

非線型 마코브과정 간의 共時運動과 증권의 價格決定

李逸均*

Mathematicae quantitates in infinitum augentur. Species etiam numerorum propter hoc sunt infinitiae, quia, dato quolibet numero, ratio alium maiorem excogitare potest.¹⁾

〈요 약〉

이 논문에서는 비선형 마코브과정에 의하여 주가가 생성되며 비선형 마코브과정간에 공시운동이 존재하고 이 공시운동에 의하여 주가가 생성되고 있는지의 여부를 검토하는데 목적이 있다. 공시운동은 벡터시계열을 구성하고 있는 단일시계열들의 작용에 의하여 형성되는 관계이다.

종합주가지수를 비롯한 산업별 주가지수가 모두 41개인데 이 지수들의 수익률 시계열들이 비선형 마코브과정을 데이터 생성함수로하여 생성된다고 할 때 정상성·어고딕성이 성립하고 있는 지수수익률시계열이 있고 그렇지 않은 시계열도 있다. 종합주가지수와 대기업, 소기업은 정상적·어고딕 비선형 마코브과정을 따르고 있다.

비선형 마코브과정의 공시운동은 두 시계열간의 관계이다. 종합주가지수의 수익률 시계열과 각 산업주가지수의 수익률 시계열간의 공시운동은 시장 1부, 시장 2부 등을 비롯한 산업에서는 존재하고 있지 않으며, 중기업 산업 등을 비롯한 산업에서는 존재하고 있다.

I. 서 론

재무이론의 정립과 실증분석에서는 선형성에 근거를 둔 연구가 대중을 이루어 오고 있는 감이 있다. 선형성에 기초한 이론이 현실을 해명하는데 큰 공헌을 이룩해온 것은 부인할 수 없는 사실이다. 선형성의 가정하에서 얻은 정리들과 모형들이 현실이 움직여 나가는 큰 행로와 큰 노정을 정확하게 제시해 왔다는 것을 부정할 수는 없을 것이다. 그러나 큰 행로와 큰 노정의 미세부분에 대해서는 미진한 부분이 무척 많다. 그런

* 明知大學校 經營學部 教授

1) 수학적인 量도 무한히 증대될 수 있다. 이로 인하여 수의 종들도 무한하다. 왜냐하면 어떤 수가 주어지면 다른 더 큰 수를 생각할 수 있기 때문이다. (Thomas Aquinas, Summa Theologiae. 아퀴나스, 신학대전)

데 선형모형이 예측하는 재무행동이 실제 표출되는 재무행동과 일치하지 않고 있는 경우가 많이 발견되고 있다.

Franses와 van Dijk(2000)에 의하면, 열외로 보이는 듯한 큰 값의 주가관찰치가 자주 발생하고 있으며, 큰 값의 음의 주식수익률의 발생빈도가 큰 값의 양의 주식수익률의 발생빈도보다 많으며, 큰 값의 수익률이 군집을 이루어 발생하는 경향이 있으며, 진폭성(volatility)이 높은 기간들 다음에 큰 값의 음의 수익률이 발생하고 있다. 이와 같은 현상은 주가가 선형모형보다는 비선형모형에 의하여 생성된다는 것을 지지하고 있는 것 같다.

이를 극복하기 위한 방법 중 하나로 비선형모형이 최근 연구의 대상이 되고 있다. Teräsvirta와 Anderson(1992)은 미끄러운 전이 자기회귀모형(smooth transition autoregressive model)을 연구하였으며 Pesaram과 Potter(1997)와 Altissimo와 Violante(1995)는 역치(threshold) 자기회귀모형의 성질을 규명하고 있다. Balke와 Fomby(1997)는 閾値誤差修正模型을 정립하였으며 Granger와 Swanwon(1996)은 비선형 오차수정모형의 성질을 파악하였다. Corradi 등(2000)은 비선형 확률과정의 공시운동을 검정하는 방법을 개발한 바 있다.

문제는 선형과는 달리 비선형행동의 모형화는 복잡하고 폐형해(closed-form solution)를 얻기가 어렵다는데 있다. 그러나 선형성에 기초한 모형 과정화에서 형성되는 선형의 부분부분들이 비선형성에 입각한 모형 과정화에서 형성되는 비선형의 부분부분들과 형태적 측면에서 동일하고 서로 대응되는 관계를 형성한다면 비선형의 부분부분들간의 관계를 선형의 부분부분들간의 관계로 대체할 수 있는 틀을 만들 수 있는 가능성도 배제할 수 없는 경우가 있을 수 있다. 그렇다면 선형의 부분부분들의 관계의 정립을 모형이라고 정의하면, 선형모형의 정립방법을 통하여 비선형모형을 정립할 수 있으며 폐형해도 용이하게 얻을 수 있을 것이다.

이 논문의 목적은 주가가 선형 마코브과정을 따르고 있는지 또는 비선형 마코브과정을 따르고 있는지를 검정하는데 있다. 말하자면 선형확률 공시운동이 비선형과정에 의하여 생성되는지의 여부를 검정하는데 있다. 이것이 입증되면 비선형모형의 정립 가능성도 상당히 증가할 수 있을 것이다. 이 목적을 수행하기 위하여 공적분과 선형확률 공시운동에 대한 대응관계와 대체성을 검토하여 선형모형의 방법이 비선형모형에도 유추될 수 있음도 아울러 제시하고자 한다. 주가시계열이 정상성·어고덕성을 가지고 있는지의 여부도 검정한다.

이 논문의 진행은 다음과 같다. 제2장에서는 공적분과 선형확률 공시운동과의 대응 관계를 밝힌다. 선형확률공시운동이 성립하는 조건과 비선형 데이터생성과정을 분석하고 선형시계열과정에서 정상성·어고딕성을 검정하는 방법과 공시운동검정방법과의 관계를 밝히고 공시운동검정방법을 제시한다. 제3장에서는 실증분석에 사용된 데이터의 기술통계량을 제시하고 검정결과를 분석한다. 끝으로 제4장에서는 결론을 맺는다.

II. 비선형 마코브과정의 정상성·어고딕성과 선형 확률공시운동의 검정방법

1. 비선형 마코브과정의 공시운동

비선형 이산시간 마코브과정들간의 공시운동을 Corradi 등(2000)이 고찰하고 있는데, 그들의 소론을 간략하게 살펴보고자 한다.

