

외환 시장 포트폴리오 선정 모형과 투자 알고리즘 개발 및 성과평가

최재호 · 정종빈 · 김성문[†]

연세대학교 경영대학

Development and Evaluation of a Portfolio Selection Model and Investment Algorithm in Foreign Exchange Market

Jaeho Choi · Jongbin Jung · Seongmoon Kim

School of Business Yonsei University

■ Abstract ■

In this paper, we develop a portfolio selection model that can be used to invest in markets with margin requirements such as the foreign exchange market. An investment algorithm to implement the proposed portfolio selection model based on objective historical data is also presented. We further conduct empirical analysis on the performance of a hypothetical investment in the foreign exchange market, using the proposed portfolio selection model and investment algorithm. Using 7 currency pairs that recorded the highest trading volume in the foreign exchange market during the most recent 10 years, we compare the performance of 1) the Dollar Index, 2) a 1/N Portfolio which equally allocates capital to all N assets considered for investment, and 3) a hypothetical investment portfolio selected and managed according to the portfolio selection model and investment algorithm proposed in this paper. Performance is compared in terms of accumulated returns and Sharpe ratios for the 10-year period from January 2003 to December 2012. The results show that the hypothetical investment portfolio outperforms both benchmarks, with superior performance especially during the period following financial crisis. Overall, this paper suggests that a mathematical approach for selecting and managing an optimal investment portfolio based on objective data can achieve outstanding performance in the foreign exchange market.

Keywords : Portfolio Selection Model, Nonlinear Programming, Performance Comparison, Sharpe Ratio, Foreign Exchange Market

1. 서 론

높은 유동성을 가진 외환 시장은 현재 전 세계에서 가장 거대한 시장 가운데 하나이다. 국제결제은행(BIS)의 2010년 통계보고서[28]에 따르면, 2010년 외환 시장의 하루 평균 거래량은 약 4조 달러에 달하며, 이는 우리나라 주식 시장의 약 500배에 달하는 수치이다. 많은 국가들이 외환 시장의 동향에 촉각을 곤두세우고 있으며, 다양한 경제 주체들이 각각의 목적을 가지고 외환 시장에 참여하고 있다. 월 스트리트에서는 1990년대 후반부터 외환 시장에 개인투자자를 유치하기 위해서 외환중개업체들이 생겨나기 시작하였다. 기존 외환 시장에 개인이 참여하기 어려웠던 이유는 바로 기본 거래단위가 \$100,000이기 때문인데, 이러한 기존 외환 시장의 진입장벽을 낮추기 위해 외환중개업체들은 FX 마진(Foreign Exchange Margin) 시장을 형성하여 증거금(margin)을 이용한 거래를 도입함으로써 소액으로도 거래를 할 수 있게 하였다. 이러한 증거금은 외환 시장의 중요한 특징으로 자리잡게 되었다. 외환 시장에 다양한 주체들이 참여하는 목적 가운데 하나는, 환율의 변동을 잘 예측하고 직접 투자하여 수익을 내는 것이다. 그러나 정보 기술의 발달로 전 세계에서 벌어지고 있는 주요 이슈를 실시간으로 접할 수 있게 된 현대 사회에서 외환 시장은 매우 효율적인 시장의 모습을 보여주고 있기 때문에, 이 시장에서 수익을 내기란 쉽지 않은 일로 여겨지고 있다.

이러한 외환 시장에 대하여 많은 연구들이 기술적인 방법을 사용한 투자 기법을 통하여 시장 수익률을 초과하고자 노력하였으며, 수리적인 기법을 통하여 환율의 움직임을 예측하고자 하였다. 먼저 기술적인 투자 기법으로 Sweeny[25]는 1973년부터 1980년까지 10개의 통화에서 Filter Rule을 이용한 투자 기법이 리스크 대비 높은 수익을 올릴 수 있음을 실증적으로 보였으며, Lukac et al.[18]은 영국 파운드와 독일 마르크가 포함된 투자 포트폴리오에서 몇 가지의 기술적인 투자 기법이 좋은 성과를 보일 수 있음을 주장하였다. 이러한 초창기

외환 시장 투자 연구의 기술적인 투자 기법들에 대한 통계적 유효성을 보여주는 후속 연구들도 등장하였는데, Levich and Thomas[17]와 LeBaron[16]과 Taylor[26]는 외환 시장에서 1970년대 중반부터 1990년대 초반까지의 기간 동안 다양한 기술적인 기법을 이용한 투자가 높은 수익률을 달성할 수 있으며, Bootstrap 기법을 이용하여 이러한 수익이 통계적으로 유의미함을 보여주었다.

그러나 이러한 시도에 대하여 Olson[22]은 1990년대 이전의 투자와는 달리, 1990년대 이후에는 기술적인 투자 정책이 외환 시장에서 시장 수익률을 초과하는 성과를 달성하기 어렵다고 보고하였다. Marsh[21] 역시 Markov Switching Model이 외환 시장에서 좋은 예측법이 아님을 주장하며, 1990년대 이후로는 외환 시장에서의 기술적인 기법을 통한 투자의 수익률이 감소하는 현상을 지적하였다. Frankel and Froot[10]는 1980년대 중반 이후로 많은 사람들이 거시적인 지표로 바탕으로 향후 외환 시장을 분석하기 보다는 기술적인 분석을 통한 예측을 선호하게 되었다고 주장하였는데, 이러한 현상은 1990년을 기점으로 이전에 기술적인 분석이 가지던 이점이 점차 사라지고, 시장 수익률을 초과하는 성과를 거두기 어려워지는 현상을 설명해 주고 있다.

기술적인 투자 기법 이외에도 다양한 이론을 이용한 수익률 예측 연구도 활발하게 이루어졌다. Hsieh[12]는 ARCH와 GARCH 모형이 많은 통화의 가치를 더 정확하게 예측할 수 있다고 주장하였으며, Kuan and Liu[15]는 Feedforward와 Recurrent Neural Network와 같은 기법들이 몇 가지 통화에 대해 Random Walk 예측 보다 더 낮은 예측 오류를 기록함을 보고하였다. Tenti[27]는 Recurrent Neural Network 기법을 이용한 몇 가지 투자 전략을 구성하고 이 투자 전략들 간의 성과를 서로 비교하였으며, Huang and Lai[13]는 Artificial Neural Network를 이용한 다양한 예측 기법들을 소개하고, Artificial Neural Network가 좋은 예측 모형이 될 수 있다고 주장하였다. 국내 통화 시장에서의 연구도 이루어졌는데, 류시영[4]은 원/달러 통화 시장에서 다양한 시

계열분석 방법을 통하여 환율 변동을 보다 정확하게 예측할 수 있으며, 특히 Wavelet 변환을 이용한 투자를 통해서 우월한 수익률을 기록할 수 있다고 주장하였다. 김보미, 김재희[1]는 원/달러 가격을 예측하는데 있어서 ARIMA와 IGARCH 모형을 결합한 것이 실제로 나타난 환율의 변동성을 잘 반영한다고 주장하였다.

