

팀 결성 분석을 위한 행위자 기반 시뮬레이션 모형

이성룡^{1†}

An Agent Based Simulation Model for the Analysis of Team Formation

Soung Ryong Yee

ABSTRACT

Agent based simulation is an approach for the analysis of a system's long term behavior where the entities in the system behave independently by their own judgement and memory, but influence each other to cope with given environment. In this paper we developed an agent based simulation model for the analysis of behavioral mechanism of team formation. In the process of team formation members' mutual preference is an important factor although each member can join up with one's own will. Also a team performance can vary by the member's own experience. We implemented the developed model using Netlogo 4.1, and verified the model by simulation. From the simulation results we found that the model successfully performed necessary functions using behavioral rules, judgments, and evolutionary processes by memory. As a further study we will be able to apply the model for analyzing various ecological behavior of team formation.

Key words : Agent based simulation, Team formation, Ecological analysis

요약

행위자 기반 시뮬레이션은 시스템을 구성하고 있는 개체들이 자율적인 판단과 기억에 의해 상호 영향을 주면서 주어진 환경에 대응할 때 일정 시간이 경과한 후 시스템에 어떠한 현상이 발생하는가를 관찰하기 위하여 사용된다. 본 논문에서는 팀 결성의 행태를 분석하기 위한 행위자 기반 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 팀의 결성은 팀 구성원 개개인의 선택과 판단에 의하지만 어느 한 개인의 일방적인 의사에 의해 이루어지기 보다는 여러 구성원의 상호 관계에 의한 것이라는 점, 그리고 이렇게 구성된 팀의 성취도는 경험이 반복될수록 변화한다는 점 등이 생태학적인 접근법을 가능하게 한다. 개발한 모형은 Netlogo 4.1으로 구현하였고 모의시험을 통해 검증하였다. 모의시험의 결과는 행위자 기반 시뮬레이션의 특성인 규칙의 적용 및 판단, 기억 및 진화의 속성을 잘 묘사할 수 있음을 보여주었다. 개발한 모형을 발전시킴으로써 팀 결성의 다양한 생태학적 분석에 적용이 가능하다.

주요어 : 행위자 기반 시뮬레이션, 팀 결성, 생태학적 분석

1. 서론

행위자 기반 시뮬레이션(Agent Based Simulation, ABS)은 시뮬레이션의 대상이 되는 시스템을 구성하고 있는 개체들이 자율적인 판단과 기억에 의해 상호 영향을 주면서 주어진 환경에 대응할 때 일정 시간이 경과한 후 시스템

에 어떠한 현상이 발생하는가를 연구하는 시뮬레이션 기법으로 ABM(Agent Based Model)으로도 알려져 있다.

행위자 기반 시뮬레이션에서는 대상이 되는 시스템을 분석하기 위하여 각 개체의 행위에 근거하여 Bottom-up으로 접근한다. 이것은 시스템을 전체적인 차원으로부터 분석한 후 시스템을 구성하는 각 개체의 결과적인 현상을 관찰하는 Top-down 방법과는 구별이 된다. 즉, 행위자 기반 시뮬레이션을 이용하면 개체의 단순한 행동규칙과 개체 간의 상호작용에 관한 정의만으로도 수식을 통해 설명하기 어려운 시스템적인 현상에 접근할 수 있다. 예를 들어 지적 능력이 없는 새 들이 어떻게 일정한 형태로 무

접수일(2010년 12월 2일), 심사일(1차 : 2010년 12월 13일), 게재 확정일(2010년 12월 15일)

¹⁾ 한국외국어대학교 산업경영공학과

주 저자 : 이성룡

교신저자 : 이성룡

E-mail: sryee@hufs.ac.kr

리를 지어 비행할 수 있는지, 혹은 개미들이 어떻게 먹이를 찾아 질서 정연하게 행동하고 현대 기하학으로도 설명하기 쉽지 않은 집을 지을 수 있는 지 등을 묘사할 수 있기 때문에 행위자 기반 시뮬레이션은 생태학 연구 등에 주로 많이 적용되어 왔다^[4,7,12,13].

행위자 기반 시뮬레이션의 이와 같은 특징으로 인해 기존의 정형화된 분석적 모델로는 묘사하는데 한계를 갖는 사회, 정치 및 경제 시스템의 분석에 다양하게 이용되고 있음은 물론, 자동화 분야 혹은 물류 및 유통 분야 등 산업 시스템의 분석에도 활용되고 있다^[1,11].

이러한 행위자 기반 시뮬레이션의 활용분야 중 특히 자연계에서 대표적으로 비선형적이고 자율적인 행위자라 할 수 있는 인간의 집단적 행위에 대해 분석하고 이해하고자 하는 것은 흥미로운 분야임에 틀림없다^[3]. 이들 중 최근의 연구는 대부분 집단적인 의사결정문제^[14], 사회적 네트워크로 형성된 팀의 성과^[6], 구성원 각자의 지식이 집단의 지식에 미치는 영향^[10], 집단 구성원 상호간의 영향이 전체적인 부의 성장 등 환경에 미치는 영향^[2], 혹은 인구통계학적인 분포가 팀의 결속력에 미치는 영향^[5] 등에 관한 것이다.

본 논문에서는 대학의 교과과정 중에 있는 학생들이 과제 해결을 위해 프로젝트 팀을 결성하는 경우와 같이 반복적인 경험과 판단에 의해 팀을 구성할 때 각 구성원의 판단과 행위가 향후 팀의 성취도와 팀 구성 형태에 어떠한 영향을 미치는 가를 분석하기 위한 도구로서의 행위자 기반 시뮬레이션 모델을 개발하고자 한다.

