

카오스, 복잡계와 경제학

· 김 승 환 ■ 포항공과대학교 물리학과(아태이론물리센터), 교수/ e-mail : swan@postech.ac.kr

최근 카오스, 프랙탈 등 과학적 방법론이 국내에서도 금융공학에 접목되고 있으며, 시장경제 이해와 과학적 투자 기법을 통한 금융시장의 선진화에 공헌할 것으로 기대되고 있다.

지난 수십 년간 한국과 세계시장에서 자본주의와 시장경제의 확산에 따라 금융시장 규모는 엄청난 속도로 성장하였다. 1997년 이후 외환위기, IMF와 금융시장 구조조정, 선물, 뮤츄얼펀드, 코스닥시장의 개설과 활성화 등을 거치며, 주식, 환율, 채권의 지표변화와 선물, 뮤츄얼펀드, 자산배분관리 등 다양한 상품을 다루는 금융산업이 많은 사람들의 일상생활에 큰 영향력을 미치고 있다.(그림 1, 2 참조)

카오스와 프랙탈은 우리 주위의 많은 자연현상에서 보이는 복잡성과 비예측성 이면에 자리하고 있는 보편적인 규칙성의 구조이다. 1980년대 이후 NASA의 '로켓 과학자'를 위시한 많은 과학자들이 월스트리트에 대거 진출하여 금융공학의 정량적 분석 업무를 수행하기 시작하며, 카오스 등 첨단과학이론이 시장경제계에 응용되어 왔다. 즉 시장경제계도 많은 독립인자들이 다양하게 상호작용하는 비선형 복잡계로서 자체조직화(self-organi-

zation)를 통한 질서구조 형성, 카오스와 비예측성의 발현 원리를 이해하고 시장예측에 응용하려는 것이다. 이러한 흐름 속에서 복잡계 경제학(complex system economy), 비선형 경제시계열 분석 및 예측(nonlinear economic time series analysis & prediction) 등 새로운 과학적 관점과 방법론으로 시장경제를 이해하려는 학제간 분야가 태동되고 있다.

효율적 시장가정과 문제점

시장경제계의 새로운 접근법은 경제현상이 무작위성이 아니라 비선형 복잡계(nonlinear complex system)의 맥락에서 이해하고 시장의 미시적 구조(micro-structure)를 찾아내어 응용하는데 있다. 사실 이러한 노력은 Paul Samuelson이 제창한 고전 시장경제의 핵심 아이디어인 효율적 시장가정(Efficient Market Hypothesis)에 정면으로 배치된다. 이 가정에 따르면 정보 흐름

이 효율적인 시장의 경우 모든 시장의 참여자들의 기대치와 정보가 충분히 반영되어야 하고 이 경우 가격 변동은 마구잡이적(random)이라 전혀 예측할 수 없다는 것이다. 이것은 우연의 결과가 아니라 각 시장의 참여자들이 보유하고 있는 정보를 토대로 최대한 이익을 챙기려하며, 이것



그림 1 증권거래소



그림 2 서민들의 시장금융계에 대한 관심

치가 이루어지고 있지 않다. 오히려 이 가정을 지지하는 그룹과 이를 반대하는 그룹의 양쪽 진영의 대립만 첨예화되고 있다. 이러한 과정에서 시장경제계의 현상적 사실들을 체계적으로 포함한 더 정교한 수학적 모형의 연구와 시장의 미시적 구조에 대한 카오스 등 첨단과학이론의 응용연구가 크게 활성화 되었다.(그림 3 참조)

금융시장의 예측 가능성

이 바로 시장 가격에 반영되는 데서 나오는 것이다. 만약 이러한 행위가 어떤 방해요소가 없고 거래비용도 없이 즉각적으로 일어난다면 항상 가격이 모든 가능한 정보를 이미 반영하고 있어 사실 이익의 기회는 순식간에 사라지고 아무런 이익을 창출할 수 없는 것이다.