한 시계열 $\{X_t\}$ 의 데이터 생성과정이 다음과 같다고 하자.

$$X_t = AX_{t-1} + g_0(\theta_0^1 X_{t-1}, \dots, \theta_0^r X_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (1)$$

위에서 $X_t: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^p$, $t = 1, 2, \dots, T$ 이다. 이 시계열의 확률공간은 (Ω, \mathcal{F}, P) 이고 θ_0^j 는 $r \leq p$ 이고 $1 \leq j \leq r < p$ 에 대하여 $p \times r$ 행렬인 θ_0^j 의 i 번째 열이다. 위 식의 비선형 마코브과정이 형성되도록 행렬 A 가 정규성 조건을 만족한다고 가정한다. 예컨대 행렬 A 의 모든 고유값이 절대값에서 1보다 엄격히 적으면 X 는 기하어고딕 마코브과정(geometric ergodic process)이다.

선형 확률공시운동의 정의는 다음과 같다. X 의 각 성분이 $T \rightarrow \infty$ 함에 따라 양의 확률로 무한에 접근한다는 의미에서 X 가 \mathbb{R}^p 에서 기하어고딕 마코브과정이라고 하자. $\theta_0^j X_t$ 가 \mathbb{R}^r 에서 르베그측도에 대하여 절대연속인 불편확률측도를 가진다는 의미에서 $\theta_0^j X_t$ 가 어고딕 마코브과정이 되도록 전열계수(full column rank) $p \times r$ ($r < p$) 행렬인 $\theta_0 = (\theta_0^1, \dots, \theta_0^r)$ 가 존재한다고 가정하자. 그러면 X 의 성분사이에 선형확률공시운동(linear stochastic comovement)이 존재하고 $j = 1, \dots, r$ 에 대하여 θ_0^j 가 i 번째 공시운동 벡터이다.

$\theta_0^j X_t$ 에 대하여 다음이 성립한다.

$$\theta_0^i \Delta X_t = \theta_0^i \phi X_{t-1} + \theta_0^i g_0(\theta_0^1 X_{t-1}, \dots, \theta_0^i X_{t-1}) + \theta_0^i \varepsilon_t \quad (2)$$

따라서 위에 제시한 정의에 의하여 X 의 성분들간에 확률적 공시운동이 존재함을 알 수 있다. $A = I$ 이면 g_0 는 X 들의 일반적 선형결합에 의존한다. 따라서 비선형성분이 기하 어고딕과정을 형성할 수 있고 비선형성분이 비선형 비어고딕과정을 형성시킬 수 있다.

2. 정상성 · 어고딕성의 검정

선형성분과 유계비선형성분의 합으로 구성되고 제1계 마코브(Markov)인 비선형 테이터생성함수의 경우 기하어고딕과정(geometric ergodic process)을 형성시키는 조건들을 찾을 수 있다. 즉 $\theta_0^i X_t$ 가 어고딕 마코브과정이 형성되도록 벡터 θ_0 를 선택할 수 있다. 그러면 이 선형결합은 공적분의 선형결합과 대응된다. 그런데 식 (1)의 함수 $g(\cdot)$ 의 형태로는 비선형함수 중 정상성을 갖는 함수를 찾으려 한다. 예컨대 $g_0(x) = xe^{-x^2}$, $g_0(x) = x/(1 + e^{x^2})$, $g_0(x) = x/(1 + e^{-x})$, $g_0(x) = x(1 - e^{-x})$ 등이 이에 해당된다. 따라서 공적분의 개념과 일치한다. 공적분은 선형관계에 적용되는 개념이며 이 경우는 비선형이므로 공적분이라는 용어 대신 선형확률 공시운동이라는 용어를 사용한다. 이때 θ_0^i 가 i 번째 공적분이라는 개념과 상응하는 i 번째 공시운동벡터이다.

식 (1)에서 $\theta_0 = 1$ 이라고 하자. 그러면 이 모형은 다음의 형태를 가지며 Kwiatkowski 등(1992)이 검토한 모형과 일치한다.

$$X_t = \alpha X_{t-1} + g_0(X_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (3)$$

위 식은 분명히 비선형과정이며 강형혼합과정이고 기하 어고딕과정이다. Corradi 등(2000)은 정상성 · 어고딕성과 선형 확률공시운동이라는 귀무가설 하에 있어서는 다음이 성립함을 증명하였다.

$$S_T = \frac{1}{s_{1T}^2} \frac{1}{T^2} \sum_{t=1}^T \left(\sum_{j=1}^t (X_j - \bar{X}) \right)^2 \Rightarrow \int_0^1 V_r^2 dr$$

위에서 $V_r = V(r)$ 은 표준브라운 브리지(Brownian bridge)이며 각 변수의 정의는 다음과 같다. 즉, W 는 표준브라운운동이고

$$\begin{aligned}
 V_r &= W_r - rW_1, \quad 0 \leq r \leq 1 \\
 W_r &= W(r) \\
 \bar{X} &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_t \\
 s_{1r}^2 &= \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})^2 + \frac{2}{T} \sum_{t=1}^{1r} \left(1 - \frac{t}{1r+1}\right) \\
 &\quad \times \sum_{j=t+1}^T (X_j - \bar{X})(X_{j-t} - \bar{X}) \\
 1r &= o(T^{1/2})
 \end{aligned}$$

위 식에서 볼 수 있는 바와 같이 이 귀무가설에 의한 분포는 Kwiatkowski 등(1992)의 검정통계량의 분포와 동일하다.²⁾

3. 선형확률 공시운동검정

공분적 검정은 공시운동검정과 동일함을 위에서 본 바 있다. 귀무가설은 선형공적분 즉 선형공시운동이고 대립가설은 비선형공적분(공시운동)이다. 두 시계열 $X_{1,t}$ 와 $X_{2,t}$ 가 존재할 때 $X_{2,t}$ 를 $X_{1,t}$ 와 상수에 대하여 회귀시켜 얻는 계수를 $\hat{\beta}_T$ 라 하고 $\hat{\gamma}'_T = (-\hat{\beta}_T, 1)$ 이라 하자. $\hat{\gamma}'_T X_t$ 를 $\hat{\gamma}'_T X_{t-1}$ 과 상수로 회귀시켜 얻는 기울기 계수를 $\hat{\phi}$ 라 하고 $\hat{\eta}_t$ 를 잔차라 하자. 즉

$$\hat{\eta}_t = \left(\hat{\gamma}'_T X_t - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{\gamma}'_T X_t \right) - \hat{\phi}_T \left(\hat{\gamma}'_T X_{t-1} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{\gamma}'_T X_{t-1} \right) \quad (4)$$

함수 g 의 평균을 \bar{g} 라 하자. 즉

2) 단위근과정에 대한 Dickey-Fuller 검정과 Phillips-Perron 검정에서는 단위근과정을 귀무가설로 선정하여 검정통계량이 도출되었다. 이 방법에서는 실증분석에서 단위근이 존재하지 않는데도 불구하고 단위근이 존재한다는 것을 발견하게 된다는 결점이 있다. 이 결점을 극복하기 위하여 I(0)을 귀무가설로 한 검정이 Kwiatkowski 등이 개발한 방법이다. 평균에서의 편차를 s_t 라 하자. $V_n(r) = S_{[nr]}/\sqrt{n}\sigma$ ($c \leq r \leq 1$)라 하자. 그러면 B 를 브라운운동과정이라 하면 $V(r) = B(r) - r(B1)$ 이다. $V(0) = V(1)$ 은 브라운브리지이다.

