

물류시스템 분석을 위한 행위자 기반 모형 적용에 대한 제언

김준혁*

A Proposition on Applying Agent-based Model for Analyzing Logistics System

Jun-Hyuk Kim

목 차

- | | |
|----------------|----------------|
| I. 서론 | IV. 물류시스템 응용분야 |
| II. 물류시스템의 복잡성 | V. 결론 |
| III. 행위자 기반 모형 | |

Key Words: Logistics System, Agent, Agent-based Model, System Behavior, Complexity, Simulation

Abstract

The purpose of this paper is to propose applying agent-based model(ABM) for analyzing logistics system. Logistics problems become more complex and multi-faceted. As a result, the behavior of the system becomes more and more difficult to predict, we see the limitations of the traditional top-down approach in handling complexity. The ABM, that is the bottom-up approach, provides new modeling framework in system modeling. The ABM focuses on the interactions of subsystem or agents in whole system. Then the macroscopic picture of the whole system behavior is emerged as the microscopic interactions of agents are aggregated.

The ABM assumes that each agent acts based on simple rules learned from dynamic interactions among other agents or its surrounding environment. The ABM has a great advantage in understanding emergent phenomenon that cannot be explained only through considering individual attributes. The ABM is an extremely useful method to analyze complex system such as logistics system. Therefore, the great research efforts and applications on the ABM to logistics system are encouraged in future.

▷ 논문접수: 2010.07.28 ▷ 심사완료: 2010.08.31 ▷ 게재확정: 2010.09.07

* 전남대학교 산업공학과 강의교수, junhyuk.kim@gmail.com, 062)530-0201

I. 서론

현대의 물류시스템은 시스템 내 참여자가 다양해지고 이들의 상호작용(interaction) 또한 과거에 비해 매우 복잡해짐에 따라 시스템 복잡성(complexity)이 점차 증가하고 있다. 이에 따라 새로운 연구방법론의 필요성이 대두되고 있다(Weiss 2000). 물류시스템에서 많은 연구자들은 물류서비스, 물류설비 등을 물류주체 간 복잡한 물리적, 사회적 작용의 일부분으로 이해한다. 결국, 물류시스템은 시스템 목표를 달성하기 위하여 전체시스템 내 많은 하위시스템(subsystem)간의 상호작용(interaction)이 존재하는 통합적인 시스템으로 간주될 수 있다.

물류시스템 분석에 있어 해는 여러 목적(objective)들과 제한조건에 영향을 받는다. 많은 경우에 이러한 목적과 제한조건은 명확히 정의되거나 파악되기 어렵고 특히 여러 목적이 존재할 때에는 이들 간의 우선순위 또한 명확하게 정의되기 어렵다. 한편, 물류시스템에 참가하는 행위자(agent)가 다수이므로 특정 문제를 바라보는 시각이 매우 다양하고 접근방법이나 해의 의미가 행위자마다 동일하지 않다. 결과적으로, 행위자 모두가 최적으로 받아들일 수 있는 해를 구한다는 것은 매우 어려운 문제이다.

최근 사회과학, 자연과학, 공학 등 여러 분야에서 시스템 분석을 위한 새로운 개념과 접근방법들이 제안되었다(Wangermann et al 1998; Adler et al 2002; Hussein 2002; Clancey et al 2008). 이러한 방법론 중 행위자 기반 모형(agent-based model) 혹은 행위자 기반 접근법(agent-based approach)은 복잡성이 높은 시스템의 분석에 있어 매우 유용한 접근방법으로 간주되고 있다(Kim 2005; Labarthe et al 2007). 행위자 기반 접근법은 분산화(decentralized)된 개별 행위자가 의사결정에 필요한 정보를 국지화(localized)된 환경에서 취득한다는 전제하에 여러 행위자 간에 미시적(microscopic)이고 복잡한 상호작용의 모형화(modeling)를 통해서 전체시스템의 거시적(macroscopic)인 행태를 파악하는 기법이다(Weiss 2000; Kim 2005). 여기에서 행위자는 전체시스템의 목적과는 독립적인 목적을 가지고 의사결정을 수행하는 독립체(entity)이다.

물류시스템에서 행위자의 예는 화주(shipper), 포워더(forwarder), 3자 물류업체, 고객 등으로 볼 수 있다. 행위자 기반 접근법은 물류시스템의 분석에 있어 매우 유용한 분석도구로 기대된다. 그 이유는 물류시스템은 여러 행위자들이 각자의 목적에 의해 자율적으로 행동하고 이들 간의 상호작용 또한 매우 복잡한 형태를 가지는 일종의 복잡계 시스템(complex system)으로 간주될 수 있기 때문이다.

