

행위자 기반 모형과 그 응용

채승병 · 조항현 · 문희태

머리말

복잡계 연구의 주된 목적은 자연계 및 사회경제계 전반에 걸쳐 공통적으로 나타나는 창발현상(emergent phenomena)을 규명하는데 있다. 그러나 현실 속의 복잡계를 설명함에 있어 전통적인 귀납적(inductive) 또는 연역적(deductive) 접근은 모두 한계가 있다. 귀납적 접근을 따라 거시적 현상의 통계적 분석을 통해 특성을 판별하더라도 복잡계의 특징적인 창발성 때문에 이는 곧바로 미시적 메커니즘 규명으로 연결되기 어렵다. 연역적 접근의 경우에도 그 출발점이 되는 공리나 전제 자체가 심각한 오류를 내포할 수 있으며, 복잡성 때문에 보통의 해석적인 방법으로는 풀어내기가 어렵다.

복잡계 연구에서는 이를 보완하기 위해 흔히 계산모형에 의한 시뮬레이션(simulation)이 폭넓게 활용되고 있다. 우선 대상 시스템의 구성 주체들을 면밀히 관찰하여 주요한 속성과 행동규칙을 추출해내고, 이를 기반으로 다수의 간략화된 주체, 즉 행위자(agent)를 설정한다. 그리고 주어진 환경과 공간에서 이들이 직접 상호작용을 하도록 시뮬레이션을 하여 나타나는 현상들을 관찰한다. 여기서 관찰된 현상이 실제 시스템의 현상과 부합하지 않는다면 행위자의 속성과 행동규칙을 수정해가면서 시뮬레이션을 반복하여 최종적으로 유효성이 확인된 모형을 얻게 된다. 이와 같이 미시적 행위자의 특성에서 출발하여 시뮬레이션을 통해 상향식(bottom-up)으로 거시적 현상의 동역학을 끌어내는 모형을 행위자 기반 모형(agent-based model, ABM)이라고 한다.

저자약력

채승병 박사는 KAIST 물리학과 이학박사(2006)로서, 현재 삼성경제연구소 복잡계센터 연구원으로 재직 중이다. (seanchae@seri.org)

조항현 박사는 KAIST 물리학과 이학박사(2006)로서, 현재 고등과학원 물리학부 연구원으로 재직 중이며 통계물리학을 연구하고 있다. (h2jo@kias.re.kr)

문희태 교수는 미국 남가주대(University of Southern California) 박사(1982)로서 현재 KAIST 물리학과 교수로 재직 중이다. 현재 KAIST 복잡계 연구센터(Center for Complex Systems) 소장을 겸임하고 있다. (htmoon@kaist.ac.kr)

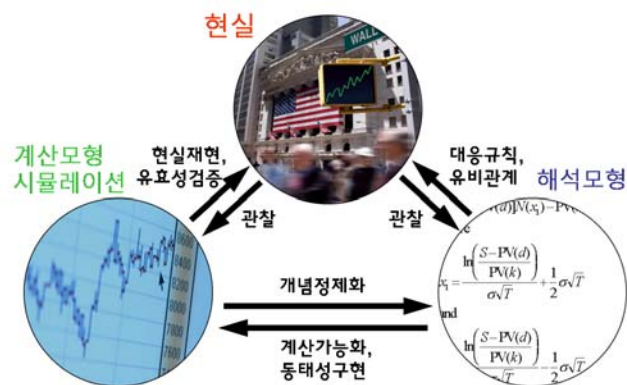


그림 1. 현실과 계산모형, 해석모형 사이의 관계.

여기서는 행위자 기반 모형의 개념과 다양한 복잡계 연구에서 활용된 사례들을 살펴보고, 최근 실제 사회경제 현안 해결에 응용되고 있는 현 주소를 짚어보고자 한다.

