J. of the Chosun Natural Science
Vol. 1, No. 2 (2008) pp. 67 – 75

행위자 기반 모형을 이용한 행위자의 시장에 대한 불균일한 영향력에 대한 연구

양재석†

Study on Inhomogeneous Influence on Market using Agent-based Modeling

Jae-Suk Yang†

Abstract

행위자 기초 모형을 이용하여 행위자의 시장에 대한 불균일한 영향력에 대한 연구를 수행하였다. 이때 가중치를 금융시장에서 행위자 간의 공유하는 정보의 영향력의 크기로 사용하였으며 가중치의 크기와 분포가 수익의 변동에 기여하는 것을 관찰하였다. 행위자들의 가중치의 크기가 평균적으로 클수록 가격의 변동의 크기도 같이 증가함을 알 수 있었으며 가중치의 크기뿐만 아니라 가중치의 분포에 따라서도 수익의 분포가 변하게 된다. 이는 신흥시장과 성숙한 시장에서 관찰되는 분포의 차이와 관련하여 유사성을 찾아볼 수 있을 것이라는 가능성을 제공한다. 행위자의 정보의 영향력은 항상 일정하지 않고 그 영향력이 행위자의 시장 예측에 대한 적중률에 따라 변하게 된다. 이렇게 변화하는 행위자들의 정보의 영향력의 분포는 결국 소수의 큰 영향력을 갖는 행위자와 다수의 영향을 거의 끼치지 못하는 행위자들로 분포되게 된다. 그 분포는 초기의 행위자들의 영향력 분포가 어떻게 되었든 간에 충분히 시간이 흐르면 모두 멱법칙을 따르는 분포를 갖게 된다.

Key words : Monte Carlo simulation, agent-based modeling, econophysics, wealth distribution

1. 서 론

최근 물리학은 전통적인 영역에서의 발전과 함께 다른 분야와의 활발할 접목을 통한 발전도 시도되고 있다. 그중 가장 활발하게 연구가 진행 되는 것 중의 한 분야가 바로 경제 물리학이다[1~3]. 경제학과의 접목을 통해 물리학의 보다 실용적인 발전을 추구하고 물리학의 방법론을 사회과학에 적용하여 기존 경제학자들이 해결하기 어려웠던 문제들을 물리학적인 관점에서 접근하려는 노력이 끊임없이 시행되고 있다.

경제현상은 매우 다양하고 복잡하다. 따라서 기존의 경제학으로는 이러한 경제학의 제반 문제들을 해결하기가 거의 불가능하다. 이러한 문제에 직면하자 확률이론과 추정통계학 등을 이용하게 되었고 최근 Mandelbrot의 프랙탈(fractal) 이론과 통계물리학의 임계현상과 축척이론 등이 경제학 문제의 해결에 적용되고 있다.

경제계를 구성하는 요소는 매우 많으며 이렇게 많은 요소들이 전체계에 어떻게 영향을 주고 상호 작용하는지에 대해 요소환원주의의 방법론으로 설명하는 것에는 한계가 있다. 고전적인 관점에서 1 더하기 1은 2였지만 복잡계 이론을 적용하면 1 더하기 1은 단순히 2가 아니라 3이나 그 이상이 될 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복하려는 시도가 다각적으로 있어 왔는데 그 중 하나가 생물학적 개념인 진화(evolution)를 금융시장에 반영한 것으로 시장의 구성원들이 강한 상호작용을 하여 그로 의해 그 경제 시스템에 잘 적응하는 형태로 진화해 나가는 모형이다. 예를 들면 진화 게임 이론이나 행위자 기초 모형(agent-based model, ABM) 등이 있는데 이들은 제한된 정보를 갖고 금융시장에서의 거래 전략을 수치적인 방법으로 계산하여 실제 시장에서 관찰되는 여러 가지 특성을 잘 나타낸다.

시장의 미래를 예측하기 위해서는 그 시장에 대한 인식이 필요하다. 이러한 시장에 대한 인식은 다음과 같이 관점에 따라 구분해 볼 수 있다. 시장 참여자 수준에서는 현실세계의 복잡성을 재구성할 구조가 없다고 보는 유기체설(organicism)과 현실세계의 복잡성은 시장 참여자 개개인에게서 모두 찾을 수 있다고 보는 방법론적 개체주의(methodological individualism), 그

고려대학교 이과대학 물리학과(Department of physics, Korea University)
†Corresponding author: mathphy@korea.ac.kr
(Received : August 14, 2008, Revised : August 28, 2008
Accepted : September 5, 2008)

리고 비교적 단순한 시장 참여자들의 상호작용 구조를 통해 복잡성이 나타난다고 보는 행위자 기초 모형 등이다[4].

기상현상이나 지진 등의 자연 현상은 물론이고 경제 현상도 비선형계이므로 정확한 미래를 예측하는 것은 현재로서는 불가능하다. 다만 계속 발전하고 있는 전산 도구들을 이용하여 최대한 근사한 미래를 예측하는 것만이 할 수 있는 일이다. 이러한 노력의 결실로 전산 과학, 인식론, 진화 경제학 등이 결합 되어 나타난 분야가 바로 행위자 기초 전산 경제학(agent-based computational economics, ACE)인 것이다.

ACE는 자율적인 의사를 갖는 행위자들 사이의 상호작용에 의해 경제계가 진화해 나가는 것을 수치적 방법으로 관찰하는 경제학의 한 분야로써 복잡 적응계(complex adaptive systems)라는 새로운 패러다임(paradigm)을 경제학에 잘 적용시켰다[5].

