

Dynamic analysis of financial market contagion

Hee Soo Lee^a · Tae Yoon Kim^{b,1}

^aDepartment of Finance, School of Business, Yonsei University;

^bDepartment of Statistics, Keimyung University

(Received December 7, 2015; Revised December 15, 2015; Accepted December 15, 2015)

Abstract

We propose methodology to analyze the dynamic mechanisms of financial market contagion under market integration using a biological contagion analytical approach. We employ U -statistic to measure market integration, and a dynamic model based on an error correction mechanism (single equation error correction model) and latent factor model to examine market contagion. We also use quantile regression and Wald-Wolfowitz runs test to test market contagion. This methodology is designed to effectively handle heteroscedasticity and correlated errors. Our simulation results show that the single equation error correction model fits well with the linear regression model with a stationary predictor and correlated errors.

Keywords: financial market contagion, interdependence, single equation error correction model, U -statistic

1. 서론

1987년 미국 주식시장 블랙 먼데이(Black Monday) 이후 특정 국가에서 발생한 금융시장의 위기는 결코 그 나라에만 머물러 있는 것이 아니라 전세계적으로 전염되는 현상이 일반화되고 있다. 블랙 먼데이에 일어난 미국 뉴욕의 주식시장파동은 단기일 내에 일본, 영국, 싱가포르, 홍콩 등 세계 주식시장에 영향을 미쳤다. 1994년 발생한 멕시코 위기 또한 여러 신흥국 금융시장에 전염되었으며, 그 외에도 태국에서 시작되어 아시아 전역의 금융위기로 전염된 1997년 아시안 플루(Asian flu), 1998년 러시아 위기, 1999년 브라질 위기 모두 심각한 전염성을 보여주었다. 더욱이 2007년 미국의 초대형 모기지론 대부업체들이 파산하면서 시작된 미국 서브프라임 모기지(subprime mortgage)사태는 미국만이 아닌 국제 금융시장에 신용경색을 불러와 연쇄적인 경제위기를 가져왔으며 2009년까지 글로벌금융대위기(Global Financial Crisis)를 가져왔다. 이렇듯 어느 한 금융시장에서 발생하는 위기가 다른 금융시장으로 빠르게 전파되는 경우를 금융시장전염(financial market contagion)이라 할 수 있다. 빈번하게 발생하는 금융시장의 위기와 전염은 전세계 금융시장의 통합화(integration)에 따른 필연적 결과인 것으로 보이며 이러한 금융위기전염의 심각성은 점차 증가하고 있는 것으로 보인다.

금융 시장 사이의 전염에 관한 연구는 오래 전부터 흥미로운 주제로 여겨져 왔으며 다양한 방법론을 사용하여 분석하였다. 초기 단계에서는 단지 두 개의 주식시장 사이의 상관관계를 사용하여 위기전염을 검증하였다. 이 기법은 전체 구간을 위기 기간(crisis period)과 정상적 기간(tranquil period)으로 분류

This work is supported by the IREC, The Institute of Finance and Banking, Seoul National University.

¹Corresponding author: Department of Statistics, Keimyung University, 1095 Dalgubeol-daero, Daegu 42601, Korea. E-mail: tykim@kmu.ac.kr

하여 각 기간 동안 두 주식시장 사이의 상관관계를 구한 후, 위기 기간에서 상관관계가 유의적으로 변했다고 판단되면 전염효과가 있다고 결론을 내리는 것이다. 이러한 방법론을 사용한 실증연구들은 대부분 국가간 주식시장에 전염효과가 존재한다고 결론을 내렸다. 이후 Forbes와 Rigobon (2002)는 단순상관계수 변화로 위기 기간의 전염효과 존재여부를 판단하는 것은 정상적인 상황에서 형성된 금융시장간 상호의존관계(interdependence)를 무시한 결과임을 지적하고 이를 보정하기 위해서 해당금융시장 “변동성(volatility)으로 보정한 국가간 상관관계수”로 상호의존관계를 정의하였다. 이 연구의 결론은 이전의 연구 결과와 달리 금융시장 사이에는 전염이 없으며 단지 상호의존 관계가 존재함을 보여 준다는 것으로서, 이것을 “No Contagion, Only Interdependence”라고 주장하였다. 하지만 Corsetti 등 (2005)는 상호의존관계에 대한 정의를 비판하고 다른 결론을 보여주었다. 그들은 Forbes와 Rigobon (2002)가 사용한 모형은 주식시장 고유의 충격으로 인한 변동성을 임의적이고 비현실적인 가정을 통해 보정함으로써 검정 결과에 오류가 있다고 지적하면서 변동성을 제대로 반영하는 모형으로 전염효과 검정을 실시하였다. 그 결과, 몇 나라의 경우는 상호의존관계가 아닌 전염이라고 판단할 수 있다고 주장하고 있다. 이렇듯 위기전염 효과를 검정하는 기존의 방법론 및 연구 결과들은 통합화에 의해 구축되는 상호의존관계라는 금융시장 체계가 존재하고 있음을 시사하고 있으며 그것이 무엇인가에 대한 연구가 필요함을 보여주고 있다.

