

A CUSUM Algorithm for Early Detection of Structural Changes in Won/Dollar Exchange Market¹⁾

Gyu Moon Song²⁾ · Byung Chun Park³⁾ · Hoon Kyu Kang⁴⁾

Abstract

This study deals with an early detection problem of structural change in won/dollar exchange market. A CUSUM algorithm is developed to monitor relevant economic variables indicating structural change in won/dollar exchange market. We applied the CUSUM algorithm to examine whether or not it was possible to alarm the 1997 economic crisis of Korea in advance.

Keywords: 구조변화, 외환시장, 조기경보, CUSUM

1. 서 론

금융위기는 우리나라뿐만 아니라 유럽, 아시아를 비롯한 세계 대부분의 국가에서 상당기간에 걸쳐 동시다발적으로 발생하였고, 그것의 실물경제에 대한 충격은 다양한 경로를 통해 진행되었다. 이에 세계 각국은 자본의 효율적 배분의 역할을 담당하는 금융의 안정성을 유지하는 것이 무엇보다 중요함을 인식하고, 금융위기의 사전감지와 예방을 위한 시스템 마련에 노력하였다. 우리나라 또한 감독제도의 선진화를 꾀하는 한편 금융권의 위기관리능력을 제고하기 위해 노력하고 있다. 그러나 경제가 고도로 발전해 가고, 자본시장의 세계적인 통합이 급속히 진전됨에 따라 금융권이 시장에 노출되어 있는 위험 또한 복잡화되어 가고 있고 금융위기의 전이효과가 크다는 점에서 어느 한 경제주체의 노력만으로 위기를 예방하는 데에는 한계가 있다. 따라서 이러한 위험을 총체적으로 감시하고 예방할 수 있는 위기감지 및 예방시스템을 보다 상시적이며, 체계적으로 운영할 필요가 있다(손상호, 김상환, 2001).

1) 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

2) Professor, Department of Statistics, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea.
E-mail : kms252 @kmu.ac.kr

3) Corresponding Author : Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea.
E-mail : bcpark @kmu.ac.kr

4) Graduate student, Department of Statistics, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea.
E-mail : neogomusin@nate.com

이제까지 경제위기를 조기 예측하기 위한 연구는 금융위기 조기 예측을 중심으로 진행되어 왔다. 따라서 경제위기 예측과 금융위기 예측은 동의어처럼 흔히 사용된다. Kaminsky, Lizondo, Reinhart(1997)는 외환위기를 조기 예측하기 위해 외환위기 선행지수를 개발하였고, 이후 Goldstein, Kaminsky, Reinhart(2000)의 연구 등, 외환위기를 예측하기 위한 많은 연구들이 있었다. 우리나라의 경우 외환위기를 조기 경보하기 위한 연구로는 박원암, 최공필(1998), 박원암(2001), 김경수(2004) 등을 들 수 있다. 한편, 은행위기를 조기 경보하기 위한 연구로는 김상환(2001)과 손상호, 김상환(2001)을 들 수 있다. 물론 원/달러 외환시장의 구조변화가 곧바로 외환위기 내지는 경제위기를 의미하지는 않는다. 그러나 경제위기는 바로 경제구조의 변화를 의미한다는 측면에서 양자는 밀접히 관련되어 있다.

본 연구는 관련 경제 변수들을 지속적으로 실시간 감시하다가 구조변화 등의 이상 징후가 발생하는 경우 그것을 탐지하여 대응할 수 있도록 하는 일종의 조기경보시스템을 개발하는 것이다. 구체적으로 본 연구에서는 1990. 3. 2.일부터 2006. 6. 30.일까지 한국은행 경제통계시스템의 일별 원/달러 기준환율에 관한 시계열 자료를 분석자료로 하여 환율 변동성 구조변화 시점을 탐지하는 시스템을 개발한다. 환율에서 예측은 수준 자체의 예측과 전환점 및 추세상의 방향 예측이 있는 바, 정책당국의 입장에서는 후자가 더 관심의 대상일 것이라 판단되며, 따라서 본 연구도 후자에 주안점을 두고 있다. 여기서 한 가지 강조할 점은 환율변동 구조의 변화가 크게 그리고 급격히 일어나는 경우 시스템이 그것을 탐지해 낼 수 있어야 함은 물론 아주 적게 그러나 지속적으로 진행되는 경우도 탐지해 낼 수 있어야 한다는 사실이다. 이를 위해서 본 연구에서는 확률시스템(Stochastic Systems)의 구조변화 조기탐지에 널리 사용되어 그 유용성을 인정받고 있는 CUSUM 알고리즘을 이용한다. 본 연구의 가장 큰 특징으로는 외환 등 경제 문제에 기존의 거시 경제적 접근방법 대신 미시적·공학적인 접근 방법을 사용한다는 사실을 들 수 있다.

