

구조적 공백 기반 주문 분배 전략의 에이전트 기반 모델링 및 시뮬레이션*

김대영** · †강복영** · 강석호**

Agent Based Modeling and Simulation of Structural Hole Based Order Allocation Strategy

Daeyoung Kim** · †Bokyoung Kang** · Suk-Ho Kang**

■ Abstract ■

Order allocation is one of the most important decision-making problems of firms having significant influences on performances of themselves and the whole supply chain. Existing researches about order allocation have mainly focused on evaluating capabilities of directly connected suppliers so that it is hard to consider effects and interactions from undirected connections over multiple lower-layers. To alleviate the limitation, this paper proposed a novel approach to order allocation using structural hole. By applying the concept of structural hole to the supply network, we could evaluate the structural supplying powers of firms with respect to both of direct and indirect connections. In the proposed approach, we derived a methodology to measure the potential supplying power of each firm by modifying the effective size as one of the measurements of structural hole and then, proposed its application, the structural hole based order allocation strategy. Furthermore, we conducted the agent based modeling of supply chain to perform the decision-making process of order allocation and simulated the proposed strategy. As a results, by coping with the variance of demand more stably, it could improve the performance of supply chain from the aspects of fill rate, inventory level and demand-supply balance.

Keywords : Supply Chain Management, Agent-based Modeling and Simulation, Social Network Analysis, Order Allocation, Structural Hole

논문접수일 : 2011년 11월 15일 논문수정일 : 2012년 02월 28일 논문게재확정일 : 2012년 03월 02일

* 본 논문은 2011년도 한국경영과학회 추계학술대회 경쟁부문에 제출하여 최우수논문상을 수상한 논문임.

논문의 내용을 일부 보완, 확장한 논문이며 소정의 심사과정을 거쳐 게재 추천되었음.

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0016160).

** 서울대학교 산업공학과

† 교신저자

1. 서 론

공급사슬관리(Supply Chain Management)에서 각 기업은 자신의 수요에 따라 하위 기업에게 주문을 발주하고, 동시에 상위 기업에게 받은 주문량만큼 공급을 수행하며, 전체의 생산 계획(Production Plan)이 지속적으로 수행된다. 한 기업이 다수의 하위 기업들과 수요-공급 관계를 맺고 있는 경우, 그 기업은 각각의 공급자들에게 자신의 총 수요량을 얼마만큼씩 할당할지를 결정하는데, 이러한 의사결정을 주문 분배(Order Allocation)라 정의한다. 주문 분배 문제는 공급사에서 행해지는 기본적인 구매 기능 중 핵심적인 역할을 수행한다[11]. 기존의 주문 분배 관련 연구들은 분배 비율을 결정하기 위해, 직접적으로 주문과 공급의 상호작용을 주고받는 각 하위 기업의 역량을 어떻게 평가하는지에 초점을 맞추고 있다. 하지만, 하위 기업의 역량은 그 자신의 역량뿐만 아니라, 그 이하 하위 계층의 기업들로부터 연쇄적으로 영향을 받아 결정된다. 즉, 간접적 연결관계를 통한 상호작용에서의 영향력이 기존 연구에서는 고려되고 있지 않다.

이러한 한계점을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 구조적 공백(Structural Holes)을 도입한 새로운 주문 분배 전략을 제안한다. 구조적 공백은 직접적으로 연결되지 않은 두 개체 사이의 공간을 의미하는 소셜 네트워크 분석에서 제안된 개념이다. 공백에 위치한 개체는 정보 흐름의 관점에서 그 두 개체에게 구조적 영향력을 행사하게 되는데, 이는 공급사슬 내에서 직접적으로 연결되지 않은 기업들 간의 수요 및 공급 관계에 대한 영향력으로 해석될 수 있다. 구조적 공백의 도입을 통해 주문 분배 비율의 결정에서 간접적 연결관계 및 그에 따른 구조적 영향력까지 고려 범위를 확장시킴으로써, 각 기업은 물론 전체 공급사슬 관점에서 효율적인 주문의 분배 및 수요에 대한 공급이 가능할 것이다. 따라서 본 논문의 목적은 다음과 같다.

- 공급사슬 내에서 수요와 공급을 주고받는 기업 간의 물리적 연결관계에서 구조적 공백을 측정

하기 위한 방법 및 그에 기반한 주문 분배 전략을 제안한다.

- 에이전트 기반 공급사슬 모델링 및 시뮬레이션을 수행하여, 제안한 주문 분배 전략의 성능을 실험적으로 검증한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 공급사슬관리 및 주문 분배에 관련된 기존 연구들을 분석하고 그들의 한계점으로부터 본 연구의 동기를 도출하였다. 제 3장에서는 구조적 공백의 개념과 측정방법을 설명하였다. 제 4장에서는 각 기업의 구조적 영향력을 측정하기 위한 방법 및 그에 기반한 주문 분배 전략을 제안하였다. 제 5장에서는 수요-공급 활동 및 주문분배 의사결정을 수행하기 위한 에이전트 기반 공급사슬 모델링 및 시뮬레이션 설계를 수행하였다. 제 6장에서는 시뮬레이션 결과에 대한 토의를 기술하였다. 끝으로, 제 7장에서 결론 및 추후 연구과제를 서술하였다.

2. 배경 연구

2.1 공급사슬관리

공급사슬관리란 제조업계와 서비스 제공업계에서 구매, 공급, 분배, 운송, 물류 등의 관점에서 각각 연구되어오던 전략들을 하나의 운영 전략으로 규합한 접근법을 의미한다[27]. 특히 세계화에 따른 기업 환경의 급진적인 변화로 인해, 공급사슬관리에서 안정적인 수요와 공급의 유지가 더욱 중요해졌다[13].

공급사슬 운영전략의 성능을 평가하기 위한 연구 방법론으로는 시뮬레이션 기법이 가장 널리 활용되고 있다. 이는 실제와 유사한 환경에서 전략의 수행을 관찰 및 실험적 성능 평가가 가능하다는 장점이 있다[2]. 최근 공급사슬관리 영역에서의 시뮬레이션 연구는 독자적인 공급사슬 구성원(기업)들의 성향과 상관관계에 따른 성능 변화를 해석하기 위해, 공급사슬을 다중 에이전트 시스템(Multi-agent System)으로 모델링하는 접근법들이 활발히 제안

되고 있다[12, 14-16]. 또한, 공급사슬은 기업들의 물리적, 사회적 관계로 맺어진 네트워크에서 정보와 물류의 흐름이 존재하는 운영시스템이므로 에이전트 기반 모델링으로 표현될 수 있다[10]. 따라서 이를 도입하여 공급사슬에서 기업의 역할, 환경, 성향에 따라 독립적으로 수행한 의사결정이 자신, 다른 기업들, 그리고 전체 공급사슬의 성능에 미치는 영향을 분석할 수 있다[14, 21].

또한, 공급사슬 내에서 기업들 간의 사회적 관계, 정보의 공유, 의사결정 결과의 상호작용을 분석하기 위한 소셜 네트워크 분석의 접근법들이 제안되었다[5]. 관련 연구로는 기존의 공급사슬관리 데이터를 소셜 네트워크 분석의 지표를 도입하여 공급사슬의 특성을 분석한 연구[20], 기업들간의 사회적 관계 분석을 통해 공급사슬의 성능을 저해시키는 방해요소를 도출하기 위해 소셜 네트워크 분석을 시도한 연구[13], 공급사슬의 기업들 간의 사회적 관계 변동성이 다중 계층에 걸쳐 어떤 영향력을 행사할 수 있는지를 분석한 연구[17]가 있었다.

