The Korean Journal of Applied Statistics (2020) DOI: https://doi.org/10.5351/KJAS.2020.33.5.655
33(5), 655–664

A GSADF bubble test analysis for COVID-19 pandemic

Jiwon Shin[a] · Dong Wan Shin[a,1]

[a]Department of Statistics, Ewha Womans University

(Received July 9, 2020; Revised July 25, 2020; Accepted July 27, 2020)

Abstract

We apply the GSADF bubble test and its date-stamping method for the daily number of new COVID-19 cases. The test indicates statistically significant explosive expansions of the number of new cases whose periods of panic explosion are identified by the date-stamping method of the bubble test. The date-stamping analysis reveals that as of June 30 2020, the number of daily COVID-19 new cases are still explosively increasing for India; however, they stop explosively increasing (or are under control) for USA, Brazil, Russia, Spain, Turkey, China, and South Korea. It also reveals that South Korea has two disjoint periods of explosion: a stable period follows after the first explosion of 2020.02.20–2020.03.06, and then the second explosion occurs 2020.05.27–2020.06.01 with a stable period that continues up to 2020.06.30.

Keywords: COVID-19, GSADF, Bubble test, Bubble date-stamping

1. 서론

최근 COVID-19의 세계적인 확산이 세계 초미의 관심사이다. 2020년 6월 30일 기준으로 전 세계 총 확진자 수는 1,000만 명을 돌파하여 11년 전 신종플루의 감염자를 넘어섰다. COVID-19의 잠정 치사율은 약 5%로 2009년 대유행한 신종플루의 치사율 0.2% 보다 약 25배에 달한다. 2019년 12월 1일 중국 후베이성 우한시에서 최초로 발생되어 2020년 1월부터 본격적으로 중국에서 외부로 퍼지기 시작해 3월 말까지 일부 국가 및 지역을 제외한 지구상 대부분의 나라와 남극을 제외한 모든 대륙으로 급속히 확산되었다. 세계보건기구(WHO)는 2020년 1월 31일, 국제적 공중보건 비상사태를 선포, 2월 28일부로 COVID-19의 전 세계 위험도를 '매우 높음'으로 격상하고 3월 11일 COVID-19 팬데믹(pandemic)을 선언하기에 이른다. 이렇게 급속히 확산하는 치명적인 질병의 폭발적인 확산기간을 판단하고 안정기에 이르렀는지 판별하는 것은 매우 중요한 이슈이다. 코로나가 폭발적으로 확산한다는 것은 환자 1인당 전파자수인 증식률이 1보다는 크다는 것을 의미하는데 이는 자산가격의 버블과 유사한 면이 있다. 자산가격 증식률이 1보다 큰 경우 자산 가격 버블을 의미한다. 이 연구에서 우리는 Phillips 등 (2015)의 버블 검정 방법인 GSADF 검정을 이용하여 각국의 일일 신규 확진자 수를 분석하여, 폭발적으로 확진자 수가 증가하는 시점과 확산이 안정화되었다고 평가할 수 있는 시점을 평가하고자 하였다.

This research was supported by a grant from the National Research Foundation of Korea(NRF) (National Research Foundation of Korea 2019R1A2C1004679). This study was supported by the Ewha Woman University scholarship.

[1]Corresponding author: Department of Statistics, Ewha Womans University, 52, Ewhayeodae-gil, Seodaemun-gu, Seoul 03760, Korea. E-mail: shindw@ewha.ac.kr

그동안의 버블 분석은 금융시장에 국한되어 다뤄져 왔다. 금융시장에서 버블은 자산 가격의 과대평가를 의미하였다. 본 연구에서는 감염확산 데이터에서 감염이 과도하게 급증하는 구간이 버블 구간과 매치 될 수 있다는 점에 착안하여 COVID-19 데이터에 버블 분석을 도입하였다. 버블이 존재한다는 것은 자산의 실 가치보다 가격이 높게 형성되어 있다는 것을 의미하며, 자산의 버블이 과도해지면 어느 순간 버블 붕괴가 일어날 수 있기 때문에 불안한 시장이라 평가된다. 주요 금융 자산의 버블 붕괴는 세계 금융위기를 초래할 수 있는데, 2008년 발생한 세계 금융 위기가 가장 좋은 예라고 할 수 있다. 미국의 서브프라임 모기지 사태를 시작으로 미국의 금융시장 버블이 붕괴되고 그 여파가 전 세계로 파급되어 1929년의 경제 대공황에 버금가는 세계적 수준의 대규모 금융위기가 발발했다. 금융 시장에서는 이처럼 버블의 존재 유무가 매우 중요하기 때문에, 자산의 버블 존재 유무 및 버블이 존재하는 구간결정 등의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. Phillips 등 (2015)의 버블 검정 방법을 이용하여 Engsted 등 (2016), Caspi와 Graham (2017), Harsha와 Ismail (2017), Su 등 (2017), Montasser 등 (2018), Shaen 등 (2018), Ayesha 등 (2019), Li 등 (2020) 등의 많은 버블 연구 논문들이 발표되고 있다. 이 연구들은 stock market, food market, house market, agriculture commodity market, oil market, stock market, coin market 등의 시장 경제 자료 분석이 주를 이룬다.