$\hat{\eta}_n = \sum_{t=1}^n S_t^2 / n^2 s_{nr}^2$ 이라 하면 $\hat{\eta}_n \xrightarrow{d} \int_0^1 V(r)^2 dr$ 이다. 따라서 Kwiatkowski 등의 검정과 비선형성 하에 서의 정상성·어고딕성검정이 일치하고 있음을 알 수 있다.

$$\bar{g} = \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T g(\hat{\gamma}'_T X_{t-1} \tau)$$

Corradi 등(2000)은 검정통계량을 다음과 같이 유도하였다.

$$m_T^r = \frac{1}{\sqrt{T}} \frac{1}{\hat{\sigma}_{1r}} \sum_{t=2}^T \hat{\eta}_t [g(\hat{\gamma}'_t X_{t-1}^r) - \bar{g}]$$

위에서

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{1r}^2 &= \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T (\hat{\phi}_t^r)^2 + \frac{2}{T} \sum_{t=2}^T \left(1 - \frac{1}{1_T + 1}\right) \sum_{j=t+1}^T \hat{\phi}_j^r \hat{\phi}_{j-t}^r \\ \hat{\phi}_t^r &= [\{g(\hat{\gamma}'_T X_{t-1} \tau) - \bar{g}\} \\ &\quad - \left\{ \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T (\hat{\gamma}'_T X_{t-1} - \hat{\gamma}'_T \bar{X})^2 \right\}^{-1} \\ &\quad \times \left\{ \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T (\hat{\gamma}'_T X_{t-1} - \hat{\gamma}'_T \bar{X})(g(\hat{\gamma}'_T X_{t-1} \tau) - \bar{g}) \right\} \\ &\quad \left\{ \hat{\gamma}'_T X_{t-1} - \hat{\gamma}'_T \bar{X} \right\}] \hat{\eta}_t \\ 1_T &= o(T^{1/2}) \end{aligned}$$

통계량 각 $\tau \in T$ 에 대하여 $(m_T^r)^2 \sim \chi^2(1)$ 이다.

III. 검 정

이 논문에서는 일별종합주가지수의 수익률을 비롯하여 한국증권거래소가 발표하는 산업별지수를 사용하여 정상성·어고덕성과 두 지수 사이의 공시운동을 검정한다. 사용된 표본의 기간은 1980~1999년이다. 표본으로 사용한 각 산업별 주가지수의 수익률 시계열들의 기술통계량을 <표 1>에 제시한다. 평균은 대체적으로 0.04%이다. 이에 비하여 표준편차는 상당히 크다. 따라서 표본의 변동성(variability)이 크다. 평균이 가장 큰 산업이 기계산업으로 0.0011%이다. 그런데 이 산업의 표준편차가 가장 크며 0.0643이다. 최소값이 모두 음수이며 그 양이 상당히 크다. 최대값은 양수이며 이 값 역시 상당히 크다.

<표 2>는 증분 디키·풀러(augmented Dickey-Fuller ; ADF) 검정통계량을 보여주고 있다. 이 검정에서는 귀무가설은 시계열에 단위근이 존재한다는 것이다. 이 통계량

<표 1> 기술통계량

지 수	평 균	표 준 편 차	최 소 값	최 대 값
종합주가지수	0.0004	0.0136	-0.0839	0.0850
시장 1부	0.0004	0.0140	-0.0886	0.1620
시장 2부	0.0006	0.0245	-0.5144	1.0700
대기업	0.0004	0.0144	-0.1557	0.0898
중기업	0.0004	0.0145	-0.1597	0.5256
소기업	0.0005	0.0141	-0.2918	0.4351
어 업	0.0004	0.0255	-0.5388	1.1690
광 업	0.0007	0.0302	-0.5688	1.3717
음식료품	0.0005	0.0124	-0.1811	0.0850
식료품	0.0006	0.0186	-0.0806	0.8343
음료품	0.0004	0.0137	-0.0862	0.1084
섬유의복가죽	0.0003	0.0137	-0.0966	0.1019
섬유업	0.0004	0.0143	-0.0983	0.1053
의복업	0.0002	0.0169	-0.1649	0.3041
나무 및 나무제품	0.0003	0.0243	-0.5410	0.1285
종이 및 종이제품	0.0004	0.0155	-0.2262	0.0917
화학 석유 석탄 고무	0.0004	0.0138	-0.0751	0.0849
화 학	0.0004	0.0147	-0.0826	0.0827
고 무	0.0006	0.0160	-0.1733	0.1343
의 약	0.0005	0.0168	-0.1153	0.1485
비금속 광물	0.0004	0.0157	-0.1724	0.1267
1차 금속	0.0005	0.0163	-0.3644	0.1012
철 강	0.0006	0.0170	-0.1566	0.1105
비철금속	0.0004	0.0186	-0.2955	0.0944
조립금속기계장비	0.0005	0.0168	-0.1868	0.2905
조립금속	0.0004	0.0193	-0.3081	0.1095
기 계	0.0011	0.0643	-0.8198	4.4926
전기기계	0.0007	0.0171	-0.0896	0.1032
운수장비	0.0004	0.0179	-0.3181	0.1003
기타제조업	0.0003	0.0162	-0.2320	0.1101
종합건설업	0.0002	0.0189	-0.1800	0.1489
도매업	0.0003	0.0168	-0.1714	0.1190
운수 창고업	0.0005	0.0163	-0.1101	0.1243
육상운수	0.0004	0.0178	-0.1190	0.2600
해상운수	0.0004	0.0188	-0.3057	0.4351
금융업	0.0004	0.0173	-0.1793	0.0954
은행업	0.0003	0.0189	-0.1956	0.1036
단자업	0.0003	0.0176	-0.1810	0.1416
증권업	0.0008	0.0212	-0.1946	0.1483
보험업	0.0008	0.0185	-0.0992	0.2958
제조업	0.0004	0.0136	-0.0748	0.0901

은 $-22.0 < \tau < -27.0$ 사이에 있으며 대부분이 약 -24이다. 증분디키·플러검정의 임계값 -2.86이므로 유의수준 1%에서도 기각된다. 따라서 종합주가지수 수익률을 비롯한 각 산업별 지수의 수익률이 단위근과정을 따르지 않고 정상성·어고덕성을 따르고 있다고 할 수 있다.