일반적으로 대학의 각 교과목은 대부분 저학년에서부터 일정 규모의 팀 구성을 통해 과제를 수행하고 그 결과를 제시하도록 하는 팀 프로젝트를 진행하고 있는데, 학생들은 학년이 높아감에 따라 각자의 경험이 쌓이고 또한 학생 상호간의 친분관계에 따른 선호도가 달라짐에 의해 팀을 결성할 때마다 팀의 구성이 변화하고 이는 결과적으로 팀의 수행능력에 영향을 미친다. 이 때 팀 구성원 각자가 갖는 능력은 본인이 과거의 프로젝트 진행 시 프로젝트가 성공 했는가 혹은 실패 했는가의 경험에 의해 바뀐다고 볼 수 있는데, 이러한 각 구성원의 능력 변화와 이에 따른 팀 수행능력에 미치는 영향을 행위자 기반 시뮬레이션 모델을 통해 묘사 가능한지를 검토해 보고자 한다.

모델의 설계로부터 완성된 모델의 검증에 이르기까지의 과정을 체계화된 절차에 의해 설명하기 위해 본 논문에서는 2006년 제안되고 2010년에 수정안이 발표된 ODD (Overview, Design concepts, and Details)를 적용하고자 한다. ODD는 행위자 기반 모델을 구성할 때 이를 설명하

기 위해 개발된 표준 프로토콜로 우선 모형을 개괄하고, 다음으로 실제의 개념에 대해 설명하며, 끝으로 설계에 대해 상세하게 기술하는 세 부분으로 구성되어 있다^[8,9].

이러한 ODD의 프로토콜에 따라 개발된 행위자 기반 시뮬레이션 모형을 각 절에서 단계적으로 설명한다. 개발된 모형은 Netlogo 4.1을 통해 구현하고 모의시험을 통해 모형의 타당성을 검토하였다.

2. 개발 모형의 개괄

2.1 모형 개발의 동기 및 목적

일반적으로 대학의 교과과정 특히 공과대학의 교과과정은 이론을 바탕으로 한 실제적인 실험 혹은 습득한 지식을 실무적인 현장 문제에 적용해 보도록 하는 실용 위주의 관점에서 진행되는 경우가 많다. 이러한 경우 자료의 수집에서부터 자료의 분석을 통한 문제의 해석, 문제 해결을 위한 대안의 검토 및 문제의 해결에 이르기까지가 특정한 형식에 구애되지 않는 개방형 문제로 주어지는 경우가 대부분이고 이들은 주로 팀 프로젝트의 형태로 진행된다.

팀의 구성은 프로젝트의 성공 여부에 상당한 영향을 미친다고 여겨지기 때문에 특정 교과목이 팀 프로젝트를 포함하는 경우 학생들은 팀을 어떻게 구성할 것인가 하는 문제에 민감해 질 수 밖에 없고 누구와 프로젝트를 같이 할 것인가의 결정에 많은 고민을 하게 된다.

팀 구성을 위한 학생들의 선택 기준은 평소의 친분관계라든가 기존의 성적으로 대변되는 상대방의 능력, 평소의 생활에서 관찰되는 성실성, 그리고 과거에 함께 팀 프로젝트를 했던 경험 등에 의해 좌우되는 듯하다.

그러나 경험적으로 보면 프로젝트의 성공 여부는 이러한 친분관계 등과는 직접적으로 비례하지 않을 수 있으며 오히려 팀의 결속력, 적극성, 장애를 극복하는 능력, 그리고 발표력이나 리더십 등에 의해 결정된다고 여겨진다.

따라서 과연 어떠한 요소들이 팀의 결성에 영향을 미치고 또한 직접적으로 프로젝트의 성공여부에 영향을 미치는가 하는 것 등이 궁금해지며 이러한 점이 본 모형 개발의 동기라 할 수 있다.

팀을 구성하는 각 학생들은 각자의 생각에 따라 자유롭게 의사결정을 하므로 시스템의 전체적인 관점에서는 이러한 각 학생들의 행위가 독립적이고 자율적인 활동에 의한 생태학적인 특성을 보이게 된다. 따라서 행위자 기반 시뮬레이션을 통한 모형 개발이 가능하다.

따라서 본 모형 개발의 목적은 행위자 기반 시뮬레이션을 통해 팀 결성의 행태를 이해하고자 함이다. 즉, 개인

의 팀 결성에 대한 반복적인 경험이 팀 구성의 성격과 수행 능력에 영향을 미치는 행태를 시뮬레이션 모델을 통해 묘사 가능한 지를 검토하는 것이 목적이다.

2.2 변수 및 스케일

행위자 기반 시뮬레이션 모형에서는 여타의 시뮬레이션에서와 마찬가지로 관찰하고자 하는 내용을 속성으로 정의하고 이를 변수로 하여 그들 값의 변화를 모니터링한다. 즉, 정의되는 속성을 통해 시뮬레이션이 관찰하고자 하는 현실을 반영하게 되는데, 입력과 출력 변수를 대변하는 각종 속성과 이러한 속성들 간의 관계로 구성된다.

속성에는 행위자 각각이 소유하고 있는 특성을 반영하는 개별속성과 행위자 간의 관계를 설명하는 관계속성, 그리고 모의시험이 진행되면서 변화하는 내용을 반영하는 진화속성, 그리고 진화 속성에 영향을 주는 모의시험 결과에 대한 속성 등이 있다.

이러한 속성은 가능한 모의시험의 대상이 되는 현실을 반영하도록 구성되나 현실의 모든 내용을 세세히 모형에 반영하지는 못하는 것이 통례이다. 팀 결성 분석을 위한 모형의 경우 프로젝트의 성공여부에 영향을 준다고 여겨지는 학생 각자의 속성으로는 평균성적, 프로젝트 수행능력, 성실성, 진화력, 적극성, 자신감 및 기타 팀 프로젝트 수행에 영향을 미치는 특이한 성격 등을 생각할 수 있다. 하지만 행위자 기반 시뮬레이션 모형 내에서 이들 모두를 속성으로 정의하여 정량화시키기에는 무리가 따르므로 가장 특징적인 속성 몇 가지를 선택하여 전체적인 행태를 분석하기로 한다.