과거에 버블탐지에 사용되었던 방법들을 대략적으로 나열하면 Shiller (1981)와 Blanchard와 Watson (1982)의 variance bounds tests; Castelino와 Francis (1982)의 unit root tests; West (1987)의 two-step test; Campbell과 Robert (1987), Diba와 Grossman (1988), Chowdhury (1991)의 cointegration-based tests; Wu (1997)의 state vector; Hall 등 (1999)의 Markov-switching unit root tests 등이 있다. Evans (1991)는 기존의 버블 검정 방법인 ADF 검정과 Shiller (1981), West (1987), Diba와 Grossman (1988) 등의 선형 버블 검정 방법들이 주기적으로 비선형적으로 붕괴되는 버블들을 잘 탐지해내지 못함을 몬테카를로 시뮬레이션 결과를 통해 보여주었고, Phillips 등 (2011)의 forward recursive right-sided unit root test가 이러한 방법들의 대안책이 되었다. 처음에 forward recursive right-sided unit root test 방법으로 sup augmented Dickey-Fuller (SADF)이 제안되었으며 후에 Phillips 등 (2015)가 그것을 확장하여 generalized version of the SADF (GSADF)을 제안하였다. 우리는 버블 검정 중 가장 대표적인 GSADF 버블 검정 방법을 이용하여 각 국가별 COVID-19 확진자 수 데이터에 존재하는 버블을 분석하였다. 분석 결과 분석 대상의 국가였던 미국, 브라질, 러시아, 스페인, 터키, 중국, 한국의 일일 COVID-19 신규 확진자 수 데이터 모두에서 버블이 존재함을 확인하였다. 또한 버블 date-stamping 분석을 통해 버블 기간을 확인하였다. 이들 국가별 버블 분석은 개별 국가별로 다른 코로나 전개 양상을 파악해준다는 면에서 의미가 있을 것이다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장에서 반복적인 방법의 버블 검정 방법들을 자세히 다룬다. 제 3장에서 COVID-19 확진자 수에 대한 버블 분석을 하였다. 마지막 4장은 요약 및 결론으로 논문을 마무리한다.

2. 반복적 버블 검정

이 섹션에서 반복적 방법의 버블 검정을 소개하고자 한다. 우선, SADF 검정은 Phillips, Wu, 그리고 Yu (PWY, 2011)에 의해 개발된 방법으로 반복적인 ADF test를 하는 방법으로 Forward recursive SADF test라고 일컫기도 한다. 앞 섹션에서 언급하였듯이 Evans (1991)는 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 기존의 버블 검정으로 잘 알려진 ADF test, variance bounds tests, two-step test 그리고 cointegration-based tests 등의 선형 버블 방법들이 주기적으로 붕괴되는 버블들을 탐지해내는데 있어서 검정력이 약함을 보였다. 이것은 주기적으로 붕괴가 일어나는 양상이 전체적인 데이터로 봤을 때 오히려 랜덤워크(random walk) 계열이나 심지어는 정상계열처럼 평가되기 때문이다. 따라서 PWY

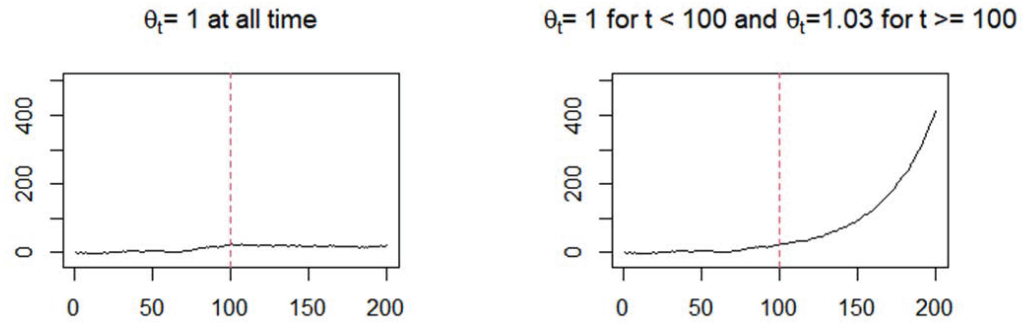

Figure 2.1. Time series plot of y_t in (2.1) with changes in θ. Note: In Equation (2.1) $d = 0$, $\sigma_e^2 = 1$.