행위자 기반 모형의 물류, 교통, 수송 분야 적용에 관한 연구는 그리 많지 않은 편이다. Batty et al(1998)은 도시계획 단계에서 보행자의 움직임을 행위자 기반 모형으로 표현하였다. 이 모형은 각 보행자, 보행자 움직임에 영향을 미치는 여러 외부요소, 즉, 상점, 음식점, 건물 등의 보행유인가능장소를 행위자로 가정하였다. 이와 유사한 연구로서 Ridsfuser et al(2007)은 스위스 베른 철도역의 승객들의 보행을 행위자 기반 모형을 통해 모의실험하였다. 이 연구는 승객이 열차에서 내려 철도역을 걸어 나가는 상황과 승차하는 상황의

모의실험을 통해 행위자 기반 모형의 실제 상황 적용의 가능성을 보여 주었다. Kim(2005)은 항공 운송시스템의 분석에 행위자 기반 모형을 적용하였다. 이 연구에서는 공항, 항공사, 고객 등을 항공 운송시스템의 행위자로 정의하고 공항의 착륙료(landing fee) 부과 정책 시나리오에 맞추어 항공사의 수익 구조, 운항 일정, 마켓 변화 등의 행동 패턴 분석과 이에 따른 고객의 수요 변화 패턴을 분석하였다.

본 연구에서는 행위자 기반 모형의 개념, 구성요소와 물류시스템의 분석을 위한 향후 적용분야와 한계점 등에 관해 논한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 1장 서론에 이어 제 2장에서는 물류시스템의 복잡성을 논하고 제 3장에서는 행위자 기반 모형의 개념과 구조를 각 요소별로 나누어 설명하고 장점과 한계에 대해서도 살펴본다. 제 4장에서는 물류시스템에서 행위자 기반 모형의 향후 적용 가능한 분야에 관해 살펴본다. 마지막으로 제 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 물류시스템의 복잡성

많은 연구에서 물류시스템의 분석을 위한 제시된 다수의 접근 방법(김병일 외 2009; 마문식 외 2009)은 전통적인 과학적 모델에 기반한 분석 방법이 주류를 이루어 왔다. 전통적 모델은 전체시스템의 행동을 지배하는 일반적이고 동일한 법칙을 전제한다. 이러한 법칙은 경제적, 물리적, 공학적, 수학적, 혹은 사회적 원리에 기초를 둔 법칙이다. 물류시스템의 전통적 분석 단계는 다음과 같다. 첫째, 시스템을 지배하는 법칙을 가설화한다. 둘째, 실험, 분석, 각종 조사를 통해 법칙을 증명한다. 마지막으로, 특정 시스템 상황을 전 단계에서 증명된 법칙을 적용하여 모형화하고 이를 토대로 모델을 구성한다. 구성된 모델은 다양한 상황에 맞추어 시스템 분석, 예측, 의사결정에 사용된다. 이러한 일련의 절차를 갖는 접근방법을 하향식(top-down) 접근 방법이라고 한다.

최근 물류시스템의 분석 영역은 물리적, 사회적 영향으로 계속 늘어가는 추세이고 연구 범위 또한 다양해지고 있다(Ballou 1999; Davidsson et al 2005). 이러한 점에 비추어 볼 때 현대의 물류시스템은 복잡성이 높고 다차원적(multi-dimensional)인 시스템이다. 물류시스템의 높은 복잡성을 야기하는 특징은 다음과 같다. 첫째, 많고 다양한 참가자가 존재한다. 이들은 협조, 경쟁 등의 다양하고 복잡한 상호작용을 통하여 각자의 목적을 달성하려 노력한다. 화주, 포워더, 3자 물류업체, 고객 등은 물류시스템의 중요한 참가자라 할 수 있다. 둘째, 다양한 참가자로 인하여 물류시스템의 해는 흔히 다목적(multi-objective) 속성을 갖는다. 다목적 해는 목적 간에 상충(trade-off)관계가 존재하며 이들 목적간의 우선순위 또한 명확히 정의하기 어렵다. 셋째, 전체시스템에 걸쳐 불확실성(uncertainty)이 존재한다. 불확실성은 각 참가자의 행동을 결정짓는 환경뿐만 아니라 데이터, 목적, 제한조건에도 존재한다. 넷째, 다양한 정보와 소통방법이 존재한다. 따라서 참가자 또한 이를 기초로 의사

결정 패턴 또한 매우 다양하다. 참가자들은 시스템 내 존재하는 모든 정보를 기초로 의사 결정을 수행하는 것은 불가능하다. 따라서 참가자들은 자신이 수용 가능한 정보 내에서 최선의 의사결정을 수행하게 된다. 마지막으로, 물류시스템의 구조는 시간에 따라 동적으로 변화한다. 따라서 각 하위시스템의 구조는 사전에 예측하기 힘들고 참가자를 포함한 하위시스템은 이질성(heterogeneity)을 갖는다.