표 1은 본 모형에서 정의된 속성의 종류와 내용을 정리한 것으로 행위자 기반 시뮬레이션을 구현하는 단계에서는 변수로 프로그램 되어 판단과 기억을 위한 계산에 적용된다.

2.3 프로세스 개괄

모형을 구성하는 프로세스는 크게 두 단계로 구분된다. 첫 번째 단계는 학생 각자가 다른 학생을 찾아 팀을 구성하는 단계이고, 두 번째 단계는 구성된 팀이 프로젝트를 성공할 것인가를 결정하는 단계이다.

각 학생이 팀을 구성할 때에는 학생 상호 간의 선호도가 영향을 미친다. 학생 상호간의 선호도는 양방향으로 생성하며 이는 한 학생이 다른 학생에 대해 높은 선호도를 갖는다고 해서 상대 학생이 그 학생을 반드시 선호한다는 보장이 없다는 상황을 반영한다. 따라서 한 학생이 팀원을 찾을 때에는 자신뿐만 아니라 상대방도 그 학생을

표 1. 속성의 종류 및 내용

속성의 종류	내용	변수
행위자 개별 속성	프로젝트 수행능력	P
	자신감	K
	성격	C
행위자간 관계 속성	학생 상호간의 선호도	
진화 속성	프로젝트 수행능력	P
	자신감	K
결과적 속성	프로젝트의 성공여부	JV
	성공여부에 따른 진화 속성의 변화	

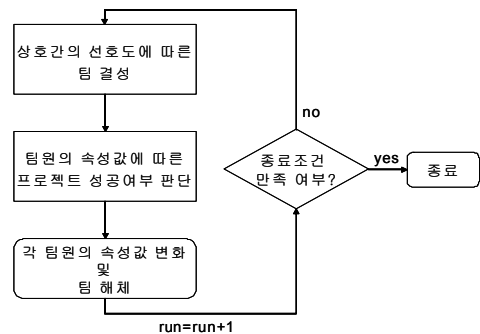


그림 1. 모형의 시뮬레이션 프로세스

선호해야 팀원으로 받아들일 수 있도록 프로세스를 구성하였다.

팀 구성의 프로세스는 팀 결성의 최소 인원과 최대 인원의 제약조건 하에서 이루어지도록 되어있다. 즉, 모든 팀은 최소 인원 이상 최대 인원 이하에서 구성되며 선호도에 따른 팀 구성 시 이러한 조건을 충족하지 못하는 인원과 초기 팀 결성과과정에서 팀의 배정을 받지 못한 인원 에 대해서는 선호도와는 무관하게 팀을 구성할 수 있도록 하였다.

일단 모든 대상 학생이 어느 팀인가 소속이 되도록 팀의 결성이 마무리되면 각 팀에 대해 프로젝트 성공여부를 결정하게 된다. 성공여부는 팀 내 구성원이 갖고 있는 현재의 각 속성 값으로부터 평균적인 수행능력 등을 산출하여 결정하고, 이렇게 결정된 팀의 성공여부는 팀에 소속된 구성원의 속성 값을 진화시키는데 반영됨으로써 한 번의 모의시험을 마치게 된다. 속성의 진화된 값은 다음의 모의시험에서 성공여부를 결정하는데 영향을 주게 되며 이 과정을 반복하게 된다.

그림 1은 모형의 전체적인 프로세스를 보여주고 있다.

표 2. 모형의 행동규칙, 판단 및 기억 기능 요약

프로세스	관점	행동규칙	판단	기억
팀 형성	행위자	각 학생에 대해 다른 학생의 선호도를 탐색	학생 상호간의 선호도가 기준을 초과하는 경우에 선호도의 순서로 후보자를 채택	같은 팀으로 배정된 학생을 리스트로 보관
	시스템	모의시험 별 학생 상호간의 선호도를 발생	—	하나의 모의시험 후 선호도를 지정하는 테이블을 리셋
		각 학생에 대해 후보자 목록을 작성	후보자 목록을 이용하여 팀의 최소 인원과 최대인원의 제한 범위 내에서 팀을 결성	결성 중의 팀원 명단을 보관. 팀 배정을 받지 못한 학생들의 목록은 따로 보관하며, 팀 배정을 받으면 목록에서 제외
성공여부 판단	행위자	팀의 성공여부에 따라 팀원의 각 속성 값을 변화	—	성공과 실패에 따른 속성 값의 변화를 개인별로 기록
	시스템	모든 학생이 팀에 배정되면 팀별 판단 값을 계산	팀 별 판단 값을 기준치와 비교하여 성공여부를 결정	—
모의시험 반복	시스템	팀 결성과 성공여부 판단이 완료되면 하나의 모의시험을 완료하고 팀을 해체	모든 학생이 팀에 배정되었는지를 검토	모의시험의 반복 횟수

3. 모형의 설계 개념

행위자 기반 시뮬레이션 모형의 특징은 행위자 개체의 행동규칙과 행동규칙에 따른 판단, 그리고 판단에 의해 결정된 행위에 대한 기억 등을 포함하는 것이다. 기억된 내용은 유사한 행위가 반복될 때 새로운 판단 기준을 형성하기 위해 피드백 되어 추후 행위에 영향을 미침으로써 진화되는 속성이 유지된다.

본 모형의 프로세스 단계별로 행동규칙, 판단, 기억을 정리한 내용이 표 2에 정리되어 있다.

4. 모형의 상세설계

4.1 상세 변수 및 초기화

시뮬레이션모형의 구현을 위해서는 변수의 정의와 초기화가 필요하다. 다음은 모형에서 정의된 전역 변수(global variable)와 초기화 값에 대한 설명이다.