그러나 과연 시장은 효율적인가 투자자들은 흔히 비이성적이고, 정보는 모든 사람들에게 공유되지 않으며, 시장은 외부적 요인에 의하여 왜곡될 수도 있다. 이러한 점들이 어떻게 효율적 시장형성에 영향을 주게 될 것인가? 지난 수십 년간 이 효율적 시장가정에 대한 통계 분석, 데이터베이스 추적, 이론적 모형 연구 등이 엄청나게 많이 수행되었지만 놀랍게도 아직도 시장경제 학자들 사이에 이 가정에 대한 의견의 일

불론 금융시장이 쉽게 예측 가능하다면 투자자들은 원칙적으로 모두 부자가 되어야 한다. 하지만 실제 금융시장은 일반 투자자들의 눈에는 너무나 비예측적이고 큰 돈을 순식간에 잃을 수도 있는 위험부담이 항상 도사리고 있다. 투자자가 시장가격의 변동을 마구잡이적인 50%의 확률보다 조금만 더 예측력을 향상시킬 수 있다 하더라도 시장에서 큰 수익을 올릴 수 있다. 그런데 과연 효율적인 시장 가정의 결과인 시장의 마구잡이 성질과는 달리 금융시장의 가격지표는 예측가능한 것인가? 또 예측가능한 조건은 무엇인가? 최근의 비선형동역학, 카오스, 복잡계 등의 물리학적 방법론을 이용한 시장경제 연구들은 여기에 초점을 맞추고 있다. 즉 가격 요동의 이면에 자리한 보편적 상관성을 찾아

내고 시장이 마구잡이 성질을 가지지 않는다는 것을 보여주는 것이다. 사실 이러한 연구들에 기초한 과학적 투자기법을 금융시장에 응용한 다수의 투자 회사들과 펀드매니저들이 높은 수익률을 올리며, 시장의 예측가능성을 실증적으로 보여주고 있다. 예를 들어 스위스의 Olsen & Associate 사, 로스알라모스연구소 비선형 연구센터의 Farmer 박사가 창립한 Prediction 회사 등은 그 대표적인 경우이다.

최근 시장의 규모가 급격한 성장과 인터넷 보급의 확산과 함께 시장은 주문, 매수에 이르기까지 모든 거래가 컴퓨터없이 운영되지 못하며, 컴퓨터를 이용한 시스템 트레이딩과 사이버 거래가 주도적인 역할을 수행하고 있다. 이에 따라 국내의 경우에도 엄청난 금융 데이터가 축적되고 있다.

그러나 과학적 방법론과 계산에 입각한 정량적 시장예측 시스템 개발과 이에 기초한 온라인 시장예측 서비스는 외국에 비해 극히 미미한 수준으로 금융 관련 산업의 선진화를 위해 집중적 연구와 투자가 요구되고 있다. 실시간으로 쌓이는 금융시계열 데이터의 특성을 분석, 예측에 응용하는 기술은 다양한 금융 상품과 시장을 고안, 모형화할 수 있는 고도의 분석과 계산 능력과 함께 매우 중요한 금융공학의 문제이다.

금융시계열 예측의 다양한 방법론들은 기본적으로 과거의 변화 형태를 보고 미래를 예측한다. 금융시계열의 비선형 예측은 동역학적으로 재구성된 카오스 끌

개 위에서의 자리걸의 기하학적 구조를 이용한다. 카오스 끌개 위에서의 어떠한 궤적도 일반적으로 되풀이되는 경향이 있다는 사실을 응용한다. 이에 기초하여 카오스 계에 대한 여러가지 예측 방법이 이미 개발되었으며, 경제 시계열 속에서도 카오스성의 존재 여부에 대한 연구가 매우 활발하게 이루어지고 있다. 시장지표의 예측은 투자 위험을 줄이기 위한 포트폴리오를 구성과 위험 관리의 핵심적인 요소를 제공한다.

복잡계 경제학

환율과 같은 시장지표가 보이는 복잡한 불규칙적 등락의 원인을 간단하게 파악하기는 매우 어렵다. 오랫동안 경제학 모형은 신고전학파라고 불리는 주류경제학의 수확체감, 음의 되먹임(negative feedback)에 의한 평형과 안정성, 양과 가격, 환원주의적 요소 분석에 의해 지배되어 왔다. 그러나 비정상성, 비예측성을 가진 복잡한 금융지표 변화를 통해 나타나는 역동적 실물 경제 현상은 새로운 접근 방식을 요구한다. 최근의 복잡계 접근에 의한 경제학은 수확체증, 양의 되먹임에 의한 비평형성과 불안정성, 패턴 형성과 기능성, 통합주의적 전체의 원리에 초점을 두고 있다. 이 복잡계의 경제학에서는 시장, 조직, 기관, 투자자들이 서로 비선형적으로 상호작용하며, 경쟁, 적응하는 네트워크 속에서 경제학적 선택에 의하여 동역학적인 진화를 하게 된다.(그림 4 참조)