그러나, 현재까지 진행된 이와 같은 연구들은 몇 가지 한계도 가지고 있다. 먼저 위의 연구들은 실험 대상을 주로 한 가지 통화쌍에 한정시켰으며, 다양한 통화쌍의 공분산을 고려하여 환 자산을 포트폴리오로 관리하는 연구가 매우 부족해 보인다. 또, 최근 연구[2, 3, 5, 6]에서 대표적 금융 시장 중 하나인 주식 시장에서 포트폴리오 이론을 바탕으로 한 투자가 활발하게 연구되는 것과 달리, 외환 시장에서는 대부분의 연구가 한 가지 통화쌍의 움직임을 예측하여 수익을 올리고자 하는 반면에 치중되어 있다. 이에 따라, 외환 시장과 같이 증거금을 기반으로 거래가 이루어지는 시장에서의 포트폴리오 선정 모형에 대한 연구가 부족한 실정이다. 또한, 비교적 변동성이 적고 안정적인 기간 동안 기술적 투자가 효용성이 별로 없음을 보이는 연구들에 비하여, 2008년 금융위기 이후로 짧은 시간 동안 심하게 요동치는 외환 시장 상황에 대해서 기술적 투자의 성과에 변화가 있었는지를 파악하는 시도가 거의 없는 것으로 보인다.

이와 같은 한계에 대하여 본 연구는 종목 간 공분산을 고려한 마코위츠 포트폴리오 모형에 기반을 두어 외환 시장에서 효과적인 분산투자에 활용할 수 있는 새로운 수학적 투자 모형을 개발하여 제안한다. 본 연구에서 제시하는 새로운 투자 모형은 기존 연구에서 잘 다루지 않았던 통화쌍 간 공분산과 증거금을 모두 고려하고 있으며, 외환 시장뿐만 아니라 선물이나 옵션과 같이 증거금을 이용하여 투자를 진행하는 다양한 시장에서 활용할 수 있도록 고안되었다. 더불어, 이 모형을 실제 투자에 적용하기 위한 투자 알고리즘을 개발해서 함께 제안한다. 또한, 본 연구에서 제시하는 투자 모형과 알고리즘의

성과를 실제 시장에서 분석하기 위하여 가상 투자 실험을 하였으며, 투자구간을 변동성이 적고 안정적인 기간과 최근 급격하게 변동성이 높아진 기간을 모두 포함하도록 2003년부터 2012년까지 최근 10년으로 설정하였다. 투자구간에서 알고리즘의 성과를 보다 자세하게 분석하기 위하여 2008년 9월 금융위기 이전과 이후의 투자 성과를 비교하고, 각 구간에서 투자 알고리즘이 어떤 흐름을 보이고 있는지 살펴보았다. 이 때, 시장에서 가장 신뢰를 얻고 있는 기축 통화인 미국 달러(USD)의 상대적인 가치를 나타내는 Dollar Index와, 모든 투자 가능한 N개의 자산에 동일한 비중으로 투자하는 1/N Portfolio를 벤치마크로 선정하여 본 논문에서 제시하는 투자 모형과 알고리즘의 성과를 외환 시장에서 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 투자 모형의 기본이 되는 마코위츠의 포트폴리오 선정 모형에 대하여 간략하게 정리하여 설명하고, 외환 시장의 특성을 고려하여 본 논문에서 새롭게 개발한 포트폴리오 선정 모형에 대하여 설명한다. 제 3장에서는 기대수익률과 공분산 데이터를 과거 자료에 기반해서 구한 뒤, 정해진 주기마다 새로 개발한 포트폴리오 선정 모형을 이용하여 포트폴리오를 구성하고 투자하는 알고리즘에 대하여 설명한다. 제 4장에서는 본 연구에서 제시한 모형과 투자 알고리즘에 따라 운영되는 가상 펀드의 성과를 벤치마크와 비교 분석하고, 마지막 제 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향에 대해서 제시하도록 하겠다.

2. 외환 시장 포트폴리오 선정 모형

제 2장에서는 본 논문에서 새롭게 개발한 포트폴리오 선정 모형을 소개한다. 제 2.1절에서는 주식시장에서 널리 알려진 마코위츠 포트폴리오 선정 모형을 간략하게 설명하고, 이를 기반으로 제 2.2절에서는 외환 시장의 특성을 반영하여 본 논문에서 개발한 포트폴리오 선정 모형을 제안한다.

2.1 마코위츠 포트폴리오 선정 모형

이번 장에서는 마코위츠의 포트폴리오 선정 모형[19]을 이용하여 분산 투자를 위한 포트폴리오를 구성하는 방법을 간단히 설명한다. 모형에 사용되는 변수 및 상수 등을 기호로 정의하면 다음과 같다.

- N : 포트폴리오에 포함되는 투자 대상 종목의 수
- x_i : 포트폴리오에서 종목 i 에 투자하는 비율 ($i=1, 2, \dots, N$)
- μ_i : 종목 i 의 기대수익률($i=1, 2, \dots, N$)
- σ_i : 종목 i 의 수익률에 대한 표준편차 ($i=1, 2, \dots, N$)
- σ_{ij} : 종목 i 와 j 의 수익률에 대한 공분산, $\sigma_{ii} = \sigma_i^2$ ($i, j=1, 2, \dots, N$)
- K : 포트폴리오에 설정한 최저요구기대수익률
- V : 포트폴리오의 수익률에 대한 분산(기대위험도)

정의된 변수 및 상수에 대한 기호를 사용하여 비선형계획법으로 세워진 마코위츠의 포트폴리오 선정 모형은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } V = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^N \mu_i x_i \geq K \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1 \quad (3)$$

$$x_i \geq 0 \quad \text{for } i=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

위의 모형은 공매도가 없다는 가정 하에 포트폴리오의 기대수익률($\sum_{i=1}^N \mu_i x_i$)이 설정된 최저요구기대수익률(K)을 만족시키도록 하고, 가용 금액을 100% 투자하면서, 포트폴리오의 분산(V)을 최소화하는 최적의 투자 비중($x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*$)을 구하는 것을 목표로 한다. 위의 모형에서 공매도가 허용될 경우 수식 (4)의 비음수조건이 없는 형태가 되는데, 그런 경우 투자자의 성향에 따른 최적 포트폴리오 계산법은 Markowitz[20]에 구체적으로 소개가 되어있다. 위의 모형은 비선형계획법 모형 중에서 목적함수가 한

계 체감(decreasing marginal return)을 보이고 제약조건식이 모두 선형인 이차계획(quadratic programming)의 경우로, 상용 소프트웨어를 이용하여 글로벌 최적해를 효율적으로 구할 수 있다[11].