- 1) 선호도 : 학생 상호간의 선호도를 나타내는 테이블 형태의 리스트로 하나의 학생에 대해 다른 학생에게 갖는 호감을 -2에서 2로 무작위로 발생하여 초기화한다. -2는 가장 기피하는 상황을 표현하고 +2는 가장 선호하는 상황을 표현한다.
- 2) 팀을 배정받지 않은 학생 리스트: 팀 배정을 위해 필요한 전역변수로 아직 팀을 배정받지 않은 학생들을 기록하며 팀을 배정받은 학생들은 리스트에서

제외한다. 초기 값은 모든 학생들의 리스트이며 이 리스트가 완전히 비게 될 때 한 번의 모의시험이 끝난다.

- 3) 팀 리스트: 팀의 구성이 끝난 팀의 팀원 구성 내용을 보관하는 변수로 이 리스트의 각 원소는 각 팀을 나타내므로 원소의 개수는 구성된 팀의 개수가 된다. 한편 각 원소의 내용은 각 팀을 구성하고 있는 학생들을 나타낸다. 초기 값은 빈 리스트이다.
- 4) 전체 학생의 수: 대상이 되는 전체의 학생 수를 나타내며 사용자가 인터페이스를 통해 지정할 수 있도록 한다.
- 5) 한 팀을 구성하는 최소와 최대 인원 수: 팀을 구성할 때 필요한 최소의 인원수와 초과해서는 안 되는 최대 인원수를 지정하도록 하며 이는 사용자가 인터페이스를 통해 지정할 수 있도록 한다.

팀을 구성하는 각 학생의 속성은 팀 프로젝트의 성공 여부를 판단하기 위한 값 계산에 영향을 미치며 또한 성공 여부를 결정된 뒤 기억을 통한 진화과정에 중요한 영향을 미친다. 이러한 행위자의 속성은 프로그램에서는 변수화가 되는데 아래에 이들 변수의 설명과 초기 조건에 대해 설명한다.

- 1) 학생의 능력(P): 학생의 프로젝트 수행능력을 대변하는 속성으로 프로젝트의 성공여부에 관계없이 프로젝트의 경험이 쌓일수록 능력은 향상된다고 가정한다. 한 학생의 초기 능력은 수행능력이 부족한 -1

에서 수행능력이 훌륭한 +1까지의 값을 무작위로 부여 받는다. 팀이 형성될 경우 팀의 전체 능력은 팀원 능력의 평균값으로 정한다.

- 2) 학생의 자신감(K): 프로젝트 수행에 대한 자신감은 학생의 능력 못지않게 프로젝트 성공여부에 결정적인 영향을 미친다. 이를 나타내는 변수로 초기에는 자신감이 부족한 -1에서 자신감이 충분한 +1까지의 값을 무작위로 부여 받는다. 프로젝트를 성공적으로 수행하면 값이 증가하고 실패하면 값이 감소하게 된다. 팀이 형성될 경우 팀의 자신감은 팀원 자신감의 평균값으로 정한다.
- 3) 학생의 성격(C): 학생의 성격을 정량화하여 성공여부를 판단하기 위한 값에 적용하기에는 많은 무리가 따른다. 하지만 행위자 기반 시뮬레이션 모형에서는 감수해야 하는 부분으로 본 연구에서는 학생의 성실성, 친화력, 혹은 고집스러움 등의 성격을 모두 하나의 변수 값으로 변환하여 나타내고자 한다. 이 값은 프로젝트의 경험과는 무관하여 경험에 따라 변하지 않는다고 가정하며, 팀 프로젝트의 성공에 기여하는 성격은 양수로 그렇지 않은 것은 음수로 표현한다. 한 학생의 성격에 대한 초기 값은 -1과 +1 사이에서 무작위로 정한다. 팀이 형성될 경우 팀의 성격은 팀원의 평균값으로 정한다.

시뮬레이션이 진행될 때 형성된 팀의 프로젝트 성공여부는 다음의 식 (1)을 통해 계산하게 되며 이를 판단 값(JV)이라 명명한다. JV는 형성된 각 팀 별로 계산되는 값으로 이 값이 사용자가 설정하는 특정 기준치 보다 큰 경우 팀 프로젝트가 성공하였다고 판단하고 그 밖의 경우 실패하였다고 판단한다. 여기서, α , β , γ 는 각각 수행능력에 대한 가중치, 자신감에 대한 가중치, 성격에 대한 가중치로 이들 가중치의 합은 1이다. 각각의 가중치는 팀을 구성하고 있는 팀원 각각의 능력(P), 자신감(K), 성격(C)을 합산하여 산술평균한 값과 곱하게 되며 이를 모두 합하여 JV를 산출한다.

$$JV = \alpha \times \bar{P} + \beta \times \bar{K} + \gamma \times \bar{C} \quad (1)$$

4.2 입력 데이터

위에서 정의한 전역변수 및 매개변수의 값 들은 사용자 인터페이스를 통해 입력할 수 있도록 설계하였다.

인터페이스를 통해 입력하는 전역변수로는 전체 대상 학생의 수, 최소 팀 인원수, 최대 팀 인원수 등이며, 매개변수에 대한 입력으로 학생의 각 속성 값에 해당하는 수

행능력, 자신감 및 성격 등에 대한 가중치를 입력한다.

한 번의 모의시험을 통해 팀의 구성이 완료되면 각 팀의 프로젝트 성공여부를 판가를 하게 되는데, 이때 팀을 구성하는 학생의 속성 값으로부터 위에서 설명한 JV 값을 계산한다. 사용되는 세 가지 속성 값의 비중은 계산 결과에 영향을 미치는데 각각을 사용자 인터페이스를 통해 직접 입력할 수 있도록 설계하여 다양한 값으로 변경하여 모의시험을 할 수 있도록 하였다.