복잡계 경제학의 선구자인 브라이언 아서는 주류경제학인 신고전주의 경제학의 여러 가정에 대한 끊임없는 의문을 가졌다. 그는 벨기에 물리학자 일리아 프리고진이 쓴 글에 많은 영향을 받아 경제계에서의 자체조직화와 효용체가 이론을 주창하였다. 즉 경제도 시장구조가 노동과 상품 또는 서비스에 대한 수요에 의해 자발적으로 자체조직화하는 시스템으로 생각하였다. 그는 샌타페이연구소의 경제학 프로그램의 공동연구책임자로 부임하여 경제계에서 작은, 마구잡이성 사건들이 증폭될 수 있다는 양의 되먹임과 수확체증이론을 제창하여 복잡계 연구를 시장금융계로 크게 확장하였다. 그는 규모에 따른 수확체증과 인간의 제한적 합리성에 기초하여 불안정성과 동역학, 인간의 인지활동을 중시하고 하이테크산업 등 신시장금융계를 설명할 수 있는 새로운 복잡계 경제학의 패러다임을 추구하고 있다.

존 홀랜드는 샌타페이연구소의 경제학 프로그램의 공동연구책임자로서 경제계도 서로 병렬적으로 행동하는 많은 인자들로 구성된 그물망으로 보고 복잡한 적응계로서 기초단위들의 자체 조직화를 통해 이해하고자 하였다. 이러한 계는 미래를 예견하고 이에 대응하며, 자신의 생태적 위치를 스스로 찾아나간다고 보았다.

그는 브라이언 아서, 리처드 파머와 함께 인공 주식시장을 연구하였는데 여기서도 투자자의 행동적이며, 탐욕적인 전략에 따라 시장의 거품생성, 급락 등 시장의 실제적 현상들을 만들어낼 수 있다. 이러한 인자기반 경제 모형은 복잡계 접근을 통하여 좀 더 실제적인 시장, 전략, 정보 구조에 기초하여 시장의 복잡한 학습과 적응 행동 동역학을 반영, 구현하고 있다. 미국 도인 파머 박사는 실제 시장의 중요한 특성을 가진 비평형 모형을 통하여 새로운 거래 전략의 생성 과정을 연구하였다. 이 모형 시장은 상호 진화하는 거래 전략들의 집합체로서 생물학적 종들의 진화와 매우 유사한 특성을 가진다. 가격은 여러 거래 전략간의 상호작용에 의한 내부 동역학에 따라 시간에 따라 요동하고 여기서 생겨나는 시장의 비효율성에 의해 가격은 반드시 '진짜 가격'을 반영하지 않고 패

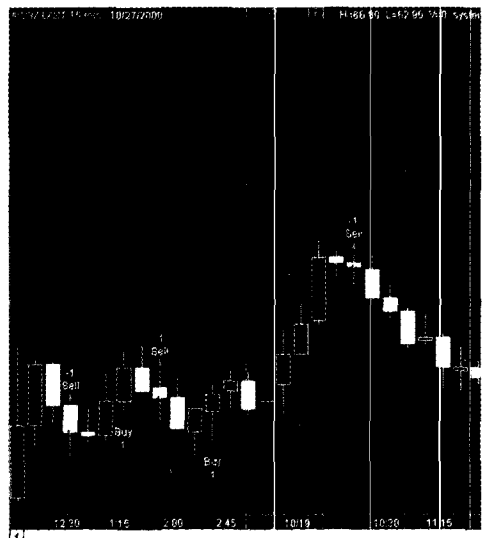


그림 3 시스템 트레이딩

턴을 만들어낸다. 그러나 이 패턴을 이용하는 거래 행위에 의해 빠르게 그러나 어떤 일정한 기간 안에 패턴이 사라지게 된다. 그 동안 사람들은 수익을 취하고 새로운 패턴을 찾아 나서게 된다. 현재의 첨단 과학적 투자기법의 핵심은 이렇게 시장에 잠깐 나타나는 미시적 패턴의 이익 기회를 최대한 빠르고 효율적으로 이용하는 데 있다.