2.2 주문 분배

이러한 연구들의 공통적인 목적은 공급사슬 내 생산 계획을 이행하는 과정에서 직면하는 다양한 의사결정문제들이 자신 및 전체 공급사슬의 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 미시적 및 거시적 관점에서 관찰하는 것이다. 각 기업이 주어진 역할에 따라 구매, 공급, 분배, 운송 등을 수행하며, 그 과정에서 다양한 의사결정문제에 직면하게 된다. 이러한 의사결정들 가운데, 주문 분배(Order Allocation)에 대하여 논의한다. 주문 분배는 한 기업이 하위 계층의 여러 공급자들에게 자신이 필요로 하는 자재를 주문할 때, 누구에게 얼마만큼의 양을 할당할지를 결정하는 문제이다. 효율적인 주문 분배를 통해, 기업은 안정적인 수급을 통해 원활하게 자신의 수요를 충족할 수 있고, 공급사슬은 여러 계층에 걸친 수요와 공급 간의 균형으로 고객의 수요 변화에 대해 안정적으로 대응할 수 있다[18]. 주문

분배에 대한 기존 연구들은 주로 공급자의 역량에 대한 평가 문제와 병행되어 왔다[3]. 공급 능력에 대한 평가를 통해 자신의 수요에 대한 잠재적인 공급능력을 사전에 파악함으로써, 주문 분배의 기준을 제시할 수 있다. 이를 위해, 공급자의 역량 측정에 대한 다양한 기준을 제시한 연구[7], 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process), 네트워크분석과정(Analytic Network Process), 자료포괄분석(Data Envelopment Analysis) 등의 다기준 기반 성능 측정 기법을 적용한 연구들[8, 10, 29], 퍼지를 이용하여 불확실성을 고려한 평가 기법[3, 4, 30], 등이 제안되었다. 공급 능력에 대한 정량적인 평가가 이루어진 뒤에, 정수계획법, 선형 또는 비선형 계획법을 통해 주문 분배의 수리적인 모델을 수립할 수 있다[17, 18, 24].

이와 같이, 주문 분배에 대한 기존의 연구들은 인접한 계층에서 수요자와 공급자 간의 직접적 연결관계에만 집중되어 있음을 알 수 있다. 즉, 한 계층에서의 대상 선택과 분배 비율 결정만을 다루고 있다[23]. 하지만, 공급사슬은 여러 단계의 계층으로 이루어져 있기 때문에, 한 기업의 수요에 대한 공급 능력은 그 이하 계층의 모든 공급자들의 상태에 영향을 받는다[9, 28]. 또한, 기업의 공급 능력은 타 기업들과의 연결관계에 기반한 구조적 위치에 따라 결정된다[31]. 따라서 각 공급자에게 할당되는 주문의 분배 비율은 그 공급자의 자체적인 수용 능력뿐만 아니라, 상대적인 구조적 영향력에 따라 결정되어야 한다.

2.3 연구 동기 도출

본 연구에서는, 공급사슬 네트워크에서 물리적 연결관계에 따른 각 기업의 구조적 영향력을 고려한 주문 분배 전략의 수립을 위해, 구조적 공백의 개념을 도입하였다.

구조적 공백(Structural Holes)은 Burt가 1992년에 제안한 개념으로 두 개체 사이에 중복이 없는 겹치지 않은 연결을 의미한다. 즉, 두 개체 사이의

구조적 공백이 있는 연결이 중복이 있는 연결보다 다양한 이점이 존재 할 수 있다는 것을 설명하는 개념이다[6].

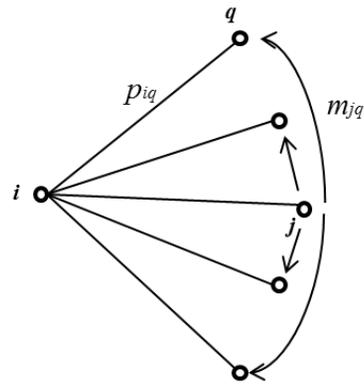
소셜 네트워크 분석에서, 구조적 공백에 위치한 개체는 네트워크 내의 정보 흐름에 잠재적 영향력을 미친다[25, 26]. 이러한 구조적 영향력을 평가하고 네트워크의 성능을 분석하기 위한 연구들이 제안되었다[31]. 공급사슬관리의 관점에서 구조적 공백을 논의한 사례로는 혼다 자동차 공급사슬에서 정보의 흐름을 구조적 공백 관점에서 분석한 연구가 있었다[22]. 위 연구사례는 공급사슬의 사회적 연결관계를 표현한 네트워크적 특징을 해석하는데 구조적 공백이 유용하게 적용될 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 구조적 영향력은 기업들 간 수요-공급의 상호작용을 수행하는 물리적 연결관계에서도 적용될 수 있을 것이다. 특히, 본 논문에서 다루고 있는 주문 분배 문제에서도 분배 비율의 결정 기준으로 작용할 수 있다. 구조적 공백의 도입을 통해, 이하 계층에 속한 기업들이 물류의 흐름에 미치는 영향력을 반영하여 각 기업의 공급 능력을 평가할 수 있다. 따라서 공급 능력의 평가 범위를 인접한 하위 계층에서 간접적으로 연결된 그 이하의 계층들까지 확대시킴으로써, 기존의 주문 분배 연구들이 가진 한계점을 해결할 수 있을 것이다.

3. 연구 방법론 : 구조적 공백의 개념 및 측정

구조적 공백은 네트워크에서 서로 인접하지 않은 개체 사이의 공간을 의미한다. 따라서 구조적 공백에 위치한 개체는 네트워크 내의 정보 흐름에 있어서, 특히 인접하지 않은 다른 두 개체 사이의 상호작용에 잠재적 영향력을 미친다. 또한, 구조적 공백의 개체는 주변 네트워크의 개체들에게 있어서 상대적인 구조적 영향력을 가지는 개체로 인식된다[6].

소셜 네트워크 분석에서 구조적 공백의 개념에 근거하여, 네트워크에서 각 개체가 가진 상대적 위

치에 따른 잠재적 영향력을 측정하기 위한 지수들이 제안되었다. 가장 널리 이용되고 있는 지표 중의 하나는 Burt에 의해 제안된 Effective size이다 [6]. 사회적 연결관계에서의 구조적 영향력을 측정하기 위해 제시된 방법으로, Effective size는 네트워크에서 중복된 연결을 배제함으로써 개체가 가진 실질적인 영향력을 측정하기 위한 지표이다.



〈그림 1〉 네트워크 모형

Burt의 연구[6]에 따라 〈그림 1〉과 같은 하나의 네트워크에서 Effective size를 측정하는 과정은 다음과 같다. 개체 i 의 Effective size를 측정하기 위해서는 네트워크의 구조적 특성을 표현하기 위해, 개체 간의 연결 지수, 연결 비율, 중복 정도를 측정한다.

〈그림 1〉의 네트워크에서 개체 i 와 다른 개체 q 간의 연결 지수를 z_{iq} 로 정의한다. 또한, 연결 비율 p_{iq} 는 개체 i 와 다른 개체 q 가 연결되어 있을 때, 개체 i 가 가진 모든 개체들과의 연결 지수에서 개체 q 와의 연결이 차지하는 비율로, 다음 식과 같이 정의된다.

$$p_{iq} = \frac{z_{iq} + z_{qi}}{\sum_j (z_{ij} + z_{ji})}, \quad (i \neq j) \quad (1)$$

또한, 개체 i 와 연결된 인접한 개체들 j, q 사이의 중복 정도는 다음과 같이 정의된다.

$$m_{jq} = \frac{z_{jq} + z_{qj}}{\max(z_{jk} + z_{kj})}, (i \neq j) \quad (2)$$

사회적 연결관계에서는 방향성이 없는 연결을 가정하므로 식 (1), 식 (2)와 같이 양방향을 고려한다.

개체 i 의 Effective size(H_i)는 개체 간의 중복된 연결을 배제한 잠재적인 구조적 영향력을 의미한다. 이는 개체 i 와 인접한 각 개체 j 간의 연결이 중복되지 않은 정도들의 합으로 정의되며, 다음과 같이 계산된다.

$$H_i = \sum_j \left[1 - \sum_q p_{iq} \times m_{jq} \right], (q \neq i, j) \quad (3)$$

이는 중복이 없는 연결을 1로 보고 각 중복된 연결을 배제하여 측정되므로, 한 네트워크의 흐름에 대한 개체 i 의 순수한 영향력을 의미한다.

