

시스템적 사고에 기반한 사회 시스템의 이해와 응용 :

Cellular Automata를 이용한 협력모형을 중심으로

**Understanding and application of the social system based
on the system thinking :**

Focus on the cooperation model using Cellular Automata

고 길 곤

(KDI Researcher / kskkk@kdiux.kdi.re.kr)

I. 서론

과학의 발달에도 불구하고 과학적 방법론을 추구하는 일군의 학자들은 측정가능하고 계량화할 수 있는 연구의 영역에 집착을 하는 경향을 보이고 있다(송근원, 1991). 연구 방법도 대부분 선형적·단선적·환원주의적 인과관계에 치우친 방법론에 빠져들어서 자연과학과 사회과학간의 대화의 단절을 심화시켰다¹⁾. 이러한 경향은 기계론적 인간관과 결합되어 각종 조직구조와 관리전략에 있어서 인간소외의 문제를 간과하고 기술결정론에 집착하는 오류들을 파생시키고 있다.

시스템 다이내믹스는 사회시스템을 다중고리 비선형 피드백 시스템(multi-loop nonlinear feedback system)으로 파악을 하고 있다(Forrester, 1995:2). 특히 동태적 과정에서 발생할 수 있는 예기치 못한 변화과정을 사전적인 모델링을 통해 관찰하게 함으로써 의사결정에 도움을 줄 뿐 아니라 단선적 사고에 바탕을 둔 의사결정의 오류를 극복하는데 지대한 공헌을 해왔다. 이러한 점에서 시스템 다이내믹스는 하나의 기술(arts)이라기 보다는 시스템적 사고에 바탕을 둔 과학(science)이라고 볼 수 있는데, 이러한 주장은 Luhmann(1995)이나 Bertalanffy(1967)와 같은 학자들이 제시하고 있는 일반시스템이론(General System Theory: GST)과 최근의 복잡성과학(science of complexity)의 연구성과(Waldrop, 1992, Kauffman, 1993)들에 의해서 뒷받침되어질 수 있을 것이다.

본 논문은 일반시스템이론이 추구했던 시스템에 대한 추상적 이해를 좀더 구체화시키기 위해 시스템 다이내믹스의 시스템적 사고를 도입하여 ‘피드백 사고’, ‘동태적 사고’, 그리고 ‘사실적 사고’에 기반하여 사회시스템을 이해하고자 한다. 또한 불연속적이고 복잡성이 높은 시스템의 제 4 상태라고 일컫어지는 복잡계 시스템의 일종으로서 복잡적용시스템을 소개하고 이 시스템이 피드백 구조와 동태성하에서 갖는 특성들을 소개하였다. 마지막으로 사실적 사고의 관점에서 구체적 사회 현상에 이를 적용하기 위해서 죄수의 딜레마에서 나오는 협력모형을 Cellular Automata 기법을 활용하여 시뮬레이션을 하였다.

II. 일반시스템 이론과 시스템의 4가지 상태

시스템적 사고의 의미는 자연과학자와 사회과학자간에 차이를 보이고 있다. 이러한 차이

1) 사회과학의 방법론으로 널리 이용되는 선형회귀분석은 변수들을 선형결합을 통해서 나타낼 수 있다는 가정하에서 성립되는 것이다. 최근의 비선형회귀모형들은 이러한 한계를 극복하기 위해 등장을 하였지만, 여전히 선형회귀분석이 널리 사용되고 있는 실정이다.

점을 극복하기 위해서 많은 시도들이 현존하고 있는 상태이다. GST와 시스템 다이내믹스, 그리고 복잡성과학이 대표적인 이론들이다. 이하에서는 시스템 다이내믹스의 입장에서 피드백 사고, 동태적 사고가 시스템적 사고의 핵심을 이룬다는 점을 지적하고, 최근에 새롭게 등장하고 있는 시스템의 제 4 상태라고 일컫어지는 복잡계 시스템을 간략히 소개한다.

1. 일반시스템 이론(General System Theory : GST)

전통적 시스템 이론의 원류는 데모크리투스의 원자론에 대한 반론으로서 제기된 아리스토텔레스의 생기론 혹은 동양사회의 음양5행설 등에서 찾을 수 있을 것이다. 그러나 본 연구에서는 자연과학과 사회과학의 대화를 본격적으로 시작하게 하고, 현대적 시스템 이론을 체계화 한 헝가리의 과학자 Von Bertalanffy의 이론을 중심으로 살펴보기로 한다.

Bertalanffy는 비엔나에서 수학한 생물학자이며 소위 비엔나 학파의 일원이었다. 그의 연구의 핵심적 주제는 첫째, 기계적(mechanistic), 환원주의(reductionistic)적 사고에 대한 반대였고, 다른 하나는 모든 과학들을 통합할 수 있는 종합적 과학(integral science)을 만드는 것이었다.²⁾ 이러한 Bertalanffy의 시도는 이른바 “일반 시스템 이론(General System Theory: GST)”으로 발전하게 되었다.

Bertalanffy의 GST 개념의 시작은 살아있는 유기체의 열역학과 엔트로피 법칙으로 칭해지는 열역학 제 2법칙 사이의 모순을 해결하는 데에서 시작이 된다. 이것은 개방 시스템과 폐쇄 시스템의 차이의 구분에 대한 통찰에 기반하는 것으로서 살아있는 시스템은 동태적인 상호작용을 하는 구성요소들로 이루어져 있다는 점을 지적하면서 과학은 시스템의 부분들(parts)과 과정(process)의 패턴을 통제하는 어떠한 법칙을 발견하는데 관심을 기울여야 한다고 주장하였다. 이러한 주장은 사이버네틱스, 시스템 다이내믹스, 복잡성과학에 이르는 현대의 시스템 이론에 핵심이 되어왔다. 그는 생태 시스템(ecology system)에서 적용되는 조직화, 총합적이지 않는 전체성(non-summativ wholeness), 통제, 자기 규제(self-regulation), 동종국성(equi-finality) 그리고 자기 조직화가 사회과학과 행태과학(behavioral science)에서도 적용이 된다고 하였다. 즉 생물학과 사회과학, 물리학, 화학을 연결하는 어떠한 보편적 특성을 갖는 과학을 찾을 수 있으며, 그러한 과학은 바로 시스템에 대한 이해에 기초한다고 보았다.

2) 종합적 과학을 만들기 위해서는 생물학, 물리학 등과 같이 분야로 나누어진 영역에 적용가능한 과학을 만들어져야 한다는 점에서 환원주의적 접근이 필요하다고 생각될 수 있으나 Bertalanffy는 과학적 개념이 확장주의(expansionism)를 추구하여 과학적 개념과 이론이 좀더 넓은 영역으로 확장되어 좀더 보편적으로 적용될 수 있어야 한다고 보았다는 점에서 환원주의를 반대했다고 볼 수 있다.

Bertalanffy의 GST에서 제시하는 시스템의 의미는 광의의 의미와 협의의 의미로 구분하여 살펴 볼 수 있다. 협의의 의미로서 GST는 전체(wholes)와 총체(totality)를 묘사하는 공식적인 수학적 묘사의 의미로 사용되어 진다. 이러한 묘사에 기초하여 시스템을 수학적으로 정의하면 다음과 같은 형태를 갖게 된다.

$$\frac{dQ_1}{dt} = f_1(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

$$\frac{dQ_2}{dt} = f_2(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

.....

$$\frac{dQ_n}{dt} = f_n(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$$

위 식은 ‘상호작용을 하는 구성요소들의 집합’이라는 시스템의 정의를 잘 묘사하고 있다. 즉 시스템 내부의 모든 원소 Q 는 여러 함수 f 에 의해서 동시에 결정이 되는 상황을 수학적으로 나타낸 것이다.

실제로 위와 같은 시스템의 정의는 시스템 다이내믹스의 기본 사고와 일치하게 된다. 시스템 다이내믹스의 모델에 있어서 Q_i 는 수준변수에 해당하게 되고 함수 f_i 는 변화율 변수를 의미하게 된다. 시스템 다이내믹스 모델의 경우에 많은 인과관계의 연결선(linkage)들은 하나의 수준변수에 여러 개의 변화율 변수들이 영향을 주는 모습들을 나타낼 뿐 아니라 변화율 변수 역시 여러 개의 다른 수준변수에도 영향을 받는 관계들을 나타내고 있다. Bertalanffy의 위와 같은 시스템 정의는 기본적으로 시스템 다이내믹스가 추구하는 시스템에 대한 이해와 일치한다고 할 것이다.

