

# 주식가격변화에 있어서 효율성 정도 차이와 예측력간의 관계에 대한 실증연구

엄철준(부산대학교)\*  
오갑진(POSTECH)

## < 요약 >

본 연구는 주식시장의 과거 가격변화에 대한 효율성 정도가 미래 가격변화 예측력과 실질적인 관계를 갖는지 여부를 실증적으로 확인하고자 하였다. 언급된 효율성은 재무분야에서 널리 알려진 효율적 시장가설(efficient market hypothesis, EMH) 중에서 과거 가격변화의 정보가치에 대한 약형(week-form) EMH을 의미한다. 가격변화의 효율성 정도에 대한 계량적 척도는 Hurst지수(hurst exponent)와 ApEn(approximate entropy)측정치를 이용하였다. 예측력은 외표본(out-of-sample)자료를 이용한 NN예측방법(nearest neighbour prediction method)으로부터 예측된 미래 가격변화의 방향성이 실제 주식가격변화의 방향성과 일치하는 비율(hit rate)을 이용하였다. 검증자료는 27개국 주식시장의 대표적 시장지수들이다. 검증결과 중에서, 먼저, 효율성 정도의 척도인 Hurst지수와 ApEn측정치 간에 어떤 관계를 갖는지를 확인하였다. 27개국 시장지수에 대하여, Hurst지수와 ApEn측정치 간에는 실증적으로 음(-)의 관계를 가졌다. 즉, 장기기억속성의 측정치인 Hurst지수가 높은 값을 갖는다는 것은 과거 가격변화패턴의 연속적 출현이 높다는 것으로, 이는 가격변화의 효율성 정도가 낮다는 것이다. 한편, 시계열자료의 무작위성 측정치인 ApEn측정치가 낮은 값을 갖는 것은 과거 가격변화패턴의 반복적 출현이 높다는 것으로, 이는 가격변화의 효율성 정도가 낮다는 것이다. 이러한 이유로 인하여, 두가지 측정치간에는 음(-)의 관계가 나타났다. 다음으로, 가격변화에 있어서 효율성 정도가 미래 가격변화의 예측력에 관련성이 있는지 여부를 실증적으로 확인하였다. 즉, Hurst지수와 ApEn측정치에 의하여 계량화된 효율성 정도의 정보가 미래 가격변화 예측에 유용한지 여부를 확인하는 것이다. 검증결과에 의하면, NN예측방법에 의하여 측정된 미래가격변화의 예측력과 Hurst지수간에는 뚜렷한 양(+ )의 관계를, ApEn 측정치와는 음(-)의 관계를 나타내었다. 즉, 장기기억속성을 나타내는 Hurst지수에서, 높은 Hurst지수를 갖는 시장지수는 낮은 Hurst지수를 갖는 시장지수들에 비하여 과거 가격변화패턴을 이용한 예측력은 높았다. 반면에, 시계열자료의 무작위성을 나타내는 ApEn측정치에서, 낮은 ApEn측정치 값을 갖는 시장지수는 높은 ApEn측정치 값을 갖는 시장지수에 비하여 과거 가격변화패턴을 이용한 예측력은 높았다. 이상의 검증결과를 통하여, 금융시계열자료의 과거 가격변화패턴 유사성을 근거로 효율성 정도를 계량화한 Hurst지수와 ApEn측정치는 과거 가격변화패턴을 직접적으로 활용하는 예측방법에 유용한 정보를 제공할 수 있는 측정치라는 것을 실증적으로 확인할 수 있었다. 특히, 장기기억속성의 정도를 나타내는 Hurst 지수와 NN예측방법의 예측력간에는 매우 강한 관계를 가졌다.

Keywords : Market Efficiency Hypothesis, Hurst Exponent, Approximate Entropy Measurement, Nearest-Neighbor Prediction Model

\* 부산대학교 경영학부 조교수, E-mail : shunter@pusan.ac.kr

# I. 서론

재무분야에 있어서 효율적 시장가설(efficient market hypothesis, EMH, Fama(1970))은 재무이론 및 실무에 지대한 영향을 미쳤고, 효율적 시장가설에 대한 부정적 혹은 긍정적 증거들이 최근까지 논의되고 있으며, 특히 새롭게 소개되는 접근법을 이용하여 약형 효율적 시장가설(week-form EMH)에 대한 새로운 시각을 제공하는 연구시도들도 있다. 본 연구도 이러한 연구노력의 일환이다. 소개된 접근법들 중에는 금융시계열자료의 가격변화패턴 유사성(degree of similarity)을 근거로, 시계열자료의 장기기억속성(long-memory properties) 혹은 무작위성(randomness) 등의 속성을 계량화시킨 측정치들이 있다. 즉, Hurst(1951)에 의하여 제안된 Hurst 지수(hurst exponent)와 Pincus(1991)에 의하여 제안된 ApEn(approximate entropy) 측정치이다.

금융시계열자료에서 장기기억속성의 존재에 대한 연구결과는 재무분야 뿐만 아니라 인접학문 분야에서 일반화되어 있고, 최근까지도 다양한 측면의 심층적인 연구들이 진행되고 있다. 기존 연구에서는 장기기억속성을 관찰하기 위하여 측정치인 Hurst 지수(Jacobsen(1996), Hiemstra et al.(1997), Willinger et al.(1999), Grau-Cardes(2000), Oh et al.(2006) 등) 뿐만 아니라, ARFIMA(autoregressive fractional integration moving average, Granger et al.(1980)), FIGARCH(fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroscedasticity, Baillie et al.(1996)) 등의 모형들(Granger et al.(1996), Barkoulas et al.(2000), Kilic(2004) 등)이 이용되었다. 장기기억속성을 관찰하기 위하여 Hurst지수의 사용 혹은 모형의 사용에 관계없이, 기존연구에서의 관찰결과를 유사하게 제시되었다. 따라서, 우리는 장기기억속성의 정도를 계량화시키기 위하여 모형기반의 계수추정방식이 아닌, 비교적 간단한 측정치인 Hurst지수를 이용한다. 국내외 관련연구들에서 소개된 Hurst지수 측정방법으로는 Hurst(1951)에 의하여 제안된 전통적 R/S방법(classic rescaled range analysis), Lo(1991)의 수정된 R/S방법(modified R/S analysis), Geweke et al.(1983)의 GPH방법, Peng et al.(1994)의 DFA(detrended fluctuation analysis)방법, Matteo et al.(2005)의 일반화된 Hurst지수(generalized hurst exponent)방법 등이 있다. Hurst지수 측정방법들 중에서 DFA방법으로 측정된 Hurst지수가 보다 안정적이라는 Weron(2002), 엄철준 et al.(2007) 등의 연구에 근거하여, 우리는 Peng et al.(1994)에 의하여 제안된 DFA방법으로 측정되는 Hurst지수를 이용한다.

금융시계열자료의 장기기억속성에 대한 연구가 재무분야에 많은 관심을 끄는 이유는, 만약 금융시계열자료에서 장기기억속성이 존재한다면, 금융시장에 유입되는 정보들에 대하여 시장메커니즘이 즉각적으로 충분히 반응을 하지 못한다는 것으로, 과거정보가 미래가격변화에 가치 있는 정보가 될 수 있다는 것이다. 즉, 장기기억속성의 존재유무에 대한 증거는 약형 효율적 시장

가설에 대한 새로운 시각뿐만 아니라 미래 가격변화패턴의 예측에 관계되기 때문이다. 기존연구들(Jacobsen(1996), Hiemstra et al.(1997), Willinger et al.(1999), Grau-Carles(2000), Oh et al.(2006) 등)에서는 각국의 주식시장 수익률 및 변동성차원에서 장기기억속성의 존재유무에 대한 다양한 결과들을 도출하고 있다. 또한, Cajueiro et al.(2004), Matteo et al.(2005) 등의 연구에서는 장기기억속성의 측정치인 Hurst지수가 각국 주식시장의 효율성 정도를 계량화할 수 있는 측정치라는 것을 제시하였다. 그런데, 최근까지 장기기억속성에 의한 효율성 정도 차이의 증거가 과거 가격변화패턴에 근거한 미래 가격변화의 예측력과 직접적 관계를 갖는지 여부에 대한 실증적 증거는 미미한 수준이다. 따라서, 우리는 과거 가격변화패턴의 유사성 정도를 근거로 장기기억속성을 관찰하는 Hurst지수를 각국의 주식시장에 대한 효율성 정도를 계량화할 수 있는 측정치로 설정한 후, 효율성 정도의 차이가 미래 가격변화의 예측력과 어떤 관계를 갖는지를 실증적으로 확인하고자 한다.