본 연구에서는 생물학적 전염개념에 기초하여 금융시장 통합과 전염 및 관련 개념(감염, 면역체계)들을 계량적으로 정의하여 측정하고, 이를 토대로 금융시장 전염을 검정하는 동적 통계 모형을 제안하는 것을 목표로 한다. 이러한 모형 및 검정기법을 통해 국제금융시장의 통합화와 위기전염을 측정하고 예측할 수 있다면, 각 나라의 경제정책과 실물경제뿐만 아니라 투자자의 위험관리에도 유익한 정보를 제공할 수 있다.

2. 금융 시장의 통합화 측정

2.1. U -통계량

금융 시장 통합화(market integration)란 시장의 동조화(co-movement)로 정의할 수 있다. 즉, 장기적으로 서로 다른 시장에서의 자산 가격의 움직임이 유사한 패턴을 보여준다면 이 시장들은 통합화되었다고 할 수 있다. 이러한 금융시장 통합화 분석을 위해 금융시장 네트워크 움직임을 잘 분석할 수 있는 다음과 같은 U -통계량을 고려한다.

$$U = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \epsilon_i \epsilon_j,$$

여기서 ϵ_i 는 네트워크의 각 금융시장(노드)이 갖는 확률변수를 뜻한다. 본 연구에서 금융시장 네트워크 분석을 위해 U -통계량과 관련된 다음과 같은 사실 (Kim 등, 2013)을 핵심적으로 사용하여 통합화 현상을 분석한다.

1. 비퇴화 U -통계량 ($E(\epsilon_i) \neq 0$)의 분포는 정규분포(랜덤 네트워크)를 따르지만, 퇴화 U -통계량 ($E(\epsilon_i) = 0$)은 $\chi^2(1)$ 분포(scale free 네트워크 분포)를 따른다.
2. ϵ_i 들 간의 의존성이 매우 강해질 경우 U -통계량의 분포의 위치가 크게 이동하게 된다.

2.2. 국제 금융 시장 통합화 현상

2.1절에서 제시한 U -통계량을 사용하면 최근의 금융시장 통합화 현상이 명백하게 분석될 수 있다. 금융시장은 랜덤워크를 따르는 것으로 알려져 있으므로 $\epsilon_i = +1$ (상승)일 확률이 $1/2$ 이고 $\epsilon_i = -1$ (하락)일

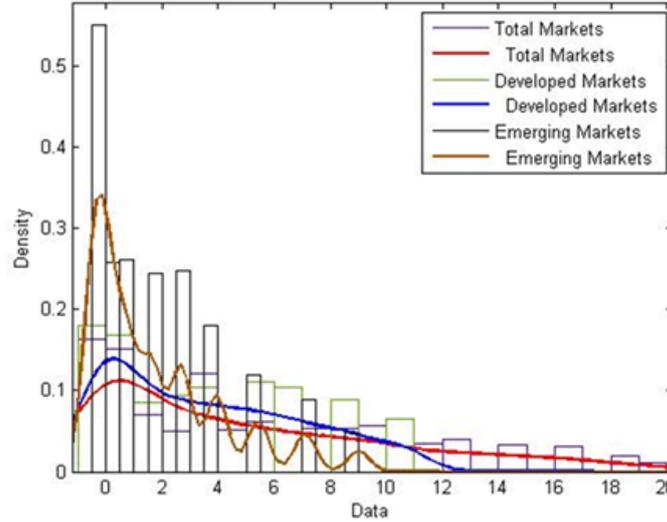


Figure 2.1. Distribution of U-statistic: Developed market, emerging market, entire market.

확률이 1/2이 되는 확률변수로 가정할 수 있으며 그에 따라 $E(\epsilon_i) = 0$ 이 성립되어 퇴화 U -통계량이 된다. (i)에 의해 퇴화 U -통계량은 $\chi^2(1)$ 분포(scale free 네트워크 분포)를 따른다. 이와 같은 U -통계량 정의 및 분포 특성을 사용하여 세계 선진국 시장(22개), 신흥국 시장(19개) 및 전체 41개 시장에서의 통합 현상을 측정할 수 있다. 즉 두 주식시장 (ϵ_i 와 ϵ_j , $i \neq j$)이 동시에 오르거나 동시에 내리는 경우 시장간 네트워크가 연결된 것으로 간주하여 (그 경우 $\epsilon_i \epsilon_j = 1$, $i \neq j$) 월별 U -통계량의 분포를 추정할 결과 “신흥국 시장 < 선진국 시장 < 전체 시장” 순서로 꼬리가 길어지는 현상이 관찰되었다 (Figure 2.1). 이는 선진국 시장이 신흥국 시장에 비해 통합화 정도가 강하다는 것을 보여주는 것이다. 다시 말하여 금융시장이 동시에 오르거나 동시에 내리는 현상은 신흥국 시장 < 선진국 시장 < 전체 시장 순서이며 이는 신흥국 시장 < 선진국 시장 < 전체 시장 순서로 ϵ_i 들 간의 의존성이 매우 강해진다는 사실에 기인한다.

