

에이전트기반 시뮬레이션을 활용한 건설프로젝트 조직 내 협업과정의 이해

손정욱* · 신승우¹ · 이준성¹

¹이화여자대학교 건축공학과

Understanding Collaborative Working Processes within Construction Project Teams Using Agent-Based Modeling and Simulation

Son, JeongWook*, Shin, Seung-Woo¹, Yi, June-Seong¹

¹Department of Architectural Engineering, Ewha Womans University

Abstract: Collaborative processes among team members including communication, coordination, and information-handling processes either during pre-construction or project execution are required in order to accomplish the objectives of construction projects. However, current construction management practice does not explicitly take the effect of organizational aspects on project performance into account. This paper introduces a method to understand collaborative processes in an explicit and systematic fashion. An agent-based simulation of collaborative working processes within construction project teams was designed from game theory perspective and implemented. The simulation produced both individual behavior and network dynamics. Individuals represented as agents made efforts to improve performance by communication and coordinating with other members, and overall team network was emerged as a result of interactions among members. Interestingly, it was found that the tendency of forming cohesive subgroups increased when sustaining relations with between-group partners incurs higher cost. The primary contribution of this paper is that it presented an explicit approach to examining collaborative working processes in construction project teams and it extended existing computational organization and network studies by integrating individual behavior models and network models.

Keyword : Construction Management, Project Organizations, Collaboration, Computer Simulation

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

1.1.1 연구의 배경

건설프로젝트의 성공적인 수행을 위해 의사소통, 협력, 정보공유 등을 포함한 구성원들 간의 협업은 반드시 필요하다. 확정된 생산정보, 공장작업, 반복조립생산, 분명한 달성 지표로 대표되는 일반적인 공장제조업과는 달리, 건설프로젝트는 일회성 제품생산을 위해 동태적으로 변화하는 작업 환경 속에서 진행되게 된다. 초기에는 프로젝트 수행에 필요한 도면과 시방서 등의 정보를 생성하기 위해 여러 하위 조직들이 모여 임시조직(temporary organization)을 구성하게 되며, 기능적·기술적·사업상 요구사항들이 만족될 때까지 정보를 재생산하게 된다. 임시조직내의 하위조직들은 건설프로젝트의 특성상 존재하는 기술적·조직적 상호연관성으

로 인해서 자신 고유의 업무뿐만 아니라 상호협업을 하게 된다. 개인이나 개별조직의 능력과 경험만으로는 건설프로젝트의 모든 업무를 효과적으로 수행하기 어려우며, 성공적인 수행을 위해서는 참여자들 간의 긴밀한 협업이 요구된다. 최근 프로젝트가 점차 대형화, 복잡화됨에 따라 협업의 필요성은 더욱 커지고 있다.

그러나 프로젝트 참여자들 간의 협업은 프로젝트 제반 여건들로 인해 제약을 받고 있다. 기획·설계·시공 등으로 이어지는 수직·체계적인 전통적인 업무방식에서 참여자들은 대가와 책임소재 등으로 인하여 적극적으로 협업에 참가할 동기를 찾기 어렵다. 건설산업 전반에 퍼져있는 기존의 생산방식을 고수하려는 문화 또한 참여자들 간의 협업을 어렵게 하고 있다. 최근 BIM(Building Information Model) 등의 기술발전과 더불어 참여자들 간의 협업이 용이해졌으나, 여전히 많은 경우에 있어서 제도적·문화적인 이유로 본격적인 활용이 어렵다.

특히 프로젝트 초기 단계에서 참여자들 간의 긴밀한 협업은 성과를 결정짓는 주요한 요인이 된다. 초기에 작성되는 도면과 시방서 등을 포함한 프로젝트 수행정보는 실제 수행단계의 효율성과 생산성을 결정짓게 된다. 많은 경우에

* Corresponding author: Son, JeongWook, Department of Architectural Engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea
E-mail: jwson@ewha.ac.kr
Received August 6, 2013; revised October 8, 2013
accepted December 13, 2013

초기단계에서의 미흡한 협업으로 야기되는 계획상의 잘못으로 인해 설계오류, 재시공, 설계변경이 빈번하게 발생하며, 이는 공기지연과 공사비초과 등으로 이어지고 있다 (Morris and Hough 1987, Lee and Pena-Mora 2007).

그럼에도 불구하고 프로젝트 조직 내의 협업과정이 성과에 미치는 영향에 대한 연구는 미비하다. 기존의 프로젝트 조직에 관한 연구는 성과측정, 파트너링, 조직혁신, 문화 등의 전략적인 측면에만 초점을 맞추었고, 분석적인 방법을 통해 이해하려고 하는 시도는 부족했다.

1.2 연구의 목적, 범위 및 방법

본 연구는 컴퓨터 시뮬레이션 기법 중 하나인 에이전트기반 시뮬레이션을 활용하여 프로젝트 조직 내 협업과정을 보다 명시적으로 이해하는 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 우선 문헌조사를 통하여, 건설프로젝트 수행 이전 단계에서 수행정보를 생성하는 과정에 초점을 맞추어 참여자들 간의 의사소통, 협력, 정보공유 등을 통한 협업적인 작업이 프로젝트 관련정보의 완성도에 영향을 미치는 과정에 대해서 알아본다. 이를 바탕으로 프로젝트 조직 내에서 참여자들 간의 협업적인 관계형성이 이루어지는 과정의 이론적 모델을 개발한다. 모델은 에이전트 시뮬레이션 기법을 사용하여 구현되며, 다양한 시나리오 하에서 테스트된다. 위에서 설명된 연구의 수행방법론이 Fig. 1에 제시되었다.