본 논문의 시뮬레이션에서 사용한 각 입력 데이터의 상세한 값은 5절에서 설명하기로 한다.

4.3 하위 모형

전체 모형은 크게 두 부분으로 구성되는 것을 전술하였다. 각각은 프로그램을 위한 모형에서는 세부적인 하위 모형을 갖는데 예를 들면 학생 상호간의 선호도를 형성하기 위한 루틴 등이 그것이다. 프로그램 상에서 이 부분은 2x2의 테이블을 구성하는 하위 루틴으로 이루어져 있다.

팀 결성을 위한 루틴은 팀의 제한 인원내에 대한 조건이 변화할 수 있으므로 범용적인 로직의 설계를 위해서는 세심한 배려가 필요하다. 제일 먼저 주어진 조건에 따라서는 팀을 구성할 수 없는 경우에 대비해야 한다. 예를 들어 최소로 필요한 팀 인원과 최대로 가능한 팀 인원수의 합이 대상 학생 수 보다 큰 경우이다. 이러한 경우는 현실적으로는 발생하지 않겠지만 사용자 인터페이스를 통해 사용자가 임의로 데이터를 입력할 수 있도록 구성할 때에는 모형에서 배려함이 좋다.

또한 팀의 구성은 한 학생에 대해 선호도가 상호 높은 학생들을 선별하여 후보자들을 구성하고 이들 중 팀 구성 인원의 제한 조건 내에서 적절하게 팀을 구성하는 과정을 순차적으로 밝기 때문에 처음부터 전체 인원과 최소 최대 팀 인원과의 관계를 통해 팀 구성 시 조절을 하지 않으면 팀 배정과정에서 최종적으로 최소 인원의 제한 조건 보다 적은 수의 학생이 남아 팀을 형성하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 미처 팀을 배정받지 못한 남은 학생들을 위한 팀 구성의 루틴 또한 마련되어야한다.

그림 2는 하위 모형으로서 팀 결성을 위한 전체적인 루틴을 보여주고 있다.

5. 모형을 통한 시뮬레이션

5.1 시뮬레이션의 범위

시뮬레이션은 개발한 모형을 Netlogo 4.1을 통해 구현함으로써 행위자 기반 시뮬레이션의 기본 기능인 행위자

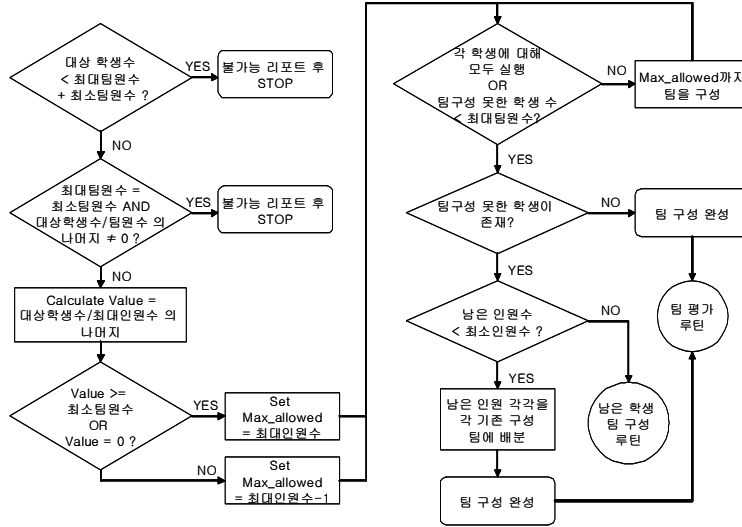


그림 2. 팀 결성을 위한 루틴

의 개별적인 행동규칙이 제대로 작동하는지, 행위자들 간의 상호작용이 제대로 작동하는지, 각 모의시험 단계별로 발생하는 결과가 반복되는 모의시험의 다음 단계에 피드백 되는지를 검토하였다. 즉, 기억의 메커니즘이 제대로 작동하여 진화되는 지, 그리고 이러한 메커니즘을 통한 진화속성의 변화를 읽어낼 수 있는지 등을 검증하는 차원에서 이루어졌다.

5.2 인터페이스 설계

사용자 인터페이스는 데이터를 입력하기 위한 부분과 모의시험결과를 관찰하는 부분으로 나뉘어져 있다. 각 모의시험 단계별로 팀이 형성이 될 때마다 각 팀에 해당하는 학생들을 서로 연결하여 보여주는 그래픽 창을 마련하여 모의시험이 진행되는 동안 다이내믹한 효과를 나타내도록 구성하였다.

대상 학생이 모두 팀을 형성하면 각 팀의 프로젝트 성공여부에 대한 평가가 이루어지는데 이때 계산되는 각 팀의 평가점수를 그래프로 나타내어 성공과 실패에 대한 변화와 이에 대한 추이를 한 눈에 파악할 수 있도록 구성하였다.

또한 학생의 프로젝트 수행능력과 자신감의 변화를 그래프로 표기하여 팀의 평가점수와와의 관계를 쉽게 관찰할 수 있도록 하였다. 이를 위해 수행능력과 자신감은 전체 학생 중에 가장 큰 값과 가장 작은 값 그리고 특정 학생에 대한 변화 추이를 그리도록 하였다.

표 3. 초기 모의시험의 전역변수 및 매개변수의 값

변수		사용된 값
전역 변수	대상학생의 수	50
	최소 팀 구성 인원	3
	최대 팀 구성 인원	5
매개 변수	수행능력에 대한 가중치(α)	0.4
	자신감에 대한 가중치(β)	0.5
	성격에 대한 가중치(γ)	0.1

5.3 입력 데이터

5.3.1 초기 시뮬레이션

초기 시뮬레이션은 구현된 모형이 팀 결성의 행태를 잘 나타내 줄 수 있는지를 우선적으로 검토하기 위하여 각 학생의 프로젝트 수행능력과 자신감을 나타내는 변수 값의 범위에 제한을 두지 않았다. 따라서 프로젝트의 성공과 실패를 판단하기 위해 계산되는 값의 변화에 제한이 없는 상태에서 시뮬레이션을 반복하게 되므로 일정 시점에서는 수동으로 중지를 하여야 한다.