전통적인 분석방법은 위와 같이 복잡성이 높고 동적인 물류시스템의 통합적인 행태(behavior)를 분석하기에 많은 한계가 존재한다. 물류시스템은 여러 참가자나 하위시스템이 다수 존재하고 이들 간의 이질성 또한 높기 때문에 이들의 상호작용을 모형화하기는 매우 어렵다. 즉, 특정 하위시스템의 행동이 다른 하위시스템에 미치는 영향인 순환 고리(feedback loop)를 적절히 파악하기가 난해하다는 점이다. 따라서 하위시스템의 행동을 결정짓는 규칙들을 파악한 후 이들을 통합하고 이를 기초로 전체시스템의 통합적인 행태를 파악하는 것이 매우 효과적이다.

행위자 기반 접근법은 물류시스템과 같은 복잡성이 매우 높고 동적인 시스템 분석에 매우 유용한 기법으로 여러 학문 분야에서 최근 각광받고 있다(Henese et al 2009). 이 접근법은 전체시스템을 지배하는 일반적인 규칙을 파악하기보다는 전체시스템을 이루는 하위시스템을 파악한 후 이들 시스템의 상호작용에 초점을 맞춘다. 이 새로운 방법론을 전통적인 하향식 접근법과 비교하여 흔히 상향식 접근법(bottom-up approach)이라고 한다. 상향식 접근법은 현대 컴퓨터의 향상된 계산능력을 통하여 검증된 시스템 모형화 기법으로 생물학적 시스템, 기타 행동 과학의 연구에 자주 사용되고 있다(Wooldridge et al 1995).

III. 행위자 기반 모형

행위자 기반 모형은 시스템 내 행위자의 미시적인 메커니즘에 초점을 맞추어 행위자 간 상호작용을 모형화하여 전체시스템의 거시적인 행동 패턴을 분석하는 시뮬레이션 모형이다. 행위자 기반 모형은 분석 대상 시스템 내에 일반적으로 행위자가 다수 존재하기 때문에 다중 행위자(multi-agent) 시스템이라고도 불린다. 행위자 기반 모형은 크게 행위자, 행위자가 활동하고 상호작용 하는 시스템 공간, 시스템에 영향을 끼치는 외부환경 등의 세 가지 요소로 구성되며, 이들 요소의 설계가 행위자 기반 모형의 성능에 절대적인 영향을 미친다.

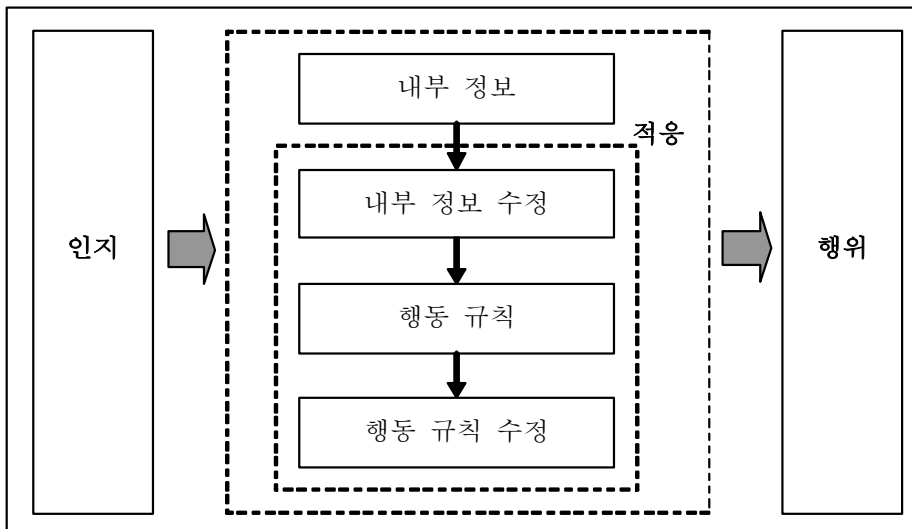
1. 행위자

행위자의 정의는 매우 다양하다. Hewitt(1977)은 행위자를 자기 충족화(self-contained)되어 독립적으로 의사결정을 수행하고 외부세계와 상호작용하는 객체(object)로서 정의하였다. 이러