<표 2> 단위근과정에 대한 ADF 검정

지 수	검정통계량	지 수	검정통계량
종합주가지수	-24.8255	1차 금속	-25.1373
시장 1부	-25.1966	철 강	-25.0202
시장 2부	-24.8356	비철금속	-24.3320
대기업	-25.1298	조립금속기계장비	-24.8756
중기업	-23.6444	조립금속	-24.2653
소기업	-24.2207	기 계	-25.5076
어 업	-24.2136	전기기계	-25.2510
광 업	-26.9301	운수장비	-24.7539
음식료품	-23.8855	기타제조업	-24.3768
식료품	-24.5902	종합건설업	-22.9047
음료품	-24.5807	도매업	-23.1318
섬유의복가죽	-23.4409	운수 창고업	-23.1292
섬유업	-23.6588	육상 운수	-23.8898
의복업	-24.4704	해상 운수	-24.2068
나무 및 나무제품	-23.1163	금융업	-24.4161
종이 및 종이제품	-23.7183	은행업	-24.8919
화학 석유 석탄 고무	-24.2933	단자업	-23.1950
화 학	-24.1810	증권업	-22.1656
고 무	-26.1761	보험업	-22.3511
의 약	-24.4695	제조업	-24.6048
비금속광물	-23.1466		

李逸均(1999)은 주가가 장기기억과정에 의하여 생성되고 있는지 또는 단기기억에 의하여 생성하고 있는지를 점검하는 과정에서 종합주가지수의 수익률시계열이 무작위행보를 따르고 있지 않다는 사실을 발견한 바 있다. 편류를 가지는 무작위행보모형, 즉 $X_t = \alpha + \rho X_{t-1} + \epsilon_t$ 를 검정해본 결과 (여기에서는 통계량을 제시하는 것은 할애하지만) $\rho = 1$ 이라는 귀무가설이 기각되었다.³⁾ 말하자면 무작위행보가 기각되었고 따라서 단위근과정이 기각되어 정상성·어고덕성이 성립하고 있음을 알고 있다. ADF 역시

3) 계산결과에 대한 요청이 있으면 보내드리겠습니다.

이 점을 지지하고 있으며, 단위근과정을 기각하고 정상성·어고딕성을 지지하고 있다.

귀무가설은 시계열과정이 $I(0)$ 과정이라는 Kwiatkowski 등의 검정통계량을 제시하면 <표 3>과 같다. 이 표에서 t_T 는 시차이다. 유의수준 10%와 5%에서의 임계값은 각각 0.347과 0.463이다. 귀무가설이 기각되는 지수를 정리하여 제시하면 <표 5>와 같다. 종합주가지수를 비롯한 산업별 지수 중 시장 2부, 섬유·의복·가죽, 의복업, 종이 및 종이제품, 비금속광물, 조립금속, 운수장비, 기타제조업, 도매업, 금융업, 단자업 산업지수의 수익률은 기각되어 단위근이 존재하고 있음을 보여주고 있다. 즉 비정상성·비어고딕성이 있다. 그리고 중기업은 시차 0과 1에서만 기각되고 섬유업은 시차 0에서 8까지 기각되고 시차 9와 10에서는 기각에 실패하고 있다. 은행업은 시차 0에서만 기각된다. 그러나 그 이외의 지수들에 대하여는 기각에 실패하고 있다. 단위근이 존재하고 있지 않는 것 같다. 즉 종합주가지수를 비롯한 산업별 주가 41개 중 14개가 단위근과정을 따르고 있으며 종합주가지수 수익률을 비롯하여 한 31개 지수의 수익률이 정상성·어고딕과정을 따르고 있음을 알 수 있다. 종합주가지수, 시장1부, 대기업, 중기업, 소기업의 지수수익률이 정상성·어고딕성을 가지고 있는 반면 제2부 시장은 단위근과정을 따르고 있다는 것이 특이한 일이라 할 수 있다. 비정상성·어고딕성이 존재하지 않을 가능성이 매우 크다.

잘 알려져 있는 바와 같이, Dickey-Fuller검정에서는 귀무가설의 검정이 단위근에 대한 뚜렷한 정보를 제대로 포착하지 못하고 있는 것 같다. Dejong 등(1989)은 Dickey-Fuller검정이 안정적인 자기회귀를 대립가설로 설정할 때 검정력이 약하다는 점을 발견한 바 있다. Diebold와 Rudebush(1990)는 대립가설을 분수적분으로 설정할 때 검정력이 약하다는 점을 증명하였다. Dickey-Fuller검정은 정상성과 비정상 중 어느 하나가 다른 것을 강력하게 지배하지 않는 한 이 양자를 분명하게 구별하지 못하고 있는 것 같다.

Davidson(2000)은 Dickey-Fuller검정법은 검정력이 약하여 단위근이 존재하지 않아도 단위근이 존재한다는 것을 제시하는 결점이 있다고 주장하고 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 단위근이라는 귀무가설 대신 $I(0)$ 을 귀무가설로 택하는 것이 좋다는 점을 제시하고 있다. Kwiatkowski 등(1992)은 대립가설로 단위근이 설정되고 있다. 따라서 귀무가설은 안정성이다. 말하자면 귀무가설이 $I(0)$ 이다. 대립가설은 $I(1)$ 이 될 수 있다. 그들은 $I(0)$ 과정의 특별한 성질이 무엇인가를 자문하고 이에 대한 대답으로 적분할 때 정확히 하나의 단위근을 가지는 과정을 생성시키는 과정을 제시하였다. 이것은 단위근을 가지지 않는 과정과는 구별되는 것이다. 왜냐하면 과도하게 차분되어서는 안되기