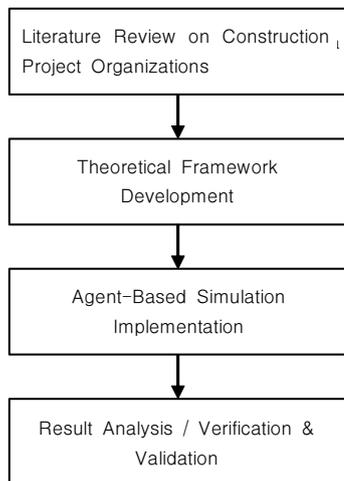


Fig. 1. Research Flow Diagram

2. 문헌조사

2.1 건설프로젝트 조직

건설프로젝트 조직은 건설산업의 특성에서 기인한 고유의 목적과 구성, 작업방식을 지니고 있다(Table 1). 일반적인 제조업과는 달리 건설프로젝트의 목적은 실제 수행에는 참가하지 않는 발주자에 의해 결정되게 되며, 프로젝트 전체의 효율성보다는 디자인과 가격 등과 같은 요소들에 의해 조직이 구성되고, 일반적으로 참여자들 간의 계약관계에 의해 업무가 진행되게 된다. 이러한 건설프로젝트 조직의 특수성은 같은 프로젝트가 반복적으로 수행될 수 없는 건설프로젝트의 일회성에서 기인한다. 환경(대지, 입지)과 사업여건(발주자, 용도, 규모, 기간, 예산) 등이 상이한 프로젝트를 수행하기 위해 발주자는 설계자, 엔지니어링, 시공자 등을 선정하여 프로젝트 조직을 구성하게 된다.

결과적으로 건설프로젝트 조직은 임시조직의 성격을 갖게 된다 (Cornick and Mather 1999). 임시조직은 일반적인 회사 내의 영구조직과는 대비되는 개념으로, 공통의 업무이해, 업무체계를 위해 정립된 조직구성, 정립된 작업방식, 수익성 산출을 위한 원가체계 등이 갖추어지지 않은 조직을 일컫는다. 임시조직적인 특성을 지닌 건설프로젝트 조직 내에서 동적·관계적 특성을 지니는 업무를 수행해야 하는 구성원들은 업무에 필요한 정보를 교환하거나 공동업무를 수행하기 위해 계속적인 조직의 재설계과정을 거쳐야 한다 (Ballard 2005).

기존에 건설프로젝트 조직 내의 협업과정의 문제점들을 분석하기 위한 연구들이 다양하게 수행되어져 왔다. 그 예로 Suk et al.(2005)는 계층분석방법을 이용하여 프로젝트 수행이전에 건축현장 조직의 수행능력을 정량적으로 평가할 수 있는 모델을 개발하였다. Fong and Lung (2007)은 조직구성원들의 문화적인 요인, 조직 내 신뢰관계, 팀워크 등이 프로젝트 조직의 성과에 미치는 영향을 통계적인 자료분석을 통하여 연구하였다. Son and Rojas(2011)는 시스템 다이내믹스를 사용하여 프로젝트 조직에 대한 낙관주의적 편견이 성과에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다.

나아가 프로젝트 조직 내의 문제점들을 해결하기 위한 연구들도 수행되어 왔다. Song and Shin(2010)는 원자력발전소 건설 프로젝트 경험자를 대상으로 한 설문조사에서 성

Table 1. Comparison between Construction Project Teams and Traditional Manufacturing Firms (Son 2011)

	Construction Project Team	Traditional Manufacturing Firm
Purpose	Determined by a client who is not a part of the design and construction supply side	Determined by the manufacturing firm, one the basis of its extensive experience of the design, production, and marketing
Composition	Not necessarily selected because of their ability to form a effective team but because of their attractive design and a competitive price for construction	Comprised of team members who is mostly in-house employees with shared company philosophy
Method of Working	Based on the conventions of how each entities including owners, architects, and contractors carry out their normal practice through traditional contractual arrangements	Not necessarily hidebound by a convention of how separate organizations work together; no contractual conditions between parties

공적인 프로젝트 성과를 위해 프로젝트 참여자 간 의사소통이 주요 선행요인임을 밝혀냈으며, Lim and Choi(2001)는 프로젝트 조직의 업무프로세스와 의사소통내용을 분석하여 조직특성에 따른 공정관리기법을 개발하였다. Song and Kim(2002)은 기업의 성과에서 조직이 차지하는 중요성에 대한 인식을 바탕으로, 현장 관리업무 프로세스 개선을 통한 프로젝트 현장조직의 재설계방안을 제시하였으며, 홍영탁 외(2004)는 기술 및 공법개발에 치중해 온 초고층 프로젝트에서 성과향상을 위한 조직적인 접근방안을 제시하였다. Cheng et al.(2003)은 계층분석방법을 활용하여 프로젝트 조직의 협력효율성을 평가하는 방법과 이를 통해 최적의 조직구성방법을 선정하는 기법을 개발하였다.

