

미국 ETF 시장의 암호화폐 지수 도입 가능성: 시스템 리스크와 포트폴리오 이론의 관점에서

김민석^{1*} · 이도영^{2*} · 임우상^{1*} · 안태찬^{3*} · 최인수^{1*} · 김우창^{1*}

¹KAIST 산업및시스템공학과 / ²경희대학교 산업경영공학과 / ³KAIST 전산학부

On the Possibility of Incorporating Cryptocurrency Index into the U.S. ETF Market: From the Perspective of Systemic Risk and Mean-Variance Portfolio Optimization

Minseok Kim^{1*} · Doyoung Lee^{2*} · Woosang Yim^{1*} · Taechan An^{3*} · Insu Choi^{1*} · Woochang Kim¹

¹Department of Industrial & Systems Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

²Department of Industrial & Managements Systems Engineering, Kyung Hee University

³School of Computing, Korea Advanced Institute of Science and Technology

In this study, we analyzed how the introduction of the cryptocurrency index into the U.S. financial market from a macro perspective affects the market. A cryptocurrency index with several specific categories was introduced into the U.S. financial market and the possibility of introduction into the U.S. market from the perspective of systemic risk and portfolio theory. As a result, the experiment results confirmed that the cryptocurrency index could play a role like existing asset groups. In addition, in this study, the maximum Sharpe ratio in return to investment risk was derived based on modern portfolio theory. This study is significant because it confirmed the possibility of introducing the cryptocurrency index as a new asset in the U.S. ETF market, based on their Sharpe ratio derived from portfolio optimization results.

Keywords: Cryptocurrency, Index, Exchange Trade Fund (ETF), Financial Market, Systemic Risk, Portfolio Theory

1. 서론

상장 지수 펀드(exchange-traded fund, 이하 ETF)는 코스피, 코스닥과 같은 지수를 추종하거나 금, 원자재, 통화 등의 자산 가치를 추종하는 투자 상품이며, 주식 시장에 상장되어 거래 가능한 펀드 상품을 말한다. ETF는 주식, 원자재, 채권 등 자산으로 구성되며 유동성 공급자(LP, Liquidity Provider)와 지정참가자(AP, Authorized Participant)에 의해 순자산가치(net asset val-

ue)로 수렴하게 되는 특성을 가진다.

1993년 1월, 미국 S&P500지수를 추종하는 SPDRs(Standard & Poor's Depository Receipt)라는 이름의 ETF가 최초로 출시되었다. 이후로 미국 시장에서는 각종 지수 및 자산을 매개로 한 다양한 ETF 상품이 등장하였고, 2022년 현재에는 2,000개가 넘는 ETF가 시장에 상장된 상태이다. 미국에서 ETF 시장이 본격적으로 성장한 것은 2008년 미국발 금융위기 이후이다. 사람들은 액티브 펀드의 수익률이 시장의 기초지수 수익률을

* 연락저자 : 김우창 교수, 34141 대전광역시 유성구 대학로 291 E2-2 #3107, 한국과학기술원 산업 및 시스템공학과, Tel : 042-350-3129, Fax : 042-350-3110, E-mail: wkim@kaist.ac.kr

* 공동 제1저자임을 표기

2022년 3월 17일 접수; 2022년 5월 3일 접수, 2022년 5월 10일 수정본 접수; 2022년 5월 30일 게재 확정.

지속적으로 상회하기 어렵다는 점, 장기 투자 시 운용보수가 성과에 미치는 영향이 크다는 점들을 파악하고 대안으로 지수를 추종하는 지수 펀드 ETF 투자를 늘리기 시작했다. 글로벌 ETF 시장 규모는 2005년 4,170억 달러에서 꾸준히 증가하여 2021년 10월 9조 7,000억 달러까지 증가한 상태이다. 2020년 코로나로 인한 세계 경제 대 봉쇄 이후 막대한 유동성이 시장에 공급됨에 따라 자산 시장이 빠른 속도로 충격에서 벗어나면서 글로벌 ETF 시장에 투자가 몰리기 시작했다. 글로벌 ETF 시장에서 2021년 1월~11월 미국 ETF 시장에 유입된 자금 규모는 1조 달러로 2020년 전체 유입액 7,357억 달러를 가뿐하게 돌파했다. 2021년 8월 말 기준으로 그 규모는 이미 10조 달러, 원화로 1경 원을 돌파한 상태이다.

ETF는 투자자에게 다양한 투자 아이디어를 쉽고 편리하게 제공하고, 그것을 매매할 수 있는 주식 거래형 상품을 제공한다는 것에 그 의의가 있다. 오늘날, 지수 추종형 단순 지수 펀드를 넘어서 포트폴리오 자산 배분 비중을 유동적으로 조절하는 액티브 펀드 ETF, 2차전지, 메타버스 등의 다양한 테마형 ETF, 금, 천연가스, 원유 등 원자재형 ETF 등 다양한 종류의 ETF가 시장에 상장되었고, 금융 시장의 다양성은 점점 커지고 있다. 투자자에게 더 다양한 투자 기회를 쉽고 편리하게 제공하는 것임에 따라 이는 금융 시스템의 관점에서 긍정적이라고 볼 수 있다.

이러한 흐름에서 본 연구에서는 최근 금융화가 되어가고 있는 것으로 평가 받고 있는 암호화폐에 대해서 (Ma *et al.*, 2020; Petes *et al.*, 2020; Dylag and Smith, 2021) 암호화폐 ETF가 정착하기 위해 필요한 지수를 생성하여 미국 ETF 시장에 정착했을 때 그 효과를 검증해보고자 한다. 이러한 흐름에서 본 연구는 크게 두 가지 분석으로 이루어져 있다. 첫 번째로 미국 ETF 시장의 취약성(market vulnerability)을 분석한다. 시장의 취약성은 주성분분석(principle component analysis, PCA)을 통한 시스템 리스크(systemic risk)를 측정함으로써 확인 가능하다. Kim *et al.*(2017)에 따르면 미국시장의 경우 2007년 기준 608개의 ETF가 상장되어 있었으나 2016년 12월 기준, 1,705개로 수가 증가하였으며, 해당 기간 동안의 고유벡터 3개를 기반으로 계산한 흡수 비율(absorption ratio)은 0.524에서 0.468로 크게 감소하였다. 이는 미국의 ETF 시장이 성장함에 따라 시스템 리스크 또한 줄어들었음을 시사한다. 따라서 본 연구에서는 도입하고자 하는 자산이 기존 시장의 취약성에 어떠한 영향을 주는지 계량적으로 살펴보고자 하였다.