한 행위자의 상호작용 메커니즘에 의해 다른 행위자의 메시지, 반응, 또는 외부환경의 변화에 대처하면서 독자적인 의사결정이 가능하다. Jeenings et al(1998)는 행위자를 자신의 목적을 달성하기 위하여 자율적(autonomous) 행위가 가능한 주체로서 정의하였다. 자율성이란 다른 행위자의 간섭 없이 직접 의사결정을 수행할 수 있는 능력과 자신의 상태와 행위에 대한 완벽한 제어능력을 의미한다(Nwana 1996). 또한 행위자는 자신의 목적을 달성하기 위한 기회 추구가 가능함과 동시에 행위의 측면에서 항상 자신의 목적에 기반한(goal-directed) 행동을 보인다. 실제 분석에 있어 행위자는 시스템의 특성에 따라 인간, 조직, 혹은 유형의 실체 등 매우 다양한 형태로 표현된다. Achorn(2004)는 행위자를 내부 정보, 내부 정보 수정 방법, 행동 규칙, 그리고 행동 규칙 수정 방법의 요소를 가지는 객체로 정의하였다. 내부 정보는 행위자의 현재 상태와 과거의 기억 내용을 포함하는 것으로 행위자의 의사결정에 중요한 역할을 한다. 내부 정보 수정은 행위자를 둘러싼 외부로부터의 인지작용을 의미한다. 즉, 시스템 내 행위자들은 끊임없이 정보를 외부로부터 받아들여 내부 정보를 변화시키는 것이다. 행동 규칙은 축적된 내부 정보와 정보 수정 방법을 바탕으로 외부로 드러나는 어떠한 행동을 할 것인가를 표현하는 것이다. 행동 규칙은 흔히 조건문의 형태로 표현된다. 행동 규칙 수정 방법은 변화하는 내부 정보에 의해 행동 규칙을 변화하는 일종의 적응(adaptation) 메커니즘이다. 일반적인 행위자의 구조는 <그림 1>과 같은 형태를 보인다. 많은 연구에서 제안된 행위자의 정의를 토대로 행위자 기반 모형의 물류시스템 적용에 있어 행위자가 갖추어야 할 특성을 요약하면 <표 1>과 같다.

물류시스템의 분석에서 행위자의 예로는 화주, 포워더, 선사, 3자 물류업체, 고객, 차량, 선박, 항공기 등의 각종 운송수단, 물류계획 입안자, 그 밖의 물류시스템에 참가하는 유형 혹은 무형의 대상이다.

<그림 1> 행위자의 구조



<표 1> 행위자 특성

자율성	외부의 간섭 없이 독자적으로 판단하고 의사결정을 수행할 수 있는 능력
사회적 능력	다른 행위자와 협조, 경쟁 등의 합리적 상호작용을 할 수 있는 능력
응답성	외부 환경을 인지하고 환경이 변화할 때 적시에 반응할 수 있는 능력
학습 능력	시간에 따라 과거의 경험으로부터 성능을 개선시킬 수 있는 능력

2. 시스템 공간과 외부환경

시스템 공간이란 행위자들이 위치하는 공간을 의미한다. 시스템 공간은 반드시 물리적 공간일 필요는 없다. 현대는 통신기술의 발달로 인해 많은 사회적, 경제적 시스템이 물리적 공간으로 구분되기 보다는 가상공간으로 표현되는 경우가 많다. 어떤 시스템이 가상공간으로 표현 가능 할 때는 네트워크형 공간이 자주 사용된다. 네트워크형 공간은 네트워크의 각 노드에 행위자를 위치시키고, 링크를 통해 연결된 노드가 이웃이 되며, 링크로 이어진 행위자들 사이에 상호작용이 일어난다. 흔히 자주 사용되는 물리적 공간 시스템은 격자(lattice) 시스템 공간, 토러스 공간 등이다.

행위자 기반 모형에서 외부환경은 전체시스템을 둘러싼 환경으로서 흔히 적절한 환경변수를 사용하여 외부환경을 표현한다. 환경변수는 확률변수, 혹은 경험적으로 알려진 값을 사용하기도 한다. 환경변수는 시스템의 상황에 맞게 지역적 또는 전역적으로 사용될 수 있다.

3. 행위자간 상호작용

행위자 기반 모형에서 행위자간 상호작용은 행위자 기반 모형에서 매우 중요한 메커니즘이다. 행위자간 상호작용은 크게 협조적, 조정/학습적, 그리고 인지적 상호작용으로 구분할 수 있다.

1) 협조적 상호작용

행위자간 협조적 상호작용은 행위자들이 특정 목적을 달성하기 위해 서로 협력하는 상호작용 형태이다. 예를 들어, 물류서비스 제공자 간 파렛트 공동이용제도는 물류비용을 줄이기 위한 행위자간 협조적인 상호작용의 형태를 잘 보여주고 있다. 현재 이 제도는 동종업종의 경쟁 회사 또는 서로 다른 업종 간에도 실천되고 있다. 수배송 공동화를 포함한 여타 물류 공동화의 개념도 행위자간 협조적 상호작용의 좋은 예이다.

2) 조정/학습적 상호작용

조정/학습적 상호작용은 행위자가 끊임없이 자신의 행동을 변경하는 상호작용 형태이다. 즉, 행위자가 과거의 경험에서 학습을 통하여 행동을 변경하는 것이다. 예를 들어, 화

주와 물류서비스 제공업체간의 관계도 이 분류에 포함될 수 있다. 화주가 물류서비스 업체가 제공하는 물류서비스의 수준이 만족하지 못하다고 판단될 때는 자신의 목적에 부합하는 다른 물류서비스 업체를 선택할 것이다. 선사의 입출항 항만 선택문제도 조정/학습적 상호작용의 범위에 포함될 수 있다.