그러나 이러한 수학적 용어를 사용하지 않고 좀더 광범위한 의미로 GST를 사용하는 경우는 “시스템적 사고”를 의미한다고 할 수 있다(Strijbos, 1999). 시스템적 사고란 문제해결 과정을 체계적으로 접근하는 의사결정 양식으로서, “피드백사고, 동태적 사고, 사실적 사고로 구성이 된다”(김도훈, 문태훈, 김동환, 1999). 이 시스템적 사고는 사이버네틱스, 정보이론(information theory), 게임이론, 네트워크 이론들을 포함하는 광범위한 것이 된다.

이러한 두 가지 형태의 의미는 공통적으로 기계론적 세계관과 환원주의적 입장을 거부한다.

기계론적 세계관이 갖고 있는 특성과 문제점을 살펴보면 다음과 같다. 기계론적 세계관은 인간을 로봇적 인간형으로 가정하고 있다. 이러한 로봇형 인간형은 크게 다음과 같은 4가지의 원리에 의해 행동한다고 본다.

첫째원리는 인간의 행동은 외부적 자극에 대한 반응이라고 보는 것이다. 사람은 자율성

을 갖는 존재라기 보다는 수동적인 존재로 보는 것이다.

둘째원리는 외부 환경으로부터 오는 자극에 반응하는 인간은 과거로부터 오는 외부적 영향의 결과로서 행동을 하게 된다고 가정을 한다. 이러한 가정에 기초한 것이 바로 어떤 가정환경에서 자랐는지, 어떻게 교육되어왔는지, 범죄를 어떻게 예방하는지와 같은 영역에서 암묵적으로 사용되어진다. 이를 환경주의(environmentalism)라고 Bertalanffy는 개념화하였다.

셋째원리는 모든 자극은 균형상태를 파괴하게 되고 이러한 자극에 반응하여 원래의 균형을 회복하는 방식으로 인간은 대응을 해 나간다는 원리이다. 이를 소위 균형원리(equilibrium principle)이라고 이야기한다.

넷째 원리는 경제의 원리(principle of economy)로서 목적을 달성하기 위하여 최소한의 노력으로 이를 달성하려고 움직인다는 원리이다.

이러한 로봇형 인간형은 궁극적으로 인간의 행태를 동물의 행태로 환원시키는 역할을 수행하지만 한편으로는 유희(play)나 탐색적 행위(exploratory behavior), 그리고 창조적 형태(form of creativity)등을 무시하는 오류를 범하게 한다. 이 오류로 인해 현대사회의 소외현상과 다양성의 증가현상을 설명하는데 로봇형 인간관은 한계를 지니고 있다고 할 수 있다.

기계론적 인간형이 극단적으로 반영이 되는 것이 바로 기회주의(opportunism)적 인간형이다. 극단적으로 인간이 자신의 이익만을 추구하고 또한 상대방을 기만하면서 까지 자신의 이익을 극대화 하다는 기회주의적 인간형은 Williamson류의 신제도주의 경제학의 거래비용이론(transaction theory)과 대리인 이론(agency theory)에서 잘 나타나고 있다. 이 이론들에 따르면 정보의 비대칭하에서 대리인이 본인을 속이는 것이 일반적 현상이라고 가정하고 유인 설계나 통제지향의 조직구조와 같은 자극을 통해 균형을 달성하도록 요구하고 있다.

그러나 개인주의적 성향이 적고, 공동체 의식이 강한 사회일수록 대리인 문제는 발생할 가능성이 작다.³⁾ 따라서 기계론적 인간형에 근거한 사회현상의 해석은 인간소의 문제를 오히려 심화시키게 된다. 특히 개방체제에서는 폐쇄체제와 같은 안정적 균형상태가 존재할 수 없고 지속적인 불균형 상태의 연속이다. 의식을 갖고 행동하는 인간들로 구성된 사회 시스템 전체가 이기주의적 행태를 갖을 것인가는 논증되지 않은 가정일 따름이다.

그러나 Bertalanffy의 뛰어난 통찰에도 불구하고 GST 이론은 구체적인 현실 설명력이 없는 광범위한 이론에 불과하다는 비판에 직면하게 된다(Berlinski, 1976). 실제로 자연과학과 사회과학을 관통하는 어떠한 규칙을 찾아내고 이를 구체적인 사회현상에 적용하는 일은 매우 어려운 일이며, 시스템의 동태적 과정을 묘사할 수 있는 묘사 기법을 찾기 어렵다는 점

3) 이에 대한 연구는 고길곤, 학습과정이 조직의 협력에 미치는 영향, 서울대학교 행정대학원 석사학위논문(1999), 에서 다루어지고 있다.

에서 이 비판은 매우 설득력을 갖고 있다. 문제는 이러한 비판의 핵심은 시스템적 사고가 구체적이지 못한데 있다는 것이지, 그 이론 자체가 중요하지 않다는 것을 의미하는 것은 아니다. 시스템적 사고가 구체적이지 못하다는 것은 사실적 사고(*operational thinking*)⁴⁾를 묘사할 수 있는 방법론이 부족하다는 것이다.

시스템 다이내믹스는 GST가 철학적 이론적 논의에 치중하는 것과 달리, 수학적 모델과 시뮬레이션기법을 활용하여 사실적 사고를 구현하기 위해 노력을 한다. 뿐만 아니라 GST가 생태학적 전통이 강하기 때문에 항상성의 원리에 기반한 균형의 원리에 치중을 하는데 비해⁵⁾ 시스템 다이내믹스는 양의 피드백 루프를 강조하여 시스템의 역동성에 관심을 기울인다.

이러한 GST와 시스템 다이내믹스의 차이점에도 불구하고 기본적으로 사회를 하나의 시스템의 관점에서 접근을 하고, 시스템의 동태적 측면의 이해를 높이려는 점에서 양 이론의 공통점을 찾을 수 있으며, 특히 GST가 거시이론(*meta theory*)으로서 시스템 다이내믹스의 지평을 넓혀줄 수 있는데 도움이 될 수 있을 것이다.

뿐만 아니라 여전히 GST가 직면하고 있는 비판 즉 현실 설명력의 문제는 시스템 다이내믹스에서도 유효하다. 현대 사회의 다양화와 불확실성의 증폭은 미분방정식의 체계에 의존하는 결정론적 세계보다는 확률론적 세계가 더욱 중요시되기 때문에 변화율과 저장변수만으로는 설명하기 어려운 경우가 많기 때문이다.

아래에서는 이러한 불확실성이 존재하는 시스템을 시스템적 사고의 관점에서 살펴보고자 한다.

2. 시스템의 4가지 상태

비선형 공학의 발달은 컴퓨터의 발달을 필요조건으로 하여 발전해 왔지만 실제로 수학적 기초 위에서 전개 되어왔다. 고전적인 복잡성과학의 예로서 제시되던 Mandelbrot Set(Dewdney, 1989:108-111)과 프랙탈 이론 등은 실제로 프랙탈 기하학과 집합론에 기초하여 발전되어 온 것이 사실이다(Kaye, 1993). 따라서 많은 사회과학자들 사이에서 카오스 이론 등에서 제시하는 초기치의 민감성이나 불확실성이 자연과학적 언어로 오인이 되고 있는 것이 현실이다.

그러나 사회 현상 특히 인구수의 증가, 특정 상품의 소비량 궤적, 인터넷 상거래에서 고

4) 사실적 사고란 시스템의 요소와 관계성을 구체적으로 직시할때에만 시스템을 이해하고 조절할 수 있다는 사고방식으로서 변화가 실제적으로 어떻게 해서 일어나는가에 초점을 맞추는 사고이다.

5) 균형의 원리는 피드백 중에서 음의 피드백을 강조하는 경향과 통한다.

객의 수의 증가, 정보의 증가를 잘 묘사하고 있는 로지스틱 방정식의 원류는 멜더스의 인구론에 그 기반을 두고 있다. 이 장에서는 논의의 편의를 위해 로지스틱 방정식을 이용하여 시스템이 갖고 있는 불확실성을 보여주고자 한다. 이를 위해 먼저 로지스틱 방정식의 기원이 되는 멜더스의 인구론을 설명하고 로지스틱 방정식을 좀더 구체적으로 살펴보기로 한다.