<표 3> Kwiatkowski 검정

t_r	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
종합주가지수	0.3683	0.3227	0.3162	0.3110	0.3083	0.3096	0.3137	0.3178	0.3215	0.3224	0.3221
시장 1부	0.2694	0.2389	0.2351	0.2325	0.2317	0.2337	0.2377	0.2418	0.2456	0.2470	0.2472
시장 2부	0.5308	0.5908	0.6110	0.6224	0.6297	0.6341	0.6386	0.6423	0.6444	0.6437	0.6422
대기업	0.2582	0.2303	0.2270	0.2246	0.2246	0.2269	0.2309	0.2347	0.2382	0.2394	0.2396
중기업	0.5553	0.4685	0.4452	0.4276	0.4145	0.4073	0.4045	0.4033	0.4016	0.3988	0.3956
소기업	0.3876	0.3532	0.3395	0.3287	0.3195	0.3162	0.3149	0.3149	0.3149	0.3139	0.3117
어업	0.1536	0.1664	0.1714	0.1724	0.1719	0.1711	0.1703	0.1703	0.1691	0.1684	0.1668
광업	0.0399	0.0362	0.0352	0.0345	0.0339	0.0336	0.0336	0.0347	0.0357	0.0364	0.0370
음식료품	0.1754	0.1414	0.1340	0.1293	0.1260	0.1247	0.1241	0.1243	0.1241	0.1235	0.1227
식료품	0.1391	0.1215	0.1172	0.1145	0.1130	0.1125	0.1123	0.1125	0.1126	0.1125	0.1122
음료품	0.3035	0.2470	0.2322	0.2224	0.2146	0.2097	0.2082	0.2078	0.2075	0.2073	0.2069
섬유의복가죽	0.7224	0.5884	0.5605	0.5436	0.5282	0.5200	0.5158	0.5138	0.5124	0.5087	0.5030
섬유업	0.6249	0.5169	0.4951	0.4830	0.4719	0.4671	0.4651	0.4643	0.4640	0.4613	0.4566
의복업	0.7372	0.6169	0.5862	0.5691	0.5521	0.5399	0.5322	0.5290	0.5279	0.5269	0.5233
나무 및 나무제품	0.2090	0.1813	0.1783	0.1763	0.1731	0.1702	0.1674	0.1657	0.1646	0.1627	0.1599
종이 및 종이제품	0.4900	0.4077	0.3857	0.37090	0.3616	0.3577	0.3561	0.3540	0.3515	0.3488	0.3457
화학 석유 석탄 고무	0.3192	0.2680	0.2597	0.2546	0.2513	0.2516	0.2538	0.2557	0.2571	0.2568	0.2557
화학	0.2937	0.2531	0.2462	0.2425	0.2409	0.2423	0.2448	0.2468	0.2479	0.2472	0.2459
고무	0.2659	0.2222	0.2109	0.2059	0.2028	0.2033	0.2062	0.2093	0.2131	0.2162	0.2184
의약	0.1932	0.1597	0.1554	0.1526	0.1496	0.1482	0.1480	0.1483	0.1490	0.1491	0.1487
비금속광물	0.4815	0.4067	0.3910	0.3790	0.3687	0.3642	0.3643	0.3644	0.3632	0.3595	0.3559
1차 금속	0.2042	0.1833	0.1789	0.1763	0.1749	0.1757	0.1780	0.1800	0.1813	0.1819	0.1821
철강	0.2120	0.1881	0.1847	0.1831	0.1820	0.1828	0.1847	0.1863	0.1877	0.1883	0.1884
비철금속	0.1582	0.1394	0.1363	0.1342	0.1328	0.1324	0.1328	0.1337	0.1342	0.1339	0.1330
조립금속기계장비	0.2946	0.2636	0.2602	0.2601	0.2614	0.2646	0.2698	0.2749	0.2788	0.2794	0.2789
조립금속	0.7015	0.5874	0.5556	0.5324	0.5161	0.5060	0.4995	0.4961	0.4955	0.4942	0.4926
기계	0.2498	0.2942	0.3125	0.3235	0.3309	0.3372	0.3424	0.3464	0.3493	0.3512	0.3528
전기기계	0.1478	0.1268	0.1236	0.1224	0.1219	0.1225	0.1243	0.1262	0.1281	0.1290	0.1291
운수장비	0.5861	0.5143	0.5007	0.4918	0.4878	0.4910	0.5000	0.5062	0.5104	0.5113	0.5111
기타제조업	0.7514	0.6086	0.5639	0.5363	0.5192	0.5107	0.5072	0.5071	0.5086	0.5085	0.5071
종합건설업	0.3242	0.2849	0.2717	0.2612	0.2525	0.2459	0.2419	0.2397	0.2379	0.2349	0.2324
도매업	0.4845	0.4329	0.4247	0.4172	0.4136	0.4112	0.4093	0.4093	0.4088	0.4040	0.3992
운수 창고업	0.3478	0.3033	0.2934	0.2889	0.2859	0.2857	0.2868	0.2871	0.2874	0.2845	0.2810
육상운수	0.4156	0.3518	0.3357	0.3282	0.3204	0.3143	0.3121	0.3120	0.3117	0.3101	0.3082
해상운수	0.0651	0.0564	0.0557	0.0558	0.0560	0.0563	0.0571	0.0575	0.0579	0.0578	0.0576
금융업	0.5783	0.5086	0.4859	0.4688	0.4612	0.4611	0.4641	0.4679	0.4711	0.4710	0.4690
은행업	0.4735	0.4235	0.4127	0.4043	0.4017	0.4059	0.4124	0.4200	0.4260	0.4275	0.4272
단자업	1.1431	0.9832	0.9350	0.8988	0.8716	0.8525	0.8384	0.8281	0.8197	0.8101	0.8007
증권업	0.4153	0.3516	0.3197	0.2986	0.2853	0.2762	0.2695	0.2638	0.2592	0.2545	0.2498
보험업	0.2146	0.1721	0.1578	0.1497	0.1447	0.1418	0.1403	0.1391	0.1376	0.1356	0.1332
제조업	0.3509	0.2988	0.2919	0.2882	0.2860	0.2872	0.2909	0.2949	0.2982	0.2986	0.2978

때문이다. 과도하게 차분되면 $I(-1)$ 이 된다. 이것은 $d \geq 2$ 에 대하여 $I(d)$ 로 적분되는 과정과도 다른 것이다. 그리고 Kwiatkowski 등의 검정법은 $I(d)$ 의 대립가설에서도 일치성을 갖는다. 여기에서 Dickey-Fuller검정법에서 검정력이 약한데 반하여 kwiatkowski 등의 검정에서는 검정력이 강화되었음을 알 수 있다.

41개 지수가 Dickey-Fuller검정에 의하면 단위근을 기각하고 정상성·어고딕성을 따른다는 결과가 제시되었으나 Kwiatkowski 등의 검정에 의하면 14개 지수가 단위근을 따른다는 결과를 얻었다. 이것은 위에서 설명한 바와 같이 Kwiatkowski 등의 검정에서는 검정력이 크고 여러 대립가설에서도 일치성(consistency)을 가지고 있기 때문에 얻은 결과로 볼 수 있다. 따라서 14개 지수가 단위근을 따르고 있다는 결과가 신빙성이 크다고 할 수 있을 것이다.