ACE를 연구하는 사람들에게 가장 큰 관심사는 하향식의 계획과 제어가 없음에도 불구하고 분산된 시장 경제가 진화하고 지속되는 전체 시스템에서의 규칙이 어떻게 관찰되는가이다. 이러한 의문으로부터 자율적인 의사를 갖는 행위자들 사이의 지엽적인 상호작용의 반복에 의해 상향식으로 전체적인 규칙이 형성된다는 결과를 얻게 되었다.

ACE 연구자의 두 번째 관심사는 개인들의 행위와 사회의 복지에 미치는 영향을 연구하고 시험할 수 있는 사회경제학적인 구조를 ACE의 체계를 사용하여 수치적 방법으로 구현하는 것이다.

경제계를 스스로 짜여진 계(self-organized system)로 보는 경제학에 대한 ACE의 관점은 결코 새로운 것이 아니다. 이는 Smith[6]와 Hayek[7]의 전통을 이어 받은 것이다. 더욱이 구조적 설명을 반영한 ACE는 사회의 질서가 이기적인 미시적 행위로부터 발생할 수 있음을 이용했던 Schelling[8], Axelrod[9], Arthur[10]와 같은 연구자들의 영향을 매우 강하게 받았다.

진화계(evolving system)를 연구하는 경제학 분야에서 ACE의 관점도 또한 새로운 것이 아니다. Darwin 이전부터 사회경제학적 현상에 대해 진화론적인 이론을 적용하려는 시도가 있었다. 비록 이러한 초기의 노력이 경제학자들 사이에서 조차도 잘 인용이 되지 않고 있으나 경제 제도의 진화에 대해 연구를 한 Schumpeter[11]와 경제계에서의 불확실성과 진화에 대해 연구를 한 Alchian[12] 등에 의해 조금은 그 시도들을 발견할 수 있다. 더욱이 진화 경제학의 초기 연구는 Day, Hirshleifer, Nelson, Winter, Witt 등과 같은 저명한 학자들에 의해 경제의 변화에 관한 진화론에 강한 영향을 끼쳤다[13]. 또한 어떤 학자는 진화 게임 이론의 경제적 응용에 대한 연구를 하였다[14].

ACE가 위에서 언급한 연구들과 다른 차이점은 바로 강력한 전산 도구를 이용한다는 것이다. 이러한 도구는 ACE 연구자가 아래에 열거한 네 가지 방법으로 경제의 스스로 짜임과 진화에 대한 연구를 수행할 수 있게 해준다.

첫째, 경제계는 서로 정보를 상호 교환하며 외부의 환경과 자신이 정한 규율, 경험에 의해 체득한 자료 등에 의해 자신의 의사를 결정하는 균일하지 않은 행위자들로 구성되어있다. 결과적으로 이러한 행위자들은 보다 더 많은 인식론적인 구조와 자치성을 갖고 있다.

둘째, 행위자들이 서로 가격과 수량에 대한 긴밀한 연관을 가지며 시장에서 서로를 약탈하기도 하며 서로 협력하기도 하는 관계를 유지하는 행위와 상호작용이 경제계에서 이루어진다. 행위자들은 행위자–행위자 혹은 행위자–환경간의 상호작용에 대한 반응으로 그들의 행위가 연속적으로 계속 잘 적응하며 진화해 간다. 즉, 행위자들의 행위에 대한 규칙은 잘 조정된 상태이며, 행위자들은 복잡하게 뒤엉켜서 서로 영향을 주는 상호작용의 결과로 서로 잘 조정된 상태로 도달하게 된다. 따라서 경제계는 스스로 짜여진 계를 이루게 된다.

셋째, 진화과정은 행위자의 행동의 결정에 직접적으로 영향을 끼치는 자연 선택적인 압박으로 표현할 수 있다. 이러한 자연 선택적인 압박은 행위자가 행동의 결정에 관한 규율을 계속해서 자유스럽게 바꿀 수 있도록 해준다. 즉, 경제계의 행위자들은 상호 진화하는 과정을 겪게 된다.

넷째, 세균 배양용 접시에 있는 세균이 자라나는 것과 마찬가지로 경제계도 실시간으로 계속 성장한다. 일단 초기 조건이 정해지면 그에 따른 결과적인 사건들이 외부의 방해 없이 행위자–행위자와 행위자-환경간의 상호작용에 의해 결정 된다.

요컨대 ACE는 진화 경제학과 인식론, 전산학의 개념과 도구들을 섞는 일종의 방법론이다. 이는 다음의 세 가지 중요한 발전을 이끌어 냈다. 첫째로 서로 자치적인 행위자들의 생각과 상호작용에 관한 경제 이론의 기초를 확립하였으며, 둘째로 전산 실험과 통계적 분석 그리고 해석적, 경제적, 인문적 연구들 간의 비교 등을 통해 이론의 시험과 수정, 확장을 하게 되었다. 마지막으로 인위적으로 분리되었던 서로 다른 학분 분야들이 다시 재결합 할 수 있는 사회경제학적 이론이 등장하였으며 이를 시험해 볼 수 있게 되었다[15].