통합화에 관한 기존 연구에서는 글로벌 요인들을 독립변수로 한 다변량 요인 모형(multiple factor model)의 데이터 적합도를 측정하는 결정계수 R^2 을 통합의 척도로 사용하고 있다 (예: Lehtonens, 2014). 하지만 다변량 요인모형의 R^2 으로 금융시장통합을 측정하고 해석하는 것은 많은 문제점을 갖고 있다. 예를 들어 금융시장위기가 발생할 때 시계열 오차항들은 심한 의존을 보이게 되는데, R^2 은 모형에서의 오차(error)가 의존적일 때 제대로 해석하기가 어렵다.

3. 금융 시장 전염 측정과 검정 방법

본 절에서는 생물학적 전염개념에 기초하여 금융시장 전염 및 관련 개념(감염, 면역체계)들을 정의하고, 이를 토대로 금융시장 전염 검정모형을 개발한다. 어떤 질병이 모집단에 전염되는 과정을 살펴보면 우리는 모집단 구성원 일부가 먼저 그 질병에 감염된 사실을 발견한다. 하지만 구성원 일부가 그 질병에 감염 되었다고 하여 항상 그 질병이 모집단에 전염되었다고 말할 수는 없다. 즉, 면역 체계(immune system)가 강한 모집단은 질병의 전염을 방지할 수 있는 반면, 면역 체계가 약한 모집단은 일단 모집단 구성원의 일부가 감염되면 모집단 전체로 질병이 전염되는 것을 막을 수 없게 되는 것이다. 이렇듯 생물학적 관점에서의 질병 전염 과정을 금융시장 위기 전염 과정에 적용할 수 있다. 이러한 관점을 토대

로 금융시장 전염을 측정하고 검증하는 모형 및 알고리즘 구축을 위해 본 연구에서는 단일 방정식 오차 수정 모형(single equation error correction model; SEECM)을 중심으로 잠재 요인 모형(latent factor model), 분위수 회귀모형(quantile regression), Wald-Wolfowitz 런(run) 검증 등을 사용한다.

3.1. 금융 시장 전염의 동적 모형

금융 시장 전염의 동적 모형화를 위해 사용한 단일 방정식 오차수정모형은 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned}\Delta Y_t &= \alpha + \beta_0 \Delta X_t + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 X_{t-1} + \varepsilon_t \\ &= \alpha + \beta_0 \Delta X_t + \beta_1 (Y_{t-1} - \gamma X_{t-1}) + \varepsilon_t,\end{aligned}\quad (3.1)$$

여기서 $\gamma = -\beta_2/\beta_1$, $\Delta Y_t \equiv Y_t - Y_{t-1}$, $\Delta X_t \equiv X_t - X_{t-1}$ 이며, ε_t 는 정상과정이다. 여기서 X_t 와 Y_t 는 금융시장전염이 의심되는 두 시장의 수익률로 정상과정이며 (일반적 오차수정모형(error correction model; ECM)과 달리 SEECM은 정상과정에 사용될 수 있음 (Durr, 1992)), β_0 는 단기 회귀계수, γ 는 장기회귀계수, β_1 은 장기 균형관계인 $Y_t = \gamma X_t$ 로 수렴하는 속도 즉 변동성의 역수, $\beta_2 = -\gamma\beta_1$ 는 변동성으로 보정된 회귀계수이다. 이렇게 정의된 SEECM을 통하여 일정 기간 동안 두 시장 사이에 감염과 전염을 모형화할 수 있다. 식 (3.1) SEECM의 장점은 기존의 논란이 되어온, 상호의존관계 혹은 전염(contagion)의 존재여부를 $\beta_2 = -\gamma\beta_1$ 의 검정을 통해 간단하고 정확하게 동적으로 검증한다는데 있다. 이는 앞에서도 언급한 것처럼 $\beta_2 = -\gamma\beta_1$ 는 변동성으로 보정된 회귀계수이며, 전염이나 상호의존성이냐의 문제의 핵심은 올바른 변동성으로 보정되느냐 여부와 직결되기 때문이다. 여기서 γ 와 β_0 는 변동성이 미보정된 장기 균형 및 단기 균형을 나타내는 모수들이므로 이들의 검정을 통해 전염의 전단계인 감염여부를 판단할 수 있다.