2.2 외환 시장에서의 포트폴리오 선정 모형

앞서 설명한 마코위츠 모형은 주식 시장에서 포트폴리오를 선정하는 데에 유용하게 사용 되는 반면, 외환 시장에서는 곧바로 적용하기 어렵다. 투자자가 증거금 없이 종목을 거래하는 주식 시장과는 달리 외환 시장에서는 증거금을 바탕으로 거래가 이루어지는데, 이로 인해 주식 시장에서의 매수, 매도와 외환 시장에서 매수, 매도 포지션의 개념이 달라지기 때문이다. 구체적으로 살펴보면, 주식 시장에서는 매수를 할 경우 어떤 회사의 주식을 매수하고 그 대가로 현금을 지불하는 형태의 거래가 이루어지며, 매도는 주식을 팔고 현금 받는 형태의 거래가 이루어진다. 반면, 투자자가 증거금 없이 자산을 매수 또는 매도하는 주식 시장의 거래와는 다르게, 외환 시장에서는 투자자가 증거금을 중개업자에게 맡기고 통화쌍의 매수 혹은 매도 포지션의 거래를 요청해야 한다. 만약 거래에서 손실이 발생한다면 중개업자는 투자자가 맡긴 증거금에서 손실이 발생한 만큼 차감하게 되는 것이다.

외환 시장에서 어떤 통화쌍에 대하여 매도 포지션을 취하는 것은 해당 통화쌍에 음수의 비중으로 투자를 하는 것으로 간주하여, 식 (4)를 삭제한 뒤 최적 투자 비중을 구하면 된다고 잘못 생각하기 쉽다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이, 외환 시장에서의 투자는 증거금을 기반으로 이루어지기 때문에, 각 통화쌍에 대한 투자 비중의 절대값의 합이 1을 넘기게 되면 투자 가능한 증거금을 초과하게 된다. 예를 들어, 비음수 조건을 삭제한 모형에서 A종목과 B종목에 각각 투자금의 -20%, 120% 비중으로 투자한다면 주식 시장의 경우, A종목을 공매도하여 발생한 현금을 B종목의 매수에 투자하게 되어 투자가 가능해진다. 하지만 외환 시장에서는 A종

목의 매도 포지션 투자에 대해서도 똑같이 20%에 해당하는 증거금을 설정해야 하기 때문에 위의 경우 총 투자액이 증거금의 140%가 되어 투자가 불가능해진다. 따라서 증거금을 이용한 투자의 경우, 마코위츠 모형에서 얻은 해로는 투자가 불가능하며, 식 (4)의 비음수 조건을 삭제하는 방법을 사용할 수 없다.

이러한 문제는 해당 통화쌍에 대하여 매수 포지션을 취하는 경우와 매도 포지션을 취하는 경우를 서로 다른 종목으로 설정하고 식 (4)의 비음수 조건을 삭제하지 않음으로써 해결할 수 있다. 다만 이렇게 투자를 하게 될 경우에는 동일 종목을 매수함과 동시에 매도를 하게 되어 수수료만 지불하는 비효율적인 상황이 발생할 수 있다. 이러한 상황을 방지하기 위하여 새롭게 제약조건을 추가하여 특정 통화쌍에 대하여 매수 포지션을 취할 경우 동일 통화쌍은 매도 포지션을 취하지 않고, 또 그 반대로 매도 포지션을 취할 경우 매수 포지션을 취하지 않도록 할 필요가 있다.

본 논문에서는 이와 같은 외환 시장의 고유한 특성을 고려한 포트폴리오 선정 모형을 개발하고, 이 모형을 마진 포트폴리오 선정 모형이라고 명명한다. 마진 포트폴리오 선정 모형에 사용되는 변수 및 상수 등을 기호로 정의하면 다음과 같다.

- y_i : 포트폴리오에서 통화쌍 i 의 매수 포지션에 투자하는 비율($i=1, 2, \dots, N$)
- y_{i+N} : 포트폴리오에서 통화쌍 i 의 매도 포지션에 투자하는 비율($i=1, 2, \dots, N$)
- τ_i : 통화쌍 i 의 매수 포지션의 기대수익률 ($i=1, 2, \dots, N$)
- τ_{i+N} : 통화쌍 i 의 매도 포지션의 기대수익률 ($i=1, 2, \dots, N$)
- ρ_i : 통화쌍 i 의 매수 포지션의 수익률에 대한 표준편차($i=1, 2, \dots, N$)
- ρ_{i+N} : 통화쌍 i 의 매도 포지션의 수익률에 대한 표준편차($i=1, 2, \dots, N$)
- ρ_{ij} : 통화쌍 i 와 j 의 매수 및 매도 포지션의

수익률에 대한 공분산, $= \rho_{ii} = \rho_i^2$

($i, j=1, 2, \dots, 2N$)

- z_i : 통화쌍 i 의 매수 포지션에 대한 투자 여부 (0 = 투자 금지, 1 = 투자; $i=1, 2, \dots, N$)
- z_{i+N} : 통화쌍 i 의 매도 포지션에 대한 투자 여부 (0 = 투자 금지, 1 = 투자; $i=1, 2, \dots, 2N$)

정의된 변수 및 상수에 대한 기호를 사용하여 새롭게 제안하는 마진 포트폴리오 선정 모형은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } V = \sum_{i=1}^{2N} \sum_{j=1}^{2N} \rho_{ij} y_i y_j \quad (5)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^{2N} \tau_i y_i \geq K \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{2N} y_i = 1 \quad (7)$$

$$z_i = \text{binary for } i=1, 2, \dots, 2N \quad (8)$$

$$y_i \leq z_i \quad \text{for } i=1, 2, \dots, 2N \quad (9)$$

$$z_i + z_{i+N} \leq 1 \quad \text{for } i=1, 2, \dots, N \quad (10)$$

$$y_i \geq 0 \quad \text{for } i=1, 2, \dots, 2N \quad (11)$$

기존의 마코위츠 포트폴리오 선정 모형에서 종목 i 의 투자 비중을 x_i 로 설정한 반면, 마진 포트폴리오 선정 모형은 통화쌍 i 에 대한 투자 비중을, 통화쌍 i 에 대한 매수 포지션 투자 비중인 y_i 와 매도 포지션 투자 비중인 y_{i+N} 으로 나누었다. 또한 하나의 통화쌍에 대하여 매수와 매도 포지션을 동시에 취하지 않도록 하기 위해 마코위츠 모형에 없던 변수 z_i 와 z_{i+N} 을 추가하였다. 식 (8)에 나타나듯, z_i 는 통화쌍 i 에 대하여 매수 포지션을 취할 경우 1의 값을, 매수 포지션을 취하지 않을 경우 0을 가지는 이진(binary) 변수이며, z_{i+N} 은 매도 포지션을 취할 경우 마찬가지로 정의된 이진변수이다. 이 때, 식 (9)를 통해 z_i 와 z_{i+N} 의 값이 0일 경우에 해당 통화쌍의 매수 혹은 매도 포지션에 투자하지 않도록 설정하였다. 식 (10)은 같은 통화쌍에 대하여 매수와 매도가 동시에 일어나는 것을 방지하기 위한 제약조건이다. 식 (11)의 비음수 조건과 식 (7)에서 총 합을 1로 유지하도록 하는 제약조건을 추가하여 전체 투자 총액이 투자자의

증거금을 초과하지 않도록 설정한다. 이러한 제약조건을 바탕으로 설정된 위 모형은, 앞서 언급한 초과투자 문제와 매수 및 매도 포지션에 동시에 투자하는 문제를 해결할 수 있다. 이와 같은 문제는 외환 시장뿐만 아니라, 옵션, 파생상품 시장을 비롯하여 증거금을 기반으로 거래가 이루어지는 모든 시장에서 발생하는 문제이다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 마진 포트폴리오 선정 모형은 단순히 외환 시장에만 적용 가능한 것이 아니라, 증거금을 바탕으로 매수, 매도 포지션을 취하여 거래가 이루어지는 모든 시장으로 확장될 수 있다.