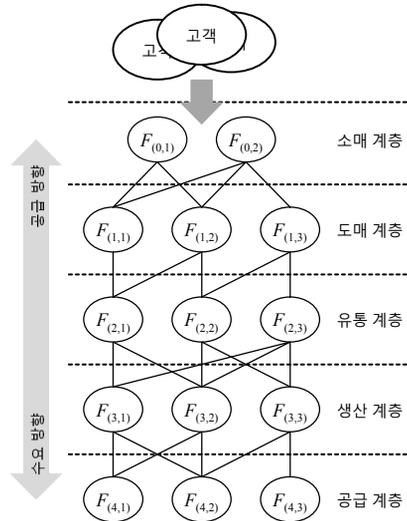
본 장에서는 소셜 네트워크 분석 관점에서 사회적 연결관계에서의 구조적 공백의 의미와 Effective size 측정에 대해 논의하였다. 제 4장에서는 이를 바탕으로 공급사슬 관점에서 물리적 연결(수요-공급) 관계에서의 구조적 공백의 의미와 Effective size 측정에 대해 자세히 기술한다.

4. 구조적 공백 기반 주문 분배 전략

먼저, 다중 계층 구조로 모델링된 공급사슬의 구조적 형태에 대한 예시로 <그림 2>와 같은 공급사슬을 가정한다. 해당 공급사슬은 각 단계가 수행하는 역할에 따라 소매, 도매, 유통, 생산, 공급의 다섯 계층들(계층 $l = 0, 1, 2, 3, 4$)로 이루어져 있다. 여기서, 계층 l 에 위치한 기업 i 를 $F_{(l,i)}$ 로 정의한다. 주문의 흐름은 소매 계층이 받은 고객의 주문을 시작으로 하위 계층으로 단계적으로 진행되고, 자체의 흐름은 주문의 흐름과 반대로 최하위의 원자재 계층에서 시작하여 상위 계층으로 진행된다.

<그림 2>와 같이 물리적 연결관계(수요-공급)를 가진 공급사슬에서 계층 l 에 위치한 기업 i 로 정의된 $F_{(l,i)}$ 의 Effective size를 측정하기 위해서

네트워크의 구조적 특성을 표현하기 위해, 기업 간의 연결 지수, 연결 비율, 중복 정도를 측정한다.



<그림 2> 공급사슬 네트워크의 구성

<그림 2>의 공급사슬에서 기업 간의 연결 지수 $z_{(l,i)(l+1,j)}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$z_{(l,i)(l+1,j)} = \begin{cases} 1 & \text{if } F_{(l,i)} \text{ link with } F_{(l+1,j)} \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (4)$$

연결 비율 $p_{(l,i)(l+1,j)}$ 은 기업 $F_{(l,i)}$ 와 하위 계층의 기업 $F_{(l+1,j)}$ 가 연결되어 있을 때, $F_{(l,i)}$ 가 가진 하위 계층의 모든 기업들과의 연결 지수에서 $F_{(l+1,j)}$ 와의 연결이 차지하는 비율로, 다음 식과 같이 정의된다. 이는 기존의 Effective size에서의 연결 비율의 계산(식 (1))과 동일하다.

$$p_{(l,i)(l+1,j)} = \frac{z_{(l,i)(l+1,j)}}{\sum_x z_{(l,i)(l+1,x)}} \quad (5)$$

소셜 네트워크 분석 관점에서의 중복 정도 $m_{(l+1,j)(l+1,k)}$ 는 인접한 두 계층의 범위에서의 연결 상대만을 고려하고 있다. 또한, 이러한 기존의 접근법을 적용하면, $m_{(l+1,j)(l+1,k)}$ 는 $F_{(l+1,j)}$ 가 가진 계층 $l+1$ 내에

서의 모든 연결들 가운데, $F_{(l+1,k)}$ 와의 연결이 차지하는 비율로 정의되며, 다음과 같이 계산된다.

$$m_{(l+1,j)(l+1,k)} = \frac{z_{(l+1,j)(l+1,k)}}{\max_x z_{(l+1,j)(l+1,x)}}, (j \neq x) \quad (6)$$

이와 같이, 네트워크의 구조 및 연결 관계의 특성에 따라 중복 정도 계산 과정이 기존의 구조적 공백 측정 (식 (2))과 다르게 정의된다. 소셜 네트워크 기반 접근법의 중복 정도의 측정은 무방향 또는 양방향의 성격을 가진 개체간의 연결만을 대상으로 하고 있다. 따라서 주문이나 물류의 흐름에 따라 단방향의 의미를 갖게 되는 공급사슬의 수요-공급 활동을 위한 연결관계에 적용하기 위해서는 그 특성에 맞는 새로운 중복 정도의 측정 방법이 필요하다. 특히, 공급사슬에서 동일 계층 내에서의 기업 간 연결관계의 중복은 일반적인 네트워크 구조에선 존재하지 않으며, 기존의 수식에 따르면 중복 정도는 0이 된다(식 (2)). 따라서 그 아래의 하위 계층 내 기업들을 통한 간접적인 연결관계에서 존재할 수 있는 중복을 고려할 수 있어야 한다. 즉, 같은 계층 내의 두 기업이 동일한 공급자를 가질 경우, 그 두 기업들 간의 중복 연결은 둘 간의 직접적인 연결의 형태가 아닌 하위의 기업을 통해 간접적으로 중복된 형태로 나타나기 때문이다. 이러한 공급사슬만의 특성을 반영한 새로운 중복 정도의 측정 방법이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 다음과 같은 공급사슬 내 중복 정도 측정 지수를 제시하였다. 기업 $F_{(l,i)}$ 에 연결된 하위 기업 $F_{(l+1,j)}$ 의 중복 정도를 계산할 때, $F_{(l+1,j)}$ 와 연결된 그 아래 계층 $l+2$ 의 기업들을 대상으로 한다. 이를 반영하면, 다음과 같은 식이 도출된다.

$$m_{(l+1,j)(l+1,k)} = \frac{z_{(l+1,k)(l+2,x)}}{\sum_x \sum_j z_{(l+1,j)(l+2,x)}} \quad (7)$$

기업 $F_{(l,i)}$ 의 Effective size인 $H_{(l,i)}$ 는 기업이 하위 계층과의 중복된 연결을 배제한 잠재적인 구조적 영

향력을 의미한다. 이는 $F_{(l,i)}$ 와 각 하위 기업 $F_{(l+1,j)}$ 간의 연결이 중복되지 않은 정도들의 합으로 정의되며, 다음과 같이 계산된다.

$$H_{(l,i)} = \sum_j \left[1 - \sum_k p_{(l,i)(l+1,j)} \times m_{(j+1,j)(j+1,k)} \right] \quad (8)$$

각 기업의 Effective size를 “상위 계층의 기업 관점에서 본 그 아래 계층에 속한 각 기업의 잠재적인 공급 가능성”으로 간주하면, 주문을 할당하는 비율의 근거로 제시할 수 있다. 따라서 위의 식 (8)을 이용하여 각 기업의 Effective size를 측정 한 뒤, 그 비율에 따라 다음과 같이 기업 $F_{(l,i)}$ 에 대한 주문 분배 가중치 $w_{(l,i)}$ 를 정의한다.

$$w_{(l,i)} = \frac{H_{(l,i)}}{\sum_x H_{(l,x)}} \quad (9)$$

끝으로, 상위 계층(= $l-1$)의 기업은 자신의 총 주문량을 하위 계층에서 수요-공급의 연결관계를 맺고 있는 각 기업에게 주문 분배 가중치 $w_{(l,j)}$ 의 비율에 따라 분배한다. 따라서 상위 기업 $F_{(l-1,h)}$ 의 t 시점에서의 총 수요량이 $TD_{(l-1,h)}(t)$ 일 때, $F_{(l-1,h)}$ 으로부터 하위 기업 $F_{(l,i)}$ 가 할당을 받게 되는 주문량 $D_{(l-1,h) \rightarrow (l,i)}(t)$ 은 아래 식으로 도출된다.

$$D_{(l-1,h) \rightarrow (l,i)}(t) = w_{(j,i)} \times TD_{(l-1,h)}(t) \quad (10)$$

예를 들어, <그림 2>의 소매 계층에 속한 $F_{(0,2)}$ 가 자신에게 필요한 총 주문량을 하위 계층의 기업들 $F_{(1,1)}$, $F_{(1,2)}$, $F_{(1,3)}$ 에게 할당하고자 한다. 이 기업들의 주문 가중치를 계산하기 위해, 그 아래 계층인 유통 계층까지의 구조적 연결관계 및 그에 기반한 잠재적 영향력을 고려하여 Effective size를 계산한다. 식 (4), 식 (5), 식 (7), 식 (8)을 이용하여 계산한 결과는 다음과 같다.