행위자 기반 모형과 생성적 접근

오늘날 복잡계 이론에서 통용되고 있는 행위자의 개념은 사회과학과 전산학에서 발전된 개념들이 융합된 것이다. 일례로 경제학에서는 행위자를 주어진 제약조건 하에서 최대의 효용(utility)을 추구하는 개인의 의미로 사용했으며, 시스템을 구성하는 주체적 개별요소의 성격이 강조되었다. 전산학에서는 사용자나 다른 프로그램이 설정한 규칙에 따라 상황에 맞게 대응하는 소프트웨어 단위의 의미로 사용되기 시작했다. 이 행위자 개념은 객체지향 프로그래밍(object-oriented programming)에서 이야기하는 객체(object)와 유사한데, 여기에 자기통제 및 자율적인 상호작용 능력이 부가된 것으로 이해할 수 있다. 이를 특정하여 소프트웨어 행위자라고 하며, 특히 인공지능 이론에서는 학습능력과 적응능력까지 갖춘 지적 행위자(intelligent agent)로 개념이 확장되었다.

이러한 맥락에서 복잡계를 구성하며, 다양한 상호작용을 하는 개별 단위 구성주체를 모두 행위자로 지칭하기도 한다. 자연계에서 흔히 연구되는 물리적 입자부터 사회경제계의 개인이나 조직까지 이 넓은 의미의 행위자에 포함된다. 그러나 복

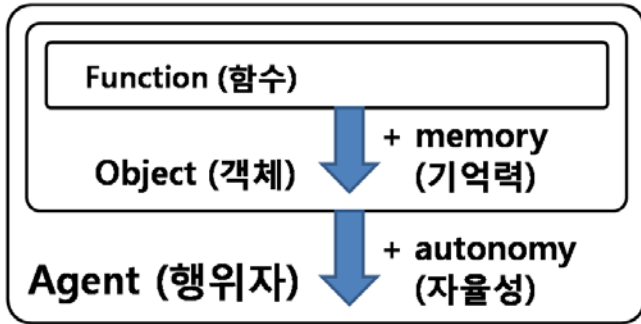


그림 2. 함수(function), 객체(object), 행위자(agent)의 관계. 행위자는 과거의 정보를 토대로 자율적으로 판단하는 능력을 가진다.

잡한 사회경제계에서 관찰되는 행위자들에게는 몇 가지 중요한 특징이 있다.

첫 번째는 행위자의 불균질성(heterogeneity)이다. 이것은 시스템을 구성하는 행위자들이 다양한 고유의 속성과 행동규칙을 가지고 있음을 의미한다. 시장의 소비자들이 다양한 기호와 판단기준에 따라 재화를 구매하는 것을 연상하면 된다.

두 번째는 행위자의 자율성(autonomy)이다. 이것은 개별 행위자의 행동이 일괄적으로 중앙 통제되지 않음을 의미한다. 환경적 구속조건이나 시스템 내부에서 축적된 제도적 관습, 관행에 의해 행동에 실질적인 제약을 받을 수는 있으나, 행위자의 일거수일투족을 제어하는 전지전능한 통제자는 상정하지 않는다.

세 번째는 행위자가 시스템 공간상에서 주변 행위자와 국소 상호작용(local interactions)을 한다는 점이다. 여기서의 공간은 물리적 공간이나 네트워크 공간 등 다양한 형태를 포함한다. 지역 공동체에서 주민들은 물리적으로 근접한 사람들과 교류하며, 인터넷에서는 메신저 등의 온라인 서비스를 통해 네트워크 상에서 인접한 사람들과 교류하는 것과 같다.