두 번째로는 암호화폐 지수를 통해 생성된 ETF가 기존 자산들과 대비하여 독립적인 자산으로서의 역할을 수행함과 동시에 투자자들로 하여금 효율적인 투자 기회를 제공할 수 있는지를 살펴보려 한다. 따라서 우선 시장의 다각화를 가능케 하는 역할 수행을 확인하기 위하여 섹터 ETF별 상관계수를 확인하고, 암호화폐 지수 도입 이후의 포트폴리오에 대한 기대수익률과 위험도를 현대 포트폴리오 이론(modern portfolio theory)에 기반하여 분석하고자 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 암호화폐 지수 도입 시 미국 시장에서의 시스템 리스크를 분석하였으며, 3장에서는 암호화폐 지수 도입 시 미국 ETF 시장에서의 포트폴리오를 분석하였다. 4장에서는 실험 결과를 요약하고 본 연구의 의의를 포함한 결과와 함께 결론을 서술하였다.

2. 암호화폐 지수 도입 시 미국 ETF 시장의 시스템 리스크 분석

2.1 이론적 배경

시장의 시스템 리스크를 구하는 과정은 크게 2가지 방법이 있다. 첫 번째는 시장에 financial distress가 가해졌을 때 system을 구성하는 자산 간의 충격을 계산하는 방법이다. 이 방법의 대표적인 예시로 Adrian and Brunnermeier(2006)가 정의한 CoVaR(Comovement Value-at-Risk)이 있다. CoVaR란 특정 회사(i) 주가수익률이 최대손실예상액 수준에 달했다는 재무적 곤경 조건 하에서 해당 권역에 속한 타 회사(j)의 주가수익률의 조건부 최대손실예상액이다. 여기서 최대손실예상액(value-at-risk, 이하 VaR)이란 기업의 포트폴리오가 시장위험으로 인한 금융자산의 가격변화로 입을 수 있는 최대손실 예상액을 추정한 수치를 의미하며, $q\%$ - VaR은 $q\%$ 의 유의 수준에서의 최대 손실 예상액을 의미한다. 단, VaR을 최대손실예상액으로 정의한 Adrian and Brunnermeier (2006)와 달리, 본 연구는 Liu *et al.* (2021)과 같이 최대손실예상수익률을 VaR에 적용하였다. 특정 회사(i)의 일반 상태일 때와 재무적 곤경 상태일 때의 해당 권역에 속한 타 회사(j)의 VaR 차이를 ΔCoVaR 라고 하며, ΔCoVaR 의 값이 0에 가까울수록 특정회사(i)가 재무적 곤경 조건에 도달했을 때 타 회사(j)에 미치는 위험이 적다고 말할 수 있다.

$$\Pr(X^i \leq VaR_q^i) = q \quad (1)$$

$$\Pr(X^j \leq CoVaR_q^{j|C(X^i)} | C(X^i)) = q \quad (2)$$

$$\Delta CoVaR_q^{ji} = CoVaR_q^{j|X^i} - VaR_q^i = CoVaR_q^{j|X^i} - Median^i \quad (3)$$

본 연구에서는 ETF 군집 간의 리스크 전이가 아닌 각 군집이 시스템 리스크에 미치는 영향을 비교하는 것을 목표로 하여 j에 시스템을 대입하였다. 이는 j가 시스템인 경우, 시스템 리스크에 특정 기관(i)가 얼마나 영향을 미치는지를 나타낸다. 시스템에 포함된 한 회사와 시스템 전체의 수익률은 다음과 같은 이변량 정규분포를 따른다고 가정한다.

$$(X_t^i, X_t^{system}) \sim N\left(0, \begin{pmatrix} (\delta_t^i)^2 & \rho_t \delta_t^i \delta_t^{system} \\ \rho_t \delta_t^i \delta_t^{system} & (\delta_t^{system})^2 \end{pmatrix}\right) \quad (4)$$

다변량 정규분포의 특성에 의해, 특정 기관의 수익률에 대한 시스템 수익률의 조건부 분포는 다음과 같은 정규분포를 따른다.

$$X_i^{system} | X_t^i \sim N \left(\frac{X_t^i \sigma_t^{system}}{\sigma_t^i}, (1 - \rho_t^2) (\sigma_t^{system})^2 \right) \quad (5)$$

이러한 가정에서 Mainik and Schaanning (2014)은 $\alpha\%$ -유의 수준($\Phi^{-1}(\alpha)$)을 가진 시스템과 $\beta\%$ -유의 수준($\Phi^{-1}(\beta)$)을 가진 시스템에 포함된 회사의 CoVaR을 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} CoVaR_{\alpha, \beta}(Y|X) &= VaR_{\beta}(Y|X = VaR_{\alpha}(X)) \quad (6) \\ &= \bar{\mu} + \bar{\sigma} \Phi^{-1}(\beta) = \mu_{\gamma} + \sigma_{\gamma} (\rho \Phi^{-1}(\alpha) \\ &\quad + \Phi^{-1}(\beta) \sqrt{1 - \rho^2}) \end{aligned}$$

Φ = cumulative distribution function of univariate Gaussian distribution

시스템에 포함된 한 회사와 시스템 전체가 $q\%$ -유의 수준을 가진다고 할 때 $\Delta CoVaR_q^i$ 는 다음과 같다. $\Delta CoVaR_q^i$ 의 절댓값이 0에 가까울수록 군집 i 가 시스템 리스크에 미치는 영향이 적음을 의미한다.

$$\Delta CoVaR(q, q) = \Phi^{-1}(q) \rho_t \sigma_t^{system} \quad (7)$$

두 번째는 일반적인 상황에서 위험 인자의 집중도를 파악하여 측정하는 방법이며, 대표적인 방법으로는 흡수 비율이 있다. 변수들의 변동성을 가장 많이 설명하는 주성분(principal component)으로 축소하는 과정인 주성분 분석(principal component analysis, PCA)은 경제적으로 의미 있는 위험 인자를 설명할 수 없다는 단점이 있다. 이에 Kritzman *et al.*(2011)은 PCA 결과로 나온 주성분을 이용해 리스크가 나온 요인의 집중도를 측정하는 흡수 비율을 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{Absorption Ratio} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i^2}{\sum_{j=1}^N \sigma_j^2} \quad (8)$$

N = number of assets

n = number of eigenvectors in numerator of absorption ratio

σ_j^2 = variance of the j^{th} asset

λ_i^2 = variance of the i^{th} eigenvector

흡수 비율 값이 1에 가까울수록 주가수익률의 총 분산이 한정된 주성분에 의해 설명된다. 이는 자산들의 수익률 움직임이 적은 수의 위험 인자로 설명됨을 의미하며, 시스템 리스크

가 높은 수준이라는 것을 의미한다.