표 3은 초기 시뮬레이션을 위해 사용된 전역변수와 매개변수의 값이다.

5.3.2 가중치에 변화를 둔 시뮬레이션

팀 결성 후 프로젝트 수행결과의 성패 여부는 팀을 구성하는 팀원 각자의 속성 값에 기반을 둔 판단 값에 의해 좌우된다. 따라서 팀 결성에 의한 행태를 분석하기 위해

서는 판단 값에 사용되는 가중치를 변화시키면서 시뮬레이션 해 볼 필요가 있다. 여기서는 대상학생의 수와 최소, 최대 팀 구성 인원에는 변화를 두지 않고 표 4와 같은 여섯 가지 매개 변수 값의 조합만을 사용하였다.

이 시뮬레이션에서는 각 학생의 수행능력과 자신감에 한계 값을 지정하여 판단 값이 무한히 증가하거나 감소하지 못하도록 하였으므로 시뮬레이션의 주된 관심사는 가중치 변화에 의한 수렴 속도라 할 수 있다.

5.4 시뮬레이션 결과 및 분석

5.4.1 초기 시뮬레이션

그림 3은 개발된 모형을 Netlogo 4.1로 프로그램 하여 구동한 첫 화면의 모습으로, 초기화 버튼을 눌러 초기화가 진행된 상태이며 50명의 학생이 생성되어 그래픽으로 표시되어 있음을 볼 수 있다. 현재는 모의시험이 진행되어 있지 않은 상태로 학생들이 서로 연결되어 있지 않으나 모의시험을 진행하여 팀이 결성되면 같은 팀에 소속된 학생들은 서로 연결된 선으로 표시된다.

본 논문에서는 팀을 구성하는데 사용되는 학생 상호간의 선호도가 모의시험이 진행될 때 마다 새롭게 지정되므로 선호도는 팀의 구성에만 영향을 준다.

판단 값은 현재 0을 기준으로 하기 때문에 0 보다 큰 값은 프로젝트의 성공을 0보다 작은 값은 프로젝트의 실패를 나타낸다. 프로젝트가 성공하면 해당 팀의 학생들은 자신감을 얻으며 각 학생의 자신감 값이 증가하고, 프로젝트가 실패하면 값이 감소한다. 한편 프로젝트의 수행능력은 수행능력 값으로 나타나는데 프로젝트의 성공여부에는 관계없이 경험을 반복할수록 증가한다.

그림 4는 모의시험을 반복 진행하여 성공으로 수렴하는 모습을 보여주고 있다. 초기에 자신감이 부족했던 학생도 소속된 팀의 성공에 따라 자신감이 향상되는 경험을 반복하여 결국에는 모든 팀들이 성공으로 수렴하고 있음을 알 수 있다. 이는 현재 프로젝트를 수행하는 능력이 과거 프로젝트의 성공여부에 영향을 받기 때문에 프로젝트 성공 경험이 많을수록 추후 성공 가능성이 높아짐을 묘사하고 있다.

이와는 반대로 그림 5는 실패로 수렴하는 경우를 보여주고 있다. 성공의 경우와 대비하여 특기할 점은 팀을 구성하는 학생들의 자신감 수준을 비교할 때 결국 프로젝트의 성공여부에 자신감이 많은 영향을 끼쳤고, 특히 전체 학생 중 최소 혹은 최대의 자신감을 보이는 학생의 속성이 전체적인 결과에 영향을 미치고 있음을 관찰 할 수 있었다는 점이다.

표 4. 가중치 변화에 따른 시뮬레이션 구분

시험구분	수행능력(α)	자신감(β)	성격(γ)
exp1	0.6	0.2	0.2
exp2	0.4	0.4	0.2
exp3	0.2	0.6	0.2
exp4	0.3	0.1	0.6
exp5	0.2	0.2	0.6
exp6	0.1	0.3	0.6

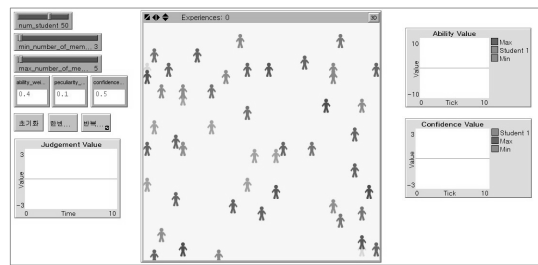


그림 3. 초기화 화면

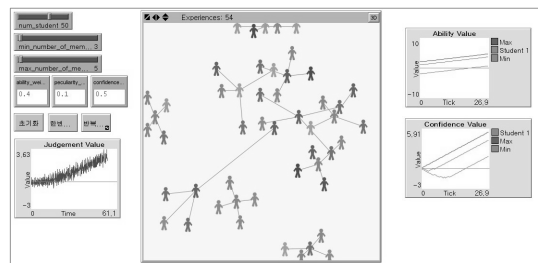


그림 4. 성공으로 수렴하는 경우

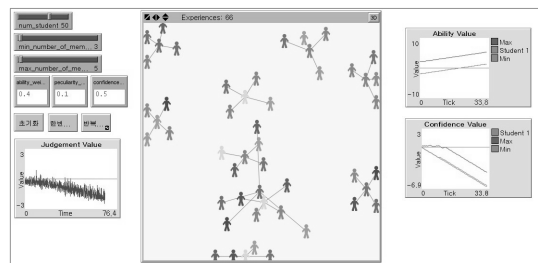


그림 5. 실패로 수렴하는 경우

모든 경우에 있어 반드시 성공 혹은 실패로 수렴하는 것이 아닐 수 있음도 발견할 수 있었다. 그림 6은 상당 기간 동안 성공과 실패를 반복하는 결과를 보여주고 있다. 이러한 모의시험을 통해 초기에 무작위로 생성되는 팀원 각각의 속성 값, 그리고 무작위적인 선호도에 따른 팀