네 번째는 행위자의 제한합리성(bounded rationality)이다. 여기서의 합리성은 행위자가 가능한 선택 가운데 자신에게 가장 유리한 것을 선택함을 의미한다. 주류 경제학 등에서는 연역적 접근을 위한 이상화된 조건으로서 행위자들이 시스템에 대한 모든 정보를 감안하여 최적의 선택을 내릴 수 있음을 가정하는 경우가 종종 있다. 이것을 완전합리성(perfect rationality)이라고 한다. 그러나 위에서 설명한 바와 같이 현실의 행위자는 국소 상호작용에 의해 전달된 한정된 정보를 가지며, 정보 처리능력에도 한계가 있기 때문에 이는 지나치게 비현실적인 가정이다. 이를 보완하여 유한한 정보량 및 정보 처리능력의 한계 내에서 가장 유리한 선택을 모색하는 성향을 제한합리성이라고 한다.

행위자의 이러한 특성 모두는 현실적인 복잡계 연구에 있어 컴퓨터 시뮬내기를 활용한 행위자 기반 모형의 필요성을

부각시켜주고 있다. 물론 행위자 기반 모형의 중요한 기틀로 평가받고 있는 쉘링(T. C. Schelling, 2005년 노벨 경제학상 수상자)의 인종격리 모형(segregation model)^[1]과 같이, 손으로 간단하게 시뮬할 수 있으면서도 시사적인 모형도 존재한다. 그럼에도 다수의 행위자와 복잡한 이들의 상호작용을 빠르게 계산하기 위해서는 컴퓨터 시뮬내기가 거의 필수적이다. 또한 컴퓨터 시뮬내기는 수식으로 표현하기 어려운 규칙까지 구현할 수 있다는 중요한 이점도 갖고 있다. 예를 들어 「아침 일기예보에서 비가 10 mm 이상 내릴 확률이 70% 이상이면 우산을 갖고 나간다」는 행동규칙을 수식으로 풀어내기란 매우 까다롭지만, 컴퓨터 프로그램으로는 조건문을 활용하여 쉽게 표현할 수 있다.

그럼에도 불구하고 행위자 기반 모형의 수용이 순탄했던 것만은 아니다. 물리학은 이미 20세기 중반부터 계산모형과 컴퓨터 시뮬내기를 중요한 방법론으로 받아들여 왔기 때문에 행위자 기반 모형의 개념도 쉽게 받아들여진 편이다. 이는 사회물리학과 경제물리학 연구에서 기존 통계물리학의 방법론과 함께 활발히 활용되고 있는 사실에서도 잘 알 수 있다. 반면 사회과학에서는 기존 방법론과의 이질성 때문에 저항이 만만치 않았다. 근래 들어서야 행위자 기반 계산경제학(agent-based computational economics), 행위자 기반 계산사회학(agent-based computational sociology), 개체 기반 생태학(individual-based ecology) 등 기존 학문분야에서 행위자 기반 모형을 주요한 연구 방법론으로 삼는 하위 분야가 뚜렷이 정착되고 있는 추세이다. 그 결과 최근에는 이를 귀납적 및 연역적 접근과 차별화된 제3의 접근법으로 받아들여 생성적(generative) 접근 또는 구성적(constructive) 접근이라고 지칭하고 있다.^[2]

사회물리학의 행위자 기반 모형

행위자 기반 모형을 분류하는 기준은 여러 가지가 있으나, 행위자의 복잡도를 하나의 중요한 기준으로 삼을 수 있다. 개별 행위자들이 독자적인 행동규칙에 따라 반응하기는 하지만 지능이 없다고 가정하는 최소 행위자(minimalistic agent)부터 적극적인 선행성(proactivity)과 적응성을 보이는 복잡 행위자(complex agent)까지 스펙트럼을 그릴 수 있다. 이 가운데서도 통계물리학 등 자연과학의 영역에서는 최소 행위자들의 복잡한 상호작용으로 인해 집합적인 성질이 창발되는

참고문헌

- [1] T. C. Shelling, J. Math. Sociol. 1, 143 (1971).
- [2] J. M. Epstein, *Generative Social Science* (Princeton University Press, Princeton, 2006).

모형이 많이 연구되어 왔다. 이하에서는 사회물리학의 맥락에서 연구된 행위자 기반 모형의 예시와 쟁점에 대해 살펴보기로 한다.