1) 로지스틱 방정식의 개요

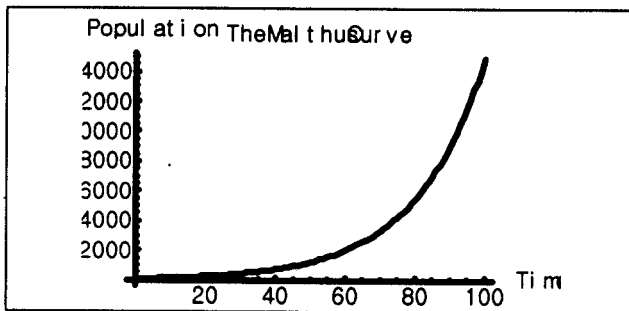
멜더스는 「인구론」⁶⁾에서 만일 인구가 일정한 비율로 증가하는 경우에 어떠한 문제가 발생할 것인가 하는 단순한 질문을 던졌다. 즉 현재의 인구를 y 라고 이야기할 때 만일 대재앙이나, 기근, 혹은 질병 등이 없다고 하면 다음기의 인구는 전기 인구에 비해 일정한 증가율 즉 k 배만큼 증가를 하기 때문에 인구폭발 현상이 곧 도래 할 수 있다고 주장하였다. 이러한 멜더스의 주장을 수학적으로 나타내보자. t 기의 인구를 y_t , 인구가 시간에 따라 증가하는 비율을 k 라고 이야기하면 $dy/dt = ky$ 의 관계가 성립한다.

이를 시간 t 로 적분하면

$$\frac{1}{y} dy/dt = k \rightarrow \int \frac{1}{y} \frac{dy}{dt} dt = \int k dt$$

$y(t) = y_0 e^{kt}$ 가 된다.

즉 인구는 시간의 흐름에 따라 지수분포적인 증가현상을 나타내게 되는 것이다. 만일 k 를 0.05로 주고, 초기 인구 y_0 을 100명으로 두었을 때 시간이 흐름에 따라 그 증가과정을 나타내면 아래 그림과 같이 나타난다.⁷⁾



6) <http://www.trmalthus.com/essay.htm> 에 보면 *An essay on the principle of population as it affects the future improvement of society* 라는 멜더스의 논문을 찾을 수 있다.

7) 시간이 100 정도 흐르면 약 14841 명으로 인구가 증가를 하게 된다. Mathematica 프로그램은 아래와 같다.

`y0=100;k=0.05;l=Table[y0*Exp[k*t],t,1,100];ListPlot[l, PlotLabel->"The Malthus Curve", AxesLabel->"Time", "Population"]`

그러나 위와 같은 멜더스적 접근방식은 한 가지 큰 문제점을 갖고 있는데 현실적으로 인구가 증가함에 따라 전쟁이나 자원부족에 따른 기아의 문제 등으로 인구성장률 즉 k 의 값이 감소할 수 있다는 점이다. 즉 양의 피드백(positive feedback) 효과만 고려하였고, 부의 피드백(negative feedback) 효과는 모형에 고려를 하고 있지 못하고 있다는 것이다. Pierre-Francois Verhulst는 이러한 부의 피드백 효과를 인구성장 방정식에 포함을 시켜야 한다고 지적하였고 이러한 것을 포함시킨 형태로 다음과 같은 인구성장방정식을 제시하였다.

$$dy/dt = ry - \mu y^2$$

여기서 μ 는 사망률(mortality)를 나타내는 개념으로서 인구의 지수분포적 성장을 제약하는 요인으로서 기능을 하게 된다. 이 μ 를 포함한 두 번째 항은 인구가 작은 경우에는 전체 인구수의 변화에 큰 영향을 주지는 못하지만 인구가 증가할수록 전체 인구수를 결정하는데 매우 큰 영향을 주게 된다. 이것은 작은 공간에 박테리아를 배양시킬 때 일정 수준을 넘은 박테리아의 개체수가 급격히 감소하는 현상에서도 확인할 수 있다.

이러한 Verhulst의 인구성장방정식은 후에 Logistic 성장방정식이라고 알려졌는데 이것을 좀 수정해서 살펴보기로 하자.

$$dy/dt = ry(1 - \frac{\mu}{r} * y)$$

이때 $K = \frac{r}{\mu}$ 라고 정의하면

$$dy/dt = ry \frac{(K-y)}{K} \text{가 된다.}$$

생물학자들에게 있어서 K 는 환경의 부양능력(carrying capacity of environment)라고 알려져 있고 r 은 재생식률(reproductive rate)이라고 불리운다. 위 식을 좀더 친근한 형태의 Logistic 방정식의 형태로 나타내보기로 하자. 일단 위 방정식의 Scale을 환경의 부양능력 한 단위당 인구의 수로 조절을 하면 환경의 부양능력 한 단위당 인구수를 x 라고 하면 $x = \frac{y}{K}$ 가 되고 위 식은 $dx/dt = rx(1-x)$ 가 되며 이것이 일반적으로 이용되는 로지스틱 방정식이다.

2) 시스템의 네 가지 상태

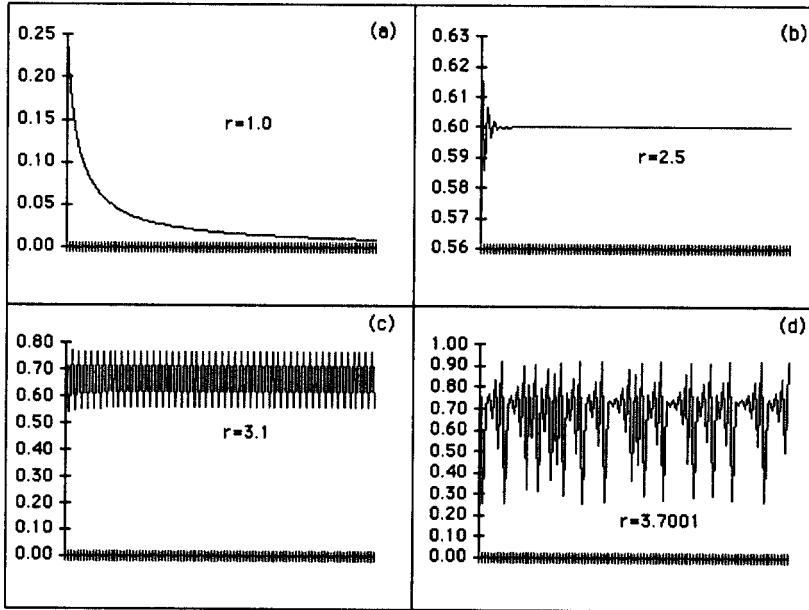
컴퓨터 연산기술의 발전을 기반으로 로지스틱 방정식에 대한 연구는 1970년대 수학자인 May에 의해서 좀더 구체화되었다⁸⁾. 이 연구는 시스템이 갖고 있는 불확실성과 다양한 상

8) 이 연구가 주는 함의는 크게 네 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 시스템의 세 가지 유형에 대한 논의이고, 둘째는 초기치의 민감성, 셋째는 프렉탈 구조 그리고 마지막은 발현(emergence) 현상이다. 이에 대한

태에 대한 아이디어를 제공해준다.

재생식물 (r)의 값이 변화됨에 따라서 저장변수인 x 가 어떻게 시간의 흐름에 따라 변화하는지를 그림으로 나타내면 아래와 같다.

그림 1 Output of Logistic Equation for Varying r



Note. Graphs represent output of the logistic equation : $x_{t+1} = rx_t(1-x_t)$, where $x_0 = 0.5$

그림 (a), (b)는 음의 피드백 작용으로 인해 시간의 흐름에 따라 일정한 점으로 수렴하는 시스템의 제 1 상태를 나타내고 있다. 그림 (c)는 일정한 주기를 갖고 순환 반복하는 시스템의 제 2 상태, 그림 (d)는 반복이 없이 카오스적으로 움직이는 시스템의 제 3 상태에 해당한다.9)

시스템이 위와 같은 세 가지 상태를 갖는 데에는 부의 피드백(negative feedback), 양의 피드백(positive feedback), 그리고 지연(delay)이라는 시스템의 특성이 핵심적인 역할을 수행한다고 할 수 있다. 부의 피드백의 대표적인 예로서 들고 있는 것이 온도조절장치로 이용되는 바이메탈이 대표적이다. 사회 시스템에서는 법규에 있어서 母法의 범위 내에서 행정재

구체적 내용들은 <http://kuba.korea.ac.kr/~leekj/1999f/se/material/kkk-week4.hwp>와 Kaye(1993:465-482)를 참고

9) 이러한 세 가지 시스템의 유형은 Mandelbrot set에서도 확인될 수 있으며(Kaye. 1993: 79~102), 1차원의 불연속 동태시스템(Discrete Dynamic system)에 대한 Wolfram의 연구에서도 입증되었다.

