

## 인공생명과 예술\*

김진엽·이재준\*\*

(서울대 미학과·홍익대 미학과)

21세기 문화에서 기술의 함의는 그 무게를 더해가고 있다. 살아있는 기계, 즉 자율적으로 스스로를 조직화하며 생명을 영위할 수 있는 기계의 여러 변용들이 이 시대 기술 현장에서 다양한 방식으로 실현되고 있다. 인공생명 연구는 컴퓨터 과학에 생물학적 개념들과 원리들을 적용한 최근의 예에 해당한다.

인공생명 연구는 현대 과학의 역사에서 물리학적 패러다임의 독주에 대한 생물학적 패러다임의 대응이라고도 볼 수 있다. 그리고 비록 인공생명연구가 컴퓨터과학의 한 분야에 속하는 것이긴 하지만 물리 세계와 생명 세계를 동일한 지

---

\* 이 논문은 2004년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2004-041- G00002(103092))

\*\* 김진엽이 제1 저자, 이재준이 제2 저자로 참여하였음.

**주 제 어:** 디지털 미학, 인공생명, 인공생명예술, 셀룰러오토마타, 린덴마이어시스템, 유전자알고리즘, 상호작용성, 자기조직화, 생명, 진화, 창발성, 복잡한 시스템, 칼 심스, 크리스타 좀머러, 케네스 리날도, 롭 러벨  
Digital Aesthetics, Artificial Life, Artificial Life Art, Cellular Automata, L-system, Genetic Algorithms, Interactivity, Self-organization, Life, Evolution, Emergence, Complex System, Karl Sims, Christa Sommerer, Robb Lovell, Kenneth Rinaldo

평에서 이해할 수 있는 지점을 확보하려는 기본적인 의도를 가지고 있다.

현대 예술은 오랫동안 문화 영역에서 과학적 세계관에 대한 비판적 태도를 취해왔다. 인공생명의 이념과 기술을 기반으로 한 인공생명 예술 역시 일정 부분 현대 예술의 이런 기능을 떠맡고 있다.

우리의 논문은 컴퓨터과학계에서 새로운 패러다임으로 평가받고 있는 인공생명연구에 대해 살펴보고, 인공생명 예술의 대표적 작품들을 소개함으로써 인공생명 예술 현상들을 조망할 것이다. 그리고 인공생명예술이 제시하는 미학적 특징을 전통적인 디지털예술의 상호작용성과 비교 분석할 것이다. 그럼으로써 우리는 인공생명 예술의 미학적 전망을 모색할 것이다.

## 1. 인공생명: 정의와 구현 기술

### 1.1. 정의

인공생명은 자기재생산(증식), 포식-피식, 교배, 번식 그리고 진화 등 생명현상에서 나타나는 여러 특징들을 직접 나타내거나, 혹은 그런 생명 특징들을 시뮬레이션하는 컴퓨터 프로그램이다. 인공생명 연구는 미국 남서부 로스앨러모스 국립연구소(Los Alamos National Lab.)와 산타페 연구소(Santa Fe Institute)에서 1990년대 이래 본격화된 컴퓨터과학의 한 분야이다.<sup>1)</sup>

크리스토퍼 랭턴(Christopher G. Langton)과 같은 제1세대 인공생명 연구자들은 생명을 탄소기반의 물질적 실체(즉, carbon-based life)로 보는 기존의 생명 정의에서 벗어날 것을 주장한다. 그 대신 생명을 타자와 상호작용하는 행위 형식으로 간주할 것을 제안한다. 왜냐하면 유기체와 컴퓨터 프로그램처럼 서로 다른 물질적 기반을 갖고 있는 두 시스템이 서로 유사한 행위특성을 보인다면, 그 행위 특성의 유사성에 근거해서 양자 모두 생명이라고 부를 수 있을 것이기 때문이다. 그래서 랭턴은 인공생명을 ‘가능한 생명(a possible life)’ 혹은 ‘있을 법

---

1) 이에 대한 자세한 설명은 Helmreich(2000: 29f)을 참조.

한 생명(the life-as-it-could-be)'이라 부르고 일종의 '새로운 생명현상'으로 규정한다(Langton 1989: 2-4).<sup>2)</sup> 이러한 정의는 기존 생물학 영역에 대한 일종의 과격한 도전이라고도 볼 수 있으며, 따라서 인공생명연구는 등장시기부터 여러 논란을 야기해왔다.