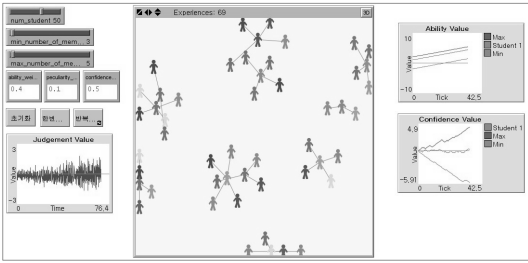


그림 6. 성공 혹은 실패로 수렴하지 않는 경우

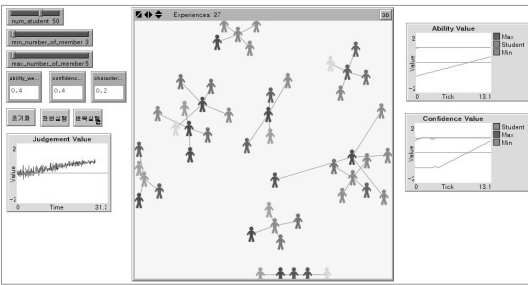


그림 7. 판단 값의 일정 수준으로 수렴

구성의 변화 등에 의해 전체적인 프로젝트 성공여부의 흐름이 바뀔 수 있었으며, 이러한 다양한 결과가 개발된 모형을 통해 구현될 수 있음을 확인하였다.

5.4.2 가중치에 변화를 둔 시뮬레이션

표 4의 가중치 조합별로 구분된 시험 세트 각각에 대해 각 30회의 모의시험을 반복(repetition) 수행하고 한 번의 모의시험에 대해서는 프로젝트의 수행결과가 성공 혹은 실패로 수렴될 때까지 팀을 결성하고 해체하기를 반복(run)하였다.

그림 7은 모의시험 결과 얻어진 화면의 한 예로 표 4의 exp2에 나타난 매개변수 값을 사용하였을 때의 결과이다. 이와 같이 가중치에 변화를 둔 모의시험에서는 각 학생의 수행능력과 자신감에 한계 값을 지정하여 판단 값이 무한히 증가하거나 감소하지 못하도록 하였으므로 성공 혹은 실패로 수렴을 하되 판단 값의 일정 수준으로 수렴하는 것을 관찰할 수 있었다.

각 시험 세트에 대한 평균 반복횟수는 수렴을 할 때까지 소요되는 시간을 나타내므로 이를 통해 가중치의 배분이 수렴속도에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

성격을 나타내는 변수 값은 수행능력이나 자신감을 나타내는 변수와 달리 각 run의 초기에 무작위로 결정된 후 팀의 결성과 해체가 반복되더라도 변하지 않는다. 따라서

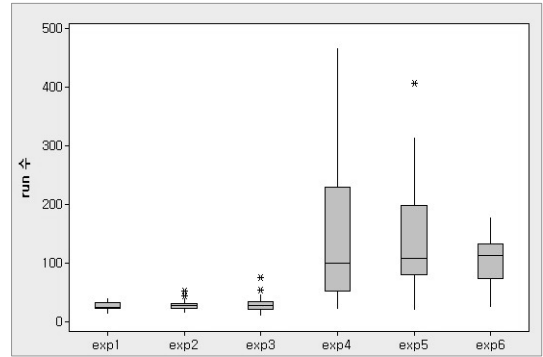


그림 8. 모의시험 구분에 따른 run 수 분포

표 5. 가중치에 변화를 둔 시뮬레이션 분석결과

구분	평균 run 수	성공수렴횟수	실패수렴횟수
exp1	27	30	0
exp2	29	30	0
exp3	30	27	3
exp4	145	30	0
exp5	148	30	0
exp6	107	20	10

성격을 나타내는 변수에 대한 비중이 상대적으로 큰 exp4~exp6보다는 수행능력과 자신감에 대한 비중이 높은 exp1~exp3가 빠른 수렴 속도를 보이리라 예상되었고, 이는 그림 8에서와 같이 시뮬레이션 결과를 통해 확인되었다.

표 5는 표 4의 각 시험 세트에 대해 행해진 모의시험으로부터 얻어진 데이터를 분석하여 정리한 내용이다. 표에서 평균 run 수는 구분된 시험별로 30번의 모의시험(iteration) 결과 얻어진 평균값으로, exp1~exp3의 군에 대한 값이 exp4~exp6의 군에서 얻어진 값 보다 작음을 알 수 있다. 이 평균 run 수는 성공 혹은 실패로 수렴되기까지 소요되는 시간을 의미하며, 각 군 내의 평균 run 수는 5% 유의수준에서의 t-test를 통해 차이가 없음을 확인하였다. 한편 군 간의 평균 run 수에 대해서는 5% 유의수준의 t-test에서 의미가 있는 차이가 있음을 확인하였다.

또한 다른 시험에서와는 달리 exp3과 exp6에서는 실패로 수렴하는 경우가 발생했는데 이는 다른 매개변수의 가중치와 상대적으로 비교했을 때 프로젝트의 경험을 쌓을수록 값이 증가하는 수행능력의 변수보다는 프로젝트의 성패여부에 영향을 받는 자신감 변수의 작용이 컸음을 반영하는 결과로 해석된다.