량을 부여하는 행위가 그 예라고 할 수 있는데, 이러한 것들은 공통적으로 시스템이 일정한 안정상태를 벗어나면 이를 제어함으로써 균형상태로 다시 회귀시키도록 하는 역할을 수행하게 된다. 이러한 부의 피드백에서 중요한 것은 일정한 범위내에서의 균형이 달성된다는 것이다. 예를 들어 25도의 온도가 균형상태라고 하면 실제로 26도로 온도가 갑자기 높아졌을 때 즉각적인 조정이 이루어지지 않고 서서히 조정이 이루어진다는 것이다.

양의 피드백은 시간의 경과에 따라 특정 효과가 증폭되는 현상을 보이는 경우인데, 대표적인 예가 바로 정보산업에서의 네트워크의 외부효과(network externality)이다. 윈도우 체제를 사용하는 사람이 늘어날수록 윈도우에 적합한 프로그램이 증가하고, 또 자료의 호환성이 높아져 다시 윈도우를 사용하는 사람이 늘어나는 경우가 예가 될 수 있다.

마지막으로 지연효과인데, 이러한 지연효과가 사회 시스템에서 특히 중요한 것은 인간의 인지과정과 이에 따라 반응하는 과정이 즉각적일 수 없고, 그 영향과 효과가 서서히 일어난다는 점 때문이다. 정책과정에서 정책의제로 설정되고 이것이 정책으로 채택되어 집행되고, 다시 환류되는 과정에서 발생하는 시차(time-lag)는 정책의 효과에 상당한 영향을 미치게 된다.

위와 같은 세 가지 기본 원인은 시스템 다이내믹스의 기본적인 시스템 이해원리라고 할 수 있다.

한편 이러한 시스템의 3가지 상태 이외에도 최근 복잡성과학 패러다임의 발전과 함께 시스템이 갖고 있는 제 4 유형으로서 복잡계 시스템(complex system)이 새롭게 확인되어졌다. Wolfram은 Cellular Automata를 이용하여 안정적이지도, 순환적이지도 않고, 또 카오스적인 상태도 아닌 어떤 중간 영역이 존재함을 보여주었다. 이 영역을 카오스의 언저리(edge of chaos)라고 불리기도 하는데 고체가 액체로 변화할 때 중간 단계의 액체도 고체도 아닌 상전이(phase transition) 상태가 존재하는 상태가 그 예가 될 것이다(Waldrop, 1992:198-240). 이러한 복잡계 시스템은 복잡적용시스템과 복잡비적용시스템으로 구분되어지는데 사회 시스템은 전자에 해당하게 된다.

III. 복잡적용시스템(Complex Adaptive System : CAS)

불연속적이며 불확실성이 높은 시스템을 시스템 다이내믹스의 시스템적 사고에 입각하여 살펴보기 위해서 이하에서는 복잡성 과학(science of complexity)에서 제시하는 복잡적용 시스템의 특성을 소개하고자 한다. 이 특성들은 궁극적으로 피드백 구조와 동태성을 통해서 이해될 수 있는 것들이라고 할 수 있다.

1. 복잡적용시스템으로서의 사회

사회현상에서는 시스템의 복잡성 자체 보다는 왜 복잡성이 발생하고, 어떻게 복잡성 시스템에 적용을 해나갈 것인가의 문제가 오히려 중요한 문제가 된다.

복잡적용시스템으로 사회를 해석하는 이유는 크게 세 가지 이유에 기인한다. 하나는 복잡성이 매우 일반적인 현상이라는 점이고, 두 번째는 사회가 피드백 루프를 갖는 시스템이라는 것이고, 셋째는, 경계와 계층이라는 구조를 갖고 있다는 점, 마지막으로, 이러한 시스템이 무질서로 나아가지 않고 지속적인 균형을 추구하는 상태에 놓여 있다는 점이다.

먼저 첫 번째 현상은 직관적으로나 실증적으로 논증이 되어 왔다는 점에서(Simon, 1957)¹⁰⁾ 자세한 논의를 생략하고자 한다. 다만 엔트로피 이론의 입장에서 불확실성의 원인에 대해서만 살펴보고자 한다.

현재 시점에서 안정적인 시스템은 그 내부적으로는 엔트로피가 필연적으로 높아질 수밖에 없다. 특정 조직이 안정적인 상태에서 예측하지 못한 사건이 발생했을 때 조직이 받게 되는 충격의 크기 즉 엔트로피는 항상 불안정속에 시달리는 조직에게 다른 예측하지 못한 사건이 발생했을 때 겪는 충격보다는 훨씬 큰 것이 자명한 일이기 때문이다. 이처럼 하나의 시스템은 안정상태와 Chaos 상태를 필연적으로 지니게 되며 복잡성은 사회 시스템이 갖고 있는 본질적 속성이라고 할 수 있다.¹¹⁾ 이러한 카오스 상태의 경향은 특히 폐쇄시스템의 경우에 많이 발생하는데, 조직이 변화를 거부하고 종래의 지식에만 의존하여 통제지향의 설계를 하는 경우에 엔트로피가 증가하게 된다(Stacey, 1990).

두 번째로 피드백구조를 갖는다는 것은 이미 GST를 비롯한 시스템 다이내믹스에서 잘 논증되어 왔다. 이 피드백 구조가 가장 극명하게 드러나는 것이 기업의 의사결정 과정인데, 기업이 아무리 자신의 비용을 극소화하는 생산량의 최적점을 사전적(ex ante)으로 찾아도, 다른 기업이나 소비자들의 전략이나 선호가 바뀌어 버리면 이 전략은 사후적(ex post)으로는 최적점이 될 수 없는 상태에 직면하게 된다. 즉 기업의 의사결정은 본질적으로 다른 경제주체의 의사결정에 상호의존적일 수밖에 없는 것이다.

셋째, 경계와 계층을 갖는 구조의 측면에서 시스템을 살펴보는 입장인데 이 입장은 시

10) 이러한 논증에 결정적 기여를 한 것은 H. Simon과 March & Olsen 의 제한적 합리성에 대한 논의였으며, 실증적으로는 카오스 이론이 제시한 초기치의 민감성등을 들 수 있다.

11) Kauffman은 질서상태와 Chaos 상태의 중간에 존재하는 상태 즉 edge of chaos 하에서의 상태를 복잡성의 상태라고 이야기를 하고 있으며(Kauffman, 1993: p.234), Prigogine는 이러한 상태를 소산구조(dissipative structure)가 갖고 있는 분기점의(bifurcation point)의 영역이라고 이야기를 하고 있다(Prigogine, 1984). 예를들어 날씨의 경우 장기예측은 불가능하지만 2~3 일 동안의 단기적 예측은 가능한데 이렇게 장기적으로 보면 예측불가능한 불안정 상태이지만 단기적으로 보면 예측가능한 상태라는 점에서 비선형 피드백은 edge of chaos 상태에 존재한다고 할 수 있다(Stacey, 1995; p. 482).

시스템 다이내믹스에서 구조가 행태를 결정짓는다는 세계관과 통한다. 이러한 세계관은 복잡한 사회 시스템이 개방체제라고 볼 때 상위 시스템과 하위 시스템과의 피드백 루프를 이해하는데 큰 도움이 된다. 구조를 중심으로 시스템을 이해하는 경우, 상향식 접근(bottom-up approach)과 하향식(top-down approach)로 구분될 수 있는데 전자는 하위 시스템을 바탕으로 상위 시스템으로 접근해나가는 방식이고, 후자는 상위 시스템을 바탕으로 하위 시스템으로 접근해나가는 방식이다.¹²⁾

마지막으로 사회가 어떻게 복잡성 시스템에서 적응을 해 나갈 것인가의 문제이다¹³⁾. 이 질문에 대해서 지적 통찰력을 제공하는 것이 바로 생물학에서 발전되어진 진화이론의 관점이다. Wolfram(1986), Holland(1992), Koza(1992), Kauffman(1993) 등은 생물의 진화현상이 갖고 있는 특징을 컴퓨터 공학과 생물학에 적용을 시키는 과정에서 각각 cellular automata, 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 유전자 프로그래밍(genetic programming), NK 모델 등을 통해서 복잡성 시스템에서 적응을 하는 메커니즘을 설명하기 시작을 하였다. 복잡적용 시스템이라는 용어를 사용하는 이유는 사회라는 복잡성 시스템이 무한한 프랙탈 구조를 통해서 무질서로 나아가지 않고 안정적 질서로 나아가고 있다는 점에 기인한다. CAS의 대표적인 예들이 바로 기업과 같은 조직체, 생명체, 시장 등과 같은 것들이다. 이러한 이론적인 결과들은 복잡성 시스템을 구성하는 개체¹⁴⁾들이 적응과정에서 갖고 있는 특징적 현상들을 묘사하고 있는데 그 결과만을 소개하고자 한다.