그러나 제1세대 연구자들이 인공생명을 단순한 시뮬레이션현상이 아닌 '새로운 생명현상'임을 확신하고 그것을 고수하려했던 데 반해, 현재 인공생명 연구를 주도하고 있는 제2세대 연구자들은 이들보다 더 현실적이고도 유연한 입장을 취한다. 제2세대 연구자들은 연구 현장에서 직접 활동되는 기법들의 개발과 응용을 더 중요시 한다. 그래서 그들에게 인공생명은 새로운 유형의 생명일 수도 있고, 또한 생명현상에 대한 시뮬레이션일 수도 있다고 말한다. "인공생명[연구]은 생명과 유사생명의 행위과정을 연구한다. 특히 인공적인 매개물, 즉 컴퓨터 테크놀로지를 사용하여 이 대상들을 종합한다. 인공생명 연구의 목표는 생명 시스템과 유사생명 시스템을 모델링할 뿐만 아니라 창조하는 일까지 포함한다"(Bedau 2002: 395). 이에 따라 인공생명을 세 가지 형태로 나누어 볼 수 있다(Bedau 2003: 505).<sup>3)</sup> '말랑한soft' 인공생명. 이것은 생명과 유사한 행위를 보여주는 시뮬레이션이나 여타의 순수한 디지털 구성물이다. 가령, 소프트웨어나 프로그램이 그것이다. '단단한hard' 인공생명. 이것은 인공생명 시스템들을 특정 하드웨어에 적합하도록 만들어 탑재한 것이다. 가령, 벌레로봇(즉, 스웜봇swarm-bot) 등이 그것이다. 그리고 '촉촉한wet' 인공생명. 이것은 생물화학적 기체(substances)들로부터 추출한 살아있는 시스템들이다. 가령, 생물학 실

2) 랭턴은 생명이 '조직화된 물질(organized matter)' 이 아니라 '물질의 조직화(organization of matter)' 현상이라고 말한다. 그리고 이에 대한 자세한 분석은 Langton(1991: 81f)에서 제시한다. 한편, 이러한 인공생명 연구자들은 "가능한 생명" 혹은 "있을 법한 생명"을 '유사생명(life-like)'이라고도 일컫는다. 반면 인공지능의 철학적 현상들을 오랫동안 연구했던 보덴은 랭턴의 주장과 달리 인공생명이 생명현상. 특히 지구상의 생명에 대한 연구를 위한 인포메이션 개념이자 컴퓨터 모형일 뿐이라고 주장한다(Boden 1996: 1).

3) 그리고 인공생명의 담론 구조를 분석하려는 헤일즈는 특히 소프트웨어로서의 인공생명 연구의 서사들에 주목한다(Hayles 1999: 225).

험실에서 컴퓨터의 도움으로 배양된 유기체들이 그것이다. 인공생명에 대한 제 2세대의 이러한 입장은 인공생명을 탄생시켰던 컴퓨터 과학에만 머무르지 않고 인공생명을 반대해왔던 생물화학의 영역까지 만족시킬 만큼 포괄적이라 볼 수 있다.

## 1.2. 구현 기술

인공생명을 구현하는 주요 기법에는 『세포자동자(CA: Cellular Automata)』, 『린덴마이 시스템(L-System: Lyndenmayer system)』, 『유전자 알고리즘(GA: Genetic Algorithms)』 등이 있다.<sup>4)</sup>

『셀룰러 오토마타』는 자발적으로 작동하는 수학적 계산 모형으로, 단순한 규칙에 따라 구성되지만 복잡한 행위 패턴을 보여준다. 『셀룰러 오토마타』는 행위를 통해서 자기를 조직화하는 생명 특성과 유사할 뿐만 아니라 생명의 형태발생을 이해할 수 있는 모형을 제공하기도 한다(Wolfram 1994: 115).<sup>5)</sup>

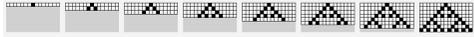
『규칙90』을 예를 들면, 0과 1의 상태를 가지는 3개의 세포로 구성된 1차원 셀룰러 오토마타가 다음과 같은 3가지 규칙을 가질 경우를 생각해볼 수 있다.