여기서 한 가지 강조할 점은 본 연구가 기술적 접근방식을 통한 경제 구조변화 조기탐지시스템 개발에 관한 완성된 연구가 아니라는 점이다. 본 연구는 오히려 이 분야 연구의 시작이라는 점에 연구의 의의가 있다. 따라서 국가 정책운영에 실질적이고 효과적으로 도움이 될 수 있는 시스템 개발을 위해서는 앞으로 관련분야 전문가의 경험과 조언, 그리고 적극적 참여를 통한 본 연구의 보완이 절실히 필요하다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 여러 가지 장점이 있다. 그 중 하나는 본 연구가 기술적이고도 미시 공학적인 접근방법을 사용함으로써 기존의 연구에 비해 보다 체계적이고 일관된 접근방식을 제공한다는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제2절에서는 관리도와 CUSUM 알고리즘에 대하여 소개한다. 제3절에서는 시장구조변화 탐지 시스템의 설계에 관한 사항들을 논의한다. 제4절에서는 기준 환율에 관한 시계열 자료를 가지고 시장구조변화 탐지 시스템이 구체적으로 어떻게 운용될 수 있는지를 보이고, 운영 결과를 제시한다. 제5절은 본 연구의 시사점과 한계, 그리고 향후 연구과제를 제시한다.

2. 관리도와 CUSUM 알고리즘

2.1 관리도

관리도(Control Chart)는 1920년대 Shewhart에 의해 창안된 것으로, 반복적인 공정들(repetitive processes)을 관리하기 위한 통계적 도구이다. 관리도는 공정이 어떤 특정한 분포에 따르고 있는지 (관리상태 하에 있는지) 연속적으로 검정할 수 있는 체계적 수단을 제공한다. 관리도가 처음으로 적용된 분야는 품질관리(Quality Control) 분야이다. 품질관리에서는 전통적으로 $\mu \pm 3\sigma$ 관리한계선을 사용한다.

품질관리에서는 품질산포의 원인을 우연원인(chance cause)과 이상원인(assignable cause)으로 구분한다. 품질변동은 이 두 가지 원인에 의해 일어난다. 우연원인만 작용하고 있는 상태를 관리상태(under control)라 하며, 이상원인이 작용하고 있는 상태를 비관리상태(out of control)라 한다. 관리도는 기본적으로 공정으로부터 얻은 데이터들을 관리도에 타점함으로써 공정이 현재 관리상태 하에 있는지 아니면 비관리상태 하에 있는지 식별하고, 만약 비관리상태 하에 있으면 그 원인을 발견하여 제거하기 위한 것이다.

전통적인 Shewhart 관리도는 공정에 크고 급격한 변동이 있는 경우 그것을 잘 탐지할 수 있으나, 통계적 구조 변화가 작게 그러나 지속적으로 진행되는 경우 그것을 잘 탐지하지 못한다는 약점이 있다. 이 약점을 극복하기 위해 고안된 관리도가 CUSUM 관리도이다. Shewhart 관리도에서는 개별 데이터나 개별 표본평균을 타점하는데 반해 CUSUM 관리도에서는 이들의 누적합(Cumulative Sum)을 타점한다. 이렇게 누적합을 타점하면 미세한 변동의 효과를 누적시킬 수 있어 작은 구조변화가 일어난 경우라도 그것을 잘 탐지해 낼 수 있다.

2.2 CUSUM 알고리즘

본 연구에서 적용할 CUSUM 알고리즘은 여러 측면에서 설명될 수 있으나 보다 직관적 관점은 적응 임계값(adaptive threshold)을 이용하여 설명하는 것이다.

$y_1, y_2, \dots, y_k, \dots$ 를 확률밀도함수 $p_\theta(y)$ 를 갖는 상호 독립인 확률변수들의 연속이라 하자. 편의상 모수 θ 가 $\theta = \theta_0$ 에서 미지의 시점 t_0 에 $\theta = \theta_1$ 으로 변화한다고 가정하자. 이제 s_i 와 S_k 를 각각 식(2-1) 및 식(2-2)와 같이 정의하자.

$$s_i = \ln \frac{p_{\theta_1}(y_i)}{p_{\theta_0}(y_i)} \quad (2-1)$$

$$S_k = \sum_{i=1}^k s_i. \quad (2-2)$$

이제 E_{θ_0} 와 E_{θ_1} 을 각각 p_{θ_0} 와 p_{θ_1} 에 따르는 확률변수들의 기댓값이라 정의하면 식(2-3)의 관계가 성립한다.

$$E_{\theta_0}(s_i) < 0 \quad E_{\theta_1}(s_i) > 0 \quad (2-3)$$

따라서, $y_1, y_2, \dots, y_k, \dots$ 가 시간의 흐름에 따라 얻어진 시계열 자료인 경우, 로그 우도비(log-likelihood ratio) 값 S_k 는 t_0 전에는 ($\theta = \theta_0$ 인 경우) 음으로 유동(negative drift)하고, t_0 를 지나면서부터는 ($\theta = \theta_1$ 인 경우) 양으로 유동(positive drift)하는 경향을 보인다.