2. 복잡적용시스템의 특성

1) 자기조직화의 원리

자기조직화(self-organization)란 시스템을 구성하는 수많은 요소(element)들이 무질서하게 움직임에도 불구하고 시스템 전체적으로는 일정한 패턴과 구조를 형성해 나가는 힘이 존재하는 현상을 지칭한다.

열역학 제2법칙이 갖는 함의에 대하여 Prigogine은 “혼돈속의 질서” 라는 말로 표현을 하고 있다. Kauffman 역시 복잡한 생명의 진화에 숨겨진 비밀을 찾아내는 과정에서 “질서

12) 시스템 다이내믹스는 기본적으로 상향식 접근을 추구하고 있다고 볼 수 있으며, Cellular Automata를 이용하는 경우에는 하향식 접근을 추구는 경우가 일반적이다.

13) 실제로 첫 번째 질문은 OR(Operation Research)에서 문제의 정의과정이라고 할 수 있고 두 번째 질문은 최적해를 구체적으로 탐색하는 방법의 문제라고 할 수 있다.

14) 여기서의 개체는 시스템 이론에서 하위 시스템이 될 수도 있고, 시스템을 구성하는 최소단위일 수도 있다. 엄격하게 구분을 하면 이 두가지는 서로 다른 속성을 가지고 있지만 여기서는 동일한 의미로 사용하고자 한다.

의 기원(Origin of Order)”이라는 말을 사용하고 있다. 엔트로피가 증가하여 안정적 시스템이 카오스 상태로 발전을 한다고 하면 질서가 존재한다는 말은 상호 모순적일 수 있다. 그러나 앞서 제시한 적응(adaption)의 개념을 사용하는 경우에 복잡성 시스템은 단순한 카오스 상태로 발전하지 않게 된다.

사회시스템에서 이런 예들을 찾아보면 기업, 조직, 유·무형의 네트워크로 연결된 집단들을 들 수 있다. Coase(1937)가 제시하였듯이 기업들은 자율적인 시장질서가 초래하는 비용이 크다고 생각되면 하나의 의사결정 조직으로서 기업을 만들어 내는 것도 이러한 자기조직화의 한 현상이라고 할 수 있다.

Kauffman은 노벨 화학상 수상자인 Urey와 Miller의 연구에서 원시지구대기를 통해 생명의 기원이 될 수 있는 생명체가 탄생될 수 있다는 실증연구에 대하여 이러한 원시생명체가 현대의 생명체들로 발전할 가능성이 매우 희박하다는 사실을 지적하였다(Kauffman, 1993, Waldrop, 1992). Kauffman은 이러한 원시생명체가 안정적 상태를 유지하는 속에서 일정한 요동이 존재하고 이 요동이 어떤 자촉매(autocatalyst)역할을 하는 물체에 의해서 급격한 변화를 겪게 됨에 따라 진화가 가능하다고 보았다.¹⁵⁾ 화학작용에서의 촉매처럼 특정한 유전자형(genetic type)을 갖고 있는 생명체가 종전의 유전자형과 다른 형태가 탄생하도록 도와주는 역할을 자촉매가 수행을 하고¹⁶⁾ 이러한 상호작용의 결과 매우 빠른 속도로 생명체가 형성될 수 있다고 보는 것이다.

2) 자체강화(self-reinforcement)의 원리

자체강화의 원리는 양의 피드백 원리가 복잡적용시스템에서 존재함을 보여주는 것이다. 이 원리는 시스템이 자기조직화의 과정을 수행하는데 매우 중요한 역할을 수행한다. 1970년대 말에 PC가 일반에 보급이 되면서 운영체제(OS)로 MS사에서 DOS를 제작하였는데, 이때 IBM이 DOS를 채택하였다. 초기에 8비트의 Apple 컴퓨터와 IBM의 컴퓨터가 시장점유율을 놓고 치열한 경쟁을 벌이고 있을 때 Apple의 운영체제는 IBM의 운영체제와 달랐다. 그러나 IBM 컴퓨터의 사용자가 점점 늘기 시작을 하자 점차 많은 사람들이 DOS에 기반한 소프트웨어를 제작하여 판매를 하기 시작하였고, 이것이 DOS를 PC의 표준화된 운영체제로 자리잡게 하였다. 이 예처럼 동태적 시스템이 갖고있는 관성(inertia) (Hannan & Freeman, 1977)과 경로의존성(path dependency)이 시간에 따라 강화되는 현상을 자체강화라고 할 수 있다.

15) 이러한 주장은 물론 그의 NK모델을 통해서 잘 입증을 하고 있다.

16) Kauffman은 그의 이론을 바탕으로 최적해를 탐색하기 위해서는 끊임없는 교란(noise)가 시스템 내에 존재하는 것이 바람직하다는 것을 제시하였다(Kauffman, 1993; Lissack, 1999).

3) 공진화(coevolution)의 원리

Hannan & Freeman(1977)은 특정한 환경의 상태가 양립 가능한 상태에서 일정한 조직의 인구의 크기에 영향을 주게 되고 적절한 규모를 유지 못하는 조직은 경쟁에서 도태된다고 보았다. 이러한 환경결정론적 생각과 달리 복잡적용시스템으로서 사회를 보는 경우 환경의 중요성은 인정하지만 환경이 생명체와 공진화한다고 본다(Kauffman, 1993).

공진화하는 복잡적용시스템은 단순히 진화를 하는 복잡적용시스템과 다음과 같은 점에서 구분이 되어진다. 후자의 경우에는 시스템의 구성요소가 다음 세대에 복제되지 않고 따라서 선택은 시스템 전체에 대해서 일어난다. 그러나 전자의 경우에는 시스템의 구성요소들이 복제가 되고 시스템 전체 차원에서 선택이 일어나게 되고 개별 구성요소 수준에서도 선택이 일어난다고 보았다. 이러한 공진화의 원리에 따라 특정 시스템은 주어진 환경에 단순히 적응을 하는 것이 아니라 그 시스템의 적응과정에서 환경의 적합도지형(fitness landscape)을 변화시키게 된다.¹⁷⁾ 따라서 환경을 구성하는 하위시스템들은 현재시점에서는 주어진 환경에 적응을 하여야 하지만 동태적 측면에서 보면 자신들의 행동에 따라 환경이 변화하기 때문에 최적의 상태를 찾는다는 것은 매우 어려운 문제가 된다.

이러한 공진화의 원리가 제시하는 두 가지의 함의는 지속적인 변화가 복잡적용시스템에서 요구된다는 점이고 다른 하나는 시스템이 환경에 전체적으로 적응을 하기도 하지만 시스템의 구성요소들 역시 환경에 적응을 한다는 점이다.

시스템 다이내믹스에서 제시하는 시스템적 사고의 핵심에는 구조가 행태를 결정한다는 관념이 자리잡고 있다. 그러나 이러한 구조는 적응을 위해 움직이는 각 시스템의 구성요소들의 행태들에 의해서 변화될 수 있는 여지를 갖게 될 뿐 아니라 개방체제하에서 환경의 영향에 의해서도 그 구조가 변화할 수 있게 되는 것이다.

이러한 점에서 복잡적용체제로서 사회를 이해하는 관점은 앞으로 시스템 다이내믹스의 구조와 행태의 관계에 대한 이해의 지평을 넓혀주는 역할을 수행할 것으로 보인다.

IV. Cellular Automata를 이용한 업력모형

복잡적용시스템의 특성의 규명에도 불구하고 사실적 사고의 측면에서는 여전히 비판의 여지가 있는 것이 사실이다. 시스템 다이내믹스에서는 이를 극복하기 위해서 Vensim, Stella

17) 따라서 적합도지형을 주어진 함수의 형태로 묘사하기는 힘들다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 최근에 Koza(1992)의 Genetic Programming 기법이 널리 이용되고 있다.