다음으로, 과거 가격변화패턴의 유사성에 근거하여, 금융시계열자료의 무작위성을 계량화한 ApEn측정치는 Hurst지수와 상호보완적으로 효율성 정도를 계량화할 수 있는 측정치이다. Pincus(1991)에 의하여 제안된 ApEn측정치는 시계열자료의 복잡성, 불규칙성, 예측 어려움 등의 무작위성 정도를 계량화한 측정치이다. 즉, 금융시계열자료의 과거 가격변화패턴의 유사성에 근거하여, 만약 유사한 가격변화패턴의 발생빈도가 높다면, 가격변화패턴의 무작위성은 낮고, 이로 인하여 ApEn측정치는 낮은 값을 갖는다. 반면에, 유사한 가격변화패턴의 발생빈도가 낮다면, 가격변화패턴의 무작위성은 높으며, ApEn측정치는 높은 값을 갖는다. Pincus et al.(2004), 김태혁 et al.(2005) 등에 의하여 금융시계열자료로의 직접적 적용 및 소개가 있었다. 한편, Oh et al.(2007)의 연구에서는, 과거 가격변화패턴의 반복적 출현과 약형 효율적 시장가설간의 관계에서, 실증적으로 주요 국가의 환율자료를 통하여 ApEn측정치가 효율성 정도의 계량적 측정치로써 가치를 갖는다는 것을 실증적으로 소개하였다. 그리고, 금융시계열자료에 있어서 장기기억속성을 측정하는 Hurst지수와 무작위성 정도를 측정하는 ApEn측정치는 모두 가격변화패턴의 유사성을 계량화시킨 측정치이고, 이들 두가지 측정치간의 관계는 이론자료를 이용한 Pincus et al.(2004), 김태혁 et al.(2005) 등의 연구와 실제자료를 이용한 엄철준 et al.(2005) 등의 연구에서 음(-)의 관계가 있음을 보였다. 즉, 과거 가격변화패턴의 유사성 정도에 대한 ApEn측정치와 Hurst지수는 상호보완적인 역할을 할 수 있는 측정치이다. 그런데, 최근까지 시계열자료의 무작위성에 의한 효율성 정도 차이가 과거 가격변화패턴에 근거한 미래 가격변화패턴의 예측력과 직접적 관계를 갖는지 여부에 대한 실증적 증거는 미미한 수준이다. 따라서, 우리는 과거 가격변화패턴의 유사성을 근거로 무작위성을 관찰하는 ApEn측정치를 Hurst지수와 함께, 각국의 주식시장에 대한 효율성 정도를 계량화할 수 있는 측정치로 설정한 후, 효율성 정도의 차이가 미래 가격변화의 예측력과 어떤 관계를 갖는지를 실증적으로 확인하고자 한

다.

이제, 효율성 정도의 계량적 측정치인 Hurst지수와 ApEn측정치로부터 관찰된 결과가 미래 가격변화의 예측력과 어떤 관계를 갖는지 여부를 실증적으로 검증하기 위하여, 미래 가격변화를 예측할 수 있는 예측모형이 필요하다. 재무분야 혹은 인접학문분야에서 제안 및 활용되는 정교한 예측모형은 많다. 그러나, 본 연구는 Hurst지수와 ApEn측정치를 근거로 하는 것이기 때문에, 이들 측정치와 같이 과거 일정기간에서 관찰되는 가격변화패턴의 유사성을 예측 근거로 활용하는 접근법을 선택하고자 한다. Farmer et al.(1987), Sauer et al.(1991) 등에 의하여 소개된 NN예측방법(nearest-neighbor prediction method, or time-delay embedding techniques and a local linear predictor)은 과거 가격변화패턴의 유사성을 직접적으로 활용하는 방법이다. 즉, 소개된 접근법은 예측하고자 하는 미래 거래일( $t + 1$ )의 직전 일( $t$ )로부터 일정길이의 과거 가격변화를 목표 가격변화패턴으로 설정하고, 과거기간에서 동일한 길이를 갖는 가격변화패턴들 중에서, 목표 가격변화패턴과 유사한 가격변화패턴을 선택한 후에, 선택된 과거 가격변화패턴의 다음 날에 발생하는 가격변화정보를 미래 거래일의 예측정보로 활용하는 것이다. Bajo-Rubio et al.(1992), Fernandez-Rodríguez et al.(1997, 1999), Soofi et al.(1999) 등의 연구에서, 과거 가격변화패턴의 유사성을 이용한 NN예측방법은 단기간(short-term) 예측에 있어서 유용하다는 실증결과를 제시하였다. 따라서, 우리는 금융시계열자료의 효율성 정도와 예측력간의 관계를 실증적으로 확인하기 위하여, Hurst지수와 ApEn측정치의 검증과정과 동일한 기간에 대한 추정 및 외표본에 대한 예측력 평가를 한다. 예측력은 NN예측방법에 의하여 예측된 미래 가격변화의 방향성이 실제 가격변화의 방향성과 일치하는 비율(hit-rate)로 측정하였다. 이를 통하여, Hurst지수(ApEn측정치)에 의한 장기기억속성(무작위성)의 정도가 높은(낮은) 시장지수가 낮은(높은) 시장지수들에 비하여 평균적으로 높은 예측력을 갖는지를 확인할 수 있을 것이다.

이상의 연구목적에 대하여, 각국 대표적 시장지수( $j$ )의 시계열자료를 이용하여 관찰된 검증결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 장기기억속성 정도의 평균 Hurst지수( $\overline{H}_j$ )와 무작위성 정도의 평균 ApEn측정치( $\overline{A}_j$ )간에는 음(-)의 관계( $\rho(\overline{H}_j, \overline{A}_j) = -47\%$ )를 갖는 것으로 확인되었다. 둘째, 두가지 측정치 각각에서 확인된 효율성 정도의 차이가 가격변화의 예측력과 직접적으로 관계를 갖는지 여부를 검증한 결과에 의하면, NN예측방법에 의한 미래 가격변화의 방향성에 대한 평균 예측력( $\overline{NN}_j$ )은 Hurst지수와는 양(+)의 관계를, ApEn측정치와는 음(-)의 관계를 갖는 것이 확인되었다. 특히, 장기기억속성의 Hurst지수와 NN예측방법의 예측력간에는 뚜렷한  $\rho(\overline{NN}_j, \overline{H}_j) = +85\%$ 의 관계를 가졌다. 이상의 검증결과에 따라, 금융시계열자료의 과거 가격변화패턴 유사성을 근거로 효율성 정도를 계량화한 Hurst지수

와 ApEn측정치는 과거 가격변화패턴을 직접적으로 활용하는 예측방법에 유용한 정보를 제공할 수 있는 측정치라는 것을 실증적으로 확인할 수 있었다. 특히, 장기기억속성의 정도를 나타내는 Hurst지수와 NN예측방법의 예측력간에는 매우 강한 관계를 가졌다. 그리고, 이러한 연구시도는 국내외적으로 처음으로 이루어 졌으며, 효율성 정도의 차이와 예측력간의 관계를 실증적으로 입증하였다는 점에서 기여도를 생각할 수 있다.