이제 m_k 와 g_k 를 각각 식(2-4) 및 식(2-5)와 같이 정의하자.

$$m_k = \min\{S_j, 1 \leq j \leq k\}, \quad (2-4)$$

$$g_k = S_k - m_k. \quad (2-5)$$

로그 우도비 값 S_k 가 t_0 전에는 음으로 유동하고 t_0 를 지나면 양으로 유동하는 경향을 보이며, m_k 는 현재까지의 최저 로그 우도비 값을 뜻하기 때문에 변화에 관한 모든 관련 정보는 g_k 가 가지고 있다. 구체적으로 $\theta = \theta_0$ 인 경우 g_k 는 양의 방향에서 영을 따라 유동(drift around zero in positive dimension)하나 t_0 를 지나면서부터는 지속적으로 증가하는 경향을 보인다. 따라서 θ 가 변화하였는지를 판정하는 의사결정엔 매 순간 순간 g_k 를 어떤 임계값(threshold) h 와 비교하는 것이 된다. 이 경우 정지시간(stopping time) t_a 는 식(2-6)과 같이 정의된다.

$$t_a = \min\{k : g_k \geq h\} = \min\{k : S_k \geq m_k + h\}. \quad (2-6)$$

즉, 변화탐지 규칙(detection rule)은 누적합 S_k 를 적응 임계값(adaptive threshold) ($m_k + h$)와 비교하는 것이 된다.

예로서, $y_1, y_2, \dots, y_k, \dots$ 가 $N(\mu, \sigma^2)$ 을 따르는 상호 독립인 확률변수라 가정하자. 편의상 분산 σ^2 이 알려져 있다는 가정 하에서 다음과 같은 검정을 수행한다고 가정해보자.

$$\begin{cases} H_0 : \mu = \mu_0 \\ H_1 : \mu = \mu_1 \end{cases}$$

이 경우 우리는 다음이 성립함을 쉽게 보일 수 있다.

$$s_i = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left(y_i - \frac{\mu_1 + \mu_0}{2} \right).$$

따라서 이 경우 t_a 는 식(2-7)과 같이 표현된다.

$$t_a = \min\left\{k : \sum_{i=1}^k y_i \geq (m_k + h) \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} + \frac{(\mu_1 + \mu_0)k}{2}\right\}. \quad (2-7)$$

한편 CUSUM 알고리즘은 축차확률비 검정(SPRT: sequential probability ratio test)의 연속적 적용이란 관점에서도 설명될 수 있다. SPRT는 의사결정 규칙(decision rule) d 와 정지시간(stopping time) T , 즉 (d, T) 에 의해 정의될 수 있다. 여기서 d 와 T 는 어떤 하한 임계값 $\varepsilon(\geq 0)$ 과 상한 임계값 $h(> 0)$ 에 대해 각각 다음과 같이 정의된다.

$$d = \begin{cases} 0 & \text{if } S_T \leq -\varepsilon \\ 1 & \text{if } S_T \geq h \end{cases} \quad (2-8)$$

$$T = T_{-\varepsilon, h} = \min\{k : (S_k \geq h) \cup (S_k \leq -\varepsilon)\} \quad (2-9)$$

SPRT를 연속적으로 적용하다가 $d=0$ 이거나 $d=1$ 이 되는 최초의 순간이 정지시간 T 이다. 정지시간 T 에서 $d=1$ 이면 이 시간이 변화를 탐지한 경고시간(alarm time)이 된다. 한편 SPRT를 연속적으로 적용하다가 $d=0$ 가 되면 그 시점부터 SPRT 알고리즘을 다시 시작한다. 즉 새로운 주기(new cycle)가 시작되는 것이다. 한편 의사결정 규칙은 식(2-10)과 같이 정의된 g_k 를 이용하여 반복적으로 표현될 수 있다 (Masseville, Nikiforov, 1993).

$$g_k = \max\{g_{k-1} + s_k, 0\} \quad (2-10)$$

이 경우 정지규칙(stopping rule)과 경고시간(alarm time)은 식(2-11)과 같이 표현된다.