---

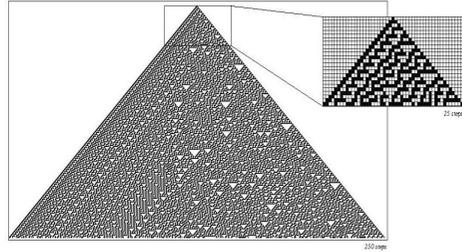
4) 김경중과 조성배는 위의 세 가지 주요 기법 외에도 『신경망(NN: Neural Network)』을 포함시킨다. 이 기법은 이미 인공지능 연구 영역에서 개발된 것으로, 컴퓨터 계산 구조를 인간 두뇌의 병렬적 신경망 구조와 흡사하게 모델링한 것이다. 과거의 컴퓨터 계산은 중앙 제어기에 의해 선형적으로 통제되는 구조를 가지고 있었다. 이 구조는 복잡한 문제 해결을 위해 필요한 다량의 데이터를 동시에 처리하지 못하는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 인간 두뇌의 신경망과 같은 병렬적인 계산 처리 모형으로 대체한 것이다. 이것은 주로 학습 알고리즘과 관련된다(Kyung-Joong, Kim and Sung-Bac, Cho 2006: 154-155).

5) 셀룰러 오토마타의 일반적 형식은 여러 개의 세포들 혹은 위치(site)들로 이루어진 오토마톤들의 집합이다. 오토마톤은 원래 자동인형을 의미하지만, 여기서는 자동적으로 계산을 수행할 수 있는 형식적인 논리 기계를 의미한다. 셀룰러 오토마타는 1차원 오토마타에서 다차원 오토마타까지 다양하다. 우리에게 가장 많이 알려진 것은 1950년대 폰 노이만식의 다차원 오토마타와 1970년 수학자 콘웨이(John Conway)가 고안한 『생명게임 the Game of LIFE』이 있다.

즉, ① 중앙 셀 좌우의 이웃 셀 상태가 모두 1이면 다음 시간단계에서 셀의 상태는 0이다. ② 중앙 셀 좌우의 이웃 셀 상태가 모두 0이면 다음 시간단계에서 셀의 상태는 0이다. ③ 중앙 셀 좌우의 이웃 셀들 하나가 1이면 다음 시간단계에서 셀의 상태는 1이다. 그리고 이것을 격자와



[규칙90을 8단계 진행했을 경우의 패턴]



[규칙30을 250단계 진행했을 경우의 패턴]

on/off 형식(1=■, 0=□)으로 바꾸어 8단계까지 진행시키면 특정한 패턴으로 진화하는 것을 확인할 수 있다.<sup>6)</sup>

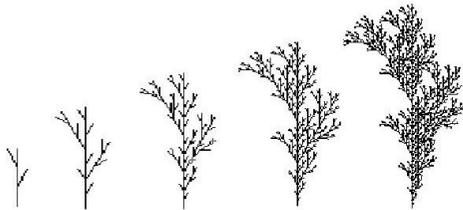
이것에 대한 아이디어는 1952년 처음으로 디지털 컴퓨터의 창시자들 중 한 명인 존 폰 노이만(John von Neumann)이 제공했다. 그의 아이디어를 1960년대에 아서 버크스(Arthur W. Burks)가 다시 발굴해서 보완했다. 이 『폰 노이만-버크스 모형』은 약 20만개의 셀로 구성된 『셀룰러 오토마타』였다. 현재 『셀룰러 오토마타』는 병렬 컴퓨터 계산 모형으로 알려져 있고, 특정 패턴을 자발적으로 산출할 수 있는 논리적 기계로 평가된다(Wolfram 2002: 876). 『셀룰러 오토마타』 기법은 급류의 운동 패턴에 대한 컴퓨터 계산 모형이나 혹은 표범의 보호 무늬 등 자동적인 패턴 발생에 대한 시뮬레이션으로 활용된다.

『L-시스템』은 생물학자 린덴마이어가 1968년 제안한 컴퓨터 계산 모형이다. 처음에 린덴마이어는 이 모델을 단순한 다세포 유기체의 형태가 어떻게 발생하는지를 연구하기 위해 설계했다. 그러나 『L-시스템』을 컴퓨터 프로그래밍했을 때, 단순 규칙으로부터 복잡한 모양으로 형성되는 이미지들은 마치 어린 식물이 점차 복잡한 형태로 성장해가는 현상과 매우 흡사했다(Lindenmayer 1968:

6) 울프램은 이진 코드 '01011010'을 십진 코드로 바꾸어 『규칙 90』이라 한다.