와 같은 프로그램을 이용한 시뮬레이션의 중요성을 일찍이 강조해왔다. White 와 Engelen(1997)등은 Cellular Automata 기법 등을 이용하여 도시공학분야에 이를 적극적으로 활용해왔다.

본 논문에서는 이를 사회과학 영역에 좀더 구체적으로 적용하기 위해서 죄수의 딜레마 모형을 Cellular Automata를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

최근에 널리 소개된 신자유주의 모형은 경제체제에서는 시장질서의 자율성을 존중하면서, 정치적 질서 측면에서는 강력한 권위(authority)를 갖는 정부를 요구하고 있다. 이 모형의 기본 가정에는 신제도주의 경제학의 Williamson(1976)이 주장하는 기회주의적 인간형¹⁸⁾이 존재하고 있다. 이러한 기회주의적 인간형을 잘 묘사하고 있는 것이 죄수의 딜레마(prisoner dilemma)인데 이 모형은 궁극적으로 사람들은 협력보다는 서로를 속이는 것이 우월전략 균형임을 주장하고 있다.

이러한 전통적 죄수의 딜레마에 근거하는 경우에 권위를 갖는 관리자나 정부가 상호협력 상태로 갈 수 있도록 유인을 설계하여야 한다고 주장함으로써 자극에 반응하는 인간형 즉 로봇형 인간형을 암묵적으로 가정하고 있다. 그러나 후쿠야마가 지적하듯이 나라별로 신뢰(trust)라는 사회적 자산의 정도는 상이하다는 점을 고려하면 죄수의 딜레마에 있어서도 다양한 형태의 협력과 배반의 피드백 구조가 존재할 수 있다는 점을 유추할 수 있을 것이다. 이를 구체적으로 보여주기 위해서 여기서는 상호작용과 동태성을 전제로 하는 시스템적 사고를 죄수의 딜레마 모형에 포함을 시키고, 이를 Cellular Automata를 이용하여 모델링해 보고자 한다.

1. Cellular Automata

CA 는 시간과 공간이 불연속적인 시스템을 수학적으로 잘 구현하기 위해 사용되는 기법이다(Wolfram, 1994: 5). 이 기법은 불연속적인 시스템을 차원에 일단 구성을 한 후에 이 시스템이 시간의 흐름에 따라 일정한 규칙에 따라 진화 되어가도록 하는 일종의 프로그램 기법이라고 할 수 있다.

CA에 대한 이론을 최초로 정립한 것은 Von Neumann과 Ulam이 생물학적 시스템의 자체 재생산(self-reproduction)을 수학적으로 모형화 하는 과정에서 1940년대에 Cellular space 라는 개념을 등장시키면서부터라고 할 수 있다. 이 개념은 1971년 Cambridge의 수학자인

18) 기회주의적 인간형이란 합리적 경제인이 자신의 이익을 위해서는 타인을 속이는 행동까지 자연스럽게 할 수 있는 인간형을 의미한다(Williamson, 1976).

John Conway의 The Game of Life를 통해서 더욱 구체화되었고, 이것은 Wolfram에 의해서 더욱 정교한 형태를 띄어가게 되었다. CA는 미분방정식의 해를 불연속 근사(discrete approximation)를 통해 해를 찾아내는데 유용하다는 사실을 보여주고 있으며 유체역학(fluid dynamics)¹⁹⁾, 경제학, 플라즈마 물리학 등에서 널리 활용되고 있다. CA는 Neural Network의 아이디어와 같이²⁰⁾ 병렬 다중 프로세서 시스템을 활용하고 있기 때문에 단순한 알고리즘을 이용하여 복잡한 탐색공간을 효율적으로 탐색하는 장점²¹⁾이 있다.²²⁾ 특히 시스템에서 구조와 패턴이 어떻게 발전하는가를 간단한 룰을 통해 살펴볼 수 있게 해준다(Stevens. 1974).

CA는 일반적으로 다음과 같은 점에서 매우 유용하다고 할 수 있다.

- ① 수백만개의 개체들이 상대적으로 간단한 규칙에 따른 상호작용을 통해서 어떻게 시스템에 특정 패턴을 발현(emerge)²³⁾시킬 수 있는가를 이해할 수 있게 한다.
- ② 경제학적으로는 개인들의 행동의 패턴들이 경제시스템을 어떻게 동태적으로 변화시키는가를 이해할 수 있게 해준다.
- ③ 미분방정식의 형태로 표현하기 어려운 많은 개체들의 상호작용을 그래픽을 통해 나타낼 수 있다.

2. 구현 방법

사회시스템을 구성하는 개체들은 자신들만의 정보코드를 갖고 사회 시스템의 공간을 차지하게 된다. 이것을 2차원 공간위에 나타내기 위해서 우리는 공간을 분할하고, 이 공간에 임의로 각각의 개인들의 위치를 정해주고 이들이 상호작용하는 모습을 동태적으로 살펴보

19) 이 방면에서 D. Rucker의 Capow 6.2 버전의 프로그램이 대표적이다.

<http://www.mathcs.sjsu.edu/capow>

20) Neural Network에서는 인간의 신경세포의 작동원리를 응용하여 Dendrite(신경의 수지상 돌기)에서 Cell Body를 거쳐 Axon으로 정보가 흐르는 과정을 input processing element와 output processing element를 weighted connection을 이용하여 묘사하는데 이러한 탐색은 여러 신경세포가 동시에 정보를 탐색하는 병렬적 탐색의 과정을 거친다(Everhart, Simpson, Dobbin, 1996)

21) 병렬적 탐색의 유용성에 대해서는 Holland(1992) pp.2-10 참조

22) 이러한 점들로 인해 Santa Fe 연구소와 MIT의 Physics of Computation research Group에서는 CA기법을 더욱 발전시키고 있다.

23) emergency란 간단한 규칙을 따르는 수많은 Agent들이 상호작용을 통해 시스템 전체적으로는 전혀 예상하지 못한 일정한 규칙을 나타나게 하는 것으로서 자기조직화의 원리나 fluctuated equilibrium 등도 일종의 emergency 현상이라고 할 수 있다. 복잡성과학이 갖고 있는 장점중의 하나는 간단한 규칙을 통해서 나타나는 이러한 복잡한 질서를 찾아 낼 수 있다는 점이라고 할 수 있다(Epstein. Axtell. 1996:pp.51-52 ;<http://emergence.org/>).

는 방식으로 CA기법이 수행이 된다. 간단한 예를 들어 아래와 같은 형태의 행렬이 존재한다고 하자.

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

1의 값은 죄수의 딜레마에서 협력의 전략을 수행하는 사람이라고 하고, 0은 배반전략을 수행하는 사람이라고 본다면 다양한 전략의 집합을 나타내는 행렬이 된다. 이를 2차원 공간에 나타내기 위해서 아래와 같이 0의 값을 갖을 때는 연두색, 1의 값을 갖을 때에는 빨간색으로 나타내고 공간을 10*10 Cell로 분할하여 표시할 수 있다.

이렇게 분할되어진 Cell은 개체들을 나타내고 각 개체들의 정보는 색깔로 표현이 된다.²⁴⁾ 이러한 형태로 나타내진 값들이 서로 이웃한 점들 사이에 상호작용을 하게 되는데 이웃한 점들을 정의하는 Moore 이웃은 동서남북의 4방향과 북동, 남동, 남서, 북서 방향의 8점으로 정의가 된다. 즉 하나의 점은 모두 8개의 이웃을 갖게 되는 것이다.²⁵⁾ 이를 살펴보기 위해서 다음과 같은 예를 살펴보기로 하자.

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 10 & 11 & 12 \\ 13 & 14 & 15 & 16 \end{pmatrix}$$

24) 그러나 개체들이 보유하고 있는 정보가 많은 경우, 즉 협력이나 배반전략이냐의 문제 뿐만 아니라, 조직에 얼마나 오래 있었는지, 조직의 신뢰도는 얼마나 되는지 등의 정보등도 하나의 유전자 코드처럼 정보내에 포함시킬 수 있다.

25) 이러한 이웃(neighborhood)를 정의하는 방식은 Von-Neumann 방식과 Moore 방식이 대표적인데 전자의 경우에는 동서남북 네 방향에 위치한 Cell을 이웃으로 본다.