$$t_a = \min\{k : g_k \geq h\}. \quad (2-11)$$

한편 SPRT의 성능을 평가하는 2가지 중요 함수로는 검사특성곡선(OC curve: operating characteristic curve)과 평균시료개수(ASN: average sample number)가 있다. OC 곡선은 $P_\theta(H_0)$, 즉 모수 θ 가 변화함에 따라 귀무가설 H_0 가 채택될 확률이 어떻게 변화하는지를 보여주는 함수이다. ASN은 정지시간 T 까지의 관찰회수의 기댓값을 말한다. 즉, 관찰을 시작하고 나서 평균적으로 몇 번째 관찰만에 $d=0$ 혹은 $d=1$ 되는가 하는 것을 보여준다. 일반성을 잃지 않고 우리는 추출간격을 1이라 가정할 수 있는데, 이 경우 ASN은 정지시간 T 의 기댓치 $E_\theta(T)$ 가 된다. 한편, SPRT를 설계할 때 가장 중요하게 고려되는 함수로 ARL(average run length) 함수가 있는데, ARL 함수는 $E_\theta(t_a)$ 로 정의된다.

3. 시장 구조변화 탐지시스템 설계

3.1. 기본적 접근방식

시장 구조변화 조기 탐지시스템을 개발함에 있어 시스템의 개발 목적 내지는 사용 용도에 따라 우리는 두 가지 관점에서 접근할 수 있다. 첫째는 전통적 관리도의 기능 관점에서 접근하는 것이다. 앞서서도 언급한 것과 같이 관리도는 공정이 관리상태인지 아니면 비관리 상태인지 판별하기 위해 사용된다. 관리상태란 우연원인만이 작용하고 있는 상태를 가리키는데, 만약 우연원인만 작용하고 있다면 품질변동은 중심극한의 원리에 의해 정규분포(normal distribution)를 따를 것임을 예상할 수 있다. 따라서 계량치 데이터를 관리하는 경우 전통적 관리도에서는 모집단의 분포로 정규분포를 가정한 후 관리한계선을 계산한다. 이 경우 만약 공정에 이상원인이 발생하여 비관리상태가 되면, 품질 분포는 이상원인에 의해 크게 영향을 받아 가정된 정규분포

를 따르지 않을 것이고, 그 결과 관리한계선 밖에 데이터가 타점되어 경고를 발령한다. 참고로 품질분포가 변화하였음에도 불구하고 데이터가 관리한계선 안에 타점되어 경고를 발령하지 못할 확률을 제2종 과오(Type II Error)라 한다. 그러나 공정이 관리상태하에 있더라도 데이터가 관리한계선 밖에 타점되어 거짓 경고(false alarm)를 발령할 수 있는데, 이 확률을 제1종 과오(Type I Error)라 한다. $\mu \pm 3\sigma$ 를 사용하는 전통적 관리도의 경우 제1종 과오는 0.0027이 된다.

마찬가지로 만약 설명할 수 없는 수많은 작은 외환결정요인들, 혹은 불가피하게 받아들일 수밖에 없는 작은 요인들의 영향이 누적되어 그 결과가 X_t 로 나타난다면, X_t 역시 정규분포를 따를 것이라 예상할 수 있다. 따라서 X_t 가 정규분포를 따른다 가정하고 관리한계선을 계산하여 시스템을 운영한다면, 시스템을 사용하는 목적은 외환시장에 작용하는 이상원인을 발견하기 위한 것이 된다. 우리는 이런 목적으로 개발된 시장 구조변화 조기 탐지시스템을 제1종 조기경보시스템(Type I Early Warning System)이라 부를 것이다.

시장 구조변화 조기 탐지시스템을 개발하는 두 번째 접근 방식은 시장을 관리상태 혹은 비관리상태로 구분하지 않고 현재의 시장구조 자체를 있는 그대로 인정하는 것이다. 즉 우연원인과 이상원인이 동시에 작용하고 있을 현재의 시장 구조 그 자체를 기본적인 출발점으로 하여 만약 시장구조가 변화하는 경우 경보를 발령하는 시스템을 개발하는 것이다. 우리는 이런 목적으로 개발된 시장 구조변화 조기 탐지시스템을 제2종 조기경보시스템(Type II Early Warning System)이라 부를 것이다. 이 경우에는 시장구조 변화를 탐지하기 위한 관리한계선을 설정함에 있어 우리는 사전에 어떤 특정 분포를 가정할 수 없다. 대신 시장으로부터 직접 데이터(Historical Data)를 얻어 분포를 추정한 후 관리한계선을 설정하거나, 아니면 분포를 사전에 가정하지 않는 비모수적 방법(Non-Parametric Method) 등을 대안으로 고려하여야 한다.