위 모형에서 목적함수의 2차항 계수를 나타내는 행렬이 $2N$ 개의 투자 종목(즉, N 개의 통화쌍에 대한 매수/매도 포지션 각각)의 공분산행렬로 반정부호(positive semi-definite)행렬이라는 점에서는 마진 포트폴리오 선정 모형과 식 (1)~식 (4)로 표현되는 마코위츠의 포트폴리오 선정 모형이 동일하게 볼록 이차계획(convex quadratic programming)의 특성을 가진다. 반면, 마코위츠의 비선형계획 모형과는 달리 마진 포트폴리오 선정 모형은 제약 조건 중 이진변수 z_i 를 도입하여 이차계획(quadratic programming)의 조건을 만족하지 못한다. 하지만 N 개의 통화쌍 i 에 대한 매수/매도 포지션을 결정하는 이진변수의 쌍(pair) (z_i, z_{i+N}) 의 경우의 수 $(0, 0)$, $(1, 0)$, $(0, 1)$ 에 따라 본 논문의 모형을 최대 3^N 개의 이차계획 하위 문제(quadratic programming subproblem)로 나눌 수 있고, 각각의 하위 문제는 글로벌 최적해가 보장된다.

본 연구는 위에서 제안한 마진 포트폴리오 선정 모형의 글로벌 최적해를 찾는 효율적인 알고리즘을 고안하기 보다는, 적절한 소프트웨어를 사용하여 찾은 글로벌 최적해를 바탕으로 진행한 투자의 성과를 평가하는 데에 초점을 둔다. 따라서, 마진 포트폴리오 선정 모형의 최적해를 찾기 위하여 본 연구에서는 소프트웨어 *What's Best?*에서 제공하는 Global Solver 기능과 Integer Solver 기능을 이용하여 글로벌 최적해를 찾는다. Hillier and Lieberman[11]의 12장 10절에 의하면, 마진 포트폴리오 선정 모형과

같이 다수의 이차계획 하위 문제로 나누어지는 모형에 대해서 *What's Best?*의 Global Solver는 branch-and-bound 알고리즘으로 모든 하위 문제의 국부 최적해(local optimum)를 평가하여 글로벌 최적해를 보장한다.

3. 외환 시장에서의 투자 실험

3.1 투자 대상

투자를 진행할 통화쌍은 기축통화인 USD가 포함된 주요 기본 통화쌍 중, 최근 10년간 가장 거래가 많았던 통화쌍 7개를 선정하였다. <표 1>은 선정된 통화쌍에 관한 정보를 기입한 것이다.

<표 1> 외환 시장 거래량 상위 7개 통화쌍

통화쌍	월 평균 거래량 (단위 : 10 million USD)
USD/JPY	16,342,665
EUR/USD	16,131,604
USD/CHF	11,585,090
GBP/USD	8,835,944
USD/CAD	7,284,118
NZD/USD	6,077,819
AUD/USD	5,882,459

앞서 제 2장에서 설명한 마진 포트폴리오 선정 모형을 바탕으로 본 연구에서는 <표 1>에 나온 7개의 통화쌍을 매수와 매도 포지션의 경우를 구분하여 총 14개의 자산에 투자를 진행한다. 이 때, 각 종목의 기대수익률, 표준편차, 종목간 공분산을 계산함에 있어서는 과거의 연구 결과[14, 23]를 바탕으로 외환 종목의 과거 수익률 자료를 이용한 단순 이동평균법을 적용한다.

본 연구에서는 기축 통화인 USD의 상대적 가치를 나타내는 대표적 지수인 Dollar Index와 투자 가능한 N 개의 자산에 동일한 비중으로 투자하는 $1/N$ Portfolio를 벤치마크로 선정하였다. Dollar Index는 유로(EUR), 일본 엔(JPY), 영국 파운드(GBP), 캐나다 달러(CAD), 스웨덴 크로네(SEK), 스위스 프랑(CHF)

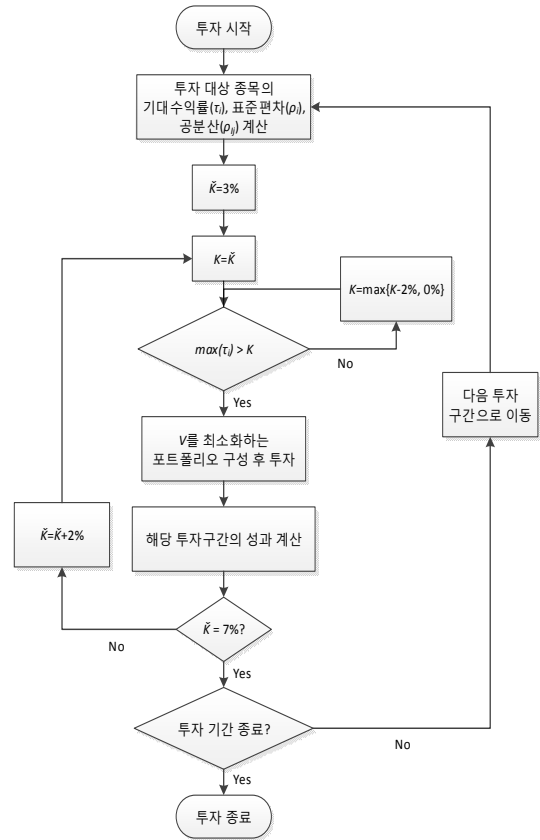
에 대한 USD 가치를 지수화한 것으로, 1973년 3월을 기준점으로 하여 미국 연방준비제도이사회(FRB)에서 발표하며, 각 국가의 경제규모에 비례해 통화의 비중이 결정된다. 1/N Portfolio는 전체 자산을 동일한 비중으로 나누어 각 종목에 투자하는 것으로, 포트폴리오 투자의 성과를 살펴보는 다양한 연구[7, 9]에서 벤치마크로 활용되는 투자방법이다. 본 실험에서는 최근 10년간 가장 거래가 많았던 통화쌍 7개에 동일한 비중으로 매수 포지션을 취하며, 매달 1/N로 리밸런싱하는 전략으로 포트폴리오를 운영한다.