ABM에서 행위자는 그 모형의 결과가 현실과 얼마나 잘 맞는가를 결정짓는 아주 중요한 요소이다. 따라

서 행위자의 행동 방법을 잘 정의하여야 한다. 행위자가 사전에 잘 정의된 동적이면서도 단순한 거래 전략에 따라 시장에 참여하도록 정의된 모형에서는 정확한 결과를 얻을 수 있으며 거래규칙들 사이의 상호작용을 알 수 있게 해주지만 시장 상황의 변화에 따른 전략의 변화가 없다는 단점을 나타낸다. 또한 행위자가 시장 가격이 확률보행과정이라고 간주하고 예산 범위 내에서 무작위 투자를 한다면 실제 시장 거래 모형 하에서는 양호한 결과를 나타내지만 실제 투자 성향을 모두 반영하지 못한다는 문제점을 나타내게 된다. 한편 인공신경망, 유전알고리즘 등 여러 인공지능을 활용하여 행위자가 학습하고, 시장 상황에 맞춰 변화–적응하는 전략을 구사하도록 한다면 현실과 많이 근접한 모형이라고 말할 수는 있으나 계산의 복잡도가 폭증하고 각각의 행위자가 구사하는 인공지능에 기반 된 전략이 얼마나 현실적인 것인지를 판단하기가 곤란하다. 이렇듯 ABM을 이용한 행위자의 복잡하고도 다양한 특성이 반영되면서도 효율적으로 현실의 특성을 이끌어낼 수 있는 모형의 개발이 기대된다.

Eguiluz[16], Krawiecki[17], Chowdhury[18], Cont[19] 등은 행위자 기초 모형(agent-based model)을 이용하여 주가나 환률 등의 등락의 분포를 모형화 하였으며 실제 금융 시장에서 볼 수 있는 특징들을 모형을 통하여 잘 보여주었다. 특히 Krawiecki는 Ising 모형과 유사한 방법으로 금융 시장을 모형화 하였는데 시장을 구성하는 행위자의 의견은 스핀(spin)으로 표현하였으며 행위자 사이의 의견 교환이나 외부의 환경으로부터의 영향은 마당(field)으로 표현하여 마당이 스핀에 어떻게 반영이 되는지를 모형으로 만들어 금융 시장을 표현하였다.

본 연구에서는 Krawiecki의 모형을 기반으로 행위자에게 가중치를 부여하여 시장의 가격 형성에 미치는 영향력을 서로 달리하여 행위자들의 서로 다른 가중치가 시장에 어떠한 영향을 미치는가와 이러한 가중치가 시간에 따라서 어떻게 변화하는 지를 관찰하였다.

2. 전산모형

Krawiecki, Holyst, Helbing[17] 등은 많은 행위자들이 서로 상호작용을 하는 미시적 모형으로 금융 시계열을 흉내 내었다. 이 모형에서 행위자들의 의견은 스핀(spin)으로 표현되었으며 Ising 모형과 닮은 시간 의존적 상호작용에 의해 행위자들은 연결되었다.

모든 행위자들이 상호작용을 하며 이산적 시간에 의한 움직임을 관찰하는 금융 시장의 미시적 모형은 마구잡이적 Ising계와 유사하다. 행위자들의 상호작용을 시간에 따라 무작위적으로 변화시키면서 가격 수익의 시계열을 관찰하면 끌개 끓음(attractor bubbling)이나 점멸 간헐성(on-off intermittency) 등의 특성을 나타내며 혼돈적 파열(chaotic burst)이 발생한다. 또한 이러한 결과는 변동성집중현상에 의한 실제 금융 시장의 시계열 자료와 유사하다. 이 모형에서 매개변수를 잘 조절해 주면 수익의 확률 분포의 꼬리가 멱법칙을 따르며 실제 자료와 매우 유사한 지수를 갖는다.

이 모형의 특징은 미시적 수준에서의 동역학이 통계적이지만 많은 수의 행위자간의 상호작용은 끌개 끓음이라는 전형적인 거시적 동역학을 야기한다. 또 다른 특징은 미시적 움직임에서 통계적인 다양한 근원이 존재한다는 것이다. 행위자는 외부의 환경과 다른 행위자의 의견으로부터 영향을 받아 의견을 결정한다.

시장에 N개의 행위자가 있다고 하자. 이때 각각의 행위자는 +1 또는 −1의 의견을 갖는다. +1은 '사자(매수)'를 −1은 '팔자(매도)'를 의미한다. 불연속한 시간 t+1에서의 의견은 그 전단계인 t에 의해 영향을 받으며 그 관계는 다음과 같은 한곳 마당(local field)으로 표현된다.

$$I_{i(t)} = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} A_{ij}(t)\sigma_j(t) + h_i(t) \qquad (1)$$

여기서 A_{ij}는 시간 t에서 행위자들 사이의 상호작용의 세기를 결정해 주는 요소이며,

$$A_{ij}(t) = A\xi(t) + a\eta_{ij}(t) \qquad (2)$$

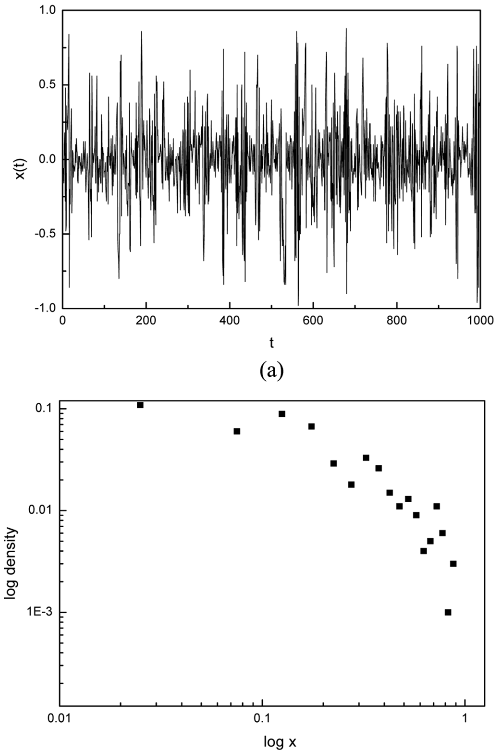
로 표현된다. A와 a는 상수이며 ξ와 η는 −1과 1사이의 난수로 결정된다. 또한 식 (1)에서 마지막 항 $h_i(t)$는 각각의 행위자에게 다르게 영향을 줄 수 있는 외부로부터의 정보에 의한 마당(field)이다. 이는