2.2 미국 ETF 시장 데이터 수집 및 방법론

2022년 1월 12일 기준 미국 금융 시장에 상장된 2,164개 ETF와 시가총액 상위 500개 암호화폐의 2018년 12월 31일부터 2021년 12월 31일까지 가격 증가 데이터를 각각 글로벌 금융 웹사이트인 Investing.com과 CoinMarketCap 웹사이트에서 수집하였다. 해당 기간에 신규 상장했거나 상장 폐지된 종목은 분석에서 제외하였다. 이후 3년 동안의 일별 로그 수익률 데이터를 계산하였다.

선정된 암호화폐들을 통해 다음과 같은 방법으로 암호화폐 지수를 제작하였다. 지수를 구성하기 위해 CoinMarketCap의 암호화폐 카테고리를 참고하였다. 선정된 암호화폐를 50% 이상의 비중으로 포함한 카테고리들을 선정하였다. 이후, 분류된 카테고리들이 포함하고 있는 암호화폐 개수를 평균 내었을 때, 평균 이상의 암호화폐를 포함하고 있는 카테고리들만 다시 선정하였고, 최종 6개의 카테고리를 추려내었다. 암호화폐 지수는 각각의 카테고리를 구성하는 암호화폐를 시가총액 비중으로 구성된 포트폴리오로 이루어졌다. 본 연구에서는 암호화폐 지수의 시간에 따른 비중 변화를 감안하지 않고 고정하였다.

추종하는 지수가 비슷하여 유사한 수익률 움직임을 가지는 경우가 많은 ETF의 특성과 일반적으로 비트코인 수익률을 추종하는 암호화폐 시장의 특성을 종합해보았을 때, 비슷한 수익률 움직임을 가진 ETF들을 군집화하여 분석 대상의 범위를 축소하기로 하였다. 따라서 본 연구에서는 Kim *et al.* (2017)과 같이 ETF 수익률 간의 상관관계로 데이터 포인트 간의 유사성을 측정 후, 이를 이용해 K-평균 군집화를 시행하여 120개의 군집으로 군집화하였다.

군집화가 잘 이루어졌는지 판단하는 지표로 평균 상관관계와 실루엣 계수를 사용하였다. 평균 상관관계란, 각 군집의 중심과 군집 내 자산 간 수익률 상관관계의 평균으로 그 값이 1에 가까울수록 군집화가 잘 되었음을 의미한다. 실루엣 계수란 해당 데이터 포인트와 같은 군집 내에 있는 다른 데이터 포인트와의 거리를 평균한 값과 해당 데이터 포인트가 속하지 않은 군집 중 가장 가까운 군집과의 평균 거리를 기반으로 계산한 값이다. 실루엣 계수는 -1과 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 군집화가 잘 되었음을 의미한다.

본 연구에서 시행한 K-평균 군집화의 평균 상관관계는 0.9이며, 평균 실루엣 계수는 0.678이다. 이는 비슷한 수익률 움직임을 가진 ETF들끼리 잘 군집화된 것을 의미한다.

2.3 결과 분석

(1) CoVaR 분석

시간의 흐름에 따른 CoVaR의 변화를 보기 위해 200일 단위의 이동창을 통해 계산 후, 암호화폐 지수 군집과 타 ETF 군

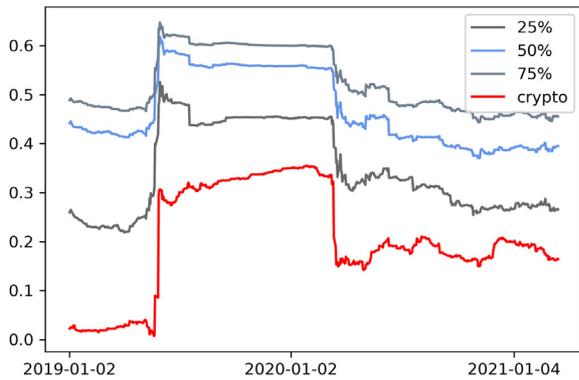


Figure 1. ΔCoVaR of U.S. ETF & Cryptocurrency Index by period

집의 ΔCoVaR의 절댓값을 비교하였다. 이동창을 통해 구간별 ΔCoVaR의 절댓값이 상위 25%, 50%, 75%인 값들과 비교한 결과를 다음 <Figure 1>과 같은 그래프 형태가 나타났다.

그래프에서 볼 수 있듯, 암호화폐 지수로 구성된 군집의 ΔCoVaR의 절댓값이 모든 이동창의 이동 구간에서 상위 75% 이하의 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 비록 시간이 지날수록 상위 75% ΔCoVaR의 절댓값과 암호화폐 지수의 ΔCoVaR의 절댓값의 차이가 감소하는 추세이긴 하나, 암호화폐 지수의 ΔCoVaR의 절댓값이 여전히 0.2 정도로 작다. 이는 주어진 기간 내에서 암호화폐 지수 군집이 다른 ETF 군집과 비교하여 시스템 리스크에 미치는 영향이 현저히 적음을 의미한다.

(2) 흡수 비율(absorption ratio) 분석

시스템 리스크 측정을 위해 주성분들의 수를 달리해가며 암호화폐를 포함한 시스템과 암호화폐를 포함하지 않은 시스템의 흡수 비율을 비교해보았다. 앞서 언급했듯이, 흡수 비율이 1에 가까울수록 N개의 주성분에 의해 크게 좌우되며, 시스템 리스크에 취약하다는 것을 의미한다. 주성분들의 개수에 따른 흡수 비율의 차이는 <Table 1>과 같다.

<Table 1>에서 알 수 있듯, 주성분들의 개수에 상관없이 암호화폐 지수 군집을 포함한 시스템의 흡수 비율이 평균적으로 0.028 정도 작음을 확인하였다. 이는 암호화폐 지수 군집을 포함했을 때 시스템 리스크의 충격이 더 완화됨을 의미한다.

Table 1. Comparison of Absorption Ratio between Case 1 and Case 2(Case 1 is the Market which Incorporating Cryptocurrency Index, Whereas Case 2 is not)

number of principal components	Case 1	Case 2	Difference
2	0.618	0.645	0.027
3	0.696	0.726	0.03
4	0.753	0.783	0.03
5	0.801	0.829	0.028
6	0.838	0.861	0.023

결론적으로 암호화폐 지수 군집을 포함한 시장이 그렇지 않은 시장에 비해 시스템 리스크에 미치는 영향이 더 적었다. 암호화폐 지수의 개수가 현저히 적음에도 불구하고 이러한 결과를 보여준다는 것은 암호화폐 지수의 미국 ETF 시장 도입이 시스템 리스크 관점에서 더 긍정적인 효과를 불러일으킬 수 있다는 것을 의미한다.