2.2 조직적인 측면과 성과

건설프로젝트 내에 존재하는 작업순서와 정보들 간의 상호연관성으로 인해 한 명의 전문가나 참여조직이 모든 문제를 해결할 수 있는 지식과 능력을 가지는 것은 어렵다. 해당분야의 전문지식과 경험을 지닌 참가자들 간의 의사소통과 정보공유 등을 통해 업무수행의 효율성과 완성도를 높일 수 있다. 협업과정의 중요성은 프로젝트 수행에 필요한 대부분의 정보가 생성되는 초기단계에서 더욱 강조된다. Fig. 2에서 보여주는 바와 같이, 초기의 기획·설계·계획단계에서 생성되는 정보의 완성도가 프로젝트의 성과에 상당한 영향을 미치게 된다(Gibson et al. 1995). 이에 대하여, Ballard(2000)는 수립된 계획이 실제 프로젝트 수행과 부합되는 정도를 계획신뢰도(plan reliability)라고 정의했다. 그는 높은 수준의 계획신뢰도는 아래에 예시된 것들을 포함하여 성과에 영향을 미치는 요인들을 명시적·체계적인 방법으로 고려할 때 달성할 수 있다고 주장했다. 프로젝트 초기 단계에서 협업과정을 통하여 계획신뢰도가 높이는 것은 프로젝트관리의 효율성과 전체적인 성과를 높이기 위해 중요하다.

- 도면과 문서들의 정확성
- 참여자간 프로젝트 수행에 관한 공통의 이해
- 일정계획의 적합성
- 자재적재와 장비사용 공간의 가용성
- 날씨

그러나 현재의 프로젝트 수행방식은 앞에서 언급했던 요인들을 간과함으로 인해 충분한 수준의 계획신뢰도를 얻지 못하고 있다 (Ballard 2000). 특히, 조직적인 측면이 프로젝트 성과에 미치는 중대한 영향에도 불구하고 이에 대한 고려가 부족하다 (Son and Rojas 2011). 프로젝트는 기획, 설계, 입찰, 시공, 운영 및 관리 등의 단계별로 발주자, 설계자, 엔지니어링사, 시공자, 하도급자 등이 선택적으로 참여하는 수직·체계적인 업무방식으로 진행되게 되는데, 이는 조직 내에서 발생하는 불분명한 역할분담과 책

임규정, 업무프로세스의 미정립, 적대적인 관계, 구성원들 간의 유대관계부족 등과 같은 문제들을 야기해 효율적인 의사소통과 협력, 정보공유 등이 저해되었으며, 결과적으로 공기지연이나 사업비초과 등의 결과를 초래했다 (Flyvbjerg et al. 2003).

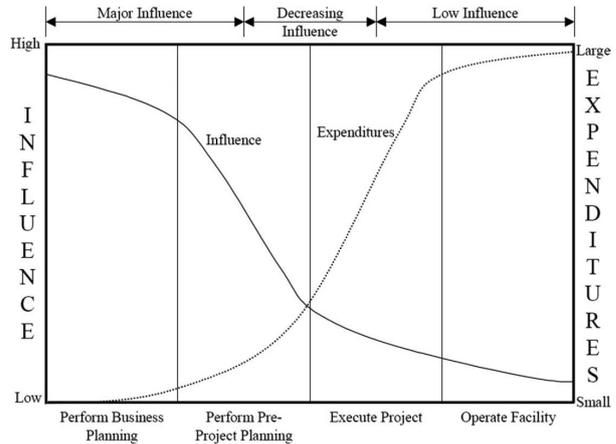


Fig. 2. Influence and Expenditures Curve for Project Life Cycles (Gibson et al. 1995)

2.3 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 조직 연구

컴퓨터 시뮬레이션은 건설경영분야에서 많이 활용되어 왔다. 이산사건 시뮬레이션은 주로 작업수준에서 생산과정의 효율성을 분석하기 위해 사용되었으며, CYCLONE (Halpin 1973)과 STROBOSCOPE (Martinez 1996)과 같은 건설분야에 전문화된 소프트웨어들이 개발되어 활용되고 있다. 최근에는 복잡하고 동태적인 현상들을 분석하기 위해 시스템다이나믹스와 에이전트기반 시뮬레이션이 사용되고 있다(Pena-Mora and Park 2001, Rojas and Mukherjee 2006)

이와 유사하게, 최근 조직연구 분야에서는 유기적 관점에서 조직을 연구하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션이 사용되기 시작하였다. 기호프로그래밍, 네트워크분석, 인지과학 등의 발달로 인하여 컴퓨터 내의 가상공간에 조직을 모델링하는 것이 가능하게 되었으며, 이를 활용하여 조직이론을 개발하고 실험하기 위해 사용되어 왔다. 주로 활용되는 방법인 에이전트기반 시뮬레이션 기법은 상향식 관점에서 조직을 효과적으로 연구할 수 있는 새로운 기법이다(Macal and North 2005). 상향식 관점은 조직을 체계적으로 연구하는데 적합하여 사회학, 경제학 등의 분야에서 활발히 사용되고 있다. 건설분야에서는 에이전트 기반 시뮬레이션을 기반으로, 작업의 상호연관성에 의해서 발생하는 협조수요를 분석하고, 이를 바탕으로 조직구성이 성과에 미치는 영향을 밝히려는 시도가 있었다(Jin and Levitt 1996).