(2011)는 데이터 전체를 한 번에 이용하는 것이 아닌, 부분 샘플을 이용하여 반복적으로 검정하는 방법을 통하여 버블 검정을 했다. 이 방법은 버블 구간이 다 지나고 난 후가 아닌, 버블이 출현하는 시점부터 버블을 발견할 수 있는 방법이다. 실시간으로 위험 구간인지를 알 수 있기 때문에 매우 의미가 있는 획기적인 방법이다. 따라서 전염병 데이터에 이 검정을 적용하면 감염 확산이 걷잡을 수 없는 구간과 안정기에 접어드는 구간을 실시간으로 평가할 수 있다. 실시간 위험 평가가 가능한 원리는 다음과 같다. 버블의 폭발적인 특성으로 버블이 존재할 때의 데이터 양상은 랜덤워크의 양상과는 매우 다르다는 것에 주목하고, 부분 샘플의 ADF 통계량이 폭발적으로 클 때 그것을 버블 존재에 대한 증거로 이용하는 것이다. 반복적인 방법의 ADF를 바탕으로한 버블 검정은 마팅게일(무재정원리)을 바탕으로하고 아주 작아서 무시가능한 drift를 가지는 프로세스

$$y_t = dT^{-\eta} + \theta_t y_{t-1} + e_t, \quad e_t \sim \left(0, \sigma_e^2\right), \ t = 1, 2, \ldots, T \tag{2.1}$$

를 바탕으로 구성된다. 수식 (2.1)에서 d는 상수이고, T는 데이터 사이즈이며, η는 0.5보다 큰 수로 절편의 크기를 조절하는 지역계수이고 e_t는 백색잡음과정(white noise)이다. 백색잡음과정 e_t를 오차항으로 갖는 AR(1) 확률과정 $y_t = \theta y_{t-1} + e_t$에서 y_t의 정상성 조건이 $|\theta| < 1$임을 생각해볼 때 우리가 고려하는 귀무가설과 대립가설에서 모두 y_t의 비정상 과정이 된다. 그런데 귀무가설 $H_0 : \theta = 1$ 하에서는 y_t가 확률보행 과정이 되고 대립가설 $H_1 : \theta > 1$ 하에서는 y_t는 폭발적 AR(1) 과정이 된다. 모형 (2.1)은 이 AR(1) 확률과정을 AR 계수 $\theta = \theta_t$가 시간에 따라 변할 수 있음을 허용하여 어떤 구간에서는 확률 보행을 하고 다른 구간에서는 폭발적인 상황을 다룰 수 있게 한다. 또한 $O(T^{-\eta})$인 상수항 $dT^{-\eta}$를 통해 귀무가설 하에서 미세한 추세를 허용한다.

Figure 2.1은 이 식에서 θ_t에 따른 y_t의 양상변화를 보여주는 시도표이다. Figure 2.1에서 왼쪽의 시도표는 $t = 1, 2, \ldots, 200$ 전 구간에서 $\theta_t = 1$인 경우이고, 오른쪽 시도표는 $t = 100$을 기준으로 $t < 100$일 때는 $\theta_t = 1$이고 $t \geq 100$일 때는 $\theta_t = 1.03 > 1$인 경우이다. 우리는 $t > 100$인 구간에서 y값이 폭발적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 θ 검정을 통해 y의 프로세스 양상을 평가가능하다. 자산가격의 경우 $\theta_t > 1$인 경우 버블기에 대응하며 코로나 확진자 수의 경우 $\theta_t > 1$인 경우는 확산기에 대응한다. 위 수식 (2.1)은 다음과 같은

$$\triangle y_t = dT^{-\eta} + \rho_t y_{t-1} + e_t, \quad e_t \sim \left(0, \sigma_e^2\right) \tag{2.2}$$

꼴로 바꾸어 나타낼 수 있다. 여기서 $\triangle$는 일차 차분을 의미하며 $\rho_t = \theta_t - 1$이다. 어떤 구간에서 $\rho_t > 0$이면 이 구간에서 y_t가 지수적으로 커지므로 폭발적으로 값이 증가하는 양상이 나타나게 된다. ADF 통계량이라는 것은 $\rho_t = \rho$로 일정한 경우를 다루며 $H_0 : \rho = 0$에 대하여 정상성 대립가설 $H_1 : \rho < 0$을

검정하여 일반 최소제곱법(ordinary least-square)을 이용하여 구한 y_{t-1}의 표준화된 계수

$$\mathrm{ADF} = \frac{\hat{\rho}}{\mathrm{se}(\hat{\rho})}$$

이다. 정상성 대립가설 $H_1 : \rho < 0$에 대항하여 귀무가설 H_0을 검정할 때 ADF 통계량 값이 하방 임계값 보다 작으면 H_0를 기각한다. 만일 우리가 폭발적 대립가설 $H_1 : \rho > 0$에 대항하여 귀무가설 $H_0 : \rho = 0$을 검정하고자 한다면 ADF 값이 상방 임계값보다 클 때 H_0를 기각한다. 그러나 이는 전 데이터 구간에 대해 ρ가 일정한 경우에 대한 검정이다. SADF 검정은 $\rho = \rho_t$가 시간에 따라 변할 수 있는 상황을 고려하며

$$H_0 : \rho_t = 0 \quad \text{for all} \quad t \in [1, T] \tag{2.3}$$

에 대하여 대립가설

$$H_1 : \begin{cases} \rho_t = 0, & \text{for } t < rT, \\ \rho_t > 0, & \text{for } t > rT, \end{cases} \quad \text{for some } r \in (0, 1) \tag{2.4}$$