3. 암호화폐 지수 도입 시 미국 ETF 시장의 포트폴리오 분석

3.1 이론적 배경

(1) Sharpe 비율

모든 투자자는 투자를 통해 최대한 높은 수익을 기대하며 동시에 투자의 변동성, 즉 위험을 회피하고자 한다. 그러나 높은 수익이 기대되는 투자는 높은 수준의 위험을 동반하기 때문에, 높은 수익률을 안정적으로 달성한다는 것은 매우 어려운 일이다. 결국, 투자자는 자신의 성향에 따라 적합한 포트폴리오를 구성하게 된다. 예를 들어, 보수적인 투자 성향의 투자자는 낮은 기대수익률을 가지더라도 낮은 위험도를 가지는 포트폴리오를 원하고, 공격적인 성향의 투자자는 높은 위험도를 감수하고자라도 높은 기대수익률을 가지는 포트폴리오를 원한다. 하지만 모든 투자자는 자신이 원하는 기대수익률을 만족하는 포트폴리오 가운데 가장 낮은 위험도를 가지는 포트폴리오를 선호한다.

이렇게 포트폴리오의 기대수익률과 기대위험은 상충관계(trade-off)이며 이것을 자세히 설명한 것이 1990년에 노벨 경제학상을 수상한 해리 M. 마코위츠(Harry M. Markowitz)가 제시한 ‘포트폴리오 이론(Portfolio Selection Theory)’이다. 마코위츠는 투자자가 포트폴리오를 구성할 경우에, 포트폴리오의 기대수익률과 기대위험도(즉, 수익률에 대한 분산)를 이용할 것을 제안했다. 이러한 마코위츠의 이론을 바탕으로, 정해진 투자 대상 종목에 대하여 투자자가 요구하는 최저요구기대수익률을 만족하면서도 기대위험도를 최소화하는 포트폴리오를 찾을 수 있게 된다(Choi et al., 2013).

본 연구에서는 2018년 12월 31일부터 2021년 12월 31일까지 최근 3년을 분석 기간으로 설정하였으며, 포트폴리오 성과 측정에 있어서 Sharpe 비율을 사용하였다. 이는 투자 포트폴리오의 수익률이 정규분포임을 가정하며, 실제 금융 시장의 수익률은 평균보다 한쪽에 치우쳐져 있다는 점에서 한계점을 가지지만 현대 포트폴리오 이론에서 투자의 위험 대비 수익을 나타내는 가장 대표적인 지수이며, 투자자들이 위험 대비 수익률을 판단하기 위해서 윌리엄 F. 샤프(William F. Sharpe)로부터 제안되었다. 최대 샤프 지수가 높을수록 해당 시장에서 얻을 수 있는 위험 대비 수익이 높다고 할 수 있다. 따라서 더 낮은 수익률을 가지는 유사한 포트폴리오 및 펀드와 비교하여 샤프 지수가 높다면 긍정적으로 판단될 수 있다. 샤프 지수가 1.0 이상일 경우에, 해당 포트폴리오 및 펀드가 유의미하게 평

가되는 것이 일반적이지만, 이는 절대적이지 않기 때문에 유사한 상품들과의 비교가 필요하다. n 개 자산의 수익률 벡터가 \hat{r} 로 표현되고, 무위험 수익률(risk-free rate) r_f 이 존재 할 때, 이 각각의 자산에 투자하는 포트폴리오 w 가 존재할 때 이 포트폴리오의 샤프 지수는 다음과 같다.

$$\text{Sharpe Ratio}(w) = \frac{E(w^T r) - r_f}{\text{Std}(w^T r)}$$

위의 식에서 $E(w^T r)$ 는 투자 포트폴리오의 기대수익률을, $\text{Std}(w^T r)$ 는 투자 포트폴리오 수익률의 표준편차를 의미한다. 본 연구에서는 현시점에서 암호화폐 선물 ETF만이 시장에 상장된 상황에서, 개별 암호화폐 자산들의 카테고리에 기반하여 분류·구성한 현물 상장지수펀드(ETF)의 Sharpe 비율 분석을 통해 미국 ETF 시장 도입 가능성을 평가한다.

(2) Sharpe 비율 최대화 모형

접선 포트폴리오(TP: tangency portfolio)란, 샤프지수 최대화의 목적함수를 만족시키도록 구성종목들의 보유비중을 결정한 포트폴리오를 말한다. 이 지점에서 Sharpe 비율은 최대화되고, 이는 효율적 투자선 내에서 위험률 대비 가장 높은 수익률을 얻을 수 있는 지점을 의미한다. 임의의 n 개 자산의 수익률 벡터가 \hat{r} 와 같이 표현된다고 가정하자. 이 수익률 벡터의 평균과 공분산을 각각 $E(r) = \mu$, $\text{Cov}(r) = S$ 로, 그리고 n 개 자산에 대한 투자 포트폴리오를 w 로 표현했을 때, 샤프 지수(Sharpe 비율)를 최대화하는 자산 배분 결정 문제는 다음과 같다.

$$\max_w \frac{w^T \mu - r_f}{\sqrt{w^T S w}} \tag{9}$$

- subject to $\mathbf{1}^T w = 1$
- w = portfolio 가중치 벡터
- μ = expected return vector of n securities
- S = return covariance matrix of n securities
- r_f = risk-free rate
- $\mathbf{1}$ = n -dimensional vector of ones

하지만 위 식은 컨벡스 최적화 문제에 속하지 않기 때문에, 일반적으로 풀었을 때 해답의 최적성을 보장할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 Iyengar and Kang (2005)에 제시된 샤프 지수 최대화 문제에 대한 컨벡스 문제로의 재수식화 결과를 활용하였으며, 이는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\max_{y, t} \mu_c^T y \tag{10}$$

- subject to $\mathbf{1}^T y = t$
- $t \geq 0$

$$y^T \sum y \leq 1$$

- $\frac{y}{t}$ = portfolio weight vector
- μ_c = excessive expected return vector of n securities
- \sum = return covariance matrix of n securities

여기서 결정변수 y 는 n -차원 실수 벡터이며, t 는 0보다 크거나 같은 실수이다. 위 식은 QCQP(Quadratically Constrained Quadratic Programming) 문제로 컨벡스 최적화 문제이기 때문에, 일반 solver를 통해 풀어도 매우 효율적으로 해답을 찾을 수 있으며 그 해답의 최적성이 보장된다.

본 연구에서는 일반적인 ETF의 관념 상 공매도를 고려하지 않고 가중치 벡터의 모든 요소의 범위를 양수인 [0.0, 1.0]로 설정하였다(Kim, 2017).