$$H_{(1,1)} = \sum_j \left[1 - \sum_k p_{(1,j)(2,j)} \times m_{(2,j)(2,k)} \right]$$

$$= \left(1 - \frac{1}{2} \times 1\right) + \left(1 - \frac{1}{2} \times 1\right) = 1$$

$$H_{(1,2)} = \left(1 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) + \left(1 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) = \frac{3}{2}$$

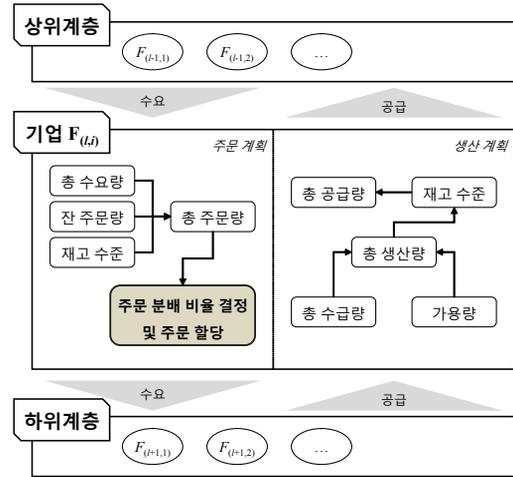
$$H_{(1,3)} = \left(1 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) + \left(1 - \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right) = \frac{3}{2}$$

5. 에이전트 기반 모델링 및 시뮬레이션

5.1 시뮬레이션 설계

에이전트 기반 모델링을 위해 <그림 2>의 공급 사슬을 구성하는 각 기업을 에이전트로 설정하고, 각 기업이 주문 분배를 수행하기 위한 의사결정 과정을 모델링한다. 상위 계층의 기업들로부터 주문을 받은 기업은 이전 시점의 잔 주문량 및 현재의 재고 수준을 고려하여 자신의 생산 활동에 소요되는 자재의 총 주문량을 결정한다. 총 주문량에 해당하는 자재를 하위 계층으로부터 공급받기 위하여, 하위 계층에 속한 각 기업들에게 해당 주문량을 어떤 비율로 분배할지를 결정한 뒤 그 주문량을 각 기업에게 할당한다. 여기서, “분배 비율을 어떻게 결정할 것인가”의 의사결정을 위해, 본 연구에서 논의하고 있는 구조적 공백에 기반한 주문 분배 전략이 적용된다. 자신의 주문, 즉 수요에 대한 자재의 공급이 하위 계층으로부터 이루어지면, 총 수급량과 자신의 가용량에 따라 가공품을 생산한다. 이 물량과 현재의 재고 수준을 고려하여, 상위 계층의 수요에 대한 총 공급량을 결정한다.

이러한 공급사슬의 운영 및 각 기업의 의사결정 과정에서 주문 분배 문제는 한 기업이 하위 기업들에게 총 주문량을 어떤 비율로 분배할지를 결정하는 것이다. 상위 계층의 기업 $F_{(l-1,h)}$ 가 t 시점에 아래 계층의 공급자들에게 주문하는 양의 총합 $TD_{(l-1,h)}(t)$ 로 정의한다. 이러한 총 주문량을 하위 계층의 기업들에게 분배할 때, 하위 계층의 각 기업 $F_{(l,i)}$ 에 대한 주문 분배 가중치 $w_{(l,i)}$ 에 비례하게 $F_{(l,i)}$ 에 대한 주문 분배량 $D_{(l-1,h) \rightarrow (l,i)}(t)$ 을 결정한다. 이러한 관계



<그림 3> 주문 분배를 위한 기업의 의사결정과정

는 다음 식으로 표현된다.

$$TD_{(l-1,h)}(t) \times w_{(l,i)} = D_{(l-1,h) \rightarrow (l,i)}(t) \quad (11)$$

where $\sum_i w_{(l,i)} = 1$

이와 같은 의사결정 모델링을 바탕으로 시뮬레이션을 수행한다. 먼저, 다음과 같은 가정을 세운다. 첫째, 시뮬레이션이 수행하는 동안, 공급사슬은 구조적으로 변화하지 않는다. 둘째, 최종 고객의 주문들은 모두 합산된 뒤, 소매 계층의 두 기업들에게 동일하게 분배된다. 셋째, 본 연구의 목적은 주문 분배 비율의 변동성이 공급사슬의 성능에 미치는 영향을 독립적으로 분석하기 위함이므로, 분배 비율 외 요소는 모두 동일하다고 가정한다. 따라서, 리드 타임은 모든 구간에서 한 단위 시간으로 동일하고, 지연이나 불량과 같은 제약은 없으며, 그 외 비용 관련 지표들도 모두 동일하다. <표 1>은 에이전트 기반 시뮬레이션을 위한 시스템 및 에이전트의 매개변수들을 설명한다.

에이전트 기반 공급사슬 시뮬레이션의 반복적 실험을 위해 필요한 시작 값들은 다음과 같다. 고객으로부터 전달되는 최초의 수요, 즉 소매 계층의 각 기업에게 할당되는 $TD_{(0,i)}(t)$ 는 200을 평균으로

〈표 1〉 에이전트 기반 모델링의 매개변수

기호	설명
$D_{(i,i) \rightarrow (t+1,j)}(t)$	t 시점에 $F_{(i,i)}$ 의 $F_{(t+1,j)}$ 에 대한 주문량
$S_{(t+1,j) \rightarrow (i,i)}(t)$	t 시점에 $F_{(t+1,j)}$ 의 $F_{(i,i)}$ 에 대한 공급량
$I_{(i,i)}(t)$	t 시점에 $F_{(i,i)}$ 의 재고량
$B_{(t+1,j) \rightarrow (i,i)}(t)$	t 시점에 $F_{(t+1,j)}$ 의 $F_{(i,i)}$ 에 대한 잔주문량
$P_{(i,i)}(t)$	t 시점에 $F_{(i,i)}$ 의 생산량
$C_{(i,i)}(t)$	t 시점에 $F_{(i,i)}$ 의 가용량
$TD_{(i,i)}(t)$	t 시점에 $F_{(i,i)}$ 의 총 주문량
$ED_{(i,i)}$	$F_{(i,i)}$ 의 평균 주문량
$ss_{(i,i)}$	$F_{(i,i)}$ 의 안전 재고량

무작위로(Random) 생성한다. 각 기업에 대하여 다음과 같은 지표들이 동일하게 정의된다. 평균 수요량 $ED_{(i,i)}$ 은 200으로, 안전 재고 $ss_{(i,i)}$ 는 400으로 설정한다. 초기 재고량 $I_{(i,i)}(0)$ 은 안전 재고와 동일하게 400이며, 초기 잔주문량 $B_{(i,i)}(0)$ 은 최초 주문이 발생하기 전이므로 0이다. 가용량(Capacity)은 안전 재고와 유사하게 생산 수준을 한정하기 위해 400으로 정의하였고, 이는 모든 기업들이 동일하며 시점에 따라 변하지 않는다.