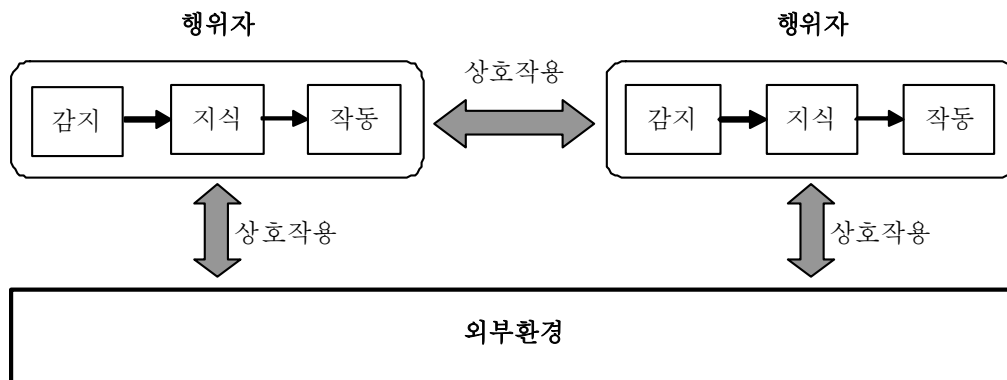
3) 인지적 상호작용

인지적 관계는 행위자의 명시적(explicit)인 목적을 달성하기 위해 행동하는 의도를 통하여 표현되는 상호작용 형태이다. 만일, 화주가 다수의 물류서비스 업체 중 서비스 제공자를 선택하는 과정에서 여러 제공자의 제공 가능한 서비스 수준에 많은 영향을 받는 거 보다는 자신이 가지고 있던 명확한 의지에 의해 물류서비스 제공자를 선택하는 경우이다.

4. 행위자 기반 모형의 구조

행위자 기반 모형은 통상적으로 감지시스템, 지식시스템, 그리고 작동시스템의 3개

<그림 2> 행위자 기반 모형의 구조



하부시스템으로 구분 지을 수 있다. 감지시스템은 다른 행위자와 외부환경을 인식하는 시스템이다. 지식시스템은 행위자의 지식을 축적하고 행위자의 행동을 조정하고 통제하는 시스템이다. 즉 외부환경, 행위자의 목적, 행위자의 행동에 대한 계획에 관한 지식을 축적하여 의사결정의 기반이 되는 지식을 관리하는 시스템이라고 볼 수 있다. 작동시스템은 시스템 공간과 외부환경에 실제 영향을 끼치는 행위자의 행동을 표현하는 시스템이다. 행위자 기반 모형을 구성하는 하부시스템 중 가장 중요한 것은 지식시스템에서 지식의 표현이다. 행위자 기반 모형에서의 지식 표현방법은 흔히 조건규칙(IF-THEN rule)이 사용된다. 행위자 기반 모형의 구조는 <그림 2>과 같이 표현된다.

5. 장점과 한계

행위자 기반 모형은 많은 장점과 동시에 한계 또한 존재한다. 기존의 연구에서 파악된 행위자 기반 모형의 장점과 한계에 대해 알아본다. 대표적인 행위자 기반 모형의 장점은 다음과 같다. 첫째, 시스템의 창발적 현상(emergent phenomenon)을 파악하는데 매우 유용하다. 창발적 현상이란 전체는 부분의 합보다 크다는 원리로부터 출발한다. 창발적 현상은 미시적인 부분의 각각의 특성만으로는 설명할 수 없는 전체로서 나타나는 복잡한 현상을 의미한다(Wooldridge 2002). 시스템 창발성은 전통적인 하향식 모형화를 통해서 분석하기가 쉽지 않다. 행위자 기반 모형은 하부시스템의 미시적 수준을 모형화 함으로써 전체시스템의 거시적인 행동의 분석을 파악하므로 이로 인해 창발성에 대한 발견과 분석을 가능하게 한다(Tesfatsion 2006). 둘째, 복잡성이 높은 사회, 경제 시스템의 모형화에 있어 매우 자연스러운 형태의 모형화 프레임워크를 제공한다. 셋째, 비선형적이고 복잡성이 높은 행위자의 상호작용을 보다 유연하게 모형화 할 수 있다. 특히 행위자의 행동과 상호작용이 불연속적이고 복잡성이 높은 경우 전통적 접근방법은 이의 정량화가 매우 어려운 반면에 행위자 기반 모형은 유연하고 단순한 모형화 방식을 제공한다. 마지막으로, 분석 대상 시스템의 시스템 공간의 구조가 매우 다양하고 속성이 이질적(heterogeneous)인 행위자가 다수 포함되더라도 하향식 접근방법에 비해 모형 설계가 용이하다(Bonabeau et al 1999). 행위자 기반 모형은 독립적인 의사결정을 할 수 있는 어떠한 형태의 객체라도 행위자로서의 정의가 가능하므로 모형 설계에 있어 큰 이점을 갖는다.