(3) 미국 ETF 종류별 암호화폐 지수와 상관계 비교

암호화폐 지수들이 기존의 미국 ETF 시스템에 도입되었을 때 새로운 자산군이 될 수 있는지 알아보기 위해 상관관계를 사용하였다. 통상적으로 좋은 투자 대상이라고 부르는 것은 기존의 자산군에 대해서 추가로 다각화가 가능함을 보이는 것이다. Chris *et al.* (2016)은 기존의 자산군과 새로운 자산의 상관관계의 절댓값이 0에 가까울수록 다각화에 따른 risk 감소 효과가 크며, 일반적으로 상관관계의 절댓값이 0.5 정도면 다각화에 따른 risk 감소 효과가 적합하다고 주장하였다.

3.2 결과 분석

(1) 미국 ETF 섹터별 암호화폐 지수와 상관계 비교 결과
미국 ETF 섹터별 암호화폐 지수와 상관계 비교는 다음과 같이 이루어졌다. 미국 ETF는 Investing.com에서 제시한 섹터에 따라 금융자산(equity), 채권(bond), 상품 선물(commodity), 환(currency), 기타(others)로 분류하였다. <Table 2>의 표는 섹터별 ETF들의 기초 통계량을 나타낸 것이다. χ^2 는 D'Agostino-Pearson omnibus test의 통계량이며 우측은 χ^2 의 p-value로 정규성을 모든 데이터가 정규성을 만족하지 않는 것을 확인할 수 있다. *, **, ***은 각각 0.1, 0.05, 0.01 수준에서 해당 데이터의 정규성이 기각됨을 의미한다.

아래의 <Table 3>은 섹터별 수익률 평균으로 계산한 상관관계 행렬이다.

암호화폐 지수들의 움직임은 지난 3년 동안 다른 섹터들의 ETF와 움직임과 분리되었다. 암호화폐 지수는 타 섹터들과 계속해서 낮은 상관관계를 유지하는 유일한 자산이었다.

(2) 기간별 상관관계 분석

전체 기간의 상관분석은 기간 내 투자환경 변화를 고려하지 못하므로 분산 효과의 변화 추이를 효과적으로 확인하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 이동창(moving win-

Table 2. Descriptive Statistics of ETF Sectors

	Mean	Min	max	Q1	Median	Q3	Skewness	Kurtosis	χ^2	p-value (χ^2)
equity	4.572e-04	-0.111	0.072	-0.004	0.001	0.006	-2.254	21.9350	472.722	0.000***
bond	1.633e-04	-0.036	0.020	-0.005	0.000	0.001	-4.143	61.645	763.152	0.000***
other	-2.551e-05	-0.089	0.423	-0.002	0.000	0.003	-3.241	35.770	628.902	0.000***
commodity	1.501e-05	-0.050	0.040	-0.003	0.001	0.005	-1.310	7.272	254.055	0.000***
currency	2.038e-07	-0.005	0.003	-0.000	0.000	0.000	-7.330	5.012	147.183	0.000***
crypto	3.087e-03	-0.454	0.224	-0.016	0.001	0.023	-0.933	13.339	250.631	0.000***

Table 3. Correlation Matrix of Average Return by ETF Sectors

	equity_mean	bond_mean	other_mean	commodity_mean	currency_mean	crypto_mean
equity_mean	1.000	0.643	0.865	0.594	0.434	0.281
bond_mean	0.643	1.000	0.735	0.435	0.435	0.221
other_mean	0.865	0.735	1.000	0.542	0.432	0.257
commodity_mean	0.594	0.435	0.542	1.000	0.429	0.228
currency_mean	0.434	0.435	0.432	0.429	1.000	0.124
crypto_mean	0.281	0.221	0.257	0.228	0.124	1.000

dow)을 통해 연속적인 분산 효과의 변화 추이를 확인하였다. 암호화폐 지수와 타 섹터 ETF들의 상관관계를 200일 간격으로 관찰한 결과는 <Figure 2> 그래프와 같다. 그래프의 x축은 200일 이동창의 첫 날짜를 의미한다.

위 그래프를 통해 암호화폐 지수들과 타 섹터 ETF들의 상관관계가 대부분 0.5 이하임과 동시에 타 섹터 ETF들 간의 상관관계보다 월등히 낮음을 확인할 수 있었다. 다만, 특정 기간 동안의 모든 상관관계가 급등하는 현상이 나타났는데, 이는 코로나 발생이라는 대외적인 변수 때문에 나타난 것으로 추정된다. 이 기간에서 또한 암호화폐 지수들과 타 섹터 ETF들의 상관관계가 다른 상관관계들에 비해 월등히 낮음을 확인할 수 있다.

이는 암호화폐 지수가 어떠한 환경에서도 다각화를 가능케 하는 자산으로서 기능함을 의미한다. 따라서 암호화폐 지수의

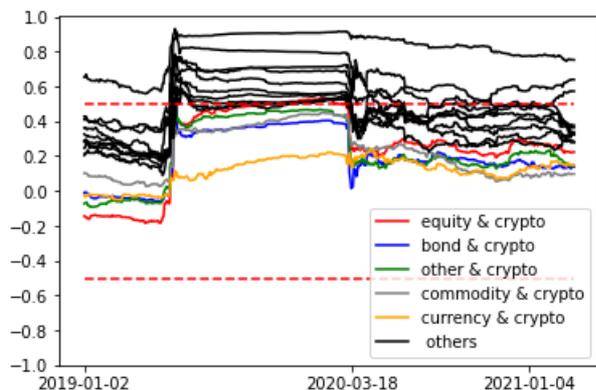


Figure 2. Correlation between ETFs of Each Sector by Rolling

미국 ETF 시장으로의 도입은 수익 측면에서 이득일 뿐만 아니라 암호화폐 지수가 새로운 투자 자산으로 기능하여 시장의 다양성을 높일 것으로 기대한다.

(3) 효율적 투자선과 Sharpe 비율 분석

최대 샤프 지수 측정은 3.1 이론적 배경에서 설명한 모형을 통해 이루어졌으며, 2018년 12월 31일부터 2021년 12월 31일 까지의 일별 로그 수익률(log-return)을 사용하였다. 무위험 수익률(risk-free rate)은 10년 미국 국고채 수익률을 기준으로 2.018%로 가정하였다. 기존에 위험 자산만 존재할 경우, 투자자 별 투자 성향의 차이가 존재하기 때문에 효율적 투자선 중 무엇이 선호된다고 이야기하기에는 어려움이 존재한다. 그러나 1-펀드 이론(one-fund theorem)에 따르면, 무위험 자산을 포함함으로써 수익률-위험도 평면에서 가능한 모든 투자 포트폴리오 중 가장 왼쪽 위에 위치하는 투자 포트폴리오를 만들 수 있게 된다. 따라서 무위험 자산에서 시장 포트폴리오로 연결하는 직선인 자본시장선 (capital market line, CML)을 그릴 수 있게 되며 접선 포트폴리오(tangency portfolio)를 구할 수 있다.