6. 결 론

본 논문에서는 팀 결성의 행태 분석을 위한 행위자 기반 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 팀의 결성은 팀 구성원 개인의 선택과 판단에 의하지만 어느 한 개인의 일방적인 의사에 의해 이루어지기 보다는 여러 구성원의 상호 관계에 의한 것이라는 점, 그리고 이렇게 구성된 팀의 프로젝트 성공여부는 경험이 반복될수록 변화한다는 점 등이 생태학적인 접근법을 가능하게 하고 이것이 행위자 기반 시뮬레이션을 통한 모형 개발의 동기가 되었다.

개발된 모형에서의 행위자는 학생이며 각 행위자는 주관적인 의사결정에 의해 팀 형성을 주도한다. 현실적으로 학생들이 팀 구성을 위해 사용하는 정보는 다양하겠으나 모형에서는 이를 단순화 하여 학생 상호 간의 선호도만으로 하였다. 학생 상호 간의 선호도에 의해 형성된 팀에 대해서는 프로젝트 성공여부에 대한 판단이 내려지는데 이때에는 팀에 소속된 학생의 능력, 성격, 그리고 자신감이 반영되도록 하였다. 한 번의 모의시험이 끝나면 각 팀의 성공여부가 팀원의 개별속성인 프로젝트 수행능력과 자신감에 반영되어 다음의 모의시험에 피드백 되도록 하였다. 이는 행위자 기반 시뮬레이션의 특징인 기억과 이를 통한 진화를 반영한다.

개발된 모형은 ODD 프로토콜을 통해 설명하였고, 시뮬레이션을 위해 Netlogo 4.1로 구현하였다. 시뮬레이션 결과 개발된 모형은 행위자 기반 시뮬레이션을 통해 나타날 수 있는 규칙의 적용 및 판단, 기억 및 진화의 속성을 잘 묘사할 수 있고, 이를 통해 팀 구성원의 개별적인 속성이 팀 결성과 팀 수행능력에 영향을 미치는 상황을 표현할 수 있다는 것을 관찰할 수 있었다.

한편 모형의 활용 시 정량화가 어려운 비선형적인 인간의 속성을 모의시험의 변수로 수치화하는 과정에서 변수 간의 관계 혹은 변수 값의 변화에 따라 결과 값이 변화하고 따라서 그 해석이 달라질 수 있다는 한계점을 갖고 있다. 따라서 팀의 형성 과정을 좀 더 심층적으로 분석하고, 팀의 수행능력에 가장 중요한 요소가 무엇인지를 밝혀내는 차원으로까지 모형을 발전시키기 위해서는 본 논문에서 사용된 각종 변수의 내용과 범위를 행위자의 속성과 행태를 좀 더 실질적으로 반영할 수 있도록 보완할 필요가 있으며 이는 추후 연구과제로 남는다.

참 고 문 헌

1. V. Albino, N. Carbonara, I. Giannoccaro, I., "Supply chain management models for industrial districts: an agent-based simulation study," *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, vol. 6, no. 3-4, pp. 332-348, 2009.
2. T. Araujo and M. Aubyn, "Education, neighborhood effects and growth: An agent-based model approach," *Advances in Complex Systems*, vol. 11, no. 1, pp. 99-117, 2008.
3. E. Bonabeau, "Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 99, suppl. 3, pp. 7280-7287, May 2002.
4. D.L. DeAngelis and W.M. Mooij, "Individual-based modeling of ecological and evolutionary processes," *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 36, pp. 147-168, Dec. 2005.
5. A. Flache and M. Mas, "Why do faultlines matter? A computational model of how strong demographic faultlines undermine team cohesion," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 16, pp. 175-191, 2008.
6. M.E. Gaston and M. DesJardins, "The effect of network structure on dynamic team formation in multi-agent systems," *Computational Intelligence*, vol. 24, Issue 2, pp. 122-157, 2008.
7. V. Grimm and S.F. Railsback, *Individual-based modeling and ecology*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 2005.
8. V. Grimm, U. Berger, F. Bastiansen, S. Eliassen, V. Ginot, J. Giske, J. Goss-Custard, T. Grand, S. Heinz, G. Huse, A. Huth, J.U. Jepsen, U., C. Jørgensen, W.M. Mooij, B. Muller, G. Pe'er, C. Piou, S.F. Railsback, A.M. Robbins, M.M. Robbins, E. Rossmannith, N. Ruger, E. Strand, S. Souissi, R.A. Stillman, R. Vabø, U. Visser, and D.L. DeAngelis, "A standard protocol for describing individual-based and agent-based models," *Ecological Modelling*, vol. 198, pp. 115-126, 2006.
9. V. Grimm, U. Berger, D.L. DeAngelis, J.G. Polhill, J. Giske, and S.F. Railsback, "The ODD protocol: a review and first update," *Ecological Modelling*, vol. 221, pp. 2760-2768, 2010.
10. C. Guttman and I. Zukerman, "Agents with limited modeling abilities: implications on collaborative problem solving," *Journal of Computer Systems Science and*

- Engineering, vol. 21, no. 3, pp. 183-196, 2006.
11. T. Wagner, "An agent-oriented approach to industrial automation systems," Agent Technologies, Infrastructures, Tools, and Applications for E-Services, LNCS 2592, pp. 314-328, 2003.
 12. U. Wilensky, NetLogo Ants model, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants>, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1997.
 13. U. Wilensky, NetLogo Flocking model, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Flocking>, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL, 1998.
 14. D.D. Wu, X. Kefan, L. Hua, Z. Shi, and D.L. Olson, "Modeling technological innovation risks of an entrepreneurial team using system dynamics: An agent-based perspective," Technological Forecasting & Social Change, vol. 77, pp. 857-869, 2010.



이성룡 (sryee@hufs.ac.kr)

1982 서울대학교 산업공학과 학사
1984 한국과학기술원 산업공학과 석사
1993 조지아 공과대학 산업및시스템공학과 박사
1994~현재 한국외국어대학교 산업경영공학과 교수

관심분야 : 행위자기반시뮬레이션, 공학교육기법