3. 건설프로젝트 조직의 협업 모델

프로젝트 조직 내 협업과정을 에이전트기반 시뮬레이션 기법을 활용하여 구현하였다. 전체적인 시뮬레이션의 개발 과정은 Macal and North(2005)과 Banks et al.(2004)등의 방법 등을 참조하여 계획되었다 (Fig. 3).

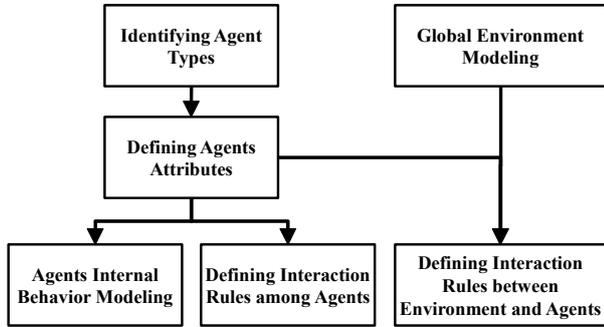


Fig. 3. Agent-Based Modeling Steps (Macal and North 2005)

본 연구에서는 Jackson and Watts(2002)의 수식적 게임이론 모델을 기반으로 다양한 사회학과 경영학 분야의 이론을 접목하여 에이전트의 특성과 행동의 모델을 수립하였다. 에이전트로 정의된 프로젝트 참가자들은 개별특성과 네트워크적 특성을 가진 객체로 정의된다. 에이전트는 각기 다른 개별특성을 지니며, 프로젝트 조직 네트워크 내에서 자신과 연결된 한정된 부분에 대한 정보만을 가지는 근시안적 존재로 정의되었다.

에이전트는 자신의 성과(payoff)를 최대화하기 위해 노력한다. 에이전트의 성과는 자신의 업무능력과 현재 지니고 있는 네트워크적 특성에 의해서 결정되게 된다. 에이전트는 성과극대화를 위해 지니고 있는 정보를 처리할 뿐만 아니라 네트워크를 통하여 동료에이전트들과 의사소통과 협력을 하게 된다. 에이전트의 성과는 네트워크상의 접근가능한 동료에이전트로부터 업무에 필요한 정보나 도움을 얻을 수 있을 때 높아지며, 에이전트는 새로운 동료에이전트를 만나기 위해 지속적인 노력을 한다.

3.1 모델개발

3.1.1 에이전트 개별특성

에이전트는 서로 다른 수준의 사회성과 친밀도를 가지도록 정의되었다. 사회성은 에이전트의 사교적인 정도를 나타내는 특성으로, 에이전트가 새로운 잠재적인 동료에이전트를 만날 가능성에 영향을 미치게 된다. 사회성이 높을수록 잠재적 동료에이전트를 만나 성과를 높일 수 있는 기회를 자주 가지게 된다.

친밀도는 에이전트가 다른 에이전트와 가까운 정도를 나타내는 특성으로, 특정 에이전트가 잠재적 동료에이전트로 선택되는 가능성에 영향을 미친다. 한 에이전트가 특정에이전트를 잠재적 동료에이전트로 만날 확률은 Eq. (1)에 의해

서 결정된다.

$$P(i, j)_{g_t} = \eta_{ij, g_t} / \sum_{k: i \neq k, g_t} \eta_{ik} \quad (1)$$

where η_{ij, g_t} : 시간 t에서 에이전트 i와 j간의 친밀도

에이전트간의 만남이 지속 될수록 서로간의 친밀도는 높게 유지된다. 반대로 두 에이전트간의 만남이 없을 경우, 서로간의 친밀도는 ρ 의 비율로 감소하게 된다(Anderson et al. 2004) [Eq. (2)].

$$\rho \times (\lambda)^{-\eta_{ij, g_t}} \quad (2)$$

3.1.2 성과

에이전트는 지속적으로 자신의 성과를 높여줄 동료에이전트를 네트워크 속에서 찾는다. 잠재적 동료에이전트를 만나면 그와 협업을 할 지 여부를 결정하게 된다. 협력여부는 현재의 동료에이전트들로부터 얻는 성과와 잠재적 동료에이전트로부터 획득가능한 성과를 비교해서 결정하게 된다. 잠재적인 동료에이전트와 더욱 높은 성과를 이룰 수 있다면 새로운 동료에이전트로 추가하거나 현재의 동료에이전트를 대체하게 된다.

성과 [Eq. (3)]는 Cobb and Douglas(1928)의 생산함수를 기본으로 정의되었다. 성과는 기본적으로 동료에이전트의 수가 많아 필요한 정보와 도움을 받을수록 높아지게 된다. 성과는 단순히 동료에이전트의 수뿐만 아니라 다양한 관계에서 오는 상승효과와 유지비용에도 영향을 받는다.

$$u_i(g_t) = ((\omega_{i,t} + 1)^a)^{(\beta_{i,t} + 1)^b} \times (\beta_{i,t} + 1)^b - \sum_{j: ij \in g} c_{ij} \quad (3)$$

- u: 에이전트 I의 성과
- g: 주기 t가 끝난 후의 네트워크
- $\omega_{i,t}$: g에서 에이전트 i의 내부동료에이전트의 수
- $\beta_{i,t}$: g에서 에이전트 i의 외부동료에이전트의 수
- a: 성과에 대한 $\omega_{i,t}$ 의 탄력성(elasticity)
- b: 성과에 대한 $\beta_{i,t}$ 의 탄력성(elasticity)
- c: 유지비용(maintenance cost)

3.1.3 협업(상승효과)

에이전트는 내부동료에이전트(이하, 내부동료) 또는 외부동료에이전트(이하, 외부동료)만을 가지는 경우보다 내부동료와 외부동료를 동시에 보유하는 경우 더욱 높은 성과를 이루게 된다. 이러한 가정은 조직네트워크 상에서 여러 하위그룹이 연결되어 다양한 정보에 접근할 수 있는 위치에 있는 에이전트가 성과를 높일 수 있다는 Reagans and Zuckerman(2001)의 연구결과에 기인하다.