을 검정하며, ADF를 기반으로 구성되었으나 ADF 검정과 달리 임계값으로 분포의 하방 값이 아닌 상방 값을 이용한다. 여기서 대립가설은 샘플구간 내 미지의 특정시점 이후에 y_t가 지수적으로 값이 증가함을 나타낸다. SADF 검정은 아래 (2.5)에서처럼 expanding window 샘플에서 ρ를 반복적 회귀 추정하여 이것의 최댓값이 0 보다 많이 크면 버블이 있는 것으로 평가한다.

ADF 통계량을 데이터의 평가 구간을 점점 넓혀 가면서 반복하는 과정은 SADF 방법의 핵심이다. 먼저 $a, b \in [0, 1]$이 주어졌을 때 ADF_a^b를 데이터 $\{y_t, t = [aT], [aT + 1], \ldots, [bT]\}$로부터 계산된 ADF 통계량이라 하자. SADF를 식으로 나타내면 다음

$$\mathrm{SADF}(r_0) = \sup_{r_2 \in [r_0, 1]} \mathrm{ADF}_0^{r_2} \tag{2.5}$$

와 같다. 여기서 r_0는 최소샘플 크기비율로 SADF의 제안자인 PWY (2011)은 $r_0 = 0.01 + 1.8/\sqrt{T}$을 추천한다.

SADF 이후로 Phillips, Shi와 Yu (2015; PSY)는 SADF의 일반화된 버전인 GSADF를 제안했다. GSADF는 rolling window를 이용하여 SADF 테스트보다 유연성이 있게 개선된 방법이며, 역시 recursive right-tailed ADF test에 기반 하였다. 이 방법은 부분 샘플 구간의 시작점과 끝점을 모두 바꿔가며 ADF값을 구하며 Forward rolling SADF test라고 일컫기도 한다. 이 방법을 식으로 나타내면 다음

$$\mathrm{GSADF}(r_0) = \sup_{\substack{r_2 \in [r_0, 1] \\ r_1 \in [0, r_2 - r_0]}} \mathrm{ADF}_{r_1}^{r_2}$$

와 같다. 검정 $\mathrm{GSADF}(r_0)$는 대립가설 "$0 < r_e < r_f < 1$인 $t \in [r_e T, r_f T]$일 때 $\rho_t > 0$이고 그 외의 다른 t에서는 $\rho_t = 0$"임에 대항하여 귀무가설 H_0를 검정하는 것이다. 이 대립가설은 데이터 구간 내 어떤 미지의 구간에서 y_t는 폭발적으로 증가하고 나머지 영역에서는 확률 보행적 행태를 보인다는 것이다. PSY (2015)의 논문에서 GSADF 방법의 검정력이 SADF 방법보다 향상됨을 확인할 수 있으며 비선형 구조와 브레이크 메커니즘을 가진 다중 버블 현상에 적합한 버블 검정 방법으로 평가되어 최근까지도 여러 버블 분석에 많이 사용되고 있다.

이제 버블 기간을 특정할 수 있는 버블 date-stamping 방법을 소개하도록 하겠다. 이는 데이터 구간 $[1,T]$ 중 구간 $[r_eT, r_fT]$에서 버블이 존재한다고 판단, 즉 $\rho_t > 0$, $t \in [r_eT, r_fT]$, 검정 GSADF가 H_0를 기각하였을 때 r_e, r_f를 추정하는 방법으로 SADF의 변형인 BSADF을 기반으로 구성된다. 우선적으로 BSADF 검정은 앞서 소개한 SADF 검정을 샘플구간을 반대방향으로 늘려가며 진행하여 검정하는 방법이며 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 각 샘플구간의 끝 지점은 r_2로 고정하고 시작점을 0부터 $r_2 - r_0$까지 바꿔간다. 이것에 해당하는 ADF 통계량 배열(sequence)들은 다음

$$\{\mathrm{ADF}_{r_1}^{r_2}\}_{r_1 \in [0, r_2 - r_0]}$$

과 같이 나타낼 수 있다. 따라서 BSADF는 다음

$$\mathrm{BSADF}_{r_2}(r_0) = \sup_{r_1 \in [0, r_2 - r_0]} \{\mathrm{ADF}_{r_1}^{r_2}\}$$

과 같다. 이제 이 기호를 사용하여 GSADF는 다음

$$\mathrm{GSADF}(r_0) = \sup_{r_2 \in [r_0, 1]} \{\mathrm{BSADF}_{r_2}(r_0)\}$$

과 같이 나타낼 수 있다. 이때 버블의 시작 지점 $\hat{r}_e$과 버블의 끝 지점 $\hat{r}_f$은 다음

$$\hat{r}_e = \inf_{r_2 \in [r_0, 1]} \{r_2 : \mathrm{BSADF}_{r_2} > \mathrm{SADFcval}_{r_2}\}$$
$$\hat{r}_f = \inf_{r_2 \in [\hat{r}_e + \delta \log(T)/T, 1]} \{r_2 : \mathrm{BSADF}_{r_2} < \mathrm{SADFcval}_{r_2}\}$$