각 시점에 각 기업이 갖는 총 주문량 $TD_{(i,i)}(t)$ 은 Kim의 연구에서 제안된 아래의 식을 도입하였다 [19]. 우리의 시뮬레이션에서는 θ 와 a 를($0 < \theta < 1, 0 < a < 1$) 각각 0.8, 0.5로 설정하였다.

$$\theta \times \sum_j D_{(i,i) \rightarrow (t+1,j)}(t-1) + (1-\theta) \times ED_{(i,i)} + \alpha(ss_{(i,i)} - I_{(i,i)}(t))$$

공급사슬 시뮬레이션 과정에서, 각 기업은 기본적인 수요와 공급의 활동을 수행한다. 각 시점에 상위 계층으로부터 수요에 따른 주문량의 할당을 받은 뒤, 그에 따른 공급량을 제공한다. 이때, 자신의 현재 재고가 상위 계층의 주문량과 전 시점의 잔 주문량의 합보다 많다면, 다음 식과 같이 상위 계층으로부터 모든 수요를 충족시킬 수 있도록 공급량을 결정한다.

$$\sum_j S_{(i,i) \rightarrow (t-1,j)}(t) = \sum_j D_{(t-1,j) \rightarrow (i,i)}(t) + \sum_j B_{(t-1,j) \rightarrow (i,i)}(t)$$

반대로 재고가 주문량보다 적다면, 재고만큼만 공급한다. 여기서, 충족시키지 못한 주문량은 다음 시점의 잔 주문량으로 누적된다. 따라서 현재 시점의 총 공급량 및 다음 시점의 총 잔주문량은 다음 식과 같이 도출된다.

$$\begin{aligned} \sum_j S_{(i,i) \rightarrow (t-1,j)}(t) &= I_{(i,i)}(t) \\ \sum_j B_{(i,i) \rightarrow (t-1,j)}(t+1) &= \sum_j D_{(t-1,j) \rightarrow (i,i)}(t) + \sum_j B_{(t-1,j) \rightarrow (i,i)}(t) - I_{(i,i)}(t) \end{aligned}$$

상위로 공급이 수행된 뒤, 해당 기업은 자신에게 필요한 물량을 생산 및 자재 수급을 수행한다. 생산에 필요한 자재를 하위 계층의 기업들로부터 공급받고, 자신의 가용량에 따라 생산한다. 여기서, 공급한 양 및 공급받은 양에 따라 생산량을 결정한다. 가용량의 한계치를 초과하는 양의 자재를 공급받으면, 다음 식과 같이 가용량만큼 생산한다.

$$P_{(i,i)}(t) = C_{(i,i)}(t)$$

반대로, 가용량의 한계치 내에서 공급받으면, 공급받은 모든 자재의 양만큼 생산한다.

$$P_{(i,i)}(t) = \sum_j S_{(t+1,j) \rightarrow (i,i)}(t)$$

끝으로, 지금까지 정의한 공급 및 생산 과정을 거친 뒤, 다음 시점에서의 재고수준은 아래 식과 같이 도출된다.

$$I_{(i,i)}(t+1) = I_{(i,i)}(t) + P_{(i,i)}(t) - \sum_j S_{(i,i) \rightarrow (t-1,j)}(t)$$

5.2 주문 분배 전략

수요-공급의 과정이 계층별로 진행되면서, 각 기

업은 자신에게 필요한 공급량에 해당하는 주문을 하위 계층의 각 기업에게 어떤 비율로 분배할지를 주어진 주문 분배 전략에 따라 결정한다. 또한, 구조적 공백을 고려한 분배 전략과 고려하지 않은 전략간의 성능 비교를 위해서, 다음과 같은 전략1: 균등 분배, 전략 2: 공급자 수 기반 분배를 가정하였다.

(전략 1: 균등 분배) 주문 분배 전략에 대한 기존 연구에서는 인접한 한 계층의 기업들과의 연결 관계만을 고려한다. 인접한 아래 계층의 공급자들의 성능을 평가하여, 그들 가운데 효율적인 거래대상을 선택하고, 비용 관련 지표들을 고려한 최적화 또는 휴리스틱 기법을 이용한 주문량의 결정이 이루어진다. 본 실험에서 주어진 조건에 따르면, 모든 기업들은 비용 및 불확실성 관련 매개 변수들이 동일하기 때문에, 기존 접근법의 관점에서는 모든 기업들이 균등한 역량 및 효율성을 가진 것으로 평가된다. 따라서 기존 접근법을 적용하면 균등하게 분배하는 전략을 따르게 된다. 따라서 각 하위 기업에 대한 분배 가중치는 다음과 같이 정의된다.

$$w_{(l,u)}(t) = w_{(l,v)}(t) \text{ (for all } u, v) \\ \text{where } \sum_i w_{(l,i)} = 1$$

(전략 2: 공급자 수 기반 분배) 전략 1과 같이 기존의 하위 기업의 역량에 따라 주문하는 방식에서 나아가 한 단계 하위 수준을 고려한다. 즉, 주문하려는 하위 기업이 가진 공급자의 수에 비례한 주문 분배 가중치를 결정한다. 또한, 해당 전략은 사회적 연결관계에서 정의되는 일반적인 Effective size의 측정 수치와 동일하게 정의된다. 각 기업의 공급자 수에 비례하게 다음과 같이 기업 $F_{(l,u)}$ 에 대한 주문 분배 가중치 $w_{(l,u)}$ 를 정의한다.

$$w_{(l,u)}(t) = \frac{N_{(l,u)}}{\sum_x N_{(l,x)}} \\ \text{where } \sum_i w_{(l,i)} = 1, N_{(l,u)} = \sum_j z_{(l,u)(t+1,j)}$$

(전략 3: 구조적 공백 기반 분배) 제 4장에서 제시한 구조적 공백기반 분배전략에 따른 분배 가중치(식 (9))로 주문을 분배한다.

예를 들어, <그림 2>의 예제에서 기업 $F_{(1,3)}$ 이 하위 기업 $F_{(2,2)}$ 과 $F_{(2,3)}$ 에게 분배하는 경우, 전략 1에 의한 가중치는 1/2과 1/2, 전략 2에 의한 가중치는 2/5와 3/5, 전략 3에 의한 가중치는 1.5/(1.5+2.3)와 2.3/(1.5+2.3)으로 계산된다.

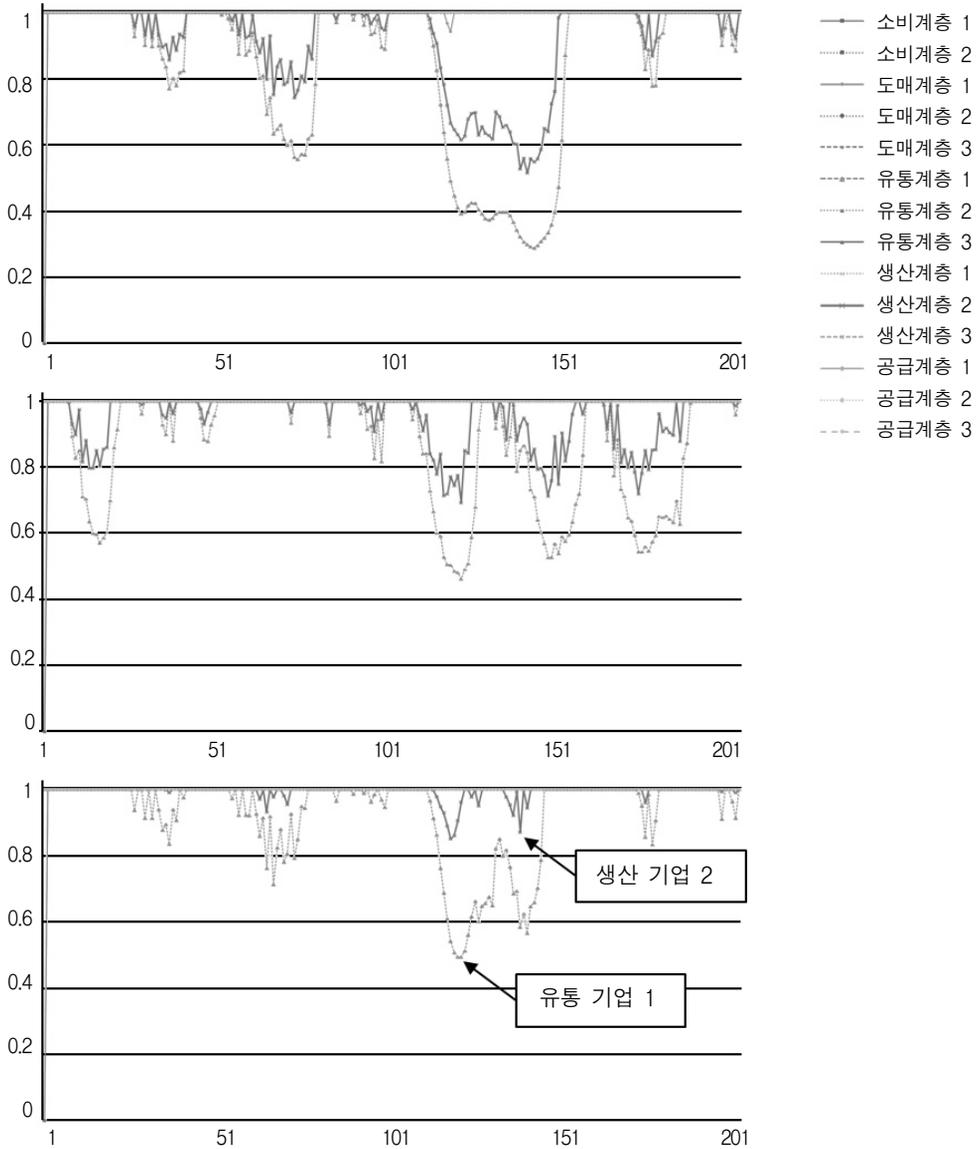
위의 세 가지 전략별로 총 200회의 시점을 진행시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해, 다른 모든 요소가 동일한 상황에서, 분배 전략에 따라 주문을 분배하는 비율에만 변동성을 부여하였을 경우, 이 차이가 각 기업들의 주문량, 공급량, 주문 충족률, 재고 관리 수준 등에 미치는 영향이 어떻게 나타나는지 관찰하였다.