3.1.4 유지비용

에이전트는 동료에이전트와의 관계를 유지하기 위해 이에 상응하는 비용을 지불해야 한다. 여기서 비용은 금전적인

가치뿐만 아니라 시간, 노력 등의 관계를 유지하기 위한 모든 희생을 포함하는 개념으로 정의되었다(Jackson and Wolinsky 1996). 외부동료와의 관계를 유지하기 위한 비용(외부유지비용)은 내부동료와의 비용(내부유지비용)보다 크다고 가정되었다.

3.1.5 성과최대화

에이전트는 잠재적 동료에이전트들을 만나면, 새로운 동료에이전트를 통해 성취할 수 있는 최대성과를 탐색하게 된다. 에이전트는 새로운 동료에이전트를 만들거나 기존의 동료에이전트를 새로운 에이전트로 대체함으로써 성과를 높게 된다. 하지만 에이전트는 지각적인 능력의 한계로 인해 제한된 숫자만의 동료를 가질 수 있고, 한 번에 여럿의 동료에이전트를 대체할 수는 없다.

3.1.6 변종생성과정

각 주기가 끝난 후 확률적인 변종생성과정에 의해 임의적인 동료교체가 이루어진다. 에이전트기반 시뮬레이션에서 변종생성과정은 진화모델들에게서 일어날 수 있는 정적인 고착상태를 벗어나는 데 필요하다 (Jackson and Watts 2002). 변종생성과정은 아주 작은 변종생성확률을 통해 구현되는데, 이는 에이전트가 동료에이전트를 통해 얻는 성과를 평가하는데 실수를 하거나, 비용의 부족으로 관계를 중단하거나, 외부적인 요인들에 의한 관계변화 등의 제한적 합리성(bounded rationality)을 반영하는 것이다.

3.2 구현

모델은 통합개발환경인 Eclipse(<http://www.eclipse.org>)를 사용하여 Java프로그래밍언어로 구현되었다. 여러 다른 조건하에서 시뮬레이션을 통한 실험이 이루어졌으며, 결과는 통계분석언어인 R과 statnet패키지를 이용하여 분석하였다.

4. 실험결과 및 시사점

시뮬레이션의 변수들은 Table 2에 제시되었다. 서로 다른 두 유형의 에이전트들이 프로젝트 조직을 형성하고 있다고 가정하였으며, 전체 에이전트 수는 100으로 설정하였다. 사회성은 정규분포를 이용하여 설정하였다. 에이전트마다 서로 다른 사회성 값을 가지게 되며, 평균적으로 10주기에 3번 잠재적 동료에이전트를 만나게 된다. 외부동료와의 친밀도는 내부동료와의 친밀도보다 낮게 설정되었으며, 다양한 경우의 실험을 위해서 내부동료와의 친밀도는 실험마다 각각 다르게 설정되었다. 이와 유사하게, 내부유지비용은 0.1로 설정되었고, 외부유지비용은 이보다 높은 0.2, 0.6, 1.0 등의 값이 설정되었다. 시뮬레이션은 전체 시스템행태가 안정상태에 이를 때까지 실행되었으며, 다른 조건에 대하여 100회 실행되었다.

Table 2. Summary of Model Parameters

Parameter	Value
Sociability	Normal(0.3, 0.05)
Within Familiarity (WF)	50, 100, 150
Initial WF	WF × (1 + 0.2 × Uniform(0,1))
Between Familiarity (BF)	10
Initial BF	BF × (1 + 0.2 × Uniform(0,1))
Within Cost	0.1
Between Cost*	0.2, 0.6, 1.0
a	0.4
b	0.5
λ	1.04
ρ	15
σ	0.01

4.1 실험결과

4.1.1 에이전트수준의 네트워크

시뮬레이션이 진행됨에 따라 각 에이전트들은 성과를 높이기 위해 동료에이전트를 찾기 시작했다. 처음 몇 주기에서는 대부분의 에이전트들이 동료에이전트를 가지고 있지 못했지만 시간이 지남에 따라 잠재적 동료에이전트를 만나고 동료에이전트로 만들기 시작했다. 에이전트들이 흰색과 검은색 점들로 표시된 Fig 4를 살펴보면, 주기 1(왼쪽)에서는 몇몇의 에이전트만이 동료에이전트 관계를 가지고 있는 반면, 주기 16(오른쪽)에서는 대다수가 동료에이전트 관계를 가지고 있음을 볼 수 있다¹⁾. 대다수의 에이전트들은 동료에이전트를 만듦으로써 각 주기에서 달성할 수 있는 최대성과를 이루었다. 예를 들면, 에이전트9는 주기 6, 7, 9에서 각각 에이전트 81, 79, 35를 동료에이전트로 만들어 최대성과를 이루었다.