3.2 투자 기간

본 실험에서는 2003년 개장일인 1월 2일부터 2012년 12월 31일 폐장일까지의 최근 10년을 실험 기간으로 설정하고 이 기간 동안 제 2장에서 소개한 마진 포트폴리오 선정 모형을 이용하여 가상으로 투자하는 실험을 진행한다. 이 기간은 전 세계 시장에서 큰 이벤트가 없었던 2003년부터 시작하여 2007년 말 미국의 서브프라임 모기지 사태 및 2008년 9월 리만 브라더스 발 금융 위기로 세계 경제가 위기에 빠졌던 시기와 그 뒤로 이어진 2011년 말 그리스 재정위기와 유럽발 금융위기 등을 모두 포함하고 있다. 이처럼 다양한 변화가 관찰되는 기간에 대해 실험을 함으로써, 상대적으로 안정적인 시기뿐만 아니라 급격한 경기 침체와 같은 경제 현상에 대해 모형의 효용성을 살펴보고자 한다.

3.3 투자 알고리즘

본 연구에서는 외환 시장 관련 데이터를 제공하는 중개업체[8]에서 해당 기간의 전월대비 절대 수익률을 수집하여 마진 포트폴리오 모형의 입력값이 되는 각 종목 i 의 기대수익률(τ_i)과 표준편차(ρ_i), 종목 i 와 j 의 공분산(ρ_{ij})을 바탕으로 마진 포트폴리오 모형을 이용하여 최적 포트폴리오를 구성하였다. 자료참조기간은 리밸런싱 시점마다 가장 최근 1년으로 설정하였다. [그림 1]은 투자 프로세스를 하나의 순서도로 정리한 것이다.



[그림 1] 실험과정 순서도

과거 데이터를 기반으로 각종 입력값을 계산한 뒤, 마진 포트폴리오 선정 모형을 실제 투자에 적용하기 위해서는 투자자가 최저요구기대수익률(K)을 설정해야 한다. K 를 설정하는 데에 있어서는 투자자의 성향에 따라 차이가 있을 것이다. 높은 위험을 감수하더라도 많은 수익을 달성하고자 하는 투자자는 상대적으로 큰 K 를 선택하는 반면, 수익률이 다소 낮아도 위험을 적게 감수하고자 하는 투자자는 상대적으로 낮은 K 를 선택할 것이다. 본 연구에서는 다양한 투자자의 성향을 반영함과 동시에, 다른 시장에 비하여 변동성이 상대적으로 높지 않은 외환 시장의 특성을 고려하여 K 를 설정하고자 하였다. 먼저 보수적인 관점에서 투자하는 포트폴리오를 만들기 위하여 3%를 가장 낮은 K 값으로 설정하였으며, 외환 시장의 변동성이 크지 않은 점

을 고려하여 가장 높은 K 를 7%로 설정하여 상대적으로 높은 수익률을 추구하는 포트폴리오를 만들었다. 마지막으로 이 두 값의 중간 값인 5%로 투자를 하는 포트폴리오를 만들어, 투자를 시작하는 시점에 서로 다른 K 값을 가지는 3개의 개별적인 포트폴리오에 동일한 금액을 투입하여 총 10년간 각각 운영하는 방식으로 투자를 진행한다. 만약, K 값을 만족시킬 수 없는 투자 시점의 경우, K 값을 2%p씩 낮춰서 투자를 진행하도록 한다. 실제 투자 실험에서는 K 값이 3%일 경우 모든 투자 구간에서 K 값을 만족하는 통화쌍이 존재하기 때문에 2%p씩 낮춰서 투자를 진행하는 경우는 발생하지 않았다.

또한 과거 수익률 데이터를 바탕으로 마진 포트폴리오 선정 모형을 이용하여 포트폴리오를 설정한 뒤 시간이 지나면서 생긴 외환 시장의 변화를 반영하기 위하여 일정한 간격으로 리밸런싱을 통해 포트폴리오를 재구성하였다. 본 연구에서 사용하는 데이터가 월간 데이터이기 때문에, 포트폴리오 리밸런싱 주기는 새로운 데이터가 들어오는 주기와 동일한 1개월로 설정하였다. 위와 같은 프로세스를 통해 운영되는 가상 펀드를 이하 장에서는 'FX Fund'라고 칭하겠다.

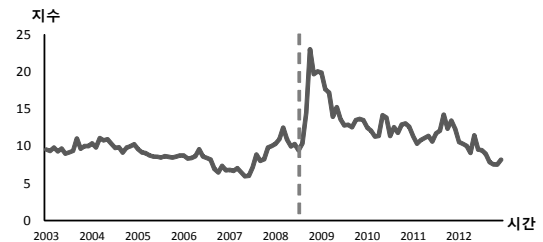
4. 투자 결과 비교

본 연구에서는 2003년 개장일부터 2012년 폐장일 까지 최근 10년에 걸친 투자 기간에 대한 FX Fund의 성과를 살펴보고, 특히 외환 시장의 전반적인 움직임에 따라 금융위기 이전과 이후로 구분되는 각 구간에 대해 수익률 측면에서 살펴본다. 이 때, 금융 위기의 기준점으로 삼는 지점은 2008년 9월 리만 브라더스의 파산이며, 2008년 9월 이전까지의 시기를 금융위기 이전으로 분류하고 2008년 10월부터 2012년 12월까지를 금융위기 이후의 구간으로 설정하였다. 이 때, 각 구간의 누적수익률뿐만 아니라 샤프 지수(Sharpe ratio)를 이용하여 FX Fund와 벤치마크 지수의 성과를 비교하였다. 샤프 지수는 포트폴리오가 달성한 수익률을 포트폴리오 수익률의 변동성으로

나눈 비율로 나타낸 지수로서, 그 숫자가 높을수록 위험대비 높은 수익률을 달성하여 효율적인 포트폴리오임을 나타낸다. 본 논문에서 샤프 지수를 계산하는 데에는 Sharpe[24]에서 제시한 ex post Sharpe ratio의 계산법을 따랐다. 또한 K 값에 따라서 투자 성과가 어떻게 달라지는지를 파악하기 위하여 각 K 값별로도 누적수익률 및 샤프 지수를 비교하였다.