본 연구의 구성은 서론에 이어 다음 장에서는 검증에 이용된 27개국 시장지수 및 검증과정에 이용된 주요 접근법을 구체적으로 설명한다. III장에서는 설정된 연구목적에 따라 관찰된 결과를 각각 제시하며, IV장에서는 결론 및 시사점을 언급한다.

<표 1> 검증에 이용된 27개국 주식시장의 대표적 시장지수 자료들

구분	각국의 주식시장 지수	구분	각국의 주식시장 지수
01	Shenzhen Composite, China / Shenzhen Stock Exchange	15	Bovespa, Brazil / Brazil Stock Exchange
02	Hangseng, Hongkong / Hang Seng Bank	16	Chile General, Chile / Santiago Stock Exchange
03	Bombay SE200, India / Bombay Stock Exchange	17	Mexico IPC, Mexico / IPC
04	Jakarta SE Composite, Indonesia / Jakarta Stock Exchange	18	Lima SE General, Peru / Lima Stock Exchange
05	Nikkei225, Japan / Tokyo Stock Exchange	19	TSX Compoisite Index, Canada / Toronto Stock Exchange
06	KOSPI200, Korea / Korean Stock Exchange	20	S&P 500, USA / American Stock Exchange
07	Kuala Lumpur Composite, Malaysia / Kuala Lumpur Stock Exchange	21	ATX, Austria / Austria Exchange
08	SE Composite, Philippines / Philippine Stock Exchange	22	Copenhagen KBX, Denmark / Copenhagen Stock Exchange
09	Straits Times, Singapore / Singapore Stock Exchange	23	CAC 40, France / Euronext
10	Taiwan SE Weighted, Taiwan / Taiwan Stock Exchange	24	DAX 30 Performance, Germany / DAX
11	Bangkok S.E.T, Thailand / Thailand Stock Exchange	25	Milan Comit General, Italy / MIB Stock Exchange
12	ASX All Ordinaries, Australia / Australia Stock Exchange	26	AEX Index, Netherlands / Amsterdam Stock Exchange
13	NZX All Index, New Zealand / New Zealand Stock Exchange	27	FTSE100, UK / FTSE
14	Base General, Argentina / Piano and Parga Stock Exchange		-

## II. 자료 및 검증방법

### 1. 자료 및 기간

본 연구는 27개국 주식시장의 대표적 시장지수들의 일별자료를 이용하였다 (from

DataStream). 이용된 각국의 시장지수는 <표 1>과 같다. 아시아지역(Asia and Pacific)의 13개국, 아메리카지역(South and North America)의 7개국, 그리고 유럽지역(Europe)의 7개국이다. 각국의 자료기간은 Australia(1992.06), Argentina(2000.06), Denmark(1996.01)를 제외한 나머지 모든 국가들은 1992년 1월부터 2006년 12월까지 15년이다. 시장지수 수익률은 로그 차분(log-difference,  $R_t = \ln P_t - \ln P_{t-1}$ )에 의하여 산출하였다.

## 2. Hurst지수(hurst exponent) 측정방법

금융시계열자료의 장기기억속성을 계량적으로 측정하는 Hurst지수는 기존연구[Cajueiro et al.(2004), Matteo et al.(2005) 등]에서 금융시계열자료의 효율성 정도를 나타내는 측정치로 소개되었다. 따라서, 우리는 Peng et al.(1994)에 의하여 제안된 DFA방법으로 측정된 Hurst지수를 금융시계열의 효율성 정도를 계량화할 수 있는 측정치로 사용한다. Hurst지수의 측정방법에 대한 결정은 Weron(2002), 엄철준 외3인(2007) 등의 연구에서 다른 측정방법과 비교하여 DFA방법에서 안정적으로 Hurst지수를 측정할 수 있는 것에 근거를 둔다.

DFA방법에 의하여 측정되는 Hurst지수는 다음과 같은 산출과정을 따른다. 먼저, 금융시계열자료( $x(i)$ )로부터 평균( $\bar{x}$ )을 차감한 후에, 차감된 자료를 누적한 시계열자료( $y(i)$ )로 다음과 같이 정의한다.

$$y(i) = \sum_{i=1}^N [x(i) - \bar{x}] \quad (1a)$$

여기서,  $N$ 은 시계열자료의 길이( $i = 1, 2, \dots, N$ )를 나타낸다. 다음으로, 누적된 시계열자료의 전체 자료길이를 동일한 길이를 갖는 구간(window size,  $n$ )으로 나눈다. 각 구간 내에서 최소자승법(ordinary least square, OLS)에 의하여 추세선(trend line,  $y_n(i)$ )을 추정한다. 그리고, 각 구간 내에서 누적된 시계열자료로부터 추세선을 차감함으로써 구간에 존재하는 시계열자료의 추세를 제거한다. 이러한 추세 제거과정은 동일한 길이를 갖는 모든 구간에 대하여 반복적으로 적용하며, 이를 통하여 변동크기(fluctuation magnitude,  $F(n)$ )는 다음과 같이 정의된다.

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y(i) - y_n(i)]^2} \quad (1b)$$

상기의 산출과정은 다양한 구간길이( $n, 2n, 3n, \dots, dn$ )에 대하여 반복적으로 수행되며, 반복적으로 수행된 다양한 구간길이에 관계없이, 일관된 관계를 갖는지 여부를 조사한다. 즉,

유사성을 측정한다.

$$F(n) \approx cn^H \quad (1c)$$

여기서,  $c$ 는 상수이고,  $H$ 는 Hurst지수이다. 이와 같은 DFA에 의하여 산출된 Hurst지수는  $H = 0.5$ 를 기준으로, 단기기억속성(short-term memory)을 갖는  $0 \leq H < 0.5$  범위와 장기기억속성(long-term memory)을 갖는  $0 \leq H < 0.5$  범위로 구분한다. 우리는 효율성 정도의 척도를 Hurst지수의 값 크기로 한다. 즉, Hurst지수가 큰 값을 가질수록, 과거 가격변화패턴의 유사성이 높다는 것으로, 금융시계열자료의 효율성 정도가 낮게 된다. 따라서, Hurst지수가 높은 값을 갖는다는 것은, 과거 가격변화패턴이 미래가격변화패턴을 예측하는데 유용한 정보가 될 수 있다는 것이다. 본 연구는 시계열적으로 시간변동에 관계없이, 견고한 Hurst지수를 산출 및 활용하기 위하여, 추정기간 5년(60개월)과 이동기간 1년(12개월)에 대하여 반복적으로 측정된 Hurst지수의 평균값( $\overline{H}_j$ )을 효율성 정도의 척도로 사용한다.