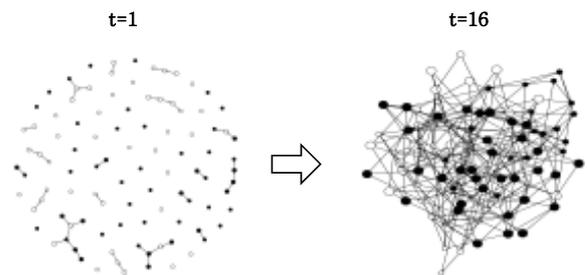


Fig. 4. Individual Network Development

4.1.2 개별특성이 성과에 미치는 영향

에이전트들의 성과는 사회성에 의해 크게 좌우되었다. 사회성이 높은 에이전트는 그렇지 않은 에이전트에 비해 빈번하게 잠재적 동료에이전트를 만나 성과를 높이고자 했다. 따라서 사회성이 높은 에이전트는 짧은 시간 안에 최대성과를 이룬데 반해, 반대의 경우에는 최대성과를 이루는 데

1) 동료에이전트 관계는 점들 간의 선으로 표시되었다

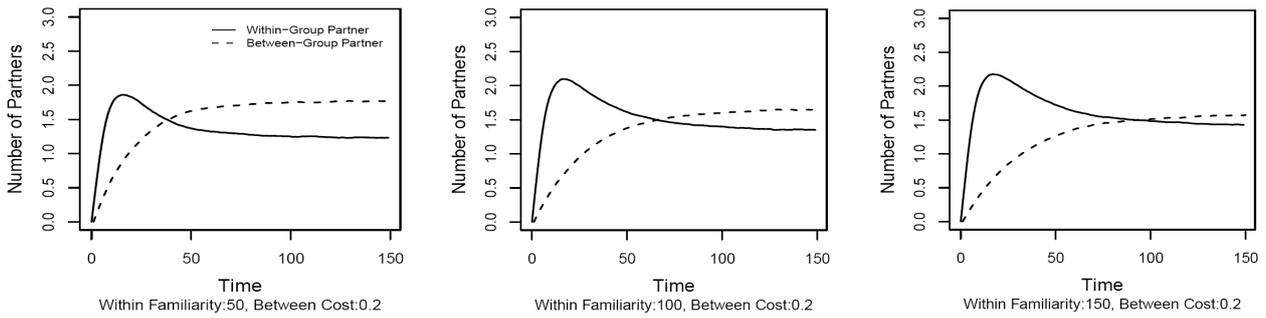


Fig. 5. Agent Characteristics and Payoff

상대적으로 오랜 시간이 걸렸다. 가장 짧은 시간 내에 최대 성과를 이룬 에이전트17의 경우 처음의 세 주기에서 세 동료에이전트를 만들어 1.441의 성과를 이루었지만, 에이전트 29는 같은 성과를 이루는데 23의 주기가 필요했다.

내부친밀도는 조직네트워크가 진행되는 양상과 에이전트들이 이루는 성과에 영향을 미쳤다. 내부친밀도가 높을 경우, 에이전트는 잠재적 외부동료에이전트를 만나는 기회를 가지지 못함으로 인하여 최대성과를 이루는 데 내부친밀도가 낮은 경우보다 오랜 시간이 걸리는 현상을 보였다.

이는 외부유지비용의 효과와 조합되어 다양한 네트워크 양상을 보여주었다. 먼저, 외부유지비용이 낮아 외부동료와의 관계생성·유지가 수월한 경우, 에이전트는 외부동료와의 관계를 형성해 성과를 높이고자 하였으며 이 상태가 지속되었다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 외부유지비용이 0.2로 낮고 내부친밀도가 50, 100, 150일 경우 모든 에이전트들이 평균적으로 주기 69, 93, 100에서 최대성과를 이루게 되었다 (Fig. 5). 외부유지비용이 1.0으로 높은 경우에는 서로 다른 수준의 내부친밀도에서 같은 주기에 최대성과를 이루는 상태에 이르렀다. 이는 외부동료를 만드는데 따르는 비용이 그로 인해 성과가 향상되는 효과를 상쇄시켜 외부동료를 만드는 과정을 거치지 않고 내부동료들만으로 이룰 수 있는 최대성과를 이루었기 때문이다.

4.1.3 분절된 응집집단

외부유지비용이 높은 경우 조직 내에서 분절된 응집집단 (cohesive subgroup)이 발생하는 현상이 나타났다 (Fig. 6). 네트워크의 분절된 응집집단의 발생정도를 측정하기 위해 각각의 결과에 대해 군집계수(Wasserman and Faust 1994)를 계산하였다. 결과는 외부유지비용이 높을수록 군집계수가 높아 강한 응집집단 발생형태를 보였다. 또한 외부유지비용이 높은 경우 네트워크의 크기와 평균거리도 증가하였다. 이러한 결과들은 전술한 바와 같이 외부동료를 만듦으로서 증가되는 성과를 높은 외부유지비용이 상쇄해 내부동료만을 가지게 되었기 때문이다.