SEECM의 또 다른 장점은 잠재 요인(latent factor) 모형으로 전환 및 해석이 용이하여 다양한 요인에 의한 전염을 암묵적으로 모형화하기 용이하다는 점이다. 본 연구에서 고려한 잠재 요인 모형(latent factor model)은 다음과 같다.

$$X_t = \theta_x W_t + \delta_x u_{x,t}, \quad Y_t = \theta_y W_t + \delta_y u_{y,t}, \quad (3.2)$$

여기서 W_t 는 평균이 0이고 분산이 1인 잠재확률과정(latent stochastic process)으로서 X_t 와 Y_t 에 대한 각각의 적재계수(loading parameter)는 θ_x 와 θ_y 이다. $u_{x,t}$ 와 $u_{y,t}$ 는 X_t 와 Y_t 의 각각의 고유 iid random shock이며 각각의 적재계수는 δ_x 와 δ_y 이다. 즉, $W_t \sim (0, 1)$, $u_{x,t}$ and $u_{y,t} \sim (0, 1)$ 이고, 이때 모든 요인이 서로 독립임을 가정한다.

$$E(u_{x,t}u_{y,t}) = 0, \quad E(u_{x,t}W_t) = 0, \quad E(u_{y,t}W_t) = 0.$$

위와 같이 설정된 요인모형 (3.2)와 SEECM (3.1)은 다음과 같이 서로 연관되어 있다

$$\Delta Y_t = \frac{\theta_y}{\theta_x} \Delta X_t - \left(Y_{t-1} - \frac{\theta_y}{\theta_x} X_{t-1} \right) - \frac{\theta_y}{\theta_x} \delta_x u_{x,t} + \delta_y u_{y,t}.$$

이제 Y_t 의 random shock이 AR(1) 과정을 따른다고 다음과 같이 가정한다.

$$u_{y,t} = \rho u_{y,t-1} + a_{u,t},$$

여기서 $E(a_{u,t}W_t) = 0$, $E(a_{u,t}u_{y,t}) = 0$, $a_{u,t} \sim iid(0, 1)$ 이다. 그러면 요인모형 (3.2)로부터 다음과 같이 SEECM을 유도할 수 있다.

$$\Delta Y_t = \frac{\theta_y}{\theta_x} \Delta X_t - (1 - \rho) \left(Y_{t-1} - \frac{\theta_y}{\theta_x (1 - \rho)} X_{t-1} \right) + \varepsilon_t, \quad (3.3)$$

여기서 $\varepsilon_t = -(\theta_y/\theta_x)\delta_x u_{x,t} + \delta_y a_{u,t} - \rho\theta_y W_{t-1}$ 이며, $E(\varepsilon_t) = 0$, $\text{Var}(\varepsilon_t) = ((\theta_y/\theta_x)\delta_x)^2 + \delta_y^2 + (\rho\theta_y)^2$ 이 성립함을 알 수 있다. 이 식으로부터 $\text{Var}(\varepsilon_t)$ 는 δ_x 와 δ_y 를 통하여 X_t 와 Y_t 의 변동성에 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 또한 $\text{Var}(\varepsilon_t)$ 는 ρ 를 통하여 Y_t 의 random shock에도 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 위의 식 (3.3)과 SEECM (3.1)을 비교해 보면,

$$\beta_0 = \frac{\theta_y}{\theta_x}, \quad \beta_1 = \rho - 1, \quad \gamma = \frac{\theta_y}{\theta_x(1-\rho)}, \quad \alpha = 0$$

임을 알 수 있다. 만일 $\rho = 0$ 이라면 즉 Y_t 의 random shock이 iid라면, $\beta_1 = -1$ 이 되며, 이 경우 상호의존관계를 나타내는 계수인 $\beta_2 = -\gamma\beta_1$ 가 장기 회귀계수인 γ 와 같아지는 것을 알 수 있다. β_2 가 γ 와 같다는 것은 X_t 와 Y_t 사이의 상호의존관계가 변동성(β_1)에 의해 영향을 받지 않는다는 것이며 따라서 두 시장 간에 전염이 발생하지 않는다는 것을 의미한다. 또한 식 (3.3)으로부터 $\rho = 0$ 인 경우 $\varepsilon_t = -(\theta_y/\theta_x)\delta_x u_{x,t} + \delta_y a_{u,t}$ 이고, 이 때 $E(\varepsilon_t) = 0$, $\text{Var}(\varepsilon_t) = ((\theta_y/\theta_x)\delta_x)^2 + \delta_y^2$ 인 iid ε_t 가 됨을 확인할 수 있다. 즉, $\rho = 0$ 인 경우 iid ε_t 와 $\beta_1 = -1$ (상호의존관계 = 장기균형관계)의 결과를 가져오게 되는 것이다. 따라서 식 (3.3)에서 iid ε_t 를 확인하는 것으로 X_t 와 Y_t 사이에 전염이 존재하는지 아니면 상호의존관계만 존재하는지를 검정할 수 있다. 이 모형은 금융시장 전염검정 모형으로 매우 유용한데, 이는 X_t 와 Y_t 가 전염의 기반이 되는 다양한 요인을 잠재적으로 공유하고 있음을 가정할 뿐 만 아니라 잠재요인모형의 $u_{y,t}$ 가 iid random shock이 아닌 correlated shock인지 검정함으로써 위기시의 금융시장의 시계열이 의존도가 심화된 상태로 움직이는 시계열 과정인지 검정하고 있기 때문이다.