행위자 기반 모형은 많은 장점과 동시에 다음과 같은 한계를 갖는다. 첫째, 행위자 기반 모형은 행위자의 지식, 행동규칙의 모형화에 있어 많은 요소들이 정량화 되어야 함과 동시에 파라미터 조정(calibration) 과정이 필요하므로 이에 대한 노력과 시간이 시스템 설계 단계에서 다소 많이 소요된다. 때때로 이에 관한 최적 수치를 파악하기 또한 용이하지 않고 이로 인해 모형 설계와 구현이 어려운 측면이 있다. 둘째, 행위자 기반 모형은 시스템 초기 조건, 설정된 파라미터 수준에 의해 영향을 많이 받는다. 따라서 단 일회의 실행으로 얻어진 결과물은 그것의 신뢰성(reliability), 강건성(robustness) 수준이 매우 낮은 편이다. 그러므로 많은 행위자 기반 모형은 다수의 실행으로 인하여 계산시간이 매우 높은 편이고 결과 분석에 있어서 일관된 결과물이 산출되는지 검증하여야만 한다(Louie et al 2008). 한편, 행위자의 상호작용 규칙 설계 시 상대적으로 작은 변동(variation)이 전체 시스템의 거시적인 행동에 많은 영향을 미칠 수 있다. 이러한 이유로 행위자 기반 모형의 적용에 있어 신뢰성이 높고 강건한 결과물의 산출은 여전히 많은 노력을 필요로 한다. 마지막으로, 사회, 경제 분야의 많은 연구자들에게 일반화되고 사용하기 쉬운 소프트웨어가 존재하지 않다는 점이다. 오늘날에 행위자 기반 모형을 위한 여러 계산도구가 개발되어 있지만 여전히 그 활용에 있어 일정 수준 이상의 프로그래밍 지식과 많은 노력을 필요로 한다(Macal et al 2005).

IV. 물류시스템 응용분야

물류시스템은 많은 행위자가 복잡한 관계로 연결되어 있는 일종의 복잡계 구조를 갖는다. 따라서 행위자 기반 모형은 물류시스템의 많은 분야에 적용이 가능하다. 본 장에서는 물류시스템에서 행위자 기반 모형의 응용분야를 살펴본다.

첫째, 물류시스템의 운영정책에 대한 평가에 관한 적용이다. 물류시스템의 운영정책은 흔히 시스템 내 행위자 간 통합적인 협조 또는 경쟁관계를 고려하여 결정된다. 결정된 운영정책은 직접 혹은 간접적으로 행위자의 행동에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 운영정책을 결정하려 했을 때 각 대안 정책들이 전체시스템에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하고 최적대안을 결정하는 것이다. 예를 들어, 컨테이너 터미널에서 운영정책의 결정 문제에도 적용 가능하다. 컨테이너 터미널은 운영주체, 선사, 육상 물류업체, 그리고 각종 서비스 제공업체 등이 혼재하는 시스템이다(Yun et al 1999; Vis et al 2003). 이들은 자신의 목적에 부합하게 독자적인 의사결정이 가능하므로 행위자라고 정의될 수 있다. 만일, 터미널 운영주체가 선박 계류순서의 결정, 혹은 하역을 위한 안벽(berth)할당에 관한 정책 결정, 컨테이너 적재규칙에 대한 많은 대안들 중 하나를 결정하고자 할 때, 행위자 기반 모형은 좋은 분석도구가 될 수 있다. 행위자 기반 모형 수립 후 각 대안 별로 입력하여 터미널 내 모든 행위자가 어떻게 반응하고 이를 통하여 전체 터미널의 행태를 분석 후 최적정책을 결정하는 형태의 의사결정이 가능하다.

둘째, 의사결정의 최적화에 관한 적용이다. 전통적인 의사결정 최적화 방법론은 현실 문제를 단순화하여 수리적인 형태의 모형을 수립하고 그것으로부터 해를 도출한 후 이를 현실문제에 적용하는 방법이다. 그렇지만, 현실 문제의 복잡도가 매우 높은 경우에 모형의 정립이 어렵고 정립이 가능하더라도 모형의 크기가 해결 가능한 범위를 넘어서는 경우가 많다. 예를 들어, 공급사슬망(supply chain)의 경우 다수의 행위자가 존재하고 그들만의 지역화된 환경과 해당 행위자와 직접적으로 관계된 행위자들 간의 상호작용으로만 흔히 의사결정을 수행한다. 이러한 환경에서 특정 행위자의 최적 행동을 결정하기는 쉽지 않다. 그 이유는 행위자의 특정 행위나 의사결정이 전체 공급망에 미치는 파급효과를 예측하기가 쉽지 않기 때문이다. 이 경우에 행위자 기반 모형이 좋은 의사결정 도구로 활용될 수 있을 것이다.

