되기 어렵거나, 인정된다고 하더라도 낮은 담보인정비율을 적용받을 가능성이 높다. 이러한 자산에 대해서는 전통금융 방식의 담보대출이 여전히 강점을 가질 수 있다. 이러한 담보자산의 가격 명확성 및 유동성은 대여자 보호를 위해 필요하다.

대여자 자산에 대해서도 비슷한 조건이 요구된다. 대여자 자산의 유동성이 크지 않거

---

79) 본 보고서의 2장 2절 참고

나 시장 참여주체 간에 합의된 가격과 오라클 가격의 갭이 발생하도록 대여자산의 오라클 가격을 조작할 수 있을 경우, 이를 이용해 담보를 청산해 수익을 얻는 전략이 가능할 수 있으며,<sup>80)</sup> 이 경우 차입자가 손해를 본다.

이러한 조건은 기존의 담보대출 시장에서도 중요하나, 스마트 콘트랙트에 기반하여 즉각적으로 담보를 청산하는 알고리즘 기반 담보대출 시장에서는 더욱 중요할 수 있다.

한국에서는 블록체인 기술을 주식거래 시스템에 적용하여 개선하려는 논의가 있다. 그중 대표적인 것이 공매도(Short Selling) 시스템이다.<sup>81)</sup> 공매도는 재화를 미리 매도하여 현재 가격만큼의 돈을 받고, 나중에 같은 수량의 재화를 상환하는 것을 의미한다.

특히, 무차입 공매도를 막기위한 방법으로 블록체인이 효과적일 수 있다. 현재 주식을 먼저 빌린 다음 매도하는 차입공매도만 허용되고 있으나, 일부 증권사들이 이러한 규칙을 어기고 무차입공매도를 하는 사례가 적발되었다.<sup>82)</sup> 블록체인에서는 주식의 소유권과 거래 기록이 실시간으로 추적 가능하므로, 보유하지 않은 주식을 매도하는 것이 원천적으로 불가능하도록 만들 수 있다.

블록체인 기반 공매도 시스템이 도입될 경우, 이 보고서에서 논의된 대출알고리즘을 주식 대차·대주 시스템에 활용하는 것 또한 고려해 볼 수 있다. 현재 한국의 차입공매도 시장은 불투명하여 적재적소에 물량확보가 힘들다는 단점이 있는데, 차입자의 입장에서는 공매도 가능 물량이 각 증권사별로 파편화되어 효율적으로 원하는 수량을 확보하기 힘들며, 대여자의 입장에서는 증권사가 대차·대주거래로 인한 수익의 큰 부분을 가져가므로 유동성 풀에 주식을 예치할 인센티브가 약하다. 통합 대주거래 유동성 풀을 알고리즘 기반으로 구성한다면 파편화된 유동성을 통합하여 차입자의 탐색비용을 낮추고, 대여자에게는 더 높은 수익을 보장할 수 있어 공매도 시장의 투명화 및 효율화에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

80) Duley et al.(2023) 참고.

81) <https://www.fsc.go.kr/no010101/82450>.

82) <https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=7793285>.

## 참 고 문 헌

### [국내 문헌]

노유철(2022), “우리나라 은행의 예대금리차 변동요인 분석 및 시사점”, 《BOK 이슈노트》.

### [해외 문헌]

Barndorff-Nielsen, Ole Eiler, Peter Reinhard Hansen, Asger Lunde, and Neil Shephard(2009). “Realized Kernels in Practice: Trades and Quotes.” *Econometrics Journal*.

Budish, Eric, Robin S. Lee, and John J. Shim(2024). “A Theory of Stock Exchange Competition and Innovation: Will the Market Fix the Market?” *Journal of Political Economy*.

Duley, Chanelle Leonardo Gambacorta, Rodney Garratt, and Priscilla Koo Wilkens(2023). “The Oracle Problem and the Future of DeFi.” BIS Bulletin.

Easley, David and Maureen O’Hara(1995). “Market Microstructure.” *Handbooks in operations research and management science*.

Evans, Alex, Guillermo Angeris, and Tarun Chitra(2021). “Optimal Fees for Geometric Mean Market Makers.” Working Paper.

Félez-Viñas, Ester, Luke Johnson, and Talis J. Putnins(2023). “Insider trading in cryptocurrency markets.” Working Paper.

Foley, Sean, Peter O’Neill, and Talis J. Putnins(2024). “A Better Market Design? Applying ‘Automated Market Makers’ to Traditional Financial

- Markets.” Working Paper.
- Fritsch, Robin and Roger Wattenhofer(2021). “A Note on Optimal Fees for Constant Function Market Makers.” Working Paper.
- Harvey, Campbell R., Ashwin Ramachandran, and Joey Santoro(2021). *DeFi and the Future of Finance*. Wiley.
- Kim, Chan(2022). “Expected Returns of Automated Market Makers.” Working Paper.
- Kyle, Albert S.(1985). “Continuous Auctions and Insider Trading.” *Econometrica*.
- Lehar, Alfred and Christine A. Parlour(2022). “Systemic Fragility in Decentralized Markets.” BIS workng paper.
- Malinova, Katya and Andreas Park(2024). “Learning from DeFi: Would Automated Market Makers Improve Equity Trading?” Working Paper.
- Milionis, Jason, Ciamac C. Moallemi, Tim Roughgarden, and Anthony Lee Zhang(2024). “Automated Market Making and Loss-Versus-Rebalancing.” Working Paper.
- O’Hara, Maureen(2015). “High Frequency Market Microstructure.” *Journal of Financial Economics*.
- Posner, Eric and Glen Weyl(2018). *Radical Markets: Uprooting Capitalism and Democracy for a Just Society*. Princeton University Press.
- Saengchote, Kanis(2022). “Decentralized Lending and Its Users: Insights from Compound.” Working Paper.