이 행렬의 마지막 행을 첫째 행 위에 붙이고, 첫째행을 마지막 행에 붙이고 다시 각 행의 첫 번째 Cell 앞에 각 행의 마지막 Cell을 붙이고, 마지막 Cell의 뒤에 첫 번째 Cell을 붙인 후 이 행렬을 Moore 방식에 의해 각각 분할하면 다음과 같이 된다.

$$\left(\begin{array}{c} \left(\begin{array}{ccc} 16 & 13 & 14 \\ 4 & 1 & 2 \\ 8 & 5 & 6 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 13 & 14 & 15 \\ 1 & 2 & 3 \\ 5 & 6 & 7 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 14 & 15 & 16 \\ 2 & 3 & 4 \\ 6 & 7 & 8 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 15 & 16 & 13 \\ 3 & 4 & 1 \\ 7 & 8 & 5 \end{array} \right) \\ \left(\begin{array}{ccc} 4 & 1 & 2 \\ 8 & 5 & 6 \\ 12 & 9 & 10 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \\ 5 & 6 & 7 \\ 9 & 10 & 11 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 2 & 3 & 4 \\ 6 & 7 & 8 \\ 10 & 11 & 12 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 3 & 4 & 1 \\ 7 & 8 & 5 \\ 11 & 12 & 9 \end{array} \right) \\ \left(\begin{array}{ccc} 8 & 5 & 6 \\ 12 & 9 & 10 \\ 16 & 13 & 14 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 5 & 6 & 7 \\ 9 & 10 & 11 \\ 13 & 14 & 15 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 6 & 7 & 8 \\ 10 & 11 & 12 \\ 14 & 15 & 16 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 7 & 8 & 5 \\ 11 & 12 & 9 \\ 15 & 16 & 13 \end{array} \right) \\ \left(\begin{array}{ccc} 12 & 9 & 10 \\ 16 & 13 & 14 \\ 4 & 1 & 2 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 9 & 10 & 11 \\ 13 & 14 & 15 \\ 1 & 2 & 3 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 10 & 11 & 12 \\ 14 & 15 & 16 \\ 2 & 3 & 4 \end{array} \right) \left(\begin{array}{ccc} 11 & 12 & 9 \\ 15 & 16 & 13 \\ 3 & 4 & 1 \end{array} \right) \end{array} \right)$$

위 행렬에서 1행 1열에 있는 행렬의 가운데에 1 번이 위치하게 되는데 이 1 번은 사람이 {16, 13, 14, 4, 12, 8, 5, 6}번 사람과 이웃하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이런 식으로 상호작용을 할 대상으로서의 이웃을 확정하고 나면 각 개체들은 서로 상호작용을 수행하게 된다.

CA를 이용한 죄수의 딜레마 모형에서는 1 번은 주위의 8 사람, 그리고 그 자신과 서로 상호작용을 하여 보수(payoff)를 얻게 되고 주위의 8 사람 역시 자신들의 이웃과 상호작용을 하여 보수를 얻는다. 이렇게 보수들이 얻어지면 주위의 사람들과 비교하여 가장 높은 보수를 얻은 사람의 전략이 무엇인지를 살펴보고 이를 다음 기의 전략으로 채택을 하게 되는 방식으로 진행된다. 본 연구에서는 간단한 시뮬레이션의 구현을 위해 중앙에 배반전략을 취하는 사람이 하나만 있고 나머지는 모두 협조전략을 사용하는 사람이 있는 상태로 초기상태를 만들어 놓았다²⁶⁾. 그리고 동태적인 전략의 변화과정을 묘사하기 위해서 아래와 같은 방식으로 각 개체의 색(color)을 할당하였다.²⁷⁾

26) 이러한 초기상태의 구현은 Axelrod(1984)의 침입자의 문제를 다루는데 적합하고, 조직이론에서는 조직의 부패에 있어서 부패한 사람이 어떻게 조직의 다른 구성원들을 몰들이는지를 살펴보는 현상들을 묘사할 수 있을 것이다.

27) 본 프로그램은 Gaylord & Nishidate(1996)의 기본 코드를 활용하여 Mathematica Ver.3.0으로 작성하였으며, 프로그램 소스는 kskkk@snu.ac.kr 로 문의하시기 바랍니다.

	현재 협조	현재 배반
전기 협조	파란색	노란색
전기 배반	녹 색	붉은색

3. 모형의 결과

전통적인 죄수의 딜레마는 1회 게임이었지만 여기서는 20회의 게임을 수행하는 반복게임의 형태로 진행이 되었다. 이러한 반복게임의 결과는 전통적인 예상과 달리 엄청나게 다양한 전략들의 집합을 보여주었다. 먼저 보수표가 다음과 같은 경우의 결과는 [부록 1]에서 확인할 수 있다.

	협 조	배 반
협 조	(2, 2)	(0, 5)
배 반	(5, 0)	(1, 1)

[부록 1]에서 처럼 초기에 배반전략을 취하던 사람은 다른 사람들의 행동에 영향을 주어 배반전략을 취하는 사람들 X 자 형태로 조직 내부에 퍼져나가는 것을 볼 수 있다.

그러나 보수표에서 상대방의 협조 전략에 대해서 배반을 수행했을 때의 보수를 4.6로 줄여 줄 때의 전략의 동태적 패턴은 부록 2]와 같이 카오적 현상을 보여준다²⁸⁾.

반면 부록 3]처럼 보수를 4.599로 주었을 때에는 배반전략이 동태적으로 다른 사람들에게 침투하지 못하고 주위의 몇 점들로 이루어진 정사각형의 형태에서 안정되어 버리고 만다. 한편 배반전략의 보수를 4.599에서 7로 주면 시스템 전체의 전략은 배반전략으로 바뀌어 버리고 만다.

이러한 결과는 배반행위를 했을 때 얻게되는 보수의 크기의 변화에 매우 민감하게 시스템 전체의 전략지형도가 바뀌고 있다는 사실을 보여주고 있으며, 직관적으로는 배반행위가 우월하게 보일지라도 실제로 나타나는 현상은 배반과 협력사이의 복잡한 전략지형들이라는 것을 보여주고 있다. 이러한 현상은 자신이 협력전략을 취하고 상대방이 배반전략을 취

28) [부록 2]의 그림에서는 20회의 실험의 결과이지만 실험을 200회로 증가시켰을 경우에도 매우 다양한 패턴들을 보여주었다.

하는 경우의 보수를 0에서 3으로 올려주어 협조의 전략의 우월성을 강화시켜주는 경우에 특히 잘 드러나는데 이 경우에는 부록 4처럼 전기와 현재의 전략이 바뀌는 노란색이나 녹색의 전략들이 전략지형도에서 증가하는 현상을 보이고 있다. 한편 둘 다 배반전략을 취하는 경우보수를 1에서 3으로 올려주어 배반전략의 우월성을 강화시켜주는 경우에는 전략지형이 배반전략으로 수렴을 하게 되는 것을 살펴볼 수 있다.

결론적으로 협력과 배반의 전략의 선택의 문제는 자신들이 얻게되는 보수의 크기에 민감하게 반응하게 되며, 이러한 보수의 크기의 작은 값의 변화에도 전략지형이 급속히 달라질 수 있다는 것을 보여주고 있다. 사회 현상의 경우에는 이러한 보수의 체계가 일정하게 주어진 것이라기 보다는 동태적으로 바뀌게 되기 때문에 전략지형의 복잡성은 엄청나게 증가를 하게 될 수밖에 없다.

이러한 관점에서 볼 때 비협조전략이 우월전략 균형이고, 따라서 이를 권위를 갖는 관리자나, 정부가 특정 상태로 유도를 한다고 보는 견해는 타당하다고 보기 어렵게 되며, 인간의 기회주의적 속성을 전제로 한 논의들은 다시 재검토 될 필요가 있을 것이다.

한편 이러한 복잡한 전략지형에 대한 논의가 불가지론으로 빠지거나 환경결정론(Hannan & Freeman, 1976)으로 빠지게 될 우려가 크지만 앞서 제시한 자기조직화, 공진화의 원리, 자체강화의 원리들은 복잡한 시스템이 엔트로피의 재앙에 빠지는 것을 극복하게 해준다는 이론적 발견들을 바탕으로(Kauffman, 1993, Kelly, 1995, Maxfield, 1999, 최창현 & 고길곤, 1999) 임계점(critical mass)에 대한 연구가 진행될 필요가 있다.

이 임계점은 앞에서 지적한바와 같이 상대방이 협조전략을 취하고 자신이 배반전략을 취하는 경우 보수값을 4.6에서 4.599로 바꿀 때 전혀 다른 패턴을 보이는 경우에서처럼 시스템 전체를 급격히 변화시킨다는 점에서 앞으로의 사회과학 연구에서 집중적으로 분석할 필요가 있다.