본 연구에서는 기존의 미국 ETF 시장으로의 암호화폐 지수 도입에 따른 효율적 경계선(효율적 투자선)의 변화를 분석해 보았다. Markowitz의 포트폴리오 선정 이론에 기반한 분산 투자의 효과로 인하여 포트폴리오의 기대수익률은 감소시키지 않으면서 비체계적인 위험이 줄어들 것으로 예상된다. 효율적 경계선은 현대 포트폴리오 이론의 가장 상징적인 개념 중 하나로 평가된다. 자산별 포트폴리오 비율을 설정하는 데 있어 몬테 카를로 시뮬레이션 기법을 적용하였으며 무작위로 생성하였다. <Figure 3>에서는 효율적 경계선을 시각화한 결과이다.

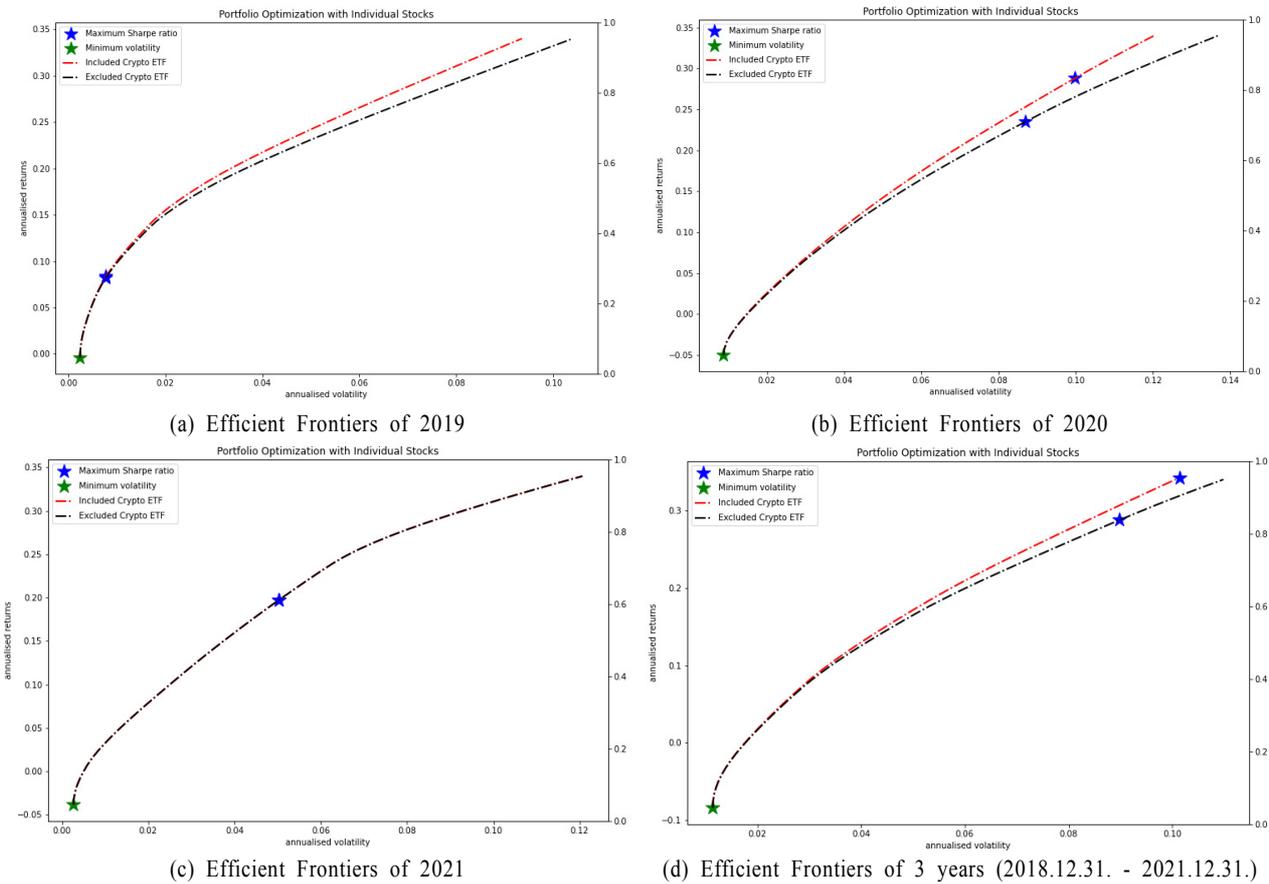


Figure 3. Efficient Frontier

2019년 기존의 미국 ETF 시장과 암호화폐 지수 도입 이후 미국 ETF 시장 포트폴리오의 최대 Sharpe 비율은 5.982이며, 이때 수익률과 위험도는 각각 0.08, 0.01로 나타났다. 정리하자면 Sharpe 비율 측면에서는 암호화폐 지수의 도입 효과가 미미한 것으로 보이나, 효율적 경계선 측면에서는 도입 효과가 충분히 있는 것으로 나타났다. 따라서 이는 동일 기대수익률 대비 더욱 안정적인 투자를 할 수 있다고 본다.

2020년 기존의 미국 ETF 시장 포트폴리오의 최대 Sharpe 비율은 2.331이며, 이때 수익률과 위험도는 각각 0.23, 0.09로 나타났다. 암호화폐 지수 도입 이후 미국 ETF 시장의 접선 포트폴리오의 Sharpe 비율은 2.698이며, 이때 수익률과 위험도는 각각 0.29, 0.1로 나타났다. 정리하자면 Sharpe 비율 및 효율적 경계선 측면 모두 암호화폐 지수의 도입 효과가 충분히 있는 것으로 나타났다. 따라서 기대수익률 및 위험도 측면에서 투자자가 더욱 효율적인 투자를 가능케 할 것으로 보인다.

2021년 기존의 미국 ETF 시장과 암호화폐 지수 도입 이후 미국 ETF 시장 포트폴리오의 최대 Sharpe 비율은 3.596이며, 이때 수익률과 위험도는 각각 0.2, 0.05로 나타났다. 정리하자면 Sharpe 비율 및 효율적 경계선으로부터 암호화폐 지수의 도입 효과는 미미한 것으로 해석할 수 있다.