선형공시운동에 대한 검정을 <표 4>로 제시한다. 시장 1부, 시장 2부, 대기업, 소기업, 어업, 화학 석유 석탄 고무, 화학, 의약, 1차 금속, 철강, 조립금속기계장비, 기계, 종합건설업, 도매업, 운수 창고업, 육상 운수, 해상 운수, 금융업, 증권업, 제조업의 산업별 지수와 종합주가지수와와의 관계에서는 선형공적분 또는 선형공시운동이라는 귀무가설이 기각되어 비선형공시운동이 존재한다는 것을 보여주고 있다. 섬유·의복·가죽산업은 시차 5까지는 기각에 실패하고 그 이후의 시차는 기각된다. 섬유업은 시차 1에서만 기각에 실패하고 그 이후의 시차에 대해서는 기각된다. 그 이외의 산업지수들에 대해서는 기각에 실패하고 있다. 약 반이 기각되고 있다. 이것을 정리한 것이 <표 6>이다.

말하자면 시장 1부와 시장 2부를 비롯한 지수 총 22개가 종합주가지수와 선형공적분 또는 선형공시운동을 행하지 않고 비선형공시운동을 수행하고 있다. 반면 중기업을 비롯한 지수 16개가 종합주가지수와와의 관계에서 선형공시운동을 수행하고 있다.

Kwiatkowski 등의 검정방법에 의하여 $I(0)$ 의 귀무가설이 기각되어 단위근과정을 따른다는 판명이 난 지수 중 시장 2부, 섬유·의복·가죽, 섬유업, 조립금속, 도매업, 금융업만이 비선형공시운동을 하고 있다. 단위근과정을 따르고 있는 중기업, 종이 및 종이제품, 의복업, 운수장비, 기타제조업, 은행업, 단자업 등은 선형공시운동을 하고 있다.

李逸均(1998a)은 주가가 카오스과정을 따르고 있다는 가설을 검정하였는 바, 이 가설을 기각한 바 있다. 뿐만 아니라 주가가 비선형과정에 의하여 생성되고 있지 않음도 실증분석을 통하여 제시하고 있다. 그(1998b)는 연속시간 확률과정을 검정하였는 바, 온스타인·울렌백과정과 평균회귀과정이 현실적합성을 확보하고 있지 못하다는 결론을 제시하였다. 그 대신 기하브라운과정에 의하여 주가데이터가 생성되고 있음을 밝혔다. 주가시계열의 비선형공시운동이 타당하다는 결론을 내리기가 어렵게 보이는데 이 점은

<표 4> 선형공시운동 검정

I_T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
시장 1부	5.4144	5.2878	5.2408	5.0611	5.0254	5.0210	4.9478	4.8853	4.8379	4.7799	4.7093
시장 2부	4.1895	4.0913	4.0634	4.0415	4.0268	4.0175	4.0052	3.9955	0.9892	3.9804	3.9709
대기업	5.3873	5.1999	5.1176	4.9231	4.8576	4.8213	4.7330	4.6609	4.5984	4.5373	4.4700
중기업	0.0380	0.0377	0.0377	0.0376	0.0377	0.0377	0.0378	0.0378	0.0378	0.0378	0.0377
소기업	3.3087	3.2324	3.2589	3.2081	3.2182	3.2544	3.2377	3.2293	3.2392	3.2273	3.2015
어업	6.4666	6.1598	6.1263	6.0352	5.7873	5.6226	5.4612	5.3569	5.3023	5.2373	5.1703
광업	0.6644	0.6259	0.6271	0.6141	0.6167	0.6242	0.6235	0.6234	0.6248	0.6255	0.6238
음식료품	1.4899	1.5738	1.6889	1.6494	1.6747	1.7248	1.7093	1.7010	1.7169	1.7133	1.6876
식료품	0.6900	0.7113	0.7197	0.7232	0.7256	0.7276	0.7284	0.7292	0.7301	0.7305	0.7307
음료품	1.3696	1.4024	1.4303	1.4384	1.4987	1.5812	1.6296	1.6616	1.6926	1.7164	1.7230
섬유·의복·가죽	2.3197	2.4164	2.5308	2.5381	2.5978	2.7045	2.7414	2.7669	2.8180	2.8398	2.8364
섬유업	2.5477	2.6462	2.7754	2.7778	2.8321	2.9405	2.9682	2.9836	3.0323	3.0463	0.0312
의복업	0.2762	0.2848	0.2890	0.2917	0.2943	0.2966	0.2977	0.2999	0.3011	0.3020	0.3026
나무 및 나무제품	0.8043	0.7722	0.7696	0.7606	0.7602	0.7655	0.7671	0.7679	0.7698	0.7704	0.7703
종이 및 종이제품	1.7380	1.6873	1.7020	1.7021	1.7413	1.8040	1.8351	1.8634	1.8957	1.9122	1.9179
화학·석유·석탄·고무	3.7192	3.8173	3.9911	3.9311	3.9841	4.0679	4.0070	3.9719	3.9998	3.9738	3.9005
화학	4.0127	4.1461	4.3584	4.2981	4.3401	4.4005	4.2925	4.2310	4.2549	4.1979	4.0966
고무	0.9806	0.9713	0.9756	0.9726	0.9705	0.9749	0.9699	0.9701	0.9707	0.9671	0.9613
의약	3.0189	3.0052	3.0732	3.0441	3.0849	3.1313	3.1431	3.1570	3.1658	3.1786	3.1617
비금속광물	1.1722	1.1709	1.1914	1.1734	1.1760	1.1880	1.1811	1.1806	1.1863	1.1794	1.1662
1차 금속	3.1768	3.0895	3.0496	2.9888	2.9814	2.9939	3.0133	3.0243	3.0196	3.0323	3.0457
철강	2.8025	2.7304	2.6949	2.6490	2.6440	2.6569	2.6802	2.6940	2.6922	2.7104	2.7314
비철금속	2.2671	2.3005	2.3633	2.3460	2.3759	2.4216	2.4300	2.4417	2.4574	2.4589	2.4492
조립금속기계장비	2.7421	2.7175	2.7279	2.6793	2.6853	2.6984	2.6806	2.6660	2.6589	2.6476	2.6298
조립금속	1.0292	1.0544	1.0733	1.0672	1.0823	1.1003	1.1082	1.1139	1.1268	1.1283	1.1329
기계	8.1235	7.7714	7.5851	7.3072	7.0946	6.9346	6.7545	6.6034	6.4793	6.3528	6.2291
전기기계	2.5341	2.5227	2.5373	2.4986	2.5071	2.5167	2.5042	2.4927	2.4855	2.4802	2.4706
운수장비	1.0202	1.0623	1.1047	1.0962	1.1109	1.1348	1.1300	1.1307	1.1417	1.1408	1.1347
기타제조업	1.2885	1.3489	1.3952	1.4176	1.4606	1.5078	1.5217	1.5311	1.5478	1.5509	1.5449
종합건설업	3.4257	3.2532	3.2608	3.2105	3.1918	3.1953	3.1973	3.1875	3.1543	3.1217	3.1054
도매업	4.4157	4.1382	4.0743	4.0101	3.9645	3.9482	3.9098	3.8693	3.8384	3.7850	3.7286
운수·창고업	4.9269	4.7404	4.7194	4.6560	4.6896	4.6351	4.4923	4.3590	4.2605	4.1505	4.0449
육상운수	2.6274	2.6568	2.7052	2.6984	2.6810	2.6685	2.6422	2.6262	2.6194	2.6105	2.6020
해상운수	3.2388	3.2147	3.2851	3.1478	3.0994	3.0289	2.8739	2.7660	2.6952	2.6264	2.5600
금융업	3.2063	2.9644	2.8699	2.7809	2.7465	2.7230	2.6833	2.6558	2.6275	2.5936	2.5593
은행업	2.5467	2.3284	2.2343	2.1595	2.1177	2.0880	2.0540	2.0339	2.0222	2.0077	1.9922
단자업	2.4009	2.1934	2.1510	2.0671	1.9883	1.9477	1.9255	1.9055	1.8884	1.8701	1.8541
증권업	3.4486	3.2445	3.2578	3.2645	3.3648	3.4938	3.5733	3.6195	3.5751	3.5057	3.4449
보험업	0.1457	0.1616	0.1739	0.1711	0.1782	0.1858	0.1848	0.1799	0.1781	0.1754	0.1718
제조업	3.3896	3.4133	3.4714	3.3975	3.4404	3.4948	3.4816	3.4761	3.4824	3.4787	3.4517