마지막으로, 물류시스템 설계에 관한 적용이다. 물류시스템의 설계에는 필연적으로 경제적 사회적 요인이 고려되어야 한다. 예를 들어 물류시설의 배치에 있어 향후 인근 지역의 경제력 변화, 인구 변화, 그리고 기타 요인들이 반드시 의사결정에 포함되어야 한다. 그렇지만, 이러한 요인들을 정확하게 예측하기란 매우 어렵다. 전통적인 설계 방법은 위의 요인을 가정하고 최적 시스템을 설계하는 접근법을 따르지만 이러한 방법은 설계된 시스템과 경제적, 사회적 요인들의 시너지 효과, 상호 영향력 분석에 취약하다는 단점이 있다. 행위자 기반 모형은 행위자와 시스템 공간, 그리고 외부 환경에 대한 상호작용에 초점을 맞추어 모형화가 이루어지므로 적합한 설계도구가 될 수 있다.

V. 결론

물류시스템은 많은 행위자들 즉, 기관, 화주, 생산주체, 운송주체, 고객, 그리고 유, 무형의 주체가 복합되어 상호작용을 가지는 일종의 복잡계이다. 더구나, 현대의 물류시스템은 시스템 내 참여자가 매우 다양해지고 이들의 상호작용 또한 과거에 비해 매우 복잡해지고 있다. 복잡성이 높은 물류시스템 분석에 있어 전통적인 분석방법은 여러 이유로 한계가 존재한다. 전통적 분석방법은 거시적인 패턴에 대한 가설을 일반화하여 하부시스템의 행동을 예측한다는 점에서 하향식 분석방법이다. 이는 많은 행위자의 행동 패턴 원인을 효과적으로 파악하지 못한다는 단점이 있다. 또한 하부시스템의 미시적인 상호작용으로 발생 가능한 창발적 현상의 파악이 불가능하였다. 이러한 이유로 최근 하위시스템의 수준에 초점을 맞추어 전체시스템의 거시적인 행동을 파악하는 상향식 접근방법이 제안되었다.

행위자 기반 모형은 대표적인 상향식 시스템 분석 방법으로 시스템 내 독자적인 의사결정이 가능한 객체를 행위자로 보고 행위자 수준에서 모형화를 통하여 전체시스템의 거시적인 행동패턴을 분석하는 모형화 기법이다. 이 기법은 전통적 모형화 기법과 달리 전체시스템의 창발성의 분석이 가능하고 복잡성이 높은 시스템에 특히 좋은 성능을 보인다.

다른 연구 분야와 달리 행위자 기반 모형의 물류시스템에 대한 적용에 대한 연구는 아직까지 미비한 편이다. 본 연구에서는 행위자 기반 모형의 개념, 구조, 적용방안, 향후 연구방향을 다루었다. 미래의 물류시스템은 현재보다 더욱 복잡성이 높은 시스템으로 변화할 것이며 따라서 행위자 기반 모형의 적용 가능한 분야 또한 확대될 것이다. 이에 행위자 기반 모형의 적용에 대한 연구가 더욱 활성화되길 기대한다.

참 고 문 헌

1. 김병일 · 유홍성 · 서재환, "인천항의 물류네트워크 경쟁력 분석에 관한 연구", 『한국항만경제학회지』, 제25집, 제2호, 2009, pp. 177-200.
2. 마문식 · 유홍성 · 김병일, "인천신항 배후물류단지의 지역경제 파급효과 연구", 『한국항만경제학회지』, 제25집, 제4호, 2009, pp. 83-106.
3. Achorn, E., "Integrating Agent-Based Models with Quantitative and Qualitative Research Methods", AARE 2004 Papers(www.aare.edu.au/04pap/abs04.htm), 2004, ACH04769.
4. Adler, J. L., Blue, V. J., "A cooperative multi-agent transportation management and route guidance system", Transportation Research Part C, Vol. 10, 2002, pp. 433-454.
5. Ballou, R.H., Business Logistics Management, NJ: Prentice-Hall International, 1999.
6. Batty, M., Jiang, B., and Thurstain-Goodwin, M., "Local Movement: Agent-based Models of Pedestrian Flow", Working Papers Series Paper 4, Center for Advanced Spatial Analysis, University of London, 1998.
7. Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G., Swarm Intelligence, Oxford: Oxford University Press, 1999.
8. Clancey, W. J., Sierhuis, M., Seah C., Buckley C., Reynolds, F., Hall T., Scott, M., "Multi-agent Simulation to Implementation: A Practical Engineering Methodology for Designing Space Flight Operations", Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4995, 2008, pp. 108-123.
9. Davidsson, P., Henesey, L., Ramstedt, L., Tornquist, J., Wernstedt, F., "An analysis of agent-based approaches to transport logistics", Transportation Research Part C, Vol. 13, 2005, pp. 255-271.
10. Henesey, L., Davidsson P., Persson J.A., "Agent based simulation architecture for evaluating operational policies in transshipping containers", Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Vol. 18, 2009, pp. 220-238.
11. Hewitt, C., "Viewing control structures as patterns of passing messages", Artificial Intelligence, Vol. 8, No. 3, 1977, pp. 323-364.
12. Hussein, D., "An agent-based approach to modelling driver route choice behaviour under the influence of real-time information", Transportation Research Part C, Vol. 10, 2002, pp. 331-349.
13. Jeenings, N. R., Wooldridge, M., "Applications of intelligent agents. Agent technology, foundations", in Applications and Markets: Springer, 1998.
14. Kim, J. H., An Agent-based Model for Airline Evolution, Competition and Airport Congestion, Ph.D. Thesis, Virginia Tech, Virginia, 2005.
15. Labarthe, O., Espinasse, B., Ferrarini, A., Montreuil, B., "Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context", Simulation Modeling Practice and Theory, Vol. 15, 2007, pp. 113-136.
16. Louie, M. A., Carley, K. M., "Balancing the criticisms: Validating multi-agent models of social systems", Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 16, 2008, pp. 242-256.
17. Macal, C. M., North, M. J., "Tutorial on agent-based modeling and simulation", Winter Simulation Conference, Proceedings of the 37th conference on Winter Simulation, Orlando, Florida, 2005, pp. 2-15.
18. Nwana, H. S., "Software agents: an overview", The Knowledge Engineering Review, Vol. 11, 1996, pp. 205-244.
19. Tesfatsion L., "Chapter 16 Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory", Handbook of Computational Economics, Vol. 2, 2006, pp.