**[웹사이트]**

AAVE V3 Technical Paper, [https://github.com/aave/aave-v3-core/blob/master/techpaper/Aave\\_V3\\_Technical\\_Paper.pdf](https://github.com/aave/aave-v3-core/blob/master/techpaper/Aave_V3_Technical_Paper.pdf).

RWA 관련 보고서, <https://rwa.xyz/blog>.

RWA 및 탈중앙화 금융 관련 데이터, <https://defillama.com>.

국내 은행 예대마진 관련 기사,  
<https://www.mk.co.kr/news/economy/10650843>.

미국 채권 RWA 관련 기사, <https://www.gate.io/learn/articles/an-overview-of-black-rocks-buidl-tokenized-fund-experiment-structure-progress-and-challenges/4530>.

테더 리스크 관련 기사, <https://cointelegraph.com/news/tether-transparency-business-structure-118b-ftx-concern>.

프랭클린템플턴 BENJI 토큰 관련 기사, <https://www.dlnews.com/articles/markets/franlin-templeton-upgrades-benji-tokens-for-some-investors/>.

FTX 거래소 선행매매 관련 기사, <https://decrypt.co/114622/alameda-research-frontrunning-ftx-token-listings>.

FTX 거래소 고객자산 활용 부정거래 관련 기사, <https://www.coindesk.com/policy/2022/11/10/ftx-violated-its-own-terms-of-service-and-misused-user-funds-lawyers-say/>.

[보도자료] “자본시장 인프라의 질적발전을 위한 ATS 운영방안 마련”,  
<https://www.fsc.go.kr/no010101/82254>.

## Abstract

This study explores the potential application of decentralized finance(DeFi) algorithms to the Real World Asset(RWA) market as a means of fostering the digital economy. Tokenization of real-world assets(RWA) represents a transformative application of blockchain technology, enabling digital ownership and trading of physical assets on blockchain platforms. From the perspective of issuers, RWA provides an opportunity to enhance asset liquidity and expand investor outreach. For investors, it introduces diverse investment opportunities and portfolio diversification through low-correlation asset combinations. On a broader scale, RWA-based asset tokenization contributes to efficient resource allocation and price discovery.

Despite its potential, tokenization necessitates significant innovation in financial systems. Traditional financial systems, while advanced, face limitations in accessibility, transparency, and efficiency. DeFi, leveraging blockchain and smart contracts, has emerged as a promising alternative to address these inefficiencies. This study examines the current state of the RWA market, analyzes the operational mechanisms and performance of DeFi algorithms, and evaluates their applicability to the RWA market.

The study comprises three key components. First, it categorizes major RWA projects, identifying distinctions within each category. Second, it conducts a theoretical analysis of DeFi algorithms, focusing

on trading and lending mechanisms. Third, it utilizes real-world data to analyze the performance of these algorithms and assesses their implications for RWA market expansion.

The findings reveal that current RWA markets are concentrated in areas such as private lending, U.S. treasury bonds, commodities, and real estate. DeFi algorithms demonstrate significant potential to replace traditional intermediaries by autonomously balancing market demand and supply through algorithmic pricing mechanisms. Data analysis further suggests that, in certain scenarios, DeFi algorithms can mitigate inefficiencies inherent in traditional financial markets.

This study is expected to provide valuable insights for both academic and policy discussions concerning the tokenization of assets and the advancement of the digital economy. By addressing the technological and regulatory considerations of integrating DeFi algorithms into RWA markets, this research aims to contribute to the development of innovative solutions that support sustainable growth in the digital financial ecosystem.