<표 5> Kwiatkowski 검정 요약

기각	시장 2부, 중기업*, 섬유의복가죽, 섬유업**, 의복업, 종이 및 종이제품, 비금속광물, 조립금속, 운수장비, 기타제조업, 도매업, 금융업, 은행업***, 단사업
기각실패	종합주가지수, 대기업, 소기업, 어업, 광업, 음식료품, 식료품, 음료품, 나무 및 나무제품, 화학 석유 석탄 고무, 화학, 고무, 의약, 1차 금속, 철강, 비철금속, 조립금속기계장비, 기계, 전기기계, 종합건설업, 운수 창고업, 육상 운수, 해상 운수, 증권업, 보험업, 제조업

주) * : 시차 0과 1에서만 기각,
 ** : 시차 9와 10에서는 기각실패,
 *** : 시차 0에서만 기각

<표 6> 선형공시운동 검정 요약

선형공시운동의 귀무가설의 기각 (대립가설: 비선형공시운동)	시장 1부, 시장 2부, 대기업, 소기업, 어업, 섬유의복가죽*, 섬유업**, 화학 석유 석탄 고무, 화학, 의약, 1차 금속, 철강, 조립금속기계장비, 기계, 종합건설업, 도매업, 운수 창고업, 육상 운수, 해상 운수, 금융업, 증권업, 제조업
선형공시운동의 기각실패 (대립가설: 비선형공시운동)	중기업, 광업, 음식료품, 식료품, 음료품, 섬유의복가죽, 섬유업, 의복업, 나무 및 나무제품, 종이 및 종이제품, 고무, 비금속광물, 비철금속, 조립금속, 전기기계, 운수장비, 기타제조업, 은행업, 단사업, 보험업

주) * : 시차 4까지는 기각에 실패,
 ** : 시차 1에서만 기각에 실패

이일꾼이 발견한 두 사항으로부터 시사점을 얻을 수 있을 것 같다.

종합주가지수는 한국증권거래소에 상장된 모든 주식의 가치중지수이다. 따라서 종합주가지수의 구성분들이 각 산업별지수라고 볼 수 있을 것이다. 이와 같은 관점에서 볼 때 종합주가지수가 다른 지수와 공시운동을 할 가능성이 높을 것이라고 추측할 수 있는데, 실상은 그렇지 않다. 물론 일부 산업지수들은 종합주가지수와 공시운동을 전개하고 있다. 이에 대한 원인탐구가 요청된다고 할 수 있다.

이에 반하여 미국의 증권시장은 공시운동이 존재하고 있다. Corradi 등(2000)은 만기기간이 1개월부터 6개월까지의 Treasury bill에 대하여 공시운동을 검정하였다. 그들은 만기가 서로 다른 T-bill들이 공시운동을 가지고 있음을 발견하였다.

IV. 결 론

비선형 마코브과정 중 선형성분과 유계비선형성분으로 구성된 비선형 마코브과정에

의하여 주가가 생성되고 있는지 또는 생성되고 있지 않는지를 점검하였다. 단일변량시계열에 있어서는 이 비선형 마코브과정에서 정상성·어고딕성이 성립하기 위해서는 단위근, 즉 시간이 무한에 접근해감에 따라 시계열을 포괄시키는 근이 존재해서는 안된다. 다변량시계열인 벡터시계열에 있어서는 선형확률공시운동의 존재는 공적분의 존재와 동치관계를 형성하고 있다.

한 시계열이 정상적·어고딕 비선형과정에 의하여 생성될 때 정상적·어고딕 비선형과정이라는 귀무가설의 검정은 정상적·어고딕 선형과정에 대한 검정인 Kwiatkowski 등의 검정과 동일하다. Dickey와 Fuller가 개발한 ADF검정에 의하면 종합주가지수를 비롯하여 산업별 지수 40개가 수익률의 측면에서 검토할 때 정상성·어고딕성을 가지고 있음이 발견되었다.

그런데 Kwiatkowski 등의 검정을 동일한 지수수익률에 대하여 적용하였는 바, 종합주가지수와 시장 1부 지수를 비롯한 37개 지수수익률 시계열이 정상적·어고딕 비선형과정에 의하여 생성되고 있음이 밝혀졌다. 반면 시장 2부 지수를 비롯한 나머지 지수의 수익률시계열은 비정상적·비어고딕 비선형 마코브과정을 따르고 있다. 이 시계열들에 선형공적분이 요구되는지 아니면 선형확률공시운동인 비선형공시운동 또는 비선형공적분이 요구되는지를 점검하였다. 종합주가지수와 산업별지수 각각과의 관계를 비선형공시운동의 관점에서 검정하였는 바, 시장 1부와 시장 2부를 비롯한 22개 지수가 비선형공시운동이 적절하다는 결과를 얻었다. 이것을 공적분 개념으로 파악하면 비선형공적분이 요구되고 있다. 나머지 지수는 선형공적분이 타당하다.