- 831-880.
20. Rindsfuser, G., Klugl, F., "Agent-based Pedestrian Simulation: A Case Study of the Bern Railway Station", DISP-ZURICH NUMB 170, Institut fur ORTS, Switzerland, 2007, pp. 9-18.
 21. Vis, I. F., Koster, R., "Transshipment of containers at a container terminal: An overview", European Journal of Operational Research, Vol. 147, 2003, pp. 1-16.
 22. Wangemann, J. P., Stengel, R. F., "Principled negotiation between intelligent agents: a model for air traffic management", Artificial Intelligence in Engineering, Vol. 12, 1998, pp. 177-187.
 23. Weiss, G., Multiagent Systems, Cambridge: The MIT Press, 2000.
 24. Wooldridge, M., An Introduction to Multi Agent Systems, West Sussex: Wiley, 2002.
 25. Wooldridge, M., Jennings, N., R., "Intelligent agents: theory and practice", The Knowledge Engineering Review, Vol. 10, 1995, pp. 115-152.
 26. Yun W. Y., Choi, Y. S., "A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach", International Journal of Production Economics, Vol. 59, 1999, pp. 221-230.

< 요약 >

물류시스템 분석을 위한 행위자 기반 모형 적용에 대한 제언

김 준 혁

현대 물류시스템은 점점 더 다각화 되고 복잡한 형태로 변화하고 있다. 그 결과 시스템의 거시적인 행태 분석과 예측은 더욱 더 어려워지고 있다. 전통적 분석 방법은 하향식 분석 방법으로 복잡성이 높은 물류시스템에 대한 적용에 있어 한계를 갖는다. 행위자 기반 모형은 상향식 분석 방법으로 시스템 모형화에 있어 새로운 사고방식의 틀을 제공한다. 행위자 기반 모형은 전체시스템의 하위시스템, 즉 행위자의 상호작용에 초점을 맞춘다. 전체시스템의 거시적인 행태는 행위자의 미시적인 상호작용을 결집시킴으로서 발현된다. 행위자 기반 모형은 행위자 기능의 정의에 따라, 분석의 영역을 자유롭게 조정할 수 있고, 각 행위자의 상호작용 모형화와 이를 통해 얻어진 전체시스템의 거시적인 행태와의 인과관계 분석도 가능하다.

물류시스템의 복잡성은 시스템 내 존재하는 다수의 참가자들의 복잡한 상호작용과 시스템의 목적과 독립적인 의사결정 등에 기인한다. 행위자 기반 모형은 행위자를 자신의 목적 달성을 위하여 외부, 다른 행위자 간 상호작용을 통해 습득한 단순명료한 규칙에 기반하여 행동한다고 가정한다. 행위자 기반 모형의 이점은 모형화 과정을 보다 단순하게 만들고 이를 통하여 각 하위시스템의 특성만으로는 설명할 수 없는 현상, 즉 창발성을 파악할 수 있다는 점이다. 따라서 행위자 기반 모형은 물류시스템과 같은 복잡하고 동적인 시스템의 분석에 매우 유용한 기법으로 이에 대한 많은 연구와 적용이 이루어져야 한다.

□ 주제어: 물류시스템, 행위자, 행위자 기반 모형, 시스템 행태, 복잡성, 시뮬레이션