3.2. 금융 시장 감염 및 전염 검정법

3.1절에서 제시한 SEECM을 사용하여 금융시장 전염을 검정하기 위해 분위 회귀분석기법(quantile regression)을 사용하는 것이 필요하다. 이 기법이 필요한 이유는 시장 전염을 일으키는 잠재요인 모형의 적재계수 (θ_x 와 θ_y)들이 이분산(heteroscedasticity) 데이터들을 만들어낼 가능성이 높기 때문이다. 즉 $\text{Var}(\varepsilon_t) = ((\theta_y/\theta_x)\delta_x)^2 + \delta_y^2 + (\rho\theta_y)^2$ 이다. 분위회귀분석기법은 잘 알려진 대로 이분산에 의해 분위별로 다른 회귀직선이 기대되는 경우 대단히 효율적이고 타당한 분석방법이다. 분위회귀분석기법으로 추정된 SEECM의 분위별 계수들을 사용하여 상호의존관계(interdependence) 혹은 전염(contagion)의 존재여부를 효율적으로 판단할 수 있으며, 이를 위하여 Wald Wolfowitz 런(run) 검정을 사용한다. 여기서 런(run)이란 0 보다 큰 잔차(+)나 0 보다 작은 잔차(-)를 계속적으로 갖는 경우를 한 개의 런으로 간주하여 런의 개수가 많으면 음의 상관, 작으면 양의 상관으로 판단하는 기법이다. 이 기법을 사용하는 이유는 오차들이 독립적인지 검정하는 것이 본 기법의 주요한 내용이기 때문이다.

단기 회귀계수인 β_0 의 절대값과 장기 회귀계수인 γ 의 절대값이 특정 분위에서 유의적으로 증가할 경우 각각 단기 감염과 장기 감염이 발생한 것으로 간주한다. 이 계수들을 전염이 아닌 감염 여부를 판단하는 것으로 사용하는 이유는 이 계수들은 변동성으로 보정되지 않은 계수들이므로 시장전염을 측정하기에는 적합하지 않으나 전염의 전단계인 감염을 정의하는데 유용한 정보를 제공할 것으로 기대되기 때문이다. 변동성으로 보정된 장기상관계수인 β_2 는 두 시장간의 상호의존관계를 측정하는 것이며, 이 계수의 절대값이 특정 분위에서 유의적으로 증가할 경우 우리는 두 시장 간의 상호의존관계가 깨지고 전염이 발생한 것으로 정의한다. 이 절차를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 우선 분위회귀분석으로 추정된 각각의 분위별 계수들의 잔차를 다음과 같이 구한다.

$$\left(\hat{\beta}_{01} - \bar{\beta}_0, \dots, \hat{\beta}_{0N} - \bar{\beta}_0 \right), \quad \left(\hat{\gamma}_1 - \bar{\gamma}, \dots, \hat{\gamma}_N - \bar{\gamma} \right), \quad \left(\hat{\beta}_{21} - \bar{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_{2N} - \bar{\beta}_2 \right)$$

여기서 분위수는 N 개이며, $\bar{\beta}_0$, $\bar{\gamma}$, $\bar{\beta}_2$ 는 각각 추정된 N 개의 단기회귀계수, 장기회귀계수, 상호의존관계 계수의 표본평균값을 나타낸다. 이렇게 구한 각 계수들의 잔차를 사용하여 두 시장 간의 감염 및 전염

여부를 검증하기 위하여 다음과 같이 가설을 설정할 수 있다.