### 3. ApEn(approximate entropy)측정치의 측정방법

시계열자료에서의 무작위성을 계량적으로 측정하는 ApEn측정치는 기존연구[Pincus et al(2004), 김태혁 외2인(2005), Oh et al.(2007)]에서 역시 금융시계열자료의 효율성 정도를 나타내는 측정치로 소개되었다. 우리는 두번째 효율성 정도의 측정치로 Pincus(1991)에 의하여 제안된 ApEn측정치를 사용한다. 제안된 ApEn측정치는 다음과 같이 정의된다.

$$ApEn(m, r) = \Phi^m(r) - \Phi^{m+1}(r) \quad (2a)$$

여기서,  $m$ 은 설정된 금융시계열자료의 길이( $N$ )에 있어서, 선택된 가격변화패턴의 기간길이(embedding dimension)이고,  $r$ 은 가격변화패턴간의 유사성에 대한 허용치(tolerance in similarity)이다. 그리고,  $\Phi^m(r)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$\Phi^m(r) = \frac{1}{(N-m+1)} \sum_{i=1}^{N-m+1} \text{Ln}[C_i^m(r)] \quad (2b)$$

$$C_i^m = \frac{B_i(r)}{(N-m+1)} \quad (2c)$$

여기서,  $B_i(r)$ 은 유사성 허용범위( $r$ )내에 포함된 과거 가격변화패턴 자료(pair data)의 수를 나타낸다. 그리고, 각 가격변화패턴의 시계열자료( $u(k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$ )에 대한 유사성

은 두가지 벡터( $x(i)$ ,  $x(j)$ )간의 거리( $d[x(i), x(j)]$ )로 측정하며, 다음과 같이 정의된다.

$$B_i \equiv d[x(i), x(j)] \leq r \quad (2d)$$

$$d[x(i), x(j)] = \max_{k=1,2,\dots,m} (|u(i+k-1) - u(j+k-1)|) \quad (2e)$$

이상과 같이, ApEn측정치는  $m$  길이의 가격변화패턴에서 유사한 가격변화패턴 빈도(식(2a) 오른쪽 첫번째 항)에 대한  $m+1$  길이의 가격변화패턴에서도 역시 유사한 가격변화패턴으로의 반복적 출현(식(2a) 오른쪽 두번째 항)에 대한 상대적 크기로 비교를 하는 것이다. 즉,  $m$  길이의 유사한 가격변화패턴의 빈도와  $m+1$  길이의 가격변화패턴의 빈도가 같아질수록 ApEn값은 작아지지만(동일하다면,  $\ln(1) \approx 0$ ), 반면에  $m+1$  길이의 가격변화패턴에서 유사한 가격변화패턴의 빈도가 적을수록 ApEn값은 높아진다. 따라서, ApEn측정치가 작은 값을 가질수록, 유사한 가격변화패턴이 반복적으로 발생하고, 시계열자료는 낮은 무작위성을 갖는다. 반면에, ApEn측정치가 큰 값을 가질수록, 시계열자료는 높은 무작위성을 갖는다.

본 연구는 Pincus에 의하여 제안된 ApEn측정치의 산출과정에 이용될 기간 설정을 앞의 Hurst지수 산출과정과 동일하게 설정하였다. 즉, 시계열적으로 시간변동에 관계없이, 견고한 ApEn측정치를 검증에 이용하기 위하여, 추정기간 5년(60개월)과 이동기간 1년(12개월)에 대하여 반복적으로 측정된 ApEn측정치의 평균값( $\overline{A_j}$ )을 이용하였다. 그리고, ApEn측정치를 산출하기 위하여 필요한  $m$  과  $r$ 의 모수들은 Pincus et al.(2004)에 의하여 제안된  $m = 2$ ,  $r = 20\%$ 를 사용한다. 그리고, 이러한 설정은 김태혁 외2인(2005)에 의하여 안정성이 실증적으로 입증된 것이며, Oh et al.(2007)에서도 사용되었다.

#### 4. NN예측방법(nearest neighbor prediction method)

본 절에서는 Hurst지수와 ApEn측정치에 의하여 계량화된 효율성 정도와 미래 가격변화의 예측력간의 관계를 실증적으로 확인하는데 필요한 NN예측방법을 소개한다. 즉, Hurst지수(ApEn측정치)가 큰(적은) 값을 갖는다는 것은 효율성 정도가 낮다는 것이고, 이는 과거 가격변화패턴이 미래에도 반복적으로 발생한다는 것이며, 결국 과거 가격변화패턴을 이용하여 미래 가격변화패턴을 예측할 수 있다는 것이다. 이들의 관계를 실증적으로 확인하기 위해서는, 과거 유사한 가격변화패턴의 정보만을 이용하여 미래 가격변화를 예측할 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 이유에 근거하여, 우리는 NN예측방법을 선택하였다.

본 연구에서 사용하는 NN예측방법은 Farmer et al.(1987), Sauer et al.(1991) 등에 의하

여 소개되었고, 기존연구(Bajo-Rubio et al.(1992), Fernandez-Rodríguez et al.(1997, 1999), Soofi et al.(1999) 등)에서 직접적으로 금융시계열자료로의 적용이 이루어졌다. NN 예측방법은 금융시계열자료( $x_1, x_2, \dots, x_T$ )를 일정한 차원(embedding dimension,  $m$ )과 일정한 시간지체(time-delay,  $\tau$ )를 갖도록 재구성(reconstruction,  $V_n^{m,\tau}$ )하는 방법에 해당한다. 즉,

$$V_n^{m,\tau} = [x_n, x_{n-\tau}, \dots, x_{n-(m-1)\tau}] \quad (3a)$$

$$n = (m-1)\tau + 1, \dots, T$$

여기서, 재구성된 시계열자료의 구조를 간단히 설명하면 다음과 같다.  $N$  개 자료를 갖는 시계열자료에 대하여, 모수인  $m (= 10)$  과  $\tau (= 1)$  의 조건을 설정한 후에, 식(3a)와 같이 시계열자료를 재구성하면, 시차가 1이고 10개 자료로 재구성된  $V_n^{m,\tau} = V_n^{10,1}$  자료들이 전체 자료에 대하여 총  $N - m + 1$  개( $n = (m-1)\tau + 1 = 9 + 1 = 10, \dots, T = N$ )가 생성된다. 그리고, 예측하고자 하는 미래 거래일( $t + 1$ )의 직전 거래일( $t$ )로부터 동일한 조건( $m, \tau$ )을 갖는 기간길이의 과거 가격변화패턴,  $V_{Target}^{m,\tau}$ 에 대하여,  $N - m + 1$  개의 동일한 자료구조를 갖는 다양한 과거 가격변화패턴,  $V_n^{m,\tau}$ 들 중에서 유사한 가격변화패턴을 찾는다. 유사한 가격변화패턴의 선택기준은 유사성 척도(distance)를 사용한다.

$$D = (V_{Target}^{m,\tau} - V_n^{m,\tau})^2 \quad (3b)$$

즉, 만약 거리값이  $D = 0$ 이면, 비교되는 두가지 가격변화패턴은 완전히 동일한 가격변화패턴이 되고, 거리값이 커질수록 유사한 가격변화패턴으로 볼 수 없다. 따라서, 측정된 거리값들 중에서 가장 작은 차이값을 갖는 일정개수( $K = 100$ )를 유사한 가격변화패턴을 갖는 자료( $V_{n,k}^{m,\tau}$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$ )로 선정한다. 그리고, 선택된 과거 가격변화패턴들이 진정으로 유사한 가격변화패턴(false nearest neighbor)인지를 확인하기 위하여, 선정된 자료의 기간길이를 증가시킨 길이( $m + 1$ )에서 동일하게 유사한 가격변화패턴으로 확인된 자료( $V_{n,k^{(*)}}^{m,\tau}$ ,  $k^{(*)} = 1, 2, \dots, K^{(*)}$ )를 최종적으로 선정한다. 그리고, 최종적으로 선택된 각 자료의 다음 날( $x_{n+1}^{k^{(*)}}$ )의 가격변화를 확인한다. 미래 가격변화패턴은 선택된 과거 가격변화패턴의 다음 날 가격변화에 의하여 예측된다는 것을 다음과 같이 정의한다.

$$x_{n+1} = F(V_{n,k^{(*)}}^{m,\tau}) \quad (3c)$$

여기서, 우리는 NN예측방법으로부터 선택된 과거 가격변화패턴의 다음 날 정보를 근거로, 미래 가격변화의 방향성을 예측하고, 예측된 변화 방향성이 실제 가격변화의 방향성과 일치하는 비율(hit-rate)을 예측력으로 산출한다. 우리는 앞의 식(3c)에서 선택된 유사한 과거 가격변화패턴의 다음 날 가격의 상승한 빈도와 하락한 빈도를 비교하여, 보다 많은 빈도를 갖는 방향성을 미래 가격변화의 방향성으로 결정하는 방식이다. 즉, 기존연구에 비교하여, 보다 간단하고 직관적인 방법으로 예측력을 산출 및 이용하였다.