V. 결 론

시스템적 사고에 기초하는 경우에 사회시스템을 구성하는 개인들의 행동양식과 이를 통해 발현되는 사회 전체의 모습은 기계론적 인간형에 부합되지 않는다. GST는 시스템에 대한 이해의 폭을 넓히고 기계론적 인간형을 극복하는데 큰 공헌을 해왔음에도 불구하고 균형지향적 사고와 사실적 사고를 위한 구체적 방법론의 개발에 제약울 갖고 있다. 시스템 다이내믹스는 피드백 구조, 동태성, 사실적 사고라는 시스템적 사고의 기본 축을 이용하여 이러한 GST의 문제점을 점차 극복해왔다는 점에서 이론적 중요성을 찾을 수 있을 것이다.

반면에 시스템 다이내믹스의 시스템적 사고를 좀더 발전시키기 위해서는 시스템의 복잡성과 불확실성에 대한 이해를 높일 필요성이 있고, 복잡적용시스템에 대한 이해는 이러한 필요성에 부합된다고 할 것이다.

실제적으로 본 연구에서 다루고 있는 죄수의 딜레마 모형은 불연속적인 과정을 겪는 사회시스템에서 자신과 게임적 상황에 처한 주변의 사람들과의 피드백 관계를 묘사하고, 이것이 시간의 흐름에 따라 조직 전체에 어떠한 형태의 패턴으로 진행되어 가는지를 묘사할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

종래의 사회과학이론이 수렴과 순환의 두 가지 시스템의 상태에 관심을 기울여 왔고 이에 기초하여 부의 피드백을 일으킬 수 있는 통제장치의 구현을 위한 각종 통제장치와 인센티브 설계에 집중을 해 왔다고 하면, 앞으로의 사회과학의 이론은 복잡성 상태와, 카오스적 상태에 직면하고 있는 시스템에 관심을 기울여야 될 것이다. 특히 죄수의 딜레마에 대한 CA 시뮬레이션 결과를 통해서 확인할 수 있듯이 협력이나 배반이나 하는 간단한 의사결정의 과정도 엄청나게 다양한 양태들을 내포하고 있기 때문에 조직의 구조의 설계, 관리기법의 설계, 정치적 의사결정과정의 재구성에 있어서 단선론적 접근이 매우 위험하게 된다. 실제로 최근의 한국의 행정개혁이나 기업들의 구조조정 과정에서 등장하고 있는 각종 정책들은 자극에 반응하는 인간형을 가정하여, 인센티브의 설계에 초점을 맞추고 있지만 실제 인간은 상호작용을 통해 자생적 질서를 형성할 힘을 갖고 있다는 점에서 오히려 그들의 자율성과 창조성을 보장할 수 있는 형태를 찾아내는데 초점을 맞추어야 한다는 정책적 시사점을 던져주고 있다.

또한 시스템적 사고에 대한 반론들이 존재하고 있는 것이 사실이지만 컴퓨터 공학의 발달과 시뮬레이션 기법의 발달로 인해 CAS로서의 사회시스템을 묘사할 수 있는 유용한 도구들을 지속적으로 개발되고 있다는 점에서 반론의 정당성은 급속히 약화되고 있다. 본 연구에서 수행한 기초적인 협력과정의 모형 이외에도, 조직간의 의사소통 구조, 문화의 전파 과정, 시장의 가격결정과정과 같은 모형의 개발들이 시도 될 필요가 있으며, 이러한 연구결과들의 축적은 궁극적으로 사회시스템에 대한 이해를 한 단계 높여줌으로써 진정한 패러다임의 전환을 시스템적 사고에 기반한 시스템 다이내믹스가 이루어 낼 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김도훈, 문태훈, 김동환. 1999. <시스템 다이내믹스>. 서울:대영문화사.
- 노화준. 1998. “카오스 이론이 정책연구에 주는 시사점 분석”. <행정논총>. 제 36권1호.
- 송근원. 1991. “정책분석 및 평가에 대한 접근방법의 변천-실증주의에 대한 대안의 탐색”. <정책분석평가학회보> . 1(1). pp1~18.
- 최창현, 고길곤. 1999. “Searching for the Application of Complexity Theory to Organization Management: GA-based simulation”. *Proceeding of Organization Science Informs*. pp.179~210.
- Argyris, Chris. 1994. *On Organizational Learning*. Blackwell Publisher.
- Axelrod, R. 1984. *The Evolution of Cooperation*. New York:Basic Books.
- Carley, K. M. & Prietula, M. J. (Eds.). 1994. *Computational Organization Theory*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Coase, R. 1937. “The Nature of the Firm”. *Economica*. 4. pp.386~407.
- Dewdney, A. K. 1989. “A Tour of the Mandelbrot Set Aboard the Mandelbus”. *Scientific American*. February. pp108~111.
- Doran, J. & Gilbert, N. 1994. “Simulating societies: An introduction”. In N. Gilbert & J. Doran (Eds). *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena* (pp1~18). London: UCL Press.
- Epstein & Axtell. 1996. *Growing Artificial Societies*. Brookings Institute Press/MIT Press.
- Gleick, James. 1988. *Chaos: Making a New Science*. Penguin Books.
- Hannan, M. T. & Freeman, J. 1977. “The population ecology of organizations”. *American Journal of Sociology*. 82(5). pp929~964.
- Hegselmann, R. & Flache, A. 1998. “Understanding Complex Social Dynamics: A Plea For Cellular Automata Based Modeling”. *Journal of Artificial societies and Social Simulation*. 1(3).
- Holland, John H. 1992. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press.
- Kaye, Brian. 1993. *Chaos & Complexity*. VCH.
- Kauffman, S. A. 1993. *Origins of order: Self-organization and selection in evolution*. Oxford: Oxford

- University Press.
- Kelly, Kevin. 1995. *Out of Control : The New Biology of Machines, Social Systems and the Economic World*. Addison-Wesley.
- Koza, John. 1992. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. The MIT Press.
- Lissack, Michael R. 1999. Complexity- the Science, its Vocabulary, and its relations to Organizations. <http://emergence.org/complexity.htm>.
- Maxfield, Robert R. 1999. Complexity and Organizational Management. <http://www.ndu.edu/ndu/inss/looks/complexity/ch08.html>.
- Meadows, Donella H. 1991. *The Global Citizen*. System Dynamics Meets the Press. pp 1~12.
- Morecroft, J. D. W. 1985. "Rationality in the analysis of behavioral simulation models". *Management Science*. 31(7). pp900-916.
- Prigogine, Ilya & Stengers, Isabella. 1997. <혼돈으로부터의 질서>. 신국조(역). 서울:고려원 미디어; *Order out of Chaos*. New York:Bantam . 1984.
- Richardson, G. P. 1991. *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*. University of Pennsylvania Press.
- Senge, P. 1990. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*: Doubleday.
- Stacey, R. D. 1991. *The Chaos Frontier: Creative Strategic Control for Business*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Stacey, R. D. 1993. *Strategic Management and Organisational Dynamics*. London: Pitman Publishing.
- Stacey, Ralph D. 1995. "The Science of Complexity: An Alternative Perspective For Strategic Change Processes". *Strategic Management Journal*. 16. pp 447~495.
- Waldrop, M. M. 1992. *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. London: Penguin Books.
- White, R. & Engelen, G. 1997. "Multi-Scale Spatial Modeling Self-Organizing Urban Systems". Chpt 42 in F. Schweitzer, Ed. *Self-Organization of Complex Structure: From Individual to Collective Dynamics*. Gordon and Breach. pp 519~535.
- Wolfram, S. (Ed.). 1986. *Theory and applications of cellular automata*. Singapore: World Scientific.

Wolfram, S. 1988. *Emerging Syntheses in Science: Proceedings of the Founding Workshops of the Santa Fe Institute*. Addison-Wesley. pp183~189.

<http://emergence.org/>

<http://www.cssip.elec.uq.edu.au/~jackway/lypo.html>

<http://www.hf.uio.no/iakn/roger/lithic/CHAOS/complex7.html#anchor210143>

<http://www.santafe.edu/sfi/publications/working-papers.html>

<http://www.lcc.uma.es/jjf/gp/ga/GAsoftware.html>

<http://www.vensim.com/moldoc.html>

<http://www.geneticprogramming.com/Tutorial/index.html>

<http://sysdyn.mit.edu/papers-index.html>