과 같이 추정되며 이를 버블 date-stamping 이라고 한다. 여기서 $\mathrm{SADFcval}_{r_2}$은 $\mathrm{SADF}(r_2)$의 임계값이다. 여기서 δ는 데이터의 빈도에 따라 조정되는 값으로 PWY (2015) 논문을 참조하여 1을 사용하였다. 만약 버블이 두개 있다면 수식은 다음

$$\hat{r}_{1e} = \inf_{r_2 \in [r_0, 1]} \{r_2 : \mathrm{BSADF}_{r_2} > \mathrm{SADFcval}_{r_2}\},$$
$$\hat{r}_{1f} = \inf_{r_2 \in [\hat{r1}_e + \delta \log(T)/T, 1]} \{r_2 : \mathrm{BSADF}_{r_2} < \mathrm{SADFcval}_{r_2} R\},$$
$$\hat{r}_{2e} = \inf_{r_2 \in [\hat{r}_{1f}, 1]} \{r_2 : \mathrm{BSADF}_{r_2} > \mathrm{SADFcval}_{r_2}\},$$
$$\hat{r}_{2f} = \inf_{r_2 \in [\hat{r}_{2e} + \delta \log(T)/T, 1]} \{r_2 : \mathrm{BSADF}_{r_2} < \mathrm{SADFcval}_{r_2}\}$$

와 같다. 이와 같은 방식으로 다중 버블 기간을 추정 할 수 있다.

전체기간 버블 유무 검정 평가에는 GSADF 임계값을, date-stamping에는 SADF 임계값을 사용한다. 각 임계값은 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 구할 수 있으며 PSY (2015)의 논문에 대략적인 임계값 표가 있다.

3. COVID-19 확진환자 수 실증 데이터 분석

COVID-19 신규 확진자 수 최대인 미국과 상위인 나라들 중 비슷한 특색을 보이는 나라들을 제외하고 브라질, 러시아, 인도, 스페인, 터키와 첫 바이러스 발생지인 중국, 그리고 우리나라를 분석 대상에 포함하였다. COVID-19 확진자 수는 위키피디아의 COVID-19의 데이터(https://en.wikipedia.org/wiki/

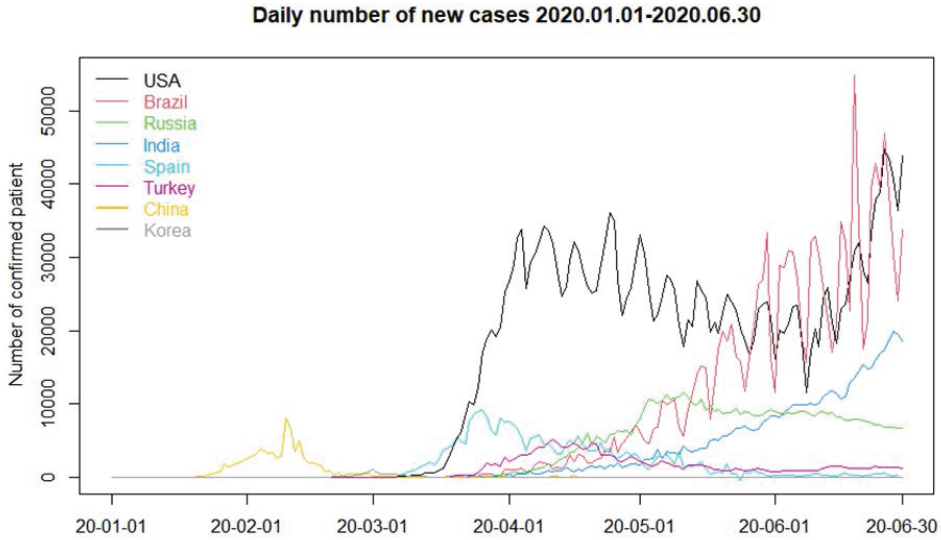

Figure 3.1. Daily number of new cases of COVID-19.

Table 3.1. GSADF test results

Nation	USA	Brazil	Russia	India	Spain	Turkey	China	Korea
GASDF	19.84‡	10.07‡	13.61‡	6.03‡	14.60‡	38.02‡	5.22‡	21.09‡

Note: Significance code: ‡ for 1% level.

COVID-19_pandemic)를 정제하여 이용하였다. 각국의 일일 신규 확진자 수를 하나의 시도표로 나타내면 Figure 3.1과 같다.

Figure 3.1을 보면 중국이 2월경 급격히 확진자 수가 늘었다가 안정화되고 그 후에 한국이 증가했다가 안정화 되고 그 후에 스페인과 미국, 그 외의 다른 나라들이 급증하기 시작함을 확인 할 수 있다. 각국에서 2020년 1월 1일부터 6월 30일까지의 COVID-19의 폭발적인 증가세가 존재하는지를 나타낸 표는 다음 Table 3.1과 같다.