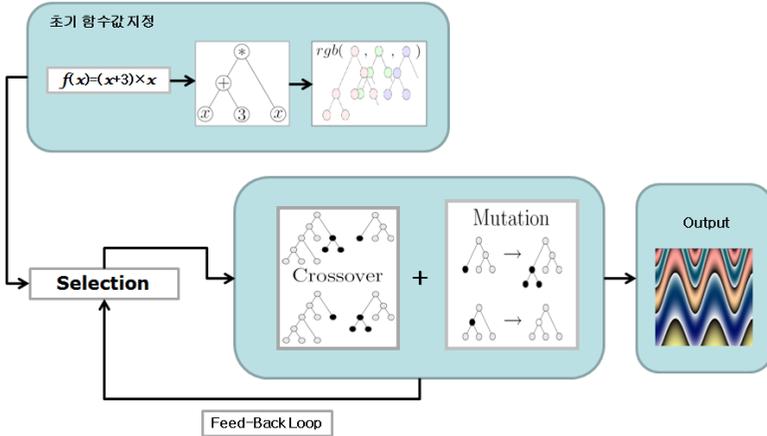
280-281, 그리고 Prusinkiewicz and Lindenmayer 1991: vi). 이 경우 L-시스템은 식물 성장의 수학적 이론이라고 볼 수 있다. 이 기법의 중심 개념은 ‘다시쓰기(rewriting)’이다. 일반적으로 ‘다시쓰기’란 초기의 단순 대상의 부분들을 계속 대체해서 궁극적으로 복잡한 대상을 파악하기 위한 기법이다. 가장 단순한 유형의 L-System의 하나인 DOL-System(Deterministic and 0 context L-System)을 예로 들어보자. 기본적으로 부분을 구성하는 요소는 ‘a’와 ‘b’이다. 규칙은 단순히 2가지이다. ‘b’는 ‘a’로 바꾸고(다시 쓰고), ‘a’는 ‘b 와 a’로 갈라진다. 그리고 이 규칙을 몇 단계 진행시키면, 복잡한 가지 패턴으로 분기한다



(Prusinkiewicz and Lindenmayer 1991: 3-4). 1980년대부터 이 시스템은 식물의 가지와 뿌리, 동물의 깃털 등을 CG로 모형화하는데 본격적으로 사용되었다.

『유전자 알고리즘』은 생명체가 최적화 상태로 진화하는 과정을 모형화한 기법이다(Mitchell 1997: 4아래). 일반적으로 지놈(genome)은 생명체를 형성하기 위한 유전정보의 설계도이라 할 수 있다. 가령, 인간의 지놈은 24개의 염색체(chromosom)으로 구성된다. 그리고 염색체는 네 가지 종류의 염기로 이루어진 이중 나선 구조의 DNA 유전자(gene)로 구성된다. 또한 유전자는 DNA들 중 유전에 작용하는 요소들이다. 『유전자 알고리즘』 기법은 그림에서처럼 DNA 염기코드를 특정 기호나 혹은 궁극적으로는 이진 코드 스트링으로 환원시켜, 여기에 진화원리들을 응용한다. 즉, 선택(selection), 교배(crossing over), 돌연변이(mutation) 등의 연산규칙을 활용한다.<sup>7)</sup>

예를 들어 색상의 패턴 진화를 위한 유전자 알고리즘으로 구현한다고 해



보자. 초기 RGB색상의 변화 함수를  $f(x)=(x+3)x$  라 하고, 이것을 그림처럼 컴퓨터 계산 알고리즘 형식으로 변형시켜 선택과 교배, 돌연변이를 반복해서 최적화된 이미지를 산출할 수 있다.

『유전자 알고리즘』은 1960년대 존 홀랜드에 의해 처음으로 개발되었는데, 『진화 컴퓨터 계산(EC: Evolutionary Computation)』의 영역에 속한다.

음악, 미술, 그리고 그래픽 분야와 관련해서 인공지능 테크놀로지는 『진화 컴퓨터 계산』과 『L-시스템』, 그리고 이 『셀룰러 오토마타』 기법들이 다양하게 종합적으로 응용되고 있다.