Fig. 6. Cohesive Subgroups

4.2 시사점

4.2.1 가능최대성과 미달성

시뮬레이션 결과에서 가장 주목되는 점은 모든 경우에 있어 에이전트들이 가능최대성과를 이루지 못했다는 것이다. 이는 변종생성과정으로 구현된 에이전트들의 제한적 합리성 때문이다. 새로운 프로젝트 조직을 구성하게 되면, 구성원들은 서로에 대한 정보가 없어 성과를 높이기 위한 관계형성과정에서 잠재적 동료를 선택하는데 어려움을 겪게 된다. 따라서 업무에 필요한 적합한 정보와 협력을 적절한 시기에 구할 수 없어 성과를 달성하기 어렵게 된다.

4.2.2 조직네트워크의 발전

시뮬레이션 결과에서 구성원들 간의 친밀도가 낮을수록 조직이 안정상태²⁾에 이르는 시간이 오래 걸린다는 사실을 확인할 수 있었다. 건설프로젝트에서는 단시간에 조직문화와 협업관계를 발전시켜 조직의 성과를 높일 필요가 있다. 따라서 조직 내의 네트워크 형성과정을 적극적으로 활성화하는 것이 강조된다.

4.2.3 응집집단효과

외부동료와의 관계를 만들기 어려운 경우(외부유지비용이 높은 경우) 분절된 응집집단이 형성되는 양상을 보였다. 구성원들 간의 협업관계형성은 조직구성, 계약관계, 경험 등에 따라 매우 다르게 전개될 수 있으며, 이에 따라 관계형

2) 이론적으로 이룰 수 있는 성과의 최댓값
3) 모든 구성원들이 최대성과를 달성하고 있는 상태

성에 필요한 노력(비용)도 달라진다. 건설프로젝트 조직은 임시조직의 특성과 계약관계 등으로 인해서 다른 형태의 조직보다 관계형성에 필요한 노력이 더욱 클 것으로 생각된다. 분절된 응집집단 간에는 연결된 관계가 약해 효율적인 협업이 어렵게 된다. 유지비용을 낮추려는 노력을 통해 분절된 응집집단의 형성을 막을 필요가 있다.

4.3 검증

에이전트 모델의 유효성은 North and Macal(2007)에서 제시된 에이전트 행동검증, 상호작용검증, 창발구조(emergent structure)검증의 방법을 사용하여 검증하였다.

- 에이전트 행동/상호작용검증: 에이전트의 행동방식과 상호작용방식은 게임이론과 경영학 사회학의 연구결과(Cobb and Douglas 1928, Reagans and Zuckerman 2001, Jackson and Wolinsky 1996)에 근거를 두어 작성되었다.
- 창발구조검증: 민감도분석을 통해서 실현가능한 범위의 변수에 대해서 모델을 검증하였다. 민감도분석은 단순히 수학적 검증뿐만 아니라 모델의 변화패턴에 대해서도 이루어졌다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

5.1 결론

여러 분야에서 고도의 기술이 요구되는 건설프로젝트의 성공적인 수행을 위해 구성원들 간의 협업은 매우 중요하다. 특히 프로젝트 수행정보가 작성되는 초기단계에서의 협업은 수행단계의 효율성과 성과를 결정짓게 된다. 그러나 조직 내에서의 협업과정과 이것이 성과에 미치는 영향에 대한 분석적인 연구는 미비하다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 연구에서는 에이전트기반 시뮬레이션을 활용하여 프로젝트 조직 내 협업과정을 보다 명시적으로 이해하는 방법을 제시하였다. 게임이론, 경영학이론, 사회학이론 등을 바탕으로 프로젝트 조직 내의 협업과정을 모델링하였고, 이를 에이전트 시뮬레이션으로 구현하였다.

실험을 통해서 프로젝트 조직 내에서 발생할 수 있는 다양한 네트워크의 발전양상을 살펴볼 수 있었다. 조직구성원 개인수준에서 협력관계가 어떻게 발전되는지 볼 수 있었다. 구성원들이 가지는 특성에 따라 상이한 과정을 거쳐 관계를 형성했으며, 이를 시각적으로 관찰하고 분석할 수 있었다. 또한 구성원들의 개별특성이 성과에 미치는 영향을 분석해 보았다. 나아가 구성원들 간 상호작용의 결과로 창발되는 조직 전체네트워크의 모습을 관찰할 수 있었다. 초기의 분산된 상태에서 안정된 상태로 발전하는 과정의 다양한 패턴을 볼 수 있었다. 마지막으로, 조직연구 분야에서 많이 관찰되는 응집집단의 형성도 발생했다. 컴퓨터 시뮬레

이션을 통해 현실에서 관찰되는 응집집단의 발생을 구현했다는 점에서 모델의 타당성과 향후 확장가능성을 확인할 수 있었다.