Table 3.1에서 모든 국가의 데이터가 상위 1% 유의수준에서 버블이 존재한다는 결과를 나타낸다. GSADF 통계량의 임계값으로는 PSY (2015)의 시뮬레이션을 통한 임계값을 이용하였다. 모든 국가에 COVID-19의 급진적인 확산이 있었다는 뜻이다. 그러나 이 GSADF 통계 값은 전체 기간 동안 버블이 존재 했었는지 아닌지에 대한 정보만 제공하고 그 버블의 시기가 구체적으로 언제 인지에 대한 정보를 제공하지 않는다. 버블 기간에 대한 정보는 버블 date-stamping 분석을 통해 급진적인 확산시기와 안정기에 접어들었는지 여부를 판단할 수 있다. 다음의 Figure 3.2는 GSADF 방법에 대응되는 BSADF를 이용한 date-stamping 방법을 통해 각국의 버블로 평가된 구간을 나타낸 것이다.

Figure 3.1과 Table 3.1에서 각국의 버블 date-stamping 결과를 살펴보면 미국은 3월 1일부터 시작된 COVID-19 급증 확산기를 4월 16일 벗어난 것으로 평가되고 있으며 브라질은 3월 5일부터 급증기가 시작된 이후로 지속적으로 폭발적인 증가추세를 보이다가 6월 4일부로 급증 확산기를 벗어난 것으로 평가된다. 러시아는 3월 6일부터 시작된 급증 확산기를 5월 20일 벗어난 것으로 평가된다. 인도는 3월 4일 시작된 급증 확산기를 아직 벗어나지 못한 것으로 평가된다. 스페인은 2월 25일 시작된 급증 확산기를 벗어나 4월 1일 부터 안정기로 들어선 것으로 평가된다. 터키 또한 3월 16일 급증기가 시작되었고 4월

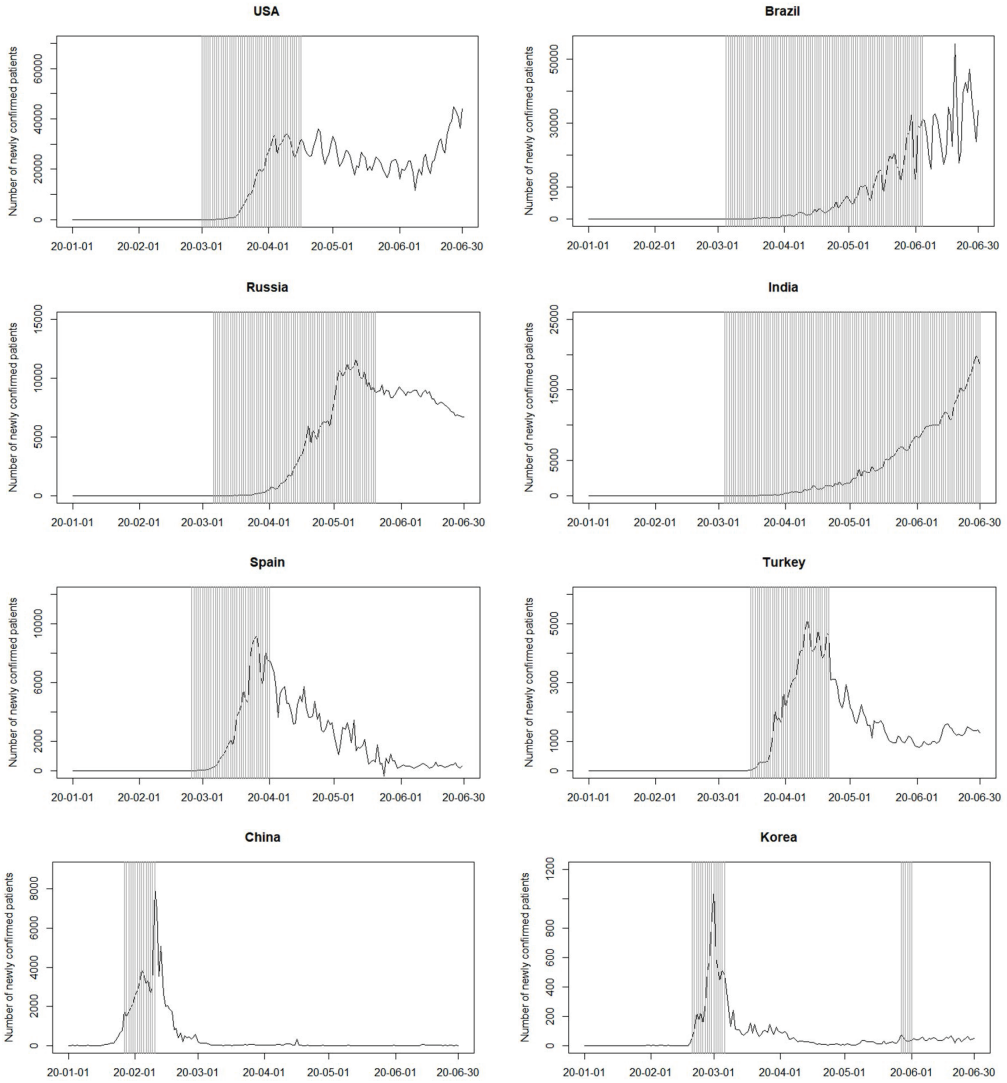

Figure 3.2. Bubble date-tamping. Note: Shadowed periods are identified bubble periods.