위에 제시된 실증분석의 결과를 보면 선형성과 비선형성에 관한 뚜렷한 결론을 맺기가 용이하지 않다. ADF에 의하면 주가수익률 시계열이 단위근과정이 아니라 정상적·어고딕과정에 의하여 생성되므로 $I(0)$ 과정이다. 따라서 적분과정과 공적분과정에 의한 시계열의 변형이 요구되지 않는다. 그러나 Kwiatkowski 등의 검정에 의하면 정상적·어고딕과정과 단위근과정으로 시계열들이 나뉜다. 비선형공시운동의 검정에서는 비선형공시운동이 요구되는 주가수익률 시계열들이 존재하고 있다. 비선형공시운동이 요구되지 않는 주식수익률시계열들은 이미 정상성·어고딕성이 확보된 선형마코브과정에 의하여 생성되는 시계열일 가능성이 매우 크다. 그렇다면 전체적인 느낌은 주가수익률 시계열들의 데이터 생성함수가 정상적·어고딕 과정이라는 것이다. 보다 분명한 결론을 얻기 위해서는 정상적·어고딕 선형과정과 정상적·어고딕 비선형과정을 각각 귀무가설과 대립가설로 설정하여 직접 검정하는 것이 바람직하다. 나아가 정상적·어고딕 선형과정과 비정상적·비어고딕 비선형과정을 대비시켜 검정하는 것 역시 요청되고 있다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- 李逸均, “쪽거리, 분수브라운 운동과정, 장기기억 및 분수적분 일반자기회귀 이분산 :
 주가형성과정에 대한 한 탐구”, 증권학회지, 제24집, 1999, 1-53.
- 李逸均, “카오스 현상과 자본시장의 가격형성 메커니즘”, 증권학회지, 제23집, 1998a,
 1-59.
- 李逸均, “주가시계열에 대한 확률미분 방정식의 모수추정과 자본시장의 운동법칙”, 재
 무관리연구, 제15권 제2호, 1998b, 1-59.
- Anderson, H. M., “Transaction Costs and Nonlinear Adjustment towards Equilibrium
 in the U.S. Treasury Bill Market,” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*,
 59, 1997, 465-480.
- Anderson, H. M. and F. Vahid, “Testing Multiple Equation Systems for Common
 Nonlinear Components,” *Journal of Econometrics*, 84, 1988, 1-36.
- Athreya, K. B. and S. G. Pantula, “Mixing Properties of Harris Chains and Auto-
 regressive Processes,” *Journal of Applied Probability*, 23, 1986, 880-892.
- Balke, N. S. and T. B. Fomby, “Threshold Cointegration,” *International Economic
 Review*, 38, 1997, 627-645.
- Beveridge, S. and C. Nelson, “A New Approach to Decomposition of Economic Time
 Series into Permanent and Transitory Components with Particular Attention to
 Measurement of the Business Cycle,” *Journal of Monetary Economics*, 7, 1981,
 151-174.
- Charemza, W. W. and D. Deadman, *New Directions in Econometric Practice*, Edgar
 Elger, 1997.
- Corradi, V., “Nonlinear Transformations of Integrated Time Series : a Reconsidera-
 tion,” *Journal of Times Series Analysis*, 16, 1995, 539-549.
- Corradi, V., N. R. Swanson, and H. White, “Testing for Stationarity-ergodicity and
 for Comovements between Nonlinear Discrete Time Markov Processes,” *Journal
 of Econometrics*, 96, 2000, 39-73.
- Davidson, *Econometric Theory*, Blackwell, 2000.
- Dejong, D. N., J. C. Nankervis, N. E. Savin, and C. H. Whiteman, “Integration Versus
 Trend Stationarity in Macroeconomic Time Series,” University of Iowa, 1989.

- Diebold, F. X. and G. D. Rudebush, "On the Power of Dickey-Fuller Tests Against Fractional Alternatives," *Economic Letters*, 35, 1991, 155-160.
- Domowitz, I. and M. A. El-Gamal, "A Consistent Test for Stationary-Ergodicity," *Econometric Theory*, 9, 1993, 589-601.
- Engle, R. F. and C. W. J. Granger, "Co-integration and Error Correction : Representation, Estimation and Testing," *Econometrica*, 55, 1987, 251-276.
- Ermini, L. and C. W. J. Granger, "Some Generalization of the Algebra of I(1) Processes," *Journal of Econometrics*, 58, 1993, 369-384.
- Granger, C. W. J., "Modeling Nonlinear Relationships between Extended-memory Variables," *Econometrica*, 63, 1995, 265-279.
- Granger, C. W. J., T. Inoue, and N. Morin, "Nonlinear Stochastic Trends," *Journal of Econometrics*, 81, 1997, 65-92.
- Granger, C. W. J. and N. R. Swanson, "Further Developments in the Study of Cointegrated Economic Variables," *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 58, 1996, 537-553.
- Granger, C. W. J. and T. Teräsvirta, *Modelling Non-linear Economic Relationships*, Oxford University Press : New York, 1993.
- Hall, A. D., H.M. Anderson, and C. W. J. Granger, "A Cointegration Analysis of Treasury Bill Yields," *The Review of Economics and Statistics*, 74, 1992, 116-126.
- Hochberg, Y., "A Sharper Bonferroni Procedure for Multiple Tests of Significance," *Biometrika*, 75, 1988, 800-802.
- Johansen, S., "Statistical Analysis of Cointegration Vectors," *Journal of Economics and Dynamics and Control*, 12, 1998, 231-254.
- Johansen, S., "Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models," *Econometrica*, 59, 1991, 1551-1580.
- Kwiatkowski, D., P. C. B. Phillips, P. Schmidt, and Y. Shin(KPSS), "Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of Unit Root : How Sure Are We That Economic Series Have a Unit Root?," *Journal of Econometrics*, 54, 1992, 159-178.
- MacKinnon, J. G., "Critical Values for Cointegration Tests in Long-run Economic

Relationships," In : Engle, R.F. and C.W.J. Granger(Eds.), Long-run Economic Relationships : Readings in Cointegration, Oxford University Press : New York, 1991.

Pesaran, M. H. and S. M. Potter, "A Floor and Ceiling Model of U.S. Output," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 21, 1997, 661-695.

Stinchcombe, M. and H. White, "Consistent Specification Testing with Nuisance Parameters Present only under the Alternative," *Econometric Theory*, 14, 1998, 295-324.

Swanson, N. R., "LM Tests and Nonlinear Error Correction in Economic Time Series," *Statistica Neerlandica*, 53, 1999, 76-95.

Teräsvirta, T. and H. M. Anderson, "Characterizing Nonlinearities in Business Cycles Using Smooth Transition Autoregressive Models," *Journal of Applied Econometrics*, 7, 1992, S : S119-S136.