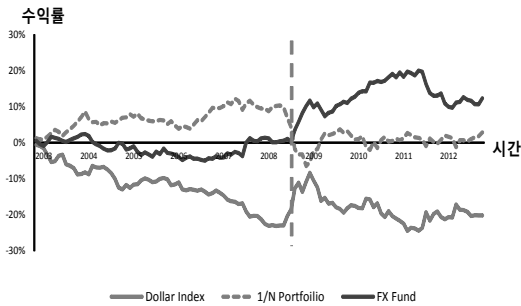
4.1 외환 시장 투자 결과

본 연구의 실험에서는 실험 구간을 2008년 9월 리만 브라더스 파산 이전과 이후 두 구간으로 나누었다. 두 구간의 특징을 변동성 측면에서 비교하기 위하여 JP Morgan에서 외환 시장의 변동성을 수치화하기 위해 주요 7개국 통화의 변동성을 지수로 만든 JP Morgan G7 Volatility Index를 살펴보고자 한다. [그림 2]는 2003년부터 2012년까지 JP Morgan G7 Volatility Index의 움직임을 나타낸 그래프이다.



[그림 2] JP Morgan G7 Volatility Index

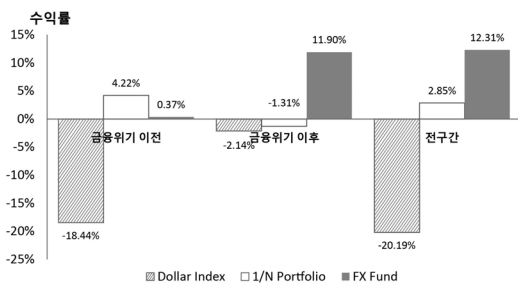
지수의 움직임은 2008년 9월 리만 브라더스 파산을 기점으로 큰 변화를 보이게 된다. 금융위기 이전에는 지수의 평균값이 9.05였던 반면, 금융위기 이후에는 지수의 평균값이 12.60으로 약 40% 증가하였다. 이는 금융위기 이전보다 금융위기 이후에 변동성이 크게 증가하였으며 시장의 특성이 바뀌었음을 시사한다. 따라서 본 연구는 금융위기 이전의 시장을 안정적인 시장으로 파악하고, 금융위기 이후의 시장이 변동성이 급증한 시장으로 파악하여, 환경이 서로 다른 시장에 대하여 각 투자 모형이 어떠한 성과를 내는지를 파악해 볼 것이다.



[그림 3] 시간에 따른 누적수익률의 변화

먼저 [그림 3]은 전체 실험 구간의 시간에 따른 Dollar Index, 1/N Portfolio, FX Fund의 누적수익률 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 외환 시장에서 Dollar Index는 2003년부터 2012년까지 최근 총 10년 동안 20.19% 하락하였다. 이는 가장 안전한 자산 중 하나라고 여겨지는 USD에 대한 투자가 항상 옳지는 않는다는 사실을 보여준다. 효율적인 투자 중 하나로 여겨지는 1/N Portfolio는 같은 기간 동안 2.85%의 수익을 거두었으며, FX Fund의 경우 같은 기간에 누적수익률 12.31%를 달성함으로써 다른 벤치마크에 비하여 우수한 성과를 기록하였다.

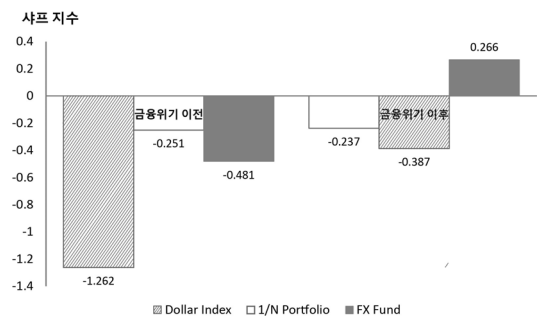
누적수익률 그래프에서 2008년 금융위기를 기점으로 각 투자 모형의 수익률이 크게 변하는 것을 확인할 수 있다. 이 시기에 발생한 금융위기로 인하여 바뀐 외환 시장의 특성으로 인해 금융위기 이전과 이후의 투자 성과가 크게 차이가 난다고 유추해 볼 수 있다. [그림 4]에서 금융위기 이전과 이후의 수익률을 비교하였다.



[그림 4] 금융위기 전후의 수익률

금융 위기 이전 시기의 투자에서 Dollar Index는 -18.44%의 수익률을 보여주고 있다. 이는 안전 자산이라고 여겨지는 USD의 가치 하락이 매우 심하게 일어났음을 의미한다. 반면, 1/N Portfolio는 4.22%의 수익률로 가장 좋은 성과를 보여주고 있는데, 이는 투자 대상 통화쌍 7개 가운데 4개의 통화쌍에서 USD를 매도했기 때문이다. 이에 비해 각 통화쌍의 매수와 매도 포지션을 자유롭게 활용하는 FX Fund의 투자 성과는 0.37%의 수익률로 크게 내리지도 오르지도 않는 모습을 보여주고 있다.

그러나 전 세계 시장에 강한 쇼크를 몰고 온 리만 브라더스 파산 이후로 투자는 급격하게 다른 양상을 보이게 된다. Dollar Index는 이 구간에서 역시 -2.14%로 좋지 못한 모습을 보여주고 있으며 1/N Portfolio는 금융위기 이전과는 달리, -1.31%을 기록함으로써 Dollar Index와 크게 차이가 나지 않는 성과를 보여준다. 그러나 FX Fund의 투자 수익률은 11.90%로 다른 어떠한 벤치마크보다 월등히 좋은 모습을 발견할 수 있다. 따라서 금융위기 이후 바뀐 시장의 특성 때문에 투자 모형의 성과가 달라졌다고 해석할 수 있으며, 금융위기 이전의 시장에서 어떠한 투자방법이 월등하다는 결론을 내리기 어려운 반면, 변동성이 증가한 시장 상황에서는 마진 포트폴리오 선정 모형을 이용하는 FX Fund의 성과가 월등하다고 할 수 있다. [그림 5]는 이러한 차이를 샤프 지수 측면에서 살펴본 것이다.



[그림 5] 각 구간별 샤프 지수

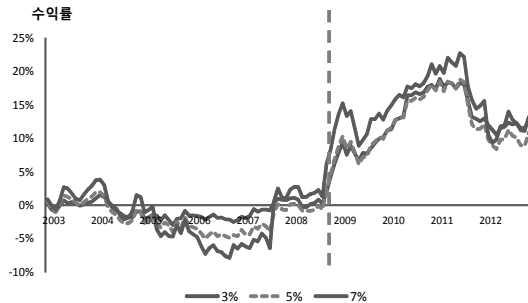
앞서 살펴본 차이를 조금 더 자세히 분석하기 위하여 변동성을 함께 고려한 샤프 지수를 구간별로 살펴보

았다. 금융위기 이전의 투자구간에서는 세 가지 모형 모두 좋지 않은 성과를 보이고 있는 반면, 금융 위기 이후의 투자에서는 FX Fund의 샤프 지수가 다른 벤치마크에 비하여 훨씬 더 좋다고 말할 수 있으며, 모든 구간에 걸쳐서 유일하게 양의 값을 보여주고 있다.