NN예측모형에 필요한 자료 재구성기간은 효율성 정도의 척도인 Hurst지수와 ApEn측정치 기간설정과 동일하게 설정하였다. 즉, 추정기간 5년(60개월)이 자료의 재구성기간이다. 예측기간(prediction period)은 재구성기간에 포함되지 않는 외표본(out-of-sample) 중에서 1년(12개월)으로 하였다. NN예측모형으로부터 유용한 예측일수는 기존연구에 확인된 거래일수로 1일이다. 즉, 자료 재구성기간 60개월을 이용하여, 예측기간 첫번째 거래일( $t+1$ )의 가격변화 방향성을 예측하고 실제 거래일( $t+1$ )의 방향성과 일치여부를 평가한다. 그리고, 다음 단계의 자료재구성은 가장 먼 과거 거래일(1일) 자료를 제외하고 새로운 거래일(1일) 자료를 포함한다. 역시 두번째 거래일( $t+2$ )의 가격변화 방향성을 예측한다. 이와 같은 과정을 12개월동안 반복적으로 수행한 후에, 예측기간동안에 방향성이 일치한 빈도의 비율을 산출한다. 다음으로, 앞의 Hurst지수와 ApEn측정치의 기간설정과 동일하게, 이동기간은 12개월(1년)로 기간이동 후에, 앞의 자료재구성 및 예측기간에 대하여 동일한 검증과정을 반복수행하며, 이러한 과정은 2006년 12월까지 반복적된다. 그리고, 산출된 각 예측기간별 예측력에 대한 평균값( $\overline{NN_j}$ )을 예측척도로 사용한다.

### III. 실증결과

본 장에서는 설정된 연구목적에 따라 단계적으로 관찰된 검증결과를 구체적으로 제시한다. 즉, 첫째 금융시계열자료의 효율성 정도에 대한 계량적 측정치인 Hurst지수와 ApEn측정치간의 관계를 검증한 결과를 제시하고, 둘째, 금융시계열의 효율성 정도 차이가 미래 가격변화의 예측력에 관련되는지를 검증한 결과를 제시한다. 각각의 검증결과를 살펴보자.

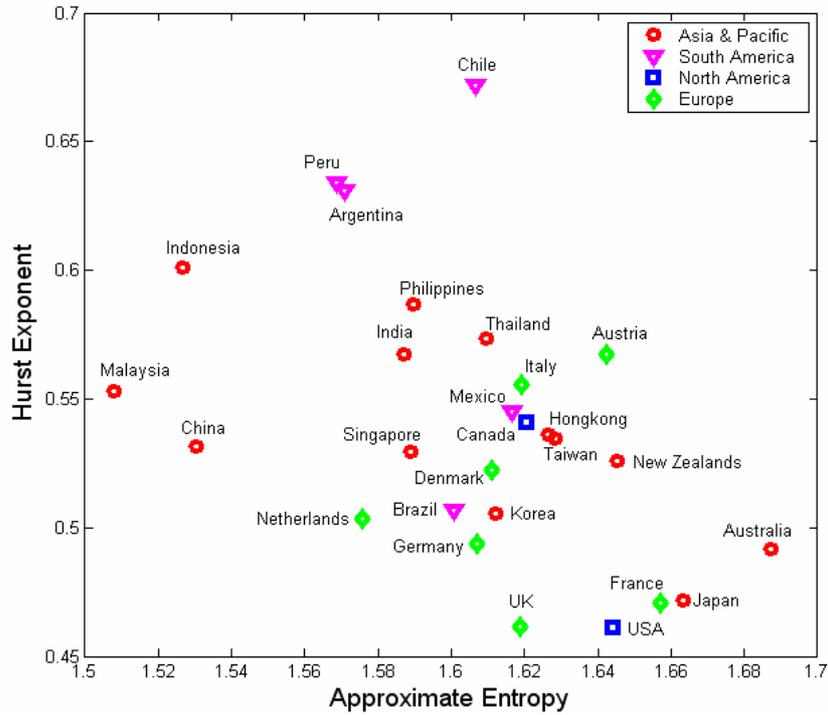
#### 1. 효율성 정도의 계량적 측정치간의 관계

본 절에서는 27개국 주식시장의 대표적 시장지수자료를 이용하여, 금융시계열자료의 과거 가격변화패턴의 유사성을 근거로 효율성 정도를 계량화시킨 Hurst지수와 ApEn측정치를 각

각 측정된 후, 이들 측정치간의 관계를 실증적으로 확인한 결과를 제시한다. 관찰기준은 다음과 같다. 측정된 Hurst지수(ApEn측정치)로부터 높은(낮은) 장기기억속성(무작위성)의 정도를 갖는 시장지수는 낮은(높은) Hurst지수(ApEn측정치)를 갖는 시장지수들에 비하여 과거 유사한 가격변화패턴이 반복적으로 발생한다는 것이다. 이러한 결과는 약형 효율적 시장 가설에 대한 부정적인 증거이고, 시계열자료의 효율성 정도가 낮다는 것이다. 따라서, 예상되는 Hurst지수와 ApEn측정치간의 관계는 음(-)의 관계이다. 검증결과는 <그림 1>에 제시하였다.

그림에 제시된 Hurst지수와 ApEn측정치는 27개국 각각의 시장지수자료( $j$ )에 대하여, 추정기간 5년(60개월)과 이동기간 1년(12개월)에 의하여 반복적으로 측정된 값의 평균값( $\overline{H_j}$ ,  $\overline{A_j}$ )을 나타낸 것이다. 종축은 장기기억속성을 측정하는 Hurst지수를, 횡축은 시계열자료의 무작위성을 측정하는 ApEn측정치를 나타내었다. 각국의 시장지수는 대륙별로 분류하여 표시하였다. 즉, 아시아지역(Asia and Pacific)의 13개국 시장지수는 원(circles, red)모양으로, 아메리카지역(South and North America)의 7개국 시장지수는 삼각형(triangle, magenta)과 사각형(square, blue)모양으로, 그리고 유럽(Europe)지역의 7개국 시장지수는 다이아몬드(diamond, green)모양으로 나타내었다.