3.2. 관리한계선의 설정

관리도를 운영함에 있어 가장 중요한 과제 중의 하나는 관리한계선, 혹은 임계값(threshold)을 어떻게 설정하느냐 하는 것이다. 이것을 설정하는 방법에는 기본적으로 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 관리자가 정책적으로 관리표준을 설정하는 것이다. 즉, 감시변수의 변동 정도와 제1종 과오 및 제2종 과오의 발생에 따른 여러 가지 비용을 고려하여 관리한계를 정책적으로 정하는 것이다. 이 방법의 장점은 관리기준을 명확히 할 수 있다는 것이다. 단점으로는 이러한 관리기준은 어디까지나 임의적인 것으로 이것이 잘못 설정되었을 경우 큰 혼란이 올 수 있다는 점이다.

관리한계선을 설정하는 두 번째 방법은 기존의 데이터를 이용하는 것으로, 이것이 보다 일반적인 방법이다. 기존의 자료를 이용하여 모수를 추정하는 경우 또 한 가지 과제는 어떤 자료를 어느 정도로 중요하게 사용하느냐 하는 것이다. 예로서 지금까지 누적된 모든 자료를 사용할 수도 있고, 아니면 최근 일정 기간의 자료를 사용할 수도 있다. 한편 사용하는 데이터의 중요도를 다르게 하기 위해 데이터가 얻어진 기간에 따라 데이터별로 서로 다른 가중치(weight)를 부여할 수도 있다.

4. 탐지시스템 운영의 실제

4.1 데이터 설명 및 탐지 시스템

이제 1990년 3월 2일부터 2006년 6월 30일까지 한국은행 경제통계시스템의 일별 원/달러 기준환율에 관한 시계열 자료를 분석 자료로 하여 어떻게 환율 변동성 변화시점을 탐지하는 시스템을 개발하여 운영할 수 있는지를 보인다. 본 연구에서는 외환 시장에 작용하는 이상원인을 발견하기 위한 목적으로 시스템을 운영한다고 가정한다. 즉, 제1종 조기경보시스템을 개발한다. 이제 시점 t 의 일별 원/달러 기준환율을 P_t 라 하자. <그림 4-1>은 1990년 3월 2일부터 2006년 6월 30일까지의 일별 원/달러 기준환율 P_t 의 시도표(time plot)를 보여주고 있다.



<그림 4-1> 기준환율 P_t 의 시도표

시장구조 변화 탐지 시스템은 P_t 에 기반하여 개발할 수도 있으나 정책당국자에게는 P_t 의 절대값 그 자체 보다는 P_t 의 변화율, 특히 P_t 의 급격한 변화율이 더 큰 관심의 대상일 것이라 생각된다. 따라서 본 연구에서는 P_t 의 변화율을 감시변수로 하는 시장구조 변화 탐지시스템을 연구한다.

이제 로그수율(log return) r_t 를 식(4-1)과 같이 정의한다.

$$r_t \equiv \ln(1 + R_t) = \ln P_t - \ln P_{t-1} \quad (4-1)$$

본 연구에서는 r_t 의 평균이 변화하는 경우 그것을 탐지하기 위해 r_t 자체를 감시변수로 하는 시스템과 r_t 의 산포 내지는 분산의 변화를 탐지하기 위해 식(4-2)와 같이 정의된 y_t 를 감시변수로 하는 시스템을 연구한다.

$$y_i = \frac{(r_i - \mu_r)^2}{\sigma_r^2} \quad (4-2)$$

여기서 μ_r 과 σ_r^2 은 각각 r_i 의 평균과 분산을 의미한다. 분산 변화를 탐지하기 위해 y_i 를 감시변수로 선정할 이유는 r_i 의 평균이 μ_r 로부터 이동하거나 분산이 σ_r^2 보다 커지면(작아지면) $\sum_{i=1}^n y_i$ 의 값이 증가하는(감소하는) 성질을 이용하기 위한 것이다. 관리 한계선을 설정하기 위해서는 μ_r 과 σ_r^2 의 값이 필요한데, 이것들이 알려져 있지 않은 경우가 일반적이기에 추정하여 사용한다. 외환자료와 같은 경제변수들에 대한 구조변화 조기 탐지 연구에 있어 문제점은 과거 어떤 데이터가 이상원인에 의해 작용을 받았는지 확인하기가 어려워 μ_r 과 σ_r^2 의 추정치 계산에 사용할 데이터의 선정이 쉽지 않다는 것이다.