- H_0^{SI} : 시장 X 와 Y 사이에 단기 감염이 존재하지 않는다 (잔차 $(\hat{\beta}_{01} - \bar{\beta}_0, \dots, \hat{\beta}_{0N} - \bar{\beta}_0)$ 이 iid이다).
- H_1^{SI} : 시장 X 와 Y 사이에 단기 감염이 존재한다 (잔차 $(\hat{\beta}_{01} - \bar{\beta}_0, \dots, \hat{\beta}_{0N} - \bar{\beta}_0)$ 이 iid가 아니다).
- H_0^{LI} : 시장 X 와 Y 사이에 장기 감염이 존재하지 않는다 (잔차 $(\hat{\gamma}_1 - \bar{\gamma}, \dots, \hat{\gamma}_N - \bar{\gamma})$ 이 iid이다).
- H_1^{LI} : 시장 X 와 Y 사이에 장기 감염이 존재한다 (잔차 $(\hat{\gamma}_1 - \bar{\gamma}, \dots, \hat{\gamma}_N - \bar{\gamma})$ 이 iid가 아니다).
- H_0^C : 시장 X 와 Y 사이에 전염이 존재하지 않는다 (잔차 $(\hat{\beta}_{21} - \bar{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_{2N} - \bar{\beta}_2)$ 이 iid이다).
- H_1^C : 시장 X 와 Y 사이에 전염이 존재한다 (잔차 $(\hat{\beta}_{21} - \bar{\beta}_2, \dots, \hat{\beta}_{2N} - \bar{\beta}_2)$ 이 iid가 아니다).

위의 가설을 검증하기 위하여 Wald-Wolfowitz 런 검정을 사용한다. 귀무가설 $H_0^{SI}, H_0^{LI}, H_0^C$ 하에서 N 개의 잔차로부터 구한 런의 개수는 정규분포에 근접하게 된다. 이때 0보다 큰 잔차 수를 N_+ 라 하고 0보다 작은 잔차 수를 N_- 라고 하면, 런의 개수의 평균과 분산은 각각 $\mu = (2N_+N_-)/N + 1$, $\sigma^2 = (\mu - 1)(\mu - 2)/(N - 1)$ 이며, $N = N_+ + N_-$ 임을 알 수 있다. 위의 귀무가설을 기각하게 되면 각 회귀 계수들의 잔차가 랜덤하지 않음을 나타내는 것이므로 위의 SEECM (3.1) 또는 식 (3.3)의 오차가 이분산성을 보이며 랜덤하지 않다고 볼 수 있는 것이다. 따라서 변동성의 이분산으로 인하여 두 시장 사이에 단기 감염, 장기 감염, 혹은 전염이 존재한다고 결론 지을 수 있을 것이다. 이와 반대로 위의 귀무가설을 기각하지 않는 경우는 두 시장 사이에 단기 감염, 장기 감염, 혹은 전염이 존재하지 않고 다만 상호의존관계만 존재한다는 결론을 내릴 수 있다. 위에서 제시한 시장의 전염 여부 검증법은 기존의 연구에서 사용한 방법보다 추정과 검정 절차가 비교적 간단하며, 미리 위기 기간(crisis periods) 과 정상적 기간(tranquil periods)을 구분 지어 검정해야 했던 기존 방법의 단점을 보완한다.

4. SEECM의 유용성

Engel과 Granger (1987) 논문에서 제시한 2단계 오차수정모형(two-step Error Correction Model)은 공적분(cointegration) 관계를 갖는 두 개 이상의 시계열 자료를 분석하는데 사용되는 모형이다. 본 연구에서 제안하는 단일 방정식 오차수정 모형(SEECM)은 공적분 관계의 시계열 자료뿐만 아니라 정상적(stationary) 시계열 자료 분석에도 사용 가능한 모형이다 (Durr, 1992). 즉, SEECM은 정상적 시계열 자료간의 단기적 관계뿐만 아니라 오차수정 및 장기 균형과정을 포함하는 모형을 사용하여 정상과정의 동적 분석을 가능하게 하는 모형이다. 본 절에서는 SEECM의 유용성을 확인하기 위하여 다음과 같이 시뮬레이션을 실시한다.

우선 독립변수의 자료 생성을 위하여 정규분포를 따르는 난수 500개를 추출하였고, 종속변수는 다음과 같이 설정하였다.

$$X_t \sim N(0, 1), \quad Y_t = 1.5 + 2X_t + \varepsilon_t.$$

이때 오차항이 iid인 경우와 iid가 아닌 경우를 설정하였고, 각각 설정된 오차항의 가정하에서 선형회귀 모형과 SEECM (3.1)을 추정하여 모형의 적합도를 비교하였다. 설정한 모형은 다음과 같다.