또한 시장금융계가 우리 주위의 인터넷, 교통망, 생체반응계, 뇌 신경망과 같이 복잡한 네트워크로 되어 있다는 사실에 주목한 복잡계 네트워크 연구가 활발하게 진행되고 있다. 우리의 일상생활에서 사회적, 경제적 상호작용의 네트워크 속에서 살아가지만 우리는 아직 네트워크를 잘 이해하지 못하고 있다. 네트워크는 간단하게 일종의 점들의 집합을 서로 선으로 연결한 그래프로 표시할 수 있다. 점은 사람, 선은 여러 가지 친밀도, 동맹, 협동, 공동연구 등의 정도를 나타낸다. 뇌의 경우 점은 신경소자, 선은 신경시냅스에 의한 연결에 대응된다. 또한 인터넷의 경우에는 점은 각

컴퓨터, 선은 인터넷 연결망을 나타낸다. 시장금융계의 경우 점은 투자자 또는 기업, 선은 거래 행위에 해당한다. 복잡한 네트워크 상에서의 동역학은 많은 적응인자들간의 상호작용에 의해 발생되는 결과이다. 시장금융계에서 이러한 네트워크가 어떻게 나타나고 그 형태를 형성하는지, 그 기능은 어떻게 구현되는지, 그리고 네트워크 기능의 마비는 어떻게 야기될 수 있는지를 복잡계의 관점에서 연구되고 있다.(그림 5 참조)

향후 전망

최근 금융시장의 정량적 모형을 통한 금융공학과 카오스, 복잡계 등 첨단과학 이론의 응용과 함께 학계와 실무계에서 금융 연구의 새로운 르네상스가 도래했다고 여기고 있다. 시장경제 분야에서 현상학적인 데이터는 컴퓨터를 통하여 풍부하게 만들어지고 있으며, 물리학자들은 실제 문제를 이해하고, 데이터를 설명하는 이론을 만들어내기 시작하였다. 국내의 경우 엄청난 데이터의 축

적에도 불구하고 과학적 방법론과 계산에 입각한 정량적 시장 예측 시스템 개발과 이에 기초한 온라인 시장예측 서비스는 외국에 비해 극히 미미한 수준으로 금융 관련 산업의 선진화를 위해 집중적 연구와 투자가 요구되고 있다.

또한 위험을 줄이거나 피하기 위하여 파생상품을 이용하는 것이 보편화되며, 위험관리는 상품, 시장, 미래 전망의 예측 등 다양한 요소가 결합되는 계산을 요구하고 있다. 이 경우 과학적 방법론에 입각한 엄청난 양의 데이터 처리와 계산만이 실제 구현이 가능한 가격 결정 방법을 실시간으로 제공할 수 있다. 컴퓨터의 발달은 비선형 복잡계의 반복적 구조의 효율적 시뮬레이션, 시장의 미시적 구조의 정량화 및 시각화를 가능하게 하였으며, 인공주식 시장 등의 문제를 새로운 관점과 방법론으로 다룰 수 있게 되었다. 이러한 첨단과학과 시장금융계의 빠른 접근에도 불구하고 아직 시장의 실무자들은 회의적 시각을 가지고 있기도 하지만 이로부터 파생되는 참신한 아이디어들과 방법론들은 궁극적으로 카오스에

기초한 복잡계 경제학이라는 새로운 패러다임 개척으로 이어질 것으로 기대한다.

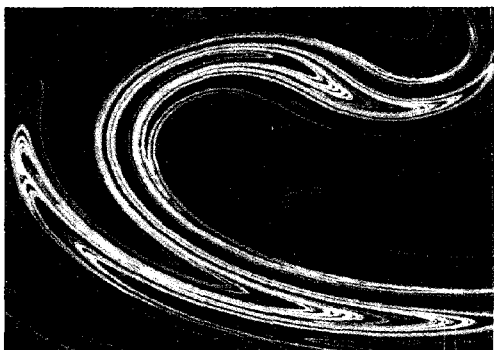


그림 4 카오스의 복잡성에 내재한 질서구조



그림 5 인터넷 연결망으로 본 복잡계 네트워크