$$h_i(t) = h\zeta_i(t) \qquad (3)$$

로 표현되며 ζ도 역시 −1과 1 사이의 난수이다. 식 (2)와 (3)에 의해 행위자들 사이의 상호작용의 세기는 무작위하게 변하게 된다.

A_{ij}는 양의 값은 물론이고 음의 값도 가질 수 있다. A_{ij}가 음의 값을 갖는다는 것은 주위 환경과 다른 행위자로부터 받은 정보를 따르지 않고 그와는 반대로 자신의 의견을 결정하게 된다는 경향을 반영한다.

행위자의 수가 커지면 행위자간의 영향인 η의 효과는 거의 사라지게 되므로 외부로부터의 잡음인 ξ와 ζ가 가격 변동의 결정에 중요한 역할을 하게 된다.



(a)

(b)

그림 1. N = 100

식 (1)의 결과를

$$p = \frac{1}{1+e^{-2I_i(t)}} \tag{4}$$

에 넣어 확률을 결정하고 이 확률을 이용해

$$\sigma_i(t+1) = \begin{cases} 1 \text{ with probability } p \\ -1 \text{ with probability } 1-p \end{cases} \tag{5}$$

로부터 i번째 행위자의 의견을 결정한다.

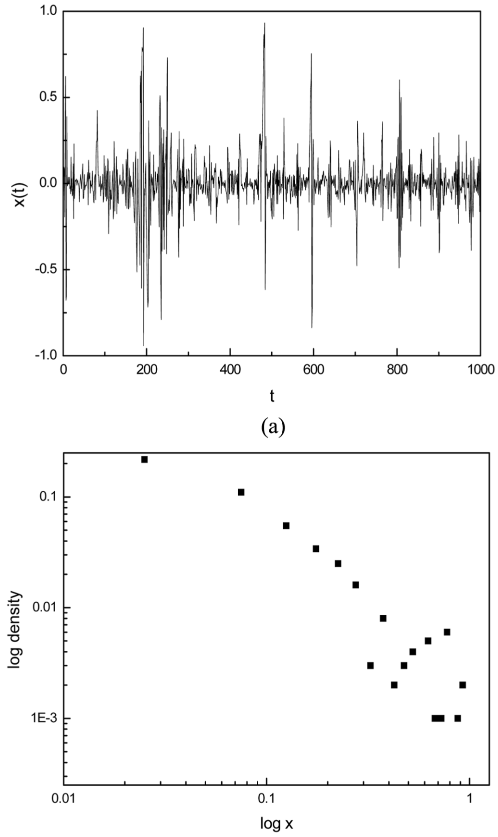
수익은 가격 S의 로그의 차인

$$G_{\Delta t}(t) = \ln S(t) - \ln S(t-\Delta t) \tag{6}$$

으로 표현된다. 한편 가격의 변동폭은 매도와 매수 주문의 양의 차이와 비례하므로 행위자의 매수(+1) 혹은 매도(−1) 의견의 평균

$$x(t) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sigma_i(t) \tag{7}$$

는



(a)

(b)

그림 2. N = 1,000

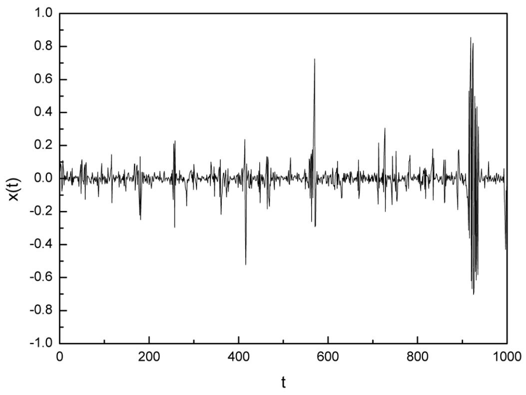
$$G_{\Delta t}(t) \propto \sum_{\tau=0}^{\Delta t-1} x(t-\tau) \tag{8}$$

인 관계를 갖는다.

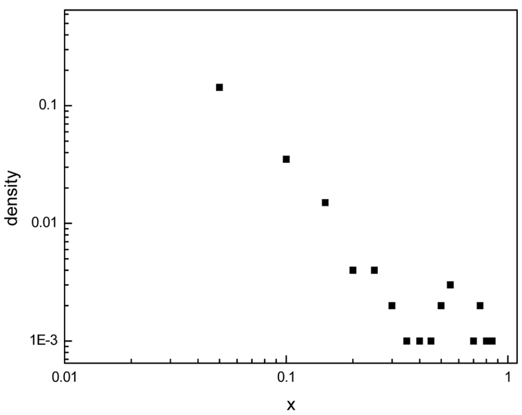
Δt가 1인 경우에는 $G_i(t) \propto x(t)$이므로 식 (1)~(3)을 이용할 수 있다.