<그림 1> 각 국의 시장지수에 대한 Hurst지수와 ApEn측정치간의 관계 검증결과

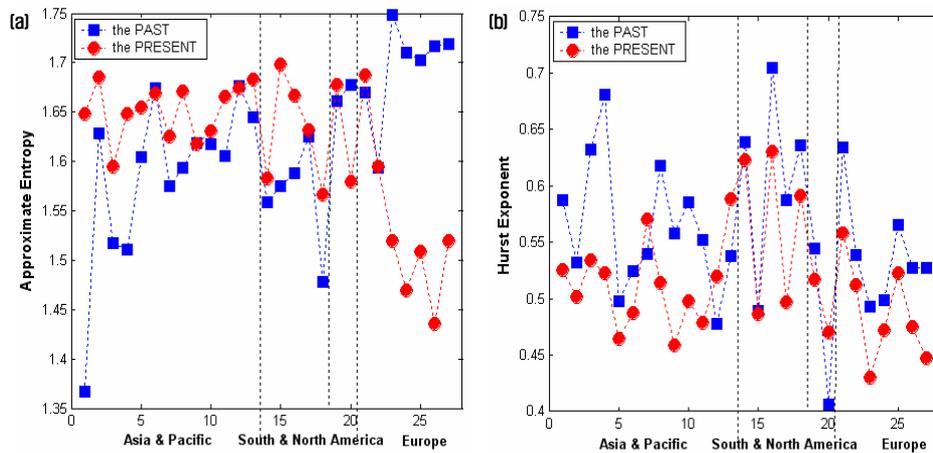


검증결과에 의하면, 장기기억속성을 나타내는 Hurst지수와 무작위성을 나타내는 ApEn측정치간에는 통계적으로  $\rho(\overline{H}_j, \overline{A}_j) = -47\%$ 의 상관관계를 갖는 것으로 확인되었다. 즉, 높은 장기기억속성(Hurst지수)을 갖는 시장지수일수록 가격변화패턴에 대한 무작위성 정도(ApEn측정치)가 낮다는 것을 의미한다. 따라서, Hurst지수와 ApEn측정치는 금융시계열자료의 효율성 정도를 관찰하는데 상호 보완적인 측정치임을 알 수 있다. 추가적으로 각 국별로 측정된 Hurst지수와 ApEn측정치간의 위치를 살펴보자. 그림에서 좌측 상단 쪽에 위치할수록, 높은 장기기억속성과 낮은 무작위성을 갖는 시장지수들을 의미한다. 즉, 시계열자료의 효율성 정도가 낮은 곳의 위치이다. 여기에 속하는 시장지수들은 대부분 남아메리카지역(Chile, Peru, Argentina)과 아시아지역(Indonesia, Philippines, Malaysia, India 등)에 속하는 시장지수들로 확인되었다. 반면에, 우측 하단 쪽에 위치할수록, 낮은 장기기억속성과 높은 무작위성 정도를 갖는 시장지수를 의미한다. 즉, 시계열자료의 효율성 정도가 높은 곳의 위치이다. 여기에 속하는 시장지수들은 유럽지역(France, UK, Germany 등), 북아메리카지역(Canada, USA), 아시아지역(Australia, Japan, New Zealand, Korea 등)에 속하는 시장지수들이다.

한편, 각국의 시장지수에 대한 효율성 정도가 과거에서 비하여 현재의 효율성 정도가 높아졌는지 혹은 낮아졌는지를 알아보았다. 비교자료는, <그림 1>의 평균 측정치를 산출하기

위하여 반복적으로 계산된 하위기간들 중에서, Australia(1992.06), Argentina(2000.06), Denmark(1996.01)를 제외한 나머지 24개국의 시장지수에 대하여, 첫번째 하위기간인 1992년 1월부터 1996년 12월까지의 5년, 그리고 모든 국가에 대하여 마지막 하위기간인 2002년 1월부터 2006년 12월까지의 5년에 각각 측정된 Hurst지수와 ApEn측정치이다. 검증결과는 <그림 2>에 제시하였다. 그림에서, (a)는 27개국 시장지수에 대한 ApEn측정치를, (b)는 Hurst지수를 나타내었다. 그리고, 박스(squares, blue)모양은 첫번째 하위기간(the PAST)에 측정된 Hurst지수와 ApEn측정치이고, 원(circles, red)모양은 마지막 하위기간(the PRESENT)에서 측정된 Hurst지수와 ApEn측정치를 나타낸 것이다.

<그림 2> 각국의 시장지수에 대한 과거와 현재의 효율성 정도 비교



검증결과에 의하면, 전반적으로 첫번째 하위기간에 비하여 마지막 하위기간에 대한 효율성 정도가 평균적으로 높아진 것으로 확인된다. 즉, 아시아지역(Asia & Pacific)과 남아메리카(South America)지역에 속하는 국가들에 대해서는 Hurst지수와 ApEn측정치가 모두 일관되게, 과거에 비하여 현재의 효율성 정도가 평균적으로 높아진 것으로 나타났다. 즉, Hurst지수는 각각 0.56과 0.61에서 0.51과 0.57로 감소하였고, ApEn측정치는 각각 1.59와 1.56에서 1.65와 1.63으로 증가하였다. 반면에, 북아메리카지역과 유럽지역에 속하는 국가들에 대해서는 Hurst지수와 ApEn측정치간에 일관된 결과를 도출할 수 없었다. 즉, Hurst지수의 관점에서는 모두  $H = 0.5$ 로 접근하기 때문에, 과거에 비하여 현재 효율성 정도는 높아진 것으로 해석을 할 수 있지만, ApEn측정치의 관점에서, 특히 유럽지역의 경우에 평균적으로 1.69에서 1.53으로 감소함에 따라 효율성 정도가 낮아진 것으로 나타났다. 결국, Hurst지수의 관점에서 보면, 모든 국가들이 과거에 비하여 현재의 효율성 정도가 높아졌다는 것을 확인할 수 있고, ApEn측정치의 관점에서 보면, 아시아지역과 남아메리카지역에 속

하는 국가들의 시장지수 효율성 정도가 높아졌다는 것을 확인하였다.

이상의 검증결과를 통하여, Hurst지수와 ApEn측정치는 금융시계열자료의 과거 가격변화 패턴에 대한 반복적 출현에 대하여 시계열자료의 효율성 정도를 계량화시킬 수 있는 측정치임을 알 수 있다. 또한, 이들 두가지 측정치간에는 음(-)의 관계를 갖고 있기 때문에, 금융시계열자료의 효율성 정도를 평가하는데, 상호·보완적인 활용이 가능하다. 그리고, 비록 유럽지역에 대하여 ApEn측정치와 Hurst지수간에 일관된 결과를 확인하지 못한다 할지라도, 과거에 비하여 현재 각국의 시장지수 효율성 정도는 높아졌다는 것을 알 수 있다.

## 2. 효율성 정도의 차이와 미래가격변화의 방향성 예측간의 관계

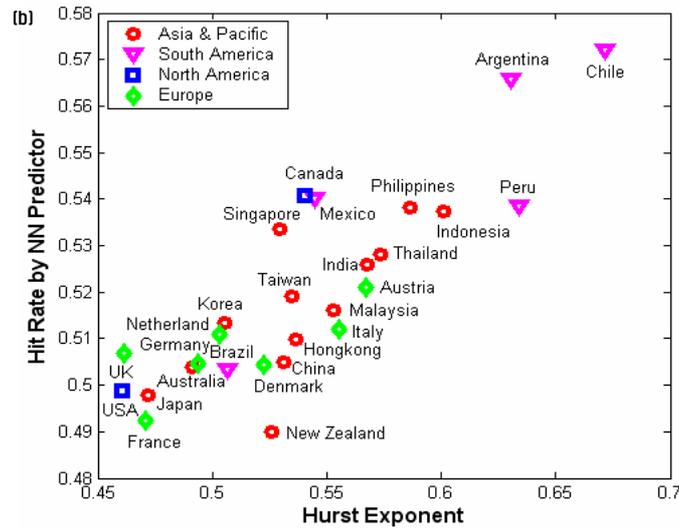
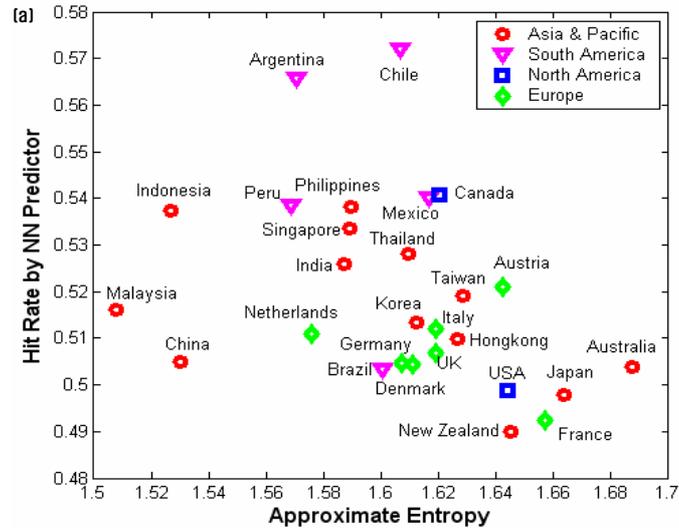
본 절에서는 과거 가격변화패턴의 유사성에 근거한 앞의 효율성 정도 측정치들과 NN예측 방법을 사용하여 예측된 예측력간에 실증적으로 어떤 관계를 갖는지를 확인한 검증결과를 제시한다. 만약, 효율성 정도의 차이와 미래 가격변화의 예측력간에 의미 있는 관계가 존재한다면, 다음과 같은 관계를 예상할 수 있다. 장기기억속성을 계량화한 Hurst지수에 있어서, 과거 유사한 가격변화패턴이 지속적으로 발생함에 따라 높은 Hurst지수를 갖는 시장지수는 낮은 Hurst지수를 갖는 시장지수들에 비하여 과거 가격변화패턴을 이용한 예측력은 높을 것이다. 즉, Hurst지수와 예측력간에는 양(+)의 관계가 예상된다. 반면에, 시계열자료의 무작위성을 계량화한 ApEn측정치에 있어서, 과거 유사한 가격변화패턴의 발생빈도가 높음에 따라 낮은 ApEn측정치 값을 갖는 시장지수는 높은 ApEn측정치 값을 갖는 시장지수에 비하여 과거 가격변화패턴을 이용한 예측력은 높을 것이다. 즉, ApEn측정치와 예측력간에는 음(-)의 관계가 예상된다. 효율성 정도의 차이와 예측력간의 검증결과는 <그림 3>에 제시하였다.