21일 부터 안정기로 들어선 것으로 평가된다. 중국은 1월 27일부터 급증하기 시작하여 3월 6일 안정세로 비교적 빠르게 안정화 되었다. 사회주의 국가인 만큼 강도 높은 규제를 통해 단기간에 인구수가 많은 나라임에도 불구하고 빠르게 전염병을 진압 할 수 있었던 것으로 보인다. 한국은 8개 국가 중 유일하게 버블 구간이 2개인 것으로 평가되고 있다. 2월 20일부터 급증기가 시작되어 3월 6일 빠르게 안정세에 접어들고 매일 10명 미만의 확진자가 나오는 안정적인 시기를 지나 5월 27일부터 잠시 2차 급증기에 들어선 것으로 평가되었다. 5월 초 중순에 이태원 클럽에서 집단 감염이 시작되어 다양한 지역사회 감염 및 젊은 층 사이에서 무증상 감염이 발단이 되었다. 그러나 금방 6월 1일 부로 2차 급증기가 종결되고 안정기에 재진입하여 신규 확진자 수가 더 이상 급증하지 않게 잘 유지 중이다. GSADF에 해당하는

Table 3.2. Date-stamping results for bubble periods

Nation	Period	Date	
		r_eT	r_fT
USA	1	2020-03-01	2020-04-16
Brazil	1	2020-03-05	2020-06-04
Russia	1	2020-03-06	2020-05-20
India	1	2020-03-04	-
Spain	1	2020-02-25	2020-04-01
Turkey	1	2020-03-16	2020-04-21
China	1	2020-01-27	2020-02-10
Korea	1	2020-02-20	2020-03-06
	2	2020-05-27	2020-06-01

date-stamping방법이 COVID-19 확산시기, 안정시기를 잘 탐색해내고 재 확산시기까지도 잘 탐색하는 것을 확인하였다.

4. 결론

반복적인 검정을 통한 버블 검정 방법인 GSADF 검정 방법으로 각국의 데이터에서 버블의 유무를 검정 하였고 모든 국가에 COVID-19의 급진적인 확산이 있었다는 사실을 통계적 분석을 통해 다시금 확인할 수 있었다. 또한 GSADF 방법에 대응하는 date-stamping 방법인 BSADF를 이용하여 각국의 COVID-19 급증구간 date-stamping을 시도해 보았으며 그 결과 COVID-19의 급진적인 확산이 시작되는 지점과 안정세에 접어드는 시기를 잘 탐색하는 것을 확인하였다. 특히 한국의 경우 안정화 시기가 왔다가 예전만큼의 폭발적인 확산이 아니더라도 다시금 집단감염이 발발하여 재 확산위기가 다가온 시기도 탐색해 내는 것을 확인하였다. 또한 각국의 질병 확산이 통제 되고 있는지 판별하였으며, 그 결과가 각국의 체감하는 정도와 유사하다고 평가되었다. 2020.06.30 현재 미국, 브라질, 러시아, 스페인, 터키, 중국, 한국은 각 나라별 COVID-19에 대한 대응책 마련으로 일일 신규 확진자 수가 기하급수적으로 급증하는 국가적 공황상태를 벗어난 것으로 평가되고 있으며, 인도는 COVID-19 확산세가 지속적인 증가세에 있으므로 한동안 더 공황 상태가 지속 될 것으로 보인다. 특히 한국은 1차 확산이 지나가고 안정기에 접어든 후 방심이 불러온 젊은 층의 집단 감염으로 인해 2차 확산위기가 왔었지만 1차 급증 구간처럼 확산되지 않고 적절한 조치를 취하여 현재는 안정기를 잘 유지하고 있는 것으로 보인다. COVID-19 일일 신규 확진자 수 버블 분석이 급진적인 확산에 대한 위기 경보가 될 수 있는 가능성을 확인하였다. 본 연구는 개별국가의 확진자 수 자료를 단일 시계열로 간주 하여 한 국가 내에서의 시간의존성만을 고려한 코로나 확산에 대한 펜데믹 분석을 한 것으로 전 세계적인 공간의존성을 고려한 펜데믹 분석의 추가 연구의 필요성을 시사하고 있다. 따라서 후속 연구로 여러 나라의 전염 상황을 동시에 고려하는 패널 버블 검정으로 확장하면 전염병의 공간적 상관성까지 반영한 펜데믹 분석이 가능할 것으로 보인다.