- 모형 (A) iid 오차항 모형(iid Error Model): $\varepsilon_t \sim \text{iid } N(0, 1)$
- 모형 (B) 자기상관 오차항 모형 (Correlated Error Model, AR(1))
 - (a) $\varepsilon_t = 0.1\varepsilon_{t-1} + u_t, \quad u_t \sim N(0, 1)$
 - (b) $\varepsilon_t = 0.3\varepsilon_{t-1} + u_t, \quad u_t \sim N(0, 1)$

Table 4.1. Coefficients estimation and model fitting of simple linear regression and single equation error correction model (SEECM)

모형	Simple linear regression			SEECM (3.1)					
	α	β	Adjusted R^2	α	β_0	β_1	β_2	γ	Adjusted R^2
(A)	1.4533	2.1296	0.8201	1.3574	2.1290	-0.9339	2.0068	2.1487	0.9049
(B)-(a)	1.4536	1.9318	0.7736	1.2868	1.9311	-0.8856	1.6754	1.8918	0.8827
(B)-(b)	1.4399	1.9303	0.7581	1.0023	1.9311	-0.6962	1.2960	1.8614	0.8797
(B)-(c)	1.4152	1.9261	0.7213	0.7137	1.9311	-0.5043	0.9114	1.8074	0.8776
(B)-(d)	1.3566	1.9184	0.6380	0.4164	1.9310	-0.3064	0.5155	1.6822	0.8759
(B)-(e)	1.0584	1.8858	0.3830	0.1083	1.9311	-0.1005	0.1042	1.0365	0.8746
(C)	1.5380	2.4344	0.8839	1.5919	2.4352	-1.0340	2.5443	2.4605	0.9428
(D)	1.5262	2.0041	0.9984	1.4282	1.8733	-0.9421	1.8890	2.0052	0.8155

(c) $\varepsilon_t = 0.5\varepsilon_{t-1} + u_t, \quad u_t \sim N(0, 1)$

(d) $\varepsilon_t = 0.7\varepsilon_{t-1} + u_t, \quad u_t \sim N(0, 1)$

(e) $\varepsilon_t = 0.9\varepsilon_{t-1} + u_t, \quad u_t \sim N(0, 1)$

- 모형 (C) 내생모형(Endogeneity Model): $(X_t, \varepsilon_t) \sim \text{Bivariate Normal}(0, 0, 1, 1, \rho = 0.5)$
- 모형 (D) 공적분 모형(Cointegrated Model): $X_t = X_{t-1} + u_t, \quad u_t \sim N(0, 1), \quad \varepsilon_t \sim N(0, 1).$

Table 4.1은 위의 각 가정하에서 생성한 독립변수와 종속변수를 사용하여 단순회귀모형($Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t$)과 SEECM (3.1)을 추정한 결과를 보여 준다.

정상과정의 자료를 사용한 모형 (A), (B), (C)에서는 SEECM의 적합도가 단순회귀모형보다 높은 값을 보이고 있다. 따라서 오차항이 독립적이지 않은 경우 단순회귀 모형은 오차항의 자기상관계수가 높아 질수록 모형의 적합도가 현저히 감소함을 보여준 반면, SEECM은 자기상관을 갖는 오차항 모형에서도 비교적 높은 수준의 적합도를 일관성 있게 보여 주고 있다. 특히 오차수정모형은 오차가 자기상관을 가질 때 적합한 모형이며, 금융위기상황에서는 관련 시계열 오차의 자기상관이 크게 증가할 것으로 기대되므로 두 금융 시장간의 위기 전염을 분석하는데 SEECM을 사용하는 것이 적합한 것으로 보인다. 또한, 위의 결과에 따르면, 오차수정모형이 공적분 모형(cointegrated model)에서만 사용해야 한다는 주장은 타당치 않은 것으로 보인다. 여기서 주목할 점은 공적분 모형 (D)인 경우 단순회귀모형의 적합도가 SEECM 보다 높은 값을 보여주고 있다는 것이다. 그 이유는 정상적 과정을 따르는 독립변수 X_t 를 $MA(\infty)$ 로 표현하는 경우 $X_t = \sum_{i=0}^{\infty} b_i \varepsilon_{t-i}$ 이며 $b_i = 0 (i \geq 1)$ 이 된다. 반면 랜덤워크 X_t 는 모든 i 에 대해 $b_i = 1$ 이 된다. 따라서 랜덤워크는 과거 사건에 대한 정보가 많으므로 모형이 정확한 경우 상당히 효율적으로 추정이 가능하기 때문이다(super consistency). 알려진 바로는 이러한 super consistency는 small sample에서는 잘 나타나지 않는다는 점이다 (Maddala와 Kim, 2003, p.157).