5.2 연구의 한계점과 향후 연구 방향

본 연구는 건설프로젝트의 성과달성에 있어 조직 내의 협업과정이 중요한 부분을 차지함에도 불구하고, 현재의 프로젝트계획 및 관리 측면에서 간과되어 왔다는 점에서 착안했다. 프로젝트 초기의 협업과정이 수행과정의 효율성 및 성과에 영향을 미친다는 점을 고려해 볼 때, 명시적이고 체계화된 협업과정의 분석은 향후 수행될 프로젝트의 성과를 예측하는데 크게 기여할 것이라고 생각된다. 본 연구는 협업과정의 분석방법을 개발하기 위한 기초연구이며, 향후 연구를 통해 조직 내 업무수행 프로세스, 생산작업 프로세스, 관리 프로세스 등의 부분과 결합하여 발전할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. NRF-2013R1A1A1010562)

References

- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., and Qin, Y. (2004). "An integrated theory of the mind." *Psychological Review*, 111(4), 1036-1060.
- Ballard, G. (2000). "The last planner™ system of production control." Doctoral dissertation, The University of Birmingham, Birmingham, UK.
- Ballard, G. (2005). "Construction: One type of project production system." I, Sydney, Australia.
- Banks, J., Carson, J., Nelson, B. L., and Nicol, D. (2004). *Discrete-event system simulation*, Prentice Hall.
- Cheng, M.-Y., Su, C.-W., and You, H.-Y. (2003). "Optimal project organizational structure for construction management." *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(1), 70-79.
- Cobb, C. W., and Douglas, P. H. (1928). "A theory of production." *The American Economic Review*, 18(1), 139-165.
- Cornick, T. C., and Mather, J. (1999). *Construction project teams : Making them work profitably*, Thomas Telford, London.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., and Rothengatter, W. (2003). *Megaprojects and risk : An anatomy of ambition*, Cambridge University Press, New York.
- Fong, P. S. W., and Lung, B. W. C. (2007). "Interorganizational teamwork in the construction industry." *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(2), 157-168.

- Gibson, G. E., Kaczmarowski, J. H., and Lore, H. E. (1995). "Preproject planning for capital facilities." *Journal of Construction Engineering and Management*, 121(3), 312-318.
- Halpin, D. W. (1973). "An investigation of the use of simulation networks for modeling construction operations." Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.
- Hong, Y., Song, S., and Lee, H. (2004). "Organizational approach for enhancing the performance of high-rise building projects." *Proc., Korea Institute of Construction Engineering and Management Conference*, 271-276.
- Jackson, M. O., and Watts, A. (2002). "The evolution of social and economic networks." *Journal of Economic Theory*, 106(2), 265-295.
- Jackson, M. O., and Wolinsky, A. (1996). "A strategic model of social and economic networks." *Journal of Economic Theory*, 71(1), 44-74.
- Jin, Y., and Levitt, R. E. (1996). "The virtual design team: A computational model of project organizations." *Computational & Mathematical Organization Theory*, 2(3), 171-195.
- Lee, S., and Pena-Mora, F. (2007). "Understanding and managing iterative error and change cycles in construction." *System Dynamics Review*, 23(1), 35-60.
- Lim, H., and Choi, Y. (2010). "Developing management method of project progress condition considering level of construction project organization." *Journal of Architectural Institute of Korea*, 17(10), 121-128.
- Macal, C. M., and North, M. J. (2005). "Tutorial on agent-based modeling and simulation." *Proc., Winter Simulation Conference*, 2-15.
- Morris, P. W. G., and Hough, G. H. (1987). *The anatomy of major projects: A study of the reality of project management*, Wiley, New York.
- North, M. J., and Macal, C. M. (2007). *Managing business complexity: Discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation*, Oxford University Press, Oxford; New York.
- Pena-Mora, F., and Park, M. (2001). "Dynamic planning for fast-tracking building construction projects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(6), 445-456.
- Reagans, R., and Zuckerman, E. W. (2001). "Networks, diversity, and productivity: The social capital of corporate r&d teams." *Organization Science*, 12(4), 502-517.
- Rojas, E. M., and Mukherjee, A. (2006). "Multi-agent framework for general-purpose situational simulations in the construction management domain." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 20(3), 165-176.
- Son, J., and Rojas, E. M. (2011). "Impact of optimism bias regarding organizational dynamics on project planning and control." *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(2), 147-157.
- Song, S., Kim, W., and Lee, H. (2002). "Organizational changes through the innovation on construction management." *Proc., Korea Institute of Construction Engineering and Management Conference*, 323-326.
- Song, S., and Shin, H. (2010). "The sequential effects of the communication behaviors on project performance in construction projects." *Journal of Korean Academy of Business Historians*, 25(1)
- Suk, S., An, S., and Kang, K. (2005). "A model for assessing a level of construction field organization's ability to perform a construction project using analytic hierarchy process." *Journal of Architectural Institute of Korea*, 21(5), 143-150.
- Wasserman, S., and Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*, Cambridge University Press, Cambridge; New York.

요약: 건설프로젝트의 성공적인 수행을 위해 의사소통, 협력, 정보공유 등을 포함한 구성원들 간의 협업은 반드시 필요하다. 그러나 프로젝트 조직 내의 협업과정이 성과에 미치는 영향에 대한 분석적인 시도는 부족하였다. 본 연구는 게임이론 기반의 에이전트기반 시뮬레이션을 활용하여 프로젝트 조직 내 협업과정을 보다 명시적으로 이해하는 방법을 제시하였다. 시뮬레이션의 결과로 구성원수준에서의 관계형성과 조직수준에서의 네트워크 발전양상을 관찰할 수 있었다. 본 연구는 프로젝트조직 내의 협업과정 분석방법 개발을 위한 기초연구이며, 향후 연구를 통해 조직 내 업무수행 프로세스, 생산작업 프로세스, 관리 프로세스 등의 부분과 결합하여 프로젝트 성과를 예측하는 방법으로 발전될 수 있을 것이다.

키워드 : 건설관리, 프로젝트조직, 협업, 컴퓨터 시뮬레이션