1. 브라질 총선 결과와 의견 동역학 모형

최소 행위자를 모형화하기 위해 가장 쉽게 연관 지을 수 있는 개념은 +1 또는 -1 중 하나의 값을 갖는 이징 스핀(Ising spin)이다. 인간처럼 복잡하고 고차원적인 사고를 하는 행위자를 고작 +1 또는 -1 중 하나의 상태로 기술한다는 데에 거부감을 느낄 수도 있다. 하지만 양당제가 오랫동안 유지되어온 미국에서 많은 유권자들이 민주당 또는 공화당에 투표하는 상황을 떠올려보면 그리 허무맹랑한 가정은 아니다. 또한 이렇게 단순한 스핀이라도 수많은 스핀들이 복잡하게 상호작용하는 시스템에서 매우 풍부하고 다양한 현상들이 관찰되며 이를 완전하게 이해하는 일은 여전히 쉽지 않은 일이다. 이 점에서 브라질의 총선 결과의 분석과 이와 관련된 의견 동역학 연구는 최소 행위자 모형의 적용가능성에 의미 있는 시사점을 주고 있다.

1998년 10월 4일, 브라질에서는 대통령, 상원의원, 하원의원, 주(州)지사, 주의원을 뽑는 선거가 있었는데 전체 유권자는 106,101,067명에 달했다. 상파울루 주에서만 주의원 후보가 1,260명이었고 23,321,034명의 유권자가 있었다. 득표율에 따른 후보자 수의 분포는 거듭제곱 꼴($N(v) \sim v^{-\alpha}$)이라는 것이 밝혀졌는데 주의원 득표율 분포의 경우 상파울루 주에서는 거듭제곱 법칙의 지수가 $\alpha = 1.03 \pm 0.03$, 브라질 전체에 대해서는 $\alpha = 1.00 \pm 0.02$ 로 나타났다.^[3] 득표율에서도 이른바 빈익빈 부익부 법칙이 나타난다는 것을 알 수 있다.

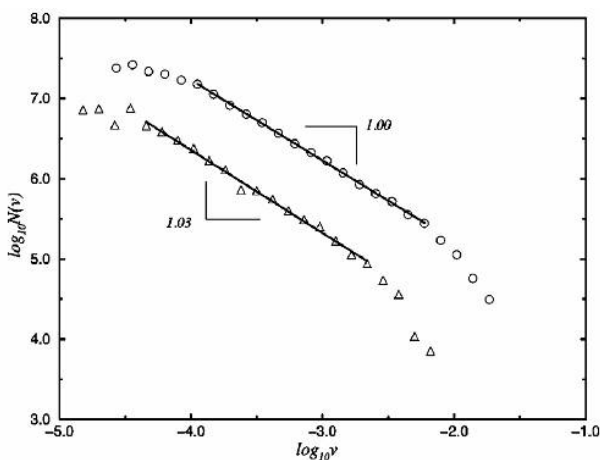


그림 3. 1998년 브라질 선거 중 주의원 후보의 득표율 분포.^[3]

선거와 투표 행위는 수많은 행위자들이 상호작용하는 복잡 게임에 틀림없다. 투표자가 자신이 지지하는 후보를 어떻게 선택하는가에 관한 미시적인 이해는 부족하지만, 이웃한 투표자의 의견을 따라 자신의 지지 후보를 결정한다는 아주 단순한 규칙을 설정해볼 수 있다. 이것이 바로 투표자 모형(voter model)인데 이에 관한 일반적인 결과들이 잘 알려져 있다. 여기서 조금 더 발전된 슈나이트 모형(Sznajd model)^[4,5]에서는 이웃한 두 투표자가 같은 의견을 갖는 경우 그들이 그들의 모든 이웃들을 설득하여 자신들의 의견을 받아들이게 한다는 규칙이 설정된다. 즉 의견그룹이 형성되어 개인으로 행동할 때보다 더 큰 영향력을 발휘하는 것을 모형화했다고 볼 수 있다. 투표자 모형을 비롯한 기존의 모형들이 개인과 개인의 상호작용에만 초점을 맞춘데 반해 슈나이트 모형은 의견그룹과 개인의 상호작용에 초점을 맞추었다. 이를 도식적으로 표현한 것이 그림 4이다.