6. 실험결과 및 토의

6.1 충족률

충족률은 기업이 상위 계층의 주문을 얼마나 잘 충족시켜주고 있는지를 의미한다. 따라서 각 기업의 시기 별 공급량을 해당 시기의 주문량과 잔 주문량의 합으로 나눈 것으로 정의하였다. 이에 따라 각 기업이 가지는 충족률은 0에서 1(완벽히 충족) 사이의 비율로 계산된다. <그림 4>는 균등 분배 전략, 공급자 수 기반 분배 전략, 구조적 공백 기반의 주문 분배 전략의 시뮬레이션 결과를 보여준다.

충족률의 값이 1에 가깝게 유지되는 것은 상위 기업의 수요에 대한 공급이 지속적으로 잘 이루어지는 것이라 할 수 있다. 균등 분배 전략에서는 충족률이 떨어지는 기업들이 관찰되었다. 특히 유통 기업 1과 생산 계층의 기업 2는 충족률의 변동성이 다소 높게 나타났다. 하지만, 구조적 공백에 기반한 주문 분배 전략에 의해, 두 기업의 충족률이 전반적으로 개선되는 것을 확인할 수 있다. 불충족이 나타나는 시기는 유사하였지만, 그 정도가 크게 개선되었다. <표 2>는 통해 각 기업들의 전 시점에서



〈그림 4〉 총족률(상 : 균등 분배, 중 : 공급자 수 기반 분배, 하 : 구조적 공백 기반 분배)

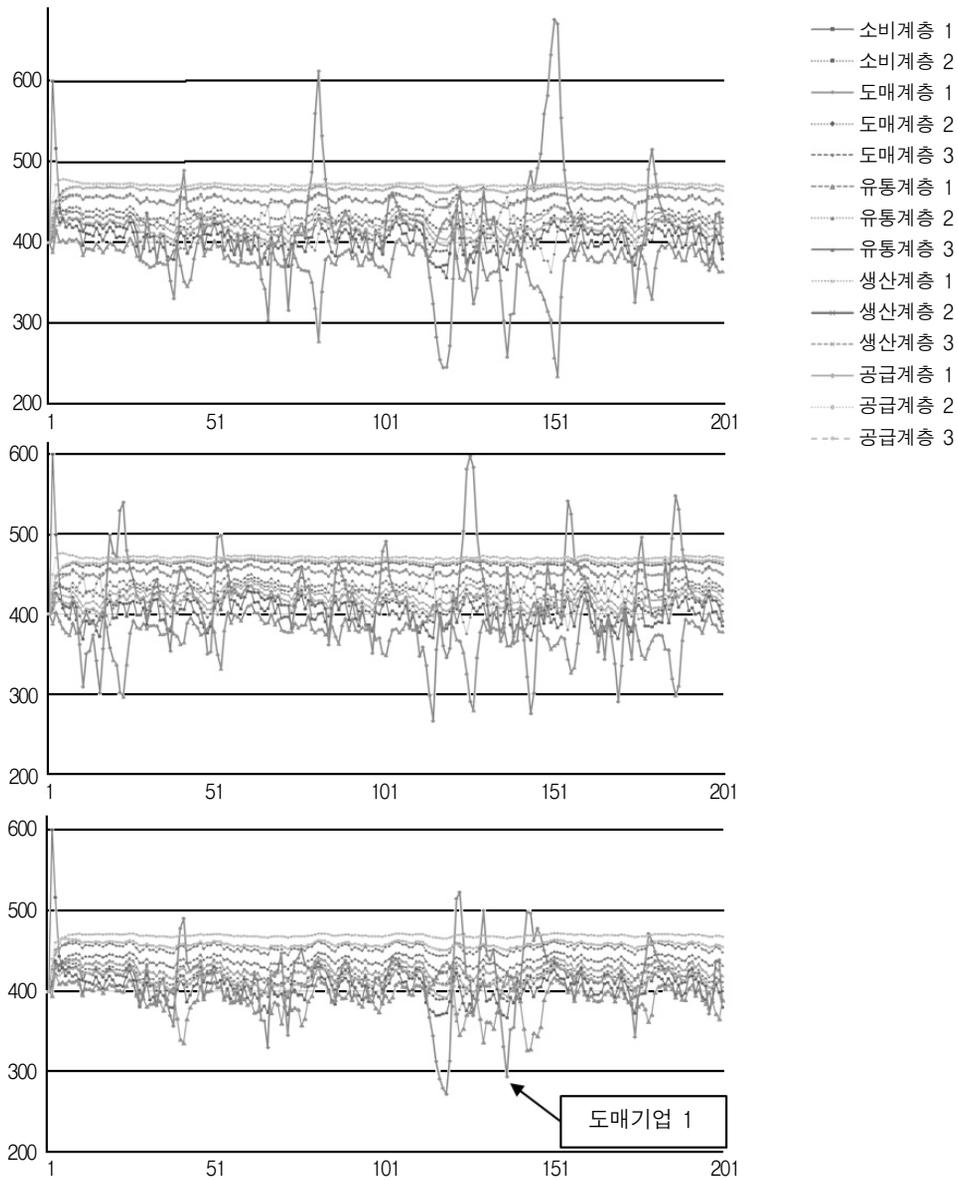
결친 총족률의 전략 별 평균을 보여준다. 유통 기업1의 경우 전략 1, 2보다 약 6% 이상 총족률이 개선된 것을 확인할 수 있다.

6.2 재고 수준

재고수준은 기업의 시기 별 재고 상태이다. 제 5

장에서 기술한 시뮬레이션 설정에 따라 각 시점 별로 수요-공급 과정을 수행한 후의 재고 상황을 측정하였다. 〈그림 5〉는 균등 분배 전략, 공급자 수 기반 분배 전략, 구조적 공백 기반의 주문 분배 전략의 시뮬레이션 결과를 보여준다.

시뮬레이션 디자인에 따르면, 고객 수요는 평균 수치 200을 기준으로 변동성을 고려하여 생성되었



<그림 5> 재고 수준(상 : 균등 분배, 중 : 공급자 수 기반 분배, 하 : 구조적 공백 기반 분배)

고, 기업의 재고 관리 전략은 상위의 수요를 만족 시킴과 동시에, 400의 안전 재고량($ss_{(l,i)} = 400$, for all l, i)도 유지할 수 있도록 설정되었다. 즉, 안전 재고량에 가깝게 재고를 유지할 수 있다는 것은, 그 기업이 고객 수요의 변화에 얼마나 잘 대응할 수 있으며, 재고 관리 수준을 효율적으로 이끌어

가고 있음을 의미한다. <표 2>는 각 기업들의 전 시점에 걸친 재고 수준의 전략 별 표준편차를 보여 준다. 재고 수준의 변동폭이 제안 전략에서 크게 축소되는 것을 확인할 수 있다. 특히, 도매 기업1에서 가장 큰 개선이 나타났다. 전략 1보다 약 25단 위, 전략 2보다 약 17단위 만큼 재고 수준의 표준

편차가 감소되었다.