그림 1~3은 각각 행위자의 수가 100, 1,000, 5,000인 경우의 수익의 시계열과 수익의 밀도분포함수를 나타낸 것이다. 이때 h_i는 0으로 두었다.

수익의 밀도분포함수의 멱법칙 분포의 지수는 N=100인 경우 -1.14, N=1,000인 경우는 -1.58, N=5,000의 경우 -1.66이다. 행위자의 수가 증가할수록 x≈인 층흐름 상(laminar phase)과 무질서 상(disordered phase)의 구분이 더 명확해 진다. 행위자의 수가 적은 경우 행위자 하나가 전체의 계에서 정보전달과 가격결정에 대한 영향력이 상대적으로 크며 매도와 매수의 의견의 수가 똑같은 수에서 조금만 차이가 나도 그 영향은 행



(a)



(b)

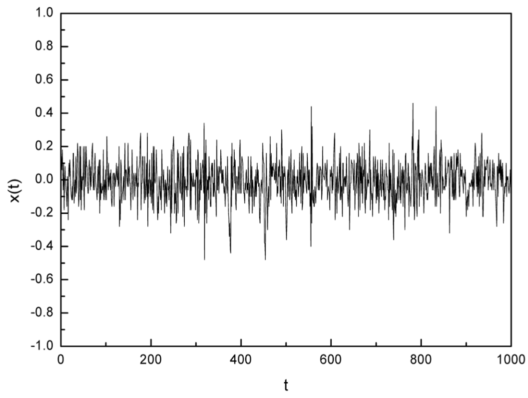
그림 3. N = 5,000

위자의 수가 많을 때에 비해 더 크게 나타나게 되므로 전체적으로 수익이 크게 나온다.

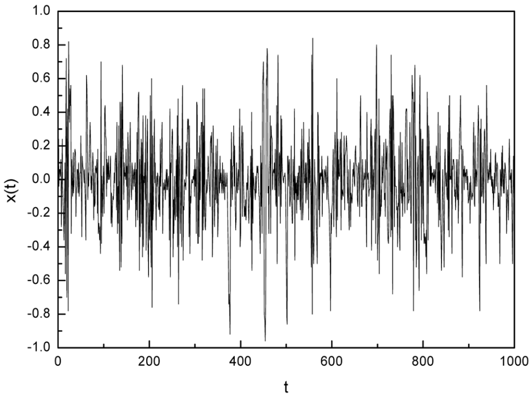
3. 전산실험 및 결과

지금까지는 시장을 구성하는 행위자가 정보제공자로써 무작위로 결정된 값에 의해 매번 다른 영향력을 가졌다. 따라서 이번에는 주위의 행위자에게 강한 영향을 주었다가도 다음 차례에는 영향을 거의 주지 못하거나 오히려 반대의 의견을 갖도록 하는 등 개개의 행위자에 대한 특성이 고정되어 있지 못했다. 아울러 가격결정에 있어서도 동일한 영향력을 갖는다는 가정에서 살펴보았다. 그러나 실제로 시장을 구성하고 있는 행위자는 다른 행위자에게 주는 영향력에 대한 일정한 신뢰가 구축되어 있어서 그 영향력은 매번 변하지 않을 뿐만 아니라 변하더라도 그 크기는 매우 작을 것이다.

따라서 각각의 행위자에게 다른 행위자에게 끼치는



(a)



(b)

그림 4. (a) N=100, weight=[0, 1] (b) N=100, weight=[0, 2]

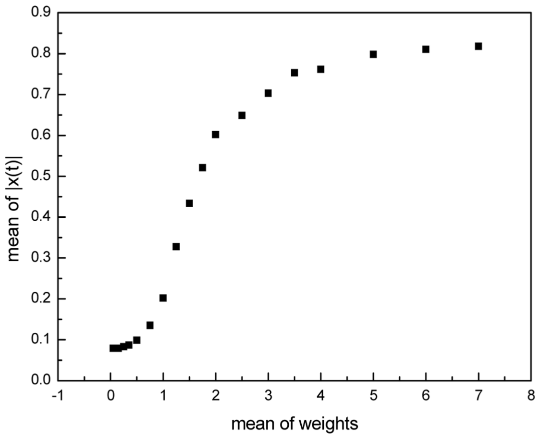


그림 5. 가중치의 평균에 대한 수익의 절대값의 평균의 변화

정보의 영향력에 대한 가중치 인자를 부여하여 시장에서의 수익의 변화를 관찰하였다.

표 1. 가중치의 분포에 따른 log$x$-log density 그래프의 기울기 (단, k는 y~x^{-k}의 지수이다)

가중치의 분포	log$x$-log density 그래프의 기울기
균일 (0.5~1.5)	-1.52
균일 (0.0~2.0)	-1.52
정규분포	-1.21
지수함수	-1.54
멱법칙 (k=-1.0)	-0.99
멱법칙 (k=-2.0)	-1.31
멱법칙 (k=-3.0)	-1.71
멱법칙 (k=-4.0)	-1.73

행위자의 의견을 결정하는데 영향을 주는 한곳 마당은

$$I_i(t) = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}[A\xi(t)+a\eta_{ij}(t)]\sigma_j(t)\omega_i(t) \qquad (9)$$

로 주어지며, 수익은

$$x(t) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sigma_i(t) \qquad (10)$$

이다.