투표자들이 서로 영향을 끼치는 공간 구조도 중요한 요인으로 작용한다. 공간 구조는 네트워크(그래프)로 모형화할 수 있는데 주로 규칙적인 격자, 에르되시-레니(Erdős-Rényi; ER) 무작위 네트워크, 좁은 세상 네트워크, 척도 없는 네트워크, 아폴론 네트워크(Apollonian Network) 등이 이용되어 왔다. 그중에서도 바라바시-알베르(Barabási-Albert; BA) 척도 없는 네트워크 위의 투표자들에 대해 슈나이트 모형을 적용한 결과, 득표율 분포가 브라질 선거 결과처럼 지수가 -1인 거듭제곱 꼴을 따른다는 것이 밝혀졌다.^[6]

더 최근에는 투표자 모형과 유사하나, 투표자가 한 번 지지 후보를 결정했으면 다시는 의견을 바꾸지 않는 규칙을 도입한 연구가 발표되었다.^[7] 이 연구에서도 다양한 네트워크 위에서 득표율 분포를 관찰했으며 위계구조가 있는 아폴론 네트워크^[8] 위에서만 지수가 -1인 거듭제곱 법칙이 나타났다. 그 외 ER 네트워크나 BA 네트워크 위에서는 지수가 -1인 거듭제곱 법칙이 나타나지 않았다. 저자들은 이 결과에 근거하여 투표자들이 상호작용하며 의견을 교환하는 구조는 위계구조가 있는 네트워크일 것이라는 제안을 하기도 한다.

참고문헌

- [3] R. N. Costa Filho, *et al.*, Phys. Rev. E **60**, 1067 (1999).
- [4] K. Sznajd-Weron and J. Sznajd, Int. J. Mod. Phys. C **11**, 1157 (2000).
- [5] K. Sznajd-Weron, Acta Physica Polonica B **36**, 2537 (2005).
- [6] A. T. Bernardes, D. Stauffer, and J. Kertesz, Euro. Phys. J. B **25**, 123 (2002).
- [7] A. A. Moreira, *et al.*, Phys. Rev. E **73**, 065101(R) (2006).
- [8] J. S. Andrade, Jr., *et al.*, Phys. Rev. Lett **94**, 018702 (2005).

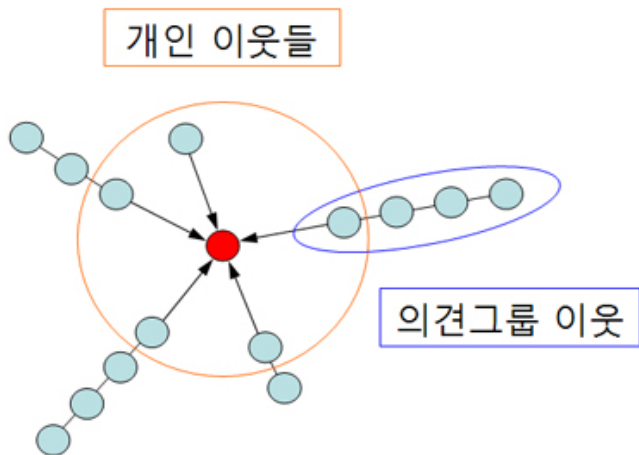


그림 4. 기존의 모형들과 의견그룹의 중요성을 강조한 슈나이더 모형 (Sznajd model)의 도식적 비교.