이제 제1종 조기경보시스템 개발을 목적으로 r_i 가 $N(\mu_r, \sigma_r^2)$ 에 따른다고 가정한다. 그러면 $\sum_{i=1}^n y_i \sim \chi^2(n)$ 이기 때문에 식(4-3)이 성립한다.

$$E\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) = n, \quad \text{Var}\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) = 2n \quad (4-3)$$

따라서 식(4-4)와 같이 S_n 을 정의하면,

$$S_n = \sum_{i=1}^n (y_i - 1) \quad (4-4)$$

식(4-5)가 성립한다.

$$E(S_n) = 0, \quad \text{Var}(S_n) = 2n \quad (4-5)$$

시장 구조 변화 탐지 시스템을 연구함에 있어 본 논문에서 사용한 CUSUM 알고리즘의 절차를 설명하면 다음과 같다.

첫째, y_i 를 감시변수로 하는 시스템의 경우를 살펴보면,

- 1) 초기 n_1 개 데이터를 이용하여 μ_r 의 추정치 m 과 σ_r^2 의 추정치 s^2 을 계산한다.
- 2) 모수 추정에 사용된 데이터 이후 관찰된 데이터들부터 시작하여 CUSUM 관리도에 S_n 을 타점한다.

$$S_n = \sum_{i=1}^n (y_i - 1), \quad n = 1, 2, \dots, \quad \text{단, } y_i = \frac{(r_i - m)^2}{s^2} \quad (4-6)$$

- 3) 타점 도중 어떤 n 에 대해 $S_n \geq h_n \equiv 3\sqrt{2n}$ 이거나 $S_n \leq -h_n$ 이 성립하면 경보를

발령하고 새로운 series를 시작한다(즉, $(n - n_1)$ 번째 데이터부터 n 번째 데이터까지를 이용하여 m 과 s^2 을 새롭게 계산한 후 절차 2를 반복).

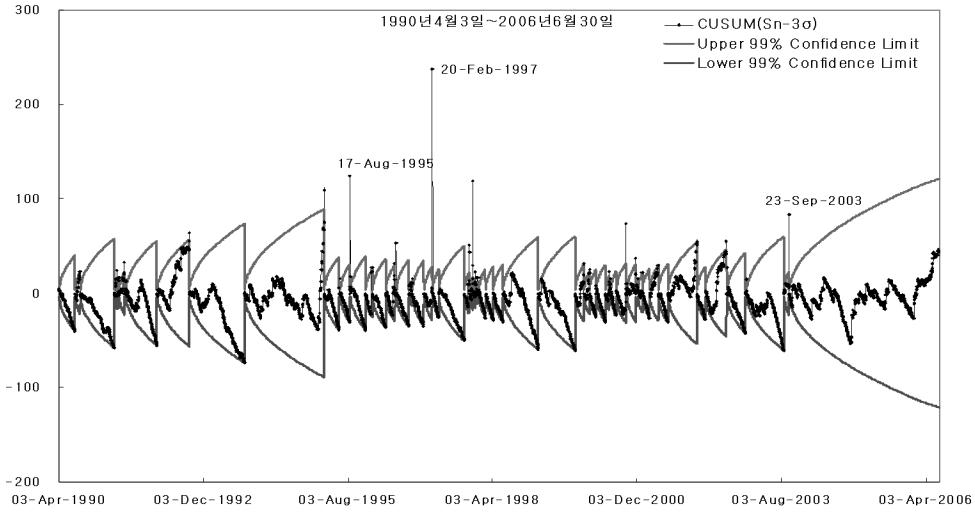
둘째, r_t 자체를 감시변수로 하는 시스템의 경우를 살펴보면, CUSUM 관리도에 식 (4-7)과 같이 정의된 U_n 을 타점하고, $h_n \equiv 3s\sqrt{n}$ 을 사용하는 것 이외에는 나머지 절차는 동일하다.