그림 1의 (a)는 행위자에게 0부터 1사이에서 무작위로 뽑은 숫자를 가중치로 부여한 경우이며, (b)는 0부터 2까지의 가중치가 부여된 경우이다. 전자의 경우 행위자의 가중치의 평균은 0.5이며, 후자는 1.0이다. 그림 1에서 가중치의 크기가 커질수록 가격의 변동폭도 같이 증가함을 볼 수 있다. 그림 2는 가중치를 다양하게 변화시키면서 가격 변동폭의 평균과의 관계를 나타낸 것이다. 가중치와 변동폭의 관계가 S자 곡선으로 나타난다. 이는 행위자의 의견을 결정하기 위한 확률을

$$p = \frac{1}{1+e^{-2I_i(t)}} \qquad (11)$$

로 정하는데 가중치가 커짐에 따라 한곳 마당의 절대값도 증가하게 되며 그 값이 식 (11)의 확률에 반영되어 행위자의 의견의 분포가 결정된다. 따라서 가중치에 대한 변동폭의 관계가 식 (11)과 유사하게 된다.

한편 이러한 가격 변동이 가중치의 평균에만 의존하는가 아니면 그 분포에도 관련이 있는가를 살펴보았다. 표 1에서 볼 수 있듯이행위자의 가중치의 평균을 1로 맞췄음에도 불구하고 가중치의 분포에 따라 수익의 분포가 다르게 나타남을 볼 수 있다. 따라서 금융시장에서 수익은 행위자의 가중치의 절대크기뿐만 아니라 상대적인 분포에도 영향을 받음을 알 수 있다. 가중치가 큰 행위자가 존재하는 경우, 그리고 그런 행위자가 많이 존재하는 경우 수익의 분포함수의 꼬리가 더 두터워지는 것을 볼 수 있는데 이는 시장에 큰 영향력을 미치는 행위자에 의해 시장의 가격 형성이 큰 영향을 받는 다는 것을 의미한다.

일반적으로 신흥시장의 경우 변동성의 분포가 다른 시장보다 더 두터운 꼬리를 갖는다. 이로부터 신흥시장이 비중이 높은 행위자의 수가 보다 더 많고 그 비중 역시 매우 클 것이라고 추측해볼 수 있다. 실제 시장에서의 행위자들의 가중치를 정량화 할 수 있다면 그 값을 측량하고 그 분포를 살펴보는 것도 매우 흥미가 있을 것이다.

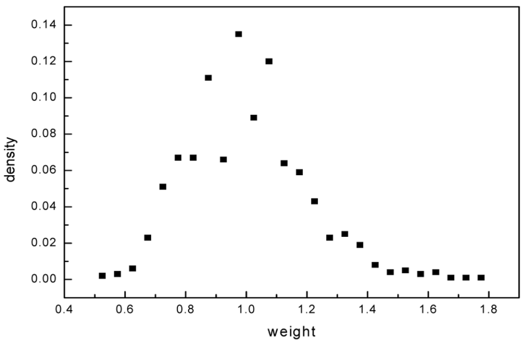
행위자의 가중치가 변하지 않는다는 전제하에서 지금까지 금융시장의 특성을 살펴보았다. 그러나 행위자에 대한 신뢰도는 시간이 지남에 따라 그 시장에서의 활약에 따라 급작스럽지는 않으나 조금씩 상승 혹은 하강하게 된다. 그러므로 가중치의 변화를 반영하여 금융 시장에서 가중치의 분포가 어떤 방향으로 진행해나가는지를 관찰해보았다.

행위자의 시장에 대한 예측의 적중률에 따라 그 적중률이 높으면 가중치를 상승시키고 적중률이 낮으면 가중치를 하락 시키면서 가중치를 변화시켜간다. 이때 적중률은 최근 몇 차례의 적중여부를 이용하여 결정한다.

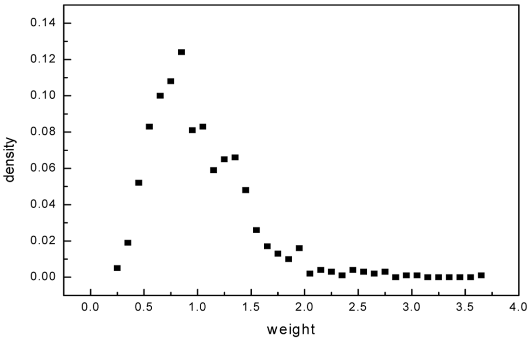
만일 어떤 행위자의 과거 적중률이 p이었다면 p의 확률로 가중치를 높이거나 $1-p$의 확률로 가중치를 낮추게 된다.

본 연구에서는 처음 100회는 가중치의 변화 없이 연산을 한 후에 그 100회의 결과에 대한 행위자의 적중률을 이용하여 가중치를 변화시켰다. 그런데 적중률이 만일 한번 결정된 후 변하지 않는다면 처음 정해진 그 값에 의해 적중률이 높은 행위자의 가중치는 매우 큰 값으로 빠르게 발산해 버리고 적중률이 낮은 행위자는 빠른 속도로 0으로 떨어지고 말 것이다. 따라서 적중률은 매 단계마다 최근의 100회에 대한 정보를 이용하여 새롭게 갱신한다. 이렇게 적중률도 매 단계 변화를 시켜주므로 인해 가중치의 변화의 안정화를 기대할 수 있다.