그림에 제시된 Hurst지수와 ApEn측정치는 앞의 <그림 1>에서 사용된 각 측정치의 평균값과 동일하다. 그림에 제시된 NN예측방법의 예측력은 예측된 미래 가격변화의 방향성이 실제 가격변화의 방향성과 일치하는 비율(hit-rate)의 평균값을 사용하였다. 즉, 예측에 직접적으로 이용될 과거 유사한 가격변화패턴의 선택기간은 Hurst지수와 ApEn측정치를 산출하기 위하여 설정된 추정기간(60개월)과 동일하게 설정하였다. 예측기간은 추정기간에 포함되지 않는 1년 간의 자료(out-of-sample)를 이용하였으며, 매 거래일마다 예측된 미래 가격변화의 방향성이 실제 가격변화의 방향성과 일치하는 빈도에 대한 예측기간 1년 동안의 비율을 산출하였다. 그리고, 이러한 검증과정은 일정 이동기간(12개월)에 대하여 2006년 12월까지 반복적으로 적용하여, 각 예측기간에 산출된 예측력에 대한 평균값을 <그림 3>에 이용하였다. 즉, 예측력의 평균값과 ApEn측정치(그림 a)와 Hurst지수(그림 b)간의 관계를 각각 구분 표시하였다. 각국의 시장지수는 대륙별로 분류하여 표시하였다. 즉, 아시아지역(Asia and Pacific)의 13개국 시장지수는

원(circles, red)모양으로, 아메리카지역(South and North America)의 7개국 시장지수는 삼각형(triangle, magenta)과 사각형(square, blue)모양으로, 그리고, 유럽(Europe)지역의 7개국 시장지수는 다이아몬드(diamond, green)모양으로 나타내었다.

검증결과에 의하면, 27개국 시장지수를 이용하여, NN예측방법에 의한 미래 가격변화의 방향성에 대한 평균 예측력은 ApEn측정치와  $\rho(\overline{NN}_j, \overline{A}_j) = -38\%$ 의 상관관계를 가졌고, Hurst지수와는  $\rho(\overline{NN}_j, \overline{H}_j) = +85\%$ 의 상관관계를 갖는 것으로 확인되었다. 즉, 과거 가격변화패턴의 유사성에 근거한 ApEn측정치와 Hurst지수의 효율성 정도에 대한 관찰결과를 NN예측방법에 의한 미래 가격변화의 방향성 예측력에 의미 있는 정보임을 확인하였다. 과거 가격변화패턴을 이용한 예측력은 앞에서 설정한 예상과 같이, ApEn측정치와 Hurst지수에 대하여 각각 음(-)과 양(+ )의 관계를 갖는다. 특히, 장기기억속성을 나타내는 Hurst지수와 NN예측방법의 방향성 예측비율(hit-rate)간에 매우 뚜렷한 양(+ )의 관계를 갖는다는 점이 흥미롭다. 추가적으로, ApEn측정치와 Hurst지수에 대하여 각 국가별로 측정된 NN예측방법에서의 예측력과의 관계를 그림에서의 위치를 통하여 살펴보면, 앞의 <그림 1>에 확인된 검증결과와 유사하다는 것을 알 수 있다. 즉, 미래 가격변화의 예측력과 ApEn측정치간의 검증결과인 그림(a)에서는 좌측 상단 쪽에 위치할수록, 예측력과 Hurst지수간의 검증결과인 그림(b)에서는 우측 상단 쪽에 위치할수록, 과거 가격변화패턴을 이용한 예측력이 높다는 것을 의미한다. 위치에 속하는 시장지수들은 남아메리카지역(Chile, Peru, Argentina)과 아시아지역(Indonesia, Philippines, Malaysia, India 등)에 속하는 시장지수들로 확인되었다. 반면에, 미래 가격변화의 예측력과 ApEn측정치간의 검증결과인 그림(a)에서 우측 하단 쪽에 위치할수록, 예측력과 Hurst지수간의 검증결과인 그림(b)에서는 좌측 하단 쪽에 위치할수록, 시장지수의 과거 가격변화패턴을 이용한 미래 가격변화예측이 어렵다는 것을 의미한다. 위치에 속하는 시장지수들은 유럽지역(France, UK, Germany 등), 북아메리카지역(Canada, USA), 아시아지역(Australia, Japan, New Zealand, Korea 등)에 속하는 시장지수들로 확인되었다.

<그림 3> 미래가격변화 예측력과 Hurst지수 및 ApEn측정치간의 관계 검증결과



이상의 검증결과를 통하여, 금융시계열자료의 과거 가격변화패턴에 대한 유사성을 근거로 효율성 정도를 계량화한 Hurst지수와 ApEn측정치는 과거 가격변화패턴을 직접적으로 활용하는 예측방법에 유용한 정보를 제공할 수 있는 측정치라는 것을 실증적으로 확인할 수 있었다. 또한, 재무분야에 있어서 효율성 정도의 차이는 가격변화의 예측력에 직접적으로 관련성을 갖는다는 것을 실증적으로 확인할 수 있었다. 더욱이, 장기기억속성을 나타내는 Hurst지수와 NN예측방법의 미래 가격변화의 예측력간에는 매우 강한 관계를 갖는 것으로 확인되었다.

#### IV. 결론 및 시사점

본 연구는 금융시계열자료에서 관찰된 효율성 정도의 차이가 미래 가격변화의 예측력과 의미 있는 관계를 갖는지 여부를 실증적으로 확인하고자 하였다. 가격변화의 효율성 정도에 대한 계량적 척도는 Hurst지수와 ApEn측정치를 이용하였다. 예측력은 외표본자료를 이용한 NN예측방법으로부터 예측된 미래 가격변화의 방향성이 실제 주가가격변화의 방향성과 일치하는 비율(hit rate)을 이용하였다. 검증자료는 27개국 주식시장의 대표적 시장지수들이다. 관찰된 검증결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

먼저, 27개국 주식시장의 대표적 시장지수자료를 이용하여, 금융시계열자료의 과거 가격변화패턴의 유사성을 근거로 효율성 정도를 계량화시킨 Hurst지수와 ApEn측정치간의 관계를 실증적으로 검증하였다. 검증결과에 의하면, Hurst지수와 ApEn측정치는 금융시계열자료의 과거 가격변화패턴의 유사성에 근거하여 효율성 정도를 계량화시킬 수 있는 측정치임을 알 수 있었다. 또한, 이들 두가지 측정치간에는 음(-)의 관계를 갖고 있기 때문에, 금융시계열자료의 효율성 정도를 평가하는데, 상호·보완적인 활용이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 그리고, 비록 유럽지역에 대하여 ApEn측정치와 Hurst지수간에 일관된 결과를 확인하지 못한다 할지라도, 과거에 비하여 현재 각국의 시장지수 효율성 정도는 높아졌다는 것을 확인하였다.