2. 구경꾼 효과와 구조 모형

또 다른 예로서, 사회심리학의 실증적인 연구 결과들을 바탕으로 행위자의 도움행동이 행위자 사이의 연결구조와 어떻게 상호작용하는지를 모형화한 구조 모형(rescue model)이 연구되었다.^[9] 이 모형은 위급한 상황을 목격한 사람의 수가 많을수록 그 사람들이 개입할 확률이 줄어든다고 하는 구경꾼 효과(bystander effect)를 네트워크 관점을 접목시켜 이해하고자 한 것이다. 많은 심리학 실험을 통해 목격자의 역할을 맡은 피험자가 피해자를 본 적이 있는 경우 더 잘 도와주고(더 빠르게 반응하고), 또한 피험자들이 친구인 경우 그렇지 않은 집단에 비해 더 잘 도와준다는 사실들이 밝혀져 있다.^[10] 구조 모형에서 각 목격자는 상황의 심각성과 피해자와의 관계, 다른 목격자들과의 관계에 따라 자신의 '위급 상황에 기여하기 개입하려는 정도'를 무의식적으로 계산하고 그 결과에 따라 행동한다는 규칙을 따른다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 목격자들 사이의 관계를 고려한 항에 의해 개입의 성공률이 목격자의 수에 따라 줄어드는 구경꾼 효과가 성공적으로 재현되었다. 이 연구를 통해 구경꾼 효과의 주요한 메커니즘으로 제시되었던 책임의 분산(diffusion of responsibility)과 구경꾼 사이의 사회적 영향(social influence)이라는 요인들이 구체적인 모형에 의해 분석적으로 다루어질 수 있음이 명백히 드러났다.

그런데 이처럼 매우 단순화된 행위자들의 상호작용에 의한 결과가 실제 복잡한 과정을 거친 사회현상의 일부 통계적 특성을 잘 재현해냈다고 모형의 유효성이 입증되었는가에 대해서는 여전히 논란의 소지가 있다. 이 문제는 행위자와 그들의 상호작용을 단순화시키는 과정의 정당성으로 귀결된다. 물리학에서는 비교적 단순명료한 물리법칙을 따르는 대상을 주로

연구해온 전통 때문에 '오컴의 면도날' 원리로 정당화하며 이를 소홀히 다루는 경향이 있다. 이는 이론의 경제성을 높이는 긍정적인 효과에도 불구하고 복잡한 현실 문제를 포괄하지 못할 위험이 있다.

따라서 실질적인 함의와 응용 가능성을 높이기 위해서는 행위자 기반 모형의 복잡성을 증가시켜야 한다. 이것은 계산과 분석 비용의 증가를 수반하기 때문에, 학계 수준을 넘어선 대규모 연구팀의 조직적인 작업이 필수적이다. 최근에는 행위자 기반 모형을 주요한 방법론으로 활용하는 학제간 연구팀과 컨설팅 회사들이 설립되고, 다채로운 응용 프로젝트의 경험 축적되면서 이 방면에서도 가시적인 발전이 이뤄지고 있다.

행위자 기반 모형의 응용

행위자 기반 모형이 산업계 현장 문제 해결의 도구로 진일보한 중요한 계기는, 1980년대 이래 복잡계 연구를 선도해온 산타페 연구소의 연구진들이 1997년 BiosGroup이라는 회사를 설립하면서 마련되었다. 카우프만(S. Kauffman)과 굴지의 회계법인 Ernst & Young이 합작·주도한 이 회사는 복잡계 연구에 쓰이는 다양한 기법들을 활용하여 비즈니스 현장의 문제 해결 컨설팅을 수행하였다.