$$U_n \equiv \sum_{i=1}^n (r_i - m), \quad n = 1, 2, \dots \quad (4-7)$$

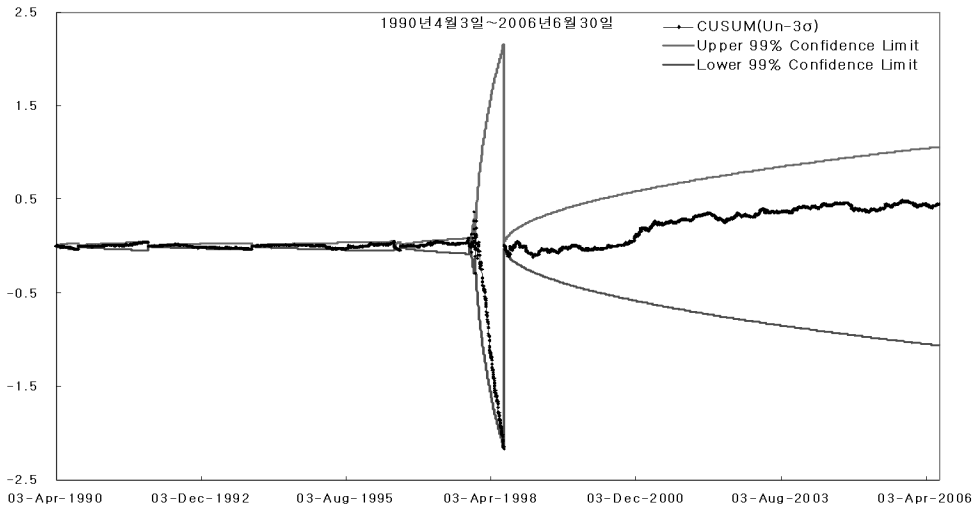
CUSUM 알고리즘을 이용하여 시장 구조변화 탐지시스템을 개발함에 있어 여러 가지 논의점이 있을 수 있는데, 그 중 중요한 몇 가지만 거론하면 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서와 같이 r_t 의 평균과 분산 추정치 m 과 s^2 을 구하여 사용하는 대신, 정책 당국자가 이 값을 관리기준으로 주는 것이 더 바람직할 수도 있다는 점이다. 둘째, 모수 추정에 어떤 데이터를 사용하는 것이 바람직한가 하는 점이다. 본 연구에서는 $n_1 = 25$, 즉 최근 25일의 데이터를 사용하였지만, 경우에 따라서는 시스템 운영초기부터 관찰된 전 데이터를 사용할 수도 있다. 이 문제를 다르게 표현하면 모수 추정에 사용될 데이터들의 가중치를 어떻게 설정하느냐 하는 문제이다. 최근 25일 데이터를 사용하였다는 것은 최근 25일 데이터의 가중치를 1/25로 하여 모수를 추정하였다는 것이 된다. 기타, 가중치를 지수평활(exponentially smoothing) 방식으로 설정할 수도 있고, 또한 time window의 크기를 변화시킬 수도 있다. 셋째, 본 연구에서는 관리한계선을 설정함에 있어 전통적인 3σ 한계선을 사용하였다. 다른 방법은 ARL 함수에 기반하여 설정하는 것이다.

4.2 운영결과 설명

1990년 3월 2일부터 2006년 6월 30일까지의 원/달러 기준환율 데이터를 대상으로 S_n 과 U_n 각각을 감시하는 시스템을 운영한 결과가 <그림 4-2> 및 <그림 4-3>에 나타나 있다. 한편, <표 4-1>과 <표 4-2>은 S_n -관리도와 U_n -관리도의 한계를 이탈한 날자를 보여주고 있다. S_n -관리도의 경우 평균 이동이 발생하거나 분산 변화가 발생하는 경우 양자 모두를 탐지하기 때문에 평균 이동을 탐지하기 위한 U_n -관리도의 경우보다 한계선을 벗어나는 경우가 더 빈번하다.



<그림 4-2> S_n -관리도 운영 결과



<그림 4-3> U_n -관리도 운영 결과

<표 4-1> S_n -관리도 이탈

상한 이탈	1990.08.23	1991.04.25	1991.05.11	1991.06.18	1991.06.28
	1992.08.27	1995.02.22	1995.06.03	1995.06.10	1995.08.12
	1995.08.17	1995.08.18	1996.01.12	1996.06.13	1996.06.22
	1996.09.17	1996.09.21	1996.10.08	1997.02.20	1997.10.25
	1997.10.28	1997.10.30	1997.11.20	1997.11.21	1997.11.22
	1997.12.09	1997.12.12	1997.12.17	1997.12.27	2000.01.15
	2000.02.29	2000.05.26	2000.06.07	2000.09.19	2000.09.22
	2000.11.24	2000.12.07	2001.01.05	2001.04.21	2002.01.09
2002.07.27	2002.07.30				
하한 이탈	1990.07.20	1991.04.08	1992.01.23	1993.09.02	1995.06.02
	1995.08.11	1995.11.29	1996.04.12	1996.09.13	1996.12.24
	1997.04.03	1997.09.24	1998.02.13	1998.06.11	1999.02.05
	1999.10.11	1999.12.09	2000.02.28	2000.05.02	2000.07.11
	2001.02.23	2001.06.26	2002.03.04	2002.11.30	2003.08.16