5. 결론

본 연구에서는 두 개의 금융시장 사이에 전염효과가 존재하는지를 동적으로 검증하고 그 전염효과와 강도를 측정하는 검정 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 방법론은 금융시장의 장기적 관계, 단기적 관계와 장기적 균형관계로부터 이탈 후 회복하는 속도 등 역동적 분석(SEECM 및 잠재 요인 모형)을 입체적(분위회귀분석기법, 런검정)으로 수행하므로 전염분석 검증모형으로서 상당한 기술적 진보를 이룰 것으로 기대된다. 금융시장위기 전염에 관한 연구는 전염이라는 생물학적 개념을 사용하는 만큼 그

에 수반된 개념들이 정확하게 정의되어야 한다. 예를 들어 생물학의 전염, 감염, 면역 시스템에 해당하는 용어들의 명확한 정의가 필요하며 이는 금융시장의 성격상 데이터를 통한 구체적 정의가 필수적임을 뜻하고 있다. 기존의 연구결과들은 위기상황에서 금융시장 전염을 위기구간의 시장간 상관계수의 급격한 변화로 단순하게 정의하였으나 면역 시스템, 감염 및 전염의 동적 메카니즘에 대한 연구가 결여된 관계로 금융시장 전염에 대한 논리적이고 효과적인 분석 예측 통제가 어려운 상태에 있다. 본 연구에서는 특히 금융시장전염을 정상적인 상황에서 형성되는 금융시장간 상호의존 관계가 금융위기가 발생함에 따라 변화하여 제대로 기능하지 않는 상황으로 정의하였다. 정상적인 상태에서의 금융시장간 상호의존관계는 면역체계로 정의될 수 있는데 이 경우 특히 정상적인 상황에서 금융시장 통합화에 따라 형성되는 상호의존관계를 효율적 시장가설이라고 알려진 금융시장 랜덤워크 가설의 관점에서 검증해 보는 것도 흥미로운 과제일 것이다.

또한, 본 연구에서 제시한 금융시장 통합화와 관련하여 밝혀진 U -통계량에 대한 연구결과는 네트워크를 통한 진화라는 개념으로 확장될 수 있다. 이와 같은 방법론은 실제 생물학적 진화 연구에 적용될 수 있을 뿐만 아니라, 네트워크를 통한 진화라는 개념으로 정형화 할 수 있는 모든 문제에 적용 가능하다. 예를 들어 최근 생물학적 진화를 유전자간의 과도한 연결로 정의하여 연구하고 있는데 (Cohen 등, 2012) 이는 본 연구의 금융통합화 연구와 동일한 프레임을 사용하는 연구이며 그에 따라 본 연구의 U -통계량이 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Cohen, O., Ashkenazy, H., Burstein, D., and Pupko, T. (2012). Uncovering the co-evolutionary network among prokaryotic genes, *Bioinformatics*, **28**, i389–i394.
- Corsetti, G., Pericoli, M. and Sbracia, M. (2005). ‘Some contagion, some interdependence’: More pitfalls in tests of financial contagion, *Journal of International Money and Finance*, **24**, 1177–1199.
- Durr, R. H. (1992). An essay on cointegration and error correction models, *Political Analysis*, **4**, 185–228.
- Engle, R. F. and Granger C. W. J. (1987). Co-integration and error 4 correction: Representation, estimation and testing, *Econometrica*, **55**, 251–276.
- Forbes, K. and Rigobon, R. (2002). No contagion, only interdependence: Measuring stock market co-movements, *Journal of Finance*, **43**, 2223–2261.
- Kim, T. Y., Ha, J., Hwang, S. Y., Park, C. and Luo, Z. (2013). Central limit theorems for reduced U -statistics under dependence and their usefulness, *Australian and New Zealand Journal of Statistics*, **55**, 387–399.
- Lehkonens, H. (2014). Stock market integration and global financial crisis, *Review of Finance*, published online, doi: 10.1093/rof/rfu039.
- Maddala, G. S. and Kim, I. M. (2003). *Unit Roots, Cointegration and Structural Change*, Oxford University Press, Oxford.

금융시장 전염 동적 검정

이희수^a · 김태윤^{b,1}

^a연세대학교 경영학과, ^b계명대학교 통계학과

(2015년 12월 7일 접수, 2015년 12월 15일 수정, 2015년 12월 15일 채택)

요약

본 연구에서는 금융시장 통합화에 따른 금융 시장 전염을 생물학적 전염개념에 기초하여 분석하는 검정 방법론을 제시하였다. 금융 시장 통합화를 측정하기 위하여 U -통계량을 사용하였고, 금융 시장 전염 검정을 위하여 단일방정식 오차수정 모형을 중심으로 잠재 요인모형, 분위수 회귀모형과 런검정을 사용하였다. 시뮬레이션결과 단일방정식 오차수정 모형이 자기상관을 갖는 오차항을 포함한 선형 회귀모형에서 비교적 높은 수준의 적합도를 일관성 있게 보여 주고 있다.

주요용어: 금융시장전염, 상호의존성, 단일방정식 오차 수정 모형, U -통계량

본 연구는 서울대학교 경영대학 증권 금융연구소 투자연구교육센터의 지원을 받아 수행되었습니다.

¹교신저자: (42601) 대구광역시 달서구 달구벌대로 1095, 계명대학교 통계학과. E-mail: tykim@kmu.ac.kr