다음으로, 과거 가격변화패턴의 유사성에 근거한 효율성 정도 측정치들과 NN예측방법을 사용하여 예측된 예측력간에 어떤 관계를 갖는지를 실증적으로 검증하였다. 검증결과에 의하면, 금융시계열자료의 효율성 정도를 계량화한 Hurst지수와 ApEn측정치는 과거 가격변화패턴의 유사성을 직접적으로 활용한 예측방법에 유용한 정보를 제공할 수 있는 측정치라는 것을 실증적으로 확인하였다. 더욱이, 장기기억속성을 나타내는 Hurst지수와 NN예측방법의 미래 가격변화의 예측력간에는 매우 강한 관계를 갖는다는 것을 알 수 있었다.

이상의 검증을 통하여, 본 연구는 재무분야에 있어서 금융시계열자료로부터 관찰되는 효율성 정도의 차이는 미래 가격변화의 예측에 직접적으로 관련성을 갖는 가치 있는 정보라는 것을 실증적으로 확인하였다. 그리고, 이와 같은 연구시도는, 기존 재무분야에서 제기되었던, 금융시계열자료의 효율성에 대한 증거가 추가적으로 예측력과 직접적으로 관계를 갖는지 여부에 대한 입증부족에 대하여, 본 연구에서 이들간의 관계를 실증적으로 입증하였다는 점에서 기여도를 생각할 수 있다. 또한, 이러한 연구시도가 국내외적으로 처음으로 이루어졌기 때문에, 향후 보다 보완적인 검증설계에 의한 연구시도가 이루어질 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- 김태혁, 엄철준, 오갑진 (2005), “국제시장지수의 상대적 시장효율성에 관한 비교연구 : Approximate Entropy 방법을 중심으로, ” 재무연구 18(2), 239-262.
- 엄철준, 오갑진 (2005), “주식가격변화의 상대적 효율성에 관한 실증연구 : KOSPI와 S&P500 시장지수를 중심으로, ” 산업경제연구 18(6), 2859-2878.
- 엄철준, 오갑진, 김승환, 김태혁 (2007), “주식가격변화의 장기기억속성 존재 및 영향요인에 대한 실증연구, ” 재무관리연구, forthcoming.
- Bajo-Rubio,O., F.Fernandez-Rodríguez,F., and Sosvilla-Rivero,S., (1992), "Chaotic Behavior in Exchange-rate Series : First results for the Peseta-US dollar case," *Economic Letters* 39, 207-211.
- Baillie,R.T.T., T. Bollerslev, and H.O. Mikkelsen(1996), "Fractionally Integrated Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity," *Journal of Econometrics*, 3-30.
- Barkoulas,J.T., C.R.Baum, and N.Travlos (2000), "Long memory in the Greek stock market," *Applied Financial Economics* 10, 177-184.
- Cajueiro, D.O. and B.M. Tabak(2004), "Ranking Efficiency for Emerging Equity Market, " *Chaos, Solitons and Fractals* 22, 349-352.
- Fama,E.F. (1970), "Efficient Capital Markets : A Review of Theory and Empirical Work," *Journal of Finance*, 383-417.
- Farmer,D., and Sidorowich,J. (1987), "Predicting Chaotic Time Series," *Physical Review Letters* 39, 226-241.
- Fernandez-Rodríguez,F., Sosvilla-Rivero,S. and Caeca-Artiles,M.D., (1997), "Using Nearest Neighbour Predictors to Forecast the Spanish Stock Market," *Investigaciones Economicas* 21, 75-91.
- Fernandez-Rodríguez,F., Sosvilla-Rivero,S. and Caeca-Artiles,M.D., (1999), "Dancing with Bulls and Bears : Nearest-neighbor Forecasts for the Nikkei index," *Japan and the World Economy* 11, 395-413.
- Geweke,J., and S.Porter-Hudak (1983), "The Estimation and Application of Long Memory Time Series Models," *Journal of Time Series Analysis* 4, 221-238.
- Granger,C.W.J., and Z.Ding (1996), "Varieties of long memory models," *Journal of Econometrics* 73, 61-77.
- Granger,C.W.J., and R. Joyeux(1980), "An Introduction to Long Memory Time Series Models and Fractional Differencing," *Journal of Time Series Analysis*, 15-39.
- Grau-Carles,P. (2000), “Empirical Evidence of Long-memory Correlation in Stock Return,”

- Physica A* 287, 396-404.
- Hiemstra,C., and J.D.Jones (1997), "Another look at long memory in common stock returns," *Journal of Empirical Finance* 4, 373-401.
- Hurst, H.E.(1951), "Long-term Storage Capacity of Reservoirs," *Transactions of the American Society of Civil Engineering* 116, 770-799.
- Jacobsen,B. (1996), "Long term dependence in stock returns," *Journal of Empirical Finance* 3, 393-417.
- Kilic,R. (2004), "On the long memory properties of emerging capital markets : evidence from Istanbul stock exchange," *Applied Financial Economics* 14, 915-922.
- Lo,A.W. (1991), "Long-term memory in stock market prices," *Econometrica* 59(5), 1279-1313.
- Mandelbrot B.B. and J.W. Van Ness(1968), "Fractional Brownian Motions, Fractional Noises and Applications," *SIAM. Review* 10(4), 422-437.
- Matteo, T.D., T. Aste and M.M. Dacorogna (2005), "Long-term Memories of Developed and Emerging Markets : using the Scaling Analysis to Characterize their Stage of Development," *Journal of Banking and Finance* 29, 827-851.
- Oh Gabjin, Seunghwan Kim, and Cheoljun Eom (2006), " Statistical Properties of the Returns of Stock Prices of International Markets", *Journal of Korean Physics Society*, 48, 197~201.
- Oh Gabjin, Seunghwan Kim, and Cheoljun Eom, (2007), "Market Efficiency in Foreign Exchange Markets," *Physica A*, Forthcoming.
- Peng,C.K., S. V. Buldyrev, S. Havlin, M.Simons, H. E. Stanley, and A. L. Goldberger (1994), "Mosaic organization of DNA nucleotide", *Physical Review E* 49, 1685-1694.
- Pincus S.M., "Approximate Entropy as a measure of System Complexity," *Proc Natl Acad Sci.*(1991), pp 2297-2301.
- Pincus S.M. and R.E. Kalman, (2004) "Irregularity, Volatility, Risk and Financial Market Time Series," *PNAS*, 13709-13714.
- Sauer,T., Yorke,J.A., and Casdagli,M., (1991), "Embedology," *Journal of Statistical Physics* 65, 579-616.
- Soofi,A.S., and L.Cao, (1999), "Nonlinear Deterministic Forecasting of Daily Peseta-Dollar Exchange Rate," *Economics Letters* 62, 175-180.
- Weron,R. (2002), "Estimating Long-range Dependence : Finite Sample Properties Confidence Intervals," *Physica A* 32, 285-299.

Willinger, W., M.S. Taqqu, and V. Teverovsky (1999), "Stock market prices and long-range dependence," *Finance Stochast* 3, 1-13.