BiosGroup이 행위자 기반 모형을 활용하여 신선한 충격을 던진 대표적인 사례는 미국 SouthWest Airlines의 항공화물 운송 시스템 개선 프로젝트^[11]를 들 수 있다. 미국의 대표적인 저가 항공사 SouthWest Airlines는 1998년 당시 급성장하는 와중에 항공화물 처리에 매우 어려움을 겪고 있었다. 각 공항의 화물처리량이 물류수요 변화에 따라 급변했으며, 특정 공항들에서 화물처리 대기시간이 길어지는 심각한 문제가 발생했다. 이 회사는 처음에 전형적인 업무처리 프로세스 효율화를 통해 문제 해결을 시도했으나, 모두 실패로 돌아가며 BiosGroup에 문제 해결을 의뢰했다.

BiosGroup은 현장 관계자들의 인터뷰와 관찰, 사측이 보유한 운항기록 등을 토대로 행위자 기반 모형을 구축하였다. 각 공항에서 화물 처리를 담당하는 현장 관계자를 행위자로 설정하고, 관행적으로 시행되어오던 화물처리 규칙과 항공기 운항일정, 각 공항의 화물처리 용량 등을 모형에 반영하였다.

참고문헌

- [9] H.-H. Jo, W.-S. Jung, and H.-T. Moon, Phys. Rev. E **74**, 026120 (2006).
- [10] B. Latane and J.M. Darley, Am. Sci. **57**, 144 (1969).
- [11] F. Siebel, and C. Thomas, Perspectives on Business Innovation **4**(27), 88 (2000).

그리고 완성된 모형을 이용하여 행위자들의 화물처리 규칙을 변화시켜가며 시뮬내기를 수행하였다.

그 결과 화물처리 규칙에 심각한 맹점을 밝혀냈다. 예를 들어 앨버커키에서 오클랜드로 보낼 화물이 있고, 이를 실은 항공기가 앨버커키(10:30) → 라스베이거스 → 샌프란시스코(13:15) → 산호세 → 샌프란시스코 → 오클랜드(18:10)로 운항할 계획이라고 하자. 기존에는 화물을 빨리 보내기 위해 첫 번째 샌프란시스코에 착륙했을 때, 화물을 내려 보다 빨리 도착할 예정인 샌프란시스코(14:15) → 오클랜드(15:35) 항공편으로 옮겨 실었다. 이 경우 각 현장 관계자의 입장에서는 빠른 배송을 위한 합리적 선택을 한 셈이지만, 실제로는 화물을 싣고 내리는 작업에 많은 비용과 수고가 들기 때문에 제때 화물을 싣지 못하거나 항공편이 지연되는 부작용이 빈발했다. 이 경우 2시간 35분 늦더라도 화물을 그대로 놔두는 편이 보다 정확히 배송되고 공항의 부담도 줄었다. BiosGroup은 이런 식으로 비교적 간단한 화물처리 규칙을 개정하는 해결책을 제시하여 현장의 화물처리량을 15~20%나 경감시키는데 성공했다.

이러한 성공사례에서 행위자 기반 모형과 컴퓨터 시뮬내기는 현업에서도 강한 효과를 나타냄이 입증되었다. 대부분의 기업 현장에서는 기존의 조직 관행과 문화가 있기 때문에 새로운 개선안이 제시되더라도 이를 거부하는 경우가 빈번하다. 개선안 시행의 결과 예상되는 변화에 대해 명확하고 긍정적인 기대를 줄 수 있어야만 실행으로 옮겨질 수 있다. 가시적으로 잘 설계된 컴퓨터 시뮬내기 실험은 이를 설득시키는데 유용함이 드러났다. 이 때문에 현재는 행위자 기반 모형을 활용하는 컨설팅 업체들도 다수 분화되었으며, BT, P&G, HP, 유니레버, 펄스콜라 등 유수의 글로벌 대기업의 업무 현장에서 결과들이 활용되고 있다.