## 2. 인공지능예술

인공지능예술은 인공지능 테크놀로지로 구현된 예술현상이다. 그래서 그것은 인공지능의 정의와 원리들을 예술의 차원에서 구현한다. 인공지능예술은 인공지능

7) [www.ams.org/featurecolumn/archive/primer1.html](http://www.ams.org/featurecolumn/archive/primer1.html)

명 연구에 새로운 가능성들을 추가할 수 있다. 예술이 전통적으로 생명 의미에 대한 문화적 관심을 표명해왔을 뿐만 아니라 자연과학이 제공하는 자연 해석에 대해서도 비판적인 태도를 취해왔다는 점에서, 인공생명예술 역시 인공생명 연구가 제시하는 다양한 주제들에 새로운 전망을 제시할 수 있는 것이다(Teenhaff 1998: 399f).

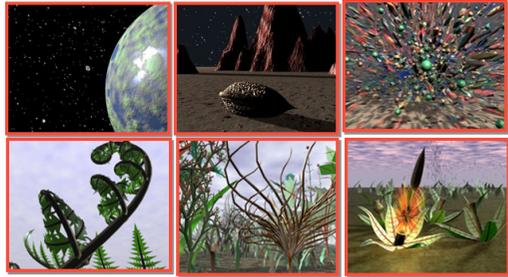
미첼 화이트로(M. Whitelaw)는 인공생명예술을 네 가지 영역으로 구분한다(Whitelaw 2004: 20f). 첫째, 컴퓨터 안에서 배양되는 인공생명예술작품들이 있다. 이 구분에 속하는 작가들은 칼 심스(Karl Sims), 스티븐 루크(Steven Rooke), 켄 머스그레이브(Ken Musgrave), 닉 재프니(Nik Gaffney), 윌리엄 래섬(William Latham), 제프리 벤트렐라(Jeffrey J. Ventrella) 등이다. 둘째, 컴퓨터와 외부 환경이 상호 작용하는 인공생명예술작품이 있다. 이 구분에 속한 작가들은 크리스타 좀머러와 롤랑 미뇨노(Christa Sommerer and Laurent Mignonneau), 록 러벨과 존 미첼(Robb Lovell and John Mitchell), 트로이 이노슨트(Troy Innocent), 존 맥코맥(John MacCormack), 나탈리 제레미젠코(Natalie Jeremijenko) 등이다. 셋째, 인공생명이 로봇 안에 구현된 상태로 실제 공간에서 스스로 움직이는 형태의 인공생명예술작품이 있다. 이 부류에 속한 작가들은 이브 아뮤 크랭(Yve Amu Klein), 케네스 리날도(Kenneth Rinaldo), 빌 보른과 루이-필립 데머스(Bill Vorn and Louis-Philippe Demers), 사이먼 페니(Simon Penny) 등이 있다. 그리고 넷째, 이 세 가지 구분에 덧붙여 전적으로 추상적인 이미지 표현을 산출하는 인공생명예술작품이 있다. 여기에는 폴 브라운(Paul Brown), 스콧 드레이브스(Scott Draves) 등이 속한다. 그러나 네 번째 영역의 작품들은 비록 추상적인 형태에 집중하고 있지만, 현상적 측면에서 볼 때 사실상 첫 번째 영역과 마찬가지로 컴퓨터 프로그램 안에서 발생시킨 이미지들로 구성된다. 따라서 첫 번째 영역과 네 번째 영역은 하나로 묶일 수 있다.

우리는 화이트로의 이런 네 가지 구분들을 수정해서 인공생명예술의 현상 형식에 따라 다음과 같이 대표적인 작가들의 작품을 세 가지 영역으로 나누어 분석하고자 한다. 첫째, 컴퓨터 안에서 배양된 인공생명예술, 둘째, 환경과 상호작용하는 인공생명예술, 셋째, 외부세계에서 개체로 살아 움직이는 인공생명예술

등이 그것이다.