이러한 실험 결과는 중요한 시사점을 가지고 있다. 금융위기 이전의 외환 시장은 상당히 효율적인 시장으로서 어떠한 투자 모형이 확실하게 우월함을 보인다고 말할 수 없었다. 이는 기존의 연구들의 기술적인 투자가 시장 수익률을 초과하는 수익률을 거두기 어렵다는 주장을 뒷받침해 주고 있다. 그러나 글로벌 금융위기 이후의 시장은 이전과는 상당히 다른 모습을 보이고 있으며, 이전에 비하여 변동성이 심해지고 효율성이 떨어진 시장에서 본 연구가 제시한 마진 포트폴리오 선정 모형을 활용한 투자방법이 다른 벤치마크에 비하여 다양한 측면에서 우월한 성과를 보이고 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 제시하는 마진 포트폴리오 투자의 성과로 비추어 볼 때, 금융 위기 이후와 같이 변동성이 큰 시기에는 마진 투자 포트폴리오 모형을 통하여 우수한 성과를 거두는 것이 가능한 것으로 보인다.

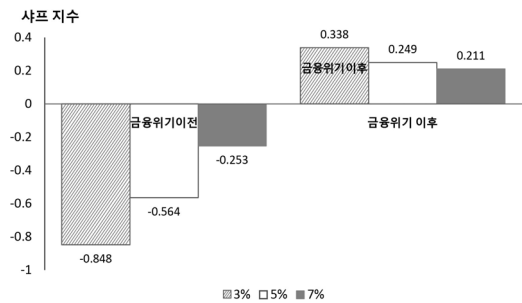
4.2 K값별 투자 결과 비교

FX Fund의 성과를 조금 더 구체적으로 살펴보기 위하여, FX Fund에서 각각 다르게 설정한 K값들의 투자 성과를 살펴보고자 한다. [그림 6]은 각 K값별 누적수익률을 그래프로 나타낸 것이다.



[그림 6] FX Fund의 K값별 누적수익률

[그림 6]의 값별 누적수익률에 있어서는 차이가 크게 존재하지 않지만, 구간별 움직임에 있어서 상이한 모습을 보여주는 것을 확인할 수 있었다. K값들의 투자 성과를 조금 더 면밀하게 살펴보고 변동성의 측면도 고려하기 위하여 금융위기 이전과 이후로 구간을 나누고 샤프 지수를 [그림 7]에 나타내었다.



[그림 7] 각 구간별 샤프 지수

금융위기 이전과 이후의 구간에서 각 K값별 샤프 지수는 확연한 차이를 보여주고 있다. 먼저 금융위기 이전의 구간에서는 K값이 낮을수록 샤프 지수가 낮은 모습을 보여주고 있는데, 이는 상대적으로 효율적인 시장에서 낮은 K값으로는 무위험 자산 수익률을 초과하기 어렵기 때문으로 파악된다. 반면 금융위기 이후의 구간에서는 오히려 K값이 낮을수록 좋은 샤프 지수를 보여주고 있다. 이는 변동성이 심화되고 효율성이 떨어지는 시장에서는 공격적인 투자보다는 보수적인 관점의 투자가 변동성 대비 좋은 수익률을 보인다는 점을 시사해준다.

위와 같은 시사점은 급변하는 경제 동향 속에서 투자자에게 좋은 지침이 될 수 있다. 최근 미국이 양적 완화를 종료하려는 움직임을 보이고 있는 가운데, 향후 외환 시장에서 불확실성이 증가하고 변동성이 커질 가능성이 대두되고 있다. 현재와 같은 시장 상황에서 본 연구는 1990년대 이후 약해졌던 기술적 투자의 효율성이 금융위기 이후의 변동성이 증가된 시장에서는 여전히 유효할 수 있음을 보임과 동시에, 본 연구에서 제시하는 마진 포트폴리오 선정 모형에 의한 투자가 다른 벤치마크들에 비하여 우수한 성과

를 보일 수 있을 것이라는 점을 시사한다.

5. 결론 및 향후 연구과제

지금까지 본 논문은 외환 시장에 대한 포트폴리오 선정 모형인 마진 포트폴리오 선정 모형을 개발하고, 이를 바탕으로 실제 투자에 적용하기 위해 객관적인 과거 데이터에 의한 투자 알고리즘을 제안하였다. 마진 포트폴리오 선정 모형은 기존에 주식 시장에서 널리 사용되어 온 마코위츠 포트폴리오 선정 모형으로는 투자할 수 없었던 외환 시장뿐만 아니라, 증거금을 활용하여 투자하는 모든 시장에 대하여 폭넓게 활용될 수 있다는 점에서 의의가 있다. 이러한 모형과 알고리즘을 바탕으로 2003년 개장일부터 2012년 폐장일까지 최근 총 10년에 대하여 외환 시장 거래량 상위 7개 종목으로 포트폴리오를 구성하여 투자할 경우 성과를 비교하여 분석하였으며, 그 결과 FX Fund는 금융위기 이전에는 다른 벤치마크 대비 뛰어난 성과를 거두지는 못했으나, 변동성이 크게 증가한 금융위기 이후의 시장에서는 다른 벤치마크에 비해 탁월한 성과를 거두었다. 10년간에 걸친 투자 기간 동안 FX Fund는 외환 시장에서 12.31%의 누적 수익률을 기록하였으며, 이는 같은 기간 동안 Dollar Index가 -20.19%, 1/N Portfolio가 2.85%의 수익률을 거둔 것에 비하여 월등한 수익률이다. 현실에서 외환 시장에 대한 투자는 보통 레버리지 효과를 이용하여 거래되는 점을 감안한다면, 본 논문에서 FX Fund가 레버리지 효과를 제외하고 기록한 수익률은 상당히 보수적인 수치라 할 수 있으며, 마진 포트폴리오 모형이 현실 시장에서 이용될 경우 더 좋은 성과를 거둘 수 있음을 보여준다. 투자구간의 위험 대비 수익률을 고려한 샤프 지수 측면에서도 FX Fund는 변동성이 급증한 금융위기 이후의 투자에서 벤치마크 대비 월등한 성과를 기록하였다.

특성이 서로 다를 것으로 예상되는 금융위기 이전과 이후의 외환 시장에서 FX Fund는 투자 성과의 차이를 보여주는데, FX Fund와 벤치마크의 성과 차이는 금융위기를 전후하여 확연하게 드러나

며, 특히 금융위기 이후 변동성이 커진 시장에서 FX Fund의 성과가 우월한 모습을 보여준다. 본 논문은 최근 미국의 양적 완화 종료 움직임으로 인해 불확실성이 증가할 것으로 예측되는 현 시장 상황에서, 마진 포트폴리오 선정 모형에 의한 투자를 통해 시장에서 인정받는 다른 벤치마크 대비 우월한 수익을 거둘 수 있음을 확인하였다. 또한 FX Fund의 K 값에 따라서도 시장의 환경에 따라 결과에 차이가 있었으며, 시장의 변동성을 고려하여 투자 전략을 수립하는 것이 효과적일 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 결론적으로 객관적인 데이터를 가지고 모델링을 하고 체계적인 수리계획법을 통하여 최적해를 찾아내는 경영과학적 모형에 의한 투자 의사결정 방식이 다양한 시장 환경에서도 더 우수한 성과를 얻을 수 있음을 실증적으로 보여주었다. 또한, 외환 시장이나 옵션, 파생 상품 시장에서 존재하는 증거금을 이용한 투자에 대해서 효과적인 포트폴리오 선정 모형을 개발했다는 데에 큰 의의가 있다.