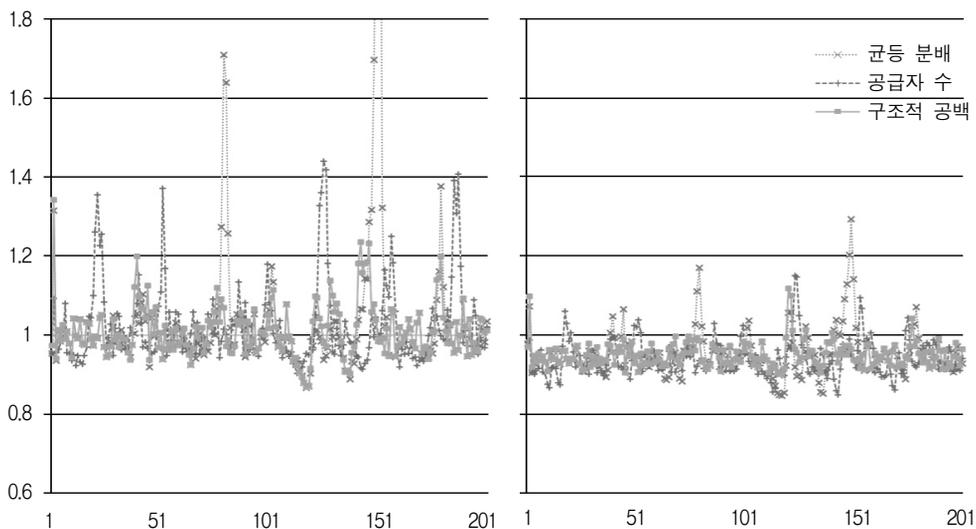
6.3 수요 대비 주문 변동률

위 실험 결과에 따르면, 가장 비효율적인 수요-공급 활동을 수행하여 충족률에서 낮은 성과를 보인 기업들은 유통 기업 1과 생산 기업 2으로 분석되었다. 그리고 이들은 상위 기업의 수요를 효율적

으로 만족시켜주지 못하였기 때문에, 결국 그 상위 기업의 비효율성의 원인을 제공하였다. 특히, 도매 기업1은 하위 계층들에서의 비효율성에 의한 연쇄 작용으로, 적시에 적정량의 자재를 공급받지 못하였기 때문에, 재고 수준에서 큰 등락폭을 보일 수밖에 없었다. 따라서 자신은 물론 전체 공급사슬의 비효율성의 원인이 되고 있는 두 기업들, 유통 기업1과 생산 기업 2의 수요-주문 변동률을 살펴봄

〈표 2〉 전략 별 시뮬레이션 결과

		충족률(%)			재고 수준(unit)			수요 대비 주문 변동률(%)		
		전략 1	전략 2	전략 3	전략 1	전략 2	전략 3	전략 1	전략 2	전략 3
소비	1	1.00	1.00	1.00	22.35	21.34	21.92	0.09	0.10	0.09
	2	1.00	1.00	1.00	21.92	21.34	21.92	0.09	0.10	0.09
도매	1	1.00	1.00	1.00	60.02	52.27	35.72	0.22	0.17	0.14
	2	1.00	1.00	1.00	10.95	10.49	10.95	0.09	0.06	0.09
	3	1.00	1.00	1.00	5.98	5.92	5.98	0.16	0.08	0.16
유통	1	0.84	0.87	0.93	24.24	21.99	18.68	0.18	0.10	0.07
	2	1.00	1.00	1.00	7.41	6.83	8.10	0.05	0.05	0.05
	3	1.00	1.00	1.00	5.79	5.74	6.62	0.10	0.07	0.11
생산	1	1.00	1.00	1.00	8.57	7.93	7.67	0.04	0.04	0.04
	2	0.92	0.95	0.99	14.33	13.06	10.95	0.06	0.05	0.03
	3	1.00	1.00	1.00	5.81	5.72	5.59	0.05	0.04	0.06
공급	1	1.00	1.00	1.00	8.40	7.79	8.78	0.03	0.03	0.03
	2	1.00	1.00	1.00	5.49	5.40	5.30	0.01	0.01	0.01
	3	1.00	1.00	1.00	5.84	5.86	5.92	0.06	0.06	0.08



〈그림 6〉 수요 대비 주문 변동률(좌 : 유통 기업1, 우 : 생산 기업 2)

으로써, 두 기업들의 수요 변동성에 대한 대응력을 자세히 분석하고자 하였다.

수요 대비 주문 변동률은 한 기업이 상위 계층의 기업으로부터 받은 수요량과 자신이 하위 계층의 기업들에게 할당한 총 주문량의 비율로 정의하였다. <그림 6>은 균등 분배 전략, 공급자 수 기반 분배 전략, 구조적 공백 기반 전략의 시뮬레이션 결과에서 유통 기업 1과 생산 기업 2의 수요 대비 주문 변동률을 각각 보여준다. 또한, <표 2>를 통해 각 기업의 전 시점에 걸친 변동률의 표준편차를 전략 별로 살펴볼 수 있다.

변동률이 1에 가깝게 유지됨은 각 시점마다 수요-공급의 균형이 이루어졌음을 의미한다. 공급량의 부족 및 초과가 빈번하게 나타날수록, 재고 수준이 일정하게 유지되기 힘들고, 궁극적으로는 수요량과 공급량의 큰 차이를 일으킨다. 이러한 불균형이 일어날 경우, 수요 대비 주문 변동률은 1을 기준으로 큰 등락폭을 보이게 된다. 시뮬레이션 결과에 따르면, 두 기업 모두에서 제안 전략에 의해 수요 대비 주문 변동률의 등락폭이 크게 감소한 것을 확인할 수 있다. 특히, 유통 기업 1의 경우, 전략 1보다 11%만큼, 전략 2보다 3%만큼 개선이 나타났다.

6.4 토의

세 가지 주문 분배 전략의 시뮬레이션 결과 및 그에 대한 분석에 따르면, 본 논문에서 제안한 구조적 공백 기반 주문 분배 전략이 기존 접근법에 기반한 균등 분배 전략에 비해서 주문에 대한 충족률, 재고 수준의 관리, 수요대비 주문 변동률의 변동성 측면에서 개선된 결과를 보였다. 이는 공급사슬에서 기업이 하위 기업들에게 주문량을 할당하는 의사결정문제에서, 단일 계층에서의 연결관계뿐만 아니라, 그 이하 계층에서의 연결관계 및 그에 의한 구조적 영향력을 고려하여 분배하는 것이 보다 효율적임을 보여준다. 본 시뮬레이션에서는 각 전략에 따른 주문 분배 비율의 차이를 제외한 나머

지 매개 변수들은 모두 동일하게 디자인되었다. 그리고 분배 비율의 차이는 구조적 영향력을 고려하는지의 여부에 기인한다. 즉, 구조적 영향력의 반영이 각 기업 및 전체 공급사슬의 성능에 영향을 미치고 있으며, 효율성 관점에서 큰 개선을 이룰 수 있음을 실험적으로 보여주고 있다.

7. 결 론

본 연구에서는 구조적 공백의 측정 기법 중 하나인 effective size를 이용한 분배 전략을 정의함으로써, 구조적 공백을 실제 분배 전략으로 실현하였다. 기존의 연구사례들에서, 구조적 공백을 도입한 공급사슬관리 전략의 연구는 기업들 간의 사회적 연결 관계에서만 제한적으로 시도되었다. 사회적 연결 관계에선 한 기업과 인접한 다른 기업들 간의 중복이 존재할 수 있으며, 이러한 구조에서의 상대적 영향력을 측정하는 것이 일반적인 구조적 공백 기반 접근법이다. 이와 다르게, 본 논문에서는 사회적 관계가 아닌 수요-공급의 물리적 연결 관계에서 구조적 공백의 개념을 도입 및 측정하기 위한 방법론을 제시하였다. 공급사슬 내에서는, 상위 계층의 기업과 인접한 하위 계층의 기업들 간에 중복된 연결이 일반적으로 존재하지 않는다. 따라서 이때의 중복 정도를 그보다 하위의 계층, 즉 공통된 공급자가 존재하느냐의 여부에 기반하여 측정되어야 한다. 이 과정을 정립함으로써, 공급사슬에서의 물리적 관계를 고려한 구조적 영향력의 측정 방법을 제안하였고, 이를 주문 분배 전략으로 확장시켰다.