## 정보통신정책연구원 기본연구 안내

### ■ 2022 기본연구

- 기본연구 22-01 탈통신시대, 통신기업 성장 전략 효과 분석: 인수합병을 중심으로 (김민희)
- 기본연구 22-02 지리공간적 측면을 고려한 5G 시대의 주파수 관리 정책방안 연구 (박지현)
- 기본연구 22-03 방송법 내 다양성 정책의 실효성 분석 및 개선방안 연구(성욱제)
- 기본연구 22-04 중앙은행디지털화폐(CBDC) 설계의 쟁점과 정책방향: 분산원장기술 적용의 영향과 디지털 금융생태계 활성화를 위한 설계 방향(박동욱)
- 기본연구 22-05 ICT 투자가 지역 균형 발전에 미치는 영향(장재영, 박소연)
- 기본연구 22-06 디지털 전환기 일자리의 변화 분석 및 대응 방안 연구(문아람, 김미경, 조유선)
- 기본연구 22-07 수요자 중심의 데이터 활용 제고를 위한 데이터 채택 영향요인 연구 (한은영, 김나연)
- 기본연구 22-08 특허데이터를 활용한 ICT 부문 기술정책 제언: 메타버스를 중심으로 (노희용, 박지원)
- 기본연구 22-09 TV 시청 관습의 변화 및 영상콘텐츠 이용행태의 다양화에 대한 연구 (김남두, 이소은)
- 기본연구 22-10 OTT 시대의 방송·미디어시장 공정경쟁 환경 조성 방안 연구(황유선)
- 기본연구 22-11 기술패권 경쟁시대의 글로벌 디지털 의제 분석 및 우리나라 ICT 외교의 시사점 연구(강하연, 김병우)
- 기본연구 22-12 이동통신 미래 시장환경변화 예측 및 산업 활성화 요소 연구(여재현, 김지환, 조수정, 장희선, 박의환)
- 기본연구 22-13 통신 이용자보호를 위한 이용정보 제공 강화 방안 연구(염수현, 강인규, 황정현, 전주용, 최현홍)

### ■ 2023 기본연구

- 기본연구 23-01 데이터 경제 활성화를 위한 민관 역할분담과 정책 개입영역 연구 (윤성욱, 박소연)
- 기본연구 23-02 해외 주요국 신규 사업자 이동통신시장 진입 효과 분석(김민희)
- 기본연구 23-03 유사국 사례를 통해 본 북한 통신시장 발전 방안 연구(임동민, 서소영,

이종화, 조대근, 서홍수)

- 기본연구 23-04 메타버스 시대 기본권 보호에 관한 연구: 인격권 논의를 중심으로 (권은정, 한혜지, 계인국, 김법연, 이승민)
- 기본연구 23-05 디지털화폐 생태계 변화에 대응한 중앙은행 디지털화폐(CBDC) 도입 정책 연구(박동욱)
- 기본연구 23-06 ICT 확산에 따른 노동시장 임금격차(최지은, 이은영, 최세림, 이현옥)
- 기본연구 23-07 데이터 생산·관리 역량 평가를 위한 성숙도 모형 개발 연구(노희용, 장신재, 박지원)
- 기본연구 23-08 인터넷 생태계 환경 변화에 따른 네트워크 인프라 비용 분담에 관한 연구(염수현, 강인규, 이상규, 김태오)
- 기본연구 23-09 미디어 이용 조사의 모드 효과 비교(신지형)
- 기본연구 23-10 방송미디어분야 자율규제 제도화 방안 연구(이종원)
- 기본연구 23-11 이동통신 네트워크 인프라 산업 생태계의 전환 방향 연구(여재현, 박지현, 윤도원, 장희선, 김선우, 정인준, 박의환)

## ■ 2024 기본연구

- 기본연구 24-01 AI 반도체 생태계 조사(윤성욱, 김민식, 민대홍)
- 기본연구 24-02 인공지능 감시에 의한 권력의 확대와 그 규범적 대응방안 연구 (문광진, 허진주, 전민경)
- 기본연구 24-03 시청각미디어 콘텐츠의 공정한 거래를 위한 정책 방안 연구: 수익 배분 관련 이슈를 중심으로(강준석)
- 기본연구 24-04 온라인 광고 시장의 경매 경쟁에 대한 연구(백소성, 윤도원)
- 기본연구 24-05 기술진보에 따른 산업별 업무 변화 연구(서영신)
- 기본연구 24-06 5G 요금제 특성이 이용자 편익에 미치는 영향: 단말기와 요금제의 결속을 중심으로(박진환)
- 기본연구 24-07 방송 프로그램 장르 구분의 타당성 검토: 방송법과 방송사업자 및 수용자의 장르 분류 기준 차이를 중심으로(황현정)
- 기본연구 24-08 생성형 AI가 미디어 분야에 미칠 영향에 대한 탐색적 연구(곽동균, 김남두, 주성희, 황현정, 강하연, 김예빈)
- 기본연구 24-09 디지털 경제 활성화를 위한 실물 자산 (Real World Asset) 토큰 시장의 탈중앙화 금융 알고리즘 적용 가능성 연구(김 찬)
- 기본연구 24-10 AI 반도체 정책의 효과성 제고 방안 연구(정현준, 김민식, 오정숙)



● 저 자 소 개 ●

---

김 찬

- University of North Carolina 경제학 박사
- 현 정보통신정책연구원 부연구위원

기본연구 24-09

디지털 경제 활성화를 위한 실물자산토큰(Real World Asset)시장의 탈중앙화 금융 알고리즘 적용 가능성 연구

---

---

2024년 12월 일 인쇄

2024년 12월 일 발행

발행인 김 정 언

발행처 정보통신정책연구원

충청북도 진천군 덕산읍 정통로 18

TEL: 043-531-4114 FAX: 043-535-4695~6

인쇄 인성문화

ISBN 979-11-7000-398-4 93320

---

---

<비매품>