또 다른 행위자 기반 모형의 중요한 응용 사례로는 시장 설계 연구들이 있다. 전력시장이 대표적인 예인데, 과거에는 국가마다 소수의 기업이 전력산업의 발전-송전-배전 부문을 일괄적으로 관할하는 것이 보편적이었다. 그러나 1980년대 무렵부터 영국, 미국 등을 중심으로 전력산업의 각 부문을 분할하고 다수의 기업이 나눠 맡아 경쟁시장 원리를 도입하기 시작했다. 그러나 전력은 일반 재화와 달리 저장하기가 매우 어렵다는 특성이 있다. 순간순간 급증하는 전력수요에 맞춰 발전 및 송전부문이 즉시 대응하지 못하면 전체 전력시스템이 연쇄적인 과부하에 의해 망가지게 된다.

참고문헌

- [12] R. Marks, in *Handbook of Computational Economics*, edited by L. Tesfatsion, and K. L. Judd (North-Holland, Amsterdam, 2006), Vol. 2, Chap. 27.

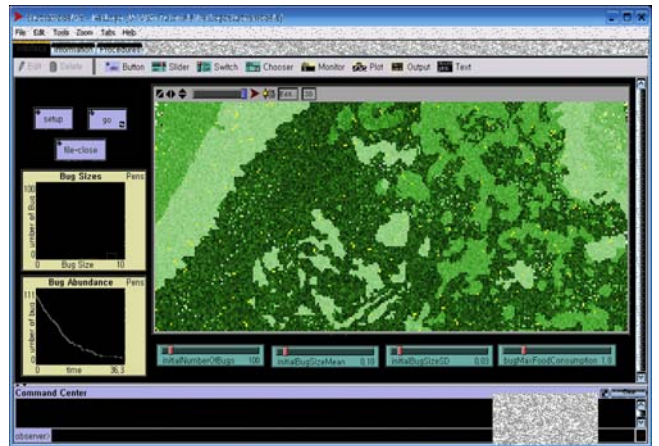


그림 5. 대표적인 행위자 기반 모형 개발 환경 중의 하나인 NetLogo (ccl.northwestern.edu/netlogo/)의 스크린샷.

초기에는 늘어난 행위자들의 경쟁적 시장원리에 의해 보다 저렴한 가격에 전력낭비도 줄일 수 있을 것으로 기대되었다. 그러나 예상과 달리 소매가 급등과 2000년 캘리포니아 대정전 사태와 같은 부작용이 속출하였다. 각 회사들이 이익을 극대화하기 위해 미래 수요 확대에 대비하는 설비 증설을 기피하고, 전력 예비율도 위험한 수준으로 낮게 유지했기 때문이었다. 이것은 행위자들의 제한적 합리성이 시스템 전체적으로는 취약성으로 이어질 수 있음을 보여주는 사례이며, 적절한 시장 제도와 규제의 필요성을 경각시켰다.

이러한 행위자의 행동규칙이 전체 전력수급 시스템에 미치는 잠재적 영향을 분석하는 작업은 행위자 기반 모형이 적격이다. 특히 참여하는 행위자의 수가 대단히 많은 금융시장과 달리 전력시장은 행위자의 수가 비교적 적다는 이점도 있다. 이 때문에 세계적으로 여러 연구팀들이 전력시장의 행위자 기반 모형을 연구하고 있으며, 효과적인 전력시장 설계를 위한 의미 있는 성과들을 내놓고 있다.^[12]

맺음말

이상에서 살펴본 바와 같이 행위자 기반 모형은 자연과학 및 사회과학, 공학 분야에 걸쳐 복잡계 연구 및 응용의 주요한 방법론으로 성공리에 정착되고 있다. 아직 국내에서는 학계의 일부 연구자들을 중심으로 제한적으로 보급된 수준이기 때문에 미래가 불투명해보일 수 있으나, 세계적인 추세를 볼 때 앞으로의 발전 가능성은 매우 밝다고 할 수 있다. 특히 갈수록 글로벌화되며 복잡해지는 현안에 직면하여 기존의 연구 방법론들로는 명확한 해결책 제시가 힘들어지는 상황에서, 행위자 기반 모형은 유력한 대안의 하나임이 분명하다.