또한, 에이전트 기반 공급사슬 모델링 및 시뮬레이션을 이용하여 제안된 주문 분배 전략의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 기존 접근법에 기반한 분배 전략보다 수요의 변동성에 대해 탄력적으로 대응함으로써 각 기업 및 전체 공급사슬의 성능이 개선됨을 확인할 수 있었다. 제안 전략을 통하여 수요의 변동성에 대한 대응력 및 재고 상황에 대한 관리 수준을 향상시킴으로써, 공급사슬의 수

요-공급 활동을 보다 안정적으로 유지할 수 있을 것이다.

연구의 한계점 및 그로부터 도출할 수 있는 추 후 연구 과제는 다음과 같다. 첫 번째는 일반화된 공급사슬 모델로의 확장을 통한 에이전트 기반 모델링 및 시물레이션이다. 제안 전략은 <그림 2>와 같은 다중 계층(multi-layers)의 공급사슬 모델을 배경으로 고안되었다. 또한, 단일 계층 내의 기업들은 경쟁적 관계로 가정하였기 때문에, 수평적 연결관계에 해당하는 협업 및 물류 교류가 존재하지 않는다. 이러한 가정의 완화를 통해, 일반적인 복잡계 네트워크 시스템(complex system)에서의 분배 전략 도출 및 시물레이션을 통한 평가가 가능할 것이다.

두 번째는 보다 고도화된 분배 전략의 개발이다. 기존의 연구들에서 사용되는 비용 관련 매개 변수들에 구조적 영향력의 평가 지수를 추가함으로써, 보다 실제적인 분배 전략의 수립 및 평가가 가능할 것이다. 또한, 시간에 따라 변화할 수 있는 동적인 요소들을 도입하여, 환경 변화에 유동적으로 대응할 수 있는 전략의 개발도 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김대영, 강복영, 강석호, "공급사슬 관리에서의 주문 분배 전략 : 구조적 공백 기반 분배 전략의 제안과 에이전트 기반 공급사슬 시물레이션을 이용한 평가", 2011 한국경영과학회 추계학술대회논문집, pp.1-14.
- [2] Akanle, O.M. and D.Z. Zhang, "Agent-based model for optimising supply-chain configurations," *International Journal of Production Economics*, Vol.115, No.2(2008), pp.444-460.
- [3] Amin, S.H., J. Razmi, and G. Zhang, "Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming," *Expert Systems with Applications*, Vol.38, No.1(2011), pp.334-342.
- [4] Azadeh, A., M.H. Khakbaz, and M. Jafari Songhori, "An integrated framework for supplier evaluation and order allocation in a non-crisp environment," *International Journal of Logistics Systems and Management*, Vol.6, No.1(2010), pp.76-98.
- [5] Borgatti, S.P. and X. Li, "On Social Network Analysis in a supply chain context," *Journal of Supply chain Management*, Vol.45, No.2 (2009), pp.5-22.
- [6] Burt, R.S., *Structural Holes : The Social Structure of Competition*, Harvard University Press, Cambridge MA, 1992.
- [7] Chan, F.T.S., S.H. Chung, and S. Wadhwa, "A heuristic methodology for order distribution in a demand driven collaborative supply chain," *International Journal of Production Research*, Vol.42, No.1(2004), pp.1-19.
- [8] Chan, F.T.S., S.H. Chung, and K.L. Choy, "Optimization of order fulfillment in distribution network problems," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.17, No.3(2006), pp. 307-319.
- [9] Chen, Y., "Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain," *Information Science*, Vol.181, No.9 (2011), pp.1651-1670.
- [10] Demirtas E.A. and Ö. Üstün, "An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation," *Omega*, Vol.36, No.1(2008), pp.76-90.
- [11] Faez, F., S.H. Ghodsypour, and C. O'Brien, "Vendor selection and order allocation using an integrated fuzzy case-based reasoning and mathematical programming model," *International Journal of Production Economics*, Vol.121, No.2(2009), pp.395-408.
- [12] Forget, P., S. D'Amous, J.M. Frayret, and J. Gaudreault, "Study of the performance of

- multi-behaviour agents for supply chain planning," *Computers in Industry*, Vol.60, No.9(2009), pp.698-708.
- [13] Greening, P. and C. Rutherford, "Disruptions and supply networks : a multi-level, multi-theoretical relational perspective," *The International Journal of Logistics Management*, Vol.22, No.1(2011), pp.104-126.
- [14] Ivanov, D., B. Sokolov, and J. Kaeschel, "A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations," *European Journal of Operational Research*, Vol.200, No.2(2010), pp.409-420.
- [15] Jiang, G., B. Hu, and Y. Wang, "Agent-based simulation of competitive and collaborative mechanisms for mobile service chains," *Information Science*, Vol.180, No.2(2010), pp.225-240.
- [16] Jiao, J.R., X. You, and A. Kumar, "An agent-based framework for collaborative negotiation in the global manufacturing supply chain," *Robotics and Computers-Integrated Manufacturing*, Vol.22, No.3(2006), pp.239-255.
- [17] Jose, M.C. and Z. Liu, "Modeling and analysis of the multiperiod effects of social relationship on supply chain networks," *European Journal of Operational Research*, Vol.214, No.1(2011), pp.39-52.
- [18] Kawtummachai, R. and N. Van Hop, "Order allocation in a multiple-supplier environment," *International Journal of Production Economics*, Vol.93-94(2005), pp.231-238.
- [19] Kim, W., "Effect of a Trust mechanism on complex adaptive supply networks : an agent-based social simulation study," *Journal of artificial societies and social simulation*, Vol.12, No.3(2009), p.4.
- [20] Kim, Y., T. Y. Choi, T. Yan, and K. Dooley, "Structural investigation of supply networks : A social network analysis approach," *Journal of Operations Management*, Vol.29, No.3(2011), pp.194-211.
- [21] Lee, J.H. and C.O. Kim, "Multi-agent systems applications in manufacturing systems and supply chain management : a review paper," *International Journal of Production Research*, Vol.46, No.1(2008), pp.233-265.
- [22] Lin, C.H., K.L. Hsieh, J. Roan, and C.H. Kao, "The Application of Structural Holes Theory to Supply Chain Network Information Flow Analysis," *Information Technology Journal*, Vol.10, No.1(2011), pp.146-151.
- [23] Liu, W., X. Xu, Z. Ren, and P. Yan, "An emergency order allocation model based on multi-provider in two-echelon logistics service supply chain," *Supply chain management : an international journal*, Vol.16, No.6(2011), pp.391-400.
- [24] Mafakheri, F., M. Breton, and A. Ghoniem, "Supplier selection-order allocation : A two-stage multiple criteria dynamic programming approach," *International Journal of Production Economics*, Vol.132, No.1(2011), pp.52-57.
- [25] Rodan, S. and C. Galunic, "More than network structure : how knowledge heterogeneity influences managerial performance and innovativeness," *Strategic Management Journal*, Vol.25, No.6(2004), pp.541-556.
- [26] Rodan, S., "Structural holes and managerial performance : identifying the underlying mechanisms," *Social Networks*, Vol.32, No.3(2010), pp.168-179.
- [27] Tan, C.K., "A framework of supply chain management literature," *European Journal*

- of Purchasing supply management*, Vol.7, No.1(2001), pp.39-48.
- [28] Wangphanich, P., S. Kara, and B. Kayis, "Analysis of the bullwhip effect in multi-product, multistage supply chain systems : a simulation approach," *International Journal of Production Research*, Vol.48, No.15/16 (2010), pp.4501-4517.
- [29] Xia, W. and Z. Wur, "Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments," *Omega*, Vol.35, No.5(2007), pp.494-504.
- [30] Yucel, A. and A.F., Guneri, "A weighted additive fuzzy programming approach for multi-criteria supplier selection," *Expert Systems with Applications*, Vol.38, No.5(2011), pp.6281-6286.
- [31] Zaheer, A. and G. G. Bell, "Benefiting from network position : firm capabilities, structural holes and performance," *Strategic Management Journal*, Vol.26, No.9(2005), pp. 809-825.