전체 분석 기간(2018.12.31 - 2021.12.31)에서의 기존의 미국 ETF 시장 포트폴리오의 최대 Sharpe 비율은 2.833이며, 이때

수익률과 위험도는 각각 0.29, 0.09로 나타났다. 암호화폐 지수 도입 이후 미국 ETF 시장 포트폴리오의 최대 Sharpe 비율은 3.05이며, 이때 수익률과 위험도는 각각 0.34, 0.1로 나타났다. 정리하자면 전체 분석 기간 동안 암호화폐 지수의 도입은 투자 위험 대비 수익률 측면에서 긍정적인 효과를 보였다.

4. 결론

ETF는 상장 지수 펀드로 주식처럼 거래 가능한 상품이다. 1980년대 말부터 시작하여 2000년대에 본격적으로 상용화된 ETF는 운용 비용이 적게 들고 쉽게 거래할 수 있다는 장점이 있어 오늘날 많은 투자자에 의해 거래되고 있다. 한편 암호화폐가 새로운 자산으로 등장하면서 기존 금 ETF, 원유 ETF처럼 암호화폐 ETF를 상장하려는 방안이 금융권에서 활발하게 논의되고 있다. 2021년 최초의 암호화폐 선물 ETF가 캐나다에서 상장되었고, 뒤이어 2021년 10월 19일 미국 자산운용사 Proshares에서 BITO라는 이름의 암호화폐 선물 ETF를 뉴욕증권거래소에 상장하였다. 시카고 상품거래소(CME)에 상장된 암호화폐 선물을 추종하는 ETF는 상장비 비교적 쉬웠으나, 현재 암호화폐 현물은 제도권 안에 도입되지 않았기 때문에 암호화폐 현물 ETF의 상장에 대해서는 금융계에서 많은 논의가

이루어지고 있다. 암호화폐는 디지털 가상 자산으로 모든 거래가 전산화되어 암호화폐 거래소에서 진행되고 있다. 따라서 LP에 의한 유동성 공급 및 운용사의 차익 거래를 전산화하여 자산 가격을 추종하도록 설계하는 것은 기술적으로 충분히 가능하며, 괴리율 문제 역시 더 적을 것으로 예상된다. 이미 암호화폐는 많은 사람이 자산으로 인식하고 있으므로, 암호화폐 현물 ETF를 도입한다면 증권거래소에서 기존의 주식 거래 방법으로 암호화폐 ETF를 매매할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 거시적인 관점에서 암호화폐 지수를 미국 금융 시장에 도입하는 것이 시장에 어떠한 영향을 주는지 분석하였다. 몇 개의 특정 카테고리를 가진 암호화폐 지수를 미국 금융 시장에 도입해보고 전후의 변화를 시스템 리스크와 포트폴리오의 관점에서 비교 분석함으로써 미국 시장으로의 도입 가능성을 살펴보았다.

시스템 리스크는 시장에 재무 곤경(financial distress) 상태가 되었을 때 금융 시장을 구성하는 자산들 사이의 충격을 계산하는 CoVaR과 일반적인 상황에서 위험 인자의 집중도를 파악하여 측정하는 흡수 비율을 사용하여 비교하였다. 분석 결과, CoVaR과 흡수 비율 모두 암호화폐 지수를 포함한 시스템이 포함하지 않은 시스템보다 더 긍정적인 결과를 보였다. 이는 암호화폐 지수가 기존 시장에 도입된다면 다양성을 제공해 시장의 외부 또는 내부 충격을 완화할 수 있음을 의미한다.

앞서 암호화폐 지수의 도입은 시스템적 취약성을 보완함으로써 투자자들에게 충분한 리스크 관리가 가능한 포트폴리오를 제공할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 암호화폐 지수를 도입한 미국 ETF 시장에 대한 포트폴리오 분석을 진행하였다. 미국 ETF 종류별 암호화폐 지수와 상관관계를 비교해본 결과, 암호화폐 지수가 기존의 자산군과 대비하여 다각화를 가능케 하는 역할을 수행할 수 있음을 확인하였다. 이는 암호화폐 지수의 도입이 분산 투자의 효과를 발생시켜 포트폴리오의 기대수익률을 감소시키지 않으면서 비체계적 위험을 줄여줄게 함을 시사한다. 또한, 본 연구에서는 투자 위험 대비 수익률 측면에서 최대 Sharpe 비율을 현대 포트폴리오 이론을 기반으로 도출해보았다. 그 결과, 암호화폐 지수의 미국 시장으로의 도입은 다각화를 가능케 하는 역할 뿐만 아니라, 기대수익률 및 위험도 측면에서도 투자자에게 더욱 효율적인 투자 기회 제공으로 다가갈 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 주식과 채권이라는 자산군으로 대표되는 미국 ETF 시장에 암호화폐라는 새로운 자산으로의 도입 가능성을 시스템 리스크와 포트폴리오 분석을 활용하여 확인했다는 점에서 의의를 지닌다. 또한, 고위험 고수익의 투자 성향을 띠는 고객군에 같은 투자 위험 대비 더욱 높은 기대수익률을 제공할 것으로 기대된다. 다만, 본 연구에서는 암호화폐 지수를 주어진 카테고리를 참고하여 제작하였으나, 암호화폐가 만들어지는 기반 기술이나 시가총액 기준 등과 같이 다양한 방식으로 지수 및 ETF를 제작한다면 기존 금융 시장에 도입하기 좋은 ETF를 선별할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- Adrian, T. and Brunnermeier, M. K. (2016), CoVaR, *American Economic Review*, **106**(7), 1705-1741.
- Burniske, C. and White, A. (2017), *Bitcoin: Ringing the bell for a new asset class*, Ark Invest.
- Choi, J.-H., Jung, J.-B., and Kim, S.-M. (2013), Development and evaluation of an investment algorithm based on markowitz portfolio selection model: case studies of the U.S. and the Hong Kong Stock Markets, *Korean Management Science Review*, **30**(1), 73-89.
- Dylag, M., & Smith, H. (2021). From cryptocurrencies to cryptocourts: blockchain and the financialization of dispute resolution platforms. *Information, Communication & Society*, 1-16.
- Kim, B.-H., Lee, Y., Kwon, D.-G., and Kim, W.-C. (2017), A study on the Korean ETF market: Systematic risk and the optimal ETF introduction sequence, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **43**(6), 482-491.
- Korea Exchange (2022.02). KRX Market Data System, Available from: <http://data.krx.co.kr>
- Kritzman, M., Li, Y., Page, S., and Rigobon, R. (2011), Principal components as a measure of systematic risk, *The Journal of Portfolio Management*, **37**(4), 112-126.
- Liu, B. Y., Ji, Q., Nguyen, D. K., and Fan, Y. (2021). Dynamic dependence and extreme risk comovement: The case of oil prices and exchange rates. *International Journal of Finance and Economics*, **26**(2), 2612-2636.
- Ma, Y., Ahmad, F., Liu, M., & Wang, Z. (2020). Portfolio optimization in the era of digital financialization using cryptocurrencies. *Technological forecasting and social change*, 161, 120265.
- Peters, M. A., Green, B., & Yang, H. (2020). Cryptocurrencies, China's sovereign digital currency (DCEP) and the US dollar system. *Educational Philosophy and theory*, 1-7.