## 2.1. 컴퓨터 안에서 배양된 인공생명예술: 칼 심스의 『팬스퍼미아(Panspermia)』(1990)

끝없이 아주 먼 곳에서 호두처럼 생긴 유성 하나가 황량한 원시 지구로 날아든다. 지구중력에 이끌려 폭주하던 그것은 작렬하면서 지상에 도달한다. 그 유성은 이내 알 수 없는 힘



에 이끌려 폭발한다. 이로 인해 신비한 우주의 힘을 간직한 고귀한 생명의 씨앗들이 산포된다. 이 씨앗들은 그로테스크한 형상으로 점점 자라나고, 꽃을 피우고, 다시 또 씨앗을 뿌린다. 지구는 온통 원시 식물들로 가득하다. 결국 범우주적 씨앗(panspermia)에서 발생한 지구의 모든 생명체가 우주의 흐름과 조응한다. 이것이 『팬스퍼미아』의 전말이다.

칼 심스는 인공생명예술의 선구적 역할을 한 인물이다. 인공생명연구의 1세대에 속하는 대니 힐리스의 싱킹 머신(Thinking Machine)사에서 그래픽디자이너로 일하던 심스는 진화생물학자인 리처드 도킨스(Richard Dawkins)의 영향을 직접 수용해서 인공생명예술의 장을 열었다(Sims 1991: 319).<sup>8)</sup> 심스는 『팬스퍼미아(Panspermia)』(1990), 『액체 자아들(Liquid Selves)』(1992), 『진화된 가상 생명(Evolved Virtual Creatures)』(1994) 등의 컴퓨터그래픽작품들과 일본 NTT ICC에서 전시한 인터랙티브 작품 『갈라파고스(Galapagos)』(1997)을 제작했다. 그 가운데 『팬스퍼미아』는 도킨스 이론과의 영향관계를 특히 잘 보여

8) 도킨스의 영향은 칼 심스에게만 국한된 것이 아니었다. 그는 또 다른 선구적 인공생명예술가인 W. 래섬(Latham)과 S. 토드(Todd)에게도 영향을 주었다(Haggerty 1991: 5-9).

주는 작품이다.

진화에 대한 도킨스의 핵심적인 생각은 진화가 돌연변이와 같은 유전적 충격을 통해 우연한 순간에 갑자기 이루어지는 것이 아니라 지속적인 자연선택의 누적과정에 의해 결정된다는 것이다. 그러나 이것을 증명할 수 있는 방법은 시간 한계상 거의 불가능에 가깝다. 그래서 도킨스는 자신의 생각을 증명하기 위해 수십억 년 동안 지속되어온 진화의 역사를 일순간에 실험할 수 있는 방법을 생각한다. 1980년대 중반 그가 생각해낸 것이 바로 교배(crossing over)와 돌연변이(mutation), 그리고 선택(selection) 등의 몇 가지 진화 매개변수를 이용한 컴퓨터 프로그램이었다. 이 진화 컴퓨터 계산 모형은 놀라게도 전혀 예측하지 못했던 2차원 가지 구조의 형상들을 만들어냈는데, 그는 이것들을 『바이오모र्फ Biomorph』라고 불렀다. 그는 몇 가지 규칙만으로도 진화를 시뮬레이션할 수 있음을 보여주었다(Dawkins 2004: 87아래).

『팬스퍼미아』라는 말은 모든 우주를 통해 생명이 포자나 미생물 형태로 존재한다는 생각에서 붙여진 명칭이다. 이것은 디지털 가상세계에서 독특하게 자기 증식하는 시스템이다.<sup>9)</sup>

『팬스퍼미아』는 3차원 입체이미지들로 된 유사생명체들이 성장하는 프로그램이다. 여기에 사용된 진화 원리들과 유전 원리들은 유전자형(genotype)과 유전형의 발현 특성인 표현형(phenotype), 선택, 그리고 재생산(혹은 증식), 교차 등이다. 이것은 『유전자 알고리즘』 기법의 일반적인 연산자들로 이용된다. 심스는 여기에 나무의 성장을 시뮬레이션하는 『L-시스템』 기법을 응용했다. 그리고 이 두 기법을 인공지능 언어인 LISP로 프로그래밍했다.

유전자형은 개체를 발생시키는 유전자 정보라고 할 수 있으며, 표현형은 유전자형에 의해 발현된 개체 자체라고 볼 수 있다. 여기서의 재생산은 생명의 자기 증식 원리를 모델링한 것으로, 유전자형이나 표현형에 의해 새로운 유전자형이 발생되는 것을 말한다. 그리고 특히 심스의 프로그램에서, 선택은 자연의 진화에서 이루어지는 선택과 달리 프로그래머의 직접적인 임의의 선택이거나 혹은

9) <http://www.genarts.com/karl/>