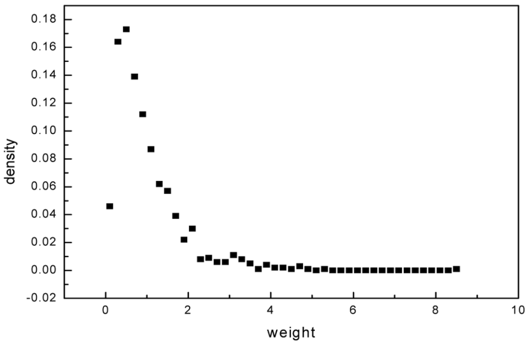
최초에 가격 변동의 예측에 대한 적중률로부터 행위자의 가중치가 상승 혹은 하락을 하게 되고 이렇게 변화된 가중치는 다른 행위자의 의견 결정에 영향력의 크기로 반영되어 그 의사 결정에 기여하게 된다. 이렇게 형성된 의견들이 모여 가격을 결정하게 되고 이로부터 그 적중률이 다시 조정이 된다. 이러한 과정이 매번 반복이 되면서 시장과 행위자가 상호 영향을 끼치는 되먹임 현상이 생기면서 시장 자체의 힘으로 자신



(a)

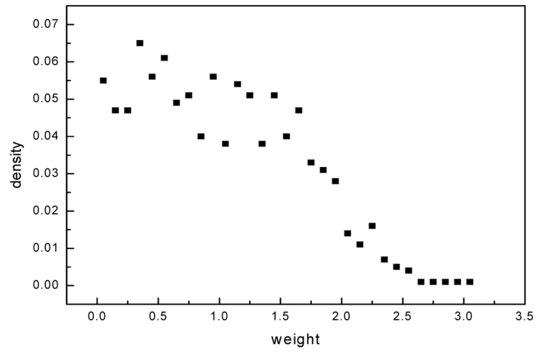


(b)

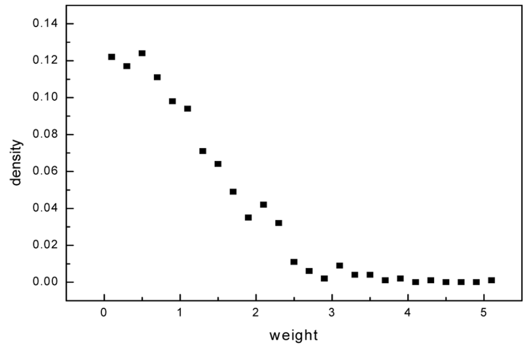


(c)

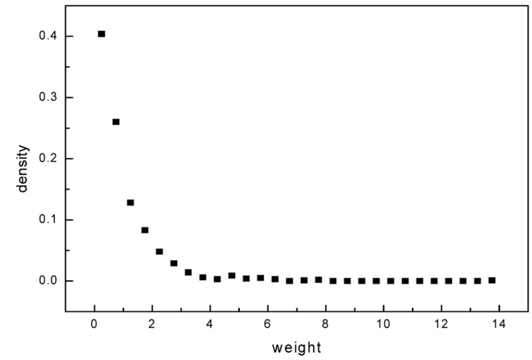
그림 6. N = 1,000, 행위자의 초기 가중치 분포가 모두 1인 경우 (a) 200회 (b)900회 (c) 2,900회



(a)



(b)



(c)

그림 7. N = 1,000, 행위자의 초기 가중치 분포가 0에서 2까지 균일하게 주어진 경우 (a) 200회 (b)900회 (c) 2,900회

의 최적화된 구조로 진화해 나가게 된다.

그림 6은 처음 행위자의 가중치를 1로 동일하게 주었을 경우 시간이 지남에 따라 그 가중치의 분포가 어떻게 변화하는지를 나타낸 그래프이다. 처음에는 초기값 1근처에서 조금씩 빠져나오다가 시간이 충분히 흐르면 그림 6(c)와 같이 대부분은 1근처의 값을 가지나 소수의 몇몇 행위자만 극도로 큰 값의 가중치를 갖게 된다.

가중치의 초기조건을 균일(uniform), 정규분포(Gaussian), 지수함수형(exponential), 멱법칙(power-law) 분포 등 다양하게 주었을 경우에도 모두 동일한 과정을 거쳐 결국 모두 멱법칙 분포로 되는 것을 관찰할 수 있다. 이때 멱법칙 분포의 지수의 절대값은 점점 작아져서 약 3,000회쯤 후에는 -2 정도의 값을 갖게 된다.

금융 시장을 형성하는 행위자들의 정보 영향력은 균일하지 않고 영향력이 큰 행위자부터 거의 아무런 영향을 끼치지 못하는 행위자에 이르기까지 다양하게 분