References

Blanchard, O. and Watson, M. (1982). Bubbles, rational expectations and financial markets, *Crises in the Economic and Financial Structure*, **945**, 295–316.

Campbell, J. and Robert S. (1987). Cointegration and tests of present value models, *Journal of Political Economy*, **95**, 1062–1088.

Caspi, I. and Graham, M. (2018). Testing for bubbles in stock markets with irregular dividend distribution,

Finance Research Letters, **26**, 89–94.

Castelino, M. and Francis, J. (1982). Basis speculation in commodity futures: the maturity effect, *The Journal of Futures Markets*, **2**, 195–206.

Chowdhury, A. (1991). Futures market efficiency: evidence from cointegration tests, *The Journal of Futures Markets*, **11**, 1986–1998.

Diba, B. and Grossman, H. (1988). The theory of rational bubbles in stock prices, *The Economic Journal*, **98**, 746–754.

Engsted, T., Hviid, S., and Pedersen, T. (2016). Explosive bubbles in house prices? Evidence from the OECD countries, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, **40**, 14–25.

Evans, G. W. (1991). Pitfalls in testing for explosive bubbles in asset prices, *The American Economic Review*, **4**, 922–930.

Hall, S., Psaradakis, Z., and Sola, M. (1999). Detecting periodically collapsing bubbles: a Markov-switching unit root test, *Journal of Applied Econometrics*, **14**, 143–154.

Harsha, S. and Ismail, B. (2017). Improved test for detecting explosive bubbles, *Journal of Data Science*, **15**, 495–508.

Li, Y., Chevallier, J., Wei, Y., and Li, J. (2020). Identifying price bubbles in the US, European and Asian natural gas market: Evidence from a GSADF test approach, *Energy Economics*, **87**, Online.

Liaqat, A., Nazir, M. S., and Ahmad, I. (2019). Identification of multiple stock bubbles in an emerging market: application of GSADF approach, *Economic Change and Restructuring*, **52**, 301–326.

Montasser, G., Naoui, K., and Fry, J. (2018). Speculative bubbles or explosive fundamentals in stock prices? New evidence from SADF and GSADF tests, *Journal of Statistics and Management Systems*, **21**, 93–106.

Phillips, P., Shi, S., and Yu, J. (2015). Testing for multiple bubbles: historical episodes of exuberance and collapse in the S&P500, *International Economic Review*, **56**, 1043–1078.

Phillips, P., Wu, Y., and Yu, J. (2011). Explosive behavior in the 1990s Nasdaq: When did exuberance escalate asset values?, *International Economic Review*, **52**, 201–226.

Shaen, C., Brian, L., and Larisa, Y. (2018). Datestamping the Bitcoin and Ethereum bubbles, *Finance Research Letters*, **26**, 81–88.

Shiller, R. (1981). Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends?, *The American Economic Review*, **71**, 421–436.

Su, C., Li, Z., Chang, H., and Lobonţ, O. (2017). When will occur the crude oil bubbles, *Energy Policy*, **102**, 1–6.

West, K. (1987). A specification test for speculative bubbles, *Quarterly Journal of Economics*, **102**, 553–580.

Wu, Y. (1997). Rational bubbles in the stock market: Accounting for the US stock-price volatility, *Economic Inquiry*, **35**, 309–319.

COVID-19 펜데믹에 대한 GSADF 버블 검정 분석

신지원[a] · 신동완[a,1]

[a]이화여자대학교 통계학과

(2020년 7월 9일 접수, 2020년 7월 25일 수정, 2020년 7월 27일 채택)

요 약

우리는 버블 검정과 이에 해당하는 date-stamping 방법을 통해 주요 국가의 COVID-19 일일 신규 확진자 수 데이터를 분석하였다. 2020.06.30 현재 미국, 브라질, 러시아, 스페인, 터키, 중국, 한국은 확진자 수가 지수적으로 급증하는 공황 상태를 벗어나 어느정도 COVID-19 질병에 대한 통제가 이루어지고 있는 상태임을 확인하였으나 인도는 COVID-19 급증기가 지속되고 있어 한동안 국가적 공황 상태가 지속 될 것으로 평가되었다. 한국은 1차 확산(2020.02.20–2020.03.06)이 지나가고 2020.05.27 에 재 확산기에 잠깐 진입하여 다시 위기를 맞이했다가 최근 2020.06.01 이후 다시 안정기에 재 진입하여 신규 확진자 수가 크게 늘지 않고 안정적이게 유지하고 있다.

주요용어: COVID-19, GSADF, Bubble test, Bubble date-stamping

이 논문은 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행된 연구임 (2016R1A2B4008780). 이 논문은 이화여자대학교 대학원 장학금 지원에 의한 논문임.

[1]교신저자: (03760) 서울특별시 서대문구 이화여대길 52, 이화여자대학교 통계학과.
E-mail: shindw@ewha.ac.kr