저자소개

김민석 : KAIST 산업및시스템공학과 학사과정에 재학 중이다.

이도영 : 경희대학교 산업경영공학과 학사과정에 재학 중이다.

임우상 : KAIST 산업및시스템공학과 학사과정에 재학 중이다.

안태찬 : KAIST 전산학부 학사과정에 재학 중이다.

최인수 : 경희대학교 산업및경영공학과에서 2018년 학사, KAIST 산업및시스템공학과에서 2021년 석사학위를 취득하고 KAIST에서 산업및시스템공학과 박사과정에 재학 중이다. 연구분야는 금융공학, 경제물리학, 포트폴리오 최적화, 금융화이다.

김우창 : 서울대학교 산업공학과에서 1999년 학사, 2001년 석사학위를 취득하고 2007년 Princeton University에서 Operations Research & Financial Engineering 박사학위를 취득하였다. 2009년부터 KAIST 산업및시스템공학과 교수로 재직하고 있다. 연구분야는 최적화, 금융 공학이다.

<부록 1>

섹터별 시총 기준 상위 20개 펀드 (펀드명 오름차순 정렬)

no.	equity (1587)	bond (317)	commodity (116)	currency (24)	other (119)
1	AAM S&P 500 Sector High Dividend	Peritus High Yield	Barclays Bank iPath Silver ETN	Guggenheim CurrencyShares Euro	AdvisorShares Pacific Asset Enhanced FI Rate
2	AAM S&P Emerging Markets Sector High Dividend	Newfleet Multi-Sector Income	Barclays Bank iPath Gold ETN	Guggenheim CurrencyShares Japanese Yen	Star Global Buy-Write
3	The Acquirers Fund ETF	AdvisorShares Sage Core Reserves	iPath Bloomberg Commodity Index Total Return(SM) ETN	Guggenheim CurrencyShares Australian Dollar	Cohen & Steers Global Reality Majors
4	Ranger Equity Bear	Madrona Global Bond	iPath S&P GSCI Crude Oil Total Return	Guggenheim CurrencyShares British Pound Sterling	Aptus Defined Risk ETF
5	AdvisorShares Dorsey Wright Short	Anfield Universal Fixed Income ETF	iPath Bloomberg Cocoa Subindex Total Return Exp 24 June 2038	Guggenheim CurrencyShares Swiss Franc	Assured Guaranty Municipal Holdings Inc
6	AdvisorShares Pure Cannabis	ALPS RiverFront Strategic Income	iPath Bloomberg Natural Gas Subindex Total Return	Guggenheim CurrencyShares Canadian Dollar	iPath S&P 500 Dynamic VIX Exp 18 Aug 2021
7	AdvisorShares Focused Equity	American Century Diversified Corporate Bond	Barclays Bk PLC iPath Bloomberg Grains Subindex Total Return Exp 22nd Oct 2037	Guggenheim CurrencyShares Swedish Krona	Barclays Bank iPath US Treasury Long Bond Bull
8	WCM/BNY Mellon Focused Growth ADR	Arrow Dow Jones Global Yield	iPath Pure Beta Crude Oil Exp 18 Apr 2041	Guggenheim CurrencyShares Chinese Renminbi	BlackRock MuniAssets Closed Fund
9	AdvisorShares Vice ETF	iShares iBonds Dec 2025 Term Muni Bond ETF	iPath Pure Beta Broad Commodity Exp 18 Apr 2041	PowerShares DB US Dollar Bullish	Cambria Global Asset Allocation
10	AdvisorShares DoubleLine Value Equity ETF	iShares Inflation Hedged Corporate Bond	iPath S&P GSCI Total Return Index ETN	PowerShares DB US Dollar Bearish	DeltaShares S&P EM 100 & Managed Risk ETF
11	AdvisorShares Dorsey Wright Micro-Cap	iShares US Aggregate Bond UCITS Acc	Barclays Bank iPath Bloomberg Lead Sub Total Return	PowerShares DB G10 Currency Harvest	Direxion Daily Homebuilders & Supplies Bull 3X Shares
12	AdvisorShares Cornerstone Small Cap	iShares \$ Short Duration Corp Bond UCITS USD Acc	Breakwave Dry Bulk Shipping	ProShares UltraShort Euro	Direxion Daily Real Estate Bull 3X Shares
13	AdvisorShares New Tech and Media	iShares \$ Treasury Bond 3-7yr UCITS ETF USD (Acc)	Credit Suisse X Links Gold Shares Covered Call	ProShares Ultra Euro	Direxion Daily MSCI Real Estate Bear 3X Shares
14	AdvisorShares Sabretooth ETF	iShares \$ Floating Rate Bond UCITS USD Acc	Credit Suisse X Links Silver Shares Covered Call	ProShares UltraShort Yen	Direxion Daily Regional Banks Bull 3X Shares
15	AGFiQ Global Infrastructure ETF	iShares \$ High Yield Corp Bond UCITS USD Acc	DB Gold Double Short Exp 15 Feb 2038	ProShares Ultra Yen	Direxion Daily S&P 500 Bull 2X Shares
16	AGFiQ Dynamic Hedged U.S. Equity ETF	Cambria Global Momentum	DB Agriculture Short	ProShares Short Euro	Direxion Daily Regional Banks Bear 3X Shares
17	Alpha Architect Value Momentum Trend	Cambria Sovereign Bond	Direxion Auspice Broad Commodity Strategy ETF	ProShares UltraShort Australian Dollar	Direxion Daily Pharmaceutical & Medical Bull 3X Shares ETF

no.	equity (1587)	bond (317)	commodity (116)	currency (24)	other (119)
18	MomentumShares U.S. Quantitative Momentum	Columbia Multi-Sector Municipal Income ETF	Rogers International Commodity Total Return	Morgan Stanley Market Vectors 2X Euro	Direxion Daily Small Cap Bull 2X Shares
19	MomentumShares International Quantitative Momentum	Columbia Diversified Fixed Income Allocation	Rogers International Commodity Agriculture Total Return	Morgan Stanley Market Vectors Double Short Euro	Direxion Daily Small Cap Bull 1.25X Shares
20	Alpha Architect Freedom 100 Emerging Markets	Deutsche Bank FI Enhanced Global High Yield	Rogers International Commodity Energy Total Return	Morgan Stanley Market Vectors Renminbi USD	Doubleline Opportunistic Credit