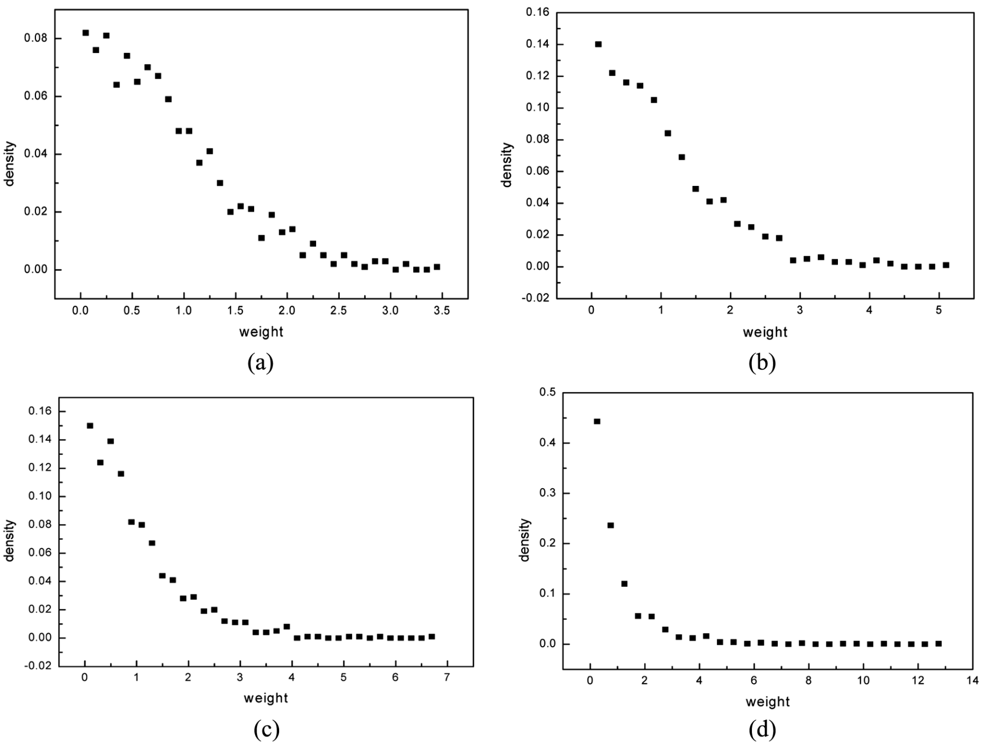


그림 8. N=1,000, 행위자의 초기 가중치 분포가 정규분포인 경우 (a) 초기 분포 (b) 200회 (c)900회 (d) 2,900회

포하고 있으며 영향력이 큰 행위자는 상대적으로 소수이며 영향력이 작은 행위자가 대부분을 차지하게 된다. 또한 영향력이 큰 행위자는 그 의견이 가격에 큰 비중으로 반영이 되므로 영향력이 더 증대될 가능성이 크다. 따라서 시간이 지남에 따라 그 영향력의 비중은 계속 증가되므로 분포의 꼬리 부분이 두터워지게 된다.

4. 결 론

행위자 기초 모형을 이용한 금융 시계열 분석에서 행위자에게 가중치를 부여하여 금융 시계열을 관찰하였다. 이때 가중치를 금융 시장에서 행위자 간의 공유하는 정보의 영향력의 크기로 사용하였으며 가중치의 크기와 분포가 수익의 변동에 기여하는 것을 관찰하였다. 행위자들의 가중치의 크기가 평균적으로 클수록 가격의 변동의 크기도 같이 증가함을 알 수 있었으며 가중치의 크기뿐만 아니라 가중치의 분포에 따라서도 수익의 분포가 변하게 된다. 이는 신흥시장과 성숙한 시장에서 관찰되는 분포의 차이와 관련하여 유사성을 찾아볼 수 있을 것이라는 가능성을 제공한다.

행위자의 정보의 영향력은 항상 일정하지 않고 그 영향력이 행위자의 시장 예측에 대한 적중률에 따라 변하게 된다. 이렇게 변화하는 행위자들의 정보의 영향력의 분포는 결국 소수의 큰 영향력을 갖는 행위자와 다수의 영향을 거의 끼치지 못하는 행위자들로 분포되게 된다. 그 분포는 초기의 행위자들의 영향력 분포가 어떻게 되었든 간에 충분히 시간이 흐르면 모두 멱법칙을 따르는 분포를 갖게 된다.

참고문헌

[1] H. E. Stanley, L. A. N. Amaral, D. Canning, P. Gopikrishnan, Y. Lee and Y. Liu, *Physica A*, **269**, 156 (1999)
[2] B. B. Mandelbrot, *Fractals and Scaling in Finance: Discontinuity, Concentration, Risk*, New York, Springer (1997)
[3] R. N. Mantegna and H. E. Stanley, *An Introduction to Econophysics: Correlation and Complexity in Finance*, Cambridge University Press (2000)
[4] B. J. L. Berry, L. D. Kiel and E. Elliott, *PNAS*, **99**, 7187 (2002)
[5] J. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Sys-*

tems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence, 2nd Ed., MIT Press/Bradford Books, Cambridge, MA (1992)
[6] A. Smith, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, Cannan Ed., American Modern Library Series, N. Y. (1937)
[7] F. A. Hayek, *Individualism and Economic Order*, University of Chicago Press, Chicago (1948)
[8] T. C. Schelling, *Micromotives and Macrobehavior*, W. W. Norton and Company, New York, N. Y. (1978)
[9] R. Axelrod, *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, New York, N. Y. (1984)
[10] W. B. Arthur, *American Economic Association Papers and Proceedings*, **84**, 406 (1994)
[11] J. A Schumpeter, *Capitalism, Socialism, and Democracy*, Harper and Row Publishers, Inc., New York, N. Y. (1942)
[12] A. A. Alchian, *Journal of Political Economy*, **58**, 211 (1950)
[13] R. Nelson, *Journal of Economic Literature*, **33**, 48 (1995)
[14] L. Samuelson, *Evolutionary Games and Equilibrium Selection*, The MIT Press, Cambridge, MA. (1997)
[15] L. Tesfatsion, *Computational Economics*, **18**, 1 (2001)
[16] V. M. Eguiluz and M. Zimmermann, *PRL*, **85**, 5659 (2000)
[17] A. Krawiecki, J. A. Holyst and D. Helbing, *PRL*, **89**, 158701 (2002)
[18] D. Chowdhury and D. Stauffer, *The European Physical Journal B*, **8**, 477 (1999)
[19] R. Cont and J.-P. Bouchaud, *Macroeconomic Dynamics*, **4**, 170 (2000)