향후 연구 과제로서 먼저 본 논문에서는 외환 시장에서 일반적으로 사용되는 레버리지 효과를 전혀 고려하지 않고 투자를 하였으나, 레버리지의 활용에 따라 전체 수익률에 미치는 영향에 관한 연구도 의미가 있을 것이다. 또한 통화쌍의 향후 수익률을 예측하는 데 있어서 다양한 이론을 사용하여 포트폴리오를 구성하고, 각각의 방법들의 차이점을 확인해 보는 것 역시 흥미로운 연구 주제가 될 수 있으며, 리밸런싱 구간을 다양하게 설정하여 리밸런싱이 투자에 미치는 영향을 살펴보는 분석도 필요해 보인다. 마지막으로, 외환 시장이 아닌 다른 시장에서 모형의 효용성을 확인하고 성과를 비교해 보는 것도 의미 있는 연구가 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김보미, 김재희, “일별 환율 데이터에 대한 시계열 모형 적합 및 비교분석”, 『응용통계연구』, 제26권, 제1호(2013), pp.14-27.

- [2] 김홍선, 정종빈, 김성문, “한국 주식시장에서 마코위츠 포트폴리오 선정 모형의 입력 변수의 정확도에 따른 투자 성과 연구”, 『한국경영과학회지』, 제38권, 제4호(2013), pp.35-52.
- [3] 김성문, 김홍선, “한국 주식시장에서 비선형계획법을 이용한 마코위츠의 포트폴리오 선정 모형의 투자 성과에 관한 연구”, 『경영과학』, 제26권, 제2호(2009), pp.19-35.
- [4] 류시영, “시계열 모형을 이용한 환율예측 및 기술적 투자에 관한 연구”, KAIST, 2006.
- [5] 박경찬, 정종빈, 김성문, “지수가중이동평균법과 결합된 마코위츠 포트폴리오 선정 모형 기반 투자 프레임워크 개발 : 글로벌 금융위기 상황하 한국 주식시장을 중심으로”, 『한국경영과학회지』, 제28권, 제2호(2013), pp.75-93.
- [6] 최재호, 정종빈, 김성문, “마코위츠 포트폴리오 선정 모형을 기반으로 한 투자 알고리즘 개발 및 성과평가 : 미국 및 홍콩 주식시장을 중심으로”, 『경영과학』, 제30권, 제1호(2013), pp.73-89.
- [7] DeMiguel, V., L. Garlappi, and R. Uppal, “Optimal Versus Naive Diversification : How Inefficient is the 1/N Portfolio Strategy?,” *Review of Financial Studies*, Vol.22, No.5 (2007), pp.1915-1953.
- [8] Dukascopy(<http://www.dukascopy.com/swiss/english/marketwatch/historical/>).
- [9] Dunchin, R. and H. Levy, “Markowitz versus the Talmudic portfolio diversification strategies,” *The Journal of Portfolio Management*, Vol.35, No.2(2009), pp.71-74.
- [10] Frankel, J. and K. Froot, “Chartists, fundamentalists, and trading in the foreign exchange market,” *The American Economic Review*, Vol.80, No.2(1990), pp.181-185.
- [11] Hillier, F.S. and G.J. Lieberman, *Introduction to Operations Research*(9th ed.), New York : McGraw-Hill, 2010.
- [12] Hsieh, D., “Modeling heteroscedasticity in daily foreign-exchange rates,” *Journal of Business and Economic Statistics*, Vol.7, No.3(1989), pp.307-317.
- [13] Huang W. and K. Lai, “Forecasting foreign exchange rates with artificial neural networks : a review,” *International Journal of Information Technology and Decision Making*, Vol.3, No.1(2004), pp.145-165.
- [14] Hui, T., E. Kwan, and C. Lee, “Optimal portfolio diversification : empirical Bayes versus classical approach,” *Journal of the Operational Research Society*, Vol.44, No.11(1993), pp.1155-1159.
- [15] Kuan, C. and T. Liu, “Forecasting exchange rates using feedforward and recurrent neural networks,” *Journal of Applied Econometrics*, Vol.10, No.4(1995), pp.347-364.
- [16] LeBaron, B., “Technical trading rule profitability and foreign exchange intervention,” *Journal of International Economics*, Vol.49, No.1(1999), pp.125-143.
- [17] Levich, R. and III, L. Thomas, “The significance of technical trading-rule profits in the foreign exchange market : a bootstrap approach,” *Journal of International Money and Finance*, Vol.12, No.5(1993), pp.451-474.
- [18] Lukac, L., B. Brorsen, and S. Irwin, “A test of futures market disequilibrium using twelve different technical trading systems,” *Applied Economics*, Vol.20, No.5(1988), pp.623-639.
- [19] Markowitz, H., “Portfolio selection,” *Journal of finance*, Vol.7(1952), pp.77-91.
- [20] Markowitz, H., *Portfolio selection : efficient diversification of investments*, New York : Wiley, 1959.
- [21] Marsh, I., “High frequency Markov switching models in the foreign exchange market,” *Journal of Forecasting*, Vol.19, No.2(2000),

- pp.123-134.
- [22] Olson, D., "Have trading rule profits in the currency markets declined over time?," *Journal of banking and Finance*, Vol.28, No.1(2004), pp.85-105.
- [23] Pantaleo, E., M. Tumminello, F. Lillo, and R.N. Mantegna, "When do improved covariance matrix estimators enhance portfolio optimization? An empirical comparative study of nine estimators," *Quantitative Finance*, Vol.11, No.7(2011), pp.1067-1080.
- [24] Sharpe, W. F., "The Sharpe ratio," *The Journal of Portfolio Management*, Vol.21, No.1(1994), pp.49-58.
- [25] Sweeney, R., "Beating the foreign exchange market," *The Journal of Finance*, Vol.41, No.1 (1986), pp.163-182.
- [26] Taylor, S., "Trading futures using a channel rule : A study of the predictive power of technical analysis with currency examples," *Journal of Futures Markets*, Vol.14, No.2(1994), pp.215-235.
- [27] Tenti, P., "Forecasting foreign exchange rates using recurrent neural networks," *Applied Artificial Intelligence*, Vol.10, No.6(1996), pp.567-582.
- [28] Zahlungsausgleich, B., "Triennial-Central Bank Survey-Report on global foreign exchange market activity in 2010," The Bank for International Settlements, 2010.