<표 4-2> U_n -관리도 이탈

상한이탈	1991.12.22	1993.11.18	1996.06.21	1996.06.22	1997.11.04
	1997.11.21	1997.12.12			
하한이탈	1990.08.27	1993.11.11	1996.07.29	1997.11.22	1997.12.17
	1998.06.26				

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 우연원인만 작용하고 있을 경우 원/달러 환율의 로그수율 r_t 가 정규 분포를 따를 것이라는 가정아래 일별 원/달러 기준환율이라는 단변수에 근거하여 외환시장의 구조변화를 탐지하는 시스템을 연구하였다. 여기서 한 가지 강조할 점은 본 논문은 실시간으로 데이터를 감시하다가 구조 변화가 발생한 경우 이를 탐지할 수 있는 시스템을 개발하는 연구의 시작에 불과하다는 것이다. 즉, 이 분야 연구를 위한 기반구축(framework)을 일차적 목표로 한 것으로, 이런 식의 접근도 가능하다는 것을 보여주는 실험적 연구하는 사실이다. 따라서 본 연구에서 개발된 시스템이 외환과 관련한 정책 수립에 있어 실효성을 갖기에는 아직 많은 한계가 있다.

첫째, 일별 기준환율은 전날 체결환율을 거래량으로 가중 평균한 것으로 이미 어느 정도 변동성이 제거된 것이며, 특히 월요일 기준환율은 전주 토요일 기준환율을 적용한다는 것이다. 따라서 기준환율 보다는 개장 후 최초 체결가인 “시가” 등을 이용하는 것이 변동성 포착에 더 유리할 수도 있다. 둘째, 본 연구에서는 일별 원/달러 기준환율이 상호 독립이고 동일한 분포에 따른다는 가정하에 모형을 개발하였으나 연구가 보다 실효성을 가지려면 원/달러 환율 특성에 관한 보다 심도있는 연구를 선행하여 그 특성을 모형에 반영할 필요가 있다. 예로서 환율이 자기 상관을 갖는 경우, 혹은 계절성이나 주말 혹은 월말 효과가 있는 경우 이런 특성을 모형에 반영할 필요가

있다. 셋째, 외환보유고나 거래량 등, 다른 중요 외환 관련 변수를 모형에 고려할 필요도 있다. 넷째, 외환시장 구조변화가 외환위기로 전이될 가능성 등, 외환시장 구조변화와 외환위기 사이의 관련성에 관한 연구가 필요하다. 다섯째, 의사결정과 관련한 위험을 평가하고 대응책 수립에 도움을 줄 수 있도록 CUSUM 관리도의 성능을 평가하는 검사특성곡선과 ASN에 관한 연구, 기타 ARL에 관한 연구도 필요하다.

또 다른 추후 과제는 환율에 영향을 미치는 여러 변수를 동시에 고려하는 다변량(multivariate) 모형으로 확장하는 연구, 또한 변수들 간에 종속(dependency)이 존재하는 경우 이것을 탐지할 수 있는 모형을 연구하는 것이다. 한편, 외환 관련 변수에 적용한 방법론을 다른 중요 경제변수, 예로서 은행, 주식을 비롯한 증권, 채권, 이자율, 보험 등의 분야에 적용하는 연구도 추후 과제로 남아있다.

참고 문헌

1. 김경수. (2004). 효율적 외환위기 예측시스템의 구축방안: 신호접근모형을 중심으로. 서울: 한국금융연구원.
2. 김상환. (2001). 은행위기 조기경보시스템 개발. 서울: 한국금융연구원.
3. 박원암. (2001). 한국외환위기의 조기경보모형. *국제경제연구*, 7(1), 55-79.
4. 박원암, 최공필. (1998). 신호접근법에 의한 외환위기 예측. *계량경제학보*, 9, 1-38.
5. 손상호, 김상환. (2001). 은행위기 조기경보시스템 개발. 서울: 한국금융연구원.
6. Brodsky, B.E. and Darkhovsky, B.S. (2000) *Nonparametric Statistical Diagnosis: Problems and Methods*, Kluwer Academic Publisher.
7. Goldstein, M., Kaminsky, G. L. & Reinhart, C. M. (2000). Assessing Financial Vulnerability in Emerging Economics: A Summary of Empirical Results. *대의정책경제연구*, 101-145.
8. Kaminsky, G. L., Lizondo, S. & Reinhart, C. M. (1997). Leading Indicators of Currency Crises. *IMF Working Paper 97/79*, IMF.
9. Masseville, M. & Nikiforov, I. G. (1993). *Detection of Abrupt Change: Theory and Application*. Prentice Hall.

[2007년 4월 접수, 2007년 5월 채택]